

行政院環境保護署

「99 年度土壤及地下水污染研究與技術提昇計畫」

綠色整治決策支援系統之建立

期末報告

EPA-99-GA103-03-A236-4

主 辦 單 位 ：  行政院環境保護署

受 託 單 位 ： 永澧環境管理顧問股份有限公司

計 畫 執 行 人 員 ： 馬鴻文、張魯鈞、李芸英、吳雪蘋、林榕淵、
許資宜、廖姿涵、施秀靜、李培群、李雨軒

計 畫 執 行 期 間 ： 99/12/29 ~ 100/12/28

中 華 民 國 100 年 12 月

報告大綱

本報告共分爲五個主要章節，內容包括蒐集回顧相關文獻及研究報告，並說明本計畫所建立的綠色整治決策支援系統，包含目標及範疇界定、整合生命週期評估與風險評估等環境衝擊評估方法，並以實際場址之整治相關資料作爲盤查數據，以驗證此系統之可應用性及比較各整治技術對環境之衝擊性。

第一章爲「計畫緣起與目的」，說明本計畫之計畫背景、研究目的及研究架構。

第二章爲「文獻回顧」，主要蒐集並彙整有關綠色整治、健康風險評估、生命週期評估、多目標決策支援系統之相關文獻及研究報告。

第三章爲「本年度主要工作內容 -綠色整治決策支援系統之建立」，說明本計畫所建立的決策系統。主要包括設定綠色整治之目標及範疇界定，並說明如何整合生命週期評估與風險評估，據以建立綠色整治決策支援系統；並以多目標決策方法，綜合計算各整治技術對環境所造成衝擊，比較整治技術間之差異，以優選出最符合綠色整治概念之技術。

第四章爲「主要發現與成果 -綠色整治決策支援系統之案例驗證」，則說明本計畫案例場址之背景資料，依據第三章綠色整治決策支援系統之建立，針對案例場址所使用之地下水整治技術(如物理、生物、化學等)進行物質及能源之相關盤查，以利後續計算各整治技術對環境衝擊。

第五章爲「結論與建議」，彙整說明本計畫之執行現況及所得成果，並進一步規劃未來工作事項。

計畫名稱：綠色整治決策支援系統之建立

計畫編號：EPA-99-GA103-03-A236-4

計畫執行單位：永澧環境管理顧問股份有限公司

計畫主持人(包括協同主持人)：馬鴻文、張魯鈞

計畫期程：99 年 12 月 29 日起 100 年 12 月 28 日止

計畫經費：新台幣 950,000 元 (含稅)

摘要

在國際不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展方向的趨勢下，土壤及地下水污染場址的整治必須以系統性方法為基礎，建構一綠色整治管理的決策系統。目前的整治技術決策在考量成本、時間及技術等可行性下，僅以場址符合濃度標準或風險接受度為首要目標，並以此決定整治方案；這樣的決策模式，囿於片面的評估範疇及有限的方案選項，其所產生的決策可能未能與永續發展一致。

系統性的決策架構則改善各場址獨立決策的缺點，將整治決策置於永續管理的架構中，強化並延伸整治決策所考量的面向，擴大決策空間，藉以尋求整體最適的管理方案。其所考量的範圍，第一，評估項目反應多元的衝擊類別，包括全球尺度的溫暖化效應、區域尺度的酸雨，以及地方性的生態效應等十二項評估項目。第二，決策範疇涵蓋完整的生命週期，包括支援整治階段的上游活動、整治階段，以及整治後監測，以利後續土地的維護及利用或開發。

本決策支援系統整合生命週期評估與風險評估方法，評估各種整治技術對環境與健康的綜合影響；並進行一實際案例試算以驗證其實用性。本計畫以環境與健康面向為評估重點，已建立決策系統架構與軟體介面；期以此基礎，結合經濟社會面向與決策方法，發展完整實用之管理決策系統。

At the present practice, to determine remediation strategy for a contaminated site only considers the concentration standards and the risk acceptance along with time and cost. The remediation strategy determined under such approach is constrained with limited evaluation aspects and alternatives; it is questionable as to whether such decision could be in line with the direction of sustainable development.

However, under the global trend of pursuing sustainable development, such as Low-Carbon City and Circular Economy, the remediation of the soil and groundwater contaminated sites should be performed with a systems approach, based on a comprehensive sustainable site management. This systems approach placed the remediation decision within the framework of sustainable site management; the evaluation dimensions and decision space are therefore enlarged to identify optimal management strategies.

The evaluation aspects of the systems approach encompass a variety of impact categories, such as global warming, regional acid rain and ecological effect, etc. In addition, the decision framework covers the complete life cycle which includes the upstream activities supporting remediation process, the remediation process itself, and the post-remediation operation & maintenance. The resource inputs and discharge outputs from the entire life cycle and the resulting primary, secondary, and tertiary environmental impacts are included in the evaluation. Thus, it is an ample approach that has wide-range issues taken into account.

The core of this decision system is Decision Supporting System integrated by life cycle assessment and risk assessment. Such integration is also an important international research subject, in which the differences in terms of data type, temporal and spatial scale, applicable levels as well as uncertainty need to be resolved.

The focus of this year research includes: the establishment of decision-making and assessment framework, the integration of life cycle assessment and risk assessment, and conducting a case study to examine the practicality of the proposed approach. Base on the accomplishment, a practical decision-making system for sustainable site management, i.e., the green remediation, is expected to be fully developed by incorporating economic and social dimensions.

前 言

遭受土壤及地下水污染場址之管理及整治為近來重要的環保議

題。由於法規、民眾健康衝擊及再開發等因素的壓力，大部分的污染處理都是以快速並有效地移除污染為目標，導致傳統的整治技術多為高耗能(energy-intensive)工法。然而，由於全球氣候變遷及資源短缺，人們愈來愈重視永續經營及利用；而整治活動的最終結果雖然符合永續發展的目標，其本身亦會對經濟、社會及環境產生衝擊。因此，整治活動亦須考量永續的概念，即明智地使用有限資源，以對人類健康及自然環境產生最大的效益(稱為綠色整治，green remediation)。綠色整治的考量範圍自規劃階段開始，直至場址再開發利用。在整治規劃階段，有許多的決策支援系統及工具可用來選擇適宜的整治技術。傳統的篩選因子包括：人體健康、費用、時間、有效性、技術可行性及法規標準，這些因子又被稱為內在因子(internalities)；而永續整治的技術篩選因子除了上述各項外，尚包括對場外環境、經濟及社會的衝擊，即外部因子(externalities)。目前大部分的決策支援系統均為定性上的分析，而少數的定量決策系統則多使用生命週期評估(簡稱 LCA)來計算整治活動所造成的衝擊及影響。

傳統 LCA 在整治技術的篩選上有其限制性，在人體健康衝擊評估的效力較低。因此若能整合其他環境管理工具，如風險評估(Risk Assessment，以下簡稱 RA)，應能建立一功能較強的整合性環境評估方法。

完整的綠色整治系統包括制度法規、評估方法與管理規範的建立，評估及管理對象涵蓋整治活動的生命週期，即場址調查、場址整治、土地復育利用，以及所投入使用之設備物質的供應鏈。本計畫的重點為評估方法的建立，以場址整治階段的技術選擇為決策選項，透過決策支援系統估計各整治技術對各項環境衝擊項目的影響程度。將來可以本決策系統為骨幹，逐步擴充進而建立完整的綠色整治系統。

研究方法

鑑於以上特性，本計畫欲以 LCA 為基礎，並在衝擊評估上結合 RA 方法，建構綠色整治技術環境評估模式，協助土壤地下水整治技術之優選。本計畫旨在建立台灣綠色整治決策支援系統，重點為建立選擇整治技術所需之評估方法。本研究首先整理綠色整治相關文獻，評析國際作法並萃取可用資訊；進而整合相關環境管理工具，建構綠色整治技術環境評估模式，協助土壤地下水整治技術之優選出對環境衝

擊最小之整治技術。最後將挑選一國內實際地下水污染場址進行案例模擬及驗證，以瞭解較符合綠色之整治技術，同時可修正支援系統之適用性；研究架構如圖一。

本決策支援系統之架構主要分成三大部分：系統內建資料庫、使用者輸入與結果輸出。在系統內建資料部分，由於本計畫建置之決策支援系統利用模糊多準則決策分析建立 12 項環境衝擊權重，並以生命週期評估與健康風險評估為主要的評估方法，因此需要彙整與其配合的資料與數據。故透過專家學者問卷調查之方式，決定各評估因子之所佔權重，權重成果如圖二所示；並蒐集風險評估參數，包括化學物質的毒理及物化資料、受體暴露情境及暴露因子；以及整治技術所涉及生命週期衝擊評估之盤查量化數據，以方便未來使用者輸入能資源之實際使用量，即可推算出其對環境的衝擊程度。而於使用者輸出及結果輸出方面，本計畫亦建置一使用者親善(User friendly)的決策支援系統電腦模組(模式界面首頁如圖二)，藉由簡易的操作界面，輸入本系統評估所需之各項參數，即可輸出各整治技術之環境衝擊與風險評估之比較，以使決策者快速了解各種整治技術對環境衝擊之相對高低。最後經由台灣實際地下水污染整治場址之各項整治技術之資料盤查，以驗證此決策支援系統之可應用性以及了解實際應用上各項整治技術對環境之衝擊比較。

結 果

本計畫完成綠色整治決策支援系統的建置，以生命週期評估與風險評估二者方法的整合為核心，並結合整治技術、污染物性質、場址特徵與暴露情境等資料庫，用以評估各種整治技術對環境與健康的綜合影響。主要成果簡述如下：

1. 完成國外綠色整治相關研究之蒐集與彙整，以為國內推行綠色整治時的參考與依據。
2. 建立適用於地下水整治之健康風險評估方法：針對在地下水整治過程可能對人體可能產生之影響，針對場址內與場址外之受體暴露情境設定。
3. 建立適用地下水整治之生命週期評估方法：針對國內外普遍常見之地下水整治技術，進行相關盤查資料之彙整，建立一合適之地下水整治技術盤查表，作為未來生命週期盤查所用。

4. 建立決策支援系統之架構，選定評估之準則因子，擬定出環境面向之評估準則，包含耗水量、廢棄物、光化學煙霧、呼吸道效應、酸雨化效應、溫室效應、水域生態毒性、陸域生態毒性、能源耗用、資源耗用、土地佔用、人體健康等準則因子。

5. 應用多準則決策方法中之層級分析法，藉由專家問卷調查地下水整治技術評估準則之相對重要性，求得地下水整治技術評估準則權重之分配；由目前之分析結果顯示，相對權重最大的準則為健康風險，其次為水域與陸域生態毒性，相對權重最小的準則分別為光化學煙霧、資源耗用與土地佔用。

6. 選定一台灣南部污染場址作為實廠案例，完成地下水循環井整治技術、厭氧還原脫氯生物整治技術及現地化學氧化技術於實廠進行整治工作時所投入之能資源量盤查表，以提供生命週期評估所需參數，並測試本系統的實用性。

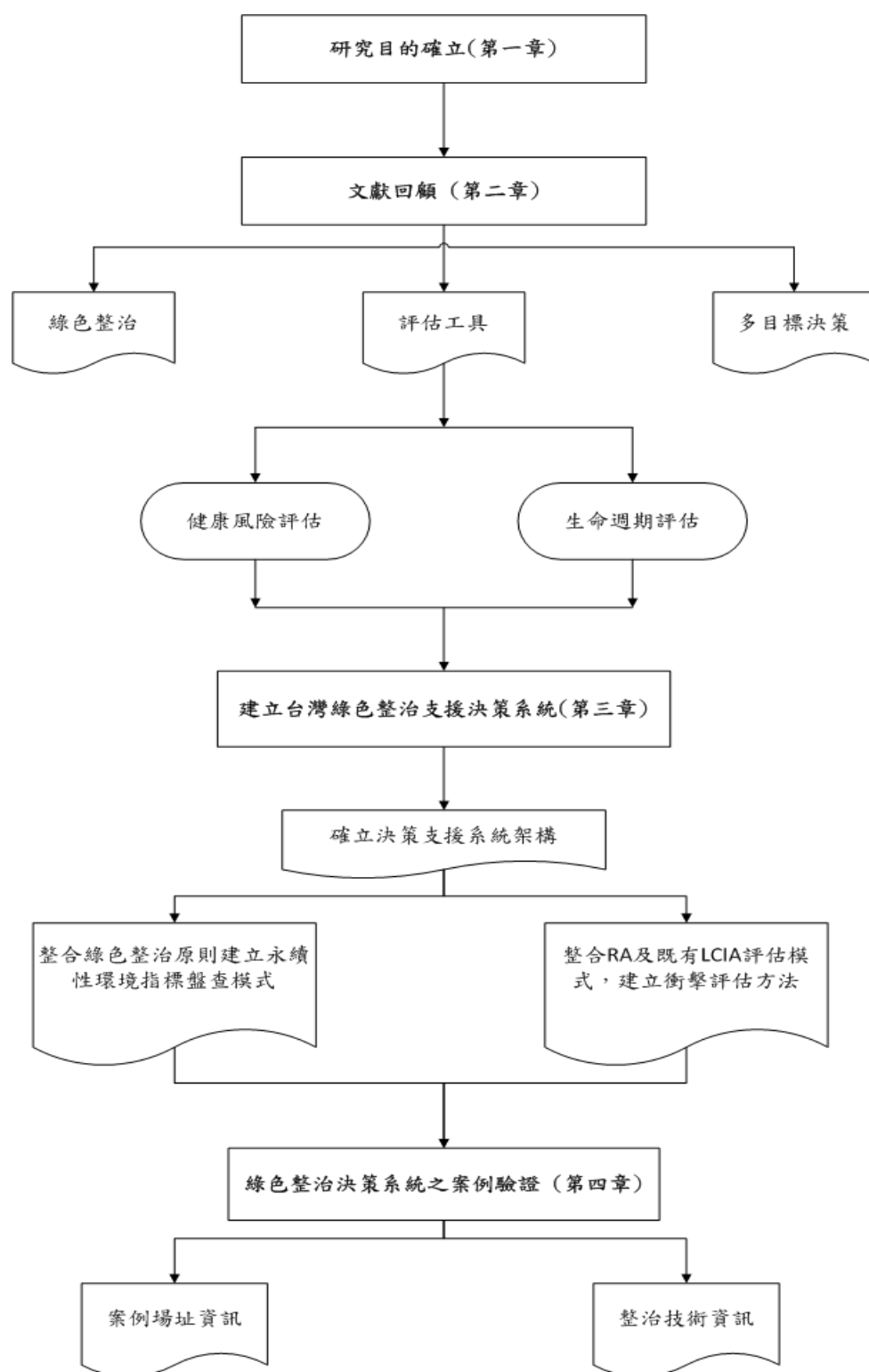
7. 建立使用者親善的操作軟體界面，作為未來擴充的雛形。

結 論

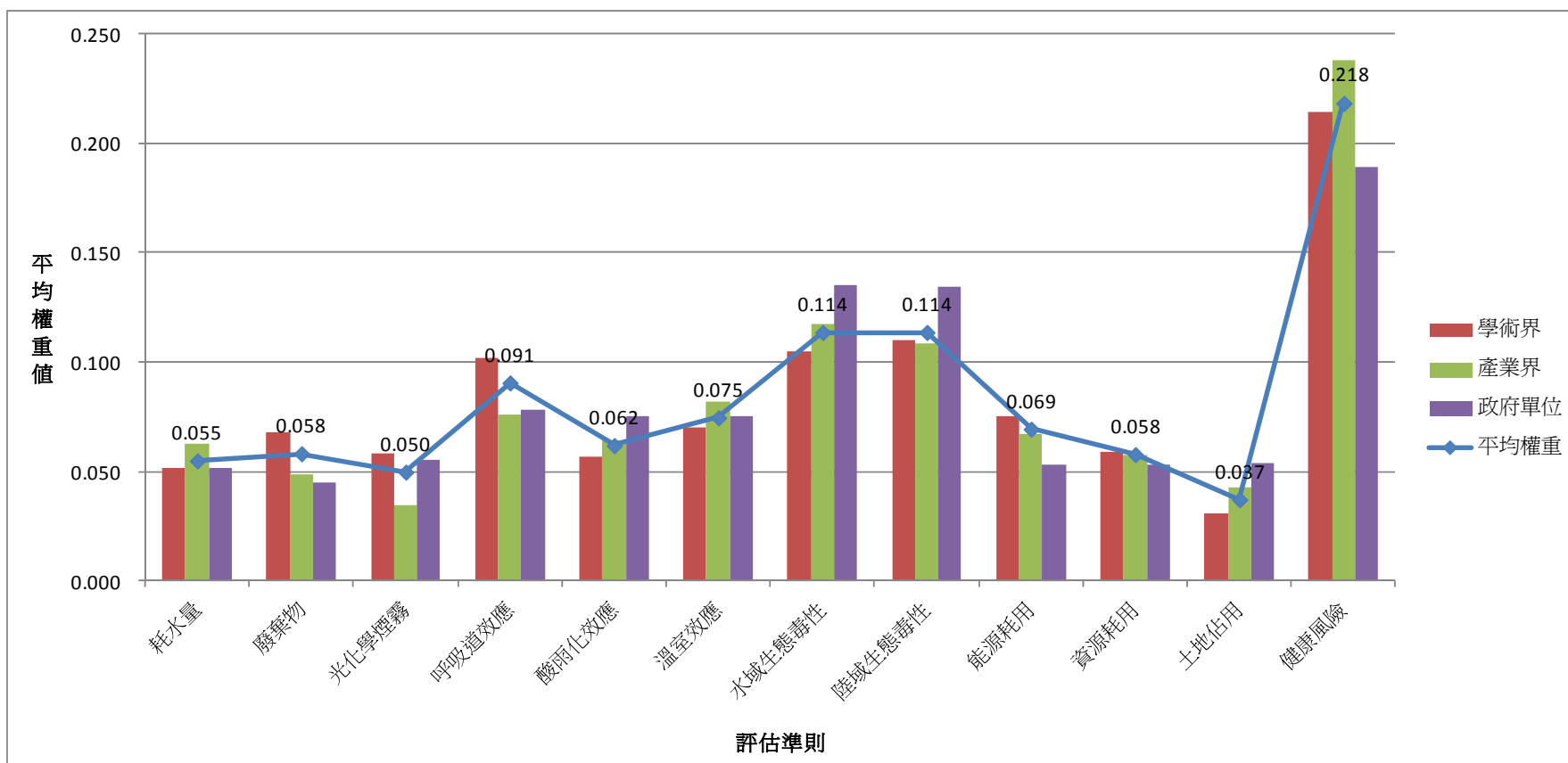
本計畫完成台灣綠色整治決策支援系統的建置，以生命週期評估與風險評估二者方法的整合為核心，並結合整治技術、污染物性質、場址特徵與暴露情境等資料庫，用以評估各種整治技術對環境與健康的綜合影響。而於實際案例場址之驗證結果，完成地下水循環井整治技術、厭氧還原脫氯生物整治技術及現地化學氧化技術於實廠進行整治工作時所投入之能資源量盤查表，以提供生命週期評估所需參數，證明本系統為實際可應用之決策支援系統。

建議事項

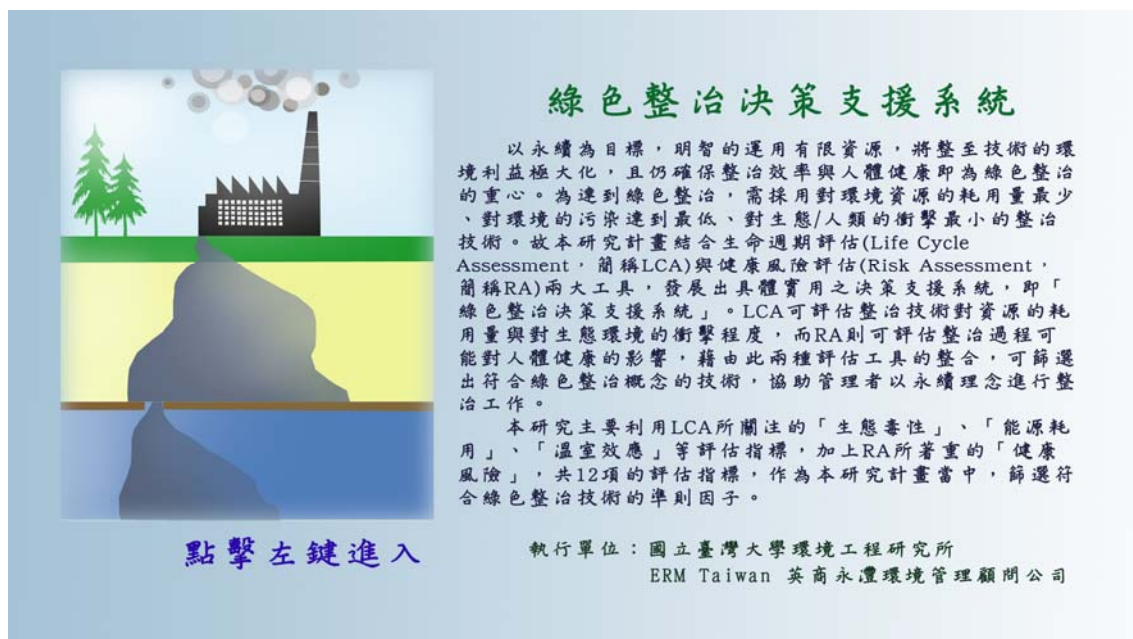
未來除應增加案例分析試算及實證、強化評估參數資料庫及結合經濟與社會評估外，亦應將此系統建立標準化作業流程，以利後續推廣。且應納入相關法規制度中，結合褐地管理與國土規劃等政策，始能落實綠色整治之觀念。



圖一 研究流程與架構



圖二 準則權重比較圖



圖三 模式界面首頁

第一章、計畫緣起與目的

摘要

相較於傳統之整治決策過程中，並未系統性地考量於整治流程中，污染物釋放與能資源耗用及抵扣所造成的環境衝擊與效益，本計畫欲提供綠色整治支援決策系統，整合健康風險評估方法與生命週期評估方法，量化整治內所涵蓋的技術、工程施作、操作單元等的直接與間接環境影響。因此，本計畫中 1. 整合健康風險評估與生命週期評估，建立台灣綠色整治決策支援系統；2. 藉由台灣目前正在執行整治之含氯有機化合物污染場址，蒐集其整治流程中相關資料，應用此系統評估，以驗證此決策支援系統之可行性，及評估各種整治技術之環境衝擊性。

1.1 計畫緣起

遭受土壤及地下水污染場址之管理及整治為近來重要的環保議題。由於法規、民眾健康衝擊及再開發等因素的壓力，大部分的污染處理都是以快速並有效地移除污染為目標，導致傳統的整治技術多為高耗能(energy-intensive)工法，如地下水抽取移除系統(pump-and-treat system)、土壤挖除與場外棄置、及熱處理系統等。然而，一旦污染物擴散開來，這些工法由於技術上的限制，使得污染濃度降至某種程度後，去除率就大幅下降，而此污染濃度限值通常都高於法規標準；此時，若持續使用相同的工法，不但曠日費時，亦消耗大量的能資源和金錢。

近十年來，由於全球氣候變遷及資源短缺，人們愈來愈重視永續經營及利用；而整治活動的最終結果雖然符合永續發展的目標，其本身亦會對經濟、社會及環境產生衝擊。因此，整治活動亦須考量永續的概念，即明智地使用有限資源，以對人類健康及自然環境產生最大的效益(稱為綠色整治，green remediation)。綠色整治的考量範圍自規劃階段開始，直至場址再開發利用。在整治規劃階段，有許多的決策支援系統及工具可用來選擇適宜的整治技術。傳統的篩選因子包括：人體健康、費用、時間、有效性、技術可行性及法規標準，這些因子又被稱為內在因子(internalities)；而永續整治的技術篩選因子除了上述各項外，尚包括對場外環境、經濟及社會的衝擊，即外部因子(externalities)。目前大部分的決策支援系統均為定

性上的分析，而少數的定量決策系統則多使用生命週期評估(Life Cycle Assessment，以下簡稱 LCA)來計算整治活動所造成的衝擊及影響。

LCA 早期廣泛應用於評估一產品在其生命週期(自原物料從自然資源中取得、生產、使用至廢棄)中對環境所產生之衝擊，後來亦沿用於一系統或活動(如整治技術)之衝擊評估(Hauschild 2005)。依據 ISO 14040(2006)所訂定之生命週期評估架構，LCA 必需包含目的與範疇界定、盤查分析、衝擊評估及結果闡釋四大項。

一般而言，LCA 在整治上的應用大致可分為下列幾種類型：(1)替現有整治系統進行標竿評量(benchmarking)；(2)檢討已完成的整治活動，找出可減少衝擊的機會，以為未來整治活動的參考；(3)評估整治結果，以找出哪一種改變會帶來最大的效益；(4)在整治技術選取階段，比較不同的整治選項(SURF 2009)。而其所探討的衝擊可分為一級衝擊(primary impacts)及二級衝擊(secondary impacts)。一級衝擊指的是整治中及整治後地下的殘餘污染(residual contamination)所造成的衝擊；由於各個整治技術的清除效率及清除時間不同，其相關之一級衝擊也有所不同。二級衝擊則為整治過程中之資源使用及廢棄物排放。最近有人提出三級衝擊(tertiary impacts)(Lesage 2007)，即復育後場址再利用所帶來的環境衝擊；過去大部分的 LCA 研究都是比較在一定的整治目標或暴露限值下所使用的整治技術，故三級衝擊多被忽略。

傳統 LCA 在整治技術的篩選上有其限制性，其毒性評估有四點基本假設(Owens 1997)：(1)不考慮毒性效應之閥值；(2)假設劑量反應函數為線性且通過原點；(3)不論化學物質釋放的時間或地點，均將其造成的暴露量視為同時發生；(4)各種毒性反應間具有絕對的加成性(additivity)。而這樣的假設，未考量劑量效應、化學宿命、人體暴露、背景濃度、空間差異，導致評估所得為最差情境(worst case scenario)下的結果，與實際危害相差甚多。然而，LCA 在毒性評估所欠缺的劑量效應、化學宿命、人體暴露資訊，卻是風險評估(Risk Assessment，以下簡稱 RA)的考量重點。

RA 是一種系統性方法，可用來估算人體暴露於外來的危害因子時，所產生不利反應的機率；可區分為「健康風險評估」(health risk assessment)及「生態風險

評估」(ecological risk assessment)兩類。健康風險評估以人類為主體，一般是以 NAS-NRC(National Research Council of the National Academy of Sciences)所發展出的評估方法最為廣泛被採納與使用，其風險評估流程包括四個步驟：(1)危害性鑑定(Hazard Identification)、(2)劑量效應評估(Dose Response Assessment)、(3)暴露程度評估(Exposure Assessment)及(4)風險特徵描述(Risk Characterization)。RA 發展至今已漸趨成熟，且包含多種多介質評估模式，這些模式可描述：(1)受體多種的暴露途徑；(2)有害物質在不同介質間的傳輸行為；(3)有害物質的環境分布、暴露與健康效應結合。

欲系統性地涵蓋決策因果鏈以及各項衝擊，LCA 確為適當的核心工具，可推估場址整治中各階段污染物排放以及能資源耗用情形，並評估其造成的環境衝擊。然而，由於其本身方法學上的缺陷，在人體健康衝擊評估的效力較低。因此若能整合其他環境管理工具，如 RA，應能建立一功能較強的整合性環境評估方法。

土壤地下水整治的主要目標可能是為了要減少諸如污染物的質量、流量、毒性、體積，亦或是濃度等，以符合法規需求或個別場址整治目標。整體而言，依據整治行為發生的實際位置可將整治技術分為兩個種類：(1)離地整治：將污染媒介移至場址外進行處理，或移除後於場址內就地在處理。(2)現地整治：直接在地面下之實際污染位置進行污染媒介的處理。而整治可針對「污染源」或「污染團」進行，或綜合兩者。一般來講，污染源的整治技術時程較短且較具時效性；而污染團的整治技術時程較長，且通常用來處理污染源整治完成後地下水中殘餘的污染。

個別場址可能適用的整治技術會依照污染種類與當地水文狀況而有所調整。有些污染物，包括許多金屬與多環芳香烴，傾向吸附於土壤微粒上，因此較少在深層土壤層或地下水含水層中發現(Fetter 1999; Mackay et al. 1992)。其他的污染物在地面下則具有高機動性，為較常見的地下水污染物。含氯脂肪族碳氫化合物，如四氯乙烯(PCE)與三氯乙烯(TCE)，因普遍用於清潔劑和溶劑之中而成為最常見的地下水污染物之一(Stroo et al. 2003)。含氯溶劑屬於其中一種「重質非水相液體」(DNAPLs)，DNAPL 係指液體密度比水重的化學物質，具疏水性與高黏性。這些

特性使其污染可以液相轉移到地面下，且在移動的過程中，會在移動路徑的土壤孔隙間殘留少量 DNAPL，而形成殘留相。高密度的特性使兩種型態的 DNAPL 能夠滲透到深層的含水層中，當到達不透水層後，會形成污染團並成為長期的地下水污染源(Stroo et al. 2003)。因 DNAPL 的疏水性及地面下複雜的傳輸模式，使用傳統的抽水處理法效益較低，且需要非常長的整治期(McGuire et al. 2006; Stroo et al. 2003)。有鑒於此，針對含氯溶劑污染源的整治，近年來開始發展出許多創新的現地整治技術，這些技術包括許多化學、生物與熱處理方法，例如化學氧化法、加強生物整治法、零價鐵整治法以及蒸氣注入或電力加熱整治法等。如何針對含氯有機物地下水污染場址選用具永續概念的綠色整治技術，將是未來場址整治上的重要課題。

完整的綠色整治系統包括制度法規、評估方法與管理規範的建立，評估及管理對象涵蓋整治活動的生命週期，即場址調查、場址整治、土地復育利用，以及所投入使用之設備物質的供應鏈。本計畫的重點為評估方法的建立，以場址整治階段的技術選擇為決策選項，透過決策支援系統估計各整治技術對各項環境衝擊項目的影響程度。將來可以本決策系統為骨幹，逐步擴充進而建立完整的綠色整治系統。

1.2 計畫目的

相較於以往的土壤地下水整治技術的選擇，綠色整治支援決策系統需考慮多重決策目標；在環境面所需涵蓋的評估項目，除了以往所側重的健康風險外，更需就整治過程中衍生的其他直接與間接環境影響加以評估，評估系統涵蓋整治活動前後整個生命週期；此外，涵蓋的技術系統邊界(Technical System Boundary)上，亦非侷限於整治工程施作與操作單元，而亦須將整治工程所需的器材生產與運輸等過程納入其中。鑑於以上特性，本計畫欲以 LCA 為基礎，並在衝擊評估上結合 RA 方法，建構綠色整治技術環境評估模式，協助土壤地下水整治技術之優選。

本計畫是以將濃度降至管制標準的前題下，透過 LCA 方法盤查整治過程所使用的資能源量，進一步評估整治過程，各種整治技術對環境所造成的衝擊，以及其對人體造成的風險影響，所以評估結果可提供給決策者資訊去判斷此一整治方

案是否符合風險接受度，以利決策者進一步去調整其整治所使用的資能源。

本年度之計畫，首先以環境面的相關衝擊為研究範疇，主要建立環境衝擊的評估方法，而在經濟成本分析與社會接受度等面向則無納入今年度之計畫。但計畫中所欲建立之決策支援系統，此部分在未來可以將評估準則擴大至經濟面與社會面，意即可新增成本效益分析與資源回收效益等因子，並以模糊層級分析量化相關專家之建議，作為環境、經濟、社會等權重依據，以評量環境、經濟與社會三面整體評估結果。此部分可於未來的研究中繼續進行，以達評估方法之完整度。

綜合以上，本計畫有以下兩大目的：

- 一、整合相關環境管理工具，以建立台灣綠色整治決策支援系統。
- 二、進行一含氯有機化合物污染場址案例研究以檢討該系統的適用性。

1.3 執行期程與經費

本計畫執行期程為 99 年 12 月 29 日至 100 年 12 月 28 日止，計畫執行內容包括相關文獻回顧、生命週期及風險評估之整合、決策支援系統之建立、案例盤查分析、生命週期評估、風險評估、結果分析及闡釋、決策系統修正及期末報告等(如表 1.1-1 所示)，總執行經費為 95 萬元(含稅)整。

1.4 執行方法

本計畫旨在建立台灣綠色整治決策支援系統，重點為建立選擇整治技術所需之評估方法。本研究首先整理綠色整治相關文獻，評析國際作法並萃取可用資訊；進而整合相關環境管理工具，建構綠色整治技術環境評估模式，協助土壤地下水整治技術之優選出對環境衝擊最小之整治技術。最後挑選一國內實際地下水污染場址進行案例模擬及驗證，以瞭解較符合綠色之整治技術，同時可修正支援系統之適用性；研究執行架構如圖 1.1-1。第二章整理綠色整治的內涵與發展及相關的工具以作為建立我國未來完整之綠色整治系統的基礎；第三章為本計畫的研究重點，即綠色整治決策支援系統之建立，其中又以評估方法的系統化為主軸；第四章為案例研究，用以驗證及展現於第三章所建立方法的應用。第五章則簡要總結本計畫之成果、結論與建議。

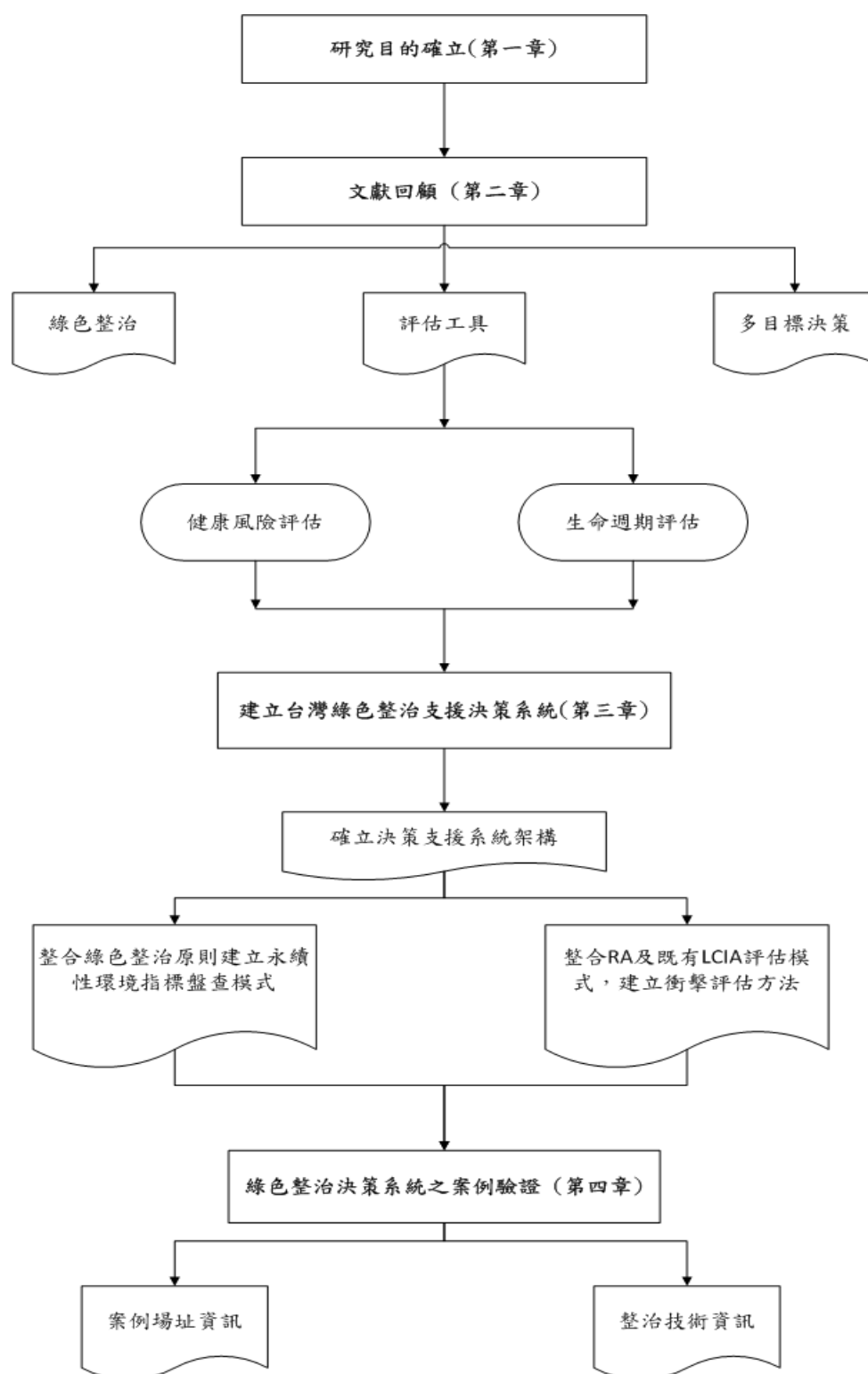


圖 1.1-1 研究執行架構

第二章、文獻回顧

摘要

由相關文獻回顧及目前國際上採用綠色整治之趨勢來看，綠色整治的主要目標在於保護水資源、提升能源效率、毒性物質與廢棄物管理及危害物質之質與量的極小化、減低空氣污染物及溫室氣體。而貫穿綠色整治整體思維的中心概念，主要在於以生命週期思考涵蓋整治作為的上下游活動，並量化整治行動各階段中所有的環境足跡或資源耗用。本計畫之綠色整治決策支援系統亦將以生命週期思考為主幹，建立綠色整治應考量的評析因子，並進一步強化其衝擊評估方法。

2.1 綠色整治

2.1.1 污染場址整治沿革

污染場址之開發再利用自西元 1970 年開始；惟至西元 1970 年末發生人體健康受到危害之事件後，才開始引人矚目。爲了杜絕類似 Love Canal 等事件，1980 年代美國環保署建立了超級基金法以管理有害廢棄場址。超級基金法奠定了美國污染場址整治規範之基礎，其中清楚劃分各相關單位於污染源移除、污染濃度減低、污染責任歸屬、社區溝通及長期監測等之權責。

西元 1986 年，美國環保署「Human Health Evaluation Manual revises and replaces the Superfund Public Health Evaluation Manual」中，整合健康風險評估與污染整治行爲(USEPA, 1986)，期以健康風險估算程序，提供評估的資料與架構，作為污染場址之整治決策基礎。西元 1995 年，美國材料試驗協會(ASTM)制訂了「Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites, RBCA」，使污染場址整治之健康風險評估步驟更加標準化(ASTM, 1995)。

此外，由於廢棄場址的劇增，與可利用土地資源的減少，土地即是資源與財富的概念再次引起各界關注。爲平衡資源化與污染危害，美國環保署於西元 1995 年提出褐地計畫，強化再利用市場機制，達到土地永續利用之目的（美國環保署，2010）。因此，以永續為目標的污染場址再利用已成為國際趨勢；而為避免再利用造成健康危害所需之場址整治風險評估因而持續發展(Batchelor et al., 1998; Peters

et al., 1999; Lee et al., 2002; Bień et al., 2004; Saponaro et al., 2005; Baciocchi et al., 2010; Liang et al., 2010)。

然而，傳統整治方案與健康風險評估有以下四項不足之處 (California EPA, 2009)：

1. 著重於廢水及有毒物質的管末處理。
2. 整治計畫缺乏永續的概念，故不斷使用及開採天然資源，以供應整治技術的需求，另一方面亦缺乏物質回收再利用的系統。
3. 運輸及整治之能源使用沒有妥善規劃。
4. 於長期整治計畫中，未考慮溫室氣體以及其他有害物質於運輸和整治過程中的排放。

故於西元 1990 年末，Diamond(1999)與 Volkwein(1999)等人建議，利用生命週期思考，量化整治過程中造成的衝擊；除連結整治過程之所有程序外，亦納入資能源耗用所產生的環境衝擊，如水、電、油等。之後，陸續有相關研究利用生命週期思考解決上述提出之不足，如 Andersson(2003)利用兩種生命週期衝擊方法，針對吸附與生物整治進行衝擊評估，以探討其對環境之衝擊；又如 Lemming(2010)針對 DNAPL 場址可行整治技術進行生命週期評估。

2006 年，美國非官方組織 Sustainable Remediation Forum(SURF)推動永續整治行動，兼顧經濟可行與保護天然資源與生物多樣性，並提升居住品質。SURF 積極推廣永續綠色整治，廣納各國參與，至今，美國、澳洲、英國等皆為此機構會員。除了 SURF 連結的各國單位外，2008 年，美國環保署以生命週期評估為架構，於「Green Remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites」提出綠色整治的原則，期透過生命週期思考減低衝擊足跡(Illaszewicz and Gibson, 2009)。2011 年美國 Interstate Technology & Regulatory Council 內的 Green and Sustainable Remediation Team 彙整推動綠色永續整治之美國內部與其他國家公私單位，及常見之評估方法，可見綠色永續整治已為各國推動之趨勢。

2.1.2 綠色整治內涵

綠色整治是新興的研究課題。美國環保署於西元 2008 年提出對綠色整治的定義，說明整治方法可考量所有環境衝擊，以產生最大環境淨效益；於其「Green Remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites」中指出綠色整治策略是以永續發展為基礎，透過應用綠色整治的最佳管理實行(Best Management Practices, BMPs)，期促進下列環境面向的實踐(USEPA, 2008)：

- 保護水資源
- 改善水質
- 提升能源效率
- 毒性物質管理及將其極小化
- 廢棄物的管理及將其最小化
- 減低空氣污染物及溫室氣體的排放標準

一方面，綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率，以及保護人體健康和環境。為了達到以上目標，各個場址的整治策略必須考慮其獨特性而沒有單一的解決方法，但所有場址的整治策略均需於其設計及實行方法中融合六個主要元素。所考慮的六個元素如下(USEPA, 2008)：

1. 整治系統的能源需求

- 使用最佳化的被動性能源技術以達到整治要求
- 尋找高能源效率設備，並保持於其最大效率狀態下運作
- 高能源需求下須定期評估及尋求能源效率之最佳化
- 裝置再生資源系統，取代不可再生資源的電力設備

2. 廢氣排放

- 高耗能源的重型機械設備最小化
- 使用乾淨能源或改善柴油引擎
- 減低有害氣體及優先管制氣體的排放
- 粒狀污染物排放最小化

3. 用水需求及承受水體衝擊

- 水回收率最大化，以減少原水的需求
- 有效利用經處理的廢水
- 種植需水量較少的植物
- 防止對附近承受水體的衝擊

4. 土地及生態系統衝擊

- 採用衝擊最小的現地侵入性整治技術
- 採用被動性能源技術(生物整治及植物整治)當作初級或最後的整治技術
- 土壤及生物棲地的干擾最小化
- 生物透過水體污染或污染控制的暴露最小化
- 減少噪音及光線的干擾

5. 材料消耗及廢棄物管理

- 採用廢棄物產量最小化的技術
- 回收使用材料
- 自然資源使用最小化
- 使用被動式採樣設備，以減少廢棄物產生

6. 長期管理計畫

- 減少溫室氣體排放
- 整合合適的管理方法與長期的控制計畫
- 建立可更新能源系統，供長期整治計畫或未來土地發展使用
- 使用被動式採樣設備供長期監測
- 增加民眾參與以提升民眾接受度

2.1.3 綠色整治現況

● 各國發展

目前已將綠色整治概念納入整治評估範疇中的國家包括美國、加拿大、歐洲與澳洲等；而南美與亞洲各國多處於起步階段，仍有待整治評估規範的修訂及系統整合。以下分別加以說明。

爲了達到綠色整治目的，美國 Office of Solid Waste and Emergency Response (OSWER)正著手改善最佳管理實行(BMPs)、確定廢棄場址的開發機會、建立大眾參與制度、及發展一套合理可行的評估工具。除了環保單位外，能源、國防、農業與各級地方發展單位皆須參與其中，以利評估過程中各面向之平衡(U.S. Sustainable Remediation Forum, 2009)。

加拿大相關規範可追溯到西元 1998 年魁北克省的環境部門公告之「Soil Protection and Contaminated Sites Rehabilitation Policy」，其中提及永續發展概念(U.S. Sustainable Remediation Forum, 2009)：

1. 預防原則(Prevention Principle)：確保生態健康，資源供應機制於現在與未來皆正常運作，作為保護土壤完整性的依據。
2. 復育再生原則(Rehabilitation-Reclamation Principle)：即使污染場址於現階段並無重大衝擊與危害，但因仍有風險，故將其復育再生不僅降低可能發生之衝擊，亦以永續發展概念增加場址最大使用效能。
3. 污染者付費原則(Polluter-Pays Principle)：由於環境衝擊與資源效能降低皆為污染者所造成，因此不允許污染者轉嫁責任於社會大眾或未來後代。
4. 公平原則(Fairness Principle)：此指引要求所有利害關係人同時間面對問題。

西元 2004 年歐盟採用「Environmental Technology Action Plan」鼓勵有利環境的技術發展與使用。其對象除了工業發展技術外，也包含環境整治技術。同年，「European Coordination Action for Demonstration of Efficient Soil and Groundwater Remediation」則以歐洲為邊界，企盼整合歐洲各國之土壤地下水技術及整體性管理等相關議題；而此議題已引起英國非利益組織關注，發表了「Contaminated Land: Applications in Real Environments」，明確表達必須將永續概念之整治評估架構提供給整治方案決策者 (U.S. Sustainable Remediation Forum, 2009)。

澳洲則於西元 2002 年公告「An Environmentally Sustainable Australia」，內容提及應以新式技術、低成本與安全的方式監測、評估與整治都市、鄉村或是工業用地，以利土地永續應用(U.S. Sustainable Remediation Forum, 2009)。

而在南美與亞洲各國中，日本已處於綠色整治應用的開端，而巴西雖未有官

方政策，但部分污染者已以永續指標為基本，盤查各項相關資料(U.S. Sustainable Remediation Forum, 2009)。

● 綠色整治規範

從上述回顧可見，美國於綠色整治上仍屬於領航者，並且西元 2008 年美國環保署公告的綠色整治報告仍為各相關文獻中較為完整的指引，而美國各相關單位也已依此指引建立相關規範，其中較具規模且具體的為超級基金的 Superfund Green Remediation Strategy (USEPA, 2010)、加州環保局的 Interim Advisory for Green Remediation (California Environmental Protection Agency, 2009)、澳洲永續整治推動(SURF Australia, 2009)與英國永續整治推動(SURF UK, 2010)。

超級基金

超級基金內所提到的綠色整治源自於超級基金原有的規範與 National Contingency Plan (NCP)的相關規定。超級基金的規範多針對整治，NCP 多針對有害污染物；而以兩者為評估原則所彙整的整治行動即包含場址評估、整治研究、可行性探討、整治技術篩選、整治執行與每 5 年之場址監測。而綠色整治則以上述內容為整治評估基礎，增加保護或保存能源、燃料、水資源及其它資能源，減低溫室氣體排放及整治後之局部環境衝擊；此外，亦包含效能提升與再生能源的使用等。為了推廣綠色整治，西元 2010 年美國環保署推動了綠色整治策略 (Superfund Green Remediation Strategy)，如表 2.1-1 所示。

該政策行動包含三大步驟：首先為政策與指引的發展、其次為資源發展與計畫執行，最後則為計畫評估。而三個步驟中又可分為 9 個行動，行動 1 為釐清綠色整治於整治中所扮演的角色，此部分於該政策規劃指引中仍未定義完成，屬於正在發展的階段。而行動 2~7 分屬於第二步驟，主軸在於整合原有整治規範，並融入再生能源等技術應用，將綠色整治評估內容一致化，且考量此規範與其他相似或重複規範之協調與融合性，適時調整此規範結構與位階。此部分多數行動仍屬於未發展階段，極少數為已完成，如 2.7 建立協助機制並提供實地協助，與 4.1 建立耗用燃料與釋放技術之現況調查表等，因利用超級基金與其他單位現有資源作為背景，較易發展完成。而行動 8~9 則為第三步驟，此步驟以計畫評估為主要

內容，但大多仍屬於待發展階段，僅 8.1 分析現存綠色整治環境足跡評估方法與軟體已完成，此部分將於後續說明。

表 2.1-1 超級基金綠色整治政策行動(USEPA, 2010)

政策與指引發展
Key Action 1 釐清綠色整治於整治方案選取與執行時扮演的角色
1.1 發展綠色整治於 OSEWR 政策推廣中整治方案的選取與無時限的移除行動
1.2 評估潛在可行、相關、恰當的需求
資源發展與計畫執行
Key Action 2 發展指引與工具幫助執行者與管理者進行綠色整治
2.1 定義綠色整治資源需求
2.2 定義綠色整治附加資源
2.3 發展評估技術工具與現況調查表單
2.4 發展綠色整治 Q&A
2.5 建立綠色整治查核表
2.6 宣導綠色整治
2.7 建立協助機制並提供實地協助
Key Action 3 定義綠色整治執行考量因子
3.1 考慮再生能源電力使用最大化
3.2 增加能源使用效能
3.3 發展成本效益最佳的綠色整治政策或執行
3.4 發展綠色電能現況調查表單
3.5 增加場址內再生能源使用
3.6 建立基金機制援助綠色整治研究、發展與證實，並實際應用於超級基金場址
3.7 參與國際標準發展與驗證程序
Key Action 4 空氣污染排放
4.1 建立耗用燃料與釋放技術之現況調查表
4.2 整合耗用燃料與釋放技術，發展連結估算機制
4.3 評估甲烷釋放可能機率

表 2.1-1 超級基金綠色整治政策行動(USEPA, 2010)(續)

Key Action 5 發展指引以估算與證實綠色整治應用
5.1 建立資料庫
5.2 發展綠色整治分析範本，幫助各程序、各整治類型資訊彙整
5.3 整合綠色整治因子與整治評估最佳化
5.4 整合官方再生能源部門與超級基金
Key Action 6 規範建立
6.1 納入綠色整治於 USEPA 相關規範中
6.2 納入綠色整治於 USEPA 相關報告
6.3 發展且定期更新綠色整治工具
6.4 發展模式
6.5 增列相關規範於現有規範或建立新規範
6.6 增加現地評估機會
Key Action 7 分享經驗與傳承
7.1 建立交流計劃
7.2 與相關單位或工業單位跨領域交流
7.3 推廣綠色整治政策
7.4 促使地方單位執行
計畫評估
Key Action 8 建立計畫層級的評估範疇
8.1 分析現存綠色整治環境足跡評估方法與軟體
8.2 發展各地方單位評估方法
8.3 發展綠色整治評估模組
Key Action 9 估算污染場址環境足跡
9.1 估算各場址容許標準之環境足跡
9.2 建立場址目標、目的與監測資訊
9.3 發展監測調查方法選擇機制
9.4 量化場址生命週期評估

而貫穿上述綠色整治整體思考的中心概念即為生命週期思考，企圖量化整治行動過程中所有的環境足跡 (USEPA, 2010)：

1. 整治前評估與場址調查(Preliminary Assessment and Site Investigation, PA/SI)：管理者可使用有效合理的研究縮減物質及天然資能源耗用與廢棄物的產生。
2. 整治研究與可行探討(Remedial Investigation and Feasibility Study, RI/FS)：管理者可以 RI/FS 資訊為基礎，訂定整治目標以及可行整治方案與其衝擊，且可避免多餘的物質與資能源的浪費。

3. 整治設計 (Remedial Design, RD)：透過設計、前置測試及模擬、與資訊更新可確保整治的有效程度。
4. 整治行動(Remedial Action, RA)：綠色整治可維持同等的操作品質外，以減低場址內外之環境足跡。
5. 長期或短期整治操作與五年監測(Short-and Long-Term Remedy Operations and Five-Year Reviews)：由於污染場址特性迥異，因此整治過程耗時差別很大，且除了整治過程中會產生環境衝擊外，整治後仍會產生，故亦須評估整治後之環境影響。

加州環保局

美國加州環保局 Department of Toxic Substance Control(DTSC)也試圖於原有整治流程納入綠色整治概念，如圖 2.1-1。其主要利用綠色整治審視整治方法的選取是否考量綠色概念，也就是透過生命週期評估及生命週期管理評估架構，將評估範圍從僅以二氧化碳及能源的觀點擴展到整個整治流程的環境衝擊評估。盤查的項目包含四大項目：物質釋放與生產、熱能釋放、物理的干擾與阻斷以及資源的消耗與回收，如圖 2.1-2。而因應上述所提之綠色整治評估，DTSC 提出「Green Remediation Evaluation Matrix(GREM)」方式作評估，以矩陣結果對所考量的壓力因子及其影響的環境介質與效應進行評分(California Environmental Protection Agency, 2009)。

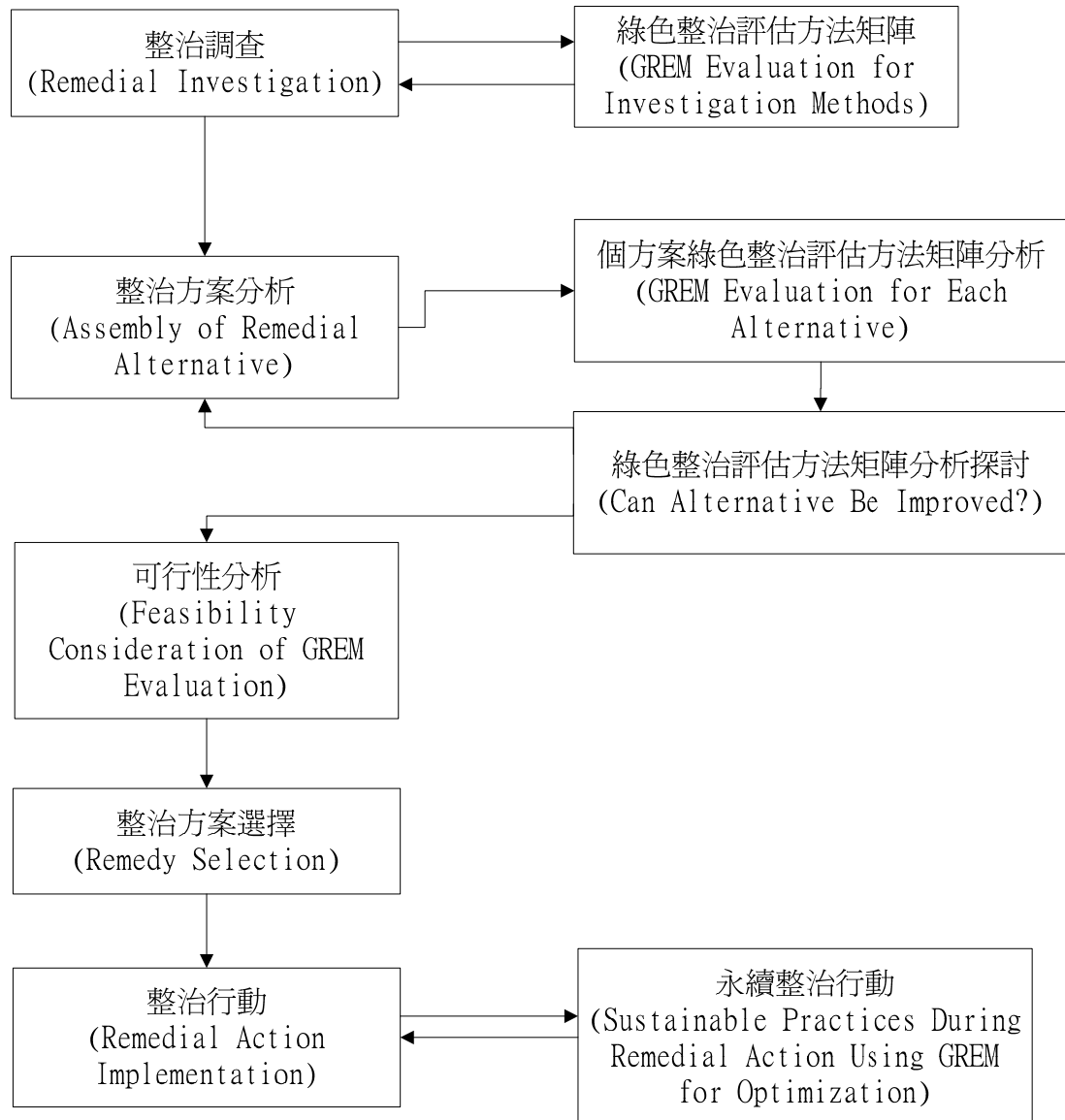


圖 2.1-1 綠色整治評估流程
(California Environmental Protection Agency, 2009)

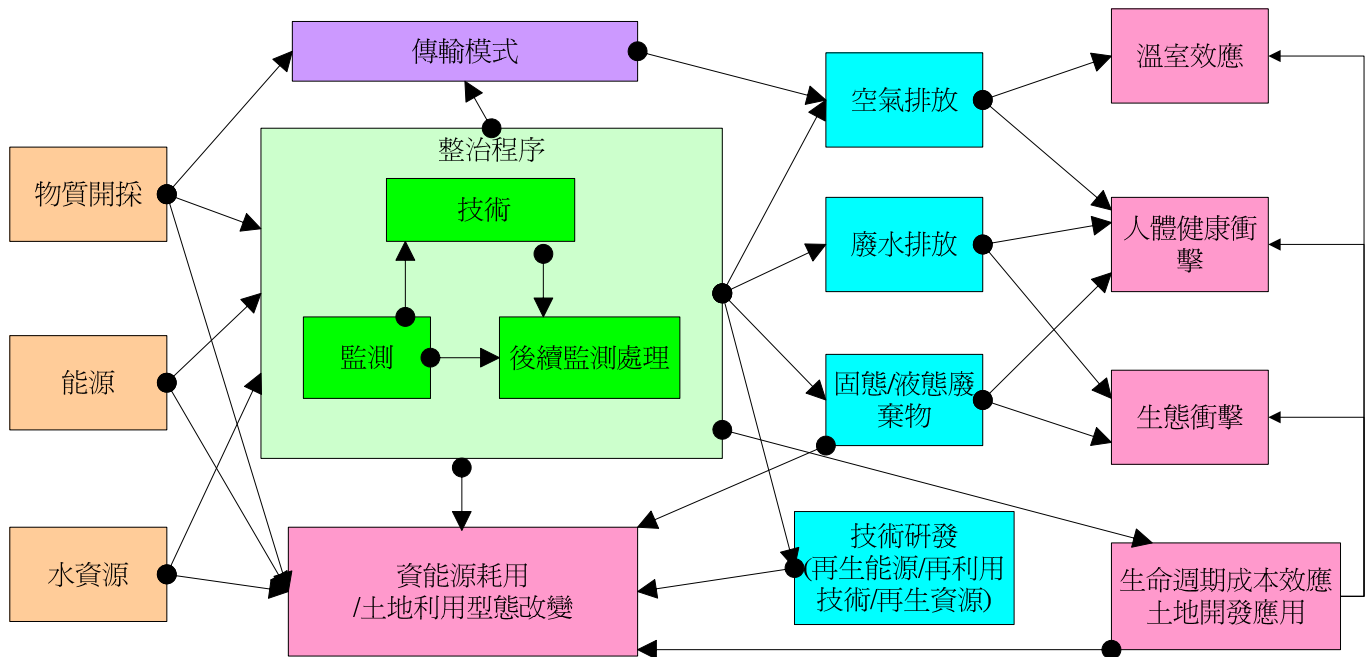


圖 2.1-2 綠色整治生命週期評估架構
(California Environmental Protection Agency, 2009)

澳洲

SuRF Australia 以澳洲土壤與地下水整治有關當局的研究為基礎，將永續性評估融入其整治場址評估，提出平衡環境、經濟及社會三方面的永續整治方式。下列六項原則為永續整治基礎參考：

原則 1 整治須移除不可接受的人體健康及環境風險，並考慮成本、效益及技術可行性

原則 2 整治須保障工人、當地社區及環境的安全

原則 3 永續整治除須考慮環境、經濟及社會因子外，尚須考量現在及未來的潛在危害

原則 4 整治決策的假設與評估資料須清楚且透明化

原則 5 整治決策須詢問多方利益關係人意見並有完整清楚的流程

原則 6 整治決策須以完整的科學方法、相關且正確的資料及合理的假設為基礎

因應上述提之永續整治發展的目標及原則，SuRF Australia 規劃出一完整的流程以評估整治方法的永續性(圖 2.1-3)。對於整治方法而言，主要應用於其中兩個

面向：一方面為將具有永續性的計畫應用於整治計畫的架構設計階段；另一方面為應用永續性評估方法於整治方法架構完成及選擇階段，試圖從中採取最佳策略與技術。評估流程第一階段為整治系列計畫的建立，可以參考現有整治策略與技術的整合或是融合永續性策略進而創新設計整治系列計畫，計畫設計完成後須符合基礎限制(合約規定、法規規範及計畫同意條件等)才能進入下一階段；而第二階段則利用永續性評估工具對計畫做評估以檢視是否達到永續整治的目標。

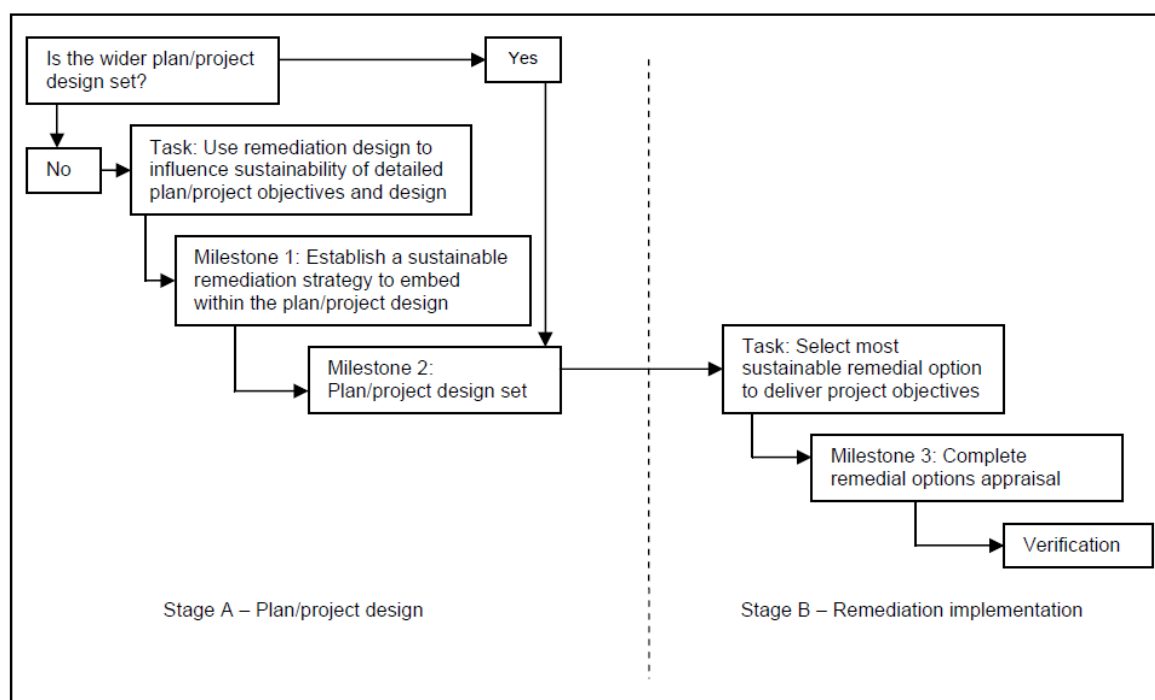


圖 2.1-3 永續整治評估流程(SURF AUSTRALIA, 2009)

目前應用的永續性評估工具為永續指標(表 2.1-2)，從環境、經濟及社會三大面向中各選出六項代表的項目，依其資料給予適當的評分方法可分別得到該計畫的各項永續性評價，而評估結果是否符合永續性的期待則可檢視該計畫的兩個項目。一為將所有效益及所有成本做比較，以檢視整治計畫的總效益是否超過其該付出的總成本；二為如果有方法使其淨效益大於淨成本，則歸納符合條件方法的總效益，以此兩項作為該計畫永續性的代表來給予決策者相關的決策依據。

表 2.1-2 永續評估指標(SURF Australia , 2009)

Environmental	Social	Economic
1. impacts on air;	1. impacts on human health and safety;	1. direct economic costs and benefits;
2. impacts on soil;	2. ethical and equity considerations;	2. indirect economic costs and benefits
3. impacts on water;	3. impacts on neighborhoods or regions;	3. employment and capital gain;
4. impacts on ecology;	4. community involvement and satisfaction;	4. gearing;
5. use of natural resources and generation of wastes;	5. compliance with policy objectives and strategies;	5. life-span and 'project risks';
6. intrusiveness.	6. uncertainty and evidence.	6. project flexibility.

英國

SURF-UK 所提之永續整治方法與澳洲相似，亦相近於澳洲所提之六項原則，考量整治設計、執行與報告下建立綠色整治的概念，用以平衡環境、社會與經濟的成本效益，選取效益大於衝擊之最佳整治方案。其永續整治評估以英國土壤整治與環境保護相關單位所提之汙染場址管理流程為基礎，融和永續整治概念於其中，如圖 2.1-4。

評估流程以風險評估為整治目標，第一階段經過反覆程序確認汙染場址是否有潛在風險，並判斷此結果是否為可承受之危害，用以決定是否進入第二階段；在第一階段的評估過程中，因彙整資料的精細度與評估方法的尺度而反覆評估此危害的程度。透過第一階段判定評估的汙染場址所釋放之危害是否需要進一步管制，因而進入第二階段方案評估；當然整治目標的設定於此階段初步仍須審視其適用程度，進而審視整治目標，篩選可行的整治方案，且仔細量化各整治方案之執行衝擊，作為選定整治方案的量化依據；第二階段因彙整資訊與監測結果反覆評估各可行整治方案之衝擊，以利整治方案選取時最適當之結果。整治方案確認後，始得規劃執行策略，進入第三階段。當然，規劃的執行策略於執行前須經過各利害關係人確定，反覆調整執行策略，直到各利害關係人皆可接受。以實際整治執行現況，與長期監測整治結果調整整治執行規劃，直至監測結果已達可接受之危害程度，則不需再進行未來的整治行動。

而在永續整治評估反覆審視其成效的同時，雖其評估流程多以環境保護為目標，然而，經濟與社會於此評估流程中也納入作為整治目標的確認，如第一階段之整治目標需考量經濟負荷程度，以免後續永續整治策略因經濟無法負擔，使永續整治活動因而作罷。而於第三階段中，在整治目標內考慮社會面向，反覆調整執行策略直到各利害關係人皆可接受。

評估過程所依據的量化結果，除第一階段著重之風險評估外，於第二階段中仍需應用多樣量化評估工具，作為整治方案的基礎。表 2.1-3 提出多項評估工具，包含定性與定量方法，並依評估尺度的大小做評比。其中也提及生命週期評估為基本的評估工具，意謂評估範疇包含整治執行過程中各程序階段之各類污染排放。

而生命週期的概念，不光只以評估範疇為限，評估流程之生命週期思考亦為一大重點，其中因考量生命週期評估流程，可反覆的審視評估結果，並對應各階段之目標亦是永續整治過程中重要的一環。其評估概念如圖 2.1-5。反覆審視評估流程期間，依評估目標、利害關係人、評估範疇、評估指標(環境、經濟與社會)、整治方案、評估技術、敏感度分析與其他相關問題反覆審視評估標準(Criteria)，以達永續整治之目的。



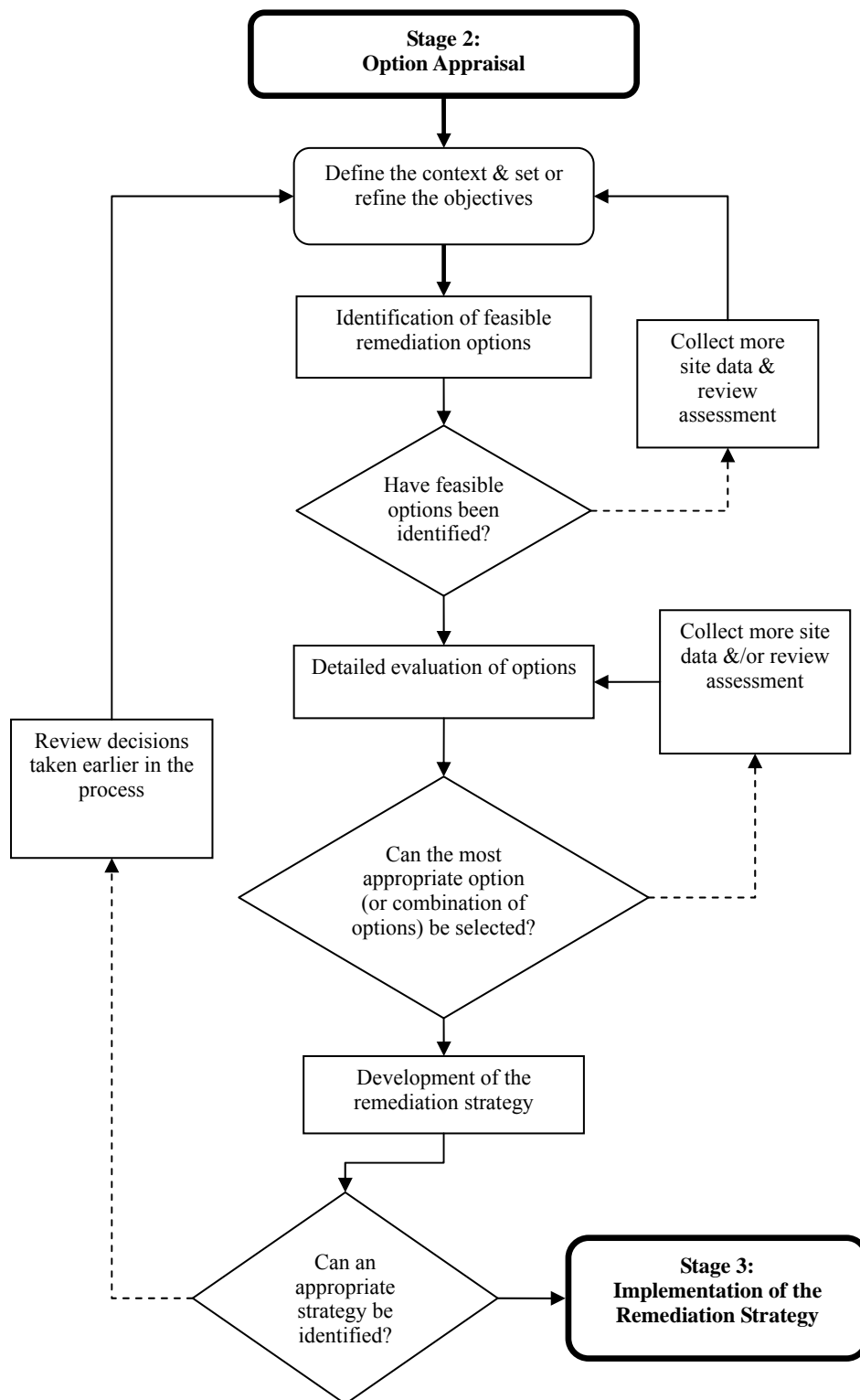


圖 2.1-4 英國永續整治評估流程(續)(SURF UK , 2010)

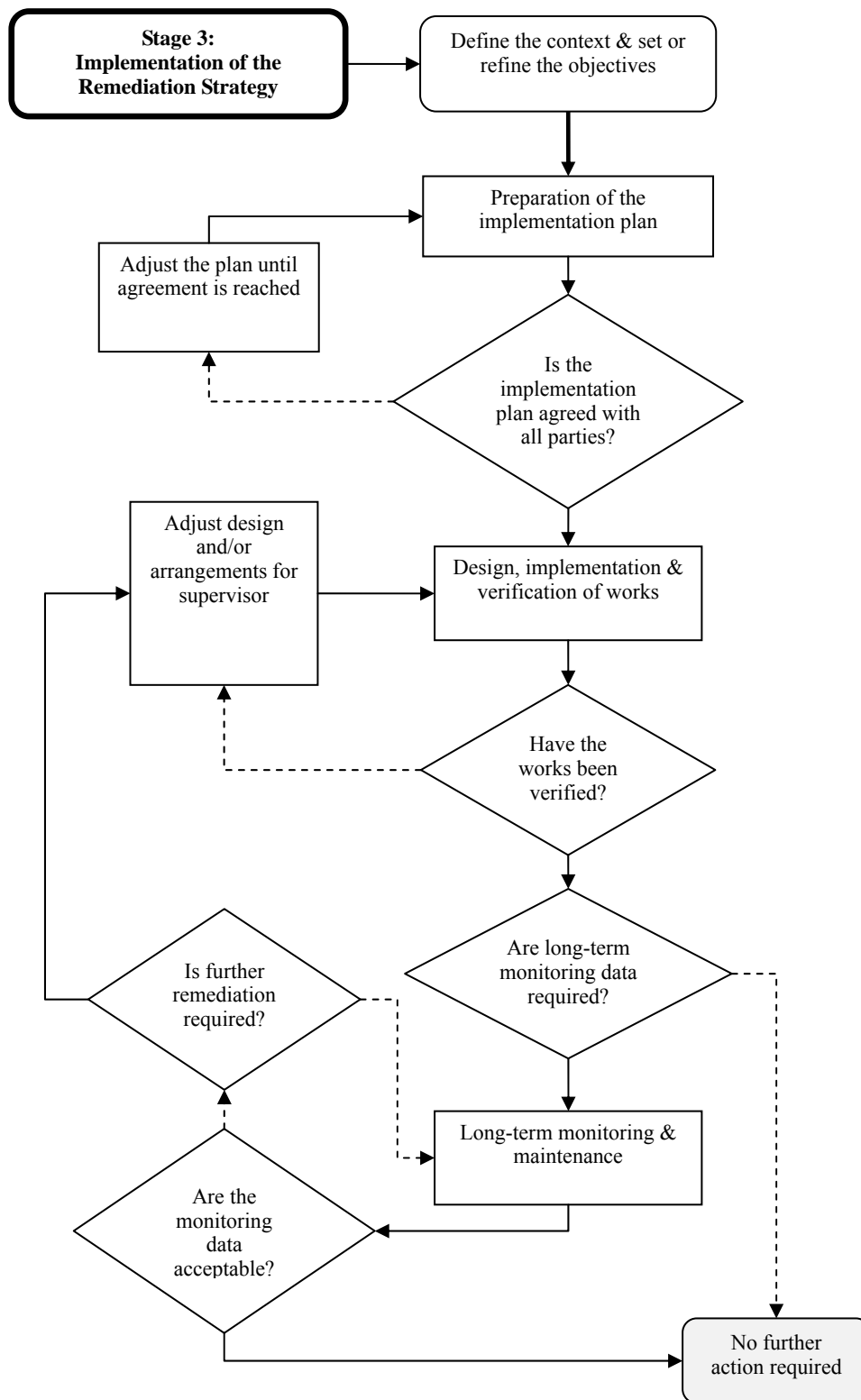


圖 2.1-4 英國永續整治評估流程(續)(SURF UK , 2010)

表 2.1-3 英國 SURF 評估工具 (SURF UK, 2010)

決策支援評估技術	評估尺度			評估性質
	環境面	經濟面	社會面	
分數與排序系統 (包含多準則分析)	小→大	小→大	小→大	定性與定量
最佳可行技術	小→大	小	-	定性
碳足跡(面積)	小	-	-	定量
碳平衡(流向)	小	-	-	定量
成本效益分析	小→大	小→大	小→大	定量
成本分析	小→大	小→大	小→大	定性與定量
生態效益	小	-	-	定量
生態足跡	小	-	-	定量
能源/密度效益	小	-	-	定量
環境風險評估	小→大	-	-	定性與定量
環境健康風險評估	小	-	小	定性與定量
環境衝擊評估/ 政策環境評估	小→大	-	-	定性
經濟風險評估	-	小	-	定量
工業生態	小→大	小→大	-	定量
生命週期評估(基本)	小→大	-	-	定量
生命品質評估	大	大	大	定性

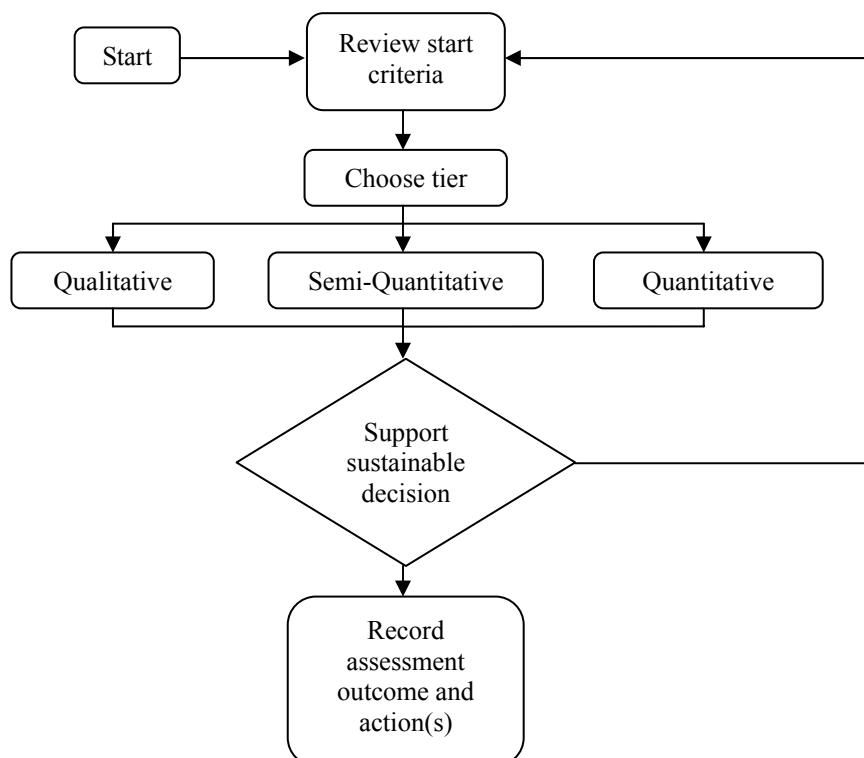


圖 2.1-5 層級式永續整治評估流程(SURF UK, 2010)

● 評估工具

關於綠色整治的評估方法，以永續發展為目標，生命週期思考為架構，發展出數個整合型評估工具，以檢視整治技術的環境影響程度。美國環保署的土地再生部門(Land Revitalization office)於西元 2007 年試圖將永續的概念整合進 EPA 所規劃的清理計畫中，由於此計畫與後續 EPA 提出的綠色整治規範高度相關，因此其所設計的永續性評估方法，亦可視為綠色整治評估的先驅(Goldblum, 2007)。此計畫首先提出大綱性的評估方向供盤查表格作參考(圖 2.1-6)，接著設計盤查表格將可能的環境衝擊予以量化。主要的盤查項目包括以下三方面：溫室氣體、資源以及能源，其中溫室氣體方面以整治過程的二氧化碳產生量為主；資源方面著重於土壤、土地和水等資源的回收情形；能源方面則以再生能源與總能源的需求關係為評估依據；結果的呈現以二氧化碳的排放為主要比較項目，將可轉換成二氧化碳當量的項目予以轉換量化，將其相加比較。然而，此計畫之盤查項目局限於溫室氣體以及能源方面，未考慮整治過程中其他可能造成環境衝擊的項目，故需進一步研究改善，使其評估項目包含更全面性的衝擊評估(Goldblum, 2007)。



圖 2.1-6 綠色整治評估綱要(GOLDBLUM, 2007)

2009 年非官方單位 SURF 彙整當時現況，提出較為具體且完整的綠色永續整

治評估矩陣，如表 2.1-4。其僅以定性方式概述綠色永續整治需定性與定量之細項，然其完整性仍可作為探討研究完整度之審查依據。

表 2.1-4 SURF 之綠色永續評估細項與目標

項目與目標	土壤	水體	廢棄物	社會	經濟
水資源耗用		√	√		
水資源再利用		√	√		
地下水保護		√		√	√
地表水保護		√		√	√
生物價值	√	√	√	√	
生物多樣性	√	√		√	
棲地分佈	√			√	
生態保護	√	√	√	√	√
天然資源保護	√	√	√	√	√
非再生能源使用					√
再生能源使用					√
淨能源消耗					
溫室氣體排放			√	√	
空氣汙染			√	√	
汙染物傳輸		√		√	√
資源使用			√		√
資源精煉			√		√
廢棄物減量	√	√	√		√
資源再利用	√		√		√
生命週期成本	√		√		√
物質循環使用	√		√		√
淨環境效益	√	√	√	√	√
成本分析					√
財務				√	√
稅金				√	√
就業機會				√	√
固定成本					√
操作及維持成本					√
工作風險					√
社會風險				√	√
土地再利用	√			√	√
現地資源使用				√	√
噪音				√	
氣味				√	
照明密度				√	
環境正義				√	√
社會衝擊				√	√
文化資源				√	
利害關係人參與				√	√
公眾意願	√			√	√
最大化未來與使用潛力	√			√	√

以上述概念為研發基礎，陸續有政府或民間團體建立了評估 Green and Sustainable Remediation (GSR)的整合軟體供相關人士使用。各軟體涵蓋不同範疇的評估指標。除已於前述的 GREM 外，其餘常用的軟體簡介如下(Laugier , 2010)：

1. **SiteWise**：官方研發的軟體，以 Excel 為基礎的評估工具，最多可以比較六個整治方案，主要的評估指標為溫室氣體、能源耗用、污染標準以及用水需求四方面。
2. **SRT(Sustainable Remediation Tool)**：官方研發的軟體，以 Excel 為基礎的評估工具，主要的評估為活動導向，可以分析三種土壤整治技術、五種地下水整治技術以及五種評估指標(壓力排放、能源耗用、資源使用、技術成本及安全度)。
3. **CleanMe Green**：民間研發的軟體，以 Excel 為基礎的評估工具，主要的評估為技術導向，可以分析五種整治技術以及三種評估指標(二氧化碳、能源耗用及成本)，其評估結果在比較傳統與綠色的整治方法上有很高的可信度。
4. **The Balance E3 Tool**：民間研發的軟體，主要的評估為技術導向，可以分析十二種整治技術、LCA 整治及運輸評估、五種綠色整治指標、管理工作、健康與安全及生命週期的成本。

而上述各單位內容中，可明確辨識健康風險評估與生命週期評估於綠色整治評估中扮演重要的角色，不論是整治目標確定或是整治策略選取，且為具體量化之評估工具，因此研究中將以此二評估方法作為綠色整治量化工具，下列將分別進行探討。

上述四項應用軟體中，SiteWise 及 SRT 為美國官方自行研發的評估工具，有公開的軟體可供下載使用，並有詳盡的操作手冊，因此本計畫將參考此兩項評估軟體，作為後續評估方法建立的參考。此兩組評估軟體有以下三項特性：

1. 系統邊界

SRT 注重於整治方法的選擇，其建立評估軟體的目標即在應用永續整治的評估概念去優選出對未來友善的整治技術，故軟體的總體評估流程為輸入整治場址的現況及各種整治技術的相關資料，再予以分析比較；SiteWise 則著重於整治行動整體的評估，其將整治行動分為四部分：整治調查、整治行動建立、整治行動操

作及長期監測，然後分別對各部份的盤查細項輸入調查資料後再予以分析比較，輸出的結果會呈現出總體衝擊及各部份衝擊的評估結果。兩相比較下雖然 SiteWise 需要的資料較龐大，但所包含整治盤查的部分較完整。

2. 評估方便性

兩評估軟體均有設計使用者自行輸入計算參數的功能，但為了評估的方便性而內建常用之整治方法供評估者參考。SRT 將整治方法分為土壤及地下水兩種類型，在土壤方面提供三種整治技術(Excavation、SVE 及 Thermal treatment)，而地下水方面內建五種整治技術(Pump&Treat、Enhanced bioremediation、ISCO、PRB 及 MNA)，其內建常用整治方法的相關參數供評估者選擇；SiteWise 則將整治行動分解成四部分(Phase)及八種活動類型(Activity Category)，再針對二十餘種整治技術給予評估者相關盤查項目的建議，使評估者可於盤查前先去除不必要的部分及活動類型以節省評估時間。

3. 盤查結果

SRT 呈現的盤查結果分為五大項目：氣體排放、經濟成本、能源消耗、安全和意外風險及土壤和地下水的資源改變量，其中氣體排放又細分為 CO₂、SO_x、NO_x 及 PM₁₀ 個別的排放量，其結果以評估表格(原始數值&正規化數值)呈現供評估者參考。SiteWise 的最終評估結果分為四大項目：氣體排放、能源使用量、用水量及意外風險，其中氣體排放個別計算溫室效應氣體(GHG)、SO_x、NO_x 及 PM₁₀ 的排放量，而意外風險為分別計算致死風險及受傷風險，其結果以評估表格(量化數值&質化比較)及各項目的衝擊長條圖呈現供評估者參考。兩組評估軟體均將空氣污染物的排放、資能源耗用及意外風險列入結果呈現。

而上述各單位內容中，可明確辨識生命週期評估與健康安全的考量於綠色整治評估中扮演重要的角色，不論是整治目標確定或是整治策略選取，且為具體量化之評估工具，因此研究中將以此二評估方法作為綠色整治量化工具，下列將分別進行探討。

2.2 健康風險評估

2.2.1 健康風險評估內容

而健康與環境風險評估(Risk Assessment)可定義為：經由一系統化的過程來討論和量化有關危害性物質、過程、行動或事件的風險。其中，三大元素為 (1)風險源(risk source)：可能是一個系統、過程或行動釋放出或產生一風險劑量進入環境中，如核能電廠、工業儲槽或是一種新藥；(2)暴露過程(exposure process)：是指民眾或評估的東西暴露接觸到此一風險劑量，如核能電廠下風處的民眾接觸到放射物；(3)引起不利影響的過程(causal process)：由於暴露過程所產生的不利後果，如接觸放射物而致癌(湯忠達，2000)。而由美國國家研究院出版之” Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process (NRC, 1983)”，一般被簡稱為”Red Book”於 1983 年發表。直至現今，歐盟與世界衛生組織等各國仍將此報告奉為圭臬(NRC, 2008)，其報告中將此三大元素分為四個步驟：危害性鑑定(Hazard Identification)，劑量反應評估(Dose-Response Evaluation)，暴露評估(Exposure Assessment)與風險特徵描述(Risk Characterization)為架構之環境衝擊量化方法，各步驟所需執行的內容如下：

一、危害性鑑定(Hazard Identification)：

危害性鑑定為健康風險評估的第一個步驟，主要係以蒐集現有的場址資訊與污染物檢測資料，來確認場址關切污染物種類及其濃度、致癌毒性與非致癌毒性、可能影響關切污染物傳輸途徑及是否有受體(receptors)可能受到該關切污染物的危害；以決定研究之污染物是否會增加危害健康情形的發生率。在這個步驟，因為評估的需求，健康風險評估執行人員需以現有的概略資料建立初步的場址概念模式(Site Conceptual Model, SCM)，包括污染源位置、污染範圍的初估、場址周邊水文地理的描述與判斷可能被關切污染物影響的受體(饒瑞萍，2006)。決定評估場址範圍與特定的化學物是否會引起特定的健康影響。場址範圍界定後，進一步描述場址特性和實地資料蒐集；針對可能不利於人體的污染物進行鑑別。最後，污染場址的概念模式必須加以建立，以污染來源、暴露潛在路徑和暴露受體為要(黃國威，2002)。

其中需評估之相關定性資料包含有腫瘤資訊(包含人類及動物)、有害物質物化特性、媒介潛在的影響等。因此在危害性鑑定中應指出：(1)污染源特性及(2)特徵污染物質。而污染物的致癌毒性一般常以透過查詢國外毒理資料庫，來判斷其危害程度，非致癌物質並沒有像致癌物質一樣具有資料庫可供分類判定，因此非致癌物質主要以能否在毒理資料庫中查詢到參考劑量為鑑定依據。若能查到，則表示該研究物質有可資量化的非致癌毒性；若無法查得，則表示該沒有非致癌毒性或非致癌毒性之毒理資料不足，無法判定非致癌毒性。以下介紹目前致癌毒性查詢上較具公信力之資料庫。

(1) 美國環保署綜合風險資訊系統(Integrated Risk Information System, IRIS)

本資料庫由 US EPA 所建立並定期更新(<http://www.epa.gov/iris/>)，目前所提供資料包括吸入吸收(Inhalation)或口服吸收之慢性毒性因子估計值。此外，並依據現有毒理資料，將致癌性分成 A、B、C、D、E 五大類，詳細說明如下：

A 類(對人類為致癌物)：有足夠的流行病學證據顯示暴露與疾病間之關係。

B 類(極可能人類致癌物)：

B1：根據有限人體毒性資料與充分的動物試驗資料，極可能為人類致癌物質。

B2：根據充分的動物實驗資料，極可能為人類致癌物質。

C 類(可能為人類致癌物質)：人類致癌證據不足，且動物試驗資料也不足。

D 類(尚無法分類)：無適當人類及動物致癌證據。

E 類(已證實為非人類致癌物質)：至少在兩種以上不同動物實驗或流行病學上顯示無致癌證據。

(2) 世界衛生組織簡明國際化學評估文件(WHO Concise International Chemical Assessment Document, CICAD)

(3) 國際癌症研究署(International Agency for Research on Cancer, IARC)

國際癌症研究署為聯合國下設之研究機構，專門進行化學物質性質與機轉研究，其將化學物質之致癌性分成四大類，被歸類為第一類及第二類者，均應在健康風險評估中納入致癌風險計算與討論：

第一類(group 1)：人類致癌性證據充足。

第二類(group 2)：人類致癌性證據尚有限，其又可分為group 2A：人類可能致癌物；流行病學資料有限，但動物實驗資料充份。group 2B：也許是人類致癌物；流行性病學資料不足，動物實驗資料也不足。

第三類(group 3)：致癌性的證據不足。

第四類(group 4)：證據顯示沒有致癌性。

- (4) 美國環保署暫行毒性因子(USEPA Provisional Peer Reviewed Toxicity Values, PPRTVs)
- (5) 毒性物質與疾病登錄署(Agency for Toxic Substance and Disease Registry, ATSDR)之最小風險濃度(Minimal Risk Level, MRL)
- (6) 美國環保署健康效應摘要表格(Health Effects Assessment Summary Tables, HEAST)

於資料庫中，可初步判定各污染物之致癌程度，如已有充足證據確定為致癌物質、致癌風險的證據尚有限、不足以證實為致癌物質及證據顯示沒有致癌性等，或是直接提供最小風險濃度。亦可依循下列因子優先考慮應選擇之標的污染物：

- 平均/最大濃度較高者
- 毒性強者(急毒性、非致癌毒性、致癌毒性、致畸性、致突變性)
- 環境危害性大者(HAPs、重金屬、輻射)
- 環境持久性(生物濃縮性、生物放大性)
- 具長程傳輸性。

二、劑量反應評估(Dose Response Assessment)：

劑量反應評估主要評估特定族群暴露在某污染物中，其所受劑量與產生傷害或發生疾病的量化關係，即找出所謂之劑量-反應關係(Dose-Response relationships)。在致癌性方面，根據流行病學或動物實驗的數據，假設在低劑量範圍內其劑量反應的是直線關係，而推估出該物質之劑量反應關係的斜率，即致癌毒性因子，即以劑量反應曲線估計平均每增加一個單位劑量所增加的致癌機率有多少。劑量反應評估大多由已知的毒性資料所得，場址特異性並不高，可以事先估計。歐美的政府機關針對多種污染物已建置有健康風險評估毒性因子資料

庫，並定時更新。其評估的方法有兩種(林進財，2001)：

1. 閾值方法(Threshold approach)：此方法的假設是大多數的生物非致癌性反應是有劑量的閾值，在劑量低於閾值的情況下，將無反應的出現，這方法一般是應用於非致癌性的劑量反應評估。
2. 非閾值方法(Non-threshold approach)：此方法的假設是生物致癌性反應並無劑量的閾值。不論劑量多寡，只要有微量存在，即會有生物反應出現，而且其反應可與劑量成正比。這方法一般是應用於致癌性的劑量反應評估。另一方面，對於致癌物之分析而言，決定劑量反應關係致癌的斜率(slope factor)，亦稱為致癌性強度(Potency factor)。

基因毒害性的致癌物質適用於無閾值方法來評估風險度，其理由如下：1. 基因毒害性致癌物質影響細胞的遺傳因子，經此改變的細胞將成為腫瘤的起端。2. 致癌物質可能已滲入生物體中存在，並正進行導致癌症的一系列的反應，所以無閾值的假設是屬於較保守(保護健康)的假設。3. 由高至低劑量外插法是可行的致癌劑量反應評估方法之一(林進財，2001)。

因此，致癌毒性因子又稱為致癌斜率因子(Cancer Slope Factor, CSF)。計算致癌毒性因子(Carcinogenic Toxicity Factor)時，則採取無閾值方法(Non-Threshold Approach)。致癌斜率因子因暴露劑量增加而造成致癌風險增加的程度，可用以下的公式來表達，在實際上估計致癌斜率時，是以劑量反應曲線的 95%上信賴區間來決定的，其單位為(1/(mg/kg-day)) (行政院環保署，2006)。

在非致癌風險方面，主要係依據毒性資料中，取得的無明顯不良反應劑量(No-Observed-Adverse-Effect-Level，NOAEL)，或最低明顯反應劑量(Lowest-Observed-Adverse-Effect-Level，LOAEL)，或低基準劑量(Benchmark Dose Low, BMDL)，設定其為安全劑量或容忍值(Threshold)，依此原則而估計出毒性物質的參考劑量(RfD, Reference Dose) (行政院衛生署國民健康管理局，2003)。其估算公式如下：

$$RfD = \frac{NOAEL \text{ (or LOAEL)}}{UF_s \times MF}$$

UFs	不確定因子(uncertainty factor)不確定因子通常定為實驗資料慢性參考劑量的十倍。
MF	修改因子(modifying factor)修飾因子之值介於0 至10，當無參考資料時則定為1。
NOAEL	無可觀察不良效應之劑量，為無統計或生物學上增加不良反應的最高暴露值，但其真值難以估算。
LOAEL	最低可觀察不良效應之劑量為有統計或生物學上增加不良反應的機率或嚴重度的最低暴露值

人體危害承受程度的推估多數基於動物毒理試驗的資料，因此，由動物至人類的外插估算是必須的，由高至低劑量的外插法亦是可行的，惟動物與人體之不同反應可能因毒物藥物動力學的不同而引起，這些因素必須加以考慮。毒物藥物動力學與劑量的測定有關，藥物動力學所導致的不同結果可用不同的係數來推測，通常不能正確測定其量的多寡(林進財，2001)。

三、暴露評估(Exposure Assessment)：

暴露評估定義為測量或估計人體暴露於環境中物質的程度、頻率和持續性，或估計新化學物進入環境中所可能引起的假設性暴露之過程，為決定暴露情境、環境介質與受體類型，暴露情境下可能發生之暴露途徑及計算各暴露情境下，受體承受之暴露劑量。評估人體暴露劑量方面考慮的因素有，建立有害物質濃度、人體可能的接觸方式(例如食入、空氣吸入與皮膚接觸)、曝露時間；通常人體的暴露量是以終身暴露為基礎，因此，不同的體重、體質、暴露時間及人體對毒性物質的吸收率等，皆會產生不同暴露結果(周瑋陞，2006)。此評估通常包含四個步驟：(1)定義評估的問題之重要暴露途徑，(2)選擇或發展適當之架構及數學模式，(3)收集數據或選擇及估算可用之數值，包含地域、暴露等因子，(4)暴露劑量估算與特徵描述。暴露評估過程可分為多介質傳輸轉換評估(Multimedia transport and transformation assessment)及多途徑暴露評估(Multiple pathway exposure assessment)二模式化階段。多介質傳輸轉換評估的目的在推算污染物質由污染源排放到環境中，在各環境介質(包含空氣、土壤、表面水及地下水)的中分佈的情形。

暴露評估探討人體是否有暴露於此污染環境之機會及程度，即判斷污染物質經由何途徑而被人體吸收，與暴露劑量的計算。先以場址概念模式，加入詳細的地理、地質水文資料建立一個計算受體暴露劑量時使用的模式。模式中明確指出評估的污染物質為何、該污染物質於土壤地下水中污染範圍與特性、污染物質會經由哪些傳輸途徑於自然界流佈，有哪些暴露途徑(Exposure Pathway)、以及哪些受體(Receptor)經由這些傳輸途徑暴露於污染物質中，這個較危害鑑定更詳細明確的場址概念模式為暴露評估的基礎。依照概念模式中的暴露途徑與地質水文特性，選擇適宜的宿命傳輸模式，以估計污染物質於環境介質中流佈的情形，以及污染物質最後與受體接觸時的濃度，再以此濃度來計算受體吸收的污染物質劑量。這個受體吸收的污染物質劑量稱為暴露劑量，為暴露評估所獲致的最後結果。對於暴露劑量的估計，一般是採用保守原則，即在實際上有可能發生最嚴重情況(Worse Case Scenario)假設條件下，求得最大暴露劑量(饒瑞萍，2006)。透過上述估算「合理的最大暴露」(Reasonable Maximum Exposure, RME)，即在實際上有可能發生的最嚴重情況(worst case scenario)假設條件下，求得最大暴露劑量。

暴露劑量推估公式如下所示：

$$ADD_{ij} = [C_i] \times \left[\frac{IU_{ij}}{BW} \right] \times \frac{EF \times ED}{AT}$$

ADD_{ij}：平均每天從接觸介質 i 暴露途徑 j 接觸之劑量(mg/kg/d)

C_i：污染物質於接觸介質(如飲用水、食物)之濃度(mg/L)

IU：吸收頻率(如呼吸頻率、飲水量)(L/d)

EF：人與接觸介質之接觸頻率(d/yr)

ED：人與接觸介質之接觸期間(yr)

AT：平均時間(d)

BW：平均體重(kg)

四、風險特徵描述(Risk Characterization)

風險特徵描述為綜合上述三項步驟進行綜合性評估，將風險予以量化，以估計該污染物質影響人體健康之風險程度高低與影響之方式。美國國家科學院的定義

為『在暴露評估中所描述之各種人體暴露狀況之下，估計健康效應之發生率之過程。藉著結合暴露評估及劑量反應評估來進行，先前步驟之不確定性的綜合效應，需在此步驟中加以說明』。讓決策者瞭解在暴露評估之設定條件下，受體可能經由何種方式暴露於污染物中，進而對人體健康產生多大之影響，並依此擬定該場址的風險管理策略。

在量化風險時，將危害性區分為致癌性及非致癌性兩類，並假設危害性具有相加性(additive)，即不同暴露途徑與關切污染物所產生的危害可直接相加，最後以總危害來表示場址污染對人體健康造成的風險，如圖 2.2-1。在致癌風險計算中以致癌斜率因子 CSFs(cancer slope factors)計算風險值。美國環保署使用數學的外推模式來計算 CSFs，最常用的是線性多階段模式，其單位為(mg/kg-day)⁻¹。當人類流行病學的資料是可得的情況下，以模式參數中間值(central estimates)計算可以產生 CSF。而當只有動物資料的情況下，CSF 是可以從動物資料組成的最大可能性直線斜率中取得(高於 95%的信賴區間下)(Valberg et al.,1996)。而致癌風險的計算式如下。在計算風險值時會因年齡的不同與種族的差異而有所不同。在表現風險時常以有害物質對人體各種健康效應之機率與程度來表示：

$$RISK = CSF \times ADD$$

在非致癌風險計算上，以 RfDs (reference oral dose(mg/kg-day))與 RfCs (reference concentration in air(mg/m³))來計算風險值。慢性的 RfDs 與 RfCs 可由長期暴露於特定化學物質而求得，而當次慢性(subchronic)的 RfDs 亦可設計較短期的暴露而求得。而非致癌危害商數計算如下：

$$HQ = ADD / RfD \text{ or } HQ = ADD / RfC$$

不同化學物質其 HQs 相加可得 HI (hazard index)(圖 2.2-2)，當總和的 HI 小於 1 時，非致癌性的風險是可以忽略的。然而，當 HI 大於 1 時，表示有危害性，需個別檢驗其化學物質的 HQs 以確定何者有潛在危險性(Valberg et al.,1996)。

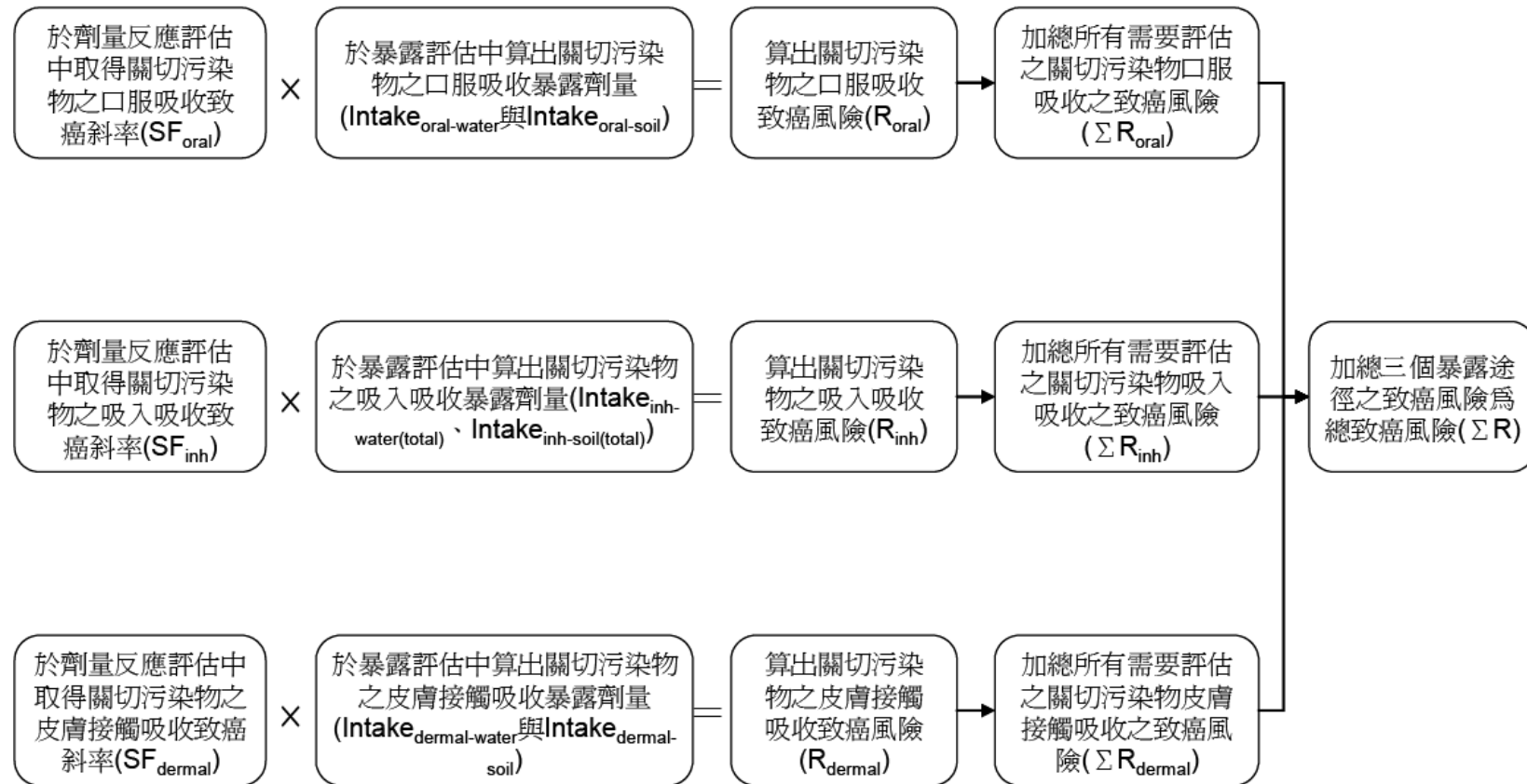


圖 2.2-1 致癌風險加乘性(行政院環保署，2006)

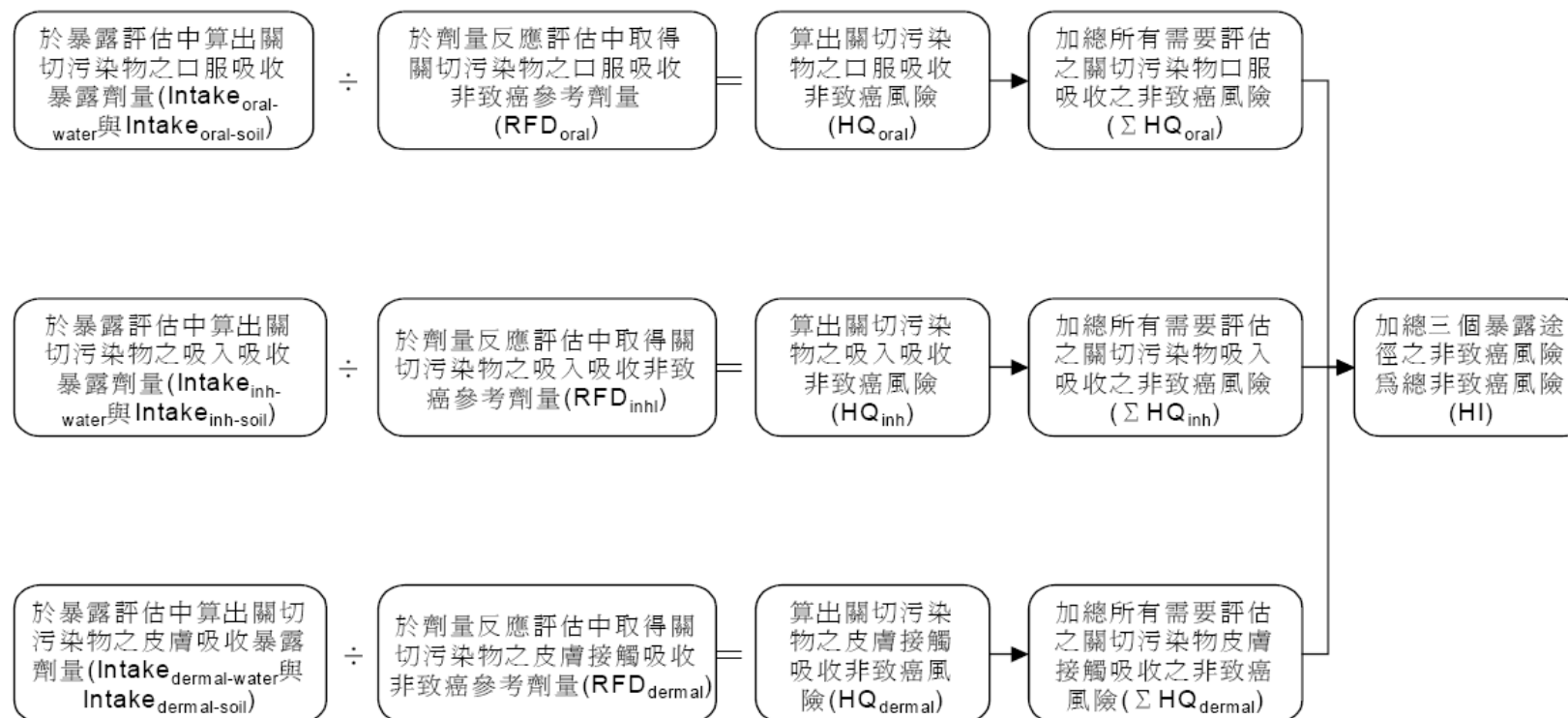


圖 2.2-2 非致癌風險加乘性(行政院環保署，2006)

2.2.2 各國健康風險評估規範

在美國具有風險評估意涵的法規，共有 26 個法案，分別由 10 個部會所制定。例如：清淨空氣法案(Clean Air Act)及安全飲用水法案(Safe Drinking Water Act)賦予美國環保署(EPA)定期執行風險評估以規範污染物；職業安全衛生法案(Occupational Safety and Health Act)則讓美國勞工部依法執行勞工安全衛生之風險評估。健康風險評估為有害廢棄物污染整治計畫中不可缺的步驟(林進財，2001)。而各國也為了有效管理汙染場址，紛紛制訂相關規範(如表 2.2-1)，並納入風險評估於其中，盼有利於相關管制。值得注意的是 ASTM 發展的相關規範，ASTM 為回應來自於政府法制機關及工業界之需求，接受挑戰著手發展一標準化之風險基準矯正行動準則。1994 年完成編號 ES 38 之緊急暫行準則，以將風險基準矯正行動運用於石油洩漏場址。1995 年續改編為編號 E1739 之標準版準則。目前，ASTM 除了更新 E1739 為 2002 年版，並發展了 E2081 可應用於任何化學品洩漏場址之全新版 RBCA 準則。由表 2.2-1 各國健康風險評估模式或規範彙整表知，美國環境保護署於 1989 年首次提出「Risk Assessment Guidance for Superfund, RAGS」，然後美國材料試驗協會(ASTM)又制訂了「Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites, RBCA」，使得健康風險評估的步驟因而更加標準化。該準則之主旨乃「基於保護人體健康及環境生態敏感受體，針對石油之洩漏污染場址進行風險評估。並依據風險基準評估結果，提出適當之矯正行動，以供各相關單位決定因應措施及訂定清除/整治標準之決策過程參考」。而這項準則也陸續成為美國各州及先進國家，最常被引用健康風險評估準則，如紐西蘭、英國等，也包括我國環保署民國 95 年公告之「土壤及地下水污染控制場址健康風險評估評析原則」(饒瑞萍，2006)。

各國規範中以美國試驗及材料協會(American Society for Testing and Materials, ASTM)發表層次性(Tiered Approach)風險評估整治標準制定步驟(Standard Guide for Risk-Based Corrective Action at Petroleum Release Site,簡稱 RBCA)，使整治風險評估步驟因而更加標準化且廣泛應用。美國各州亦採用 ASTM 之 RBCA 準則，進而發展成適合其地方特性之健康風險評估規範情形，根據 ASTM 於 2003 年調查

統計結果顯示至少有 17 州以上採納應用 RBCA 架構。由此可知，該準則在美國各州已被廣泛採用，發展亦已非常成熟，可見其結構的完整及思考縝密是有目共睹。

表 2.2-1 各單位汙染場址健康風險評估規範

研發單位	健康風險評估規範	年份
USEPA	Risk Assessment Guidance for Superfund, RAGS	1989~2002
ASTM	Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Site, RBCA	1995
USEPA	Soil Screening Guidance: User's Guide	1995
北卡州	Department of Environment, Health and Natural Resources, DEHNR	1996
伊利諾州	Tiered Approach to Corrective Action Objectives, TACO	1997
Canada	Evaluation of Site-Specific Risk Assessment for Contaminated Lands	1997
USACE	Risk Assessment Handbook Volume 1.: Human Health Evaluation	1999
BP Oil	RISC	1999
API	Decision Support System for Exposure and Risk Assessment, DSS	1999
Italy	European Union Risk Assessment Report	2000
Netherlands	RISC-HUMAN SUS Vlier-Human	2001
Australian	Health-based Soil Investigation Levels	2001
ASTM	Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Site	2002
UK	Contaminated Land Report and Exposure Assessment Model	2002
USEPA	Supplemental Soil Screening Guidance	2002
New Zealand	BP RISC Risk Assessment Model for Soil and Groundwater Applications	2002
UK	The Soil and Groundwater Technology Association, SAGTA	2003
UK	Waste Management Act Contaminated Sites Regulation	2003
UK	ConSim version 2	2003
ASTM	Standard Guide for Risk-Based Corrective Action	2004

(資料來源：饒瑞萍，2006)

ASTM 之 RBCA 準則，基於保護人體健康及環境之前提，提供具一致連貫性之決策分析程序，以評估及應變受石油污染之場址。RBCA 可針對不同個別場址估算其複雜度，及物理與化學差異性。RBCA 亦針對矯正行動採用層次性方法，因此可針對個別場址之案場特徵進行個案考量。RBCA 運用暴露評估、風險評估、污染物轉化及環境流布傳輸模式等工具，以評估受場址污染受體之潛在風險。第一層次的健康風險評估使用的多為預設之情境與數值，現地所需之調查較少，而第二層次健康風險評估的暴露情境雖為預設，但暴露參數則以現地調查之結果為主。又第一層次與第二層次的健康風險評估中所評估之暴露途徑多屬直接暴露途徑(Direct Exposure Pathway)，若污染物可能經由間接暴露途徑(Indirect Exposure Pathway)對人體或生態造成影響，則應直接進行第三層次健康風險評估。在第三層次的健康風險評估中，除了暴露途徑與情境較複雜外，暴露參數亦可以統計分布來代替定值，再利用蒙地卡羅模擬(Monte Carlo Simulation)之方法，來計算出一風險的分布。當對於場址是否遭到污染物污染產生疑慮或欲進行確認時，即可運用美國材料試驗協會(ASTM)訂定之 RBCA 準則進行評估(饒瑞萍，2006)。Esmaili(1997)於研究中就是採用 RBCA 層次性方法進行評估，並提供決定採取之決策，諸如：整治之必要性、資料收集與監測、主動或被動性整治、侷限圍阻、及/或禁制控制等矯正行動之適當性。圖 2.2-3 為 RBCA 準則之評估流程圖：

步驟一 完成場址調查(Site Assessment)，依據初始應變之急迫性進行場址分類(Site Classification)；是否公告為整治場址。

步驟二 依據場址分類之結果採取適當之初始應變行動；或篩選該場址健康風險評估是否符合經濟成本效益，若符合即進入Tier 1。

步驟三 進行第一層次(Tier 1)評估：將場址土壤/地下水中之污染物濃度，與第一層次風險基準篩選濃度(RBSLs)查閱表(Look-up Table)中之濃度值或我國土壤及地下水管制標準濃度相比較。

步驟四 決定(1)是否需要進入Tier 2 的評估；(2)是否需依篩選標準立即採取整治行動；(3)RBSLs 是否可做為整治的目標濃度。

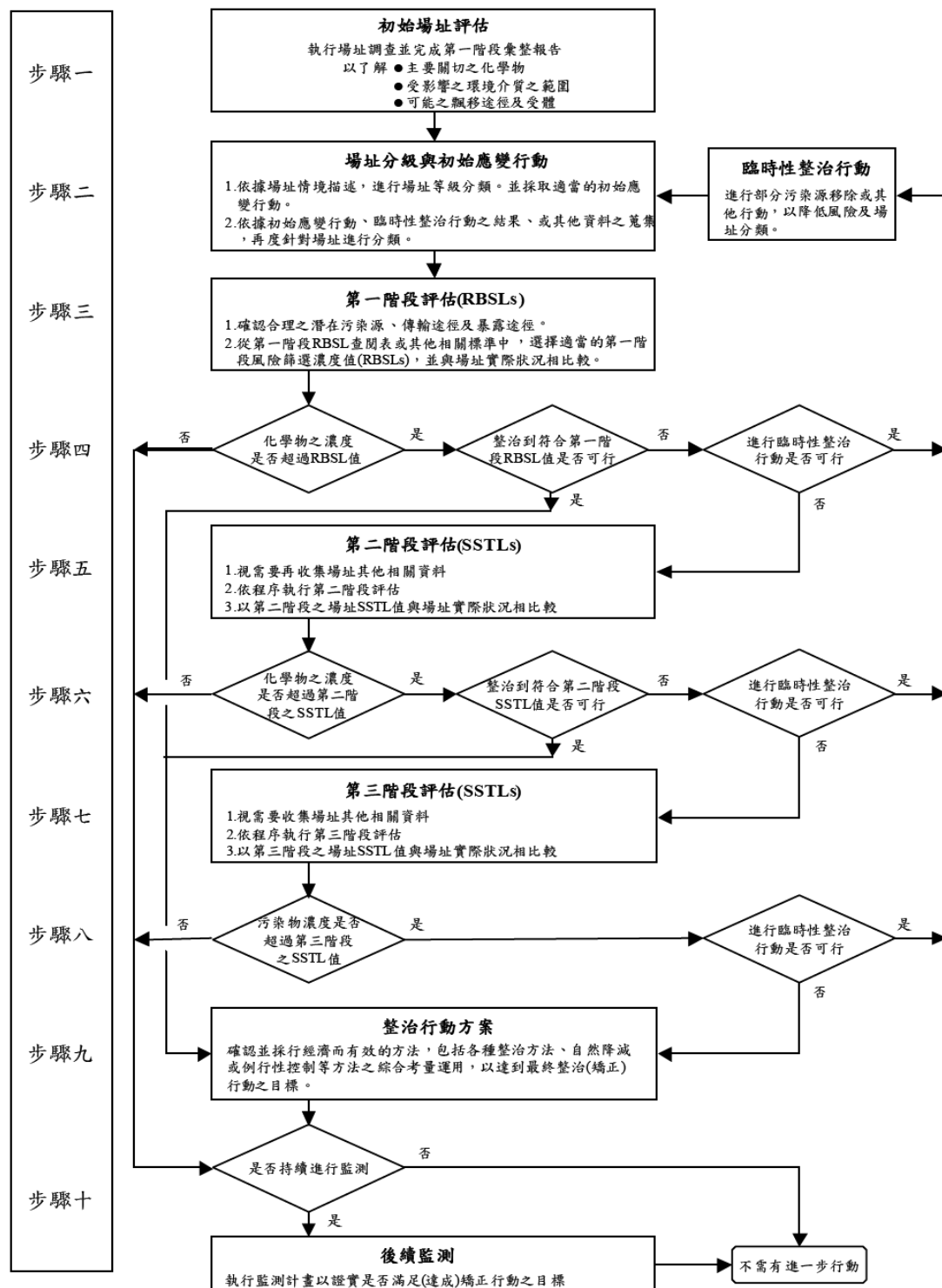


圖 2.2-3 RBCA 評估流程(吳偉智、陳大麟，2001)

- 步驟五** 若決定必須繼續進行第二層次(Tier 2)評估，則依需要再收集場址其他相關資料，或考慮離場宿命模式之相關參數資料。第二層次評估之主旨在於發展場址特定目標濃度值(SSTLs)，並選定評估點(Point of Compliance)。將場址土壤/地下水中之污染物濃度，與第二層次(Tier 2)之場址特定目標濃度值(SSTLs)相比較。
- 步驟六** 決定(1)是否需要再進行Tier 3 的評估；(2)是否需依整治標準繼續採取整治工作；(3)SSTLs 是否可做為整治的目標濃度。
- 步驟七** 若決定必須繼續進行第三層次(Tier 3)評估，則依需要再收集場址其他相關資料。
- 步驟八** 第三層次評估之主旨在於發展場址特定目標濃度值(SSTLs)，並選定評估點；將場址土壤/地下水中之污染物濃度，與第三層次之場址特定目標濃度值(Tier 3 SSTLs)相比較。
- 步驟九** 以RBSLs 或SSTLs 為目標濃度，研擬適當的整治行動方案，包括主、被動方案，以達最終整治目的。
- 步驟十** 後續監測證實達成整治行動之目標；或場址對人體無風險危害疑慮，無需進一步評估或整治。

而為因應健康風險評估於污染整治，美國能源部門(Department of Energy)於1998年引用American Society of Testing and Material(ASTM) 制訂之Risk-Based Corrective Action (RBCA)作為相關規範，至近期，RBCA仍被相關研究加以應用(Lemke and Bahrou, 2009; Baciocchi et al., 2010)。RBCA採階層式步驟，由第一層次至第三層次，其暴露情境的假設與暴露參數的引用由簡單至複雜，作為場址整治決策基礎(ASTM, 1998a)。第一階層的健康風險評估使用多為非實地性數據，且利用保守的暴露因子評估污染源與受體之直接與間接暴露，囊括真實可察覺之關係與潛在可能發生之暴露關係。第二階層則加以應用於場址污染減量程度，此階層之評估受體為實地暴露受體。相較於階層一，直接暴露因子已由保守預設值改為實地(site-specific)暴露。而階層三則擴展了實地分析於直接與間接暴露中，相較於以上二階層更為精確。

為模擬污染物經由環境傳輸至受體位置(階層二與階層三)，模式在RBCA程序中亦是很重要的一環(ASTM,1998b)。土壤地下水模式主要分為六類:解析模式(Analytical models)、孔隙介質模式(Porous media model)、類比模式(Analog model)、經驗模式(Empirical model)、質量平衡(Mass balance)與數值模式(numerical model)。解析模式是為一快速地分析土壤地下水系統中物理特性及概念行為的模式，因此常被用於實地場址的應用；然而，模擬穩定(steady)且均質(uniform)之地下水傳輸為其最大缺陷。孔隙介質模式為水利工程中常見之水力模式，適用於各維度，各形式之地下水流與傳輸(變動性飽和模擬、異質性、各向異性、穩定與非穩定、水平傳輸、擴散、吸附、降解與反應等)。而土壤地下水類的類比模式多為論證或教育類的工具，並不適用於地下水傳輸模擬。經驗模式常用於實地參數的缺乏或模擬非實際精細的程序。質量平衡模式為簡易的數值模式，常以整體區域的平均作為較粗糙估算，僅以輸入輸出量為估算基礎。相較於上述模式，數值模式皆可分析簡易或複雜的地下水傳輸，且易掌握土壤地下水系統中時間與空間的變數(Praveena et al.,2010)。

而模式的重要與風險特徵化的描述是可以幫助場址復育或是場址關閉時有效的評估其危害。依照 RBCA 中三個階層分別探討模式應用之特性，階層一，為一基礎階段，單就估算點污染排放的最大釋放濃度與排放總量，並定義受影響之受體。利用簡單的查詢表格決定最大污染濃度或總量，或是影響範圍及特定影響受體。階層二，主要評估自點污染經由傳輸途徑到受體所影響的濃度結果，主要應用簡單的解析解模式模擬污染源與受體間的關係。階層三，主要評估自點污染經由傳輸途徑到受體所影響的濃度結果，應用數值解模式去模擬污染源與受體間的關係(ASTM, 1998a)。表 2.2-2 為 ASTM 彙整之土壤地下水模式，而表 2.2-3 係針對各模式的場址適用性進行比較。

表 2.2-2 土壤地下水傳輸模式簡介

傳輸途徑	模式或方程式名稱	模式簡介	考慮層面	輸出值	使用限制或特色	資料來源
地下水傳輸模式	Disperse	保守的估算有關水平或擴散的方程式。	二維分析	成分濃度的分佈	假設水平同質液態中，穩定流速，固定的擴散係數，適用於金屬	Bauer, P., 1998
	SOLUTE	內設五種分析情境分析，有關水平擴散非保守型追蹤方程式。	一維，二維，三維及均勻輻射狀分析	成分濃度的分佈	一維及放射狀模式模擬單一污染源。二維三維模式支持多點污染源，計算線或面污染源。	IGWMC
	AT123D	質量傳輸，規則且固定的局部性流動，考慮三維擴散，一階降解，阻力。	三維混合數值分析	成分濃度的分佈	假設固定流與污染源平行，污染源釋放可以是瞬間的或是持續的，有時間序列的，污染源可以是面或是體積的。水層是不波動的，穩定且一維的。模擬質量傳輸或是放射狀擴散或是熱傳輸。	Yeh, G. T., 1981;IGWMC, Scientific Software Group
	Domenico	三維隨時間擴散。	三維指數分析及 erf 與傳輸（一維，二維，三維）	特定區域內的濃度標準化	沿著中線介於污染源及受體間的一維傳輸，三維擴散，隨時間的傳輸。輸入值需包含水平流速，擴散，污染源濃度，且能考慮到生物降解。	Domenico, 1987;ASTM RBCA, SSG
	FATE5	考慮有機物在特定地區自然衰減率，及地下水中溶解狀況。（強化Domenico分析模	三維指數分析及 erf 與傳輸（一維，二維，三維）	特定區域內的濃度標準化	類似Domenico。包含被估算的廠址濃度的最佳傳輸途徑，化學物質的基本資料，計算穩定態狀	Nevin, J.P., 1997;Groundwater Services, Inc.
	MULTIMED	一維不飽和揮發溶解，生物降解及衰減。飽和的三維傳輸擴散，線性吸收，一階衰減，穩定態或是瞬間流，單一液態層和稀釋。	三維半線性分析	滲出流量	假設穩定的污染源濃度，同質或等向環境介質中。特別針對掩埋場。模擬沉降，逕流，滲透，揮發，阻礙層，排水層。在有限厚度的飽和層，及有限的滲透率。特定的垂直擴散與堆置平行的流	Salhotra, 1990;SSG, Scientific Software Group
	Summers	模擬來自有限污染源的分佈性質質量傳輸在單一土層中。穩定流狀況及吸附與溶解平衡下。	一維線性分析（混合方程式）	污染源在地下水坡降中成分濃度	假設完整的混合水床曾。發展出來的監測模式，保守的估計地下水中向下方向的擴散濃度。並不考慮生物降解，一階衰減，及揮發。適用於監測系統。	Summers, 1982; IGWMC
	BIOSCREEN	二維散佈及遲滯與生物降解。	二維指數分析及 erf 與傳輸（一維，二維，三維）	污染源在地下水坡降中成分濃度	可用Monte Carlo得知其不確定性，且內設土壤與化生物物質的基本資料。	CSMoS; American Petroleum Institute(API)

表 2.2-2 土壤地下水傳輸模式簡介(續)

傳輸途徑	模式或方程式名稱	模式簡介	考慮層面	輸出值	使用限制或特色	資料來源
地下水傳輸模式	VADSAT	水層或不飽和層中來自污染源的化學物質移動，考慮到 VOCs 的蒸發，污染源成分滲出，平面的地下水流態，吸附及一階衰減。	三維分析	地下水中特徵的成份濃度，及特徵濃度發生時間，時間隨污染源消滅。	可以模擬水平傳輸，擴散，吸附，有氧或厭氧的衰減。評估非單向性的地下水流移動，穩定的流域，適合用於監測。	CSMoS; Scientific Software Group
	MODFLOW	飽和且穩定態或單液態介質傳輸。	二維或三維數值有限差分	水頭	評估飽和層中異種，多變向，有無邊界的液態系統。限制地下水	McDonald, M. and Harbaugh, A., 1988; IGWMC, USGS
	PLASM	飽和且穩定態或單液態介質傳輸。	二維或三維數值有限差分	水頭	評估飽和層中異種，多變向，有無邊界的液態系統。限制地下水流。不考慮水平傳輸與擴散，分	Prickett, T. and Lonquist, C., 1971; IGWMC
	MOC	地下水流與質量傳輸，穩定態或單一液態介質傳輸流量。考慮水平傳輸，散佈，	二維數值有限差分	成份濃度分佈	評估飽和層中異種，多變向，有邊界的液態系統。	Konikow, L. and Bredehoeft, J., 1994; IGWMC, USGS
	BIOPLUME	污染物在有氧限制因子下生物降解的傳輸。考慮氧，氮，鐵，硫，甲烷有機物生物降解。	二維數值有限差分 (MOC)	由速率向量求得濃度分佈。	模擬水平傳輸，擴散，吸附，有氧或厭氧的生物降解。第三版包含考慮瞬間性生物降解，一階或零階的衰減。碳氫化合物污染源，及活性電子接收者將會被分開	CSMoS; Scientific Software Group
	Random Walk	地下水流動與質量傳輸模式，同一液態層中穩定態或瞬間流。考慮對流，散佈，一階衰減及遲滯。	二維數值有限差分	水頭，成份濃度分析。	假設飽和層有異種，同異向，有無限制的水層系統。	Prickett, T.; Naymik, T.; Lonquist, C., 1981; IGWMC, Scientific Software Group
	MT3D	在飽和層中的質量傳輸，穩定態或瞬間流在單一液態介質中。	三維數值有限差分	模擬濃度的轉變。	假設飽和層有異種，同異向，有無限制的水層系統。掌握變動的情況邊界。	Zheng, C., 1990; IGWMC, Scientific Software Group
	MODPATH	Semi-analytical Partical Tracking Scheme 利用於單一或多層液態的穩定流中。	三維數值有限差分	計算三維途徑	假設飽和層有異種，同異向，有無限制的水層系統。掌握多時間點釋放，考慮空間概念。	Pollock, D. W. 1989; IGWMC, Scientific Software Group, USGS

(資料來源：ASTM, 1998b)

表 2.2-3 依場址適用性之模式應用比較

考慮條件	模式名稱															
地下水傳輸	Disperse	SOLUTE	AT123D	Domenico	FATE5	MULTI-MED	Summers	BIOSCREEN	VADSAT	MODFLOW	PLASM	MOC	BIOPLUME	Random Walk	MT3D	MODPATH
一維		*					*	*								
多維	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*
穩定流狀態				*	*	*				*	*	*		*	*	
瞬間狀態										*	*	*		*	*	
有限定的不同種類										*	*	*	*	*	*	*
分析模式	*	*		*	*	*	*	*					*	*		
混合分析或數化			*													
自由的地下含水層				*	*					*	*			*	*	*
受限制的地下含水層				*	*					*	*	*		*	*	*
同性質/同向的地下含水層	*	*		*	*	*	*	*	*				*	*		
單位水平水流向	*	*		*	*	*	*						*	*		
不同層的地下含水層										*	*	*		*	*	*
地下水流速為常數	*	*		*	*	*	*									
流速計算													*			
組成濃度計算	*	*	*	*	*		*	*	*			*	*	*	*	
水頭壓力計算										*	*		*	*		
地下水流途徑																*
擴散	*	*		*	*	*		*				*	*	*		
吸附/減速		*	*			*	*	*					*	*		
連續性污染源		*	*	*	*		*						*			
瞬間的/受限的污染源	*	*	*										*			
可變的污染源濃度		*	*										*			*
一至的流向	*	*	*	*	*											
生物降解/轉化		*	*	*	*			*					*	*		
質量傳輸		*	*			*	*	*					*	*	*	
混合的水流方向區域			*				*									
Run in probabilistic									*							
物種化學性質					*											

至 2003 年加拿大 Albreta Environment 針對土壤地下水實地性風險評估為目標，依 RBCA 為基礎，自 248 個模式中挑選出較適於解決以風險評估為目標之土壤地下水環境傳輸機制模式(MDH Engineered Solution Crop, 2003)。土壤地下水傳輸模式的發展已數十年，期間所發展出來的相關模式非常多，也因為土壤地下水傳流機制繁雜，因此因應各使用目標的差異而發展出不同背景考量的土壤地下水相關模式。報告中首先，藉由模式的基本文獻，研發者對模式本身的瞭解及與風險相關專家之探討。其次，再依相關專人士提出數項評比因子，給予各模式相對分數並乘上權重因子，評估出適合用實地性風險評估之土壤地下水之環境傳輸模式。如下表 2.2-4(MDH Engineered Solution Crop, 2003)，在此表中呈現部分模式，且依 16 項因子做權重排序分析，由此表中可以看出土壤地下水相關模式數量多，種類繁雜，且各模式間限制皆不相同，分析仔細度也差異很大。

由上述層次性健康風險評估建議之污染場址整治架構，可以確定除了確定場址現況外，模式選取亦為重要的步驟。而模式中使用的參數也常為評估時重要的影響因素，饒瑞萍(2006)研究中，以提出 20 項敏感參數(表 2.2-5)，研究中可以此作為彙整參數的依據，以加強風險評估於此研究之可靠度，降低不確定性。

表 2.2-4 土壤地下水傳輸模式比較

PROGRAM NAME	Ranking Sum	Water Balance	Subsurface Flow Capabilities	Transport Mechanisms	Chemical Reactions	K as a Function of Salinity	Zones Modelled	Program Availability	Data Requirements	Simplicity and Transparency	Computational Requirements	Program Installation	Support Availability	Code Validation	Documentation Quality	Ease of Use	Alberta Env Scenario Criteria	Model Type	Developer/Distributor
WEIGHTING FACTOR		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	4		
VS2DI	8.8	10	10	8	9	2	8	10	8	5	10	10	7	10	10	10	9	U/S	USGS
SEVIEW	8.6	10	10	8	9	1	10	8	10	7	10	6	10	10	5	10	9	U/S	ESCI
WHI UNSAT SUITE	8.4	10	10	8	9	2	8	8	8	5	10	6	10	10	5	10	9	USAT	WHI
HYDRUS-2D	8.2	10	10	8	9	2	10	8	3	5	10	6	7	6	10	10	9	U/S	USSL
UNSATCHEM	8.2	10	10	8	8	10	10	10	8	7	10	10	6	6	10	9	6	U/S	USDA-ARS
HYDRUS-1D	8.1	10	10	8	9	6	10	8	8	7	10	6	7	6	10	10	6	U/S	USSL
CHEMFLO2000	7.8	10	4	8	5	2	6	10	8	4	10	10	10	10	10	10	6	USAT	OSU
SWAP	7.6	10	8	8	5	2	10	10	8	7	10	10	6	10	10	7.5	6	U/S	DLO & WAU
SUTRA-2D	7.4	10	10	10	5	2	8	10	1	5	10	10	7	10	6	6	10	U/S	USGS
LEACHM	7.1	10	4	8	10	2	6	10	9	7	10	10	4	9	8	5	6	USAT	FUSA
SESOIL	7.0	10	4	8	9	2	6	5	10	7	10	10	8	10	5	5	6	USAT	ORNL
BIOSCREEN	6.8	10	2	6	5	2	2	10	6	10	9	10	7	10	4	9	6	SAT	GSI
SWMS_2D	6.5	10	10	8	5	6	10	4	2	5	8	8	4	9	10	2	9	U/S	USDA-ARS
UNSATCHEM2D	6.5	10	10	8	8	2	10	4	2	5	8	8	4	6	10	2	9	U/S	USDA-ARS
HYDRUS6	6.4	10	4	8	9	6	10	4	8	7	8	8	4	6	10	2	6	REP	USDA-ARS
CONTAM	5.7	10	4	8	4	2	6	10	6	10	9	10	1	2	1	9	6	USAT	Soil Vision
PESTAN	5.6	10	4	8	5	2	6	10	8	8	2	5	7	10	4	2	6	USAT	EPA
PRZM3	5.6	10	4	8	5	2	6	9	6	8	8	10	3	10	4	2	6	USAT	EPA-CEAM,ORD
MPNE1D	5.6	10	4	8	5	6	6	4	6	8	8	8	4	2	6	5	6	USAT	USSL
VLEACH v2.2	5.6	10	4	8	4	2	6	10	9	8	2	5	7	10	4	2	6	USAT	EPA
EMSOFT	5.5	10	4	8	5	2	6	10	6	8	10	10	2	6	4	8	1	USAT	NCEA
FATMIC 2D	5.4	10	10	10	5	2	8	4	3	5	8	8	3	3	4	1	10	U/S	EPA
CHAIN2D	5.4	10	10	8	5	2	10	4	2	5	8	7	1	3	6	1	10	U/S	USDA
AT123D	5.3	10	2	8	5	2	2	5	9	5	10	10	7	10	4	5	1	SAT	ORNL
BLT	5.3	10	10	10	5	2	7	3	3	5	8	1	1	10	1	1	10	U/S	ORNL
CHEMFLO	5.2	10	4	8	5	2	6	10	6	2	2	10	3	10	4	2	6	USAT	OSU
FOCUS PRZM	5.2	10	4	8	5	2	6	9	7	2	10	6	3	6	4	8	1	USAT	FOCUS
SUMMERS	5.2	10	4	4	4	6	6	8	6	8	2	1	7	8	1	4.5	6	USAT	IGWMC
CANVAS	5.1	10	10	4	4	1	8	8	2	1	10	1	7	1	1	7.5	6	U/S	EPA
SAM	4.8	10	3	4	5	2	6	2	9	6	8	1	2	10	6	1	6	USAT	TRRP
SWAGMAN	4.8	10	4	8	10	1	6	6	6	2	10	1	2	8	1	5	1	USAT	CSIRO
BIO1D	4.8	10	4	4	5	1	8	8	6	2	8	1	7	2	1	4.5	6	U/S	GeoTrans Inc.
PATRIOT	4.8	10	4	8	5	2	6	4	6	2	2	10	3	10	1	2	6	USAT	EPA-CEAM, ORD, AERL
MULTIMED	4.4	10	8	8	5	2	8	9	6	8	2	3	3	10	1	2	1	U/S	EPA-CEAM, ORD
VIRTUS	4.4	10	4	4	5	2	6	7	6	7	2	1	7	8	1	4.5	1	USAT	UOC & USDA
CMLS94	4.3	10	4	4	5	2	6	9	6	2	10	10	2	2	4	4.5	1	USAT	OSU
GETOUT	4.1	10	4	8	5	2	4	5	6	7	2	1	1	1	1	4.5	6	USAT	ORNL
PAGAN	4.1	10	4	8	5	2	4	5	6	7	2	1	1	1	1	4.5	6	USAT	ORNL
ICE-1	3.9	10	4	8	1	2	6	8	6	7	10	1	7	1	1	4.5	1	USAT	IGWMC and BPNL
BIOTRACKER	3.7	10	6	1	1	1	6	8	7	2	10	1	8	6	1	3	1	USAT	ENSSI
FATE5	3.7	10	8	4	1	1	8	8	7	2	9	1	1	1	1	7.5	1	U/S	GSI
VIRALT	3.6	10	10	4	4	1	8	7	1	1	2	1	7	1	1	4.5	1	U/S	EPA
DIFMOD	2.9	10	4	8	1	1	4	5	6	7	2	1	1	1	1	4.5	1	USAT	ORNL

(資料來源：MDH Engineered Solution Crop, 2003)

表 2.2-5 土壤地下水傳輸模式比較

敏感度 排名	參數名稱	實務量測性	
		是	否
1	污染空氣來源面積	✓	
2	空氣蒸散氣流平均時間		✓
3	污染空氣來源與風向平行長度	✓	
4	下游與污染源距離	✓	
5	污染源寬度	✓	
6	地下水達西速率	✓	
7	暴露頻率		✓
8	密閉空間體積與入滲面積比		✓
9	污染源深度	✓	
10	平行風向與地下水流向之污染源寬度	✓	
11	致癌延時		✓
12	成人體重		✓
13	透水係數	✓	
14	空氣橫流方向之離散度		✓
15	地下水混合帶厚度	✓	
16	暴露延時		✓
17	密部空間基礎或牆壁厚度		✓
18	地下水橫流方向離散度		✓
19	地下水深度	✓	
20	室內每日吸入空氣量	✓	

(資料來源：饒瑞萍，2006)

2.3 生命週期評估

2.3.1 生命週期評估介紹

生命週期評估的觀念最早起源於 1960 年代，與污染防治及能源需求有關，當時主要是企業界用來評估或改善其產品、製程或活動對環境產生污染和耗能負荷的方法。ISO 14040 對生命週期評估之定義為：產品生命週期評估是研究一個產品在其生命過程中，從原料的取得，到製造、使用和棄置等階段之環境衝擊，而美國環境毒理及化學協會(Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC)進一步將生命週期評估技術從資源保育及能源耗損的評估，引用到全面污染預防的方向，其將生命週期評估定義為：生命週期評估是一個衡量產品生產或人類活動所伴隨之環境負荷的工具，不僅要知道整個生產過程的能量、原料及排放量所造成的影響予以評估，並提出改善的機會和方法(SETAC, 1991)。該評估包含了產品整個製程或活動之生命週期中的原料開採和提煉、製造、運輸、使用、再使用、回收、和最終棄置等階段(圖 2.3-1)。由產品的生命週期來看，原料取得、產品製造、消費、循環利用與最終棄置過程中，能源的投入與相關污染物的產生，均為後續追蹤、盤查的重點。

在整個生命過程中的環境考量面與潛在衝擊，通常包括資源使用、人體健康及生態影響等類別。根據 ISO14040 的標準，生命週期評估架構，包括四個步驟：目標與範疇界定(Goal and Scope Definition)、生命週期盤查分析(Life Cycle Inventory Analysis)、生命週期衝擊評估(Life Cycle Impact Assessment)及生命週期闡釋(Life Cycle Interpretation)，如圖 2.3-2 所示。

(1) 目標與範疇界定：

不同的研究系統與範圍界定，可能會導致截然不同的結果，且不同產品的生命週期系統之間的差異也相當大，因此開始必須先將研究的目的與範疇給予清楚的界定，釐清生命週期評估結果之使用對象或訴求對象，並注意要求其界定之目的與範疇應與預期結果之應用一致。

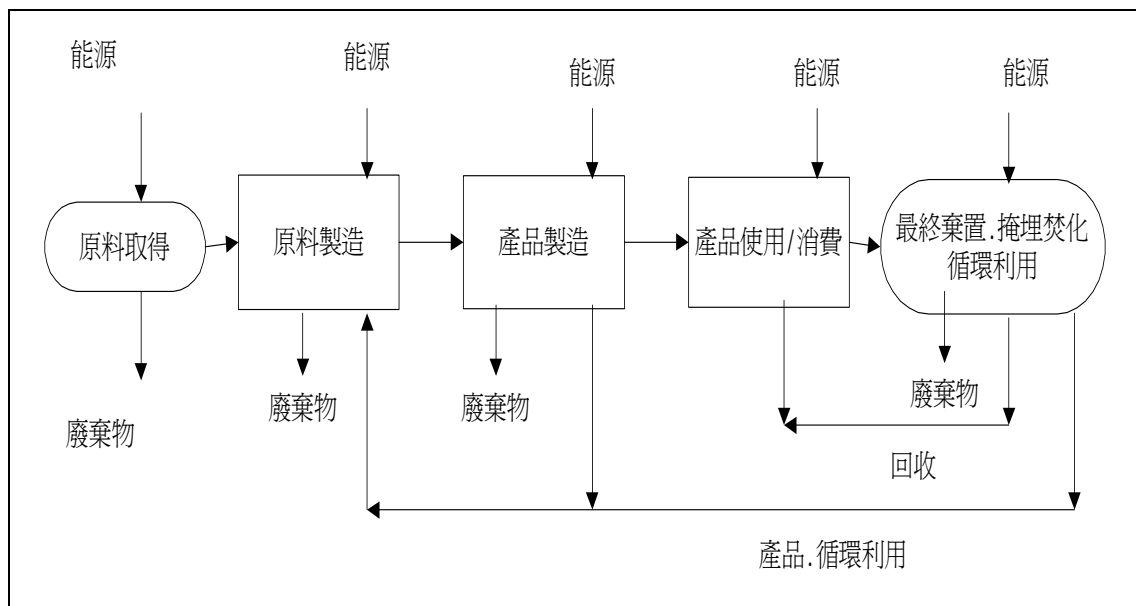


圖 2.3-1 產品生命週期之質能流動圖 (Curran, 1996)

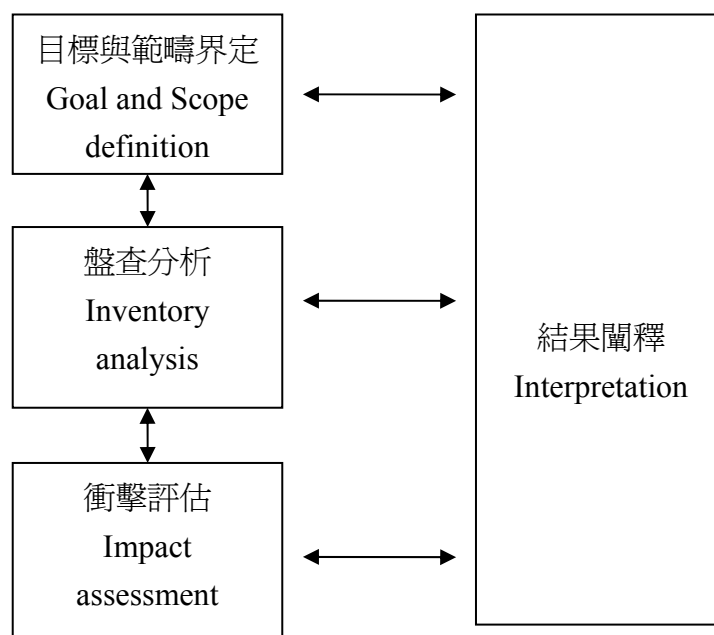


圖 2.3-2 生命週期評估架構

目的與範疇界定是生命週期評估作業中首要的部分，此階段需考量：研究的系統、系統的功能、系統界限、功能單位、數據品質要求、進行衝擊評估所使用的型態與評估範圍、假設條件、研究限制等。

其中最基本的要項是功能單位(Functional Unit)的訂定。所謂的功能單位，通常是系統最後產出的實用單位，並且方便將結果標準化之參數，例如一公噸的地下水量或一公尺的自來水管線，甚至是所使用一千瓦的電力等，均可作為功能單位，以方便比較各系統或各產品對環境的衝擊。在定義了功能單位之後，系統中的各項環境負荷和污染排放的衝擊才能有計算和加總的基礎，而且也能做為不同產品之間比較的基準。

(2) 盤查分析階段：

生命週期盤查分析包含數據收集與計算程序，以量化系統的相關投入與產出(Input & Output)，主要在將產品投入與產出的資源使用與污染排放加以量化與彙整，包括各製程原料、能源需求及產生的產品、副產品、廢棄物等做細部紀錄，而收集資料的範圍為依所設定的目的與範疇所定。這些投入與產出包括與系統相關的資源使用和對空氣、水體及土地的排放，構成生命週期衝擊評估的輸入項目。圖 2.3-3 顯示生產過程與投入產出之對應關係。通常盤查分析的過程需反覆進行，隨著對數據之蒐集與對系統的近一步了解，相關要求與限制因應而生，因而需改變數據蒐集程序以符合作業之目的。

呂穎彬(1996)曾對盤查分析細分為六個階段，分別為原物料開採、製造與裝配、產銷與運輸、使用／再利用／維護、回收及廢棄物管理。盤查的範圍可定義為這六個階段的任何階段或其組合，視使用者之目的而定，而調查的範圍十分重要，若範圍沒有定義清楚，則容易造成盤查要項的遺漏，而低估衝擊的程度。

(3) 生命週期衝擊評估階段：

衝擊評估階段是指以生命週期盤查分析之結果，評估量化潛在衝擊之程度與範圍，此階段包括將盤查資料與特定環境衝擊加以連結。透過產品生命週期中盤查各階段的能資源投入，以及最終的產出或涉及的輸出，彙整後的

盤查資料仍然無法指出此一產品或系統可能產生的負面效應，所以必須經由合理的分析過程，以確定這些實質的或潛在的衝擊。

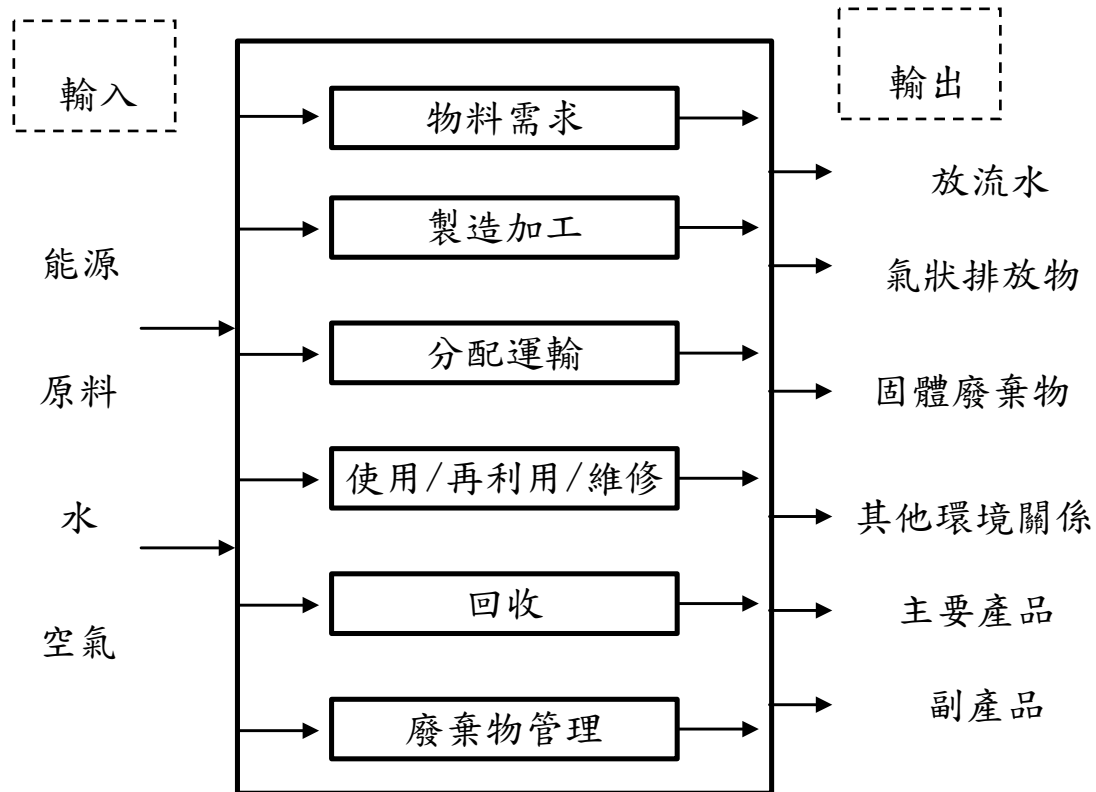


圖 2.3-3 生命週期盤查分析的要素 (國科會，1999)

SETAC(1993)將衝擊的範疇分為四大類：生態健康、人類健康、資源耗用、以及三者所導致的社會福祉的傷害，而 ISO 14040 則將資源使用、人類健康、和生態效應三類列為建議評估的範圍(ISO, 1998)。各種衝擊範疇事實上均涉及了複雜的內容與過程，在評估分析的基本理念與層次上亦有極大差異，而且基本上可劃規不同的系統範圍與架構。因此，較合理的分析為將衝擊領域分開處理，以不同的系統解析方式和架構，分別建立獨立的指標與評估方法。

在確定環境衝擊類別之後，則應將盤查分析所得之資料重新指派和整合，將相近之壓力因子(Stressors)加以分類，壓力因子之概念主要乃藉由排放量、排放潛值、預期的環境濃度和可能的曝露量等度量，將清單資料與盤查

結果和環境衝擊量化程序連結起來(SETAC, 1993)。

生命週期衝擊評估便是將盤查結果對應至各項衝擊類別，然後將衝擊項目特徵化，以特徵化模式計算各類指標，以評估產品潛在環境衝擊的重大性，再進一步量化其環境負荷或污染排放對環境的潛在衝擊值(ISO14040, 2006)。一開始是欲評估之衝擊類別及衝擊指標，並將盤查結果分派至各衝擊類別當中，再將各衝擊類別的盤查數據換算成共同單位的衝擊類別指標結果，即為特徵化的步驟，特徵化之後得到的單項衝擊類別指標結果，依照不同衝擊類別給予權重，計算相對於參考資訊的大小。最後將不同的環境議題整合成爲一個綜合指數，可表示各衝擊類別的重要性，做爲衡量衝擊程度之分數值。

(4) 闡釋階段：

生命週期闡釋是合併盤查分析與衝擊評估的結果加以詮釋，其包括反覆審查與修訂生命週期評估範疇和所蒐集資料的本質及品質的過程。闡釋的結果需與研究的目的與範圍一致，並以結論與建議的形式提供給決策者。

2.3.2 生命週期衝擊評估方法

對於來自產品生產前後輸入輸出所產生的各類效應如何加以分類，其考量的重點將影響分類的結果，並關係著其後的特徵化與評等的方法和結果。而如何進行衝擊分類，常基於不同的環境理念、價值觀、或操作上的考量，有不同的切入角度。依 SETAC(1993)之研究建議，生命週期衝擊評估一般可分爲分類(classification)、特徵化(characterization)和評價(valuation)等三個步驟，以下分別說明之。

● 衝擊分類

目前已發展的 LCIA 方法中，常見的衝擊分類與評估的方式包括以下幾個方法(Hofstetter, 1998)：

1. 臨界體積導向

臨界體積是指某一類別環境衝擊的施放量，經稀釋至個別排放標準後的總體積和，由瑞士環境部門(Swiss Federal Ministry for Environment)所發展之

衝擊評估模式。根據生命週期盤查分析結果要求環境介質，如空氣、水等的體積須稀釋至符合法規對該項排放物的限制。例如某一物質分別在水體和空氣的臨界體積，即為該物質經由各個不同排放路經所得的臨界的水體或空氣體積總和。除了水體和空氣之外，常見的受評估衝擊尚包括能源與固體廢棄物。能量的臨界體積為原料中所蘊涵的能量總和；固體廢棄物則由衛生掩埋場(landfill)中所占體積總量分別加以代表。其特徵就是能夠將各項排放物的臨界稀釋體積相加總，用以表現衝擊評估結果。

此一評估模式使用較早，彙整不同來源之衝擊，不同性質的臨界體積值，可再經由相似度和付予權重的方式加整合，但應注意它的衝擊評斷的基礎仍在於排放濃度的標準，實際上缺乏環境總承載能力的概念，且可能誤導以稀釋來掩飾環境衝擊事實為排放管制手段(國科會，1999)。

2. 衝擊導向模式

由於臨界體積模式無法滿足環境政策之不同課題，荷蘭專家乃以環境課題為考量，此一模式是由荷蘭 Leiden 大學之 CML 中心(Center for Environmental Science)所發展，建立了衝擊項目的分類架構作為 LCIA 之用，即所謂 CML 的分類系統(Heijungs et al., 1992)。

此模式是以損害導向為中心的一套評估模式，所評估項目中的各因子，依照其可能的環境衝擊可分為全球暖化、優養化、酸沈降、臭氧層破壞、光化學氧化形成物、對生態毒性、對人類毒性以及非生物性資源耗損等八大類。導致同一類環境衝擊之壓力因子可能有許多種，例如可能導致全球暖化衝擊之壓力因子有 CO_2 、 CH_4 及 N_2O 三種，如以 100 年為一週期， CH_4 對全球暖化的潛在衝擊會是等量 CO_2 的 11 倍， N_2O 則會是等量 CO_2 的 270 倍，可藉由此來比較所釋出的污染物濃度對全球暖化所造成的衝擊程度(國科會，1999)。

根據這套架構，更進一步發展出 Eco-Indicator 99 分類體系，並受到廣泛的應用，主要包含之評估因子有人體致癌性、有機物呼吸效應、無機物呼吸效應、氣候變遷、輻射量、臭氧層消耗、生態毒性、酸化/優養化、土地利用

及礦物消耗等十大評估因子。選用如此明確的環境衝擊指標，主要為使衝擊與受衝擊之間的關係更為明確，但也可能因此限制了衝擊來源。在 Eco-Indicator 99 中，為了實際操作考量，對於許多模糊而難以評估的類別則未再予列入，僅將焦點放在污染一類衝擊上，因此主要污染相關活動作為 LCA 的衝擊評估方法，但也因其架構簡化，而獲得眾多 LCA 軟體的採用(國科會，1999)。

3. 共通機制導向

此一模式強調應以自然科學為基礎，任何一衝擊分類項下的盤查因子必須基於一個共通的衝擊機制而整合，而且這些因子也可以相互替換，故同一分類項只涉及一種機制。共通機制作為分類基礎固然有利於共識的達成，使得分類的模式具備較高接受度，然而該模式僅能為分類項的定義提出原則，卻無法為每一盤查因子同樣加以定義，因為如此將牽連數以千計的機制，在操作上極為困難。在一般分類項中，毒性類經常違反共通機制原則，成為經常爭議所在。

4. 生態評點法(Ecopoint Method)

改良自瑞士的臨界稀釋體積法，同樣以環境管制作為基礎。首先定義環境資源對於當前污染程度或替代品的恢復能力，視為污染物臨界流量相對於實際流量的比值，稱之為生態乏值(ecological shortage)，生態乏值是總污染與最大可容許污染兩者間量測生態因子，並計算產品實際發生的污染物與生態因子的關係，將兩者的關係以生態評點的方式表示。經由個別污染物的生態評點累計加總，同時給予固定的單一數值。生態評點法已經能夠涵蓋所有衝擊類別，包括資源耗損與廢棄物棄置至掩埋場的過程。情形分配不同數值，再依各項準則所分配的數值乘以該項物質的負荷狀況，稱為環境負荷單位(Environmental Load Unit, ELU)，最後經加總過程即可量化整體環境衝擊。

● 特徵化

在選定衝擊類別的分類方法之後，便是要將各壓力因子予以特徵化，特徵化主要分析不同的壓力因子在各型態環境問題中之潛在衝擊，並量化成相同的形式

或是同單位的數量。而在特徵化的過程中，必須經過標準化(Normalization)的步驟以利加總，例如可將不同之溫室效應氣體之排放量轉化為 CO₂ 之當量來表示，或是將不同之致癌化學物的排放量，用相對之致癌風險值來代表。特徵化的方法可以應用在單一的衝擊類別之內，而無法用在不同的衝擊類別之間，並且只能針對單一的排放介質進行，例如空氣、水、土壤等介質。

● 評估結果評價

特徵化之結果主要為單一衝擊類別的值加總，但由於對於環境的整體衝擊是每個衝擊類別的綜合結果，因此必須給予各類別環境衝擊相對的權重，以得到整合性的衝擊指標，進而提供決策者較為完整的衝擊考量。不同的環境衝擊類別之間彼此並沒有特定的連結，也不易利用市場價格作為比較的基礎，目前較常用之方法如分析層級程序法(Analytic Hierarchy Process)、衝擊分析矩陣法(Impact Analysis Matrix)、條件評估法(Contingent Valuation)等。上列方法，都是針對人為主觀之價值判斷，在不違背理性邏輯思考的原則下，賦予一相對價值的權重。當權重確定之後，則可以將此權重結合特徵化的結果，得到綜合性的評價。

2.3.3 生命週期評估於地下水整治技術之應用

根據 Suer(2004)的文獻回顧，LCA 的原理最早應用於場址整治上是在 1997 年(Beinat et al., 1997)，當時是以 LCA 原理來減少整治技術的風險、評量其環境價值及成本。1999 年 Diamond 及其團隊提出了整治場址生命週期管理的架構及定性 LCA 衝擊評估的方法；而 Page(1999)將此架構應用於一個土壤遭受鉛污染的整治場址，以檢視整治過程產生的衝擊。Page(1999)首先畫出整治過程的流程圖，確認每個步驟的投入及產出，再將個別盤查項目連結到一個潛在環境衝擊表單。這個表單將環境衝擊轉換成物理性、化學性及生物性等壓力因子，而這些壓力因子則按照被關切的程度而排序；基本上，這些研究都是以定量的方法來評量不同的整治技術。

1999 年 Volkwein 等曾發展出一個結合簡約式生命週期評估及風險評估的決策工具。此工具將 LCA 的結果以 14 種衝擊類別呈現，每一個類別裡的數值都被標準化(normalization)以利詮釋，最後再將 LCA 的結果與風險評估的結果一併考量。

Volkwein 以此種決策工具探討三種整治方法：dig & haul、加瀝青蓋、加溫/生物整治，將其應用於被油污染之土壤所產生的衝擊。而 Toffoletto(2005)等則將回溯式 LCA 應用於加拿大魁北克的一個柴油污染場址。該場址係使用離地生物堆整治技術來處理污染土壤。此研究的主要目的是比較整治活動的整個生命週期中，在不同處理時間及法規標準達成率下，所產生的初級及次級衝擊；同時也探討污染土壤於場址內處理或運至處理廠處理的不同。研究結果顯示，生物整治過程中有數個步驟可以再最佳化以降低環境負荷。

Godin (2004)的研究係以 LCA 與地下水污染傳輸模式找出對整體環境衝擊最小的整治方法。其研究案例係分析四種整治方法(dig & haul、挖除/處理、挖除/水泥窯焚化及留置原處)於掩埋場的應用。其主要結論之一就是初級資料(場址特定資料)在 LCA 的研究中是必要的，因為場址特性對污染行為有顯著的影響。而 Cadotte(2007)也將 LCA 使用在土壤及地下水整治方法的選擇上。這個研究案例是一個位於魁北克土壤及地下水均遭受輕質非水相液體(LNAPL)污染的整治場址。研究中使用 LCA 比較四種整治方案的初級(殘留污染物造成的)衝擊及次級(整治活動本身造成的)衝擊，進而找出最佳的土壤及地下水整治組合。

LCA 最新的應用係將場址整治後的最終使用(即場址再利用的衝擊)納入考量，又稱為預測型 LCA(consequential LCA)。預測型 LCA 包含部分經濟模式，以量化場址回歸經濟市場後的利益。在此案例中，不同的再利用形式所造成的衝擊會超過整治活動本身所產生的衝擊，顯示土地再利用應納入 LCA 的整體評估中 (Lesage 2007)。

在過去 12 年裡，大多數的相關研究都是針對污染土壤的離地(ex situ)處理技術，只有幾篇論文有討論到地下水整治的 in situ 技術，尤其是最近常發生的重質非水相液體(DNAPL)污染整治技術幾乎都沒有探討。由於各整治技術的效能不同，這些研究的功能單位通常都設定為被處理的污染土壤(或地下水)體積，而非處理完成的體積，因此殘餘污染物所造成的初級衝擊評估更顯重要。然而絕大部分在評估初級衝擊時，都只針對土壤污染的部分，並未探討地下水污染或鄰近水體污染的衝擊。

根據過去對場址整治的研究，可歸納出柴油及電力消耗通常是導致環境衝擊的主要原因；另一個主要因素為交通運輸，尤其是離場處理的整治方式(Page 1999; Godin 2004; Ribbenhed 2002)。如果離場的污染土壤是運至掩埋場，則廢棄物的產生就成為重要的衝擊(Page 1999; Godin 2004)。此外，於處理地下水污染時，活性碳即成為明顯的環境負荷(Bayer and Finkel 2006; Vignes 2001)。Cadotte 等人(2007)針對抽出處理(pump and treat)、生物注氣法(biosparging)、化學氧化法及自然衰減法這四種不同地下水整治技術進行生命週期評估，經由盤查結果發現需要設井較多的技術，則會消耗較多的機具用油，且交通運輸需求較大的整治技術對於二氧化碳的排放也會升高，此四種技術中則是以化學氧化法所產生的污染排放較多，主要是因為在氧化作用過程產生而進入到空氣、土壤與地下水中。而比較此四種整治技術對環境所造成的衝擊，化學氧化法是其中對環境衝擊最大的技術，而影響最大的衝擊類別則是以造成生態毒性為主。

在功能單位的設定在於建立一參考基準，以比較在此基準下所消耗的能資源量，同時也能進行不同系統間的比較，目前並沒有一個明確的規範去設定一個系統的功能單位，以 ISO 的標準也只要求功能單位必須符合其目標和範疇即可(Morais & Delerue-Matos, 2010)。Diamond 等人(1999)建議在土壤與地下水整治的功能單位應該為所處理的土壤與地下水質量或體積；也有控制將功能單位設定為污染場址的總體積(Toffoletto et al., 2005)，或是將污染濃度降至規範要求所使用的能資源量(Cadotte et al., 2007)，而 Blanc 等人(2004)則是將功能單位訂定為處理至可接受之風險程度。

除此之外，過去的 LCA 研究很少討論時間因子。時間因子在場址整治上相當重要，因為在一定整治目標下，不同的整治技術所需要的時間均不相同，有些只要幾個小時，有些卻要花上幾年，不同的整治時間會造成不一樣的污染排放情境。Diamond 等人(1999)認為 25 年已足以評估長期的影響，Cadotte 等人(2007)所使用的時間邊界則是長達 300 年，主要是為了評估抽出處理與自然衰減法所使用，另外也有研究為了符合管制要求而針對短期的整治活動進行評估(Toffoletto et al., 2005; Blanc et al., 2004)。然而目前對於時間長短的設定仍取決於各研究的假設(Morais & Delerue-Matos, 2010)。

2.4 決策支援系統

2.4.1 決策支援系統概述

決策支援系統(Decision support system, DSS)主要的功能是進行管理決策上取決時，給予決策者一個較合乎科學以及理論的方法評估各管理決策與方案的優劣，另協助決策者使用資料及模式，以解決半結構化或非結構化的決策問題，同時對各管理決策與方案加以排序其優先順序，讓決策者可以決定較為妥適的管理模式。

其所強調的不是決策的自動化，而是「提供支援」。所以，決策支援系統可使決策者取得資料，並在解決問題的過程中，嘗試各種解決的方法。決策支援系統是一個有限的分析方法，他在某些限制條件的前提下，提出不同的解決方案以規劃出達成目標的路徑；是一種工具、資料、技術的結合，目的在幫助管理者作即興的決策，即興的意思是指在決策制定的過程中，由於情境的變化所需要的一些特定而無法事先預測的資訊(游建華，2003)。

在發展決策支援系統的過程中，必須在進行系統設計及定義的分析工作之前充分瞭解使用者的需求並清楚界定決策目標，以利後續的系統分析和設計工作的進行，且一個決策支援系統中之所有模式的觀念與原理必須讓使用者瞭解。決策支援系統之目的乃是在決策過程中輔助決策者進行決策，該決策程序可能需耗一段很長的時間，因此發展的決策支援系統必須能夠提供充分且足夠的資訊給予使用者或決策者作為參考。

另外，決策支援系統被設計成為一個輔助使用者或決策者產生替代方案與評選替代方案的交談式電腦系統，近年來多以物件導向(object-oriented)之方法來發展決策支援系統；物件導向之方法主要是將傳統決策支援系統中之使用者介面、資料庫以及模式庫予以串連。物件導向之方法是發展決策支援系統方法中之一個典範，近年來有很多決策支援系統的設計者都以此方法來設計其所需要的決策支援系統(Thierauf, 1988; Turban, 1990)。

綜合以上概念，決策支援系統能在確立執行的目標與範疇後，建立相關的資料庫，在某些限制條件的前提下，提出不同的解決方案以規劃出達成目標的路徑，

使決策者取得資料，並在解決問題的過程中，嘗試各種解決的方法，目的在提供決策者在決策方面的支援。

2.4.2 多準則決策分析

決策支援系統可以依決策者的需求採用各種不同決策方法工具，但是不論決策者所採用的決策工具方法為何，都需先建立「決策準則」，也就是先對決策準則加以規範及定義，同時做為決策工具運用時，評斷決策是否依照所定的目標進行分析，最常見的方法即多準則決策(Multi-criteria decision making, MCDM)，從字面上解釋就是同時考慮許多種準則或目標後所下的決策，而其以作業研究及管理科學為基礎發展至今已有 50 多年，且現在研究仍蓬勃發展。

由於傳統單目標規劃對於現實問題的描述與解決有其限制，因此造就了後續多目標規劃理論的發展。自二次世界大戰期間，作業研究崛起以來，將計量方法運用數學模式進行有系統的研究和分析，以解決人類多元社會複雜問題之趨勢日漸普遍。由於作業研究是針對特定問題，謀求問題的最佳解(optimal solution)，但在現代龐大且多元的社會當中，常因多個目標間之衝突以及資源具稀少性等因素之影響而甚難付諸實現。而所謂的作業研究乃結合系統分析、管理科學、決策科學此等領域的長處，期能有系統地發掘與化解實際生活中所面臨的難題，而多準則決策在儼然成為作業研究的另一領域 (廖宗慶，2006)。

一般來說，多準則決策可分為兩大領域：多目標決策 MODM(Multi-objective decision making) 及多屬性決策 MADM(Multi-attribute decision making)，分述如下。

● 多目標決策(MODM)

多目標規劃為一數學規劃模式，適用於替選方案為無限多且為連續性者，主要在尋找決策空間的效率解 (許志義，1994)。多目標決策乃由單一準則之賽局理論(Game theory)發展而來，1944 年 Von Neumann and Morgenstern 以賽局理論處理衝突之「兩難問題(prisoner's dilemma)」；1951 年由 Koopmans 提出向量的最適化之概念並為多目標決策奠下發展基礎；同年，Kuhn and Tucker 提出 vector optimal，並導出非劣解存在之條件；1955 年 Charnes and Cooper 發展出目標規劃法(goal programming)；1963 年 Zedeh 以權重法求解，從此以後多目標決策便有更廣泛之

發展(洪明龍，2006)。

多目標規劃方法依其求解的方法可分成三類：(1)無偏好多目標規劃法，如：非劣解集合估計法 (Noninferior Set Estimation Method；NICE)、權重法 (Weighting Method)、 ϵ -限制法 (ϵ -constraint Method) 及多目標單形法 (Multiobjective Simplex Method；MS)等；(2)有偏好多目標規劃法，如：滿意解與目標規劃、妥協規劃法、效用函數法、模糊規劃等；(3)互動多目標規劃法，如：逐步法、季高林法等(許志義，1994；洪明龍，2006)。

多目標決策法彌補了許多傳統單一目標規劃的問題，其對問題的解決提供三個改善方向：

- (1) 多目標決策促使在規劃與決策過程中，使各不同參與者之角色，均能作充分與適當的考慮。
- (2) 使用多目標決策方法時，有可能提出更多更廣泛的方案，並加以考慮於決策規劃中。
- (3) 當多個目標能被同時考慮時，任何模型或問題，才可變得更實際。

● 多屬性決策(MADM)

多屬性決策方法為決策者在多個質化及量化的評估準則下，對一組有限且數目不大的已知替代方案進行評估，以決定各個替代方案的優劣排序或是建議執行的順序。而其中的最佳方案則是經由各個解決方案中的評估屬性相互抵換 (trade-offs)而獲得。

一般的多屬性決策方法針對資訊獲的類型可分成以下三大類：(1)資訊類型為無法獲得決策者的偏好：其主要的方法為絕對優勢法(Dominance)；(2)資訊類型為可獲得決策者對屬性的偏好，又可依其資訊的顯著特徵分為悲觀的與樂觀的兩種：悲觀特徵所對應的方法為小中取大法 (Maximin)，樂觀特徵所對應的方法為大中取大法 (Maximax)；(3)資訊類型為可獲得決策者對環境的偏好，依其資訊的顯著特徵分為標準的水準、序數和基數三種：標準的水準特徵其對應的方法為連結法 (Conjunctive method) 與分離法 (Disjunctive method)，序數特徵所對應的方法為辭彙法 (Lexicographic method elimination by aspect) 與排列組合法 (Permutation

method)，基數特徵所對應的方法有六種：為簡單加權法 (Simple additive weighting)、權重乘積法 (Weighted product)、層級分析法 (AHP)、TOPSIS、ELECTRE 與中位數排序法 (Median ranking method)。

在第三類資訊類型為可獲得決策者對環境的偏好資訊當中，又以層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 最為廣泛應用。詳述如下。

● 層級分析法

層級分析法(AHP)是屬於多準則決策方法(MCDM)中，多屬性評估方法之一種，它是由 Thomas L. Saaty 於 1971 年首度提出，主要應用在不確定情況下及具多數個評估準則的決策問題上(鄧振源、曾國雄，1989)，其發展的目的，在於將不同的層面給予層級分解，並將複雜問題系統化，藉由透過量化的判斷，覓得脈絡後加以綜合評估，在層級式架構下逐一剖析在決策目標下的各項要素與其相關性，並藉評比出各要素的相對重要性與其實際應用上對總目標的貢獻，以提供決策者選擇適當方案的充分資訊，同時減少決策錯誤的風險性，常被用來提供決策者進行規劃評估之依據(洪明龍，2006)。

AHP 方法的基本假設，主要包括下列九項(鄧振源、曾國雄，1989)：

- (1) 一系統可被分解成許多種類(classes)或成分(components)，並形成有向網格的層級結構。在進行 AHP 運作時，首要必須針對問題進行描述，對於問題所處之系統應加以詳述分析，將可能影響問題之要素均納入問題中，同時決定問題之主要目標。
- (2) 層級結構中，每一層級的要素均假設具獨立性(independence)。
- (3) 每一層級內的要素，可以用上一層級內某些或所有要素作為評準，進行評估。屬性間的層級關係，必須仰賴決策者對問題的經驗及了解，因此層級結構並非是不變的，不同決策者在面對同一個問題時，通常會建構出二種不同的層級。而即使在同樣的層級結構之下，對準則的偏好程度不同，亦會產生不同的結果。此時，則必須透過群體協商來達到層級結構與評價的共識。
- (4) 比較評估時，可將絕對數值尺度轉換成比例尺度 (ratio scale)。
- (5) 成對比較(Pairwise comparison)後，可使用正倒值矩陣(Positive reciprocal matrix)

處理。

- (6) 偏好關係滿足遞移性。不僅優劣關係滿足遞移性(A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C)，同時強度關係也滿足遞移性(A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍)。
- (7) 完全具遞移性不容易，因此容許不具遞移性的存在，但需測試其一致性(Consistency)的程度。Satty 採用 $(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ 作為 C.I. 的值，C.I. = 0 表示前後判斷完全具一致性，而 C.I. > 0 則表示前後判斷不連貫，C.I. ≤ 0.1 為可容許的偏誤。隨機矩陣與 C.I. 的比值為一致性比率(Consistency Ratio, C.R.)，通常 C.R. 值小於 0.1 為可接受的矩陣(洪明龍，2006)。
- (8) 要素的優勢程度，經由加權法則(Weighting Principle)而求得。
- (9) 任何要素只要出現在階層結構中，不論其優勢程度是如何小，均被認為與整體評估結構有關，而非檢核階層結構的獨立性。

一般多準則決策方法之結果皆可對可行方案評估其可行性順序，但對同一地區存在具多爭議性的計畫方案及解決爭議的方式則無涉及，AHP 法在計算各要項(如準則間、目標間)之重要性時，其結果必須經過一致性檢定，較有理論基礎且具客觀性。AHP 在實際應用上的優點有(洪明龍，2006)：

- (1) 利用成對比較方法可引出個人對準則的判斷，並可綜合成準則相對優先值。
- (2) 屬於團體決策方法，個人的判斷可透過協商成團體意見或透過幾何平均數的處理而成團體判斷。
- (3) 可處理複雜、多層級的問題。
- (4) 是一種值衡量理論，當存在絕對值時，AHP 亦能產生相同的結果。

現實生活之環境問題需考慮許多面向，如環境、經濟、社會及技術等層面，在環境管理決策問題上，決策者常須考慮到環境及社經條件，以多目標規劃方式進行求解是常用方法之一，通常模式之建立僅由分析者或是決策者決定，但為減少衝突發生及周延考慮各方意見，模式之建立亦應包括利害關係人之意見，而在環境問題中之利害關係人除政府外，尚包括專家學者、環保團體、及民間業者等，但由於決策者所關心之準則本身，往往具有質化及量化特性，而傳統之多目標求

解方式大多僅能處理量化數據，最後導致求解過程中遭受許多限制，質化屬性評估必須量化為數值才能進行分析，而且在各專家學者設定的因子權重上，也會因各人偏好的不同而有所差異，傳統之 AHP 法並無法符合現實需要，故有研究便結合模糊理論，以解決傳統 AHP 法無法考慮極端值之缺點，使之反映可能權重值的全部狀況(洪明龍，2006)。

模糊集合理論(Fuzzy Set Theory)為 Zadeh 於 1965 年提出，用以處理事件範圍模糊不清(vagueness boundary)的問題。在普通集中 A 中，元素 x 只允許屬於或不屬於 A 之狀態，即其特徵函數只取 0, 1 二值。而 Zadeh 推衍了普通集合的概念，允許元素 x 在屬於與不屬於之間存在中間介態，以隸屬函數表示之。因此，若為一個模糊數，則其隸屬函數乃為從實數映到 $[0, 1]$ 的連續函數。Kaufmann 於 1975 年提出模糊數，使得模糊理論更加豐富，模糊數是一種主觀的基本量，是一種評估，而非量測，主要探討現象之可能性(possibility)而非機率(probability)。Dubois 與 Prade 曾對模糊數加以定義，認為隸屬函數為連續函數、隸屬函數為一凸模糊集合、並且存在一實數能使得隸屬函數值為 1。凡滿足以上性質者，便稱為模糊數(洪明龍，2006)。

第三章、綠色整治決策支援系統之建立

摘要

本計畫之評估範疇包含整治過程中器材生產、運輸、現地施工、整治操作過程內所有資能源的投入與污染物、廢棄物的排放，評估對環境造成的衝擊及人體健康的影響。在最受關注的健康衝擊方面，以傳統多介質健康風險評估方法輔以 RBCA 第二層次評估尺度，估算個整治技術執行時的健康風險；關於其他評析因子，包括生態毒性、溫室效應與資源消耗等衝擊項目，則以生命週期衝擊方法 ReCiPe 與 TRACi 量化各項衝擊因子。最後透過問卷調查比較各項衝擊項目對應因子之權重，以綜合求得不同整治技術對環境與人體健康造成的衝擊總分；以此作為指標，選取最符合綠色整治概念的地下水整治技術。

3.1 決策支援系統架構

本計畫主要目標在於建置綠色整治決策支援系統，期望透過此系統之建立，篩選出最符合綠色整治之技術，以作為未來政策上的參考。現行綠色整治的概念中，環境與生態的衝擊為主要考量方向；然而以環境管理的整體角度而言，整治過程可能造成的人體健康危害是一項必須考量的因子，有必要評估整治技術的實際操作過程中所導致人體健康上的風險；因此，本計畫所建立之綠色整治決策支援系統，以美國 Superfund 綠色整治政策行動為基礎，整合生命週期評估與健康風險評估兩種方法作為評估工具，並透過決策方法找出對於環境衝擊、人體健康、資源消耗及生態衝擊影響最小之地下水整治技術。

表 3.1-1 比較本年度計畫與美國 Superfund 綠色整治政策行動所涵蓋的研究內容。完整的綠色整治系統包括制度法規、評估方法與管理規範的建立，評估及管理對象涵蓋整治活動的生命週期，即場址調查、場址整治、土地復育利用，以及所投入使用之設備物質的供應鏈。本計畫的重點為評估方法的建立，以場址整治階段的技術選擇為決策選項，透過決策支援系統估計各整治技術對各項環境衝擊項目的影響程度。將來可以本決策系統為骨幹，逐步擴充進而建立完整的綠色整治系統。

圖 3.1-1 說明本計畫所建立之決策支援系統的內容，以建立整合式之衝擊評估方法為主。其中，生命週期評估考量整治過程中，各階段的能源與資源的消耗對環境所造成的衝擊與影響，而健康風險評估方法則用以評估人體健康衝擊。以生命週期評估與健康風險評估針對評選方案進行評估的結果，在本決策架構將其量化為各項衝擊的分數，再結合各因子權重，以求得不同整治技術對環境與人體健康造成的衝擊總分；衝擊總分可進一步作為指標，以選取最符合綠色概念之地下水整治技術。完整的評估準則涵蓋環境、經濟、社會等多個面向的影響，據以提出優先決策建議，但因本計畫之年度目標著重於綠色整治技術對環境的影響評估，故以環境面之準則為主。

表 3.1-1 本計畫與 Superfund 綠色整治政策行動之比較

	Superfund	本計畫
政策與指引發展	Key Action 1 釐清綠色整治於整治方案選擇與執行時扮演的角色	
資源發展與計劃執行	Key Action 2 發展指引與工具幫助執行者與管理者進行綠色整治	
	Key Action 3 定義綠色整治執行考量因子	以『永續整治技術論壇』(SURF)提出的永續整治技術中環境面準則為基礎，建構適用的評估準則與方法
	Key Action 4 盤查汙染排放	利用實地盤查，對於無法調查之資料以現有之評估資料庫作為資料來源
	Key Action 5 發展指引估算與綠色整治應用之驗證	透過實地盤查，建立相關能資源耗用與汙染排放之資料庫
	Key Action 6 建立規範	以此決策系統作為未來政策制定的參考依據以及規範之發展基礎
	Key Action 7 分享經驗與傳承	
計畫評估	Key Action 8 建立計劃層級的評估範疇	以建立決策支援系統作為綠色整治之評估工具
	Key Action 9 估算汙染場址環境足跡	以生命週期評估方法作為主要工具，並整合健康風險評估以評估環境足跡

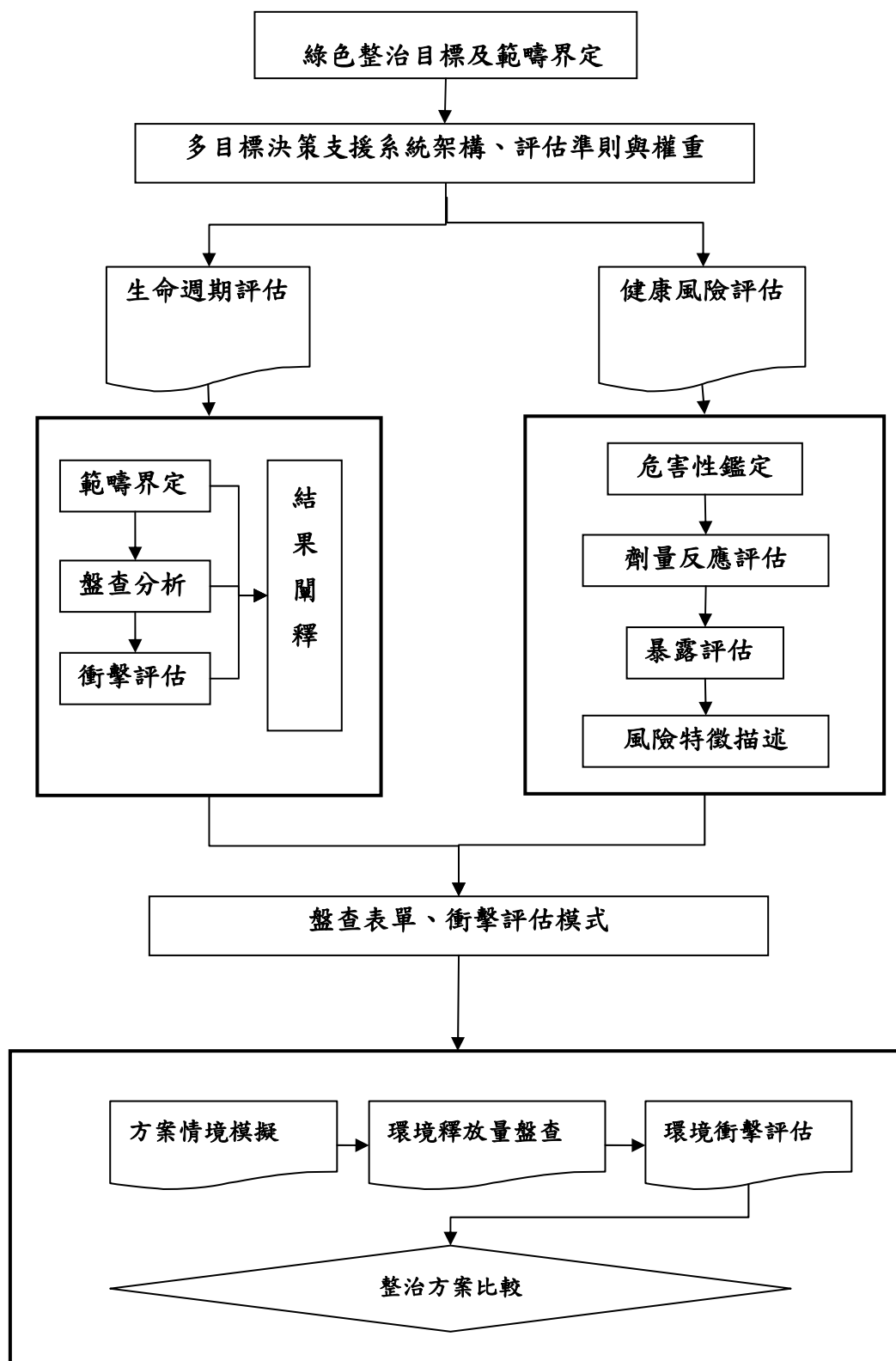


圖 3.1-1 本計畫綠色整治評估流程圖

本計畫之目標著重於綠色整治技術對環境的影響評估，故以環境面之準則為主要評估依據，其所建置之決策支援系統架構如圖 3.1-2 所示，主要分成三大部分：系統內建資料庫、使用者輸入與結果輸出。

本計畫主要工作為建置系統內建資料庫，在系統內建資料部分，由於本計畫建置之決策支援系統利用模糊多準則決策分析建立 12 項環境衝擊權重，並以生命週期評估與健康風險評估為主要的評估方法，因此需要彙整與其配合的資料與數據。此資料庫主要彙整三種類型之資料：

第一類資料針對評估環境衝擊的項目篩選，是以『永續整治技術論壇』(SURF) 提出的永續整治技術中環境面準則為基礎，建構適用的評估準則，共 12 項準則，然而每一項準則對於地下水整治過程所造成的環境影響具有不同的比重，因此本計畫特別利用專家學者問卷調查的方式，彙整不同領域的專家學者給予此 12 項準則的權重值，訂定出本計畫建置之決策支援系統各準則的權重值。相關內容詳述於 3.2 節。

第二類資料為風險評估參數，包括化學物質的毒理及物化資料、受體暴露情境及暴露因子。由於本決策系統採用健康風險評估方法作為評定整治技術對人體健康造成的危害，故須彙整與污染物質有關以及與受體暴露有關的參數。相關內容詳述於 3.3 節。

第三類資料為生命週期衝擊評估之量化數據。由於本決策系統採用生命週期評估方法作為評定整治技術對環境的衝擊程度，主要考量的方式為估算各種能資源的使用量與物質能量的排放以量化對環境的衝擊大小，故需蒐集相關的生命衝擊方法，並將其採用之參數進行彙整。整治技術有多種不同的類型，難以將所有技術所使用的能資源均考量在內，故本計畫將針對常用的整治技術進行盤查，找出在整個整治過程中可能使用的能源與資源類型，再以生命週期衝擊方法評估相對應之衝擊項目，建立每單位能資源使用量所產生的衝擊量，以方便未來使用者輸入能資源之實際使用量，即可推算出其對環境的衝擊程度。相關內容詳述於 3.4 節。

對於本次計畫彙整之資料庫，並無法完整涵蓋所有的資訊，目前只針對案例

的場址資訊以及常用的整治技術進行盤查，未來若有更完整的場址資訊及其他技術的盤查數據，則可再擴充至本系統之資料庫當中，以期能達到全面適用的地步。

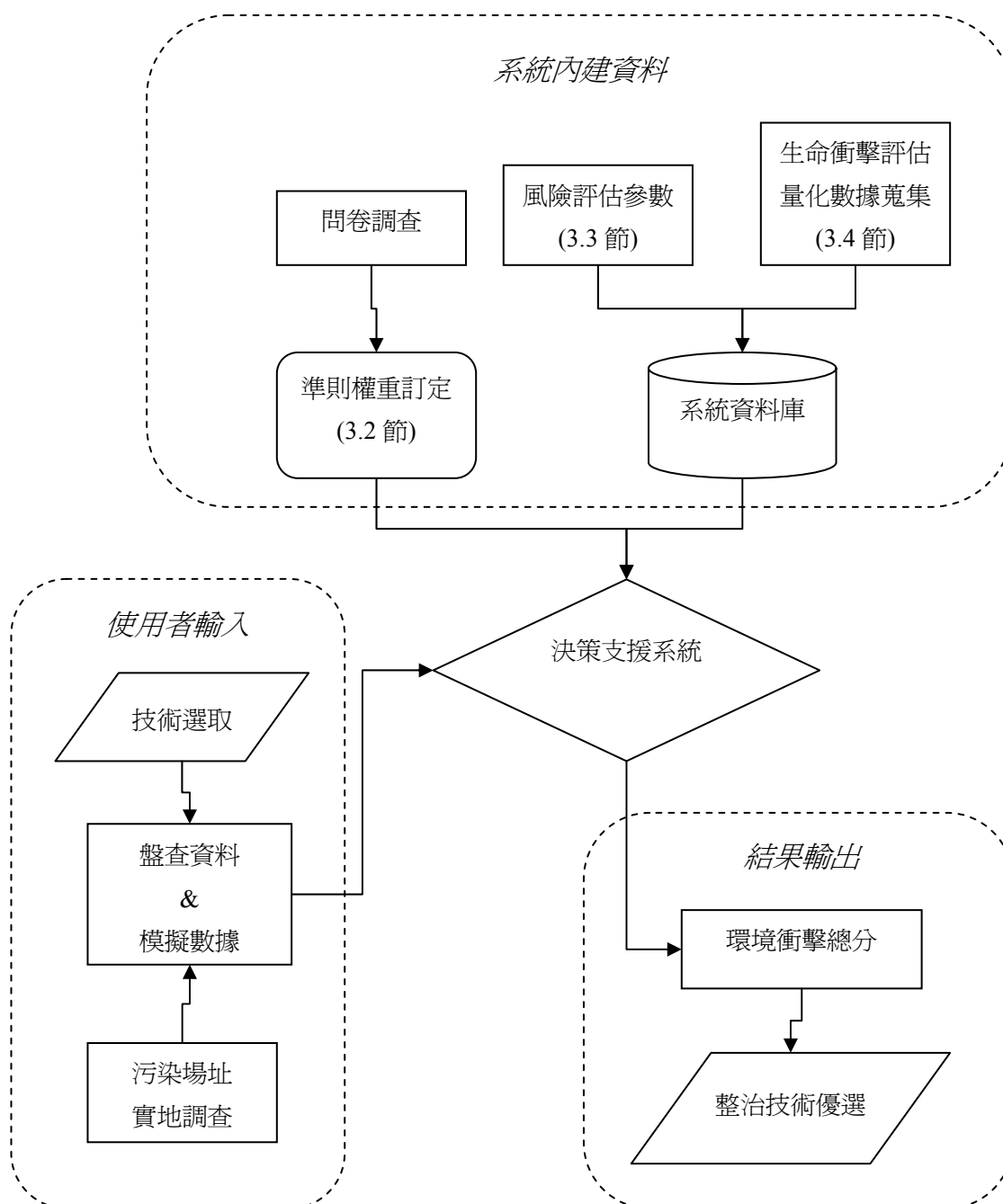


圖 3.1-2 本計畫綠色整治決策支援系統架構圖

決策支援系統第二部分為使用者輸入，分為實場監測現況及預期未來的變化與發展，實場監測包括水文、地質、土地再利用型態等；各個污染場址的特性不同，對評估結果影響很大。預期變化與發展則依使用者欲評估之整治技術進行相關數據之輸入，因此使用者必須先選出欲比較之整治技術，其次針對各別的整治技術進行相關能資源使用量、污染排放量等進行相對應的盤查與預估；將各個技術之盤查數據輸入至本計畫建置之決策支援系統中，則可量化 11 項環境衝擊。對於健康風險的量化，則是透過傳輸模式，模擬場址整治濃度變化，以推估受體之暴露劑量，計算出風險值。本計畫挑選一污染場址作為案例評估對象，並以此案例之實地參數展示本決策支援系統建立之結果與成效，未來對其他場址進行評估時，亦可將相關之調查數據納入，以加強資料庫之實用性。

第三部分為結果輸出，透過本計畫建置之決策支援系統，估算出各評估準則的衝擊量化數據，配合專家學者訂定之權重，計算出整治技術對環境的衝擊分數，故使用者在輸入某一整治技術之相關數據後，即可得到此一整治技術最後的評分。對於單一整治技術而言，使用者可以藉由改變能資源的使用量，來判斷其對環境的衝擊，例如若使用者欲增加一台抽水機以加快整治速率，則可在抽水機的能資源使用量上輸入兩倍的數據，最後則可在各準則的分數上清楚看出增加的能資源會產生何種環境衝擊；而輸入多個整治技術之數據，則可進行各整治技術間的比較，以利使用者選擇出較為綠色的整治技術。

本計畫建立之決策支援系統，彙整生命週期評估與健康風險評估所需的參數資料，將其以資料庫形式建置，並透過問卷調查專家學者對各準則的權重，作為後續綠色整治技術選取之評估依據；此系統期望藉由資料庫及權重的設定，讓使用者自行輸入整治技術之盤查資料與濃度模擬結果，能透過系統的運算，各準則所評估的環境衝擊量，以利使用者評選較為綠色之整治技術方法。

3.2 多準則權重訂定

本計畫之模糊多準則決策分析架構如圖 3.2-1 所示，執行步驟如下所述：

1. 確立整治目標

本計畫以建立「綠色整治技術決策支援系統」為主，探討以多準則決策方式來決定地下水整治最佳方案，以尋求最符合綠色整治概念之地下水整治技術與措施。

2. 界定準則因子

評估項目的篩選上，本計畫以『永續整治技術論壇』(SURF)提出的永續整治技術中環境面準則為基礎，建構適用的評估準則與方法。如表 3.2-1 所示。SURF 所提出的環境面評估準則中，關注整治工程的生命週期相關污染物排放與能資源耗用，針對此類準則，運用生命週期評估加以量化不同整治技術之衝擊。另就土壤地下水整治的人體健康與安全議題，考量整治技術之目標污染物與場址特定性，本計畫則是規劃另外運用健康風險評估以量化目標污染物之衝擊，惟其他生命週期階段的污染物排放所導致的毒性衝擊，仍是採用生命週期評估為評估方法。

美國所建立之 SiteWise 及 SRT 評估系統，主要著重在運輸、整治場址建置、開挖與設備操作過程，盤查其所消耗的油料、電力等，以推估二氧化碳與空氣污染物的排放量。SRT 呈現的盤查結果分為五大項目：氣體排放、經濟成本、能源消耗、安全和意外風險及土壤和地下水的資源改變量，經濟成本估算則著重在設備與員工的經費，能源消耗則是盤查整治過程各種機具所使用的石油、柴油量與各種燃料使用量，並進一步去估算這些機具的空氣污染物排放量，其中這些氣體排放又細分為 CO₂、SO_x、NO_x 及 PM₁₀ 各別的排放量，以此作為環境衝擊的評估準則，風險則是評估工安方面的危害機率；SiteWise 的最終評估結果分為四大項目：氣體排放、能源使用量、用水量及意外風險，其中氣體排放個別計算溫室效應氣體(GHG)、SO_x、NO_x 及 PM₁₀ 的排放量，能源使用量同樣是盤查整治過程各種機具所使用的石油、柴油量與各種燃料使用量，並估算這些機具的空氣污染物排放量，而意外風險為分別計算致死風險及受傷風險，主要為工安上的意外風險

估算。兩組評估軟體均將空氣污染物的排放、資能源耗用及意外風險列入結果呈現。

而本計畫不只考量上述要點，還將範疇擴大至上游的原料生產階段，且考量的不只有空氣污染的影響，同時涵蓋生態毒性、水資源耗用、資能源耗用等評估準則，其所考量的範圍更廣。唯在整治過程的成本分析上是本計畫未考量的範疇，期能在後續的研究中持續進行並加強。

3. 可能方案提出

由地下水整治項目探討可行之綠色整治評估方案初步假設，本計畫將針對選取目前國內常用之地下水整治技術作為方案，進行多準則決策分析。

4. 多準則決策分析

本計畫應用多準則決策(MCDM)方法中之層級分析法(AHP)，進行地下水整治技術準則權重之分配，藉由專家問卷調查地下水整治技術評估準則之相對重要性，以求得相對權重(relative weight)。為綜合客觀地處理眾多專家學者的評比結果，係應用模糊數的概念處理各目標準則的權重，將諸位專家的判斷結果一併考量，使之反映可能權重值的全部狀況。

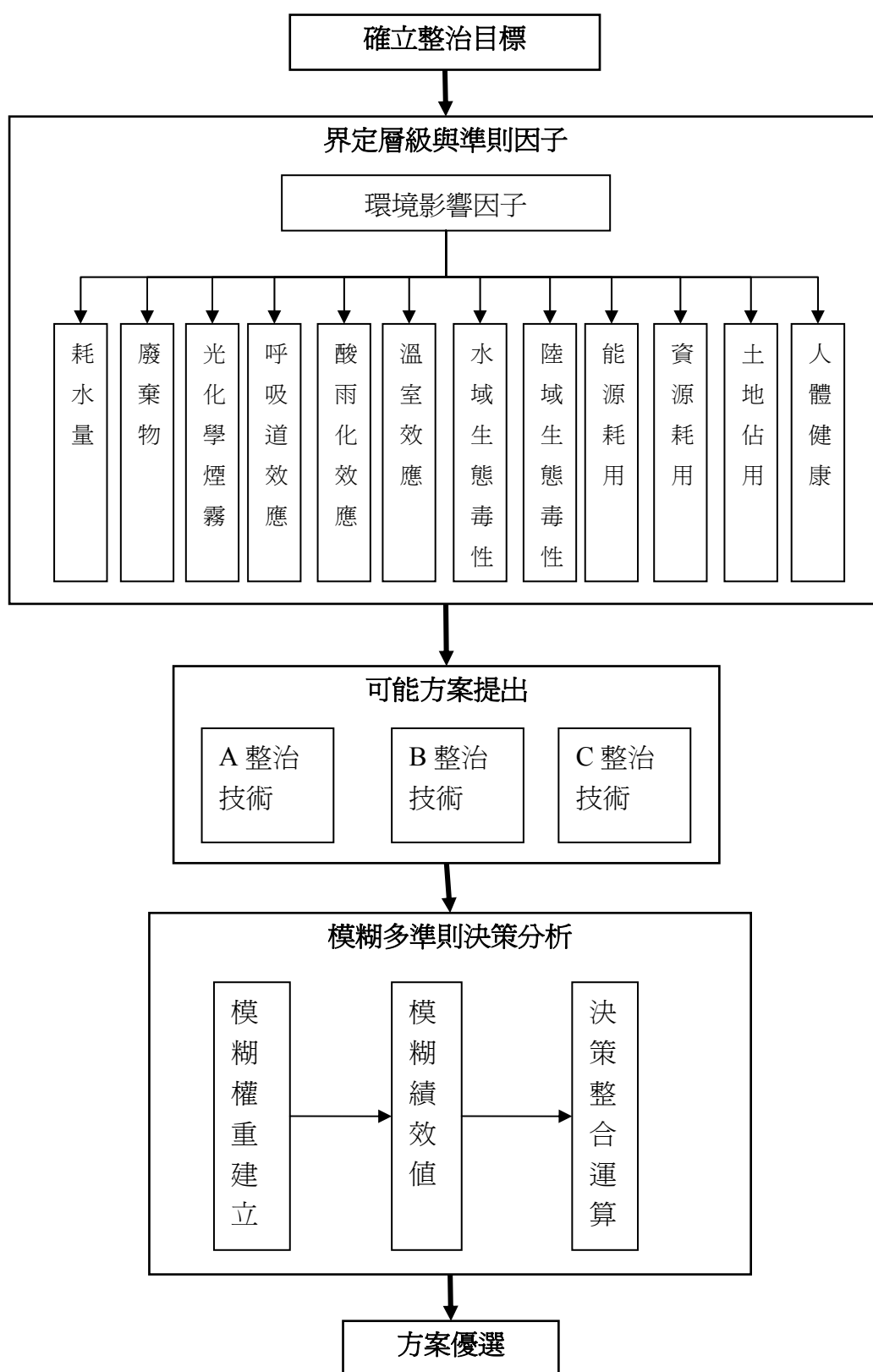


圖 3.2-1 多準則決策分析流程圖

表 3.2-1 綠色整治技術評估策略之準則因子定義

準則因子	評估指標	評估方法	SURF環境面 評估準則
耗水量	水資源耗用量	生命週期評估	水資源耗用
廢棄物	廢棄物產生量		物質資源耗用/廢棄物產生最小化
光化學煙霧	氮氧化物當量 NO _x (air eq)		空氣污染物
呼吸道效應	小於2.5μm粒狀污 染物當量 (PM _{2.5} air eq)		空氣污染物
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq)		土地與生態系
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq)		空氣污染物
水域生態毒性	潛在物種消失比 率(PAF · M ₃ · day)		土地與生態系
陸域生態毒性	潛在物種消失比 率(PAF · M ₃ · day)		土地與生態系
能源耗用	油當量(Oil-eq)		能源效率
資源耗用	鐵礦當量(Fe-eq)		物質資源耗用/廢棄物產生最小化
土地佔用	土地佔用面積		土地與生態系
人體健康	致癌機率 危害商數	健康風險評估	人體健康與安全 長期環境保護復育

而多準則決策之建立步驟如下：

(1) 準則權重建立

由於傳統 AHP 方法只能反應該目標重要程度的一部份，利用算數平均數或幾何平均值也只反映該準則可能權重值的一部份，為綜合客觀地處理眾多專家學者的評比結果，本研究應用模糊階層分析法(Fuzzy AHP)將專家學者的判斷結果一併考量，使之反映可能權重值的全部狀況，以避免極端值被忽略之情形發生。

針對專家學者以 AHP 問卷方式調查各利害關係人對評估準則之偏好，包含政府單位(環境、工程)、專家學者(環境、工程)與業界(環境、工程)人員。在準則權重建立方面，本計畫亦針對相關利害關係人(產、官、學)以 AHP 問卷方式調查各利害關係人對次目標影響因子、評估準則之偏好。

AHP 進行評估的方式，以成對比較方式進行評估，而評估過程中之評估尺度的劃分，採用名目尺度(Nominal Scale)方式進行比較，此名目尺度總共區分為由「同等重要」至「絕對重要」九個等級，再分別給予評點比重從 1 至 9(表 3.2-2)。AHP 主要對每一層級要素進行兩兩相互比較，藉由重要性的強弱不同給予不同權數，來了解評估者自身主觀的看法。

首先將專家學者所填畢之問卷結果(問券回覆詳附錄二)，建立成對比較矩陣，當有 n 個準則要進行比較時，需進行 $n(n-1)/2$ 次的成對比較，成對比較時之數值分別為 $1/9, 1/8, \dots, 1/2, 1, 2, \dots, 8, 9$ 。本計畫建立之準則共 12 項(詳見表 3.2-1)，分別以兩兩準則進行比較，以耗水量與其他準則比較為例(表 3.2-3)，若專家學者認為耗水量之重要性大於廢棄物的產生，且為稍重要，則在左側 3 的位置畫記，其數值記為 3；若認為光化學煙霧的排放之重要性大於耗水量，且為稍重要，則在右側 3 的位置畫記，其數值記為 $1/3$ 。如此兩兩比較將各準則間之重要性以數值方式紀錄，以建立成對比較矩陣。

表 3.2-2 AHP 評估尺度意義及說明

評估尺度	定義	說明
1	同等重要 (Equal Importance)	兩比較方案的貢獻程度據同等重要性
3	稍重要 (Weak Importance)	經驗與判斷稍微傾向喜好某一方案
5	頗重要 (Essential Importance)	經驗與判斷強烈傾向喜好某一方案
7	非常重要 (Very Strong Importance)	實際顯示非常強烈傾向喜好某一方案
9	極重要 (Absolute Importance)	有足夠證據肯定絕對喜好某一方案
2,4,6,8	相鄰尺度之中間值 (Intermediate values)	需要折衷值時

表 3.2-3 權重問卷節錄

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧

成對比較矩陣為將權重問卷之結果整理為矩陣之形式，將各個準則比較之結果，置於成對比較矩陣 **A** 的上三角形部分，而在主對角線為準則自身的比較，故均為 1，下三角形部分的數值，為上三角形相對位置數值的倒數，成對比較矩陣之形式如下所示：

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

其中 $a_{ii} = 1, i = 1, 2, \dots, 12$

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}, i, j = 1, 2, \dots, 12$$

建立完比較矩陣後，即可透由數值分析中常用的特徵值(Eigen value)解法，找出特徵向量值，進而求出各層級要素的權重。各準則所形成之矩陣，即為成對比較矩陣之特徵向量(Eigen vector)，一般而言，AHP 法在計算向量值時，是採用行向量平均值標準化法來計算，其計算方式如下：

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, i, j = 1, 2, \dots, 12$$

本計畫所發出之問卷數為 60 份，目前已回收 36 份，回收率約為 60%。

在成對比較矩陣內之數值，為專家學者依主觀所下之判斷值，但由於判斷的準則眾多，使得填表之專家學者在兩兩比較的判斷下，較難達成前的一致性。因此必須對成對比較矩陣進行一致性檢定，檢查回答所構成的成對比較矩陣，是否為一致性矩陣，若每一成對比較矩陣的一致性程度均符合所需，則尚需檢定整個層級結構的一致性。

Saaty(1980)建議以一致性指標(Consistency Index, C.I.)來表示與一致性的接近程度，其定義如下式：

$$C.I. = \frac{\lambda' - n}{n - 1}$$

當成對比較矩陣為一致性矩陣時，其所解的特徵值 λ 即為評估之準則數 n (Saaty, 1980)，然而人類的心智有時會有所謂的矛盾現象，要完全達成一致性是很不容易的，因此成對比較矩陣並不一定為一致性矩陣，藉由計算各專家學者所給予的成對比較矩陣之特徵值 λ' 與準則數 n 之差異程度來做為判斷資料是否具一致性的評估準則。若決策者前後判斷具一致性，則 $\lambda' - n = 0$ ，即 $C.I. = 0$ ，而 $C.I. > 0$ 即表示評估結果前後不一致，Saaty 建議 $C.I. \leq 0.1$ 為可容許的偏誤。

藉由上述之一致性檢定步驟，將回收之問卷進行權重結果的一致性檢定，在回收的 36 份問卷中，共 20 份符合一致性(表 3.2-4)，其權重計算結果如表 3.2-5 所示。而為了將各專家學者之意見考量至權重計算中，故本計畫採用模糊理論進行權重的設定。模糊權重矩陣之建立如下所示：

$$\begin{aligned} W_j &= [w_{jt}, w_{jm}, w_{jr}], j = 1 \sim m \\ w_{j1} &= \min[w_{jk}], \forall j, k = 1 \sim p \\ w_{jm} &= \begin{cases} \text{geomean}\{w_{jk}\}, \forall j, k \text{ if all } w_{kj} \neq 0 \\ \text{average}\{w_{jk}\}, \forall j, k \text{ otherwise} \end{cases} \\ w_{j1} &= \max[w_{jk}], \forall j, k = 1 \sim p \end{aligned}$$

其中 m 為準則個數

p 為專家個數

w_{jk} 代表專家 k 給予準則 j 之權重值

w_{j1} 代表所有專家給予準則 j 之最小權重值

w_{jm} 代表所有專家給予準則 j 之幾何(算數)平均權重值

w_{jr} 代表所有專家給予準則 j 之最大權重值

模糊權重矩陣同時考量各權重的最大值、最小值與幾何平均值，以包含所有專家學者之意見，其結果如表 3.2-6 所示。

表 3.2-4 問卷份數統計

	總數	學術界	產業界	政府單位
總回收數	36	17	13	6
過一致性檢定數	20	11	6	3

表 3.2-5 各問卷權重計算結果

編號	準則項目											
	耗水量	廢棄物	光化學煙霧	呼吸道效應	酸雨化效應	溫室效應	水域生態毒性	陸域生態毒性	能源耗用	資源耗用	土地佔用	健康風險
1	0.06	0.05	0.05	0.07	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.36
2	0.11	0.03	0.05	0.07	0.12	0.19	0.04	0.05	0.19	0.02	0.01	0.12
3	0.01	0.02	0.05	0.05	0.04	0.04	0.23	0.23	0.02	0.02	0.04	0.23
4	0.08	0.12	0.03	0.05	0.05	0.04	0.12	0.12	0.07	0.06	0.07	0.17
5	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.10	0.13
6	0.05	0.05	0.05	0.11	0.06	0.05	0.16	0.18	0.06	0.05	0.02	0.16
7	0.03	0.03	0.03	0.17	0.03	0.07	0.10	0.12	0.03	0.03	0.05	0.28
8	0.05	0.11	0.02	0.03	0.03	0.08	0.13	0.13	0.09	0.10	0.04	0.20
9	0.11	0.07	0.02	0.10	0.02	0.03	0.12	0.04	0.07	0.03	0.02	0.38
10	0.04	0.18	0.08	0.08	0.02	0.05	0.12	0.12	0.05	0.05	0.01	0.21
11	0.05	0.03	0.07	0.05	0.11	0.13	0.08	0.10	0.07	0.07	0.04	0.21
12	0.01	0.06	0.13	0.25	0.04	0.05	0.10	0.08	0.02	0.03	0.02	0.22
13	0.05	0.10	0.05	0.09	0.08	0.08	0.14	0.14	0.06	0.06	0.05	0.10
14	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.02	0.21	0.20	0.05	0.05	0.05	0.15
15	0.05	0.03	0.09	0.09	0.10	0.13	0.09	0.10	0.04	0.05	0.03	0.19
16	0.08	0.02	0.04	0.16	0.04	0.09	0.04	0.04	0.09	0.09	0.01	0.30
17	0.05	0.07	0.03	0.04	0.03	0.12	0.16	0.17	0.09	0.05	0.04	0.15
18	0.11	0.03	0.03	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.09	0.03	0.16
19	0.05	0.02	0.02	0.21	0.14	0.03	0.07	0.10	0.03	0.02	0.10	0.21
20	0.01	0.09	0.04	0.04	0.04	0.09	0.07	0.07	0.21	0.19	0.02	0.14

表 3.2-6 全體準則權重值

準則項目	最小值	平均值	最大值	排序 (以平均值計)
耗水量	0.013	0.055	0.131	10
廢棄物	0.018	0.058	0.200	8
光化學煙霧	0.018	0.050	0.143	11
呼吸道效應	0.032	0.091	0.290	4
酸雨化效應	0.026	0.062	0.164	7
溫室效應	0.026	0.075	0.220	5
水域生態毒性	0.041	0.114	0.261	2
陸域生態毒性	0.043	0.114	0.261	3
能源耗用	0.021	0.069	0.240	6
資源耗用	0.021	0.058	0.217	9
土地佔用	0.013	0.037	0.119	12
健康風險	0.118	0.218	0.433	1

以平均值來看，各專家學者所訂定之權重，最大的準則為健康風險，其次為水域與陸域生態毒性，權重最小的準則分別為光化學煙霧、資源耗用與土地佔用。

本次問卷填寫對象分成產、官、學三大族群，以學術界的專家所制定的權重來看(表 3.2-7)，權重最大的準則為健康風險，其次為陸域與水域生態毒性，權重最小的準則分別為酸雨化效應、耗水量與土地佔用。以產業界的專家所制定的權重來看(表 3.2-8)，權重最大的準則同樣為健康風險，其次為水域與陸域生態毒性，權重最小的準則分別為廢棄物、土地佔用與光化學煙霧。而政府單位所制定的權重來看(表 3.2-9)，權重最大的準則同樣為健康風險，其次為水域與陸域生態毒性，權重最小的準則分別為資源耗用、耗水量與廢棄物。各準則平均權重之高低比較如圖 3.2-2 所示，由此可發現以產、官、學界的專家均認為健康風險為主要的需考量的準則，而生態毒性亦為重要的準則，故本計畫將健康風險評估方法整合至一般的生命週期評估當中，符合各界專家學者的考量，亦為本計畫重要的創新點之一。

表 3.2-7 學術界模糊權重值

準則項目	最小值	平均值	最大值	排序 (以平均值計)
耗水量	0.015	0.051	0.131	11
廢棄物	0.027	0.068	0.201	7
光化學煙霧	0.040	0.058	0.143	9
呼吸道效應	0.042	0.102	0.291	4
酸雨化效應	0.027	0.057	0.133	10
溫室效應	0.026	0.070	0.221	6
水域生態毒性	0.041	0.105	0.239	3
陸域生態毒性	0.043	0.110	0.231	2
能源耗用	0.025	0.075	0.241	5
資源耗用	0.022	0.059	0.218	8
土地佔用	0.013	0.031	0.080	12
健康風險	0.119	0.214	0.415	1

表 3.2-8 產業界模糊權重值

準則項目	最小值	平均值	最大值	排序 (以平均值計)
耗水量	0.051	0.063	0.122	8
廢棄物	0.017	0.049	0.122	10
光化學煙霧	0.017	0.035	0.103	12
呼吸道效應	0.032	0.076	0.231	5
酸雨化效應	0.026	0.064	0.161	7
溫室效應	0.034	0.082	0.142	4
水域生態毒性	0.079	0.117	0.174	2
陸域生態毒性	0.044	0.108	0.185	3
能源耗用	0.038	0.067	0.099	6
資源耗用	0.027	0.057	0.113	9
土地佔用	0.017	0.043	0.112	11
健康風險	0.167	0.238	0.425	1

表 3.2-9 政府單位權重值

準則項目	最小值	平均值	最大值	排序 (以平均值計)
耗水量	0.013	0.052	0.126	11
廢棄物	0.027	0.045	0.087	12
光化學煙霧	0.033	0.056	0.087	7
呼吸道效應	0.059	0.078	0.093	4
酸雨化效應	0.050	0.076	0.099	5
溫室效應	0.050	0.075	0.097	6
水域生態毒性	0.087	0.135	0.255	2
陸域生態毒性	0.087	0.134	0.255	3
能源耗用	0.021	0.053	0.099	9
資源耗用	0.021	0.053	0.099	10
土地佔用	0.029	0.054	0.116	8
健康風險	0.150	0.189	0.255	1

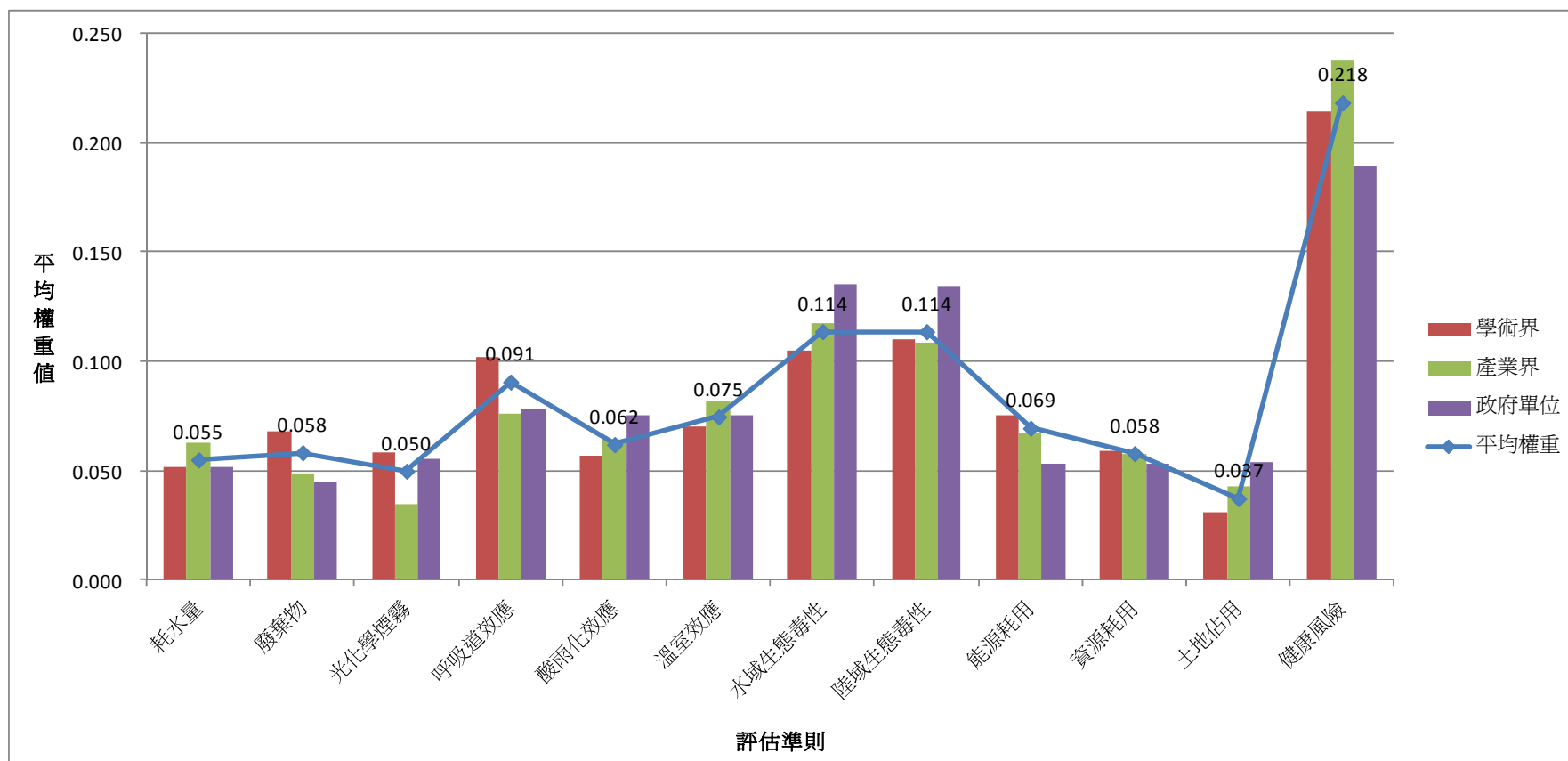


圖 3.2-2 準則權重比較圖

(2) 準則績效值建立

綠色整治技術評估準則主要針對量化後的衝擊評估與風險評估結果，作為環境影響因子之中各準則績效值的估算，對於評估方法的設定與估算，詳述於 3.3 節與 3.4 節。由於評估結果會因為單位上的不同而無法相互比較，故需將準則原始績效值標準化(normalized)，計算方式如下所示：

$$x_{ij}^{norm} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}^0}{x_j^{\max} - x_{ij}^{\min}}, i = 1 \sim n \text{ (positive criteria)}$$

$$x_{ij}^{norm} = \frac{x_{ij}^0 - x_{ij}^{\min}}{x_j^{\max} - x_{ij}^{\min}}, i = 1 \sim n \text{ (negative criteria)}$$

其中 n 為方案個數

x_{ij}^{norm} 為方案 i 之準則 j 績效標準化值

x_j^{\max} 為所有方案之準則 j 績效最大值

x_j^{\min} 為所有方案之準則 j 績效最小值

其次，可將標準化值進行模糊化，如下所示：

$$\tilde{x}_{ij} = \left[0.9 \sim x_{ij}^{norm}, x_{ij}^{norm}, \min(1.1x_{ij}^{norm}, 1) \right]$$

(3) 建立模糊決策矩陣

依據上述所建立之模糊權重，以及後續利用實際案例所評估出各準則之績效值，可依此建立模糊決策矩陣，計算出各方案之最後評估值。

本計畫利用 simple additive method 建立模糊綜合評判矩陣。

$$\bar{R} = \bar{X} \otimes \bar{W}^T = \begin{pmatrix} \bar{x}_{11} & \cdots & \bar{x}_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{n1} & \cdots & \bar{x}_{nm} \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} \bar{w}_1 \\ \vdots \\ \bar{w}_m \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \bar{x}_{11} \otimes \bar{w}_1 \oplus \bar{x}_{12} \otimes \bar{w}_2 \cdots \oplus \bar{x}_{1m} \otimes \bar{w}_m \\ \vdots \\ \bar{x}_{n1} \otimes \bar{w}_1 \oplus \bar{x}_{n2} \otimes \bar{w}_2 \cdots \oplus \bar{x}_{nm} \otimes \bar{w}_m \end{pmatrix}, m=1 \sim 12$$

其中 $\tilde{\mathbf{R}}$ ：模糊綜合評估矩陣

$\tilde{\mathbf{X}}$ ：模糊績效矩陣

$\tilde{\mathbf{W}}$ ：模糊權重矩陣。

5. 優選方案排序建議

由地下水整治技術評估項目探討各整治方案初步假設，並考量地下水整治情境與其他可行方案，本計畫將針對擬定之方案進行多準則決策分析，並依優劣排序擬定之方案。

將計算後之綜合評估結果，以樂觀指標解模糊化，以得到各方案之排序。樂觀指標即為

$$r_i = (1 - \lambda)r_i^L + \lambda r_i^U$$

其中 λ 為樂觀指標

$$\begin{cases} \lambda=0 & \text{代表決策者對評估過程採取悲觀態度} \\ \lambda=0.5 & \text{代表決策者對評估過程採取中立態度} \\ \lambda=1 & \text{代表決策者對評估過程採取樂觀態度} \end{cases}$$

$$r_i^L = \sum_{j=1}^n \bar{r}_{ij} \text{ 之下界值}$$

$$r_i^U = \sum_{j=1}^n \bar{r}_{ij} \text{ 之上界值}$$

透過以上方法計算出之樂觀指標，即為評估之整治技術的環境衝擊分數，藉由比較各整治技術的環境衝擊分數，則可作為決策者優選出綠色整治技術之參考依據。

3.3 健康風險評估設定

在健康風險評估部分，所設定之系統邊界為場址內與場址外之受體，於整治前、整治期間、整治後所可能承受之風險。當情境評估其受體在於場址內，即為受體位置與污染源位置於同一地方，則可以初步判定此受體所接受濃度為直接暴露於污染源環境介質中的濃度。場址外則是受體位置與污染源位置不同，污染物經傳輸過程後至受體處污染物濃度。由於整治過程中，污染物較易經由地下水傳輸至場址外，而導致鄰近居民的暴露，因此主要針對場址外鄰近居民誤用受污染之地下水進行飲用或農地灌溉造成食物鏈污染。

在進行模式估算前，必須先對污染場址作一完整之場址調查。包括場址背景資料的收集、目標污染物的確定及污染團範圍的界定等。由於綠色整治是希望透過生命週期概念，計算整治過程中所有衝擊，將分別進行整治前、整治中與整治後之健康風險評估。本研究中風險評估方法包括以下四項步驟(圖 3.3-1):

一、危害性鑑定 (Hazard Identification)：

危害性鑑定主要係以蒐集現有的場址資訊與污染物檢測資料，來確認場址關切污染物種類及其濃度、致癌毒性與非致癌毒性、可能影響關切污染物傳輸途徑及是否有受體可能受到該關切污染物的危害；以決定研究之污染物是否會增加危害健康情形的可能。因此，可將此部分初分為場址現況與關鍵污染物。

● 場址現況調查

研究一開始，首要需將現況整體調查，包含如下:

(一) 地質與地表狀況

包含地層厚度、地層土質，並探討污染物於土層可能發生的行為，如揮發、毛細現象與滲出等，污染物會因為土層分佈狀況而發生極大差異的移動行為。

(二) 土壤性質

此部分結果可綜合整理現場鑽探資料、實驗室試驗結果與文獻探討，比較鄰近土壤資料，獲得較具代表的結果。

(三) 地下水水文狀況

除現地調查外，亦可根據水利局資料探討地下水流向、流速、水壓及水位

高等，並確切了解鄰近地下水補注狀況。此類資料與氣候關係密切，如地下水位隨著季節性降雨量有明顯的變化等。

(四) 氣象資料

氣象資料內需包含長年監測料以應地下水與地表水文變異外，亦應記載異常現象以備了解現況真實的面貌。資料中需包含(1)氣溫、(2)相對溼度、(3)降雨量、(4)風向及風速、(5)雲量、(6)颱風、(7)大氣穩定度等。

(五) 污染歷史

透過場址提供的資料可以了解場址的來源、洩漏事件的年代及位置，與民眾交涉的過程等，用以探討鄰近居民在意的問題，以釐清問題嚴重的程度，作為危害鑑定的基礎。

(六) 污染現況

評估過程中除瞭解場址歷程外，現況的進行以及未來的發展仍需進行了解與溝通，以便作為評估過程中，細部調整的因子或方案擬定的依據。

● 關鍵污染物

徹底調查場址內污染情形及辨識關鍵污染物是危害性鑑定中重要的工作。可依循下列因子優先考慮應選擇之標的污染物。

- (1) 平均/最大濃度較高者
- (2) 毒性強者(急毒性、非致癌毒性、致癌毒性、致畸性、致突變性)
- (3) 環境危害性大者(HAPs、重金屬、輻射)
- (4) 環境持久性(生物濃縮性、生物放大性)
- (5) 具長程傳輸性。

並對應資料庫中，初步判定關鍵污染物之致癌程度，如已有充足證據確定為致癌物質、致癌風險的證據尚有限、不足以證實為致癌物質及證據顯示沒有致癌性等，或是直接提供最小風險濃度。可參考資料庫如下：

- (1) 美國環保署綜合風險資訊系統(Integrated Risk Information System, IRIS)
- (2) 世界衛生組織簡明國際化學評估文件(WHO Concise International Chemical Assessment Document, CICAD)

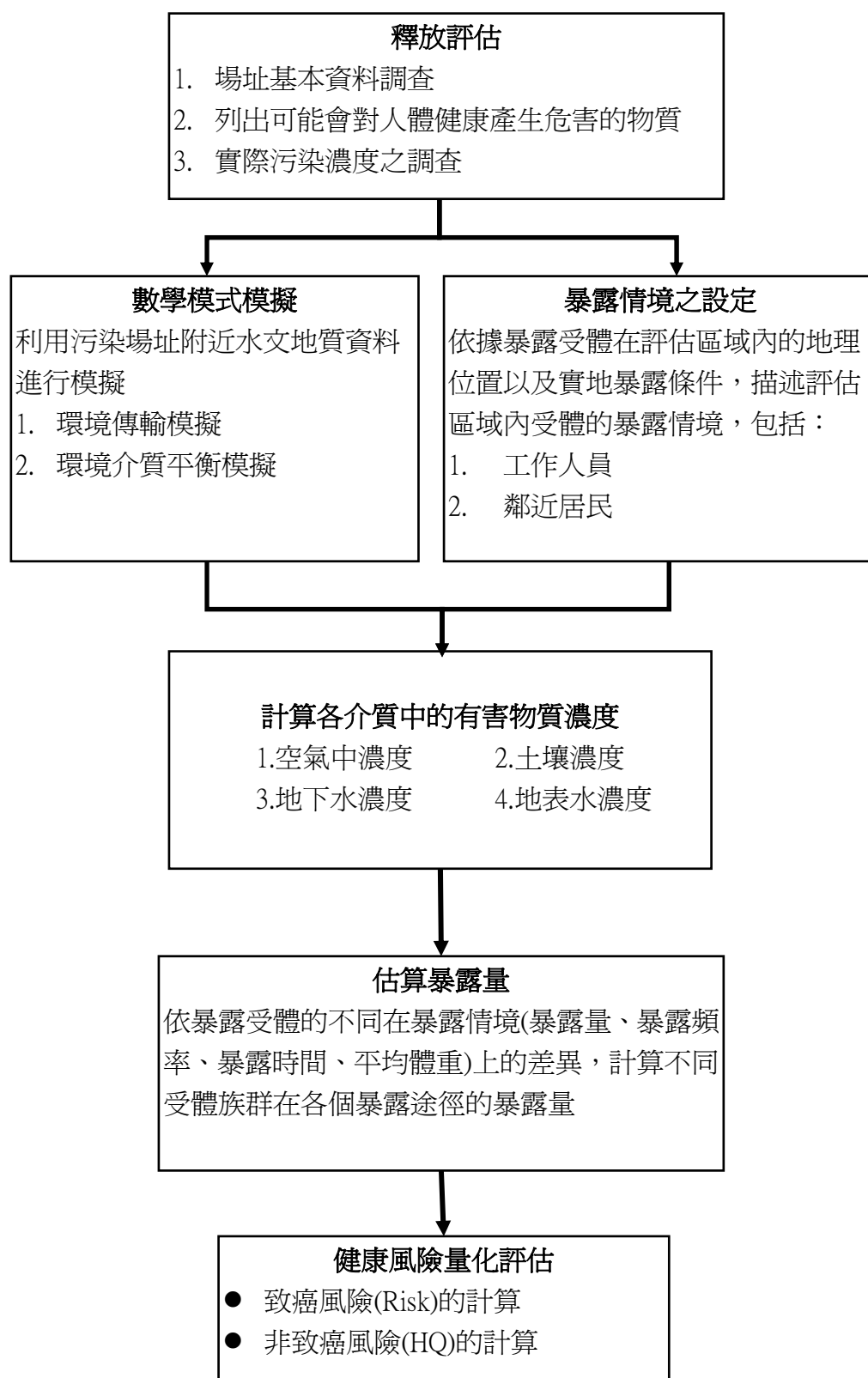


圖 3.3-1 健康風險評估流程圖

- (3) 國際癌症研究署(International Agency for Research on Cancer, IARC)
- (4) 美國環保署暫行毒性因子(USEPA Provisional Peer Reviewed Toxicity Values, PPRTVs)
- (5) 毒性物質與疾病登錄署(Agency for Toxic Substance and Disease Registry, ATSDR)之最小風險濃度(Minimal Risk Level, MRL)
- (6) 美國環保署健康效應摘要表格(Health Effects Assessment Summary Tables, HEAST)

二、劑量反應評估 (Dose Response Assessment)：

劑量反應評估主要評估特定族群暴露在某污染物中，其所受劑量與產生傷害或發生疾病的量化關係，即找出所謂之劑量-反應關係(Dose-Response relationships)。在致癌性方面，根據流行病學或動物實驗的數據，假設在低劑量範圍內其劑量反應的是直線關係，而推估出該物質之劑量反應關係的斜率，即致癌毒性因子，即以劑量反應曲線估計平均每增加一個單位劑量所增加的致癌機率有多少。而非致癌風險方面，主要係依據毒性資料中，取得的無明顯不良反應劑量(No-Observed-Adverse-Effect-Level, NOAEL)，或最低明顯反應劑量(Lowest-Observed-Adverse-Effect-Level, LOAEL)，或低基準劑量(Benchmark Dose Low, BMDL)，設定其為安全劑量或界限值(Threshold)，依此原則而估計出毒性物質的參考劑量(RfD, Reference Dose)。劑量反應評估多由已知的毒性資料所得，可以事先估計。

本計畫建置之決策支援系統，需在資料庫中彙整相關的化學物質毒理資料，以作為評估污染物質對人體健康影響的估算依據。

三、暴露評估(Exposure Assessment)：

暴露評估定義為測量或估計人體暴露於環境中物質的程度、頻率和持續性，或估計化學物質進入環境中所可能引起的暴露情境、環境介質與受體類型，計算各暴露情境下可能發生之暴露途徑及受體承受之暴露劑量。而暴露評估過程中可分為三個單元，污染源、受體與污染源-受體間傳輸關係，下列將以此三項單元分別解釋綠色整治中三單元的應用。

● 污染源

於綠色整治過程中，污染源可來自特定汙染場址，因此以汙染場址內關鍵汙染物為評估對象。汙染場址內汙染物濃度會因處理技術而有不同的濃度變化；以抽出處理法為例（如圖 3.3-2），隨著時間(X 軸)的變化，汙染場址內的濃度並非線性降解。而是於抽水期間，前期效果不彰，濃度降低不明顯；至中期，汙染物濃度則以似線性關係逐漸減低；至末期，則以長尾效應更為緩慢減低汙染場址內汙染物濃度。然而，當停止抽水，汙染場址內汙染物濃度則有回升效應，即使濃度已降低，但仍需長期監測後續發展。因各處理技術效率差異，各技術濃度變化圖中對應於時間的汙染物濃度與汙染降解坡度會隨技術特性而變動。此部分會直接反應於污染源每個時間點的平均濃度，並以此為污染源釋出濃度用以估算健康風險評估；而濃度變化圖中所呈現的處理時間，也會直接反應於汙染物傳輸時間與受體相對的暴露時間。

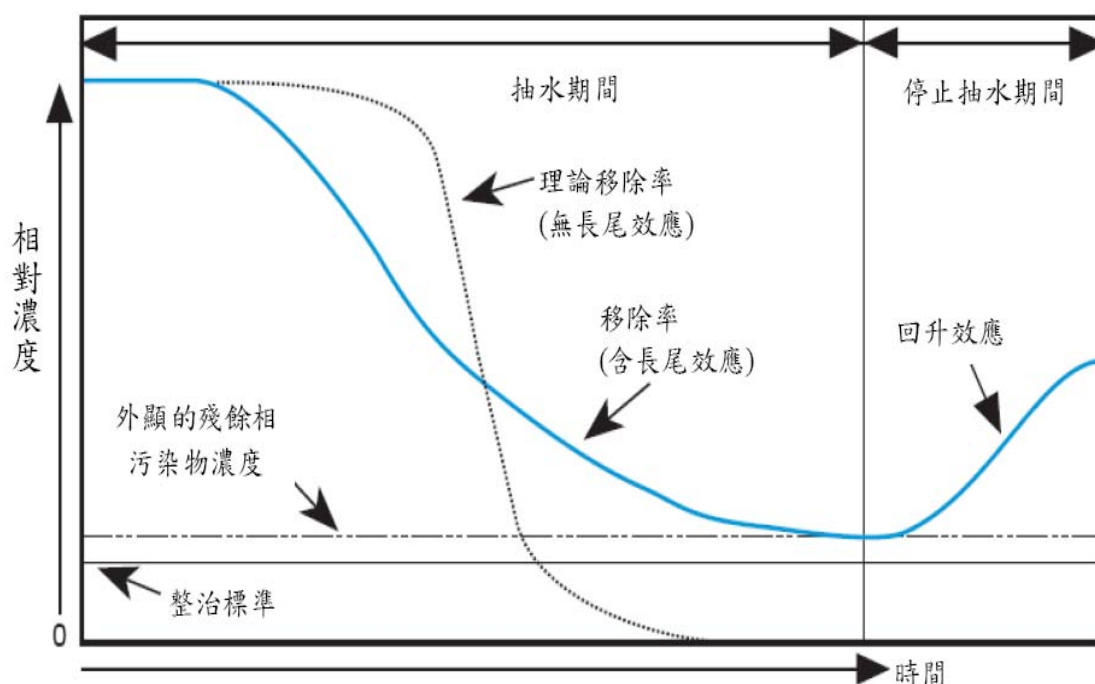


圖 3.3-2 抽出處理法之抽水及停止抽水期間濃度變化圖(USEPA,1997)

汙染物排出到環境後，會經由環境的傳輸影響受體，導致致癌或非致癌風險。其傳輸途徑錯綜複雜，會因不同的污染源與受體而有不同的傳輸途徑。而於綠色

整治過程中，可將受體初步為工作人員與鄰近居民。

- 受體

- 場址內

場址內的受體所接受的物質濃度為直接暴露於污染源環境介質中的濃度。因此以整體污染場址而言，地下水、土壤、空氣、食物鏈中等四種介質中的濃度為直接來自現場監測濃度，且為最嚴重暴露於現有場址內各介質濃度，如因揚塵或接觸沾黏場址內土壤且透過食入方式暴露，或直接種植可食用之蔬果穀類並食用等。但因評估目標為整治場址，因此排除上述暴露途徑，而以無法避免之呼吸為暴露途徑，其暴露劑量可經由現場監測或估算土壤地下水的揮發濃度。且依各處理技術所耗時間，估算工作人員單一污染場址整治過程中暴露行為及劑量。

- 場址外

受體位置與污染源位置於不同一地方，則需估計污染物經介質傳輸過程後至受體處污染物濃度。由於整治過程中，污染物較易經由地下水傳輸至場址外，而導致鄰近居民的暴露，因此研究中主要針對場址外鄰近居民誤用受污染之地下水進行飲用或農地灌溉造成食物鏈污染。另一方面，部分技術將以抽取地下水至地面，並加以處理後經由放流水標準確認排入地表水，此部分亦會造成污染物釋出，但亦會因為地表水而稀釋。由於受體與污染源並非在同一區域內，因此現況濃度會因地下水傳輸或地表水稀釋影響食物鏈，並受距離的差異影響，因此需於現地調查時確認鄰近水井或灌溉用水。

暴露評估架構中，依受體接受污染源之不同，而會有不同的暴露途徑，如表 3.3-1。場址內工作人員會因空氣的吸入而造成危害。污染場址外則依地下水傳輸，鄰近居民透過飲用地下水、洗澡與食物鏈經攝食而造成危害。最後依據上述之評估步驟，進行風險量化的工作，其中又將風險量化分為致癌及非致癌兩種。

界定此計畫欲評估之受體對象，則需進一步蒐集各受體族群的暴露參數，建立至資料庫當中。暴露參數包含有受體的飲用水量、呼吸速率、誤食土壤量、攝食各類食物量等，以及受體暴露的頻率、延時、平均體重等，以便估算各受體族群在不同的暴露情境下可能接受到的污染物劑量，再配合毒理資料，推算出受體

所承受之風險值。

表 3.3-1 情境設定架構

項目	敏感受體	汙染介質	暴露途徑			
			飲用水	吸入空氣	皮膚接觸	食物鏈
場址內	工作人員	空氣		√		
		地下水				
場址外	鄰近居民	空氣				
		地下水	√		√	√

而汙染源與受體間之暴露評估過程可分為多介質傳輸轉換評估(Multimedia transport and transformation assessment)及多途徑暴露評估(Multiple pathway exposure assessment)二階段。多介質傳輸轉換評估的目的在推算污染物質由污染源排放到環境中，在各環境介質(包含空氣、土壤、表面水及地下水)的中分佈的情形。透過汙染場址可能影響狀況，篩選污染物在環境中可能進行傳輸的介質，以進行環境傳輸數學模式的選取，以利後續的暴露評估與風險量化的工作。目前已確定，污染物會存在於水、空氣及土壤中，經由環境傳輸機制傳至受體周界環境濃度，再經各暴露途徑危害受體(如圖 3.3-3)。

下列為各介質傳輸機制，分別如下：

1.大氣途徑：任何可能藉由空氣傳播釋放的途徑

- (1)容易被風吹起的地表污染物
- (2)有揮發性有機污染物自土壤釋放至大氣中

2.地表水途徑：任何有可能經由地表沖刷污染地表水的途徑

- (1)有容易被沖蝕、漫流的關鍵污染物
- (2)抽取後直接排放源至地表水

3.土壤及地下水途徑：任何有可能經由未飽和層與地下含水層而受污染的途徑

- (1)經由汙染場址釋放經由滲入行為污染的途徑
- (2)受污染的滲出水滲入未飽和層及飽和層的途徑
- (3)在工廠或再利用施工附近有監測到地下水含有污染物

(4)在鄰近居民居住環境中有監測到地下水含有污染物

4.食物鏈途徑任何藉由食物鏈傳輸的途徑

- (1)有食用以受污染蔬菜作物為飼料的家禽家畜
- (2)食用可能受污染的海鮮魚貝類
- (3)污染源附近的蔬菜作物與家禽家畜中檢測出含有污染物
- (4)鄰近農田中檢測出含有污染物
- (5)鄰近灌溉水中檢測出含有污染物

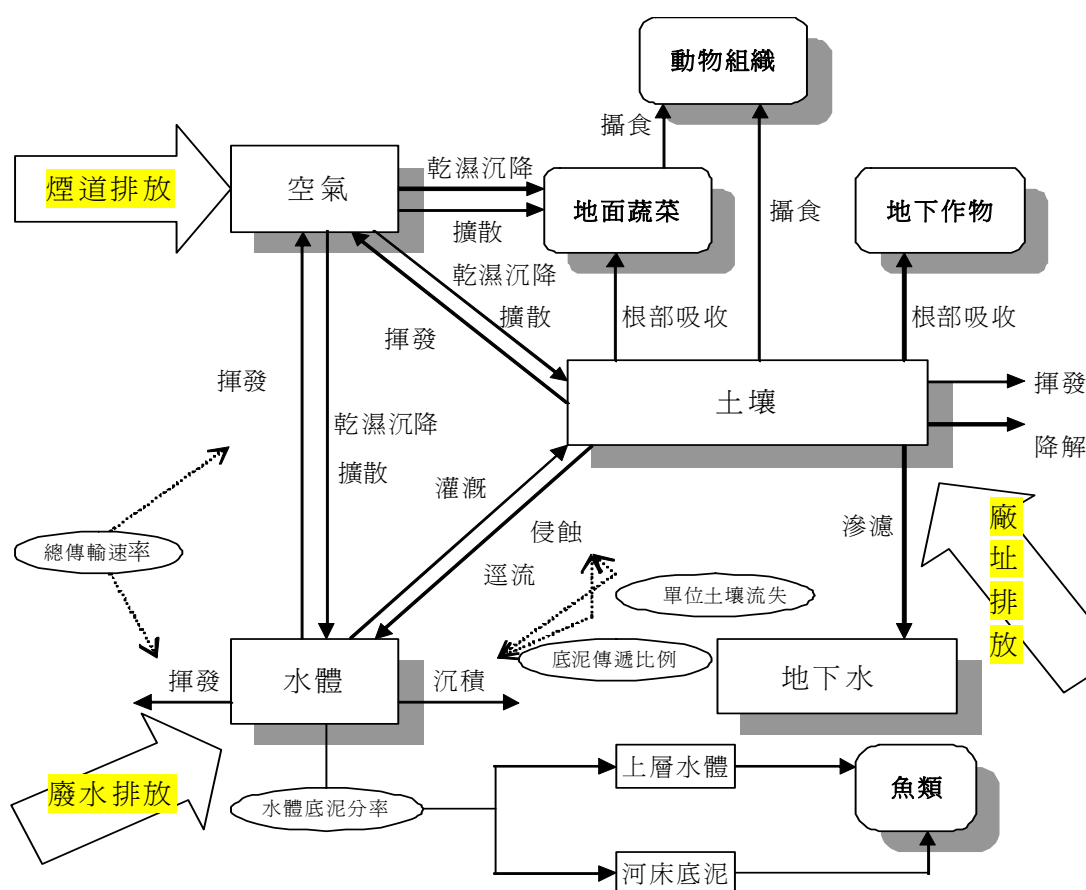


圖 3.3-3 多介質傳輸模式示意圖

四、風險特徵描述(Risk Characterization)

風險特徵描述為綜合上述三項步驟進行綜合性評估，將風險予以量化，以估計該污染物影響人體健康之風險程度高低與影響之方式。讓決策者瞭解在暴露評估的設定條件下，受體可能經由何種方式暴露於污染物中，進而對人體健康產生多大之影響，並依此擬定該場址的風險管理策略。因此各處理技術將依照表 3.3-2 與表 3.3-3 分別量化受體之致癌與非致癌風險。

表 3.3-2 各處理技術之致癌風險評估

項目			敏感受體	汙染介質	暴露途徑			
					飲用水	吸入空氣	皮膚接觸	食物鏈
致癌風險	整治前	場址內	鄰近居民	空氣				
				地下水				
		場址外	鄰近居民	空氣				
				地下水				
	整治後	場址內	鄰近居民	空氣				
				地下水				
		場址外	鄰近居民	空氣				
				地下水				

表 3.3-3 各處理技術之非致癌風險評估

項目			敏感受體	汙染介質	暴露途徑			
					飲用水	吸入空氣	皮膚接觸	食物鏈
非致癌風險	整治前	場址內	鄰近居民	空氣				
				地下水				
		場址外	鄰近居民	空氣				
				地下水				
	整治後	場址內	鄰近居民	空氣				
				地下水				
		場址外	鄰近居民	空氣				
				地下水				

3.4 生命週期評估設定

在生命週期評估部分，所設定之系統邊界包括從器材生產、經由運輸、場址施工、到整治操作過程期間所有的能源、資源的投入與污染物、廢棄物的排放。器材生產主要針對整治場址所必須額外製造之器材，盤查所消耗的能源、資源量與污染排放量，以及估算經由消耗電力所間接造成的污染排放。運輸階段則是考量生產的相關管線與器材，以及操作所需的機具，必須利用車輛運輸至污染場址，因此必須盤查經由車輛運輸所消耗的資源量和可能排放的空氣污染量。在污染場址施工期間須先進行場址的開挖與機具設置的行為，因此必須盤查使用到的機具可能消耗的油料量及電力等。且開挖所產生之廢土量與廢棄物也必須估算。最後在實際整治的操作階段則是盤查投入之能資源量，包括機具所消耗的電力及油料量、加入之藥劑量等，另在整治後所產生之廢棄物也必須針對其處置之方法進行能源與資源消耗量的盤查。以下依照生命週期評估架構之四大步驟進行設定(圖 3.4-1)。

1. 目標與範疇界定

本計畫主要探討各種地下水整治技術對環境之衝擊，以瞭解最符合綠色概念之整治技術。利用生命週期評估方法，進行地下水整治行為對環境所產生之衝擊程度，評估範圍由一開始針對整治技術所需的各項器材生產，經由運輸階段、場址的施工階段，到最後的操作階段等，其研究之系統邊界如圖 3.4-2 所示。

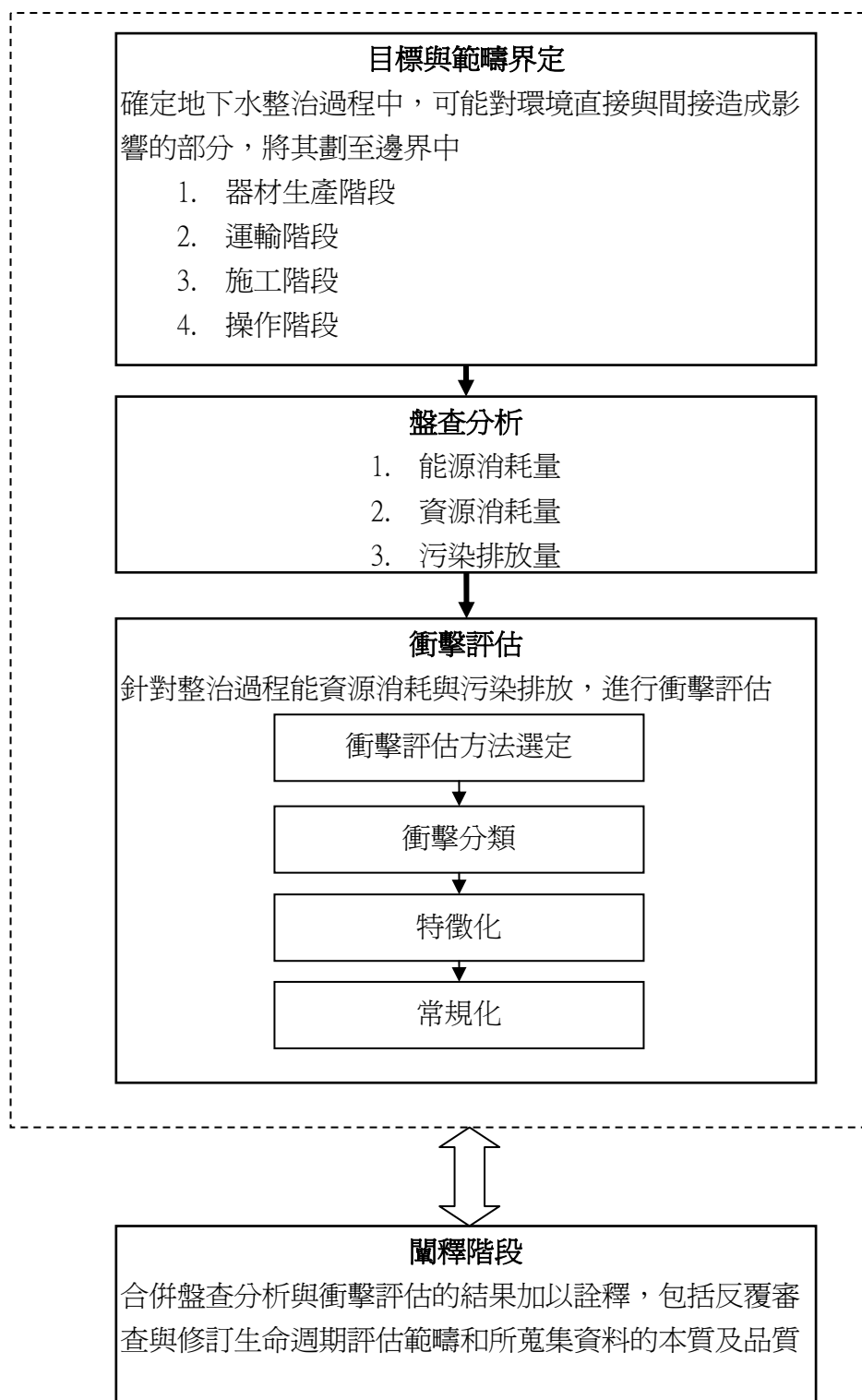


圖 3.4-1 生命週期評估流程圖

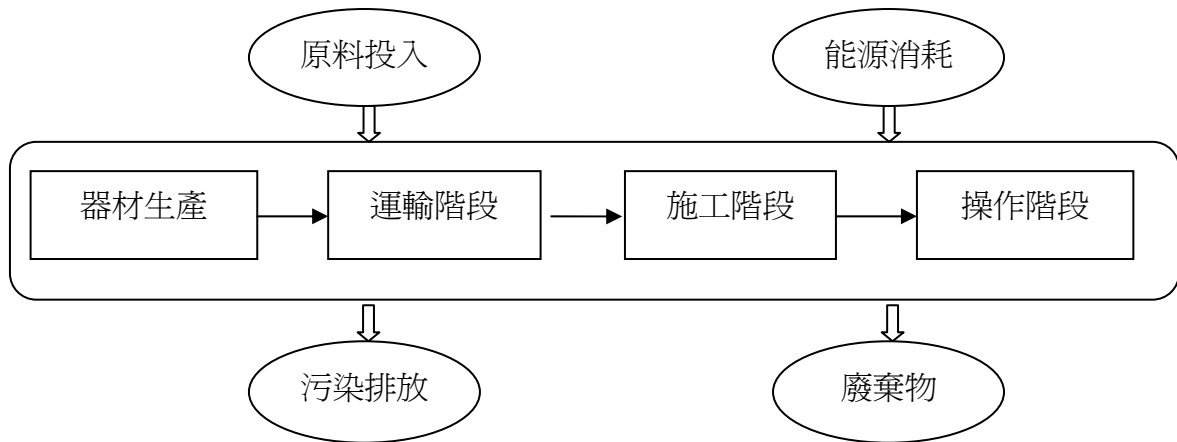


圖 3.4-2 系統邊界圖

2. 盤查分析階段

針對前述所界定的系統邊界以及評估項目，進行整治過程各階段所需之能資源的投入與廢棄與污染物的產出的盤查工作。盤查分析之概念式如下式，各程序與盤查資料來源則如表 3.4-1 所示。

$$Em = \sum Q_{\text{groundwater}} \times (RF_{\text{material}} \times EF_{\text{material}} + RF_{\text{energy}} \times EF_{\text{energy}} + EF_{\text{operation}})$$

(1) 器材生產階段：

針對各場址之特性與整治技術之差異，需要生產相關的器材，例如管線、井管、阻隔牆、反應牆等，由於這些器材只針對此整治場址來使用，因此屬於此整治技術所消耗的，所以必須盤查生產所使用的能源與資源量。

(2) 運輸階段：

生產的相關管線與器材，以及操作所需的機具，必須利用車輛運輸至污染場址，因此必須盤查所使用的車輛類型、使用的油料種類及可能運輸之里程數，以進一步估算所消耗的資源量和可能排放的空氣污染量。

表 3.4-1 盤查資料來源

參數	說明	資料來源
Em	總污染物排放與能資源耗用	-
$Q_{groundwater}$	處理地下水量	-
RFmaterial	整治過程材料耗用係數(化學藥劑、硬體設備)	實廠調查
EFmaterial	材料製造過程之污染物排放與能資源耗用係數	國際生命週期盤查資料庫 (ecoinvent2.2, NREL LCI)
RFenergy	地下水整治過程能源耗用係數	-
EFenergy	能源鏈之污染物排放與能資源耗用係數	台灣能源系統生命週期評估模式(馬鴻文，2010)
EFoperation	整治過程直接污染物排放與能資源耗用係數	實廠調查

(3) 施工階段：

將相關器材機具運送至污染場址後，須進行場址的開挖與機具設置的行為，因此必須盤查可能使用到的機具類型，例如開挖埋管線時需要使用到挖土機、裝設時需要使用到發電機、堆高機、吊車等。因此必須盤查此階段可能消耗的油料量及電力等。開挖所產生之廢土量與廢棄物也必須估算。

(4) 操作階段：

操作階段主要包含整治前的採樣、整治進行時機具的運作或資源的使用、及最終的廢棄物處理等工作。再進行整治前需進行事前的採樣工作，以確定污染濃度並估算所需使用的藥劑量，而採樣工作所可能使用到的能資源均需進行盤查，投入之能源以消耗的電量為主，而投入之資源因著整治技術之不同而有所差異，以生物方法來看主要評估之資源以投入之營養源為主，化學方法則是以投入之化學藥劑量為主，而物理方法則是以使用機具之耗電量為主；整治過程中可能用到的機具如馬達、抽水機、發電機、空壓機、氣提塔、攪拌器等，因此需針對使用的電力進行盤查；整治後所產生之廢棄物必須進行處理，因此針對所產生的廢棄物量進行盤查，並針對其處置之方法進行能源與資源消耗量的盤查。

針對地下水整治技術之盤查項目，因著整治技術的不同，所使用之能源與資

源種類也有所差異，而為建立一個可較為廣泛使用之盤查方法，本計畫彙整各整治技術，包括生物整治技術、抽出處理、化學氧化、循環井、反應牆、自然衰減處理、植生整治法等，針對各整治技術可能使用之能資源種類以建立盤查要項檢核表(checklist)，如表 3.4-2 及表 3.4-3 所示，預先確定各階段應盤查之項目，作為第一層的篩選，以方便後續針對特定階段進行第二層的詳細盤查。表 3.4-2 主要盤查檢核項目為各階段投入之能資源量，包括器材生產階段所使用之原料量、用電量，運輸階段所使用之耗油量、施工階段所使用之機具耗油量與耗電量，以及最後整治操作階段整治機具的耗電量等，均進行盤查；表 3.4-3 主要盤查檢核項目為整治操作階段所使用之化學藥品、營養鹽等添加物的數量。

而在盤查過程中，為了最後盤查結果能夠比較各整治技術間之差異，因此必須訂定一比較的基準，即為功能單位，本計畫為找出最符合綠色整治之地下水整治技術，因此以處理之地下水量作為比較基礎，又為了達到一定的整治目標，期望地下水污染濃度能降至一定之標準，如此能夠進一步估算所需投入之整治藥劑量以及機具之耗電量，因此本計畫將功能單位設定為「在處理相同體積之地下水，使其地下水的污染濃度降低某個百分比」，進一步去估算其所消耗的能資源量，所處理之地下水體積可設定為污染場址範圍內之地下水體積，而濃度降低之百分比則依據場址污染之程度不同而調整。

此盤查結果即可作為本計畫建置之決策支援系統的輸入依據，藉由盤查的項目與數量，輸入至決策系統中，則可估算能資源的使用量與排放量對環境造成的衝擊程度

表 3.4-2 生命週期評估盤查檢核表—能資源部分

整治技術：		器材生產	運輸階段	施工階段		操作階段		
	項目			開挖	機具設置	採樣	機具操作	焚燒
能資源使用	水 (water)							
	電力 (electricity)							
	車輛用油 (diesel for transport)							
	機具用油 (diesel for machine)							
	水泥 (cement)							
	膨潤土(Bentonite)							
	砂土 (sand)							
	礫石 (gravel)							
	鋼材 (steel)							
	PVC							
	乾淨土壤 (clean soil)							
	乳膠 (latex)							
	玻璃 (glass)							
	鐵氟龍 (teflon)							
	抽水機							
	空壓機							
	空運							
	航運							
	陸運							

表 3.4-3 生命週期評估盤查要項檢核表—添加物部分

整治技術：		器材生產	運輸階段	施工階段		操作階段		
	項目			開挖	機具設置	採樣	機具操作	焚燒
添加物	大豆油 (soybean oil)							
	糖蜜 (molasses)							
	過硫酸鹽 (persulfate)							
	過錳酸鹽 (permanganate)							
	硫酸亞鐵 (FeSO ₄)							
	零價鐵							
	過氧化氫 (H ₂ O ₂)							
	硫酸 (H ₂ SO ₄)							
	醋酸 (CH ₃ COOH)							
	活性碳							
	肥料							

3. 生命週期衝擊評估階段

將盤查結果對應至各項衝擊類別，然後將衝擊項目特徵化，以特徵化模式計算各類指標，以評估產品潛在環境衝擊的重大性，再進一步量化其環境負荷或污染排放對環境的潛在衝擊值(ISO14040, 2006)。其詳細程度，受評估衝擊項目的選擇與採用方法，須視研究的目的與範疇而定。包括以下要項，整理於圖 3.4-3：

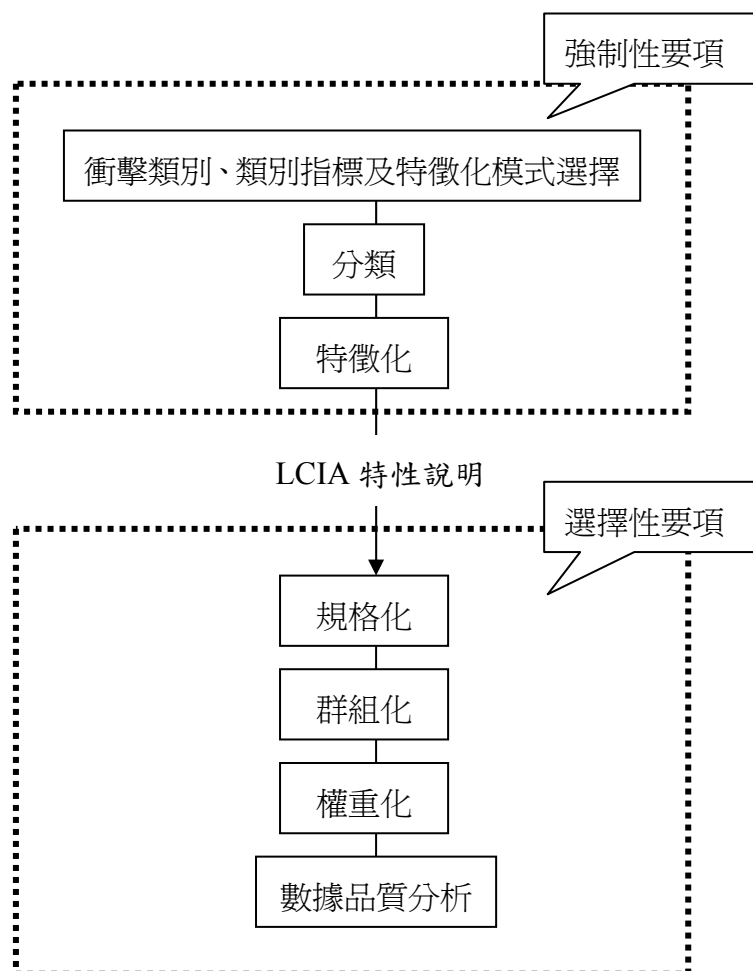


圖 3.4-3 生命週期衝擊評估階段要項 (ISO14040, 2006)

- (A) 衝擊類別、類別指標及特徵化模式選擇：選擇衝擊類別、衝擊指標及特徵化模式。
- (B) 分類：將盤查結果分派至各衝擊類別及保護領域。
- (C) 特徵化：將各衝擊類別的盤查數據換算成共同單位的衝擊類別指

標結果。

- (D) 規格化：特徵化之後得到的單項衝擊類別指標結果，依照不同衝擊類別給予權重，計算相對於參考資訊的大小。
- (E) 群組化：以定性或半定量的方式進行衝擊類別的分選與排序。
- (F) 權重化：將不同的環境議題整合成爲一個綜合指數，可表示各衝擊類別的重要性。
- (G) 數據品質評估：以不確定性、敏感度分析等方法，提升評估結果的可靠性。

在衝擊類別的選取部分，本計畫選擇衝擊導向(Impact-Oriented)生命週期衝擊評估方法，將盤查分析階段所獲得的污染物排放與能資源耗用資訊，以表所列出的類別指標表示之。在特徵化模式(characterization model)的選擇上，本決策支援系統則依據國際標準生命週期資料系統(International Reference Life Cycle Data system, ILCD)提出的最佳可行生命週期衝擊評估方法(Best Practice LCIA method)，進行特徵化模式之篩選與特徵因子之引用，以利衝擊分數之計算 (ILCD, 2010)。

在資源耗用的評估方面，由於經濟活動所耗用之礦產資源，其對資源耗竭性的影響，主要由既有的蘊藏量所決定。而新近 ReCiPe 衝擊評估方法中，則依據各類金屬礦產開採後，因既有蘊藏量的減少以及礦產品質之下降，所致使的開採成本之增加，推估出各類礦產之特徵因子。然而其他 LCIA 方法，如 EDIP、CML、EcoScarcity 等，僅反應總蘊藏量，而未將品質下降因素納入考量。故本計畫於金屬礦產資源上，選擇採用 ReCiPe 之特徵因子。ReCiPe 的特徵因子推估主要是針對不同的礦產蘊藏量以及品質對開採成本的影響，估算出邊際成本增加函數後，既可估算出耗用不同金屬礦產後，所增加的開採成本，以作為損害導向的特徵因子。而在衝擊導向的特徵因子推估上，其則是選擇以鐵礦為參考物質，估算各類金屬礦產的單位額外開採成本與鐵礦單位額外開採成本之比值，作為特徵因子。

而使用的化石燃料對資源耗竭性的影響，與金屬礦物相似，亦是由蘊藏量所決定。而 ReCiPe 方法中，其依據國際能源總署(IEA)所推估的石油價格與開採量之資訊，估算單位石油開採後，所造成的開採成本之增加的邊際價格增加函數，再

以年平均石油產量作為基準，估算出石油開採的額外成本。採短期觀點時，則該值為每公斤石油\$7.28，採長期觀點時，為每公斤石油\$16.07。而本計畫中在衝擊評估方法的選定上，採用平等主義觀點，故以後者作為損害導向的特徵因子值。而至於其他化石燃料方面，如天然氣與煤礦等，ReCiPe 採用各能源的高位發熱量(HHV)表示各類能源的單位累計能源需求，並選擇石油作為參考物質時，既可式估算各類化石燃料之 CED 相較於石油 CED 的比值，作為各化石燃料衝擊導向之特徵因子值。

在水資源使用方面，現行針對用水部份的特徵化模式，僅有瑞士的生態乏值法提出以目標差距法，考慮分別針對各國的水資源可及性，估算出具有區域差異的特徵因子，其餘的 LCIA 方法並未涵括此衝擊。因此，ILCD 亦認定此方法為目前的最佳可行方法，惟目前此方法未能反應不同用水類別對水資源耗竭之影響。OECD 指出若當年水資源耗用量小於其水資源蘊藏量的 20%時，尚無水資源缺乏之壓力。因此臨界水資源蘊藏量既定義為該區域水資源蘊藏量的 20%。而鑑於生態乏值法中，已針對各國的水匱乏程度，推估出不同的耗水量與臨界用水量之比值，故本計畫將直接引用之。而台灣的水資源耗用之特徵因子推估上，則參採用水利署之統計資訊。

生態毒性效應評估，主要是評估物種因暴露到化學物質所導致其結構的負面改變。相較人體毒性潛勢的估算，生態毒性的估算僅考慮到化學物質的傳輸，以及受體的劑量效應反應，食物鏈的暴露途徑在現行的評估中，由於資料不足，故無法估算，因此生態毒性潛勢是為宿命傳輸因子以及劑量反應因子之乘積；目前生態毒性潛勢評估方法中所採用生態毒性的劑量反應因子有三類：PNEC (預測無效應濃度，Predicted no-effects concentration)、HC5 (5%的物種受影響濃度，the hazardous concentration affecting 5% of species) 以及 HC50 (50%物種受影響濃度，the hazardous concentration affecting 50% of species)。而根據 Payet 的研究，其採用平均衝擊評估方法(Assessment of the Mean Impact, AMI)所估算出的 HC50，可以避免生態毒性評估過程因為資料不足，採用的保守外插法、檢測方法的不同、資料庫的差異所造成的偏誤。且利用 HC50，可進一步採用環境衝擊相關性較高的潛在

影響比例(Potentially Affected Fraction)來估算特徵化因子。因此本計畫於效應因子選擇上，將直接採用 Payet(2004)的計算方法。

而在酸化、光化學煙霧與呼吸效應的評估方面，主要是採用 TRACi(The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts)的衝擊評估方法，TRACi 為美國環保署為輔助產品生命週期評估所發展之衝擊導向(Impact-Oriented)的生命週期衝擊評估方法(Bare et al. , 2003)。在酸化此衝擊類別上，TRACi 納入區域差異性的考量。光化學煙霧潛勢上，則增加背景濃度上的考量，推估出個別 VOCs 與 NO_x 對臭氧生成之貢獻，進而以 NO_x 當量表示其影響程度，作為具場址差異性之特徵因子。在呼吸道效應上，則是運用攝入率回歸模式(Intake Fraction Regression Model)，考量排放源高度、氣溫、濕度後，估算出的原生性氣膠(TSP、PM₁₀、PM_{2.5})以及衍生性氣膠(NO₂、NO_x、SO_x、Nitric Oxides)自污染源排放後，被人體吸入之比例。進而以攝入率最高之 PM_{2.5} 為參考物質(Reference Substance)，將其餘各類污染物質的攝入率除以 PM_{2.5} 之攝入率，進而以 PM_{2.5} 當量，表達各類型氣膠對呼吸道之健康影響程度。

彙整相關的衝擊方法，即可建立本決策支援系統之生命衝擊評估量化數據資料庫，設定每一單位之能資源消耗量與每一單位的污染排放，對各評估準則的衝擊量化數據。

4. 闡釋階段

將盤查分析與衝擊評估的結果加以詮釋，並修訂生命週期評估範疇和所蒐集資料的本質及品質，以符合研究的目的與範圍，並以結論與建議的形式提供給決策者。

本計畫針對地下水整治技術設定生命週期評估之範疇，估算出各技術在整治過程中，對環境的衝擊程度，將評估之量化結果，輸入至本計畫建立之決策支援系統，即可計算出各評估準則的衝擊分數，由於不同的整治技術有不同的能資源消耗量，當決策者將整治過程的盤查結果輸入至決策系統中，則可透過資料庫的基礎資訊與系統的運算，得出不同的整治技術對環境的衝擊程度量化數據，以作為後續比較之依據。

第四章、綠色整治決策支援系統之案例分析

4.1 綠色整治決策支援系統模組介紹

以永續為目標，明智的運用有限資源，將整治技術的環境利益極大化，且仍確保整治效率與人體健康即為綠色整治的重心。為達到綠色整治，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態/人類的衝擊最小的整治技術。故本計畫結合生命週期評估(Life Cycle Assessment，簡稱 LCA)與健康風險評估(Risk Assessment，簡稱 RA)兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，即「綠色整治決策支援系統」。且為了使決策者於使用上更加便利，本計畫亦建立了使用者親善(User friendly)的決策支援系統電腦模組(模式界面首頁如圖 4.1-1)，藉由簡易的操作界面，輸入本系統評估所需之各項參數，以使決策者快速了解各種整治技術對環境衝擊之相對高低，據以選擇未來場址可能之整治技術。

本計畫主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。本計畫建置之綠色整治決策支援系統，主要用以篩選符合綠色整治的技術，因此首要需確定預期使用技術，模組中已內建生物處理、化學處理、Pump and Treat 與循環井等四種台灣較常使用之地下水整治技術；其餘整治技術開放可由使用者自行輸入，以完整評估場址所可能選擇之技術。在評估方面共分為三大項：(1) 健康風險評估、(2) 生命週期評估、(3) 決策支援系統。本計畫建立之決策支援系統所需輸入之資料，分為 RA(健康風險評估)、LCA(生命週期評估)、遞減率(整治技術預估每年處理效率)與權重(決策支援系統內衝擊權重)四大類，以下分別說明之(操作手冊詳見附錄 3)。

甲、 RA 中需分別輸入場址特性資訊與場址內污染物初始濃度，並配合整治技術預估之遞減率，線性估算每年場址內濃度變化，再依內建之解析方程式分析場址外每年特定位置之污染物濃度；由於地下水傳輸模式多樣，因此於此模組中開放輸入欄位，

可由評估者應用其他傳輸模式模擬場址外鄰近污染物濃度，並自行輸入場址外濃度變化。



圖 4.1-1 模式界面首頁

- 乙、 LCA 評估共分成器材生產、運輸、場址建置、整治操作與監測五個階段，於模組中需估算所使用的管材器具與資能源耗用量、工作人員數、機具操作時數等，利於估算各技術所需之資能源耗用與環境衝擊。
- 丙、 後續利用權重合計 RA 與 LAC 內 12 項評估準則量化結果，利於整合比較各整治技術之優劣；權重內建本計畫所蒐集專家學者之問卷結果(如第三章)，反之亦開放評估單位自行設定 12 項準則權重。表 4.1-1 概分輸入所需資料內各項目需盤查的內容與細項。
- 丁、 為配合評估工作的進行，本計畫將評估過程所需之相關參數以資料庫的方式內建於模組當中，包括污染物質的物化參數與毒理資料、消耗單位能資源的環境衝擊、評估準則權重等。

以下將分別介紹綠色整治決策支援系統的資料庫架構與資料來源，以及評估所需的參數設定。

表 4.1-1 綠色整治模組結構

項目	內容	細項	執行特性
RA	汙染場址特性	場址參數	使用者輸入
		暴露參數	使用者輸入
		汙染物選取	使用者輸入
	場址內	原始汙染物濃度	使用者輸入
		場址內濃度變化	模式估算
	場址外	模擬結果	模式估算
		其他模擬自行輸入	使用者輸入
LCA	器材生產階段	管材器具使用	使用者輸入
	運輸階段	人員機具運輸	使用者輸入
	場址建置階段	場址施工	使用者輸入
	整治操作階段	機具操作	使用者輸入
		添加物質	使用者輸入
		耗材使用	使用者輸入
	監測階段	人員機具運輸	使用者輸入
		機具操作	使用者輸入
		耗材使用	使用者輸入
權重	內定	12 項準則	模式內建
	自訂	12 項準則	使用者輸入

4.1.1 資料庫建置

本計畫建立之綠色整治決策支援系統模組中含兩大類資料庫，以支援健康風險評估與生命週期評估的運算。

● 健康風險評估

健康風險評估所屬資料庫又可分為傳流係數與人體毒性潛勢。

1. 傳流係數

傳流係數依傳流方向分為 X、Y、Z 三軸。考量各污染物遲滯現象如方程式(1)(MMSOIL)，其中 D^* 為考量遲滯因子之傳流係數， D 為傳流係數，而 R_d 則為遲滯因子。傳流係數因 X、Y、Z 軸向，估算略有不同，如方程式(2)、(3)、(4)所示，傳流係數與各流向擴散係數(參考數據如表 4.1-2 所示)有關，且 Y 與 Z 方向因 X 方向流動而變動，X 方向傳流則由預估 X 距離與流速進行估算，接著再依 X 方向估算之結果估算 Y 與 Z 方向傳流係數。為估算傳流係數則需估算地下水流速，如未有監測結果，則可以水力傳導係數(K)、土壤孔隙率(n)與水力梯度($\frac{\Delta h}{\Delta L}$)應用方程式(5)估算地下水流速。後續，依各污染物質特性而有不同的分配係數(partition coefficient, K_d)，並配合整治場址實際的土壤密度特性(ρ_b)與含水率(θ)之各污染物遲滯因子，去估算傳輸後之濃度。因此可知，各污染物於各場址內 X、Y、Z 三方向傳輸皆不相同，進而影響場址外各污染物擴散濃度。

$$D^* = \frac{D_{x \text{ (or } y \text{ or } z)}}{R_d} \quad (1)$$

$$D_x = \alpha_x u, \quad \alpha_x = X_{SF} \alpha_x \quad (2)$$

$$D_y = \alpha_y u, \quad \alpha_y = Y_{SF} \alpha_x \quad (3)$$

$$D_z = \alpha_z u, \quad \alpha_z = Z_{SF} \alpha_x \quad (4)$$

$$u = \frac{K}{n} \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (5)$$

$$R_d = 1 + \frac{\rho_b}{\theta} K_d \quad (6)$$

表 4.1-2 擴散係數(Gelhar and Axness, 1981)

X_{SF}	0.1
Y_{SF}	0.333
Z_{SF}	0.056

2. 人體毒性潛勢

計畫中將以汙染場址之介質濃度所造成的鄰近居民健康衝擊為量化基礎，於此 HTP 將為每單位暴露介質濃度之人體健康風險。依據根據化學物質毒性、環境宿命與暴露途徑等，其環境衝擊 $H(S_{cn})$ 如下方程式(7)所示。環境傳輸宿命以方程式 $\Phi[S_{cn} \rightarrow C_{ck}]$ 表示，意即化學物質 c 經由均質汙染源 $S_{cn}(\text{kg/day})$ 釋放後進入受污介質 k 的濃度 $C_{ck}(\text{mg/m}^3)$ ；而由於研究中以現地監測之土壤濃度與地下水濃度作為受污介質濃度，因此 $S_{cn}(\text{mg/kg}$ 或 $\text{mg/L})$ 將用以表示暴露介質濃度。 ADD_{cip} / C_{ck} 為單位劑量因子，意即透過暴露來自受污介質 k 之每日平均暴露劑量，除以暴露介質濃度 C_{ck} ；此部分應用加州環保署發展之 CalTOX 進行多介質多暴露劑量累計估算。 $Q_{ci}(\text{kg-d/mg})$ 為化學物質毒性特徵，意即化學物質 c 透過暴露途徑 i 所帶來之健康衝擊；此部分以加州環保署提供之多項化學物質致癌斜率因子與非致癌參考劑量。總人體毒性潛勢則為各暴露介質 n 內各化學物質 c 所累積之暴露介質濃度(S_{cn})乘以 HTP_{cn} 累加總計，如公式(8)。

$$H(S_{cn}) = \sum_i \sum_k \sum_p \left\{ Q_{ci} \times \left(\frac{ADD_{cip}}{C_{ck}} \right) \times \Phi[S_{cn} \rightarrow C_{ck}] \right\} \quad (7)$$

intakcroutes environvent exposure
compartment pathway

$$HTP = \sum_c \sum_n HTP_{cn} \times S_{cn} \quad (8)$$

chemicals release
compartment

在多介質傳輸轉換過程中，由汙染場址經過土壤滲漏與地下水傳輸，使汙染物在空氣、水體、土壤與動植物體間之流布，以下所列為風險評估所需參數以化學物質參數(表 4.1-3)為主(CalTOX, 2004)。

表 4.1-3 化學物質參數(CalTOX, 2004)

參數	縮寫	使用數據
Molecular weight (g/mol)	MW	依化學物特性變動
Octanol-water partition coefficient	Kow	依化學物特性變動
Melting point (K)	Tm	依化學物特性變動
Vapor Pressure in (Pa)	VP	依化學物特性變動
Solubility in mol/m ³	S	依化學物特性變動
Henry's law constant (Pa-m ³ /mol)	H -	依化學物特性變動
Diffusion coefficient in pure air (m ² /d)	Dair	依化學物特性變動
Diffusion coefficient; pure water (m ² /d)	Dwater	依化學物特性變動
Organic carbon partition coefficient Koc	Koc -	依化學物特性變動
Octanol/air partition coefficient	Koa -	依化學物特性變動
Partition coefficient in ground/root soil layer	Kd_s -	依化學物特性變動
Partition coefficient in vadose-zone soil layer	Kd_v -	依化學物特性變動
Partition coefficient in aquifer layer	Kd_q -	依化學物特性變動
Partition coeff. in surface wtr sediments	Kd_d -	依化學物特性變動
NOT USED	Kps -	依化學物特性變動
Leaves/phlm wtr prtn cff.(wet kg/m ³ per wet kg/m ³)	Kl_phl -	依化學物特性變動
Stem/xylem-fluid prtn cff (m ³ [xylem]/m ³ [stem])	Ks_x -	依化學物特性變動
Transpiration stream cncntrtn fctr (m ³ [wtr]/m ³ [ts])	TSCF -	依化學物特性變動
Biotransfr fctr, plant/air (m ³ [a]/kg[pFM])	Kpa -	依化學物特性變動
Biotransfer factor; cattle-diet/milk (d/kg[milk])	Bk -	依化學物特性變動
Biotransfer factor; cattle-diet/meat (d/L)	Bt -	依化學物特性變動
Biotransfer fctr; hen-diet/eggs (d/kg[egg contents])	Be -	依化學物特性變動
Biotransfr fctr; brst mlk/mthr intake (d/kg)	Bbm -	依化學物特性變動
Bioconcentration factor; fish/water	BCF -	依化學物特性變動
Particle scavenging ratio of rain drops	Psr_rain -	依化學物特性變動
Skin permeability coefficient; cm/h	Kp_w -	依化學物特性變動
Skin-water/soil partition coefficient (L/kg)	Km -	依化學物特性變動
Fraction dermal uptake from soil	dfct_sl -	依化學物特性變動
Reaction half-life in air (d)	Thalf_a	依化學物特性變動
Reaction half-life in surface soil (d)	Thalf_g	依化學物特性變動
Reaction half-life in root-zone soil (d)	Thalf_s	依化學物特性變動
Reaction half-life in vadose-zone soil (d)	Thalf_v	依化學物特性變動
Reaction half-life in ground water (d)	Thalf_q	依化學物特性變動
Reaction half-life in surface water (d)	Thalf_w	依化學物特性變動
Reaction half-life in sediments (d)	Thalf_d	依化學物特性變動
Reaction half-life in the leaf surface (d)	Thalf_ls	依化學物特性變動

● 生命週期評估

綠色整治決策支援系統模組中生命週期評估系統邊界如圖 4.1-2 所示，耗材、添加物與運輸交通工具資訊主要來自 Ecoinvent 的資料庫，配合 ReCiPe 的衝擊量化分析進行估算而其他系統邊界內機具如推土機、挖土機、鑽井、發電機等資訊來源則參考美國 SiteWise 的模組。各整治技術對環境之衝擊皆依下列方法計算：

$$\begin{aligned}
 I_i = & U_{\text{器材生產}} \times m_{\text{器材生產}} + U_{\text{運輸}} \times m_{\text{運輸}} \\
 & + U_{\text{場址建置}} \times m_{\text{場址建置}} + U_{\text{整治操作}} \times m_{\text{整治操作}} \\
 & + U_{\text{監測}} \times m_{\text{監測}}
 \end{aligned}$$

其中， I ： 整治技術 i 之 11 項合計衝擊

U ： 各程序之單位資能源耗用量的環境衝擊

m ： 各程序總資能源耗用量

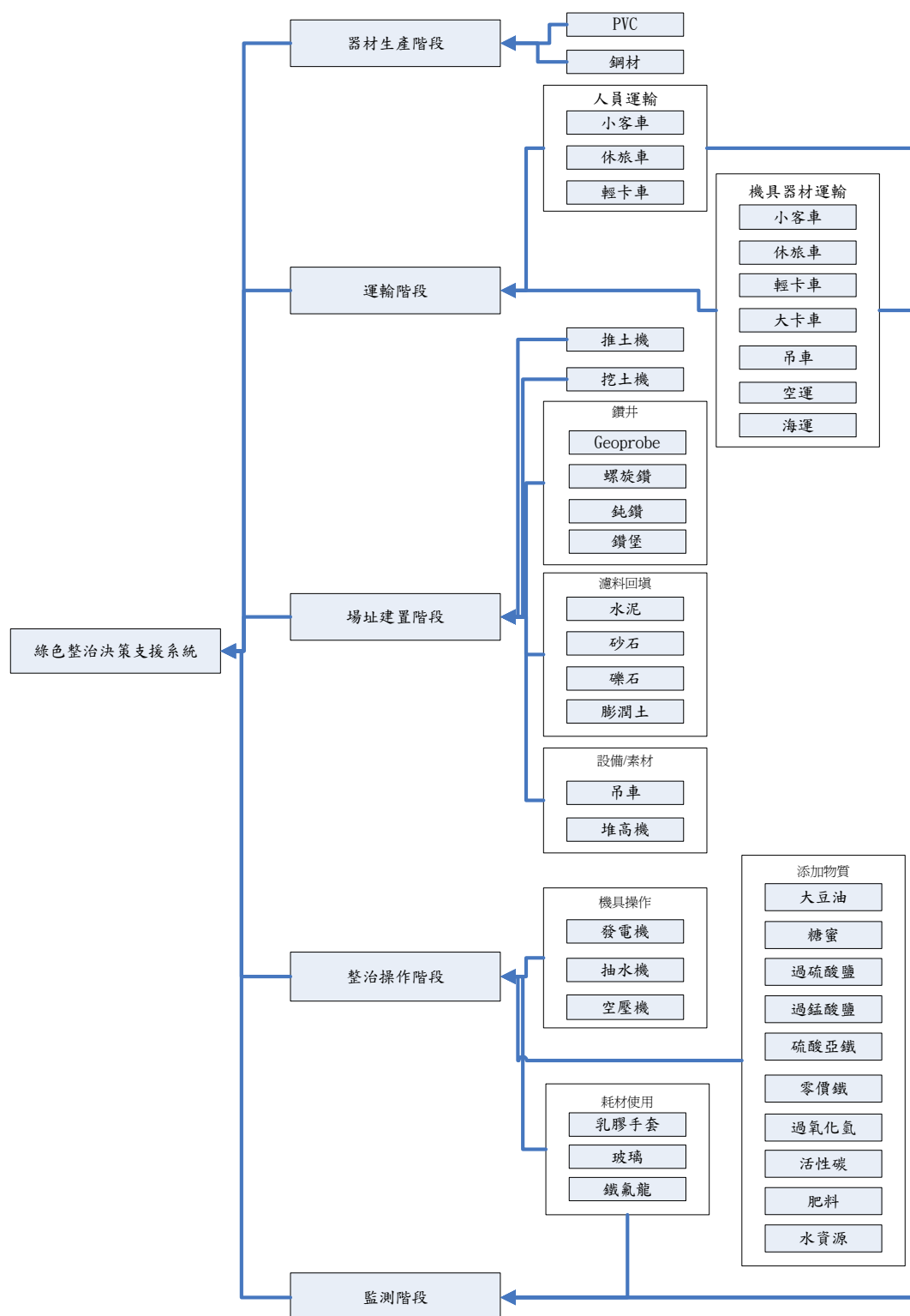


圖 4.1-2 綠色整治決策支援系統 LCA 系統邊界

● 評估準則權重

完成 RA 與 LCA 執行操作後，如欲利用決策支援系統評估選定整治技術綜和評價，則需進一步輸入權重，在本計畫建立之綠色整治決策支援系統模組中已內建計畫內所執行之專家學者問卷調查結果作為權重基礎(表 4.1-4)，而評估單位仍可自行調整，於模組中更新權重。

表 4.1-4 評估準則權重值

評估準則	權重值
耗水量	0.061
廢棄物	0.063
光化學煙霧	0.055
呼吸道效應	0.094
酸雨化效應	0.060
溫室效應	0.073
水域生態毒性	0.108
陸域生態毒性	0.105
能源耗用	0.067
資源耗用	0.056
土地佔用	0.035
健康風險	0.223

4.1.2 健康風險評估輸入參數

本計畫建置之決策支援系統，在 RA 的評估方面，主要針對整治過程中，場址內的工作人員與場址外的鄰近居民，其經由呼吸、飲用地下水、攝食等途徑去評估可能的風險。

◆ 場址特性

首先依據欲評估之污染場址輸入場址特定參數，模組中內建三維高斯地下水傳輸(表 4.1-5)，模擬場址外特定點因場址污染物釋放而承載多餘

的污染物濃度。為估算污染物於地下水中之傳輸，評估者需現地調查污染場址各項水文地質特性，如孔隙率、土壤密度、含水率、水力梯度等。

表 4.1-5 三維高斯地下水傳輸參數表

$C(x, y, z, t) = \frac{M}{8n(\pi t)^{3/2} \sqrt{D_L D_T D_z}} \exp \left[-\frac{(x-vt)^2}{4D_L t} - \frac{y^2}{4D_T t} - \frac{z^2}{4D_z t} \right]$		
參數	單位	說明
x	m	傳輸距離 X 方向
y	m	傳輸距離 Y 方向
z	m	傳輸距離 Z 方向
t	year	評估時間
M	g	污染物質質量
n	-	土壤孔隙率
D_L	m ² /yr	X 方向傳流係數
D_T	m ² /yr	Y 方向傳流係數
D_z	m ² /yr	Z 方向傳流係數
v	m/yr	地下水流速

◆ 暴露參數

鑑於污染場址直接暴露危害對工作人員與經由傳輸危害鄰近居民之嚴重性，模組中特別針對工作人員與鄰近居民分別評估，內建暴露途徑如表 4.1-6 所示。

表 4.1-6 受體暴露特性

項目	敏感受體	污染介質	暴露途徑			
			飲用水	吸入空氣	皮膚接觸	食物鏈
場址內	工作人員	空氣		<input type="checkbox"/>		
		地下水				
場址外	鄰近居民	空氣				
		地下水	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

本計畫建立之模組中僅先針對地下水污染進行評估，場址內工作人員主要透過呼吸接觸揮發的地下水污染物；而鄰近居民則因污染物可能經由地下水污染飲用水、日常用水或灌溉作物，故主要由飲用、洗澡皮膚接觸與食物鏈接觸鄰近居民。最後，利用暴露人口密度合計該評估場址對可能暴露之族群進行族群風險估算，即為總和工作人員與鄰近居民之總危害。

在場址內，主要評估工作人員經由呼吸而暴露到污染物的劑量，其估算方法與所需參數如表 4.1-7 所示。

表 4.1-7 經由呼吸吸入之暴露劑量

$Intake_{inhal} = \frac{C_{air} \times IR_{inhal} \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT \times 365}$		
參數	單位	定義
C_{air}	mg/m ³	空氣中關切污染物濃度
IR_{inhal}	m ³ /hr	平均呼吸速率
EF	hr/day	暴露頻率，一天暴露的時數
ED	day	暴露期間，暴露的總天數
BW	kg	平均體重
AT	year	暴露發生之平均時間
CF	kg/mg	單位轉換因子，數值為 10 ⁻⁶
$Intake_{inhal}$	mg/kg-day	吸入吸收暴露劑量

在場址外，主要評估鄰近居民經由飲用地下水、洗澡而造成的皮膚接觸與經由攝食而造成污染物的暴露劑量。其估算方法與所需參數如表 4.1-8 至表 4.1-10 所示。

本計畫建置之決策支援系統，已將上述之估算方程式內建於模組當中，透過相關暴露參數的輸入(表 4.1-11)，即可估算工作人員與鄰近居民的暴露劑量。

表 4.1-8 飲用地下水之暴露劑量

$Intake_{oral-water} = \frac{C_{water} \times IR_{oral-water} \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365}$		
參數	單位	定義
C_{water}	mg/L	地下水中關切污染物濃度
$IR_{oral-water}$	L/day	每日飲用水量
EF	hr/day	暴露頻率，一天暴露的時數
ED	day	暴露期間，暴露的總天數
BW	kg	平均體重
AT	year	暴露發生之平均時間
$Intake_{oral-water}$	mg/kg-day	飲水吸收之暴露劑量

表 4.1-9 皮膚接觸地下水之暴露劑量

$Intake_{dermal-water} = \frac{(K_p \times C_{water} \times t_l \times CF) \times EF \times ED \times SA}{BW \times AT \times 365}$		
參數	單位	定義
K_p	cm/hour	污染物皮膚滲透係數
C_{water}	mg/L	地下水中關切污染物濃度
t_l	hour/day	皮膚接觸的時間
CF	L/cm ³	單位轉換因子，數值為 10 ⁻³
SA	cm ²	身體表面積
EF	hr/day	暴露頻率，一天暴露的時數
ED	day	暴露期間，暴露的總天數
BW	kg	平均體重
AT	year	暴露發生之平均時間
$Intake_{dermal-water}$	mg/kg-day	皮膚接觸吸收暴露劑量

表 4.1-10 攝食之暴露劑量

$Intake_{food} = \frac{C_{food} \times IR_{food} \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365}$		
參數	單位	定義
C_{food}	mg/g	食物中關切污染物濃度
IR_{food}	g/day	每日攝食量
EF	day/year	暴露頻率，一天暴露的時數
ED	year	暴露期間，暴露的總天數
BW	kg	平均體重
AT	year	暴露發生之平均時間
$Intake_{food}$	mg/kg-day	攝食之暴露劑量

表 4.1-11 本計畫所需輸入之暴露參數表

暴露參數	單位	說明
呼吸率	m ³ /hr	平均呼吸速率
洗澡時間	hr/day	洗澡皮膚接觸的時間
飲用水量	L/day	每日飲用水量
作物食用量	kg/day	每日食用農作物量
肉品食用量	kg/day	每日食用肉品量
牛奶食用量	kg/day	每日食用牛奶量
雞蛋食用量	kg/day	每日食用雞蛋量
暴露頻率	hr/day	一天暴露的時數
暴露期間	day	暴露的總天數
體重	kg	平均體重
工人密度	persons/100m ²	場址內工人之人口密度
居民密度	persons/100m ²	場址外鄰近居民之人口密度

◆ 污染物選取

本計畫建置之綠色整治決策支援系統內建常見之 22 種土壤地下水污染物，其中英文對照如表 4.1-12。依場址現地調查結果選取該場址污染物，以利後續評估。污染物特性差異甚遠，嚴重影響到傳輸遠近與毒害程度，其直接反應於分配係數(partition coefficient)、遲滯因子(retardation factor)、致癌斜率因子(CSF)與非致癌參考劑量(RfD)等，間接影響 X、Y、Z 方向傳流係數，而污染物相關物化參數與毒理參數已內建於資料庫當中。

表 4.1-12 常見地下水中污染物中英文對照

英文名稱	中文名稱
Benzene	苯
Toluene	甲苯
Naphthalene	奈
Carbon tetrachloride/Tetrachloromethane	四氯化碳
Chlorobenzene	氯苯
Trichloromethane/chloroform	氯仿
Chloromethane/methyl chloride	氯甲烷
1,4 Dichlorobenzene	1,4-二氯苯
1,1-Dichloroethane	1,1-二氯乙烷
1,2-Dichloroethane	1,2-二氯乙烷
1,1-Dichloroethylene	1,1-二氯乙烯
Cis-1,2-dichloroethylene	順 1,2-二氯乙烯
Trans-1,2-dichloroethylene	反-1,2-二氯乙烯
phenols	總酚
Tetrachlorethylene	四氯乙烯
Trichloroethylene	三氯乙烯
Vinyl chloride	氯乙烯
1,2-Dichloropropane	1,2-二氯丙烷
1,2-Dichlorobenzene	1,2-二氯苯
1,3-Dichlorobenzene	1,3-二氯苯
Ethylbenzene	乙苯
dimethylbenzene/Xylenes	二甲苯

◆ 污染物濃度

選定欲評估之污染物後，即可針對污染物的檢測濃度進行評估。本計畫之決策支援系統設定的整治時間為五年，藉由各整治技術去除率的設定，依線性估算每年污染物因各技術效率遞減之濃度變化。因此可得出每經過一年的整治過程後場址內的污染物的濃度值，故可得到前五年整治期間的濃度值，而在第六年後的濃度則為整治五年結束後的濃度，以前五年與第六年後的濃度去估算暴露 30 年的風險值。

場址外濃度依前述，應用內建三維高斯擴散模式模擬場址內每年濃度變化後，對鄰近特定點濃度增量之影響；然而地下水傳輸模式發展成熟，有許多模式已於各界廣泛應用，且因模式屬性與尺度差異導致模擬結果差異甚遠，為此，模組中亦開放讓評估單位自行輸入濃度值，應用熟悉之地下水傳輸模式模擬廠址外濃度變化。同樣根據前五年整治期間與第六年後的濃度去估算鄰近居民暴露 30 年的風險值。

以此估算出的風險值，可作為欲評估的整治技術是否要持續進行的一個判別依據，若在整治五年後污染物濃度仍對場址內受體或場址外鄰近居民的風險偏高，決策者則可考慮採用新的整治技術進行污染物的處理。

4.1.3 生命週期評估輸入參數

本計畫建置之決策支援系統，在 LCA 的評估方面，主要將整治活動劃分為五個階段，分別為器材生產、運輸、場址建置、整治操作、監測，每項技術分別依據此五項步驟逐一進行盤查並輸入數據(圖 4.1-3)。

LCA 主要評估在整個整治過程中所使用的物質與能源量，量化成對環境的衝擊：

$$I_m = \sum_i U_m m_i$$

其中 m 為在 i 程序中所使用的物質總量， U_m 為使用一單位 m 物質所產生的環境衝擊， I_m 為使用物質 m 所造成的總環境衝擊；單位環境衝擊 U_m 在資料

庫中已建立完成，而在盤查階段則是要計算所使用的物質總量 m 。

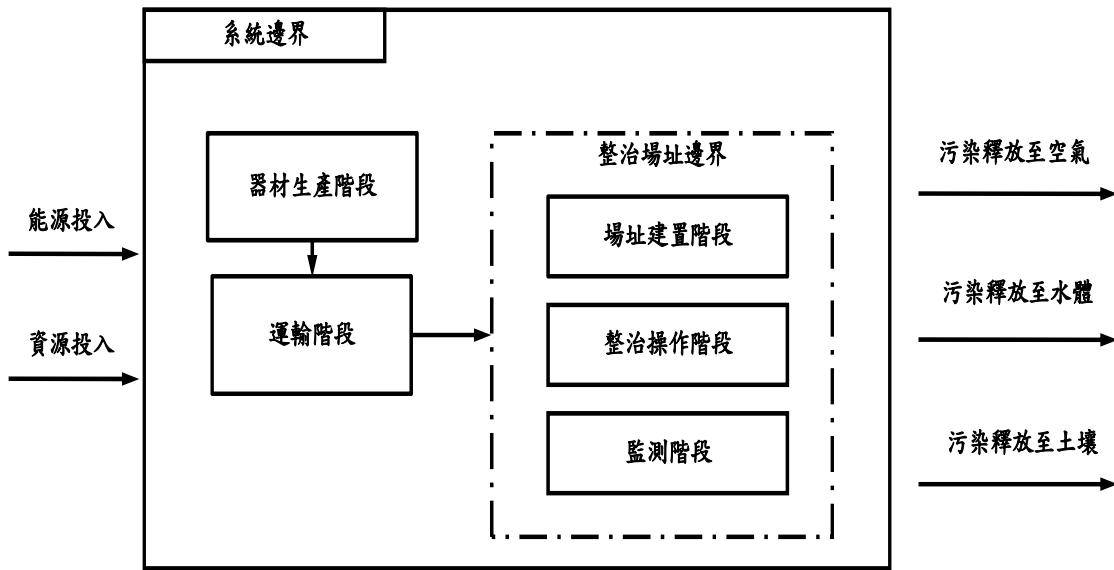


圖 4.1-3 本計畫 LCA 系統邊界

以下分別介紹本計畫建置之綠色整治決策支援系統，在各階段所需盤查之項目：

- 器材生產階段

在器材生產階段主要著重於盤查管材的耗用量，分為 PVC 管與不鏽鋼管兩種，依常見管材尺寸分為 2 吋、4 吋、6 吋、8 吋與 24 吋，為方便使用者盤查，本計畫在資料庫當中建置了生產每單位重量的 PVC 與不鏽鋼管的環境衝擊，故使用者只需盤查所使用的管材長度(表 4.1-13)，換算成總重量，即可估算出管材使用對環境所造成的衝擊，其計算如下：

$$I_{pipe} = U_{pipe} \times m \times L_{use}$$

其中 I_{pipe} ：使用管材之環境衝擊程度(impact)

U_{pipe} ：生產每單位重量管材造成的環境衝擊(impact/kg)

m ：單位長度管材的重量(kg/m)

L_{use} ：管材使用長度(m)

表 4.1-13 器材生產階段盤查表

Schedule 40 PVC	使用總長度(m)
2 吋	
4 吋	
6 吋	
8 吋	
24 吋	
不鏽鋼管	使用總長度(m)
2 吋	
4 吋	
6 吋	
8 吋	
16 吋	
24 吋	

其他在整治中可能用到之化學原料或藥劑，為強調其為整治時所添加，故將其劃分為整治操作階段，但其衝擊之估算仍包含其生產過程。

● 運輸階段

依據美國 SiteWise 所建立之盤查資料庫，在運輸方面主要的環境衝擊在於車輛所排放之空氣污染物數量，同時其與車種、載重大小、行駛距離等有關，故本計畫建置之決策支援系統參考此架構，將運輸階段分為人員運輸與機具器材運輸兩部分進行盤查：

- (1) 人員運輸項目依車種分為小客車、休旅車與輕卡車，分別估算乘坐人數與其行駛之里程數。為方便使用者盤查，本計畫在資料庫當中建置了各種車輛在行駛過程，乘坐一人行駛一公里排放的空氣污染物所造成的環境衝擊，故使用者只需盤查每種車輛所乘坐的人數與其行駛里程數(表 4.1-14)，估算出排放的空氣污染物總量，即可估算出人員運輸過程對環境所造成的衝擊，其

計算如下：

$$I_{person-transport} = U_{person-transport} \times p \times d$$

其中 $I_{person-transport}$ ：人員運輸之環境衝擊程度(impact)

$U_{person-transport}$ ：車輛乘座一人行駛一公里排放污染物造成的環境衝擊(impact/person-km)

p ：乘座人數(person)

d ：行駛里程數(km)

表 4.1-14 運輸階段-人員運輸盤查表

人員運輸	乘座人數	里程數(km)
四人座小客車		
休旅車		
輕卡車		

- (2) 機具器材運輸亦依車種分為小客車、休旅車、輕卡車、大卡車、吊車、空運與海運等，運送所需機具器材或原料至整治場址，其中需盤查運輸機具之載重量與運送過程之里程數。本計畫在資料庫當中建置了各種車輛在行駛過程，載重單位重量行駛一公里排放的空氣污染物所造成的環境衝擊，故使用者只需盤查每種車輛所運輸的機具總重量與其行駛里程數(表 4.1-15)，估算出排放的空氣污染物總量，即可估算出機具器材運輸過程對環境所造成的衝擊，其計算如下：

$$I_{equipment-transport} = U_{equipment-transport} \times M \times d$$

其中 $I_{equipment-transport}$ ：機具器材運輸之環境衝擊程度(impact)

$U_{equipment-transport}$ ：車輛乘載單位重量行駛一公里排放污染物造成的環境衝擊(impact/kg-km)

M ：載重量(kg)

d ：行駛里程數(km)

表 4.1-15 運輸階段-機具器材運輸盤查表

機具器材運輸	載重量(kg)	里程數(km)
四人座小客車		
休旅車		
輕卡車		
大卡車		
吊車		
空運		
海運		

● 場址建置階段

依據美國 SiteWise 所建立之盤查資料庫，在場址施工方面，主要的環境衝擊在於相關機具在操作過程中所排放之空氣污染物數量，同時其與機種、操作時間、消耗柴油量等有關，故本計畫建置之決策支援系統參考此架構，將場址建置階段分為以下部分盤查：

- (1) 依據推土機的操作馬力，分為小、中、大型的推土機，而挖土機的挖斗容量，分為小、中、大型的挖土機，本計畫在資料庫當中建置了各種開挖機具在操作過程，每小時的耗油量，以及每單位耗油量所排放出的空氣污染物總量，故使用者只需盤查每種開挖機具的操作時間(表 4.1-16)，即可估算出開挖機具在操作過程對環境所造成的衝擊，其計算如下：

$$I_{equipment-earthwork} = U_{equipment-earthwork} \times R \times t$$

其中 $I_{equipment-earthwork}$ ：機具操作過程之環境衝擊程度(impact)

$U_{equipment-earthwork}$ ：機具操作過程每單位耗油量造成的環境衝擊(impact/L)

R ：機具耗油速率(L/hr)

t ：操作時間(hr)

表 4.1-16 場址建置階段-開挖機具盤查表

推土機	馬力 (hp)	操作時間(小時)
小型推土機	< 100	
中型推土機	100 to 300	
大型推土機	> 300	
挖土機	挖斗容量(m3)	操作時間(小時)
小型挖土機	< 1.15	
中型挖土機	1.15 to 1.6	
大型挖土機	> 1.6	

- (2) 鑽井所用之機具分爲 Geoprobe、中空柱螺旋鑽、頓鑽與鑽堡。由於鑽井機具對環境的衝擊主要與其所消耗的柴油量有關，本計畫在資料庫當中建置了鑽井機具在操作過程，每單位耗油量所排放出的空氣污染物總量，故使用者只需盤查每種鑽井機具的總耗油量(表 4.1-17)，即可估算出鑽井機具在操作過程對環境所造成的衝擊，其計算如下：

$$I_{equipment-drilling} = U_{equipment-drilling} \times V$$

其中 $I_{equipment-drilling}$ ：鑽井操作過程之環境衝擊程度(impact)

$U_{equipment-drilling}$ ：鑽井操作過程每單位耗油量造成的環境衝擊
(impact/L)

V ：鑽井機具耗油量(L)

表 4.1-17 場址建置階段-鑽井機具盤查表

鑽井	耗油量(L)
Geoprobe	
中空柱螺旋鑽	
頓鑽	
鑽堡	

- (3) 一般設井回填濾料或地表復原的常用回填材料共分水泥、砂土、礫石與膨潤土四種，本計畫在資料庫當中建置了生產每單位重量濾料的環境衝擊，故使用者只需盤查濾料的總使用量(表 4.1-18)，即可估算出回填材料使用對環境所造成的衝擊，其計算如下：

$$I_{backfill} = U_{backfill} \times M$$

其中 $I_{backfill}$ ：濾料回填之環境衝擊程度(impact)
 $U_{backfill}$ ：每單位濾料使用造成的環境衝擊(impact/kg)
 M ：濾料使用量(kg)

表 4.1-18 場址建置階段-回填材料盤查表

回填材料	回填重量(kg)
水泥	
砂土	
礫石	
膨潤土	

- (4) 其他設備如運輸整治機具之吊車或原料搬運所使用之堆高機，本計畫在資料庫當中建置了吊車與堆高機等機具在操作過程，每小時的耗油量，以及每單位耗油量所排放出的空氣污染物總量，故使用者只需盤查每種機具的操作時間(表 4.1-19)，即可估算出相關機具在操作過程對環境所造成的衝擊，其計算如下：

$$I_{equipment-others} = U_{equipment-others} \times R \times t$$

其中 $I_{equipment-others}$ ：機具操作過程之環境衝擊程度(impact)
 $U_{equipment-others}$ ：機具操作過程每單位耗油量造成的環境衝擊
 (impact/L)
 R ：機具耗油速率(L/hr)
 t ：操作時間(hr)

表 4.1-19 場址建置階段-載重機具盤查表

設備/素材	操作時間(小時)
吊車	
堆高機	

● 整治操作階段

此階段主要盤查機具操作之台數與操作時間、添加物質之使用量、使用耗材之數量三大項目。依據美國 SiteWise 所建立之盤查資料庫，在整治操作方面，主要的環境衝擊在於相關機具在操作過程中所排放之空氣污染物數量，同時其與機種、操作時間、消耗柴油量等有關，另外在整治操作過程需消耗許多化學物質、藥劑、相關耗材等，故本計畫建置之決策支援系統分為以下部分盤查：

- (1) 整治過程中運用之機具包含柴油發電機、抽水機與空壓機。柴油發電機依據不同的發電功率每小時的耗油量不同，本計畫在資料庫當中建置了柴油發電機在操作過程每小時的耗油量，以及每單位耗油量所排放出的空氣污染物總量，故使用者盤查發電機的操作時間(表 4.1-20)，即可估算發電機在操作過程對環境所造成的衝擊，其計算如下：

$$I_{generator} = U_{generator} \times R \times n \times t$$

其中 $I_{generator}$ ：發電機操作過程之環境衝擊程度(impact)

$U_{generator}$ ：發電機操作過程每單位耗油量造成的環境衝擊
(impact/L)

R ：機具耗油速率(L/hr)

n ：機具數量

t ：操作時間(hr)

表 4.1-20 整治操作階段-柴油發電機盤查表

柴油發電機	耗油率(L/hr)	台數	操作時間(小時)
小型發電機(4KW)	1.5		
中型發電機(575KW)	29		
大型發電機(910KW)	50		

而抽水機與空壓機則根據其所消耗的電力估算對環境的衝擊，本計畫在資料庫當中建置了抽水機與空壓機在操作過程，每度的耗電量所造成的環境衝擊，故使用者只需盤查抽水機與空壓機的操作時間(表 4.1-21)，即可估算出其在操作過程對環境所造成的衝擊，其計算如下：

$$I_{pump} = U_{pump} \times R \times n \times t$$

其中 I_{pump} ：抽水機與空壓機操作過程之環境衝擊程度(impact)
 U_{pump} ：抽水機與空壓機操作過程每單位耗油量造成的環境衝擊(impact/kWh)
 R ：機具耗電速率(kWh/hr)
 n ：機具數量
 t ：操作時間(hr)

表 4.1-21 整治操作階段-抽水機與空壓機盤查表

抽水機	馬力(hp)	台數	操作時間(小時)
口徑 40mm*40mm	0.5		
口徑 40mm*40mm	1		
口徑 40mm*40mm	2		
口徑 50mm*50mm	3		
口徑 50mm*50mm	5		
空壓機	馬力(hp)	台數	操作時間(小時)
規格 1	3		
規格 2	5		
規格 3	7.5		

- (2) 整治添加物目前主要挑選目前常用之大豆油、糖蜜、過硫酸鹽、過錳酸鹽、硫酸亞鐵、零價鐵、過氧化氫、活性碳與肥料等九項物質作為代表，另外，整治過程所額外消耗的水資源量，亦在此階段進行盤查。

為方便使用者盤查，本計畫在資料庫當中建置了生產每單位重量的添加物質所造成的環境衝擊，故使用者只需盤查所使用的物質總重量(表 4.1-22)，即可估算出使用添加物質對環境所造成的衝擊，其計算如下：

$$I_{material} = U_{material} \times M$$

其中 $I_{material}$ ：物質使用之環境衝擊程度(impact)

$U_{material}$ ：每單位物質使用造成的環境衝擊(impact/kg)

M ：物質總使用量(kg)

表 4.1-22 整治操作階段-添加物質盤查表

物質名稱	重量(kg)
大豆油	
糖蜜	
過硫酸鹽	
過錳酸鹽	
硫酸亞鐵	
零價鐵	
過氧化氫	
活性炭	
肥料	
水資源	體積(L)
耗水量	

- (3) 在整治操作過程需要消耗乳膠手套、玻璃與鐵氟龍等，本計畫在資料庫當中建置了使用每單位重量的耗材所造成的環境衝擊，故使用者只需盤查所使用的耗材總重量(表 4.1-23)，即可估算出耗材使用對環境所造成的衝擊，其計算如下：

$$I_{consumable} = U_{consumable} \times m \times M$$

其中 $I_{backfill}$ ：耗材使用之環境衝擊程度(impact)

$U_{backfill}$ ：每單位耗材使用造成的環境衝擊(impact/kg)

m ：每單位耗材重量 (kg/unit)

M ：耗材使用量(unit)

表 4.1-23 整治操作階段-耗材盤查表

乳膠手套	數量(雙)
乳膠手套	
玻璃	重量(kg)
玻璃	
鐵氟龍	長度(m)
鐵氟龍	

● 監測階段

監測階段所需長期之人員機具運輸、機具操作與耗材使用皆納入評估範疇。人員與機具運輸依運輸車種分別輸入乘座人數、載重數與里程數，而機具操作則依機具耗油率與馬力分別估算機種之台數與操作時間，此兩項盤查數據對環境衝擊的估算與運輸階段之計算方法相同；盤查監測時消耗的乳膠手套、玻璃與鐵氟龍總量，配合資料庫中生產每單位耗材所排放出之污染總量，可進一步估算出各種耗材在整治使用所造成的環境衝擊。其相關計算方法如前述。表 4.1-24 至表 4.1-26 為監測階段所需之盤查表。

表 4.1-24 監測階段-人員與機具運輸盤查表

人員運輸	乘座人數	里程數(km)
四人座小客車		
休旅車		
輕卡車		
機具器材運輸	載重量(kg)	里程數(km)
四人座小客車		
休旅車		
輕卡車		

表 4.1-25 監測階段-操作機具盤查表

柴油發電機	耗油率(L/hr)	台數	操作時間(小時)
小型發電機(4KW)	1.5		
中型發電機(575KW)	29		
大型發電機(910KW)	50		
抽水機	馬力(hp)	台數	操作時間(小時)
口徑 40mm*40mm	0.5		
口徑 40mm*40mm	1		
口徑 40mm*40mm	2		
口徑 50mm*50mm	3		
口徑 50mm*50mm	5		

表 4.1-26 監測階段-耗材盤查表

乳膠手套	數量(雙)
乳膠手套	
玻璃	重量(kg)
玻璃	
鐵氟龍	長度(m)
鐵氟龍	

4.2 常用之地下水整治技術原理說明

4.2.1 物理處理技術

● 地下水抽出處理

地下水抽出處理法(pump & treat)是最常使用的地下水整治技術之一，傳統的地下水抽取處理法是將污染地下水抽除至地表進行處理，亦為美國超級基金場址過去最主要的整治方法。

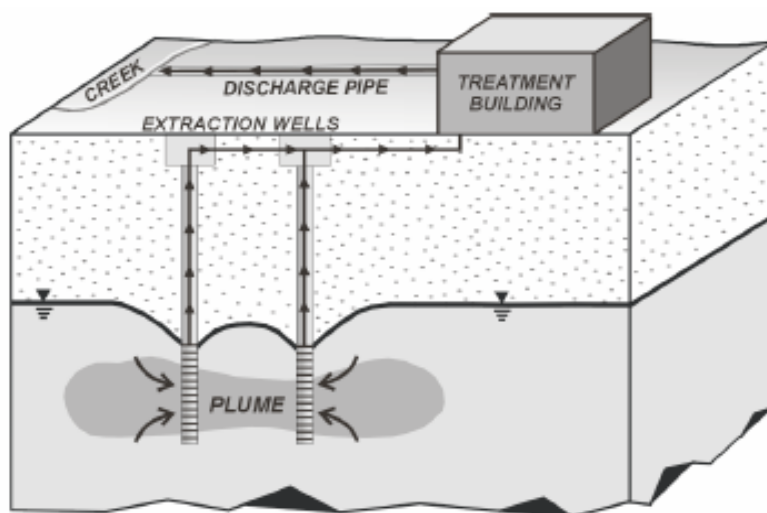
1. 原理

地下水抽出處理法係由抽水井或抽水渠(drain)等抽除系統，將受污染之地下水抽除至地表後進行處理。抽除系統於操作過程中會形成一個捕捉區(capture zone)，可將經過捕捉區之受污染地下水抽除。地下水抽出處理法之原理示意圖及捕捉區概念圖，分別如圖 4.2-1 及圖 4.2-2 所示。由於本項工法簡單、初期處理成本較為經濟、技術門檻較低，為最常用之地下水整治技術。

地下水抽出處理法主要可達到兩種目的，一為水力控制，即控制受污染地下水的移動，以避免污染區域的繼續擴散；二為污染處理，為降低地下水中溶解污染物的濃度，以達到整治目標。其中水力控制常作為地下水污染場址緊急應變的措施，而當其作為污染處理的規劃時，則常與其它整治技術一併使用，如地下水注氣法(air sparging)等。實際應用本法時，可視目的不同而有不同設計，一般而言，作為水力控制所需的抽水流量較小，所需經費可較為便宜。

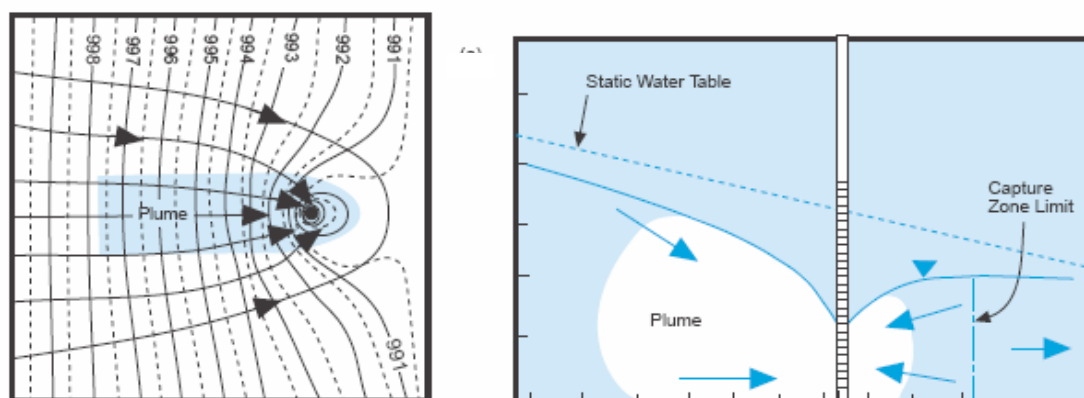
2. 適用環境

本法適用地下水含水層中溶解相污染物的移除及進行水力控制。若於抽除地下水抽出處理法係由抽水井或抽水渠(drain)等抽除系統，將受污染之地下水抽除至地表後進行處理。抽除系統於操作過程中會形成一個捕捉區(capture zone)，可將經過捕捉區之受污染地下水抽除。由於本項工法簡單、初期處理成本較為經濟、技術門檻較低，為最常用之地下水整治技術。



資料來源：USEPA, Pilot Project to Optimize Superfund-financed Pump-and-Treat Systems: Summary Report and Lessons Learned, Cover, EPA 542-R-02-008a, 2002.

圖 4.2-1 地下水抽出處理法原理示意圖



資料來源：USEPA, Design Guidelines for Conventional Pump-and-Treat Systems, Section 2, EPA 540-S-97-504, September 1997

圖 4.2-2 地下水抽出處理法之捕捉區概念圖

地下水含溶解性污染物時，則一般水井水力學原理均適合於評估地下水污染物的抽除。若場址水文地質條件是滲透性較低或地質結構較為複雜且為非均質性時，則採取本法進行整治則較不適當。若場址滲透性較佳，除抽水外，甚至可以將抽出處理後之地下水進行補注，或搭配其他整治方式加強處理，則可更有效地移除水中污染物，亦是整治技術列車常選用本法為初期整治方法的原因。

3. 應用上之優缺點

本法應用上之優缺點，如表 4.2-1 所示。

表 4.2-1 地下水抽出處理法技術優缺點比較表

優點	缺點
1. 設置簡單、快速，操作經驗需求較低。 2. 設置及維護成本較低。 3. 對於污染區域較小，或是污染濃度不高的場址，容易達成整治目標。 4. 容易同時搭配其他土壤或地下水的整治方法，形成多重組合的整治序列，提高整治效能。	1. 部分 DNAPL 物質，溶解於水中的速率相當緩慢，導致污染物無法隨地下水快速有效地抽出。 2. 污染物從水力傳導的區域擴散到水力傳導高的區域速率緩慢。 3. 含水層中，已被土壤吸附污染物質的脫附速率較為緩慢，因此，當在地下水中污染物濃度已被抽除降低之後，若停止抽水，仍有可能因緩慢的脫附作用，使得水中濃度再度緩慢的提升。 4. 死角區域(dead-end zone)的水動力會遭到隔絕(hydrodynamic isolation)。

資料來源：1. Jafvert, C.T. (1996) Technology Evaluation Report-Surfactant/Cosolvent, Groundwater Remediation Technologies Analysis Center, TE-96-02.

2. 「地下水的污染整治」，盧至人譯，國立編譯館出版，1997。

● 地下水循環井

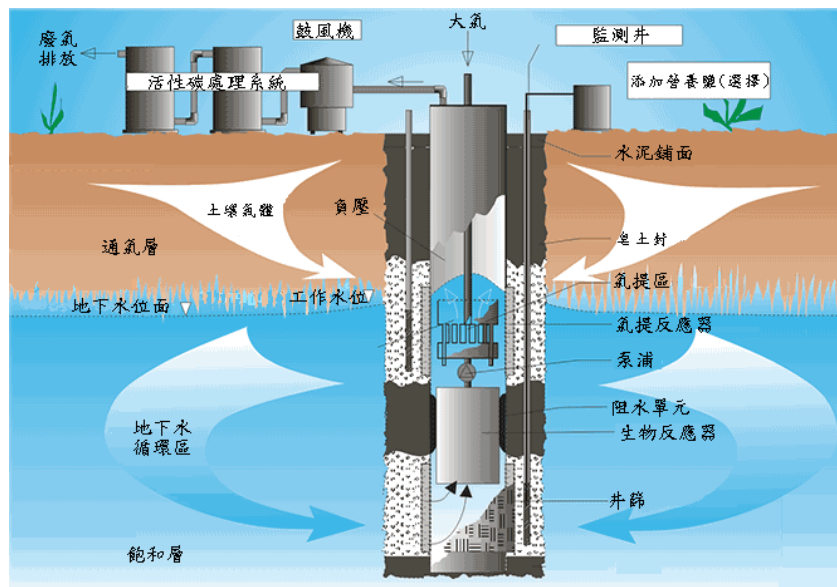
地下水循環井法(groundwater circulation well, GCW)在國內又可稱為井內氣提法(in well air stripping)或井內曝氣法，此法在國內已有使用於 DNAPL 場址之案例，針對國內常見 DNAPL 污染物，如三氯乙烯及其降解之產物，有其移除功能，相較於大部分之化學氧化法或其它物理整治方法，地下水循環井法之設置及操作費用較為經濟。

1. 原理

本法係綜合氣提(air stripping)、土壤間隙氣體抽除(soil vapor extraction)及加強生物降解(enhanced biodegradation)等整治方法，以達到去除地下水中污染物之目

的。其整治原理乃將井內受污染之地下水，藉由氣提程序或氣提設備處理後，使地下水中揮發性污染物由溶解相轉變為氣相，再進行氣相污染物收集工作；氣相污染物藉由揮發性有機物處理設備進行整治，或回注至通氣層(vadose zone)中，以生物整治方式進行處理；而經過氣提作用處理後之污染濃度降低，地下水則回注入井內補注含水層，藉由此補注及抽除之程序，以循環方式處理含水層中之污染地下水，過程中同時進行土壤間隙蒸氣抽除。

地下水循環區域會形成垂直向沖提，有助於垂直分層間透水係數較低之地層中污染物的移除，也可強化污染源區域的污染物的釋出，加速整治效率。本法之原理示意圖，如圖 4.2-3 所示。



資料來源：IEG Technologie GmbH , <http://www.ieg-technologie.com>

圖 4.2-3 地下水循環井法整治系統原理示意圖

2. 適用環境

地下水循環井法係針對移除地下水飽和層中的污染物所設計之技術，為地下水現地整治技術之一種，但亦可同時處理通氣層土壤；其應用範圍包括：含氯有機溶劑、碳氫化合物以及其他可被氣提之污染物。其設計比其他常用之注氣法或抽出處理都要簡單，且維護上相當容易。

目前現地應用主要是針對揮發性鹵化物(如三氯乙烯)以及油品類之組成(如 BTEX)。部分應用經過適當的修改後，可應用於半揮發性有機物及殺蟲劑污染的移除。至於地質條件部分，其應用範圍之土壤特性涵蓋粉土質黏土至砂質礫石(silty clay to sandy gravel)，亦是相當廣泛，在相對較均質的區域，其效果較佳。

3. 應用上之優缺點

本法為現地處理技術，因此相較傳統的地下水抽出處理技術，具有較高經濟效益的優點；並藉由地下水垂直向沖提，加強垂直分層間透水係數較低之地層中污染物的移除，因而加速整治效率。

但由於本法直接於地下水中進行氣提，對於地下環境之化學特性有一定的影響，包括地下水的碳酸鹽平衡、pH 值、氧化還原態以及溶氧等，並可直接造成地下水中沉澱物的增加、溶氧的提升以及地下水緩衝能力的改變，因此設計時應對這些環境衝擊予以考量、說明。此外，在井中氣提的過程中，是否有逸散至地表的情形，如果有類似的情形發生，則應確認逸散濃度對環境不會造成風險。表 4.2-2 為本法於應用上之優缺點比較表。

1. 界面活性劑/共溶劑沖洗

1. 原理

界面活性劑/共溶劑沖洗系統通常為包含成對的注入井與抽出井之系統。將已針對整治場址與污染物性質調整為適當濃度之界面活性劑/共溶劑經由注入井加入地下水層中，當沖洗污染區域時，可使 DNAPL 溶入微胞(micelle)內部，減少界面張力且增加其移動性及溶解性，接著 DNAPL 與地下水經由抽出井抽出，最終將 DNAPL 完全移除。界面活性劑沖排移除 NAPL 機制有以下二種：

- (一) 利用界面活性劑降低 NAPL 與土壤介質間之界面張力，進而使 NAPL 形成液滴，並隨地下水流移動。
- (二) 利用界面活性劑之增溶效應，使 NAPL 形成微胞(數十到數百個界面活性劑分子聚集而形成的小胞狀結構)，並溶入地下水流。

表 4.2-2 地下水循環井法技術優缺點比較表

優點	缺點
<ol style="list-style-type: none"> 1.為現地處理技術，具有可連續將地下水中揮發性有機物抽除之現地處理的優點。 2.採用垂直向沖提，有助於垂直分層間透水係數較低之地層中污染物的移除，也可能強化污染源區域的污染物的釋出，加速整治效率。 3.部分系統設計沒有回注之需求，因此可降低回注時的法規限制。 4.由於其運作為垂直向的循環，對地下水位的影响較小，特別適用於對地下水位變化敏感的區域(溼地或單一補注源的地下含水層)。 5.部分系統設計為無需將地下水抽出地表或設置地上處理系統(如氣提塔與儲存槽)，可減少地上設施所需空間。活性碳設備是抽出的揮發性有機物氣體最常使用的處理設施。 6.井內氣提除了降低地下水中之揮發性有機物濃度進而降低對生物的毒性，也因為氣提過程的曝氣可使地下水中的溶氧高於週遭的溶氧，所以可以強化好氧生物降解。 7.與其他整治技術結合，可以成為其他整治技術的平台，如氧化劑、界面活性劑與觸媒等的傳送，也可以藉以送入營養鹽與電子接受者，以強化生物整治。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 對地質水文條件相當敏感，當地下環境之不等向性高時，可能明顯影響循環效能與影響半徑。 2. 如果井未能適當設計，可能將未處理完全之地下水導引至影響半徑外區域。 3. 處理效能受到污染物揮發性與系統設計的限制。 4. 氣提效應可能造成地下水中地球化學性質的改變；其中常見的一種情形為地下水中二氧化碳濃度因為氣提作用而減少，進而改變地下水的緩衝能力並導致 pH 值提高，因此產生鐵與鈣的沉澱，造成井的堵塞及限制地下水循環流量。 5. 井的設計與設置困難度較高，在設置過程必須確實避免上下井篩之間相通，同時其間之井封也必須確實，以免造成地下水經由井封位置互相流動，未能形成大的循環單元。 6. 井內氣提並不適用於地下水層厚度太薄的區域。 7. 其原理與一般之氣提塔相同皆為氣提作用，所以無法處理不具揮發性的污染物；具有較高的亨利常數的污染物較容易移除。

資料來源：Naval Research Laboratory, Groundwater Circulation Well Technology Assessment, NRL/PU/6115-99-384, May 1999.

界面活性劑之英文“surfactant”為表面活性劑(surface active agent)之組合，其主要的分子結構特性，是同時具有疏水性及親水性的官能基，通常前者為對水溶解性很差之長碳鏈分子，而後者通常為對水有相當親和性之極性分子，使得界面活性劑在水中成為一種相當特殊的介質。界面活性劑獨特的化學特性，即在低濃度時界面活性劑以單體(monomer)的形式存在，單體會持續在油水或土水界面累積，當單體濃度持續增加到所謂的臨界微胞濃度(critical micelle concentration, CMC)時，單體開始聚集成為微胞。當濃度高於臨界微胞濃度時，單體與微胞結構同時共存，而單體會維持在臨界微胞濃度的濃度，多於臨界微胞濃度的部分，則因為疏水基互相吸引而聚集成為一表面為親水性，而內部為疏水性核心的微胞結構。微胞的典型基本結構，如圖 4.2-4 所示。微胞所具備的疏水性核心可以讓疏水性有機物分配或溶容(solubilize)於其中，進而提高有機物在水中的整體溶解度。

除了界面活性劑之外，某些污染場址可能發生界面活性劑黏附或吸附於土壤中，使得去除 NAPLs 所需使用的劑量隨之增加，此種情況可添加共溶劑加以避免。其目的是為了使污染物從土壤顆粒中脫附，並使得污染物容易溶解分散於水中，而水中的溶解度增加之後，可以提升界面活性劑的利用率。

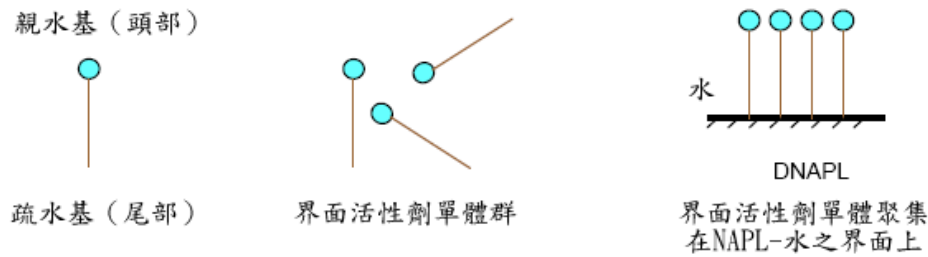
2. 適用環境

界面活性劑/共溶劑沖洗法相當適合用於地下水含水層介質中 DNAPL 污染之去除，對於溶解相、揮發相之污染物則較不適合。另外，本技術也可與其他處理技術，如生物處理法、化學氧化法等結合，以完全移除污染物。

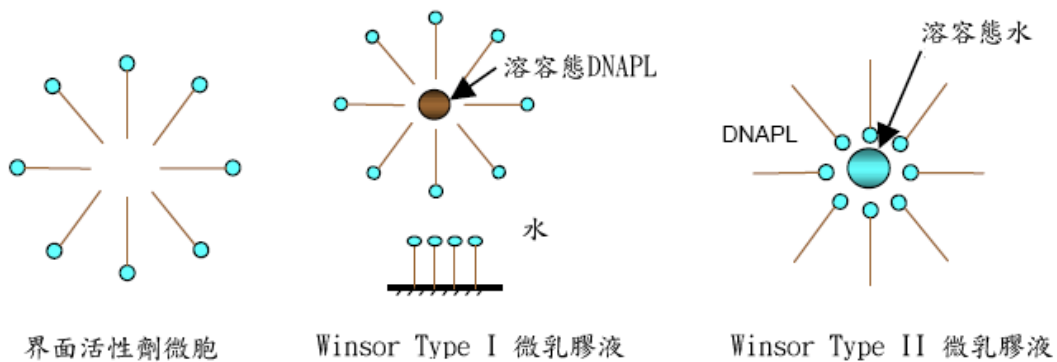
評估單一場址的適用性，需考慮三個主要因素，分別是：

- (一) 場址之水文地質情形：使用界面活性劑/共溶劑沖洗法時，污染物需在一定的時程內有效的於污染區域流動至抽出井抽出，因此，土壤之流動性亦相當關鍵，所以本技術於滲透性較高的砂質、沉泥質或礫質土壤比低滲透率之黏土質或岩層土壤適合。
- (二) 污染物之特性：DNAPL 污染物本身的流動性也會影響本技術之適用性。高黏性的 DNAPL，如煤焦油(coal tars)與雜酚油(creosotes)因流動性較差，因此常需透過添加膠黏劑(viscosifier)的方式達到整治功效。
- (三) 先期實驗研究與化學品選用：包括界面活化劑與共溶劑之種類選擇、規劃最佳整治系統之組成元素，與評估所需注入的化學品總量。

界面活性劑濃度在臨界微胞濃度(CMC)以下之情形



界面活性劑濃度在臨界微胞濃度(CMC)以上之情形



資料來源：NAVFAC, Surfactant-Enhanced Aquifer Remediation (SEAR) Design Manual, Technical Report TR-2206-ENV, p.38, April 2002.

圖 4.2-4 界面活性劑微胞基本結構特性圖

3. 應用上之優缺點

界面活性劑/共溶劑沖洗法在應用上之各項可能優缺點，如表 4.2-3 所示。

表 4.2-3 界面活性劑/共溶劑沖洗法技術優缺點比較表

優點	缺點
<ol style="list-style-type: none"> 1. 可將地下水介質中大部分之 DNAPL 快速的去除。 2. 地表面足跡較小之現地整治技術，因此可適用於建物下方之污染場址。 3. 避免開挖、處理與運送大量的污染土壤/沉積物。 4. 可提升傳統的地下水抽出處理法的整治效率。 5. 適用於許多污染物之整治，包括去脂溶劑(三氯乙烯與三氯乙酸)、乾洗溶劑(四氯乙烯)、重油類、含 PCB 油類等。 6. 可單獨運用，亦可與其他整治技術結合。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 界面活性劑或共溶劑配方之調配成本較高，在開始整治之前，需投入大量經費進行實驗室與模擬作業。 2. 整治系統之設計須針對個別之場址情形以及污染物濃度而變化，必須重新調配之可能性較高。 3. 目前尚無長期性研究以確認整治後之反彈作用。 4. 不適用於低滲透性土壤，如黏土質或岩層。 5. 增加 DNAPL 移動性的同時，可能會造成污染帶轉移至原本未被污染之含水層。 6. 生物不可分解或難分解之界面活性劑，可能殘存於地下環境中，因此提高需採用藥品以降低風險之成本。

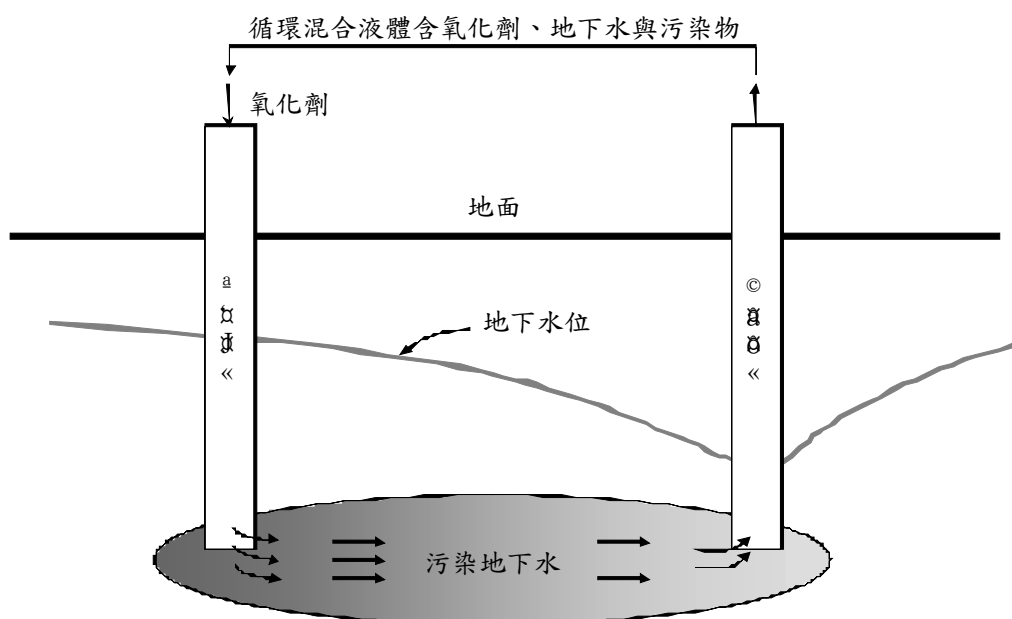
4.2.2 化學整治技術

● 化學氧化法

1. 原理

現地化學氧化法不需將污染土壤挖除或將污染地下水抽除，而是在污染區域(污染帶)中設置不同深度的注入井，再利用泵浦加壓，將化學氧化劑透過注入井注入至地下環境中。氧化劑與污染物混合、反應，使土壤與地下水中的污染物鍵結破壞、分解成較不具危害性的物質，理想狀況下，可轉化成二氧化碳、水與無機

鹽類，但亦可能產生有毒的中間副產物。如為縮短整治期程，通常會利用一個井注入化學氧化劑，另一個井將污染地下水抽除出來，並且設置氧化劑循環再利用設備。較常用的氧化劑種類有過錳酸鹽(MnO_4^-)、Fenton 試劑(過氧化氫+鐵離子， $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$)、臭氧(O_3)及過硫酸鹽($\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$)等 4 種，其中以過錳酸鹽較為廣泛應用。本法原理示意圖，如圖 4.2-5 所示。



資料來源：USEPA, A Citizen's Guide to Chemical Oxidation, April 2001.

圖 4.2-5 現地化學氧化法示意圖

2. 適用環境

現地化學氧化法可處理三氯乙烯、四氯乙烯、二氯乙烯、多環芳香族碳氫化合物、苯、甲苯、二甲苯、乙苯，以及其他有機化合物。不同氧化劑處理不同種類的污染物之適用性，如表 4.2-4 所示。

本法適用性與處理成效之主要因素，包括：(1)氧化劑與關切污染物是否會產生化學反應；(2)氧化劑是否能接觸到污染物，亦即是否有方法可以將氧化劑注入至污染區域(污染帶)；(3)氧化劑的持久性(oxidant persistence)，亦即氧化物與污染物可發生反應的時間。

表 4.2-4 各種氧化劑處理不同關切污染物之適用性

氧化劑	可處理之污染物	勉強可處理之污染物	不易處理之污染物
過氧化氫/ 鐵	三氯乙烷、四氯乙烯、三氯乙烯、二氯乙烯、氯乙烯、苯、甲苯、二甲苯、乙苯、氯苯、總酚、1,4-環氧己烷、甲基第三丁基醚、第三丁醇、爆炸物	二氯乙烷、二氯甲烷、多環芳香族碳氫化合物、四氯化碳、多氯聯苯	三氯甲烷、農藥
臭氧	三氯乙烷、四氯乙烯、三氯乙烯、二氯乙烯、氯乙烯、苯、甲苯、二甲苯、乙苯、氯苯、總酚、1,4-環氧己烷、甲基第三丁基醚、第三丁醇、爆炸物	二氯乙烷、二氯甲烷、多環芳香烴化合物	三氯乙烷、四氯化碳、三氯甲烷、多氯聯苯、農藥
臭氧/過氧化氫	三氯乙烷、四氯乙烯、三氯乙烯、二氯乙烯、氯乙烯、苯、甲苯、二甲苯、乙苯、氯苯、總酚、1,4-環氧己烷、甲基第三丁基醚、第三丁醇、爆炸物	二氯乙烷、二氯甲烷、多環芳香族碳氫化合物、四氯化碳、多氯聯苯	三氯甲烷、農藥
過錳酸鹽 (鉀、鈉)	三氯乙烷、四氯乙烯、三氯乙烯、二氯乙烯、氯乙烯、苯、甲苯、二甲苯、乙苯、多環芳香族碳氫化合物、總酚、爆炸物	苯、農藥	三氯乙烷、四氯化碳、三氯甲烷、多氯聯苯、農藥
活性過硫酸鹽	三氯乙烷、四氯乙烯、三氯乙烯、二氯乙烯、氯乙烯、苯、甲苯、二甲苯、乙苯、總酚、1,4-環氧己烷、甲基第三丁基醚、第三丁醇	多環芳香烴化合物、爆炸物、農藥	多氯聯苯

資料來源：ITRC, Technical and Regulatory Guidance for In Situ Chemical Oxidation of Contaminated Soil and Groundwater, p.17, January 2005.

3. 應用上之優缺點

本法可使用的氧化劑之反應物型態、穩定性、技術發展程度與氧化能力彙整如表 4.2-5。低滲透性與非均質性地下環境，影響氧化劑的注入、傳輸、抽取、回收與再利用，如採本法將極具挑戰性。本法在應用上之各項可能優缺點，如表 4.2-6 所示。

表 4.2-5 氧化劑之反應物型態、穩定性與技術發展程度彙整表

氧化劑	反應物	反應物型態	藥劑持久性*	技術發展程度
過錳酸鹽	MnO_4^-	粉末、液態	> 3 個月	發展中(developing)
Fenton 試劑	$\cdot\text{OH}$ 、 $\cdot\text{O}_2^-$ 、 $\cdot\text{HO}_2$ 、 HO_2^-	液態	數分至數小時	實驗性/新興技術
臭氧	O_3 、 $\cdot\text{OH}$	氣態	數分至數小時	實驗性/新興技術
過硫酸鹽	$\cdot\text{SO}_4^{2-}$	粉末、液態	數小時至數週	實驗性/新興技術

資料來源：USEPA, Engineering Issue – In-Situ Chemical Oxidation, 600-R-06-072, p.2, 2006.

4.2.3 生物整治技術

現地生物整治(in-situ bioremediation)乃是自然界反應過程，藉由碳源(電子接受者)及微生物有機降解過程，去除或降低污染物的毒性，或轉成無毒性的型態，以達到整治之成果，所以微生物的特性是關鍵要素。微生物包括單細胞與多細胞生物，常見的菌種有細菌、真菌、光合成微生物和微小蟲類等。根據能量來源，細菌可分為光合成菌(phototrophs)、異營菌(heterotrophs)及化學自營菌(chemoautotrophic bacteria)等。有些細菌可同時以有機及無機物為其營養鹽，處理外來人工污染物(如鹵化物)；另外，在生物整治中，異營菌為主要降解有機污染物的菌種，光合成菌常應用於處理土壤中重金屬污染物或毒性污染物之生物轉化機制。因此，整治上多利用異營菌降解有機污染物，處理地下水污染問題。

目前國內外在生物整治技術之選擇上，已趨向於經費節省、高處理效率及技術整合之方向發展，而就恢復污染場址土地原有使用用途而言，生物整治技術其破壞性較低，並具有有效處理及經費較為經濟之優點。

表 4.2-6 現地化學氧化法技術優缺點比較表

優點	缺點
<ol style="list-style-type: none"> 1. 適用於處理較廣泛的污染物類型。 2. 現地破壞污染物。 3. 相較於其他整治技術(如抽水處理法與自然衰減法)，現地化學氧化法可能可以降低整治成本。 4. 可處理水相、吸附相與非水相的污染物。 5. 可強化物質傳輸(如強化脫附作用與 NAPL 物質的溶解)。 6. 過氧化氫的反應熱可加速物質傳輸、反應速率與微生物活動。 7. 可能強化化學反應後之微生物活動強度與自然衰減速率。 8. 相較於其他候選整治技術可能具成本競爭優勢。 9. 整治期程較短。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因含水層異質性與反應運移 (reactive transport)造成氧化劑傳輸上的問題。 2. 在某些土壤與含水層中，天然可氧化物質之氧化劑消耗量可能相對偏高。 3. 部分氧化劑因在地下環境反應速率快，持久性(使用時間)短。 4. 運作強氧化劑所衍生的工業安全衛生問題，例如 30 % ~ 40 %的過氧化氫溶劑可能造成嚴重的灼傷；化學品的不穩定性亦可能引起火災與爆炸。 5. 造成污染物移動的潛在問題。 6. 降低滲透性(造成土壤孔隙阻塞)的潛在問題。 7. 可能不適用於嚴重污染場址。 8. 對混合污染物處理需採用整治技術組合(treatment train)。

資料來源：USEPA, Engineering Issue – In-Situ Chemical Oxidation, 600-R-06-072, p.4, 2006.

1.原理

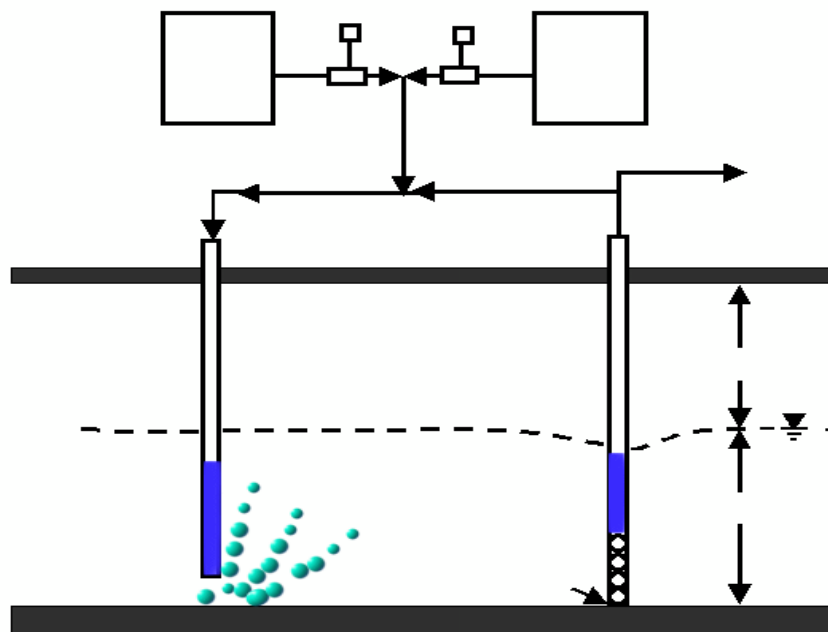
生物整治法(bioremediation)是一種利用自然程序來清除環境中有害化學物質的方法。生活在土壤及地下水中的微生物會吃某些特定的有害化學物質，例如油品類的洩漏物。當微生物消化完這些化學物質後，便將它們轉化為水、無害氣體與二氧化碳等，如圖 4.2-6 所示；而生物整治法即利用添加外在碳源或氮源等營養源於受污染的土壤或地下水體，使存在於地下環境中之具毒性之污染物因自然界

微生物代謝反應產生降解，轉為無害的物質；再藉由抽水井使污染區地下水產生洩降錐，使污染物往抽水井方向移動。而被抽出的地下水可進行回收或經處理後排放。本法原理示意圖請參見圖 4.2-7 所示。



資料來源：USEPA, A Citizen's Guide to Bioremediation, EPA 542-F-01-001, April 2001。

圖 4.2-6 微生物處理有機污染物之概念示意圖



資料來源：FRTR, Version 4.0, Enhanced Bioremediation In situ GW Remediation Technology.

圖 4.2-7 生物整治法原理示意圖

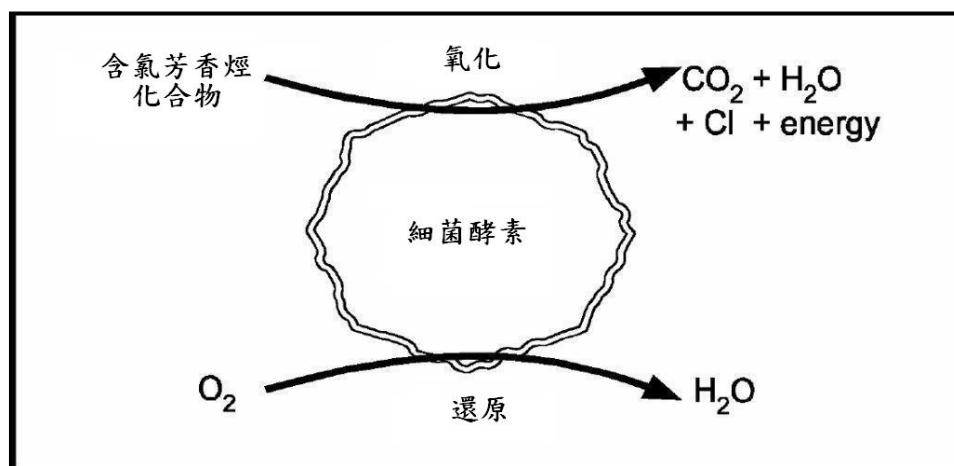
2. 適用環境

充分的氧氣或無氧環境。這些條件使微生物能夠生長與繁殖，並進而消化更多的化學物質。當生長條件不對時，微生物生長得非常緩慢，甚至死亡，並可能產生更多的有害化學物質。

實場處理 DNAPL 案例的生物整治法有兩種，一是透過天然的機制，將污染物厭氧降解為毒性較小或是無毒性的物質；另外一種是透過添加有碳源，活化生物系統中的微生物，以達到強化自然衰減的目的。主要區分為兩大類：(1) 好氧氧化作用(aerobic oxidation)：好氧氧化作用又可分微生物雖然能夠清除有害化學物質，但必須有適當的溫度、營養物及為好氧直接氧化作用與好氧共代謝(cometabolic)氧化作用；(2) 厭氧還原脫氯作用(anaerobic reductive dechlorination)。

● 好氧直接氧化作用

好氧直接氧化作用係將污染物利用生物分解的方式降解，污染物同時作為電子供給者和主要生長基質。污染物氧化所產生的電子，傳遞至電子接受者，例如氧。污染物則被氧化成二氧化碳，同時將氧則還原為水，如圖 4.2-8 所示。在地表下且有氧存在的好氧環境中，含氯芳香烴化合物(CAHs)僅氯乙烯(VC)可以直接氧化的方式，被氧化成二氧化碳、水。



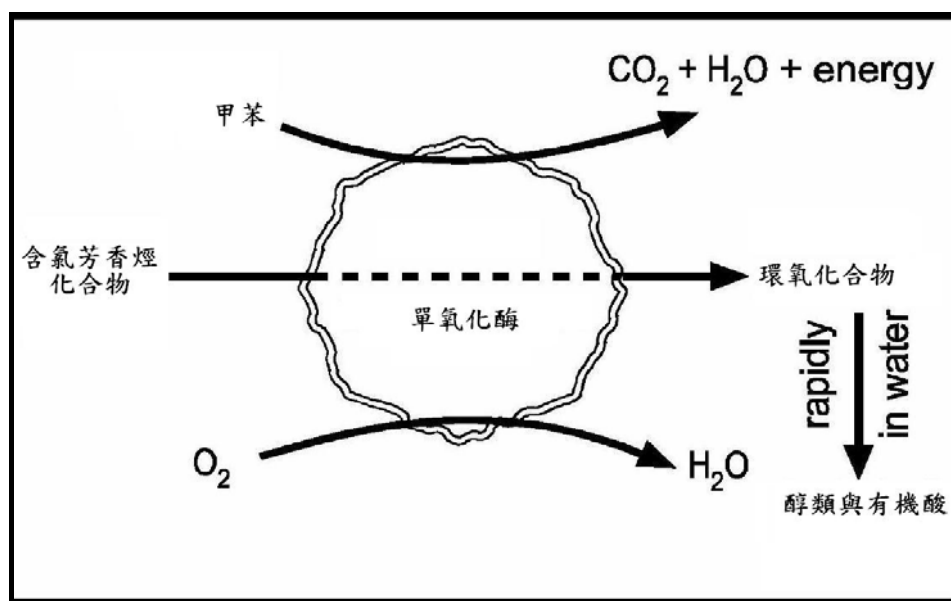
資料來源：USEPA, Engineered Approaches to In Situ Bioremediation of Chlorinated Solvents: Fundamentals and Field Applications, p.2-13, 2002.

圖 4.2-8 好氧直接氧化作用反應機制示意圖

- 好氧共代謝氧化作用

好氧共代謝氧化作用係利用微生物的酵素分解某一種污染物的代謝過程中，同時該酵素可附帶地將另一種污染物氧化。微生物在以此種方式將污染物氧化的過程中，並不會伴隨著能量的產生。在好氧狀況下，三氯乙烯、二氯乙烯、氯乙烯、三氯乙烷、二氯乙烷與氯仿等，可以利用此種微生物共代謝機制降解。

可做為好氧共代謝作用之電子供應者，包括乙烯、甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、芳香烴化合物(如甲苯、酚)和氨。在好氧狀況下，單氧化酶(monooxygenase)，例如甲烷分解菌中的甲烷氧化酶(methanemonooxygenase, MMO)，可催化電子供給者提供電子，使得污染物轉化為不穩定的環氧化物(epoxides)，該不穩定環氧化物會在水中快速地被降解為醇類和脂肪酸，如圖4.2-9所示。



資料來源：USEPA, Engineered Approaches to In Situ Bioremediation of Chlorinated Solvents: Fundamentals and Field Applications, p.2-14, 2002.

圖 4.2-9 微生物好氧共代謝反應機制示意圖

● 厭氧還原脫氯作用

在厭氧狀況下，微生物利用還原脫氯作用降解含氯有機化合物。還原脫氯作用依序以氫原子置換氯原子，也就是說將四氯乙烯先轉換為三氯乙烯後，再由三氯乙烯轉換為二氯乙烯，依此類推。在直接還原脫氯反應中，微生物直接利用三氯乙烯和氯乙烯作為電子接受者，驅動氧化還原反應的發生，在這個過程中，會有能量的產生。在共代謝還原脫氯反應中，微生物利用其他物質作為電子接受者，驅動氧化還原反應的發生。在大部分的厭氧狀況下，還原脫氯作用都會發生，主要是透過還原硫酸鹽並生成甲烷的方式。在厭氧還原脫氯作用中，氫是相當重要的電子供給者；而參與反應的細菌，如 *Dehalococcus ethenogenes* 和 *Dehalospirillum multivorans*，會和甲烷生成菌競爭氫氣(如圖 4.2-10 所示)。脫氯菌(dechlorinating bacteria)可以生存在較低的氫氣分壓之下，約為甲烷生成菌的 1/10，因此，系統中氫氣的添加速率可控制在很低的情況下。另外，在某些情況下，硝酸鹽還原菌或硫酸鹽還原菌與甲烷生成菌競爭的結果，會抑制甲烷生成菌的活性，和厭氧還原脫氯作用的程度。

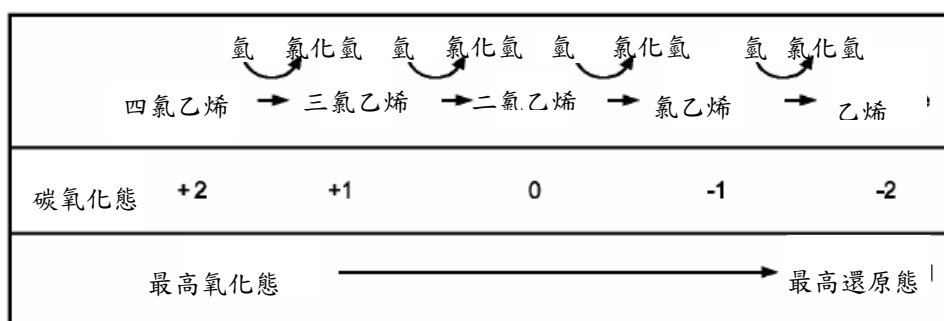


圖 4.2-10 含氯有機化合物厭氧還原脫氯降解程序示意圖

3. 應用上之優缺點

本法應用上之優缺點比較如表 4.2-7 所示。

表 4.2-7 生物整治法的優缺點比較表

優點	缺點
1. 在現地即可降解污染物 2. 可處理其它技術不易處理的低濃度有機污染物 3. 環境上較安全可靠且不會產生廢棄物 4. 利用微生物族群，且不會產生具潛在危害性之微生物 5. 整治經費較低	1. 可能受到有機物或重金屬的抑制 2. 污染物降解速率慢 3. 微生物大量增長可能會造成土壤孔隙阻塞，影響地下水流通 4. 透水性低的土壤可能造成所添加之營養鹽無法順利流通 5. 營養鹽添加可能危害鄰近區域的水體水質 6. 部分代謝產物會產生臭味，或有產生有毒中間產物的疑慮

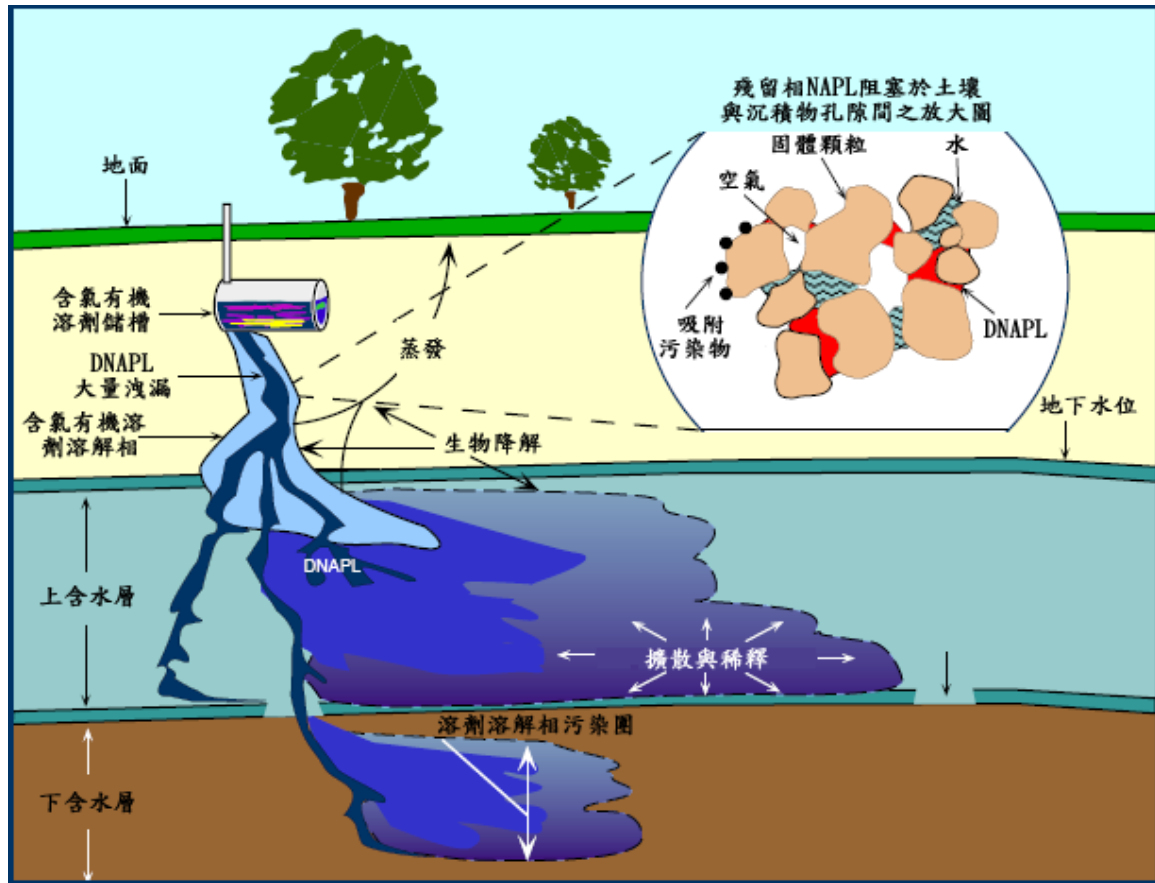
資料來源：How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites: A Guide for Corrective Action Plan Reviewers. (EPA 510-B-94-003; EPA 510-B-95-007; and EPA 510-R-04-002).Chapter X, XII, 2004.

4.2.4 監測式自然衰減法

1. 原理

依據美國環保署之自然衰減法定義：在有利的土壤及地下水環境中，無人為干預而自然發生之衰變程序，以減少或降低土壤及地下水中污染物的質量、毒性、移動性、體積或濃度；這些於現地所發生之程序包括生物分解、擴散、稀釋、吸附、揮發、污染物之化學性或生物性之穩定或破壞等。污染場址在嚴謹的控制與長期成效監測下，利用監測式自然衰減法達到污染整治目標所需之整治時間仍是合理可接受的。相較於其他整治技術，本法未針對土壤或地下水污染區域，採用通氣、抽水、開挖、加藥或其他主動或侵入式的整治方式，僅進行定期監測工作，通常被用來彌補傳統整治技術不足。但為避免污染行為人規避整治責任，採用本

法前應進行慎密的調查。本法原理示意圖請參見圖 4.2-11 所示。



資料來源：USEPA, Monitored Natural Attenuation of Chlorinated Solvents – U.S.EPA Remedial Technology Fact Sheet, May 1999.

圖 4.2-11 DNAPL 自然衰減機制示意圖

2. 適用環境

適用監測式自然衰減法之地下環境，應能使含氯有機物藉還原脫氯作用進行生物降解。常見用於評估還原脫氯作用之地球化學參數，如表 4.2-8 所示。

3. 應用上之優缺點

本法應用上之優缺點，如表 4.2-9 所示。

表 4.2-8 評估地下環境還原脫氯作用之地球化學參數

項目	污染源濃度或與背景值差異	說明
砷(As^{3+})	濃度上升大於背景值	厭氧狀況造成移動。
氯離子(Cl^-)	濃度大於 2 倍背景值	脫氯作用生成。環境因素可能造成干擾。污染物的濃度可能太低，以致於無法檢測出氯離子濃度的顯著變化。
溶氧(DO)	< 0.5 mg/L	氧濃度太高會抑制還原脫氯作用。
乙烷	存在	1,1,1-三氯乙烷還原脫氯可能的產物。
乙烯	存在	氯乙烯還原脫氯可能的產物。
二價鐵離子(Fe^{2+})	濃度上升大於背景值	在鐵還原條件下的環境可能會進行還原脫氯作用。如氯乙烯於此條件下被氧化。
氫氣	> 1 nM	可進行還原脫氯作用。氯乙烯可能累積。
氫氣	< 1 nM	氯乙烯可被氧化，不可能進行還原脫氯作用。
錳離子(Mn^{2+})	濃度上升大於背景值	在錳處於還原狀況下，還原脫氯作用不易產生。
甲烷	濃度上升大於背景值	顯示地下環境處於還原條件上最重要指標。
鎳	濃度上升大於背景值	厭氧狀況造成移動。
硝酸鹽(NO_3^-)	< 1 mg/L	硝酸鹽會抑制還原脫氯作用。但 methylene chloride、氯乙烯與低氯化合物可於此條件下被生物降解。
氧化還原電位	< -100 mV < 50 mV	可能進行還原脫氯作用。 可能進行還原脫氯作用。
pH	5 < pH < 9	微生物生長最佳範圍
電導度	上升大於背景值	一般水質參數，有助於瞭解採集自同一地下系統之水質狀況。
硫酸鹽(SO_4^{2-})	濃度下降低於背景值	可能進行還原脫氯作用，但濃度太高時亦會抑制還原脫氯作用。
硫化物(S^{2-})	濃度上升大於背景值	可能進行還原脫氯作用，但因硫化物會與鐵離子反應沉澱，可能無法被檢測出來。
溫度		影響微生物的活性。在低溫、低氫氣濃度的情形下，可行脫氯作用。
總無機碳(TIC)	濃度上升大於背景值	檢測微生物共代謝作用下所產生之 CO_2 。
總有機碳(TOC)	> 20 mg/L	提供還原脫氯作用所需的有機碳源，異營性碳源包括 BETX。

資料來源：USEPA, Technical protocol for evaluating natural attenuation of chlorinated solvents in groundwater, EPA/600/R-98/128, Section 2, 1998.

表 4.2-9 監測式自然衰減法技術優缺點比較表

優點	缺點
<ol style="list-style-type: none"> 1. 減少整治過程中廢棄物之產生量；與離地處理比較，可降低不同介質間之交錯污染；降低人體暴露於污染物、污染介質或其他危害之風險，以及降低對生態受體之打擾。 2. 監測式自然衰減法部分反應機制可達到現地破壞污染物之效果。 3. 地面設施少，對外界造成的干擾較少。 4. 視場址狀況及整治目標，監測式自然衰減法可能作為特定污染場址全部或部分之整治方法。 5. 可與其他整治技術配合使用或作為後續之整治方法。 6. 相較於其他積極性整治技術，監測式自然衰減法可降低整治總成本。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 相較於其他積極性整治技術，監測式自然衰減法達到整治目標所需之時間較長。 2. 場址特徵調查所需的時間較長、費用較高。 3. 經監測式自然衰減所產生之物質，其毒性或(及)流動性可能大於原污染物。 4. 長期成效監測一般較為廣泛且所需之時間長。 5. 為確認長期保護人體健康，可能有必要進行行政管制。 6. 可能持續存在污染物移動之現象，會造成污染物在不同介質間轉移。 7. 場址水文或地球化學條件可能隨時間改變，可能使原先穩定不動的物質，重新開始移動，造成對整治效果不利的影響。 8. 為使民眾接受監測式自然衰減法進行污染場址之整治，需要致力於更廣泛的教育宣導作業。

資料來源：USEPA, Use of Monitored Natural Attenuation at Superfund, RCRA Corrective Action, and Underground Storage Tank Sites, OSWER Directive 9200.14-17P, p.9~10, April 1999.

4.3 實際地下水污染案例盤查

本計畫以台灣南部某地下水污染場址案例進行決策支援系統功能驗證。此場址係為一化學原料工廠，其西側為高速公路、南側為工業區及少許農田、北側及東側則為工廠及部份住家；該場址主要污染物為含氯有機化合物，主要為三氯乙烯。此場址自發現污染以來即針對可能污染源進行改善作業，並設置地下水循環井(Groundwater Circulation Wells，以下簡稱 GCW)、ISCO 注藥井、P&T 等進行污染控制，以避免污染範圍持續向外擴張。未來亦可能使用整治列車概念進行全場整治。

由調查資料得知，該廠址地質組成由東向西土壤質地漸粗，而垂直分佈趨勢約自地表下 3.5 公尺以下主要由砂質土壤組成，中間偶夾黏土或粉砂，黏土層則出現於地表下約 12 公尺以下。根據豐、枯水期所量測之地下水位推估之地下水流向得知，該場址主要朝東北流。

本場址之關切污染物質 TCE，為無色澄清狀液體，氣味近似氯仿，微溶於水(1,100 mg/L@25°C)，比水重，可溶於氯仿、丙酮、醇及醚類，且易與油類物質混合。當吸入時可能會造成暈眩、頭痛、噁心、意識喪失、顫抖、肌肉協調功能喪失及視覺異常；若食入，可能造成嘔吐、腹瀉、心臟衰竭、神經系統損壞及失明。由於 TCE 的高蒸氣壓，當其流散至土壤時，會迅速揮發，也能迅速滲入地下水中。儘管以往有報告指出，在地下水遭 TCE 污染之場址發現有順、反-1,2-二氯乙烯存在，但 TCE 在地下環境中相當穩定。TCE 在水體中會揮發，半衰期從幾分鐘至數小時不等，視水體、水流狀況而定。相較於揮發作用而言，水解、生物分解或光氧化作用等皆慢了許多，至於沉澱作用則並不明顯。當 TCE 散佈到空氣中(特別是有煙霧狀態下)，可迅速被反應掉；5 天後在大氣中會形成光氣，其內含物質包括有二氯醋酸、氯化甲醯(Formyl chloride)等氯化物。

應用於案例場址的整治技術有 GCW 整治技術、ERD 生物整治技術及現地化學整治技術。為避免地下水中之污染物流往場址外，逕而危害民眾健康危害或污染鄰近農作物等，本案例係於場址右側廠區周界設置 GCW，以期將污染物控制於

場址內；另於場址內之高污染區域進行現地化學法及 ERD 生物整治法。

以下將針對案例場址使用之技術及蒐集之盤查資料進行說明：

4.3.1 地下水循環井(GCW)技術盤查

1.地下水循環井(GCW)設置及操作

本案例係於場址周界設置 8 口地下水循環井，以進行水力控制及污染物處理。依據先前於場址內所進行之抽水試驗得知，本場址水力影響半徑約為 30 公尺；故各循環井之間距設定為 25 公尺(如圖 4.3-1 所示)。

循環井的孔徑為 24 吋裸孔，井管直徑為 16 吋之不鏽鋼材質井材，井深為地表下 13~15 公尺。循環井內共設置兩段井篩，下層井篩設置約於地表下約 10~11 公尺處，井篩處以小礫石濾料封填至井篩頂端上 0.5 公尺處，上方再以皂土封填直至上層井篩下方 0.5 公尺處；上層井篩處同樣以小礫石濾料封填至井篩頂端上 0.5 公尺，上方再以皂土封填至地表下 0.5 公尺處，最後再以水泥皂土漿封填至地表。

每套地下水循環井系統備有一組污染處理設備，包括氣提系統(Stripper)、活性炭吸附系統(GAC)、滯留水幫浦及鼓風設備等。整個地下水循環井系統設置完成後，即持續操作維護至今。根據背景調查及後續監測結果顯示，地下水循環井整治系統之去除率高達 90%以上。

2.盤查表清單

本工作團隊依據上述工作項目進行盤查及假設，盤查檢核表如表 4.3-1 所示，本案例 GCW 系統所需之材料包括設井所需之 8 組 13 公尺~15 公尺之不鏽鋼管、水泥、膨脹土、礫石及砂土，污染處理時所需之 16 個 2 噸 PVC 桶槽及活性炭等；其中，部分井內設備、桶槽及處理系統皆由德國進口至台灣場址，其餘設備或材料則為台灣生產。運輸階段則有處理設備、鑽井機具、井管、回填濾料及活性炭載運所產生之油耗量；另外，在循環井設置時亦產生人員、車輛及鑽井機具於設井時用油等。在地下水循環井運轉操作階段需使用 8 台 1.5Hp 抽水幫浦、8 台 1Hp 注入單元用幫浦、8 台 5Hp 鼓風機幫浦、8 台鼓風機及吸附廢氣之活性炭等。

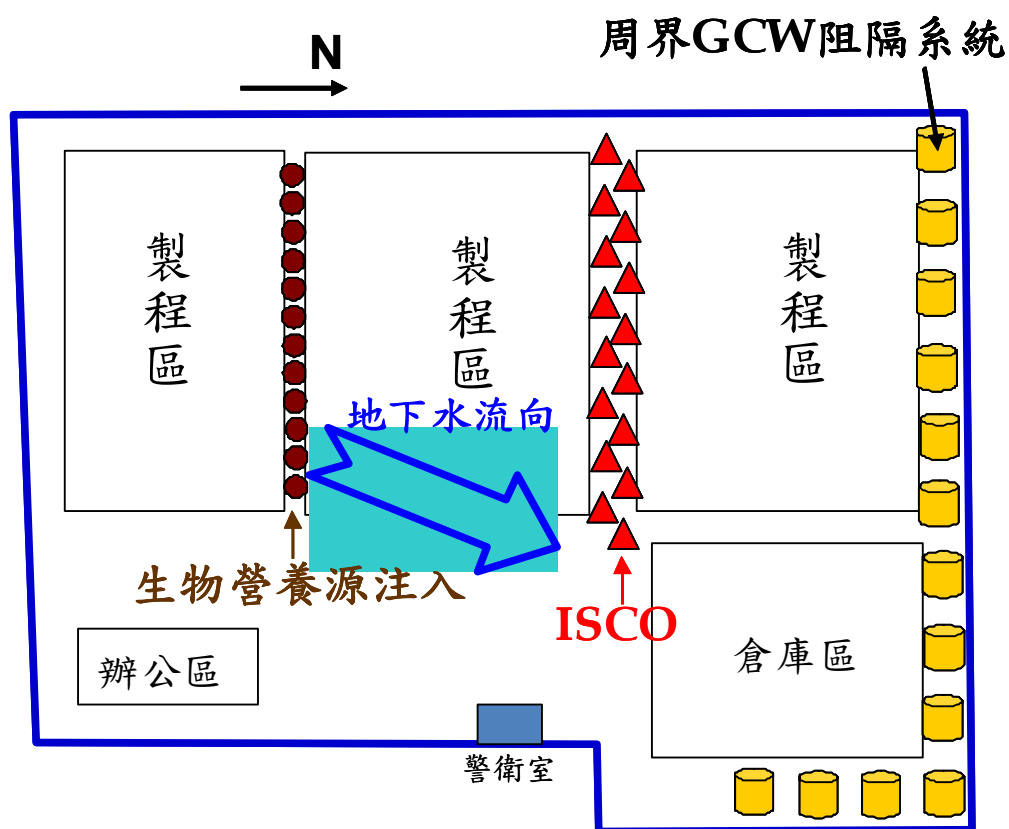


圖 4.3-1 案例場址整治技術現場配置示意圖

表 4.3-1 案例場址 GCW 技術盤查檢核表

整治技術：地下水循環井		器材產源	運輸階段	施工階段		操作階段		
	項目			循環設置	機電設置	採樣	機具操作	焚燒
能資源使用	水(water)					•		
	電力(electricity)				•		•	
	車輛用油(diesel for transport)		•	•		•		
	機具用油(diesel for machine)			•		•		
	水泥(cement)	•	•	•	•			
	膨潤土(Bentonite)	•	•	•				
	砂土(sand)	•	•	•				
	礫石(gravel)	•	•	•				
	鋼材(steel)	•	•	•	•			
	PVC	•	•	•	•	•		
	乾淨土壤(clean soil)							
	乳膠(latex)							
	玻璃(glass)							
	鐵氟龍(teflon)							
	抽水機					•	•	
	空壓機						•	
	空運							
	航運		•					
	陸運		•					
添加物	大豆油(soybean oil)							
	糖蜜(molasses)							
	過硫酸鹽(persulfate)							
	過錳酸鹽(pemanganate)							
	硫酸亞鐵(Fe_2SO_4)							
	零價鐵							
	過氧化氫(H_2O_2)							
	硫酸(H_2SO_4)							
	醋酸(CH_3COOH)							
	活性炭	•	•				•	
	肥料							

4.3.2 加強還原脫氯(ERD)生物整治技術

本案例於場址內地下水低污染區域執行生物整治模場試驗(如圖 4.3-1)，以加強還原脫氯生物整治技術處理三氯乙烯等含氯類有機污染物。本案例所選用之營養源試劑為乳化植物油，乳化植物油可促進轉化環境為還原態，促使含水層中 TCE 進行脫氯反應。

1. 注入系統設計

現場準備三個容量約 1,000L 桶槽，兩個桶槽分別裝置營養源試劑及自來水，另一桶槽則裝置攪拌系統，待不同比例之注入試劑調配完成後，採重力流之型式注入地層中。

案例場址 11 口注入井於執行注入乳化植物油前、後分別進行地下水採樣檢測分析，根據分析結果可知，注入生物營養源後，各注入井 TCE 濃度均低於地下水污染管制標準；而氧化還原電位於注入後均維持負值(還原環境)，顯示地下水中仍持續進行還原脫氯反應中。

2. 盤查表清單

本工作團隊依據上述工作項目進行盤查，盤查資料如表 4.3-2 所示。本系統所需材料包括 11 組注入井用塑膠管(13 公尺~15 公尺)、桶槽及濾料等；其中，注入井井材及桶槽為台灣生產之設備，而乳化植物油為美國生產之物品。運輸階段則有鑽井機具、井管、回填濾料及乳化植物油載運所產生之油耗量；在注入井設置時亦產生人員、車輛及鑽井機具於設井時用油等；此外，在注入乳化劑時使用之車輛所產生之油耗。

表 4.3-2 案例場址 ERD 技術盤查記錄表

整治技術：乳化植物油		器材生產	運輸階段	施工階段		操作階段		
	項目			監測井設置	機具設置	採樣	機具操作	焚燒
能源資源使用	水(water)					•	•	
	電力(electricity)220V							
	車輛用油(diesel for transport)		•	•		•	•	
	機具用油(diesel for machine)		•	•		•		
	水泥(cement)	•	•	•				
	膨潤土(Bentonite)	•	•	•				
	砂土(sand)	•	•	•				
	礫石(gravel)							
	鋼材(steel)							
	PVC	•		•		•		
	乾淨土壤(clean soil)							
	乳膠(latex)							
	玻璃(glass)							
	鐵氟龍(teflon)							
	抽水機					•		
	空壓機							
	空運							
	航運		•					
	陸運		•					
添加物	大豆油(soybean oil)	•					•	
	糖蜜(molasses)	•					•	
	過硫酸鹽(persulfate)							
	過錳酸鹽(pemanganate)							
	硫酸亞鐵(Fe_2SO_4)							
	零價鐵							
	過氧化氫(H_2O_2)							
	硫酸(H_2SO_4)							
	醋酸(CH_3COOH)							
	活性炭							
	肥料							

4.3.3 現地化學注入法(ISCO)

本案例係於地下水高污染區域，以每隔 3 公尺之間隔佈設 11 口次之注入井(如圖 4.3-1 示意)，並以重力流之方式注入化學藥劑。

1. 現地化學注入系統

加藥程序為先將氧化劑與清水均勻混合，並檢測其氧化劑濃度達規劃注入濃度後，即以重力流方式注入井中，每一管線均將配置流量計以隨時觀察並控制注入流量。

歷次地下水質檢測分析結果顯示，注藥後所有污染物濃度均有明顯快速下降之趨勢，顯示模場試驗的成效良好。

3. 盤查表清單

本工作團隊依據上述工作項目進行盤查及假設，盤查資料如表 4.3-3 所示。本注藥系統所需材料包含 11 組注入井用塑膠管(13 公尺~15 公尺)、濾料、桶槽及化學氧化劑等；其中，注入井井材及桶槽皆為台灣生產之設備，而氧化劑為中國生產之物品。運輸階段則有鑽井機具、井管、回填濾料及化學氧化劑載運所產生之油耗量；在注入井設置時亦產生人員、車輛及鑽井機具於設井時用油量及化學氧化劑混合所需之自來水。

表 4.3-3 案例場址 ISCO 技術盤查記錄表

整治技術：現地化零注入		器材生產	運輸階段	施工階段		操作階段		
	項目			監測井設置	機具設置	採樣	機具操作	焚燒
能資源使用	水(water)			•		•	•	
	電力(electricity)220V						•	
	車輛用油(diesel for transport)		•			•		
	機具用油(diesel for machine)			•		•		
	水泥(cement)	•	•	•				
	膨潤土(Bentonite)	•	•	•				
	砂土(sand)	•	•	•				
	礫石(gravel)							
	鋼材(steel)							
	PVC	•		•		•	•	
	乾淨土壤(clean soil)							
	乳膠(latex)							
	玻璃(glass)							
	鐵氟龍(teflon)							
	抽水機					•	•	
	空壓機							
	空運							
	航運		•					
	陸運							
添加物	大豆油(soybean oil)							
	糖蜜(molasses)							
	過硫酸鹽(persulfate)	•					•	
	過錳酸鹽(pemanganate)							
	硫酸亞鐵(Fe_2SO_4)							
	零價鐵							
	過氧化氫(H_2O_2)							
	硫酸(H_2SO_4)							
	醋酸(CH_3COOH)							
	活性炭							
	肥料							

4.4 實際案例評估分析

4.4.1 健康風險評估結果

本實際案例中應用 ISCO、GCW 與 ERD 三項技術整治約 3,000m² 之土地面積，並污染物 TCE 濃度約為 3 mg/L 之場址，為本計畫健康風險評估之基礎。首先確定場址現地狀況，評估受體含工作人員與鄰近居民；此場址內需處理水量為 24,000 公升，其餘現地資訊如表 4.4-1 所示，且預估算距離場址外 50 公尺 X 向、60 公尺 Y 向與 8 公尺深之地下水經傳輸後，來自該場址污染之濃度。

表 4.4-1 地域參數

中文參數名稱	單位	數值
傳輸距離 X	公尺(m)	50
傳輸距離 Y	公尺(m)	60
傳輸距離 Z	公尺(m)	8
處理水量	公升(L)	24000
孔隙率(n)	-	40%
土壤密度(ρ_b)	g/cm ³	1.2
土壤含水量(θ_w)	-	0.5
水力傳導係數	m/yr	26.1
水力梯度	-	1.6 ‰

且經由技術模擬可知，ISCO 處理該場址濃度降解快速，第一年已達 90%，第二年為 99%且於第三年處理完畢。而 GCW 與 ERD 則無法如 ISCO 效率，GCW 於第一年為 75%，第二年為 80%，第三年為 83%，直至五年處理期間仍未完全清除；ERD 亦有相似情況，於第一年為 70%，第二年為 82%，第三年為 90%，直至五年處理期間乃處理 94%，未完全清除乾淨(如表 4.4-2 所示)。

因應上述地域特性與技術效率，評估三項技術整治執行至整治期間結束後 25 年對鄰近居民之影響，其工作人員與鄰近居民暴露參述如下表 4.4-3。工作人員於場址整治期間，僅來自地下水內污染物揮發等特性暴露，呼吸率以活動時平均呼

吸(行政院衛生署, 2008); 並估算工作人員一天工作 8 小時, 一星期工作五天, 一年工作 52 週, 因此工作人員年平均工作 87 天, 並初估場址內工作人員 20 名。另一方面, 鄰近居民的相關暴露參數則採用台大公衛學院所公布的「台灣一般民眾暴露參數彙編」當中的攝食量、呼吸率與飲水量等參數進行評估, 並使用案例場址周邊的平均人口密度進行評估。

表 4.4-2 各技術導致場址內濃度消減率

消減率(%)	ISCO	GCW	ERD
第 1 年	90	75	70
第 2 年	9	5	12
第 3 年	1	3	8
第 4 年	0	1	2
第 5 年	0	1	2

表 4.4-3 暴露參數

中文參數名稱	單位	工作人員	一般居民
呼吸率	m ³ /hr	0.638229	0.350104
洗澡時間	hr/day		0.25
飲用水量	L/day		1.45
作物食用量	kg/day		0.48004
肉品食用量	kg/day		0.11965
牛奶食用量	kg/day		0.05712
雞蛋食用量	kg/day		0.027
暴露頻率	hr/day	8	24
暴露期間	day	87	365
體重	kg	64.56	64.56
工人密度	persons/100m ²	0.67	
居民密度	persons/100m ²		0.064

其風險結果如表 4.4-4 所示。由於評估距離與污染物特性，模擬距離場址場外 50 公尺 X 向、60 公尺 Y 向與 8 公尺深之地下水濃度為 0mg/L，因此無鄰近居民因應用此地地下水進行飲用、洗澡與灌溉等而暴露於此場址危害。反之，因工作人員因直接工作於汙染場址上方，因此呼吸來自受汙染之地下水汙染物，因而導致工作人員可能造成危害。整體而言，GCW 的處理效率較慢，以致工作人員較其他兩項技術執行質較亦得到較高的致癌風險(6.66E-05)與非致癌風險(3.88E-02)，其次為 ERD 致癌風險與非致癌風險分別為 6.21E-05 與 3.62E-02，略低於 GCW；最低為 ISCO，其致癌與非致癌風險分別為 4.15E-05 與 2.42E-02。

表 4.4-4 風險評估結果

項目	ISCO		GCW		ERD	
	致癌	非致癌	致癌	非致癌	致癌	非致癌
工作人員	4.15E-05	2.42E-02	6.66E-05	3.88E-02	6.21E-05	3.62E-02
鄰近居民	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

4.4.2 生命週期評估結果

1. 範疇界定

本計畫之目的在於利用綠色整治決策支援系統，評估案例場址中不同整治技術對環境衝擊的比較；評估的範疇除了場址內實際使用之物質與能源，另外透過 Ecoinvent 資料庫的資訊，找出原料或產品從原物料開採到生產製造的整個過程中，也會耗用的資源與能源，所以評估的環境衝擊範疇包含有生產階段與整治階段，與其他的模組相比，考量的範圍更為擴大。

2. 盤查分析

透過盤查實際整治所需的資能源耗用量，彙整各項整治技術所投入的資能源量，以利後續進一步估算環境衝擊量化值。其各階段盤查結果如下：

(1) 器材生產階段

器材生產階段三種技術的盤查結果如表 4.4-5 所示。三種技術主要利用 PVC

管，使用總長度分別為 2 吋管材 870 公尺、3000 與 1800 公尺，其換算後的 PVC 總使用量平均約為 1000 公斤、3450 公斤與 2070 公斤。GCW 另使用的為 16 吋的不鏽鋼管，使用總長度為 154 公尺，換算後鋼材的總使用量約為 14,510 公斤。

表 4.4-5 評估案例器材生產階段盤查表

整治技術	GCW	ISCO	ERD
Schedule 40 PVC	使用總長度(m)	使用總長度(m)	使用總長度(m)
2 吋	870	3000	1800
4 吋			
6 吋			
8 吋			
24 吋			
不鏽鋼管	使用總長度(m)	使用總長度(m)	使用總長度(m)
2 吋			
4 吋			
6 吋			
8 吋			
16 吋	154		
24 吋			

(2) 運輸階段

運輸階段的盤查結果如表 4.4-6 所示。在人員運輸方面，均是以 20 名工作人員乘坐小客車、每日來回行駛 20 公里、每年工作 200 天來估算，總行駛里程數為 4000 公里。

而在機具器材運輸方面，除了 PVC 或不鏽鋼管、抽水機與發電機的運送之外，GCW 另外需運送活性碳、水泥、砂石、膨潤土與礫石等，陸運總重約 63360 公斤、海運為 900 公斤；ISCO 則是以運送化學藥品、水泥、砂石與膨潤土等，陸運總重約 2,523,450 公斤、海運為 2,490,000 公斤；ERD 則是運送大量的大豆油、糖蜜、水泥、砂石與膨潤土等，陸運總重約 2,154,670 公斤、海運為 2,134,000 公斤。

表 4.4-6 評估案例運輸階段盤查表

整治技術	GCW		ISCO		ERD	
人員運輸	乘座人數	里程數(km)	乘座人數	里程數(km)	乘座人數	里程數(km)
四人座小客車	20	4000	20	4000	20	4000
休旅車						
輕卡車						
機具器材運輸	載重量(kg)	里程數(km)	載重量(kg)	里程數(km)	載重量(kg)	里程數(km)
四人座小客車						
休旅車						
輕卡車						
大卡車	63360.38	74.7	2523450	500	2154670	400.7872
吊車						
空運						
海運	900	18823.7	2490000	1666.8	2134000	20307.2

(3) 場址建置階段

場址建置階段的盤查結果如表 4.4-7 所示。GCW 在整治場址中操作小型推土機進行開挖，其操作時間為 10 小時。而在鑽井的使用上，GCW 使用鈍鑽進行井的設置，其耗油量約為 600 公升，瀝料回填共用了水泥 600 公斤、砂土 1200 公斤、礫石 4500 公斤、膨潤土 650 公斤，並使用吊車 20 小時、堆高機 5 小時；ISCO 則是使用鑽堡進行注入井的設置，耗油量約 600 公升，瀝料回填共用了水泥 2000 公斤、砂土 24000 公斤、膨潤土 4000 公斤，並使用吊車 2 小時、堆高機 20 小時；ERD 則是使用鑽堡進行注入井的設置，耗油量約 440 公升，瀝料回填共用了水泥 1000 公斤、砂土 16400 公斤、膨潤土 1200 公斤，並使用吊車 2 小時、堆高機 10 小時。

(4) 整治操作階段

整治操作階段的盤查結果如表 4.4-8 所示。五年整治期間內，GCW 在整治場址中操作小型發電機 43800 小時、長期使用不同馬力之抽水機 22 台，最長操作 43800 小時，空壓機 10 台共 43800 小時；ISCO 在整治場址中操作小型發電機 2160 小時、使用 6 台抽水機共 2160 小時；ERD 在整治場址中操作小型發電機 288 小時、使用 6 台抽水機共 288 小時。

在整治過程所投入之物質量盤查(表 4.4-9)，GCW 主要耗用大量活性碳，五年總使用量約 40000 公斤，而額外的耗水量為 10100 公升；ISCO 主要耗用過硫酸鹽 1,890,000 公斤、氫氧化鈉 600,000 公斤，額外的耗水量 72,008,720 公升；ERD 主要耗用大量的生物營養鹽，其中大豆油約 2,114,000 公斤、糖蜜 20,000 公斤，而額外的耗水量 20,017,250 公升。另外 ISCO 與 ERD 因操作需要，各耗用了乳膠手套 80 雙與 30 雙，其換算成使用的乳膠量分別為 0.64 與 0.24 公斤。鐵氟龍各耗用了 450 公尺、8000 公尺與 600 公尺，換算成重量分別約為 18 公斤、320 公斤與 24 公斤。

整治過程所產生的廢棄物盤查表如表 4.4-10 所示，主要分成廢土、廢棄 PVC 管與其他廢棄物。五年的整治期間內，GCW 所產生之廢土約 8000 公斤，廢棄 PVC

管 870 公尺，而其使用之活性碳在整治後將成為廢棄物，故其產生 40000 公斤的廢棄活性碳；ISCO 所產生之廢土約 20000、廢棄 PVC 管 3000 公尺；ERC 所產生之廢土約 8000、廢棄 PVC 管 1800 公尺。

(5) 監測階段

監測階段的盤查結果如表 4.4-11 所示。三種整治技術在監測過程均操作 1 台小型發電機 240 小時、抽水機 1 台 240 小時；使用的耗材均為乳膠手套 30 雙(約 0.24 公斤的乳膠)、玻璃 10 公斤、鐵氟龍總長度 240 公尺，其換算成使用的重量約為 9.6 公斤。

表 4.4-7 評估案例場址建置階段盤查表

場址施工		GCW	ISCO	ERD
推土機	馬力 (hp)	操作時間(小時)	操作時間(小時)	操作時間(小時)
小型推土機	< 100	10		
中型推土機	100 to 300			
大型推土機	> 300			
挖土機	挖斗容量(m3)	操作時間(小時)	操作時間(小時)	操作時間(小時)
小型挖土機	< 1.15			
中型挖土機	1.15 to 1.6			
大型挖土機	> 1.6			

表 4.4-7 評估案例場址建置階段盤查表(續)

場址施工	GCW	ISCO	ERD
鑽井	耗油量(L)	耗油量(L)	耗油量(L)
Geoprobe			
中型柱螺旋鑽			
鈍鑽	600		
鑽堡		600	440
濾料回填	回填重量(kg)	回填重量(kg)	回填重量(kg)
水泥	600	2000	1000
砂土	1200	24000	16400
礫石	4500		
膨潤土	650	4000	1200
設備/素材	操作時間(小時)	操作時間(小時)	操作時間(小時)
吊車	20	2	2
堆高機	5	20	10

表 4.4-8 評估案例整治操作階段盤查表(機具操作部分)

機具操作		GCW		ISCO		ERD	
柴油發電機	耗油率(L/hr)	台數	操作時間(小時)	台數	操作時間(小時)	台數	操作時間(小時)
小型發電機(4KW)	1.5	1	43800	1	2160	1	288
中型發電機(575KW)	29						
大型發電機(910KW)	50						
抽水機	馬力(hp)	台數	操作時間(小時)	台數	操作時間(小時)	台數	操作時間(小時)
口徑 40mm*40mm	0.5	2	5	6	2160	6	288
口徑 40mm*40mm	1	10	43800				
口徑 40mm*40mm	2	10	43800				
口徑 50mm*50mm	3						
口徑 50mm*50mm	5						
空壓機	馬力(hp)	台數	操作時間(小時)	台數	操作時間(小時)	台數	操作時間(小時)
規格 1	3						
規格 2	5	10	43800				
規格 3	7.5						

表 4.4-9 評估案例整治操作階段盤查表(添加物與耗材部分)

添加物質	GCW	ISCO	ERD
物質名稱	重量(kg)	重量(kg)	重量(kg)
大豆油			2114000
糖蜜			20000
過硫酸鹽		1890000	
過錳酸鹽			
硫酸亞鐵			
零價鐵			
過氧化氫			
氫氧化鈉		600000	
活性炭	40000		
肥料			
水資源	體積(L)	體積(L)	體積(L)
耗水量	10100	72008720	20017250
乳膠手套	數量(雙)	數量(雙)	數量(雙)
乳膠手套		80	30
玻璃	重量(kg)	重量(kg)	重量(kg)
玻璃			
鐵氟龍	長度(m)	長度(m)	長度(m)
鐵氟龍	450	8000	600

表 4.4-10 評估案例整治操作階段盤查表(廢棄物部分)

整治技術	GCW	ISCO	ERD
廢土	重量(kg)	重量(kg)	重量(kg)
廢土	8000	20000	8000
廢棄 PVC 管	總長度(m)	總長度(m)	總長度(m)
2 吋	870	3000	1800
4 吋			
6 吋			
8 吋			
24 吋			
其他廢棄物	重量(kg)	重量(kg)	重量(kg)
其他	40000		

表 4.4-11 評估案例監測階段盤查表

整治技術	GCW		ISCO		ERD	
人員運輸	乘座人數	里程數(km)	乘座人數	里程數(km)	乘座人數	里程數(km)
四人座小客車	3	400	3	400	3	400
休旅車						
輕卡車						
機具器材運輸	載重量(kg)	里程數(km)	載重量(kg)	里程數(km)	載重量(kg)	里程數(km)
四人座小客車						
休旅車						
輕卡車						

表 4.4-11 評估案例監測階段盤查表(續 1)

機具操作		GCW		ISCO		ERD	
柴油發電機	耗油率(L/hr)	台數	操作時間(小時)	台數	操作時間(小時)	台數	操作時間(小時)
小型發電機(4KW)	1.5	1	240	1	240	1	240
中型發電機(575KW)	29						
大型發電機(910KW)	50						
抽水機	馬力(hp)	台數	操作時間(小時)	台數	操作時間(小時)	台數	操作時間(小時)
口徑 40mm*40mm	0.5	1	240	2	240	1	240
口徑 40mm*40mm	1						
口徑 40mm*40mm	2						
口徑 50mm*50mm	3						
口徑 50mm*50mm	5						

表 4.4-11 評估案例監測階段盤查表(續 2))

乳膠手套	數量(雙)	數量(雙)	數量(雙)
乳膠手套	30	30	30
玻璃	重量(kg)	重量(kg)	重量(kg)
玻璃	10	10	10
鐵氟龍	長度(m)	長度(m)	長度(m)
鐵氟龍	240	240	240

3. 衝擊評估

透過本計畫建置之綠色整治決策支援系統，整合各項資源與能源單位耗用量對環境的衝擊，彙整 11 項生命週期評估準則的衝擊量化值，以資料庫的形式建置於決策支援系統模組當中。利用上述之盤查結果，輸入至本計畫建置之綠色整治決策支援系統，進行生命週期評估，其 11 項評估準則的衝擊量化值，彙整如表 4.4-12 所示。

表 4.4-12 生命週期評估衝擊量化值

評估準則	單位	GCW	ISCO	ERD
耗水量	m ³	182.39	83,798.28	27,339.76
廢棄物	kg	49,025.35	110,897.93	10,526.31
光化學煙霧	kg NOx eq	828.97	4,209.49	23,069.76
呼吸道效應	kg PM2.5 eq	113.71	1,525.46	2,865.67
酸雨化效應	kg SO2 eq	299.14	6,370.34	19,999.65
溫室效應	kg CO2 eq	145,737.01	1,008,224.04	2,077,225.92
水域生態毒性	kg 1,4-DB eq	74.98	2,781.53	25,885.82
陸域生態毒性	kg 1,4-DB eq	23.30	1,539.86	1,523.48
能源耗用	kg oil eq	66,182.79	323,424.30	671,397.95
資源耗用	kg Fe eq	1,037.03	90,484.90	83,223.31
土地佔用	m ² a	536.77	17,180.53	113,226.66

4.4.3 決策支援系統評估結果

藉由上述之健康風險評估與生命週期評估的方法，將相關參數與盤查數據輸入至本計畫建置之綠色整治決策支援系統當中，由於各項準則之單位不同，無法互相比較，故利用正規化的方式將各項準則轉換為 0 至 1 的分數。由圖 4.4-1 可看出，在本次案例分析當中，整治技術 ERD 除了健康風險之外，在其他項的準則當中都分別得到 1 的分數，表示 ERD 在資能源的耗用上比其他兩項整治技術為高，藉由盤查表可發現，可能的主要原因在於 ERD 使用了大量的大豆油與糖蜜，因其有較大的資源使用量，其生產過程中對環境有較大的衝擊。

GCW 則是在健康風險為三項整治技術當中獲得最高的分數，由於 GCW 的去除效率最低，在評估的五年整治期間仍未完全將污染物清除，故其有較高的機會使污染物質擴散至場址外，而造成的健康風險的危害；而其在廢棄物上也有較高的分數，主要其整治後會產生大量的廢棄活性碳。

ISCO 與其他兩項整治技術比較起來，得到較高的分數衝擊類別主要為耗水量、廢棄物、陸域生態毒性與資源耗用，由 Ecoinvent 資料庫的調查，在 ISCO 所使用的相關化學藥品上，特別是氫氧化鈉，其生產過程所產生的廢棄物量高，且造成的陸域生態毒性與資源耗用也高，故使得 ISCO 在這些準則上所得分數較高。

ERD 在許多準則都得到比較高的分數，主要因為其使用大量的大豆油，五年的整治過程預估需使用二千多噸，並且是經由國外進口，特別是經由海運運送的里程數約 2 萬公里以上，由 Ecoinvent 資料庫的調查，在運輸方面的主要造成的是二氧化碳與空氣污染物的排放，所以高載重與高運輸里程的影響下，造成 ERD 在二氧化碳排放及空氣污染物排放相關的準則上，比起其他技術所造成的衝擊要大上許多。

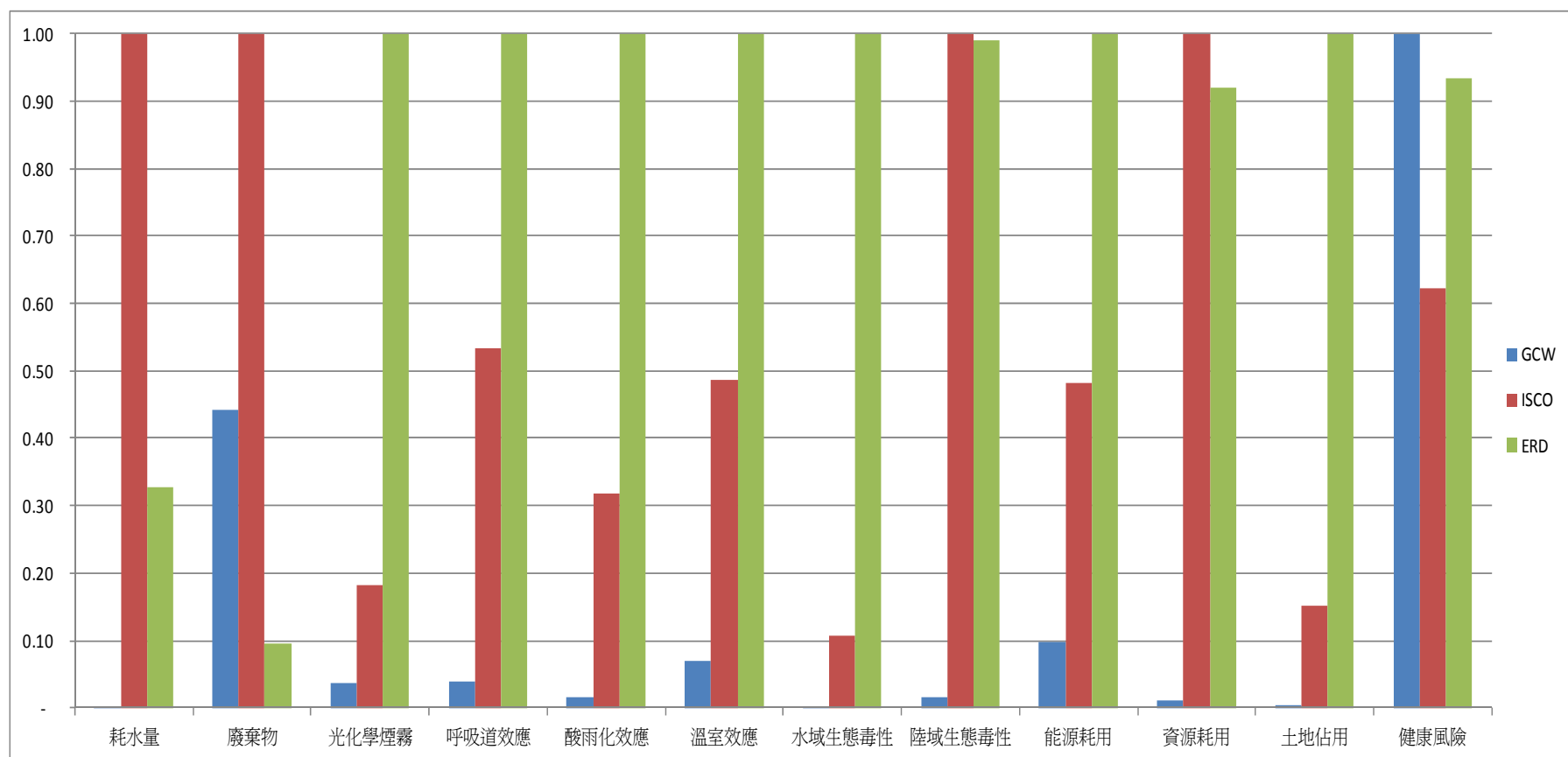


圖 4.4-1 評估準則正規化分數比較

而透過專家問卷所得到的結果，給予不同準則重要性的權重，將各準則所得分數加權計算後加總，即為此整治技術所得之總分，其結果如圖 4.4-2 所示。藉由權重的加權調整，三項整治技術的比較是以 GCW 最低、ERD 最高。利用本計畫所建置的綠色整治決策支援系統，彙案例當中的三項整治技術，可提供給決策者相比較後的資訊，以利決策者選取較為符合綠色整治的技術，在本次執行的案例當中可發現，GCW 所得之加權分數較低，因此在此案例中的三項整治技術間，是較為符合綠色整治概念的技術。

以生命週期評估範疇而言，場址直接造成的衝擊並非唯一，器材生產、運輸、場址整治建置、操作階段與監測時，間接資源與能源投入等皆是環境衝擊的重大來源。若以一般認知的概念來看，生物整治方法之所以較為綠色是因其在整治期間所消耗的資源與能源較少，但若以生命週期的角度來看，將評估的範疇擴大到生產原料與國外進口的運送過程等，則可發現其在間接造成的環境衝擊上是較大的，而這也是本計畫的目標之一，透過生命週期評估方法可知全面的衝擊程度與來源，完整評估直接與間接的環境衝擊。

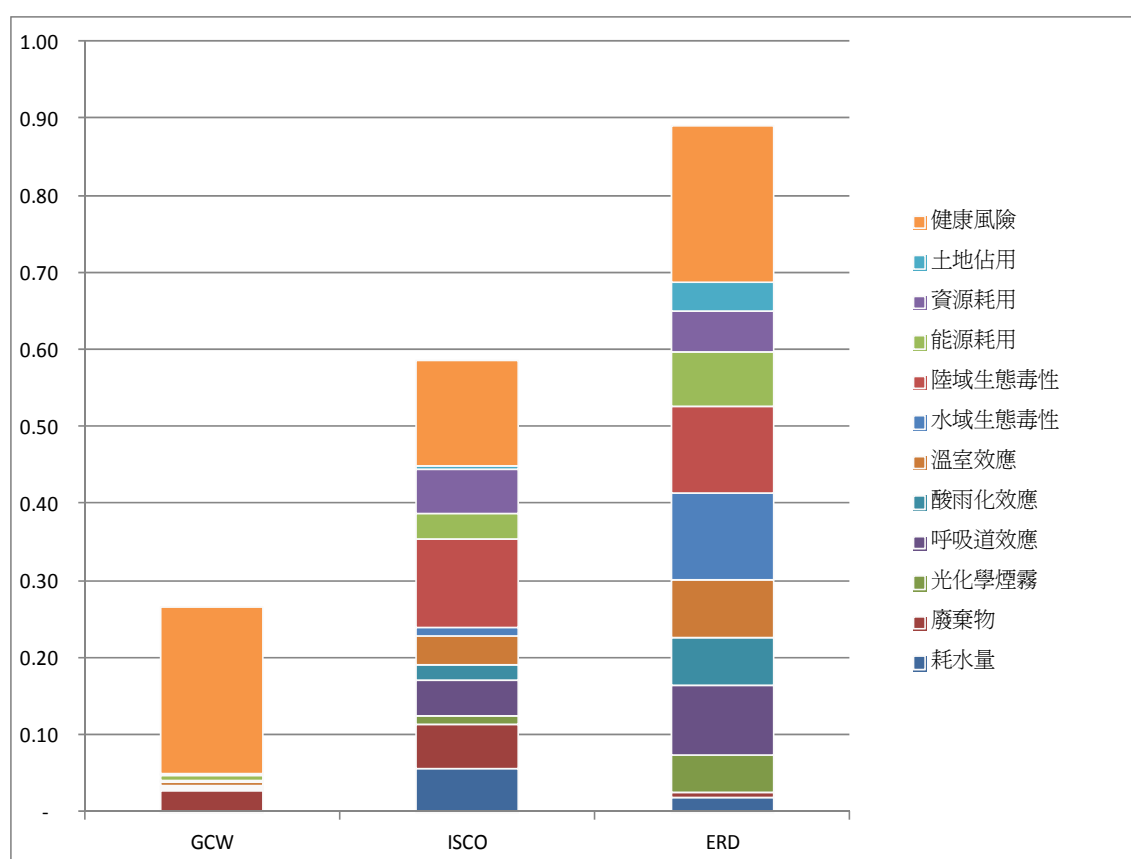


圖 4.4-2 整治技術加權總分

第五章、結論與建議

5.1 結論

本計畫完成綠色整治決策支援系統的建置，以生命週期評估與風險評估二者方法的整合為核心，並結合整治技術、汙染物性質、場址特徵與暴露情境等資料庫，用以評估各種整治技術對環境與健康的綜合影響。主要成果簡述如下：

1. 完成國外綠色整治相關研究之蒐集與彙整，以作為國內推行綠色整治時的參考與依據。
2. 建立適用於地下水整治之健康風險評估方法：針對在地下水整治過程可能對人體可能產生之影響，針對場址內與場址外之受體暴露情境設定。
3. 建立適用地下水整治之生命週期評估方法：針對國內外普遍常見之地下水整治技術，進行相關盤查資料之彙整，建立一合適之地下水整治技術盤查表，作為未來生命週期盤查所用。
4. 建立決策支援系統之架構，選定評估之準則因子，擬定出環境面向之評估準則，包含耗水量、廢棄物、光化學煙霧、呼吸道效應、酸雨化效應、溫室效應、水域生態毒性、陸域生態毒性、能源耗用、資源耗用、土地佔用、人體健康等準則因子。
5. 應用多準則決策方法中之層級分析法，藉由專家問卷調查地下水整治技術評估準則之相對重要性，求得地下水整治技術評估準則權重之分配；由目前之分析結果顯示，相對權重最大的準則為健康風險，其次為水域與陸域生態毒性，相對權重最小的準則分別為光化學煙霧、資源耗用與土地佔用。
6. 整合健康風險與生命週期評估方法，建立綠色整治決策支援系統，並設計使用者親善的操作軟體界面，作為未來擴充的雛形。且在模組中多以開放資訊由評估者自行填入，如暴露參數、地域特性、各整治技術效能等，並內建生命週期衝擊因子與化學物毒理特性等資料庫，作為評估計算依據。
7. 選定一台灣南部污染場址作為實廠案例，並完成地下水循環井整治技術、厭氧還原脫氯生物整治技術及現地化學氧化技術於實廠進行整治工作時所投入之能資源量盤查表，以提供生命週期評估所需參數，並測試本系統的實用性。

8. 以 ISCO、GCW 與 ERD 三種可能執行之整治技術作為案例評估對象，評估結果顯示 ERD 方法的環境衝擊較大，主要原因在於其使用的原料由國外運送造成空氣污染相關之衝擊量大。
9. 本計畫之綠色整治決策支援系統，同時考量資能源耗用帶來的環境衝擊與整治過程可能造成的健康影響，可知全面的衝擊程度與來源，完整評估直接與間接的環境衝擊與風險。

5.2 建議

綠色整治之決策支援系統有助於提升整治活動的系統化與效率，茲建議以下未來工作，以強化並擴大其應用。

1. 立即可行建議

建議事項	理由	主協辦機關
● 增加案例分析 試算及實證	決策系統建置之後，需要案例的實證與回饋，以驗證其實用性，並視需要進行修正。此為系統改善與進化的。	土基會/環保署
● 強化評估參數 資料庫	決策系統可以僅提供計算模式；然而如能伴隨豐富的資料庫更能增其應用的便利性。	土基會/環保署
● 結合經濟與社會評估	環境與健康面向之外，經濟與社會面向的評估亦為決策不可或缺的考量元素。	土基會/環保署

2. 中長程建議

建議事項	理由	主協辦機關
■ 建立標準化作業流程	一套系統經驗證後，需建立標準化作業流程，以便於推廣。	土基會/環保署

程		
<ul style="list-style-type: none"> ■ 納入法規 	<p>綠色整治的觀念與作法，一但有標準化的工具後，應考慮納入現有的法規制度中。</p>	<p>土基會/環保署</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ 結合地管理與國土規劃等政策 	<p>立基於以永續發展為原則的綠色整治系統之上，可進一步整合更為全面且整體的土地管理政策。</p>	<p>土基會/環保署/內政部</p>

參考文獻

- ASTM (1995) “*Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites*”, ASTM Designation E1739-95
- ASTM (1998a) “*Risk-Based Corrective Action*,” U.S. Department of Energy, Office of Environmental Policy & Assistance RCRA/CERCLA Division, EH-413 Washington, D.C.
- ASTM (1998b) “*RBCA Fate and Transport Models: Compendium and Selection Guidance*,” Technical & Professional Training Dept.
- Bacocchi, R., Berardi, S., and Verginelli, I. (2010) “*Human health risk assessment: Models for predicting the effective exposure duration of on-site receptors exposed to contaminated groundwater*”, Journal of Hazardous Materials, Vol.181, pp.226-233.
- Bare, J. et al. (2002) “*TRACI: The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts*.” Journal of Industrial Ecology 6(3&4):49-78.
- Batchelor, B., Valdés, J., and Araganth, V. (1998) “*Stochastic risk assessment of sites contaminated by hazardous wastes*”, Journal of Environmental Engineering, Vol.24, pp.380-388
- Bayer, P. and Finkel, M. (2006) “*Life cycle assessment of active and passive groundwater remediation technologies*”. J. Contam. Hydrol., 83(3), 171-199.
- Beinat, E., van Drunen, M. A., Janssen, R., Nijboer, M. H., Koolenbrander, J. G. M., Okx, J. P., Schütte, A. R. (1997). “*REC: a methodology for comparing soil remedial alternatives based on the criteria of risk reduction, environmental merit and costs*.” CUR/Nobis report 95-10-3. Gouda, Netherlands.

- Bień, J.D., ter Meer, J., Rulkens, W.H., and Rijnaarts, H.H.M. (2004) "*A GIS-based approach for the long-term prediction of human health risks at contaminated sites*", Environmental Modeling and Assessment, Vol.9, Vol.221-226.
- Blanc, A., Metivier-Pignon, H., Gourdon, R. and Rousseaux, P. (2004) "*Life cycle assessment as a tool for controlling the development of technical activities: application to the remediation of a site contaminated by sulfur*", Adv. Environ. Res., 8, 613-627.
- Cadotte, M., Deschenes, L., & Samson, R. (2007) "*Selection of a remediation scenario for a diesel-contaminated site using LCA*". International Journal of Life Cycle Assessment, 12, 239-251.
- California Environmental Protection Agency (2009) "*Interim Advisory for Green Remediation*", Department of Toxic Substances Control.
- Curran, M. A. (1996), "*Environmental Life-cycle Assessment*", New York: McGraw-Hill Press.
- Diamond, M. L., Page, C. A., Campbell, M., McKenna, S., Lall, R. (1999). "*Life-cycle assessment—life-cycle framework for assessment of site remediation options: method and generic survey.*" Environ Toxicol Chem, 18(4), 788-800.
- Dijkshoorn P. (2003) "*In-situ Chemical Oxidation of Chlorinated Solvents with Potassium Permanganate on a Site in Belgium.*" Proceedings of ConSoil, 2003 - 8th International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil.
- Environmental Restoration Technology Transfer(ERT2)之 Resistive Heating Case Study Web Site , 網址 <http://www.ert2.org/resistiveheating/tool.aspx>
- Esmaili, E.(1997) "*ASTM Risk-Based Corrective Action (RBCA) program Foster*

- Wheeler Environmental Corp*”, Proceedings of SPE 1997 67th Annual Western Regional Meeting, Long Beach, CA, USA, Society of Petroleum Engineers (SPE), Richardson, TX, USA, Costa Mesa, CA, USA, 763, Jun 25-27.
- Fetter, C. W. (1999) “*Contaminant hydrogeology*”, 2nd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. ISBN: 0137512155.
- Godin, J., Menard, J. F., Hains, S., Deschenes, L., & Samson, R. (2004) “*Combined use of life cycle assessment and groundwater transport modeling to support contaminated site management. Human and Ecological Risk Assessment*”, 10, 1099-1116.
- Goldblum, D. (2007) “*Integrating Sustainability into EPA’s Cleanup Programs Region 3 RCRA/DuPont Pilot*”,
<http://www.astswmo.org/files/resources/Greener%20Cleanups/Integrating%20Sustainability%20into%20EPA's%20Cleanup%20Programs.pdf>
- GWRTAC, (1996) “*Technology Evaluation Report – Treatment Wall*”, TE-96-01.
- GWRTAC, (1996) “*Technology Overview Report – Electrokinetic*”, TO-97-03.
- Hauschild M. Z. (2005) “*Assessing environmental impacts in a life-cycle perspective*”. Environ Sci Technol 39(4), 81A-88A.
- Hofstetter, P. (1998) “*Perspectives in Life Cycle Impact Assessment, A Structured Approach to Combine Models of the Technosphere, Ecosphere and Valuesphere*”, Kluwer Academic Publishers.
- IEG Technologie GmbH , <http://www.ieg-technologie.com>

ILCD (International Reference Life Cycle Data System) (2010) *“Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment”*, European Commission.

Illaszewicz, J. and Gibson, K. (2009) *“Green and sustainable remediation: creating a framework for environmentally friendly site cleanup”*, Environmental Quality Management.

ISO (1997), *“The ISO 14000 Environmental Standards”*, ISBN 92-67-10254-X.

ISO14040 (2006) *“Environmental management—life cycle assessment—principles and framework”*, International Standard.

ITRC(2001), *“Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance Document”*, p.9.

ITRC(2005), *“Technical and Regulatory Guidance for In Situ Chemical Oxidation of Contaminated Soil and Groundwater”*,p.17.

Jafvert, C.T. (1996) *“Technology Evaluation Report-Surfactant/Cosolvent”*, Groundwater Remediation Technologies Analysis Center, TE-96-02.

Laugier, M. (2010) *“A green and sustainable remediation tool--review and comparison”*,http://www.umass.edu/tei/TEI_2005/PDF/laugier.pdf

Lee, L.J.H., Chan, C.C., Chung, C.W., Ma, Y.C., Wang, G.S. (2002) *“Health risk assessment on residents exposed to chlorinated hydrocarbons contaminated in groundwater of a hazardous waste site”*, Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, Vol.65, pp. 219-235.

Lemke, L.D. and Bahrou, A.S. (2009) *“Partitioned multiobjective risk modeling of*

- carcinogenic compounds in groundwater*", Stoch. Environ. Res. Risk Assess., Vol.23, pp.27-39.
- Lemming, G (2010) "*Environmental Assessment of Contaminated Site Remediation in a Life Cycle Perspective*", Ph.D Thesis, Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark.
- Lesage, P., Ekvall, T., Deschenes, L., & Samson, R. (2007) "*Environmental assessment of brownfield rehabilitation using two different life cycle inventory models*", International Journal of Life Cycle Assessment, 12, 391-398.
- Liang, C.P., Jang, C.S., Liu, C.W., Lin, K.H., and Lin M.C. (2010) "*An integrated GIS-based approach in assessing carcinogenic risk via food-chain exposure in Arsenic-affected groundwater areas*", Environmental Toxicology, Vol.25, pp.113-123.
- Mackay, D., Shiu, W. Y., Ma, K. C. (1992) "*Illustrated handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals: volume II-polynuclear aromatic hydrocarbons, polychlorinated dioxins and dibenzofurans* ", Lewis Publishers, NY, USA. ISBN 0873715837.
- McGuire, T. M., McDade, J. M., Newell, C. J. (2006) "*Performance of DNAPL source depletion technologies at 59 chlorinated solvent-impacted sites*", Ground Water Monit. R, 26(1), 74-84.
- MDH Engineered Solutions Corp. (2003) "*Evaluation of Computer Models for Predicting the Fate and Transport of Salt in Soil and Groundwater*", Science and Standards Branch Alberta Environment.
- Morais, S.A. and Delerue-Matos, C. (2010) "*A perspective on LCA application in site*

- remediation services: critical review of challenges, Journal of Hazardous Materials*", 175, 12-22.
- Naval Research Laboratory (1999) "*Groundwater Circulation Well Technology Assessment*", NRL/PU/6115-99-384.
- NAVFAC(2002) "*Surfactant-Enhanced Aquifer Remediation (SEAR) Design Manual*", Technical Report TR-2206-ENV, p.38.
- NRC (National Research Council) (1983) "*Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*", Washington DC: National Academy Press.
- NRC (National Research Council) (2008) "*Science and Decision: Advancing Risk Assessment*", Washington DC: National Academy Press.
- Owens, J. W. (1997) "*Life-cycle assessment in relation to risk assessment: an evolving perspective*", Risk Analysis, 17(3), 1.
- Page, C. A., Diamond, M. L., Campbell, M., & McKenna, S. (1999) "*Life-cycle framework for assessment of site remediation options: Case study. Environmental Toxicology and Chemistry*", 18, 801-810.
- Payet, J. (2004) "*Assessing Toxic Impacts on Aquatic Ecosystems in LCA*", PhD these, Lausanne, EPFL.
- Peters, C.A., Knightes, C.D., and Brown, D.G. (1999) "*Long-term composition dynamics of PAH-containing NAPLs and implications for risk assessment*", Environmental Science and Technology, Vol.33, pp.4499-4507.
- Praveena, S. M., Abdullah, M. H., Aris, A. Z., Bidin, K. (2010). "*Groundwater solution*

- techniques: environmental application*”, Journal of Water Resource and Protection, 2, 8-13.
- Praveena, S.M., Abdullah, M.H., Aris, A.Z., Bidin, K.(2010) “ *Groundwater solution Techniques: Environmental Application*”, Journal of Water Resource and Protection, Vol.2, pp.8-13.
- Ribbenhed, M., Wolf-Watz, C., Almemark, M., Palm, A., Sternbeck, J. (2002) “*Life cycle assessment of remediation technologies for contaminated soil and sediment.*”, IVL Rapport/report B1476. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd, Stockholm, Sweden.
- Saaty, T.L. (1980) “*The Analytic Hierarchy Process*”, McGraw-Hill, New York, USA.
- Saponaro, S., Sezenna, E., and Bonomo, L. (2005) “*Remediation actions by a risk assessment approach: a case study of mercury contamination*”, Water, Air, and Soil Pollution, Vol.168, 187-212.
- SETAC (1991) “*A Technical Framework for Life Cycle Impact Assessment*”, SETAC, Pensacola, FL.
- Stroo, H. F., Unger, M., Ward, C. H., Kavanaugh, M. C., Vogel, C., Leeson, A., Marqusee, J. A., Smith, B. P. (2003) “*Remediation chlorinated solvent source zones*”, Environ. Sci. Technol. 37(11), 224A-230A.
- Suer, P., Nilsson-Paledal, S., & Norman, J. (2004). “ *LCA for site remediation: A literature review*”, Soil & Sediment Contamination, 13, 415-425.
- SURF (2009) *Sustainable remediation White Paper –“Integrating sustainable principles, practices and metrics into remediation projects”*, Remediation. 19(3),

5-114

SURF Australia (2009), *A Framework for Assessing the Sustainability of Soil and Groundwater Remediation*, Cooperative Research Centre for Contamination Assessment and Remediation of the Environment (CRC CARE)

SURF UK (2010), *A Framework for Assessing the Sustainability of Soil and Groundwater Remediation, Contaminated Land: Applications in Real Environments* (CL:AIRE)

Thierauf, R.J. (1988) “*User-oriented Decision Support Systems: accent on problem finding*”, Prentice-hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, USA.

Toffoletto, L., Deschenes, L., & Samson, R. (2005) “*LCA of ex-situ bioremediation of diesel-contaminated soil* ”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 10, 406-416.

Turban, E. (1990) “*Decision support and expert systems: management support systems*”, 2nd ed., Macmillan Publishing Company, New York, USA.

UK Environment Agency (2002), “*Guidance on the Design, Construction, Operation and Monitoring of Permeable Reactive Barriers.* ”

UK Environment Agency (2002), “*Guidance on the use of permeable reactive barriers for remediating contaminated groundwater.* ”

U.S. Sustainable Remediation Forum (2009) “*Sustainable Remediation White Paper-Integrating Sustainable Principles, Practices, and Metrics into Remediation Projects.*”

US Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center (1996) , “*Treatment Wall*

- *Technology Evaluation Report.*”

USACE (2002) “*Soil Vapor Extraction and Boiventing* (EM1110-1-4001) ”, p.3-17.

USEPA (2001) “*A Citizen’s Guide to Chemical Oxidation.*”

USEPA (1997) “*Design Guidelines for Conventional Pump-and-Treat Systems,*”
Section 2, EPA 540-S-97-504.

USEPA (2002) “*Engineered Approaches to In Situ Bioremediation of Chlorinated Solvents:* ”Fundamentals and Field Applications.

USEPA (2006) “*Engineering Issue – In-Situ Chemical Oxidation,* ”600-R-06-072, p.2.

USEPA (2004) “*Performance Monitoring of MNA Remedies for VOCs in Ground water*”

USEPA (2002) “*Pilot Project to Optimize Superfund-financed Pump-and-Treat Systems: Summary Report and Lessons Learned* ”, Cover, EPA 542-R-02-008a.

USEPA (1998) “*Technical protocol for evaluating natural attenuation of chlorinated solvents in groundwater* ”, EPA/600/R-98/128, Section 2.

USEPA (1999) “*Use of Monitored Natural Attenuation at Superfund, RCRA Corrective Action, and Underground Storage Tank Sites*”, OSWER Directive 9200.14-17P.

USEPA (1986) “*Superfund Public Health Evaluation Manual*”, Office of Emergency and Remedial Response, EPA/540/1-86/060.

USEPA (1989) “*Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I--Human Health Evaluation Manual Part A*”, EPA/540/1-89/002.

USEPA (1997) “*Design Guidelines for Conventional Pump-and-Treat Systems*”, EPA 540-S-97-504, Section 4.

USEPA (2008) “ *Green Remediation : Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites*”, Office of Solid Waste and Emergency Response.

USEPA(2010) “*Superfund Green Remediation Strategy*”, Office of Solid Waste and Emergency Response.

Valberg, P. A., P. J., Drivas, S., McCarthy, A. Y., Watson (1996) “*Evaluating the health impacts of incinerator emissions*”, Journal of Hazardous Materials, Vol.47, pp.205-227.

Vignes, R. P. (2001) “*Use limited life-cycle analysis for environmental decision-making*”, Chem Eng Prog, 97(2), 40-54.

Volkwein, S., Hurtig, H. W., & Klopffer, W. (1999) “*Life cycle assessment of contaminated site remediation*”, International Journal of Life Cycle Assessment, 4, 263-274.

行政院國家科學委員會，**生命週期衝擊評估技術比較與量化方法整合**，國立中興大學法商學院資源管理研究所，1999。

行政院衛生署國民健康局，**健康風險評估指引**，國立台灣大學職業衛生與工業衛生研究所，2003。

行政院環保署，**土壤及地下水污染場址健康風險評估評析方法及撰寫指引**，2006。

經濟部工業局，**鋼鐵冶煉業土壤地下水污染預防及整治技術手冊**，2006。

經濟部工業局，含氯碳氫化合物土壤及地下水污染預防與整治技術手冊，2008。

盧至人，地下水的污染整治，國立編譯館出版，1997。

吳偉智、陳大麟，污染傳輸模式在健康風險評估之應用--九十年度環保技術研究報告，中國石油股份有限公司探採研究所，2001。

呂穎彬，生命週期評估簡介，環境工程會刊，第7卷，第1期，37-42，1996。

周瑋陞，自來水水質分析調查及總三鹵甲烷之風險評估--以高雄市為例，碩士論文，國立中山大學環境工程研究所，2006。

林志勇，永續環境管理之污染源管制制度研究，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所，2007。

林進財，以健康風險評估訂定油污染場址之整治目標，碩士論文，國立中山大學環境工程研究所，2001。

洪明龍，模糊多準則決策與衝突分析於廢棄物管理之應用，博士論文，國立台灣大學環境工程學研究所，2006。

許志義，多目標決策，台北市：五南出版社有限公司，1994。

游建華，永續土地利用管理決策支援系統之發展，博士論文，國立台灣大學環境工程學研究所，2003。

湯忠達，地下水汙染之暴露與健康風險評估--以桃園 RCA 場址為例，碩士論文，國立台灣大學環境工程研究所，2000。

黃國威，地下水污染風險評估之不確定性分析與降低，碩士論文，國立台灣大學環境工程研究所，2002。

廖宗慶，運用多評準決策方法於養殖場設置區位順位評選之研究－以臺灣櫻花鉤吻鮭完全養殖場為例，碩士論文，逢甲大學土地管理學系，2006。

鄧振源，曾國雄，層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(上)，中國統計學報，第 27 卷第 6 期，頁 5~22，1989。

鄧振源，曾國雄，層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(下)，中國統計學報，第 27 卷第 7 期，頁 1~20，1989。

饒瑞萍，污染場址健康風險評估參數之敏感性分析，碩士論文，國立中山大學環境工程研究所，2006。

附錄一、歷次審查意見及答覆說明

土壤及地下水污染研究計畫與模場試驗計畫 (綠色整治決策支援系統之建立)

期末報告覆審意見回覆

日期：100.12.15

項次	委員審查意見	意見回覆
1	綠色整治是亟待推廣之理念，本研究已建立綠色整治之決策支援系統。對於落實綠色整治有很大之幫助。	感謝委員指教。

土壤及地下水污染研究計畫與模場試驗計畫 (綠色整治決策支援系統之建立)

期末報告初審意見回覆

日期：100.12.6

項次	委員審查意見	意見回覆
1	本計畫成果已達預期目標，已建立綠色整治決策支援系統。若能比較本計畫所建系統和外國(尤其是美國)建立之系統評估結果之異同則更佳。	感謝委員建議。美國於 2010 年提出的 SRT 與 2011 年 SiteWise 為較完整且公開的評估模式，而本研究亦參考此二模式建立適用於台灣汙染場址整治使用之模組，並將健康風險與決策支援系統納入，然而美國所建立之評估系統，主要著重在運輸、整治場址建置、開挖與設備操作過程，盤查其所消耗的油料、電力等，以推估二氧化碳與空氣污染物的排放量；而本計畫不只考量上述要點，還將範疇擴大至上游的原料生產階段，且考量的不只有空氣污染的影響，同時涵蓋生態毒性、水資源耗用、資能源耗用等評估準則，其所考量的範圍更廣。唯在整治過程的成本分析上是本計畫未考量的範疇，期能在後續的研究中持續進行並加強。
2	期中報告意見回覆 P.3 所提之“軟體使用手冊”未見於附件檔。	感謝委員建議，軟體使用手冊已附於期末修正稿附件。
3	本土適用性說明應予強化。	感謝委員建議，本計畫在風險評估方面，所使用之參數大多為場址實際參數，包括孔隙率、水力傳導係數等，暴露相關參數亦採用台大公衛學院所公布的「台灣一般民眾暴露參數彙編」當中

項次	委員審查意見	意見回覆
		<p>的攝食量、呼吸率與飲水量等參數，故是以實地性的角度進行評估。唯生命週期評估目前無本土的盤查資料庫，故使用單位物質所造成的環境衝擊量化，是參考瑞士 Ecoinvent 與美國 SiteWise 模式的資料庫，且採用全球平均之數值，是目前較為合適之作法。相關說明已增列於期末修正稿。</p>
4	<p>報告中說明： ”...符合濃度標準或風險接受度為首要目標...囿於片面的評估範疇及有限的方案選項，其所產生的決策可能未能與永續發展一致...” ，就實務整治而言，符合濃度標準或風險接受度確實也應該是整治的首要目標，此目標是不應被替代的。</p>	<p>感謝委員建議。符合濃度標準或風險接受度確實為整治主要目標，不應被取代，且本計畫亦未將其替代，而是將其延伸。本計畫所使用的盤查數據均是為了將濃度降至管制標準的前題下，所得到的資能源使用量，因此達到濃度標準此一原則是本計畫的首要考量。故在此原則下再進一步評估整治過程，各種整治技術對環境所造成的衝擊，以及其對人體造成的風險影響，所以評估結果可提供給決策者資訊去判斷此一整治方案是否符合風險接受度，以利決策者進一步去調整其整治所使用的資能源，故風險接受度亦是本計畫建立之決策系統所考量的重要因子之一。</p>
5	<p>4.3 & 4.4 節的討論： GCW、ISCO 與 ERD 工法的比較，經加權計算後以 ISCO 所消耗的資能源量最低，但是就環境層面而言，生物法相對較符合”綠色”的需求，此結論與</p>	<p>感謝委員建議。以生命週期評估範疇而言，場址直接造成的衝擊並非唯一，器材生產、運輸、場址整治建置、操作階段與監測時，間接資源與能源投入等皆是環境衝擊的重大來源。本計畫之案例分析已將部分參數及盤查數據進行更正，最後之評估結果將附於期末修正稿</p>

項次	委員審查意見	意見回覆
	一般的認知的差異建議討論。	中，結果修改後 ERD 仍為最高，ISCO 次之、GCW 最低，造成 ERD 生物整治方法對環境的衝擊最高的原因在於，其方法使用大量的大豆油，五年的整治過程預估需使用二千多噸，並且是經由國外進口，特別是經由海運運送的里程數約 2 萬公里以上，所以造成在二氧化碳排放及空氣污染物排放相關的準則上，比起其他技術所造成的衝擊要大上許多；而 ISCO 雖使用大量的過硫酸鹽，但其運送距離小，故其造成的相關衝擊小，GCW 亦同。若以一般認知的概念來看，生物整治方法之所以較為綠色是因其整治期間所消耗的資源與能源較少，但若以生命週期的角度來看，將評估的範疇擴大到生產原料與國外進口的運送過程等，則可發現其在間接造成的環境衝擊上是較大的，而這也是本計畫的目標之一，透過生命週期評估方法可知全面的衝擊程度與來源，完整評估直接與間接的環境衝擊。
6	本期末報告綠色整治、風險評估及決策系統有完整詳細之說明，此外，報告中在研究背景及研究方法均有清楚之描述。	感謝委員指教。
7	計畫成果應可應用在污染場址之管理，主要成果符合計畫書之內容。	感謝委員指教。

項次	委員審查意見	意見回覆
8	<p>本計畫有一個相當宏觀的目標：結合 LCA 與 RA，考量環境衝擊與社會經濟層面，建立整治技術篩選評估方式。但是對於如何付諸實施，如何套入現行之法令架構，甚至誰是決策者，則未能釐清。一般而言，整治技術篩選者為污染責任人，期是否要在法規之外，尚考量所謂之永續經營，仍須從法規面著手。請說明如何付諸實施。</p>	<p>感謝委員建議。本計畫的目標在於結合 LCA 與 RA，建立綠色整治決策支援系統，冀望決策者能優選出較為綠色的整治技術，故本計畫著重在評估方法的整合，然而對於法令架構的研究則未納入本計畫之研究範疇當中。</p> <p>本計畫所建立的決策系統，評估過程除了以將污染濃度降低至管制標準作為目標之外，另外著重在資能源的耗用與健康風險評估的考量上，期望能作為未來褐地再生的管理工具，因此著重在給予污染場址的管理策略更多的資訊；而與法規的結合仍需進一步的研究，也需額外考量經濟面與社會面的影響，因此以本計畫今年的研究範疇並無法充分涵蓋，期能在未來延續此一問題進行深入的探討。</p>
9	<p>案例評估中完全忽略整治之成本，對於整治者而言是不可能的事。請說明如何比較與綠色之重要性。</p>	<p>感謝委員建議。本計畫現階段首先以環境面為研究範疇，因此並無將經濟面納入今年計畫。</p> <p>但計畫中已建立決策支援系統，此部分易於將評估準則擴大至經濟面與社會面，意即可新增成本效益分析與資源回收效益等因子，並以模糊層級分析量化相關專家之建議，作為環境、經濟、社會等權重依據，以評量環境、經濟與社會三面整體評估結果。此部分可於後續繼續進行，以達評估方法之完整度。</p>

行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會
「土壤及地下水污染研究計畫與模場試驗」
期中報告審查意見及答覆說明

日期：100.07.19

審查意見內容	答覆說明
1. 文獻回顧與研究方法佔了報告幾乎全部。	<p>本計畫旨在建立台灣綠色整治決策支援系統，本年度之重點為建立篩選綠色整治技術所需之評估方法；故本計畫之工作內容係包括：相關文獻回顧、生命週期評估與風險評估之整合、決策支援系統之建立、本土場址案例驗證及系統修正。</p> <p>因此，依據計畫書之規劃，本計畫於期中報告之工作重點為整理綠色整治相關文獻，評析國際作法並萃取可用資訊；進而整合相關環境管理工具，建構以綠色整治技術環境評估模式為主體之決策支援系統。</p> <p>期中報告第三章「研究方法」即為本決策系統之建置成果，其核心內容為生命週期評估與風險評估的整合，並以多目標決策方法，綜合計算各整治技術對環境所造成衝擊；重點成果在於系統邊界的設定、評估細項的研討與決策系統的建立。為避免誤導，已於本工作進度報告中更名為「綠色整治決策支援系統之建立」。</p> <p>後續將會以一實際案例模擬及驗證，以修正本支援系統之適用性。</p>

審查意見內容	答覆說明
2. 執行現況結果不夠具體，缺少初步成果之展現，無量化之研究進度。	本計畫期中報告於決策支援系統之建置上，已完成系統邊界的設定、評估細項的研討、與決策系統的建立。此部份均已於本工作進度報告第三章中呈現，後續即藉由問卷發放定義各環境評估因子之權重後，並針對一實際污染場址進行相關數據的盤查，再輸入至決策系統中進行測試與驗證，以便針對此系統進行實作上的修正。本工作進度報告第三章 3.4 節更針對問卷發放及回收成果評估之內容作一說明，可看到各環境因子所屬評估權重結果；而第四章則彙集至目前為止針對實際污染場址所蒐集之相關盤查數據成果。未來期末報告則將呈現以實際數據驗證本決策支援系統之成果，以了解本系統之實用性。
3. 本計畫綠色整治決策支援系統之建立，較偏重於地下水污染場址，請也能加以探討土壤污染場址。	目前國際間所有之環境衝擊評估工具於整治場址上的應用均著重於土壤污染的部分，然而地下水污染往往牽涉地下環境中含水層之土壤及地下水，整治時常因土壤孔隙中污染物質之持續釋出，使地下水污染相較於單純土壤污染之處理技術門檻更高，且難以於短時間內完成；故本計畫考量先以建立地下水污染整治技術之決策支援系統為目標，未來再逐漸納入土壤污染整治技術之評估要件，逐漸完備此決策支援系統。

審查意見內容	答覆說明
4. 期末報告時希望所建立之系統，能有一使用手冊供後續使用者參考使用。	謝謝委員建議，本研究後續將以實場資料進行決策系統的測試，最後呈現本研究所建議的評估與決策程序。未來亦設計以使用者親善(user-friendly)的操作軟體界面呈現本決策支援系統，亦將建立軟體之使用手冊，使用者將更能輕鬆運用本系統達到綠色整治技術篩選決策之目的。惟理想的使用手冊應包括完整之參數資料庫，此部分須待後續研究持續累積使本系統更具實用價值，建議可於未來審慎建立之。
5. 本報告針對綠色整治、風險評估及決策系統有完整詳細之說明，針對第三章研究方法亦有清楚之描述。	感謝委員意見。
6. 後續可加強在結果部分之說明及討論。	本計畫在期中報告階段著重在決策系統的方法建立，故主要研究結果在於呈現此決策系統之邊界設定及所涵蓋的各個評估要項；本工作進度報告之第三章即為本決策系統之建置成果，重點成果在於系統邊界的設定、評估細項的研討、問券回收成果、環境因子權重分析與決策系統的建立。而第四章亦呈現實際污染場址之基本資料及至目前為止所蒐集之實際盤查資料，後續將透過實際數據來驗證本系統之實用性，並加強於結果部份之說明及討論。

審查意見內容	答覆說明
7. 建議說明本研究與 USEPA 的建議（含 Region 9）的關係。	<p>藉由本計畫針對綠色整治的文獻回顧內容，可看出 USEPA 對於綠色整治的主要評估依據著重在整治系統的能源需求、廢氣排放量、用水需求、土地及生態系統衝擊、資源消耗及廢棄物管理等方面，而此評估內容亦為生命週期評估的重點，故在本計畫中已將各評估要項納入考量。</p> <p>然而本計畫中所建置之支援決策系統中，亦整合健康風險評估方法，以評估可能對人體造成的健康影響，此為 USEPA 建議所未含之考量點。</p>
8. 由於本類計畫的屬性為應用型的研究，本計畫的本土適用性建議說明。	<p>本計畫所評估之環境因子，如酸雨化效應、人體毒性、土地佔用等環境相關性項目，均選擇適用於台灣地景條件之特徵化模式，並以本土參數帶入，以求得本土化特徵因子。未來亦將以一國內實際進行整治之地下水污染場址進行相關數據的盤查，再輸入至決策系統中進行測試與驗證，以便針對本系統進行實作上的修正，使本決策支援系統更具有本土適用性。</p>
9. 綠色整治的觀念在整治規模上是否需加以評估，建議討論。	<p>整治規模對環境、經濟及社會等面向均有影響。本年度的研究重點為各種整治技術對環境衝擊的評估方法，並以一設定之處理水量為其功能單位，因此，整治規模的大小會反映於環境影響評估結果上，惟其社經影響則可納入未來研究中。</p>
10. 計畫執行單位有頗多的實務經驗（永豐），建議多以國內的實務案例說明本計畫的適用性。	<p>謝謝委員建議。本工作團隊將會以一國內地下水受含氯有機物污染場址，在執行整治期間所產生之各項環境衝擊及其風險危害因子進行盤查，並輸入其相關數據進行系統之測試及驗證，藉以進行本決策支援系統之修正及建立。</p>

審查意見內容	答覆說明
11. 何為本次具體之工作進度因為(P.124)之前皆為研究背景與方法，而執行現況與成果僅半頁(P.124)。	本報告期中工作重點在於系統邊界的設定、評估細項的研討與決策系統的建立；而在此系統建置完成後，才能將實際整治場址之資訊輸入至決策系統中進行計算，所以目前之執行現況與成果在於決策系統之建立。本支援決策系統之細部內容詳述於期中報告初稿第三章「研究方法」中，已於本工作進度報告中更名為「綠色整治決策支援系統之建立」(請參閱審查意見 1 之回覆)。
12. 請釐清內容中哪些為原計畫書內容，哪些為本次研究過程與結果。	本計畫旨在建立台灣綠色整治決策支援系統，重點為建立選擇整治技術所需之評估方法。本研究首先整理綠色整治相關文獻，評析國際作法並萃取可用資訊；進而整合相關環境管理工具，建構綠色整治技術環境評估模式，協助土壤地下水整治技術之優選出對環境衝擊最小之整治技術。期中報告主要研究內容在於第三章支援決策系統之建立，由於本計畫是針對地下水整治技術作為評估對象，故必須針對地下水整治技術劃定欲考量之系統邊界，並針對相關評估細項作一完整的設定，最後則是將各評估細項整合至本決策系統中，此整合架構即為期中報告之主要研究成果。

行政院環境保護署
「綠色整治決策支援系統之建立」
工作報告審查意見及答覆說明

日期：100.1.24

審查意見內容	答覆說明
1. 請能選取具有完整之資料以及數據，而已具有代表性之實際案例，來驗證建立之決策支援系統之可行性及實用性	遵照委員意見辦理。
2. 美國環保署針對綠色整治訂出六大核心目標，故後續再執行時，可考慮將此部分納入評估。	謝謝委員建議，已於期中報告中納入此一部分。
3. 實際執行部份中有關優缺點之比較之初步發現宜予摘列	遵照委員意見辦理。
4. 未來規劃部份則宜提供方法及系統操作之模式並予討論	遵照委員意見辦理。

附錄二、評估因子問卷回覆

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

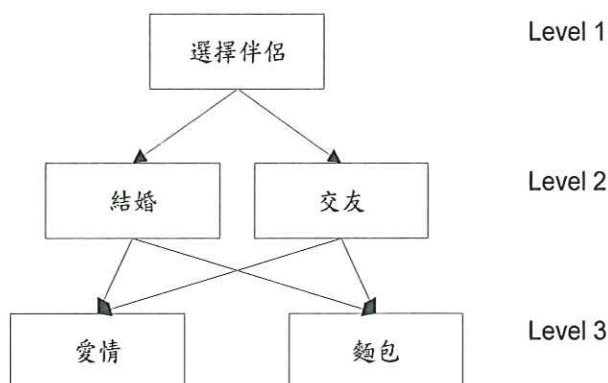
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治(Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估(Life Cycle Assessment，簡稱 LCA)與健康風險評估(Risk Assessment，簡稱 RA)兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

- p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。
2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

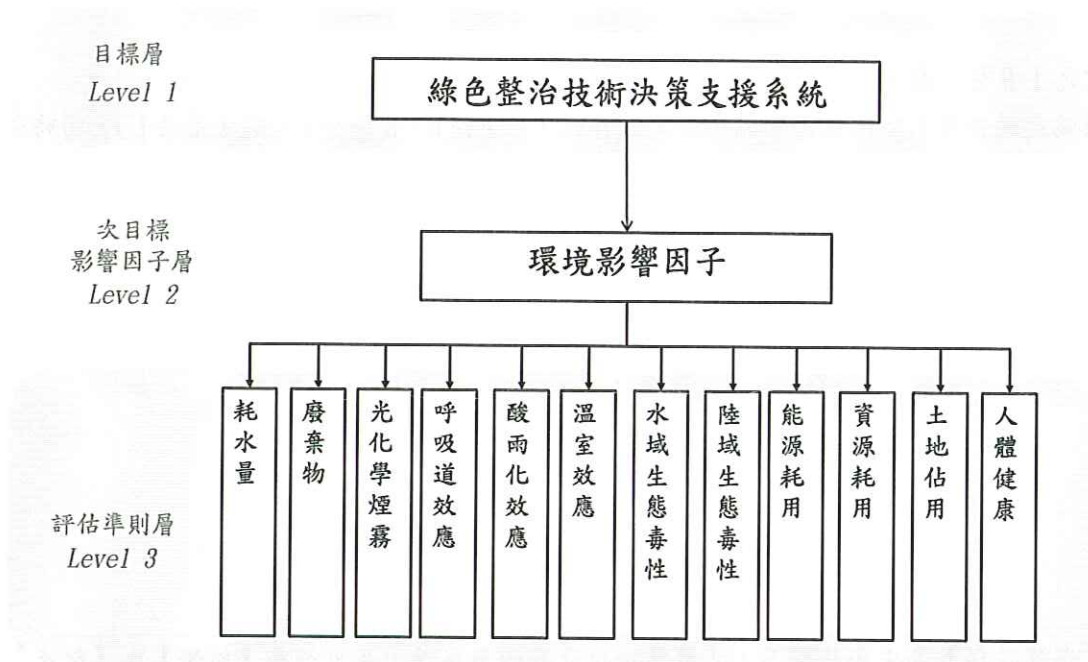


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比 率(PAF·M3·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比 率(PAF·M3·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
土地 佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

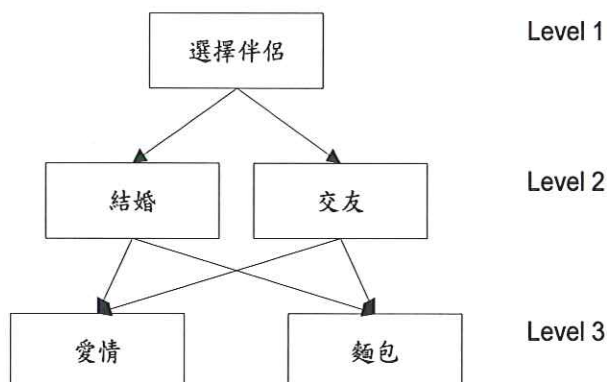
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment，簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment，簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1) 在 Level 1 【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1) 在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2) 在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

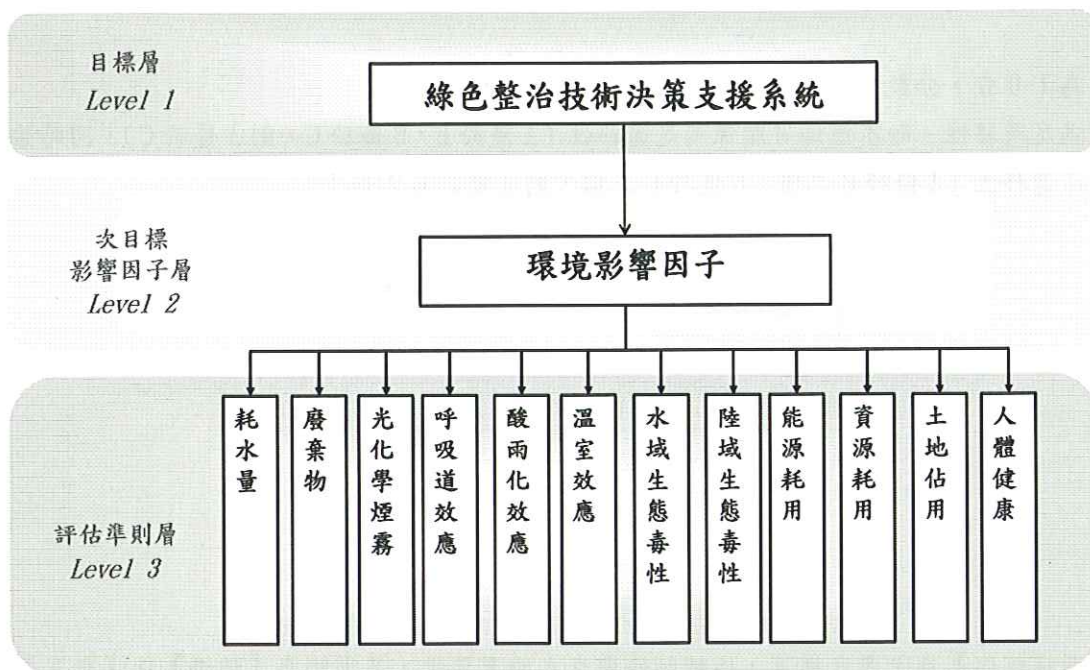


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- **Level 1**
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- **Level 2**
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- **Level 3**
準則因子 (有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示)
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μm粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比 率(PAF·M3·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比 率(PAF·M3·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
土地 佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

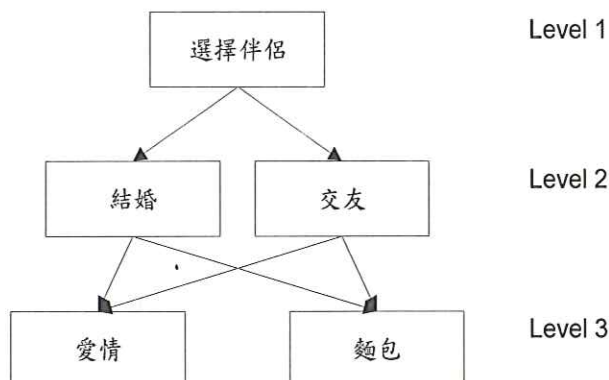
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment，簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment，簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1-9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1) 在 Level 1 【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1) 在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2) 在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

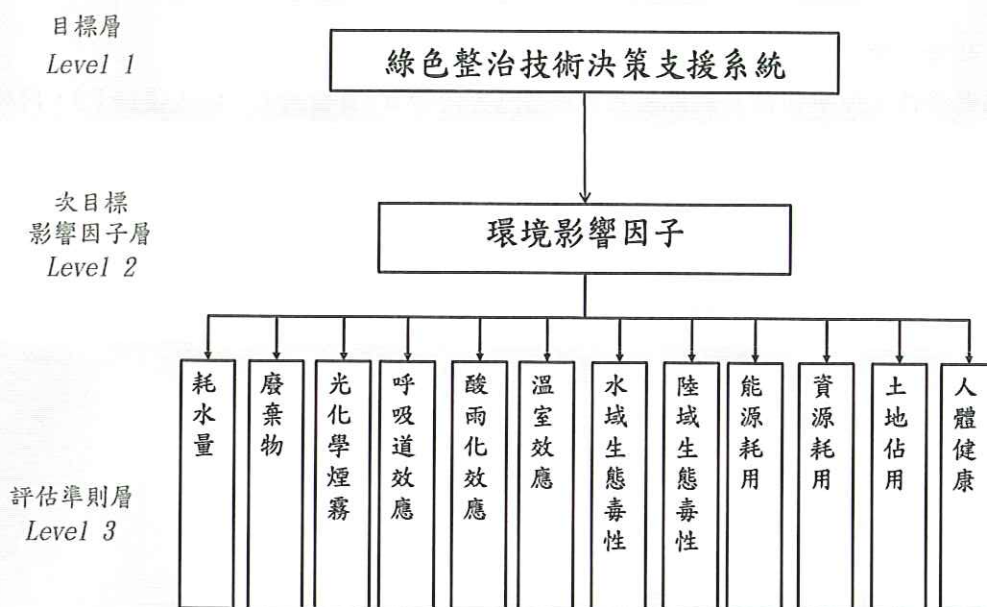


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比 率(PAF · M ₃ · day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比 率(PAF · M ₃ · day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
土地佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

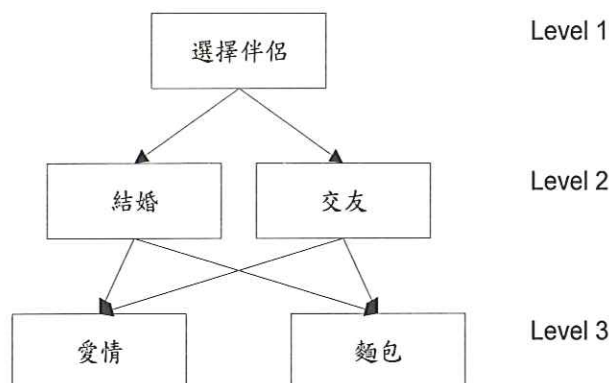
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治(Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估(Life Cycle Assessment，簡稱 LCA)與健康風險評估(Risk Assessment，簡稱 RA)兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

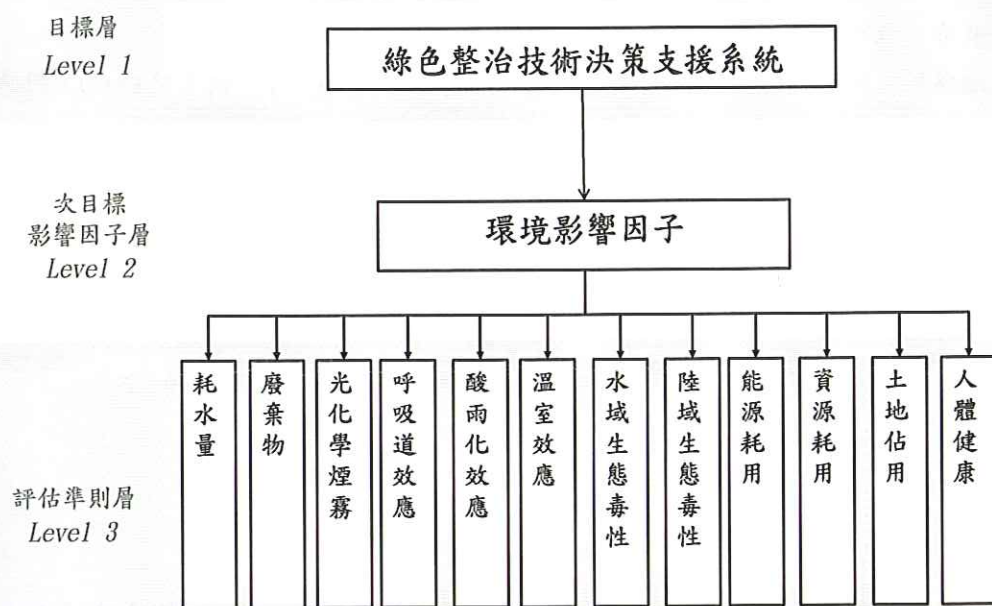


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
土地佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

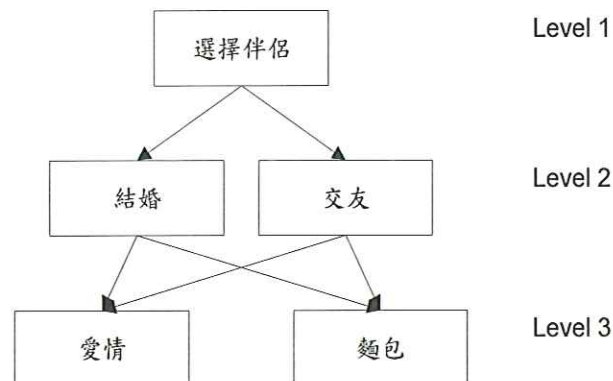
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment, 簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment, 簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1 【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

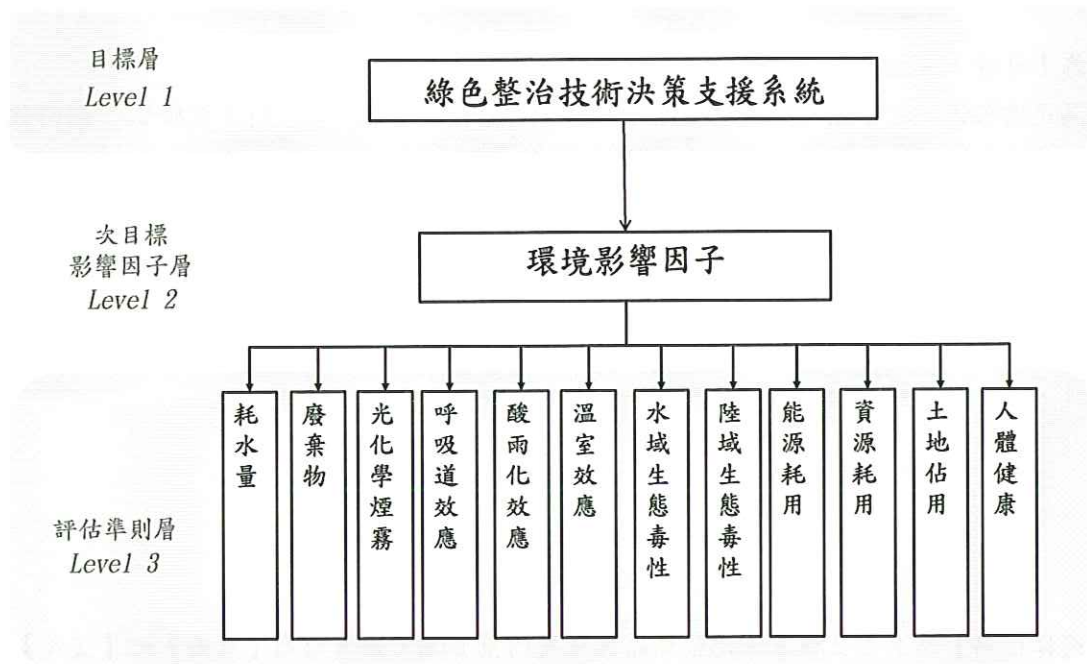


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標－建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子－考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
土地佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

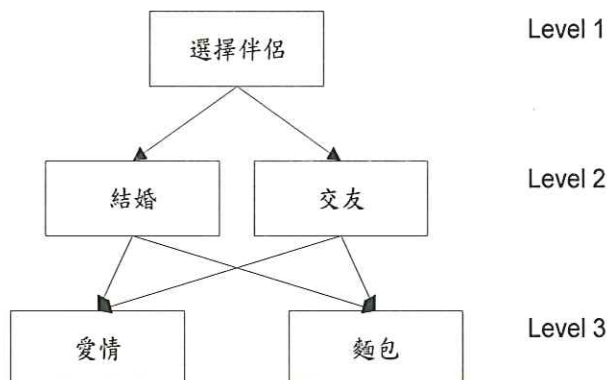
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治(Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估(Life Cycle Assessment, 簡稱 LCA)與健康風險評估(Risk Assessment, 簡稱 RA)兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

- p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。
2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

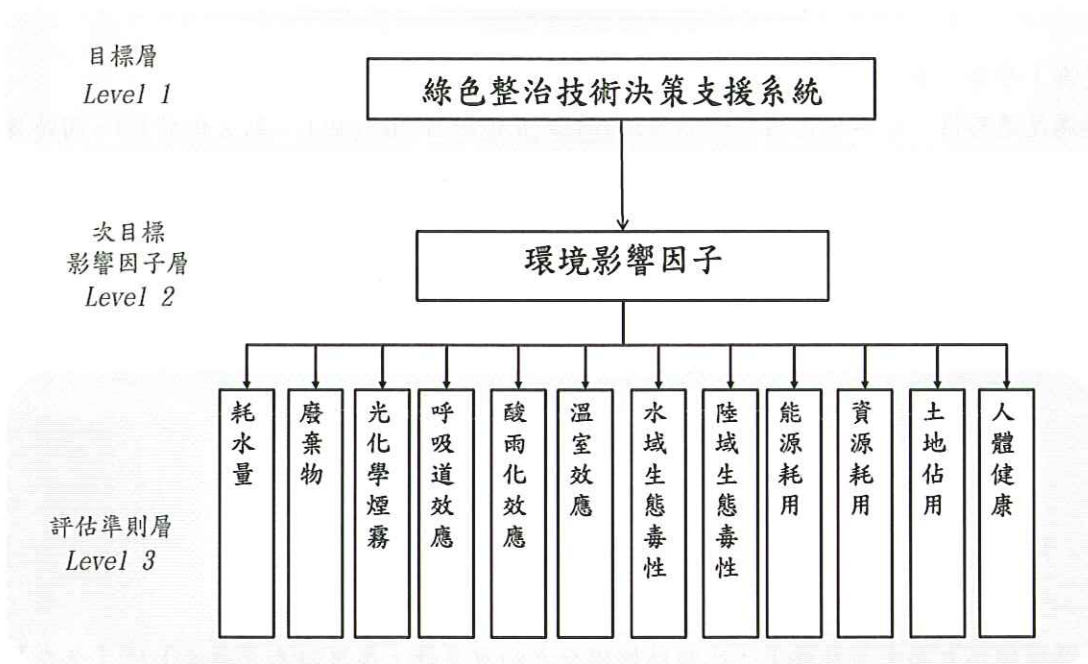


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標－建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子－考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要	8	7	6	5	4	3	2	① 同等 重要	2	3	4	5	6	7	8	9	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	⑤	6	7	8	9	土地佔用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	⑤	6	7	8	9	人體健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	⑤	6	7	8	9	土地佔用
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	⑤	6	7	8	9	人體健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
土地佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	⑤	6	7	8	9	人體健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

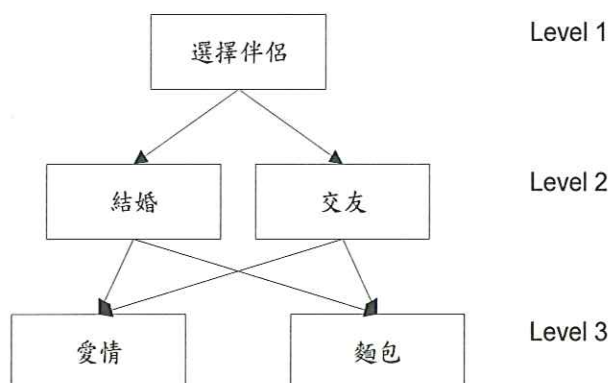
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment，簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment，簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1 【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

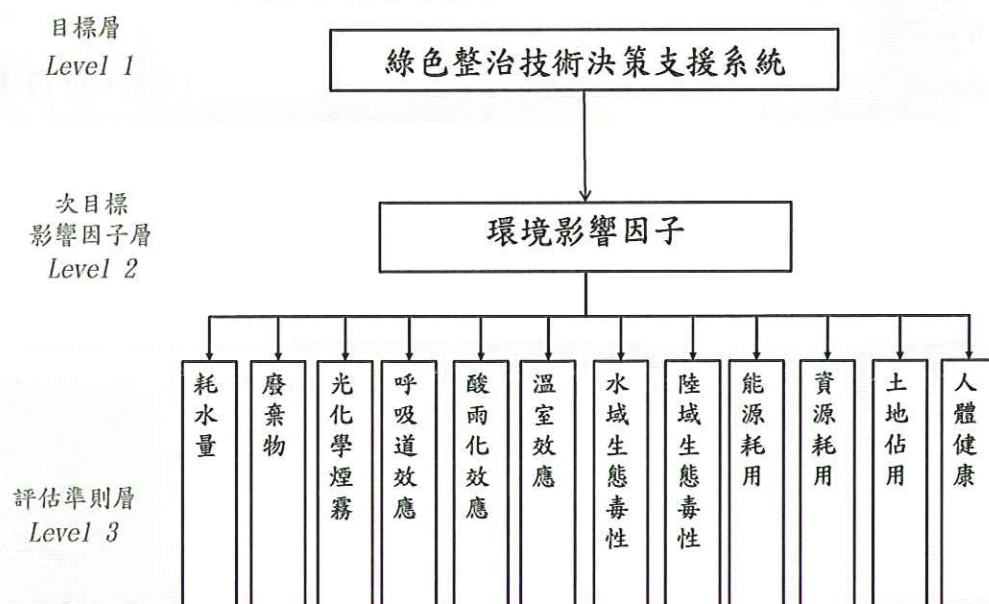


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標－建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子－考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
土地佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

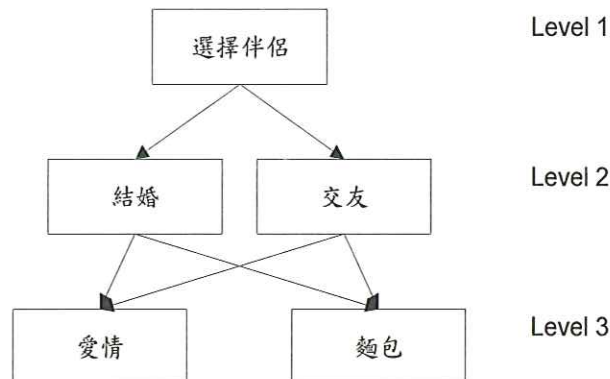
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment，簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment，簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1 【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

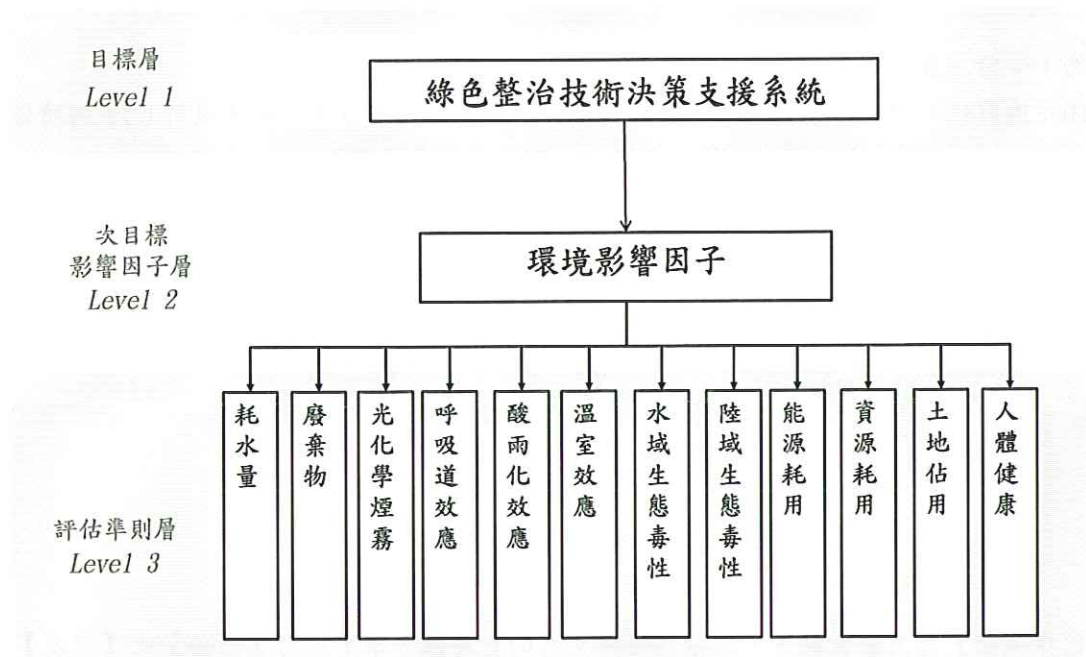


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- **Level 1**
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- **Level 2**
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- **Level 3**
準則因子 (有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示)
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

這可能與地質有關

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

耗水也屬於資源耗用之一？

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
土地佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

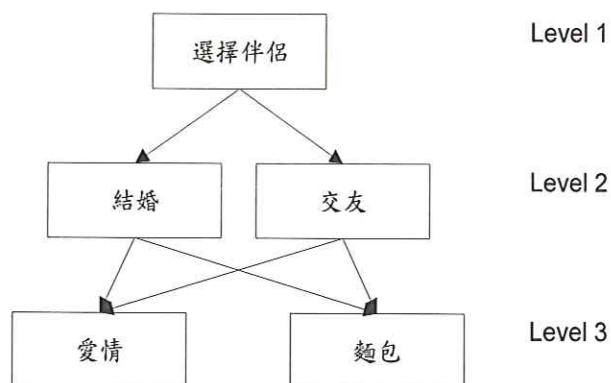
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治(Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估(Life Cycle Assessment，簡稱 LCA)與健康風險評估(Risk Assessment，簡稱 RA)兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1 【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

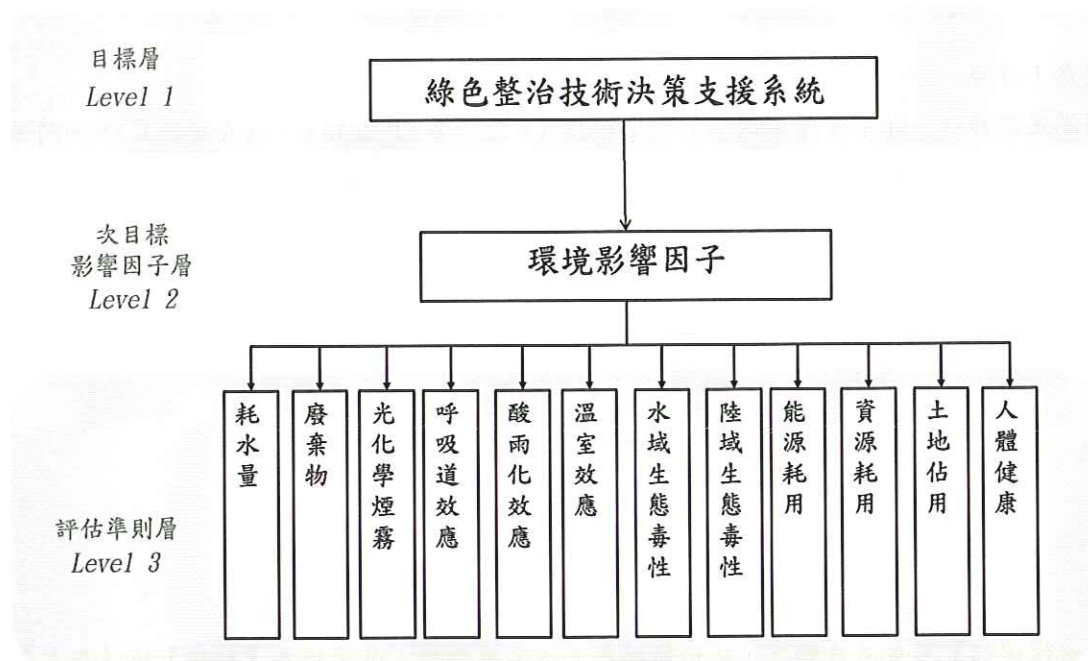


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
土地 佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

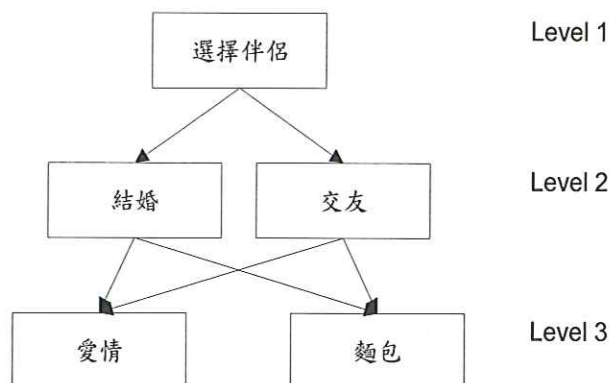
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment，簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment，簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1 【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

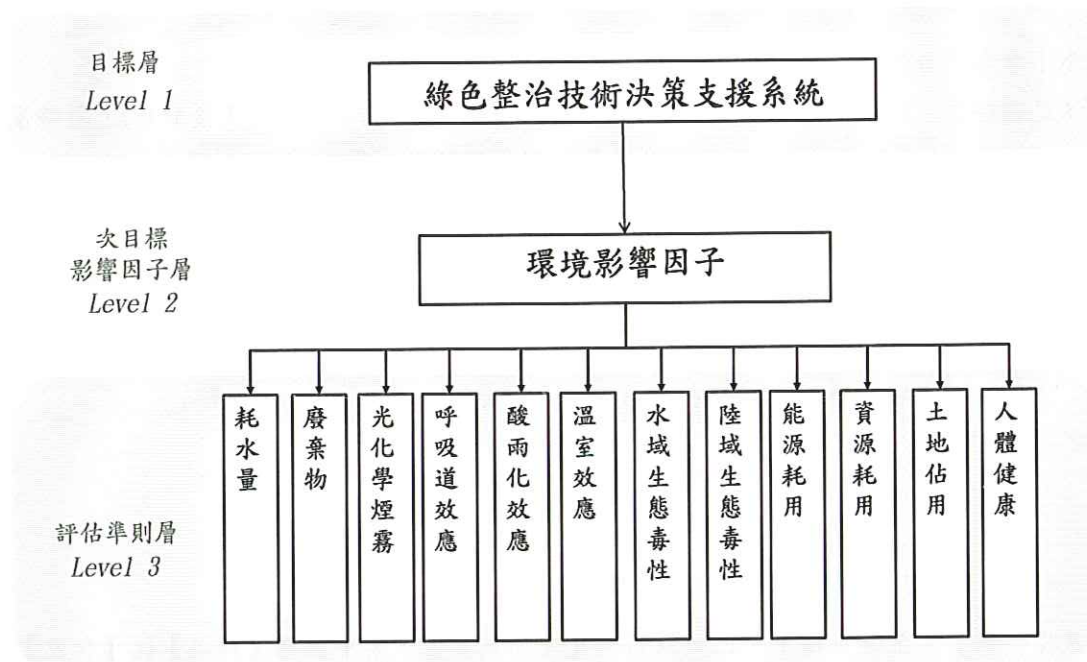


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子 (有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示)
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M3·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M3·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	⑤	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	⑦	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	⑤	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	⑨	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	⑤	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	⑤	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	⑤	4	3	2	④	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	⑤	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	⑨	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	⑤	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	⑨	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
土地佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

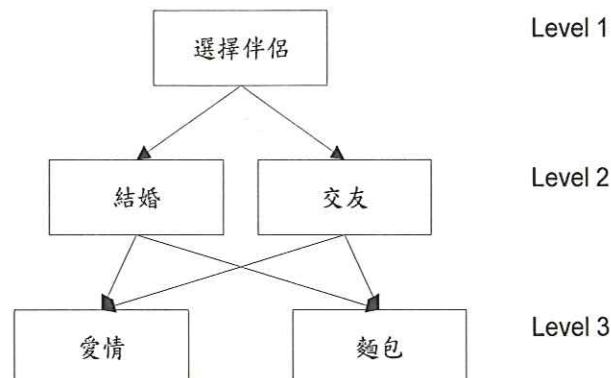
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment，簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment，簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1 【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

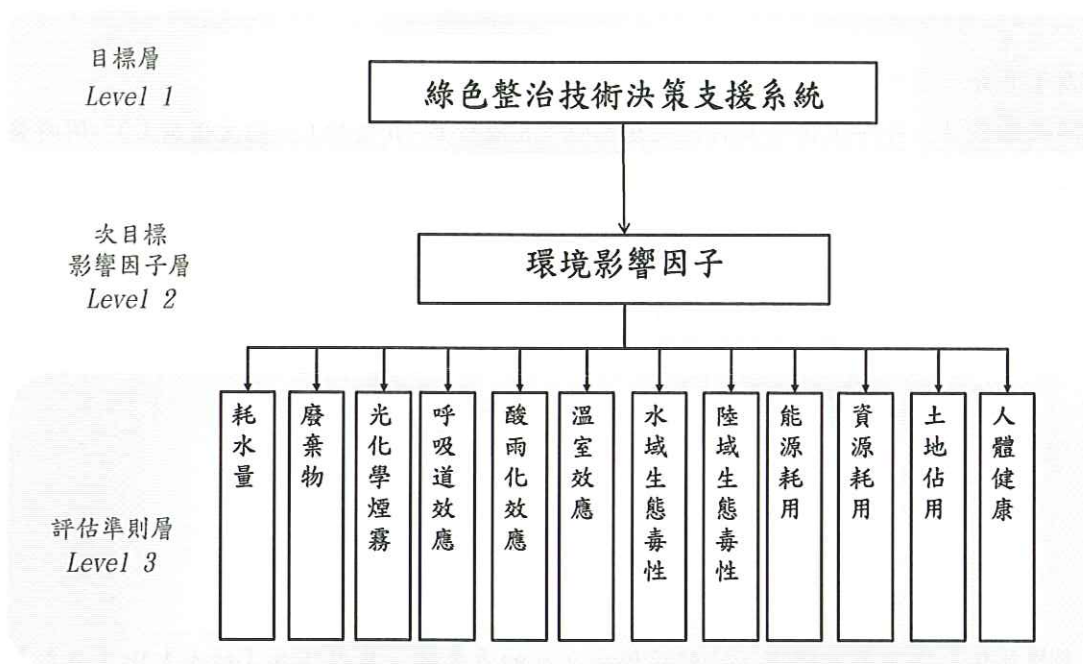


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子 (有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示)
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF · M ³ · day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF · M ³ · day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	0	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	⑥	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	⑥	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	⑥	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	0	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	0	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	0	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	2	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
土地佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

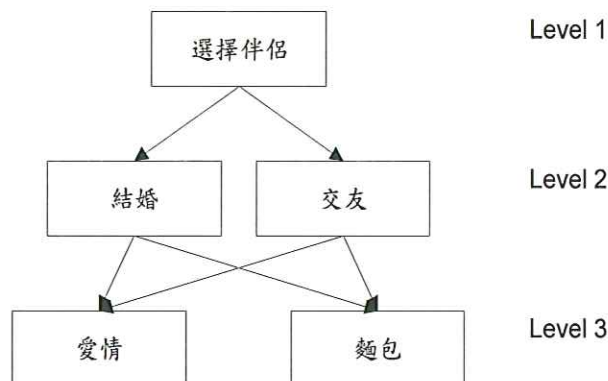
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment, 簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment, 簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1 【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

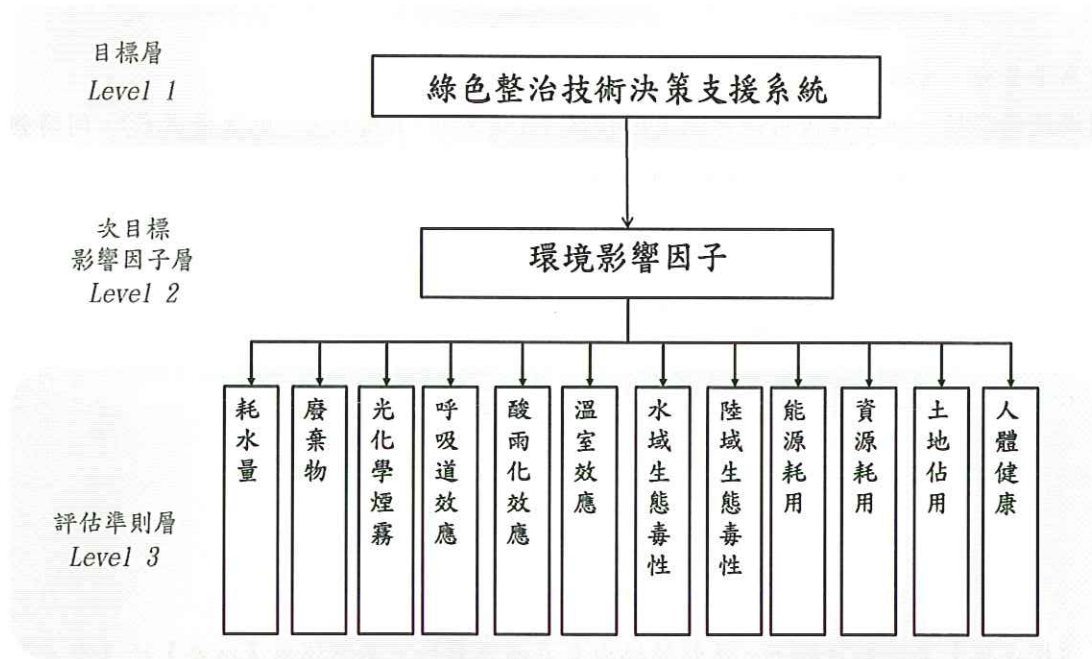


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μm粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
土地佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

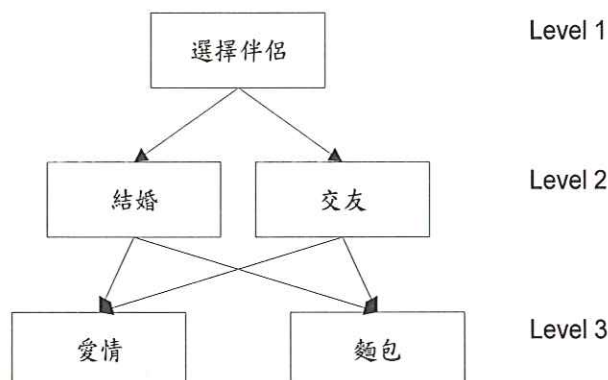
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment, 簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment, 簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1 【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

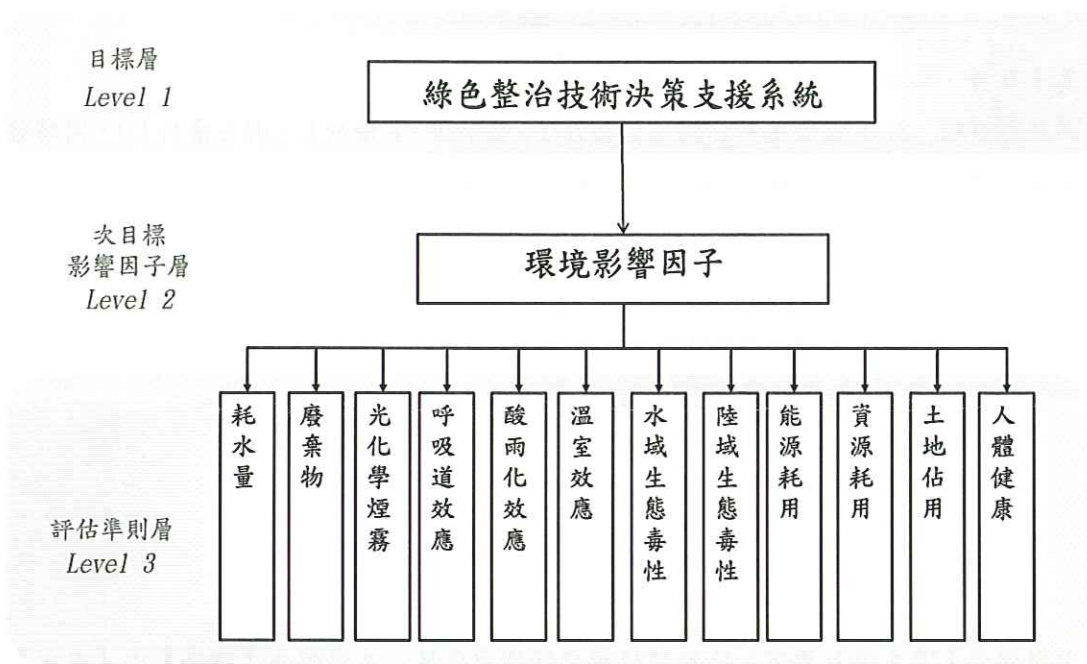


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子 (有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示)
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
土地 佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

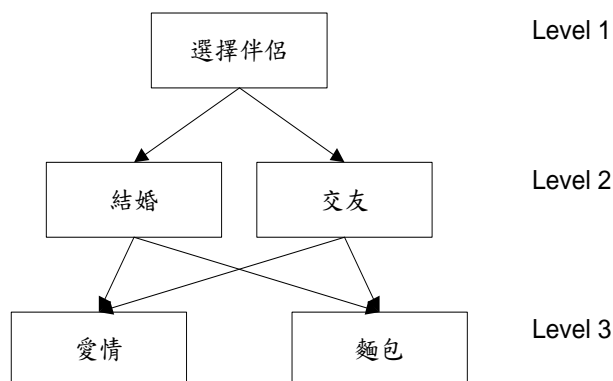
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment，簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment，簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1 【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

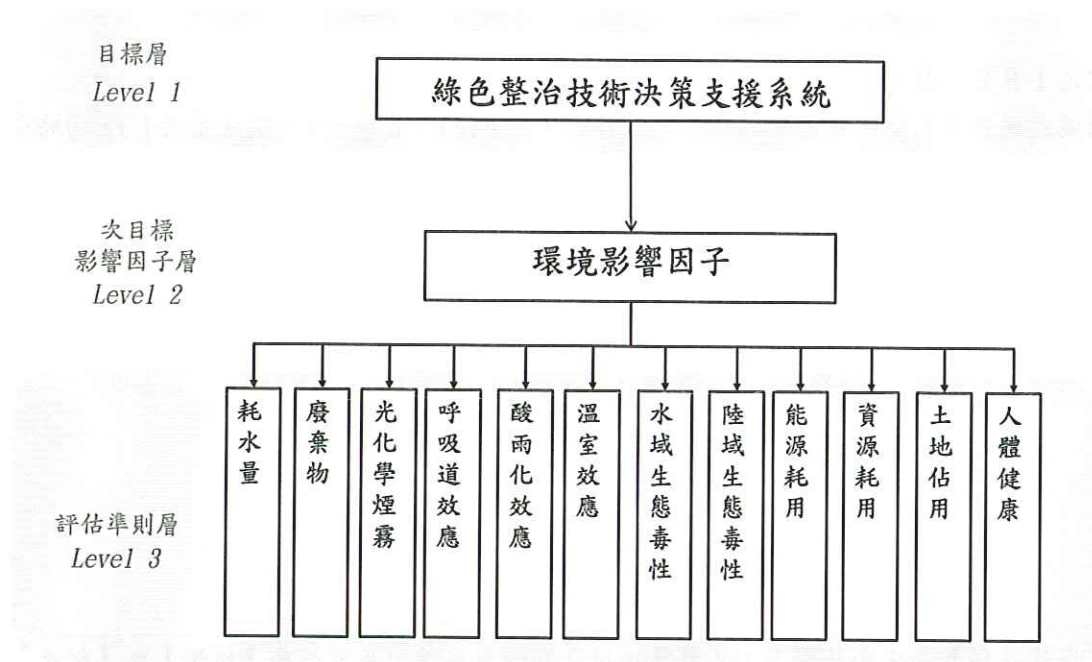


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
溫室效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態毒性
溫室效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態毒性
溫室效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源耗用
溫室效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
溫室效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
溫室效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
水域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態毒性
水域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源耗用
水域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
水域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
水域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
土地 佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

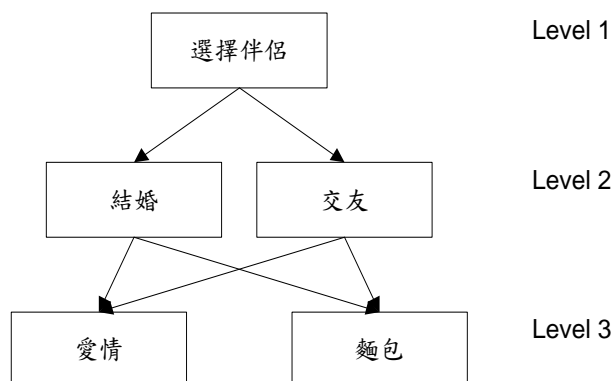
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment，簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment，簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

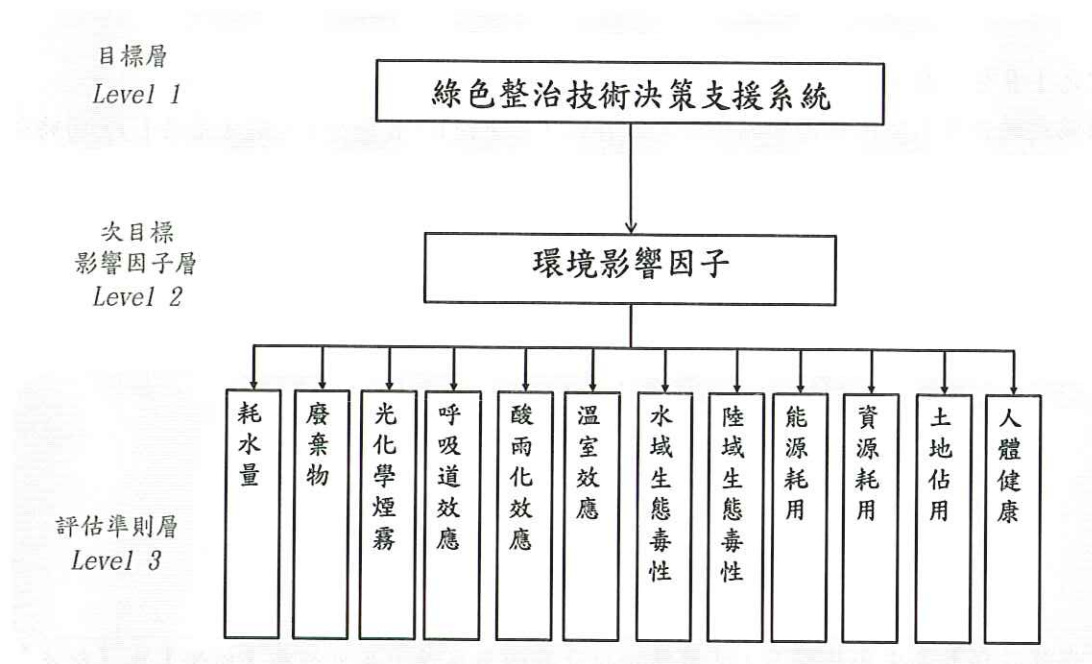


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康



4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康



8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
土地 佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

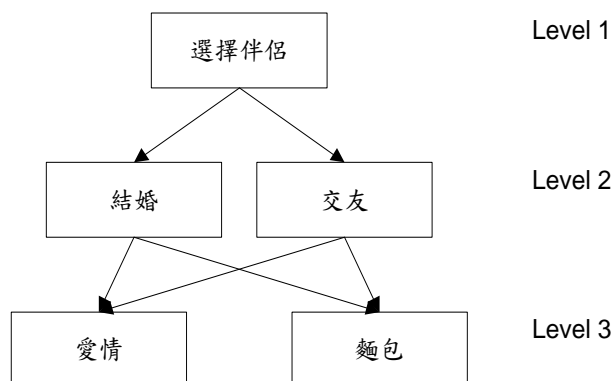
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment，簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment，簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

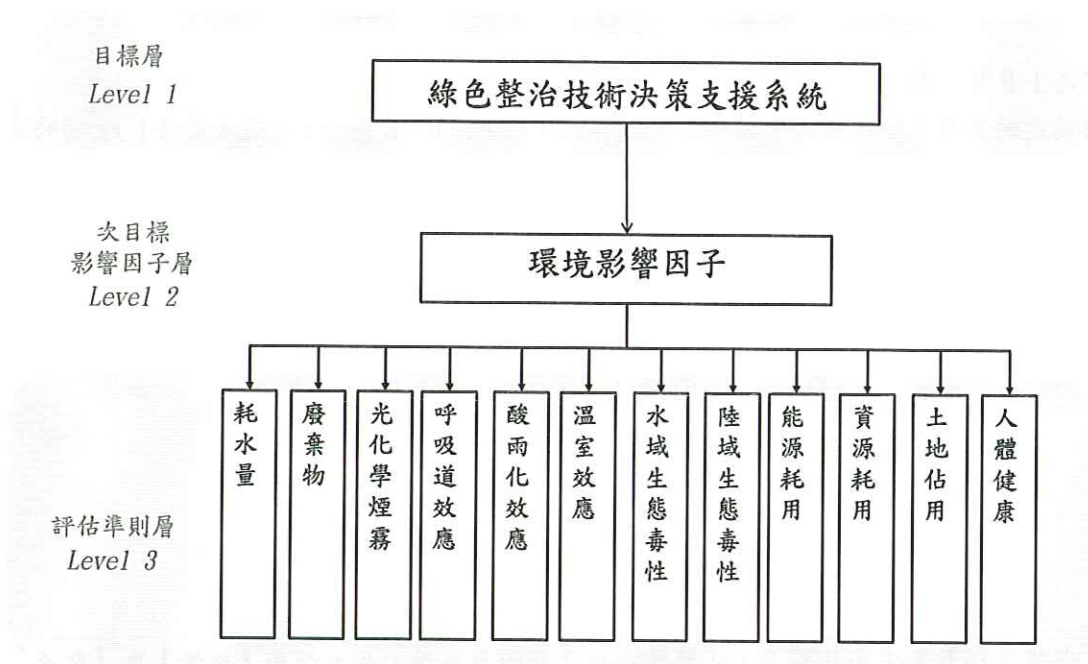


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	④	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	⑧	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	⑥	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	⑥	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	⑥	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	⑨	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	⑥	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	⑥	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	⑧	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	④	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	④	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	④	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	⑧	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	⑥	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	⑧	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	⑦	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	⑤	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	⑤	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	⑨	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	⑤	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	⑨	人體 健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
能源 耗用	⑨	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	人體 健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
資源 耗用	⑨	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	人體 健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
土地 佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	⑨	人體 健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

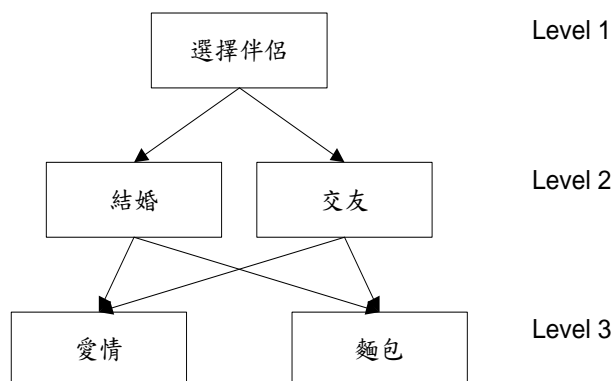
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment，簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment，簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

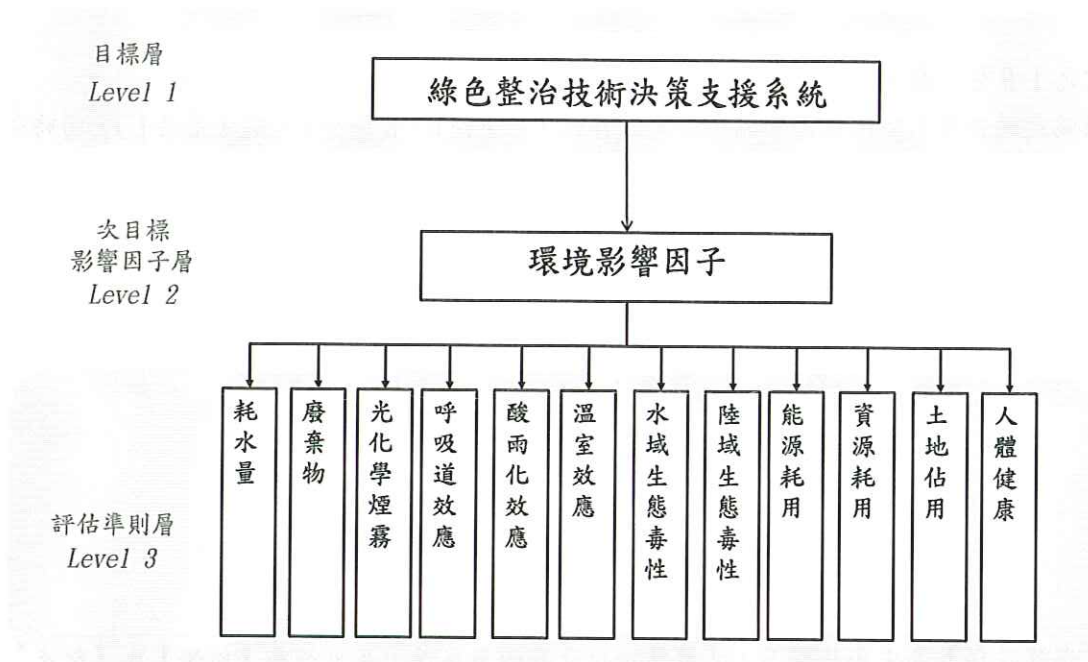


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	④	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	⑤	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	④	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	③	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	⑤	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	④	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	③	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	②	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
土地 佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	④	5	6	7	8	9	人體 健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

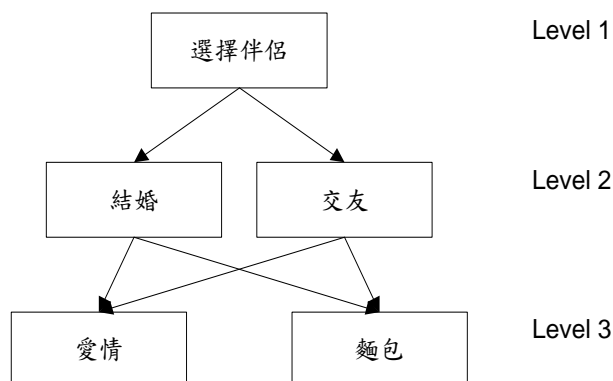
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment，簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment，簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

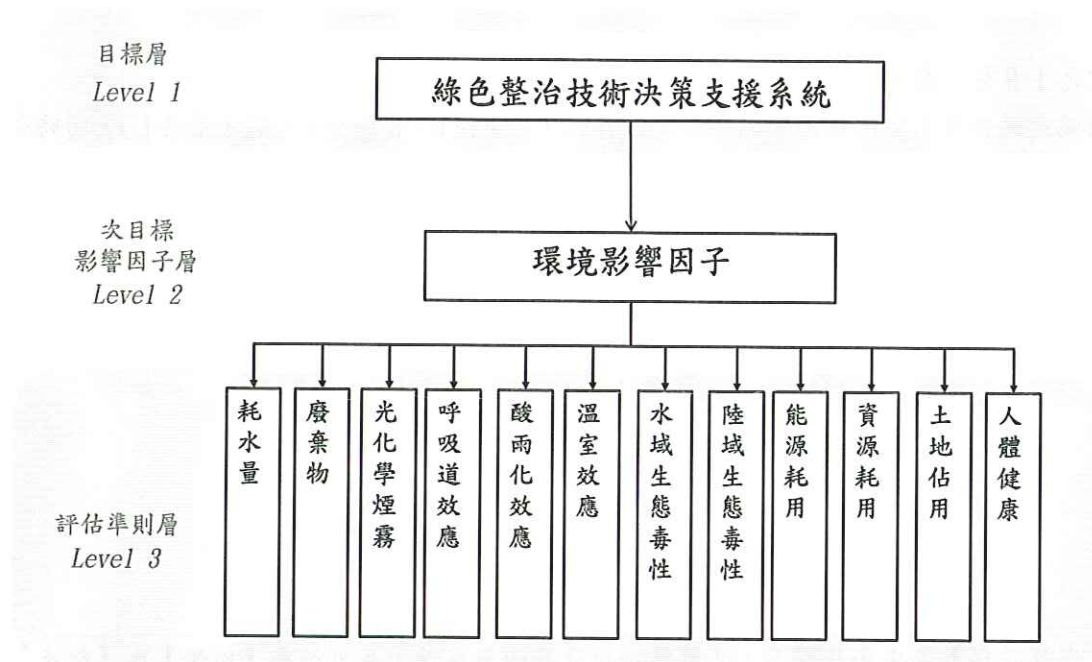


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
陸域生態毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源耗用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
能源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地佔用
資源耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
土地佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

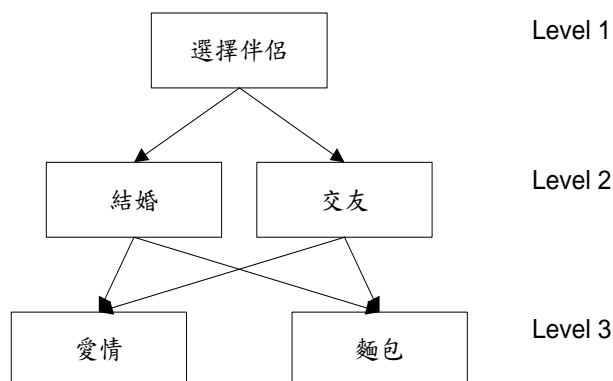
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment，簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment，簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

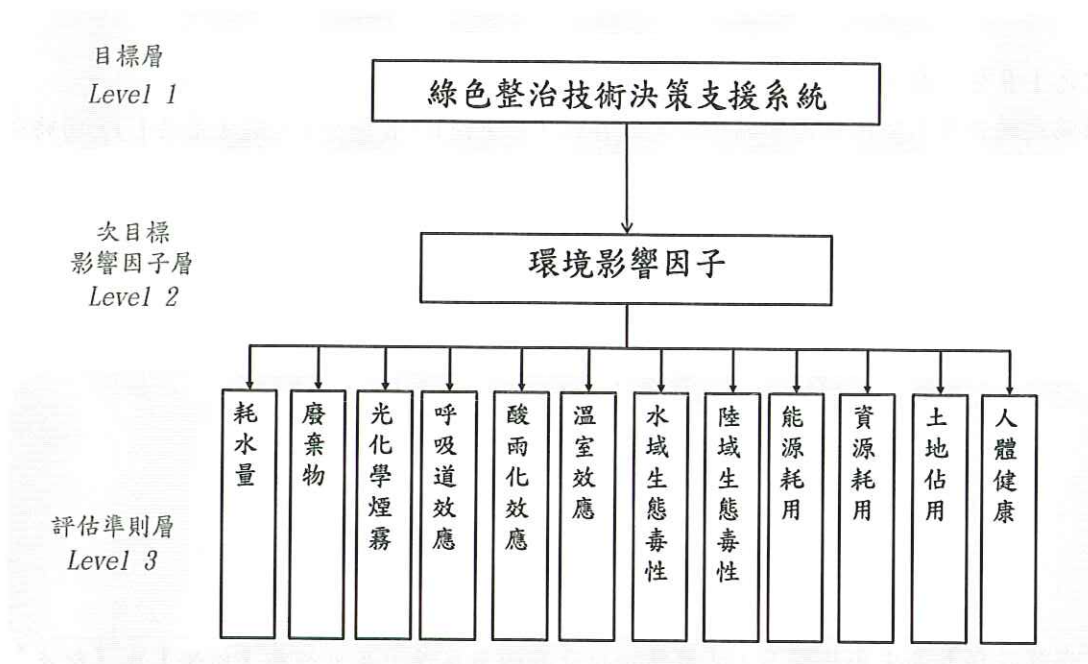


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標－建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子－考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	○5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	○4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	○5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	○4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	○2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	○2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	○3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	○2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	○3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	○3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	○5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	○2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	○9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	○8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	○4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	○6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	○7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	○4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	○3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	○7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	○9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	○8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	○7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	○3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	○5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	○6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	○3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	○2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	○6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	○8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	○2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	○6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	○4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	○3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	○6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	○7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	○3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	○1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	○5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	○3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	○2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	○5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	○6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	○2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	○2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	○3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	○4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	○1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	○2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	○4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	○6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	○2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	○3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	○4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	○2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	○4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	○4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	○5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	○1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	○3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	○2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	○4	5	6	7	8	9	土地 佔用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	○6	7	8	9	人體 健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	○5	6	7	8	9	土地 佔用
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	○7	8	9	人體 健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
土地 佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	○3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

「綠色整治技術決策支援系統」

績效值界定問卷

您好：

土壤及地下水污染場址之調查及整治為台灣近年來重要的環保發展。其中由於法規標準、民眾關注及再開發時間等因素之壓力，大部分均以快速並有效地移除污染至法規標準以下為整治目標，導致整治技術之選擇多為高耗能或對環境生態有一定影響之工法，例如地下水抽除處理法或現地化學氧化法等。

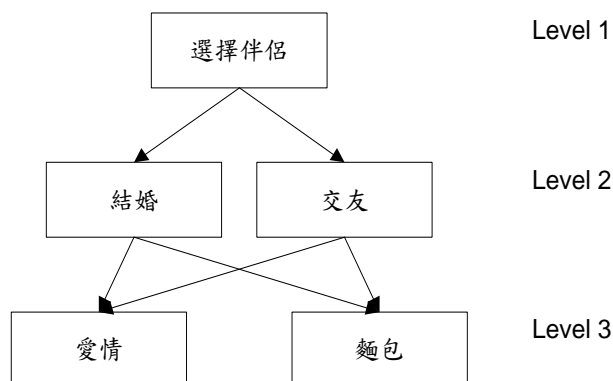
土壤及地下水的污染整治活動雖以改善環境至原來狀態為目標，惟本身亦會對經濟、社會及環境產生一定之衝擊。在全球不斷邁向低碳城市以及循環經濟等永續發展的趨勢下，整治技術之選擇亦應考量永續的概念，即明智地運用有限資源，對人類及自然環境產生最大之效益，稱為綠色整治 (Green Remediation)。綠色整治著重於將整治技術的環境利益極大化，另一方面也要確保整治的效率以及保護人體健康。

故要達到綠色整治的目的，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態的衝擊最小的整治技術。然而各整治技術所使用能源與資源的程度與類型不同，可能對環境造成的影響也大相逕庭，因此難以判定何種整治技術較為符合綠色整治的概念。故本研究計畫期結合生命週期評估 (Life Cycle Assessment，簡稱 LCA) 與健康風險評估 (Risk Assessment，簡稱 RA) 兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。爰此，我們希望您能透過這項 AHP 問卷調查，並根據您專業與經驗上的認知，來幫助我們決定綠色整治重要環境影響準則因子之相對權重，以作為建立「綠色整治技術決策支援系統」之重要參考。如您對於本問卷有任何意見或疑惑，請逕洽本工作團隊連絡人，非常感謝您的不吝賜教，以使本計畫得以順利進行，偏勞之處，尚祈見諒。

一、問卷填寫說明：

1. 請參閱文中所附「綠色整治技術決策支援系統」之準則層級架構，請您詳閱後，就各準則間的相對權重情形，依照評選分數，比較左右二側之相對重要性，並在相關評選分數下圈選出最適當的比值。
2. 評選分數定為 1~9 分，分數愈高代表此項準則愈重要。
3. 準則比較須滿足遞移性。即不僅優劣關係滿足遞移性（A 優於 B，B 優於 C，則 A 優於 C），同時強度關係也滿足遞移性（A 優於 B 二倍，B 優於 C 三倍，則 A 優於 C 六倍）。
4. 範例：



(1)在 Level 1 【選擇伴侶】為主要目標下，比較結婚與交友的重要性，某甲認為【結婚】比【交友】重要多了，依據自己的感覺，【結婚】為【交友】的 6 倍重要，也就是下表之左邊（即結婚）比右邊（即交友）重要 6 倍，因此在下表之左邊圈選 6，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
結婚	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	交友

(2-1)在以 Level 2 中之【結婚】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【麵包】是【愛情】的 3 倍重要，也就是下表之左邊（即麵包）比右邊（即愛情）重要 3 倍，因此在下表之左邊圈選 3，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

(2-2)在以 Level 2 中之【交友】為前題之下，比較麵包與愛情的重要性，某甲認為【愛情】是【麵包】的 4 倍重要，也就是下表之右邊（即愛情）比左邊（即麵包）重要 4 倍，因此在下表之左邊圈選 4，表示如下：

	極重要		非常重要		頗重要		稍重要		同等重要		稍重要		頗重要		非常重要		極重要	
麵包	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	愛情

p. s. 1. 簡言之，在您認為較重要的因子的一側，圈選其重要程度。

2. 在以不同的準則為評估基準之下，兩兩比較會有不同的結果。

二、各層級說明：

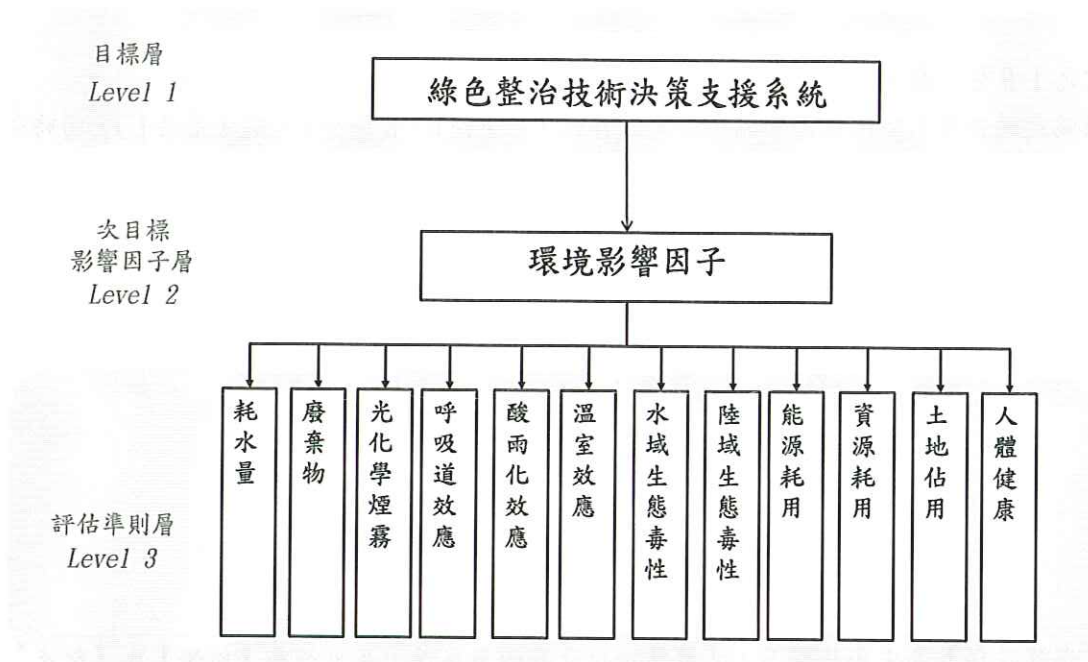


圖 1. 綠色整治技術決策系統評估模式

- Level 1
總目標—建立綠色整治技術決策分析模式，以此模式提供決策者參考。
- Level 2
環境影響因子—考量綠色整治技術對於週遭生態、環境及居民造成之環境衝擊。
- Level 3
準則因子（有關以下所述綠色整治技術之準則因子定義請詳表 1 所示）
註：本計畫以地下水污染整治技術之篩選為第一階段目標。

表 1 評估準則說明

評估準則	評估指標	說明
耗水量	水資源耗用量	進行地下水整治過程，所額外消耗的水資源量，包含整治過程所用來沖洗、藥劑調配與額外注入地下水層的使用水量。
廢棄物	廢棄物產生量	進行地下水整治後，所產生的廢棄物，包括廢土、廢棄管材等，對環境造成的影響。
光化學煙霧	氮氧化物當量 (NO _x air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的氮氧化物與揮發性有機物，此兩類關鍵臭氧前驅物質對空氣品質所造成的影響。
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀 污染物當量 (PM _{2.5} air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的原生性氣膠(TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5})以及衍生性氣膠(NO ₂ 、NO _x 、SO _x 、Nitric Oxides)等，經由呼吸被人體吸入，對人體呼吸道所產生的影響。
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO ₂ air eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的硫氧化物、氮氧化物與其他無機物質，因產生酸雨而造成環境中土壤、水體酸化的影響。
溫室效應	二氧化碳當量 (CO ₂ eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放出的二氧化碳量對溫室效應造成的影響，其中包含各項機具運作過程的直接排放與使用電力造成的間接排放等。
水域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對水域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
陸域生態毒性	潛在物種消失比率(PAF·M ₃ ·day)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所排放的各種污染物，對陸域的生態品質造成的損害及對生態產生的毒性效應。
能源耗用	油當量 (Oil-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種能源，包括電力、化石燃料等，其消耗量對環境造成的影響。
資源耗用	鐵礦當量 (Fe-eq.)	在進行地下水整治過程中，包括運輸、場址開挖、機具設備操作等階段，所使用的各種資源，其消耗量對環境造成的影響。
土地佔用	土地佔用面積	在進行地下水整治過程中，因土地使用或占據，對生態與環境造成的影響。
場址特定健康風險	致癌機率 危害商數	在地下水整治過程中，污染物經由環境傳輸，使人體暴露而造成的健康風險程度。

三、填表部分：

請依上述本計畫問卷填表說明之方式，圈選下列各表適當之數字。

在「環境影響因子」的評估基準下，圈選各準則兩兩比較之重要性

1. 耗水量 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	廢棄物
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
耗水量	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

2. 廢棄物 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	光化學 煙霧
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
廢棄物	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

3. 光化學煙霧 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	呼吸道 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
光化學 煙霧	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

4. 呼吸道效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	酸雨化 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
呼吸道 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

5. 酸雨化效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	溫室 效應
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
酸雨化 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

6. 溫室效應 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	水域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
溫室 效應	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

7. 水域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	陸域生態 毒性
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
水域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

8. 陸域生態毒性 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	能源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
陸域生態 毒性	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

9. 能源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	資源 耗用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
能源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

10. 資源耗用 vs. 其他準則

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	土地 佔用
資源 耗用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

11. 土地佔用 vs. 人體健康

	極 重要		非常 重要		頗 重要		稍 重要		同等 重要		稍 重要		頗 重要		非常 重要		極 重要	
土地 佔用	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	人體 健康

問卷至此，感謝您不吝賜教與幫助！！

誠摯地感謝您的幫助與配合，使本問卷得以順利完成！祝福您 平安健康

附錄三、綠色整治決策支援系統 使用手冊

綠色整治
決策支援系統
使用手冊

以永續為目標，明智的運用有限資源，將整至技術的環境利益極大化，且仍確保整治效率與人體健康即為綠色整治的重心。為達到綠色整治，需採用對環境資源的耗用量最少、對環境的污染達到最低、對生態/人類的衝擊最小的整治技術。故本研究計畫結合生命週期評估(Life Cycle Assessment，簡稱 LCA)與健康風險評估(Risk Assessment，簡稱 RA)兩大工具，發展出具體實用之決策支援系統，即「綠色整治決策支援系統」。LCA 可評估整治技術對資源的耗用量與對生態環境的衝擊程度，而 RA 則可評估整治過程可能對人體健康的影響，藉由此兩種評估工具的整合，可篩選出符合綠色整治概念的技術，協助管理者以永續理念進行整治工作。

本研究主要利用 LCA 所關注的「生態毒性」、「能源耗用」、「溫室效應」等評估指標，加上 RA 所著重的「健康風險」，共 12 項的評估指標，作為本研究計畫當中，篩選符合綠色整治技術的準則因子。

● 模組限制

1. 僅考量地下水污染危害

模組中僅估算來自地下水擴散後之危害。生命週期評估方面，以處理地下水水量為功能單位，估算處理地下水所需之各項資源耗用量以及待處理之地下水所造成之環境衝擊。健康風險評估方面，則以地下水危害工作人員與鄰近居民為主要受體；工作人員因污染物自地下水揮發而受危害，而鄰近居民則因污染物經由地下水傳輸後，污染鄰近飲用水源，因而透過飲用、皮膚接觸與食物鏈受害。

2. 評估指標

生命週期評估內針對耗水量、廢棄物產生量、光化學煙霧、呼吸道效應、酸雨化效應、溫室效應、水域生態毒性、陸域生態毒性、能源耗用、資源耗用與土地占用。而健康風險評估則粗分為致癌風險與非致癌危害。

3. 資料庫

模組中，生命週期評估內建資料庫多以 ecoinvent2.2 與 NREL LCI 支援材料製造過程之污染物排放與能資源耗用係數，以及台灣能源系統生命週期評估模式支援能源鏈內污染物排放與能資源耗用係數。健康風險評估則依下列常見之 22 項污染物做為資料庫建置依據，如苯、甲苯、奈、四氯化碳、氯苯、氯仿、氯甲烷、1,4-二氯苯、1,1-二氯乙烷、1,2-

二氯乙烷、1,1-二氯乙烯、順 1,2-二氯乙烯、反-1,2-二氯乙烯、總酚、四氯乙烯、三氯乙烯、三氯乙烯、氯乙烯、1,2-二氯丙烷、1,2-二氯苯、1,3-二氯苯、乙苯與二甲苯。目前並未開放修正或新增機制。

4. 評估年限(輸入數字的時間基礎，LCA 不明確)

模組內建評估年限為 30 年。特別於健康風險評估中，內建前五年為整治期，並設計前五年每年濃度變化對工作人員與鄰近居民暴露 30 年之危害。

5. 正規化基礎

模組中為整合各項評估指標，以各指標之最大值為正規化基礎。目前並未開放修正或新增機制。

下列依操作順序說明操作流程，分為使用者輸入、結果輸出；並於後方詳述資料庫建置依據。說明中，[]為按鍵符號，【】為操作介面符號予以區分。

- **【首頁】**

首先點擊「綠色整治決策支援系統.exe」，即進入模式首頁。如圖 1。即點擊左鍵進入**【操作主頁面】**(圖 2)。

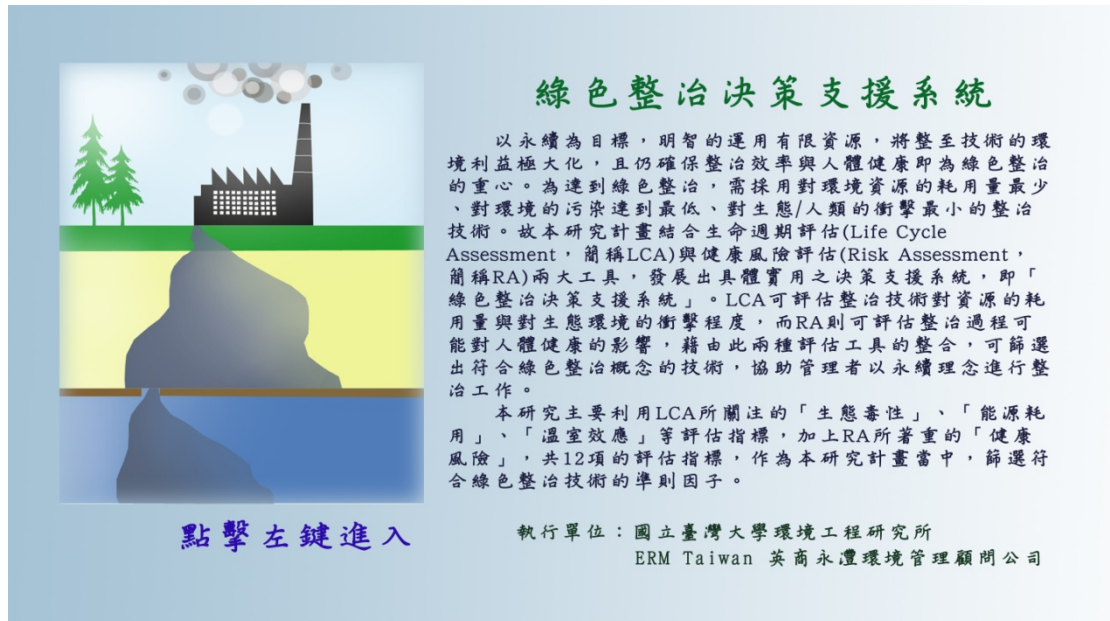


圖 1 模式首頁



圖 2 操作主頁面

- 使用者輸入

- STEP 1：技術選取**

「綠色整治決策支援系統」主要用以篩選符合綠色整治的技術，因此首要需確定預期使用技術，可由【操作主頁面】點選模組中已內建[生物處理]、[化學處理]、[Pump and Treat]與[循環井]；並開放未知或整合性技術可於[其他技術]中新增，確定預期技術皆已納入後，點選[技術選擇完成]，即完成技術勾選工作，如圖 3 所示。



圖 3 技術選取

STEP2：參數輸入

於模組可見[輸入所需資料] (圖 4)，分為四大部分：濃度去除率(整治技術預估每年處理效率)、RA(健康風險評估)、LCA(生命週期評估)、權重(決策支援系統內衝擊權重)。表 1 則概分輸入所需資料內各項目需盤查的內容與細項。

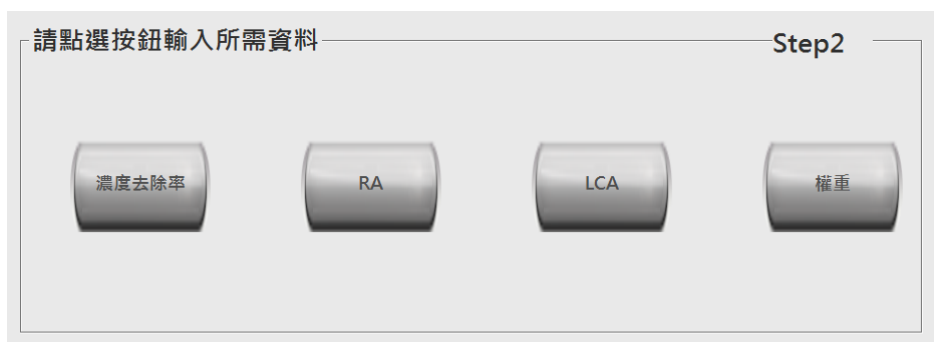


圖 4 輸入所需資料

表 1 綠色整治模組結構

項目	內容	細項	執行特性
RA	汙染場址特性	場址參數	輸入
		暴露參數	輸入
		汙染物選取	輸入
	場址內	原始汙染物濃度	輸入
		場址內濃度變化	估算
	場址外	模擬結果	估算
		其他模擬自行輸入	輸入
LCA	器材生產階段	管材器具使用	輸入
	運輸階段	人員機具運輸	輸入
	場址建置階段	場址施工	輸入
	整治操作階段	機具操作	輸入
		添加物質	輸入
		耗材使用	輸入
	監測階段	人員機具運輸	輸入
		機具操作	輸入
		耗材使用	輸入
權重	內定	12 項衝擊	選取
	自訂	12 項衝擊	輸入

[RA]中需分別輸入場址特性資訊與場址內污染物初始濃度，藉由[濃度去除率]線性估算每年場址內濃度變化，並依內建之解析分析場址外每年特定位置之污染物濃度；由於地下水傳輸模式有許多種類，因此於此模組中開放輸入欄位，可由評估單位應用其他傳輸模式模擬場址外鄰近污染物濃度，並自行輸入場址外濃度變化。[LCA]評估勾選技術器材生產、運輸、場址建置、整治操作與監測五個階段，於模組中需估算管材器具與資能源耗用量、工作人員數、操作時數等，利於估算各技術為達有效整治結果所需之資能源耗用與環境衝擊。後續利用[權重]合計[RA]與[LAC]內 12 項衝擊結果，利於整合比較各整治技術之優劣；[權重]內建計劃執行 20 專家學者問卷結果，反之亦開放評估單位自行設定 12 項衝擊權重。最後於勾選評估項目勾選 RA、LAC 或 RA 與 LCA，則可分別估算風險評估結果、生命週期評估結果與決策支援系統評估結果。以下分別介紹此四部分之操作。

☞ 濃度去除率

濃度去除率主要輸入各評估技術在整治前五年的污染物去除率，注意此處需輸入的是累積的去除率，例如某一技術預估的濃度去除率第一年為 75%、二年內為 80%、三年內為 83%，則必需依序輸入 0.75、0.05、0.03。各技術之去除率輸入完成後，點選右下角的[確定]以完成輸入(圖 5)。

請輸入濃度去除率

技術名稱	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年
生物處理	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
化學處理	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
循環井	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

1. 依序輸入前五年預估之濃度去除率

2. 點選確定 輸入完成

確定

圖 5 【濃度去除率】操作介面

☞ 【RA】

點選輸入所需資料內[RA]進入【RA】即為健康風險評估輸入與運算(圖 6)，此部分分爲污染場址特性、場址內與場址外，其執行特性如上述表 1 所示。

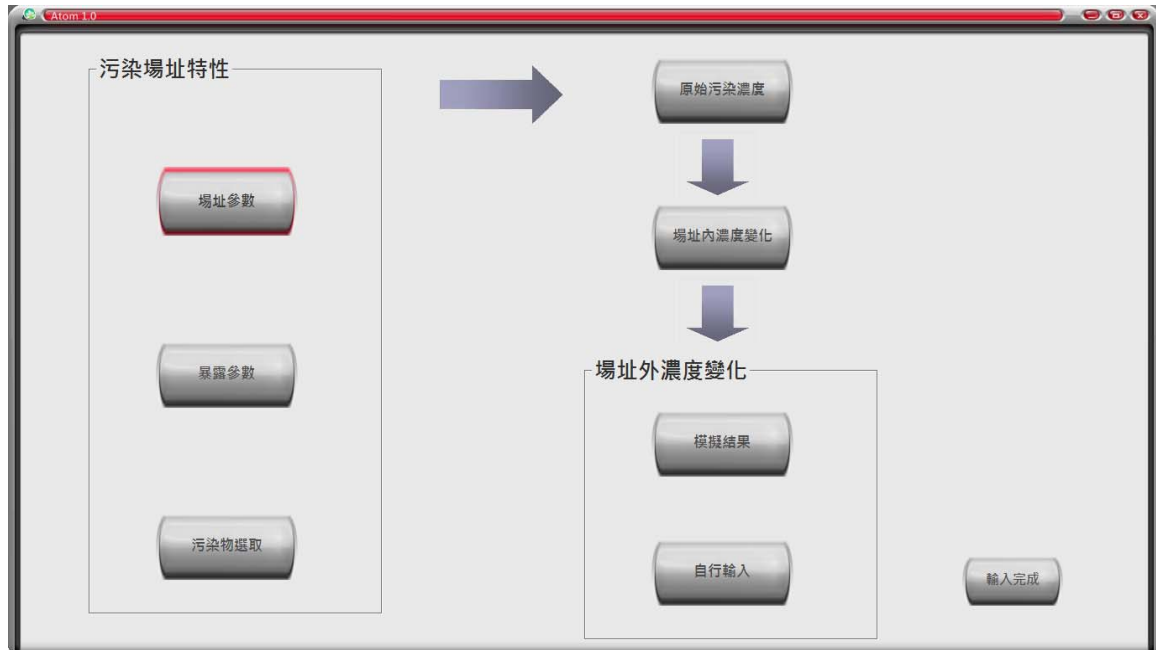


圖 6 【RA】操作介面

首先介紹[場址參數](圖 5)，模組中內建三維高斯地下水傳輸(方程式(1))模擬場址外特定點因場址污染物釋放而承載多餘的污染物濃度：

$$C(x,y,z,t) = \frac{M}{8n(\pi t)^{3/2} \sqrt{D_L D_T D_z}} \times \exp - \left[\frac{(x-vt)^2}{4D_L t} + \frac{y^2}{4D_T t} + \frac{z^2}{4D_z t} \right] \quad (1)$$

參數	單位	說明
x	m	傳輸距離 X 方向
y	m	傳輸距離 Y 方向
z	m	傳輸距離 Z 方向
t	year	評估時間
M	g	污染量
n	-	土壤孔隙率
D _L	m ² /yr	X 方向傳流係數
D _T	m ² /yr	Y 方向傳流係數
D _z	m ² /yr	Z 方向傳流係數
v	m/yr	地下水流速

爲估算污染物於地下水傳輸，評估單位需現地調查污染場址各項特

性，如孔隙率、土壤密度、含水率、水力梯度等，輸入完成後，點選[確定]，即回到【RA】。

英文參數名稱	中文參數名稱	單位	數值
the distance of the x axis	傳輸距離X	公尺(m)	<input type="text"/>
the distance of the y axis	傳輸距離Y	公尺(m)	<input type="text"/>
the distance of the z axis	傳輸距離Z	公尺(m)	<input type="text"/>
Water volume	處理水量	公升(L)	<input type="text"/>
soil porosity	孔隙率(n)		<input type="text"/>
Bulk density of soil	土壤密度(pb)	g/cm ³	<input type="text"/>
Volumetric water content of soil	土壤含水量(θ _w)		<input type="text"/>
Hydraulic conductivity	水力傳導係數	m/yr	<input type="text"/>
Hydraulic gradient	水力梯度		<input type="text"/>

1. 依序輸入傳輸所需之各項參數

2. 點選確定輸入完成

確定

圖 7 【場址參數】操作介面

接著點選[暴露參數](圖 6)。鑑於汙染場址直接暴露危害對工作人員與經由傳輸危害鄰近居民之嚴重性，模組中特別將工作人員與鄰近居民分別評估，內建暴露途徑如表 2 所示，由於模組中僅針對地下水汙染危害進行評估，因此工作人員透過呼吸接觸揮發的地下水汙染物；而鄰近居民則因汙染物經由地下水可能汙染飲用水、日常用水或灌溉作物，經由飲用、洗澡皮膚接觸與食物鏈接觸鄰近居民。最後，利用暴露人口密度合計該評估場址對可能暴露之族群進行族群風險估算，即為總和工作人員與鄰近居民之總危害。後確認輸入暴露參數無誤，點選[確定]，回到【RA】。

表 2 受體暴露特性

項目	敏感受體	汙染介質	暴露途徑			
			飲用水	吸入空氣	皮膚接觸	食物鏈
場址內	工作人員	空氣		√		
		地下水				
場址外	鄰近居民	空氣				
		地下水	√		√	√

Atom 1.0

請輸入暴露參數

英文參數名稱	中文參數名稱	單位	工作人員	一般居民
Inhalation rate	呼吸率	m ³ /hr	<input type="text"/>	<input type="text"/>
shower time	洗澡時間	hr/day	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Drinking rate	飲用水量	L/day	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Crop/vegetable rate	作物食用量	kg/day	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Meat rate	肉品食用量	kg/day	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Milk rate	牛奶食用量	kg/day	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Egg rate	雞蛋食用量	kg/day	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Exposure frequency	暴露頻率	hr/day	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Exposure duration	暴露期間	day	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Body weight	體重	kg	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Density of laborer	工人密度	persons/100m ²	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Density of resident	居民密度	persons/100m ²	<input type="text"/>	<input type="text"/>

1. 依序輸入暴露所需之各項參數

2. 點選確定輸入完成

確定

圖 8 【暴露參數】操作介面

汙染場址特性最後一個步驟為[汙染物選取] (圖 9)。模組中內建常見之 22 種土壤地下水汙染物，其中英文對照如表 3。依場址現地調查結果選取該場址汙染物，以利後續評估。汙染物特性差異甚遠，嚴重影響到傳輸遠近與毒害程度，其直接反應於分配係數 (partition coefficient)、遲滯因子(retardation factor)、致癌斜率因子(CSF)與非致癌參考劑量(RfD)等，間接影響 X、Y、Z 方向傳流係數。選取汙染物後點選[確定]，即返回【RA】。

Atom 1.0

請勾選化學物

<input type="checkbox"/> Benzene	<input type="checkbox"/> 1,4-Dichlorobenzene	<input type="checkbox"/> Tetrachloroethylene	<input type="checkbox"/> Xylenes
<input type="checkbox"/> Toluene	<input type="checkbox"/> 1,1-Dichloroethane	<input type="checkbox"/> Trichloroethylene	
<input type="checkbox"/> Naphthalene	<input type="checkbox"/> 1,2-Dichloroethane	<input type="checkbox"/> Vinyl chloride	
<input type="checkbox"/> Carbon tetrachloride	<input type="checkbox"/> 1,1-Dichloroethylene	<input type="checkbox"/> 1,2-Dichloropropane	
<input type="checkbox"/> Chlorobenzene	<input type="checkbox"/> Cis-1,2-dichloroethylene	<input type="checkbox"/> 1,2-Dichlorobenzene	
<input type="checkbox"/> chloroform	<input type="checkbox"/> Trans-1,2-dichloroethylene	<input type="checkbox"/> 1,3-Dichlorobenzene	
<input type="checkbox"/> methyl chloride	<input type="checkbox"/> phenols	<input type="checkbox"/> Ethylbenzene	

1. 選取欲評估之汙染物質

2. 點選確定輸入完成

確定

圖 9 【汙染物選取】操作介面

表 3 汙染物中英文對照

英文名稱	中文名稱
Benzene	苯
Toluene	甲苯
Naphthalene	奈
Carbon tetrachloride/Tetrachloromethane	四氯化碳
Chlorobenzene	氯苯
Trichloromethane/chloroform	氯仿
Chloromethane/methyl chloride	氯甲烷
1,4 Dichlorobenzene	1,4-二氯苯
1,1-Dichloroethane	1,1-二氯乙烷
1,2-Dichloroethane	1,2-二氯乙烷
1,1-Dichloroethylene	1,1-二氯乙烯
Cis-1,2-dichloroethylene	順 1,2-二氯乙烯
Trans-1,2-dichloroethylene	反-1,2-二氯乙烯
phenols	總酚
Tetrachlorethylene	四氯乙烯
Trichloroethylene	三氯乙烯
Vinyl chloride	氯乙烯
1,2-Dichloropropane	1,2-二氯丙烷
1,2-Dichlorobenzene	1,2-二氯苯
1,3-Dichlorobenzene	1,3-二氯苯
Ethylbenzene	乙苯
dimethylbenzene/Xylenes	二甲苯

選定評估汙染物後，點選場址內[原始汙染濃度]，其輸入欄位依點選汙染物結果變動，僅出現確定點選汙染物濃度輸入欄位，其輸入單位為 mg/L。以 Trichloroethylene 為例，在輸入完[汙染物選取]後，點選[原始汙染濃度]，即可輸入未整治前的 Trichloroethylene 濃度(圖 10)。

輸入完畢後，點選[確定]返回【RA】。輸入之評估標的汙染物將線性估算每年汙染物因各技術效率遞減之各年場址內濃度變化，可經由點選[場址內濃度變化]觀察其濃度結果(圖 11)，繼續點選左上方分頁即可查看各汙染物於各技術處理效能之每年濃度變化。後點選[確定]返回【RA】。

請輸入測量濃度

化學物名稱	濃度(mg/L)
Trichloroethylene	<input type="text"/>

1. 輸入欲評估之污染物質未整治前濃度

圖 10 【原始汙染濃度】輸入操作介面

場內濃度逐年變化

化學物名稱	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年後
Trichloroethylene	0	0	0	0	0	0

1. 挑選各整治技術，查看其濃度變化

圖 11 【場址內濃度變化】

場址外濃度依前述，應用內建三維高斯擴散模式模擬場址內每年濃度變化後，對鄰近特定點濃度增量之影響，其結果可見於[模擬結果](圖 12)。然而地下水傳輸模式發展成熟，多樣模式已於各界廣泛應用，且因模式屬性與尺度差異導致模擬結果差異甚遠，為此，模組中亦開放讓評估單位自行應用熟悉之地下水傳輸模式模擬廠址外濃度變化，可輸入於場址外濃度變化之[自行輸入](如圖 13)，點選汙染物後於介面下方輸入各年場址外濃度後[更新]，即重新輸入該物質於該技術之場址外濃度變化。更新完畢後，點選[確定]返回【RA】。

場址外濃度模擬結果

化學物名稱	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年後
Trichloroethylene	0	0	0	0	0	0

1. 挑選各整治技術，查看其濃度變化

圖 12 【場址外濃度變化】

1,2-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0
1,2-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0
1,3-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0
Ethylbenzene						
Xylenes						

化學物名稱	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年後
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

2. 點選更新
輸入完成

圖 13 【場址外濃度變化】自行輸入操作介面

完整操作完[RA]內執行步驟，於【RA】右下方點選[輸入完成]，即返回【首頁】，繼續進行[LCA]評估執行。

☞ 【LCA】

完成健康風險評估操作流程後，返回至【主頁】，如欲評估生命週期評估，即可點選輸入所需資料內[LCA]進入【LCA】操作介面(圖 14)。由介面左上可見各技術分頁，依生命週期評估將各技術評估範疇分為五個階段：器材生產、運輸、場址建置、整治操作、監測。每項技術依序點選上述五項步驟並輸入該階段所需資料。

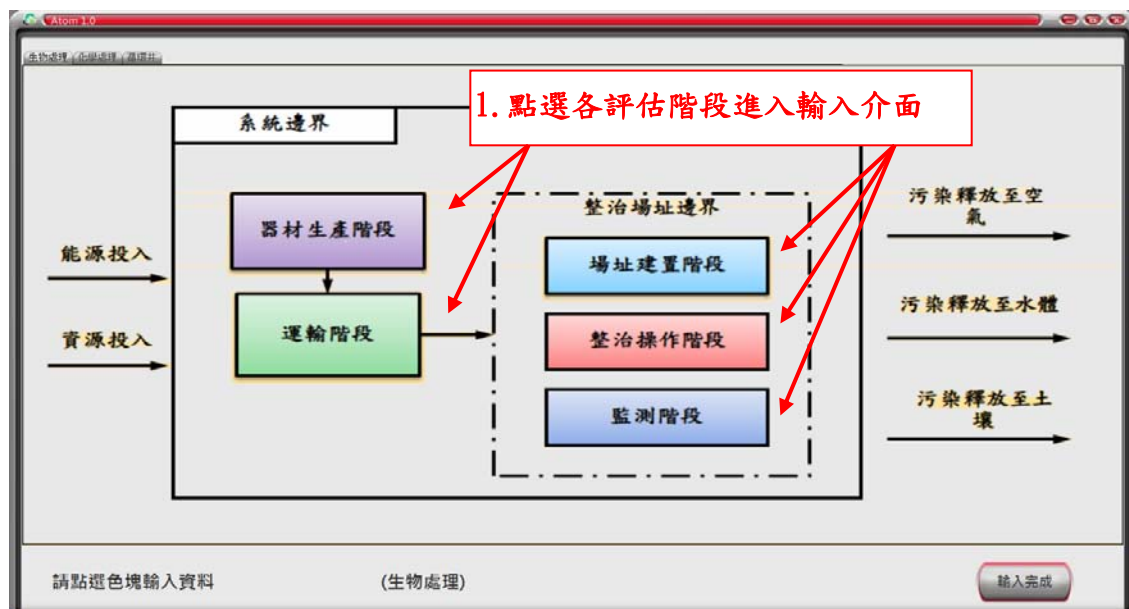


圖 14 【LCA】操作介面

首先點選[器材生產階段]，即進入【器材生產階段】(圖 15)。於模組中著重於管材耗用，分為 PVC 與不鏽鋼管兩種，依常見管材尺寸，2 吋、4 吋、6 吋、8 吋與 24 吋，分別盤查各尺寸管材耗用長度(公尺)。輸入完畢後，點選[確定]回到【LCA】。

尺寸	使用總長度(m)
2吋	<input type="text"/>
4吋	<input type="text"/>
6吋	<input type="text"/>
8吋	<input type="text"/>
24吋	<input type="text"/>

尺寸	使用總長度(m)
2吋	<input type="text"/>
4吋	<input type="text"/>
6吋	<input type="text"/>
8吋	<input type="text"/>
16吋	<input type="text"/>
24吋	<input type="text"/>

確定

圖 15 【器材生產階段】操作介面

接著，點選[運輸階段]，即進入【運輸階段】(圖 16)。運輸分為人員運輸與機具器材運輸。人員運輸項目依車種分為小客車、休旅車與輕卡車分別估算乘坐人數與搭乘里程數。另一方面，機具器材運輸亦依車種分為小客車、休旅車、輕卡車、大卡車、吊車、空運與海運運送所需機具至整治場址，其中需盤查運輸機具之載重量與運送過程里程數，逐一輸入。輸入完成後，點選[確定]返回【LCA】。

將人員與機具運送至整治場址後，隨即建置整治系統，點選[場址建置階段]，即進入【場址建置階段】(圖 17)。此階段著重於整治系統於場址內建置之硬體設備，包含推土機、挖土機、鑽井、濾料回填與設備/素材。依常見之設備為內建資訊，將推土機分為小、中、大馬力，並需分別估算三種馬力推土機之操作時間。後依挖斗容量分為小、中、大挖土機，並輸入各類挖土機操作時間。鑽井則為估算各機種之耗油量，分為 Geoprobe、中型柱螺旋鑽、鈍鑽與鑽堡。並估算回填的濾料水泥、砂土、礫石與膨潤土重量。其他設備如吊車與堆高機之操作時間亦於此進行盤查後輸入，以利評估。輸入完成後，點選[確定]返回【LCA】。

人員運輸

乘座人數	里程數(km)
四人座小客車	<input type="text"/>
休旅車	<input type="text"/>
輕卡車	<input type="text"/>

機具器材運輸

載重量(kg)	里程數(km)
四人座小客車	<input type="text"/>
休旅車	<input type="text"/>
輕卡車	<input type="text"/>
大卡車	<input type="text"/>
吊車	<input type="text"/>
空運	<input type="text"/>
海運	<input type="text"/>

人員機具運輸 (生物處理)

1. 依序輸入相關盤查數據

2. 點選確定輸入完成

確定

圖 16 【運輸階段】操作介面

挖土機

馬力 (hp)	操作時間(小時)
小型挖土機 < 100	<input type="text"/>
中型挖土機 100 to 300	<input type="text"/>
大型挖土機 > 300	<input type="text"/>

挖土機

挖斗容量(m3)	操作時間(小時)
小型挖土機 < 1.15	<input type="text"/>
中型挖土機 1.15 to 1.6	<input type="text"/>
大型挖土機 > 1.6	<input type="text"/>

場址施工 (生物處理)

1. 依序輸入相關盤查數據

2. 點選確定輸入完成

確定

圖 17 【場址建置階段】操作介面

整治系統建置完成後，開始整治操作，點選[整治操作階段]，即進入【**整治操作階段**】（圖 18）。此階段需盤查機具操作之台數與操作時間、添加物質之添加重量、使用耗材之數量、廢棄物產生量等四大項目。綜合各項整治技術，可能於整治過程中運用之機組包含柴油發電機、抽水機與空壓機，並依耗油率與機組馬力分類機種，分別盤查該整治場址

使用機組實況。而添加物粗分為其他物質與水資源，其他物質則內建大豆油、糖蜜、過硫酸鹽、過錳酸鹽、過酸亞鐵、零價鐵、過氧化氫、活性碳與肥料九項。耗材則需盤查乳膠手套、玻璃與鐵氟龍。廢棄物則分為廢土、廢棄 PVC 管、其他廢棄物。輸入方式與上述之步驟相同，依序輸入各盤查數據，輸入完成後，點選[確定]返回【LCA】。



圖 18 【整治操作階段】操作介面

整治結束後，仍需長期監測確保該場址之穩定性，以利後續再利用評估時應用。因此點選[監測階段]進入該階段盤查輸入(圖 19)；監測階段所需長期之人員機具運輸、機具操作與耗材使用皆納入評估範疇。人員與機具運輸依運輸車種分別輸入乘坐人數、載重數與里程數。而機具操作則依機具耗油率與馬力分別估算機種之台數與操作時間。最後監測時消耗的乳膠手套、玻璃與鐵氟龍則歸類為耗材使用。輸入完成後，點選[確定]返回【LCA】。



圖 19 【監測階段】操作介面

依生命週期五個階段執行完成後，確認左上方各技術均輸入完畢，則可點選右下方[輸入完成](圖 20)，即返回【主頁】。

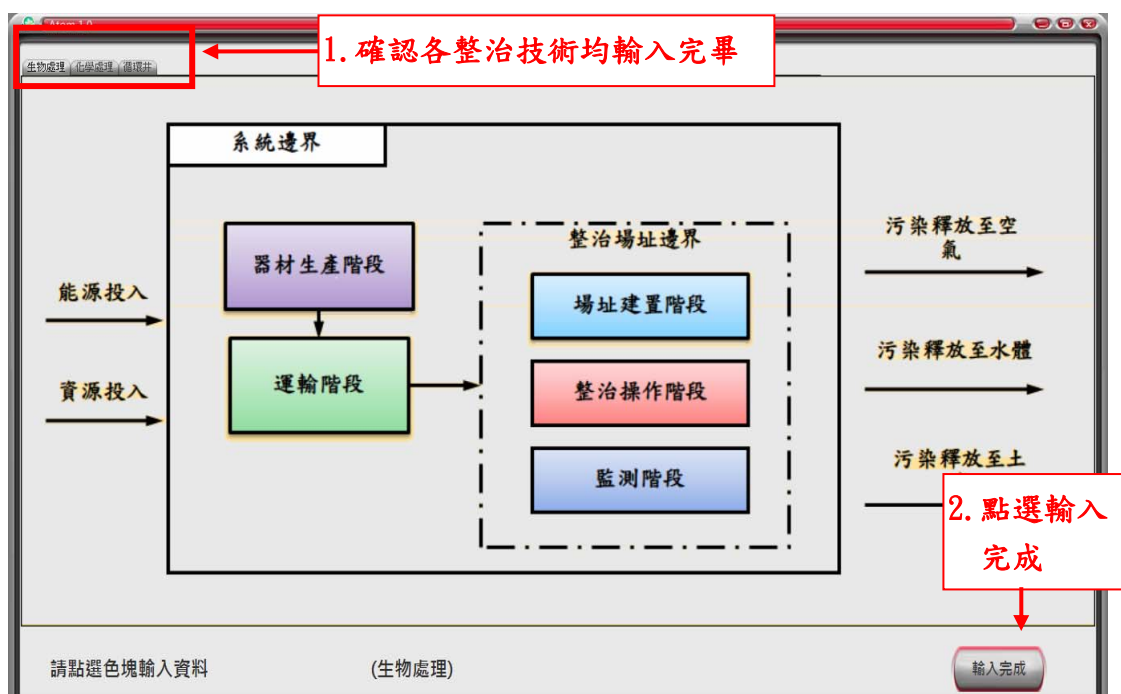


圖 20 【LCA】確認介面

☞ 【權重】

完成[RA]與[LCA]執行操作後，如欲利用決策支援系統評估選定整治技術綜和評價，則需進一步輸入權重，即於【主頁】內輸入所需資料[權重]進入【權重】(圖 21)，於模組中已內建計畫內所執行之專家學者問卷調查結果作為權重基礎；反之，評估單位仍可自行調查，並於【權重】左方點選[使用自訂參數]更新權重，作為決策支援系統計算基本。

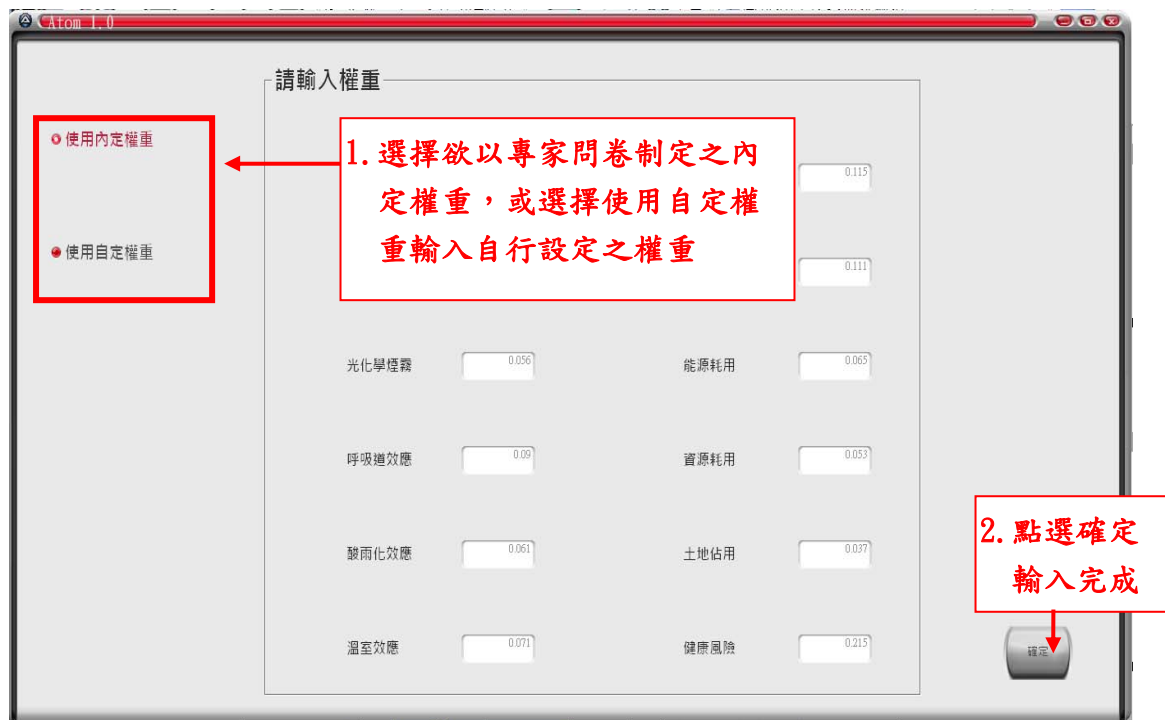


圖 21 【權重】操作介面

STEP3：結果輸出

完成輸入所需資料後，點選評估項目內[RA]或[LCA]或兩者皆選，其評估結果將依點選項目而有所刪減。以下以兩者皆選為例，則如圖 22 所示，評估項目分為[RA]、[LCA]與[加權績效值]。

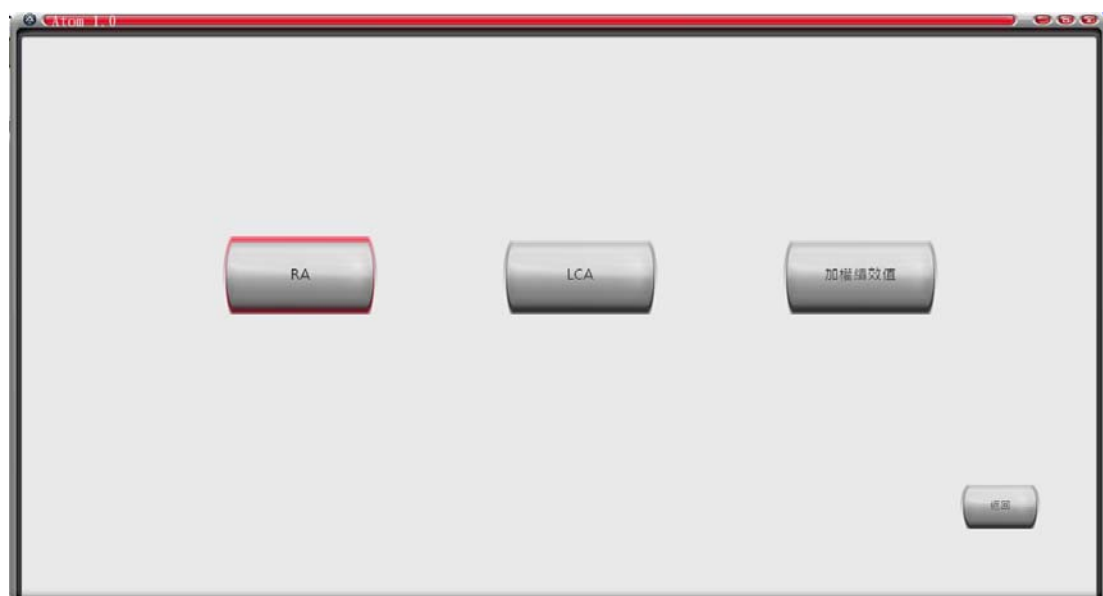


圖 22 【評估項目】操作介面

➤ 【RA 結果】

點選[RA]則進入【RA 結果】(圖 23)則分別輸出工作人員與一般居民[致癌]與[非致癌]危害結果。以工作人員為例，點選[致癌]進入【致癌】(圖 24)，致癌結果依各污染物於各暴露之致癌風險呈現，繼點選左上方分頁即可查取各整治技術致癌風險結果。點選[返回]至【RA 結果】，續點選[非致癌]進入【非致癌】(圖 25)，非致癌結果呈現與致癌結果相似。



圖 23 【RA 結果】操作介面

Atom 1.0

工作人員 致癌結果

化學物名稱 (化學處理, TIME AND TREAT, 濃度值)

化學物名稱	呼吸	皮膚接觸	飲用水	作物	肉品	牛奶	蛋
Benzene	0	0	0	0	0	0	0
Toluene	0	0	0	0	0	0	0
Naphthalene	0	0	0	0	0	0	0
Carbon tetrachloride	0	0	0	0	0	0	0
Chlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0
chloroform	0	0	0	0	0	0	0
methyl chloride	0	0	0	0	0	0	0
1,4-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0
1,1-Dichloroethane	0	0	0	0	0	0	0
1,2-Dichloroethane	0	0	0	0	0	0	0
1,1-Dichloroethylene	0	0	0	0	0	0	0
Cis-1,2-dichloroethylene	0	0	0	0	0	0	0
Trans-1,2-dichloroethylene	0	0	0	0	0	0	0
phenols	0	0	0	0	0	0	0
Tetrachloroethylene	0	0	0	0	0	0	0
Trichloroethylene	0	0	0	0	0	0	0
Vinyl chloride	0	0	0	0	0	0	0
1,2-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0	0
1,2-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0
1,3-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0
Ethylbenzene	0	0	0	0	0	0	0
Xylenes	0	0	0	0	0	0	0

結束

圖 24 【致癌】評估結果

Atom 1.0

工作人員 非致癌結果

化學物名稱 (化學處理, TIME AND TREAT, 濃度值)

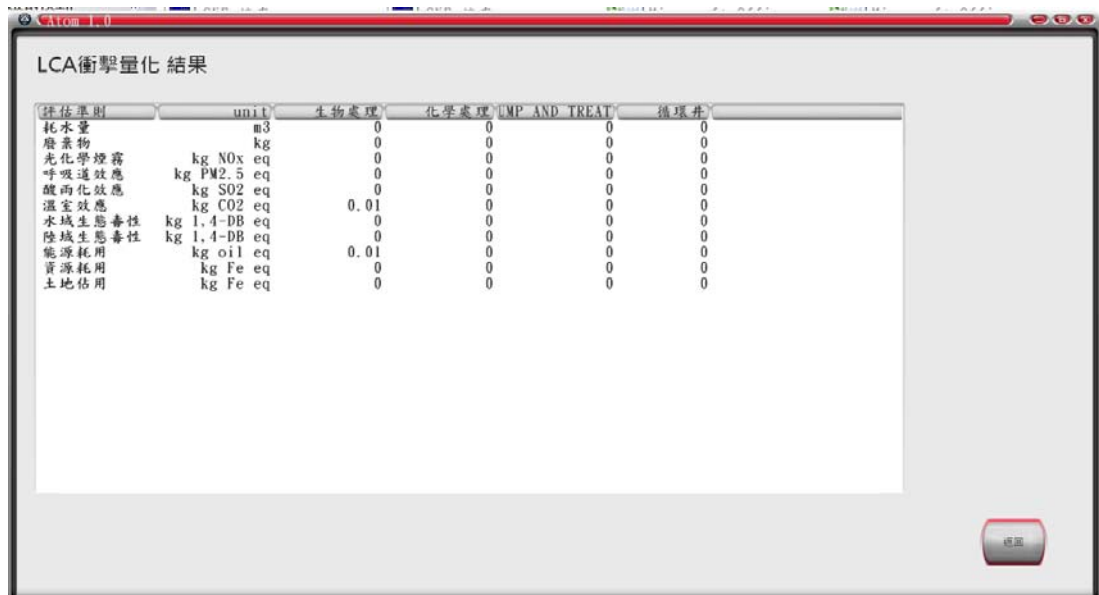
化學物名稱	呼吸	皮膚接觸	飲用水	作物	肉品	牛奶	蛋
Benzene	0	0	0	0	0	0	0
Toluene	0	0	0	0	0	0	0
Naphthalene	0	0	0	0	0	0	0
Carbon tetrachloride	0	0	0	0	0	0	0
Chlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0
chloroform	0	0	0	0	0	0	0
methyl chloride	0	0	0	0	0	0	0
1,4-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0
1,1-Dichloroethane	0	0	0	0	0	0	0
1,2-Dichloroethane	0	0	0	0	0	0	0
1,1-Dichloroethylene	0	0	0	0	0	0	0
Cis-1,2-dichloroethylene	0	0	0	0	0	0	0
Trans-1,2-dichloroethylene	0	0	0	0	0	0	0
phenols	0	0	0	0	0	0	0
Tetrachloroethylene	0	0	0	0	0	0	0
Trichloroethylene	0	0	0	0	0	0	0
Vinyl chloride	0	0	0	0	0	0	0
1,2-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0	0
1,2-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0
1,3-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0
Ethylbenzene	0	0	0	0	0	0	0
Xylenes	0	0	0	0	0	0	0

結束

圖 25 【非致癌】評估結果

➤ 【LCA 結果】

返回至【評估項目】，點選[LCA]則進入【LCA 結果】(圖 26)。LCA 結果依各整治技術造成之各類衝擊呈現。點選[返回]即回到【評估項目】。



評估準則	unit	生物處理	化學處理	UMP AND TREAT	循環再
耗水量	m3	0	0	0	0
廢棄物	kg	0	0	0	0
光化學煙霧	kg NOx eq	0	0	0	0
呼吸道效應	kg PM2.5 eq	0	0	0	0
酸雨化效應	kg SO2 eq	0	0	0	0
溫室效應	kg CO2 eq	0.01	0	0	0
水域生態毒性	kg 1,4-DB eq	0	0	0	0
陸域生態毒性	kg 1,4-DB eq	0	0	0	0
能源耗用	kg oil eq	0.01	0	0	0
資源耗用	kg Fe eq	0	0	0	0
土地佔用	kg Fe eq	0	0	0	0

圖 26 【LCA 結果】

➤ 【加權績效值結果】

返回至【評估項目】，點選[加權績效值]則進入【加權績效值結果】(圖 27)；可由此查詢各整治技術加權總計衝擊結果。且於【加權績效值結果】右方[準則績效值]與[技術加權績效值]畫出整治技術之各項衝擊結果長條圖。點選[準則績效值]，即跳出 EXCEL 頁面，畫出以各衝擊為比較基礎，各整治技術之比較結果(圖 28)。點選[技術加權績效值]則於 EXCEL 頁面上畫出以整治技術為基礎之衝擊比較圖(圖 29)。

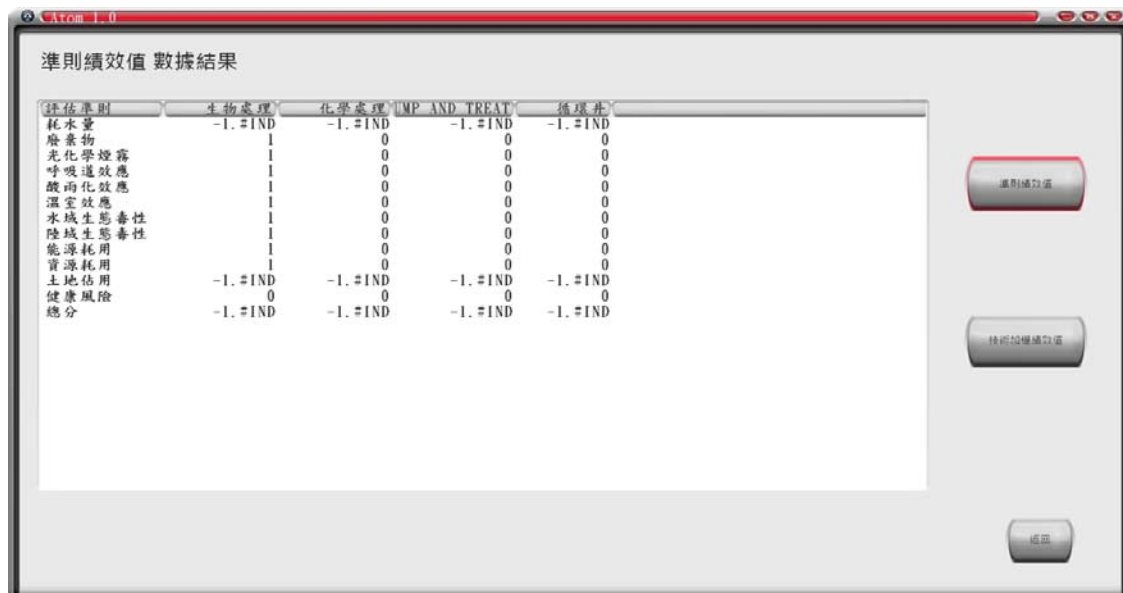


圖 27 【加權績效值結果】操作介面

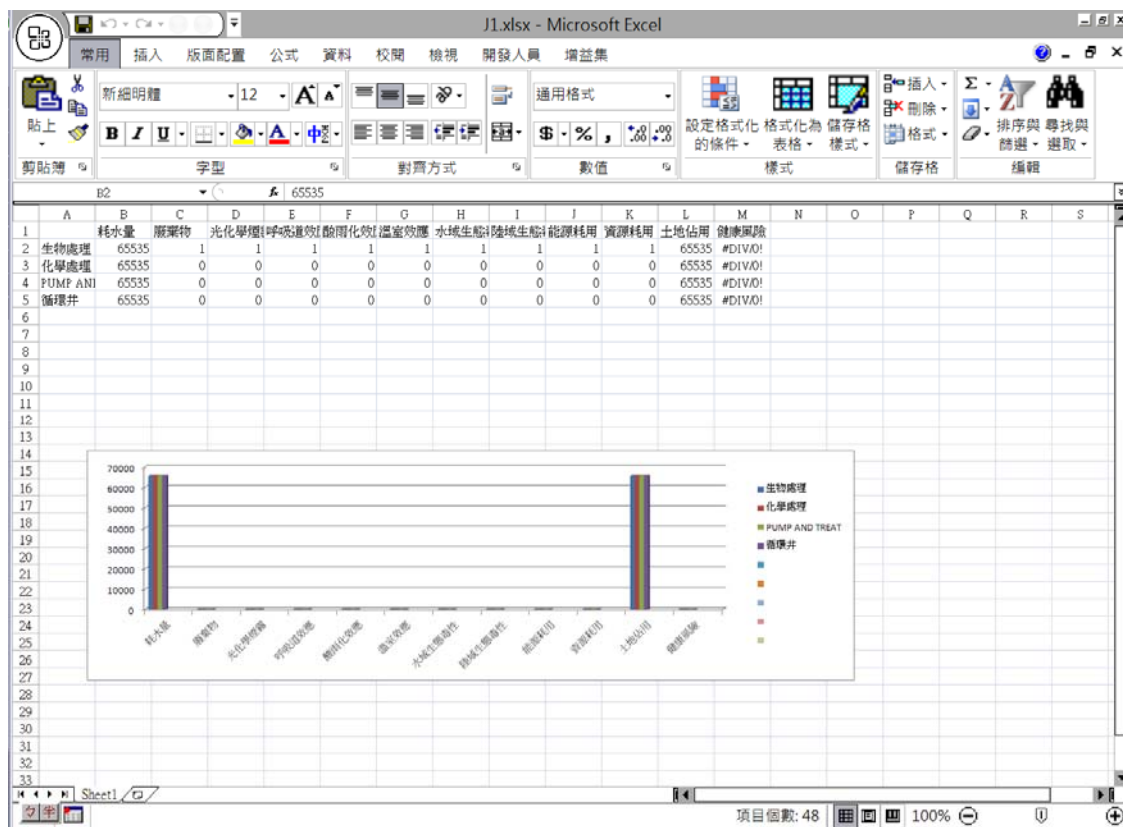


圖 28 【標準績效值】

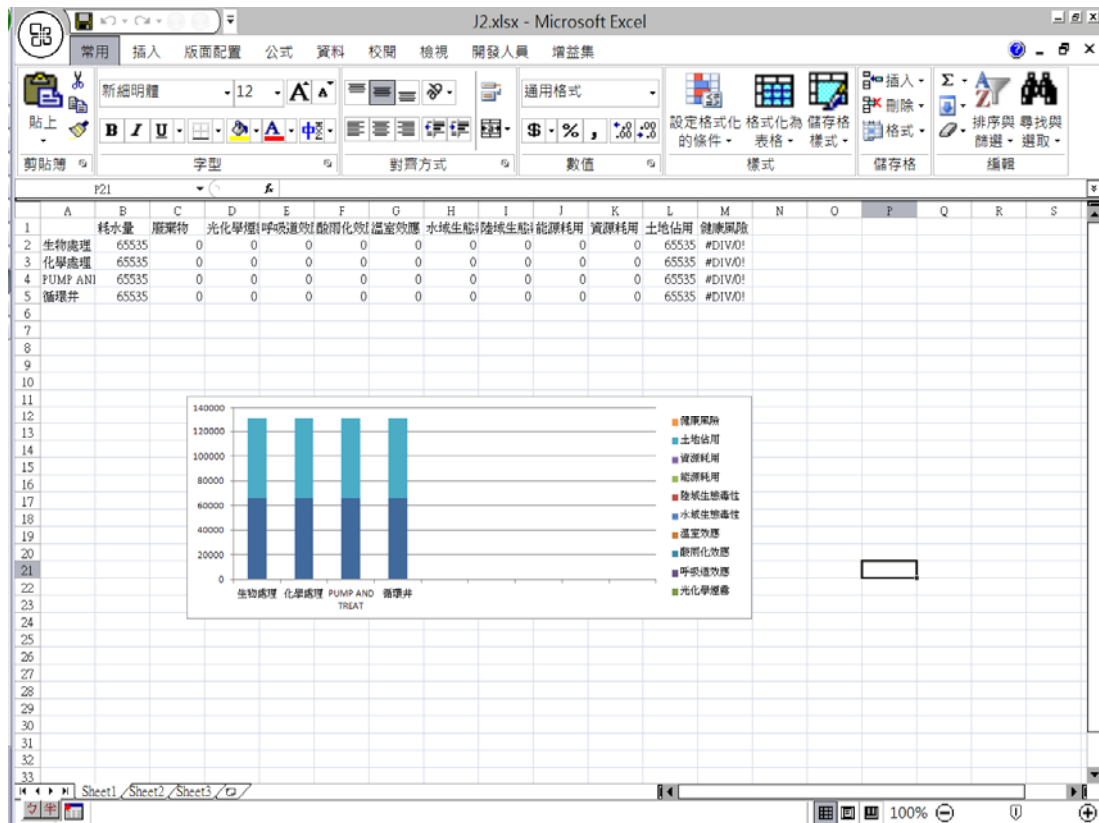


圖 29 【技術加權績效值】

操作完畢，點選返回至【主頁】，點選[離開]即關閉模式執行。

● 資料庫

資料庫主要分為三個部分:健康風險評估資料庫、生命週期評估資料庫與權重資料庫。模組中利用加州環保署提供之 CalTOX 建置污染物各暴露途徑之毒理特性於健康風險評估資料庫中；

➤ 健康風險評估資料庫

健康風險評估資料庫應用人體毒性潛勢(Human Toxicity Potential , HTP)為基本資訊，人體毒性潛勢(HTP)表示 1mg/kg(mg/L)的化學物質釋入環境後所造成潛在人體致癌或非致癌危害的指標。進而估算受體暴露量所引發的致癌與非致癌發生機率。HTP 最早期由 Guinée 與 Heijungs(1993)提出，用以增進生命週期評估中人體健康衝擊項目，即將暴露評估納入估算範圍。並於 1996 年應用 USES 1.0 模式估算 94 個 HTP 並應用於生命週期評估(Guinée and Heijungs, 1996)。HTP 為每單位釋放之危害衝擊，而研究中將以健康風險作為污染場址整治程度，因此

計畫中將以汙染場址之介質濃度所造成的鄰近居民健康衝擊為量化基礎，於此 HTP 將為每單位暴露介質濃度之人體健康風險。依據根據化學物質毒性、環境宿命與暴露途徑等，其環境衝擊 $H(s_{cn})$ 如下方程式(2)所示。環境傳輸宿命以方程式 $\Phi[s_{cn} \rightarrow C_{ck}]$ 表示，意即化學物質 c 經由均質汙染源 $s_{cn}(\text{kg/day})$ 釋放後進入受污介質 k 的濃度 $C_{ck}(\text{mg/m}^3)$ ；而由於研究中以現地監測之土壤濃度與地下水濃度作為受污介質濃度，因此 $s_{cn}(\text{mg/kg}$ 或 $\text{mg/L})$ 將用以表示暴露介質濃度。 $\frac{ADD_{c,p}}{C_{ck}}$ 為單位劑量因子，意即透過暴露來自受污介質 k 之每日平均暴露劑量，除以暴露介質濃度 C_{ck} ；此部分應用加州環保署發展之 CalTOX 進行多介質多暴露劑量累計估算。 $Q_{ci}(\text{kg-d/mg})$ 為化學物質毒性特徵，意即化學物質 c 透過暴露途徑 i 所帶來之健康衝擊；此部分以加州環保署提供之多項化學物質致癌斜率因子與非致癌參考劑量。而所謂的 HTP 於本計劃中即為單位暴露介質濃度 $s_{cn} = 1$ ，所造成的人體健康風險 H_{cn} ，方程式(3)所示。總人體毒性潛勢則為各暴露介質 n 內各化學物質 c 所累積之暴露介質濃度(S_{cn})乘以 HTP_{cn} 累加總計，如公式(4)。

$$H(s_{cn}) = \sum_{\substack{\text{intake} \\ \text{routes}}} \sum_{\substack{\text{environment} \\ \text{compartment}}} \sum_{\substack{\text{exposure} \\ \text{pathway}}} \left\{ Q_{ci} \times \left(\frac{ADD_{c,p}}{C_{ck}} \right) \times \Phi[s_{cn} \rightarrow C_{ck}] \right\} \quad (2)$$

$$HTP_{cn} = H_{cn}(s_{cn} = 1) \quad (3)$$

$$HTP = \sum_{\substack{c \\ \text{chemicals}}} \sum_{\substack{n \\ \text{release} \\ \text{compartment}}} HTP_{cn} s_{cn} \quad (4)$$

而上述所提之 CalTOX 為 1993 年，由 McKone (1993) 等人合作發展之適用於危害廢棄物場址的多介質多暴露模式。CalTOX 為一健康風險估算之表格型模式，而模式中囊括空氣、地表水、地下水與食物鏈等環境介質。此模式應用簡易的 simple box 原理模擬汙染物於介質中的傳輸；亦利用逸散原理(fugacity)模擬汙染物於介質間的平衡；而多暴露模式中主要包含呼吸、皮膚接觸、飲用水與食物鏈等。至 1990 年末，Hertwich 與 McKone 等人(1998)利用 CalTOX 包羅萬象內容的優勢，將此模式加以應用於 HTP 的運算，用以估算化學物質之健康衝擊。於 2004 年，由 Guinée 等人彙整

且並列 CalTOX 與 EDIP97, USES-LCA, IMPACT2002，探討四項生命週期衝擊評估方法於生命週期評估之適用性。2007 年 Cadotte 等(2007)將 CalTOX 納入另一生命週期評估模式 TRACI 中，強化其中人體毒性的衝擊。觀看 CalTOX 的演變，可見其廣泛應用於 HTP。因此，計劃中以此模式模擬各項化學物質透過各途徑造成人體致癌與非致癌之程度。

在 CalTOX 暴露評估過程中，需經過多介質傳輸轉換評估以及多途徑暴露評估兩種過程後，多介質傳輸的評估結果，是在考量評估的目標污染物質進入環境系統後，在不同介質中隨著時空分佈情形；多途徑暴露評估則是估計污染物經由不同暴露途徑接觸人體，使得居民所接受的累積暴露劑量。因應計劃需求，模組中以圖 30 為 HTP 建構概念，建立以土壤與地下水為污染介質，經各介質平衡，污染物自污染介質傳遞至暴露介質中，人體再透過呼吸、皮膚接觸、飲用與攝食吸收來自污染介質之危害。計劃中挑選出常見於台灣污染場址之污染物質 22 項，包含苯、酚、農藥等。

在多介質傳輸轉換過程中，由污染場址經過土壤滲漏與地下水傳輸，使污染物在空氣、水體、土壤與動植物體間之流布，以下所列為風險評估所需參數，包含化學物質參數(表 4)、地域參數(表 5)與暴露參數(表 6)。化學物質以加州環保署(CalTOX，2004)提供，而地域參數與暴露參數，由於無明確污染場址地點，因此則以全國尺度為主。

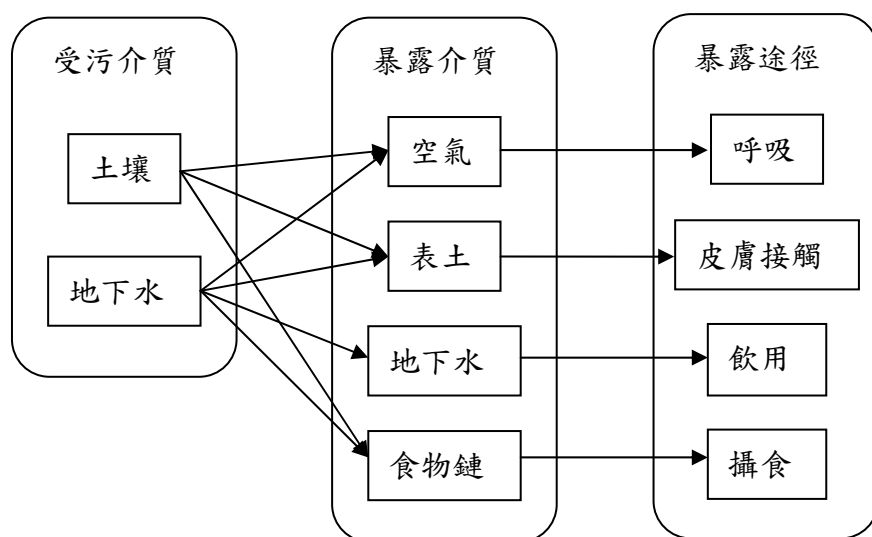


圖 30 人體毒性潛勢示意圖

表 4 化學物質參數

參數	縮寫	使用數據
Molecular weight (g/mol)	MW	依化學物特性變動
Octanol-water partition coefficient	Kow	依化學物特性變動
Melting point (K)	Tm	依化學物特性變動
Vapor Pressure in (Pa)	VP	依化學物特性變動
Solubility in mol/m ³	S	依化學物特性變動
Henry's law constant (Pa-m ³ /mol)	H -	依化學物特性變動
Diffusion coefficient in pure air (m ² /d)	Dair	依化學物特性變動
Diffusion coefficient; pure water (m ² /d)	Dwater	依化學物特性變動
Organic carbon partition coefficient Koc	Koc -	依化學物特性變動
Octanol/air partition coefficient	Koa -	依化學物特性變動
Partition coefficient in ground/root soil layer	Kd_s -	依化學物特性變動
Partition coefficient in vadose-zone soil layer	Kd_v -	依化學物特性變動
Partition coefficient in aquifer layer	Kd_q -	依化學物特性變動
Partition coeffic. in surface wtr sediments	Kd_d -	依化學物特性變動
NOT USED	Kps -	依化學物特性變動
Leaves/phlm wtr prtn cff.(wet kg/m ³ per wet kg/m ³)	Kl_phl -	依化學物特性變動
Stem/xylem-fluid prtn cff (m ³ [xylem]/m ³ [stem])	Ks_x -	依化學物特性變動
Transpiration stream cncntrtn fctr (m ³ [wtr]/m ³ [ts])	TSCF -	依化學物特性變動
Biotransfr fctr, plant/air (m ³ [a]/kg[pFM])	Kpa -	依化學物特性變動
Biotransfer factor; cattle-diet/milk (d/kg[milk])	Bk -	依化學物特性變動
Biotransfer factor; cattle-diet/meat (d/L)	Bt -	依化學物特性變動
Biotransfer fctr; hen-diet/eggs (d/kg[egg contents])	Be -	依化學物特性變動
Biotransfr fctr; brst mlk/mthr intake (d/kg)	Bbm -	依化學物特性變動
Bioconcentration factor; fish/water	BCF -	依化學物特性變動
Particle scavenging ratio of rain drops	Psr_rain -	依化學物特性變動
Skin permeability coefficient; cm/h	Kp_w -	依化學物特性變動
Skin-water/soil partition coefficient (L/kg)	Km -	依化學物特性變動
Fraction dermal uptake from soil	dfct_sl -	依化學物特性變動
Reaction half-life in air (d)	Thalf_a	依化學物特性變動
Reaction half-life in surface soil (d)	Thalf_g	依化學物特性變動
Reaction half-life in root-zone soil (d)	Thalf_s	依化學物特性變動
Reaction half-life in vadose-zone soil (d)	Thalf_v	依化學物特性變動
Reaction half-life in ground water (d)	Thalf_q	依化學物特性變動
Reaction half-life in surface water (d)	Thalf_w	依化學物特性變動
Reaction half-life in sediments (d)	Thalf_d	依化學物特性變動
Reaction half-life in the leaf surface (d)	Thalf_ls	依化學物特性變動

(CalTOX, 2004)

表 5 地域參數

參數	縮寫	使用數據
Contaminated area in m2	Area	3.56 E+10
Annual average precipitation (m/d)	rain	8.22 E-03
Not currently used	rain_days	2.00 E+01
Flux; surface water into landscape (m/d)	inflow	0.00 E+00
Land surface runoff (m/d)	runoff	3.93 E-03
Atmospheric dust load (kg/m3)	rhob_a	6.15 E-08
Dry deposition velocity, air particles (m/d)	v_d	5.00 E+02
Aerosol organic fraction	foc_ap	2.00 E-01
Volume fraction of water in leaf	beta_leaf	8.00 E-01
Volume fraction of air in leaf	alpha_leaf	1.80 E-01
Volume fraction of lipid in leaf	lipid_leaf	2.00 E-03
Volume fraction of water in stem	beta_stem	7.00 E-01
Volume fraction of water in root	beta_root	8.50 E-01
Primary produciton dry vegetation(kg/m2/y)	veg_prod	1.00 E+00
One-sided Leaf Area Index	LAI -	5.00 E+00
Wet interception fraction	IF_w	1.00 E-01
Avg thickness of leaf surface(cuticle)(m)	d_cuticle	6.00 E-06
Stem wet density (kg/m3)	rho_stm	8.30 E+02
Leaf wet density (kg/m3)	rho_leaf	8.20 E+02
Root wet density (kg/m3)	rho_root	8.65 E+02
Veg attenuation fctr, dry interception(m2/kg)	atf_leaf	2.90 E+00
Stomata area frctn(area stomata/area leaf)	na_st	7.00 E-03
Effective pore depth	del_st	2.50 E-05
Boundary layer thickness over leafs	del_a	2.00 E-03
Leaf surface erosion half-life (d)	Thalf_le	1.40 E+01
Ground-water recharge (m/d)	recharge	1.55 E-04
Evaporation of water from surface wtr (m/d)	evaporate	3.95 E-03
Thickness of the ground soil layer (m)	d_g	1.00 E-02
Soil particle density (kg/m3)	rhos_s	1.73 E+03
Water content in surface soil (vol fraction)	beta_g	3.93 E-01
Air content in the surface soil (vol frctn)	alpha_g	2.85 E-01
Erosion of surface soil (kg/m2-d)	erosion_g	3.21 E-05
Bioturbation (m^2/d)	D_bio	1.20 E-04
Thickness of the root-zone soil (m)	d_s	7.89 E-01
Water content of root-zone soil (vol. frctn.)	beta_s	2.25 E-01
Air content of root-zone soil (vol. frctn.)	alpha_s	2.34 E-01

表 5 地域參數(續)

參數	縮寫	使用數據
Thickness of the vadose-zone soil (m)	d_v	6.63 E-01
Water content; vadose-zone soil (vol. frctn.)	beta_v	2.28 E-01
Air content of vadose-zone soil (vol. frctn.)	alpha_v	2.11 E-01
Thickness of the aquifer layer (m)	d_q	3.00 E+00
Solid material density in aquifer (kg/m3)	rhos_q	2.60 E+03
Porosity of the aquifer zone	beta_q	2.00 E-01
Fraction of land area in surface water	f_arw	2.39 E-02
Average depth of surface waters (m)	d_w	1.41 E+00
Suspended sedmnt in surface wtr (kg/m3)	rhob_w	2.28 E-02
Suspended sdmnt deposition (kg/m2/d)	deposit	1.05 E+01
Thickness of the sediment layer (m)	d_d	5.00 E-02
Solid material density in sediment (kg/m3)	rhos_d	2.60 E+03
Porosity of the sediment zone	beta_d	6.00 E-01
Sediment burial rate (m/d)	bury_d	1.00 E-06
Ambient environmental temperature (K)	Temp	2.97 E+02
Surface water current in m/d	current_w	0.00 E+00
Organic carbon fraction in upper soil zone	foc_s	5.88 E-02
Organic carbon fraction in vadose zone	foc_v	4.02 E-02
Organic carbon fraction in aquifer zone	foc_q	4.00 E-02
Organic carbon fraction in sediments	foc_d	4.00 E-02
Bndry lyr thickness in air above soil (m)	del_ag	5.00 E-03
Yearly average wind speed (m/d)	v_w	4.94 E+05

(Ma et al.,2007)

表 6 暴露參數

參數	縮寫	使用數據
Body weight (kg)	BW	6.21 E+01
Surface area (m ² /kg)	SAb	2.60 E-02
Active breathing rate (m ³ /kg-h)	BRa	1.90 E-02
Resting breathing rate (m ³ /kg-h)	BRr	6.40 E-03
Fluid Intake (L/kg-d)	Ifl	2.20 E-02
Fruit and vegetable intake (kg/kg-d)	Ifv	4.90 E-03
Grain intake (kg/kg-d)	Ig	3.70 E-03
Milk intake (kg/kg-d)	Imk	6.50 E-03
Meat intake (kg/kg-d)	Imt	3.00 E-03
Egg intake (kg/kg-d)	Iegg	4.60 E-04
Fish intake (kg/kg-d)	Ifsh	2.90 E-04
Soil ingestion (kg/d)	Isl	3.50 E-07
Breast milk ingestion by infants (kg/kg-d)	Ibm	1.10 E-01
Inhalation by cattle (m ³ /d)	Inc	1.22 E+02
Inhalation by hens (m ³ /d)	Inh	2.20 E+00
Ingestion of pasture, dairy cattle (kg[FM]/d)	Ivdc	8.50 E+01
Ingestion of pasture, beef cattle (kg[FM]/d)	Ivbc	6.00 E+01
Ingestion of pasture by hens (kg[FM]/d)	Ivh	1.20 E-01
Ingestion of water by dairy cattle (L/d)	Iwdc	3.50 E+01
Ingestion of water by beef cattle (L/d)	Iwbc	3.50 E+01
Ingestion of water by hens (L/d)	Iwh	8.40 E-02
Ingestion of soil by cattle (kg/d)	Isc	4.00 E-01
Ingestion of soil by hens (kg/d)	Ish	1.30 E-05
Fraction of water needs from ground water	fw_gw	5.00 E-01
Fraction of water needs from surface water	fw_sw	5.00 E-01
Water irrigation rate applied to agr.soil (l/m ² -d)	R_ irr	2.59 E+00
Frcn frts & vgtbls that are exposed produce	fabv_grd_v	4.70 E-01
Fraction of fruits and vegetables local	flocal_v	1.00 E+00
Fraction of grains local	flocal_g	1.00 E+00
Fraction of milk local	flocal_mk	1.00 E+00
Fraction of meat local	flocal_mt	1.00 E+00
Fraction of eggs local	flocal_egg	1.00 E+00
Fraction of fish local	flocal_fsh	3.30 E-01
Plant-air prtn fctr, particles, m ³ /kg[FM]	Kpa_part	3.30 E+03
Rainsplash (mg/kg[plnt FM])/(mg/kg[dry soil])	rainsplash	3.40 E-03
Water use in the shower (L/min)	Wshower	8.00 E+00

表 6 暴露參數(續)

參數	縮寫	使用數據
Water use in the House (L/h)	Whouse	4.00 E+01
Room ventilation rate, bathroom (m ³ /min)	VRbath	1.00 E+00
Room ventilation rate, house (m ³ /h)	VRhouse	7.50 E+02
Exposure time, in shower or bath (h/day)	ETsb	2.70 E-01
Exposure time, active indoors (h/day)	ETai	1.50 E+01
Exposure time, outdoors at home (h/day)	ETao	1.00 E+00
Exposure time, indoors resting (h/day)	ETri	8.00 E+00
Indoor dust load (kg/m ³)	dust_in	3.00 E-08
Exposure frequency to soil on skin, (d/y)	EFsl	1.37 E+02
Soil adherence to skin (mg/cm ²)	Slsk	5.00 E-01
Ratio of indoor gas conc. to soil gas conc.	alpha_inair	1.00 E-04
Exposure time swimming (h/d)	ETsw	5.00 E-01
Exposure frequency, swimming (d/y)	EFsw	1.50 E+01
Water ingestion while swimming (L/kg-h)	Isww	7.00 E-04
Exposure duration (years)	ED	8.00 E+01
Averaging time (days)	AT	2.92 E+04

(Ma et al., 2007)

➤ 生命週期評估資料庫

生命週期評估部分，系統邊界包括從器材生產、經由運輸、場址施工、到整治操作過程期間所有的能源、資源的投入與污染物、廢棄物的排放。器材生產主要針對整治場址所必須額外製造之器材，盤查所消耗的能源、資源量與污染排放量，以及估算經由消耗電力所間接造成的污染排放。運輸階段則是考量生產的相關管線與器材，以及操作所需的機具，必須利用車輛運輸至污染場址，因此必須盤查經由車輛運輸所消耗的資源量和可能排放的空氣污染量。在污染場址施工期間須先進行場址的開挖與機具設置的行為，因此必須盤查使用到的機具可能消耗的油料量及電力等。且開挖所產生之廢土量與廢棄物也必須估算。最後在實際整治的操作階段則是盤查投入之能資源量，包括機具所消耗的電力及油料量、加入之藥劑量等，另在整治後所產生之廢棄物也必須針對其處置之方法進行能源與資源消耗量的盤查。

模組中建立之資料庫來源如表 7 所示，除了現地調查外，多以國際性盤查資

料庫，以及 2010 年馬鴻文等建立之台灣能源系統生命週期評估模式為支援基礎，並將範疇擴大至上游的原料生產階段。模組中同時考量空氣污染、生態毒性、水資源耗用與資能源耗用等評估準則。

表 7 生命週期評估資料庫來源

參數	說明	資料來源
Em	總污染物排放與能資源耗用	-
$Q_{groundwater}$	處理地下水量	-
RFmaterial	整治過程材料耗用係數(化學藥劑、硬體設備)	實廠調查
EFmaterial	材料製造過程之污染物排放與能資源耗用係數	國際生命週期盤查資料庫 (ecoinvent2.2, NREL LCI)
RFenergy	地下水整治過程能源耗用係數	-
EFenergy	能源鏈之污染物排放與能資源耗用係數	台灣能源系統生命週期評估模式(馬鴻文，2010)
EFoperation	整治過程直接污染物排放與能資源耗用係數	實廠調查

綜合上述所提，模組中生命週期評估系統邊界(圖 28)包括從器材生產、經由運輸、場址施工、到整治操作過程期間所有的能源、資源的投入與污染物、廢棄物的排放。如下詳述各階段資料庫分類。

(1) 器材生產階段：

針對各場址之特性與整治技術之差異，需要生產相關的器材，例如管線、井管、阻隔牆、反應牆等，由於這些器材只針對此整治場址來使用，因此屬於此整治技術所消耗的，所以必須盤查生產所使用的能源與資源量。

(2) 運輸階段：

生產的相關管線與器材，以及操作所需的機具，必須利用車輛運輸至污染場址，因此必須盤查所使用的車輛類型、使用的油料種類及可能運輸之里程數，以進一步估算所消耗的資源量和可能排放的空氣污染量。

(3) 施工階段：

將相關器材機具運送至污染場址後，須進行場址的開挖與機具設置的行為，因此必須盤查可能使用到的機具類型，例如開挖埋管線時需要使用到挖

土機、裝設時需要使用到發電機、堆高機、吊車等。因此必須盤查此階段可能消耗的油料量及電力等。開挖所產生之廢土量與廢棄物也必須估算。

(4) 操作階段：

操作階段主要包含整治前的採樣、整治進行時機具的運作或資源的使用、及最終的廢棄物處理等工作。再進行整治前需進行事前的採樣工作，以確定污染濃度並估算所需使用的藥劑量，而採樣工作所可能使用到的能資源均需進行盤查，投入之能源以消耗的電量為主，而投入之資源因著整治技術之不同而有所差異，以生物方法來看主要評估之資源以投入之營養源為主，化學方法則是以投入之化學藥劑量為主，而物理方法則是以使用機具之耗電量為主；整治過程中可能用到的機具如馬達、抽水機、發電機、空壓機、氣提塔、攪拌器等，因此需針對使用的電力進行盤查；整治後所產生之廢棄物必須進行處理，因此針對所產生的廢棄物量進行盤查，並針對其處置之方法進行能源與資源消耗量的盤查。

➤ 權重資料庫

模組中應用多準則決策(MCDM)方法中之層級分析法(AHP)，進行地下水整治技術準則權重之分配，藉由專家問卷調查地下水整治技術評估準則之相對重要性，以求得相對權重(relative weight)。為綜合客觀地處理眾多專家學者的評比結果，係應用模糊數的概念處理各目標準則的權重，將諸位專家的判斷結果一併考量，使之反映可能權重值的全部狀況。

針對專家學者以 AHP 問卷方式調查各利害關係人對評估準則之偏好，包含政府單位(環境、工程)、專家學者(環境、工程)與業界(環境、工程)人員。在準則權重建立方面，研究中亦針對相關利害關係人(產、官、學)以 AHP 問卷方式調查各利害關係人對次目標影響因子、評估準則之偏好，評估準則如表 8 所示。進行 AHP 分析，以成對比較方式進行評估，而評估過程中之評估尺度的劃分，採用名目尺度(Nominal Scale)方式進行比較，此名目尺度總共區分為由「同等重要」至「絕對重要」九個等級，再分別給予評點比重從 1 至 9。AHP 主要對每一層級要素進行兩兩相互比較，藉由重要性的強弱不同給予不同權數，來了解評估者

自身主觀的看法。

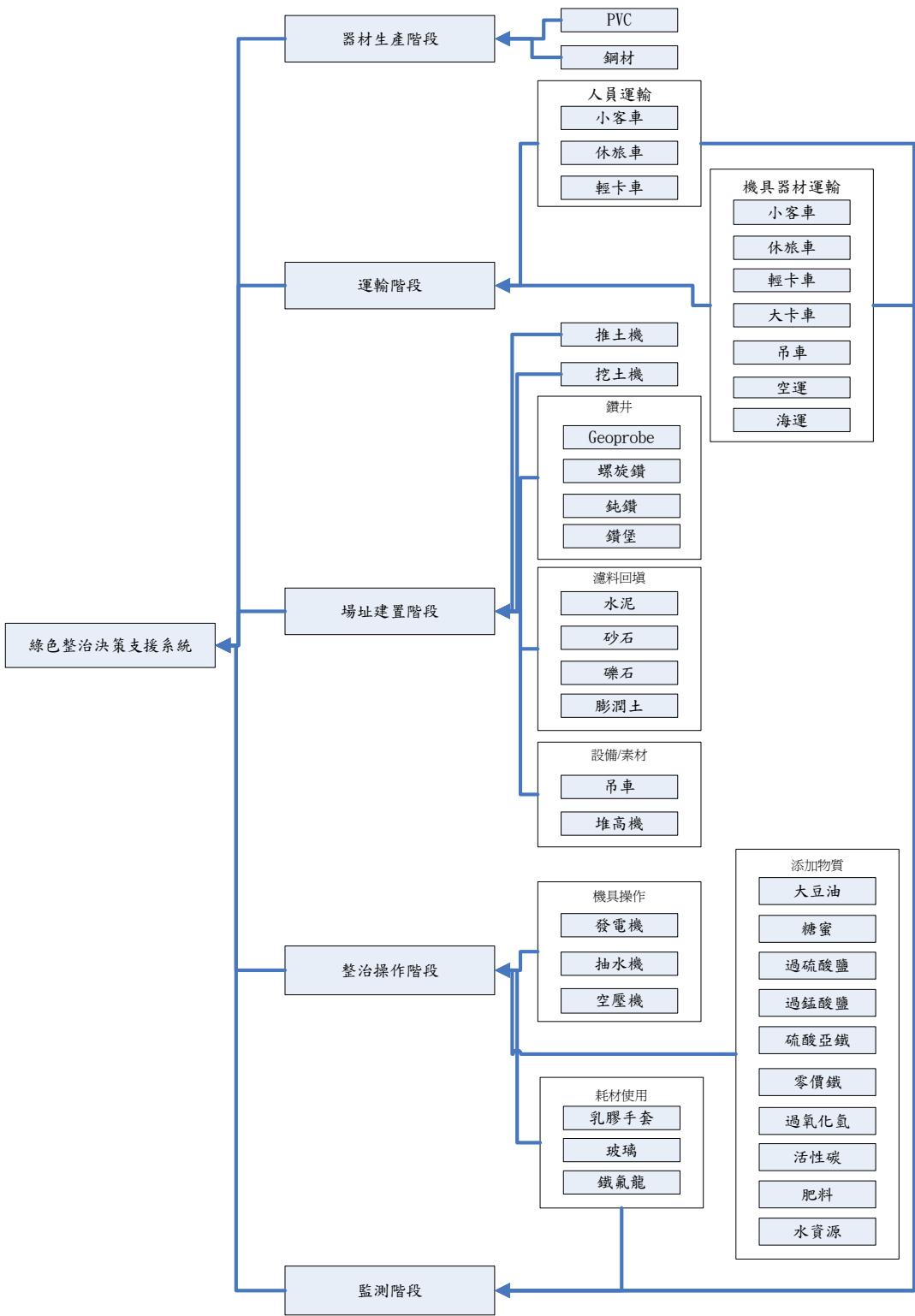


圖 31 綠色整治決策支援系統 LCA 系統邊界

本計畫所發出之問卷數為 60 份，目前已回收 29 份，回收率約為 50%，權中組成如表 9 所示。模糊權重矩陣同時考量各權重的最大值、最小值與幾何平均值，以包含所有專家學者之意見，其結果如表 10 所示。

表 8 綠色整治技術評估策略之準則因子定義

準則因子	評估指標	評估方法	SURF環境面 評估準則
耗水量	水資源耗用量	生命週期評估	水資源耗用
廢棄物	廢棄物產生量		物質資源耗用/廢棄物產生最小化
光化學煙霧	氮氧化物當量 NOx(air) eq		空氣污染物
呼吸道效應	小於2.5 μ m粒狀污 染物當量 (PM2.5air eq)		空氣污染物
酸雨化效應	硫氧化物當量 (SO2 air eq)		土地與生態系
溫室效應	二氧化碳當量 (CO2 eq)		空氣污染物
水域生態毒性	潛在物種消失比 率(PAF · M3 · day)		土地與生態系
陸域生態毒性	潛在物種消失比 率(PAF · M3 · day)		土地與生態系
能源耗用	油當量(Oil-eq)		能源效率
資源耗用	鐵礦當量(Fe-eq)		物質資源耗用/廢棄物產生最小化
土地佔用	土地佔用面積		土地與生態系
人體健康	致癌機率 危害商數	健康風險評估	人體健康與安全 長期環境保護復 育

表 9 問卷份數統計

	總數	學術界	產業界	政府單位
總回收數	36	17	13	6
過一致性檢定數	20	11	6	3

表 10 全體準則權重值

準則項目	最小值	平均值	最大值	排序 (以平均值計)
耗水量	0.013	0.055	0.131	10
廢棄物	0.018	0.058	0.200	8
光化學煙霧	0.018	0.050	0.143	11
呼吸道效應	0.032	0.091	0.290	4
酸雨化效應	0.026	0.062	0.164	7
溫室效應	0.026	0.075	0.220	5
水域生態毒性	0.041	0.114	0.261	2
陸域生態毒性	0.043	0.114	0.261	3
能源耗用	0.021	0.069	0.240	6
資源耗用	0.021	0.058	0.217	9
土地佔用	0.013	0.037	0.119	12
健康風險	0.118	0.218	0.433	1

附錄四、預算進度及查核點

預定進度及查核點

一、 契約書中計畫預定進度及查核點

預定進度(以甘特圖表示)													
工作內容項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	年別	100 年											
	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. 相關文獻回顧													
2. 生命週期與風險評估之整合													
3. 決策支援系統建立													
4. 案例盤查分析													
5. 案例生命週期評估													
6. 案例風險評估													
7. 案例評估結果分析及闡釋													
8. 決策支援系統修正													
9. 期末報告初稿													
10. 成果發表及期末報告定稿													
預定進度累積百分比(%)		9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	100
查核點	預定完成時間	查核點內容說明											
第一次進度報告	民國 100 年 3 月	LCA 與 RA 之整合											
期中報告	民國 100 年 6 月	決策支援系統建立及期中報告											
第二次進度報告	民國 100 年 9 月	LCIA & RA											
期末報告	民國 100 年 12 月	參與研討及技術發表會及期末報告定稿											

備註：一、上表須經執行單位確認，並明訂於契約書中。二、期中、期末應明列查核重點。

二、 實際預定進度及查核點說明

契約書之預定進度累積百分比(%)		100			實際執行進度(%)	100	
工作內容項目	實際執行情形	差異分析(打√)			落後原因	困難檢討及對策	預計改善完成日期
		符合	落後	超前			
LCA 與 RA 之整合	依預定進度完成報告	√					
決策支援系統建立及期中報告	依預定進度完成報告	√					
LCIA & RA	依預定進度完成報告	√					
案例驗證	依預定進度完成報告	√					
期末報告	依預定進度完成報告	√					
查核點	預定完成時間	查核點內容說明					
第一次進度報告	民國 99 年 12 月	LCA 與 RA 之整合					
期中報告	民國 100 年 5 月	決策支援系統建立及期中報告					
第二次進度報告	民國 100 年 8 月	LCIA & RA					
期末報告初稿	民國 100 年 11 月	提出期末報告初稿					
期末報告定稿	民國 100 年 12 月	參與研討及技術發表會及期末報告定稿					

備註：上表於期中、期末審查時，由執行單位提出實際執行情形，明列於報告中，做為審查依據。

統一編號
EPA034100024

- * 本報告僅係受託單位或個人之研究意見，僅供環保署施政之參考
- * 本報告之著作財產權屬環保署所有，非經環保署同意，任何人均不得重製、仿製或為其他之侵害