

電氣設備引起可燃性物質爆炸火災案例探討

張日誠

勞工委員會勞工安全衛生研究所

一、前言

國內石化廠、瓦斯灌裝場、樹脂業、塗料業等工業煉製或製造過程中，經常使用可燃性物質（Combustible Material，泛指易燃性液體之蒸氣、可燃性氣體或爆燃性粉塵等），在正常操作或異常洩漏時皆有可能會產生易燃易爆環境的工作場所，其濃度達爆炸範圍內，且存有足夠能量的點火源，極易引起火災、爆炸之危險。

根據國外對工業火災之形成原因及造成火災危害的統計分析資料發現，電氣火災和爆炸在火災和爆炸中佔有很大的比例，且根據環保署對國內化學災害事故之點火源類型進行分析，發現電氣火花（包括按鈕、開關、接觸器接點、各種控制接點等所產生的火花）為最多，其次為高溫表面（包括高溫氣體、液體管道表面、熱交換器表面、加熱爐或乾燥爐爐壁等）二者之總和佔所有點火源第一位。

有鑑於此，為防止電氣設備成為引火源，設置於可燃性氣體或易燃性液體之蒸氣等可燃性物質存在的危險區域場所，除避免洩漏及加強通風措施外，其電氣設備須具有防爆功能之設計，並根據場所的危險區域等級，選用適當之防爆電氣設備（Explosion-proof Electrical Apparatus），即可預防類似災害減到最低。

二、電氣設備防爆措施

(一) 洩漏源之確認

在所有儲槽、反應槽、容器、取樣點、閘接頭、管線等，其內容物含有可燃性物料者，應視為潛在釋放源，故應先按物質的釋放頻繁程度和持續時間長短確定釋放源的等級，一般可分為以下等級：

1. 持續存在：可能持續存在或預期可能長時間存在或短時間但頻繁存在的場所，例如：儲槽的上部空間和排氣口、油、水分離器等直接與空氣接觸的易燃液體的表面、經常或長期向空間釋放易燃氣體或易燃液體蒸汽的排氣孔等。
2. 主要洩漏等級：在正常操作下，週期或偶爾釋放的洩漏源，例如：正常操作時，會釋放可燃性物質的泵、壓縮機和閘門等的密封處；正常操作時，會向環境釋放可燃性物質的取樣口。
3. 次要洩漏等級：在正常操作下，不預期會洩漏，即使洩漏也僅是偶爾短時間且不常發生，例如：必須偶爾打開的人孔或法蘭、連接件和管道接頭的維修等。

(二) 危險區域劃分

依據我國國家標準 CNS 3376-1038（同國際電工委員會 IEC 60079-14），將可燃性氣體與易燃蒸汽存在之危險地區的發生頻繁程度和持續時間劃分為 0 區、1 區、2 區：

1. 0 種場所 (Zone 0)：係指危險環境連續或長時間存在之場所，即屬於持續存在等級之區域。
2. 1 種場所 (Zone 1)：在正常操作下爆炸性環境可能發生之場所，即屬於主要洩漏等級之區域。

3. 2種場所 (Zone 2): 在正常操作下爆炸性環境不太可能發生，如果發生，也只存在一段短時間的場所，即屬於次要洩漏等級區域。

而我國屋內線路裝置規則第 297 條，亦將危險區域劃分為第一種場所及第二種場所，第一種場所相當於 0 區、1 區，第二種場所相當於 2 區。有關危險區域劃分方法因標準引用之不同略有不同，但基本上相關之項目大多一樣，區域劃分比較之流程要項如圖 1 所示：

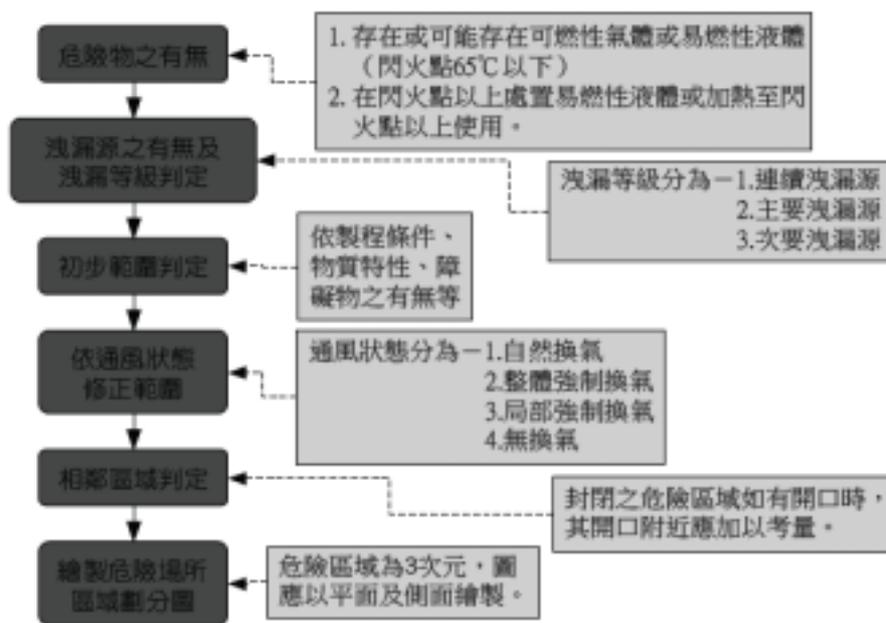


圖 1 危險區域劃分之流程圖

(三) 防爆電氣設備

所謂防爆電氣設備，依據我國勞工安全衛生設施規則第 177 條第三款，係包括電動機、變壓器、連接裝置、開關、分電盤、配電盤等電流通之機械、器具或設備及非屬配線或移動電線之其他類似設備，具有防爆性能構造者。且依同法第 177-2 條規定，應辦理防爆電氣設備之型式驗證作業，其我國將推行之電氣防爆設備合格標識，如圖 2 所示。



圖 2 我國電氣防爆設備驗證標識

1. 構造種類

根據危險劃分所選擇之電氣設備防爆構造的種類及防爆原理分述如下：

- (1) 耐壓型防爆 (d)：當在殼內發生爆炸時，能耐其壓力且不會產生形變，而火焰無法穿透，故不會引起外部可燃性氣體爆炸燃燒。
- (2) 增加安全型防爆 (e)：僅做氣密結構，無耐壓能力。只能裝置正常下不會發生危險之場所。
- (3) 本質安全型防爆 (i)：在正常或異常狀況下，其所產生之能量都不會另周圍的危險氣體發生爆炸。
- (4) 模鑄型防爆 (m)：殼內注入聚酯，使整體模注器的表面，不會產生火花、過熱現象，以達防爆目的。
- (5) 浸油型防爆 (o)：器殼內填入高燃絕緣油，除可有效散熱避免熱表面形成外，亦可避免可燃物與能量直接接觸而發生危險。
- (6) 正壓型防爆 (p)：為全密之構造，導入高壓氣體（惰性氣體）或充入新鮮空氣（或不燃氣體），以避免外氣溢入而形成可燃環境。
- (7) 填粉型防爆 (q)：殼內填充物質（如細沙），可避免可燃物與能量直接接觸以及阻絕熱量之傳導而發生危險以達防爆目的。
- (8) 無火花型防爆 (n)：在正常操作時或異常條件下（如有故障燈

泡的燈具)，不能點燃周圍爆炸性氣體環境之電氣設備。

- (9) 特殊型防爆 (s)：係指對於爆炸性氣體具有防爆性能，並且經過試驗加以確認之構造，為上述 8 種以外之保護方法者。

表 1 各式防爆電氣種類之適用場所

防爆種類	CNS 標準	代號	適用危險區域		
			0 區	1 區	2 區
本質安全防爆	3376-11	Ex ia	○	○	○
		Ex ib	×	○	○
		Ex ic	×	×	○
耐壓防爆	3376-2	Ex d	×	○	○
正壓防爆	3376-2	Ex px, py	×	○	○
		Ex pz	×	×	○
增安防爆	3376-7	Ex e	×	○	○
油入防爆	3376-6	Ex o	×	○	○
		Ex ma	○	○	○
模鑄防爆	3376-18	Ex mb	×	○	○
		Ex mc	×	×	○
無火防爆	3376-15	Ex n*	×	×	○

Ex n*：Ex nA, Ex nL, Ex nR, Ex nC, Ex nP

2. 溫度等級分類

針對防爆設備之適用場所分類而言，有兩項重要規格，其中之一項：依易燃性蒸氣之易爆特性程度，也就是最大安全實驗間隙 (Maximum Experimental Safety Gap, MESG) 之間隙大小，即不能引燃殼體爆炸性氣體混合物的外殼接合面之間的最大間隙，表 2 為 MESG 之判定，可將其分為 IIA 族群、IIB 族群、IIC 族群三類 (如表 3 所示)，其 II 為適用於潛在爆炸性氣體環境之防爆電氣設備，而 A、B、C 三級為防爆能力的強弱；故 IIC 類為安全度最高，也就是日系所謂的爆發等級。

另一規格為：依易燃性氣體之自燃點之高低，區分為 T1、T2、T3、T4、T5、T6 六個溫度等級 (日本 JIS 劃分為 G1~G6 六個溫度等級)，也就是所謂的發火度，即防爆電氣設備之溫度等級最高表面溫度，或其

所標定之特定最高表面溫度不可以超過該使用場所物料燃點溫度，如表 4 所示。表 5 為常見之易燃性液體或氣體之分類，其他爆炸性氣體族群可參考相關法規(例如 CNS3376-20/IEC60079-20 可燃性氣體物質特性)。

表 2 氣體族群分類與 MESG 判定表

氣體、蒸汽分類	最大安全間隙 (mm)
IIA	≥0.9
IIB	0.9~0.5
IIC	<0.5

表 3 氣體蒸氣族群和設備等級分類

氣體、蒸汽分類	IIA	IIB	IIC
氣體燃爆危險性	小	→ 大	
機具等級分類	IIA、IIB、IIC	IIB、IIC	IIC

表 4 電氣設備最高表面溫度等級表

溫度等級	T1(G1)	T2(G2)	T3(G3)	T4(G4)	T5(G5)	T6(G6)
允許表面最高溫度/°C	<450	<300	<200	<135	<100	<85
物料燃點溫度/°C	≥450	≥300	≥200	≥135	≥100	≥85
設備安全程度	低	←				高

表 5 常見危險氣體爆發等級及溫度等級之分類

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
IIA	醋酸、氯、 苯、丙酮、 乙烷、乙酸 乙酯、一氧 化碳、甲 醇、丙烷、 甲苯、二甲 苯	丙烯、甲 醇、乙醇、 異丙醇、丁 醇、1,4 丁 烷、氯乙烯	乙烷、環己 烷、汽油、 柴油、煤 油、燃料 油、己烷	乙醛、三甲 胺		亞硝酸乙 酯
IIB	煤氣	乙烯、丁二 烯、環氧乙 烷、呋喃	二甲醚、四 氫呋喃、硫 化氫	乙基甲基 醚、二乙 醚、四氟乙 烯		
IIC	氯、氫氣	乙炔			二硫化碳	硝酸乙酯

3. 依環境條件選擇

防爆電氣設備應在該設備所規定之環境條件下使用，才可避免電氣性或機械性之功能失效。如欲在該限制環境以外使用，應得到製造商或其他專家之相關建議才可進行。其操作和環境條件對防爆電氣設備產生的影響主要有：

- (1) 操作條件惡劣：在運作時，受到強烈振動或衝擊，會影響電氣設備的機械結構和強度，如：電動機頻繁啟動、超載等操作條件會影響繞組溫度和表面溫度，降低設備的安全性和使用壽命。增安型防爆電氣易受操作條件的不利影響。
- (2) 潮濕環境：長期在潮濕環境下使用，會對設備的絕緣產生影響，導致絕緣電阻降低，發生電擊或漏電，破壞增安型和無火花型的防爆安全性，亦會使耐壓型的接合處產生銹蝕等影響。
- (3) 腐蝕環境：嚴重的腐蝕會使設備外殼、固定件及接合面等產生銹蝕，破壞耐壓型及其他類型之設備殼體防護等級降低。
- (4) 環境溫度：通常電氣設備允許的環境溫度範圍約 -20°C ~ $+40^{\circ}\text{C}$ ，在高溫環境下操作，除導致設備的溫度升高外，亦會影響絕緣材料的加速老化。
- (5) 其他影響：如陽光的照射導致絕緣材料、塑膠外殼老化；而雨水、灰塵會使絕緣性能降低，並影響設備運動件（如軸承）之間的潤滑，而產生摩擦高溫等影響。

三、職災案例

案例一：

(一) 災情概述：

2009年6月22日21時07分左右，位於彰化縣彰濱工業區某化學公司，該廠房內的化學反應爐由於化學反應失控導致爆炸，該線反應槽當時正在進行有機過氧化物二-叔丁基過氧化異丙苯(無味架橋劑 BIBP)滴酸合成反應，未料反應激烈使得反應槽溫度異常上升，現場人員為確認處置方式，延後降溫阻斷反應，最後導致爆炸，幸好未傳出人員傷亡與殃及鄰近廠房。

(二) 原因分析：

因 BIBP 反應槽內原料裂解過快，造成溫度急速上升，促使 BIBP 突沸裂解產生大量甲烷、丙酮等可燃性蒸氣物質洩漏至地面，且達爆炸界限(2.5~12.8%)，其反應槽下方之 pH 計顯示控制配電箱端子產生火花，進而導致氣爆起火。

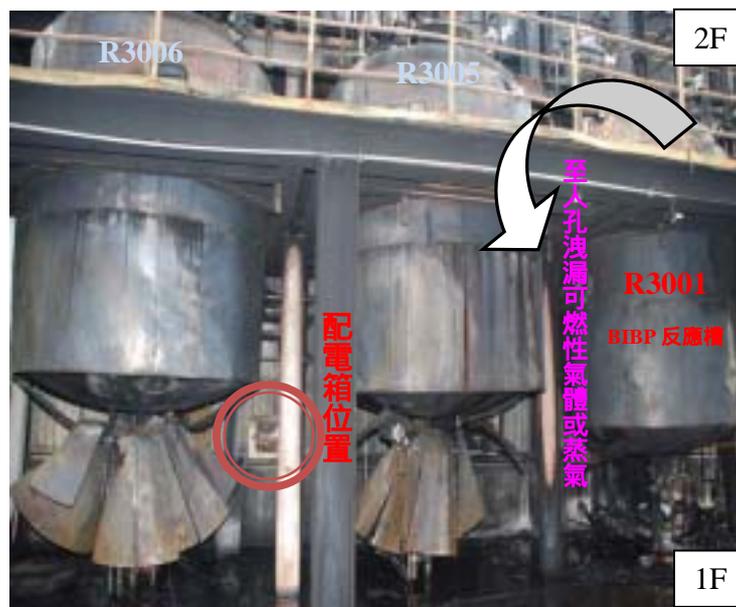


圖 3 發生事故之 BIBP 架橋劑生產反應器現場



圖 4 事故現場所使用之控制配電箱

(三) 改善建議分析：

1. 作業員工應進行安全衛生教育訓練，確認各種原物料之危害性，與取得危害預防及緊急應變資訊等。
2. 設置在 2 種場所之設備，雖運轉中並不致發生電氣火花之虞的電氣機具，仍宜全部使用密閉構造，可使用增加安全型防爆構造，其配線可使用薄鋼導線管。
3. 且在該廠房內屬半密閉通風不良之作業場所應加強通風，在生產作業前應先啟動通風裝置，保持適當通風、換氣，以防可燃性氣體或蒸汽之火災爆炸或中毒之虞。

案例二：

(一) 災情概述：

2010 年 5 月 3 日上午 11 時 38 分左右，位於台南縣官田工業區某公司，發生氣爆意外，當時員工在調配室內操作攪拌器進行粉狀原料

的配料時，突然發生氣爆，工廠玻璃遭往外震碎，空氣中還有些微粉末，造成一名員工的臉、手部、上半身等全身 30% 二度灼傷。

(二) 原因分析：

攪拌過程中，因攪拌槽內部之可燃性粉塵揚起，且現場並無設置通風排氣設備，導致現場可燃性粉塵大量滯留，且達到爆炸範圍，雖攪拌器之馬達屬防爆之構造，但在上方之攪拌槽夾套溫度控制器配電箱內產生電器火花，進而導致氣爆。



圖 5 發生事故之粉體原料攪拌器現場



圖 6 事故現場所使用之配電設備

(三) 改善建議分析：

1. 設置在 21 種場所（屬粉塵危險場所之分類，同 1 種場所）切勿設置不具防爆構造之電氣設備，其電氣設備宜採用封閉式，其他的電器、儀錶和照明燈具可採用防塵型。
2. 對於有粉塵爆炸危險的廠房，須依照防爆等級進行設計，並設置防爆型馬達進行通風、排氣。
3. 為防止粉塵飛揚和聚集，可經常打掃作業場所之地面和設備。

案例三：

(一) 災情概述：

2010 年 6 月 11 日上午 11 時許，位於台中市台中工業區某科技公司，事故發生當時，正進行塑膠安定劑(抗氧化劑)製程反應槽(R309)之 2 樓槽底取樣管處進行製程樣品取樣，以確認第 2 段縮合反應是否已達終止反應階段，因勞工在使用扳手開啟採樣口之閥桿時扳手滑

落，導致反應槽內二甲苯蒸汽大量渲洩，而發生火災爆炸，因猛烈火勢，2名受困員工情急跳樓重傷不治，另5人分別受灼傷、嗆傷，無生命危險。

(二) 原因分析：

因其製程反應溫度為 $140^{\circ}\text{C} \sim 145^{\circ}\text{C}$ ，均已超過二甲苯之沸點溫度，由取樣口洩出之二甲苯氣化成大量飽和之白色霧狀可燃性蒸氣，並從反應槽取樣口的旁邊反應製程廠區通道開口處沉積至隔壁造粒廠區1樓地面外，因供應該造粒廠區之電力配電箱產生火花，進而導致火災爆炸。

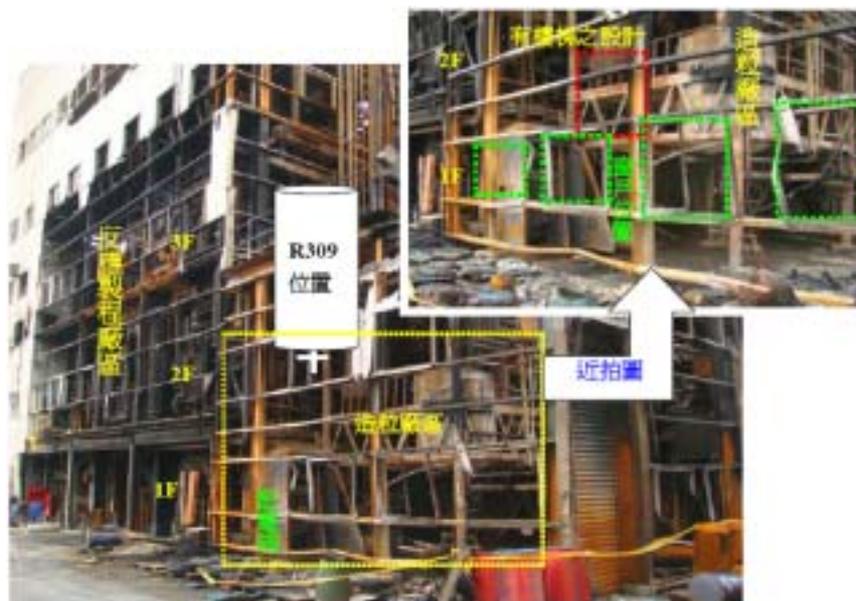


圖 7 反應槽與配電箱相對位置示意圖



圖 8 造粒廠區角度之事故現場監視畫面

(三) 改善建議分析：

1. 在 2 種場所之電氣設備，為避免異常狀態產生電氣火花及高溫，也應採取防爆之措施的設置，並適當避開易燃物品。
2. 其作業場所屬半密閉之室內環境，應設置具有充分能力之換氣設備，使不停滯危險性氣體。
3. 對於電氣設備之設置處所，如可燃性氣體比空氣重者，應儘可能設置於高處；反之可燃性氣體比空氣為輕者，則應設置於較低之處。

四、結語

電氣設備是產業發展過程中不可缺少的，然而工廠與工作場所普遍存在可燃性物質，不論是正常或異常操作情況下，電氣設備難保不成為點火源，故設置防爆電氣設備有其必要性。但國內之雇主與員工並未真正瞭解其所暴露於危險性場所應設置防爆電氣產品之重要性，僅注重購置價格或應付檢查，而捨防爆功能於不顧。因此有必要規劃防爆電氣驗證計畫，以確保防爆設備之性能品質，使可能發生損害減到最低。

參考文獻

1. 防爆電氣設備技術服務網，<http://explo.cla.gov.tw/book.html>。
2. 防爆電氣設備型式驗證試行作業要點（草案），財團法人安全衛生技術中心，2009年5月。
3. 蘇文源、賴加勳，易燃性氣體及蒸氣之危險區域防爆等級判定，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，1998。
4. 許宏德，高科技廠火災災後景象，2010年9月。
5. 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，彰化○○化學股份有限公司化學物質反應失控分析報告，2009年6月。
6. 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，台中○○科技股份有限公司火災爆炸調查報告，2010年6月。