

有毒工業材料人為及意外事故之防救策略

洪肇嘉^{*}

目次

一、前言	五、化學事故或恐怖攻擊之徵象
二、美國風險管理方案(RMP)	六、確認遭受化學物攻擊之各項應變作為 (CSTI, 2002)
三、安全脆弱性分析(SVA)發展	七、結語
四、可能被利用之藥劑與來源	八、參考文獻

一、前言

許多運用化學品在製程工廠皆會運作許多種大量的危害性化學物質，在運作過程中之洩漏或排放皆會嚴重影響員工、鄰居、社區大眾的生命財產安全，並且可能對經濟造成嚴重衝擊。人為錯誤操作或設備故障所引起的災難事故是局部性的，且經常設備已有其連鎖保護系統所保護以避免災難事故之破壞。恐怖份子攻擊化學工廠所造成的災難事故呢？經由美國危害分析專家評估報告中指出，恐怖份子的攻擊所引起的事故會比美國風險評估方案(Risk Management Program, RMP)中最嚴重情況(Worst Case Scenario)更加嚴重。因此，在美國許多危害性製程工廠已陸續實施安全脆弱性分析及預防管理，許多國外的民間工業協會、企業界、及政府機關等也多互相合作，共同實施工廠安全脆弱性分析及管理，以避免恐怖攻擊事故發生在危害性之製程工廠而產生劇烈之災難事故。然國內對大型危害性化工業之抽樣調查結果發現，企業對安全脆弱性分析及預防管理實施，皆偏重於人員操作失誤或設備故障之預防及管理，對人為蓄意破壞之事故卻一直未開始評估。

2006年9月6日美國紐約州奧爾巴尼時代聯盟報報導，儘管9/11委員會依據民主黨伊利諾斯州參議員歐巴馬(美國總統當選人)的資料發布強烈警訊，警告美國政府，只要境內一座大廠受到攻擊，就可能釋出奪走一百萬條以上人命的化學物質，但令人不感置信的是，(化學)工廠的安全措施依然是非強制性的。歐巴馬和紐約州民主黨參議員勞登伯格祭出了新法案，要求工廠老闆大力提升安全措施。

我國近三年因運作化學品發生毒化災環保署應變隊支援達300次、及各項監測採樣統計如圖1所示，顯見我國因運作工業材料及化學品之事故及其衝擊應不可忽視。以2007年為例發生化學品相關之毒化災事故(如圖2所示)，以工廠最多達170次以上，交通及其他次之，其餘如倉儲及實驗室也達16次，故在防範上能應以工廠運作之工業材料及化學品管理優先。2008年工業材料及化學品相關事故發生於科技廠佔所有事故之10%以上，發生達20次以上(如附錄)，也顯見我國在科技廠的化學安全管理措施仍待加強。

^{*} 雲林科技大學環安衛系教授。

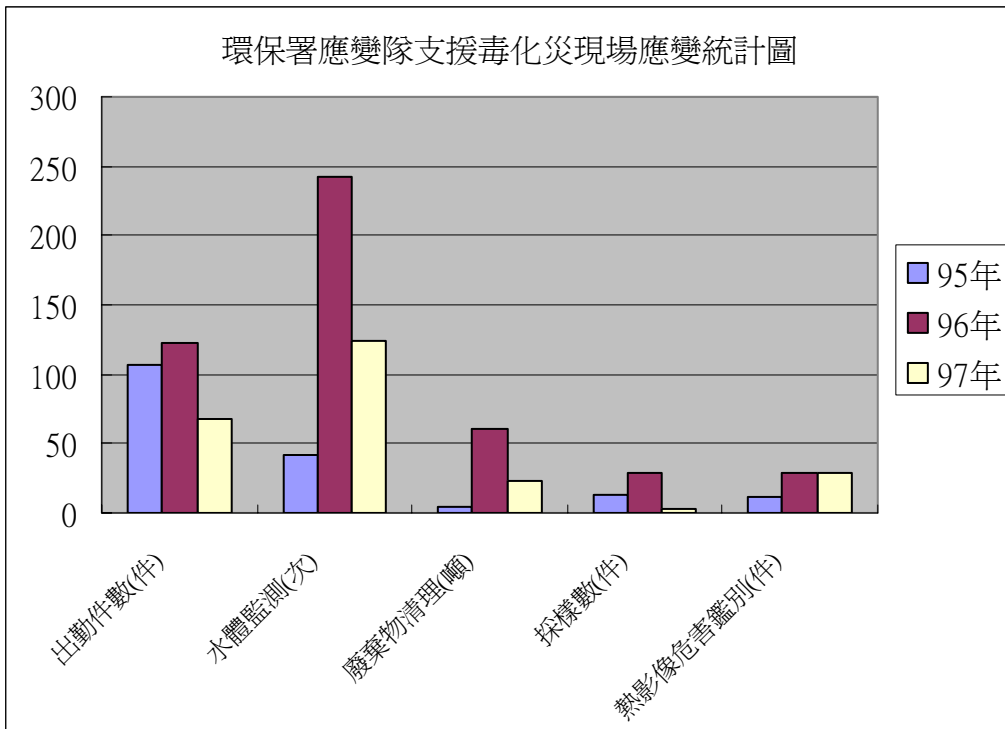


圖1 環保署應變隊支援毒化災現場應變統計圖

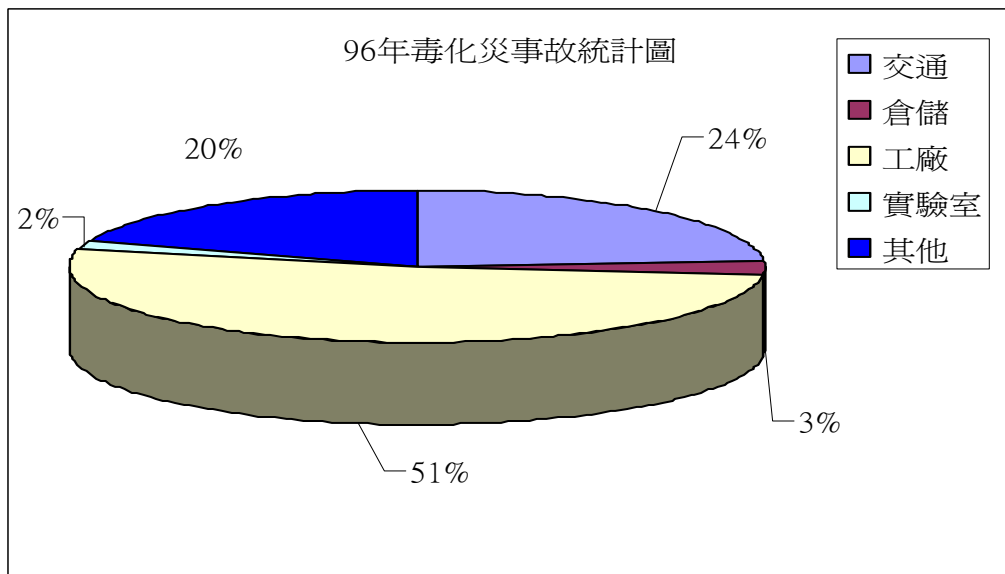


圖2 96年毒化災事故統計圖

二、美國風險管理方案(RMP)

風險管理方案條例是美國環保署於1996年6月正式公佈，同年8月19日正式生效，法規中列管了77種毒性化學物質及63種易燃易爆物質，以對健康具有高度危害、有意外洩放可能及對人員具潛在曝露危害的物質為主要考慮，該風險管理計畫需向美國環保署登錄，呈報州政府與地方主管機關，作為政府機關與民眾瞭解該物質運作所應採取之預防與因應措施之參考資料，以提升員工與一般民眾之安全保障。美國風險管理方案包括列管工廠等級、風險管理計畫內容、廠外後果分析方法架構

如圖3。

依美國風險管理計畫方案條款，將列管之固定源設施分為3個等級判斷方式，說明如下：

1. 方案1 (Program 1)：執行後果分析中製程之最嚴重災害情境 (worst-case) 時，其洩漏量所達之終點濃度之範圍內，無公共受體，且過去五年內無發生過洩漏至廠外導致發生災害。此類製程只實施有限度之危害評估、最低之預防及緊急應變措施。
2. 方案2 (Program 2)：不適用於方案一或方案二，不需執行OSHA之PSM及北美工業分類系統 (NAICS)。該製程必須實施有效的預防計畫，及危害評估管理及緊急應變措施。
3. 方案3 (Program 3)：不適用於方案一，需執行OSHA之PSM或NAICS的製程，劃歸為方案3等級。該製程需實施預防計畫 (OSHA的PSM標準) 及危害評估及緊急應變措施。

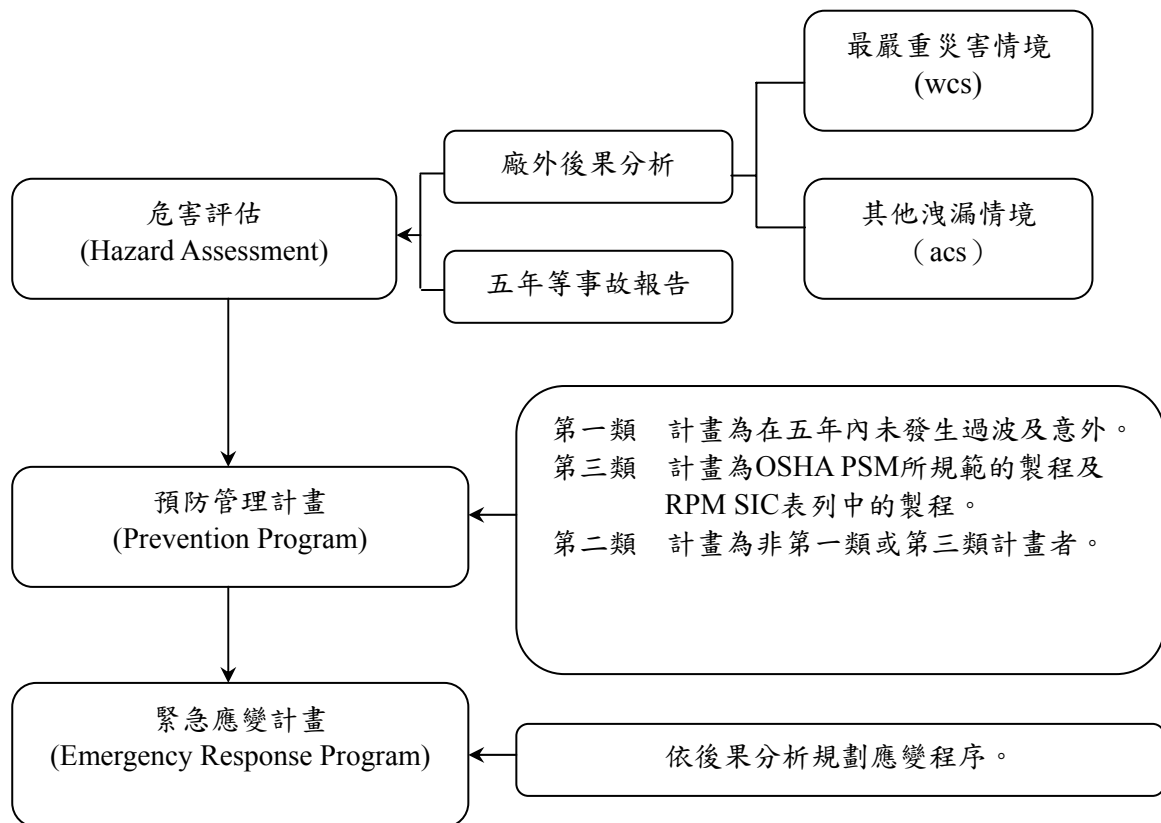


圖3 後果分析方法架構圖

有研究針對台灣中部地區運作氯氣廠共15家(林, 2003), 其中 FeCl_3 製作3家、漂白水製作2家、自來水消毒2家、合成橡膠及塑膠製造1家及其它用途者, 於工業區內外者約有13家, 鄰近住宅區附近約有2家。對於廠內運作氯氣量、氣象條件、假設洩漏情境, 應用ALOHA、RMP*Comp及SLAB View三種分析模式, 分析最嚴重洩放情境(wcs, worst-case scenario)及可能發生洩放情境(acs, alternative release scenarios), 探討不同阻隔或主/被動式削減系統(active/passive mitigation), 如密閉空間(confine space)、洗滌塔(scrubbers)、水霧削減系統(water spray mitigation)等可能影響範圍, 台灣現行法規尚未因工廠座落位置而有不同規定。以RMP*Comp模擬設置密閉阻絕系統及水霧噴灑系統, 其影響距離可削減一半左右, 設置阻絕設施時尤其對於鄰近住宅區附近人口密集處應比工業區為嚴謹, 隨運作量越大, 可能事故洩漏後之影響區域也越大, 也威脅人口密集地區, 一旦洩漏則要注意逃離方向、警報通知時間及採行就地避難等措施。此外, 政府應考慮要求運作廠商進行後果分析, 自源頭管制及防救設施上著手, 尋求將危害可能發生及影響面降到最低, 以妥善保護公眾安全。

三、安全脆弱性分析(SVA)發展

化學工廠運作許多種可能造成危害性之化學物質，依據美國專家及國土安全部表示，化學工廠存在著成為恐怖份子攻擊目標之危機，因為依據美國RMP影響居民之人口數，當化學工廠運作毒性化學物質被人為破壞釋放時，會造成社區居民之嚴重危害並且造成經濟嚴重衝擊，因此容易成為恐怖份子覬覦之目標。

針對化學工廠之人為蓄意破壞管理，美國國土安全部門(DHS)已在2004年7月完成保護化學工廠避免恐怖攻擊的草案，並且考慮到美國國土安全部門的風險管理策略及聽從工業界的建議加以修正。美國國會及參議院在2006年9月已核准美國國土安全部門 (DHS)具有權責發展和監督危害性製程工廠之安全程序(Chemical & Engineering News, 2006)。這個法案並要求美國國土安全部門(DHS)須在6個月內發展危害性製程工廠之安全(security)管理過渡法案，並要求須建立以風險為基礎(risk-based)的執行標準。美國國會及參議院要求美國國土安全部門 (DHS)須擬定主動性之安全評估及安全管理計畫，以提供危害性製程工廠之執行依據。危害性製程工廠之執行優先順序等級(Tier)判定，由美國國土安全部門 (DHS)納入評估及決定。

最終定案將在2007年完成以風險為基礎(risk-based)的管理架構(Schierow, 2006)內容為：

- 將危害性製程工廠區分為四個執行優先順序等級之架構，最危險工廠賦予最嚴格之規定。
- 所有危害性之製程工廠必須在美國國土安全部門(DHS)網站實施線上評估。
- 針對所有提報之危害性製程工廠，美國國土安全部門(DHS)針對化學工廠所運作的危害物質種類及數量及運作工廠所鄰近的人口區域特性實施執行優先順序等級之判別。所有高風險之危害性製程工廠皆必須提出安全脆弱性評估(SVA)並擬定工廠安全計畫(Site Security Plan)。

美國國土安全部門(DHS)也被國會賦予執行危害性製程工廠之檢查職責，以確保工廠符合性。

有研究針對台灣區危害性製程之運作工廠共 45家(蔡，2007年)，其中包括外商企業15家及本土機構30家，利用一般事業單位問卷，探究企業對危害性製程工廠在安全脆弱性分析(SVA)之推動情況，並與國外之文獻互相比較分析。其研究顯示：

- 國內之外商機構約占半數以上(58%)已實施安全脆弱性分析並採取預防管理機制；而國內本土機構卻尚未開始實施評估分析。
- 企業界普遍使用危害與可操作性分析(Hazop)(佔90%)實施製程安全之危害性分析，而失誤樹分析(FTA)、後果分析卻很少為企業界所使用，僅分別佔23%及30%。
- 企業在預防人為蓄意破壞重要性排行中，門禁管制列為重要性排名的第一位(國內佔24%，外商佔21%)，資訊和電腦安全則被認為最不重要的項目(國內企業8%，外商機構4%)。
- 92.5%的企業已定期實施緊急應變訓練及演練，但僅30%之訓練及演練有包括蓄意破壞、恐怖份子攻擊等蓄意目的攻擊之危害。

四、可能被利用之藥劑與來源

工業用毒性物質 (Toxic industrial materials, TIM) 指會對人體健康造成危害之在化學工業上特殊使用的原料、成品或半成品。恐怖攻擊多使用非制式化武，美國司法部公佈－化學品及毒性工業材料選擇指南和緊急事件最初偵檢設備指引 (Guide for the Selection of Chemical and Biological Decontamination Equipment for Emergency First Responders) 評估工業毒性工業物質可能大規模使用於恐怖攻擊，影響生產事業，也造成人民健康及心理威脅。工業毒性物質用於恐怖攻擊之選擇因素有：

- 毒性工業物質的LCt50低於100,000 mg/min/m³ (於哺乳類動物)。
- 化學工廠有能力每年生產超過30噸的毒性工業物質。

- 該工業毒性物質並未列入管制並且容易取得。
- 該工業毒性物質大量製造及運輸。

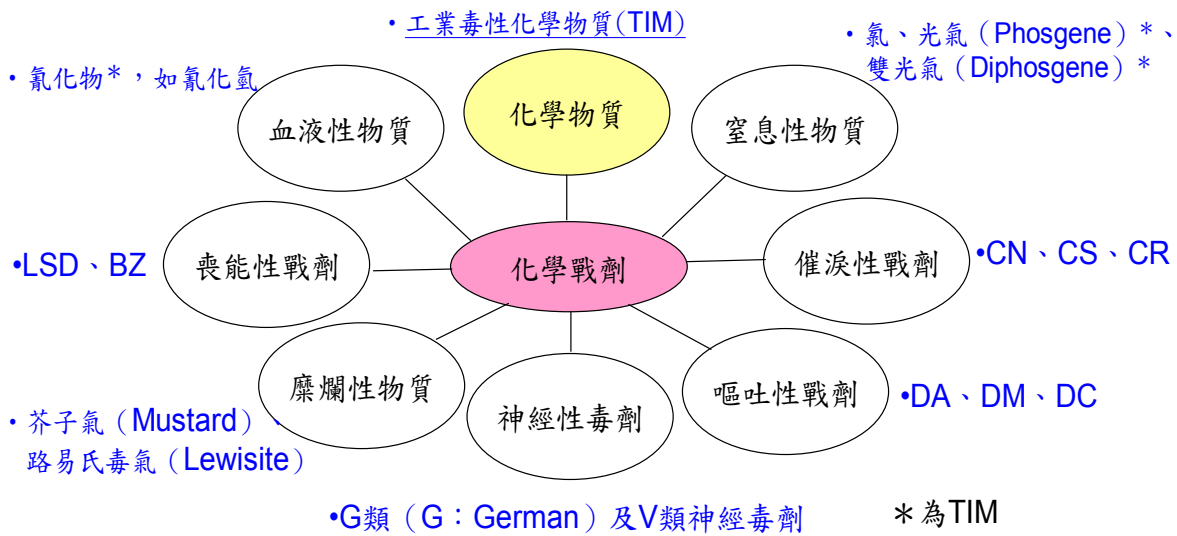


圖4 各種可能應用於人為事故或攻擊之化學物

美國以上述選擇因素將TIM分為數個危險等級，用以指出這些物質的相對危險性，並評估這些物質的遭受恐怖攻擊的可能性，以及是否為我國列管毒性化學物質者。表1及表2列出高度及中度危險TIM物質，危險等級越高，表示TIM物質具有高度毒性或是很容易揮發至大氣中，或該物質製造、儲存或運輸量大者。工業毒性物質意外預防需具備偵檢能力、妥善管理運作廠商（風險管理、後果分析）、擬定事故應變策略及妥善因應。

表1 恐怖攻擊高度危險TIM物質

物質 (英文名)	物質 (中文名)	我國毒化物列管編號
Ammonia	氨	
Arsine	砷化氫	
Boron trichlorid	三氯化硼	
Boron trifluoride	三氟化硼	142-01
Carbon disulfide	二硫化碳	089-01
Chlorine	氯	049-01
Diborane	二硼烷	
Ethylene oxide	環氧乙烷	061-01
Fluorine	氟	156-01
Formaldehyde	甲醛	066-01
Hydrogen bromide	溴化氫	
Hydrogen chloride	氯化氫	
Hydrogen cyanide	氰化氫	103-01
Hydrogen fluoride	氟化氫	
Hydrogen sulfid	硫化氫	
Nitric acid	硝酸	

Phosgene	光氣	047-01
Phosphorus trichloride	三氯化磷	158-01
Sulfur dioxide	二氧化硫	
Sulfuric acid	硫酸	
Tungsten hexafluoride	六氟化鎢	

表2 恐怖攻擊中度危險TIM物質

物質 (英文名)	物質 (中文名)	我國毒化物列管編號
Acetone cyanohydrin	丙酮氰醇	
Boron tribromide	三溴化硼	
Carbon monoxide	一氧化碳	
Carbonyl sulfide	硫化碳	089-01
Chloroacetone	苯基丙酮	
Chloroacetonitrile	氯乙腈	
Chlorosulfonic acid	氯磺酸	
Diketene	雙烯酮	
1,2-Dimethylhydrazine	1,2-二甲基聯胺	
Ethylene dibromide	二溴乙烷	060-1
HYDROGEN SELENIDE	硒化氫	
Methanesulfonyl chloride	甲基磺酸氯	
Methyl Bromide	溴化甲烷	
Methyl chloroformate	氯甲酸甲酯	
Methyl hydrazine	甲基聯胺	138-01
Methyl isocyanate	異氰酸甲酯	048-01
Methyl mercapta	甲基硫醇	
Nitrogen dioxide	二氧化氮	
Phosphine Isopropyl	異丙基磷化氫	
Phosphorus oxychloride	氧氯化磷	
Phosphorus pentafluoride	五氟化磷	
Selenium hexafluoride	六氟化矽	
Silicon tetrafluoride	四氟化矽	
Stibine	銻化氫	
Sulfur trioxide	三氧化硫	
Sulfuryl chloride	氯化亞硫酸	
Tellurium hexafluoride	六氟化碲	
n-Octyl mercaptan	正辛硫醇	
Titanium tetrachloride	四氯化鈦	
Trichloroacetyl chloride	三氯乙烯	
Trifluoroacetyl chloride	三氟乙氯	

一般來說TIM的致死劑量需比毒氣及生物製劑高得多，其大致比較如表3。

表3 化學/生物製劑的毒性致死劑量

化學製品 光氣、硫化碳(工業毒性物質)	1000 mg	毒氣製劑 VX、沙林
	100 mg	
	1 mg	
	0.1 mg	
	0.01 mg	
	0.001 mg	
生物製劑 炭疽、肉毒 、桿菌天花	0.0001 mg	
	0.00001 mg	
	0.000001 mg	
	0.0000001 mg	

而工業毒性化學物質或核生化恐怖攻擊可能主要目標在工業，如重要的化學工廠。輸油、輸氣線路及重要的電力及水處理設施（儲槽、港區等）。在運輸，如公共運輸設施運輸轉運站、橋、隧道等及載運化學品之槽車。在人口密集之場所及具代表性之公共建築，如軍事單位、政府及公共建築物、醫院、大型診所或學校、巨蛋體育館或是室內大型運動場所、高聳建築大樓或人口集中的建築物、宗教場所如教堂或廟宇。

五、化學事故或恐怖攻擊之徵象

為了解化學戰劑或化學攻擊對人員或環境會有什麼樣的影響，必須了解其特性，而化學戰劑因其物理化學特性的不同，毒害效應也有所差異，為有利於辨識防護，下列化學攻擊的徵候將可做為第一線緊急應變人員之參考（Kozlow and Sullivan，2000）：

1. 動物或鳥類及魚類死亡：不是指類似偶然的死亡(如道路交通死亡)而是指大量的動物死亡(家禽類或野生動物死亡，小或大型的動物死亡)再同一各區域或位置。
2. 該地區的昆蟲死亡或該地區昆蟲遷徙離開。
3. 出現疹子或水泡：大量群眾身體出現不明或無法解釋的水泡或疹子。
4. 大量傷亡：大量的群眾出現無法解釋的健康危害，包括噁心、反胃、想吐、呼吸困難或無法解釋的喪失意識。
5. 傷亡模式或傷亡範圍：受害人之分佈或傷亡之範圍經觀察可看出有特定的攻擊模式。
6. 封閉的空間或開放空間均可造成傷亡：化學攻擊在開放空間封閉空間均可造成人員之傷亡。
7. 異常的液體微滴或液池：大部分表面呈現油滴狀的液態微滴、液池或薄膜。或者在無雨的狀況下，水體表面呈現油滴狀的薄膜。
8. 事故區域可用視覺研判有不同的外貌：可能有野草、植物或樹等一整片的死亡，該地區呈現與平常狀態不同的異狀。
9. 沒有辦法解釋或辨別的味道：在事故區域味道可能有苦澀的杏仁味/桃樹核的味道，青草堆或青草的味道。
10. 漫佈低沉的氣雲或煙霧：與一般在空氣流通或有空氣調節情況下的氣體流動的現象不符(如

重質氣體沉降或擴散)。

11. 異常的目標或碎片：依靠視覺辨認現場區域異常之物品，有沒有未爆炸或未釋放之物質於現場區域，是不是有液體或其他物質剩餘於事故現場。

六、確認遭受化學物攻擊之各項應變作為 (CSTI, 2002)

遭受工業材料或危害物之事故，因暫時不能尚未能確認係人為或意外事故，處理原則依美國加州緊急辦公室加州特別訓練中心之危害物處理原則為：

	項目	應變作為
災害初期	1. 維護人員安全 Safety	區域內人員應保持距離以策安全。
	2. 災區現場管制 Isolation and Deny entry	災區現場隔離，人員進出及動線管制。
	3. 通報 Notification	通報地方政府、主管機關及支援單位，並通知負責應變之單位。
災害應變	4. 指揮 Command and Management	現場到達之第一應變者應指揮調度內外部可支援物資及人力救災
	5. 辨識及危害評估 Identification and Hazard Assessment	確認或辨識涉及之化學物種類、劑量，建議防護等，並考慮及其他可能沿生之危害。
	6. 行動規劃 Action Planning	規劃各單位行動計畫，包括控制事故、減輕災害及如何圍堵、移除污染物等。
事故處理	7. 防護設備 Protection Equipment	依危害之評估，於救災時，人員應穿著適當防護具。
	8. 圍堵及控制 Control and Containment	先控制化學物擴散，包含圍堵及及防溢堤條架設；並減低事故影響面。
	9. 保護行動 Protective Action	通知鄰近醫療救護中心進行緊急救護，或疏散民眾及現場除污救護等。
善後復原	10. 除污及現場清理 Decontamination and Cleaning	考量現場如何進行除污及清理，建立除污方式。
	11. 棄置 Disposal	進行現場清理除污廢棄物流向管制，暫存區域規劃及適當棄置處理。
	12. 記錄 Documentation	調查事故災因及災害應變及調查記錄，以利後續改善未來防救災工作。

其實因現代使用工業材料種類多，危險品或化學物質毒性強，發生事故時造成影響鉅大，如本年9月17日於台北市交通要道發生之防狼劑輾破事件，即因現場民眾及救災人員受傷送醫達43人，如能依上述原則處理，應可減低衝擊。

七、結 語

許多化學工廠運作許多且大量的危害性化學物質，在運作過程中之洩漏或排放皆會嚴重影響員工、鄰居、社區大眾的生命財產安全，並且可能對經濟造成嚴重衝擊。人為錯誤操作或設備故障所引起的災難事故是局部性的，且經常設備已有其連鎖保護系統所保護以避免災難事故之破壞。刻意攻擊化學工廠所造成的災難事故呢？美國危害分析專家評估報告指出，恐怖份子的攻擊所引起的事

會比美國風險評估方案(Risk Management Program, RMP)中最嚴重情況(Worst Case Scenario)更加嚴重。因此，在美國許多危害性製程工廠自2002年起已陸續實施安全脆弱性分析(Security Vulnerability Analysis, SVA)及預防管理，許多國外的民間工業協會、企業界、及政府機關等也多互相合作，共同實施工廠安全脆弱性分析及管理，以避免恐怖攻擊事故發生在危害性之製程工廠而產生劇烈之災難事故。但是，有研究時國內大型危害性化工業之抽樣調查，結果發現國內企業界中對SVA及預防管理之實施現況不佳，得知其對工廠危害物之運作及管理皆偏重於人員操作失誤或設備故障之預防及管理，對人為蓄意破壞之事故卻仍未開始評估。(蔡，2007)比較國內與國外企業於安全脆弱性分析(SVA)推動執行情況之結論如下：

1. 美國危害性製程工廠皆已在其國土安全部及環保署要求下實施SVA及預防管理，並已擬定預防管理措施實施改善；而國內本土企業尚未開始實施，外商機構亦僅佔約一半之企業(58%)已開始實施分析及預防管理。
2. 後果分析之製程危害分析方法已普遍為美國危害性製程工廠所採用；而國內卻鮮少使用此分析方法(僅佔30%)
3. 美國化學協會之責任照顧制度已於2002年增訂安全準則(Security Code)，以要求其會員公司推動人為蓄意破壞之預防管理程序；而台灣區並未開始引進此項準則於責任照顧制度管理系統。

美國在國土安全部及工業協會團體(如美國化學工業協會, ACC)皆已訂定完整健全之安全脆弱性分析及預防管理法案，政府也要求危害性製程工廠實施預防管理。而台灣現階段尚未有類似管理法案，政府機構或企業界工業團體應早日著手研擬類似預防及管理法案。

八、參考文獻

1. 林怡澍，2004，以不同模式及美國風險管理計畫評估台灣中部氯氣運作廠外後果分析之研究，國立雲林科技大學碩士論文，民國93年6月。
2. 蔡耀平，2007，安全脆弱性分析應用於工廠危害性製程管理之研究，國立雲林科技大學碩士論文，民國96年6月。
3. CSTI, 2002, First Responder Operations : Nuclear, Biological and Chemical Agents(FRO-NBC), California Specialized Training Institute.
4. Christopher Kozlow and John Sullivan, 2000, Jane's Facility Security, Jane's Information Group。
5. Jeff Johnson, 2006, "Congress grants DHS authority to develop chemical plant antiterrorism protections", Chemical & Engineering news, Vol. 84, Number 40, Page 14.
6. Christopher Kozlow and John Sullivan, 2000, Jane's Facility Security, Jane's Information Group。
7. Linda- Jo Schierow, 2006, Chemical Facility Security, Congressional Research Service Report for Congress, Washington DC.

附錄 - 2008年國內科技廠事故

近期事故列表	發生時間
新竹科學園區全通科技火警事故	2008/1/23 上午 05:58:00
台南新營工業區美東菱公司火警事故	2008/2/16 上午 09:45:00
台中市工業區工廠大門冒煙事故	2008/3/3 下午 08:33:00
北市內湖區電子工廠火警	2008/3/3 下午 11:30:00
北縣汐止胡連精密實驗室火警	2008/3/17 上午 07:25:00
桃縣鴻源科技公司火警事故	2008/3/30 下午 01:55:00
彰化縣全興工業區正鋒科技火警事故	2008/5/11 上午 03:20:00
桃縣友達光電硝酸外洩事故	2008/5/14 下午 02:28:00
台中工業區大展熱處理火警事故	2008/5/15 下午 07:50:00
彰化縣全興工業區和京積層科技公司火警事故	2008/5/15 下午 11:43:00
台南縣永康工業區景品企業鍋爐火警事故	2008/5/22 上午 06:12:00
台南縣晶元光電南科二廠雙氧水外洩事故	2008/6/17 下午 02:00:00
台中市工業區長園公司火警事故	2008/7/6 下午 02:31:00
嘉義縣民雄工業區新英蛋品科技公司火警事故	2008/7/13 下午 11:36:00
台中工業區不明粉末冒煙事故	2008/7/18 下午 04:10:00
南投縣南崗工業區昌憲公司電鍍液外洩事故	2008/7/20 下午 06:00:00
台中工業區三鈿公司火警事故	2008/9/14 下午 04:30:00
台南縣新營市勁耘科技公司火警事故	2008/10/18 上午 03:00:00
台北市南港中央研究院分子生物所火警事故	2008/10/20 下午 08:55:00
南投縣南崗工業區不明固體異味事故	2008/10/21 上午 11:00:00
中研院分子生物研究所不明氣體外洩	2008/11/10 下午 07:34:00
台南科技工業區可成科技公司火警事故	2008/11/12 上午 10:11:00