

-請注意高壓管線銲接安全-

一、前言

102年5月27日12時22分高雄某煉油廠立式圓筒型汽液分離塔下方出口排放管發生破管、洩漏進而引發氣爆(圖1和圖2)，造成附近廠房玻璃破碎、工廠設備毀損及停工，顯示製程管線需積極且專注地進行安全管理，才不會造成重大工安事故的發生。



圖 1 102年高雄某煉油廠管線洩漏爆炸造成製程單元毀損圖



圖 2 102年高雄某煉油廠管線洩漏爆炸造成製程設備毀損圖

二、事故經過與肇因

本工安事故發生於高雄某煉油廠之重油加氫脫硫工場，該脫硫製程氣液分離塔¹下方的高壓排放管²，在連接高壓閥與排放管之鐸道³處，發生破斷、脫落（如圖 3 紅色圈圈處），造成氣液分離塔內大量氫氣外洩，引發氣爆⁴。

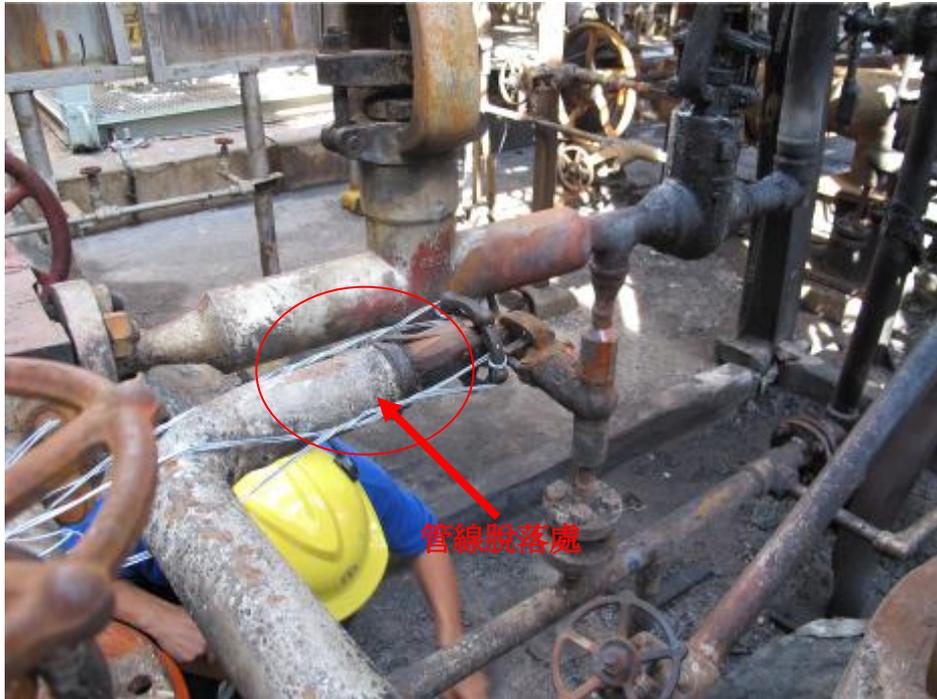


圖 3 102 年高雄某煉油廠高壓排放管脫落圖

由該處鐸道破斷觀察及試驗發現，破斷處之鐸道硬度遠高於其他管道鐸道之硬度(如表 1)，且鐸道成分(含鉻，原設計為碳鋼)明顯與其他管道鐸道成分不同(如圖 4)，顯示當初施工時使用錯誤焊條。

表 1 焊道各部位硬度值

樣品位置	測試值 (HV0.3)					平均值 (HV0.3)
鐸道斷裂處母材	158	157	156	150	157	156
鐸道斷裂處熱影響區	189	187	178	181	180	183
鐸道斷裂處鐸道	452	445	440	441	443	444
鐸道正常處母材	158	160	157	158	157	158
鐸道正常處熱影響區	180	185	184	182	189	184
鐸道正常處鐸道	205	204	199	207	206	204

¹ 氣液分離塔內容物為 87% H_2 ，9% CH_4 ，1.6% H_2S 及其他碳氫化合物。

² 該排放管作用為當氣液分離塔底累積足夠量的液態流體時，將排放管上的高壓閥打開，使液態流體排除。

³ 該製程原先並無此段排放管，由於原設計之塔底排放管常發生堵塞，故該公司於低液位計管線肘管處，利用三通另接此排放管。另原設計規範該段管線與閥銜接要用對接焊接，但進行製程變更時，現場以套焊銜接。

⁴ 當排放管發生破斷、脫落，氣液分離塔內含有大量高壓(150 大氣壓力)氫氣，隨著排放管洩漏至大氣而發生爆炸。

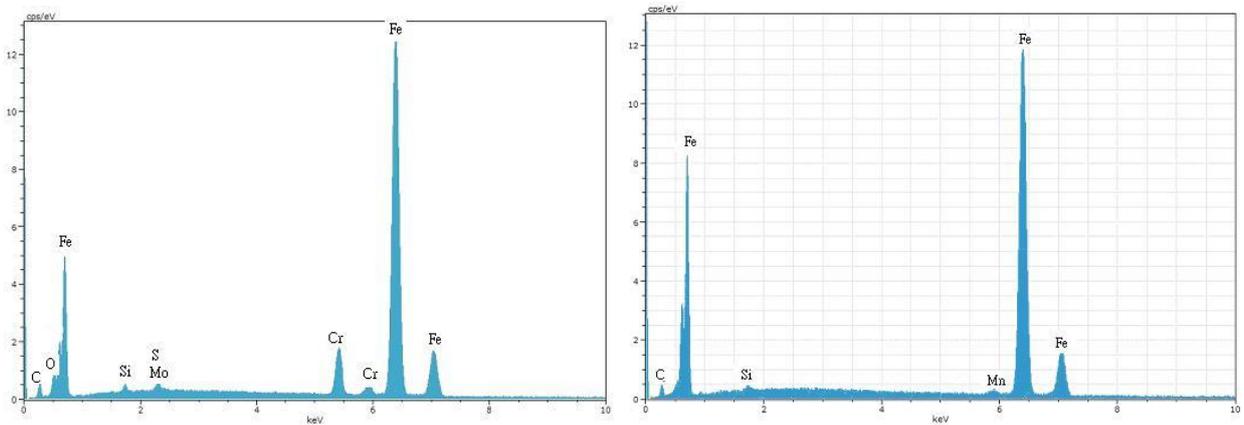


圖 4 排放管破斷(左圖)與正常處(右圖)之鐳道成份光譜圖

另由排放管破斷處之鐳道觀察發現，該處之鐳道腳長不足(如圖 5，排放管之直徑為 2 吋，厚度為 10mm)，鐳道根部局部滲透不足(如圖 6)，加上以套鐳方式焊接(原設計規範應使用對鐳焊接)，並且該處流體長期處於滯留狀態，極易發生硫化氫腐蝕，如圖 7 所示。

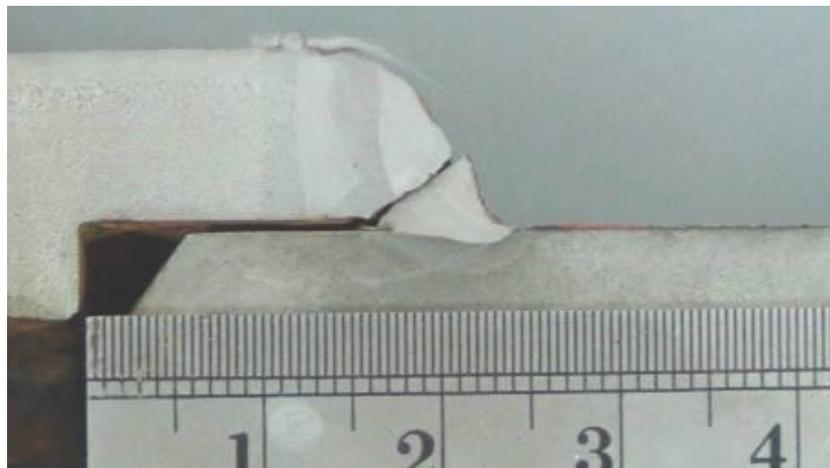


圖 5 鐳道斷裂處鐳道腳長 X 軸約 6mm，Y 軸約 10mm

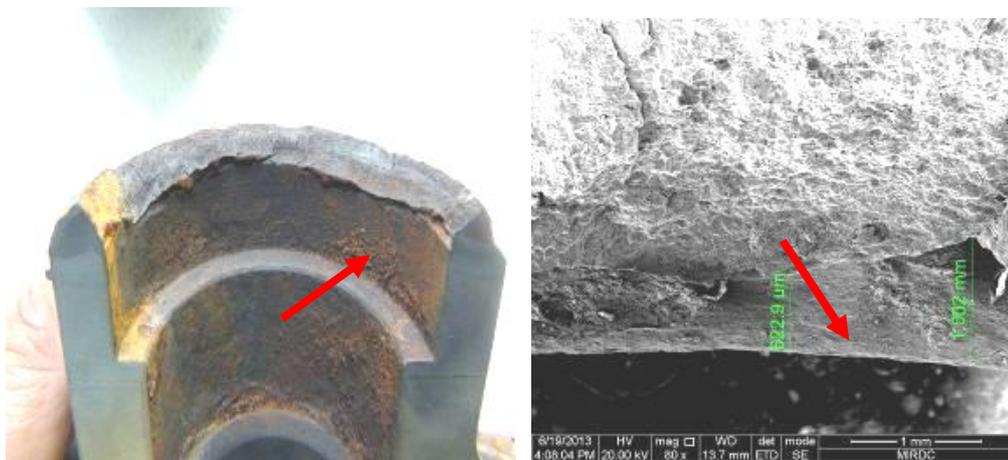


圖 6 管路鐳道斷裂處鐳道與母材局部鐳道滲透不足

檢討本工安事故，可以發現該工場對於製程變更管理和機械完整性等製程安

全管理並未到位，造成製程變更（加裝排放管）時，未實施風險評估（未評估出該段為滯留區，且內容物為高壓），未檢核施工規範（未檢視施工要求，該段需以對焊銜接），且變更後，亦造成強度降低未進行 P&ID 圖修改，加上現場施工不良（使用錯誤焊條，焊厚及焊接滲透不足，造成硬度太高，加裝之懸空排放管未提供足夠支撐，且鐸道成份使用高合金鐸條，其韌性大幅度降低）；此外鐸道硬度太高在濕式硫化氫環境下容易造成硫化氫應力腐蝕龜裂，在這些因素加乘作用下，管線從鐸道根部（滲透不足，強度最低處）產生微小裂痕（如圖 7）後，產生局部疲勞破壞及硫化氫應力腐蝕龜裂（如圖 8），並在高壓作用下，造成管路瞬間由內往外破壞，因而發生破管洩漏事故。

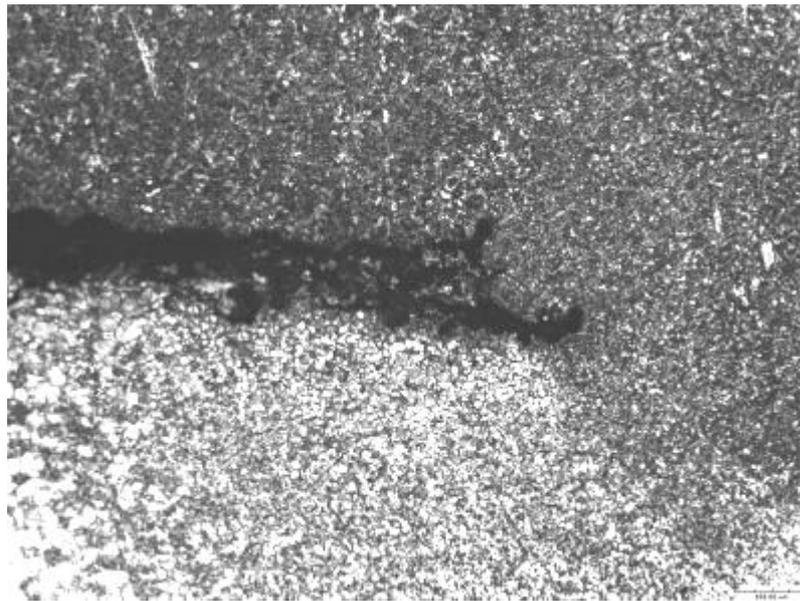


圖 7 金相觀察鐸道根部有微小裂痕生成

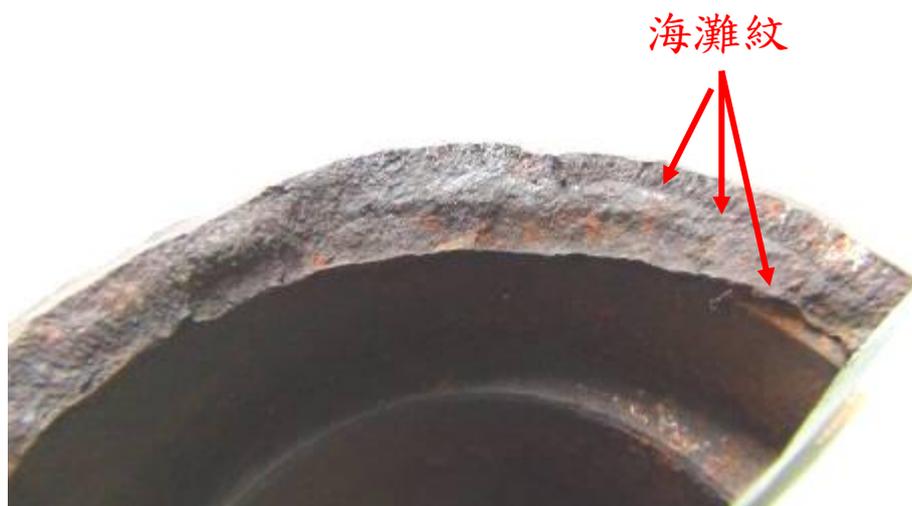


圖 8 高壓閥側鐸道斷裂面表面有模糊之海灘紋與腐蝕生成物形成

三、氫氣特性

氫氣 (Hydrogen) 係一種無色、無臭、無味、無毒的可燃性氣體，亦是最基本的化學元素與原料。近十年來，氫氣被大量的應用在石化工業脫硫製程中，其相關之製造、儲存、運輸及運用準則均已建構完備，只要有正確的操作程序及遵守使用規範，都能安全的使用氫氣。

本事故之氣液分離塔內主要內容物即為氫氣，由於氫氣會跟氧產生劇烈的反應導致爆炸¹。在空氣中氫氣超過 4% 時，一定要避免火源或是火花，如管線中的氧化鐵與空氣摩擦所產生大量靜電累積，亦有可能發生靜電放電而引爆氫氣，另電器的開關或是物體的碰撞都可能產生火花，故使用氫氣時一定要在通風良好的環境下，並且應裝置適當的氫氣偵測警報器。

四、硫化氫腐蝕機制

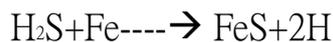
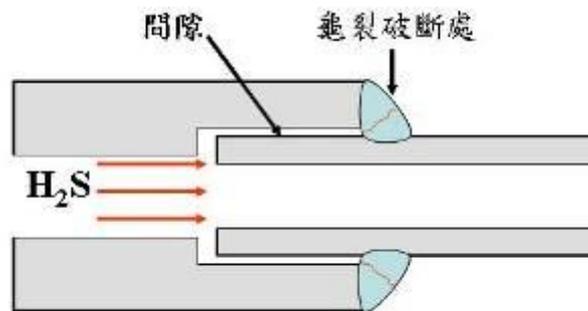


圖 9 套焊法蘭腐蝕示意圖

本次管線脫落處，其銲接方式為套銲，由於套銲易於管材和管件之間隙產生腐蝕(箭頭所示)，硫化氫易與鐵產生硫化鐵，並產生氫原子，氫原子滲入高硬度銲道，在應力作用，會產生硫化氫應力腐蝕龜裂，若再加上疲勞加乘作用，就會導致套焊連接處產生脫落，並造成管線內容物外洩。對於一般常見的管線銲接方式，優缺點如表 2。

¹氫氣在空氣中的最低爆炸濃度為 4%，室內日光燈的啟動就有可能引爆滯留在天花板附近外洩的氫氣。

表 2 焊道之優缺點

焊道種類	適用系統	優點	缺點
對銲	蒸氣系統	有光滑的內部表面，提供最低擾流和漸次方向改變 管路系統的結構與支架需要的間隔較少 防漏、較少維護、易於保溫、自成封閉系統	不易拆卸
套銲	管徑較小管線	管端不需加工導斜角。 接口與管子是自動對齊，因此不需點銲。 銲道不像對銲沿伸至管壁內。 能代替螺紋管件，減少洩露問題。 比熔接式管件便宜且易於裝配。	在相配合的內側部分容易受到腐蝕或浸蝕。 有嚴重腐蝕之慮或有發生間隙腐蝕者，不得使用套銲

五、高壓管線銲道安全注意事項

1. 現場作業或製程變更時，一定要實施變更管理。製程變更應事先提出製程修改安全計畫申請，透過審查程序，以確保所有之危害與風險均被審慎鑑別與評估，並作適當之防範措施，而製程變更後亦須進行人員告知、教育訓練與技術資料更新等作為，以確保變更之執行不會產生新風險。
2. 製成進行變更管理，變更設施需和變更前維持相同標準或以上。
3. 銲接時需實施銲接管理，尤其銲條選擇、銲道處理、銲接方式等，一定要確實檢核和施作。
4. 管線銲接後需依相關法規或工程規範之要求實施銲後熱處理，應依規範要求加工，以消除或減少在銲接過程中所產生的應力以及硬度，防止銲道和熱影響區，但高合金鋼材質可能產生應力腐蝕劣化。
5. 銲接時必須依照標準程序實施銲接；對於銲工必須實施管理，以確保其施工品質；銲接後必需對銲道實施必要之檢測，例如射線照相、硬度量測或材質確認(PMI)，以確認施工品質，確保安全。
4. 對於異常或有嚴重腐蝕之虞管線，應實施機械完整性(Mechanical integrity, 簡稱 MI)評估與管理。管線材質選用，需依管線內容物物性及化性進行考量及規劃，以避免腐蝕現象發生。
5. 石化廠等廠內管線，定期使用導波等檢測法做大範圍及大面積檢測，以防止管線因腐蝕造成的洩漏，且對長距離管線亦應進行定期檢測。
6. 高壓操作管線有嚴重腐蝕之慮或有發生間隙腐蝕之管線，不得使用套銲。

六、參考文獻

- [1] Junjie Xiu, Hongyang Jing, Yongdian Han, Lei Zhao, Lianyong Xu; Effect of groove on socket welds under the condition of vibration fatigue Journal of Nuclear Materials 433(2013)10-16.
- [2] 蘇俊吉、陳孟宏、許峰彰，製程管線損傷案例解析和強化方案探討。
- [3] E.G. Merilo , M.A. Groethe , R.C. Adamo , R.W. Schefer , W.G. Houf , D.E. Dedrick Self-ignition of hydrogen releases through electrostatic discharge induced by entrained particulates interational journal of hydrogen energy 37 (2012) 17560.
- [4] J.X. Wen*, B.P. Xu, V.H.Y. Tam Numerical study on spontaneous ignition of pressurized hydrogen release through a length of tube Combustion and Flame 156 (2009) 2173–2189
- [5] Seihwan Kim , Hyoung Jin Lee , Ji Hyun Park , In-Seuck Jeung , Effects of a wall on the self-ignition patterns and flame propagation of high-pressure hydrogen release through a tube Proceedings of the Combustion Institute 34 (2013) 2049–2056
- [6] Sergey Golovastov, Vladimir Bocharnikov, The influence of diaphragm rupture rate on spontaneous selfignition of pressurized hydrogen: Experimental investigationi n t e r n a t i o n a l j o u r n a l o f hydrogen energy 37 (2012) 10956-10962.

收到相關文件如有任何疑問，請洽勞工委員會勞工安全衛生研究所

地址：新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號

作者：曹常成研究員、吳俊逸助理研究員、沈志陽助理研究員

電話：02-26607600 轉 229 傳真：02-26607732

或參考本所網站 <http://www.iosh.gov.tw> 相關訊息