

1974 年英國傅立克斯鎮尼龍原料工廠反應器管線破裂爆炸事故

一、事故概況

1974 年 6 月 1 日（星期六），下午 16：53 時，位於英國傅立克斯（Flixborough）鎮一座英國尼龍公司（Nypro Limited）生產己內醯胺（Caprolactam）的工廠反應區，因連接反應器（Reactor）的臨時管線破裂，遇上火源引起爆炸，將整個生產工廠夷為平地，甚至 100 公尺外的行政大樓亦遭嚴重破壞。廠內工作人員 28 名被炸死，36 人受傷；廠外有 53 人受傷，輕傷約數百人。損壞了 1,821 座房屋及 167 間商店和工廠。幸好發生在週六下午，一般行政及工程支援人員休假不在場，否則工廠內死傷人數將可能高達 128 名。大火連續燃燒了多日，事故後第十天仍有許多救援工作受大火所阻，隣近社區和工廠的設施也受到不同程度的破壞。

二、事故原因分析

發生事故的工廠係使用環己烷空氣氧化法製造尼隆，當時年產量約 7 萬噸。製程中一個主要步驟是將環己烷與空氣充分攪拌混合後，氧化反應產生環己醇與環己酮；這一步驟反應慢，轉換率低。整個生產線是由 6 座容量各 20 公噸的反應槽串聯組成，反應液由一個反應器流出後與空氣混合再注入另一個反應器繼續反應。未反應的原料則分餾後再回收使用。由於轉換率只有 6 % 左右，因此 94% 的反應原料在系統內循環。操作壓力約 8.8 kg/cm²，操作溫度約 155°C，高於環己烷的沸點 81°C。

由於構成串聯系列的反應器中的第五號反應器在操作中發現有洩漏，因此拆下修理，為了維持繼續生產，操作經驗豐富但未具管線設計專業資格的化學工程師們自行評估安裝了一段臨時管線，將四號及六號反應器加以連接（圖一）；反應器間的連接管線原使用 28 吋的不銹鋼管，但是當時倉庫並無 28 吋的不銹鋼管可用，因此以庫存的直徑 20 吋的管線代用，由於口徑減少了 28.6%，截面積減少了近一半，致管內流速增至合理速度的 2 倍，管內的壓差及反應力亦大幅增加。又為了配合四號及六號反應器間的高度差異，這一段臨時管線作了兩處彎折，未經適當設計與支撐，只用鷹架支託（圖二）連接至四號及六號反應器進

出口的彈性伸縮管上。

臨時管裝設前未對管線本身亦未對整個組合進行試壓，裝設後雖曾對整個設備試壓至 9 kg/cm^2 ，但並未達安全閥的設定壓力 11 kg/cm^2 ，且是試氣壓而非一般應用的試水壓。安裝臨時管的全部工作在幾天內便完成，生產也立即恢復並順利運轉兩個月。但由於化學工程師們在機械方面的訓練不夠，對於大口徑管線在應力及支撐上的要求未深入了解。雖曾經計算 20 吋管足夠應付生產的最高流量及可以承受操作的壓力，但並未計算改銲成彎折管線和兩端伸縮管的耐壓能力，以致兩個月後的某一天，因操作狀況的一些變化和調整，使操作壓力達到 $9.1\text{--}9.2 \text{ kg/cm}^2$ ，雖僅稍微高於平常的操作壓力 8.8 kg/cm^2 ，但其產生的應力卻將 20 吋管由彎折處扭曲而撕裂，造成反應器內處高壓高溫的環己烷在短短 50 秒內，外洩了近 30~50 公噸，瞬間爆炸性混合氣體便籠罩了整個生產廠房。

三、學得的教訓：

(一) 製程修改時變更管理的重要

任何製程的變更或修改，不論大小、暫時或永久性，均須經過一定的評估程序，不但要可以使用，還要能安全地使用。本案例中工程師們相當有效率地在短時間內移去了有洩漏的反應器，並裝置了臨時管線，使生產在短時間內迅速恢復。但臨時管線結構及缺乏強力支撐等弱點並未被考量。在生產時程壓力下，未經安全評估的臨時處置，往往會為了省事省錢而付出更大代價。一般對於新建的廠，新完工的設備、設施，會用較嚴格的標準評審其操作的安全性。但對於舊有設備的修改，尤其是臨時性的，往往採用「可以使用」或「看起來沒有問題」的態度對應，此思維方式值得檢討修正。

(二) 專業團隊的必要性

HAZOP 分析時要求由具有不同工程領域或工作經歷背景的人共同來進行，便是注意到各專業領域的獨特性及局限性，而以集思廣益的方式，從各個角度來思考探討可能的危害潛因，本案例負責設計裝置臨時管線的工程師，在化工操作上經驗豐富，但並不

熟悉如何設計能耐高壓高溫並有適當支撐的大口徑管線。事實上，這是屬於機械工程的專業領域，一位稍有訓練的機械工程師應能輕易指出這個設計上的疏忽。當時雖然工廠內處處都是機械設備，但全廠卻沒有一位專業的機械工程師。另外設置稱職的安全顧問，隨時提供豐富的工程經驗與安全諮詢亦是非常重要的。

(三) 完善的維修保養與稽核制度

發生本事故的工廠沒有建立包括儀器等在內的維修保養校正與稽核制度。根據統計，半數以上嚴重的洩漏事件均起因於管線破損。而大部份的管線破損又可歸因為沒有確實遵循設計規範施工。因此應詳細訂定相關工程規範與標準，並於施工中及施工後稽核規範所列事項是否已被確實遵守。平時的保養與例行檢查更是防災的必要預防手段。除了接頭、閘門等處外，更應留意腐蝕、振動等現象。老舊管線如有需要亦可用非破壞性方法檢測管壁厚度，以評定其腐蝕耗損狀況，據以決定是否需汰舊換新。

(四) 控制室應為具有防爆結構的建築物

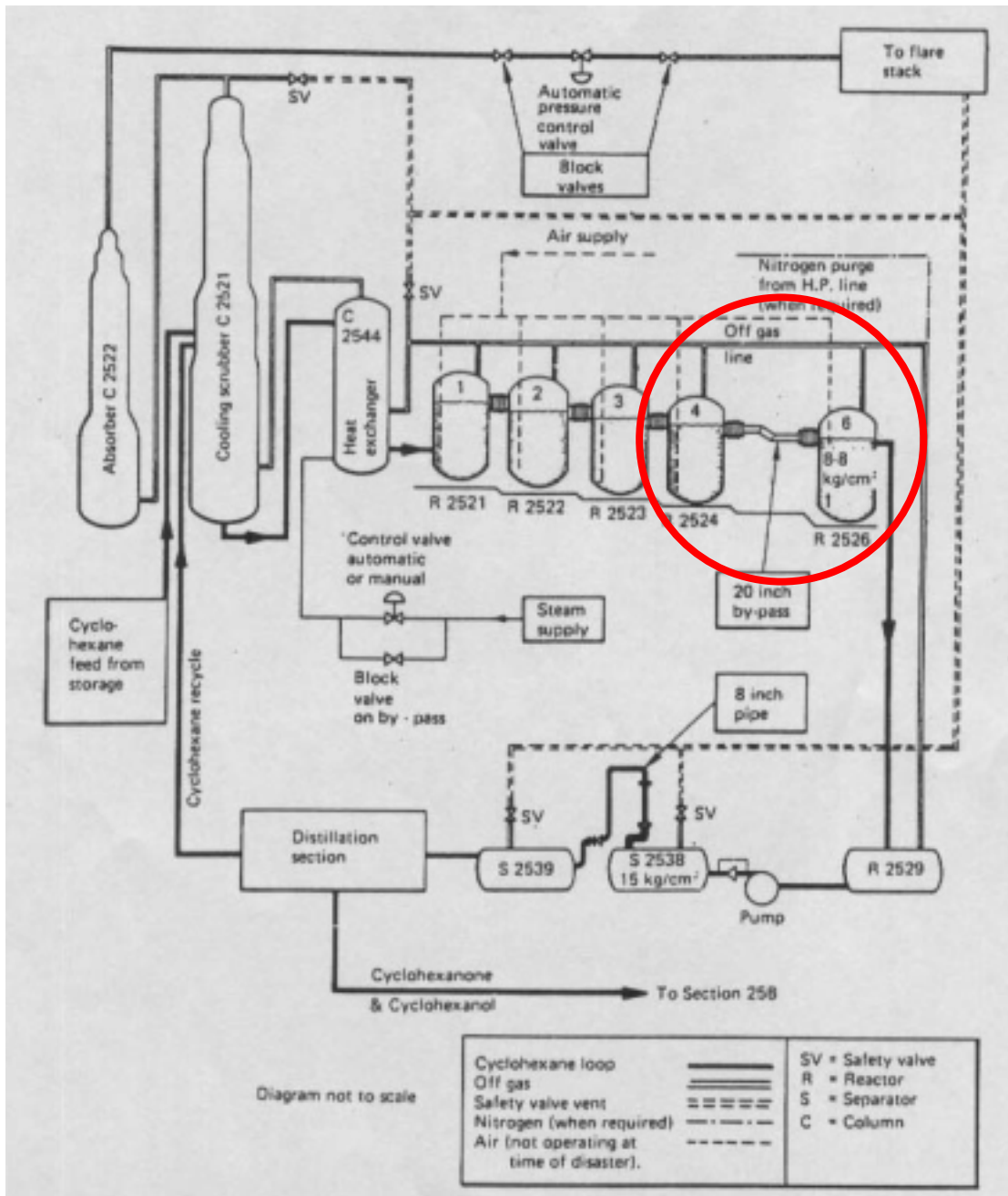
此次事故，死亡 28 人中的 18 人為控制室人員，係因控制室的屋頂倒塌而喪生，反而在戶外的工作者多能逃過一劫。因此沒有防爆設計的建築，在爆炸時不但不能提供防護，反而是致死的陷阱。

(五) 廠區佈置應保持適當的距離

Flixborough 的行政大樓距出事廠房約 100 公尺，粗略看來，這樣的距離夠遠了，但此次事故的震波卻嚴重損毀了行政大樓。為減少意外時的傷亡率，對危險性工作場所應保持適當的安全距離，非必要工作人員愈少愈好。不少工程規範如 NFPA、API 等均訂有安全距離的建議，可作為參考。安全距離要多少才夠不是絕對的。實際規劃安全距離時仍需考量危害物的物理化學特性、數量、操作狀況(壓力、溫度)等條件。

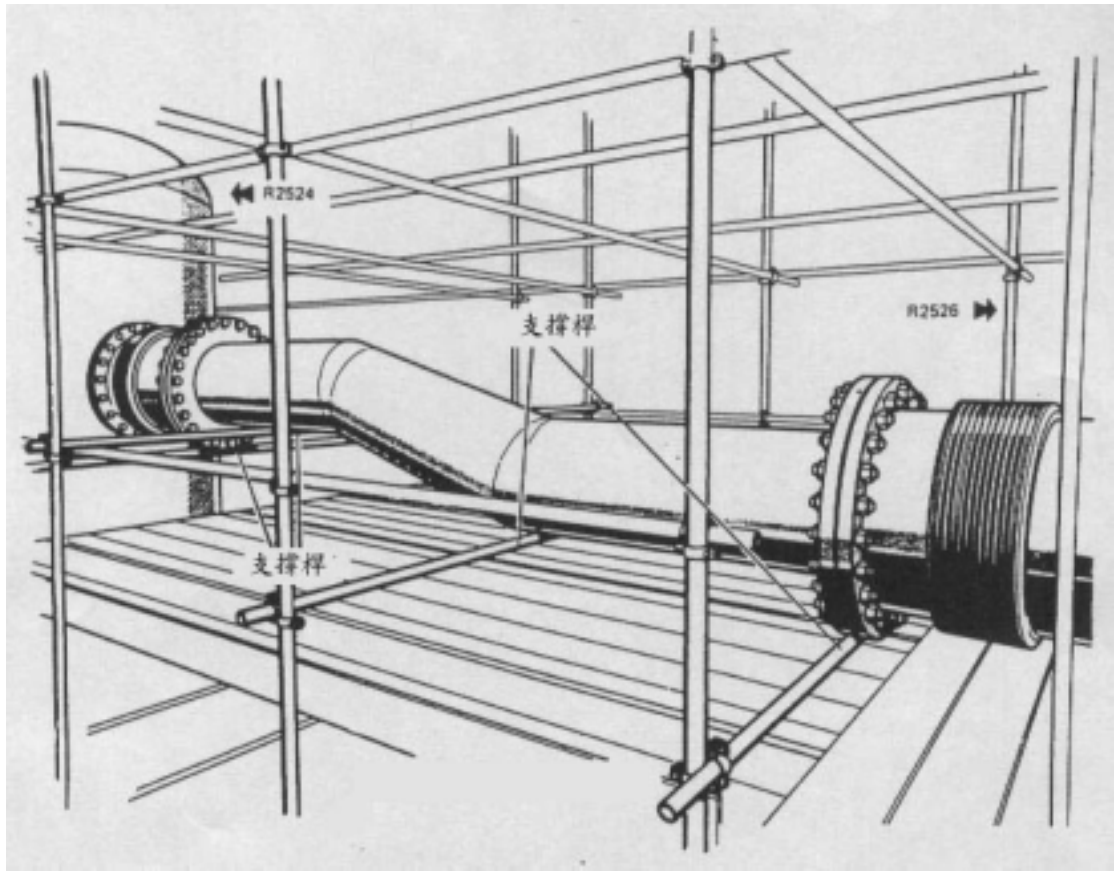
(六) 危險化學品應做周詳的儲運管理

環己烷是可燃性液體，但真正形成這次可怕災難的因素是環己烷的物理狀態及龐大的洩漏量。本案例在 50 秒內，洩漏了 30~50 公噸的環己烷。如此大規模的外洩，任何緊急回收處理系統都來不及處理。所以減少危害物的儲量或使用量，將可有效地管制洩漏量的多寡並控制外洩意外事件的危害影響範圍與程度。



圖一 傅立克斯環己烷氧化工場流程簡圖

(摘自 Loss Prevention in the Process Industrial Vol.3)



圖二 臨時連接管及支撐鷹架圖

(摘自 Loss Prevention in the Process Industrial Vol.3)