

出國報告（出國類別：其他）

參加 2014 年海峽兩岸氣候變遷與能源 永續發展論壇出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：余慶聰 副研究員

派赴國家：大陸徐州

出國期間：103 年 9 月 12 日~103 年 9 月 14 日

報告日期：103 年 10 月 3 日

摘 要

2014 年海峽兩岸氣候變遷與能源永續發展論壇(Climatic change and energy sustainable development forum on both sides of the Taiwan straits) 於 9 月 12 日至 9 月 14 日在大陸徐州舉行，會議之主題包括煤炭智能化開發與低碳化利用、油氣高效勘探開發與非常規天然氣、電力清潔生產與綠色發電技術、綠色能源與節能減排及綠色經濟與綠色生活等議題。此論壇始於 2005 年，係由兩岸學者共同發起促成的高水準學術交流活動，旨在為海峽兩岸專家學者搭建高層次合作交流平台，共同謀求應對氣候變遷之策，尋求能源可持續發展之路。參加會議藉以掌握兩岸間碳捕捉/分離與貯存相關技術發展之現況與趨勢，並發表論文與國際學者專家討論分享近年來在二氧化碳捕獲開發研究成果。由此次會議觀察，海峽兩岸之燃煤排碳皆屬於高排名，在減碳議題上實有極為共同之處，亦為世界先進國家共同追求目標。潔淨煤關鍵技術隨著國際空污法規更趨嚴格，主要包含除塵、脫硫、脫硝及重金屬等項目將影響全球永續能源發展。工業部門高耗能排碳產業對於永續能源需求展現積極作為，以綠色製程如減廢減碳、降低空污與提高副產物價值等作為追求企業永續發展標的。整體而言，此會議對推動海峽兩岸合作應對氣候變化及共同推動能源革命具有重要意義。

Abstract

This report expatiates the conference activities named 「Climate change and energy sustainable development forum on both sides of the Taiwan straits」 held on September 12-14, 2014 in Xuzhou, China. The topics of forum include “Intelligent development and low-coal utilization”, “Efficient exploration and development of oil and gas and unconventional gas”, “Clean production and green electricity generation technologies”, and “Green energy and energy conservation and green economy and green living”. This forum focuses on building up communication platform of climate change issues between Taiwan straits, which begins in 2005 and launch for pursuing sustainable energy. Due to being international activities of CCS, it is significant that energetic attitude, extensive communication and adequate discussion in join this meeting especially in comprehend global tendency for necessities in accomplishment of joint project by INER presenting paper in this program. The high intensity of carbon emission is major from coal-fired plant, which exhibits in carbon reduction issues for both sides of the Taiwan straits. Clean coal technologies including removal of particulate, sulfur, oxides of nitrogen, and trace metal are to be further developed based on international air pollution regulations. Besides, the sustainable energy requirement has essentially role in industrial sectors, which facilitates related green activities such as carbon mitigation, emission clearance, and high-value products. Specifically, it is effectively promoting climate change and energy sustainable development in this annual meeting.

目 次

摘 要

一、目 的	1
二、過 程	2
三、心 得	5
四、建 議 事 項	15
五、附 錄	17

附件一、會議論文

附件二、發表論文摘要彙編資料

附件三、會議議程資料

一、目的

2014 海峽兩岸氣候變遷與能源永續發展論壇(第十屆)於 2014 年 9 月 12 日至 9 月 14 日在大陸徐州舉行，本屆年會主題為“高碳能源低碳化利用與綠色能源技術”，由中國工程院能源與礦業工程學部、臺灣永續能源研究基金會共同主辦，中國礦業大學承辦。於兩岸能源及環境領域專家學者學術研討、教育宣導、企業永續發展、兩岸交流等活動。此論壇前身始於 2005 年兩岸能源與環境永續發展科技研討會，歷經近十年發展，已成為兩岸能源與環境領域專家學者重要的學術交流平台，影響日益擴大。有 5 項主要技術專題：煤炭智能化開發與低碳化利用、油氣高效勘探開發與非常規天然氣、電力清潔生產與綠色發電技術、綠色能源與節能減排及綠色經濟與綠色生活等議題。

本次論壇包括 14 名中國工程院院士、27 名臺灣嘉賓在內的 110 餘名專家學者參加，臺灣 14 篇、大陸 16 篇共計 30 篇報告於此論壇中進行發表。出訪 2014 海峽兩岸氣候變遷與能源永續發展論壇，可進一步了解兩岸氣候變遷與能源永續的技術發展現況，提供核研所發展減碳及永續能源聚焦方向參考，整體而言，成效顯著。

二、過 程

(一)本次行程安排

項次	日期	地點		目的
		出發	抵達	
1	103 年 9 月 12 日	台北 桃園	大陸徐州	啓程 報到
2	103 年 9 月 13 日	中國礦業大學		出席會議 研究心得交流 發表論文
3	103 年 9 月 14 日	中國礦業大 學	台北	出席會議 研究心得交流 發表論文 回程

(二)會議場地

會議地點: 中國礦業大學南湖校區





(三)會議議程:詳細會議議程參考附件三

年會開幕式在中國礦業大學南湖校區舉行。中國科協副主席、中國工程院原副院長、海峽兩岸氣候變遷與能源永續發展論壇大陸方面理事長謝克昌院士，財團法人臺灣永續能源研究基金會董事長、海峽兩岸氣候變遷與能源永續發展論壇臺灣方面理事長簡又新，徐州市人民政府市長朱民，中國礦業大學黨委書記鄒放鳴，青島科技大學校長馬連湘分別致辭。

論壇上，共有 13 位臺灣嘉賓、15 位大陸嘉賓發表了演講。會議議程主要分為「特邀報告」與「專題報告」二項。

特邀報告針對「高碳 能源低碳化利用與綠色能源技術」重點如下:

1. 對推動能源生產和消費革命的思考與研究
2. 臺灣能源永續的挑戰與機會
3. 煤礦智慧化開採關鍵技術
4. 台塑石化公司能資源整合成果暨未來展望
5. 中國葉岩氣勘探開發新進展與未來形勢展望
6. 中鋼能源與環境策略規劃

專題報告則對於 5 項主要技術專題：

1. 煤炭智能化開發與低碳化利用: 兩岸減碳淨煤發展現狀、碳捕獲、利用與埋存 (CCUS) 的研發進展。
2. 油氣高效勘探開發與非常規天然氣: 臺灣天然氣發展與兩岸合作契機、中國非常規天然氣開發利用戰略研究、能源轉換與利用-風能制氣應用。
3. 電力清潔生產與綠色發電技術: 臺灣電力公司節能減碳與污染防治策略、煤炭分級轉化清潔發電技術實現近零排放、智慧電網、SOFC。

4. 綠色能源與節能減排: 臺灣綠色經濟發展經驗分享、企業永續資訊揭露之推動與發展、城鎮礦山發展現狀與展望、高值化資源化利用技術。
5. 綠色經濟與綠色生活: 中國的環境挑戰和能源前景展望、臺灣工業部門節能投資與節能潛力評估、煤炭開採水資源保護與利用技術、太陽能光伏發電、綠色產業發展趨勢等。

(四)發表文章摘要(參考附件二)

題目: 天然石灰石製備中高溫鈣鋁捕碳劑及其特性分析

摘要: 二氧化碳捕獲技術開發為溫室氣體減量關鍵技術之一，對於全球環境保護具有極重要意義。自中高溫環境例如燃燒前(Precombustion)捕獲 CO₂ 技術，具有高濃度之潛能，若能克服高溫劣化(sintering)缺點，藉由多次迴路程序，則將大幅提升捕獲量。本研究探討利用天然石灰石(Limestone)製備之含鈣鋁捕碳劑(LAsorbent)，依酸化時間不同分為 LA24、LA48 與 LA72，並應用於中高溫(750 °C)反應進行二氧化碳捕獲試驗，特性分析部份則是進行了 BET、與 XRD。首先，天然石灰石須先經過醋酸處理，材料與酸重量比例為 1:1.8 分別浸泡 24、48 與 72 小時，接著搭載鋁於石灰石表面上以增加其高溫穩定性，其中 Ca 與 Al 莫爾比例為 7:1。熱重分析儀(TGA)之初步結果顯示，LA24、LA48 與 LA72 於 750 °C 之 CO₂ 捕獲量高達 53.8 wt%、47.4 wt% 與 43.2 wt%。本研究亦發現中高溫材料之二氧化碳捕獲能力及熱穩定性與鈣、鋁之莫爾比例高度相依，由於 LAs 具有優越之孔洞結構與均勻之鈣鋁氧化物分散性，因此於多重迴路捕獲-脫附(capture-desorption)測試中表現出優越之穩定性。三種捕碳劑於 750 °C 下之 40 次迴路捕獲測試結果顯示其穩定性依序為 85.1 % (LA24)、81.8 % (LA48) 以及 79.2 % (LA72)。另外，本研究亦比較不含鋁修飾之石灰石捕碳劑性能，其初次捕獲量與 LAs 類似，但熱穩定性不如經鋁修飾之捕碳劑。

(五) 大會閉幕與下次會議舉行地點

由主辦地代表太原理工院謝克昌院士與簡又新董事長做大會總結發言致詞，並介紹 2015 年論壇承辦單位。會議決定，明年論壇年會由臺灣淡江大學承辦。



三、心得

整體而言，本次論壇包括 14 名中國工程院院士、27 名臺灣嘉賓在內的 110 餘名專家學者參加，臺灣 14 篇、大陸 16 篇共計 30 篇報告於此論壇中進行發表。依據官網介紹，本屆年會是在習近平總書記宣導能源科技革命的大背景下召開的，對推動海峽兩岸合作應對氣候變化及共同推動能源革命具有重要意義。特邀報告舉例重要心得如下：

(一) 鑒於全球未來趨勢走向，發展「高碳能源低碳化利用與綠色能源技術」為兩岸共同須面對挑戰。依據中國工程院謝克昌院士分析「對推動能源生產和消費革命的思考與研究」，基於能源有效利用、能源利用效率低下、環境生態壓力加大、能源安全形勢嚴峻、世界能源版圖變化、應對氣候變化責任、城鎮化發展、體制機制改革必需等問題，以大陸每年 GDP 成長約 8% 估算，至 2010 年全國燃煤用量已增加 20 億噸煤用量，往後 10 年間將更大幅增加，為維持穩定能源供應並同時兼顧環境保護，必須思考能源生產與消費革命關係。應對氣候變遷實施能源的可持續發展始終是一個重大的戰略問題，近年來以綠色能源為方向的能源技術革命最有可能引發新的工業革命。以大陸對於未來數十年之發展規劃方向，應以「煤炭資源化與清潔利用」、「以重大工程驅動油氣資源」、「發展新能源與再生能源」、「進行節能與產業結構調整」、「發展智慧能源網」、「推行核能新政策」等建立完善政策與市場運作機制。



圖一 謝克昌院士演說「對推動能源生產和消費革命的思考與研究」

簡又新董事長特別強調「永續發展」最主要原因為「氣候議題將是未來人類的最大挑戰」，而減碳得從改變生活習慣、從都市基礎建設開始做起，目前人類所面臨的是新能源革命，如何在資能源耗竭的限制下，減少能源的消耗與使用，並同時發展經濟，是我們目前需要關注的焦點。2014 聯合國氣候變遷會議 (UNFCCC COP20) 舉行在即，本屆會議主題重點即是「共同奠定 2015 年巴黎氣候大會的最終決議」，各國需提交達成減碳目標的計劃，而這同時也關係到國家競爭力的提升，簡董事長在最後並期許，雖然目前歐美等國領先發展，倘若能抓準時機，「21 世紀就是我們的」。發展低碳減排與改變能源使用有極大關係，要改變現有生活型態與生活行爲，進行新一代的工業革命，並思考高速發展經濟同時如何盡可能減少煤炭，此外，在改變的基礎上必須同時兼顧國家競爭力。



圖二 簡又新董事長演說「臺灣能源永續的挑戰與機會」

中國礦業大學校長以「煤礦智慧化開採關鍵技術」為題發表演說，鑒於亞太地區能源運用趨勢，至 2030 年仍以中國大陸使用煤炭能源成長幅度最大，以 2012 年統計數據顯示，全國共消耗 36.2 億噸煤(約佔全部能源 66%)。據 EIA2011 年國際能源展望，高碳能源使用造成 CO2 排放量激增已危及全球環境，此外環境中的霧霾汙染控制亦為重點。因此發展高碳能源低碳化具有急迫性，其達成路徑分為：「提質增效」提高能量效率減少排放、「綠能替代」、「提高能效」等。煤炭開採技術將由傳統人力/機械開採技術，在此期間，有關煤炭開採之「安全生產管理」為安全生產的重要途徑，如何藉由智能感知、分析決策、智能調控等逐步演化為無人採礦時代，成為此技術成敗為最重要關鍵。



圖三 中國礦業大學發展之「煤礦智慧化開採關鍵技術」

(二) 有關產業界在能源與環境發展現況，臺灣嘉賓從節能投資與節能潛力，製造業、電力與鋼鐵行業節能減碳，綠色經濟發展，燃料電池等多方面介紹了臺灣的先進做法、研究進展等。

台塑公司以「六輕計劃」建設台灣石化工業園區為例，強調其能資源整合於提升節能減碳貢獻。其煉油事業部產量達 2500 萬噸/年，烯烴產能 293.5 萬噸/年，具體作法為利用現地麥寮工業港海運，進行原油與成品運輸，減少陸運能源消耗。統一設置公用發電系統，提高發電能源效率，於 1997 年運轉汽電共生系統，蒸氣產能 10,875 噸/時，可發電 282 萬千瓦。在能資源整合方面，主要以煉油廠尾氣回收及燃氣再利用、空污改善及冷卻水整合運用為主。目前已達明顯整合效益(下述幣別為人民幣)：以氫氣回收利用為例，整合後節省燃料達 242 噸/日，CO₂ 減排 212 千噸/年，收益 338,894 千元/年。乙烯回收利用為例，整合後增產丙烯達 250 千噸/年，收益 257,400 千元。甲烷回收利用為例，整合後節省燃料達 367 噸/日，CO₂ 減排 356 千噸/年，收益 674,659 千元/年。空汙改善以 25% 乙二醇胺(DEA) 進行 H₂S 吸收，其胺液再生塔之蒸氣管網有效利用已有效降低硫磺工場之胺液氣提塔蒸氣再生用量達 0.8 噸/小時，未來將與國內學研單位整合進行二氧化碳捕獲技術開發。



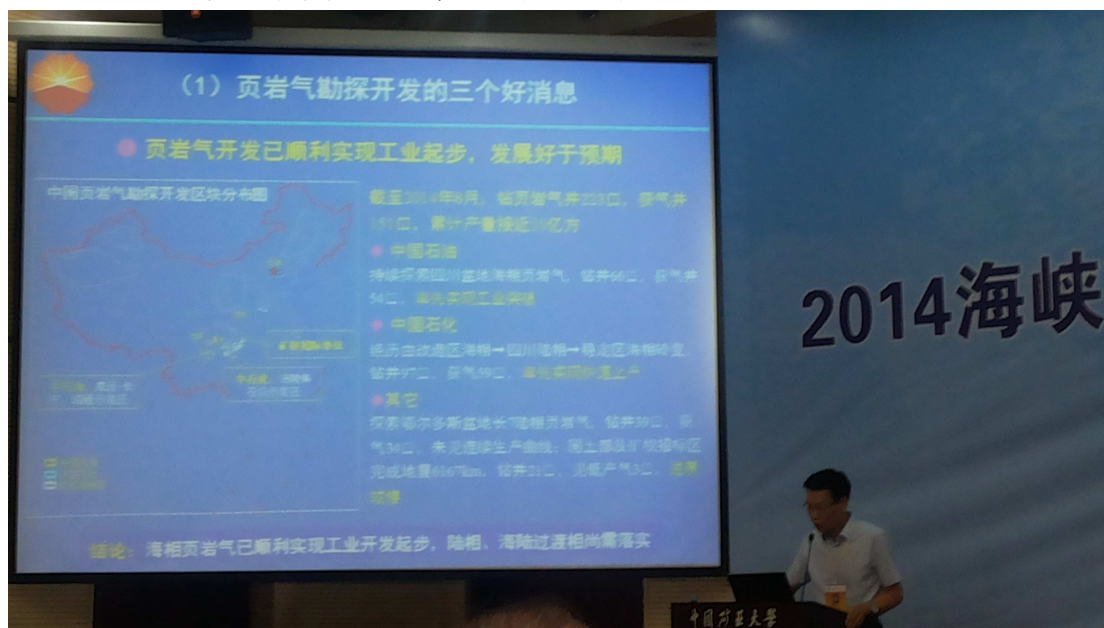
圖四 台塑石化董事長演說「台塑石化公司能資源整合成果暨未來展望」

中鋼公司以「創新」及「節能環保」為其企業願景，在節能環保成果以 5G 為主要訴求。分別為綠色製程(green process)、綠色產品(green product)、綠色事業(green business)、綠色夥伴(green partner)、綠色生活(green life)。預計於 2020 年目標需達「低碳、低汙染、高價值」目標，其 CO₂減量以<1.97 噸 CO₂e/噸粗鋼目標，與原有 BAU 之 2.26 噸 CO₂/年比較，減碳路徑規劃達 12.8%，以內部節能減碳、自產燃氣優質化、新能源開發(生質能/燃料電池/離岸風電)、區域能源整合等為主要實施項目。



圖五 中國鋼鐵公司董事長演說「中鋼能源與環境策略規劃」

中國石油勘探開發研究院則以葉岩氣勘探開發新進展與未來形勢展望發表演說，其主要分布於四川盆地海相頁岩區，勘探開發結果預估目前可生產頁岩氣達 6 億立方米，至 2030 年則約 600 億立方米。以產業界角度來看，降低能源環境衍生之營運風險，減低溫室氣體排放，追求企業永續發展，應為發展目標。製程能資源整合達到減廢及提升能源使用效率降低能耗，為其具體可行方案，加強研發創新於環境能源應用，符合其未來規劃藍圖路徑，屬於短中長期目標，此發展趨勢不論現有產業或是開發中的新能源技術都可適用。



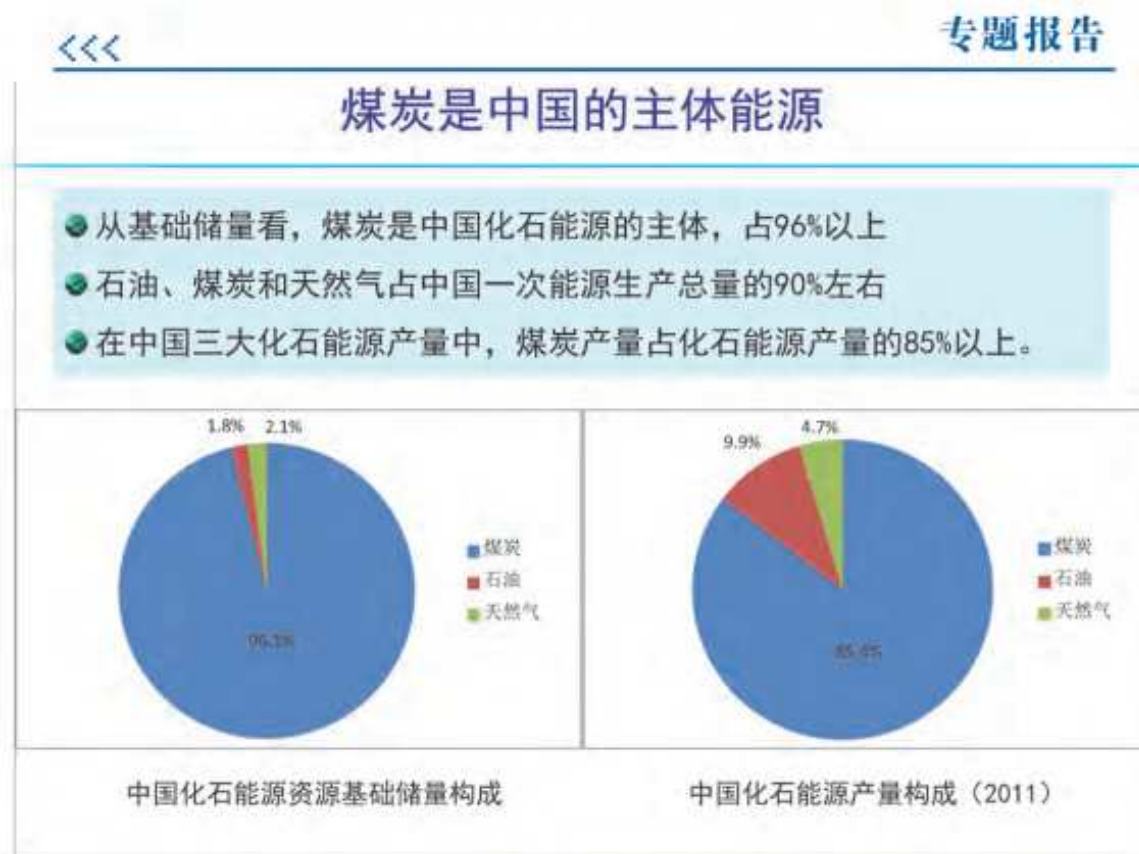
圖六 中國石油勘探開發研究院演說「頁岩氣勘探開發新進展與未來形勢展望」

(三) 「煤炭智慧化開發與低碳化利用」專題主要內容為兩岸減碳淨煤發展現狀、碳捕獲、利用與埋存 (CCUS) 的研發進展。華科技大學報告指出煤碳佔中國化石能源主體高達 96% 以上，控制燃煤煙氣 CO₂ 排放為關鍵。並引述 IPCC 報告指出，台灣的 CO₂ 總排放量以土地面積平均計算為世界第一，人均年排放量超過 12 噸，是全球的三倍。我國能源國家型計劃「減碳淨煤」主軸召集人談駿嵩教授亦指出其重要性，顯見兩岸能源與環境衝突性有其相似處。淨煤技術研發具有迫切需求，其面臨問題與挑戰如下：

1. 開採: 生態破壞、安全嚴峻
2. 資源: 分布不均、煤水逆向
3. 供需: 增長過快、矛盾突出
4. 利用: 技術低落、效能低下
5. 環境: 嚴重汙染、減排壓力
6. 輸配: 運距加大、供給不易

CO₂ 減排的具體作法為使用低碳燃料、提高效率與碳隔離。有鑑於此，淨

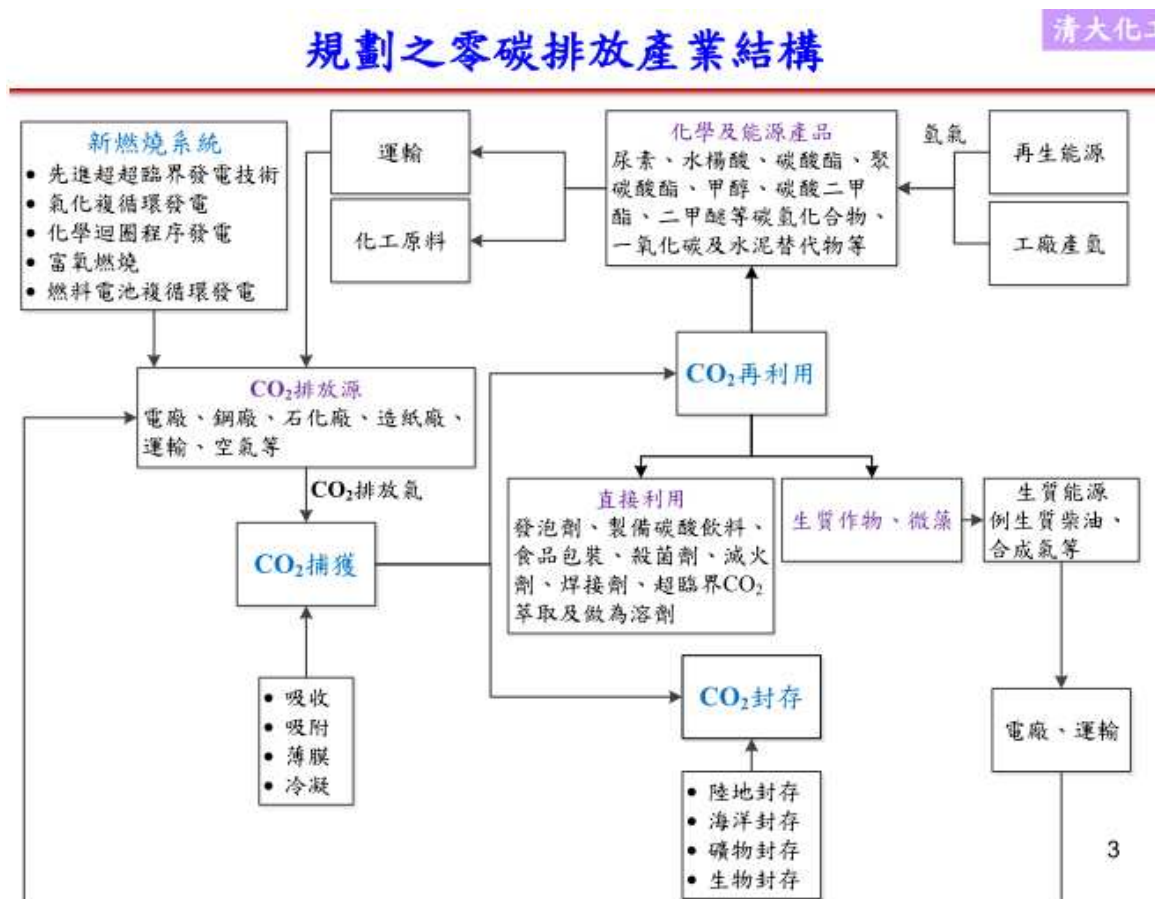
煤技術發展主要將以 600MW 以上超超臨界發電為主，總裝機容量約 1 億千瓦，預計每年可節省 2200 萬噸煤用量。大型循環流體化床燃燒技術亦為發展重點之一，大陸已於 2011 年陸續建造 600MW 示範工廠。有關現代煤化工產業示範，目前已建立 5 座煤製油示範場，總產能 168 萬噸/年。4 座煤製天然氣工廠，總產能 151 億立方米/年。1 座煤製乙二醇工廠，總產能 20 萬噸/年。



圖七 中國煤炭蘊藏量占其基礎能源配比與重要性

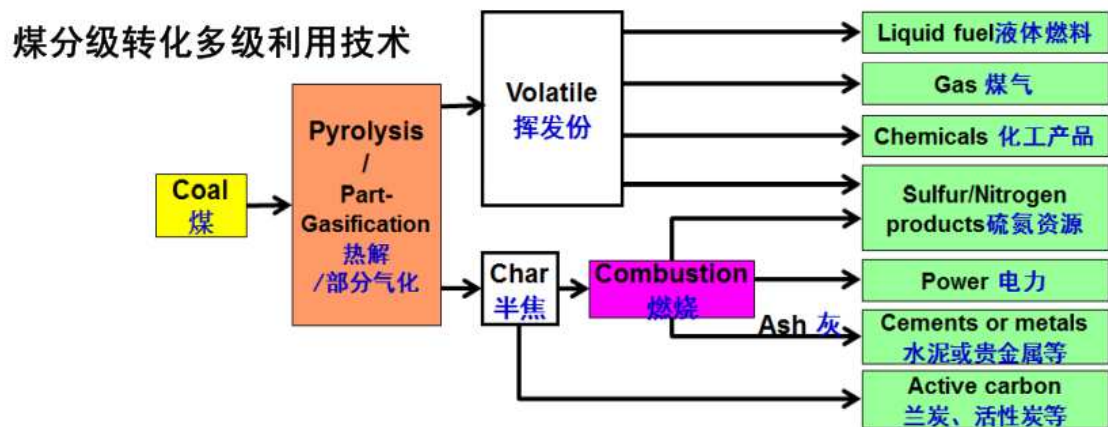
有關 CCS 減碳技術發展，依據 IEA 評估，為減緩溫室效應，使全球溫度上升幅度於 2050 年維持於 2DS 之情境分析(相對於 2010 年)，除了改變能源使用種類及效率、開發再生能源等方式外，藉由 CO₂ 捕獲、運輸與貯存(CCS)，可以降低 14% 的碳排放量，為目前最有效之一種減碳技術。CCUS 係指捕獲發電廠、水泥廠、鋼鐵廠及石化廠等主要排放源所排放之 CO₂，再將捕獲之 CO₂ 經管線或船舶運輸至封存或再利用場址，達到澈底減排之目的。CCUS 產業鏈依技術可以區分成四部分：捕獲、運輸、再利用及封存，各部分包含不同的技術。我國減碳淨煤主軸主要分為 CO₂ 捕獲、封存、再利用及新燃燒系統等 4 個分項。此次論壇在此項目仍以捕獲技術為主，例如吸收、吸附、化學迴圈等。國內能源國家型主軸計畫演說有關之期望之零碳排放結構，內容即涵蓋整個 CCUS。在 CO₂ 減量技術上，台灣大學指出結合化學吸收法與超重力技術(Hige)捕獲燃煤電廠排放 CO₂，近期研究針對超重力製程的 CO₂ 捕獲及吸收劑再生進行

開發，並協助業界規劃及建立 CO₂捕獲工廠，現已將 CO₂捕獲技術轉移至國內上市公司(每日 0.1 公噸 CO₂及每日 1.0 公噸 CO₂)，希望能提升我國減碳技術能量。台灣科技大學研究建立載氧體製備技術、建立實驗室級化學循環反應器，及與研究單位建立先導型 30kWt 新燃燒系統。



圖八 談駿嵩教授演說期望之零碳排放結構

(四) 清潔煤現已成為國家能源安全與經濟發展重要指標，煤利用之水/固體/空氣/碳管理列為環境風險管理關鍵項目。本次會議中有關煤炭分級轉化清潔發電技術相關之空汙問題，主要以空氣中 PM_{2.5} 為主題，主因為每年大規模使用煤炭，造成了嚴重的大氣污染。浙江大學提出之清潔煤與其分級管理，其核心技術是煤炭分級轉化清潔發電技術與其煤製油、氣，包括“分級轉化”和“清潔發電”二項核心內容。其中的“分級轉化”的基本構想是將發電與化工結合，意即在燃煤發電過程中先以熱解提取煤的輕質成分（揮發成分）用於生產油、氣，剩餘之半焦物（以碳元素為主）再用於燃煤發電。由於熱解過程不需高壓與純(富)氧，也無需耗水，使油、氣轉化成本大為降低，並且節省寶貴水資源。

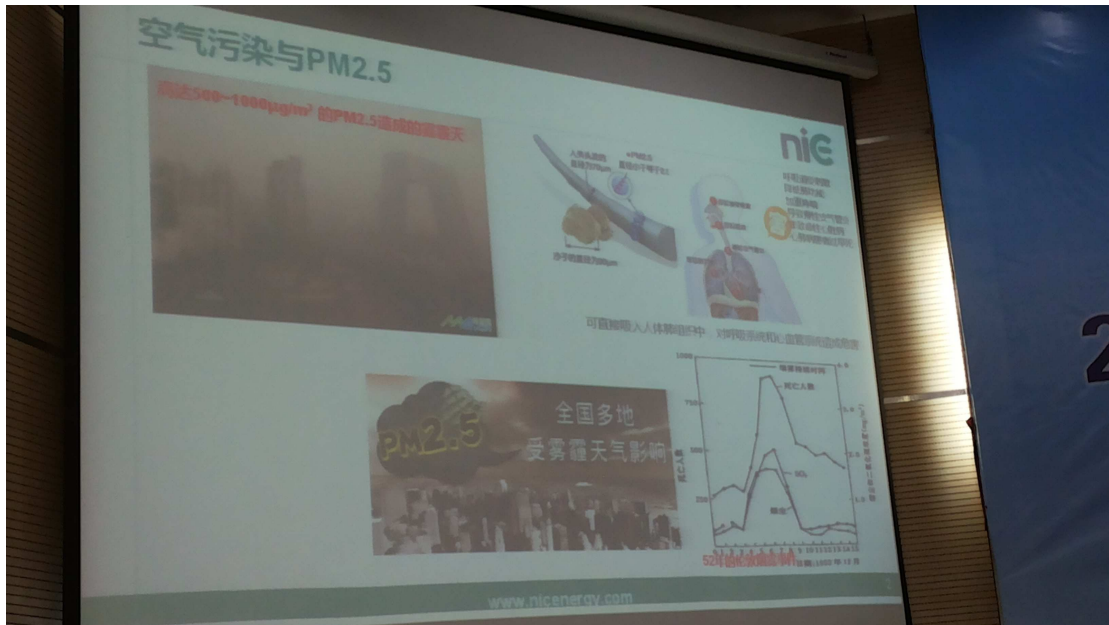


圖九 煤分級轉化多級利用技術

“清潔發電”則是以 SO₂、NO_x、顆粒物及其它污染物共同深度脫除技術為主，使燃煤發電機組的污染物排放達到與天然氣機組水平或近零排放為目標。以浙江大學 300MWe 褐煤循環流化床鍋爐改造為例，以乾燥後褐煤為原料的“300MWe 循環流化床熱電多聯產裝置示範工程即與當地環保公司合作開發燃煤煙氣污染物超低排放關鍵技術開發。此系統採取新式技術，對緩解大陸石油供應、能源安全環境生態保護產生重大作用，為解決燃煤大氣污染與能源資源提供重要出路，值得國內借鏡。

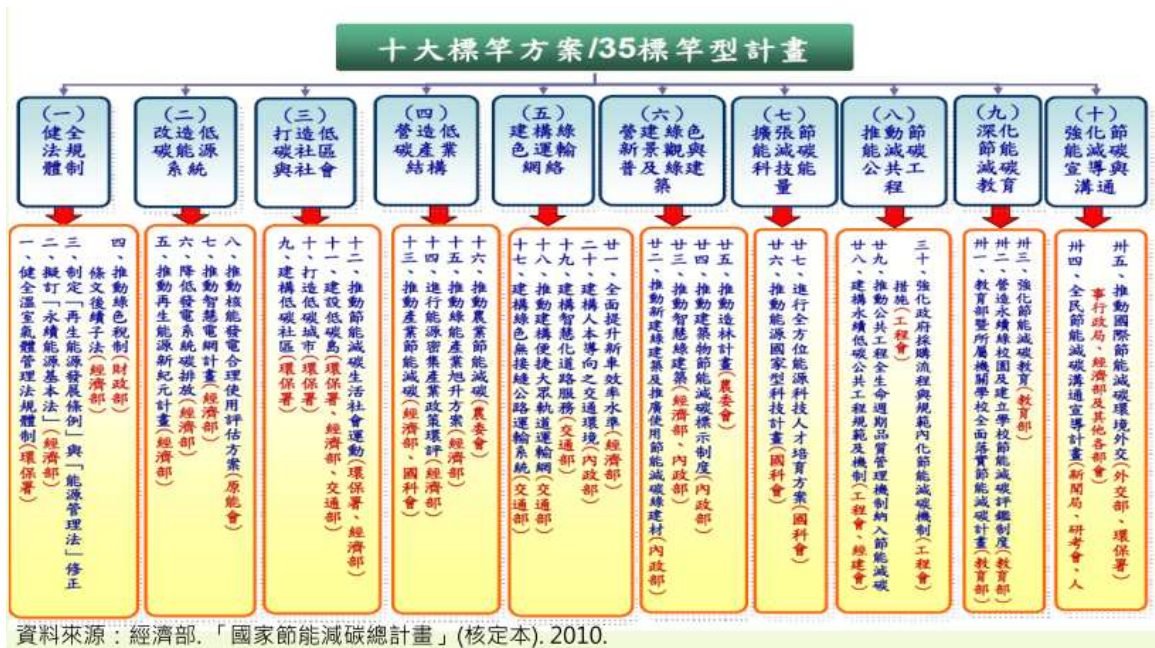


圖十 中國國電 300MWe CFB 循環床



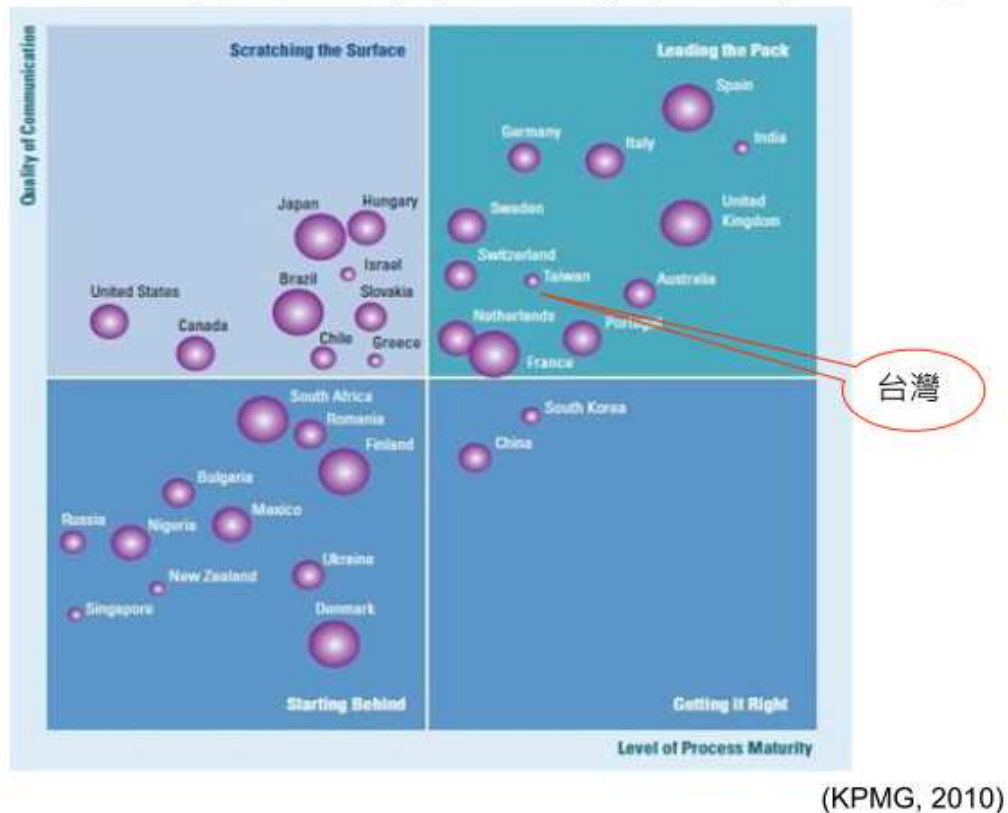
圖十一 煤炭分級轉化清潔發電技術相關之空汙問題

(五) 綠色經濟與企業永續發展亦為本次論壇專題之，成功大學引述 2012 年聯合國永續發展大會(Rio+20)「我們要的未來」(The Future We Want) 宣言，揭櫫了未來綠色經濟發展的重要性。聯合國環境規劃署(United Nations Environment Programme, UNEP)於 2009 年倡議各國政府採取「全球綠色新政」，透過綠色投資，解決各國經濟景氣持續低迷之困境。我國「國家節能減碳總行動方案」列出引導低碳經濟發展之十大標竿方案。目前台灣企業正積極推行與企業社會責任相關之 CSR 制度，透過國際認證組織標準(ISO)企業表現對於利害相關者關切議題之回應與責任履行，表達企業考量環境與社會面向之經營策略之當責性(accountability)。大陸在煤炭利用同時面臨環境挑戰和能源前瞻二個衝突面向，發展清潔煤、再生能源及環境保護同樣為永續責任一環。舉例如神華集團對於西部礦區煤炭開採水資源保護與利用技術演說為例，因採煤每年造成地下水資源破壞高達 60 億噸損水量，而大陸因幅員廣闊，其人均水資源短缺僅達世界平均水準約 1/4，其中尤其是西部地區更嚴重。保護和利用每年因採煤損失的數十億噸珍貴水資源具有重大戰略意義，更成為企業永續責任。



圖十二 我國「國家節能減碳總行動方案」

全球30個主要評比國家CSR報告之評比結果



圖十三 我國與各國 CSR 評比



矿区由耗水大户变为重要的供水基地

圖十四 大陸西部礦區水資源利用改造計畫

四、建議事項

(一) 燃煤火力電廠仍是未來 20 年全球能源主流，由此次會議觀察，我國之燃煤排碳與人均排放皆屬於高排名，大陸燃煤比重則高達 96% 以上，兩岸在此議題上實有極為共同之處。本次會議主題為「高碳能源低碳化利用與綠色能源技術」，內容包含煤炭智能化開發與低碳化利用、油氣高效勘探開發及與非常規天然氣、電力清潔生產與綠色發電技術、綠色能源與節能減排、綠色經濟與綠色生活等，皆為本所發展永續能源與減碳重要議題。我國政府在節能減碳政策目標下，未來可擴大參加人數與規模，展現我國之企圖心。本屆年會是在習近平總書記宣導能源科技革命的大背景下召開的，對推動海峽兩岸合作應對氣候變化及共同推動能源革命具有重要意義。2014 海峽兩岸氣候變遷與能源永續發展論壇本年為第十屆，參加者多為資深人員，主要包含學研界院士、教授、及產業代表負責人等，交流內容聚焦於國際趨勢、現有研發及未來重要方向，整體而言，短時間可獲得極為重要資訊，提供相關領域的產學研單位參考，後續會議應積極參加。

(二) 主辦單位之中國工程院為其工程科技最高單位，主要任務提供工程技術戰略性研究與決策諮詢，本次共有 12 位院士參加，極為重視兩岸氣候變遷與能源永續發展學術交流。目前以煤炭、石油、天然氣仍是中國基礎能源主體，佔 96% 以上，為達環境永續目標，清潔煤現已成為國家能源安全與經濟發展重要指標，

煤利用之水/固體/空氣/碳管理列為環境風險管理關鍵項目。本次會議中有關煤炭分級轉化清潔發電技術相關之空汙問題，值得重視。清潔煤與其分級管理包含“分級轉化”和“清潔發電”二項核心內容，已在大陸 300MWe 循環流化床熱電多聯產裝置示範獲得初步驗證，對緩解大陸石油供應、能源安全環境生態保護產生重大作用，為解決燃煤大氣污染與能源資源提供重要出路，值得國內借鏡。

(三)工業部門中高耗能產業如水泥、鋼鐵、石化、煉油業等為高排碳產業，我國環保署 2012 年亦正式公告包含 CO₂ 等 6 種溫室氣體列為空氣污染物，初期規定國內相關產業皆必須申報其碳排放量。美國環保署於 2012 年提出新電廠之碳排放標準，主要規定新電廠的排放量上限為不超過 1,000 lb CO₂/MWh。這代表燃煤發電技術在未來需具備 CO₂ 減排能量。因此國內相關產業如電力、水泥、鋼鐵、半導體、TFT-LCD、石油煉製、石油化工原料製造、人造纖維製造，紙漿及紙製品製造等未來勢必面臨減碳壓力，國內相關產業應積極因應減碳趨勢來臨外，以商業角度來看，也是未來極具潛力方向。節能環保為企業發展願景及目標，我國指標性企業如中石化、中鋼、台電公司對低碳低汙染及高價值亦提出規劃，具體目標如製程減廢減碳、降低空汙與提高副產物價值等，期能降低能源環境衍生之營運風險，追求企業永續發展，此點為兩岸共通亦為全球一致追求目標。全球暖化現象有漸趨嚴厲之趨勢，與會學者認為兩岸排碳量指標皆列於高強度範圍，未來隨者全球峰會舉辦，可能造成經濟衝擊等顯著影響，應更積極發展永續低碳能源，有賴於持續交流與互助共創雙贏。

五、附 錄

附件一、會議論文

天然石灰石製備中高溫鈣鋁捕碳劑及其特性分析

林國興¹, 余慶聰^{2,*}

¹行政院原子能委員會核能研究所, 化學組, 副研發師, 桃園縣龍潭鄉 32546, 台灣

²行政院原子能委員會核能研究所, 化學組, 副研究員, 桃園縣龍潭鄉 32546, 台灣

Authors' e-mails: *ctyu@iner.gov.tw

摘要

二氧化碳捕獲技術開發為溫室氣體減量關鍵技術之一，對於全球環境保護具有極重要意義。自中高溫環境例如燃燒前(Precombustion)捕獲CO₂技術，具有高濃度之潛能，若能克服高溫劣化(sintering)缺點，藉由多次迴路程序，則將大幅提升捕獲量。本研究探討利用天然石灰石(Limestone)製備之含鈣鋁捕碳劑(LAs sorbent)，依酸化時間不同分為LA24、LA48與LA72，並應用於中高溫(750 °C)反應進行二氧化碳捕獲試驗，特性分析部份則是進行了BET、與XRD。首先，天然石灰石須先經過醋酸處理，材料與酸重量比例為1:1.8分別浸泡24、48與72小時，接著搭載鋁於石灰石表面上以增加其高溫穩定性，其中Ca與Al莫爾比例為7:1。熱重分析儀(TGA)之初步結果顯示，LA24、LA48與LA72於750 °C之CO₂捕獲量高達53.8 wt%、47.4 wt%與43.2 wt%。本研究亦發現中高溫材料之二氧化碳捕獲能力及熱穩定性與鈣、鋁之莫爾比例高度相依，由於LAs具有優越之孔洞結構與均勻之鈣鋁氧化物分散性，因此於多重迴路捕獲-脫附(capture-desorption)測試中表現出優越之穩定性。三種捕碳劑於750 °C 下之40次迴路捕獲測試結果顯示其穩定性依序為85.1 % (LA24)、81.8 % (LA48)以及79.2 % (LA72)。另外，本研究亦比較不含鋁修飾之石灰石捕碳劑性能，其初次捕獲量與LAs類似，但熱穩定性不如經鋁修飾之捕碳劑。

Keywords: 鈣鋁捕碳劑、二氧化碳捕獲、天然石灰石

一、前言

近年來全球正面臨地球暖化的威脅，此種現象除了自然界氣候波動外，最主要還是人類大量使用石化燃料並濫伐森林，過度的消耗石化燃料與排放大量二氧化碳致使地球溫度上升，因此二氧化碳的捕獲和儲存 (CCS) 的技術受到相當大的關注。溫室效應的成因主要是溫室氣體吸收長波輻射能力強，而對短波輻射之吸收能力較弱，其中地面輻射是長波輻射，而太陽輻射主要是短波輻射，進而使得大氣層如同覆蓋溫室玻璃，導致地球的溫度升高。溫室氣體是指大氣中促成溫室效應之氣體，可分為自然溫室氣體及人造溫室氣體，二氧化碳(CO₂)對全球升溫貢獻所占百分比為55%，大氣中二氧化碳濃度增加，主要因為化石燃料燃燒及森林砍伐，而以化石燃料對二氧化碳排放所占的比重最高，為防止全球氣候暖化繼續惡化，世界各國已達成削減溫室效應氣體之共識，並採取相關對策及技術開發。目前，最有效降低二氧化碳濃度的方法為二氧化碳捕捉及封存技術 (CO₂ Capture and Storage, CCS)，即利用捕捉劑將二氧化碳與其他氣體分離，得到較高純度的二氧化碳，以利後續的應用與儲存；此外，吸附劑之結構及活性決定吸附劑之再生性及穩定性，其活性越高，越具有商業化之價值。由於京都會議書的協定內容，使有關二氧化碳捕捉與處理的科技研究已經吸引世界各地

高度關注，又於2009丹麥的哥本哈根會議共同制定了減碳標準，目前相關的研究工作如二氧化碳儲存、分離與捕集技術、生物轉換、發電廠富氧燃燒與薄膜分離技術也日益重要。

二氧化碳的捕集技術方面，文獻上的研究主要有吸附、低溫、薄膜分離等。吸附所利用的是氣體和固體材料(即吸附劑)分子間作用力，依照分子間作用力，可將吸附劑分為兩大類—物理吸附劑和化學吸附劑。最常見的物理吸附劑為活性碳和沸石，此種吸附劑有相當高的吸收量，但在高溫操作時，吸收量會急速下降。目前商業化捕獲二氧化碳的化學吸附劑為胺類吸附劑，其適用溫度約在50~140℃，礙於在燃燒過程中產生的氣體溫度相當高，因此須先將高溫的氣體冷卻後再進行吸附反應，故限制了此方法的應用。

本研究探討利用天然石灰石(Limestone)製備之含鈣鋁捕碳劑(LAs sorbent)，並應用於中高溫(750 °C)反應進行二氧化碳捕獲試驗，特性分析部份則是進行了BET、XRD與SEM。研究亦發現中高溫材料之二氧化碳捕獲能力及熱穩定性與鈣、鋁之莫爾比例高度相依，由於LAs具有優越之孔洞結構與均勻之鈣鋁氧化物分散性，因此利用TGA進行多重迴路捕獲-脫附(capture-desorption)測試捕獲量以及穩定性。另外，本研究亦比較不含鋁修飾之石灰石捕碳劑性能，其初次捕獲量與LAs類似，但熱穩定性不如經鋁修飾之捕碳劑。

二、文獻回顧

溫室氣體中二氧化碳(CO₂)對全球升溫貢獻所占百分比為55%，大氣中二氧化碳濃度增加，主要因為化石燃料燃燒及森林砍伐，其中又以化石燃料燃燒對二氧化碳排放所占的比重最高，為防止全球氣候暖化繼續惡化，世界各國已達成削減溫室效應氣體之共識，並採取相關對策及技術開發，本研究將其相關的研究及中孔隙材料之研究整理如下：

(一) 二氧化碳處理方法

捕捉二氧化碳之方法，可依燃料燃燒方式不同分為三種捕獲路徑：燃燒前捕獲(pre-combustion capture)、燃燒後捕獲(post-combustion capture)及富氧燃燒(oxy-fuel combustion)[1]；另外，在工業上回收二氧化碳處理方法可分為四大類，液體吸收法、固體吸附法、薄膜滲透法及低溫冷凝法。液體吸收則是利用吸收液以物理或是化學方式吸收；固體吸收法係用多孔吸附劑如沸石、活性碳及矽膠進行吸附，亦可區分為物理吸附及化學吸附；薄膜滲透法是利用氣體通過薄膜時之不同滲透率之特性來加以分離；冷凝法主要是利用兩階段壓縮冷凝之方式來進行分離。

吸收法是目前最常用於捕捉燃燒後低濃度二氧化碳之方法，主要是利用鹼性液體吸收劑與二氧化碳反應形成化合物；鹼性液體吸收劑通常會隨著吸收次數增加而減少因此在吸收過程中需要補充大量吸收劑；此外，鹼性液體長期使用下易造成管線及吸收之腐蝕因而造成二氧化碳吸收成本增加[2]。低溫方法則是利用兩階段壓縮冷凝將二氧化碳液化或固化成乾冰，再以蒸餾的方法將不純物質分離出來，作為再利用原料，此方法由於需要能源消耗因此無法大規模應用。利用薄膜分離燃燒前之二氧化碳與氫氣，所使用的薄膜可分為多孔性陶瓷、金屬薄膜與聚合物薄膜[2]等；多孔性陶瓷薄膜對氫氣之選擇性不高；金屬薄膜雖對氫具有高選擇性，但在氫氣中熱循環易脆及變形；聚合物薄膜是唯一商品化但無法用於溫度大於150 °C之操作溫度；吸附法則是利用固體吸附劑進行二氧化碳捕捉，在工業常以雙塔進行操作，當

一塔進行吸附則另一塔進行脫附；操作條件可分為變壓吸附程序(高壓吸附及低壓脫附)與變溫吸附程序(低溫吸附與高溫脫附)。

(二) 中孔洞分子篩發展的起源

在 1990 年 Yanagisawa 等人製備出具有單一孔徑的中孔洞材料[3]。在 1992 年 Mobil Oil 公司成功利用帶正電的四級銨鹽陽離子界面活性劑 (quaternary ammonium surfactant molecules, $C_nH_{2n+1}(CH_3)_3N^+$) 為模板在鹼性條件下進行自組裝 (self-assembled molecular array) 與帶負電的矽鋁酸鹽結合研發出新型態的中孔洞分子篩-M41S[4]。M41S 系列中孔洞分子篩分別為六角堆積結構 (Hexagonal) 的 MCM(Mobil Catalytic Material)-41、立方堆積結構 (Cubic) 的 MCM-48 與層狀結構 (Lamellar) 的 MCM-50，三者之中又以 MCM-41 的應用性最廣[4]，係因 MCM-41 孔洞具有規則排列外還具有高表面積、熱穩定性強以及孔洞大小均勻可調整 (1.5 ~ 10 nm) 等特性[1]，因此可適合應用在催化反應、奈米材料製作之模板及光電材料)等多方面的應用[1, 4-6]。此外，在製備的過程中加入少量的金屬離子，非但不會影響孔洞結構，還可使原有不具催化能力之 MCM-41 轉變具有催化能力[7, 8]。

在 1994 年 Huo 與 Stucky 等人以 Cetyltriethylammoniumbromide (CTEABr) 為陽離子界面活性劑，使用 Tetraethyl orthosilicate (TEOS) 為矽源，在強酸條件下成功合成出了球狀立方堆積結構的 SBA-1[9]。1999 年，韓國的 Kim 與 Ryoo 發表了可調整孔徑大小 (1.4 ~ 2.7 nm) 之 SBA-1(9)。1998 年 Zhao 等人以三嵌段共聚高分子 (Tri-block copolymer) Pluronic P123 (EO₂₀-PO₇₀-EO₂₀，其中 EO 代表聚乙氧基而 PO 代表聚丙氧基) 為界面活性劑，成功合成具有規則的六角堆積結構之 SBA-15[10, 11]。

(三) 中孔洞材料形成機制

中孔洞材料的合成機制係為於溶液中自我合成 (self-assembly) 液晶相的界面活性劑 (surfactant) 或兩性共聚高分子作為模板。此模板分子在溶液中的濃度達到臨界微胞濃度 (critical micelle concentration, CMC) 時，則會形成球狀或圓柱狀之微胞，隨著溶液濃度之增加會進一步組合成六角、立方或層狀等液晶相。

中孔洞矽氧化物是以溶膠凝膠法 (sol-gel process) 在酸性或鹼性條件下進行合成反應，溶膠凝膠法可以分為四個步驟：水解聚合 (hydrolysis and condensation)、凝膠化、靜置以及乾燥 [12]。其中水解聚合是最重要的一個步驟，在水溶液中先進行水解和聚合反應進而形成三度空間結構；發生水解聚合反應需要催化劑幫助反應進行，在酸性溶液中，催化劑為氫根離子 (H^+)，在鹼性溶液中，催化劑為氫氧根離子 (OH^-) [12]；此外合成中孔洞氧化矽之矽源的種類大致可分為水玻璃溶液 (sodium silicate solution) 與矽烷 (TEOS)。

(四) 中孔洞吸附材對於二氧化碳之捕捉

利用模板合成法製備之中孔洞分子具有均一且可調孔徑大小、穩定結構、均一孔壁厚度，表面含有活性的 silanol group (Si-OH) 可用來進行改質，以填入各種不同物質進入孔洞中，一般常見複合中孔洞金屬氧化物的合成方法有含浸法 (Impregnation method)、離子交換法 (Ion-exchange method)、共沉澱法 (Co-precipitation method)、沉積-沉澱法 (Deposition-

precipitation method)及化學氣相沉積法(Chemical vapor deposition method)；做為吸附運用時，常用於氣體分離及淨化，如二氧化碳之分離與純化，其吸附能力亦隨著溫度升高而降低，近年來運用改質後中孔洞吸附劑對二氧化碳進行吸附研究已有增加之趨勢，由文獻中可發現在進行CO₂ 吸收劑改質過程中以有機物居多，且吸附之溫度皆為低溫，因此本研究將以MCM-41 用於中高溫捕碳劑研發之應用。其方法為在製備的過程中加入少量的金屬離子氧化物(如：硝酸鈣及醋酸鈣)進行改質，在不會影響孔洞結構之特性[10, 13]下，使在高溫具有捕獲二氧化碳能力之MCM-41 材料。

(五) 氧化鈣改質之研究

當氧化鈣表面生成之碳酸鈣厚度超過50 nm以後，二氧化碳的吸附便進入由擴散通過碳酸鈣層所控制的緩慢吸附段[14]，如能控制氧化鈣內部孔洞在適當的尺寸下，避免孔洞因碳酸鈣的形成而阻塞，必然提升對二氧化碳吸附能力與抑制循環時的劣化情形有明顯的幫助。Feng et al.[15] 提出使用耐熱、結構穩定、不與二氧化碳反應且具有大比表面積的材料作為擔體(如： γ -Al₂O₃)，以含浸法將鈣的前驅物氯化鈣均勻分布在擔體表面，如此改質的手法可有效避免循環時的劣化問題，該研究成果證實此方法有效抑制了循環再生時因燒結所造成之劣化問題。

三、研究方法

(一) 天然石灰石製備含鈣捕碳劑

將天然石灰石岩塊粉碎至細小粉粒，接著將約10g之天然石灰石粉粒倒入醋酸水溶液，並且控制石灰石與醋酸之重量比例為1:1.8，此溶液乃接著分別於室溫下攪拌24、48與72小時，命名為L24、L48與L72捕碳材料。待攪拌完成後，將此溶液過濾以及於80 °C下將粉體烘乾；烘乾後之粉末需再浸泡Al(NO₃)₃水溶液，其中控制Ca與Al之莫耳比例為7:1，持續攪拌直至混合均勻，接著將溶液水洗、過濾及於80 °C下烘乾，最後，將烘乾後的粉末進行700 °C煅燒，煅燒後之樣品依攪拌時間不同而分別命名為LA24、LA48與LA72。

(二) TGA 吸附及脫附測試

利用熱重分析儀(TGA, NETZSCH TA 209) 進行吸、脫附循環測試。在進行CO₂ 吸附實驗之前，必須先將吸附劑材料持續通入熱N₂(g) 氣氛進行活化待熱重平衡且無重量變化，以作為CO₂ 之吸附劑。在吸附階段，通入流量為20 ml/min 之CO₂ 氣體在750 °C 吸附1 小時後，再通入流量為20 ml/min 之N₂ 氣體在高溫750°C 脫附，使CO₂ 完全脫附排出，如此即完成一次吸附/脫附測試。重複10、40 次循環，以測試其穩定性。

四、結果與討論

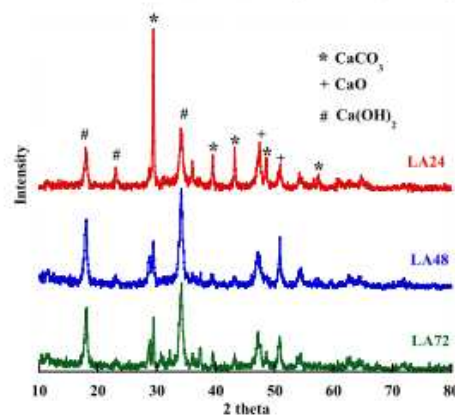
表一列出了二氧化碳捕捉劑之比表面積分析結果，包含比表面積、孔洞體積以及孔洞尺寸，由表清楚得知，經過煅燒過程捕碳劑之孔洞結構明顯較煅燒前來得均勻分布，而恆溫吸脫附曲線圖則指出其應為中孔洞結構。以LA24型與L24型樣品為例，在經過硝酸鋁修飾後其比表面積由1.15提升至7.14 平方公尺/克，亦可由孔洞體積之差異得知。另外，觀察LA24型、LA48型與LA72型樣品之表面積，其結果可推論有一最佳攪拌時間存在於24至72小時，因

其表面積由7.14平方公尺/克提升至14.60平方公尺/克，接著又降至7.97平方公尺/克，雖然由此項資訊可獲得最高比表面積捕碳劑之最佳參數，但以TGA進行二氧化碳捕獲之結果顯示，其捕獲量以及長時間穩定性並沒有相似之趨勢，因此亦可推論此類型捕碳劑之表面積高低並非為影響吸附行為之重要因素。

表一、含鈣捕碳劑之比表面積分析結果

Sample	Surface area (m ² /g)	Pore volume (cm ³ /g)	Pore size (nm)
LA24	7.14	0.060	33.6
LA48	14.60	0.117	32.0
LA72	7.97	0.079	39.8
L24	1.15	0.009	34.4
L48	2.67	0.014	21.2
L72	1.72	0.009	23.0

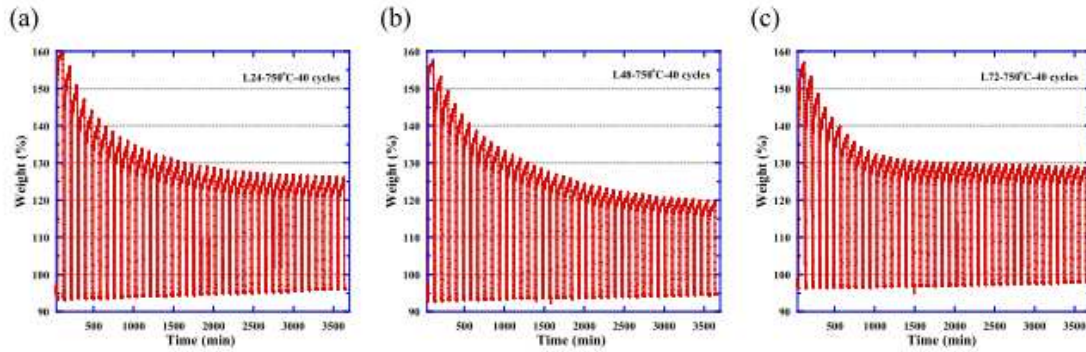
為了探討不同反應時間對於捕碳劑的結構特性分析，三種捕碳劑LA24、LA48與LA72型之X光繞射圖譜如圖一所示。經過標準圖譜比對之後發現，此類型捕碳劑包含CaCO₃、CaO與Ca(OH)₂，在LA24型捕碳劑發現其CaCO₃特徵峰較LA48型與LA72型來的明顯，表示其中CaCO₃之結晶結構較為完整；另外當製備之攪拌時間延長至48以及72小時，Ca(OH)₂之特徵峰則較為顯著，故由CaCO₃與Ca(OH)₂之結晶結構之消長可推論攪拌時間對於捕碳劑結構有明顯影響。因此，此類型捕碳劑之結構可藉由操縱製備時之攪拌時間來控制，除此之外，由於不同型態鈣結晶結構之存在，亦可提供於進行CO₂捕獲試驗時重要資訊。



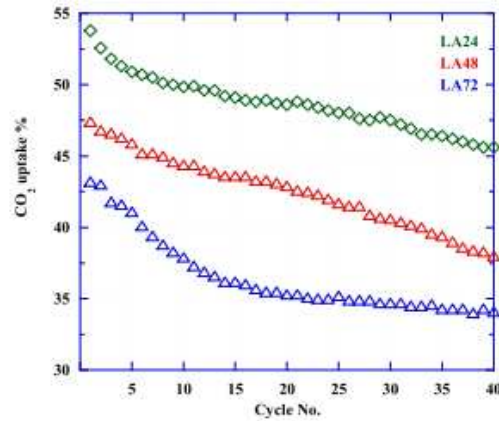
圖一、三種捕碳材料LAs之XRD圖譜

本研究乃利用TGA進行捕碳劑之二氧化碳捕獲測試，圖二為三種未經鋁修飾之捕碳劑於750 °C之40迴路捕獲測試。三種未經鋁修飾之捕碳劑之捕獲量均於10迴路內快速衰退，大約至第20迴路後捕獲能力趨於穩定，以L24型為例，第一迴路之最大捕獲量為67.3 %，而於第10迴路時捕獲量降至40.1 %（相當於10迴路穩定性59.6 %）；於第20迴路時捕獲量為33.3 %（相當於20迴路穩定性49.5 %）；而於第40迴路時捕獲量為28.7 %（相當於40迴路穩定性42.6 %）。經由圖一之結果，吾人可得知此類型捕碳劑之穩定性不佳，為了提升其穩定性(或提升

其抗高溫劣化能力)，因此思考添加鋁至其結構中以提升抗劣化能力。圖三為經鋁修飾捕碳劑於750 °C之40迴路捕獲測試，由於鋁的擔載，總體之鈣含量因此下降，導致最大捕獲量下降，以L24型與LA24型捕獲劑為例，前者之最大捕獲量為67.3 %，而後者因鋁之修飾其最大捕獲量降為53.8 %，相同結果也可由LA24型與LA48型得見。除外，經過鋁修飾之捕碳劑，其穩定性或抗劣化能力均有非常顯著的提升，以LA24型之穩定性表現最佳，於第40迴路時仍有85.1 %之穩定性，同時捕獲量可達45.8 %，穩定性與捕獲量均遠優於L24型捕碳劑於第40迴路之表現。



圖二、未經鋁修飾捕碳劑於750 °C，40迴路TGA捕獲試驗(a)L24, (b)L48, (c)L72。



圖三、經鋁修飾之捕碳劑於750 °C之40迴路之CO₂捕獲試驗

五、結論

本研究利用天然石灰石製備低成本、高捕獲量與高穩定性之高溫型二氧化碳捕碳劑，由BET結果可得知此類型捕碳劑經過高溫煅燒程序，其中孔洞結構較為顯著。而由XRD與TGA捕獲試驗得知，CaCO₃之結構對於捕獲量有較大之影響，另外經由鋁修飾之捕碳劑，雖然導致捕獲量些微下降，但其抗劣化能力明顯提升。由於國際指標對於高溫型捕碳劑之要求為至少90 %穩定性，LA24型捕碳劑於30迴路內已達此國際水準，因此本研究已初步成功利用天然石灰石製備含鈣物質之奈米級中孔隙捕碳材料，未來將持續改變其它參數以更提高材料穩定性及效能。

六、致謝

本研究誠摯地感謝國立交通大學材料科學與工程學系所陳三元教授協助，以及台灣科技部能源國家型計畫經費補助，編號：MOST 103-3113-E-042A-001-。

1. Olajire, A.A., CO₂ capture and separation technologies for end-of-pipe applications-A review. *Energy*, 2010. 35(6): p. 2610-2628.
2. 彭柏洋, 中孔洞二氧化碳吸附之開發. 崑山科技大學綠色材料研究所碩士論文, 2010.
3. Yanagisawa, T., T. Shimizu, and K. Kuroda, The Preparation of Alkyltriethylammonium-Kaneinite Complexes and Their Conversion to Microporous Materials. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 1990. 63: p. 988-992.
4. Hamza, A. and D. Srinivas, Selective Oxidation of Benzyl Alcohol Over Copper Phthalocyanine Immobilized on MCM-41. *Catalysis Letters*, 2009. 128(3-4): p. 434-442.
5. Sayari, A., Catalysis by Crystalline Mesoporous Molecular Sieves. *Chemistry of Materials*, 1996. 8(8): p. 1840-1852.
6. Kim, M.J. and R. Ryoo, Synthesis and Pore Size Control of Cubic Mesoporous Silica SBA-1. *Chemistry of Materials*, 1999. 11(2): p. 487-491.
7. Zhao, Y., et al., Mesoporous Silica Nanoparticle-Based Double Drug Delivery System for Glucose-Responsive Controlled Release of Insulin and Cyclic AMP. *Journal of the American Chemical Society*, 2009. 131(24): p. 8398-8400.
8. Hartmann, M. and D. Jung, Biocatalysis with enzymes immobilized on mesoporous hosts: the status quo and future trends. *Journal of Materials Chemistry*, 2010. 20(5): p. 844-857.
9. Huo, Q.M., David I.; Ciesla, Ulrike; Feng, Pingyun; Gier, Thurman E.; Sieger, Peter; Leon, Rosa; Petroff, Pierre M.; Schüth, Ferdi; Stucky, Galen D., Generalized synthesis of periodic surfactant/inorganic composite materials. *Nature*, 1994. 368(6469): p. 317-321.
10. Zhao, D., et al., Triblock Copolymer Syntheses of Mesoporous Silica with Periodic 50 to 300 Angstrom Pores. *Science*, 1998. 279(5350): p. 548-552.
11. Zhao, D., et al., Nonionic Triblock and Star Diblock Copolymer and Oligomeric Surfactant Syntheses of Highly Ordered, Hydrothermally Stable, Mesoporous Silica Structures. *Journal of the American Chemical Society*, 1998. 120(24): p. 6024-6036.
12. 陳慶庭, 具苯環、硫醚及羧酸官能基之中孔洞材料的合成與鑑定. 中央大學化學系碩士論文, 2010.
13. 陳俞君, 中孔洞複合材料之合成。分析與對二氧化碳吸附之研究. 交通大學材料工程學系碩士論文, 2010.
14. 陳奕岑, 以改質氧化鈣捕獲二氧化碳氣體之循環再生能力研究. 交通大學環境工程研究所碩士論文, 2008.
15. Feng, B., et al., Overcoming the Problem of Loss-in-Capacity of Calcium Oxide in CO₂ Capture. *Energy & Fuels*, 2006. 20(6): p. 2417-2420.

摘要

天然石灰石制备中高温钙铝捕碳剂及其特性分析

二氧化碳捕获技术开发为温室气体减量关键技术之一，对于全球环境保护具有极重要意义。自中高温环境例如燃烧前(Precombustion)捕获 CO₂ 技术，具有高浓度之潜能，若能克服高温劣化(sintering)缺点，藉由多次回路程序，则将大幅提升捕获量。本研究探讨利用天然石灰石(Limestone)制备之含钙铝捕碳剂(LAs sorbent)，依酸化时间不同分为 LA24、LA48 与 LA72，并应用于中高温(750 °C)反应进行二氧化碳捕获试验，特性分析部份则是进行了 BET、与 XRD。首先，天然石灰石须先经过醋酸处理，材料与酸重量比例为 1:1.8 分别浸泡 24、48 与 72 小时，接着搭载铝于石灰石表面上以增加其高温稳定性，其中 Ca 与 Al 摩尔比例为 7:1。热重分析仪(TGA)之初步结果显示，LA24、LA48 与 LA72 于 750 °C 之 CO₂ 捕获量高达 53.8 wt%、47.4 wt% 与 43.2 wt%。本研究亦发现中高温材料之二氧化碳捕获能力及热稳定性与钙、铝之摩尔比例高度相依，由于 LAs 具有优越之孔洞结构与均匀之钙铝氧化物分散性，因此于多重回路捕获-脱附(capture-desorption)测试中表现出优越之稳定性。三种捕碳剂于 750 °C 下之 40 次回路捕获测试结果显示其稳定性依序为 85.1 % (LA24)、81.8 % (LA48) 以及 79.2 % (LA72)。另外，本研究亦比较不含铝修饰之石灰石捕碳剂性能，其初次捕获量与 LAs 类似，但热稳定性不如经铝修饰之捕碳剂。

2014 海峽兩岸氣候變遷與能源永續發展論壇

會議議程

● 9月12日(週五)

時間	會議內容	地點
全天	報到	徐州開元名都大酒店
15:00-17:30	兩岸理事會聯合會議暨兩岸合作懇談會高等研討及對口會談	
19:00-20:30	晚宴	
20:30-	對口會談(待約)	

● 9月13日上午(週六)

地點：中國礦業大學南湖校區圖書館

時間	日程	主持人
大會開幕		
8:30-8:35	中國工程院謝克昌院士致詞	中國工程院 能源與礦業 工程學部主 任彭蘇萍院 士
8:35-8:45	徐州市市長朱民致辭	
8:45-8:50	中國礦業大學校長葛世榮教授致詞	
8:50-8:55	青島科技大學校長馬連湘教授致詞	
8:55-9:00	財團法人臺灣永續能源研究基金會簡又新董事長致詞	
特邀報告(每位報告25分鐘,含Q&A)		
9:00-9:25	報告題目：待定 報告人：太原理工大學 謝克昌 院士	待訂
9:25-9:50	報告題目：臺灣能源永續的挑戰與機會 報告人：財團法人臺灣永續能源研究基金會董事長簡	

	又新	
9:50-10:15	報告題目：煤礦智慧化開採關鍵技術 報告人：中國礦業大學校長 葛世榮教授	
10:15-10:35	合影及茶歇(中國礦業大學南湖校區圖書館門口)	
10:35-11:00	報告題目：台塑石化公司能資源整合成果暨未來展望 報告人：台塑石化股份有限公司董事長 陳寶郎	臺灣：台灣 綜合研究院 吳再益院長
11:00-11:25	報告題目：中國葉岩氣勘探開發新進展與未來形勢展望 報告人：中國石油勘探開發研究院 趙文智 院士	
11:25-11:50	報告題目：中鋼能源與環境策略規劃 報告人：中國鋼鐵公司董事長 鄒若齊	
12:00-13:00	午餐(中國礦業大學南湖校區教工餐廳)	
專題報告 (每位主旨報告 25 分鐘，其餘 15 分鐘，含 Q&A)		
專題一：煤炭智慧化開發與低碳化利用		
13:30-13:55	主旨報告：化學迴圈程式技術及其應用之研發進展 報告人：臺灣科技大學化工系 顧洋 講座教授	大陸：總參 工程兵科研 三所 顧金 才院士 (待 確認)
13:55-14:20	主旨報告：中國碳捕獲、利用與埋存 (CCUS) 的研發進展 報告人：華中科技大學 鄭楚光 教授 (大陸)	
14:20-14:35	報告題目：台灣減碳淨煤發展現狀 報告人：清華大學化學工程系 談駿嵩 教授	
14:35-14:50	報告題目：中國潔淨煤技術最新進展 報告人：北京寶塔三聚能源科技有限公司董事長 任相坤 教授	
14:50-15:05	報告題目：整合超重力碳酸化程式進行碳捕獲與轉爐石再利用 報告人：臺灣大學環境工程學研究所 蔣本基 特聘教授	
15:05-15:20	報告題目：在控制能源消費總量前提下發展煤化工的問題與挑戰	臺灣：淡江 大學工學院 何啟東院長

	報告人：太原理工大學 李文英 教授	
15：20-15：35	報告題目：安全結構理論與安全管理模式 報告人：山西焦煤集團 金智新 總經理	
15：35-15：45	茶歇	
專題二：油氣高效勘探開發與非常規天然氣		
15：45-16：10	主旨報告：中國非常規天然氣開發利用戰略研究 報告人：淮南礦業（集團）有限責任公司 袁亮 院士	臺灣：台塑石化股份有限公司陳寶郎董事長
16：10-16：25	報告題目：能源轉換與利用-風能制氣應用 報告人：中國石油學會 朱少華 理事長	
16：25-16：40	報告題目：臺灣天然氣發展與兩岸合作契機 報告人：臺灣綜合研究院 吳再益 院長	
專題三：電力清潔生產與綠色發電技術		
16：40-17：05	主旨報告：智慧電網的核心理念 報告人：天津大學 徐貽鑫 院士	中國能源學會會長、清華大學 倪維門 院士 (待確認)
17：05-17：20	報告題目：臺灣電力公司節能減碳與污染防治策略 報告人：臺灣電力股份有限公司 李鴻洲 副總經理	
17：20-17：35	報告題目：創新式蜂巢式壓電質子交換膜燃料電池堆之研發 報告人：臺灣大學機械工程系 馬小康 教授	
17：35-17：50	報告題目：煤炭分級轉化清潔發電技術實現近零排放 報告人：浙江大學能源清潔利用國家重點實驗室 駱仲泐 教授	
18：00	晚餐	徐州開元名都大酒店

- 9月14日上午(周日)

地點：中國礦業大學南湖校區圖書館

時間	日程	主持人
專題報告(每位主旨報告 25 分鐘，其餘 15 分鐘，含 Q&A)		
專題四：綠色經濟與綠色生活		
8:30-8:55	主旨報告：城鎮礦山發展現狀與展望 報告人：中國科學院廣州能源研究所 陳勇 院士	中國石油集團鑽井工程技術研究院 副院長 蘇義腦 院士 (待確認)
8:55-9:10	報告題目：臺灣綠色經濟發展經驗分享 報告人：成功大學資源工程系教授、兼石油策略研究中心主任 陳家榮 教授	
9:10-9:25	報告題目：廢橡膠廢塑膠高值化資源化利用技術 報告人：青島科技大學機電工程學院院長 汪傳生 教授	
9:25-9:40	報告題目：企業永續資訊揭露之推動與發展 報告人：惠普科技股份有限公司大中華區環保事務處 江惠櫻 協理	
9:40-9:50	茶歇	
專題五：綠色能源與節能減排		
9:50-10:15	主旨報告：臺灣製造業推動節能減碳看綠色產業發展趨勢 報告人：臺灣產業服務基金會 林萊娣 總經理	大陸：中國工程院能源與礦業工程學院陳勇院士
10:15-10:30	報告題目：中國的環境挑戰和能源前景展望 報告人：北京低碳清潔能源研究所 劉科 研究員	
10:30-10:45	報告題目：臺灣工業部門節能投資與節能潛力評估 報告人：臺北大學自然資源與環境管理研究所 李堅明 教授	
10:45-11:00	報告題目：煤礦區環境損傷與碳排放協同感知及綜合試驗場 報告人：中國礦業大學 吳立新 教授	臺灣：台灣科技大學化

11:00-11:15	報告題目：西部礦區煤炭開採水資源保護與利用技術 報告人：神華集團副總工程師 顧大釗 教授	學工程學系 顧洋講座教授
11:15-11:30	報告題目：把綠色能源帶進生活-太陽能光伏發電與綠色生活 報告人：江蘇中能矽業有限公司 蔣文武 總經理	
大會閉幕		
11:30-11:45	太原理工院謝克昌院士做大會總結發言	青島科技大學馬連湘教授
11:45-12:00	頒獎儀式	
12:00-12:05	簡又新董事長致詞並介紹 2015 年論壇承辦單位	
12:05-12:10	2015 年論壇承辦單位簡報並致邀請詞	
12:30-13:30	午餐(徐州開元名都大酒店)	