

# 新竹供油中心 S15 油槽底板防蝕工程 事故探討

作者姓名：劉康鎮

服務單位：桃竹苗營業處

## 一、前言

95 年 10 月 31 日上午 11:50 承商宇鶴公司執行新竹供油中心 S-15 燃料油槽 FRP 塗裝工程時，因槽內施工區起火，槽內人員 3 名中之 1 人於逃避時滑倒，且被火灼傷面積約 40%，其餘 2 人則平安脫困。

## 二、事故現場人員、設備及作業之描述

(一) 油槽施工現場如右  
示意圖。

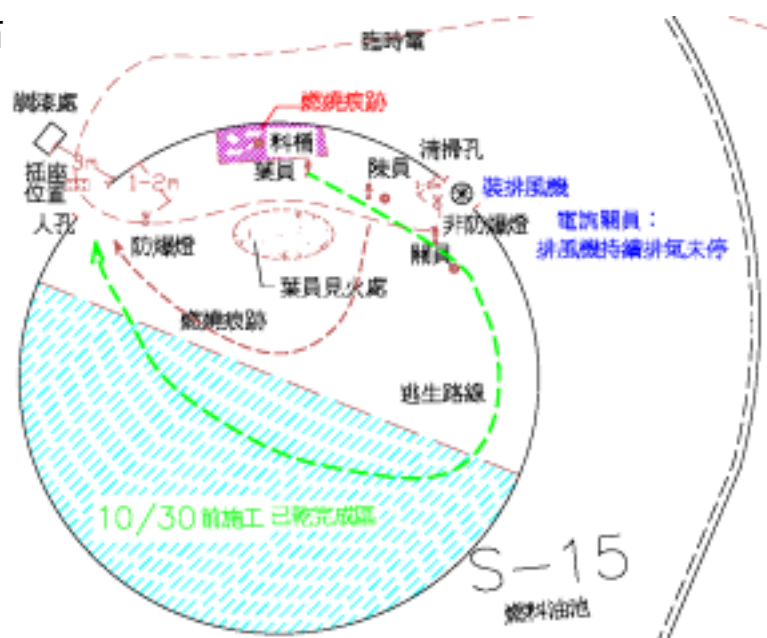


圖 1

(二) 槽內 3 人，葉員以雙手鋪設 FRP(玻璃纖維強化塑膠，fiber reinforced plastics)，陳員及關員以滾輪刷沾取調配好的塗料，再塗佈於 FRP 上，其中塗料之混合比為 15 公斤環氧樹脂漆與 5 公斤硬化劑，環氧樹脂漆的主要成份為環氧樹脂 (epoxy)、溶劑(二甲苯及甲基異丁酮)及填充料，而硬化劑的主要成份為聚醯胺樹脂(polyamide)、溶劑(二甲苯)及填充料。

(三) 事故油槽內的作業設備及器具僅有 3 個塗料料桶、2 根滾輪刷及 2 盞燈具，另外在油槽底部的清掃孔裝有排風機持續抽

氣，上述設備的位置如圖 1 所示。其中圖 1 中的耐壓防爆型燈具功率為 1000W(110V)，而非防爆型燈具功率則為 400W(110V)。

### 三、現場不安全管理分析

- (一) 局限空間作業未執行連續環境測定。
- (二) 局限空間作業有使用一具非防爆機具。
- (三) 防蝕塗裝作業，使用含有高揮發性且易燃之二甲苯。
- (四) 本案油槽施工時已打開槽頂通風口、槽壁人孔及清掃孔，但僅能以一具送風機固定於清掃孔送風，其通風量無法送達油槽內各部。

### 四、起火原因分析

#### (一) 非人為抽煙引燃

現場勘查並沒有發現煙頭及打火機等物品，且供油中心有良好的煙火管制，故排除抽煙引起此事故。

#### (二) 非電氣火花引燃

槽內的電氣用品僅 2 盞燈具。一盞為防爆燈，此燈外觀上沒有火焰燒灼痕跡，另一盞非防爆燈，雖然其部分電線絕緣包覆層被燒毀，但其金屬電線並沒有任何鎔融狀及斷裂現象，且此燈的插頭在槽外，插頭上亦沒有鎔融狀(電線走火的特徵)，故排除電線走火引起此事故。

#### (三) 非撞擊火花引燃

槽內金屬物質僅有塗料料桶及滾輪刷的金屬連桿，但在金屬連桿上並沒有發現明顯的撞擊高溫氧化現象，故排除撞擊火花引起此事故。

#### (四) 非靜電引燃易燃性蒸氣

據勞工安全衛生研究所進行之模擬實驗指出，當以滾輪刷滾動 FRP 上的塗料時，其靜電壓並無大幅度變化致足以產生靜電放電現象，最大靜電壓僅達 1 kV，故排除靜電引起此事故。且當天相對濕度在百分之 60 以上，產生靜電可能性更低。

#### (五) 起火原因判斷為：燃燒三要素之起火可燃物質，疑似為塗裝

用溶劑中受高溫的二甲苯蒸氣，及照明用電線、環氧樹脂熱裂解所產生的可燃性氣體。提供高溫的熱能來源，可能有下列 4 個：

1. 環氧樹脂漆與硬化劑混合產生的放熱性反應。

依勞工安全衛生研究所進行擬絕熱分析實驗，於室溫 (23.5 )下，依正常使用比例混合本事故所使用的環氧樹脂漆及硬化劑(重量比 3:1)，觀察在沒有外界熱源供應的條件下，混合時間與混合塗料系統的溫度關係，實驗結果如圖 2，印證環氧樹脂漆與硬化劑混合有明顯的放熱現象，直到 62.5 分鐘時，系統溫度達最高值 (177.0 )。

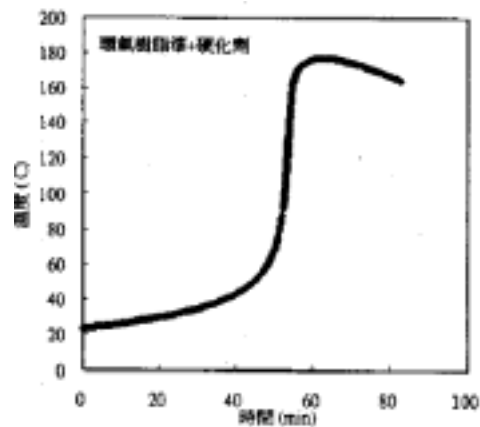


圖 2

2. 長時間光照作用所提供的熱能。

依勞工安全衛生研究所進行實驗分析，FRP 有塗覆塗料情形下，照射 20 分鐘時，電線側下方之溫度即可達 117 。實驗結束後，FRP 表面呈現嚴重的焦黑。此顯示 FRP 有塗料會大幅提升被照射面溫度，該所認為其原因之一可能為塗料本身的放熱反應所致，另一個原因亦可能為塗料吸收能量的能力較佳，而吸收的能量將造成溫度上升。

3. 電線造成的些許過熱。

勞工安全衛生研究所所以電線截面積 1.25mm<sup>2</sup> 及 0.75mm<sup>2</sup> 等 2 種三芯電線，在盡量絕熱環境下，連接 500W 的電燈，實驗結果電線溫度大約會上升 3.9 (1.25mm<sup>2</sup>)及 6.6 (0.75mm<sup>2</sup>)。因其溫升不大，且事故現場並非絕熱環境，實際溫升將更低，故對熱能的提供應僅有些許影響。

4. 電線及環氧樹脂等高分子材料受高溫作用發生放熱性裂解反應。

依勞工安全衛生研究所採用 DSC 對混合塗料(環氧樹脂漆及硬化劑)及電線絕緣包覆層進行 4 /min 的昇溫掃描分析，其中共量測到 5 個放熱波訊號，分別如下表，而各放熱訊號現象的說明如下：

熱昇溫掃描分析結果表( 4 /min)

	1	2	3	4	5
反應起始溫度( )	82.09	270.45	351.42	522.49	570.42
總放熱量(J/g )	120.54	216.00	55.32	1435.2	747.14

第 1 個放熱訊號應為環氧樹脂漆與硬化劑間交互反應所產生的放熱現象，承如前面 1. 的說明。

第 2 個放熱訊號判斷為未反應的硬化劑於此溫度產生放熱反應。根據 2003 年 Babrauskas 記載電線絕緣包覆層常用的聚氯乙烯(PVC)的自燃溫度為 263 ，所以第 2 個放熱訊號應是結合了電線絕緣包覆層放熱性裂解及硬化劑的放熱反應。

第 3 個放熱訊號判斷為未反應的環氧樹脂於此溫度產生放熱性裂解反應。根據 2002 年實驗報告，對多種不同環氧樹脂的熱穩定性的研究指出，環氧樹脂的熱裂解溫度介於 287-392 ，因此推論此訊號為未反應的環氧樹脂於此溫度產生放熱性裂解反應所致。

第 4 個放熱訊號判斷為二甲苯燃燒所致。根據勞工安全衛生研究所提供的物質安全資料表，二甲苯的自燃溫度為 527 ，因此，此訊號應為二甲苯自燃所產生的訊號。

第 5 個放熱訊號判斷應為環氧樹脂與硬化劑反應後所產生的產物，於此溫度放熱分解反應所致。

(六) 起火原因綜合如下：起火原因係為下列 4 種原因之結合，導

致可燃性氣體達自燃溫度。

1. 環氧樹脂漆與硬化劑混合產生的放熱性反應。
2. 1000W 與 400W(110V) 投光燈長時間光照聚焦提供的熱能。
3. 電線造成的些許過熱。
4. 電線及環氧樹脂等高分子材料受高溫作用而發生放熱性裂解反應。

## 五、事故自燃原因推論：

綜合上述推論，此事故一開始的火源較可能位於電燈照射面的電線側下方，因為此處不僅能獲得電燈照射所提供的熱能外，亦可取得電線使用時所產生的熱能，且側下方能提供較佳的絕熱效果，不易散失混合塗料反應(環氧樹脂漆及硬化劑)所產生的放熱量，更有助於溫度提升，此外，電線側下方局部溫度上升至 270 左右時，將再造成電線絕緣包覆層(PVC)產生放熱裂解反應，將會使溫度繼續上升而引發硬化劑(聚醯胺樹脂)及環氧樹脂的放熱裂解，溫度再不斷提升最終引燃環氧樹脂漆及硬化劑的溶劑蒸氣(二甲苯蒸氣)，及熱分解所產生的可燃性氣體。

## 六、預防及改善措施

- (一) 高危險性作業確實執行連續環境測定：槽內或局限空間作業應安裝連續監測設備，加強周遭環境之監控。
- (二) 嚴格要求依本公司局限空間作業規定執行安全管理，如禁止使用非防爆機具、設置監視人員、出入者應簽名並紀錄等措施。
- (三) 類似工程施工前召開之工程安全會議中，應明確逐項告知承包商，有關局限空間之危害防止、油漆作業(有機溶劑)之危害防止及缺氧危險作業之危害防止等，施工時仍需加強要求承包商確實執行所有安全檢查。
- (四) 監造人員對油槽防蝕塗裝作業，應嚴格要求承商依油漆規範施工。本案原設計使用之硬化劑(含二甲苯量多)比例甚低，承商未經同意擅自摻配較高之比例，而增加施工的危險性。

- (五) 加強工程人員之教育訓練：因油槽 FRP 防蝕塗裝工程在桃竹苗處屬第一次施工，監造人員專業知識不足。應持續邀請煉製事業部油工所及煉研所專家，指導油槽油漆塗裝作業之規範、施工程序及作業安全。
- (六) 儘量打開油槽所有開孔通風：本案油槽施工時已打開槽頂通風口、槽壁人孔及清掃孔。送風機固定於清掃孔，人孔當作出入口（亦是事故時唯一逃生口），其通風量無法送達油槽內各部，若能打開攪拌機孔等增加通風量，應可大幅降低槽內溫度升高及可燃性氣體之聚積。

參考文獻：

- (1) 勞工安全衛生研究所；中油新竹供油中心承攬商灼傷事故之測試結果報告；2006。
- (2) Peerman D.E.W.Tolberg, and D. E. Floyd,1957, " Reaction of polyamide resins and epoxy resins," Ind.Eng.Chem., 49(7),1091-1094.
- (3) Babrauskas V. , 2003,Ignition Handbook,Fire Science Publishers, Issaquah, USA。
- (4) Wu C.S. , Y.L.Liu,Y.C.Chiu,and Y.S.Chiu,2002, " Thermal stability of epoxy resins containing flame retardant components an evaluation with thermogravimetric analysis," Polymer Degradation and Stability,78,41-48.