

出國報告（出國類別：其他）

## 赴大陸北京參加 IPCC-30 國際研討會

服務機關：核能研究所

姓名職稱：黃亮維 研究助理

派赴國家：大陸

出國期間：102 年 9 月 15 日~102 年 9 月 19 日

報告日期：102 年 10 月 28 日



## 摘 要

本次公差目的為參加由中國工程院、北京低碳清潔能源研究所與 University of Pittsburgh Swanson School of Engineering 所主辦的 30<sup>th</sup> Annual International Pittsburgh Coal Conference (IPCC)，並發表一篇會議論文，題名為 Sulfide capturing techniques for advanced fuel conversion process by silica-supported sorbents。

本所配合政府積極推動減碳相關技術，本次派員赴大陸參加 IPCC 並發表會議論文，除可了解世界上潔淨能源的發展現況，亦可與相關領域之專業人士進行交流。IPCC 的議題包括氣化、燃燒、碳管理與環境永續發展等議題，為現今世界上重要的淨碳年度會議。

# 目 次

## 摘 要

(頁碼)

一、目 的 .....	1
二、過 程 .....	2
三、心 得 .....	9
四、建 議 事 項 .....	33
五、附 錄 .....	35

## 一、目的

核能研究所目前正積極進行「減碳技術發展」中央施政計畫，計畫成員黃亮維奉派赴大陸北京參加 30<sup>th</sup> Annual International Pittsburgh Coal Conference (IPCC)，並發表一篇會議論文，題目為 **Sulfide capturing techniques for advanced fuel conversion process by silica-supported sorbents**。

此次會議於 2013 年 9 月 15-18 日於大陸北京市舉行，會議主題包括煤炭氣化、先進富氧燃燒技術、碳捕捉與封存等重要議題，為獲知目前淨碳技術發展最新現況之重要年度會議，與會者包含世界各先進的研究團隊，如 the National Energy Technology Laboratory of United States Department of Energy, (USDOE NETL), CONSOL ENERGY, ALSTOM, AIR PRODUCTS 等，故本所派員參加此次會議為吸取專業經驗之良機。

## 二、過程

### (一) 公差行程

本次公差自民國 102 年 9 月 15 日至 9 月 19 日，共計五天。公差路程如圖 2-1 所示；公差行程說明如表 2-1 所示。

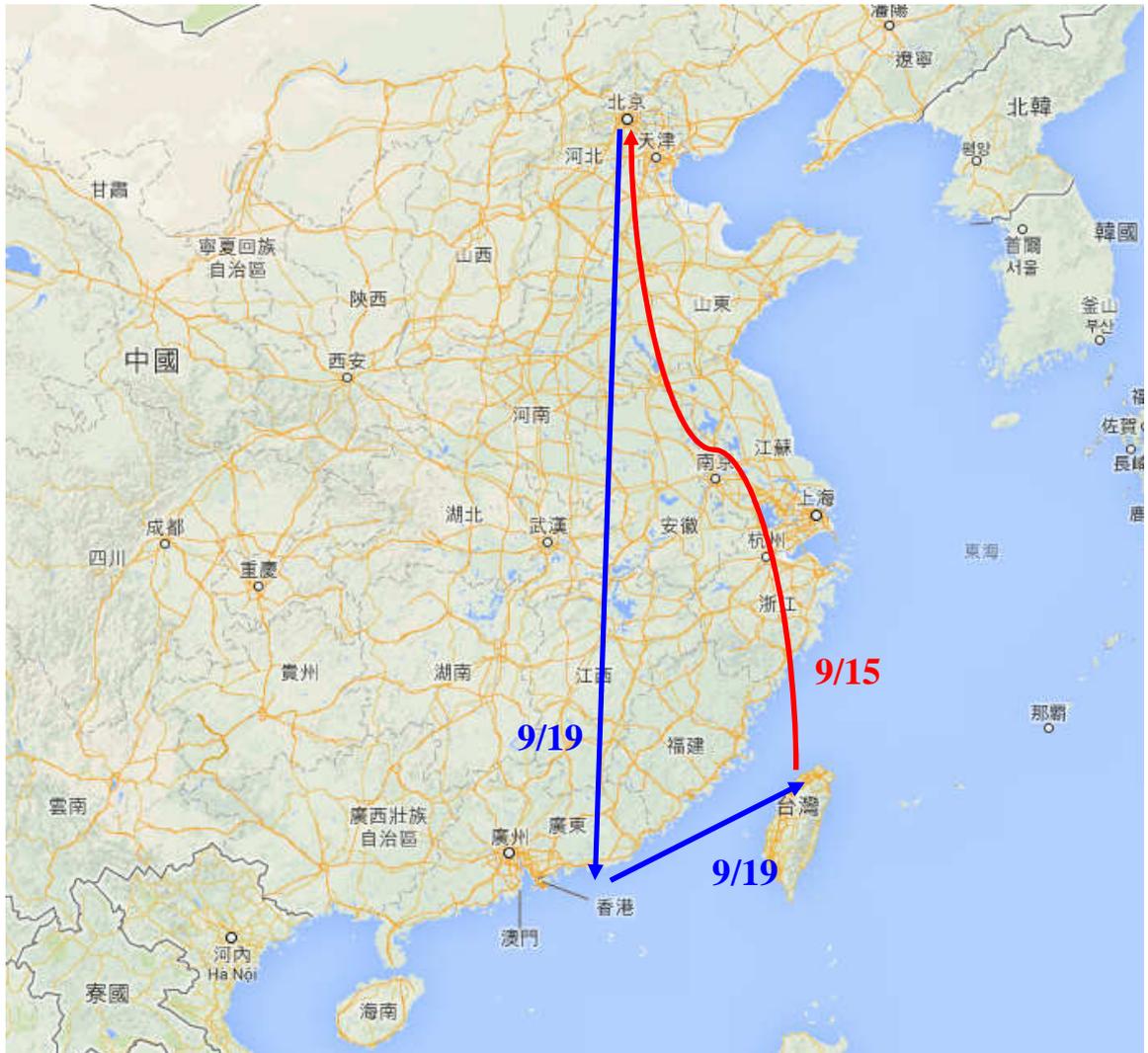


圖 2-1. 公差路程示意圖

表 2-1. 公差行程說明表

日期	地點		目的
	出發	抵達	
9 月 15 日	台北	北京	去程，準備會議資料
9 月 16 日 至 9 月 18 日	北京		報到、出席 IPCC 會議與發表論文
9 月 19 日	北京	香港	回程
	香港	台北	

## (二) 會議流程

30<sup>th</sup> Annual International Pittsburgh Coal Conference 於 2013 年 9 月 15-18 日於大陸北京舉行，會議主題包含煤炭氣化、先進富氧燃燒技術、碳捕捉與封存等重要議題，為獲知國際上淨碳技術發展的重要年度會議。與會者來自世界各地的先進研究團隊，如 the National Energy Technology Laboratory of United States Department of Energy, (USDOE NETL), CONSOL ENERGY, ALSTOM, AIR PRODUCTS 等。

筆者自 9 月 15 日當天啓程，從台北飛往北京，當日開始報到並舉行歡迎酒會。正式會議時間從 9 月 16 至 18 日，共計三天，詳細大會議程如圖 2-2 所示。每天早上先進行全體會議(Plenary Session)，此全體會議各有兩場 keynote 演講。接著是早上進行一段口頭論文發表，下午則是安排兩段口頭論文發表，每一段各有六個場次同時進行。筆者口頭論文發表時間為 9 月 18 日下午第 51 場次(圖 2-3)。海報發表部分則是在 9 月 16 日晚間進行，另外在 9 月 17 日會議結束後大會安排參訪北京低碳清潔能源研究所。

# PRELIMINARY PROGRAM SCHEDULE

Sunday, September 15, 2013						
10:00-19:00	Registration – Lobby of the Convention Center					
18:30-20:00	Reception – Banquet Hall on the 2nd floor of the North Star Continental Grand Hotel					
Monday, September 16, 2013						
8:00-17:00	Registration – Room 310					
9:00-9:25	Opening Ceremony – Convention Hall No. 1					
9:25-10:45	Plenary Session – Convention Hall No. 1					
10:45-11:00	Coffee Break					
ROOM	305 (A+B)	305 C	311 (A+B)	305 E	308	305 D
	Session 1	Session 2	Session 3	Session 4	Session 5	Session 6
11:00-12:40	Coal Science: General - 1	Coal Mining: Ground Control in Mining - Session 1	Gasification: General - 1	Clean Coal and Gas to Fuels: General - 1	Shale and Coal Bed Gas: General - 1	Clean Coal Demonstration and Commercial Projects General - 1
12:40-14:00	Conference Luncheon – Convention Hall No. 1					
	Session 7	Session 8	Session 9	Session 10	Session 11	Session 12
14:00-15:40	Coal Science: General - 2	Coal Mining: Ground Control in Mining - Session 2	Gasification: General - 2	Clean Coal and Gas to Fuels: General - 2	Shale and Coal Bed Gas: General - 2	Clean Coal Demonstration and Commercial Projects General - 2
15:40-15:55	Coffee Break					
	Session 13	Session 14	Session 15	Session 16	Session 17	Session 18
15:55-17:55	Coal Science: General - 3	Coal Mining: Environmental Hazards, Remediation and Control	Gasification: General - 3	Clean Coal and Gas to Fuels: General - 3	Shale and Coal Bed Gas: General - 3	Clean Coal Demonstration and Commercial Projects General - 3
19:30-21:00	Poster Session – Area Outside Convention Hall No. 1					
Tuesday, September 17, 2013						
8:00-17:00	Registration – Room 310					
8:30-9:50	Plenary Session – Convention Hall No. 1					
9:45-10:00	Coffee Break					
ROOM	305 (A+B)	305 C	311 (A+B)	305 E	308	305 D
	Session 19	Session 20	Session 21	Session 22	Session 23	Session 24
10:00-11:40	Coal Science: General - 4	Coal Mining: Monitoring and Controlling Gas in Mines	Gasification: General - 4	Clean Coal and Gas to Fuels: General - 4	Carbon Management: General - 1	Combustion: Combustion Studies
11:40-12:45	Conference Luncheon – Convention Hall No. 1					
	Session 25	Session 26	Session 27	Session 28	Session 29	Session 30
12:45-14:25	Coal Science: General - 5	Coal Mining: Safety, Economics and Mining Technology	Gasification: General - 5	Clean Coal and Gas to Fuels: General - 5	Carbon Management: General - 2	Combustion: Modelling Studies
14:25-14:40	Coffee Break					
	Session 31	Session 32	Session 33	Session 34	Session 35	Session 36
14:40-16:00	Coal Science: General - 6	Sustainability and Environment: General - 1	Gasification: General - 6	Clean Coal and Gas to Fuels: General - 6	Carbon Management: General - 3	Combustion: NOx Studies
16:15-20:20	Technical Tour –NICE – Meet in the Lobby of the Convention Center					
Wednesday, September 18, 2013						
8:00-17:00	Registration – Room 310					
8:30-9:50	Plenary Session – Convention Hall No. 1					
9:45-10:00	Coffee Break					
ROOM	305 (A+B)	305 C	311 (A+B)	305 E	308	305 D
	Session 37	Session 38	Session 39	Session 40	Session 41	Session 42
10:00-11:40	Coal Science: General - 7	Sustainability and Environment: General - 2	Gasification: General - 7	Clean Coal and Gas to Fuels: General - 7	Carbon Management: General - 4	Combustion: Ash and Mercury
11:40-12:55	Awards Luncheon – Convention Hall No. 1					
	Session 43	Session 44	Session 45	Session 46	Session 47	Session 48
12:55-14:55	Coal Science: General - 8	Sustainability and Environment: General - 3	Gasification: General - 8	Clean Coal and Gas to Fuels: General - 8	Gasification: General - 10	Combustion: Oxy-Combustion & Chemical Looping - 1
14:55-15:15	Coffee Break					
	Session 49	Session 50	Session 51	Session 52	Session 53	Session 54
15:15-17:15	Coal Science: General - 9	Sustainability and Environment: General - 4	Gasification: General - 9	Clean Coal and Gas to Fuels: General - 9	Gasification: General - 11	Combustion: Oxy-Combustion & Chemical Looping - 2
18:00-19:30	Advisory Board Meeting – Wu Zhou Hall, North Star Continental Grand Hotel					

圖 2-2. 30<sup>th</sup> Annual International Pittsburgh Coal Conference 議程

**SESSION 51  
GASIFICATION:  
GENERAL – 9**

*Fuchen Wang and Johan Van Dyk*

**15:15 - Test Progress and Industrialization Plan of the ENN's Underground Coal Gasification without Shaft Project**, Chen Feng, Pang Xu-lin, Pan Xia, ENN Coal Gasification Mining Co., Ltd, CHINA

**15:35 - Downdraft Steam-Plasma Gasification of Coal: 1D Kinetic Model and Results**, Vadim A. Kuznetsov, Institute for Electrophysics and Electric Power RAS, RUSSIA

**15:55 - Preliminary Characteristic of Coal Gasification by-product from Pilot Plants Based on Fluidized Bed Reactors**, Radoslaw Pomykala, AGH University of Science and Technology, POLAND

**16:15 - Common Active Sites Assumption of Coal Char Gasification in the Mixture of H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>**, Rui Zhang, Qinhui Wang, Zhongyang Luo, Mengxiang Fang, Zhejiang University, CHINA

**16:35 - Study on Solutions to Resistance to Slagging of the Easy Slagging Wangjiata Type Coal**, Yandong Mao, Jicheng Bi, Yan Zheng, Huifang Wang, Yadan Jin, ENN Group Co., Ltd.;Feng Xin, Tianjin University, CHINA

**16:55 - Sulfide Capturing Techniques for Advanced Fuel Conversion Process by Silica-Supported Sorbents**, Yau-Pin Chyou, Liang-Wei Huang, Institute of Nuclear Energy Research, TAIWAN

圖 2-3. 筆者口頭論文發表場次

大會主題分九個領域同時進行，各領域摘要如下：

## **1. Gasification Technologies**

- Industrial Applications, Economics, and Environmental Issues
- Underground Coal Gasification (UCG)
- Synthesis Gas Cleanup
- Gasification Science and Modeling
- Novel Gasification Technologies and Concepts
- Co-Gasification of Coal and other Carbon-Based Fuels
- Systems Analysis
- Low Rank Coal Utilization
- Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) Improvements
- Polygeneration

## **2. Clean Coal Demonstration and Commercial Projects**

- Existing and planned clean coal major demonstration and commercial projects (e.g., IGCC, SCPC, USC, Oxy-combustion, CTL, SNG, etc.) and trends
- Industrial scale carbon capture project
- Large-scale carbon storage projects (i.e., >250,000 tons/yr of CO<sub>2</sub>)
- Government funding (grants, loans, guarantees, tax incentive and partnerships for major demonstration and commercial projects – availability, trends, challenges, and projections)
- Financing, business, and risk management strategies for major demonstration and commercial projects, including first-of-a-kind projects with or without CCUS
- Regulatory impacts on major demonstration and commercial projects
- Insurance strategies for CO<sub>2</sub> sequestration

## **3. Combustion Technologies**

- Industrial Applications, Economics, and Environmental Issues
- Advance Pulverized Coal Combustion Technologies (Supercritical, Fluidized Bed, Etc.)
- Novel Technologies (Oxyfuel, Chemical Looping, Etc.)
- Flue Gas Clean Up
- Science and Modeling
- Materials, Instrumentation, and Controls
- Turbines (Steams)

## **4. Clean Coal and Gas to Fuels**

- Coal-To-Liquid, CTL (Direct Liquefaction, Fischer-Tropsch)
- Gas-To-Liquid, GTL
- Methanol-To-Gasoline
- Substitute Natural Gas (SNG)
- Hydrogen Production
- Syngas Utilization (Gas Turbines, Fuel Cells)
- Chemicals/Materials

## **5. Sustainability and Environment**

- Energy Production and Water Use - Conservation and Recycle
- Life Cycle Analysis (LCA) of Energy Production Systems
- Energy Production Impact on the Environment
- Energy Sustainability - Efficiency and Conversion to Reduce GHG
- GHG: Inventory Protocol, Legal and Regulatory Considerations, Credits

## **6. Carbon Management**

- Pre-Combustion Capture
- Post-Combustion Capture
- CO<sub>2</sub> Sequestration (Monitoring, Mitigation, and Verification; Storage: Depleted Oil/Gas Reservoirs, Aquifers, Basalt, Coal Bed Methane, etc.)
- Transportation Infrastructure and Issues
- Legal and Regulatory Issues
- Carbon Footprint Comparison: CTX (DCL/ICL), Petroleum

## **7. Coal Science**

- Chemistry
- Geoscience/Coal Resources
- Trace Elements/Emission
- Coal Processing
- Coal Preparation
- Coal Utilization
- Coal Utilization By-Products (Ash, Fertilizers, Etc.)

## **8. Coal Mining**

- Coal Seam and Coal Mine Methane/Gas Management in Coal Mines
- Geological Issues Related to Coal Mining/Properties of Coal-Measure Rocks/Ground Behavior
- Coal Mining and Reclamation
- Mine Safety

## **9. Shale and Coal Bed Gas**

- Geology
- Exploration
- Resources and Reserves
- Drilling and Production
- Completion Methods
- Gas Quality and Processing
- Environmental Impacts

筆者自9月19日當天搭機從大陸北京，經由香港轉機回到台北，結束此次公差行程。會後亦公告下次會議時間，將於103年10月6-9日於美國匹茲堡舉行(圖2-4)。

**ANNOUNCING:**

---

**THIRTY-FIRST ANNUAL  
INTERNATIONAL  
PITTSBURGH COAL CONFERENCE**

---

**PITTSBURGH, PA, USA  
OCTOBER 6 - 9, 2014**



Abstracts must be submitted by March 1, 2014.  
Please forward paper title, intended topic area, authors, affiliations,  
contact information with valid email address and a one-page abstract to:

Conference Secretary  
[ipcc@pitt.edu](mailto:ipcc@pitt.edu)

Please visit the PCC WEBSITE: [www.pccpitt.org](http://www.pccpitt.org)

圖 2-4. 31<sup>th</sup> Annual International Pittsburgh Coal Conference 舉辦時間與地點

### 三、心得

本次公差主要乃是參加第 30 屆 International Pittsburgh Coal Conference (IPCC-30)，發表研究論文。以下摘錄部份相關研究論文。

#### (一) Plenary Sessions:

會議方式先進行全體會議(Plenary Sessions)，並各安排兩場演講，本屆大會應邀講員如下：



**MONDAY, SEPTEMBER 16, 2013**

**Dr. Yuzhuo Zhang**  
President and CEO of Shenhua Group  
Member of Chinese Academy of Engineering  
CHINA  
“Vertical Integration — The Future of Coal Industry”

**Mr. Richard A. (Dick) Winschel**  
Director, Research Services  
CONSOL Energy Inc., R&D  
USA  
“CONSOL Energy and the States of the U.S. Coal Mining and Coal-Fired Electric Generation Industries”

圖 3-1. 9/16 Plenary Sessions 當天主講者與演講題目

**TUESDAY, SEPTEMBER 17, 2013**

**Prof. Guangxi Yue**

Tsinghua University  
Member of Chinese Academy of Engineering  
CHINA

**“Circulating Fluidized Bed Combustion and Coal Slurry  
Gasification”**

**Prof. Güven Onal**

President of Turkish Mining Development Foundation  
Istanbul Technical University  
TURKEY

**“Coal and Coal-Based Energy in Turkey”**

圖 3-2. 9/17 Plenary Sessions 當天主講者與演講題目

**WEDNESDAY, SEPTEMBER 18, 2013**

**Prof. Kechang Xie**

Vice President, Chinese Academy of Engineering  
Member of Chinese Academy of Engineering  
CHINA

**“The Strategic Thinking of Sustainable Development of  
Coal Industry and High Efficiency and Clean Conversion of  
Coal in China”**

**Mr. Thomas A. Sarkus**

Division Director, Office of Major Demonstrations,  
Strategic Center for Coal  
NETL, US-DOE  
USA

**“Lessons Learned from U.S. Government Support of Clean  
Coal Technologies”**

圖 3-3. 9/18 Plenary Sessions 當天主講者與演講題目

筆者摘要數篇與自身業務較為相關的演講，重點整理如下：

## **1. Vertical Integration — The Future of Coal Industry:**

由神華集團總經理張玉卓博士進行簡報，內容關於神華集團營運概況與大陸煤炭工業的未來願景。神華集團有限責任公司(簡稱神華集團)是於 1995 年 10 月經中國大陸國務院批准設立的國有獨資公司，以煤為基礎，電力、鐵路、港口、航運、煤製油化工為一體，產運銷一條鞭經營的特大型能源企業，是中國大陸規模最大、現代化程度最高的煤炭企業和世界上最大的煤炭經銷商，名列世界 500 大企業。由神華集團獨家發起成立的中國神華能源股份有限公司股票分別在香港、上海上市。簡報重點如下：

- (1) 在多聯產市場(如 coal to liquid, methanol to olefins，或 Synthetic natural gas)，大陸煤炭需求目前為 1 千萬噸/年左右。
- (2) 目前神華正規畫一座 CO<sub>2</sub> 年封存量 10 萬噸的 Carbon Capture Storage (CCS) 示範廠區。
- (3) 為了將集團經營推向國際化，仿效歐美大企業進行煤炭垂直整合鏈的營運模式，從探勘、運輸、精煉到生產燃料及化學品等。
- (4) 提升煤炭的利用效率或引入生質物進行混燒，是未來減少 CO<sub>2</sub> 排放最有效的手段，該集團估計提升 1% 煤炭利用效率，可望減少 152 百萬噸的 CO<sub>2</sub> 排放。
- (5) 有別於現今煤炭的使用方式是直接燃燒或導入氣化，該集團的方式為先對煤炭精煉後再進行上述作業。所謂精煉則包含乾燥(200-350°C)與中溫熱裂解(500-650°C)等手段。
- (6) 在大陸第十二個五年計畫期間，預計投入 100 billion 人民幣來增加多聯產的產量。Coal to Liquid 為 10.85 million ton/a，Coal to Olefins 為 3.8 million ton/a，而 Synthetic natural gas 為 1.7 billion Nm<sup>3</sup>/a。

## **2. CONSOL Energy and the States of the U.S. Coal Mining and Coal-Fired Electric Generation Industries:**

由 Consol Energy Inc. 的 Mr. Richard A. Winschel 進行簡報，內容關於美國的煤炭

開採與燃煤發電產業現況。Consol Energy Inc.成立於 1864 年，為一國營的煤炭與天然氣生產製造商，旗下目前有 12 座煤炭礦區與 13000 座天然氣鑽井，分別供應世界將近 4.5 billion 噸的煤炭與 4 trillion ft<sup>3</sup> 的天然氣產量。該公司所生產的煤炭與天然氣總量，足可供應全國 2/3 左右的電力，其影響力可見一般，同時也是美國開發多樣性能源的領導企業之一。簡報內容如下：

- (1) 由於頁岩氣的大量開採與價格低廉，逐漸影響美國使用煤炭的意願。
- (2) 由於頁岩氣的衝擊，該公司預估未來 10-15 年之間美國不太可能繼續蓋新的燃煤電廠。
- (3) 截至 2020 年，預估有數座燃煤電廠將逐步退役，導致減少 53-70 GW 的電力供應量。
- (4) 未來美國的煤炭開採意願將取決於製造業的原料需求、天然氣的價格走勢與煤炭外銷的經營狀況。
- (5) 對該公司而言，將設法保護現有煤炭市場，並積極尋求天然氣市場的發展，以維持整體營運。

### **3. Lessons Learned from U.S. Government Support of Clean Coal Technologies:**

由美國能源部 NETL 的 Mr. Thomas A. Sarkus 進行簡報，內容述及 NETL 長年來所進行的淨碳技術總回顧，包含技術現況、成本考量與未來挑戰等方面。NETL 為美國能源部旗下的一個國家能源科技實驗室，任務為發展兼顧能源與環境相關科技，以確保美國本土的能源安全與自主性。目前在化石燃料領域上，積極開發高效能與低排放的淨碳技術，包含氣化與複循環發電、富氧燃燒、與燃燒後捕捉等技術，簡報內容如下：

- (1) 粉煤燃燒技術: 提高操作溫度與壓力，以達到超臨界狀態下燃燒，或以富氧燃燒方式來提升燃燒效率，並輔以燃燒後捕捉來減少 CO<sub>2</sub> 排放。
- (2) 氣化與複循環發電技術: 為現今最佳的高效率低成本的煤炭利用技術，可產出高純度的 H<sub>2</sub>，供作燃料或合成原料；搭配水氣轉移反應，可將大多數 CO 轉化成 CO<sub>2</sub> 並進行 CCS 作業。

- (3) 煤炭發電技術演進: 介紹粉煤鍋爐、流體化床燃燒鍋爐與 IGCC 在世界上分佈情形。粉煤鍋爐技術在 1920-1930 年間商業化，目前世界上約有 5000 座正在運轉，其中美國就占有 1100 座，總電力輸出約 1300 MW。流體化床燃燒鍋爐在 1970-1980 年間商業化，世界上約 500 座正處於運轉狀態，美國占有 150 座，總電力輸出約 600 MW。IGCC 電廠在 1980-1990 年間商業化，全世界有 9 座電廠，美國占有 4 座，並供應本土電力約 300 MW。
- (4) 氣體污染源控制技術演進: 1950-1990 年間為顆粒與 SO<sub>x</sub> 捕集技術的成熟期，1990-2000 年間為 NO<sub>x</sub> 減排技術的成熟期，2010 之後開始發展汞與 CO<sub>2</sub> 減排技術。此一演進實則為配合系統優化與空汙品質的要求，因逐漸受重視而發展起來。
- (5) NETL 認為 CCS 技術非常昂貴，使得現有操作成本增加 35-110 %，以及電價上漲 45-70 % 左右。除了成本考量之外，現有電廠的整合、封存地質的評估以及環境法規修訂等，都是未來 CCS 發展所面臨的挑戰。

## (二) Technical Sessions:

IPCC之論文發表接在全體演講之後，早上一個時段，下午兩個時段，同時有六個場次之口頭論文發表進行，每場安排約4~6篇論文之發表。議題分為九項：(1) Gasification Technologies, (2) Clean Coal Demonstration and Commercial Projects, (3) Combustion Technologies, (4) Clean Coal and Gas to Fuels, (5) Sustainability and Environment, (6) Carbon Management, (7) Coal Science, (8) Coal Mining, (9) Shale and Coal Bed Gas。筆者參與主題與業務內容較相關之論文發表，摘錄部份論文如下。

### 論文 3-4. ITM Oxygen Technology for Clean Energy Applications:

本論文由 Air Products 團隊報告。低溫分餾法為目前製造氧氣最成熟的技術，但缺點為高耗能、產生二次廢水與設備體積需要較大的空間等。因此 Air Products 目前積極開發新一代的 ion transport membrane (ITM) 分離氧技術，目標希望能降低現有氧氣生產成本的 1/3。

所謂 ITM 技術，是透過與鈣鈦礦結構 (Perovskite) 的陶瓷材料作為氧氣分離膜，當進氣端的空氣接觸到薄膜一側時，氧氣與 Perovskite 內部氧空位作用而形成氧離子並擴散至薄膜另一端，最後再釋放掉電子回復成氧分子狀態，其機制如下圖 3-4 所示。此外進氣端與輸出端之間氣體必須存在一壓力梯度，才得以讓此一機制進行。

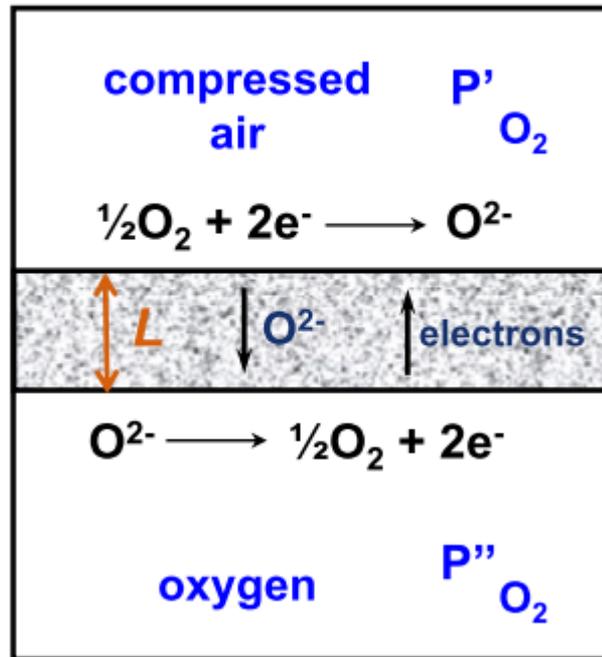


圖 3-4. ITM 薄膜作用機制

Air Products 的 ITM 薄膜製造流程如下圖 3-5 所示。將預先製備好的 perovskite 粉體與有機溶劑混合成陶瓷漿料，接著以 tape-casting 方式將漿料塗在聚合物薄膜上乾燥成形。後續再切割成特定尺寸，用 lamination 方式疊成較厚的薄膜。最後再煅燒去除高分子，形成緻密的陶瓷薄膜。



圖 3-5. Air Products 的 ITM 薄膜製作流程

爲了滿足工業上氧氣用量的需求，還需將許多片 ITM 薄膜堆疊成一個甚至多個模組，才足以供應產業所需，堆疊後的模組如下圖 3-6 所示。每片薄膜之間需留有空隙，空氣流動方向與薄膜平行，讓加壓後的熱空氣可以有效接觸到每一片薄膜。

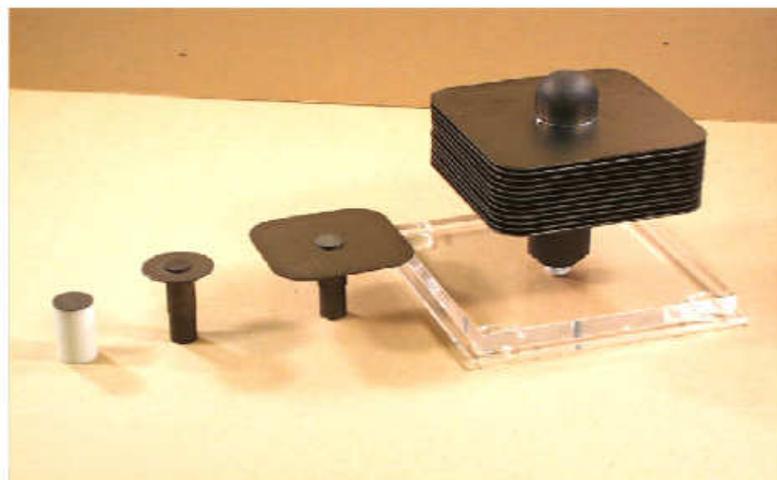


圖 3-6. 數片 ITM 薄膜堆疊成模組化的過程

以氧氣產量 0.5 與 1.0 ton/day (TPD) 爲例，ITM 模組化後的高度分別約一串吐司與一隻網球拍的長度，如圖 3-7 所示。比起傳統的低溫分餾法，動輒需要蓋到好幾層樓高，ITM 模組可省下不少設備空間。



圖 3-7. ITM 不同氧氣產量下模組的厚度比較

在氧氣分離的測試上，Air Products 目前已經建立了 1~5 TPD 產量的原型裝置進行長期運轉測試，如下圖 3-8 所示。將數個 ITM 模組陣列式排列放置於容器中，熱空氣通過模組後，氧氣被分離從下面出口端排出，殘留的缺氧空氣順著原先出氣端排出。經 1000 天連續運轉下，出口端氧氣仍可高達 99.9% 以上純度，足以滿足工業上氧氣純度的需求(99.5% 以上)。



圖 3-8. 5 TPD 產量的 prototype 廠區

ITM 技術不僅能供應工業製造上所需的氧氣，也可與氣化與複循環發電技術進行整合，如下圖 3-9 所示。加壓的熱空氣先與燃料預混後通過 ITM 薄膜，空氣中的氧氣被分離並輸入到氣化爐內供應反應所需氧氣；而缺氧空氣與燃料通到後面的燃氣渦輪燃燒與產生電力，蒸汽可回收餘熱或通到蒸汽渦輪，形成複循環發電。氣化產生的合成氣可回流至 ITM 前後當作燃料使用，形成一個完整迴圈。

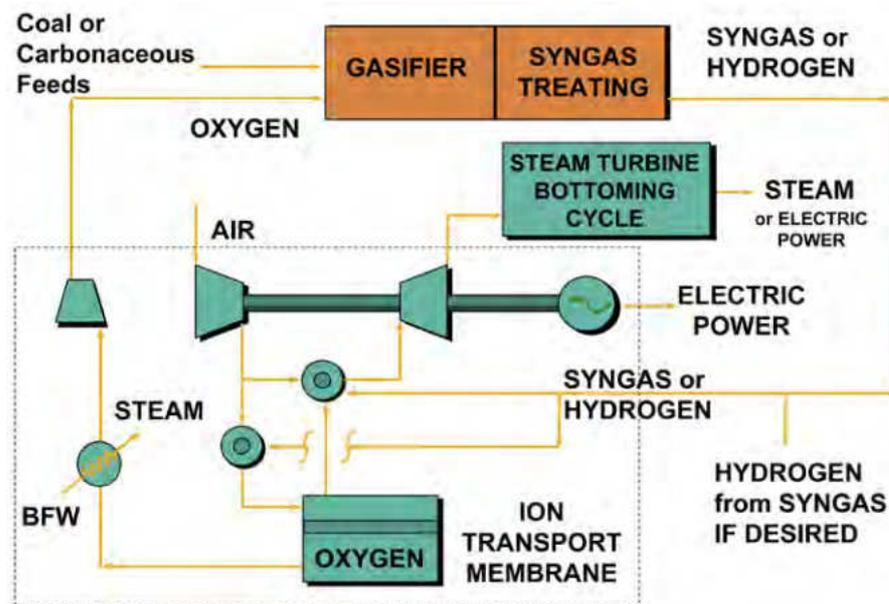
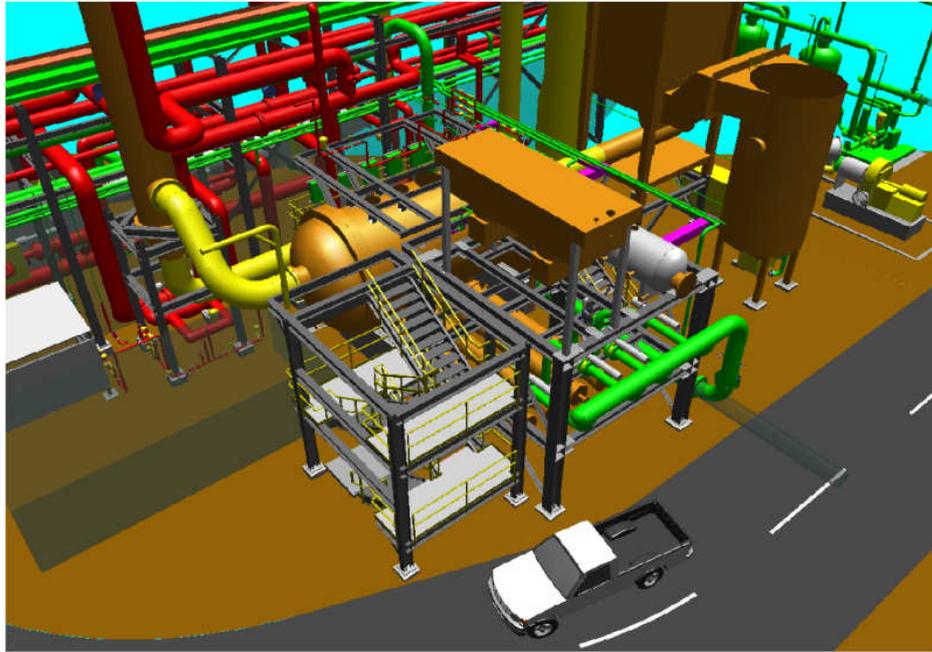


圖 3-9. ITM 與氣化複循環技術整合概念圖

目前 Air Products 已陸續完成第一階段 0.1 TPD lab-scale 與第二階段 1~5 TPD Prototype 測試，下一階段將進行 100 TPD 與 2000 TPD 規模設備建置與測試，預估分別可整合至 12 MW 與 250 MW 規模的 IGCC 電廠，100 TPD 產量 ITM 廠區規劃圖面如下圖 3-10 所示。



**圖 3-10. 100 TPD ITM 廠區 layout**

從目前結果來看，證實 ITM 薄膜具有良好的氧氣選擇性、高氧氣通量，以及所占空間相對較小等優勢。未來是否能夠替代傳統低溫分餾法，成為新一代氧氣分離技術，還需密切注意 Air Products 的發展動向。

#### **論文 12-4. Pre-Commercial Demonstration of High-Efficiency, Low-Cost Syngas**

##### **Cleanup Technology for Chemical, Fuel, and Power Applications:**

本篇由美國 Research Triangle Institute (RTI) 技術團隊進行報告，主要介紹該團隊目前在中高溫合成氣淨化領域的發展現況。RTI 所處理合成氣中含的雜質成分，包含硫、汞、砷、氯化物等，這些雜質成分如果不經處理排放到大氣中，除了造成人體與生態危害之外，在反應過程會腐蝕工業設備管件與汙染後端的多聯產物品質。在美國能源部現有的規劃下，訂定目前電力部門與化學品合成業，使用的合成氣中的雜質濃度應該低於下圖 3-11 的規範。

# Syngas Cleanup

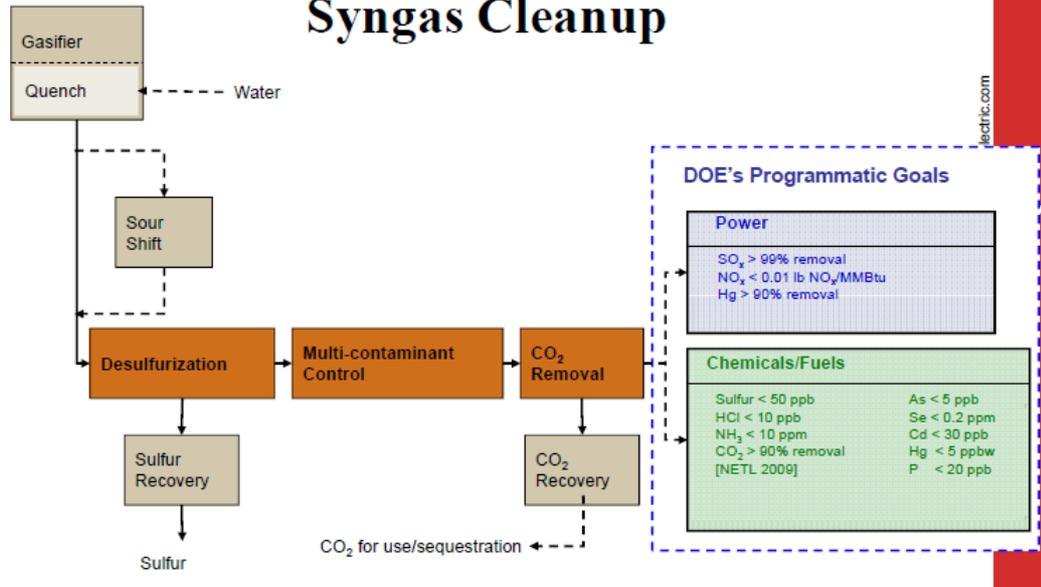


圖 3-11. 美國能源部規範的合成氣雜質排放標準

在這次的會議上，RTI 主要以展示近年來在中溫脫硫與 CO<sub>2</sub> 捕獲技術的研究現況。在中溫脫硫領域，相較於已商業化的 Rectisol 或 Selexol 程序，該程序操作溫度通常介於 300~550°C 附近，反應過程是用金屬氧化物吸附劑捕獲 syngas 中的硫化物，硫化物 90% 以上成分主要為 H<sub>2</sub>S 與 COS，反應機制如下，(1) 為脫硫反應；而(2) 為再生反應。



在過去幾年的研究間，RTI 與 Eastman 合作建置一套 pilot-scale 處理設施，該設施經過 8000 小時的連續操作下，驗證脫硫效能可達 99% 以上去除效率，出口 H<sub>2</sub>S 與 COS 濃度控制在 5ppmv 以下。該設施如下圖 3-12 所示，為輸送床反應器。新鮮的吸附劑先在左側的循環流體化床進行中溫脫硫反應，將硫化物捕獲下來；反應後的吸附劑再傳送到右側的循環流體化床進行再生反應，之後再重新回到左側流體化床進行再次脫硫反應，而再生過程產生的 SO<sub>2</sub> 可選擇排放到大氣，或是經由轉化成硫酸或固態硫再利用。吸附劑方面目前 RTI 使用的是 ZnO 材料，製備已委託 Sud-Chemie 公司量產，關於生產技術目前已獲得無數專利。

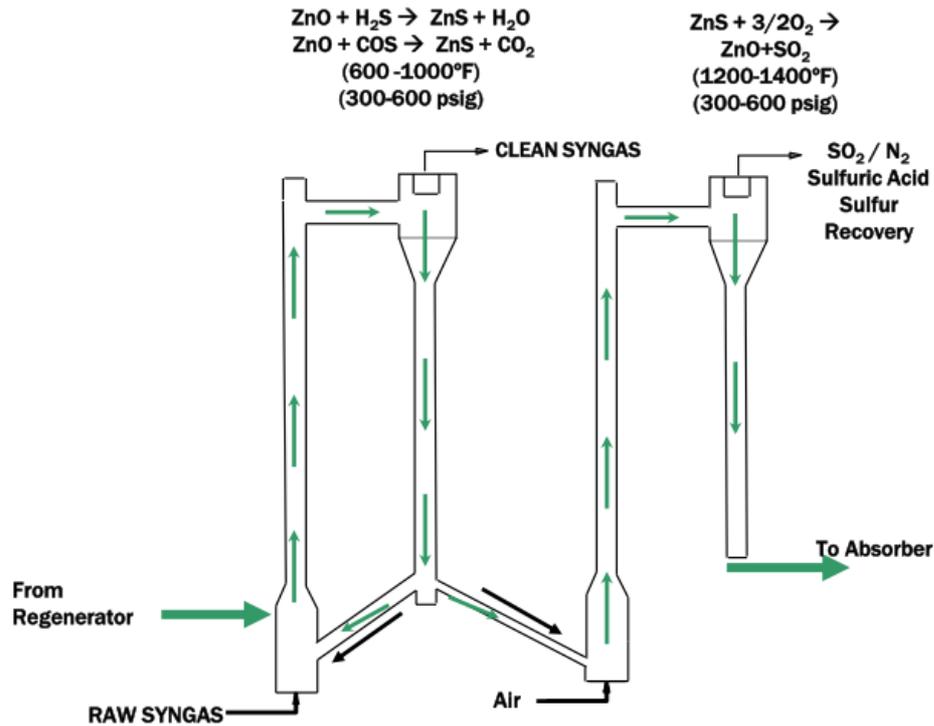


圖 3-12. RTI 所建立的中溫脫硫輸送床設施

除了具備優異的捕獲效能，RTI 估計若導入中溫脫硫技術可望為氣化電廠增加 3.6% 的熱效率，增加 56 MWe 的輸出功率，並可減少資本性支出與降低電價成本，分別為每 kW 減少 US\$264 資本支出與每度調降 US ¢ 0.69。基於效能與成本優勢，RTI 的中溫脫硫技術目前已受到美國能源部的支持，並獲得與 Tampa Electrical company 合作的機會，預計在 2015 年底前建置 50 MW 等級的中溫脫硫與 CO<sub>2</sub> 捕獲示範設施。由 Tampa Electrical company 將旗下 Polk Power Station 產出的 syngas 其中 20% 分流給 50 MW 等級氣體淨化設施進行捕獲效能驗證，概念圖如 3-13 所示。syngas 先冷卻接著分流一部分到中溫脫硫單元上，緊鄰著水氣轉換反應單元將 H<sub>2</sub>O 轉換成 H<sub>2</sub>，而多餘的 CO 則轉換成 CO<sub>2</sub>。轉換後的合成氣再經過一道冷卻降至室溫以下進行 CO<sub>2</sub> 捕獲，CO<sub>2</sub> 捕獲程序採用 BASF 公司提供的 a-MDEA 方法，捕獲下來的 CO<sub>2</sub> 再進行封存作業。H<sub>2</sub> 則可用於高溫燃料電池、化學合成或燃氣渦輪發電之用。

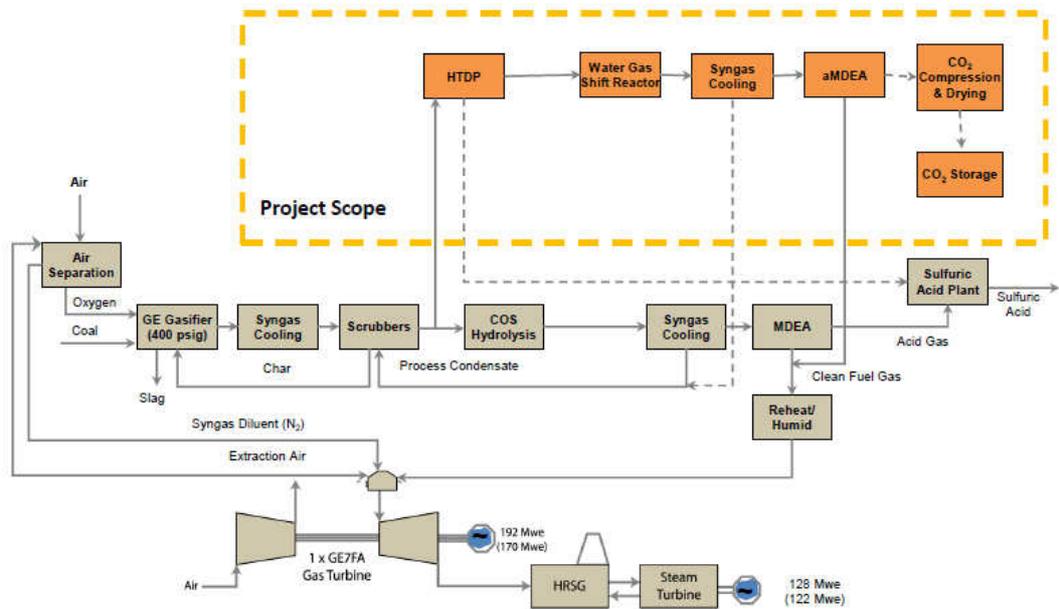


圖 3-13. RTI 合成氣淨化程序與 Polk Power Station 整合流程圖

關於 CO<sub>2</sub> 捕獲與封存方面，RTI 引用 BSAF 公司的 a-MDEA 捕獲技術，CO<sub>2</sub> 去除效率可達到 90% 以上。而地質封存透過模擬分析，估計佛羅里達州地質可封存約 217 噸的 CO<sub>2</sub>，依照目前的排碳速率，約可供應 1500 年左右的封存作業。現階段已規劃兩個封存現址作為示範廠區，該位置離 Polk Power Station 非常近，可節省運輸成本，年封存量約為 30 萬噸。

### 論文 29-1. Alternative to Sequestration-Converting CO<sub>2</sub> into Synthetic Gas:

這篇報告由以色列的 NCFCO<sub>2</sub>Fuels 技術團隊發表。因應 CO<sub>2</sub> 排放與日俱增，有別於 CCS 技術只是消極地將 CO<sub>2</sub> 封存到地底深層，該團隊的 Professor Jacob Karni 構想出一套將 CO<sub>2</sub> 轉化成 syngas 再利用的方式，以達成碳基能源永續發展的目標。該構想如下圖 3-14 所示，利用太陽熱能或系統廢熱作為分解 CO<sub>2</sub> 與水汽的能量來源，CO<sub>2</sub> 分解成 CO 與 O<sub>2</sub>；而水汽分解成 H<sub>2</sub> 與 O<sub>2</sub>。CO 與 H<sub>2</sub> 部分，也就是 syngas 可供應生產燃料、化學品或輸出電力所需。O<sub>2</sub> 則回流至產業鏈，諸如鋼鐵業、陶瓷工業或氯化電廠所用，形成一個再利用迴圈。

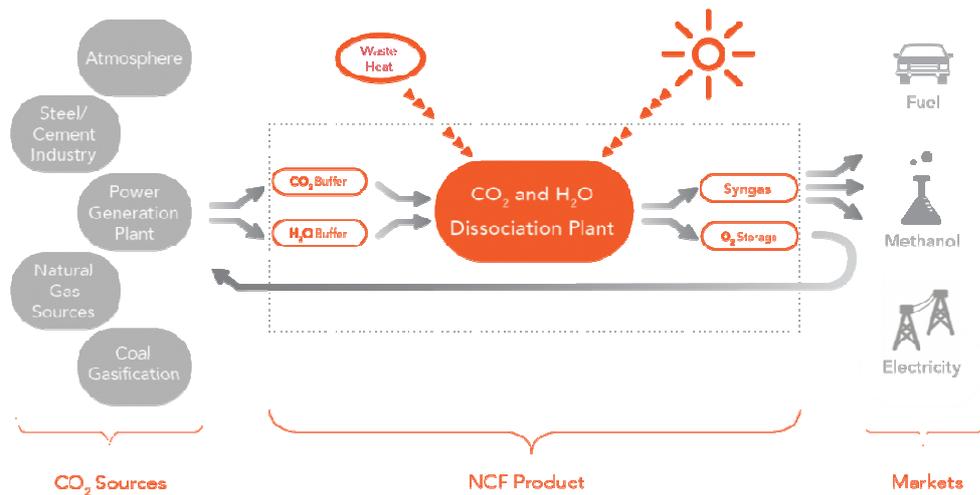


圖 3-14. NCF CO<sub>2</sub> 轉化成 syngas 再利用迴圈概念

NCF 所設計的太陽熱能 CO<sub>2</sub> 分解系統，由一群太陽光追蹤透鏡將熱能聚焦起來，並傳輸至反應器進行 CO<sub>2</sub> 與水汽分解，此外還可利用熱交換方式將太陽熱能轉變成蒸氣渦輪產生的電力，供應分解反應所需能量。分解過程產生的 O<sub>2</sub> 可經由薄膜分離取出，syngas 則輸出到應用端使用，太陽熱能 CO<sub>2</sub> 分解系統如下圖 3-15 所示。

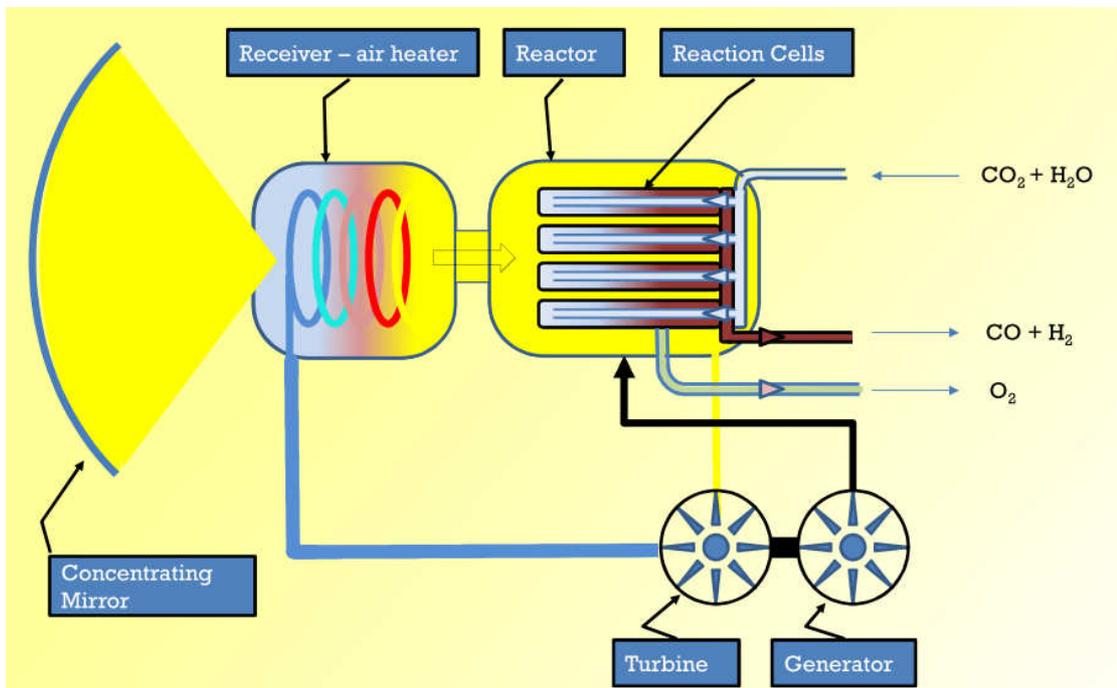


圖 3-15. NCF 太陽熱能 CO<sub>2</sub> 分解系統

該 CO<sub>2</sub> 分解系統的特色如下：

- 以太陽熱能作為驅動來源，減少溫室氣體排放
- 可提供超過 1000°C 以上的太陽熱能

- CO<sub>2</sub>再利用循環，並可產出具有經濟價值的 syngas
- 該系統可與現有石化電廠或 CO<sub>2</sub> 排放大戶進行整合

將 NCF 太陽熱能 CO<sub>2</sub> 分解系統與煤炭氣化技術進行整合如下圖 3-16 所示。氣化後產出的 CO<sub>2</sub> 與水汽進行熱能分解，轉化而成的 CO 和 H<sub>2</sub> 與原先氣化產出的 syngas 匯流，供應給後段產業鏈使用。O<sub>2</sub> 回流給氣化爐反應使用，而氣化反應生成的熱量可替代太陽熱能作為分解 CO<sub>2</sub> 之用，形成一個低碳迴圈程序。

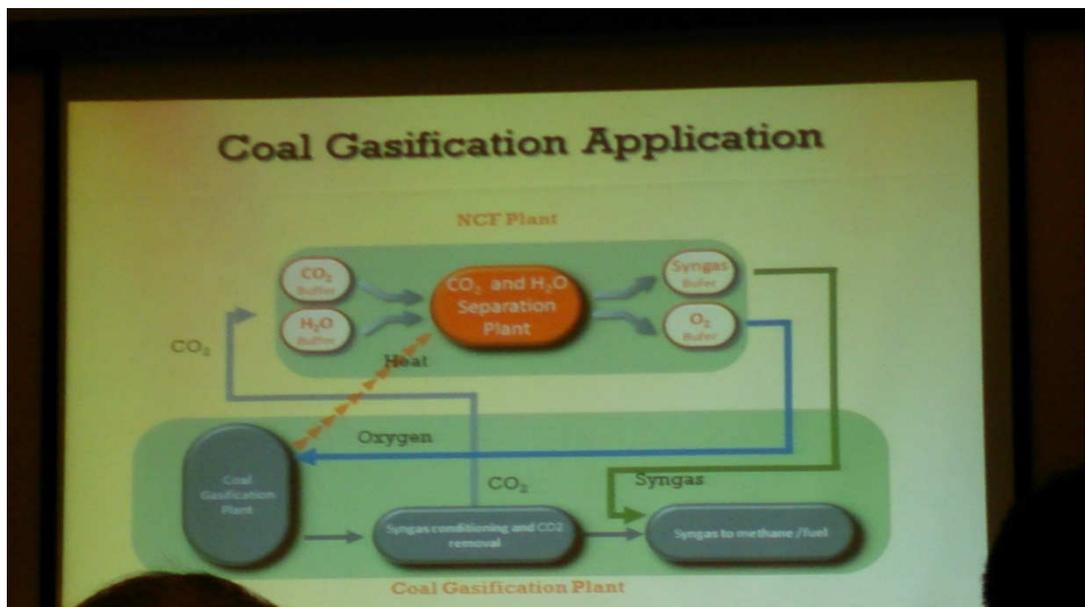


圖 3-16. NCF CO<sub>2</sub> 分解系統整合煤炭氣化技術

即便如此，目前該系統剛通過 lab-scale 驗證，分解效率僅達 40%，且受限於太陽熱能聚光廠區與應用產業端的距離遠近等，都是影響該技術未來是否能商業化的關鍵因素。

### 論文 33-1. Advanced Acid Gas Separation Technology for Gasification Markets:

本篇論文由 Air products 團隊主講，內容述及與 NETL 合作開發所謂的酸性氣體變壓吸附(Sour-PSA)程序，處理對象為 CO<sub>2</sub> 與 H<sub>2</sub>S，流程圖如圖 3-17 所示。先將粗合成氣經水汽轉化反應生成 H<sub>2</sub> 與 CO<sub>2</sub> 後，降至 30~40°C 左右接上 PSA 程序進行 H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 與 CO<sub>2</sub> 分離。H<sub>2</sub> 可輸送至燃氣渦輪發電使用；而 H<sub>2</sub>S 與 CO<sub>2</sub> 再透過一道分離程

序，回收元素硫或產出硫酸，再進行 CO<sub>2</sub> 捕獲。相較傳統的鹼性溶劑洗滌法(MDEA 或 Selexol)，特色是省去洗滌塔設備、不需降至零度以下、減少操作成本、出口 H<sub>2</sub>S 濃度很低(<3 ppmv)等。

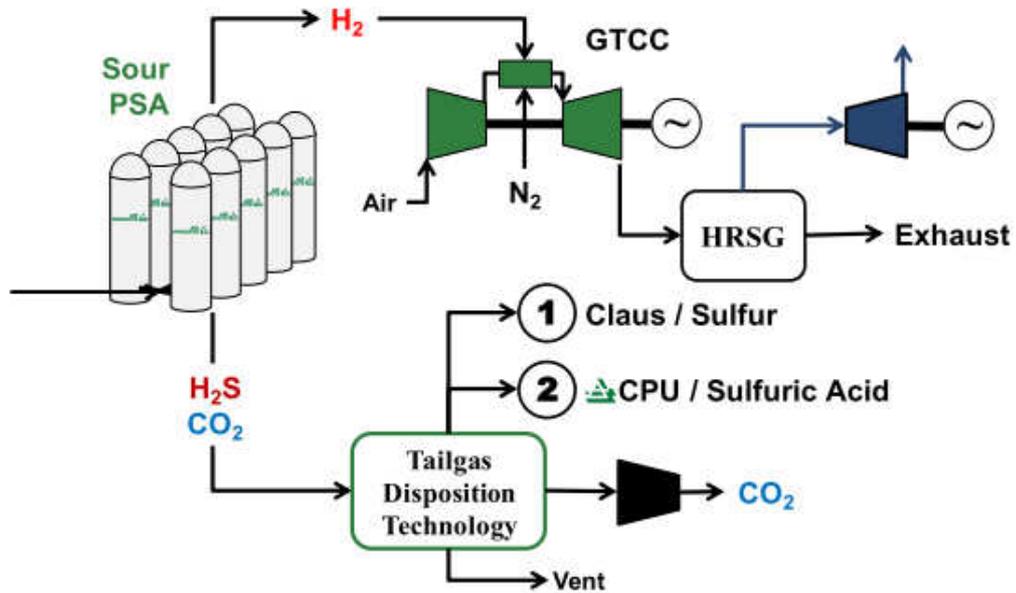


圖 3-17. 酸性氣體變壓吸附(Sour-PSA)程序

Air products 目前將 Lab-scale Sour-PSA 程序結合 Energy and Environmental Research Center (EERC)的氯化爐進行捕獲與分離測試，合成氣濃度經 GC 分析為 33.1% H<sub>2</sub>, 7.7% N<sub>2</sub>, 0.29% CO, 54.5% CO<sub>2</sub>, 4.0% CH<sub>4</sub>, 0.07% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 與 0.295% H<sub>2</sub>S，測試系統如圖 3-18 所示。因為從氯化爐進到吸附程序的壓力高達 30 bar，為了安全起見在吸附程序的外管加裝防爆設備，管材與防爆設備之間填充 N<sub>2</sub>。



圖 3-18. Air products 建立的 Sour-PSA 設備

經初期的操作條件與 300 cycle 穩定性測試後，產氣端的 H<sub>2</sub> 回收率僅有 54.5%，而 H<sub>2</sub>S 與 CO<sub>2</sub> 去除效率分別為 99.96% 與 96.9%，產氣端的 H<sub>2</sub>S 濃度可降至 5ppmv，結果如表 3-1 所示。

表 3-1. 合成氣經過 Sour-PSA 程序後的質量平衡、回收率與去除率一覽

	Mass Balance; In/Out		
Total	1.02		
H <sub>2</sub>	1.03		
N <sub>2</sub>	1.09	H <sub>2</sub> recovery	54.5%
CO	1.02	H <sub>2</sub> S Rejection	99.96%
CO <sub>2</sub>	1.03	CO <sub>2</sub> Rejection	96.9%
CH <sub>4</sub>	1.02	H <sub>2</sub> S in Product	5 ppm
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1.03		
H <sub>2</sub> S	1.02		

硫吸附量經長時間 1500 cycle 的連續測試，H<sub>2</sub>S 吸附量仍可維持在 0.8~1 mmole/g 之間，顯示吸附效能穩定，如圖 3-19 所示。

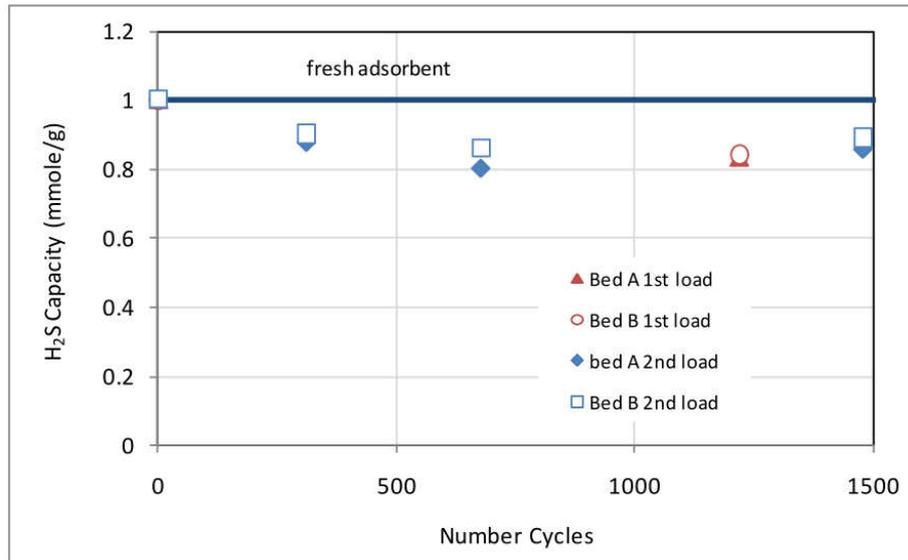


圖 3-19. H<sub>2</sub>S 吸附量穩定性測試結果

比較鹼性溶劑洗滌法與 Sour-PSA 兩者效能，Sour-PSA 在產氫方面略遜一籌，每小時產量約 299 kNm<sup>3</sup>。而 CO<sub>2</sub> 捕獲能力則有提升，在產氫與發電的應用上，Sour-PSA 捕獲百分比分別為 99%與 91%，CO<sub>2</sub> 捕獲成本可分別減少 25%與 20%左右，結果如表 3-2 所示。

表 3-2. 鹼性溶劑洗滌法與 Sour-PSA 在產氫與發電的效能與成本比較

Case	Units	High Purity H <sub>2</sub>		Power	
		Base	Sour PSA	Base	Sour PSA
Petcoke Input	MT/d	4,000	4,000	4,000	4,000
H <sub>2</sub> Produced	kNm <sup>3</sup> /hr MMSCFD	305 279	299 273		
Power Produced	MW <sub>net</sub>			453	473
% CO <sub>2</sub> Captured		~95%	>99%	~90%	~91%
Capital Savings	Millions USD\$	106		147	
Operating Savings	Millions USD\$/yr	24		2	
Reduction in CO <sub>2</sub> Capture Cost		25.2%		19.7%	

### 論文 48-3. Chemical Looping Combustion of Methane over Bimetallic Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CuO

#### Oxides with Higher Amounts of Fe Oxide:

本篇報告由 NETL 團隊報告，旨在敘述 NETL 與波蘭 Institute for Chemical Processing of Coal 團隊這幾年之間在化學迴路燃燒領域的合作成果。化學迴路燃燒為一項新穎的技術，該項技術可以將化石燃料轉換成高濃度的 CO<sub>2</sub> 與 H<sub>2</sub>O，伴隨著水汽冷凝，將可不耗損外在能量進行高濃度 CO<sub>2</sub> 捕獲，其概念如下圖 3-20。

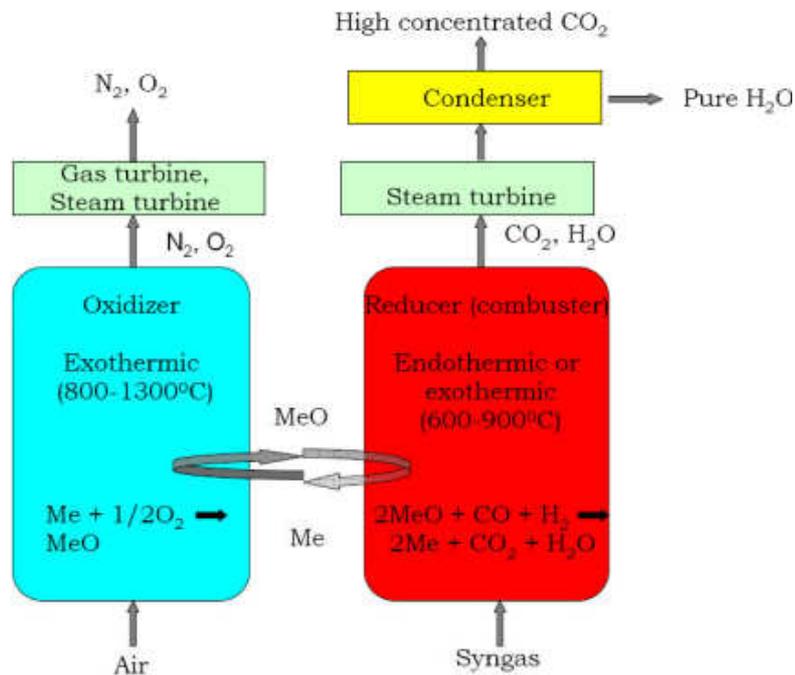


圖 3-20. 化學迴路燃燒概念圖

在本次演講內容，作者以 Fe-Cu 二元金屬作為載氧體。在過去的研究指出單一 CuO 雖然具有良好的反應性，但熔點太低是缺點，造成長期使用後顆粒嚴重團聚，降低反應性。而 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 結構穩定且價格相對便宜，但反應性不高與載氧率低是缺點，因而作者試著結合 Cu 與 Fe 雙金屬作為新式載氧體材料，希望能藉由結合彼此的優勢，解決應用單一金屬在化學迴路燃燒的限制。載氧體的製備方式，分成以固態混合法、含浸法、共沉法與直接燃燒分解法，分別擔載在氧化鋁或 bentonite 上。而化學迴路反應方面，進料分為 coal 與甲烷來進行，甲烷濃度選擇 20 vol%，剩下以氮氣當作稀釋載氣，為了避免過高的甲烷濃度會造成載氧體還原時發生積碳現象。反應平台

分別以熱重分析儀(TGA)與固定床反應器來進行多次循環反應，以研究 Cu-Fe 雙金屬載氧體的反應效能。

表 3-3 列出 Fe-Cu 雙金屬載氧體在不同金屬比例下之反應效能，反應平台為 TGA 而進料為 coal。比較 60%CuO-30%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/10%bentonite 與 80%CuO-20%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/10%bentonite 載氧體，coal 的燃燒百分比分別為 95%與 100%，顯示高 CuO 含量有利於 coal 轉化，而相同的現象在表 3-3 中其他金屬比例也可以觀察到。雖然 60%CuO/bentonite 與 80%CuO-20%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/10% bentonite 載氧體雖然擁有最佳的反應效能，但 CuO 熔點較低，含量太高在長期反應後會產生嚴重的顆粒聚集問題，因此作者建議 60Cu20Fe20Al 金屬比例為最佳的選擇。

**表 3-3. Fe-Cu 雙金屬載氧體在不同金屬比例下之反應效能**

Sample (wt%)	% Combustion	Peak temperature (°C)	Combustion rate (min <sup>-1</sup> )
60%CuO-30%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /10%bentonite	95	807	0.07
80%CuO-10%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /10%bentonite	100	748, 810	0.07, 0.06
10Cu80Fe10Al	83	888 (broad peak)	0.04
45Cu45Fe10Al	85	786	0.07
60Cu30Fe10Al	89	786	0.07
80Cu10Fe10Al	93	765	0.07
40Cu40Fe20Al	80	774	0.05
60Cu20Fe20Al	95	765	0.07
46Cu24Fe30Al	79	785	0.05
24Cu46Fe30Al	72	887 (broad peak)	0.04
60%CuO/bentonite	99.4 (Cu)	708	0.08
60%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /bentonite	54 (Fe [II])	979	0.04

在表 3-4 中以 60Cu20Fe20Al 為載氧體，測試以不同製備方法下的反應效能，反應平台為 TGA 而進料為 coal。在 coal 的燃燒百分比表現上，以共沉法最佳，有 96.5%。其次為固態混合法與直接燃燒分解法，分別為 95.4%與 93.7%。而含浸法最差，為 50.7%。

表 3-4. 比較不同製程載氧體的燃燒百分比效能

Preparation methods	Combustion reaction		
	% Combustion	Peak temperature (°C)	Combustion rate (min <sup>-1</sup> )
Physical mixing	95.4	749	0.032
Wet impregnation	50.7	681.1/849.5	0.04/0.05
Co-precipitation	96.5	677.5	0.05
Direct decomposition	93.7	810	0.05

表 3-5 為 60Cu20Fe20Al 在 10 次還原/氧化循環測試的反應效能，反應平台為 TGA 而進料為 coal。Coal 起始的燃燒百分率為 92%，最後下降至 88% 左右。

表 3-5. 60Cu20Fe20Al 載氧體在 TGA 10 次循環後的燃燒效率變化

Cycle	% Combustion	Peak temperature (°C)	Combustion rate (min <sup>-1</sup> )
1	92	795	0.037
2	92	797	0.036
3	98	808	0.057
4	95	810	0.056
5	93	819	0.046
6	92	826	0.044
7	80	795	0.050
8	86	830	0.042
9	82	844	0.068
10	88	837	0.055

60Cu20Fe20Al 載氧體後續移至固定床進行 11 次還原/氧化循環反應。以 coal 為進料反應，反應條件：壓力為 0.68 bar，溫度為 800°C，還原/氧化氣氛分別為 He 與空氣，空間流速控制在 1000 h<sup>-1</sup>，反應效能變化如表 3-6 所示。燃燒百分率從起始 95.2% 最後降低至 91.6%。而在出口濃度方面，CO<sub>2</sub> 濃度僅有 4% 左右，這是由於 He 稀釋導致；而產生 CO 是由於燃燒未完全所引起，其濃度約為 0.4%。從連續循環來看，燃燒百分率與 CO<sub>2</sub> 濃度值變化不大，可以研判該載氧體在連續循環反應的效能非常穩定。

表 3-6. 60Cu20Fe20Al 載氧體在固定床 11 次循環後的燃燒效能變化

Cycle number	Combustion reaction			
	Peak temperature (°C)	CO <sub>2</sub> peak concentration (%)	CO peak concentration (%)	Combustion percentage (%)
1	622	4.4	0.41	95.2
2	734	3.8	0.31	89.8
3	673	3	0.33	91.7
4	725	4.42	0.43	94.4
5	670	3.96	0.38	88.6
6	684	4	0.34	96.1
7	683	3.99	0.32	97.8
8	643	4.9	0.48	93.2
9	674	3.2	0.34	90.4
10	668	4.3	0.42	94.8
11	691	4.4	0.42	91.6

以甲烷為進料，在 TGA 平台研究不同載氧體對反應效能的影響，反應條件為溫度 800 °C，空間流速 1000 h<sup>-1</sup>，還原/氧化氣氛分別為 20% CH<sub>4</sub> 與空氣，且還原時間控制在 15min，為了減少碳沉積現象。連續 7 次循環反應效能結果如表 3-7 所示。不論何種載氧體，在還原與氧化速率以及氣體傳輸量的表現隨 cycle 變化皆不大，顯示反應效能穩定。還原速率尤以 60Cu20Fe20Al 載氧體最高，從 3cycle 至 7cycle 為 1.09 min<sup>-1</sup> 降低至 1.07 min<sup>-1</sup>，然而氣體傳輸量以 40Cu 40Fe20Al 載氧體表現最佳，從 13.86 上升至 14.31%。結果顯示 Cu-Fe 雙金屬複合的效能比單一金屬來得優異。

表 3-7. 以甲烷為進料，比較不同載氧體在 TGA 7 次循環效能變化

Sample	T (°C)	Cycle 3			Cycle 5			Cycle 7			Cycle 9		
		R <sub>red</sub> (min <sup>-1</sup> )	R <sub>oc</sub> (%)	R <sub>ox</sub> (min <sup>-1</sup> )	R <sub>red</sub> (min <sup>-1</sup> )	R <sub>oc</sub> (%)	R <sub>ox</sub> (min <sup>-1</sup> )	R <sub>red</sub> (min <sup>-1</sup> )	R <sub>oc</sub> (%)	R <sub>ox</sub> (min <sup>-1</sup> )	R <sub>red</sub> (min <sup>-1</sup> )	R <sub>oc</sub> (%)	R <sub>ox</sub> (min <sup>-1</sup> )
60%CuO/ bentonite	750	0.37	12.85	0.25	0.38	12.85	0.25	0.38	12.85	0.25	0.38	12.85	0.25
	800	0.68	12.92	0.24	0.69	12.92	0.24	0.69	12.92	0.24	0.69	12.92	0.24
	850	0.78	13.02	0.22	0.79	13.01	0.22	0.79	13.02	0.22	0.79	13.02	0.22
	900	0.94	13	0.39	0.94	13	0.391	0.95	13	0.39	0.94	13	0.39
	750	0.27	1.37	1.16	0.23	1.37	1	0.23	1.53	1.04	0.23	1.56	1.01
60%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / bentonite	800	0.36	2.7	0.83	0.32	2.7	0.96	0.32	2.24	1	0.31	2.1	1.07
	900	2.61	2.98	1.69	2.14	2.98	1.99	2.14	2.4	2.1	2.14	2.38	2.12
60Cu20Fe20Al	800	1.09	13.63	0.38	1.1	13.63	0.39	1.09	13.68	0.38	1.07	13.84	0.38
	900	1.26	13.63	0.38	1.209	13.67	0.37	1.176	13.71	0.36	1.162	14.1	0.36
40Cu40Fe20Al	800	0.92	13.86	0.35	0.92	13.86	0.35	0.91	14.13	0.35	0.9	14.31	0.34
	900	1.49	16.5	0.35	1.378	17.9	0.292	1.295	17	0.27	1.3	17.9	0.27

## Technical Sessions 綜合心得:

1. 氧氣分離薄膜(ITM)為目前國際上新穎的氧氣分離技術, Air Products 團隊從基礎研究 0.1 TPD 產量開始, 到目前原型設施 1~5 TPD 產量測試, 皆能產出純度大於 99.9% 的氧氣, 以符合工業所需 99.5% 的要求。產出的氧氣可替代空氣分離單元 (air separation unit, ASU) 供應化學合成、燃燒或氣化等領域使用。但關於氧氣通量( $O_2$  flux)或 perovskite 的穩定性測試方面, Air Products 團隊釋出的訊息仍有限, 因此是否具商業化發展價值, 還須持續關注未來發展動態。
2. 化學迴路燃燒(CLC)為目前國際上矚目的富氧燃燒技術之一, 該技術可望運用具有循環特性的載氧體供應燃燒或氣化反應所需的氧氣。由於材料取得容易、可循環具有低成本, 以及高載氧量特性, 可望在未來取代 ASU。目前化學迴路發展的關鍵應聚焦在載氧體材料, NETL 研究發現不同的材料接觸到過高的碳濃度, 容易發生積碳現象, 造成反應性下降, 這點與本所過去研發經驗相符。因此建議本所可參考 NETL 的開發經驗, 嘗試發展雙金屬的載氧體, 截取不同金屬的優點。此外上述的 ITM 技術應用面也是與化學迴路燃燒(CLC)互相競爭的, 應該持續關注這兩項技術的發展。
3. 國際上目前就屬 RTI 團隊最積極投入中溫脫硫技術的發展, 在過去十幾年間, 具備相當豐富的流體床操作以及脫硫劑開發經驗。流體床的運轉已經可達數個月, 而出口硫濃度控制在 5ppmv 以下, 而脫硫劑產量已達噸級以上。在經濟與效能上的分析顯示, 中溫脫硫可望為系統帶來更佳的操作效能、減少能耗, 以及增加硫捕獲。本所未來如要跨足此一技術商業化, 建議可與該單位建立合作關係。
4. NCFCO<sub>2</sub>Fuels 團隊所提出的 CO<sub>2</sub> 當成燃料回收再利用的概念, 為此次會議的一大亮點, 參加此次演講的聽眾為數眾多。CCS 固然是目前國際上減少碳排放的可能方式, 但 NETL 也分析過 CCS 的成本太高, 現階段要商業化實有窒礙難行之處。因此若能利用將 CO<sub>2</sub> 回收再利用, 將可減少後續 CCS 開發成本, 而且分解 CO<sub>2</sub> 所需的能源來自太陽熱能, 減少碳排放, 具有發展潛力。

### (三) Technical tour:

在會議第二天(9月17日)下午演講場次結束後，大會安排與會者到「北京低碳清潔能源研究所」參觀，以下列出廠區與設備概況。筆者認為大陸在煤氣化領域已投入相當多資源進行示範廠與周遭設施之建立與測試，反觀台灣，因為缺乏相關初級能源，更應該藉由本計畫發展國內自有淨煤技術，才能在國際競爭市場上占有一席之地。



圖 3-21. 煤炭氣化示範廠: (a)監控中心，(b)廠房概況



圖 3-22. 噴射冷模測試裝置: (a)簡介，(b)外觀



圖 3-23. 多相流反應器平台: (a)簡介，(b)外觀

## 四、建議事項

- (一) 藉由參加國際研討會發表論文與簡介本所相關研發成果，可讓國際研究單位對本所進行之研發工作有進一步瞭解。未來可循此模式，提升本所於國內外之知名度並促進交流合作。
- (二) 該會議已為一年一次之例行國際研討會，持續參與此會議有利於擴展本所研究人員視野，並與周邊國家建立人脈基礎，可為後續技術交流與籌辦論壇建立基礎。
- (三) 本次會議排程發生場次重疊問題，建議未來可派遣多名人員同時出席國際研討會，可彼此協調聆聽場次並互相協助分工，此將有助於提升參加研討會之效益。
- (四) 第一線研究人員出國參加國際研討會具有相當有實務價值。除可以與相關領域的研究學者一起進行討論，並且對於未來的研究發展有著深遠的幫助。且經由參與國際研討會，可建立未來國際合作之契機。建議多鼓勵並支持研究人員參與國際學術研討會活動。
- (五) 化學迴路燃燒技術為新一代減少碳排放與高效率使用碳基燃料的方式。本所在中央施政計畫-「淨碳技術發展」具備載氧體與分析測試的基礎能力，可持續發展該一領域與進行國際合作，縮短研發期程。
- (六) 可考量開發複合金屬型載氧體，擷取不同金屬的優點，以達互補之效。
- (七) 本所在中溫脫硫技術領域已具備材料開發與分析經驗，唯獨流體床操作與材料量產經驗稍嫌不足，若持續發展此一技術，建議學習國外發展經驗，並引進相關人才。
- (八) 此次會議捕碳技術多以中低溫為主，鮮少有直接進行中高溫捕碳。建議可將本所中高溫捕碳成果與國際研發現況比較，分析優劣為何，適時調整計畫的研究方向。
- (九) 大陸與美國在化石燃料的開發市場採完全不同取向，這是由於頁岩氣崛起導致。台灣缺乏相關初級能源，更應該發展能源技術，自成技術輸出的上游端，才能在未來競爭市場上占有一席之地。

(十) 此次研討會演講主題仍多以氣化技術為主，顯示該技術在淨碳領域發展的重要性。本所已具備系統模擬與設計相關經驗，未來應強化氣化爐操作的實務經驗，以讓模擬與實驗兩方面可以相互應證。