



工業事故災害案例研析

(2019產業安全衛生技術輔導成果發表會)

報告人：

正工程師/技術經理 何大成

中華民國 108 年 11 月 29 日

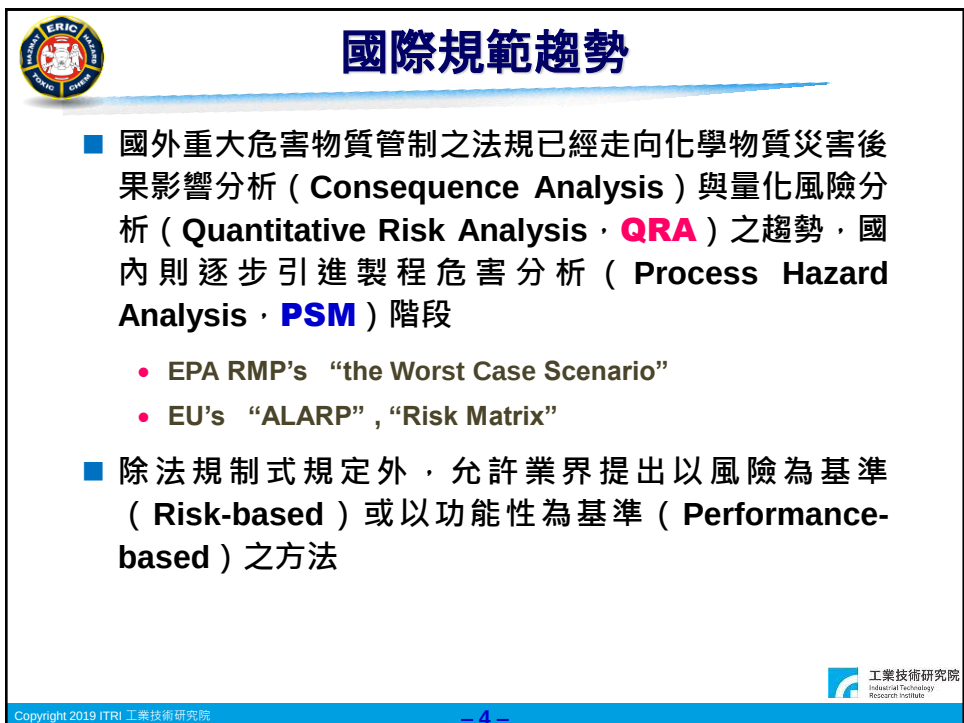
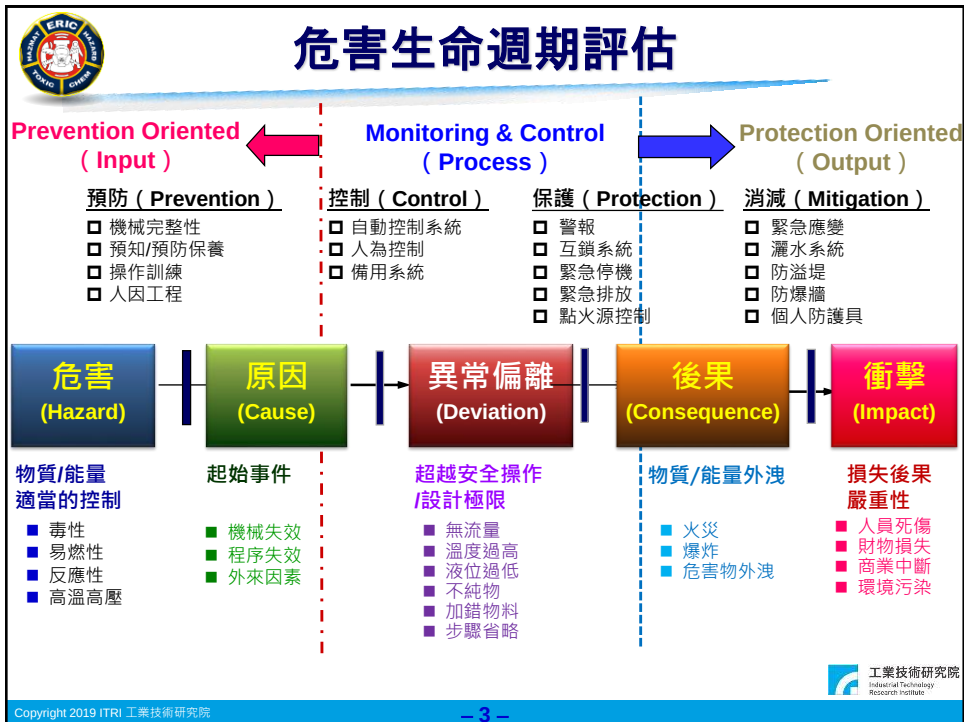


ERIC
 Emergency Response
 Information Center



事故後必要的警醒並做出具體改變

- 沒有人會比你還瞭解你自己的工廠，業者要投入更多專業人力與經費在管理、預防、訓練、整備及應變的工作
- 預防與管理才是安全的保障，魔鬼總是藏在細節裡，肯定有方法可以發掘出來，決心、承諾與主動缺一不可
- 法規只是最基本的要求，業界要以風險基準 (Risk-based) 或功能性基準 (Performance-based) 精進並強化風險損防，更要超越法規
- 安全是「全員的職責」，管理階層要接地氣，深入且務實地瞭解基層潛在的問題，並尋求專業協助持續精進
- 訓練是專業的、是紮實的，切勿淪為「應付」，更不可有「湊時數、有訓練就好的心態」，內容和品質務必要兼顧！
- 營運階層在面臨安全抉擇時，絕對沒有僥倖、模糊與遲疑的空間，如果停俾是最佳的選擇，應授權值班主管執行停俾
- 安全文化不是口號、更不是標語，它是「安全真實行動力的展現」
- 工程的事交給工程解決，但務必遵守工程規範、切忌「便宜行事」
- 「他山之石、可以攻錯」，安全更不是秘密，但請教、詢問後要落實
- 追求利潤時、更要顧及安全，投資時別把「投資安全」拋在腦後



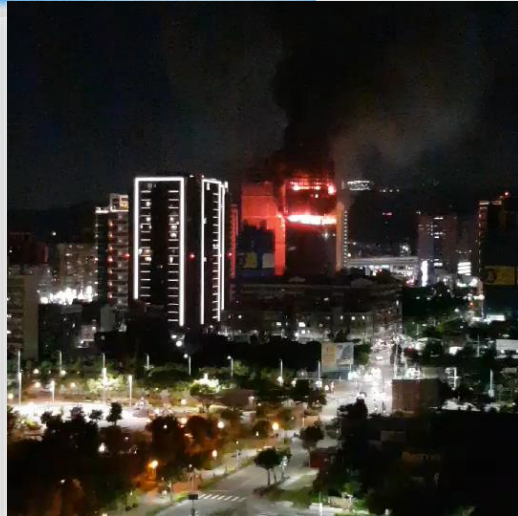


執行量化風險評估之驅動力

- 為何要執行風險評估
 - 國內外重大化災事件回顧
 - 意外事故案例統計分析
- 重大危害物管制國際法規
- 風險定義
- 安全評估方法
 - 定性分析
 - 半定量分析
 - 定量分析



重大事件與案例統計 (預料中?後續作為!)





25年來襲日最強颱風「燕子」

■ 2018/09/04颱風「燕子」中午登陸四國德島南部

- 隨後在下午2點左右登陸神戶市附近 (日本氣象廳最新的氣象資料顯示)
 - 目前以時速65公里的速度向北北東前進
 - 大阪測得每秒47.4公尺的57年來的最強陣風風速
 - 多地也出現16、17級以上的強陣風，打破多個測站的風速紀錄 (為日本近年來罕見的風力)
- 燕子帶來的強風豪雨配合大潮，讓建立在人工島上關西國際機場滅頂
- 對外唯一聯絡道還被一艘油輪給撞上

■ 燕子所引發的風暴潮，讓建在人工島上關西空港慘遭滅頂

- 地勤作業車輛、空橋全都泡在海水，情況慘烈
- 一艘停泊在大阪灣的油輪「寶運丸」遭強風吹離港口，撞上機場唯一對外聯絡道，雖然船上11名船員沒有大礙，但聯絡橋結構受到破壞，目前船仍卡在橋上。(消防首要事件)



Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 7 -



Jebi typhoon hit Japan

燕子所引發的風暴潮，讓建在人工島上關西空港慘遭滅頂



<https://www.uttarakhandleaks.com/typhoon-jebi-kills-at-least-9-in-japan-boats-move-tourists-from-flooded-airport/>



Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 8 -



關西機場關鍵性的潛在風險

對外唯一聯絡道還被一艘油輪給撞上

中繼

關西空港



<https://www.uttarakhandleaks.com/typhoon-jebi-kills-at-least-9-in-japan-boats-move-tourists-from-flooded-airport/>

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 9 -





17級以上的強陣風風速紀錄

臺灣颱風風速紀錄

氣象測站	持續風力				陣風				備註
	發生時間	風暴名稱	風速 (m/s)	蒲福氏風級	發生時間	風暴名稱	風速 (m/s)	蒲福氏風級	
臺北	1962年8月	歐珀 (Opal)	33	12級	1962年8月	歐珀 (Opal)	49.1	15級	
澎湖	1949年9月	尼利 (Nelly)	37	13級	1986年8月	韋恩 (Wayne)	68	>17級	
恆春	1953年8月	莉泰 (Rita)	36	12級	1991年7月	艾美 (Amy)	49.4	15級	
臺中	1969年9月	艾爾西 (Elsie)	21.7	9級	1969年9月	艾爾西 (Elsie)	39	13級	
臺南	1952年11月	貝絲 (Bess)	31	11級	1987年9月	傑魯得 (Gerald)	45.6	14級	
臺東	1965年6月	黛納 (Dinah)	43	14級	2016年7月8日上午4時36分	厄伯特 (Nepartak)	57.2	17級	自1901年建站以來最大陣風紀錄[1]
花蓮	2005年10月2日上午5時8分	龍王 (Longwang)	45.2	14級	2005年10月2日上午5時12分	龍王 (Longwang)	64.9	>17級	自1948年有觀測紀錄以來最大持續風力及最大陣風[2]
高雄	1962年10月	黛納 (Dinah)	35.3	12級	1977年7月	賽洛瑪 (Thelma)	53	16級	
鞍部	1971年7月	娜定 (Nadine)	43	14級	2015年9月28日下午5時23分	杜鰲 (Dukuan)	54.5	16級	自1937年建站以來最大陣風紀錄[3]
竹子湖	1977年7月	蕾拉 (Vera)	42	14級	1985年8月	尼爾森 (Nelson)	66	>17級	
阿里山	1952年11月	貝絲 (Bess)	27.5	9級	2006年7月25日上午0時31分	凱米 (Kaemi)	38.1	13級	
日月潭	1956年9月	黛納 (Dinah)	25	10級	1986年8月	韋恩 (Wayne)	54	16級	
玉山	1971年7月	娜定 (Nadine)	40	13級	2006年7月25日上午1時15分	凱米 (Kaemi)	51.5	16級	
彭佳嶼	1966年9月	寇拉 (Cora)	62.7	>17級	1966年9月	寇拉 (Cora)	80	>17級	
宜蘭	1962年8月	歐珀 (Opal)	50.7	15級	1962年8月	歐珀 (Opal)	66	>17級	
新竹	1961年9月	波密拉 (Pamela)	33.4	12級	1961年9月	波密拉 (Pamela)	42.7	14級	1991年遷至新北現址[4]
大武	1962年10月	黛納 (Dinah)	31.3	11級	2012年8月24日上午4時19分	太棒 (Tembu)	59.1	17級	
成功	2000年8月22日下午10時47分	葛利斯 (Bilis)	52.3	16級	2000年8月22日下午10時41分	葛利斯 (Bilis)	78.4	>17級	
蘭嶼	1961年5月	貝蒂 (Betty)	74.7	>17級	1984年7月	亞力士 (Alex)	89.8	>17級	
淡水	1961年9月	波密拉 (Pamela)	36.7	12級	1971年7月	娜定 (Nadine)	46.9	15級	
福隆	1959年8月	瓊安 (Joan)	43	14級	1971年9月	貝絲 (Bess)	67	>17級	
蘇吉島	1986年8月	韋恩 (Wayne)	49.1	15級	1987年9月	傑魯得 (Gerald)	70	>17級	1962年建站[5]
蘇澳	1986年8月	韋恩 (Wayne)	27.5	10級	1986年8月	韋恩 (Wayne)	42.7	14級	1958年建站[6]
蘇澳	1986年9月	艾貝 (Abby)	33	12級	2015年8月8日上午5時5分	蘇迪勒 (Soudelor)	54.2	16級	1976年建站[7]
蘇澳	1994年9月	葛拉絲 (Gladys)	40.2	13級	1994年9月	葛拉絲 (Gladys)	68.6	>17級	1981年建站[8]
蘇澳	2015年8月8日上午3時23分	蘇迪勒 (Soudelor)	19	8級	2015年8月8日上午3時19分	蘇迪勒 (Soudelor)	36.7	12級	2002年建站[9]
鹿港	2005年9月1日上午10時9分	泰利 (Tali)	24	9級	2015年8月8日下午2時16分	蘇迪勒 (Soudelor)	48.9	15級	2003年建站[10]
金門	2016年9月15日凌晨3時4分	墨爾蒂 (Meranti)	42.2	14級	2016年9月15日凌晨2時57分	墨爾蒂 (Meranti)	61.7	>17級	2004年建站[11]
新屋	2015年8月8日上午5時6分	蘇迪勒 (Soudelor)	29.7	11級	2015年8月8日上午5時3分	蘇迪勒 (Soudelor)	47	15級	2013年建站[12]

<https://zh.wikipedia.org/wiki/Template:臺灣颱風風速紀錄>



- 10 -



Plastic/FRP exhaust duct FIRE

便利性 vs 後果嚴重程度：

- Building loss in excess of **\$400 million USD**, exclusive of production and downstream interdependency losses.
- A contributing factor to the spread of the fire was the use of plastic exhaust duct.
- Estimated **\$1 million USD** cost of fire damage to this waste water treatment plant (FRP duct system)



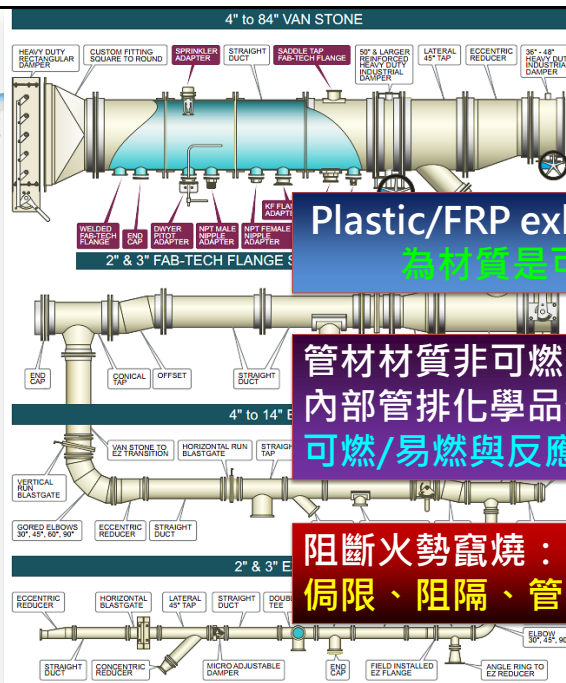
工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 11 -



管排火災 議題



Plastic/FRP exhaust duct
為材質是可燃性

管材材質非可燃性：
內部管排化學品仍有自發火、
可燃/易燃與反應等特性

阻斷火勢竄燒：
侷限、阻隔、管內滅火

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

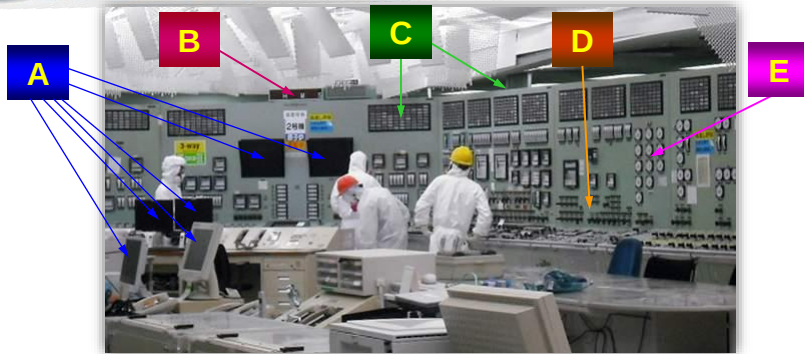
Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 12 -





Fukushima核電廠控制室



- A – 顯示器「全黑」！
- B – 標準時鐘功能喪失
- C – 控制盤信號指示燈全部熄滅，所有警報訊號斷訊
- D – 設備狀態指示燈全部喪失功能
- E – 儀電設備全部不作動（毫無相關數據資訊）



爆炸前的廠區（正常運作）



- 哪一個情境你最不想面對？ ■ Why？



廠區上方起爆點 (突然發生)



■ 災情會如何發展？ ■ Why？

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 17 -



廠區爆炸範圍擴大 (大量煙霧竄出)



■ 跑離還是就地防護？ ■ Why？ ■ 還會更嚴重？

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 18 -



爆炸範圍大的超乎意料 (OOPs)



槽車在哪裡？

■ 快跑還是找掩蔽物？ ■ Why？ ■ 有沒有忘了什麼？

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 19 -



爆炸還會再大？ (Worst cast?)



距起爆僅7秒的時間！

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 20 -



隨之而來的火焰與熱輻射



■ 畫面上你觀察到什麼重點？

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 21 -



另一個角度的影像紀錄



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 22 -



接下來的影像有何差異之處？



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 23 -



隨之而來的火焰與熱輻射



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 24 -



天然氣運作設施爆炸

■ 至少造成26人死亡！

- 4名Pemex員工及22名外包商死亡
- 7名工人失蹤、28人送急救、2人傷重



■ Pemex墨西哥國家石油公司

Burnt cars and gas storage tanks are seen at a gas facility of Pemex in Reynosa, [September 18, 2012](#).



Chemical corps support



■ Men in Level A : 45 m/min

- $300 \text{ m} / 45 \text{ m/min} = 6.67 \text{ min}$
- Round trip needs **13.3 min**

■ Safety margin : 25%

- Available for ER :
 $(40 \times 75\% - 13.3) = 16.7 \text{ min}$
 - In plant walking distance $\approx 300 \text{ m}$
 - Hands on ER left $\approx$ **3.4 min**



江蘇天嘉宜化工廠爆炸事故摘要

- 發生時間：108年3月21日14時50分發生劇烈爆炸
- 死亡或受傷人數：78人死亡、19人病危重傷、617人受傷
- 事故化學品：
 - 硝化物：依據現場生還人員描述、災害空照圖研判以及廢料存放區出現坑洞等跡象，從製程廢料推估，應為二硝基苯（**間-二硝基苯**比例最高）
 - 其他媒體報導化學品：苯（儲槽）、液化石油氣（槽車）、間苯二胺、鄰苯二胺、乙苯類有機化合物等則為爆炸後所遭受波及之化學品
- 鄰近屋舍受損：計有2,800多戶



江蘇天嘉宜化工廠爆炸事故摘要

- 王明春（化工廠員工，年資：6年）
 - 災後**巨坑**為廠區廢料倉庫，面積約為30×40公尺
 - 廢料車間堆放**硝化廢料**、黑焦油均為易燃品，晾乾後固體硝化物，於遇到靜電都可能起火甚至爆炸
 - 硝化廢料均為袋裝並做堆疊，先看到火光隨後發生兩次爆炸
- 段鵬（倉庫主任）
 - 製程產生的各種廢料，需進行固化程序，後續統一放至廢料倉庫
 - 這些固化後廢料後續均運至廠區內的焚化設施進行焚燒銷毀
 - 根據現場空拍圖判斷，儲存天然氣的槽體已經消失不見了
- 王春明和段鵬共同陳述
 - 他們初期看到苯儲槽是完好的，其外表被燻黑，並沒有發生爆炸，儲槽內的苯應該是在槽體頂蓋衝破後燃燒掉了，而沒有爆掉



化工廠事故前後空照圖





苯二胺製程說明

■ 二硝基苯製造以苯為原料，經過二次硝化後的產物

依密西根州大化學系資料：
間-二硝基苯約有90~95%

c1ccccc1
 $\xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{HNO}_3}$
O=[N+]([O-])c1ccccc1

(1) 第一次硝化反應

O=[N+]([O-])c1ccccc1
 $\xrightarrow[\text{-H}^+]{\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3, \text{-H}_2\text{O}, \text{-HSO}_4^-}$

O=[N+]([O-])c1cccc([N+]([O-])=O)c1

ortho

O=[N+]([O-])c1ccccc1[N+]([O-])=O

meta

O=[N+]([O-])c1ccc([N+]([O-])=O)cc1

para

(2) 第二次硝化反應

■ 苯二胺：間-二硝基苯為原料進行鹽酸與鐵粉或觸媒加氫還原反應

O=[N+]([O-])c1cccc([N+]([O-])=O)c1
 $\xrightarrow{\text{Fe}}$
Nc1ccc(N)cc1

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 32 -

32

16



二硝基苯爆炸特性

- **二硝基苯**之TNT等效係數(Relative effectiveness factor, RE) 為**0.6**。相較於**硝酸銨**為**0.42**，從德州肥料廠硝酸銨爆炸事故驗證，是會產生直徑超過百米的的大坑「**顯著的且嚴重的下炸**（如炸藥般向地面下炸坑洞）」現象
- 「**硝化物**」（**固體**）如果在外部火災（熱源）與反應製程條件**未能妥適控制**下，將會導致**類同TNT的爆轟** (detonation)後果
- 爆炸效應其爆震波對廠內設備、儲槽、製程配管、高架管線，以及可燃及易燃性容器均將引發嚴重的「**骨牌效應**」此**嚴重的失誤情境**已經**遠遠超過工廠製程設計的安全係數**



二硝基苯爆炸爆震波影響範圍





科技創新→嶄新的風險 (以韓國為例)



慶尚南道風力發電ESS火災事故 (2018/07/02)

- 韓國截至本事故為止，至少發生**三次**鋰電池儲能系統的火災事故
- 本事故燒毀面積706m²建築物，超過3,500個鋰電池損失40億韓圓 (約1億9百萬新台幣)
- 消防人員審視CCTV，確認起火地點為電池室
- 消防設備在火災發生時，無法正常運作 (設備失誤)
- ESS目前在全 (韓) 國900個地點安裝 (不同規格與尺寸)，儲能設施易受高溫影響
- 未來隨著再生能源的發展數量與規模不斷增加及擴大，對安裝設置的需求亦將隨之大幅度增加



<http://www.ekn.kr/news/article.html?no=376611>

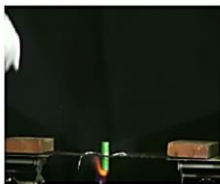
工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

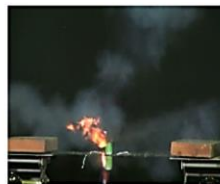
- 35 -



鋰電池實燒實驗 (封裝後電池，充電率100%)



加熱開始



13 秒後



13~14 秒の間



13~14 秒の間



14 秒後



14 秒後の直後



14 秒後の直後



24 秒後

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 36 -

 **鋰電池組成原料危害辨識**



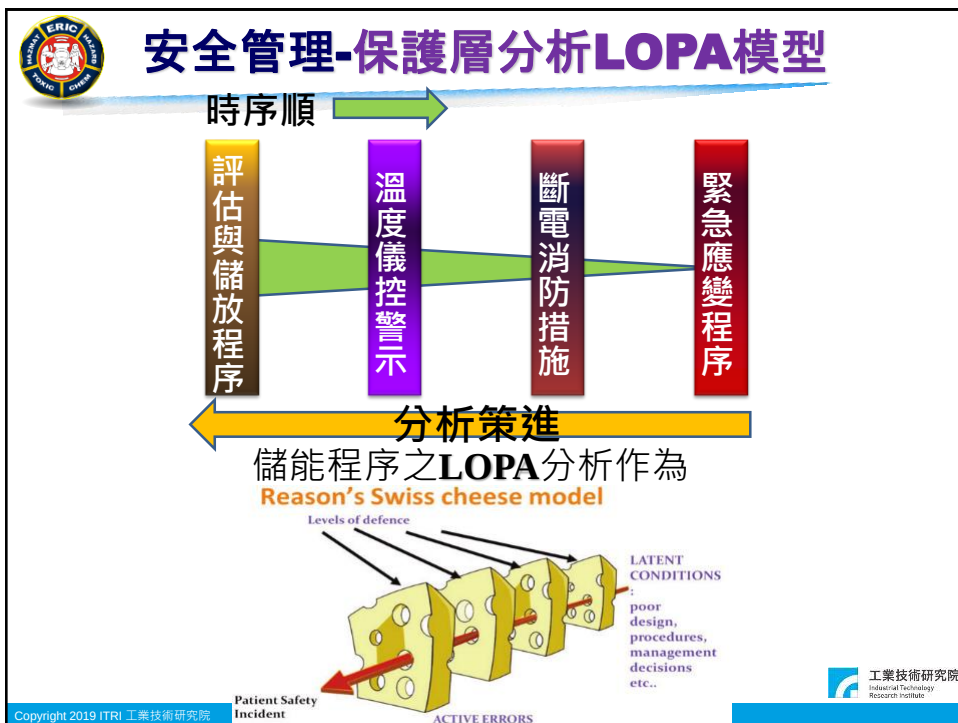




組 成	原 料	危害辨識
電 極	導電之金屬（銅、銀、鎂、鋁）或非金屬（石墨等）	禁水性物質、易（可）燃固體
電解（質）液	酯類與鋰化物	易燃液體、腐蝕性物質、毒性物質
隔膜或疊層材	鋁或高分子聚合物薄片	禁水性物質、易（可）燃固體
外包裝	塑膠或金屬外殼	禁水性物質、易（可）燃固體

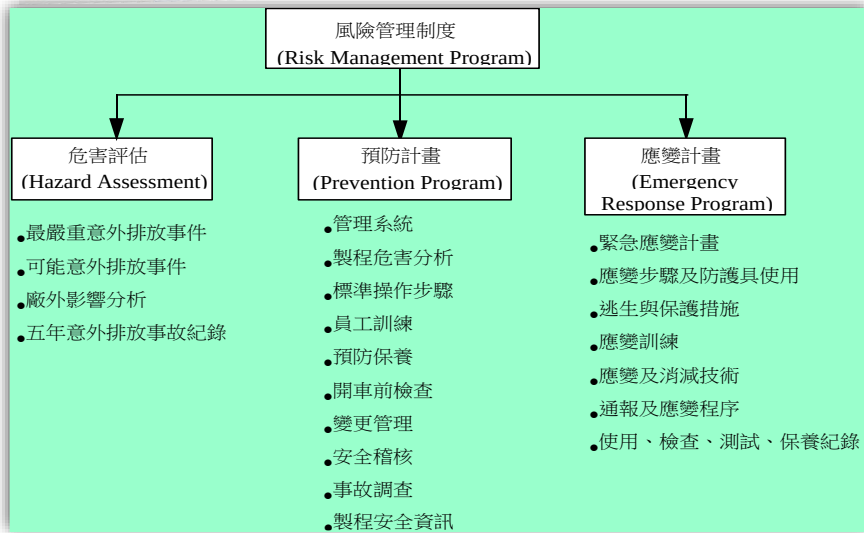
 工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院 - 37 -

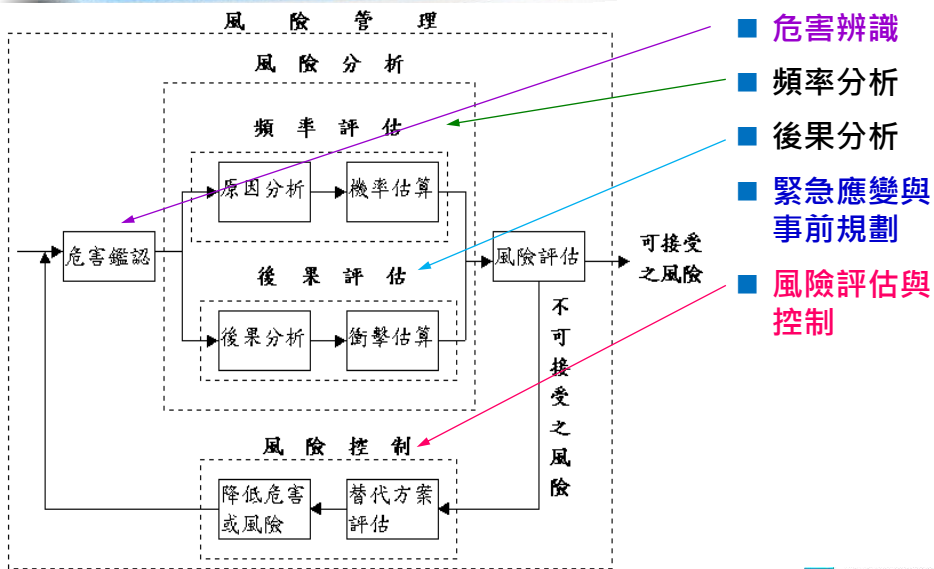




美國U.S. EPA's RMP執行架構



後果分析與風險評估之架構



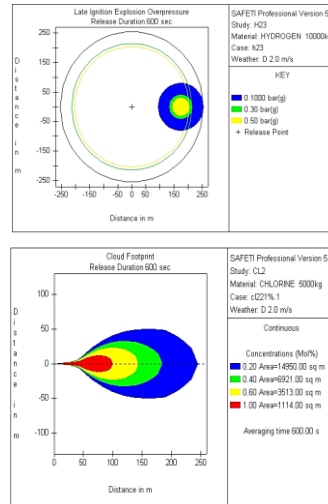
- 危害辨識
- 頻率分析
- 後果分析
- 緊急應變與事前規劃
- 風險評估與控制



後果（影響）評估

- 周界變數：風速、大氣穩定度、大地溫度、濕度、地表粗糙度、人口密度、點火源
- 事件類型，一般有下列不同的物理模式：
 - 外洩危害源：常壓/壓力容器、氣體/液體/兩相流體外洩、驟沸/蒸發
 - 擴散模式：自然擴散或高斯模式、重質氣雲擴散模式
 - 火災：池火、噴射火焰、火球、氣雲火災
 - 爆炸：氣雲爆炸、物理性爆炸、沸騰液體膨脹蒸氣爆炸、粉塵爆炸

將不同危害事件之對人員或設備之影響（熱危害、爆壓、毒性）轉換成相同的危害指標之效應模式（Effect Models），即可估算出不同事件之相對風險之高低



工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 41 -



擬定行動方案

儲槽管線發生洩漏

- 確認洩漏點
- 佈署監測點
- 選用防護裝備
- 進行災情研析 (Size up)



儲槽底部產生洩漏點

- 洩漏速率評估
- 持續進行災情研析 (Size up)
- 擬定應變方案
- 採取Defense or Offense戰術
- 修正監測點佈署
- 現場必要措施研提
- ★ 徵詢廠場負責人員
- ★ P&ID或PFD資料取得

- ☞ 緊急關斷/止漏
- ☞ 氣/液態洩漏
- ☞ 存量/儲槽條件
- ☞ 廠方應變動員
- ☞ 聯防機制啟動
- ☞ 臨廠協防
- ☞ 其他潛在危害
- ☞ 儲槽連通確認
- ☞ 槽車卸收料
- ☞ 持續擴大？

洩漏點附近逐漸形成白色蒸氣雲

- 根據現場狀況評估洩漏變化趨勢與預估
- 持續與修正進行災情研析 (Size up)
- 修正應變方案
- 調整Defense or Offense戰術
- 評估監測點佈署
- ★ 確認與跟催現場必要措施

Follow up

- ✓ 完成程序確認
- ✓ 戰術確認
- ✓ 指揮官決策
- ✓ 廠內/外監測
- ✓ 不利條件
- ✓ 無法執行措施
- ✓ 預警潛在危害
- ✓ 廠內/外危害
- ✓ 現地安全告警
- ✓ Zoning修正！

蒸氣雲範圍逐漸擴大

- 持續根據現場狀況評估洩漏變化並修正趨勢與預估
- 持續與修正進行災情研析 (Size up)
- 修正應變方案
- 調整Defense or Offense戰術
- 評估監測點佈署
- ★ 確認與跟催現場必要措施

Follow up

Worst case

- ☐ 就地避難
- ☐ 人員疏散
- ☐ 氣候條件
- ☐ ICS(post)修正
- ☐ 臨廠協防
- ☐ 調度外部支援

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 42 -





利用所收集的災情資訊



是否遺漏了什麼？！

要一直挑戰自己的決策

plan A, plan B, & plan C...同步產生

- 內容物為何？
- 駕駛？清單？
- 槽體結構與外觀
- 資料是否吻合？
- 氣味、顏色、現象與特徵等
- 比對、研析
- 災情研析
 - 觀察、理解現狀
 - 蒐集所有可用之資訊（眼觀、用心、切勿落入先入為主的窠臼）
 - 嚴重程度確認
 - 發展機制推論
 - 骨牌效應、研析
 - 再修正、再驗證
- 訂定應變方案



ERIC

Emergency Response Information Center

- 43 -



ITRI

Industrial Technology Research Institute





評估有效性的應變作為

- 儘可能彙整**所有可用資訊**，提供後續研判及作為之需
- 釐清事故本質問題、並**全面性分析**各資訊之間的關連性
- 制訂**階段性目標**，製作**plan A、plan B甚至plan C...**
- 首先要**穩定災情**（stabilization），避免事故擴大
- 執行化學性危害之定性與定量等作為，與潛在危害分析
- 綜整高度民眾關切與棘手環境議題，制訂應變措施
- 建置**ICS架構**，執行各功能小組現地應變程序
- 持續研析事故與應變動態發展的過程，適時進行討論及修正
- 協助主管單位、應變團隊進行聯合救災及人員物資支援調度
- 特別注意複合型及衍生型事故的size up與動態性修正
- 各功能小組：研析災情、制訂行動方案、說明應變程序、確認操作步驟、回饋現場現況、進行動態修正，並**全程掌控**



ERIC

Emergency Response Information Center

由具備資格（Qualified）的人員掌控全局



ITRI

Industrial Technology Research Institute

- 44 -

 **1998年岡山苯乙炔槽車BLEVE**

TVBS新聞台 HD

高雄
南投 26~31

驚險!油罐車忽炸 原子彈般火球烈燄

<https://news.tvbs.com.tw/local/541206>

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 45 -





***In God
We Trust!***

簡 報 完 畢
敬 請 指 教

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

Copyright 2019 ITRI 工業技術研究院

- 46 -