

出國報告(出國類別:國際會議)

2016年CB&I  
乙烯及烯烴轉化年會  
出國報告

服務機關：台灣中油石化事業部

姓名職稱：陳維德 廠長

楊士朋 化學工程師

派赴國家：美國

出國期間：105.05.21 至 105.5.29

報告日期：105.06.22

(摘要：篇幅限於1頁以內)

石化工業基本原料之乙烯、丙烯、丁二烯為輕油裂解工場之主要產品，因此輕油裂解工場生產狀態對於石化工業有舉足輕重的影響，而其工場是否能獲利，更攸關事業部的經營績效，由於全球以輕質進料為主之乙烯工廠(乙烷進料、甲烷脫氫、甲醇製造烯烴、煤製造烯烴...等)不斷擴廠，使得以石油腦為進料之輕油裂解廠面臨許多挑戰，在面臨激烈的市場競爭之下，如何應用新技術與設備來提高競爭力及獲利成為很重要的課題，CB&I公司於2016年5月23日至5月27日於美國紐約舉辦第十三屆乙烯年會及第三屆烯烴轉化年會，本次年會之主題為滿足不斷變化的市場之技術解決方案，根據乙烯、丙烯、C4、C5等烯烴價格比不同，利用進料(原料)調整及先進技術發展來適應不斷變化的市場，進而提高經濟規模，解決營運的困境。

本次年會由陳維德廠長及楊士朋工程師獲派參加年會，除了解最新之技術以及與所有具規模之業者交流之外，本次年會陳維德廠長同時也獲得CB&I公司邀請上台發表新三輕成功經驗與乙烯同業分享，報告之主題為**最大化的進料彈性確保了中油新三輕的成功**，陳廠長精彩的演講內容吸引了台下許多同業，詢問了許多有關新三輕試爐成功的問題，為公司於國際上立下了良好的印象。

## 目錄

一、目的 .....	4
二、過程 .....	4
三、心得 .....	5
四、建議 .....	25

## 一、 目的

CB&I公司為一國際級的集團，其旗下之Lummus公司業務焦點在油氣、煉油以及石化等產業，在石化產業方面，Lummus公司擁有烯烴類、苯乙烯、聚烯、酚類、輕質烴以及特殊化學品等50項以上之專利製程技術，其中乙烯生產技術之計劃個案已超過175件，約佔全球乙烯產能之40~45%，新三輕及四輕亦為Lummus公司之製程技術，今年於紐約由CB&I公司所舉辦之第13屆世界乙烯年會其主題為滿足不斷變化的市場之技術解決方案，根據乙烯、丙烯、C4、C5等烯烴價格比不同，利用原料變化來提高經濟規模，提供技術及營運的解決方案，在最大限度內提升現有的收益，藉由參加年會與所有具規模之業者交流，進而開拓視野並提升技術觀念。

## 二、 過程

日期	工作內容
105.05.21	啟程
105.05.22	年會報到
105.05.23	乙烯年會
105.05.24	乙烯年會
105.05.25	乙烯年會
105.05.26	烯烴轉化年會
105.05.27	烯烴轉化年會
105.05.28	返程
105.05.29	返抵國門

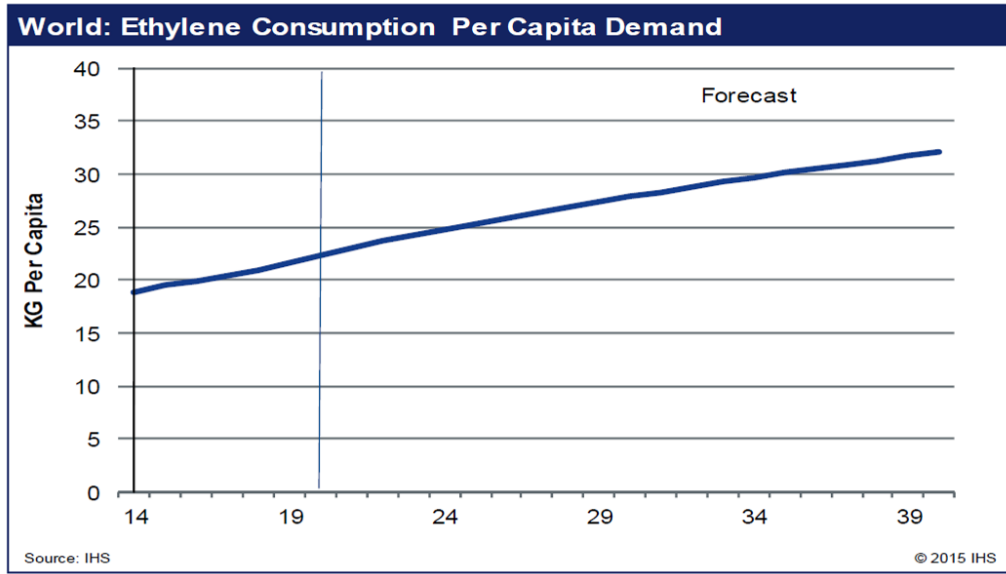
### 三、心得

本次年會時間為 5/23~5/27，5/23~5/25 三天為乙烯年會，5/26~5/27 兩天為烯烴轉化年會，內容包含許多項目，以下將較重要的部分介紹

#### (一). 市場展望

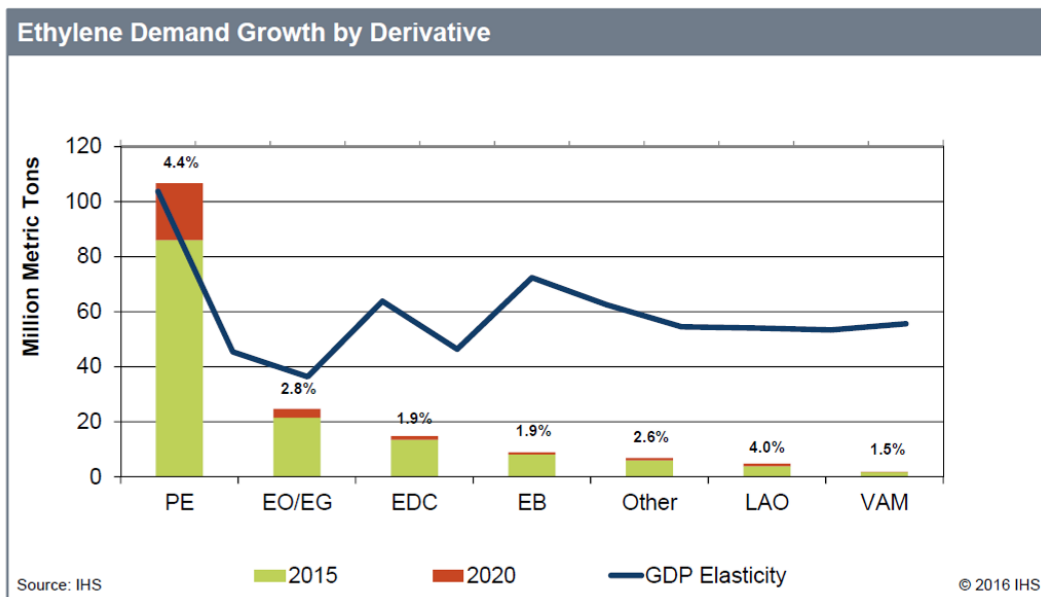
##### (1) 乙烯

下圖一為乙烯之需求圖，由圖可得知未來乙烯之需求仍持續成長。



圖一 乙烯需求圖

下圖二為乙烯需求成長圖，較大的成長來自聚乙烯(PE)，其餘來自環氧乙烷(EO)/乙二醇(EG)、二氯乙烷(EDC)...等也有小幅成長。

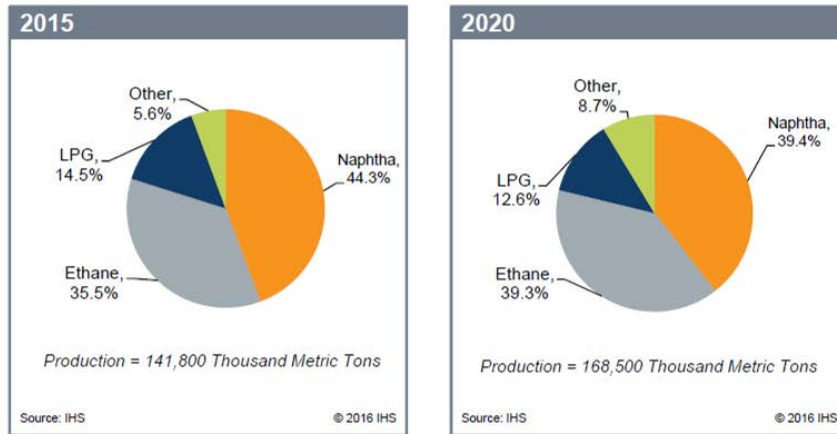


圖二 乙烯需求成長圖

下圖三為乙烯產品之原料來源表，由圖可看出以石油腦為原料成長幅度很小，未來之趨勢朝乙烷進料及其他(煤製造烯烴 CTO/甲醇製造烯烴 MTO)發展

### Ethylene Feed Type

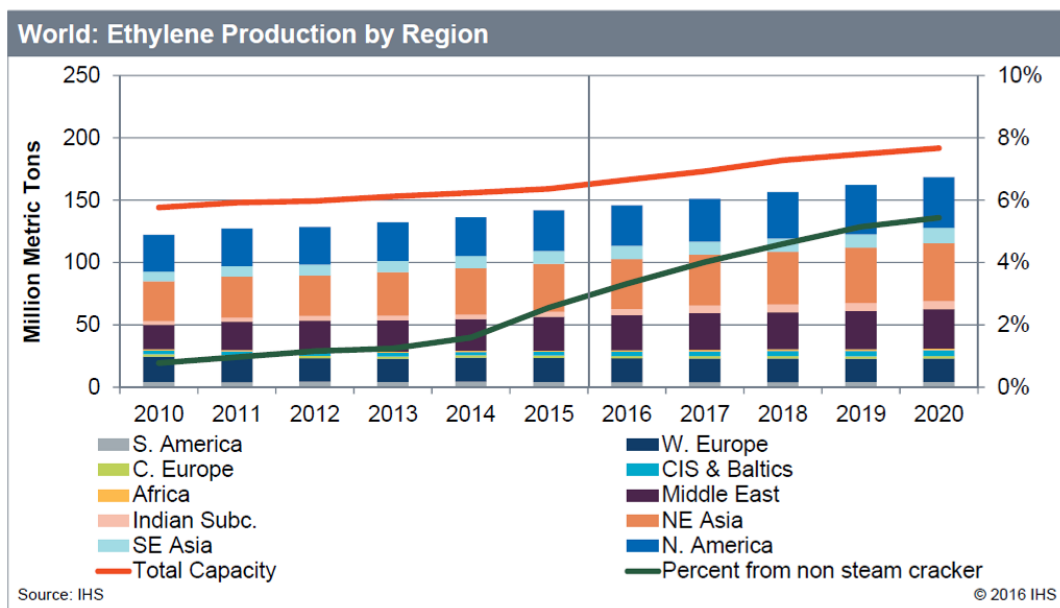
Volumes by type Up Across the Board driven by ethane and other (CTO/MTO)



	2015	2020	%AAGR
Naphtha	62,840	66,456	1.1%
Ethane	50,401	66,294	5.6%
LPG	20,573	21,155	0.6%
Other	7,986	14,595	12.8%

圖三 乙烯產品之原料來源

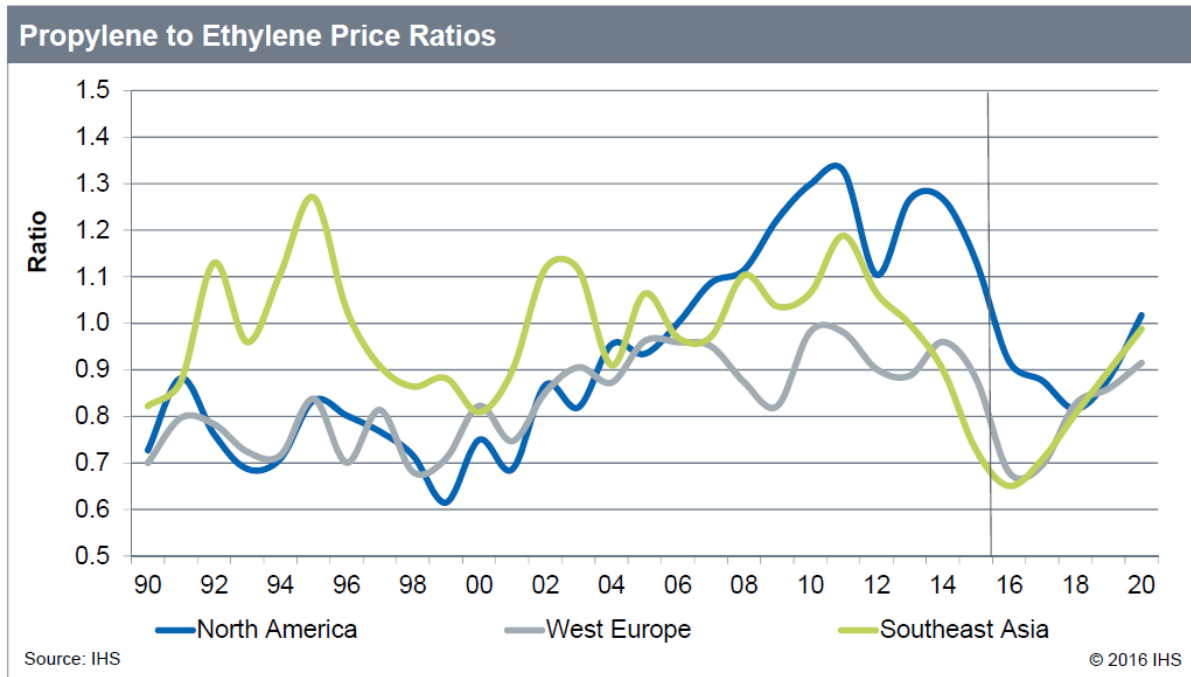
下圖四為乙烯產品之生產地區分布，北美、亞洲及中東的產量皆呈現上升趨勢，亞洲部分主要為中國地區之產量上升，另外也可看出非裂解製程(煤製造烯烴、甲醇製造烯烴、甲烷脫氫...等)的產能也呈現上升趨勢。



圖四 乙烯產品生產地區

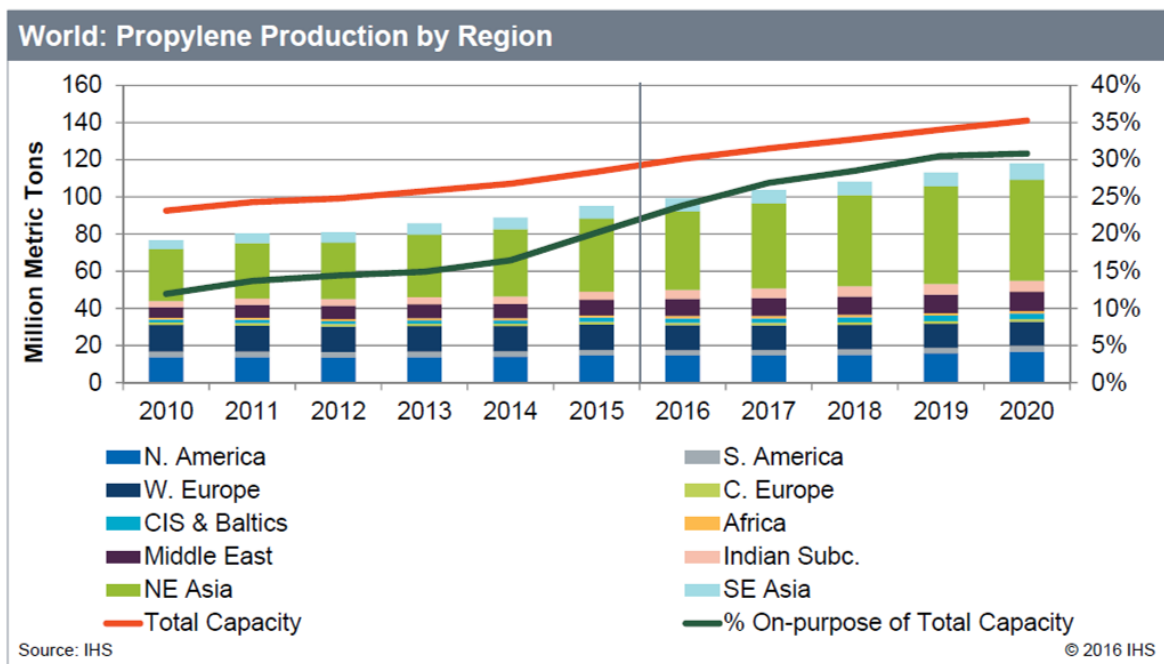
## (2) 丙烯

下圖五為丙烯/乙烯之價格趨勢圖，目前是向下之趨勢，預計已達谷底未來會開始反彈上升。



圖五 丙烯/乙烯價格趨勢圖

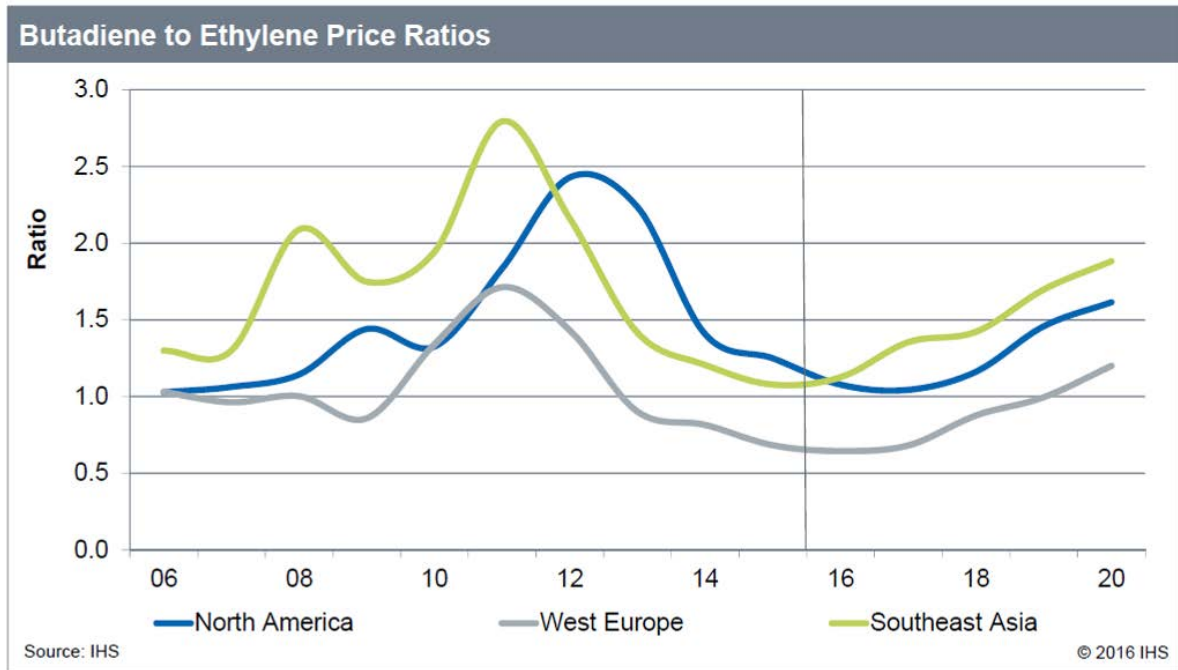
下圖六為丙烯產品生產地區圖，丙烯產量也是往上之趨勢，其中大部分之提升來自中國。



圖六 丙烯產品生產地區

### (3) 丁二烯

下圖七為丁二烯/乙烯之價格趨勢圖，預計丁二烯價格已達谷底，未來將會反彈上升。

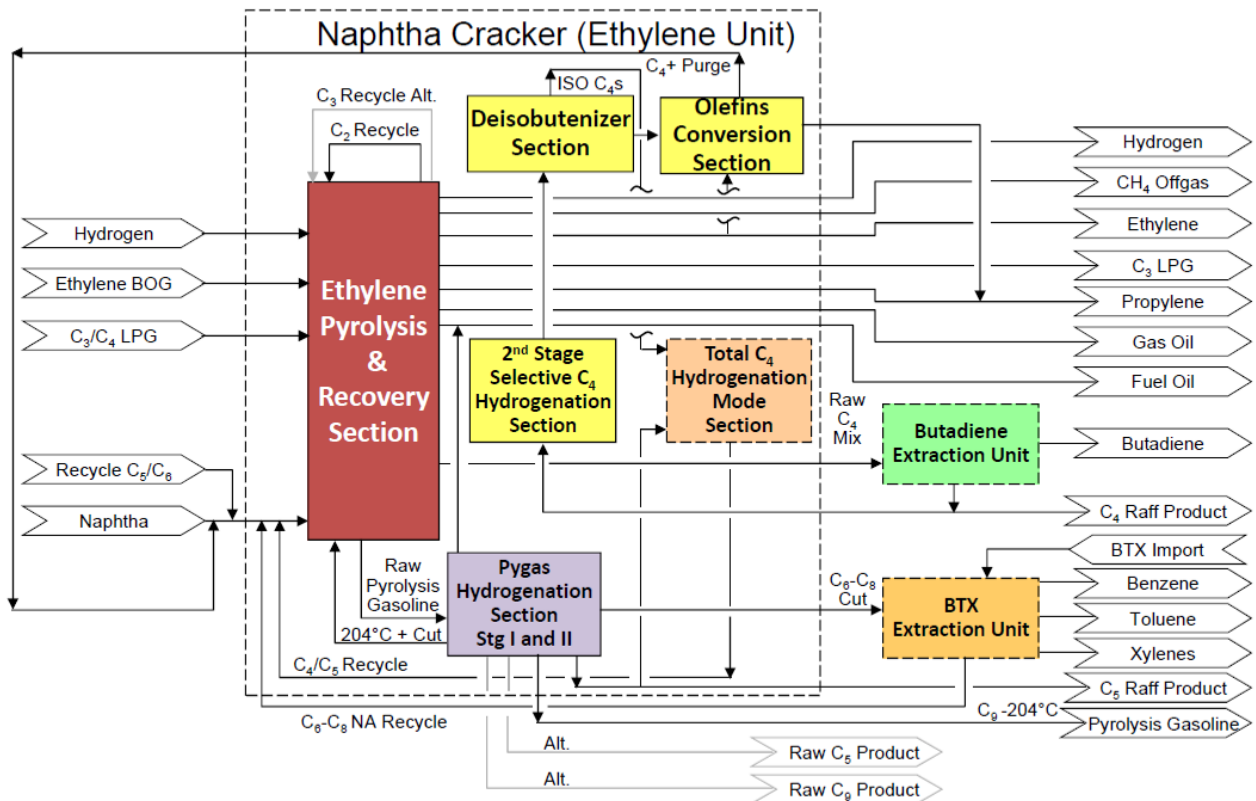


圖七 丁二烯/乙烯價格趨勢圖

## (二). 最大化的進料彈性確保了中油新三輕的成功

此主題由本公司林園石化廠陳維德廠長及 CB&I 公司 Venner 先生共同報告，首先由 Venner 先生介紹台灣中油公司，並介紹新三輕的進料模式，由圖八可看到，當初新三輕於設計時可允許相當大彈性的進料模式，可進料石油腦、乙烷、C3/C4 LPG、C5/C6，因此新三輕可根據進料之價格決定採用何種進料較為有利，因此於進料策略上具有相當大的彈性。另外產品的部分也有很大的彈性，除了氫氣、乙烯、丙烯之外，C5 可根據市場需求生產不飽和 C5 或是氫化 C5、汽油同樣也可根據需求選擇生產終沸點為 180°C 或 204°C 之汽油，另外新三輕設置了烯烴轉化裝置可將乙烯及 C4 反應為丙烯，因此可根據乙烯、丙烯、C4 價格來啟用烯烴轉化裝置將乙烯及 C4 反應為丙烯，因此於生產策略上有相當大的彈性，接著由陳廠長報告新三輕試爐能夠成功又快速(13 小時)產出合格乙烯的原因，成功原因為：1. 熟練且具經驗的試爐團隊、2. 完整的訓練、3. 精確規劃與執行試車及組裝、4. 可靠的設備及儀器，結合以上 4 點造就新三輕試爐成功，陳廠長精彩的演講內容吸引了台下許多同業，詢問了許多有關新三輕試爐成功的問題，為公司於國際上立下了良好的印象。





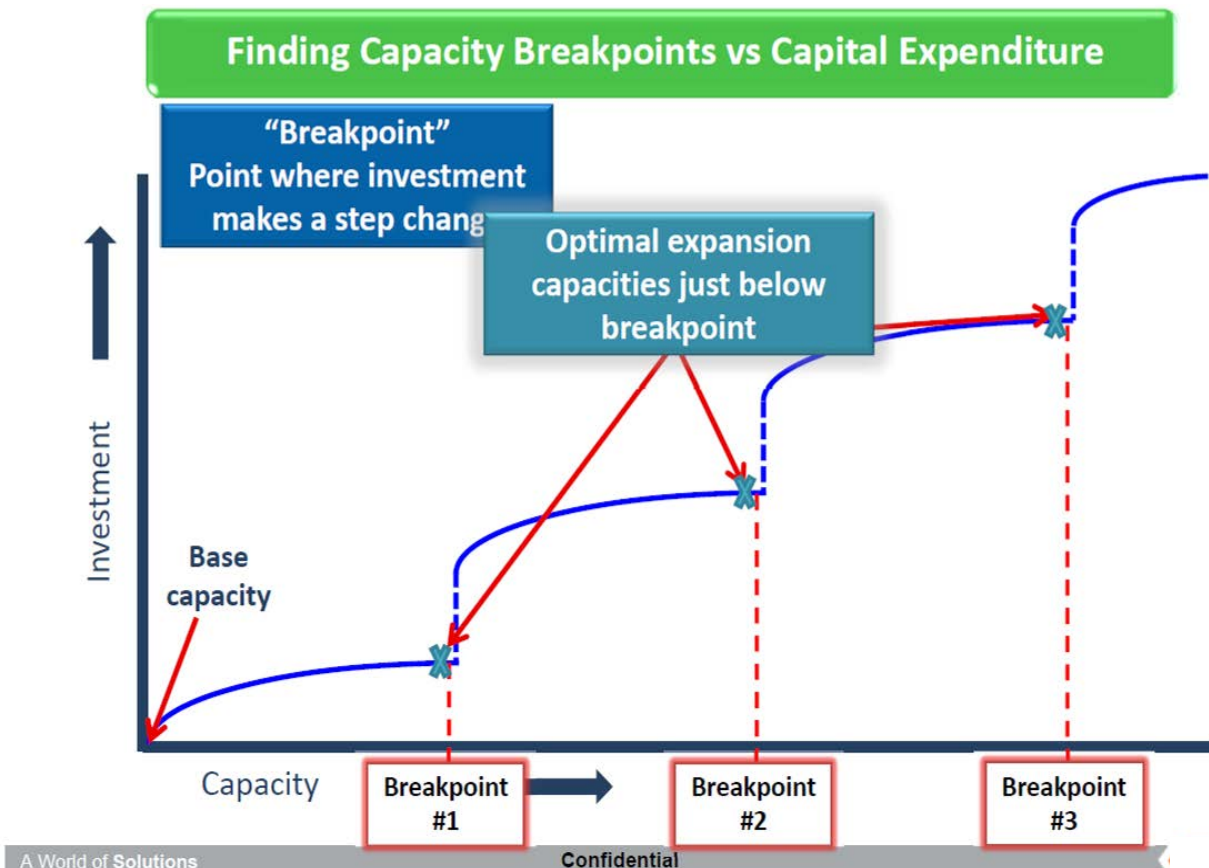
圖八 新三輕進料模式



圖九 陳維德廠長報告照片

### (三). 擴產及投資策略

CB&I 公司對於現有工廠如需擴產可協助規劃判斷其突破點在哪，如下圖十擴產量與投資金額圖所示，假設經評估過後擴產 25% 為一突破點、50% 為一突破點、75% 為一突破點，越過突破點將會需要較大的投資，因此投資之最適點即為每個突破點之前，藉由此評估可判斷欲增產至何種程度以節省投資金額。



圖十 擴產量與投資金額圖

對於乙烯工廠欲擴產時，下列重要設備需要評估：

1. 裂解爐：通常需要增加裂解爐
2. 壓縮機及透平：(1). 內部更換零件或是更換轉子、(2). 更換新壓縮機
3. 蒸餾塔：(1). 更換高效率塔盤、(2). 更換為填充塔
4. 反應器：(1). 內部修改、(2). 更換新反應器增加觸媒或吸附劑
5. 迴流槽：增加內部容積
6. 換熱器：(1). 更換為高熱傳材料、(2). 增加換熱器

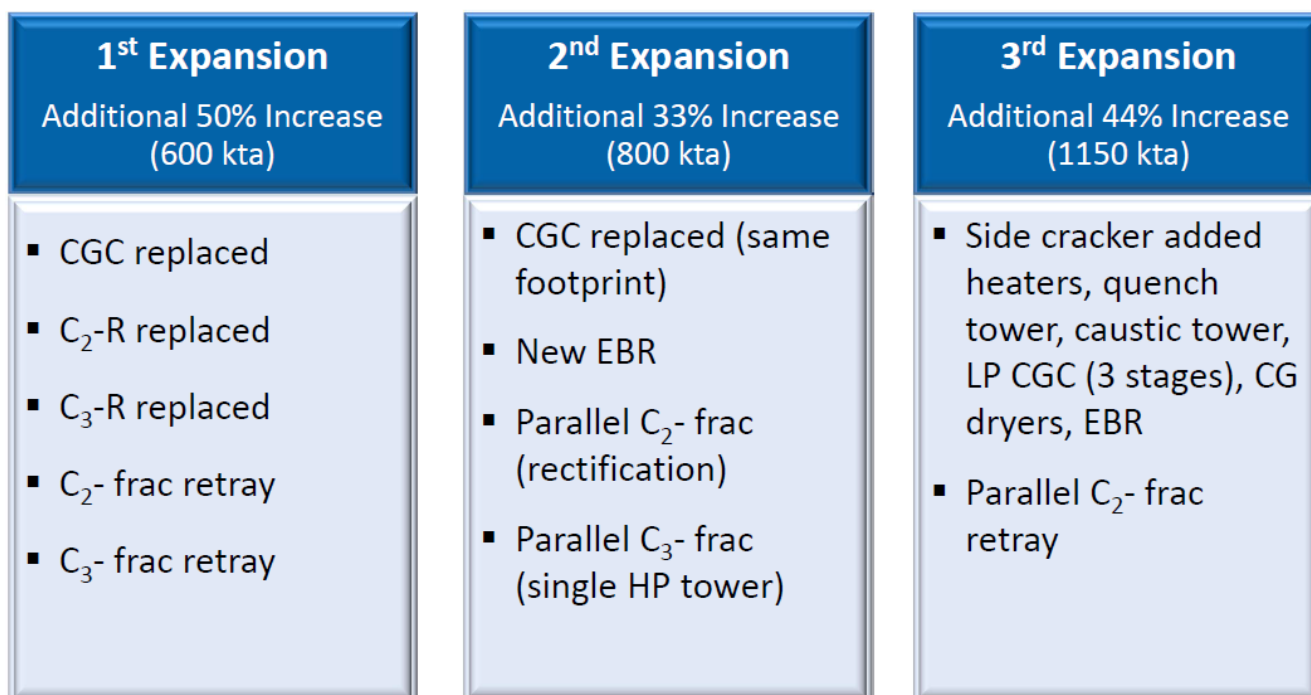
7.冷箱：(1). 增加冷箱、(2). 更換新冷箱

8.其他：只能靠增設而無法透過修改達到增加產量的設備

報告中以年產 40 萬噸乙烯之工廠為例子，年產 40 萬噸乙烯產量與四輕相當(四輕年產量 38 萬噸乙烯)，其工廠經歷了幾次擴產如下圖十一，第一次擴產為增加 50% 產能至年產 60 萬噸乙烯，工廠作以下調整：新增裂解爐、更換裂解氣體壓縮機、更換乙烯冷媒壓縮機、更換丙烯冷媒壓縮機、乙烯精餾塔更換高效率塔盤、丙烯精餾塔更換高效率塔盤。第二次擴產再由年產 60 萬噸增加 33% 至年產 80 萬噸乙烯，此次同樣新增裂解爐、更換裂解氣體壓縮機、更換為雙冷媒壓縮機、新增並聯操作之乙烯精餾塔、新增並聯操作之高壓丙烯精餾塔。第三次擴產再由年產 80 萬噸增加 44% 至年產 115 萬噸乙烯，此次新增側裂解工場(包含裂解爐、驟冷塔、鹼洗塔、低壓裂解氣體壓縮機、裂解氣體乾燥器、雙冷媒冷凍系統)、新增並聯操作之乙烯精餾塔。因此以此案列可作為四輕擴產之參考(實際情況仍需經由 CB&I 評估)。

## Multiple Capacity Increase

Original Plant Capacity = 400 kta



圖十一 年產 40 噸乙烯廠產能擴產案列

#### (四). 進料選擇之經驗法則

此部分為選擇不同進料來達到最大的利益，下表一為目前石化原料及產品之價格，以年產 100 萬噸乙烯之輕油裂解工廠為例，若將 1/3 乙烯產量之原料由石油腦分別更換為：乙烷、丙烷、丁烷、異丁烷、製氣油，根據由下表二之質能平衡表可計算出其毛利率之變化。因此可看出以現有原料價格而言，亞太地區增加乙烷進料可增加 3% 毛利率、增加丙烷進料會減少 3% 毛利率、增加正丁烷及異丁烷進料可增加 10% 及 41% 之毛利率。

表一 石化原料及產品價格

	美國地區價格 (美元/噸)	其他地區價格 (美元/噸)
石油腦	590	590
乙烷	170	340
丙烷	309	605
丁烷	340	415
製氣油	530	530
乙烯	965	1270
丙烯	1145	1070
丁二烯	1090	1090
苯	875	875

表二 質能平衡表

	純石油腦	石油腦 乙烷	石油腦 丙烷	石油腦 丁烷	石油腦 異丁烷	石油腦 製氣油
石油腦	2.77	2.03	2.03	1.86	1.82	2.29
其他進料	0.00	0.34	0.61	0.77	2.01	0.63
乙烯	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
丙烯	0.43	0.32	0.40	0.41	0.72	0.46
丁二烯	0.15	0.12	0.13	0.13	0.15	0.16
苯	0.21	0.16	0.18	0.16	0.22	0.20
毛利率 (美國地區)	100%	121%	125%	128%	181%	104%
毛利率 (其他地區)	100%	103%	97%	110%	141%	103%

然而現有之輕油裂解工場若要達到增加進料彈性需要以下的些微修改及影響：

(1) 增加乙烷進料彈性

需要新控制閥、需新增進料預熱之旁路、循環乙烷之蒸發系統需修改、裂解氣之分子量降低造成裂解氣體壓縮機轉速需增加、乙烯精餾塔負荷增加 7%、丙烯冷凍系統負荷增加 3%、氫氣流量增加 40%。

(2) 增加丙烷進料彈性

需要新控制閥、需新增進料預熱之旁路、循環丙烷之蒸發系統需修改、裂解氣體壓縮機負荷增加 3%、甲烷尾氣流量增加 8%、最冷段的冷媒需求增加 8%。

(3) 增加丁烷進料彈性

需要新控制閥、需新增進料預熱之旁路、需要 C4 蒸發系統、甲烷尾氣增加 4%、最冷段的冷媒需求增加 3%、C4 產量增加 13%。

(4) 增加異丁烷進料彈性(需有較大修改)

需要新控制閥、進料預熱器須新增旁路、需要 C4 蒸發系統、去丙烷塔負荷增加 100%、丙烯精餾塔負荷增加 70%、去甲烷塔負荷增加 35%、最冷段的冷媒需求增加 70%

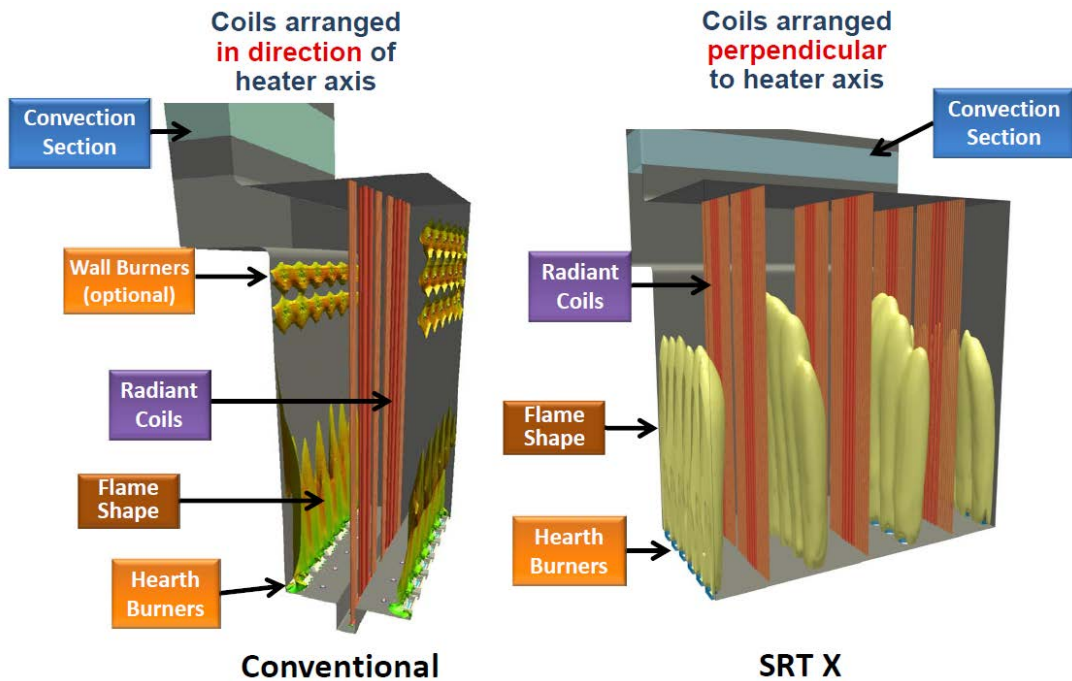
(5) 增加製氣油進料彈性(需修改裂解爐)

需修改對流區、需修改 TLE、需要個別的驟冷罐(COP 可能會上升)、裂解爐需增加、循環丙烷增加 70%、裂解工場負荷增加 8%、燃料油增加 70%、汽油增加 10%、去丙烷塔負荷增加 10%、去丁烷塔負荷增加 15%。

因此工廠若欲增加其進料之彈性，需評估是否修改製程，並評估其效益是否值得。

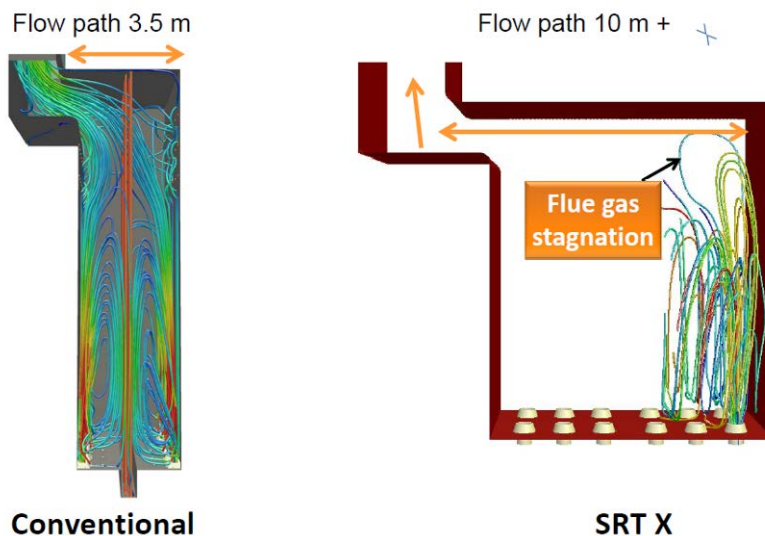
### (五). 新型裂解爐 SRT X

下圖十二為一般的裂解爐與新型的 SRT X 裂解爐比較，傳統的爐管排列為與裂解爐方向平行而 SRT X 之爐管排列則為與裂解爐方向垂直，新型的 SRT X 裂解爐可縮小爐膛尺寸並減少配管及儀器安裝，且具有能耗較低及乙烯、丙烯產率提高之優點。



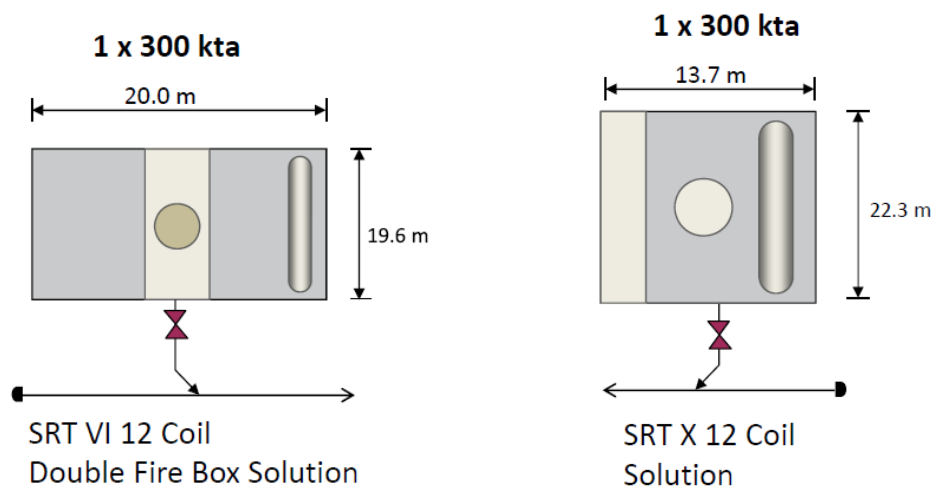
圖十二 SRT X 裂解爐

傳統裂解爐燃氣流動路徑只 3.5 米而 SRT X 為 10 米以上，因此 SRT X 之能耗較低。



圖十三 燃料氣流動圖

以同樣年產 30 萬噸乙烯之裂解爐比較如下圖，SRT VI 裂解爐長為 20 米較 SRT X 長為 13.7 米佔地大，因此 SRT X 裂解爐可減少 22% 的工場面積、減少 32% 管架長度及減少 10% 建造費用。



**SRT X**

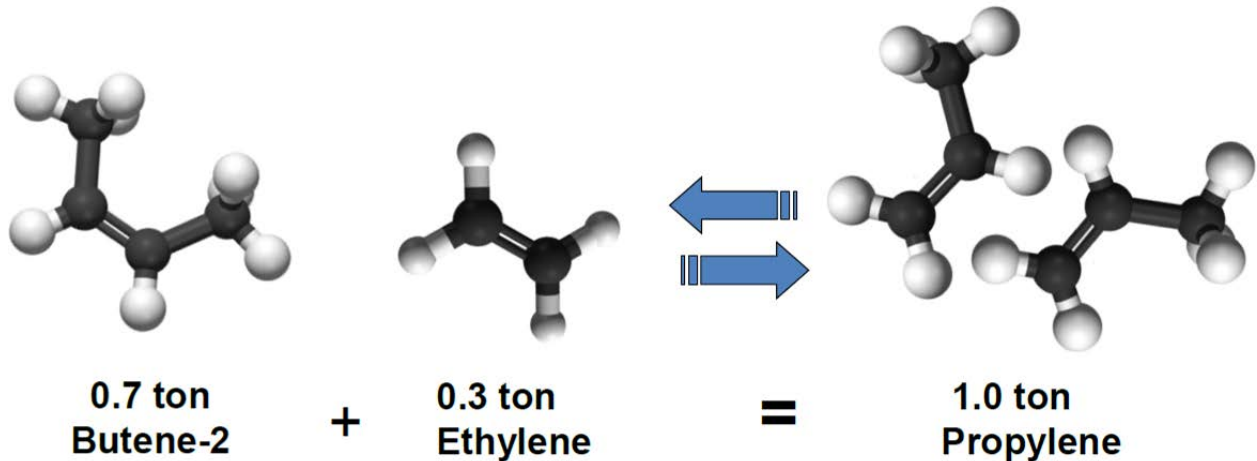
- 22% plot reduction
- 32% pipe rack length decrease
- 10% TIC savings

圖十四 SRT VI 與 SRT X 空間比較



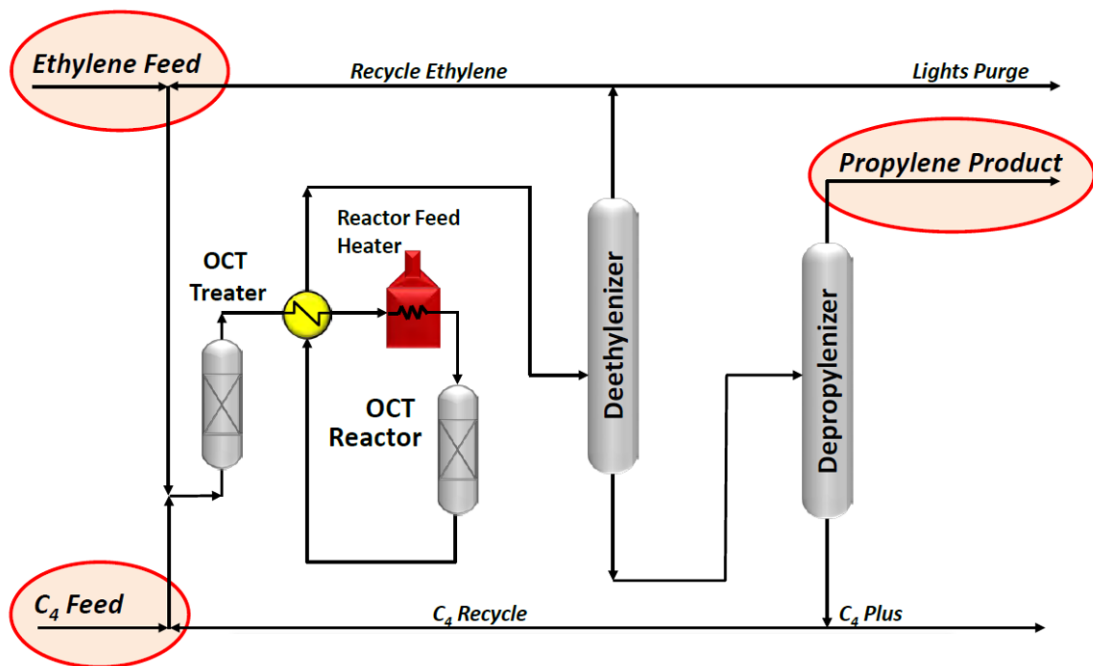
## (六). 逆向烯烴轉化(Reverse OCT)

烯烴轉化反應主要是以 2-丁烯與乙烯反應產生丙烯(如圖十五 烯烴轉化反應式所示, 0.7 噸之 2-丁烯與 0.3 噸之乙烯可反應出 1 噸之丙烯), 烯烴轉化反應為可逆反應, 因此逆向烯烴轉化便是利用其為可逆反應之原理, 將進料改為丙烯而轉為產生乙烯及 2-丁烯, 反應之溫度、壓力及觸媒皆無須改變, 惟因進料改為丙烯及產品為乙烯及 2-丁烯, 因此設備及管線須些微修改, 以下將詳細說明。



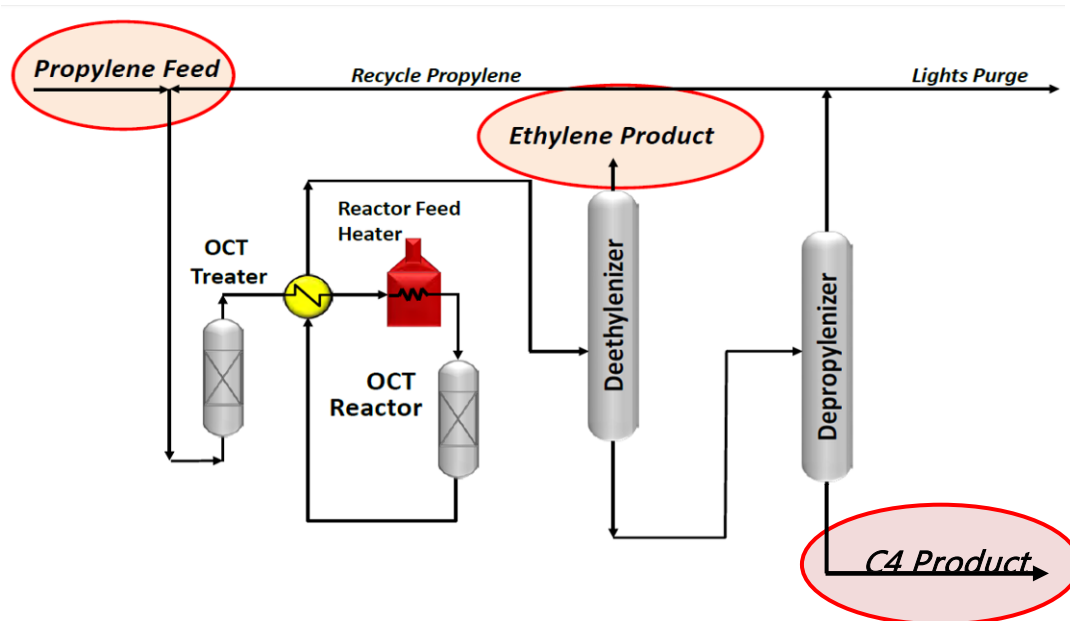
圖十五 烯烴轉化反應式

下圖為烯烴轉化的簡易流程圖, 由圖中可看到進料為乙烯及 C<sub>4</sub>, 進料經由進料處理器將毒化物、硫分、水分等去除後, 以加熱爐加熱至反應溫度後進入反應器產生丙烯, 反應器流出物進入去乙烯塔將未反應的乙烯由塔頂去除, 塔底流出物進入去丙烯塔將未反應之 C<sub>4</sub> 去除, 塔頂則為丙烯產品。



圖十六 烯烴轉化簡易流程圖

下圖十七為逆向烯烴轉化之簡易流程圖，由圖中可看出進料改為丙烯，進料同樣經由進料處理器將毒化物、硫分、水分等去除，以加熱爐加熱至相同之反應溫度後進入反應器反應(使用原反應器)，反應器流出物進入去乙烯塔將乙烯產品自塔頂取出，塔底流出物進入去丙烯塔將未反應之丙烯自塔頂去除，塔底則為 C4 產品。

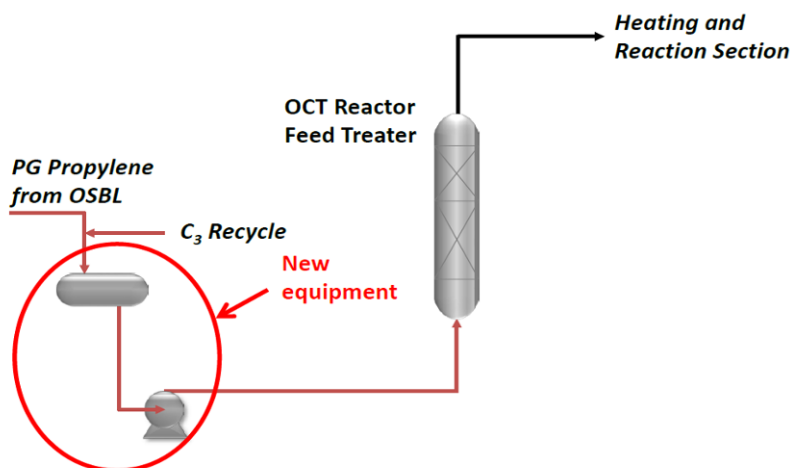


圖十七 逆向烯烴轉化流程圖

由上圖十六及圖十七可得知欲將烯烴轉化改為逆向烯烴轉化製程上需要部分修改，以下將就各個區塊討論：

(1) 進料：

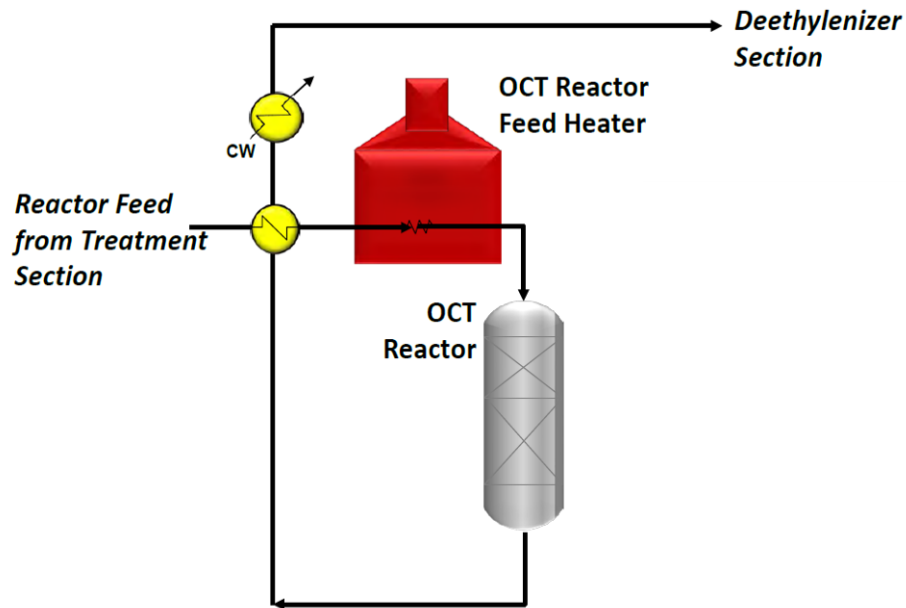
如下圖十八所示，進料原為乙烯及 2-丁烯，需修改為可進料丙烯，因此需要新增丙烯進料緩衝槽及進料泵浦，進料處理器及再生系統可以沿用原有之系統。



圖十八 逆向烯烴轉化進料區塊

(2) 加熱爐及反應器：

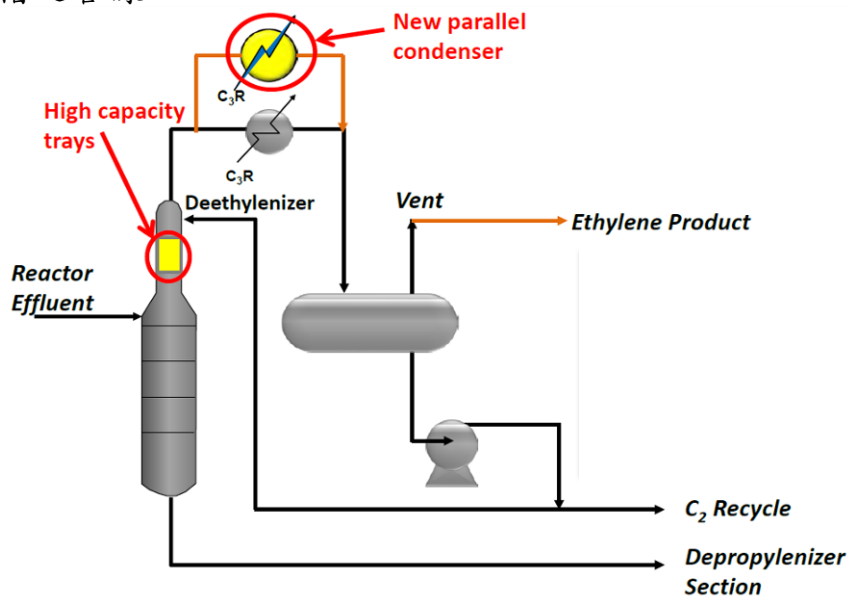
如下圖十九所示，由於逆向烯烴轉化之溫度與烯烴轉化之溫度相同，且觸媒也無需更換，因此加熱爐及反應器無需修改。



圖十九 逆向烯烴轉化反應器區塊

(3) 去乙烯塔：

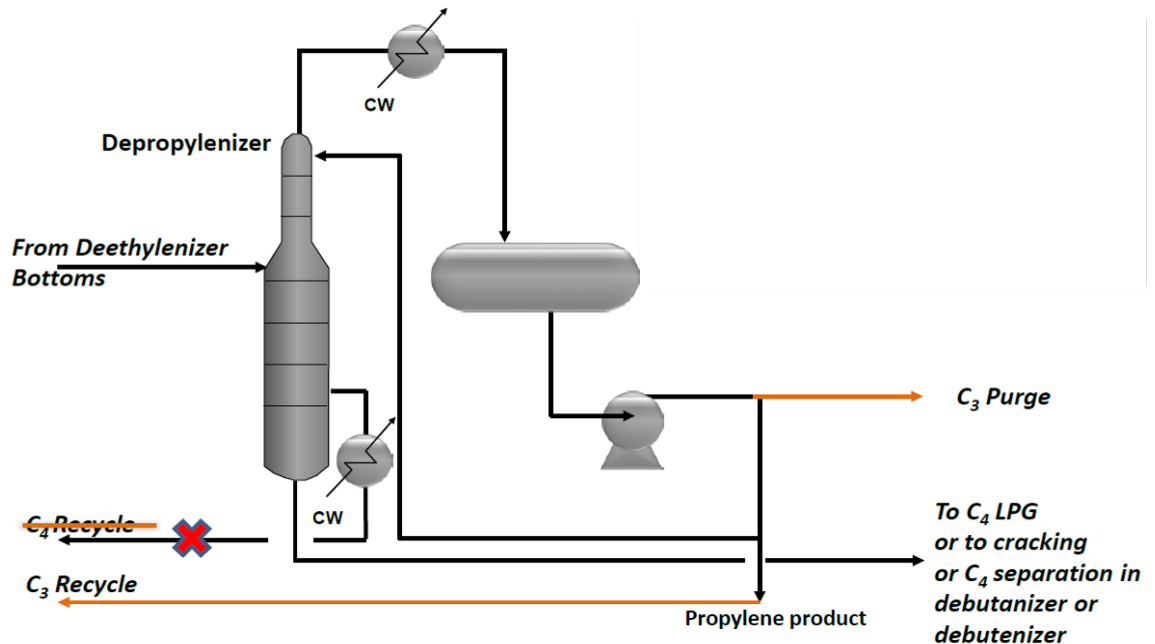
如下圖二十所示，去乙烯塔因產品改為乙烯故塔頂負荷增加，因此塔盤需更換為高效率塔盤且塔頂冷凝器也須新增一並聯操作之塔頂冷凝器，另外因為去乙烯塔乙烯原為循環乙烯，故須新增乙烯往儲槽之管線。



圖二十 逆向烯烴轉化去乙烯塔區塊

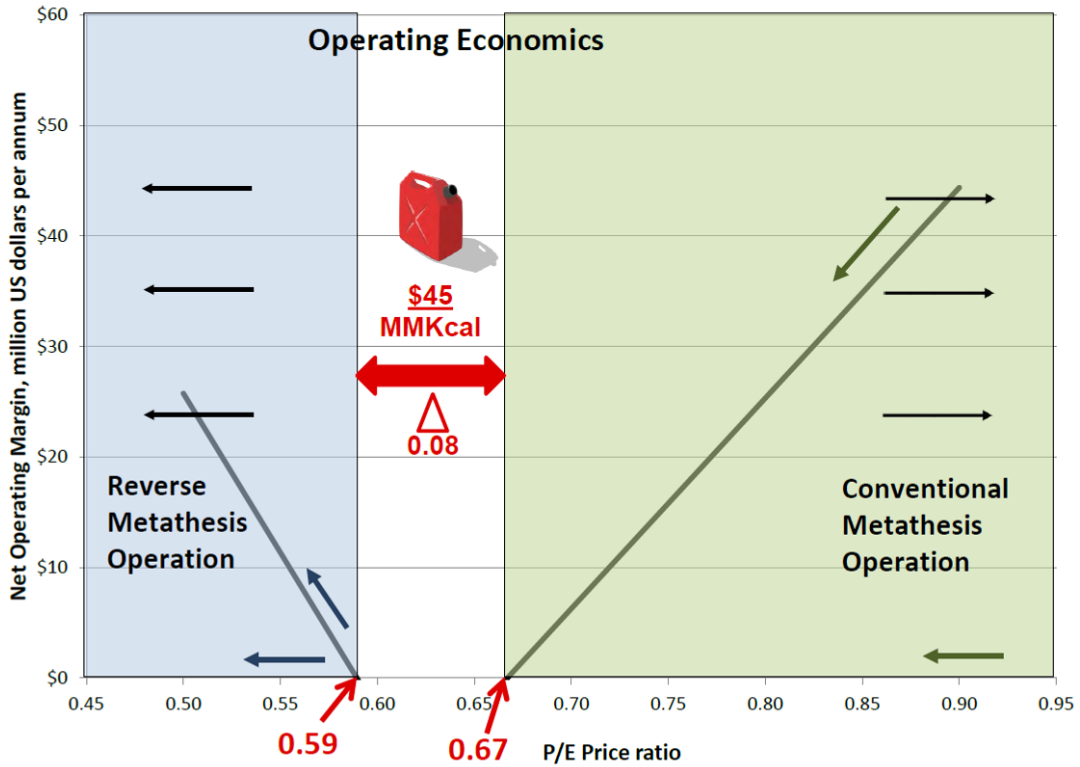
#### (4) 去丙烯塔：

如下圖二十一所示去丙烯塔系統之設備可沿用但管線需要修改，去丙烯塔之塔頂原為丙烯產品，逆向烯烴轉化時去丙烯塔頂部丙烯則為循環丙烯，因此需修改管線使去丙烯塔塔頂未反應完之丙烯可重回反應器反應。去丙烯塔塔底原為循環 C4，將未反應完之 C4 重回反應器反應，逆向烯烴轉化時去丙烯塔塔底則為 C4 產品，因此需修改管線使 C4 產品可送至儲槽。

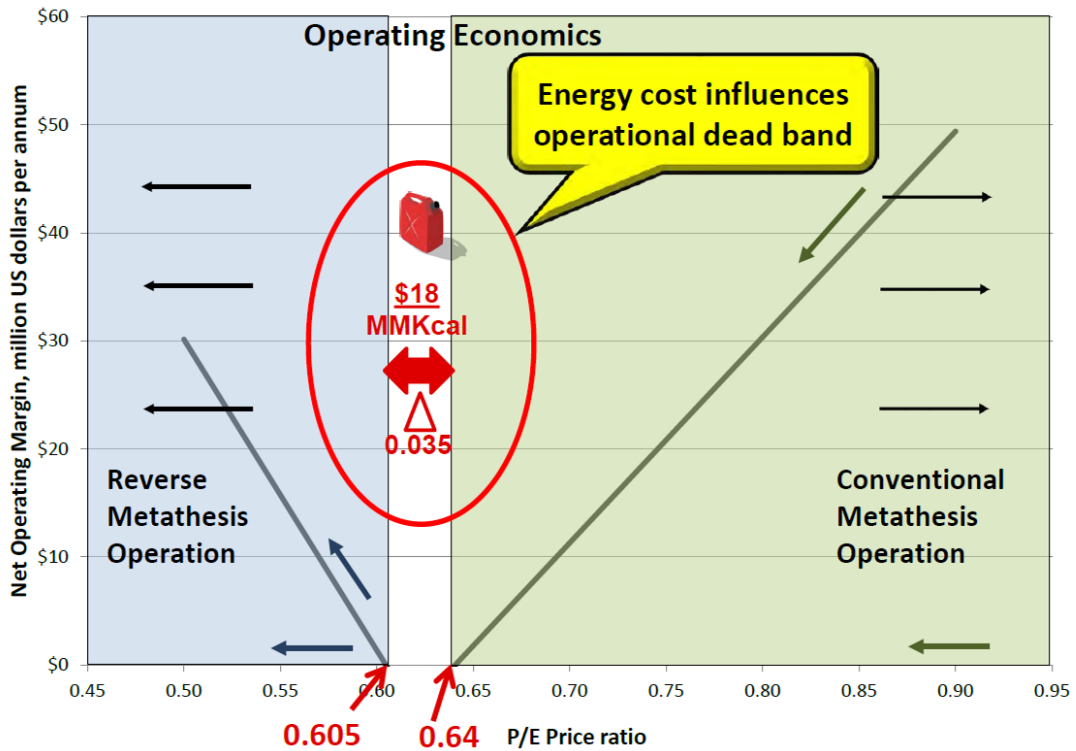


圖二十一 逆向烯烴轉化去丙烯塔區塊

就經濟效益而言報告中也有探討操作烯烴轉化有利或是逆向烯烴轉化有利，如下圖二十二中所示橫坐標為 P/E 價格比，P/E 價格比越大即為丙烯價格較高故操作烯烴轉化有利，反之 P/E 價格比越小即為乙烯價格較高故為操作逆向烯烴轉化有利，以能耗為 \$45/MMKcal 為例，P/E 價格比於 0.59 至 0.67 間為無作用區(Deadband)，無作用區無論操作烯烴轉化或逆向烯烴轉化皆無經濟效益，P/E 價格比大於 0.67 後操作烯烴轉化有利，P/E 價格比小於 0.59 後操作逆向烯烴轉化有利。無作用區受之大小與受到能耗影響，如下圖二十三所示當能耗降為 \$18/MMKcal 時，無作用區縮小為 P/E 價格比 0.605 至 0.64 間，即為 P/E 價格比大於 0.64 後操作烯烴轉化有利，P/E 價格比小於 0.605 後操作逆向烯烴轉化有利。

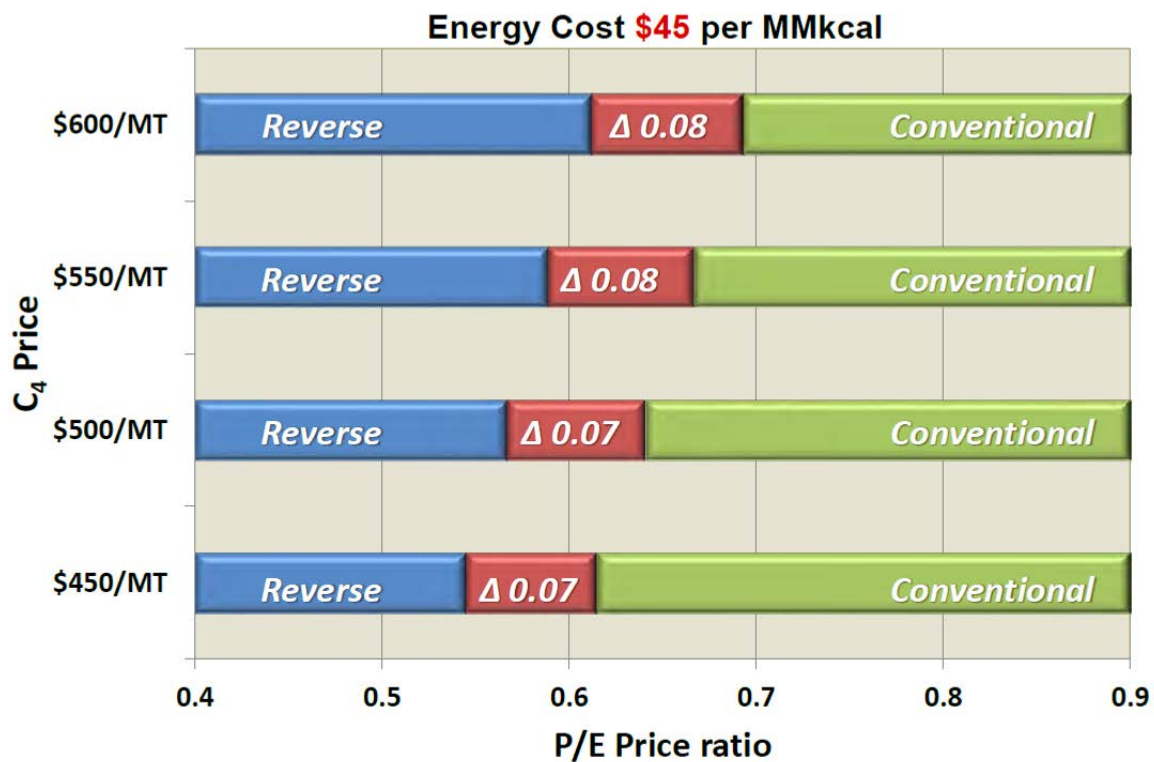


圖二十二 能耗及 P/E 價格比對於烯烴轉化之操作效益



圖二十三 能耗及 P/E 價格比對於烯烴轉化之操作效益

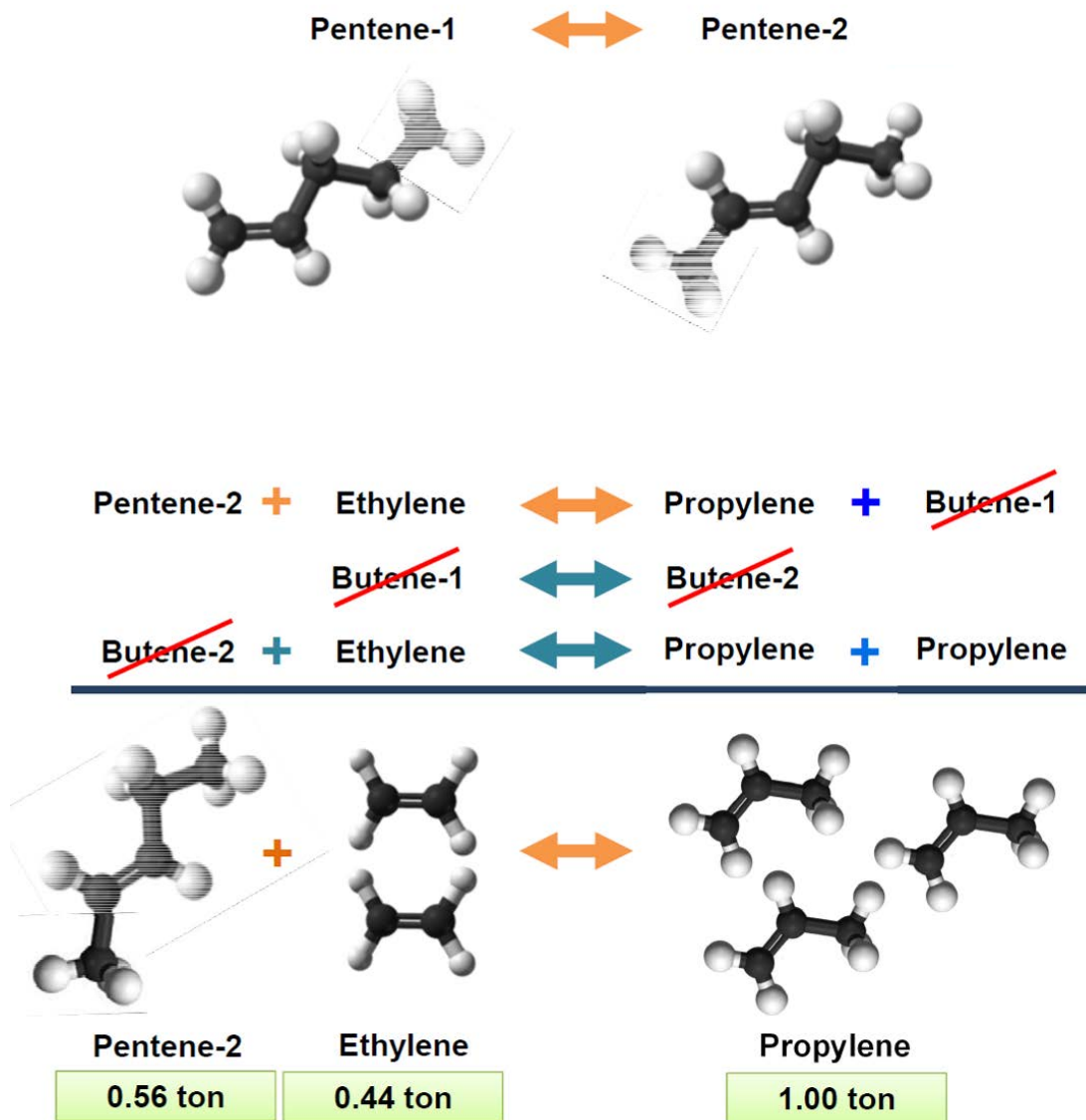
除了考慮能耗及 P/E 價格比外，另外也需考慮 C4 之價格，如下圖二十四所示，C4 價格越低則 P/E 價格比需越低(即為乙烯價格越高)則逆向烯烴轉化才有經濟效益，反之 C4 價格越高時，P/E 價格比需越高(即丙烯價格越高)操作烯烴轉化才有經濟效益。



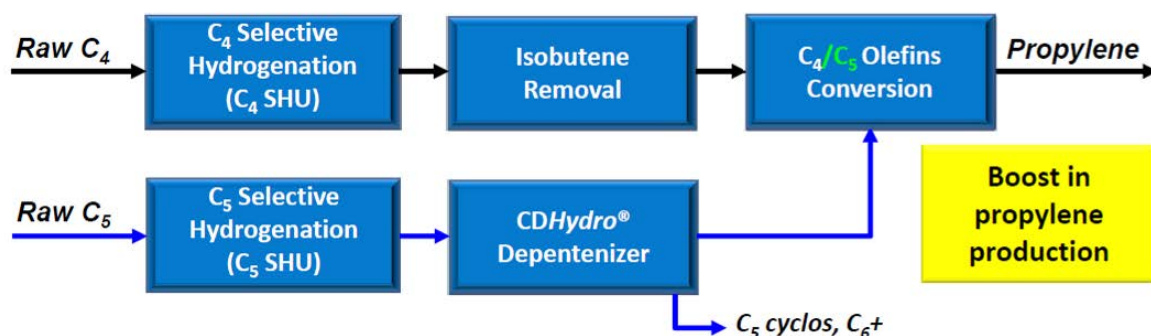
圖二十四 C4 價格對操作策略之影響

### (七). C5 烯烴轉化(C5 OCT)

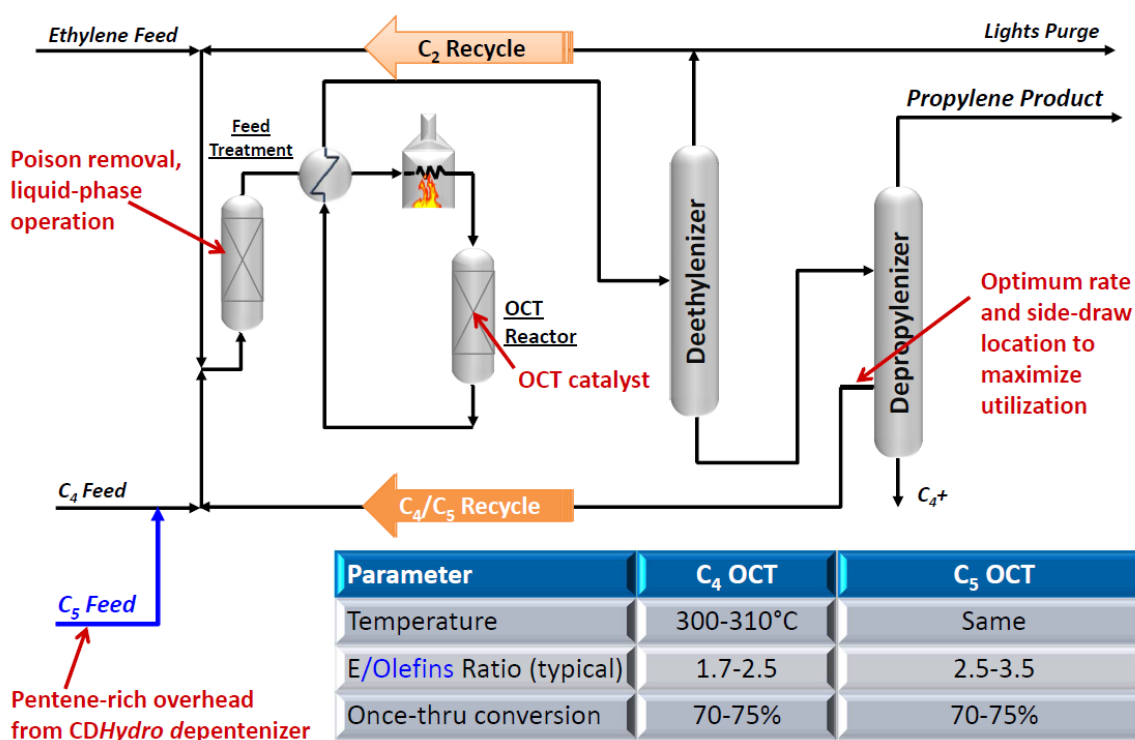
傳統烯烴轉化反應為 2-丁烯與乙烯反應成丙烯，而 C5 烯烴轉化則為 2-戊烯與乙烯反應成丙烯，反應式如下所示：1-戊烯異構化為 2-戊烯，2-戊烯與乙烯反應成丙烯及 1-丁烯，1-丁烯可再異構化為 2-丁烯，而 2-丁烯與乙烯再反應為丙烯，因此 0.56 噸之 2-戊烯與 0.44 噸之乙烯可生成 1 噸之丙烯。



下圖為 C4 及 C5 OCT 之簡易流程圖，粗 C5 經過選擇性氫化反應後進入去戊烯塔分離出 2-戊烯，接著送往烯烴轉化裝置反應，因此若欲增加 C5 進料之彈性則須新增去戊烯塔以分離出 2-戊烯。



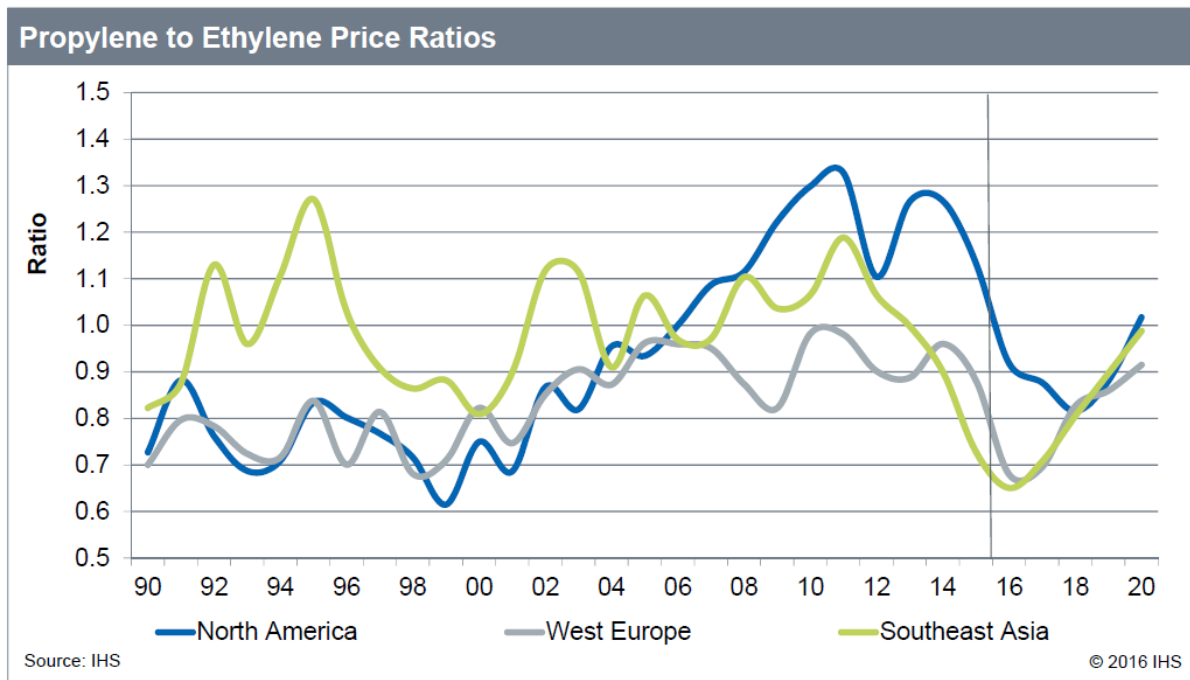
下圖為簡易設備圖，由圖可看出增加 C5 進料後其觸媒及反應溫度仍等同 C4 進料之條件，惟去丙烯塔底部之側提位置可能需改變以側取出未反應完之循環 C4/C5。





#### 四、建議(可立即應用於現有工場)

1. 目前丙烯/乙烯之價格為0.6~0.7之間，以逆向烯烴轉化將丙烯產乙烯應是有利的，新三輕之烯烴轉化為年產6萬噸丙烯，若改為逆向烯烴轉化則可進料丙烯12萬噸/年，生產乙烯3.6萬噸/年及C4 8.4萬噸/年，若未來修改可逆向烯烴轉化將可提高新三輕的操作彈性。



2. 本次年會除了CB&I公司發表其技術之外，也有許多廠商於會場展示其新技術，其中JOHN ZINK於會場展示了新的Flare Tip可提升Flare無煙的排放量，目前北區廢氣燃燒塔最大之處理量為1640噸/小時，而其無煙排放量為164噸/小時，JOHN ZINK稱其新型的Flare Tip可使現有之無煙排放量最大可提升40%，如下圖所示，因此可考慮更換其新型Flare Tip以提升現有之無煙排放量。

#### Increased Smokeless Capacity

Innovative primary steam/air eduction and secondary air entrainment techniques result in an increased smokeless capacity of up to 40% for a given steam flow rate.





圖二十二 新型Flare Tip

3. 另外會場中HALDOR TOPSOE公司展示其爐子管理系統(Topsoe Furnace Manager)，可連續監控爐子狀態(爐管、燃嘴，爐膛...等)，以圖像方式顯示於控制室，目前裂解爐爐管狀態往往是靠現場操作員前往現場掀開窺火孔窺視爐管，再根據經驗判斷爐管狀態，而HALDOR TOPSOE公司之爐子管理系統則可避免人員靠近高溫之爐子且能於控制室顯示爐管溫度分布(以圖像顯示)，若裂解爐能裝設此套系統將可提升工廠安全及操作便利性。