

游離輻射防護原理及合理抑低

林招澎 博士
國立清華大學原子科學所

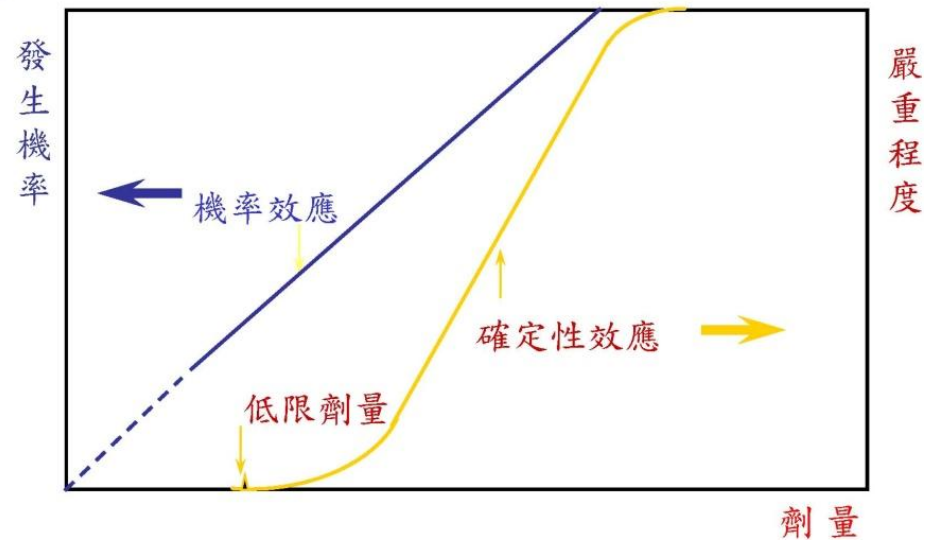
目錄

- 輻射傷害
- 體外曝露之防護
- 體內曝露之防護
- 自我防護法
- 推行合理抑低措施之必要性
- 合理抑低的最適化
- 合理抑低措施實行要領
- 減少劑量之分析與方法

輻射傷害

- 輻射效應：機率效應及確定性效應。
- 確定性效應：
 - 須超過某一最低劑量。
 - 效應隨劑量的增加而增加。
- 機率效應：癌症及基因效應。

游離輻射效應與劑量關係



輻射傷害

- 輻射效應：急性效應、延遲效應。
- 急性輻射併發症：造血併發症、胃腸併發症、中央神經系統併發症。疲勞，
 - 共同的反應有(1)噁心及嘔吐，(2)不舒服及(3)體溫增加，(4)血液變化。
- 造血併發症
 - 主要發生在造血組織，疾病的狀況為骨髓下降。
 - 全身加馬劑量達到約2Gy，造血併發症將顯現出。

輻射傷害

■ 胃腸併發症

- 全身劑量約10Gy或更高，胃腸併發症將跟隨而來。
- 嚴重的噁心、嘔吐及腹瀉外，所有的造血併發症都會顯現。

■ 中央神經系統併發症

- 全身劑量超過20Gy會破壞神經系統及身體其他器官系統。
- 曝露後數分鐘內會失去知覺，數小時至數天會死亡；失去知覺的快慢與劑量有關。

輻射傷害

- 延遲效應：一次大量超曝露或是連續低量超曝露所引起。連續低量超曝露可能是外部輻射場的曝露或者是攝入放射性同位素所引起。
- 延遲效應：癌症、基因效應、壽命縮短及白內障。

輻射傷害

■ 癌症：白血病(血癌)、骨癌、肺癌、甲狀腺癌

- 超曝露會增加癌症發生的可能性，但仍無法確認任何癌症在某種曝露下一定發生。
- 白血病：全身超曝露所引起。從日本原子彈資料，顯示劑量約在0.4Gy或更高時會增加白血病人的死亡；劑量低於0.4Gy，死亡率並沒有增加的現象。

輻射傷害

- 骨癌：鐳、鈾、鈾累積在骨頭內，產生骨癌。
- 肺癌：礦工病。氡氣是肺癌的病源劑。濃度值 $<1000\text{Bq/m}^3$ 。肺癌也與體外輻射超暴露有關。在日本原子彈爆炸接受到高輻射劑量的生存者間，也發現肺癌發生率偏高的情況。
- 甲狀腺癌：接受X-ray的有效治療的兒童中，發現其甲狀腺癌發生率偏高。使用放射性碘進行診斷，甲狀腺劑量約 0.5Gy ，在流行病學的研究顯示未增加甲狀腺癌的發生。

輻射傷害

■ 基因效應

- 日本原子彈爆炸輻射範圍，並未發現輻射的基因效應。
- 游離輻射，會引起染色體的突變或斷裂。

■ 壽命縮短

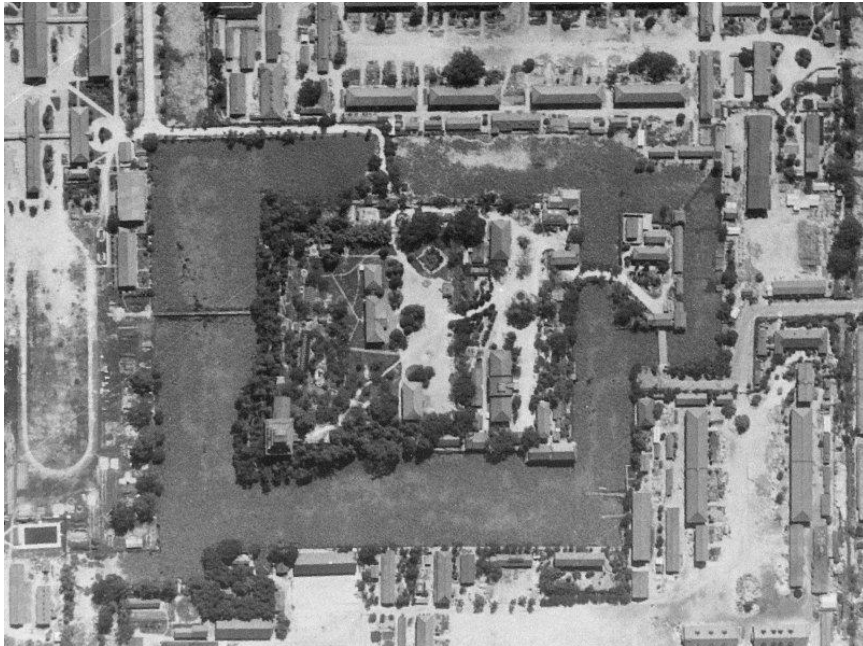
- 輻射超曝露引起的癌症，在動物實驗中觀察出會縮短壽命，但在日本原子彈爆炸生存者中並無效應。

■ 白內障

- 早期在迴旋加速器的物理學家，具有較高的白內障發生率。
- 中子可能比貝他或加馬射線，更會引起白內障。

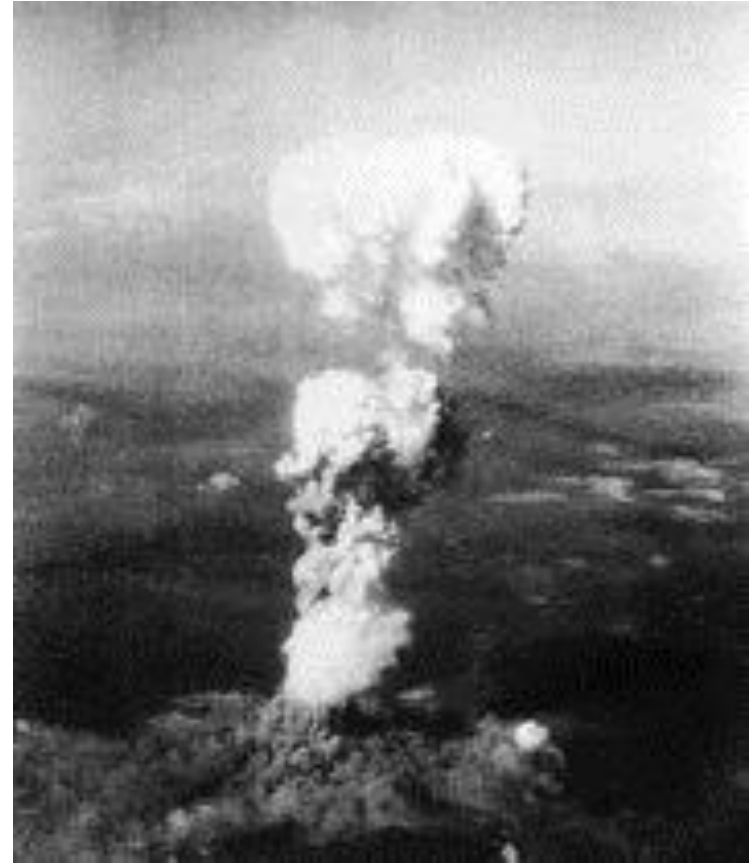
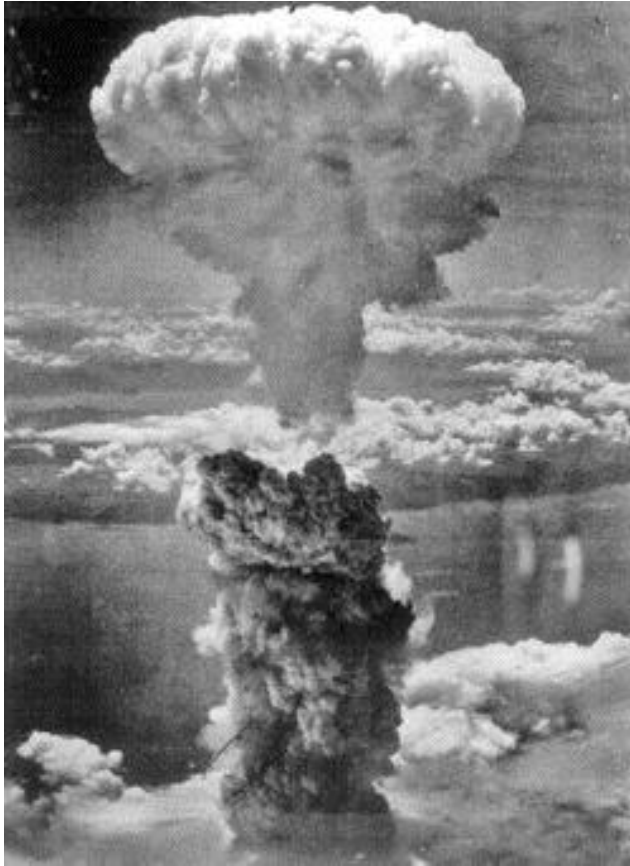
廣島原子彈爆炸前後空照圖

1945年7月25日



1945年8月11日





投下在長崎的鈾彈核武(胖子)，引起高達18公里的蘑菇雲
(the morning of August 9th, 1945)

國內非破壞檢驗傷害



國外非破壞檢驗傷害



輻射傷害

- 大量輻射，會對人體造成危害。
- 自有地球以來，天然輻射一直存在：(a) 宇宙射線，(b) 地殼或大氣中之天然放射性物質釋出之游離輻射，(c) 人體組織中所含天然放射性物質釋出之游離輻射。
- 礦工罹患肺癌、製造夜光錶盤女工的骨癌、早期從事X光工作者的輻射傷害，若稍具現今的輻射防護常識，將可避免。

如何做好輻射防護

- 體外曝露的輻射防護
- 體內曝露的輻射防護
- 輻射源管理
- 作業環境管理
- 人員管理
 - 劑量管理
 - 健康管理



輻射傷害



體外輻射之防護



- 減少曝露時間 (等待活度衰減)
- 增加與輻射源的距離
- 屏蔽輻射源

體外輻射之防護

■ 減少曝露時間

➤ 生物效應與輻射劑量率及全部的劑量有關。

➤ 全部的劑量=劑量率×曝露時間

➤ 不可超過最大可允許劑量。

➤ 活度 $A(t) = A_0 e^{-\lambda \cdot t}$

➤ 劑量率(點射源) $\dot{D}(t) = \Gamma \frac{A(t)}{r^2}$

體外輻射之防護

■ 減少曝露時間

- 了解輻射作業場之輻射狀況
- 事先明瞭工作要領
- 熟記工作步驟
- 熟練工作技巧(在非輻射作業場演練)
- 分工合作(高輻射作業場)
- 輻射作業若無時間性，等待其活度衰減後，再作業。

體外輻射之防護

■ 增加與輻射源的距離

➤ 點射源： $\dot{D} = \Gamma_d \frac{A_s}{r^2}$

➤ 無限長之線射源： $\dot{D}_p = \Gamma_d \frac{\pi C_l}{h}$

➤ 半徑為R之面射源： $\dot{D}_p = \pi C_a \Gamma_d \ln \left(\frac{R^2 + h^2}{h^2} \right)$

➤ 操持射源，儘量使用長柄工具。

體外輻射之防護

■ 屏蔽輻射源

➤ 窄加馬射束經薄屏蔽的衰減 $I = I_0 e^{-\mu t}$

➤ 寬的射束(broad beam)或非常厚的屏蔽

$$I = B \times I_0 e^{-\mu t}$$

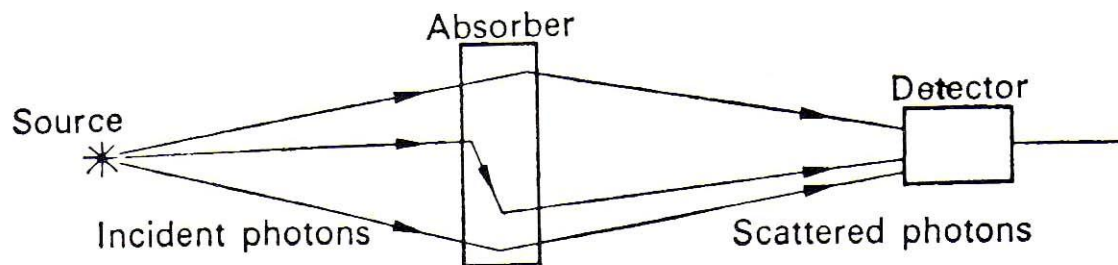


FIGURE 10.5. Gamma-ray absorption under conditions of *broad beam* geometry, showing the effect of photons scattered into the detector.

體外輻射之防護

■ 屏蔽防護

- 在射源與工作者之間加設屏蔽。
- 屏蔽物質之選擇：輻射種類、作業場空間、經濟、屏蔽重量、結構強度。
- α 輻射：無須屏蔽
- β 輻射：用原子序較小的材料，做屏蔽；但可能有制動輻射。(質量阻擋本領)
- γ 輻射：用原子序較大的材料，做屏蔽；但需注意康普吞(compton)散射，與增建因子B。

體外輻射之防護

■ 屏蔽防護

- 中子輻射：先讓中子減能、再吸收中子；中子屏蔽，先以含氫多的物質(水、塑膠、石蠟)、再以吸收熱中子的材料(硼)、外部再以高原子序材料阻擋其產生的 γ 輻射。

體內輻射之防護

- 放射性核種進入人體，將發生體內輻射曝露。
- 體內輻射防護，係為防止或降低射性核種進入到人體及在人體內之積存。
- 放射性物質進入人體的三種途徑：
 - 吸入：由鼻吸入放射性氣體及空浮微粒。
 - 嚥入：由口吃入放射性物質污染的水與食物。
 - 吸收：經由皮膚或傷口吸收放射性物質。
- 吸入與嚥入，統稱為攝入

體內輻射之防護

■ 放射性物質侵入體內的途徑

- 飲食
- 呼吸
- 皮膚吸收
- 傷口侵入

■ 防護方法

- 避免食入
- 減少吸入
- 避免在污染區逗留
- 加強除污工作



體內輻射之防護

- 避免在污染區逗留
- 避免在污染區飲食或吸菸
- 輻射作業後及吃飯前，要洗手
- 有外傷不在污染區工作
- 平時輻射作業必戴手套及穿工作服
- 空浮區工作，應依規定戴適當面具或穿塑膠防護衣。

體內輻射之防護

■ 放射性物質進入體內之防治三大原則 (由醫師指示處理)

➤ 稀釋與減少吸收

➤ 增加排泄

➤ 防止放射性物質在體內之滯留

自我防護法

- 避免進入污染區。
- 進入污染區，須戴面具並穿防護衣。
- 離開污染區，應仔細偵檢髮、膚、衣、褲、鞋、襪是否污染。
- 離開管制區，需利用手足偵檢器檢測，無污染才可離開。
- 長柄工具操作射源：弱射源用鉗或鑷，強射源用機械手。
- 養成良好習慣：管制區不抽菸、不喝水、不吃東西；管路阻塞，不用口抽吸；從事輻射工作後，需洗手偵檢；從事輻射污染工作後，需淋浴並經偵檢。

推行合理抑低措施之必要性

- 輻射劑量合理抑低：係儘可能降低輻射曝露至合理可達之低限(As Low As Reasonably Achievable, ALARA)。
- 不但對人員劑量能達有效的管理，且對維修作業方式、設施系統之輻射改善及人員訓練等均能產生很好的效果。

推行合理抑低措施之必要性

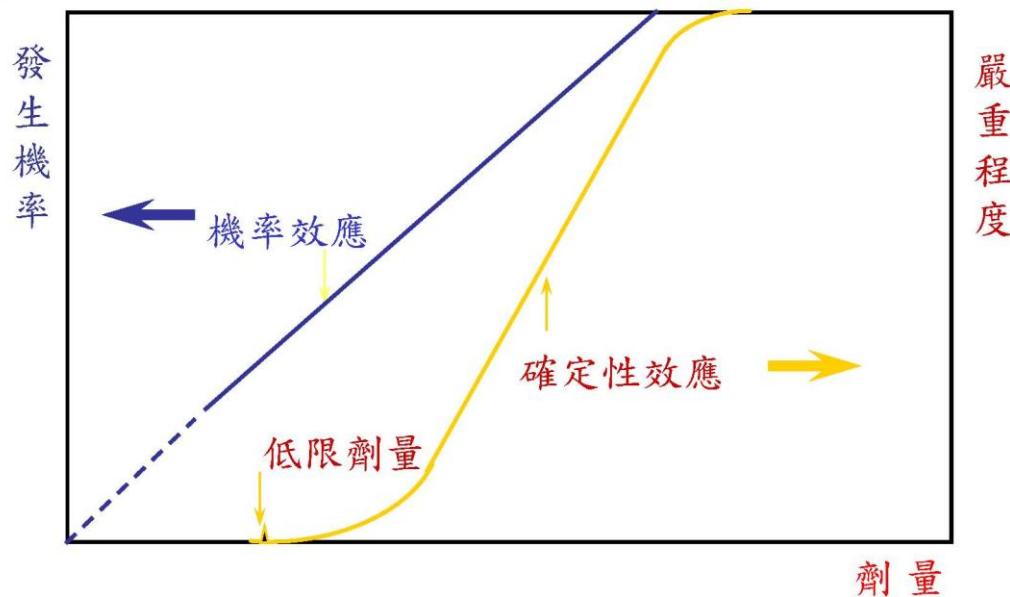
■ 輻射之健康效應區分為

- **確定效應**：指導致組織或器官之功能損傷而造成之效應，其嚴重程度與劑量大小成比例增加，此種效應可能有劑量低限值。
- **機率效應**：指**致癌效應**及**遺傳效應**，其發生之**機率與劑量大小成正比**，而與嚴重程度無關，此種效應之發生**無劑量低限值**。

效應	低限劑量	與劑量的關係	例子
機率效應	無	成正比	癌、白血病、基因突變
確定效應	有	成比例	紅斑、脫毛、白內障、不孕

推行合理抑低措施之必要性

游離輻射效應與劑量關係



- 輻射作業應防止確定效應之發生及抑低發生率。
- 由於機率效應無劑量低限值，為抑低其發生率，又顧及作業利益，故推行ALARA措施有其必要性。

合理抑低的最適化

- 合理抑低不是不計成本地降低輻射曝露，而是應將努力(成本)與收獲(利益)達到最佳化。
- 進行成本-利益分析(cost-benefit analysis)，以達到輻射劑量合理抑低。
- 輻射作業：利益須超過其代價(具正當性)、個人劑量不得超過限值(劑量限值)。符合前述兩條件後、再考慮經濟及社會因素，使一切曝露應合理抑低(最佳化)。

合理抑低的最適化

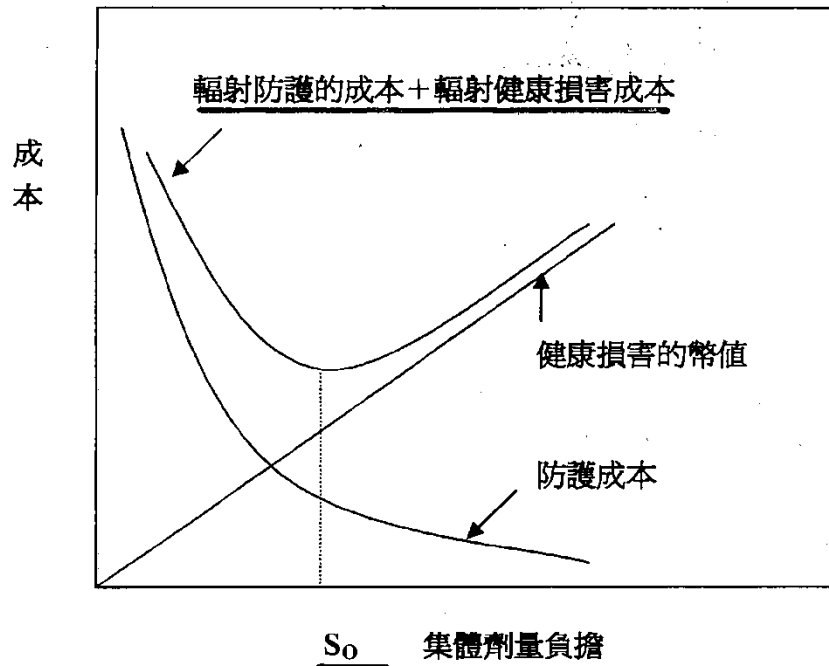
■ 輻射作業曝露應合理抑低之分析方法：

- 設總利益為 V 、此作業之基本成本為 P 、降低集體有效劑量(S)所需成本為 X 、集體有效劑量之輻射傷害成本(包括經濟及社會成本)為 Y 、所以此輻射作業之淨利益 B 為

$$B = V - (P + X(s) + Y(s))$$

- 淨利益 B 必須大於0，集體有效劑量之任何個人劑量必須小於劑量限值。
- 此輻射作業之總利益 V 及基本成本 P 幾乎為定值，為使淨利益 B 為最大值，則令 $dB/dS=0$ ，可求得最適化的集體有效劑量。

合理抑低的最適化



$$\frac{dB}{dS} = \frac{d}{dS}(V - (P + X + Y)) = 0 \quad \frac{dX}{dS} = -\frac{dY}{dS}$$

案例分析：

設國人死亡的社會成本為500萬元，已知輻射的致癌風險為 $5 \times 10^{-2}/Sv$ ，故輻射健康損害成本 $Y(S) = 500 \times 5 \times 10^{-2} \times S$ 萬元/人西弗 = 25S 萬元/人西弗

某一設施降低集體有效劑量(S)所需成本 $X(S) = 1 \times 10^4 \times \exp[-5(S-0.01)]$ 萬元/人西弗。
求合理抑低的集體劑量為多少人西弗？

解：

$$dX/dS = -5 \times 10^4 \times \exp[-5(S-0.01)]$$

$$dY/dS = 25$$

$$-5 \times 10^4 \times \exp[-5(S-0.01)] = -25$$

$$\exp[-5(S-0.01)] = 5 \times 10^{-4}$$

$$-5(S-0.01) = -7.6$$

$$S-0.01 = 1.52$$

合理抑低的集體劑量為 $S = 1.53$ 人西弗

合理抑低措施實行要領

■ 設計時之ALARA考量：最有效的方法

➤ 將設施依輻射狀況，劃分成數個不同的輻射管制區。

➤ 進入某管制區執行某項工作，全年工作時數 $T(\text{hr/yr})$ 、該管制區輻射強度 $D(\text{mSv/hr})$ 、工作人數 $N(\text{man})$ ，則執行該項工作之全年集體劑量 S 為 $S = T \times D \times N(\text{man-mSv/yr})$ 。

□ 若該管制區年集體劑量 $S < \text{ALARA}$ 目標值，表示設計原則上符合ALARA措施。

□ 若該管制區年集體劑量 $S > \text{ALARA}$ 目標值，則應檢討較大的集體劑量項，探討降低的方法(甚至修改設計)，判定何種方式最為合理可行。

合理抑低措施實行要領

■ 運轉操作時之ALARA執行

➤ 兩項ALARA準則必須遵守

- 第一項儘量降低輻射曝露，不必要的劑量應絕對要求工作者避免接受。
- 第二項為高輻射劑量之工作，應先經合理抑低措施之評估及審查。

➤ 必須遵行的ALARA措施

- 嚴格遵守輻射管制區域畫分之各種規定要求。
- 放射性物質應嚴格有效管制。
- 制定輻射工作人員劑量管制措施。

減少劑量之分析與方法

■ 分析

- 對整廠而言，首先對**輻射劑量管理**(dose management)應**有一完整制度**。
- 先充分**瞭解那些是造成劑量的來源**，**那些地區**可能會接受到輻射，**那種工作**可能會接受到高劑量，**那些問題**應與輻射安全人員或其他有關人員商談。

■ 減少劑量的方法：**屏蔽、時間、距離**

結語

- 合理抑低把握下列三項要領：
 - 養成良好守法的工作習慣
 - 不必要的輻射絕對不去接受
 - 不可草率從事高輻射危險工作
- 執行合理抑低措施時可簡單用下面方式來說明：計畫(P)→執行(D)→檢討(C)→改善(A)。
- **ALARA**措施的推行是**全面性的**，包括各層次且更需有權威性之支持方可順利發展進行，以收實效。

謝謝大家的參與
