

嘉南藥理學院教師專題研究計畫成果報告

計畫名稱：放熱反應器的 HAZOP 與 FTA 及其比較分析

計畫編號：CNIS—89—05

執行期間：88 年 9 月 1 日至 89 年 6 月 30 日

計畫類別：個別型

主持人：黃清賢

協同研究：陳軒怡、陳貞樺、黃莉丹

摘要：

有鑑於化學製程單元中較易於產生重大災害的設備之一是放熱的反應槽。本研究乃選定具有放熱反應的礦酸反應槽作為實施危害與操作性研究（HAZOP）和失誤樹分析（FTA）的危害分析對象。

在 HAZOP 的部分，本研究主要運用，較少（less of），相反（reverse），較多（more of），除....之外（other than），等引導詞（guide words）對礦酸反應槽相關的管路、閥等設備實施詳細、縝密的危害分析，並提出改善之道。

在 FTA 的部分，本研究將反應槽可能發生爆炸的情形以失誤樹確定爆炸的四種可能原因：

1. 丁二烯未能進料
2. SO₂進料故障
3. 壓力控制器故障
4. 冷卻系統故障

經由這四種原因，追查基元事件的最小切集合。並由此估算此硫礦反應槽的爆炸機率為 4.039×10^{-2} 。

本研究最後對 HAZOP 與 FTA 進行比較分析發現：

1. HAZOP 的分析對象多成為 FTA 的基元事件。但 HAZOP 深入分析各個相關設備的故障情形。
2. FTA 的失誤樹則顯示各個基元事件的組合以及各事件之間的整體關係。而 HAZOP 僅顯示個別故障的情形，缺乏整體呈現的效果。
3. FTA 使我們瞭解硫酸反應槽的危害程度，由此估計所得的爆炸機率，可進一步估計其風險大小。

關鍵字：HAZOP

FTA

比較分析

前言：

過去對於危害認知與預防，常以檢查表或 what-if 等非結構性、系統化的方法進行分析。本專題擬以 HAZOP (Hazard and Operability Study) 及 FTA (Fault Tree Analysis) 研討石油化學製成單元之反應槽的操作危害。HAZOP 基本上是一種強而有力之定性危害分析的方法，具有系統化、全面化的優點，尤其在系統初期認定的作業程序或在設備中的危害，特別適用於新製程設備或尚未明瞭的反應或製程情況。FTA 可讓使用者容易知道事件順序中的邏輯關係，可以系統性觀察及尋找人為失誤即對整個系統作定性又定量的分析。因此 HAZOP 僅是一種定性分析，無法量化或分級危害且不能考慮危險性高但發生機率低的事件，但若輔以 FTA 之分析結果則可提高危害分析之整體效果。

本專題的主要研究目標：

1. 熟練 HAZOP 與 FTA 之分析方法。
2. 運用 HAZOP 找出放熱反應槽相關作業的各種危害，並尋求與建議改善方法。
3. 運用 FTA 找出放熱反應器之反應槽相關作業的各種危害，深入瞭解危害的防範之道。
4. 比較 HAZOP 與 FTA 兩種方法的分析結果。

由於石油化學製程牽涉範圍極廣，本專題研究對象僅限於石油化學製程單元之反應槽，而使用分析工具為 HAZOP 與 FTA。

本研究是針對礦酸反應槽進行 HAZOP 與 FTA 危害分析。此反應槽的反應物是丁二烯和 SO₂(方俊民 1993)(丁二烯和 SO₂相關資料參考附錄六物質安全資料表)，反應後之生成物是 1-諷代-3-環戊烯 (O₂SCH₂CH : CHCH₂, Sulfolene) 並產生高度的放熱反應。因是放熱反應，丁二烯和 SO₂的濃度比，必須嚴格控制在 1 : 8，否則將使反應槽產生高溫及高壓而發生失控反應 (runaway reaction)。而反應槽的溫度壓力的控制又有賴於流量控制系統的高可靠度。除了原料濃度與流量控制之外，亦需注意反應槽壁旁側的冷卻設備，以除去反應所產生的熱。

此反應在高壓液態下中進行，且屬高溫放熱之反應。

本文：

本研究首先利用 HAZOP 針對礦酸反應槽進行危害分析，對製程上每個設備使用引導詞，例如 none、less of、more of、more than、reverse、as well as、other than 等來找出可能出現偏離的情況，根據引導詞來推測造成偏離的原因，例如管線破裂、幫浦故障等原因，也可推測出偏離的後果，例如爆炸、火災的發生。完成上述步驟後，再根據製程、製程狀況、設計、操作方法等擬定改善對策。

其次，使用 FTA 對礦酸反應槽進行分析，根據整個操作程序、設備反應的過程，人為的故障或失誤來瞭解各種危害，分析各事件間的因果關係，建立失誤樹。再用布林代數進行定性分析，求出反應槽爆炸的最小切集合，又從各基元事件的發生機率，求出反應槽爆炸的機率。

最後，本研究綜合比較，比較 HAZOP 與 FTA 的研究結果。

一. HAZOP 研究結果

此次研究將礦酸反應槽分成三大主要部分進行 HAZOP 分析，(一) 丁二烯輸入管線(L1)

及其相關設備，如表 1，(二) SO₂輸入管線 (L2) 及其相關設備 (三) 冷卻水管線及其相關設備，將各部分所屬設備利用引導詞找出其偏離原因、後果。

表 1 磺酸反應槽之管線 I (L1) HAZOP 分析

設備	引導詞	偏離的原因	偏離後果	安全防護裝置	防範對策	備註
L1 (管線 I)	None	1. 管線嚴重破裂，丁二烯完全無法進入槽內 2. 管線嚴重阻塞，丁二烯無法流入槽內	磺酸反應槽爆炸	1. 在管線上加裝流量計 2. 加裝警報器	人員定時巡視及定期維修與保養	
	Less of	1. 管線輕微破裂，但仍有少部分之丁二烯流入槽內 2. 管線部分阻塞，但仍有少量丁二烯流入槽內	磺酸反應槽爆炸	1. 在管線上加裝流量計 2. 加裝警報器	人員定時巡視及定期維修與保養	
	Reverse	1. 反應槽內之壓力過高，導致物料(丁二烯)逆流	磺酸反應槽爆炸	加裝逆止閥	人員定時巡視及定期維修與保養	

二. FTA 研究結果

此研究利用 FTA 進行磺酸反應槽之危害分析，其可補強 HAZOP 分析方法之不足，且可將其分析結果予以量化，再參照基元事件及其故障率之發生機率表，代入每個基元事件的故障率，求出反應槽的爆炸機率。以此次的研究，其失誤樹的機率推演，得此值為 4.039×10^{-2} ，根據經驗，大於 10^{-4} 是屬於高度危害， $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 是屬於中度危害，小於 10^{-6} 是屬於低度危害，故此磺酸反應槽是屬於高度危害，所以應盡快裝設安全防護裝置並加強定期巡視及設備保養，使丁二烯反應槽之危害機率比 4.039×10^{-2} 更低，才能真正減低危害的程度。

三. 綜合比較分析

經過 HAZOP 與 FTA 分析之後可得出 SO 進料故障 (其失誤率為 2.0168×10^{-2}) > 丁二烯未能進料 (其失誤率為 1.019×10^{-2}) > 壓力控制器故障 (其失誤率為 1.0032×10^{-5}) > 冷卻系統故障 (其失誤率為 3.952×10^{-19})，故我們可以此量化的失誤機率為依據，評斷出丁二烯進料等方面之設備較具有高危害性，且應優先做安全裝置等防護措施。加上 V₁，V₂，V₃ 的故障率 (10^{-2})，較一般設備為高，也是導致最後磺酸反應槽之失誤率偏高的原因，因此除優先做丁二烯進料等方面之設備的安全防護裝置外，還必須加強 V₁，V₂，V₃ 之安全防護裝置，例如加裝流量計、警報器、或另外一條備用管線，如此一來，必可使原屬於高度危害的磺酸反應槽，減低危害程度。