

工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

地熱儲集層建模 從地下不確定性到工程決策

Conceptual Modeling, Numerical Simulation, and Field Integration

工業技術研究院 張侑瑛 研究員

2026/05/14



關於講者

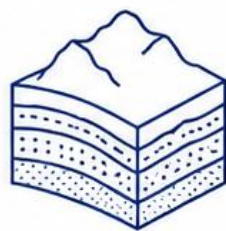
FROM FIELD INVESTIGATION TO RESERVOIR MODELING

張倚瑛

研究員 地熱能源開採技術研究室

工業技術研究院 綠能與環境研究所

CoreyYHChang@itri.org.tw



個人專業

- 地熱資源探勘與儲集層建模
- 地質概念模型與數值模擬
- 工程決策與風險評估支援



實務經驗

- 整合地質、地物、地化、鑽井與產測資料
- 概念模型建立與執行數值模擬
- 井位、回注與井群干擾分析



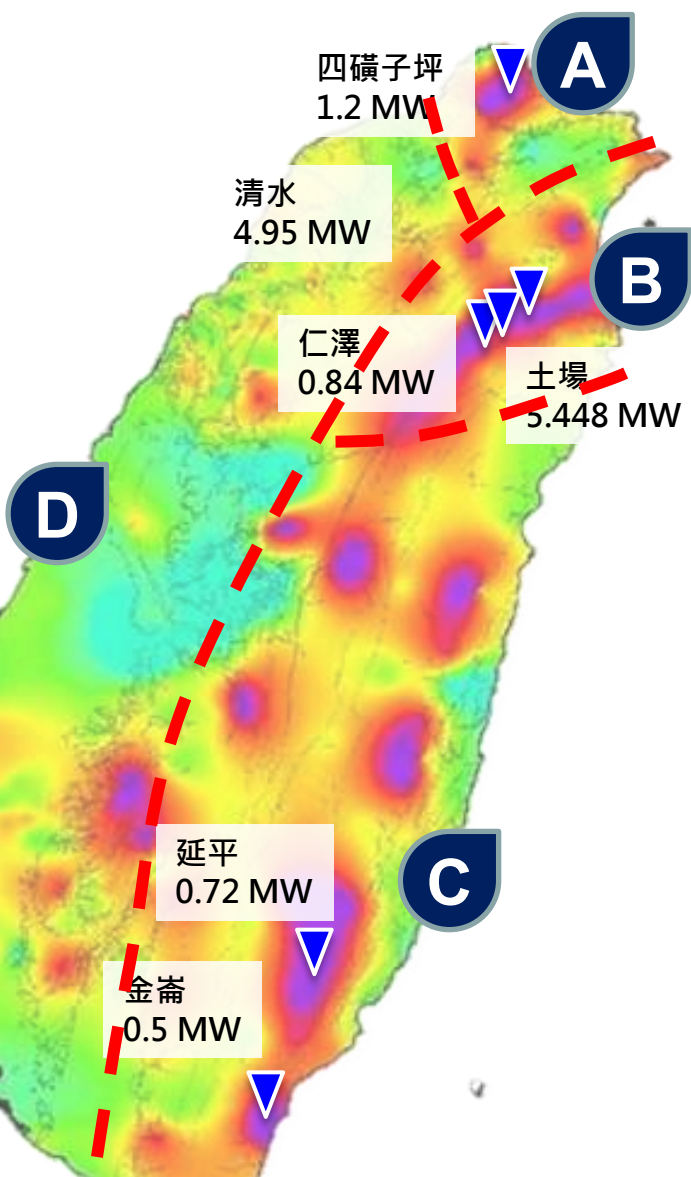
本次分享重點

- 如何透過調查資訊轉化為數值模型
- 模型如何由資料驗證並支撐預測
- 模型如何應用於工程決策

簡報大綱

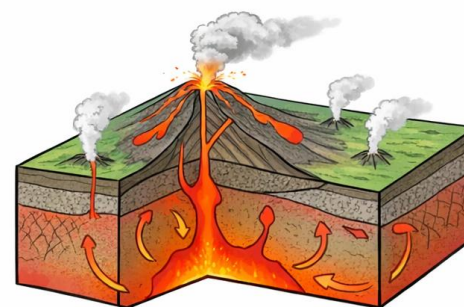
- 一.台灣地熱開發的挑戰
- 二.為什麼需要概念模型
- 三.數值模型的建立與驗證
- 四.區域競合與回注風險評估案例
- 五.結論

國內地熱資源型態分類

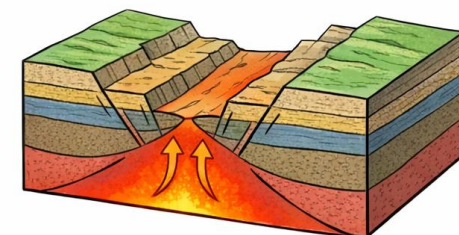


台灣地熱潛能高，但資源類型複雜，難以單一模式開發：
不同資源型態對熱源、導流構造、儲集層與回注策略的要求不同。

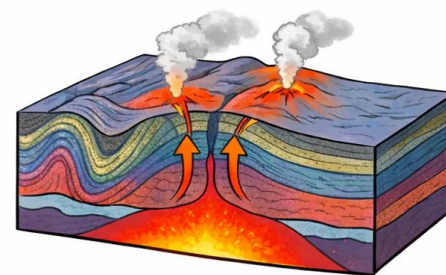
- **A 火山高溫型:**
岩漿熱源主導
- **B 張裂盆地型:**
斷層控制深循環
- **C 變質岩/熱岩上升型:**
高熱流基盤與裂隙控制
- **D 沈積盆地型:**
深部含水層與蓋層組合



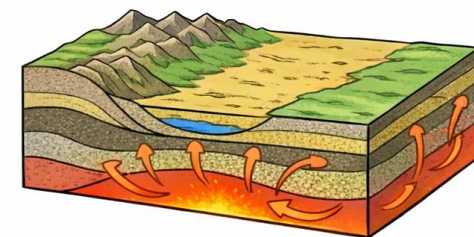
A. 火山高溫型



B. 張裂盆地型



C. 變質岩/熱岩上升型



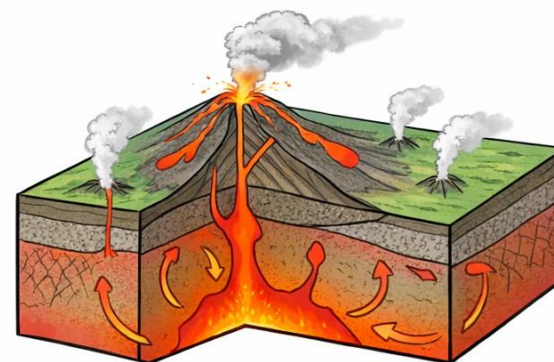
D. 沈積盆地型

儲集層概念模型建立及數值模擬 幫助降低不確定性

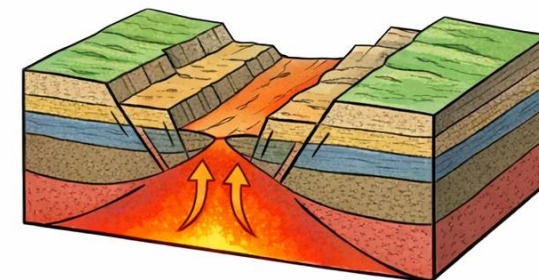
由可信的概念模型建立有效的數值模型

從四個關鍵問題導向建立模型

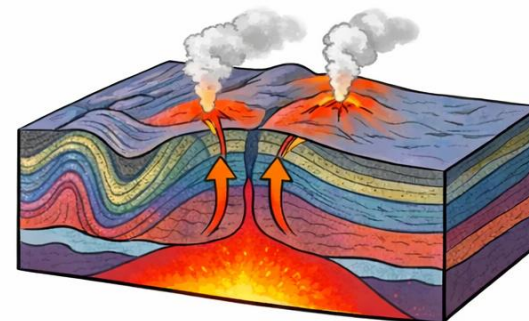
- **儲集層在哪裡？**
斷層破碎帶、火山岩裂隙、變質岩裂隙或深部含水層？
- **流體如何運移？**
補注、下滲、加熱、上升、側向流動與地表露頭是否構成完整循環？
- **是否有蓋層構造？**
是否有低滲透層能保存熱與流體？
- **熱、流體如何補注？**
熱源型式與補注來源如何控制系統行為？



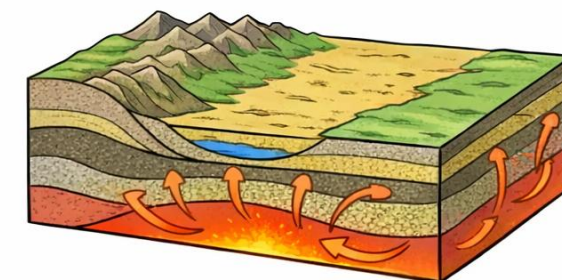
A. 火山高温型



B. 張裂盆地型



C. 變質岩/熱岩上升型



D. 沈積盆地型

地熱儲集層模型關鍵

A simulation is only as good as its conceptual model.

關鍵元素

地下系統的主要組成

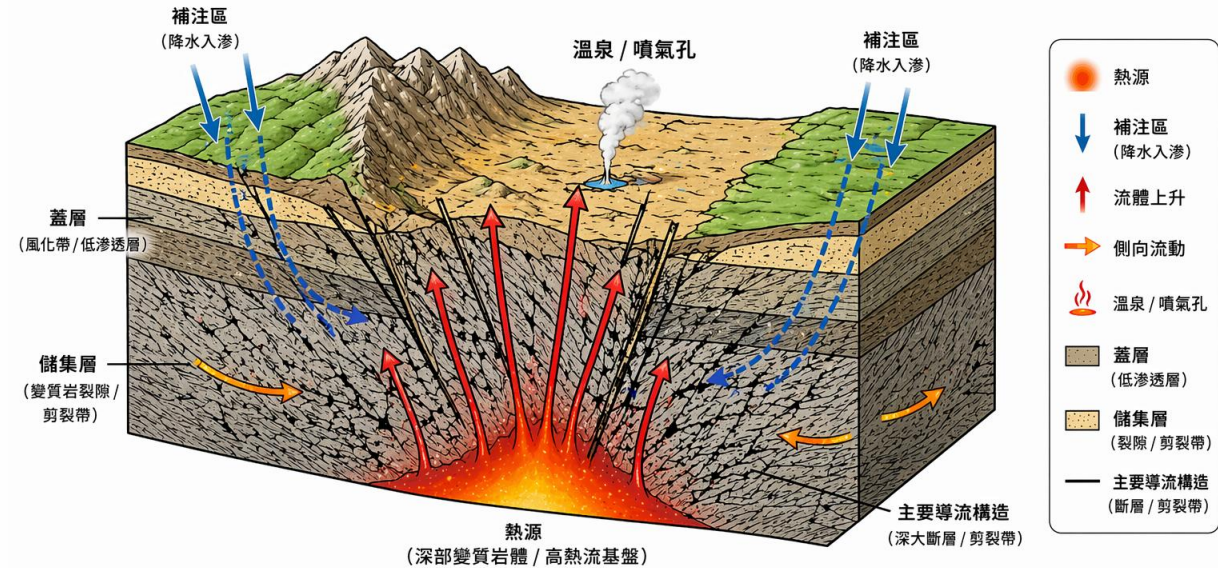


建構模型重點

轉化為可建模的空間與物性條件



C. 變質岩 / 熱岩上升型 地熱地質概念模型

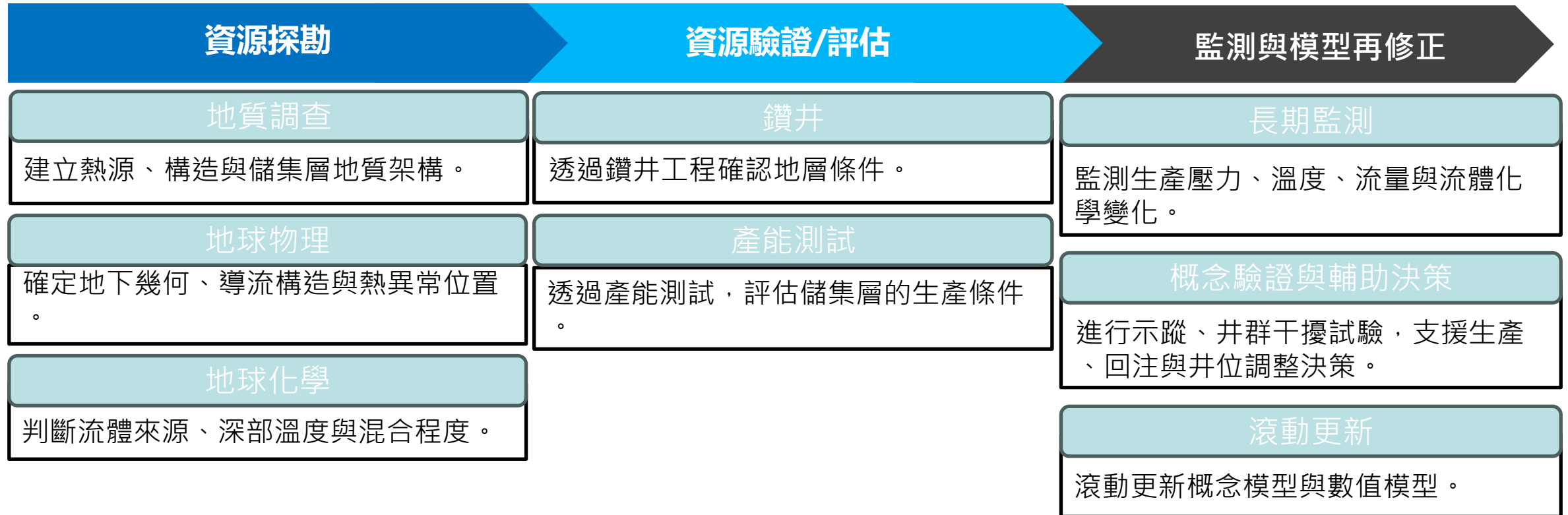


此系統由深部高溫變質岩體提供熱能，透過深大斷層與剪裂帶形成的導流構造使地下水深循環。地下水在深部受熱後沿構造上升，於地表形成溫泉或噴氣孔。

- 概念模型的品質取決於資料整合程度
- 模型的可信度取於邊界與條件假設的合理性
- 不同概念模型導向不同模擬結果與工程判斷

透過系統性調查手段建立儲集層概念模型

每一種資料都不完整，但整合後才足以支撐概念模型



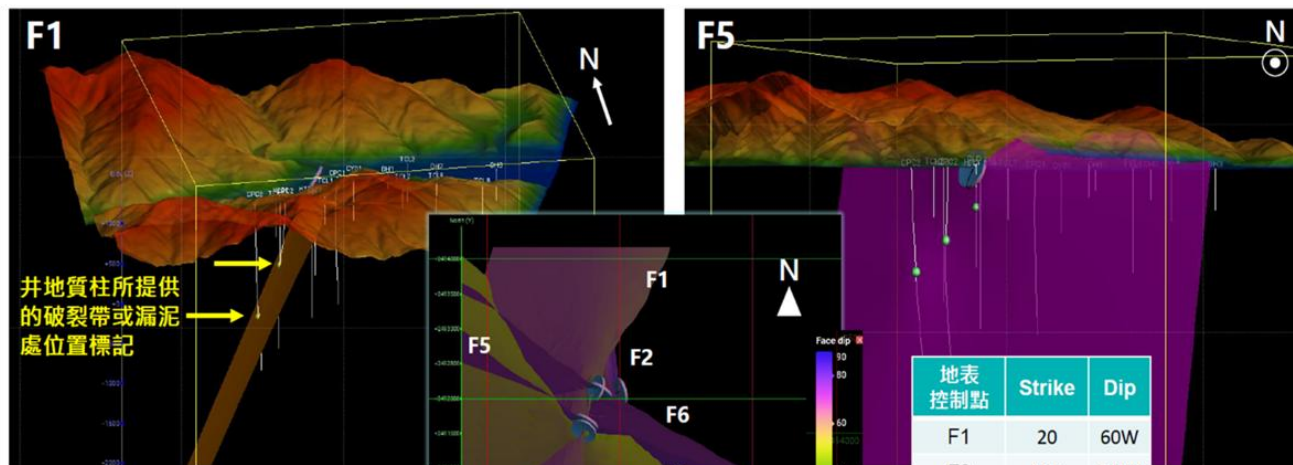
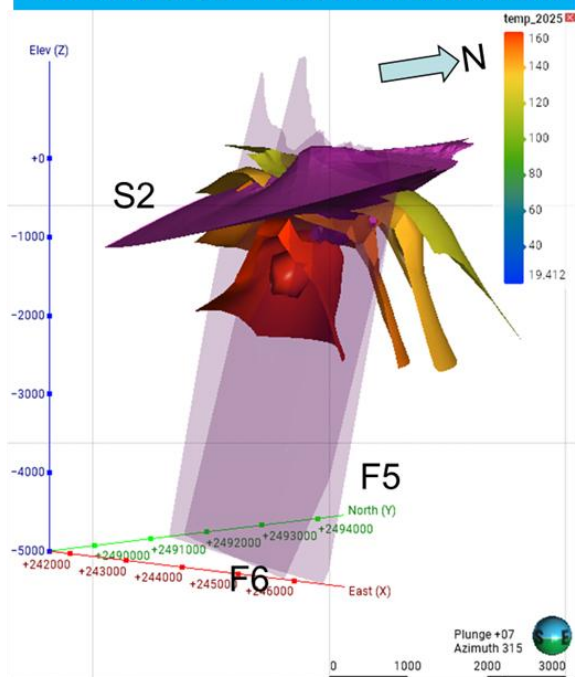
儲集層數值模型 = 輔助決策工具

模型不是一次建立完成，而是隨探勘、驗證與營運資料持續更新的動態工具

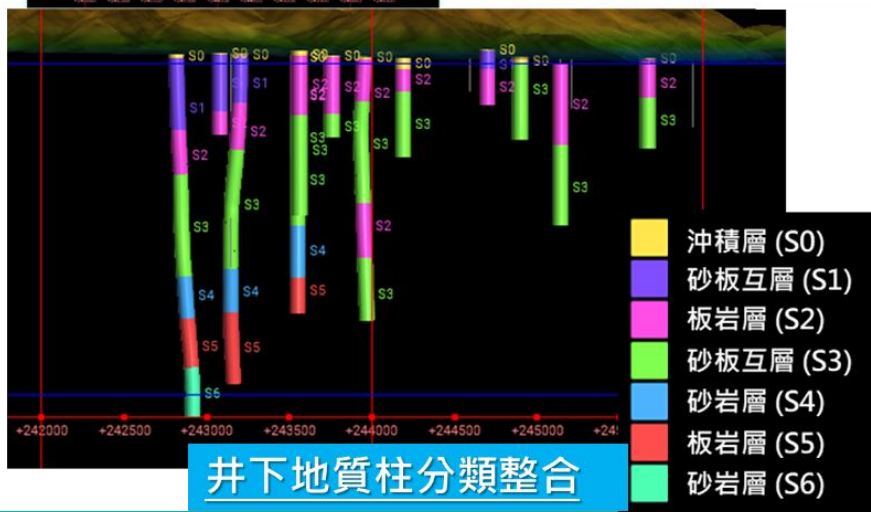
地熱儲集層模型是一個地表與井下資訊整合的結果

地表構造資訊如何轉化為井下儲集層與導流構造判釋？

地質構造及井下溫度量測結果比較



地表斷層位態與井下破裂帶資訊



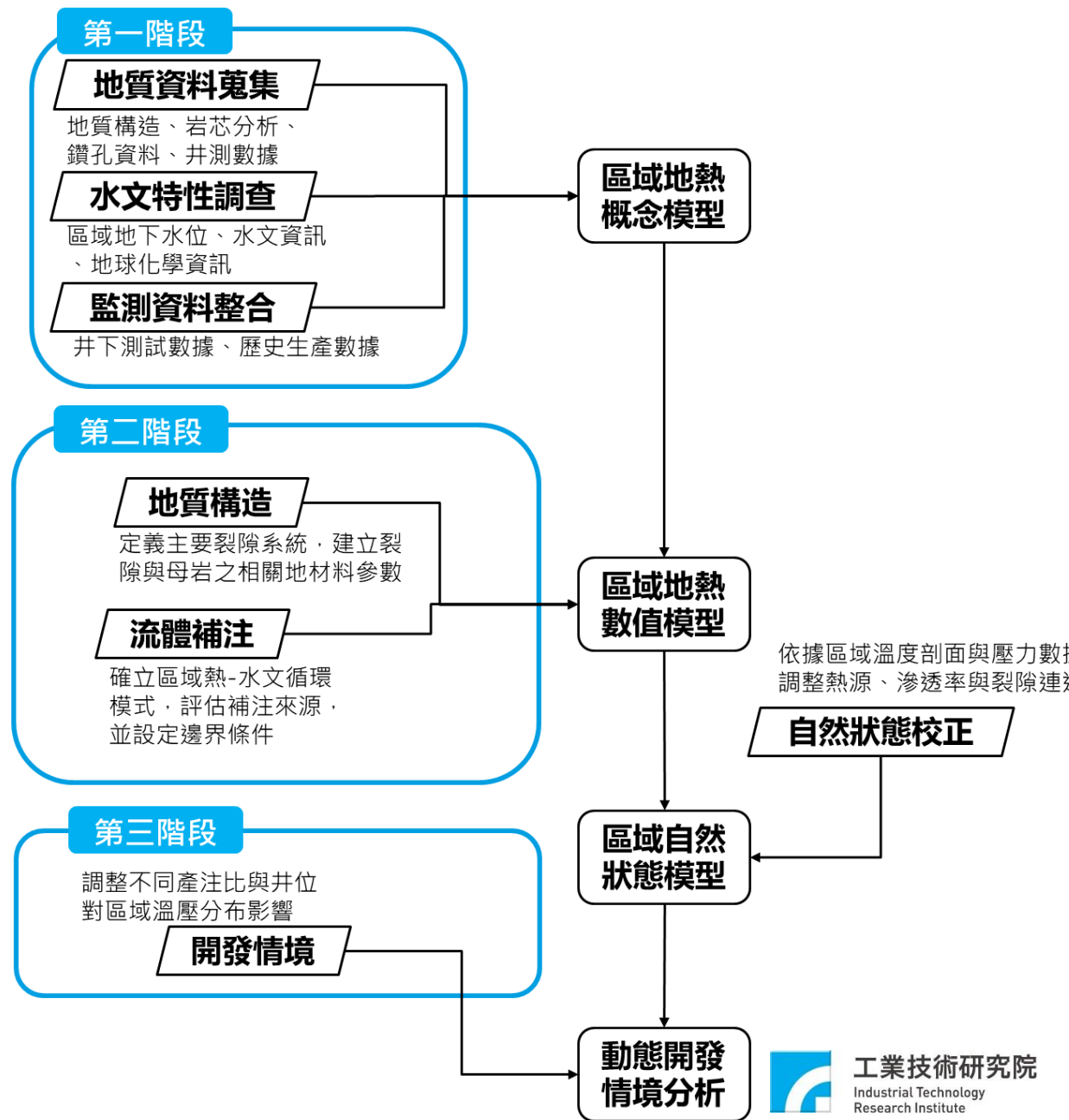
井下地質柱分類整合

數值模型建立與驗證流程

檢驗概念模型是否足以支持情境預測。

狀態方程式	決定 流體相態描述 是否合理
網格設計	解析度影響 結果表現 與 計算成本
物理參數設定	滲透率與裂隙性質通常 最不確定
邊界條件設定	常被簡化 ，但對結果影響很大
起始條件設定	決定 是否能正確收斂 到自然狀態
生產、回注井	直接影響預測 的壓力與冷卻行為

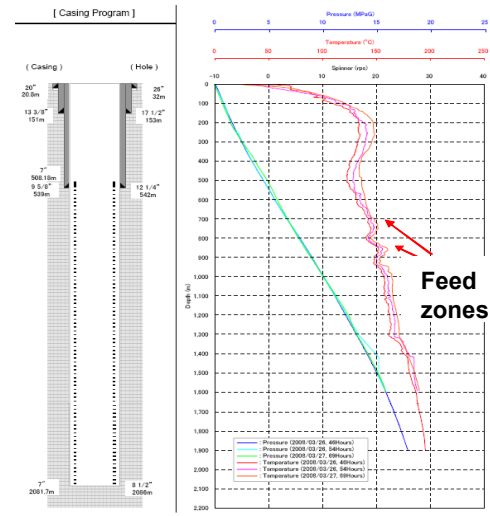
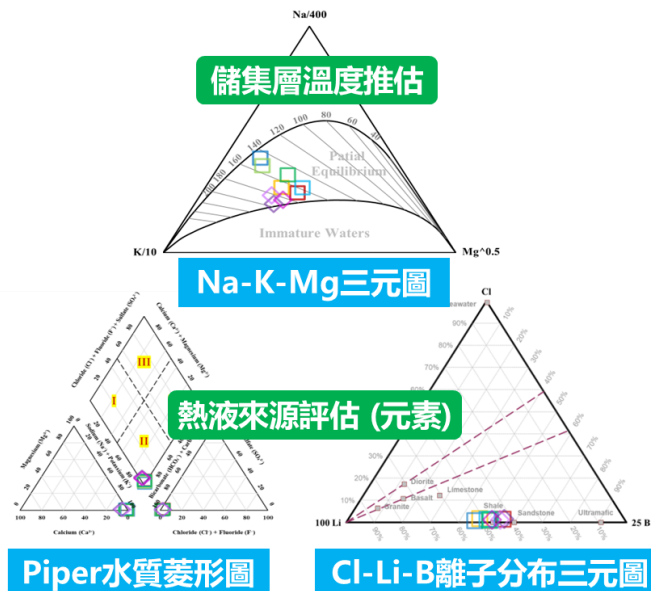
每一步都帶著假設與風險，
需要仔細檢驗與實際資料相應程度



產能測試試驗扮演角色

Without field test data, a reservoir simulation remains an unverified hypothesis.

- 恢復試驗：評估**主要透水儲集層**(feed zone)深度範圍 | 規劃**槽孔管安放**深度 | 推估儲集層**平衡溫度**
- 噴流試驗：評估**單井發電潛能及地層流體穩定性** | 獲取**生產指數**及判釋**閃發位置**
- 注水及壓力回升試驗：地層**破碎帶判視** | 分析地層**流動係數**、**注水能力**、**膚表因子**、**生產係數**
- 干擾及示蹤試驗：確認井群**連通能力** | 回注**儲集層流動行為**及**補注作用評估**
- 地化取樣：分析**地熱流體組成** | 評估**熱液來源** | 推估**儲集層溫度** | **結垢與腐蝕評估**



井下溫度壓力剖面量測



壓力/溫度探測棒



傳統式產能測試設備

自動化產能測試設備



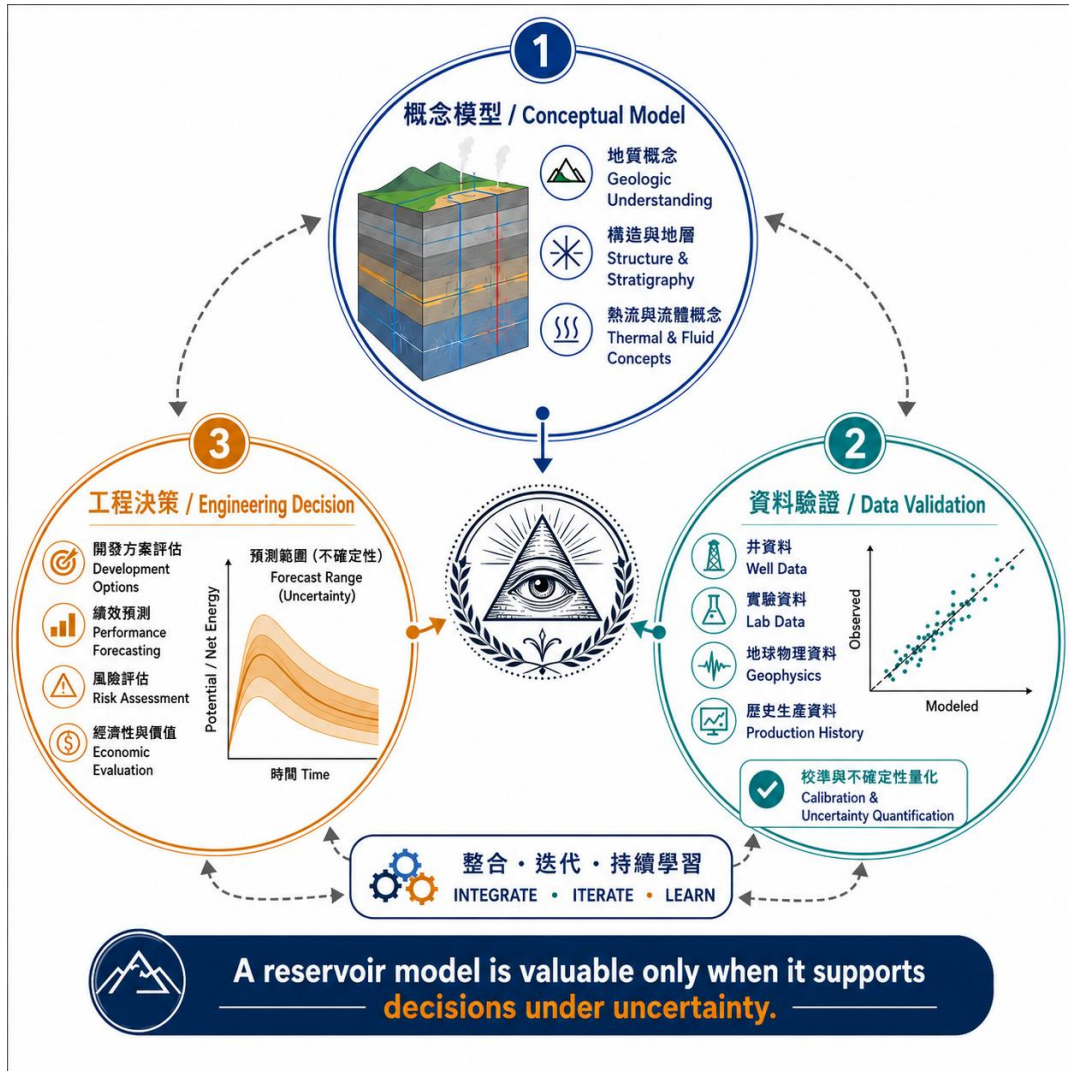
數值模型不確定性與物理限制



**儲集層模型不應被視為單一答案，
而應被視為在不確定條件下支撐決策的動態工具。**

TAKE-HOME MESSAGE

從地下不確定性到工程決策，核心在於可驗證且可更新的儲集層模型。



1. 概念模型先於數值模型

若熱源、補注、儲集層、導流構造與蓋層認知不足，再精細的模擬也無法提供可信預測。

2. 現地資料決定模型可信度

地質、地物、地化、鑽井與產測資料，是約束模型、降低非唯一性的關鍵。

3. 模型的目的是不是擬合，而是決策

模型應能回答井位怎麼選、回注怎麼配、井群是否干擾、冷鋒何時到來。

4. 模型動態更新是必要的

從探勘、驗證到長期監測，儲集層模型應持續修正，才能真正支撐場址開發與營運管理。

專業團隊 整合式服務

擁有國內唯一符合ISO/IEC 17025規範之地熱產能測試遊測實驗室

自探勘到O&M，一站式技術服務



資源探勘

- 文獻資料分析
- 地球化學探勘
- 地球物理探勘
- 地質勘查
- 地質井設計與鑽鑿規劃及施作
- 三維概念模型建置及生產井位建議



資源驗證/評估

- 生產井設計與鑽鑿規劃
- 產能測試與發電潛能評估
- 地化取樣與結垢及腐蝕評估
- 回注測試與回注能力評估
- 井群干擾試驗與競合效應評估
- 多井示蹤試驗與儲層生產回注管理

從探勘、驗證到營運監測，核心能力在於把地下資訊轉成可執行的工程決策

Thank you !