

出國報告（出國類別：開會）

出席第 12 屆國際溫室氣體
控制技術研討會
(GHGT-12)

服務機關：台灣電力公司營建處

台灣電力公司綜合研究所

姓名職稱：焦中輝 地質組長

楊明偉 化學研究專員

派赴國家：美國

出國期間：103 年 10 月 4 日至 103 年 10 月 16 日

報告日期：103 年 12 月 4 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：出席第 12 屆國際溫室氣體控制技術研討會(GHGT-12)

頁數 34 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台電人資處/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

焦中輝/台電公司/營建處/地質組長

楊明偉/台電公司/綜合研究所/研究專員

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他（開會）

出國期間：103 年 10 月 4 日至 103 年 10 月 16 日

出國地區：美國

報告日期：103 年 12 月 4 日

分類號/目

關鍵詞：二氧化碳、捕集、地質封存、電廠、安全性

內容摘要：建立二氧化碳捕集與封存技術(CCS)為本公司減碳的重要工作，CCS 可使舊有或新設燃煤電廠降低碳排放，以減少新發電技術之設置障礙與風險。為此本公司積極推行先導試驗場址之評估與試行等工作，迄今已完成 3000 米深鑽地質調查工作。因 CCS 試行計畫涉及工程、經濟與環境等面向，封存有效性與安全性將受到法規與民意檢視，推動過程須與國際發展銜接並適時引進新技術。派員參加國際能源總署（IEA）舉辦之溫室氣體控制技術研討會（GHGT-12），瞭解國際間二氧化碳捕集與封存等技術與大型試驗計畫之最新進展，可作為本公司火力電廠設置捕集技術與二氧化碳深地層封存試行計畫的參考，對推行相關工作極有助益，並發表 2 篇論文(捕集、封存各一篇)，以提升本公司研究計畫之國際能見度。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

摘要	i
1. 任務目的.....	1
2. 過程.....	2
2.1 GHGT-12 會議內容.....	2
2.2 CCS 整合電廠之最佳化與動態調控技術研討.....	6
3. 心得與感想.....	7
3.1 二氧化碳捕捉、利用和儲存技術知識分享.....	7
3.2 US DOE NETL 的 CCS 最佳實務.....	8
3.3 碳儲存計畫的公眾宣傳和教育.....	9
3.4 深地層封存 CO ₂ 場址的調查實務.....	10
3.5 二氧化碳地質封存的模擬與風險分析實務.....	10
3.6 US DOE NETL 的 CCS 教育訓練實務.....	12
3.7 SaskPower Boundary Dam ICCS 計畫.....	13
3.8 未來十年先進國家發展計畫.....	15
3.9 大尺度盆地地質封存研究探討.....	17
3.10 中尺度展示計畫地質封存研究探討.....	18
3.11 先導尺度試驗計畫地質封存研究探討.....	25
3.12 感想與建議.....	33

1. 任務目的

建立二氧化碳捕集與封存技術(CCS)為本公司減碳的重要工作，CCS 可使舊有或新設燃煤電廠降低碳排放，以減少新發電技術之設置障礙與風險。為此本公司大會報指示綜研所與營建處等單位成立相關研究計畫推行先導試驗場址之評估與試行等工作，本公司據此已規劃碳捕獲與封存發展路徑圖，迄今已完成 3000 米深鑽地質調查工作。因 CCS 試行計畫涉及工程、經濟與環境等面向，封存有效性與安全性將受到法規與民意檢視，推動過程須與國際發展銜接並適時引進新技術。2014 年 10 月 5-9 日國際能源總署 (IEA) 將在美國 Austin 舉辦溫室氣體控制技術研討會 (GHGT-12)，會議內容包含國際間二氧化碳捕集與封存等技術與大型試驗計畫之最新進展，可作為本公司火力電廠設置捕集技術與二氧化碳深地層封存試行計畫的參考，對推行相關工作極有助益。經濟部能源局之「CCS 研發聯盟」亦邀集本公司一同前往發表研發成果，宣導我國減碳技術研發成果。因此，本公司指派相關工作人員參加溫室氣體控制技術研討會(GHGT-12)並發表 2 篇論文(捕集、封存各一篇)，以提升本公司研究計畫之國際能見度，並藉此機會與國際專家進行交流以檢視本公司計畫是否符合安全與有效之要求，以利本公司後續相關研究計畫的規劃、推行與完成。

此外，建立二氧化碳捕集與封存技術為本公司減碳的重要工作，捕集技術如何與電廠操作整合更為其關鍵因素。美國伊利諾理工學院(IIT)目前正發展適用於 CCS 整合電廠之最佳化與動態調控工具，可增進電廠設置 CCS 設施之經濟效能，本次行程由綜合研究所楊明偉化學師順道前往 IIT 進行研討，可作為本公司火力電廠設置捕獲技術的效能評估與成本估算之參考，以減少投資風險。

2. 過程

2.1 GHGT 12 會議內容

2014 年 10 月 5-9 日在美國奧斯丁舉辦「第 12 屆國際溫室氣體控制技術研討會(Greenhouse Gas Control Technologies 12 – GHGT-12)」，會中將針對各類溫室氣體控制技術與相關示範計畫進行介紹與討論。會議內容包含各類二氧化碳捕集技術、二氧化碳封存技術、二氧化碳再利用技術、經濟影響性評估、國際碳捕存法規之最新進展，亦包含如何整合這些碳捕存技術至傳統火力電廠之整合技術發展。

為了抑制全球溫暖化效應，降低能源使用所造成之人為二氧化碳排放為本世紀人類社會之首要環境考量。然而，大規模實施二氧化碳捕集與封存(Carbon Capture and Storage; CCS)將大大降低電廠出力並使發電成本大幅上升，如何兼顧經濟競爭力與提高供電穩定度將是維繫社會進步之重要關鍵。

台灣欠缺傳統化石燃料資源，能源供應高度依賴進口能源，相關減碳技術所造成之能源供應成本上升將會對我國經濟產生巨大衝擊。另一方面，我國經濟發展高度依賴出口，如果國際間實施碳排放限制也將使我國生產之產品出口受到限制。因此，及早關切相關減碳技術發展對我國未來經濟發展至為重要，本次會議內容希望能提供各與會人士對這些二氧化碳捕集與封存技術在大規模商業化實施下所可能遇到的挑戰進行交流，以加速大規模實施之時程以避免全球氣候繼續溫暖化導致更嚴重之生態破壞。GHGT-12 會議時程表如圖 2.1~2.3

SUNDAY 5TH OCTOBER	MONDAY 6TH OCTOBER	TUESDAY 7TH OCTOBER	WEDNESDAY 8TH OCTOBER	THURSDAY 9TH OCTOBER
Registration 15.30 - 20.30 Palazzo Area SOCIAL EVENT Welcome Reception 18.30 - 20.30 Ballroom ABC	Registration 07.00 - 17.00	Registration 07.00 - 17.00	Registration 07.00 - 17.00	Registration 07.00 - 12.00
	Opening Plenary 08.50 - 09.10	Plenary Session 08.00 - 9.00	Greenman Award & Plenary Session 08.00 - 9.00	Plenary Session 08.00 - 9.00
	Keynote Addresses 09.10 - 10.50	Technical Session 4 09.10 - 10.50	Technical Session 7 09.10 - 10.50	Technical Session 10 09.10 - 10.50
	AM BREAK 10.50 - 11.20	AM BREAK 10.50 - 11.20	AM BREAK 10.50 - 11.20	AM BREAK 10.50 - 11.20
	Technical Session 1 11.20 - 13.00	Technical Session 5 11.20 - 13.00	Technical Session 8 11.20 - 13.00	Technical Session 11 11.20 - 13.00
	LUNCH BREAK 13.00 - 14.00	LUNCH BREAK 13.00 - 14.00	LUNCH BREAK 13.00 - 14.00	LUNCH BREAK 13.00 - 14.00
	Technical Session 2 14.00 - 15.40	Poster Session A 14.00 - 16.00	Poster Session B 14.00 - 16.00	Plenary Panel Session 14.00 - 15.30
	PM BREAK 15.40 - 16.10	PM BREAK 15.30 - 16.00	PM BREAK 15.30 - 16.00	Closing Session 15.30 - 16.00
	Technical Session 3 16.10 - 17.50	Technical Session 6 16.00 - 17.40	Technical Session 9 16.00 - 17.20	
		SOCIAL EVENT Student Reception 18.00 - 20.00 Room S13	SOCIAL EVENT Conference Dinner 18.30 - 22.30 The Salt Lick	

圖 2.1 GHGT-12 會議內容與時程

		SESSION A BALLROOM ABC	SESSION B ROOM 9 ABC	SESSION C ROOM 6 AB
MONDAY OCT 6TH	Tech Session 1 11.20 - 13.00	Post-combustion: Process analysis	Storage Case Studies (1)	Biomass with CCS
	Tech Session 2 14:00 - 15.40	Post-Combustion: Dynamic Modelling	Storage Case Studies (2)	Underground Gasification and Mineralisation
	Tech Session 3 16.10 - 17.50	Novel Systems (1)	Geophysical Monitoring	Panel Discussion
TUESDAY OCT 7TH	Tech Session 4 9.10 - 10.50	Aerosols and Nitrosamines	Pressure Monitoring	Panel Discussion
	Tech Session 5 11.20 - 13.00	Solvent Degradation and Emissions	Geochemical Monitoring	Panel Discussion
	Tech Session 6 16.00 - 17.40	Post-Combustion: Pilot Plant Results	Monitoring Tools	Panel Discussion
WEDNESDAY OCT 8TH	Tech Session 7 9.10 - 10.50	Post-Combustion: Pilot Plant Results & Process Analysis	Trapping Mechanisms (1)	Panel Discussion
	Tech Session 8 11.20 - 13.00	Solvents and Process Modelling	Trapping Mechanisms (2)	Panel Discussion
	Tech Session 9 16.00 - 17.20	Novel Systems (3)	Geomechanics	Program Overviews
THUR OCT 9TH	Tech Session 10 9.10 - 10.50	Solvents	Storage Capacity (1)	Capture Demonstrations
	Tech Session 11 11.20 - 13.00	Post-Combustion: Thermodynamic Analysis	Storage Capacity (2)	Storage Demonstrations
SESSION		CAPTURE	STORAGE	NEGATIVE CO₂ EMISSIONS
THEME KEY		OTHER STORAGE OPTIONS	DEMONSTRATION	PANEL DISCUSSIONS

圖 2.2 GHGT-12 會議內容與時程

SESSION D ROOM 10 AB	SESSION E ROOM 5 ABC	SESSION F ROOM 4 ABC	SESSION G ROOM 8 ABC
Source Sink Matching	CCS in Cement Sector	Wellbore Integrity	Sorbent Systems (1)
Transport: Safety and CO ₂ Quality	CCS in Industry	Environmental Impacts	Sorbent Systems (2)
Results from CO ₂ Technology Centre Mongstad	Policy Issues	Site Characterisation and Assessment	Sorbent Systems (3)
Demonstration Projects	Legal and Regulatory	Risk Assessment & Management (1)	Pre-Combustion
EOR	System Cost Analysis	Risk Assessment & Management (2)	Novel Systems (2)
Enhanced Hydrocarbon Recovery	Integration into Energy Systems	Remediation and Contingency Planning	Chemical Looping
CO ₂ Utilisation (1)	LCA and HSE	Modelling: Transport, Trapping, and Geochemical Reactions	Membranes
CO ₂ Utilisation (2)	CCS and Water Use	Modelling: Field Scale Storage Projects	Oxy-Combustion (1)
Novel Storage Concepts	Financing and Commercial Issues	Modelling: Basin Scale and Capacity Assessment	Oxy-Combustion (2)
Storage Modelling: Computational Methods	Social Science Research for CCS Deployment	Storage Engineering	Oxy-Combustion (3)
Dispersion of CO ₂	Communication and Attitudes toward CCS	Injectivity	Industrial Capture Initiatives
UTILISATION OF CO ₂	LEGAL ISSUES	POLICIES	TRANSPORT
NOVEL STORAGE	INDUSTRIAL SOURCES	COMMERCIAL ISSUES	PUBLIC PERCEPTION OF CCS

圖 2.3 GHGT-12 會議內容與時程

2.2 CCS 整合電廠之最佳化與動態調控技術研討

此外，建立二氧化碳捕集與封存技術為本公司減碳的重要工作，捕集技術如何與電廠操作整合更為其關鍵因素。本次出國任務期間於 10 月 13 日至 10 月 14 日由綜合研究所楊明偉化學師順道前往美國伊利諾理工學院(IIT)進行研討，IIT 目前正發展適用於傳統火力電廠整合 CCS 技術之最佳化與動態調控工具，可藉由先進之調控技術改善增進電廠設置 CCS 設施之經濟效能，可作為本公司火力電廠設置捕獲技術的效能評估與成本估算之參考，以減少投資風險。

3. 心得及建議

以下為本次出國行程參與 GHGT-12 會議，以及研習 CCS 動態調控技術模擬技術所見之內容與心得依各類運用分別介紹。

3.1 二氧化碳捕捉、利用和儲存技術知識分享

將二氧化碳捕捉、利用和儲存技術(CCUS)的知識分享給相關業者與社會大眾是促進 CCUS 之商業化推廣不可少的重要環節，美國能源署(US DOE)因此建立各種管道，以促進資訊和知識分享，其手段包括：出版最佳實踐手冊(Best Practices Manuals; BPMs)、建立 CCSU 線上資源與工具、成立各種工作小組、大眾宣傳活動、與大眾教育工作。

工作小組著重於開發以下各項 CCUS 之主要議題：

- a. 地質和基礎設施。
- b. 監測、查核和計算(Monitoring, Verification, and Accounting; MVA)。
- c. 模擬和風險評估。
- d. 捕集和運輸技術。
- e. 地理資訊系統(GIS)和資料庫。
- f. 水資源。
- g. 油氣增產(EOR, EGR)與二氧化碳封存。
- h. 公眾宣傳和教育。

其中，DOE 的 NETL 實驗室主要以出版一系列的 BMPs 來促進資訊和知識分享，這些 BMPs 分別概述因應各種 CCSU 相關議題的最佳策略。

DOE 也開發出一個重要線上資源：國家型碳封存資料庫和地質資訊系統(NATCARB)；這是一個地理信息系統(GIS)。NATCARB 以互動式視覺來表示美國國土之 CCSU 的潛力。DOE 也發行一系列宣導區域性碳封存聯盟(RCSPs)之過去經驗報告，與其他有關 CCSU 商業潛能之報告。

NETL 積極的傳播知識，並經由訓練發展中心專注於培訓 CCSU 技術人才。

3.2 US DOE NETL 的 CCS 最佳實務

NETL 最主要以一系列的 BMPs 來促進資訊和知識分享，這些 BMPs 分別概述各種 CCSU 相關議題的最佳因應策略。第一版的 BMPs 在 2009 至 2010 年間完成，到 2020 年的最後版本前將至少更新一次。BMPs 目前版本在 NETL 碳儲存計畫網：http://www.netl.doe.gov/technologies/carbon_seq/refshelf/refshelf.html；BMPs，其「監測、查核和計算在地質深處的 CO₂ 之 BPM」內容內容簡述如表 3.1：

表 3.1 地表下方監測工具的現地可應用性

監測方法		技術應用期	技術方案	技術可適用對象		
				UIC 六類注入井規範	溫室氣體管制規範	儲集層管理規範
表下方監控	井測工具	商轉階段	密度井測、中子孔隙率井測、脈衝式中子感測器、聲波井測、對應式電測	✓		✓
	井內監測震測方法	商轉階段	井底與井頭壓力感測器、流量計音波井測、氧激發式井測、幅射示踪劑量測，腐蝕監測	✓	✓	✓
		開發階段	光纖型連續式溫度感知系統、連續式熱突感知器	✓	✓	✓
			二維、三維定時震測；井下震測(垂直剖面震測)	✓	✓	✓
		地下流體取樣與示蹤劑分析	商轉階段	跨孔式震測、被動式微震觀測	✓	✓
	早期示範階段		光纖型地耳井下震測；無線資料辨識、多向式的三維震測	✓	✓	✓
	開發階段		纜線式取樣器	✓	✓	✓

表 3.1(續) 地表下方監測工具的現地可應用性

重力方法	商轉階段	U型管取樣、改良儲層取樣系統、氣體薄膜感知系統	✓	✓	✓
	早期示範階段	遙控運載深海重力儀、鑽孔重力量測	✓	✓	✓
電阻法斷層掃描(ERT)方法	早期示範階段	跨孔式、地表下孔式	✓		✓
	早期示範階段	訊源可控式電磁法探勘	✓	✓	✓
	開發階段	光纖型連續式溫度感知系統、連續式熱突感知器	✓	✓	✓

3.3 碳儲存計畫的公眾宣傳和教育

公眾宣傳和教育是支持二氧化碳儲存計畫的最好方法，該 BPM 介紹 10 個重點步驟，達到各類示範計畫之全面教育和宣傳成效，簡要步驟如表 3.2，這些步驟是根據 RCSP 過去實施小規模示範計畫之經驗(每年注入<500,000 噸 CO₂)。

表 3.2 碳儲存計畫公眾宣傳和教育的最佳規範(BPM)

最佳規範	建議採取的措施
公眾教育計畫與 CO ₂ 儲存示範計畫整合	把公眾教育計畫視為 CO ₂ 儲存示範計畫的主要關鍵路徑之一
建立強大的公眾宣傳和教育的團隊	建立一個明確的公眾宣傳組織，設定組織內個人之角色和責任。組織內應包含：技術、溝通、教育、具社區關係等各類專長的人士。
確認主要關係人	從地方、區域和國家等層面來調查示範計畫所在地的所有關係人
進行社群特徵調查	社群特徵調查包含資訊的收集和評估工作，以準確獲取：關係人特徵、他們關注什麼議題、他們想什麼
制訂溝通策略和計畫	將溝通策略和計畫與計畫本體串聯，資訊收集、策略規劃、溝通準備等要針對關係人對 CO ₂ 封存計畫的疑問與關切。
研擬關鍵訊息	設定一組關鍵訊息，於各次宣導場合與文件中重複宣傳，一致性的訊息有助於讓外界了解計畫內容，並讓關係人清晰明瞭的本計畫如何解決他所關心的課題

表 3.2(續) 碳儲存計畫公眾宣傳和教育的最佳規範(BPM)

為不同群眾量身打造客制化的宣傳材料	宣傳材料必須調整到符合該類群眾對本計畫的關心程度、他們的教育背景和場合的時間限制等
主動管理	宣傳程序應該積極管理，以確保每次溝通傳遞的訊息一致，在計畫持續期間內需完整傳遞所須的全部訊息
調查宣傳成效和公眾接受度	調查宣傳程序的成效，使計畫團隊了解目前公眾對本計畫之接受度俾以調整教育宣傳方向
作好調整教育宣傳計畫之準備	作好調整教育宣傳計畫之準備，在計畫執行過程中可能遭遇突發事件和其他狀況，可能會強烈影響大眾對本計畫實行過程之看法

3.4 深地層封存 CO₂ 場址的調查實務

深地層封存 CO₂ 場址的調查、選擇和初步地質特徵調查的程序包含：詳細分析候選場址在技術與非技術層面的所有問題。

深地層封存 CO₂ 場址的調查、選擇和初步地質特徵調查的 BPM 提供一個建議程序，類似的程序已被使用在石油工業多年。

3.5 二氧化碳地質封存的模擬與風險分析實務

數值模擬和風險分析對二氧化碳地質封存是重要的工具，他們在二氧化碳地質封存計畫所有階段反覆的被使用(包含：場址調查、選擇、規劃、運轉、關閉和長期管理)。

模擬與風險分析與場址特性調查、監測和公眾宣傳須緊密結合，以滿足地質封存的安全性、可靠性和可查核性的永久目標。該 BPM 包含三大技術主題：風險分析基礎、數值模擬基礎、風險分析和數值模擬的應用。

常見的模擬與風險分析如表 3.3，引導 CCUS 執行者以合適工具來預測並揭露地下二氧化碳的短期和長期儲存效能、遷移情況、儲存層壓力變化、長期封存量、可能的風險與造成的危害程度。

表 3.3 二氧化碳地質封存常見的數值模擬軟體

軟體名稱	開發商	耦合計算	模擬的程序
NFFlow-FRACGEN	NETL	H	Two-phase, multi-component flow in fractured media.
Eclipse	Schlumberger	T,H	Non-isothermal multiphase flow in porous media.
MASTER	NETL	T,H	Black oil simulator, compositional multiphase flow.
TOUGH2 (TOUGH+)	LBNL	T,H	Non-isothermal multiphase flow in unfractured and fractured media.
GMI – SFIB	Geomechanics International	M	Three-dimensional stress modeling for compressional (wellbore breakout) and tensional (tensile wall fractures) stress failure, fracture modeling.
ABACUS	SIMULIA	T,M	Geomechanical, single and two-phase flow.
COMET3	ARI	T,H,M, sorption	Black oil production, hydrocarbon recovery from desorption-controlled reservoirs.
TOUGH-FLAC	LBNL	T,H,M	Non-isothermal multiphase flow in unfractured and fractured media with geomechanical coupling.
The Geochemist's Workbench	University of Illinois	C	Chemical reactions, pathways, kinetics.
PSU-COALCOMP	Penn State University /NETL	T,H, sorption	Compositional simulator with dual porosity, sorption.
CrunchFlow	LLNL	T,H,C	3-D, multiphase transport with equilibrium and kinetic mineral-gas-water reactions.
GEM-GHG	Computer Modelling Group Ltd.	T,H,C	Non-isothermal multiphase flow in porous media.
NUFT-C	LLNL	T,H,C	Non-isothermal multiphase flow and chemical reactions in porous media.
PFLOTRAN	LANL	T,H,C	Non-isothermal multiphase, multicomponent, chemically reactive flows in porous media. Can be run coupled or uncoupled.
PHAST	USGS	T,H,C	Multicomponent, 3-D transport with equilibrium and kinetic mineral-gas-water reactions.

表 3.3(續) 二氧化碳地質封存常見的數值模擬軟體

STOMP-family of codes	PNNL	T,H,C	Non-isothermal multiphase flow in porous media, coupled with reactive transport.
TOUGHREACT	LBNL	T,H,C	Non-isothermal multiphase flow in unfractured and fractured media with reactive geochemistry.
OpenGeoSys: [Couples GEM, BRNS, PHREEQC, ChemApp, Rockflow]	UFZ-BGR-C AU-GFZ-PSI -TUD-UE	T,H,M,C	Porous and fractured media THMC simulation.
FEHM	LANL	T,H,M,C	Non-isothermal, multiphase flow (including phase-change) in unfractured and fractured media with reactive geochemistry & geomechanical coupling.
CO ₂ -PENS	LANL	-	Systems-level modeling of long-term fate of CO ₂ in sequestration sites.
COMSOL	COMSOL	-	General partial differential equation solver with finite element solver.

T：熱耦合、H：水力耦合、M：機械耦合、C：化學耦合

3.6 US DOE NETL 的 CCS 教育訓練實務

雖然 CCUS 技術具有極大的潛力來減少溫室氣體的排放，大規模實施這些技術將需要培訓各類專家。

NETL 的碳貯存計劃資助各大學培養大學生和研究生，本項計畫主要集中在資助培養以下幾個方面的專家：程序數值模擬和風險評估、監測與查核和計量 (MVA)、地質分析技術、地球物理模型解讀、完井完整性、長期封存效能的基礎研究。

NETL 已投資相當資金，建立了 7 個 CCUS 培訓中心，專注在培育 CCUS 可用的科學與工程人才。其中包含：封存場址開發人員、地質師、工程師和相關技術人員等。

這些培訓是透過一系列的短期課程、區域培訓會議、研討會與 CO₂ 封存計畫經驗分享課程來達成。

此外，培訓中心亦提供 CO₂ 封存技術之技術轉移平台，和提供商業運轉 CCUS 計畫之規劃與技術指導。

3.7 SaskPower Boundary Dam ICCS 計畫

世界上第一個整合 CCS 技術的燃煤電廠計畫，正式在今年 9 月份於加拿大，Saskatchewan 省的 Estevan 啟用，Boundary Dam 電廠採用 Shell Cansolv 之煙氣脫硫及二氧化碳捕集整合技術用，此計畫目的是要證明二氧化碳捕集技術能夠大規模且商業化的被運用在傳統燃煤發電廠中，此計畫將會是燃煤發電業者在世界上一個重要的減碳里程碑。



圖 3.1 Estevan, Saskatchewan 整合 CCS 技術的燃煤發電廠

因為二氧化碳排放受限於新的之聯辦法規，根據 BD3 提送之減碳計畫預估 Boundary Dam 之 3 號機可再延長 30 年生產壽命。Sask Power 之 BD3 示範計畫，為在 139 MW 燃煤機組加裝全規模之煙氣二氧化碳捕集設施，在發電量滿載時每年預計捕獲二氧化碳超過 100 萬噸(將近 90 % 二氧化碳捕集率)，所捕獲的二氧化碳被壓縮並透過管道輸送到 Weyburn 油田提高其石油採收率。Weyburn 為世界上最大規模之二氧化碳地質封存計畫之一。在進行碳捕集的同時，所有煙道氣中的二氧化硫也同時進行回收並用於生產硫酸，隨後作為有價值的副產物出售。

SaskPower BD3 ICCS 計劃，包括 Shell Cansolv 的創新的設計，可同時捕捉煙氣中的 SO_2 與 CO_2 (如圖 3.2)。此一先進之捕集系統有助於減少碳捕集之相關能源需求，所以所需消耗之電廠蒸汽量得以顯著下降。因此，這個世界上第一個大型計劃得以成功與傳統電廠結合，以全規模進行效能驗證工作，並同時評估其經濟效益。藉地利之便 BD3 計畫所捕集之二氧化碳可就近銷售給鄰近的採油業者以提升採油量，Shell Cansolv 的技術使 Saskatchewan 省可獲得充足而且低廉之低碳電力。

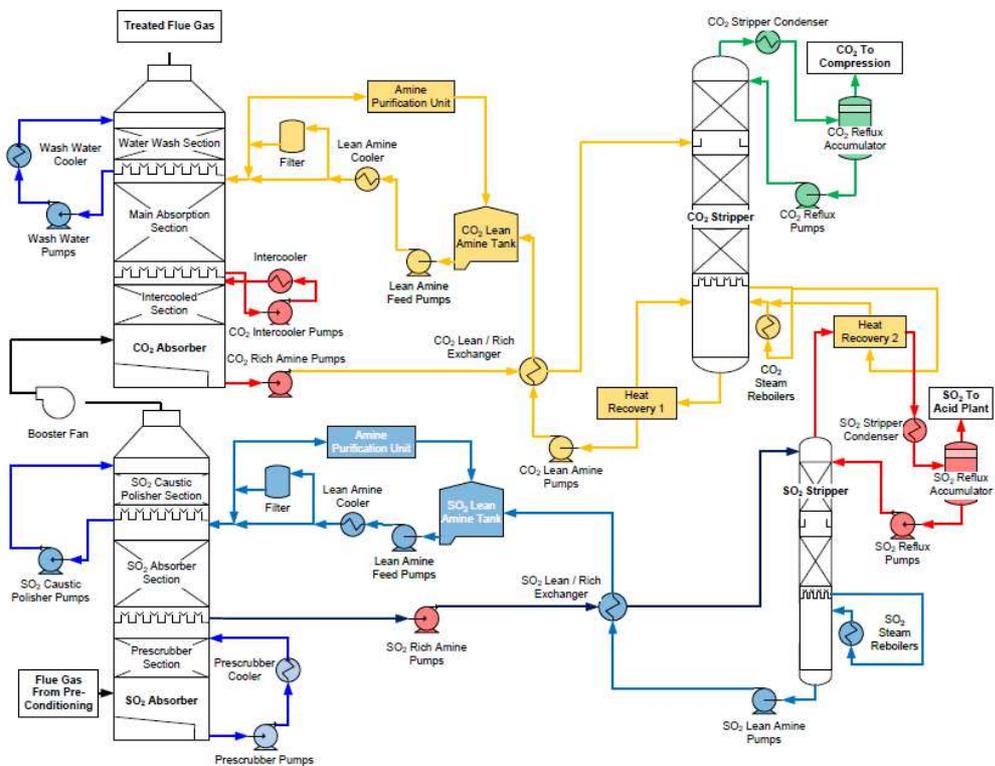


圖 3.2 Shell Cansolv Sask Power BD3 CCS 程序流程圖

3.8 未來十年先進國家發展計畫

美國能源部在 ARRA 基金支助下有三個大尺度企業型 CCS 展示計畫：Decatur- Arthur Daniels Midland Company, Port Arthur- Air Products, Lake Charles-Leucadia Energy。目前該等計畫已成功完成 Phase 1 工作，正進行 Phase 2 設計、建造及運轉工作。

美國能源部同時也開發 7 個 Regional Partnerships 來支持各區的 CCS 計畫：

- Southwest Regional Partnership (SWP) : Wasatch Plateau
- Southeast Regional Partnership (SECARB) : Cranfield, Citronelle
- Plains CO₂ Reduction Partnership (PCOR) : Fort Nelson, Bell Creek
- Midwest Geological Sequestration Consortium : Decatur
- Midwest Regional Carbon Sequestration Partnership : Northern Reef Trend
- Big Sky Regional Partnership : Kevin Dome
- West Coast Regional Partnership : Kimberlina–Dormant

該等計畫皆經過 3 個階段：Phase 1 : Characterization; Phase 2 : Validation; and Phase 3 : Development ; 目前進行中的這 9 大 CCS 計畫是由先前 21 個小型 CCS 注入計畫（如進行中的 Cranfield）擴展開的。

加拿大 SaskPower's Boundary Dam CCS 計畫是世界第一個最大商業尺度燃煤電廠燃燒後 CCS 計畫。該計畫 2014 年改裝完成運轉中基載的 110 MW #3 號機組，每年捕獲 100 萬噸 CO₂，並經由管路向南輸送到附近的油田作 EOR；其餘的 CO₂ 再經由進行中的 Aquistore 計畫，注入地下 3.4km 深 Deadwood Formation 之砂岩鹽水層儲存，並作監測。

澳洲西澳西北海岸的 Gorgon LNG 計畫，將可能成為世界最大的 CCS 計畫。於 2009 年 Chevron 石油公司與其合作夥伴 ExxonMobil 及 Shell 石油公司已獲得該計畫 40 年的開發許可証。此一商業尺度 CCS 計畫每年將捕獲與注入 3.4~4 百萬噸 CO₂，40 年期間將注入 1.2 億噸 CO₂，佔其總排放量的 40%，如加上 Collie South West CO₂ Hub 計畫每年注入 CO₂ 儲存量將達到 8 百萬噸，佔西澳目前年排放量的 11%。本計畫的 CO₂ 注儲場址是位在 Barrow Island 地下深 2.3km 之 Dupuy 鹽水層，並將於 2015 年開始注入 CO₂，屆時希望達到 9 口注入井；該計畫也將包括 CO₂

儲存量監測井及重複反射震測之長期監測。

英國將十億英鎊設立投資基金，並通過英國電力市場改革的額外資金運作，以商業化競標方式支持國內第一個商業尺度 CCS 計畫之設計、營建和運轉，此項獎勵措施預期的成效如下：

1. 透過學習將有助於降低 CCS 的成本。
2. 測試與建構熟悉的 CCS 具體的法規架構。
3. 鼓勵企業開發適合 CCS 的商業模式。
4. 有助於發展早期的 CCS 基礎設施。

於 2013 年英國政府宣布了兩家首選投標廠商所提出之 White Rose 與 Peterhead 計畫，並於 2013 年 12 月和 2014 年 2 月該二廠商分別獲得數百萬英鎊的合同，進行前端工程設計 (FEED) 研究。該 FEED 是一項詳細的工程、規劃與財務之程序設計工作，以確定在採取最後的投資決定及施工前，最終和去除風險之建議書內容。

White Rose 計畫

本 CCS 計畫位於英格蘭的約克郡，包括從北約克郡 Drax 開發一個投資約 20 億英鎊的新超高效燃煤電廠，可提供清潔電力給超過 63 萬的家庭使用，每年捕獲約 200 萬噸 CO₂，佔電廠總排放量的 90%，並同時建造一條 Yorkshire Humber CCS 大容量的管道，復經由海上運輸後儲存在北海海床下一個深鹽水層內。於 2014 年 7 月 8 日歐盟委員會宣布了一項約 300 萬歐元 (約 240 萬英鎊) 資助白 White Rose 計畫。這筆資金來自歐盟委員會、歐洲投資銀行與成員國管理的新進入儲備 (NER300) 計畫。

Peterhead 計畫

本 CCS 計畫是 Shell 與 SSE 開發的世界首座燃氣電廠加 CCS，位於蘇格蘭的亞伯丁郡，包括從 Peterhead 一座現有的複循環燃氣渦輪機 (CCGT) 電廠，提供清潔電力給超過 50 萬的家庭使用，每年捕獲約 100 萬噸 CO₂，佔電廠總排放量的 85%，經管道輸送，並由海上運輸安全儲存在北海海床下深 2.5km Goldeneye 枯竭油氣田內。中國大陸正發展一項高科技研究發展之國家型 863 計畫，在西安火力發電研究院 (TPRI) 建置一先導試驗廠，將 36 ton/day 乾煤粉加壓氣化，以測試該技術未來應用於綠色煤電廠 (Green Gen)。對於該國家型 863 計畫所有的項目，政府將提供 3.5 億元人民幣 (4,600 萬美元) 及工業界提供提供的 250 億元人民幣 (33 億美元)。其目標預定於 2020 年前完成一座 400 MW IGCC Green Gen 電廠，效率在 55%~60% 間及 CO₂ 捕獲及儲存佔總排放量的 80% 以上。

於 2006 年 1 月 Green Gen 公司由華能集團公司等七家國營企業成立，於 2007 年

12月另有一家世界最大的外國私營企業 Peabody Energy 公司加盟。該計畫電廠位於天津市臨港工業區之濱海新區，分為三個發展階段：第一階段建立中國大陸第一個 250MW IGCC 電廠。於 2009 年開始建電廠，計劃於 2011 年運轉，惟延遲到 2012 年春季完成。第二階段工作於 2014 年開始，建置一個較小的先導試驗電廠，將煤氣化同時製造氫燃料電池和燃氣輪機進行發電，並將每年捕獲的 6~10 萬噸 CO₂ 供作 EOR。第三個階段預定於 2015-20 年建立一座 400 MW IGCC 電廠加 CCS，每年捕獲 200 萬噸 CO₂，並作 CO₂ 地質封存，其方式有兩種：1. 儲存在距離 50~100km 的天津大港油田內供作 EOR，2. 儲存在距離 50~100km 深的地下鹽水層內。此二者正進行評估中。此外該計畫電廠是 CCS 863 計劃之 IGCC 示範項目，不只獲得科技部 (MOST) 資金支持，並由國家發展及改革委員會 (NDRC) 支持下向亞洲開發銀行尋求提供能量開發技術援助。

3.9 大尺度盆地地質封存研究探討

靜態與動態儲存量比較

近年美加兩國雙邊之研究進展顯示，經由盆地內儲存頂層 2D 相變化形成孔隙率與滲透率之異質性分布圖及 3D 地質模型網格圖，可進行靜、動態數值模擬分析及比較。盆地尺度靜態分析是經過 CO₂ 儲存蘊藏量公式獲得單一數值，惟動態分析是經過 CO₂ 注入地層後視其注入量與壓力增高的變化，可作不同情境的分析，而提出不同的策略，包括注入井在良好的滲透率區塊內作最佳化位置與間距之布置，並可配置淺層抽水井，以提高 CO₂ 注入率及注入儲存量等。此項研究可顯示各地層內壓力值之差異，俾降低 CO₂ 滲漏的風險及保持蓋層的完整性。

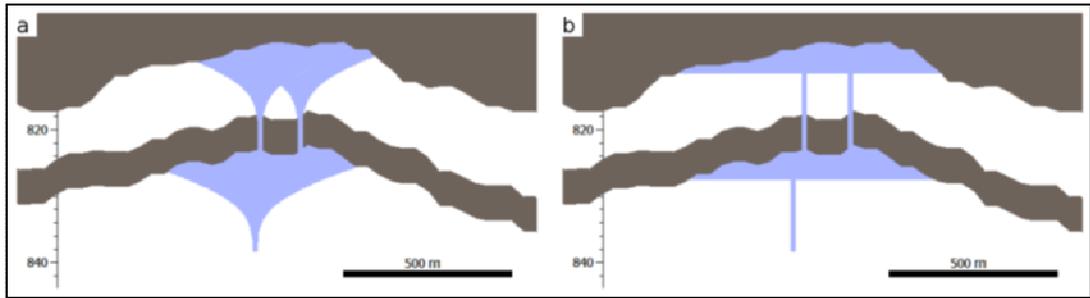
封存盆地整合性監測

美國 Illinois Basin-Decatur 計畫由 DOE 資助，於 2011 年開始在該盆地地下深部 Mt. Simon 地層 3 年內注入 1Mt-CO₂，並進行整合性監測 (MVA)，其項目：包括井孔 Time Lapse RST 作注入之 CO₂ 移棲至上下地層內飽和度量測；深部地層水採樣作地化分析；Time Lapse 3D VSP 作反射震測剖面；微地震觀作 CO₂ 注入產生誘發地震研究，並用 MVA 定性與定量資料作 CO₂ 注入地層模型模擬校正。目前得到的成果，可預測未來注入後 CO₂ 團塊及壓力之歷時行為，俾應用於盆地附近工業之 CCS 商業注入計畫。

CO₂ 儲存模擬模型之精進

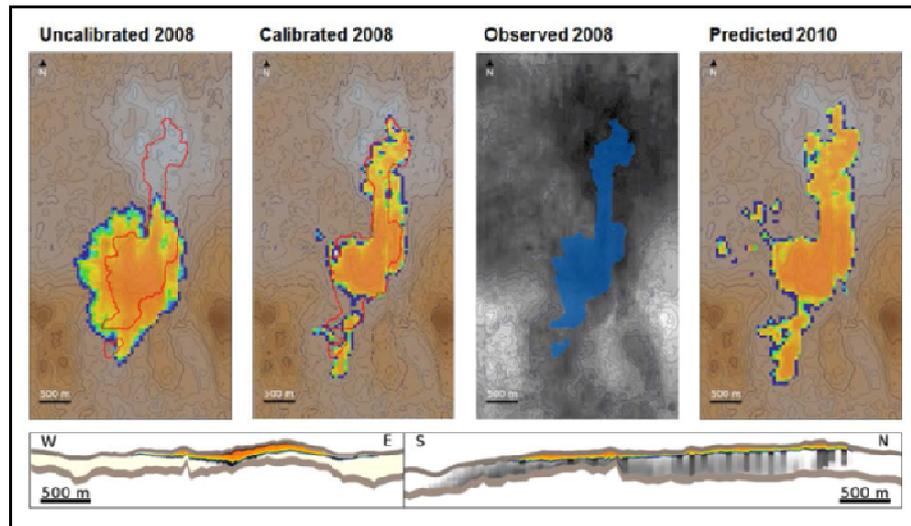
於 1999~2008 年挪威西南北海 Sleiper CO₂ 儲存場址，已建置一個 4D 高解析度數值網格及地質模型，並以此為基礎進行未來 10 年 CO₂ 團塊動態移棲之校正模擬模型，預測注入後 CO₂ 氣相及溶於鹽水之穩定分布。該項成果顯示，在蓋層下方 CO₂

團塊移棲受毛細顯著及重力分離之現象支配，形成氣、水相平面接觸之分層，並凸顯 CO₂ 團塊受多層頁岩阻隔性質造成多層 CO₂ 團塊移棲分布。該模型的概念已清楚呈現 Darcy flow 與 Capillary flow 間之區別（圖 3.3）。此外，該精進模擬模型已可與監測 CO₂ 團塊移棲之分布資料，有很高的歷史匹配（Historical matching）吻合度（圖 3.4）。



(Andrew Cavanagh et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.3 Darcy-mediated viscous flow 與 capillary-mediated gravity-dominated flow 比較



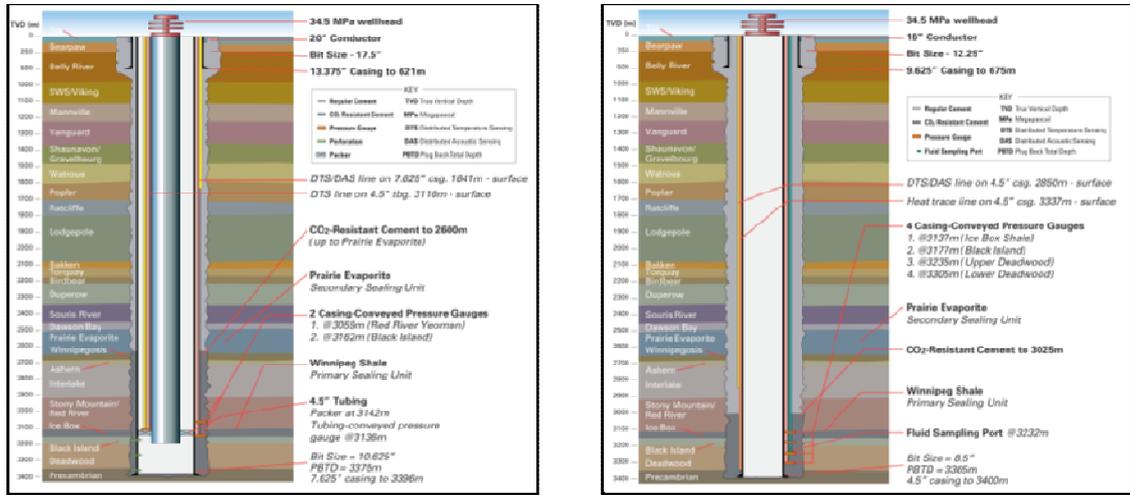
(Andrew Cavanagh et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.4 蓋層下方 CO₂ 團塊移棲校正模擬

3.10 中尺度展示計畫地質封存研究探討

Aquistore 是加拿大 Saskatchewan 西南部的一個 CCS 展示計畫，其運用前期及本期蒐集之場址資料，包括地質、地球物理、岩石性質、水文地質及地球化學等特性作整合性研究，並作成數種地質模型，以作為計畫規畫及申請許可使用。該計畫將捕捉之 CO₂ 由深鑽井（圖 3.5）注入至地下 3,400 公尺、厚約 150 公尺具滲透性的砂岩中，並在距離注入井 150 公尺處新鑽探一口 3,400 公尺監測井，以進行

監測。目前所獲得之整合特性資料顯示，本場址地下之多種地質條件，皆指示有利於 CO₂ 地質封存。



(Ben Rostron et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.5 地層柱狀剖面暨注入井及監測井之設置

CO₂ 注儲壓力監測追蹤團塊模擬研究

在伊利諾盆地-DeCATur 計畫納入多層壓力監測 (圖 3.6)，提供一個獨特的機會以使用多層壓力瞬變的數據 (圖 3.7)，驗證追蹤 CO₂ 的浮升與移棲。此外，通過歷史擬合壓力瞬變的數據，發展出高解析度水文地質模型 (圖 3.8)，並用來預測未來 CO₂ 的移棲團塊，由此指示出 CO₂ 仍大多仍封閉在深部注入層中，無跡象顯示浮力流流向淺部之儲層中。通過該監測程序，可用於降低與管理 CO₂ 與鹽水移棲至較淺部之潛在風險。

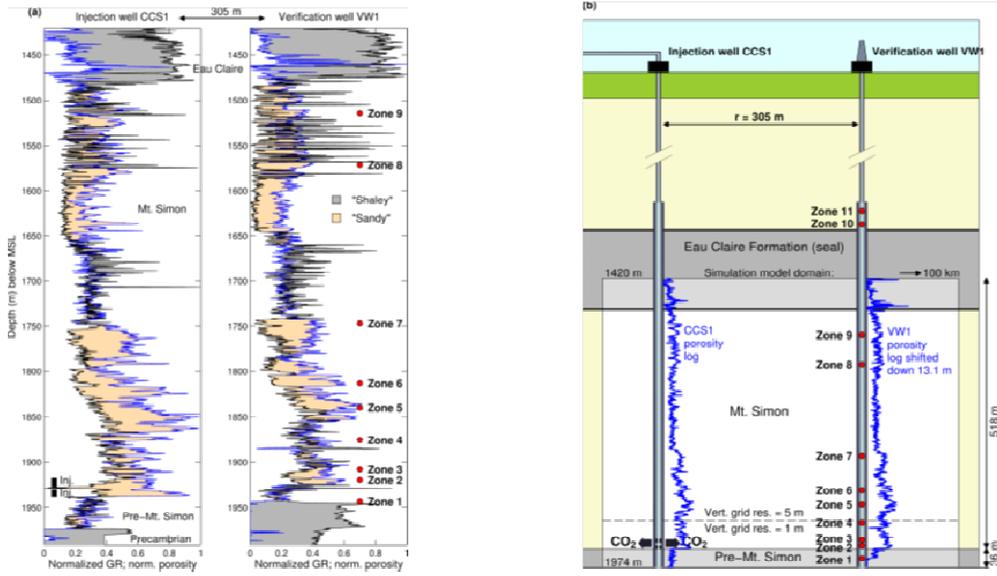


圖 3.6 (a) 注入井 CCS1 與驗證井 VW1 測井之正規化 gamma 射線 (GR;黑線) 與孔隙率 (藍線) 曲線，並顯示出砂岩層與頁岩層 (b) 模擬地質模型示意圖，超臨界 CO₂ 自孔底 Mt. Simon 層注入。

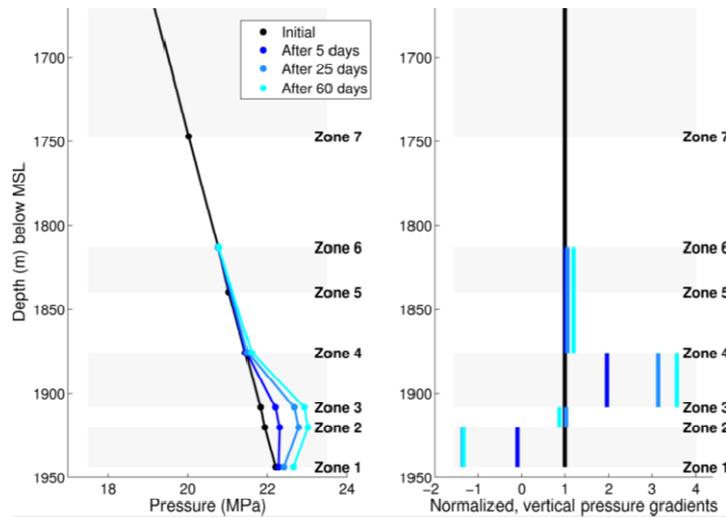


圖 3.7 (a) 注入井 CCS1 垂直壓力梯度 (b) 正規化壓力梯度，正值>1 表向上流，負值<1 表向下流。

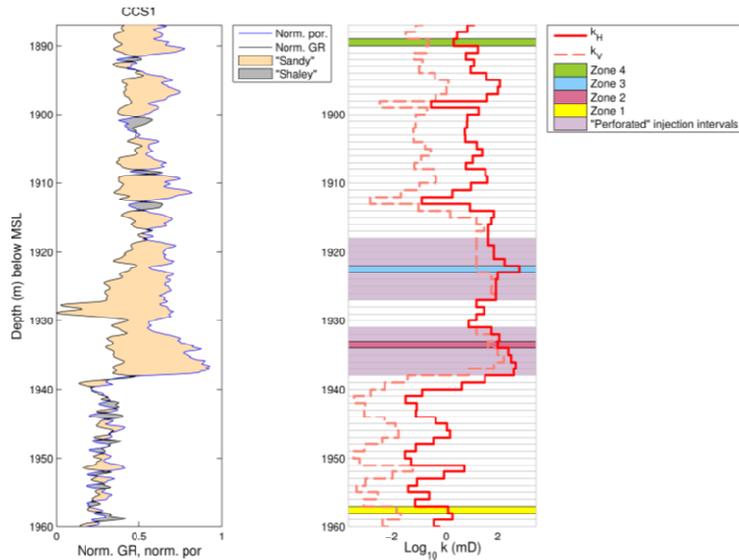


圖 3.8 (a) 注入井 CCS1 正規化 gamma 射線 (GR;黑線) 與孔隙率 (藍線) 曲線，(b) 由“best case”滲透率值與 (a) 項孔隙率值輸入 TOUGH2-MP 模擬計算出壓力值，並與場址壓力監測值通過歷史擬合，經校正得出 Zones 1-4 的正規化水平暨垂直滲透率。

CO₂ 注儲深鹽水層井底壓力整合模擬研究

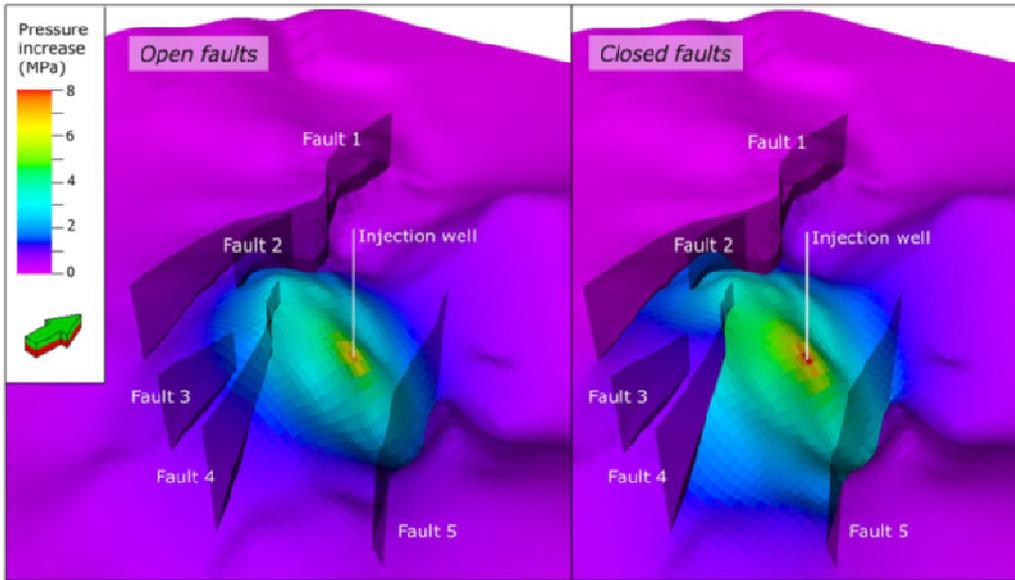
本研究為一種新的方法，利用伊利諾盆地 Weaber horn 之注入井及觀測井，從 CO₂ 注入與觀測過程中使用該等井底壓力數據，作地質封存模型更新。在鹽水地層注入超臨界 CO₂ 的組成模擬中，其歷史匹配之工作流程，包括：(1) 反算注入井壓力之零階頻率，修改注入井周圍之空間滲透率場，(2) 對觀測井瞬變壓力到達時間反算修改井間之空間滲透率場，(3) 在各井壓力不匹配情況下，基於梯度之最小化，在使用統一滲透率乘數處理。該方法使各孔測井數據產成之 3D 合成模型得到驗證。在本案例以注入井為中心，注入超臨界 CO₂ 達 11 個月，周圍三個觀測井監測至注入停止後 1 個月；在此過程中監測到各井之反應壓力。假設為在該模型靠近底部一個高滲透率岩層內注入，3 個觀測井僅在該同一注入層監測到反應的壓力。於注入 3 年後在注入/觀測井預測反應壓力，產生反演模型，並與原參考模型有一致性。此外，將時間推移之震測數據，整合到反演過程中，可獲得進一步預測氣飽和度之改善。

CO₂ 注儲地球化學模擬研究

CO₂ 注入地層後液體與圍岩發生化學反應，經由地化模擬研究可預測岩層孔隙率之變化。孔隙率降低隱示礦物發生沉澱，致使孔隙系統阻塞；孔隙率增高隱示礦物發生溶解致使流路開通。該模擬研究需與自然界礦化反應類比，定出正確的項目，預測孔隙率變化，指示 CO₂ 滲漏路徑會發生自我癒合或加速開通。孔隙率變化與溫度、鹽度、密度、CO₂ 與 H₂O 礦化反應等因子皆有關，經交叉比對，可瞭解各因子所作出的貢獻。

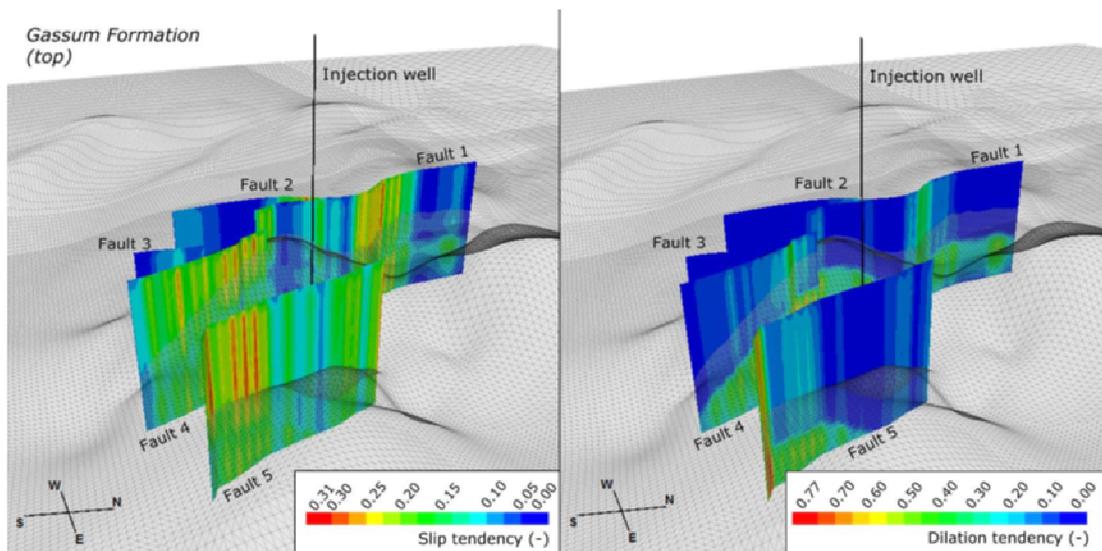
CO₂ 注儲動力流與力學耦合模擬研究

CO₂ 注入地層產生孔隙壓力變化，主要涉及到儲集層、蓋層與斷層三部分。茲以 3D hydro-mechanical 模擬丹麥 Danish 場址商業尺度 CO₂ 注儲產生之力學衝擊為例（圖 3.9），垂直位移主要決定於水力斷層傳導性影響空間內水壓的上升，使地層流體沿斷層面成為潛在的洩漏途徑（圖 3.10）。



(Elena Tillner et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.9 CO₂ 注儲 40 年後地層頂部孔隙水壓上升受斷層開、閉性之影響



(Elena Tillner et al., 2014 GHGT-12)

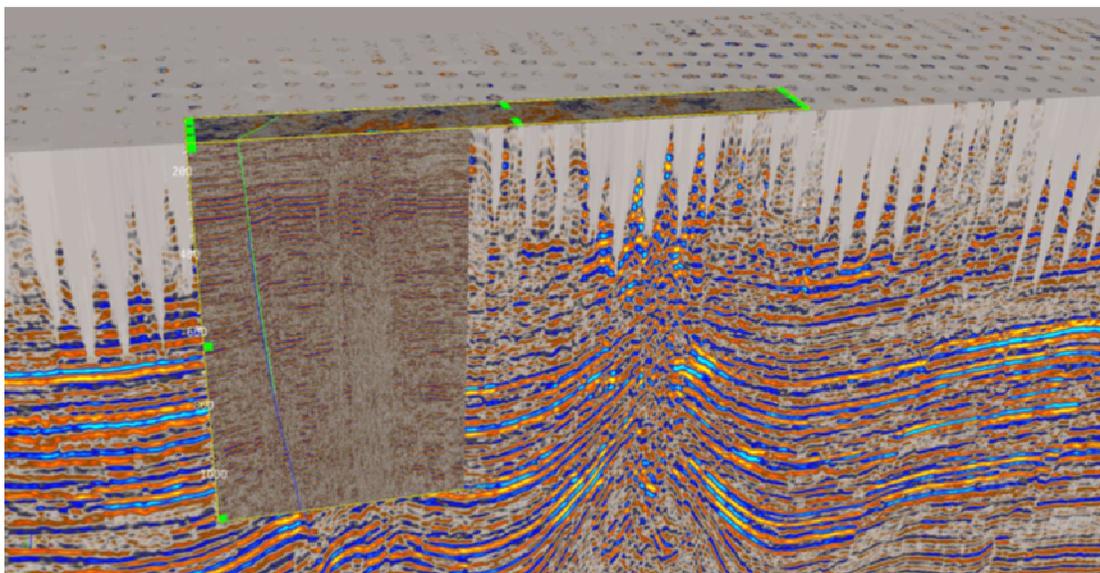
圖 3.10 CO₂ 注儲 40 年後斷層開、閉性及水力影響之情況

微震監測與地下地質研究探討

伊利諾州盆地之 Decatur CCS 計畫，預定在 3 年內注入 100 萬噸 CO₂。自 2011 年 11 月以來每天注入 1000 噸 CO₂ 至該盆地深 2134 公尺 Mt. Simon 砂岩內；微震監測早在 CO₂ 開始注入幾個月前就已展開，至於已累積了 4.5 年的資料，這些觀察顯示，微震在空間上形成半線性群聚，支持構造震源機制之解釋。微震事件的發生與地下地質的關係在多領域和多尺度下觀察及分析，表明其震源機制也與構造應力一致；在沒有斷層及構不連續之領域，可使用常規的振幅解釋方法分析，以顯示微震群聚與岩體石理方向性之關係。另在微尺度下觀察顯示，岩石顆粒破裂與構造應力及微震群聚之方向，是一致的。此項震源機制假說是採用先進的數值液體流與地質力學模擬及地震計算所提出之初步成果。

海域震測對覆蓋層滲漏監測研究

許多 CCS 研究集中在注入的儲集層及上覆的蓋層。當考慮到長期的滲漏問題，須將注意力轉移到其上方的覆蓋層。一般震測資料主要是針對深部地層，至於覆蓋層大多為不佳的影像。近來進階型高解析度 3D (HR3D) 之震測影像，很適合作為評估 CCS 場址覆蓋層內可能發生的潛在洩漏途徑 (圖 3.11)。未來 HR3D 震測很可能成為離岸 CCS 基本技術，並由其時間推移調查 (time-lapse surveys) 之影像處理分析結果，可降低開發計畫的風險。



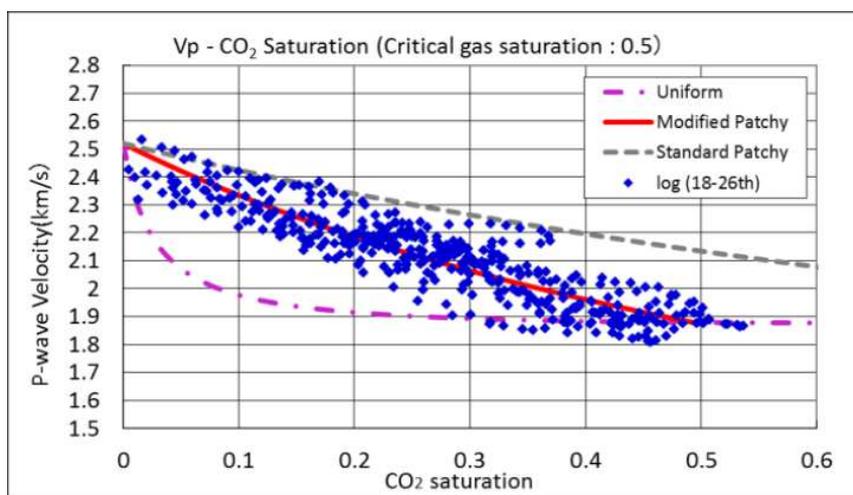
(T.A. Meckela & R. Treviño, 2014 GHGT-12)

圖 3.11 3D&HR3D 震測整合影像清楚顯示，斷層由深部一直延伸至海床

3.11 先導尺度試驗計畫地質封存研究探討

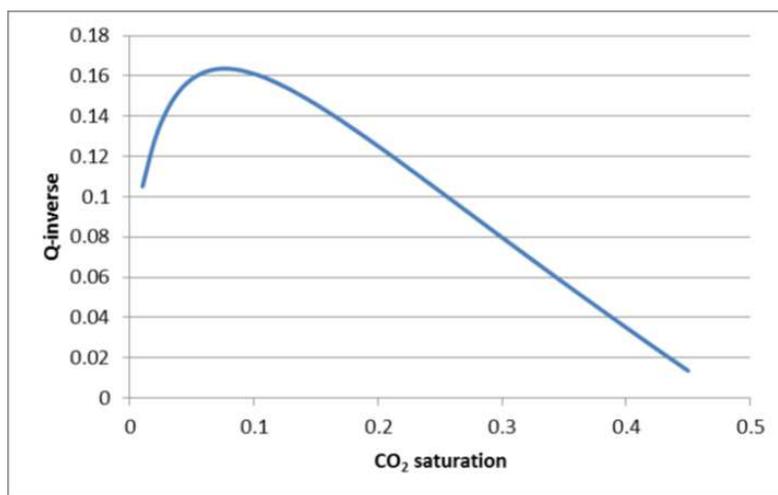
震波衰減利用於 CO₂ 地質封存監測

針對地下 CO₂ 地質封存定量監測，除了震波速與 CO₂ 飽和度間建立 CO₂ 地質儲存量估計關係（圖 3.12）外，尚可由震波衰減與 CO₂ 飽和度間建立更可靠的 CO₂ 地質儲存量估計關係（圖 3.13）。這是利用片狀飽和度模型（patchy saturation model）和標準線性固體模型（standard linear solid model）理論關係建立的，並將預測之衰減與實驗數據作比較，以驗證該模型和方法學；其結果顯示兩者有良好的一致性。



(Hiroyuki Azuma et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.12 模型預測與測井資料比較之結果

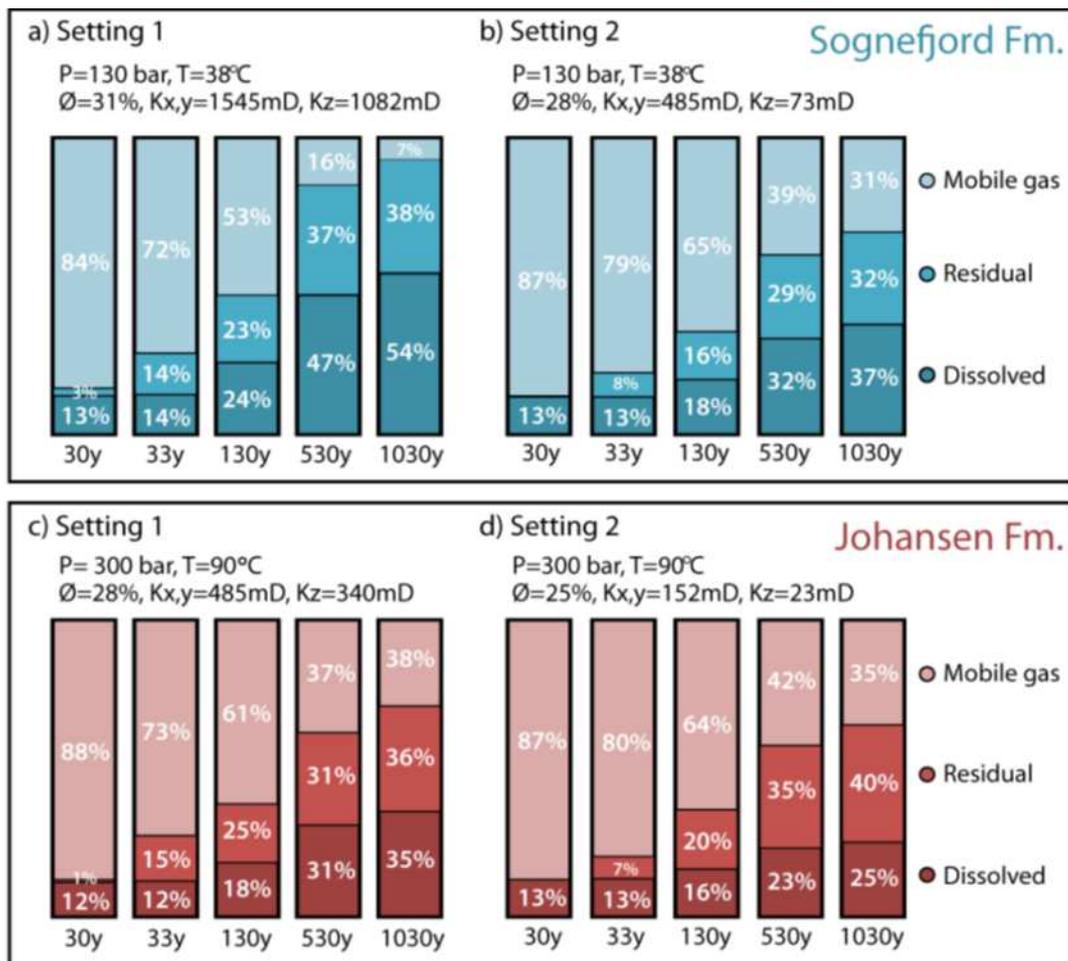


(Hiroyuki Azuma et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.13 Nagaoka 震測衰減與 CO₂ 飽和度的變化曲線

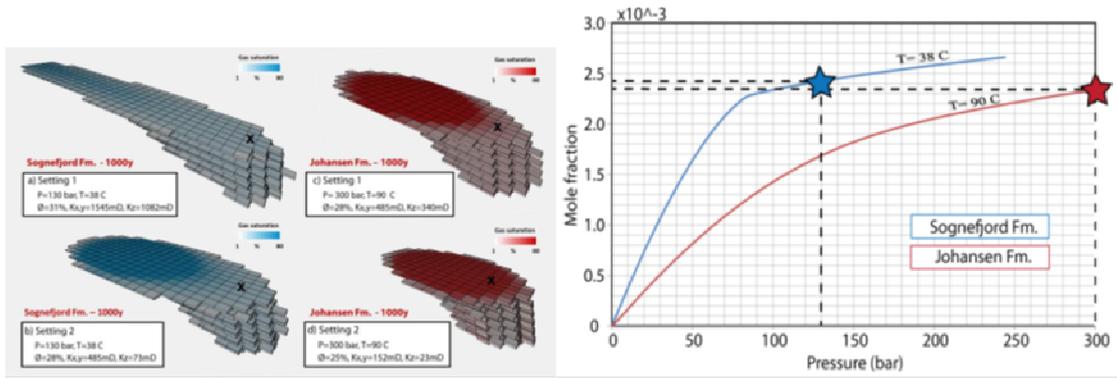
CO₂ 儲存深度及沉積相與封存機制研究探討

於評估 CO₂ 儲存的安全性，封存機制之相對作用是很重要的。在挪威西部離岸兩個 CO₂ 儲存場址之 Sognefjord & Johansen 儲集層，已針對殘餘、溶解及礦化等封存機制進行比較。兩處潛在儲集層的深度，分別為 1.3km 與 3km，並進行其不同地質環境之測試反應（如液體流、地球化學模擬）。結果發現在淺層孔隙中 CO₂ 團塊移棲較廣，溶解潛能大（圖 3.14 ~ 3.15）；在深層高溫環境下礦化封存效率高（圖 3.16）；在不同沉積相礦化潛力也會發生變化。



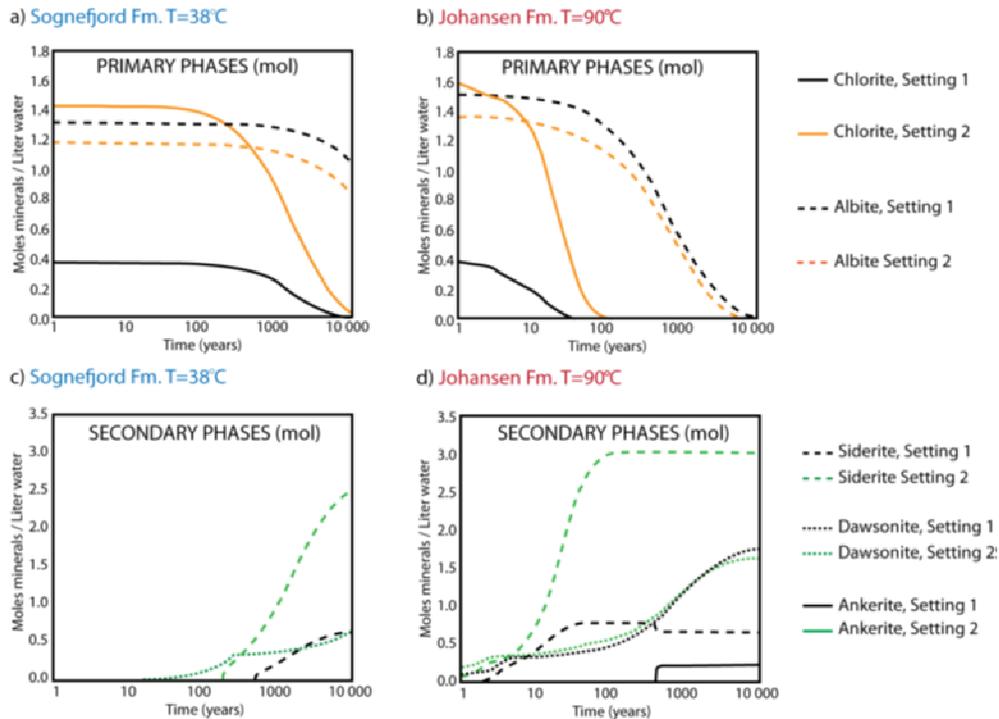
(Christin W. Strandli et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.14 Sognefjord & Johansen 儲集層 CO₂ 封存機制-氣相、殘餘相及溶解相之相對%分布



(Christin W. Strandli et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.15 左圖：Sognefjord & Johansen 儲集層 CO₂ 圍塊移棲情境模擬；右圖：Sognefjord & Johansen 儲集層 CO₂ 溶解潛能變化

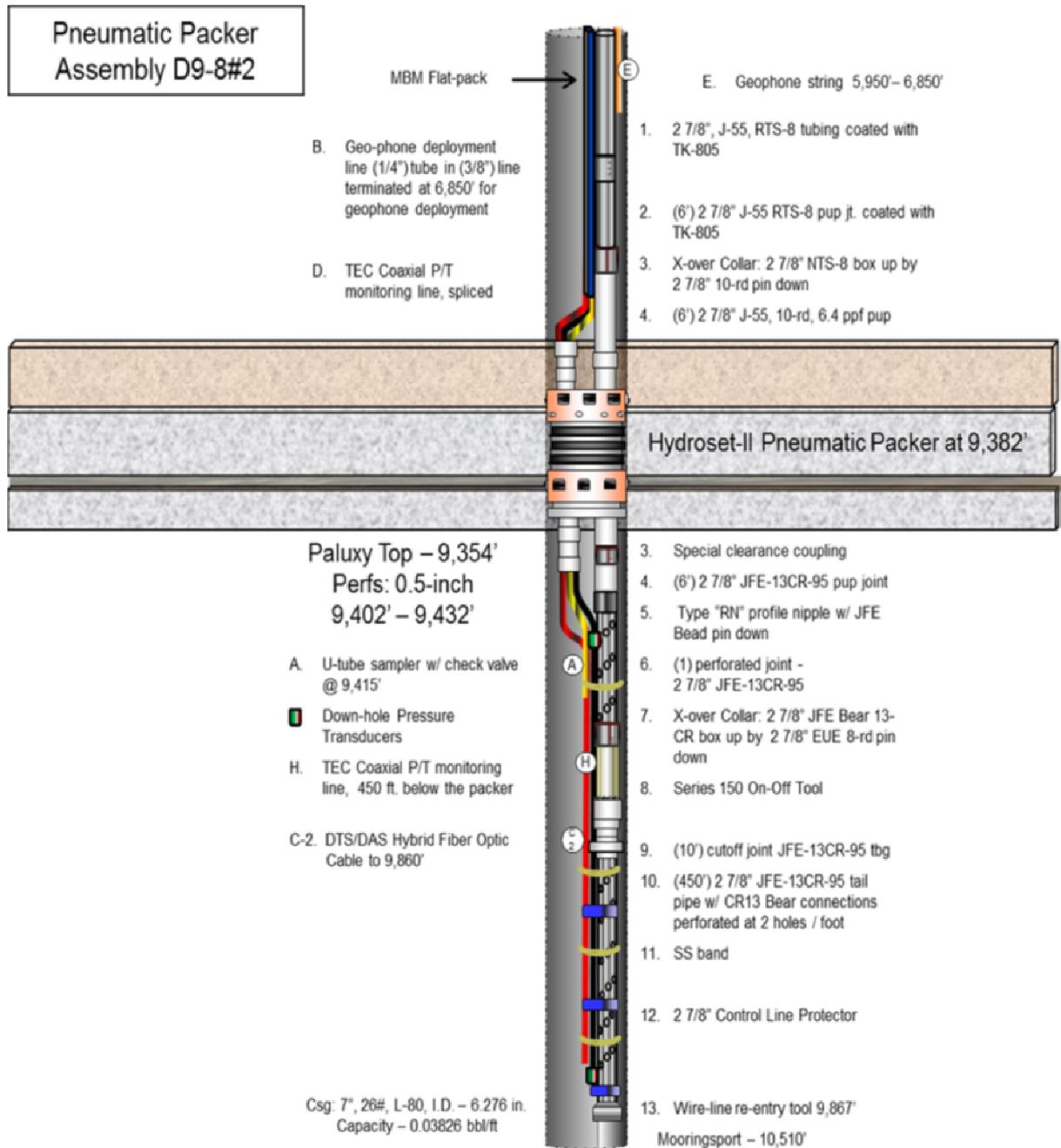


(Christin W. Strandli et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.16 Sognefjord & Johansen 儲集層地化模擬，顯示 CO₂ 封存礦化溶解及沉澱反應

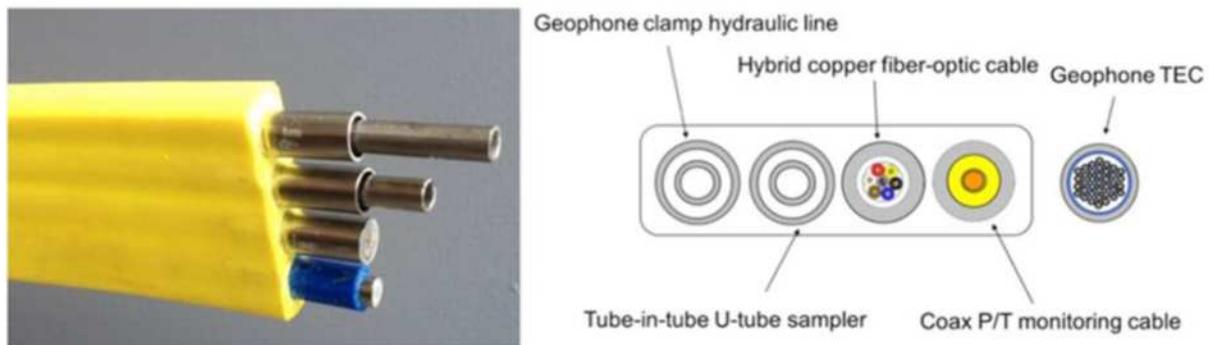
模組化鑽井監測計畫

為瞭解在地下深處注入大量 CO₂ 的影響，需要有一個全面性監測策略。地表和其他遠距之地球物理方法探測，可提供 CO₂ 團塊一般形貌的資訊，惟驗證地球化學情況與遙感探測數據必需要量測穿透儲存層的鑽孔。不幸的是，高成本的深鑽井數量與在鑽孔內布置監測儀器系統受到狹窄空間的限制。模組化鑽孔監測 (MBM) 目的是制定一套強大 CO₂ 地下監測最佳化優良的基礎工具，能夠滿足全面監測計畫之需求 (圖 3.17~19)。它有足夠的靈活性，可容易配搭不同幾何形狀與地質之儲集層。該 MBM 項目力求提供 CO₂ 儲存營運業者 turn-key 全面工程設計，包括整合的關鍵技術，功能可持續至關井後長達數十年間必要性監測，並滿足企業對深井裝備可接受的風險剖面。目前 MBM 項目仍然在概念設計階段，但美國 SECARB 的先導試驗計畫-阿拉巴馬州 CITRONELLE，已確定為 MBM 項目之工程安裝場址。在設計 CITRONELLE 初始步驟，MBM 系統是從現有的各種監測工具下選擇包括任何程序之關鍵技術，選定的監測方法包括，U 型管地球化學採樣、離散石英壓力與溫度計 (圖 3.20)，集成的光纖束由組成要件包括分佈式溫度和熱脈衝感應器及一個分隔式串束之傳統的 3C-地震波接收器 (圖 3.21)。光纖電纜未包含在初始的 MBM 工作計畫項目，但也可使用在分布式聲波感測之先進技術上。該 MBM 串列已於 2012 年 3 月安裝完成，迄今 CITRONELLE 之 MBM 儀器繼續可靠運轉中。從 CITRONELLE 之 MBM 儀器學習到之成果 (圖 3.22~24)，茲收集展示如下：



(Barry Freifeld et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.17 CWOP 規劃過程之 D9-8#2 井模組化 MBM 儀器裝置示意圖，輔以詳細的管片與標註在每個井管組件和設備



(Barry Freifeld et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.18 模組化 MBM 扁平封裝 (12mm×50mm) 的各個控制線示意圖



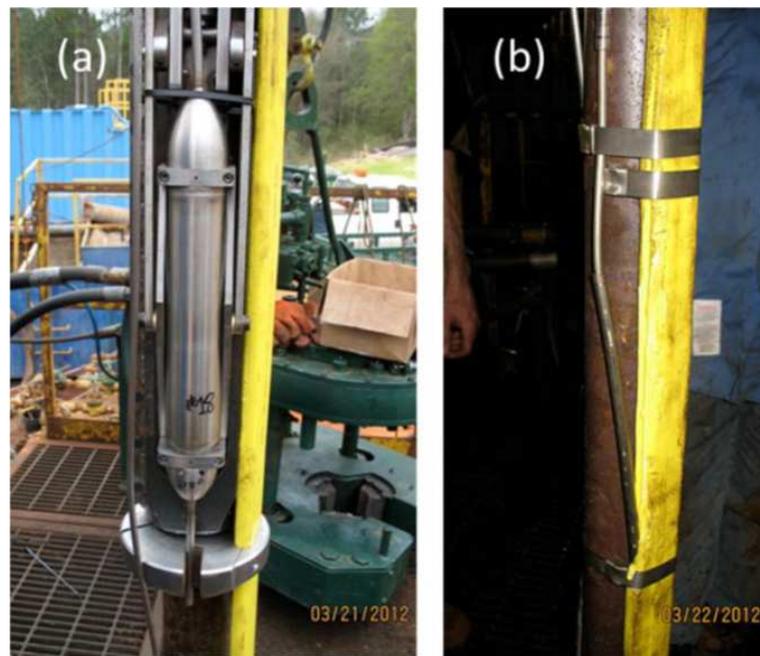
(Barry Freifeld et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.19 非對稱雙串液壓封裝管可裝在 D9-8 #2 井內形成分隔區，插入畫面顯示壓縮接頭設置為控制線管道



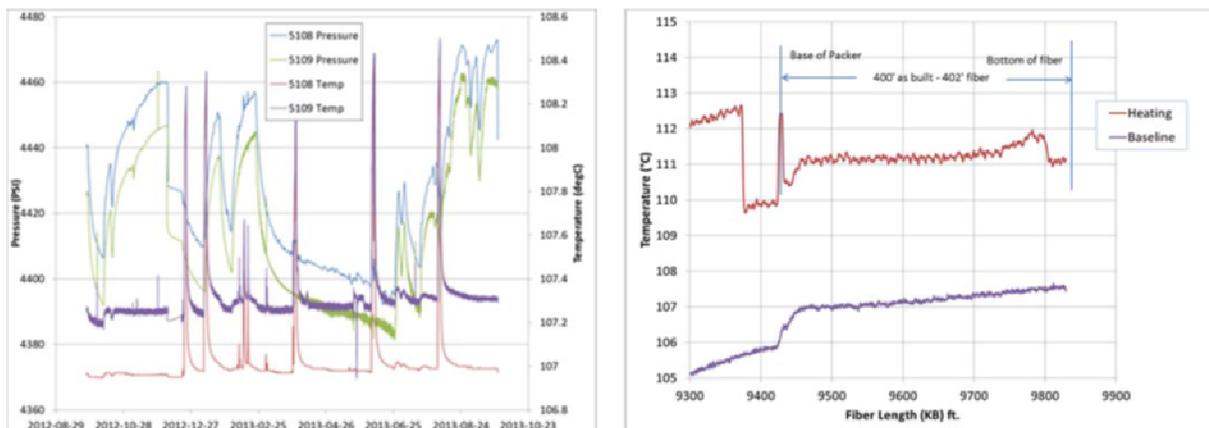
(Barry Freifeld et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.20 (a) 安裝並置的 U 型管和壓力溫度計在自定制的儀表載體設計用作在安裝過程中保護儀器，這是在 MUSTANG Heletz 計畫安裝的，
(b) 採用鑄鐵交叉耦合用作保護控制線，這是在 CITRONELLE 場址



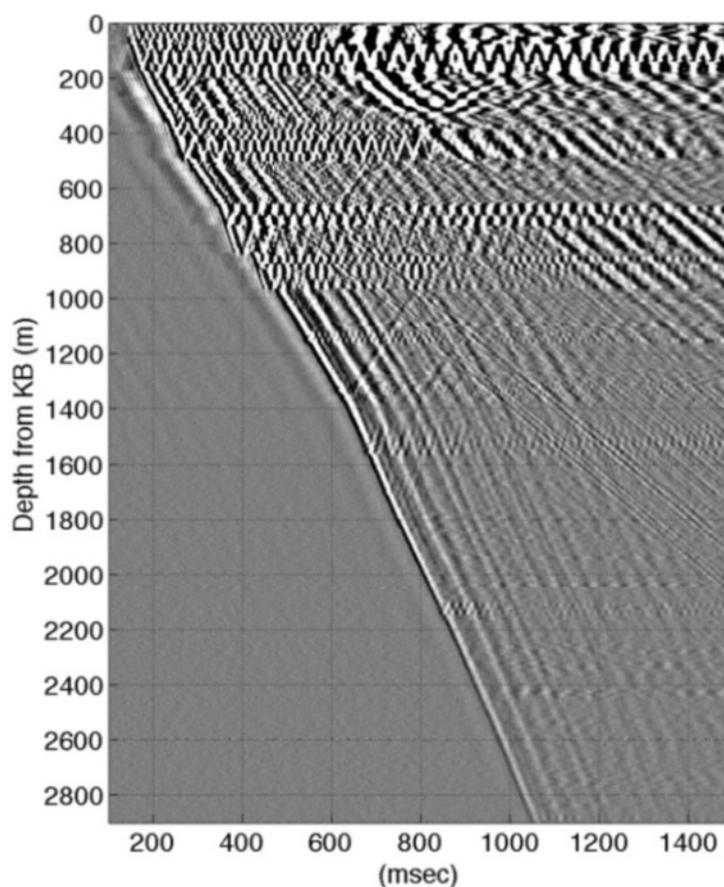
(Barry Freifeld et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.21 (a) MBM 3C-地震波接收器與液壓鉗，安裝在帶有黃色扁平管上，(b) 扁平管與液壓管路用鋼筋綁紮



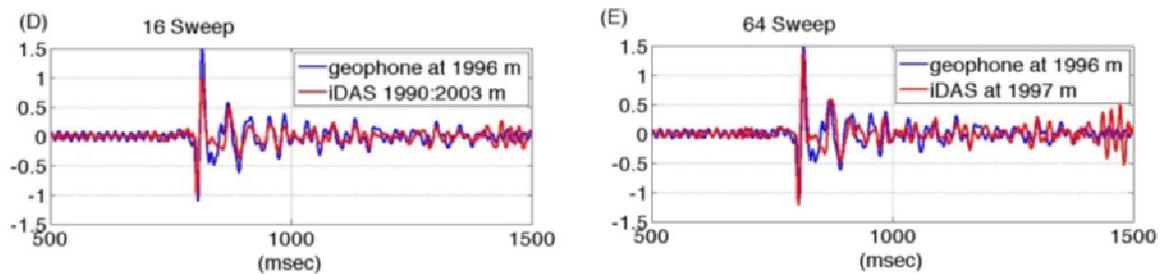
(Barry Freifeld et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.22 (a) 在-D9-8#2 井內之反應壓力，距離 CO₂ 注入 D9-8 井約 300 米，
(b) 熱基線和熱脈衝之曲線



(Barry Freifeld et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.23 於 2013 年在 CITRONELLE iDAS 的測試，
一條光纖電纜顯示 2900m 以上的 iDAS VSP 剖面



(Barry Freifeld et al., 2014 GHGT-12)

圖 3.24 在 CITRONELLE MBM 裝置中，iDAS（紅色）與單一地震波接收器（藍色）之訊號比較

3.12 感想與建議

- (一) 目前世界先進國家，諸如美國、加拿大、英國、澳洲與中國大陸未來十年皆投入大量資金及人力，積極發展火力電廠加 CCS 商業化大型計畫，其商轉時程大多定在 2020~2025 年。因此，未來 CCS 技術發展將成為多國減碳策略必然採取之因應措施。我國宜應參考上述國家推展 CCS 減碳策略及獎勵辦法之經驗，及早由政府推動訂定國內 CCS 具體可行之減碳策略及獎勵辦法，儘速發展 CCS 技術，以期達成政府所訂定之減碳目標，避免國內經濟成長未來受到國際能源價格及排碳限制等因素影響造成衝擊。
- (二) 參加本次 GHGT-12 國際研討會，發現有關 CO₂ 地質封存 (CGS) 發表之論文，大多為驗證階段經驗與成果之分享，各類研究項目多有顯著的進展，有些已邁向商業化階段，足見 CGS 注入及監測之技術與其安全性是可行的。該等技術研發成果可作為本公司現正推動的「CO₂ 地質封存先導試驗場址地質調查及技術研發」之參考，並將成熟且適合台西盆地地質封存場址條件之技術，及早規畫引進，將有助於先導試驗 CO₂ 注入、監測及技術建立等能順利完成。
- (三) 由 GHGT-12 國際研討會發表成果來看，傳統火力電廠加裝碳捕集設施如何整合將是成敗關鍵。如何進一步整合電廠熱源與碳捕集程序，將大大影響操作成本，而這些不同的整合技術都會因為不同電廠設計而有所不同，本公司具有各類燃煤與燃氣機組，其新舊也不相同，將來加設碳捕集設施宜先評量經濟性能，在最有經濟效益之機組裝設碳捕集設施。另外，由於再生能源目前正逐漸擴大供給至電網，由於其間歇性將造成電網衝擊。由許多相關研究發現，在現有燃煤或燃氣電廠加設 CCS 設施可有效降低這些整合性衝擊，對

於獨立電網的台灣更顯重要。大量開發再生能源後，我們仍然需要穩定的能源供給，加裝 CCS 設施的傳統火力電廠將是未來新式電廠的重要選項，它可穩定供給電力並且有效抑制碳排放量。而且，加裝 CCS 的新式電廠將可提供我國大量開發再生能源之支援，以持續提供穩定、價格低廉、且清淨的電力給社會各界，以維繫我國經濟繼續蓬勃發展。

- (四) 參考世界先進國家發展 CCS 技術研發工作，皆採取循序漸進之方式進行，由先導試驗階段開始，繼而進入驗證階段，再擴大至商業階段。每個階段都有應建置之技術與經驗，尤其當地的地質封存場址特性調查工作，是在各階段逐步進行，並擴大調查區域範圍，不可急進作階段跳躍，以免地質調查不周詳，發生 CO₂ 滲漏，影響注儲的安全。每個階段都有其調查的方法、步驟與時程。因此，本公司現正推動的「CO₂ 地質封存先導試驗場址地質調查及技術研發」工作不宜延緩，仍應參考國外發展之技術與經驗，加速進行。
- (五) 參考世界各國推動 CCS 示範計畫之成功案例，除逐步進行相關技術的驗證工作之外，對社會各界與民眾的教育宣導工作也十分重要。於計畫各階段均需使公眾瞭解這些計畫之重要性，使公眾認識二氧化碳捕集與封存，對於抑制全球溫暖化效應佔了相當重要的角色。在公眾享受便利而價廉的電力時，是否能為我們的環境付出多一點的投資與費用來減少碳排放。唯有公眾理解與重視二氧化碳捕集與封存對環境保護的重要性，才有可能克服大規模實施時之投資與法規障礙。目前我國對於如何以碳捕集與封存技術來抑制碳排放的認識不多，希政府主管部門加強相關的教育與宣導工作，讓我國的碳捕存的先導計畫與示範計畫可以得到民眾支持。