

# 地下水污染傳輸

- 1.地下水文重點
- 2.溶解相傳輸概念
- 3.NAPL遷移概念

陳家洵 教授

中央大學應用地質研究所

臺灣土壤及地下水環境保護協會 理事長

2011/10/19



# 解决、解释问题

- 模型，现场数据，理论：解释问题
- 解决问题：
  - 1. 法律（标准，责任，问题定义....）
  - 2. 技术
  - 3. 人力资源 (人才，人力)
  - 4. 资金



# 土壤及地下水污染整治法

- 污染控制場址：指造成土壤污染或地下水污染來源明確之場址，其土壤或地下水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。



# 土壤及地下水污染整治法

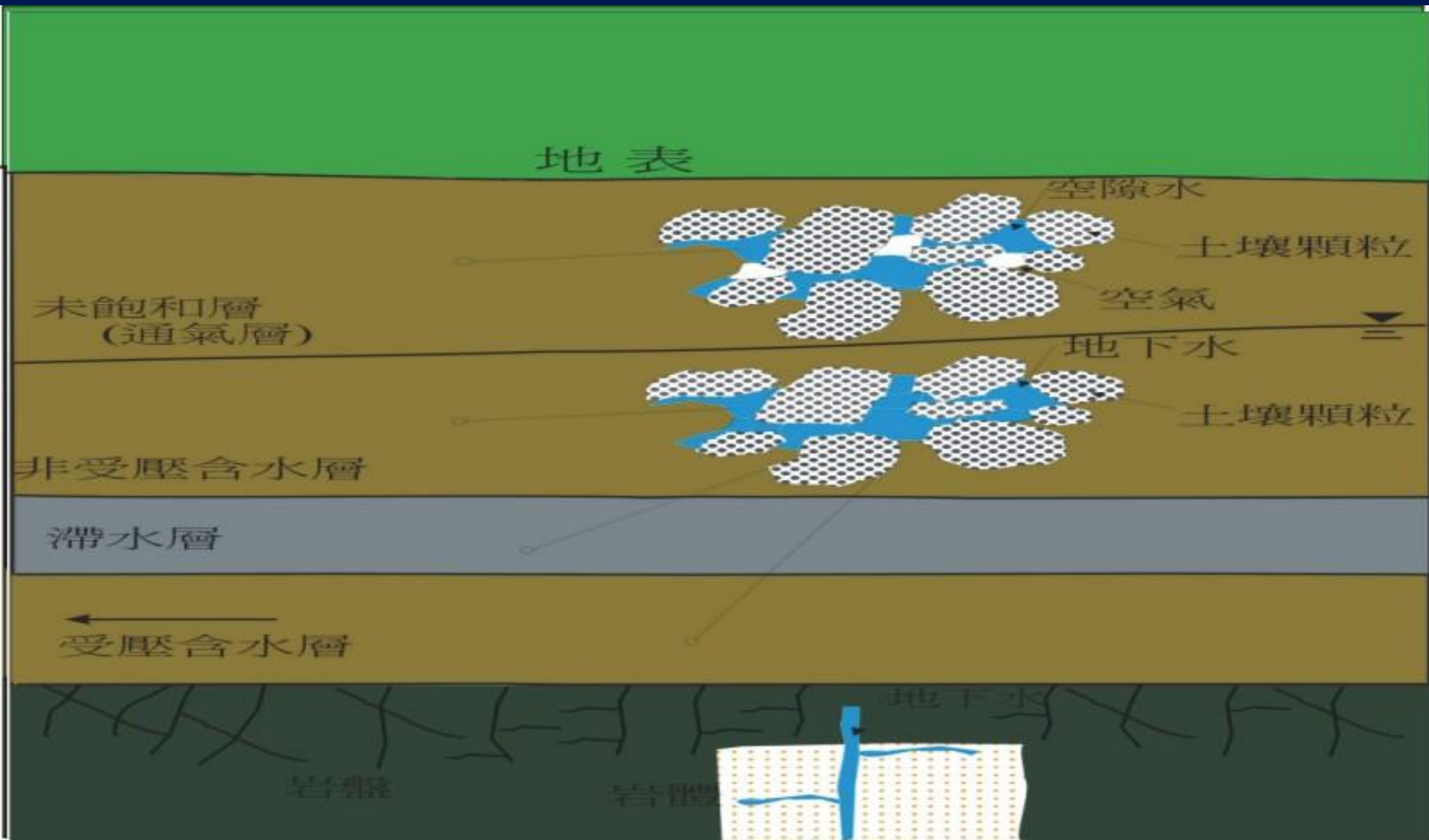
- 污染行為人：指因有下列行為之一而造成土壤或地下水污染之人：
  - 非法排放、洩漏、灌注或棄置污染物。
  - 仲介或容許非法排放、洩漏、灌注或棄置污染物。
  - 未依法令規定清理污染物。
- 污染土地關係人：指土地經公告為污染整治場址時，非屬於污染行為人之土地使用人、管理人或所有人。



# 地下水污染與土壤污染的區分

- ◆ 地表至地下水位面之間的土壤孔隙由水份和空氣共同充滿，屬於不飽和狀態(包氣帶)  
包氣帶污染→土壤污染
- ◆ 地下水位面之下的土壤孔隙完全由地下水充滿，屬於飽和狀態(地下水) → 地下水污染。
- ◆ 地下水位面(**water table**)：地下水壓力等於大氣壓之連面。

# 飽和與不飽和情況



地下水存於土壤含水層或岩體裂隙

# 地下水污染物分類

## 地下水污染物分類

➤可溶性污染:大腸桿菌，無機鹽類，微量元素(包括鎘，鉻…等重金屬)，礦物等。  
在地下水中形成溶解相

非混合性污染:有機化合物(NAPL)  
比重較水輕者(LNAPL)  
比重較水重者(DNAPL)





桃竹苗之常見紅土礫石層



# 场址调查

- 抽水实验：原位中尺度地下水资源调查， $T$ ， $S$ 为整个含水层厚度的水力传输及弹性释水性质。需处理大量抽出污染地下水。干扰场址地下水流场和污染分布。
- 微水实验：原位小尺度的水文地质变化， $K(x,y,z)$ 。无抽出污染地下水，地下水流场干扰小。污染修复瓶颈是低 $K$ 层，高 $K$ 层是优势流径，易于修复。



固結良好之多孔隙岩體基質



介於母質間的破碎帶

2003 10 9

曾文水庫46公尺~48公尺岩心資料

# 可溶性污染物

- 與水相混合－與水之間沒有介面  
如糖水、鹽水改變水的濃度－甜、鹹
- 溶解相在地下水流場中遷移傳輸。



# 非水相液體

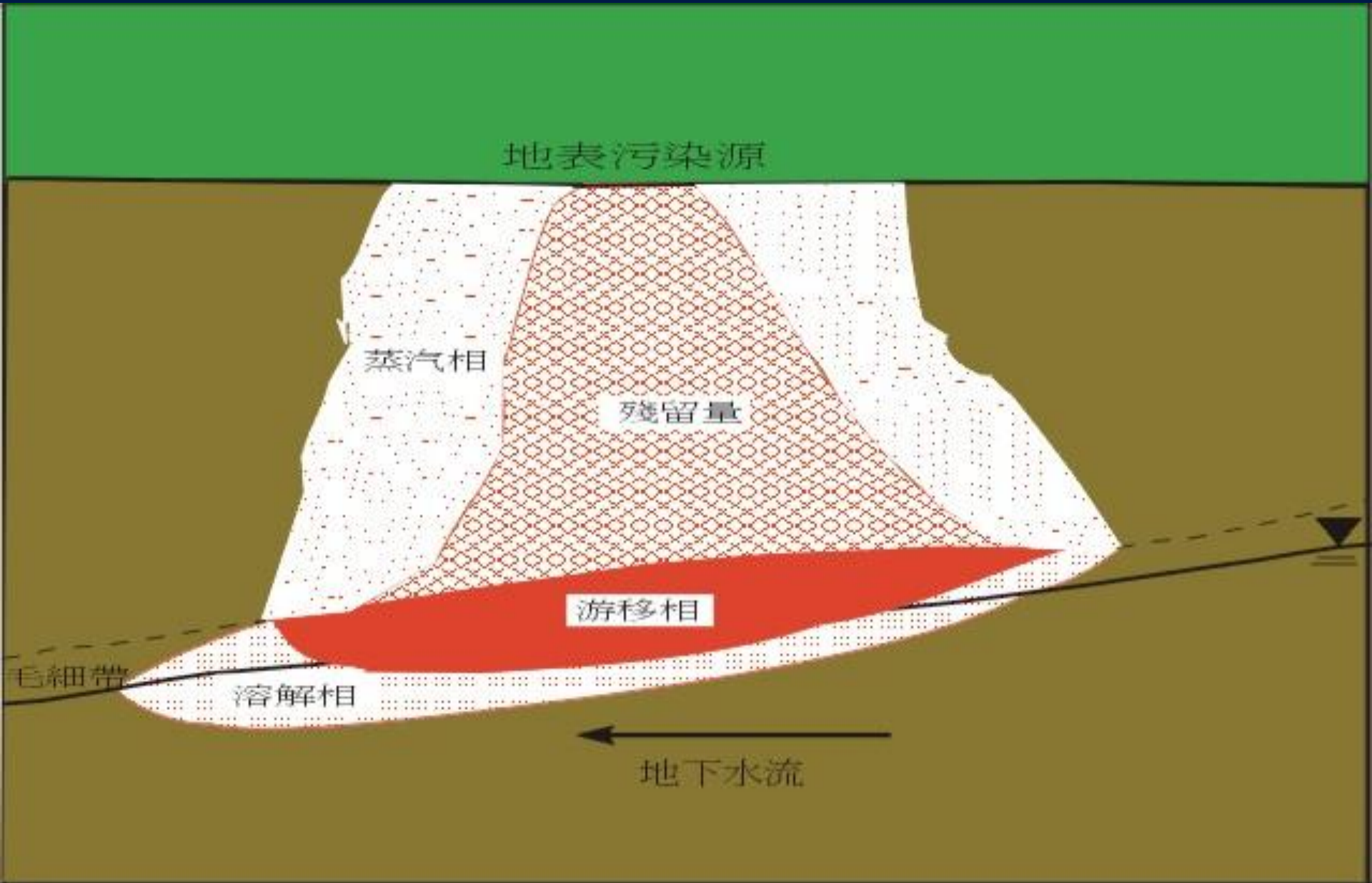
(Non-Aqueous Phase Liquid, **NAPL**)

- 有機化合物<sup>1</sup>、與水不相混<sup>2</sup>、揮發性<sup>3</sup>、溶解度低<sup>4</sup>、高致癌性<sup>5</sup>。
- 比水輕之NAPL稱LNAPL (Light **NAPL**)：  
石油衍生物-汽油。
- 比水重之NAPL稱DNAPL (Dense **NAPL**)：  
氯化溶劑-三氯乙烯(TCE)、四氯乙烯(PCE)、三氯甲烷(TCA)。

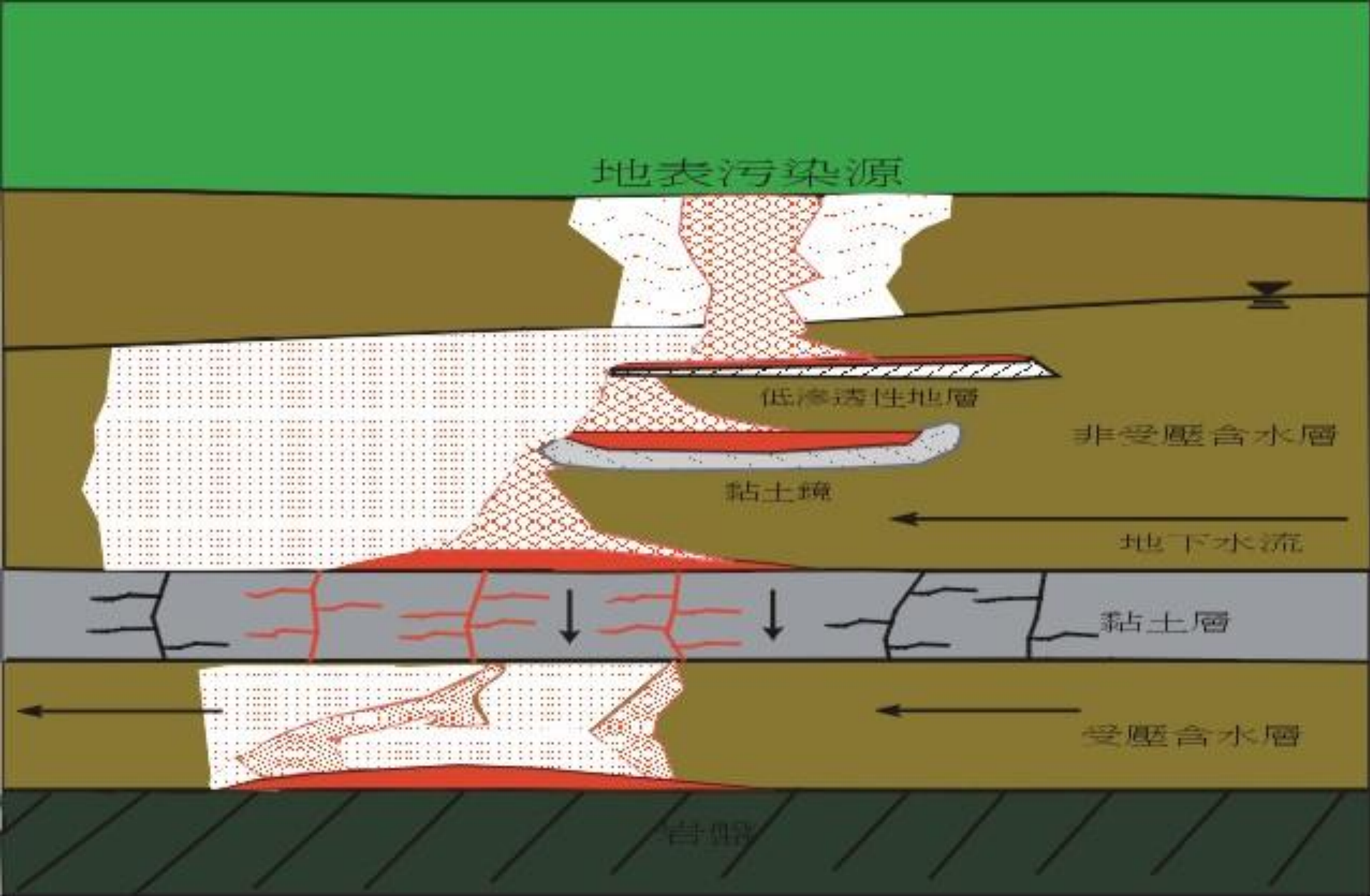


# 地表下NAPL相體(phases)

- 液態相(liquid)：可移動相；LNAPL游移相(浮油層)、DNAPL池(靜止狀態)。
- 殘留相(residue)：移動路徑上必然殘留NAPL，一旦形成不再移動。
- 蒸氣相(vapor)：揮發作用，不飽和層(包氣帶)。
- 溶解相(dissolved)：隨地下水流場運移。




LNAPL在地層中移動及分佈



DNAPL在地層中移動及分佈

# NAPL傳輸

- NAPL以蒸氣相、殘留相、溶解相、液態相存於地表之下。
  - 殘留相不再移動(持久性污染源)。
  - 液態相(LNAPL游移相、DNAPL池)之移動受重力、土壤粒徑變化影響大於受地水流影響。
  - 蒸氣相形成於不飽和層。
  - 溶解相以移流、擴散、延散在地下水中傳輸。
- 



# 整治的下游問題

## 降低溶解相濃度

- **溶解相**：有機或無機污染物以離子態溶解於水，形成溶解相。
- 溶解相範圍稱為**污染帶(plume)**。
- 污染帶範圍及其中污染物濃度隨**地下水**  
**流場**變化而改變。

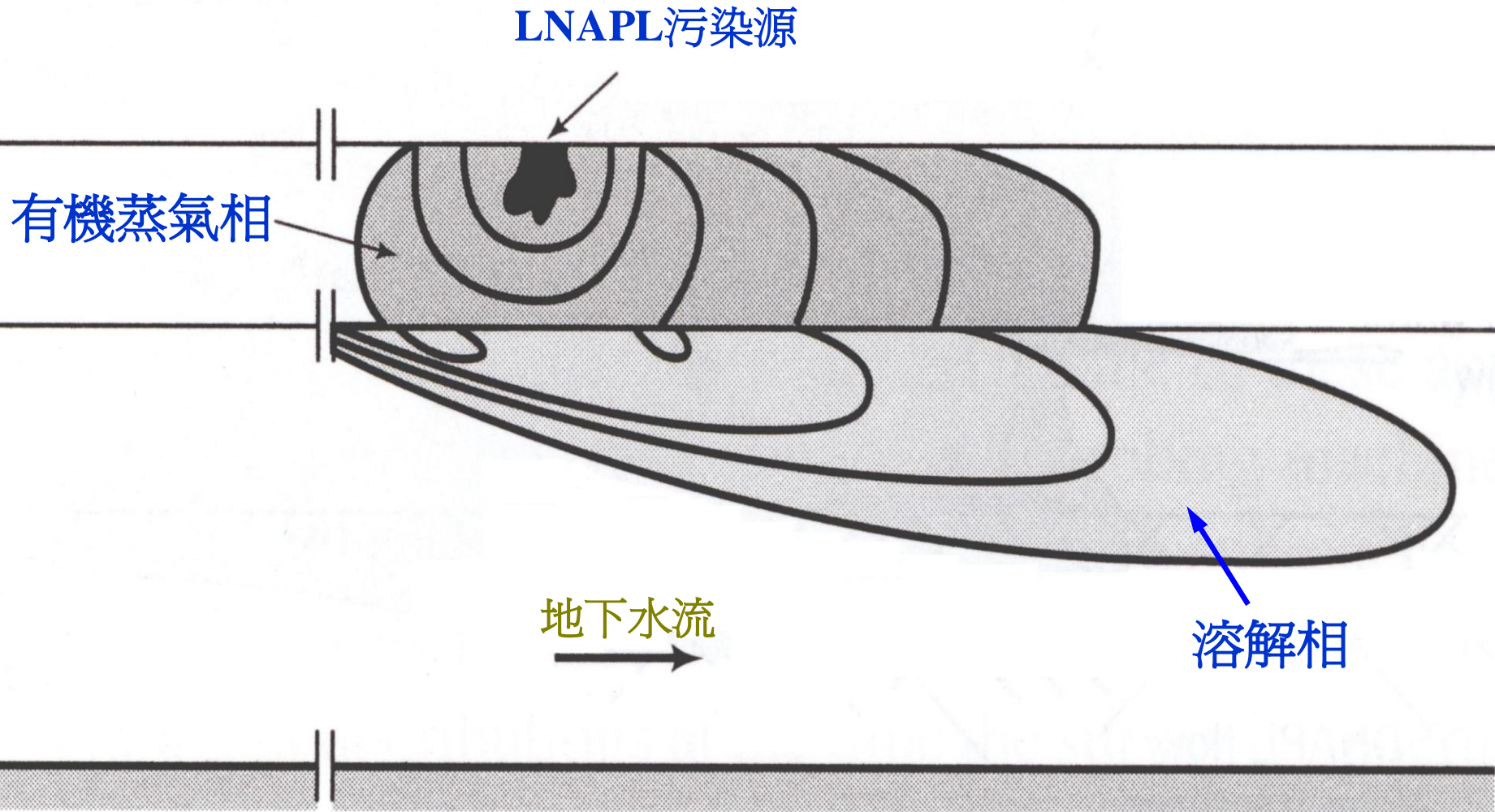


# 地下水监测

- 监测溶解相的时间、空间变化
- 游移相：污染修复
- 蒸汽相：土壤污染监测、修复（**SVE**）
- 残留相：污染修复，如何寻找残留相位置？



# 溶解相與地下水流同向



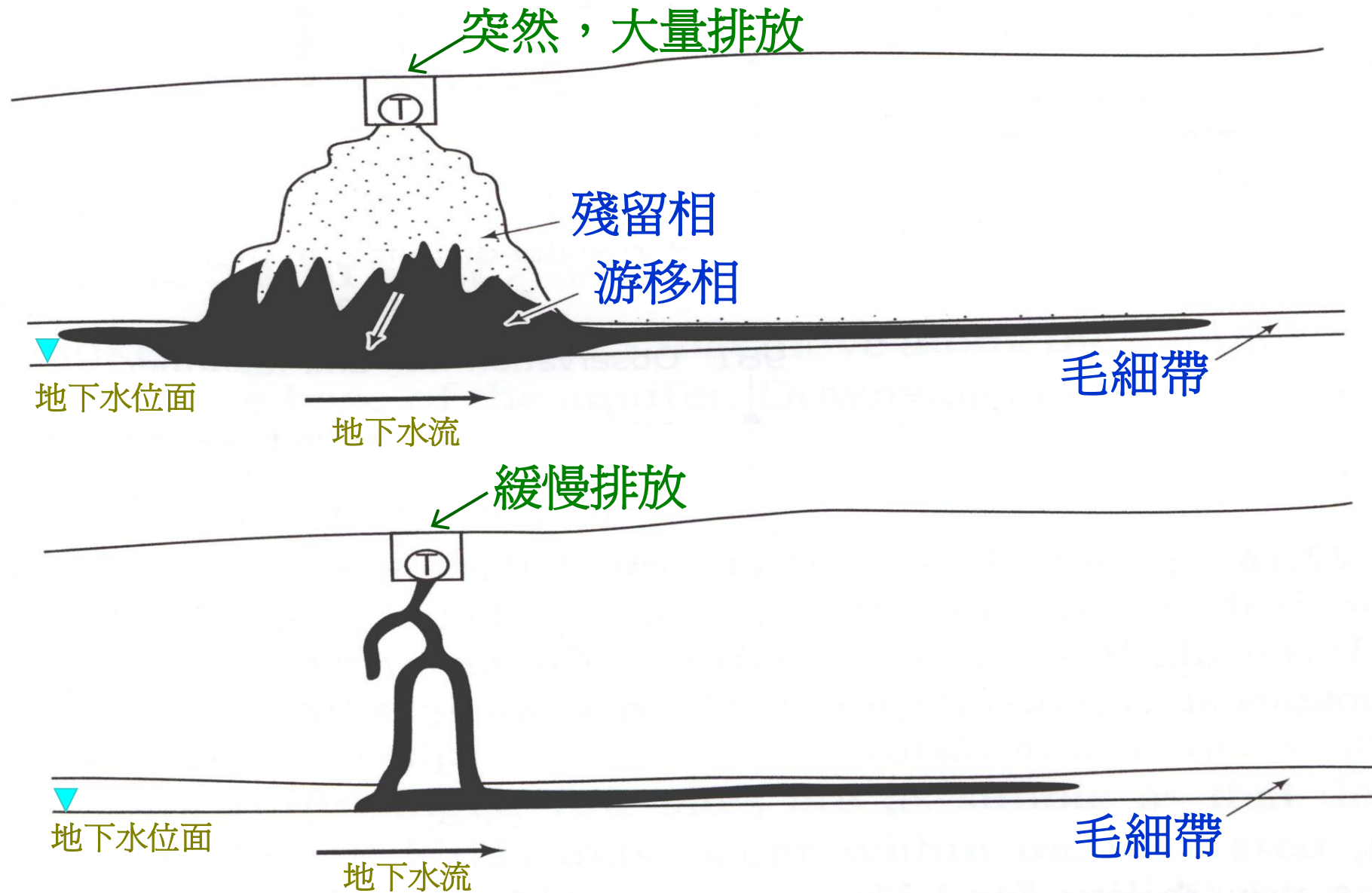
# NAPL移動與分佈

- NAPL地表釋出量之多寡、釋出時間之長短、釋出面積之大小
- NAPL的物化性質
- 含水層地質變化
- 地下水流場變化(溶解相)

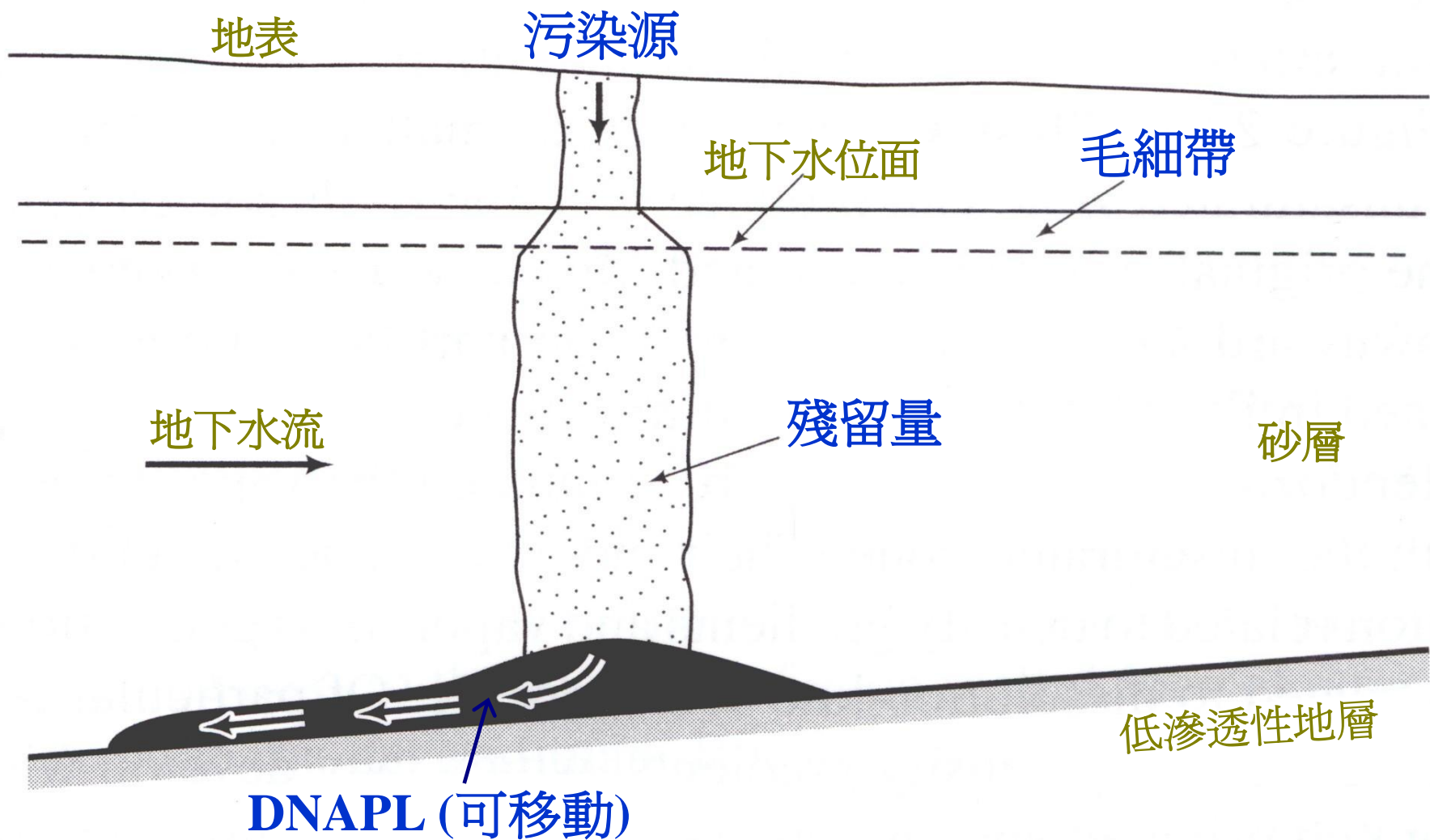




# 不同排放類型影響NAPL遷移



# DNAPL與地下水流反向移動



# 毛細壓(capillary pressure)

$$P_c = P_{nw} - P_w$$

$P_{nw}$  : 非潤濕 (**non-wetting**) 相的靜水壓

$P_w$  : 潤濕 (**wetting**) 相的靜水壓

相對於一般地質材料

水(潤濕相)  $\equiv$  空氣(非潤濕相)

水(潤濕相)  $\equiv$  **NAPL**(非潤濕相)

空氣(潤濕相)  $\equiv$  **NAPL**(非潤濕相)



# $P_c$ 與土壤粒徑關係

$$P_c = 2 \sigma \cos \theta / r$$

$\sigma$  : 介面張力

$\theta$  : 接觸角


$r$  : 土壤平均粒徑

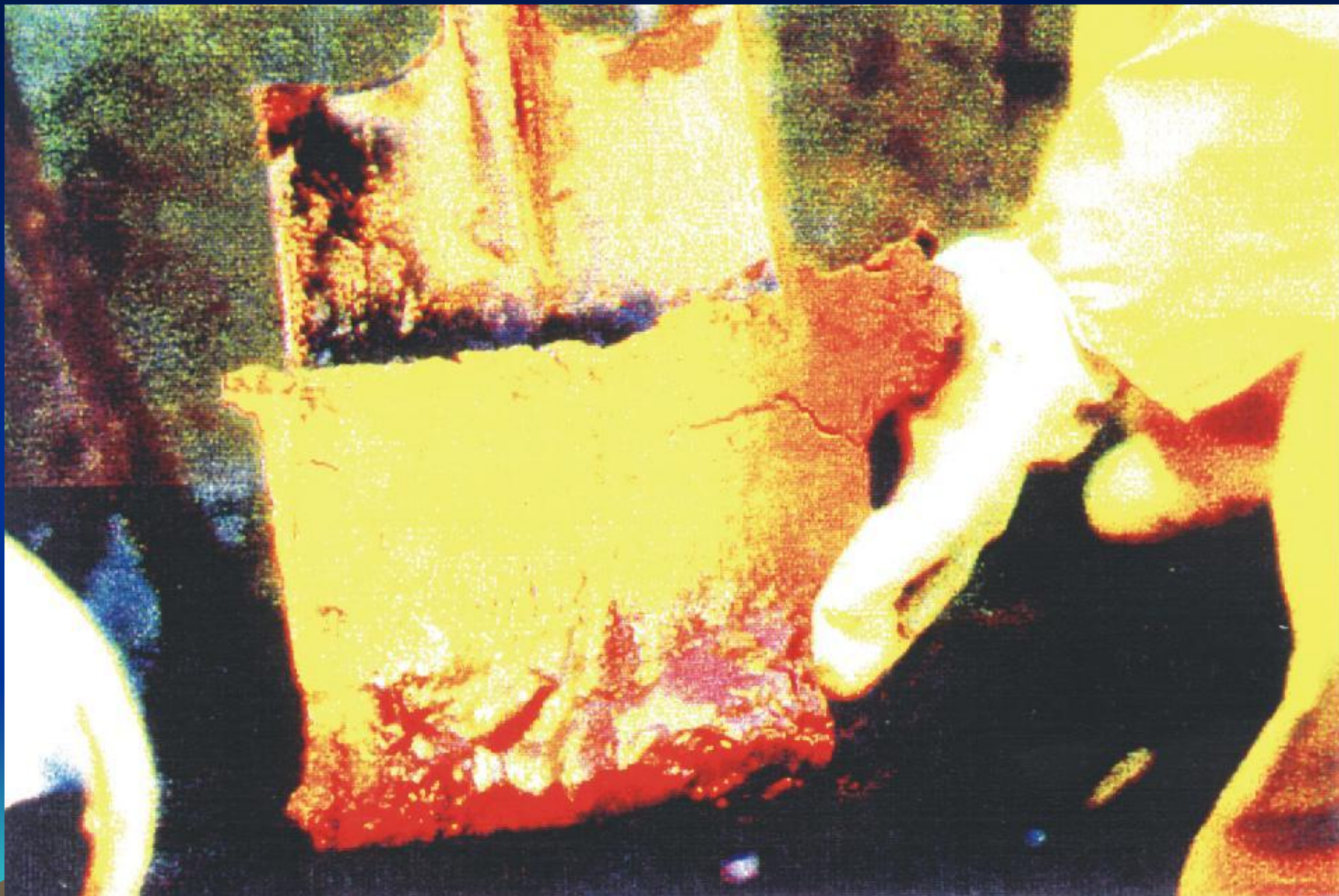
- 毛細壓與粒徑成反比





# NAPL傳輸

- NAPL以蒸氣相、殘留相、溶解相、液態相存於地表之下。
  - 殘留相不再移動(持久性污染源)。
  - 液態相(LNAPL游移相、DNAPL池)之移動受重力、土壤粒徑變化影響大於受地水流影響。
  - 蒸氣相形成於不飽和層。
  - 溶解相以移流、擴散、延散在地下水中傳輸。
- 



# DNAPL池問題

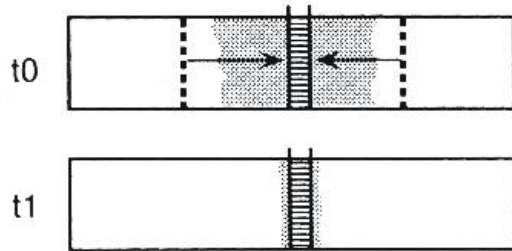
DNAPL多位於黏土鏡或底層窪凹處

水文地質資料，地球物理方法研判位置

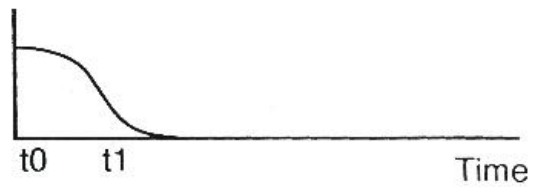
首次回收(primary recovery)汲取DNAPL

次級回收(secondary recovery)殘留量

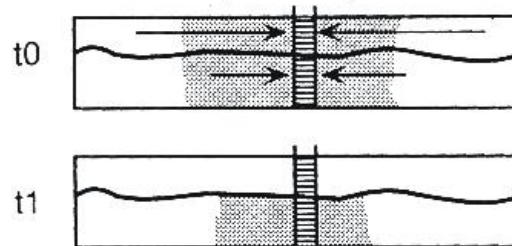
(a) Uniform sand-gravel aquifer



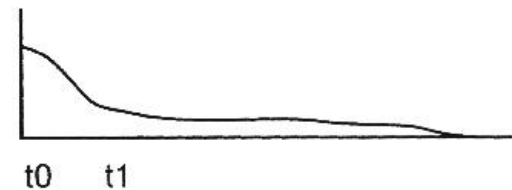
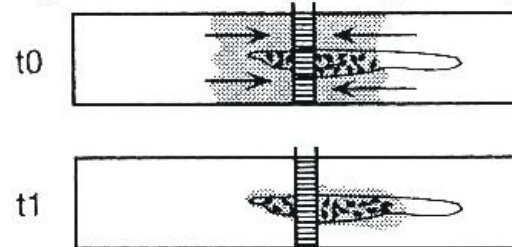
Contaminant concentration in extracted water



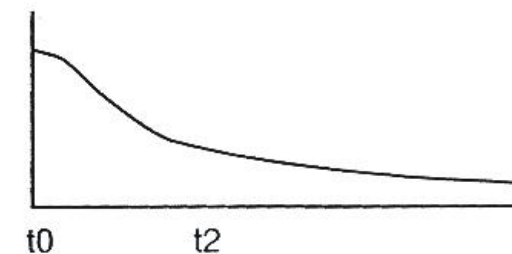
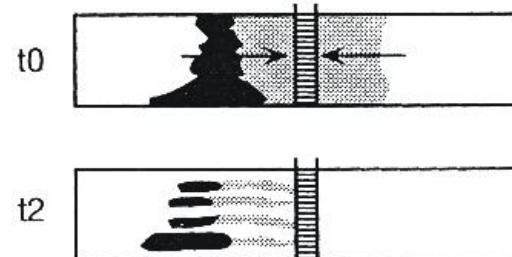
(b) Stratified sand-gravel aquifer



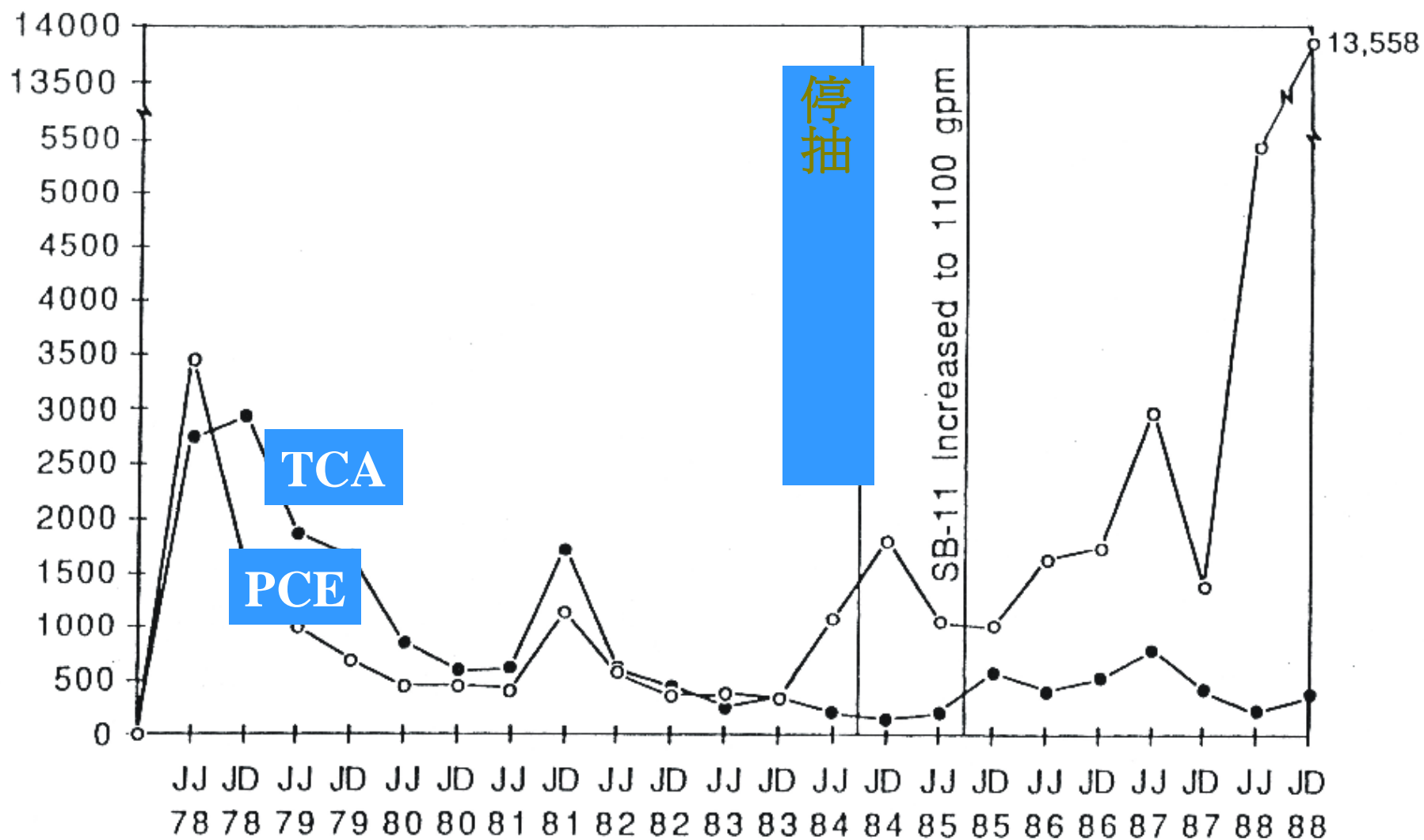
(c) Clay lens in uniform sand-gravel aquifer



(d) Uniform sand-gravel aquifer







美國Love Canal場址Pump-and-Treat實際資料



謝 謝

敬請指教

