

出國報告（出國類別：開會）

參加「第七屆碳捕捉及封存年會」研討會

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：李建平—副處長

派赴國家：美國

出國期間：97年5月3日至97年5月10日

報告日期：97年7月4日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加「第七屆碳捕捉及封存年會」研討會

頁數 61 含附件： 是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司人事處/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

李建平/台灣電力公司/工安環保處/副處長/(02)2366-7202

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究 4 實習5 其他

出國期間：97 年 5 月 3 日至 97 年 5 月 10 日 出國地區：美國

報告日期：97 年 7 月 1 日

分類號/目

關鍵詞：溫室氣體、碳捕捉、封存、減量法

內容摘要：(二百至三百字)

本公司火力發電廠所排放的二氧化碳約佔全國總排放量的三分之一，未來立法院如通過溫室氣體減量法，本公司將面臨減量壓力，在政治現實問題而無法參與國際間減量機制之情形下，「碳捕捉與封存」將成為最有效的減量方式之一，各研究計畫顯示，本項技術預計於 2020 年可達到商業化的階段，參加美國能源部在賓夕法尼亞州匹茲堡舉辦的「第七屆碳捕捉及封存年會」研討會，瞭解到「碳捕捉與封存」技術方面的知識、政策、法規和技術間的差距，並與各電力公司及廠家互相交換意見、經驗分享，以獲取更多有關的技術資訊，作為本公司日後籌劃設置「碳捕捉與封存」設施之參考。

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

目 次

	頁次
壹、出國緣起與任務	1
貳、出國行程	4
參、研討會主要議程	5
肆、碳捕捉與封存技術的發展	22
一、碳捕捉	22
二、碳封存	35
三、教育推廣	46
四、美國未來電廠場址選擇	55
五、台電公司二氧化碳捕捉與儲存技術研發	57
六、參考文獻	58
伍、心得	59
陸、結論與建議	61

壹、出國緣起與任務

氣候變遷，亦稱全球暖化，是氣候參數值持續的改變，例如平均變化、溫度、風速、降雨及其他因子。氣候上的這些變化是與溫室效應習習相關的，亦即大氣中的氣體或水氣禁止了紅外線向外再輻射，造成大氣的平均溫度上升。溫室氣體(GHG_s)包括二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、水蒸氣、臭氧(O₃)、六氟化硫、氫氟碳化物(hydrofluorocarbons, HFCs)，全氟碳化物(perfluorocarbons, PFCs)和含氟氯烴。溫室氣體(GHG_s)是影響大氣溫度的主要因素，大多數科學家同意人類活動造成過量的 GHG_s，才是造成氣候變遷的主因。

當氣候變遷聯合國政府間氣候變遷專門委員會(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)公布了它的 2007 年氣候變遷報告，說明了二氧化碳(CO₂)是最重要的 GHG，報告證實了我們的大氣高層中的二氧化碳是由石化燃料(fossil fuel)燃燒的釋出物，是氣候變遷的一個主要因素，會增加極端天候的發生，諸如：天旱、暴雨、大風雪、熱浪和強烈颶風、颱風的發生，也是我們該警惕的時候了。

經濟成長緊緊的維繫著能源的可用性及消耗，特別是較便宜的石化燃料。使用這些石化燃料導致二氧化碳的排放，誠信是造成全球性氣候變遷的主因。權衡石化燃料的經濟價值與石化燃料用過後的環境問題是一個艱難的挑戰。要保留石化燃料作為世界上實用的能源，碳捕捉和貯存技術則必定是扮演一個移除二氧化碳的重要途徑；火力電廠的煙氣排放到大氣之前，先通過有效地二氧化碳捕捉，然後送到封存地點加以永久貯存或隔離它(封存它)，那麼石化燃料則可以使用於碳減量受限的國家且無需因此而壓抑經濟的成長。

全球的二氧化碳排放顯示全世界二氧化碳排放 2030 年估計會有極大的增加；不受約束限制(Absent binding constraints)及經濟合作與研發組織(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)的二氧化碳排放國家包括美國、大多數歐洲、澳洲、韓國，紐西蘭和日本等到 2030 年每年估計增加 1.1%。強式經濟大幅成長下估計，在歐洲和歐亞大陸之外非 OECD 國家包括石化燃料富有的中國和印度每年預計會增加 3.0%。作為參考點，美國在 2005 年排放了大約 60 億公噸的二氧化碳，占大約全世界二氧化碳排放的 22%。

CCS (Carbon Capture and Storage)技術在全球深具減少整體緩和氣候變遷成本的潛力，使在選擇減少溫室氣體(GHG)排放方案會增加彈性。根據聯合國政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)2005 年報告：應用二氧化碳捕捉和貯存技術來穩定大氣中二氧化碳的含量(30%)比沒有規劃 CCS 技術的情形下，在 GHG 減緩清單上更能減少成本。此外，一個特別有利的方面是某些技術(從碳捕捉、運輸和貯存)是可運用已商業化、適應的技術，來提高 CCS 技術的可用性和費用競爭性，所以 CCS 技術是作為緩和氣候變遷的一項重要、良好的選擇方案。

雖然在峇里島召開之聯合國氣候變遷綱要公約(UNFCCC)第 13 次締約國大會暨京都議定書第 3 次締約國會議(COP13/MOP3)，中有一個針對碳捕捉與貯存計畫獲取碳信用額度之接觸團體的會議，但會議結果是對此議題毫無共識。會議中加拿大代表大力主張 CCS 技術可獲得排放減量憑證(CER, Certified Emission Reduction)，但是巴西則試圖阻止此項討論。最後依據公約草案文件(FCCC/SBSTA/2007/L.19)，關於二氧化碳捕捉和在地質構造中貯存作為清潔發展機制(CDM, Clean Development Mechanism)計畫之審議工作，未來將彙編各方意見成一綜合性報告，重點闡述其中的技術、方法學、法律和政策問題，供科技諮詢機構(SBSTA, Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice) 28 次會議審議。可見「碳捕捉與封存」是為目前最有效的減量方式之一，而各國正積極努力發展此方向的技術，至於作為清潔發展機制計畫仍待後續國際上的發展。

美國雖非京都議定書簽約國，但在 CCS 技術上的發展是早在 10 年前即早手規劃，此可由美國能源部國家能源技術實驗室(NETL, National Energy Technology Lab)的 10 年里程碑來觀看，美國在 CCS 技術上是由能源部來主導。其中碳封存計畫由石化能源辦公室 (FE, Office of Fossil Energy)來管理和由國家能源技術實驗室來實施，能源部則發展彼此間的核心及支援技術，此技術係經由 CCS 計畫的發展使二氧化碳的排放能減少且成為一個有效且經濟上可行的技術。

CCS 計畫是整合了燃煤電廠的碳捕捉技術，包括先進的複循環發電技術(Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC)、先進的渦輪技術、燃料電池和其他先進的研究等。若能成功地研究與開發將使碳控制技術克服各種困難的技術、經濟和社會挑戰，包括有效的二氧化碳捕捉、二氧化碳長期穩定 (永久性)

在地下地層並受到監視，且證實其與電力系統的整合是有效的，所有過程是公開透明的。

回顧美國能源部碳封存(Carbon Sequestration)計畫 10 年的里程碑，2007 年是美國能源部碳封存計畫發展的 10 週年。在 1997 年它只是一個小小的研究計畫，主要是查明 CCS 技術的潛力，目前計畫已成長到使石化燃料繼續為發電所使用，在此一個碳減量的時代裡作多方面的研究、發展和規劃。前 10 年顯著地推進了關於二氧化碳捕捉、分離、地質和陸地貯存、法規章程和允許處理經濟等方面的知識庫。目前工作依然在進行著，然而，現在則是將 CCS 技術大規模的規劃。特別是要求擴大實地的試驗，充分地描繪潛在的貯存地點和展示碳長期的封存達到與電廠系統的有效地綜合化。今後，認可 CCS 技術是因為它的控制技術，CCS 技術在整個能源圖上是個關鍵性要素，使得石化燃料燃燒中轉換達成碳捕捉和貯存的二氧化碳解決方式，並且提供未來促進國內石油、天然氣和煤層甲烷、強化採油的發展。

台電公司火力發電廠所排放的二氧化碳約佔全國總排放量的三分之一，未來立法院如通過溫室氣體減量法，台電公司將面臨減量壓力，因政治現實因素，在無法實際參與國際間減量機制之情形下，「碳捕捉與封存」將是最有效的減量方式，此次由美國能源部國家能源技術實驗室主辦的「第七屆碳捕捉及封存年會」研討會，經公司指派由職參加此盛會，可跟與會各電力公司及廠家交換意見，獲取相關技術資訊，作為台電公司日後規劃 CCS(Carbon Capture & Sequestration)計畫之參考，俾及早規劃台電公司在後京都議定書之二氧化碳減量及調適能力，並對資訊平台及企業資源規劃預作努力。

貳、出國行程

- 一、 5月3日至5月4日：路程，台北 美國。
- 二、 5月5日至5月8日：參加美國賓夕凡尼亞州 - 匹茲堡在火車站廣場喜來登舉辦的「第七屆碳捕捉及封存年會」研討會。
- 三、 5月9日至5月10日：返程，美國 台北。

美國能源部 (DOE) 區域碳封存合作夥伴計畫的核心是努力驗證和規劃碳封存技術。此次大會中夏威夷州是最新的成員，夏威夷州是美國第 42 州加入合作夥伴計畫，有助於美國在減少溫室氣體排放及緩和氣候變遷影響的信心與努力。

夏威夷州在此次會議宣布加入西海岸地區碳封存的合作夥伴，第一時候，能源部即同意撥款西海岸地區碳封存的合作夥伴做第三階段的大型封存測試。美國地區碳封存的合作夥伴計畫是一項在全國的合作，包括聯邦、州和私人企業成為一共同夥伴的關係，是為未來的碳捕捉和封存能在不同的地區加以實施，且確定最合適的技術、法規和基礎設施。2003 年發起此計畫是領導著美國國家努力發展基礎設施和智庫，俾使碳封存技術企業化、商品化。七個地區的合作夥伴，包括 350 多個州立機構、大學和私人企業，包括 42 個州，3 個印第安地區和 4 個加拿大省份。

第三階段期間合作夥伴將執行大容量測試，以驗證捕捉、運輸、注入、長期貯存超過 100 萬噸的二氧化碳可以做的安全、永久、和經濟的處置。

夏威夷州是最新加入 WESTCARB 的合作夥伴，其中也包括加州、亞利桑那州、內華達州、俄勒岡州、華盛頓、阿拉斯加、加拿大卑詩省。WESTCARB 是進行地質 CO₂ 貯存的計畫是在加州中部聖華金海盆 (San Joaquin Basin) 作為其第三階段的努力目標。夏威夷則努力將集中於場址特性或“源庫配對”的 CO₂ 的排放源，如發電廠為點排放源，和陸地及地質貯存 CO₂ 的儲存庫。在科學家的指導下，夏威夷大學將初步審查和更新溫室氣體的來源，作為州立新法律規定的清單及來源。

參、研討會主要議程

2008年4月2日，美國總統布希任命 Jeffrey F. Kupfer 為能源部的副部長 (Deputy Secretary)。Kupfer 先生目前擔任該部的署理副部長。作為該部的首席營運官，他協助部長塞繆爾博德曼瓦特(Samuel W. Bodman)的政策和方案並監督管理 11.5 萬員工、240 億美元的機構。此次 2008 年第七屆碳捕捉與封存年會是由 Kupfer 先生作政策方針演講(A Keynote Address)，努力加速 CCS 技術的規劃，主要議題係解決知識、政策、法規規章和技術間的差距，以加快 CCS 技術方面的規劃，其主要的目標如下：

- 重點在規劃美國和北美的碳捕捉、分離、隔離及封存技術；
- 提供一個資訊平台，作彼此間的經驗交流包括美國、國際科學、工程社區及工作於此方面技術和系統的人們；
- 方便必要性的對話，包括技術開發/傳播者、業界、公眾對開發者和規劃方面有關的技術；
- 發展必要的能力、公營和私人企業所提出的科技基礎上，作經驗流與分享。

大會議程如下：

5月5日(星期一)	

12:00	報到
03:00	展示場佈置完成
03:30	開放展示場參觀
06:00	展示廳雞尾酒會
07:00	研討會歡迎晚宴

5月6日(星期二)	

08:00	開幕大會
	開幕演講
	Stephen Johnson, Administrator U.S. Environmental Protection Agency
08:30	開幕會議
	主持人: David Hawkins, Director Climate Center, Natural Resource Natural Resource Defense Council
	碳燃料 在一個約束碳排放綱要下可為全球經濟的基礎
	Rebecca Tarbotton, Director Global Finance Campaign Rainforest Action Network (RAN) Stu Dalton, Director, Generation Electric Power Research Institute Craig Hansen, Vice President Gov ' t Relations, Babcock & Wilcox Jerry Eyster, Sr. Vice President GE Energy, Financial Services 開放討論
09:30	美國分離依賴性的進口液體體燃料及石化燃料加上 CCS - 國家安全的重要必要性
	主持人: Edward Helminski William Anderson, Asst. Secretary Installations & Environment, U.S. Air Force 開放討論
09:55	加拿大對 CCS 的承諾保證石化燃料資源的運用和碳排放減量
	Graham Campbell, Dir. General Office of Energy R&D, Natural Resources, Government of Canada 開放討論
10:20	中場休息
10:35	大會政策方針(Keynote)的演講
	美國努力加速 CCS 技術的規劃
	主持人: Edward Helminski, Jeffrey Kupfer, Acting Dep. Secretary U.S. DOE 開放討論

11:00	運用產業油氣的專門技術和經驗加速 CCS 規劃
	主持人: Bruno Gerard., CEO Oxand Elizabeth Fleming Regional CO ₂ Manager Shell E&P America 開放討論
11:25	創造電廠除碳的路：燃煤電廠翻新的機會
	Lori Perine, Vice President U.S. Government Affairs ALSTOM Power 開放討論
11:50	根據運用 CCS 的設施透視投資資本和近、長期經濟性石化燃料
	George Longo, Managing Director UBS Investment Bank 開放討論
12:30	午餐
01:00	海報 Section A 展示(作者不用在場)
01:30	共同技術會議(每一簡報 20 分鐘)
03:30	中場休息
03:45	共同技術會議
6:00/6:15	會議結束
06:00	海報展示(作者在場)

5月7日(星期三)	

08:00	全球經濟必要性 - 運用「淨煤」技術與 CCS
	主持人: Edward Helminski Fred Palmer, Sr. Vice Pres. Peabody Energy 開放討論
08:25	碳封存 / 貯存特性的辨認、系統設計及營運方面的進展 - 地區合作工作
	主持人: John Litynski, NETL Ed Steadman Energy & Environ. Res. Center University of N. Dakota Plains CO ₂ Reduction Partnership Jerry Hill, Southern States Energy Board, Southeast Regional Carbon Sequestration Partnership Rob Finley, Illinois State Geological Survey, Midwest Geological Sequestration Consortium Brian McPherson, Univ of Utah, Southwest Regional Carbon Sequestration Partnership Neeraj Gupta, Battelle, Midwest Regional Carbon Sequestration Partnership 開放討論
09:40	一個好的二氧化碳貯存場的組成
	T. S. Ramakrishnan Scientific Advisor & CO ₂ Theme Leader Schlumberger Doll Research 開放討論
10:05	中場休息
10:20	碳封存或貯存 - 混合責任的要求決議
	主持人: 二氧化碳地質貯存 - 什麼是責任並且誰應該處理他們? M. Granger Morgan, Head Engineering & Public Policy Carnegie Mellon University 計畫開發商的涵義 Iain W. Wright, CO ₂ Program Mgr. BP Alternative Energy 開放討論

11:05	國際經驗 - 大規模 CCS 展示、發展技術經驗的分享和順利地規劃 CCS 系統的基礎設施
	<p>主持人: Judd Swift, US DOE John Gale, General Manager Greenhouse Gas R&D Programme International Energy Agency Rachel Crisp, Dep. Director CCS Demo Project and Int ' 1 CCS Dept. for Business, Enterprise and Regulatory Reform, United Kingdom Gardiner Hill, Vice Chair Zero Emissions Technology Platform Max Ball, Project Manager SaskPower Clean Coal Project Saskatchewan, Canada</p> <p>開放討論</p>
12:30	午餐
01:00	海報 Section A 展示(作者不用在場)
01:30	共同技術會議(每一簡報 20 分鐘)
03:30	中場休息
03:45	共同技術會議
05:45	會議結束
05:45	海報展示(作者在場)

5月8日(星期四)	

08:00	美國全球性合作支持 CCS 規劃的經驗和技術分享- CSLF
	主持人: Edward Helminski Justin R. (Judd) Swift Deputy Assistant Secretary for Intl. Affairs, Office of Fossil Energy, Carbon Sequestration Leadership Forum U.S.DOE
08:20	碳封存演變的管理綱要
	主持人: Lee Whitehurst, Reg. Manager Geologic Sequestration, UIC Program; Office of Groundwater/Drinking Water, U.S. Environmental Protection Agency Sarah Forbes, Climate Change Specialist; Potomac-Hudson Engin.. (Supporting World Resources Institute CCS Guidelines Proj.) Daniel Fredlund, Manager Underground Porosity Gas Storage Section/Manager of CO ₂ Sequestration Kansas Corporation Commission Rep. Tom Lubnau State House Representative Wyoming Stefan Bachu Alberta Energy & Utilities Board Alberta Canada 開放討論
09:40	技術仍待挑戰 克服 - 我們現有的知識和技術, 依然存在著嫌隙?
	主持人: 碳封存或貯存 Sally Benson, Executive Director Global Climate & Energy Project Stanford University 碳捕捉及更新技術 Scott Klara, Director Strategic Center for Coal National Energy Technology Lab 開放討論
10:05	中場休息
10:20	CCS 和合成燃料生產 - 技術的狀態和商業系統設計或規劃
	主持人: 中國神華合作計畫 Jerald J. Fletcher, Director US-China Energy Center and Natural Resource Analysis Center; Professor of Environmental and Natural Resource Economics Qingyun Sun Ph.D. Associate Director, US-China Energy Center, Research Assistant Professor, Resource Management Department 開放討論

10:45	從一電力管理者及提供者的角度透視如何承作「淨煤」的技術與 CCS 技術
	Frank P. Prager, Vice President Environmental Policy Xcel Energy Kim Wissman, Deputy Director Utilities Dept; Exec. Dir. Ohio Power Siting Board; Ohio Public Utilities Commission 開放討論
11:25	專家小組提供他們的看法 - 今後規劃 CCS 的加速道路
	Edward Rubin, Alumni Professor, Environment, Engineering & Science Carnegie Mellon James Dooley, Leader Joint Global Change Res. Inst., Global Energy Technology Strategy Project Ray Hattenbach, Vice President Blue Source LLC Kim Wissman, Deputy Director Utilities Dept; Exec. Dir. Ohio Power Siting Board; Ohio Public Utilities Commission 開放討論
12:45	閉幕式
	Edward L. Helminski, Conference Co-Chair Carl Bauer, Director NETL U.S. DOE; Conference Co-Chair
01:00	研討會結束休會

技術研討分組會議程如下：

5月6日	技術研討會議程
星期二	1-A
主題	後燃燒捕捉或式樣更新系統(1)
主持人	David Schmalzer, Argonne National Laboratory
場地	Grand Station I
1:30	技術更新的現實/簡報者：Ashleigh N. Hildebrand/來源：MIT Energy Initiative
1:50	目前啟動 MHI 後燃燒的二氧化碳復原過程;體會 CCS 技術快速的商業應用/簡報者：Masaki Iijima/Ronald Mitchell/來源：三菱重工業有限公司
2:10	改良既有的燃煤電廠二氧化碳的捕捉：與活性是否有關？/簡報者：Hannah Chalmers/來源：皇家學院倫敦
2:30	既有的燃煤電廠熱率降低的機會：減少碳捕捉費用的策略/簡報者：Edward Levy/來源：能源研究中心，Lehigh 大學
2:50	後燃燒二氧化碳捕捉來源流體的經濟胺 FG 的過程/簡報者：Satish Reddy/來源：fluor Corp
3:10	更新美國電力的狀態/Alstom 電廠加氨後燃燒二氧化碳捕捉計畫/簡報者：Rebecca Lun/來源：美國電力
3:30	咖啡休息時段
3:45	澳洲後燃燒捕捉研究發展及實驗廠的營運/簡報者：Paul H.M. Feron/來源：CSIRO
4:05	多污染物捕捉的示範包括從燃煤的二氧化碳和二氧化硫/簡報者：威廉 Wang/來源：俄亥俄州立大學
4:25	整合燃煤電廠二氧化硫控制和二氧化碳捕捉/簡報者：保羅伊曼紐爾/來源：Cansolv Technologies Inc.
4:45	二氧化碳捕捉的氨測試與多污染物控制技術/簡報者：Christopher McLarnon/來源：powerspan Corp
5:05	在後燃燒二氧化碳捕捉中離子液體的評估/簡報者：愛德華 Maginn/來源：Notre Dame 大學
5:25	選擇在後燃燒二氧化碳捕捉的吸收過程中用熱和溶劑的分析/簡報者：Yongqi Lu/加入：伊利諾伊州地質調查(ISGS)
5:45	加氨變冷過程的定量評估。蒸氣液體固體實驗數據和基本熱力學分析/簡報者：保羅 Mathias/來源：fluor Corporation

5月6日	技術研討會議程
星期二	1-B
主題	捕捉-系統分析(1)
主持人	Christa Clapp, OAR, U.S. EPA
場地	Elwood I & II
1:30	碳捕捉研究發展 : DOE/NETL R& D計畫/簡報者: Timothy Fout/ 來源: ' NETL, 美國能源部
1:50	二氧化碳的注入和共同污染物氣體: 分離費用是否合理? /簡報者: Lauren Crandell/來源: 普林斯頓大學
2:10	真正碳捕捉和貯存的基礎設施/簡報者: Jeffrey Bielicki/來源: 哈佛大學
2:30	已準備好的電廠其二氧化碳捕捉經濟分析/簡報者: Jared Ciferno/來源: ' NETL, 美國能源部
2:50	中國二氧化碳捕捉和貯存的研發費用/簡報者: RT Dahowski/來源: Battelle -和平的西北分部
3:10	捕捉階段 1 研究 - 英國中國燃煤幾乎零排放計畫/ 簡報者: Jon Gibbins/來源: 皇家學院
3:30	咖啡 休息 時 段
3:45	測量和監測外在裸井整合聲波和超音波工具之比較/簡報者: 安德魯 Duguid/來源: Schlumberger 碳服務
4:05	連接裸井系統框水泥穩定的實驗性和數值研究/簡報者: J.威廉 Carey/來源: 洛斯阿拉莫斯國家實驗室
4:25	在地質隔離之下 H 類井的水泥遭受二氧化碳腐蝕速率/簡報者: 巴巴拉 Kutchko/來源: ' NETL, 美國能源部
4:45	煤炭為主的代用燃料/簡報者: 喬納森 Mathews/來源: 賓州州立大學 / GHG Rentech 策略燃料和化學複合體的生命週期存貨/簡報者: 羅伯特 Freerks, Ph.D /來源: Rentech, 公司
5:05	煤炭轉液體電廠二氧化碳減少潛力/簡報者: Hari Mantripragada/來源: 卡內基-梅隆大學
5:25	CCS 示範廠的活性氫電廠合作下 IGCC 進煤的可行性研究/簡報者的: Vincenzo Fantini/來源: CESI RICERCA S.p.A
5:45	CTL/CBTL 優選碳捕捉和貯存/簡報者: 托馬斯 Tarkas/來源: NETL, 美國能源部

5月6日	技術研討會議程
星期二	1-C
主題	捕捉/封存計畫
主持人	Tom Mikus, Shell Oil
場地	Grand Station II
1:30	改進燃煤電廠碳捕捉和貯存(CCS)技術：更新美國能源部在四個大陸的全球 CCS 示範角色/簡報者：卡倫 Kluger Cohen/來源：NETL, 美國能源部
1:50	StatoilHydro 在二氧化碳貯存和捕捉的研發 - 12 年的二氧化碳貯存/簡報者：莫娜 Laate/來源：StatoilHydr
2:10	ZeroGen IGCC 碳捕捉和封存/簡報者：Rik Van Der Ploeg/來源：Shell 國際全球性解決
2:30	二氧化碳捕捉計畫階段 2 (CCP2) 貯存計畫：在地質保證下的進展/簡報者：丹 Kieke/來源：Chevron
2:50	煤序財團的總結和狀態/簡報者：斯科特穿過/來源：國際先進的資源
3:10	研發二氧化碳回收技術/簡報者：吉姆 Sears/來源：Algae at Work
3:30	咖啡休息時段
3:45	地下飲用水資源的保護免受二氧化碳注入所影響/簡報者：約翰面紗/來源：Argonne 國家實驗室
4:05	長期風險和短期章程：從改進的油補充到碳隔離的轉進模擬/簡報者：Shalini Vajjhala/來源：Resources for the Future
4:25	美國二氧化碳貯存資源的限制衝擊評估對通過一個特定的極小的鹽區/簡報者：Casie Davidson/來源：西北和平國家實驗室
4:45	德州地表下財產權的法律分析/簡報者：Rachel Bosworth/來源：Vinson & Elkins LLP
5:05	管理限制鹽水層的可用性為了地質封存的溫室氣體/簡報者：喬納森 Gledhill/來源：政策航海小組
5:25	展示潛在的策略整合在二氧化碳注入井的機制/簡報者：丹尼爾 Collins/來源：Sandia 技術, LLC

5月6日	技術研討會議程
星期二	1-D
主題	法規
主持人	Anhar Karimjee, U.S. EPA
場地	Haselton I & II
1:30	地質二氧化碳封存隔離的國家標準創新政策、法律和管理綱要/ 簡報者：斯科特安徒生/來源：環境防禦
1:50	ADM UIC 許可證應用過程：取得的經驗/簡報者：Sallie 格林柏格/ 來源：伊利諾伊州立地質探勘
2:10	加利福尼亞加速二氧化碳地質封存技術：建立未來政策和章程的 關鍵參數過程/簡報者：伊麗莎白 Burton/來源：勞倫斯 Livermore 國家實驗室
2:30	紐約州碳封存的管理法規/簡報者：George Rusk/來源：生態環 境公司
2:50	碳捕捉和貯存：從能量法律和政策的教訓/簡報者：肯尼斯 Richards/來源：公眾環境事務學校，印第安納大學
3:10	利益共同者的推廣：CCS 技術的公眾承諾/簡報者：Sarah Wade/ 來源：AJW
3:30	咖啡 休 息 時 段
3:45	在 IEA GHG Weyburn-Midale 二氧化碳的更新監視及貯存計畫/ 簡報者：光芒 Knudsen/來源：石油技術研究中心
4:05	改進的油補充貯存二氧化碳/簡報者：羅伯特 Ferguson/來源： 先進的 Resources International, Inc
4:25	西部德州在 SACROC 地質二氧化碳封存的功能評估。 /簡報者： Rajesh Pawar/來源：洛斯阿拉莫斯國家實驗室
4:45	阿拉巴馬密西西比內部鹽水海盆的 Citronelle 油田改進油補充 的試驗設計和隔離潛力/簡報者：理查 Esposito/來源： southern Company
5:05	Loudon 改進油補充試驗計中畫的結果/簡報者：斯科特 Frailey/ 來源：伊利諾伊狀態地質探勘
5:25	SECARB 的密西西比試驗基地：野外計畫更新/簡報者：喬治 Koperna/來源：國際先進的資源
5:45	澳洲維多利亞 Otway 海盆的一個整合并測監視計畫的設計和安裝 /簡報者：巴里 Freifeld/來源：勞倫斯，伯克利國民實驗室

5月6日	技術研討會議程
星期二	1-E
主題	地質貯存-MMV
主持人	John Tombari, Schlumberger Carbon Svs.
場地	Grand Station III, IV & V
1:30	含 H ₂ S、二氧化碳的小河到厭氧水庫的擴散/簡報者：Stefan Bachu/來源：能源保護委員會
1:50	澳洲連續性土壤和大氣二氧化碳監控系統/簡報者：唐納德, de Vries/來源：CanSyd 澳洲有限公司 Pty
2:10	Otway 計畫：多用途鑽孔震測傳感器設計、設施和預注監測數據/簡報者：托馬斯 Daley/來源：勞倫斯, 伯克利國家實驗室
2:30	商業化大量注入的整合監測設計/簡報者：Timothy Meckel/來源：海灣海岸碳中心, 經濟地質德州
2:50	整合地球物理和地球化學 IEA GHG Weyburn-的監測計畫 Midale 二氧化碳監視和貯存計畫/簡報者：唐納德白色/來源：加拿大的地質探勘
3:10	二氧化碳隔離結合連續性活躍源的震測監視和多相流的分析：Frio II 鹵水離型場/簡報者：喬納森 Ajo 富蘭克林/來源：勞倫斯, 伯克利國家實驗室(LBNL)
3:30	咖啡休息時段
3:45	二氧化碳滲流的同位素追蹤：從美國蒙大拿 Bozeman 控制的釋出試驗 /簡報者：Julianna Fessenden/來源：洛斯阿拉莫斯國家實驗室
4:05	利用碳 13 和碳 14 在農業區作為碳移動和貯存追蹤的量測 /簡報者的：Luz 瑪麗亞, Cisneros Dozal/來源：洛斯阿拉莫斯國家實驗室
4:25	加拿大二個地質貯存計畫注入二氧化碳後的同位素追蹤/簡報者：Gareth 約翰遜/來源：卡爾加里大學
4:45	氣體和流體化學的應用, 穩定同位素和全氟碳化物追蹤劑作為 MMV 在評估水岩交互作用的工具在 Frio II 二氧化碳注入測試期間 /簡報者：大衛油菜/來源：橡樹嶺國家實驗室
5:05	整合監視和建立 ZERT 計畫二氧化碳釋出實驗的二氧化碳洩漏試驗模式/簡報者：詹尼弗 Lewicki/來源：勞倫斯, 伯克利國家實驗室
5:25	一控制區測試近地表二氧化碳偵測技術和運輸模式/簡報者：李 Spangler/來源：ZERT -蒙大拿州立大學
5:45	地表變形監視(SDM)作為有效、長期的 MMV 方法/簡報者; Glenn McColpin; /來源：石峰

5月7日	技術研討會議程
星期三	1-A
主題	氧燃料燃燒
主持人	Richard Walters, U.S. DOE
場地	Elwood I & II
1:30	使用各種氧氣填料的化學燃煤複循環調查/簡報者： Hanjing Tian/來源： 美國 energy/NETL/Parsons Inc. RDS 的部門
1:50	改良的噴煤燃燒鍋爐下發展有效的助氧燃燒技術/ 簡報者： Hamid Farzan/來源： 巴布考克的& Wilcox 力量 Generation 小組
2:10	在封存前處理助氧燃燒燃煤的氣政策/簡報者： Bruce Sass/來源： Battelle
2:30	二氧化碳捕捉的燃煤電廠其助氧燃燒的氧氣傳輸膜/簡報者： bart van Hassel/來源： praxair , Inc
2:50	為助氧燃料將高硫煤脫硫/簡報者： 理查醫生/來源： Argonne 國家實驗室
3:10	化學複循環燃燒在常規和微構造氧氣填料間的比較/ 簡報者： Rahul Solunke/來源： 匹茲堡大學
3:30	咖啡 休息 時 段
3:45	從全 IGCC 電廠捕捉二氧化碳的氣體分離膜研發/簡報者： Jared Ciferno/來源： 全國能源技術實驗室
4:05	利用 碳脫水? 催化作用捕捉和再生二氧化碳的一個高效率的技術平臺/簡報者： Normand Voyer/來源： 二氧化碳 solution Inc
4:25	以預燃二氧化碳捕捉的薄膜系統製造和量產聚苯異丁希(PBI)/簡報者： 凱文 OBrien/來源： SRI 國際性組織
4:45	用於二氧化碳捕捉的離子液體膜： 可燃氣體成份的角色/簡報者： 大衛 Luebke/來源： NETL , 美國能源部
5:05	用濃縮液態 Piperazine 捕捉二氧化碳/簡報者： 加利 T. 羅沙爾/來源： 奧斯汀德州大學
5:25	離子液體的用途： 從可燃氣體釋出的二氧化碳有選擇性捕捉的物理溶劑/簡報者： Yannick Heintz/來源： 匹茲堡大學

5月7日	技術研討會議程
星期三	1-B
主題	捕捉(膜或吸附劑) (1)
主持人	Eric Peterson, Idaho National Laboratory
場地	Haselton I & II
1:30	二氧化碳捕捉的新穎 靈活的材料/簡報者： 布雷得里 Bockrath/ 來源： NETL, 美國能源部
1:50	從廢氣中分離的二氧化碳、汞和其他污染物的多功能碳濾材處理 程技術/簡報者： Maciej Radosz/ 來源： 懷俄明的大學
2:10	處理高壓氫和二氧化碳蒸汽從與高壓 CO ₂ -H ₂ 混合物具有新穎的 CO ₂ -philic 吸收劑/簡報者： 羅伯特 Enick/ 來源： NETL IAES
2:30	乾燥碳酸鹽過程： 從電廠通氣管氣體的二氧化碳再生/簡報者： 托馬斯, 納爾遜/ 來源： 國際 RTI
2:50	預燃氣流的二氧化碳捕捉吸附劑/簡報者： 羅伯特 Stevens/ 來 源： NETL, 美國能源部; 教區牧師公司 RDS
3:10	Carbozyme 的 HFCLM 滲透技術加大尺度計畫的進展 /簡報者： 邁 克爾 Trachtenberg/ 來源： carbozyme, Inc./
3:30	咖啡 休息 時 段
3:45	CCS 技術刺激美國氣候政策： 早點規劃與低價碳一致嗎？ /簡報 者： 布賴恩 Mignone/ 來源： 美國參議院能源與和自然資源委員 會
4:05	空氣清潔法案的總結報告通知委員會推進了煤炭技術工作團/簡 報者： 安娜 Marie 木頭/ 來源： 美國 EPA
4:25	CCS 作為德國二氧化碳減量策略 - 自我克制力行動/簡報者： 路 德維格 Stroink/ 來源： Geotechnologien 協調辦公室
4:45	在碳捕捉和封存的投資提供一刺激的機制/簡報者： Dalia Patino Echeverri/ 來源： 杜克大學
5:05	CCS 會計協議回顧， 建立二氧化碳地質貯存的一個透明和可行的 系統/ 簡報者： Jesse Gandee/ 來源： 奧古斯塔系統公司
5:25	NatCarb： 全國碳 Cyber 設施的基礎/簡報者： Timothy Carr/ 來源： 西維吉尼亞大學

5月7日	技術研討會議程
星期三	1-E
主題	地質貯存-MMV
主持人	Bruce Kobelski, U.S. EPA
場地	Grand Station III, IV & V
1:30	MRCSP 密西根野外的監視、緩和和證明(MMV)完成初步選址/簡報者：傑奎琳 Gerst/來源：Battelle
1:50	在 Salah, 阿爾及利亞監測二氧化碳移動的衛星影像/簡報者：Iain 懷特/來源：BP
2:10	在 Salah, 阿爾及利亞監測二氧化碳的移動技術/簡報者：Iain 懷特/來源：BP
2:30	監測大量商業化注入策略：一測試計畫/簡報者：蘇珊 Hovorka/來源：經濟地質局
2:50	Frio II 計畫下時間延遲二氧化碳飽和的井測/簡報者：Dat VuHoang/來源：Schlumberger
3:10	PennWest 二氧化碳的地化監視改進油補充雞型場, Drayton 穀, 亞伯大/簡報者：Maurice Shevalier/來源：卡爾加里大學
3:30	咖啡休息時段
3:45	CCS 技術對二氧化碳大範圍運送的考量：根據 WRICCS 利益共同者計畫的推薦/簡報者：Preeti Verma/來源：世界資源所
4:05	比較現有的管道網絡與未來美國二氧化碳管道網絡的可能尺度/簡報者：詹姆斯 Dooley/來源：聯合全球性變動研究所
4:25	美國能源部國家能源技術實驗室的二氧化碳管道基礎設施研究：發展全國二氧化碳用管道運輸網絡/簡報者：Jose D. Figueroa/來源：NETL, 美國能源部
4:45	二氧化碳捕捉在氣相或液相的運輸費用/簡報者：丹尼斯 CLODIC/來源：礦 ParisTech
5:05	評估地方對來源具有二氧化碳特性的運輸選擇/簡報者：卡倫夏天/來源：tetra Tech, Inc
5:25	二氧化碳捕捉和貯存的高效率或低成本壓縮機/簡報者：彼得 Baldwin/來源：Ramgen 動力系統

5月7日	技術研討會議程
星期三	1-C
主題	地質貯存-模擬和風險
主持人	George Guthrie, Los Alamos National Laboratory
場地	Grand Station I
1:30	二氧化碳注入高鹽鹵水模擬/簡報者的： Suzanne 防護短柱/來源： Schlumberger 碳服務
1:50	回應深層地質貯存的二氧化碳洩漏出可能污染預期的地下水/簡報者： Jens T Birkholzer/來源： 勞倫斯，伯克利國家實驗室
2:10	用 FutureGen 測站風險評估作為未來評估碳捕捉和封存設施的一模式/簡報者： 威廉磨房/來源： tetra Tech, Inc
2:30	表面溶解：地下水衝擊和洩漏風險同時減到最小/簡報者： Mac Burton/來源：在奧斯汀的德州大學
2:50	使用不同的數據重建二氧化碳的卷流(Plumes)/簡報者： 朱利奧 Friedmann/來源： 勞倫斯 Livermore 國家實驗室
3:10	地區合作：大天空地區碳隔離合作 - 概要和更新/簡報者：李 Spangler/來源： 蒙大拿- Bozeman 大學
3:30	咖啡 休息 時 段
3:45	西海岸地區碳隔離合作(WESTCARB) -概要和更新/簡報者： 拉里 Myer/來源：加利福尼亞能源委員會
4:05	中西部地區碳隔離合作(MRCSP) - 概要和更新/簡報者： 大衛 Ball/Neeraj Gupta/來源： Battelle
4:25	西南地區碳隔離合作(SWP) - 概要和更新/簡報者： 布賴恩 McPherson/來源：猶他大學
4:45	平原二氧化碳減量合作(PCOR) - 概要和更新/簡報者： 愛德華 Steadman/來源： UND 能源和環境研究中心
5:05	中西部地質隔離財團 (MGSC) - 概要和更新/簡報者： 羅伯特 Finley/來源： 伊利諾伊州地質探勘
5:25	東南地區碳隔離合作(SECARB) - 概要和更新/簡報者： 傑拉爾德小山/來源： 南方的州立能源委員會

5月7日	技術研討會議程
星期三	1-D
主題	地質貯存-鹽份
主持人	Gardiner Hill, BP
場地	Grand Station II
1:30	研發地方尺度瞭解鹽水庫橫跨 MRCSP 區域/ 簡報者： 菲利普 Jagucki/來源： Battelle
1:50	對二氧化碳注入力和水力試驗數據間的關係分析/簡報者： Joel Sminchak/來源： Battelle
2:10	聯合碳隔離和電廠冷卻水需求下評估鹽鹵蓄水層/簡報者： 彼得 Kobos/來源： Sandia 國家實驗室
2:30	鹽鹵蓄水層內二氧化碳 / 鹽水系統的相對滲透性： 一實驗性研究 /簡報者： 吉恩, Christophe Perrin/來源： 斯坦福大學
2:50	結構和程序控制二氧化碳誘捕機制下動態的大成份和空間分佈：對封存功能的衝擊/簡報者： 詹姆斯 W. 約翰遜/來源： 勞倫斯 Livermore 國家實驗室
3:10	
3:30	咖啡 休息 時 段
3:45	為了二氧化碳提高煤層甲烷(CBM)生產作低廉、新穎的非震測地物監視工具的解析度研究/簡報者： Erika Gasperikova/來源： 勞倫斯，伯克利國家實驗室
4:05	阿拉巴馬黑戰士海盆的成熟煤層甲烷庫 SECARB 碳隔離的野外試驗/簡報者： 傑克 Pashin/來源： 阿拉巴馬的地質探勘
4:25	煤炭的小破裂決定滲透性/簡報者的： 羅伯特 McLendon/來源： NETL, 美國能源部
4:45	試產級煤層二氧化碳注入下的 MMV 設計： SECARB 階段 II - 黑戰士試驗基地, Tuscaloosa 縣, 阿拉巴馬/簡報者： 理查 Esposito/來源： southern Company
5:05	伊利諾伊海盆 Tanquary 測站二氧化碳隔離在煤層/簡報者： 大衛莫爾斯/來源： 伊利諾伊州地質探勘
5:25	煤層流動性質下持續二氧化碳注入的衝擊/簡報者： Satya Harpalani/來源： 南部的伊利諾伊大學

肆、碳捕捉與封存技術的發展

茲將此次與會的見聞與過去所瞭解聯合國氣候變遷綱要公約 (UNFCCC) 京都議定書締約國會議(COP/MOP)、亞太經濟合作會議(APEC) 有關碳捕捉與封存方面整理分別以碳捕捉、碳封存、教育推廣、美國未來電廠場址選擇及台電公司二氧化碳捕捉與儲存技術研發方面稍加敘述於后：

一、 碳捕捉 (Capture)

CO₂ 主要是從石化燃料的燃燒中排放，既包括大型燃燒設備，如發電的設備，也包括小型分散源，如汽車引擎，以及包括民居和商業建築中使用的燃燒爐。CO₂ 的排放還源於某些工業和資源的提煉過程，以及源於燒林開墾土地的過程。CCS 很可能應用於大的 CO₂ 點源，如發電廠或大的工業流程。其中某些來源為交通、工業和建築產業提供脫碳燃料，如氫，因此也需要減少分散源的排放。

與 CCS 技術與應用有關，首先是收集濃縮工業和能源所產生的 CO₂ 來源，將其運輸到合適的封存地點，然後進行封存，使其長時期不接觸大氣。CCS 技術將使石化燃料在使用時具有低的溫室氣體排放。把 CCS 應用於生質能可透過生物體吸收大氣 CO₂ 而將大氣中的 CO₂ 移除 (通常稱為“負排放”)，但條件是生物體須持續的速度捕捉 CO₂。

CCS 過程的三個主要組成部分：捕捉、運輸和封存。三個部分都已運用於當今的工業生產中，儘管其中多數並非為了 CO₂ 的封存。捕捉步驟包括把 CO₂ 從其他氣體產生中分離出來。對於燃料的燃燒過程，如電廠中的燃燒過程，可以採用分離技術在燃燒後捕捉 CO₂，或者在燃燒前對燃料進行脫碳。為了將捕捉到的 CO₂ 送到合適地點封存，需要採取運輸步驟。為了便於運輸和封存，捕捉到的 CO₂ 通常由捕捉設備進行純化及高濃度壓縮。可能的封存方法包括注入到地下地質構造中、注入深海或者通過工業流程將其凝固在無機碳酸鹽之中。某些工業流程也可在生產產品過程中加以利用和貯存少量捕捉到的 CO₂。

特定的 CCS 系統的技術成熟性有很大的不同。一些技術已廣泛投入成熟的市場，主要是石油和天然氣工業，另一些技術則處於研究、開發或示範階段。從 2005 年中期開始，已有 12 個與 CO₂ 的運輸和地質封存有關的商業項

目：如挪威的斯萊普內爾沿海天然氣加工計畫、加拿大的衛本改良式再產油（EOR）計畫（該計畫是封存在美國捕捉的 CO₂），以及阿爾及利亞的艾因薩拉赫天然氣計畫。每個計畫每年捕捉和封存 1—2 百萬噸 CO₂。然而，CCS 技術尚未在大型（例如 5 萬瓩）石化燃料電廠中採用，而且整體系統目前仍不夠成熟。

1992 年，國際上對氣候變遷的關注導致了聯合國氣候變遷綱要公約（UNFCCC）的問世。公約的最終目標是“將大氣中溫室氣體的濃度穩定在一個能夠防止氣候系統受到人為干擾危害的水準上”。從這一角度出發，考慮 CCS（或其他減量的選擇替代方案）的宗旨就是限制全球 CO₂ 排放，它與穩定大氣中溫室氣體濃度的國際目標相互一致。

大多數全球能源利用的情形，預估本世紀 CO₂ 的排放仍因石化燃料持續是主要的能源，故其會有實質性的增加，但缺少採取減緩氣候變遷的具體行動。

為穩定大氣中 CO₂ 的濃度所需的減量將取決於未來的排放基準和長期的 CO₂ 濃度的理想目標：穩定性目標越低和基準排放越高，所需的 CO₂ 減量就越大。IPCC 第三次評估報告（TAR）指出，在本世紀需要阻止數千萬乃至數十億噸的 CO₂ 累積排放，這將取決於考慮哪一種情形，以使 CO₂ 的濃度穩定在 450—750ppmv（體積百分比）的水準上。TAR 指出，“多數模式結果表明，已有的技術選擇方案 3 能夠實現一個廣泛的大氣穩定的 CO₂ 水準”，但沒有一種單一技術選擇方案能提供所需要的全部減量。”更確切地說，將需要通過綜合減量措施實現穩定。這些已知的技術選擇方案可用於實現穩定大氣，儘管 TAR 告誡“實施將需要有相關的社會、經濟和制度配合才行”。

在此背景下，溫室氣體減量方案組合中有了 CCS，可有助於促進穩定目標的實現。在此之前的 IPCC 評估中經過更廣泛審查的其他技術選擇方案，包括：（1）通過提高能源轉化和/或設備利用的效率降低對能源的需求；（2）脫碳能源的供應（通過改用低碳燃料，例如從煤到改用天然氣），或者增加再生能源及核能的利用（總之，每種能源只排放很少或不排放 CO₂）；（3）通過利用生物固化增加自然的方式把 CO₂ 變為固碳；以及（4）減少非 CO₂ 溫室氣體的排放。CCS 的利用與其他措施相結合，可顯著降低實現穩定大氣

的成本，並增加實現減量的彈性。當前全球對石化燃料的嚴重依賴、CCS 對於下個世紀 CO₂ 減量的潛力，以及各種 CCS 系統與當前能源基礎設施的兼容性都說明了人們為什麼對這種技術感興趣。

評估 CCS 技術上主要的問題是在試圖了解 CCS 技術於減緩氣候變遷所發揮的作用，仍有一些需要解決的問題。包括：CCS 技術的現狀、捕捉和封存 CO₂ 的潛力、實施成本、為實現氣候變遷的顯著減緩，CO₂ 應封存時間、CCS 對健康、安全和環境存的風險、公眾對 CCS 的反應、實施 CO₂ 封存的法律政策與規章、排放清單盤查與環會制度的影響、CCS 技術的普及與轉移的潛力。

對於作為減緩氣候變遷一種選擇替代方案 - CCS 技術，最核心的、重要的是在於應當以透明、公開的方式來確定評估系統產生的所有排放，尤其是 CO₂ 的排放。由於選取合適的系統界限對於恰當的分析是十分的重要，因此需要強調採用 CCS“各系統”觀點的重要性。鑑於能源需求與捕捉、某種封存和利用的方案有關，以及與貯存層滲漏的可能性有關，因而對 CCS 技術進行整體評估則顯得至為重要。

從大氣穩定性和長期可持續發展著眼，CO₂ 的封存必須具備時間尺度的延伸，使其足以減緩氣候變遷。CCS 技術可能是某些國家的一種選擇替代方案，這些國家有顯著的、適合的捕捉 CO₂ 源、具有封存地點以及石油或天然氣作業的經驗，並且需要滿足他們在限制碳環境下的發展願望。IPCC 特別報告“方法和技術問題與技術轉移”所評估的文獻指出，存在著許多可能制約發展中國家採用某種技術的潛在障礙，甚至是那些在工業化國家中已經成熟的技術。克服這些障礙並創造有助於向發展中國家普及技術的條件則是在全球範圍採用 CCS 的一個主要問題上。

當前主要的人為 CO₂ 排放源及其與潛在封存地點的關係。如前所述，人類活動引起的 CO₂ 排放有一些不同的來源，主要來源產生於發電、交通運輸、工業流程，以及民居和商業建築所使用的石化燃料的燃燒。在某些工業流程中，如水泥生產或製氫，以及生物物質燃燒過程中也排放 CO₂。

當前的 CO₂ 來源和及其特徵？為了評估 CCS 作為全球 CO₂ 減量的一種選擇方案的潛力，對當前全球 CO₂ 大的固定排放源與其接近的潛在封存地點

之間的地理關係作了審查。一般在分析中並不考慮居民、商業和交通運輸產業的 CO₂ 排放，因為這些排放源小且經常移動，因此不適宜捕捉和封存。根據下個世紀全球能源利用和排放的幾種情形對今後潛在的 CO₂ 源作了以下的分析。2000 年全球使用的石化燃料排放總量為 235 億噸 CO₂/年（60 億噸碳/年），其中接近 60% 的排放是歸因於大的（>0.1 百萬噸 CO₂/年）固定排放源。然而，並非所有這些排放源都適合 CO₂ 捕捉。雖然所評估的排放源分布在全球各地，但數據庫顯示有四個特殊的排放群：北美（美國中西部和東部）、歐洲（西北部地區）、東亞（中國東部沿岸），以及南亞（印度次大陸）。相比之下，大範圍生物物質排放源數量則少得多，而且在全球分布少。

目前，大多數大排放源的 CO₂ 濃度低於 15%（有些情況下大大的低於此值）然而，一小部分（不到 2%）基於石化燃料的工業源的 CO₂ 濃度超過 95%。高濃度源是早期實施 CCS 的潛在對象，因為在捕捉階段只需要脫水和壓縮。對這些位於封存構造地點 50 公里以內並有可能產生收入（通過 ECBM[Enhanced Coalbed Methane Recovery]或 EOR，把 CO₂ 用於強化碳氫化合物生產）的高純度源的分析顯示：目前每年排放大約 360 百萬噸 CO₂。一些生物物質，如生物乙醇生產，也產生有類似用途的高濃度 CO₂ 源。排放地點與封存地點之間的距離能夠對 CCS 能否顯著減少 CO₂ 排放有著重要影響。

IPCC 排放情形特別報告（SRES）按六個說明情形對未來的 CO₂ 排放作出了預估，在這些情形中，2020 年全球 CO₂ 排放的範圍為每年 290-440 億噸 CO₂（80-120 億噸碳），2050 年是每年 230-840 億噸 CO₂（60-230 億噸碳）。預計電力和工業產業 CO₂ 排放源的數量到 2050 年將會有顯著地增加，主要在南亞和東亞。相比之下，歐洲這種產生源的數量可能略有減少。高濃度 CO₂ 來源和低含量來源的比例隨著引進工廠的規模和速度而變化，這些工廠在製氫過程中採用氣化或液化的石化燃料，或其他液體或氣體產品。工廠的數量越多，技術上適於捕捉的高濃度 CO₂ 發生源的數量就越大。

對於上述排放範圍相關的 CO₂ 捕捉的預估潛力作估算：到 2020 年為每年 26-49 億噸 CO₂（7-13 億噸碳），到 2050 年為每年 47-376 億噸 CO₂（13-100 億噸碳）。這些數字分別相當於 2020 年全球 CO₂ 排放的 9-12% 和 2050 年全球 CO₂ 排放的 21-45%。

排放和捕捉的範圍反應情形和模擬分析似有一些不確定性，以及技術上採用 CCS 的局限性。這些情形只考慮石化燃料的 CO₂ 捕捉量，未考慮生物物質源的 CO₂ 捕捉量。然而，大規模生物物質轉化設施產生的排放在技術上同樣能夠適用於 CO₂ 的捕捉。

低碳能源發展潛力與未來大的高濃度 CO₂ 固定源的數量和規模有關。這些情形提示著，低碳能源，如電或氫的大規模生產，在幾十年內可能開始取代目前民居和商業建築，以及交通運輸產業中一些小型、分散的排放源使用的石化燃料。這些能源可以從大型工廠的石化燃料和/或生物中生產，而這些工廠將產生大的 CO₂ 點源（電廠，或者與目前用天然氣製氫的類似工廠）。這些排放源適合 CO₂ 的捕捉。CCS 的應用能夠減少運輸和分布，如能源供應系統的 CO₂ 分散排放。然而，目前很難預估與這一發展方向相關的排放源數量、規模或地理分布。

CO₂ 捕捉的重點在電廠和其他大型工業流程是捕捉方案的主要對象。CO₂ 捕捉的目的是產生能夠運輸到封存地點的 CO₂ 高壓濃縮液。雖然在原理上，含有低濃度 CO₂ 的全部氣流可以運輸並注入地下，但能源成本和其他相關成本通常使這種方法變得不切實際。因此需要生產幾乎是純的 CO₂ 濃縮液，用於運輸和封存。在大型工廠中，包括天然氣加工廠和製氫設備，在營運中已有分離 CO₂ 的應用。典型的做法是將 CO₂ 清除，以捕捉其他工業用途的淨化氣流。清除宜在個別情況下用於封存；在多數情況下，CO₂ 都被排放到大氣中。捕捉過程也從煤和天然氣燃燒後產生的煙道氣體中捕捉得是商業上有用的 CO₂。然而迄今為止，CO₂ 捕捉尚未在大型電廠中（例如 500MW）採用。

有三種主要的方法可用於捕捉從主要石化燃料（煤、天然氣或石油）生物物質，或這些燃料的混合體產生的 CO₂，採取哪種方法將取決於有關的生產流程或電廠的應用：燃燒後系統從一次燃料在空氣中燃燒所產生的煙道氣體中分離 CO₂。這些系統通常使用液態溶劑從主要成分為氮（來自空氣）的煙氣中捕捉少量的 CO₂ 成分（一般占體積的 3-15%）。對於現代粉煤（PC, Pulverized coal）電廠或天然氣複循環（NGCC）電廠，目前的燃燒後捕捉系統通常採用某一種有機溶劑，如單乙醇胺（MEA）。

燃燒前系統在一個有蒸汽和空氣或氧的反應器中處理一次燃料，產生主要成分為一氧化碳和氫的混合氣體（“合成”氣體）。在第二個反應器內（“變換反應器”）通過一氧化碳與蒸汽的反應生成其餘的氫和 CO₂。可從最後產生的由氫和 CO₂ 組成的混合氣體分離出一個 CO₂ 氣流和一個氫流。如果 CO₂ 被封存，氫就成為無碳能源的副產物，可用來燃燒發電和/或熱。儘管最初的燃料轉化步驟較為複雜，與燃燒後系統相比成本較高，但由變換反應器產生的高濃度 CO₂（在烘乾條件下一般占體積的 15—60%），以及在這些應用中採用的高壓則更有利於 CO₂ 的分離。燃燒前系統可以在採用天然氣循環發電技術的電廠中使用。

氧燃料系統係用氧代替空氣作為一次燃燒進行燃料，產生以水汽和 CO₂ 為主的煙道氣體。這種方法產生的煙道氣體具有很高的 CO₂ 濃度（占體積的 80% 以上），然後通過對煙流進行冷卻和壓縮清除水汽。氧燃料需要對空氣中的氧進行分離，目前多數設計中假定氧的純度為 95-99%。為了在 CO₂ 進行封存之前從煙氣中清除空氣污染物的非濃縮氣體（如氮），也許需要對煙氣做進一步的處理。氧燃料作為在鍋爐中捕捉 CO₂ 的一種方法，目前處於示範階段。氧燃料系統也正在氣輪機系統中開發研究，但這類應用的概念設計仍處於研究階段。

所有流程都需要從大量煙流（如煙道氣體、合成氣體、空氣或未加工的天然氣）中分離出 CO₂、H₂ 或 O₂ 的步驟。這些分離步驟可以通過物理或化學溶劑、過濾膜、固體吸附劑來完成，或者通過低溫分離。具體捕捉技術的選擇主要上取決於其投入生產所需的加工條件。

目前電廠中使用的燃燒後和燃燒前系統可以捕捉電廠產生的 CO₂ 的 85%-95%。達到更高的捕捉效率是可能的，但分離裝置會變得相當大，需要的能量更強，成本也更高。與同等的未採用捕捉的電廠相比，捕捉和壓縮需要的能源大體上要高出 10-40%，這將取決於系統的類型。由於相關的 CO₂ 排放，CO₂ 的淨捕捉量大約為 80-90%。原理上，氧燃料系統幾乎可以捕捉所產生的全部 CO₂。但由於需要增設氣體處理系統以清除污染物，如硫和氮氧化物，因而降低了 CO₂ 的捕捉效率，可以達到的效率稍高於 90%。如前所述，CO₂ 捕捉已經在一些工業應用中採用。大規模製氫（主要用於氨和化肥的生

產，以及石油提煉）採用了與燃燒前捕捉中所使用的完全相同的技術。利用類似於燃燒後捕捉技術，從未加工天然氣中分離 CO₂ 的大規模生產。雖然商業系統也可用於大規模分離氧，但氧化燃料燃燒後捕捉 CO₂ 的技術目前處於示範階段。此外，正在開發研究，以使系統的收集 CO₂ 達到更高的效率，提高所有類型捕捉 CO₂ 系統的效率並降低成本。

CO₂ 捕捉是分離排放源或大氣中的 CO₂ 及恢復的濃縮蒸汽中適合封存或轉換的 CO₂。美國 CCS 計畫目前資助相當多的實驗室到先導型規模的研究計畫，涉及化學吸附劑、物理吸附劑、薄膜、水化合物和其他。盡心力於燃煤電廠系統的 CO₂ 捕捉，雖然該開發技術適用於天然氣發電廠、工業 CO₂ 的來源和其他應用領域。美國 99 % 的燃煤電廠是粉煤（PC）電廠，在煙氣一大氣壓力下，CO₂ 的濃度體積在 10 - 15% 以下，採用燃燒後(post-combustion) CO₂ 的捕捉是一個具有挑戰性的應用；因為低壓和稀釋濃度支配一高的實際體積的煙氣，經過微量污染物處理的煙氣往往會減少 CO₂ 吸附過程的成效，從一大氣壓壓縮捕捉 CO₂ 到更大壓力（每平方吋 1200 至 2000 磅（PSI））代表一個大的負荷(parasitic load)。另冷胺(Chilled Ammonia Process, CAP)製程是 PC 發電廠 CO₂ 捕捉最完美、最先進的技術。美國能源部國家能源技術實驗室進行分析後表示，從一個新的超臨界 PC 電廠中，CO₂ 捕捉和壓縮使用胺提高了發電成本 84 %，從美金 4.9 分/度至 9.0 分/度。新電廠進階 CO₂ 捕捉系統的目標，在有 CO₂ 捕捉和壓縮相對無捕捉的情況下，增加發電成本以不超過 20% 為佳。

煤炭氣化複循環發電（IGCC）和燃煤發電的新技術是一個深具潛力、更高效率和降低成本，污染物排放控制的技術，從碳封存的角度來看，CO₂ 能從合成氣（從煤氣化反應器出來）之前加以捕捉，CO₂ 是混在渦輪機的燃燒空氣中，這是被稱為燃燒前（pre-combustion）的 CO₂ 捕捉。這也是 CO₂ 捕捉的一種，此 CO₂ 是相對集中（體積 50%）和高壓下，這條件下提供了較低成本的 CO₂ 捕捉。

完美的 CO₂ 捕捉一是在 IGCC 電廠以乙二醇為基底的 Selexol 吸附劑。美國能源部國家能源技術實驗室進行分析後表示，從一個新的 IGCC 發電廠使用 Selexol 吸附劑作 CO₂ 捕捉和壓縮會提高發電成本 25%，從美金 5.5 分/

度至 6.5 分/度。進階的 CO₂ 捕捉和封存系統的目標，應用到 IGCC 的是以增加發電成本不超過 10 % 為佳，這是一個更嚴格的目標，更有利的用在 IGCC 發電廠。

氧燃料燃燒(oxy-combustion)是在一個富氧環境下燃煤使用純氧稀釋與回收 CO₂ 或水。二氧化碳即是在廢氣中抓住冷凝水的同時加以捕捉。氧燃燒提供了一些好處，決定通過大規模的實驗室測試和系統的分析。氧燃燒的結果，減少了 60-70% 氮氧化物的排放量和增加汞的去除。此外，氧燃燒關鍵性製程，已在商業上證明是可行的，包括了空氣分離和煙道廢氣再循環。氧燃燒使用氧氣增加了成本，但新穎的氧氣分離技術，如離子傳輸膜(ion transport membranes)和化學循環系統(chemical looping)正在研發以降低成本。

CO₂ 捕捉：風險、能源和環境

CO₂ 捕捉系統的監控、風險和法律影響似乎不存在，因為它們都是工業中正常、安全和經環境控制的做法。然而，CO₂ 捕捉系統需要相當大的能源以保證其營運。這使得工廠的淨效率下降，所以電廠生產每度的電力就需要更多的燃料。根據文獻報告，新的超臨界 PC 電廠利用目前最佳技術捕捉 90% CO₂，與未採用 CCS 的類似廠相比，每度電的燃料消耗要增加 24-40%，NCGG 電廠增加 11-20%，燃煤的 IGCC 系統則增加 14-25%。與未採用 CO₂ 捕捉的新的現代化電廠相比，燃料需求的上升導致每度電所產生的其他污染物也將會增加，固體廢棄物的數量也按比例增加。此外，有機化學製品的亦會消耗增加，如 PC 電廠為去除二氧化氮和二氧化硫排放所使用的液氨和石灰石。那些能進一步減少 CCS 能源需求的先進電廠也將減少環境的總體影響並降低成本。因此與許多現有的老電廠相比，採用 CCS 及 CO₂ 的高去除效率新廠或重建廠，實際上可以使電廠減少環境衝擊。

CO₂ 捕捉的成本

在當今的商業應用中，大型電廠的 CO₂ 捕捉成本估算來自於工程設計研究的結果（但通常應用各不相同和/或比文獻假設的規模要小），以及目前概念設計研究仍尚處於研發階段，概括了新的超臨界 PC、NGCC 和 IGCC 電廠的結果，這些結果是按目前採用和未採用 CO₂ 捕捉技術比較得出的，並考慮捕捉所需的能源需求。對於所有三種設計，捕捉系統都能使每度電的 CO₂ 排

放減少約 80—90%。所有 PC 和 IGCC 電廠的數據係針對瀝青煤而言。捕捉成本包括 CO₂ 的壓縮成本（通常壓縮到 11-14MPa 左右），但不包括額外的 CO₂ 運輸和封存成本。這三種系統各自的成本範圍反映出不同的研究所採用的技術、經濟和營運假設方面的現存差異。雖然在報告的成本中某些差異可以歸結為 CO₂ 捕捉系統設計上的差異，但差異主要源於對採用捕捉技術基準電廠的設計、營運和資金因子（涉及多種因子，如：工廠規模、地點、效率、燃料類型、燃料成本、發電量係數，以及資本成本等）。沒有單一的一組假設能適用於所有情況或全球所有地方，因此宜給一個成本範圍。

CO₂ 捕捉使 NGCC 電廠的發電成本增加 35-70%（0.01-0.02 美元/度），超臨界 PC 電廠的發電成本增加 40-85%（0.02-0.03 美元/度），IGCC 電廠的發電成本增加 20-55%（0.01- 0.02 美元/度）。總體而言，採用捕捉的火力電廠發電成本（CO₂ 運輸和封存成本除外）的範圍是 0.04-0.09 美元/度，相較之下，類似的未採取捕捉電廠的成本為 0.03—0.06 美元/度。截止目前多數的研究發現，在容量因數高（75%或更高），天然氣價格在電廠廠齡期處於 2.6 與 4.4 美元/GJ (gigajoule)之間的大型基本負載電廠的情況下，NGCC 系統的發電成本通常比新的 PC 和 IGCC 電廠（有或無捕捉）的成本要低。然而，在天然氣價格較高和/或容量因數較低的情況下，與有或未採納捕捉的出於燃煤電廠相比，NGCC 電廠通常具有較高的發電成本。最近的研究發現，與類似規模的 PC 電廠相比，平均而言，未採取捕捉的 NGCC 電廠的成本略高，採取捕捉 CO₂ 電廠的成本略低。不過，有或未採用 CO₂ 捕捉的 PC 與 IGCC 電廠之間的成本差異可能會依據煤的種類和其他一些當地因素，如每種類型電廠的資本成本而有顯著差異。鑑於採用 CCS 的大規模 NGCC、PC 和 IGCC 系統尚未建成，所以目前不能以較高的可信度闡述這些系統的絕對或相對成本。

尚未對現有的電廠加裝 CO₂ 捕捉設備的成本展開廣泛的研究。數量有限的報告表明，對現有電廠加裝胺洗滌塔恐導致效率有較大下降和成本上升。有限的研究表明，更具成本-效益好的選擇替代方案是將一個捕捉系統與重建的鍋爐和渦輪機相結合，以提高電廠的效率和產出。

對現有的某些電廠，研究表示利用含 CO₂ 捕捉技術的 IGCC 系統重新發

電可取得類似的效益。所有這些選擇方案的可行性和成本高度依賴於特定地點的各種因素，包括電廠的規模、廠齡和效率，以及是否有額外的發展空間。

製氫過程中的 CO₂ 捕捉成本，其中的 CO₂ 捕捉成本主要是 CO₂ 的烘乾和壓縮成本，因為 CO₂ 的分離已作為製氫過程的一部分。CO₂ 捕捉成本使製氫成本增加約 5% - 30%。CCS 也可應用於此類一些系統，它們使用生物物質燃料或原料，單獨使用或與其他石化燃料混合使用。數量有限的研究著眼於捕捉、運輸和封存相結合的系統的成本。估計在一個 24MWe 生物物質為燃料的 IGCC 電廠中，每年捕捉 19 萬噸的 CO₂ 相當於大約 80 美元/噸 CO₂ 的淨捕捉（300 美元/噸碳），這相當於發電成本增加了約 0.08 美元/度。對使用石化燃料的其他工業流程的 CO₂ 捕捉的研究相對很少，而且這類研究通常限於按捕捉或清除一噸 CO₂ 的成本來報告捕捉成本。一般而言，採用不同工業流程產生 CO₂ 所需的壓力和產生的濃度存在很大的差異。因此，不同工業流程（水泥廠和煉鋼廠、煉油廠）的捕捉成本在 25 - 115 美元/噸 CO₂ 淨捕捉之間不等，有很大的差異。在生產較純的 CO₂ 濃度過程中，捕捉的單位成本較低（如天然氣加工、製氫和氨的生產），這可以從製氫廠的數據中看出，CO₂ 淨捕捉的成本在 2 - 56 美元/噸之間變化不等。新的或改良的 CO₂ 捕捉方法與先進的電力系統和工業流程設計相結合，可以降低 CO₂ 的捕捉成本和能源需求。雖然首批商業工廠的成本通常要超過初始成本估算，但通過在實施中學習和其他因素，後續建立的工廠的成本往往會下降。儘管降低未來成本的幅度和時機有著很大的不確定性，但是文獻顯示，如果研發的努力得以持續，那麼商業技術的改良能夠使目前的 CO₂ 捕捉成本在今後幾十年內至少降低 20-30%，而處於發展中的新技術將使成本出現實質性下降。未來的成本的下降將取決於市場中商業技術的推廣和應用以及持續的研發。

介紹此次與會的康世富科技環保有限公司(CTI, Cansolv Technologies Inc.)

加拿大 Cansolv 技術公司在 1997 年成立，合併了商業技術化及銷售 CTI 二氧化硫吸收系統 - 研發於加拿大碳化物工會。從此 Cansolv 技術公司展現了它各式各樣的應用技術 - 再生的二氧化硫控制技術能力，包括煉油廠、化工廠、非鐵質精煉和燃燒氣體工廠。

Cansolv 技術也維持著強的研究和發展方案，集中在改進 CANSOLV 二

氧化硫過程、研發一個主導的二氧化碳捕捉過程和整合優質純化系統。現在 CANSOLV 二氧化碳捕捉系統是世界技術中領先的地位，且是參與溫室氣體減量市場務有著良好的地位。Cansolv 技術辦公室位於加拿大蒙特婁和中國深圳。

CANSOLV 二氧化硫吸收系統 - 主導再生二氧化硫控制技術

廢氣二氧化硫去除製程長期以來是以強鹼試劑類型控制了二氧化硫轉換為硫酸鈣或硫酸鈉。然後液態和固態廢料從這些處理中溶解的固體到工廠外的小河和大噸位的垃圾掩埋場。CANSOLV 二氧化硫吸收系統避免這兩個問題，選擇了二氧化硫吸收和再生的方式，是一個不須消耗性試劑或製造廢棄物的好方式。

這專利技術是使用一種液態胺溶液來完成二氧化硫從各種煙氣中高效率選擇吸收。吸收的副產物是純淨飽和水的二氧化硫氣體，還原用低溫蒸汽分離。CANSOLV 二氧化硫系統的再生，意味著化學吸收劑在過程中沒有被消耗。昂貴的消耗性吸收劑若是因而消滅和隨物流出而減少到極小是不符成本的。因此，大容量和選擇性吸收劑可減少運轉成本。

CANSOLV 二氧化硫吸收系統的好處：高品質純淨的二氧化硫、硫磺或者硫酸、沒有固體廢料或垃圾掩埋的石膏、沒有固體處理、無揮發性和低的毒性溶劑、非常低溶解的退化率。低資本和運轉成本、對廢氣二氧化硫含量較敏感、高靈活性：可運轉於高煙氣量和二氧化硫含量之條件下、高可靠性和低維修費用。

各種產業的靈活技術 - 寬廣的應用

CANSOLV 二氧化硫吸收系統是一高度靈活的系統，適於大多的應用，包括：工業和公共 FGD 鍋爐、FCCU 和廢氣流動性 COKER、硫酸廠尾氣、克勞斯 SRU 尾氣、精煉工和精煉廢氣、化工製造工廠廢氣、紙漿廠 BLOWPIT 和鍋爐氣體。煙氣應用範圍其流速從 5,000 Nm³/h 到 950,000 Nm³/h 和二氧化硫含量從 0.08% vol 到 11% vol。

用設計解決問題

...CANSOLV 二氧化硫吸收系統一獨特點之一是設計靈活適應於各種應用。與每個計畫的挑戰是環境最大限制和經濟價值。為了完成此目標，經由

接近顧客的合作以定義他們營運過程的最佳化整合。

例如，硫磺廠尾氣的一個單元可燒成高硫磺瀝青，因此解決廢棄物的處理問題。在另一硫磺廠中焚化爐添加酸性蒸氣燃燒，省略繞過 SRU，且還原二氧化硫由回收的 SRU 加熱即可，因而減少熱和空氣的消耗。這個策略增加了 15% 的 SRU 容量。

CANSOLV 二氧化硫吸收系統

1. 進氣首先經洗滌器降溫及飽和。洗滌器設計選擇是基於氣體中總固體量和 SO₃ 含量及和管理上是需要移除它。
2. 氣體與貧胺溶液後接觸後二氧化硫在一個逆流塔被吸附。處理的氣體存有吸附劑其二氧化硫含量低到 10 ppmv，依設計參數。
3. 從富有二氧化硫胺的吸收塔抽到再生塔通過貧/富胺的熱交換器作能量交換。
4. 貧胺液是由間接再生的蒸汽和二氧化硫恢復為一純淨、水飽和產物。
5. 貧胺留在汽提塔器再沸騰和抽回到吸附塔通過貧或富胺的熱交換器和貧胺冷卻器。
6. 含胺的氣流被淨化防止熱穩定鹽(HSS, Heat Stable Salts)的累積。
7. 副產物二氧化硫可以被轉換成各種硫磺產物，例如液體二氧化硫、硫酸或者硫磺。

CANSOLV 二氧化硫吸附技術應用於二氧化碳捕捉技術已在世界各地積極展開，且已超過 5,000 小時的先導型試驗成果，此次亦在大會中提出，與會專家學者甚表讚賞。

Cansolv 技術在它自己在二胺的經驗研發修造二氧化碳捕捉的具體吸收劑。操作根據與 CANSOLV 在二氧化硫吸收系統的經驗一樣，CANSOLV 二氧化碳捕捉系統是領先世界二氧化碳捕捉技術。適用於捕捉二氧化碳從小規模鍋爐廢氣的應用例如 PCC 生產、酸化和量大的二氧化碳。它也是大規模二氧化碳捕捉的最為有效的技術應用在深層鹽水層的隔離封存地層或者是強化採油。在超過 5,000 小時的燃煤和燃氣電廠廢氣先導型測試後，預計 2010 年前期望第一個商業化應用。CANSOLV 二氧化碳捕捉系統的特點：低再生能源 二氧化硫和 O₂ 溶劑穩定 氧化退化溶劑穩定 能整合 CANSOLV

二氧化硫吸收系統來提供完整的解決 SO_2 - CO_2 的捕捉。

利用 CANSOLV 二氧化硫吸收系統和 CANSOLV 二氧化碳捕捉系統間的相容性, Cansolv 技術能提出整合 SO_2 - CO_2 獨特優勢的捕捉解決方案: 二氧化硫分離使用的 80% 熱作為剝離二氧化碳的回收, 減少單位二氧化碳捕捉費用並使二氧化硫排放減少到零。二氧化硫在處理過程中更為可靠和靈活。允許高硫磺燃料產生更高單位的二氧化碳含量使其二氧化碳捕捉費用更低。

二、 碳封存(Sequestration)

(一) 二氧化碳

根據氣候科學家，砍伐森林和燃燒石化燃料是大氣中二氧化碳上升的主要因素。這是隨著時間的推移審查海洋和土地系統上含碳成分的變化研究所展示的。根據美國環保署(EPA)在 2004 年，美國生產了 7,074.4 百萬公噸溫室氣體，包括二氧化碳、甲烷、氧化亞氮和氫氟碳化物。單獨看點排放源，二氧化碳釋出進入大氣的總量是 3,809 百萬公噸。增加非點排放源，例如汽車排放源會極劇地增加這個數字。

(二) 二氧化碳封存

碳封存是碳捕捉和長期地貯存二氧化碳(CO₂)。地質碳封存是從電廠、煉油廠和其他工廠(點排放源)捕捉二氧化碳，再將它在貯存在地下地質結構(地層構造封閉)中，例如深層的鹽水層，耗盡了石油和天然氣地層(油庫)和不再開採的煤層。陸地碳封存是植被和土壤吸收大氣的二氧化碳。人們能影響甚或提高此過程，並經由保護和維護生態系來存放碳，且改進土地管理、實踐來增加碳的接收技術。

(三) 碳封存行動

2002 年 11 月 21 日前能源部長 - 斯賓塞亞伯拉罕(Spencer Abraham)，在華盛頓特區宣佈全國煤炭委員會主動介入「聯合政府產業合作的全球性氣候變遷去發現敏感的、低成本的解決方案」以減少溫室氣體(GHG)的排放。這些合作中的每一個組成 - 私人企業、大學和州立及當地政府將成為我們的碳封存計畫的焦點。他們將幫我們確定技術、規範和基礎設施且是最適合國內的特定區域。

(四) 碳封存的區域合作夥伴

美國已建立了一個網絡般的七個地區間的碳封存的合作夥伴(RCPs)，以協助發展各地區和地質編組碳封存的科技、基礎設施和法規實施。這個區域夥伴關係的做法是相信當地組織和公民，將有助於專業知識、經驗、觀點和更準確地代表的關懷和願望，使地區內的發展和應用技術更適合於該地區。7 RCPs 所代表的地區涵蓋了美國 97% 以上燃煤的二氧化碳排放量，97% 的工業二氧化碳排放量，96% 的土地，佔總

土地量和基本上所有的地質封存的網站在美國的潛在供碳儲存量。 7 個合作夥伴包括：

大天空地區碳封存合作夥伴 (Big Sky Regional Carbon Sequestration Partnership, Big Sky)、平原二氧化碳封存合作夥伴(Plains CO₂ Reduction Partnership, PCOR) 、中西部地區地質封存財團(Midwest Geological Sequestration Consortium, MGSC)、中西部地區碳封存合作夥伴(Midwest Regional Carbon Sequestration Partnership, MRCSP)、東南地區碳封存合作夥伴(Southeast Regional Carbon Sequestration Partnership, SECARB)、西南地區碳封存合作夥伴(Southwest Regional Partnership on Carbon Sequestration, SWP)、西海岸地區碳封存合作夥伴(West Coast Regional Carbon Sequestration Partnership, WESTCARB)。

這一倡議發起於 2003 年能源部，形式的核心是國家努力發展基礎設施和智庫，需要使碳封存技術企業化、商品化。在第一階段的計畫，合作夥伴關係的特點是潛在的二氧化碳貯存在深層石油、天然氣、煤、鹽水地層區。第二階段夥伴關係是實施投資組合的小規模地質封存計畫，其目的是為了驗證不同的地質地層有注入、遏制和貯存的效果可為長期隔離二氧化碳所使用。在第三階段整個美國和加拿大的部分地區，七大地區碳封存夥伴的主要地質編組，努力、貫徹、落實封存計畫，顯示長期、有效、安全、能貯存 CO₂。且是貫徹落實一個延續 25 個小規模的地質貯存測試的夥伴關係。這大型計畫是整個美國和加拿大主要地質海盆的測試：

- 提供科學的數據及驗證的能力，估計約 30% 深層鹽水地層，但目前現有的數據較缺乏。
- 評估非均質貯存地層的影響，關於貯存營運所接觸的孔隙空間和維持二氧化碳注入的功能。
- 野外數據去驗證儲存庫模式、實施碳減量策略，以減少潛在的危害和驗證注入二氧化碳並使用最先進的監測網絡。

最後，這些計畫將表明該計畫是具有代表性的，未來 100 年主要點源所排放二氧化碳量的地區地質貯存區。大規模的實地測試描述如下：

西南區域合作夥伴的碳封存(SWP)：新墨西哥學院的採礦技術正進行展示貯存二氧化碳的侏羅紀砂岩地層，這是目前整個地區從懷俄明州至新墨西哥北部。這些地層有較高的孔隙率、滲透率和厚度近 200 呎。該計畫將注入四年超過兩百萬噸（每年最高達 100 萬噸）貯存天然 CO₂ 和監測二氧化碳。砂岩是覆幾個大的頁岩層上，一些地區有一些不活躍的斷層和裂縫貫穿整區。該計畫將利用各種監測技術，以確定注入行動對整區貯存地層的影響。

東南地區碳封存合作夥伴。南部各州能源委員會（ The Southern States Energy Board , SSEB ）將二氧化碳注入到龐大的塔斯卡盧薩砂岩 (Tuscaloosa Massive Sandstone) 在兩個不同的地點（ 200 哩外） ，以確定非均質的地層對注入行動和貯存容量的影響。對於第一階段的這項試驗 SSEB 正與石油和天然氣的經營者進行注入每年 100 萬噸二氧化碳改良式再產油區(enhanced oil recovery, EOR)。該計畫將注入二氧化碳沿地層傾角注入油田的鹽水地層區。廣泛的監測、緩和和驗證(MMV)將進行決定性最終結果(命運) - 二氧化碳會游移至鹽水地層。

第二階段的測試，這將協調與該地區的一家大型電力公司，會興建一個後燃燒 CO₂ 捕捉的現有的燃煤電廠。將注入二氧化碳於電廠之下最多六年。該計畫將比較場址間的結果之間，以確定非均質的影響在營運的能力及監測要求下的兩個場址。

平原二氧化碳封存合作夥伴。北達科他州大學的能源和環境研究中心(EERC)七個地區合作夥伴中最大的一個且包括部分在加拿大的合作夥伴。因此，該計畫將實施兩次大規模的野外測試，以評估潛在的可用貯存區。EERC 正與北美地區最大的天然氣生產廠的業主進行注入 180 萬噸二氧化碳注入深層鹽水沙岩地層在阿爾伯塔海盆(Alberta Basin) - 加拿大卑詩省的西北部。超過 15 %天然氣將是硫化氫。EERC 正與一家大型公用電力和油氣公司，在威利斯頓海盆(Williston Basin)捕捉和注入每年 100 萬噸二氧化碳到深層(>1 萬呎)碳酸鹽的地層，這也是一個含油儲存庫。這些測試將展示該地區可用性的貯存容量、硫化氫及其他污染物的影響，對於貯存的完整性和營運，以及非均質性的幾個不同注入地點對二

氧化碳的最終結果(命運)。該計畫還將評估 CO₂ 在不同的貯存庫加封的影響。

中西部地區地質封存財團 (伊利諾伊州海盆, Illinois Basin)。伊利諾州地質調查局在伊利諾伊州中部與阿徹丹尼爾斯米德蘭公司(Archer Daniels Midland Corporation)致力於此發展計畫, 該計畫將超過三年注入 100 萬噸二氧化碳到山西蒙(Mount Simon)的沙岩地層 - 包括整個地區。山西蒙地層是一理想的貯存地層, 它有較高的滲透率、孔隙度和厚度 (1,500 呎)。山西蒙地層數據資料目前甚少, 山西蒙地層也覆蓋在幾百呎有機頁岩之上。該計畫位於最厚地層部分。該計畫將注入在山西蒙地層的基部來量測層層高、低滲透率對 CO₂ 運輸的影響和它接觸更多孔隙空間的能力。這個計畫也將表明山西蒙地層將可作為主要的碳貯存庫。該計畫正與 Schlumberger and LLNL 進行最先進監測技術的測試、工業儲存庫模型、和較近期進步的地球化學和儲存庫模型。二氧化碳從天然氣加工廠或自然通風口每年可注入 100 萬噸或更多的二氧化碳, 取決於成本和供貨情況。

中西部地區碳封存合作夥伴 (MRCSP) - MRCSP 為首的巴特勒紀念實驗室(Battelle Memorial Laboratories)將展示二氧化碳貯存在山西蒙的沙岩地層, 這地質地層從肯塔基州通到俄亥俄州且有潛力貯存在該地區超過 100 年的二氧化碳主要點源排放量。該 MRCSP 將注入約 100 萬噸二氧化碳從一乙醇生產廠。俄亥俄州這地區的山西蒙地層大約是 3,000 呎深。二氧化碳將注入對乙醇生產廠現場和 MRCSP 將負責發展基礎設施建設、營運、關閉及監測注入的二氧化碳。MRCSP 包括俄亥俄州、印地安那州、肯塔基州、西維吉尼亞州、馬里蘭州、賓夕法尼亞州、紐約和密西根州。

西海岸地區碳封存合作夥伴 (WESTCARB) - WESTCARB 合作夥伴由加州能源委員會率領進行地質二氧化碳貯存計畫, 聖華金海盆(San Joaquin Basin)在加州中部。該計畫超過四年將注入 100 萬噸二氧化碳到深 (7,000 呎+) 地質地層下面在加州 Kimberlina 一個 5 萬瓩、零排放的火力電廠。清潔能源系統電廠利用天然或合成氣在一氧燃料燃燒系統

產生一個相當純的二氧化碳，在電廠地表下再將二氧化碳壓縮和注入一些潛在的貯存地層下面。WESTCARB 將開發、營運，並關閉該注入場址以及監測注入二氧化碳的最終結果(命運)。WESTCARB 合作夥伴包括美國加州、亞利桑那州、內華達州、俄勒岡州、華盛頓、阿拉斯加、夏威夷以及卑詩省。

其餘的大型現場試驗，在未來數個月可望獲得。美國能源部國家能源技術實驗室 2008 年的碳封存經費約已達美金 1 億 2 萬元、約 70 有個研究發展計畫在進行。

七個大型的野外測試，在一定規模下的二氧化碳注入，須驗證並改進科學行為的模型預測，顯示工程和科學進程的成功實施和驗證的長期安全貯存、封存碳、實現成本效益、整合電廠系統的捕捉，都在各自的地區加以限制，無論是地質、經濟或政治。遍布北美主要大型測試的目標是發展大型碳捕捉和貯存（CCS）計畫，那裡有大量的二氧化碳注入地質地層，代表著那一地區有較大的貯存容量。一個典型的火力電廠要持續過去幾年的情形就得作有規模的二氧化碳注入。

(五) 政策

加拿大卑詩省財政部媒體發布，「碳稅保證卑詩省人們的減稅」。加拿大卑詩省的財政部部長宣佈卑詩省是加拿大第一個實施的省份，實施一種收支中立碳稅來減少個人、公司和營業收益稅率。碳稅，根據每噸二氧化碳價格加幣 10 元，在 2012 年前每年將增加加幣 5 元直到到達的加幣 30 元的噸二氧化碳價格，在它的前三年期間預計產生加幣 18.49 億元的收支。在它的幾項減稅之中，在 2008 年收支將由基本的二人所得稅減少百分之二，2009 年與計劃增加百分之五在第一個收入加幣 7 萬元(減稅加幣 7.84 億元)。它也使一般公司稅從 12%降低到 11%，與計劃到 2011 年之前降低到 10% (減稅加幣 4.15 億元)，和使小企業稅率從 4.5%降低到 3.5%，與計劃到 2011 年之前降低到 2.5% (減稅加幣 255 百萬元)。最後，每年的一筆新的氣候行動信用資金將提供經費給低收入的卑詩省以每個成人加幣 100 元和每個孩子加幣 30 元，收支在 2009 年與計劃增加這些數額百分之五(加幣 3.95 億元)。碳稅在 2008 年 7 月 1 日將生效，並

且適用於所有石化燃料，包括汽油、柴油、天然氣、煤炭、丙烷和家庭供暖燃料。

美國一指標綱要估計各州減少碳排放的努力（從 1990 年到 2001 年的基線趨向）。在美國各州和地區機構是在氣候相關能源政策的最前線，研發、創新的政策和減少二氧化碳和其他溫室氣體的排放。問題是因為大部分愈大的國家，使用愈多的能源且產生愈多的碳排放，並且因為他們的政策，雖然有不同種族且在最近相當有限的範圍內，創出國家氣候行動的綱領。儘管在這意義上，微微知道一點關於在州立碳排放的趨向或在各州政策是否有效率地減少碳排放。分析和比較各州碳排放綱要，使用排放、能源消耗和碳強度扇形指標來串連主要政策方向、領域。在 1990-2001 期間州立經驗範圍橫跨指標，建立未來國家和地方變動可以估計的導向、延滯和平均經驗基線。概念性綱要和對排放趨向的經驗分析是要能提供更好的理解和監視情形，俾使各州能用心於能源系統的永續性。

(六) 再詳細點介紹西南地區合作夥伴

在西南地區碳封存合作夥伴(SWP)曾創造早期有利的商業機會對碳封存使用 - 碳捕捉和貯存(CCS)系統。因此 CCS 系統是與多數現有的能源基礎設施兼容，是有潛力減緩全球性氣候變遷中的二氧化碳(二氧化碳)排放，是一個低成本選擇。一個成長體 - 政府、公司和產官學合作所支持的 CCS 規劃，是由國際科學界和一定數量環境非政府簽了名的組織 (NGOs)。此外，還增加了許多的公司認可 CCS 作為一個可能有益的營業項目。

SWP 是由一個不同的專家小組有關地質、工程學、經濟、公眾政策和推廣的組成。這些小組運用他們的專門技術、評估隔離技術、捕捉碳排放、辨認和評估適當的貯存位置和允諾各式各樣的風險共同承擔者 (stakeholders)，為了增加對碳封存的了悟。這些風險共同承擔者是由私有產業、NGOs、公眾和政府個體所組成。有許多合作代表 - 總共有 44 當前的組織，包括電業、油和煤氣公司、州政府、大學、NGOs 和部族國家。

SWP 是由新墨西哥技術所協調的，並且包含新墨西哥、亞利桑那、科羅拉多、俄克拉何馬州、猶他州和部分堪薩斯州、內華達州、德州和懷俄明州。地區的野外試驗站位於新墨西哥(San Juan 海盆)，猶他(矛盾海盆)和德州(二疊紀海盆)。

(七) 計畫各階段

描述特性階段(2003-2005)：在這個階段，SWP 在西南地區描繪了碳源和清除量，鑑別此區連接碳源對清除的最佳選擇地。2005 年 12 月 SWP 結束了它的第 1 階段計畫。SWP 第 1 階段計畫的主要宗旨是評估和展示在 2012 年之前達到對碳強度 18%的減量。

檢驗階段(2005-2009)：SWP 目前是在地區主動性合作的第 II 階段。SWP 的檢驗項目是為期四年的努力，致力於確認在西南地區內有二氧化碳封存機會，包括深層的鹽岩層、被耗盡的石油和天然氣的油庫和不再開採的煤層。

配置階段(2008-2017)：西南合作當前轉到第 III 階段，顯示大規模二氧化碳捕捉、運輸、注入和貯存是可以安全地、永久地和經濟地達成。

(八) 碳源

西南地區是能源豐富的且在國內擁有最多人口和能源生產生長率的地區。二個主要二氧化碳管道網絡運輸超過 27 百萬公噸(30 百萬噸 CO₂/yr)，從南科羅拉多的自然、地表下的二氧化碳和北新墨西哥的二疊紀海盆的石油區域，它為 EOR 使用。10 個最大的燃煤電廠在這個區域導致大約 127 百萬公噸(140 百萬噸 CO₂/yr)。其他點排放源包括天然氣加工設備、精煉廠和氨或者肥料、乙烯和對氨基苯甲酸二和水泥工廠。

(九) 階段 II 野外檢驗測試

San Juan 海盆 - 新墨西哥-改進的煤層甲烷 (ECBM)：SWP 舉辦 San Juan 海盆 ECBM 與 ConocoPhillips 合作下的野外檢驗測試。2008 年 5 月開始，大約 75,000 噸二氧化碳將被注入為期一年期以評估煤層甲烷生產效率和二氧化碳優化貯存。

San Juan 海盆 ECBM 陸地隔離離型：San Juan 海盆 ECBM 計畫也是其中一個陸地隔離小規模試驗的地點。從 ECBM 計畫和其他井的去鹽化

水將應用於一個天旱被重視的岸邊的區域 - 土地和流動水體之間的地區 - 碳貯存能監測及評估的地方。

矛盾海盆(Paradox Basin) - 猶他州 - 改良式再產油(EOR)和隔離：在 Bluff 附近的 Aneth 油田，猶他州，SWP 展示一聯合 EOR 的二氧化碳和深鹽水層貯存離型場的活躍的二氧化碳 - 由再生資源公司和 Navajo 油氣公司承辦 EOR 操作管理所處理的。從 2007 年 8 月到 2009 年 9 月經過 3 年期間，約有 150,000 噸二氧化碳每年將被注入。基於廣泛的地質描述特性和詳述的地層 (儲存庫)模型，SWP 將設計測量 監視和證明(MMV) 議定和經營現場研究。

二疊紀海盆，德州-改進的油補充和隔離：SWP 評估二氧化碳 EOR 效率和二氧化碳在 SACROC 野外檢驗測試基地的優化貯存，一聯合的 EOR/CO₂ 儲存操作，在與 Kinder Morgan CO₂ 公司合作下，L.P 在 2007 年 6 月約有每年將注射 350,000 噸二氧化碳為期一年半。Aneth 和 SACROC 兩個碳酸鹽地槽(碳庫)是相似的，但是他們的深度範圍變化提供機會審查不同的水力動力設定，衝擊二氧化碳在地槽(碳庫)的流程和最終結果(命運)。

(十) 油和煤氣形成

Aneth 油田在 1956 年發現的，是國內最大的油田。Aneth 單位是大 Aneth 區的一部分，並且是位於尤他州東南方的矛盾海盆(Paradox Basin) Aneth 是一個地層學陷井(trap)具有一些破裂帶和微小斷層。Aneth 單位涵括約更大 Aneth 區北部分的 16,800 英畝和已量產約 149 百萬個油桶估計有 421 百萬個油桶的油區。小規模試驗場位於 Aneth 錯綜的小丘，是形成在一個弱結構的前緣。目前地表起伏約 150 英尺，地表主要的差別的是結構緻密與疏鬆之差別。主要二氧化碳封存目標是賓夕凡尼亞州的沙漠裂谷，並且躺在矛盾地層的 Ismay 小層上，主要生產商在大 Aneth 區。

在德州，SACROC 油田單位生產係由賓夕凡尼亞州地層生產。SACROC 油田單位沿著油田傾分佈猶如馬鞋環礁劇 在這個單位的目標儲存庫包括生產賓夕凡尼亞州碳酸鹽。

(十一) 不再開採的煤層

San Juan 海盆(SJB)在新墨西哥是其中一個在世界的高等位海盆的二氧化碳煤層貯存場，因為它有： 1)有利的地質和內涵高甲烷、2)從附近的電廠含豐富人為的二氧化碳、 3)低資本和運轉成本、4)開發良好的天然氣和二氧化碳管道系統和 5)當地公司備有煤層甲烷(CBM)和改進的煤層甲烷隔離(ECBM)的專門技術。由於它極大的煤炭資源， San Juan 提供與增值天然氣生產的一個巨大隔離機制。廣泛的二氧化碳基礎設施已經就定位，使這區域早已準備好未來的營運。煤炭在 SJB 航路區是具格外的高滲透性。由於煤炭與二氧化碳接觸會使其膨脹，煤炭的高滲透性是維護長期且量大的二氧化碳注入所必要的。在煤炭層維持高注入期是大規模的、低成本二氧化碳封存的一個重要需求。

(十二) 深層的鹽水層

除改良式再產油(EOR)工作之外，矛盾海盆擁有深層的鹽水層。在矛盾蒸發岩海盆的西南側有碳酸鹽地層，側面是相當於更多向海盆的硬石膏和鹽岩。這些地層組成一個能貯存美國大部份的碳量(估計約 5,000 億公噸)，它的好處是幾乎接近於目前二氧化碳點排放源的量。

(十三) 陸地封存機會

與西南地區碳合作的改進煤層甲烷封存(ECBM)測試一道，一個陸地小規模試驗站設置在 San Juan 海盆。ECBM 營運是為了生產巨量的水而臭名遠揚。這個水源深具潛力能淡化和使用來灌溉一個岸邊的復育地，形成一聯合的 ECBM - 地下封存計畫。雖然水淡化過程需耗昂貴的成本，BLM 和伯靈屯做最有利且不傷環境來生產有用的水。在新墨西哥的 San Juan 海盆的牧場是一振振有詞地大儲存庫，除此它仍能成為一有價值的休閒娛樂地。去完成他們潛在謊言下的挑戰：主要是在有限的成長情況和減少容量下作復育。在土壤和植被的優選下作碳貯存，當增加其他生態系服務的價值時，需要一個雙叉策略：提高現存和再回顧沿岸區木本植物種類和重建在山區的草本和灌木類。在這兩種情況下的限制因素是水：除碳封存之外，水是一個可靠的農業灌溉來源，例如 ECBM 在生產時所產生的水，能為當地植被的重建提供必要的水源及許多環境好處。

除陸地小規模試驗之外，SWP 也進行對此區廣泛的陸地分析。

(十四) 階段 III 野外規劃測試

除 San Juan 海盆、矛盾海盆和二疊紀海盆之外，SWP 增加了第四個站點：Farnham 圓頂，位於中央猶他州 Uinta 海盆的西南。SWP 和它工業夥伴，包括 LLC 沙夢(Savoy)能源、落磯山電力、Questar 天然氣、藍源(Blue Source)和其他等，將測試有效率深鹽層地層的碳封存能力。緩和計畫和此區的嚴謹風險評估是 Farnham 圓頂場的一個重要的目標。

注入井和監測井將於 2008 年 7 月開始營運，並且在 2008 年 12 月將開始注入。二氧化碳的注入直到 2011 年且將包含每年持續至 1,000,000 噸的二氧化碳注入。注入站直到 2017 年將持續的監視。SWP 將目標鹽水地層包括早侏羅紀和更晚的地質地層。SWP 在測站將維護二注入間隔時間，最大化(1)容量的測試和(2)評估監視效率。他們將使用一很好的設計、非標準的二氧化碳注入，包括注入的雙重完成 - 最大化貯存容量和優選監視和緩和選擇。在完成時，管道將從 Farnham 圓頂測站捕捉的二氧化碳運輸到 Uinta 海盆改進的油補充市場。

(十五) 監視、緩和和證明

監視、緩和和證明，亦稱 MMV，是被使用的技術來確定從地質隔離過程中二氧化碳能安全封存。這些技術包括監測在儲存庫的二氧化碳運動並且確定在物理和化學變化的監測儀器。模型也合併用來預估二氧化碳運動、化學反應和永久性在地層中封存。

SWP 和其他六個合作夥伴來工作確定最優的操作和在查出地層封存的變化可能導致二氧化碳損失並且/或者造成對人類健康及環境的負面衝擊。另外，加寬知識關於二氧化碳存貯的保安守衛、碳封存技術的進一步認識 MMV 協議和程序的建立也將考慮到二氧化碳商轉時的安全封存水準。然後這為排放減量信用制度提供機會，將造成碳的經濟生活能力捕捉和貯存計畫。

SWP 為了偵測二氧化碳在非目標儲存庫和追蹤二氧化碳遷移和最終區所用的監視技術包括：介紹和自然追蹤劑、水的組成、地表下壓力、井測日誌、時間延遲二維和三維震測影像、垂直震測剖面紀錄、被動式

震測監視、電子技術、時間延遲微重力技術、衛星的可見和紅外影像、二氧化碳地表面流通量監測使用艙房或漩渦協變參數流通量、土壤氣體採樣、土地表面變形等技術。

San Juan 海盆 MMV - 地質 MMV 技術儀器：二維震測測勘、基線地表流通量、土壤 - 氣體追蹤劑、甲烷或氫氣調查、地表水化學、測量地面傾斜度之儀器(Tiltmeter) 注入或儲存庫工程學模式、地表 MMV 技術：濕度 - 去濕度階地尺下的去鹽化（除礦）、離型尺度的去鹽化（除礦）。

矛盾海盆 MMV - 地質 MMV 技術：三維震測測勘、基線地表流通量量測、注入開始的追蹤者測試、VSP 的震測檢波器(geophone)陣列

二疊紀海盆 MMV - 地質 MMV 技術：三維震測測勘、三維「窮人的」震測調查、基線地表流通量、水化學和同位素、高解析度的儲存庫模型。

三、 教育推廣

- 教育推廣目標和宗旨

SWP 推廣教育工作團體的目標是研究民眾意識和興趣關於美國人對氣候變遷使用碳封存處置方面的基本觀念。在 SWP 區域內之合作關係也是正在評估能源政策。SWP 為了辨認與碳封存有關的當前民意和知識以及幫助公眾評估費用和好處而有四個主要宗旨，此宗旨包括：(1)辨認及反應贊助者需求、恐懼及慾望，(2)通知關於碳封存策略的贊助者，(3)贊助者的介入與碳封存有關的聯合發現機會和(4)能成為贊助者與不同的黨派有志於碳封存上有談判互惠的機會。認可的計畫贊助者，包括私有企業、環境小團體、公眾和政府機構。

- 推廣教材和活動

要鼓勵社區的介入與合作，特別是那些靠近碳封存研究站社區，SWP 已正式展現、學習活動和處理訓練加入到我們的策略裡。這些包括虛擬社區資訊會議和基於小組模組工作等申請的技術已列在 SWP 網站 (<http://www.southwestcarbonpartnership.org>)。作為通訊過程一部分推廣隊正舉辦社區焦點群來確定在氣候變遷和碳封存上的公眾悟性、知識和興趣。我們使用焦點群的結果來評估和修訂推廣教材。推廣教材包括小冊子、情況說明書與資訊有關的光碟片和理科教員的補充課程材料。教材包括互動式模型、比賽，並且老師能使用在他們的教學(即物理、化學、地質、生物等等)，這些資源包括地質封存和陸地隔離。雖然這些資源設計源於老師想法，主要是他們最容易接近公眾猶如列在合作網站的網頁一樣。

此次會議的一個主題是構建、提供一個資訊平台，作為美國和北美進一步國際間碳捕捉、分離、隔離及封存技術等彼此間經驗交流的平台，包括美國、國際科學、工程社區及工作於此方面技術和系統的人們；其實美國能源部國家能源技術實驗室網站 (http://www.netl.doe.gov/technologies/carbon_seq/) 有關二氧化碳封存封存已建入了很多有關的技術性資訊，現今網路無國界，資訊平台可將數據、數值、數位、視訊等在網路上傳送(只要頻寬足夠)。

利用資訊平台方式也有可先行建立許多問答(Q&A) 說帖方式來解決
已多人詢問的問題與答案，茲稍舉例如下為未來資訊平台預作準備：

✓ 二氧化碳可以被貯存在地底層嗎？

現已有好幾個計畫貯存了數百萬噸的二氧化碳於地底下，還有更多的計畫正在進行中。石油和天然氣公司利用油田及氣油將二氧化碳貯存於地質深層，已擁有數十年的經驗——一項被稱為 EOR 的技術。這些經驗的成功為貯存廣大數量的二氧化碳的潛在可行性提供了相當的根基——是安全且有保障的。在工業規模上為了減少二氧化碳排放而使用 CCS 技術，包括應用既有且廣泛套用於數個產業的技術（像是肥料製造及油品的生產）。

把 CO₂ 注入油氣層、煤層提高油氣採收率的方法(CO₂-EOR、CO₂-EGR[Enhanced Gas Recovery]、CO₂-ECBM)，因其在提高石油、天然氣和煤層氣採收率的同時，又能使一部分 CO₂ 永久地埋存於地下，實現油氣增產和 CO₂ 減排的雙贏效果，而成為當今 CO₂ 減排最具潛力的現實選擇。CO₂-EOR 方法適用於油田開發晚期，通過把 CO₂ 注入到比較穩定的油藏，一般可提高油藏採收率達 10%~15%；另外把 CO₂ 注入到氣田中，實施 CO₂-EGR。一方面，接近枯竭的氣田在沒有地下水入侵之前具有巨大的貯存能力，為 CO₂ 提供巨大的埋存空間；另一方面注入 CO₂ 後，使地層重新增壓保持儲層中原始的壓力，可以保持儲層的完整性和安全性。同時，原有的油氣圈可作為良好的埋存箱能有效地防止 CO₂ 洩漏，使部分 CO₂ 能永久地埋存於地下。此外，也可以把 CO₂ 注入到煤層中，實施 CO₂-ECBM，利用煤層對 CO₂ 和煤層氣（主要為甲烷）吸附能力的差異，實現 CO₂ 排替 CH₄，提高 CH₄ 的採收率。

✓ 對於全球暖化，CCS 能為其做什麼？

聯合國跨政府氣候變遷小組(IPCC)提出聲明，CCS 在這個世紀將有助於減少二氧化碳排放（配合其他技術，像是再生能源和提昇能源效率等）。在每一個案例中，CCS 因為可減少二氧化碳排放將近四分之一，而對全球暖化的控制做出貢獻。

✓ 要如何從工業活動捕捉二氧化碳呢？

CCS 包括在燃燒碳化氫（像是天然氣和石油）所產生的二氧化碳進入大氣層前，將其捕捉；並且封存於地底不確定的岩石深層。若是應用於廣大且穩定的二氧化碳來源（例如：發電廠和鋼鐵工業），CCS 是最具成本效率且能控制一半以上的人為排放二氧化碳。二氧化碳可以在碳化氫燃燒期間或前、後的時間點捕捉，這樣的技術已經在很多的產業廣泛地運用（例如天然氣生產和肥料製造）。以下探討三種捕捉二氧化碳的方法—應用於天然氣發電廠。

燃燒前捕捉是先將燃料於反應槽中以蒸氣(steam)、空氣或氧氣氣化產生合成氣(CO 和 H₂)，再於第二反應槽(shift reactor)進一步將 CO 與水氣反應生成 CO₂ 及更多的 H₂，再將 CO₂ 分離，屬於高 CO₂ 濃度(40-60%) 及高壓(at 15-40 bar or 950 psi)

富氧燃燒是先從空氣中分離出高純度氧氣(95-99%)，燃料於純氧燃燒產生高濃度 CO₂ (> 80%)及水蒸氣，部份燃燒後的煙氣(主要為 CO₂ 及 H₂O) 需冷卻及循環回送至燃燒室，以降低火燄溫度，將煙氣中的 H₂O 冷凝去除，壓縮 CO₂ 以方便輸送

燃料與空氣於鍋爐中燃燒，再由鍋爐排放的煙道廢氣中分離 CO₂，屬於低壓(約 1bar)，低濃度 CO₂ (3-15 vol %); 後燃燒技術應用於目前大型燃煤發電廠，例如粉煤發電廠(PC)，現有燃燒後的 CO₂ 捕捉技術包括吸收(absorption)、吸附(adsorption)、冷凝(cryogenics)及薄膜(membranes)，其中以化學吸收劑(如醇氨)發展較為成熟，已有商業化的技術，但其缺點是較為耗能、溶劑耗損及設備腐蝕等問題

選在燃燒前捕捉二氧化碳 (pre-combustion)，其中一個優點是這個技術可以把氫從碳化氫燃料中分離出來。氫是一種「潔淨」能源，它在燃燒時只會產生水。另一種可能性是配合生質能源運用 CCS 技術(像是 crop residues，農作殘餘物)。樹木從大氣層裡捕捉二氧化碳(藉由光合作用)，但是當它們枯死或被砍伐後，大部分的二氧化碳又會重新回到大氣層裡。捕捉和地質封存從燃燒生質燃料所產生的二氧化碳，正與現今的石

化燃料經濟處於一個對立的地位—永久從大氣層中捕捉二氧化碳且將其封存於地底深層。

✓ 關於發電廠二氧化碳的減量績效

經過精心設計的研究指出，現有發電技術可以將煤中 85-95%的碳，以二氧化碳的形式捕捉起來，其餘則釋放到大氣中。未來，那些價格最低、又能延緩氣候變遷的煤轉換技術，將成為主流，。使用傳統「煤粉蒸汽循環」(Pulverised fuel)與新式「複循環發電技術」(IGCC)的電廠，不但效率有差異性，惟 IGCC, slurry feed 因水份含量多所以發電效率只有 38%。但由於每個樣式的電廠所採用的 CCS 方法完全不同。IGCC 電廠就二氧化碳的捕捉來說就比 PF 消耗較少的能源，這是因為在 IGCC 內二氧化碳的分壓較高，所以就可以減少能量於物理上的捕捉。

在燃燒後二氧化碳捕捉方面，一個標準的電廠，但是在平常的大氣壓下於鍋爐中燃燒煤礦。煤燃燒產生的熱把水變成蒸汽，使蒸汽渦輪機運轉，產生的機械能再透過發電機轉換成電。現代的電廠中，燃燒產生的廢氣會再通過其他設備，去除硫與氮的顆粒及氧化物，最後才經由煙函排入大氣中。

在去除一般污染物後，這類蒸汽發電廠產生的廢氣可再抽出二氧化碳。但由於廢氣中絕大部份是氮(這是在空氣中燃燒的結果；空氣本身含有 80 % 的氮)，二氧化碳在廢氣中所佔濃度和分壓都很低，這也表示移除二氧化碳時，必須處理的是比二氧化碳更大量的廢氣，而且捕捉到的二氧化碳還要被壓縮，才以管線運到適當的封存地點，這樣的處理方式既耗能又昂貴。

在 IGCC 系統則不燃燒煤，而是讓煤在與空氣隔絕的高壓氣化爐中，與有限的氧氣和蒸汽一同作用，進行部份氧化。這個氣化過程的產物為合成氣，成份主要是一氧化碳與氫，並不含氮。在目前的方法中，IGCC 的操作會從合成氣中去除大部份的一般污染物，再加以燃燒，使燃氣渦輪與蒸汽渦輪運轉，這部份稱為複合式循環。

在設有捕捉二氧化碳程序的 IGCC 電廠中，合成氣離開氣化爐 經過

冷卻並去除粒子之後，會與蒸汽作用，產生主成份為二氧化碳和氫的混合氣體。接著二氧化碳被抽取出來，經過乾燥及壓縮，然後運送到封存處。剩餘富含氫的氣體，則會在複合式循環設備中燃燒以產生電力。

所以雖然就目前來說，會釋出二氧化碳的 IGCC 發電比煤粉蒸汽發電稍微昂貴一些，對 CCS 而言，IGCC 卻似乎是最有效率且最不昂貴的選擇。

✓ 二氧化碳要貯存於地下何處呢？

二氧化碳封存的區域包含貧化油田、枯竭氣田、地下鹽水層、深煤層和海洋。在每種類型中，CO₂ 的地質封存都將其壓縮液注入地下岩層構造中。最好的地質條件是開採後且廢棄的油田、氣田及較深的鹽井。這些地質於地底有好幾層超過一公里的多孔隙岩層（像是砂岩），其上有一層不具滲透性的岩層（較為人所知的是頂蓋層，cap-rock 如頁岩層），如同做了密封的動作。在這些油田和氣田的例子裡，就是頂蓋層將石油和天然氣密封於地底下長達幾百萬年。

枯竭的油田和氣田是貯存二氧化碳的最佳地點，因為它們的地質條件是人們所熟知的並且是已經證實的儲油 / 氣地質構造。

深層的鹽水層就是多孔隙的岩層，其孔隙充滿了非常鹹的水（比海水還鹹）。鹽水層存在於地表大部分的區域，且為二氧化碳貯存提供了相當大的空間。現在對於鹽水層的地質研究還不及油、氣田，所以還需要更多的工作以便瞭解哪一種地質對二氧化碳貯存是最適合的。砂岩是二氧化碳封存最理想的地質選擇。

許多天然的二氧化碳貯存地質條件已經在地底下被發現（通常是伴隨人們尋找石油和天然氣時的發現）。在許多案例裡，二氧化碳已經存在那些地方有數百萬年的時間了；在其他情況（火山、噴泉等），二氧化碳會自然地從地底下洩漏。的確，長久以來當寶貝裝成瓶的飲用水如天然氣泡礦泉水，來源即是天然的二氧化碳。若是我們可以釐清為什麼有一些岩層構造能夠永久地貯存二氧化碳，而其他的卻不行，這樣的瞭解將可幫助我們選擇和管理封存場址，以使洩漏的可能性降至最低。

✓ 為甚麼二氧化碳可以被留在地底下？

當二氧化碳注入地下深層，二氧化碳將被更高的壓力加壓變成液體，然後就可以儲存於岩粒間的孔隙中。根據岩層和流體的物理和化學性質做調整後，全部或是部分的儲存機制將具可行性。結構上的貯存有著立即的效果，其他方式會花些時間，但提供更高的貯存安全性。若二氧化碳停留在地層的時間愈長，它的貯存安全性就會愈高。

✓ **結構貯存(Structural Storage)**

當二氧化碳注入地下深層，其最初的浮力會比水高，藉著多孔隙的岩層漸漸上升，直到接觸地質結構的最高處；到了這個階段，二氧化碳會被不具滲透性的頂蓋層所捕捉，例如：頁岩。已鑽探過的油、氣井，為了貯存二氧化碳可以用鋼鐵和水泥做成的遮蓋物來密封。在阿爾及利亞 Salah Methane 天然氣公司的一項發電計畫，每年將有 100 萬噸的二氧化碳（相當於 25 萬輛車的排放量）貯存於枯竭的油田。天然氣來自深層的地質結構裡，甲烷和二氧化碳的混合氣體。當天然氣到達了地表，便會分離成甲烷（會用管道引到電廠來發電）和二氧化碳（會被注回深層地層來貯存）。頂蓋層將天然氣封存於岩層數百萬年，同樣地也可將液態二氧化碳封存於地底下的貯藏庫。

✓ **殘餘貯存(Residual Storage)**

儲藏的岩層如同密封的、堅硬的海綿。在海綿裡的空氣經切割貯存起來，且海綿通常必須擠壓好幾次以使水替換空氣。當液態二氧化碳注入岩層時，大部分的氣體在岩層的孔隙中凝固並且不再移動。這便是所謂的殘餘貯存。

✓ **溶解貯存(Dissolution Storage)**

二氧化碳溶解於鹽水中，就像是糖溶解於茶。含有二氧化碳的水會比不含二氧化碳的水還重，所以「碳酸水」會下沈到岩層的底部，二氧化碳因此永遠地被儲存起來了。

✓ **礦化貯存(Mineral Storage)**

二氧化碳溶於鹽水使水質成為微酸性，並且與岩層周遭的圍岩礦化反應，形成新的礦物，就像是披覆在岩層上的外衣（就像貝類動物從海

水裡利用鈣和碳來形成牠們的殼 - 碳酸鈣)。這樣的過程可以進行得非常迅速或者緩慢(根據岩層和水的化學性質)並且有效的把二氧化碳鑲在岩層裡。

✓ 什麼地方才稱得上是好的貯存場址？

根據現今已知的資訊，用來貯存二氧化碳的最佳岩層區。全球所有的人為二氧化碳排放量，據統計每年約為 240 億噸。

✓ 為甚麼二氧化碳地質貯存會發生在現在？

好幾個大規模的地質封存計畫已經上路，而且還有更多計畫正在紙上作業。進行中和構思中的二氧化碳封存計畫的地點，業者主要考量方向主要還量以二氧化碳來提高油、氣田重新開採可能性，同時亦說明 CCS 的潛在價值於開採貧泛油田或枯竭氣田的成本上，已足夠讓現有業者有足夠的獲利空間。

✓ 二氧化碳地質貯存的未來發展趨勢為何？

一項位於加州的 CCS 計畫，這項計畫使用石油焦(petroleum coke)所產生的氫氣來生產低碳電力；並且將最後產生的二氧化碳貯存於鄰近的油田。該計畫將生產 500MW 的低碳電力(已足夠提供 30 多萬用戶的用電)，計劃於 2012 年開始商轉。

✓ 貯存二氧化碳之區域，目前已知的監測方法有那些？

無論是何種二氧化碳捕捉和封存方式，未來滲漏的可能性依舊存在，為了使二氧化碳洩漏的可能性降至最低，潛在的封存場址必須仔細地選擇和管理。一旦二氧化碳已經放置於封存場址，這些油、氣井必須密封以確保二氧化碳保存完好。所以監測方法的評估與完善的封存地點管理是很重要的，而目前所知之監測方法如下：

1. 用表面和地下水位之間的地下水和土壤進行採樣，以檢測出二氧化碳之滲漏。
2. 反覆的震測以跟蹤二氧化碳的地下流動。
3. 依不同的貯存區域，量測注入速度及注入的壓力以避免過大的壓力使二氧化碳滲漏。

4. 藉由偵測岩層構造的震波（由地震所引起的）、電磁、重力量測密度的改變。

✓ 關於封存後二氧化碳滲漏的觀點

封存的緩慢滲漏對 CCS 政策的影響程度取決於分析中所採用的假設。針對非永久封存問題的研究可採用不同的途徑，亦延後排放的價值、某個特定情境的成本最小化與保持一大氣壓氣體濃度穩定的情況下允許的未來排放。簡單的說相同的封存量在達 100 年之久其保存量達 90-99% 或其保存量達 60-80%，在實質上其封存二氧化碳的價值就不同，畢竟二氧化碳慢慢滲出而進入大氣；長期而言，這會使 CCS 的成效大打折扣。因此要實施 CCS 前一定要設定一個可接受的滲漏比例，二氧化碳減量值的交易才會有實質上的意義。

四、 美國未來電廠場址選擇

美國未來電廠(FutureGen)計畫是設計、建造(或修造)和營運的第一個以燃煤、近乎零排放的電廠名為 FutureGen，是政府、企業界共同出資的計畫。 FutureGen 電廠是以燃煤生產電和氫，並作碳捕捉和永久地封存二氧化碳(CO₂)於一個深層地質構造中。在 2005 年 12 月 2 日，美國能源部與 FutureGen 工業聯盟公司合作簽訂一個主導 FutureGen 的選址過程及設施概念設計。

聯盟實施了一個周延地、結構化的、公開的、互相競爭的選址過程來符合 FutureGen 計畫的目標。這個過程包含了嚴謹的候選場址評估計畫書，聯盟和能源部接受了四個候選場址是經由嚴謹的評估、充分的證明、考慮 12 個提案的結果。在研究中可能主持 FutureGen 計畫設施的四個候選場址分別位於馬屯(Mattoon，伊利諾伊州); Tuscola (伊利諾伊州); Jewett，德州(也斟酌了 Brazos 的心臟區); 及傲德薩(Odessa)，德州。

為了符合美國環境保護政策行動，能源部準備了一份草稿和審查結論評估建造和營運 FutureGen 計畫在這四個場址中的每一個的環境影響評估(EIS)報告。在最後的 EIS，能源部闡明了首選的是提供財務援助給 FutureGen 計畫而目前為止四個場址都是可接受的候選場址。聯盟期待在不久的將來，能源部能發布決定性紀錄的聲明，聯盟將實施且證實四個場址中的首選場址。聯盟也會實施能源部決定性紀錄聲明指定的緩和措施。

經過四候選場址單獨地和與互相比較優、缺點和廣泛的回顧與評估之後，聯盟選擇了 FutureGen 設施地點為 Mattoon 場址，靜待能源部的決定性紀錄報告。當然聯盟相信所有候選場址都是可接受的且為 FutureGen 計畫提供重大好處，聯盟相信 Mattoon 場址會提供如下許多好處：

- Mattoon 場址擁護者能提供清楚的法定權利給電廠場址，包括二氧化碳注入場址，導致最小的土地所有權風險。
- 場址二氧化碳注入消失及其後的需求、遠離場址的二氧化碳管道、減少資本和營運成本等，當然也包括在二氧化碳注入和封存方面仍提供電廠綜合化的良好測試。這個場址不僅提供營運和建造費用綜合化效率 - 減少成本和員工要求。

- 在同一個場址的發電和注入，公共頻道播送和教育機會是額外的。
- 在美國山西蒙地質地層注入人為的二氧化碳是地方發展的和眾所皆知的最重要地質貯存庫。
- 提供多種密封封印(seals) 封住厚實的地質注入地層、多種厚實的覆蓋和低滲透性地層和缺乏滲透到主要或次要封印，能永續地減少地質風險。
- 有從二廢水處理廠來的安全水源，當與一個本地水庫建築和營運結合，將保證充分供水到電廠。
- 場址是在州際公路附近便於連接到主要水路以提供機會建築場址設施。
- 有非常強的團體支持在 Mattoon 的 FutureGen 計畫及社區。
- 盡力改進場址的具體環境、緩和措施及潛在的影響從光、噪音和氣味使得電廠與周邊地區更具兼容性。
- 在這個場址有潛在、自給自足的既有電廠可營運，由於電廠計畫的收支潛力和 FutureGen 電廠計畫的低營業成本的雙重好潛力。

從平衡的總成本、聯繫的財政風險、其他風險和好處例如法律問題、水問題、地質情況、隔離封存機會、建築問題和環境問題而言，Mattoon 會是完成整體計畫使命的最佳地區。

五、 台電公司二氧化碳捕捉與儲存技術研發

台電公司身為國內主要電力供應者，對於溫室氣體管制之努力責無旁貸，但是以國營事業的角色，必須依據國家能源政策，配合未來電力需求之成長，提出電源開發方案。為展現對溫室效應議題之重視，以及因應在各開發計畫中環評委員所提出有關溫室氣體管制之疑慮及建議，在兼顧能源安全、環境永續及經濟發展三項前提之下研擬可行之溫室氣體整體管制策略，並說明規劃之期程與相關行動方案。

二氧化碳是燃燒的必然產物，目前尚無商業化可行之回收或控制技術，我國在無碳與低碳能源的發展受到限制的情況下，為維持穩定的電力供應，仍須由火力發電彌補供電缺口，而所增加的二氧化碳依本策略之管制，相對於全國能源會議前所規劃之電源開發方案將有顯著相對的減量效益，並且得以彰顯、強化台電公司對溫室氣體管理之能力與誠意。惟考量現況與台電公司所承受各類限制因素，未來將隨國內、外發展情勢及國家政策之變動予以修訂，例如核能政策檢討、溫室氣體減量法公告實施及二氧化碳控制技術成熟等。

台電公司目前積極推動相關技術研發工作，包含淨煤發電技術、二氧化碳捕捉與儲存技術，及新能源發電科技都是台電公司持續投入努力並與國際合作學習之方向。台電公司目前除持續進行二氧化碳捕捉與再利用之研究外，並參與美國電力研究院（EPRI）與日本中央電力研究（CRIEPI）之二氧化碳捕捉與回收技術發展研究計畫。短期內先評估可行性後參與政府主導推動研發地下封存相關技術、持續觀察國際間 IGCC 發展及引進之可行性；未來技術成熟時則期盼能興建低碳排放之燃煤電廠。

台電公司深知再生能源、低碳能源、以及新能源的使用有助於經濟成長與二氧化碳排放脫鉤，目前進行研究之計畫包括氢能貯存、燃料電池、太陽能（含太陽光電）、生質能及風能預測，未來將持續投入經費，參考先進國家加速再生能源設置及開發之作法，評估其在我國實施之可能性及方式。

六、 參考文獻

1. IPCC, 2005 IPCC special report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by working group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L.A. Meyer (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp. Available in full at www.ipcc.ch
2. APEC, 2005 CO2 Storage Prospectivity of Selected Sedimentary Basins in the Region of China and South East Asia. Asia Pacific Economic Cooperation / ICTPL (on behalf of CO2CRC)- Assessment of Geological Storage Potential of Carbon Dioxide in the APEC Region - Phase 1. 231 pp.
3. USDOENETL, 2007 Carbon Sequestration Technology and Program Plan 2007 - Ensuring the Future of Fossil Energy Systems through the Successful Deployment of Carbon Capture and Storage Technologies. USDOE-NETL, 47pp.
4. USDOENETL, 2008 Agenda of Seventh Annual Conference On Carbon Capture & Sequestration. Pittsburgh, Pennsylvania, USDOE-NETL
5. Paul-Emmanuel Just, 2008 Integrated SO2 Control and CO2 Capture in a Coal Fired Power Plant. Seventh Annual Conference On Carbon Capture & Sequestration. Pittsburgh, Pennsylvania, USDOE-NETL
6. UNFCCC, 2007 Carbon dioxide capture and storage in geological formations as clean development mechanism project activities. FCCC/SBSTA/2007/L.19
7. Futuregen Industrial Alliance, Inc., 2007 Final Site Selection Report. Futuregen Industrial Alliance, Inc. 26pp.
8. 台灣電力公司, 2008 溫室氣體管制策略說帖。台灣電力公司工安環保處, 14pp.

伍、心得

第一次碳封存會議是在 2001 年舉行，主要是由國家能源技術實驗室和能源部（DOE）其他資助計畫下工程師和科學家之間的交流經驗與訊息分享。第二次會議是在 2003 年舉行的，並隨後舉行了年會。在當時，美國總統布希推出了政府當局的氣候變遷科學計畫；他指示能源部建立一個政府性的氣候變遷技術計畫，配合科學的積極性工作以技術來減少溫室氣體的排放量。美國總統還邀請了國際社會的專家參與美國發展碳捕捉、分離和封存技術，期待已開發國家和新興經濟國家合作利用其龐大的石化資源，並致力減少碳排放強度。美國雖非京都議定書之簽約國，但對 CCS 技術卻是上總統、參議院，下至地方市長、縣官、民眾都非常重視的議題，可見 CCS 技術的發展是何等的重要。

此次有幸參與美國能源部國家能源技術實驗室主辦的「第七屆碳捕捉及封存年會」研討會，獲取許多相關技資訊，並與美加地區產官學專家會面，聽取許多有關 CCS 技術目前研發、監測及規章等，以後公司應多安排同仁多加參與。

二氧化碳捕捉和封存將為全球暖化議題提供一部份關鍵的解答，其中必要的技術已經在石油和天然氣工業應用了 40 多年—在今日應用於證實 CCS 技術是可行的。因此 CCS 技術在未來 2020 年將商業化運用在二氧化碳減排上，並扮演著極重要的角色。然而 CCS 技術是相對較新的觀念，因此在大部分的法律和法令裡（包括國際間和當地的），目前尚未建立具體的規範。

當 CCS 計畫在法規上和商業上都是可行的時候，企業便會進行投資。為了 CCS 技術未來可以在大範圍的領域上運用，當下所要做的便是為 CCS 技術建構合適的規範以及商業架構。

行政院已公布「永續能源政策綱領」，其政策目標以「能源、環保與經濟」三贏為主軸，台電公司宜及早密切注意國際發展 CCS 技術以茲因應。另美國 FutureGen 計畫係設計一座以燃煤、近乎零排放的電廠，目前其發電成本至少提高 60~80%，未來技術成熟可能僅提高 20~40%。

美國考慮將 CO₂ 捕捉封存在鹽水(岩)地層，台灣欲找到此種地層區的機

會不大，似應以構造封閉地質地層區及砂岩頁岩互層區作優先考量。若以成本誘因可考量改良式再產油(EOR)或天然氣時，可優先考量新竹外海 CBK(長康)構造天然氣區及高雄外海(F 構造)、鹿港外海等構造區域，詳細參考 2005 年 APEC 會議之台西海盆及台南海盆。

台電公司綜合研究所已研提 2008~2010 年(三年期)「離岸海底地下層儲存二氧化碳技術之可行性」計畫，可透過與國外相關研究單位計畫合作交流的方式，例如：日本中央電力研究所(Central Research Institute of Electric Power Industry; CRIEPI)或美國電力研究院(Electric Power Research Institute; EPRI)，期能達成地下層封存二氧化碳相關技術資料(包括：儲存場址的篩選標準依據、二氧化碳注入技術和二氧化碳監測技術等)的蒐集和建立，作為二氧化碳封存議題的因應與對策參考。

陸、結論與建議

- 一、 石化燃料永續利用之關鍵為二氧化碳捕捉與封存技術之突破，IPCC 將公佈二氧化碳封存政策、技術、相關法令與作法，可預見未來台灣大型排放源之二氧化碳亦將跟隨世界潮流。峇里島會議「碳捕捉與貯存」獲取碳信用額度雖未獲進展，誠信「碳捕捉與貯存」未來將成為最有效的減量方式之一，且各國皆積極的發展，預料於 2020 年可達商業化。
- 二、 從此次參與研討會的單位及研究的範疇，台電公司應及早從事「碳捕捉及封存」技術之規劃、研究、彙報，未來可考慮多與其他國家專家學者、公司作有關「碳捕捉及封存」的技術交流，掌握國研究動態。
- 三、 「碳捕捉及封存」技術整合了化學、化工、地質、地球物理、海洋、環工、法學、生態等方面專門知識領域，宜早建立「碳捕捉及封存」資訊平台，供公司內有關人員使用。
- 四、 「碳捕捉及封存」有關環評方面的考量應即早瞭解，尤其是有關貯存場址的場址準則、場址篩選、監測技術等環評事項。
- 五、 「碳貯存(Storage)、隔離(Isolation)及封存(Sequestration)」不陸地(Terrestrial)處置或離岸的場址，均須針對選址、地質、洩漏等審慎考量。
- 六、 可多派員參與類似「碳捕捉及封存」技術研討會方面的會議，並與國內學術界合作共同進行「碳捕捉及封存」技術研究，並與國際接軌。