

臺灣土壤及地下水污染調查 及土水市場分析



主講者：何建仁 組長

2015年5月29日



2012/4/18



www.epa.gov.tw



行政院環境保護署

土壤及地下水污染整治基金管理會

地址：10042 台北市中正區延平南路110號12樓

電話：(02)2383-2389 轉 8100

傳真：(02)2370-5740 · 2370-5741

電子信箱：jrho@epa.gov.tw

綜合企劃組 組長

何 建 仁



簡報大綱

- 壹、土污法及土水現況
- 貳、土水污染調查方法
- 參、污染場址調查案例
- 肆、國內土水未來發展
- 伍、問題與討論

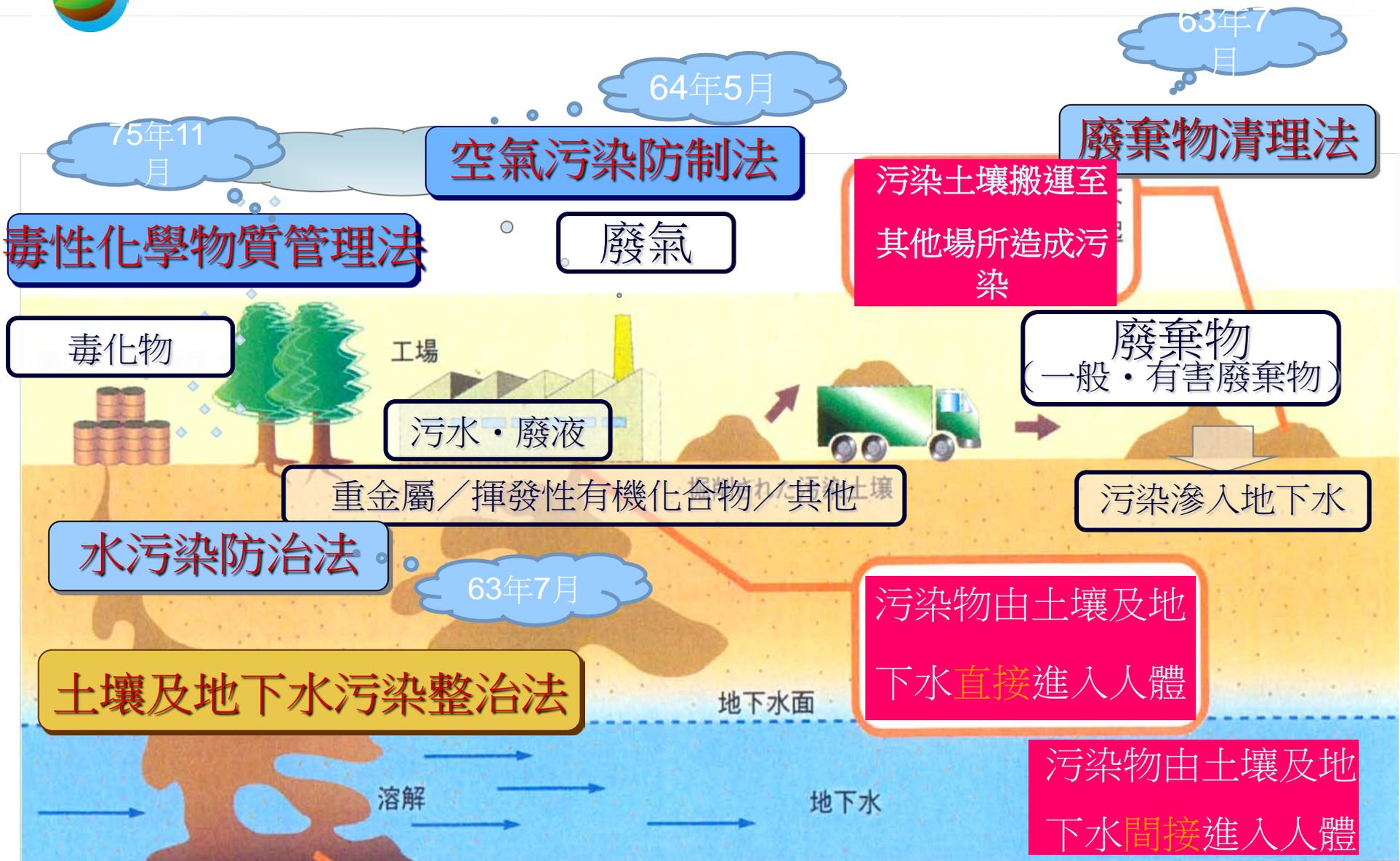


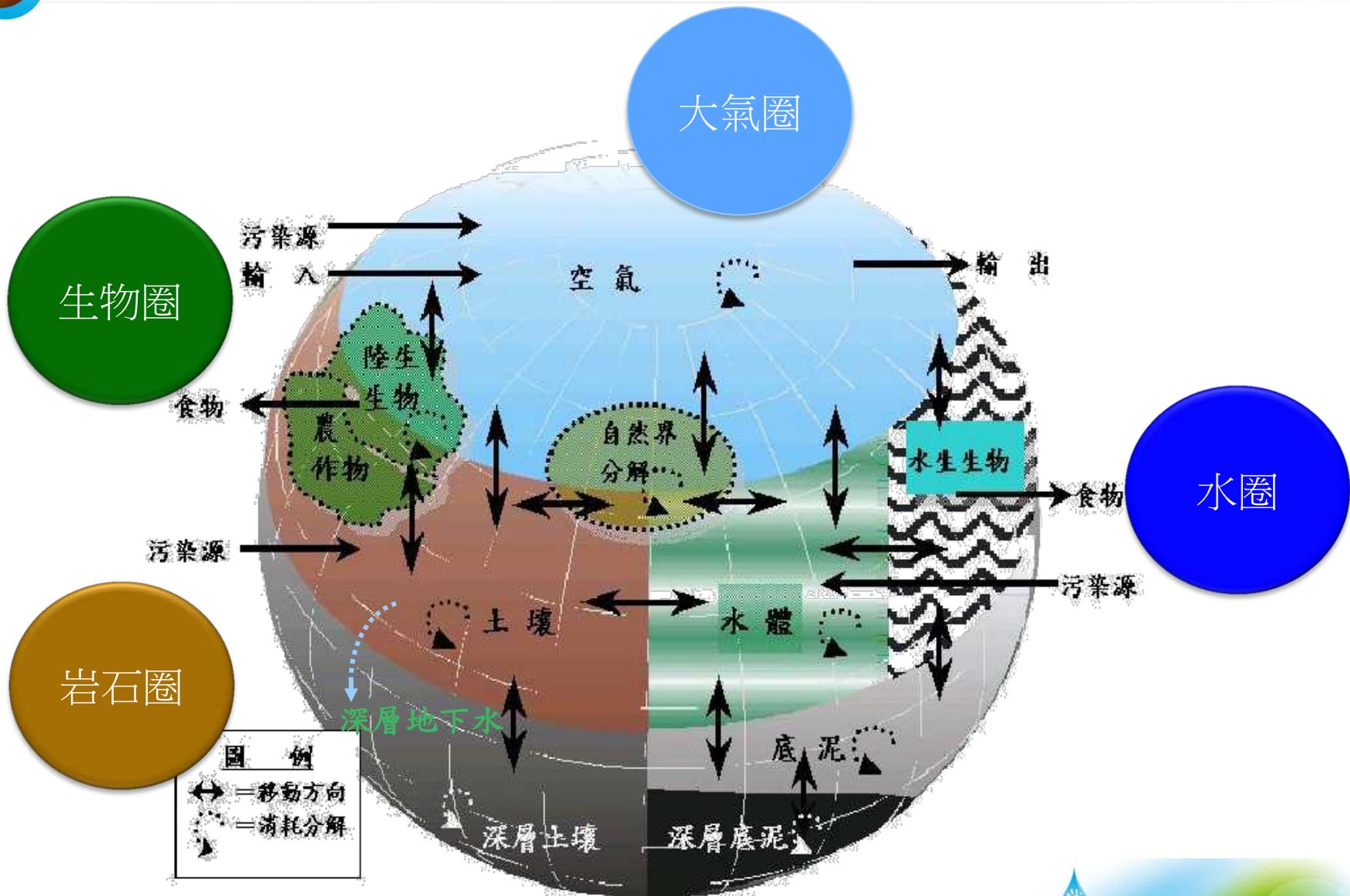
壹、土污法及土水現況

- 土污法規
- 列管狀況
- 市場現況



土污法研訂歷程







土污法研訂歷程

70年	國內發生多起土壤污染事件
80年	環保署擬具 土壤污染防治法 (草案)
85年	環保署自立法院撤回原草案進行調整與修正
87年	更名為 土壤污染整治法 (草案)
88年	法案定名為 土壤及地下水污染整治法
89年	89年2月公布施行
92年	92年1月配合 行政程序法 施行修正公布
93~94年	辦理北、中、南三區 土壤及地下水污染整治法 修正座談會
95~96年	<ul style="list-style-type: none">• 辦理土壤及地下水污染整治法(修正草案)研商會及公聽會• 行政院第3068次院會通過
97~98年	<ul style="list-style-type: none">• 行政院送立法院審議• 立法院審議(大體審查、逐條審查、政黨協商會議)
99年	於99年1月8日 立法院三讀通過 99年2月3日修正公布施行



名詞定義

❖ 何謂土污法？ (§1)

為預防及整治土壤及地下水污染，確保土地及地下水資源永續利用，改善生活環境，維護國民健康。

❖ 土污法主要用詞定義 (§2)

- 土壤：指陸上生物生長或生活之地殼岩石表面之疏鬆天然介質。
- 地下水：指流動或停滯於地面以下之水。
- 底泥：指因重力而沉積於地面水體底層之物質。
- 土壤/地下水污染監測標準：指基於土壤/地下水污染預防目的，所訂定須進行土壤/地下水污染監測之污染物濃度。
- 土壤/地下水污染管制標準：指為防止土壤/地下水污染惡化，所訂定之土壤/地下水污染管制限度。
- 底泥品質指標：指基於管理底泥品質之目的，考量污染傳輸移動特性及生物有效累積性等，所訂定分類管理或用途限制之限度。
- 污染控制場址：指土壤或地下水污染來源明確之場址，其污染物非自然環境存在經沖刷、流布、沉積、引灌，致該污染物達土壤或地下水污染管制標準者
- 污染整治場址：指污染控制場址經初步評估，有嚴重危害國民健康及生活環境之虞，而經中央主管機關審核公告者。



控制、整治場址雙門檻制度

❖ 污染場址列管方式





防治措施一場址調查

❖ 第六條

下列區域之目的事業主管機關，應視區內污染潛勢，定期檢測土壤及地下水品質狀況，作成資料送直轄市、縣（市）主管機關備查：

- 一、工業區。
- 二、加工出口區。
- 三、科學工業園區。
- 四、環保科技園區。
- 五、農業科技園區。
- 六、其他經中央主管機關公告之特定區域。

❖ 第八條

中央主管機關公告之事業所使用之土地移轉時，讓與人應提供土壤污染評估調查及檢測資料，並報請直轄市、縣（市）主管機關備查。

❖ 第九條

中央主管機關公告之事業有下列…，…檢具用地之土壤污染評估調查及檢測資料，報請…審查：

- 一、依法辦理事業設立許可、登記、申請營業執照。
- 二、變更經營者。
- 三、變更產業類別。但變更前、後之產業類別均屬中央主管機關公告之事業，不在此限。
- 四、變更營業用地範圍。
- 五、依法辦理歇業、繳銷經營許可或營業執照、終止營業（運）、關廠（場）或無繼續生產、製造、加工。

❖ 第十二條

各級主管機關對於有土壤或地下水污染之虞之場址，應即進行查證，並依相關環境保護法規管制污染源及調查環境污染情形。



調查評估措施—污染調查

❖ 第十三條

控制場址未經公告為整治場址者，直轄市、縣（市）主管機關應命污染行為人或潛在污染責任人於六個月內完成調查工作及擬訂污染控制計畫。

❖ 第十四條

整治場址之污染行為人或潛在污染責任人，應於直轄市、縣（市）主管機關通知後三個月內，提出土壤、地下水污染調查及評估計畫。

❖ 第十一條

依本法規定須提出、檢具之污染控制計畫、污染整治計畫、評估調查資料、污染調查及評估計畫等文件，應經依法登記執業之環境工程技師、應用地質技師或其他相關專業技師簽證。

❖ 第二十六條

控制場址或整治場址因適當措施之採取、控制計畫或整治計畫之實施，致土壤或地下水污染物濃度低於管制標準時，…，應辦理下列事項：

- 一、公告解除依第十二條第二項、第三項所為控制場址或整治場址之管制或列管，並取消閱覽。
- 二、公告解除或變更依第十六條所為之土壤、地下水污染管制區之劃定。
- 三、囑託土地所在地之登記機關塗銷依第十二條第三項所為之控制場址、整治場址登記及依第二十一條所為之土地禁止處分之登記。



土壤及地下水污染整治基金

❖ 第二十八條

中央主管機關為整治土壤、地下水污染，得對**公告之物質**，依其**產生量及輸入量**，向製造者及輸入者徵收土壤及地下水污染**整治費**，並**成立土壤及地下水污染整治基金**。基金之用途如下：

- 一、各級主管機關依…規定查證、採取應變必要措施、監督、訂定計畫、審查計畫、調查計畫、評估、實施計畫、變更計畫支出之費用。
- 二、基金求償及涉訟之相關費用。
- 三、基金人事、行政管理費用、土壤、地下水污染預防及整治相關工作人事費用。
- 四、各級主管機關執行土壤及地下水污染管制工作費用。
- 五、土壤、地下水污染查證及執行成效之稽核費用。
- 六、涉及土壤、地下水污染之國際環保工作事項之相關費用。
- 七、土壤、地下水品質監測及執行成效之稽核事項之相關費用。
- 八、關於徵收土壤、地下水污染整治費之相關費用。
- 九、關於土壤、地下水污染之健康風險評估及管理事項之相關費用。
- 十、土壤、地下水污染整治技術研究、推廣、發展及獎勵費用。
- 十一、關於補助土壤、地下水污染預防工作事項。
- 十二、其他經中央主管機關核准有關土壤、地下水污染整治之費用。

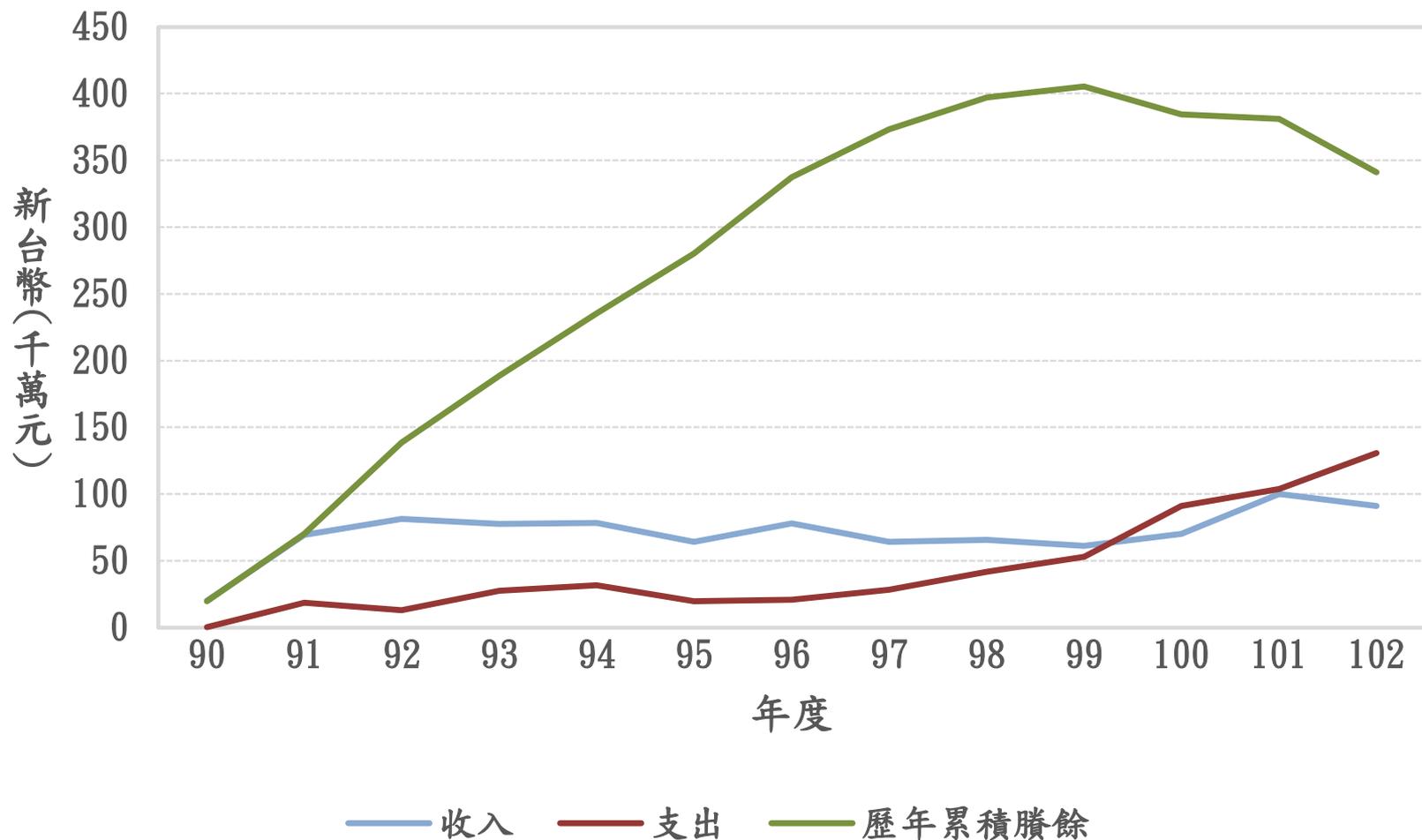
❖ 第二十九條

土壤及地下水污染整治基金之來源如下：

- 一、土壤及地下水污染整治費收入。
- 二、污染行為人、潛在污染責任人或污染土地關係人依第四十三條、第四十四條規定繳納之款項。
- 三、土地開發行為人依第五十一條第三項規定繳交之款項。
- 四、基金孳息收入。
- 五、中央主管機關循預算程序之撥款。
- 六、環境保護相關基金之部分提撥。
- 七、環境污染之罰金及行政罰鍰之部分提撥。
- 八、其他有關收入。



土污整治基金歷年收入及支出





土壤及地下水污染整治基金管理會

❖ 第三十條

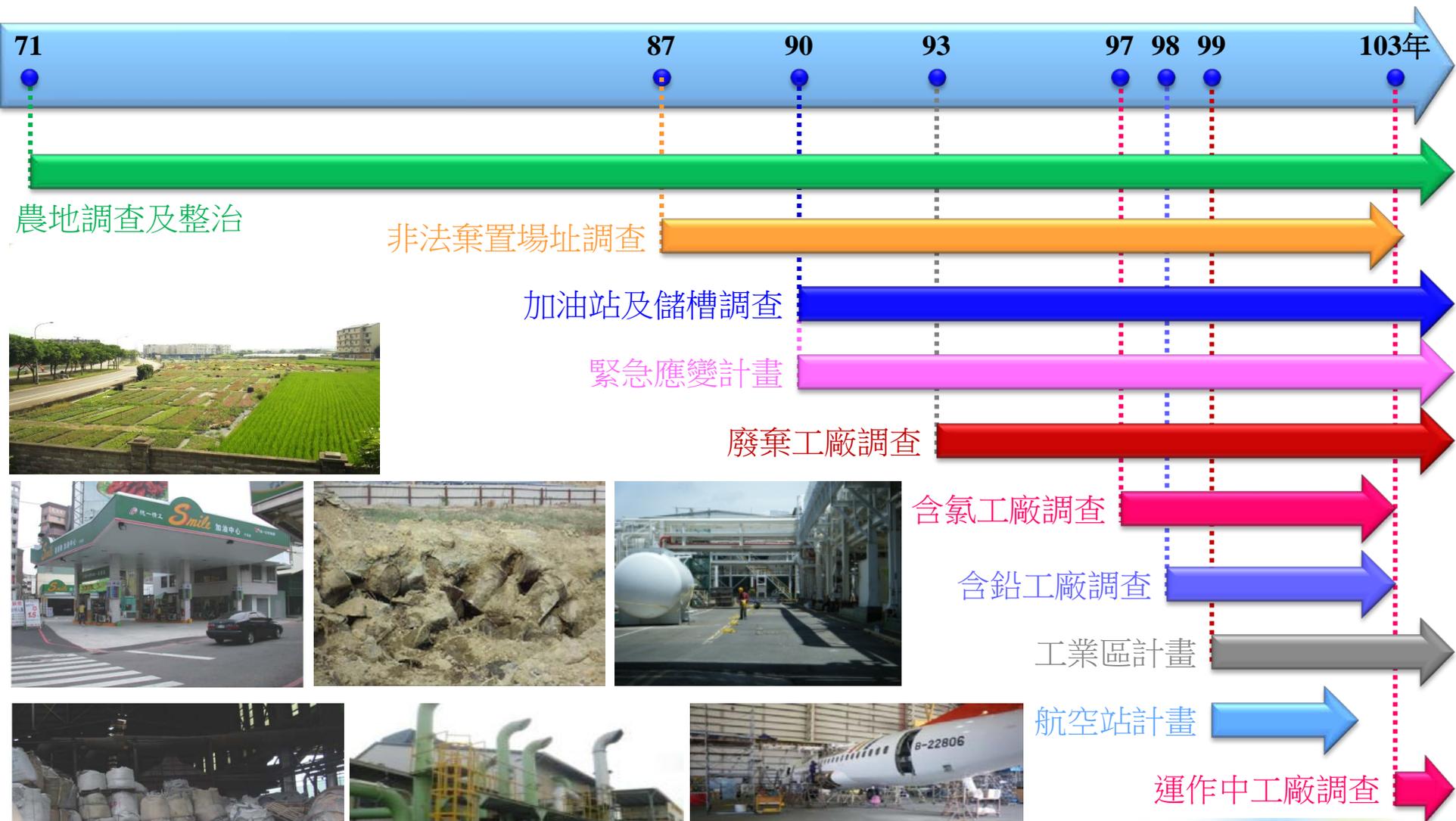
前條土壤及地下水污染整治基金應成立基金管理會（以下簡稱管理會）負責管理及運用，該管理會得依下列需要設置工作技術小組：

- 一、依第十二條第三項規定之審核整治場址事宜。
- 二、依第十四條或第二十七條規定之處理等級評定事宜。
- 三、應變必要措施支出費用之審理事宜。
- 四、依第二十二條、第二十四條或第二十七條規定之污染整治計畫或整治目標審查核定事宜。
- 五、其他有關基金支用之審理事宜。





環保署大型調查計畫歷程



農地調查及整治

非法棄置場址調查

加油站及儲槽調查

緊急應變計畫

廢棄工廠調查

含氯工廠調查

含鉛工廠調查

工業區計畫

航空站計畫

運作中工廠調查





臺灣土壤地下水污染類型

污染場址類型及原因

歷年來列管/解列污染場址數量

104/4/30

場址類型	污染原因
農地	灌溉用水遭到工業廢水排放污染
工廠	營運過程管理或處理不當 / 非法處置
加油站/儲槽	儲槽、管線破裂毀損或操作管理不當
非法棄置場	廢棄物非法棄置
軍事場址	不當處理廢棄物

場址類型	列管場址件數	解除列管件數
農地	5,270	2,552
工廠	452	213
加油站/儲槽	256	147
非法棄置場址	47	29
軍事場址	57	31
其他	128	52
總計	6,210	3,024

工業場址運作為污染主要來源



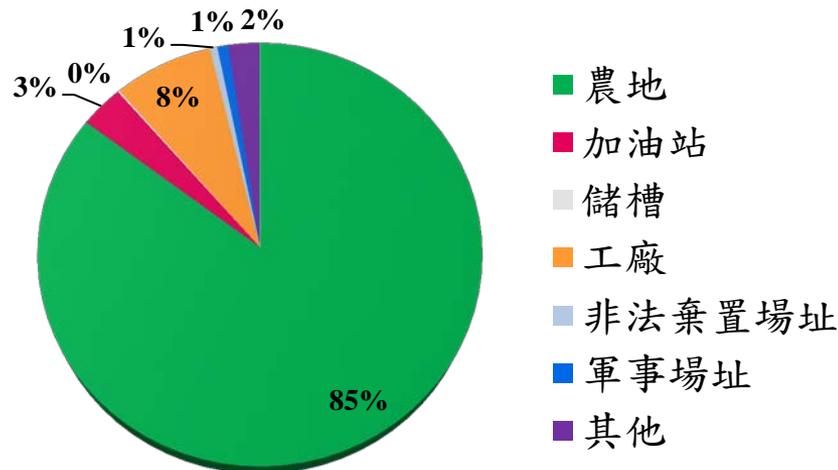
乾淨水為基，源於互利共生，
孕育優質環境，密不可分。



全國污染場址目前列管情形

- 農地類型場址所佔比例85%最高，工廠類型8%次之。
- 污染總面積以工廠類型涵蓋面積50%最大，其次為軍事場址25%及農地16%。

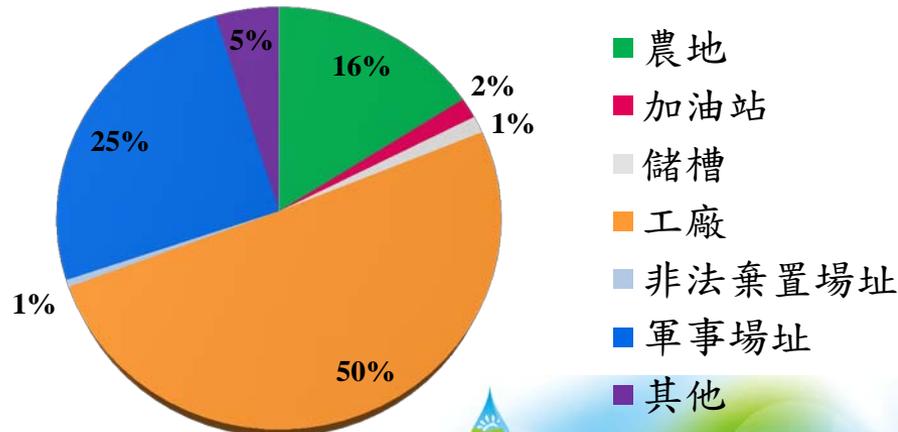
目前列管類型所佔比例



104/4/30

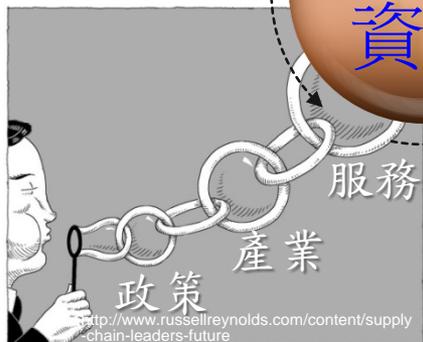
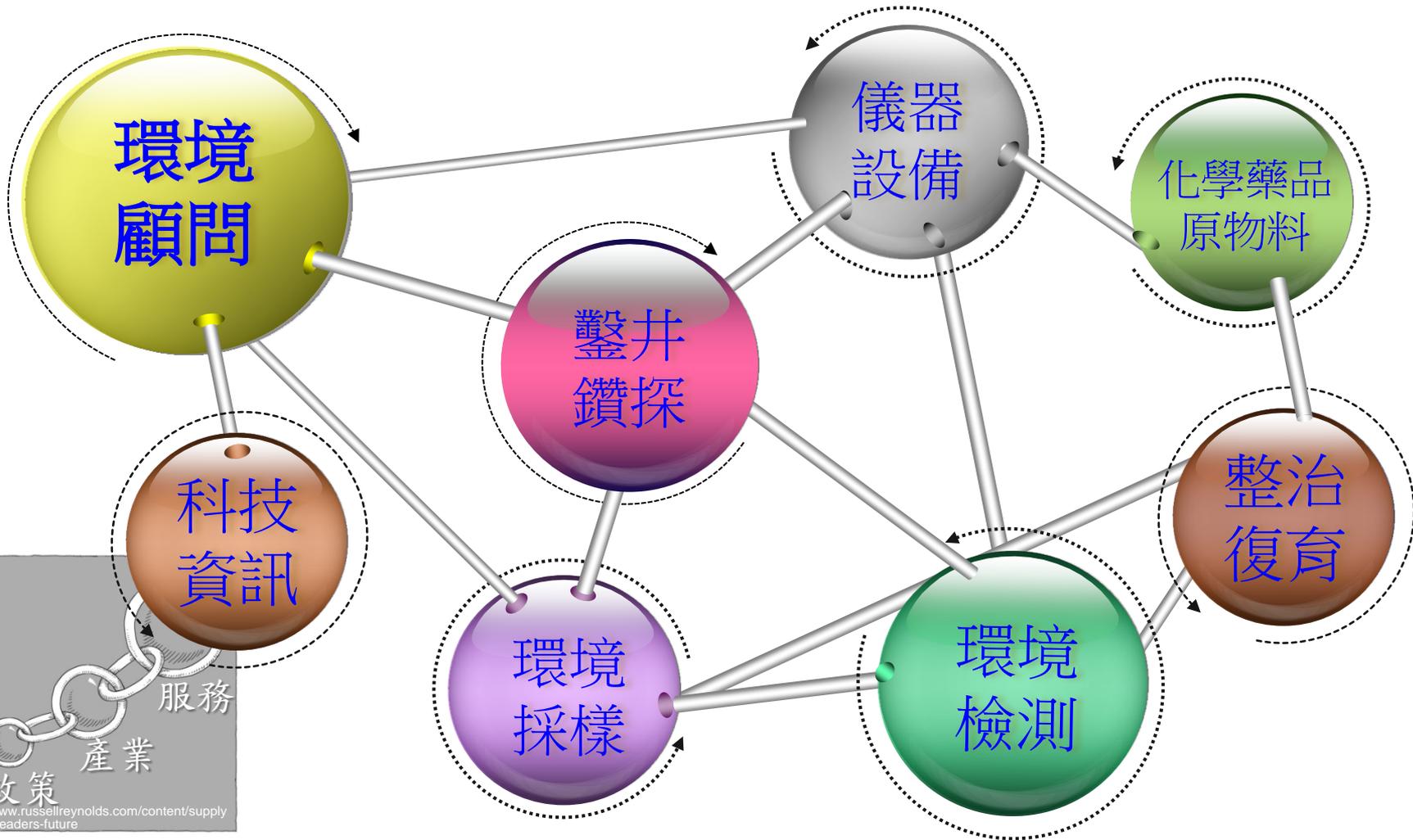
場址類型	列管場址件數	面積(m ²)
農地	2,718	3,689,312
工廠	239	11,665,955
加油站 / 儲槽	109	662,665
非法棄置場址	18	125,735
軍事場址	26	5,890,113
其他	76	1,106,986
總計	3,186	23,140,767

目前列管面積所佔比例





發現之污染問題僅為冰山一角
各類型場址隱藏之風險問題無法掌握





國內土壤及地下水發展趨勢

❖ 依中華經濟研究院「我國土壤及地下水污染整治技術服務業的潛在市場與商機」報告(2012)之初步估算：

✓ 從89年執行土污法迄今，污染場址整治經費支出約為192億到274億元之間。

✓ 上述整治經費的支出，將為整體產業帶來約268億到404億元的產出增加。

✓ 在就業面上，每年將帶來約15,000人到22,000人的就業機會。

✓ 尚待整治污染場址所需經費，約2,512億到4,030億元，將是未來產業發展的利基。

✓ 中國及東南亞亦開始重視土水管理，我國14年間累積的技術水準領先各國，為產業發展的另一利基。



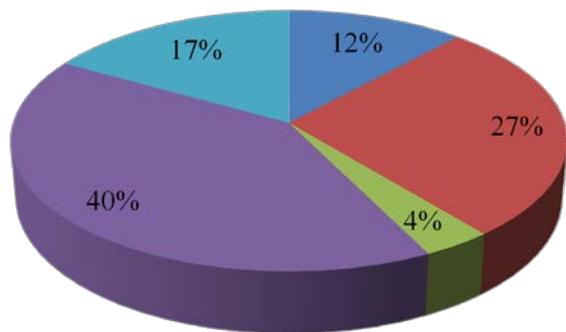


大陸土壤及地下水產業市場商機

❖ 土壤

- **2006年**中國環保部和國土資源部斥資10億人民幣，啟動全國首次土壤污染狀況調查，2,000萬公頃左右約占全國20%的耕地受到重金屬和有機物污染。
- **2012年**環保部制定《全國土壤環境保護「十二五」規劃》，預計中央將撥出300億元人民幣用於污染土壤修復，預估市場規模將超過1,000億元人民幣（160億美元）。
- **2015年**，建立土壤污染防治監督管理體系，完成有關土壤污染防治的政策法律法規，完善土壤污染防治標準體系
- 中國工程院院士羅錫文預計全國土壤修復的市場，2020年有可能達到上萬億人民幣。

❖ 地下水



■ 優良級 ■ 良好級 ■ 較好級 ■ 較差級 ■ 極差級

- 中國目前僅有少部分條款涉及地下水保護與污染防治，缺乏完整的地下水保護與污染防治法規及標準規範。
- 現有監測井（**4,929點**）中有**17%**水質屬極差級，且其中僅800點屬國家級監測井，顯示國家級監測井數量不足且污染情事狀況不明
- 依據中國「全國地下水污染防治規劃」，至2020年，將投入347億人民幣進行地下水監管建設、調查、防治、整治示範等。



日本土水發展概況

- 2000 年日本環境省土壤污染調查結果，1,097 件案例中，超過土壤污染環境標準有574 件。
- 2000年止，日本地下水污染事件有3,000 件，以四氯乙烯污染633 件最多，三氯乙烯污染468 件次之。
- 日本土壤污染調查之對象為一般製造業場址，在日本約有65 萬處；軍事基地、機場、鐵路設施、汽車修理廠、加油站、洗衣工廠、火力發電廠、實驗室、醫院、廢棄物處理場等場址約有28 萬處，合計有93 萬處。
- 估計調查土壤污染所需之費用約為2兆日圓；估計整治費用11 兆日圓，合計達13 兆日圓。
- 竹力原啓介(2002)研究，日本土壤污染整治事業的規模預估有13至43兆日圓（約1,500-5,000億美元）。





韓國土水發展概況

- 2002年起，駐韓美軍（USFK）實施「韓美聯合土地管理計畫」（Land Partnership Plan, LPP），成為韓國土壤整治業發展的新契機。
- 2005年韓國土壤整治業產值約為12.7億美元，佔環保產業總產值之7.2%。
 - 預估2015年，將成長至26.4億美元
 - 預估2020年，將進一步成長至34.5億美元
- 2008年推出GAIA計畫（Geo-Advanced Innovative Action Program），為期10年，由政府提供大學、研究所及企業經費，進行土壤地下水技術研發，投資金額1,631億韓圓（約1.6億美元），力求2017年迎頭趕上歐美先進國家。
- 2010年為止，韓國註冊在案土壤整治業共有118家。
- 韓國積極發展土水產業，近年來又有中日韓自由貿易協定（FTA）加持，土水企圖心十分明顯。



資料來源：韓國土水環境法規及產業發展現況介紹，土水協會簡訊



東南亞市場現況

- 東南亞國家多以垃圾非法棄置、地質之礦區污染以及工業型污染居多，且需要世界銀行或亞洲開發銀行資金協助方能進行整治工作。
- 東南亞地區財政體質健全，但目前尚無能力處理土壤地下水污染。

馬來西亞：垃圾掩埋場滲出水污染土壤及地下水

泰國：廢棄礦坑污染地下水水源後造成農地重金屬污染

越南：越戰美國使用橘劑造成戴奧辛污染最為嚴重

印尼：礦渣棄置、工廠排污、大量使用農藥，造成農地污染

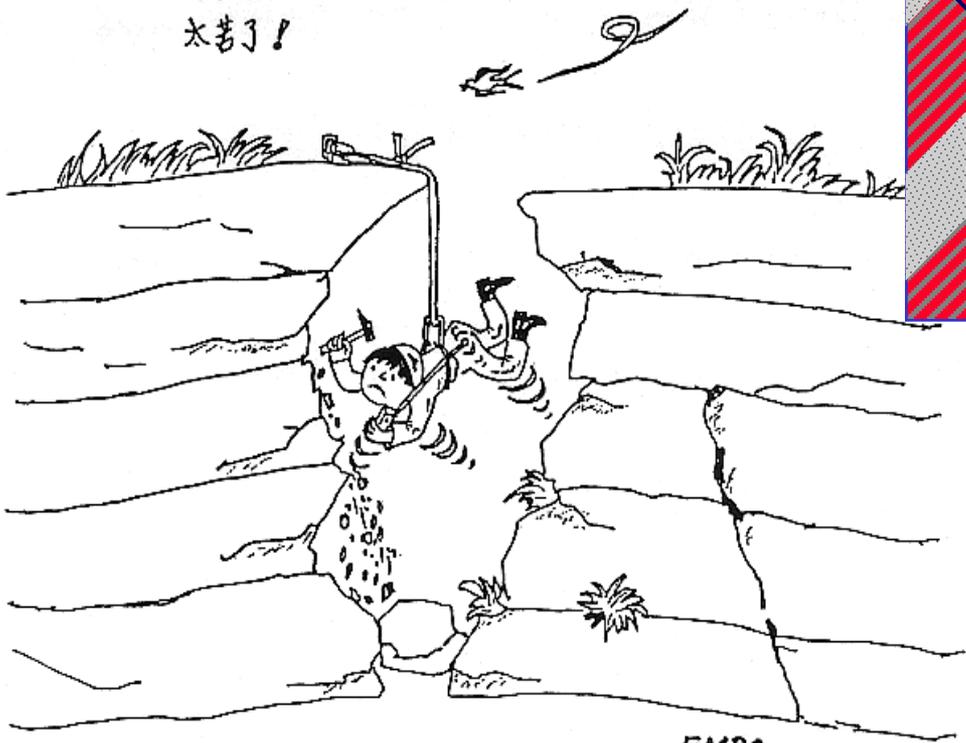


貳、土水污染調查方法

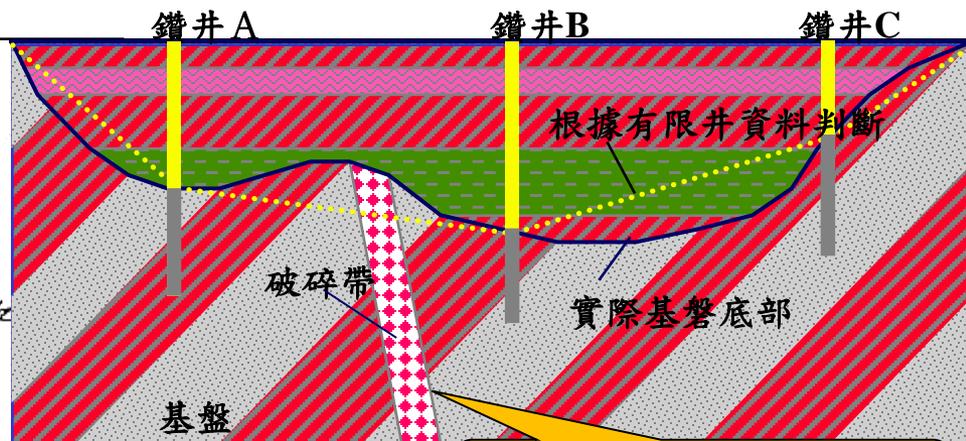
- 調查基本認知
- 土水調查方法
- 調查方法應用



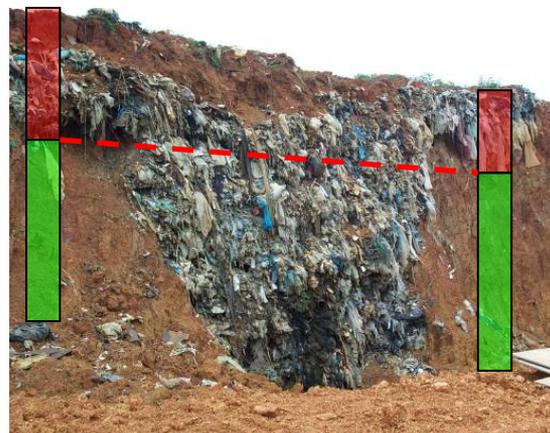
啊！
太苦了！



EMRO



因鑽井位置分布問題導致
未能發現破碎帶位置





污染調查基本認知

❖ 場址污染調查/污染場址調查

一 調查目的

- 土地品質預防管理
- 污染糾紛/責任追查/鑑定
- 土地轉移、工廠設立停業歇業
- 污染控制/整治

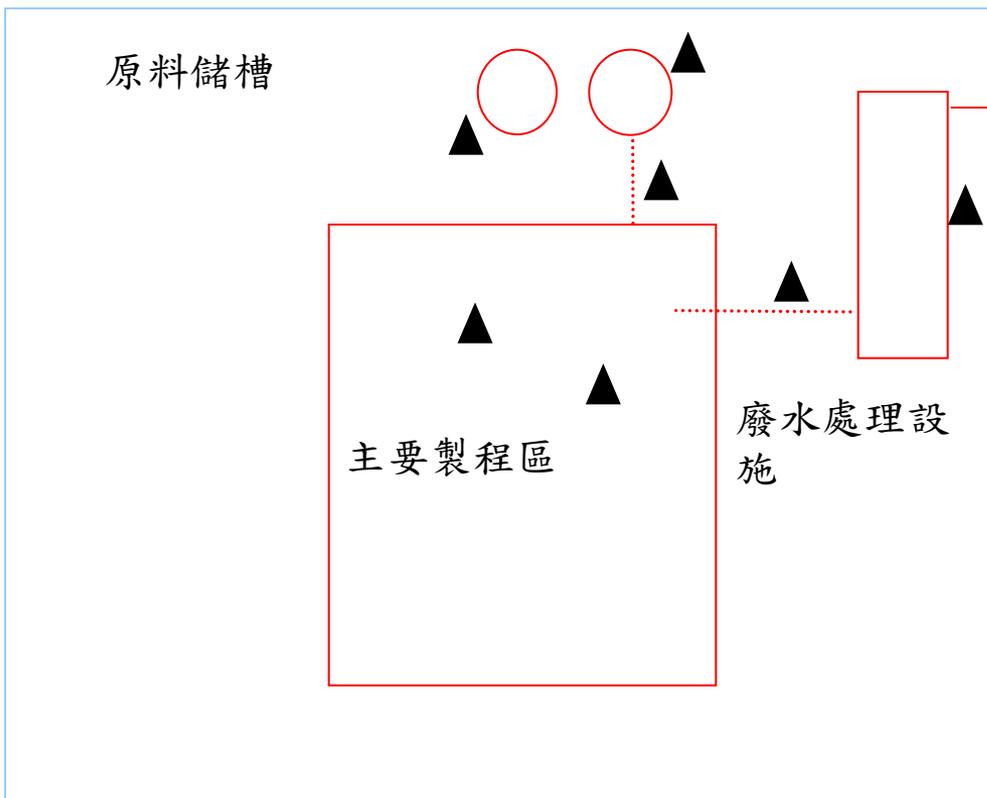
一 規劃依據

- 法令規定
- 可能污染物特性、水文地質條件、環境特性、經費及期程

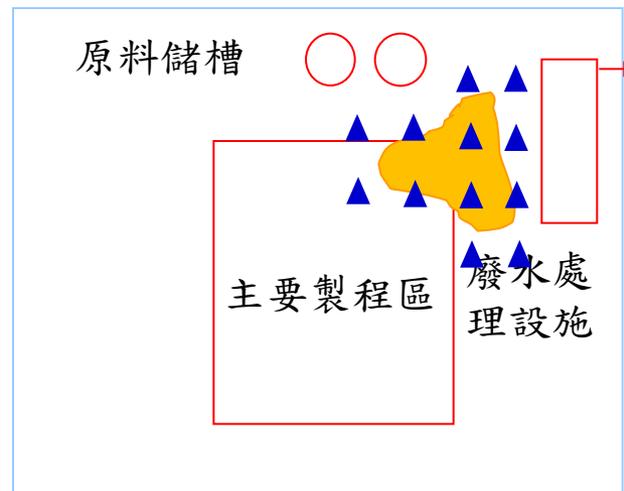
一個嚴謹的污染調查，現勘、訪查、資料蒐集分析、採樣分析、數據研析及綜合評估，具有周延之邏輯性



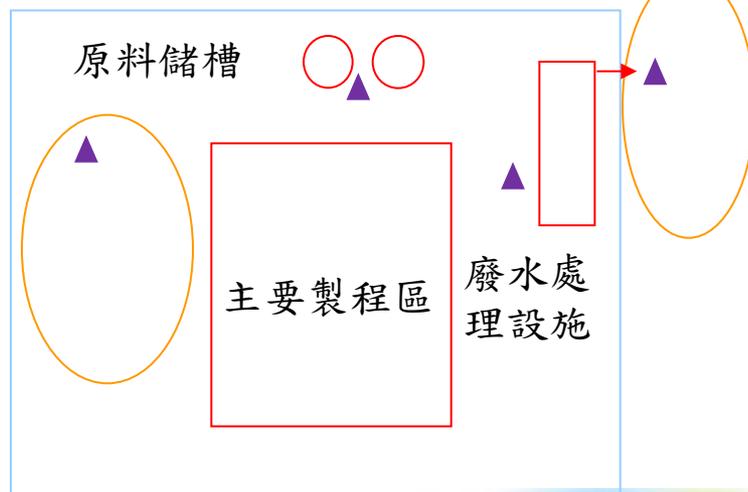
污染調查目的



廠內污染查證/工廠自主檢查



污染範圍確認調查

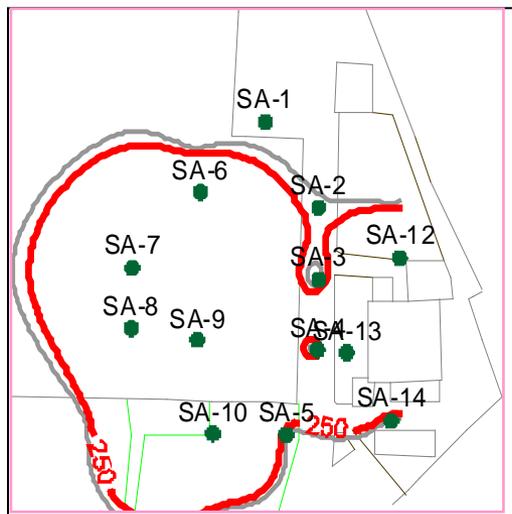


土地品質稽核/特定調查

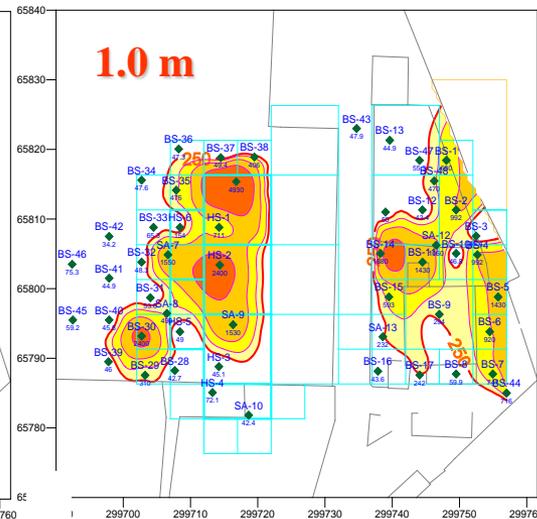
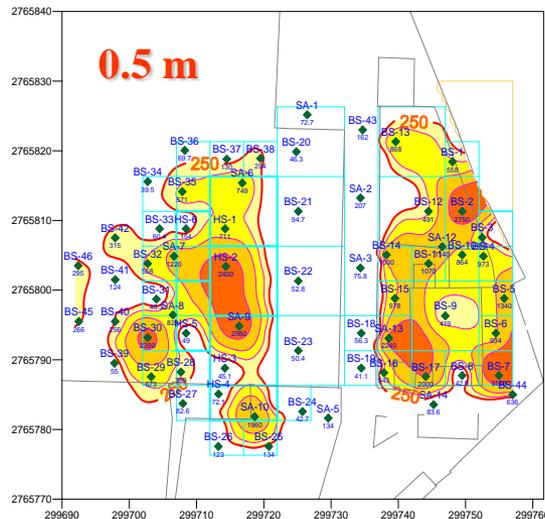


污染調查/細密調查

❖ 通常有效率之細密調查有助於降低實際之污染數量

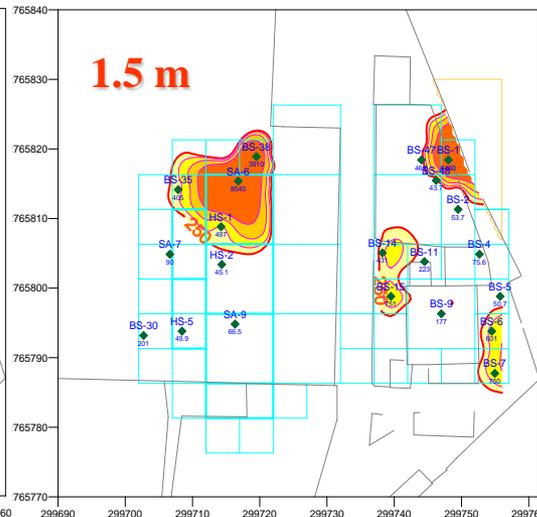
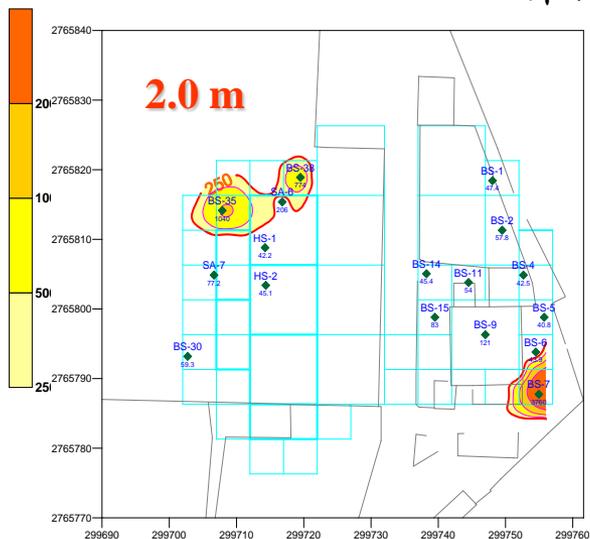


初次淺層土壤調查



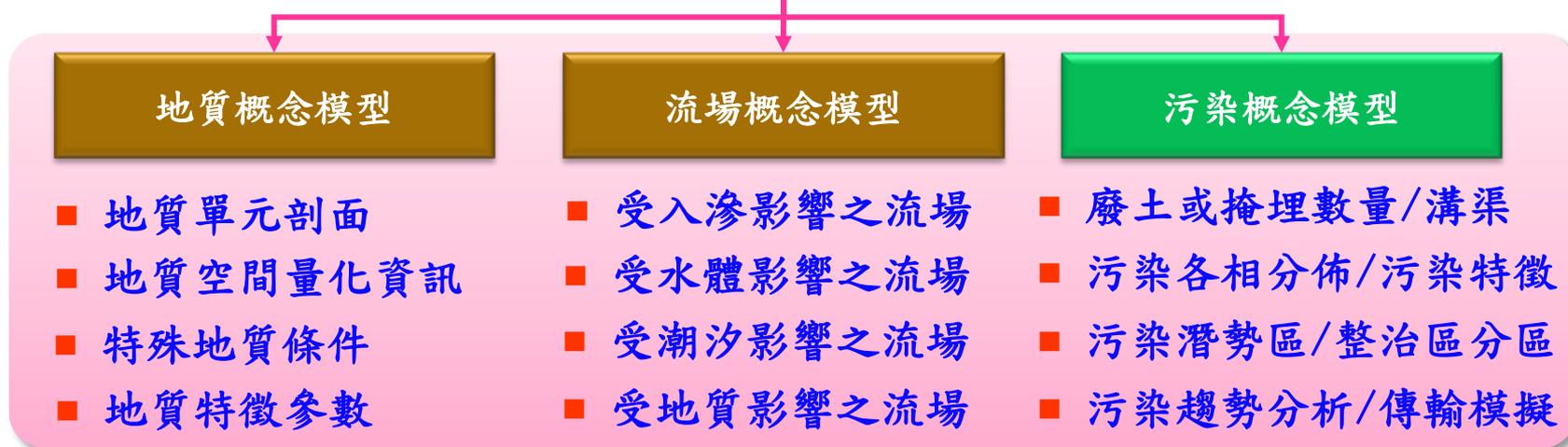
(mg/Kg)

三維細密調查





大型污染場址之整體調查架構



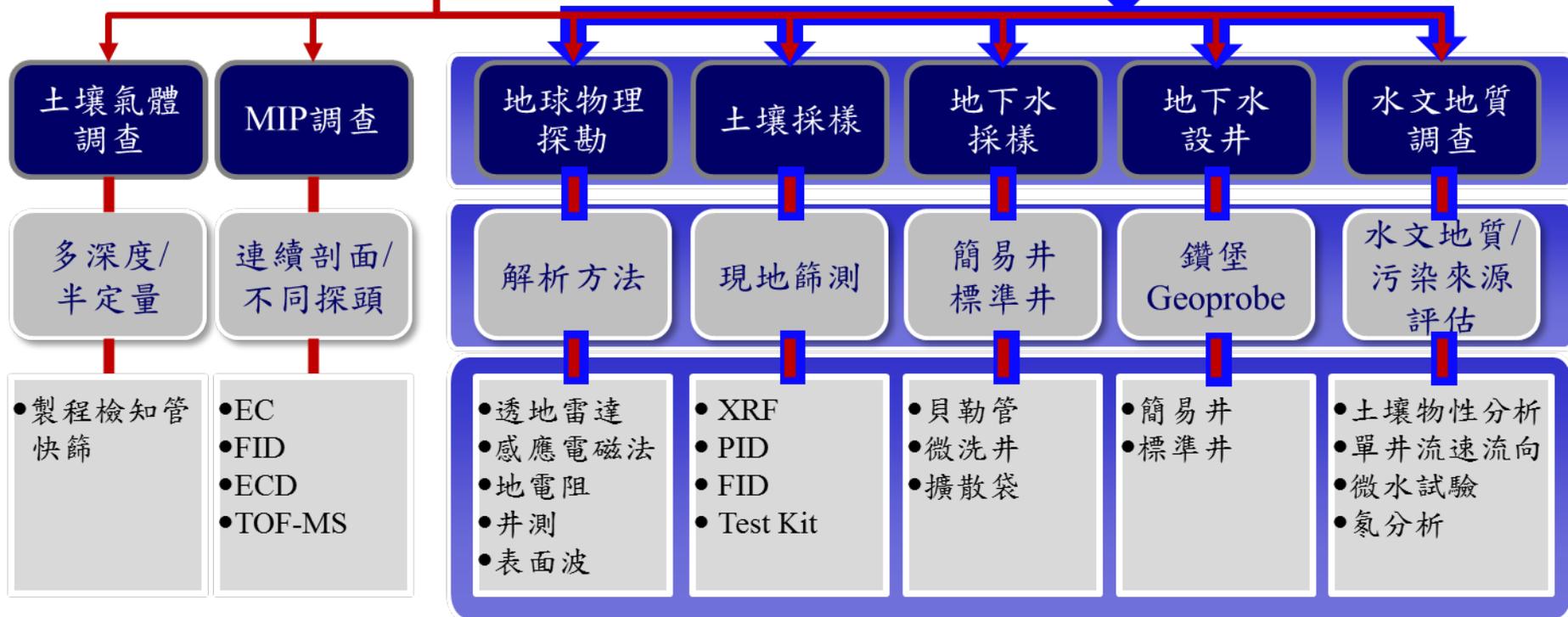


現場污染調查技術

污染潛勢區規劃

玢砂質層

礫石層

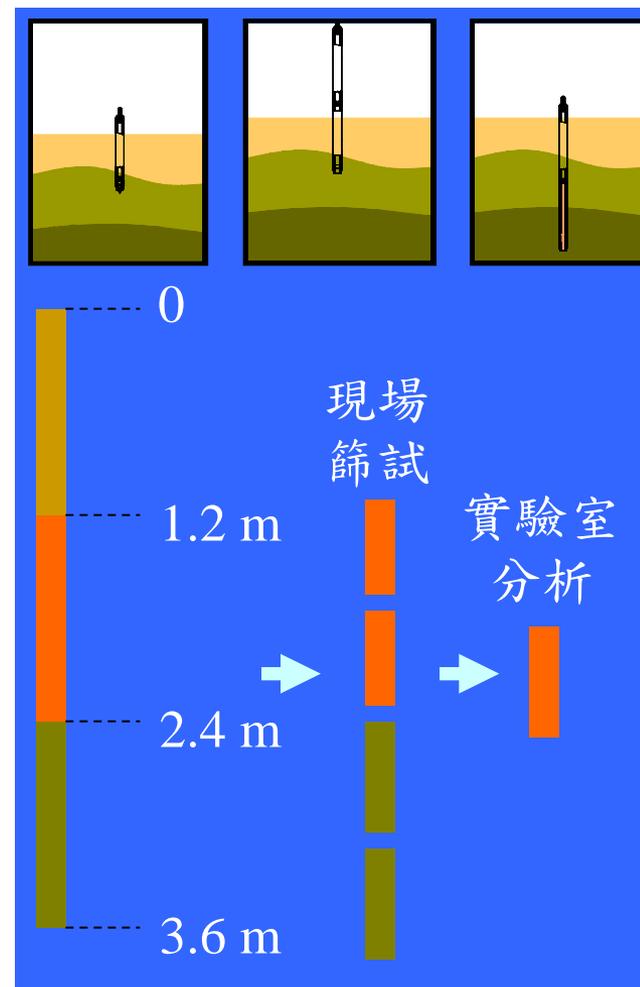


— 規劃組合各種調查技術 —



直接貫入探測-不擾動採樣

- ❖ 以鑽入、推進或震動方式將內附採樣器材之中空不銹鋼鑽桿貫入地層以快速採集代表性土壤、地下水樣品
- ❖ 可配置即時分析 (**Real-time analysis**) 儀器，快速、有效地取得大量篩測數據





土壤採樣(1/2)



銑孔



直接貫入



切割樣品



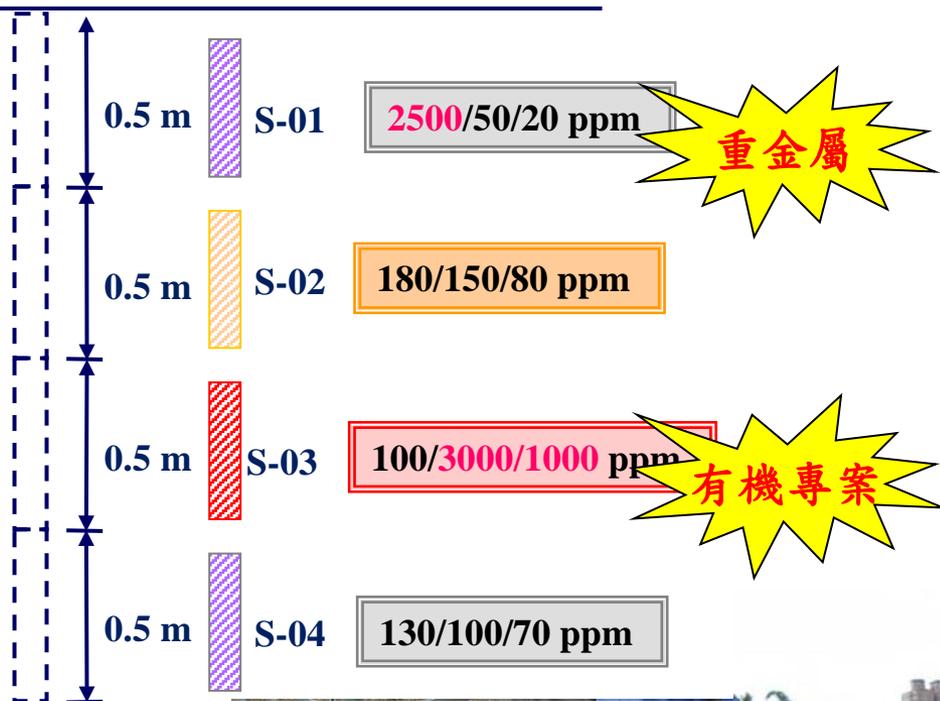
樣品保存



土壤採樣(2/2)

地表

XRF/FID/PID/Test Kid 篩試



現場儀器篩測



FID/PID 篩測



XRF 篩測



Test Kid 篩測





現地快篩技術

XRF

重金屬污染篩檢

- 有效偵測範圍僅限於偵測窗（穿透深度約1~2 mm）
- 檢視樣品是否夾有異常物，注意篩測真正反應的待測物
- 相對於管制標準，攜帶式XRF對於**鎘**、**汞**之偵測極限不夠低
- **干擾：水分**含量



MA3000

汞分析儀快速篩測

- 金汞齊和冷蒸氣無焰式原子吸收光譜法
- 固體/液體/氣體樣品，測定範圍: 0.005 - 1000 ng



PID

燈泡能量依據偵測待測物氣體之電勢能而定

- 一般選用通用型10.6 eV即可（對鹵化烴烷類反應較不靈敏）
- 11.7 eV燈泡可額外測得三氯甲烷、四氯化碳、二氯甲烷等烴類化合物



FID

篩測待測物是能具備可燃性質

- 靈敏度與與氫氣、空氣與氮氣的比例有直接關係（一般為1：10：1）
- 需注意濕度、溫度、氣體流量及壓力等干擾（亦可能是甲烷所致）



TPH Test Kit

油品類污染

- 樣品均質性、含水率等條件較敏感
- 生物酵素免疫法應用於低濃度污染篩測
- 濁度計檢測法對於高濃度污染篩測有較高之準確性



Dioxin

HRGC/MS法、DR-CALUX[®]法、ELISA法、Procept[®]法



地下水監測井設置-Geoprobe設井



井管井篩



Geoprobe鑽機



直接貫入



回填濾砂



地下水監測井設置-中空螺旋鑽設井



鑽管



鑽井



放置井管



濾砂回填



地下水監測井設置-鑽堡設井



鑽管



鑽井



放置井管



濾砂回填

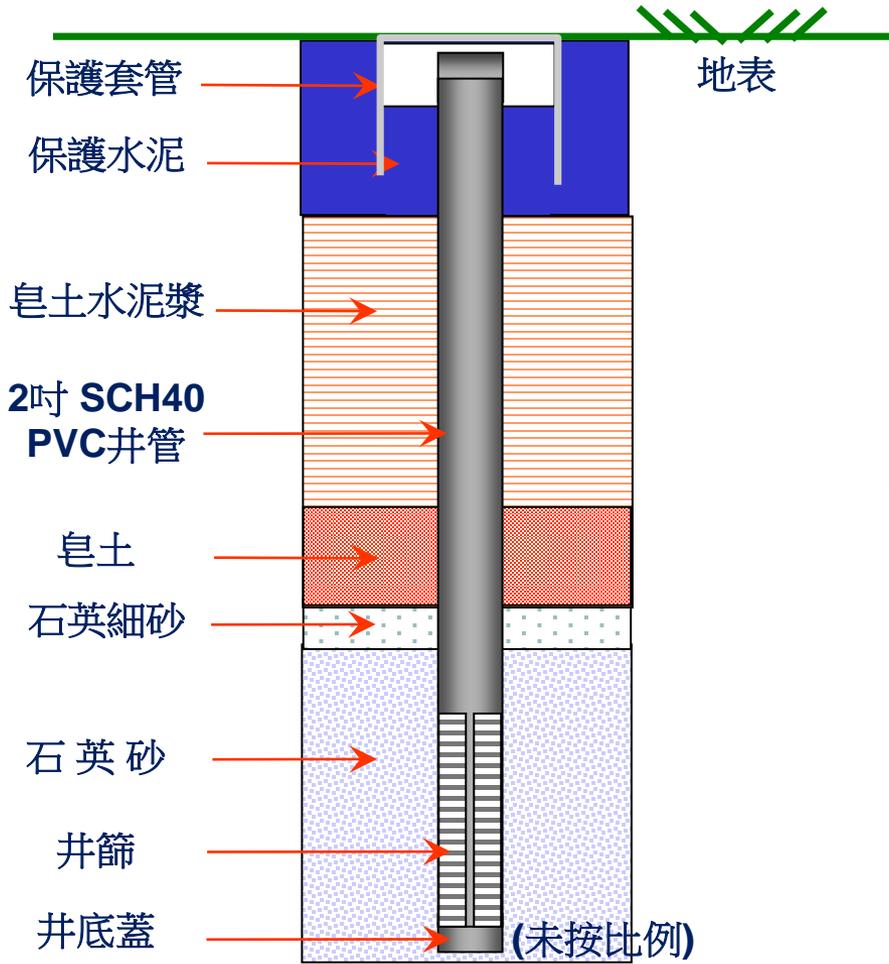


地下水監測井設置-結構及外觀

平臺式



隱藏式





地下水採樣(1/2)



水位量測



洗井



樣品添加



樣品保存



地下水採樣(2/2)

貝勒管採樣



微洗井採樣



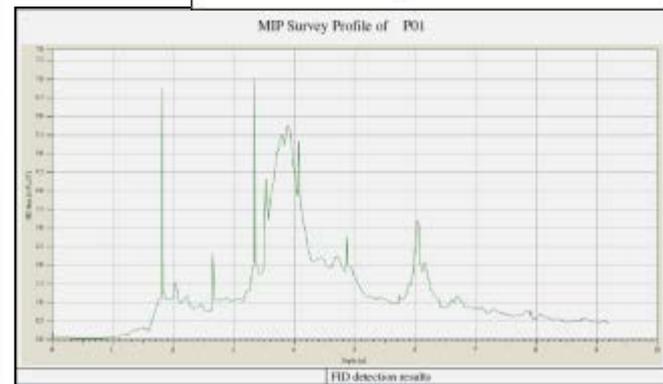
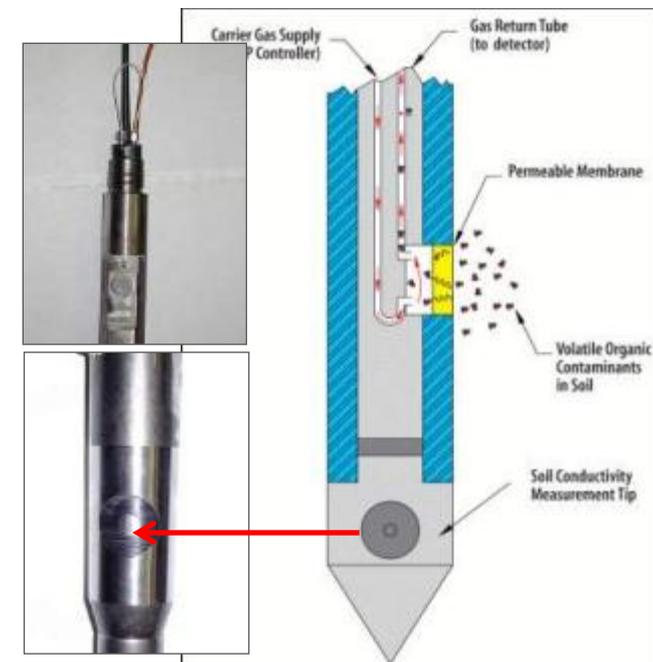
被動式採樣袋





直接貫入探測-薄膜介面探測器(MIP)

- ❖ 薄膜加熱至 $100 \sim 121^{\circ}\text{C}$
- ❖ 土壤或地下水中的揮發性有機污染物，經過薄膜進入通路，由載流氣體帶至地表上偵測器，進行分析
- ❖ 曾經在含氯有機物調查計畫的場址，利用直接貫入探測搭配MIP與圓錐貫入試驗(Cone Penetration Test, CPT)儀器，掌握土壤質地與污染物的三維分布特性

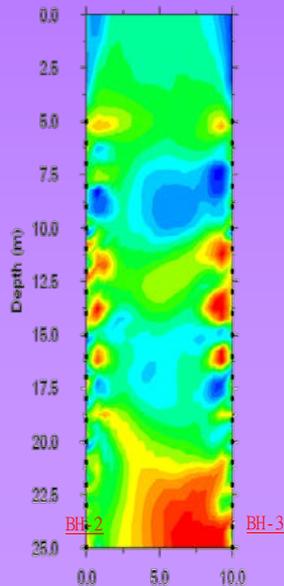
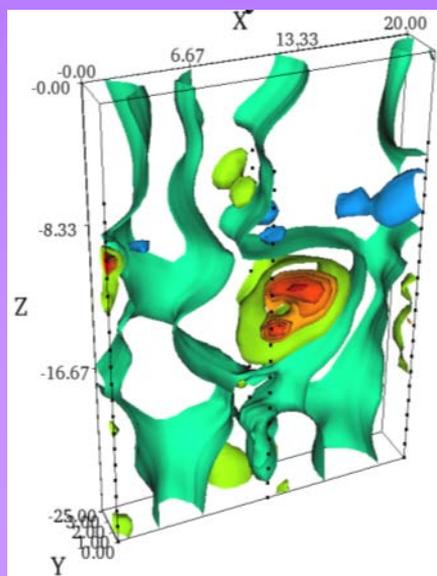
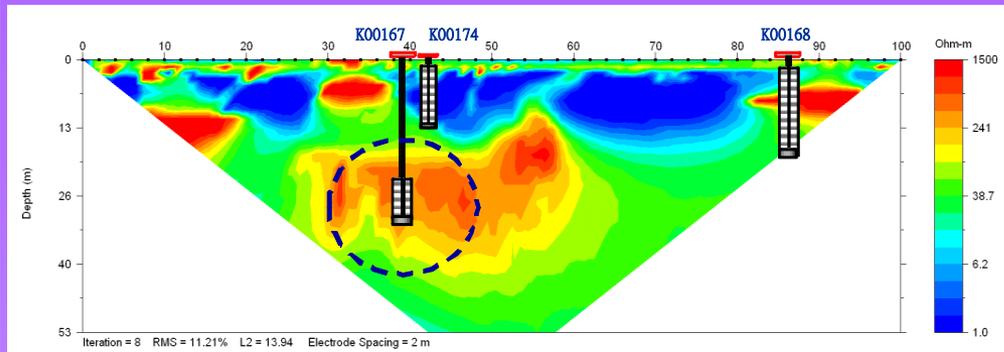




地球物理調查技術

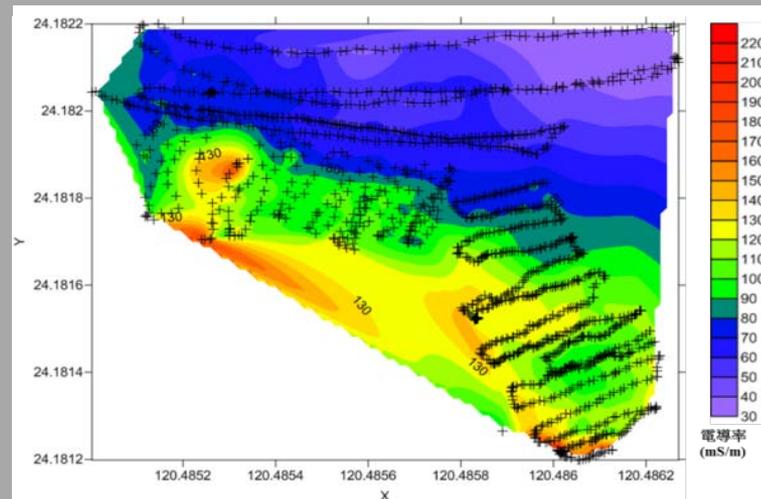
地電阻搭配井測

—由地質特異性輔助分析污染



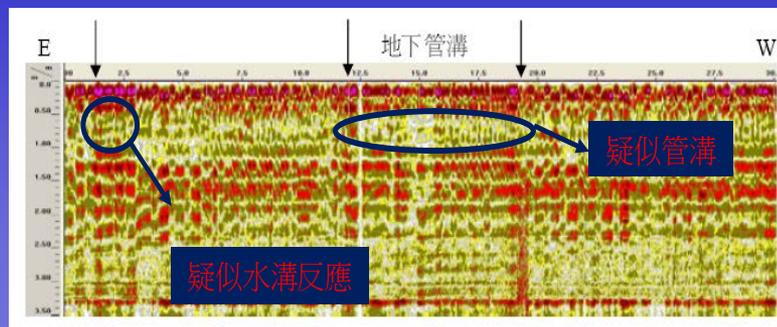
感應電磁

—確認範圍



透地雷達

—確認地下管線





地下水文試驗

❖ 微水試驗(Slug Test)

- 基本試驗
- 取得監測井附近地層之水利傳導係數(K)
- 依試驗結果與鑽探資料評估場址之異質性變化



❖ 抽水試驗

- 單井或多井試驗
- 取得含水層之傳輸係數、儲水係數及比出水量
- 瞭解水文地質邊界
- 試驗需時3~7天，且受天候影響大



地下水流向分析

❖ 水位、油位量測

- 定期量測
- 利用監測高程換算地下水位高程
- 自記式水位計長期監測水位變化
- 量測浮油厚度
- 現場由三點水位決定流向



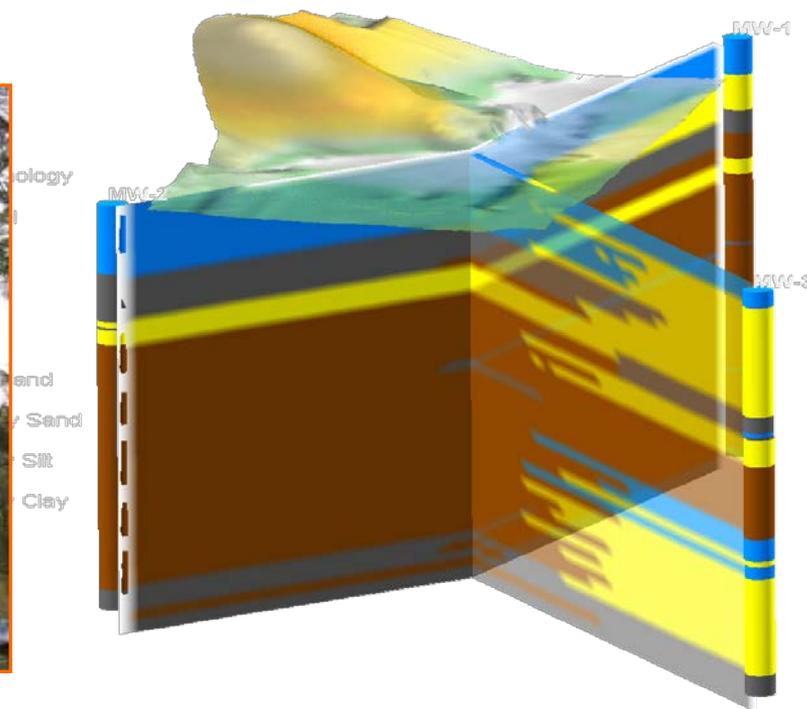
❖ 單井流速流向試驗

- 適用2~4吋井
- 單井測定流向及流速
- 如場址不均質程度大或鄰近有補助源，誤差較大
- 試驗時間較長、經費較高
- 精度可達到流速 $\pm 10\%$ ，流向 $\pm 10^\circ$



地質鑽探

❖ 根據地質鑽探資料評估地質空間分佈

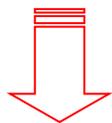




環境法醫鑑識-穩定性同位素分析

工業區污染列管難題

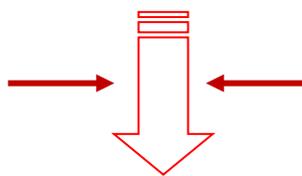
- ✓ 不同工廠，相同原物料 / 產品
- ✓ 廠家眾多，彼此緊鄰
- ✓ 下游污染，上游多家潛在行為人



污染源 > 1

傳統GC

- V 判定化合物
- X 判定來源

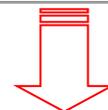


化學結構相同
≠
來自相同源頭

無法釐清責任歸屬

基本原理

穩定同位素(SI)不衰變



H、C、N、O、Cl、Pb

物質生成空間、年代不同
化學物生產程序、原物料不同



指紋特徵SI比值



$$\delta = \left[\frac{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{std}}} - 1 \right] \times 1000$$

釐清污染源



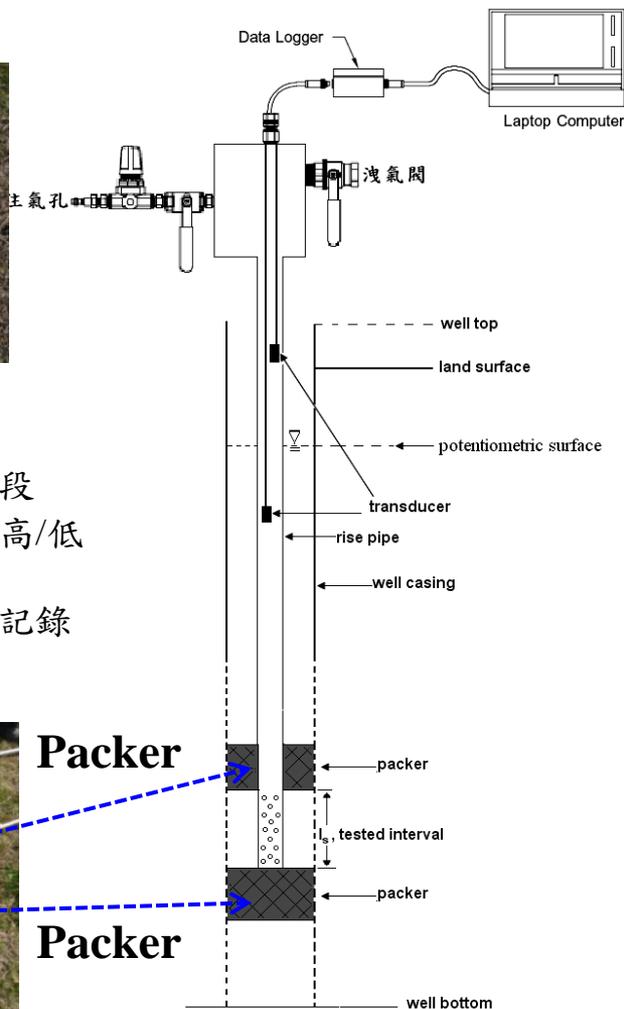
The Nikon S60. Detects up to 12 faces.





多深度微水試驗 (MLST)

❖ 雙環塞 (Double Packer) 多深度微水試驗 (Multi-Level Slug Test)



❖ 試驗方式

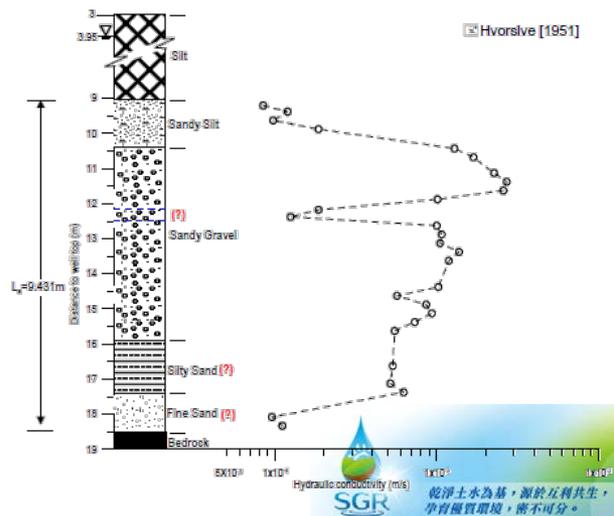
- ✓ 雙封塞區隔合適測試段
- ✓ 執行多深度微水試驗高/低 K 區試驗反應資料
- ✓ 比對井測資料、鑽探記錄評析數據合理性



Packer

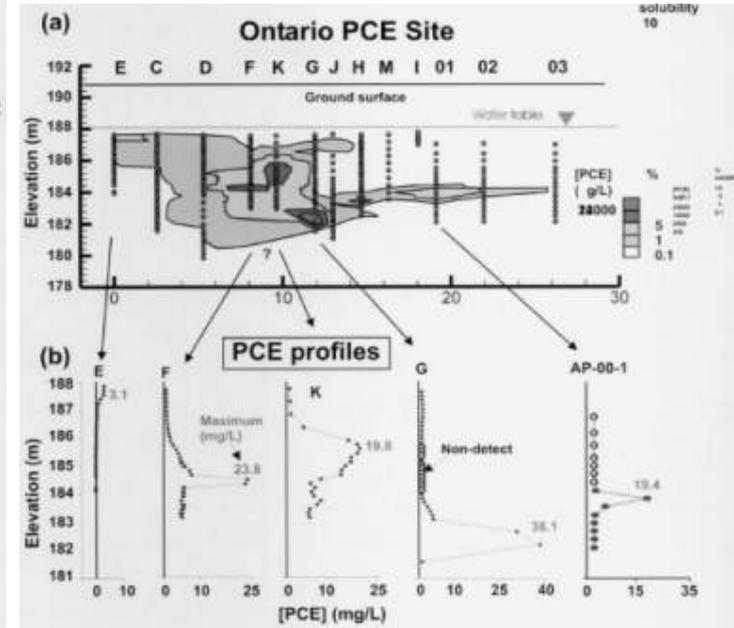
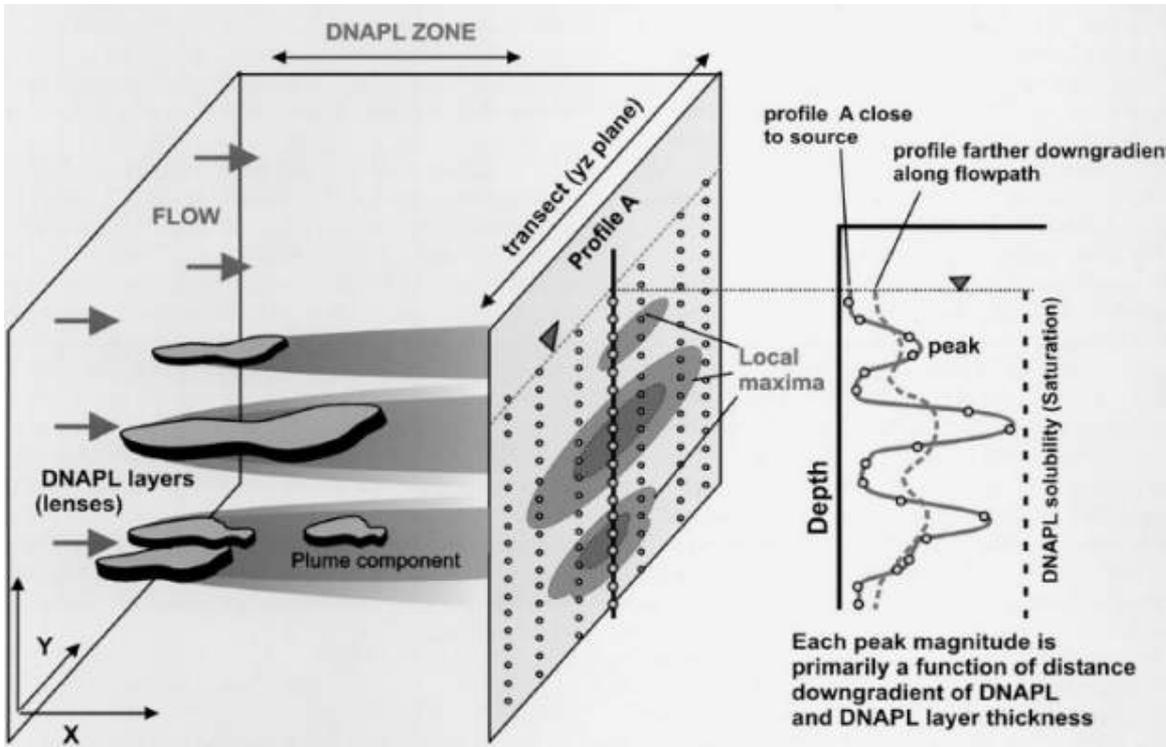
Packer

❖ MLST結果顯示 $K(z)$ 變化





多深度水樣調查

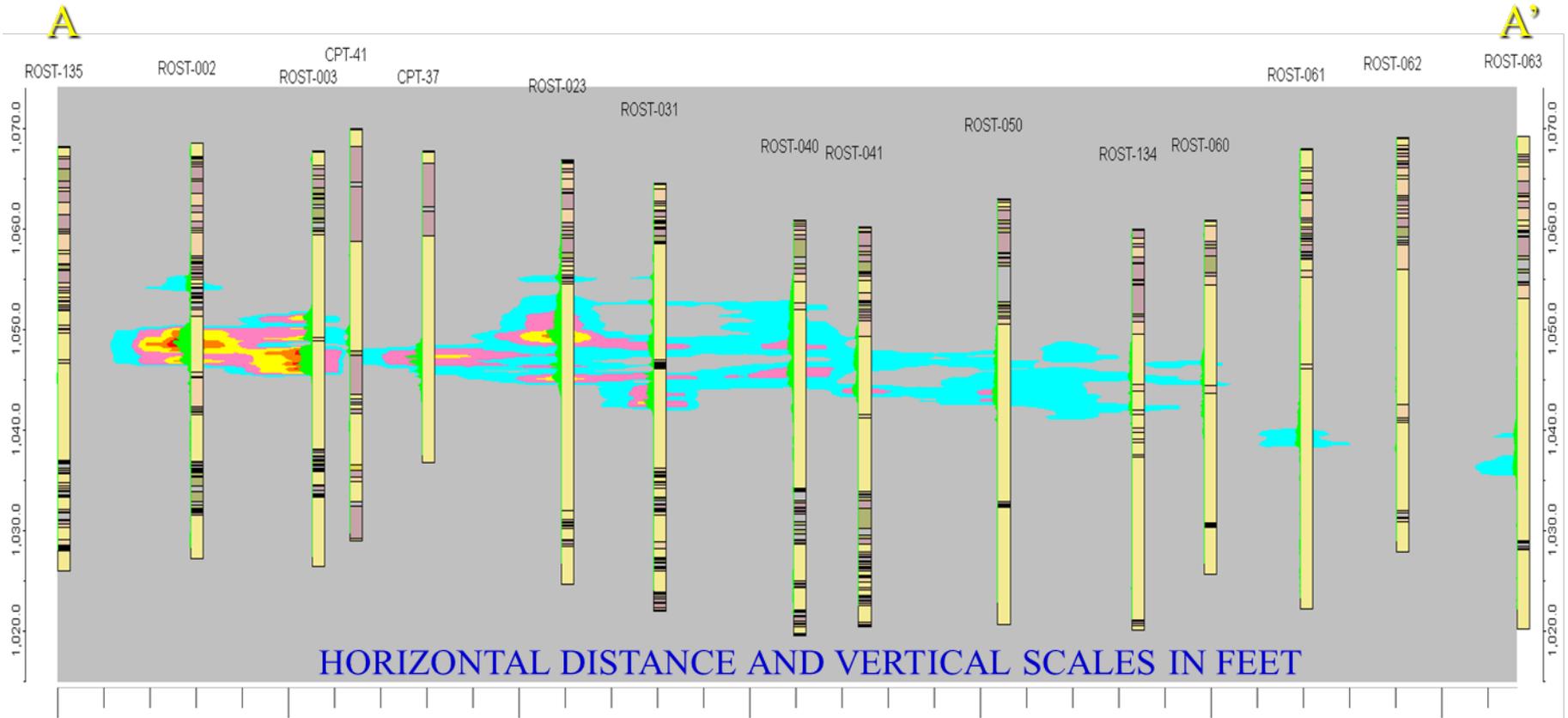


摘自Mariner et al., (1992)

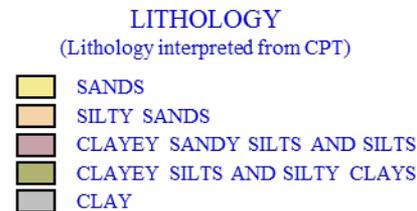
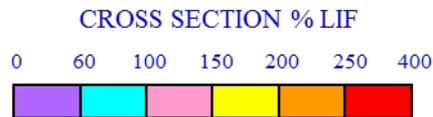
- ❖ 三處場址評估 PCE 及 TCE 不同深度（每隔 15 ~ 30 公分 1 組）之溶質通量，各場址 K 值差異不超過 5 倍，分析結果發現三處場址約 75% 之溶質通量僅來自 5 ~ 10 % 之調查範圍（15 公分間距高達 2 ~ 4 個數量級濃度差異）。
- ❖ 研究指出 15 公分之調查間距猶嫌不足，而能夠掌握污染實際分布，方能合理評估自然衰減作用及有效規劃後續整治方案。



LIF及地質柱狀分析



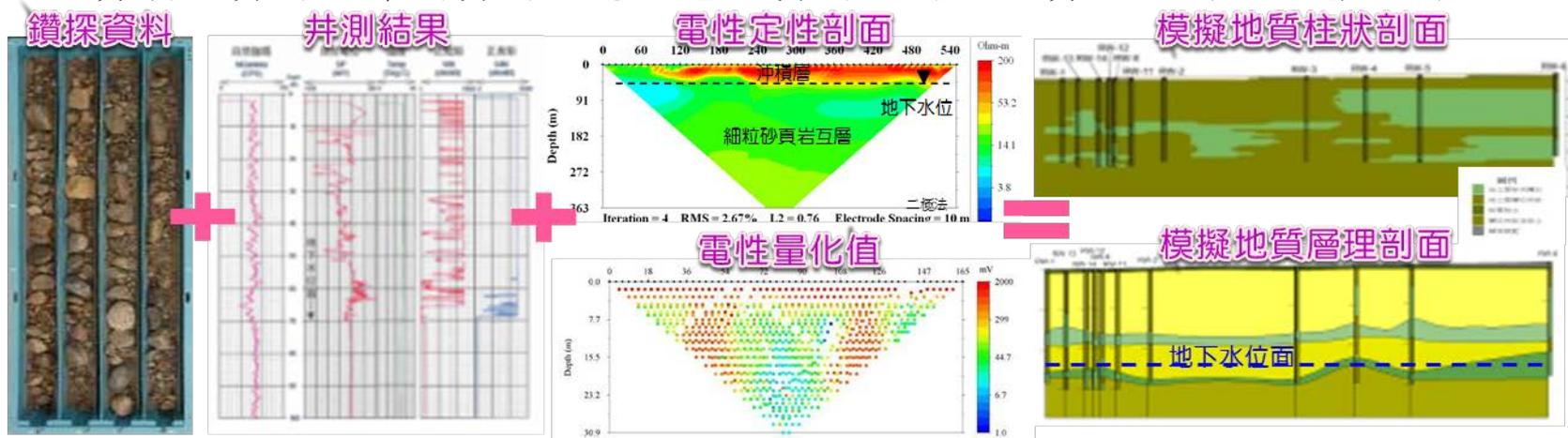
Laser Induced Fluorescence (LIF) technology or plume apping and PAH and BTEX, phenols and fuels



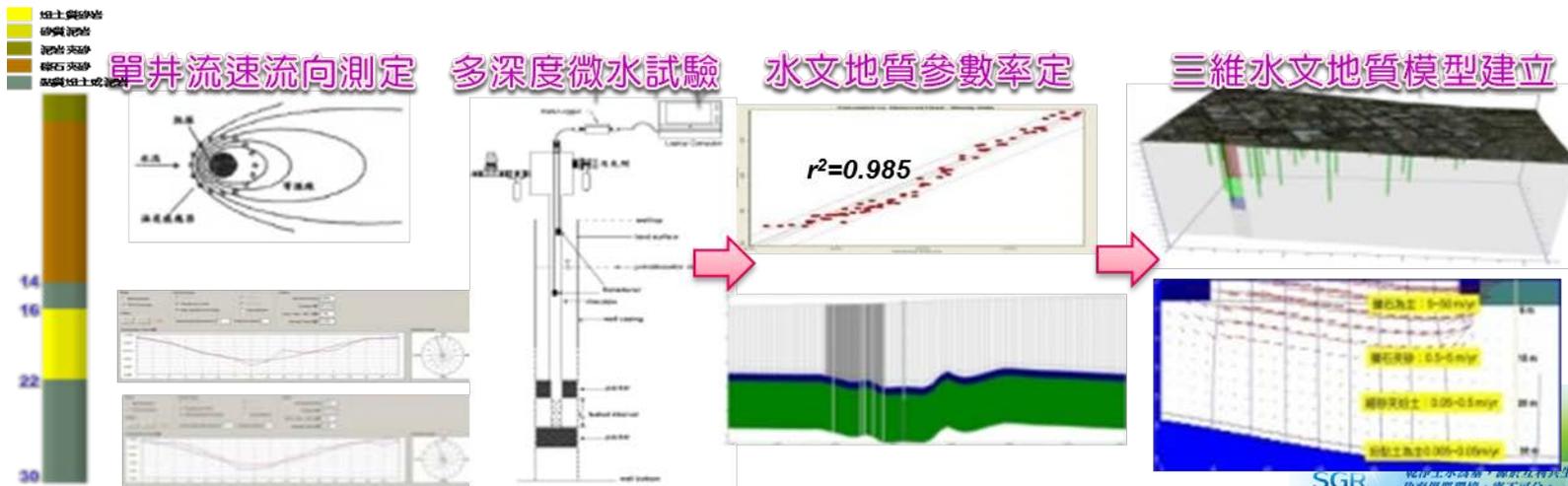


水文地質特徵概念模型

❖ 地質鑽探資料、井測資料、電阻量化資料，建立地質柱狀剖面、層理剖面



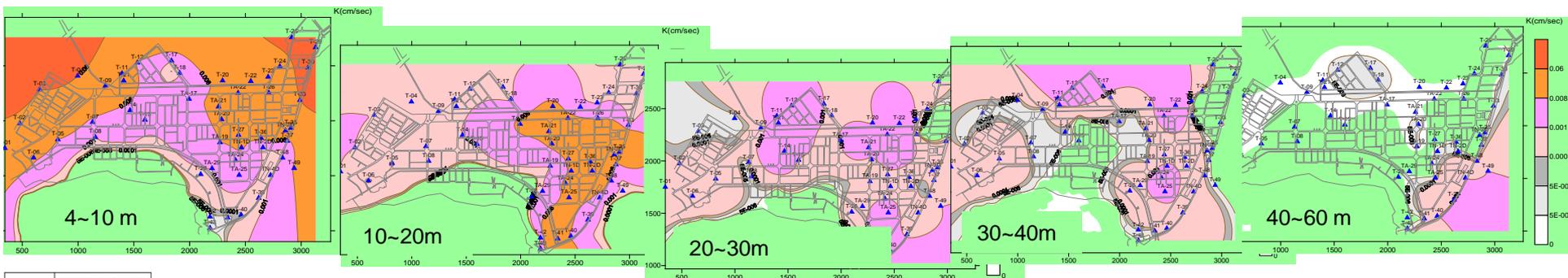
- ❖ 單井流速流向測定、多深度微水試驗，掌握垂直向異質性含水層及優勢流徑
- ❖ 長期水位監測與時頻分析，評析區域性與局部流場受自然或非自然因素影響





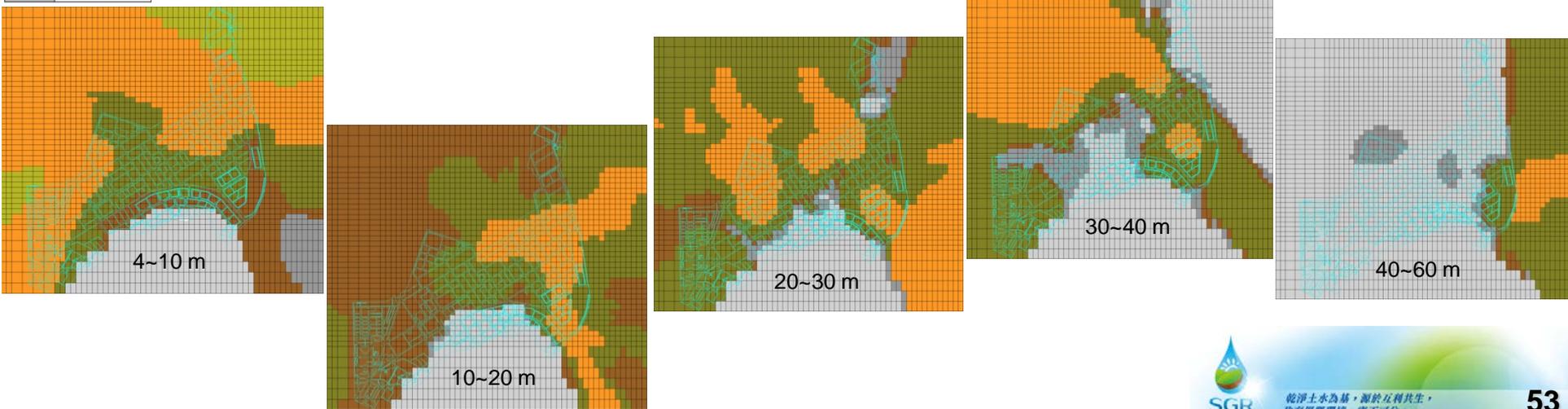
地質概念模式建立量化資訊

❖ 根據鑽探分析、水力試驗、經驗模式分析K值空間分佈



K (cm/sec)	
0.1	
0.008	
0.001	
0.0001	
5×10^{-5}	
5×10^{-6}	

❖ 根據K值分佈建立初步量化地質模型

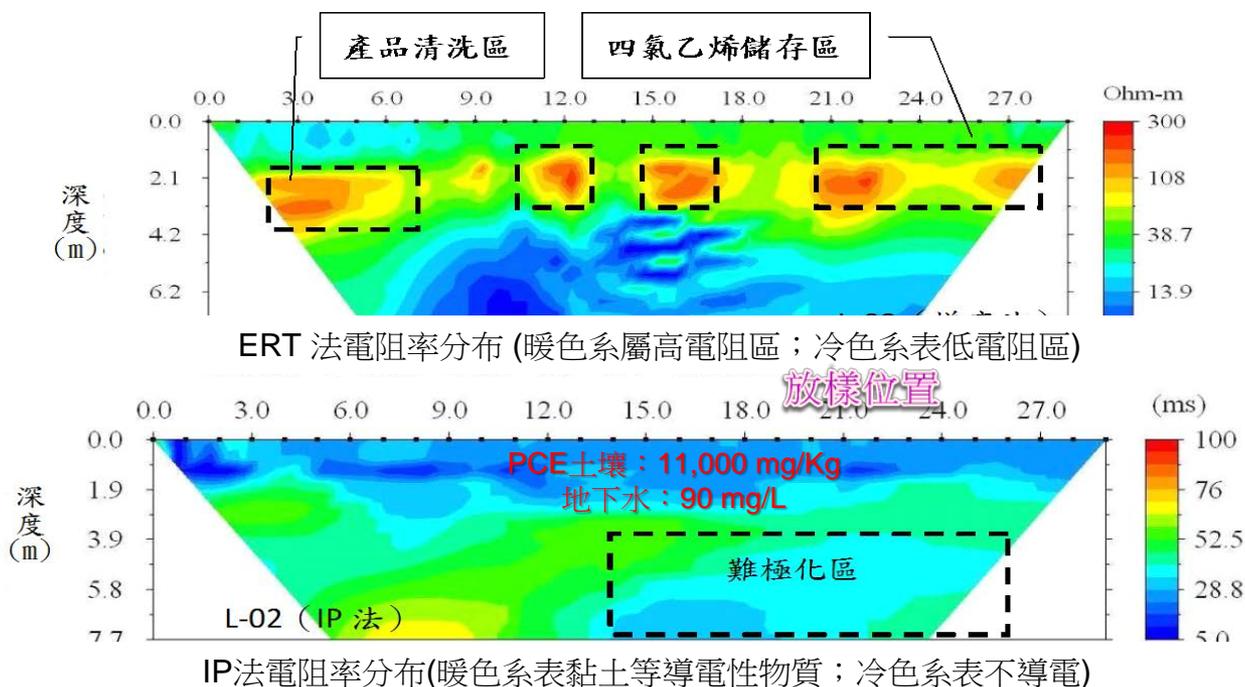




污染源評析 - 地球物理 IP / SIP 法

- ❖ 地電阻影像法已普遍應用在污染調查，當污染物為相對高電阻率，地下粗礫、結構物可能造成偽陽性；若有無機鹽類入侵或鹽度過高的土質，可能造成偽陰性。
- ❖ 感應極化法 (Induced Polarization, IP) 利用極化地層中物質，如黏土、金屬等，進一步解析地層極化現象 (NAPL 難極化)，釐清異常剖面屬天然構造或外來物質。
- ❖ 頻譜感應極化法 (Spectral induced polarization, SIP) 根據各類污染物頻譜分布，發展污染定性探測。

某四氯乙烯場址運用 IP 法界定 DNAPL





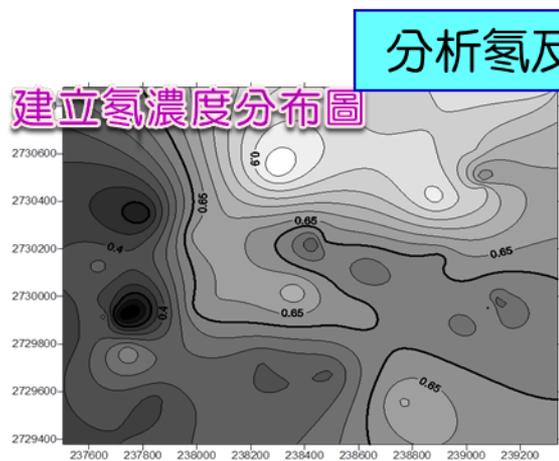
污染源評析 - 氬氣靜態/動態分析

❖ 採樣監測井增加靜態地下水氬氣採樣分析

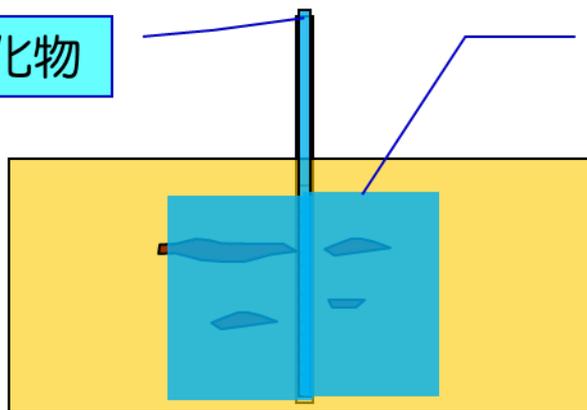
- 建立靜態地下水中氬氣濃度分布圖，縮限可能污染源區分布範圍

❖ 篩選高潛勢井進行動態氬氣濃度比值分析

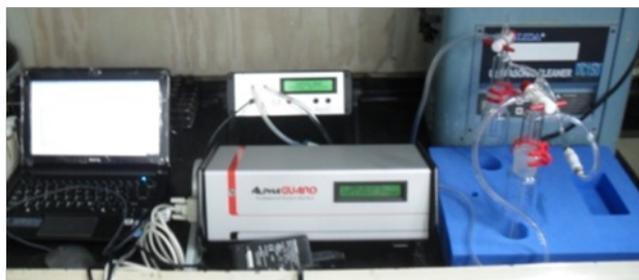
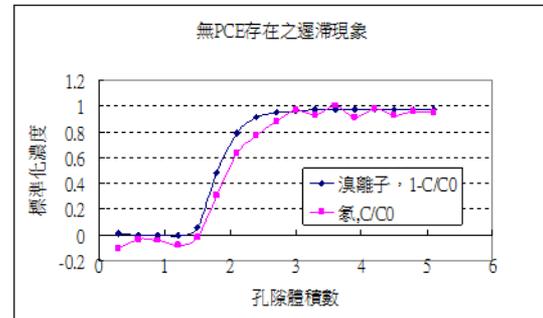
- 依氬氣靜態分析結果，於異常區篩選高潛勢井進行動態氬氣濃度比值分析，藉由注/抽試驗之貫穿曲線推估污染源區可能分布位置與 DNAPL 可能殘留相



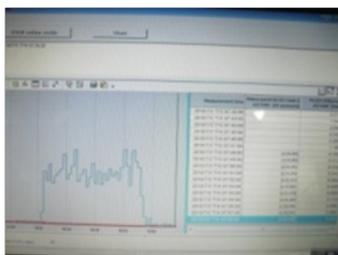
分析氬及溴化物



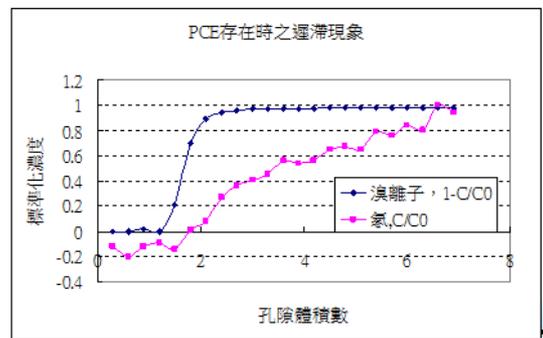
Radon free water with bromide



AlphaGUARD 現場分析氬



溴離子偵測儀

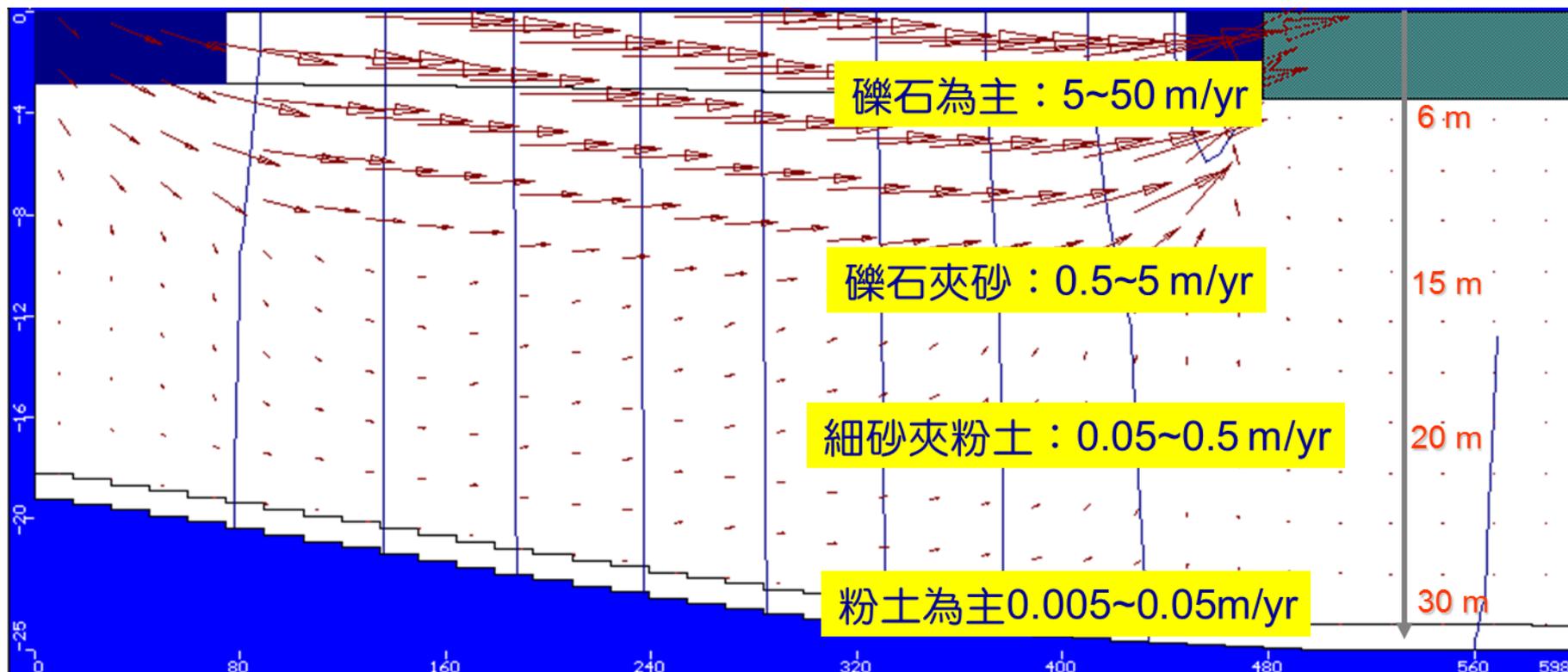




含水層流場變化分析

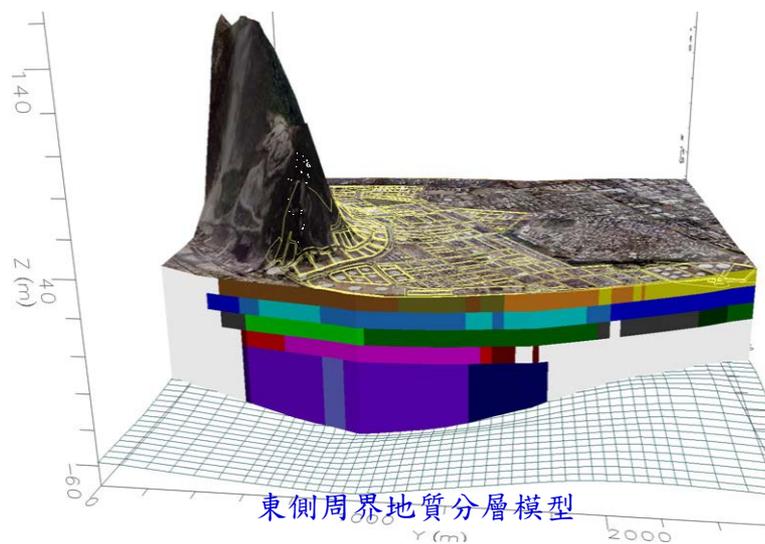
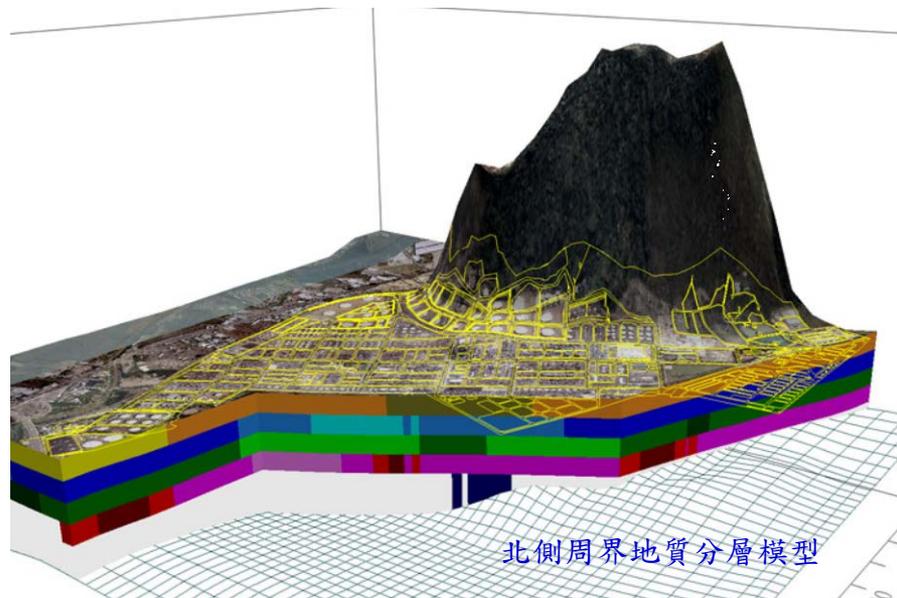
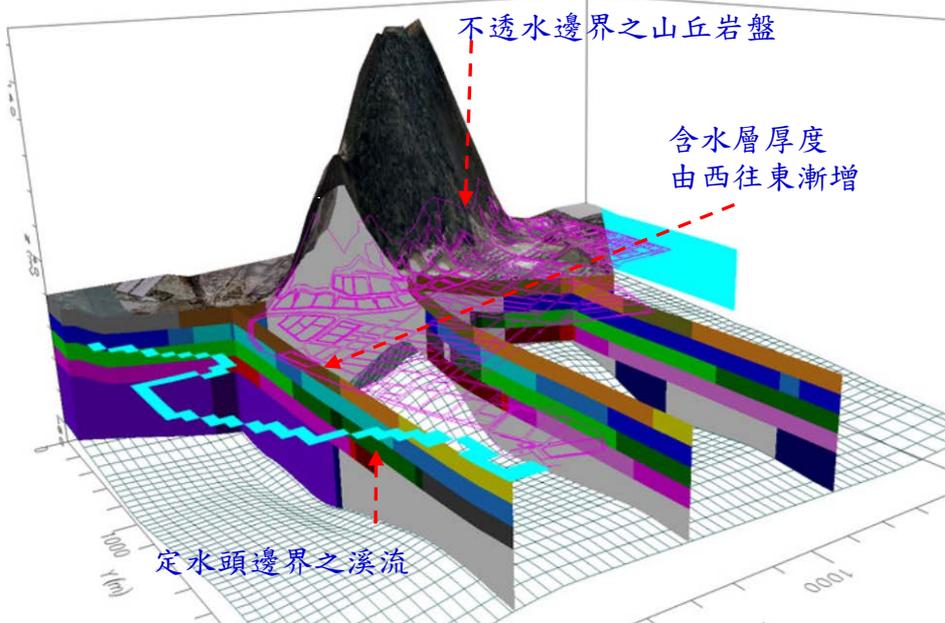
- ❖ 愈往下層地質滲透性愈差
- ❖ 下層污染會受流場影響持續污染中上層

某場址案例





水文地質空間架構





參、污染場址調查案例

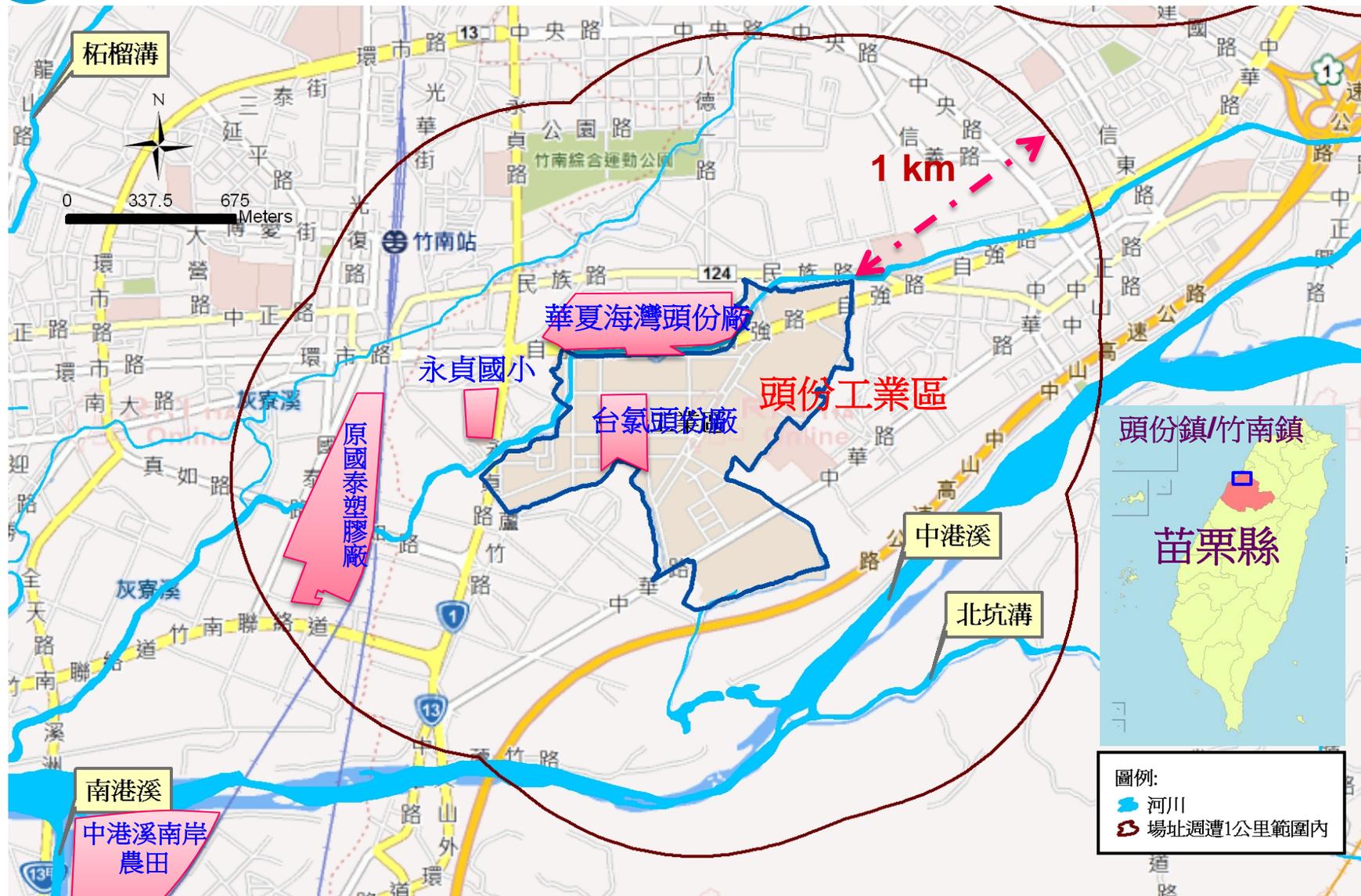
- 頭份竹南地下水污染
- 臺南永康地下水污染



案例一 中港溪地下水污染及調查



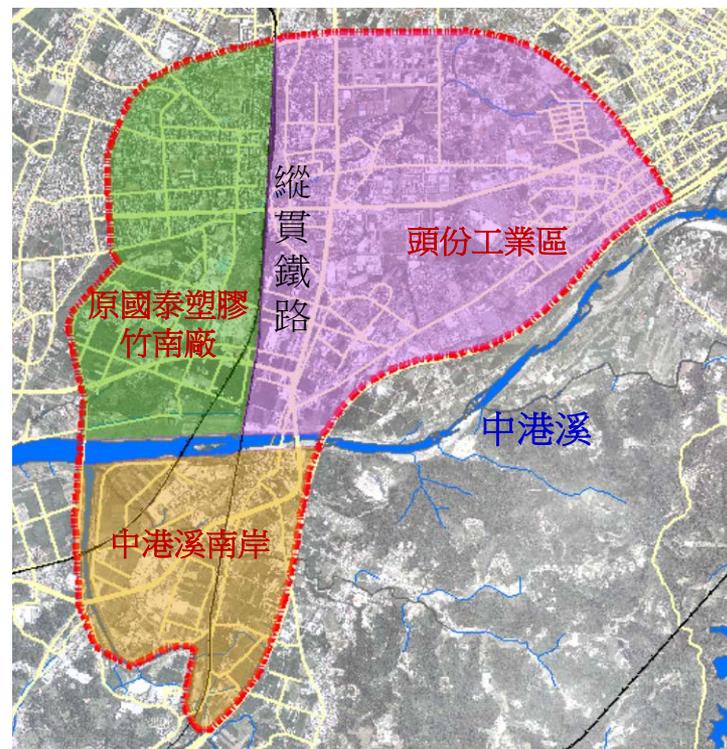
地理位置





場址簡介

- ❖ 自民國 84 年以來，環保機關陸續於台氣頭份廠、原國泰塑膠竹南廠、華夏海灣塑膠等處及中港溪南、北岸民井，發現地下水遭受含氯有機物嚴重污染，地下水污染列管面積約 40 公頃。
- ❖ 環保署「高污染潛勢工業區污染源調查及管制計畫(第一期)」調查發現頭份竹南地區地下水污染已擴及低滲透性滯水層及第二含水層（污染達地表下 80~90 公尺），VC 達幾十 mg/L。
- ❖ 本場址屬大尺度高度複雜污染場址，調查及整治面臨極大挑戰。



區域民井地下水質異常



國泰塑膠廢棄物掩埋



台氣頭份廠整治餘毒難除





水文地質特徵

第一層－礫石夾中細砂

- 地表下約 5 ~ 15 公尺
- 第一含水層（非受壓含水層）

第二層－細砂岩、泥岩、砂質泥岩、泥質砂岩等互層

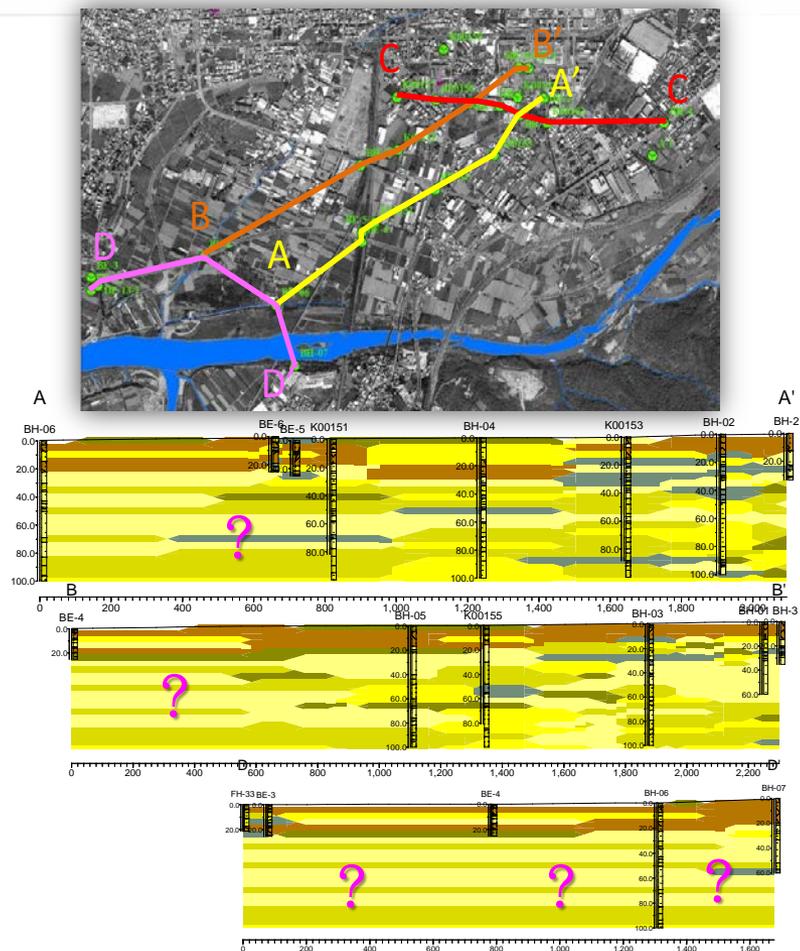
- 地表下約 15 ~ 35 公尺
- 互層明顯，滲透性較差，滯水層

第三層－砂岩、泥質砂岩偶夾薄泥層

- 地表下約 35 ~ 90 公尺
- 第二含水層（滲漏含水層；有受壓情形）

第四層－泥岩、砂質泥岩偶夾薄泥層

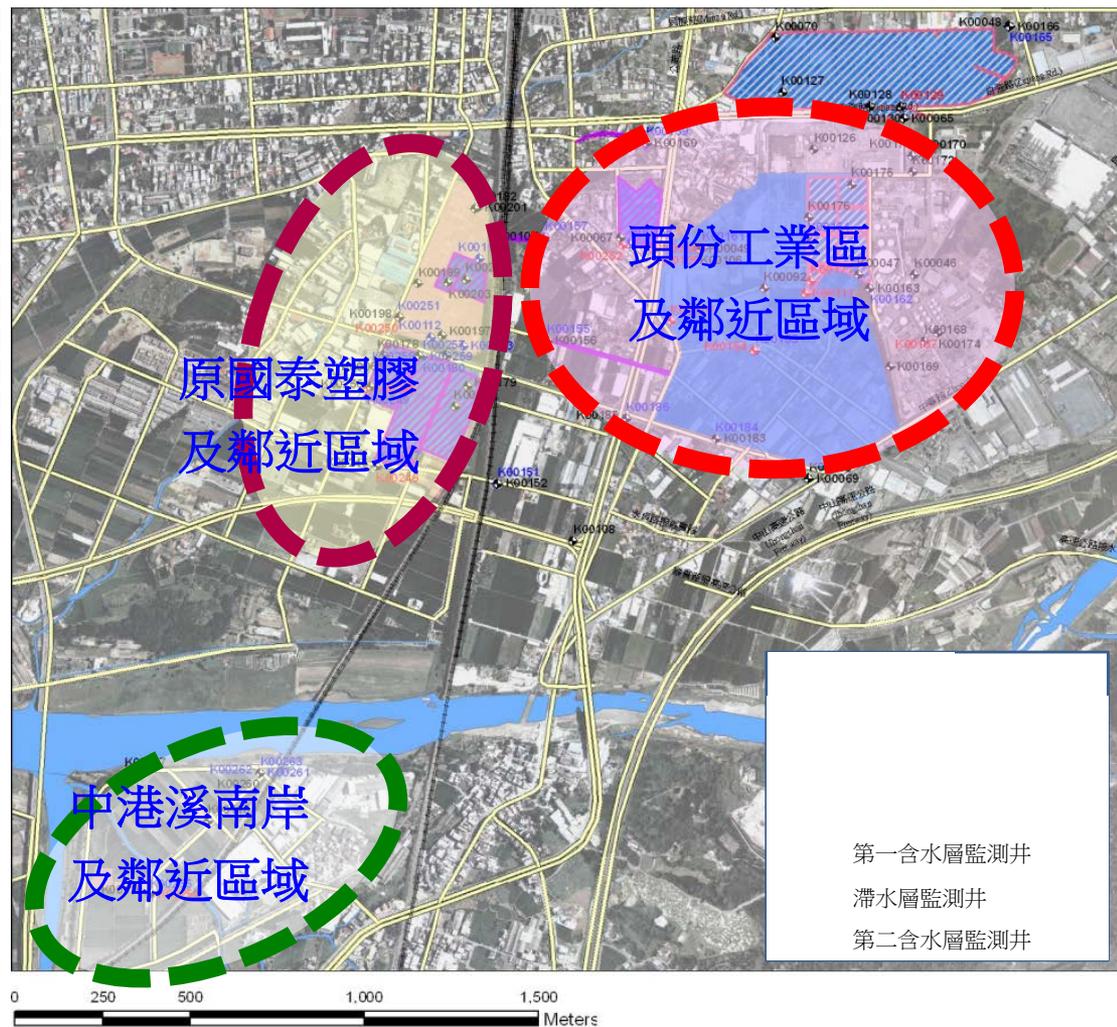
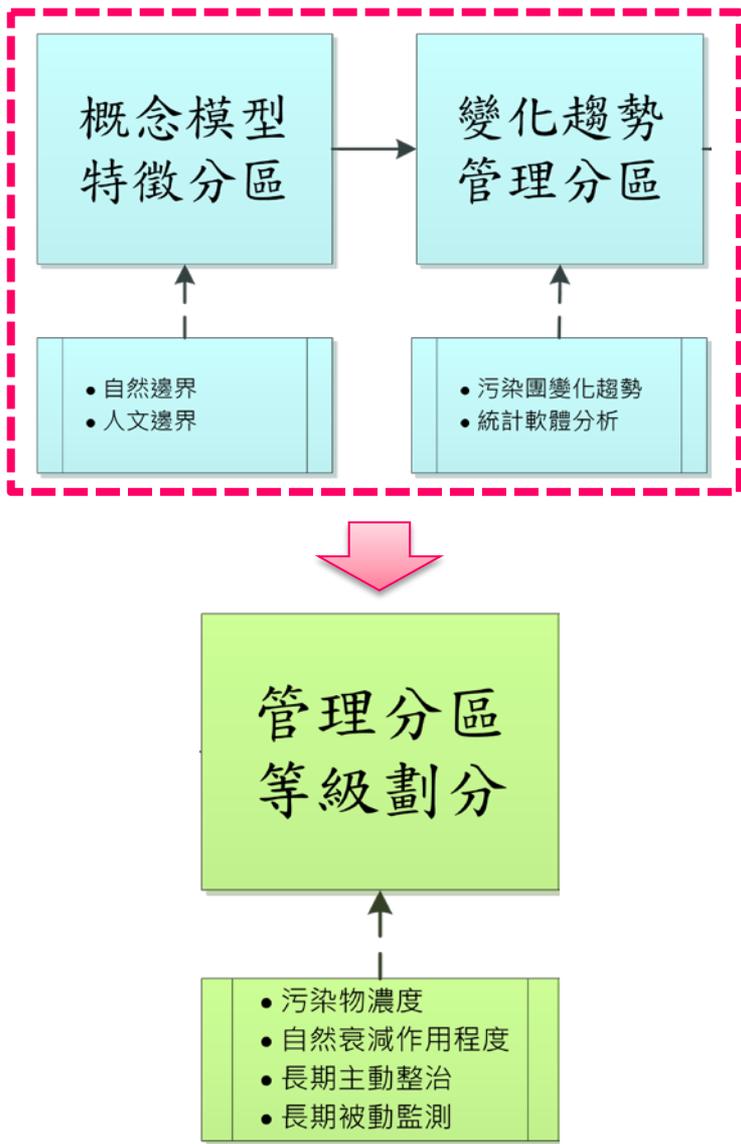
- 地質鑽探多至 100 公尺，實際厚度不明
- 滲透性較差，歸類滯水層



- ❖ A-A' 與 B-B' 剖面顯示地質複雜度往西南有趨緩
- ❖ 原國泰塑膠竹南廠南側、中港溪與南港溪交會鄰近區域滯水層及第二含水層分布不明
- ❖ 欠缺整合性水文地質模型



管理分區劃分



第一含水層監測井
滯水層監測井
第二含水層監測井

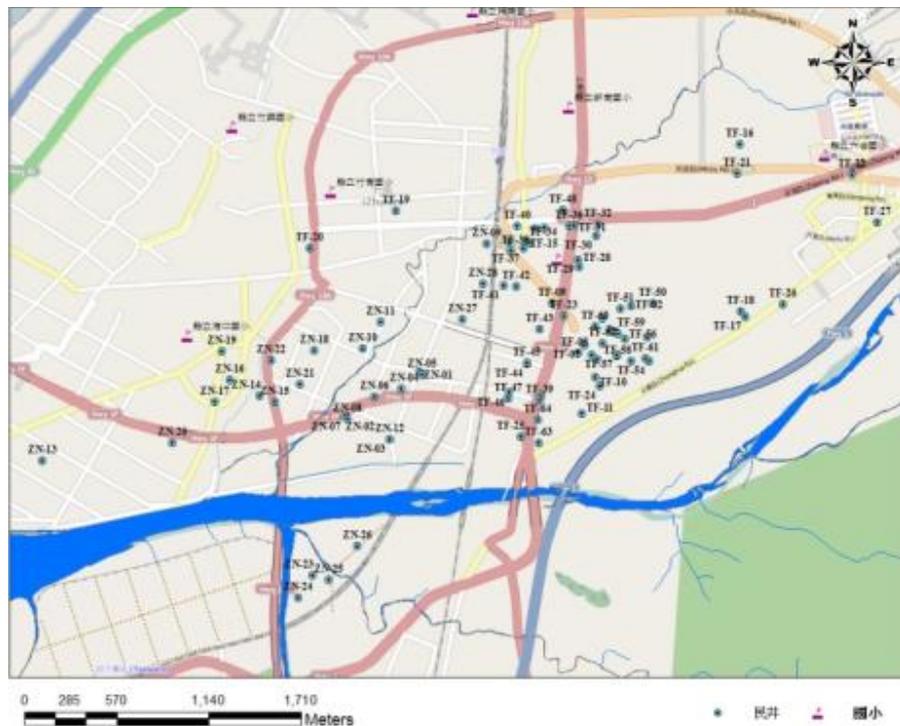


監測井分布現況

- ❖ 歷年調查多集中頭份工業區及鄰近區域，約78口地下水監測井。
- ❖ 92口民井遍布三大污染區，38口曾超過第一類標準（頭份：35口、竹南：3口）



78 口環保監測井



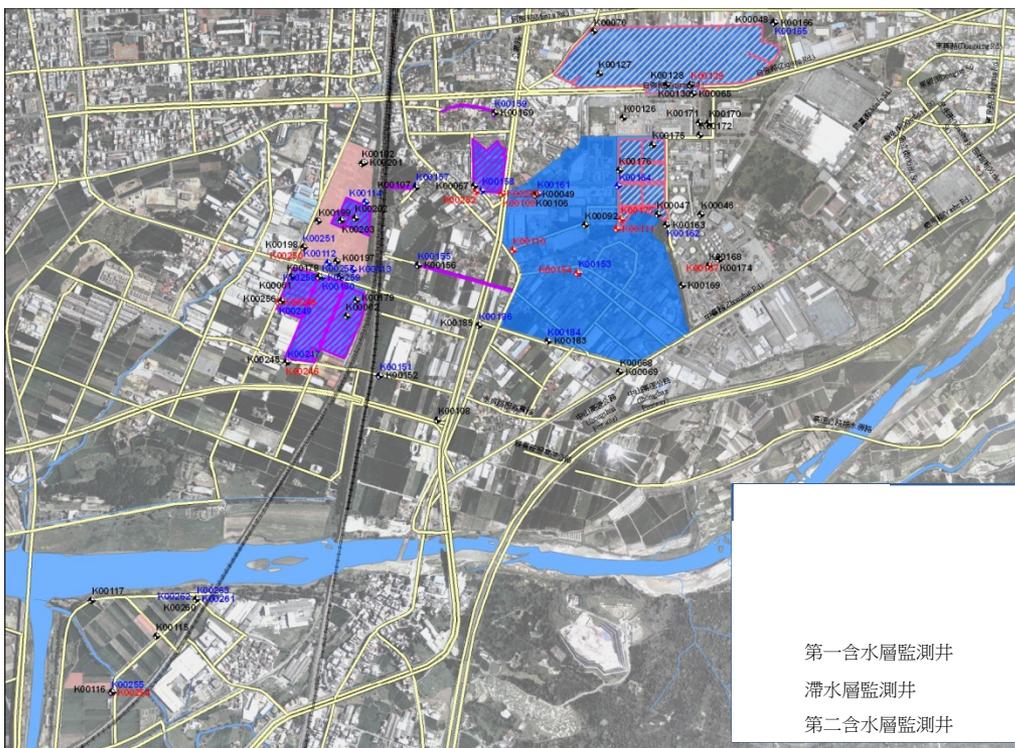
92 口可用民井



地下水監測井採樣分析

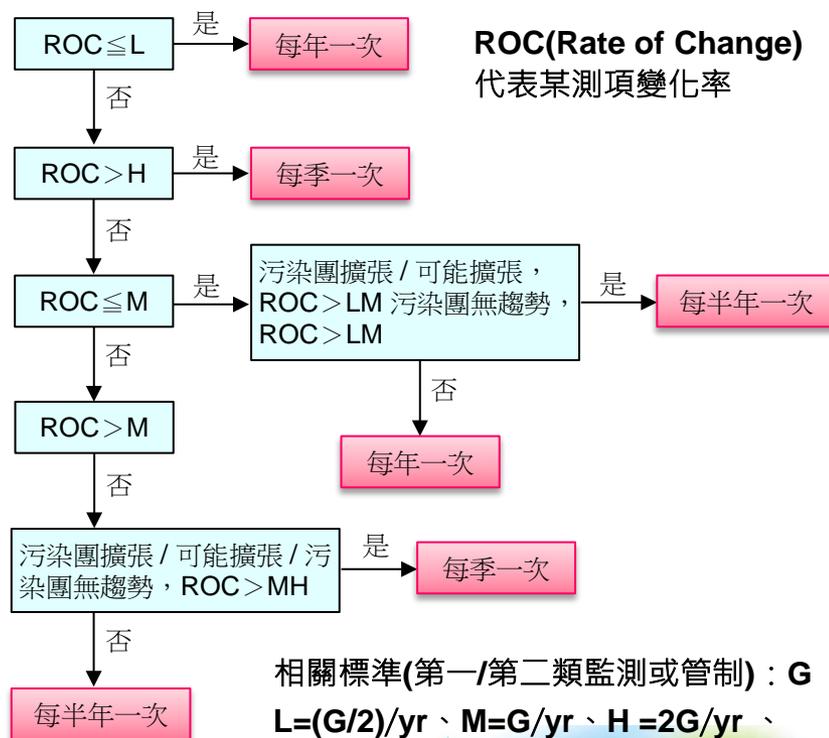
- ❖ 歷年調查多集中頭份工業區及鄰近區域；北岸污染已達第二含水層底部，南岸深度不明。
- ❖ 歷年監測數量龐大但不均（2~11次），依據過去監測數據資料，統計分析規劃各監測頻率。
- ❖ 目前已針對既有監測井進行1~3次採樣分析；新設井則進行2次採樣分析。

監測井分布概況



0 250 500 1,000 1,500 Meters

近期趨勢評析測項頻率



相關標準(第一/第二類監測或管制)：
 $G = (L+M)/2$ 、 $L = (G/2)/yr$ 、 $M = G/yr$ 、 $H = 2G/yr$ 、
 $LM = (L+M)/2$ 、 $MH = (M+H)/2$





監測井補充設置



設定高污染潛勢區及地下水流向
模擬既設監測井 ME 值

ME 值 < 90% 區域規劃監測井

依補充調查結果調整 ME 值

監測井增設

ME 建議值為 90%

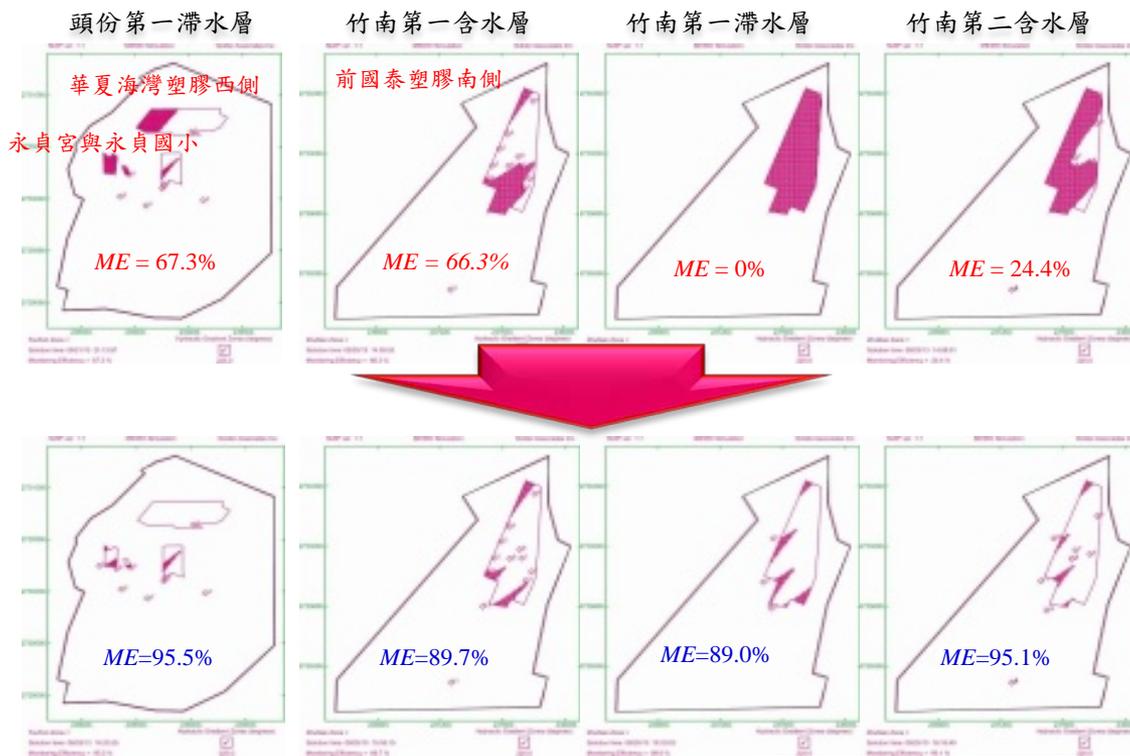
永貞宮與永貞國小下游
增設 2 口滯水層監測井

前國泰塑膠竹南廠西南側
增設 1 口第一含水層監測井

前國泰塑膠竹南廠西南側
增設 3 口滯水層監測井

前國泰塑膠竹南廠西南側
增設 3 口第二含水層監測井

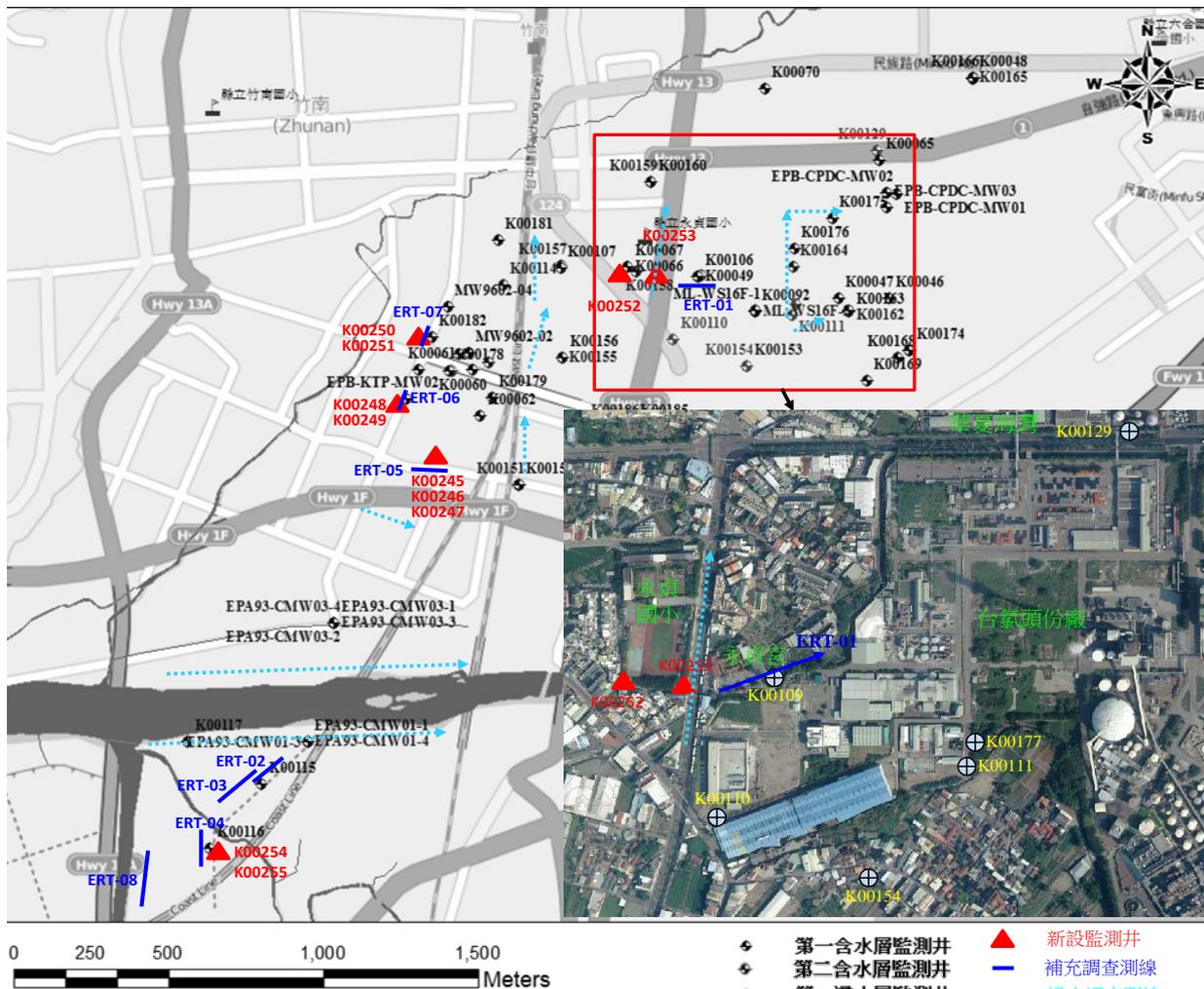
南岸滯水層、第二含水層各增設 1 口





水文地質補充調查

❖ 高污染潛勢區（華夏廠、台氣廠、永貞宮、永貞國小、原國泰塑膠、中港溪南岸）及下游補充水文地質調查；整合歷年調查資料建立水文地質模型



- ❖ ERT 調查作業：6 場 380 m
- ❖ GPR 調查作業：8 場 480 m
- ❖ 多重式井測：10 口
- ❖ 單井流速流向：10 口（1~3 處深度）
- ❖ 現場水文試驗：10 口（1~3 處深度）

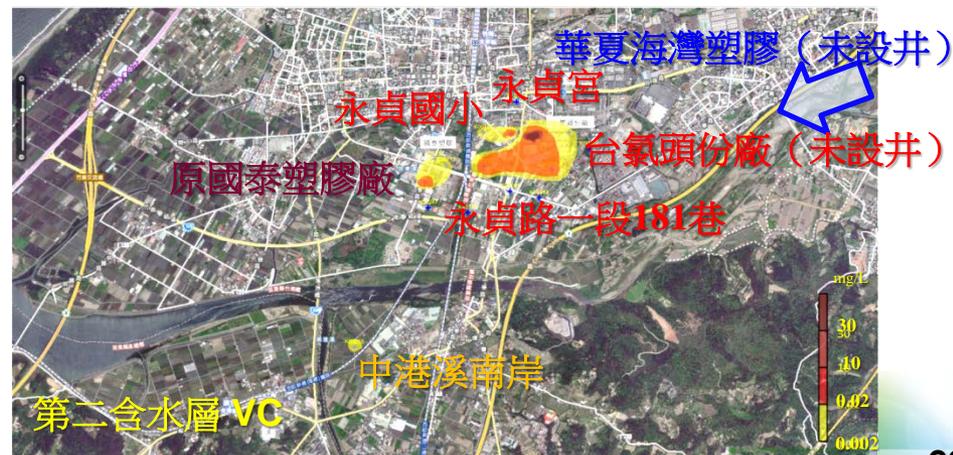


乾淨水為基，測於互利共生，
孕育優質環境，務不可分。



頭份竹南地區污染分布評析

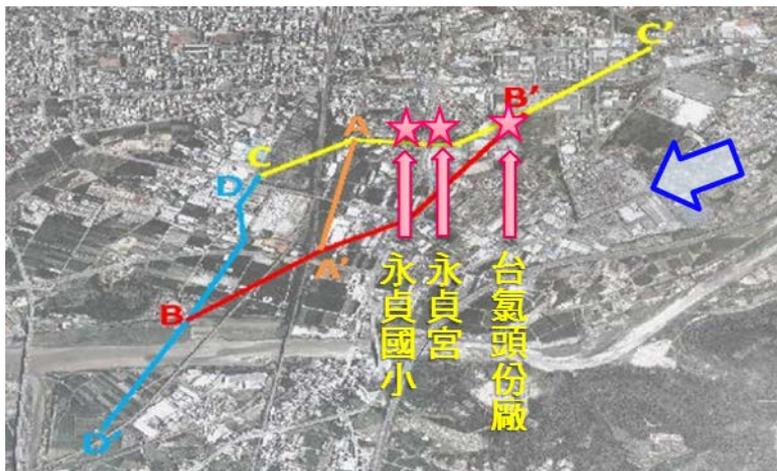
- ❖ 模擬推估不確定性：大尺度高度複雜場址、多口抽水井可能不定時抽水，易誤判污染範圍。
- ❖ 可能污染分布評析：依歷年曾超過管制標準監測井、歷年調查污染可能相關性，進行推估。



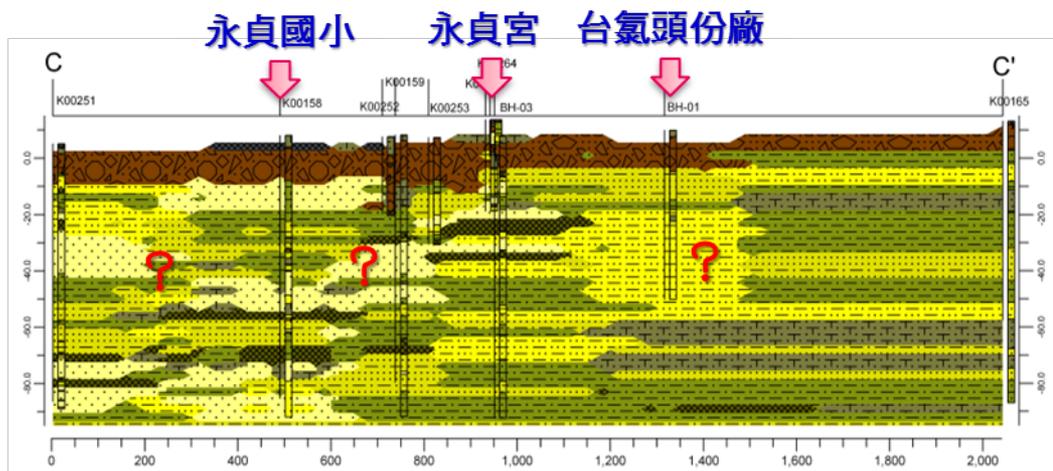


量化地質概念模型建置更新

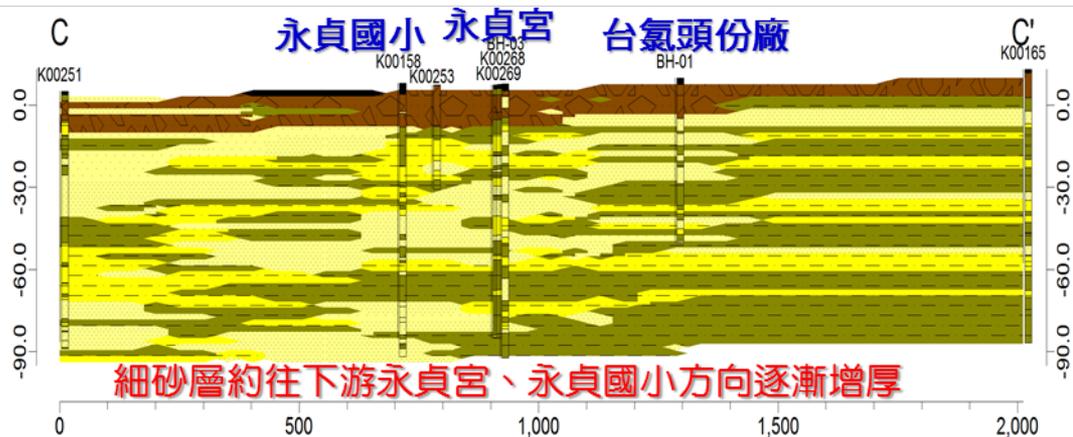
❖ 地質剖面線分布



❖ 沿地下水流方向之地層分布充滿高度不確定性



❖ 結合電性資料與地層因子轉換後之地質柱狀剖面

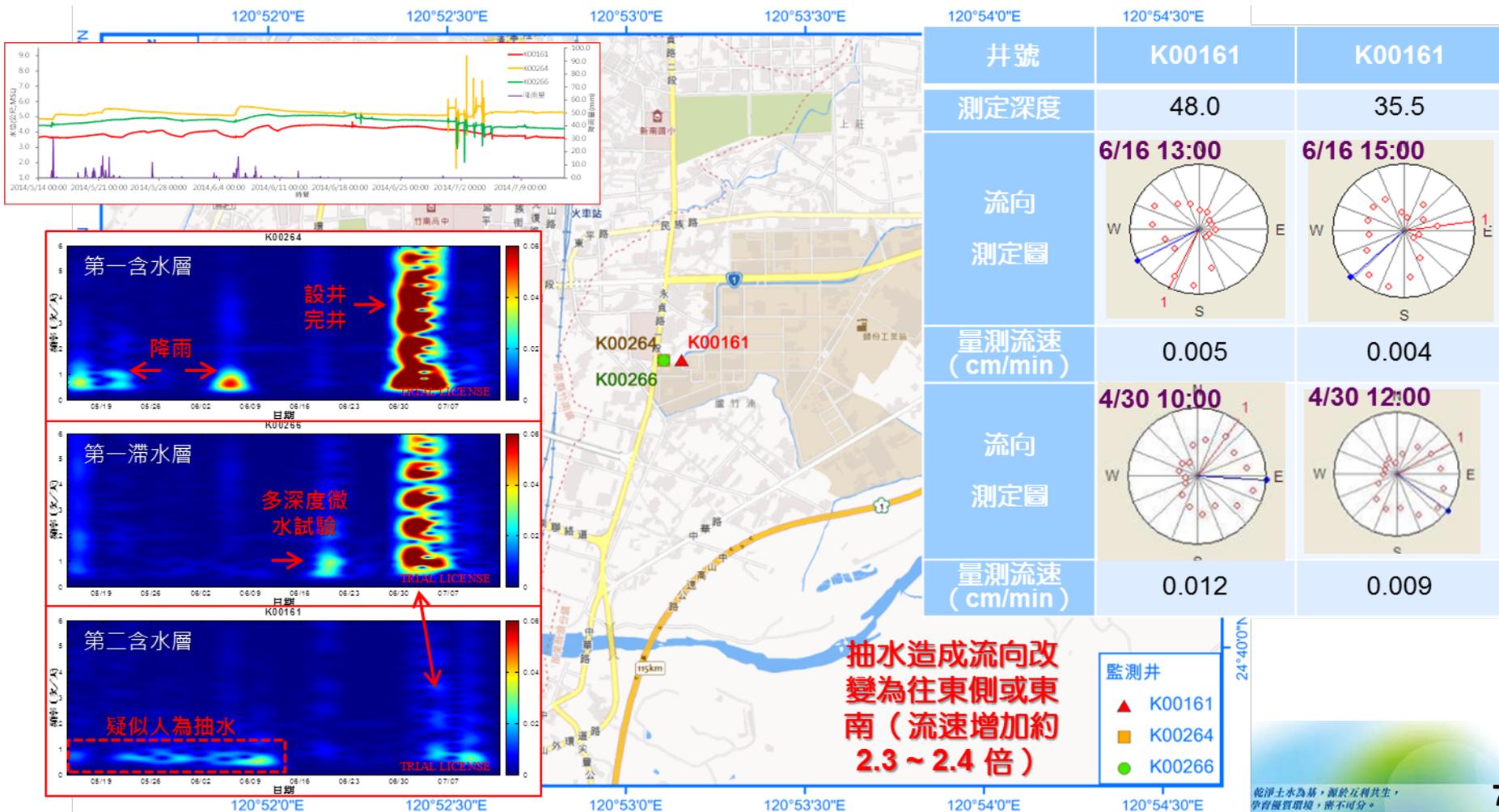


	混凝土		礫石夾砂		砂夾粉土		砂質粉土		粉質黏土或黏土
	回填土		砂		粉土質砂		粉土夾砂		



長期水位監測頻譜分析結果

- ❖ 水頭：第一含水層 > 滯水層 > 第二含水層
- ❖ 第一、二含水層變動跡象類似（降雨、設井、完井等），顯示含水層間可能存在連通性
- ❖ 第二含水層時頻圖顯示，疑似有人為因素擾動（例如：抽水）





水位觀測與區域流場評析

❖ 地下水位觀測

- 頭份工業區、原國泰塑膠廠兩大區，第一含水層 11 口、滯水層 8 口、第二含水層 11 口，共 30 口。
- 利用 Visual Signal 軟體，釐清自然或非自然流場干擾因素，建立三水層流場。

❖ 區域地下水平均流場

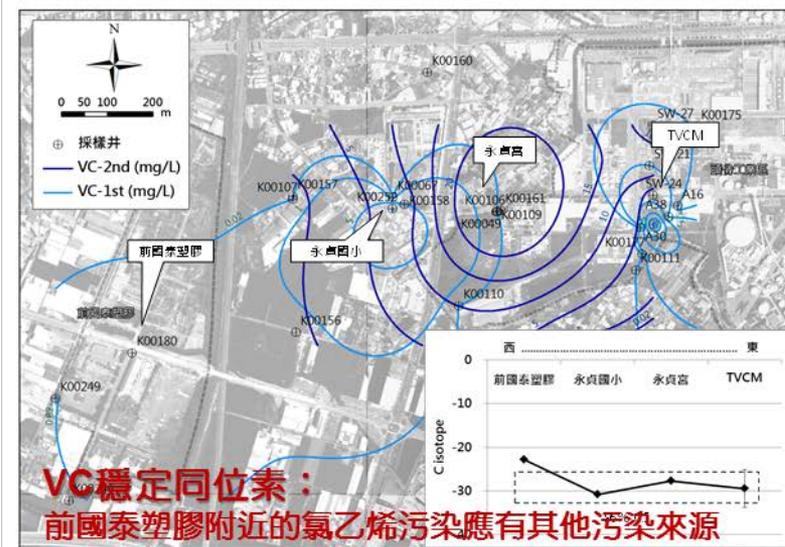
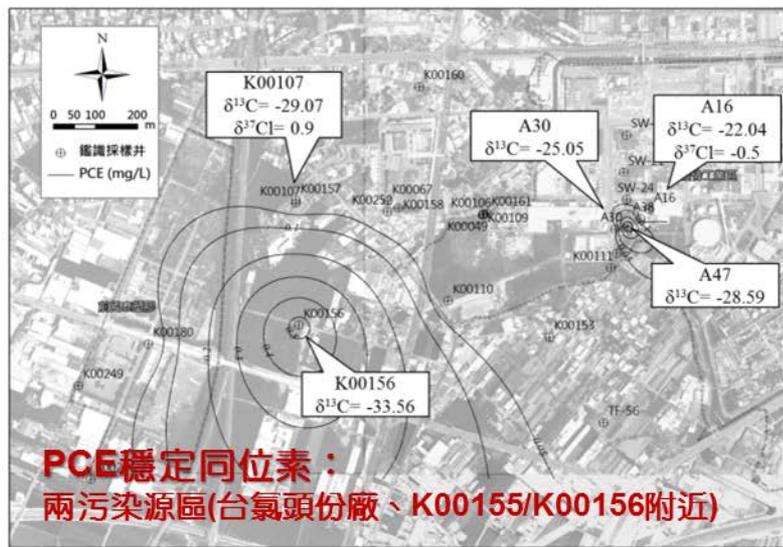
- 第一含水層：大致為東北往西南。
- 滯水層：約為東往西(下游偏西南)。
- 第二含水層：大致為東北往西南。





潛在污染源追查 - 穩定同位素

❖ 「應用環境鑑識技術調查含氯碳氫化合物污染場址之污染來源計畫」





地下水中氬氣比值分布

❖ 各水層氬氣比值分布推估可能來源

第一含水層：

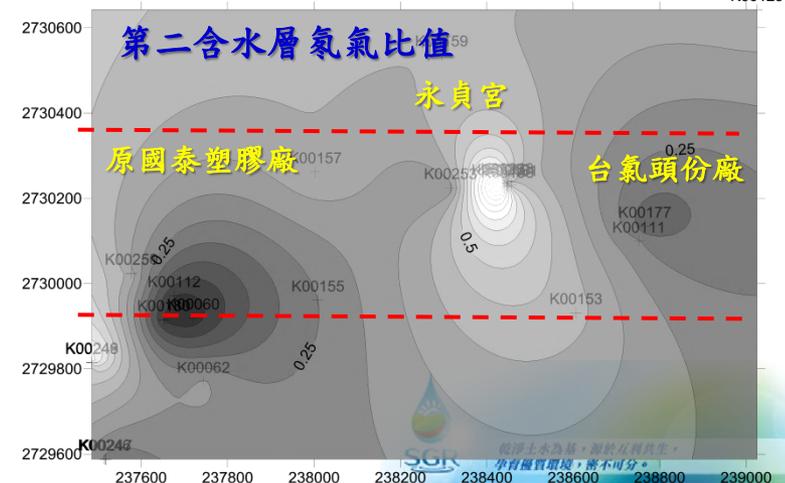
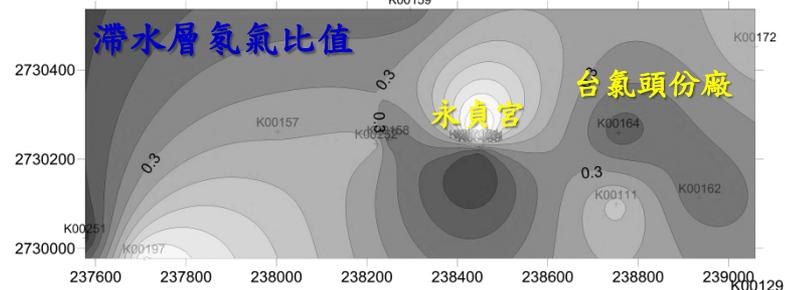
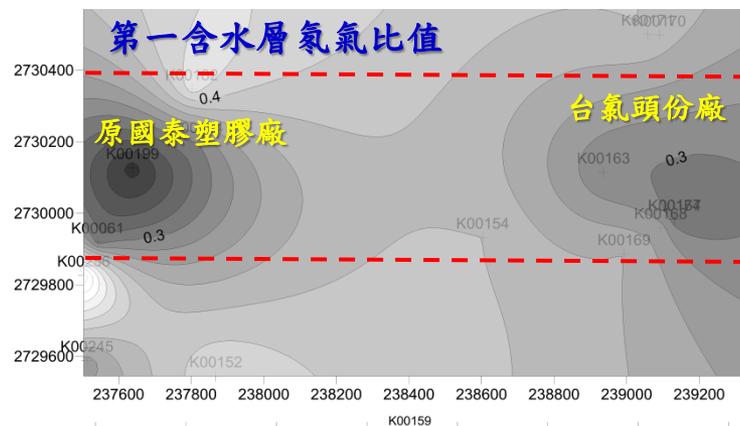
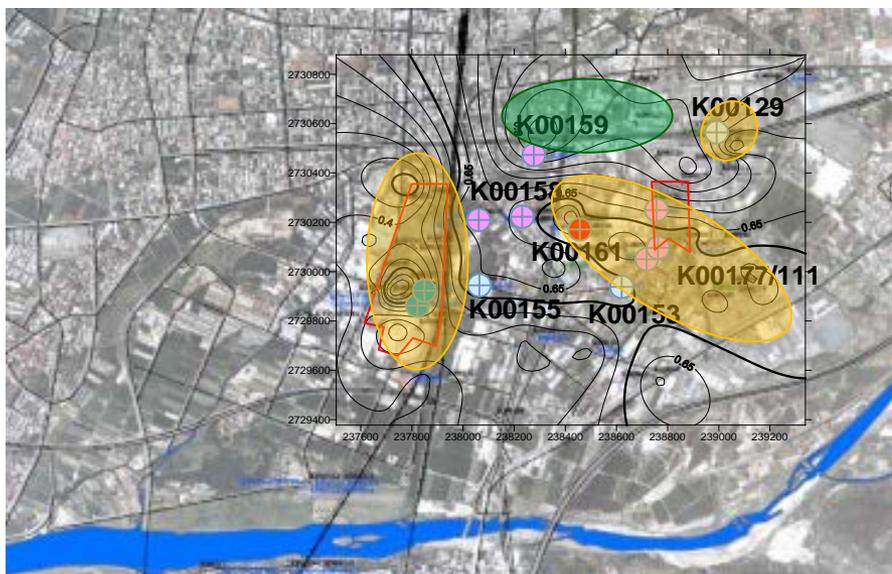
- 兩污染源區：台氣頭份廠、原國泰塑膠廠

滯水層：

- 三污染源區：台氣頭份廠、永貞宮、原國泰塑膠廠
- 永貞宮低氬氣比值，可能為進入低滲透性地層(坩黏土)之大量污染溶質形成持久性污染源

第二含水層：

- 兩污染源區：台氣頭份廠、原國泰塑膠廠
- 永貞宮污染濃度偏高，但氬氣比值高，污染應來自台氣頭份廠

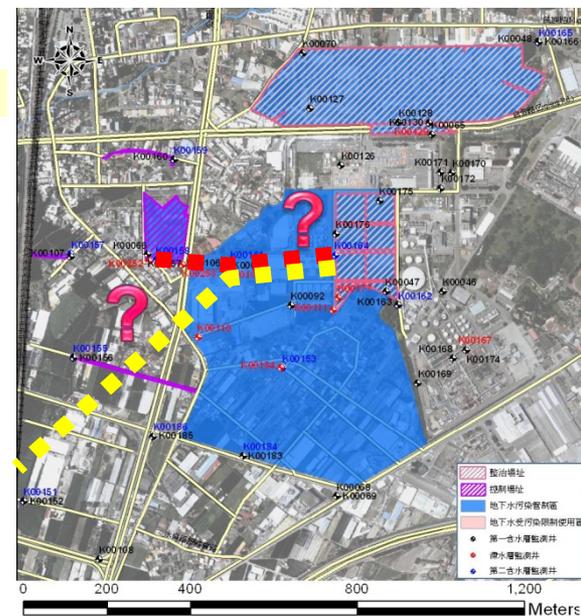
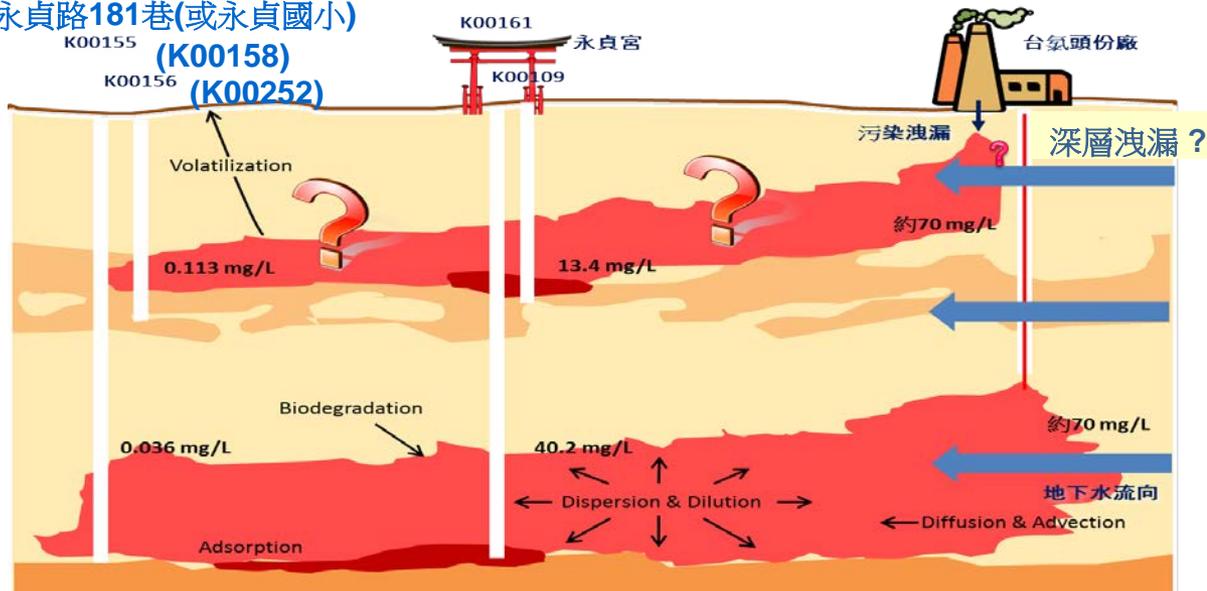




頭份工業區污染傳輸概念

- ❖ 以現階段**水文地質/地下水質/氬氣/含氯鑑識結果**，初步建立頭份工業區概念模型
 - 台氣頭份廠→永貞宮→永貞國小(或永貞路181巷)沿線：各含水層污染均自台氣頭份廠
 - 縱貫鐵路東西兩側 VC 分屬不同污染來源：頭份工業區台氣頭份廠、原國泰塑膠竹南廠
 - 頭份工業區下游可能另有其他污染來源：同位素顯示 K00156 另有 PCE、TCE 來源

永貞路181巷(或永貞國小)





案例二 臺南永康地下水污染評估調查



場址背景

❖ 地理位置

- 場址位於中山高永康交流道西側約 200 公尺附近。
- 場址分布有零星工廠聚落，東北側多農地，西側多住宅。

❖ 場址背景

- 環保署 90 年調查永康交流道加油站發現**含氯有機物污染**。
- 歷年調查發現 A、B、C 區污染範圍，總面積約 7 公頃。
- 已初步界定二處污染來源（B、C 區），但**高污染區分布及污染團受水文地質影響流布則未知**。
- 歷年已執行抽水、AS/SVE、奈米零價鐵試驗，及**二道生物牆攔截下游污染團**，未針對高污染區進行改善。





歷年調查摘要

環保署 90、91 年調查

- 氯乙烯類污染物濃度超過第二類地下水污染管制標準

環保局 92 年 1~9 月計畫

- 地下水 TCE、DCE 及 VC 超出管制標準
- 土壤污染未超標

環保局 94、95 年計畫

- 地下水流高濃度污染集中中正北路南北二側
- A 區 34 筆土地為地下水受污染使用限制區

環保局 97、98 年計畫

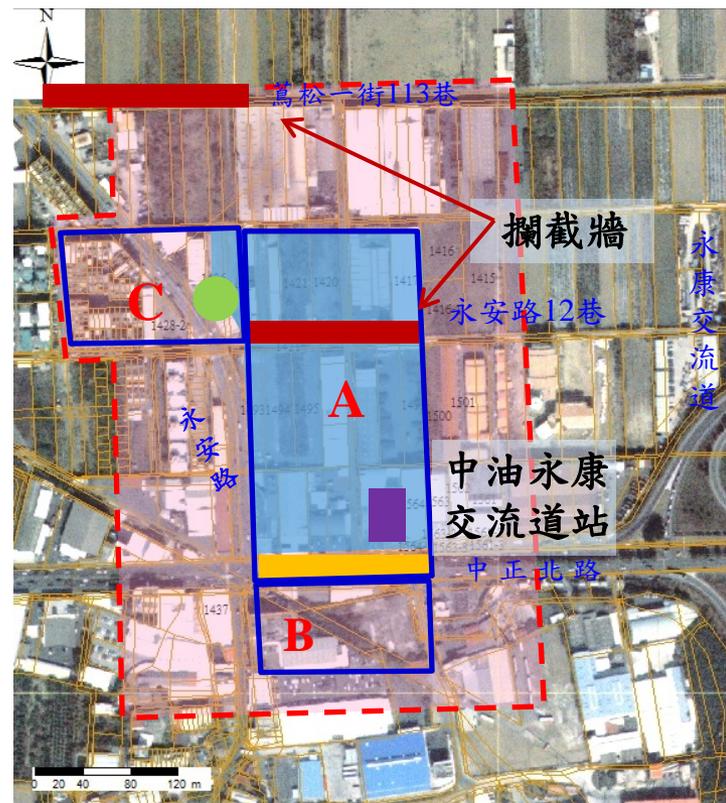
- 實驗室管柱試驗與現地生物整治模場試驗顯示厭氧環境可降解 TCE、cis-1,2-DCE 等關切物質
- 環境中存在 TCE 降解菌株 *Dehalococoides sp.*
- EPB-MW1 與 A 區不相似無直接相似關係存在

環保局 99 年 8 月~100 年 8 月計畫

- 污染源頭追查，確立 A、B 及 C 三區域之劃分
- C 區污染最深達 17 公尺
- 污染邊界已擴散至 蔦松一街 113 巷以南區域

環保局 101 年 7 月~102 年 9 月計畫

- 兩道整治牆：永安路 12 巷、蔦松一街 113 巷
- 原始污染位於 B 區及 C 區；A 區為降解污染物

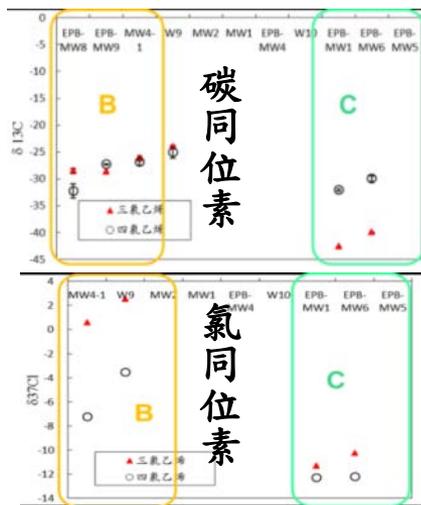




困難及問題點

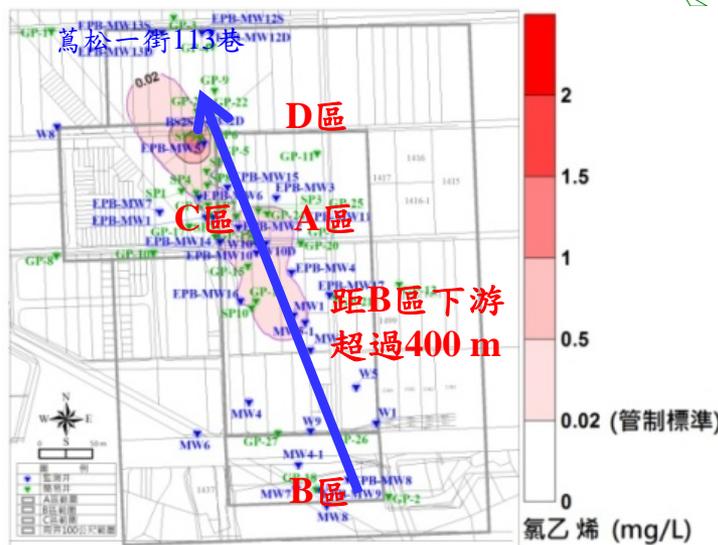
❖ 高污染區及污染團分布調查資訊不足

- 同位素確認 2 處污染來源
- B 區：鹽東段 817 地號
- C 區：鹽行段 1425、1426 地號附近



❖ 污染範圍持續擴大

- 氯乙烯污染團最遠已接近北側蔦松一街
- 目前已知 B、C 區污染深度達地表下 15~17 m



❖ 應變攔截系統效果不彰

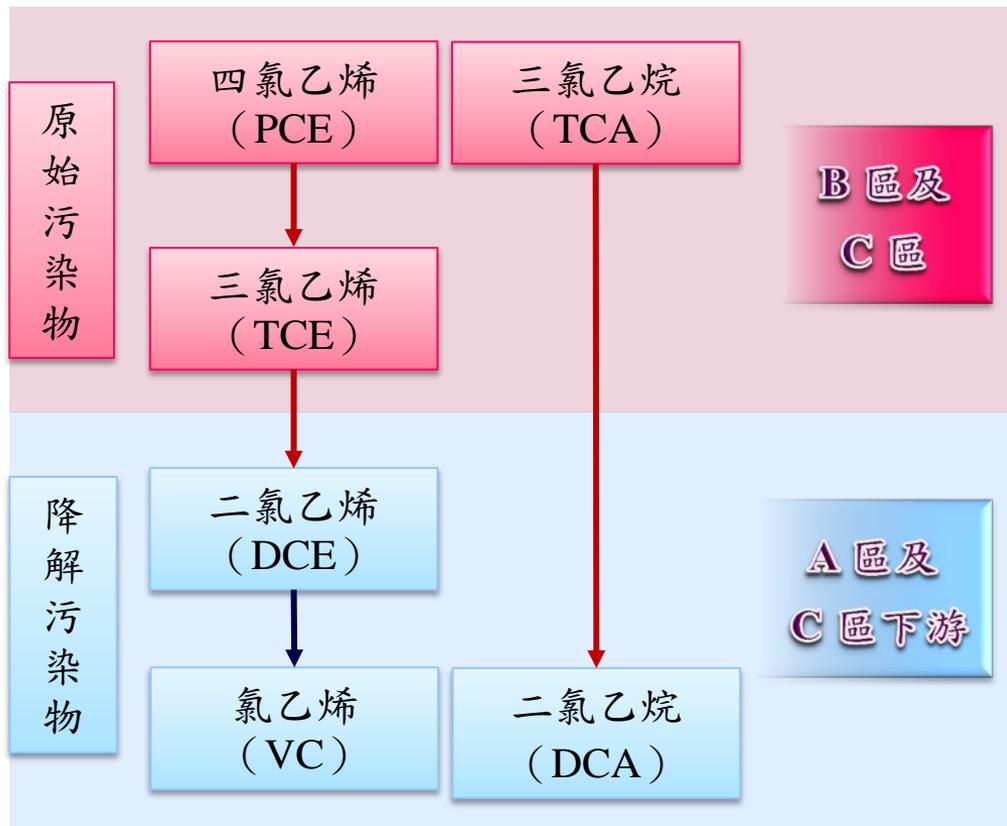
- 含水層受溪谷沖積影響，**粉黏土、細砂互層明顯**
- 灌注後藥劑**受限低滲透性地層與生物膜**致傳輸困難
- 試驗證實生物復育法可行，但降解產物(VC)累積明顯



101年度計畫「臺南市土壤及地下水含氯污染物場址調查暨整治技術論壇」：
臺灣地區使用生物整治含氯污染物為可行且經濟之整治技術，然而
如何達到有效之藥劑傳輸，是未來關鍵課題



水質變化趨勢(污染團分布)



❖ 氯化有機物：

- 低溶解度：成為地下水長期污染源
- 比重大於1：流布受地質異質性影響，整治困難

❖ 101 年度計畫：B、C 區污染深度達 15~17 公尺

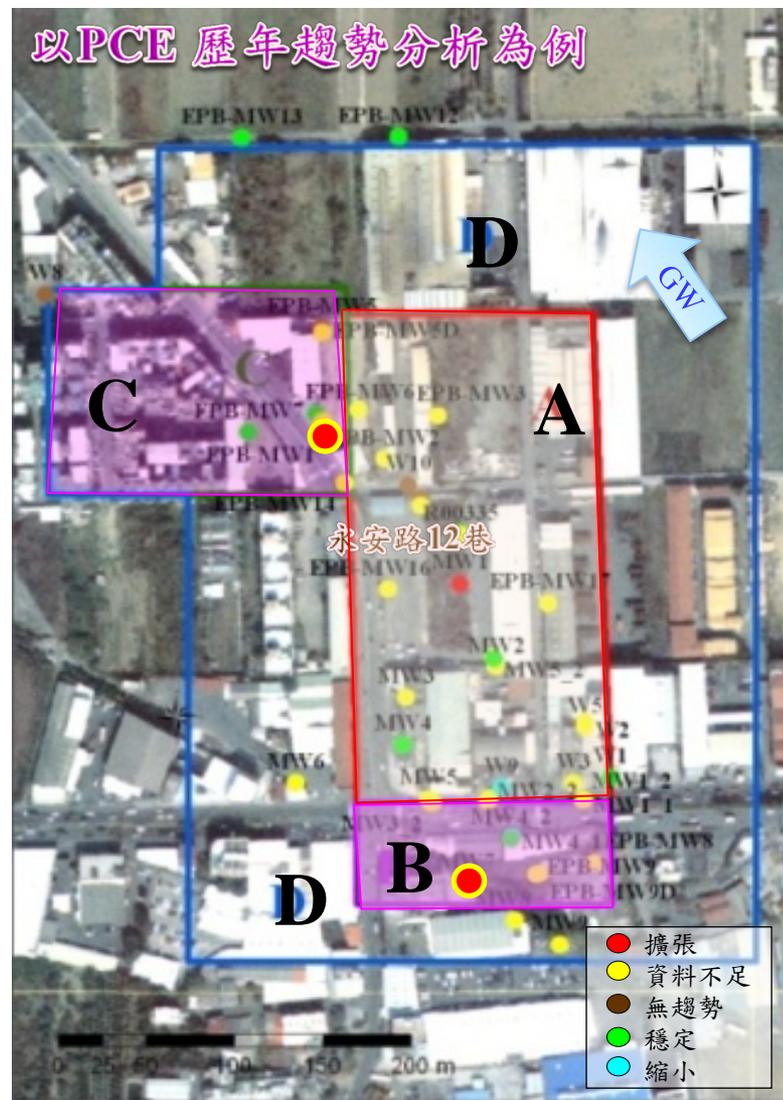
102年各污染物分布套疊示意圖





分區分級擬定調查規劃

- ❖ **B**區 PCE 有呈現攀升趨勢，**污染源區**，辦理必要**補充調查及先導試驗** → **主動整治**
- ❖ **C**區 1,2-DCA、PCE、TCE 及其降解物均有攀升，**污染源區**，辦理必要**補充調查及先導試驗** → **主動整治**
- ❖ **A**區西半部 PCE、TCE、cis-1,2-DCE、VC 部分井有攀升；東半部呈穩定或縮小趨勢，**補足監測次數**，必要**補充調查**；強化永安路12巷既有攔截系統 → **主動整治及被動監測**
- ❖ **D**區視下游污染團發展，確認污染團前緣，強化蔦松一街113巷既有攔截系統；設置**長期自動化監控系統** → **攔截及被動監測**

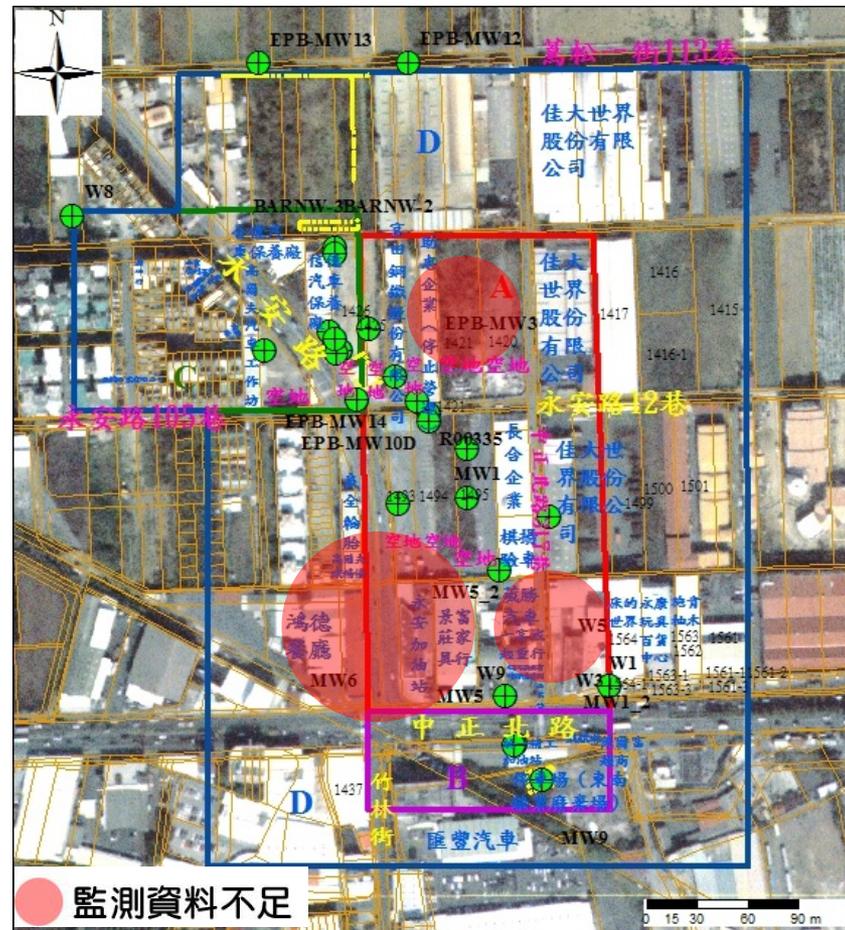




既設監測井與近兩年持續監測監測井



既設監測井 50 口分布位置



近兩年持續監測 28 口監測井
分布位置



既設監測井採樣規劃

規劃內容

既設井篩選 15~20 口進行 2~3 次

微洗井採樣分析 (45 組 VOCs、45 組一般項目)

既設井監測 井監測目的

補足監測次數不足

評估不同污染特性區域 NA 之現況

監測污染團是否往更下游擴散

持續年度監測井監測作業

既有地下水 監測井 篩選因素

MAROS 建議監測頻率較高者 (相對重要)

污染物濃度趨勢變化不明者

近年環保局年度持續監測井

以 A 區與高污染區邊界及前緣區為主

B、C 高污染區內監測井納入污染補充調查及後續改善成效評估



監測井網分析

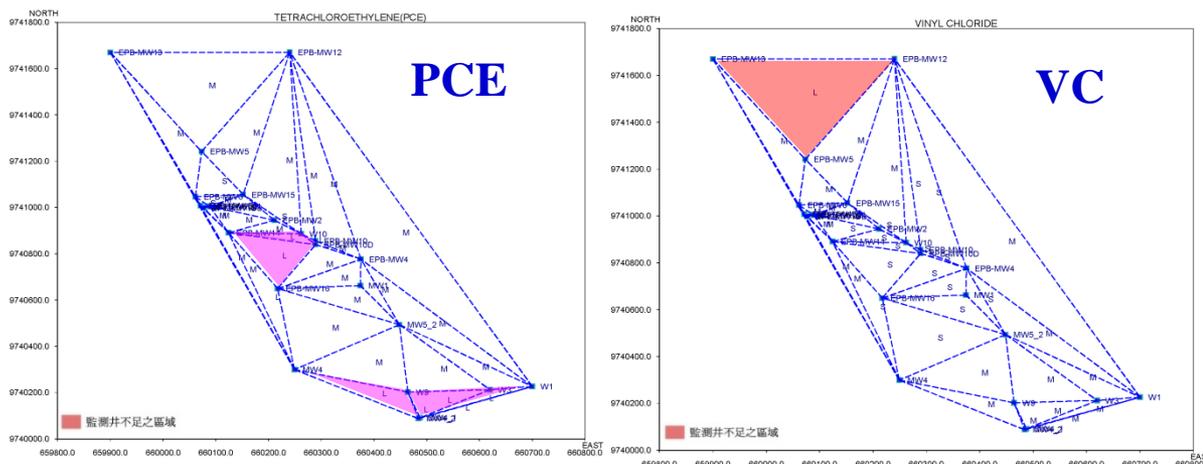
MEMO 監測效益分析：

以水文地質之
傳輸條件為主
要因素

28 口持續監測井位置 MEMO 分析之效率值

污染源區	地下水方向		
	45 度 (東北向)	85 度 (北向)	120 度 (西北向)
B 區	80.0 %	87.5 %	76.7 %
C 區	83.1 %	100.0 %	55.4 %

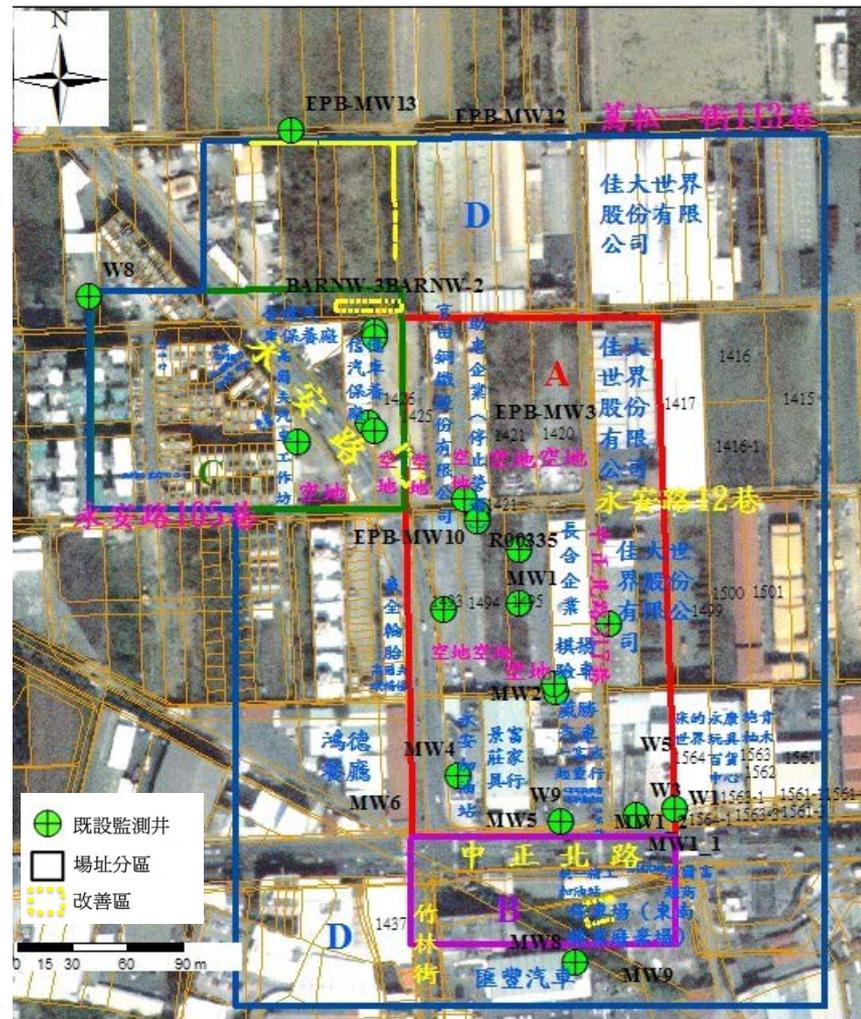
MAROS 監測井適足性分析：以推估 污染物濃度變化能力為主要因素





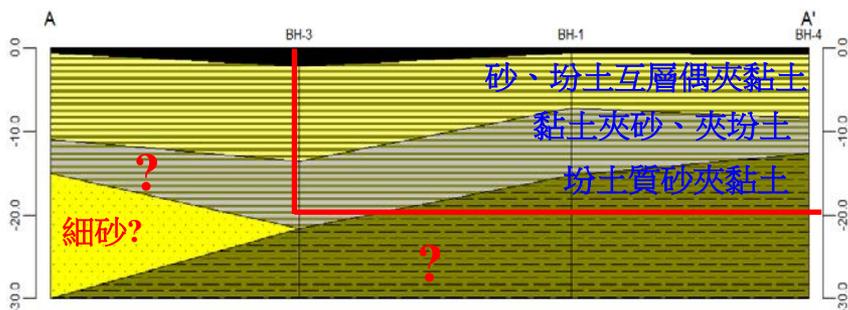
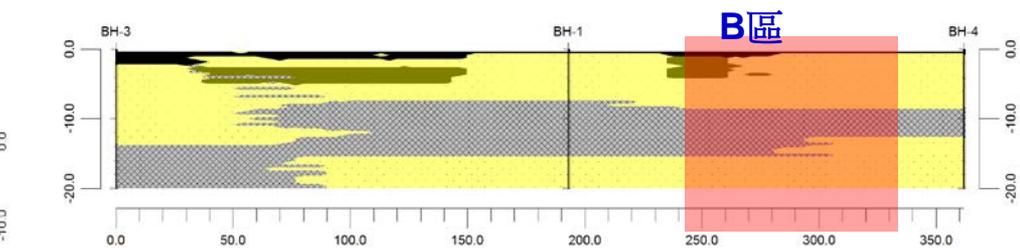
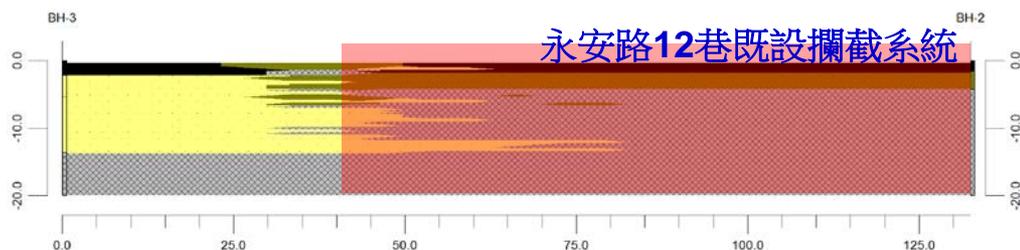
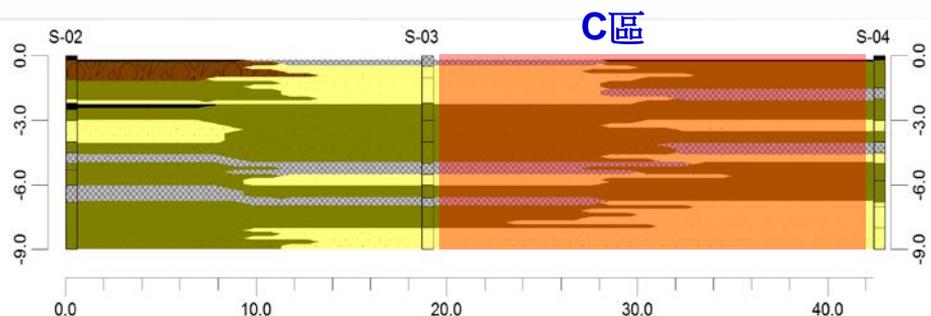
既設監測井挑選與頻率規劃

項次	監測井號	井深 (m)	井篩範圍(m)	規劃採樣頻			小計
				104/1	104/7	105/1	
1	EPB-MW10	7.984	1.904~7.904	1		1	2
2	EPB-MW10D	14.665	8.585~14.585	1	1	1	3
3	EPB-MW13	7.971	1.891~7.891	1		1	2
4	EPB-MW16	7.143	1.063~7.063	1	1	1	3
5	EPB-MW17	7.199	1.119~7.119	1	1	1	3
6	EPB-MW4	7	1~7	1		1	2
7	EPB-MW5	7	1~7	1		1	2
8	EPB-MW5D	15.167	9.087~15.087	1	1	1	3
9	EPB-MW6	7	1~7	1		1	2
10	EPB-MW6D	15.124	9.044~15.044	1	1	1	3
11	EPB-MW7	7	1~7	1		1	2
12	MW1	8.17	1~8	1		1	2
13	MW2	7.35	4~7.35	1	1	1	3
14	MW4	8.25	1~7.35	1	1	1	3
15	MW5_2	7.597	6.05~7.55	1		1	2
16	MW8	8.13	1~8	1	1	1	3
17	W1	7.5	1~7.54	1		1	2
18	W10	7.5	1~7.5	1		1	2
19	W3	10.8	4~10.7	1	1	1	3
20	W8	7.5	1~7.5	1		1	2
21	W9	7.5	1~7.5	1		1	2
監測井採樣頻率次數				21	9	21	51





地質概念模型分析



柏油、混凝土或回填	礫石夾砂	細砂或粉土質砂	砂質粉土	黏土質粉土或黏土
-----------	------	---------	------	----------

- ❖ 地質具高度異質性。
- ❖ 深度 20 公尺以下及 C 區下游之地質狀況目前資料無法確認，需進一步之補充調查。



水文地質補充調查規劃

- ❖ 針對污染源區或高污染區之地質、流場及污染分佈進行必要之**補充調查作業**

- 細部水文地質補充調查
地球物理井測 (15 口)
微水試驗 (10 口)
- 細部流場補充調查
單井流速流向 (10 口)
長期水位觀測 (10 口)
- 水質補充調查
標準監測井設置 (6 口)
被動式多深度分析 (15 口)
- 透地雷達
B、C區各一場 (2 場)

- 重新解析場址
水文地質結構
- 建構場址三維
地質特徵概念
模型

模擬
污染團
流佈



細部流場補充調查

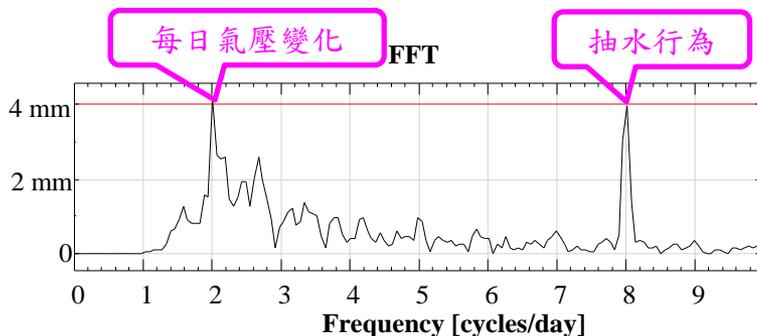
❖ 多深度單井流速流向 (10口)

- 配合多深度微水試驗量測評估質量通量、可能優勢流徑
- 時間序列量測評估污染團邊界(或鄰近潛在受體)可能變化

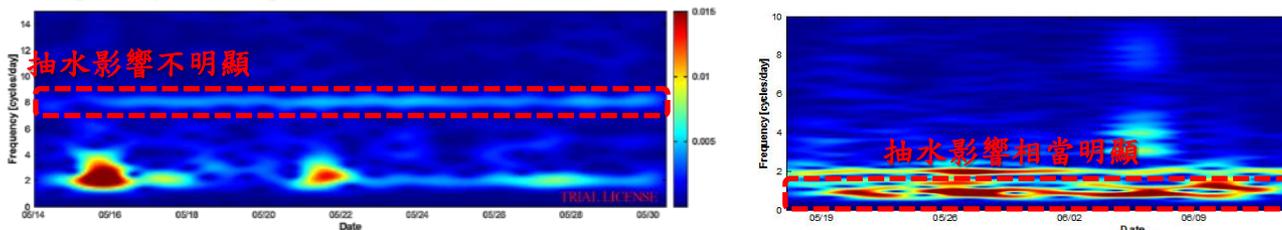
❖ 長期水位觀測 (10口)

- 全區考慮，選擇20口採樣監測井進行長期水位觀測
- Visual Signal 分析，評析水位變化自然或人為干擾因子

時間序列量測



增加時頻分析



多深度量測

井號	K00161	K00161
測定深度	48.0	35.5
流向測定圖	6/16 13:00 	6/16 15:00
量測流速 (cm/min)	0.005 4/30 10:00 	0.004 4/30 12:00
	0.012 cm/min	0.009 cm/min

抽水造成流向改變為往東側或東南 (流速增加約 2.3 ~ 2.4 倍)

因應複雜場址增加多深度流向調查及時間序列分析

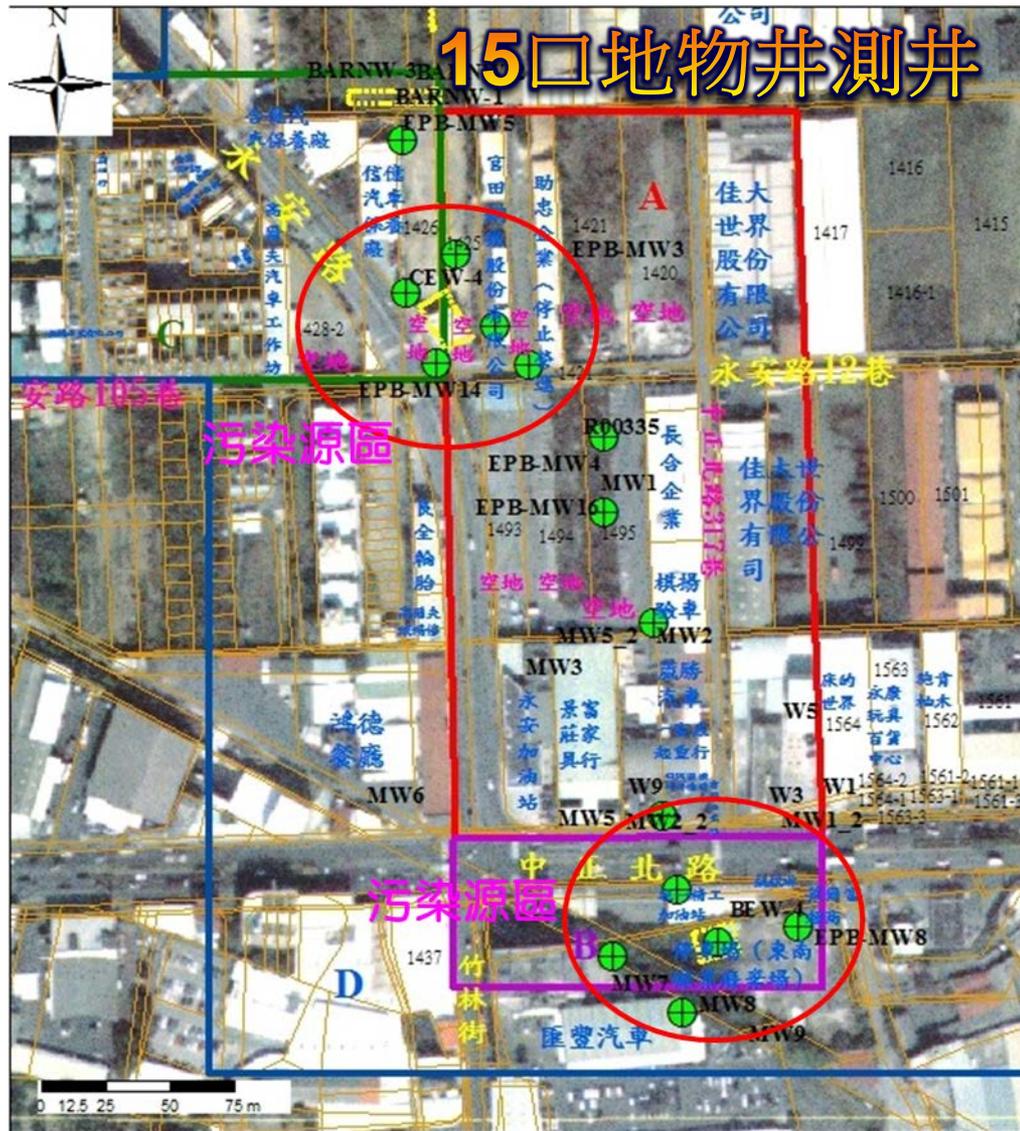




細部水文地質補充調查

序	編號	井深(m)	井篩深度(m)
1	MW4_2	8.065	1.5~7.5
2	MW5_2	7.597	6.05~7.55
3	W9	7.5	1~7.5
4	W10	7.5	1~7.5
5	MW1	8.17	1~8
6	MW7	7.15	4~7.5
7	MW8	8.13	1~8
8	EPB-MW2	7	1~7
9	EPB-MW4	7	1~7
10	EPB-MW8	7	1~7
11	EPB-MW9D	15.156	9.076~15.076
12	EPB-MW14	7.082	1.002~7.002
13	EPB-MW15	7.166	1.086~7.086
14	EPB-MW1DB	20.604	14.524~20.524
15	EPB-MW5D	15.167	9.087~15.087

- ❖ 以污染源區及高污染區為主
- ❖ 亦考慮污染團流布主軸流線
- ❖ 瞭解地表下土層組成之變化
- ❖ 決定多深度微水試驗深度之參考
- ❖ 決定擴散袋採樣深度之參考





細部流場補充調查

序	編號	井深(m)	井篩深度(m)
1	MW4_2	8.065	1.5~7.5
2	W10	7.5	1~7.5
3	MW7	7.15	4~7.5
4	MW8	8.13	1~8
5	EPB-MW2	7	1~7
6	EPB-MW8	7	1~7
7	EPB-MW9D	15.156	9.076~15.076
8	EPB-MW14	7.082	1.002~7.002
9	EPB-MW15	7.166	1.086~7.086
10	EPB-MW1DB	20.604	14.524~20.524

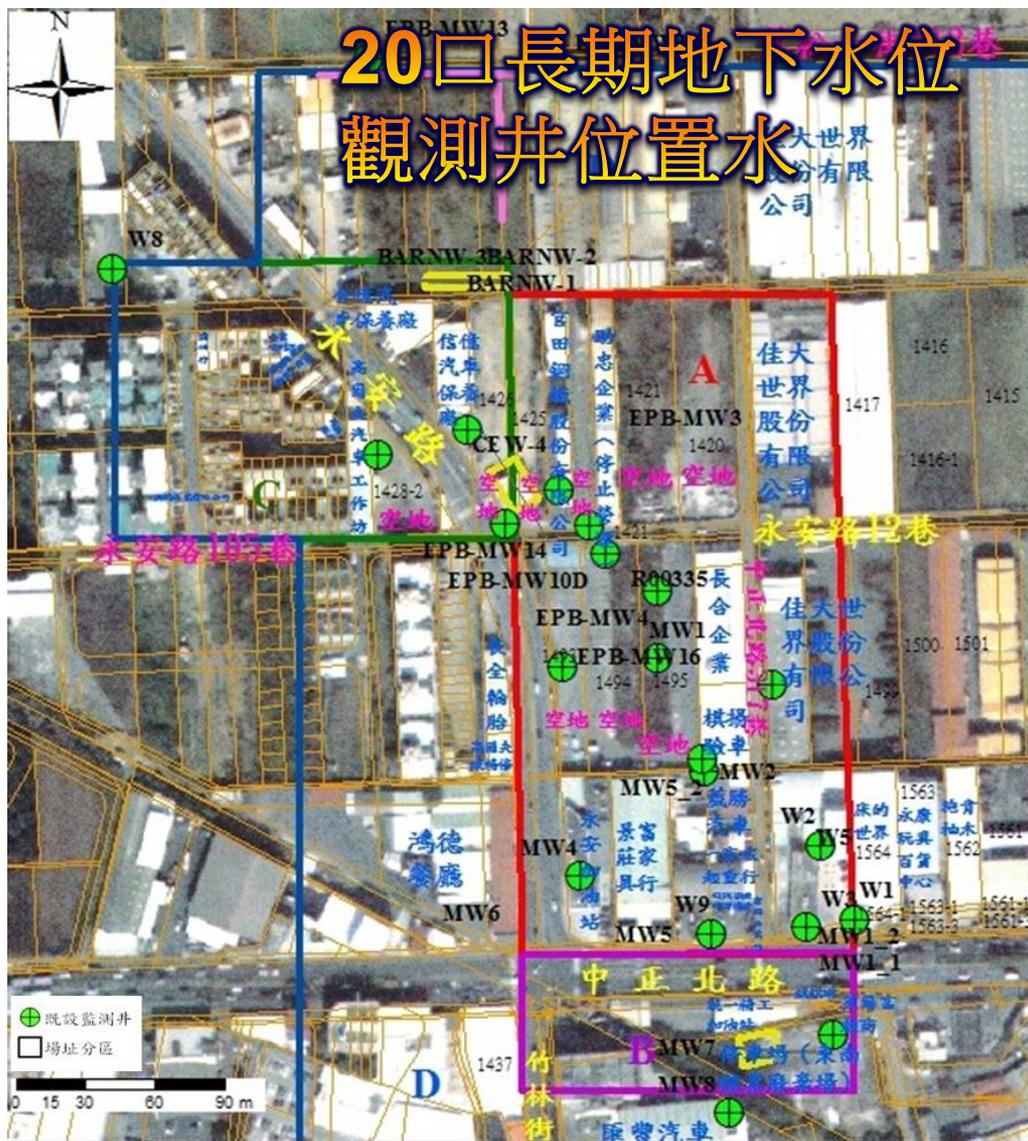
- ❖ 以污染源區或高污染區附近為主
- ❖ 分析可能之優勢流徑
- ❖ 整治灌注作業細部設計參考
- ❖ 質量通量整治成效評估資料





細部流場補充調查

序	編號	井深(m)	井篩深度(m)
1	MW5_2	7.597	6.05~7.55
2	W1	7.5	1~7.54
3	W3	10.8	4~10.7
4	W8	7.5	1~7.5
5	W9	7.5	1~7.5
6	W10	7.5	1~7.5
7	MW1	8.17	1~8
8	MW2	7.35	4~7.35
9	MW4	8.25	1~7.35
10	MW8	8.13	1~8
11	EPB-MW2	7	1~7
12	EPB-MW4	7	1~7
13	EPB-MW6	7	1~7
14	EPB-MW7	7	1~7
15	EPB-MW8	7	1~7
16	EPB-MW10D	14.665	8.585~14.585
17	EPB-MW13	7.971	1.891~7.891
18	EPB-MW14	7.082	1.002~7.002
19	EPB-MW16	7.143	1.063~7.063
20	EPB-MW17	7.199	1.119~7.119



- ❖ 以全區為考量
- ❖ 地下水位變化為自然或人為因素

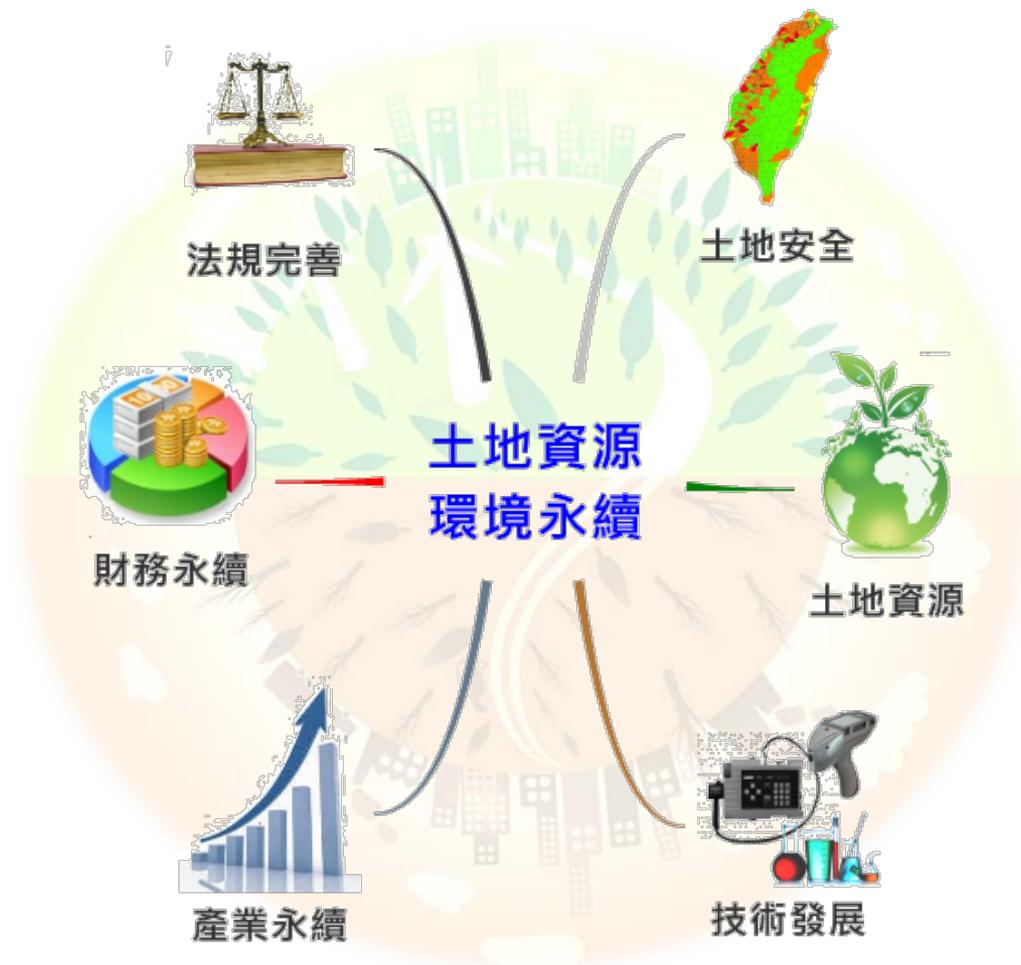


肆、國內土水未來發展



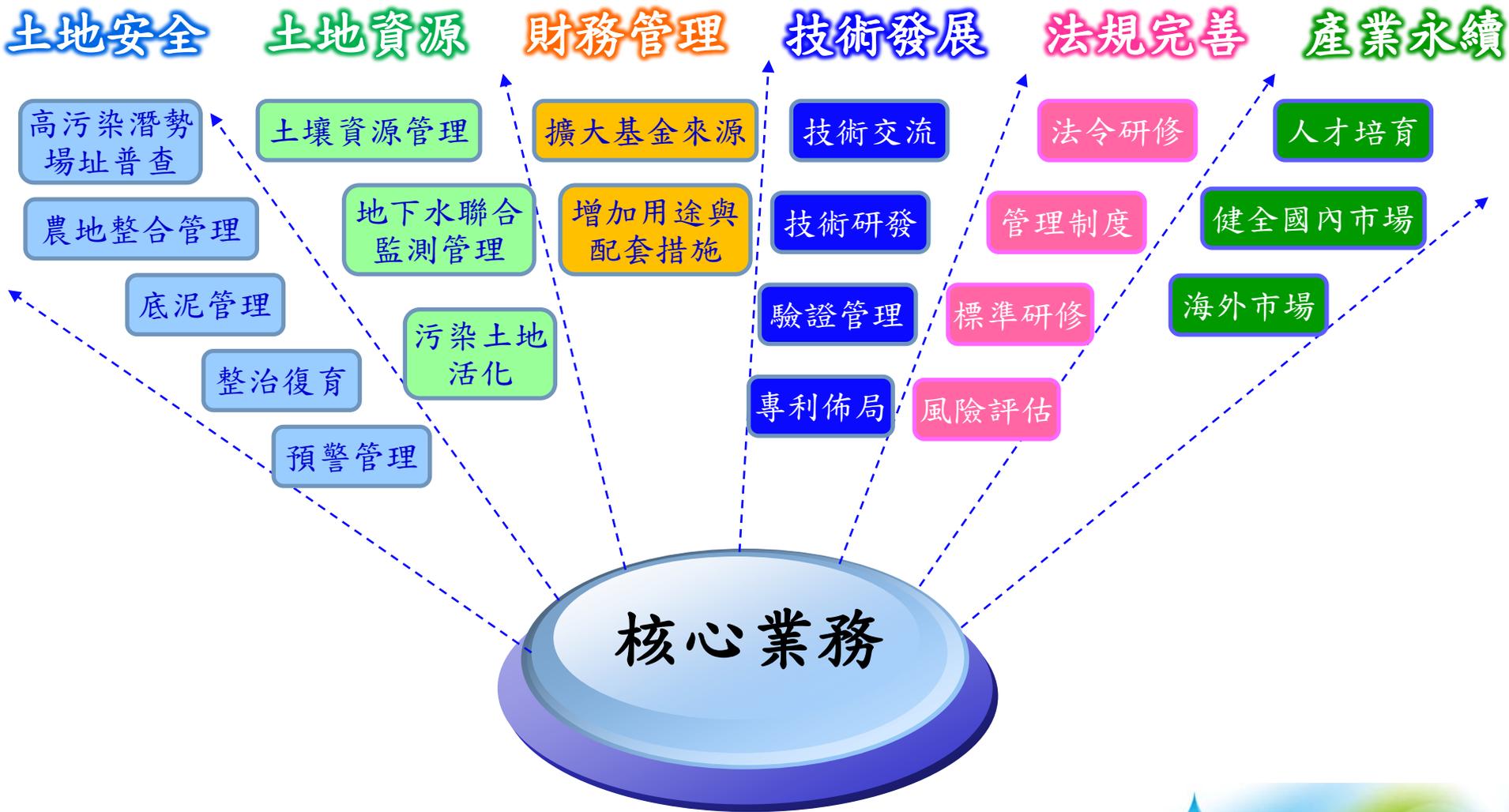
未來核心目標

六大主軸





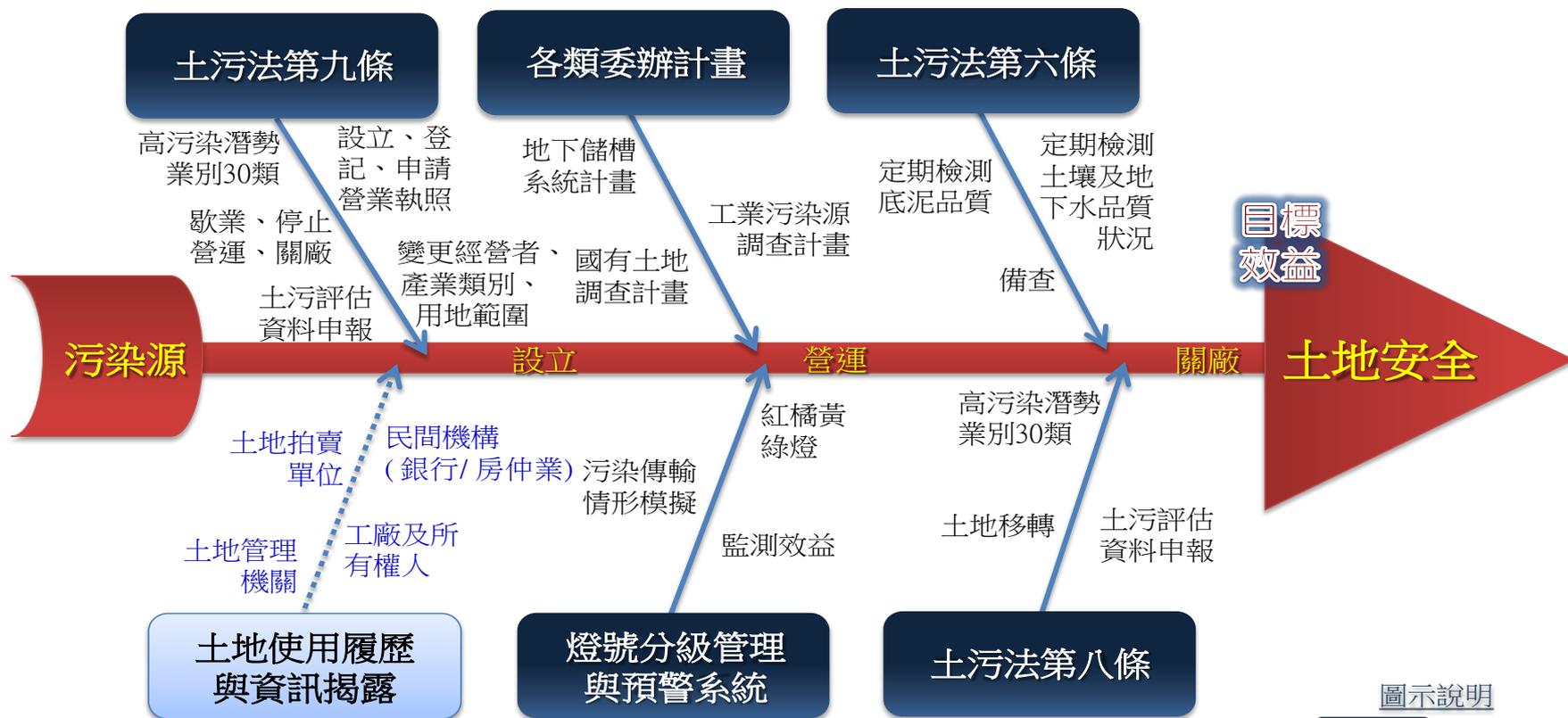
土水發展核心業務重點





優先維護土地安全及資源

- 工業場址污染為土壤及地下水污染的主要來源，本署以工業場址生命週期概念，從工廠的設立、營運至關廠每個階段皆有完整的管理方式，達到全方位的污染預防。



圖示說明

- 執行中
- 規劃中



乾淨土水為基，源於互利共生，孕育優質環境，密不可分。



加速完成污染整治

加強污染場址監督管理



開發多元化整治技術





強化業者自主管理

強化污染源頭管理



促進防治設備投資

水溝柵欄製作



防溢堤防蝕塗刷



廢水槽內襯不銹鋼



儲槽陰極防蝕設施





推動環境責任保險

提高環境責任保險扣抵比例

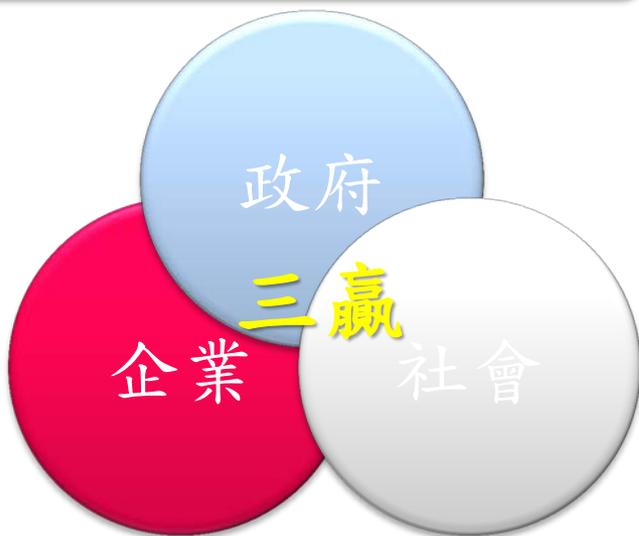
土汙基金徵收8億元/年



保險經費2億元/年
(25%)



保險保障經費200億(100倍計)
(每年污染整治經費保障)



全面推動土水保險

促進企業污染預防

加速污染整治作業

降低企業善後風險

擴大土水環保市場

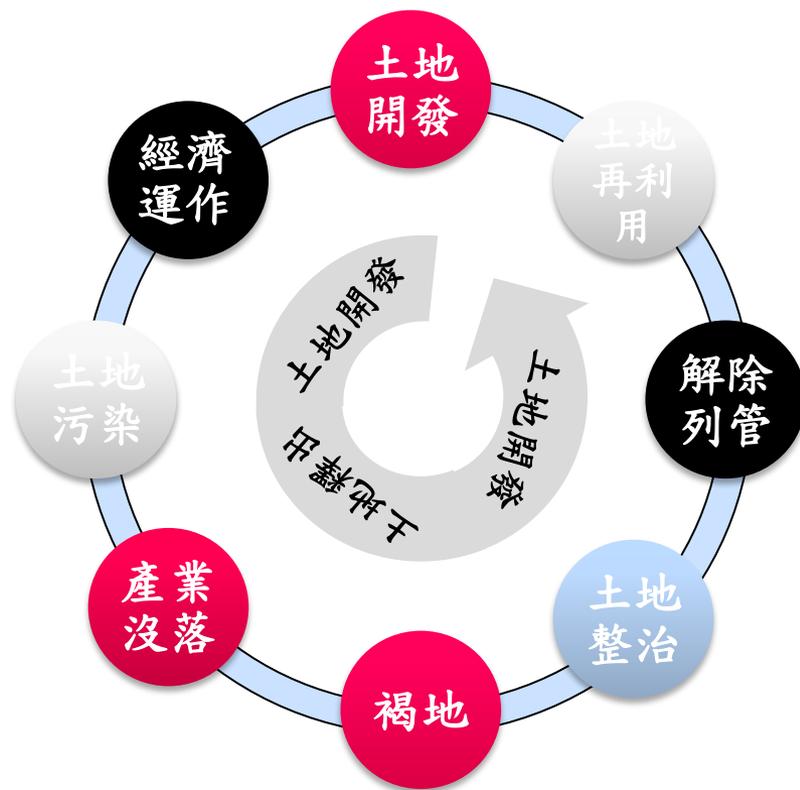
強化土水技術發展





推動褐地再利用

結合土地開發行為

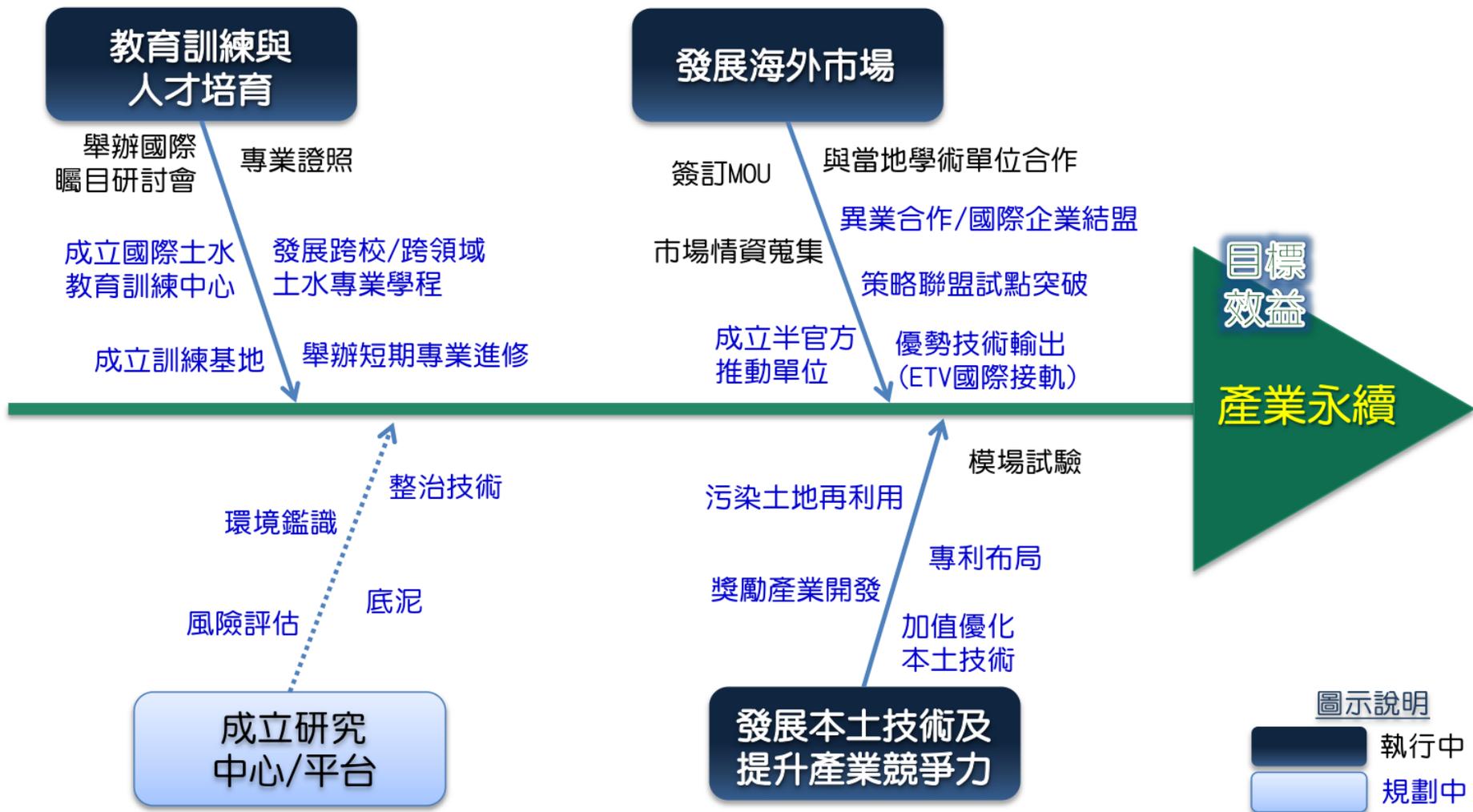


提升民間整治意願





台灣土壤及地下水環保產業永續





教育訓練及人才培訓

制度特色

- 導入評估專業制度
- 統籌規劃訓練課程
- 實行登記與再訓練

人員資格

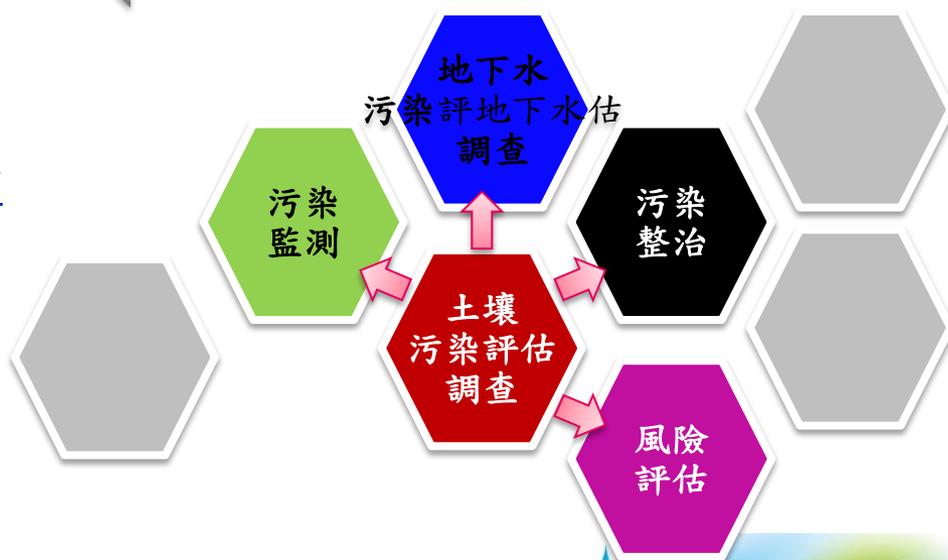
- 採用學歷證照加上經驗雙門坎
- 注重人員基本學識與實務經驗

未來展望

- 輔助研究發展，建立本土化技術
- 建立證照制度
 - 土壤污染評估調查人員
 - 地下水污染調查
 - 污染整治
 - 風險評估
- 宣導教育：
 - 規劃土水學程

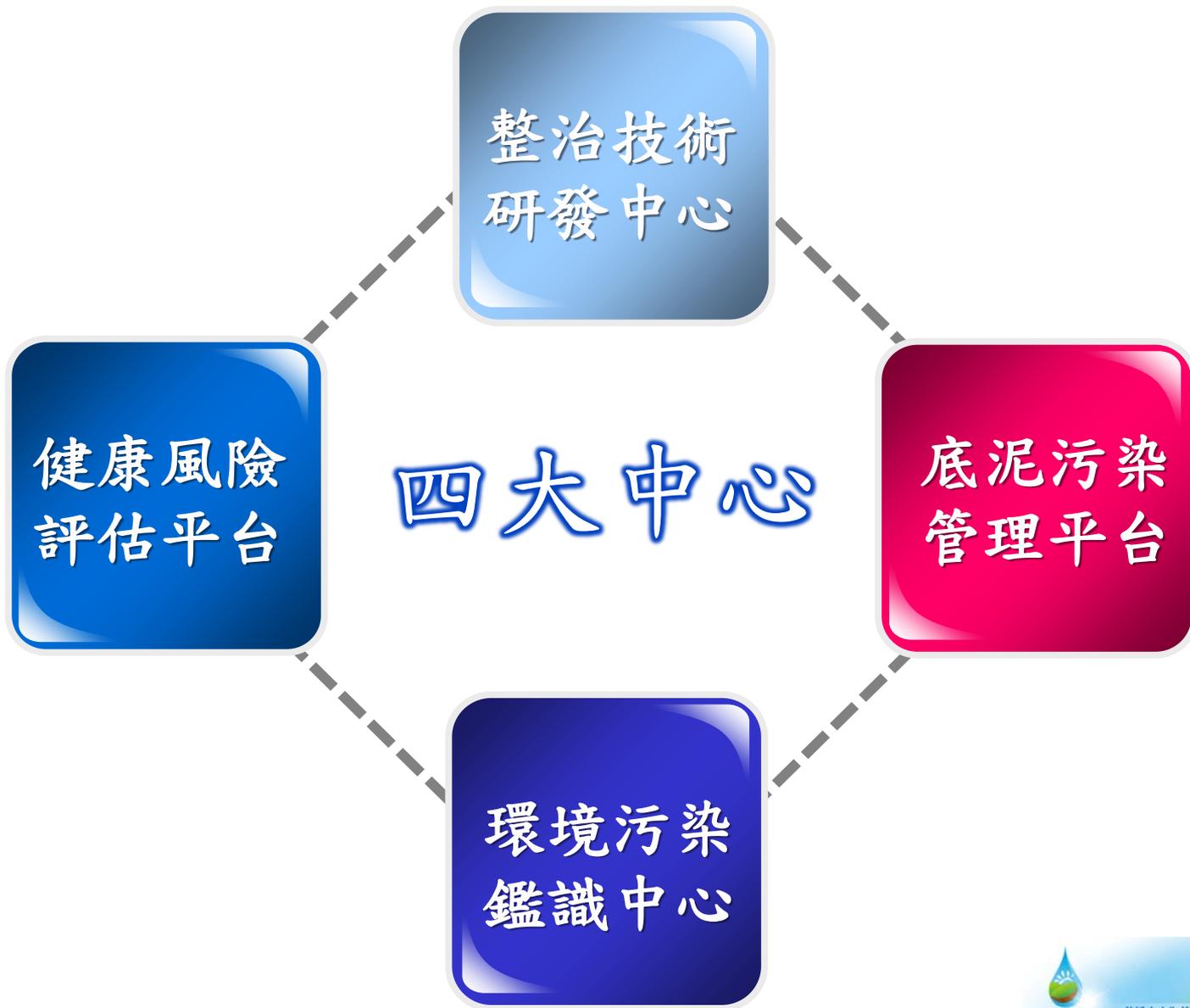


使調查評估結果更具代表性





成立技術研究中心/平台





土壤及地下水產業輸出策略

- 發展本土化技術及提升產業競爭力。
- 發展海外市場：已與韓國、中國大陸6個省市簽署與我國合作備忘錄（Memorandum of Understanding, MOU），並積極與東南亞國家密切交流；未來亦應建立環境技術驗證制度（Environmental technology verification）

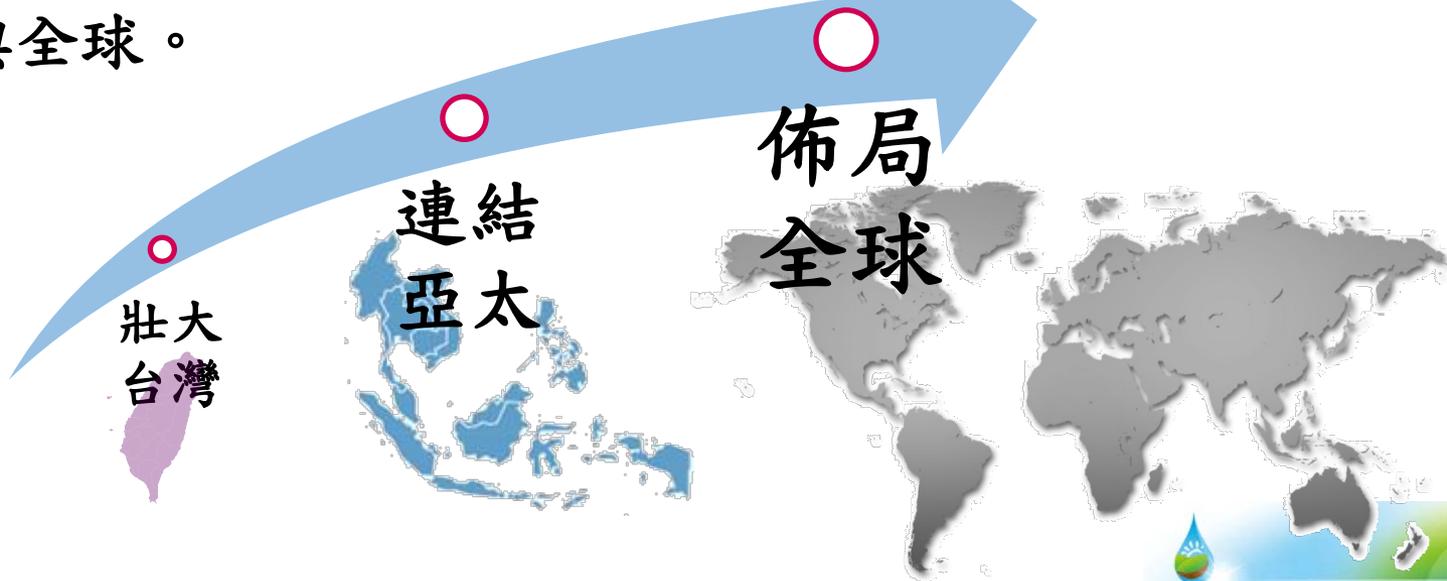




發展海外市場

台灣環保產業逐步布局亞洲與全球

- ❖ 面對廣大之土水市場，台灣實佔有極佳優勢，透過ECFA管道轉進大陸，打造台灣成環保產業技術樞紐：
 - 開放台灣環保服務業可在大陸設立獨資企業提供環保服務
 - 認可台灣環保服務業在台營運實績
- ❖ 藉由兩岸合作共同開拓經營東南亞新興市場，將可有效提升我國環保產業經濟規模及國際競爭力，進而逐步布局亞洲與全球。





擴大土水產業願景

發展國際環保市場，再創台灣經濟奇蹟

【政府】拓展國際合作交流

【企業】發展場址管理經驗

【金融】投資土水產業發展

【環保】開發土水技術市場





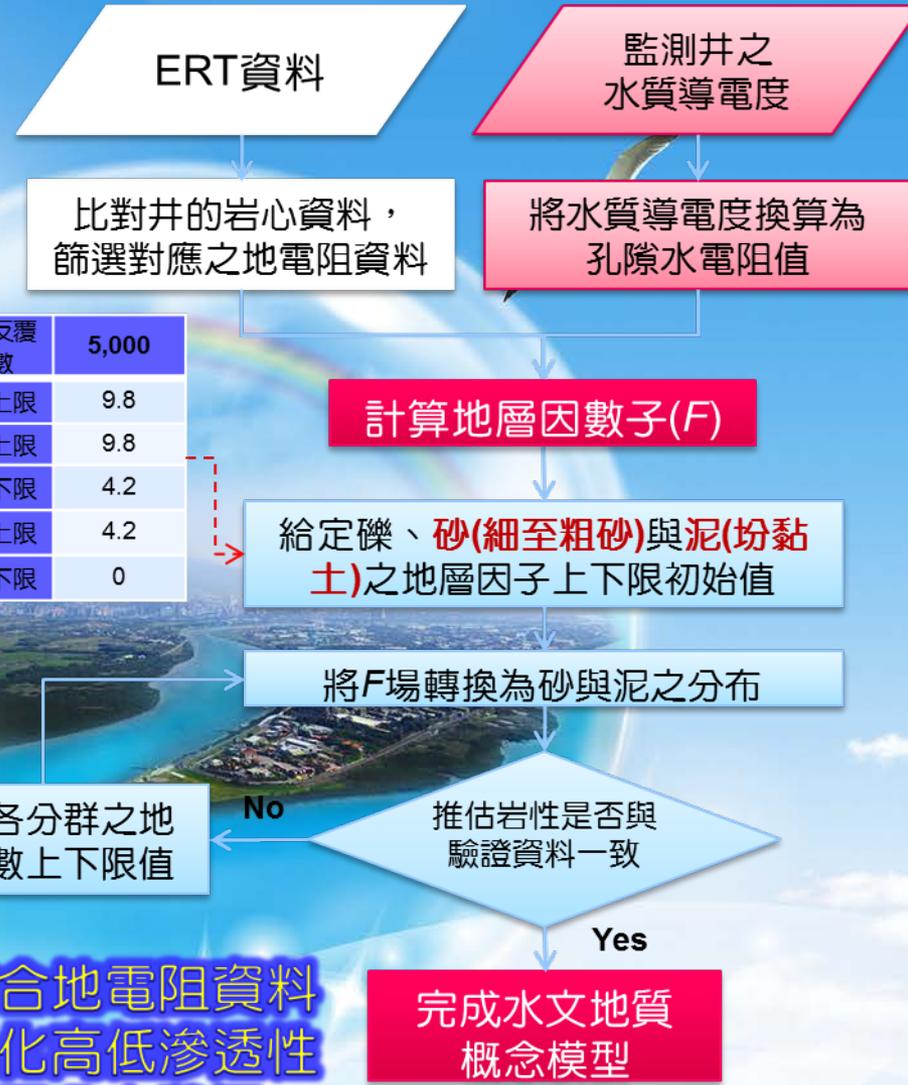
伍、問題與討論

感謝聆聽



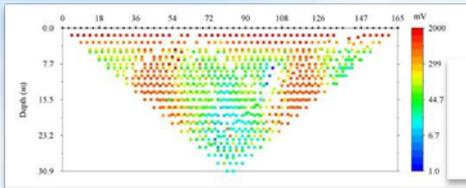
量化地質分層概念模型

- ❖ 根據Archie' Law(不含黏土) 及含黏土修正式，結合鑽探分析與大量電阻值 建立地層因子
- ❖ 不斷調整地層因子上、下限，使所推估之岩性分布與鑽探岩心一致，採用 **動態維度搜尋法** (Dynamically Dimensioned Search Method, DDS) 搜尋最佳礫、砂與泥層因子上、下限



次數最大反覆 運算次數	5,000
礫之F值上限	9.8
砂之F值上限	9.8
砂之F值下限	4.2
泥之F值上限	4.2
泥之F值下限	0

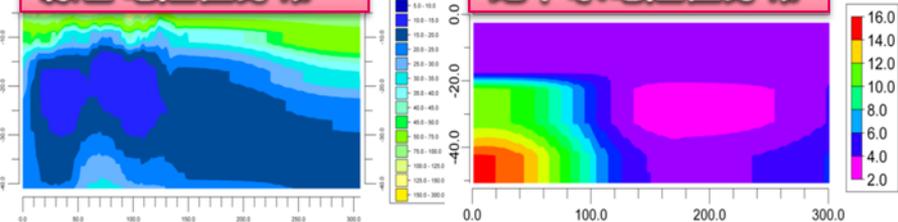
電阻量化值輸出



165根電極棒，測深30m，
相當於165孔似鑽探岩心
165×30 = 4,950組電性資料

綜合電阻值分布

地下水電阻值分布



結合地電阻資料
量化高低滲透性
地層分布狀況

完成水文地質
概念模型

主講人簡介

現任：環保署土污基管會綜合企劃組 組長

經歷：環保署土污基管會 正工程司兼技術審查組組長

環保署環境檢驗所 正工程司

環保署環境檢驗所所長室 祕書

環保署副署長辦公室 祕書

環保署垃圾資源回收廠興建工程處 副工程司

環保署廢管處 幫工程司

行政院退輔會榮工處 工程司

學歷：國立台灣大學 環境工程所（博士生）

國立中央大學 土木工程所

私立逢甲大學 土木系

土壤及地下水污染調查覆蓋率

農地



台灣全面調查覆蓋率

加油站



廢棄工廠



運作中工廠



環境背景



軍事、非法場址及航空站

