

出國報告（出國類別：訓練、考察）

德國科萊恩公司研討參訪報告

服務機關：台灣中油股份有限公司石化事業部

姓名職稱：簡育偉 工場長

洪振益 工場長

派赴國家：德國慕尼黑

出國期間：113.06.02至113.06.09

報告日期：113.06.30

摘要

新三輕組使用相關觸媒進行氫化反應，本次研討參訪主要瞭解專利製程廠商最新節能減碳及觸媒技術於海外乙烯生產工場實際應用情況，同時蒐集相關資訊以精進製調整。

關鍵詞： 反應器、觸媒

目次

一、 目的.....	3
二、 過程.....	3
三、 具體成效.....	3
四、 心得及建議.....	20

目的

新三輕組低溫工場之乙炔氫化反應器使用 OleMax 207 型觸媒，藉由本次出國與 CLARIANT 公司討論觸媒裝填、操作精進、再生影響... 等等反應器相關事宜，以供往後操作調整參考。

汽油氫化工場反應器設備預計更新，藉由本次出國與 CLARIANT 公司討論觸媒裝填、操作精進、再生影響... 等等反應器相關事宜。

低溫工場 MAPD 氫化觸媒將開放規範，藉由參訪及會議研討其觸媒特性、操作模式、觸媒裝填、再生影響... 等等反應器相關事宜。

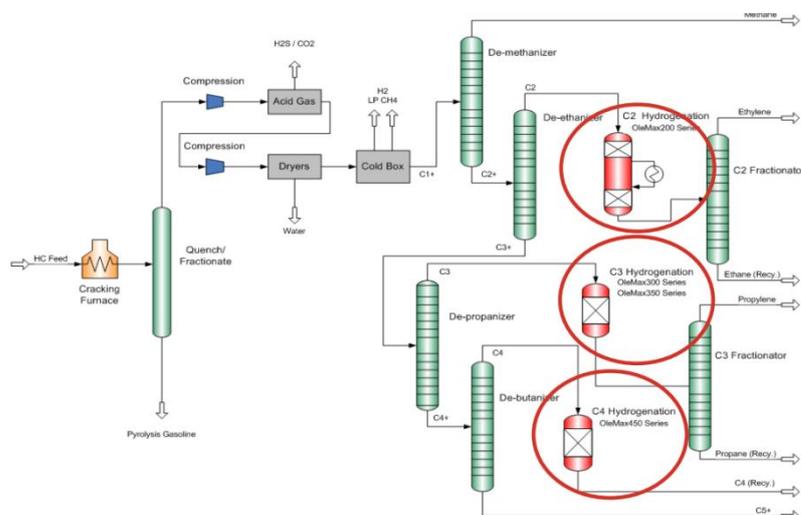
過程

日期	工作內容
113.06.02	從桃園啟程
113.06.03	從桃園啟程，抵達德國慕尼黑
113.06.04	氫化觸媒特性研討
113.06.05	MAPD 及 Pygas 1st&2nd 觸媒技術會議
113.06.06	選擇性乙炔氫化觸媒技術會議
113.06.07	CLARIANT Heufeld 觸媒工廠參訪
113.06.08	從慕尼黑回程
113.06.09	從慕尼黑回程

三、 具體成效

■ 乙炔氫化觸媒

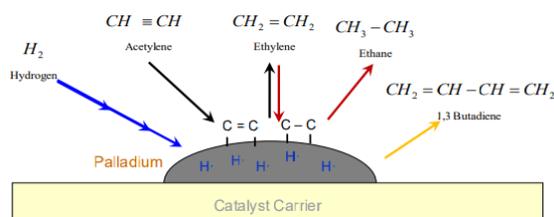
輕油裂解工場生產製程中，為了得到高純度之產品(乙炔、丙烯、丁二烯等)，須將其影響產品純度的不純物去除，一般使用傳統蒸餾方式提純，部分不純物需使用其他方式進行去除，以乙炔產品為例，乙炔中如含有乙炔，將會造成下游製程產生問題，乙炔難以蒸餾方式有效地移除，若以萃取方式進行乙炔移除，則難以達成嚴格的標準(乙炔<1ppmv)，可使用化學反應將乙炔進行氫化反應變成乙炔達到不純物去除之目的。



圖一、輕油裂解製程中進行選擇性氫化反應之位置

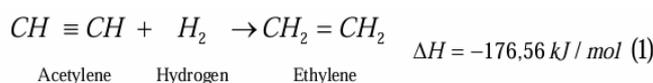
輕裂製程中輕成分分離可分為前端分離(front end)與後端分離(tail end)，前端分離的乙炔氫化反應器中因製程氣含 C2、C3、C4，會有更多比例的氫氣進行反應(氫氣與乙炔比例會較高)，主要控制的參數只有溫度；後端分離的乙炔氫化反應器中，氫氣量依比例添加，可調整的參數有溫度、氫氣量及 CO 量。新三輕組使用之製程為後端分離(tail end)技術，並使用乙炔氫化反應器將乙炔加氫氣反應為乙炔，以達成聚合級乙炔產品規範要求。

乙炔氫化反應是由乙炔及氫氣經孔隙擴散至觸媒金屬表面，並吸附於觸媒表面進行氫化反應成乙炔，之後脫附離開觸媒金屬表面。

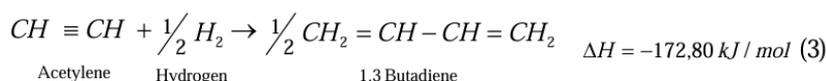
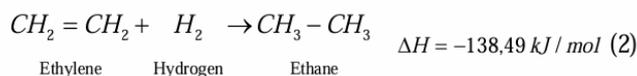


圖二、觸媒吸附示意圖

其乙炔氫化主反應式如下：

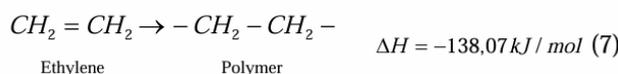
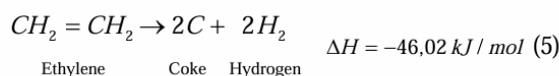


於乙炔氫化反應器中亦會發生副反應，乙炔與氫氣進行反應變成乙烷，乙炔與氫氣反應為 1,3 丁二烯，乙炔與 1,3 丁二烯進行聚合反應，其反應式如下：



聚合反應會產生高碳數物質，其中綠油(C6 至 C12 的物質)為液態，可藉由於分液罐、乾燥器等底部移除，碳數更高之聚合物($\geq C12$)會黏於觸媒表面上，造成觸媒失去活性，需由再生方式進行移除。

於非氫化反應中，焦炭及聚合物的形成會造成觸媒失去活性，因碳氫化合物分解而產生的焦炭可能無法藉由再生移除；其非氫化反應可能於 315°C 以上發生，其反應式如下：



乙炔氫化反應器中，其選擇性計算方式如下：

$$\text{Definition} = \frac{\text{Ethylene Gain}}{\text{Acetylene Lost}} = \frac{C2_{out}^- - C2_{in}^-}{Ac_{in} - Ac_{out}} = \frac{\Delta C2^-}{\Delta Ac}$$

$$\text{Selectivity}_{Hydrogen} = \frac{\Delta Ac - (\Delta H2 - \Delta Ac)}{\Delta Ac} = 2 - \frac{\Delta H2}{\Delta Ac}$$

$$\text{Selectivity}_{Temperature Rise} = 1 - \left(\frac{\Delta T}{\Delta Ac} - 32 \right) / 25$$

其結果於很大程度上取決於量測的可用性及準確性，選擇性可以數種方式進行比對，如乙炔濃度、溫度、氫氣濃度等方式互相比較，避免當分析儀器失真調整錯誤導致觸媒結垢活性降低。

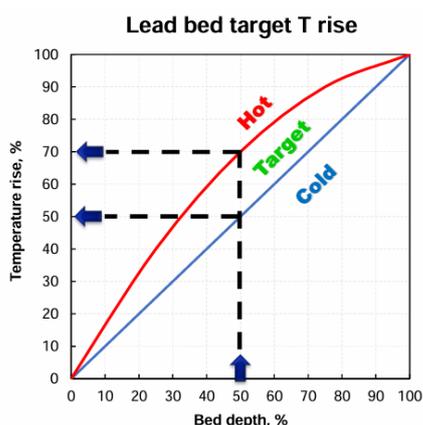
■ 乙炔反應器的調整

乙炔氫化的反應與溫度及氫氣濃度成正比，與 CO(一氧化碳)成反比；當氫氣增多時，乙炔的反應速率會立即且快速回應，煤床溫度會上升，可降低 1,3 丁二烯的生成，但選擇性將下降，並會縮短操作週期。

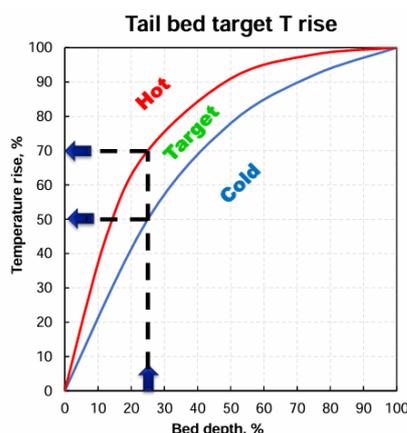
若要達到最高的選擇性及乙烯產量最大化，需要較低的氫氣/乙炔比(以下簡稱氫炔比)，當氫炔比小於 1.0，則會導致綠油生成速率增加；當氫氣過剩時則會與乙炔反應，造成乙烯產量減少。

當反應器進口溫度提升，將會增加所有的反應速率，氫氣的反應速率變快(出口氫氣殘餘量變少)，選擇性會降低，1,3 丁二烯及低聚物生成速率變快。提高進口溫度並不會立即有回應，獲得回應的時間會比調整氫氣還長。進口溫度的數值可供參考，但更重要的是煤床的溫度分佈及 WABT。

最適合的進口溫度需要考量以下因素：觸媒活性(溫度太高則縮短操作週期；溫度太低則操作不穩定，可能反應不完全)、出口氫氣量(至少需乙炔出口殘餘量的一半)、煤床溫度分布(於一半煤床高度時溫升介於 50~70%之間，如下圖三，適用於第一及第二煤床)。



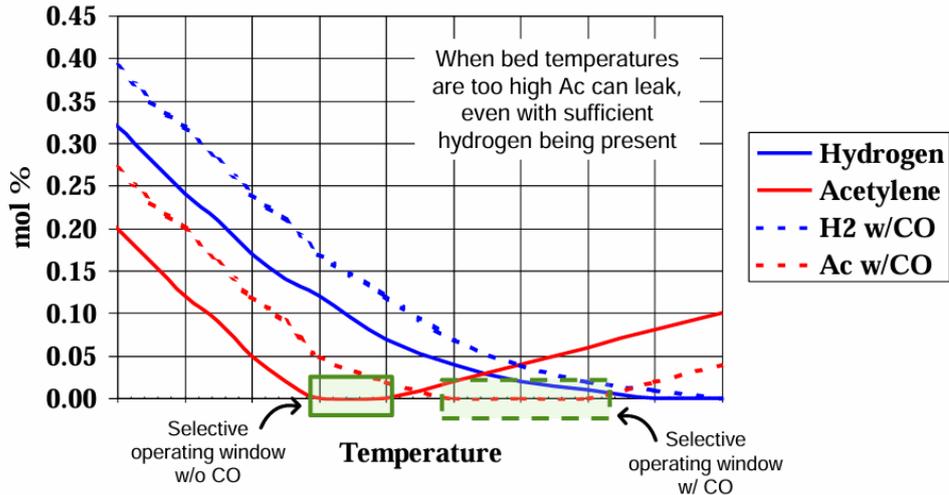
圖三、第一與第二煤床溫度目標



圖四、保護床溫度目標

保護床的調整通常比第一/第二煤床進口溫度高，出口殘餘氫氣調整為 50~200ppm，煤床溫度分布於 1/4 煤床高度時溫升達 50~70%(如圖四)

當煤床溫度過高時(未達 run away 溫度)，即使有足夠的氫氣量，反應器出口仍可能會有乙炔殘存，未加 CO 之操作區間會較狹窄，如加入 CO，可使乙炔及乙烯反應速率皆變低，可提高操作區間。



圖五、CO 添加與無添加操作範圍選擇區域

穩定的操作乙炔氫化反應器要素如下：

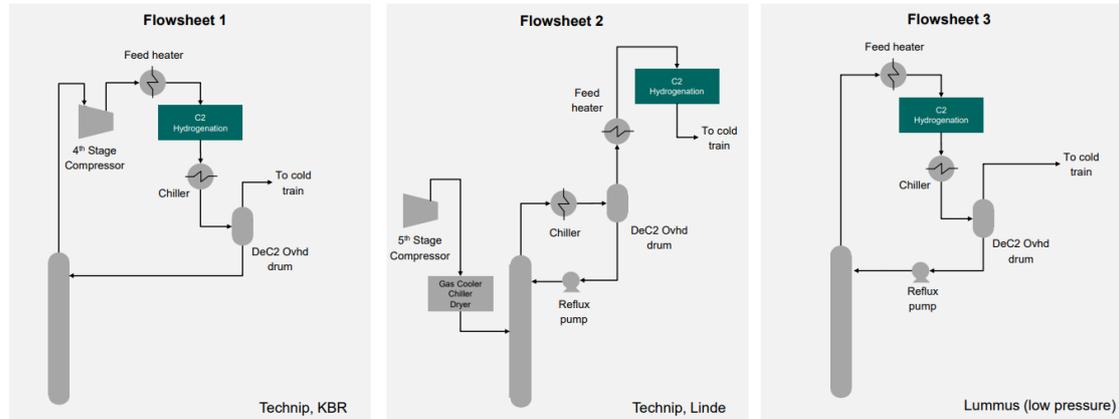
1. 調整較低的氫炔比已達成最高的乙烯增量及操作週期
2. 調整最低的溫度達到期望的轉化率
3. 為克服觸媒結垢帶來的影響，媒床進口溫度需隨操作時間調整(依觸媒表現而定)
4. 當調整溫度已影響不大時，再增加氫炔比調整
5. 製程混亂時可調整氫氣量以快速因應，當穩定後需再調降過量氫氣
6. 添加 CO 可改善選擇性，如使用 OleMax® 207 可不添加。

乙炔氫化反應器參考指標

Guideline	Rule of thumb
1% of Acetylene conversion	$\Delta T = 32 \text{ }^\circ\text{C}$ increase
1% of Ethylene conversion	$\Delta T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ increase
Temperature profile	
• Lead bed	Min T rise: 50% of ΔT at half of bed
• Tail bed or Single bed	Min T rise: 50% of ΔT at top quarter of bed
• Max recommended T rise	70% of ΔT
Selectivity: Tail bed or Single bed	$2 - \left(\frac{H_2}{Ac}\right)$
Bed ΔT	Outlet T or higher bed Temp minus inlet temperature
WABT	$\frac{(0.5 \times (T_{in} + T_{out}) + T_1 + T_2 + \dots + T_n)}{n + 1}$

■ 前端分離之乙炔氫化反應器

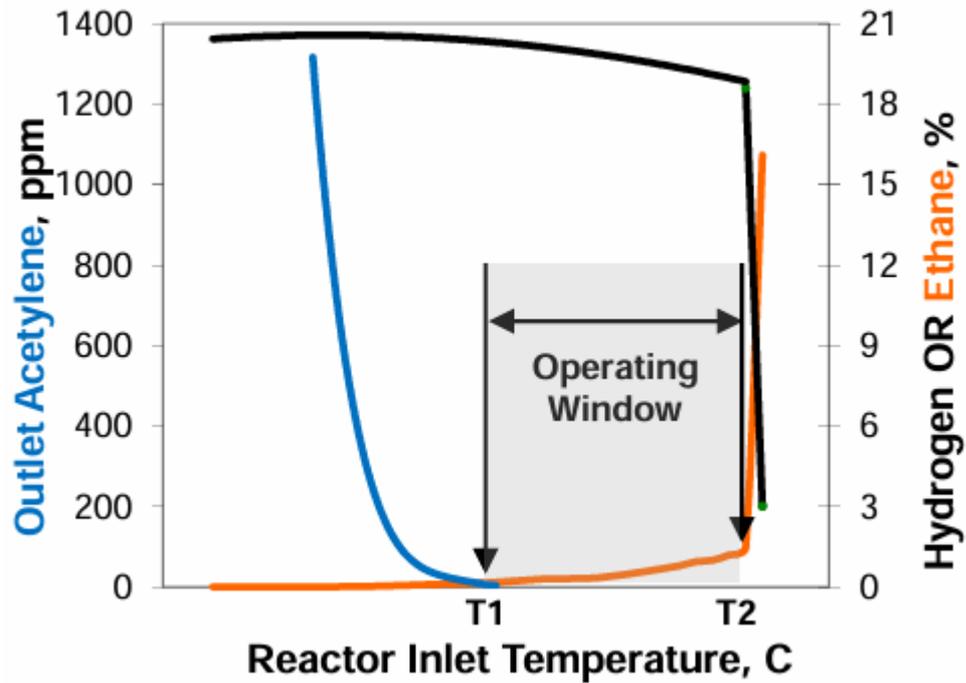
於前端分離(front-end)技術中，各製程專利廠家中有些許不同，主要於裂解氣進入冷箱前將 C3 分離，而乙炔氫化反應器擺放位置也略有不同，可依成份分為去乙烷塔頂部、去丙烷塔頂部、粗製程氣(raw gas)。



圖六、各製程專利廠家前端分離製程流程圖

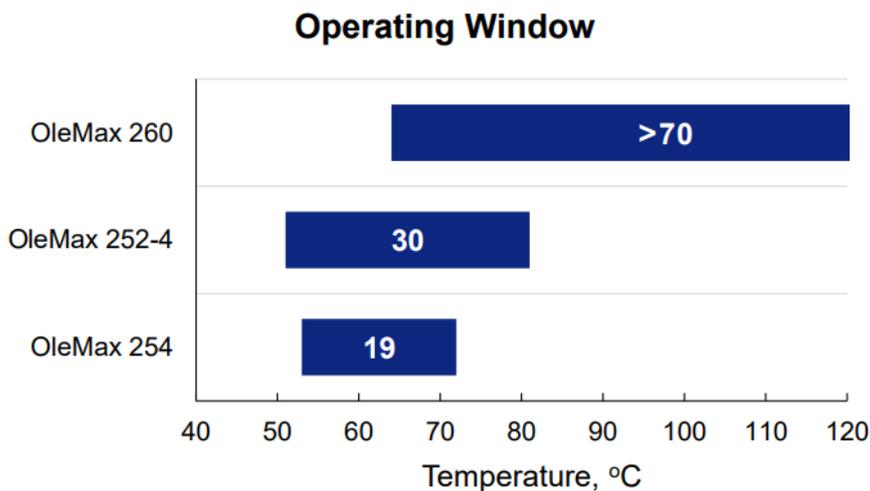
	進料成份	比較
後端分離	C2	
前端分離 (DeC2)	H2/CO/CH4/C2	有較高氫氣分壓，反應活性高
前端分離 (DeC3)	H2/CO/CH4/C2/MAPD/C3	較 DeC2 穩定及更合理的操作週期
前端分離 (粗製程氣 Raw Gas)	H2/CO/CH4/C2/MAPD /C3/BD/C4/C5+	煤床有較高的溫差及較快的結構速率，操作週期較短

前端分離製程的乙炔氫化反應器無額外添加氫氣，僅使用經裂解爐裂解後自身裂解氣的氫氣，其反應藉由調整進口溫度達到反應控制的目的。初始操作時，反應器進口溫度提高，出口乙炔含量會降低，但當溫度持續升高(超過 T1 點)，其出口乙炔含量將會不減反增，直至溫度點 T2，出口乙炔含量將會快速上升，氫氣含量急劇下降，此時已造成脫羈反應(run away)，須將反應器退出釋壓排空氮氣吹驅處理以避免發生意外。其 T1 至 T2 區間稱為操作視窗(Operating window)。



圖七、操作視窗範圍選取

當 CO 濃度發生改變時，其操作視窗也會隨之變化，CO 濃度升高時其 T1 也會提高，操作視窗範圍也會增加；反之，當 CO 濃度變低時，則操作視窗會變窄，濃度變化太劇烈時，可能導致操作溫度出區操作視窗而有脫羈反應發生。CLARIANT 的前端製程乙炔氫化反應觸媒亦有明顯擴大操作視窗。
(OleMax 260：2017 開發，DeC2 製程；OleMax 252-4：2018 開發，DeC3 製程；OleMax 254：舊製程觸媒)

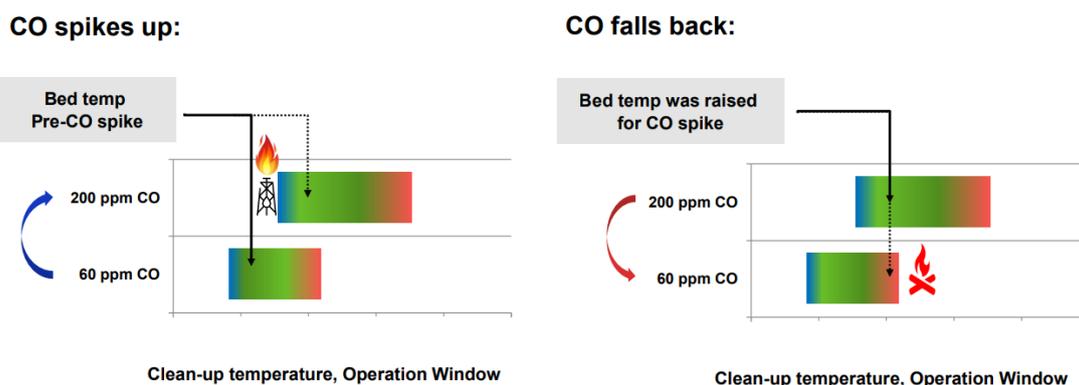


圖八、OleMax260、OleMax252-4、OleMax254 操作視窗範圍

前端分離製程的乙炔氫化反應器觸媒其選擇性比後端分離製程反應器觸媒高。

進口溫度是前段分離的乙炔氫化反應器唯一直接控制，精確的溫度控制對於穩定、符合規範的產品是必要因素。調整溫度使整體觸媒反應均勻分布，以達最高的選擇性及最長操作週期。溫度會由進料濃度、CO 濃度、壓力、產品規範、進料流量、觸媒狀態、進料污染物等因素決定。

CO 會抑制所有的氫化反應，其濃度會隨裂解爐震盪而改變，CO 濃度變化時亦須持續調整反應器進口溫度。CO 濃度瞬間升高時，觸媒活性會迅速降低，其觸媒活性位置會被 CO 佔據，而使得乙炔至觸媒的活性位置被阻礙，可能造成乙炔突穿使產品不合格。當 CO 濃度降低至較低的水平時，其觸媒活性會升高，若同時超出操作視窗，則會發生脫羈反應。

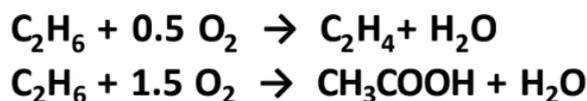


圖九、CO 濃度突升及驟降的影響

C3 的 MAPD 氫化反應觸媒可分為氣相反應與液相反應觸媒，較新的製程都以液相反應器為主，其安全性是一大考量因素。

- EDHOX™(Ethane DeHydrogenation, Oxidative)乙烷氧化脫氫成乙烯作為乙烷蒸汽裂解的補充或替代方案，林德(The Linde Group)生產乙烯技術。

EDHOX 反應式如下：

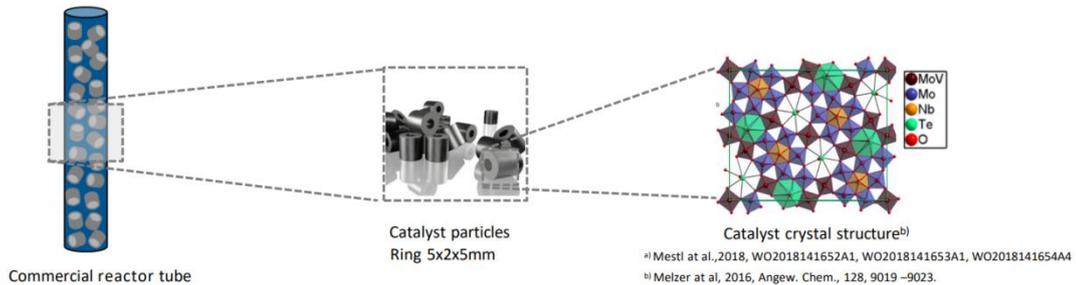


- 操作溫度 300 - 400°C
- 主要產品為乙烯和醋酸
- 無熱裂解，放熱反應
- 少量副產品 CO₂ 和 CO
- 分離和淨化單元簡單
- 乙烷轉化率 >50%
- 有價值產品選擇性>90%

EDHOX 採用科萊恩觸媒 Catalyst: OxyMax® E，混合金屬鉬鈳銻銱氧化物觸媒

MoVTeNbO_x

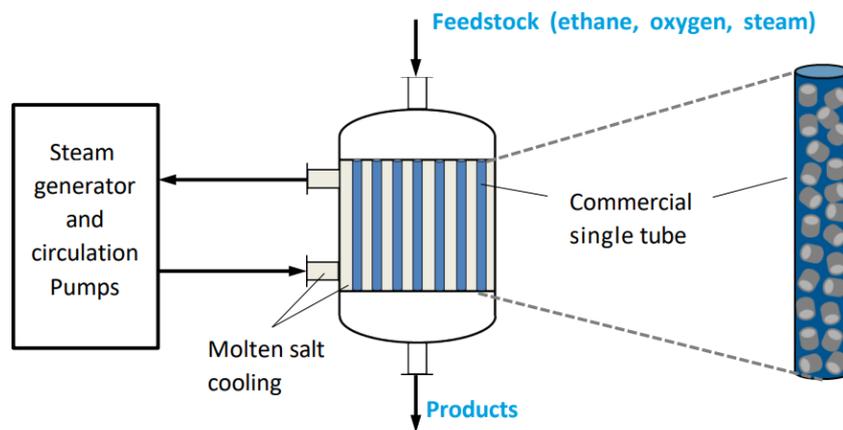
EDHOX™ Technology EDHOX™ 工藝技術 Catalyst: OxyMax® E 觸媒



圖十、OxyMax® E 混合金屬鉬鈮碲鉍氧化物形狀及晶體結構

Pilot Plant 乙烯+醋酸選擇性> 93% (mole)，乙烷轉化率(50%)。
採用 EDHOX™ 技術生產出的乙烯/醋酸產品比範圍 2.5 -4.5 t 乙烯/t 醋酸。

Scale-up Catalytic Reactor Design

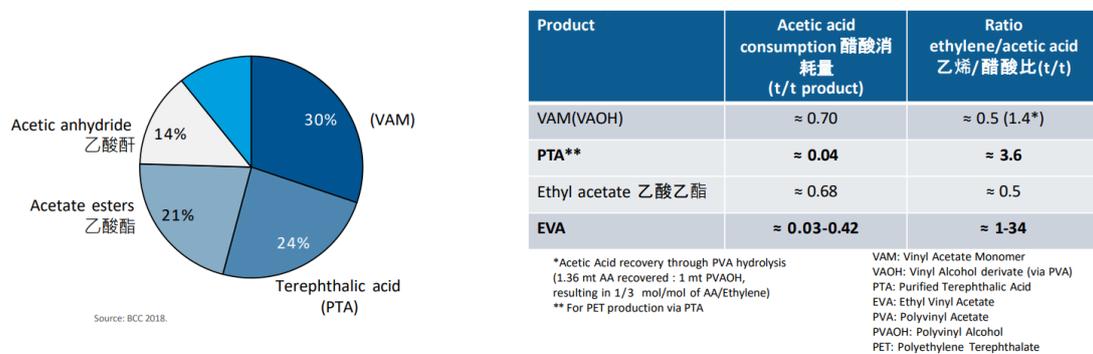


圖十一、EDHOX 反應器放大設計

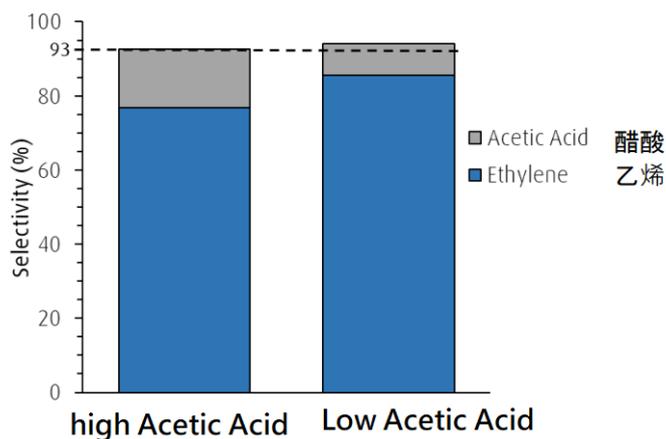
乙烷蒸汽裂解(Ethane Steam Cracking)

- 操作溫度 800 - 900 °C
- 為熱裂解，吸熱反應
- 主要產品為乙烯
- 副產物多 CO, H₂, CH₄, C₃+ 等混合物複雜
- 裂解爐爐管需定期除焦再生。

75%的醋酸衍生物製程需額外的乙烯參與反應，下游衍生物如醋酸乙烯(VAM)、乙酸乙酯(Ethyl acetate)、乙烯/醋酸乙烯酯(EVA)、純對苯二甲酸(PTA)等…。採用 EDHOX™ 技術生產出的乙烯/醋酸產品比範圍 2.5 -4.5 t 乙烯/t 醋酸。



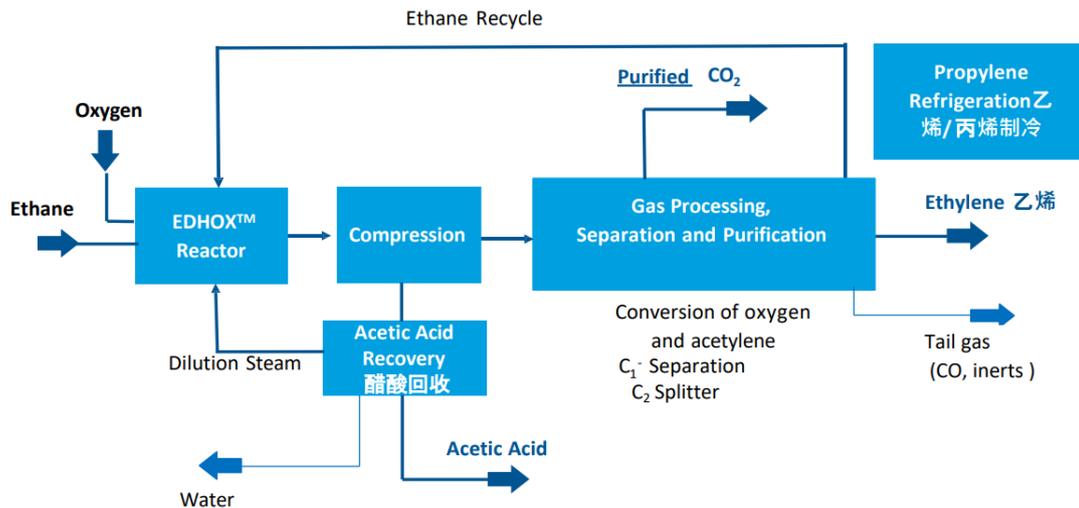
圖十二、乙烯、醋酸下游衍生物種類與消耗比例分布



圖十二、EDHOX 高醋酸與低醋酸模式之選擇性

單獨使用 EDHOX(無蒸汽裂解整合)

乙烷與氧氣進入 EDHOX 恆溫反應器後經壓縮製程，產品醋酸回收純化；氣體分離淨化製程，可分離出高純度二氧化碳與乙烯，乙烷回 EDHOX 反應器循環。

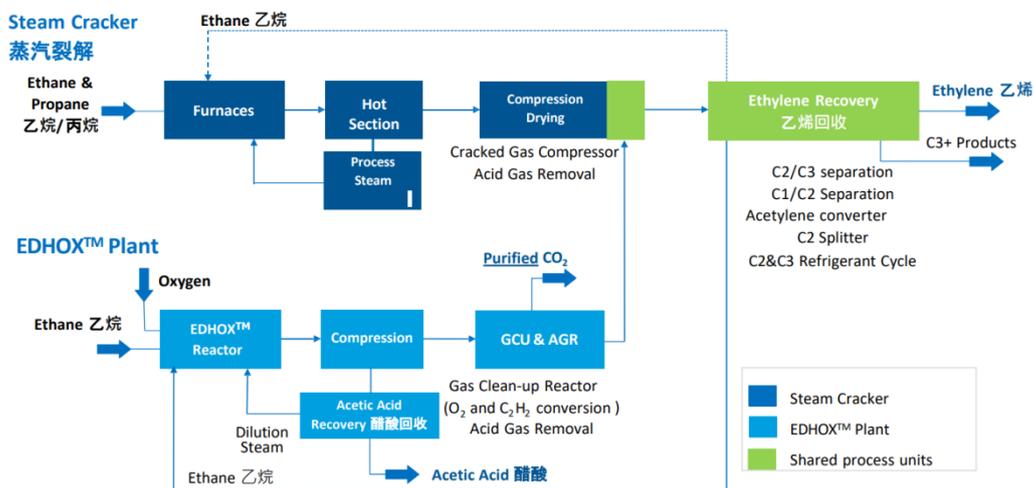


圖十三、單獨使用 EDHOX(無蒸汽裂解整合)流程圖

同蒸汽裂解爐整合

乙烷與氧氣進入 EDHOX 恆溫反應器後經壓縮製程，產品醋酸回收純化；氣體分離淨化製程，可分離出高純度二氧化碳。乙烯氣體併入低溫區的乙烯製程單元，循環乙烷可回乙烷裂解爐或是 EDHOX 反應器。

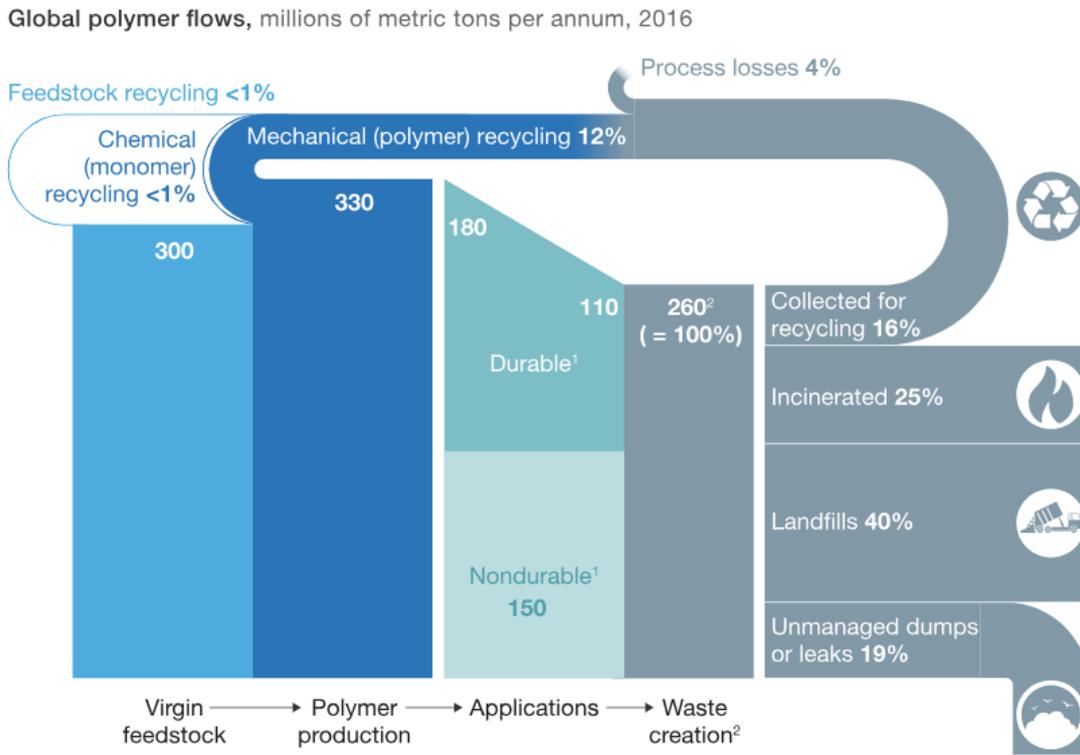
Integration with Steam Cracker 同蒸汽裂解整合



圖十四、EDHOX 同蒸汽裂解爐整合流程圖

EDHOX™ 對比乙烷蒸汽裂解製程，有生產成本低、建設成本低、可持續性的 CO₂ 足跡追蹤與具有同下游裝置整合的潛力，進一步提高利潤等... 優勢。EDHOX 裝置產生的 CO₂ 排放比乙烷蒸汽裂解和醋酸製程產生的 CO₂ 排放低 60% 以上。

■ 科萊恩先進廢塑膠回收循環解決方案，混合塑膠廢物可以轉化為蒸汽裂解爐進料油

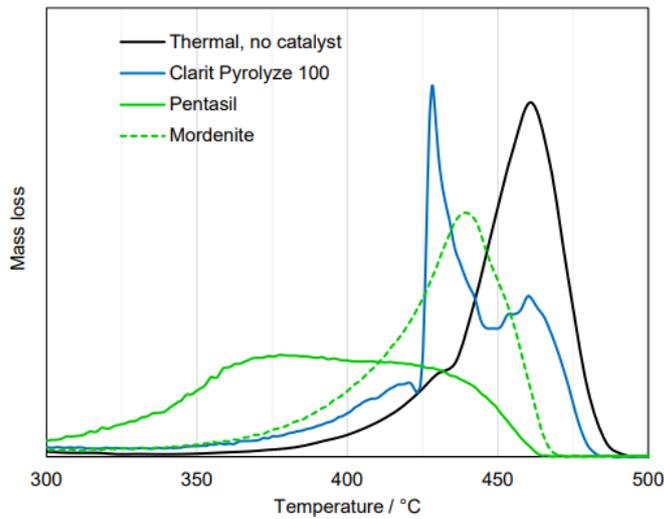


Source: McKinsey analysis

圖十五、全球塑料流向圖

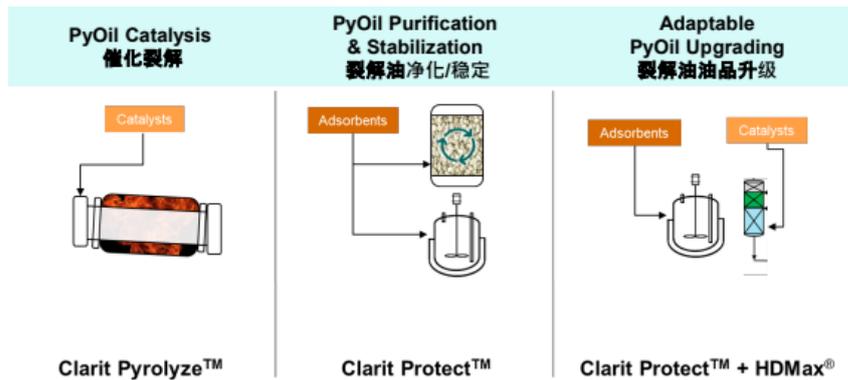
全球廢塑膠的產生及處理流程，目前只有 16%的廢塑膠經過再加工來製造成新塑膠，25%透過焚化系統處理，40%進入掩埋場，19%廢塑膠洩漏到海洋的主要原因是垃圾掩埋場管理不當或無廢棄物處理系統（圖十五）。取消一次性塑膠用品，已成趨勢，廢塑膠的回收再利用是未來的趨勢及重要的課題。

廢塑膠經熱裂解(Pyrolysis)或觸媒催化裂解，可得到氣相約 15%、液相約 80%與固相約 5%。氣相可作為能量回收，回熱裂解流程當燃料或是進一步純化作為烯烴等化學品的來源；液相可作為蒸汽裂解裝置混合進料，但需要處理裂解油內的汙染物問題(金屬、磷、氮、氧、氯、矽等…)；固相可用於水泥行業。科萊恩創新材料用於優化廢塑膠催化熱裂解製程(降低能耗)，活性材料可在廢塑膠熱解過程中使用，從而改進製程：降低熱裂解的操作溫度，改善產品分佈，減少雜質的產出。



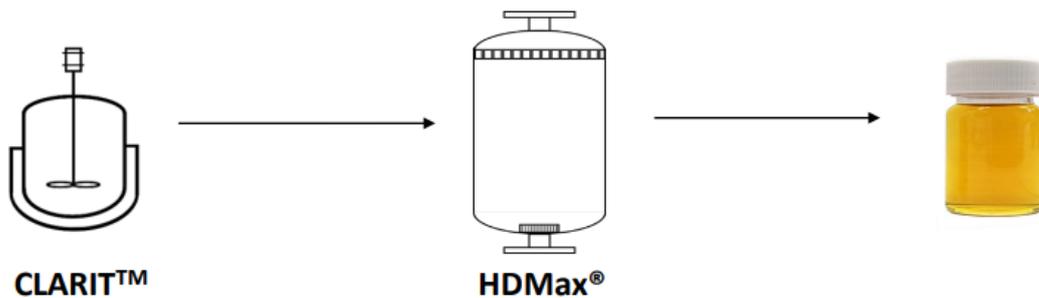
Thermogravimetric conversion analysis of PE/PVC Mixtures (95:5) with 10% catalyst added; heating rates (2.5 K/min) in Ar atm (ambient pressure) 添加10%催化劑的PE/PVC混合物 (95:5) 的熱重轉化分析：Ar atm (環境壓力) 中的加熱速率 (2.5 K/min)

圖十六、熱裂解無觸媒及觸媒催化裂解操作溫度曲線



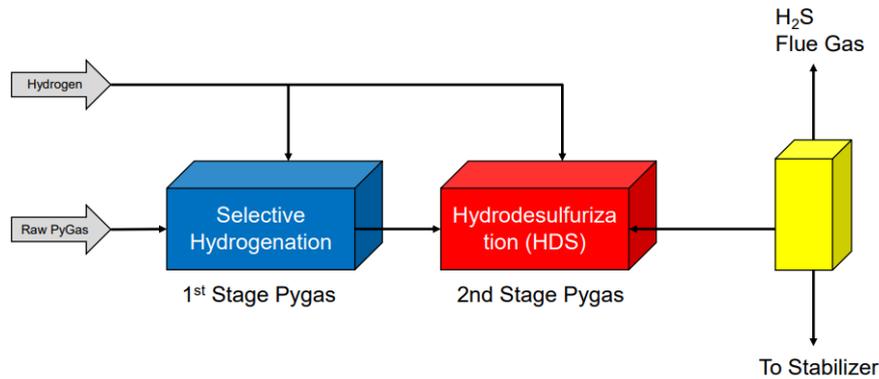
圖十七、科萊恩催化裂解、裂解油淨化處理及裂解油油品質升級都有對應的技術

未處理裂解油，經吸附製程，移除裂解油中的金屬、磷、氮、氧、氯、矽等...，可得到穩定化的裂解油，裂解油經處理後無腐蝕性，且可穩定的儲存與運輸，吸附劑可再生後再次使用。透過觸媒加氫處理，可得到高品質的裂解油。高品質的裂解油可摻配石油腦一同進裂解爐裂解，產出氫氣、乙烯、丙烯等...相關產品。



圖十八、裂解油經科萊恩吸附淨化及加氫處理後得到高品質的裂解油

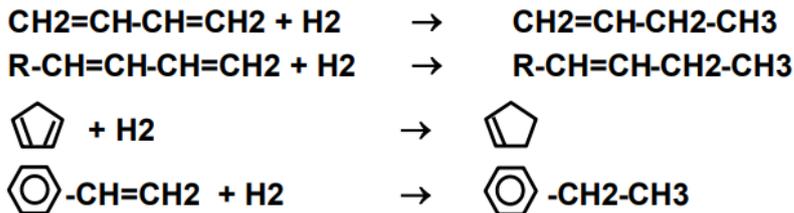
■ 汽油氫化一級反應器觸媒研討



圖十九、汽油氫化單元一級與二級反應器方塊流程圖

汽油氫化單元進料 Pygas 為裂解區汽油汽提塔與低溫區去丁烷塔塔體流一同進入汽油氫化單元。汽油氫化一級氫化反應器主要將雙烯氫化為單烯與苯乙烯氫化乙基苯。一級氫化反應器反應的完全，可以避免二級氫化反應器觸媒的結焦，延長二級氫化反應器的操作週期。

汽油氫化單元一級氫化反應式：



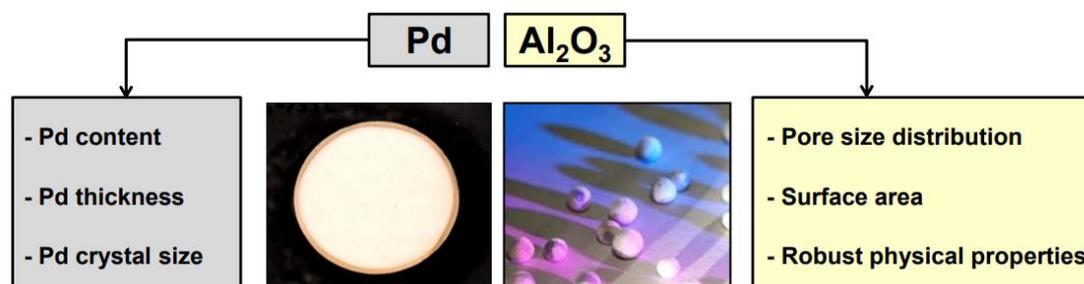
因鈀金價格近年變化劇烈，科萊恩研發了新型觸媒 OleMax[®] 602 / 603，鈀含量遠低於 OleMax[®] 600 / 601，但性能相當，減少了鈀金市場價格上漲的影響。



Pd market price trend (published by KITCO)

圖二十、鈀金價格趨勢圖

科萊恩藉由載體孔徑分佈與觸媒表面積及強化物理特性優化下，並從鈀的厚度及鈀的晶態優化，研發出低鈀金含量的觸媒。優化氧化鋁載體的物理性能，最大限度地提高觸媒催化性能（活性和穩定性）



	- For Standard Severity -		- For High Severity -	
	OleMax 600	OleMax 602	OleMax 601	OleMax 603
Relative initial activity	1.0	1.0	1.3	1.5
Relative stability	1.0	0.9	1.1	1.3
Relative Pd amount ^{*1)}	1.0	0.6	1.3	1.1
Relative Pd efficiency ^{*2)}	1.0	1.4	0.9	1.2

^{*1)} Pd amount per catalyst volume
^{*2)} Relative Pd efficiency = "Relative stability" / "Relative Pd amount"

新三輕建廠汽油氫化一級反應器 R-4110 使用的觸媒為 OleMax600 型，相對於 OleMax600 型，低鈀含量的 OleMax602 型觸媒初始活性與相對鈀金效率都優於 OleMax600 型。

對應高嚴苛的操作條件下，如低液時空速 LHSV(liquid hourly space velocity)或是低稀釋液體/新鮮進料比的情形，OleMax601 型的改良低鈀 OleMax603 型，觸媒初始活性和穩定度及相對鈀金效率皆優於 OleMax601 型。

■ 汽油氫化二級反應器觸媒預硫化研討

若跳過預硫化程序，僅使用操作中的循環氫氣還原觸媒，當新鮮進料開入反應器時，反應會產生失控，最高溫可達到 600°C，觸媒會發生燒結現象而無法再使用。

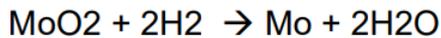
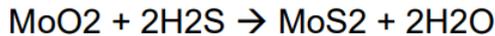
二級反應器觸媒預硫化的目的：

- 觸媒床更低的操作溫度，達到節能的功效
- 產品有更好的轉化率及選擇率/收益
- 使觸媒操作壽命更長
- 加快開車後獲得符合規範的產品

觸媒金屬硫化反應式：



觸媒金屬硫化副反應反應式：當低 H₂S/H₂ 比且溫度高於 230°C 時，會發生副反應：



將第一階段硫化的煤床溫度控制在 230°C 以下是非常關鍵的步驟，避免副反應產生。

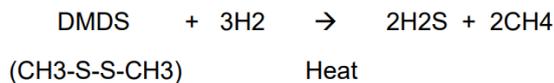
二硫化碳、二甲基二硫、二甲硫醚、正丁硫醇、二叔壬基多硫化物等……可作為觸媒硫化劑，輕油裂解廠常選用二甲基二硫(DMDS)作為汽油氫化二級反應器的硫化劑，因 DMDS 的低毒性和易取得(乙烷裂解爐需添加的化學品)。

Physical Properties of Sulfiding Agents

Sulfiding Agent	Sulfur (wt%)	M.W.	Boiling Point (oC @1atm)	Decomposition Temp. (oC)	Toxicity
CS ₂	84	76	46	150-175	high
DMDS	68	94	109	175-205	low
DMS	52	62	36	230-260	high
NBM*	36	90	96	150-175	low-mid.
TNPS**	37	414	-	150-175	very low

* n-Butylmercaptan

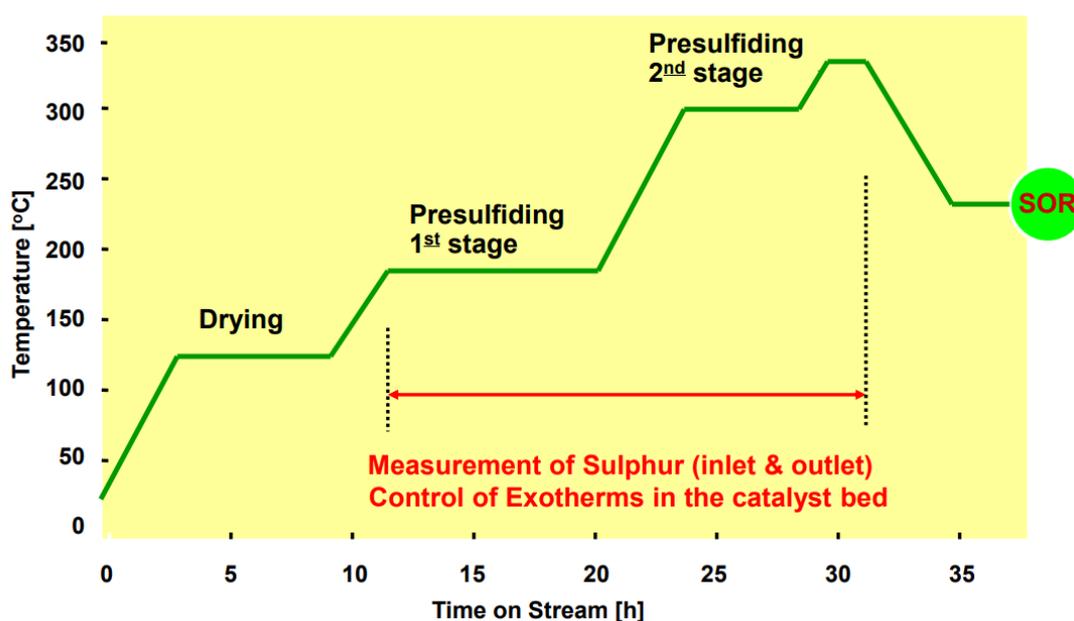
** Tert-Nonylpolysulphide



觸媒預硫化步驟：

1. 使用氮氣吹驅 purge 反應器直至 O₂ < 100 ppm。
2. 利用含氫流體置換反應器內氮氣。
3. 利用含氫氣體建立循環並去除反應器中的水份。
4. 建立循環氣體流量(ex:95%氫氣流體)為 4926M³/h 以上(200~500 GHSV)。
5. 以每小時小於 50°C 的速度提溫，提升反應器入口溫至 150°C。
6. 建立系統壓力至操作壓力約 25.5 kg/cm²。
7. 持續保持氫氣循環並將反應器入口溫拉升至 180°C。
8. 開始注入 DMDS，流量設定為 100L/h (0.5~1mol%)。

9. 注意此時會放熱，避免反應器溫度超過 230°C 。
10. 當反應器出口硫含量達到 0.3mol%時即完成第一階段預硫化。
11. 一開始就需取樣，觀察出口硫含量變化，以判定是否有反應。
12. 進一步將入口溫度提升至 310°C (升溫速率每小時不超過 55°C) 。
13. 避免反應器溫度超過 350°C 。
14. 當反應器出口硫含量達到 0.3mol%時，將進口溫提升至 340°C 。
15. 維持該狀態超過 1hr 且出口硫含量>0.3mol% 時，即完成預硫化作業，停止注入 DMDS 。
16. 將反應器冷卻至準備開車進料溫度 225°C 。
17. 冷卻期間，適時取樣 分析出口硫含量，H₂S 至少有 20~50ppm，確認觸媒不再與硫進行還原。



圖二十一、典型的預硫化溫度、時間曲線

四、心得及建議

目前乙炔氫化反應器觸媒使用科萊恩 OleMax 207 型，而 OleMax 207 與新三輕建廠時使用的 OleMax 201 觸媒之差異性如下：

1. 增加 20%以上選擇性。
2. 更長之操作週期(約 30-32 個月，OleMax 201 約 6-10 個月)。
3. 操作穩定性更佳。
4. 更低之綠油聚合物的產生量(減少一半)。
5. 反應過程不需加入含 CO 的氫氣。

目前新三輕工場使用後端分離之乙炔氫化製程，之後新四輕案若選用前端分離之乙炔氫化製程，在操作模式與操作觀念皆需調整。如何避免反應器失控，減少衍生的製程安全及失控後燃燒塔排放的工安、環保相關問題是重要的課題。

汽油氫化單元一級反應器觸媒，新型低鈀金含量型的觸媒，反應性能相當，減少了鈀金市場價格劇烈波動的影響，觸媒更新時可做為選用參考。

新技術乙烷氧化脫氫 EDHOX 製程，可合併到蒸汽裂解製程或是單獨使用 EDHOX 製程；EDHOX 製程可降低能耗減少二氧化碳的排放，減碳是未來的主流趨勢；EDHOX 製程產生的醋酸亦是下游衍生物製程所需用料，如醋酸乙烯(VAM)、乙酸乙酯(Ethyl acetate)、乙烯/醋酸乙烯酯(EVA)、純對苯二甲酸(PTA)廠等…，可作為往後新建廠的參考。

全球廢塑膠回收再利用，廢塑膠經熱裂解(Pyrolysis)或觸媒催化裂解，將裂解油純化，移除裂解油中的金屬、磷、氮、氧、氯、矽等，並透過觸媒加氫處理，可得到高品質的裂解油。高品質的裂解油可摻配石油腦一同進裂解爐裂解，產出氫氣、乙烯、丙烯等…相關產品，廢塑料即可再次循環。