

出國報告（出國類別：開會）

出席 2008 年空氣污染控制大型研討會
(MEGA Symposium)

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 8 月 23 日至 97 年 8 月 30 日

報告日期：97 年 10 月 24 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：出席 2008 年空氣污染控制大型研討會(MEGA Symposium)

頁數 66 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 8 月 23 日至 97 年 8 月 30 日 出國地區：美國

報告日期：97 年 10 月 24 日

分類號/目

關鍵詞：空氣污染物、溫室氣體、減量法

內容摘要：(二百至三百字)

此次出席美國馬里蘭州巴爾的摩市舉辦 2008 年第七屆國際大型(MEGA)研討會，係為瞭解美國解決電廠鍋爐方面空氣污染物有關的問題；本會由美國能源部(DOE)/國家能源技術實驗室(NETL)、電力科學研究院(EPRI)、美國環境保護署(EPA)、空氣及廢物管理協會(A&WMA)共同主辦，研討會中展示了最新發展及營運經驗，讓與會者瞭解美國如何以完善的方法，減少火力電廠鍋爐排放硫氧化物、氮氧化物、粒狀物、汞和有毒物質等空氣污染物的排放量。2008 年也重點研討二氧化碳排放量的減量技術。台電公司派員參與此盛會可與各廠家互相交換意見、經驗分享，以獲取更多有關的技術資訊瞭解，如最新的空污技術及環保管方法，俾利台電公司未來新機組與既有設施空氣污染防治規劃和措施改善之參考。

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	3
參、研討會主要議程	4
肆、電廠空氣污染物控制技術的發展	20
一、碳管理技術	20
二、汞控制技術	26
三、氮氧化物控制技術	31
四、硫氧化物控制技術	35
五、粒狀污染物控制技術	42
六、多種污染物控制	44
七、煤炭副產物的運用	47
八、台電公司空氣污染物控制技術研發	49
九、參考文獻	54
伍、燃煤鍋爐汞排放控制技術評估	55
陸、心得	60
柒、結論與建議	65

圖 目

	頁次
圖 1 EPRI 分析各技術達成可減少 CO ₂ 排放之減量圖	8
圖 2 歷年氮氧化物排放改善績效均值圖	51
圖 3 歷年硫氧化物排放改善績效均值圖	52
圖 4 歷年粒狀污染物排放改善績效均值圖	53
圖 5 不同添加劑對燃煤鍋爐汞去除率研究	59

表 目

表 1 燃煤鍋爐汞之控制技術總表	56
表 2 燃煤鍋爐汞排放濃度分析(燃燒東部地區煙煤)	58

壹、出國緣起與任務

行政院院會於 97 年 6 月 5 日通過「永續能源政策綱領」。此一政策綱領的落實與執行，則有賴四項法案的立法與修訂：「溫室氣體減量法」（建構溫室氣體減量能力並進行實質減量）；「再生能源發展條例」（發展潔淨能源）；「能源稅條例」（反應能源外部成本）；「能源管理法」（有效推動節能措施）。

在部門別的節能減碳措施上，針對產業部門，該綱領提出的政策方向如下：

- (1) 單位產值碳排放密集度於 2025 年下降 30%以上。
- (2) 核配企業碳排放額度，賦予減碳責任，促使企業加強推動節能減碳產銷系統。
- (3) 輔導中小企業提高節能減碳能力，建立誘因措施及管理機制，鼓勵清潔生產應用。
- (4) 獎勵推廣節能減碳及再生能源等綠色能源產業，創造新的能源經濟。

在配套措施中，並且提出：規劃碳權交易及設置減碳基金，輔導產業以「造林植草」或其他減碳節能方案取得減量額度；推動參與國際減碳機制，透過國際合作加強我國減量能量。該綱領並且針對政府部門的節能減碳措施，要求：政策規劃應具有「碳中和 (Carbon Neutral)」概念，以預防、預警和篩選原則進行碳管理。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，在依循行政院於 97 年 6 月 5 日通過「永續能源政策綱領」之「能源、環保、與經濟」之政策目標及「二高（高效率、高價值）二低（低排放、低依賴）」政策原則下，已研擬可行之溫室氣體整體減量方案，加以執行，有關成效謹供社會大眾參考了解。

另台電公司長程須考量未來火力發電如何朝「零污染」發展能源安全能通過增加潔淨燃煤及近程既有機組的污染防治設備如何進一步改善，俾提供優質的電力給國人使用，建立台電公司良好的形象。

回顧一下美國能源部所推動的淨煤計畫即是建造一個無污染、「零」排放 (zero-emission) 的未來火力電廠。為了石化燃料仍是人類未來主要能源之一，從美國能源部實驗室及試驗場址的技術發展來看，將可能實際完成一「零」排放且以燃煤為主的火力發電廠，這在以後的十年之內絕對是可以見到的事實。

美國朝向「零」排放的火力發電發展也已開始了一段很長的時間，大約有 50 年的

歷史。煤炭技術演變主要是要有更好的方法來更新較老電廠及新電廠所面臨的環境問題，這些努力有許多是成功的，諸如：排煙脫硫系統(吸收系統) 開發符合除硫的排放標準；低氮氧化物 (NO_x)燃燒器和燃燒後觸媒的設備幫助了發電廠符合氮氧化物排放標準；且屬於粒狀污染物的捕捉設備達到了令人驚訝的情形—在火力電廠煙氣收集微粒能有的 99.9%效率。在最近三十年間，美國境內的空氣品質變得更加乾淨，主要是因為新技術的發展、有效的新環境法規及低防治成本之故。近年來美國環境保護署(EPA)估計空氣污染下降超過百分之五十，而經濟幾乎成長了 190%，且火力發電廠中煤的使用增加幾乎三倍。

20 世紀 70、80 和 90 年代這些技術革新已漸漸的適應了。但是在 21 世紀，要求又改變了，新的關注包括煤炭的汞排放和 PM_{2.5} 及大氣中二氧化碳濃度上升等議題，因此我們更得考慮石化能源使用後對環境長期的衝擊。

同時，美國所需要的能源繼續增加。今天，煤炭供應火力發電大約為美國電力的 50%；沒有它，美國不可能承受當前的經濟壓力。

幾年來新的工程學概念已開發了煤炭轉換為潔淨能源的技術，象徵潔淨電源世代的完整新方案已漸趨成熟了，例如 IGCC, IGFG 與燃料電池，現在是成熟了。另碳捕捉和封存的新技術顯示也可防止溫室氣體進入大氣。

此次有幸出席在美國馬里蘭州巴爾的摩市所舉辦的 2008 年 MEGA 研討會，瞭解美國解決燃煤電廠空氣污染物有關的問題；由美國能源部(DOE)/國家能源技術實驗室(NETL)、電力科學研究院(EPRI)、美國環境保護署(EPA)、空氣及廢物管理協會(A&WMA)聯合主辦，此次研討會展示了最新發展及營運經驗，讓與會者瞭解美國如何以完善的方法，從火力電廠減少硫氧化物、氮氧化物、粒狀污染物、汞和有毒物質的排放量。此外，也重點提出二氧化碳的減排議題。台電公司參與此盛會並與各廠家互相交換意見、經驗分享，以獲取更多有關的技術資訊，對台電公司未來新機組與既有設施空氣污染防治規劃和改善有所助益。

貳、出國行程

一、8月23日至8月24日：路程，台北→美國洛山磯→巴爾的摩。

二、8月25日至8月28日參加美國馬里蘭州—巴爾的摩舉辦的出席2008年空氣污染控制研討會(MEGA Symposium)。

三、8月28日至8月30日：返程，美國巴爾的摩→洛山磯→台北。

此次研討會與美國能源部2002年所創立的淨煤發電倡議行動(Clean Coal Power Initiative, CCPI)是有相當的意義；淨煤發電倡議行動是一次在美國政府與產業之間合作夥伴，共同開發和展示先進的燃煤發電技術，共同成本分攤(cost-shared)，構造成國家級競爭，以回應美國布希總統承諾10年間投資20億元美金於新一代潔淨的燃煤技術。CCPI的使命是要加速規劃、保證先進的技術，使美國有潔淨、可靠及低成本的電力行動。

在那時，新技術已從公營和私人部門湧現出研發成果。改善粉煤燃燒器設計、更好的煙氣防治系統、更高性能的渦輪機、和降低燃料電池成本等為例，皆顯示了降低排放的諾言和促進燃料的效率。前衛的技術產生了神經網絡和智慧型經營管理的新控制系統，能「微調(fine-tune)」燃燒過程的尖峰效率、減少空氣排放和降低營運成本。

也從最近主要潔淨煤炭技術的競爭發展，更加嚴密訂定了環境標準，大多數直接影響了燃煤發電廠。例如，已調控燃煤電廠第一時間的汞排放；國家空氣品質標準已修訂減少空氣中懸浮粒子的標準；及新法規減少臭氧的區域傳輸，現在更要求許多公用事業進一步減少氮氧化物的排放。而且，部會管理已提出了潔淨天空倡議行動(CSI)，明白的要求15年後二氧化硫、氮氧化物和汞減少排放70%，在美國國家歷史中為最積極的環境倡議行動。

未來 CCPI 競爭比賽的策略—淨煤辦公室策略計畫構想未來幾回合 CCPI 競爭比賽會越來越強調最尖端的技術。例如，不只是減少單一污染物的排放，而未來污染控制計畫將鼓勵結合多種污染物控制「包裹」技術能達到最低的成本。其餘的競爭比賽是也強調改善燃料使用和電力產生效率的先進技術，以減少溫室氣體排放、或者由碳捕捉和封存、或者兩個以上的組合。

參、研討會主要議程

今年的研討會政策方針專題演講是由 Robert Meyers(美國環保署空氣和輻射辦公室副助理署長)、Joseph P. Strakey(美國能源部國家能源技術實驗室首席技術官員)及 John Novak(電力科學院[EPR]執行董事，聯邦和產業活動、環境和世代部門)來主講，茲敘述分別摘要如下：

Robert Meyers 在會中強調了 2005 年 3 月美國環保署公布了定案的潔淨空氣跨州條例(Clean Air Interstate Rule, CAIR)和潔淨空氣除汞條例 (Clean Air Mercury Rule, CAMR)。美國環保署自 1990 年空氣清潔法案修正以來，已要求電廠要削減空氣污染物之排放量，即削減二氧化硫 73%和氮氧化物 61%，為東部各州符合新的聯邦空氣品質標準的主要依循；同時，其也影響了美國東部 28 州，且各州均積極採取行動，來保護公眾的健康與衛生。

潔淨空氣跨州條例對保護公眾健康和環境的重點是：在 2015 年之前，在保健福利 CAIR 將提撥 850~1,000 億元美金費用，用於包括解除民眾呼吸道疾病、防止酸雨、削減汞排放、幫助清淨湖泊和小河流。亦即 CAIR 將會大量地削減電廠排放二氧化硫和氮氧化物。並制定新的、更加嚴密的國家空氣品質標準(national ambient air quality standards, NAAQS)幫助各城市和各州抑制臭氧和微粒物質的排放以保證公眾健康衛生和環境的永續。

華盛頓特區巡迴法庭 2008 年 7 月 11 日決定，雖然美國地區法院維護了美國環保署制定法規的努力，但法院取消了此條例：主要是 CAIR 無法有效消滅跨州污染的紛爭問題" CAIR 只保證整個區域重大貢獻將消滅...但是環保署不行使它的[法律]義務，除非它...達到可測量禁止'在州境之內'來源的目標；從造成無法達到或干涉維護'在其他州境內' ..."。" 環保署不解釋它為什麼沒有協調最後的 CAIR 最後期限提供保護..."的一個充足的水準；" 環保署'什麼概念是一'公平政府的方法去達到'不是在宗旨第 110 部分(a) (2) (D) (i) (I)之中... "。"我們必須取消 CAIR 因為很少將'生存送回在任何事物接近一可認定的形式'...。沒有相當數量修補與規則或校正解釋將變換 CAIR，如寫成可接受的規則..."。

因此 CAIR 退出的衝擊，使跨州境排放交易計畫(cap and trade programs)在空氣清潔法案(Clean Air Act, CAA)下的未來前途，增添了不確定性。EPA 和各州將需要再評估依賴 CAIR 保證國家執行計畫(state implementation plans, SIPs)的

排放減量是否可達到滿足 CAA 的要求。其中污染物轉移的管理職責也是產業複評的主要項目。

清潔空氣汞條例(CAMR)，要求燃煤電廠汞的排放要大幅地減少，意欲提高 CAIR 的效益。2005 年從電廠排放的汞大約是 48 噸；2018 年 CAMR 排放交易是 15 噸。CAIR 和 CAMR 將會使美國東北部有效地減少 80%汞排放量。

在 CAMR 的可能的下一步，司法部(Department of Justice, DOJ) 請求複審正式華盛頓特區(D.C.)聯邦法院的上訴。法院拒絕了這個要求複審。美國環保署考慮是否訴請最高法院的調卷令(certiorari)其最後期限是 9 月 17 日。

除非有一個不同的結果達到法院...，CAMR 的排放交易計畫去減少汞排放量從電廠實際上不再排放。EPA 必須公布特定性能的設施標準去減少從電廠排放汞和其他有害的空氣污染物。直到這樣標準定訂，新的電廠標準是逐案(case-by-case)的設定標準及排放許可去減少汞和其他有害空氣污染物的排放量。CAMR 系統說不定是明年開始作電廠汞排放量的連續監測。

在空氣清潔法案下溫室氣體的法規：2008 年 3 月 27 日－ EPA 署長給國會的信件宣佈 EPA 的第一步對 2007 年 4 月最高法院判決作出回應；2008 年 7 月 11 日－EPA 署長簽署事先通知擬議的規則 (Advance Notice of Proposed Rulemaking, ANPR)，出版在 7 月 29 日的聯邦公報，將往最高法院作上訴請願，得到更加寬廣美好的前途，探索許多固定式和移動源的可能法規和 CAA 涵義的相關部分，對國會的訊息，因為它研發氣候變遷的立法－將懇求大眾回應和適當的互聯相關訊息和；最佳可利用的科學與發現瀕臨危害生物物種有關；EPA 的第一反應對移動源和各種固定源規則訂定。

Joseph P. Strakey 在此次研討會演講了“煤炭－改進環境控制技術”，NETL 電廠環境控制技術的 RD&D 計畫進展，目前已完成汞控制技術規劃：超過 4,400 萬瓩燃煤機組已對 Hg 控制技術的全方位活性碳注入(activated carbon injection, ACI)系統下訂單，包括約 3,300 萬瓩是既有機組更新，1,100 萬瓩是新電廠；8 個 ACI 系統(約 275 萬瓩)；100 燃煤機組(包括 2 處加拿大設施)；技術或功能表現或法規問題保留、酸氣或 SO₃ 干擾、煤炭副產物利用衝擊、通過 FGD 除塵器的汞再排放、增加粒狀污染物濃度、高溫汞捕捉、袋式集塵器衝擊等，2008 年 2 月 8 日，美國華盛頓特區聯邦上訴法院發布一個決定作廢 CAMR。

在未來能源策略複雜性及能源策略的相互關係的結果下，二氧化碳捕捉與封存對美國煤炭有 250 年的儲存量及淨煤發電倡議行動至關重要。CCS(carbon capture and storage)設施所需成本？政策情境：在 2015 年至 2030 年，碳稅每公噸 30 元美金，40GW 新燃煤發電廠(IGCC)裝有 CCS 設施。100GW 既有燃煤發電廠(PC)更新備有 CCS 設施，而 CCS 設施費用相當於降低淨發電量 3,000 萬瓩。新的電廠額外增加成本為 1,400 億元美金（以 2007 年金錢計價，隔夜費用，建造期間用資金津貼(Allowance for Funds Used During Construction, AFUDC)，每瓩 3,500 元美金，其中每瓩 970 元美金是歸於 CCS 設施），CCS 設施部分佔 400 億元美金既有機組。CCS 設施的更新成本為 950 億元美金。置換為 IGCC 電廠失去 3,000 萬瓩的裝置容量計損失 1,050 億元美金。上述總計為 2,400 億元美金。

零排放燃煤技術關鍵性挑戰和計畫回應，減少碳捕捉和貯存的成本，在發電成本 [cost of electricity, COE](新電廠)增加小於 10%，發電成本(既有電廠)增加小於 35%。技術已證明貯存非常大量的二氧化碳是可行的、安全的和永久的貯存在深層地質結構，但後續仍須解決橫跨美國的適用性，研發法規和法律體系、研發或測試監視、緩和和驗證 (Monitoring, Mitigation, and Verification, MM&V)技術、最佳方法、公眾認可等問題。

能源部燃煤研究發展及展示(RD&D)計畫之煤炭計畫/碳捕捉封存(CCS)目標 (2012)：90%二氧化碳捕捉、99%永久性貯存、發電成本[COE] (新電廠－預燃捕捉)增加小於 10%、COE (既有電廠－燃燒後和氧燃料燃燒)增加小於 35%、±30%貯存容量。2008 財政年資助總計 5.35 億元美金，包括碳封存方面約 1.20 億元美金、既有電廠方面約 3,600 萬元美金、煤炭氣化方面約 5,400 萬元美金、渦輪機方面約 2,400 萬元美金、燃料電池方面約 5,600 萬元美金、燃料方面約 2,500 萬元美金、先進的研究方面約 3,800 萬元美金、FutureGen 約 7,500 萬元美金、淨煤發電倡議行動約 7,000 萬元美金、國會直接計畫約 3,700 萬元美金。

至於相關法規管理方面，由 EPA 擔任主導角色，EPA & DOE 組成工作團隊，並於 2005 年 5 月發布州際石油與天然氣聯盟委員會(Interstate Oil and Gas Compact Commission, IOGCC)綱要，2007 年 9 月發布 IOGCC 法規綱要，2008 年 7 月 EPA 發布了提議地質封存的規則在安全飲用水法案(Safe Drinking Water Act)之下 (Underground Injection Control, UIC 地下注入控制計畫)。

新的倡議行動－既有電廠的二氧化碳捕捉計畫中，燃煤電廠將繼續控制主要的二氧化碳排放量。在 2008 年，既有電廠的創新 (The Innovations for Existing Plants, IEP) 研究發展計畫轉變到二氧化碳捕捉方面，如發布的資助機會公告(Funding Opportunity Announcement, FOA)專注於既有電廠的後燃燒捕捉，氧燃料燃燒和化學環技術有 15 個計畫(約 3,600 萬元美金)。

John Novak 在此次研討會演講 “電力減少二氧化碳排放－全部的組合”

他介紹電力減少二氧化碳排放宗旨…必須先答覆三個問題由大家一起思考：

1. 什麼是減少美國電力部門 CO₂ 排放量的技術潛力?
2. 什麼是減少電力部門 CO₂ 排放量的關鍵性技術挑戰?
3. 什麼是減少美國電力部門 CO₂ 排放量的技術策略與經濟衝擊?

他也提及此方面的技術規劃目標及展望：他舉例分析如下：

技 術	2007 年 EIA 基本案例	EPRI 分析目標
效率(Efficiency)	負載成長每年約+1.5%	負載成長每年約+1.1%
再生能源(Renewables)	2030 年 0.3 億瓩	2030 年 0.7 億瓩
核能(Nuclear Generation)	2030 年 0.125 億瓩	2030 年 0.64 億瓩
進階燃煤發電(Advanced Coal Generation)	沒有既有電廠升級 2020 - 2030 年 40% 新電廠效率	1.50 億瓩電廠升級 2020 年 46%新電廠效率; 2030 年 49%
碳捕捉與貯存(Carbon Capture and Storage, CCS)	無	寬廣可用的和規劃的 暫 2020 年以後
插入式混合電動車 Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV)	無	2017 年 10% 的新電動車銷售; 之後每年+2%
能源配比(Distributed Energy Resources, DER) (including distributed solar)	在2030年基載< 0.1%	在2030年基載為5%

上述達到效率目標的好處可減少碳排放由下圖表示：

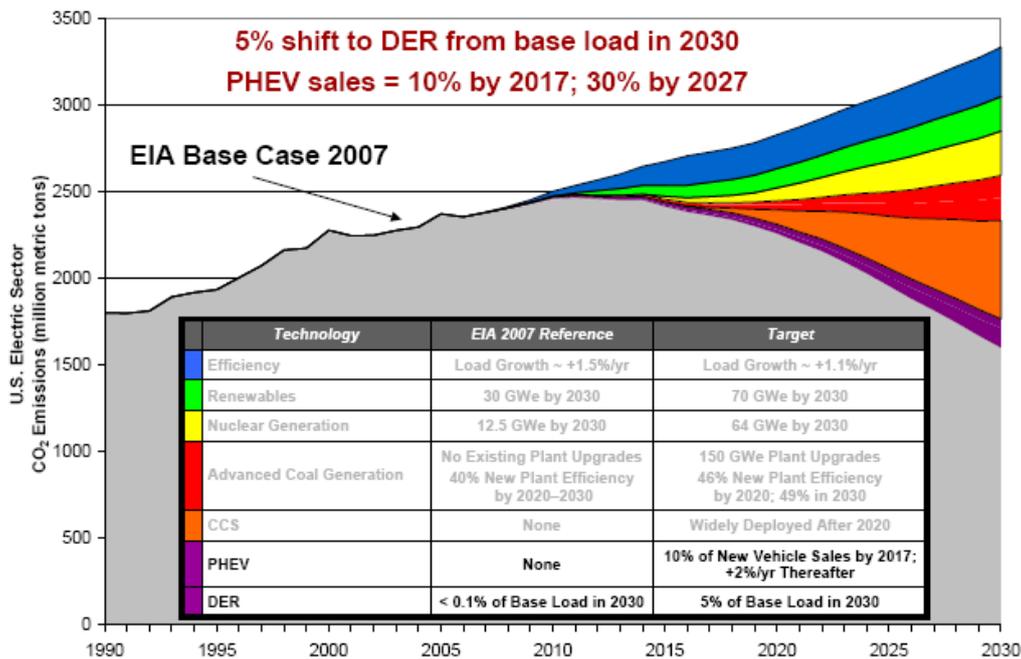


圖 1 EPRI 分析各技術達成可減少 CO₂ 排放之減量圖

技術研討分組會議議程大致如下：

2008 年 8 月 25 日(星期一)

會議 1：碳管理技術

1. 全球性氣候變遷：電業挑戰

F. Princiotta, USEPA, Research Triangle Park, NC.

2. 粉煤電廠的碳捕捉：DOE/NETL 研究發展計畫

T. Fout, DOE/NETL, Morgantown, WV; T. Feeley, H. Pennline, S. Plasynski, DOE/NETL, Pittsburgh, PA; A. Jones, SAIC, Pittsburgh, PA.

3. 氟石公司低成本氨煙氣添加技術用於燃煤電廠的二氧化碳

S. Reddy, Fluor Enterprises, Inc, Aliso Viejo, CA; D. Johnson, Fluor Enterprises, Inc, Greenville, SC.

4. 三菱重工業有限公司的二氧化碳捕捉技術從燃煤廠鍋爐的煙氣示範測試

S. Holton, Mitsubishi Heavy Industries America, Inc., Austin, TX; M. Iijima, S. Iwasaki, Mitsubishi Heavy Industries, Yokohama, Japan.

5. 在燃煤電廠整合二氧化硫控制和二氧化碳捕捉
C. Ryan, Cansolv Technologies Inc, Montreal, QC, Canada.
6. 氨基二氧化碳捕捉測試與多污染物控制技術
C. McLarnon, Powerspan Corp., Portsmouth, NH; M. Jones, FirstEnergy Corp., Akron, OH.
7. 在 AEP 的登山家發電廠的 AEP & Alstom 的冷氨碳捕捉產品檢驗設施
D. Muraskin, S. Black, M. Cage, ALSTOM Power, Inc., Knoxville, TN; G. Spitznogle, M. Hammond, B. Sherrick, American Electric Power, Columbus, OH.
8. 既有燃煤電廠煙氣中二氧化碳移除的「乾式碳酸鹽」吸附劑技術
T. Nelson, D. Green, R. Gupta, RTI International, Research Triangle Park, NC; W. Jozewicz, ARCADIS U.S., Inc., Research Triangle Park, NC; N. Hutson, United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
9. 既有燃煤電廠的新二氧化碳吸附劑實驗室和現場試驗的結果
H. Krutka, S. Sjostrom, J. Bustard, ADA-ES, Inc., Littleton, CO.
10. 觸媒二氧化碳回收(CCR)技術
J. Ralston, E. Fareid, Recycle CO₂ RCO₂ Inc., Kingport, TN.
11. 既有發電廠的氧燃料燃燒式樣更新
K. Tigges, F. Klauke, C. Bergins, Hitachi Power Europe GmbH, Duisburg, Germany;
S. Wu, O. Walchuk, A. Kukoski, Hitachi Power Systems America, Ltd, Basking Ridge, NJ.

2008 年 8 月 26 日(星期二)

會議 2：汞：概要和基於排煙脫硫的控制

1. DOE/NETL 汞控制技術研究發展計畫－採商業地產概念技術
T. Feeley, L. Brickett, DOE/NETL, Pittsburgh, PA; B. O'Palko, DOE/NETL, Morgantown, WV; A. Jones, SAIC, Pittsburgh, PA.
2. 電廠控制汞排放的近程和長程選擇
R. Chang, EPRI, Palo Alto, CA.
3. SCR/濕式排脫硫汞雙重好處之改善- 5,000 呎示範測試

- S. Honjo, B. Welliver, T. Shinoda, Mitsubishi Heavy Industries America, Inc., Austin, TX; Y. Nakayama, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Yokohama, Japan; S. Okino, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Hiroshima, Japan; N. Irvin, M. Berry, Southern Company Generation, Birmingham, AL; T. Hastings, Cormetech, Inc., Durham, NC.
4. 由 SCR 觸媒作汞氧化作用的小規模研究
C. Dene, A. Jimenez, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA; A. Freeman Sibley, Southern Company Generation, Birmingham, AL; W. Hinton, W. S. Hinton & Associates, Gulf Breeze, FL.
5. 汞移除的先導型研究在 CT-121 的濕式排煙脫硫過程
S. Kido, D. Takeda, A. Kumagai, Chiyoda Corporation, Yokohama, Japan; P. Mehta, M. Amick, Black & Veatch Corporation, Overland Park, KS; J. Irvin, C. Tyree, Southern Company, Birmingham, AL.
6. 氧化觸媒的全方位示範改進濕式排煙脫硫的汞控制
G. Blythe, URS Corporation, Austin, TX; B. Freeman, EPRI, Palo Alto, CA; C. Miller, US DOE-NETL, Pittsburgh, PA; J. Madrid, LCRA, Austin, TX.
7. 氮衝擊的評估對汞氧化作用在一先導型燃煤室－混煤作用
S. Serre, C. Lee, US EPA, Research Triangle Park, NC; T. Hastings, Cormetech, Inc., Durham, NC; P. Chu, EPRI, Palo Alto, CA.
8. 濕式排煙脫硫副產物的汞成分現場研究
M. Richardson, G. Blythe, URS Corporation, Austin, TX; R. Rhudy, EPRI, Palo Alto, CA.

會議 3：氮氧化物的聯合控制

1. 運用計算流體動力學模式的最佳化燃燒
B. King, Burns & McDonnell, Kansas City, MO; M. Welch, Otter Tail Power Company, Fergus Falls, MN.
2. 運用燃燒器燃氣比控制的燃煤機組的氮氧化物減量
D. Earley, Combustion Technologies Corporation, Apex, NC; B. Kirkenir, Progress Energy, Raleigh, NC.

3. 現場操作—低氮氧化物燃燒爐達到轉下 5:1 燃氣比

J. Vatsky, J. Shan, T. Larson, Siemens Environmental Systems & Services, Pluckemin, NJ; P. O'Kane, Tarong Energy Operations, Nanango QLD, Australia; W. Dongping, Ligang Power Station, Jiangsu Ligang Electric Power Company, Ligang town Jiangyin Jiangsu, China.

會議 4 : 汞 : 吸附劑

1. 活化碳注入系統的商業營運經驗

J. Mooney, J. Jaeckels, Alliant Energy, Madison, WI; T. Starns, ADA-ES, Inc., Littleton, CO.

2. 新一代西部粉煤電廠的汞控制

S. Finley, Colorado Energy Management, LLC, Denver, CO; J. Amrhein, T. Campbell, S. Sjostrom, ADA-ES, Inc., Littleton, CO; A. O'Palko, U.S. Department of Energy/NETL, Denver, CO.

3. 長期平衡電廠作用的評估於 SaskPower 公司的白楊樹河發電廠活化碳注入的汞控制結果

J. Pavlish, J. Thompson, L. Hamre, University of North Dakota, Grand Forks, ND; D. Smith, SaskPower, Regina, SK, Canada; L. Brickett, U.S. Department of Energy, Pittsburgh, PA; J. Burgess, Lignite Energy Council, Bismarck, ND.

4. 斯坦頓發電廠機組 1 和 10 的新汞吸附劑和平衡電廠衝擊的評估

G. Archer, S. Smokey, Great River Energy, Elk River, MN; K. Dombrowski, J. Padilla, C. Richardson, URS Corporation, Austin, TX; R. Chang, EPRI, Palo Alto, CA; K. Fisher, Apogee Scientific, Englewood, CA; L. Brickett, DOE-NETL, Morgantown, WV.

5. 汞減量在一瀝青燃煤機組吸附劑選擇測試

J. Russell, E. ten Siethoff, MPR Associates, Inc., Alexandria, VA; A. Shawl, C. Ash, RC Cape May Holdings, LLC, Beesley's Point, NJ.

6. 汞控制技術在燃煤鍋爐的汞控制-由 DOE/NETL 贊助的計畫總結

S. Kang, C. Edberg, R. Schrecengost, E. Rebula, ALSTOM Power Inc., Windsor, CT;

P. Noceti, DOE/NETL, Pittsburgh, PA.

會議 5 : 氮氧化物: SCR

1. 一高移除效率 SCR 系統的設計、安裝和啓動經驗

C. Erickson, Babcock Power Inc, Worcester, MA; S. Dean, B. Rogan, Mirant, Upper Marlboro, MD.

2. 聖約翰斯河電力公園發電廠 2 組 67 萬瓩 SCR 設計保證燃料靈活度

G. Smith, St Johns River Power Park, Jacksonville, FL; D. Fischer, Black & Veatch Corporation, Overland Park, KS; N. Roshia, J. Cochran, CERAM Environmental, Inc., Overland Park, KS; R. Branning, Tackticks, LLC, Jacksonville, FL; K. Robinson, Black & Veatch Corporation, Raleigh, NC; V. Rummenhohl, Tackticks, LLC, Durham, NC.

3. 在 DTE 能源公司大的粒狀飛灰屏幕設施

B. Jamar, Evonik Energy Services (formerly Steag LLC), Kings Mountain, NC; J. Brown, Detroit Edison, Monroe, MI.

4. 現場確定 SCR 反應器潛力

R. Smith, L. Muzio, FERC Co, Laguna Hills, CA; A. Sibley, K. Harrison, Southern Company Services, Birmingham, AL.

5. 估計 SCR 效率的現場氮氧化物測量

P. DeBarber, HORIBA Instruments, Inc., Irvine, CA; D. Dearmon, G. Starnes, EPRI, Harriman, TN; A. Hulen, TVA, Chattanooga, TN.

6. SCR 氮氧化物控制和熱風爐保護的硫酸氫氨(ABS)測量

C. Chothani, Breen Energy Solutions, Carnegie, PA; R. Morey, AES Cayuga LLC, Lansing, NY.

7. SCR 觸媒再生 – 10 年研究發展和商務應用

M. Ehrnschwender, Evonik Energy Services LLC, Kings Mountain, NC; A. Freeman, Southern Company, Birmingham, AL.

8. 結合 SCR 系統和最佳化的好處

R. Johnson, J. James, NeuCo, Inc., Boston, MA; J. Naberhaus, Plum Point Energy

Station, Dynege, Osceola, AK.

2008 年 8 月 27 日(星期三)

會議 6a : 汞： 吸附劑(續)

1. 高汞移除的選擇在 PRB 燃煤機組配備袋濾室集塵器重點在保有飛灰銷售
R. Dutton, J. Conn, Xcel Energy, Amarillo, TX; R. Chang, EPRI, Palo Alto, CA; J. Paradis, C. Richardson, URS Corporation, Austin, TX; S. Morrow, Xcel Energy, Earth, TX; R. Rosvold, Xcel Energy, Minneapolis, MN; K. Fisher, Apogee Scientific, Englewood, CO.
2. 啓動商業經驗用氣態溴化的汞吸附劑和注入系統硬體
R. Landreth, Sorbent Technologies Corporation, Twinsburg, OH; K. Wanninger, Midwest Generation, Chicago, IL.
3. 燃煤公用事業應用的 PAC 特性測試
J. Cichanowicz, Consultant, Saratoga, CA; R. Stewart, K. Baldrey, S. Sjostrom, J. Bustard, ADA-ES, Inc., Littleton, CO; R. Chang, EPRI, Palo Alto, CA; C. Richardson, J. Paradis, URS, Austin, TX; M. Rostam-Abadi, ISGS, Urbana, IL.
4. 本地 PAC 產品使用熱氧和公用事業供應的煤
L. Bool, Praxair, Tonawanda, NY; D. Smith, SaskPower, Regina, SK, Canada.

會議 6b : 汞： TOXECON 和其他結構

1. We Energies 公司汞和多污染物控制的 TOXECON™ 示範
S. Derenne, We Energies, Milwaukee, WI; R. Stewart, ADA-ES, Littleton, CO.
2. 保有灰銷售的 TOXECON II™ 和其他選擇
S. Sjostrom, T. Campbell, C. Sapp, ADA-ES, Inc., Littleton, CO; J. Hantz, C. Carmena, Entergy, Woodlands, TX; A. O'Palko, U.S. Department of Energy/NETL, Morgantown, WV; R. Chang, EPRI, Palo Alto, CA.
3. 從燃煤電廠煙道固定床吸附劑現場試驗的汞捕捉技術
T. Machalek, C. Richardson, J. Noblett, URS Corporation, Austin, TX; R. Chang, EPRI, Palo Alto, CA; B. Looney, M. Berry, B. Whittemore, Southern Company,

Birmingham, AL; R. Merritt, Randy Merritt Consulting, Birmingham, AL; W. Harrison, PCT Inc., Birmingham, AL.

會議 7 : 二氧化硫

1. 杜克能源公司－卡羅來納州的濕式排煙脫硫更新計畫：在馬歇爾和 Belews 河發電廠的營運

R. Laws, Duke Energy Carolinas, Charlotte, NC; E. Byers, Duke Energy-Carolinas, Walnut Cove, NC; J. Dopatka, R. Mardini, Alstom Power Environmental Control Systems, Knoxville, TN; J. McCarthy, Shaw Stone & Webster, Charlotte, NC.

2. 肯塔基州西部的能源科爾曼發電廠：用雙溢流盤吸收塔二年營運

M. Hoydick, Siemens Environmental Systems & Services, Pittsburgh, PA; D. Braunecker, Western Kentucky Energy, Louisville, KY.

3. Elektrownia Kozenice 發電廠 80 萬瓦五個鍋爐唯一排煙脫硫系統

T. Nakamoto, A. Katagawa, Babcock Hitachi, K.K., Kure, Japan; S. Mosch, T. Muramoto, Hitachi Power Systems America, Basking Ridge, NJ; M. Rozycki, Elektrownia Kozenice S.A., Kozenice, Poland.

4. 跟特(Ghent)機組 3 現代濕式排煙脫硫系統的安裝和啓動

M. Jasinski, C. Erickson, Babcock Power Inc., Worcester, MA; E. Saunders, E.ON US, Louisville, KY.

5. 排煙脫硫系統起泡沫－操作的問題和設計考慮

M. Hoydick, Siemens Environmental Systems & Services, Pittsburgh, PA; I. Brodsky, URS Washington Group, Philadelphia, PA; J. Smolenski, Tampa Electric Company, Tampa, FL; P. Kutzora, We Energies, Milwaukee, WI.

6. 噴射氣體曝氣環系統(JAS)的商務應用和發展更大的 JAS

J. Hashimoto, T. Nagayasu, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Yokohama, Japan; T. Shinoda, S. Sugita, Y. Nakayama, Mitsubishi Heavy Industries America, Inc., Austin, TX; K. Maki, Y. Tokunaga, Nippon Petroleum Refining Co., Ltd., Osaka, Japan.

7. 鋼筋混凝土濕式排煙脫硫吸收塔設施的設計、建造和許可

J. Murphy, J. Wiinkler, Siemens Environmental Systems & Services, Pittsburgh, PA; R.

Glaser, PPL Generation, LLC, Pittsburgh, PA.

會議 8 : 汞：添加劑和 SO₃ 對應措施

1. 燃煤鍋爐使用鹵素添加法的汞行為模式

C. Senior, A. Fry, B. Adams, Reaction Engineering International, Salt Lake City, UT.

2. 證實 Hg 控制的最佳選擇用 MercuRator™

S. Niksa, Y. Hou, Niksa Energy Associates LLC, Belmont, CA.

3. 燃煤公用事業鍋爐同時注入 HBr 和吸附劑(活性炭、飛灰或非碳吸附劑)的汞減量

Y. Cao, Q. Wang, J. Li, M. Cohron, W. Pan, Institute for Combustion Science and Environmental Technology, Western Kentucky University, Bowling Green, KY; E.

Morris, Pleasant Prairie Power Plant, We Energies, Pleasant Prairie, WI; S. Derenne, We Energies, Milwaukee, WI.

4. 溴化鈣注入平衡電廠的衝擊作為電廠中汞氧化技術

K. Dombrowski, C. Richardson, J. Paradis, URS Corporation, Austin, TX; R. Chang, EPRI, Palo Alto, CA.

5. 海灣電廠汞研究中心活性炭注入與 SO₃ 煙氣適應的測試

B. Looney, Southern Company, Birmingham, AL; W. Marchant, Particulate Control Technologies, Helena, AL; M. Tuck, Mississippi Power Company, Escatawpa, MS.

6. 紐蒙特礦業公司實驗電廠成本有效的汞控制系統

J. Brown, Fluor Corporation, Greenville, SC; J. Seeliger, Newmont Mining Corporation, Dunphy, NV; P. Williams, K. Redinger, S. Brown, B. Jankura, The Babcock & Wilcox Company, Barberton, OH.

7. 汞移除改進對 SO₃ 移除：先導型和全方位測試結果

J. Jarvis, S. Wells, URS Corporation, Austin, TX; J. Wilson, Southern Company Services, Birmingham, AL.

8. 汞控制用活性炭：從電廠排放高 SO₃ 的評估結果

T. Campbell, S. Sjostrom, M. Dillon, J. Bustard, P. Brignac, ADA-ES, Inc., Littleton, CO; P. Raichle, PSNH, Bow, NH; T. Orscheln, Ameren, St. Louis, MO; A. O'Palko, U.S. Department of Energy/NETL, Morgantown, WV; R. Chang, EPRI, Palo Alto,

CA.

會議 9 : 二氧化硫(續)

1. 排煙脫硫廢水的衝擊評估和管理

P. Chu, N. Goodman, EPRI, Palo Alto, CA; D. Fink, CH2M Hill, Oakland, CA; T. Higgins, CH2M Hill, Chantilly, VA; D. Wallschläger, Trent University, Peterborough, ON, Canada; D. Orr, G. Behrens, C. Braman, URS, Austin, TX; B. Park, MSE Technology Applications, Inc., Butte, MT.

2. 濕式排煙脫硫出口特性研究和他們除塵塔操作和廢水處理衝擊的初步結果

S. Winter, M. Sandell, M. Hoydick, J. Murphy, Siemens Environmental Systems & Services, Pittsburgh, PA.

3. 排煙脫硫清淨汽流的廢水處理

P. Kutzora, We Energies, Milwaukee, WI; K. Braunstein, Washington Division of URS Corporation, Princeton, NJ; M. Riffe, B. Heimbigner, Siemens Water Technologies Corp., Warrendale, PA.

4. Cholla 發電廠機組 4 的多污染物控制計畫

J. Jones, J. Mashek, Burns & McDonnell Engineering Company, Kansas City, MO; B. Gifford, Arizona Public Service Company, Phoenix, AZ.

5. 在燃煤公用事業鍋爐用天然鹼移除二氧化硫的測試和最佳化模式

M. Cremer, D. Wang, C. Senior, Reaction Engineering International, Salt Lake City, UT.

6. 低成本二氧化硫控制和 SO₃ 緩和的乾式吸附劑注入

K. Day, O'Brien & Gere, Greene, NY; D. Quenan, AES Somerset, LLC, Barker, NY.

2008 年 8 月 28 日(星期四)

會議 10 : SO₃

1. 在 AES 深水發電廠的 SO₃ 和微粒的緩和

R. Snyder, A. Silva, A. Morretti, D. Tonn, Babcock & Wilcox, Barberton, OH; S. Kumar, Babcock & Wilcox, Houston, TX; A. Lau, AES Deepwater, Houston, OH.

2. 對 SO₃ 緩和的排放

D. Tonn, A. Moretti, R. Snyder, Babcock & Wilcox, Barberton, OH; A. Lau, AES Deepwater, Pasadena, TX.

3. 超高的 SO₃ 移除：SBS Injection™ 作為對濕式靜電集塵器的一個選擇

S. Gray, URS Corporation, Austin, TX; M. Harpenau, Duke Energy, Owensville, IN; P. Copsey, Dayton Power & Light, Dayton, OH.

4. 氨注入控制 SO₃—對飛灰和排煙脫硫處理汽流有效率和次要衝擊

J. Smolenski, Tampa Electric Company, Tampa, FL.

5. 合格的天然鹼供應商與 AEP 的協議

D. Ritzenthaler, American Electric Power, Columbus, OH.

6. 下一代濕式靜電集塵器

H. Shah, J. Caine, Southern Environmental Inc., Pensacola, FL; R. Henningsgaard, Xcel Energy Co., Becker, MN.

7. 與 SO₃ 和硫酸露點線上測量的現場試驗

C. Lockert, Breen Energy Solutions, Carnegie, PA.

會議 11：多種污染物控制

1. Valmy 發電廠再生活化焦炭技術過程示範

C. Dene, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA; J. Gilbert, Sierra Pacific Resources, Valmy, NV; K. Jackson, Shaw Environmental and Infrastructure, Knoxville, TN; S. Miyagawa, J-Power EnTech Inc., Tokyo, Japan.

2. 為了多污染物控制作先進空氣品質管理系統的現場試驗

T. Nakamoto, H. Kikkawa, M. Iwatsuki, Y. Taguchi, Babcock Hitachi, K. K., Kure, Japan; S. Mosch, S. Wu, Hitachi Power Systems America, Basking Ridge, NJ; G. Mues, T. Orscheln, D. Harley, Ameren Services, St. Louis, MO.

3. 崖邊機組 6 整合空氣品質管理系統

G. McGinnis, Duke Energy, Charlotte, NC; P. Rader, R. Gansley, Alstom Power, Knoxville, TN.

4. Greenidge 多污染物控制計畫：從第一年操作的表現和費用結果

D. Connell, J. Locke, CONSOL Energy Inc., Research & Development, South Park, PA; D. Roll, AES Greenidge LLC, Dresden, NY; R. Abrams, R. Beittel, Babcock Power Environmental Inc., Worcester, MA; W. Huber, U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, Pittsburgh, PA.

5. 阿拉巴馬電力公司的加茲登電廠靛藍多污染物控制系統技術的先導型測試

R. Truce, R. Crynack, Indigo Technologies, Pittsburgh, PA; M. Berry, Southern Company, Birmingham, AL; R. Altman, EPRI, Chattanooga, TN.

6. 燃煤鍋爐更新的操作經驗與先進混合煤炭氣化爲了二氧化硫和氮氧化物排放控制和減少營運成本

K. Moore, Phenix Limited, LLC, Oxnard, CA; M. Giberson, Fernald Power Corp., Prunedale, CA; W. Ellison, Ellison Consultants, Monrovia, MD.

會議 12 : 粒狀污染物

1. 田納西谷管理局詹森維爾石化廠的靜電集塵器更新回顧和 SO₂ 減量

C. Deye, C. Layman, Alstom Power Inc., Knoxville, TN.

2. 高溫靜電集塵器先進的電源測試

B. Looney, M. Berry, Southern Company, Birmingham, AL; H. Herder, R. Guenther, NWL, Bordentown, NJ; J. Bunce, Alabama Power Company, Bucks, AL; R. Altman, EPRI, Chattanooga, TN.

3. SO₃ 吸附劑的作用對靜電集塵器功能表現

R. Altman, Electric Power Research Institute, Chattanooga, TN; J. Bionda, Clean Air Engineering, Pittsburgh, PA; D. Rhoades, Clean Air Engineering, Palatine, IL.

4. 矯正氣流分布技術發展對 CFD 模式使靜電集塵器中未燃碳再產生減到最小

V. Belba, BELBA & Associates, Boulder, CO; C. Martin, ADA-ES, Inc., Littleton, CO; C. Senior, J. Valentine, M. Cremer, Reaction Engineering International, Salt Lake City, UT; R. Altman, EPRI, Chattanooga, TN.

5. 阿拉巴馬電力公司 E.C.加斯頓蒸汽廠機組 2 和 3 的長程 COHPAC 袋室功能

K. Cushing, Southern Research Institute, Birmingham, AL; T. Grubb, Grubb Filtration Testing Services, Inc., Delran, NJ; B. Corina, Alabama Power Company, Birmingham,

AL; R. Chang, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA.

會議 13 : 煤炭燃燒產品

1. 溴添加法的作用對飛灰用於混凝土

L. Larrimore, M. Berry, Southern Company, Birmingham, AL; R. Chang, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA; A. Gallet, D. Been, S. Renfroe, Gallet & Associates, Birmingham, AL.

2. 汞吸附劑的衝擊對飛灰用途置換水泥

J. Paradis, K. Dombrowski, URS, Austin, TX; R. Chang, EPRI, Palo Alto, CA; B. Boggs, Headwaters, Taylorsville, GA; S. Kabis, LaFarge, Summit, MO.

3. Hg 控制技術的衝擊對 Hg、Ni、As、Se、Cd 和 Pb 從煤炭運用副產物的通路

A. Dahl, Frontier GeoSciences, Inc., Seattle, WA; C. Gilmour, Smithsonian Institute, Edgewater, MD; L. Brickett, USDOE-NETL, Pittsburgh, PA.

肆、電廠空氣污染物控制技術的發展

今天環境現況是經歷近四分之一世紀(250年)來的重大變化所呈現出來的。為此，美國將管制燃煤電廠的汞排放；發電廠的煙氣排放必須符合修改過的國家空氣品質標準(National Ambient Air Quality Standards)要求，對重要的氮氧化物、臭氧和微粒物質等減少排放；美國總統的 CSI 行動將建立更加嚴密的二氧化硫、氮氧化物和汞的排放限制。

IEP 計畫策略目標主要是使美國超過 3.2 億瓩發電廠有效地符合這些新的要求。脫穎而出的創新技術也將強化技術基礎，使得下一代燃煤電廠有更好的污染物控制系統，和產生的數據能提供重要的、合理的訊息給管理和政策決策者。

茲將此次與會的見聞有關分別以碳管理技術、汞控制技術、氮氧化物控制技術、硫氧化物控制技術、粒狀污染物控制技術、多種污染物控制、煤炭副產物的運用及台電公司空氣污染物控制技術研發方面稍加敘述於后：

一、 碳管理技術

所有可利用來減少溫室氣體累積在大氣中的方式中，碳封存(carbon sequestration)是一種選擇，不會要求大規模和潛在地對我們的能源基礎設施有重大的變動。

「碳封存」是許多方法中捕捉和永久地隔絕可能造成全球性氣候變遷的氣體。為經濟繁榮而依賴複雜、緊密結合能源系統、具碳封存潛力來提供低成本的轉折時候，一個無碳能源的未來，即將成為美國能源部最高優先研究的方案。淨煤計畫辦公室在 1997 年增加了「碳封存」研究細目及時程表。今日因為整合政府、產業在電廠或企業工廠的研究投資，引進捕捉二氧化碳的先進設備來顯示重大的承諾、低成本、還有更高的功能。首先使用儀器設備在野外測試二氧化碳注入到地質結構中的情況，且相同工作陸續在全球各地推展。新技術正已發展追蹤 CO₂ 貯存的命運及提高自然碳接收過程的效率。新穎的化學和生物概念轉換 CO₂ 到燃料或良性固體(benign solids)來顯示對未來的突破，正帶領我們進入一扣人心弦的新道路。

同時這些先進的技術根本地是改變了世界能源未來燃煤方式的觀點。在最近三十年，技術減少了燃煤中的污染物形成，此為一了不起的進步，雖然通常二氧化碳的釋出為燃煤的一個必然結果，但是今天這種思考正在改變。碳封存能真

實地導致無碳排放，使燃煤電廠成爲一個不會釋出有害氣體的電廠。

碳封存計畫的技術挑戰集中焦點在三種主要的工作：**核心研究、基礎設施發展、及技術整合**。

核心研究—爲了緩和 CO₂(和其他溫室氣體)核心 R& D 的實驗室、先導型電廠和野外工作，著重於發展新技術及新系統。它包括：CO₂分離和捕捉、存貯、監視、緩和驗證、突破觀念、及非二氧化碳溫室氣體(主要有甲烷和氮氧化物)控制。

碳分離和捕捉—在電廠和其他點源之二氧化碳封存以前，必須捕捉它成爲一相對純淨的氣體。既有的捕捉技術，無論如何，尙不是成本有效的適用於電廠。大多數電廠和其他大排放源使用空氣燃燒時，很大數量的氮氣會到廢氣(因爲空氣是 78%氮氣)中和稀釋 CO₂ 3~15 體積百分比，此對捕捉 CO₂ 是極端無效率。傳統的(氨基)捕捉技術是也極端的耗能，耗掉傳統燃煤電廠的輸出功率多達三分之一。以氧取代空氣燃燒煤，會產生高純度的 CO₂，但是生產的成本相當的高，故氧氣是一個主要障礙。煤炭氣化產生「合成氣」的二氧化碳體積高達 40 到 60 體積百分比，會使 CO₂ 捕捉更有效率，特別是如果低成本技術可以發展爲捕捉電廠所排放的 CO₂。

碳封存計畫研究者正探索各種潛在、更便宜、更有效的 CO₂ 捕捉方法，包括液態固體化學吸收劑、物理吸附劑、溶劑、膜、轉換爲含水物(如冰物質)，及這些方法的組合。

CO₂ 貯存 R& D—封存或貯存是定義 CO₂ 的安置入一自然發生的貯藏庫，這樣方式它將依然是隔絕了大氣上百至千年以上。貯存包括三種方式：地質的、陸地的和海洋封存。

地質封存如果持續研究和現場測試能保證它的環境是可接受的和安全的話，它可能是一個最爲近期封存的選擇。可能的地質貯存地層包括耗盡的油和天然氣田、不再開採的煤層和深層岩鹽層。爲證明二氧化碳不會從這些地層逃脫和游移至地表或污染飲用水源，上述是封存研究的一個關鍵性因素。

陸地封存—提高自然過程移除大氣中的 CO₂—也許是減少大氣 CO₂ 濃度—最成本有效的手段。造林及減少砍伐森林，此皆已努力進行中。適當地考量所有生態學、社會、和經濟意涵，是研究增加陸地封存速率的挑戰。

海洋封存還沒有被考慮為一可行的方法，主要是由於它對環境長期影響具不確定性，如封存是否有效，對海洋生態影響多大等。技術為將 CO₂ 直接注入到深海洋區。

監視、緩和和驗證 (MM&V) – 透過精確的技術和測量、驗證的儀器可將 CO₂ 安全地存放於地質地層或森林和土壤。而且，所有大規模封存營運將有能力查出 CO₂ 洩漏和游移在生態方面的損害，或不太可能發生洩漏事件。幾個技術挑戰存在，例如，如何精確定位從地質結構中偵測微小變化的洩漏；對 CO₂ 在大氣已經呈現的水準，必須發展且足以有效的保證 CO₂ 永久性貯存的驗證能力。**突破性概念** – 計畫追求革命性的封存方式，使有潛力、低成本、高功能及永久性、全球性容量的功能。模擬的過程本質上是找到那些特別的、感興趣的，主要是因為他們代表低能源路徑，且不要求純的、壓縮的 CO₂。

例子是光合作用、微生物學的轉換二氧化碳到甲烷和醋酸鹽、和礦物接收二氧化碳形成碳酸鹽。複製這些自然過程深富挑戰性。二氧化碳是很穩定的複合物包含非常低量的化學能，使自然轉換過程典型地慢和無效率可言。因此，R&D 目標是去改善二氧化碳轉換過程的速度、能源的有效率、產生高價值副產物、和能源系統上須要轉換二氧化碳的成本較少才是上策。

非二氧化碳溫室氣體控制 – 甲烷是比二氧化碳要多 20 倍的溫室效應氣體；因此，以整體氣候變遷緩和策略而言捕捉甲烷如同捕捉二氧化碳溫室氣體一樣重要。而且甲烷和其他溫室氣體可能有經濟價值，捕捉他們對環境和商業皆有利。由於煤礦和回填土是甲烷逃逸排放的主要來源，故碳封存計畫最初聚焦在礦坑通風系統游移的甲烷，和回填土氣體捕捉再生技術。美國能源部和環保署也認為煤氣是未來非二氧化碳溫室氣體控制的優先項目。

基礎設施發展 – 基礎設施的研發針對了未來碳封存和最終需要大規模的封存方法。故美國淨煤策略辦公室邀集國內外合作夥伴對全國性、全球性的封存基礎設施進行研究工作：

地區碳封存合作夥伴 – 地區合作夥伴已在美國範圍內及加拿大形成：(1) 建立地區二氧化碳來源和地槽的基準；(2) 辨認最有可能的地區特性封存技術及最有機會的場址；(3) 法規、環境和推廣的相關問題；(4) 發展適當的 MM&V 協定；及(5) 支持封存示範及規劃。在 2003 年 8 月 16 日，經能源部長部指名最初七個

地區碳封存合作夥伴後，今日合作夥伴包括超過 240 組織跨過 40 個州，3 個印第安國家，和 4 個加拿大省份。

碳封存領導論壇—在 2003 年 2 月 27 日，布希總統指定了能源部和創始州形成碳封存領導論壇 (Carbon Sequestration Leadership Forum, CSLF)。CSLF 是一個國際性組織聚焦於碳捕捉和貯存技術發展的氣候變遷倡議行動，以期長期穩定大氣中的溫室氣體水準。這倡議行動設計改善碳捕捉和貯存技術將通過 R&D 的協調與國際夥伴和私有企業合作。

技術整合—應該關心全球氣候變遷及努力持續作 R&D，以成功在 2020 年期限內完成燃煤電廠碳封存核心技術的研發工作。而不是碳捕捉和營運系統分開處理，它是一獨立設備—類似早期的空氣污染控制方式一樣，可更有效、更便宜的從設計起就整合封存技術在電廠裡。在淨煤策略辦公室，FutureGen 計畫的重點即為此種方式的首先型整合的先鋒工作。FutureGen 將是世界上第一個電廠合併碳封存如同一固有的煤炭轉變能源過程一樣。CO₂在 FutureGen 電廠將從煤炭氣化分離及捕捉，這為了永久的地質貯存。

以下是本次研討會各個碳管理技術發表的摘要，分述於下：

美國能源部國家能源技術實驗室(Department of Energy's National Energy Technology Laboratory, DOE/NETL) 1997 年創始了研究、發展和規劃(Research, Development, and Deployment, RD&D)從燃煤電廠研發經濟和技術上選擇減少二氧化碳(CO₂)排放的可行計畫。其中一個計畫目標是研發既有的和新燃煤電廠先進的二氧化碳捕捉技術，能達到 90%二氧化碳捕捉而能源服務費用的增加少於 35%。這些技術應該在 2020 年之前為商業規劃可用的技術。DOE/NETL 資助許多實驗室通過燃煤電廠的二氧化碳捕捉技術，提供很多費用和技術來改善氨基系統捕捉二氧化碳。後燃燒(post-combustion) RD&D 目前計畫細目包括先進的溶劑吸收、先進膜、固體吸附劑、金屬有機結構和離子液體。DOE/NETL 也贊助氧燃燒(oxy-combustion)和化學環(chemical looping)方面的研究。Fout T.等人(2008)在 DOE/NETL 的後燃燒和氧燃料燃燒 RD&D 的結果已提供一更新發展。Reddy S.和 Johnson D. (2008)認為氟石公司(Fluor)之經濟氨 FGSM 技術是從煙氣包含低壓氧氣移除二氧化碳的一個證實成本有效的處理製程。製程的商業規模已順利地展示了 20 年了。通過嚴謹實驗室和實地試驗，氟石公司曾增加幾

個改進的特點，進一步減少處理能源消耗。與經濟氨 FGSM 技術一樣，這些改進特點現在可利用於改進的經濟氨 FG PlusSM 技術。

在松島一個燃煤發電廠達到了>4,000 個小時的示範操作。Holton S. 等人(2008)先釐清了在污染防治設備系統中粒狀污染物、硫氧化物和氮氧化物的去除行為，且這些污染物如何影響氨溶劑，依據燃煤發電廠的測試結果證實 CO₂ 純化(純度達 99.9%)過程中受到煙氣雜質的影響。三菱重工業有限公司(Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., MHI)和關西電力公司 (Kansai Electric Power Co., KEPCO) 共同研發了一個後燃燒煙氣二氧化碳捕捉系統(稱之 KM-CDR 製程)，且證實 KM-CDR 製程可以用於燃煤煙氣的處理，以電廠裝置容量大小而言，每天可以處理數百至數千噸 CO₂。

Paul-Emmanuel Just 和 Devin Shaw(2008)認為康世富科技環保有限公司(Cansolv Technologies Inc. CTI)在再生氨氣吸收系統技術的設計和發展是世界的領導者。CTI 提供大氣污染控制的解決方案，可高效率的從各種的工業廢氣移除二氧化碳和二氧化硫。CANSOLV 二氧化硫捕捉商業製程證實為主導全世界的再生去硫氧化物(DeSO_x)處理，目前已有運轉中的九個機組採用 CANSOLV 二氧化碳捕捉製程且通過 6,000 多小時的商用先導型營運。它兼具捕捉二氧化硫的功能、溶劑穩定和低耗能的優點，保證它是減少溫室氣體的一個經濟製程。根據燃料的起源，從電廠鍋爐的二氧化硫排放濃度可以達到 3,000 ppmv。石灰石(Limestone)洗滌塔經常只能減到 35ppmv 的排放濃度，因而無法符合氨氣捕捉二氧化碳系統的二氧化硫規格。CANSOLV 研發了一技術針對二氧化碳和二氧化硫聯合的捕捉製程，這樣綜合化應用能減少耗能。這項突破技術建立一個在氧化環境下氨氣吸收系統下運作的新範例。

McLarnon C.和 Jones M.(2008)提及自 2004 年以來美國能源部國家能源技術實驗室(NETL)與力距公司(Powerspan)一道合作研究發展協議之下，已研發二氧化碳捕捉製程，稱為 ECO₂(2007 年期間第一能源公司[FirstEnergy]計劃在 R.E.漢堡電廠[R.E. Burger Plant] 使用 Powerspan 技術作捕捉二氧化碳先導型試驗，稱為 ECO₂)。在 2007 年 12 月力距公司宣佈它從 NETL 取得了一個完整專利的製程。於是舉辦廣泛的實驗室試驗，建立二氧化碳捕捉的有效製程和在 FirstEnergy 的 R.E.漢堡電廠創始了一個小規模先導型試驗計畫。在 2008 年開始 1 千瓩預定試

驗示範，將生產每天 20 噸準備好封存的二氧化碳。先導型試驗將展示通過與 ECO® 多污染物控制過程綜合化的二氧化碳捕捉。先導型計畫也將為商業規模碳捕捉和封存(CCS)示範計畫做好準備技術。

Muraskin D. 等人(2008)提及艾斯敦電力公司(Alstom)和美國電力公司共同參加二氧化碳(CO₂)捕捉在產品檢驗設施(Product Validation Facility)的安裝位於美國電力公司的登山家電廠(AEP's Mountaineer Power Plant)。登山家電廠安裝的二氧化碳捕捉技術是 Alstom 的冷氨處理過程；AEP 也與貝泰研究所(Battelle)一起研發一岩鹽層地質貯存系統。產品檢驗設施裝置容量約是 2 萬瓩(MWe)且包含一個現有燃煤鍋爐燃燒的煙氣脫硝處理。登山家電廠煙氣脫硝採選擇觸媒還原脫硝設備(selective catalytic reduction, SCR)，煙氣下游是濕式排煙脫硫(wet flue gas desulfurization, WFGD)系統。此計畫目前是工程設計階段與規範，包括二氧化碳捕捉、壓縮和貯存在電廠廠區的注入井源下的二個地質儲存庫。

Nelson T. 等人(2008)發表以碳酸鈉、二氧化碳和水之間的逆反應，從電廠煙氣再生濃縮二氧化碳。根據此已研發的製程，使用從自然氣體和煙氣作原型「乾式碳酸鹽製程」(Dry Carbonate Process)現場試驗。在測試期間，達到了大於 90% 的二氧化碳移除。系統暴露在煙氣中長達 230 個小時，煙氣的污染物沒有影響吸附劑的性能。經濟評估顯示「乾式碳酸鹽製程」的重大優點超過既有的技術。

Krutka H. 等人(2008)發表固體吸附劑的碳捕捉技術與其他二氧化碳捕捉技術的比較有許多潛在的好處，例如容易掌控、更大容量、再生的能源減少等等。ADA 公司(ADA - Environmental Solutions, ADA-ES, Inc.)完成了固體吸附劑捕捉二氧化碳的測試(模擬和實際煙氣)實驗室規模。測試了包括二氧化碳容量、再生潛力、反應性對其他煙氣組成部分和再生所必需的能耗。二氧化碳容量範圍從<1 wt %至>6 wt %。大多數吸附劑再生完全和適用於多循環使用。Krutka H. 等人比較幾種不同的吸附劑的吸附或再生特徵及討論技術的潛力。

Ralston J.和 Fareid E. (2008)已研發了從碳氫化合物燃燒導致的煙氣中回收二氧化碳的製程，且已申請到世界專利。二氧化碳觸媒轉換的二個有用的產品：甲烷和水，皆有市場價值。氧氣在這個製程中也會產生。生產的甲烷可以用來發電。這是回收二氧化碳的一個省能源製程。這個製程包括三個化學反應：甲烷的燃燒、產生水、和二氧化碳的加氫作用。

運用氧燃料燃燒的 CCS 技術能應用於新的和既有的燃煤電廠，它對鍋爐渦輪蒸汽循環沒有重要的影響。K. Tigges 等人(2008)認為在合法營運電廠中空氣點火模式下更新為氧燃料燃燒須修改電廠的全部流程設計。如果符合法規或市場條件需求下，此更新措施保證發電廠仍然能在空氣點火和氧燃料點火的情況下經營。這為電廠營運者提供額外的操作和商業好處且減少在電力部門實施新的、還未證實的作業流程等技術風險。

二、汞控制技術

汞控制—減少汞排放的 R&D 是重要的 IEP 計畫。美國總統提出的 CSI 立法和美國環保署的潔淨空氣汞條例(CAMR)認為目標 2018 年需要低成本的控制技術以符合嚴密的汞排放減量法。先進的研究是需要的，今日的保證是爲了明天這些技術已準備好。

在電廠煙道氣體，汞約佔十億分之一，對環境是一項的挑戰。汞釋出是一個或二個基本形式—如基本的氣態汞或是一固體氧化汞。氣態汞的捕捉是最困難的。當初級亞煙煤及褐煤(low-rank subbituminous and lignite coals)燃燒與煙煤(bituminous coals)相比，氣態汞比例相對地高。

煙氣中注入粉狀的活性碳來捕捉汞，已顯示是可行的技術，但是它仍處於早期階段，且在各種的情況(如燃料屬性、煙氣溫度和追蹤氣體組成)比較下，其處理費用是非常的高，包括每磅汞捕捉約須 50,000 到 70,000 元美金和電廠飛灰無法再利用的市場價格。

靜電集塵器、袋式集塵器或者煙氣除硫系統能捕捉固態汞、氧化汞顆粒或附著於吸附劑的汞，但是這些設備經常使汞轉換成蒸氣狀態、減少其有效率。

觸媒脫硝設備可轉換氣態汞爲固態氧化汞。IEP 計畫研究進行整合在濕式排煙脫硫或先進的粒狀污染物控制設備中捕捉氣態汞和氧化汞。至於鎂基鹼注入將研究作爲防止煙氣在更低溫形成酸的方法。

以下是本次研討會各個汞控制技術發表的摘要，分述於下：

DOE/NETL 與產業、研究組織和學術界一起研發燃煤電力系統先進的汞(Hg)控制技術。在過去七年，這研究集中焦點於近乎美國 50 個燃煤電廠的煙氣現場試驗活性碳注入(activated carbon injection, ACI)和排煙脫硫改進。現場試驗的目

標是展示在營運階段高效率的(50%到 90%) Hg 捕捉，而同時也是降低 Hg 移除的費用。現場試驗的計畫已順利地實現了這個目標。在 2008 年 4 月，約有 90 個 ACI 系統即將裝設在總計超過 4,400 萬瓩的燃煤發電廠。Feeley T.等人(2008)已提供一 DOE/NETL 的 Hg 控制技術 R&D 更新計畫，包括汞捕捉的費用評估。電力研究所(The Electric Power Research Institute, EPRI)和 IPP 電力公司嚴密地與美國能源部、污染控制供應商和工程顧問公司一起工作研發和評估燃煤電廠的汞控制技術。在過去十年 EPRI 已蒐集了許多電廠場址的包括各種的配置、營運條件和煤炭類型的測試數據。Chang R.和 Alto P. (2008)總結從各種試驗場址得到的現場數據，紀錄著汞控制技術和有效性、趨向、問題，且說明了汞控制技術和開發中更新技術目前成本的涵義。

海灣電力公司的汞研究中心展示了 5 千瓩的規模，經由選擇觸媒還原脫硝設備(SCR) 的氧化作用和排煙脫硫(FGD)捕捉的汞移除，包括再排放控制。宗旨是去展示三菱重工業有限公司(MHI)專利的汞移除處理和「混合(Hybrid)」系統。此技術包括 SCR 和 FGD 的程序控制的組合改進汞移除的雙重好處。HCl 注入 SCR 觸媒的煙氣上游，使用氮氧化物控制來增加元素汞(Hg⁰)的氧化作用。MHI 的煙氣下游濕式 FGD 技術，是公認的雙反應流洗滌塔(Double-Contact-Flow-Scrubber, DCFS)，移除氧化汞(Hg²⁺)。汞從 DCFS 再排放是最小化，係由吸收劑氧化-還原電位(Oxidation-Reduction Potential, ORP) 來控制，此控制係由氧化作用的空氣補充到 DCFS 的數量來調整。Honjo S.等人(2008)在海灣電力公司的 Crist 發電廠中，示範測試結果似乎指出「混合」系統能控制 Hg 排放到在 1 ug/m³N (合計)以下或大於 90%的移除。Honjo S.等人也認為在阿拉巴馬電力公司的米勒發電廠(Alabama Power's Miller Generating Plant) 進行 SCR 測試的結果，證實經由實際 PRB 燃煤煙氣的 SCR 觸媒 Hg 的氧化作用，是一有效的技術。

二個測試計畫由南方服務公司(Southern Company Services, Inc.)和電力科學院(EPRI) 舉辦，實施評估商用選擇觸媒還原脫硝設備(SCR) 觸媒的汞氧化作用行爲。測試計畫涵括使用二實驗設備設施、汞研究中心(Mercury Research Center, MRC)和 Gorgas SCR 先導型設施。在 MRC 的測試設計審查四種新的商用 SCR 觸媒之汞氧化作用行爲關於煙氣參數例如氯、溫度、氨和流速。在 Gorgas 設

施的測試審查二種不同觸媒類型或新的、半新的和再生的版本比較汞氧化作用行為。Dene C.等人(2008)從 MRC 的初步數據，煙氣中氨濃度可促進汞氧化作用，改進整體汞捕捉效率。

調查與氨注入有關顯示，去氮氧化物(deNOx) 作用高卻會降低汞氧化作用，且經由 SCR 高煙氣溫度和流速是對汞氧化作用是另一種不利的影響。在 Gorgas 電廠測試新的和再生觸媒間的汞氧化作用是没有明顯區別的，但用久的觸媒是會減少汞氧化作用。

濕式洗滌塔提供汞(Hg)控制的雙重好處。高效率的 Hg 移除，正如二氧化硫移除，須要求氣態種類的吸收，而吸收是須要水溶解度。從燃燒煤炭釋出的汞種類是與不同的煤炭類型有關。因為元素 Hg 是不溶解的，元素汞的氧化作用在洗滌塔系統之前是必要的。如果再排放 Hg⁰現象發生，即使 Hg²⁺在洗滌塔系統去除，它是不可能來控制總量汞。在海灣電力公司的汞研究中心(MRC) 安裝一個 2,000 呎等效於 CT-121 FGD 處理。FGD 製程位於選擇觸媒還原脫硝設備(SCR)和靜電集塵器(ESP)的下游。汞氧化作用經由 SCR 的觸媒和加溴來完成。煙氣上游汞氧化作用效率導致了 CT-121 洗滌塔有令人滿意的汞捕捉。Kido S. 等人(2008)認為 CT-121 過程的汞控制能力是由以下觀點加以討論：

➤ 實驗室規模測試

- 抑制 Hg⁰ 由吸收 SO₂ 的完全氧化作用的再排放。
- 抑制 Hg⁰ 由氯化物加法的再排放。

➤ 先導型小規模測試

- 使用 CT-121 處理 >95% 總汞控制與對煤炭加溴法的組合來示範；

➤ 商轉電廠規模

- 使用 CT-121 處理 >95% 總汞控制與 SCR 的組合來示範。

Blythe G.等人(2008)提出從科羅拉多河下游管理局 (the Lower Colorado River Authority, LCRA) 的飛亞特電力工程(Fayette Power Project, FPP)機組 3，示範 20 萬呎規模一低溫汞氧化觸媒的測試。示範由美國能源部國家能源技術實驗室(DOE-NETL)、EPRI、LCRA、田納西谷管理局(Tennessee Valley Authority, TVA)、大河能源公司(Great River Energy)、南方公司(Southern Company)、鹽河公用事業(Salt River Project, SRP)、NRG 能源公司、安大略電力公司(Ontario Power)、Westar

能源公司、Johnson Matthey 公司和優斯公司(URS Corporation)共同贊助。觸媒安裝在機組 3 靜電集塵器(EPS)的下游和二種運作模式的濕式排煙脫硫(FGD)模組之一的煙氣上游，機組 3 的額定淨發電約 46 萬瓩。觸媒氧化煙氣中的元素汞促進在煙氣下游濕式 FGD 系統的汞移除效率。測試結果包括經由觸媒的汞氧化作用、經由濕式 FGD 的汞移除來區別汞的種類和煙氣經由觸媒的壓降。比較「基線(baseline)」數據是由 FGD 模組 A 提供，為沒有安裝觸媒在煙氣上游。

燃煤電廠是汞(Hg)一個釋放到環境中的主要來源。從煤炭燃燒的排放(物種形成)在化學形式汞(Hg)種類之間對控制汞和環境命運的有強烈的影響。高溫煤炭燃燒過程中釋放 Hg 在元素形式(Hg⁰)。一大部分 Hg⁰ 在低溫、燃煤鍋爐的後燃燒環境下可以後續被氧化。相對 Hg⁰，氧化汞 (Hg²⁺) 移除由空氣污染控制系統(air pollution control systems, APCS)是更有效率。例如，在 FGD 機組溶於水 Hg²⁺ 比不能溶解的 Hg⁰ 更容易地捕捉。選擇觸媒還原脫硝設備(SCR)技術電廠廣泛用於減少氮氧化物排放，也影響在煤炭燃燒煙氣的 Hg 物種的形成。最近在美國舉辦的全方位實地試驗說明了經由有 SCR 觸媒的電廠燃用瀝青煤後在 Hg 氧化作用增加了，其硫(S)含量範圍從 1.0 到 3.9%。然而，粉末河域(Powder River Basin, PRB)燃用的亞煙煤比那些瀝青煤，顯著含更低的氮和硫(S)和更高的鈣(Ca)，經由 SCR 反應器在汞物種形成顯示非常少的變化。由 EPRI 舉辦的現場研究顯示混和 PRB 煤炭與瀝青煤(60% PRB/40% 瀝青)導致 Hg²⁺ 在 SCR 入口從 45% 到出口增加 93%。看來在 PRB 燃煤的 SCR 系統，煤炭混和是增加 Hg 氧化作用一種潛在地有效的方法。Serre S. 等人(2008)已承接研究調查混和 PRB 煤與東部瀝青煤的作用經由 SCR 觸媒在 Hg 物種的形成。在這個計畫，一個先導型規模 (1.2 MWt) 煤燃燒室配備氮氧化物控制的一台 SCR 反應器用於評估經由 SCR 觸媒混和煤在改進 Hg 氧化作用的成效。幾個參數例如 PRB/瀝青煤混合比率和在煙氣中鹵化氫(HCl, HBr, and HF)和鹵素(Cl₂ 和 Br₂)的濃度評估在典型的 SCR 氮氧化物排放控制條件下確定他們對 Hg⁰ 的氧化作用的成效。計畫的宗旨評估燃 PRB/瀝青煤混合的效率提高燃煤電廠具備 SCR 系統的汞氧化作用。

這個 EPRI 資助的計畫在 2004 年就已開始了，且有確定的宗旨在濕式 FGD 系統的固體副產物和液體之間如何控制汞成分的機制。這資訊是重要的，因為從

濕 FGD 系統它也許衝擊汞再排放的程度，且之後淨汞捕捉百分比，包括在固體副產物的汞含量例如用於板材品質用的石膏及在 FGD 廢水的汞含量。

此外，第一個商業設施為一個活性碳注入(ACI)系統之一，於 2008 年第一季在威斯康辛電力公司(Wisconsin Power and Light, WP&L)的邊水發電廠(Edgewater Generating Station)啓動且測試了。Edgewater 機組 5 是一 38 萬瓩電廠燃用 PRB 煤和配置低溫 ESP。ACI 注入系統在 Edgewater 發電廠的配置不是在空氣預熱器(air preheater, APH)上游而是在下游。Mooney J. 等人(2008)在最初的測試碳注入濃度來確定汞移除能力。二個不同粉狀活性碳(powdered activated carbon, PAC)類型加以評估，包括溴化的 PAC 和 PAC 設計使用在飛灰在混凝土製的應用。未來吸附劑改進測試亦在考慮內。對平衡電廠(balance-of-plant)的衝擊分析包括微粒排放和不透明和初步營運管理(O&M)費用，與 PAC 注入飛灰的利用效果一起評估。

汞控制示範在落磯山脈電力公司的哈丁發電廠(Rocky Mountain Power's Hardin Station)進行，由 DOE /NETL、ADA-ES, Inc.、及其他產業夥伴資金贊助。哈丁發電廠的裝置容量是 12.1 萬瓩、燃燒 PRB 煤炭和設置選擇性觸媒還原脫硝設備(SCR)的氮氧化物控制、二氧化硫控制的噴霧乾燥吸收塔(spray dryer absorber, SDA)和顆粒控制的脈動式濾袋集塵器(fabric filter, FF)。Hardin 被選為主場址，因為這種裝置是許多新的和既有電廠的代表，它燃燒 PRB 煤炭。當 2008 年 7 月，一長期示範已持續了五個月且顯示 90%汞移除可以維護在 1.5 和 2.0 lb/MMacf 之間的碳負載(粉狀活性碳之注入速率)。S. Finley 等人(2008)已提出有關參數和長期營運的結果。

Archer G. 等人(2008)作了全方位煙道噴注法(Dry Sorbent Injection) 汞移除測試在大河能源公司(Great River Energy)的斯坦頓發電廠(Stanton Station)機組 1 執行燃燒 PRB 煤炭和配備是一低溫的靜電集塵器(ESP)。從三個供應商(Calgon Carbon、BASF 和 Praxair)的新穎的吸附劑加以評估了汞移除的效率。Calgon 吸附劑是適合的飛灰活性碳。BASF 是一種礦物不含碳，而 Praxair 是一個新穎的氧氣過程生產的碳。六十天連續的溴化的碳(Norit Darco LH)注入測試橫跨機組 1 ESP 然後進行估計在汞移除功能的可變性和碳注入的作用在對 ESP 出口的顆粒排放。

2007年12月，大西洋城電力公司基本法英格蘭電力發廠(B. L. England [Beesley's Point] Generating Station)機組 2 測試了三種汞吸附劑功能與一東部瀝青煤的中等硫。測試的目的已顯示出這些競價的吸附劑能用於控制汞排放依紐澤西州汞控制要求和達到那個控制水準的營運成本。Russell J.等人(2008)討論使用 HOK Super™和 B-PACT™汞控制吸附劑來達成汞控制和煤炭選擇吸附劑的衝擊。

近幾年來艾斯敦電力公司(Alstom Power Inc.)順利地完成了設計的幾個 DOE/NETL 贊助的現場試驗計畫，展示了新的汞吸附劑(Mer - Cure)汞控制技術。Mer-Cure 技術提議一種有效的解決辦法允許碳基汞吸附劑(carbon-based mercury sorbents)的最大運用。Kang S. 等人(2008)已由注入吸附劑來達成，例如 Alstom 特有的 Mer-Clean™吸附劑注入煙氣後，那裡氣態汞氧化和吸附作用最大。測試結果顯示，大於 90%去除效率下，在基線測試機組其煙道噴注率更低於其他吸附劑，表現出 Mer-Cure 技術優異，即 Mer-Cure 技術用於各種燃煤發電是非常有效的汞控制技術。

測試二個電廠燃燒了粉末河域煤炭且配備了袋濾集塵器(fabric filter)以評估汞控制移除效率，當欲維持飛灰暢銷時，煙道噴注和鍋爐注入測試最為可行的取捨。根據汞移除和衝擊在飛灰水泥置換性，Dutton R. 等人(2008)測試結果顯示，在 70%和 90%之間達到了汞移除，及相對地低吸附劑注入率(< 1.0 lb/MMacf)下與對飛灰水泥置換性觀察估計沒有不利的影響。

吸附劑技術公司(Sorbent Technologies Corporation, STC)之氣相溴化汞吸附劑全部產品： B-PACT™， C-PACT™和 H-PACT™，可用於燃煤電廠。這些吸附劑現在已測試成功超過 30 場次，包括由美國能源部部分資助 STC 舉辦的五個場次。當全方位試驗繼續時，使這些吸附劑達到了商業應用。

Cichanowicz J. 等人(2008)在一顯著地增加使用吸附劑注入燃煤發電廠的汞(Hg)控制，期望在即將來臨的歲月，作為工具使機組符合地方和聯邦的排放限度。因此，各種吸附劑的費用和功能在 Hg 去除是值得關心的，且將是購買的決定性關鍵。

三、氮氧化物控制技術

氮氧化物(NO_x)控制—低氮氧化物燃燒器和再燃燒系統，是美國能源部淨煤技

術(CCT)計畫早期發展的，提供一成本有效的手段符合 2000 年—空氣清潔法案修訂的排放要求。此外，美國總統布希的 CSI 已降低氮氧化物排放的國家標準和要求所有燃煤電廠須實際減少。煙氣中微粒物質的極限 (PM_{2.5})也將導致更加嚴密的氮氧化物排放限制，說明了氮氧化物是煙氣體中微粒的一預警器。爲了符合更加嚴格的氮氧化物排放限制，電廠當前只有一個技術選擇：選擇性觸媒還原脫硝設備(selective catalytic reduction, SCR)。SCR 的缺點是，典型地建造費用每瓩(kW)80 到 100 元美金和每噸氮氧化物去除費用超過 2,000 元美金。IEP 計畫發展單獨 SCR 的更低費用方法。例如，先進的燃燒室設計導致新一代超低的氮氧化物燃燒器能夠達到每百萬 Btu 排放 0.15 磅的水準。選擇性非觸媒還原及其他化學過程將發展從燃煤燃燒器減少氮氧化物排放。更便宜的組合如修改的燃燒器及 SCR 是將被探索的。燃燒器控制系統將發展，使用最近的神經網絡技術以維持優選的燃燒情況和減少 NO_x 的形成。

以下是本次研討會各個氮氧化物控制技術發表的摘要，分述於下：

Burns B. K. 和 McDonnell(2008)報告關於明尼蘇達州宏泰瀑布市(Fergus Falls, Minnesota)獺尾電力公司(Otter Tail Power Company, OTP) 叫湖廠(Hoot Lake Plant)機組 3 執行的氮氧化物減少計畫。 OTP 創始了氮氧化物減少計畫包括新的替換燃燒器、與控制設備一起和外加的新火上空氣(OverFire Air, OFA)系統。計畫的主要目標是減少氮氧化物排放和操作優選的靈活燃燒。計畫包括四個具體階段發展：

- 第一階段—辨認優選的火上空氣口的廣泛計算流體動力 (Computational Fluid Dynamic, CFD)模式。
- 階段二—設備規格和取得。
- 階段三—設施安裝。
- 階段四—燃燒調整和優化。

Burns B. K. 和 McDonnell 分析和討論燃燒調整補全如何通過實際機組操作觀察來關聯多 CFD 模式計算。如模擬在 CFD 模式一樣控制 OFA 入口調整來消除和創造一氧化碳袋。計畫結果如下：

描述	之前	之後
NO _x	0.43 lb/mmBtu	0.186 lb/mmBtu
CO	200 ppm 以上	34 ppm
O ₂	3.2%	3.08%

面對高成本及隨之而來的氮氧化物減量，公用事業面臨著選擇所有機組是否加裝 SCR_s。另外，許多排放減量計畫對鍋爐操作和效率有不利地影響，因此公用事業必須繼續尋找可能改進鍋爐功能和效率的更好的方法。進展能源公司 (Progress Energy) 已合併線上燃燒優化或調整達到期望的氮氧化物排放水準在他們的李和薩頓發電廠 (Lee and Sutton Stations) 上。除排放減少之外，進展能源公司宗旨將改進整體燃燒。這些優化計畫運用單獨燃燒器氣流測量和連續的燃燒器煤炭流程測量去調整空氣和燃料比。對於這些計畫，也修改分散式控制系統 (Distributed Control System, DCS) 去控制空氣流量對每一火上空氣口 (overfire) 如同去控制每臺燃燒器之燃氣比 (air-to-fuel ratio) 一樣。這係運用燃燒器二次空氣盤控制燃燒器空氣和燃燒器由煤炭來控制。燃燒器的煤炭控制係使用煤炭轉換器 (diverters) 和可調整的波紋元素 (adjustable riffle elements) 來完成的。

當計畫的宗旨是氮氧化物減量時，其他期望好處包括增加透光率、減少燒失量 (LOI)，效率改善和鍋爐弄髒減到最小。氮氧化物減量渴望通過燃燒變動是 10-20% (依據在機組安裝的低氮氧化物燃燒器的世代)。Earley D. 和 Kirkenir B. (2008) 討論機組的其他改善會使用新的空氣和燃料流量控制來達成。Opti-FlowTM 技術運用一個創新雙重記數器設計，提供操作員需要靈活的優選火焰形狀、內外區漩渦值和氣流分配在內外區間的獨立漩渦。漩渦是受控制的，係使用一可調整的、無遲滯性漩渦發電器產生在燃燒器咽喉處的一個真實漩渦。

西門子的優選流 (Opti-FlowTM) 低氮氧化物燃燒器，一個先進燃燒器技術公司 (Advanced Burner Technologies, ABT) 的產品，發展大約在十年前。設計已成熟了，經由數次重複的測試產生更低的氮氧化物、更簡單的設計和能燃燒寬廣範圍粉狀的燃料；從 100% 石油焦炭到許多類型的國內外瀝青煤和亞煙煤，即有些鍋爐備有優選設計從 100% 瀝青煤轉換到 100% PRB 或高比率 PRB/瀝青煤混

合。Vatsky J.等人(2008)認為這台燃燒器的火焰非常穩定不僅允許非常低揮發性(高燃料比)煤炭起火，而且操作在非常低容量(高轉下比，[high turn-down ratios])，無需運用輔助燃料來安定火焰。

更新摩根城發電廠(Morgantown station)邁朗(Mirant)的機組 1 和 2 的 SCR 系統，且須幾項創新設計和建造方法以符合計畫需求。設計需要說明 SCR 操作對鍋爐負載下降 33%的幾種選擇回顧。選上的設計是一節約器氣體旁路(economizer gas bypass)，由於鍋爐安排，氣體溫度在旁路區大於 1000°F。氮氧化物移除的要求是 92.5%與 2 ppm 氨氣漏。除高氮氧化物移除之外對觸媒設計估計也要求低二氧化硫到 SO₃ 轉換。這些嚴密設計要求，混合和氨注入系統設計為同時達到所有要求。混合系統的設計也要求一完整大粒狀飛灰(LPA)屏幕設施。

Erickson C. 等人(2008)在設計和建造討論採取的步驟保證 SCR 技術在 Morgantown 申請是成功的。機組 1、2 建造許可之數據和機組 1 營運數據在 2007 年已加以回顧及討論。

迄今，美國公用事業安裝了 1 億呎選擇性觸媒氮氧化物還原法(SCR)系統在燃煤公用事業鍋爐。在這些燃煤 SCR 系統，觸媒活動和反應器潛力將隨著時間的推移逐漸減少，於是要求觸媒材料的增加和週期性替換。傳統上，觸媒活性監測是從反應器取出觸媒樣品和測試他們的活性。

SCR 高效率的操作和控制取決於監測入口和出口氮氧化物在觸媒床的濃度。以前，這樣測量可由連續排放監控系統(continuous emissions monitoring systems, CEMS)來執行。然而使用 CEMS 缺點是購買設施和維護費用皆高，且很難在入口和出口來監測。崛場儀器公司(HORIBA Instruments, Inc.)和 Kurz 技術服務公司(Kurz Technical Services)研發且測試，使用低成本、低維護、在現地儀器同時監測 SCR 入口和出口的氮氧化物濃度。

DeBarber P.和 Dearmon D.(2008)在 TVA 公司的金斯敦電廠現地同時量測一個 SCR 系統觸媒床的入口和出口的氮氧化物濃度，提出這種新方法的持續測試，並與既有的 SCR 系統數據作分析比較。

SCR 營運的主要問題是氮氧化物的最大減量反應在氨漏氣和 SO₃之間所形成硫酸氫氨(Ammonium Bisulfate, AbS)。AbS 有一個更高的露點與凝結點，導致空氣預熱器容易阻塞，機組必須經常停機洗滌。Chothani C.和 Morey R.(2008)認為

有可能防止這個情況的二個可能行動；一個是營運 SCR 保守造成低的氮氧化物減量，且另一個選擇是提高操作溫度，使用旁通煙道。Chothani C.和 Morey R.已提出一種獨特 AbS 感應器(AbSensor condensables)去量測 AbS 的形成和預測空氣預熱器 AbS 的凝結。然後這些預測用於即時同時控制氨注入速率和旁通風門打開平衡在氮氧化物減少和熱效率之間。並提出操作數據在期望的氮氧化物減量沒有衝擊下以改進熱效率。

一年一度的 SCR 觸媒再生，使觸媒重置成本減到最小，Evonik 有超過 10 年 R&D 全方位觸媒再生經驗。Ehrnschwender M.和 Freeman A.(2008)解釋 10 年來發展觸媒再生對目前最先進完善的再生過程之改變有顯著貢獻。全方位商業用觸媒再生的所有類型包括：

- 燃燒高硫份南方伊利諾州盆地煤炭應用的充分活性復蘇。
- 增加初始值以上活性的機會為適用燃燒的煤炭。
- SO₂/SO₃ 轉換率減少燃燒高硫份南方伊利諾州盆地煤炭的應用。
- 應用燃燒中硫份南方阿巴拉契亞煤炭的汞氧化作用。
- 觸媒長壽(很多再生循環)再生約 100,000 個小時操作 SCR 以後，覆蓋觸媒的第四次結晶。
- 維持機械性觸媒的強度和結構完整。

當 SCR (選擇性觸媒原法)系統時是十分有效的減少氮氧化物，它們建造與運維是昂貴的，此外亦常遭遇其他經常性營運挑戰例如氨洩漏、硫酸氨和硫酸氫氨鹽的形成和多餘的 SO₃。

四、 硫氧化物控制技術

以下是本次研討會各個氮氧化物控制技術發表的摘要，分述於下：

卡羅來納州(Carolinas)在 2012 年之前八個燃煤發電廠中的四個正更新高效率的 WFGD。工程早在 2003 年開始，二個發電廠已經營運了，一個正申請核准中和另一個則正在修建。在馬歇爾和 Belews 河二個發電廠(Marshall and Belews Creek Stations)完善的 WFGD 系統已運轉了 8-20 個月。在吸收塔和整體系統的功能試驗已完成了。運轉經驗、維護需求、和表現結果為 Laws R.等人(2008)所著重的焦點。具體包括：

- 吸收塔表現不用備用的噴霧層。
- 出口通氣管和煙囪襯裡 FRP 的選擇。
- 高密度聚乙烯管道系統；工程學、建造、操作。
- Duke 的石膏回收計畫：石膏質量、合同方法、運輸安排、致力供應。

肯塔基州西部的能源(WESTERN KENTUCKY ENERGY, WKE)科爾曼發電廠(Coleman Generating Station)包括三個鍋爐機組中的每一個大約 16 萬瓩。2004 年 7 月，西門子環境系統服務公司(Siemens Environmental Systems and Services, 以前的 Wheelabrator Air Pollution Control Inc.)受獎助合約供應建造以石灰石基礎、單一吸收塔的模組(~ 48.5 萬瓩總裝置容量)使能夠符合或超過 95%二氧化硫移除在入口硫濃度至 8.5 lb/MMBtu。由於高入口硫份設計情況，SESS 運用雙煙流盤 (Dual Flow Trays, DFT)二層的吸收塔達到期望排放要求。作為 FGD 計畫一部分，每個鍋爐機組配備了一台單軸氣流型啓動風扇吹送煙氣到一個共同吸收塔模組。吸收塔配備用二層的雙煙流盤和五個噴霧層。這在 8.5 lb/MMBtu 入口二氧化硫濃度、95%二氧化硫移除率由任四個在運作的噴霧層來達成。入口二氧化硫濃度如果超出 8.5 lb/MMBtu 全部五個噴霧層均啓動。當入口硫濃度較低時，噴霧層操作數量則減少。電廠 FGD 產生商業用、板材品質石膏的副產品。電廠 FGD 在 2006 年 2 月初開始營運，在不增加添加劑提升功能下，煙囪出口二氧化硫濃度非常低，即煙囪出口二氧化硫濃度低於 40 ppmv。另外，其亦可移除粒狀污染物。

三菱重工業有限公司(MHI)之排煙脫硫(Flue Gas Desulfurization, FGD)吸收塔叫作噴射空氣曝氣環(Jet Air Sparger, JAS)系統的一個獨特強迫氧化作用系統。自 1998 年以來這約有 550 萬瓩級 15 個機組之 FGD 採用 JAS 系統。這是一種非常有效率的減少氧化作用所需空氣的設計。JAS 係由 6 英吋陶瓷框和氧化作用供氣線和節流孔板組成。從再循環泵浦的回收泥漿注入節流孔板。真空壓力區域在節流孔板之後產生真空狀態，將大氣中空氣導入。因此不需要氧化作用之空氣風機。換言之，在節流孔板之後，因為大量空氣與液體接觸後氧化作用非常好。上述傳統的 JAS (6inch 英吋)適用於中小型的吸收塔。至於大型 FGD 須要更大的 JAS。於是 MHI 進一步新開發更大的 JAS 適用於大型吸收塔。Hashimoto J.等人也提出日本大阪的日本石油精煉股份有限公司使用更大的 JAS 的成功案

例。

在廣泛的經濟和技術評估以後，PPL 世代(PPL Generation, LLC)選擇了鋼筋混凝土建築設施作為濕式排煙脫硫 (Wet Flue Gas Desulphurization, WFGD)系統的吸收塔，他們在 Montour 和 Brunner 海島發電廠的系統樣式更新。作為兩電廠選擇濕式 FGD 系統的供應商，西門子環境系統服務公司與 PPL、吸收塔主體外殼設立者 Stebbins 工程公司緊密地工作一起去保證依合同的要求來維護此計畫。由於吸收塔鋼筋混凝土主體、特別的獨特設計和建造要求，故由西門子環境系統服務公司來實施承作和 Stebbins 工程公司掌控計畫執行進度。Murphy J. 等人(2008)審查設計特點、建造技術和操作許可，均為了濕式 FGD 系統樣式更新。

為遵照汞排放的法規，利用既有的氮氧化物、二氧化硫或粒狀污染物控制設備以提供汞移除的「雙重好處」，包括 ESPs、袋式集塵器、噴霧乾燥器和 FGDs 的粒狀污染物控制設備，特別當與 SCRs 配對，最大化氧化了煙氣的汞。Senior C.等人(2008)提出專題研究預測汞物種的形成和含量在鍋爐和空氣污染控制設備之比較，並從全方位測試計畫中的各個數據。預測是由 REI 研發的一個整合過程模型，它根據基本機制和校正全方位測試的數據。這個工具容許從鍋爐到煙囪預測評估汞的流布，包括雙重好處，及汞控制技術的效果例如鹵素射入。此工作迄今完成了，顯示整個電廠中六種不同鍋爐運轉方式從煤炭輸入燃燒到煙囪排煙中，觀察和預測汞移除之間有良好的關係。

初級燃料產生煙氣是缺少鹵素和未燃碳，因此無法在 FGDs 將氧化的 Hg 移除或用碳吸附劑促進它的捕捉效率。Niksa S. 和 Hou Y.(2008)顯示 MercuRator™ 化學反應機制能準確地從鍋爐輸入含 Cl 和 Br 的燃料，在沒有注入活性炭(activated carbon injection, ACI)下移除煙氣中 Hg。

使用溴化鈣作為汞氧化劑也許會導致在飛灰、脫硫石膏等副產物，及/或煙氣中溴濃度的提高(作為 HBr 或 Br₂)。EPRI 在燃煤電廠中初始計畫評估溴化物或溴的濃度以及它在電廠潛在的衝擊。這個計畫蒐集從溴最近完成的注入測試和從煙氣和濕式除塵塔持續注入溴化鈣測試所得到的樣品。樣品之溴的衝擊分析包括對煙氣溴排放、飛灰再利用、溴洩漏、溴在鍋爐、除塵塔相關的腐蝕和在 FGD 液體和固體之間的溴和汞含量。

2004 年初，在清潔空氣汞條例(Clean Air Mercury Rule)之前，紐蒙特礦業公司(Newmont Mining Corporation)採取了前衛積極的去除汞排放，在內華達 TS 電力計畫，提出電廠空氣許可證應用粉末活性炭(Powdered Activated Carbon, PAC)或用溴化物注入以達到降低汞排放。Brown J.等人(2008)討論排放控制系統設計，提出支持的汞排放控制功能數據、回顧最初的系統營運經驗，和呈現 B&W 吸附劑改進添加技術組合，用 PAC 注入噴霧乾式吸收塔的上游，和袋式集塵器，在這種全方位經營電力設施。

在佛羅里達 Pensacola 汞研究中心測試期間已詳細地探索 SO₃ 和汞移除之間的關係。Jarvis J.等人(2008)說明 SO₃ 和汞吸附之間的關係和經由減少 SO₃ 濃度到非常低水準大大地提升汞捕捉能力。研究結果包括沿著煙氣路徑測量汞物種和 SO₃ 含量和估計 SO₃ 控制和濕式洗滌的汞排放減量。

由高硫份燃煤產生的 SO₃ 或者調節煙氣的 SO₃ 注入系統，是否會削弱活性炭移除汞的效率，在過去二年已進行特性描述和估計選擇提高汞移除率，全方位評估吸附劑注入移除汞等皆由 DOE/NETL、EPRI 和電力生產電廠產業夥伴所資助研究。Campbell T.等人(2008)已提出去除汞排放測試的結果包括傳統的和供選擇的吸附劑測試、SO₃ 濃度的影響和煙氣溫度對汞移除效率和雙重注入對於 SO₃ 和汞控制的效率和經濟性。

Chu P.等人(2008)認為揮發性微量元素例如汞和硒(selenium)也許在濕式排煙脫硫(flue gas desulfurization, FGD)系統被捕捉，和最終將被釋出或者在 FGD 副產物和廢水一起排放。汞的存在不是溶解態就是一顆粒態。「溶解態」階段也許包括汞伴生在微粒中，且溶解態汞的濃度從各測站(site to site)所測也許會有極大的變化。溶解態汞是先擇廢水處理的重要因素。硒是以多種形式存在，包括亞硒酸鹽(selenite)、硒酸鹽(selenate)和未知的硒化合物(selenium compounds)。硒酸鹽和未知的硒化合物愈來愈難使用傳統鐵共沉澱法(traditional iron coprecipitation)去移除。EPRI 評估各種去除硒形式的處理選擇以及有效地移除汞。實驗室研究評估了一定數量的處理方法。此二種鐵基方法的結果顯示從 FGD 廢水移除硒和汞的能力。

美國環保署(USEPA)、與產業組織、公用事業水行動組織(Utility Water Act Group, UWAG)和電力研究所(Electric Power Research Institute, EPRI) 一起在選定的燃煤

電廠進行目前廢水研究確定流放指南是否該修訂。上述他們所關注的是在空氣污染控制(air pollution control, APC) 設備、特定的濕式排煙脫硫(wet flue gas desulphurization, WFGD)系統或濕式除塵塔對水質的衝擊。對這些的平行研究，西門子環境系統服務公司(Siemens Environmental Systems & Services, SESS)啓動了一個相似的計畫研究從 SESS 濕式除塵塔排出的水質。Winter S.等人(2008)在研討會已提出研究的初步結果。這些水的特性討論，包括法規著重的元素，例如汞、硒、砷和硼元素，以及其他水質參數，例如有機物、氯化物和懸浮固體。數據已提供未來 SESS 研究和幫助研發平衡解決辦法給除塵塔操作員維護空氣污染物移除功能的選擇基礎，並使廢水處理(waste water treatment, WWT)和全部電廠水質的衝擊減到最小。

在研發一個石灰石濕式排煙脫硫(FGD)更新計畫，公用事業必須也研發一策略伴生廢水處理系統 (wastewater treatment system, WWTS)來處理除塵塔內氯化物的清淨煙氣。這清淨煙氣要求控制氯化物濃度和累積在除塵塔的固體微粒。Kutzora P. 等人(2008) 證實 FGD 清淨煙氣的特徵和討論各項目影響的特性，包括煤炭來源、石灰石品質、除塵塔設計和作好水質。許多專題研究說明 FGD 清淨特性和最後處理流出物要求不同的廢水處理系統、運作程序和未來系統變動的靈活性。

在 Cholla 發電廠的 38 萬瓩機組 4，由 PacifiCorp 擁有且亞利桑那公用事業 (Arizona Public Service)管理，是一個進行全方位多污染物控制計畫及具有數個獨特的場址。計畫的目標是在既有汞控制和更進一步汞減量的能力下，可改善減少微粒物質和二氧化硫排放。Jones J.等人(2008)已提供一更新進展的計畫，包括高溫靜電集塵器的置換為脈動噴射袋式集塵器、濕石灰石 FGD 系統的設施安裝運用抑制氧化作用、對既有的石灰石試劑的準備和廢棄泥漿處置系統重大的升級、和轉換現存煙囪在「濕煙囪」方式下操作。性能測試數據已合併於研討會中討論。

為因應連續監測二氧化硫法規，許多移除技術陸續在公用鍋爐測試。

Day K.等人(2008)提出乾式吸附劑注入是公用事業大鍋爐以減少氧化硫排放。乾式洗滌法又稱為乾式煙道噴注法(Dry Sorbent Injection)其效率係依吸附劑、注入位置和系統使用參數的種類而定。

Snyder R.等人(2008)說明了 AES 公司(Applied Energy Services, Inc)深水發電機組(Depwater Unit)最近改善完成氮氧化物、SO₃和微粒的排放減量。在 2007 年和 2008 年的測試報告上證實了系統改善的減量規劃和完成的檢測相吻合。相似性和區別比較的技術議題曾在 AES 深水電廠和一個典型的高硫份燃煤電廠之間加以討論。上述進行測試 DeNO_x 包括 SCR 和鍋爐，測量 SO₃和總 PM 包括了濕式 ESPs 和煙囪。

總粒狀物排放在新的或修改過的電廠操作近檢測極限值，必須控制酸性氣體排放，例如 SO₃，形成粒狀污染物且組成總粒狀污染物的一部分，甚至控制至較低數值。因此，選擇酸性氣體控制技術必須根據符合要求的排放。Tonn D.等人(2008)提供進行調查的結果並且展示運用一排放控制系統來達成 SO₃ 排放以探討燃料含硫量的範圍。在高和低硫份燃料上利用總粒狀污染物排放結果與多項污染物控制技術提出作為 SO₃ 緩和的示範。多種 SO₃ 緩和技術和試劑的考慮是包括在討論內的。這分析結論能運用於適當的控制技術的經濟選擇，同時選擇主要燃料和含硫份量以達到總粒狀污染物排放限值。

Gray S.等人(2008)提出燃煤電廠增加稽查，電力公用事業面對硫酸薄霧(sulfuric acid mist, SAM)排放上應更嚴密的限制。近年來，這些低標準只有用濕式靜電集塵器(wet electrostatic precipitator, W-ESP)技術才可達成。Gray S.等人描述並且介紹一個相當新的吸附劑注入製程，SBS Injection™，可能達到大量的 SO₃ 移除。即大於 95% SO₃ 移除和硫酸薄霧(sulfuric acid mist, SAM)排放少於 0.005 lb/MMBtu 的一些商轉設施。SBS 注入製程已有 20 個鍋爐採用，代表超過 1,200 萬瓩的裝置容量和超過五年的連續運轉經驗。Gray S.等人也說明在鍋爐的上游大量的 SO₃ 移除，會使電廠有重大的獲益，這些好處包括提升環境功能、改進節能和電廠更大的可靠度。在鍋爐出口注入 SBS 移除煙氣 SO₃，會讓其他排放控制技術運作更好，從而減少氮氧化物、汞、粒狀污染物和二氧化碳排放。SO₃ 大量的移除也能防止後端設備因硫酸凝結造成的腐蝕。反過來，這可使電廠鍋爐的出口煙氣溫度更低，此能改善電廠節能達百分之二。

坦帕電力公司(Tampa Electric Company) 最近在大彎發電廠(Big Bend Station)的燃煤機組 3 和 4 安裝了 SCR 系統。這些機組已經裝備了濕式 FGD 系統和燃燒東部中到高硫份瀝青煤。從 SCR 設施就預料會增加 SO₃ 濃度，因此需要控制

硫酸薄霧的排放，坦帕電力公司在這兩個機組的空氣預熱器下游安裝了氨注射系統。Smolenski J.(2008)討論現場試驗氨注射系統減少煙氣 SO_3 濃度效率的結果。注射氨的次要衝擊發生在搶手的飛灰市場和 FGD 氯化物清淨煙氣排放增加氮氣濃度的問題，皆在研討會中討論。至於氨注入系統的設計和操作也在討論中。

愈來愈多的公用事業運用天然鹼的乾式吸附劑注入作為一種對 SO_3 緩和有效的解決辦法。進入市場的天然鹼供應商有不同特徵的產品，且市場要求徹底的調查保證供應商提供的成品是與物料管理配送相同，並且如它的宣傳廣告銷售。Ritzenthaler D.(2008)討論 AEP' s 努力研發和實施測試協議，評估和批准 SO_3 緩和系統的天然鹼供應商在 AEP 團隊中。資格認定的努力包括：建立重要參數例如自由濕氣、顆粒大小等等；皆測試磨房在實驗室和現場的情形；生產足量的測試材料；和電廠的性能試驗。Ritzenthaler D.討論全方位測試的結果和從這努力研發的最終材料規範。

多種污染物控制技術未來將變得更加重要。採用新的組織膜集塵板的濕式靜電集塵器(wet electrostatic precipitator, WESP)系統理想地說適合與和非常成本有效，它可在公用事業的石灰石濕式排煙脫硫(wet flue gas desulphurization, WFGD)除塵塔之後去除 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_3 和 Hg^{+2} 。它亦是在燃煤電廠經由 SCR 和 WFGD 系統以後再減少汞排放的一個關鍵策略。WESP 由於更大的電暈放電(corona power 光環力量)和實際上沒有再揚塵(re-entrainment)能蒐集酸氣和微粒物質。WESP 也可提高汞 (Hg 灰和 Hg^{+2}) 的去除。主要技術問題是濕式集塵器須使用更高價格的特殊合金和不銹鋼材質。根據纖維膜(fabric membrane)的這種新技術 WESP，與傳統，金屬 WESPs 比較，集塵板顯著減少重量和費用，抗腐蝕纖維膜的清潔，係藉由纖維之間的毛細現象所促進，提供水分布，和連續沖洗收集的污染物，無需噴灑，因此整個集塵器一直在線上。一些試驗機組的操作使用膜技術已展示了優秀 PM 移除效率。Shah H.等人(2008)針對纖維膜的設計與傳統的金屬片 WESP 作比較並提出成本估計。

另外 Lockert C. (2008)提出 SO_3 變化的負面影響(酸雨)和公用事業設施須減少排放，已有完善的文獻記載。

五、粒狀污染物控制技術

微粒和酸氣控制—今日電廠能捕捉大量直徑 10 微米飛灰微粒，但是新的法規目標係針對小於或等於直徑 2.5 微米微粒 (PM_{2.5})結果，不管是袋式集塵器或 ESPs 當前皆無法移除 PM_{2.5} 到 99.99%的要求。

IEP 計畫發展技術支持先進的混合的袋式和靜電集塵器，兩者皆支持最佳的粒狀污染物的控制特點。處理開發細粒集中形成更大的粒狀污染物，使容易地由 ESPs 捕捉到。另減少直接通過袋式集塵器煙氣體的量，它的除塵功能表現會提高。

酸氣是另一污染物能容易地從傳統的控制設備逃脫。當硫在煤炭燃燒時及與水蒸氣組合，釋出硫酸懸浮微粒(Sulfuric acid aerosols)。同樣地，氯化氫和氟化氫酸氣由煤炭組成的反應所形成，與水蒸氣能增加酸性氣體的釋出。減少酸氣，IEP 計畫發展新的鹼性(alkalin)注入技術以去除氯化氫和氟化氫酸氣。

微觀空氣品質研究—氣態粒狀污染物(airborne particles)是很多人為和自然來源所釋出。IEP 計畫研究氣態粒狀污染物的來源及瞭解他們怎麼被傳輸。知道石化燃料能源營運如何和哪裡造成大氣粒狀污染物，俾能有更好的減量政策、決策。研究 IEP 計畫可提供重要的訊息回顧排放減少的進展，在空氣清潔法案修正之下如同在 CSI 目標達到回顧一樣，它也提供重要的審視，示如何傳輸到大氣。

以下是本次研討會各個粒狀污染物控制技術發表的摘要，分述於下：

近年來電源供應轉換模式 (Switch Mode Power Supplies, SMPS) 推廣到公用事業 ESP 市場。Looney B.等人(2008)總結 EPRI 和南方公司(Southern Company)資助電源供應轉換模式在阿拉巴馬公司(Alabama Power)巴里電廠(Plant Barry)機組 4 高溫(Hot-Side)的 ESP 測試。對於這個測試計畫，八組 SMPS 與既有的四種 T/R 裝置是平行的安裝。在測試計畫期間，這 ESP 操作一段時間使用每個電源供應類型，且測量排放，包括是 ESP 出口濃度和大小分布結果，且依 EPA 方法 5 測量大量排放結果。另外，Looney B.等人在兩種電源供應類型的操作期間包括對 ESP 電子特徵以及任何可能的結論作分析。

酸氣控制近年來成爲了電力公用事業產業的一個與日俱增的重要問題。目前主要關心的是在燃燒高硫份煤炭物質期間產生的硫酸(H₂SO₄ 和它的前一級 SO₃)

的控制問題。這個問題係因選擇性觸媒還原脫硝設備來控制氮氧化物(NO_x)時引起 SO₃ 的濃度增加。鹼性吸附劑注入製程是從燃煤鍋爐煙氣去除 SO₃ 或移除，其涉及一個或更多的物理化學所改變的參數來確定在煤灰粒狀污染物的特性，即屬於粒狀污染物性質的改變和煙氣組成可能改變灰的電阻抗、灰黏著力、粒狀污染物形態和大小等等。如果鹼性吸附劑與煤灰粒狀污染物互動，並且影響煙氣化學的機制，可以更易瞭解，吸附劑的用途也許會改變灰的特性，甚至讓 ESP 運維成本更低。Altman R.等人(2008)提出在二個燃煤公用鍋爐經營的實地試驗結果。實地試驗結果提出從：1)一個 130 萬瓩超臨界燃煤鍋爐運用水合的石灰注入空氣預熱器下游的 SO₃ 控制設備和 2) 一個 80 萬瓩燃煤鍋爐空氣預熱器下游的注入天然鹼 SO₃ 控制設備。累積現場數據顯示水合的石灰或基於天然鹼的吸附劑注入系統可以掌控 ESP 性能的表現。兩個製程均不可忽視吸附劑處理和注入系統的工程設計。

使用低氮氧化物燃燒器可能增加飛灰中的未燃碳數量，可能提高粒狀污染物排放。碳獨特的性質比在傳統靜電集塵器(ESP)收集飛灰還難收集。最近現場觀察和測試顯示格外不同、低密度未燃碳粒狀污染物是容易產生在 ESP 的最後一排灰斗(hoppers)。現場試驗計畫在五台 ESP 設施進行，且確定每台 ESP 進出口碳的百分比和大量濃度的灰樣品。實驗室分析了再生樣品確定了關鍵粒狀污染物參數，包括：密度、形態和大小分布。計算流體動力學(Computational fluid dynamics, CFD)塑造(模擬)了懸物再生機制。Belba V.等人(2008)總結這工作取決於未燃碳性質，CFD 模擬結果可能使未燃碳再生且減到最小推薦來矯正氣體流動分布設備。

Cushing K.等人(2008)從事一個成功的先導型的袋式集塵器測試計畫和回顧 Luminant 的 COHPAC (COmpact Hybrid PArticulate Collector technology, EPRI 專利的緊湊混合粒狀污染物的收藏家技術) 的功能以後，袋室安裝在阿拉巴馬電力公司(Alabama Power Company, APCO)的大棕發電廠(Big Brown Station)，APCO 決定安裝一 COHPAC 在機組 3，1996 年末的阿拉巴馬州(Alabama)維爾遜維爾(Wilsonville)位於它的 E.C.加斯頓蒸汽廠(E. C. Gaston Steam Plant) 附近。1999 年第二部 COHPAC 安裝在加斯頓機組 2。這些袋式集塵系統設計了有低壓或高容量脈動噴射清潔技術(Hamon Research-Cottrell)安置在同心環的袋子並且使用轉

動的脈衝多頭管武器。這些系統表現在電廠加斯頓機組 3 和機組 2，為優秀的分別在過去十一半和九年期間。原 3.0 和 2.7 纖度(denier)〔生絲纖度單位，長 450 米重 0.05 克時為 1 denier〕瑞頓(Ryton)氈製的(felted)纖維品給予更高的滲透率的 7.0 纖度 PPS 毛氈袋子在兩個機組。全部凸緣對凸緣和管索壓降功能已改善了，無需減弱粒狀污染物的彙集效率。最近過濾器阻力值為 0.5 in. H₂O/ft/min 在機組 3 和 0.3 in. H₂O/ft/min 在機組 2，體驗了在空氣到布值(air-to-cloth values) 8.0 ft/min，平均脈動頻率從每個袋子每小時 0.2 脈衝範圍最近安裝的 7.0 纖度的 PPS 纖度袋子，上至每個袋子每小時 0.7 脈衝為了更老的 2.7 纖度瑞頓毛氈袋子。COHPAC 袋室設施順利地減少了煙囪的不透明。比較最近十一年的平均營運(1997 年- 2007 年)與前二年(1995 年- 1996)在 COHPAC 袋室設施之前的機組 3，平均不透明減少了 50%，並且每月數小時的平均不透明超出減少了 20%是減少了 95%。同樣的結果在機組 2 也體驗了。除了在袋子對袋子磨蝕造成的每個機組的袋子早失敗情節外，袋子生命是非常好的。在機組 3 袋室的後方模組的瑞頓氈製的袋子原始 3.0 纖度在使用中保持五年累積超過 39,500 個小時對煙氣的暴露僅少量袋子失敗。前面模組袋子在機組 3，由於袋子失敗更高的發生，而袋子有更短的生命。3.0 和 2.7 纖度集塵袋的平均產品使用期限類似那些第二代產品 7.0 纖度 PPS 氈製的纖維品，典型地二到三年，19,000 到 27,000 個小時對煙氣的暴露。各種的測試袋子功能評估是持續幾年。初期試驗 6.0 纖度和 7.0 纖度 PPS 毛氈功能與傳統 2.7 纖度毛氈比較。7.0 纖度氈製纖維品有很好的功能。最近，各種雙密度的毛氈也測試了。結果在 20,000 個小時煙氣曝光以後顯現雙重密度 Torcon - 9058 毛氈是四種測試織品最好的一種。測試計畫持續的進行著。阿拉巴馬電力公司的 COHPAC 袋室功能表現超出了期望和繼續提供一個優秀的空氣污染物控制好處。

六、多種污染物控制

以下是本次研討會各個多種污染物控制技術發表的摘要，分述於下：
從燃煤電廠一個先進移除污染物排放的過程—再生活化焦炭技術(Regenerative Activated Coke Technology, ReACT)在 2007 年已在北內華達(Nevada)的 Valmy 發電廠(Valmy Generating Station) 測試了。示範計畫的目的在 Valmy 發電廠將核實

ReACT 功能使用美國煤炭。Dene C.等人(2008)報導 ReACT 過程可能由減少硫氧化物(SO₂ 和 SO₃) 排放超過 95%，氮氧化物(NO_x)由 20%到 80% (根據設計條件)和汞排放超過 90%。ReACT 示範單位在試驗條件下減少硫氧化物超過 98%、氮氧化物約 40%和汞排放超過 90%。Dene C.等人還報導在 Valmy 發電廠在五個月中示範測試的結果。在測試亞煙煤和西部瀝青煤期間使用確認在低硫份美國煤炭的應用，並且一系列參數的測試進行探索在 ReACT 技術功能使用運轉參數和條件的範圍。

一個先進的空氣品質管理系統(Air Quality Control System, AQCS)經由控制 SO₃、可凝結的粒狀污染物和汞排放研發幫助電力產業符合新的環境要求。新的 AQCS 包括：a) SCR 具有高汞氧化作用/低 SO₂ 到 SO₃ 轉換觸媒；b)一清淨能源回收器(Clean Energy Recuperator, CER)；c)脈衝噴氣袋濾室集塵器或乾式 ESP；d)先進的濕式 FGD 系統。在廣泛的實驗室和實驗設備測試以後，研發工作進入了現場試驗的階段。漏氣汽流 AQCS 試驗 1 千瓩等效供熱的設備安裝在 Ameren 能源資源電力公司的鴨子小河發電廠(Ameren Energy Resources Generating' s Duck Creek Plant)。Nakamoto T.等人(2008)描述先進的 AQCS 的配置、試驗設備安排、和燃燒伊利諾伊州瀝青煤漏氣汽流測試數據。測驗數據顯示，汞移除經由飛灰和活性碳注入是被煙氣中的 SO₃ 所抑制的，且有效的 SO₃ 移除是更需要提高汞移除。先進的空氣品質管理系統具有 CER 在活性碳注入之前減少了 SO₃ 濃度，且提高了汞移除。先進的文丘里管除塵塔(venturi scrubber)，是先進的濕式 FGD 系統的部分，也測試了且證明了是有效在濕 FGD 之前移除汞。

杜克能源公司(Duke Energy)接受了最後的空氣許可證和開始了一個新的名詞的建造 80 萬瓩機組作為他們既有的崖邊(Cliffside)的北卡羅來納州(North Carolinas, NC)設施一部分。McGinnis G.等人(2008)集中焦點於艾斯敦電力公司(Alstom)供應先進整合的空氣品質管理系統(Air Quality Control System, AQCS)。整合 AQCS 結合 Alstom 的乾式和濕式排煙脫硫系統在一種創新方法上將可靠地達到嚴密排放要求。主要成本節省係由替換一台濕式靜電集塵器用噴霧乾燥器吸收塔和消除對廢水處理設備的需要達到 WFGD 系統。其他好處包括減少水的消耗量和能使用建造低成本材料的 WFGD 吸收

塔。除描述過程之外，生命週期成本與競爭的技術也做了比較。

Connell D. 等人(2008)提出Greenidge 多種污染物控制計畫經營在 10.7 萬瓩 AES Greenidge 機組 4 作為美國能源部電廠改善倡議行動 (Power Plant Improvement Initiative, PPII) 一部分，展示一創新整合的技術，非常適合減少排放從國家龐大的 (~6,000 萬瓩)小型燃煤機組。此技術包括一個 NO_xOUT CASCADE®混合選擇性非觸媒還原脫硝設備/選擇性觸媒還原脫硝設備(SNCR/SCR)系統和一臺 Turbosorp®流通的流化床乾式除塵塔，在 2006 年安裝了與基建成本小於每瓩 350 元美金和一足跡小於 0.5 英畝，本質上小於一台傳統的 SCR 和濕式除塵塔所需的費用和空間。在 2007 年測試與 2.4-3.2%硫份煤炭展示了此系統的能力，以減少氮氧化物排放到 0.10 lb/mmBtu 和排放二氧化硫、SO₃ 和 HCl 減少 96-97 %。汞排放減少超過 95%，不用任何活性碳注入(activated carbon injection, ACI)。另外的測試進展到 2008 年中以建立電廠營運條件下的影響在多種污染物控制系統的功能表現上。這些試驗一貫地證明了至少 95%二氧化硫移除、≥ 95%汞移除(沒有活性碳注入)和非常低排放的 SO₃、HCl 和粒狀污染物。氮氧化物排放平均在 0.10 和 0.15 lb/mmBtu 之間在較長期營運期間。多種污染物控制系統的功能表現在它的第一年的商轉營運期間已加以討論，並且提出過程經濟狀況。

靛藍 MAPSystem™ 是多污染物控制系統目標在同時減少一範圍污染物的排放包括汞、氮氧化物，硫氧化物和粒狀污染物，包括微粒(PM_{2.5})粒狀物質。此過程根據 1990 年代波蘭進行的工作，但是提高使用靛藍技術的專利技術。因為它有相對地低基建成本和一個小足跡允許在既有的設施容易、成本有效的更新這技術在一較小機組是一理想的應用。然而，原始的化學是鈉或氯化物基化學，在現代環境限制下不是可行的。先導型的試驗在阿拉巴馬電力公司 (Alabama Power)的加茲登電廠(Gadsden Plant)執行，2007 年 12 月估計汞、硫氧化物和氮氧化物移除效率使用原始鈉或氯化物化學和「更不傷害環境」和更便宜的石灰基化學。移除效率超過 95%硫氧化物、90%的汞和 50%氮氧化物的測量使用石灰基系統。進一步測試是計劃 2008 年末修改以下目標在改進氮氧化物和汞移除效率。Truce R.等人(2008)提出靛藍的 MAPSystem™ 資本和營運成本的這些測試和估計的結果。

從第一個商轉營運燃煤鍋爐更新為一個煤炭氣化先進混合的電廠其二氧化硫(SO₂)和氮氧化物(NO_x)排放應允要求的結果加以呈現。重大節省的營運成本是展示的燃燒—更便宜、代替昂貴的答應要求煤炭的高硫份伊利諾伊州瀝青煤。因為這是排放物控制計畫、建造許可放棄 NSPS (新來源性能標準 new source performance standards, NSPS)和 PSD (重大的衰敗的預防 prevention of significant deterioration, PSD)而沒有 NSR (新的來源回顧 new source review, NSR)。Moore K. 等人(2008)提出這潔淨燃燒系統 (Clean Combustion System™, CCS)是簡單的氣吹的清潔燃燒拽流替換現有鍋爐的燃燒器的一煤炭氣化器。氣化煤炭的最後燃燒使用 OFA 的鍋爐燃燒完成。石灰石是唯一「化學的」要求控制二氧化硫和氮氧化物排放。Moore K.等人報告說明：

- CCS 技術描述和燃煤鍋爐式樣更新
- 關於設備的討論
- 營運觀察和經驗學習
- 初步操作的概略
 - 二氧化硫和氮氧化物排放控制
 - 改進的鍋爐效率
 - 二氧化碳排放的減量

七、 煤炭副產物的運用

煤炭副產物的運用—燃煤電廠副產物代表一潛在有價的資源可當建築材料且土壤調和用，但少於三分之一大約 130 百萬噸煤炭副產物產生今日美國資源回收。未來會減少這個數量如果汞控制技術有更高的水準，汞殘餘物和在這些副產物的吸附劑或者新氮氧化物控制設備增加在飛灰中未燃碳和氨量。而且，景觀空間是變得越來越受限制和處置費用增加。

IEP 計畫曾說明過這些問題，經由學習汞的宿命及在煤炭副產物運用的其他微量金屬、開發的新的分離技術及移除碳和汞的技術、探索新技術擴展至市場價及未來這些物質的用途。

以下是本次研討會各個煤炭副產物運用發表的摘要，分述於下：

Larrimore L.等人(2008)認為當公用事業在燃燒 PRB 煤炭的鍋爐對汞控制計劃，

困難度也從 PRB 煤炭缺乏氯氣隨之增加。氯可以被無腐蝕性的鹵素所替換，例如溴。然而，許多 PRB 電廠取決於的飛灰利用在混凝土作為收入和作為處置的另一選擇。結果，一些排放控制添加劑也許改變飛灰和水泥的物性，這樣會產生產品不符合功能要求。如果提出，這個效用可能導致失去飛灰的市場或在建造計畫的合法性。南方公司(southern Company)、EPRI 和 Gallet & Associates，評估了這個問題在阿拉巴馬公司米勒電廠(Alabama Power's Plant Miller) 的溴加法測試。這工作是 EPRI 計畫的一部分去評估溴化物或溴命運在燃煤電廠中和它潛在平衡電廠的衝擊。它包括全面灰和混凝土測試。試驗條件包括在實驗室環境裡溴加入飛灰，另外在全方位測試從鍋爐的飛灰樣品，溴加到煤炭在一濃度範圍。

Paradis J. 等人(2008)認為活性碳與吸附劑的注入在燃煤煙氣的汞控制上可能減弱飛灰銷售當作水泥使用。EPRI 和能源部評估吸附劑注入系統的各種參數，例如吸附劑類型和注入率，如何衝擊重要飛灰替換水泥產品。Paradis J. 等人提出從飛灰替換水泥測試的結果進展作為幾個全方位汞吸附劑注入測試計畫的一部分，執行在代表 PRB 和 PRB/Texas 褐煤混和燃燒單位的四個燃煤電廠配備 ESP 或袋濾室集塵器。幾種吸附劑，包括計畫中新穎的吸附劑減少對飛灰替換水泥的衝擊，是較長期的測試 (≥ 24 幾小時)。測試結果 Dahl A. 等人(2008)已提出，包括飛灰泡沫指數、燒失量、和細粒度的測試結果；空氣回應、崩坍和水對水泥(water to cemen, WC)比率在新水泥測試結果；且固化水泥耐壓強度的測試結果、結冰或解凍測試和岩相學分析。結果顯示，有可能銷售飛灰含汞吸附劑作為飛灰替換水泥用途。

美國能源部國家能源技術實驗室(DOE/NETL)正估計移除汞的命運從煙氣汞控制技術(mercury control technologies, Hg-CT)在燃煤公用事業上。Dahl A. 等人(2008)認為 Hg-CT 經由汞濃度的增加預計煤炭利用副產物(coal utilization by-products, CUBs)品質的衝擊。然而，Hg-CT 的衝擊在其他金屬的研究甚少。但其中有一個測試研究主要宗旨是確定 Hg-CT 對鎳、砷、硒、鎘和鉛的衝擊。結果迄今顯示，Hg-CT 導致 Hg 增加在 CUBs 所有設施而 Se 在幾個設施增加。Hg 熱量釋出在 CUBs 的加熱至 190°C 在有些設施增加 1 個小時使用 Hg-CT，當其他減少時，導致推測 Hg 在某些情況下是穩定的。在 1200°C ，5 分鐘，使用

Hg-CT Hg 排放顯著增加。Se 的高百分比(15-100%)從所有 CUB 樣品揮發了。微生物洩漏導致甲醇 Hg 產品重要的 Ni、As、Se 和 Cd 流動。除了 Se 在有些設施之外，化學洩漏的做法釋出非常低量的目標金屬。

八、台電公司空氣污染物控制技術研發

台電公司努力用最好的技術，和員工一起努力盡量減低營運活動對環境的影響，透過”符合環保法規，兼顧環境涵容能力”、”落實環境影響評估，提升電源計畫環境可行性”、”改善污染防治措施，維護環境品質”、”擴大公眾參與，加強宣導溝通”、”注意環境品質，加強景觀規劃”、”重視生態保育與復育”、”建立完備環境監測系統”、”致力敦親睦鄰工作”、”研訂公害糾紛處理因應對策”、”培育環保人才、健全環境組織”、”推動環境管理系統(ISO 14001)”等行動計畫，展現台電公司邁向世界級最乾淨綠色能源的決心。

(一) 碳管理技術

台電公司規劃推動重點方向—建置線上溫室氣體盤查申報作業，以掌控全公司排放現狀，台電公司於 2006 年度建置「溫室氣體資訊管理系統」並開始進行溫室氣體盤查作業，每年初由公司各單位填報其後再經溫室氣體內稽查核、驗證確認填報屬實；目前已完成 2005、2006 及 2007 年度之盤查等作業。2007 年度溫室氣體排放盤查之結果：排放總量為 83,956,547 公噸(CO₂ 當量)，其中火力發電直接排放 83,379,170 公噸，總排放強度為 0.543 公斤/度(淨發電量)。

研擬溫室氣體管制策略—在兼顧能源安全、環境永續及經濟發展三項前提之下，目前各項電力計畫均已考量溫室氣體排放減量之必要性，並參採先進國家電力業之作法，制定「溫室氣體管制策略」。

電力供應端管理—藉由發電配比調整及提升機組效率，以降低 CO₂ 排放強度：提高無碳及低碳能源發電量、維持適當的核能發電占比、.新設機組採高效率發電設備及持續電廠更新改善。

電力需求端管理—推廣節約用電，降低發電負載。持續宣導民眾節約用電，協助產業改善製程、節約電能，加強對 100 瓩以上用戶訪問及提供

諮詢服務；除持續推動現有負載管理措施外，另導入新的需量反應措施以強化需求面管理績效。

輸配電系統改善—藉由減少線路損失及加強 SF6 管控以減少溫室氣體排放。降低線路損失、建置 SF6 管理系統、加強回收再利用。

管理監督查證—透過溫室氣體排放查證，以取得公信力，並建置環境會計制度及發布永續報告書，使環保資訊透明化。

技術研發—積極推動再生能源技術、新能源技術、CO2 回收與再利用技術研究等相關技術研發工作。

加強綠化—既有廠區持續辦理植栽工作，並配合政府綠化政策，與縣市政府合作廣植林木。

國內/國際合作—配合政府部門簽訂合作備忘錄，並參與國內/國際減量計畫。

除上述 7 項策略之外，台電公司亦承諾在 CO2 捕捉與儲存技術（CCS）成熟與商業化後，在適當之儲存條件下引進採用。

(二) 氮氧化物控制技術

台電公司 9 座火力電廠(深澳、協和、林口、通霄、台中、興達、大林、南部、尖山)於 80~97 年間每單位發電量之各種空氣污染物排放量(即排放強度)；依據統計分析結果顯示，各電廠各項污染物排放強度均隨著年度的增加而有減少的趨勢，此一結果代表台電公司各火力電廠在減少空氣污染物排放所展現之努力成果。

空氣污染物排放源監測—台電公司各火力發電廠的煙囪上皆裝設煙氣排放連續監測儀器（CEMS），以了解火力發電廠經空氣污染防制設備處理後的空氣污染物濃度，並作為污染稅計算及研擬改善措施的依據。目前各火力發電廠空氣污染物排放濃度皆符合環保標準。

環境空氣品質監測—台電公司於各火力發電廠附近地區設置連續式空氣品質監測站，全省共設置 52 個監測站。為使監測結果具公信力，台電公司並委託台中市新環境促進協會、台中縣公害防治協會、南投縣生態保護協會及彰化縣公害防治協會等中部四縣市環保團體合組的「財團法人福爾摩莎新世紀環境保護基金會」辦理『台中發電廠附近地區環境空氣

品質平行監測』，並定期公布監測結果。興達及協和發電廠亦與當地縣市政府環保局或鄉鎮公所共同辦理環境空氣品質平行監測工作，以昭公信。環境空氣品質監測結果，空氣中二氧化硫（SO₂）及二氧化氮（NO₂）之濃度皆符合環境空氣品質標準，惟空氣中懸浮微粒（PM₁₀）監測結果受氣象因素及大陸沙塵暴影響，偶有超過空氣品質標準。

為減少氮氧化物之排放，台電公司的新建機組及既有機組均採用最先進的低氮氧化物燃燒器，從源頭大幅減低氮氧化物的排放量。除此之外，新機組及空間許可的既有機組，亦設置脫硝設備，可去除可觀的氮氧化物排放量。台電公司各電廠歷年氮氧化物排放改善績效均值如下圖。



圖 2 歷年氮氧化物排放改善績效均值圖

(三) 硫氧化物控制技術

為了減少硫氧化物的產生量，台電公司擴大採用不含硫份的天然氣為燃料，同時燃油及燃煤電廠均採用含低硫量的燃料，只要空間許可，台電公司都裝設了煙氣除硫設備(FGD)，除去 90%以上硫氧化物的排放。台電公司各電廠歷年硫氧化物排放改善績效均值如下圖。



圖 3 歷年硫氧化物排放改善績效均值圖

(四) 粒狀污染物控制技術

粒狀污染物包括火力發電廠燃燒產生的煙塵和煤場附近的煤塵兩種，各有不同的處理方式：1.火力發電廠：汽力機組均裝設高效率的靜電集塵器，除塵效率達 90~99.8%，燃油機組並另加裝油灰焚化爐，處理收集下來的油灰。此外，台電公司也在燃煤機組裝設具有相當除塵效果的煙氣除硫系統來防制。2.煤場：為了避免煤塵飛揚污染外界，台電公司耗資新台幣 10 億元在煤場周圍興建防風柵網，並配有定期灑水系統。另在興達電廠設置室內煤倉，可大幅減少室外煤場儲煤量，在運輸及卸煤時採用密閉設施，並經常壓實煤堆，清理路面。至於長期存放的煤堆，則使用化學藥劑安定表面，同時透過種植防風林來避免煤塵飛揚污染外界。未來新興燃煤電廠將不再採用室外煤場，而將設置室內煤倉及密閉式輸煤帶，可進一步降低煤塵污染。台電公司各電廠歷年粒狀污染物排放改善績效均值如下圖。



圖 4 歷年粒狀污染物排放改善績效均值圖

(五) 煤炭副產物的運用

台電公司發電主要所產生的廢棄物是煤灰(又分為飛灰及底灰)，其中因飛灰具有卜作嵐的特性，可以取代部份水泥作為營建工程的替代材料。目前台電公司發電所產生的煤灰大部分都可以再利用，有效減少環境負擔，另台電公司也推動了底灰的再利用研究，針對研究結果顯示，底灰的確可有效運用於管溝回填工程材料。在管溝回填工程材料中，目前底灰用量最高可取代骨材到 90% 的程度。台電公司過去在煤灰運用推廣代替水泥做為預拌混凝土材料（飛灰水泥）、人工漁礁、農地改良等等皆成效良好。

煤炭中所含的硫份，經燃燒後會以硫氧化物存在於煙氣中，為了減少空氣污染，台電公司在林口、台中及興達等 3 座主要燃煤火力發電廠，裝設排煙脫硫設備，利用石灰石粉漿液，把煙氣中的硫氧化物轉化為石膏。目前石膏每年產量約 50 萬公噸，並以標售方式提供給水泥業及防火板材料業者使用。

(六) 汞控制技術

台電公司過去曾從技術面研究參考台中燃煤發電廠所安裝的煙氣處理設備，針對燃煤電廠煙氣中汞減量排放技術作探討，通常煤炭中所含汞成份的濃度並不高，估計約為 $0.1 \mu\text{g/g}$ 的濃度，至於所排放煙氣中汞的濃度，則約為 $5\text{-}10 \mu\text{g/Nm}^3$ 範圍。汞排放總量合計甚微，但台電公司燃煤

電廠應全面建立汞物種和流佈的資料庫，一方面可因應汞物種控制排放的需求，另一方面則可做為除汞技術選用的依據參考。然 SCR 對於汞物種分佈的影響有不同的效應，也應儘早予以釐清。

九、參考文獻

1. Power Plant Air Pollutant Control “Mega” Symposium” August 25-28, 2008
Baltimore, MD <http://www.megasymposium.org/>
2. USDOE/NETL, EPRI & CURC, 2008 Clean Coal Technology Roadmap
“CURC/EPRI/DOE Consensus Roadmap” Department of Energy, the Electric
Power Research Institute, and the Coal Utilization Research Council
<http://www.netl.doe.gov/coalpower/ccpi/pubs/CCT-Roadmap.pdf>
3. USDOE/OCC, 2006 Strategic Plan. USDOE Office of Clean Coal, 48pp.
4. 台灣電力公司，2008，「溫室氣體管制策略」，工安環保處彙編，中華民國 97 年 7 月 9 日。
5. 李建平，2008，參加「第七屆碳捕捉及封存年會」研討會。台灣電力公司工安環保處，61pp.
6. 藍啓仁，2005，九十四年度環保化學營運會議－「燃煤電廠煙氣中汞成分控制排放的因應對策」。台灣電力公司綜合研究所， p89-96.
7. 台灣電力公司，2008，「台灣電力公司永續報告書 2008」，工安環保處彙編，中華民國 98 年 8 月。

伍、燃煤鍋爐汞排放控制技術評估

近年來，燃煤電廠汞排放問題在國際間引起相當大重視，美國首先於 2005 年 5 月發布燃煤電廠汞排放標準後，加拿大也於 2006 年 10 月針對新設燃煤電廠發布汞排放標準。汞因高揮發性，因此最難控制，針對燃煤鍋爐汞的控制技術，目前只有極少數可以達到 90% 以上的去除效率，此外並沒有可以適用於所有電廠的方法，各國也積極研究中。汞控制必須先瞭解各實際的燃煤種類、燃燒設備、操作條件、排氣溫度、既存的空污防制設備等，依照現行的排放狀況，評估及選擇可行的汞控制設備。

一、控制技術種類

燃煤電廠汞控制技術整理如表 1，可分為現有空氣污染防制設備(包括：煤炭淨化、燃料置換、洗滌塔更新和袋式集塵器等)的組合型態與新式之空氣污染源控制技術(注入活性碳吸附劑、過濾床、流體化床及其他技術的應用等)兩大方面。汞排放控制技術目前在國際間已被廣泛討論及研究，伴隨科技日新月異，應隨時注意相關成熟發展技術，降低汞對環境危害。

二、燃燒不同煤種排放汞影響

(一) 煙煤(Bituminous)

燃燒煙煤的鍋爐在空污防制設備入口可產生較高比例的 Hg_{2+} 及 $Hg(p)$ 及少量 Hg_0 ，因此比較容易被下游的設備捕集去除。不過由於高溫靜電集塵機(HS-ESP)操作溫度較高，故會生成最高比例 Hg_0 ，因此不容易被去除，若使用半乾式除酸/袋式集塵機(SDA/FF)則有最高的總汞去除率。

(二) 亞煙煤(Subbituminous)

燃燒亞煙煤的鍋爐，HS-ESP 及 CS-ESP 設備入口 Hg_{2+} 與 $Hg(p)$ 的生成比例與 Hg_0 相近。使用 HS-ESP 及 CS-ESP 對總汞的去除率極低(分別為 3% 及 6%)。若使用 FF 及 SDA/FF 會有較高的捕集率。

表 1 燃煤鍋爐汞之控制技術總表

控制方法	控制技術
1. 污染預防方法 (Pollution Prevention)	(1) 生質能替代(Biomass substitution) (2) 淨煤技術(Coal Cleaning) (3) 使用低含量汞煤(Low Mercury Coal) (4) 改用天然氣(Natural Gas Substitution) (5) 新設燃煤機組(New Coal Plant , IGCC) (6) 新設燃氣機組(New Gas Plant)
2. 傳統污染物之控制技術 (除塵、除酸、deNOx)	(1) 靜電集塵機(ESP)：低溫 CS-ESP、高溫 HS-ESP (2) 袋式集塵機(FF) (3) 煙道脫硫設備(FGD)：濕式、半乾式、乾式 (4) 選擇性還原觸媒分解設施(SCR) (5) 非選擇性還原(SNCR) (6) 半乾式吸收塔(SDA)
3. 傳統技術組合或修改	(1) 於集塵設備前端(ESP 或 FF)注入活性炭或含溴活性炭(BAC) (2) 增設管狀濕式 ESP (tubular wet ESP) (3) 增設 COHPAC+注入活性炭 (4) 增設 Polishing 袋式集塵機 (5) 碳質濾袋(Carbon Bags for FF) (6) 觸媒氧化床+濕式洗滌塔 (7) 觸媒分解濾袋 (8) 化學氧化劑+濕式洗滌塔 (9) 將 ESP 改為濕式洗滌塔 (10) 將 ESP 改為 pulse-jet FF (PJFF) (11) 提昇洗煤(enhanced coal washing) (12) 注入霧狀鈣質吸附劑
4. 針對汞新開發之技術 (包含多污染物之技術)	(1) 於爐內或 SDA 注入其他吸附劑(如溴化鹵素劑) (2) Duct Modification/ Contacting Bed (3) Fixed Metal/ Activated Carbon Catalyst Bed (4) PowerSpan Electro Catalytic Oxidation

(三) 褐煤(lignite)

燃燒北達克達州褐煤比德州褐煤產生更高比例的 Hg⁰，各種控制設備對於褐煤中的汞去除效率皆不高。

由以上分析可知：進行燃煤電廠汞之可行控制技術評估，首先必須先瞭解電廠燃燒的煤種類及其物化性質，燃燒煙煤的電廠，煙煤含有較高量的氯含量，燃燒過程生成較高量的 Hg²⁺，是比較容易被去除的物種。

依據美國 DOE 支持經費所進行的批次實驗評估，傳統淨煤技術對汞的去除效率僅為 30%，唯有先進的淨煤技術才有較高去除效率(60-70%)，但因操作費用偏高，較不符合經濟效益。此外，淨煤技術是將煤中汞轉移至淨煤廢棄物(waste)，廢棄物中汞也必須妥善處置。

三、最新研究發展趨勢

依據國際間最近對燃煤電廠所排放汞去除研究發現，主要技術已逐步趨向於吸附劑使用方面，使用方式主要包括：

- (一) 靜電集塵器前之排氣中注入不同種類活性碳吸附劑，以吸附方式去除汞，其中以鹵素劑中溴(Brominated activated carbon, BAC)效果最佳。相關控制技術優缺點整理如表 2 所示。
- (二) 以添加劑方式直接與粉煤混合，進入燃煤鍋爐中燃燒，利用添加劑氧化元素汞，將元素汞轉換為氧化汞，利用後端靜電集塵設備(EP)及脫硫設施(FGD)捕集汞，有效將低汞排放濃度。在使用試劑方面，目前又以鹵素劑中溴(Boiler chemical additives, BCAs)效果最佳，如圖 5 所示。

表 2 燃煤鍋爐汞排放濃度分析(燃燒東部地區煙煤)

控制技術		注入量效率分析	優點	缺點
除塵設備 前噴 入吸 附劑	1.傳統活性碳 (activated carbon injection , ACI)	1.2.0lb/MMacf : 20-60% 2.5.0lb/MMacf : 20-70% 3.10.0lb/MMacf : 20-75%	1.價錢較為便宜 US\$0.7/lb(NT\$50/kg)	1. 吸附效果普通 2. 活性碳將使飛灰性質產生變化 3. 吸附效果受溫度、SO3 濃度影響
	2.溴化活性碳 (brominated activated carbon , brominated ACI)	1.2lb/MMacf : 30-40% 2.5lb/MMacf : 35-60% 3.10lb/MMacf : 60-80%	1.吸附汞效率最佳	1. 價錢較為昂貴 US\$1.0/lb(NT\$70/kg) 2. 活性碳將使飛灰性質產生變化 3. 吸附效果受溫度、SO3 濃度影響
使用 添加 劑當 作吸 附劑	1.氯化添加劑 (boiler chemical additives , chloride BAC)		1.價錢較為便宜 US\$0.7/lb(NT\$50/kg)	
	2.溴化添加劑 (boiler chemical additives , brominated BAC)		1.適用於低氯燃煤中，去除效率最高	1. 國外有專利使用權 (Alstom) 2. 價錢較為昂貴 US\$1.44/lb(NT\$100/kg)

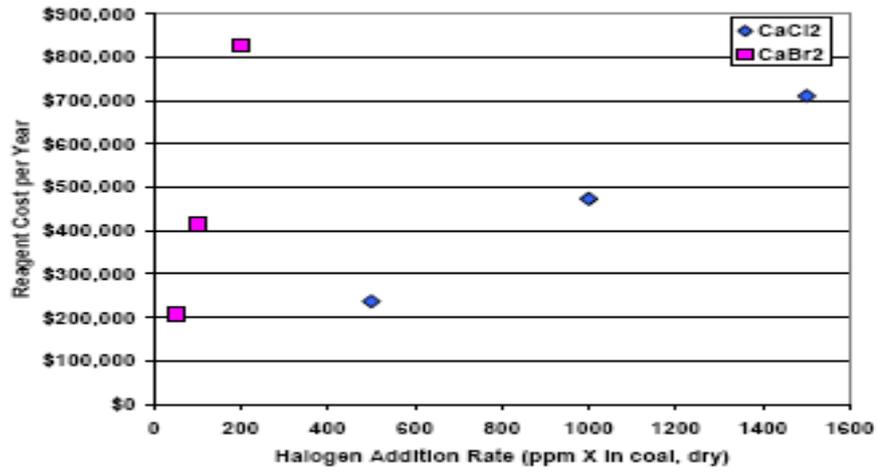


圖 5 不同添加劑對燃煤鍋爐汞去除率研究

陸、心得

每年此電廠空氣污染控制大型研討會皆有上千人與，包括講者、廠商及與會的各國精英集聚一堂，爲了就是一觀美國在火力電廠上的新科技、用心及法規，並加以學習應用與發展，此次會中仍一往如常，強調了 2005 年 3 月美國環保署公布了定案的潔淨空氣跨州規則(CAIR)和潔淨空氣汞規則 (CAMR)。美國環保署自 1990 年空氣清潔法案校正以來，已要求電廠排放要裁減空氣污染物之排放，爲美國東部各州的主要依循的工具，並符合新的聯邦空氣品質標準，目前影響了美國東部 28 州，且各州皆已積極採取行動，主要是爲了保護公眾的健康與衛生，且在醫療保健福利上關於 CAIR 的影響，至少需花費 850~1,000 億元美金龐大經費，故爲了幫助各城市和各州抑制臭氧和微粒物質的排放，保證公眾健康衛生和環境永續的好處，美國積極推動立法通過法案，唯目前仍在上訴申請中，我們得靜觀其變，積極準備以茲因應。

2002 年開始了 CCPI 競爭比賽是塑造在原始的淨煤技術計畫以後和獎勵計畫 (winning projects) 實施是爲政府—產業合資經營，用私有產業所負責提出候選的技術、場址選擇、和設計、修建、和營運計畫。私人部門成本分攤必須至少是 50%。美國也積極推動立法通過法案除獎勵投資計畫外，另提倡節稅法案以推動民間投資溫室氣體減量有關建設能得以節稅，我們亦可靜觀其變，伺機因應。

在往後的十年內，美國電力產業將是接近電廠建設另一個主要紀元的開始。電力需求仍是重要的成長，且要求這群新電廠符合上升需求和替換老舊電廠兩者齊頭並進。2020 年之前可能需要更多 1 千萬瓩以上新的燃煤電廠。

先進的電力系統(The Advanced Power Systems, APS) 計畫是提供技術基礎給這群新的燃煤電廠。這計畫策略目標反映即將來臨的機會，介紹「新類型」電廠及時爲下一波電廠建造—燃煤電廠具有高效率的、能生產多種產品和最重要的是，它實際上是無污染的。

美國爲了實現 2010 策略目標， APS 計畫集中於明日燃煤電廠中主要的技術平臺：
(1)爲電力和燃料生產的煤炭氣化(coal gasification)及(2)高性能燃煤渦輪機之營運：

煤炭氣化(Coal Gasification)—政府及產業公眾輿論說明了煤炭氣化複循環

(integrated gasification combined-cycle, IGCC)燃煤機組目前最大的承諾為符合 2010 年費用和業績目標，需朝重大的研究、發展和示範 (Research, Development and Demonstration, RD&D)去努力，然而，因為今日 IGCC 成本費用是大約每瓩 1,500 元美金，發電效率是典型地 40%，可靠度缺乏業界標準，且污染發排放超出那些天然氣電廠(雖然排放是比從粉煤電廠好)。

氣化研究全程時間表、明細表包括新的氣化器和必要支持的設備兩者的發展例如先進的空氣分離單元、氣體清淨和氫/二氧化碳分離技術。

先進的氣化器發展—氣化器轉換煤炭合成氣的碳氫化合物組成，和大多數成渣的飛灰。氣化器代表 IGCC 的心臟且構成 15%它基本建造成本(capital cost)。

RD&D 集中發展於：進料系統(the feed system)的抗侵蝕性材料；在最適宜氣化器操作條件之下估計耐火壽命大於 3 年(比既有的耐火 6 個- 18 個月)以上，且儀器能承受氣化器的嚴厲環境。先進的氣化概念是追求包括運輸氣化器且緊密氣化器提供一高度的燃料靈活性和相對程度小型由於高生產量。

RD&D、高級材料和儀器工作為既有的氣化器操作有潛力改進電廠超過 5%點的有用性，每年減少操作和 1~2 百萬元美金的維修費用，和 1%點的改進熱效率。先進的氣化概念有在基建成本的潛力比今日氣化器減少 7~15%的，對與有些概念甚至提供直接從氣化器集中 H₂ 和 CO₂ 蒸汽。

另外，改善熱效率 2 - 4%點範圍是可能從先進的氣化器規劃集成商業設施 2010 年期限。

先進的空氣分離單元—空氣分離單元提供近乎純氧淨到氣化器和氮氣為電廠供應平衡。使用純氧代替空氣，是 78% 的氮氣，在氣化過程中保持蒸氣集中，提高清淨效率和二氧化碳分離為封存。傳統的空氣分離器組成 12- 15% IGCC 設施的基建成本和是能源和資本集中低溫系統，消耗至 10 %總功率輸出。

RD&D 集中焦點於空氣分離單位濾膜(membrane -based air separation units)。濾膜申請電化學內在行爲(intrinsic electrochemical behavior)而不是物理手段，使他們更為有效。濾膜是當前發展緻密的陶瓷材料叫作離子傳輸膜(Ion Transport Membranes, ITM)。在高溫度和有一充足的壓力梯度橫跨此濾膜，這些材料同時轉移氧氣離子和電子通過膜結構而維持的電中性，從而消除需要對於一個外在電路去驅動分離過程。RD&D 期望節省基建成本約每瓩 100 元美金款常規的

IGCC 電廠增加在整體熱效率 1-2 個百分點。

H₂ /CO₂ 分離* — 氫生產和二氧化碳捕捉和封存要求系統轉變潔淨合成氣到 H₂/CO₂ 裡，且分離 H₂/CO₂ 為 H₂ 產物和 CO₂ 副產物。H₂/CO₂ 混合氣體是生產經由合成氣與水起反應在由觸媒的 CO 轉為 CO₂ 且產生更多的氫，稱為水—氣轉移。當前甘醇溶劑基的化學系統對於 H₂/CO₂ 分離成本和能源消耗量皆大。分離 CO₂ 的費用從轉移的氣體和隔離它是每噸 CO₂ 40 元美金和產物氫的售價必須是每百萬 Btu 8 元美金。RD&D 集中焦點於先進的化學製品和氣體分離膜基系統為 H₂/CO₂ 氣體混合物的分離。質子交換膜(Proton exchange membranes)申請電化學內從 CO₂ 有效地分開 H₂ 的行為已顯示確實可行了(particular promise)。這些先進技術有潛力減少 CO₂ 捕捉費用每噸 CO₂ 少於 10 元美金和 H₂ 產物成本到每百萬 Btu 6 元美金 (和潛在每百萬 Btu 4 元美金以下，當固體氧化燃料電池—將於燃料電池計畫發展—合併到 IGCC 系統)。

氣體潔淨— 氣體潔淨成分首先去除粒狀污染物，然後含有硫、氮氣、酸和微量污染物 (包括汞) 的氣體產生潔淨的合成氣。目前氣體清潔系統代表基建成本的 10 ~15% 的 IGCC 設施，和幾乎缺乏 100% 所有污染物移除而要求先進的燃氣渦輪機和燃料電池在複循環電力組需要符合 APS 目標的。氣體用於今日 IGCC 電廠的潔淨系統是低溫的冷氨系統為 97% 典型地設計移除硫。

RD&D 努力主要著重於多污染物控制矩陣系統能在溫度 300 - 700 °F 下操作，提供增加兼容與煙氣下游處理成分(downstream process components)和提高效率。RD&D 有潛力體會幾乎 100% 所有的污染物移除，減少 IGCC 基建成本由每呔 60 - 80 元美金和增加效率 1-2%。

雖然選擇路線到「零」排放，例如先進的燃燒，是可能的，這些技術仍是在一個早期研究階段而目前不能實現「零」排放目標在 2020 年要求期限之內。為此，先進的電力系統計畫集中於更成熟的 IGCC 技術。然而，許多技術的發展成為 IGCC 的努力(如氧氣膜、二氧化碳捕捉和混合氣化或燃燒系統)，也是可以適用先進的一些燃燒概念。

燃煤渦輪機技術— 在 IGCC 方式下，燃氣渦輪機是由氣化源燃料加以飼料，驅動發電機，和提供熱產生蒸汽機的蒸汽。為了達到 2010 年 APS 功能目標：先進的渦輪機點火合成氣必須改進；他們必須能夠使富含氫的氣體起作用，沒有妥協餘地；

且更低的氮氧化物排放必須達到—少於 2 ppm。

當維持的燃燒穩定時保持燃燒室溫度低主要是要有低氮氧化物功能。在同一時間，渦輪機入口溫度增加會有更高效率，創造需要保護渦輪機的高溫熱氣路徑分量從熱損害。燃燒研究探索稀釋用途減少氫燃燒室的溫度和申請觸媒和火燄穩定的物理技術。稀釋劑包括蒸汽，如同氮氣(IGCC 系統生產的氧氣副產物)。區別在工作流體的性質，此工作流體是在燃氣渦輪機產生的氫燃燒，燃氣渦輪機也將要求新技術與渦輪機成分有關，渦輪機成分在材料區域如同冷卻一樣好。

保留先進的渦輪機功能表現在燃煤合成氣和富含氫的燃料，代表如同— 2~3 百分點效率得自 IGCC 系統一樣多和更多的獲取每瓩 100 元美金通過更高的輸出功率減少基建成本。

國際合作—美國許多的能源挑戰不是由國家的邊界禁閉著—亦不是他們的解決方式。關心氣候變遷和空中傳送污染物是重要的事情皆影響美國國內外的公民們。美國淨煤辦公室策略認出全球性聯盟的價值在集合能源和環境的挑戰。許多國家和美國一樣依靠燃料來源。例如中國和印度—計算出未來 20 年這二個國家能源消耗成爲全世界總增量的 30%—來促使他們許多的經濟成長與穩定地的增加用煤的總量。

如果策略是成功的，在產生新一代的燃煤電廠，是超乾淨和符合經濟效益的，技術也商業化，將產生全球環境的利益，改善社會和經濟穩定，和提供企業重大的貿易和投資機會。如果碳封存是經濟可行，世界將有一重要的新選擇，反過來關心全球性氣候變遷。

促進美國技術出口—國際合作活動包括維持在的一個活躍角色在亞洲太平洋區經濟合作組織的區域能源合作工作小組(the Asia-Pacific Economic Cooperation's Regional Energy Cooperation Working Group)設計分享知識爲了定義市場需求的目的以及建立公共機構的基礎設施有助於貿易。雙邊協議是到位與中國和印度，那裡是最大擴展燃煤發電的地方將發生於未來二十年間；這些協議包含職業訓練、創造友好貿易的商業環境、資訊交換和合資計畫。這個策略的關鍵因素是技術訓練、操作的技能發展和技術資訊轉移到美國海外技術知識。

通過雙邊機制，美國淨煤辦公室維持—能力直接促進在開發中國家夥伴關鍵決策者和美國先進淨煤技術操作員之間的對話。這些對話通過媒介加以實施，例如工

廠參觀和事件特別集中焦點於發展機會通過雙邊關係。

此次有幸出席美國馬里蘭州巴爾的摩市舉辦 2008 年第七屆國際大型(MEGA)研討會，瞭解到美國在燃煤方面的策略發展，及此次燃煤的各個研究方面的發展，尤其是美國目前解決電廠鍋爐方面空氣污染物有關問題的研究發展；四大主要單位通過整合的努力－美國能源部/國家能源技術實驗室、電力科學研究院、美國環境保護署、空氣及廢物管理協會，藉此次研討會展示了最新發展及營運經驗，係讓與會者瞭解美國如何以完善的方法，從火力電廠鍋爐減少硫氧化物、氮氧化物、粒狀污染物、汞和有毒物質等的排放量。2008 年也提供重點於二氧化碳排放量的消滅。台電公司為我國主要電力供應者，除有責任肩負電力安全與品質之外，在溫室氣體管制策略上亦須及早規劃，貫徹各項行動方案，故本人參與此盛會並與各廠家互相交換意見、經驗分享，以獲取更多有關的技術資訊瞭解，俾利台電公司未來新機組與既有設施空氣污染防治規劃和措施改善以及溫室氣體減量策略方案研擬之參考。

柒、結論與建議

台電公司為我國主要電力供應者，除有責任肩負電力安全與品質之外，在溫室氣體管制策略上亦須及早規劃，貫徹各項行動方案，其中包括新設及更新擴建燃煤機組總熱效率提升至 42.3%；105 年起，二氧化碳排放強度將降至 0.51 kg/kwh 以內；再生能源發電占比將由 95 年的 2.1% 提升至 107 年的 6.9%；除供應端淨煤發電技術與輸配電效率提昇之外，更須積極投入二氧化碳分離與固定處理及新能源之研究發展；需求端管理包括推廣節能各項活動，未來期望搭配國內能源服務業之興起或政府經濟誘因政策之規劃，達到更佳之節能成效。

政府訂定 CO₂ 減量目標，應充分考量**能源配比**問題。除調整發電結構外，尚需從需求面著手，即大幅度調整產業結構、擴大推廣節能措施及電價合理化。由於電力無法儲存，有多少需求才發多少電，因此對於電力供應端，不宜管制溫室氣體排放總量；建議以 CO₂ 排放強度管制電力業，促使積極汰舊換新、提升效率。未來將是一個低碳時代，在**溫室氣體減量**要求下，台電公司的電力開發將秉持環保企業之精神，為國內經濟發展、為人民生活品質，以及為後代子孫生存環境做最妥適的抉擇及努力。

台電公司承諾透過**永續報告書**讓社會大眾了解台電公司在電力穩定供應及環境影響之間所扮演的角色及投入的努力，也期望藉由永續報告書的說明台電公司對於溫室氣體管制策略上之規劃，及展現貫徹實施之決心。

因應與日俱增之溫室氣體減量要求，台電公司提出之溫室氣體管制策略行動方案之一即為「配合**機組更新提升火力發電平均效率**」，發電廠燃煤機組營運至今**績效改善**有目共睹，惟科技日新又新且因相關設備經年運轉已有逐漸劣化之傾向，致效能逐漸下滑、燃燒效率降低，造成 CO₂ 排放強度增加，實有必要再加強研究探討相關設備適度調整之可行性，並評估 CO₂ 之減量空間。

配合短期與中期研究發展規劃—既有機組 CO₂ 及空氣污染物減量技術研究。有效改善發電廠相關發電設備之運轉現況缺失，提升整廠效率，且有助於提升電廠競爭力，對於爭取外界認同台電公司在溫室氣體減量方面之努力甚具意義及助益。

能源配比—**再生能源**方面政府希望能對本土的太陽能產業與需求端提供更多**獎助跟補助**，台電公司近年來亦積極配合政府的「再生能源發展方案」，進行各類型再

生能源的發展評估，包括具發展潛力的小水力、風力、太陽光電等低碳能源，都是台電公司思考發展的重點。

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有關「**碳捕捉及封存**」技術之規劃、研究、彙報，未來可考慮參與其他國家研究機構、公司作有關「**碳捕捉及封存**」的技術交流，掌握國研究動態。

這幾年研討會的主要的議題皆是有關美國環保署於 2005 年 3 月 15 日發佈「**燃煤發電廠汞排放標準**」，與會各國針對空氣污染物排放中**汞重金屬及微粒 PM_{2.5}**管制之因應對策與排放技術之研發，由於目前我國對此二項尚未管制，此方面資訊足供台電公司未雨綢繆及早因應之參考。

汞排放問題在國際間逐步引起注意，國際間對於相關控制技術都在積極研發中，最新國外研究趨勢發現，於燃煤中添加鹵素劑或噴入溴化活性碳方式，對汞排放控制最為有效；雖然目前台電電廠汞排放濃度與國外相較屬偏低，建議添加鹵素劑部份可進行初步實驗，研究再降低汞排放方式。

基本上重金屬遵循「物質不滅定律」，利用噴入吸附方式或添加吸附劑方法，都可以有效降低排氣中汞濃度；然部份的汞就集中於飛灰中，吸附汞會影響飛灰再利用去處，目前燃煤電廠飛灰大部分都當作混凝土添加劑，對於飛灰品質要求相當嚴格。

多種空氣污染物控制，除原 SO_x、NO_x、PM 等之控制技術，如裝置 FGD、SCR 及 ESP 外，Hg 管制方面之先進技術，可達成更乾淨的環境目的且兼具低衝擊性、低成本經濟之思維模式，亦利於作為台電公司未來規劃多種空氣污染物防治措施管制之參考；其他如 Ni、As、Se、Cd 等重金屬物質排放管制的議題及**燃煤後副產品之運用**，亦可供台電公司及早因應、參考。