

出國報告（出國類別：其他）

參訪大陸生質燃料/二甲醚/纖維酒精研 發機構

服務機關：核能研究所

姓名職稱：李灝銘 副工程師

魏華洲 副研究員

謝政廷 副研發師

派赴國家：中國大陸

出國期間：100年11月13日~100年11月23日

報告日期：100年12月14日

摘要

本次參訪乃瞭解中國大陸在甲醇、二甲醚、纖維酒精、生質汽油、烯烴等相關燃料與化學原料產業之現況，作為我國發展本土化技術與規劃相關產業之參酌，增進兩岸雙方資訊交流及合作管道，提昇國內生質燃料產製技術水準，並作為國內未來規劃研發方向之參考。本報告內容包括：中國大陸煤製烯烴產業發展、甲醇產製汽油技術、甲醇/二甲醚之合成與應用、甲醇產製烯烴技術、中國大陸二甲醚發展現況、纖維酒精技術參訪等。

目 錄

摘要.....	1
一、 目的	4
二、 過程	5
三、 心得	7
3.1 中國大陸煤製烯烴產業發展.....	7
3.2 甲醇產製汽油（MtG）技術	11
3.3 甲醇/二甲醚之合成與應用	17
3.4 甲醇產製烯烴技術.....	20
3.5 中國大陸二甲醚發展現況.....	21
3.6 纖維酒精技術參訪.....	23
3.7 其他心得.....	26
四、 建議事項	27

圖目錄

圖 1：煤化工產業鏈	8
圖 2：2000~2020 年中國大陸乙烯供需預測	9
圖 3：三劑化工 MtG 觸媒	14
圖 4：三劑化工小型 MtG 技術試驗裝置	14
圖 5：三劑化工小型 MtG 技術試驗裝置的甲醇進料熔鹽加熱設備	15
圖 6：三劑化工小型 MtG 技術試驗裝置的控制儀表設備	15
圖 7：三劑化工 MtG 試驗工廠產出之汽油	16
圖 8：中國科學院山西煤炭化學所人員規劃	19
圖 9：中國科學院山西煤炭化學所發展概況	19
圖 10：甲醇儲槽與二甲醚儲槽	22
圖 11：年產 3 萬噸二甲醚的裝置	22
圖 12：由纖維素轉製多元醇(polyols)的觸媒轉換途徑	24
圖 13：吉林省公主嶺一帶農田情景	25

表目錄

表 1：五大示範工程進展	10
表 2：JX6021 最適化操作參數與觸媒性能	12

一、 目的

為因應本所發展生質物經氣化轉製燃料（甲醇、二甲醚、汽油等）或民生工業重要原物料（乙烯、丙烯、乙二醇等）技術及發展纖維酒精與高值化生物基應用，物理組李灝銘博士、謝政廷博士及纖維酒精專案魏華洲副研究員等 3 員奉派前往中國大陸參加 2011 第三屆煤製烯烴（CtO）技術經濟研討會、參訪甲醇/二甲醚產製碳氫化合物（乙烯、丙烯、二甲醚、汽油等）重點研究單位（中國科學院大連化物所、山西煤化所）、參觀二甲醚工廠（東北公主嶺市三劑化工）。此公差行程與中國大陸相關研發負責人針對甲醇/二甲醚相關產製技術與應用、纖維酒精技術進行經驗交流、收集中國大陸對甲醇/二甲醚相關產製技術與應用發展現況，並與中國大陸相關重點研究單位建立聯繫管道及未來合作基礎。

本行主要議題包括：

1. 中國大陸煤製烯烴產業發展
2. 甲醇產製汽油（MtG）技術
3. 甲醇/二甲醚之合成與應用
4. 甲醇產製烯烴技術
5. 中國大陸二甲醚發展現況
6. 纖維酒精技術

二、 過程

第一天 (11/13) 出發 (桃園→北京)

第二天 (11/14) 參加 2011 第三屆煤製烯烴 (CtO) 技術經濟研討會

研討議題包括：

- (1) 以升級示範標準開發中國煤製烯烴項目
- (2) UOP 先進 MTO 在惠生丁辛醇項目中的應用
- (3) Domestic Application of Advanced MTO Technology and Economical Analysis on Its Down-stream Products
- (4) 中國煤製烯烴產業展望
- (5) Siemens Gasification Technology Key Equipment and Services for CT OCTP Project
- (6) 中國煤化工產業結構調整及發展升級示範項目的條件
- (7) 流化床甲醇製烯烴 (FMTP) 工藝及工程技術開發簡介
- (8) Total's Differentiation in the Polyolefin Market
- (9) Compact Gasification Development and Test Status
- (10) 甲醇製烯烴技術進展及產業發展前景 I
- (11) Use of Antifouling Additives in MTOMTP Industry
- (12) Experience Sharing on Large ASU On-Site Supply
- (13) 甲醇製烯烴技術經濟性及產業化
- (14) 烯烴生產路線與煤製烯烴的機遇

第三天 (11/15) 參加 2011 第三屆煤製烯烴 (CtO) 技術經濟研討會

研討議題包括：

- (1) 寧煤及煤製烯烴建設情況
- (2) Lurgi MTP Commercialization –Cooperation is the key to Success
- (3) 甲醇製烯烴技術進展及產業發展前景 II
- (4) 煤化供水系統整體解決方案
- (5) 神華包頭煤製烯烴商業化示範一體化配套 大型高氧壓越界供氣項

目-盈德理念與一手實踐

(6) 煤製烯烴專案的節水管理及節水技術

第四天 (11/16) 搭機飛往山西省太原市並參訪中國科學院煤炭化學研究所 李文懷研究員及其研發團隊，參訪交流主題為甲醇產製汽油技術

第五天 (11/17) 參訪中國科學院煤炭化學研究所 韓怡卓研究員及其研發團隊，參訪交流主題為甲醇/二甲醚之合成與應用

第六天 (11/18) 參觀中國科學院煤炭化學研究所設施 搭機飛往遼寧省大連市

第七天 (11/19) 星期六、參訪資料整理

第八天 (11/20) 星期日、參訪資料整理

第九天 (11/21) 參訪中國科學院大連化學物理研究所 劉中民副所長及國際交流部孫軍博士，參訪交流主題為甲醇產製烯烴技術。之後搭機飛往吉林省長春市。

第十天 (11/22) 參觀三劑化工公司（公主嶺、觸媒生產製造商）與新源公司（松原、二甲醚生產製造工廠）

第十一天 (11/23) 搭機回國（長春→上海→桃園）

三、心得

生質物經氣化、潔淨程序後產製合成氣 ($\text{CO} + \text{H}_2$)，合成氣的利用主要有兩種方式，一為直接進行燃燒發電使用，另一是轉製為液態燃料（甲醇、二甲醚、汽油等）或者轉製為原物料（乙烯、丙烯、乙二醇等）。中國大陸目前投入大量資源發展煤化工產業，簡言之是將煤經氣化、潔淨程序後產製合成氣，然後再將合成氣轉化為液態燃料或工業原物料。本所發展中的生質物利用技術與中國大陸煤利用技術，除原料不同外有許多相似處，此次公差行程直接接觸相關研發負責人員，藉由經驗交流，獲得豐富資訊及知識，其可明顯地促進本所相關技術發展。以下針對幾個主題，說明此次公差所獲得的收穫。

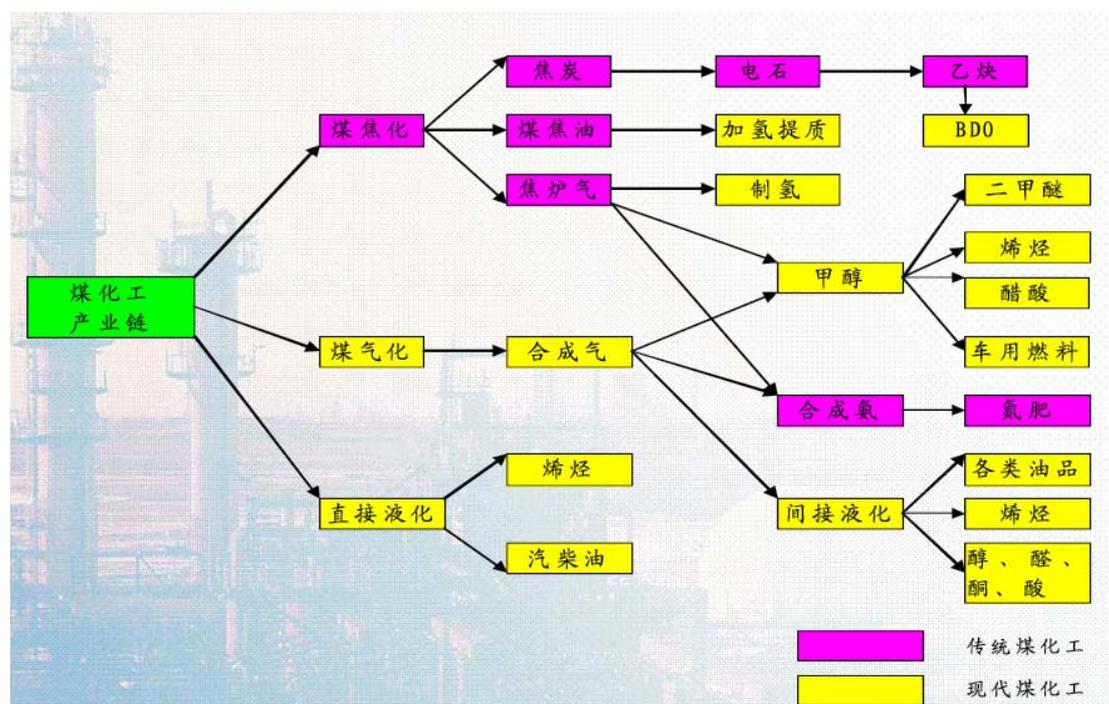
3.1 中國大陸煤製烯烴產業發展

2010 年我國石化產值 1.8 兆元，約占 GDP 的 12%，為台灣重要工業之一。馬英九總統 2011 年 4 月底宣布暫緩推動國光石化案，定調國內石化業轉朝「高值化」發展。隨著國光石化案的緩建，烯烴來源緊張，下游塑化產品的發展受到抑制。「煤製烯烴技術」為烯烴生產開創了另一條道路，是石化製程外的新選項。台灣沒有煤的天然資源，不適合進行「煤製烯烴技術」；但若將煤製烯烴技術拆成兩段，第一階段「煤製甲醇或二甲醚技術」：煤先在原產地（如中東與東南亞）製成甲醇或二甲醚；第二階段「甲醇或二甲醚製烯烴技術」：將甲醇或二甲醚運回台灣後再製成烯烴。第二製程相對第一製程，沒有碳排放、屬放熱反應製程能耗較低，屬於相對環保的低碳生產製程。此外，由甲醇或二甲醚產製的烯烴，相對石化裂解的烯烴而言，雜質更低、品質更精純。整體而言，「甲醇或二甲醚製烯烴技術」符合政府的國內石化業「高值化」發展策略，塑化產業得以持續發展，創新產業並增加就業人口，乃值得國內產官學研界留意的新興技術。另一方面，台灣雖然沒有煤炭資源，但可考慮由生質物為原料，由生質物氣化轉化成甲醇或二甲醚再產製烯烴，成為具有減碳效益的生質烯烴，可對環境與減碳有更大幫助；唯須考量生質物的供給是否充分。

中國大陸為缺少石油及天然氣，但具有豐富煤礦資源的國家，為滿足能源及民生用品等需求每年需自國外進口大量石油與天然氣。考量國家能源自主、國家

能源安全與豐富煤礦妥善利用，中國大陸投入大量資源與政策配合，使得煤化工在中國大陸蓬勃發展中。煤化工產業鏈如圖 1 所示，幾個現今主要發展的煤利用技術發展如表 1。

煤製烯烴是中國大陸重要的煤基能源化工產業之一，煤製烯烴的產品可以是聚烯烴（乙烯或丙烯），也可以是烯烴衍生物如乙二醇、環氧丙烷等重要石化工業原料。由於以煤為源頭經煤氣化、合成氣淨化、甲醇合成、甲醇製烯烴以及最終生產聚烯烴或烯烴衍生物經歷的環節較多，煤製烯烴項目屬高資金投入、高產品附加價值和高回報的特點。中國大陸的乙烯與丙烯，產量與需求的缺口一直較大，圖 2 是 2000 年至 2020 年乙烯的產需的現況與預測，因此每年需進口大量乙烯和丙烯，促使煤製烯烴變成國家的重點發展方向。



(圖片取自中國石化集團洛陽石油化工工程公司)

圖 1：煤化工產業鏈

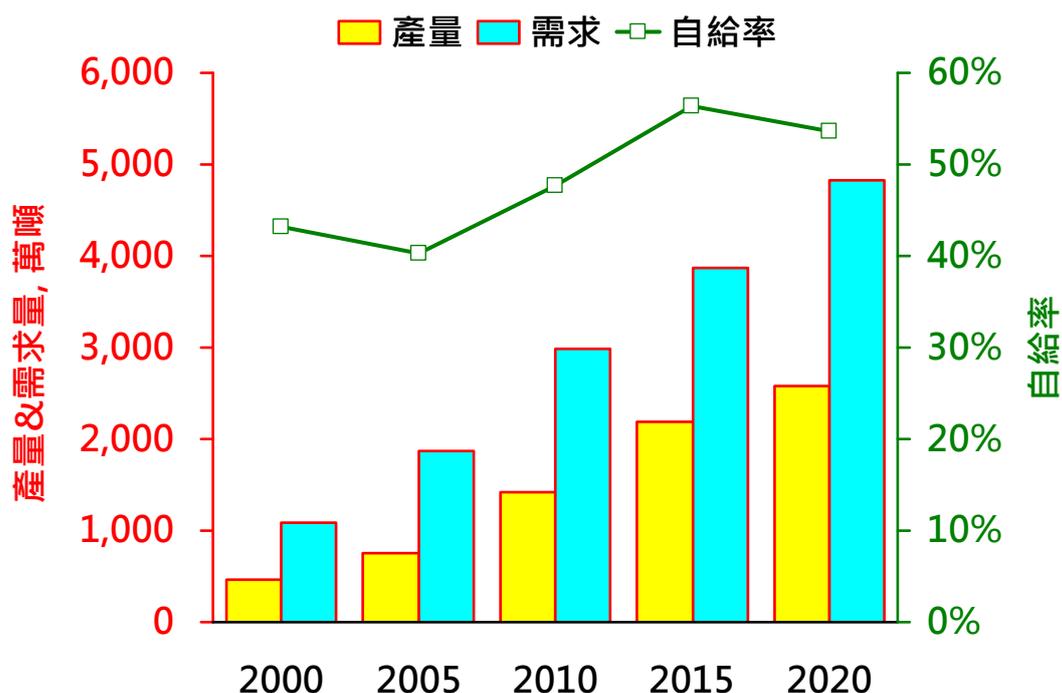


圖 2：2000~2020 年中國大陸乙烯供需預測

雖然中國大陸乙烯和丙烯的產能和產量不斷增長，但因經濟發展迅速，需求增長相較供給快，乙烯和丙烯供需差異並沒有隨著產能和產量不斷增長而縮小。煤製烯烴是中國大陸實現以煤代油能源戰略，保證國家能源安全的重要途徑之一。

煤製烯烴的大規模示範工程已於今年（2011）試驗成功，驗證從煤到聚烯烴全流程技術和經濟上的可行性。煤製烯烴裝置流程包括煤氣化、合成氣淨化、甲醇合成、甲醇製烯烴及烯烴聚合或烯烴衍生物生產等五個關鍵環節。煤製甲醇的製程技術已相當成熟且有多年商業化生產經驗。甲醇製烯烴是煤製烯烴的關鍵所在，現正積極發展當中，目前已具備工業化條件。而烯烴後續聚合或衍生物生產程序石化業已有相似成熟技術。目前主要的甲醇製烯烴技術有以下幾種，（1）UOP 公司的 MTO 技術，（2）中國科學院大連化物所的 DMTO 技術，（3）中國石化集團的 SMT0 技術。另外特別強調丙烯生產的甲醇產製丙烯技術有：（1）Lurgi 的 MTP 技術，（2）中國化學集團、清華大學和淮化集團聯合開發的 FMTP 技術。

煤製烯烴項目由於從煤為原料到最後製成烯烴原料或烯烴衍生物產品，涉及

的製程流程較多，因此具有經濟規模的煤製烯烴項目投資額相當高，中國大陸建設中的煤製烯烴項目投資額都超過 100 億人民幣，只有具備相當實力的企業才適合發展煤製烯烴項目。但同樣因為製程流程較長，煤的增值幅度很大，以自有煤礦的煤炭成本只有 100 多人民幣/噸-煤炭，5~6 噸煤炭就可生產超過 1 萬人民幣/噸的聚乙烯或聚丙烯，即使算上設備折舊、水耗、能耗、人力成本等，利潤依然可觀。

表 1：五大煤化工示範工藝進展

技術	進展
煤製烯烴	示範成功，進入商業運轉
煤製油	進展較好，直接法可以執行較長的運轉週期；間接法已經實現滿負載長周期運轉
煤製乙二醇	正處於試運行階段
煤製天然氣	示範裝置進行中
煤製二甲醚	產能過剩，發展趨緩

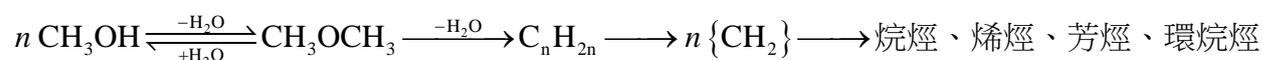
(資料取自中國石化集團洛陽石油化工工程公司)

3.2 甲醇產製汽油（MtG）技術

中國科學院山西煤化所與賽鼎工程公司（原化學工業第二設計院）、雲南煤化工集團共同開發的甲醇產製汽油技術已完成年產 3500 噸的工業示範試驗。目前雲南煤化工集團正進行年產 20 萬噸汽油裝置建設。本次參訪中國科學院山西煤化所李文懷研發團隊以了解甲醇產製汽油技術之關鍵-MtG 觸媒。李文懷研發團隊規模約 20~30 人（包括有李文懷研究員、胡津仙副研究員、3 名副教授級研發人員、數名技術人員及研究生），主要從事甲醇產製汽油（MtG）、甲醇產製芳香烴（MtA）、甲醇產製汽油（MtG）等製程中觸媒開發與推展。該團隊擁有數十套觸媒性能測試系統，其中包含一套可填裝 5 公升觸媒的測試系統，其具備單段、兩段、至多四段的絕熱反應器，可任意測試單段、兩段、至多四段絕熱反應及觸媒實際使用性能。另外還有一套可填裝 20 公升觸媒的先導工廠級測試系統，可進行反應製程放大測試與長效性測試。李文懷研發團隊在甲醇轉換製程領域中累積 20 年的觸媒研發經驗，再加上 20~30 各式專業人力合作與豐富設備配合，此程度研發能量令本所參訪人員印象深刻，且佩服該團隊之高瞻遠矚願意投入這麼多資源於僅僅觸媒開發。

要成功發展甲醇產製汽油技術有兩方面的問題需要解決：（1）利用對觸媒表面酸性、與孔道結構的調整，促使產出之汽油符合相關規範。（2）利用適當的製程技術將甲醇產製汽油反應所釋放的大量熱量移出反應器，使得反應器溫度得到良好的控制。

李文懷研發團隊所開發的一步法甲醇產製汽油技術其原理如下：



在適當的觸媒與製程設備條件下，上述之反應生成的碳氫化合物碳鏈長度主要集中於 C5~C10 之間，其產品可直接作為汽油使用，也可作為石化汽油的優良摻配油使用。上述反應為一放熱反應，每轉化 1 kg 甲醇會放出 1.74 MJ 的熱量。該團隊經驗證後的觸媒（JX6021）最適化條件與性能如表 2。

表 2：JX6021 最適化操作參數與觸媒性能

項目	參數
反應壓力	1.6 MPa
反應溫度	315~430°C
甲醇重量空速	WHSV=1.0~1.6 h ⁻¹
甲醇轉化率	100%
汽油收率	33~36 wt%
LPG 收率	5~8 wt%
觸媒單程壽命（以處理甲醇能力計）	≥ 500 噸/噸
預期總壽命（以處理甲醇能力計）	≥ 10,000 噸/噸
噸汽油消耗觸媒	0.3 kg

李文懷研發團隊在實驗室進行了大量的 ZSM-5 分子篩合成技術研究工作，掌握了製備條件對分子篩晶體結構與反應性能的影響規律及經驗法則，可以有效控制分子篩物性參數和化學反應性能的有關知識。在此基礎，於工業規模的高壓釜中進行了甲醇轉化專用小晶 ZSM-5 分子篩的工業合成試驗，通過對分子篩合成條件（母液鹼度、模板劑、水熱合成溫度、壓力、晶化時間，攪拌強度等）的優化改進，實現了工業規模甲醇專用小晶粒 ZSM-5 分子篩合成。所合成的分子篩在甲醇轉化方面具有良好的反應活性、選擇性和較強抗積碳能力，從而具有較長的單程壽命。

李文懷研發團隊開發的「甲醇專用小晶粒 ZSM-5 分子篩工業合成技術」於 2007 年通過了由山西省科技廳的成果鑒定，專家們一致認為該成果「達到國際先進水準」。李文懷研發團隊已經完成定型的第一代 MTG 觸媒代號為 JX6021，目前已建成生產能力為 150 噸/年的觸媒生產線，所生產的觸媒可滿足生產產能為 40 萬噸汽油/年的工業製程觸媒需求。

甲醇產製汽油技術所需的投資金額不高，每生產 1 噸汽油的投資大約為 1,500~2,000 人民幣，例如 10 萬噸汽油/年的甲醇轉化製汽油裝置，總投資額大約為 2.5 億人民幣、20 萬噸汽油/年的裝置投資總大約為 3.5 億人民幣。對於甲醇產製汽油技術，年產 10 噸汽油規模的製程即具經濟效益。該技術的經濟效益與原

料甲醇的成本相關度較大。甲醇成本低時經濟效益好，相反地甲醇成本高時經濟效益降低。

本所參訪人員另針對甲醇產製汽油技術相關細節進行交流討論說明如後。甲醇產製汽油實驗中適當的油品冷凝收集溫度為 0~5 °C，利用火焰離子偵測器式氣相層析儀 (GC-FID) 即可進行汽油組成完整定量檢測。MtG 收集得到的油品品質除需符合相關國家限制與規範外，還需特別注意均四甲基苯的含量。均四甲基苯的沸點 197°C、熔點 79°C，溫度過低時易凝固；若均四甲基苯濃度高時，又在低溫環境行駛時，均四甲基苯可能會凝固堵塞引擎汽油噴嘴。所以汽油中均四甲基苯含量高時，就需將均四甲基苯自汽油中分離。

觸媒工業化生產製造是一個耗能不環保的生產程序，產製過程會產生大量廢水，生產一噸觸媒約產生 100 噸廢水。觸媒的成本僅占甲醇產製汽油總成本的 1%。各公司所生產製造出的 MtG 觸媒 (ZSM-5) 皆有差異，這也就使得不同廠商製造的 ZSM-5，其酸性分佈都不同。

根據研究顯示觸媒造粒所使用的黏著劑 (binder) 對觸媒催化性能影響不大，黏著劑對催化性能僅具輔助作用。觸媒造粒後的形狀直接地影響該顆粒狀觸媒的機械強度，其會影響觸媒於反應器中的穩定性，粉碎的觸媒微粒可能造成管路堵塞，以甲醇產製汽油觸媒而言，條狀的機械強度比球狀或圓柱狀的要來的強，且空間堆疊效率相近，氣流不至於在反應器中發生短流(channeling)現象。

此次參訪對象三劑化工，對於甲醇產製汽油觸媒開發也有些成果，他們的 MtG 觸媒如圖 3，他們除了有實驗室級觸媒性能測試設備外，另還有一小型試驗工廠如圖 4、甲醇進料設備如圖 5、小型試驗工廠的控制儀表設備如圖 6、產出汽油如圖 7。圖 7 中有兩種不同顏色 (透明的與黃色的) 的汽油，本所參訪人員認為應是油品中芳香族含量多寡所造成的，芳香族含量較高時油品偏黃的程度會愈深。



圖 3：三劑化工 MtG 觸媒



圖 4：三劑化工小型 MtG 技術試驗裝置



圖 5：三劑化工小型 MtG 技術試驗裝置的甲醇進料熔鹽加熱設備



圖 6：三劑化工小型 MtG 技術試驗裝置的控制儀表設備



圖 7：三劑化工 MtG 試驗工廠產出之汽油

3.3 甲醇/二甲醚之合成與應用

山西煤化所的人員組織架構與研發規劃發展概況可見圖 8 與圖 9。韓怡卓博士同時是山西省人民代表大會常務委員會委員，約 20 年前在日本修讀博士期間論文主題即是潔淨燃料-二甲醚相關研究，學成歸國後努力發展二甲醚相關技術並於中國大陸推展，現今二甲醚能在中國大陸與全世界廣泛地發展，韓博士的功勞甚大，此次本所參訪人員有幸能與其研發團隊核心成員進行技術交流，對於增進相關產業發展策略及經驗具有寶貴意義。

本所參訪人員針對合成氣產製甲醇/二甲醚技術相關細節與韓博士研發團隊進行交流討論如下說明：中國大陸對燃料摻配部分，允許 M15 甲醇汽油，DME 可以 20% (max)摻配入 LPG，對於能源替代具有意義。對於合成氣 ($\text{CO} + \text{H}_2$) 一步法直接產製二甲醚 (StD) 觸媒，合成氣中硫含量上限為 0.5 ppm。韓博士研發團隊目前模擬生質物為原料所得合成氣轉換研發觸媒，因此努力開發可耐高 CO_2 的觸媒，此點對於生質物氣化應用具關鍵。他們自稱所研發之 StD 觸媒可承受 CO_2 含量高達 25%，StD 觸媒的轉化率僅從 80% 下降至 75%。

以 StD 合成而言，反應器移熱能力決定二甲醚產能規模，他們認為漿態床反應器移除反應放熱較固定床反應器要來的容易，因此他們現正積極發展漿態床反應器。韓博士研發團隊表示他們的漿態床是以礦物油為媒介，利用攪拌方式將合成氣氣體分散。未來若要將漿態床工業上應用，可利用鼓泡塔來當反應器。鼓泡塔有最小規模的限制，所以不適合在實驗室規模進行實驗。

生質物氣化溫度約 800°C ，StD 反應溫度約 270°C (fixed bed) or 300°C (slurry reactor)，所以粗合成氣淨化部份若能高溫 ($400\sim 500^\circ\text{C}$) 進行對整個生質物氣化轉製二甲醚 (BtD) 裝置而言將是較節約能耗的，目前工業上已有一種高溫除硫技術 (利用氧化鋅為吸附材) 可以做到在約 $400\sim 500^\circ\text{C}$ 下進行氣體潔淨，只是成本較高。又或者可利用低溫甲醇洗技術於粗合成氣淨化部份進行除硫，但是這樣整個 BtD 製程溫度忽高忽低，會造成大量能耗。因此仍須視實際反應所需移除硫含量、能耗及成本等方能取得製程之最適化。利用漿態床式反應器進行 StD 反應， H_2/CO ratio 為 1，若合成氣是自生質物氣化而來，則焦油加蒸氣加 O_2 可輔助調高 H_2 的比例，進而提高 H_2/CO ratio。他們的 StD 一步法觸媒於 270°C 反應溫度，單程壽命可達 300 hrs (fixed bed)；失活了可再生繼續使用，若無法再生

(因燒結而永久失活) 則丟棄。

生質物的來源可為中國大陸南方的麻瘋樹、農業廢棄物(稻稈, 一年可有 3 次採收) 或甘蔗渣, 其大多已是集中的狀態, 可節省收集成本。

山西太原煤礦副產品煤層氣(甲烷)可用於出租車(Taxi)市場, 其優勢為相同公里數, 甲烷的價格少了一半, 雖然剛開始有裝置改裝的費用, 但其 1 年即可回本, 因此主要技術開發仍取決於產品價格是否具有誘因, 而政策應在安全性及其他管理作法上作合理改善, 如此可以自然形成產業。而以 LPG 摻配二甲醚為例, 中國大陸 1 桶 LPG 鋼瓶約 100 人民幣, 二甲醚可摻配 20% (max) 於 LPG, 因二甲醚價格低於 LPG, 摻配具有經濟誘因, 韓博士認為生質物氣化產二甲醚是有機會推入市場被接納的。

合成氣也可以合成乙醇, 其路徑為 $\text{Syngas} \rightarrow \text{MeOH} \rightarrow \text{醋酸甲酯} \rightarrow + \text{H}_2 \rightarrow \text{乙醇}$ 。今年 11 月 1 日索普集團年產 3 萬噸合成氣製乙醇成套技術研發項目開工, 標誌著該項創新技術進入工業示範實施階段, 項目建成後將成為世界首套萬噸級煤經合成氣製乙醇工業化裝置。合成氣製乙醇是一個重要方向, 對於煤炭資源清潔利用和減少對石油資源的依賴開闢了新的途徑, 具有廣闊的市場前景。中國的工業乙醇 70% 以上以糧食發酵法生產為主, 每年需要消耗大量的糧食。因中國糧食不充裕, 而煤炭資源相對豐富, 從煤炭資源出發經合成氣生產乙醇的技術對替代傳統的糧食發酵路線、緩解石油資源緊缺的矛盾, 可提高能源安全, 具有戰略意義。項目建設期為 2 年, 項目投產後將儘快形成 30 萬噸裝置工藝套裝軟體, 建設 30 萬噸級商業化運行裝置。

煤转化国家重点实验室

实验室负责人

主任: 王建国 研究员
副主任: 李永旺 研究员
李文 研究员
朱珍平 研究员

学术委员会

职称	姓名	职称	工作单位
主任	何鸣元	院士	华东师范大学
副主任	李 灿	院士	中科院大连化物所
	李永旺	研究员	中科院山西煤化所
委员	万惠森	院士	厦门大学
	李静海	院士	中科院过程工程研究所
	赵东元	院士	复旦大学
	郑楚光	教授	华中理工大学
	刘振宇	教授	北京化工大学
	徐伯庆	教授	清华大学
	胡清权	教授	大连理工大学
	王辅臣	教授	华东理工大学
	王建国	研究员	中科院山西煤化所
	孙子罕	研究员	中科院山西煤化所
	钟 炳	研究员	中科院山西煤化所

研究团队

- 煤分质转化团队
毕继斌 李文 房侍天 杨建丽
黄张根 张 荣 赵建涛 白宗庆
- 合成油团队
李永旺 孙子罕 相宏伟 黄海军
朱玉雷 郝 相 陈建刚 常 明
李德宝 张成华 霍春芳
- 醇类合成与转化团队
孙子罕 韩怡卓 李文怀 谭骑生
樊卫斌 魏 伟 董 梅 房克功
- 材料化学团队
朱珍平 郭向云 樊卫斌 吴 东
徐 耀 朱华青 赵江虹
- 理论计算团队
熊海军 王建国 李永旺 郭向云
慕张峰 霍春芳

STATE KEY LABORATORY OF COAL CONVERSION

圖 8：中國科學院山西煤炭化學所人員規劃

煤转化国家重点实验室

实验室概况

- 固定人员34名，其中博士生导师16名；
- 国家杰出青年科学基金获得者2人，中科院百人计划入选者8人；
- 2004-2008年已毕业博士136名、硕士48名；在读博士生120名，硕士生68名；
- 2004-2008年发表刊物论文：国际443篇，国内423篇；授权专利150件。

研究方向

煤直接转化过程的化学与工程基础
研究煤气化、热解、直接液化等方面的基础和应用基础问题，发展煤化学理论，发明和验证煤温和、分级转化新工艺和新过程。

煤经合成气间接转化的一碳化学与工程
研究煤经气制优质柴油、汽油、含氧燃料和添加剂的新技术与新工艺，通过小试、中试和工业示范形成自主知识产权的煤基优质液体燃料大规模制备技术。

煤转化相关的环境化学与工程
煤中污染物元素的源头脱除，燃煤烟气中多种污染物的脱除、固体有机废物的资源化及与煤的共处理、废水净化等方面的应用基础研究和技术研发。

煤转化过程中的理论计算与过程模拟
研究不同煤转化过程和阶段中微观-介观-宏观层次上结构、吸附、扩散和反应等过程的热力学和动力学行为以及传递-流动-化学反应之间的相互作用和耦合行为。

煤转化相关的能源环境新材料与新过程
研究煤转化过程和其他能源过程中所需要的新型催化材料，同时研究煤转化下游产品精加工的高效、绿色催化过程。

项目情况

2004-2008年，执行项目211项，其中国家重大项目70项，到位经费2.0695亿元。

- 973课题14项，863课题11项
- 国家杰出青年基金1项
- 国家基金重大2项、重点3项、面上34项
- 中科院创新重大项目75项、中科院百人计划3项
- 国际合作17项
- 企业合作31项

STATE KEY LABORATORY OF COAL CONVERSION

圖 9：中國科學院山西煤炭化學所發展概況

3.4 甲醇產製烯烴技術

本所參訪人員針對甲醇產製烯烴 (MtO) 技術與劉中民研發團隊交流討論如下述。甲醇產製烯烴與傳統由石油裂解產製烯烴的差異點是 MtO 的產物中輕質成分較少，主要是 CH₄、H₂、乙烯、丙烯，所以在分離純化時，僅需 -40°C 的溫度就可收集得到大部分的乙烯和丙烯，但對於石油裂解產製烯烴，因輕質成分較多，必須用遠低於 -40°C 的溫度進行乙烯和丙烯收集。

MtO 廠適合建設於港口附近，可以節省原料（甲醇）運送成本或者東南沿海具有塑化工業原料需求地區。MtO 廠需達年產乙烯、丙烯各 10 萬噸的規模才具經濟效益。由於 MtO 經濟效益受原料（甲醇）的價格影響很大，甲醇成本約佔 MtO 總成本的 75~80%，因此甲醇價格的穩定性非常的重要，劉中民研發團隊正規劃將 MtO 廠商集合起來，成立產業聯盟以足夠之數量向甲醇來源供應商採購並簽訂長達 20 年的合約，以確保甲醇來源及價格穩定性，減少業主投資風險並促進此一產業形成。

一般 MtO 項目的建設成本以 15 年攤提，這樣每年設備攤提成本占每年總成本的 4% 左右。對 MtO 反應而言，適當的反應條件：溫度 400~500°C、壓力 1~2 bar，甲醇進入反應器前需預熱至一定的溫度。以煤氣化轉製甲醇 (CtM) 來說，每產生 1 噸甲醇會排放 3.7 噸 CO₂，對 MtO 而言每產出 1 噸烯烴僅排放 0.77 噸 CO₂，其主要是觸媒再生的過程中產生的。一座年產 20 萬噸烯烴的 MtO 裝置（包括進料、反應、分離純化等）的投資額約 10~12 億人民幣。目前中國大陸地區已有十多個廠商獲得授權 MtO 技術，除神華集團於內蒙古自治區包頭市的示範裝置成功持續運轉外，還有 2~3 座廠正進行建設當中。

不過中國大陸官方為了進行管控，國家發展改革委員會明訂未來新申請的 MtO 建設項目至少需年產 50 萬噸烯烴的規模才會核准進行。

3.5 中國大陸二甲醚發展現況

在中國大陸，一般二甲醚產製的工廠是利用甲醇為原料進行脫水反應而生產二甲醚的，目前因生產工廠太多使得二甲醚產能於近年飛快地成長，造成二甲醚生產過剩而售價降低，又因原料（甲醇）的採購成本高漲，使得甲醇產製二甲醚已無利潤可言。所以以今年（2011）來說二甲醚生產工廠的開工率約 3 成左右。過去在中國大陸，二甲醚的需求是摻混液化石油氣（LPG）作為家庭燃料使用，一般以桶裝 LPG 摻混 20% 二甲醚為上限，再多會有墊片遭二甲醚侵蝕造成使用安全的問題，但只要墊片材質換為鐵氟龍即可避免此一風險。

近年中國大陸發生幾起混二甲醚 LPG 鋼瓶的意外事件，大多因二甲醚摻混超過上限所引起。這些意外使得中國大陸官方明訂在相關摻混標準與規範未頒布前，一律不准在家用燃料桶裝 LPG 中摻配二甲醚，使得二甲醚的市場需求急凍。中國大陸原預計今年 10 月頒布相關法令，但經與相關二甲醚生產廠商請益，表示還未看到任何正式的法令頒布。是否代表法規製定程序尚未完整？仍有經濟與政治角力？摻配比例的安全性尚未確定？配套措施尚未完備？目前仍不清楚，須持續觀察，進一步釐清。

據參訪的二甲醚生產廠商（新源能源公司）表示：在過去，以一座年產 3 萬噸二甲醚裝置來說，約僅需 1 年左右的時間即可將投資金額賺回本了，這是相當具經濟吸引力的投資。但目前因應二甲醚需求尚未恢復及甲醇價格過高，甲醇產二甲醚的工廠是處於半停工狀態，主要為該公司同時生產甲醇及二甲醚，能根據市場價格機動性調整銷售產品以獲取最大利潤，類似生產模式在巴西製糖與酒精產業亦會以價格調節兩者產量，圖 10 與圖 11 為年產 3 萬噸二甲醚裝置的照片。

小結：本所正進行發展的生質物氣化產製燃料及原物料技術與前述的各技術有需多相似處，與中國大陸相關項目主要重點研發團隊經驗交流、充分討論中所獲得的相關資訊與知識，可幫助本所相關技術加速研發。本所參訪人員與參訪對象研發團隊之交流令雙方人員留下良好、專業的印象，並建立聯繫管道與未來可能合作的基礎。



圖 10：甲醇儲槽與二甲醚儲槽

（圖中直立圓筒槽為甲醇儲槽，橫放筒槽為二甲醚儲槽）



圖 11：年產 3 萬噸二甲醚的裝置

（圖中 3 個高度較高的塔由左至右分別是二甲醚純化塔、甲醇脫水反應塔、甲醇氣化塔）

3.6 纖維酒精技術參訪

本行在北京時順道參訪丹麥 Novozymes 公司北京分公司，與技術負責人高級經理吳桂芳博士會面討論纖維酒精相關議題。Novozyymes 於生質燃料目前研發定位為可發酵醴的提供者。Novozyymes 生產超過 700 多種產品，行銷遍及全球 130 個國家，世界市場比例超過 40%。致力探索生物技術及其應用，構築以微生物篩選、基因克隆及表達、蛋白質工程、代謝工程和菌種改良等為核心的生物技術平臺。近 6,000 項專利展示出強大商業力量。Novozyymes 的酶製劑在洗滌劑、紡織、澱粉製糖、燃料乙醇、食品、皮革、造紙、啤酒釀造和飼料等工業領域有著廣泛應用；通過替代或減少有害化學品的使用，降低水、能源和原材料的消耗，幫助加速或簡化工藝過程，節約成本，提高經濟和環境效益。參訪心得如下：

- (1) Novozyymes 公司於生質燃料目前研發定位為可發酵醴的提供者，在大陸與中糧合作針對玉米秸稈生產纖維乙醇，提供酵素水解優化工藝提升產率；此外與大成集團合作，進行生質物經由處理及糖化反應後經純化步驟，將醴類藉由催化反應得到乙二醇。此外在大陸設有兩個主要供應紡織染整使用酵素之生產工廠及相關相關研發部門。
- (2) 大陸國內目前針對酒精廠之補助門檻為產量至少每年 5 萬噸酒精。
- (3) Novozyymes 公司酵素成本下降主要經由三部份達成：(a)單位蛋白質比活度提升，(b)發酵效能增加，提升產率，(c)酵素水解應用工藝優化。目前 Ctec 2 評估成本約為\$0.5/gal，相較前一代酵素降低成本約為 1.8 倍，目前 Ctec 3 預估 2012 年上市，依先前下降幅度預估亦可達 1.5~2.0 倍。針對酵素生產模式（集中生產或現地生產）與實際纖維酒精廠之產能有關，當生產規模小時使用集中生產之作法較具經濟利益，而超過一定規模則以廠內生產有利。Novozyymes 公司對此有內部經濟評估報告，將探詢是否屬於雙方合作範圍中可提供之資訊，以作為成本估算及發展策略規劃參考。
- (4) 針對本所提供稻稈酸前處理樣品預期合作模式，可以基於驗證雙方實驗數據，提升可信度；此外也可以藉由本次樣品進行最佳酵素配比與用量，以達到評估建議最佳水解效率。該公司可根據原料組成特性調配通用性酵素 Ctec 2 與 Htec 2 比例，以符合各種原料使用可以滿足 3 天達到 80%轉化率之基本水解醴化目標。此外由於 Novozyymes 公司與其他不同國家之纖維酒

(2) 吉林等省份為玉米等作物主要生產地區，在參訪途中舉目皆為玉米田，公主嶺亦稱為玉米之鄉。根據東北師範大學邵允教授估計收集成本約為人民幣200~300元/噸，每年一收，收集半徑及數量是否可以維持纖維酒精工廠之經濟生產則不確定。目前農村秸稈之利用未見妥善利用，目前多直接燃燒作為肥料，對於空氣污染已嚴重超標的大陸地區無異是雪上加霜（圖13），因此邵教授對於生質物氣化產製燃料表達興趣，有機會願意與我們合作。

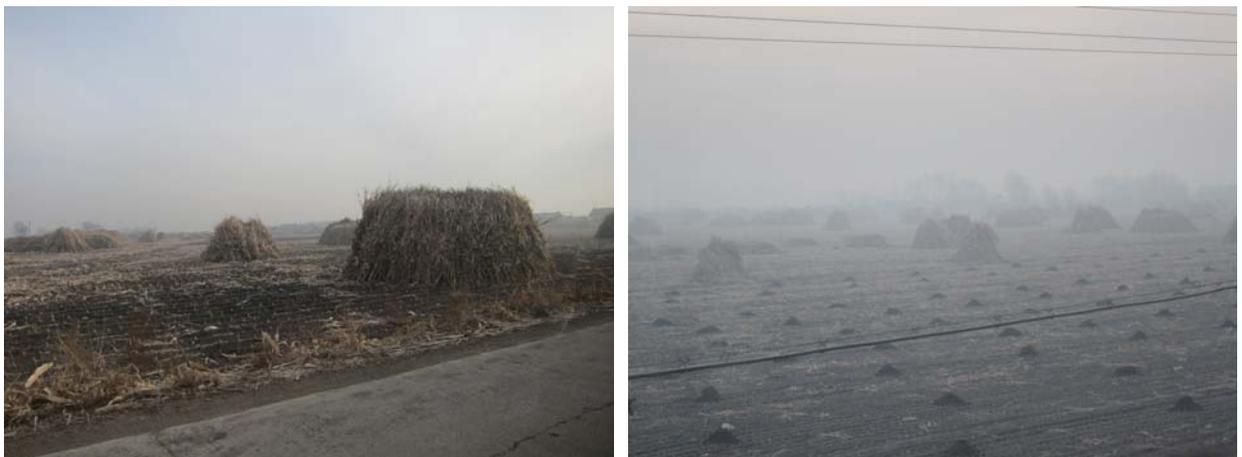


圖 13：吉林省公主嶺一帶農田情景

3.7 其他心得

- (1) 中國科學院等主要經費來源 20~25% 為行政體系給予經費，主要為支應人事成本，稱為縱項經費；其他由業界或爭取發改委擬訂國家或省及科研經費則佔大部分稱為橫向經費，作為研究使用與聘用人力等經費。
- (2) 相關課題組皆於一定領域中長期進行研究與發展，以煤化所甲醇製汽油觸媒為例，目前已實際於 pilot plant 使用並擴展到量產廠，相關研發由八五計畫延續至今，因此能累積相當能力與取得業界合作與信任。發改委擬定之國家科研項目，由各單位提研究規劃作為競爭，兼具政策性研發需求與各單位良性競爭與目標明確集中等優點，而科研單位則依據專長長期鑽研深耕特定研究主題與項目，或與其他課題組合作進行跨領域合作與支援，能有效推動相關計畫執行。若相關課題組，長期無法爭取研究經費則會轉併或取消，對於刺激研究能量等亦有新陳代謝或良性循環，值得國內參考。
- (3) 相關科研成果除了研究之外，如何長期維持核心技術或與外界合作，亦是展現研發成果重要因素，參訪單位研究人員與業界的頻繁互動，一方面可以將成果推到實用階段，另一方面亦可以從業界瞭解真實需求，共同開發研究，減少研究曲高和寡，或者找不到應用層面之問題。

四、 建議事項

- (1) 煤製烯烴技術 (CtO) 為烯烴生產開創了另一條道路，是石化製程外的新選項。台灣沒有煤的天然資源，同時在環保限制條件下，並不適合進行 CtO；但若將煤製烯烴技術拆成兩段，第一階段「煤製甲醇或二甲醚技術」：煤先在原產地（如中東與東南亞）製成甲醇或二甲醚；第二階段「甲醇或二甲醚製烯烴技術」：將甲醇或二甲醚運回台灣後再製成烯烴。第二製程相對第一製程，沒有碳排放、屬放熱反應製程能耗較低，屬於相對環保的低碳生產製程。此外，由甲醇或二甲醚產製的烯烴，相對石油裂解的烯烴而言，雜質更低、品質更精純。「甲醇或二甲醚產製烯烴」，符合政府的國內石化業「高值化」發展策略，乃值得我國留意的新興技術。核能研究所執行生質物電漿氣化技術與甲醇/二甲醚合成研究近三年，累積一定經驗與基礎；未來若能切入烯烴研發，可縮短生質烯烴的研發歷程，對我國經濟、環保、產業能有所幫助。
- (2) 甲醇產製汽油技術 (MtG) 是原油裂解之外的另一個石油來源，台灣的石油 100% 仰賴進口，基於多元來源與能源安全性而言，進口甲醇作為戰備儲存是可以考量。
- (3) 目前 MtG 產製的汽油成本低於原油提煉的汽油，具有經濟競爭性與經濟利益，國內廠商會有意願投入，對於創造經濟產值、增加就業人口能有所幫助。
- (4) 目前核研所已進行初步的 MtG 研發，已成功產製出品質良好的汽油，未來可專注在製程節能與降低製造成本，讓技術競爭力再提昇。
- (5) 二甲醚(DME)性質與 LPG 相近，具柴油替代性，燃燒後污染遠低於柴油，是一個備受期待、世界公認的潔淨燃料，值得列入我國未來的潔淨替代能源選項。
- (6) 目前全世界二甲醚(DME)使用量最大的國家為中國，在 2000 年後積極鼓勵下使得二甲醚工廠林立，以摻混 LPG (20% max) 為市場大宗。但隨著幾起 LPG/DME 事故，中國開始注意到其風險性，原訂今年 10 月頒定的二甲醚摻混標準已確定延後，情況仍未明朗，未來本單位會持續關注。
- (7) 目前中國已核准二甲醚為燃料，但須專用。目前二甲醚在國內尚未被列為

燃料項目，建議政府可考慮以 100% 專用方式批准二甲醚作為燃料，可對空氣污染改善、誘發新產業、增加就業人口、能源多元化等方面有所幫助。

- (8) 建議加強與 Novozymes 公司合作，可合作範疇包括(A)纖維酒精產能規模與酵素生產成本評估、(B)本所研發之共發酵菌之推廣與應用。但若要本所研發之共發酵菌輸入大陸必須測試以評估安全性，可能需評估相關法規要求或者由第三方實驗室進行安全性驗證，如此可以兼顧智財權與技術推廣及應用之可行性。