

化學工廠安全性評估

曾聰智*

七十三年底，經濟部爲了進一步了解現階段國內化學工業在工廠安全及工業污染防治的狀況，同時促進國內工廠在安全工業污染防治技術上的交流，乃指示工業污染防治技術輔導小組，邀請國內專家，由筆者主持，共同組成工作小組，訪問有關工廠，進行了解。

數月來，本工作小組在工廠安全方面，曾就工廠位置，設備佈置與安全距離，設備安全標準，消防系統，物料掌握，廠區整潔，安全管理，個人防護及急救用具，以及其他如設備故障狀況，製造方法，開工停工步驟，與製造情況的極端變化等安全因子進行評估，發現部份工廠在安全規劃設計與管理上有良好的基礎和體系，值得他廠學習，但亦有部份工廠則仍有待改進。

由於工廠安全性的改進始自於對本工廠的定期而確實的安全性評估，爲推廣有關安全性評估的知識，乃將數月來由廠家，專家們所提供之相關技術資料加以整理，供有興趣者參考。

一、工廠的安全性評估

評估一座化工廠的火災，爆炸和其他潛伏危險。需要仔細研究下列各種因素：工廠的位置，建造情形，設備的佈置，各種原料，半成品和成品的性質，製造方法，操作情況，物料的儲運，操作員工的訓練，設備的修護，以及防止災害的計劃等。化工廠製程複雜，潛伏性危險多，必需取得工廠各方面的資料才能做適當的評估，俾進工廠的安全。

評估安全性的工作，需有組織的進行。擔任評估工作的人，需要專業訓練，並熟習使用各種工具。工廠的圖說和流程圖 (Flow Charts) 必須提供給評估人員，以求評估人員能瞭解化工製造的性質，材料流動和運送的情形，設備的種類和各種控制儀器的功用，人員的需要及安全的要求和標準。經驗豐富的評估人，詳細研究上述圖表和資料後，可迅速瞭解工廠全盤的安全。評估人員藉此可指出工廠內最危險的地點和最需要防範的措施。國外某些公司往往聘請一組專家擔任危險性評估工作。這些專家中有工業衛生專家，擔任研究發展工作的方法工程師，生產工程師 (Production Engineer) 防止事故發生的安全工程師，儀錶工程師，以及消防工程師。

一件完美的化工廠安全評估工作，是全廠採購設備，設計化工機械，籌劃安全設備的基

* 中鼎工程公司環境工程部經理

本工具。在日新月異的化學工業中，工廠可能在十年以內，因製造方法和設備落伍而需重建。因此安全評估工作必須趕上時代。

二、工廠位置

工廠位置的檢討是決定潛伏危險的重要因素。基本的條件是工廠具備充分的面積，使各種設備能保持適當的安全距離。如考慮工廠十年後的擴建計劃，更須準備更大的面積。適當充分的面積，可避免廠外其他工廠建立時，妨害本廠的安全。廠外也可能建築居民社區，影響本廠安全。在初步考慮選擇廠址時，應考慮萬一發生災害引起的公共危險賠償責任，以及工廠難免發生的噪音、煙霧、惡臭等，妨害公司的公共關係。在決定廠址時，必須注意廢物處置場所，廢料和污水處理場所，廢氣燃燒塔等問題。任何疏忽的問題，都可能隱藏著造成停工的危險。

倘使在選擇廠址時，只注意經濟的觀點，廠址可能出現下列各項問題：危險的地形（例如可燃性液槽位於高地等），運輸的困難，曝露於危險環境中，氣候的危險，廢物處理及排水問題，公用企業供應問題，以及廠外消防隊支援問題。

1. 地形：

一般說，化工廠的廠址宜選擇在平坦的位置，以便可燃性液體流失後，流向低窪區域，以免危害其他設備和建築物。輕微斜度的地形有助於排水設施。小山可阻止化學品爆炸的危險。可燃性液體儲運區域，應用矮牆圍起來，以防萬一液體外流觸及火種發生火災。山坡地帶不易建廠的另一種原因，是液槽區域可能與製造設備的安全距離不充足，而需要另加一層防火牆或擋油堤。有洪水威脅的區域不可建築液槽。

在選擇廠址時，不可忽略土壤問題。地面可能下沉。土壤可能鬆動，以致機械裝置完工運轉時，發生過度的震動，而耗費大量修理費用。堅硬而且在地下水水線 (Water Table) 以上的土壤最宜建廠。

2. 公用設備

化學工廠最主要的消防保證是充分的水源。廠區內水源，必須足夠消防泵全量出水四小時之用。消防水源應盡量和工廠製造用水或員工及辦公室用水分開。決定消水源最低供水量時，應考慮發生大火時，射水消防水嘴的數量和每支水嘴的口徑。也需考慮每根水嘴需要射水的時間。上述各項決定水源的因素，視工廠的情況而有很大的差別。

工廠必須儲備適當的消防用水，或藉其他方法使消防用水不致中斷。一旦供水系統發生故障，化工廠的操作可能發生很大困難。

倘使電源發生故障，消防泵，製造設備需用的冷卻水，鍋爐的給水都將中斷。倘使電源允許，工廠應有兩條供電線路。為求化工設備安全和順利運轉，燃氣或其他燃料的供應必求順利。

在使用電力，水源或其他公用設備時，應詳細研討兩種或兩種以上的公用設備同時發生故障時，工廠的安全所受的影響。倘使只有一項公用設備發生故障，可改用其他來源，或遵

行緊急停工，免發生嚴重災害。倘使兩項以上的公用設備同時發生故障，往往會加重災害。

從安全的觀點檢討，公用設備的位置非常重要。公用設備的位置，關係到在緊急事故發生時的維護工作。建廠時，可考慮選擇在比較安全的區域，以減少災害的威脅。也可考慮將公用設備疏散，使每個區域有獨立的供水，供電和蒸汽系統。變壓器和配電所為電力供應的基本設備，必須選擇在安全的位置，以免受到意外事故，火災和爆炸的影響。

3. 運輸設備：

工廠的進出要道的交通應盡量減少，以便發生火警時，消防車和救護車能通行無阻。在可能時，工廠位置宜選擇在公路幹線的下風位置。發生車禍時，油罐車中的存油可能沿排水管溝流入廠區。其他車輛的油箱也能流出油料，威脅廠區安全。廠區附近的公路路面如高出廠區地平面時，宜建立擋牆，以防車禍引發的火災。鐵軌上行駛的蒸汽機車和柴油機車，常常噴出火星造成火源。廠區外燃燒野草是非常危險的行動。

4. 危險因素的相互干擾：

鄰近工廠區域發生的重大火災可傳播熱量引起工廠大火，又可以飛散着火的碎片和火星引燃工廠的器材。鄰近區域的火災威脅往往比工廠本身火災的威脅更嚴重。減輕火災威脅的一種方法，是廠區選擇在可能發生火警區域的上風位置。如可能發生火災威脅的區域經常釋放大量可燃性氣體，則宜選擇上風位置較為安全。憑風向選擇廠址並不十分可靠，因為風向變化不定。近年來，工廠往往彼此利用產品和副產品，因此難免迫使工廠擠在一起。鄰近的工廠可能時常釋放有毒氣體，影響工廠員工的健康；也可能排放可燃性液體，順溝渠流入本廠引起回火，使兩廠同歸於盡。

除去火災威脅外，應再考慮爆炸威脅。爆炸產生的衝擊可破壞本廠的建築和設備，其飛散的碎片可達到很遠的距離。

廠區附近現有的公路交通和鐵路，油管的鋪設情況和高壓電線的線路，也是必要的檢討項目。這些線路必須遠離工廠的危險區域。

5. 廢物處理：

迅速和有效處理易燃性液體和腐蝕性廢料，是工廠安全的一項重要工作。倘使用燃燒方法處理這些廢物，燃燒坑必須遠離廠區，而且位於工廠設備二百五十呎以外，並且隨時注意燃燒時的風向，使火焰吹向空曠地區，而不可波及工廠設備。

有關廢水，廢氣及廢棄物的處置，均需符合政府法令的要求。

6. 氣候因素：

近年來的趨勢，非帶危險的化學品的操作都移到室外進行。因此工廠現場的氣候情形必須特別注意，詳細研討以決定室外操作的可能性。氣候的條件包括室外溫度、雨量、和風速。倘使利用空氣流通方法處理空氣中的廢物，則通風情況必加檢討。如廠區位於颶風地帶或地震地帶，雖然其他條件很適於建立化學工廠，也得再三考慮廠址的安全。在颶風時常出現的地區建廠，各項建築物的強度必須能承受此區內歷年最大風速的破壞。應特別注意建築物

的高度。高度增加後，建築物抗風的強度也須特別設計。

設計儲存和操作易燃性或不穩定的材料時，應檢討當地雷電和暴風雨的次數和形態。雷雨可能影響電力的輸送而產生嚴重的災害。應裝置避雷設備，以求減少直接雷擊，引起儲運設備的大火。

7. 公共消防：

當社區內的巨型化學工廠發生大火，當地設備精良，訓練有素的消防隊可發生很大功效。精良的社區消防隊是工廠的重要資產。很多巨型化學工廠備有自用的消防隊。倘使廠區位於公共消防隊有效防護區域以外，則自用消防隊的功能更為顯著。因為社區的小型消防隊無力處理巨型工廠火災，工廠管理當局必須負起供應消防隊主要設備的責任。某些工業區實施消防互助計劃。發生重大火災時，集中各廠消防隊，支援社區消防隊，通力合作撲救火災。實施此互助計劃，工廠可得到更好的火災控制效果，強於工廠藉本身的消防獨力奮鬥。

當火警警報發出後，消防隊到達火場的時間。視距離，公路交通擁擠情況，路面情況，和氣候變化而異。在選擇廠址時，應檢討消防車輛趕到火場的時間。

三、工廠佈置

工廠佈置的設計是非常艱難和複雜的工作。工廠的佈置應針對下列各種因素設計：(1)高效率的操作，(2)物料的流動暢行無阻，(3)存料的控制，(4)良好的工作環境，(5)操作安全。工廠的佈置受廠址的影響最大。廠區面積不足，必使各項設備擁擠一起。進行工廠佈置時，更需兼顧很多種互相牽制的因素。擔任評估工廠安全的人員必須從安全着眼，考慮各項設備的位置，以減少災害發生後的損失。

初步檢討工作是考慮萬一發生火災，爆炸或其他災害時，制止災區擴展的設計。過去的經驗指示，在集中生產的工廠中，各項設備難免擁擠，一旦發生災變，人員的傷亡和財產的損失極為嚴重。減少災變損失的原則是使各項設備保持合理的安全距離，並採用其他方法，制止災區擴展。即使最新式和最完善的工廠也不能根絕火災，爆炸和漏失有毒物質的災變，因此必須設計減少災害的範圍，以求搶救工作順利，減少災變損失。

1. 一般要求：

評估人員必須注意工廠全盤的佈置問題，才能提供改善建議。茲將化學工廠有關安全事項的佈置問題摘要說明如下：

(1) 獨立的設備，例如製造單位 (Process Units) 和儲槽區，必須保持適當的安全距離，以免一項設備發生火災或爆炸波及其他設備。倘安全距離受地形或廠區面積所限不可得，可改用擋牆，防衛建築，或固定自動消防設備補救。世界各國多以美國石油保險協會 (Oil Insurance Association) 刊行的「石油化學工廠各項製造設備標準安全距離表」 (Minimum Spacing Standards for Refineries, Petrochemical Plants, Gasoline Plants, Terminals, Oil Pump Stations, and Offshore Properties.) 為參考。

(2) 長方形的佈置比較合適，因為各單位，液槽及建築物可藉馬路隔離。馬路的設計應

顧及消防車輛及其他各種急救車輛，可以暢行無阻到達每項設備。

(3) 供水系統的設計應注意全廠各區域，都有適量的消防水源。在小型工廠中，可舖設一條主水管圍繞全廠，再以歧管橫過廠區，以達須要消防水保護的位置。大型工廠的消防管線需要數個環管，每個環管圍繞一套設備。消防水管的材料、內徑消防泵、儲水槽閥門、消防栓及其他配屬設備必須符合一般公認的標準。

(4) 廠內特別重要的設備，如特殊製造單位，動力工場及控制室等，必須有最好的防護設計。其要點為位置定處於安全區域，具備更多的安全距離，耐爆的結構與防爆的擋牆等。

(5) 公用設備，如蒸汽、燃氣、電力和供水等，須加意防護，以確保在緊急災變發生後無缺少的憂慮。

(6) 辦公室、餐廳、化驗室及研究所，以及倉庫等建築應位於工廠的邊緣，遠離危險的製造和儲存場所。

(7) 儲存，裝卸和運輸設備，盡可能位於工廠邊緣，以避免卡車通行於製造區域。鐵路是潛伏的危險和潛伏的火源。鐵路附近如有易燃液體，蒸氣和氣體的製造設備，可能引發火災。

(8) 廢物處理區域應遠離工廠，人員和材料。處理危險品廢物更須加注意安全。

(9) 廢水和雨水的排放系統，應注意能迅速處理散失的化學品沖往安全地區，更須注意消防用水的排放。雨水排放系統應注意能將工廠重要區域的洪水導出廠外。

(10) 消防隊和其他搶救設備應位於搶救方便的位置。消防設備應足夠搶救災害之用。

(11) 工廠的保安 (Security) 是工業安全的重要項目。工廠應有適當的圍牆或籬笆以免外人侵入。工建進口應有警衛。警衛應經常巡查廠區。

2. 製程區：

化學工廠的製造單位是最危險的區域。製造單位內常有大量的毒性和易燃物料。很多場所有火焰，而且使用高溫和高壓操作方法。這些單位內有各式各樣的機械。為求操作安全，每種機械都需要良好的維護和檢查工作。一般狀況各單位宜集中在一個區域不宜分散。分散後則在廠區內造成很多的危險區域，增加安全管理上的困難。製造區域可說是化工廠安全的決定性區域 (Critical Area)。如將製造區域分散在廠區內各處，則因交通的困難產生更多的危險機會。

從減少災害和判定危險程度雙方面着手，應考慮下列各項決定設備安全距離的因素：

- (1) 操作的物料性質與製造方法，可能促成火災，爆炸和健康的危險。
 - (2) 一個單位或一個區域內危險品的數量。
 - (3) 附近的火災和爆炸可能危及本單位，並且損毀本單位的設備，使本單位的機械和器材曝露於危險中。
 - (4) 本單位的意外事故可能危及附近設備。
 - (5) 貴重設備集中在一處，加強其防護措施。
 - (6) 重要而有決定性的生產設備。
 - (7) 有效的滅火和搶救工作。
- 此外另需考慮廠外的威脅，而此項威脅為本廠不能控制者。在此情況時，應考慮廠界和

本廠設備的距離。決定安全距離時，又須檢討下列各因數：風向對易燃性蒸氣的影響，輻射熱和火源可引燃數百呎以外流散出來的氣體，地形使散失的易燃性液體和氣體流散到低窪區域，及其他可能想到的危險。

3. 危險性及區域劃分：

評估人員應詳細研討化工廠佈置圖，根據工廠各方面的資料，以危險性為基礎，將廠區劃分為若干區。如有現成的設備模型供參考，則對廠區可有立體觀念。設備的立體模型，是評估危險性最好的工具。如果不將最危險的區域劃分出來，則一般員工進入最危險區域時沒有特別警覺。危險區域的劃分，可使不相干的員工或沒有專業知識的員工避免進入危險區域。危險區域的劃分，也可便利檢討人員的工作，並對全廠的危險有全盤的觀念。在特別危險區域工作的人，需特殊保護身體安全的裝備。

4. 關鍵區域：

在大多數的化學工廠內，往往有一處或數處，一旦發生災害可使工廠長期停工或發生重大生命財產損失。這些區域是：電子計算機室、控制室，巨型壓縮機和透平（Turbines）機，冷卻塔、變壓器、鍋爐房，中央泵浦站，各種操作複雜的製造單位，其中設備不易補充。（詳細檢討工廠的操作，不難發現關鍵性的區域和設備。）

5. 火源的檢討：

所有火源，必須遠離具有易燃性液體和不穩定化學品的製造單位和建築。對製造和使用易燃液體和不穩定化學品的工廠，直接加火的加熱器，如鍋爐，是最嚴重的火源危險。檢討重點是注意上述火源是否分離，其次完善的裝置工作和維護工作也不可缺。某些標準規定上述火源必須與很危險的設備保持一百呎以上的安全距離。倘使有阻擋易燃性蒸氣擴散的設備，則上述安全距離可以減少。

開放的火焰（Open Flames）和火焰直接加熱的設備，不得裝置于易燃蒸氣出現的位置。必須盡量避免金屬撞擊發生的火花和靜電發生的火花。除在指定吸煙地點，全廠必須絕對禁止吸煙。

所有可以產生火花的工作，例如電弧和瓦斯切鋸，使用砂輪，噴砂除銹，金屬撞擊等，必須等待工廠停工，一切設備都已用惰性氣體吹除其中油氣後始能進行。工廠在修理設備或更改設備時，最常發生火警。

6. 搶救設備的運用：

消防車不容易到達的工廠，往往延誤救火時機而造成莫大損失，如此則最完善的滅火設備也難發揮效力。化工廠的佈置，應使消防車可從兩個方向到達製造單位，而且使消防車能駛近每個區域。在檢討化工廠的危險性時，應提醒廠內員工，務使消防車能在廠區內隨時暢行無阻。馬路兩旁宜有行人道，以便撤退員工或供擔架抬送病人之用。行人道又可避免消防車駛往火場的車禍。

緊急通路在化學工廠中是非常必要的，它可供員工撤退及消防車輛進入災區之用。每座

製造單位及建築物至少有兩條通路。

發生災害時，員工應循預先指定的通路撤退，並盡力到指定的地點報到以備清查點名，檢查是否有人被困在災區內，設法營救失蹤的人。沒有組織和慌張不知所措的人，往往能阻礙搶救的行動，增加財產和人員的損失。

四、建築物和結構

1. 一般考慮：

檢討化工廠建築及結構的安全，首先應研討每座建築的用途。建築內的物料，物料的性質和數量，操作情況等，都影響建築和結構的設計以及防火與安全設備。

建築應為防火設計（Fire Resistive），或為不燃性建築（Non Combustible Construction）。請參考美國保險協會出版的「國家建築規章」（National Building Code）。處理易燃性液體的建築物，不可有地下室、隧道、管溝和深坑。電梯的設計和結構影響火焰之蔓延。其他空氣調節的風管等都應有隔火的設計。一般說，製造單位最高不宜超過兩層。

設計不佳的重機械基礎，往往使運轉的機械發生動搖，使管線接頭鬆動或破壞管線，釋放危險品。有颶風和地震危險的區域必須請建築師多加注意地震係數和風壓強度。

鋼料是化學製造設備結構支架主要材料。鋼架需要外加一層耐火絕熱塗料以防火災時軟化，否則應裝置噴水等冷卻設備。處理易燃性液體，不穩定化學品，和存放大量可燃性材料的場所，必須是耐火構造。

管線組合，公用設備組合，以及儀器控制等電線必須有防火措施。

2. 防火牆：

巨型構造物應當用耐火牆，將建築分割為數區，制止火焰自火源蔓延到各處。危險的操作區域，應與一般的操作區域，用防火牆隔離。危險的製造設備，其位置和構造，在設計時就當注意，準備萬一發生火災或爆炸時，災害不會擴展到整座建築。巨型倉庫與附近製造區域，宜用防火牆分開。評估員應留意工廠的現況，能防止火焰蔓延，使火焰包圍在一定範圍內，以利滅火行動而減少損失。

3. 爆炸釋壓與通風：

很多爆炸的事故都發生於室內流失氣體，蒸氣和塵埃，觸及火種後在室內爆炸。因為缺少適當的爆炸釋壓設計（Explosion Venting），使建築的結構和室內的設備遭到嚴重損害甚致發生傷亡。為減輕爆炸損失避免建築結構的損害，必須減輕室內壓力增漲的現象。最好能將這種有爆炸危險的設備移到室外。如必須在室內操作，則門窗上的鉸鏈應加裝釋壓門（Explosion Release Hatches）。亦可使用輕屋頂或輕牆。室內發生爆炸時，輕屋頂或輕牆立即飛揚保全建築的結構。此外又可使用釋壓窗（Venting Window）。這些釋壓的設計雖不能防止爆炸，但可將爆炸的損失控制在一間室內。一座建築物內的有爆炸危險的設備和製造工作，必須有耐壓的牆與其他部份隔斷。每個區域都有獨立的釋壓設計，使爆炸的威力衝

向室外，而不影響建築的其他部份。

建築物內如有可能發生爆炸的物料存在，而這些物料和空氣中的氧氣，或其他可以促成燃燒作用的元素混合後，可以發生爆炸作現象，則此建築必須有釋放爆力的設計。容易發生爆炸的物料，通常是易燃性的氣體和液體蒸氣，以及若干類塵埃和金屬粉末。

可能聚集毒性和易燃性物料的建築內，必須有適當的通風裝置。一般而言，通風系統的目標，是將室內毒性和易燃性物質的濃度，降低到「毒性安全濃度」或「爆炸下限」（Safe Toxic Limit and Lower Explosive Limit）以下。這類建築物使用的通風電扇必須符合公認的電器安全標準。如供排除易燃性氣體之用，則通風電扇必須是耐爆型（Spark Proof）。如供排除腐蝕性毒霧之用，則通風電扇必須是「抗蝕型」（Corrosion Resistant）。

裝置電子計算機，控制儀器，及工廠內其他供操作用的重要設備，其建築物的位置和設計，必須能避免易燃性和可燃性氣體侵入。通常將上述建築物室內壓力維持較大氣壓，而且從遠處沒有易燃氣體出現的區域，吸取新鮮空氣，輸入室內，以及採用雙門式（Double door）的設計，此外管線，電纜進出室內，均應有正確的防漏阻封。

4. 緊急出口：

檢討緊急出口，應注意建築物的面積，建築物內員工總數和其中工作的情形。當火警或其他災害發生時，每層樓至少有兩個出口。化驗室和製造室等危險場所，至少要有兩個相距較遠的出口，以求迅速安全撤退員工。為安全起見，出口的門應向外開。多層建築物的樓梯間要有防火門，而且樓梯間是封火型以防火焰向上蔓延。較高的設備和平台應置于最不易着火及毒液流向的區域。緊急出口，樓梯、太平梯、通道、平台、逃命滑桿等必須設計完善，以便在緊急事故發生時發揮最大功用。操作人員應接受逃生訓練並熟習各種逃生方法，以求當任何事故發生時獲得最大安全維護自己生命。

在任何時間不得阻塞出口。出口通路必須保持整潔走廊上必須有明顯標誌，指示緊急出口方向。此項安全措施絕不可缺，以免事故發生時發生混亂，造成莫大的生員損失。

5. 火 源

在化學製造工廠內，處理明燃性和可燃性物料的場所，一切電器配線和電器設備，應參考美國「國家電器規章」及本國國家標準的要求。電器設備和靜電現象爆出的火花可引燃上述物料。處理其他可為電花引燃的物料也須遵守上述規章。美國「國家電器規章」第 600 節，將工作場所的環境分為數類，每類又細分為數級。每類和每級環境所使用的電器規格，都有很詳細的規定。一般而言，防止建築物內或室內聚集易燃液體蒸氣和爆炸性之材料，比購置「防爆型」電器要經濟得多。根絕爆炸是不易做到的事。但是評估安全的人員應注意，一切合理的安全要求都應做到。在製造設備附近的儀器配線和接頭，必須有最完善的防護，以防止火災和爆炸波及。重要設備的配線不佳，發生一點小火就可使整個工廠停工。

近代化學工廠，都是高度自動化的工廠，因此使用大量電器配線和儀器。曝露的電纜和在導管內的電線，可能受腐蝕而發生故障。腐蝕的原因有：熱、水份、酸、溶劑，或其他類似化學品，視製造程序而不同。重要而有決定性的配線宜埋入地下，或裝置在金屬管內。必要時要有絕熱和耐火設計。

在建築物內操作易燃液體和易燃材料，必須特別注意電器設備所產生的火源。設備產生的靜電火花可用適當的接地線（Grounding）和連繫線（Bounding）消除。在危險區域加熱時應使用間接加熱方法。

雷電是儲槽最大的火災威脅。在化工廠內全部操作危險品的液槽和建築物，都應有避雷設備。避雷危險必符合公認的安全標準。

6. 排 水

檢討安全性的人，必須注意廠內的排水系統。廠內操作易燃性的液體難免發生漏液事故，因此排水系統特別重要。迅速而有效的控制漏液，需要設計各種方法擋住液體，不使液體流到附近重要設備。這些設針包括擋牆，突起部份（Curbing）和適當的排水系統。

五、物料（原料、中間成品、成品）

評估人員必須正確評定化工廠全部物料的危險性。並非全部物料都具備危險性必須選出危險物料，並分類決定出危險性。如能確認每種物料的危險性並採取適當的預防行動，則可防止災害發生或減少災害的損失。

具備毒性、易燃性、潛伏的爆炸燃，腐蝕性、放射性，以及氧化性的物料都屬於危險品。查明化學分子式和構造式，化學成分和結構，並不能說澈底明瞭化學品的潛伏危險。

易燃液體和氣體是造成化學工廠火災和爆炸的主要因素。不穩定的化學品，一旦曝露在各種不同程度的熱源，火焰，熱震（Thermal Shock），撞擊，或其他物品的爆炸影響，可以發生爆炸或引燃或引爆其他材料的物品，必須倍加小心處理。預防的措施要週全考慮各階段的存儲，加工和搬運工作。

劇毒化學品可能嚴重危害生命，必須在各操作階段嚴加管制。呼吸、誤食、皮膚和眼睛接觸等，都可導致生命或健康危險。每種化學品的毒性和對身體的影響必詳加檢討。

1. 物料的性質

評估人員應收集製造，儲運和處理工廠內全部化學物料的知識。這些物料包括新購化學品，反應化學品（Reactants），催化劑（Catalysts），中間產品，副產品，成品和廢品。每種化學品都須根據下表檢討並分類：

(1) 一般危險資料：

腐蝕性

純度（色種純度的規格）

化學構造式

污染因素（Contamination）。(又稱 Incompatibility 指與其他化學品混合後，發生的化學反應)

(2) 燃燒危險資料

閃火點

着火點

- (2) 燃燒限度 (Flammable Limits) 又稱爆炸限度 (Explosive Limits)
比重
蒸氣比重
蒸氣壓力
沸點
着火溫度 (Ignition Temperature)
自熱性質 (Spontaneous Heating)
絕電性質 (靜電危險)
熔點
- (3) 反應性 (不穩定性) 資料
差額熱量分析 (Differential thermal Analysis—DTA)
撞擊試驗 (Impact)
熱穩定性 (開放式)
信管引爆試驗 (Detonation With Blast Cap)
重錘墮落試驗 (Drop Weight Test)
加熱分解試驗
鉛塊試驗
化學影響試驗 (Influence Test)
自行加速分解溫度 (Self-Acceleration Decomposition Temperature)
卡片空隙試驗 (Card Gap Test)
熱穩定性 (關閉式)
臨界直徑 (Critical Diameter)
- (4) 毒性資料
警戒值 (Threshold Limit Value)
百分之五十致死濃度 (Lethal Concentration, LC50)
致命量 (Lethal Dose)
百分之五十致死量 (LD50 Value)
- (5) 曝露效果資料
呼吸
呼吸器官刺激
誤食
皮膚刺激
眼球刺激
- (6) 放射性資料
阿爾發曝露
貝他曝露
伽瑪曝露
中子曝露

染些化工廠，將廠內所有危險品的資料，都列表說明，以供廠內和廠外人士參考。可是，表中有些產品的毒性試驗的資料，並不十分完整。因此尚須查閱很多專業書籍，雜誌和專題討論的資料。有關危險性的技術資料，多是工廠自行研究的結果。檢討不穩定化學品的危險性時，時常需要進行特殊試驗，以求在工廠操作情況下發生的化學變化，並決定在正常操作情況下和在火警發生時，必須採取的應變行動。

試驗計劃必須靈活，以求獲得在工廠各種情況下可能發生的物理和化學變化。檢討人員應重視公司處理自己的危險所採取行動再下結論。

2. 危險品的分類

很多處理危險品的安全標準和規章，都是針對不同程度的危險性制定。比較危險的化學品需要更進一步嚴格的安全標準和規章。因此必須確認各種化學品危險的分級。

國外很多技術委員會，研究各種化學品的化學性質、物理性質、毒性、放射性，輔以歷年失事的經驗，已發展出危險品分類的系統。

3. 物料的着火和爆炸危險

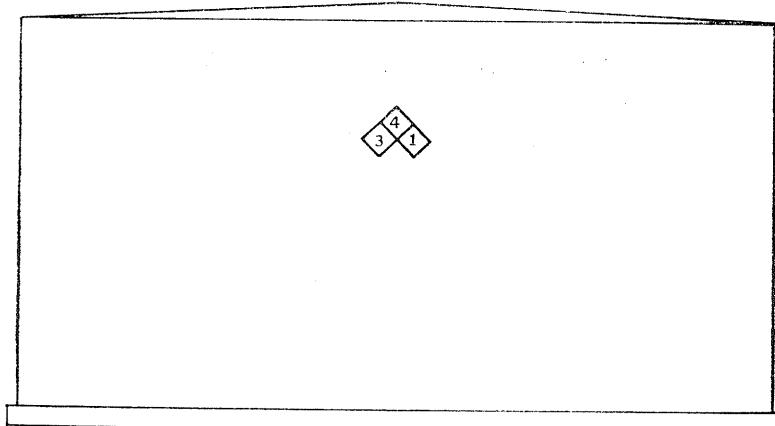
下面是美國消防協會 (National Fire Protection Association—NFPA) 制定的「材料火災危險標誌」 (NFPA 704)

本標誌系統為美國消防協會材料火災危險委員會發展之成果，目的在以簡明醒目之標誌，說明物料之內在危險，並以數字標明危險性之等級。此標誌可使火場之消防及搶救人員，辨識物料之危險性，以採取安全行動，迅速撲滅火災促進公共安全及保護搶救人員之生命。

本系統用菱形標誌，可貼在物料上或置危險區域附近。標誌的色彩代表下述意義：

藍色菱形代表健康危險

紅色菱形代表火災危險



黃色菱形代表化學反應（不穩定）性危險

白色菱形留供其他特殊預防措施警告之用

藍、紅、黃色內阿拉伯數字 4—3—2—1—0 指示危險程度的分級，阿拉伯數字 4 代表最危險，0 代表沒有危險或極輕微危險，或不需要特別注意的危險。白色黃形內沒有數字

，但可填入警告性的英文字母。例如W指示不可觸水，P指示材料本身能自動發生危險，例如很多石油化學的單體產品可自動聚合產生災害。

美國消防協會出版的「危險品消防指南」(NFPA Fire Protection Guide on Hazardous Materials) 例舉很多種化學危險品的性質。

4. 危險性分級表

I 藍色標誌—健康危險（可能發生之傷害）

- 4 級 短期曝露後可致死亡，或產生嚴重之後遺症狀，即使迅速治療，也不能治癒。
- 3 級 短期曝露後可致嚴重之傷害與後遺症。迅速治療不能完全復元。
- 2 級 嚴重曝露或連續曝露，可致臨時性之傷害，或輕度之後遺症。迅速治療可復元。
- 1 級 曝露後可產生痛苦之刺激。不加治療也不會失去工作能力。痛苦為臨時性。
- 0 級 其燃燒時的毒性，與一般材料燃燒時相同。

II 紅色標誌—燃燒危險

- 4 級 在大氣壓力和通常溫度時，迅速氯化或全部氯化。其蒸氣可迅速在空氣中擴散，而且很快燃燒。
- 3 級 在通常溫度時，液體或固體可以引燃。
- 2 級 在通常溫度時，輕度加熱，或在酷熱氣候時，引火可以燃燒。
- 1 級 必須預熱很久才能燃燒。
- 0 級 不能燃燒之材料。

III 黃色標誌—化學反應危險。

- 4 級 在正常壓力和溫度時，很易發生爆炸性的自燃，或爆炸性的分解，或發生爆炸性的化學反應。
- 3 級 有爆炸性的自燃性質，或爆炸的分解性質，或經過強烈激發後，可能發生爆炸，或在封閉的情況下，受熱可能爆炸，或遇水後可以爆炸。
- 2 級 在正常情況下，本身不穩定可能發生爆炸，或可能發生劇烈化學反應，但不會爆炸。遇水可發生劇烈化學反應，或遇水可能產生爆炸性的氣體。
- 1 級 在正常情況下很穩定，但溫度或壓力上昇後變為不穩定，或遇水後可以發生緩和的化學作用，並釋放少許熱量。
- 0 級 在正常情況下，很穩定，並且遇水不發生化學反應。

IV 白色標誌—其他危險

此類材料不分級。但以英文字母和符號指示其危險。舉例：W字母中劃一橫線，指示不可洒水，或洒水時應特別注意。P指示本身可以發生化學反應，或本身有聚合作用。

美國消防協會叢書第325“易燃性液體，氣體及固體性質”(Properties of Flammable Liquid, Gases and Solids) 及叢書第49號“危險化學品資料”(Hazardous Chemicals) 兩書中收集多種危險化學品的性質，茲將每一類的危險化學品的危險性舉數例如下：

	健康危險	易燃性	化學反應性
I 健康危險品 (毒性)			
氟化氫 (Hydrogen Fluoride)	4	0	0
氰 (Cyanogen, C ₂ N ₂)	4	4	2
二硝基苯 (Dinitrobenzene)	3	1	4
四乙基鉛 (Tetraethyl Lead)	3	2	3
磷	3	3	1
II 易燃危險品	健康危險	易燃性	化學反應性
氯化乙烷 (Ethyl Chloride)	2	4	0
二硼烷 (Diborane)	3	4	3
碳化鈣 (Calcium Carbide)	1	4	2
硫化二乙烷 (Dimethyl sulfide)	4	4	0
乙烯 (Ethylene)	1	4	2
III 化學反應危險品	健康危險	易燃性	化學反應性
硝酸銨	2	1	3
過氧化二丁烷 (Dibutyl peroxide)	2	3	4
Butyl peroxy pivalate	0	3	4
Diisopropyl peroxydi-carbonate	0	4	4
亞硝酸乙烷	2	4	4

4. 塵埃爆炸危險

在製造塑膠和煤焦等材料的化工廠內，可燃性塵埃是很嚴重的燃燒和爆炸危險。美國聯邦礦物局 (United States Bureau of Mines) 曾頒佈「測定塵埃爆炸可能性指數法」(Index of Explosibility) 以估計塵埃潛伏的爆炸威力。決定塵埃爆炸威力的因素有：着溫火溫度 (Ignition Temperature)，最低着火熱能 (Minimum Ignition Energy)，塵埃濃度 (Concentration)，最大壓力上升限度，和壓力上升速度 (Rate of Pressure Rise)。各種塵埃的相對爆炸危險性 (Relative Explosion Hazard Index) 可藉爆炸可能性指數表示 (Index of Explosibility)。茲列表說明如下：

相relative爆炸危險性持數分類 (Relative Explosion Hazard Index)	爆炸可能性指數 (Index of Explosibility)
嚴重 (Severe)	>10
強烈 (Strong)	1.0—10
緩和 (Moderate)	0.1—1.0
微弱 (Weak)	<0.1
無	0

以上的指數數值以匹次堡 (Pittsburgh) 標準煤塵為標準。前段所述各種「決定塵埃爆炸威力因素」都可以和匹次堡標準煤塵比較，測得其相對值。各種塵埃的爆炸危險性資料，

可從美國聯邦礦物局出版的下列叢書中查到：

- (一)叢書第 RI 5753 號，農產品塵埃爆炸性
(Explosibility of Agriculture Dusts)
- (二)叢書第 RI 6516 號，金屬粉末爆炸性
(Explosibility of Metal Powders)
- (三)叢書第 RI 6597 號焦碳類塵埃爆炸性
(Explosibility of Carbonaceous Dusts)

- (四)叢書第 RI 5971 號塑膠工業使用粉末之爆炸性

(Explosibility of Dusts Used In The Plastic Industry)

上述各種叢書中，研究檢討多種塵埃，和粉末的爆炸可能性。茲舉例說明「爆炸性指數」在十以上的數種塵埃和粉末如下：

酚呋喃甲醛樹脂 (Phenol Furfural Resin)	>10
聚氨基甲酸乙脂 (Polyurethane)	>10
醋酸樹脂 (Acetyl Resin, Polyformaldehyde)	>10
鋁粉 (Atomized Aluminum)	>10
鎂粉	>10
鋯粉	>10
小麵粉	49.8
洋芋粉	20.9
膠粉 (Gum Powder)	22.9
瀝青 (煤焦油產品) (Pitch, Coal Tor)	>10
柏油 (石油產品) (Asphalt, Blow Petroleum Resin)	>10

5. 毒性危險

警戒值 (Threshold Limit Values, TLV's) 是指人類暴露在有毒素的空氣中，每天曝露八小時，每週曝露五天，空氣中毒素最大安全濃度。超出警戒值的毒素濃度，可能危害員工健康發生職業病甚至死亡。警戒值不能說是一項十全十美的標準，但為世界各國公認為最合理的標準。這些數值的來源多從動物試驗得到。從動物試驗獲得的數值往往尚須進一步研究人體暴露的效果和醫學上的求證。上述數值是美國政府及工業衛生專家會議 (American Conference of Governmental and Industrial Hygienists ACGIH) 頒佈。該會經常修正已頒佈之警戒值。此項數值為工業衛生和職業病重要指針。醫師在健康檢查發生疑問時則此數值是重要資料。該會已研究並公佈多種工業毒素。

警戒值以下述三種單位表示：

- (一)每一百份空氣中，毒素之份量 (Parts Per Million' PPM)。
- (二)每立方公尺空氣中，毒素之毫克數 (Milligram Per Cubic meter, mg/m³)
- (三)每立方公尺空氣中，塵埃之百萬粒數 (Million of Particles per Cubic Meter, MPPCF)

茲將數種毒素之警戒值列表如下：

	PPM	mg/m ³
乙烯甲醛 (CH ² CHCHO, Acrolein)	0.1	0.25
氯化苦味酸 (CCl ₃ No ₂ , Chlopicrin)	0.1	0.7
氟	0.1	0.2
光氯氣 (COCl ₂ , Phosgene)	0.1	0.4
石墨粉 (天然)	15(mppcf)	

6. 放射性危險

操作放射性材料的安全措施非常複雜而且難於捉摸，因為人類的感覺器官不能察覺放射性的存在。避免放射性的傷害的方法是曝露越遠越好，時間越短越好。美國政府管制當局規定，在每十三週的定期內，個人全身的曝露不得超過三個 Rem 單位。長年工作聚集的曝露不得超過 5 (N-18) 個 Rem 單位。N 代表最近一次生日時的十足年齡。因此需要記錄全體有曝露危險的人。並且以特種卡片，記錄個人放射性曝露資料，指定專人處理此資料。操作放射性材料的工廠，必需聘請受過專業訓練的「工業放射性防護專家」(Plant Radiation Protection Officers)。工廠必須向美國原子能委員會，領取使用執照，或向原子能委員會授權的州政府機關，領取使用執照，始能使用放射性材料。

7. 資料的收集和應用

收集到各種化學品危險的資料後，應決定這些危險品在工廠內出現的場所。裝卸、製造和儲運區域是最常見的危險區域。應注意一般不十分危險的化學品，在製造過程中往往變成很危險的物料。必須兼顧在一般情況，在可能發生的不正常情況，和在製造環境中的危險。

必須對物料在上述三種情況中的危險有澈底認護才能確實保全工廠內的生命和財產。唯有切實評估各種因素才能採取合理的安全措施。

8. 包裝和標誌

必須確實審核危險化學品的包裝和標誌。包裝和標誌的目的在提醒使用人員的警覺，促進人員和設備的安全。包裝和標誌可參考美國聯邦政府運輸部 (Department of Transportation) 的規章。另一種適用的標誌是美國化學品製造商公會 (Manufacturing Chemists' Association, MCA) 出版的「化學品危險標誌指南」(Guide to Precautionary Labeling of Hazardous Chemicals, Manual L-1)。此外，仍須收集各種危險化學品的儲存穩定性質資料。此項資料可向製造這些的公司索取。次外「美國聯邦政府危險品標誌法案 (Federal Hazardous Substances Labeling Act)」也是不可缺少的參考。某些產品也可使用美國消防協會叢刊第 704 號火災危險材料標誌 (NFPA No 704 Identification of Fire Hazards of Materials)，來表示物料的着火危險。

六、製造方法的檢討

在決定工廠的一種化學反應是否安全，首先應對此製造方法做正確的評估工作。非但要研究參與化學反應的每一種物料的危險性，也需要明白產生的危險性和對環境的污染影響。

將試驗室少量製造的結果擴展為工廠的大量生產，必須考慮各種危險的因素。安全評估人員首先要與試驗室的研究員和試驗工場 (pilot plant) 操作人員合作，從他們那裏獲得基本的安全知識。擴展生產的安全計劃包括：

- (1) 初步審核製造方法和材料的安全 (閱讀書籍雜誌和其他未曾發表的試驗報告)。
- (2) 試驗室有關下列各種因素的試驗報告：化學反應速度，產品濃度，化學反應熱量，最適當的操作條件，化學反應的危險徵候 (Indications of Hazardous Reactivity)。
- (3) 試驗工場求得的設備規格，安全操作的程序，安全規章，對人員和設備的安全控制等。
- (4) 從少量生產到大量製造的擴充計劃。包括設備的佈置和設計，控制系統和特殊保護設備。

1. 基本製造方法

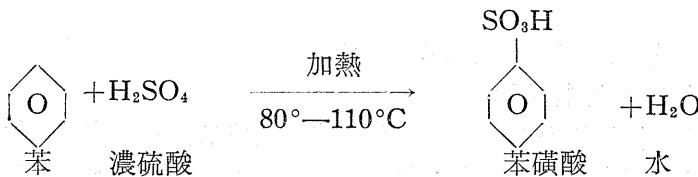
大約有二十五種基本製造方法。一座工廠往往使用數種不同的基本製造方法，而每種基本製造方法又有不同的變化。因此化學工廠採用的製造方法多到數百種。基本的製造方法英文名稱如下：Acylation, Akaline Fusion, Alkylation, Amination, Aromatization, Calcination, Carboxylation, Causticization, Combustion, Condensation, Coupling, Cracking, Diazotization, Electrolysis, Esterification, Fermentation, Halogenation, Hydroforming, Hydrogenation, Hydrolysis, Isomerization, Neutralization, Nitration, Nitrosation, Oxidation, Polymerization, Pyrolysis, Reduction, Thermal Decomposition.

其中有些製造方法比較其他方法危險。這類最常見的危險方法是：Alkylation, Amination, Aromatization, Combustion, Condensation, Diazotization, Halogenation, Hydrogenation, Nitration, Oxidation, Polymerization. 任何有下列現象的製造方法都是危險方法，須要特別注意，以策安全。

- A. 可能發生爆炸的化學反應，或在正常情況下可能產生震爆 (Detonation) 的化學反應。
- B. 在不正常的溫度和壓力時或受到震盪時，可能發生爆炸或震爆的化學反應。
- C. 與水或其他污染物可以發生釋放巨量能力，並且潛伏危險的化學反應。
- D. 能產生自動聚合 (Spontaneous Polymerization) 的化學反應。
- E. 能自動產生熱量的化學反應。
- F. 發熱的反應 (Exothermic Reaction)，以及能產生高溫和高熱的化學反應。
- G. 在正常操作情況下，其操作溫度和壓力很高，並且可以釋放大量易燃氣體或蒸氣的化學反應。
- H. 參加反應的化學品和反應的成品，其操作情況近于爆炸限度。

I. 可能發生爆炸性塵埃或濃霧的化學反應。

每種製造方法的化學反應都必須詳加檢討，並注意下列事項：(一)使用的化學品種類，(二)反應的速度，(三)放出和吸收的熱量，(四)化學作用完成的百分比。茲舉苯與硫酸的化學作用為例，詳加說明：



以濃硫酸慢慢加入苯中，硫酸的溫度是 80°C。混合物反迴蒸煮，溫度逐漸上昇，到 110°C 時化學反應完成。苯是閃火點很低的液體，其蒸氣有劇毒。硫酸是腐蝕性很強的液體。化學反應式說明溫度的控制非常重要。攪拌是控制反應很重要的方法。在一次災害的實例中，攪拌的動作被忽視，操作被迫停止。在重新開始操作時，反應器已有過熱現象。攪拌器開始轉動時，苯的蒸氣從已腐蝕的釋氣管衝出，彌漫整座建築物，發生爆炸的災害。

美國消防協會叢書第 49-M 號，危險化學反應手冊 (NFPA No 491-M Manual of Hazardous Chemical Reactions) 例舉很多種的危險化學反應。這手冊提供過去災害的實例和資料，並說明各種化學反應潛伏的危險。

2. 分批製造和連續製造方法

製造方法分為分批製造和連續製造兩大類。分批製造是將所有的原料一次混合，因此比連續製造難於控制，並且產生各種不同的危險。在分批製造的程序中，大量材料同時聚集在反應場所。需要用攪拌器或其他設備以促進安全並控制反應的進行。分批製造在反應進行中，可能需要添加化學反應制止劑 (Short-Stops, Chemical Additives To Halt the Reaction)。當發生困難或故障時，往往需要將化學品傾入巨槽。

連續製造是指在某一階段中，將參加反應的材料，繼續不斷的流到反應區。在連續反應的程序中，如發生故障或不正常現象，可停止運送重要而且有決定性的材料，或清除反應器內材料 (Purging)。必須裝置連鎖控制的儀器系統 (Interlock system)，以防止反應材料不平衡的現象。必須設計冷卻和釋放過度增高壓力的設備。過度溫度劇昇的現象可用冷卻或自動停止送料方法補救。

在兩種方法中，時時刻刻需要避免危險的雜質或污染物進入反應階段。增加反應的物料的濃度必須精密控制。腐蝕性很強的材料需要特殊設計。處理腐蝕性材料設備的維護工作必須加強。危險品的流失和廢料處理不當，可造成很大的災害。

3. 化學反應式

雖然各種原料的化學反應式，不能詳細說明化學反應作用，但反應式是評估危險的基本知識。從化學反應式中可知道毒性，腐蝕性，易燃性和穩定性。又可知道理論上的熱量變化。從反應式可發現熱值變化。根據熱值變化而設計一切設備。有了熱值變化的數據 (Data) 才能設計安全而效率高的化工機械。

4. 流程圖

評估化工廠危險的基本工具是流程圖。經驗豐富的評估員，詳細閱讀流程圖，立即可發現化工廠內潛伏的危險。化工廠的流程圖又是工廠操作的基礎。流程圖可以幫助操作人員瞭解工廠各部份彼此的關係。評估人員藉流程圖，可發現各部份的設計是否符合工廠的安全基本原則。工廠的操作可分為數部份，例如進料、反應器系統、單元操作、物料的輸送和儲存。詳細研究各部份的流程圖，可發現在開爐，正常運轉以及停爐時，可能發生的各種事故。研究流程圖的目的在發現不正常的溫度和壓力突然昇高，以及物料控制失常所產生的結果。

熱量及材料平衡流程圖 (Heat and Material Blance Flow Sheets) 指示物料流動量的資料。危險的原料、中間產品、催化劑和成品應加特別注意。在操作中可能發生的危險品損失也當預行估計。研究材料流程圖時又可發現潛伏的污染和健康問題。預知反應進行中物料的損失，也可預測將來萬一發生災害全廠損失的總數及減少災害損失的方法。

工廠的平面圖，可供評估人員全盤性的安全資料，如廠址的選擇及設備的佈置。當危險評估人員研究平面圖時，憑各製造單位的安全距離、儲槽和火源的位置等，可發現在設廠時安全是否是設計上基本的因素。上述資料都可從工廠的平面圖中獲得。

儀器控制圖是供檢討工廠作業的控制之用。在各種操作設計中，必須有「不發生故障」(Fail Safe) 的觀念。此種控制圖可指出，一旦發生停電或控制部份與儀器部份聯繫中斷，用儀器操作的「流量控制閥」(Instrument Flow-Control Valves) 發生的動作。必須詳細檢討當操作員有過失或設備有故障時，整套製造設備是否能自動停爐。儀器控制圖是決定製造安全的內在安全基礎 (Inherent Safety)。

5. 化學反應的情況

檢討化工廠危險的人，必須澈底瞭解正常化學反應的情況以及發生的變動 (Parameters)。

正常化學反應的情況如發生變動，必須瞭解變動的結果以便採取適當應變行動。

應變的計劃應包括下列各項：

- a. 不正常的溫度。
- b. 不正常的壓力。
- c. 不正常的化學反應速度。
- d. 不正常的添加反應物。
- e. 物料停止流動。
- f. 設備漏失物料。
- g. 設備故障。

控制上述各種不正常情況和實施應變行動，以維護影響工廠的安全。

6. 溫 度

溫度是控制化學反應的一種重要因素。溫度增加後，化學反應速度追隨增加是一般現象。很多化工製造程序，需要很複雜的熱交換系統 (Heat Exchange System) 和精密的儀器控制以保證順利生產。檢討製造溫度應擴大檢討在緊急事故發生後溫度的變化。造成失去溫

度控制的因素是：

- a. 壓力增加。
- b. 反應速度增加。
- c. 腐蝕速度增加。
- d. 化學平衡情況改變。
- e. 產品的破壞。
- f. 產品的不穩定性。

在任何的一種化學製造的過程中，難免出現上述一種或數種因素。為求保證高溫危險不出現，完善的設計，設備製造和維護工作，是絕對需要的先決條件。操作人員的經驗，判斷力和學識也不可缺少。

7. 壓 力

壓力也是影響化學製造程序的重要因素。很多原因促成高壓操作。最重要原因是轉變化學平衡和增加反應速。其他原因是使反應在液態狀況下進行、增加氣體在液體中的溶解度、使液體和固體分離、壓縮粉末和壓擠固體成型。所有壓力容器的設計，必須使容器能承受預定的壓力，並且有釋放過度壓力的設計。使容器發生過高壓力的危險因素如下：

- a. 可能是設備故障。
- b. 反應速度增加。
- c. 腐蝕問題增加。
- d. 壓力設備的密封失效。
- e. 溫度增加。

壓力具有很大的破壞性。過高的壓力可以脹破容器甚致發生爆炸。因此工廠必須有適當的壓力控制設計。

8. 極端困難情況

需要極高壓力和極高溫度化學製造方法，或使用的化學品具備爆炸性者，必須特別注意分析各種危險因素和計畫。除一般防護方法外，這些製造方法需要「專業的設計」和專業的設備製造。這些製造工業的要求非一般安全標準所能達到。這些操作需要高明的技術和特殊訓練的員工。同時也需要防護牆，自動連鎖設計和控制，特殊壓力釋放設備，和特殊人員防護設計。

9. 催化劑

催化劑是一種化學反應添加劑，能改變化學反應的速度。催化劑是利用化學品控制反應速度。催化劑能增加反應速度也可減低化學反應速度。使用不當的催化劑，可產生不需要的化學品，也可使溫度和壓力失去控制。某些種類的催化劑，例如過氧化物 (Peroxide) 是很危險的化學品，需要特殊安全設備和操作。請參閱美國保險協會研究報告第十一號，有機過氧化物的火災、爆炸和健康危險 (Fire, Explosion and Health Hazards of Organic Peroxides)。

10. 時 間

在反應器內的化學品，所能存留的時間稱為「存留時間」(Retention Time)。存留時間視「動力資料」(Kinetic Data) 和試驗室報告決定。每個操作的停留時間必詳加研究，以決定最完善情況。倘使存留時間太短，化學反應或尚未完畢。倘使存留時間太長，產品可能分解，或產生不需要的化學品甚致產生危險。

11. 進料的次序和速度

材料必須在預定的時間，以一定的進料速度進入反應器內。進料流入過量，以致大量滲混超過設備的容量，往往發生嚴重的爆炸。評估人員必須詳細檢討，工廠是否已建立控制進料的速度和進料次序的制度和控制進料的方法。工廠的操作手冊必須詳細說明上述兩項因素的資料以保證安全。

12. 化學反應速度

反應速度是化學製造的重要安全因素。發展製造控制方法是基本目標。每項化學反應必須在試驗室內詳細研究，以獲得實際的資料和數值。反應率常數 (Rate Constants) 必須在試驗室內獲得，而且包括工廠內一切的化學反應。決定反應率常數的重要因素是：化學品的濃度、溫度、壓力、催化劑、和起動能力 (Activation Energy)。這項資料對設備的設計和發展操作安全有莫大的重要性。

13. 化學反應的穩定性

各種不穩定的化學反應必須及早查覺。在試驗室中製造少量樣品時，往往不能發覺不穩定的反應。因此必以較大的規模來鑑定化學反應的穩定性。雖然如此出乎意料的爆炸事故仍常發生。試驗室和試驗工廠的研究結果，往往不能代表工廠實際生產情況，而工廠內的危險，往往也不能在試驗室和試驗工廠中發現。各種生產操作的開爐，正常運轉和停爐所需求的安全操作方法，必須詳細試驗和練習。反應物和產品必須在各種不正當的情況下詳細試驗。工廠內發生的災害往往不是在正常生產所能預料。「熱力分析」(Thermal Analysis) 對試驗工廠安全工作有很大的貢獻。藉熱力分析研究可發現不穩定化學反應的警告。

14. 製造程序的健康危險

製造過程中可能發生的健康危險必須詳加分析，並且應顧及全體員工的健康。安全措施必求能達到公認的標準。首先應獲得所有原料和成品毒性的資料。控制有毒物料的方法應由工程師、工業衛生專家及醫師互商決定。操作控制方法應包括：

- (1) 以毒性較輕的材料代替現用的材料。
- (2) 改善操作環境，以減少工人接觸毒物。
- (3) 將製造區域隔絕。
- (4) 改善排氣或通風系統，以移去毒性物品。
- (5) 使用個人防護設備。

七、單元操作儲運輸送

化學工業的內容非僅限于化學變化的操作，另包括各種物理變化的操作。這些物理變化的操作稱為單元（Unit Operations）。常見的單元操作有蒸餾（Distillation）、蒸發（Evaporation）、萃取（Extraction）、吸收（Absorption）、磨碎（Grinding）、擊碎（Crushing）、製粉（Milling）、製粒（Granulating）、擠壓（Extruding）、噴液（Spraying）、過濾（Filtering）、離心分離（Centrifuging）、混合（Mixing）、攪拌（Agitation）、濾取（Leaching）、結晶（Crystallization）和熱傳（Heat Transfer）。化工廠內物料的主要傳送設備是管線系統、泵浦和壓縮器。固體是用機械傳送器、氣體傳送器或其他傳送機械。化學品常用大桶（Drums）、滾槽、散裝堆存，或其他各種容器儲存。搬運和廢料處理是化學工業的一項重要問題。物理方法處理化學品時往往發生嚴重災害和損失。必須及早發現此潛伏危險而及早防止。

評估人員必須切實明瞭廠內全部材料的潛伏危險性，包括材料原有的危險，及在製造過程中可能發生的危險。材料的物理變化可增加或減少火災、爆炸和健康的危險性，視材料性質變化而定。下列各種危險品一般的變化，可以增加其潛伏的危險：

1. 易燃性和毒性液體的蒸發和滲透現象。
2. 易燃和可燃液體以及毒性液體的噴散和霧化現象。
3. 可燃固體及毒性固體的粉末化和擴散現象。
4. 可燃性材料和強烈氧化劑的滲混現象。
5. 不穩定化學品的溫度昇高現象。
6. 不穩定化學品因震動或摩擦發生的壓力上升現象。
7. 危險化學品穩定劑（Inertants）和稀釋劑（Diluents）的分離現象。

1. 單元操作的分類

製造設備的環境必加密切注意。得多單元操作都在化工製造設備附近進行或在化工製造設備內部進行。因此單元操作牽涉全廠的安全。所有單元操作必須檢討其可靠性，並檢討其控制設備。公用事業，控制器械和儀器，物料的流動以及其他重要設備的可能故障，都必詳加檢討。單元操作可採其潛伏危險的性質分為下列各類：

第一類 氣體或蒸氣的擴散

- (1) 蒸餾（Distillation）
- (2) 蒸發（Evaporation）
- (3) 萃取（Extraction）
- (4) 吸收（Absorption）

這類操作最需要檢討的事項是易燃性和毒性液體和氣體的蒸發和擴散。這類檢討的基本原則是將材料牽制或阻遏在系統內（Containment of materials with the System）。在可能情況下，這類操作應在室外進行，以免發生意外事故時，易燃性和毒性材料造成危險的機會可以減少。倘使這類操作必須在室內進行，則必須消除或控制一切可能發生火種的因素，並且有適當的通風設備或爆炸釋壓設備（Explosion Venting）。在溶劑萃取工場內，此

項防護措施的作業標準更為詳盡。偵測和警告設備不可少。

第二類 體積的增減

- (1) 磨細 (Grinding)
- (2) 擊碎 (Crushing)
- (3) 製粉 (Milling)
- (4) 製型 (Maching)
- (5) 壓縮 (Compacting)
- (6) 壓擠 (Extruding)
- (7) 篩分 (Screening)
- (8) 模製 (Molding)
- (9) 吸塵 (Dust Collecting)

在增減物料體積的操作中，往往遭遇大量易燃性塵埃。用機械方法將固體化為細粉時，往往出現可燃性的細粉或爆炸性的塵埃。倘使塵埃擴散在空氣中，可能發生爆炸。各種防止塵埃擴散的安全標準，都可從工業安全書籍雜誌中找到。防止塵埃爆炸的安全因素有：(一)控制塵埃的擴散，(二)在空氣中增加惰性氣體 (Inerting)，(三)消除火種。為求減少爆炸之可能性，宜防止不穩定的化學品、可燃性材料的混合物、強力氧化劑等，進入減少體積的設備內。又應注意上述材料不可有受壓制和摩擦現象。為求避免塵埃中毒事故，應特別注意通風、吸塵設備，或供給操作員工防塵面罩或口罩等。

第三類 混合與分離

- (1) 噴霧 (Misting or Fogging)
- (2) 擴散 (Dispersing or Diffusing)
- (3) 過濾 (Filtering)
- (4) 離力分離 (Centrifuging)
- (5) 混合 (Mixing)
- (6) 攪拌 (Agitating)
- (7) 分離——分層式浮出 (Separating-Layering and Floating)
- (8) 篩分 (Classifying or Screening)
- (9) 沉澱 (Precipitation)

非常活性化學品的混合與分離操作，可產生很危險的情況。這項操作包括氣體、液體和固體連繫在一起。可燃性液體的噴霧操作，可產生很嚴重的火災和爆炸後果。化學操作宜適當的混合與攪拌動作，以求產品的均和，並控制其化學反應。易燃液體和可燃粉末的混合器與攪拌器的設計和製造，必須考慮減少燃燒和爆炸危險。一切電器應考慮符合美國消防協會出版的國家電器規章 (National Electric Code) 及本國國家標準。一切設備應有聯線 (Bonding) 和接地線 (Grounding) 以消除靜電危險。當混合體的溫度增加後，易燃性液體蒸氣與空氣混合體的爆炸危險也增加。在乾燥爐中，因溫度較高，更須注意爐膛內的通風，必須符合安全標準。易燃性材料和強力氧化劑的混合，是最易發生火警和爆炸事故的操作。

氣體吹入易燃液體內時，可以產生大量泡沫。產生大量泡沫後往往溢出到全廠各處。目前已有各種制止起沫的化學添加劑。在混合操作中，避免外來的雜質混入。這些外來的雜質

非但能影響產品的純度，並且可能造成火源。如有金屬碎物混入，則可能產生火花。

分離操作可能將很危險的材料從稀釋劑 (Diluent) 或惰性劑 (Inertant) 中析出。在工廠操作中，將固體按不同的體積分離時，往往需要極細的粉末和較粗的粉末分離。這些極細的粉末分離出來後，立即潛伏很大的爆炸危險。舉例說，Acetyl Peroxide 的溶液冷卻後，Acetyl Peroxide 則結晶析出。這種結晶是非常危險的化學品。離心機是高速運轉的機械，必須固定良好，而且有防護設備，以免飛片傷及操作人員。

第四類 熱的傳播

- (1) 加熱
- (2) 冷卻
- (3) 低溫冷凍 (Cryogenic Cooling)
- (4) 冷凝 (Condensing)
- (5) 乾燥 (drying)
- (6) 脫水 (Dehydrating)

在化工廠內，熱傳播是最常見的操作。熱的傳播包括加熱和冷卻。這兩種現象都可造成化學製造程序中潛伏的危險。熱傳播設備的操作溫度最低是華氏負 445 度，最高可達華氏 4,000 度。傳播設備包括直接燒火的火爐，熔鹽池，和各種換熱器。

化學製造程序中，最常見的熱傳播器材是管式換熱器 (Tubular Heat Exchanger)。因各式泵浦將熱媒 (Heat Transfer Media) 從管內流過，使管外材料加熱或冷卻。管件的材料必須能防止腐蝕或阻塞物料流通。當換熱器供正常操作及緊急操作冷卻用途時，必須詳細檢討冷卻劑的可靠性。某些工廠使用化學活性很強的熱媒，必須特別注意熱媒外流的危險。硝酸鹽和亞硝酸鹽的混合物，是很好的一個危險熱媒實例。壓力型換熱器必須裝置釋壓器。換熱作用前後需要攪拌的操作必須有連鎖設計。溫度控制需要完善的自動控制和儀器控制設計。

第五類 其他操作

- (1) 沖洗 (Leaching)
- (2) 結晶
- (3) 製粒
- (4) 稀釋

上述各種不同的操作，各有很多不同的潛伏危險。這些危險都因物料的操作方法而產生。舉例：蒸發硝酸銨的高盤如有油料流入，往往迅速發生爆炸。操作結晶器時應注意控制進入結晶器的熱量。過多的熱量可改變結晶體的晶體結構。除非沖洗毒性物料，沖洗並非一種危險操作。將物料的濃度稀釋後，可能使化學品更不穩定。對這些不穩定化學品的性質必詳細檢討。

2. 物料輸送

(A) 液體和氣體的輸送

化工廠內的輸送設備多以管線為主。管線設備的投資往往佔全部設備資產的百分之三十。工程師們鑑於管線的重要，往往繪製全廠管線圖，圖中包括一切閥、安全釋壓設備、儀器

設計和控制器。在評估工廠危險和計劃緊急應變時，研討管線圖是最重要的工作。

一般安全人員往往忽視管線的設計。歷年災害的經驗指出管線故障產生的災害比壓力容器尚多。一般說，管線故障的原因如下：

- (1) 支架不佳，忽略管件震動的影響。
- (2) 焊接工作不佳。
- (3) 檢查工作不佳。管線內部及外部的腐蝕情況不易查覺。
- (4) 溫度壓力 (Temperature Stresses)。
- (5) 過高的溫度和過高的壓力。
- (6) 材料不佳。
- (7) 局部反應 (Local Reactions)

管線應盡量置於容易檢查和維護的位置。管線的施工應符合適當的安全規章。評估管線潛伏危險時，應從減少輸送危險品的管線開始。管線應有足夠的閥，而且在適當位置裝置閥，以便在火警發生時迅速切斷危險品的流動。管線應有適當的標誌，以便在正常操作和意外事故發生時便於識別。

(B) 泵浦和壓縮器

在可能時，輸送易燃性液體的泵浦應裝置在室外，而且要距離工廠主要設備很遠。這些泵浦的設計和製造應符合公認的安全標準。某些工廠將這類泵浦裝置在特殊設計的廠房內。這種廠房應有良好的排水系統和通風設備。定量泵浦 (Positive Displacement Pumps) 在不輸送油料時應有自動停止運轉設計，離心泵浦則不需要此設計。泵浦的襯墊 (Gasket) 漏液是常有的現象。漏液引發災害也常發生。

氣體壓縮器，鼓風器 (Blowers) 和抽氣器 (Ejectors) 是化工廠常用的設備。氣體壓縮器應裝置於室外，或裝置在耐火而且隔絕的建築物內。在工廠重要區域裝置氣體壓縮器時，應特別考慮防護設備。很多種類的烴類化合物（如乙炔氣管）和易燃氣體和液體的蒸氣，一旦進入空氣壓縮器，曾多次發生嚴重爆炸災害。因此，空氣壓縮機的進口必須有防止空氣以外的雜物進入。進氣口的位置也應慎重選擇。大型空氣壓縮機有防火牆保護。

(C) 機械和空氣輸送器 (Pneumatic Conveyors)

機械輸送器具，如輸送帶和螺旋輸送器等，必須有防止毒性物質和易燃塵埃擴散的設計。一旦易燃塵埃擴散，觸及火源就有爆炸的危險。空氣輸送器已利用供輸、送塑膠金屬粉末、農產品和炭焦產品等用途。某些系統中，可能需要在空氣中添加惰性氣體。各種系統都需要控制火源，並有爆炸釋壓設計。靜電是很普遍的危險。用氮氣輸送煙火性 (Pyrophoric) 物料，如鎂粉等，需要特別完善的控制設備和防護設備。

廠區內行駛的小型動力車輛，如堆高機和小拖車等的設計和操作必符合公認的安全標準。這些車輛的最常見的事故有：倒車、超速、缺少防護物、和不正當的用途。不正當的用途包括用車輛推送物料、用車輛推動平放在地面的堆積物，用車輛推動其他車輛等，使用堆高機時須注意負荷的重量和負荷的重心不會損傷人員和車輛。

3. 化學品的輸送

化學工廠內，化學品的裝貨、收貨和送貨設備，需要完善的設計和施工。這些設備是最

容易發生火警的地方。尤其是易燃液體和氣體、毒性物料和不穩定化學品使用上述設備時更應謹慎。儲運大量易燃液體和氣體的建築物應遠距火源，並有消除靜電的設計。一切管線和管件、軟管和接頭等的購料和裝置，必符合公認的安全標準。在需要特別防護區域的管線，應裝置遙控切斷液體流動的裝置（Remote Shut-down Facilities）。

運送危險品時，應附規定之危險標誌。消防人員，或負有消防任務的員工，應熟習各種滅火器的功用和滅火方法。美國保險協會出版的「各州政府公路運輸高度危險品的防火、防爆和防毒指南（Suggested Guide for State Action on Safety from Fire, Explosion and Health Hazards in Highway Transportation of Extra-Hazardous Commodities）」是很好的參考資料。

4. 儲 存

(A) 液體

危險液體必須考慮儲存於符合美國聯邦政府運輸或本國規格的大桶，大玻璃瓶（Carboys）、火車液槽車、汽車液槽車內運輸，或以合格的管線輸送。如液體量不多，可暫存在出廠的容器內。大量液體必須在指定卸貨和裝貨的區域儲運。

人員必須檢討儲運設備的情況和防災措施，更須注情一切設備的設計，施工和操作方法是否已達到公認的安全標準。大量液槽的位置應選擇在不易發生巨量危險品災害的區域。

(B) 氣體

危險氣體通常根據美國聯邦政府運輸部（DOT）安全規章輸送。這些水體包括液化氣體和氣態氣體。輸送的容器有鋼瓶，氣罐卡車和拖車，或用長途管線輸送。運到廠區後，可仍儲存在鋼瓶內，也可移存在儲槽內。液化石油氣（Liquified Petroleum Gas）等氣體的儲存，應嚴格遵守這類氣體的安全規章。氣槽必須遠離火源，因為一般的氣槽都沒有類似易燃液體儲槽的防火堤。當使用高壓方法儲存毒性氣體時，應考慮附近社區的情況，並且有緊急危變計劃。

(C) 固體

近年來儲運固體危險品的趨勢是「散裝運輸」（Bulk Movement）。這些固體多用堆置法或漏斗式儲倉（Hopper）存儲。如用貨櫃儲運，則貨櫃必須考慮符合美國聯邦政府運輸部的貨櫃作業標準。在考慮堆置的高度時，應檢討貨物的燃燒性。燃燒性也是決定在室內堆放或露天堆放的重要因素。散裝儲運作業必須檢討貨品的性質。舉例說，堆放不穩定材料時，應檢討其堆放高度和每堆的存量。堆放高度和每堆存量都要受安全的限制不能逾量。此外又應考慮不穩定材料對附近社區的影響。必須避免身體對危險物品的曝露。散裝貨品應注意污染問題，因為污染的東西可以發生災害。有自行發熱的材料，對每堆散裝物品中的水份總獲有嚴格限制。水份超量可引發自燃現象。在此情形時又需偵測每堆貨品各局部的溫度。

5. 廢物處理和污染防治

廢物處理和空氣污染，必須針對政府法規而檢討，研究現況和法規的距離和政府執行的情況。

全面的廢物收集和處理需注意廢物的性質和處理的方法。污水處理設備可能是全廠油污

和有毒液體的集中場所。廠區內往往難於找到一處可供焚燒廢油和廢物的場所，也不易找到堆放污物的地方。焚燒爐（Incinerator）是處理各種液體和固體污物的好設備。廢氣燃燒塔（Flares）乃緊急時將易燃氣體排出廠區的標準設備。

污染防治因非本文重點故不詳述，唯工廠的管理者務必了解工業災害是污染的急性表現，而污染又是災害的潛在因子。

八、操作人員的訓練

1. 訓練業務

化工廠的技術進步，以及逐漸流行的自動操作控制系統，需要全廠員工都得時時刻刻接受訓練，以求配合工廠的更新計劃。欲求達到此目的，必須制定完善的訓練計劃。訓練計劃包括員工的教導，新方法的使用以及災害應變步驟等。檢討工廠安全的人，應注意全盤訓練計劃是否有缺陷，並能達到工廠安全的最終目標。

很多化學製造公司，有定期審查和改編操作手冊的計劃。審查操作手冊的缺點，使操作手冊能追隨工業技術的進步，以達生產的安全及順利的目的。在定期審查操作手冊時，要注意手冊的修正，例如採用新原料、新方法、新設備，以及工廠技術的新方針。

工廠實際的操作，往往與廠方頒佈的作業方法有偏差。人為因素往往是使實際操作不能符合廠方硬性規定的主要原因。很多次嚴重災害的起因，是操作人員很單純的過失，或是操作人員對動作缺少澈底的瞭解。因此檢討工廠安全的人，要注意工廠訓練的效果，員工意見的交流，工廠督導人員的職責，以及是否能完成廠方交付的使命等。

化工廠的員工訓練，通常分兩組進行。兩組使用不同的方法進行訓練。第一組是主管級訓練。這組人員擔任工廠的督導和工程工作，包括操作、生產和修護等項目。第二組是領班和技工訓練。訓練的內容只限於技工特殊的專長，只求技能完成指定的一項或數項工作。

主管訓練著重檢討材料、製造程序、流程圖的改善、化學反應的理論、設備的設計、操作方法以及各項業務的連繫。操作主管的任務是教導操作技工工作的細節。修護主管的任務重點是準備修護工作進度表，根據設備的規格和每項作業的要求，制定詳細計劃。訓練計劃應全盤考慮整個工廠的安全。各部份主管是安全計劃的執行人，因此主管的安全觀念頗重要唯有提高主管的安全意志才能避免災害的發生。

操作技工的訓練，在熟習某一工廠的操作步驟或某一特殊項目的操作細節。工程師、主管和領班，應盡全力擔任操作的訓練。工廠的工業安全部份，應提供有關防火、防止意外事故、防止爆炸、維護的安全資料，並督導員工盡責完成安全任務。

2. 操作手冊

化工廠每種操作，都必須有一本操作手冊。化工廠的「標準操作程序」（Standard Operation Procedure）是全體員工的基本訓練教材。員工應經常查閱此手冊。檢討化工廠安全的人應澈底研討，操作手冊是否符合「安全原則」，而且此手冊是否簡單明瞭，容易閱讀和容易明瞭。編著操作手冊的人，應包括研究發展人員、設計人員、生產人員和安全工程師。在建廠工作進行時，操作手冊就應當著手編寫。在研究室和試驗工場（Pilot Plant）

獲得的知識，是操作手冊資料一部份的來源。代表性的操作手冊應包括下列諸項：

- (1) 製造程序概述和製造背景。
- (2) 物料的性質。
- (3) 設備概述。
- (4) 開爐及停爐步驟。
- (5) 正常操作步驟。
- (6) 安全準則——防止火災、爆炸、意外事故及健康的措施。
- (7) 警戒事項和應變計劃。

上述各項訓練在處理「高度危險」的工作中更為重要。

3. 員工的教導

主管人員和有資格擔任訓練工作的人，在灌輸下屬一般知識後，可正式開辦訓練班或進行「在職訓練」。訓練的工具包括：視聽教材、掛圖、模型、示範動作、模擬操作動作等。「標準操作手冊」可充教材。檢討此項訓練的成果，可作日後訓練的基礎。

操作工熟習操作步驟後，應再進一步經常建議修訂操作手冊。唯有實際參加操作的人，才能從實際經驗中改善生產方法。每位操作工必須熟習他工作的內容，他使用的材料，他操作的設備，更需知道他附近的設備和工廠的水電等公用設備。

4. 開工和停工步驟

開工和停工是化工廠最緊要關頭。為求開工和停工安全順利，必須有週全的計劃和完善的訓練。在開工和停工階段中，最容易發生嚴重事故和災害。

工廠必須準備全套檢查表，包括各種操作的細節，要求員工熟習而且遵守才能保證開工順利。開工前要求全體員工切實明瞭下列各項：

- (1) 各種物料的特性。
- (2) 製造方法的設計，包括產量和順利生產的資料。
- (3) 設備的性能。
- (4) 可能發生的危險。
- (5) 預防措施和防護措施。
- (6) 應變計劃。

一切設備，在開工前必經澈底檢查。安全檢查更不可少。操作程序可加檢討，並可進行短期的模擬操作的動作。在正式開工前，需要將檢查表上所列項目，再逐項校對一次。每項動作必加簡要的監視。全部開工操作可能需要數天或數週之久。

「正常停工」和「緊急停工」的計劃必須早已準備妥善，急速停工往往辦不到。停工的程序必須遵守一定的次序，以免產生很多危險情況。必須考慮在進行停工前工廠的實況而隨機應變。各項停工的措施必早為準備。這些停工措施包括下列各項：

- (1) 冷卻設備並消除設備內的壓力 (Depressuring)。
- (2) 將容器內的液體用泵浦抽出。
- (3) 除去易燃和不穩定物料。

- (4) 除去腐蝕性和毒性物料。
- (5) 將易燃性氣體和蒸氣用惰性氣體排除 (Purging)，使濃度降到安全限度以下。
- (6) 員工進入容器前，必詳細檢查容器內外的一切危險因素。

5. 工作安全許可證制度 (Permit Systems)

評估人員必須詳查工廠是否有健全的工作安全許可證制度。此項許可制度應普遍實施於廠內可發生重大危險之工作。一般工廠都由工廠主管防止「重大損失部份」(Loss Prevention Department) 發給。發給此證之目的，在檢查某一項特殊工作是否已採取正常的防護方法。許可證只是一種初步檢查和研究而已。工作人員不可誤會，持有許可證則工作的安全已獲得可靠的保障。簽發許可證的一位或數位負責工廠安全的人，可能有疏忽的地方。現場工作的環境，可能有不能預料的危險突然發生。安全仍須現場工作人員，隨時提高警覺，隨機應變，以保障自己和同事的生命。現場的領班，尤須切實負起安全督導的責任。工作安全許可證，絕對不是一張護身符。許可證只可減少災害發生的次數，而不能絕對根絕災害。

許可證可分下列各類：(1)設備使用安全，(2)危險工作安全，(3)危險區域安全，(4)特殊危險工作安全等。某些工業已根據需要和經驗，發展特種許可證制度。工廠中，最常見的工作安全許可證是動火許可證，動火許可證是檢討鋸切或其他可產生火種的工作。除鋸切外，可能產生火種的工作有使用砂輪，鋼鐵敲打和撞擊，噴砂除锈等。茲逐項說明各種許可證：

(1) 設備使用許可證 (Equipment Operating Permit) ——工廠內某些設備，只限於受專業訓練的人使用，而且工作有需要時才准使用。例如堆高機的駕駛和操作很簡單，但是使用堆高機的人，必須受過數小時的專業訓練。堆高機的購置和維護費用都很高，非萬不得已，堆高機不得日常代替卡車使用，也不得代替卡車，供長途運輸之用。本省工廠由沒有受專業訓練的人操作堆高機而發生的事故不勝枚舉，而堆高機供作長途運輸之用也累見不鮮。很多工廠當修理控制設備時，工作人員也須領取許可證。修理自動噴水消防系統時也須領許可證。其他的許可證，有吊車或起重設備使用許可證，推土機使用許可證等。

(2) 危險工作安全許可證 (Hazardous-Operation Permit) ——某些工作在動工以前，必須由其他工作人員完成若干工作。如果動工前的準備工作有缺陷則可能產生莫大危險。例如，工廠內動火切鋸時，或工作進行中可能產生火種時，必須非常小心，而且須領用動火許可證。工廠內常實施進槽許可 (Tank Entry Permit)。進入儲槽之前，必確實保證儲槽已適當洗清，有害氣體已被排除，槽內有足夠氧氣可供呼吸，所有通往儲槽的全部管線都已切實切斷等。

(3) 危險區域安全許可證 (Hazardous Area Permit) ——廠內操作和儲存危險品的區域，只准持有此許可證的人員可進入。儲存炸藥、火箭燃料、爆竹等區域的工作人員必持此證。臨時有必要進入此區域的人員也必持此證。不是存在儲酸液和易燃液體工作的人員，進入此區應持有許可證，使進入的人知道此區域內的危險情況，和在此區域內，萬一遇到不正常的現象或緊急意外事故，所應採取的行動。簽發此許可證的人，應通知現場工作的人，有外人持許可證進入危險區，並準備應變設備和防護措施。

(4) 特殊危險工作安全許可證 (Special Hazard Permit) ——特殊危險工作安全許可證，多用於操作毒性很強的材料。工廠往往限制唯有合格員工可操作這些劇毒材料。操作劇毒

材料須列出特別戒備事項，如通風情況、進出的控制、建築的構造等。在特殊限制情況下，可允許員工攜帶火柴和打火機。必要時，應要求員工配帶防毒面具和防毒衣。

6. 應變的準備

工廠雖盡全力於防災，緊急情況和災害仍難根絕。因此全體員工應獲得充分的指示，認明災害發生前的徵兆，並憑自己的智慧迅速行動以減少損失。

全體員工都必須接受適當的訓練，認識操作情況的不正常現象，而這些不正常的現象可引發重大的火災，爆炸和健康危險。員工發現下列各項不正當情形後，應當立即報告上司，並且採取預定的應變行動：

- (1) 設備漏失材料。
- (2) 釋出危險氣體、蒸氣和煙霧。
- (3) 設備發生損害和故障。
- (4) 查覺不正當的氣味。
- (5) 操作過程中，發現不正常的聲音。
- (6) 不正常的現象，如過高或過低的溫度和壓力等。
- (7) 其他員工違反工廠操作程序，或安全規章的行動。
- (8) 其他員工未經准許，擔任危險工作。
- (9) 外來車輛或外來人士，未經准許進入工廠危險區域。

操作人員應接受下列各項應變訓練：意外事故流失的材料、拋棄不合格的產品、危險廢料的處理。上述各種材料往往是很易著火的材料，劇毒材料或不穩定材料。在非常緊急危險時，工廠可能需要撤退全體員工向安全地帶疏散。此時可能需要使用危險品的儲槽（Dump Tank），現場強力通風和使用廢料處理設備等。處理廢料時，應注意盡量避免違反政府規章。

偵察設備可能發生故障是防災的重大事項。現場操作人員往往可憑自己的經驗和學識，預測可能發生的生命財產損失。工廠當局應獎勵工作人員，及早發現需要修理的設備和需要更新的設備。

7. 應變計劃

工廠全部員工，包括高級管理人員、單位主管人員、各級督導人員，都必須熟知應變計劃和接受應變訓練，切實知道發生某種災變時自己本份內的職責。這些災變包括暴風雨、地震、洪水、停電、火災、爆炸、意外釋放劇毒和危險物品。工廠主管應組織消防隊。消防隊應針對全廠的各種緊急狀態而採取行動。

擔任操作具有危險性的化工材料員工，應當舉行緊急事故演習。可以模擬不正常的故障和不正常的變化，按部就班的執行假想動作，處理假想的事故。

此外應定期舉行災變演習。這演習動員政府的警察，消防隊員以及當地的其他救災團體參加，必要時尚需邀請附近工廠的救災人員，舉行支援行動的演習。

每個工廠的管理核心人員，必須接受適當訓練，以處置假想的重大災難。這些核心人員，熟習社區內的救災組織和救災的設備，以求控制災害制止災害的擴展。

九、設備

化工廠設備的設計是非常錯綜複雜的工作，需要研究發展專家、工程設計專家、建廠專家、生產專家和防止損失專家們的通力合作，協調步伐才能完成。其最終目標是控制原料和成品，使各種設備充分發揮其功能，並且安全順利生產。在理論上說，最完善的設備設計是其中任何一部份發生故障或效力衰退或操作員過失，全套設備中的控制系統和防護系統，都能發揮其功效不使工廠遭受嚴重損失。

一套完善的設備設計，必須具備內在的（Build-in）的安全因素和防止損失的因素。這種設想，包括很複雜的操作教導工作在內。為防止嚴重損失，設計工作應注意下列事項：

- (1) 各單元操作設備的可靠性。
- (2) 操作簡便。
- (3) 操作可隨需要而變化。
- (4) 可供日後生產擴充之用。
- (5) 檢查和維護方便。
- (6) 適當的緊急停工設備。
- (7) 設備標準化，以求日後更新和補充時，沒有困難。
- (8) 考慮壓力昇降的範圍，具有控制過度高壓的設計。
- (9) 考慮溫度昇降的範圍，具有控制溫度過高的設計。

擔任工廠安全檢討工作的人，必須研討工廠可能發生損失的程度。可能發生的損失是否在公司可能承受的限度內。因此檢討工作應注意下列事項：

- (1) 設備是否符合現在通用的工業標準、安全規章、安全標準和政府法令。
- (2) 在製造設備時，是否切實根據規範製造，沒有偷工減料之嫌。
- (3) 設備是否有適當防護設備，和防止發生事故的設計。
- (4) 現有的檢查和維護工作，是否足夠完成順利運轉的使命。

1. 設計工作

在第二次世界大戰以前，化工設備中除機械設計外，談不上設備的標準化。近年來，美國工業已發展完成很多標準，規章和技術機構和安全機構名稱如下：（限於美國境內組織）

美國混凝土學會 (American Concrete Institute-ACI)

美國氣體協會 (American Gas Association-AGA)

美國齒輪製造協會 (American Gear Manufacturers Association-AGMA)

美國保險協會 (American Insurance Association-AIA)

美國化學工程師學會 (American Institute of Chemical Engineers-AICHE)

美國鋼鐵建築學會 (American Institute of Steel Construction-AISC)

美國石油學會 (American Petroleum Institute-API)

美國土木工程師學會 (American Society of Civil Engineers-ASCE)

美國加熱、冷凍和空氣調節工程師學會 (American Society of Heating,
Refrigeration, and Air Conditioning Engineers ASHRAE)

美國機械工程師學會 (American Society of Mechanical Engineers-ASME)

美國材料試驗協會 (American Society of Testing Materials-ASTM)
美國鋸接協會 (American Welding Society-AWS)
壓縮氣體協會 (Compressed Gas Society-CGS)
工廠保險協會 (Factor Insurance Association-FIA)
換熱器學會 (Heat Exchanger Institute-HEI)
電機及電子工程師學會 (Institute of Electrical and Electronic Engineers-IEEE)
國際電化學委員會 (International Electrochemical Commission-IEC)
美國儀器協會 (Instrument Society of America-ISA)
全國鍋爐及壓力容器檢查員公會 (National Board of Boiler and Pressure Vessel
Inspectors-NBBPVI)
國家標準局 (National Bureau of Standards-NBS)
全國電器製造廠公會 (National Electrical Manufacturers' Association-NEMA)
製造化學師協會 (Manufacturing Chemists' Association-MCA) 註：刊行活葉安
全資料 (Safety Data Sheets) 等刊物。
全國安全協會 (National Safety Council-NSC)
全國消防協會 (National Fire Protection Association-NFPA)
管式換熱器製造廠公會 (Tubular Exchanger Manufacturers' Association-TEMA)
保險研究所 (Underwriters Laboratories, Inc-UL)
美國標準學會 (United States of America Standards Institute-USASI)
除上述普遍採用的安全標準外，公司尚可制定公司內部的標準 (Internal Company
Standards)。舉例說，某一家大公司會制定自用的標準，包括設備的選擇、工程設計、物
料的選擇、物料的檢查和試驗、維護和建造的程序、零件的儲備、安全的要求等。某一家規
模宏大的工程顧問設計公司，使用公司自備的五百多種不同的設計標準，此外另有難以數計
的工程設計資料。

目前正在發展各種新標準，包羅很多特殊設計因素。高溫和高壓的操作，促成一大套新的
設備的出現。超冷工業 (Cryogenic Industry) 將工程設計帶入新境界。超冷工業所需的
工程設計標準，建造標準，低溫絕熱，操作安全等知識都是年代較淺的。處理腐蝕性很強的
材料的規範，要同時考慮抗蝕性和材料強度。

主要化工設備的設計可分為下列數項。

- (1) 基礎
- (2) 鋼架
- (3) 容器與儲槽
- (4) 泵浦和壓縮機
- (5) 加熱器和加熱爐
- (6) 換熱器
- (7) 涡輪 (Turbines)
- (8) 電器設備
- (9) 儀器

- (10) 管線系統
- (11) 吸收、蒸餾及處理設備
- (12) 消防及安全設備

茲將各項重要的安全設計綜合申述如下：

(1) 基 磩

符合標準材料和設計的基礎，才能保障設備的穩定性。基礎的設計必須考慮可能遭受的風壓，設備滿載時的全重，以及在進行水壓試驗時產生的負荷。全部重要的設備以及高塔等，都必須裝置適當的基礎螺釘（Anchored Bolt）在基礎適當的位置。

填土的區域不宜供重要負荷基礎之用。倘使土壤需要打樁，可能需要先打幾根試驗樁（Test Piling），試驗樁的承受力量。泵浦、壓縮機和其他產生劇烈震動的機械需要特殊設備，以消滅因震動所發生的故事。

(2) 鋼 架

鋼架的設計和建造，必須採用公認的標準和材料規格。

設計鋼架時，應考慮：(一)設備的全重，(二)風壓的負荷及地震的負荷，(三)撞擊和操作的負荷等。高架的設計和建造，可能需要特種支撐或拉索以防傾斜。危險區域的鋼架需要防火措施。

平台、樓梯、扶梯的建造必須堅固並設置扶手，以免操作和維護員跌傷。

(3) 容器與儲槽

壓力容器的設計和建造，必須符合現行通用的規章、規格、標準，以及州政府與地方政府的法令。設計容器時應注意材料，建造的方法，設計的應力和材料的厚度。設計壓力和設計溫度應顧及預測最高的數值。壓力容器應具備適當數量的開口以供檢查和維護之用。腐蝕是很嚴重的問題。可能需要加裝玻璃、塑膠或特殊金屬襯裡（Lining）。必要時，需要加裝防蝕板（Wear Plates）。容器必需有能排放全部材料的設計。

容器應需要具備「超壓保護」（Overpressure Protection）裝置。排氣管（Vent）和釋壓閥出口管線的位置應注應，不使排放出來的流體造成危險。釋壓閥的腐蝕現象必加防止。釋壓閥的功效不可片刻發生故障。容器應具備取樣設備。

全部壓力容器，必須嚴守規章上的條文詳加試驗，檢查並加上標誌。在現場組合的壓力容器的鋲縫，可能需要放射線檢查。其他安全法規上規定的檢查事項也不可缺。

儲槽的設計，因下列各因素而有很大變化：容積、設計壓力和設計溫度、化學活動性、毒性、腐蝕性等。易燃液體和氣體的儲槽，液化氣等儲槽，需要特殊安全設備。這些儲槽的設計，得符合公認的安全標準和安全規章。上述設計包括超壓防護設備和排放設備等。某些設備內的材料，漏失後可能造成莫大危險。這些材料的儲槽有加築防火牆或防液堤的必要。儲存冷凍氣體的儲槽，儲存特殊化學品的儲槽，儲存高溫和高壓氣體的儲槽等，都必須研討其金屬材料的性質、硬度）鋲接品質及保溫設備等。

儲槽和壓力容器的支架設計，必須能承當最大負荷。倘使儲槽支架有由火災造成的威脅可能性，支架須有耐火的設計。

(4) 泵浦和壓縮機

泵浦和壓縮機是化工廠的一種主要設備，供輸送液體和氣體之用。一般情況，泵浦的選購和效能必須配合特殊操作情況的需要。在可能時，供易燃材料用途的設備宜裝置在室外，並且能負荷管線震動作用。高壓設備必須考慮檢查和維護工作的便利，始能促進工廠的安全。空氣壓縮機管線內的溫度宜加控制。空氣壓縮機應有高溫警告設備。有些工廠設有泵浦和壓縮機專室。這些專室的通風和室內排水必加注意。

輸送易燃液體泵浦的填料襯墊 (Packing Gland) 有時會損害而引起重大火災。火災時，人員不能趨近泵浦，因此需要裝置遙控的馬達開關和遙控的動力閥，以便在緊急時切斷液體的流動。

輸送危險性的泵浦和壓縮機應具備可靠的轉速控制器 (Governor)。空氣壓縮機進口的位置應選擇適當，以免混雜在空氣中的危險物進入空氣壓縮機。以空氣為原料製造純氧，和純氮工廠的空氣進口位置應特別注意選擇。空氣中的微量碳氫化合物進入氧氣系統很易發生爆炸。

在危險區域裝置電動泵浦，必須嚴守電器安全規章的規定。在關鍵性的操作位置裝置馬達泵浦，應考慮加裝一台備用泵浦和一組備用電源和電纜。

(5) 加熱器和加熱爐

設計和選擇加熱器加熱爐的位置時，應特加注意檢討這些加熱設備的開放式火焰和散播的熱量，可能影響危險區域內的安全。應有適當的安全距離，分散熱源和易燃空氣可能出現的場所。基本製造機械和控制儀器必須遵守公認的標準的安全規章設計。鍋爐和加熱設備必須按使用法規，保險規章和政府法規實施定期檢查。火爐和鍋爐內的燃燒室（又稱爐膛Fire Box）的爆炸是不稀奇的嚴重事故。這兩種設備應具備適當的控制系統，連鎖系統和防止故障的儀器 (Fail Safe Instrumentation)。火爐需要下列各種防止損失的基本設計：適當的通風 (Adequate Draft)，確實的點火 (Positive Fuel Ignition)，自動水位控制器，釋壓設計和燃燒控制。

某些製造程序需要使用空氣加熱器。此種加熱器的點火器，需要正確點火的設計以及燃料來源的控制器。空氣加熱器應有觀察火焰玻璃窗 (Sight Glasses for Flame Observation)。市上可購到熄火偵查器 (Monitoring Devices for Flame-out Detection)。空氣加熱器的出口應裝置高溫警報器。

(6) 換熱器

化工廠內通用管形硬殼換熱器 (Shell and Tube Type Heat Exchangers)。換熱器應遵守現行規章和法規製造。換熱器內部的導熱管的材料應慎重選擇，以抵抗腐蝕作用。換熱器應有釋壓、岔管 (By-pass Piping) 及適當的排液 (Drainage) 設備。設計則應力求檢查和維護工作的便利。

換熱器內的導熱管線一旦破裂，有導致不利的化學反應，或產生過高的壓力可能時，導管應採用無縫鋼管和配管的設計應考慮冷熱漲縮的因素，以免連結部份發生過大的應力。換熱器內液體因受過度熱量的影響，發生熱漲作用 (Thermal Expansion) 和蒸發作用，使

換熱器爆炸引發嚴重火災的事件已有多起。鎔鹽換熱器內的流體需要特殊設計，以防鎔鹽和其他材料接觸。

(7) 涡 輪

渦輪，轉動機械和其附屬機械的設計，製造和操作必須嚴守各項安全規章和安全標準。近年來，因此種重要化工設備故障發生的災害損失已逐漸嚴重。化工廠內使用的渦輪的設計與建造，必須能配合化工製造的嚴格要求。在災害即將發生的時候，渦輪必須有自己停止運轉，並且警告值班操作人員的設計。操作渦輪的，切不可超越渦輪設計的限度。檢查和預防保養工作（Preventive maintenance）是渦輪順利運轉的必要條件。

(8) 電器設備

化工廠的全部電器設備和配線工作，必須符合國家電器法規。在危險區域裝置的電器應經類似 Underwriters' Laboratories, Inc-UL 檢驗合格者。（其他權威機構的檢驗也為合格）。檢驗的項目必須配合現場的需要。

安全檢討人員應明瞭，並切實查看化學工廠內各區域的危險分級（Classification of Areas），以決定現場的電器設備是否合格。舉例說，在某些非常危險的區域，需要裝置防爆型電器設備。美國國家電器法規可提供區域危險性分級標準。此標準是根據區域內可能出現的易燃氣體，易燃液體蒸氣和可燃塵埃而分級。進一步的資料可查閱美國石油學會出版的公告第 RP-500A 號。

從安全着想，電器設備的安裝工作也非常重要。電器設備必須裝有接地線，以保障人員和設備的安全。必須避免易燃氣體和液體蒸氣經電纜導管流向火源。導管和高溫物體之間必須維持適當空隙，以免電纜上的絕緣體受熱損壞。照明力求適當以利值班人員工作。照明必須符合公認的標準。

靜電是危險化學品操作程序中的一大危險。設備必有適當的接地裝置以減少靜電危險。在危險區域內應避免使用皮帶輪。

閃電是高壓電纜、建築物、化學品儲槽和化工設備的重大威脅。設備的頂部應避免有尖端的部份。裝置避雷桿（Rods and masts）或接避雷電線可保護設備減少雷電威脅。

(9) 儀 器

化學工廠的控制逐漸採用儀器和實施自動化操作。因此儀器對製造程序中的安全控制日漸重要。安全檢查員應研討廠內的儀器和其他控制設備是否足夠控制工廠災害的需要。馳名的儀器工廠所出售各種儀器，可達到控制化學反應和順利生產的目的。設計工程師必須分析每項製造程序，提供適當的控制器和控制儀器，以配合正常生產和意外事故發生時的要求。採購儀器時應切實說明所需儀器的功能和限度，並注意這種儀器可靠性的表現，儀器的幾種基本要求如下：

- (1) 全部儀器及控制設備必須能保障沒有意外事故發生（Failsafe）。
- (2) 儀器的材料必須能承當化學品的腐蝕性和沖蝕性的破壞。
- (3) 儀器的製造和安裝必須便利檢查和保養工作。

- (4) 製造過程中其有決定性危險部份和危險位置，應有獨立的指示儀器 (Indicators)。
(5) 應有可聽到的警報裝置，以便值班人員提高警覺發覺何種危險將會發生。

各生產單位以「控制圈」 (Control Loops) 連結更能表現自動控制的功效。這些控制圈上的各種儀器，可指示正常的操作的各種變數 (Variables)，如溫度和壓力等，又能指示各種不正常 (Upsets) 現象。在大規模的化工廠中，可利用電子計算機將各處控制圈連結在一處，使全系統的操作集中一處。這類電子計算機可設置在控制中心。這中心具有決定性的需要。全廠的生產和安全都集中於此。倘使工廠的危險性很大，控制中心的建築應有特殊耐爆構造。控制中心的新鮮空氣進口應慎重選擇，以防易燃氣體或毒性氣體和蒸氣侵入建築內。

事關全廠員工生命和財產安全的緊要控制設備，應有同式兩套，以便一套發生故障時可換用另一套備用的控制設備。偵測位置和控制位置的電線接頭必加保護。應有備用電源以保證操作控制順利。同時應研討萬一自動控制失敗，是否有人工控制方法代替。

(10) 管線系統

全部管線、閥和管件的設計，必須遵守公認的標準，配合使用的壓力和結構上的應力。管線必須有良好的支架，並能抵抗一切物理和機械的傷害。有一座化工廠發生大火，其原因為開工時一根管內的壓力超出限度而破裂所致。

一般而言，管線的安排原則是盡量取直線以縮短管線長度，並且應避免擠在一起發生雜亂現象。管線系統宜微斜以免液體滯留在管線內。管線連接的部份必加注意，以保持堅固與沒有震動現象。有爆炸危險的管線或輸送危險品的管線接頭宜用鉗接。

管線系統內應有足夠數量的閥，以利全系統的順利操作，並且在緊急情況時，能切斷流體的流動保障工廠的安全。單向閥能防止流體的逆流為重要的設施。輸送易燃材料的主要切斷閥 (Main Shut-off Valves) 應有明顯的標明「開」和「關」的位置。

管線在使用前，必須進行水壓試驗。管線系統的設計必須便利清除污物和用水沖洗。開工前，必使管線內部清潔。管線系統的設計必須注意管線漲縮現象。

(11) 吸收，蒸溜和處理設備

全部壓力容器的建造，應考慮符合美國機械工程師學會出版之「鍋爐和壓力容器規章之標準」 (ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V 未經火燒之壓力容器) ，並且有永久性之標誌，說明標準的條文。容器必須有適當大小的釋壓閥。其釋放的壓力也應適當。釋壓閥的釋放壓力必須能保障安全。在大氣壓力狀況下操作的容器內部壓力，低於大氣壓者，都不受本段之限制。

容器應有適當之開口，以利檢查和維護工作的進行。容器的緊急關閉的位置，應與容器保持適當距離，以便在緊急時，能切斷流體的流動。全部容器和塔槽必須有適當的支架，足以負荷區域內呈現的最強爆風。

(12) 消防及安全設備

在工廠開始設計時，消防和安全設備的設計，應包括在原始計畫中。工廠的規模，危險

的性質，曝露的情況等因素，決定消防和安全設備的數量、種類和位置。

水是主要消防材料。消防水源應以適當的壓力達到全廠每個區域。美國消防協會出版的書籍，可指示消防水源及管線的佈置以及其他建議事項。工廠永久性的消防設備包括：消防栓、消防水帶，自動噴水設備，洒水冷卻設備等。

其他消防設備系統有：泡沫、二氧化碳和乾粉。

有些工廠在緊要區域裝置很有效的火焰偵察系統和火災警報系統。任何工廠都具備緊急事故警報系統，以便發生災害時，警告全廠員工採取緊急行動。

化工廠可能有很嚴重的健康危險，因此在廠內應設置急救站，並成立醫務室或診所。在員工較多的地區，應有衛生設備。在某些危險區域，應設置淋浴站和洗眼站。

一切轉動機械必須有機械防護設備，如護蓋、蓋鋼和欄柵等。建築物內必須有良好通風，必要時裝置毒素警報器，以維員工健康。

2. 建廠標準

建廠工作和設計工作對化工廠的安全是相同重要。在建廠時期，某些階段的建廠工程應詳加觀察和檢討。此項檢討工作，由設計工程師、建廠工程師、化工操作人員及安全工程師會同協商進行。常常邀請保險工程師擔任顧問，因為保險工程師對安全方面的知識較為廣泛，經驗也較豐富。

當建廠工作完成後，必須進行機械檢查和安全檢查。機械檢查包括全部轉動機械、如泵浦、壓縮機、輸送器、攪拌器等。全部電器，包括馬達、加熱器、自動切斷電源設備（Automatic Trip-out-Equipment）等應經專業人員檢查。設備必須在各種不同負荷情況下試行運轉規章上所規定的時間。必須注意檢查機械的潤滑系統，以預防過度的磨損。泵浦等設備機械密封部份（Mechanical Seals）可能需要運轉相當時間（Running-in Time），以便發現輕微的漏液現象從事調整。

儲槽，反應器和其他巨型設備，在開工程序中必須詳加注意。此項檢查工作應經過安全檢討人員認可。在工廠的設備設計工作中，儀器操作（Instrumentation）日趨重要。儀器維護人員應和儀器使用人員等會同檢查，以保證一切設備的功效都很正常。儀器控制室是全廠的神經中樞，應特別加以保護以防止災害波及。檢查工作開始前，所有管線必加清洗，並且用惰性氣體排除其中氯氣。安全片（Rupture Disks）和釋壓閥必詳加檢查以保證其安全功能。應注意其釋放壓力（Setting）裝置是否正確。材料選擇、腐蝕限度（Corrosion Allowances）、耗損表面（Wearing Surfaces）必須詳加查以保證每個單元，對腐蝕現象都有適當的保護。

管線和設備的試壓，是評估人員應注意的主要項目。通常將全廠分為數區逐區檢查。在試壓時，泵浦、壓縮機、安全片和釋壓閥可個別阻塞（Blanked-off）。上述設備可分別檢查。這項檢查工作包括複查以下各項目：機械檢查、壓力檢查、零件準備和定期潤滑表（Lubrication Schedules）等。

3. 檢查、維護和整潔

化工廠如忽略檢查和維護工作，則最好的工程設計也難達到安全目標。不健全的維護工

作往往使設備失效，以致漏失大量危險化學品造成很嚴重災害。

很多化工廠，實施預防保養制度。這制度的要點是將設備的檢查修理和更換列入預訂的時間表。預測設備可能發生故障的時間，往往是對防止重大損失的莫大的貢獻。

機械裝配的時候和裝配完畢已在使用的時候，都需要完善的檢查工作。機械在製造廠裝配時固然需要完善的品質管制，到現場更少不了檢查。

設備已在生產線上使用時仍需時時檢查，決定其損耗和腐蝕情況，並決定繼續使用是否影響安全，機械裝配時和使用中的檢查項目有：鋸縫放射線檢查，水壓試驗，使用純度分析檢查漏縫，氦質譜儀（Helium Mass Spectrometer）檢查和鹵素測漏器檢查（Halide Leak Detector）。檢查員發現應當修理或更換的設備或零件，應書面通知修護人員，修護人員收到通知後，必須迅速採取行動。安全檢討人員應審查執行檢查人員建議的結果，以及修護人員是否完全遵照建議事項澈底執行。

良好的修護人員，應以安全方法迅速完成檢查員的建議。修護工作需要謹慎的計畫。每件修護工作應包括需要的人力、材料和工具，更需知道工作的標準，防火的要求，以及工作開始和完成的限期。重要的修理工作，往往需要全廠或整個單位停工，需要執行很繁重的工作和更換貴重的設備。修護工作需要操作、檢查、修護和防止損失人員之通力合作，互相協調。必要時，可能需要將修護交給包商辦理。包商的工作必須慎重檢查。日常的修護工作應有完善的進度表和計畫。

化工廠的修護工作可能非常危險，因此需要謹慎的控制。正在使用的設備可能需要停止使用，隔絕、冷卻和釋放壓力。在修護工作開始前，應當採用安全方法排除設備內的化學品。在修護計畫動工以前，工業安全工程師應檢查現場的火災，爆炸和健康危險。下列各項工作需要領取工作安全許可證，以控制生命財產的損失：動用火種或實施可以產生火花及熱量的工作，儲槽和容器的清洗和機械工作，進出交通路線的封閉，地下管線附近的挖土工作，破壞防火牆和防護堤（包括打洞）工作，進入容器或進入封閉的場所，壓力試驗，設備的保固（Securing）工作（包括加鎖和懸掛警告牌），處理污染設備等。

其他需要特別授權的工作有：輸電工作，拆卸管件和在管線中加盲板，移置設備、切鋸，使用放射性同位素等。

化工廠的整潔情況足以代表工廠對安全的態度。雜亂的工廠往往使防止事故發生的工作難以推動。工廠整潔的目的是：

- (1) 消除事故的發生和潛伏的火災危險。
- (2) 節省空間，材料和人工。
- (3) 促進順利生產。

危險性材料和工具必嚴加管制。地面、樓梯、平臺和出口須保持清潔而不得加以阻塞。散失在地面上的化學品必須立即清洗。

十、災害防止計畫

災害防止計畫（Loss Prevention Program）是化工廠成功的基本條件。近年來，化工界的痛苦經驗和教訓，使大家認識該計畫的重要。一種完善的計畫應包括各方面的防害行動

。這些行動的目標為保證火災，爆炸和健康等事件不會發生。前數節討論廠地、佈置、結構、材料審查，製造方法評估，員工訓練和設備等問題。本節討論職責、方針、組織和推動防害工作等。評估危險的人應特別注意此計畫。

工廠管理和行政當局，對災害防止計畫的支持是此計畫成敗的關鍵。高級人員強力領導可奠定全盤計畫的基礎，並指向成功的捷徑。化工廠的技術人員，應負起將安全向設計和操作方向推進的責任。化學工業潛伏很多先天性的危險，因此技術人員的職責是將現有的安全規章，安全標準和安全行動，利用到工廠的操作和生產。工廠的安全工程師，應獲得上司的授權採取行動。

化學和關係工業可分為七大類，再劃分為二十八小類。這些小類中的化學工廠的危險性包羅萬象，從炸藥的製造到抗生素的醸酵，難以枚舉。每種工廠的危險有其獨特的重點，需要以不同的觀點解決防害問題。工廠的規模也影響安全活動的範圍。很多規模宏大的公司轄有很多工廠，需要大規模的防害計畫和防止損害的組織。很多小工廠的安全活動則受限制。下面各段綜合敘述防止損害活動的各種基本觀念：

1. 概 說

a. 高級管理人員應指示成立防止損害組織，以切實推動安全工作。此組織應聘請勝任人員，並有適當權利推動事故防止、健康安全、防火及控制火災、防爆、防止災害損失以及其他安全事項。

b. 防止災害損失的工作應與公司其他部分通力合作，步驟一致。例如設計、研究發展、工程設計、建造、檢查、生產、治安、運輸和銷售等。這項協調工作只限於計畫和顧問性質，以求改善損害的記錄。

c. 新設備和廠內設備重大更動計畫，應先請防止災害人員審查提供建議。化工廠應有定期的災害審查和檢討，以求發現廠內的危險。這工作包括審查全部物料。審查完畢應立即採取行動。

d. 一切意外事故、火災、爆炸事件都必加檢查和研討。一切有關某一次事故的因素，都必須逐項研究。事後應有書面報告，建議改善事項。防止損害人員應定期公佈各項損失的統計數字。此統計應呈閱上級管理人員。很多幾乎發生危險的事故（Near-miss Accidents）也不可忽略。這些事故雖然僥倖沒有發生損失，但可提高員工警覺，通告全廠員工知曉，為最好的安全宣傳資料。

e. 防止損害人員，應參加一切訓練和有關安全的活動，包括工廠的開工和停工等。唯有實際工作才能熟習工廠的安全操來。

f. 防止損害的活動，應包括研究及發覺潛伏的損害因素，以及可能發生停工的損失數值。此項活動包括火災、爆炸、鍋爐及附屬設備的意外事故，公共危險責任，以及產品傷害顧客責任等。

g. 防止廠內鍋爐及附屬設備的故障（Failure Prevention）是防止損害計畫的日常工作項目之一。一切設備都必須防護過度的震動、對線不準（Misalignment）、潤滑不良、環境危險、超高速度、超高溫度和壓力、腐蝕、過度損耗、不良設計，和產品變化等缺陷。

h. 應付緊急情況發生時的操作計畫，是防止損害計畫的主要部份之一。一般的應變工

作可由現場的員工擔任。重大的災害，例如大火、大爆炸和大量危險品的外流，則需要動員各方面的人，而且預先要有詳細的計畫和協調工作。重要的應變工作有：

- a. 發放警報並通知有關單位。
- b. 設備的停工。
- c. 必要時，計畫撤退災區人員。
- d. 公用設備的控制。
- e. 急救行動和救災行動。
- f. 向廠外公共救災和私人救災和私人救災團體呼救，並協調其行動。
- g. 連絡治安當局，進行保防行動。

2.意外事故和健康威脅

在一座化工廠內，發展工業安全和工業衛生工作，是一項有組織有計畫的長期努力。化工廠的安全問題，與一般大量生產機械工廠遭遇的問題有些不同。機械工廠的事故多屬於機械性的危險。在化工工業中，主要的安全問題是處理各種不同的腐蝕性、毒性、易燃性和不穩定化學品。檢討數百件化學工業的傷害記錄，發現很多人受傷的原因是：腐蝕性的化學品噴射到身上，易燃材料燒傷員工，吸入毒性氣體進入肺部轉到血液，此外加上一般的出血和肌肉骨節的傷害。事故和健康的控制分為下列三步驟：

- (1) 建立工作安全環境。
- (2) 設備防護。
- (3) 建立工作安全方法。

3.安全環境

工廠的計畫，應針對供給全體員工安全環境為首要。室內工作和室外工作的環境安全，都從選擇工作區域開始。設備的位置必力求員工工作方便。應盡力消除物料搬運的危險。工作現場不可過於擁擠。閥和其他控制設備的位置，當力求消除事故的發生。

地面情況不佳，可造成很多傷害事故。地面、平臺、樓梯和扶梯的設備和建造，必符合一般公認的安全標準。排水設計和沖刷大量污染地面材料的設計，應力求週到以免員工跌倒而造成廠內危險區域。室外設備上的樓梯和扶梯的建造，應考慮當地的氣候和環境。地面和樓臺上可使人陷落的開口，必須用柵欄圍好，並裝置足趾擋板（Toeboards）。請參考美國標準學會，出版第 A12 號規章「地面和牆壁開口，樓梯和足趾擋板安全規章（USASI Code A-12, "Safe Code for Floor and Wall Openings, Railings and Toeboards"）和第 A14.3 號安全規章「固定扶梯」（USASI Code A14.3—"Fixed Ladders"）。

電是全廠各處工作員工的極大危險。全部配線必須裝置在導管內或以相當的方法保護電線。室內和室外電線和電纜，必須參照國家電器規章裝置。電器設備必須裝置有效的接地線。供給危險設備的電源開關，在修護和檢查時必須加鎖，固定在停止送電的位置以免他人誤行送電，危及修護和檢查人員的生命。全部電器控制設備，必須用標誌標明其用途，並且註明「開」和「關」兩種位置。

配合工作需要的適當照明，是防止意外事故的重要因素。重要的操作和控制區域，避難門徑都必須有緊急照明設備，以備停電時，保障員工生命安全。請參閱美國標準學會出版第

A11.1 號安全規章「工業照明實務」（ USASI Code A11.1, Practice for Industrial Lighting）。

健康環境的控制，在化工廠內特別重要，因為很多種類的原料和成品，對員工的健康都有害。空氣中，化學品蒸氣、氣體、煙霧和塵埃的最大限度已有公認的資料。劇毒物品可能因誤食和皮膚接觸進入身體。腐蝕性和刺激性物品可能造成嚴重的皮膚病。解決環境衛生問題的方法很多。可能需要防止損害人員、工程師、工業衛生專家和醫師們，通力合作才能解決。下列各項方法已公認為很有效：

- a. 以毒性較輕的材料代替現用的材料。
- b. 採用比較不太危險的製造方法。
- c. 隔絕危險製造方法。
- d. 改善一般和區域通風設備。
- e. 採用個人防護設備和隔離危險區域。
- f. 加強衛生設備，推行保健計畫。
- g. 裝置緊急淋浴和洗眼盆。
- h. 定期健康檢查。

4.設備防護

全部危險設備和機械，都必加防護以免傷害人員。在可能時，這類防護設備應包括在設備的原始設計中。代表性的機械是缺少護網的軸、軸端、鏈條（Sprokets）、齒輪、突出部份、高速旋轉機械、砑光機（Calender），以及轉動機械暴露部份。這些防護設備的設置必須遵守基本機械標準。堅固、穩定、便於檢查、維護和裝置是必要的條件。工廠應注意，在一般情況下，沒有防護設備的機械不得使用。請參閱美國標準學會第 B 15.1 號規章「機械動力傳送設備安全規章（ USASI Code B15.1—“Safety Code for Mechanical Power Transmission Apparatus”）。

化工廠採用很多種類的防護設備。舉例說，生產塑膠布的工廠使用的巨型砑光機必須有人員防護設備。工作距離也往往是安全措施的一種。機械的設計可使工人不必接觸機械的危險部份，有些設備必須等雙手離開危險位置後才能起動。很多設備利用光電池控制機械的起動。雙手阻礙光電管中的光線，以致有受傷危險時，機械不能起動。化工廠內，有些決定性的危險區域，或危險操作工作，除指定的經驗豐富的技工外，他人不得進入或代替操作。

全部運送和吊舉設備的設計，必須符合公認的安全標準。乘人的電梯必須符合安全規章上的規格及政府的法規。巨型起重設備，如吊架和起重機等，需要定期檢查和修護以保證操作安全。操作非常不穩定（爆炸品）的化學品已有新的防護方法。防爆牆和防爆室（Blast Walls or Cubicles）常用做保護受到爆炸威脅的員工。非常危險的工作可利用遙控技術，使員工遠離危險區域或將員工安置在堅強防護的地點。在某些廠內已使用閉路電視（Closed Circuit Television）監視危險操作。

各式的壓力容器，需要嚴格的防護設備以保證人員安全。美國機械工程師學會頒佈很嚴格的壓力容器安全設計（Safety Devices），安全儀器和安全控制的標準。化工廠必須在必要的位置裝置釋放超壓的設備，如壓力釋放器和安全片（Rupture Discs）等。這種安全裝

置的出口位置，必須設在不會威脅員工安全的地方。

5. 安全工作方法

化學工業中高級技術人員所佔的百分比很高，以便應付此項工業所需複雜的操作。為求達到工廠安全的目標，雇用新進人員和制定完善的訓練計畫是完成此任務的首要條件。在雇用新進員工之前，應將此員工可能暴露的危險和工作條件逐項說明。此項雇用前工作說明是工作分析的先決條件。對應徵的人舉行雇用前體格檢查，可決定日後安置工作的基礎。根據體格檢查報告，可決定日後是否能勝任抵抗化工廠內各種潛伏的危險，而在危險區內工作比較能勝任愉快。

化工廠內的訓練工作視操作的方法、工作的內容和性質、訓練的方式而有很多的變化。很多工廠將工業安全訓練包括在雇用開始而未正式上班的階段。這種安全訓練也延伸到調訓員工的課程內。督導人員和領班主持的在職訓練 (On Job Training)，是最有效達到工廠安全的訓練。工人對講授的人天天接觸，有深刻的認識，因此對講授的內容也特別有興趣。安全及防止災害教導的內容，須涉及每位工人所可能表現的不安全動作。

教導工具包括工廠模型、教育電影、錄音帶說明的幻燈片、掛圖、漫畫以及動作示範等。公司或工廠為員工報導公司消息的期刊、刊物，可添加安全專欄，教導員工安全行動。教導內容包括物料搬運、設備的操作、設備的維護、緊急情況的認識、墮落和滑倒的危險，個人防護設備的使用，使用危險品的要點，以及在緊急事故發生時個人的職責。

倘因現場環境所限不能保證員工安全時，可要求員工配帶個人防護設備擔任特殊危險工作。這些設備可從頭部起到足部止保護員工。全部個人防護設備的構造必須符合公認的標準。必須針對可能遭遇到的危險而佩帶。

個人防護設備有下列數種：安全帽、眼部和面部防護設備。不傳電的鞋和手套，傳電的鞋（防止靜電危險之用），手指、手臂、手掌、足部和外脛的防護品，以及耐火或耐化學品的工作服等。在化工廠內，凡是可能出現空氣污染的場所，而污染物對健康有不良效果者，必要求員工佩帶保護呼吸系統的設備，如防毒面具和防塵口罩等。在這些危險區域內，工程設計可以控制工人中毒危險，但工廠仍需準備防毒面具，以防意外事故發生時擔任搶救工作，或佩帶防毒面具脫離災害發生場所。請參閱美國標準學會第 Z2.1 號規章「頭部、眼部和呼吸器官保護規章」（“USASI Code No. Z2.1—Safety Code for Head, Eye and Respiratory Protection”）。

6. 火災與爆炸

火災和爆炸是化工廠致命的危險。一次大火或一次爆炸，往往使一座業務蒸蒸日上的化工廠毀於一旦。故防火和防炸工作涉及工廠的存亡。在六十年代美國化學工業近三百多次的重大損害記錄內，其中火災佔38.5%，爆炸佔35.0%，火災可以控制和消滅。談到爆炸，唯有預防。一旦發生爆炸，現場很難採取控制或消滅行動。

7. 消防與火災控制

火災是化工廠管理當局，永不終止關懷的問題。解決火災問題不是一件簡單的工作。每

座工廠需要與衆不同的消防計畫。消防人員應針對每座工廠的需要建立消防計畫。化工廠需要工程師設計的消防計畫。很多基本的消防設備，必須包括在工廠最初的設計計畫內，以發揮最大的效能。

化工廠防止火災和爆炸的責任，應指定一位有責任心的工程師和他的助理人員負責。這些擔負消防任務的工程人員，應具備豐富的消防技術知識。很多化工廠內，消防組織是隸屬於全廠的防止損害組織。其他化工廠則成立獨立的消防組織。

消防組織的全盤任務，包括計畫和設計全廠防火設備，督導全廠滅火動作，訓練滅火員工，檢查和維護消防設備，主持防火計畫，火警發生時檢查火場，並建議控制火場策略，審查使用的消防法典，消防標準和規章，並主持火災後的檢討工作。

很多消防法規和標準，可直接應用於化學工業的消防問題。多種特殊化學製造方法，包括大量極易燃燒或極不穩定的物料，則遭遇到與一般火災不同的消防問題。針對這些特殊危險的消防資料，可從政府機關，製造消防器材的公司，消防工程師和保險企業組織獲得。每個工廠的消防計畫都不相同。但是每個工廠消防措施的基本觀念則無差別。

8. 消防設備

(1) 消防水源

化工廠發生火災，水是最主要的滅火材料。可靠的供水系統最為重要。消防水源必須足夠在火災中，供應自動噴水設備和消防水瞄最少四小時之用。注意萬一發生爆炸時，這項水源是否可靠。消防水源必須與工業用水，和員工用水分離，消防水槽應考慮符合美國國家消防協會標準，第22號「自用消防水槽」（NFPA Standard No. 22, "Water Tanks for Private Fire Protection"）

(2) 消防配水設備

化工廠的消防配水系統非但應夠目前需要，而且應考慮日後擴建之需。配水系統必須足夠一處火災區域，全部消防設備的需要量，包括消防栓放水和噴水系統（Sprinklers and Spray System）、泡沫系統、旋轉射水塔（Monitor Nozzles）、室內消防栓（Standpipes）。大規模化工廠的消防水系統，設有區域閥，預防在水管破裂或進行修護工作時，可切斷水流以免浪費水源。消防水管的設計應注意地震的影響，機械的撞擊和火災的威脅。消防栓的數量應足夠一處火災的需要。有決定性危險設備更應多設消防栓。廠內消防栓的距離應使火警發生後，每個消防栓接出的消防水帶長度不可超出250呎。

消防泵的設計應能具備充分的水壓，將水送到廠區內每個角落的消防栓，而且消防栓的出口壓力足夠救火之用。消防泵應符合標準。廠內應有符合標準的存放消防水帶、消防瞄子、和其他消防設備的廠房。消防水帶的備用品數量，應足夠撲救大火之用。化工廠在緊急事故發生後，往往使用水霧瞄子撲救易燃液體火災。消防設備可採用下列標準。

(一) 美國國家消防協會標準第24號「室外防護」（NFPA Standard No24-“Outside Protection”）。

(二) 美國國家消防協會標準第20號「離心式消防泵浦」（NFPA Standard No 20-Centralfugal Fire Pumps）。

(三) 美國國家消防協會標準第14號「室內消防栓及水帶系統」（NFPA No14, "Standpipe and Hose Systems"）。

(3) 砲臺型射水槍

很多化工廠使用固定旋轉砲臺型射水槍，供一般火災和非常危險火災之用。設置固定射水槍後，消防栓仍不可缺。固定射水槍的射水量很大，而且減少操作人員。某些區域則宜採用水帶供水的洒水設備（Deluge Sets）。

(4) 自動噴水，洒水和水霧設備

很多製造區域和儲存區域的建築內，宜裝置自動噴水設備（Automatic Sprinkler Systems）。水源的多少和水源的分配視危險性質和需要保護的程度而定。美國國家消防協會標準第十三號說明充水管系統（Wet-pipe Systems），乾管系統（Dry-pipe Systems），預動系統（Pre-action Systems），和遍洒系統（Deluge Systems）等四種消防系統的規格。遍洒系統應用于最危險的區域。這些區域需要迅速大量洒水以控制火災。

噴水冷卻系統（Water-spray Cooling Systems）特別適用於冷卻沒有絕熱設備的鋼鐵結構、高架管線、容器、球型儲槽和其他類似設備。倘使器材和設備的表面充分用水冷卻，則火焰的暴露威脅可減少很多。水霧系統是將很細的霧狀水滴，噴射在燃燒中的器材上。有些水份化為蒸汽。泵浦、壓縮機、蒸溜塔的控制設備、容器和其他高溫和高壓設備附近，往往設置固定消防管線和固定消防設備。請參閱美國國家消防協會標準第15號「消防用途洒水系統」（Water-spray Systems for Fire Protection）。

(5) 泡沫消防系統

泡沫可浮在易燃液體表面阻止液體的氣化，並且可以冷卻液面。泡沫有手動自動兩種系統。化工廠內，泡沫系統多用于易燃液體製造和儲運區域。在消防水缺少區域也可使用泡沫系統。現在市上出售很多種類的消防泡沫。泡沫液和泡沫系統設備，應符合美國國家消防協會標準第十一號「泡沫滅火系統」（Foam Extinguishing Systems）及標準第十六號「泡沫和水洒佈系統」（Foam-water Sprinkler and Spray System）。

(6) 二氧化碳系統

二氧化碳系統滅火作用是將惰性氣體送入包封的區域，用二氧化碳沖淡空氣中的氧氣，待氧氣濃度降到某一濃度後火焰熄滅。化工廠的危險區域使用二氧化碳滅火系統者有：(一)易燃氣體和液體的儲運和操作場所、電器設備、儀器室及電子計算機室，以及危險固體區域。二氧化碳系統的種類有下面幾種：

- (一) 全室噴射 (Total Flooding)
- (二) 局部使用 (Local Application)
- (三) 手動膠管式 (Hand Hose Lines)
- (四) 室內固定管線式 (Standpipes System)
- (五) 活動式 (Mobile Supply)

使用二氧化碳時，應注意不可使室內人員因缺氧而致傷亡。請參閱美國國家消防協會標準第十二號「二氧化碳滅火系統」（Carbon Dioxide Extinguishing Systems）。

(7) 乾粉滅火系統

乾粉滅火系統的基本原理是利用很細的粉末（通常用碳酸氫鈉粉末另加添加劑）將火勢迅速壓制再一舉消滅火焰。通常使用於易燃液體和氣體火災。此系統包括：全區噴射，手握軟管（Hand Hose Lines）和固定噴嘴等三種應用方法。乾粉不導電因此可用于帶電的電

器火災。請參閱美國國家消防協會標準第十七號「乾粉滅火系統」。

最新的滅火發展，是使用乾粉泡沫混合系統（Mixed Dry Chemical-foam Systems），撲救最嚴重的易燃液體火災。某些化工廠的操作宜使用高速泡沫（又稱高倍泡沫 High Expansion Foam）。

(8) 手提滅火器

手提滅火器移動靈活可用于小火。這類滅火器可置于試驗室內或試驗工場（Pilot Plant）內。這些區域火警初起時火勢不十分猛烈。這些滅火器並非主要消防工具，因此工廠發生火警時使用手提滅火器不可忘記同時要報告火警。選擇手提滅火器和分佈手提滅火器的位置，請參閱美國國家消防協會標準第十號「手提滅火器」（Portable Fire Extinguishers）。

(9) 火災偵察和警報器

很多小火擴展到不可收拾的情況的原因，是發覺火警太晚和報告火警延誤時機。化學工業的操作已有很好的儀器，火災和烟火侦察儀器也不例外。此侦察器是防止損失設備的重要工具。化工廠應注意將火警報告，迅速傳達到消防隊。火警報告應傳達到全廠員工，提醒全員工從速採取應變動作。請參閱美國國家消防協會第72A 號標準「區域防護信號系統」（Local Protection Signal Systems）。

(10) 消防設備檢查和維護

防止損害單位應建立廠內全部消防設備的定期檢查，試驗和維護制度。此制度包括：消防泵浦，消防水管的壓力檢驗，各處消防栓的流量檢查，消防水帶，自動消防設備及輕便消防器材。試驗消防器材的滅火效果，同時也可作員工的滅火示範動作表演，使員工熟習滅火動作。

(11) 消防組織

很多工廠需要配備精良晝夜值班的消防隊。消防隊的規模及功用視工廠的需要而不同。消防隊應熟習全廠各種消防設備的使用，包括自動消防設備。此外消防隊應熟習廠內可能發生火災的種類，和各種材料起火的性質。請參閱美國國家消防協會標準第廿七號「私人消防隊」（Private Fire Brigades）。平時與工廠區附近的消防隊要有很好的連絡，並且成立工業消防隊組織，以便發生大火災時彼此支援器材可共同使用。

9.防爆與爆炸控制

據統計早期美國化工廠的重大災害損失中，爆炸損失的財產大約佔百分之六十。爆炸應加防止和控制。爆炸時能量釋放非常迅速，以致一般的滅火方法無能為力。審核損害的人在視察化工廠時，必須瞭解製造程序、工廠操作、和工廠內可能發生爆炸的事故及爆炸損害的範圍。倘使工廠具備適當的防爆步驟，則在爆炸發生前可預測爆炸的型式和危險的程度。欲發覺爆炸的可能性，可根據下列各因素：

- a. 類似操作的歷史。
- b. 試驗室和試驗工廠的經驗。
- c. 使用物料傾向爆炸的技術知識。
- d. 製造程序和製造方法傾向爆炸的技術知識。
- e. 視察工廠設備，操作和環境的結果，發現其中潛伏爆炸的危險。

美國國家電器安全規章中，已發展出來一套指認爆炸危險位置的定義和系統。此系統說明潛伏爆炸危險區域的定義和分類，另加指認潛伏爆炸危險的原則。危險區域分類原則和劃分的因素，是在各種特殊環境下，可能出現的各種空氣與易燃蒸氣、氣體或塵埃混合體的可能性。此外易燃物料的化學性質也是潛伏危險因素之一。

下列各種情況出現時潛伏的爆炸危險可能已存在。憑工程知識的判斷大致可決定其危險程度。

- (1) 在空氣與易燃蒸氣、氣體，和可燃塵埃的混合體中，其混合比在爆炸限度內，突然因燃燒釋出大量熱能，衝向上述混合氣。
- (2) 不穩定化學品受衝擊力或引發能的影響，再遇到大量熱能。
- (3) 因散熱化學反應，或化學分解反應，迅速出現的大量熱能。
- (4) 壓力容器因機械故障釋出大量熱能。

決定爆炸威力的因素如下：(1)爆炸物料的數量和性質，(2)操作和製造方法，(3)包封情形，(4)溫度，(5)壓力，(6)使用設備的型式，(7)操作的環境（室外操作或在閉塞的場所操作），(8)採用的防爆和控制爆炸的方法。爆炸一旦發生並且已在進行中，則鮮少能加以控制。各種緊急應變方法也鮮能為力。

防止爆炸和使爆炸的損失降低到最合理的程度的重點，是消滅上述各種因素。實施上述基本原則，乃在採用基本安全標準，採用公認的安全行動，並且具備良好的工程判斷力。各種不同的爆炸事件的主要安全標準，和容易實施的安全行動如下：

- (1) 空氣中的易燃氣體、蒸氣、可燃性塵埃與空氣的混合比，已在爆炸限度內，而且已發生燃燒現象，必須從速釋放燃燒熱能和機械能。

A. 易燃液體的儲存和處理，必須遵照美國國家消防協會，第三十號標準「易燃及可燃液體安全規章」（NFPA Standards No 30“Flammable and Combustible Liquid Code”）。

B. 易燃氣體的儲存和操作，必須遵照各種通行之安全標準。視各種氣體之需要，實施安全標準中的條文。下列標準可供參考：

美國國家消防協會第五十八號標準「液化石油氣」（NFPA Standard No 58, “Liquified Petroleum Gas”）。

美國國家消防協會第五六七號標準「氣態氫氣系統」（NFPA Standard No 567 “Gaseous Hydrogen Systems”）。

C. 可燃性塵埃必須視各種塵埃的性質，採用適當的安全處理方法。基本參考資料是美國國家消防協會第六十三號標準「工廠塵埃爆炸」（NFPA Standard No 63, “Dust Explosion-Industrial Plants”）。美國國家消防協會尚刊行各種塵埃的各別安全標準，例如煤粉、澱粉、鋁粉、鎂粉、塑膠粉、硫礦粉、調味香料粉、木粉及糖。

D. 危險區域內任何可以產生火種的因素必加消滅。這些火種包括：明火、電器火花、吸烟等。下列兩種資料中的規定應加遵守：

美國國家電器規章第 500 條（“Article 500 of the National Electrical Code”）。

美國國家消防協會第七十七號標準「靜電」（NFPA Standard No 77 “Static Electricity”）。

E. 製造設計應將易燃液體、氣體、蒸氣、霧、塵等關閉在封閉式系統 (Closed Systems) 內。可使用燃氣偵察器 (Combustible Gas Indicator) 經常檢查高度危險區域。一切設備應遵守現行安全準則，加裝超高壓力釋放設備 (Overpressure Relief Facilities)。

F. 惰性氣體系統和使用惰性氣體稀釋方法宜採用容器和封閉設備內的防爆和防火工作。容器和封閉設備內如有易燃氣體，蒸氣和塵埃存在，則惰性氣體稀釋工作往往不可缺。請參閱美國國家消防協會第六十九號標準「稀釋方法防火與防爆」 (NFPA Standard No 69 "Inerting for Fire and Explosion Prevention")。需要時應具備鎮壓爆炸系統 (Explosion Supression Systems)。

G. 操作儀器和控制設備都不可將新危險引入系統中。上述設備應遵守下述標準：美國國家電器規章 (National Electrical Code)。

美國國家消防協會第 493T 號標準「危險區域內使用之安全操作控制設備實務 (NFPA Standard No 493T Intrinsically Safe Process Control Equipment for Use in Hazardous Locations)」。上述設備應置于惰性氣體稀釋的封閉環境內，並遵守美國國家消防協會第四九六號標準「危險區域內，電器設備之稀釋封閉環境 (NFPA Standard No 496 "Purged Enclosures for Electrical Equipment in Hazardous Locations")」。

H. 有嚴重爆炸危險的操作區域，應用快動全面自動洒水系統 (Fast-acting and Automatic Water Deluge Systems) 保護。此系統的設計，應採用美國國家消防協會，第十五號標準「防火洒水系統」 (NFPA Standard No 15 "Water Spray Systems For Fire Protection")。可燃氣體偵測器配合通風設備和全面洒水系統，供沖散蒸氣霧 (Vapor Clouds) 及產生危險空氣的沖洗使用。

(2)暴露于起動力量或起動能力 (Initiating Force or Energy) 的不穩定化學品 (有潛伏爆炸的危險品) 以致產生爆炸或劇烈燃燒 (Detonation or Deflagration) 時，迅速釋放熱能和機械能：

A. 不穩定化學品受到突發力量或能量的影響，可能突然釋放大量能量。這釋出能量的形式為熱、火或爆炸。形成禍害的原動力為撞擊、震動、摩擦或熱。上述情況必須避免，有關識別不穩定化學品的詳細資料，請參閱美國國家消防協會，標準第四十九號「危險化學品資料 (NFPA Standard No 49 "Unstable Chemicals Data")」。使用未列入上述資料中的可凝化學品，應從其他來源獲得正確資料後方能使用。

B. 不穩定化學品，必須儲存在適當隔絕的建築內以保障員工和公共安全。操作區域取用的危險化學品必須限于最低存量。此項資料可參閱美國保險協會，研究報告第 11 號「有機過氧化合物的火災、爆炸和健康危險」 (American Insurance Association Research Report No 11 "Fire, Explosion and Health Hazards of Organic Peroxides")，和研究報告第 12 號「硝化烷類及其危險」 (Research Report No 12 Nitro-Parafins and Their Hazards)。建築物和設備爆炸通風 (Explosion Venting)，只要是有爆炸危險存在應不可少。有些物料不可能以通風方式減少其危險災害，因為這些物料的爆炸速度太快。

C. 不穩定化學品的儲存、運輸和操作需要特別督導。擔任此督導工作的人，需要特別

注意選擇。

D. 不穩定化學品的運輸，必須嚴守政府規章，並參考美國保險協會刊行的「向州政府建議，在公路上運輸有極度火災、爆炸和健康危險的商品管制事項」（American Insurance Association "Suggested Guide For State Action on Safety From Fire, Explosion and Health Hazards in Highway Transportation of Extra-Hazardous Commodities"）。

E. 必須具備有關下述各項各種不穩定化學品的儲存，運輸和操作資料：(1)責任(2)程序(3)整潔(4)許可證制度(5)工具(6)保安(7)廢物處理(8)隔絕(9)加工製造(10)物料搬運(11)污染(12)其他特別注意事項。請參閱下述資料：

美國製造化學家協會安全指南第 SG-7 號「儲存及搬運撞擊和震動敏感物料（Manufacturing Chemists Association Safety Guide SG-7" Storage and Handling of Shock and Impact Sensitive Materials）。

美國陸軍軍械局手冊，及美國海軍軍械叢書第 NAVWERPS OP 3237號爆炸物、烟火信號彈、火箭推進劑之試驗室，與試驗工廠安全操作原則（US Army Ordnance Manual and US Navy Ordnance Publication-NAVWERPS OP 3237-Safety Principles For Laboratory and Pilot-Plant Operations With Explosives, Pyrotechnics and Propellants”）。

(3) 化學分解或散熱化學反應迅速釋放能力：

A. 可疑屬於此類的全部化學品和此類化學品的操作，必詳加檢討其危險性，並以試驗方法查考這類材料和操作的危險性，確認其放熱趨勢。美國陸海空三軍聯合小組（Joint Army Navy Air Force Group-JANAF）已建立很多方法供上述試驗。壓力下鑑別熱力分析法（Differential Thermal Analysis Under Pressure）可供此危險檢定之用。很多人極力推薦此法鑑定潛伏爆炸危險。

B. 具備極危險散熱反應的化學操作必須倍加小心，以保證在可加控制的限度內保障安全。這些限度包括反應速度、溫度、壓力、震動、斷熱壓縮（Adiabatic Compression）以及在試驗中或其他文獻中發現的危險因素。宜盡量應用控制設備和儀器設備，去偵察任何不正常的現象化危險為安全。

C. 儲存容量和操作容器的超壓釋放設備，必須符合該項設備的安全標準。保險設備（Back-up Equipment）如安全釋壓閥和安全片（Rupture Diaphragms）可供使用。這些設備的情形必須時時保持良好情況，以備萬一危險發生時能充分發揮其功效。經常的檢查和維持工作不可缺。請參閱美國機械工程師學會出版之「壓力容器規章」（ASME Pressure Vessel Code）。

D. 供此種危險化學品用途之玻璃測視器（Sight Glass）必須撤換。可建議使用差別液面指示器（Differential Level Indicator），磁性浮體（Magnetic Floats）或反光玻璃液面測視器（Reflex Sight Glass）等代替。即使有防護設備的玻璃測視器（Protected Sight Glass）也不可用。這些危險品儲存設備中應裝置超流閥（Excess Flow Valve）。宜考慮在可燃氣體偵測系統上配置迅速通風（Rapid Ventilation）和全面積酒水系統等，自動防火和防爆設備。

E. 散熱化學反應之高壓操作區域，必須以最好的方法與其他工廠設備，及共同使用之設備隔離。其間之安全距離，視下列因素決定：(一)製造方法之性質(二)材料之數量及分類(三)預測潛伏之危險程度。欄柵或圍牆、防禦牆（Blast Walls）和其他各種特殊防護設備，可輔助安全距離加強保護作用。

F. 小型容器、儲槽、液槽車和其他容器使用後，如再儲存其他液體應澈底清洗才能儲存其他液體，否則滲入敏感性材料（Sensitizing Materials）可污染容器內液體。兩種性質不同的液體相混後可能發生危險者，更應彼此分離。

G. 在緊急情況時，可利用特殊廢液池排放系統（Blowdown Systems）和驟冷系統（Quench Systems）移除製造區內的危險品，或將危險情況驟冷以消除危險。緊急冷卻系統也常供降低化學反應速度之用。

H. 全部壓力容器及配屬的儀器都應定期檢查，並將檢查結果的有關安全與維護建議通知有關方面。

I. 冷卻水塔對工廠安全及製造設備安全極為重要。冷卻塔中的存水可供散熱，化學反應控制等用途，也可充消防水源。冷卻水塔的位置、建築和防護，應考慮遵守美國國家消防協會第214號標準「冷卻水塔」（NFPA Standard No 214 "Water Cooling Towers"）。

(4) 壓力容器因機械缺陷或突然產生過度壓力，以致容器損壞突然迅速釋放大量熱能。

A. 壓力容器及其配屬設備，因各種不同的原因失效或損壞。這些原因可分為五大類：(1)設計(2)材料(3)全部金屬的基本缺陷（Basic Metal Defects）(4)建造（Fabrication），(5)服務。很多災害是數種原因造成的。

B. 防止壓力容器的故障和損害，應切實遵守美國機械工程師學會出版的「壓力容器規章」（ASME Pressure Vessel Code）中有關條文。

C. 基本金屬的品質管制，鋁接材料和其他組件，是建造壓力容器的主要安全因素。材料試驗可指出設備使用時可預期的結果。

D. 巨型壓力容器的建造可能有很多困難。鋁接工作如缺少適當的控制，可能出現一般常見的缺陷和損害。在使用中的壓力容器可能受到「機械疲勞」（Mechanical Fatigue）和「熱疲勞」（Thermal Fatigue）的影響，因此優良的建造工作的熱處理工作是很重要的步驟。

E. 建造完成的設備最後的清洗工作必須謹慎進行，以免容器產生不利的腐蝕現象。清洗工作不可傷害管線及其他附屬配備。

F. 壓力容器使用時，其使用情況和使用損耗不可超出原始計畫和原始設計。茲將使用中設備發生損害的因素例舉數項如下：(1)過度的應力(2)過度的壓力(3)外來的負荷(4)熱力和機械力造成的疲倦和震動(5)過熱(6)腐蝕(7)氫原素造成的脆弱現象(Hydrogen Embrittlement)。應採取行動減少上述因素的惡果。

G. 鍋爐、壓力容器及附屬設備，請力能勝任之人員實施定期檢查。檢查工作應符合公認的規章、標準、政府法規，以及保險公司的建議。

H. 鍋爐和火爐必須根據適當的法規和標準建造，操作和維護。這些法規包括美國機械工程師學會，鍋爐及壓力容器規章（ASME Boiler and Pressure Vessel Code）；美

國國家消防協會第85號標準「燃油及燃氣水管式鍋爐」(NFPA Standard No 85 Fuel Oil and Nature Gas-fired Watertube Boiler-Furnances)；美國國家消防協會第 85B 號標準，燃燒天然氣之公用設備的鍋爐和火爐之爐膛爆炸(NFPA Standard No 85B "Furnance Explosion in Nature Gas-Fired Public Utility Boiler-Furnances")。全部設備的建造，必符合政府規章和保險公司的要求。

十一、結語

沒有一種簡單的公式原理，能保證化工廠不會有損害事故發生，但事前審慎的防範絕對可以使不幸事故發生的機遇率降到最低，而根據前面所引述的資料所建立起來的工廠安全性評估作業，應該是有效的預防措施。

本工作小組數月來的了解，發現國內的化學工廠在安全性上是有許多地方值得警惕的，這些包括：

(一) 工廠位置方面

有許多工廠目前已形成爲住宅與商業所包圍的情況，中間既無綠帶亦無緩衝帶，此外在某些工業區內廠與廠之間距不足，往往兩廠之最危險區又相鄰相對，區內聯合消防隊的能力，嚴重不足。

(二) 設備佈置與安全距離方面

許多廠由於本身面積不足，設備間的安全距離無法維持，同時亦未依危險性區分而佈置，某些危險設備缺乏隔絕設施，緊要設備（如緊急發電機）曝露在危險區內，危險區內有火種（如鍋爐），此外，救難及逃難空間與通路，亦往往被管架、設備或雜物堆放所阻塞。

(三) 設備安全標準方面

除了少數工廠外，其他在排水系統的分流上普遍不當，既造成污染物不易掌握，亦容易使洩漏的危險物品到處漫延，而無法隔離一旦發生的不幸事故，此外，燃燒性物品製程區的鋼結構耐火保護缺乏，防火堤的使用與維護管理不當，超流閥與緊急關閉閥在液化氣體儲槽的使用上不當，控制室的安全條件不完整，防爆與非防爆電氣設備混雜，設備接地不良，灑水冷卻設備不完整或未有效運用，空氣壓縮機之吸入口位置不佳，擴充與修改未做安全評鑑或評估，以及沒有定期或不定期執行的恰當的廠內安全評估制度。

(四) 消防系統方面

除部份廠外，廠內消除系統普遍均有瑕疵，有關消防水源、消防泵電源、網路、消防泵、水栓及水槍之數量、位置方位，以及小型滅火器之種型、數量、安放位置及消防藥劑之藥效，多有深入評估之必要。

(五) 物料掌握方面

部份廠對於物料之危險性，毒性及穩定性之了解仍有待加強，往往廠內危險品之存量偏高，安放或儲槽位置不佳，及危險氣體之偵測警報系統功能不善，此外，廢棄物之處置不當乃一普遍性的問題。

(六) 廠區整潔方面

部份廠在裝卸料區、取樣點、設備清理範圍常有物料洩漏或堆積，防火堤內，塔底常有

異物存放，歲修時之洩洩亦均在地面，不僅增加污染量，亦增加安全上之顧慮。

(七) 安全管理方面

多數高級主管對工廠安全及污染防治並不熱心，部份工廠之工安組織如果不是主要負責對外之公共關係，即其層次太低，無法有力執行，然而較令人憂心的是，大部份設有工安部門之工廠，均認為工安之執行純屬工安部門，現場人員之安全職責並不明確，致使工安工作之成果亦不易顯著。此外，事故後之檢討欠澈底，安全標誌不明，外包商之管理鬆，缺少應變訓練，工作安全許可及動火作業許可不緊密，以及機械、壓力容器與鍋爐之檢查未澈底，也均屬可改進之部份。

(八) 個人保護用具及急救用具方面

有關個人保護用具之數量、種類、有效性、安放位置及使用情形部份廠值得檢討。

(九) 其他方面

其他如設備故障狀況、製造方法、開工與停工步驟，以及製造情況之極端變化等方面引起之安全考慮，因時間與成員專長之限制，未能深入探討，但相信亦有值得討論之處。

可見國內化學工廠，深入執行本工廠的安全性評估工作是刻不容緩的事，本工作小組建議幾個重點：

1.對於廠內設備佈置之安全距離不足，危險區劃分不當及緊要設備置於危險區內，應儘速劃分清礎，搬離或藉加強冷卻，消防及隔離之方式，以減低潛在的危險。

2.對於鄰廠、鄰宅與本廠間安全上之相互影響問題應探討並提出對策，基本上以加強本身預防事故發生的能力為首要項目。

3.本廠的消防能力以及工業區的聯合消防能力，事涉本廠救災及減少財物損失的必備手段，必須慎重對待，不能心存僥倖。

4.建廠時的規劃、設計與建造固然要重視安全因素，將必要的安排考慮在內，而未來的擴充及修改更應該維持甚至提升本廠的安全標準，因此確立本廠擴充及修改過程中的安全審核制度，乃極為重要的事。

5.比照品管制度，確立本廠內的工廠安全制度。以利工安的確實執行。

6.發展本廠的防爆計劃，以與防火及消防計劃並行，其內容包括：①建立危險操作安全距離，和隔絕方法的標準，②改善設備的緊急釋放壓力，③反應器內添加抑制劑（Inhibition）系統，④控制火種，⑤偵察爆炸系統和壓制爆炸系統（Explosion Ssning and Suppression Sytems）。

7.加強化工廠員工訓練計劃。操作危險物料，和危險設備的員工訓練，更為重要。

8.檢討廠區內，需要儲存大量危險品的位置。這項危險品可造成空前的大災害。

9.考慮潛伏的危險，可能造成停工的損失。這項考慮，應包括損害的設備，需要更新的時間，尤須注意有決定重要性的設備購買和補充問題。

10.控制室乃工廠之心臟地帶，其安全防護務必澈底。

工廠安全需要工廠的管理當局及工作人員處處關心，彼此要求，彼此協調，如此整個安全系統方能發揮功能。筆者整理本件資料，乃希望有關人員藉了解而使該系統發揮其應有的功能。

附錄一 危險化學品分類法

1. 燃燒性

(1) 閃火點 (Flash Point)

易燃性液體的閃火點，是液體表面蒸發作用釋出的蒸氣，在空氣中產生可燃的混合氣，此時液體最低的溫度稱為閃火點。換言之，一種易燃液體加熱後，遇到火種和適當的空氣，表面可閃爍起火，但火焰不能繼續燃燒。此時液體最低的溫度稱為閃火點。測定液體閃火點的方法有開杯法 (Open Cup) 和閉杯法 (Closed Cup) 兩種。同一種液體，用開杯法測定的閃火點，通常比閉杯法測定的結果略高。

(2) 着火點 (Fire Point)

着火點是液體表面有充分的空氣，遇到火種即刻燃燒，火焰歷久不滅。此時液體最低的溫度稱為着火點。通常液體的着火點比閃火點略高數度。

(3) 燃燒限度 (Flammable Limits)

燃燒限度又稱為爆炸限度 (Explosive Limits)。燃燒限度是指易燃性液體的蒸氣，或易燃性氣體，與空氣混合後，遇到火種可以燃燒的，最高和最低的體積百分比。可以燃燒的最低百分比，稱為燃燒下限或爆炸下限 (Lower Limit or Lower Explosive Limit, LEL)。其最高百分比，稱為燃燒上限或爆炸上限 (Upper Limit or Upper Explosive Limit, UEL)。倘使上述氣體混合物，在包封情況 (Confined Space) 燃燒，則產生爆炸現象。一般常見的液體蒸氣和氣體，有很廣泛的燃燒限度。混和氣中燃料的百分比，低於下限，則混和氣濃度太貧 (Too Lean) 不能燃燒；如高於上限，則混合氣太富 (Too Rich)，氧氣不足，也不能燃燒。

(4) 比重

物質的比重，為物質的密度，與某種標準物質密度的比例。通常液體的比重以水為標準。比重大於一者比水重，小於一者比水輕。

(5) 蒸氣比重

可燃液體蒸氣的比重，通常以空氣為標準。空氣的比重為一。

(6) 蒸氣壓力

當液體、固體或溶液散發到空氣中的蒸氣，達於平衡狀態時，此時蒸氣的壓力，稱為某種液體、固體或溶液的蒸氣壓力。當蒸氣的壓力，超出附近空氣的壓力時，此液體則在沸騰中。

(7) 沸點

沸點是液體的蒸氣壓力，達到大氣壓力時的液體溫度。沸點低的液體揮發性大。易燃液體的沸點如很低，則火災的危險性很大。

(8) 着火溫度 (Ignition Temperature)

液體或氣體的着火溫度，是液體或氣體，在沒有火種引燃時，可以自行在空氣中，維持燃燒的最低溫度。着火溫度又稱為自燃溫度 (Auto-ignition Temperature or Autogenous Ignition Temperature)。影響物料着火的因素很多。物料的性質、體積和表面形狀，容器

和其他各種因素，都能影響着火溫度。

(9) 自熱 (Spontaneous Heating)

自熱是易燃液體在普通溫度時，其蒸氣與空氣中的氧氣化合，產生熱量的現象。當液體存在碎布或其他類似材料中，其氧化產生的熱量比散失的熱量多，則溫度上升，可能發生自燃 (Spontaneous Ignition) 現象。

2.化學應反性 (不穩定性，Reactivity or Instability)

(1) 熱穩定試驗 (Thermal Stability Test)

將一定重量的材料，放在一個封蓋不密的玻璃器內，置於通風的恒溫乾燥器內，維持 167°F (75°C) 溫度，四十八小時後，稱其重量，決定其損失的重量。恒溫乾燥器內部，切不可出現火花或其他火種，以免內部發生燃燒或爆炸危險。

(2) 信管引爆試驗 (Detonation With a Blasting Cap)

樣品用八號信管引爆，以檢定其爆炸可能性。將樣品置於容器內，插入八號信管，在遠距離用電流引爆信管，觀察樣品是否爆炸。容器的體積和形狀，必遵守美國聯邦政府運輸部之規定，或使用其他公認之容器。容器內樣品之數量，和容器之形狀，視試驗之要求而有多種。進一步的檢查方法，是將液體浸入一小塊棉花中，信管觸及浸液的棉花，再行引爆。

(3) 撞擊試驗 (Impact Test)

這試驗的目的，在鑑定各種產品，受到一定大小的力量撞擊或震動後，產品對此種力量的敏感性。將一塊鋼鐵當中鑽一個0.26吋的孔，其中放置數公克的樣品。樣品上放置一個圓柱。圓柱直徑恰好與孔吻合。圓柱觸及樣品表面。一個8磅重物體，沿導溝垂直落在圓柱頂部。重物落下撞擊圓柱，引爆炸品的最小高度，表示樣品對撞擊的敏感性。非常穩定的化學品則不會爆炸。

(4) 落體撞擊試驗 (又稱重錘試驗，Drop Weight or Hammer Test)

此試驗類似撞擊試驗。樣品試驗的結果，會受很多外來因素 (Extraneous Factors) 的影響。外來的因素有：惰性稀釋劑 (Inert Diluents)、溶劑、泡沫和砂礫。上述外來因素可增加或減少敏感性。

(5) 熱分解試驗 (Thermal Decomposition Test)

a. 液體—將液體傾入試管中。試管浸於油盆 (Oil Bath) 中。油盆內溫度逐漸上升。試管中插入溫度計。試管內液體開始迅速分解時，記錄液體的溫度，稱為熱分解點 (Thermal Decomposition Point)。

b. 固體—固體開始急速分解的最低溫度，稱為熱分解點。進行此試驗時，應控制溫度上升率，而且上升率宜很慢。

(6) 鉛塊試驗 (Lead Block Test)

這試驗的目的，將各種危險化學品按照潛伏破壞力 (Potential Destructive Force) 分為數類。試驗的工具是一塊圓柱體鉛塊，直徑大約為2吋，長度大約是6吋。一個硬紙筒，直徑略大於2吋，長度大約是8吋，插入直立的上述鉛塊。頂部伸出鉛塊的紙筒中，充填有機過氧化物 (Organic Peroxide) 的樣品，樣品中放置一枚8號信管。信管在遙遠的距離引爆。爆炸後鉛塊上出現爆炸的痕跡，此痕跡指示爆炸的爆燒程度 (Detonation Type of

Explosion)。

(7) 化學影響試驗 (Influence Test)

在此試驗中，樣品受到標準初級烈性炸藥 (Primary High Explosive Charge) 爆燒的激動。藉樣品與初級炸藥間的最短距離決定樣品的相對敏感性 (Relative Sensivity)。最短距離是樣品與炸藥間，不發生爆炸作用的距離。

試驗時，將大約 50cc 的樣品，傾入一個聚乙稀 (Polyethylene) 袋中，袋的長度為 9 吋，直徑為一又八分之一吋。袋口用繩捆緊，懸掛在木框上。木框掛在金屬工字樑 (I-beam) 上。初級炸藥應對準樣品 (Desired Aligment)。初級炸藥是 32 公克的壓製特拉爾粒 (Tetryl Pellet)。特拉爾粒的密度是 1.6。用 6 號信管引爆初級炸藥。

(8) 自行加速分解溫度 (Self-Accelerating Decompositon Temperature-SADT)

測定自動加速分解溫度時，將最大商品包裝的樣品，置於特別設計的烘箱內。烘箱保持一定的溫度。烘箱內及樣品內都安置熱電偶溫度計。樣品置於烘箱內以後，注意記錄樣品溫度和烘箱內溫度，以及記錄置于烘箱內的時間。等迅速發生分解現象後，試驗可告一段落。通常一次試驗需時七天。此後再繼續在自動加速分解溫度，或超出溫度，進行試驗。等待分解作用停止試驗。同一來源的樣品至少重複做兩次。兩次溫度數值的差別不得超過 10°C。如果超過 10°C，則應再多做數次。如果兩次中，其中一次的低溫數值，比另一次的高溫數值尚低，則通常做兩次已夠。

(9) 差額熱分析 (Differential Thermal Analysis-DTA)

各種可疑的發熱物料 (Suspected Thermos)，包括原料，操作中的混合物、產品、副產品、廢料和殘渣等，都可藉差額熱分析器 (Differential Thermal Analyzer) 繪出差別熱曲線。在方法設計 (Process Design) 和計劃操作程序時，此分析報告有莫大價值。此試驗可指示，散熱化學作用，開始的溫度。換言之，到達此溫度時，化學品將釋出熱量。倘使上述各種物料，在製造過程中，是處於高壓狀態，則此分析應在高壓狀態下進行。詳細分析方法，請參閱美國陸海空軍聯合熱穩定試驗法 (Joint Army Navy Air Force (JANAF) Thermal Stability Test)。

(10) 臨界直徑 (Critical Diameter)

臨界直徑，是指試驗樣品的最小爆燒直徑。小於臨界直徑的材料，不能產生推進爆燒 (Propagating Detonation) 現象。很多種不穩定材料的臨界直徑已經測定。這些已測定的不穩定材料，是二硝基甲苯 (Dinitro toluene)，正硝酸丙烷 (N-Propyl Nitrate)，90% 以上濃度的過氧化氫等等。

(11) 其他試驗

壓力容器試驗，迫擊砲彈道試驗 (Ballistic mortar)，引火性設計 (Ignitability Device)，火焰引燃試驗 (Flame Igniton Test)，以及燃燒速度試驗等。上述各種試驗的詳細方法，可參閱美國保險協會，第 11 號研究報告：有機過氧化物之火災，爆炸和健康危險 (American Insurances Association Research Report No 11" Fire Explosion and Health Hazards of Organic Peroxides)。

3. 毒 性

(1) 警戒值 (Threshold Limit Value-TLV)

警戒值，是員工每天在有蒸氣、氣體、塵埃和煙霧環境中，每天曝露八小時，歷久而不致受到傷害的，空氣中毒素的濃度。警戒值是美國政府工業衛生專家會議（American Conference of Government Industrial Hygienists-ACGIH）公佈，而且經常根據動物試驗，或工廠員工中毒實例修改。這數值的應用和解釋，應受專家的指導。在工廠緊急情況時，員工可在超出警戒值的空氣中，短期曝露而相安無事。警戒值並非員工健康和生命的護身符，工廠仍應常向工業衛生專家諮詢。

警戒值通常以在標準狀態下，每百萬份空氣中，毒素所佔的份數（Parts per Million, ppm），也可用每立方公尺空氣中，毒素的毫克數（Milligrams Per Cubic Meter of Air）表示塵埃濃度，則以每立方呎空氣中，百萬粒數（Millions of Particles Per Cubic foot of Air-M.P.P.C.F）表示。注意ppm多以在溫度 25°C 和壓力 760mm 水銀柱時的，體積比表示。溫度和壓力超出標準時，則警戒值常不可靠。

(3) 致死濃度和致死量(Lethal Concentration and Lethal Dose-LC50, LD 50 Values)

上述致死濃度和致死量，以一組動物試驗為基準。使一組動物中的半數死亡的濃度或質量，稱為致死濃度和致死量。職業病專家認為，使動物全數死亡的濃度和質量的意義，不若半數死亡率重要。因為一組動物中，往往有少數動物，對某種毒素的抵抗力特別強。

百分之五十致死濃度，是以一組動物，呼吸有毒空氣四小時，再經過十四天的觀察，確定有百分之五十的動物死亡後決定。

百分之五十致死量，是以毒素對一大批動物試驗。這批動物分為數組，每組以不同量的毒素試驗。通常以飼食或皮膚吸收方法試驗。致死量是以動物每公斤體重，吸收或飼食的毒素毫克數計算。死亡的數字必須觀察十四天。

(3) 曝露效果 (Exposure Effect)

呼吸器官的影響—吸入有毒危險品的結果，可分為下面數種：

呼吸器官的刺激：吸入刺激性毒素，可能發生肺炎（Pneumonitis）。並不是全部有刺激性的毒素，在曝露當時，可出現肺臟刺激的反應，因此使一般員工，當場忽略了中毒的危險，慢性病已潛伏在肺部。二氧化氮、二氧化硫和鎘的煙霧等，屬於此類。

塵肺症（Pneumoconiosis）：吸入某數種塵埃，可使肺部發生惡劣症狀，影響肺的呼吸功能。矽類化學品的塵埃、石棉塵、銻塵等，都可促成塵肺症。

麻醉症（Narcosis）：碳氫化合物的蒸氣和氣體，是產生麻醉症的代表型毒素。此症的症狀，是中央神經系統的沮喪現象。這種神經沮喪現象，可使中毒的人，做出各種傷害的事故，並減少其生產能力。嚴重的曝露，可使呼吸神經麻痺，停止呼吸。

窒息（Asphyxiation）：氣體可致窒息，其原理是沖淡空氣中氧氣成份，使空氣中氧氣的濃度，不能使人體維持清醒狀態。氮氣和二氧化碳等，屬於此窒息性氣體。有些氣體，屬於化學窒息性氣體。這類氣體，可阻碍氧氣到達肺部內組織。一氧化碳和氰酸氣（HCN）等，屬於此類。

4. 毒性反應 (Toxic Effect)

某些化學品的曝露，可能造成身體系統傷害（Systematic Damage）。這類傷害可能治癒，也可能遺患終身，永無治癒的希望。舉例說，四氯化碳可傷害肝臟，苯可傷害造血器

官，甲烷纖維溶解劑 (Methyl Cellosolve) 可傷害腎臟等。

5. 誤食 (Ingestion)

危險化學品的誤食危險，可用百分之五十致死量表示 (LD50)。倘使一種危險品的 LD 50 為 50 mg/kg，則吸煙和進食前不洗手，則可能發生誤食中毒現象。換言之，做動物試驗時，以每公斤動物體重，飼食五十毫克毒物，可致死半數動物，則接觸這種危險品的人，進食和吸煙前不洗手，可能發生中毒現象。某些化學品，只要誤食十分之一的『動物試驗致死量』 (LD 50)，即可造成嚴重的化學病 (Chemical Illness)。

6. 皮膚刺激 (Skin Irritant)

皮膚刺激試驗，是將化學品抹在動物皮膚上，或將化學品浸入沙布，再將沙布貼在皮膚上，曝露24小時或48小時，觀察皮膚受害的情形和傷害的程度。最常用的動物是白毛松竹鼠 (Albino Guinea Pig)。有時候需要將一隻動物換藥九次，歷時三週之久。一次的試驗需要使用很多動物，做各種不同程度的刺激試驗。試驗時需要將動物表皮擦傷，或用皮下注射方法試驗。試驗完畢後，往往等待動物休息兩週後，再舉行一次複驗 (Final Challenge Application)。發現任何一種，較前次試驗更嚴重的反應，都得記錄。

7. 眼睛刺激

檢驗眼睛刺激作用時，將一滴液態可疑危險化學品，或浮懸在液體中的細粉，滴入動物眼內。不要摩擦動物的眼皮，使眼淚洗去化學品。定期觀察動物眼睛的反應。觀察的時間，從一小時到最多七天。

8. 放射線危險試驗

阿爾發射線曝露—某些種類的放射性物質，自動從原子核中射出阿爾發 (Alpha) 粒。阿爾發粒，和氦原子的原子核完全相同。阿爾發射線的穿透力很弱，而且射程也很短。最強力的阿爾發射線，也不能貫穿人類的皮膚。有放射阿爾發粒的物質，如果誤食到胃腸中，或吸入肺部，則可造成傷害。

貝他射線曝露—貝他 (Beta) 粒是放射性蛻變 (Radioactive Disintegration) 產生的正負電子。這些正負電子的離子化能力 (Ionizing) 比較阿爾發粒子弱，貫穿力則較阿爾發粒子強。在低能時 (Lower Energy Level)，其生理效果與X光相似。貝他粒可用鉛、銅、鐵、鋁、玻璃、水泥、塑膠和水隔絕。貝他粒的傷害程度輕重不一，大致和熱傷相同。曝露量 (Dosage) 大，傷害也嚴重。

伽瑪射線曝露—伽瑪線是從原子核中射出的電磁放射線 (Electro magnetic Radiation)，其能力在 10Kev 到10mev 之間。其貫穿力比阿爾發粒和貝他粒強得多。最有效阻隔伽瑪射線的材料是鉛。銅、鐵和高密度水泥也可阻隔伽瑪射線，但需要很厚的材料，才能達到和鉛相同的效果。

中子曝露—中子是沒有電荷的粒子，其質量數 (Mass Number) 為一。中子可用水泥，水和石臘阻隔。

放射線偵測器下列是數種常用的放射線偵測器：

- a. 蓋格計數器 (The Geiger Counter) : 很有效的貝他粒測定器，也可偵察微量的伽瑪射線。
- b. 電離室 (The Ionization Chamber) : 主要是供測定伽瑪射線之用，也可偵察阿爾發，和貝他射線。
- c. 照像底片：照像底片可供偵測阿爾發，貝他和伽瑪射線之用。這些放射線在底片上出現的效果，視曝露的時間和強度而定。
- d. 袖珍型放射計量表 (Pocket Dosimeter) : 此表原理與驗電器 (Electro scope) 相同。測定範圍從零到 100r (Roentgen) 。

附錄二、化工設備常用之安全規章與標準

(一)基礎及鋼架結構：

- A. 美國混凝土學會出版 (American Concrete Institute)
 - a. 鋼筋混凝土標準實務手冊 (315-manual of Standard Practice of Reinforced Concrete Structure)
 - b. 鋼筋混凝土建築規範 (318-Building Code Requirements for Reinforced Concrete)
- B. 美國保險協會出版 (American Insurance Association)
 - a. 國家建築規章 (National Building Code)
- C. 美國鋼鐵構造學會出版 (American Institute of Steel Construction) :
 - a. 建築鋼鐵結構之設計，製造及建造規範 (Specification for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings)
- D. 美國材料試驗協會 (American Society of testing Materials) 出版：材料規格。
- E. 美國國家消防協會出版 (National Fire Protection Association)
 - a. 國家消防規章第四卷「建築構造和設備」 (Volume IV of the National Fire Code-Building Construction and Facilities)
- F. International Conference of Building Officials "Uniform Building Code"
- G. 中華民國建築技術規則
 - 建築構造編
 - 基本規則
 - 基礎構造
 - 鋼構造
 - 混凝土構造
- H. 中國土木水利工程學會出版
 - a. 「鋼筋混凝土建築設計規範」
 - b. 「鋼筋混凝土建築施工規範」

I. 中華民國建築學會出版

- a. 「鋼構造設計規範」
- b. 「鋼筋混凝土構造設計規範」

(二)容 器

A. 美國石油學會出版

a. 石油煉廠使用之不用火加熱壓力容器之檢查，修護與分級標準 (API Bulletin 510- Recommended Practice for Inspection, Repair and Rating of Unfired Prevesels in Service in Petroleum Refinery)

- b. 釋壓系統 (Pressure Relieving Systems)
- c. 釋壓系統之檢驗 (Testing Pressure Relieving Devices)

B. 美國機械工程師學會 (American Society of Mechanical Engineers) 出版：

a. 鍋爐及壓力容器規章 (Boiler and Pressure Vessel Code)

- (1) 第一卷動力鍋爐 (Power Boilers)
- (2) 第二卷材料規格
- (3) 第三卷核能壓力容器規章
- (4) 第八卷不用火加熱壓力容器
- (5) 第九卷焊接品質 (Welding Qualifications)

C. 美國工廠保險協會出版：材料規格。

D. 美國工廠保險協會出版 (Factory Insurance Association)

a. 工程公報 (Engineering Bulletins)

第35號玻璃液面計

第53號化工廠設備之釋氣

E. 美國全國鍋爐及壓力容器檢查員公會 (National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors) 出版：

a. 檢查規章 (Board Inspector Code)

F. 美國國家消防協會出版：

a. 國家消防標準

(1) 第30號易燃及可燃液體規章 (Standard No 30 Flammable and Combustible Liquids Code)

(2) 第58號液化石油氣

G. 中國國家標準壓力容器構造 B5084~B5103

H. 內政部勞工安全衛生法——鍋爐及壓力容器安全規則

I. 內政部壓力容器安全檢查暫用構造標準

J. JIS B 8243壓力容器之構造 (日本工業規格)

K. JIS B 8250壓力容器之構造 (特定規格)

L. 勞動安全衛生法

M. 高壓氣體取締法

- N. JPI-7S-42-71 塔、槽
- O. 容器保安規則關係基準

(三) 儲 槽

- A. 美國石油學會出版：

a. 標準第620號大型鉗接低壓儲槽之設計與建造 (Standard No 620-Recommended Rules for the Design and Construction of Large Welded Low Pressure Storage Tanks)

b. 標準第 650 號鋼質油槽焊接 (Standard No 650-Welded Steel Tanks for Oil storage)。

- B. 美國機械工程師學會出版：

- a. 鍋爐及壓力容器規章：

- (1) 第二卷材料規格
 - (2) 第八卷不用火加熱壓力容器
 - (3) 第九卷鉗接品質

- C. 美國國家消防協會出版標準：

- a. 第30號易燃及可燃液體規章
 - b. 第58號液化石油氣之儲存及操作規章
 - c. 第59號公用氣體工廠之液化石油氣
 - d. 第231號室內一般儲存
 - e. 第490號硝酸銨儲存
 - f. 第566號大量氧氣系統

- D. 日本高壓氣體取締法

- E. JLPA 201球形貯槽標準

- F. JIS B8242液化石油氣橫置圓筒貯槽之構造

- G. JIS B8501石油貯槽之構造

- H. JPI-7S-42-71塔、槽、熱交換器檢查標準

(四) 泵浦及壓縮機

- A. 美國化學工程師學會出版：離心泵

- B. 美國石油協會出版：

- a. 標準第610號石油煉廠一般用離心泵浦
 - b. 標準第617號石油煉廠一般用離心壓縮機

- C. 美國材料試驗協會出廠：材料規格

- D. 美國標準學會出版：

標準第 B16 號管線法蘭及配件

標準第 B31 號壓力管線

標準第 B36 號鑄鐵及鋼管

E. 日本標準

- a. JIS B8301離心泵浦，斜流泵浦和軸流泵浦之試驗與檢查方法
- b. JIS B8302泵浦排出量之測定方法
- c. JIS B8303鍋爐給水離心泵浦之試驗與檢查方法
- d. JIS B8304復水泵浦之試驗與檢查方法
- e. JIS B8305自吸式離心泵浦之試驗與檢查方法
- f. JIS B8306油用離心泵浦之試驗與檢查方法
- g. JIS B8310泵浦之噪音音量測定方法
- h. JIS B8311往復式泵浦之試驗及檢查方法
- i. JIS B8312齒輪泵浦與螺旋泵浦之試驗與檢查方法
- j. JIS B8313小形渦卷泵浦
- k. JIS B8316油回轉真空泵浦性能試驗方法
- l. JIS B8317蒸氣噴射泵浦性能試驗方法
- m. JIS B8319小形多段離心泵浦
- n. JIS B8322雙吸式渦卷泵浦
- o. JIS B8323水封式真空泵浦
- p. JIS B8326油回轉真空泵浦
- q. JIS B8340送風機與壓縮機之試驗與檢查方法
- r. JIS B8341容積形壓縮機之試驗與檢查方法
- s. JIS B8342小形往復式空氣壓縮機
- t. JIS B8346送風機與壓縮機之噪音音量測定方法
- u. JIS B8350油壓泵浦之噪音音量測定方法
- v. JIS B8351油壓用翼泵浦
- w. JIS B8352油壓用齒輪泵浦

F. 我國國家標準

- a. CNS B4004小型離心泵浦
- b. CNS B4021小型往復氣冷空氣壓縮機
- c. CNS B4025液壓用齒輪泵浦
- d. CNS B4026液壓用輪葉泵浦
- e. CNS B4062雙吸式渦卷泵浦
- f. CNS B4063小型多段離心泵浦
- g. CNS B7015水泵檢驗法（總則）
- h. CNS B7016水泵工作差檢驗法
- i. CNS B7017水泵出水量檢驗法
- j. CNS B7018水泵轉速檢驗法
- k. CNS B7019水泵動力及效率檢驗法
- l. CNS B7020水泵傳動軸溫度檢驗法
- m. CNS B7021水泵檢驗報告書格式

n. CNS B7044空氣壓縮機試驗法

(五)加熱器及火爐：

- A. 美國石油學會出版：
 - a. 公報筆 RP-530 號石油煉廠加熱器管線厚度之計算 (Bulletin RP-530 Recommended Practice for Calculation of Heater Tube Thickness in Petroleum Refineries) 。
 - b. 標準第630號煉油廠加熱爐管線及管端尺寸標準 (Standard 630 Tube and Header Dimensions for Fired Heaters for Refinery Services) 。
- B. 美國保險公會出版：加熱器之建造 (American Insurance Association Code for Installation of Heat Producing Appliances) 。
- C. 美國機械工程師學會鍋爐及壓力容器規章。
 - a. 第一卷動力鍋爐。
 - b. 第二卷材料規格。
 - c. 第八卷不用火壓力容器。
 - d. 第九卷銲接品質。
- D. 美國材料試驗協會出版：材料規格。
- E. 美國銲接協會出版規格。
- F. 美國工廠保險協會出版：包封系統熱傳導媒介 (Heat Transfer mediums in Closed Systems) 。
- G. 美國國家消防協會出版：
 - a. 標準第31號燃油設備。
 - b. 標準第85號燃油及燃天然氣之水管式鍋爐及火爐。 (Fuel Oil and Nature Gas Fired Water Tube Boiler Furnaces) 。
 - c. 標準第85-B 號燃燒天然氣之公用設備鍋爐及火爐爆炸 (Furnace Explosion in Nature Gas Fired Public Utility Boiler-Furnaces) 。
 - d. 標準第 86-A 號烘箱及火爐 (Oven and Furnaces) 。
 - e. 標準第 86-BT 號火爐 (Furnaces) 。
- H. 美國標準協會出版。
 - a. 標準第 B-16 號管線法蘭及配件。
 - b. 標準第 B-31 號壓力管線。
- I. 日本標準
 - a. JPI 塔槽類溫度、壓力基準
 - b. 化學工學協會化學裝置便覽
 - c. 化學工學協會加熱爐
 - d. 日本建築協會鋼構造計算規準
 - e. 勞動安全衛生法
- J. 我國標準

- a. 內政部勞工安全衛生法——鍋爐及壓力容器安全規則
- b. 內政部建築技術規則
- c. 中國國家標準鍋爐規章 B1023~B1028, B1312

六)換熱器：

A. 美國化學工程學會出版設備檢查程序，第一節及第二節換熱器 (American Institute of Chemical Engineers Equipment Testing Procedures-Heat Exchangers, Section 1 and 2)。

B. 美國石油協會出版。

- a. 標準第630號煉油廠加熱爐管線及管端呎吋標準)。
- b. 標準第640號換熱器管線呎吋標準。
- c. 標準第RP-530號石油煉廠加熱器管線厚度之計算。

C. 美國機械工程師協會出版鍋爐及壓力容器規章。

- a. 第一卷動力鍋爐。
- b. 第二卷材料規格。
- c. 第八卷不用火壓力容器。
- d. 第九卷鉗接品質。

D. 美國材料試驗協會出版：材料規格。

E. 美國換熱器學會標準。

F. 美國管式換熱器製造廠公會 (Tubular Exchanger Manufacturers' Association) 標準。

G. 日本標準：

- a. JPI-7S-42-71 塔、槽、熱交換器檢查標準
- b. JPI-7S-33-72 多管圓筒形熱交換器之構造
- c. JPI-7R-51-77 空冷式熱交換器之構造
- d. JIS B8249 多管圓筒形熱交換器

H. 本國標準

- a. 中國國家標準壓力容器構造
- b. 內政部勞工安全衛生法——鍋爐及壓力容器安全規則
- c. 內政部壓力容器安全檢查暫用構造標準

七)電器設備：

A. 美國電機工程師學會標準。

B. 美國石油學會出版：

a. 叢書第 RP-500A 號石油煉廠電器設備區域劃分準則 (API RP-500A-Classification of Areas for Electrical Installations in Petroleum Refineries)。

b. 叢書第 RP-2003 號靜電、閃電及亂電流引起火災之防範 (API RP-2003-Protection Against Ignition Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents)。

C. 美國製造化學師學會出版安全操作及程序叢書第 SG-19 號危險區域之電器設備 (Manufacturers' Chemists Association Recommended Safe Practices and Procedures SG-19-Electrical Equipment in Hazardous Arear) 。

D. 美國國家消防協會出版：

- a. 叢書第70號國家電器規章 (National Electrical Code) 。
- b. 叢書第75號電子計算機系統。
- c. 叢書第77號靜電。

E. 美國保險研究所 (underwriters Laboratories) 出版：

- a. 電器製造材料表 (Electric Construction Materials List) 。
- b. 危險設備位置表 (Hazardous Equipment Location List) 。
- c. 電器設備表 (Electric Appliance and Utilization List) 。

F. 美國標準協會出版各種標準。

G. 日本標準

- a. 勞動省產業安全研究所技術指針、工場電氣設備防爆指針
- b. 勞動安全衛生法 (第42條, 第44條, 第44條之2, 第44條之3)
- c. 勞動安全衛生法施行令 (第13條, 第14條, 第14條之2)
- d. 勞動安全衛生規則 (第27條, 第261條, 第280條, 第283條, 第284條)
- e. 機械等檢定規則 (第6 ~ 第17條)
- f. 電氣機械器具防爆構造規格
- g. 電氣設備技術基準
- h. 液化石油氣保安規則 (第2章第9條第1項第16號)
- i. 一般高壓氣體保安規則 (第2章第12條第15號)
- j. JIS C0903一般用電氣機器之防爆構造
- k. JIS C0904一般用電氣機器之防爆構造試驗方法
- l. JIS C0905一般電力用電氣機器之防爆構造
- m. JIS C8001防爆照明器具通則
- n. JIS C8004防爆攜帶電燈 (付電池) 通則

H. 本國標準

- a. 臺電屋內線路裝置規則
- b. 臺電屋外線路裝置規則
- c. 中華民國建築技術規則建築設備編
- d. CNS C1038一般用電機具防爆構造通則
- e. CNS C1039一般用白熾燈器具之防爆構造
- f. CNS C1108一般用電機具耐壓防爆構造
- g. CNS C1109一般用電機具油中防爆構造
- h. CNS C1110一般用電機具內壓防爆構造
- i. CNS C1111一般用電機具增加安全防爆構造
- j. CNS C1112一般用電機具本質安全防爆構造

- k. CNS C1113一般用電機具防爆構造之禁鬆構造
- l. CNS C1114一般用電機具防爆構造與出線盒導線連接法
- m. CNS C1115一般用電機具防爆構造之出線盒與外部導線連接法
- n. CNS C4387一般用電機具防爆構造之出線盒

(八)儀 器：

- A. 美國石油學會公報第RP-550號煉油廠儀器及控制系統裝置手冊。
- B. 美國機械工程師學會出版鍋爐及壓力容器規章第八節不加火壓力容器。
- C. 美國儀器協會 (Instrument Society of American) 出版：
 - a. 叢書 RP5.1號儀器流程圖符號
 - b. 叢書 RP12.1號惰性氣體稀釋儀器以減低區域之危險性 (Recommended Practices RP12.1 Instrument Purging for Reduction of Hazardous Area Classifications) 。
 - c. 叢書 RP12.4號危險空氣中之電器儀器。
- D. 美國國家消防協會出版標準：
 - a. 第70號電器規章。
 - b. 第75號電子計算機系統。
 - c. 第493-T 號危險區內控制設備安全 (Intrinsically Safe Process Control Equipment for Use in Hazardous Locations) 。
- E. 美國標準協會出版標準第39號電計量儀器 (Electrical Measuring Instruments) 。

(九)管 線：

- A. 美國石油學會出版公報 RP-520 號煉油廠壓力釋放系統之 (API) 設計與裝置。
- B. 美國國家消防協會出版標準： (NFPA)
 - a. 第30號易燃及可燃液體規章。
 - b. 第36號溶劑提煉。
- C. 美國標準協會出版各種標準： (ANSI)
 - a. 第 B16號管線法蘭及配件。
 - b. 第 B31號壓力管線。
 - c. 第 B36號鋼鐵管。

(十)製造設備：

- A. 美國石油協會出版公報第 RP-510 號石油煉油廠使用之不用火加熱壓力容器之檢查，修護及分級標準。
- B. 美國機械工程師學會出版鍋爐壓力容器規章第 2 、 8 、 9 節。
- C. 美國材料試驗協會規格。
- D. 美國鉗接協會規格。
- E. 美國國家消防協會出版標準。
 - a. 標準第30號易燃及可燃液體規章。

- b. 標準第58號液化石油氣之儲存與搬運。
- c. 標準第214號水冷卻塔。
- d. 標準第802號核能反應器。

F. 美國標準協會標準。

(二)渦 輪：

- A. 美國石油學會出版標準第615號煉廠一般使用機械帶動蒸汽渦輪。
- B. 美國材料試驗協會出版：材料規格。
- C. 國際電化學委員會 (International Electrechemical Commission) 出版標準：
 - a. 第 SM12 號氣冷式直接帶動蒸汽渦輪同步發電機。
 - b. 第 SM20 號機械帶動蒸汽渦輪。

(三)單元操作設備：

- A. 美國化學工程師學會出版檢驗法。
 - a. 固體混合設備。
 - b. 混合設備（輪葉式）。
 - c. 蒸餾塔（盤式）。
 - d. 充填吸收塔及蒸餾塔。
 - e. 水漿機。
 - f. 乾燥機

(四)消防及安全設備：

- A. 美國法規
 - a. 美國國家消防協會所出版之國家消防法規 (National Fire Code)，共16冊。
 - b. 美國石油協會所出版者：
 - (a) API RP2001煉油廠之消防設施。
 - (b) API 2021石油儲槽之消防指引。
 - c. 美國工業災害保險公司 (Industrial Risk Insurers) 所出版之有關消防規定。
 - d. 美國聯邦法規 (Code of Federal Regulations) 有關消防部份。
- B. 日本法規
 - a. 消防法
 - b. 勞動安全衛生法
 - c. 高壓氣體取締法
 - d. 石油關係組織等之災害防止法
- C. 本國法規
 - a. 勞工安全衛生法
 - b. 勞工安全衛生法施行細則
 - c. 勞工安全衛生設施規則
 - d. 高壓氣體安全衛生設施標準
 - e. 建築技術規則建築設備篇第三章消防設備部份
 - f. CNS8069液化石油氣灌裝場安全設施
 - g. 其他內政部公佈施行之勞工安全衛生法規