

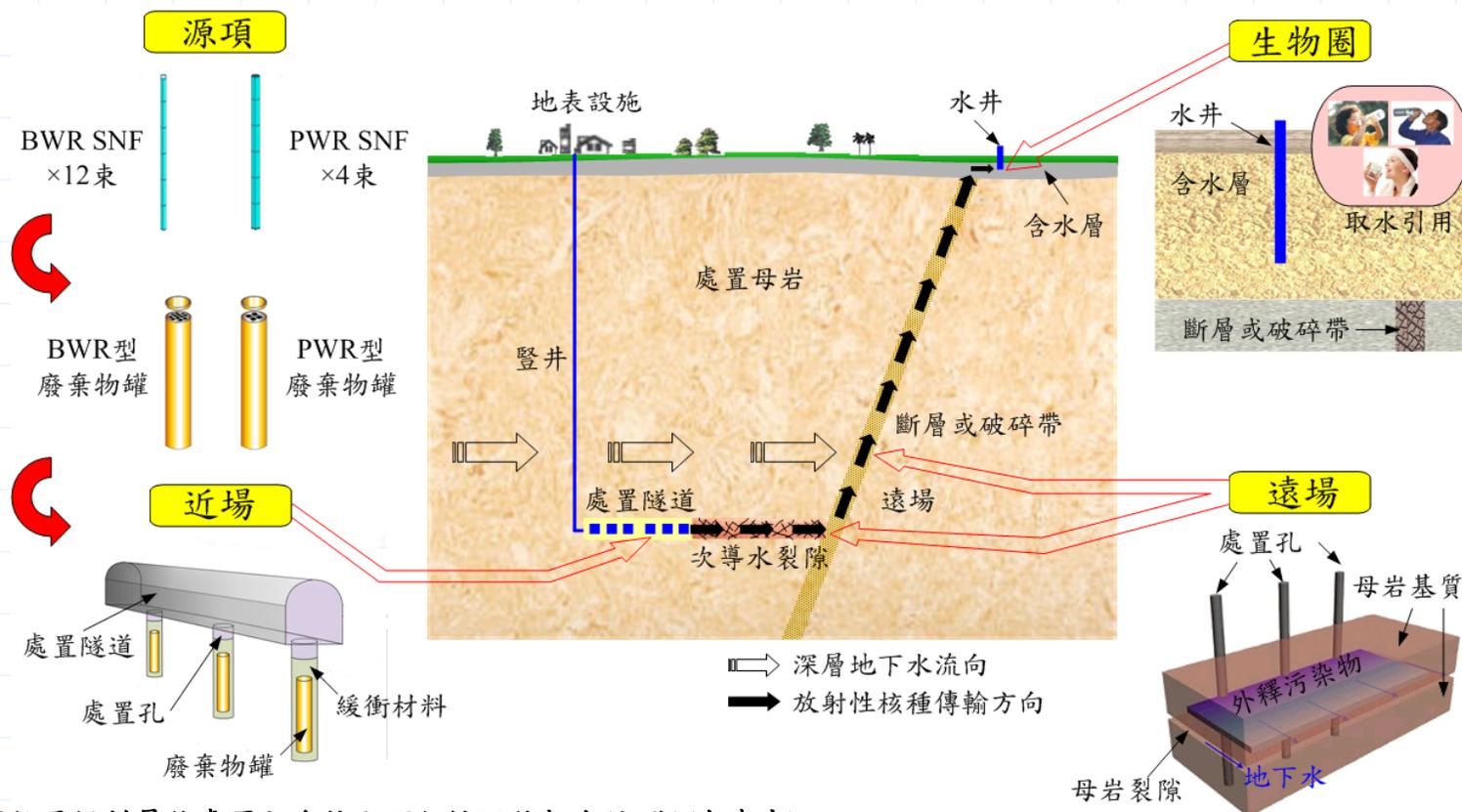
# 台灣高放射性廢棄物處置地質調查技術 (用過核子燃料長程處置計畫)

林鎮國

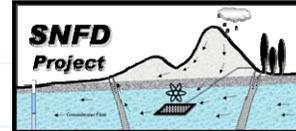
2009/12/16

# 用過核子燃料—深層地質處置概念

- ◆ 深層地質處置為國際公認適於處置高放射性廢棄物之方式，所謂深層地質處置概念，是將高放射性廢棄物埋在深約**300~1000m**深的穩定地質環境中，
  - 藉由**人工障壁**(廢棄物罐、緩衝與回填材料及廢棄物本身)與**天然障壁**(處置母岩、地質圈)所組成的「**多重障壁**」
  - 有效**阻絕或遲滯核種**的外釋與遷移，換取足夠的**時間**，使高放射性廢棄物的輻射強度在到達**生物圈**之前已衰減至可忽略的程度。

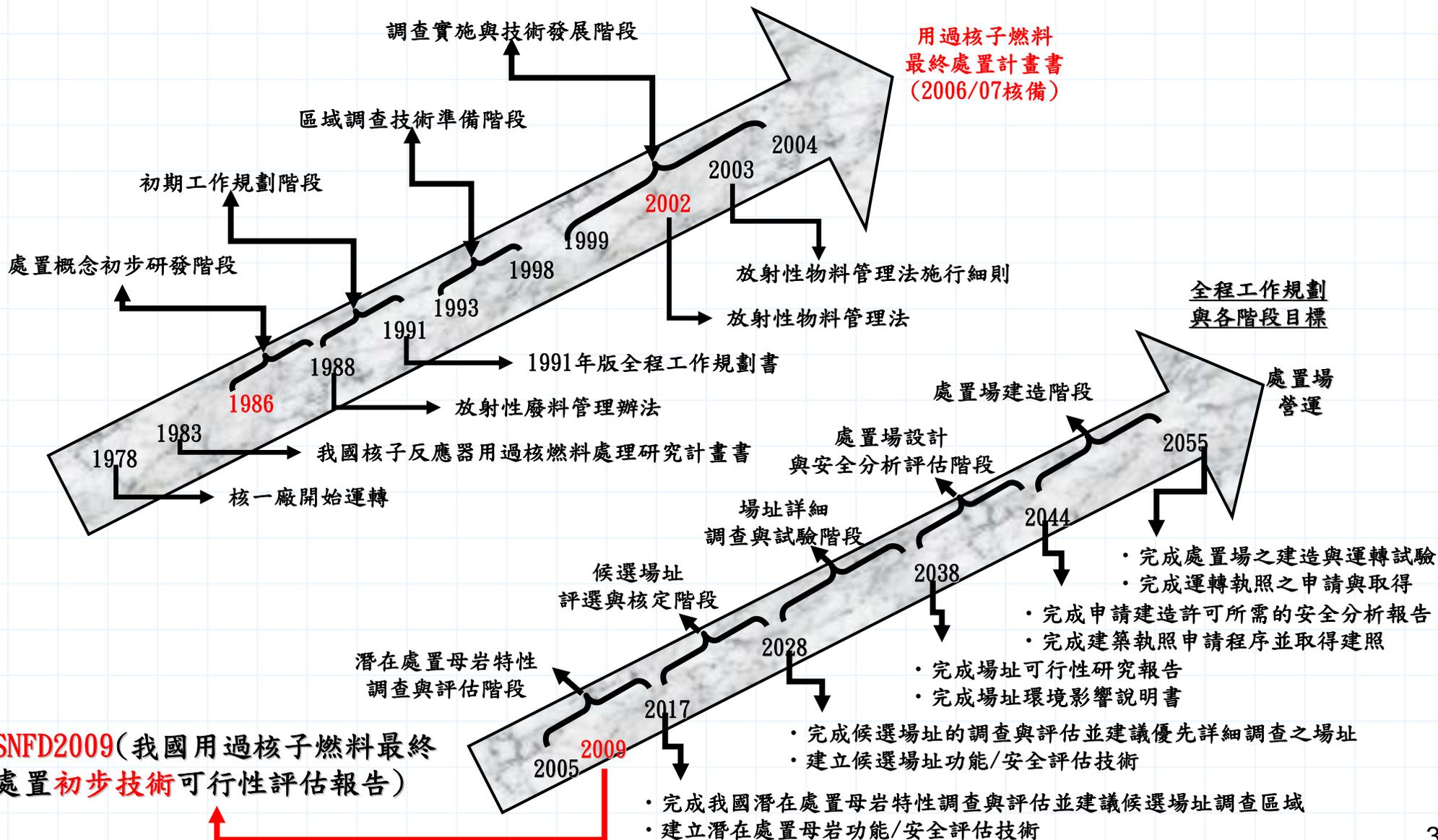


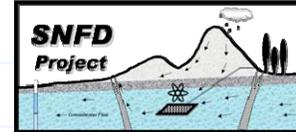
資料來源：我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告(初稿)(審查中)



# 用過核子燃料長程處置計畫

(The Spent Nuclear Fuel Final Disposal Project, SNFD)





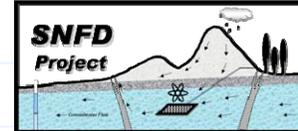
## ◆SNFD2009報告主軸：

- 系統化彙整與分析，我國用過核子燃料最終處置技術之歷年發展成果，在不考量非技術性議題下，就我國地質環境的現狀及調查成果，針對處置概念、花崗岩質母岩特性、調查方法、材料、廢料特性等議題，進行簡化條件下之功能安全評估及案例分析，完成初步技術可行性的階段性評估。

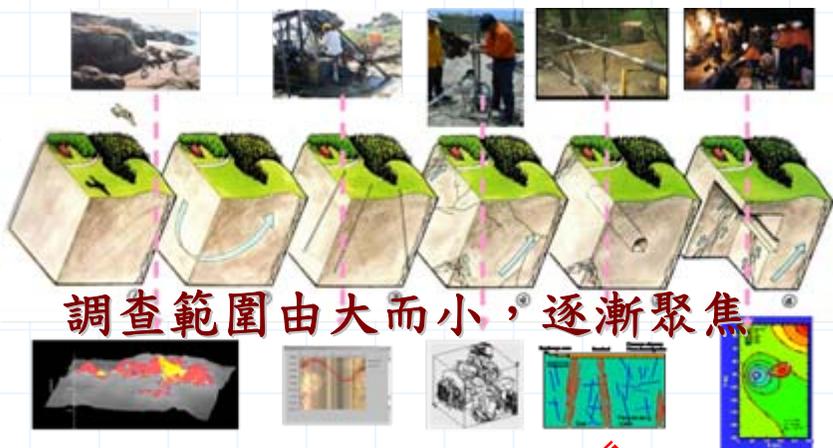
## ◆深地層特性調查技術：

- 為達成上述目標，台灣電力公司於花崗岩質技術發展測試區，逐步發展與測試，相關深地層特性調查與資料解析技術，包含：
  - 地表調查技術：衛星影像線型判釋、地表地質、地表裂隙、重/磁測、地電阻剖面等調查與資料解析技術。
  - 孔內探測技術：鑽探/岩心分析、地物井測/孔內裂隙量測、水文地質孔內試驗、裂隙地下水封塞取樣、孔內現地應力量測、跨孔試驗等試驗與資料解析技術，取得深層地質特性參數。
  - 資料整合解析技術：地質概念模式及裂隙網路建構技術。

# SNFD技術流程



## (1) 深地層特性調查與資料解析



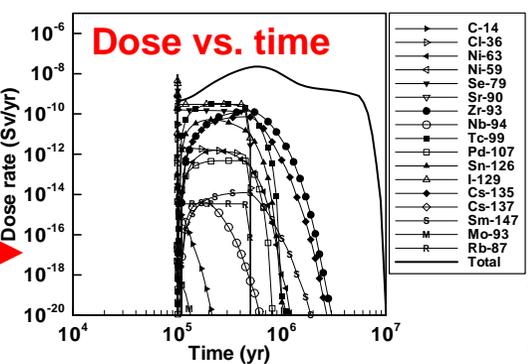
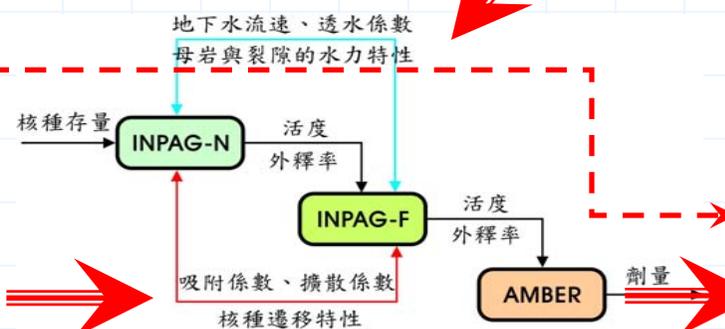
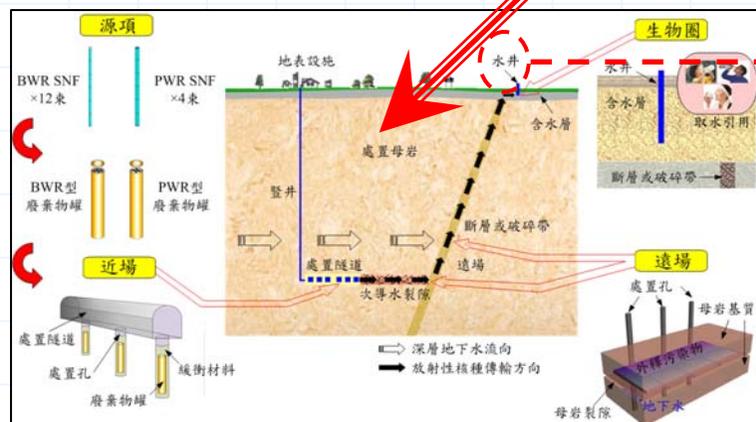
## (2) 代表性地層參數及核種特性/工程設計參數

- 裂隙(s&a):
  - 間距(s)=0.081 m; 內寬(a)=4.73E-03 m
- 母岩平均地下水流速( $V_{R, Darcy}$ ):
  - $V_{R, Darcy}$ =2.0E-8~1E-7 m/sec
- 水力傳導係數(K):
  - $K=1.0E-4$ ~ $3E-8$  m/sec (裂隙帶)
  - $K=4.1E-12$ ~ $3.6E-11$  m/sec (完整岩塊)
- 水力傳導係數擴尺度( $K_u$ ):
  - $\text{Log}_{10}(K_u)=0.855 \times \text{Log}_{10}(K_m) - 1.32 \times [\text{Log}_{10}(L_u) - \text{Log}_{10}(L_m)]$
  - $K_u$ , m/sec;  $L_u=3$ ~ $500$ m
- 水力擴散係數( $D_{Hydraulic}$ ):
  - $D_{Hydraulic}=1.39E-4$ ~ $1.0E-3$  m<sup>2</sup>/sec
- 延散度(Dispersivity):
  - 主導水通道(fault): 75m
  - 次導水通道(fracture to fault): 0.7~5m
- ...

## (3) 深地層處置與地質概念模式

## (4) 功能/安全模擬

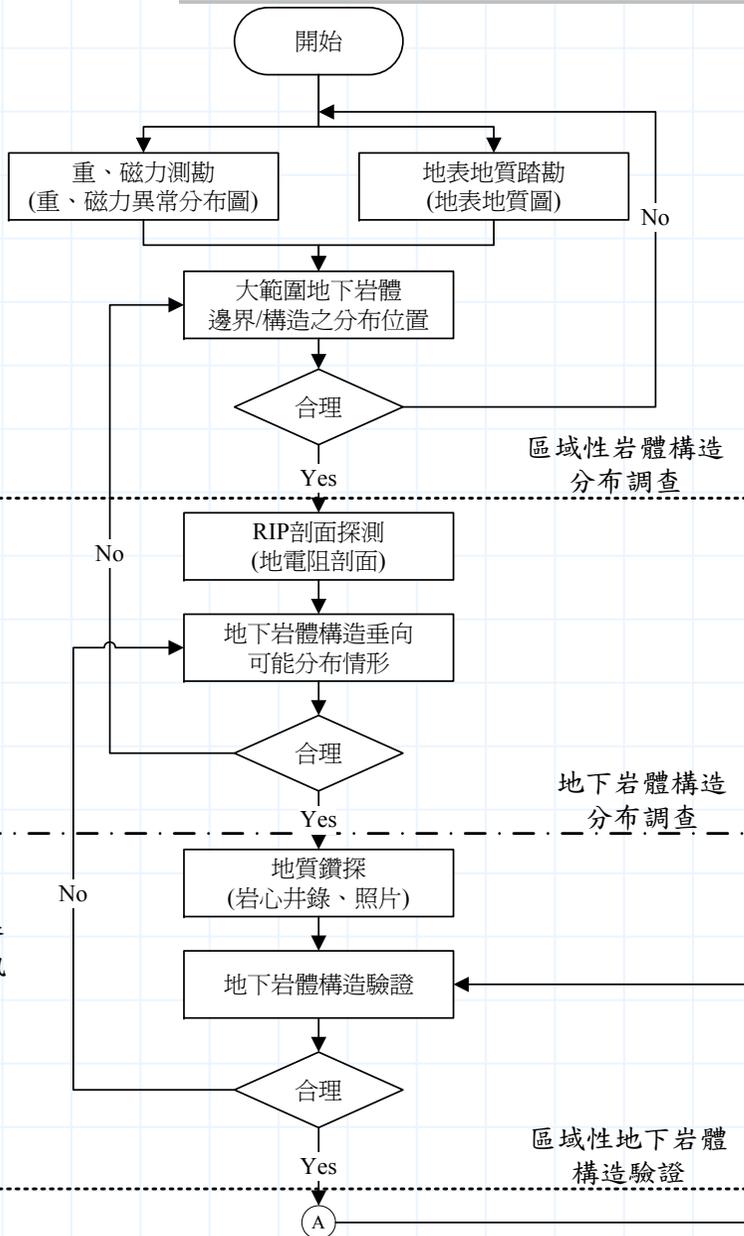
## (5) 執照申請



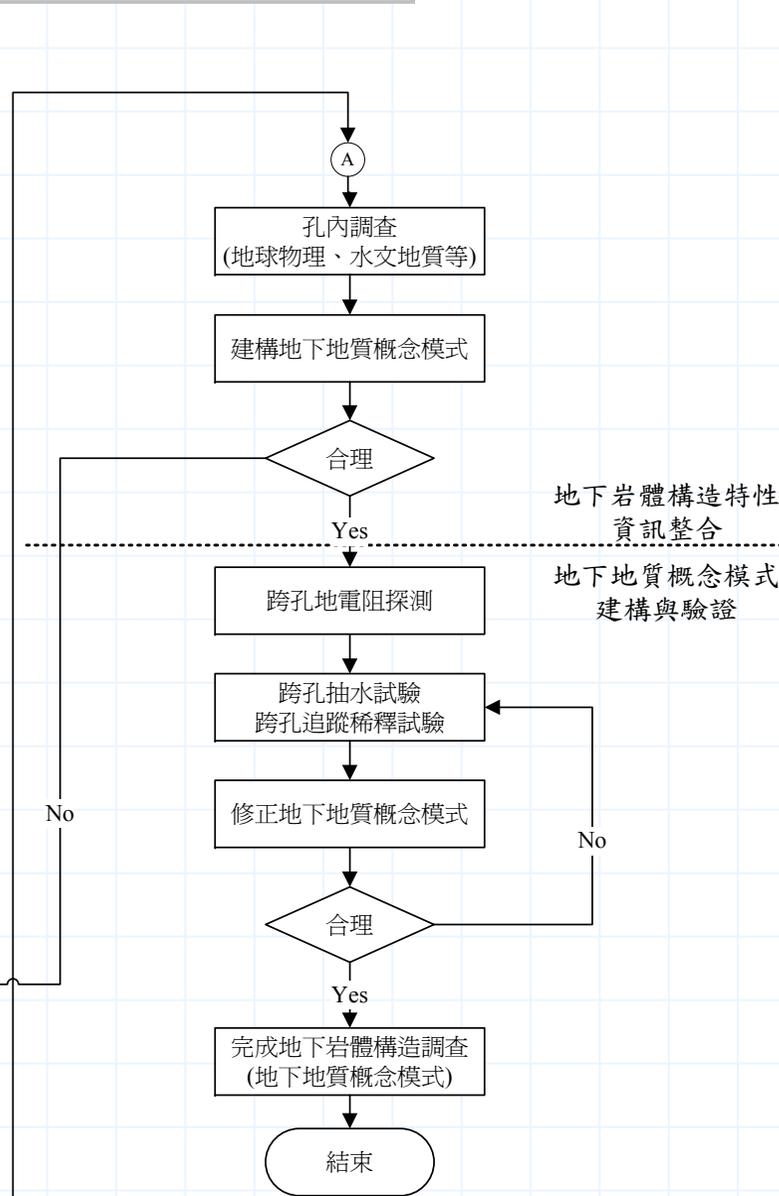
資料來源：我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告(初稿)(審查中)

# 深地層特性調查程序及方法

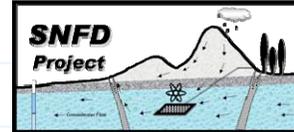
目的：取得地下岩體構造大範圍的分布情形，提供後續調查  
階段：地下岩體構造地表初勘



目的：取得地下岩體構造及構造細節的資訊。  
階段：地下岩體及構造細節調查



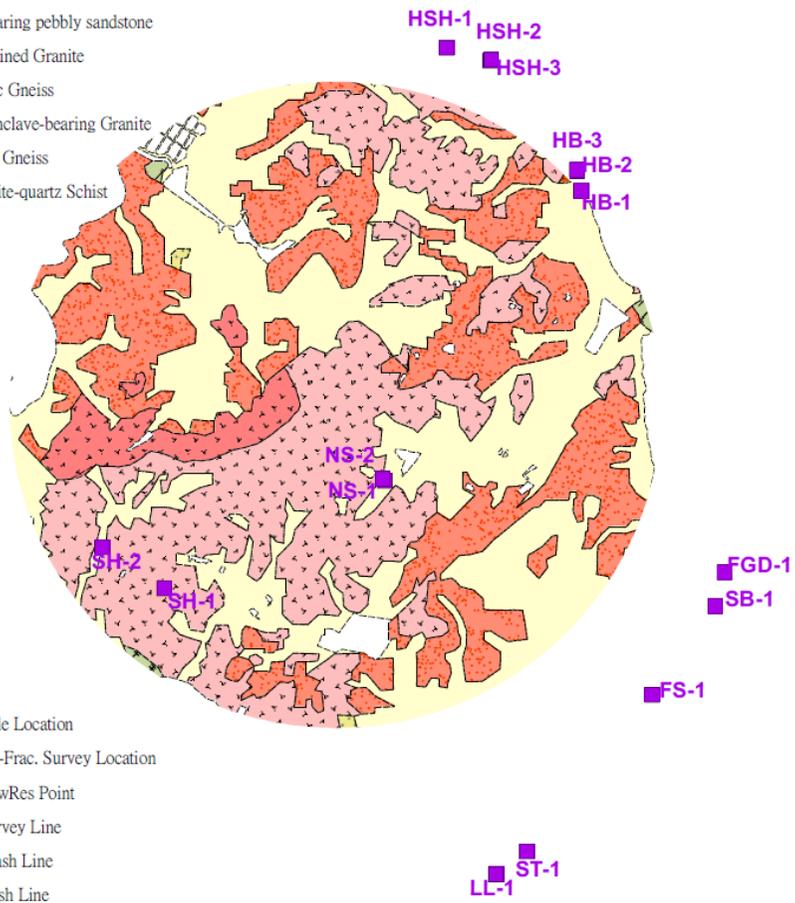
階段：地下岩體及構造細節調查(續)



# 地表地質與裂隙調查

## Legend

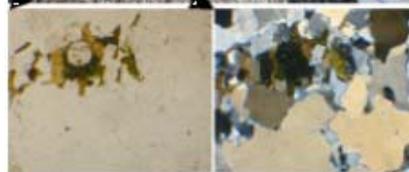
- Alluvium
- Lateritic Gravel
- Basalt Gravel
- Clay-bearing pebbly sandstone
- Fine-grained Granite
- Tonalitic Gneiss
- Mafic enclave-bearing Granite
- Granitic Gneiss
- Muscovite-quartz Schist



- Borehole Location
- Surface-Frac. Survey Location
- RIP LowRes Point
- RIP Survey Line
- Pink Dash Line
- Red Dash Line

花崗岩質技術發展測試區

—地表地質圖與地表裂隙調查位置分布圖



野外調查

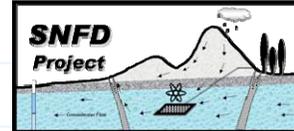
岩石產狀/  
巨視構造/  
岩石採樣

全岩化學及礦物定年

地表地質圖

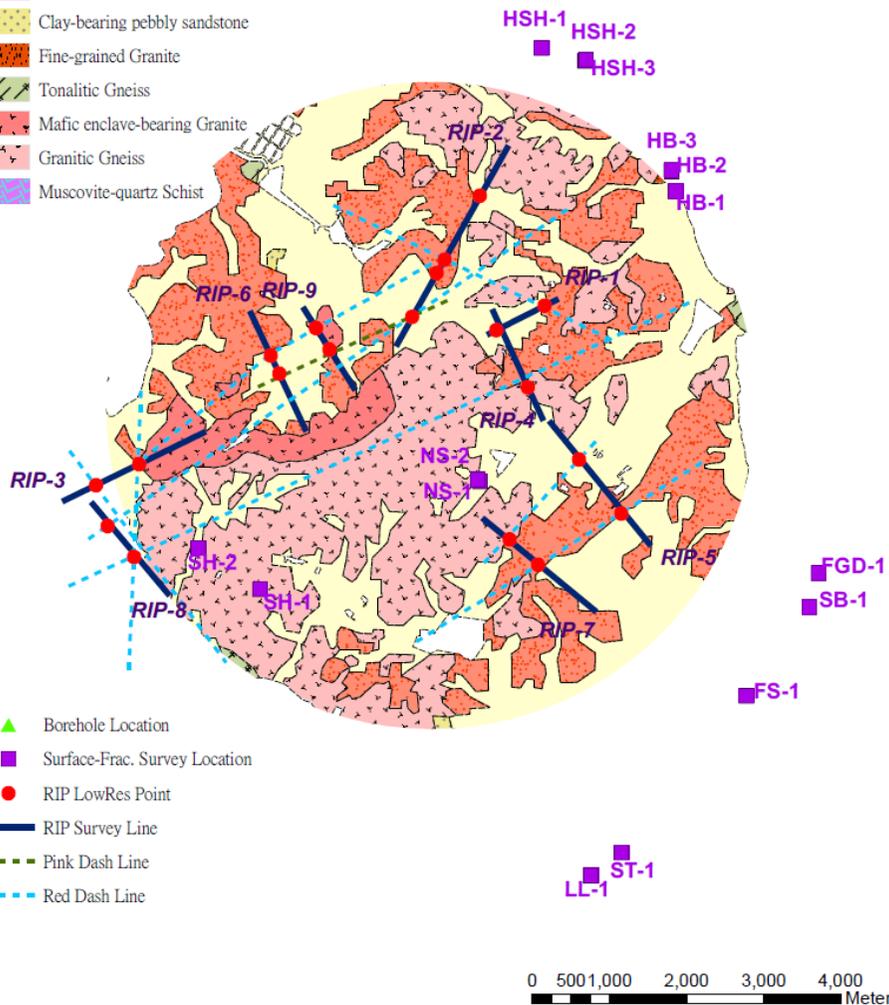


# 地電阻剖面探測

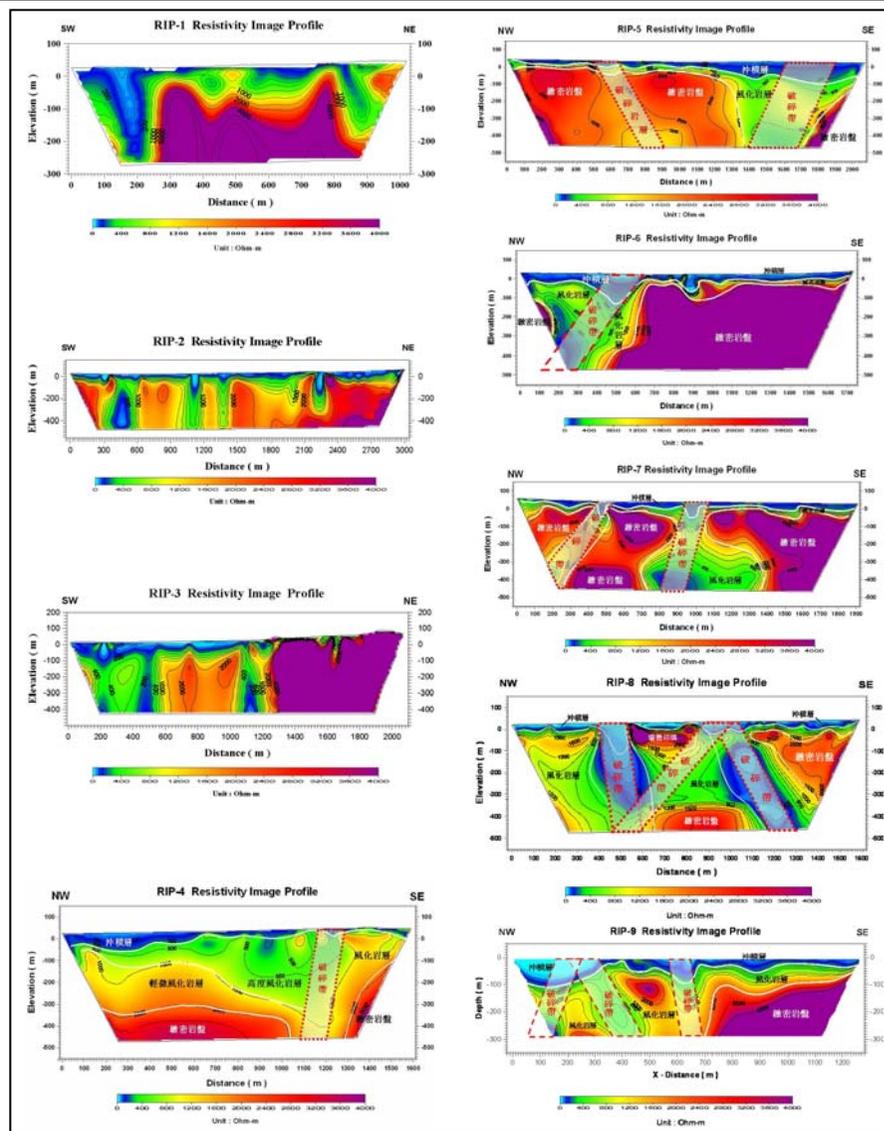


## Legend

- Alluvium
- Latent Gravel
- Basalt Gravel
- Clay-bearing pebbly sandstone
- Fine-grained Granite
- Tonalitic Gneiss
- Mafic enclave-bearing Granite
- Granitic Gneiss
- Muscovite-quartz Schist



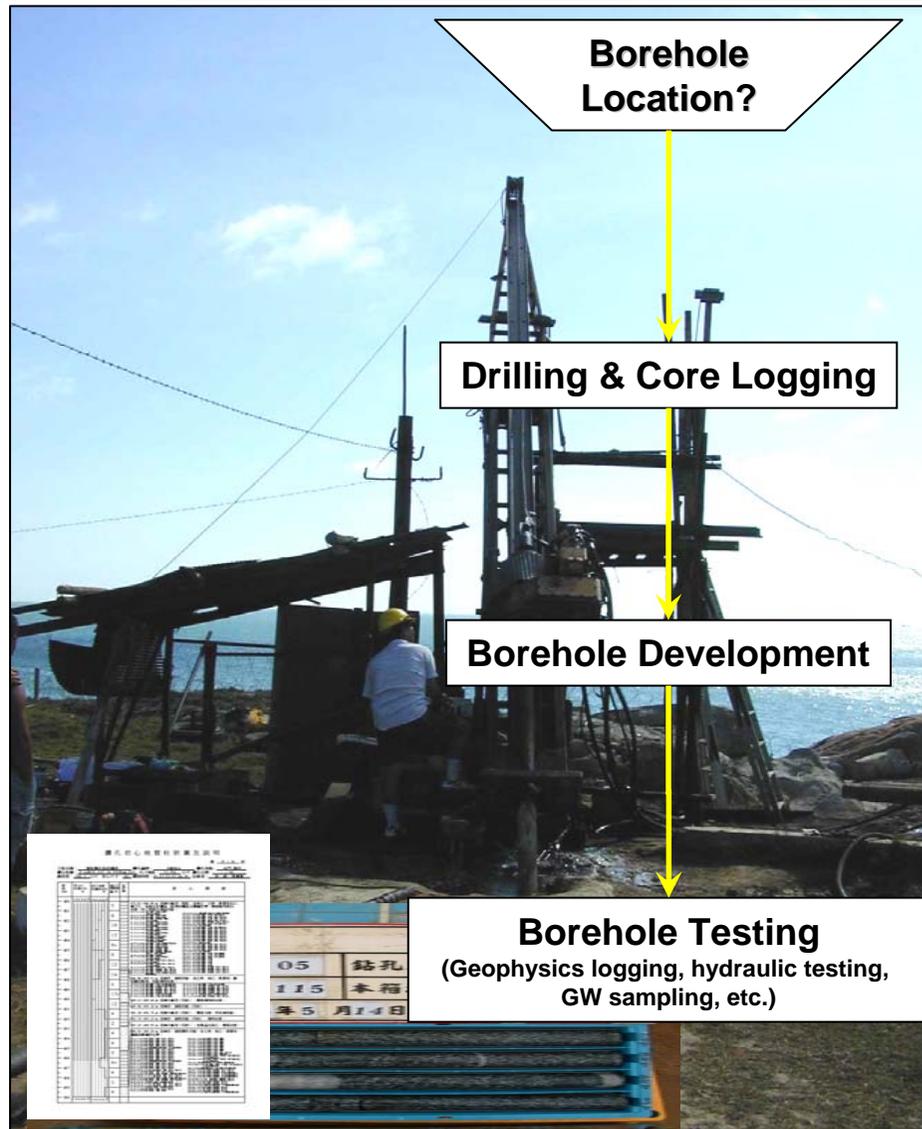
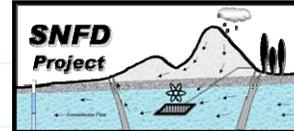
- Borehole Location
- Surface-Frac. Survey Location
- RIP LowRes Point
- RIP Survey Line
- Pink Dash Line
- Red Dash Line



◆ 共9條地電阻剖面(RIP)，總長度約16公里，解析深度300~500m深。

◆ 初步研判結果：19區低電阻帶(可能構造位置)，8條可能構造線(主要為北偏東)

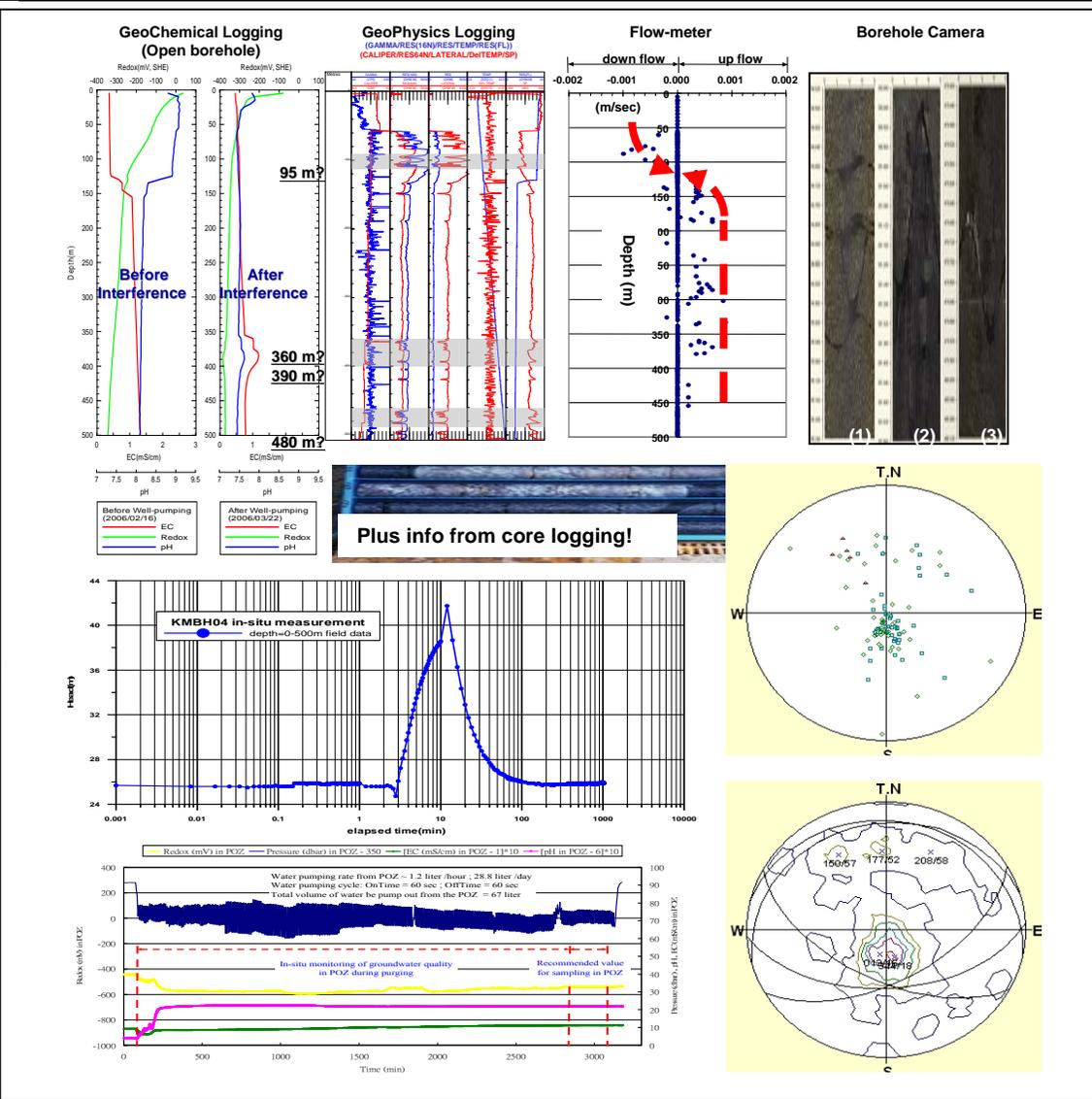
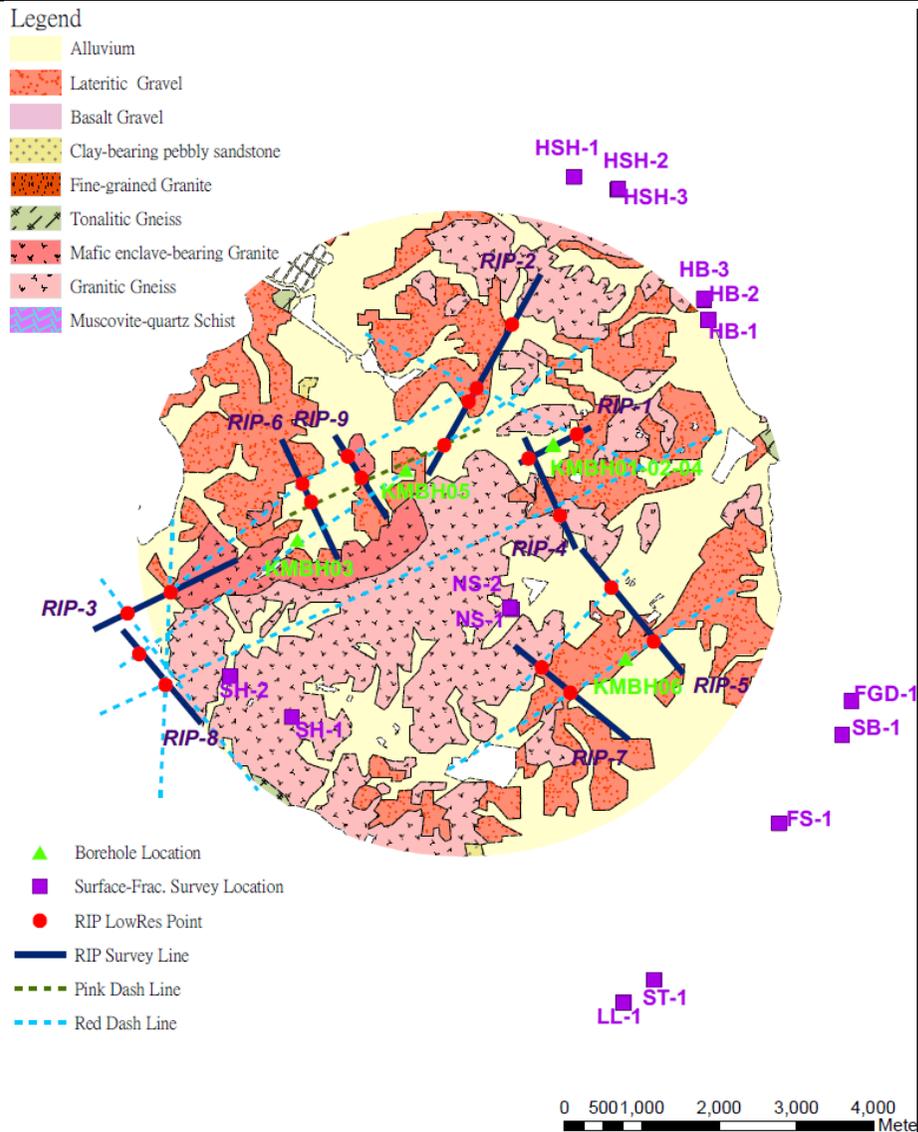
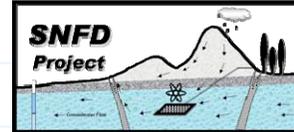
# 地質鑽探



◆ 共6口地質鑽探井(每孔深約500m)，總長度約3000m，包含一孔70度斜井。

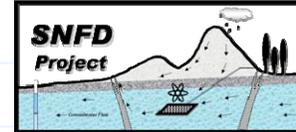
◆ KMBH01-02-04孔群，間距各約10m，穿過斷層帶。

# 孔內調查

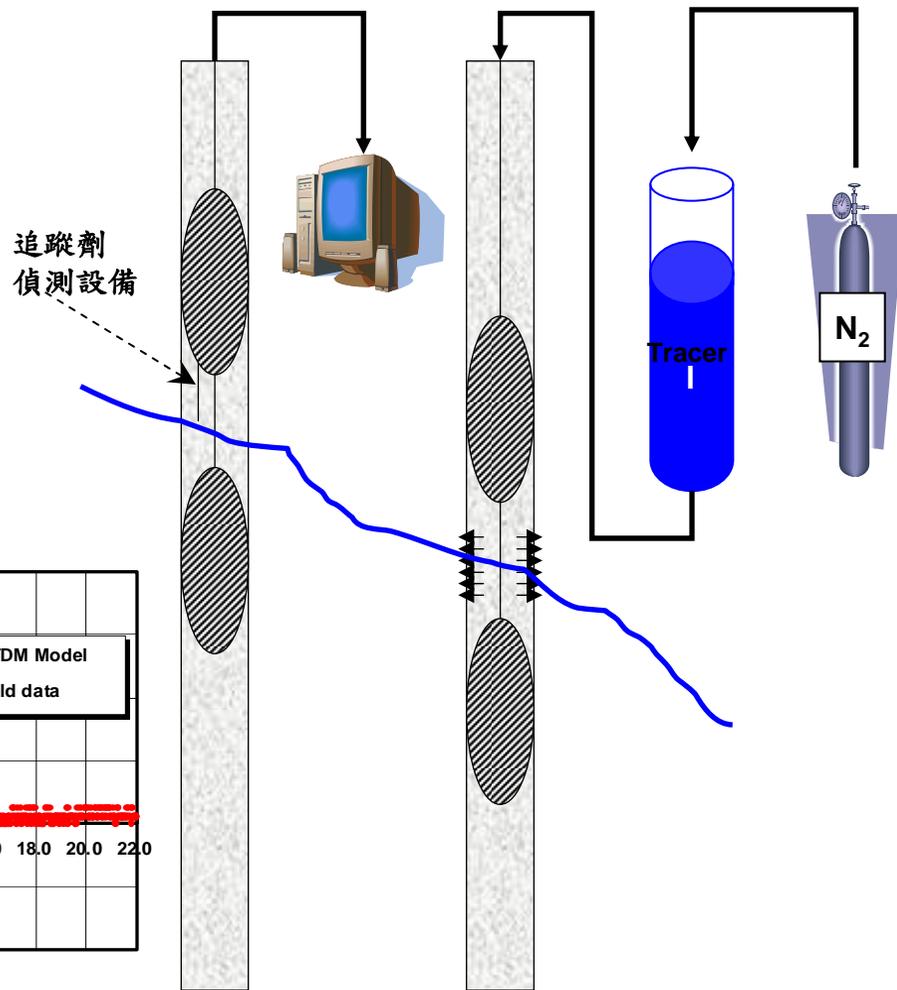
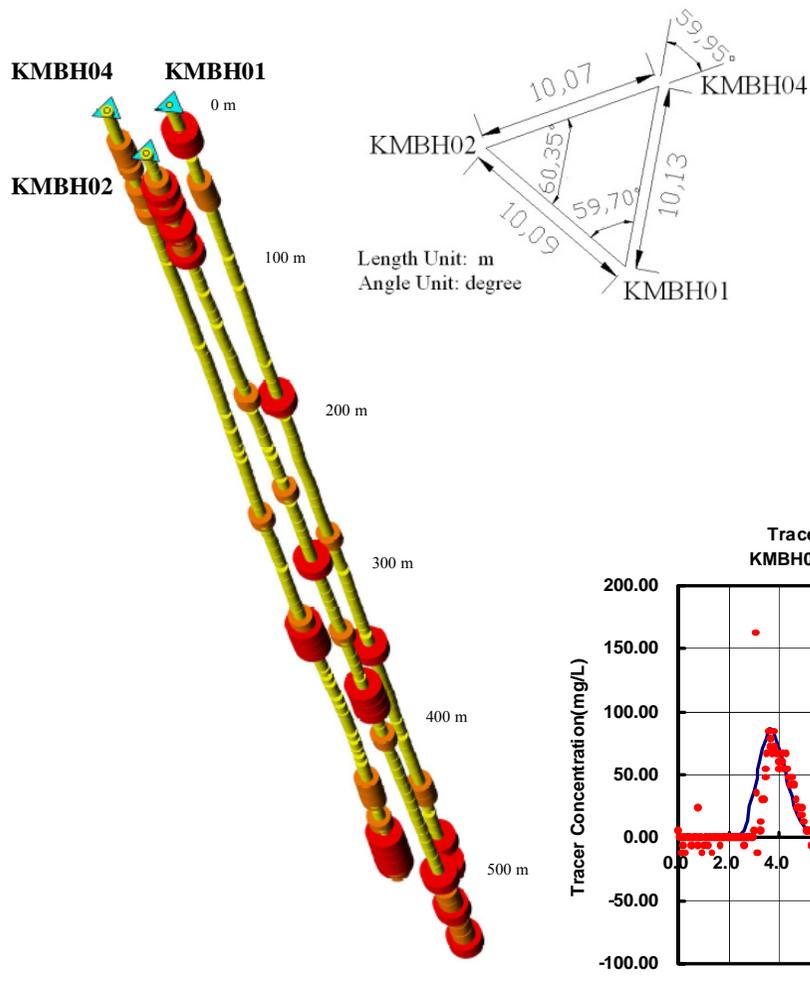


◆ 岩心初步判釋後，地球物理井測/孔內裂隙量測→水文地質孔內試驗→裂隙地下水封塞取樣分析(→孔內現地應力量測)。

# 跨孔調查



## 跨孔追蹤稀釋試驗

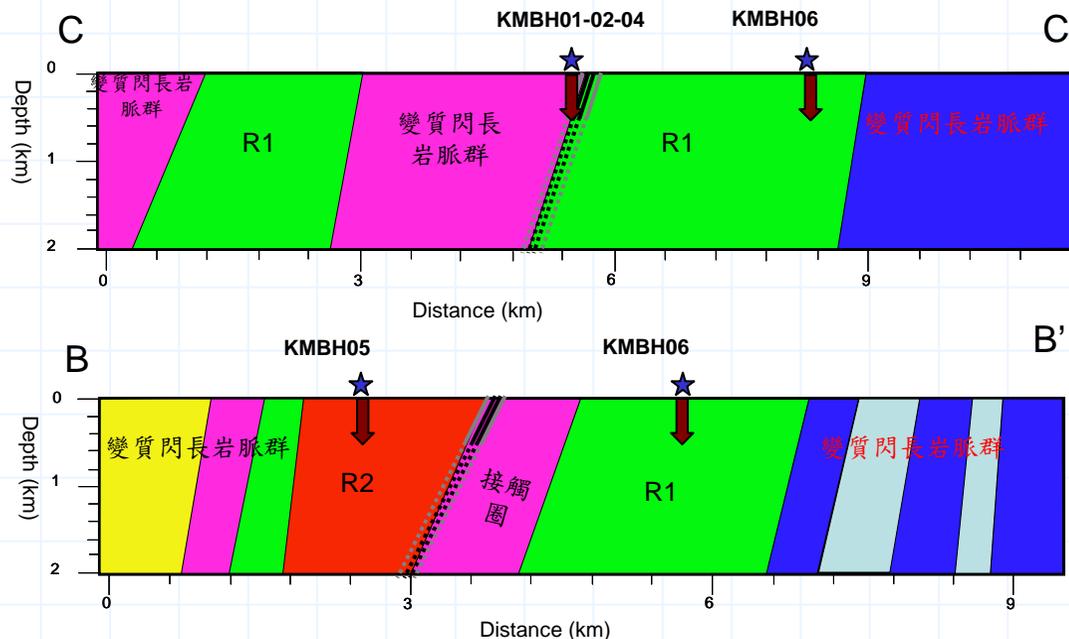


- ◆ 透過跨孔地電阻，探討KMBH01-02-04之180-200m, 330-360m, 450-500m間地下水的可能連通(低電阻)情形。
- ◆ 透過跨孔追蹤稀釋試驗及資料解析，可取得跨孔間的水力擴散係數、延散度、有效孔隙率等重要水力參數。

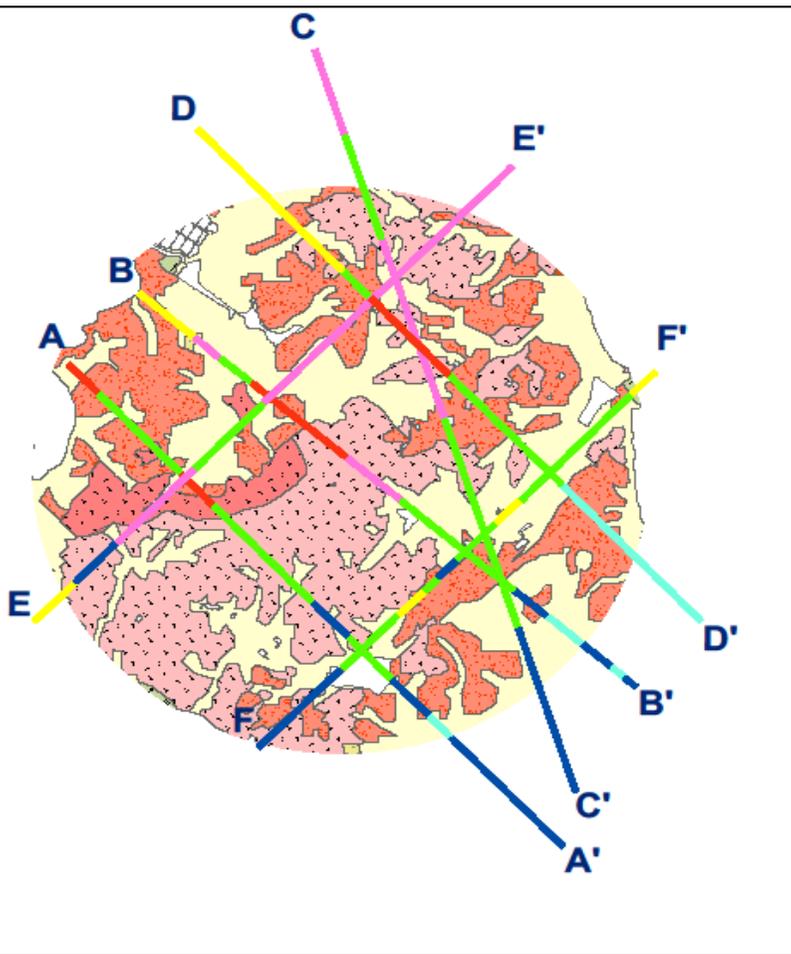
# 資訊整合→概念模式(1/2)

## 地質概念模式

岩體特性解析(PA採用C-C)



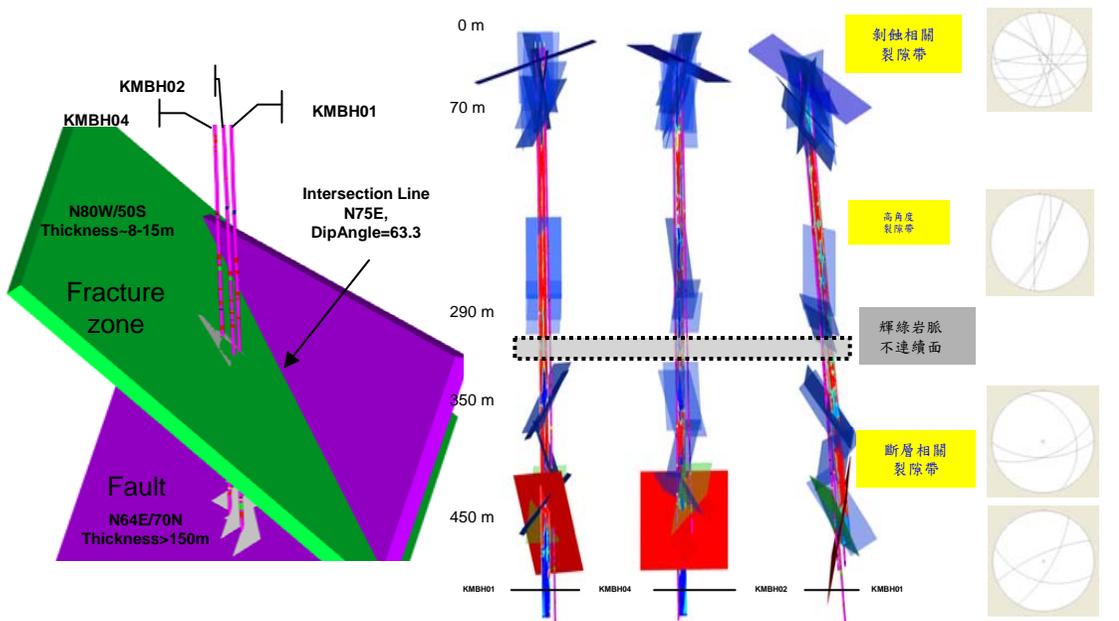
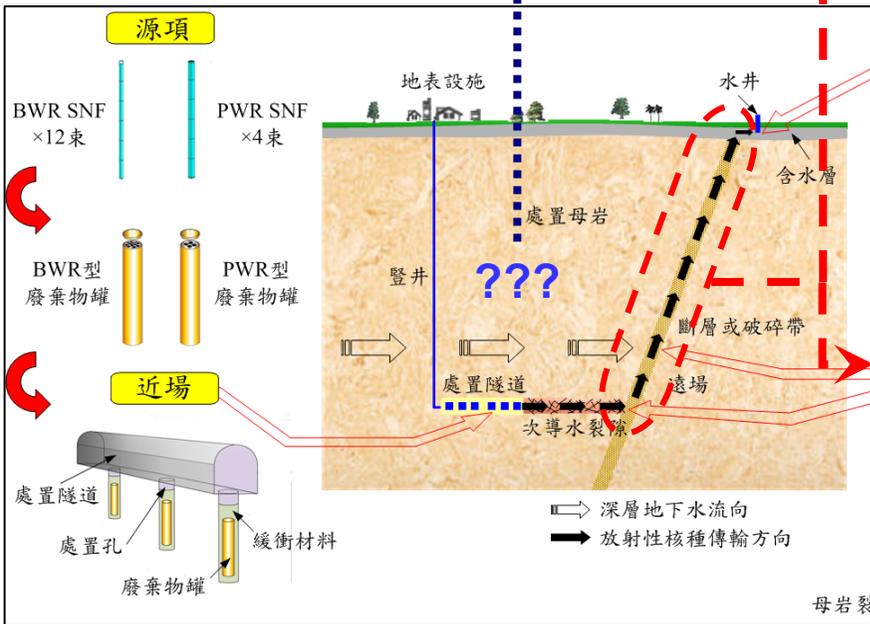
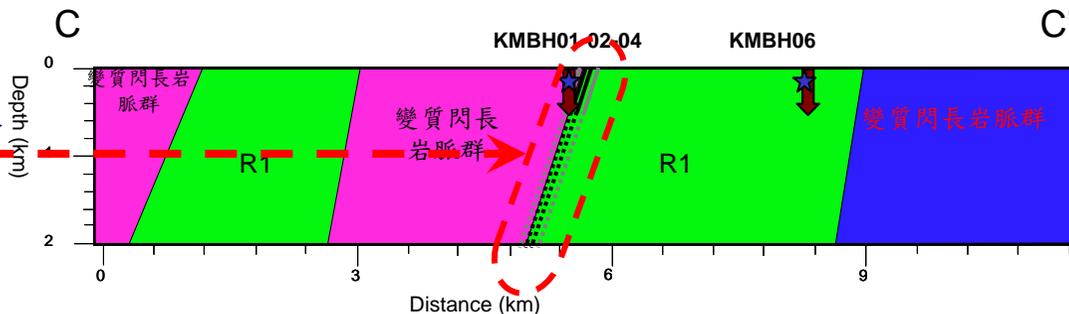
	低磁感率 (SI≤0.020)	中磁感率 (0.020≤SI≤0.035)	高磁感率 (SI>0.035)
低密度 (D<2730 kg/cm <sup>3</sup> )	■	■	■
高密度 (D≥2730 kg/cm <sup>3</sup> )	■	■	■



- ◆ 透過衛星影像線型、地表地質圖、重/磁立聯合逆推、地電阻剖面、岩心分析等綜合判釋，共建構6條地質剖面概念模式。

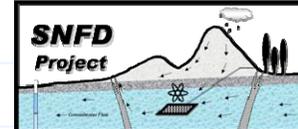
# 資訊整合→概念模式(2/2)

## 主要構造帶(斷層)地質概念模式



- ◆ 斷層位態：北偏東約64度，向北傾斜約70度(N64E/70N)；厚度至少150m。
- ◆ 主要裂隙帶：北偏西約80度，向南傾斜約50度(N80W/50S)；厚度約8~150m。

# 資訊整合 → 地層參數



## • 裂隙(s&a) :

- 間距(s)=0.081 m; 內寬(a)=4.73E-03 m
- Ref: SNFD-ERL-90-220:p3-33

## • 母岩平均地下水流速( $V_{R, Darcy}$ ) :

- $V_{R, Darcy}=2.0E-8 \sim 1E-7$  m/sec
- $V_{R, Darcy}=K_{500ave} * i$ ;  $i=0.1$  for KMBH01-02-04
- $V_{R, Darcy}=V_{\theta, Darcy} * \theta$ ;  $V_{\theta, Darcy}=2.0E-4$  m/sec,  $\theta=0.01 \sim 0.05\%$
- Ref: SNFD-EEL-90-243:p4-68

## • 水力傳導係數(K) :

- $K=1.0E-4 \sim 3E-8$  m/sec (裂隙帶)
- SNFD-ERL-90-193&243
- $K=4.1E-12 \sim 3.6E-11$  m/sec (完整岩塊)
- Ref: SNFD-EEL-90-248:p3-15

## • 水力傳導係數擴尺度( $Ku$ ) :

- $\log_{10}(Ku)=0.855 \times \log_{10}(Km) - 1.32 \times [\log_{10}(Lu) - \log_{10}(Lm)]$
- $Ku, m/sec$ ;  $Lu=3 \sim 500m$
- Ref: SNFD-EEL-90-243:p4-10

## • 水力擴散係數( $D_{Hydraulic}$ ) :

- $D_{Hydraulic}=1.39E-4 \sim 1.0E-3$  m<sup>2</sup>/sec
- Ref: SNFD-EEL-90-243:p4-68

## • 延散度(Dispersivity) :

- 主導水通道(fault) : 75m
- 次導水通道(fracture to fault) : 0.7~5m

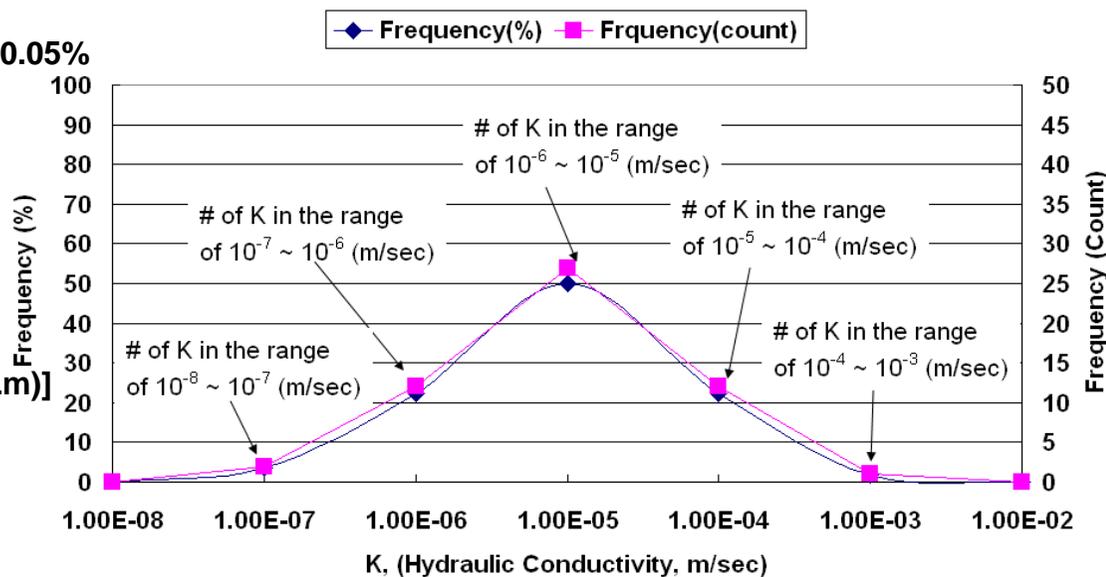
## • 水力梯度(i) :

- $i=0.1$  (建議值) for KMBH01-02-04
- $i=0.01$  (建議值) for K-east SE->NW

## • 岩石現地應力 :

- 水力破裂法 @KMBH01 ; Ref: SNFD-ERL-90-199:p3-17

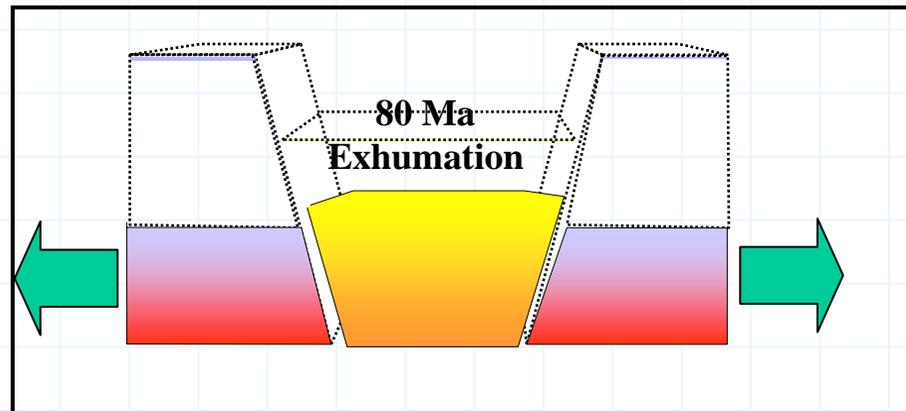
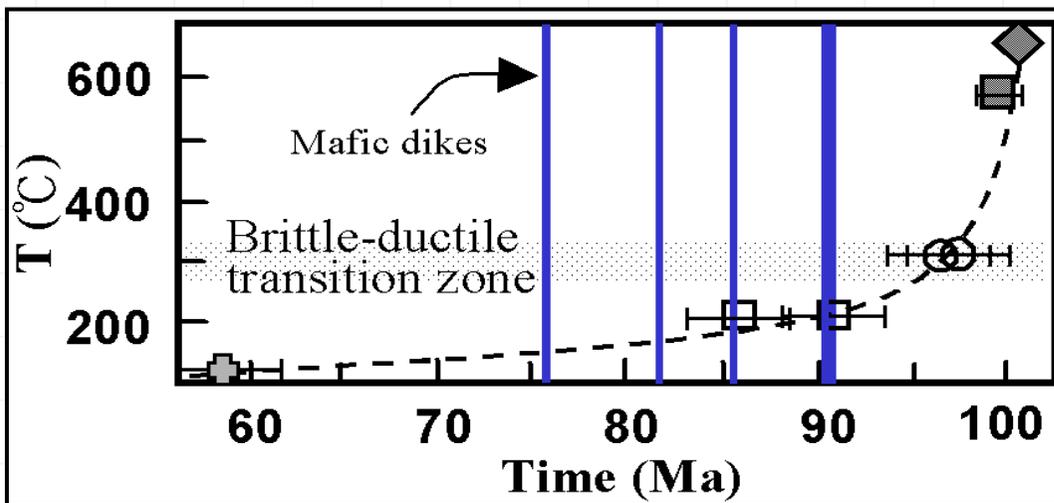
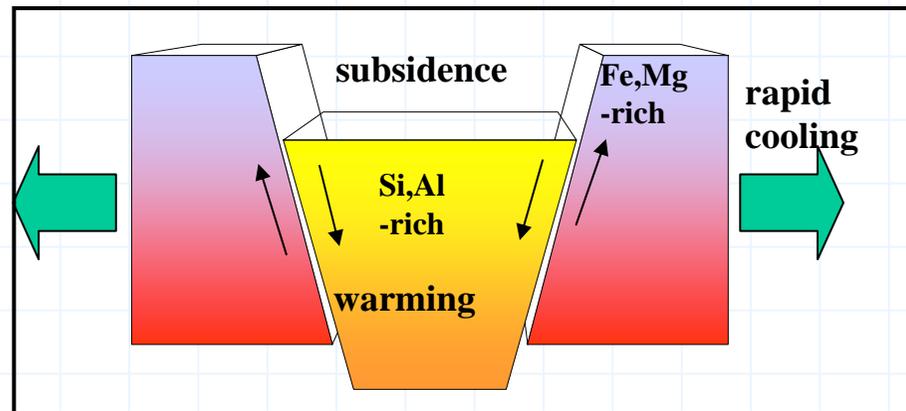
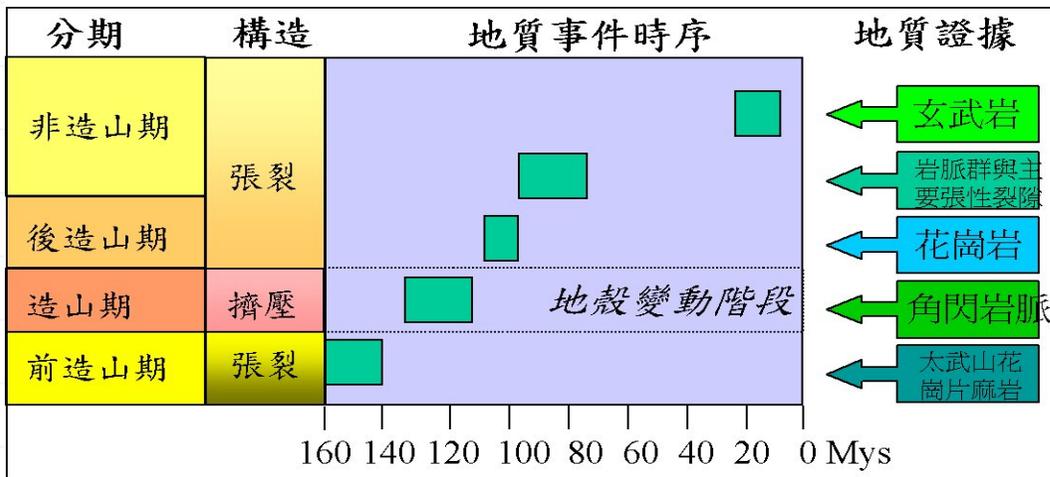
KMBHXX: Distribution of Hydraulic Conductivity from borehole packed-off test for fracture rock (packed off zone = 1~3m)



Depth (m)	238	292	306	430
Max H-stress(MPa)	8.41	9.84	10.68	14.43
Min H-stress(MPa)	4.54	6.25	5.73	9.38
Dir of Max H-stress	N58.2W	N54W	N53.6W	N76.4W



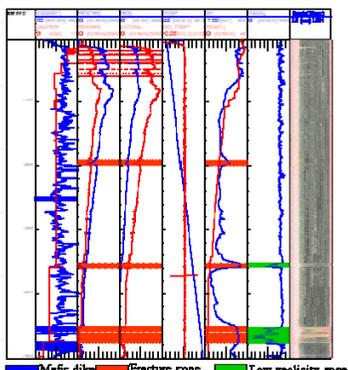
# 地質演化史



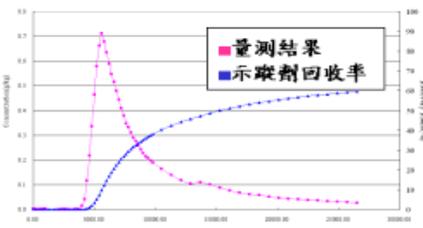
# 地質特性摘要



3000m鑽探進尺  
(直孔最深560m；斜孔最深470m)

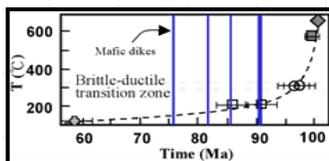


500m深層地物井測

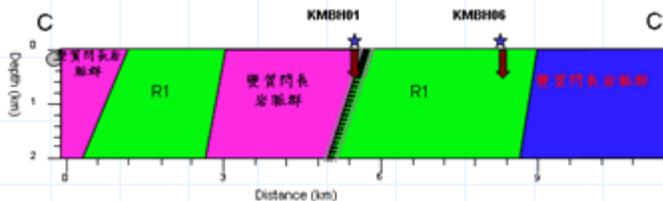


KMBH01-04跨孔追蹤稀釋試驗

岩石定年分析

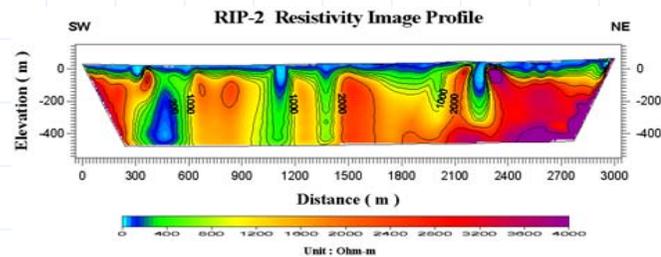


地表地質調查及剖面推估

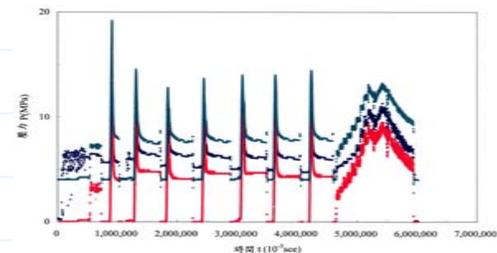


## 岩體特性調查初步判釋結果

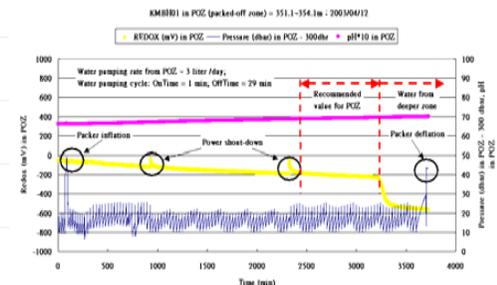
- ❖ 岩體處於穩定地質環境。
- ❖ 岩體體積應足以進行深地層設施開發。
- ❖ 深地層設施主結構之長軸方向以北偏西方向為宜。
- ❖ 岩體延緩地下水流動的能力尚可。
- ❖ 水質條件微鹼性且還原態的淡水。



16km地電阻剖面及重磁力探測

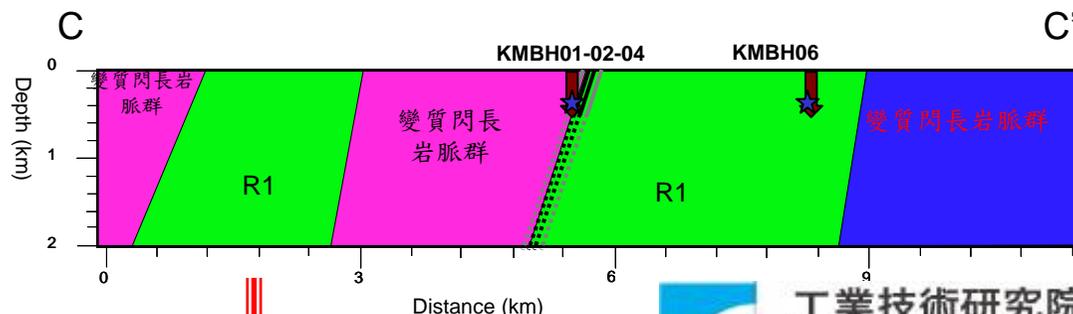
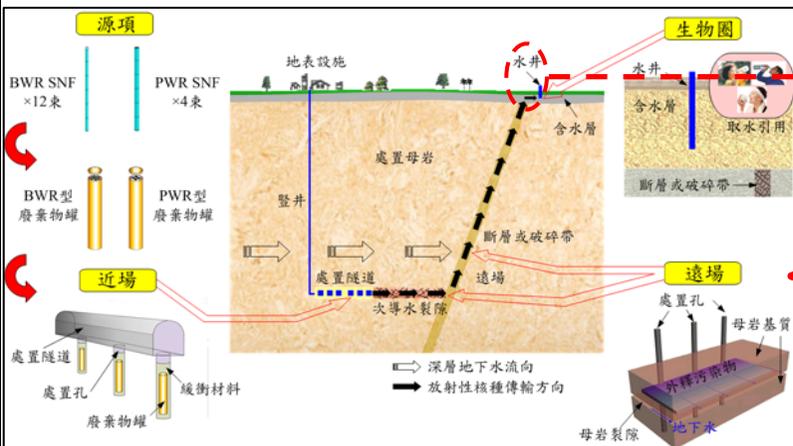
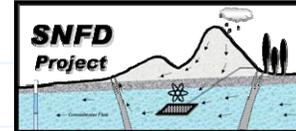


430m深層岩石現地應力量測

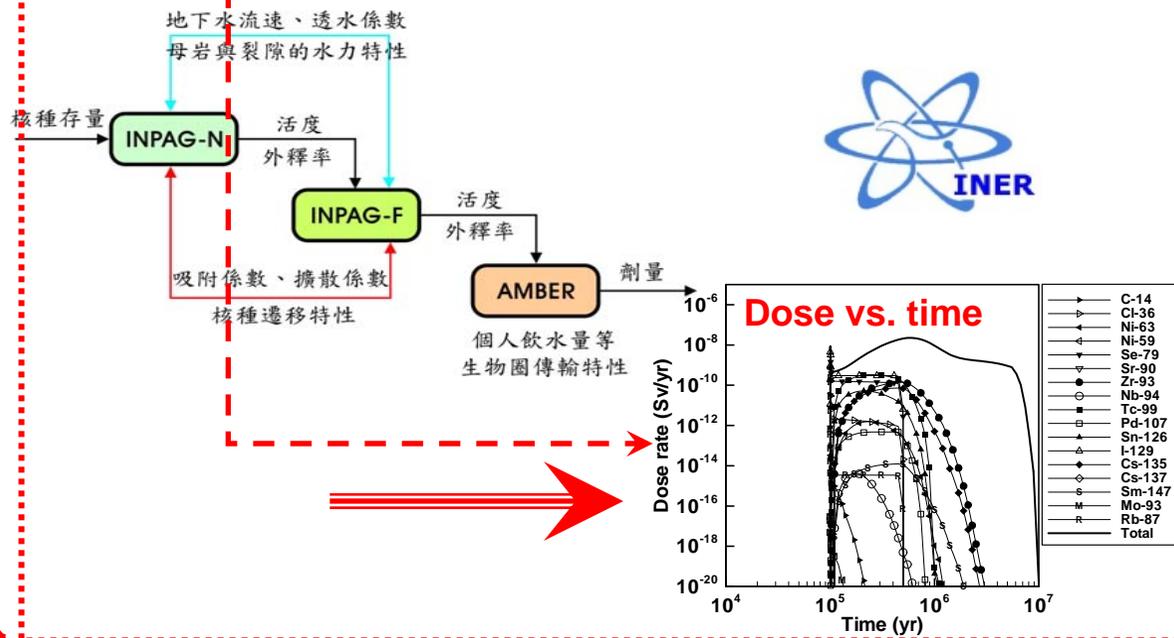


490m深層地下水封塞取樣

# 技術發展成果應用

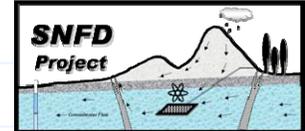


+ 地層參數



## 結論

- ◆ 已成功建置**500m**深度之花崗岩質岩體的特性調查及資料解析技術
  - 相關技術業已成功整合應用於技術發展測試區，產出結果(地質概念模式與參數)，將結合功能安全評估技術，用以完整說明我國由地質調查、資料解析至功能安全評估之整體流程的執行能力，已具備「初步技術」的可行性。
- ◆ 後續擬尋找適合坑道，進行整合性技術驗證、高密度跨孔相關試驗，與地震/垂直位移等相關研究工作。
- ◆ 雖然僅在技術發展與母岩評估階段，但現地調查工作事涉敏感，缺乏法定調查權，僅能低調進行相關地質特性初步調查與研究工作；衷心感謝各界先進默默支持與執行團隊的共同努力。



敬請指正