

出國報告(出國類別：開會)

「參加美國燃料及石化製造者協會
(AFPM)煤裂研討會」報告書

服務機關：台灣中油公司總公司煉製研究所

姓名職稱：王淑麗化學工程師

派赴國家：美國德州

出國期間：105年8月21日至8月26日

報告日期：105年9月20日

摘要

經由參加AFPM 每2年於北美舉辦的煤裂研討會，有機會與觸媒廠家、製程廠家，煉廠人員等，煤裂方面900位專家一起進行討論，收穫良多，如會中BASF 觸媒製造公司比較200多間RFCC 工場操作的Benchmark 比較，發現桃廠RFCC 的操作與其他工場差異主要是平衡觸媒的Activity 太低，surface 相對也低，是因為再生器的燒碳情況不均勻，可能是再生器co current設計造成的，也可能是再生器空氣分配氣不均勻所至，建議再生器cyclone 要請原廠Exxonmobil 評估時，工作範圍也納入這項。

研討會中 BASF 觸媒製造公司統計”每年” 招標觸媒採購的 200 間 RFCC ，只有 2 家，每 2 年招標觸媒採購有 20 家，所以今年桃廠採購 2 年觸媒，是比較符合世界趨勢，建議以後也沿用每 2 年招標觸媒採購一次，更建議 3-4 年採購一次，全球有 40%的 RFCC 工場如此進行觸媒採購。

此次桃廠採購 2 年觸媒，觸媒須提供使用於每天 5 萬桶煉量製程的實績，其中有觸媒商就提供 Qxxx 為使用客戶，此次參加 AFPM 煤裂研討會，Qxxx 於展覽期間有設攤位於會場，詳問 Qxxx 人員，Qxxx 是觸媒改質廠商，並非煉廠，Qxxx 所做業務與 Rive Technology 相近，主要是增加沸石中的 Molecular Highway。

目次

一、摘要	1
二、目的	3
三、過程	4
四、會議內容與工場議題	
1. 製程觸媒產率方面	4
2. RFCC 工場煙囪白煙問題可能解決方案	10
3. AFPM最新媒裂技術的新知	16
五、心得及建議	18

一、目的

此為計畫內出國，計畫名稱「參加美國石化及煉製協會(NPRA)年會」。美國燃料及石化製造者協會(American Fuel & Petrochemical Manufacturers (AFPM))是國際石化及煉製協會(National Petrochemical & Refiners Association(NPRA))的新名字，NPRA 於 2012 年一月改名為 AFPM，NPRA 是有 110 年的歷史以美國煉油業為主協會。

出國任務: 赴美國休士頓(Huston)參加美國燃料及石化製造者協會(American Fuel & Petrochemical Manufacturers (AFPM))舉辦兩年一次的煤裂(cat cracker seminar)研討會，以蒐集與瞭解煤裂製程、觸媒及最新發展之應用相關資料。

此行目的在於了解 RFCC 觸媒裂解方面製程操作方面歐美國家進展，研討會中將由相關領域專家就新型煤裂製程設計、常見煤裂操作問題及其解決方法，桃園廠 RFCC 目前正考慮更換再生器中 cyclone，更換經費可能達上億台幣以上，此研討會中有如何改進 cyclone 效率特別討論，及進行操作 Q&A，可與歐美煉廠專家討論 RFCC 工場煙囪白煙問題的可能解決方案，期望藉由吸收最新煤裂技術的新知，以增進解決現場問題之能力，並會將此次研討會中 cyclone 的新知，於年底桃廠舉辦的 RFCC 研討會中報告。

蒐集與討論煤裂製程觸媒及最新發展之應用相關資料，了解最新市場資訊、製程操作，增進解決現場問題之能力。

與會者包括觸媒廠家、如 Albemarle(Eric Rutan)、Sinopec、Grace、Rive、Quanta，FCC 製程廠家 Exxonmobil(Jerry McBride)、CBI、Shell、Dupont、PALL，煉廠人員等，由大會所提供參與者有名單 900 多人。

二、過程

105 年 8 月 22 日：參加煤裂製程及觸媒廠商展覽

105 年 8 月 23-24 日：參加美國燃料及石化製造者協會(AFPM)煤裂研討會

三、會議內容與工場議題

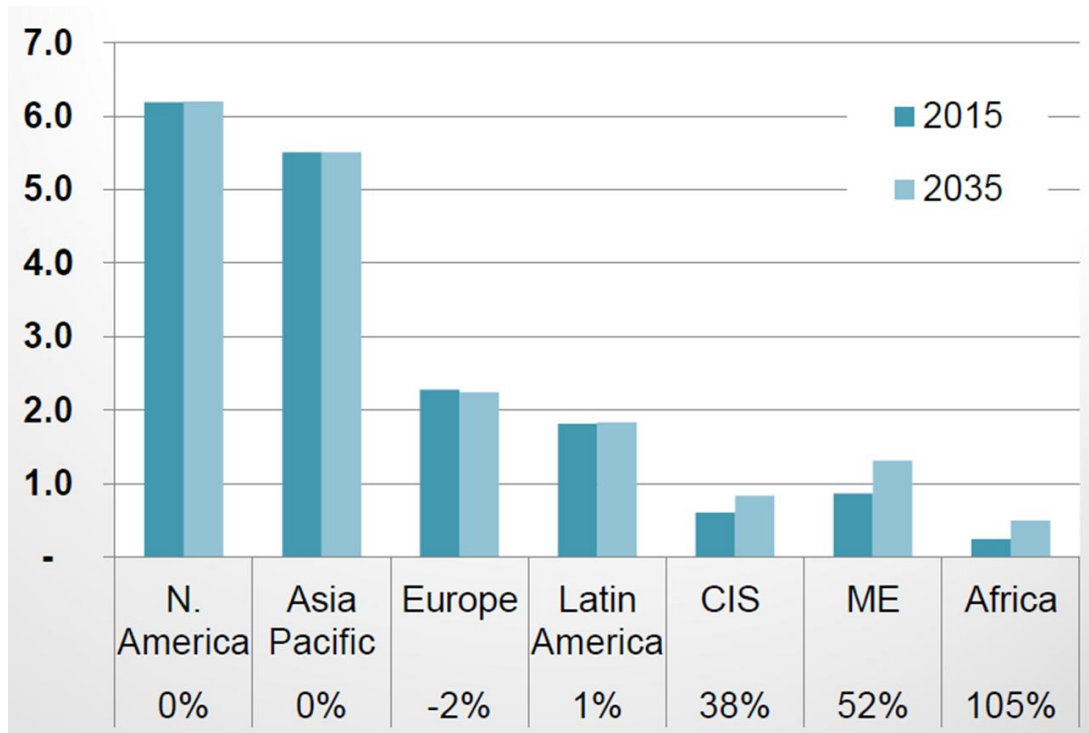
此報告分為製程觸媒產率方面、RFCC 工場煙囪白煙問題的可能解決方案、最新煤裂技術的新知三方面：

1. 製程觸媒產率方面

BASF 觸媒公司統計了全球 200 間 RFCC 工場的進料品質、操作條件、產率、平衡觸媒的情況及市場趨勢，比較中油桃廠 RFCC 與這 200 間 RFCC 工場的操作情況 benchmark。

A. 市場趨勢：

由 2015 到 2035 年接下來的 20 年內，Middle distillate 的需求會增加最多，由每天 28 百萬桶增加到每天 37 百萬桶，增加 32%。汽油的需求增加由每天 24 百萬桶增加到每天 27 百萬桶，增加 12%。對油品的需求，以區域劃分成熟的北美、歐洲市場都是負成長，主要的成長市場還是以亞太市場為重，FCC 製程的年成長率約只有 0.3%以中東及非洲為主(圖一)，CIS 也有 38%的成長，CIS 是獨立國協 (Commonwealth of Independent States)，由十一個前蘇聯共和國組成的現代政治實體。目前全球的 FCC 處理量為 17.5 MB/D，預估到 2035 年只會成長到 18.4 MB/D。



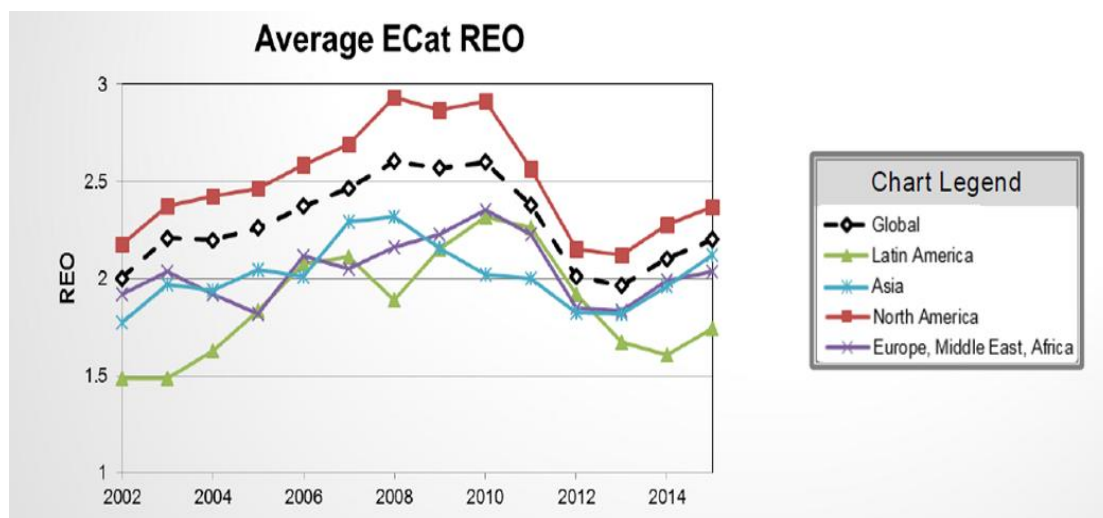
圖一、FCC 製程的年成長率【1】

B. 平衡觸媒及工場的操作產率 Benchmark:

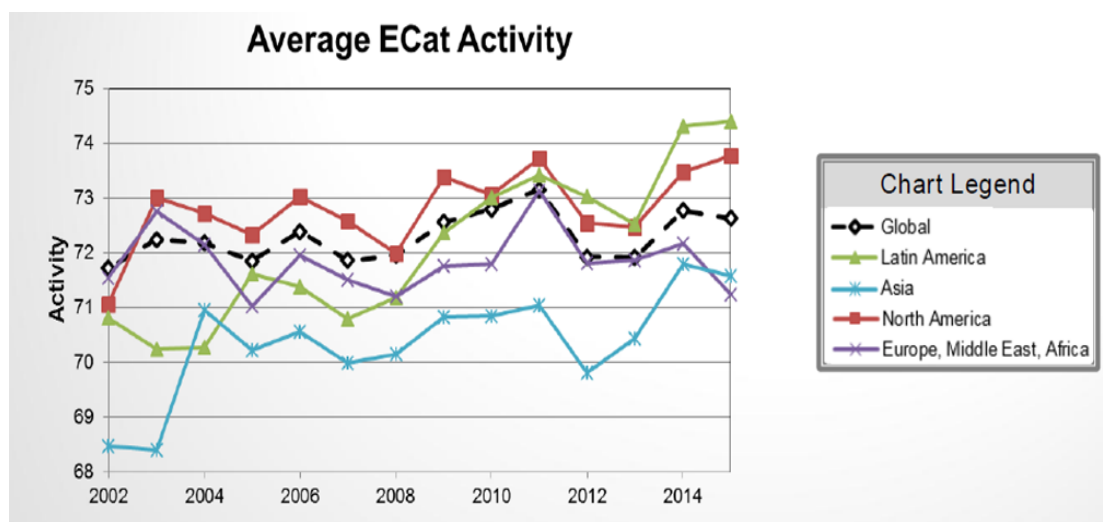
RFCC 的操作模式除了我們常說的汽油模式、增產丙烯模式外，還有我們之前沒提到 Max Distillate 模式，全球 RFCC 製程汽油平均產率為 58 vol%，LCO 平均產率為 17 vol%，丙烯平均產率為 9 vol%。

平衡觸媒的情況: 2002 年以 VGO 為進料佔 RFCC 製程的 62%，直到現今以 VGO 為進料的只佔 RFCC 製程的 52%，所以以重油(Resid >3000 ppm Ni + V)為主的 RFCC 增加，圖二是從 2002 年到 2015 年各地區 RFCC 觸媒的稀土含量，全球量約在 2.2%，稀土含量因稀土價格變化很大，全球平衡觸媒的表面積平均於 145 m²/g，2011 年高的表面積以補足稀土含量的下降，從 2002 年到 2015 年，整體的平衡觸媒活性上升，在亞洲因為平衡觸媒金屬含量高，所以活性偏低。中油桃廠平衡觸媒金屬含量高，而活性也偏低。圖三是從 2002 年到 2015 年各地區 RFCC 觸媒的活性，亞洲平衡觸媒 Ni 金屬含量為 3400ppm，平衡觸媒 V 金屬含量為

2500ppm，桃廠平衡觸媒 V 金屬含量相對偏高，V trap 的重要性提高。



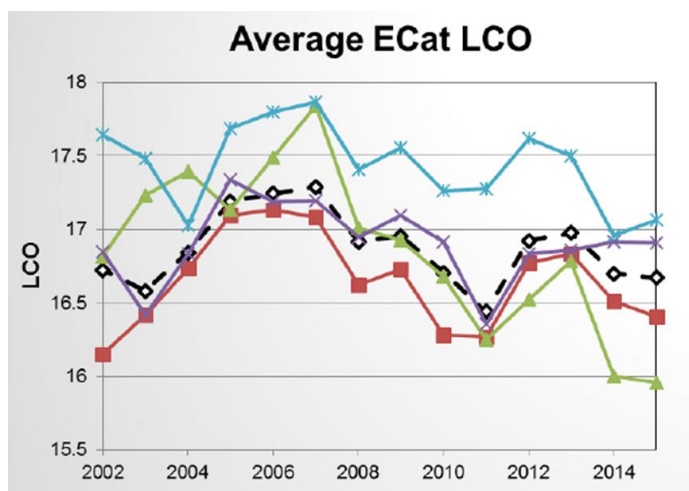
圖二、從 2002 年到 2015 年各地區 RFCC 觸媒的稀土含量



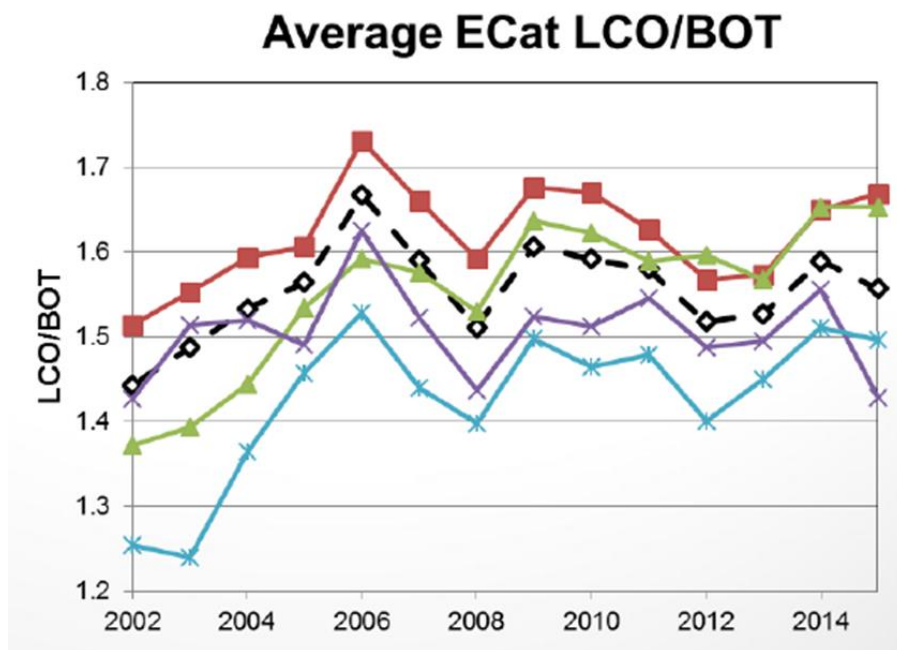
圖三、從 2002 年到 2015 年各地區 RFCC 觸媒的活性

以平均產率而言：亞洲因為添加較多的 ZSM-5 所以 LPG 的產率達 17.5 vol%，C3= 產率 6.5 vol%，C4= 產率 6.9 vol%，C3=與 C4=的選擇性因為降低稀土與 ZSM-5 的比例而提高。全球的 LPG 的產率達 16.1 vol%，C3= 產率 6.2 vol%，C4= 產率 6.9 vol%，汽油產率 46 vol%，全球平均的汽油產率愈來愈低，表示 RFCC 工場傾向生產較多的 LPG 及 LCO，圖四是 LCO 的區域生產趨勢圖，全球平均 LCO 產率

是 16.7 vol%，圖五是 LCO/BOT 的區域生產趨勢圖



圖四、LCO 的區域生產趨勢圖

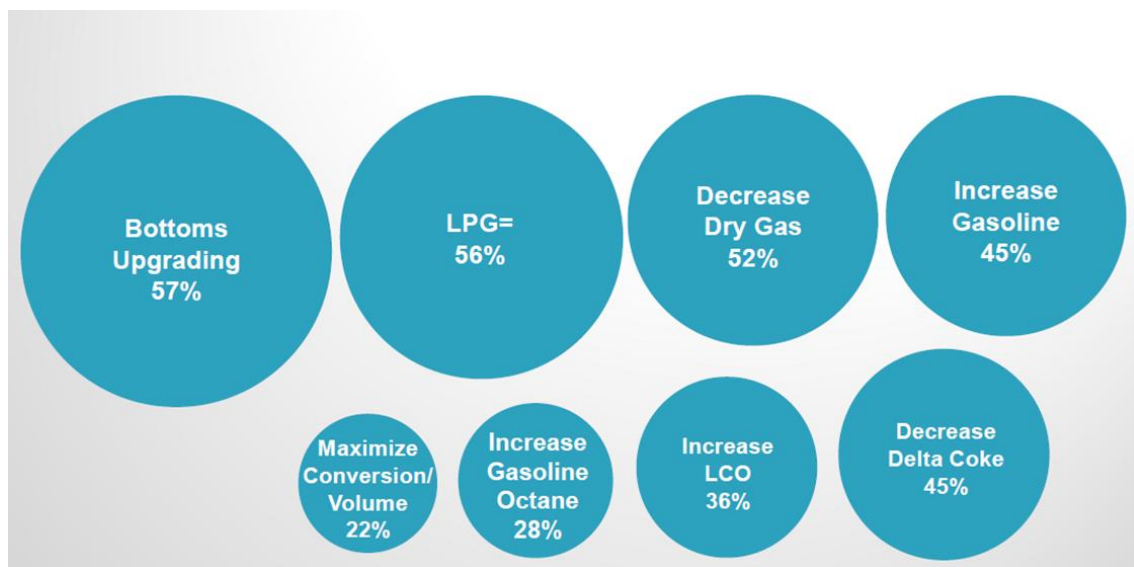


圖五、LCO/BOT 的區域生產趨勢圖

C. 操作條件:

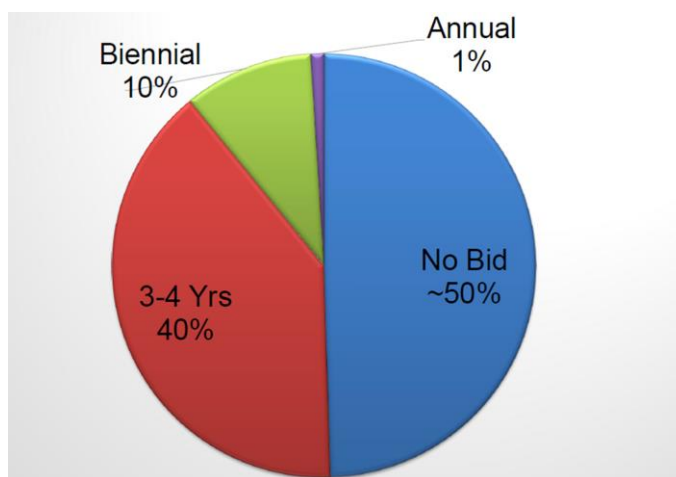
ROT 因為欲生產 LCO 所以有下降的趨勢，藉由提高觸媒活性及 C/O，以維持轉化率則不變。

觸媒主要要求:以增加 Bottom cracking 為主，如圖六。



圖六、觸媒要求的統計

過去 4 年新的觸媒建議需求書(Request For Proposal)要求標案統計，有 50% 沒有再要求新的(圖七)。



圖七、新觸媒建議需求書的統計

經由 AFPM 研討會中 BASF 觸媒製造公司的比較 200 多間 RFCC 工場操作的 Benchmark 比較，發現桃廠 RFCC 的操作與其他工場差異主要是平衡觸媒的 Activity 太低，surface 相對也低，是因為再生器的燒碳情況不均勻，可能是再

生器 co current 造成,也可能是再生器空氣分配氣不均勻所至,建議再生器 cyclone 要請原廠 Exxonmobil 評估時,工作範圍也納入這項。

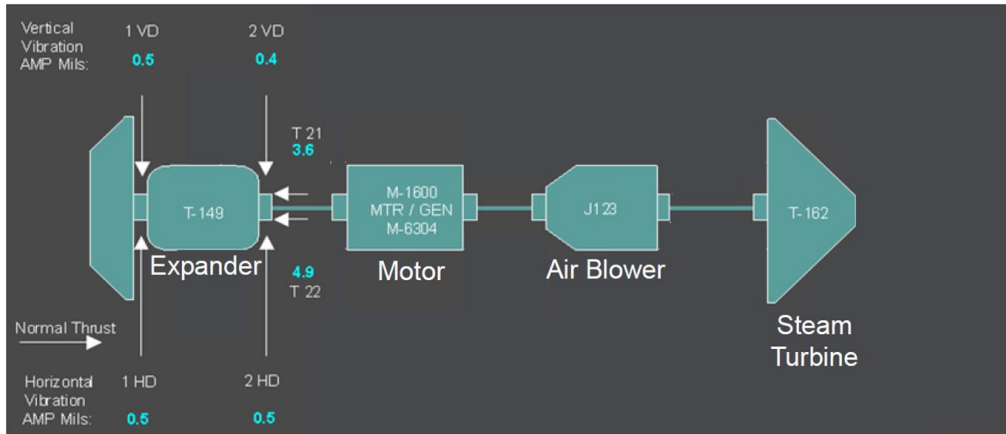
. 研討會中 BASF 觸媒製造公司統計每年招標觸媒採購的 200 間 RFCC , 只有 2 家,每 2 年招標觸媒採購有 20 家,所以今年桃廠採購 2 年觸媒,是比較符合趨勢,建議以後也沿用每 2 年招標觸媒採購一次,更建議 3-4 年採購一次,有 40%的 RFCC 工場如此進行觸媒採購。

二、RFCC 煙道器的煙囪，時有拖尾煙及黃煙、NO_x 濃度高的問題，此次 Q&A 參與討論此議題，尋求解決的方法。

A. 流程及問題:

桃廠 RFCC 反應再生區係採用 Exxonmobil 公司的 Flexicracking IIIIR 技術，再生器操作採 CO 部分燃燒模式，藉以控制再生時所放出的熱量，由再生器來的熱煙道氣進入第三段旋風分離器以去除殘留的觸媒粉末，煙道氣進入旋風分離器 (TSS)後在分離器內以離心力將煙道氣從觸媒中分離出來。在煙道器離開旋風分離器槽體的同時，觸媒粉末落入第三段旋風分離器的底部錐體並由煙道氣的底部流體攜出底部並且通過陶瓷限流孔板，加入攜帶空氣以冷卻並升舉觸媒粉末與底部流動氣體進到第三段觸媒粉末儲槽。

煙道氣在驅動與主空壓機相連結的膨脹機後被送到 CO 燃燒爐以燒掉煙道氣中所含的 CO 並且產生飽和與過熱高壓蒸汽。桃廠 RFCC 主空氣壓縮機組由煙道氣膨脹機、軸流式空氣壓縮機、冷凝式蒸汽透平機與感應式馬達/發電機等所組成(如圖八)，預期由膨脹機所產生可用的動力相當於空氣壓縮機運轉預期所需的動力，所以膨脹機如沒有全量開再生器所需的空氣量就會偏低。再生器頂部氣體區設計用以處理反應再生區所產生的再生器煙道氣；設計時除考慮到 10 %額外的空氣供給與煙道氣處理量，在膨脹機停止操作情況，也可以維持設計煉量操作。



圖八、Expander train

CO 燃燒爐是一個圓筒狀、具有水平對流區蒸汽產生器的絕熱燃燒室，過熱器與節煤器所組成，CO 燃燒爐設計為正壓操作，CO 燃燒爐裝有六個兩段式燃燒器以賦予較廣範的燃燒調整範圍，須控制輔助燃料氣的流量以防止燃燒室溫度降到 871°C 以下，當再生器煙道氣中的 CO 濃度接近小於 5.5 vol%(濕基)時，因單獨燃燒 CO 將不能滿足 871°C 的溫度需求，另溫度控制器 TIC-2035 會調高過氧量控制器的設定值即提高所需的總空氣量以確保燃燒室的溫度不會超過 1038°C，因耐火泥設計不宜在 1038°C 下操作。24 支電動馬達驅動的吹灰器可以防止對流區系統的管子外部結垢，另有一支專用的燃燒器被設計用於燃燒廢空氣。煙道氣中正常的 CO 濃度為 8~8.5 Vol%，此外 CO 燃燒爐也要求在煙道氣 CO 含量超過範圍(2-12 Vol%,乾基)時，以設計的空氣與燃料氣量仍然可以維持操作。

桃廠 RFCC CO 燃燒爐內設計包括一套 Exxon 公司專利的 THERMAL DeNO_x(SNCR) 系統其可以保證在 x %乾基過氧量下 NO_x 與 CO 的最大排放量分別為 1xx vppm(乾基)與為 4xx vppm(乾基)。其設備處理能力可以將 CO 燃燒爐出口煙道氣中的 NO_x 濃度從 xxx vppm 降到要求的 xxx vppm(6%O₂ 乾基)，且排放煙道氣中的氨氣濃度低於 x vppm。THERMAL DeNO_x 系統設備設一條可定量注入氨氣蒸氣流體到 CO 燃燒爐燃燒爐膛，以降低在再生器煙道氣中的 NO_x，這條氨

氣蒸氣流體混在攜帶空氣內注入燃燒爐中燃燒，攜帶空氣由無水氨氣攜帶空氣壓縮機供應，氨氣則由區外供應。

濕氣洗滌裝置採用高能文氏管-濕氣洗滌設備(HEV-WGS)，設計用以除去經過 CO 燃燒爐處理過，再生器煙道氣中的觸媒粉粒與二氧化硫。設計煙道氣最大操作流量為 xxx kNm³/hr(260°C,0.1 kg/cm²(g))。經高能文氏管-濕氣洗滌設備處理後，煙道氣中的粒子濃度可以低於 xx mg/Nm³(6% O₂ 乾基)；

若進口氣體中的 SO₂ 濃度 < xxx ppm 者，SO₂ 濃度 < xx vppm；

若進口氣體中的 SO₂ 濃度 > xxx ppm 者，將會有 xx%以上的 SO₂ 可以被移除。

顆粒的移除在文氏管中完成，而 SO₂ 的移除則在整個裝置中進行。WGS 包含四座平行的高能文氏管式煙道氣洗滌器、及鹼液添加泵。煙道氣進入 HEV 洗滌器，在洗滌器中觸媒粉及 SO₂ 以具有 PH 值緩衝的泥漿水溶液從煙道器中刮除。飽和的煙道氣則繼續往上流經煙囪塔盤，並通過去霧網區在離開煙囪前做最後的煙霧分離。PTU 的進料量(即 WGS 的排放量)是 RFCC 觸媒粉粒損失量與進料油硫含量的直接函數。由觸媒粉粒(懸浮固體)帶入 PTU 的損失量，可以反映出 RFCC 三旋分離器的效率。

再生器頂部氣體區，下游設計連接濕氣洗滌設備(WGS)，以使再生器煙道氣符合以下的大氣排放規範：

SO₂ : WGS 進料濃度的 10 %(max.)。

NO_x : 1xx vppm(max.)。

CO : xxx vppm(max.)。

固體含量 : xx mg/Nm³(max.)。

透光度 : xx %(max.)。

以上 SO₂、固體含量及透光度的規範以 6 vol%O₂(乾基)為基礎計算。

B. 問題探討:

藍煙/黃煙主要是煙氣中 SO_3 的濃度過高，且採用了濕式洗滌脫硫法，在 FCC 再生煙道氣濕式洗滌脫硫法過程中，煙道氣急速冷卻到酸的露點溫度以下，氣體中的 SO_3 與水結合生成難以捕集的顆粒直徑為亞微米級的 H_2SO_4 酸霧，在一定的天氣條件下形成藍色或黃色煙羽；煙氣中的 SO_3 含量、煙囪的排煙溫度、太陽的照射角度和大氣環境條件等是影響煙羽生成的主要因素。FCC 再生煙氣中 SO_3 的品質分數一般占 SO_x 的 10% 左右，在大多數情況下，當煙道氣中硫酸氣體濃度為 5 ~ 10 ppm 時，就有可能出現可見的藍煙/黃煙煙羽，當濃度在 10 ~ 20 ppm 時，藍煙/黃煙煙羽出現的幾率就很高。當 RFCC 進料為高硫原油，加上煙道氣處理系統配備有高溫 SCR 時，煙羽生成的幾率大大增加。【2】

煙道氣濕式洗滌脫硫法對 SO_3 的脫除效率取決於洗滌塔的設計，尤其是塔內的溫度分佈，桃廠 RFCC 煙道氣進到煙道氣濕式洗滌的設計溫度 235°C ，現在目前實際狀況為 300°C 。

C. 可能解決方法:

解決措施

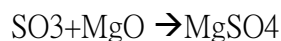
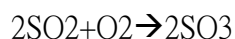
1. FCC 煙氣中 SO_3 的檢測

在工業過程中 SO_3 檢測的難點主要在:

- (1) FCC 煙氣組成複雜，容易形成相互干擾;
- (2) SO_3 化學性質活潑， H_2SO_4 煙霧吸附性強，極易被各種物質壁面吸附，並對測量儀器和採樣設備造成腐蝕，使得儀器標定和定量測定存在很大難度;
- (3) 高濃度的 SO_2 含量會使檢測結果偏高;
- (4) FCC 煙氣高溫、含塵、含水造成取樣困難;
- (5) 煙氣中的 SO_3 濃度很低，較小的測定誤差會帶來較大的相對誤差。

2. FCC 硫轉移添加劑應用:

SO₃ 很容易與硫轉移助劑有效組分反應生成穩定硫酸鹽。硫轉化劑(DeSO_x 觸媒)的主要作用為將煙道氣中的 SO_x 轉為 H₂S,不會使其他裂解成品硫分上升.另外,硫轉化的第一步驟是藉著 CeO₂ 將 SO₂ 催化氧化成 SO₃,所以完全燃燒系統會比部份燃燒系統效果佳,而且添加硫轉化劑(DeSO_x 觸媒)會使煙道氣 NO_x 上升. 硫轉化劑(DeSO_x 觸媒)的反應機構如下:



3. 低氧化活性選擇性催化還原觸媒: SCR 系統中 SO₃ 的轉化,對 SO₃ 排放濃度影響大,此型觸煤的一個重要指標為 NO_x /SO_x 值,該值可在保證高脫硝活性的同時,將 SO₂ 氧化率控制在合理範圍內。

4. 增設煙氣再加熱器:

利用未脫硫的熱煙氣加熱脫硫後冷煙氣(又稱 GGH),但 GGH 存在的洩漏嚴重、腐蝕、堵灰、投資大、運行成本高、流程複雜等問題使得近年來投用的煙氣脫硫裝置絕大部分取消了 GGH【3】,沒有 GGH 的煙氣排放溫度約為 50 ~ 60 °C,設置 GGH 後的煙氣排放溫度一般均大於 80 °C,GGH 並不能有效減輕尾部設備的腐蝕,但安裝 GGH 後排煙溫度提高,可以緩解煙囪出口的白霧現象。

5. 濕式靜電除霧器的應用

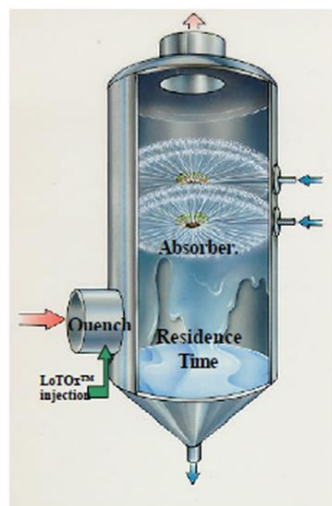
濕式靜電除塵器(WESP)是一種用來處理含濕氣體的高壓靜電除塵設備,設備除霧效果對濕煙氣溫度比較敏感,50 °C左右除霧效果可以達到95%以上,超過80 °C效果明顯下降,另外設備投資費用較高,需要整體評價【4】

Dry Electrostatic Precipitator	Dust removal	> 98 % < 20 mg/Nm ³
EP-Absorber	Dust removal	> 98 % < 20 mg/Nm ³
	SO ₂ removal	90 - 99 % < 75 mg/Nm ³
	SO ₃ removal	> 98 % < 20 mg/Nm ³
Selective Catalytic Reduction (SCR)	NO _x removal	90 - 99 % < 75 mg/Nm ³

6. SBS 注入技術是一個選擇性移除煙道氣中 SO₃ 的技術，主要為注入 sodium bisulfite. 這技術於 2003 年就有商業化應用【5】，反應式為



7. Dupont NPRA Annual Meeting 就有提出 LoTOx 的技術



其原理是利用 O₃ 氧化 NO_x 成 N₂O₅，但是否能改善桃廠拖尾煙及黃煙、NO_x 濃度高的問題，Dupont 人員希望有更進一步的數據才能判定。

媒裂工場中影響 NO_x 排放量的控制變數: NO_x 與碳氫化合物混合時，在陽光照射下發生光化學反應生成光化學煙霧，會刺激人的眼睛，且燃燒化石燃料產

生的硫氧化物 (SO_x) 或氮氧化物 (NO_x)，在大氣中經過化學反應，形成硫酸或硝酸氣體懸浮物，為雲、雨雪、霧捕捉吸收，降到地面就是酸雨。控制廢氣排放氮氧化物的技術措施主要是 1)源頭控制:低 NO_x 燃燒技術，其特色是控制燃燒過程中產生 NO_x 的生成反應，2)尾氣脫硝控制: 把已生成的 NO_x 通過觸媒(SCR)或還原熱分解(Selective Non-Catalytic Reduction, SNCR)方法還原為 N₂，進而降低 NO_x 排放量。中油 RFCC 煙道氣採注入液氨還原熱分解 NO_x 的 SNCR 方法，降低煙道氣中 NO_x 含量，設計 NO_x 與 CO 最大排放量分別為 100 與 400vppm。工場有煙道氣 NO_x 偏高問題，可從以下四個面向探討:

- 1)氮平衡 Nitrogen Balance
- 2)煤裂工場操作因素
- 3)比較觸媒性質變化
- 4)利用操作方法以降低煙道氣中 NO_x 濃度

探討文獻中影響 NO_x 的操作因素，匯整文獻與實際操作數據後，認為進料氮含量、平衡觸媒上的焦碳量、及再生煤床高度(再生效率)、煙道氣中過氧量是目前影響煙道氣 NO_x 量變化的主要因素。

三、最新煤裂技術的新知

Honeywell 與 UOP 等共同開發以生質油為 RFCC 的進料，生質原油基本組成【6】：

- 42wt% C, 8 wt% H, 50 wt% O
- < 100 ppm S
- 25wt% +/- 5% soluble water
- Density: 1.2 g/mL
- pH<3 (organic acids)

以 UOP 專利的 Optimix GF 進料噴嘴，測試於工場加入 5% 生質油，產率變化如下表一，主要差異是加入生質油後有 CO、CO₂、水的生成。預估生質油的價格於 32-45 \$/bbl 時會有經濟效益。

表一、測試於工場加入 5% 生質油的產率變化

Weight %	100% VGO	95% VGO + 5% Bio-oil
Dry Gas	3.5	2.8
LPG (C ₃ -C ₄)	13.8	13.8
Gasoline (C ₅ -220°C)	39.9	40.6
Diesel (220-344°C)	20.3	19.6
Bottoms (+ 344°C)	16.1	14.4
Coke	6.4	6.0
CO	0.0	1.0
CO ₂	0.0	0.4
Water	0.0	1.4

Source:
http://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/04/f21/thermoc_chemical_conversion_chum_242303.pdf

參考文獻:

【1】AFPM Cat Cracking Seminar，FCC Benchmarking – Exploring Industry Trends and Creating Paths Forward，Presented By: Alexis Shackleford

【2】FCC 煙氣濕法洗滌脫硫過程中煙羽生成及應對措施，齊文義，郝代軍(中石化洛陽工程有限公司，河南省洛陽市 471003

【3】胡志光，惠遠峰，常愛玲，等．火電廠濕法煙氣脫硫省卻氣—氣換熱器(GGH)的可行性研究〔J〕．熱力發電，2007(1):1-4．

【4】Gas cleaning for fluid catalytic cracking plants in refineries, Emission Control by GEA Bischoff, GEA Process Engineering

【5】SBS Injection Technology for SO₃ control: A summary of utility operation experience URS Codan Development LLC

【6】 AFPM Cat Cracking Seminar ， Co-processing of Biomass-Derived Liquid in the FCCto Produce Renewable Fuels – CAT-16-7

四、「心得及建議」

心得及建議

1. 此次桃廠採購 2 年觸媒，觸媒須提供使用於每天 5 萬桶煉量製程的實績，其中有觸媒商就提供 Qxxx 為使用客戶，此次參加 AFPM 煤裂研討會，Qxxx 於展覽期間有設攤位於會場，詳問 Qxxx 人員，Qxxx 是觸媒改質廠商，並非煉廠，Qxxx 所做業務與 Rive Technology 相近，主要是增加沸石中的 Molecular Highway。
2. 經由 AFPM 研討會中 BASF 觸媒製造公司比較 200 多間 RFCC 工場操作的 Benchmark 比較，發現桃廠 RFCC 的操作與其他工場差異主要是平衡觸媒的 Activity 太低，surface 相對也低，是因為再生器的燒碳情況不均勻，可能是再生器 co current 造成，也可能是再生器空氣分配氣不均勻所至，建議再生器 cyclone 要請原廠 Exxonmobil 評估時，工作範圍也納入這項。
3. 研討會中 BASF 觸媒製造公司統計每年招標觸媒採購的 200 間 RFCC ，只有 2 家，每 2 年招標觸媒採購有 20 家，所以今年桃廠採購 2 年觸媒，是比較符合趨勢，建議以後也沿用每 2 年招標觸媒採購一次，更建議 3-4 年採購一次，有 40%的 RFCC 工場如此進行觸媒採購。