

## 第五章:機電災害及其預防對策

### 5.1 案例分析

#### 5.1.1 職場機械設備危害案例

##### 一、案例一：胸部被鋼筋撞擊死亡

##### (一) 災害資料摘要：

災害類型：被撞  
 災害日期：77.5.25  
 天氣情況：晴  
 工作類別：冷床軋筋  
 工作人數：2  
 罹害人數：1  
 罹災程度：死亡  
 行業程度：鋼鐵金屬製造業  
 承攬關係：無  
 管理人員：無  
 自動檢查：有  
 教育訓練：無  
 勞動契約：有  
 年齡性別：39/男  
 工作經歷：五年  
 擔任職務：加熱爐操作員  
 健康狀況：不詳

##### (二) 災害經過簡述

桃園某大鋼鐵公司加熱爐操作員甲巡視好加熱爐火後，撿起地上一根鐵鉤走向旁邊的冷床，以鐵鉤去鉤一支剛軋好，落下冷床而偏離之鋼筋時，忽然另一根剛製好的鋼筋也來到，結果插入甲之胸部，勞工乙在一旁工作立刻呼叫同事急送醫院救治，結果仍不治死亡。

災害發生原因	災害防止對策	災害預防參考資料
1. 不安全動作：操作且非職責上工作。 2. 不安全環境：冷床之危險界線未予標示。 3. 未對勞工施以必要之安全衛生教育及預防災變之訓練。	1. 設置安全衛生管理人員實施自動檢查。 2. 對勞工施以安全衛生教育及預防災變訓練。 3. 於冷床等設備標示危險界線。	➤ 勞工安全衛生法（第14條、第15條、第23條） ➤ 勞工安全衛生設施規則（第22條）

案例二：砂輪研磨機砂輪破裂擊中頭部死亡

(一) 災害資料摘要：

災害類型:物體破裂  
 災害日期:77.12.20  
 天氣情況:晴  
 工作類別:砂輪研磨  
 工作人數:2  
 罹害人數:1  
 罹災程度:死亡  
 行業程度:金屬製品業  
 承攬關係:無  
 管理人員:無  
 自動檢查:無  
 教育訓練:無  
 勞動契約:有  
 年齡性別:27/男  
 工作經歷:一年六個月  
 擔任職務:作業員  
 健康狀況:不詳

(二) 災害經過簡述：

南投縣草屯鎮某金屬製品工廠，某日上午十一時許，勞工甲拿著兩塊角鐵到檢修室使用新的研磨機，約五分鐘勞工乙聽到一聲慘叫，砂輪擊中頭部，送醫後不治死亡。

災害原因	災害防止對策	災害預防參考資料
1. 不安全環境：研磨機之磨輪部分未裝設護罩。 2. 不安全動作：於研磨機前方工作。 4. 未設置勞工安全衛生人員實施自動檢查 5. 未訂定安全衛生工作守則。 6. 未辦理勞工安全衛生教育及預防災變訓練。	1. 於研磨機之磨輪部分裝置護罩。 2. 設置勞工安全衛生管理人員實施自動檢查。 3. 訂定適合勞工作業所需之工作守則。 4. 對勞工施以安全衛生教育及預防災變訓練。	➤ 勞工安全衛生法（第 5 條、第 14 條、第 15 條、第 23 條）。 ➤ 勞工安全衛生法施行細則（第 27 條）。 ➤ 勞工安全衛生設施規則（第 62 條）。

### 5.1.2 職場電氣設備危害案例

案例一：胸部處及電熱器電源銜接處感電死亡

(一) 災害資料摘要：

災害類型:感電  
 災害日期:77.7.18  
 天氣情況:晴  
 工作類別:進料作業  
 工作人數:1  
 罹害人數:1  
 罹災程度:死亡  
 行業程度:電器器材製造業  
 承攬關係:無  
 管理人員:有  
 自動檢查:有  
 教育訓練:無  
 勞動契約:有  
 年齡性別:28/男  
 工作經歷:二年四個月  
 擔任職務:技術員  
 健康狀況:不詳

(二) 災害經過簡述：

勞工甲在台南縣某電線電纜工廠混合區控制自動送料、計量、傾卸料作業，平常均在樓上控制台上工作，災害發生當天下午因絕緣白料生產完畢，勞工甲即將押出機停機，拉開機模頭清理內部餘料，未即關閉即送電預熱後，走到押出機後方進料處登上五十三加侖鐵桶腳踏台查視進料情況，不慎跌落受傷。勞工甲欲離開現場，顛簸行動中，身體不慎撞及預熱中之押出機，胸部處及電熱器電源銜接處，瞬間供電壓 220V 之電流流經心臟而感電。

災害原因	災害防止對策	災害預防參考資料
1. 不安全動作：清理押出機模頭後未立即復原。 2. 不安全設備：押出機電熱器之電源線裸露。 3. 未對勞工施以安全衛生教育及預防災變訓練。 4. 對用電設備未實施定期檢查。	1. 對勞工未施以職前訓練，包括防止感電、作業程序安全規章、災變預防等安全衛生教育及訓練。 2. 對低壓用電設備每年至少檢查一次以上。 3. 責成電氣技術人員對電線與器具間接頭應確實接牢。	➤ <u>勞工安全衛生法(第5條)</u> ➤ <u>勞工安全衛生訓練規則(第13條)</u> ➤ <u>勞工安全衛生設施規則(第243條、第276條)</u>

案例二：篩砂機震動混砂掉落開關電源端造成漏電死亡

(一) 災害資料摘要：

災害類型:感電  
 災害日期:77.6.20  
 天氣情況:晴  
 工作類別:搬運篩砂機  
 工作人數:1  
 罹害人數:1  
 罹災程度:死亡  
 行業程度:鋼鐵鑄造業  
 承攬關係:無  
 管理人員:無  
 自動檢查:無  
 教育訓練:無  
 勞動契約:有  
 年齡性別:23/男  
 工作經歷:六個月  
 擔任職務:作業員  
 健康狀況:不詳

(二) 災害經過簡述：

勞工甲任職於台中縣大甲鎮某鋼鐵廠擔任移動式篩砂機操作工作，災害當日下午一時三十分許，甲工完成篩砂工作後，切斷開關，欲推動篩砂機，卻不意震動濕砂，掉落於開關電源端上造成漏電，致甲工感電死亡。

災害原因	災害防止對策	災害預防參考資料
1. 不安全設備：篩砂機未裝置漏電斷路器及接地線。 2. 不安全動作：赤足作業。 4. 對勞工未施以安全衛生教育及預防災變訓練。 5. 未訂定安全衛生工作守則。 6. 未設置全衛生管理人員實施自動檢查。	1. 於電路上設置適當之防止感電用漏電斷路器。 2. 篩砂機等用電設備應裝設地線。 3. 擬定災害防止計畫，包括設置安全衛生管理人員、並實施自動檢查、訂定工作守則及教育訓練勞工等。	➤ 勞工安全衛生法（第5條、第13條） ➤ 勞工安全衛生設施規則（第243條、第276條）

## 5.2 機械設備災害發生原因

### 5.2.1 機械設備之危險性

機械設備因其操作或運動而具有下列之危險性：

1. 動作捲入點：  
或一部分固定另一部分轉動時，亦會產生動作捲入點致使物體、手腳被捲入而傷害，例如齒輪與齒輪、皮帶與皮帶輪。
2. 被夾、被壓、被衝、被截、被彎等動作：  
利用動力操作的重槌、衝壓、柱棒、或刀片等機械設備可能產生各種被夾、被壓、被衝、被截、被彎等各種危害與傷害，例如衝壓機、剪床等機械設備。
3. 切割動作：  
由於機械的直線、往復或轉動等動作，可能產生各種被切、被割等危害與傷害，例如切紙機等。
4. 轉動、往復及直線動作：  
由於轉動機械、牛頭刨床、龍門刨床、皮帶、鍊條等產生的轉動、往復及直線等動作，可能產生各種被捲、被夾、被撞、被壓的危害與傷害。
5. 振動設備動作：  
振動設備可能產生被震、被剪的危害與傷害。
6. 機械設備零件飛出：  
由於機械設備強度不足等原因引起設備本身的破損，致使機械設備零件破片飛出，導致勞工的危害與傷害。

### 5.2.2 機械設備災害發之原因

#### 一、不安全環境的原因

1. 危險防護措施不適切。
2. 機械設計不良、不安全。
3. 工作地點擁擠，工作空間不足。
4. 工作地點不整齊、地滑。
5. 機械設備維護保養不當。
6. 未實施定期檢查。

#### 二、不安全動作的原因

1. 勞工未遵守安全作業標準。
2. 未經許可擅自檢修。
3. 使用不當的工具。
4. 錯誤動作引起錯誤的操作。
5. 接近危險場所或設備。
6. 機械設備未停止及電源開關上鎖前，即予進行清掃、注油、修理、點檢等工作。
7. 勞工未使用個人防護具。

### 三、管理的缺陷

1. 未訂定安全作業標準。
2. 未訂定安全作業方法。
3. 未實施機械操作教育訓練。
4. 主管及領班監督不嚴。

## 5.3 機械設備安全防護條件

一、機械設備設置適當的安全防護裝置的目的如下：

1. 預防勞工作業中被飛片或碎片擊傷或碰傷。
2. 預防機械設備、電氣按鈕失效時，可能造成的傷害。
3. 預防勞工作業中與機械設備動作部分直接接觸發生傷害。
4. 預防勞工酒醉、疲勞、失忽等人為不安全動作所造成的過失。
5. 預防電氣按鈕失效時，所造成的傷害。

二、機械設備安全防護具有下列優點：

1. 消除勞工人為因素的過失，增進勞工安全操作及生產效率。
2. 預防勞工擔任機械設備操作，心理產生對機械設備的恐懼感。
3. 降低生產的直接損失與間接損失。

### 5.3.1 安全防護標準

機械、器具防護標準之法令依據如下：

1. 根據勞工安全衛生法第五條規定，雇主應有符合標準之必要安全衛生設備，以防止機械、器具、設備等引起之危害，且依據勞工安全衛生法第六條，雇主不得設置不符合中央主管機關所定防護標準之機械、器具，供勞工使用。中央主管機關得委託適當機構實施型式檢定。
2. 根據勞工安全衛生法施行細則第七條規定，雇主設置下列機械、器具，應符合中央主管機關所定之防護標準：
  - (1) 動力衝剪機械。
  - (2) 手推刨床。
  - (3) 木材加工用圓盤鋸。
  - (4) 動力堆高機。
  - (5) 研磨機、研磨輪。
  - (6) 其他經中央主管機關指定之機械或器具。

### 5.3.2 安全防護條件

根據機械設備的危險性及防護原則，各種機械設備之安全防護條件簡述如下：

#### 一、外觀的安全性：

機械設備外觀的安全，為防止機械設備災害的基本條件，其共通的問題點如下：

- (一) 在機械設備周圍保持必要的作業通路及空間。
- (二) 機械之動力傳送部分必須完全防護。
- (三) 機械設備表面之高熱部分有接觸危險，必須適當防護。
- (四) 切鋸設備產生之飛散粉塵，需以覆蓋或金屬網防護。
- (五) 機械設備內外之運動部分具有被壓、被捲之危險者，必須防護並考慮必要的安全空間。

#### 二、構造之安全特性：

##### (一) 機械設備之強度與安定性

機械設備必須保持足夠的強度與安定性，包括其附屬零件、本體、緊急停止裝置、防振措施等。

##### (二) 電氣裝置

機械、設備電氣裝置必須具有感電、漏電及機械正常操作的安全考量，例如容易發生感電危險部分之機械本體及帶電部分完全遮蔽或設置防護門以及設置漏電防止裝置。

##### (三) 油壓及空氣壓裝置

對於油壓或空氣壓裝置之機械設備，必須具備下列必要的措施：

1. 對於設定壓力以上的過大壓力，必須具有防止危險的措施。
2. 對於設定壓力以下的過低壓力，必須具有防止機械設備發生誤動作的措施。
3. 機械設備檢查或維修時，必須具有排除設備內部殘餘壓力的措施。

#### 三、控制系統的安全性：

裝置之機械設備，必須具備下列必要的措施：

控制系統的性能高度化之機械設備，往往因其控制迴路故障之原因，而造成機械設備之誤動作，而引起二次災害發生。因此，控制系統必須具有防愚安全措施(FOOLSAFE)及失誤亦安全措施(FAILSAFE)。

#### 四、作業區的安全性：

對於容易發生災害的作業區必須採取下列措施：

1. 使用防護蓋，預防勞工與危險部接觸。
2. 使用適當的安全裝置。
3. 檢查加工物確實固定，即使停電時亦不得將加工物脫開而傷及勞工。
4. 工具類確實固定，其迴轉部分不得有突出之危險。

#### 五、作業的安全性：

預防作業中的事故發生及考慮勞工對於機械設備操作產生的生理與心理的特性及作業環境的整備，必須採取下列作業的安全措施：

1. 操作安全措施。
2. 安全警告裝置及標示。
3. 維持快適的作業環境。

#### 5.4 機械設備災害預防對策

為預防機械設備災害發生，需採取下列安全裝置措施：

##### 一、防護之安全裝置

1. 具有防護裝置未閉合前，滑塊、刃物(簡稱滑塊)無法動作及滑塊動作中，防護裝置無法開啟之構造。
2. 預防勞工或外物接觸防護裝置發生危害。

##### 二、雙手操作式安全裝置

具有雙手不同時操作按鈕或雙手未離開按鈕時，無法動作，亦稱為雙手啟動式安全裝置或安全一行程式安全裝置。

##### 三、光電式安全裝置

滑塊等在動作中，遇身體之一部接近危險界限時，能使滑塊等停止動作。

##### 四、拉開式安全裝置或掃除式安全裝置

拉開式安全防護裝置的作用主要在於當機械處於危險作業時，將操作人員的手部自危險區域中移開，或是將操作人員限制於危險區域之外。掃除式安全裝置主要以撥桿連接至操作防護面，當機械處於危險作業時，以撥桿掃過操作防護面，並將物體撥出危險區域之外。

##### 五、安全管理

- (一) 使用之機械、器具防護性能不得低於機械、器具防護標準之規定。
- (二) 使用之機械、器具，使用前需按勞委會規定實施型式檢定。
- (三) 應將合格之標識，張貼於該機械或器具上。
- (四) 購置之機械、器具，於驗收時，需檢附型式檢定合格之文件，國外進口者亦同。
- (五) 佈置設計、規劃各機械設備使用的空間。
- (六) 依據設計、規劃安裝並進行試俾。
- (七) 實施自動檢查並保存記錄。
- (八) 檢查防護裝置的強度、有效性、材質。
- (九) 實施操作人員教育訓練。
- (十) 訂定安全作業標準及程序書。



## 5.5 電氣危害特性

### 5.5.1: 電氣危害

一、電氣設備引起的危害，如下圖所示：

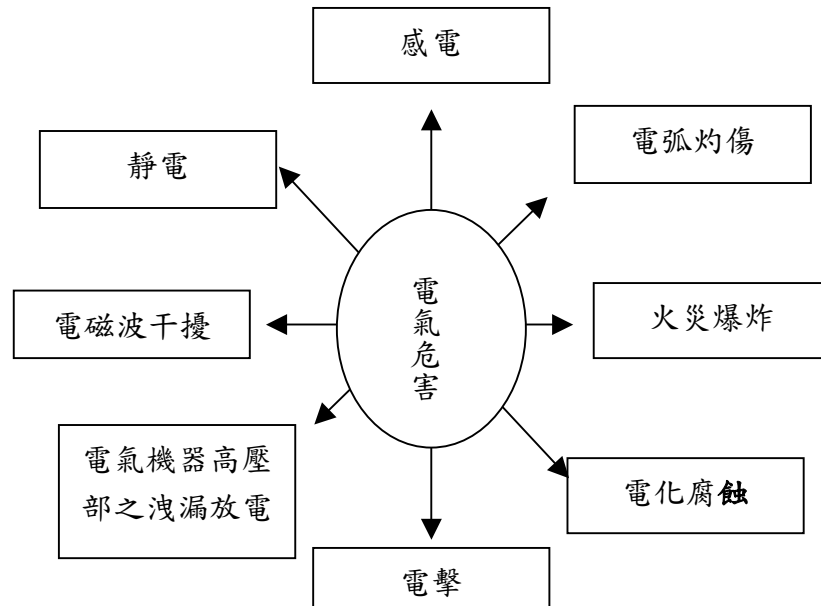


圖 5-1 電氣危害關係

#### (一) 感電

感電為勞工觸及裸露之帶電導線或漏電設備外露之金屬殼而遭受電擊受傷或死亡，包括感電而墜落及感電而受燒傷。其：感電的危險性與電壓的高低沒有直接關係。而係依據下列情況而定：

1. 電流量
2. 電擊時間
3. 電源的種類
4. 通電路徑

#### (二) 電弧灼傷

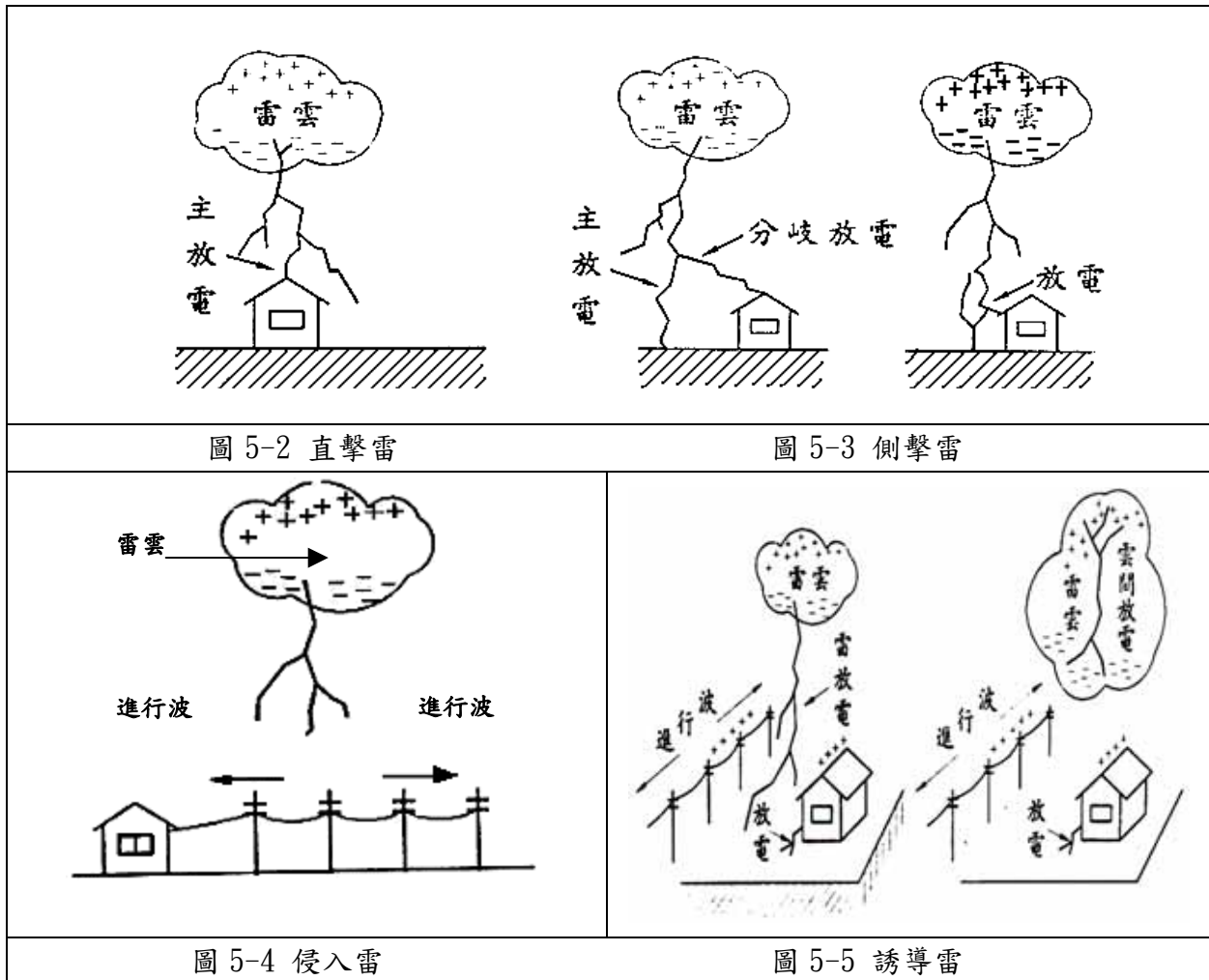
生產現場的電氣設備或線路發生短路或接地或閃絡現象或開刀開關、隔離開關等損壞或在重負載下開啟皆能產生強烈電弧致遭受灼傷，此種傷害往往傷至深層，頗不易治療。

#### (三) 火災、爆炸

電氣設備的火花、電弧、電焊、靜電、過熱、漏電電流加熱作用等皆會造成火災、爆炸災害。在大量處理可燃性氣體或蒸氣及可燃性粉塵之工作場所，由於電氣設備發生的火花、電弧、電焊火花、靜電等都可能引起火災、爆炸的危害。

#### (四) 電擊

雷雲向大地或建築物直接、間接放電造成電擊災害，輸配電路或油槽、容器之排氣孔遭受電擊或因感應雷而引起災害。



### (五) 靜電

靜電又稱為摩擦電，當二種不同的物質摩擦、接觸或分離之際，即會產生靜電。靜電所造成的危害共有三項：

#### 1. 力學現象起因引起的危害

由於靜電的作用力(以下稱為靜電力)，實際上僅有數 $100\text{mg}/\text{cm}^2$ 的小的靜電力，但是，這種程度的靜電力就會引起生產現場發生下列各種危害：

例如浮遊的粉體，在大氣中或粉體在管線中或在一導管彎曲處附著導致輸送不良。紡織毛線靜電力造成紡織機停機；油墨的帶電造成印刷機發生危害；塑膠製品、紡織物、陶磁器因附著粉體發生生產危害。

其他，由於力學現象起因，致使計量容器，因為粉體附著造成計量誤差；人員穿著化學纖維衣服致使身體不舒服。：

#### 2. 放電現象起因引起的危害

來自數 1000 伏特，數 10000 伏特的高電位的帶電物體，因為脈動的條狀放電而發生火花放電，瞬間，幾安培程度的大離子流出，帶電物體的靜電亦在放電空間流出，同時為了電波發射，來自帶電物體的靜電的熱能亦被放射，因此造成各種不同的生產危害。

例如金屬氧化物半導體 (MOS 型 IC) 等半導體素子的破壞以及其使用電

子裝置、機器的誤動作、故障等。還有，由於放電發生時的電波造成受信機等的雜音、情報的品質降低、誤情報的傳達等。以及集體電路 (IC)、半導體等製造、處理的電信工業造成生產力降低、品質低、操作中斷等危害

3. 靜電放電引起火災、爆炸危害:

可燃性液體因其本身帶電，會造成靜電放電而引起火災、爆炸之危害。可燃性液體之帶電，乃液體在流送、噴出、混合、攪拌、過濾之際發生。而其發生之種類有三種：

- 液體與管路，油槽壁體或過濾等固體表面流動摩擦所發生者。
- 液體因流動而與其他液體表面發生摩擦所生者。
- 液體本身靜止中，氣泡上昇，或沉澱所發生者。

但通過液體電荷之發生量，隨液體之種類、流速、電荷分離面之性質、溫度、水份等種種因素而異。

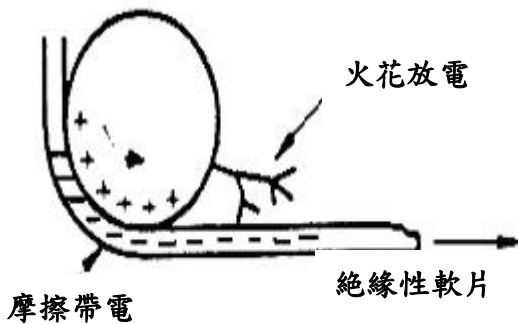


圖 5-6 摩擦帶電伴生之火花放電



圖 5-7 剝離帶電伴生之火花放電

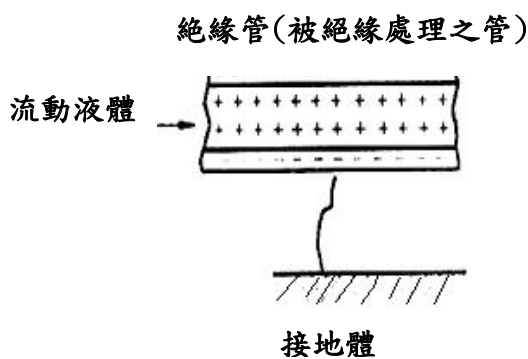


圖 5-8 流動帶電伴生之火花放電

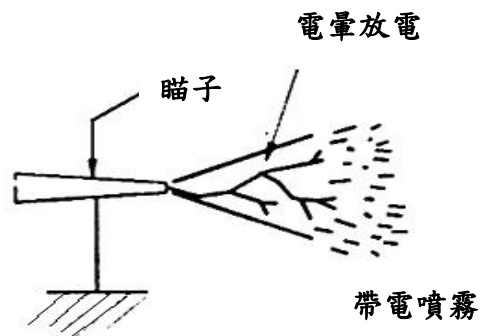


圖 5-9 噴出帶電伴生之火花放電

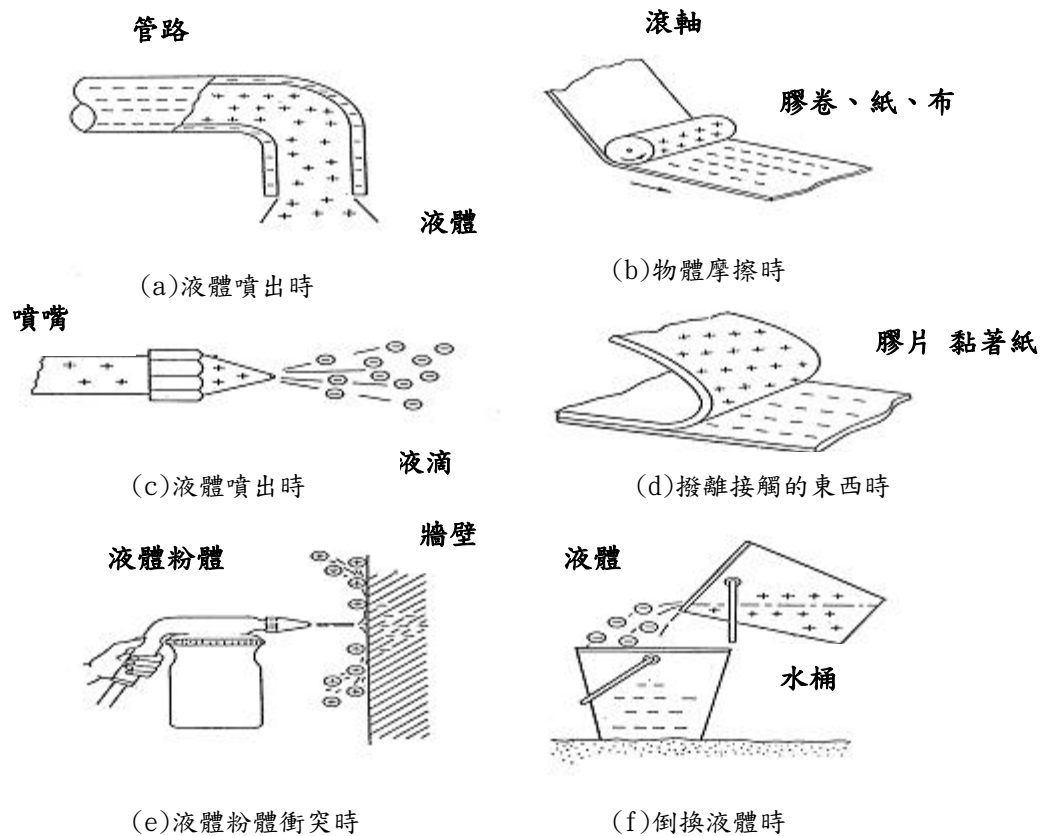


圖 5-10 靜電發生過程的例子

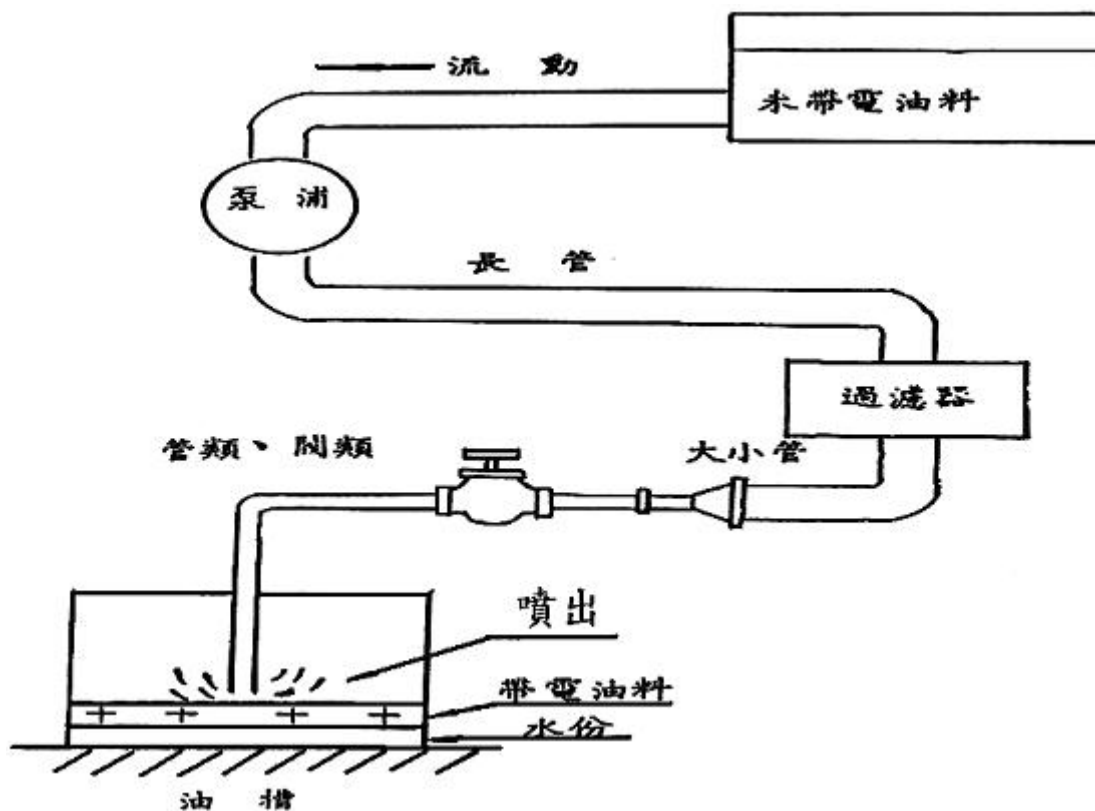


圖 5-11 油料帶電過程

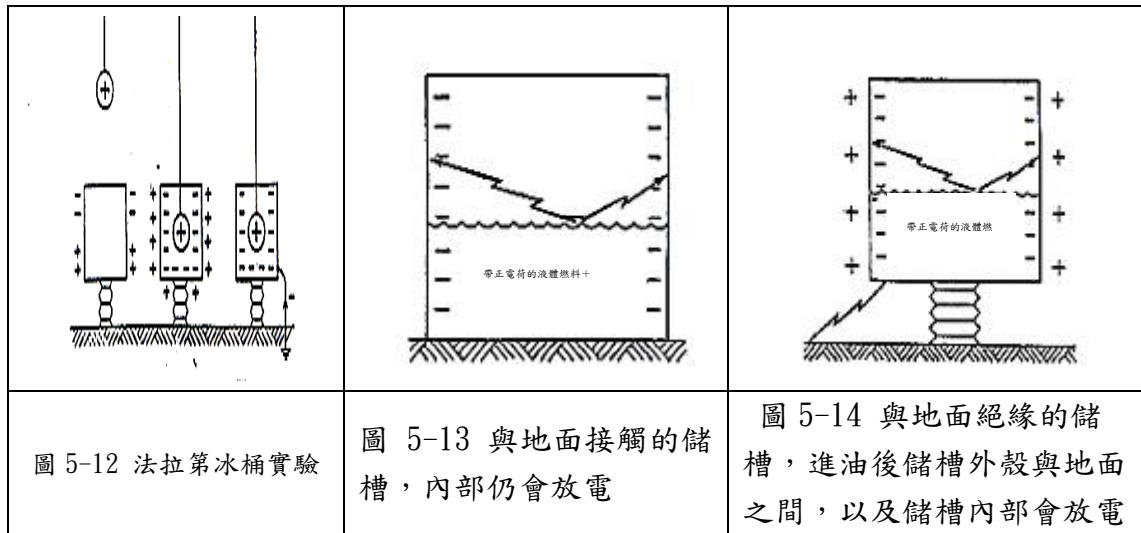


圖 5-12 法拉第冰桶實驗

圖 5-13 與地面接觸的儲槽，內部仍會放電

圖 5-14 與地面絕緣的儲槽，進油後儲槽外殼與地面之間，以及儲槽內部會放電

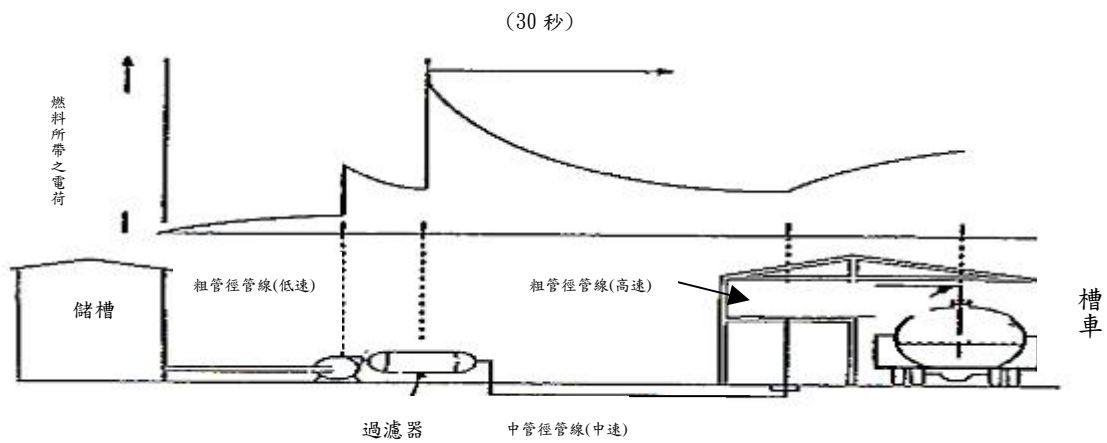


圖 5-15 槽車充填時液體所帶的靜電電荷變化

石油製品之固有電阻值

油料產品之固有電阻值

試料	固有抵抗 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )
柴油	$1.8 \times 10^{12} \sim 3.1 \times 10^{12}$
燃料油 No. 5	$1.3 \times 10^{10} \sim 1.4 \times 10^{10}$
JP-1	$9.2 \times 10^{13} \sim 2.7 \times 10^{14}$
JP-4	$9.9 \times 10^{11} \sim 2.8 \times 10^{14}$
煤油	$9.0 \times 10^{10} \sim 7.3 \times 10^{14}$

試料	固有電阻 $\Omega \cdot \text{cm}$	相對溫度 (%)	氣溫 ( $^{\circ}\text{C}$ )

苯酚	$4 \times 10^6$	--	--
甲醇	$< 4 \times 10^6$	54	27.7
變性酒菸	$< 4 \times 10^6$	54	27.7
丁醇	$< 4 \times 10^6$	54	27.7
丙酮	$< 4 \times 10^6$	54	27.7
丁酮	$< 4 \times 10^6$	--	--
甲基戊酮	$< 4 \times 10^6$	54	27.7
四氯化碳	$1.0 \times 10^{14}$	57	9.5
四氯乙烯	$5.0 \times 10^{12}$	54	15.0
三氯乙烯	$6.1 \times 10^{11}$	55	13.5
氯乙烯單體	$1.3 \times 10^{10}$	--	--
四氯化乙烷	$2.1 \times 10^9$	55	12.5

(六) 電氣機器高壓部之漏洩放電

1. 漏洩放電

電氣機器高壓部之漏洩放電，通常發生於異極之電極間，或交流電非接地側電極與接地導體之間。由於係多量電荷連續供給之物體所為之放電，其放電時間持續較長，發熱量又多，不僅引火性物質或粉塵易於著火，甚至電纜之包覆亦可能著火。實例上此種火災，係發生於高壓電纜之接續部。因接續鬆弛，霓虹燈管用之電纜建築物間，乃生漏洩放電。

2. 電氣造成之絕緣破壞

(1) 積污導電(Tracking)現象

絕緣物表面附著導體，例如絕緣物表面附著有水分、灰塵等少量之電解質物質，或含有電解質之液體、蒸氣、乃至金屬粉等之導體時，則該等帶電之附著物間，即生小規模之放電，絕緣物表面因而流通電流，結果形成異極電流之通路，絕緣物乃失掉絕緣性。其發生之放電係為電暈放電(Corona: Discharge)，又其發生絕緣物表面，故又稱為「沿面放電」。

(2) 金原現象(石墨化現象)

所謂金原現象，係指橡膠、木材等絕緣物中，電流通過之現象。亦即有機物之導電化現象，本來木材為不良導體，其受火熱而炭化時，形成無定形炭，並不能導電。但是一旦受電氣火花而炭化時，炭化部分因石墨化之故，而變成具有導電性。

(七) 電磁波干擾

對於弱電設備或數位化電子設備，例如儀器、感應器、醫療設備、儀控設備，因為電氣設備操作時產生的電磁波而干擾，而造成錯誤動作或不正確。

(八) 電化腐蝕

腐蝕性物質對金屬具有極強的腐蝕性，尤其是銅、鐵等金屬，而其銹蝕部分，導電方面造成接觸不良、不動作、誤動作、導線線徑變小斷線等。而固定導電設備之固定架、外殼支持物等，因腐蝕極易造成電氣、短路、斷路、漏電等重重大事故。

## 5.6 電氣災害之預防對策

電氣設備有可能發生電擊、火災、爆炸、靜電等災害，其預防對策如下所示：

### 一、電擊危險預防對策

(一)電氣機械、器具、配線預防措施。

1. 帶電部分防護。
2. 實施電氣設備接地
3. 使用安全裝置。
4. 二重絕緣電氣機械、器具之使用
5. 採用小電壓法、遙控方式、減低電路對地電壓、非接地配電方式，預防感電事故。
6. 預防電氣配線絕緣破壞，開關外蓋破損引起勞工感電。
7. 裝設漏電斷路器。
8. 加強電氣設備定期檢查及維護保養。

(二)電氣作業

1. 活線作業：活線作業或活線接近作業，使用絕緣用防護具及活線作業器具。
2. 停電作業：停電中，實施電氣設備之檢點、維修等作業，必須預防誤送電、混觸、誘導等引起停電迴路帶電而發生感電或電擊事故。

### 二、電氣設備火災、爆炸預防對策

(一)在具有可燃性氣體、蒸氣的危險性場所內，其電氣設備應使用適於該場所之防爆型電氣設備。

(二)電氣開關周圍不得堆放易燃物品。

(三)電動機不可超載使用。

(四)電線與器具應確實連接。

(五)電線不可超過其安全電流。

(六)電源開關應使用無熔絲開關。

(七)電氣設備防爆構造

1. 耐壓防爆構造
2. 內壓壓防爆構造
3. 油中壓防爆構造
4. 特殊壓防爆構造
5. 增加安全壓防爆構造

### 三、靜電災害預防對策

(一)設備設置接地線及聯結線，接地線電阻達到5歐姆以下。

(二)抑制靜電發生。

(三)以導電之金屬管替代不導電之軟管。

(四)保持相對濕度在75%以上、防止物體發生靜電。

(五)使空氣離子化，增加空氣的導電度。

(六)可燃性液體輸送的流速在1m/sec以下。

## 5.7 輻射與核能災害

### 5.7.1 輻射危害認知

輻射是一種能量以波動或高速粒子的型態傳送，依其能量的高低可分為非游離輻射與游離輻射。如太陽光、無線電波、微波等屬於非游離輻射，其能量在 10 仟電子伏 (keV) 以下。我們熟知的 X 光、宇宙射線與放射性元素，如鈾、鈷 60、鐳等所放出的阿伐 ( $\alpha$ )、貝他 ( $\beta$ )、加馬 ( $\gamma$ ) 射線等，則屬於游離輻射，其能量在 10 仟電子伏 (keV) 以上。雖然我們生存在一個輻射的環境中，但不當吸收高劑量的游離輻射卻可能造成皮膚或組織的傷害，這是社會大眾關心的焦點。本節所討論的輻射是游離輻射。

產生游離輻射的來源有放射性核種、可發生游離輻射設備與核子反應器。放射性核種處在不穩定的狀態下會自動放出加馬 ( $\gamma$ ) 射線而蛻變成較穩定之核種。加馬 ( $\gamma$ ) 射線是從放射性核種的原子核發射出的游離輻射。放射性核種的活度減少為原來一半所需的時間即為半衰期。半衰期的長短各核種不同，如國內大眾所關心的輻射鋼筋，其中所含鈷-60 的半衰期為 5.26 年。以醫院常用來作核子醫學診斷之鎝-99 為例，其半衰期則僅有 6 小時。放射性核種活度會隨時間之增加而減少。

可發生游離輻射設備包括 X 光機、加速器等，廣泛應用於國內各界，如醫院使用 X 光機為病人診斷、使用直線加速器為病人治療癌病，大學使用範氏加速器、迴旋加速器作核子物理的研究等。

在適當安全的操作輻射，不會發生輻射危害，而不當的操作輻射，則可能發生輻射危害。輻射危害的特性與火災、水災、震災、車禍、甚至化學災害所導致的傷害完全不同。人類本來就生存在一個輻射的環境中，台灣居民每人每年所受的背景劑量約為 2 毫西弗 (mSv)。核能電廠嚴重事故中，自核能電廠釋出的放射性物質會造成民眾劑量的增加。但輻射劑量必須在短時間內高至 6 西弗 (Sv) 時 (6000 毫西弗)，才有可能致命。一般說來，接受 6 西弗的劑量，還是有 20% 的機會可以存活下來。當劑量為 500 毫西弗以下時，人體並不會感覺不適，即不會有「非機率效應」產生。

從日本核爆生存者的長期調查顯示，接受低輻射劑量 (約 250 毫西弗以下) 者，並無任何臨床症狀，白血病或其他癌症發生率也和一般人相同並未增加。但是為了輻射安全的考量，國際放射防護委員會 (ICRP) 做了很保守的假設：人體只要接受到輻射，不管劑量是多少，都有引發癌症和不良遺傳的機率存在，沒有低限劑量值，而且致癌或不良遺傳的機率與接受劑量成正比 (直線關係)，劑量愈高，機率也愈大，這種現象稱為「機率效應」。換句話說，依照輻射防護的假設，民眾因核能電廠緊急事件的發生，而多接受了一些劑量，會使得民眾日後得癌症的機會增加。在核能電廠嚴重事故中，外釋的放射性物質所能造成的輻射傷害並非立即致命的，所以民眾在疏散時，也絕沒有必要像逃避火災、水災般的爭先恐後，慢一步即會命喪黃泉。

### 5.7.2 輻射曝露量測技術

常用的輻射曝露測量儀器有游離腔 (ionization:chamber)、固態二極體 (solid:state:diode)、熱發光劑量計 (thermoluminescent:dosimeters, TLDS)、軟片 (film) 等四種。

#### 一、游離腔

圓柱體游離腔 (cylindrical:ionization:chamber) 可用於光子輻射與電子輻射的劑量測量，如圖 5-16 所示。1955 年英國人 F.T.:Farmer 設計



Farmer游離腔，1972年Aird與Farmer再重新修飾設計後就沿用迄今。體積 $0.6:\text{cm}^3$ :Farmer游離腔的能量依存性 (energy:dependence) 只有在低能量才發生，高能光子輻射的能量校正因數為1.00。

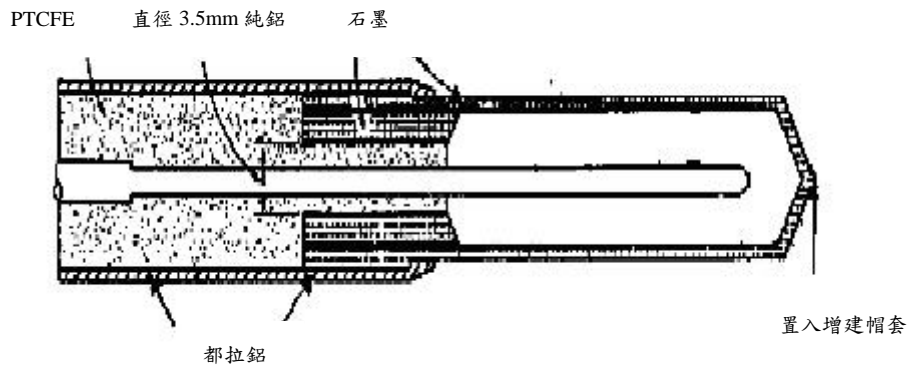
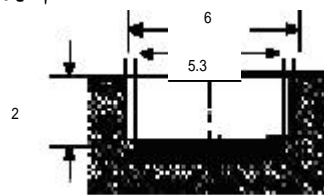


圖 5-16 體積  $0.6:\text{cm}^3$ :Farmer游離腔

高能電子輻射的測量可以使用平行板游離腔 (parallel-plate:ionization:chamber)，但是平行板游離腔不能用於高能光子輻射的測量。圖 5-17 為體積  $0.055:\text{cm}^3$ :PTW/Markus 平行板游離腔是由德國人 B. Markus 所設計。



0.055C.C. Markus 游離腔

圖 5-17 體積  $0.055:\text{cm}^3$ :Markus平行板游離腔 (尺寸: mm)

在醫用直線加速器 (medical:LINAC) 接收測試 (acceptance:test)、功能測試 (commissioning)，常使用體積  $0.6:\text{cm}^3$ :Farmer 游離腔與體積  $0.055:\text{cm}^3$ :Markus 平行板游離腔的尺寸，如測量高能光子輻射與高能電子輻射的等劑量圖 (isodose:curves)、百分深度劑量 (percent:depth:dose, %DD, PDD)、組織假體比 (tissue-phantom:ratio, TPR)、組織最大比 (tissue-maximum:ratio, TMR)、照野因數 (field:size:factor, FSF) 等臨床放射治療的物理數據，可以利用電腦控制的水箱 (water:tank) 或水假體 (water:phantom) 配合小體積 ( $0.1$ 、 $0.125$ 、 $0.3:\text{cm}^3$ ) 游離腔來測量。

數個小體積游離腔配合固態假體 (solid:phantom)，如聚苯乙烯 (polystyrene)、壓克力 (acrylic)、固態水假體等固態假體，也可以測量高能光子射束與高能電子射束的百分深度劑量、對稱性 (symmetry)、平坦度 (flatness) 等射束特性的物理數據。常用於個人輻射曝露量測的劑量筆 (pocket:dosimeter)，其為一小型游離腔，如圖 5-7-3 所示。

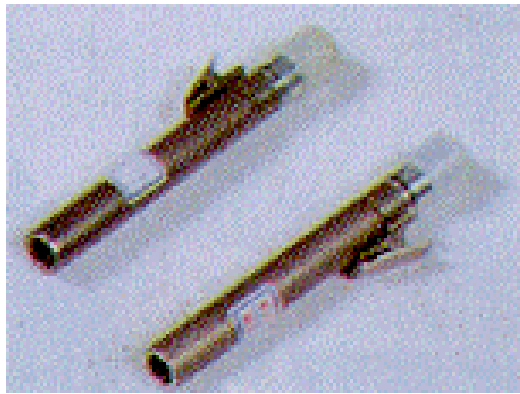


圖 5-18 劑量筆

二、固態二極體

放射治療的高能光子射束與高能電子射束之劑量測量可以採用矽二極體偵檢器 (Si:diode:detector) 可以測量光子輻射與電子輻射的劑量，如採用 n 型 Si 二極體偵檢器測量相對劑量 (relative:dose)。

n 型 Si 二極體偵檢器的優點為體積小、靈敏度高，如圖 5-7-4 所示。因為 n 型 Si 二極體偵檢器會受到輻射與環境溫度的影響，且易受到輻射的損害，所以 n 型 Si 二極體偵檢器就不能用於醫用直線加速器輸出的劑量校正。

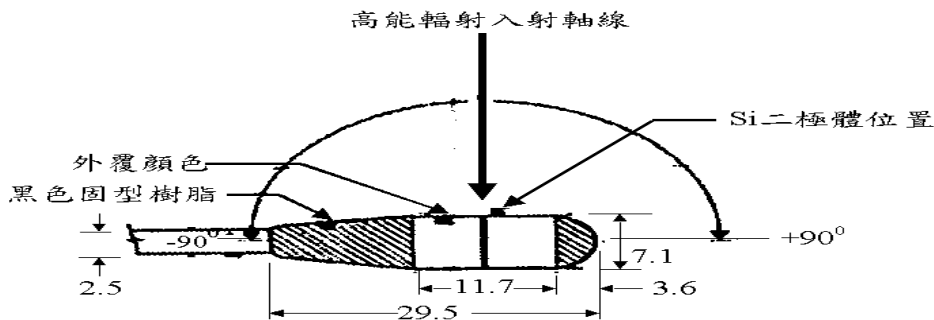


圖 5-19 n 型 Si 二極體偵檢器 (尺寸: mm)

三、熱發光劑量計

氟化鋰 (lithium:fluoride, LiF) 的有效原子序數  $Z_{eff}$  為 8.31，與軟組織的  $Z_{eff}$  為 7.64、水的  $Z_{eff}$  為 7.51 最為相近，故氟化鋰 (LiF) 為最常用於放射治療劑量測量的劑量計。常用的熱發光劑量計 (thermoluminescent:dosimeters, TLDs) 有四種系列，如表 5-7-1 所示。

表 5-1 四種熱發光劑量計 (TLDs) 系列

TLDs 系列	TLD 材質*
氟化鋰 LiF 系列	TLD-100、TLD-100H、TLD-600、TLD-100H、TLD-700、TLD-700H
硫酸鈣 CaSO <sub>4</sub> 系列	CaSO <sub>4</sub> : Dy : Mn (1 : 1)、CaSO <sub>4</sub> : Dy : Mn (1 : 4)、CaSO <sub>4</sub> : Dy、CaSO <sub>4</sub> : Mn
氟化鈣 CaF <sub>2</sub> 系列	CaF <sub>2</sub> : Mn、CaF <sub>2</sub> : Dy
硼酸鋰 (Li <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) 系列	Li <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> : Mn

\*: Mn、Dy 等元素為製造 TLDs 晶體所添加的微量活化劑 (activator)

常用的氟化鋰(LiF)系列有 TLD-100、TLD-600、TLD-700，其均為 Harshaw 公司的產品。因為 TLD-100 對低能光子的劑量測量較 TLD-700 靈敏，所以放射診斷的劑量測量常選用 TLD-100，放射治療的劑量測量常選用 TLD-700。用於中子劑量測量為 TLD-600。至於 TLD-100H、TLD-600H、TLD-700H，則較 TLD-100、TLD-600、TLD-700 更為靈敏。

將受到輻射照射的熱發光磷質 (phosphors) 結晶物質加熱後，所產生的發光情形，稱為熱發光 (thermoluminescence, TL)，如圖 5-7-5 所示。其所發生的光與輻射照射的劑量成正比。這些熱發光磷質結晶物質所製成的劑量計稱為熱發光劑量計。

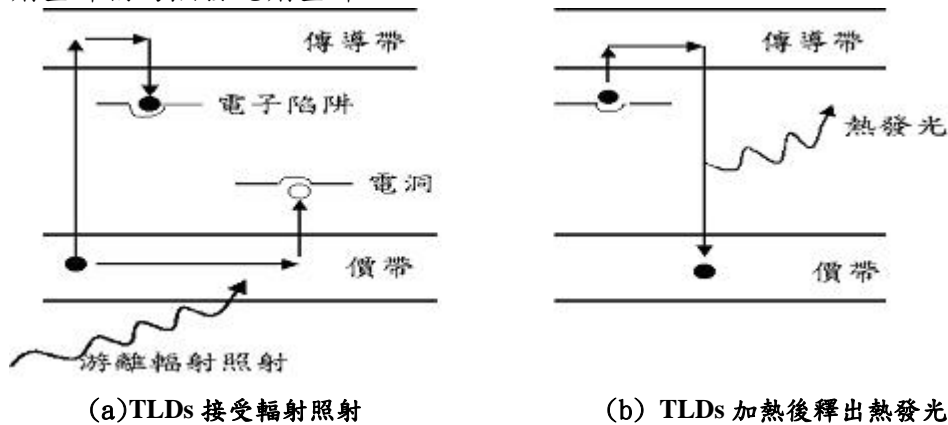


圖 5-20 TLDs 熱發光過程

將熱發光磷質結晶物質加熱所發出來的光經過光電倍增管 (photomultiplier: tube, PM: tube) 轉化成電量，以測量電量 (nC 或  $\mu\text{C}$ ) 或熱發光值 (TL 值) 來推測所接受的輻射劑量 (R、cGy 或 mSv)，稱為熱發光劑量學或熱發光劑量測定術。

LiF 材料的線性劑量範圍為  $10^{-3}\text{Gy}$  至  $10^4\text{Gy}$ ，可為晶片狀 (chip)、細棒狀 (rod) 或粉末狀 (powder)。TLD-100、TLD-600、TLD-700 與 TLD-100H、TLD-600H、TLD-700H 為 Harshaw 產品，前者為含 Mg、Ti 為雜質的標準 LiF 材料，後者為含 Mg、Cu、P 為雜質的高靈敏度 (high: sensitivity) LiF 材料。兩者的輝光曲線 (glow: curve) 略有不同，如 TLD-100 輝光曲線的主峰 (main: peak) 為  $190^\circ\text{C}$ ，TLD-100H 的主峰為  $220^\circ\text{C}$ 。標準 LiF 材料的加熱程式與輝光曲線，如圖 5-7-6 所示。

國內輻射工作人員常以 TLD-100 作為人員劑量佩章，如圖 5-7-7 所示，以提供輻射工作人員於從事輻射作業時接受輻射曝露劑量的偵測。

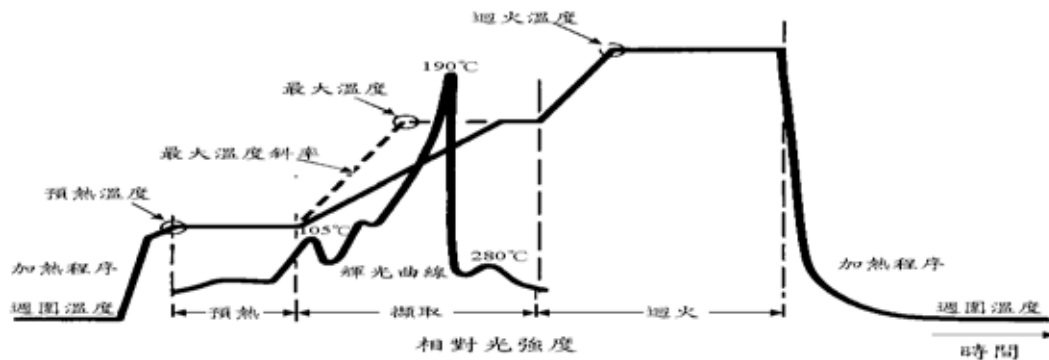


圖 5-21 標準 LiF 材料的加熱程式與輝光曲線

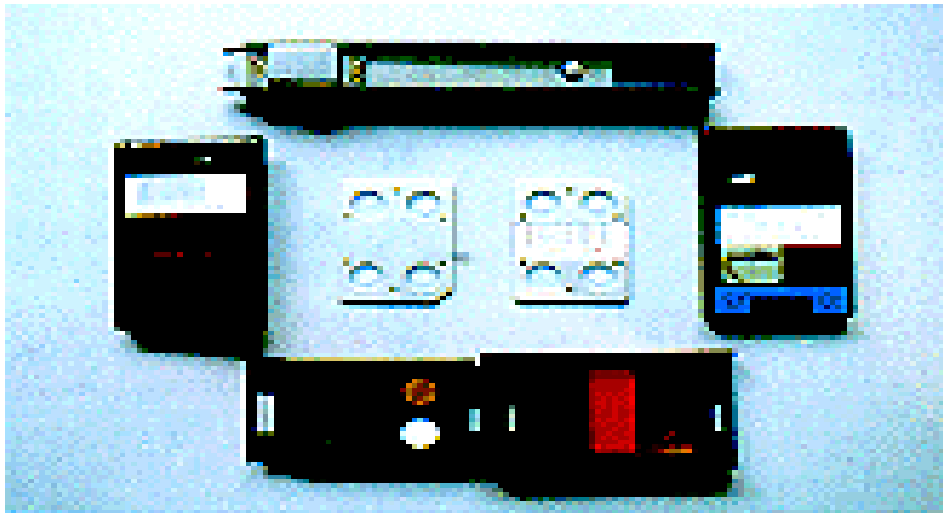


圖 5-22 人員劑量佩章

#### 四、軟片

利用軟片黑化度的度量就是軟片劑量學 (film:dosimetry)，可應用於輻射曝露劑量的測量。

X 光軟片 (film) 或稱 X 光底片，X 光片的特性曲線 (characteristic:curve)，如圖 5-7-8 所示。X 光片的特性曲線又稱為 H-D 曲線 (H-D:curve)，以紀念 1890 年 F. :Hurter 與 V. C. :Driffield 於英國首次發表 X 光片的特性曲線。

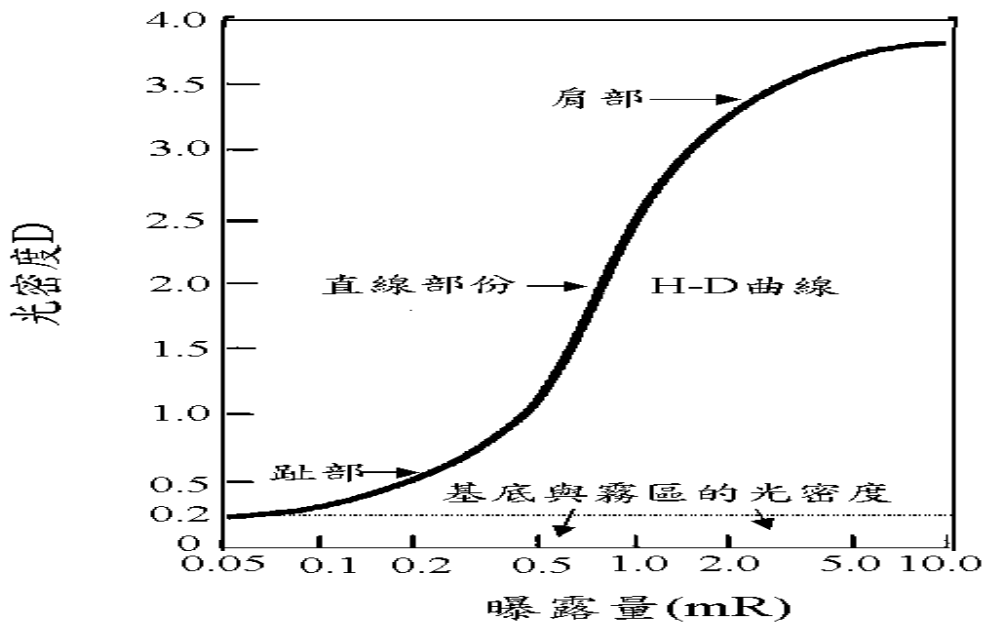


圖 5-23 X 光片的特性曲線

X 光片的光密度 (photographic:density) D 的定義為：

$$D = \log \frac{I_0}{I_t}$$

其中， $I_0$  為入射 X 光片的光強度 (light:intensity:incident:on:a:x-ray:film)， $I_t$  為穿透 X 光片的光強度 (light:intensity:transmitted:by:the:x-ray:film)。入射 X 光片的光強度與穿透 X 光片的光強度的比值 ( $I_0/I_t$ ) 稱為不透明度 (opacity)。

當不透明度 $I_0/I_t$ 為 1，則X光片的光密度D為 0 ( $=\log 1$ )，穿透X光片光強度為入射X光片光強度的 100%。當不透明度 $I_0/I_t$ 為 10，則X光片的光密度D為 1 ( $=\log 10$ )，穿透X光片光強度為入射X光片光強度的 10%。當不透明度 $I_0/I_t$ 為 100，則X光片的光密度D為 2 ( $=\log 100$ )，穿透X光片光強度為入射X光片光強度的 1%。當不透明度 $I_0/I_t$ 為 1000，則X光片的光密度D為 3 ( $=\log 1000$ )，穿透X光片光強度為入射X光片光強度的 0.1%。當不透明度 $I_0/I_t$ 為 10000，則X光片的光密度D為 4 ( $=\log 10000$ )，穿透X光片光強度為入射X光片光強度的 0.01%。

### 5.7.3 輻射控制

輻射控制的方法有體外曝露與體內曝露的控制兩種。控制體外曝露的方法為時間 (time, T)、距離 (distance, D)、遮罩 (shield, S)，是體外曝露防護的 TSD 原則。接受曝露的時間要儘可能縮短，所以事先要瞭解狀況並做好準備，熟練操作程式。要遠離射源，輻射的強度與距離的平方成反比關係，距離加倍，輻射強度減弱四倍。利用鉛板、鋼板或水泥牆可擋住輻射或減低輻射強度，保護人員的安全。

放射性物質侵入體內的途徑有飲食、呼吸、皮膚吸收、傷口侵入，所以控制體內曝露的方法就是避免食入、減少吸入、增加排泄、避免在污染地區逗留。此外，還要加強除汙的工作，也能減少體內污染的機會。

輻射控制的法源為民國 92 年 2 月 1 日開始施行的「游離輻射防護法」。「游離輻射防護法」的主管機關為行政院原子能委員會。

「游離輻射防護法」將現行核發的放射性物質執照與可發生游離輻射設備執照改成兩類，一為許可 (license) 類，另一為登記備查 (registration) 類，其分類係依輻射能量的高低或放射性活度的大小為區分依據。考慮各種放射性物質、可發生游離輻射設備或輻射作業對人與環境所造成危害程度的不同，及其本身安全性的差異，且考慮管制人力與降低社會成本，所以原子能委員會依法將現行核發的執照改成許可類與登記備查類等兩類。

因為實際操作放射性物質與可發生游離輻射設備所需的醫療專業知識與技術，並非原子能委員會關注的重點，其所關切的主要是操作可發生游離輻射設備或放射性物質的輻射工作人員在操作時，是否接受足夠的輻射安全訓練，以維持操作時的輻射安全，所以原子能委員會依法將現行的操作執照將變更為輻射安全證書。

「游離輻射防護法」第三章「放射性物質、可發生游離輻射設備或輻射作業之管理」中，第 29-37 條之規定，皆為管理放射性物質、可發生游離輻射設備或輻射作業之依據，如：

1. 放射性物質、可發生游離輻射設備或輻射作業，應依原子能委員會之指定，申請許可或登記備查。
2. 經許可、發給許可證或同意登記後，始得進行輻射作業；其中，許可證的有效期間最長為 5 年。
3. 期滿需繼續輻射作業者，應於屆滿前，依原子能委員會規定期限申請換發。
4. 操作放射性物質或可發生游離輻射設備之人員，應接受原子能委員會指定之訓練，並領有輻射安全證書或執照。
5. 凡申請報廢或廢棄放射性物質或可發生游離輻射設備時，所有人應將擬廢棄之設備的執照繳送原子能委員會註銷，並函告該廢棄放射性物

質或可發生游離輻射設備之處理辦法。

輻射工作人員從事輻射作業時，為做好輻射工作人員的輻射控制工作，「游離輻射防護法」特別規定輻射工作人員職業曝露之劑量限度為：

1. 每連續五年週期之有效等效劑量不得超過一百毫西弗。且任何單一年內之有效等效劑量不得超過五十毫西弗。
2. 眼球水晶體之等效劑量於一年內不得超過一百五十毫西弗。
3. 皮膚或四肢之等效劑量於一年內不得超過五百毫西弗。

另外，核能電場輻射工作人員從事輻射作業時，為做好進出輻射工作場所的控制，使用門型偵檢器來管制，如圖 5-24 所示。



圖 5-24 控制核能電場之門型偵檢器

「游離輻射防護法」為做好一般人的輻射控制工作，特別規定一般人之劑量限度為：

1. 一年內之有效等效劑量不得超過一毫西弗。
2. 眼球水晶體之等效劑量於一年內不得超過十五毫西弗。
3. 皮膚之等效劑量於一年內不得超過五十毫西弗。

依據「游離輻射防護安全標準」規定，輻射工作人員在管制地區從事輻射作業時，管制地區應訂有管制措施，其入口處及區內適當地點，應設置輻射示警標誌及必要之警語。

#### 5.7.4 輻射外漏案例及處理

前蘇聯車諾比爾事件（1986 年 4 月 26 日）

車諾比爾核能電廠四號機組（配備第七、八號發電量，各 500 百萬瓦的渦輪發電機）於 1983 年 12 月正式運轉，1986 年 4 月 25 日的計畫停機是例行性的中級保養，研究人員打算利用這一機會進行第八號渦輪發電機的慣性減速試驗。這個試驗的目的是要釐清渦輪發電機在蒸汽停止供應之後，渦輪發電機的轉動慣量，是否可以在備用柴油發電機啟動之前，提供廠內的緊急電源。車諾比爾電廠曾經做過這類型的試驗，結果發現電壓下降的速率，比研究人員所預期的來的快。因此這次的試驗，要測試一個特殊的發電機磁場調整器，來克服電壓急遽下降的問題。但是實驗過程不如預期的順利，而災變即在工作人員企圖完成實驗時發生了。

一、事件發生經過：

- 4/25/1986 01:00 am

四號機組準備進行中級保養，機組從滿載 3200 百萬瓦熱功率開始降載。

- 4/25/1986 13:00 pm

第七號渦輪發電機解聯，廠內電源轉由第八號渦輪發電機供應，此時反應器輸出熱功率為 1600 百萬瓦。

- 4/25/1986 14:00 pm  
依試驗程式操作，關掉緊急爐心冷卻系統。但接獲負載管理中心的通知，電力需求增加，機組必須維持運轉。反應器輸出熱功率維持在 1600 百萬瓦九個小時。運轉人員在控制室枯坐，等候進一步的通知。
- 4/25/1986 23:10 pm  
負載管理中心通知，可以停機。運轉人員準備降功率至 700-1000 百萬瓦。
- 4/26/1986 0:28:00 am  
運轉人員操作失誤，功率驟降到 30 百萬瓦。：功率短時間內的大幅降低，使得反應器內累積大量的氙原子核，大量吸收中子，反應器無法維持臨界，運轉員將控制棒大量抽出，以提升功率。
- 4/26/1986 1:00:00 am  
反應器功率穩定於 200 百萬瓦，低於法規的要求。：反應器爐心內尚有約等於 6-8 根全長之控制棒，遠低於法規低限要求之 15 根。
- 4/26/1986 1:19:00 am  
運轉人員完成實驗準備工作。
- 4/26/1986 1:23:00 am  
反應器功率穩定於 200 百萬瓦，準備開始實驗。運轉員切斷汽機跳脫而導致反應器急停的訊號，準備在實驗失敗時，可以再重做一次。運轉員手動跳脫 8 號汽機。
- 4/26/1986 1:23:31 am  
因反應度的正空泡回饋，總反應度及功率始爬升，功率在 5 秒內，驟升 500 倍。
- 4/26/1986 1:23:40 am  
運轉人員按下急停按鈕。
- 4/26/1986 1:23:44 am  
功率持續快速上升。
- 4/26/1986 1:23:48 am  
水蒸汽爆炸：，不久傳來第二次爆炸聲，反應器解體。

## 二、事件處理經過：

- 4/26/1986 **凌晨**  
蘇聯車諾比爾核能電廠的 4 號反應器發生水蒸氣及氫氣爆炸。爆炸後引起反應器內石墨的燃燒，造成大量的放射性物質外釋。蘇聯政府迅速的疏散了車諾比爾區域的 5 萬居民，但是並未將電廠發生災變的新聞對外發佈。
- 4/28/1986 **清晨**  
瑞典福斯馬克核能電廠偵測到電廠工作人員受到輻射污染，該電廠立即進行廠區疏散，並清查輻射污染的來源。結果發現污染來自於廠外而非廠內，同時國境內其他輻射偵測站亦發現，所偵測到的輻射強度較背景強度高了近一百倍。但確實的污染來源卻令人費解？瑞典根據測到的核種做進一步的分析，結果顯示放射性物質係來自於核能電廠反應器的爐心，再根據放射性物質在北歐諸國分佈的情形，以及過去數天的氣象資料，研判可能是蘇聯的車諾比爾核能電廠發生了意外。瑞典駐蘇聯外交人員因此向蘇聯政府查詢，但不得要領。
- 4/28/1986 9:00 pm

莫斯科電視新聞報導中，簡短提到位於車諾比爾電廠的反應器在意外中受損。

- 4/29/1986 凌晨

美國將軍事用情報衛星調整軌道，航經車諾比爾上空以觀察電廠狀況。衛星照片顯示反應器屋頂已經不見，且反應器內石墨殘餘物仍在冒煙，但廠區其他三部機組仍完好未受損。衛星照片亦顯示離電廠一段距離外的居民作息如常。

- 4/29/1986 早晨

蘇聯的駐外人員向瑞典及西德政府詢問撲滅石墨火災的方法，但瑞典及西德均表示沒有這一方面的經驗，建議蘇聯去找較有經驗的英國人。此時，美國雷根政府主動表示可以提供任何必要的援助，協助控制事故的惡化，但是蘇聯拒絕接受，僅僅要求加州大學一位骨髓移植專家及兩位助手前往協助救治傷患。同一天，蘇聯政府在新聞報導中透露，事故中已有兩個人死亡，並表示狀況已獲得控制，但電廠周圍的四個村落的居民已經疏散。

- 4/30/1986

蘇聯重申只有兩人在意外中死亡，可是有 197 人住院，但其中 49 人已經出院，並表示電廠的輻射外釋狀況在持續改善中，水源並未遭到污染，同時以照片顯示廠區的石墨燃燒已經撲滅。

- 5/1/1986

美國衛星照片證實石墨燃燒已經停止，至此車諾比爾核能電廠災變已經獲得控制。整個事故過程中，因蘇聯政府不主動提供消息，故西方國家對車諾比爾災變的嚴重程度頗多臆測。根據到蘇聯協助醫療傷患的美國骨髓移植專家所提供的資料顯示，總共有 299 人住院接受治療，這些人大部份為電廠工作人員及救火隊員，到 5 月 3 日為止，有 11 人死亡。



## 習 題

1. 機械設備具有哪些危險性？
2. 機械設備災害的管理缺陷原因為何？
3. 哪些機械、器具應符合法令所定之防護標準？
4. 電氣危害有哪幾種？
5. 何謂靜電？

## 參考文獻

1. 勞委會（2001年）。勞動檢查年報。
2. 勞委會（2001年）。勞動檢查年報統計提要。
3. 勞委會（2001年）。中華民國職業災害概況。
4. 黃金銀（1994年）。勞工安全管理甲級技術士(上)，千華公司。
5. 陳博文（1994年）。勞工安全衛生管理乙級技術士。
6. 中國生產力中心（2003年）。勞工安全衛生法規彙編(一、二、三、四冊)。
7. 中華民國工業安全衛生協會（2003年）。勞工安全管理師教材。
8. 西島茂一（1992年）。從此之安全管理，日本中央勞動災害防止協會。
9. 鄭謀至（2003年）。安全衛生訓練教材系列。