

E-3004 高壓空氣冷卻器洩漏事故探討

中油公司煉製事業部大林煉油廠：郭松和工場長

一. 前言：

本公司為配合政府環保政策及本著取之於社會,用之於社會的企業精神,同時為提高經濟價值,而決定投下鉅資,增添設備,大量生產低硫燃油以減輕空氣污染,及促進產值升級,繼八十年在高廠興建第二座日煉三萬桶之低硫燃料油煉製工場後,復於八十二年在大林廠興建第三座日煉三萬桶之重油脫硫工場,製程設計採用美國 CHEVRON 公司。設計進料將硫含量 3.71wt%, 鎳含量 26ppm, 釩含量 79ppm 及鐵含量 12ppm 之常壓塔底重油,經加氫脫硫反應,生產出合於規範產品的低硫燃料油(含硫量為 0.3wt%, 鎳+釩為 8ppm) 柴油、煤油,石油腦和低硫燃料氣;低硫燃油除了提供重油裂解工場當進料,生產高價位之高級汽油,丙烯石化品,以解決輕,重質油品間產銷平衡問題外,尚可當低硫燃油摻配設備進料,以生產出 0.5wt% 之低硫燃料油。為配合一貫作業,在興建第三重油脫硫工場的同時,另建日產兩百公噸之硫磺回收工場。

二. 第三重油脫硫工場操作流程簡介:

RDS 工場流程敘述可分下列幾個系統

(一)補充氫氣系統。

氫氣處理重油需要固定高壓氫氣供應,由於化學反應發生消耗部份氫氣,其它氫氣消耗還有三種(1)送至氫氣回收系統之 bleed 氫氣(2)在高壓系統溶

解油料中(3)系統的洩漏。大約 90%之 bleed 氫氣在氫氣回收系統利用薄膜技術可回收，這些 98%之純氫氣利用補充壓縮機再壓入系統，從冷低壓分離槽 (CLPS)之排放氣亦是利用補充壓縮機回到高壓系統。

(二)進料系統預熱和過濾，當進料進入進料前。油料加壓後與高壓氫 氣混合後進入反應器。

本工場的進料直接由蒸餾工場送來之高硫重油，其溫度為 143 ，壓力為 2.1KG/cm²(g)。進來的進料以進料緩衝槽 D-3001 之液面控制進料經過過濾器 M-3031 後，用重油推進泵 P-3005 泵至壓力 22 KG/cm²，此進料油再與重油 / 柴油產品換熱器 E-3024 和重油 / DSFO 產品換熱器 E-3021A/B/C/D 換熱，溫度變成 271 。並再經過過濾器 M-3001 以除去油料中之固體以防止其固體沈積於第一座反應器觸媒床頂上，過濾器 M-3001 包括四個平行之過濾設備，每個設備各有五個小過濾個體。

(三)油氣分離系統，冷卻反應器流出物 在高溫 高壓分離油和氣 冷卻 flashed Gas，最後在低溫壓油氣分離。

反應器系統包含五個串聯單層媒床之反應器。

油料至反應器分兩條路線：

主要路線是在反應器進料 / HHPS 氣體換熱器 E-3002 前與已預熱之富氫氣反應器進料氣（循環氣加補充氣）混合，一起流入 E-3002 後再流入 E-3001A/B。

第二路線為旁路換熱以 TIC-0005 來控制 E-3001A/B 出口反應器流出物溫度為

371 , 柴油產品回收與此溫度控制有極大關係。反應器氣體(循環氣與補充氫氣)在 E-3003A/B 換熱至 304 。在 E-3002 前與進料油混合。

(四)循環氣 loop 移去硫化氫, 加熱前加壓至反應器壓力然後與過濾後油料混合。

RDS 工場設計有大量經過反應器沒有反應的氫氣, 這些氫氣可降低反應速率且減少觸媒污染(fouling), 為了回收這些氫氣故有一連串的驟沸槽和流出物之冷卻從油料分離氫氣循環氣。

從 CHPS 之氫氣/富 H₂S 氣體有兩個過程使它再回到反應器使用, 首先在吸收塔移去硫化氫(H₂S)。低的硫化氫濃度其益處如下:

- (1)高循環氫氣濃度造成高氫氣分壓。
- (2)在固定的觸媒溫度增加脫硫速率和降低觸媒污染(fouling)速率。
- (3)在反應器 / 循環氫氣系統減少腐蝕現象。

第二步驟是以循環壓縮機再泵入系統, 循環壓縮機可復原經加熱爐, 反應器, 分離器和換熱器所造成之壓力降。

(五)分餾系統分離反應區液體流出物變成所需的產品和至反應器之進料油預熱。

在 RDS 分餾區將油品分餾為石油腦, 煤油, 柴油和低硫燃油。

三. E-3004 高壓空氣冷卻器洩漏狀況摘要及處理經過:

(1). 狀況摘要:

1. 96.05.05 21:07 暴風雨過後, C-3002(循環氫氣壓縮機)因儀

器信號異常，聯鎖系統作動跳車。在短時間無法排除故障因素下，為防止反應器因氫氣分壓不足，加氫脫硫之油料反應太激烈，使煤床積碳而造成高差壓，影響未來操作，系統以緊急釋壓因應。

2. 21:17當系統壓力由159kg/cm²G降至58kg/cm²G時，現場突然有嘶嘶之連續尖銳聲，值班主管接獲E-3004油氣(含有H₂S及H₂)洩漏之報告，除了連絡消防隊派消防車在上風位置警戒外，並指揮現場技術員，著防火衣及戴空氣面罩，以Steam purge洩漏處，防止發生工安事故。

3. 系統持續釋壓及降溫至安全條件下，更換備品；查漏均正常，重新開爐進料，工場恢復正常運轉。

(2). 處理經過：

時間	發生經過及處理情形
96.05.05 21 : 07	控制室警報盤(Annunciator)及DCS突然顯示LALL0435A/B/C(Seal oil overhead tank 低液位)警報，安全連鎖系統作動，引起C-3002跳車，而LI0431A(Seal oil overhead tank 液位)指示:78%，LAL0431B(Seal oil overhead tank 低液位警報)顯示:正常。
21 : 08	值班主管指揮現場人員查看LG0428A/B(Seal oil overhead tank 玻璃液位計)，發現實際油位低於玻璃液位計位置，除了通知儀器值班人員，緊急搶修LI0431A/LAL0431B外，並嘗試關LV0431B(Seal oil to seal oil tank)，關LV0431A(Seal oil to overhead tank)，強制引Seal oil(密封油)至Seal oil overhead tank，以發揮其密封C-3002製程循環氣體之功能。無奈為時已晚，製程循環氣體已倒灌入Seal oil tank，密封油及製程循環氣體由

	Seal oil tank 之呼吸閥(Breather valve)噴出。
21 : 09	以電話通知安管中心及工場長 C-3002 跳車事宜, 工場長指示: 如短時間內無法啟動 C-3002 運轉, 為防止反應器因氫氣分壓不足. 煤床積碳而造成高差壓, 影響未來操作, 系統以緊急釋壓因應。
21 : 10	值班主管確認 C-3002 短時間內無法開啟, 基於工場操作安全考量, 迅速關閉 C-3002/1 及其他高壓 pump 進出口閥, 系統進行緊急釋壓, CAT(觸媒平均攝氏溫度): 365 度 C。
21 : 17	現場突然有嘶嘶之連續尖銳聲, 值班主管接獲 E-3004 油氣(含有 H ₂ S 及 H ₂) 洩漏之報告, 除了連絡消防隊派消防車在上風位置警戒外, 並指揮現場技術員, 著防火衣及戴空氣面罩, 以 Steam purge 洩漏處, 防止發生工安事故。
21 : 50	廠長, 何副廠長, 經理, 工場長, 助理等陸陸續續抵達工場, 關心及指示後續處理事項。
22:30	工場持續釋壓及降溫中, 系統以柴油取代重油, 不合格成品排 Slop tank.
05.06/00:20	繼續停爐工作, 高壓系統壓力: 3kg/cm ² G, CAT(觸媒平均攝氏溫度): 345 度 C, 啟動 C-3001(補充氫氣壓縮機), 引入氮氣以邊排邊補方式持續冷卻系統.
09:00	何副廠長, 經理陪同執行長至控制室關心停爐狀況, 並耳提面命, 杜絕工安環保事件發生.
10:30	C-3002 Seal oil overhead tank 液位指示 LI0431A/LAL0431B 由

	儀器人員檢修妥, Seal oil/lube oil 系統恢復循環操作, 並測試其功能皆正常.
20:30	高壓系統建壓至 38kg/cm ² G, 啟動 C-3002, 系統持續冷卻中. CAT(觸媒平均攝氏溫度): 308 度 C
05.07/16:20	系統持續冷卻中. CAT(觸媒平均攝氏溫度): 193 度 C
05.08/9:50	系統持續冷卻中. CAT(觸媒平均攝氏溫度): 191 度 C, E-3004 備品完成試水壓(250kg/cm ² G 維持一小時).
13:50	高壓系統釋壓至 0.5kg/cm ² G(微正壓)後, E-3004 進出口加盲板及前置作業.
05.09/9:30	E-3004 舊品(洩漏者)吊下.
11:20	E-3004 備品吊上安裝, 且於 17:45 回復妥.
18:00	低壓系統 F-3002 點火提溫, 系統持續循環中.
18:30	高壓系統以氮氣建壓至 2kg/cm ² G 後 Purge 三次至 22:20 完成.
22:30	高壓系統以氫氣建壓取代氮氣後, 建壓至 40kg/cm ² G, 系統查漏.
05.10/10:20	E-3004 通過申請竣工再使用檢查, 高壓系統 F-3001 點火提溫, 系統持續提壓循環查漏中
13:30	高壓系統引重柴油當進料, 系統持續提壓至 70kg/cm ² G 循環查漏中.
15:40	E-3004 進出口 Flange 微漏, 通知包商加鎖後不漏, 系統持續建壓至 120KG/CM ² G 與提溫查漏中.

22:50	高壓系統建壓至 140KG/CM ² , F-3001 出口提溫至 267 度 C, 查漏均正常.
05.11/09:35	F-3001 出口提溫至 280 度 C, 通知包商熱鎖 E-3004 相關 Flange 之螺絲, 查漏均正常。
13:00	引高硫重油取代柴油當進料, 工場恢復正常運轉.

四. 事故原因分析:

1. 直接原因: (1). E-3004(第一流出物空氣冷卻器)洩漏

(2). 空氣式的現場液位指示器 LI0431A(儀器信號) 指示異常, 影響操作人員判斷 C-3002 跳車原因及緊急應變處理時效.

2. 間接原因:

(1) 不安全行為: 操作人員警覺心不足: ①高壓系統釋壓期間, D-3002(高

壓熱分離槽) 液位高時, 處理太慢, 使高溫油料(約

350 度 C) 溢流至頂部進而經 E-3004 鰭管, 造成熱衝擊

而影響到設備壽命。

②現場空氣式液位指示計 LI0431A(Seal oil

overhead tank 液位) 方形外殼閉鎖門門內部卡榫斷

裂, 門無法緊閉, 維修人員僅以細鐵線固定, 未做進一步處理;

不料天有不測風雲及屋漏偏逢連夜雨, 於

96.05.05 20:00 左右, 忽然狂風大作, 風雨交加, 將固

定外殼之細鐵線吹斷, 在外殼門被暴風雨侵襲, 開關

關關強力震動下, 引起儀器導管接頭部分鬆脫及儀器

空氣噴嘴堵塞,使液位指示功能喪失,埋下非計劃性停爐之前因及非期望之後果.

(2) 不安全環境或狀況:①製作不良:針對 E-3004 洩漏之 Bundle,檢查當時洩漏之兩支 Tube sheet,發現其封焊之焊道較不飽滿(與其他 Tube sheet 焊道比較),強度較脆弱,以致於在系統緊急釋壓期間,溫度及壓力變化梯度較大時,發生洩漏。

②儀器規劃不夠完美: LI0431A(Seal oil overhead tank 液位)指示與 LAL0431B(Seal oil overhead tank 低液位警報)信號來源相同,缺乏雙重保護功能.

3. 基本原因:

(1). 高壓空氣冷卻器 Retubing 時, Tube sheet 除了脹管手續外,尚有封焊處理,而其施工品質較無法掌握,根據以往操作經驗,原廠家設備使用壽命約 6—8 年,而 Retubing 後設備使用壽命約 3—5 年,而洩漏徵象:油氣皆由 Head box 與 Fin tube 之間隙冒出,判斷 Tube sheet 洩漏成分居多。

(2). 操作人員危機意識不足:以往未發生之事故,並不意味永遠皆不會發生。

五. 改善執行方案:

1. 設備面：

- (1). 針對高壓空氣冷卻器 E-3004/E-3005, 使用原廠家生產設備, 取代 Retubing 後設備再利用, 以防止萬一洩漏造成非計劃性停爐發生。
- (2). 現場空氣式液位指示計 LI0431A 方形外殼閉鎖門門內部卡榫斷裂, 門無法緊閉, 改為外部門門閉鎖, 且在下次大修時, 請儀器課更新現場空氣式液位指示計 LI0431A 方形外殼, 且將 LI0431A 與 LAL0431B 信號來源分開, 以多一層保障。

2. 制度面：

- (1) 針對高壓空氣冷卻器 E-3004/E-3005, 新品使用超過 6 年就要採購原廠家產品取代。
- (2) 各 Retubing 一個 Boundle E-3004/E-3005 當備品, 以應不時之需。
- (3) 透過製程變更管理方式, 將空氣式的現場液位指示器改為電子式, 現場(Local) 液位控制器改為可在 DCS 上操作控制。

3. 管理面：

- (1) 將本事故列入事故學習案例當小班教學題材, 教育訓練每位員工。
- (2) 備品平時要以氮氣密封, 以維持隨時處在堪用狀態。

(3) 針對高壓空氣冷卻器 E-3004/E-3005 每一個 Bundle, 紀錄其使用狀況, 以供大修時更新設備之參考依據。

(4) 現場 LI-0431 與 LG0428A/B(Seal oil overhead tank 玻璃液位計) 每兩小時紀錄一次, 並確認其讀數是否合理。

(5) . 主管人員加強每日作業前之工安叮嚀。

4. 執行面：

(1) . 落實自動檢查。

(2) . 現場隨時要有人巡邏擔任走動警戒, 萬一工場有狀況, 能爭取黃金時效, 即時處理, 以杜絕工安事故發生。

六. 改善時程：

序號	改善項目	預定完成時間	執行部門
1	在下次大修時, 請儀器課更新現場空氣式液位指示計 LI0431A 方形外殼, 且將 LI0431A 與 LAL0431B 信號來源分開, 以多一層保障. 並擬將空氣式的現場液位指示器改為電子式, 現場 (Local) 液位控制器改為可在 DCS 上操作控制。	97.06.30	維修組 儀器課
2	各 Retubing 一個 Bundle E-3004/E-3005 當	97.04.15	維修組

	備品,以應不時之需。		機修課
3	將本事故列入事故學習案例當小班教學題材,教育訓練每位員工。	96.05.30	煉三組 NO.3 RDS
4	備品平時要以氮氣密封,以維持隨時處在堪用狀態	即日	維修組 機修課
5	現場隨時要有人巡邏擔任走動警戒,萬一工場有狀況,能爭取黃金時效,即時處理,以杜絕工安事故發生。	即日	煉三組 NO.3 RDS
6	逐年編列設備改善費用,請機修課籌購高壓空氣冷卻器 E-3004/E-3005 原廠家產品設備,大修時汰舊換新。	99.10.30	煉三組 NO.3 RDS
7	主管人員加強每日作業前之工安叮嚀。	即日	煉三組 NO.3 RDS
8	以 E-3004 油氣洩漏為主題,舉行年度之緊急應變演習,以利提昇工作人員之應變能力	96.09.28	煉三組 NO.3 RDS
9	現場空氣式液位指示計 LI0431A(Seal oil	96.05.06	維修組

	overhead tank 液位) 方形外殼閉鎖門門內部 卡榫斷裂, 門無法緊閉, 改為外部門門閉鎖, 以 防止儀器因故失靈.		儀器課
--	---	--	-----

七. 結論:

我的朋友墨菲先生曾告訴我:

Anything that can go wrong will go wrong. (任何可能出錯的事情, 將會發生錯誤) : 墨菲定律 (Murphy ' s Law), 回想 NO.3 RDS 的值班弟兄於 96 年 5 月 5 日 (斷腸日) 21:07 在狂風大作, 傾盆大雨交加的時刻, 真槍實彈的進行緊急停爐處理的應變措施, 結局雖令各級長官不滿意 (產生 136 小時非計劃性的停爐), 但相信大家都已經盡力了, 夫復何言. 還好, 在更新完 E-3004 設備, 工場重新開爐進料, 發現各反應器之差壓及觸媒的活性, 皆沒有受此次緊急停爐之衝擊的影響, 天佑大林廠; 天佑 NO.3 RDS --- 心中所懸掛之石頭 (提心吊膽), 終於如釋重擔般的放下了. 明天將又是美好的一天, 我的未來不是夢, 此時此刻我是這麼期許與認為.

俗話說: 一步一腳印; 凡走過必留下痕跡, 今日足跡, 將成為明日的回憶. 我們要以美麗的回憶來取代痛苦的懺悔。

檢討過去、展望未來, 如何使重油脫硫工場由過去偶而的污染製造者 (貢獻者), 脫胎換骨為捍衛環境的守護神, 將是我們責無旁貸之重責大任, 如此重油脫硫工場才是中油永不折舊的資產, 而不是負債, 才有繼續存在的價值。