

# 防爆電氣原理與防爆電氣原機具之使用

許宏德\*

## 一、前言

使用於有可燃性氣體或易燃性液體洩漏等而形成易燃易爆環境的電氣機具必須具有必要的防爆(explosion-protected)構造，才不會因電氣火花或高溫表面而引起火災、爆炸。勞動部基於保護勞工的安全，在職業安全衛生設施規則等相關法規規定，對於高壓可燃性氣體的貯存或有易燃性液體之蒸氣、可燃性氣體等物質滯留而有火災爆炸之虞的場所所使用的電氣機械、器具或設備，應具有適合於其設置場所危險區域劃分使用之防爆性能構造。

所謂具有防爆構造(type of protection)的電氣機具，是指對電氣機具在構造上加以特殊考量，使其具有不為點火源的特性。這個特殊考量因電氣裝置的特性而異，其原理、策略、技術以及手法也各不相同。勞動部同時也在上述法規中規範防爆電氣機具應使用符合中央主管機關指定之國家標準，且經中央主管機關認可公告之機構實施型式認證合格，並張貼認證合格標識者。

因為防爆電氣機具的構造較為特殊，故在安裝、使用及維修保養上有其特殊的需求。若未依規定使用，可能就會使其防爆性能受到破壞而失去防爆性能。

## 二、危險場所區域劃分

勞動部所訂定的相關法規只對防爆電氣機具之設置場所做概略性的規範—有易燃液體之蒸氣、可燃性氣體或可燃性粉塵滯留，而有爆炸、火災之虞者。但這些具爆炸、火災危險的作業場所在風險等級上仍有相當大的差異。選用防爆電氣機具首先必須劃分出危險場所之區域等級和範圍。

### 2-1 危險場所區域等級

危險場所乃指「出現爆炸性混合氣或預期可能出現之環境，而對電機設備構造以及安裝等必須採取特別的安全對策之場所」，其形成起因於危險物質的有無以及洩漏源的存在與否。根據我國的國家標準(CNS)以及其來源依據—國際電工標準

---

\*國立高雄第一科技大學 環境與安全衛生工程系  
高雄市楠梓區卓越路 2 號 Tel. (07) 601-1000 ext.2330 e-mail: dick@nkfust.edu.tw

(IEC)，危險場所可區分為 0 區(zone 0)、1 區(zone 1)以及 2 區(zone 2)等 3 個區域等級。這 3 個區域分別代表 3 個不同等級的爆炸、火災風險。

危險等級之劃分並非依據可燃性氣體之濃度，而是依據濃度達到爆炸界限之機率而定。換言之，區域等級決定於爆炸性混合氣(explosive gas-air mixture)之發生頻率及存在時間。3 個不同風險等級的區域分別為—0 區代表可能連續存在或長時間存在爆炸性混合氣之場所；1 區為在正常狀態下，有可能存在爆炸性混合氣之場所；2 區則是在正常狀態下不會存在爆炸性混合氣，即使會也只是很短的時間，但在異常狀態下有可能存在爆炸性混合氣之場所。洩漏頻率和滯留時間決定於洩漏源的種類與洩漏樣態，也就是說洩漏源的類別決定了危險場所的區域等級。

洩漏源的種類分為以下 3 種：1)連續洩漏源—連續或長時間或短時間但高頻率釋放可燃性物質；2)主要洩漏源—在正常狀態下，定期或時常釋放可燃性物質；3)次要洩漏源—正常狀態下不被預測會洩漏可燃性物質，或即使會也只是很短的時間。除洩漏源的種類以外，通風條件也會影響區域等級。通風狀況好，則濃度達到爆炸界限之機率降低，爆炸、火災風險也就降低，區域等級也可能由 0 區而變為 1 區或甚至 2 區，反之則風險升高，區域等級可能由 2 區變為 1 區或由 1 區變為 0 區。

## 2-2 危險場所區域範圍

決定了危險場所的等級之後，還要劃定各區域等級的範圍。劃定的範圍內即可能形成各等級的危險區域。一般而言，危險區域的範圍是以洩漏源為圓心，形成一個 3 次元的球狀範圍。依據濃度達到爆炸界限之機率，同一個洩漏源附近場所

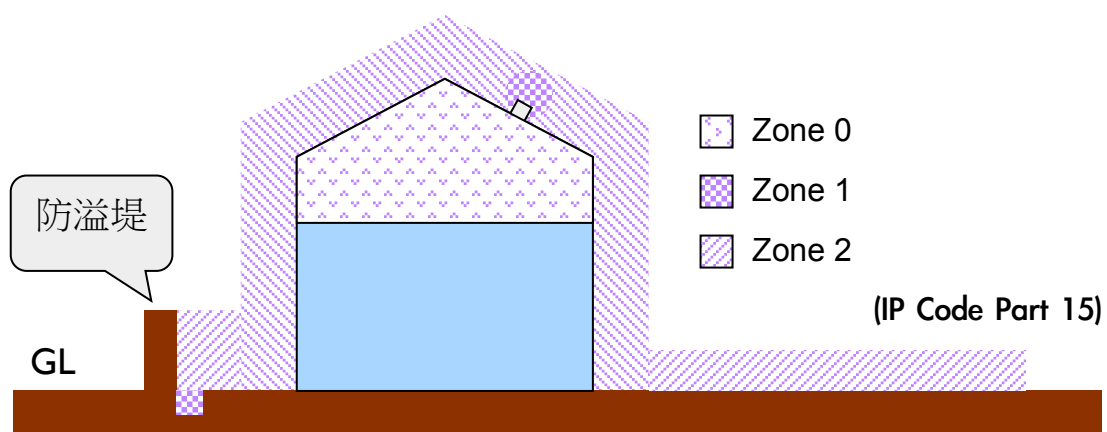


圖 1 危險場所區域劃分之一例

可能會依距離洩漏源之遠近而形成不同等級之危險區域。圖 1 為危險區域劃分之一例。

影響危險場所區域範圍的因素有以下幾項：1)爆炸性氣體之釋放率（單位時間放出量）；2)放出速度；3)洩漏物濃度；4)通風狀態；5)障礙物；6)可燃性液體之沸點；7)爆炸下限；8)閃火點；9)相對密度。這些因素必須被綜合考量，以界定出危險場所區域之範圍。

### 三、防爆構造的原理

電氣機具之防爆化的目的在於防止電氣火花或機具的高溫表面成為點火源，依其爆炸防止原理可以分為侷限式(passive type of protection)與預防式(active type of protection)兩大類。前者是將成為點火源的電氣構件以一器殼(enclosure)保護，使被其所引燃的火焰無法穿透至器殼外部而得以避免爆炸性混合氣被引爆。後者又可分為抑制點火能力或隔離點火源等較積極的方法及增加安全度以降低成為點火源的機率的較為消極的方法。

同樣的構造，在材料的選用上以及可靠度的等級上的差異，會對使用場所造成一些限制。因此，在使用電氣機具時，必須先對防爆原理有所了解，才能有效發揮其防爆功能，同時得到最佳的成本效益。以下針對這兩種防爆原理之各種防爆構造分別列舉說明。

#### 3-1 耐壓防爆構造

耐壓防爆之原理為侷限式，也就是將一般的電氣零組件（含顯在點火源）以器殼加以保護，並將爆炸侷限於器殼內而達到防爆化之目的。為了將爆炸侷限於器殼內，器殼必須具有一定的強度，以承受爆炸的壓力。另外，因為器殼必須能打開以置入電氣元件或裝置，因此必定會有縫隙等。這些器殼上接合的部位稱為「接合面」。圖 2 為 LED 耐壓防爆燈具之內部構造圖（麗鴻科技提供）。

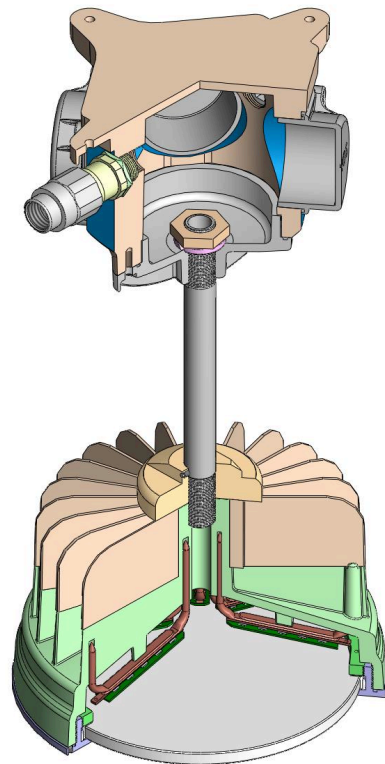


圖 2 耐壓防爆燈內部構造

接合面有嚴格之規定，以防止爆炸的火焰由此處穿透至器殼外部而引燃爆炸性混合氣。因為各種爆炸性混合氣各有其不同的火焰穿透特性，因此必須依使用環境的易燃物質而選用適合的接合面的間隙。IEC 將一般產業用的耐壓防爆電氣機具分為 IIA、IIB、以及 IIC 三個等級，分別對應三種不同火焰穿透能力—也稱爆炸等級的易燃性混合氣。這個爆炸等級所對應的是容器的保護等級(degrees of protection provided by enclosures)。

耐壓防爆電氣機具因具有確實的防爆構造，因此可以使用於 1 區(zone 1)以及 2 區(zone 2)。但另一方面因其內部為具顯在點火源的一般電氣裝置，故仍不可用於風險等級最高的 0 區(zone 0)。

### 3-2 安全增防爆構造

安全增防爆因其本身無顯在引火源，故構造上不具特殊防爆構造，只是藉由提高其可靠度，避免因故障等異常狀態的發生而成為引火源。換言之，所謂安全增防爆構造其實只是對於在一般狀態下不會有電氣火花或高溫部位的電氣機具，增加其安全性，使其成為引火源的機率大為降低，而結果即具有一定之防爆性能。和這類增加安全型防爆相同原理的是 n 型防爆(Type n)。

為了提高其安全性以達到防爆性能，除了在構造上有所要求外，在使用上也必須依規定設置及依額定條件使用，且遵守規定裝設相關的保護裝置或實施保護措施。此外還必須正確得實施維修保養，使其不至因故障等而成為點火源。如此三方面同時加強維護其可靠度，避免異常狀態的發生，才可能使其具有一定的防爆能力。

因為安全增防爆構造和 n 型防爆不像耐壓防爆具有明確的防爆構造，又必須使用者遵守使用規定以及適切得實施維修保養，才能確保其安全。如果機具無法正常使用，或一但發生斷線、燒損等事故，即應視為失去防爆功能。因此，n 型防爆構造的電氣機具一般只能用於風險等級較低的 2 區。

### 3-3 本質安全防爆構造

本質安全防爆是以第三類電氣機具的構件為對象，在迴路設計上即對其電流、電壓等加以抑制，同時亦考量到可靠度，使其不論在正常或異常狀態，都不會成為點火源。因為其防爆性能（不會引燃爆炸性混合氣）是經過檢定（試驗）確認

過的，故其安全性相當高，可用於風險等級最高的 0 區(zone 0)。但是，由其構造上的性格可知，這類防爆構造不適合需要大電力的機具，只適用於感測器等弱電裝置。同時，相對於各種物質有其不同的最小著火能量，本質安全防爆也和耐壓防爆一樣，分為 IIA、IIB、以及 IIC 三個等級，分別對應三種不同最小著火能量－爆炸等級的爆炸性混合氣。這個時候，最小著火能量以最小點火電流(minimum ignition current : MIC)來表示。

為了維持其對電能的抑制，除了電氣機具本身的迴路設計必須加以考良之外，也必須對含配線在內的「系統」整體之構築加以考慮。一般而言，本質安全防爆系統包含機具本身、本質安全保持器(safety barrier)和配線三部份。機具本身及本質安全保持器因為必須經檢定合格才能使用，故其安全性受到一定的保障，但是配線卻沒有檢定，因此必須有特別要求。換言之，配線上的電流、電壓也必須加以抑制。圖 3 為裝設於控制箱內的本質安全防爆保持器（台灣和泉提供）。



圖 3 控制箱內的本質安全防爆保持器

### 3-4 內壓防爆構造

內壓防爆又稱為正壓防爆，和本質安全防爆相同的是以積極的手段排除點火的可能性，所以都是屬於預防式(active type of protection)防爆構造。但是，不同的是本質安全防爆是對點火性能採取對策，而內壓防爆則是排除點火源與爆炸性混合氣的接觸。

換言之，內壓防爆構造是對器殼內的空間加以掃氣(purging)，同時維持內部的壓力大於外部大氣壓力，以排除外部爆炸性混合氣進入器殼內部而被內部電氣點火源點燃的危險。這個構造有兩種形式，分別為稀釋式和持壓式，前者使掃氣氣



體在進入器殼後再次流出以維持內部氣體的連續稀釋。後者則無流出的管路，僅有流入的管路。基本上兩者都可以達到防爆的目的，但因封入式只進不出，故較不利於冷卻，但因只在壓力不足時才需補充氣體，故運轉成本(running cost)較低。

不論是哪一種方式，都必須準備一送氣裝置以及送氣管路及掃氣氣體等。同時，不論哪一種方式都必須維持器殼內部的壓力大於 50 Pa。因此，這種防爆構造的運轉成本較其他防爆構造高。圖 4 為內壓防爆控制盤（台灣和泉提供）。



圖 4 內壓防爆控制盤

#### 四、 防爆電氣機具的選用

電氣機具之防爆化的目的在於防止電氣火花或機具的高溫表面成為點火源，不同危險場所等級應依表 1 所示，採用不同之防爆構造。0 區因為風險較高，故對電氣設備要求也相對較高，其次為 1 區，再其次為 2 區。因此，一般 適用於 0 區之防爆電氣設備也可裝設在 1 區或 2 區，適用於 1 區之防爆電氣設備也可裝設在 2 區，但適用於 2 區之防爆電氣設備只能裝設在 2 區。

表 1 防爆電氣機具和系統之保護構造與場所等級

防爆構造	記號	使用區域		
		0 種場	1 種場所	2 種場所
本質安全防爆構造	Ex ia	○	○	○
	Ex ib	×	○	○
	Ex ic	×	×	○
耐壓防爆構造	Ex d	×	○	○
內壓防爆構造	Ex px, py	×	○	○
	Ex pz	×	×	○
安全增防爆構造	Ex e	×	○	○
油入防爆構造	Ex o	×	○	○
樹脂充填防爆構造	Ex ma	○	○	○
	Ex mb	×	○	○
	Ex mc	×	×	○
簡易防爆構造	Ex n	×	×	○

雖然表 1 列出了各種構造形式的防爆構造，但如前所述，某些構造只適合某些特定機具。因為受限於點火源的類別與適合之防爆化構造，並非可以任意選用任何的防爆構造。除了前述本質安全防爆構造只適用於感測器等弱電裝置之外，耐壓防爆構造因為製作上的限制，不適合大型的電氣機具。另一方面，內壓防爆構造因為必須有相關周邊設備，所以較適合大型的電氣機具。

除了防爆構造與危險場所區域等級之外，防爆電氣機具的使用還要考慮溫度等級。防爆電氣設備的溫度等級（最高表面溫度）如表 2 所示。其所標定之特定最高表面溫度不可以超過該使用場所爆炸性氣體或蒸氣之著火溫度(ignition temperature)。實際選用時應有 10°C 之寬限值。

表 2 防爆電氣設備之最高表面溫度與溫度等級（單位：°C）

溫度等級	最高表面溫度的範圍
T1	超過 300，450 以下
T2	超過 200，300 以下
T3	超過 135，200 以下
T4	超過 100，135 以下
T5	超過 85，100 以下
T6	85 以下

防爆電氣設備上所標示之溫度等級(T class)，一般是在室溫不超過 40 °C 時所進行之溫昇試驗值。因此在特殊情況下，如果該防爆電氣設備被設計在超過室溫 40 °C 運轉時，則該最高允許室溫應清楚地標示在電氣設備上。所以防爆電氣設備未特別標示使用室溫時，應使用在室溫不超過 40 °C 之環境下，縱使確認使用在超過室溫 40 °C 時（譬如電氣設備裝設在高溫表面處），該電氣設備之最高表面溫度不會超過該場所可能潛存之爆炸性氣體或蒸氣的點火溫度時，也應該向該製造商確認該電氣設備是否適合在這樣較高的溫度下操作。例如安裝在管線保溫被覆上之電氣設備，其可能不受氣溫之影響，但卻可能受來自管線之熱的影響而失效。

## 五、常見錯誤使用與施工

我國雖於相關勞工安全衛生法規中規定，在易引起火災、爆炸危險之場所必須使用具有適合於其設置場所危險區域劃分使用之防爆性能構造的電氣機具。但實際的使用卻非常不理想。歸納其缺失大約可分為以下幾項：

### (1) 未明確劃分危險場所區域等級一

這個缺失包括是否為應使用防爆電氣機具的危險場所並不明確，以致發生同一場所內防爆電氣機具與一般電氣機具混用、並存的現象（如圖 5 所示）。另外，因為劃分不明確，也沒有繪製區域等級劃分圖，以致在變更或設備追加時無法選用適合的防爆電氣機具，或甚至完全忽略火災、爆炸危險，而使用非防爆的一般電氣機具。



圖 5 防爆電氣機具與一般電氣機具並存

(2) 使用未經檢定之電氣機具－

為了確認其防爆的功能，通常必須由第三者加以驗證，並以證書證明以及以標章讓使用者得以識別。全世界有 47 個國家對防爆電氣機具實施型式檢定制度，未經檢定合格的機具不得銷售、進口、裝設、讓與，以保障危險場所的安全。由於我國方於今年開始實施型式檢定制度，國產機具以往無法透過第三者之檢定確認是否符合標準。不但如此，這也使得防爆電氣機具在使用上常因不正確的施工而破壞了防爆機能。



圖 6 未經檢定的防爆電氣機具

圖 6 是一未經檢定的「防爆」電氣箱。一般人由外觀上難以辨識，且沒有任何規格（溫度等級與爆炸等級）的標示。但是，由螺栓的數目和大小可以推斷，該裝置恐無法通過檢定。

(3) 未裝設阻止盒或耐壓電纜固定器－



耐壓防爆電氣機具之電線、電纜入口必須裝設阻止盒或耐壓電纜固定器，才能維持其防爆功能。如未裝設阻止盒或耐壓電纜固定器，則該電氣機具之防爆功能恐已遭破壞（如圖 7 所示）。



圖 8 阻止盒內部未填塞



圖 7 未裝設阻止盒

(4) 阻止盒內部未填塞正確之防爆泥－

耐壓防爆電氣機具如以電線管配線系統施工，則應於電氣機具之電線、電纜入口裝設阻止盒，並於阻止盒內部填入適當的防爆填塞（防爆泥）。如果未於阻止盒內部未填塞正確之防爆填塞加以密封，則等於電氣機具上有開口，防爆功能將遭破壞（如圖 8 所示）。

(5) 防爆機具器殼上有開口未封塞－

不論是耐壓防爆或安全增防爆電氣機具，器殼都不應該有未封塞之開口。尤其是耐壓防爆電氣機具上如有開口而未加以封塞，則該機具即不具防爆功能（如圖 9 所示）。



圖 9 防爆機具器殼上有開口未封塞

(6) 防爆機具器殼缺螺絲或螺絲未旋緊－

不論是耐壓防爆或安全增防爆電氣機具，器殼都不應該缺螺絲或未將螺絲旋緊。安全增防爆電氣機具必須維持其 IP 等級，而耐壓防爆則必須維持其接合面的

間隙之尺寸。尤其是耐壓防爆電氣機具上如有缺螺絲或螺絲未旋緊，則該電氣機具之防爆功能恐已遭破壞（如圖 10 所示）。

#### (7) 內壓防爆機具不合標準－

除部份進口的內壓防爆機具是經外國驗證機構檢定合格外，實施型式檢定制前國內裝設的內壓防爆機具有不少不符合標準。



## 六、結語<sup>†</sup>

防爆電氣機具的種類非常多，最普遍的是照明設備以及馬達、開關等。此外，瓦斯偵測器、感測器、警報器、緊急照明等也很常見。以往我國每年進口防爆燈具就高達一億數千萬，甚至也曾高達兩億以上。但國內不但在防爆電氣機具的開發相對落後，對防爆電氣機具的使用也存在相當嚴重的問題。

為了跟上國際的腳步，自「源頭管制」，同時提昇我國防爆電氣機具的品質與降低危險場所的風險，「職業安全衛生設施規則」已於 2007 年二月修訂第 177 條之 2，規定「於中央主管機關公告後新安裝或更換者，應使用符合中央主管機關指定之國家標準、國際標準或團體標準規定之合格品。前項合格品，指經中央主管機關認可公告之機構實施型式認證合格，並張貼認證合格標識者。」

期待除檢定制度的實施之外，也應加強施工人員的教育訓練，使施工人員能以證照之取得為資格認證，以提昇國內整體電氣防爆之技術水準，降低火災爆炸風險。

### 參考文獻：

- (1) 勞動部，2007，職業安全衛生設施規則，勞動部編印，台北
- (2) 經濟部標準檢驗局，2008，中華民國國家標準 CNS 3376，經濟部標準檢驗局

<sup>†</sup> 本文原載於化工雜誌第 56 卷第 1 期(2009)，近期內容稍有修改。

編印，台北

- (3) 賴加勳，2007，防爆電機設備技術指引，工業技術研究院環安中心
- (4) 鈴木健二，1995，防爆電気計装設備の計画設計施工，社団法人 日本電設工業協会，日本 東京
- (5) 産業安全研究所，1994，ユーザのための工場防爆電気設備ガイド，独立行政法人 産業安全研究所，日本 東京
- (6) トラブルを防止する防爆機器のメンテナンス研究会，2002，トラブル予防に役立つ防爆設備のメンテナンスノウハウ集，社団法人 日本プラントメンテナンス協会，日本 東京
- (7) 産業安全研究所，2006，工場電気設備防爆指針（国際規格に整合した技術的基準対応），独立行政法人 産業安全研究所，日本 東京
- (8) 電気機具之防爆化及防爆電気機具之使用，2009，化工，vol. 56，No. 1，FEB.，p. 73～p. 85