

出國報告（出國類別：開會）

參加 SaskPower CCS Information and Planning Symposium

服務機關：台灣電力公司綜合研究所

姓名職稱：楊明偉 化學研究專員

派赴國家：加拿大

出國期間：102 年 5 月 20 日至 102 年 5 月 26 日

報告日期：102 年 7 月 19 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加 SaskPower CCS Information and Planning Symposium

頁數 17 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

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：102 年 5 月 20 日至 102 年 5 月 26 日

出國地區：加拿大

報告日期：102 年 7 月 19 日

分類號/目

關鍵詞：二氧化碳、捕集、地質封存、電廠

內容摘要：建立二氧化碳捕獲與封存技術為本公司減碳的重要目標，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；並據此規劃碳捕獲與封存發展路徑圖，目前正執行地質探測井深鑽與岩層特性研究中。加拿大 Sask Power 為擴大 CCS 發展來函邀請本公司參與國際合作，藉此機會與國外相關專家進行資訊及技術交流，並實地觀摩 Sask Power 相關研究設施，並與相關業者交換意見。

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 會議內容.....	2
2.2 SaskPower CCS 計畫簡介.....	5
2.3 Boundary Dam #3 與 Aquistore 封存場參訪.....	5
3. 心得與感想.....	7
3.1 SaskPower CCS 發展現況.....	7
3.2 碳捕集與燃煤電廠最佳化整合.....	9
3.3 BD #3 碳捕集程序.....	11
3.4 Aquistore 碳封存計畫.....	13
3.5 推動 CCS 計畫障礙與挑戰.....	15

1. 任務目的

建立二氧化碳捕獲與封存技術為本公司減碳的重要目標，因此公司指派綜研所與營建處等單位成立相關研究計畫並推行先導試驗場址之評估與試行等工作。據此，本公司已參加能源局之二氧化碳捕獲與封存技術聯盟與環保署之 CCS 策略聯盟，台電公司在政府部門規劃下目前正積極進行地質封存試驗場之地質調查工作中。

本次參訪係因 SaskPower 來函邀請本公司參與 SaskPower CCS Information and Planning Symposium，瞭解 Sask Power 在二氧化碳捕獲與地質封存技術之最新發展與未來可合作之方向。會議內容包含 SaskPower 二氧化碳捕獲與封存等技術與各項試行計畫之最新進展，並時地參訪其 Boundary Dam 電廠與新設之二氧化碳捕獲設施，可作為本公司火力電廠設置捕獲技術與二氧化碳深地層封存試行計畫的參考。

2. 過程

2.1 會議內容

SaskPower CCS Information and Planning Symposium 由加拿大 SaskPower 公司舉辦，會議時間為 2013 年 5 月 21 日至 5 月 23 日，地點為加拿大 Saskatchewan 省 Regina 大學內之 Innovation Place。會議內容包含 SaskPower Boundary Dam 電廠之碳捕獲工廠最新進度、AquiStore 碳封存計畫現狀與 SaskPower CCS Global Consortium 運作規劃方向等；會中亦邀請國際間 CCS 專家，報告全球二氧化碳捕集與封存（Carbon dioxide Capture and Storage, CCS）最新研究進展。會議內容希能提供各與會人士對碳捕捉與封存工作在商業化前所可能遇到的挑戰進行交流，以加速碳捕捉與封存工作之大規模實施。

此外，大會也安排一整天行程至 SaskPower Boundary Dam 電廠參觀碳捕獲設施，並赴 AquiStore 碳封存場址時地瞭解碳封存場運作現狀。會議時程表如圖 2.1。

TUESDAY, MAY 21, 2013

8:30 a.m.	<p>Breakfast and Opening of 2013 Symposium Robert Watson, President and CEO, SaskPower</p> <p>Guest Speaker Honourable Bill Boyd, Minister Responsible for SaskPower</p> <p>Blessing by Elder Mike Pinay</p>
9:30 a.m.	<p>Technical Session #1 – Sharing the Learning Mike Monea, President, Carbon Capture and Storage Initiatives, SaskPower <i>Introducing the SaskPower CCS Global Consortium</i></p>
10:00 a.m.	<p>Technical Session #2 – Project Background and Development Doug Daverne, Director, Carbon Capture and Storage Initiatives, SaskPower <i>What it Took to Launch a Commercial CCS Project</i></p> <p>Brent Jacobs, Project Leader, Generation Planning, SaskPower <i>An Integrated Process Design</i></p> <p>Doug Nixon, Associate Manager, Carbon Capture and Storage Initiatives, SaskPower <i>Contract Strategy and Procurement</i></p>
12:00 p.m.	<p>Lunch Guest Speaker Dr. Jon Gibbins, Director, UK CCS Research Centre, Professor, University of Edinburgh <i>CCS in Europe: Current Status and Potential Developments</i></p>
1:00 p.m.	<p>Technical Session #3 – Securing a Carbon Capture Solution David Cameron, Senior Principal and Consultant, Stantec <i>Engineering for a CCS Project</i></p> <p>John Sarlis, Vice President, Technology, Cansolv Technologies Inc. <i>Providing the Capture Process</i></p> <p>Guy Couturier, Director of Business Development, SNC-Lavalin Inc. Mark D'Mello, Project Manager, SNC-Lavalin Inc. <i>From Engineering, to Procurement, to Construction</i></p>
3:45 p.m.	<p>Guest Speaker Lisa DeMarco, Partner, Norton Rose <i>Emission Policy in Canada and Global Perspectives on CO₂</i></p>
4:15 p.m.	Adjourn

WEDNESDAY, MAY 22

Departure Times	Bus Departs for Boundary Dam tour
Assigned at Conference	
1:00 p.m.	<p>Lunch at Energy Training Institute</p> <p>Guest Speakers Howard Loseth, Director, Energy Development and Climate Change, Ministry of Economy <i>CO₂ EOR Experience in Saskatchewan</i></p> <p>Neil Wildgust, Chief Project Officer, Petroleum Technology Research Centre <i>The IEA GHG Weyburn-Midale Research Project</i></p> <p>Aquistore Presentation and Site Visit Kyle Worth, Senior Project Manager, Petroleum Technology Research Centre <i>Building of Aquistore</i></p>

圖 2.1 SaskPower CCS Information and Planning Symposium 時程表

THURSDAY, MAY 23, 2013

8:00 a.m.	<p>Breakfast</p> <p>Guest Speaker</p> <p>Dr. Darren Mollot, Acting Deputy Assistant Secretary, US Department of Energy</p> <p><i>Coal: Contributing to an "all-of-the-above" Energy Strategy</i></p>
9:00 a.m.	<p>Technical Session #4 — Power Plant Construction</p> <p>Corwyn Bruce, Associate Manager, Carbon Capture and Storage Initiatives, SaskPower</p> <p><i>Refurbishing a Power Plant: The Story of Integrating Unit #3</i></p>
	<p>Technical Session #5 — Operating a Capture Facility</p> <p>Mike Zeleny, Project Manager, Carbon Capture Transition to Operations, SaskPower</p> <p><i>From Commissioning to Operations</i></p>
	<p>Technical Session #6 — Advancing the Technology of Tomorrow</p> <p>Guy Bruce, Vice-President, Resource Planning, SaskPower</p> <p><i>Future CCS Opportunities at SaskPower</i></p> <p>Max Ball, Manager, Carbon Capture Technologies, SaskPower</p> <p><i>Research and Development at SaskPower</i></p>
11:30 a.m.	<p>Technical Session #7 — Sharing the Learning</p> <p>Mike Monea, President, Carbon Capture and Storage Initiatives, SaskPower</p> <p><i>Participation in SaskPower CCS Global Consortium</i></p>
12:00 p.m.	<p>Lunch Guest Speaker</p> <p>Dr. Peter J. Cook, Principal Adviser, CO₂CRC</p> <p><i>Learning by Doing: The Role of the Pilot Projects in Taking CCS Forward</i></p>
1:00 p.m.	<p>Aquistore Session — What is the Aquistore Consortium?</p> <p>Neil Wildgust, Chief Project Officer, Petroleum Technology Research Centre</p>
	<p>Aquistore Session — In Context: The Importance of Aquistore on the World Stage</p> <p>Dr. Steve Whittaker, Principal Manager, Geologic Storage, Global CCS Institute</p>
	<p>Aquistore Session — The Technical Program</p> <p>Dr. Don White, Senior Research Scientist, Geological Survey of Canada</p>
	<p>Aquistore Session — CO₂ Injection and Observation Wells: Design and Key Elements</p> <p>Dwight Peters, President, Schlumberger Carbon Services</p>
4:00 p.m.	<p>Closing of 2013 Symposium</p> <p>Joel Teal, Chair, SaskPower Board of Directors</p> <p>Mike Monea, President, Carbon Capture and Storage Initiatives, SaskPower</p>

圖 2.1 (續) SaskPower CCS Information and Planning Symposium 時程表

2.2 SaskPower CCS 計畫簡介

SaskPower CCS Information and Planning Symposium 由 SaskPower 計畫團隊報告 Boundary Dam 電廠碳捕捉與封存計畫現狀，會中分享 SaskPower 在執行相關規劃、設計、建造時之經驗，也邀請國際間專家對 CCS 技術之未來與國際現狀做專題報告，並針對二氧化碳捕捉技術大規模實施的潛在障礙與前景分析。

SaskPower 公司共有 490,000 用戶，發電量 4,104MW，並經營 151,000km 的輸電線路。其中以燃煤發電為大宗約為其總發電量的 50%，其他主要電力來源為：天然氣 29%、水力 19%、風力 5%、購入 2%、其他 2%。

由其能源佔比顯示 SaskPower 大量利用低成本之燃煤發電，其中部分機組營運超過 40 年，在新的環境法規將要求減少二氧化碳排放量的要求下 SaskPower 面臨如何選擇新一代機組的壓力，可能的選項包含：舊機組更新、設置新的燃煤機組、設置新的燃氣機組等。

這些挑戰與國際上電力業者遇到的挑戰類似：如何在電力需求日益增長的市場下提供較為廉價的電力給廣大用電戶，並且同時兼顧減少二氧化碳的排放。自 2000 年起 SaskPower 就開始研究燃煤加 CCS 是否可以滿足上述需求或者新設燃氣機組，至 2006 年才選擇以燃煤機組加 CCS 做為減碳手段，2008 年起研究以 Boundary Dam 3 號機更新做為減碳選項，至 2010 年完成先導工程規劃，至 2010 年 12 月 SaskPower 才決定進行 Boundary Dam 3 號機的更新計畫，至 2011 年 4 月 SaskPower 才決定進行 Boundary Dam 3 號機的二氧化碳捕集設施的新設工程。由 SaskPower 發展過程顯示一個全規模的二氧化碳捕集設施需要超過十年的決策過程，於這十年內不斷投入資金與人力進行相關的經濟與工程評估工作。

2.3 Boundary Dam #3 與 Aquistore 封存場參訪

Boundary Dam #3 與 Aquistore 封存場參訪過程如圖 2.2。



圖 2.2 Boundary Dam #3 現況

3. 心得及建議

3.1 SaskPower CCS 發展現況

如何在電力需求日益增長的市場下提供較為廉價的電力給廣大用電戶，並且同時兼顧減少二氧化碳的排放。自 2000 年起 SaskPower 就開始研究燃煤加 CCS 是否可以滿足上述需求或者新設燃氣機組，根據 2005 之研究結果發現 SaskPower 需要新增機組來滿足未來用電需求，並且將面臨二氧化碳減排壓力。

至 2006 年的研究完成後，SaskPower 選擇以燃煤機組加 CCS 做為減碳手段；然而，進一步研究發現新設燃燒後捕集或富氧燃燒機組的費用都太高，無法經由售電獲利。因此，2008 年起研究以 Boundary Dam 3 號機之舊有機組更新做為減碳選項，直到 2010 年完成以 BD #3 為基礎之先導工程規劃。

根據這些研究，SaskPower 於 2010 年 12 月決定進行 Boundary Dam 3 號機的更新計畫，至 2011 年 4 月 SaskPower 經營階層才決定進行 Boundary Dam 3 號機的二氧化碳捕集設施的新設工程。

由 SaskPower 發展過程顯示一個全規模的二氧化碳捕集設施需要超過十年的決策過程，於這十年內不斷投入資金與人力進行相關的經濟與相關工程評估工作。在這十年過程中，SaskPower 已花費超過 50 百萬美元的經費進行相關之可行性研究與工程設計工作。

SaskPower 由先期的經濟評估研究發現各類發電技術成本為：燃煤 55~60、燃煤加 CCS 90~110、燃氣 50~80、核能 75~85、生質能 80~150、風能 80~140 USD/MWh。其中燃煤加 CCS 發電成本還是遠高於燃氣發電，高成本障礙讓發電業者不傾向投資燃煤加 CCS 的新電廠。基載燃氣電廠的成本結構大部分來自燃料支出，相較之下燃煤電廠主要的成本支出是來自資本支出的攤提。在目前煤炭與天然氣價格下，燃煤電廠（特別是舊有電廠）仍然具有競爭優勢。

因此，SaskPower 在決定推行 CCS 計畫時，最後仍然選擇舊有之 Boundary Dam 電廠之 Unit 3 進行更新來降低 SaskPower 公司之二氧化碳排放量。BD 建造於 1969

年，廠區內共有 6 部機組。BD #3 目前發電量為 140 MW，其二氧化碳排放量為 1.1 百萬噸/年。目前正在進行碳捕集設施建造與施工中，預計於 2014 年第一季上線運轉。

BD #3 更新計畫可為 BD #3 延長 30 年或更久之壽命，而且同時降低二氧化碳排放量以符合將來法規之要求。更重要的是，BD #3 更新後之發電成本與 NGCC 發電成本相近或更低，這可為 SaskPower 帶來比較好的收益。預計於 2014 年第一季上線運轉後可減少：100%的 SO_x、50%的 NO_x、與 90%的 CO₂ 排放。

目前 BD #3 更新計畫按原定時程與原定預算建造中，約達 70%完工。這是一個龐大的更新計畫，在人力高峰期 BD #3 計畫約有 1,400 人在同時工作，總人力已達 1,100 人年。其碳捕集工廠之溶劑再生塔重達 496,400 磅，直徑 24 呎，高達 81 呎。

2012 年加拿大政府宣告二氧化碳法規將於 2015 年生效，其排放強度限為 420 tonnes CO₂/GWh (約為 NGCC 之排放強度)。對於現有的機組也須於機組壽命屆滿 50 年時達到上述要求；否則該機組須強迫關閉。

在經濟層面，BD #3 接受政府 20%補助款，盡量利用現有設施修改以降低成本，並整合碳捕集程序進行熱效能提升工作，以提高淨輸出電力。對於捕集之二氧化碳也將售予 Cenovus 公司作為 EOR (Enhanced Oil Recovery) 用，與 Cenovus 之合約將於 2014 年 4 月開始供氣，相關之輸氣管路將於 2013 年 12 月完工。

然而，為了調節二氧化碳之捕集量與售予 Cenovus 公司作為 EOR 之販售量，SaskPower 亦與 PTRC (Petroleum Technology Research Centre) 研商購入 Aquistore 計畫之兩口井來封存過多的二氧化碳。Aquistore 計畫為 PTRC 開發之鹽水層封存場，目前有一口注入井與一口監測井。

以 SaskPower 開發 BD #3 之大型碳捕集與電廠整合之經驗，從無到有需要超過十年的時間，其中細部工程設計花費近五年時間，整合碳捕集與發電程序、效能提升工作花費兩年時間，迄目前為止建造工作也已進行兩年。預期之碳捕獲設施建造成本可降低 30%，發電成本可降低 30%。

3.2 碳捕集與燃煤電廠最佳化整合

由於 SaskPower BD #3 之碳捕集廠是一個全規模的碳捕集廠，其中包含 SO_x 吸收工廠、硫酸工廠、二氧化碳吸收工廠、二氧化碳壓縮工廠等主要設施與其他附屬設施。

碳捕集廠與 BD #3 之機組間的熱效能整合工作會影響電廠淨輸出電力；換言之 BD #3 可售電力將受碳捕集設施影響而減少。經過一連串的熱整合工程後，碳捕集設施將使 BD #3 減少 29 MW 輸出，相當於電廠淨輸出的 21%。這些減少的輸出用於：SO_x 吸收工廠、硫酸工廠、二氧化碳吸收工廠、二氧化碳壓縮工廠與其他附屬設施。BD #3 之碳捕集更新工程，將可使得 BD #3 機組多爭取到額外 30 年的營運許可。

BD #3 之碳捕集更新工程包含舊設備的更新與新設備的安裝。舊設備的更新包含如：安裝新的汽渦輪機、飼水加熱器修改、高壓蒸汽管路修改、鍋爐效能提升等工程。新設備的安裝包含：新設煙氣冷卻器、新設煙氣除硫設施、新設煙氣二氧化碳捕集設施、二氧化碳壓縮設施等。由於眾多設施進行修改與新設工作，這些設備與程序間的熱整合工作須一併考量以減少熱能與電能的消耗。

原先 BD #3 在未裝設二氧化碳捕集設施前淨輸出為 140 MW，計畫初期認為新設碳捕集設施後將使輸出降為 95 MW。然而，透過熱力學分析與一系列的熱整合工程使得淨輸出提升到 110 MW，這些熱整合工程減少了 15 MW 的消耗。相關的熱整合工程包含：汽渦輪機效能提升、鍋爐效能提升、汽渦輪機與碳捕集設施間熱整合工程、廢熱回收與整合工程等。BD #3 上線運轉後可供應 110 MW 給電網，預估廠內消耗為：廠用電 11 MW、二氧化碳壓縮 15 MW、二氧化碳吸收與 SO_x 吸收 9 MW、吸收劑再生 14 MW。

碳捕集程序與電廠間的整合工程須同時考量熱力學限制與真實世界中的成本，在效能與成本間取得平衡。由 SaskPower 實際的工程經驗中發現可由：(1) 現有電廠熱效能提升、(2) 以最小的成本重複利用碳捕獲工廠所需之熱能、(3) 整合電廠與碳捕集工廠間的熱能回收等最佳化工程來達成。

在現有電廠熱效能提升方面：由於 BD #3 已有 45 年歷史相關設計十分老舊，

45 年前設計時沒有嚴格的環保法規限制，所以 BD #3 排放無法符合現今的環保法規；當時由於燃料價格便宜，所以電廠設計的熱效能也無法滿足今日的市場需求。藉著新設碳捕集程序，BD #3 機組也同時得到效能提升的機會，藉此延長 BD #3 的服務年限。因此，SaskPower 與鍋爐製造廠 Babcock and Wilcox 合作全面審視哪些組件可以再使用 30 年，哪些組件需要藉此更新。根據各種更新情境的 NPV(Net Present Value；淨現值) 與效能模擬分析，最終發現 BD #3 有 75% 的組件可以繼續使用，這可降低更新成本。

BD #3 機組原來的蒸汽條件為 1800 psi 與 1000°F，而現今的技術允許在相同壓力下使用更高的溫度。因此，新的蒸汽條件新設成 1050°F，蒸汽渦輪機與高壓管路也據此條件更新，過熱器與再沸器的熱傳表面也一併更換。這些更新工程最終使 BD #3 得到額外的 2 MW 出力。

在以最小的成本重複利用碳捕獲工廠所需之熱能方面：碳捕獲工廠所需要的熱能來自電廠，蒸汽從汽機內被抽出來做為吸收劑再生與碳捕集程序所需的熱能。此蒸汽壓力會影響到二氧化碳由吸收劑產出之壓力，越高的蒸汽壓力會產生越高的二氧化碳壓力。而越高的二氧化碳產出壓力，可降低壓縮所需的電能。但是，抽取較高壓的蒸汽會卻讓發電量大符下降。

成本分析顯示蒸汽抽取壓力越高成本越高，而壓縮二氧化碳所需的電能幾乎與溶劑再生程序所需的熱能一樣多。因此，為了降低捕獲工廠的運轉成本，設計時的最佳化工作要同時考慮：蒸汽成本、壓縮二氧化碳所需的電能成本、與輔助電能成本等多項經濟因素。

在整合電廠與碳捕集工廠間的熱能回收等最佳化工程方面：如果需要冷卻某些流體的時候，就有機會可以將這些須被移除的熱再運用到工廠內需要加熱某些流體之處。碳捕集工廠的再生程序需要加熱溶劑，而煙氣需要冷卻後再進入吸收程序，這兩程序間可相互利用。煙氣進入二氧化碳吸收塔前須由原先的 357°F 冷卻至 110°F 以維持高吸收效率，由於溫度低於再生器所需的溫度無法與再生器整合。經過一系列的佳化模擬，發現煙氣所須移除的熱量可做為低壓飼水加熱器之熱源，這個工作也使 BD #3 機組增加了數 MW 的出力。

未來新一代的二氧化碳吸收溶劑需要具有更低的再生能耗，更多的熱整合工

作可幫助碳捕獲程序早日於電廠大規模實施。依據 US DOE 的研究，目前加設 CCS 的燃煤電廠需要增加 24%~42% 的廠用能源，SaskPower 經過一系列熱整合工程後廠內能源消耗只增加了 21%，顯示熱能整合與最佳化工程的確發揮效用。

3.3 BD #3 碳捕集程序

BD #3 更新計畫基於一連串的經濟與技術風險分析最終選用 CANSOLV 程序做為其 SO_x 與 CO₂ 的捕集程序，CANSOLV 成立於 1997 年，專門負責燃燒後 SO_x 與 CO₂ 捕集之商業化程序開發與設計，對於可再生醇胺程序具有多年經驗，並特別專注於大型吸收程序之商用化之開發。目前全球有超過 20 個工廠獲授權使用其技術，並有 15 工廠正在運轉中。2008 年 12 月成為為 Shell 集團的一部分，並獲得 Shell 集團油氣開發與油氣增產（EOR 與 EGR）之豐富經驗，該公司營運中心分佈於加拿大蒙特婁與中國北京。

CANSOLV 參與 BD #3 計畫，成功放大程序至吸收 140 MW 電廠之全部煙氣。煙氣吸收程序包含兩部分，一為 SO_x 吸收，另一為 CO₂ 吸收。本程序於 2006 年起於 SaskPower 之 Poplar River 電廠進行小規模測試，也連續操作超過 1,200 小時，CANSOLV 特有的吸收溶劑展現優異的化學耐受性，可穩定的保持良好吸收特性，目前正根據小規模測試之結果改良其配方中。由於 BD #3 計畫是一個大型計畫，其可行性評估與經濟性決策是一個漫長的過程，SaskPower 將此評估程序分成兩階段，第一階段進行細部設計驗證，第二階段進行各項工程風險分析與防止措施研擬。當兩階段可行性評估完成後，再進行工程建造與試運轉等工作。

SaskPower BD #3 計畫設計基準是進行 150 MW 機組之全規模煙氣捕集工作，BD #3 燃料為褐煤，煙氣成分為~12% CO₂ 與 1,000 ppm SO_x。在環境保護方面，BD #3 加裝煙氣捕集設施之後，希望能盡力抑低溶劑逸散與廢水排放量，使之對環境不產生重大衝擊。BD #3 加裝煙氣捕集設施後亦須保有易操作特性，以免影響電廠正常運作，並降低煙氣捕集設施之能源消耗量。

由細部分析發現，BD #3 規模太大無法完全依照傳統吸收塔的設計經驗來套

用，傳統的設計無法降低醇胺逸散的問題。最後根據計算流體力學之模擬結果設計一個分為四階段的煙氣吸收塔，煙氣由塔下方依序進入預洗段、SO_x 吸收段、CO₂ 吸收段、最後再經水洗段排釋至大氣。預洗段內襯抗蝕材料，功能為冷卻煙氣、移除煙氣內固態顆粒、氯化物與氟化物等。煙氣內的 SO_x 與 CO₂ 分別於 SO_x 吸收段與 CO₂ 吸收段內被吸收，然後進入水洗段。水洗段進一步以水洗淨煙氣內夾帶的醇胺吸收劑液滴等，以防止醇胺逸散至大氣中。

此外，為確保吸收溶劑對環境不會造成另外的問題，CANSOLV 也進行相關的健康安全性評估，並對可能逸散範圍做模擬分析，結果顯示本技術可於低風險下操作，是一個對環境友善的程序。

SaskPower 在 BD #3 碳捕集計畫的推動經驗中發現，要成功進行相關工作要儘早指定負責人員與組織，碳捕集程序與電廠間的整合工作遠比想像中複雜，所需的人員數目也遠遠超出計畫初期預期的數目，要及早培訓相關人員並且預做準備召聘相關人力。BD #3 計畫發現設置大型碳捕集程序成功要素有以下 13 項：

1. Staffing
2. Training
3. Safety
4. Commissioning
5. People Facilities
6. Environmental Permits
7. Chemicals and Consumables
8. Maintenance Plan
9. Operating Budget
10. Waste Management
11. Operating Procedures
12. Information Management
13. Inventory

碳捕集程序與電廠間的整合工作遠比想像中複雜，須要得到經營階層充分支

持與授權，指派高階經理人全程負責設計、建造及運轉等工作，再依照工程進度分設各種專業小組推動相關工作。由 SaskPower 經驗發現，人員不足是最困難的項目，要儘早指派高階經理人全程負責，所需的人員數目也遠遠超出計畫初期預期的數目。BD #3 計畫初期低估了人員需求，以致於在人員召雇方面遭遇很大困難，最後有 6 個全職人員負責招募工作。經過多次反覆檢討，BD #3 計畫在建造與試運轉階段需要 83 人全職工作，其中 55 人將來要負責日常運轉工作。總共花費 18 個月才決定了人員數量與個人職責範圍，後續的人員招募與訓練才有辦法展開。其中部分人力是來自現有電廠，也需要進行相關訓練，與碳捕集技術相關的人力資源更是難以募集，相關的外部訓練費用更是花費超過 3 百萬美元。

3.4 Aquistore 碳封存計畫

BD #3 設置二氧化碳捕集設施後，可將電廠日常運轉所排放的二氧化碳完全捕集，為了降低支出達成收益，捕集的二氧化碳將販售給 Cenovus 公司作為 EOR 使用，SaskPower 與 Cenovus 之二氧化碳合約將於 2014 年 4 月開始供氣，相關之輸氣管路也預計於 2013 年 12 月完工。EOR 用氣量可能因市場與開採作業不同而有所改變，SaskPower 為了讓捕集下來的二氧化碳都有去處，計畫把剩餘的二氧化碳封存至鹽水層內。

因此，為了調節二氧化碳之捕集量與售予 Cenovus 公司作為 EOR 之販售量，SaskPower 將與 PTRC (Petroleum Technology Research Centre) 合作開發 Aquistore 鹽水層封存場，SaskPower 目前計畫商購入 Aquistore 計畫之兩口井來封存過多的二氧化碳。Aquistore 計畫為 PTRC 開發之鹽水層封存場，目前有一口注入井與一口監測井，本次會議也實地到訪 Aquistore 封存場。

PTRC 在進行 Aquistore 計畫擬定了六大工作目標分別為：1. 模式預測、2. 監測技術、3. 模擬與監測比對、4. 模式更新與校正、5. 長期封存有效性預測、6. 計畫總結與評估。

模式預測：開發一套合適的軟體，用以預測二氧化碳以特定注入率灌入目標地層後的動態行為，而這個軟體需要考量地質模式的不確定性，並可對於各種

不同的傳輸模式與傳輸情境預估地底二氧化碳之動態遷移行為。

監測技術：安裝合適的監測儀器以完整紀錄二氧化碳注入地底後所產生的改變，特別是監測二氧化碳的遷移方向。同時對於可注性、封存量、二氧化碳組成與相態改變等重要因素也須完整紀錄。

模擬與監測比對：比對模式預測與監測設備量測值之差異，用以改善量測誤差或增進監測精確度。

模式更新與校正：以現地量測值與模式預測結果做最佳化比對，並調整預測模式；使量測與預測結果一致。

長期封存有效性預測：使用以現地數據驗證過的模式與工具，預測這個場址長期的封存效能，特別是有關安全性與封存有效性等重要議題的長期預測。

計畫總結與評估：當計畫結束後將評估本計畫是否達成計畫初期所預設的目標，特別是評估地質封存技術是否可以成為二氧化碳減量排放的一項重要管理措施。

Aquistore 計畫為了達成這六大工作目標，分別於計畫各階段進行以下各項重要工作：1. 場址合適性調查、2. 詳細場址特性調查、3. 場址的地球物理監測分析、4. 場址的地球化學採樣與分析、5. 地質調查井開發與分析、6. 模擬軟體開發與驗證、7. 設立風險評估與風險管理措施工作團隊、8. 經濟與成本評估調查。

本計畫隨時會將最新的訊息向當地居民與團體揭露，透明的資訊可降低居民疑慮，並可向民眾展示碳捕捉與封存如何進行。在眾多意見與問題中，安全性與環境的考量還是最重要的考量。

單單依賴二氧化碳捕捉與封存技術並不能解決溫室效應，結合能源效率提升、提高再生能源利用、低碳能源使用與 CCS 等多項技術才可逐步減緩溫室氣體排放。儘管國際間已全力發展各種能源技術，新能源開發的腳步仍然無法趕上日漸升高的能源需求。無可避免的，煤炭等化石燃料仍然是數十年內主要的能源來源，大量的二氧化碳排放將使溫室效應更加嚴重。目前只有 CCS 可以處理大量的

二氧化碳，並將其封存於地下以避免溫室效應進一步惡化。唯有進行 CCS 才可讓我們繼續使用化石燃料，並且降低二氧化碳排放。國際能源總署（International Energy Agency, IEA）認為 CCS 技術可以有效降低約 19% 的二氧化碳排放量。

IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）認為 CCS 場址的選擇宜小心進行，場址的封存安全性更是重要的考量因素。IPCC 對安全場址的定義為：於 1000 年內儲集層內封存之二氧化碳洩漏至蓋層的二氧化碳量須小於總封存量之 1%。

3.5 推動 CCS 計畫障礙與挑戰

國際上發展 CCS 計畫主要用意，在降低人為二氧化碳的排放，希望藉此抑低全球溫暖化效應，雖然許多研究顯示我們應該及早進行相關減量工作以免生物圈受到更大的破壞，然而至目前為止也不見 CCS 技術大規模實施。最主要的原因還是因為缺乏可以獲利的營運模式，沒有業者願意投資進行碳捕集與封存事業。

其實，CCS 所用到的捕集技術與地質封存技術，早已在石化工業與油氣生產等工業中運用多年，技術上的障礙並不大，欠缺的是大型化的經驗。相較之下，欠缺民眾接受度與適用的法規更是讓 CCS 計畫難以推行。

但最終的問題是 CCS 仍然缺乏商業營運模式，執行 CCS 的業者無法從 CCS 技術中獲得營利。因此，在欠缺營運獲利之模式下，目前 CCS 計畫多由政府與研究機構來進行，其所需的資金也多半來自政府。沒有政府資金的挹注，CCS 計畫將無法進一步發展，所須克服的技術障礙與經濟考量也沒有辦法從這些 CCS 試行計畫中找到答案。

SaskPower 推行大規模的 CCS 計畫也接受大量的政府資金，但是公司內部決策時間也超過十年，這代表著這些投資其實無法回收，讓公司無法同意投資。直到 EOR 需要二氧化碳讓 SaskPower 可以販售獲利，才使該公司願意投資興建碳捕集設施。

我國情況與 SaskPower 所處之環境大不相同，我國沒有大規模的油氣生產業。也就是說，國內沒有利用二氧化碳進行 EOR 與 EGR 的機會，所以沒有潛在的二氧化碳市場，讓國內 CCS 計畫難以有獲利機會，因此沒有業者願意投資。目前也只有國營事業依據政府指示進行小規模試驗中。

然而，開發一個合適的 CCS 封存場需要超過 10 年的時間，從地質量測、分析、場址篩選、場址特性探勘、評估、封存與灌注設施規劃、設施建造、執行灌注、監測等都須大量時間與資金，無法於短期完成。大規模碳捕集設施的規劃與建造，也須考量供電穩定度與成本，需要長時間規劃。

假設，在未來國際間通過強制性之二氧化碳減排要求後，才開始做封存場址的規劃與建構等工作，我國將無法及時實施 CCS。高額的碳稅或任何形式之碳排放補貼，將對於國內產業造成極大影響，高碳排放之產品將在國際市場上缺乏競爭力。因此，政府對 CCS 試行計畫需要有完整規劃與支持，無論在法規制定與資金挹注都應有積極態度才可使國內 CCS 技術趕上國際腳步。

民眾的教育宣導要從現在就做起，對於環境問題的認知將有助於理解二氧化碳排放、能源使用與溫室效應相互間的複雜影響。民眾認知二氧化碳議題，對 CCS 計畫可產生支持力。因為 CCS 尚屬新實施之技術，安全性的問題將是 CCS 場址附近民眾最大的疑慮與不確定因素。從教育、法規、場址資訊與活動揭露等活動同時進行有助於降低開發 CCS 場址之障礙，並可使 CCS 規劃更完善。

實施 CCS 所須之規範與法規，是政府對 CCS 的態度與要求。加拿大政府頒布清楚的法規宣示減碳決心，並且提供願意投資者大量資金補助。因此 SaskPower 才願意開發之 CCS 計畫。由此發現清楚的法規有助於提高民眾對 CCS 安全性的信心，透過法規的規範與公權力的監督也有助於降低開發時的阻力與障礙。

因為 CCS 計畫需要大量資金與各類技術，相關技術開發時間長達十幾年，各種工程技術引用與介面銜接都有一定程度的風險。計畫前期、開發階段、運轉階段與封存後場址維護與轉移等階段將有不同風險發生之可能性；為降低 CCS 開發廠商投資損失，各階段的風險管理相當重要。於電廠實施碳捕集所需的人力，遠超出 SaskPower 原先的設想，部分人力根本找不到人，在教育訓練上也花費許多外部費用與時間。我國推動相關工作，應及早由學校教育著手以培訓相關人員。

藉由學校教育也可增進民眾對 CCS 的認知，提高社會接受度並瞭解 CCS 有助於減少全球溫暖化效應，以保護日漸被破壞的環境。

本次會議過程中與 SaskPower 工作人員交換工作意見，實地瞭解大規模模安裝運轉碳捕集設施的困難，特別是與既有的電廠整合的挑戰。發現要大規模進行 CCS 工作須得到政府、民眾與公司大力支持與資金挹注，未來本公司執行 CCS 工作也須在相同條件下才有可能實施。我國政府宜儘早頒布清楚的法規宣示減碳決心，與明確規工作規範以增進大眾信心，於計畫初期政府宜提供願意投資者大量資金補助以加速 CCS 技術於國內落實。