

出國報告（出國類別：訪問）

**參訪 Alfa Laval Packinox 原廠總部及  
工廠並參與板式換熱器最終組裝及水  
壓測試**

服務機關：台灣中油桃園煉油廠

姓名職稱：黃守平/第二媒組 工場長

派赴國家：法國、義大利

出國期間：113/6/8~113/6/19

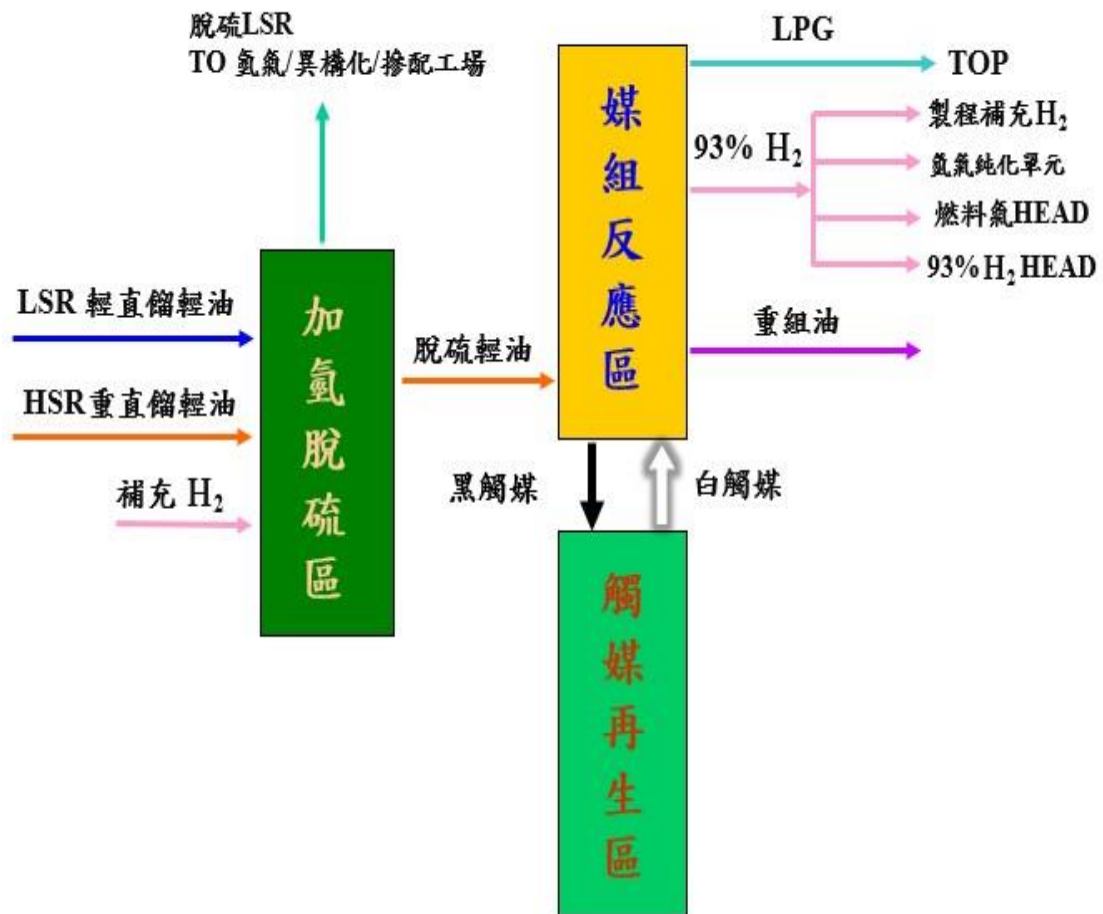
報告日期：113/7/16

## 摘要

第二媒組工場的PACKINOX板式換熱器E-201的溫差設計上限為30°C及壓差設計上限為0.8kg/cm<sup>2</sup>，目前使用的E-201的溫差已超過設計值上限，且壓差也超過上限，必須更新，因此第二媒組工場規劃於114年大修時更換新的E-201板式換熱器。原廠 Alfa Laval Packinox進行全焊板式熱交換器最終組裝與水壓測試，為確保符合製作要求與品質，前往原廠參與工廠測試，此次將參訪負責最終組裝與水壓測試的義大利分包Carpenteria Co工廠，以及位於法國的Chalon Sur Saône工廠了解製造過程和進行ITP文件審核，並到巴黎總部與原廠人員互相交流相關資訊。

第二媒組工場設計煉量為 25,000BPSD，處理(166m<sup>3</sup>/hr)的脫硫重質石油腦(HSR)及 40 m<sup>3</sup>/hr 的輕質石油腦(LSR)，經重組反應後產品為高辛烷值重組汽油、LPG 及氫氣。其中 E201 板式換熱器之主要功能為將媒組反應器進料(脫硫油)，藉由反應流出物的熱能，將其提溫至進加熱爐及反應器所需溫度(約 435~475°C)，以降低加熱爐提溫所耗費燃料氣用量，節省了大量的能源，是第二媒組工場的關鍵性設備，換熱器內漏或堵塞將影響第二媒組工場產品的產出。

中油各煉廠的煉製結構不同，以桃廠而言第二媒組工場為桃廠重要的氫氣產出工場，全煉量時可達 50KS 以上，可支援桃廠的二氫和三氫工場，滿足桃廠的氫氣需求，重組油產出佔摻配比率為 40%，影響北部汽油供應的穩定，和南部大林廠不同的是，大林廠有五媒和六媒可互相替代，互為支援。桃廠雖有第一媒組工場可替代生產重組油，但產出氫氣之純度和產量都不足於支援桃廠的氫氣需求，且其產出的重組油辛烷值較低，且苯含量過高。因此第二媒組工場的操作穩定性，將關係到整個桃廠氫氣需求量供給需求及北部油品市場的供應。



圖一、第二媒組工場生產流程圖

# 參訪 Alfa Laval Packinox 原廠總部及工廠並參與板式換熱器最終組裝及水壓測試

## 目錄

摘要.....	1
目錄.....	3
壹、目的.....	4
貳、過程.....	5
參、具體成效.....	24
肆、心得.....	24
伍、建議.....	29

## 壹、目的

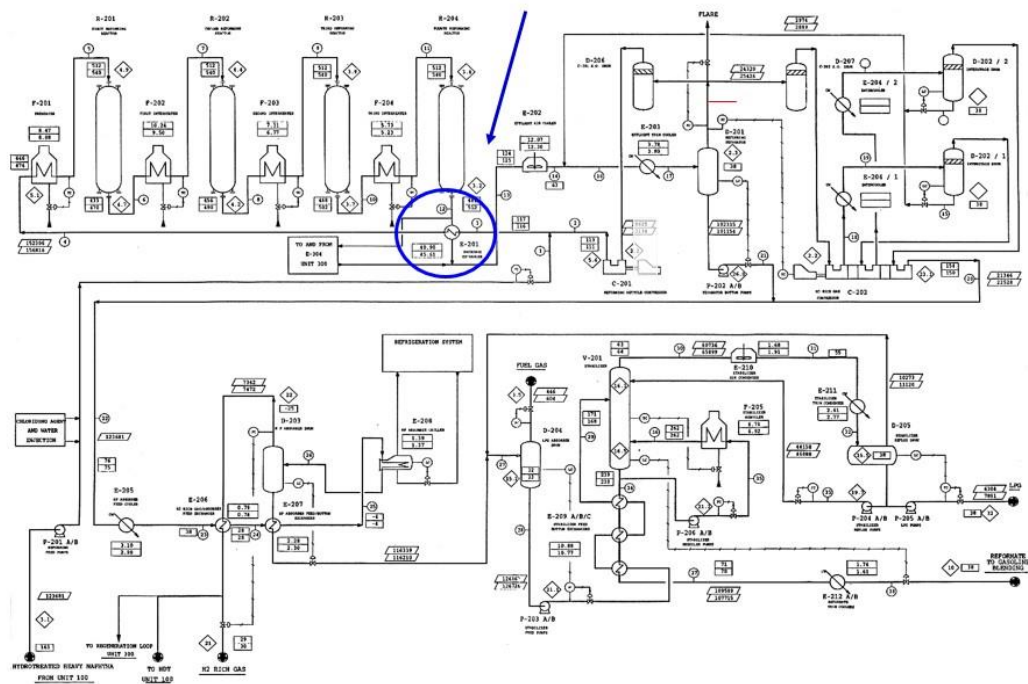
第二煤組工場舊有Packinox板式換熱器E-201，曾因銨鹽與觸媒粉堵塞而影響煉量，且因內漏使辛烷值損失約5~6個RON，為補償辛烷值及熱能損失，需大幅增加燃料使用量以提升溫度來促進反應，但仍不易提升辛烷值，工場重組油產量無法提高(僅能70~80%煉量)，且增加了觸媒積碳率，與降低了觸媒使用壽命及活性，進而影響桃廠氫氣的調度及台灣北部98汽油的供給。曾為了解決PACKINOX破漏及堵塞問題，調用大林廠第六煤組工場汰換下來的E-6301板式換熱器，但上述情況並未改善，且更加惡化。板式換熱器使用約10年後因積污問題就需清洗保養或更新，否則會造成破漏的後續問題。

## 影響效益

1. 煉量下降影響重組油的摻配需求，
2. RON下降需補MTBE提高辛烷值，提高配油成本。
3. 換熱器換熱不良，無法將熱源回收，影響桃廠節能減碳效益增加燃料氣耗用。

## 第二煤組工場重組反應區

### E-201板式換熱器



圖二、重組反應流程示意圖

近年來板式換熱器因溫差及壓差都昇高的狀況下，為了使第二媒組工場能穩定的持續操作運轉，防止過往所經歷的堵塞及內漏問題再次發生，影響二媒的煉量及高辛烷值的汽油產出，將於下次大修期間，更換新的 Packinox 板式換熱器，如此可增加換熱效率，可以將進料的 HSR 換熱提溫更接近重組反應溫度，節約加熱爐所需的燃料使用，並降低風扇的負荷，且換熱器差壓亦會降低，讓壓縮機能維持穩定正常運轉。

為了確保新購的板式換熱器能正常運作，並在遭遇異常狀況時能夠予以排除，維持製程穩定生產操作，因此應原廠邀約參與換熱器的試壓過程，藉以瞭解其內部構件、組裝、測試方法程序及測試情況。

## 貳、過程

起迄日期	天數	到達地點	詳細工作內容
113年6月8日(六)	1	台灣=>米蘭	從桃園機場搭機前往義大利米蘭機場(MXP)。(飛機上過夜)
113年6月9日(日)	1	米蘭=>佛羅倫斯=>馬薩	從米蘭機場坐火車到佛羅倫斯，再由原廠業務開車接送到馬薩。(住義大利 Massa 馬薩)
113年6月10日(一)	1	馬薩	於義大利壓力容器商 Carpenteria Corsi Srl 工廠進行建壓持壓測試，ITP 文件審核。(住義大利 Massa 馬薩)
113年6月11日(二)	1	馬薩	於義大利工廠進行 ITP 文件審核，洩漏測試 leak test。(住義大利 Massa 馬薩)
113年6月12日(三)	1	馬薩=>佛羅倫斯=>巴黎=>沙隆	由原廠業務開車從馬薩接送至佛羅倫斯機場(FLR)搭機到巴黎機場(CDG)，再轉火車到沙隆。(住法國 Chalon 沙隆)

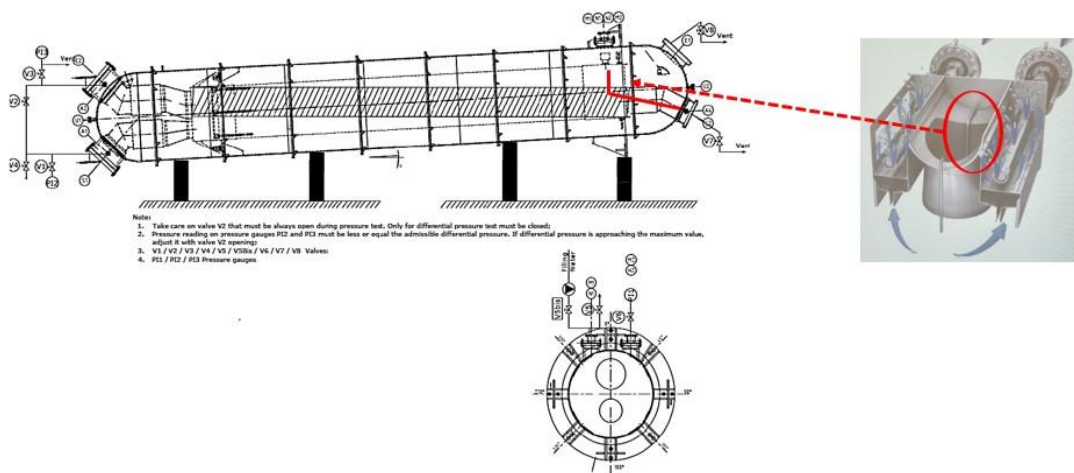
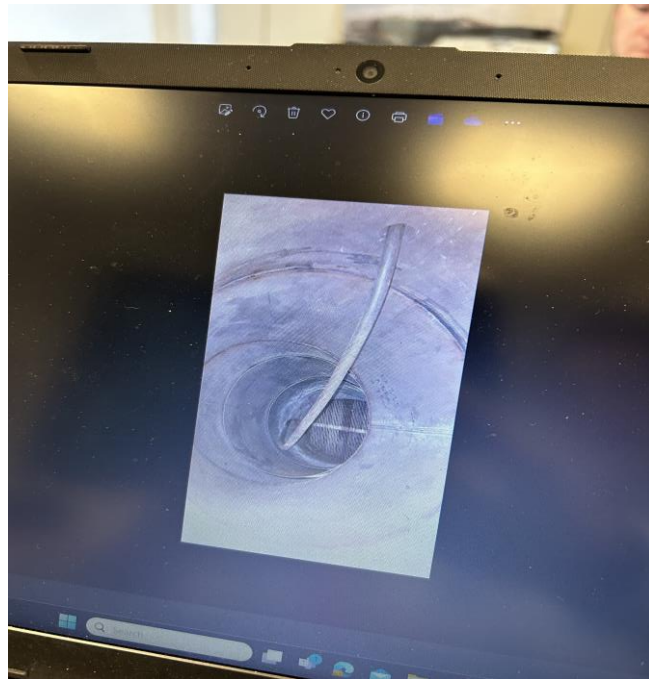
113年6月13日(四)	1	沙隆	至法國 Packinox 工廠 Chalon-sur-Saône 進行 ITP 文件審核及工廠參訪。(住法國 Chalon 沙隆)
113年6月14日(五)	1	沙隆=>巴黎	自法國工廠搭火車至法國巴黎。(住法國 Paris 巴黎)
113年6月15、16日 (六、日)	2	巴黎	週末假日。(住法國 Paris 巴黎)
113年6月17日(一)	1	巴黎	至法國 Packinox 總部辦公室 Paris La Défense，進行公司簡介，產品介紹及相關資訊交流。(住法國 Paris 巴黎)
113年6月18日(二)	1	巴黎=>台灣	從巴黎機場(CDG)搭機返回台灣(飛機上過夜)
113年6月19日(三)	1	台灣	抵台
合計	12		

### Carpenteria Corsi Srl 工廠

板式換熱器的板束從原廠位於法國沙隆的 Chalon sur Saône 工廠製作完成後，透過陸運來到義大利馬薩的 Carpenteria Corsi Srl 工廠(Chalon sur Saône 工廠也有和西班牙的壓力容器製造廠配合)，Carpenteria Corsi Srl 工廠是安裝及測試工廠，負責外部壓力容器的焊接，在焊後檢測確認合格及焊後熱處理後，將板束放入壓容內部組裝固定，然後開始進行水壓測試，通過後取得壓力容器執照並在設備上打上鋼印(根據客戶所提出的規範所要求，中油提出的是需取得 ASME 美國機械工程師學會認證)。

在馬薩參與板式換熱器試水壓的過程中，現場有品質管制經理及 ASME 的授權代理人，法國原廠也派有技術經理至義大利現場督導試壓過程，令人訝異的是此次原廠是採用水平橫躺式的試水壓(如圖四)和上次購買板式換熱器採用直立式試水壓並不相同，跟平時所接受到的訊息也不大一樣，原以為水平式試水壓

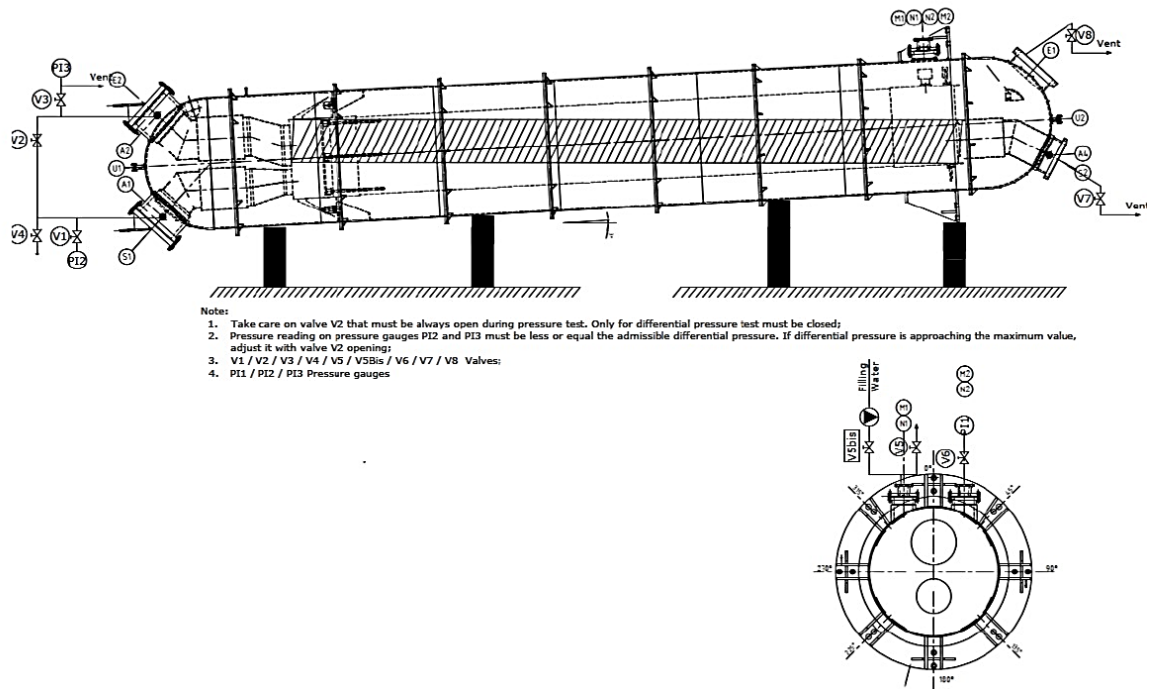
如有不慎容易將板式換熱器擠破，但參與過程才知道板式換熱器板束內部已設計有暗管可以排除空氣(如圖三)及低點排液管，不會因水壓測試而造成板束受損；另外由於立式試水壓需建造大型支撐結構物，浪費人力物力的成本，因此才採用水平式試水壓，不過原廠並不建議已在現場操作使用中的板式換熱器水平清洗，因為目前在現場操作使用的換熱器就是直立式，不需要浪費人力及物力把換熱器拆下放水平清洗，此外採用直立式清洗排氣和排液也較為方便。



圖三、板束排氣暗管的接管圖



## PACKINOX 試壓程序



圖四、板式換熱器水平試壓示意圖

- 壓力容器軸線應相對於水平面成  $3^\circ$  微傾斜（熱面朝下，冷面朝上）

### 一、測試條件

- 壓力測試期間的最低金屬溫度應至少為  $17^\circ\text{C}$  ( $30^\circ\text{F}$ )。
- 高於壓力測試時所有部件的脆性轉變溫度。
- 以水為介質：水（氯化物含量小於 5ppm）；水酸度  $6 \leq \text{PH} \leq 8$ 。

### 二、測試壓力

- 水平位置水壓試驗壓力  $P1 = 1.267 \text{ MPa.g}$  ( $12.92 \text{ kg/cm}^2.\text{g}$ )
- 進行檢查的測試壓力值  $P2 = 0.974 \text{ MPa.g}$  ( $9.93 \text{ kg/cm}^2.\text{g}$ )
- 最大壓差試驗壓力  $P3 = 0.686 \text{ MPa}$  ; ( $6.995 \text{ kg/cm}^2.\text{g}$ )

### 三、設備需求

- 補水幫浦及加壓幫浦。
- 阻閘（V1-V2-V3-V4-V5-V5bis-V6-V7-V8-V9）。
- 壓力表（PI1-PI2-PI3）；壓力表在試驗前應進行校準

- 2 吋的連接管

#### 四、開始注水

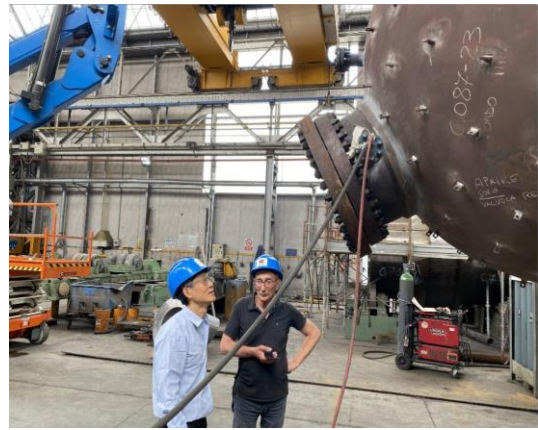
1. 使用適宜的盲法蘭/墊圈關閉所有排放口（排放口 N1/N2 除外）所有閥門必須關閉。
2. 打開 V2 及連接閥 V3、V8、V5、V5bis 填補水閥。
3. 注水由進料和容器回路槽阻閥 N1 開始補入水，並經由 2 吋的連接管，透過 A2 和 A1 連接至換熱器熱側的進口迴路。
4. 繼續從注水口 N 處注水，直到水從噴嘴 N1 和 V5 排放閥流出。
5. 關閉排放口 N1 並關閉 V5 排放口。
6. 當所有水都流完時才關閉 V5bis 進水閥。
7. 將增壓幫浦與閥門 V5bis 連接，打開閥門。
8. 持續以加壓幫浦完成注水。
9. V1/V3/V4/V5/V6/V7/V8 排氣閥必須打開，以排除內部殘留的所有空氣。
10. 當水從排氣孔流出後，關閉排氣阻閥 V1/V3/V4/V5/V6/V7/V8。
11. V5bis 阻閥留到最後再關，V2 閥必須全程維持打開。
12. 開始依設計標準進行持壓測試及差壓測試（ASME 31.3 的規定是 1.5 倍的设计壓力；ASME SEC.VIII DIV1 規定是 1.3 倍的最大操作壓力）。（如圖六）

#### 五、降壓及排水

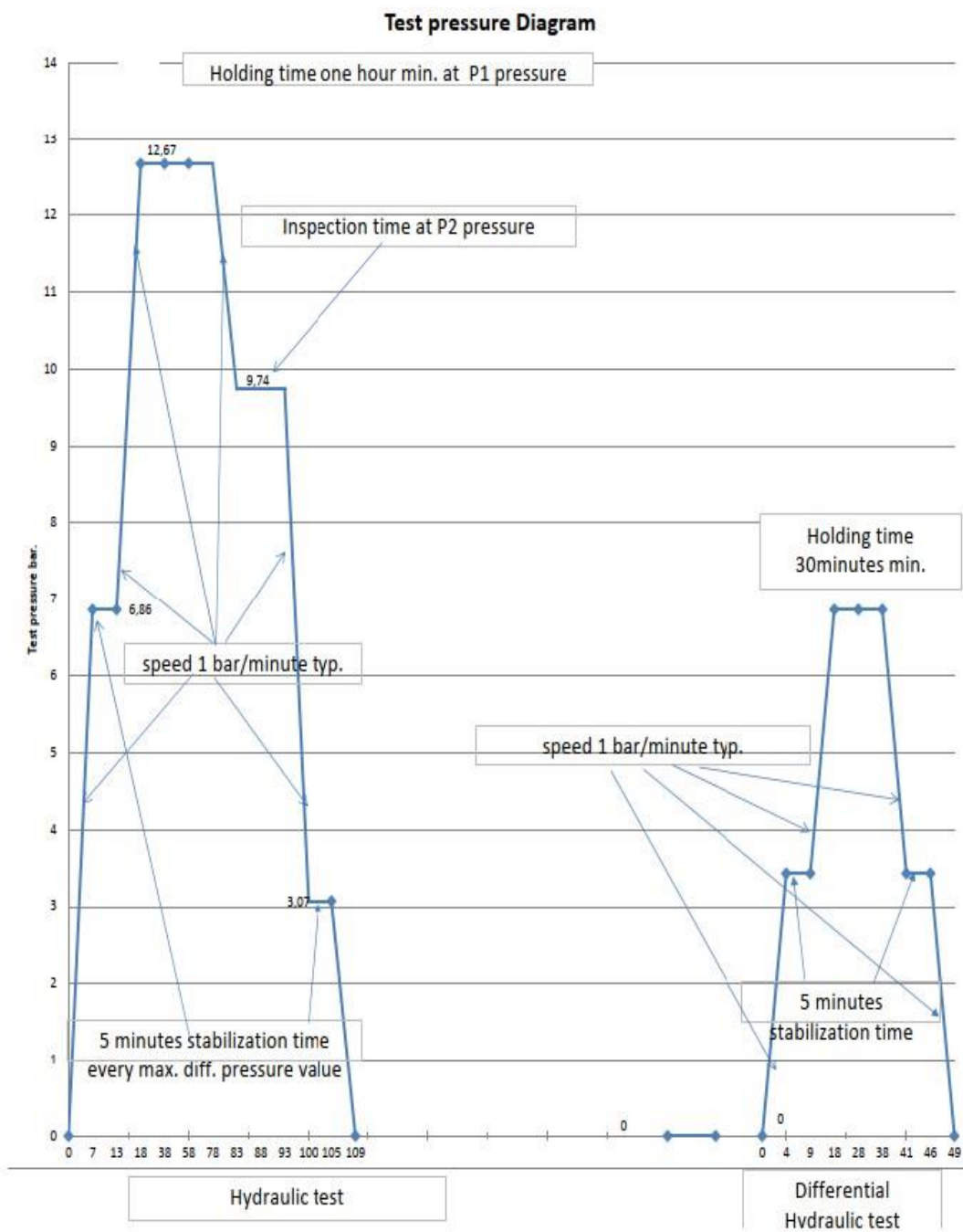
降壓過程需和緩按照程序，不論升壓或降壓，換熱器的熱側進口壓力永遠都要小於或等於進料側殼側的壓力，但最大差壓不可大於  $6.995 \text{ kg/cm}^2$ ，降壓速率每分鐘不可超過  $1.02 \text{ kg/cm}^2$ 。

#### 六、完全排空

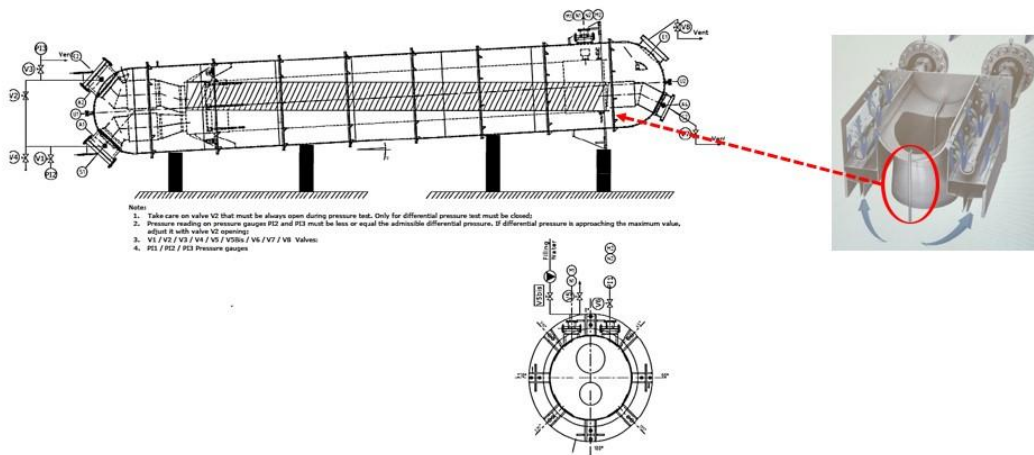
1. 為完全排空板束，需切開板束內專用排水管末端。
2. 排空後再重焊回排水管末端。（如圖七）
3. 水壓測試後應立即排空並乾燥容器。



圖五、板式換熱器現場持壓測試

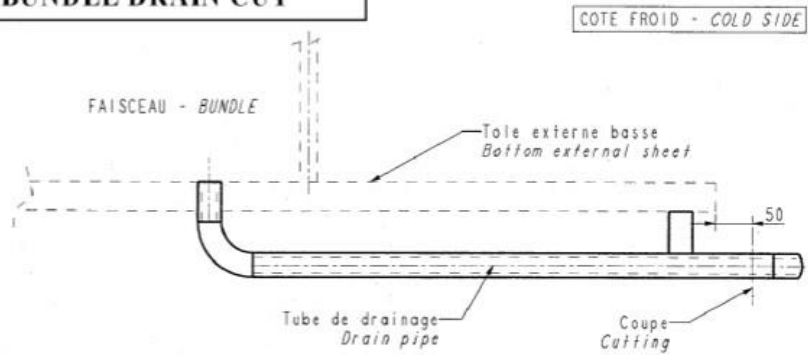


圖六、持壓測試及差壓測試

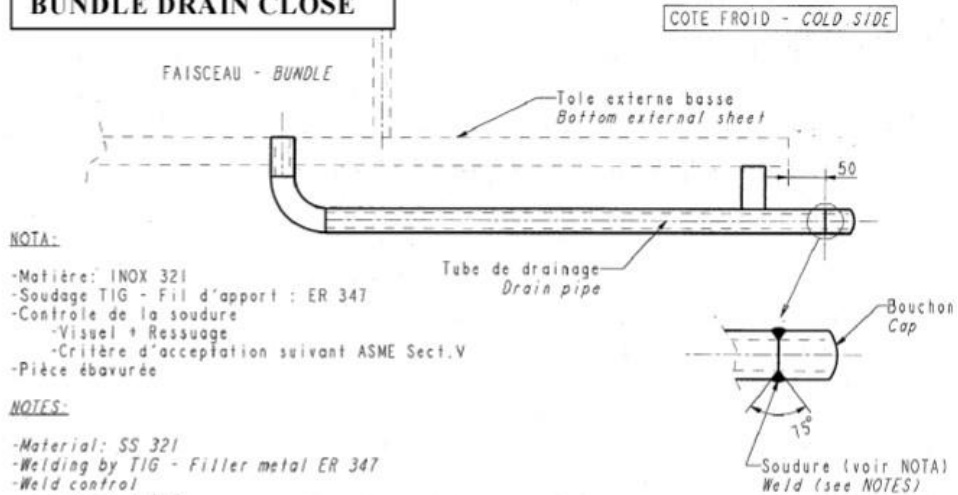


➤ ANNEX N°6: BUNDLE DRAIN PIPE

**BUNDLE DRAIN CUT**



**BUNDLE DRAIN CLOSE**



圖七、板束內專用排水管

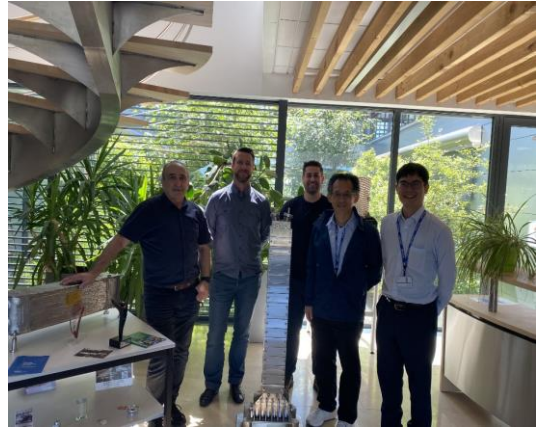


## Chalon sur Saône工廠

Chalon sur Saône 工廠分為兩廠，員工共有 1000 多人，其中一廠製作核電廠蒸氣相關設備，法國國內有 60-70 座核能反應器，因此有很大的內需市場，另一廠則生產 PACKINOX 板式換熱器的板束。兩個廠區出入管制嚴格，不允許拍照，進入廠區需穿戴安全帽及安全鞋。

板式換熱器的製造過程：

1. 備好材質 SS321 的鋼板當母材，裁切為長方型薄片，可分為高壓板(高壓側)、低壓板(低壓側)，分別製造，在其底部墊上兩種不同紋路的塑膠墊片當模具，模具上可放 1-2 片不銹鋼板材。
2. 不銹鋼板上方 30 公分處，平均放置炸藥並以電線連接妥但未接上電源(採通電引爆方式)。
3. 模具和板子間確定無任何雜質，模具和板子間抽真空(可固定板子和模具，也能確保無雜質)後，和炸藥一起垂直放入水中，炸藥是以通電方式引爆，引爆時可感受整體地面震動並伴隨巨大聲響，廠區人員告知，早期爆炸是設置在室外開放空間，雖然廠區設置在郊區，但爆炸聲響仍會傳至遠處，引起少數居民的抗議，因此後來才改為在室內，可減少一些噪音。為了安全因素，炸藥有固定的地下堆置區，具備有抗爆功能，操作製程區每天只領取一定的量出來使用，以便控制製程區的安全存量。爆炸成型能使波紋板的表面非常平滑，並使波紋板的厚度均等，因厚度相同且非常平滑，所以可有效的減少結垢情況。另外，由於採爆炸成型方式可使應力在鋼板上均勻分佈，不會像沖壓成型，因受力不均可能會造成鋼板的應力不平均。
4. 板束所有的焊接皆採用TIG惰性氣體焊接，SPACER (邊條)可提供板與板間有一定的間距，大部份的焊接都是以機器取代人工，整個工場流程約需10個人力，依照全世界的訂單需求製作板式換熱器的板束。



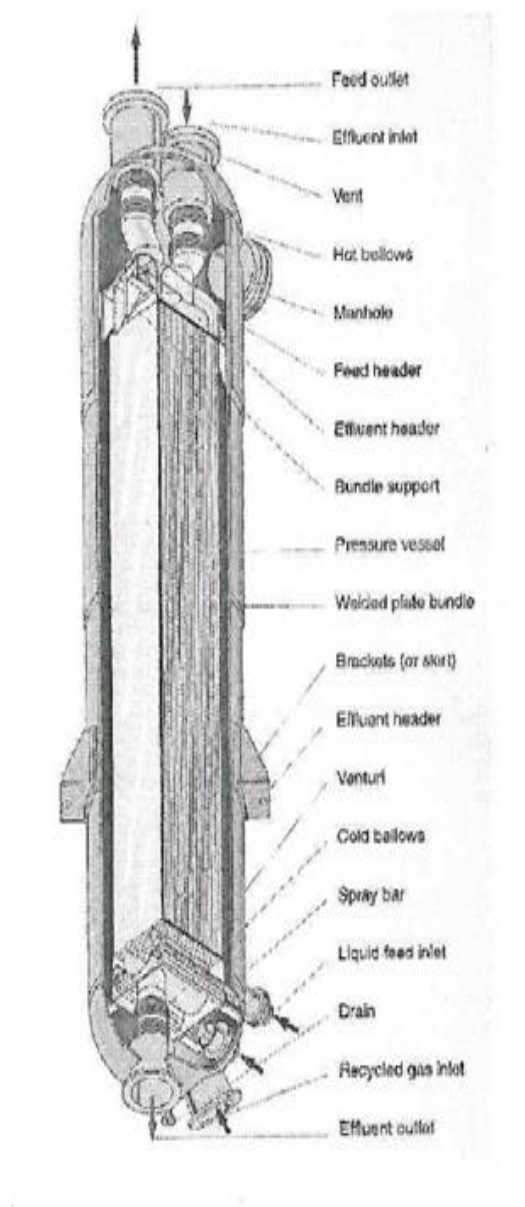
圖八、Chalon sur Saône工廠辦公室

### Alfa Laval Packinox總公司

位於巴黎的 Alfa Laval Packinox 總公司內部主要人員，為業務管理人員及技術研發人員，負責全世界各地業務和技術研發。和總公司技師研討了板式換熱器的清洗方式，並確認現場技術人員的程序是否正確，而總公司人員也針對 Alfa Laval 公司的業務及公司未來的規畫進行介紹，及現在所面臨全世界最重要的節能減碳問題，當中儲能是很重要的關鍵，因為太陽能或風力發電等綠電並不穩定，會受到天候及時間影響，如何儲存電力才能以備不時之需的問題一直被廣泛討論，由於電池的儲能有壽命問題，及能量密度高的安全性隱憂，而採用熱能的方式儲存，則是較有效率且安全的方式，例如太陽能吸收太陽的熱能後透過介質將熱儲存起來，待需要用電時，再將熱能透過高效率且可承受短時間溫差變化大的熱交換器，將熱能轉換成電能是比電池更優的儲能方式，也是未來的發展趨勢，因此換熱器可在其中佔有重要的角色，Alfa Laval 公司也希望其板式換熱器可在未來的儲能領域做出貢獻。

## 一、 板式換熱器介紹

Packinox 板式換熱器是一種大型的焊接板式換熱器，主要由一個焊接的板式傳熱板束以及一個壓力容器組成。平時操作中，焊接板束置放於壓力容器中間，一直由在壓力較高的流體（直接進入壓力容器的循環氣）進行保護，使其保持在外部壓力為正壓的狀態下。（如圖十）



- Feed outlet** : 進料出口(熱)
- Effluent inlet** : 反應產物入口(熱)
- Vent** : 排氣口
- Hot bellows** : 熱膨脹伸縮管
- Manhole** : 人孔
- Feed header** : 進料匯集箱(熱)
- Effluent header** : 反應產物匯集箱(熱)
- Bundle support** : 板束支撐
- Pressure vessel** : 壓力容器
- Welded plate bundle** : 焊接板束
- Bracket (or skirt)** : 支架(或裙座)
- Effluent header** : 反應產物匯集箱(冷)
- Venturi** : 文丘里管
- Cold bellows** : 冷膨脹伸縮管
- Spray bar** : 噴淋管
- Liquid feed inlet** : 液體進料入口
- Drain** : 排液管
- Recycled gas inlet** : 循環氫氣入口
- Effluent outlet** : 反應產物出口(冷)

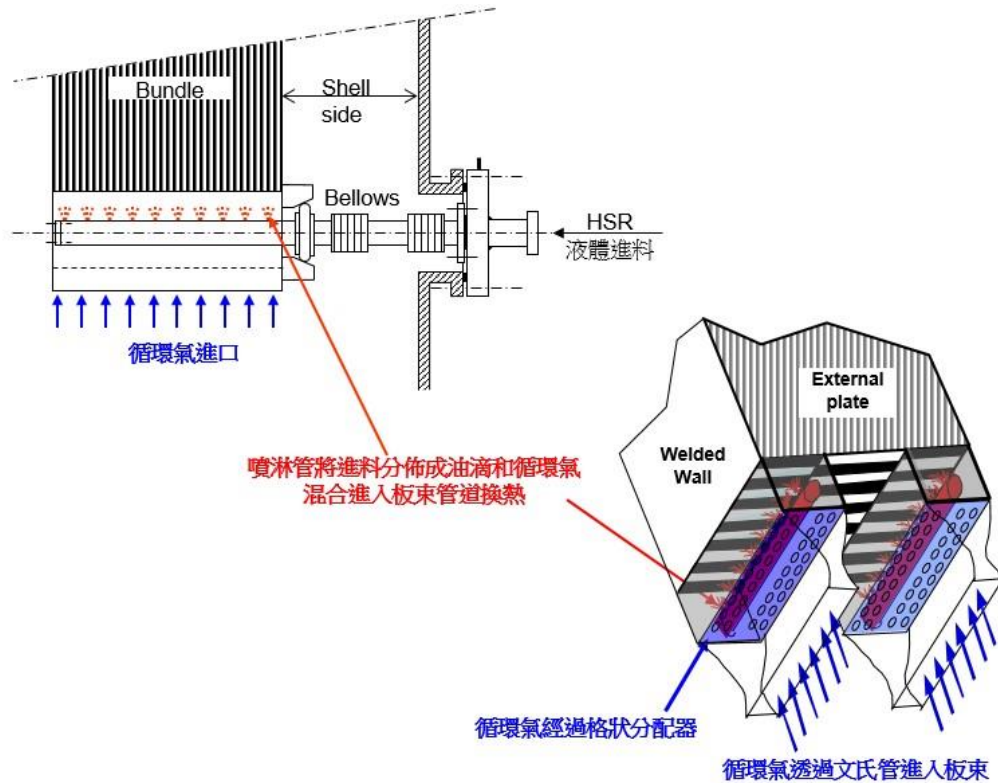
圖九、板式換熱器整體結構





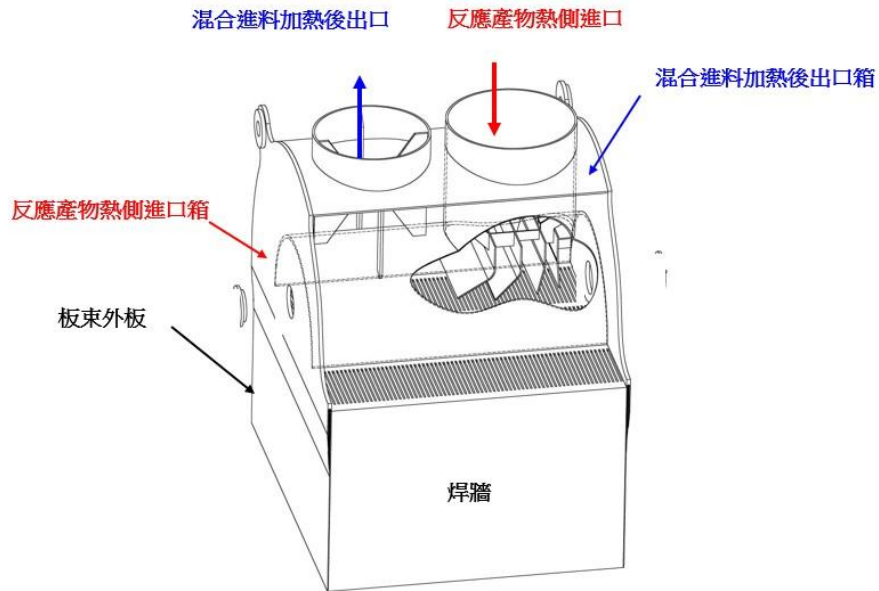
圖十、板式換熱器實際組合圖

低溫混合物進料從底部進入換熱器, 上升同時被加熱 (流動路徑 = 循環氫氣進口 + HSR 進料 (噴淋管) =>板束=>進料出口集箱=>進料出口) (如圖十一)



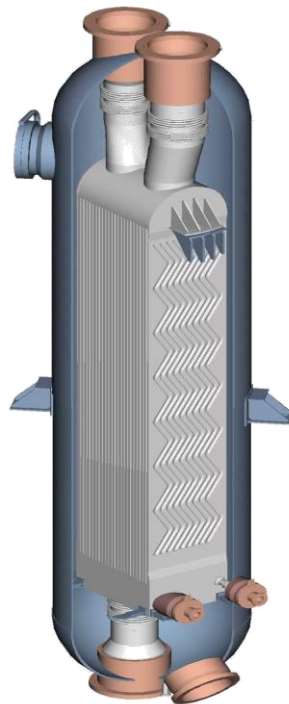
圖十一、匯集箱(流體在進入焊接板束前進行流體分佈的箱體)噴淋管  
(兩處由 HSR 進料流體注入的噴灑管)

Packinox 板式換熱器採立式安裝，以最後一個反應器出來的熱反應物由頂部進入換熱器，向下流動的同時得到冷卻（流動路徑：反應物產品入口=>熱膨脹環=>反應產物集箱=>板束=>冷端膨脹環=>反應物出口）（如圖十二）

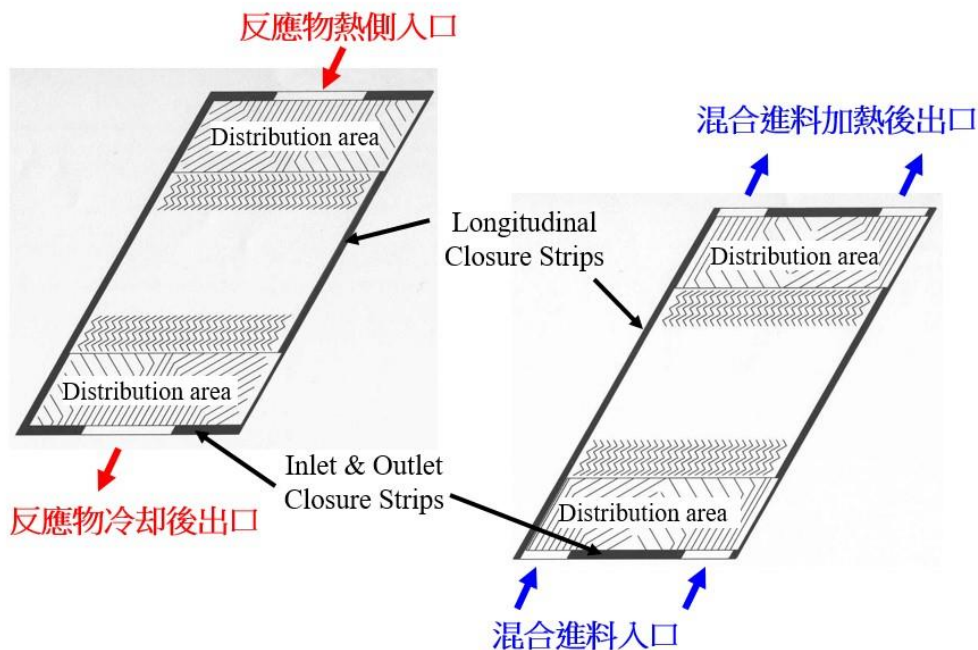


圖十二、板式換熱器頂部匯集箱(反應產物進口與進料換熱後出口)

### 1. 板束



圖十三、板束示意圖

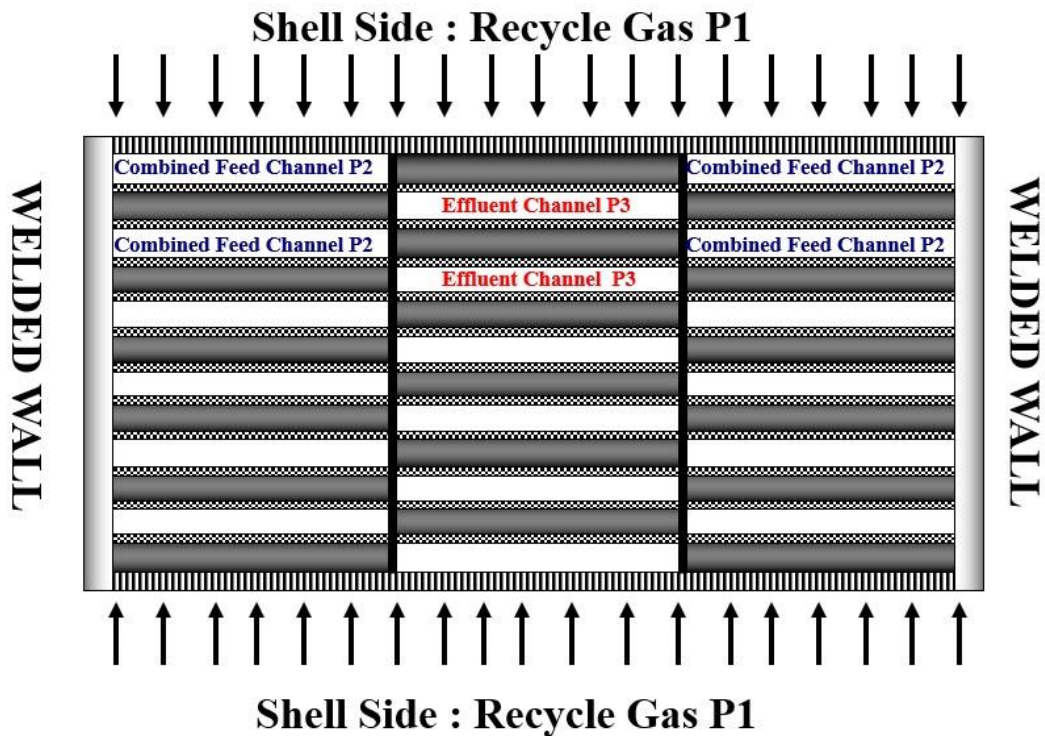


圖十四、板式換熱器內部冷側及熱側流體換熱示意圖

真正的逆流傳熱發生在板束的內部，板束由薄的不銹鋼波紋板製成，經過爆炸成型，疊堆後，將邊緣焊接在一起。板式換熱器設計的目的在於優化換熱器的熱傳能力及流體的流動性，因為板束是由長方形的不銹鋼波紋薄板組成，可提供較高的熱傳和流體效率，高傳熱率，高流體擾流以及低壓降。

鋼板的設計，長度、寬度、波紋、加工角度和間隙可根據客製化及製程規範的要求而設計。長方形波紋板經過水下爆炸成型，而不是通過金屬和金屬之間的沖壓成型。爆炸成型能使波紋板的表面非常平滑，並使波紋板的厚度恆等，因厚度一樣且平滑，所以可有效的減少結垢情況。另外，由於採爆炸成型方式可使應力在鋼板上均勻分佈。因此應力峰值會比沖壓方式的應力峰值低得多。

每塊奇數板或偶數板都裝備了縱向隔板以及入口和出口隔板，入口及出口隔板的設計取決於換熱板的寬度；奇數板和偶數板的組合提供了混合進料和反應流出物間的交替通道。冷熱流體在通道內的分佈，是在上集管箱和下集管箱的板與板間，焊接隔板來區隔分離。將板堆疊後，沿著邊緣互相焊接在一起（焊牆），以提供緊密的、堅固而結實的板束總成。（如圖十四）



圖十五、板束截面圖

V 型波紋板提供了上萬個板與板之間的接觸點，消除了在各種流速下板的振動。由於每塊板的 V 型波紋上板、下板的波紋截然相反，所以可以進一步加強流體擾流及流體分佈。均勻的流體分佈代表板內均勻的溫度分佈，消除了由不良分佈所產生的不均勻熱應力。所有的板片都承受著很低的機械應力，由於板束垂直懸掛在一個獨特的上部集箱支撐系統上，因此每一塊板片只支撐其本身的重量。

\* 循環氣體和反應器產物的壓力控制

P1=壓力容器側壓力=循環氣入口壓力

P2=混合進料壓力

P3=反應器產物壓力

操作過程中需確保  $P1 \geq P2 > P3$  因為焊接板束不能抵抗內壓，反壓時  $P3 > P1$  會損壞板束，任何操作都要避免反壓的發生。

2. 壓力容器外槽體（如圖十六）

板束安裝在壓力容器內部，壓力容器承受的是高壓的循環氣流體壓力，操作中，外槽體壓力容器內部並不接觸換熱的流體，並承受氣體操作壓力，並對板束提供保護作用，壓力容器需取得壓容的認證。外槽體壓力容器上方頂部設有人孔，下方設有循環氣的入口可替代第二人孔。此二人孔可作為維修冷端及熱端膨脹環破漏時檢修使用。



圖十六、壓力容器外槽體 (擷取自alfa laval網站)

## 二、安裝注意事項

1. 安裝前目視檢查：對換熱器外部目視檢查，確認運輸和裝卸過程中沒有損壞，換熱器外觀不允許焊疤、磨削和撞擊。
2. 起吊和安裝：使用熱側進口及冷側出口的盲法蘭吊耳及底部吊耳。確認換熱器的重量和起重車及輔助設備(吊索、鈎環)能夠承載換熱器的重量。
3. 換熱器釋壓(因交貨時內部充有氮氣壓力)由熱側進口的排氣閥釋壓。
4. Packinox換熱器在交貨前已進行乾燥，但是仍有些少量殘餘的水份會由反應物出口側流出。
5. 熱側進口和冷側出口連接的氮氣平衡管線拆除。





### 構造說明：（如圖十七）

- (1) 冷側，即高壓側：包含殼側與換熱器冷側(底部相連通)，連結噴嘴有 S1，A1，E1，M1與M2(左右對稱)，U1與U2(殼側)。
- (2) 熱側，即低壓側：連結噴嘴有 E2，A2，S2，A4。
- (3) 任何階段，包括注水作業，排水作業等，冷側(即高壓側)的壓力必須高於熱側(即低壓側)，如果壓力反轉，會造成破損。

### 前置說明：

- (1) 噴嘴 S1、E2與管線法蘭鬆開，避免注水作業時發生壓力積蓄與排水作業時發生真空，造成冷側與熱側壓力反轉，S1與E2盡可能增大與大氣連通。清洗作業時，確認原與噴嘴S1與E2相連管線另一端也與大氣連通。
- (2) 噴嘴 A1、A2與U1開啟連通大氣。
- (3) 噴嘴 E1、S2與M1、M2加上盲板。
- (4) 噴嘴U2開啟，配管如圖所示。冷側與熱側均裝置並固定垂直透明管，作為液位計，以底部T.L.為基準，在垂直透明管標示高度。
- (5) 噴嘴E1、S1、A1與U1、U2均標示「冷側(高壓)」，噴嘴S2、A4與E2、A2均標示「熱側(低壓)」。

### 清洗說明：

#### A. 含藥劑溶液填充冷側

- (1) 確認V4和V5開啟，U1、E2和S1為開啟狀態，其餘閥為關閉狀態。
- (2) 啟動進料泵浦。
- (3) 開啟V1、V3和V8開始進鹼液，開始填充冷側。
- (4) 監控夾紗管之液位高度。
- (5) 確認液位到達9m後關閉V3及V8。

#### B. 含藥劑溶液填充熱側

- (6) 打開V2開始進鹼液(注意：其液位上升很快)。
- (7) 監控液位高度，當液位高度到達8m後關閉V

(8) 停泵然後關閉V1。

C. 含藥劑溶液熱側排液與以軟水沖洗一次

(9) 確認U1、S2及E2為開啟狀態，其餘閥皆關閉。

(10) 打開V2及V6，開始排液。

(11) 排液中利用V7分段取樣(前、中、後)確認其PH值及Cl含量。

(12) 當排液完成，關閉V2及V6。

(13) 重複步驟6-12，2-3次直至清洗完畢。

(14) 使用軟水重複步驟6-12，進行熱側軟水沖洗。

(15) 熱側軟水沖洗排液完後，才能改排冷側。

D. 含藥劑溶液冷側排液與以軟水沖洗一次

(16) 開啟V3、V8及V6，開始排液。

(17) 排液中利用V7分段取樣(前、中、後)確認其PH值及Cl含量。

(18) 排液完成後關閉V3、V8及V6。

(19) 開啟S2盲法蘭，確認鹼液已完全排乾淨。

(20) 使用軟水重複步驟1-5與16-19進行冷側軟水沖洗。

E. 乾燥

結束清洗與沖洗後，S1及E2加盲，拆除E1及S2盲法蘭以及開啟U2，從頂部A1、A2與U1吹入溫度不高於80°C的熱氮氣或熱乾燥空氣，進行乾燥程序。如以熱乾燥空氣乾燥，乾燥結束後，改以氮氣置換空氣。

後置說明：

(1) 移除臨時配管。恢復原先噴嘴狀態，封閉U1與U2、A1、A2、A4。S1、E2、M1、M2、S2與E1等與原先管線連接。

(2) 工場啟動前，進行試壓與各噴嘴查漏。



### 參、具體成效

- 一、Packinox全鍍板式換熱器E-201是第二煤組工場重組反應區最重要的換熱器，主要是將反應器進口及出口物料換熱，除可回收大量熱能節能減碳外，若有內漏也會嚴重影響辛烷值造成汽油摻配問題，由於其結構較為複雜，製造也較為困難，組裝及測試需十分嚴謹，因此在組裝過程以水當介質持壓、釋壓和壓差測試，確定E-201在組裝過程無造成內漏非常重要，可進一步確保E-201在未來操作時能正常運作。
- 二、對現場的操作人員而言，了解板式換熱器的製造過程，和看到完整內部結構，以及和原廠直接的交流和討論，有關板式換熱器的平時操作應注意事項，與工場短停重新啟動、緊急停爐、及停爐時保養檢視，堵塞時的清洗程序，機械故障的檢視故障排除，內漏的氣密試驗及查漏方式的程序，可建立正確的操作觀念而防止Packinox的損壞及延長使用壽命。
- 三、參與這次板式換熱器的試壓過程，了解到此次採用水平試壓模式和之前採購板式換熱器時採用直立式試壓不同，經由和Packinox的原廠技術人員詢問和討論，進而了解因板式換熱器內部板束，已安裝有排氣及排液暗管，可完全將氣體排出，因此可保證換熱器試壓的過程不會使板式換熱器受損，改變了工場以往所接受的訊息和認知(板式需採用直立式試壓和清洗，才能確保換熱器的設備完整性)。透過此次和原廠技人員的技術交流和直接訊息交換，可解決此次工場大修板式換熱器清洗方式的問題，如採用水平清洗模式，將可節省建構大型支撐物去支撐板式換熱器的人力物力成本，但亦可達到同樣的效果。

### 肆、心得

Alfa Laval Packinox板式換熱器結構為波浪紋路板片，厚度約為0.7~0.9MM的SS321不銹鋼板片，板片中間波浪紋路接觸點，提昇接觸面積增加換熱效率，在板片之四周焊接。熱交換完全在板束中進行，板束上的板子只有承受流動體的壓差，板束為一長方體形狀，整個板式體放置於殼體內部，殼體屬於壓力容器，內

部充滿了高壓氣體可壓制板束，因此Alfa Laval Packinox板式換熱器可以在高壓應用上安全操作，壓力容器被安裝在裙板或托架上

優點：

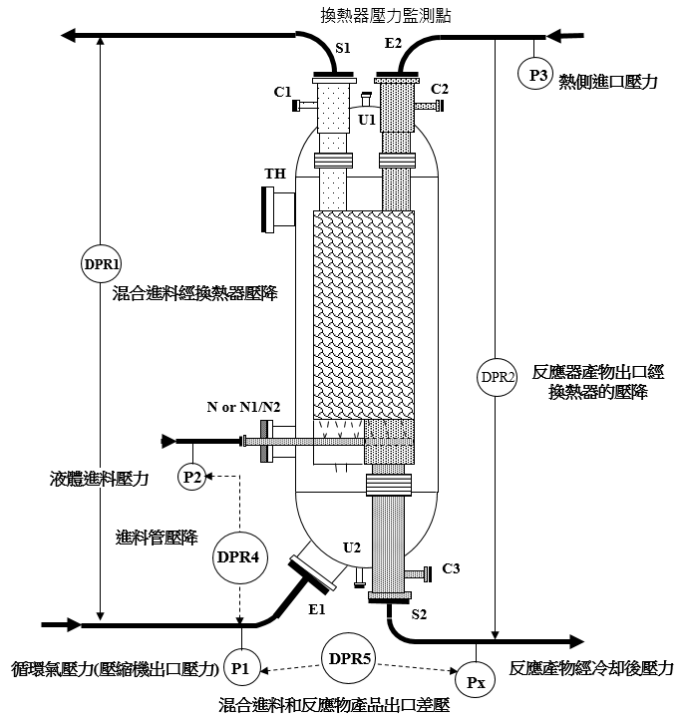
1. 高效熱傳：由於板之間的小間隙和波紋結構，熱交換效率非常高，使得流體能夠快速地進行熱傳遞。
2. 較小的佔地面積：相對於傳統的管殼式熱交換器，板式熱交換器佔用的空間更少，這在有限的空間內尤其有用。

缺點：板片中間只有波浪紋路接觸點，但是並未有焊接點，板片相對強度不足，因此，如果操作上出現一側有壓力，而另一側放空無壓力，那麼就容易出現焊道裂開，而發生洩漏之情況。

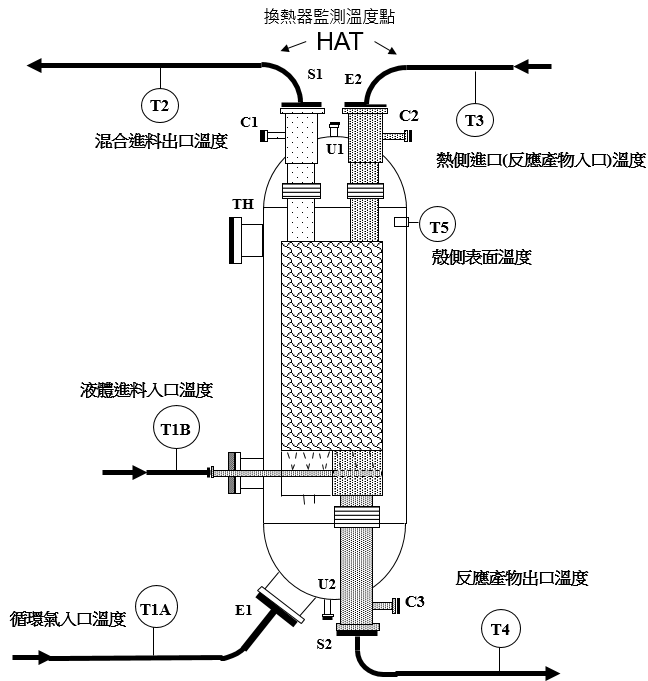
因為板式換熱器有此項缺點所以安裝，啟動，操作，短停重新啟動，緊急停爐，及停爐時保養檢視，堵塞時的清洗程序，機械故障的檢視故障排除，內漏的氣密試驗及查漏方式，皆有一定的操作程序，可防止板式換熱器的損壞及延長使用壽命。對現場的操作人員而言，了解換熱器內部結構對於平時的操作應注意事項可以幫助理解如何維護和保護換熱器的使用壽命。

操作中的注意事項：

1. 開俾階段
  - (1) 壓力：操作中的開爐過程或建壓過程更需注意換熱器的進口端壓力需大於出口端壓力。
  - (2) 溫度：溫度維持勿溫度衝擊，提溫過程維持50°C/hr
  - (3) 開爐過程避免部份空管造成換熱不均勻，需於5分鐘內提至6成最低煉量
2. 平時正常操作階段
  - (1) 操作環境：環境中儘量避免同時存在水、氯、氧氣可防止設備腐蝕。
  - (2) 壓力：壓力勿逆壓，熱側出口的壓力永遠要小於進料和壓機出口的壓力不論是持壓測試、真空測試或是直立、水平清洗的狀態。
  - (3) 平時操作的重要監測變數、壓差、溫差HAT、進料溫度、反應器出口溫度(熱側換熱器進口溫度)、換熱器出口溫度、及數值及異常原因判讀異常狀況。

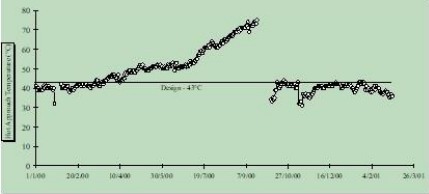


圖十八、壓力計監測位置圖



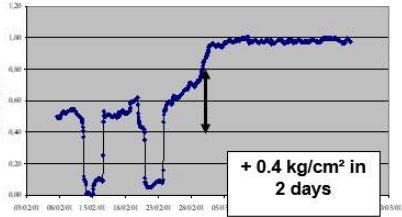
圖十九、溫度計監測位置圖

## PACKINOX 換熱器 – 操作問題分析(1) 結垢

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>DP1 or DP2</b> :一年內壓差異常升高<b>0.2~0.5KG/CM2</b></li> <li>• <b>HAT</b> :溫差增加<b>20度</b>超過一年的時間</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>殼側溫差</b> : 溫差正常</li> </ul>	<p>換熱器已經結垢</p>	<p><b>如何做:</b> 化學清洗</p> <hr/> <p><b>防範機制:</b> -進料設過濾器, -進料品質管控; 稀徑、氧、進料管線腐蝕、鐵 -添加劑</p>
--	----------------	--

主要因為進料品質不良,改善方式需在進料油槽採內浮頂防止和空氣接觸、進料設置進口過濾器過濾進料雜質。

## PACKINOX 換熱器 – 操作問題分析(2) 堵塞

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>DP1 or DP2</b> :壓差迅速提高在<b>2天內提高0.5KG/CM2</b>提昇- 常發生在開爐階段 → 如下曲線</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>HAT</b> : 無明顯增加</li> <li>• <b>殼側溫差</b> : 正常</li> </ul>	<p>換熱器堵塞</p>	<p><b>如何做:</b> 目視 (或內視鏡) 檢視進料管線 + 手動逆吹</p> <hr/> <p><b>預防措施:</b> -增設過濾器, -檢視進料品質(鐵、硫化鐵、氧等) -Etc ...</p>
---	--------------	---

使用正確的進料管線材質、最後一座反應器的內件Johnson Scen中心管需確認完整性,防止小顆粒觸媒跑入或在管線上加裝過濾器材過濾觸媒粉。(但需考慮,過濾器若堵塞將需緊急停爐處理)

## PACKINOX 換熱器 – 操作問題分析(3) 管破

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>DP1 or DP2</b> :壓差無明顯變化</li> <li>• <b>HAT</b>:熱側進和冷測出口溫差迅速提高</li> <li>• <b>T殼側溫度</b> :冷測出口降低短時間超過100度在一天內 →如下的趨勢圖</li> </ul> 	<p>(進料氫氣至板束繞流因膨脹伸縮管破裂)</p>	<p>如何做: 化學清洗後更換氫氣膨脹伸縮管</p>
--	----------------------------	--------------------------------

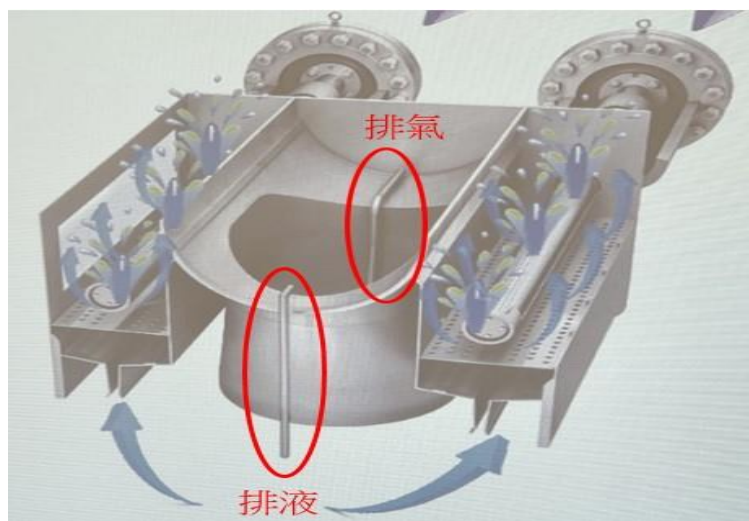
進出口管線和匯集箱連接處採用伸縮管（承受熱漲冷縮的應力）是相對的脆弱點，僅會造成氫氣循環氣繞流至反應器出口的熱側減少換熱效率，並不會造成進料污染成品所以無迫切需要緊急停爐處理，可待大修時更換伸縮管。

### 3. 緊急停爐重啟注意事項

- (1) 換熱器勿逆壓操作，進料端的壓力需大於熱側反應器出口端的壓力。
- (2) 工場緊急停爐或跳車後重新進料和提溫需避免對板式換熱器的溫度衝擊，提溫過程需和緩，升溫及降溫的速率維持 $\leq 50^{\circ}\text{C/hr}$
- (3) 工場緊急停爐或跳車應維持循環壓縮機持續運轉，可防止對板式換熱器的溫度衝擊，保護板式換熱器。
- (4) 若循環壓縮機跳車，壓縮機啟動時出口流量要維持最低流量，防止帶出大量反應器內的觸媒殘餘溫度由進入板式換熱器熱側內，衝擊到換熱器的冷側，造成板束因熱漲冷縮而內漏。

第二媒組工場建廠至今均採用原廠所設計的板式換熱器已穩定操作使用多年，且多次更換均使用板式換熱器，但一般人都無法看到內部實際結構，因為板式換熱器並非像反應器，和塔槽，人員在大修時可進入槽內檢視內部構件，

了解結構裝置，和圖面對照，知道設計原理，由平面的圖面轉為立體的直觀視覺，板式換熱器內部結構人員是無法進入檢視，因此所有的結構只能看圖面後用想像在腦袋裡建立出立體結構補強所不足部份，透過此次參訪，看到內部的製造過程，才見到完整的內部結構，進而和圖面對照，也看到平時看到圖面沒有一條暗管，解答了心中的疑問，為何板式換熱器可以平面試水壓但卻不會擠破換熱板，因為有暗管可以排放 BUNDLE 板束內部的氣室及排液管排除液體（如圖二十），不致於脹破板面。



圖二十、板束內部的排氣及排液管

## 伍、建議

### 一、化學清洗的方式

E-201的溫差設計上限為 $30^{\circ}\text{C}$ 及壓差設計上限為 $0.8\text{kg}/\text{cm}^2$ ，第二媒組工場目前使用的E-201的溫差已超過設計值上限，且壓差也超過上限，必須要更新或清洗，因此第二媒組工場規劃於114年大修更換新的E-201板式換熱器，舊的E-201拆下後清洗後當做備品，以防不時之需，原定計畫拆下後，依代理商建議需採用直立清洗才能確定清洗時不至於對設備造成傷害，而為了提升第二媒組工場25,000BPSD的煉量限制已改用30,000BPSD的板式換熱器，現場鋼構基礎結構承載重量不足以支撐板式換熱器裝滿水直立清洗時的重量，因此需拆下後另行組建大型結構支

撐才能清洗，但這需要額外尋找地點和耗費金錢去建構大型結構物，極為不便也不經濟。

此次參訪看到原廠的板式換熱器採用平躺式試水壓，在板式換熱器裝滿水的狀態下並不會對設備產生傷害，和之前所獲的資訊和認知並不相同，而原廠改採平躺式試水壓也是為了減少成本及空間，避免建造大型結構物。鑑於第二媒組工場有需清洗E201的需求，因此特別詢問原廠說明第二媒組工場計畫將拆下舊的板式換熱器採用水平清洗的方式可行性，原廠表示可派技師配合平躺清洗第二媒組工場的板式換熱器當做備品使用，原廠也同時建議第二媒組工場加強鋼構基礎結構，解決承載重量不足的問題，方便未來可以線上直立清洗無需拆下清洗。

因此建議114年二媒大修E-201可拆下後平放清洗較為簡便(已向原廠索取水平清洗的標準作業程序)，而不需建構大型支撐物對E-201採直立清洗耗費人力物力。清洗後的板式換熱器當為備品提高現場操作的設備可靠度，可防止第二媒組工場因重要換熱器損壞而造成長期停爐無法產出氫氣影響到桃廠所有需要氫氣的工場的工常生產或換熱器內漏而無法產出高辛烷值的汽油而影響北部98汽油的生產調度。

## 二、尋找評估可能的替代品

換熱器適用性會以以下幾個面向來評估：

1. 長期運作的穩定性
2. 能確保無內漏
3. 抵抗積垢的能力
4. 抗振動
5. 溫差/壓差限制的耐受能力
6. 升降溫速率限制
7. 遇緊急停爐時的耐壓差及耐溫差能力
8. 設備維護保養容易度
9. 維修保養費用
10. 設備故障時檢修容易度
11. 堵塞清洗及內漏堵管的排除容易度
12. 傳熱係數
13. 體積
14. 重量
15. 安裝費用
16. 回收熱量。

目前由大陸所開發的纏管式換熱器號稱可取代板式換熱階段，可列入評估觀察其中的優缺點，據其號稱其換熱器具有下列優點

1. 抗洩漏：彈簧狀結構提供更好的耐用性，設備不易破損或洩漏。
2. 高熱能回收：由於纏管構造，使冷熱流體均能產生劇烈擾動，並擁有廣大換熱面積，換熱效率較傳統換熱器提升40%~50%。

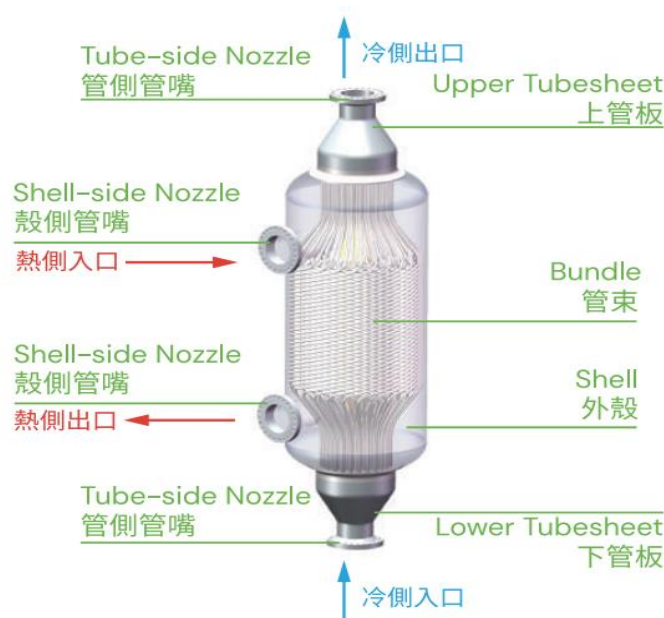
3. 設備精簡性：能用一座纏管式熱交換器，取代多座傳統式換熱器，精簡安裝空間、配管及周遭鋼構設施。
4. 耐製程波動：彈簧狀結構能調節並承受緊急停車時造成瞬間的高溫高壓劇烈波動。
5. 抗垢特性：無擋板、無死角以及管束的特殊排列方式，使流體持續保持湍流狀態，大大減低結垢風險。
6. 可單股流或多股流：一般傳統熱交換器，其機械結構設計是兩種流體分別走管側與殼側，進行熱交換。纏管式熱交換器除了單股流型式，還多股流形式，在管側設計多個管口，使兩種以上的流體可以進入管束，與殼側流體進行熱交換，同時加熱兩種以上的流體。多股流最大優勢，就是精簡設備座數與配管、鋼構等資本支出，並完整利用熱源，達到最大的節能效益。
7. 若據其號稱則纏管式換熱器優點和板式比較如下(實際情形還需比較考證)

序號	項目	殼板式	纏繞管式
1	冷熱側壓差承受範圍	存在板片間焊縫處洩漏問題。	管子抗壓差力強。
2	抗洩漏程度	板式存在微洩漏的問題，洩漏比須小於 $2 \times 10^{-3}$ 。	纏管經氬氣試漏為零洩漏，產品品質保證。
3	可維修性	無法精確判斷洩漏的位置，一旦封閉，效能損失率高於實際洩露率。	人員可以進入管箱進行檢查，容易發現洩露點，易堵管，維修方便。
4	抗堵塞能力	一般。	管子纏繞特性，管側及殼側湍流特性，抗垢能力強。
5	溫度變化適應性	嚴格要求升降溫速度不得超過 $55^\circ\text{C}/\text{h}$ 。增加開停車時間，對保護催化劑不利，停電時板束易損壞。	升降溫度可接受超過 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ 溫度變化，緊急停車時溫度驟降對設備無影響，節約開停車時間，有利於保護催化劑，防止失氯。



由纏繞管式廠商的列表比較項目看出，纏繞管式只針對板式的缺點但未列出自身的缺點，相對性優點也會衍生出缺點，溫度適應性強相對的缺點是換熱效果較差，抗壓性強相對缺點是管子較厚因此重量相對較重。從結構而言亦會令人擔心若是積污時殼側會有不易清洗的問題，因此需從各面向多加審慎評估。

參訪過程也探詢了Alfa Laval板式換熱器原廠對於纏管式換熱器的看法，其對於自身的產品已在全世界各煉油廠運行40多年的歷史深具信心，對纏管式換熱器所稱的優點則抱著懷疑的態度，從結構上分析判斷其重量比板式換熱器還重，現場建物的結構強度可能不足以支撐，此外換熱效率也沒有比板式換熱器佳。目前纏管式換熱器（如圖二十一）已在多家煉油廠上已上線運轉多年，中油可向各廠洽詢請益，對於已使用纏管式的工廠的實績和運轉效果、維修情形、清洗狀況進行比較分析，可作為替代板式換熱器的替代參考，或搜尋其他相關可替代性的產品解決板式換熱器的冷熱側壓差承受範圍較差、溫度變化適應性較低、不易維修的問題。



圖二十一、纏管式換熱器（擷取自立安新創網站）