

第三章 物理性危害與防制

單元索引

- 3.1 力的作用及其危害
- 3.2 聲音的性質與噪音的定義
- 3.3 靜電的產生與累積
- 3.4 光線及其危害
- 3.5 輻射及其危害
- 3.6 人體的危害
- 3.7 物理性危害的防制

教學目標

- 1. 了解何為大自然的物理現象?
- 2. 根據大自然的物理現象，討論這些物理量如何對人體造成危害?
- 3. 介紹本質安全的基本知識，進而控制並消除危害源，達到物理性危害的防制。

前言

無論是在職場中，或是日常生活中，我們的周遭都充斥著各式各樣的物理現象。除了大自然的現象外，大多數物理現象是我們為了要達成某些目的而刻意創造出來的。也就是說，它們是工業化的產物。人如果受到非病變的傷害，絕大多數是因為受到自己無法承受的能量作用在自己身上。當超過人體容許值的能量洩漏（傳達）到人的身上，便會對人體造成傷害，而發生傷亡事故。所謂物理性危害，指得就是造成這些物理現象的能量，對人體所造成的傷害。

人們為了達成各種不同的目的，將能量轉換成各種型態。因此，伴隨這些物理現象的物理量也以各種型態出現。造成人員傷亡的物理量中，常見的有力（動能）、聲、光、電、輻射等。其中，聲能是由動能轉變而來，與振動同屬於機械能的一種；而光則是電磁波的一種型態，也屬於非游離輻射。本章將討論這些物理現象，以及這些物理量如何對人造成危害，並進而探討其防制措施。

3.1 力的作用及其危害

3.1.1 力的性質

物體的運動狀態要得到改變，必定有其原因，這個原因就是「力」。例如要讓靜止的物品移動，必須要推、或拉它。或是要讓飛過來的球停下來，必須用手去擋它。這些推或拉或擋的作用就是「力」。當物體由靜止的狀態改變成運動的狀態，或是相反的由運動的狀態改變成靜止的狀態，其速度必定有所變化，也就是會有加速度的產生。因此，「力」可以定義成一讓物體產生加速度的原因。

力必定有大小、方向、作用點三個要素，此稱「力的三要素」。力是向量，可以合成或分解，合成後的力稱為「合力」，分解後的力稱為「分力」。不論合力或分力，都必定具有力的三要素。當兩個以上的力同時作用於某一物體，而物體卻無速度的變化時，這些力的合力即為零。力的合力為零時，我們稱為「力的平衡」。

當力在物體的作用點離物體上的支點有一距離，且力的作用線與支點及作用點的連線不為同一條線（兩線相交）時，物體會以支點為圓心做迴轉運動。這時作用點與支點的距離稱為「力臂」，而力與力臂的乘積稱為「力矩」。為了區別力矩讓物體旋轉的方向，通常將力矩冠以正、負號，以區別左旋或右旋。當一物體受到兩個以上的力矩作用而不旋轉時，即稱為「力矩平衡」。

物體加速度的大小決定於力的大小，而角加速度的大小決定於力矩的大小。

3.1.2 力與運動

在上一小節中將力定義為讓物體產生加速度的原因，接下來將討論力與運動的關係。**首先說明物體運動的三個法則，為第一運動定律、第二運動定律及第三運動定律，說明如下。**

1. 第一運動定律

物體的性質當中，最基本的量為「質量」。所有的物體若無外力的作用，無法自己改變運動的速度，這個性質稱為慣性。決定慣性大小的因素為質量，質量越大慣性就越大。因為物體具有慣性，故在無外力作用的情況下，「靜者恆靜，動者恆做等速直線運動」。因此，第一運動定律又稱「慣性定律」。

2. 第二運動定律

設物體的質量為 $m(\text{kg})$ ，作用於物體的力為 $F(\text{N})$ ，則物體可以得到一個加速度 $a(\text{m/s}^2)$ 。以數學式來表示則為：

$$F = ma$$

加速度的方向與力的方向相同。此定律又簡稱為「運動定律」。由上式可知，質量越大要達到一定加速度所需的力也越大。換言之，為了停止所需的煞車力也就越大。

3. 第三運動定律

當我們施一力於物體上時，則物體亦必產生一反作用力於我們。例如我們將一物體置於桌上，則物體即施一重力（大小為質量 m 乘以重力加速度 g ）於桌子。而桌子亦產生一大小相等，方向相反的反作用力於物體，如此物體即成靜止狀態。此定律又稱「反作用力定律」。

物體的運動分為物體全體與重心一起移動—平移運動，以及物體以某一點為中心旋轉—迴轉運動兩種。當我們把球棒丟到空中的時候，球棒的運動是非常的複雜的。但是如果我們注意球棒的重心，則會發現其實它是在做拋物線運動。換句話說，任何複雜的運動，都可以分解成平移運動與迴轉運動。

3.1.3 運動與能量

當我們要抬高物體時，由於我們必須反重力而行，因此必須對物體做功，才能提升物體。將一質量為 m 的物體抬高到距離地面 h 的高度時，物體由於得到我們所做的功，**因此比物體在地面時具有更大的作功能力**。這個能力的大小為 mgh ，其名稱為「位能」。

質量為 m ，速度為 v 的運動中的物體比靜止時更具有 $1/2mv^2$ 大小的做功能力。這個能力稱為「動能」。物體所具有的動能和位能的和為一定**值**也就是：

$$mgh + 1/2 mv^2 = \text{一定}$$

這個法則稱為力學的能量保存法則。

3.1.4 力的作用與傷害

靜止的物體不會對人體造成積極的傷害。但是，一旦它具有位能，即位於高處時，便有可能於落下時將位能轉換成動能。同樣的，如果在高處作業的人員不小心，由高處落下時，作業人員本身也會具有動能。這些動能藉由與物體的碰撞而以力的形式作用於人體時，如果人體無法承受，即會對人體造成傷害，甚至造成人員死亡。

人的軀體對力的作用並無太大的抵抗能力。尤其是尖銳的物體在碰觸人體時，會對人體的局部造成極大的壓力。皮膚與肌肉無法承受太大的壓力，於是便會造成刺入、切割、擦傷等傷害。如果能量再大，便有可能連骨骼也會有斷裂、破碎之虞。

隨著科技的進步與產業的發展，人類所使用的能量越來越大，也越來越多樣化。能量的轉換與控制必須靠機械，換言之，機械設備上必定有能量的作用。機械上最常見的能量是動能，尤其是加工用的機械，動能是最常被輸出的能量形態。即使動能並非最終輸出的能量形式，機械上也經常存在著相對運動的機件，這些機件便具有動能。機械上的零組件將能量轉換成動能的時候，通常即傳遞著力的作用，這時我們通常將這一類能量稱為「機械能」。

有時物體的動能並非來自機械的機能。機械上的機件可能因為非預期的力的作用，例如爆炸力或受到超過設計預期的外力而破壞時，破壞的機件也會因具有動能而對人造成傷害。這時的傷害形態稱為「物體飛落」。

當一個機件具有動能的時候，除上述刺入、切割、擦傷外，還可能有撞擊、衝撞的危險。另外，兩個相對運動的機件，因其運動的形態，可能對人體造成擠壓、剪、夾入、捲入的危險。這些危害輕者造成人員的皮肉外傷，嚴重者可能造成肢體的殘廢甚至死亡，因此必須小心防範其發生。

3.1.5 振動與傷害

能量在機械上作用，因為結構等的因素，會有振動的產生。振動是因力的往復作用，使得機件或機械整體產生往復運動。因為往復作用的力透過機件而作用於人員身上，因此振動是屬於機械能的一種。振動對人的影響可分為兩種情形，其一是振動能作用於全身—全身振動；另一類為振動能作用於身體的某一部位—局部振動。

1. 全身振動

往復運動有時會透過地面而傳達到人員全身，也有可能因為人員本身就在機械上，例如乘坐交通工具時，振動也就會傳達到人員全身。振動這種機械能如果作用於人員全身時即稱為全身振動。全身振動因為振動源—交通工具等的不同，對人員的影響也會有很大的差異。作業人員如果受到全身振動會造成眼球的共振而使得視力降低。視力降低除會影響工作效率之外，對安全的影響也不可小看。眼球因為是一個小器官，所以其共振頻率高，振動的加速度越大，造成視力降低的影響也越大。

另外，全身振動也會對內臟造成傷害。各個內臟均為彈性體，且被掛在各個部位。全身振動大約於4Hz左右會發生共振。這個內臟的共振對胃腸的影響是最大的問題。腸胃的內壓，因為振動而升高會有什麼影響尚不十分清楚，但振動對內臟的影響最好還是應盡量避免。

2. 局部振動

局部振動雖然是振動能作用於身體的局部，但由其所造成的症狀卻應由全身的角度來思考。最常見的局部振動起因於手持動力工具。手持動力工具之中，(a)內有活塞者（打擊工具）(b)內有發動機（引擎）者(c)內有旋緊機構者(d)內有振動體者(e)迴轉工具等類工具於使用中均會產生振動。由於使用這類工具時，手必須握緊才能進行作業，因此振動便會傳達到手部。

由手工具所引起的症狀大概可分為以下五大類：(a)循環器官症狀—振動引起手部血管收縮，造成血液循環不良。尤其於天氣變冷時，血管中的血液變少，手部因此變白且無感覺。這種症狀又稱為白手症（Raynaud症候群）(b)神經症狀—臂神經叢分枝的尺神經及腋神經受損，造成手、臂會麻、痛以及手心發汗等。症狀如果持續會造成神經痲痹，喪失感覺及手的動作不良等。(c)骨骼關節症狀—頸、

肩、手肘、手部的關節以及手腕、手的骨骼發生變化。骨骼長出突起，或弱化，造成手臂或手腕無法充分彎曲或伸展。(d)肌肉症狀—肌腱炎、肌肉酸痛、手部握力減低。(e)其他症狀—有時會有失眠、耳鳴、頭痛、心浮氣躁、健忘等症狀。

3. 噪音與危害

聲音是空氣粒子的振動，造成大氣壓力的變化。而振動的原因是力的作用，因此聲音也是機械能的一種。嚴格來說，聲音並非只傳達於空氣，而是在所有的介質（固體、液體、氣體）當中都可以傳達。但是，絕大多數的情況是，聲音在到達耳膜之前，總會有一段是藉由空氣來傳達的。

3.2 聲音的性質與噪音的定義

聲音是一種波動，這個波的行進方向與介質粒子的振動方向是一致的。也就是，介質粒子的密度會有疏密的變化，且這個變化的狀況隨著行進的方向產生連鎖反應，故又稱為「疏密波」或「縱波」。以聲音在空氣中傳播為例，氣體粒子的振動會造成空氣壓力的微小變化。每一秒鐘空氣壓力微小變化的次數稱為「頻率」，以Hz為其單位。頻率的倒數為「週期」，是每振動一次所需的時間，以秒(s)為單位。人耳可以聽得到的頻率範圍為20Hz~20,000Hz，超過20,000Hz的音波稱為超音波，低於20Hz的音波稱為超低音波。

音波在1個週期中所行進的距離稱為「波長」，因此聲音的速度即為：

$$\text{音速} = \text{波長} \times \text{週期}$$

在常溫的空氣中，音速為340m/s，在水中為1,500m/s，在鐵中為5,950m/s。聲音的頻率越高，波長越短。

並非所有的聲音都是噪音。當我們在聽音樂時總不會認為那是噪音，但是別人的耳機所洩露出來的聲音可能就會被認為是噪音。其實是否為噪音會因人、因時、因地而不同。也就是，噪音的認定具有主觀的因素在內。會被認為是噪音的聲音通常是一(1)會刺激耳朵，無法忽視的大聲響(2)妨害思考等精神作業，影響休息、睡眠的聲音(3)無法預測的突發性聲響(4)令人覺得不愉快，不想聽到的聲響(5)混合各種頻率的混合音(6)妨礙聽覺，造成生理障礙的聲響。

雖然噪音無法單由物理量來評斷其危害，而必須考量心理影響的因素，但是在法律上僅能針對音量的大小來管制。噪音防治法對不同種類的聲音，在不同的區域、不同的時段訂有管制標準。

3.2.1 聲音發生的機制

如前所述，聲音乃空氣壓力的變化，而造成空氣壓力發生變化的機制可分成兩大類。其一乃直接的壓力變化，即一高壓的氣體急速的膨脹而造成空氣壓力的

變化。例如高速噴出的噴流空氣 (jet noise)，或吹漲的氣球破掉，或迴轉中的螺旋槳或葉片等對空氣的拍打。其二為間接的壓力變化，即一物體的振動。由於物體的振動，使得與物體接觸面相鄰的空氣粒子隨之振動，因而產生壓力的變化。例如對物體的碰撞，或振動的管路等。

平常在我們身邊周遭可以聽得到的風聲，屬於直接壓力的變化。當風速大到一定程度，在吹過物體，例如電線等的時候，會在物體的後面形成漩渦。而且，漩渦會交替的出現並消滅。這個交替出現又消滅的漩渦會造成空氣壓力週期性的變化，這就是我們聽到的風聲。吹過物體的風速越高，漩渦的出現與消滅就越頻繁，聲音也就越高。

樂器之中，笛、簫等管樂器是屬於第一類直接的壓力變化，而弦樂器與打擊樂器則是屬於第二類間接的壓力變化。雖然都是空氣壓力的變化，但發聲機制不同的其音色也會不同。

3.2.2 衡量聲音的諸物理量

不論聲音是由哪一種機制所發生，基本上都是以機械能的形式表現出來。聲音的傳遞其實也是一種能量的傳遞。通常要表達一個聲音的大小，可由以下幾個物理量來呈現。

1. 聲音壓力 (sound pressure)

聲音乃藉介質密度的變化來傳播，也就是介質的壓縮與擴張之交替。在空氣中，空氣密度之週期變化，即大氣壓力之微差變化就是聲音壓力，或稱音壓。音壓之單位為Pa(N/m²)，可由以下公式求得：

$$P = \rho c U$$

其中， ρ ：空氣密度 (kg/m³)； c ：音速 (m/s)； U ：振動所引起之空氣粒子的速度 (m/s)。

人耳所能感覺得到的最小音壓為20 μ Pa。

2. 聲音功率 (sound power)

音源於每單位時間由所輸出的能量，相當於自音源發出的功率。以符號 w 表示之($w=J/s$)。

3. 聲音強度 (sound intensity)

在垂直於聲音傳播方向取一平面，單位時間通過該平面上每一單位面積之能量，或單位面積上聲波所傳遞之聲音功率，稱為聲音強度，又稱為音強。以符號 I 表示之，單位為 w/m^2 。人耳所能感覺得到的最小音強為 $1 \times 10^{-12} w/m^2$ 。

3.2.3 噪音對人體的危害

噪音屬於感覺公害，其特性為一傳播速度快，汙染範圍廣不殘留（具一時性）。噪音乃是由音源所發出，音源如果停止發音，噪音問題便消失。又，如果音源為一動音源，則汙染範圍便更廣。噪音對人的影響除考慮物理量的大小之外，尚需考慮心理因素。噪音對人的影響有心理及生理兩個層面。

由人耳進來的噪音，經由神經訊號的傳遞，對人體內各部器官產生或大或小的影響。被變換成的神經訊號經由網樣體廣泛的刺激大腦，尤其是大腦皮質的聽覺領域及連合聽覺領域。另一方面，受到刺激的大腦對於其所主宰的自律神經系及內分泌系自會有所影響。

1. 對聽覺器官的危害

超過130dB (A) 的強烈噪音，如爆炸聲等，會震破耳鼓膜，造成鼓膜穿孔，形成永久性聽力損失，稱為暴露性耳聾。即使是不致引起鼓膜穿孔的強烈噪音，但長時間曝露於一定強度的噪音下，仍可造成內耳的損傷（ear damage）與嚴重聽力降低稱為噪音性聽障，或感音性聽力損失（perceptive hearing loss）。如果造成這類聽力影響的原因是由於職業性暴露的話，那便是職業病。

噪音性聽覺障礙的特徵是C⁵dip、recruitment陽性及輕度耳鳴。所謂的C⁵dip是因在4,096Hz的音階之C⁵附近頻率聽力顯著降低，且降低範圍由3KHz到6KHz，而形成一個聽力損失的山谷（C⁵即是指“谷”）而得的名。

有recruitment陽性的人聽不到小的聲音，當聲音漸漸的變大時，會忽然的聽到很大的聲音，也就是在隱約不太確定，聽不太清楚的範圍要比正常人來得狹窄，所以即使調大音量也難以改善明瞭度和了解度。

聽力損失（shift of threshold of hearing）分為暫時性與永久性損失。暫時性聽力損失（temporary threshold shift：TTS）永久性聽力損失（noise induced permanent threshold shift：NIPTS）。暫時性聽力損失是一種感音性疲勞，又稱為聽力疲勞（auditory fatigue），一般離開噪音環境，**危害程度中度者其復原時間大約16小時，重**度則要數日到數週才可復元。聽力疲勞乃是因內耳柯氏器（organ of corti）之毛細胞受到輕度損傷結構變形，通常高頻噪音較低頻噪音容易引起TTS。同時，集中於一狹窄頻帶範圍所造成的TTS較大。初期TTS仍是以4KHz為中心形成聽力降低的谷，如TTS超過50dB，或持續累積便可能成為永久性聽力損失（NIPTS）。

過量或長時間的噪音暴露會造成永久性聽力損失。響度極大的衝擊性噪音會導致柯氏器嚴重振動，部份結構受損，細胞生命迅速的遭到破壞，稱為聽力外傷（acoustic trauma）長時間噪音曝露的累積會導致柯氏器內毛細胞及附屬結構的退化，或脫落。這兩種情形均會造成永久性聽力損失。

聽力損失在初期不易發覺，這是因為日常會話的聲音頻率大多在3KHz以下，與聽力損失的頻率範圍不一致，故對日常會話也不致有太大影響，但如不加以注意，時間一久便容易造成NIPTS。

判定有無聽力損失常以聽力計 (audiometer) 來量測，以正常人的最小可聽值為基準，測定受測者在各個頻率 (純音) 的最小可聽值，以低於幾dB的方式來表示其聽力損失。聽力損失不易治療，因此預防是相當重要的工作。

2. 干擾會話

被變換成神經訊號的噪音進到大腦皮質的聽覺領域及聽覺連合領域的部份，便會妨礙到我們真正想聽的聲音，這個稱為聽取妨害。

聽取妨害不但會干擾會話，電視、收音機、電話等的聽取自然也同樣到干擾。通常距離1公尺的兩人，其會話可以容許的環境噪音為78dB (A)。如果要持續交談則70dB (A) 是極限值。想要有良好會話品質則最好環境噪音維持在50dB (A) 以下。

3. 妨害工作

大腦中的舊皮質是產生情動、本能、慾望需求的部位，新皮質則是進行學習、感情、意志等高等精神作用的地方。由噪音而來的訊號被傳到這裡，自然也會產生一些影響。一般常見的妨害是分散注意力，學習及工作效率降低，情緒不佳。

噪音對學習或作業效率的影響很難有明確的量化。曾有研究以計量心理學的手法做過實驗找出影響的各個要素。(如表3-1)

表3-1 影響人的不快感之諸要素

噪音方面	個人方面
音級 (位準)	健康狀態
頻率成份	性別
持續時間	年齡
衝擊性 (上昇時間)	性格
發生次數	周圍的聲音環境
位準的時間變動	過去的經驗
頻率的時間變動	習慣
聲音的突發性	作業內容 (作業中)
音源的局部集中性	利害關係
發生源的公共性	經濟狀態
聲音的必要性	被害者數

對單純（調）或勞力作業而言，平常聽不慣的聲音會造成一時的影響，但漸漸的便會習慣影響也會變小。這類只要集中注意力於一處的作業較不會受噪音的妨礙。有時候反而會有促進的效果。例如：小鋼珠店的吵雜背景音樂。

據說對必須分散注意力於二處以上的作業而言，噪音便會造成妨害。這可由作業場所的事故發生率看得出來。超過90dB（A）的連續噪音會對檢索作業，全表或計測器的看視作業，分析作業等，會受到較大的影響。另外適於學習的環境應該是50dB（A）以下。

4. 妨害睡眠

40dB（A）以上的噪音便會對破壞睡眠生理過程睡眠造成妨害。尤其是間歇性的噪音要比穩定性的噪音的影響來得大。病人和老人容易受噪音影響，妨害睡眠。女人也較男人容易受影響。60 dB（A）的衝擊性噪音會有70% 的人被驚醒。

5. 其他生理影響

人腦中的視床下部是自律神經的中樞，主宰血壓等的調節作用。如果這個部位受到噪音的影響，則這些機能便會受損。噪音對生理機能的影響範圍很廣，有些是經由心理壓力而來的特異性的影響，但因壓力來源相當廣，是否是由噪音所引起的關係很難加以明確認定。

以下是一些得到較為明確關連性的影響：

(1) 對循環系統的影響

根據實驗報告指出，噪音所引起的不快感造成血管收縮（噪音級越高導致血管收縮越強烈），指尖血流量減少。另外，由於噪音的刺激引起交感神經緊張導致心跳加快、心律不整、高血壓和動脈硬以及引起心室組織缺氧，導致散在性心肌損害等。

(2) 對內分泌的影響

有報告指出噪音會促進副腎皮質賀爾蒙的分泌，抑制性腺刺激賀爾蒙的分泌。

(3) 對懷孕生產的影響

據日本學者對大阪機場周圍噪音的影響調查中發現，有孕婦流產以及新生兒平均體重下降的現象發生。

6. 電氣危害

自工業革命以來，電氣化的機械與設備已成為大眾生活與產業生產不可或缺的要件，尤其近十年來工商業迅速發展及電力普及化，目前國內各工廠、工地與家庭中的機械設備也大多以電能為動力，在環保意識抬頭時，乾淨的電力更是最

被推崇的能源之一。由於電是我們日常生活及工作上必須的動力來源。電的應用更是多方面的，家居用電方面包括電視、音響、電燈和冷氣機等。而在工作上可應用到電腦設備、手提電動工具、電動機械設備、電弧焊等。公共交通用電則包括地下鐵路、火車及電車等。因為經常接觸及使用電力，因此電氣安全或說電力的危害是比較不容易被察覺到的，所以容易造成嚴重意外。每年涉及電力的意外時有發生，導致有不少的人命傷亡及財務損失，大部份意外往往是使用者對使用電力的安全意識不足所造成。一般而言，採用電能並不比使用蒸氣或其他能源危險，但在使用電氣設備時常因對用電安全的知識不足、使用上的疏忽或電氣設備的使用、維護不良或設備本質之不安全而發生電氣災害事故，導致人員傷亡及財物損失。

在國內，根據勞委會歷年來重大職業災害檢查統計資料顯示，國內感電類型重大職業災害多年來一直高居全產業職業災害之第二位，僅次於墜落、滾落災害，民國八十八年感電重大職業災害有52件(佔全產業11.8%)、八十七年感電重大職業災害有71件(佔全產業15.1%)、八十六年有82件(佔全產業15.8%)、八十五年有69件(佔全產業16.3%)、八十四年有80件(佔全產業16.4%)、八十三年有88件(佔全產業15.8%)，平均每年發生感電重大職業災害約有78件，又於79~88年(十年內)之重大職業災害件數中，感電災害計746件，佔所有重大職業災害之15.40% (占第二位)。而在機械安全與其所產生之職業災害上，由於近年來，我國經濟呈高度成長，從政府到業界，生產的議題依舊受到倚重，但隨著人民所得的增加，尊重人命的觀念亦逐漸受到重視，安全已漸成為企業主體中重要的一環。然而，環視國內產業機械，在製造及使用時，對於機械設備本身的安全顧慮明顯不足，以致機械傷害佔整個製造業職災比重相當的高。以國內78年至82年勞保局勞工保險資料中製造業職災分佈顯示，前五名分別為金屬品製造業佔21.6%、機械設備製造修配業佔11.8%、木竹製品及非金屬傢俱製造業10.7%、運輸工具製造修配業佔7.8%以及金屬基本工業佔6.7%，合計此五項子行業之職災比例，已超過所有製造業的50%以上。再仔細觀察此五項子行業，皆與機械加工有密切關係。再從82年勞保局製造業之勞工傷害原因分析中得知，被夾、被捲佔所有傷害比例高達57.09%，其次是被切、割以及擦傷等傷害佔20.02%。從上述資料顯示，機械設備安全性不足，是造成職災比例偏高的重要因素。

3.3 靜電的產生與累積

電的產生常造成日常生活的困擾如：尼龍衣服吸附身體、梳子吸附頭髮、螢光幕吸附灰塵、手摸門把感到電擊等。實驗室或產業界靜電的危害類型為化工製程中設備或產品摩擦產生靜電，當大量靜電累積產生靜電放電現象時，若周遭為易燃性蒸氣或粉塵則可能被引燃，造成火災或爆炸等不幸的事故，亦或電子工業中靜電的放電造成CMOS積體電路氧化層損壞，產品良率下降，雖然靜電未放電，但累積在晶圓上的靜電增加250倍的吸附粒子的能力，將造成產品的品質缺陷。更由於證據確認困難，即使是詳細的調查報告也不容易認定靜電是致災的元兇，且靜電火花所產生的能量不大，故靜電常被忽略。根據一些工業先進國家較可靠的調查統計，在工廠內因靜電產生的電擊案件，每年平均有十分之一的工廠發生。靜電火花的能量雖小，不常造成直接傷亡事故，但因靜電電擊而發生墜落事件，

造成間接傷亡的情形並非少見。比較可能造成靜電直接傷亡的工廠，以造紙剪紙器加工業為多，間接傷亡事故曾在印刷、墨水、油脂加工、塗料業發生。鑑於靜電能引發災害，故我國勞工安全衛生設施規則第291條規定：「雇主對於有發生靜電致傷害工作人員之虞者，該工作機械及其附屬物件，應就其發生靜電之部份施行接地或使用除電劑、增加濕度，或裝設無發火源之除電裝置等適當設備」。本節擬敘述靜電的產生及在實驗室或產業界常造成的危害。

3.3.1 靜電的產生

靜電是電子的運動造成的，發生於相接觸的兩種不同的物質分離之時。在分離的物體上電子產生電荷。若這些電荷不能離開，則成為靜電，靜電之名由此而來。

摩擦會不會產生靜電？有人說會，有人說未必。但持摩擦未必產生靜電的說法的人，皆認為摩擦增加電子的釋出以及離子化粒子的產生，故增加靜電傾向。而持摩擦產生靜電的說法的人，認為兩種物質在一起摩擦，其中一種物質內的電子可能被驅脫離其軌道，而進入另一物質中。獲得電子的物質帶負電荷；失去電子的物質帶正電荷。詳言之，當兩種物質互相摩擦，由於摩擦面的密切接觸，物質內有些電子軌道可相互交叉起來，某一物質可驅使電子進入另一物質。這種現象發生後，兩種物質就有靜電存在，因此我們說摩擦產生靜電。至於那一種物質帶有正電或負電，則由那一種物質容易放出電子與否而決定。下表3-2可供參考。表中的左方為陽電側，右方為陰電側。表中的兩種物質相互接觸再分離之時，在左邊的物質帶正電，在右邊的物質帶負電。兩物質的帶電序列距離愈遠，其所產生的電荷量愈大。

表3-2 各種物質的帶電序列

陽 電 側	頭 髮	尼 龍	羊 毛	螺 縲	絹 綢	棉 布	醋 酸 絲	奧 龍 、 棉 混 紡	紙	麻	鋼 鐵	合 成 橡 膠	聚 乙 烯	賽 璐 璐	照 相 軟 片	陰 電 側
-------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------------	----------------------------	---	---	--------	------------------	-------------	-------------	------------------	-------------

只要兩物質的表面保持接觸，每一接觸表面的電極就相反，如此自外表看來，結合虛的電是中性的。累積起來的靜電量的大小，基本上是依物料的性質，兩接觸表面的面積以及其幾何結構而定。繞過滑輪上快速轉動的皮帶或經過機器的滾筒上的紙、布都會產生靜電。流經管線或軟管的非導電的液體，自空中以滴狀落下或噴射，儲槽中被攪動的液體，或當空氣或其他氣泡穿過這些非導電的液體時，也都會產生靜電。石油、溶劑、苯、乙醚及二硫化碳物質常會發生並累積靜電，

特別是在流經網面或濾清器的時候。貝殼(Shell)石油公司曾做了一項調查，以決定在有濾嘴燃料的油槽之內產生火花的原因。縱然管路已經接地，使用濾清器時，亦能產生長達60公分的火花。若不使用濾清器，則無火花出現。

以高速自噴頭放出的氣體也可能產生靜電，尤其在該氣體帶有液體或固體的粒子之時。在德國曾發生因使用二氧化碳滅火系統來撲滅可燃性的氣體而產生靜電，引發靜電火花，使可燃性的氣體突然爆炸燃燒。穀物和金屬粉塵的運動也會產生靜電。常見於處理飼料、種子、香料、糖、澱粉、可可、樹脂，以及金屬粉末的工廠。

流體產生靜電的種類，可分下列數種：

1. 流動液體與固體表面，如管壁、軟管壁、儲槽壁，或濾清器的內壁等之摩擦。
2. 液體流動時接觸其他液體之間的摩擦。
3. 將液體向空中噴射。
4. 懸浮的固體或液體異物下沉(settling)，或泡沫通過液體向上運動。
5. 濕氣中雨、雪的運動。

當一種流體，如柴油，流經管路，此流體因其較低的導電性而變成帶電。當其流動，電荷隨之而累積增加。這種運動累積的情形，稱為「流動電流」(streaming current)。此流動電流有時以極具危險的量，與燃料一同進入儲槽。一旦液體進入儲槽，此電荷也許需數小時的時間才能消失，消失時間依流體弛緩時間(relaxation time)及儲槽的構造材料而定。由可燃性的流體產生的靜電累積特別危險，因放電能成為發火源，導致產生靜電的液體燃燒。

在噴霧處理中，兩種物料迅速分離而產生帶電的粒子。噴霧生電與流動液體的帶電不同。流動液體中所有的正負電荷保留在產生電荷的霧滴上。非常細小的粒子帶負電，較大的霧滴帶正電。較大的霧滴下沉時帶負電離開空氣。儲槽中帶電的燃料與儲槽壁及儲槽頂(roof)之間產生火花的可能性，因儲槽空氣中霧氣離子化的情況而升高。如果儲槽外面有移動的車輛，燃料的飛濺(sloshing)可能造成其他的帶電情形。

因此灌裝燃料儲槽，是一危險的作業。其危險程度與灌裝儲槽的速度及儲槽的大小成正比。儲槽表面上的金屬物體，如飄浮物，若其作用如一塊電容器的板(Plate)，收集燃料的電荷，則更具危險性。儲槽壁與其頂作為電容器的另一塊plate，則電位隨兩者之間距離的縮小而增加。電荷移多的話，就會產生火花。因為儲槽中的空氣充滿著帶離子的粒子的燃料蒸氣，要產生火花的電位比在乾燥空氣中需要的電位小得多。下圖 3-1 即描述進入儲槽的靜電變化。

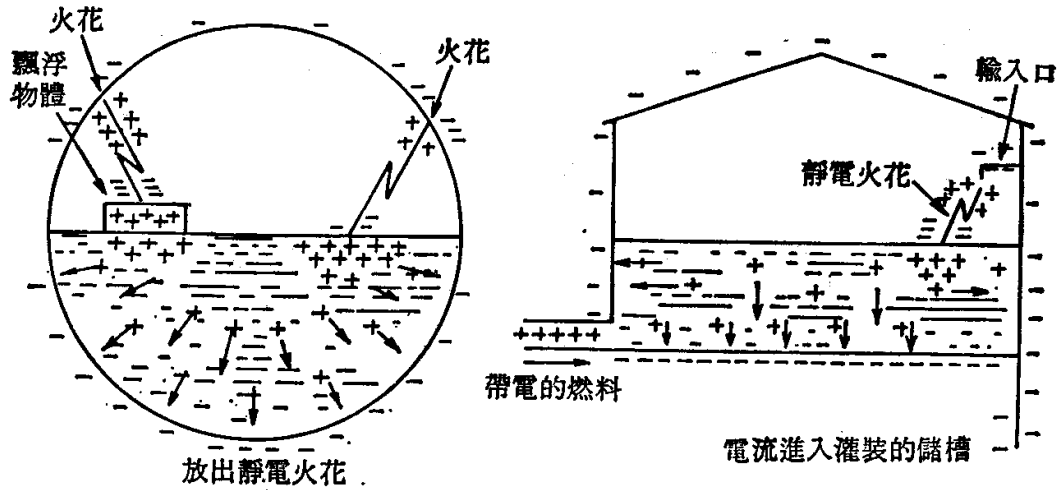


圖3-1 描述進入儲槽的靜電變化

在儲槽上使用不導電的塗料(coating)會增加在燃料儲槽內產生火花的傾向。這些塗料減低電荷從儲槽表面被引導離開的能力，或使得液體電荷弛緩減少。如此，整個儲槽就像個巨大的電容器，在液體與槽壁之間，或在液體與變成電極的物體(如插進要灌裝的儲槽的軟管出口hose nozzle)之間放出火花。

在以圖3-2舉例說明洩料口電荷的生命史與災害發生的原由。

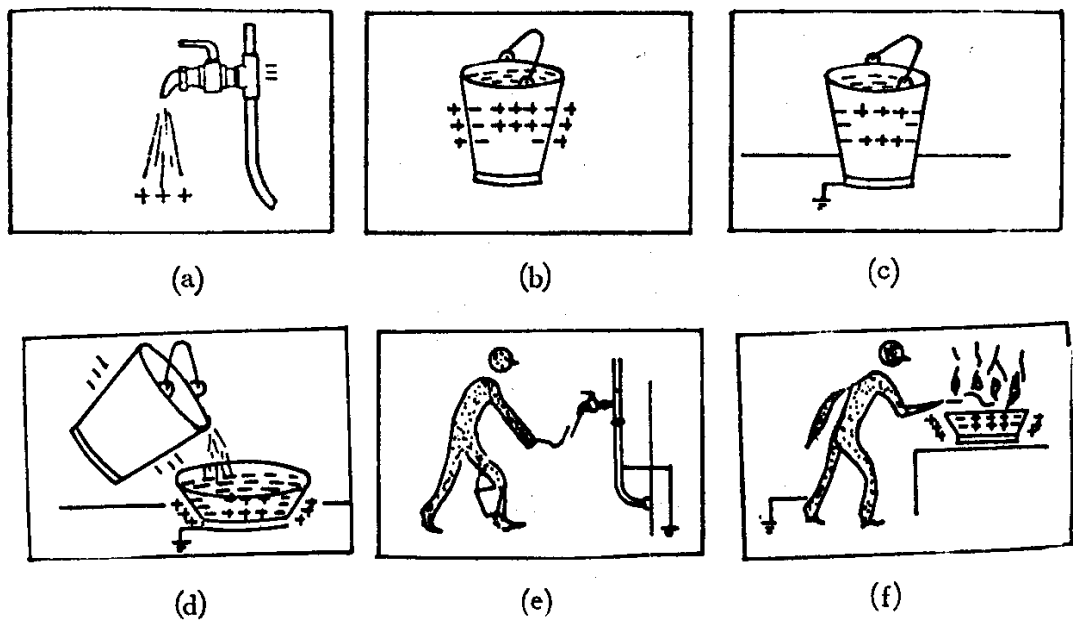


圖3-2 說明洩料口電荷的生命史與災害發生

易燃的液體流經水龍頭(tap)之後會帶電；產生兩種相反且相等的電荷。

- (a) 帶電的液體含在盛裝液體的桶子外緣上產生兩種相反且相等的電荷。
- (b) 放在地上的桶子，其外面的電荷會消失；雖然桶子與液體都帶電，但整個來說是中性的。
- (c) 液體及其所帶的電荷倒進盆子裏，引發帶電的過程重複發生；只留下桶子外面的電荷。
- (d) 穿塑膠底的鞋子的人與桶子一樣帶電，火花從他的手傳到接地的燃料排放口，造成火災。
- (e) 另一個沒有穿塑膠底鞋子的人(直接接觸地面)，他的手靠近帶電的液體的表面，產生火花，造成火災；事實上，此情形常造成意外事故。盆子雖然接地，但無差別。

除了前述影響固體物質產生靜電的因素之外，倘有其他的因素影響流動電流的速率與產生。包括：

6. 流動的速度與流動量。
7. 污染物質：液體中的污染物質增加產生靜電的速率。避免污染物進入或以過濾(filtration)方法移除，可減少此種傾向。諸如異物，添加物、水及氧化生成物等污染物質在儲存過程中形成。甚至很少量的不溶解的碳或固體的碳氫化合物出現，必定增加靜電的傾向。液體儲槽中的污染物的沈澱(sedimentation)也會造成靜電。由於流動或噴霧主電兩增加靜電的累積以及產生電位。不論是比儲槽中的液體重的粒子下沉，或較輕的氣體，流體泡沫或某種特殊物質的上升，污染物都會因此而移動。形成的電位視每單位體積的液體所含的污染物而定。
8. 溫度：溫度升高時，生成的離子和電子普遍有較少的傾向。此由於溫度增加，液體黏性與摩擦力降低之故。若溫度升高，則有不良影響，使得一些燃料的氧化作用加速，產生污染流體的粒狀物質。
9. 輻射：紫外線與 α 射線會增加氧化，相對地增加產生靜電的效用。
10. 大氣電荷：長久以來已經知道在閃電雲(thundercloud)中產生的大電位金由於雨、雪、雹的運動而生電的。雨、雪上的電已有很多人調查出來，雖然個別的電荷很小，但大粒子能產生龐大的電荷的累積。在暴風雪中灌裝大型的航空燃料儲槽，則雪花上的電荷被認為可能造成至少一次的意外事故。若移動人孔蓋以檢查燃料存量，會造成小火。移動蓋子，使得空氣進入，人會更加旺盛，燒毀儲槽。靜電被認為是火災的原因，然而產生電的真正方法是在灌裝儲槽時的流動電流與雪上的電荷兩者同時發生的。

3.3.2 靜電放電及其危害

一般而言，電通常以靜電及動電力（起電力）兩種型態存在。電對人所造成的危害也可分為電能的直接作用（直接災害），以及轉換成其他能量的型態作用

(間接災害)兩大類。電所引起的災害型態可如圖3-3 加以分類整理。本文僅提出觸電、感電來討論。

我國於民國九十一年之中，觸電、感電佔全產業之災害比率為0.51% (如圖3-4 所示)。在製造業之中則佔0.54% (如圖3-5所示)。另外，如單獨將營造業在七十九年至八十八年間，所發生之2,648 件「重大職業災害」案件，依其災害類型加以分類可知，在工作場所發生 2,648件重大職災案件中，歸屬於感電/觸電災害類型者共有489件，佔總災害件數的18.5%，排名第二，僅次於墜、滾落災害，其他依序為物體倒塌、物體墜落、衝撞、被夾被捲等 (如圖3-6所示)。

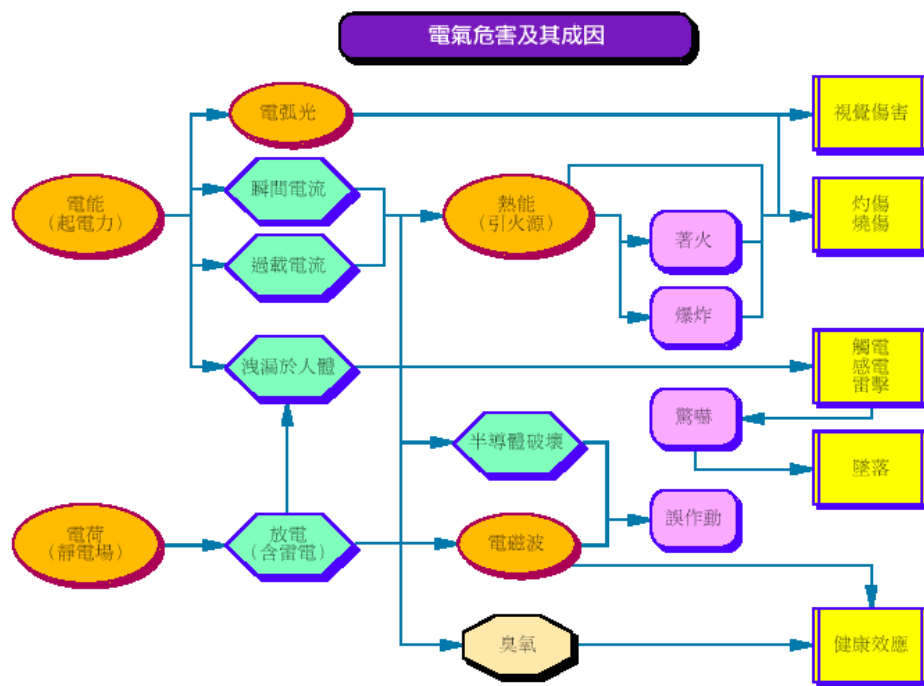


圖3-3 電所引起的災害型態

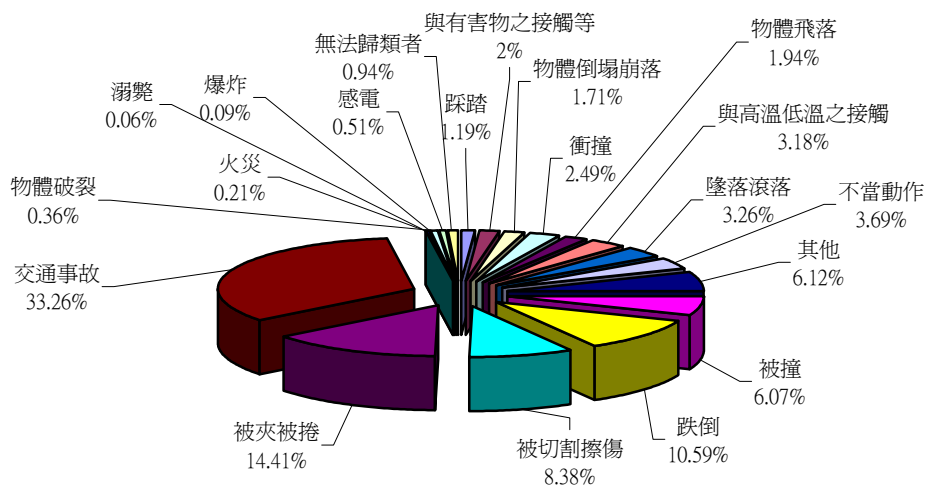


圖3-4 91年職業災害統計製造業災害類型分析

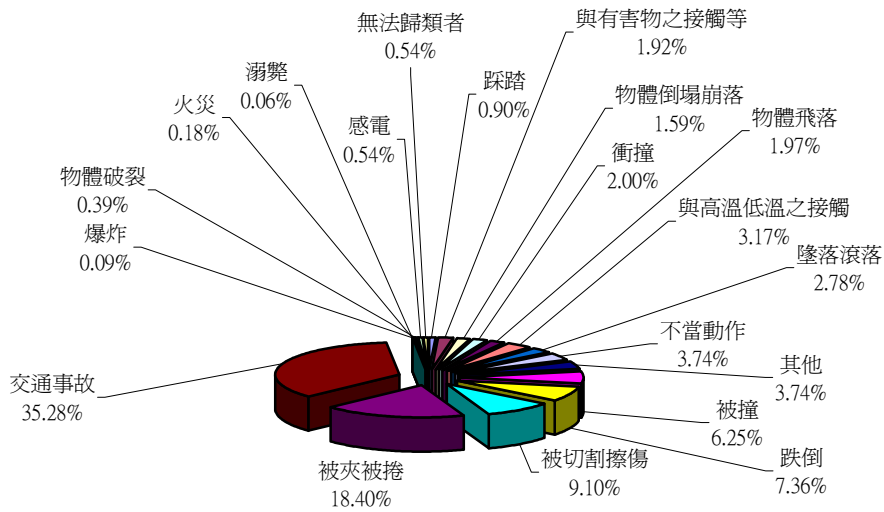


圖3-5 91年職業災害統計製造業災害類型分析

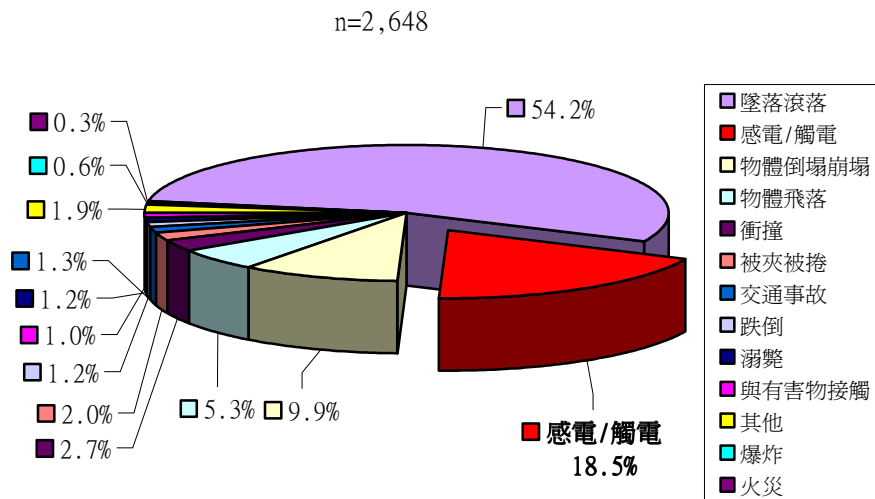


圖3-6 營造業79~88重大職災類型析圖

3.3.3 起電力之基礎知識

電氣存在著一種壓力稱為電壓(Voltage)，此電壓施加在物體上就會流通電流(Current)，物體通過電流時，會產生流動的阻力稱此為電阻(Resistance)，此三者之關係式，稱為歐姆定律(Ohm's Law)。

即在電壓一定的情況下如果電阻高則電流低，反之電阻低則電流高。

3.3.4 觸電與感電

人體驅動手腳或身體其他部位時，腦部會發出約100mV脈衝狀的微小電壓經神經系統來傳達。但若人體的一部份接觸到外面電流(例如破皮電線)時，會有某程度的電流通過人體，此電流若在某一範圍以內，對人體是不會造成危害的；倘若超出某一範圍，可能造成可復原性的傷害；若再超出一特定範圍時，就會對人體產生永久性的傷害，即所通稱的感電災害，一般又稱為電擊。此電擊程度又依通過人體電流的大小、時間、頻率、路徑、體重等有關。感電除了人因電擊本身而直接受害外，還包括因電擊的衝擊而產生墜落、滾落、跌倒等二次災害及感電所致的熱傷(燒傷)。

若將歐姆定律應用於人體上受電擊時，電壓保持不變，人的身體是電阻(R)。如人體電阻(R)減少，通過我們身體的電流(I)便會增強，人的受傷程度亦會更嚴重。

當電流通過人體時將會有麻痺、針刺、顫抖、痙攣、打擊、疼痛、呼吸困難、血壓升高、心臟跳動不規則、昏迷、心室顫動等之感覺；另外若依通過人體的電流與其所造成的傷害可區分如：

1. 感知電流值：

人體感覺有電流通過，稍感刺痛。

2. 可脫逃電流值：

肌肉仍可自由活動，但會伴有痛苦感，不過尚可不靠他力而能脫逃。

3. 無法脫逃電流值：

會使肌肉發生痙攣，無法不靠他力而脫逃，此狀態下會有相當程度的痛苦感，若情況持久下去的話，人會失去意識，呼吸困難而窒息。此時必須擺脫電氣設備，立即施以人工呼吸。

3.3.5 電氣火災與爆炸

電氣火災是與電有關之設備或通電之設備，因某種原因使正常之迴路發生異常生熱，致著火成災謂之。這種火災在搶救上除了已經斷電之情形外，由於有發生感電意外之可能，所以要特別注意。

1. 人為因素：

因為人為因素所引起之電氣火災，可能因為故意或過失而發生，不論是故意或過失，其原因不外是施工不良、使用不適當之替代品、管理不善、製品品質不良、違規違章用電、法令不備、公權力不彰等，我國之電氣火災大部份都是因為人為因素所引起的。

2. 環境因素：

易造成電氣火災之環境因素包括雷擊、靜電、含鹽分之濕氣(鹽霧)引起之閃絡。

3. 設備因素：

因設備因素所引起之工廠內電氣火災又可分為電器設備本體引起之火災及電器設備相關電源迴路引起之火災。

電器設備本體引起之電氣火災包括：

1. 電熱照明與電磁輻射過熱。
2. 電動機械過熱。
3. 電動機欠相、低頻、低壓、反饋燒損。
4. 電器設備及附屬設備不良引起。

電器設備相關電源迴路引起之火災：

1. 電器迴路之接觸不良、短路、斷路。
2. 電器設備及電路過負載。
3. 電器火花電弧閃絡。
4. 電器設備及附屬器具配合不良或接觸點鬆動。
5. 電器設備及附屬器具絕緣不良、漏電等。

3.4 光線及其危害

3.4.1 光的性質

1. 光的性質：光是電磁波的一種具有波動及子的雙重性質。

(1) 光的波動性質：

(a) 光具有繞射、折射、反射、散射等波動性。

(b) 公式： $C=\lambda \cdot \nu$ (C ：光速= 3.0×10^8 m/sec)， ν ：頻率(s^{-1} =HZ)， λ ：波長。

(c) 波數：the number of waves per cm= $1/\lambda$ $\nu=c/\lambda$

(d) 電磁輻射波與可見光之波長比較：

無線電波 > 微波 > 紅外光 > 可見光 > 紫外光 > X-射線 > γ -射線

表3-3 電磁輻射波與其波長

輻射名稱	波長之近似範圍
無線電波	幾公尺以上
微波	幾毫米至幾公尺
紅外光	7500Å~0.01cm
可見光	4000~7500 Å
紫外光	100~4000Å
X-射線	0.1~500Å
-射線	小於0.5Å

表3-4 可見光之光譜顏色與其波長、頻率

顏色	波長(λ)(cm)	頻率(ν)(週/秒)
紫	短於 4.5×10^{-5}	大於 6.7×10^{14}
藍	$4.5 \sim 5.0 \times 10^{-5}$	$6.7 \sim 6.0 \times 10^{14}$
綠	$5.0 \sim 5.7 \times 10^{-5}$	$6.0 \sim 5.2 \times 10^{14}$
黃	$5.7 \sim 5.9 \times 10^{-5}$	$5.2 \sim 5.1 \times 10^{14}$
橙	$5.9 \sim 6.1 \times 10^{-5}$	$5.1 \sim 4.9 \times 10^{14}$
紅	長於 6.1×10^{-5}	小於 4.9×10^{14}

(e) 光的強度(或亮度)和其振幅的平方成正比。

2. 光的粒子性：蒲朗克(Max Planck)在 1990 年提出，假設光是由一群具有能量的光子組成。

(1) 光在能量方面具有粒子性，因輻射能只被吸收或放射出特定量稱量子(quanta)或光子(photon)

(2) b.公式： $E=h\nu=hc/\lambda$ h =Planck's constant

$$h=6.6262 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 9.52 \times 10^{-14} \text{ Kcal} \cdot \text{s/mol}$$

3.4.2 紫外線與紅外線光的危害

1. 紫外線

紫外線由太陽發出，照射到地球時，光線能量仍相當強烈炙熱，如果沒有臭氧層的保護，地球上之萬物將無法生存。

紫外線依其光譜與波長分為下列幾種：

- (1) 真空紫外線，波長為 10~200nm
- (2) 短波紫外線，波長為 200~290nm
- (3) 中波紫外線，波長為 290~320nm
- (4) 長波紫外線，波長為 320~400nm

(5) 可見光，波長為 400~760nm

當真空紫外線與短波紫外線進入大氣層之後，即被臭氧層所吸收；幸而有臭氧層的存在，否則紫外線對人類將造成傷害，天天都須忙著躲陽光。中波紫外線會引發曬傷反應，產生紅斑、發炎等反應，也可能將皮膚曬黑而增厚。長波紫外線亦能使皮膚曬黑。

紫外線照射，主要會造成皮膚老化，皮膚表層易產生乾燥、皺紋、無彈性，甚至微血管擴張、色素異常等情況，如長期不當的暴露，有致腫瘤之可能。根據世界氣象組織發佈的資料顯示，全球臭氧層破洞有持續擴大的趨勢，使地球表面所接受的紫外線照射量增加，造成眼疾、皮膚病增加，而對地球環境生態危害甚鉅。

2. 紫外線指數的意義

測報中午時間陽光最強的一個小時，能使人類皮膚曬紅的紫外線照射到達地面單位面積所累積之輻射量之數值，稱為紫外線指數。

我國環保署已自八十八年起開始預報紫外線指數供國人參考。

3. 紫外線對人體皮膚的影響

- (1) 皮膚發紅、疼痛。
- (2) 皮膚曬黑。
- (3) 皮膚表層厚度增加。（惟對日後日曬有保護作用）。
- (4) 皮膚老化。
- (5) 致癌可能。

4. 紅外線

紅外線在光譜上通常以超過可見光區的最長波--紅光，波長約 $0.75\mu\text{m}$ (750nm)之後的不可見光稱為紅外線(Infrared)。

紅外線(Infrared)是屬於電磁波的一種，當任何物體的溫度在絕對零度(-273°C)以上時，都會釋放出紅外線，而紅外線全波長約0.75至1000微米(μm)，之後又依其能量含量不同，而分成近紅外線(near-IR/波長0.75至 $2.5\mu\text{m}$)。中紅外線(mid-IR/波長2.5至 $25\mu\text{m}$)及遠紅外線(far-IR/波長介於25至 $1000\mu\text{m}$)等三種波長，而其波長可被延伸至長達 $1000\mu\text{m}$ 左右，之後則屬於微波(Microwave)部份。

不論分法為何，以紅外線為工作光源所製成的儀器目前已被廣泛應用在安全監控設備工業上

(1) 近紅外線方面的應用例如：

電耦合裝置(Charge Coupled Device, CCD)攝影機，點對點式人體溫度移動感應偵檢器。

(2) 中紅外線方面的應用：

例如紅外線氣體分析儀及紅外線熱影像儀。

(3) 遠紅外線方面的應用：

除加熱的用途外，僅有少部份應用在氣體分析上面，其應用之重要性至目前為止，較不如近、中紅外線的廣泛。

不同的應用技術所引用的紅外線波長，皆有其基礎理論上之限制，而往往無法互相取代。此外，紅外線之所以如此重要，並非因為其為不可見光，而是許多自然界物質運動現象（分子的轉動與振動）所釋放或吸收的輻射能量恰巧落在紅外線能量區域，因此可用紅外線來探知待分析物存在的種類、數目甚至外觀形像。

3.4.3 雷射光的危害

雷射是英文 Laser 的音譯，而後者是 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation 之縮寫字。因此激發放射是產生雷射的主要觀念。雖然愛因斯坦在 1917 年提出了激發放射的觀念，但卻直到 1960 年才得以看到雷射的產生！

1. 激發放射：

顯示該電子也在較高能態 E_2 ，但同時也有一連續頻譜的電磁輻射照到它。其中若有一光子的能量 hf 剛好等於 $E_2 - E_1$ 時，它會與該電子作用，使得它縮短跳躍到較低能態 E_1 所需時間，並放出一光子 hf 。由於用來激發該電子的光子 hf 並沒有被吸收，使得整個過程共有二個能量皆為 hf 的光子放射出來。這種過程稱做激發放射。電子被激發後所放射出來的光子，其所有的特徵，包括能量、方向、相位和偏振性等等，皆與原來用於激發電子的光子完全相同。這些特徵也就是說它們同步調(coherent)。雷射光是在這種情況下產生出來的。

一束光子，它們具有相同的能量、波長、相位以及方向，因此它們是同步調的光，不會隨著光進行距離的延長而散開或不聚焦。這些正是雷射光的特色也。組成一般雷射之主要元件：a.激發裝置、b.光腔、c.材料。

雷射是一種產生同步調電磁波的裝置。最早的雷射是紅寶石雷射，1960 年梅曼 (T. H. Maiman) 所研製完成的。

它是在約幾公分長的紅寶石晶體摻入鉻原子做為雜質，周圍繞以發出高強度綠光的閃光燈。當此高強度的綠光進入晶體棒，會激發其中鉻原子的外圍電子到較高的能階。這些電子跳經中間能階，然後再慢慢的跳回它們的較低能階。在這最後階段，這些電子放出紅色光的光子。這些在晶體中產生紅色光的光子會使仍

處在激態的鄰近原子產生激發放射。激發放射的光子，其一切特徵和入射光子完全相同，而且會一而再，再而三的讓其他激態的原子產生激發放射，因此產生出一束同步調的光。開始時，大部份的同步調光會從晶體的各邊走失；但是沿著晶軸的光會被先前鍍在晶柱兩端的鏡面所反射。晶柱左端是全反射的鏡面，而右端是半反射的鏡面。當沿著晶軸同步調的光被兩端的鏡面來回反射，一再地加強達到一種共振狀態時，很強烈的雷射光即從右端射出。如此即產生了脈衝式的紅色雷射光，其波長為 694.3nm。緊接著物理學家研製了一種氦-氖的氣體雷射，它可產生一種連續波的雷射光。

圓柱形的玻璃放電管中含有低壓的 80%氦及 20%氖之混合氣體，其中氖氣才是產生雷射光的介質。當玻璃管兩端的電極產生高壓放電時，激發作用即可完成。因為在放電過程中，電子和離子會很頻繁地與氦原子碰撞，使得它們躍升至的 E_3 能階。 E_3 是一個半穩態的能階，其平均壽命時間（約為 10^{-3} 秒），比自發放射時間（約為 10^{-8} 秒）長很多，故氦原子自 E_3 自發放射至其基態能階(E_0)的量是很少，可忽略不計。

氦原子在激發態能階 $E_3(20.61\text{eV})$ 剛好與氖原子在激發態能階 $E_2(20.66\text{eV})$ 很接近。因此，一個半穩態的氦與在基態的氖相撞時，氦原子的激發能很容易轉移至氖原子，使氖原子在激態 E_2 的居量大於激態 E_1 的居量。這個居量倒逆現象一直可以維持著，主要是(1) E_3 的半穩態特性，提供足量的氦原子處在 E_2 ；而且(2)在 E_1 的氖原子會很快的衰變到自己的基態能階 E_0 。如此，則氖原子從 E_2 跳躍至 E_1 的激發放射會主宰整個過程，並放出紅色的(波長為 632.8nm)雷射光。

剛開始放電管中由氖原子的激發放射所放出來的雷射光是四面八方的，其中大部份都被管壁所吸收。但是小部份平行於放電管管軸的雷射光會在兩鏡面 M_1 (全反射)和 M_2 (半反射，半透射)間來回反射並在放電管軸的方向很快速的建立起高強度，平行性很大的雷射光經由 M_2 向右射出。因此整個裝置也可以稱做為雷射共振腔；而放電管二端的透明窗 W 故意做適度的傾斜，是為了減少雷射光因反射而損失。

雷射應用到最基礎、最頂尖的研究：如美國史丹福大學物理教授，中央研究院院士朱棣文博士即利用雷射冷卻捕捉中性粒子而獲得 1997 年物理學的諾貝爾獎。其他如在日常生活上常使用到的雷射型式及可適用的範圍詳列在表 3-5。我們知道雷射的種類很多，由於雷射光具有高能量密度及高同調性、高聚焦性，不會因傳播距離的增長而散開。故其功用實在很多，不一而足。套句老外的話做為雷射的結語：Laser is a solution looking for a problem！

表 3-5 商用雷射的主要用途及光源類別

應用範圍	主要雷射光源型式
材料加工(切割, 打孔, 焊接及表面處理, 半導體加工等)	二氧化碳, 石榴石 (Nd:YAG), 準分子 (如 ArF, XeCl 等), 玻璃 (Nd:Glass)
醫學 (外科, 骨科, 眼科, 牙科, 鼻科, 心臟內科及婦科等)	二氧化碳, 石榴石, 氫離子, 染料
藝術 (繪圖, 雕刻, 表演, 照明等)	氬-氬, 氫離子, 半導體, 氬-鎘, 染料
通訊 (光纖)	半導體 (如 GaAs, AlGaAs, GaInAsP 等)
資料處理 (印表機, 條碼閱讀機, 光碟等)	半導體, 氬-氬
校準, 量測及控制	半導體, 氬-氬

雷射所造成的生物危害主要透過下列三個機轉

(1) 熱燒傷

雷射所誘發的組織傷害為熱效應，組織的蛋白質會因吸收熱而變性。在可見光和紅外光範圍的雷射（波長400 - 1400 nm）進入眼睛後會聚焦在視網膜上，而導致視網膜熱燒傷。眼睛的聚光強度放大效果大約為100,000；因此 1 mW/cm^2 的光度進入眼睛後，會造成視網膜暴露到 100 W/cm^2 光度的暴露，此強度的能量足以造成視網膜組織燒傷。因為視網膜為不會再生的組織，這樣的傷害會造成永久的失能。

(2) 光化學傷害

不同於可見光雷射的熱效應方式，紫外線和藍光的毫秒脈衝雷射可能傷害眼睛和皮膚組織以光化學反應機制。其作用方式為刺激光接受器，提昇細胞內的活動兒而造成失能。

(3) 熱音震效應

小於 10 μs 的脈衝雷射可在視網膜上誘發出一個震波，而造成視網膜產生一個永久破口。事實上這樣的音震傷害比熱燒傷更具傷害性，因為它會造成視網膜上較大面積的傷害，且它的效應能量閾值明顯較低。

雷射曝露的主要熱效應和下列因素有關：

- 組織對特定雷射波長的吸收和散射係數大小

- 所曝露雷射的強度
- 曝露持續時間和重複的次數
- 局部組織的血流程度
- 受照射組織的大小

2. 雷射危害分類

- (1) 雷射危害分類的目的為對雷射使用者提供一些警語和標示，以告知其所使用裝置的雷射危害等級，及用作為定義控制測定和醫學調查的基礎。
- (2) 雷射危害等級

雷射危害依其潛在的生物危害分為四個等級 (I、II、III和IV)：

(a) 等級 I

沒有放射任何已知危害程度的雷射，這一個等級的雷射被認為“眼睛安全”雷射。使用等級 I 的雷射產品或裝置，在操作和維修期間通常並不需要雷射危害防護裝置。

(b) 等級 IIA

當曝露時間少於 1000 秒，不考慮為具慢性視覺危害(chronic viewing hazard)。但是當暴露時間大於 1000 秒時，則認為具危害性。這個等級僅適用於功率低於 3.9 μ W 的可見光雷射。

(c) 等級 IIB

低功率可見光雷射(400 ~ 710 nm)，其放射功率高於等級 I 雷射的功率，但不超過 1 mW。這個等級的雷射當暴露時間大於 0.25 秒，被認為具慢性視觀危害。人類對明亮光線的厭惡反應，被認為提供一些保護。僅需要一些特定的限制性控制。

(d) 等級 IIIA

這個等級的雷射會造成急性或慢性視覺危害，其危害程度依光度而定。通常指可見光雷射功率小於 5 mW。危害發生在眼睛曝露於雷射光束中，建議需要一些限制性控制。

(e) 等級 IIIB

直接照射具急性眼睛和皮膚危害，為中度功率的雷射（連續波：5-500 mW，脈衝式：10 J/cm²）這個等級的雷射不會導致火災，但是有可能產生危害性的擴散反射(hazardous diffuse reflection)或稱間接照射危害，被建議採用特殊控制裝置。

(f) 等級 IV

直接照射或間接照射(scattered laser radiation)均具急性眼睛和皮膚危害為高功率雷射（連續波：500 mW，脈衝式：10 J/cm²），具有潛在性火災危害，需要重要的控制裝置和防護設施。

3.5 輻射及其危害

簡單地說，輻射就是能量的一種傳遞形式，例如聲波、光波、X射線及伽瑪射線等。各種輻射因能量，波長及頻率之不同，而具有不同之特性：有的看得見，有的聽得到，更有的能感覺到，另外還有一部份的輻射因能量較大、波長較短、頻率較高，而無法用人類感官察知，如X射線及伽瑪射線等。一般所常指的輻射就是指難以由感官察知的此類輻射，由於看不到也摸不著，使得一般民眾對此多抱持著懷疑和恐懼的態度。

就產生能量大小而言，輻射可再分作有游離輻射和非游離輻射兩大類，一般所稱之輻射多是指游離輻射。所謂游離輻射是指能直接或間接使物質產生游離作用的電磁輻射（如 X 射線及伽瑪射線）或粒子輻射（如阿伐、貝他、中子、高速電子、高速質子及其他粒子）。游離輻射之游離作用，對一般物質並無特殊的作用，但對人體生理組織卻有可能造成傷害。

此外，依輻射對健康所造成的影響而言，可以再區分為機率和非機率效應（stochastic and non-stochastic effects）兩類。機率效應之發生沒有劑量的低限值，其發生之機率與所接受輻射劑量之大小成正比，但與其受到傷害的嚴重程度無關。非機率效應乃指在一定輻射暴露以上發生時，其受到傷害之嚴重程度與所接受輻射劑量之大小成比例增加，此時有劑量低限值（閾值）存在。一般而言，非機率效應是在較短時間大劑量游離輻射曝露所引起的，因而與輻射劑量間呈顯著的直線關係，例如急性輻射症候群。反之，機率效應發生的時間卻是十分漫長，往往要經過數十年之久，才會出現，由於發生過程中，不易將其他因素予以排除，致使其與輻射劑量間的關係難以確定，例如癌病誘發等。

3.5.1 輻射的種類與特性

輻射，像光一樣，是一種能量，它以如加馬（ γ ）射線等的電磁波，與如電子等的高速粒子的形態傳送。通常我們依它能量的高低或游離物質的能力，分成非游離輻射和游離輻射兩大類：

1. 非游離輻射：指能量低無法離生游離的輻射，例如太陽光、燈光、紅外線、微波、無線電波、雷達波等。
2. 游離輻射：指能量高能使物質產生游離作用的輻射。

游離輻射又區分為：(1)電磁波輻射，(2)粒子輻射。

一般所謂的輻射或放射線，都是指游離輻射而言。輻射有四個重要的特性是大家必須要認識的：

1. 放射性蛻變是自發性的反應

放射性同位素（另稱放射性核種）的蛻變是自發性的，無法以物理或化學的手段去改變它。

2. 輻射受電磁場影響

輻射若帶有電荷，則其行進時會受電磁場影響而偏轉，加馬射線因不帶電荷，故其行進軌跡不會受電場影響。

3. 輻射強度隨時間的增加而遞減

放射性同位素的蛻變率（或輻射強度）會隨時間的增加而遞減。輻射強度每減少一半所需要的時間稱為半衰期。各放射性同位素的半衰期都是固定，而且都不相同，有如人的指紋一般。例如國內發現的輻射鋼筋內所含 ^{60}Co 的半衰期為5.26年，空氣中氬222的半衰期為3.82天。

(1) 不同的輻射有不同的穿透能力

阿伐射線的穿透能力最弱，一張紙就可以全部把它擋住。貝他射線的穿透能力稍為強一點點，它能穿透普通的紙張，但無法穿透鋁板。加馬或X射線的穿透力最強，需要適當厚度的混凝土或鉛板才能有效地阻擋。

因此，屏蔽X射線或加馬射線的材料，需要密度高的金屬材質為佳。用鉛做鈷60射源的容器，其厚度最小，鐵則需要厚些，混凝土要再厚些。若用水做屏蔽，則需更厚才能達到相同的屏蔽效果。

3.5.2 游離輻射

輻射對人體造成影響的途徑有二：一為輻射由人體外穿入人體內，另一為放射性物質進入人體後，在人體內形成輻射傷害。前者稱為體外輻射，例如鈷-60放出的伽瑪射線，在空氣中能穿行數百數千公尺，能貫穿人體，而使人接受輻射劑量，所以伽瑪射線為重的體外輻射。貝他輻射在空氣中能前進數公尺，但只能穿入人體外層皮膚；阿爾發只能前進數公分，連人體外層皮膚都穿不入，但於放射線貝他與阿爾發輻射物質進入人體後，因本身帶有電荷，在人體內游離效應更強，能形成更多輻射劑量，因而稱為體內輻射。

輻射暴露造成的生物效應或危害的影響因素，一般可由物理、化學及生物體本身三方面加以探討。茲分述如下：

1. 物理因素

- (1) 輻射的類型 (X射線、 γ 射線、 α 射線、 β 射線或中子)。
- (2) 輻射劑量率 (Dose Rate)。
- (3) 曝露時間分配因素(單一曝露、間斷曝露或慢性長期曝露)。
- (4) 輻射的能量或強度大小。
- (5) 曝露的型式 (體內曝露、體外曝露，均勻曝露或是不均勻曝露)。
- (6) 溫度之影響。

2. 化學因素

- (1) 自由基的形成。
- (2) 水份及氧含量多寡 (氧含量愈高對輻射愈敏感)。
- (3) 硫氫化合物的作用。
- (4) 維生素的防護作用 (一般維生素C存在下可減輕危害的嚴重性)。

3. 生物因素

- (1) 輻射敏感定律 (Bergonie Tribondeau Law)

細胞分裂快速，分化較差且有絲分裂期間長的對輻射較為敏感，例如，生殖系統與造血系統的細胞較易受到損害。

- (2) 其他生物因素

包括年齡、種族、性別、健康情形、飲食生活習慣，內分泌狀態等都會影響輻射傷害的程度。而針對輻射所引起的輻射生物效應區分有：

a. 急性輻射暴露

在短時間內引起可測知之生物效應之暴露即稱之為”急性輻射暴露”，其劑量約 100 Rad (1000 mGy)。一般而言，只要具備以下四點之任何一項就可稱之為急性輻射暴露事故：

- b 全身劑量在 25 Rem 以上。
- c 皮膚劑量在 100 Rem 以上。
- d 其他組織或器官由外來射源暴露，且其吸收劑量在 75 Rem 以上。
- e 體內污染超過身體最高允許負荷量之一半以上。

急性輻射暴露除了出現在一般所熟悉的核武爆炸，或核電廠事故外，也可能在實驗室、醫院、放射性同位素提煉或輸送的過程；在形式上則包括了輻射線照

射以及放射性物質之污染。在核能意外災害中，面對可能受到急性暴露的傷患，最重要的是評估是否遭到輻射傷害。理論上在未來排除輻射傷害的可能性之前，所有的病患都應當作輻射傷害患者來處理，直到排除此一可能性為止。

a 急性輻射徵候群

急性輻射徵候群 (Acute radiation syndrome) 是指人體在短時間之內，由於接受了足夠劑量的游離輻射暴露後，所引起的全身性反應；其為一綜合性的輻射病，臨床表徵錯綜複雜，但其病程卻具有一定的規律性，可分為 (1)前驅期 (2)假癒期 (3)臨床期 (4)復原期。若依據其臨床症狀的表現，又可以分為三種類型(1)造血障礙期 (2)腸胃障礙期 (3)中樞神經-心臟血管障礙期。急性輻射徵候群，其致死率極高，患者必須有正確的診斷及細心的醫療照顧，才可能生存。

b 輻射致癌效應

輻射致癌及輻射遺傳效應是屬於機率效應，因此沒有低值劑量。於較高劑量輻射線之致癌效應已被證明，但在低劑量之輻射則較不清楚，其原因乃由於：

- (a) 與其他致癌之效應比較，整個人類族群中致癌之比例只佔小部份。
- (b) 動物實驗結果之資料很難比照人體。
- (c) 伏期長，複雜性高，且輻射所造成之癌症並無固定形式，個體由受精卵至成人間所接受之變異機率可能大於輻射照射所造成之差異。

輻射致癌之研究多以老鼠做實驗。有關人體之資料多得自於日本原子彈爆炸後之生還者，醫療中病患及職業性輻射工作者。據1950-1974年間之調查報告指出，在核爆生還者中血癌之比例呈明偏高的現象，後來其他癌瘤亦被發現在核爆生還者中逐漸增多。

3.5.3 非游離輻射

非游離輻射危害之頻譜範圍從0 Hz至 2.4×10^{15} Hz，包含項目有60赫茲之高壓輸配電線、變電所、調頻廣播、行動電話基地台、微波爐、高周波電焊機、雷達、衛星通訊、紅外線、雷射、可見光等。機電實驗室中接觸的非游離輻射以高能量的雷射和高周波電焊機傷害較直，對於超低頻電磁輻射對人體是否有害，以及何種範圍以下為安全或何種範圍以上為危險，近年已引起廣汎探討與研究。

(5) 紫外線的來源及其危害

紫外線 (Ultraviolet, UV) 是指波長介於X射線及可見光區的電磁波，我們知道人體皮膚接受紫外線暴露，可以使其產生光化學反應而生成維生素D，防止佝僂病 (Rickets) 的發生，然而對於紫外線長期暴露所引起的健康危害很難加以評估，通常將它區分成 UVA、UVB、及UVC三個波段來說明其危害，所謂UVA它是指

波長介於400nm至315nm，UVB是介於315nm至280nm之間，UVC是介於280nm至200nm之間；也有將它依波長區分成近紫外線（Near UV,400~300nm）、遠紫外線（Far UV,300-200nm）及真空紫外線（Vacuum UV,200~4nm）三個區域；近紫外線可以在空氣中傳送，同時可部分穿透玻璃，會造成暴露的皮膚黑色素沈著或曬黑，也稱為黑光區（Black-light Region），此區域的紫外線可以誘發物質產生螢光，遠紫外線可以部分穿透空氣，波長小於220nm的部分很難穿透，在220nm至170nm的波長範圍則很容易產生臭氧，而在320nm至280nm的UVB也稱為紅斑區（Erythema Region），是天然來源中最具潛在危害的紫外線，其中波長小於295nm的部分則在大氣層（主要是臭氧層）被吸收，無法到達地球表面；此外，普通的玻璃也能將波長小於320nm的紫外線過濾，除非是室外工作者（如農夫、伐木工人、漁夫、營建工人等），一般室內接受到太陽光紫外線的暴露危害並不大。

紫外線暴露的來源可區分為低放射源及高放射源兩大類，常見的低放射源有太陽光、低壓水銀燈、日光燈及黑光燈；高放射源有高壓水銀蒸氣燈，各種焊接作業（如氣焊或電弧焊等）。在非天然紫外線的暴露最主要發生在焊接工人，其他如殺菌燈、紫外線分析或製造臭氧等作業工人，也會有暴露之危害；而天然紫外線暴露主要是UVA範圍，但在近年來因為臭氧層的破壞，不僅使全球氣候發生改變，也使某些有害紫外線可以直接照射地球表面，增加人類罹患皮膚癌的危險性。

紫外線暴露主要引起危害的器官是皮膚和眼睛，UVA波長者可以造成皮膚紅疹和色素沈著，它會滲入真皮層，使皮膚出現皺紋及鬆弛，如果經常暴露者，可能使脂質和膠原質因氧化耗失，而皮膚出現失去彈性及變得衰老，對於眼睛暴露在UVA紫外線下，可能發生角膜炎或光化學性白內障（Photochemical Cataract，常發生在波長介於315nm至295nm，因為角膜對波長小於295nm者較敏感。）或使眼睛引起眩光效應；UVB波長的紫外線對眼睛及皮膚的危害性則較為嚴重，會造成皮膚出現紅疹，長期暴露下，可能會使皮膚出現惡性黑色素瘤（Melanoma）或非黑色素瘤的皮膚癌（non-Melanoma Skin Cancer），也會加速皮膚老化，對眼睛可能造成光化性角膜炎（Photokeratitis），這種角膜炎一般是因電焊工人不戴防護眼鏡，直視電弧焊接所造成，通常也稱為「電弧眼（Arc Eye）」，除此之外，結膜炎、白內障也可能發生；UVC波長的紫外線在大氣中非常容易被空氣分子吸收（尤其是波長小於180nm者），只有存在真空環境裡，一般波長介於230nm至170nm之間者可以用來產生臭氧，波長介於220nm至280nm之間者則有殺菌作用。

紫外線的容許暴露標準，目前國內仍未訂定相關法令，可參考美國ACGIH出版的TLV指南，UVA的最高容許暴露量是以每平方公分焦耳數（J/cm²）或每平方公分瓦特數（w/cm²），但要視暴露時間來決定。UVB則以各波長分別訂定，所以在此範圍內之不同波長的紫外線同時暴露時，則是以各波長範圍的輻照度（Irradiance，w/cm²/nm）乘以相對於270nm波長的有效值（Relative Spectral Effectiveness，S_λ）求出有效輻照度（Effective Irradiance），再利用它計算出容許暴露時間，其計算式子如下：

$$E_{\text{eff}} = \sum E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta \lambda$$

E_{eff} ：相對於270nm的有效輻照度（J/sec/cm²）。

E_{λ} ：特定波長之輻照度 ($\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$)。

S_{λ} ：相對於270nm的有效值 (沒有單位)。

Δ_{λ} ：波長寬度 (nm)。

$\text{PET}=0.003 (\text{J}/\text{cm}^2) / E_{\text{eff}} (\text{J}/\text{sec}/\text{cm}^2)$ 。

PET：容許暴露時間 (秒)。

在表3-6列出在角質化光譜區(Actinic ultraviolet spectral region [200-315 nm]) 紫外線各不同波長的恕限值及其相對於270nm的有效值 (Relative Spectral Effectiveness, S_{λ}) 提供參考, 表3-7則是紫外線的各種有效輻照度下每天容許暴露的時間。

表3-6 紫外線各波長的恕限值及其相對有效值*

波長 (nm)	恕限值 (mJ/cm^2)	相對有效值 (S_{λ})
200	100	0.03
210	40	0.075
220	25	0.12
230	16	0.19
240	10	0.30
250	7	0.43
254	6	0.50
260	4.6	0.65
270	3.0	1.0
280	3.4	0.88
290	4.7	0.64
300	10	0.30
305	50	0.06
310	200	0.015
315	1000	0.003

*：係指相對於270nm波長的紫外線有效值。

表3-7 紫外線各種有效輻照度每天容許暴露時間

有效輻照度(E_{eff})	每天容許暴露時間
$0.1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	8小時
$0.2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	4小時
$0.4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	2小時
$0.8 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	1小時
$1.7 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	30分鐘
$3.3 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	15分鐘
$5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	10分鐘
$10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	5分鐘
$50 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	1分鐘
$100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	30秒
$300 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	10秒
$3000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	1秒
$6000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	0.5秒
$30000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	0.1秒

(6) 紅外線及可見光的來源及其危害

紅外線 (Infrared, IR) 主要的作用是產生熱量，使被照射物體溫度升高，其來源相當廣泛，例如烤漆烘乾處理、金屬鍛造、玻璃製造，高溫爐、白熾燈及太陽光等。紅外線所涵蓋的波長範圍介於微波和可見光之間 (760nm~1mm)，可分成三個區段：IRA是介於 760nm至1400nm之間，也稱為近紅外線 (Near IR)，IRB是介於 1400至3000nm之間，相當於中紅外線 (Middle IR)，IRC是介於 3000nm至1000000nm之間，相當於遠紅外線 (Far IR)。可見光 (Visible Light) 是指波長介於400nm至780nm之間的電磁波輻射，主要影響的器官是眼睛，它可以引起人類眼睛的視覺作用，是由紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫色光組合成。可見光常用來照明，在正常狀況下，對生物週期具有調節作用，不會對人體造成危害，但照度不足或過度強烈，則會引起視覺疲勞或產生眩光降低工作效率。

波長介於400nm至1400nm之間的可見光及紅外線，能夠通過眼球而聚焦在視網膜上，如果突然高能量的這種電磁波照射後，可能產生非常嚴重的視網膜燒傷，

形成眼睛的視覺盲點（Scotomas）。波長大於1400nm的紅外線會使眼角膜燒傷（Corneal Burn）。虹彩（Iris）則對1300nm的紅外線較敏感，水晶體（Lens）則對波長介於1400nm至1600nm和1800nm至2000nm這兩個波段的紅外線較敏感。紅外線長期暴露，會引起熱原性白內障，尤其是IRA與IRB。對於波長介於440nm至500nm的可見光（藍光區）的長期暴露，則會造成視網膜傷害。

通常波長介於10nm至1nm這個範圍的電磁波（包括紫外線、可見光及紅外線）稱為視覺輻射（Optical Radiation），表3-8列出各種視覺輻射主要的來源，表3-9將此範圍的電磁波依照國際照明委員會的分類方式列出，並說明其對皮膚及眼睛可能引起的健康危害。圖3-7則是視覺輻射對皮膚及眼睛健康危害之波長範圍示意圖。

表3-8各種視覺輻射主要來源

來源	例子
照明燈具	白熾燈(包括鎢絲燈)
	低壓氣體放電燈(LPGD)
	螢光燈
	低壓鈉燈(LPS)
	黑光燈
	水銀燈
	高壓鈉燈
	複金屬燈
	鹵素燈
工業生產過程	電弧焊及氣焊
	熔煉金屬
	玻璃製造
	放電作用
天然來源	太陽光

表3-9 視覺輻射的分類及其可能的健康危害

分類	波長範圍 (nm)	健康危害效應		備註
		眼睛	皮膚	
UVC	200nm~280nm	很少。	很少。	170~230nm製造臭氧，220~280nm具殺菌作用。
UVB	280nm~315nm	光化角膜炎、白內障(295~315nm)。	紅疹、皮膚疹、光化性皮膚老化，皮膚癌。	290~310nm易造成光化性紅斑。
UVA	315nm~400nm	光化學性白內障。	黑色素沈著。	也稱為黑光區。
Visible 可見光	400nm~780nm	光化性及熱原性視網膜傷害。	光敏感性。	以藍光區(400~480nm)的危害性較大。
IRA	780nm~1400nm	白內障視網膜傷害。	燒傷。	虹彩對1300 nm波長的光較敏感，750~1500nm急性皮膚燒傷。
IRB	1400nm~3000nm	角膜燒傷、水樣化白內障。	燒傷。	
IRC	3000nm~1000000nm	角膜燒傷、乾眼症。	燒傷。	5000nm~0.3cm者可完全被皮膚吸收。

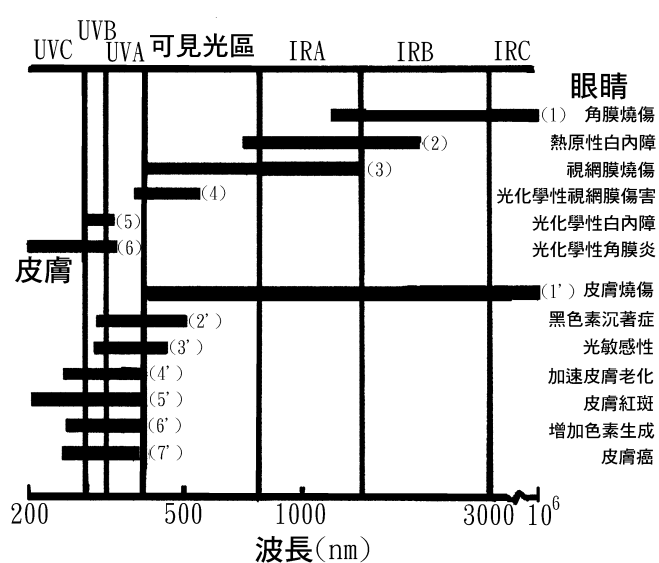


圖3-10 視覺輻射對皮膚及眼睛危害之波長範圍示意圖

(7) 無線電波及微波的來源及其危害

無線電波 (Radiofrequency, RF) 也稱為射頻波，包括微波 (Microwave) 及各種通訊電波都是在範圍內，微波是指頻率介於 300MHz至300GHz，另外低頻波是指靜電場至100kHz的電磁波。無線電波的分類及其應用參考表3-10，從表可以瞭解其幾乎和我們日常生活密不可分。我們家庭用微波爐的頻率主要是在 2450MHz，其他也有915MHz者，但較少。無線電波及微波對人體的危害主要是產熱效應，通常發生在接受暴露皮膚的表層，一般生物組織在100MHz 的微波暴露下的侵入深度約60mm至600nm之間，在10GHz 時則其侵入深度約只有3mm至30mm之間。眼睛與睪丸是對微波最敏感的器官，高強度的微波暴露甚至會使眼睛產生白內障及局部皮膚的燒傷。這些頻率較低的電磁波熱沈積吸收功率會受輻射的頻率 (Frequency)，相對於波行進方向的身體位置 (Position)，和發生源的距離 (Distance)，暴露的環境及身體組織的導電特性等因素影響。為了符合皮膚對不同頻率之無線電波的功率吸收情形，通常將此頻率範圍分為四個區域，以所謂特定能量吸收率 (Specific Energy Absorption Rate) 這種劑量率的觀念說明之 (參考圖3-8)，首先在「次共振範圍 (Subresonance Range)」，其能量吸收隨頻率增加而呈比例增加；其次在「共振範圍 (Resonance Range)」時，體型大小為波長的四分之一至二分之一間會發生強烈吸收 (全身性吸收)，且在此範圍頭部也會發生部分身體共振；再者為「熱斑點範圍 (Hot-Spot Range)」會因身體不同部位的導電性，形狀及折射效應造成局部加熱；最後則為「表面吸收範圍 (Surface Absorption Range)」，在此頻率暴露下，電磁波只能穿透幾毫米的皮膚，僅造成身體淺層皮膚的產熱效應。

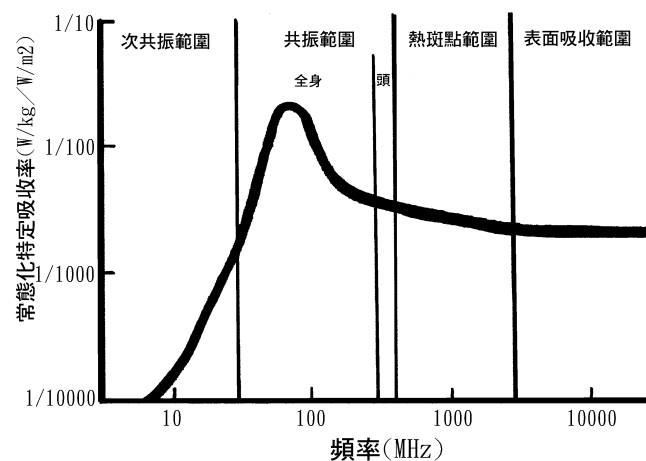


圖3-8 無線電波特定能量吸收率隨頻率變動關係圖

表3-10 無線電波的分類及其應用

名稱 (代號)	頻率範圍	應用
超低頻波 (ELF)Extremely Low Freq.	30-300Hz	電力系統、電聯車、金屬熔解、潛艇、通訊。
聲頻波 (VF)Voice Freq.	300-3000Hz	電熱爐、誘發熱、硬化、接合、熔解、冶煉、聲音、音頻。
很低頻波 (VLF)Very Low Freq.	3-30KHz	長程通訊、導航、誘發熱、硬化、熔解。
低頻波 (LF)Low Freq.	30-300KHz	導航、電蝕刻。
中頻波 (MF)Medium Freq.	0.3-3MHz	調幅廣播、海洋無線電、導航、工業、射頻設備、射頻焊接。
高頻波 (HF)High Freq.	3-30MHz	短波廣播、業餘無線電、熱療、核磁共振攝影。
很高頻波 (VHF)Very High Freq.	30-300MHz	調頻廣播、核磁共振攝影、食品處理、電漿加熱、塑膠焊接。
超高頻波 (UHF)Ultra High Freq.	0.3-3GHz	電視廣播、微波通訊、行動電話、雷達、微波爐、超高頻、電視、熱療。
特高頻波 (SHF)Super High Freq.	3-30GHz	雷達、衛星通訊、無線電呼叫、微波轉播、反入侵警報。
極高頻波 (EHF)Extremely High Freq.	30-300GHz	雷達、導航、衛星通訊、微波轉播。

關於微波可能會使眼睛引起熱原性白內障，主要是水晶體的蛋白質變性，至於各種電磁波輻射對眼睛健康的危害情形，可參考圖3-9的說明及其示意圖。

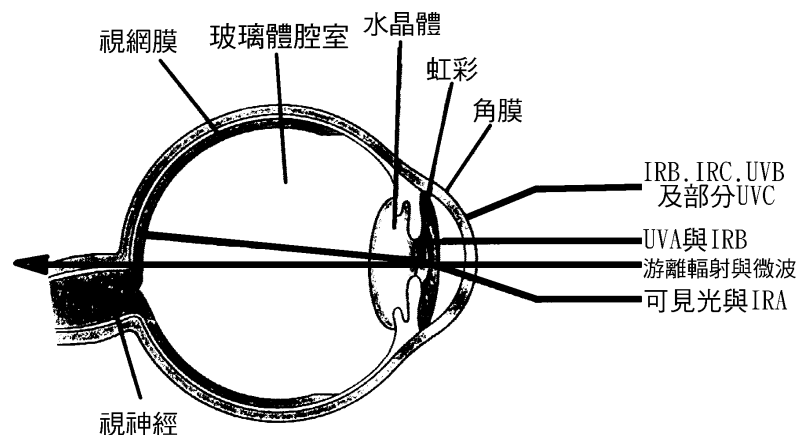


圖3-9 各種電磁波輻射對眼睛的危害作用情形

表3-11 功率之換算表

仟瓦 (kw)	英制馬力	kgw-m/sec	lbw-ft/sec
1	1.341	102	738
0.746	1	76.1	550
0.00981	0.01315	1	7.233
0.001356	0.001817	0.1383	1

(8) 雷射種類及其危害

從1960年雷射問世以來，人們設計製造了種類繁多的雷射，而且它的項目還在不斷增加之中。雷射可按功率高低及安全性高低區分，但各種雷射都可能以不同功率操作。雷射也可依輸出光束的時間特性區分，有連續波式的連續波(Continuous wave; CW)雷射與脈波式的脈衝(Pulsed)雷射。按雷射光的主動介質分類，是最主要的分類方式。

(1) 絕緣固體雷射 (Solid state laser)

這種雷射的雷射介質是摻有雜質的絕緣質固體，包括晶體雷射、玻璃雷射與光纖雷射。晶體、玻璃與光纖是寄主材料(host material)，其中取代某些寄主離子的「雜質(Impurity)」離子是雷射的主動介質。例如紅寶石的寄主是三氧化二鋁晶體(Sapphire; 常譯為「藍寶石」)，主動介質是鉻【鉻讀作「各」】離子(Cr^{3+})。下文中，將用「 $\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ 」這樣的記號表示主動介質與寄主，以及「鉻—氧化鋁雷射」形式的記號表示雷射名稱。

一主動介質，可以摻入於幾種晶體、玻璃與光纖中。由於各寄主中的電子分布及對稱性有差別，所以同一種離子在其中的能階結構及能階差有差異，產生的雷射光波長可能相近，但不會完全相同。例如，釹【釹讀作「女」】離子(Nd^{3+})的雷射都有接近 $1\mu\text{m}$ 但不相等的波長。

a. (Ruby laser)雷射

紅寶石雷射可產生 694.3 nm 及 692.8 nm 的雷射光，但後者的增益較低，一般都取其 694.3 nm 的輸出。

b. 釹離子(Nd^{3+})的雷射

釹離子的雷射中，釹-雅克(Nd-YAG)雷射是知名度最高的。雅克是YAG的音譯，它代表鈮鋁石榴石(Yttrium aluminum garnet; $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$)。主動介質是YAG晶體中，取代約1%鈮離子(Y^{3+})的釹離子。

表3-12 為鈹離子的相關雷射之波長

雷射材料	雷射光波長(nm)
鈹-氟化鈹鋰	1047, 1053(因偏振而異)
鈹-磷酸鹽玻璃	1054
鈹-GSGG	1061
鈹-矽酸鹽玻璃	1061 - 1062
鈹-雅克	1064 ; 1050 -1100, 1319, 950
鈹-光纖放大器	將1319 nm的雷射光放大

c.鈹-藍寶石(Titanium-sapphire)雷射及其他可變頻固體雷射

鈹-藍寶石雷射的主動介質，是摻入Al₂O₃晶體中的Ti³⁺離子，它取代鋁離子。它有兩個特點：(1)輸出雷射光頻率可在660至1,180 nm之間調變；(2)它可以產生短於100 fs的超短脈波。

d.其他固體雷射。

表3-13 為可調波長的固體雷射相關資料

雷射材料	調變範圍(nm)
鈹-氟化鈹鋰(Ce ³⁺ : YLiF ₄ ; Ce : YLF)	309 - 325
鈹-藍寶石	660 -1180
翠綠寶石[亞歷山大石(Alexandrite) ; 即鉻-鋁酸鈹Cr ³⁺ : BeAl ₂ O ₄]	701 - 826
鈹-氟化鈣(Sm ²⁺ : CaF ₂)	710 - 750
Cr : LiCAF(Cr ³⁺ : LiCaAlF ₆)	720 - 840
翡翠(Emerald; Cr-doped Be ₃ Al ₂ (SiO ₃) ₆)	729 - 842
Cr : LiSAF(Cr ³⁺ : LiCaAlF ₆)	780 - 920
鐿(Yb)-單模光纖	1040-1170
釩-氟化鎂(V ²⁺ : MgF ₂)	1100-1200
鉻-矽酸鎂(Mg ₂ SiO ₄ ; Cr-doped forsterite)	1167-1345
釩-氟化鈉鈣(V ²⁺ : CsCaF ₃)	1300附近
鎳-氟化鎂(Ni ²⁺ : MgF ₂)	1700-1800
鈷-氟化鎂(Co ²⁺ : MgF ₂)	1750-2500
銩-雅克(Tm ³⁺ : YAG)	1870-2160
銩 -YSGG(Tm ³⁺ : YSGG(Yttrium scandium gallium garnet ; Y ₃ Sc ₂ Ga ₃ O ₁₂))	1850-2140

表3-14 為其他固體雷射相關資料

雷射材料	雷射光波長(nm)
鉕-雅克(Er：YAG)	2940 (水的強吸收線)
鉕-氟化鈮鋰(Er：YLF)	2800
鉕鎢-YSGG	2796
鉕鎳-玻璃(Er,Yb：glass)	1535(對眼睛傷害大；對光纖通訊有用)
鉕-光纖放大器	1535至1563
釹-雅克(Ho：YAG)	2127
釹-YSGG	2088
釹鉍-YALO	2850, 2920
鈣-雅克	2010；可調至1950(組織吸收較強之波長)

(2) 液體雷射

液體雷射是以溶於溶劑的染料作為主動介質，通常稱為染料雷射(Dye laser)。染料分子具有含多個苯環的複雜結構。它們的能階中，對應於每個電子能階，有許多間隔細密的振動能階，成帶狀分布，所以一個範圍內的頻率，都能發生躍遷，而產生雷射光。

另一方面，染料的能階結構也使它能吸收頻率範圍相當廣的激發光，這些頻率大多在紫外線和可見光波段。用不同的激發波長照射一種染料，產生的雷射光波長也會不同。

表3-15 為薔薇紅6G雷射光波長數據

波長範圍(nm)	雷射光功率峰值波長(nm)	激發裝置
546 - 592	562	二倍頻鈹-雅克，532 nm
563 - 625	586	閃光燈
563 - 607	585	銅蒸汽雷射，511 nm
566 - 610	583	氯化氙(XeCl)
568 - 605	579	氬氣雷射
573 - 640	593	氬離子雷射，455 - 514 nm

一部可調變雷射光波長的裝置，可以產生多種需要的雷射光，所以用途相當廣。但是固體雷射在體積、耗電量、電壓需求、冷卻需求、安全性、穩定性方面的優點，比染料雷射高出許多。這些優點使固體雷射在小型化及可攜性(Portability)方面佔盡優勢。由於固體可變頻雷射的適用波長範圍仍多屬紅外線區，雖然可以藉放大器及非線性變頻裝置，產生波長較短的高品質光束，有許多波長範圍仍未可及，所以染料雷射在目前仍有存在及利用的空間。

(3) 氣體雷射(Gaseous laser)

以氣體為主動介質的雷射中，包括中性原子雷射、離子氣體雷射、金屬蒸汽雷射、分子氣體雷射、準分子雷射。分別介紹如下：

稀有氣體元素的中性原子雷射與離子氣體雷射

a. 中性原子雷射

中性原子雷射與離子氣體雷射的差別，在於前者的雷射光來自中性原子能階(如圖二所示氬原子與氪原子能階)之間的躍遷，後者是離子的能階(如 Ar^+ , Kr^+)間之躍遷。因此，氬雷射(Argon laser)與氬離子雷射(Argon ion laser)並不相同，前者的雷射光波長屬於紅外線波段，後者則在可見光和紫外線區。但是，一方面氬雷射很少見，另一方面為了便於稱呼，人們常將氬離子雷射簡稱為氬雷射。不但中文敘述如此，英文文獻亦見此用法，所以在不致混淆的時候，仍可用氬雷射稱呼氬離子雷射。中性原子雷射中，最常見的是氬雷射。它的紅光尤其為大家所熟悉。它的光色顯著，所以常用作非可見光雷射中的指引光束(Guiding beam)。其優越的同調性及方便的操作條件(只須氣冷、110V的電壓、價格相對地低廉)，使它廣用於掃描讀碼裝置及全像等。

b. 離子雷射

稀有氣體離子雷射中，以氬離子雷射及氪離子雷射為最常見。除了直接利用之外，氬離子雷射常以其紫外線及藍綠光激發染料雷射。20W機型可產生275.4至1090.0 nm的一些雷射光。主要的可見光波長分別是514.5、501.7、496.5、488.0、476.5、472.7、465.8、457.9、454.5 nm。藍綠光波段中，最強而最常用的是514.5及488 nm。氬離子雷射可產生337.4至799.3 nm，最強的是647.1 nm，其次為413.1及530.9 nm。商品中，有將氬氣與氪氣混合的機型。

金屬蒸汽的中性原子雷射與離子雷射

c. 中性原子雷射

Au, Cu, Ba, Sn, Pb, Zn等金屬的蒸汽，都是中性原子雷射的主動介質。它們的蒸汽中，常混入低壓力的惰性氣體，以提高放電效率。銅蒸汽雷

射商品可產生100W以上的綠光(511 nm)及黃光(578 nm)，金蒸汽雷射則可得數十瓦的紅光 (628 nm)。這兩種雷射有很多用途，例如血紫質衍生物(Hemoporphyrin derivative)吸收光譜的峰值約為628 nm，而癌細胞能吸收此物質。此物質受到628 nm的雷射光照射後會分解，產生可殺死癌細胞的物質。不過，銅蒸汽雷射激發染料雷射，也可得到這種光，而不必依靠金蒸汽雷射。此外，578 nm的雷射可以除去某些胎記，效果優於用氬離子雷射。

d. 離子雷射

金屬蒸汽離子雷射中，氬鎘(He-Cd)雷射是最主要的，氬硒(He-Se)、氬鋅(He-Zn)等雷射為此家族中之成員。氬鎘雷射的325 nm紫外線，和441.6 nm藍光，是最常見的輸出。加上特殊設計時，它可同時產生紅光(635.6及636.0 nm)和綠光(533.7及537.8 nm)。它的短波長成分，在資訊處理方面很有用。適當調配各波長的輸出，幾乎可以產生所有可見光的顏色，因而它的白光雷射產品也是有名的。儲存密度及鑑別能力的提高，使它在量度、檢驗、記錄、印刷等方面有許多應用。

e. 分子氣體

二氧化碳雷射和氮氣雷射是最常見的分子氣體雷射，其主要雷射光屬紅外線(10,640 nm)及紫外線(337 nm)。生物組織中的水分會吸收它的10,640 nm雷射光，所以能用於手術，所需雷射光功率約為50W。此外，非金屬材料的加工、金屬表面的熱處理、光譜學及光化學研究、環境遙測、測距、激發其他雷射、產生離子體(俗稱電漿；Plasma)等，也都可用二氧化碳雷射來進行。

氮氣雷射的紫外線雷射光，適合激發染料雷射，及使多種物質產生螢光，而可用於檢驗及研究工作。其缺點在於效率及功率均低，每個脈波的能量大約只有10mJ，平均功率約為數百mW。

f. 準分子(Excimer)雷射

準分子一詞的原意，是「兩個同種原子組成，而只存在於受激態的分子」，如稀有氣體分子He₂、Ar₂、Xe₂等；其英文原名為 Excited Dimer 組合成的術語。現在已經將它的適用範圍放寬，以包括「不存在於基態，只以受激態呈現的任何雙原子分子(有時還包括三原子分子)」。重要的準分子雷射，以稀有氣體的鹵化物為主動介質，如ArF, KrF, XeF, KrCl, XeCl等。因為受激態常以星號(*)上標表示，所以有些資料上寫成ArF*等。

準分子不會自然出現，而是在氣體混合物中放電時形成的。此外，用電子束撞擊，或在導波管型裝置中以微波激發，也都可以造成準分子。它的雷射光來自準分子解離成原子的電子躍遷，所以其雷射光屬紫外線，應用於精細蝕刻(如電路製程)、化學蒸著(Chemical vapor deposition)、化學反應研究及醫療上的用途較多。這些應用中，有的是以準分子雷射激發可

變頻雷射之後進行的。商品以ArF, KrF, XeCl, XeF等準分子居多，雷射光頻率分別是193、249、308、350 nm。

(4) 化學雷射(Chemical laser)

由化學反應造成居量反轉的雷射，稱為化學雷射。在化學、軍事、材料研究與生物醫學方面，都有化學雷射發揮所長之處。例如氟化氫雷射的光束可能是骨科手術所需要的。氟化氫雷射中的反應可表示為 $2F_2 + H_2 \rightarrow 2HF^* + F_2$ ，其實它的細部反應是鏈式反應： $F + H_2 \rightarrow HF^* + H$ ， $F_2 + H \rightarrow HF^* + F$ ，而且可用放電使反應啟動。另外的例子是 $C_2N_2 + O_2 \rightarrow 2CO + N_2 + 127 \text{ kcal}$ 。DF, HCl, HBr 等亦有類似作用。

表3-16 為化學雷射的波長

雷射	I	HF泛頻	HF	HCl
波長(nm)	1,300	1,300-1,400	2,600-3,500	3,500-4,100
雷射	DF	HBr	CO	CO ₂
波長(nm)	3,500-4,100	4,000-4,700	4,900-5,800	10,000-11,000

(5) 半導體雷射(Semiconductor laser)

半導體雷射是用半導體製成的，其構造及電性質為二極體(Diode)，也就是具有兩個外接電路端點，分別位於其中的p型與n型部分，其間有個界面(Junction)。因此，半導體雷射又名半導體二極體雷射(Semiconductor diode laser)或二極體雷射(Diode laser)。

電流較低時，它成為發光二極體(Light emitting diode；LED)，發出自發射的光；電流夠大的時候，才能造成自由電子的居量反轉。另一方面，製程中適當的步驟使二極體兩端具有相當高的反射率，就具備雷射所需要的條件。

半導體雷射技術的研發，使半導體雷射成為效率很高的雷射，但散熱仍是重要問題。此外，端射型及面射型雷射陣列的研發，使系統產生的光束在能量及控制方面提昇許多。隨著半導體種類的擴增，半導體雷射能產生的波長，也不斷增加。表2-35列出幾種室溫下操作的半導體雷射的波長資料。

表3-17 幾種室溫下操作的半導體雷射的波長

雷射材料	雷射光波長(nm)
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_{0.5}\text{P}$	630 - 680
$\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$	670
$\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$	620 - 895
GaAs	904
$\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$	980
$\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$	1100 - 1650
$\text{In}_{0.73}\text{Ga}_{0.27}\text{As}_{0.58}\text{P}_{0.42}$	1310
$\text{In}_{0.58}\text{Ga}_{0.42}\text{As}_{0.9}\text{P}_{0.1}$	1550

半導體雷射的介質體積小(典型尺寸約為 $10\mu\text{m} \times 300\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$)、效率高、功率高、操作電流及電壓低，消耗能量少，所以為人們所樂於使用。用許多個半導體雷射激發其他的固體雷射，是一種很有價值的應用。

(6) 色中心(Color-center)雷射

鹼金屬的鹵化物晶體中有某些雜質時，受到適當輻射照射後會顯現顏色。鹵化物的例子有KCl、RbCl、LiF、KF等，雜質則有Li、Na等。這些雜質稱為「色中心」。

(7) 自由電子 (Free electron) 雷射

自由電子雷射(FEL)以極高真空中的高速自由電子為主動介質。其波長可以調變，由微波到軟X射線都可能。因此是一部裝置可執行多種功能。現在的研究方向之一，是開發桌上型的機種，以便擴大應用場合，並降低價格。

(8) 倍頻(Frequency double)雷射

倍頻雷射實際上是加上倍頻晶體的雷射，但是有些資料上用造成倍頻效應的晶體稱呼它們，例如KDP(Potassium dihydrogen phosphate)雷射及KTP(Potassium titanyl phosphate)雷射。因此，本文列出這一項，以引起讀者注意KDP及KTP並非雷射的主動介質，並略為介紹此類晶體。

倍頻是非線性光學晶體(Nonlinear optical crystal)的功能之一。選用晶體時，產生倍頻波的適用波段及轉換效率(Conversion efficiency)是重要指標。

其他要注意的項目包括是否會潮解、會造成損壞的光強度、晶體切割方向及鍍膜狀況等。

KDP是磷酸二氫鉀(KH_2PO_4)，為最早使用的倍頻晶體，某些條件下的轉換效率很高，但是會潮解，須注意防範。KTP是磷酸鉀鈦氧(KTiOPO_4)，性能與KDP相似，但是不會潮解。偏硼酸鋇(Beta barium borate, $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$; BBO)是較受重視的一種非線性光學晶體，它具有一些優良性質，但與其他晶體相同，並非適用於一切場合。舉例來說，有些晶體適合產生二倍頻，但不適用於三倍頻。

4. 雷射之電磁輻射危害

以氦氖雷射(Helium-neon laser)為例，放電及碰撞使其中的游離電子、氦原子與氖原子獲得能量，因而都成為電磁輻射的來源，其中一部份是可以放大的雷射輻射，輸出後成為雷射光；其餘則稱為附加輻射(Collateral radiation)。

(1) 雷射光的危險性

雷射光的高強度，使它與生體組織產生極劇烈的光化學(Photochemical)、光熱(Photothermal)、光動力(Photodynamic)、光剝離(Photodisruption)、光波電磁場等交互作用，而造成嚴重的傷害。周圍的器材，尤其是可燃、可爆物，也會因而引起災害。高度同調性造成的干涉，使相長干涉(Constructive interference)處的光更強，因此會導致更高的危害。

a. 對於眼睛的危險性

人眼的角膜(Cornea)與結膜(Conjunctiva)沒有受到如一般皮膚角質層的保護，最容易受到光束及其他環境因素的侵襲。雷射光的強度很高，以致眼瞼的反射動作產生保護作用之前，就造成傷害了。眼睛所受的傷害與波長有關：可見光(Visible light)與紅外線(Infrared)中的IR-A影響視網膜；紫外線(Ultraviolet)中的UV-B、UV-C及紅外線的IR-B、IR-C影響角膜；可見光和短波紅外線(Near infrared; IR-A)會穿過清澈的眼中物質，而被視網膜吸收，所以若光束太強，就會傷害視網膜。雷射光的高準直性(Collimation)，使光線能會聚於一個很小的點，在視網膜上約為10至20 μm (比頭髮還細)。因此，400nm到1400nm之間的雷射，對視網膜具有特別高的危險性，這個波段稱為視網膜危險區(Retinal hazard region)。由於熱流和震波(Shock wave)的影響，環繞成像區的組織也可能受損，而對視覺功能造成更嚴重的後果。因為視網膜神經組織的修復能力甚低，這種傷害一般而言都是永久性的。

視網膜危險區之外的電磁波，包括紫外線和長波紅外線(Far infrared)，則可能使眼睛的前方部分受傷。有些波段會傷害水晶體(Lens)，295nm至320nm以及1 μm 至2 μm 的輻射尤其嚴重。波段相當廣的紫外線，以及波長大於1400nm的紅外線，可能傷害角膜。只傷及角膜表皮時，一兩天內就能修復，而使視力完全恢復。如果角膜的較深層部位發生顯著傷害，會造成角膜癍痕(Corneal scar)，而導致永久失明。

紅外線的組織穿透深度(Penetration depth)方面，1,440 nm(如某些半導體雷射)、1,540 nm(如鉕-玻璃雷射)、2,100 nm(如釹-雅克雷射)均大於10,600 nm(二氧化碳雷射)，所以前三者造成永久性傷害的危險性比較高。308 nm的氯化氙(XeCl)雷射光束，會使水晶體立即產生白內障(Cataract)，所以還具有額外的危險性。氬離子(Argon)、氪離子(Krypton)、KTP倍頻(Double frequency)、銅蒸汽(Copper vapor)、金蒸汽(Gold vapor)、氦氖(Helium-Neon)、釹-雅克(Nd:YAG)等雷射，對於視網膜都具有潛在危險性。鉕-雅克(Er:YAG)、鉕-氟化釷鋰(Er:YLF)、釹-雅克(Ho:YAG)、氟化氫(HF)、二氧化碳(CO₂)、一氧化碳(CO)等雷射，則對角膜有危險性。

b. 對於皮膚的危險性

皮膚受傷害的原因，可能是光化學反應(主要在紫外線波段)，或熱效應(主要在紅外線區)。例如紅斑(曬斑)(Erythema)是表皮受傷所致，有時真皮也有某種程度的傷害，而這些傷害源於光化學引起的反應。如果了解其危險性，針對準分子(Excimer)的紫外線雷射所需的保護皮膚措施，就容易規劃及執行。可見光與紅外線雷射光束的照射，可能造成一級、二級和三級灼傷。能引起嚴重熱灼傷的輻照度，也可能引燃紡織品，燒毀塑膠製品。

傷害的嚴重程度，決定於照射時間的長度，以及雷射光的透入深度。一般說來，若照射時間持續1秒鐘或更久，疼痛反應會引起閃避動作，使受照部位離開光束，因而曝照時間會只有1秒鐘或更短。如果照射時間很短，10.6 μ m的高功率雷射光束不會造成深部組織的灼傷，因為這個波長的穿透深度很淺(約為20 μ m)，事實上不會透過正常表皮角質層的厚度。

二氧化碳雷射對於表皮的傷害，是由於從角質層至更深處的熱傳導。但是，受到1064nm釹-雅克短脈波照射時，因為它能穿過數mm而進入組織內，所以剛超過灼傷閾值的曝照量，就足以造成深而嚴重的灼傷。釹-雷射(2.1 μ m)、KTP倍頻雷射(二倍頻的釹-雅克，532nm)或氬雷射(488及514.5nm)造成的灼傷深度，介於二氧化碳與釹-雅克之間。

聚焦後的手術雷射光點，或光纖尖端密集的輻照度，是用來將組織汽化或剝離的，所以對於焦點附近的皮膚極具危險性。反射後的雷射光束可能引燃衣物，造成皮膚的傷害和悲劇性的後果。使皮膚受傷的實際閾值，通常是數個J/cm²之譜，而這個程度的曝照量，不至於發生在手術雷射的焦點外。

(2) 附加輻射(Collateral radiation)的危險性

雷射的激發裝置所產生未經放大的電磁輻射，會由雷射裝置的雷射光出口(孔徑)(Aperture)或機殼的縫隙逸出。由於其中可能有游離輻射，如紫外線或X射線，所以可能引起傷害，尤其是長期曝照之後的危險性更高。注意機殼的緊密程度，避免長期靠近可能有附加輻射之處，可以大幅減少發生這類危險的機會。

(3) 相關的危險性及防範措施

相關的危險是雷射或週邊物件，可能因不當操作或故障、損壞而引起的危險，也包括正常操作時因為相關物質發生變化，而造成的危險。本節列舉這類危險的細目，並說明防範之道。

a. 高壓電擊

由於漏電或誤觸電路引起。若有良好接地，電線沒有破損，非維修人員不碰觸雷射電路，則可避免這種危險。

b. 電路失火

因為電線短路、超載，或是電路旁之器材不耐高溫及撞擊電路部分所造成。注意檢查電線，適量分散插座及開關之負荷，適當安置周圍器材可以預防這種危險。

c. 電路元件爆裂

雷射中的電容器(Capacitor)、變壓器(Transformer)最有可能爆裂，並因而造成擊傷、失火、短路等。除了請維修人員定期檢查這些器件的狀況，並作必要之更新以外，避免過度使用，提防散熱不良，可防止這類危險。

d. 其他物件爆裂

激發雷射用的強閃光燈，充有主動介質(Active medium)的氣體管或離子體管(Plasma tube)可能因為不小心碰撞而爆裂。這些器件應該有堅固的護罩防止受撞擊，並應防止掉落。

e. 低溫冷劑或壓縮氣體的危險性

雷射或偵測器等所用的冷劑(Cryogenic coolant) 或壓縮氣體，可能因容器(如鋼瓶)不安全或放置不當，而造成危險。防止這種危險的方法是：使用通過安全檢查的容器，並依安全規定穩固地放置這些物品。

f. 有毒氣體或粉塵

雷射使組織因光照汽化及高溫分解產生可能有害的空飄污染物。高溫分解產物與烤肉的煙塵相似，含有毒性物質及亞硝基胺等已知可致癌的物質。光化學反應產物及準分子雷射的鹵素氣體外溢等，都會造成類似的危險。良好的面罩等護具，功能完善的局部抽氣排煙設備，是不可或缺的安全設施。煙氣排出之前，務必要妥善過濾。

g. 其他有害物質

紅外線透鏡或偵測器中的碲(Te)、鎘(Cd)，染料雷射用的溶劑與染料，有些物件(如變壓器)中的多氯聯苯(Polychlorinated biphenyl; PCB)，都是可能釋出的毒性物質。使用這些物質時，務必採取適當的預防措施，使這些物質意外釋出時得以迅速清除，以免發生污染。例如搭配局部抽氣裝置，在染料循環系統周圍安置一些容器，以接收溢出或噴出之染料及溶劑，都是必要而可行的。

(4) 雷射危險(Laser hazard)的分級

雷射的附加輻射之危險性和相關其他的危險性，大多可藉適當的裝置及措施加以防範。因此，雷射的主要危險性在於其光束本身。根據雷射光的危險程度加以分級(1至4級)，可以分別採取恰當的安全措施，簡化決定適當安全措施的程序，以免過與不及。關於雷射之生物效應的基本認識，是了解手術室內之雷射危險性的知識基礎。一旦知道危險在哪裡，安全措施就顯而易見了。

a. 第一級(Class 1) 雷射

雷射印表機和各型光碟機中，雷射及其光束完全封閉於護罩內部，這是第1級雷射系統的一部份。在維修、調整過程中，這種系統的雷射及光束即暴露出來，它的級別應視其波長與功率等因素認定之。

輸出功率極低的雷射，則是第1級雷射中，與醫療應用較有關係的部分。它的光束是可以安全地目視的，不會對眼睛、皮膚造成傷害。例如不超過 $0.39\mu\text{W}$ 的可見光雷射；釹—雅克雷射(Nd:YAG)基頻(fundamental；1064nm)光束功率不超過 0.6mW ，二倍頻(second harmonic；double frequency；532nm)不超過 $0.39\mu\text{W}$ ，四倍頻(fourth harmonic；quadruple frequency；266nm)不超過 0.8nW ($0.8 \times 10^{-9}\text{W}$)，都屬於第一級。

b. 第二級(Class 2)雷射

第二級雷射的光束久看有害，連續波可見光雷射光束功率高於第一級的上限，而低於 1mW 時。這一級雷射，也就是低危險雷射。只有在故意反抗自然厭光反應(Aversion response)，持續凝視時，第二級雷射才會造成眼部傷害。非可見光雷射沒有列入第二級者。

c. 第三級(Class 3)雷射

總功率高於 1.0mW 的瞄準光束(Aiming beam)或對光雷射(Alignment laser)，具有第三級危險性。即使只在完成厭光反應之前的短暫期間內，有第三級雷射光進入眼睛，就會有傷害。第三級又分為三(a)、三(b)兩個副級。

第三(a)級雷射是光束功率為 1 至 5mW ，強度不超過 $25\text{W}/\text{m}^2$ 的可見光雷射。如果它的光束大部分都進入眼中，會引起中度的眼睛傷害。輻射率較

低時，久看有害；輻射率較高時，眼睛受短期照射，即造成傷害；用儀器觀看亦立即造成傷害。非可見光雷射也沒有屬於三(a)級雷射者。

第三(b)級雷射的光束直接照射眼睛與皮膚，立即造成傷害。它包含一些脈衝雷射，以及輸出功率介於5mW 與500mW之間的連續波雷射。

d. 第四級(Class 4)雷射

輸出功率高於0.5W(500mW)的連續波雷射，屬於第四級。如果使用不當，以致眼睛和皮膚受到直接光束或散射光束照射時，都會傷害眼睛與皮膚，及導致火災。

3.6 人體的危害

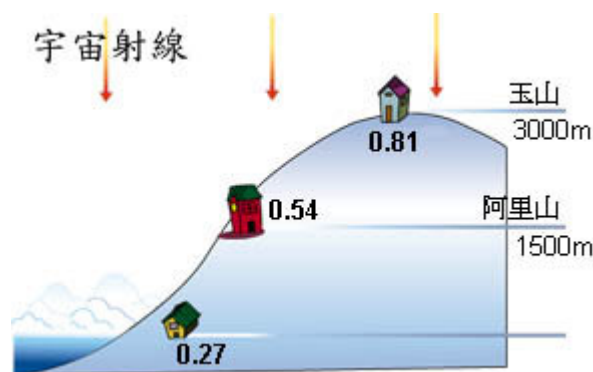
3.6.1 人體接受輻射的來源有那些

人類在生活上所接觸到的輻射源，有天然的和人造的兩類，而人體接受輻射劑量則是經由體外曝露與體內曝露兩大途徑所造成。以下先作簡要要說明：

1. 天然輻射源

環境中天然存在的輻射源：

(1) 來自太空的宇宙射線；

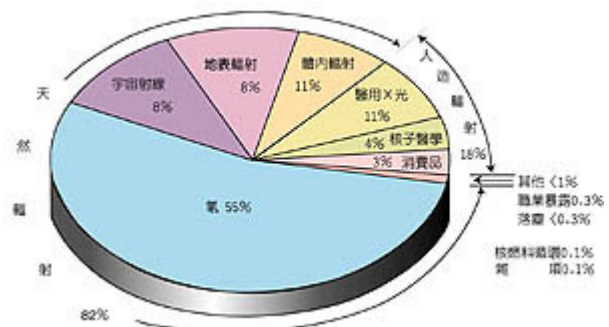


- (1) 土壤及建築材料中所含的天然放射性核種（鉀 40、鈾 238、釷 232 及它們一系列的子核種）；
- (2) 食物中的鉀 40；
- (3) 空氣中的氡 222 和它的子核種等等，從體內、體外使人體接受輻射劑量。

右圖顯示高度上升，宇宙射線也愈強，下表為顯示搭乘國內外飛機每趟往返大約接受的宇宙射線劑量：

國內外航線旅客所受宇宙射線劑量	
航線（往返）	接受劑量 （微西弗）
台北 = 紐約	156
台北 = 阿姆斯特丹	99
台北 = 洛杉磯	93
台北 = 約翰尼斯堡	93
台北 = 雪梨	48
台北 = 新加坡	15
台北 = 金門	0.67
台北 = 高雄	0.48
台北 = 台南	0.23
台北 = 蘭嶼	0.13
台北 = 馬公	0.07
註：1000微西弗 = 1毫西弗	

右圖則顯示美國民眾所接受各種劑量的來源百分比，其中由空氣中氡 222 造成體內劑量的比例最高（佔 55 % 左右）。下表顯示台灣地區民眾平均一年接受天然輻射劑量約 2 毫西弗左右，稍低於世界的平均值（2.4 毫西）。



類別	世界平均	美國	日本	台灣
宇宙射線	0.36	0.28	0.38	0.27
地表及植物	0.41	0.28	0.29	0.55
小計	0.77	0.56	0.67	0.82
氡等	1.26	2.0	0.56	0.83
鉀40等	0.36	0.39	0.47	0.33
小計（體內輻射）	1.62	2.39	1.03	1.16
合計	2.4	3.0	1.7	2.0

UNSCEAR：聯合國原子輻射效應委員會

世界上有數個天然輻射比較高的地區，曾經做過調查其致癌率及遺傳疾病，結果與一般正常地區的民眾並無任何差異。比較如下表：

地區	年劑量	倍數 (4)
伊朗 Ramsar 市 (1)	6 至 360	3 至 180
印度 Kerala 區十個村莊(2)	平均 13	6.5
巴西 Espirito Santo (3)	0.9 至 35	17.5
大陸福建鬼頭山區 (3)	平均 3.8 最高 120	1.9 60

資料來源：
 (1) 國際原子能總署簡訊，1991年第33卷第2期。
 (2) 聯合國原子輻射效應科學委員會1962及1992年報告。
 (3) 聯合國原子輻射效應科學委員會1992年報告。
 (4) 台灣地區平均自然背景輻射年劑量 2 毫西弗的倍數。

2. 人造輻射源

人為因素產生的輻射，例如醫療診斷、使用含放射性之民生用品、核爆落塵、核能發電等屬之，其中以醫療診斷為人造輻射的主要來源（佔 15 % ），大家關心的核能發電，每年所造成的輻射劑量比例不及0.1%。

3. 輻射健康效應的發展過程

人體吸收輻射能量時，細胞和水分子會首先被游離或激發，造成DNA雙鏈全斷或只斷單鏈的傷害（直接傷害）。因為水分佔了人體約 70 % 的重量，而水分子被游離後會產生有害的OH自由基，這些自由基接續產生一連串化學反應，使得細胞分子受到損傷（間接傷害）。所幸細胞有自行修復的能力，大部分的細胞會恢復正常。假若細胞嚴重受損而無法修復或修復有錯誤時，則其將顯現出健康受損的症狀。

4. 輻射會造成那些健康效應？

輻射對人體的健康效應，通常分為機率效應和確定效應兩大類。當人體在短時間內接受劑量超過某一程度以上時，因為許多細胞死亡或已無法修復，因而產生疲倦、噁心、嘔吐、皮膚紅斑、脫髮、血液中白血球及淋巴球顯著減少等症狀。當接受劑量更高時，症狀的嚴重程度加大，甚至死亡，這種情況稱為確定效應。通常確定效應必須在接受劑量超過一定程度以上才會發生，否則就不會產生確定效應。

從日本核爆生存者長期調查顯示，接受低劑量（約250毫西弗以下）者，並無任何臨床症狀，白血病或其他實體癌的發生率都和一般人相同。但是為了輻射安全的緣故，國際放射防護委員會(ICRP)做了一個很保守又很重要的假設：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，罹患的機率也愈大，這種情況稱為機率效應。

另外，從臨床的觀點來區分輻射的健康效應：首先從發生的對象而言，健康效應發生在受照射本人身上的，稱為軀體效應，若發生在受照射者的後代子孫身上的，稱為遺傳效應。從發生效應的快慢而言，則分為急性效應和慢性效應。我們把這麼多的效應名稱綜合列在下表上，帮助大家對輻射的健康效應更清楚瞭解。

組織器官之輻射敏感度

敏感度	組織器官名稱
高	胎兒、淋巴組織、生殖腺、骨髓、脾臟
稍高	皮膚、水晶體、消化道
中等	肝臟、血管
低	肌肉、骨骼、神經

資料來源：ICRP26(1977)、ICRP60(1991)

軀體效應與遺傳效應之比較

軀體效應	急性效應	皮膚發生紅斑 骨髓、肺、 消化道傷害白血減少 不孕 噁心、嘔吐、腹瀉	確定效應
	慢性效應	白內障 胎兒之影響	
遺傳效應			白血症 癌症
		遺傳基因突變或染色體變 異所發生的各種疾病	

5. 輻射的確定效應

談到輻射的傷害時，我們要考量：

- (1) 劑量的高低。
- (2) 身體受曝露的位置。
- (3) 急性或慢性曝露等三個條件。

因為人體的組織器官對輻射的敏感度不同，右表中顯示有些器官較易受到傷害有些則否。根據廣島、長崎的調查，若是全身均勻受到急性曝露超過 250 毫西弗以上，就會開始顯現受傷害的症狀，劑量愈高，傷害的嚴重程度愈大，甚至死亡。

通常人體局部曝露後的症狀，易於侷限在受曝露的部位，而且一般情況，局部曝露造成的傷害比全身曝露為輕。顯示組織器官受到急性或慢性局部曝露造成傷害所須的低限劑量。從表中可以瞭解輻射的確定效應包括暫時或永久不孕，視力受損，造血障礙、畸形、皮膚和甲狀腺的種種症狀等。

由於輻射工作人員必須遵守嚴格的防護措施，因此和一般民眾一樣，工作人員每年接受的輻射劑量非常低微，極少可能發生確定效應的傷害，一般民眾遭受高劑量而發生確定效應傷害的可能性就更微乎其微了。

輻射劑量與人體症狀一覽表

一次劑量 (毫西弗)	確定效應之症狀
250以下	無可察覺症狀。可能引起血液中淋巴球的染色體變異。
250-1,000	可能發生短期的血球變化 (淋巴球, 白血球減少), 有時有眼結膜炎的發生, 但不致產生機能之影響。
1,000-2,000	有疲倦、噁心、嘔吐現象、血液中淋巴球及白血球減少後恢復緩慢。
2,000-4,000	24小時內會噁、嘔吐、數週內有脫髮、食慾不振、虛弱及全身不適等症狀, 可能死亡。
4,000-6,000	與前者相似, 但症狀顯示的較快, 在2-6週內死亡率為50%。
6,000以上	若無適當醫護, 死亡率為100%。

資料來源：ICRP、BEIR報告

6. 輻射的致癌性

自從X射線和天然放射性被發現之後, 輻射即被廣泛應用於科學和醫學上。但早期對輻射的安全性還不很瞭解, 以致有一些工作人員接受高劑量而罹患白血病或皮膚癌。後來人們注意到輻射與致癌的關係, 同時又發現鈾礦工人因長期吸入高濃度的氡222, 造成罹患肺癌的機率高於正常人, 輻射會增加致癌率的事實才被確認。

如今流行病學專家分別從—

- (1) 廣島、長崎;
- (2) 馬歇爾群島居民;
- (3) 核武器試爆之軍事觀察員;
- (4) 接受輻射醫治的病人;
- (5) 輻射工作人員;
- (6) 高天然背景地區居民;
- (7) 遭受核子事故的人員。

等數十萬人中做長期的追蹤調查, 以探討輻射與致癌機率的相關性。

7. 低劑量致癌的機率

低劑量致癌是機率效應，接受輻射將使致癌的機率增加，但並非人人一定會致癌。根據國際放射防護委員會報告的評估，每一萬人每人都接受1000mSv全身劑量（相當於接受500年天然背景輻射），可能增加癌症死亡人數為500人，即致癌死亡率為1000mSv增加5%。但是，自然情況下人類各種死亡原因，癌症佔了約20-25%（衛生署公布台灣地區84年因癌症死亡佔總死亡數的21.9%），而且要讓每人接受1000mSv的高劑量也誠非易事。因此，日常生活中接受天然輻射劑量致癌死亡的機率是非常低的。

8. 輻射致癌的潛伏期

從人體器官接受輻射曝露，經過複雜的變化到臨床癌症顯現，需要一段長時間，這段時間就是所謂的潛伏期。各類癌症的潛伏期不盡相同，從日本流行病學的調查，例如白血病最短，平均潛伏期約10年，其他實體腫瘤癌症的潛伏期都較長。

輻射致癌的潛伏期 (年)			
癌種類	最小年限	平均期	最長年限
白血病	2-4	10	25-30
甲狀腺癌	5-10	20	>40
乳癌	5-15	23	>40
骨癌	2-4	15	25-30
其他造血組織癌	10	20-30	>40

資料來源：BEIR報告

9. 人體組織器官的輻射致癌敏感度

根據流行病學調查顯示，人體器官對輻射致癌的敏感度確有差異，已知胃、肺、結腸和紅骨髓四個器官對輻射致癌性較敏感，而甲狀腺、骨表面、皮膚則較不敏感。下表顯示每西弗劑量產生致癌和不良遺傳的機率。致癌和不良遺傳機率之總和，即表示輻射引發機率效應的總危險度。

輻射機率效應的危險度評估值				
人群	機率效應($10^{-2}/SV$)			
	致死癌	非致死癌	不良遺傳	總計(危險度)
成年工人	4.0	0.8	0.8	5.6
全部人口	5.0	1.0	1.3	7.3

資料來源：ICRP60(1991)

10. 各種職業危險度比較

人們從事各種職業都有生命損失的危險度存在，根據美國1991年的統計，各種職業的危險度示於右表。由表中之統計值可以看出，輻射工作人員按規範行事，則其職業危險度相當於服務業，屬於比較安全的職業。

美國各類職業之危險程度一覽表

職業分類	每十萬人年死亡數（意外事故）
服務業、全部私人機構、輻射工作者	0-3
財政、保險、房地產、大盤與零售商	6-7
製造業、運輸業	23-24
建築、農業、森林、漁業	33-35
礦業	61
溶煉工人	190
地下礦工	~1300

資料來源：NUREG-1437 (1991)

11. 輻射的遺傳影響

1927年科學家在果蠅研究中，首次發現輻射誘發遺傳效應。之後，從動物和植物實驗得知，輻射會傷害生殖細胞進而誘發突變（包括基因突變和染色體變異），導致遺傳疾病發生率增高，對後代子孫造成不利的影響。至於對人類的研究，則針對三個族群的後代做了長期的流行病學調查（項目如下表），結果顯示遺傳疾病的發生率並未增加。因此，人類是否會因輻射而誘發遺傳效應尚未被確認。然而必須注意的是，輻射的遺傳效應僅發生於胎兒或具有生育能力的個人，其生殖腺接受某種

程度以上的劑量才會發生。換言之，在非生殖腺的部位接受高劑量，也不太可能發生遺傳效應。

輻射遺傳效應的流行病學調查項目	調查項目
調查對象	流產、早產、死產、畸形、嬰兒死亡、性別比、染色體變異、遺傳基因突變(細胞、DNA)、癌症發生率、死亡率
廣島、長崎核爆之第二代(日本)	唐氏症、畸形、死產、性別比、嚴重精神異
高天然輻射區之子女(印度、中國)	常
放射科醫師之後代(英、美)	性別比

與天然致癌率相似，人類自然發生遺傳疾病的種類和發生率亦不低。根據美國游離輻射生物效應第五號報告(BEIR V, 1990)所作的評估，每百萬人均接受10毫西弗(相當於5年天然背景輻射)的遺傳效應將增加50個額外的案例，但這評估值相較於數十萬個自然遺傳疾病發生率而言，實在太小了。

12. 低輻射劑量對健康有益

1993年聯合國原子輻射效應科學委員會(簡稱 UNSCEAR)定義200毫西弗以下為低劑量。在這個劑量水平之下，全世界長期的流行病學調查仍未找出具體有害的輻射傷害證據。因此，低輻射劑量是否對健康有不利的影響，一直在爭議之中。美國保健物理學會針對這個問題，於1996年3月發表立場聲明稱：接受輻射劑量每年低於50毫西弗，或終生除了自然背景輻射劑量之外，接受低於100毫西弗劑量，並無明顯的健康(致癌)效應發生。

1982年美國拉基教授(Luckey)提出低劑量對人體健康有益的調查結果。1986年日本近藤宗平教授(Kondo)從廣島、長崎的追蹤調查亦發現低劑量使致癌率較正常人低的現象。他們稱這個現象為激效(hormesis)。此外，經過長期對美國核子潛艇工作人員，加拿大接受乳癌X光攝影患者，以及匹茲堡大學住戶氬氣效應研究等，所進行低輻射劑量的流行病學調查，結果也都顯示出低輻射劑量具有正面的健康效應，致癌的機率反而比全國平均值低。但是，UNSCEAR在1994年報告「低輻射劑量的生物效應」一書中，抱持的態度認為，雖然已知接受高劑量(250毫西弗以上)會增加致癌的機率，而低劑量卻顯示相反的現象，然而輻射有益的證據還不夠多。因此仍然必須沿用ICRP保守的假設：輻射的致癌增加率與接受劑量成線性正比例，無低限劑量關係。

低輻射劑量的健康效應是正面還是負面，至今仍未清楚定論，尚需要人類長期的研究與探討。

遺傳疾病分類	自然發生率 (每百萬新生兒)	每代每10毫西弗之額外案例☆	
		第一代	世代平衡
顯性染色體臨床嚴重的	2,500	5~20	25
臨床輕微的	7,500	1~15	75
X性連隱性	400	<1	<5
隱性染色體	2,500	<1	非常緩慢增加
染色體不平衡轉接	600	5	非常少量增加
一套半染色體	3,800	<1	10-100
先天性異常	20,000~30,000	10	不予評估
其他複雜病原心臟疾病	600,000		
癌症	300,000		
其他	300,000		

資料來源：BEIR V 報告 (1990)

☆：額外案例之評估值均以每百萬新生兒為基礎

3.7 物理性危害的防制

當超過人體容許值的能量洩漏（傳達）到人的身上，便會對人體造成傷害，而發生受傷，甚至死亡事故。如果機械設備上存在著這樣的能量，便是存在著潛在的危害源。因此，事故的防止，尤其是人身傷害的防止，可以說就是在於防止能量洩漏到人的身上。另一方面，隨著科技的進步與產業的發展，能量的來源及形態也愈趨多樣化。同時，對於物質的利用與生產，在量與種類兩方面均有相當大的成長與改變。當吾人在利用能量以進行各種經濟活動，或是生產以及使用各種物質的時候，如果無法對能量做有效掌控的話，災害事故便很可能發生。

能量因為看不到，而且不小心的話便容易失去控制而發生危險，所以使用機械設備的人在啟動機器之前，也就是運用能量之前，必須意識到他是在運用能量，而且必須預測放出能量的後果。但是，高度資訊化，自動化的社會，卻往往沒有提供使用者這一項預測的資訊。也就是說，使用者在按下開關，使用機器的時候，看不到開關背後隱藏著能量，自然也就無法預測其後果。機械越是複雜，越是高機能化，作業人員就越不容易認知到機械上所運作的能量，以及能量的作用方式，因此也就難以掌握其危險。如果可以消除這些能量，或使機械設備所處理的能量在人體容許值以下的話，便可從根本解決安全的問題，這便是所謂的「本質安全」(Inherent safety)。但是，由於人類經濟活動的頻繁以及多樣化，當然機械上便無可避免的，會有各種型態的大小能量在運作著。因此，要做到本質安全是相當的困難的。但是，仍然有一些方法可以防止危害事件的發生。本節將針對不同的危害源，介紹安全防護的基礎知識。

3.7.1 機械能危害的防制

機械能所引起的傷害通稱為「機械傷害」。因為造成這類傷害的危害源通常存在於機械設備上。由機械能所造成的傷害形態（災害類型）有「碰撞」、「物體飛落（含噴射、彈射等）」、「衝撞、撞擊」、「被夾、被捲」、「切、割、擦傷」以及振動所造成的危害等。另外還有由位能所引起的「墜落、滾落」以及「崩塌、傾倒」等。上述災害類型中，「碰撞」和「墜落、滾落」是以人為主動，機械設備為被動的傷害形態，其他的災害類型則通常是機械上的動能作用於人體身上所造成的。防止這類由動能的作用所造成的傷害最簡單而有效的方法就是「隔離」。

1. 機械安全防護

國內勞工安全衛生法第六條規定：「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」。在本法施行細則第七條中，明列應設防護標準之機械、器具，包括：動力衝剪機械、手推刨床、木材加工用圓盤鋸、動力堆高機、研磨機、及其它經中央主管機關指定者。行政院勞委會並於民國81年7月27日發佈機械器具防護標準，針對施行細則所定之：「機械、器具防護性能，不得低於本標準之規定」。並於第三條中規定：「中央主管機關得指定適當型式檢定機構於使用前實施型式檢定」。第四條規定：「型式檢定程序」。第五條規定：「檢定機構認有必要時，得通知申請人提出實物或其他為檢定所必要之文件或物件」。第六條規定：「國外輸入之機械、器具，得由中央主管機關指定檢定機構檢定」。由上述相關條文規定，政府可藉型式檢定作業的執行，從問題之根源來落實機械安全，使這六類之機械、器具，得到適當的安全防護，以降低國內製造業之職業災害。其它在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。第八條規定：「雇主對於經中央主管機關指定具有危險性之機械或設備，非經檢查或中央主管機關指定之代行檢查機構檢查合格，不得使用；其使用超過規定期間者，非經再檢查合格，不得繼續使用」。子法中如勞工安全衛生設施規則，鍋爐及壓力容器安全規則....等等，皆屬機械安全設置相關之規定。

2. 機械設備之危險部位或區域

要做機械安全防護，必須先要瞭解機械設備之危險部位（或區域）。當作業人員進入危險部位（或區域）時，危險性增加，意外事故便容易發生。反之，若作業人員不進入危險部位（或區域）時，則意外事故將可避免。因此，若能控制機械設備危害位置，將可達到機械的安全防護。

一般機械設備的危險部位（或區域）均和傳動部（Transmission）（用來傳遞機械能）以及可動部（End-Effector）（為最終輸出裝置）有密切的關聯。其主要包括：

- （1）操作點或稱工作點。係指欲加工之物料或工作件與機械可動部裝置接觸之位置。常見於切割、衝壓、剪裁、搪孔、研磨和彎曲等作業。
- （2）動力傳輸裝置。係指機械設備將動力來源傳遞機械能至輸出裝置中，整個機械動作的各種機件皆屬之。常見的機件有滑輪、齒輪、皮帶輪、

聯結器、鏈條、皮帶、鏈帶轉軸等，皆是經常發生危害的部位（或區域）。

- (3) 其它運動中的機件。除上述兩種以外機械，運轉時所有會移動的機械零件物料等皆屬之。如旋轉、往復、直線運動的機件、進料裝置、出料裝置以及其他附屬裝置等皆屬之。

此外，機械設備的感電危害，機械運轉時操作點產生的飛屑、火花、工作件或機械本身零件斷裂、輻射線或危害氣體產生等，種種高能量或高危害性物質之釋放，都將危害操作人員。當然此種意外，可藉由提供操作人員自己配帶並正確使用個人防護具加以預防，但仍應以做好機械防護較為有效。

3. 造成傷害之機械動作

造成人體傷害之機械動作，可分為四大類：

- (1) 轉動、往復及直線動作。轉動的動作會捲住頭髮、衣服、領帶、頭巾而造成傷害，常見的有連結器、飛輪、轉動棒、轉動棍、連桿等轉動動作。往復運動係因直線前後或上下的來回動作，使作業員遭受撞擊；操作者可能在移動與固定部份之間被夾或被移動的機件撞擊。常見於龍門刨床、牛頭刨床等運轉中的機械。直線動作能使操作者被撞擊或擦傷，常見於皮帶、鏈條等直線動作。
- (2) 動作捲入點。凡機械設備相對轉動，或一部份固定另一部份轉動時，就會產生動作捲入點，常見於相互銜接的齒輪、緊密接觸的滾筒、傳動帶與齒輪間、鍊條與鍊輪間等，皆會形成捲入點。動作捲入點不僅會直接傷害到人體，亦極易夾入寬鬆衣物或其物件，而導致人員傷亡。
- (3) 切割動作。機械的轉動、往復及直線動作加工於工作件上，會產生操作點的切割動作，常發生於切割木材、金屬或其他物料等加工，若操作不慎將導致意外。
- (4) 衝、截、彎等動作。動力操作的鎚、棒、刀刃等，對工作件作用加工，所產生的衝壓、截斷、彎曲等機械動作。常見於動力剪裁機、剪床、動力衝床之鋼鐵鑄造、衝模以及壓鑄金屬等。

3.7.2 噪音危害的防制

1. 從聲源入手：

主要是從噪音源、噪音傳送途徑與改善受音環境三個環節入手，並從技術上利用吸聲（利用吸聲材料或吸聲結構來吸收聲能）、隔聲（用屏蔽物將聲音擋住、隔離開來，不讓它傳到室內。但是聲波是彈性波，作用在屏蔽物上，會激發起屏蔽物的振動，會向室內輻射聲波，仍使聲音傳到另一邊，故實際上屏蔽物隔聲的本領，是一種傳聲損失）、消聲（利用消聲器來降低空氣聲的傳播，通常用在氣流噪聲控制）、阻尼（阻尼材料是具有高黏滯性的高分子材料，具有較高的損耗因子。將阻尼材料塗在金屬板材上，當板材彎曲振動時，阻尼材料也隨之彎曲振動，由於阻尼材料有很高的損耗因子，因此，在做剪切運動時，內摩擦損耗就大，

使部分振動能量變為熱能而消耗掉，抑制了板材的振動，使輻射的噪聲減少）、隔振（是指防止機器與其他結構的剛性連接，通過彈簧等彈性連接，降低振動的傳遞），及結合經濟與活動之要求來考慮，對不同情況，要採取相應措施，對工人操作是否有妨礙，也得加以考慮。

(1) 首先是控制噪音源：

降低聲源的噪音，是治本的措施。即噪音源本身之改良，包括產品改良、噪音源減少振動等。有時要完全避免噪音的發生是不可能的，但是，在某些程度內噪音量之降低是十分可行的。例如，以尼龍替代車床的大鐵齒輪，噪音將可減少10分貝；一個鋼管漏斗型組件投入口，如果加裝振動阻尼將可減少15分貝；或者設置消音器，其為一種利用音之吸收、反射、干涉等減音為目的而設置的裝置，對空氣音有效；或裝置吸音板、隔音設備、遮音、制震處理、震動絕緣等設備等。或用液壓成型以代替沖壓成型，將金屬的鉚接改為焊接，用斜齒輪代替直齒輪，用鏈條傳動代替齒輪傳動等。再如國際上研製的高流量比的發動機，它具有耗油量小、重量輕、噴氣速度低與大量降低噴氣噪音的優點。美國DC-8型飛機改裝引擎與增力吸聲裝置後，可減低噪音20dB等。另外也可以將發出噪音的機器或零件用絕緣防音的原料加以隔離，例如：利用保護設計與塑膠材料將會發出噪音的重機和馬達發動的交通工具包起來。在英國有一種減音的空氣壓縮機，可以在7.6公尺的距離將噪音由86減至69分貝。美國軍隊中的無聲馬達也說明技術上重大的改進是可行的，此外海軍幾乎無聲的潛水艇及空軍幾乎無聲的飛機都是很好的例子。

針對音源制定噪音管制標準，例如英國交通部規定汽車噪音最高不得超過80dB。卡車不得超過81-85dB。日本對機動車輛噪音的控制標準是，正常行駛的噪音與排氣噪音為74（3.5噸以下）至80（3.5噸以上，200馬力以上）dB，加速行駛的噪音為83-89dB。

(2) 改變傳音路徑：

傳音路徑改善之方法包括：空間適當配置計畫。遮音體之設計、緩衝區之使用等。許多種音源的噪音遮蔽與反射有易感性，有效地消除噪音，並非降低噪音的能量，而是將噪音者反射至不會被聽到的方向。在許多大工廠中，使用固定或移動的帳幕，是有助於噪音的消除，在戶外則可以建築物使人們得以遮蔽噪音，這是簡單、便宜，而易於完成，得到安寧之方法。在建築某些會發生噪音的廠房時，利用具有通氣性能的吸音材料，如棉、毛、麻、玻璃棉以及泡沫塑膠料等多孔材料作內牆壁面，可使噪音音降低。因當噪音聲波幅射入多孔材料中時，孔隙中的空氣便會振動起來，與孔壁產生摩擦，將聲能轉為熱能，從而使噪音強度衰減（圖3-10）。

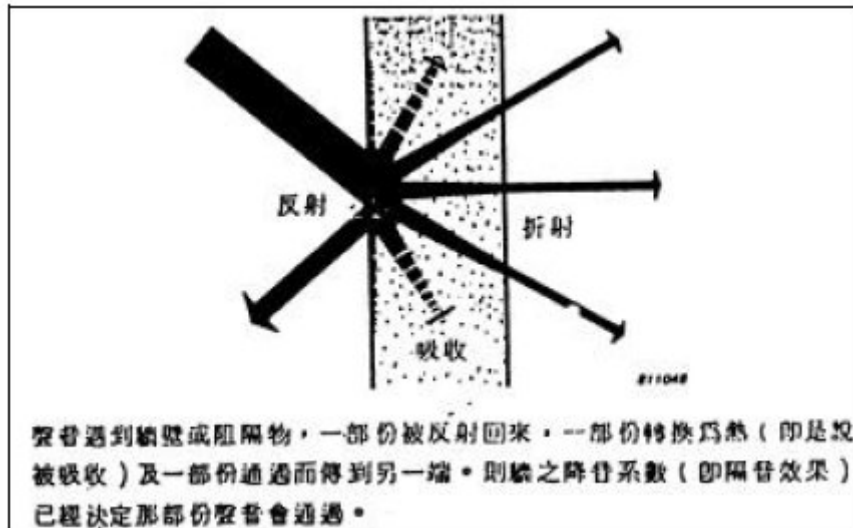


圖3-10 牆壁的隔音效應

(3) 改善受音環境：

受音環境之改善方法包括：建築物結構之改善、雙層防音門窗之使用吸音材料的使用等。例如磚牆可減少30dB(A)，玻璃3-6mm厚少20dB(A)，雙層可減少29dB(A)，雙層其中一層傾斜可減少35dB(A)，三層可減少45dB(A)。如為了要能使所產生的聲音功率保持在最小限度，有時可考慮使用「噪音抑制」的方法，若採用於發音源和受音者間安置屏障是可行的，當然這必須要注意許多設計與施工的細節，而且假設這種方法，使用至極限，則會形成整個噪音流程或欲求安靜場所的總體包圍，不過，也必須考慮此種包圍性環境必須是通用的。例如，新的絕緣材料可以減低薄牆隔離的房間與辦公室的聲響。在建築結構上，利用薄皮、空腔共振與微穿孔皮等結構，也可達消音之目的。機器與飛機的地面試車，都可採用隔音辦法來降低噪音。消聲機庫就是專為減少飛機試車噪音而設計的。機庫內壁用吸聲材料作成吸音層，可降低噪音向外傳送。在機器上加隔音罩（罩內貼有吸音材料），也能收到吸音與隔音效果。隔音結構可降低噪音20—40dB。為控制排氣噪音，可利用小孔或多孔擴散消音器，使氣流通過多孔擴散器，得到充分擴散而降低音量。

(4) 減少力量或速度以減少噪音產生：

聲音之大小可因力、壓力或速度的改變而減少，以較小的力、較長的時間來從事工作，可有效減少噪音量。例如：以鐵槌敲彎平皮金屬雖快，但不如以鉗子慢慢彎曲之，可減少噪音的產生。如汽車在時速30-35mph 時噪音最小。

2. 時間上限制噪音：

人在日中不同時間內對噪音的容忍度有所不同，日□夜可差達20dB(A)，故此可針對不同時段制定不同的噪音管制標準，在夜間居民休息睡眠時段進行嚴格管制。

3. 空間上減少噪音：

頒佈都市噪音車輛的行駛區域；禁止各種車輛在學、醫院、住宅區附近地區鳴笛；限制各機關、活動場所使用高音喇叭；限制飛機的起飛與降落路線，使其遠離居民區與都市上空，控制工廠噪音，對不適用於建在居住區內的「擾民工廠」，應限期搬遷。

都市設計時即考慮，使對噪音敏感的活動或建築與噪音源分開，如學校，醫院，住宅等。裝置隔聲牆，上有植被之土坡牆最理想，水泥牆或透明塑膠則次之，一般減少10dB(A)。道路的設計→平面道路噪音最大，架高道路或凹入之道路可降低平面噪音。高大茂密路樹可減少二、三樓之居民3-5dB(A)，矮密之路樹如雪松可使近地面之噪音少4-5dB(A)，兩者混合可減少5-7dB(A)。

為防止工業的噪音，在新建、改建都市時，對工業區、商業區、居住區、文教遊覽區、火車站、機場等，均應做合理的配置，將那些噪音大的工業，佈置在工業區邊遠地段，並在工廠周圍種植防音林帶。飛機場應設在離城二十公里以外的獨立地段，並規定出合理的飛行路線。火車站宜設置在都市邊緣的獨立地段，避免與工業區混雜在一起。

交通噪音是都市的主要噪音源，因此，在規劃主要交通幹線時，要考慮到發展情況下的車輛流量、路面寬窄、道路兩旁的地形、地勢、與道路兩旁的建築物等各種因素間的相互關係（圖3-11）。不宜將醫院、學校等需要安靜的設施配置在道路兩旁，且主幹線道路應設計好防音林帶。可種植10—12公尺的防音林帶，高大的喬木應佔6—8公尺，灌木佔3—4公尺。這樣就能降低噪音12—15dB。但其有效防音高度，只能到五層樓。不宜沿主幹線建築面向聲源的高樓，更不宜在道路兩側相對著建高樓，以避免回聲帶來更大的噪音干擾。而在交通繁忙的交叉路口建築立體交叉路線，既可減少車輛停留時所帶來的噪音，又可減少排氣污染，是改革都市交通的發展方向。

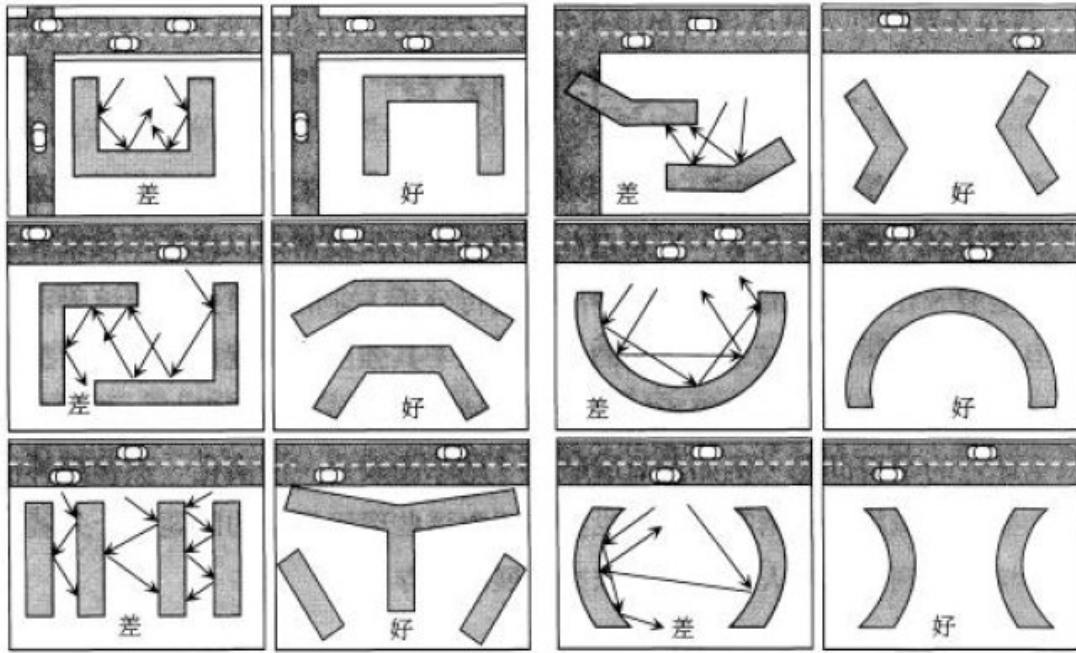


圖3-11 交通幹線規劃與建築物造因效應

4. 個人防護：

個人防護用品有耳塞、耳罩、耳棉等。耳塞的平均隔聲一般可達20 分貝以上，效能良好的耳罩可達30 分貝（圖3-12）

種類	頻 率						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
耳塞	25±8	24±4	26±4	28±4	36±3	36±5	39±7
耳罩	12±2	21±2	29±3	40±4	40±4	41±5	38±5
耳塞加耳罩	33±4	42±5	46±7	41±5	52±5	56±5	45±5

圖3-12 護耳器的隔聲值

3.7.3 電氣危害的防制

電氣安全基本防護措施有一保持安全間距、檢電、接地、使用絕緣防護工具及裝設保護設備等。茲分別說明於下：

1. 保持安全間距

從事接近活線作業時，須與活線保持安全間距。依據勞工安全衛生設施規則規定的安全間距如表7所示。

2. 檢電

電氣人員從事停電工作之前，必須先行檢電，以便確定電路已經無電。檢電的方法一般是使用檢電器。檢電器依電器的電壓，可分為低壓用，高壓用及特別高壓用；依檢電方式，可分為霓虹發光式、電池式、風車式及音響閃光式。

3. 接地

接地係最有效之防止感電措施，擬藉此作詳細探討。各種接地措施務必確實依規定妥善做好，以防止設備及人員意外災害的發生，尤其停電作業的工作接地不能存著僥倖心理，而偷懶不做；逆送電、誤操作等意外隨時可能發生，過去曾發生過很多此類事故，所以不可疏忽。

為防止電器設施因漏電、異常電壓、短路事故，電擊、靜電、逆送電所可能造成設備及人員的災害，即需針對電氣設施各種不同情況，予以保安接地，以防範災害的發生。

接地可依電力系統、電氣設備及作業，區分為系統接地、設備接地及工作接地等三種方式。

(1) 系統接地

系統接地為電力系統網路的中性點（線）接地，使中性點（線）與大地同電位，當電力系統接地故障時，可控制穩態及暫態的對地過電壓，因此電氣設施的中性線均依需要接地，以使系統保護設備靈敏而快速的動作，將事故處切離系統。由於電力系統分佈甚廣，此系統接地可再分為外線系統接地、低壓電源系統接地、內線系統接地、設備與系統共同接地。

a. 外線系統接地係指屋外線的中性線（點）接地，包括自各發電廠發電機、主變壓器及輸配電線路、各變電所的主變壓器等之中性線（點）接地。尚可分為非接地系統、電阻接地、電抗接地及直接接地等，非系統接地係電力系統帶電體與大地間存在著電容，容易引起暫態過電壓引起二次故障。電阻接地係在中性點與大地間接適當的電阻器接地使其成為電阻性電路而非電容性電路，可避免產生暫態過電壓。直接接地抑制過電壓的效果最高，但將產生最大接地故障電流，因此需有效設備接地配合。

內線系統接地係指屋內線路屬於被接地一線之再行接地。最好在接戶開關箱裡面為之。

b. 低壓電源系統接地為配電變壓器之二次側低壓線或中性線之接地。

c. 設備與系統共同接地為內線系統與設備接地共同一接地線或同一地電極。

(2) 設備接地

為保護設備及人員的安全、無論高低壓用電設備非帶電金屬部份均應接地。電氣設備非帶電金屬部分平常並無電壓存在，但如電機線圈燒損、電線絕緣劣化、外物碰觸而漏電、金屬部分即有電壓存在。此時人員接觸到漏電部分，電流便經過人體流到大地而感電，因此電氣設備的非帶電金屬部份必須以電線連接到大地(接地)，使漏電電流流入大地，抑低金屬部份之對地電壓，防止人員感電，並可使接地保護裝置動作隔離電源。儘早檢測修理，減低電氣設備之損害。

(3) 工作接地

從事電氣設備或線路之停電工作時，必須施行工作接地，以防意外來電。接地方法是以接地線組將各相短路接至大地或系統接地線上，移動式起重機接近活線作業，起重機機體應接地，操作人員在地面上操作應穿絕緣靴，以防吊桿碰觸活線遭感電傷害。

接地的目的可歸納於下：

使電力系統網路的中性線（點）保持與大地同電位。

- a. 輸配電線路高低壓線發生接地故障時，使電驛動作以驅動斷路器啟斷電源。
- b. 電氣設備、電源絕緣劣化、損壞等原因發生漏電時，防止感電。
- c. 高低壓混觸，高壓電流可流經接地網路，以防人觸感電。
- d. 電氣設備及配電線發生異常電壓時，可抑低對地電位，減少絕緣所強度，防止電氣設施燒損。
- e. 停電線路工作接地，防止逆送電，誤操作等感電災害。

4. 使用絕緣防護工具

從事活線或接近活線作業人員，必須使用絕緣防護工具。防護工具有安全帽，絕緣手套、絕緣靴、肩套等。絕緣工具有橡皮毯、橡皮線管、操作棒等。

5. 裝設保護設備

電氣設施有時因施工不良、絕緣劣化，外物碰觸、電擊、過載原因發生短路、漏電、閃絡，而造成異常電壓、過電流、電弧、火花等，將損及電氣設備的正常使用壽命並危害人員生命的安全，因此針對各種故情況須裝性能優良的保護設備，比立即檢出隔離故障點，防止危害擴大減少損失至最小。

一般電氣保護設備列於下：

(1) 熔絲(熔斷器)

熔絲可分為低壓熔絲及高壓熔絲。熔絲通常直接串接在電路上，依靠熱量動作，具有故障檢出及清除故障等雙重任務。

熔絲的缺點為不能調整，低電流時動作時間較長，正確性不如電驛。高壓熔絲鏈開關、電力熔斷器及限流熔斷器等。低壓熔斷器俗稱保險絲，擔任過載及過電流保護。

(2) 電驛

電驛係裝在系統上以檢視故障，必要時將完成有關斷路器的跳脫回路，為跳脫斷路器的保護設備。電驛以檢知電流流向，電流平衡或兩端電壓差、故障點距離等，以做跳脫與否的判斷。大部份電驛都連接在比流器或比壓器的二次側。電驛可提供最佳的保護，它比直接跳脫裝置或熔絲更具準確性，且大部份電驛都能調整其電流與時間，它們可被設計為僅對某方向的電流始動作，並可測量保護點至故障點的距離。

為達到保護系統各種異常情況的目的，電驛的種類相當多，以因應不同的保護需求，一般可分為電流電驛、電壓電驛、方向性電驛、接地電驛、溫度電驛、負相電驛、電力電驛等。

(3) 斷路器

斷路器是開關設備的一種，在系統正常運轉下，可遮斷負載電流，當系統發生故障時，能啟斷額定容量內的故障電流。斷路器係配合電驛使用，由電驛檢出故障，驅動斷路器自動遮斷故障。

(4) 漏電斷路器

熔絲及斷路器主要用於保護導線及設備，對於微小的接地故障（漏電），不能使其動作啟斷電源，因此漏電斷路器設計上即為測此種微小的接地故障，將電源立即切斷以防止感電事故發生。

漏電斷路器可分為電壓動作型及電流動作型兩種，前者動作電壓約20~30伏特，動作時限約0.2秒以下，後者動作電流約5~30ma，動作時限約0.1秒以下，使電流與時間的乘積在20ma秒以下。

(5) 無熔絲開關(NFB)

無熔絲開關具有過載、短路保護特性，不須更換熔絲，可作復閉使用。

(6) 避雷器

避雷器是一過電壓保護設備，可自動地將電擊、開關突波等異常電壓限制，避免機器絕緣破壞，並於放電後，自動地阻斷電力續流通過。

(7) 保護協調

為使系統保護設備每一保護區間都能獲得適當的選擇，彼此間必須有良好的保護協調。可調整的保護設備，須配合現場調整其電流與時間標置，以使其與其他可調整或不可調整的保護設備獲得良好協調，並能儘快切離故障部份，將隔離部份局限制在最小範圍，符合選擇的要求。

3.7.4 輻射危害的防制

輻射防護的目的要使人們在利用輻射所帶來的益處時，也要注意到輻射的安全。換句話說，要把輻射應用的效益、風險和經濟三方面取得最佳的平衡。

輻射防護的原則

為了防止輻射確定效應的發生，同時也要抑低機率效應的發生率到社會能接納的程度，所以從事輻射作業必須符合以下三原則：

- 利用輻射所獲得的效益必須超過它的代價。
- 在考慮到經濟與社會因素之後，一切輻射曝露必須保持合理抑低。
- 輻射作業人員與一般民眾接受輻射劑量均不得超過法規的限制。

1. 輻射劑量的限度

根據我國游離輻射防護安全標準（民國80年7月10日行政院發布），輻射作業人員和一般民眾每年輻射劑量的限度，列於下表。除眼球水晶體外，一般民眾的全身劑量限度是職業人員的十分之一。

我國游離輻射防護安全標準一覽表

目的	組織器官	劑量限度（毫西弗/年）	
		輻射職業人員	一般民眾
抑低機率效應至可接受水平	全身	50	5
防止確定效應發生	個別組織或器官	500	50
	眼球水晶體	150	50

2. 輻射防護的方法

體外曝露的防護：

時間、距離、屏蔽是體外曝露防護的三原則。

- (1) 時間：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，熟練操作程序。
- (2) 距離：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。

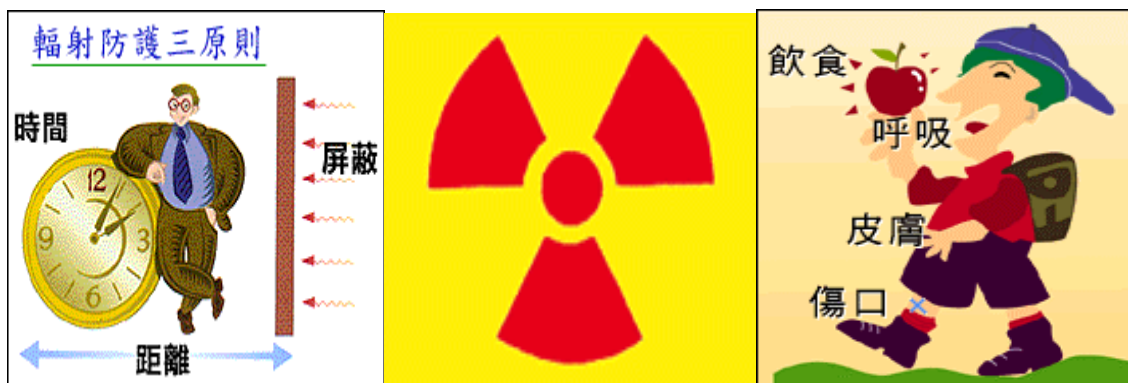
(3) 屏蔽：利用鉛板、銅板或水泥牆可擋住輻射或降低輻射強度，保護人員的安全。

3. 體內曝露的防護：

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。因此，體內曝露的防護方法就是避免食入、減少吸入、增加排泄、避免在污染地區逗留。此外還要加強場所除污的工作，以減少人員體內污染的機會。

4. 輻射的示警標誌

黃底加上紫紅色的三個葉片，是全世界共同使用的輻射示警標誌，任何有人為輻射的場所，不論是工廠、醫院、研究室、儀器室、作業場所、倉庫等的外圍及大門、入口都必須張貼這個標誌，以提醒所有的人，要注意輻射的存在及注意自身的安全。



問題與討論

1. 何謂『噪音』？
2. 游離輻射對人體造成危害的途徑有哪兩種？
3. 接地的主要目的有哪些？
4. 輻射的種類有哪些請舉例？