

## 介紹

### 1. 使用範圍

會產生靜電電荷累積之任何物質。

### 2. 名詞解釋

- (1) **靜電感應(Electrostatic Induction)**: 一帶電荷物體在一鄰近物體上造成之電荷分離現象。
- (2) **靜電接地(Static Grounding)**: 為導引物體中之電荷至大地以避免電荷累積所實施之接地。
- (3) **靜電放電(Electrostatic Discharge)**: 因帶電荷物體所形成的電場使附近的氣體電離所產生的放電現象。
- (4) **游離化(Ionization)**: 空氣分子在電場中出現電子離開分子造成正電荷分子與負電荷電子同時存在之現象。
- (5) **最小點火能量(Minimum Ignition Energy)**: 能造成可燃物質起火燃燒、爆炸之最小靜電放電能量。
- (6) **靜電消除器(Electrostatic Neutralizer)**: 產生游離空氣以中和物質中電荷或提供一路徑引導電荷至大地之設備。

### 3. 作用

靜電消除設備係指用來減少物質中所累積電荷之設備。由於不管是導體或非導體都會在某種狀況下產生及累積電荷，因此是否需使用靜電消除設備通常並非以該物質所累積之電荷多寡或靜電電壓高低來決定，而是以所帶電荷是否會造成不良後果決定，而消除之程度亦以所剩電荷不會造成不良後果為基準。

靜電消除設備的主要目地如下：

- (1) **防止靜電電擊**: 累積在人體之電荷透過接地導體放電，或外界物體上之電荷透過人體對大地放電皆會產生放電電流，此電流會使人有觸電之感覺，雖通常因帶電量少的緣故尚不足以對人體產生一次災害，但可能因觸電感導致人體出現不正常動作而發生二次災害。

- (2) 防止火災及爆炸：靜電放電所產生之火花可能引起易燃氣體、液體或粉塵之起火燃燒爆炸。
- (3) 提高產品品質：靜電會使電子廠生產之積體電路受破壞、油墨印刷不清、塑膠、紙品及紡織品糾捲不清。
- (4) 避免絕緣設備破壞：靜電之放電現象可能使設備絕緣受到破壞，引發進一步的災害。

#### 4. 靜電產生原理、型式種類

- (1) 由於靜電消除的工作是如此重要，因此有關靜電消除設備之處理應以非常嚴謹之態度面對。由於幾乎所有的物質都可能產生靜電，靜電會出現在住家、工廠、自然界中，小至人們梳頭，大至機器設備產生火花，甚至巨大如雷電皆是靜電現象，因此幾乎所有的人都會接觸到靜電。但一般而言，需要使用到靜電消除設備的場所為容易因靜電產生災害之場所，例如生產與運輸易燃物質的場所或設備，生產或儲存過程會產生易燃物質的場所，精密電子產品之生產、運輸、檢驗等場所。容易因靜電產生災害場所之安全維護與管理人員以及其設備之製造與安裝等從業人員皆應具有靜電消除設備之專業知識。
- (2) 靜電的產生：一般未帶電荷的物質原子中，帶負電的電子與帶正電的質子數量相同。不過，電子可能因機械、熱、或化學等因素而離開原子，造成正負離子的產生。在固體金屬導體中只有自由電子可以移動，而在氣體及液體中不管是電子或離子皆可以移動。靜電的產生主要來自於兩種不同物質的接觸及分離，當兩種物質接觸在一起時，電子會從一邊移動至另一邊，當兩物質分離時，電子離開的一邊便帶正電，而接收電子的一邊帶負電，也許移動之電子只佔所有電子數目的數十萬分之一，但卻足以形成很大的靜電。如果兩個物質皆是良導體，則在尚未完全分離前移動的電子便會跑回原來的物質，因此兩個良導體的接觸與分離並不容易產生靜電，亦即兩個物質至少需有一為非導體方可以產生靜電。至於何者帶正電何者帶負電則依物質種類而定，根據物質磨擦後產生正負電所排成之順序稱為磨擦帶電系列(Triboelectric Series)，表 1 所示為其中之一例，在表 1 中空氣為最高位，依序

往下排，鐵氟龍為最低位。根據此表，當兩種物質磨擦時，位在表 1 中較上位者會帶正電，位在較下位者帶負電。

表 1 磨擦帶電系列物質

(帶正電)		
空氣	鋁	金、鉑
人的手	紙	硫磺
石綿	木棉	人造絲
兔毛	鋼	聚酯
玻璃	木	明膠
雲母	琥珀	PU
尼龍	蠟	聚乙烯
毛皮	硬質橡膠	聚氯乙烯
鉛	銅、鎳	矽
綢	錫、銀	鐵氟龍
		(帶負電)

(3) 一般可將產生靜電的情況分為以下幾種：

A. 固體摩擦與剝離時產生靜電

絕緣電阻高的物質如塑膠、橡膠及化纖類都很容易因磨擦與剝離而產生靜電，其靜電電位可能高達數十 kV。事實上對地絕緣之導體一樣會儲存電荷，因此對於任何固體的磨擦與剝離皆應注意靜電的產生。圖 1 為固體接觸與分離產生靜電的示意圖。例如皮帶、布匹、或紙張與驅動滑輪的接觸與剝離即會造成靜電荷的累積，其靜電之大小與驅動速度有關，速度越快靜電荷的累積速度亦愈快。人體在地毯上走動亦是接觸與分離的動作，靜電荷因此會在人體上累積。

B. 粉體粒子碰撞產生靜電

粉體粒子在管子內高速流動時會與管壁碰撞產生非常高之靜電，在輸送帶、升降機、鼓風設備中時亦很容易產生靜電，例如塑膠粉末、化學粉末、金屬粉末、煤碳粉塵、穀物及其粉塵、食品粉末等在製造過程中的輸送皆會產生靜電。此外，塵埃、煙霧、水氣、雪、冰結晶體等與飛機在空中或地面的撞擊摩擦也會在飛機上累積靜電。

### C. 液體流動產生靜電

石油及其他絕緣性液體在輸送管中流動時，因液體與管壁反覆的發生接觸與分離過程而產生靜電，此時液體及管壁分別帶有不同極性之電荷。如液體的絕緣很高時，液體中之電荷會隨液體而流動，由於電荷的流動即為電流，此種電流稱為「流動電流(Streaming Current)」。

### D. 高壓氣體噴出時帶靜電

純粹氣體由噴嘴噴出時並不太會帶靜電，但當氣體中含有固體粒子或霧狀液體時就會帶靜電，例如石化工業中高壓原料氣體洩漏，氮氣、液化石油氣由儲氣統噴出時多會帶有靜電，尤其是帶有碳粒時曾發生放電著火現象。

### E. 水或水汽噴射時帶靜電

水在噴出時如成為霧狀或水汽狀時就很容易帶靜電，例如以噴水沖洗儲油庫或油罐車時，帶靜電的水滴及水蒸汽會形成電荷雲，此電荷雲可能與油庫或油罐車發生放電現象。

### F. 感應產生靜電

圖 2 說明靜電感應現象，帶電荷的物體會在臨近的物體上造成電荷的分離，靠近帶電荷物體會出現與該電荷不同極性之感應電荷。事實上只要帶有靜電荷即會在周圍產生靜電場，物體出現在靜電場內就會出現靜電感應現象，尤其應注意與大地絕緣的良導體因感應出現靜電時，需注意由感應靜電所造成的火花放電災害。例如帶電之雲塊便會在大地、地上物、甚至飛行中之飛機感應出靜電，另外被搬運的物體如帶有電荷，則搬運車輛亦會感應出靜電。

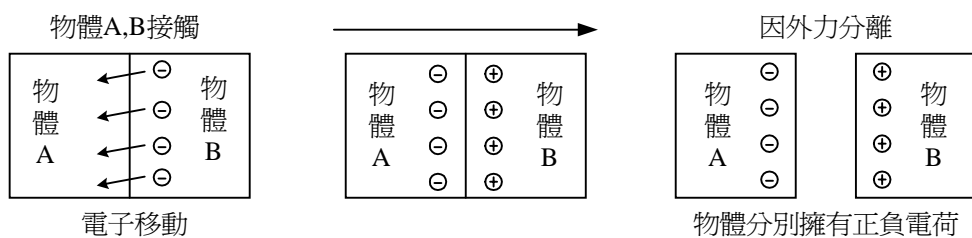


圖 1 固體接觸與分離產生靜電示意圖

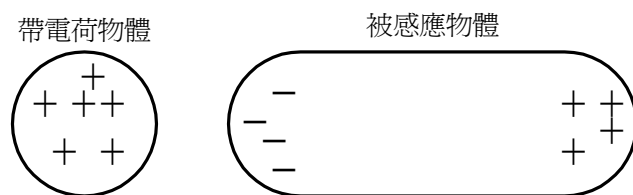


圖 2 靜電感應現象

(4) 當靜電荷產生時，此電荷可能馬上逸失，亦可能儲存起來，絕緣體或對大地絕緣之導體皆會儲存電荷。靜電荷產生之速度及其放電之速度會依不同之情形改變。表 2 為影響靜電荷產生及放電速率之因素，其中濕度高低影響物體表面之導電率，對靜電荷之流失有很大的影響，因此在乾燥或天冷水氣結凍時，靜電之累積速度便會加快。表 3 為人體在不同相對濕度下的帶電狀況，由表中可知濕度對靜電之累積有很大的影響。

表 2 影響靜電產生及放電速率之因素

靜電產生速度	靜電放電速度
兩物體在磨擦帶電系列中的相對位置	物體之導電率
兩物體之密著程度	相對濕度及溫度
物體間之摩擦係數	材料表面之水氣
兩物體分離之速度	結合速率

表 3 人體在不同相對濕度下的帶電狀況

動作	相對濕度(%)		
	10%	40%	55%
在地毯上走動	35,000V	15,000V	7,500V
在塑膠地磚上走動	12,000V	5,000V	3,000V
工作台操作員	6,000V	800V	400V

表 4 不同物體之電容值

物體	電容量 (pF)
小型手工具	10-20
3 加侖桶	30-50
55 加侖桶	50-100
油罐車	1000
人體	100-300

表 5 不同設備之靜電電壓

設備	電壓範圍 (kV)
皮帶傳動設備	60-100
紡織機械	15-80
紙張處理機械	5-100
油罐車	25 以上
輸送帶	45 以上

- (5) 當電荷增加時電壓便會建立，電壓與電荷的關係成正比，其關係可以下式表示

$$Q=CV$$

其中 Q 為電荷量，單位為庫倫，V 為電壓大小，單位為伏特，C 即為帶靜電物體之電容量，單位為法拉。電容量之大小依照物體之大小及形狀決定。表 4 為不同物體之電容值，而表 5 為不同設備曾觀察到的靜電電壓大小。

- (6) 當物體帶有靜電時，不同物體間便會產生作用力，相異的極性會產生吸引，相同極性會產生排斥力，因為靜電之作用力很小，只對較輕的物體產生作用。靜電的另一現象為放電現象，靜電的放電會由產生電暈放電開始，接著由電暈放電發展至為線條電暈，最後成為火花放電。圖 3 為由電暈放電發展至火花放電之情形。放電現象屬於絕緣破壞，只要帶電體所形成的電場強度達到絕緣破壞之程度就會發生放電現象。放電時會產生炸裂聲及發光，事實上炸裂聲及發光皆是能量消耗的現象，儲存在帶靜電物體上之

能量會因此而得到洩放。因靜電而儲存在物體的能量可以下式表示

$$E = \frac{1}{2}CV^2$$

其中 E 代表能量，單位為焦耳。

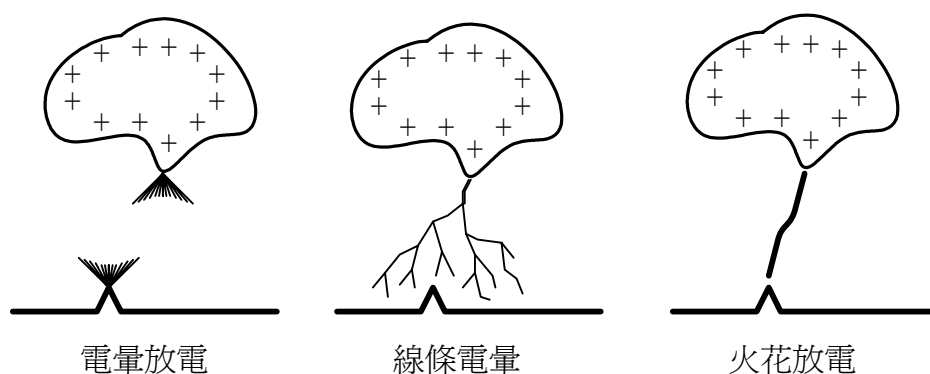


圖 3 電暈放電發展至火花放電之過程

表 6 靜電災害成因分類

造成災害的帶電物體	易產生靜電的製程	易因靜電著火的易燃物質
固定的機器裝置	輸送、粉體傳送、捲送	液體、蒸氣
移動的機器裝置	乾燥、包裝、人員換裝	瓦斯
粉液狀原料	填灌、過濾、粉碎	飄浮粉體
加工物品	研磨、洗淨、印刷	溶劑與粉體混合物
人體	塗刷、噴漆	
工作服	混合攪拌、揉搓	

## 危害

- 目前工業界所使用之絕緣材料品質越來越好，且為獲得較好的工作環境，通常皆有裝設空調設備，使濕度維持在較低的水準，這對絕緣電阻的維持有正面的效益，但卻會造成靜電不易消除的現象。隨著工業的發展，使用易燃物的場所越來越多，易燃物如遇到靜電放電現象所產生的危害通常是很嚴重的。此外，半導體裝置幾乎已使用於各個領域，由於半導體元件很容易受到靜電的影響，其結果除會對元件本身造成損壞外，亦可能因半導體裝置的誤動作造成財產及人員的傷害，

因此靜電的危害範圍隨著工業的發展亦隨之擴大。

2. 靜電可能造成 (1)靜電電擊、(2) 火災及爆炸、(3)產品品質不良、(4)絕緣設備破壞等影響。表 6 所列為易造成災害的帶電物體、易產生靜電的製程、及易因靜電而著火的易燃物質。以下對靜電造成之危害作進一步的說明：

(1) 靜電電擊

累積在人體之電荷透過接地導體放電，或外界物體上之電荷透過人體對大地放電皆會產生放電電流，此電流之電流密度到達某一程度會使人有觸電之感覺，通常靜電電擊不致於造成重大傷害，但可能因觸電感導致由高處墜落、撞擊移動中設備、心臟休克、或誤操作設備造成二次災害。人員電擊主要發生在造紙、塑膠、紡織及印刷業等。

(2) 火災及爆炸

靜電放電所產生之火花可能引起易燃氣體、液體或粉塵之起火燃燒爆炸，發生火災及爆炸對勞工安全危害甚巨，必須全力避免其發生。靜電放電導致火災及爆炸之發生需要有 4 個條件同時符合如下：

- A. 產生靜電荷。
- B. 儲存電荷使電位升高。
- C. 足夠的點火能量儲存。
- D. 在易燃之環境中發生火花放電。

雖然電荷能量累積至一定程度後皆會出現放電現象，但即使有放電現象，如所釋放出來的能量沒有達到物質著火時所需之最低能量，依然不會發生爆炸，表 7 列出一些氣體及粉塵發生爆炸所需最小能量做為例子。另一方面，即使儲存之能量已足夠，但如沒有發生放電現象亦不會出現爆炸現象。此外，易燃氣體與空氣亦需在一定之混合比之內才會發生爆炸，亦即太高或太低之氣體混合比皆不易因微小之火花引燃爆炸，例如氫氣與空氣會發生爆炸之混合比上下限分別為 4%及 75.6%，不同的氣體混合有不同的混合比上下限。靜電引起之火災爆炸主要發生在石化、塑膠、紡織及印刷業。



### (3) 產品品質不良

靜電的作用力及放電兩種現象皆可能對產品造成影響，靜電作用力會使帶電體吸引粉塵微粒或其他雜質，以及兩帶電體間互相吸引或排斥，造成製程上的困擾而影響生產。靜電作用力會因吸引粉塵微粒使油墨印刷品質不佳，紙品及紡織品糾捲不清甚至扯破，以及因吸引雜質而污染成品。至於靜電的放電現象所產生的放電電流會造成半導體元件的破壞或誤動作，所產生的電磁波會干擾精密設備，甚至所產生的放電光芒亦可能造成影響。

表 7 氣體及粉塵發生爆炸所需要之最小能量

揮發性物質	最小點火能量 (mJ)	粉塵物質	最小點火能量 (mJ)
航空汽油	0.2	鋁	50-280
乙烯	0.07-0.08	黑火藥	320
氫	0.011-0.017	巧克力粉	100
甲烷	0.28-0.39	軟木粉塵	35-45
丙烷	0.16-0.25	肥皂粉	60-960
		木屑粉塵	20-40

### (4) 絕緣設備破壞

絕緣輸送管所傳送之液體或電氣絕緣材料所支持之固體在累積電荷後，對地電壓亦會逐漸升高，當電壓到達一定程度後即可能穿透絕緣體進行放電，使絕緣材料發生針孔現象，而引發進一步的災害。

## 使用

1. 要產生靜電爆炸災害需要符合數項條件，因此可針對這些條件進行避免靜電災害發生的對策。通常在現場設備確定後，要避免靜電的產生並不容易，因這可能需更改製程甚至設備。因此常見的靜電災害對策為：

- (1) 消除電荷：利用方法將電荷疏通至大地或使正負電荷中和以避免電荷的持續累積，當靜電電壓無法達到放電電壓時，靜電災害即

不會發生。較常使用的消除電荷方法有

- A. 接地與連接(Grounding and Bonding)
- B. 濕度控制及增加導電性(Humidity Control and Conductivity Increment)
- C. 靜電消除器(Electrostatic Neutralizer)
- D. 導電性地板(Conductive Floor)
- E. 靜電鞋及靜電腳輪(Anti-static Footwear and Caster)

(2) 防止尖端放電：帶電荷物體的外表周圍如有突出尖端，則這些尖端較容易產生電暈放電，尤其當尖端部份之半徑在 10mm 以下時，放電的危險性即較高，因此最好減少易帶靜電物體之尖端，以降低放電的機率。

(3) 改善易燃及易爆環境：只要沒有易燃及易爆之環境，即使發生靜電放電現象，其危害也不會太大。要避免易燃及易爆環境之出現，對於易燃物之處理、工作流程、工廠設置、建築物構造、通風及氣流等皆需考量。

## 2. 以下針對消除電荷的各個方法作進一步的討論

### (1) 接地與連接

防止靜電災害的最簡單有效的方法是將帶電體接地，使所產生之電荷迅速地疏導至大地。如果有兩個以上之帶靜電物體時，可將不同物體以導體連接並加以接地，以減低不同物體間之電位差，來避免物體間發生放電現象。圖 4 說明接地及連接消除靜電的作用，另外，進行靜電接地及連接工作之注意事項如下：

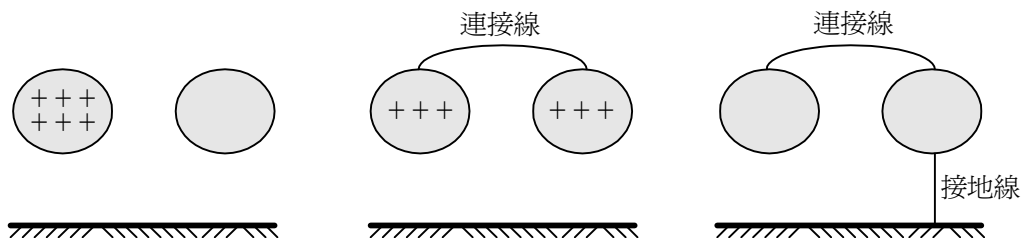


圖 4 接地及連接以消除靜電之效果

#### A. 工作前

(A) 原則上靜電接地的對象為對地絕緣之金屬導體，且最好將

不同物體加以連接之後再行接地。

- (B) 如果設備本身已直接與大地接觸，則不用再另行接地。此外，電氣設備的設備接地、避雷接地、及保護電磁感應之接地對靜電而言亦是接地，不需另作靜電接地。
- (C) 雖然原則上靜電接地的對象為對地絕緣之金屬導體，但對導電係數在  $10^{-6} \sim 10^{-10}$  S/m 及表面電阻係數在  $10^9 \sim 10^{11}$   $\Omega$ -m 間之物體可以使用間接接地之方式。間接接地為在被接地物上密接一接地用金屬導體。
- (D) 如果被接地物的導電率較低時，接地完成後並不能立即將所帶的電荷完全洩漏至大地，因此在進行接地之安裝與拆除時應注意洩放電荷之時間。
- (E) 接地對於較大型的絕緣物體效果不大，因為離接地線接點較遠的地方電荷依然存在。此外如紙張、布匹、橡膠、石化液體等皆較難以接地或連接方式解決靜電問題，必須使用濕度控制或靜電消除器等方法。
- (F) 對於有可能產生或感應靜電荷的導體，不管體積之大小都應予以接地，不可因體積較小而忽略之。
- (G) 靜電接地所需之接地電阻不需要很低，只要在  $1M\Omega$  以內對靜電而言皆算有效之接地，為維持接地及連接電阻在任何條件下皆不大於  $10M\Omega$ ，在標準狀態下(氣溫  $20^\circ\text{C}$ ，相對濕度 50%)，接地及連接電阻應在  $1k\Omega$  以下。
- (H) 接地位置需選擇在易於確認之地點，以便於維護及管理。此外接地工作必須做到穩定及確實，並避免因物體振動或表面污染等因素使接地成斷路狀態，反而會成為災害的起因。
- (I) 如為移動性物體之接地，應在設備運轉前完成接地，並於工作完畢不再產生靜電且靜置一段時間後才解除接地，進行接地及解除接地之動作應盡量避開危險場所。

#### B. 工作時

- (A) 接地導體需有足夠的機械強度並能耐腐蝕且不易斷線或鬆脫，另外，除非確定不會因不連續性造成接觸不良，最

好不要使用鍊子作為接地導體。

- (B) 靜電接地導線應用  $1.25\text{mm}^2$  以上之導線，固定設備可使用一般之 600V 級 PVC 綠色皮絕緣電線，移動設備可使用絕緣柔性電纜，振動頻繁的設備可使用沒加絕緣之絞線或網線，以便於觀察其是否斷線。
- (C) 如果接地端子有可能被外物污染或鏽蝕，最好使用蓋子加以保護，且接地端子裝設地點最好避開危險環境。
- (D) 一般電機用之接地電極及接地電阻在  $10\text{k}\Omega$  以下之地下金屬導體皆可作為靜電用接地電極，但需注意是否有靜電電流以外之電流出現。
- (E) 接地導線與帶電體的連接必須堅固確實，如為固定設備時，可以使用銲接、壓接端子、螺栓等方法連接，應避免將接地導體直接繞住或掛於被接地物上等不正確之作法。此外為確保接地效用，宜在被接地物上進行多點接地。
- (F) 如接地對象為移動性物體而不能施以經常性接地時，宜使用連接及拆除均容易之接地，例如各種接地用夾子或鱷魚夾皆可。
- (G) 間接接地時，被接地物與接地用金屬導體間之接觸面積應在  $20\text{cm}^2$  以上，且必須避免兩者間產生接觸摩擦。在金屬導體與被接地物間宜加墊金屬箔、導電性塗料或導電性膠等以降低接觸電阻。

## (2) 濕度控制及增加導電率

- A. 有許多的絕緣物質，例如紡織品、木材、紙張、混凝土等，皆會受到周圍空氣之濕度而影響其濕氣含量，當這些絕緣物質表面含有之濕氣越高時，其導電率亦會越高。以平版玻璃為例，50%相對濕度時的導電率為 20%相對濕度時的 1000 倍。通常在 30%相對濕度以上時，大部份的絕緣體上所含有的一層水份薄膜，可以提供靜電荷一個疏通路徑。但當相對濕度在 30% 以下時，此水份薄膜不存在，靜電荷一直產生但無法疏通，靜電問題便會出現。因此，在產品可容忍高濕度的地方，濕度控

制為一有效解決靜電問題的方法。經驗顯示：在整個空間或單獨針對靜電出現的地方增加濕度，可以解決紙張及纖維布的糾捲問題。增加局部地區的濕氣可使用蒸氣噴出的方式達成，如此較不會使整個區域的相對濕度皆大幅度地提高。但是多大的相對濕度才能有效的解決靜電問題，則依環境及製程而異，事實上亦很難決定其大小。一般而言，在常溫下，60-70%的相對濕度應可避免靜電問題的發生。不過在高濕度會影響產品、製程、及舒適度之情況下，此法較不適宜。此外有些絕緣物，例如合成塑膠及部份石化液體之表面導電率受濕度之影響並不大，亦不適宜使用濕度控制法。

- B. 除了增加相對濕度以增加絕緣物之導電率外，亦可直接在絕緣物中摻入導電性物質，以提高洩漏電荷之能力。例如在化纖衣物中織入金屬纖維，在橡膠中加入碳粉皆可增加導電率，其導電率依照加入雜質之多寡可隨意控制，通常  $1\text{M}\Omega\text{-cm}$  之電阻係數即已足夠。不過直接在絕緣物中加入其他成份之物質，必須以不影響絕緣物之功能為前題。此外，對絕緣物體表面進行浸泡或噴灑吸水或導電性物質亦可增加其導電率，但皆需定期更新方可維持效果。

### (3) 靜電消除器

靜電消除器是用人為的方法把帶電體附近的空氣離子化，當帶電體碰到這些離子時，靜電荷可經由已離子化之空氣傳導至大地，或者吸引離子化空氣中相反極性之電荷加以中和。目前較常用的靜電消除器種類有加電壓式靜電消除器、自放電式靜電消除器(金屬梳)、放射線式靜電消除器，表 8 為這三種靜電消除器的特性及適用對象，其中加電壓式及自放電式靜電消除器皆是利用電暈放電之方式產生離子化空氣。以下對這三種靜電消除器作進一步的說明。

表 8 靜電消除器之種類、特點及適用對象

種類		特點	適用對象
加電壓式	標準型	消除能力強，種類多	紙、布、羊毛、底片
	送風型	消除範圍較遠較廣	管內、局部地點
	防爆型	不會引起易燃物著火	易燃物存在之環境
	直流型	正負離子產生比例可控制	產生特定極性電荷之製程
自放電式		簡單、便宜、易安裝，但消除能力受帶電體影響	布、紙、傳動皮帶、底片、橡膠、粉體
放射線式		沒有電暈放電問題，有放射線問題，消除能力較低	密閉空間

A. 加電壓式靜電消除器

(A) 圖 5 為加電壓式靜電消除器的一種型式，加電壓式靜電消除器通常是在高壓電極及放電電極間加上交流或直流高電壓，使兩電極間產生電暈放電，使附近之空氣產生離子化之現象。由於本身即有可能產生火花放電的危險，因此應用於易燃及易爆環境時，應選擇具有防爆構造設計之防爆型機型。

(B) 圖 5 之加電壓式靜電消除器的構造在高壓電極(供電線)與放電電極間夾有絕緣材料，其效果就如同在此兩電極間串接一等效電容器，高壓電的兩條線分別接在高壓電極及接地電極上，如此可利用此一等效電容器限制放電電流大小，避免因異常放電產生災害。也有些加電壓式靜電消除器，直接將高壓電的兩條線直接接在高壓電極及放電電極上而未設接地電極，亦即沒有限制放電電流的等效電容器，如此靜電消除能力會更強，但可能因異常放電而引起災害。

(C) 加電壓式靜電消除器中的送風型是利用鼓風裝置將離子化的空氣送至較遠的地方，但在輸送游離空氣的過程中，其產生之正負離子可能會發生再結合現象，使達到目的地

的離子數目較少，而影響靜電消除效果。然而使用送風式靜電消除器可以消除較遠處的靜電，且其消除靜電的範圍亦較廣。

(D) 若加電壓式靜電消除器的加壓電源為交流，會同時產生正負兩種離子，而帶電體上之電荷只會吸引相反極性的離子，等到中和完後，便不會再吸引離子，而由游離空氣中之離子自行中和。當使用直流加壓電源時，依照極性之不同會產生不同極性之離子。一般而言直流型的靜電消除器可調整所產生的正負離子比例，因此其可針對目標物所產生之電荷極性進行調整，故其靜電消除能力較好。但如設定不當，有可能反而使帶電體因靜電消除器產生的過剩離子，而帶有與原來相反極性之電荷。

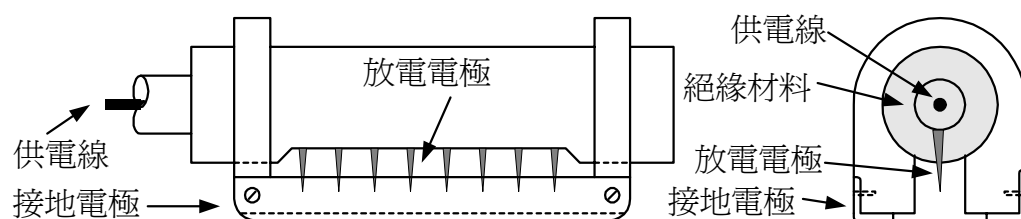


圖 5 加電壓式靜電消除器的一種型式



圖 6 自放電式靜電消除器的一種型式

#### B. 自放電式靜電消除器

自放電式靜電消除器是利用欲被消除靜電之帶電體本身的靜電電能，使靜電消除器上之針狀電極產生電暈放電和游離空氣，由於構造簡單又不用外加電源，所需成本較為低廉。圖 6 為自放電式靜電消除器的一種型式，主要架構為在一金屬棒上安置針狀電極，這些電極可以使用金屬絲、導電性纖維布、導電性塑膠、及碳纖維。由於要利用帶電體上電荷所產生之電場

使針狀電極產生電暈放電，因此當帶電體之靜電電位愈高時，其靜電消除效果愈好，反之則愈低。自放電式靜電消除器因必須靠近帶電體以便使針狀電極感應產生電暈，當游離空氣產生時，帶電體上之電荷便可以透過此路徑疏通至大地。由於構造簡單，故裝設容易，而且可裝置於較狹窄地點。當使用導電性纖維布做為電極時，因電暈放電很微弱，其造成之危險亦較低。

C. 放射線式靜電消除器：

放射線式靜電消除器是利用放射性元素鐳或鈾所發出的 $\alpha$ 粒子游離空氣，雖然此種靜電消除器沒有產生火花放電的問題，但其靜電消除能力較差。由於使用放射性物質，必須注意放射線可能造成的不利影響，並需接受放射性物質管理單位之規範。在使用靜電消除器時應注意下列各點

(A) 由於靜電消除器容易附著塵埃及受到機械性的損壞，如果使用不當或維護不妥，不但消除靜電之性能會降低，甚至會成為著火源，因此使用時應遵循使用方法，並確實做好維護保養的工作。

(B) 靜電消除器消除靜電的成效與其跟帶電體間之位置、距離、角度，帶電體之形狀及移動速度，附近接地導體之大小形狀，附近環境之氣溫、相對濕度及氣流等皆有關係。不適當的位置、距離及角度反而可能帶來危害。

(C) 設置加電壓式靜電消除器後，不宜任意增加電極數目或電纜長度。而自放電式靜電消除器較容易受到機械性損壞，應在必要時更換。

(4) 導電性地板

在易燃及易爆之環境下，使用導電性地板或地板覆蓋物，並將人體及各個導體設備與地板連接，可以避免因靜電的持續累積導致危險。這種地板之材料應使用較不會發生火花的物質，例如導電性橡膠、鉛、以及其他導電性複合材料。此種地板 1m 間之電阻應小於  $1M\Omega$ ，而為保護遭受漏電電擊人員安全，同樣距離之電阻應大於  $25k\Omega$ ，同樣的地板對大地之電阻亦應大於  $25k\Omega$ 。為確保安



全，工作人員不可站在地板上操作由接地電力系統供電之電氣設備。如果欲在地板上打蠟或其他物質，應選擇具導電性之物質。由於使用久了以後，地板電阻可能增加，因此應定期進行地板電阻之測試。

#### (5) 靜電鞋及靜電腳輪

當使用導電性地板時，在此地板上之人員皆應穿著具導電性且不會發生火花的靜電鞋，而移動性之設備應在底部裝設導電性的橡膠腳輪。靜電鞋及靜電腳輪皆應定期接受電阻值檢查，靜電鞋加上地板對地電阻應小於  $1M\Omega$ 。為維持其靜電疏散能力，不可改造靜電鞋之內部構造、使用絕緣性墊片以及穿著厚鞋襪。

### 相關法令、標準

#### 1. 勞工安全衛生設施規則

第一百七十五條：『雇主對於下列設備有因靜電引起爆炸或火災之虞者，應採取接地、使用除電劑、加濕、使用不致成爲發火源之虞之除電裝置或其他去除靜電之裝置：

- 一、灌注、卸收危險物於液槽車、儲槽、油桶等之設備。
- 二、收存危險物之液槽車、儲槽、油桶等設備。
- 三、塗敷含有引火性液體之塗料、粘接劑等之設備。
- 四、以乾燥設備中，從事加熱乾燥危險物或會生其他危險物之乾燥物及其附屬設備。
- 五、易燃粉狀固體輸送、篩分之設備。
- 六、其他有因靜電引起爆炸、火災之虞之化學設備或其附屬設備。』

第二百五十二條：『雇主對於有發生靜電致傷害勞工之虞之工作機械及其附屬物件，應就其發生靜電之部份施行接地，使用除電劑、或裝設無引火源之除電裝置等適當設備。』

#### 2. 高壓氣體勞工安全規則

第九十二條：『對於高壓氣體之製造，於其生成、混合、加壓、減壓或灌裝之過程，應依照下列規定：

- 五、灌裝可燃性氣體時，應採取除卻該設備可能產生靜電之措施。』

第九十三條：『從事液化石油氣之灌裝應依下列規定：

七、灌裝高壓氣體時，應採取除卻該設備可能產生靜電之措施。』  
第一百六十六條：『可燃性氣體之消費設備，應採取除卻設備可能產生靜電之措施。』

### 3. 爆竹煙火製造業安全衛生設施標準

第二十二條：『作業區各工作場所之傳動機械及其他足以產生靜電之設施，均應裝設接地線，其接地電阻以不超過  $10\Omega$  為準。』

### 4. 船舶清艙解體勞工安全規則

第二十八條：『

六、禁止穿著或攜帶易產生靜電之衣服、履物或其他工具、器具。』

### 5. 中國國家標準

**CNS 8878：防止靜電皮革製工作鞋及安全鞋**

1. 適用範圍：本標準適用於處理可燃性物質(固體、氣體、蒸氣、液體、粉塵等)、薄膜、各種塗裝機、電子零件等作業場所中，因作業人員帶靜電引起爆炸、火災、電擊等事故，或其他造成阻礙生產之原因所使用之防靜電用皮革製安全、工作鞋以下簡稱「靜電鞋」。

**CNS 8312：織物及針織物帶電性檢驗法**

1. 適用範圍：本標準規定織物及針織物帶電性之檢驗法。

**CNS 3364：穀倉火災與爆炸防止標準**

11.4 靜電(Static Electricity)應以接地方式(Bonding or Grounding)以消除之。

**CNS 2502：塑膠工業防止塵爆規章**

#### 3.3 靜電排除

1.3.1 預防靜電累集，所有之機器設備，包括銜接工作及永久設施，或輕便之真空清潔系統及設備，均應連接及接地。皮帶應備接地金屬梳或其他之有效方法。傳導帶動，低帶速及短中心裝置之使用，應減少靜電累積外並確保設備及接地之無慮。

## 災害案例

### 1. 在貨櫃內提取煙火發射藥發生爆炸災害

某煙火公司勞工甲在工廠大門口與客戶談話，忽然聽到爆炸聲，立刻趕到廚房旁後山，發現小貨車被炸毀，雇主乙及操作員丙被炸飛，後山草木起火燃燒，隨後延燒到廚房、宿舍、餐廳、辦公室。設置於該公司自有空地之貨櫃被炸毀、貨櫃頂蓋飛落相距約 50 公尺之小路上，一部小貨車被炸破碎，現場散落鐵桶及貨櫃碎片。災害發生原因：硝化棉等易燃固體之自燃點都在 250°C 以下，如遭受火星、撞擊、摩擦即易引起急劇燃燒甚至爆炸，罹難者駕小貨車到存有多量發射藥之貨櫃，以鐵桶盛裝發射藥時，可能因碰撞、摩擦產生火花並引燃發射藥而爆炸。為防止類似災害再發生，有採取下列措施之必要：

- (1) 在廠內搬運應以四輪手推車為主，成品或半成品應盛於木質、竹質或塑膠盤中，搬運時輕舉輕放，不得推拉避免摩擦。
- (2) 對於廠內工作場所應嚴格區分為管理區、庫儲區與作業區。
- (3) 應督促配藥人員將已佩之火藥於下班後，儲存於配藥室內。

### 2. 塑膠廢料堆發生火災而造成吸入濃煙中毒窒息死亡災害

某日凌晨四時，某塑膠包裝材料公司勞工甲及乙二人操作編號 A 及 B 等二台塑膠發泡壓出機，生產 PS 袋，因 B 機運轉不順，至六時停機。在此二小時產生多量不良品，甲操作柴油堆高機將其送到廢料堆傾倒，在將堆高機貨叉上的不良品傾倒過程中，廢料堆即發出火苗迅即擴大延燒，甲、乙兩人立即使用滅火器滅火，但火勢大無法撲滅。災害後鋼筋混泥土造廠房燒損、屋頂塌陷，住宿於三樓員工宿舍之作業員丙、丁二人不及逃生而吸入濃煙窒息死亡。災害發生原因：因運轉不順產生大量不良成品成爲廢料，該廢料發泡未完成，尚存有正丁烷可燃氣體，操作員以柴油堆高機將廢料卸放過程中，可能廢料與堆高機之鐵貨叉間摩擦產生靜電火花，引燃廢料而發生火災並產生大量濃煙。為防止類似災害再發生，有採取下列措施之必要：

- (1) 對於存有引火性液體之蒸汽及可燃性氣體致有引起爆炸或火災之虞之場所，應採取去除靜電等必要措施。
- (2) 對於堆高機應限制其在危險物存在場所使用，或規定其使用時之注意事項。

- (3) 應設置勞工安全衛生管理人員，對所使用之設備及其作業訂定自動檢查計畫，實施自動檢查。
- (4) 對勞工應實施從事工作所必要之安全衛生教育、訓練，並將本案例列入訓練教材，提高勞工安全衛生知識，防止類似災害再發生。
- (5) 應訂定適合需要之安全衛生工作守則，內容包括廢棄物處理安全事項，經報檢查機構備查後，公告實施。

### 參考資料

- [1] IEEE Std 142-1991, 1992; IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, pp.129-150.
- [2] Greenwald, E. K., 1991; Electrical Hazards and Accidents: Their Cause and Prevention, Van Nostrand Reinhold, New York, pp.156-174.
- [3] 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，1996，製造業靜電危害現況調查及防止對策探討，勞工安全衛生研究所 85 年度研究計劃報告。
- [4] 產業安全研究所技術指針，1978，電氣安全指針，日本勞動省產業安全研究所。
- [5] 日本安全研究所技術指針，1988，靜電安全指針，日本安全研究所。
- [6] 村崎憲雄，1977，靜電氣災害 Hand Book(上)，McGraw-Hill，Tokyo。
- [7] 行政院勞工委員會，1995，製造業職業災害實例，pp.175-188。