

地熱技術與未來發展



豐宇鑽井工程股份有限公司

總經理 林伯修

簡報大綱

關於地熱

地熱發電的核心-熱

地熱能開發技術-探勘

地熱能開發技術-工程

地熱能開發技術-發電機組

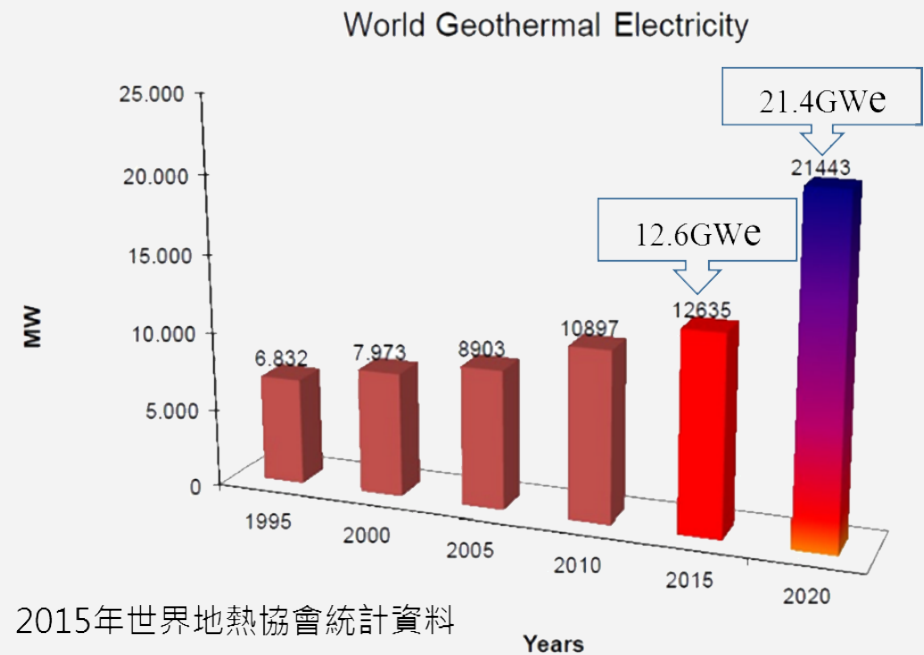
台灣地熱發展的困難

豐宇公司-工程實績

關於地熱

全球地熱發電總容量

至2015年為止，全球地熱發電總發電容量已達12.6GWe，預估於2020年將可達到21.4GWe。



關於地熱

地熱發電基本原理

Geothermal

地熱發電原理

1. 地熱&流體

地下具備充足地熱與載熱流體(水)



2. 機械能

流體(水)轉換蒸氣推動渦輪



3. 電能

由渦輪的驅動旋轉發電



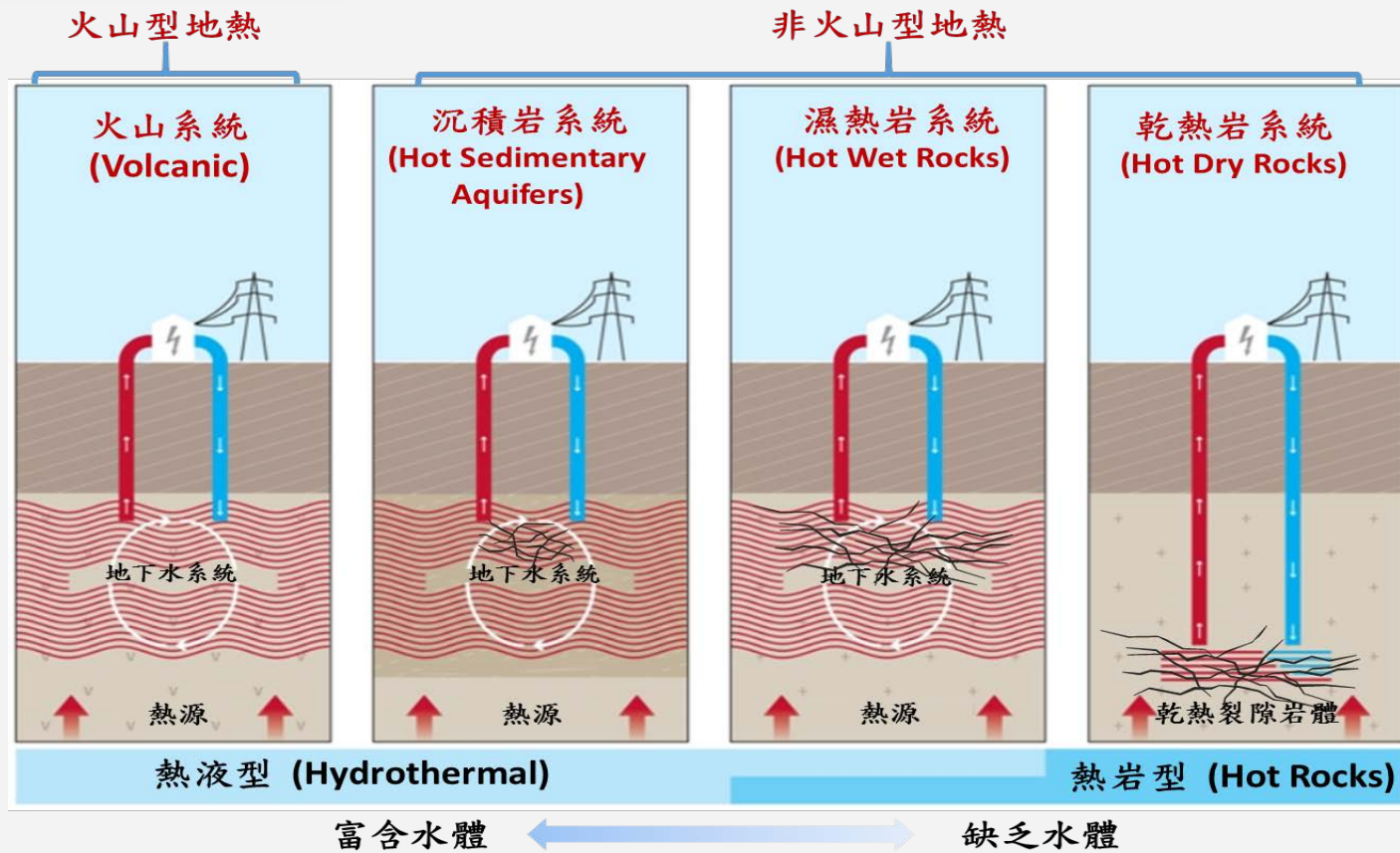
4. 電廠輸電



熱能→機械能→電能

關於地熱

地熱發電類型

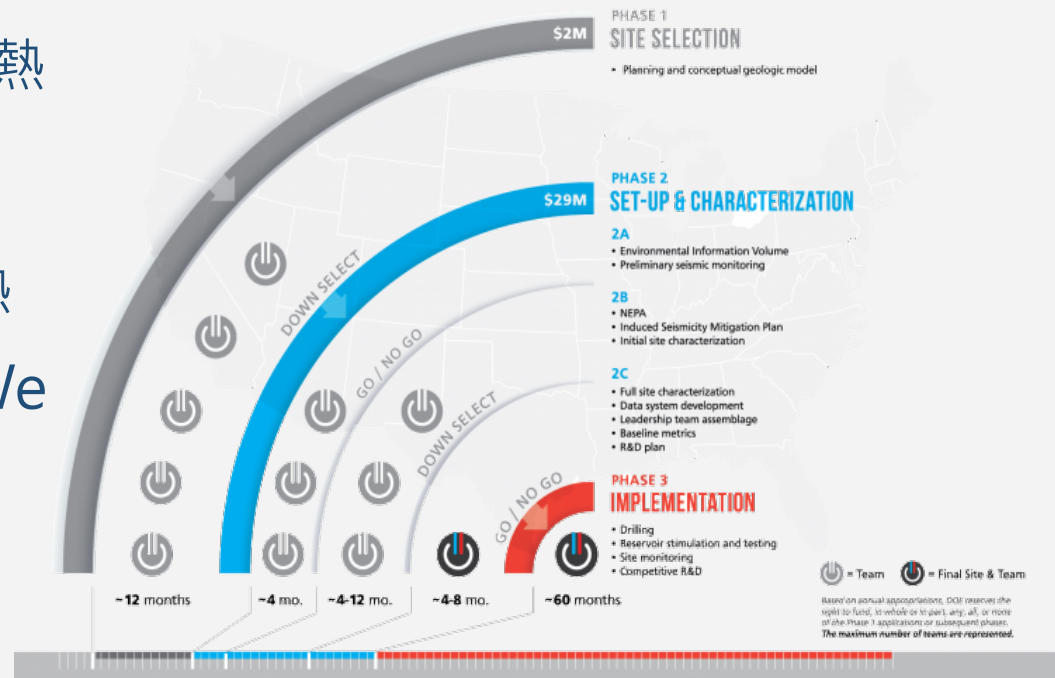


關於地熱

地熱發電類型：乾熱岩

Forge-EGS

- 商業化模式深層地熱 (乾熱岩系統)
- 技術延伸-全美地熱發電總容量100GWe



關於地熱

地熱能源開發三要素

水(流體)

豐富流體
載熱用介質



水

裂隙

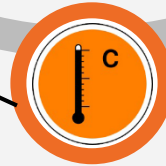
提供熱流通道
足夠的換熱面積



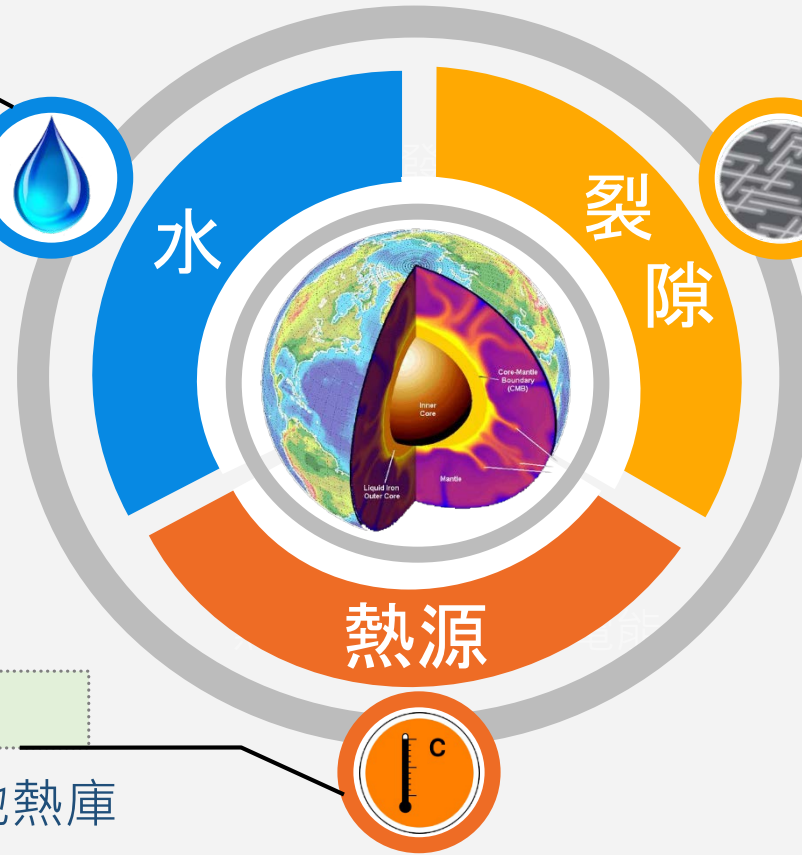
裂隙

熱源

具備高溫地熱庫



熱源



地球核心溫度6000°C，
受構造影響
各區域溫度
皆不相同

關於地熱

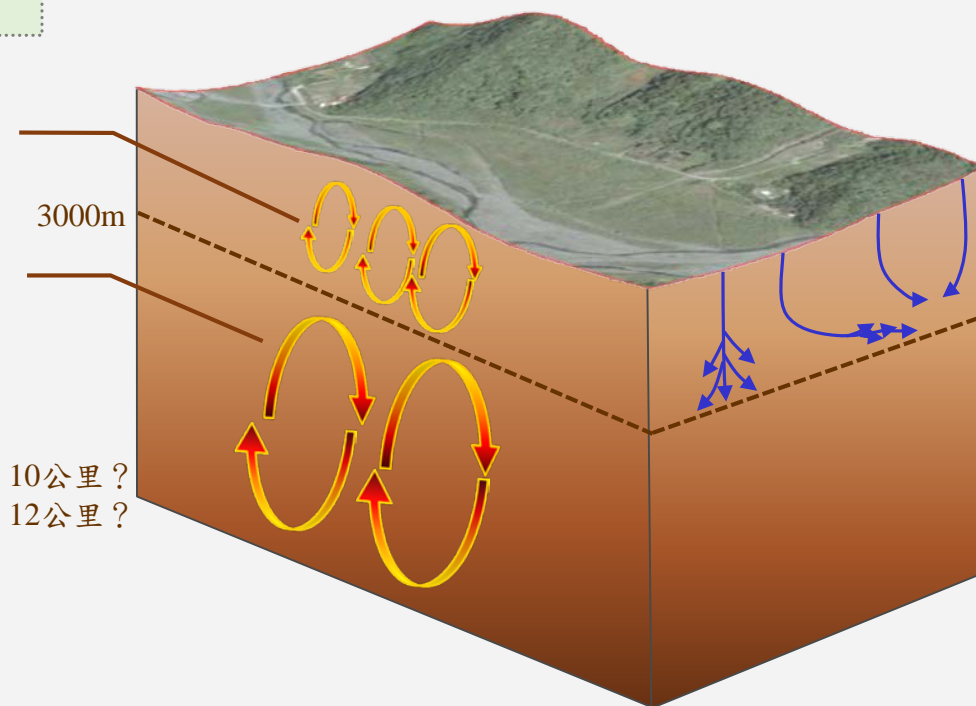
地熱的循環：熱的對流

地下熱對流

地熱井內流體與
熱岩體之間的熱交換

深部地層內岩體熱對流

當擾動的電廠進一步
人工帶動熱對流或
開有更深的實際年
發的深部，運作還
地熱平流，這可能
熱平衡層，這可能
時，平衡層，這可能



關於地熱

地熱能源開發：熱的蘊藏量

岩石熱能蘊藏量



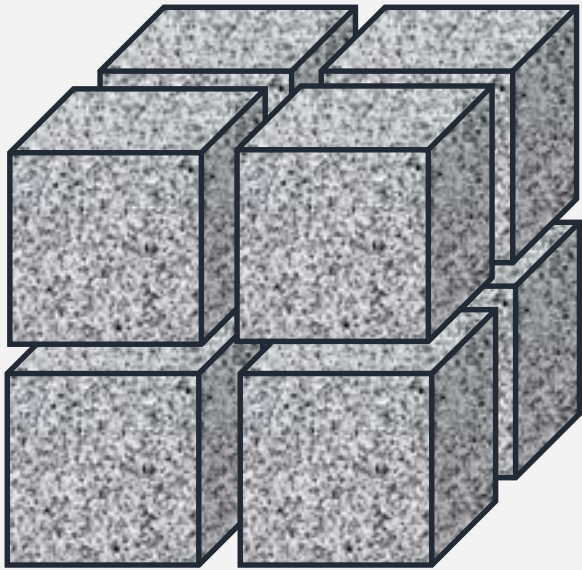
所獲得的能量 = 1. $50 \text{ MW}_{\text{th}}$ 的熱能

2.  900萬桶

關於地熱

地熱能源開發：發電的蘊藏量

以岩體溫度 250°C 降至 125°C 為例



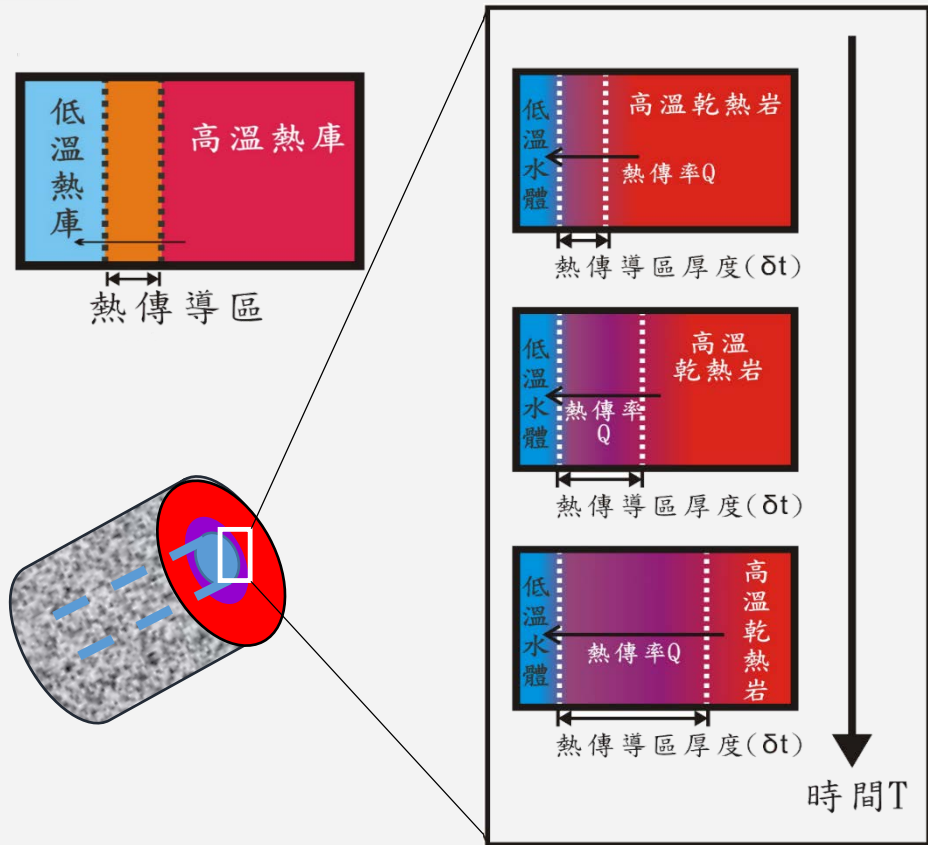
270 公尺見方的熱岩體
可輸出30年10MWe 電力

關於地熱

地熱能源開發：熱傳導區

岩石熱傳導與熱傳區

- 岩石被取熱後冷卻
- 形成熱傳導區
- 熱傳導區隨時間增大



關於地熱

地熱能源開發：熱的擴散與穿透

熱擴散係數(速率估算)

為了解熱傳導區厚度隨時間變化關係，我們利用熱擴散 (thermal diffusion) 概念探討

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

α ：熱擴散係數 k ：熱傳導係數

ρc ：岩石密度與比熱乘積比

熱波穿透深度(厚度估算)

在單一裂隙熱能開採循環系統中，我們可以用熱穿透深度來描述熱傳導區厚度，其中 t 代表時間(s)

$$\delta_t = 2\sqrt{\alpha t} \quad (\text{m})$$

關於地熱

地熱能源開發：時間與熱傳厚度

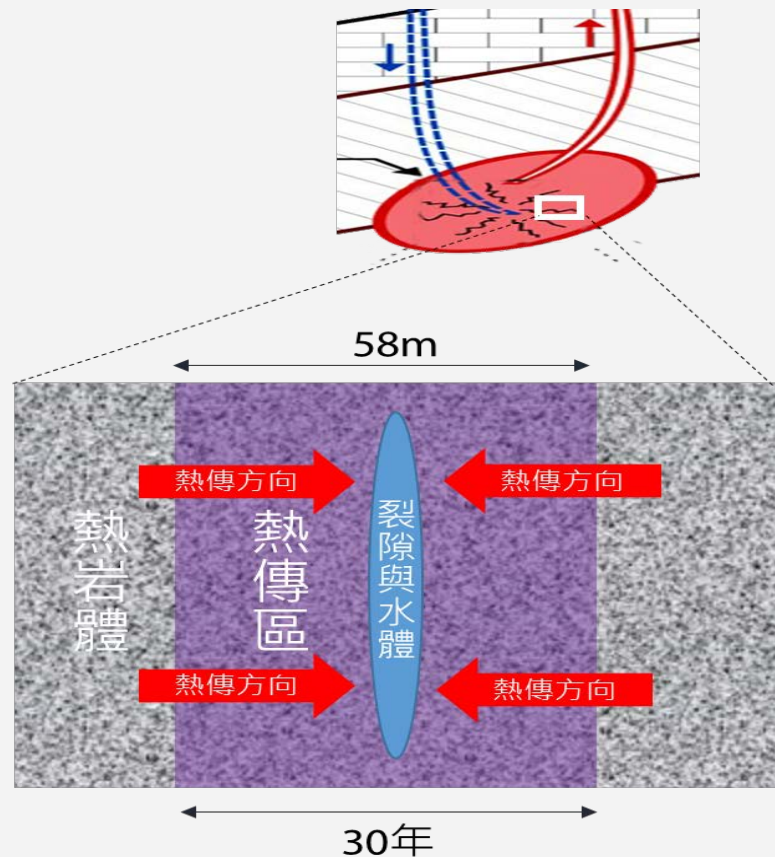
岩石熱傳導區厚度估算

以台灣板岩的岩石特性為例，估算不同時間尺度下，熱傳導區厚度變化如下：

$$\delta_t(10\text{年}) \approx 34\text{m}$$

$$\delta_t(20\text{年}) \approx 47\text{m}$$

$$\delta_t(30\text{年}) \approx 58\text{m}$$

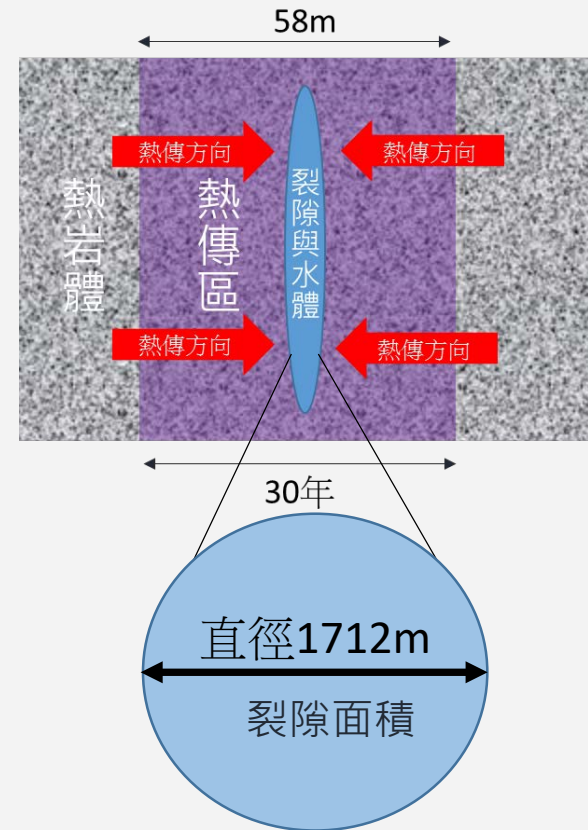


關於地熱

地熱能源開發：裂隙的大小

提供發電所需單一裂隙大小

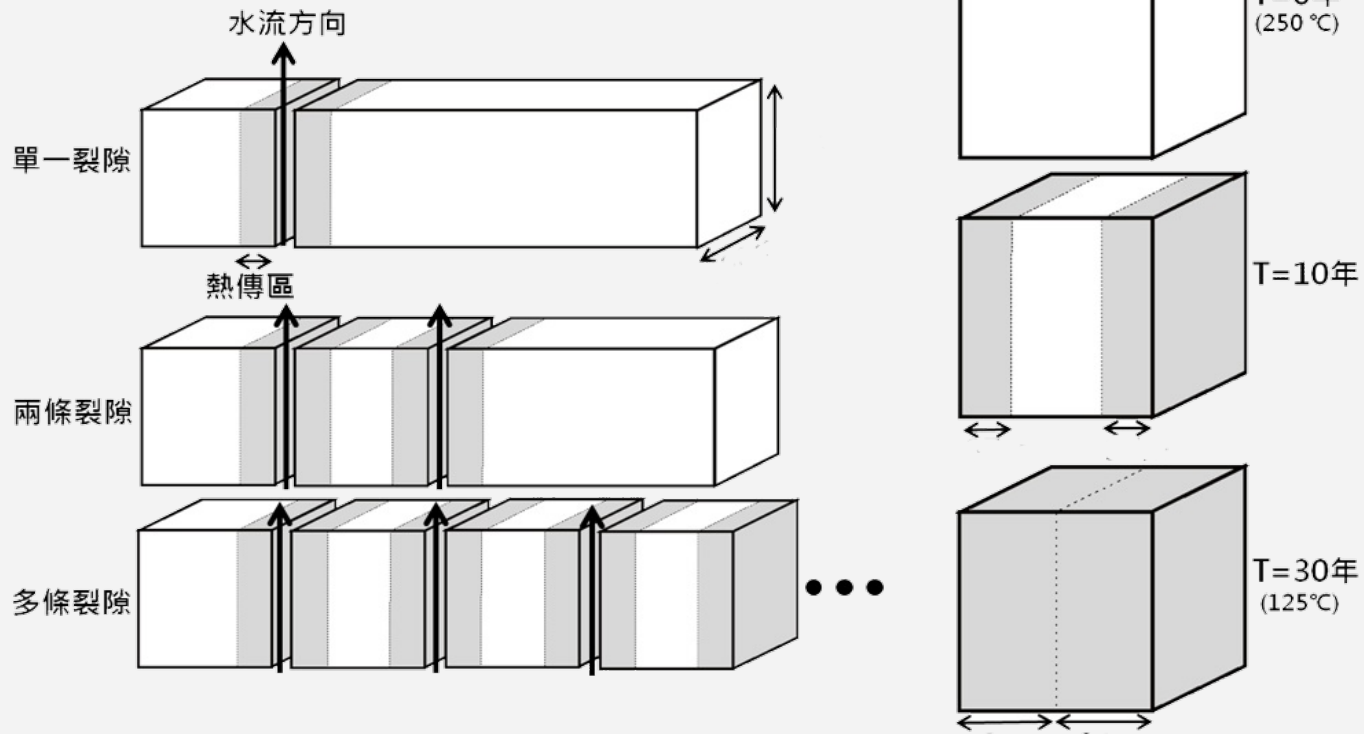
- 10MWe地熱電廠建置
- 運轉時程30年
- 地熱庫溫度250°C降至125°C
- 裂隙總面積為 $2.36 \times 10^6 \text{ m}^2$
- 約356個足球場面積



關於地熱

地熱能源開發：多重裂隙

多重裂隙熱儲層

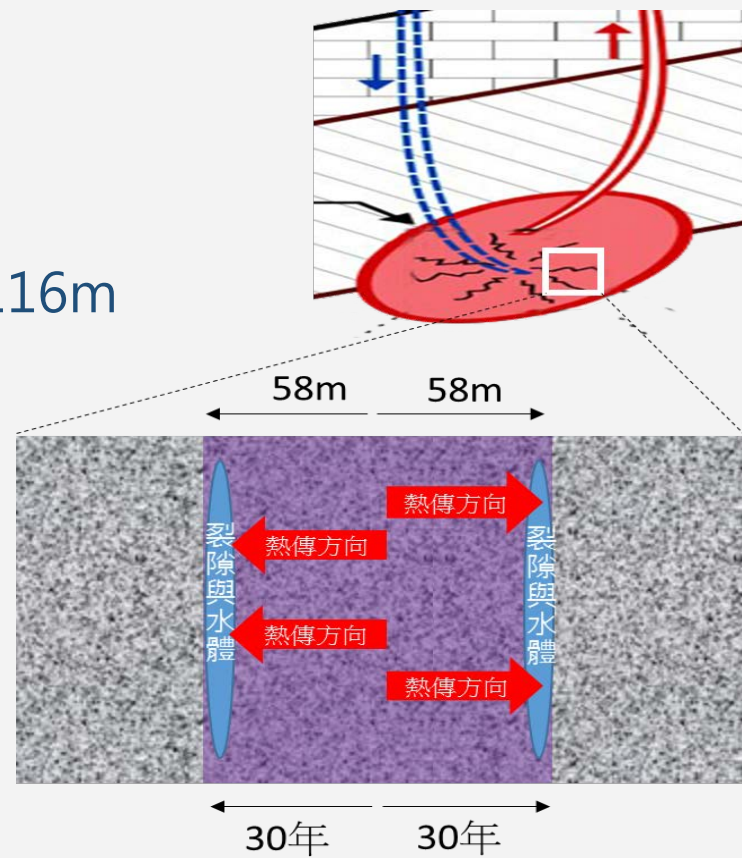


關於地熱

地熱能源開發：發電所需裂隙總數

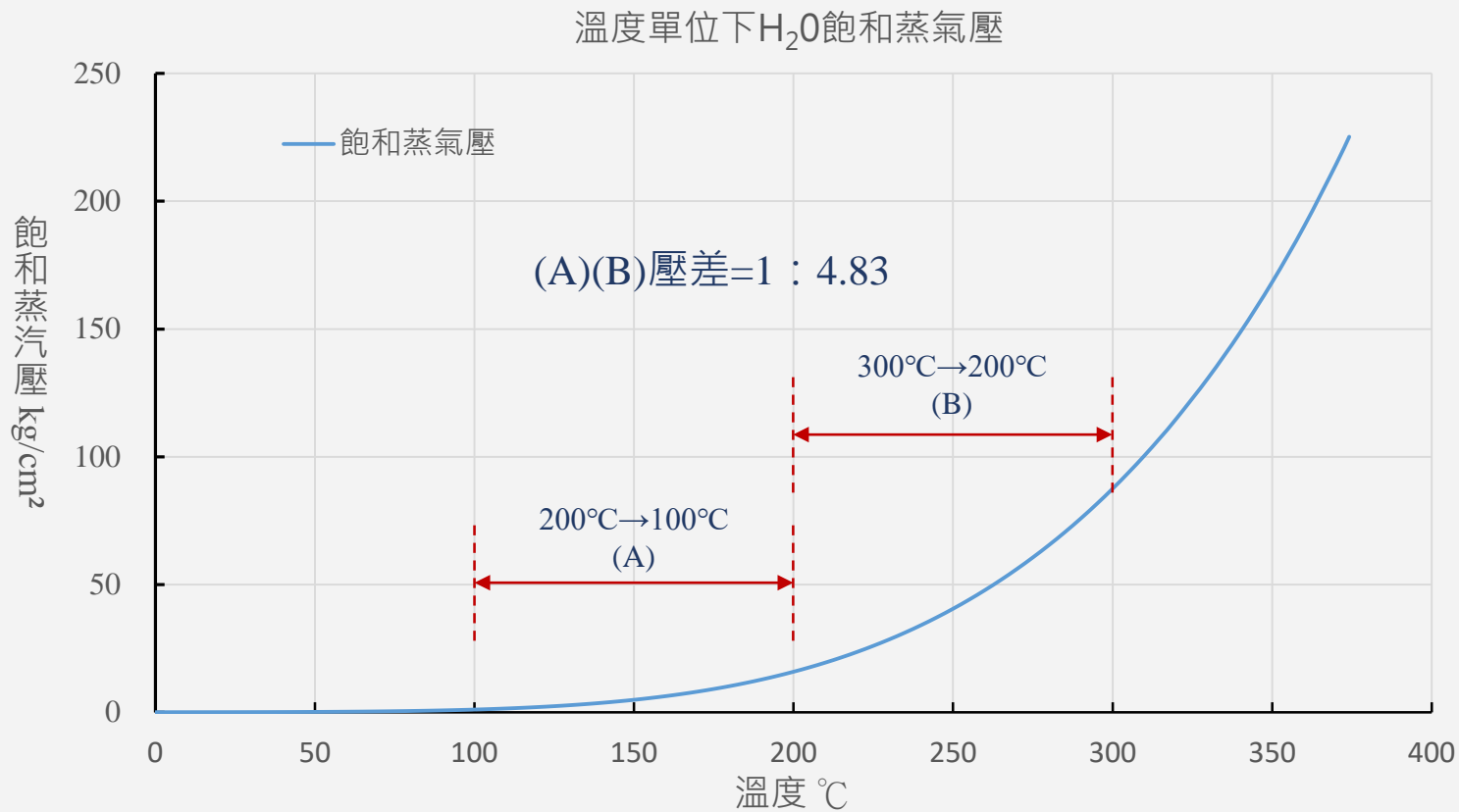
所需裂隙數量與熱岩體積

- 10MWe電廠運轉，運轉30年
- 傳導區厚度58m，兩條裂隙距離116m
- 裂隙需求總面積為 $2.36 \times 10^6 \text{ m}^2$
- 估算所需裂隙86條
- 每條裂隙面積為 $116 \times 116 \text{ m}^2$
- 理想熱岩體體積為 270 m^3



地熱發電的核心-熱

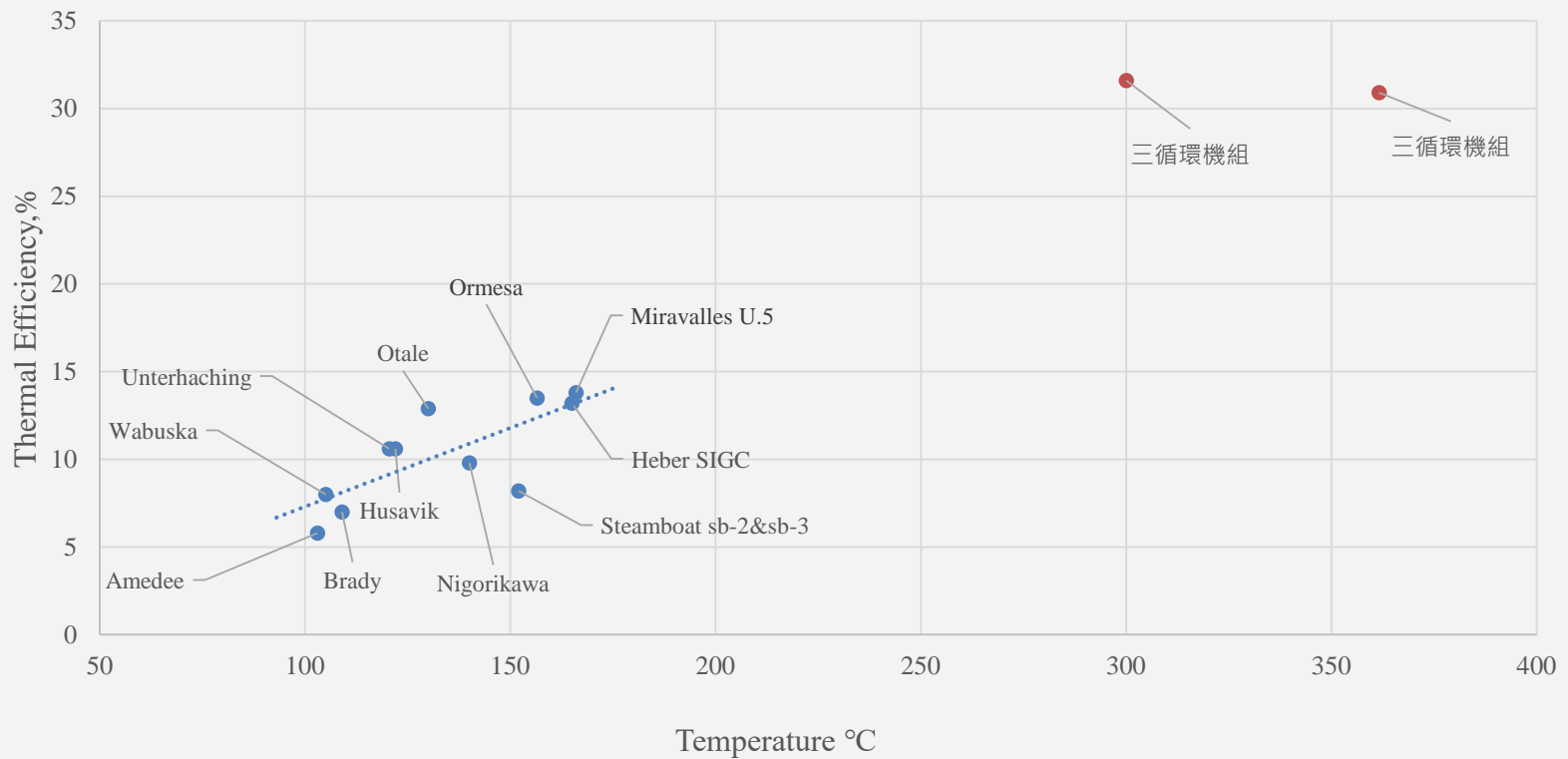
地熱發電關鍵因子：溫度與蒸氣壓力



地熱發電的核心-熱

地熱發電關鍵因子：溫度與蒸氣壓力

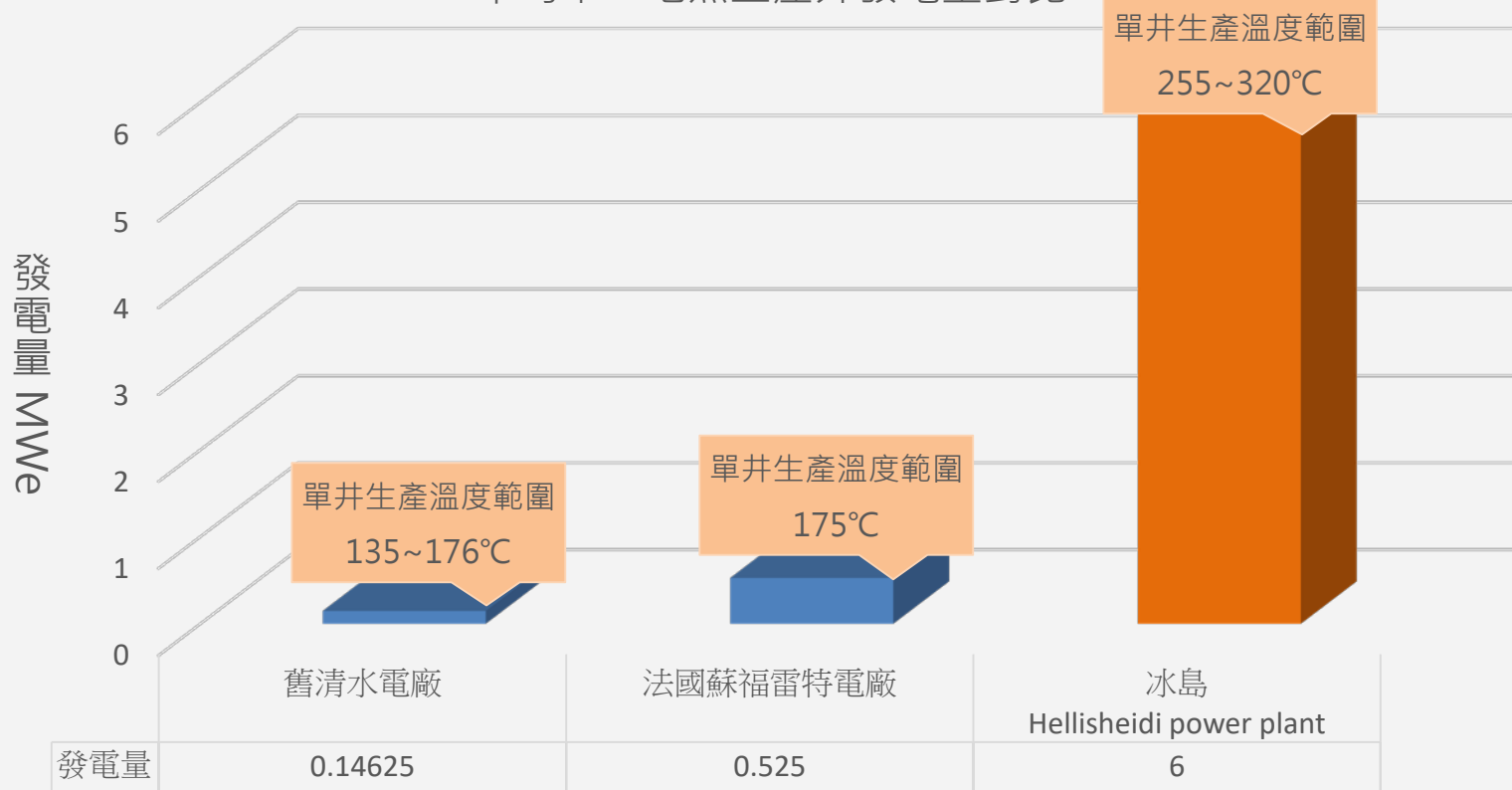
ORC發電機組溫度&效率



地熱發電的核心-熱

地熱發電關鍵因子：溫度與蒸氣壓力

平均單一地熱生產井發電量對比

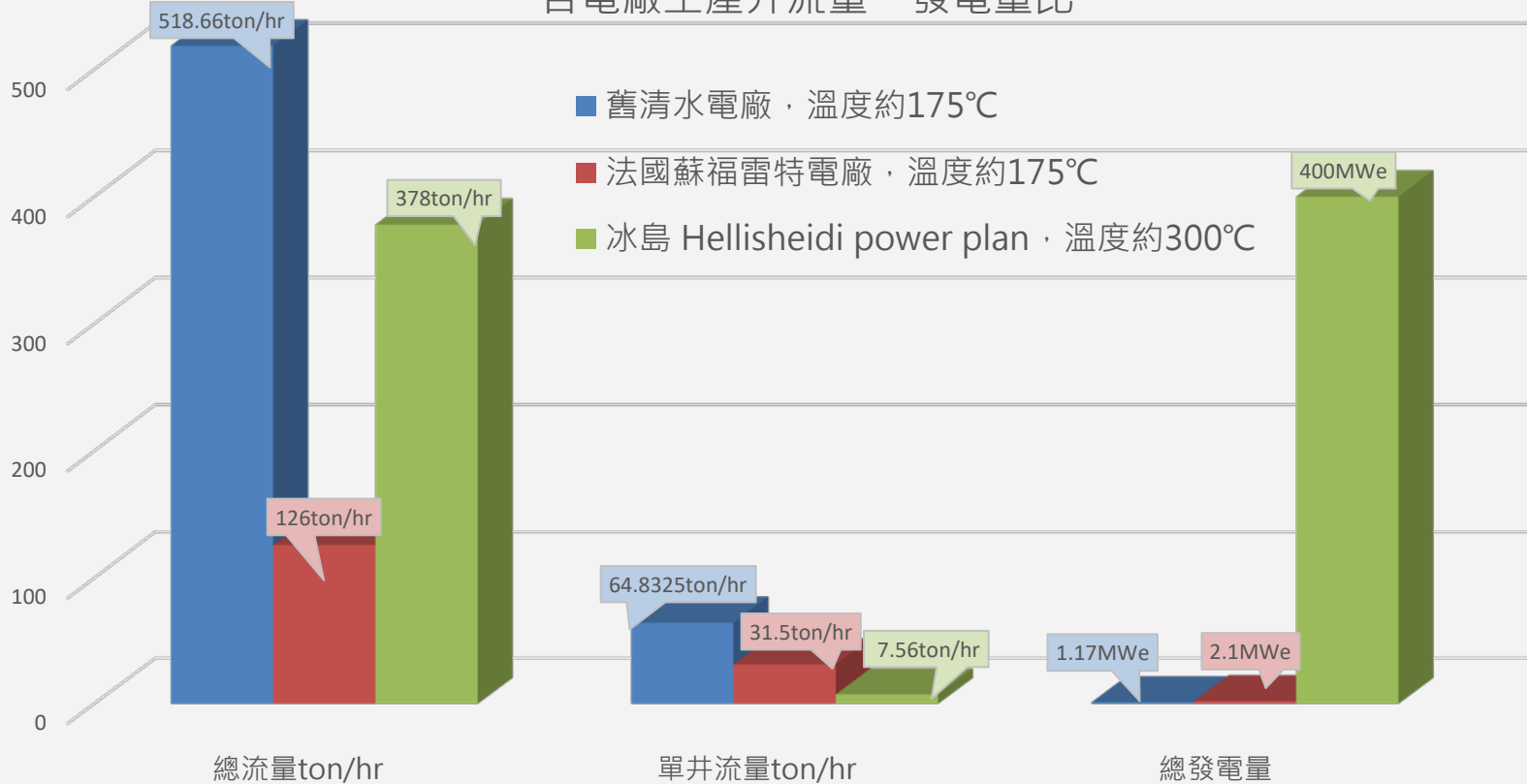


*資料來源Geothermal electricity generation in Soultz-sous-Forêts 19

地熱發電的核心-熱

地熱發電關鍵因子：溫度與蒸氣壓力

各電廠生產井流量、發電量比



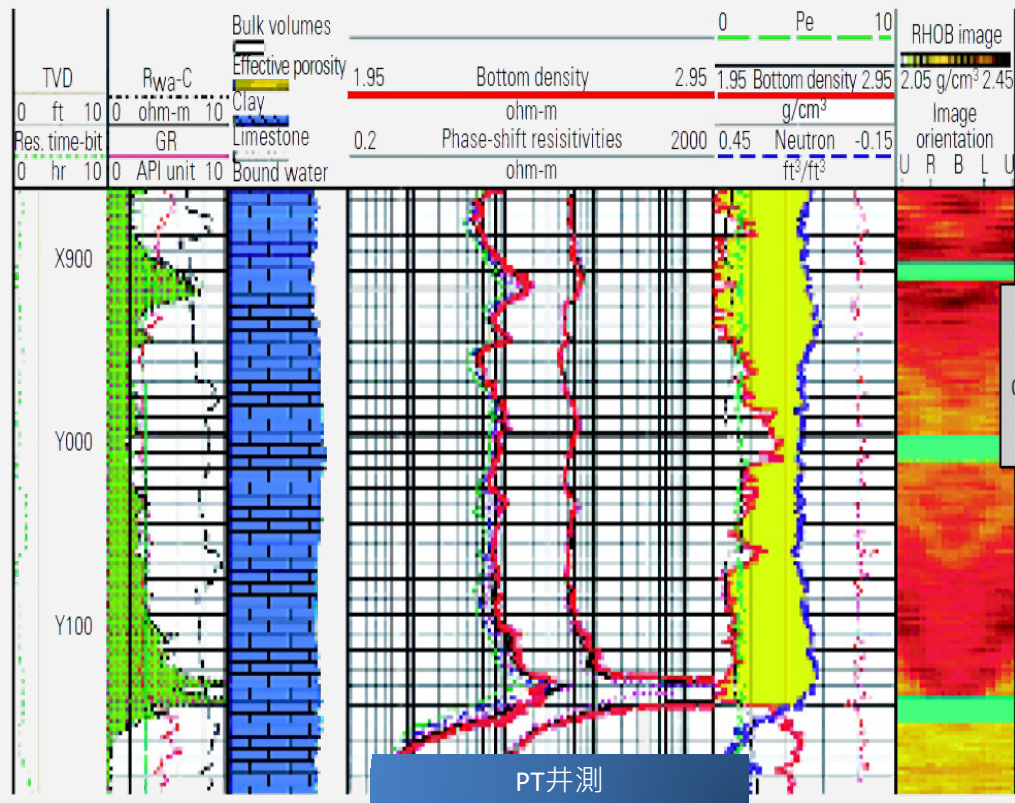
*資料來源https://www.geothermalenergy.org/pdf/IGStandard/Asian/2008/8_17_jonsson.pdf

地熱能開發技術-探勘

地熱探勘技術：井下電測

井下PT電測

- 地質特性
- 孔隙率
- 密度
- 構造分析
- 岩層粒徑分佈
- 溫度



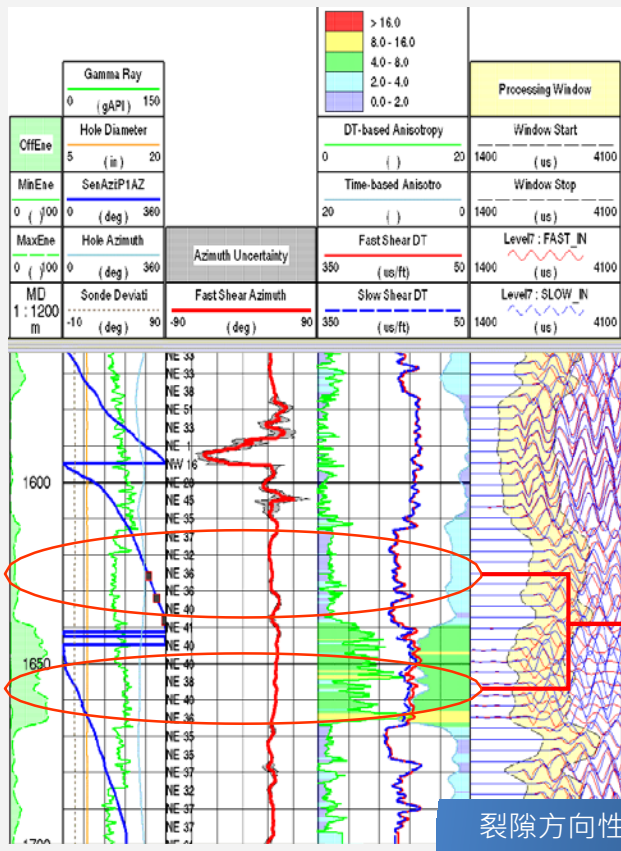
*資料來源Schlumberger

地熱能開發技術-探勘

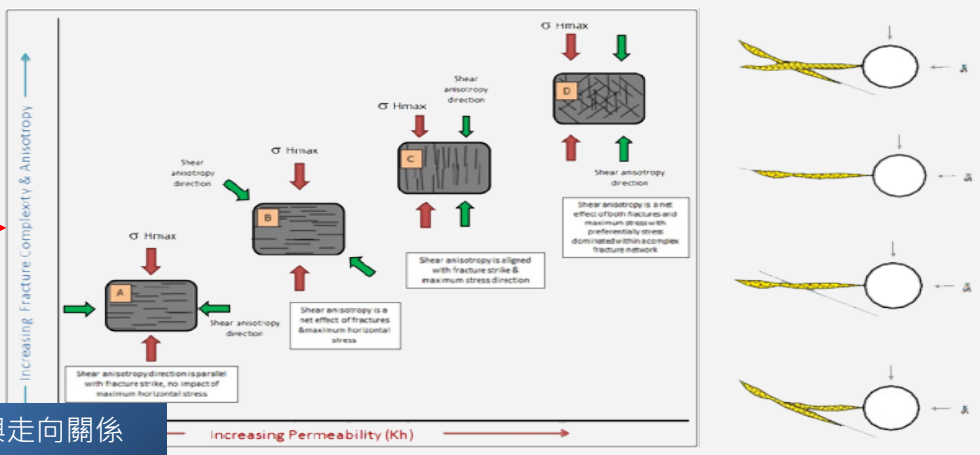
地熱探勘技術： 井下電測

Sonic Scanner-聲波電測

- 裂隙方向性分析
- 應力方向與裂隙走向的關係



裂隙方向性與走向關係



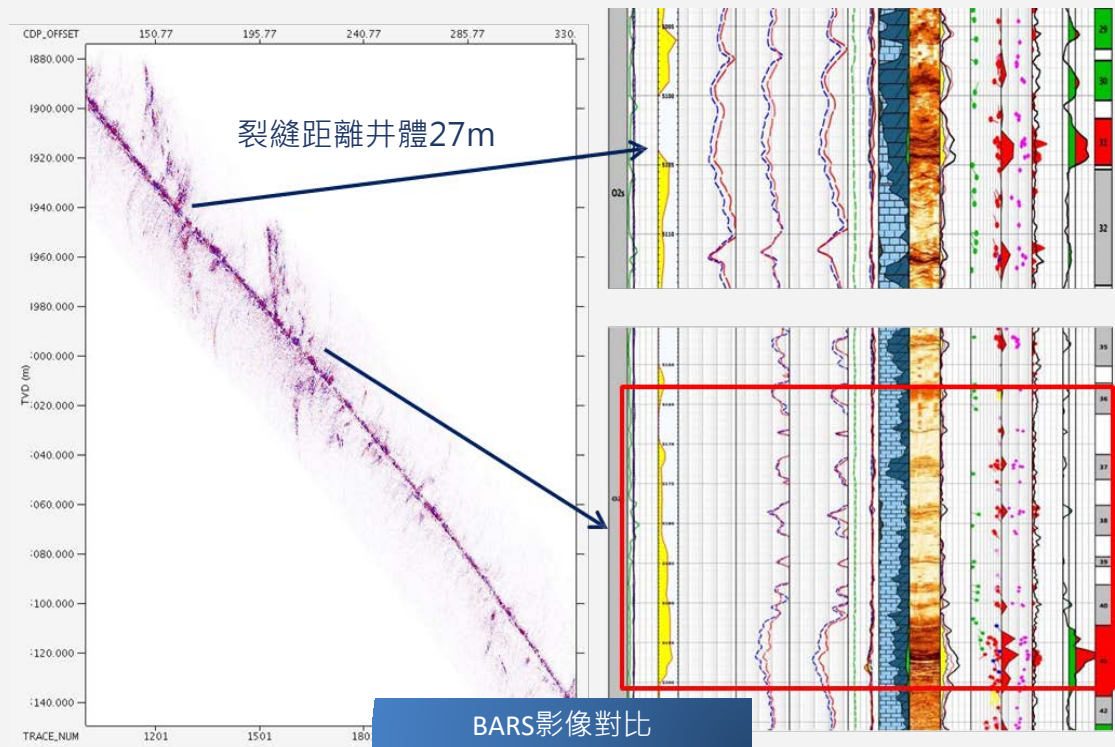
*資料來源Schlumberger 22

地熱能開發技術-探勘

地熱探勘技術：井下電測

Sonic Scanner BARS-聲波反射裂隙影像

- 裂隙相對位置
- 岩性構造分析

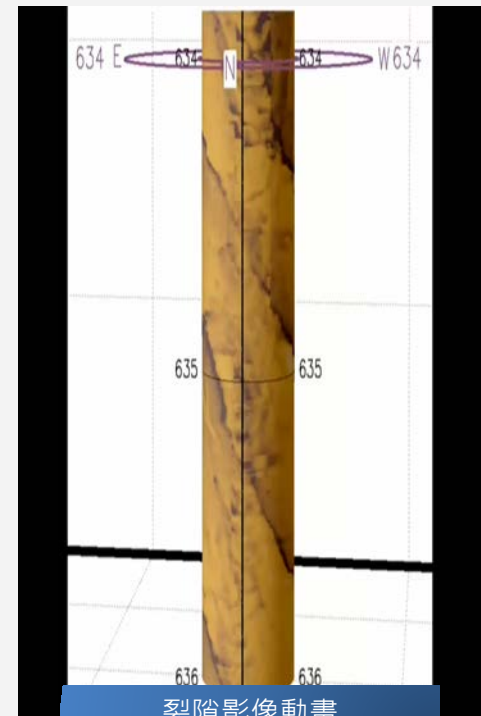
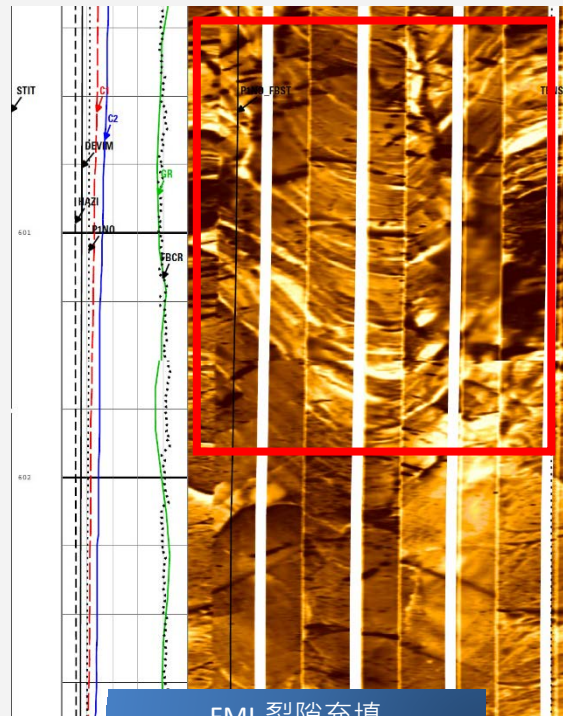
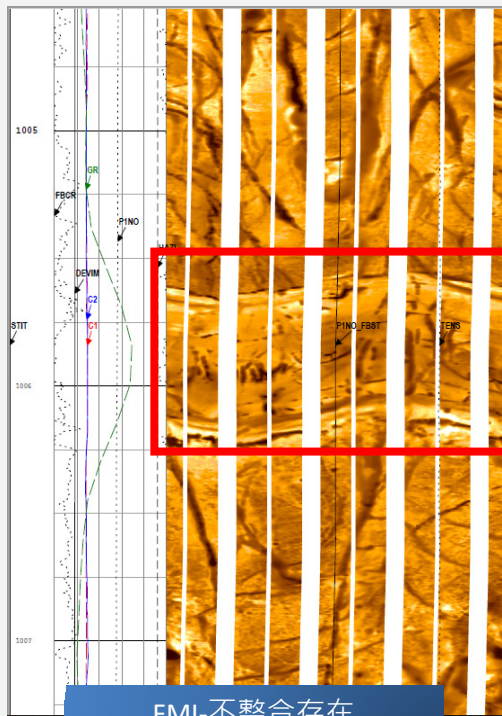


*資料來源 Schlumberger 23

地熱能開發技術-探勘

地熱探勘技術： 井下電測

FMI - 環狀電阻影像



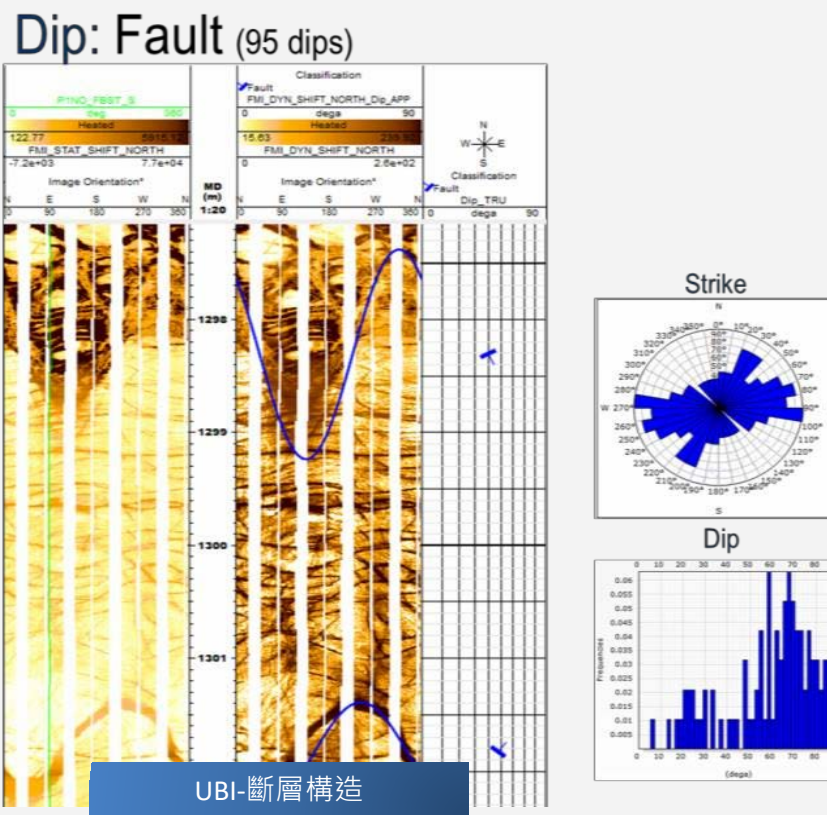
*資料來源Schlumberger

地熱能開發技術-探勘

地熱探勘技術： 井下電測

UBI – 超音波影像

- 裂隙型態的判斷
- 沉積特徵
- 井孔細部辨視率較高

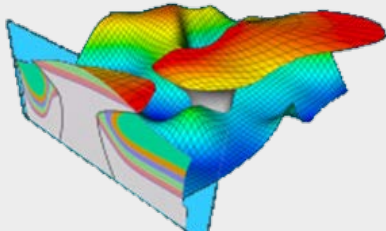


*資料來源Schlumberger 25

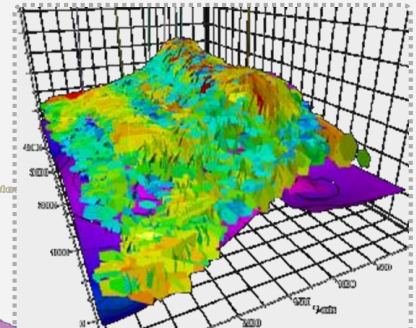
地熱能開發技術-探勘

三維地質模型：資料總合

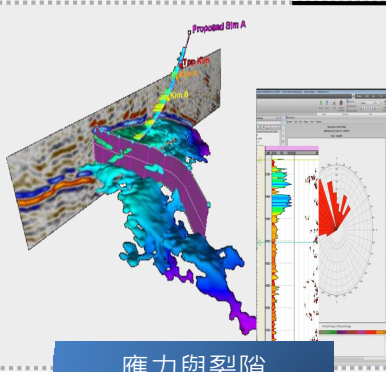
三維地質模型



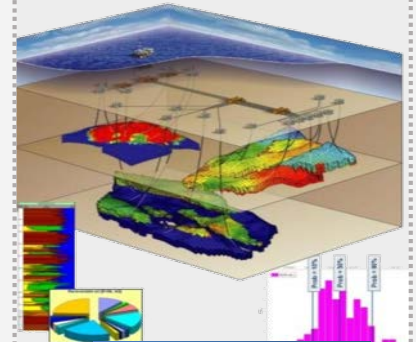
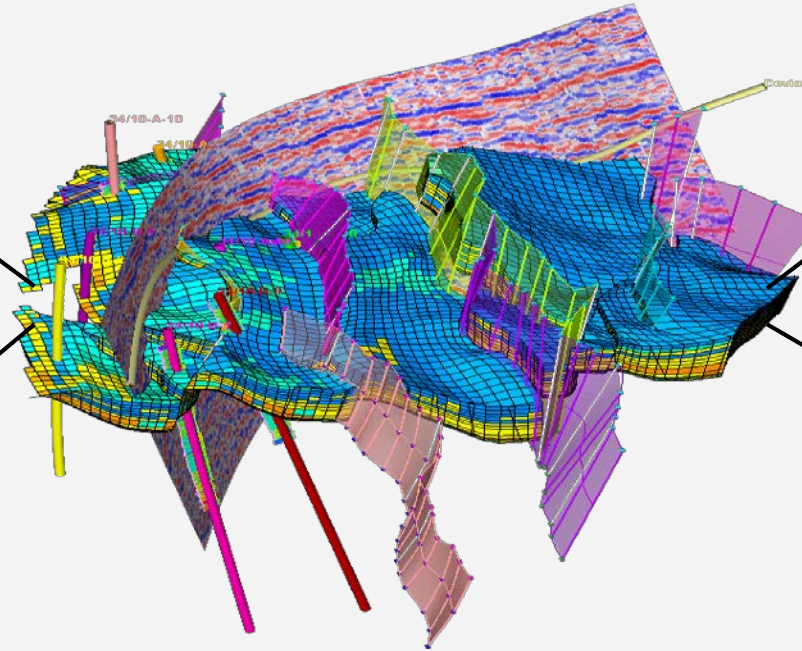
地球物理模型



三維座標建立



應力與裂隙



儲集層評估

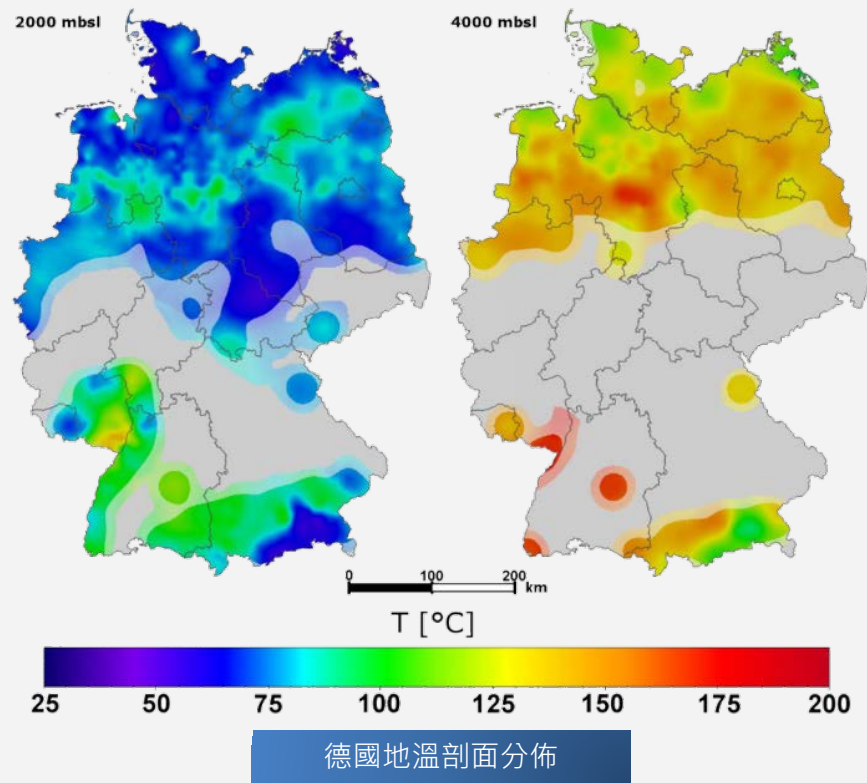
*資料來源Schlumberger 26

地熱能開發技術-探勘

地熱探勘技術：實例-德國慕尼黑市震測

SHOVER 震測

- 剪力波 (shear wave) 的震源
- 流體反射效率優異
- 高解析的地下流體空間資訊建置



*Deep Geothermal Energy Production in Germany

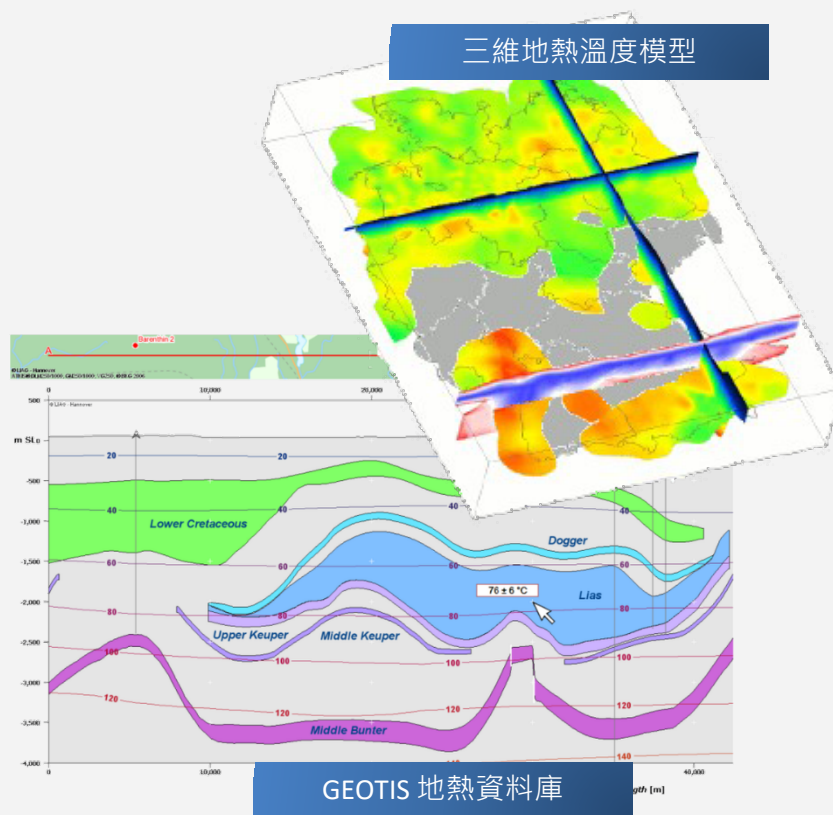
27

地熱能開發技術-探勘

地熱探勘技術：實例-德國慕尼黑市震測

GEOTIS 地熱資料庫

- 成果資料透明化
- 各項地質、地球物理、鑽井探測資料整合
- 簡易線上資訊查詢



*Deep Geothermal Energy Production in Germany

28

地熱能開發技術-工程

地熱工程技術：抗高溫低固相鑽井液

技術成果實際應用

1. 高溫地熱低固相鑽井液技術研發

- ☑ 研發抗中溫(180°C)抗鹽鈣低固相鑽井液體系
- ☑ 研發抗高溫(250°C)抗鹽鈣低固相鑽井液體系
- ☑ 降濾失性能、流變性能、複方性能測試

2. 建立現地鑽井液性能資料庫

- ☑ 研發成果運用於大屯山等高溫井場使用



抗高溫低固相鑽井液實驗室



四礮子坪井場應用



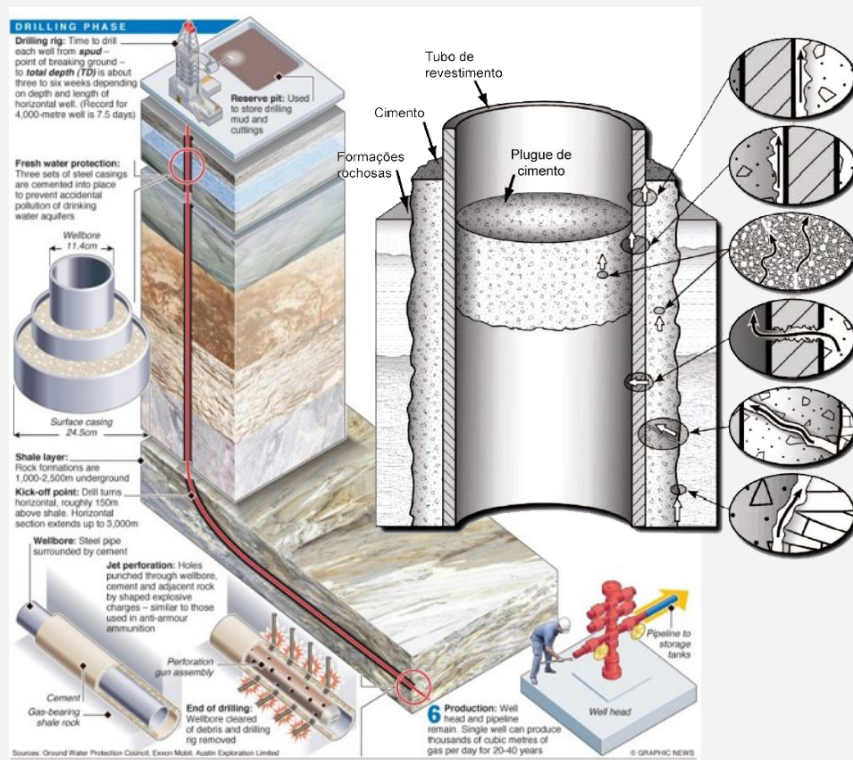
四礮子坪井場

地熱能開發技術-工程

地熱工程技術：高溫地熱井固井水泥

高溫地熱井固井水泥功能

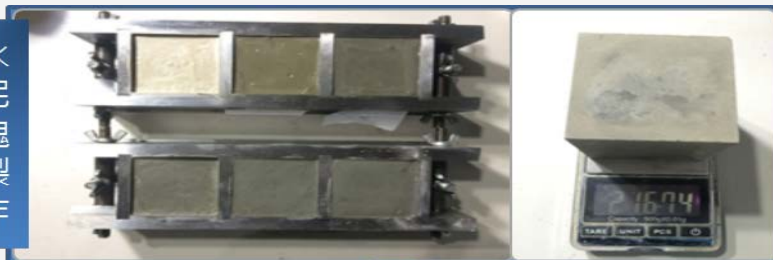
- 封固環孔，防止地熱液沿此通道竄至地表
- 穩定井壁，防止套管斷裂或震動
- 有效隔離不同層位水體混合降溫



地熱能開發技術-工程

地熱工程技術：抗酸與超低密度固井水泥

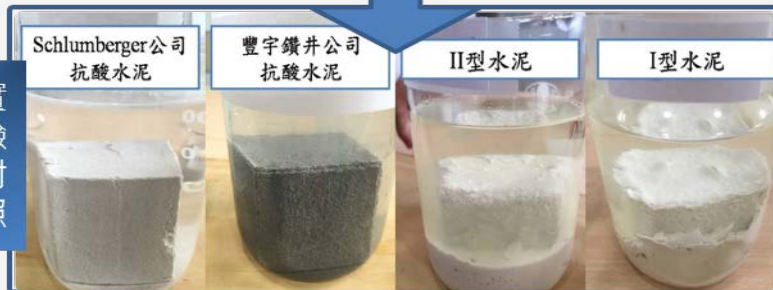
水泥塊製作



樣品浸酸



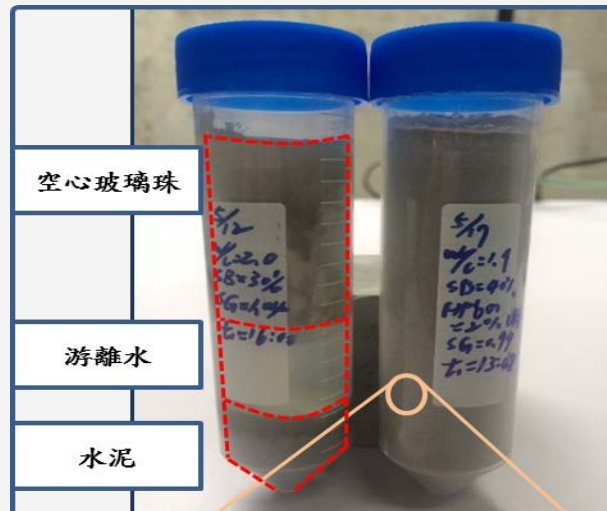
實驗對照



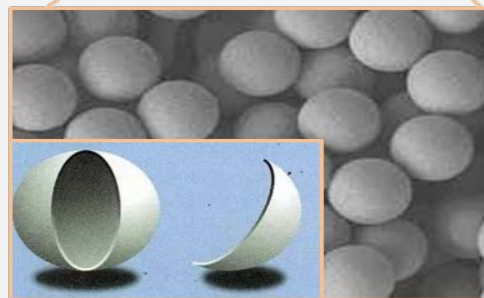
空心玻璃珠

游離水

水泥



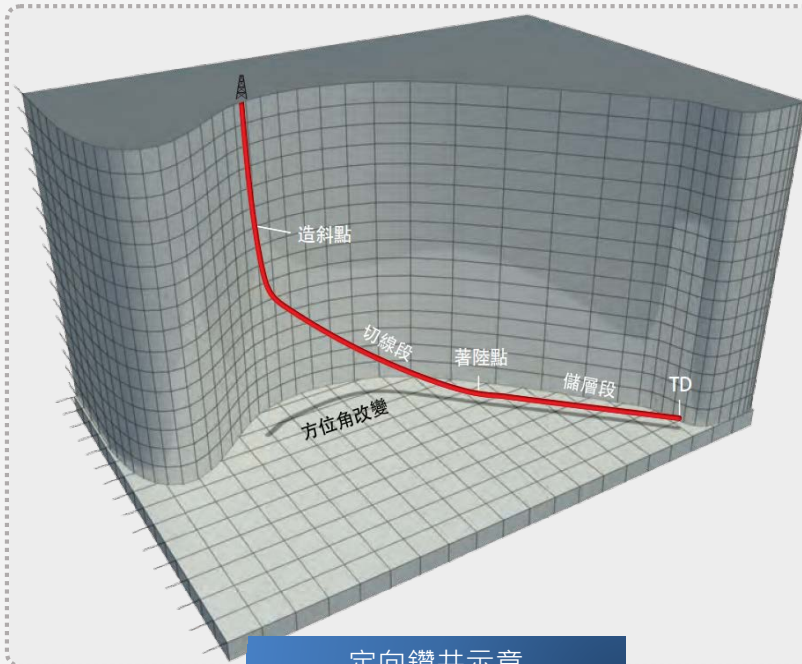
超低密度水泥穩定性試驗



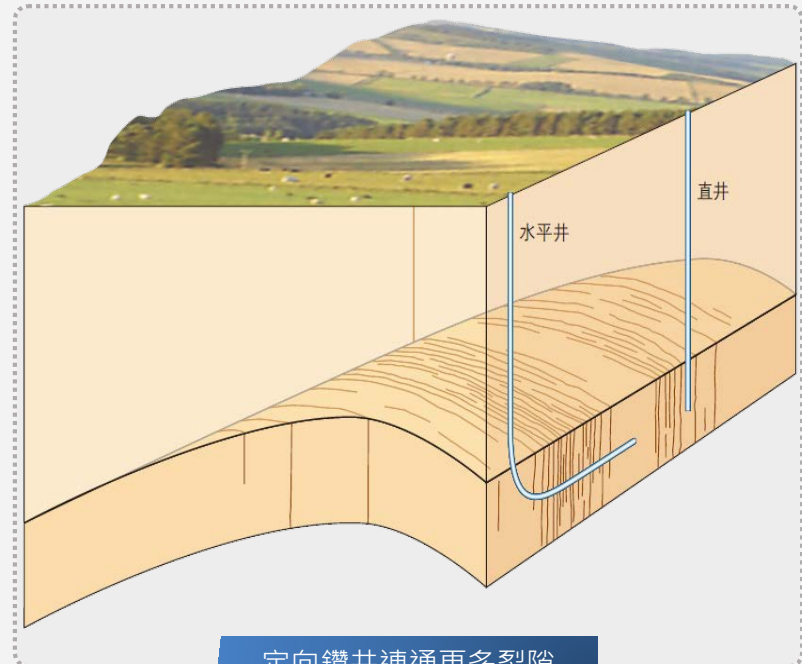
地熱能開發技術-工程

地熱工程技術：定向鑽井

定向鑽井 – 創建新熱流通道



定向鑽井示意



定向鑽井連通更多裂隙

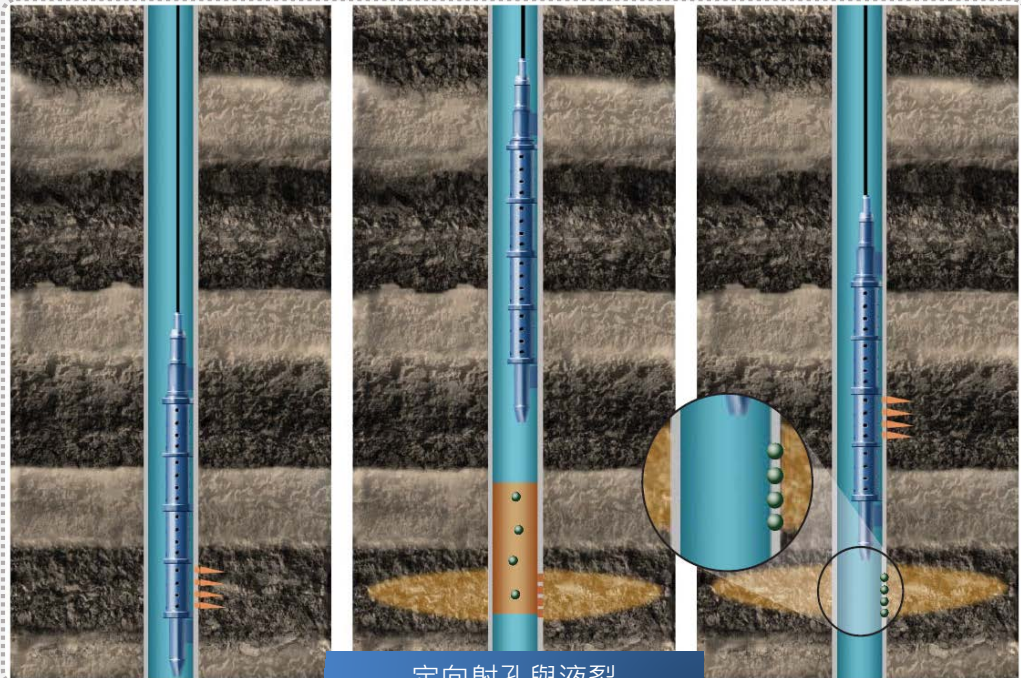
地熱能開發技術-工程

地熱工程技術：定向射孔與液裂

定向射孔、液裂－創建新熱流通道



定向射孔



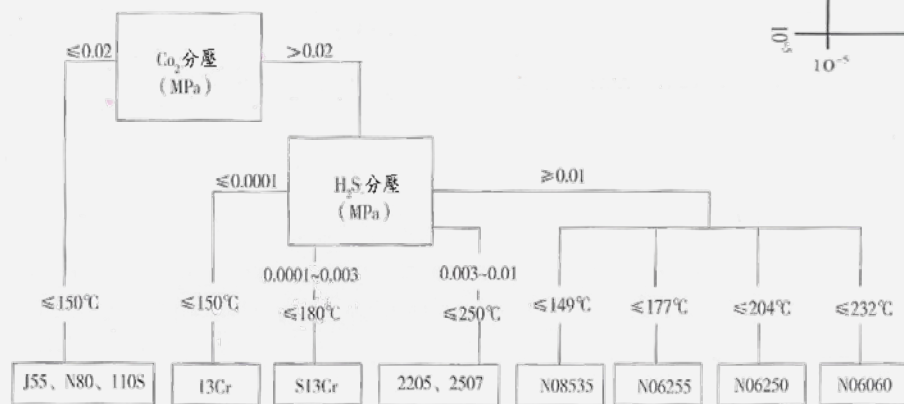
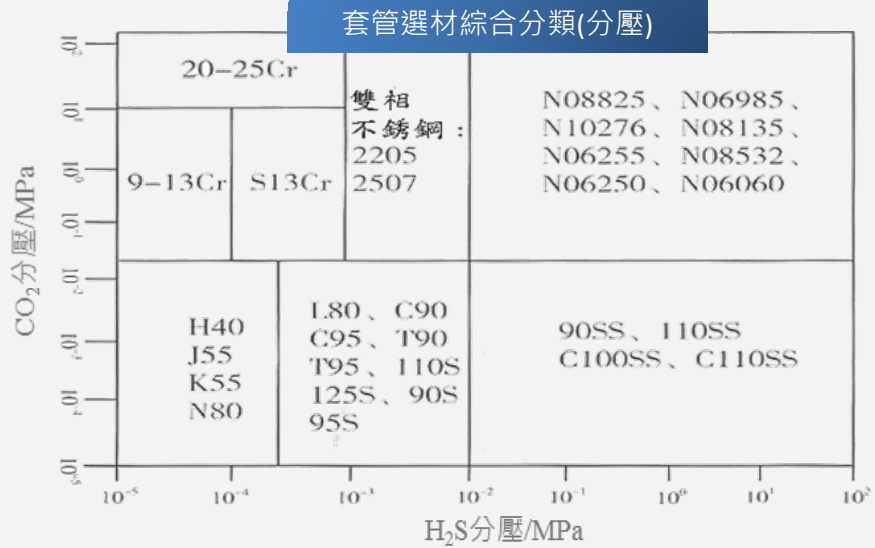
定向射孔與液裂

地熱能開發技術-工程

地熱工程技術：氣體防護

CO₂與H₂S腐蝕

- 鑽井過程公安風險
- 井體鋼管腐蝕
- 硫化物應力腐蝕



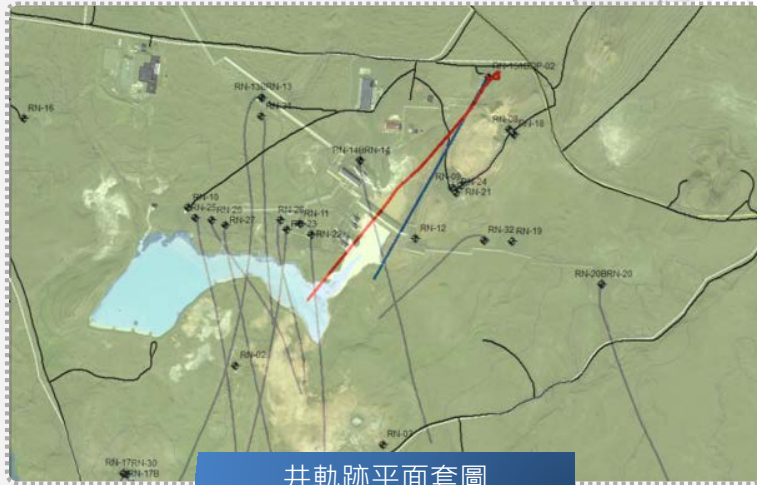
套管選材綜合分類(溫度)

- 氫誘發裂紋、脆化
- CO₂ 與H₂S液相流體沖刷腐蝕

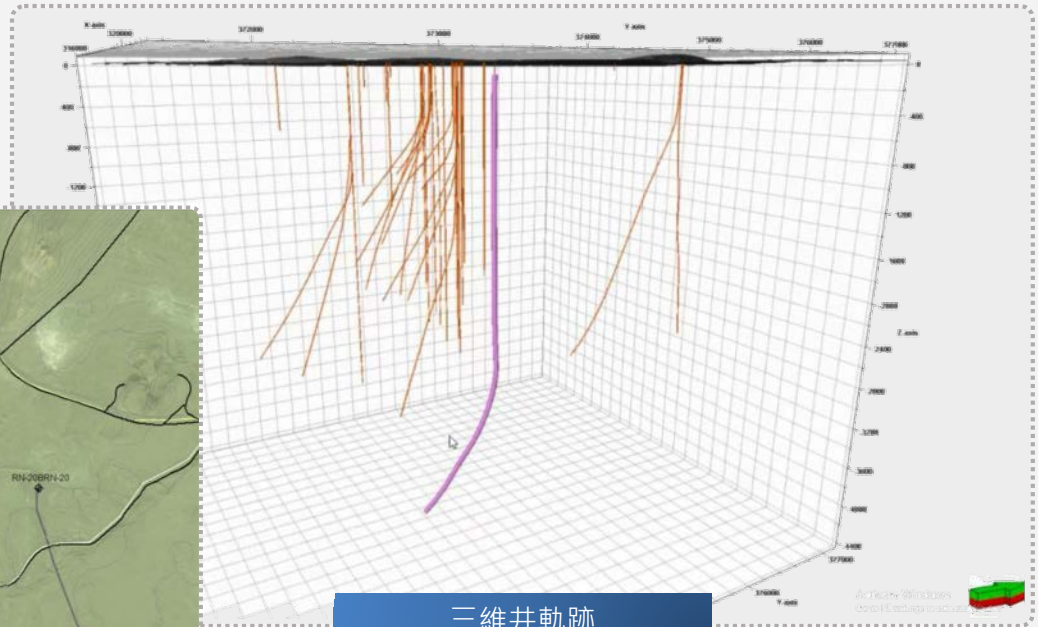
地熱能開發技術-工程

地熱工程技術：實例-冰島IDDP深鑽計畫

超高溫壓地熱深鑽(400°C↑、300Bar↑)



井軌跡平面套圖



三維井軌跡

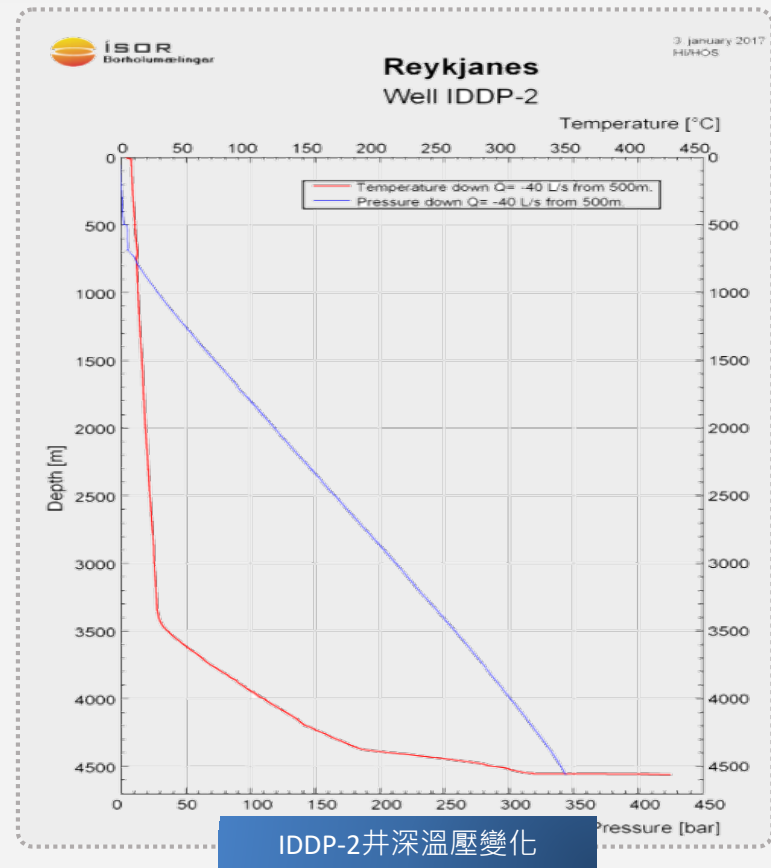
*資料來源IDDP-2-Completion-websites-IDDP-DEEPEGS2

地熱能開發技術-工程

地熱工程技術：實例-冰島IDDP深鑽計畫

超臨界流體的地熱應用

- 生產更高溫、高壓蒸氣
- 高焓能源開採模式
- 岩漿熱傳水體模式
- 深鑽岩體滲透性
- 熱傳導區概念驗證



*資料來源IDDP-2-Completion-websites-IDDP-DEEPEG52

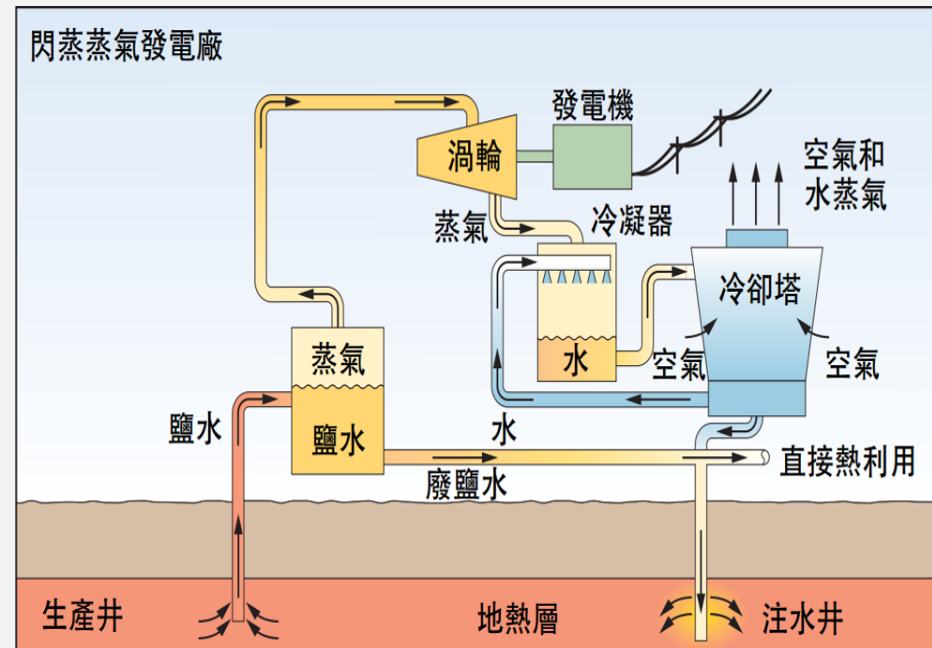
36

地熱能開發技術-發電機

克服關鍵技術：雙循環發電機組

舊清水電廠閃蒸式發電機組

- 清水熱流以熱水為主 (佔80%以上)
- 熱流僅取10~20%之熱蒸氣用於發電
- 蒸氣量不足推動渦輪，發電效率不佳

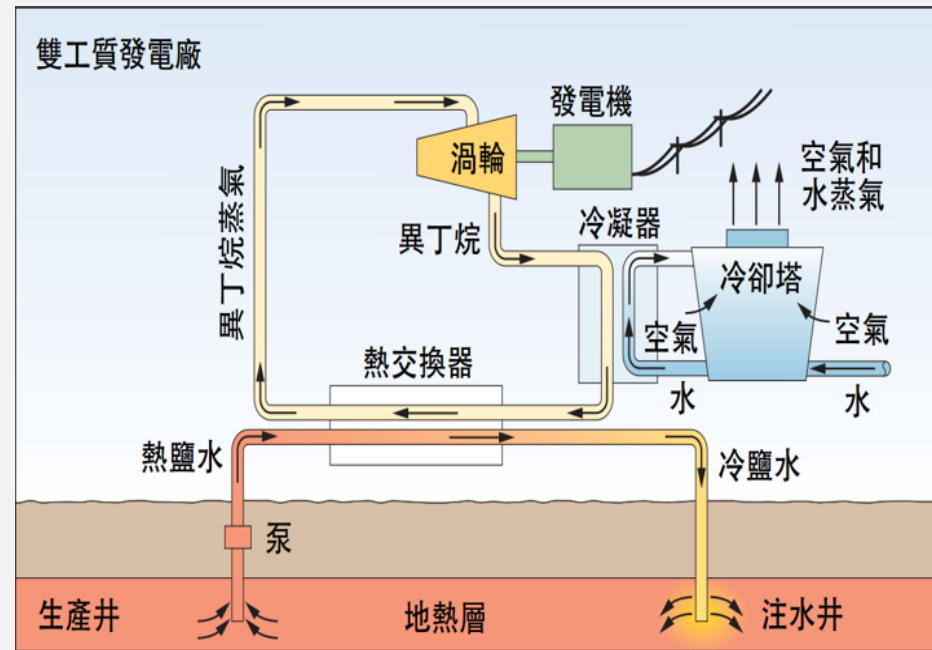


地熱能開發技術-發電機

克服關鍵技術：雙循環發電機組

清水電廠新建BOT&ROT-發電機組

- 二相流渦輪發電機組
- 工作流體沸點低，可增加熱轉換發電效率
- 避免機組內受熱源內含碳酸根等相變結垢堵塞

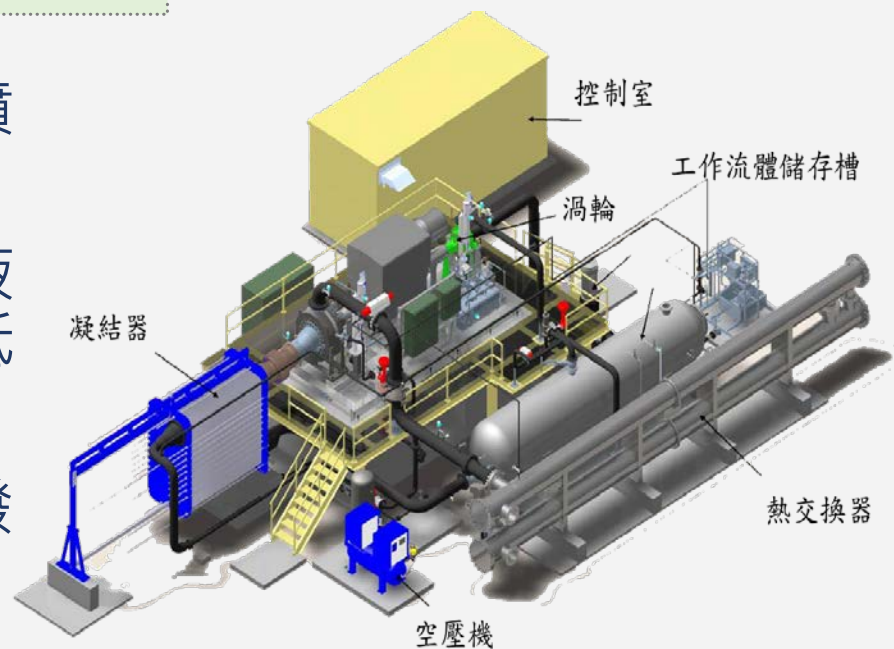


地熱能開發技術-發電機

克服關鍵技術：√發電機組選組不當

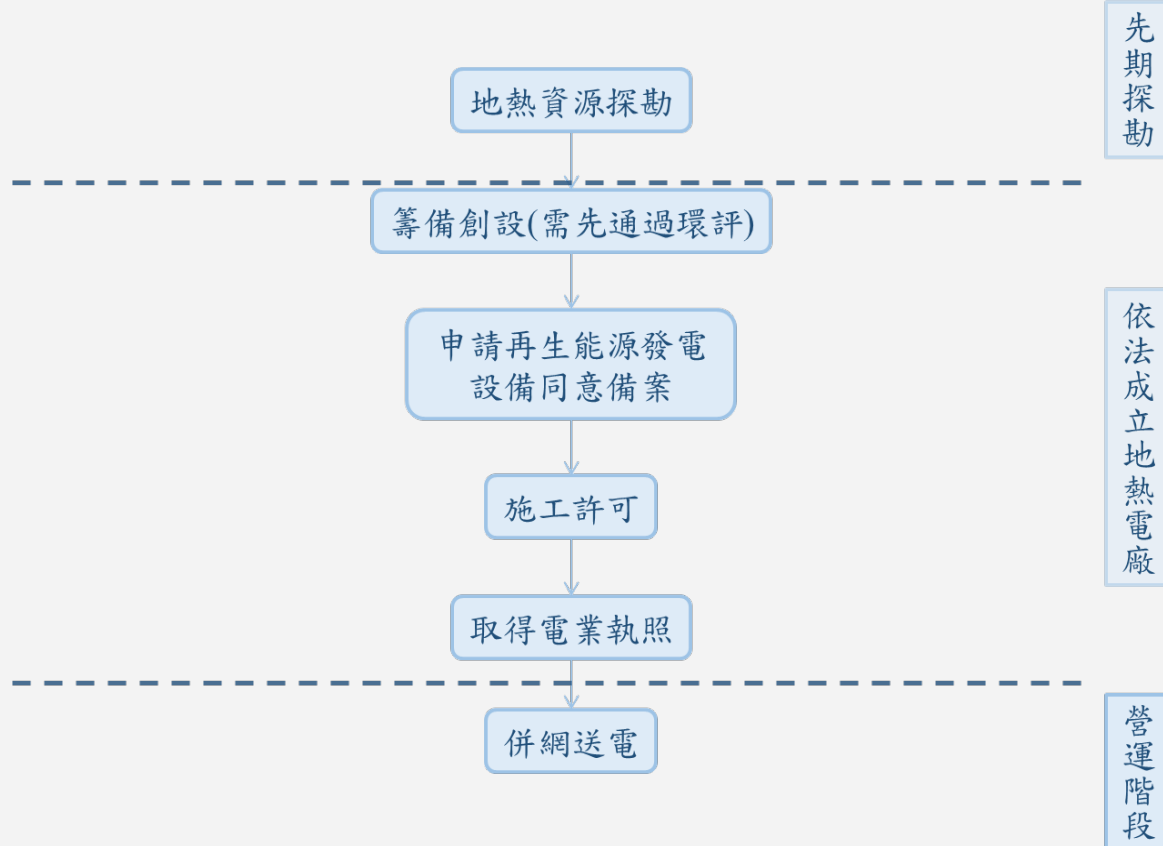
二相流渦輪發電機組

- 技術核心源自NASA噴射推進實驗室
- 可產生高質量微米液滴噴流，渦輪機可低速運轉
- 熱源溫度90°C即可發電



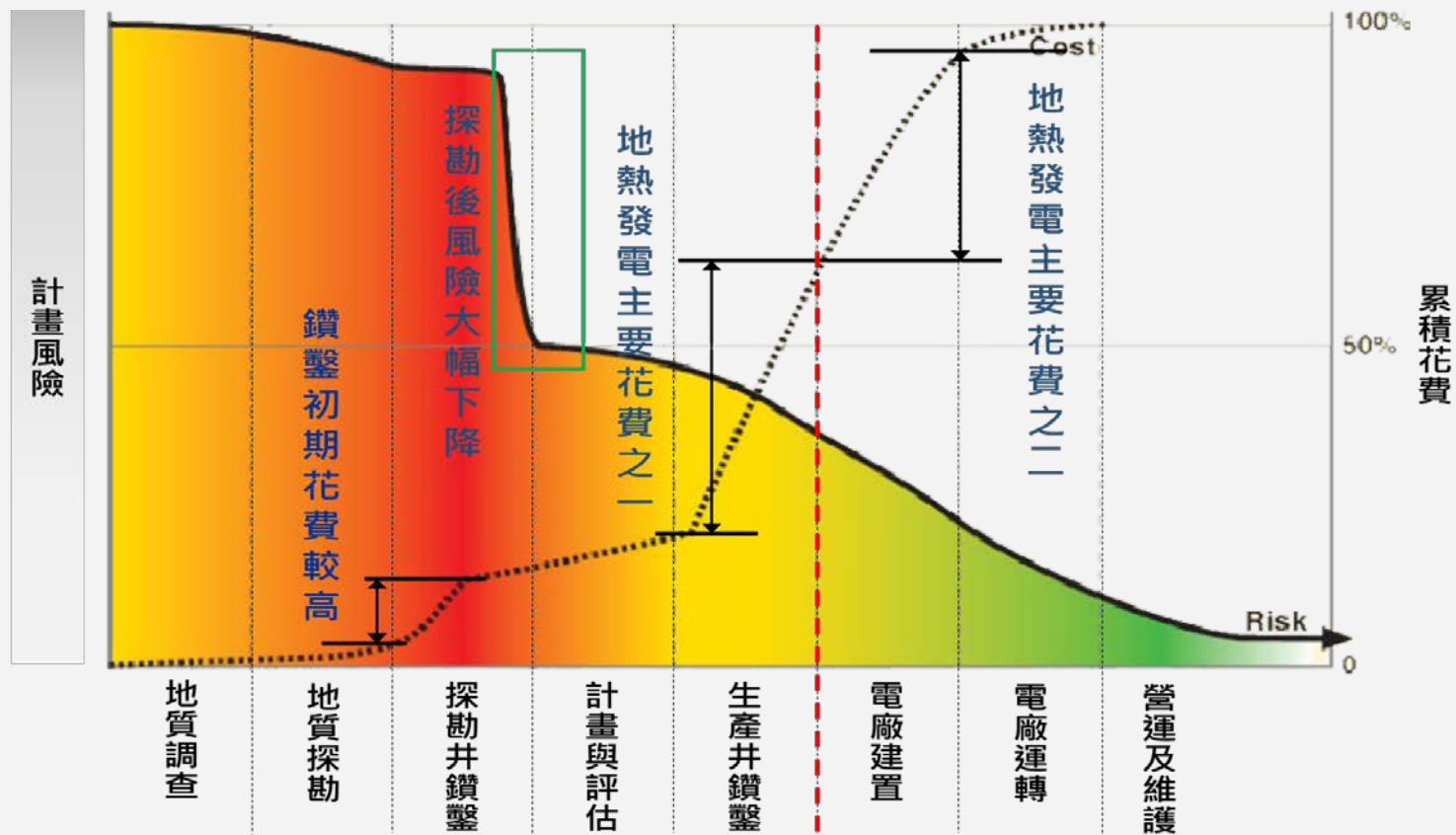
台灣地熱發展的難題

地熱電廠建置成本：電廠建廠流程



台灣地熱發展的難題

地熱電廠建置成本：成本分析

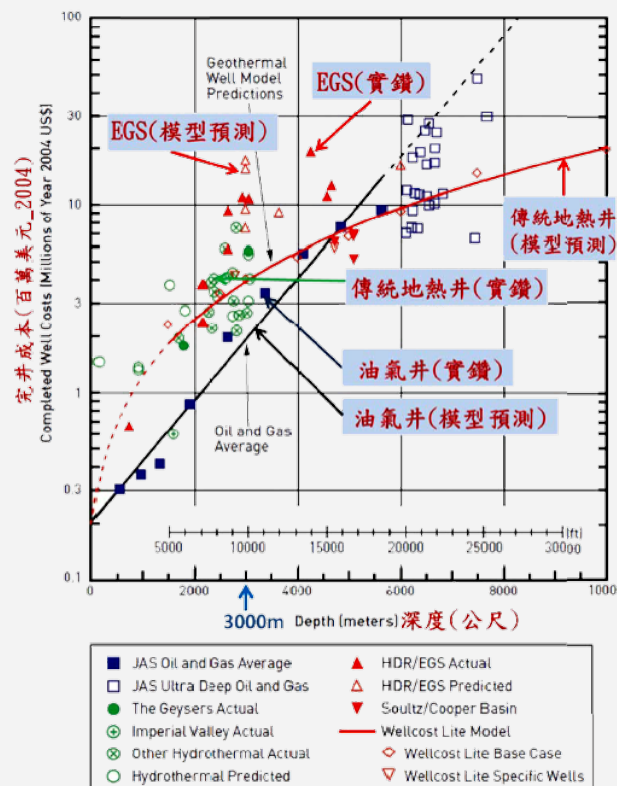


台灣地熱發展的難題

地熱電廠建置成本：成本分析

地熱井建井花費國際經驗

- 3000公尺傳統地熱井造價約300萬美金(約9000萬台幣)
- 前期鑽鑿地熱探勘井9口僅2口具地熱發展潛能
- 表民間企業於電廠建置前之地熱探勘即須投入大量資金
- 未含產能不佳之生產井鑽鑿等衍伸費用



The Future of Geothermal Energy MIT (2006)

http://geothermal.inel.gov/publications/future_of_geothermal_energy.pdf

台灣地熱發展的難題

地熱電廠法規：建廠六大項目



台灣地熱發展的難題

地熱電廠法規：美國地熱相關法規

■ 1978年 能源稅法

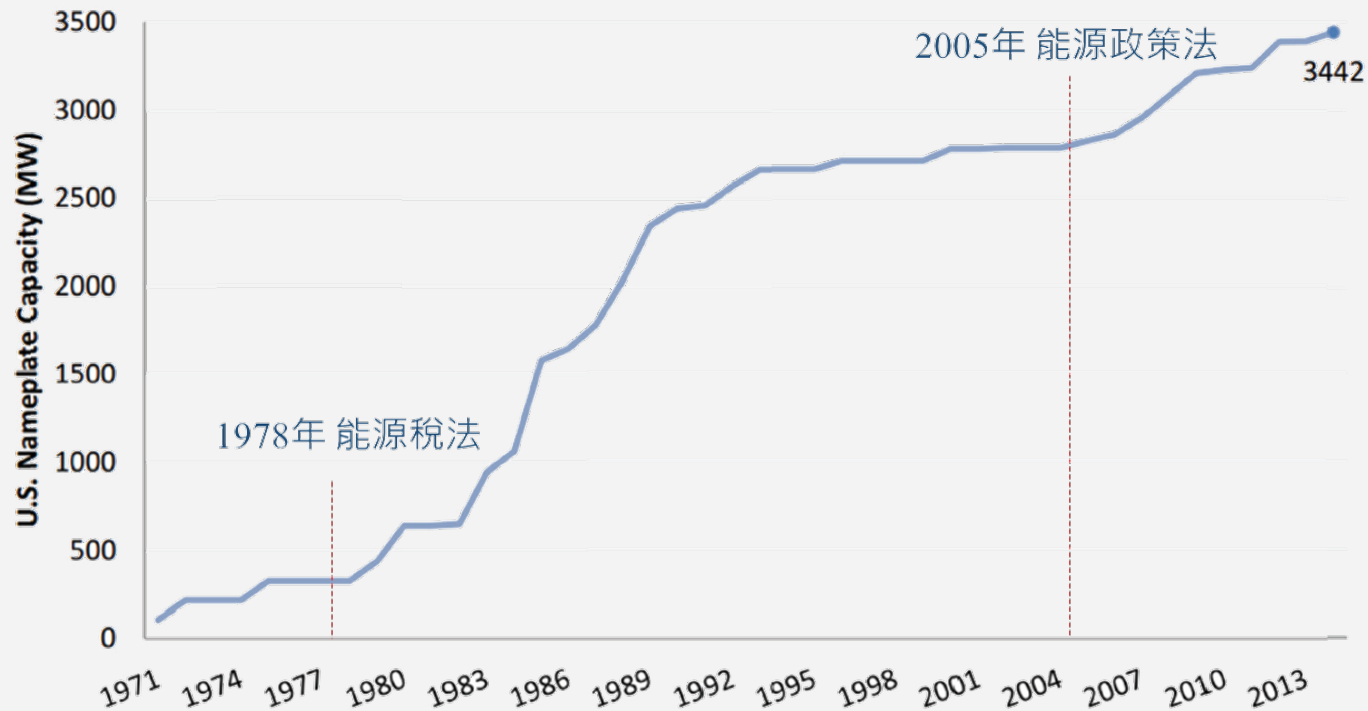
1. 提供**商業抵稅額**予地熱發電系統之開發業者
2. 對於開發**再生能源區**之居民提供**居住地稅**，享有電費減免優惠，藉此降低反彈聲浪

■ 2005年 能源政策法

1. 針對**地熱能源開發土地**租賃建立一套完整行政程序
2. 針對**國家森林系統**訂定5年土地租賃計畫，以5年為一單位追蹤租賃與核可申請

台灣地熱發展的難題

地熱電廠法規：美國地熱相關法規



美國地熱能源發電量

資料來源：2014年4月GEA地熱能源發展年度報告(GEA, 2014)

台灣地熱發展的難題

地熱電廠法規：法規的限制

土地

國家公園法、森林法...等多項

環評

電業法、環境影響評估法

鑽井

水利法、溫泉法、礦業法

電網

電業法、台電併網規定

台灣地熱發展的難題

地熱電廠法規：土地相關法規

國家公園法、森林法

台灣北部大屯火山擁有豐富地熱資源，因國家公園法規定，導致地熱開發受限。日本同我國，地熱資源多處國家公園，近年已修法解禁，目前已有17座地熱發電廠

再生能源發展條例

美國、冰島等世界地熱開發國，皆已針對全國各種資源的開發(包含地熱)順位進行土地規畫利用，相較之下，我國地熱蘊藏資源的非都市土地實際上並無規劃可言

台灣地熱發展的難題

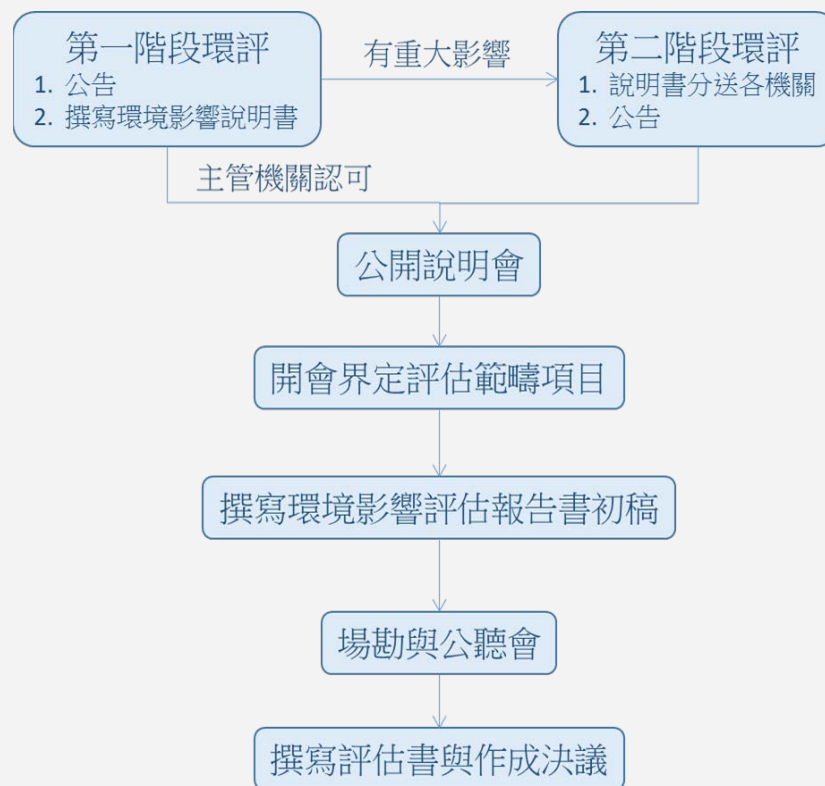
地熱電廠法規：環評相關法規

環境評估法

- 環評時程最快需一年，程序繁複冗長，不利業者

電業法

- 地熱電廠供電容量在500瓩~5000瓩於籌設階段即須辦理環評作業



台灣地熱發展的難題

地熱電廠法規：鑽井相關法規

水利法、溫泉法

目前台灣地熱發電所使用之熱水與蒸氣受溫泉法管轄，需課徵溫泉取用費，目前經溫泉取用費徵收辦法修正後，根據回注水總量進行分級收費，減低相關發電成本(未取用熱水之乾蒸氣井於溫泉法內未有規範)

礦業法

就各國規範來看，地熱能發展大體上主要區分為礦業法系統或特別專法進行規範。如地熱蒸氣法案(美國)，菲律賓地熱法等，將地熱資源以礦權模式租賃於業者進行地熱能開發，目前台灣將地熱資源劃分於溫泉法中

台灣地熱發展的難題

地熱電廠法規：電網、併網相關法規

電業法、併網規定

目前地熱電廠之輸配電網，必須由業者自行負擔與台電電網併網費用，**台灣多數地熱潛能區位於山區，遠離台電電網**，則此費用將成為地熱電廠建設**成本可觀之負擔**

豐宇公司 - 工程實

豐宇鑽井公司：主要鑽績具



1200m級
全油壓鑽機



2000m級
伸縮式鑽機



3500m級
塔式鑽機



5000m級
K型鑽機



API(美國石油協會)標準規範:
範圍涵蓋石油工業設備、材料與作業等等

豐宇公司 - 工程實績

科研鑽井工程實績：T績-車籠埔2000m深井鑽探



- 深井鑽探取心
 - ✓ A井2003m
 - ✓ B井1000m
- 定向鑽井-側鑽
 - ✓ 偏角5°
 - ✓ 1000m~1350m



TCDP場址與岩心取樣

豐宇公司 - 工程實績

科研鑽井工程實績：**績**二氧化碳封存計畫(CCS)

減碳淨煤綠色能源

- 低固相鉀基高分子泥漿
 - ✓ 抑制泥頁岩水化
 - ✓ 防井壁膨脹崩塌
- 連續岩心取樣成果
 - ✓ 取心1500m ~ 3000m
 - ✓ 平均取心率：92%



台電-CO₂封存鑽探計畫團隊



CCS場址與岩心取樣

豐宇公司 - 工程實

科研鑽井工程實績：台績二氧化碳封存計畫(CCS)

技術突破

- 水力破裂技術
- 隨鑽電組測錄
- 鑽井導向定位
- FMI-環狀電阻影像
- CBL-聲波水泥電測
- 岩心ASR法現地應力分析



CCS場址與岩心取樣

豐宇公司 - 工程實

科研鑽井工程實績：IC績號地熱井修井

高溫地熱井修井

- 1227m
- ✓ 168°C 高溫地熱井

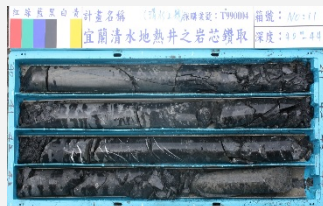


豐宇公司 - 工程實績

科研鑽井工程實績：IC績號地熱井

地熱鑽井連續取樣

- 600~800m
 - ✓ PQ連續岩心取樣
 - ✓ 防井壁膨脹崩塌
- 清水地區淺井二口
 - ✓ 0-150m HQ岩心連續取樣



IC-21號井場址與岩心取樣

謝謝聆聽 

