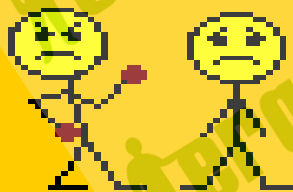
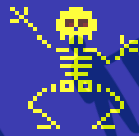


诊断和治疗中的防护



辐射源与辐射场



辐射源radioactive source: 泛指一切能发射微观粒子的装置或物质。如 α 辐射源、X射线辐射源、中子源、微波辐射源及发射超声波的声源等。

辐射粒子的运动空间称为辐射场。

点状源: 如果辐射场内某点与辐射源的距离比辐射源本身的几何尺寸大5倍以上, 那么在这一点上, 即可把辐射源看作是点状的, 称为点状源。

点源



$$\frac{X_1}{X_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

图10-1 点源辐射场中，辐射量大小与距离的平方呈反比关系。

注： X_1 、 X_2 分别是距离 r_1 、 r_2 处的照射量。

一、 X辐射源特性和辐射量估算

(一) X射线线质

X射线线束强度，即光子数目，反映的是X射线输出量，由管电流决定。

X射线管两极间管电压即激发电压，管电压越高，电子能够达到的速度越快，撞击阳极靶的力量愈强，产生的X射线穿透本领越强。

X射线线质常以代表透穿能力的“半价层”表示。半价层就是把原来射线的照射量率减少一半的物质层的厚度。

(二) X射线发生器照射量率计算

X射线发生器在离靶 r m处，产生的照射量率) 粗略地可按下式计算：

$$\dot{X} = I \cdot v / r^2 \quad \text{C kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \quad (10-2)$$

如果照射时间为 t (min)，则 t 时间内造成的照射量为

$$X = I \cdot t \cdot v / r^2 \quad \text{C kg}^{-1} \quad (10-3)$$

注： I —管电流 (mA) 或平均电子束流 (μA)；
 v —在给定的管电压和射线过滤情况下，X射线的发射率常数，数值上等于距离靶1m处，由单位管电流 (1mA) [或单位平均电子束流 (1 μA)] 造成的照射量率，单位用 $2.58 \times 10^{-4} \text{C} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ m}^2 \text{ mA}^{-1} \text{ min}^{-1}$ 表示。

【例】在X射线透视检查中，X射线管的电压在50~810kV之间，管电流为2~5mA。若取管电压为70kV，管电流为3mA，射线出口处用2mm铝作过滤板，计算此种情况下距靶50cm处的照射量率。

按题意， $I=3\text{mA}$ ， $r=50\text{cm}=0.5\text{m}$ ，对于管电压70kV，2mm铝作过滤板，由图10-2查得 $v=0.58\times 2.58\times 10^{-4}\text{C kg}^{-1}\text{m}^2\text{mA}^{-1}\text{min}^{-1}$ 。

因此，按 (10-2) 式在 $r=0.5\text{m}$ 处的照射量率计算为：

$$\begin{aligned} X &= I \cdot v / r^2 \\ &= 3 \times 0.58 \times 2.58 \times 10^{-4} \times (1/0.5)^2 \\ &= 1.79 \times 10^{-3} \text{ C kg}^{-1} \text{ min}^{-1}. \end{aligned}$$

γ 辐射源及其辐射量估算

补充

点状辐射源照射量率的计算

放射性核素的照射量率常数 (Γ_{δ}): 放射性活度 (1Bq) 的点辐射源, 在距离 1m 远处由能量大于 δ 光子 (包括 γ 光子和韧致辐射及特征 X 辐射的光子) 所造成的照射量率 ($C \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)。

参考书中有一些不包括韧致辐射和特征 X 辐射照射量率在内的 γ 放射性核素的照射量率常数 Γ 。

按以上讨论，一个放射性活度为A、照射量率常数为 Γ 的点状 γ 辐射源，在距离它 r (m)处造成的照射量率即可由下式给出：

$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2}$$

注意，式中 r 用“m”作单位，的单位是 $\text{C kg}^{-1} \text{s}^{-1}$

【例一】现有一个9.25TBq的 ^{60}Co 点辐射源，求距离它2m处的照射率。

按题意， $A=9.25\text{TBq}=9.25\times 10^{12}\text{Bq}$ ， $r=2\text{m}$ ，对 ^{60}Co 源，可查得 $\Gamma=2.56\times 10^{-18}\text{C m}^2 \text{kg}^{-1}$ ，于是按公式，距离上述 ^{60}Co 源处2m的照射量率为：

$$\bullet \quad X = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2}$$

$$=$$

$$\frac{9.25 \times 10^{12} \times 2.56 \times 10^{-18}}{2^2}$$

$$= 5.92 \times 10^{-6} \text{ C kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

【例二】求距离0.5 mCi铯-137 (^{137}Cs) 50cm处的照射量率。

按题意, $A=0.5 \text{ mCi}=0.5 \times 10^{-3} \text{ Ci}=18.5 \times 10^6 \text{ Bq}$

$r=50 \text{ cm}=0.5 \text{ m}$

对 ^{137}Cs , 可查得 $\Gamma=0.639 \times 10^{-18} \text{ C m}^2 \text{ kg}^{-1}$, 所以, 50cm处的照射量率等于:

$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2}$$

=

$$\frac{18.5 \times 10^6 \times 0.639 \times 10^{-18}}{0.5^2}$$

$$= 4.73 \times 10^{-11} \text{ C kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

【例四】已测得⁶⁰Co γ 辐射源3 m处的照射量率为0.0129C kg⁻¹ h⁻¹，如果把该源看做为点状源，求距离该辐射源5 m处的照射量率

按题意， $\dot{X}_1 = 0.0129 \text{ C kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ $r_1 = 3\text{m}$ $r_2 = 5\text{m}$,

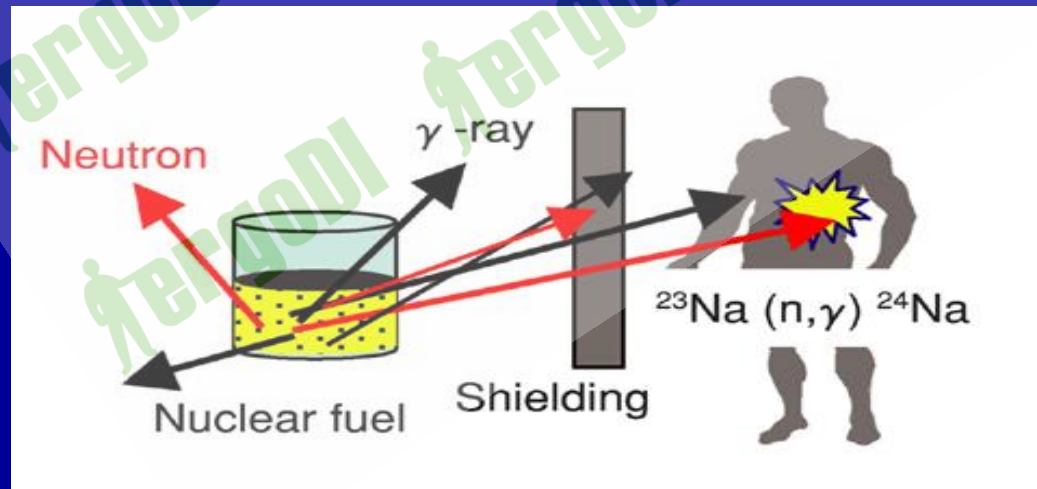
求 \dot{X}_2 ，于是按公式 $\frac{\dot{X}_1}{\dot{X}_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$

(10-1)，5 m处的照射量率为：

$$\dot{X}_2 = \frac{\dot{X}_1 \cdot r_1^2}{r_2^2} = \frac{0.0129 \times 3^2}{5^2} = 4.64 \times 10^{-3} \text{ C kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$$

我国医疗照射及其现状

医疗照射：是指在医学检查和治疗过程中被检者或病人受到电离辐射的内外照射。它主要指X射线诊断、放射治疗及临床核医学诊治中病人受到的内外照射。

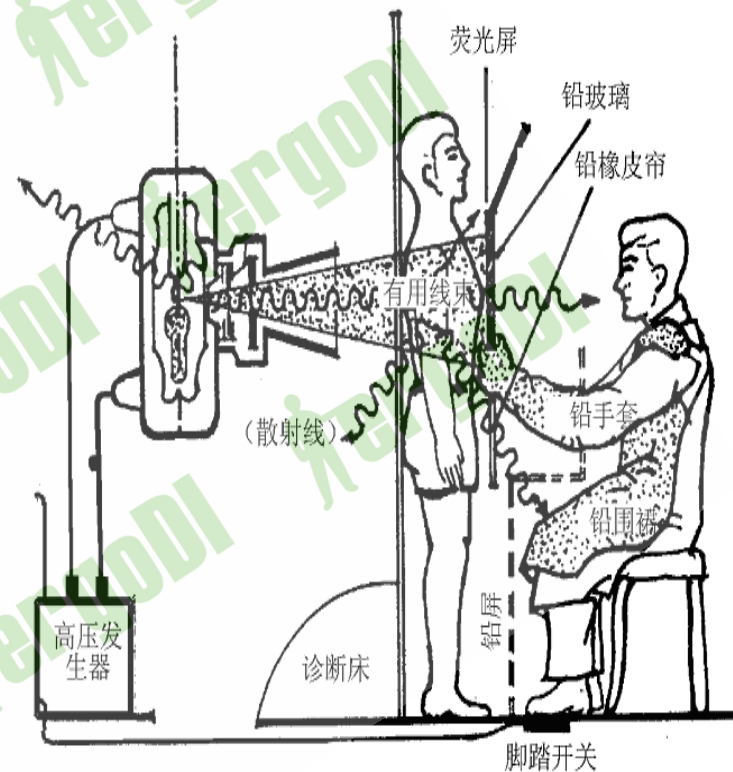
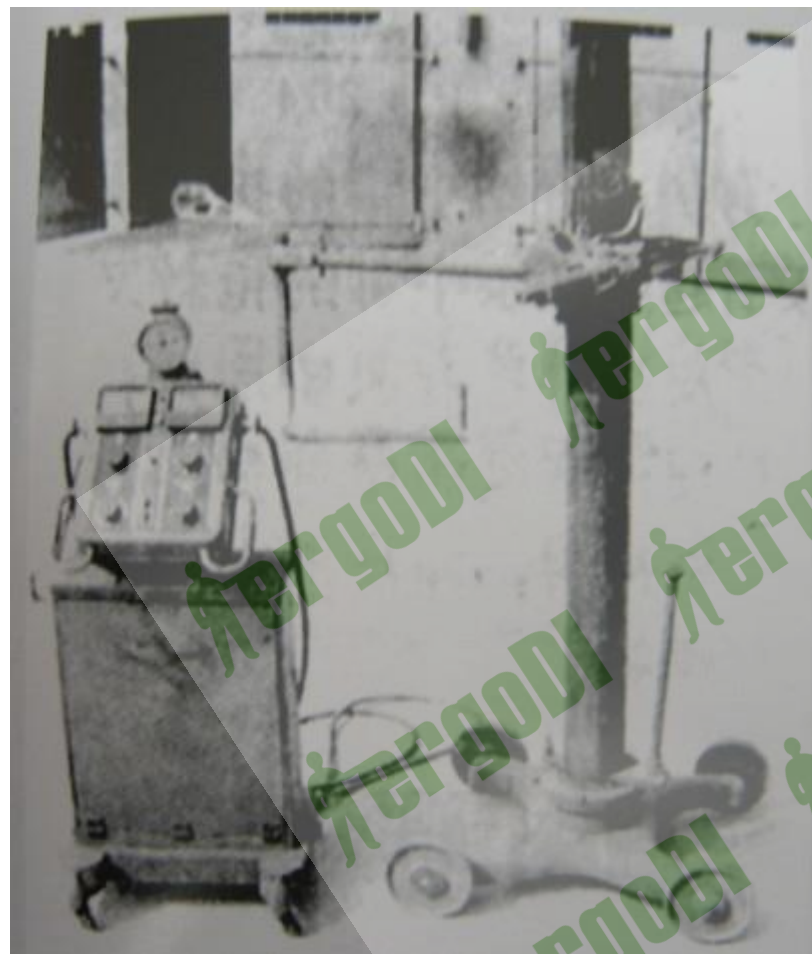


医疗照射发展的总趋势:

受检人数越来越多, 条件设备越来越好, 接受剂量越来越低。

医疗照射防护的发展过程 (图)





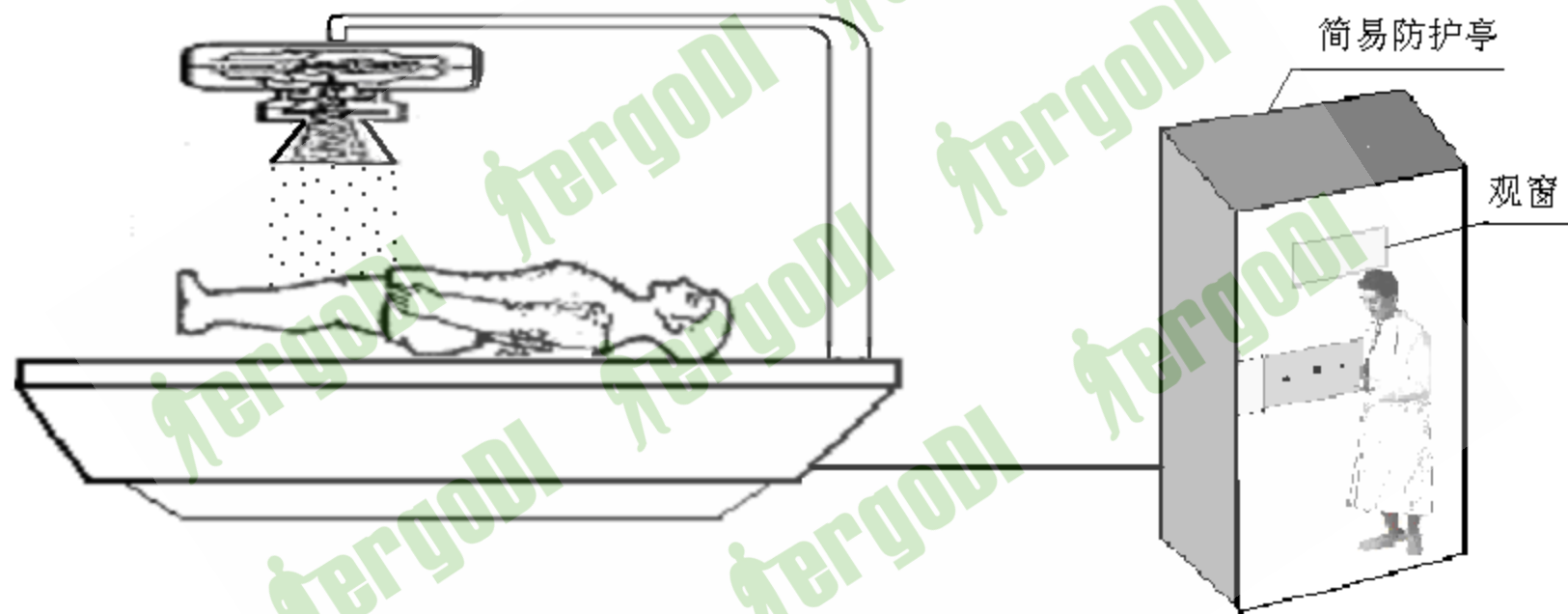




表10-1 医疗照射频度（人次/十人口）及病人皮肤剂量（mGy/次） 1988年

医疗照射类型	频度	病人剂量	医疗照射类型	频度	病人剂量
1.X射线诊断	145.1				
胸透	64.3	10.4	胸片	11.9	1.1
群检	25.5	5.2	腹片	1.4	22.1
腹透	11.3	8.5	脊椎片	4.0	32.5
消化道	6.0	51.6	骨盆片	1.3	11.0
胆囊造影	0.4	26.8	四肢片	11.5	2.3
心导管造影	0.2	—	牙科	2.1	2.8
心血管造影	0.3	25.5	肾盂造影	0.3	1.2
尿路膀胱造影	0.3	—	其他	4.3	—
2. 临床核医学	0.62				
脑扫描	0.003	1.79	肾图	0.152	0.006
甲状腺吸碘	0.261	1.54	甲亢治疗	0.006	2595
甲状腺扫描	0.065	93.8	甲状腺癌治疗	<0.001	
心血管扫描	0.001	0.02	皮肤病治疗	0.018	14.8
肝/脾扫描	0.087	21.7	其他	0.026	—
3. 放射治疗	0.090				
宫颈癌	0.009		其他头部肿瘤	0.005	
鼻咽癌	0.023		乳腺癌	0.012	
食道癌	0.018		其他	0.023	

*X射线诊断时为病人皮肤剂量，临床核医学诊疗时为病人有效剂量

1998年为:

胸透 78.6 (人次/千人口) 3.0 (mGy/次)



胸片 75.4 (人次/千人口) 1.0 (mGy/次)



从上表看出，消化道检查、胸透及腰椎片检查造成的潜在危害最大。我国X射线诊断可能造成肿瘤死亡率每1000万人口中分别为8人。

不同国家受检者ESD比较 (mGy/次)

国家	正位 侧位		正位 侧位	
	中国	0.36	1.53	5.78
英国	0.16	0.57	6.1	16.0
澳大利亚	0.12	0.63	6.1	15.1
爱沙尼亚	0.30	0.86	13.8	30.3
芬兰	0.24	0.73	8.80	18.2
希腊	0.69	2.94	18.9	44.9
立陶宛	0.81	1.39	22.8	35.5
波兰	0.20	0.88	7.50	12.0
罗马尼亚	1.7	4.2	17.6	42.0
新西兰	0.22	1.24	5.47	18.9
斯洛文尼亚	0.29	1.02	6.11	15.65
南非	1.5	3.2	27.3	59.1
马来西亚	0.28	1.40	10.6	18.7

医疗照射造成的潜在危害估计值 (人·年⁻¹)

医疗照射	遗传效应发生数 (Gg)	白血病死亡数 (G _l)	恶性肿瘤死亡数 (Gs)
X射线诊断			
胸透	3.3	49.5	217
群检	0.6	10.2	39.4
妇科检查	3.8	1.8	17.1
消化道检查	10.2	70.7	391
胸片	0.3	1.1	8.5
腰椎片	32.5	14.3	90.5
四肢片	0.2	2.4	9.2
骨盆片	26.2	4.3	26.7
腹部平片	1.2	3.1	25.5
心血管	2.6	0.7	6.0
其他	0.7	1.8	15.3
ΣX射线	82.0	160.9	854
核医学诊疗			
甲状腺扫描	0.02	< 0.01	4.8
甲亢治疗	0.13	0.01	19.5

我国医疗照射存在问题：

- ①介入操作、X射线下骨科复位和放射性粒子植入医生的个人剂量仍然较大；
- ②受检者个体的ESD差异很大，胸片侧位最高者约是最低者的32倍，门诊胸透最高者约是最低者的19倍；
- ③在多种放射学检查中，脊椎摄影、腹部摄影、牙科摄影、乳腺摄影、X-CT和各种造影检查的剂量较大；
- ④临床医师和放射学医师的安全文化素养有待提高。

各国X射线诊断检查的相对频度 (%)

检查类型	法国	英国	日本	前苏联	美国	中国
胸透	—	0.2	—	11.1	—	64.3
胸片	34.1	32.5	27.0	53.3	35.7	8.2
消化道	4.2	4.0	22.1	12.8	7.0	4.1
脊椎片	10.6	8.6	4.4	2.8	11.0	2.8
骨盆片	21.9	6.3	1.9	0.5	2.6	0.9
X-CT	—	0.9	—	0.2	1.8	<0.01
其他	29.2	47.5	39.4	19.4	41.9	22.2
合计	100	100	100	100	100	100

提出了医疗照射防护基本原则

正当性
最优化

潜在危害告知义务与剂量约束



我国医疗照射最新进展

05年10月发布了国务院第449号国务院令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》12月1日起开始施行。

“条例”第三章（三十八条）指出：
“医疗卫生机构应按照医疗照射正当化和辐射保护最优化的原则，避免一切不必要的照射，并事先告知患者和受检者辐射对健康的潜在影响”。

卫生部“放射诊疗管理规定”

病人做放射学检查时，必须有明确、正当的医疗目的，遵守最优化原则，严格控制受照剂量；非检查部位必须有安全措施，对邻近照射野的敏感器官和组织进行屏蔽防护，并事先告知病人辐射对健康的影响等。

同时卫生部还要求医疗机构在实施放射诊断检查前，应对不同检查方法进行利弊分析，在保证诊断效果的前提下，优先采用对健康影响较小的检查方法。

规定 新! 新!



不应将核素显像检查和X射线胸部检查列入婴幼儿及少年体检的常规检查项目；对育龄妇女腹部或骨盆进行核素显像检查和X射线检查前，应问明是否怀孕，非特殊需要，对受孕后8~15周的育龄妇女不得进行下腹部放射影像检查；实施放射性药物给药和X射线操作时，应当禁止非受检者进入操作现场，需要陪检时，应对陪检者采取防护措施等等。

医疗照射防护的基本原则

一、医疗照射的正当化

- 1、医生对病人是否值得进行照射负有责任；
- 2、预防性健康检查和疾病普查正当；
- 3、医学研究；
- 4、其他法律性检查。



二、医疗照射的最优化

(注意：没有剂量限值)

1、医疗照射最优化的目的

在于充分利用技术和设备条件，在不影响诊疗效果的前提下，尽可能减少病人所受剂量，即以尽可能小的照射剂量取得尽可能好的诊疗效果。

2、医疗照射最优化的措施

- A. 准确的临床判断和检查方法的选择；
- B. 合适的放射源和防护设备；
- C. 科学的操作技术和规程；
- D. 对检查结果的正确解释。

第A、D项是负责病人诊疗的主治医生的责任，取决于医生技术水平的高低。第B、C项是放射专业医生或技师的责任，取决于他们的专业技术和防护知识水平，以及设备等物质条件。

三、潜在危害告之义务与剂量约束





医疗照射指导水平：是经有关部门洽商选定的剂量、剂量率或活度一些测量值，其作用是提供给有关从业医师做为指南。

剂量约束 是指放射源可能造成的个人剂量所规定的一种上界值。

医疗照射指导水平不是剂量限值标准，它仅是对专业安全判断的一个补充，也不能用于判断医疗质量的好坏。

案例（10-1） 被称为“**为妇女造福工程**”的我国百万妇女乳腺癌普查工作启动，普查工作采用的是CR技术（即X射线拍片，计算机存储图像）和乳腺B超技术，目前在国内已经完成了少数普查，乳腺发现率约1%左右，属于收费性普查项目。但该“工程”却受到了国内放射防护专家的强烈反对，国务院和卫生部为此已召开专题研讨会，就“乳腺普查是否能采用CR放射学诊断和可能带来的危害”进行论证，放射学检查是一把双刃剑，一方面它可以诊断出疾病，另一方面如果使用不当有可能诱发其它疾病的发生，专家们称贸然采用没有影像质量控制的乳腺普查，将会使未患肿瘤的大多数妇女受到不必要的放射性射照射。

结论：双方在认识上的存在争议。

第三节 医用封闭源的防护

一、外照射防护的基本方法



- (一) 时间防护-----缩短受照时间
- (二) 空间防护-----增大与辐射源之间的距离
- (三) 屏蔽防护-----设置防护屏蔽
- (四) 尽量减少源的活度

二、医用X、 γ 射线的衰减及屏蔽厚度估算方法

(一) X或 γ 射线的衰减

1、窄束、单能X或 γ 射线的衰减

窄束单能X或 γ 射线的衰减符合简单的指数规律，即：

$$I=I_0e^{-\mu d} \quad (10-4)$$

μ 衰减系数(cm^{-1})指光子穿行单位路径遭受相互作用的概率。

d 指物质层厚度 (cm)

公式10-4还可改写为如下形式:

$$N = N_0 e^{-(\mu/\rho) \cdot d_m}$$

注:

ρ 物质的密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$);

$d_m = d \cdot \rho$ 物质的质量厚度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$);

μ/ρ 物质对特定能量光子的质量衰减系数
($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)

如果康普顿散射是使X射线或 γ 射线衰减的主要因素,亦即:

$$(\mu/\rho)_1 = (\mu/\rho)_2 \quad (10-9)$$

因此, $dm_1 = dm_2$

即: $d_1\rho_1 = d_2\rho_2$

或者 $d_1/d_2 = \rho_2/\rho_1$

一些常用的建筑或屏蔽材料,如混凝土、砖、灰沙、泥土等,都是由硅、钙、钼、铝、铁一类低Z物质组成;对于这类物质康普顿散射占主要地位的能区范围很宽,所以常常根据公式来估计砖、灰沙或泥土等材料的等效混凝土厚度,即:

$$d_{\text{混凝土}} = d_{\text{材料}} \cdot \left(\rho_{\text{材料}} / \rho_{\text{混凝土}} \right)$$

屏蔽设计中常常运用屏蔽材料对辐射的半衰减厚度 ($d_{1/2}$) 和10倍衰减厚度 ($d_{1/10}$) 来评价材料的辐射屏蔽性能和用以计算所需的防护屏蔽的厚度。

减弱倍数K (attenuation factor) 的含义是辐射场中某点处没有防护屏蔽时的当量剂量与设置了防护屏蔽后的当量剂量的比值。

$$K = \frac{X_0}{X}$$

透射比 (transmission ratio, **B**) 为辐射场中某点处设置防护屏蔽后的当量剂量率 $I_{r(d)}$ 与设置防护屏蔽前的当量剂量率 I_r 的比值, 即:

$$B = \dot{H}_{I,r}(d) / \dot{H}_{I,r}$$

透射比与衰减倍数K互为
倒数：

$$B = \frac{1}{K}$$



10倍衰减厚度 ($d_{1/10}$)：就是将入射的X射线或 γ 光子数减少到1/10的物质层厚度。

半衰减厚度 ($d_{1/2}$)：10倍衰减厚度 ($d_{1/10}$) 与线衰减系数 μ 的关系如下：

$$d_{1/2} = 0.693/\mu \quad (10-5)$$

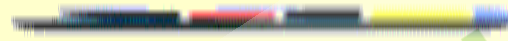
$$d_{1/10} = 2.303/\mu \quad (10-6)$$

并且 $d_{1/2} = 0.301d_{1/10} \quad (10-7)$

$$d_{1/10} = 3.32d_{1/2} \quad (1-8)$$

如果上面公式以质量衰减系数代替线衰减系数，则相应的 $d_{1/2}$ 、 $d_{1/10}$ 就以质量厚度表示。

计算举例：



某一工作地点测得 ^{60}Co 辐射源的辐射率为 $6.45 \times 10^{-5} \text{C kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ，求这一辐射率降到 $6.45 \times 10^{-7} \text{C kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ 所需铅的屏蔽厚度。

^{60}Co 的 γ 射线能量平均能量为 1.25MeV 。

解：因工作地点辐射率为 $6.45 \times 10^{-5} \text{C kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ 要降到 $6.45 \times 10^{-7} \text{C kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ，故减弱倍数K：

$$K = X_0/X = 6.45 \times 10^{-5} / 6.45 \times 10^{-7} = 100$$

由表10-13P167中查得， $K=100$ ， γ 射线能量为 1.25MeV 时所需铅的防护层厚度为 8.63cm 。

【例二】工作条件与例一相同，但考虑到其他因素，要求有2倍的安全系数，求此时铅防护层厚度。这里应该注意，增加2倍安全系数，并不是将屏蔽厚度乘以2，应按下式计算：

解：在此情况下 $X=6.45\exp^{-7/2}=3.25\exp^{-7}$ ，

所以， $K==6.45\exp^{-5}/3.25\exp^{-7}=200$ ，

查表10-13得所需铅的防护层厚度为9.81cm。

增加的厚度： $9.81 - 8.63 = 1.18 \text{ cm}$

【例三】某人运送放射性活性为 $9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$ 的 ^{60}Co 辐射源到外地去，历时需要3昼夜，如果此人距辐射源的最近距离为1.5m，求装辐射源的铅罐需要的厚度为多少时才使运送人员接受的辐射剂量不超过容许剂量。

解题思路：

按3个昼夜72 h计算。先算出无防护时，距源1.5 m处的辐照量。

确定国家允许标准，两者之比计算减弱倍数，通过查表确定屏蔽厚度。

【例四】某防护层厚度为 39.6cm，能满足 $3 \times 10^{-3} \text{Sv/W}$ 的最大容许当量剂量标准的要求，但要将剂量降低到 $1 \times 10^{-3} \text{Sv/W}$ 的水平，求应补充防护层的厚度，放射源为 ^{60}Co ，屏蔽材料为混凝土。

解题思路：

先算出所需屏蔽厚度

减去原有的厚度

直接计算法

NCRP第49和147号出版物一直关注诊断X线的屏蔽估算，2004年NCRP给出的诊断X线机房主墙壁的厚度计算方法P173。



$$X_{\text{(屏蔽厚度)}} = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left\{ \frac{\left(\frac{NTUK_P^1}{Pd_P^2} \right)^r + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right\}$$

(四) 医用射线装置屏蔽计算图示

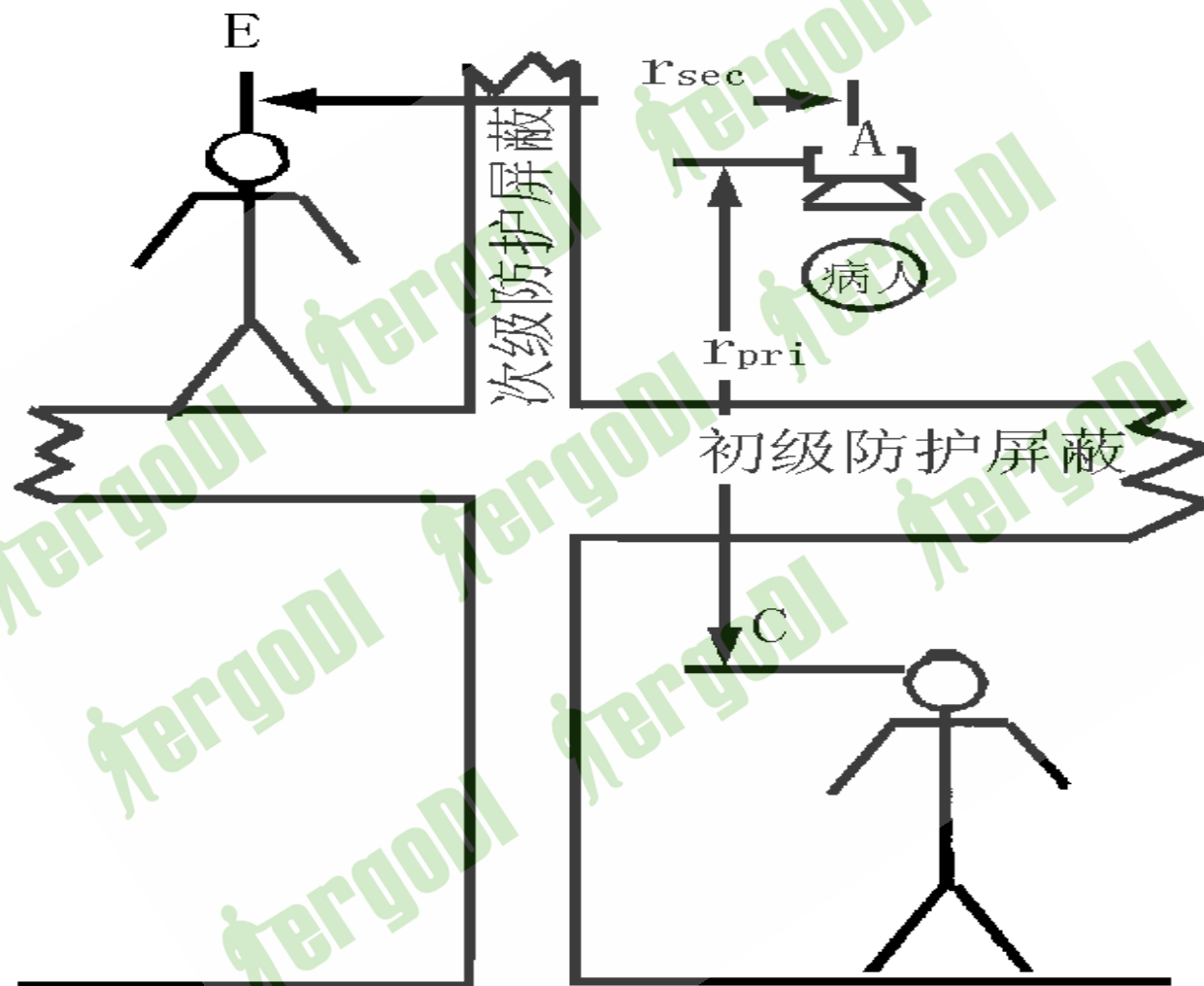


图9-17 设计医用 X 或 γ 辐射源装置屏蔽时需要考虑的一些几何因素

三、医用X、 γ 射线常用屏蔽材料

屏蔽X射线或 γ 射线的材料很多，大致分为2类：

一类是高Z、高密度的金属材料，如铅、铁、钨、铀等；

另一类是通用的建筑材料，如混凝土、砖、土等。

1、铅 原子序数82，密度 11.3g cm^{-3} ，有很好的抗腐蚀性能，在射线照射下不易损坏。其缺点是价格较贵，结构性能不好，硬度低机械强度差，不耐高温。铅常做成铅皮形式，安装铅皮时，须以木头或钢作背衬，否则会因自重而下垂。

2、铁 原子序数26，密度为 7.8 g cm^{-1} ，成本不高，易于获得，对X射线或 γ 射线有较好的防护性能。对于相同的衰减倍数，铁的重量大致仅比铅重30%。铁（钢）的机械强度很高，因此是防护性能和结构性能兼优的屏蔽材料，多用于固定的防护屏蔽中。

3、混凝土 由水泥、粗骨料（石子）、砂子和水混合做成，密度约 2.3 g cm^{-1} ，含有多种元素。

4、泥土，是一种极易获得的X射线或 γ 射线的屏蔽材料。为了降低费用，某些场合下可以使用泥土来屏蔽X射线或 γ 射线。例如，靠着原来的混凝土墙堆起土墙，或者在两层混凝土墙之间充填泥土，以此提供附加的屏蔽厚度。这样做的费用，比全部用混凝土要低廉得多。

5、水，密度为1，有效原子序数7.4。虽然水对X射线或 γ 射线的防护性能较差，但由于它透明，且可流动，因此常以水池的形式来贮存或分装固体的 γ 辐射源。用于辐射屏蔽时，以无离子水为最佳。

屏蔽 β 射线的材料

β 射线的屏蔽材料最好选用铝、有机玻璃或混凝土一类的低原子序数物质。

对**中子**常用水、石蜡、硼或含硼塑料板等轻质材料作屏蔽；对**中子、 γ 混合**辐射常用低原子序数和高原子序数材料相间组成的多层屏蔽，或用这两种元素均匀混合材料作屏蔽。

医疗照射需要屏蔽的主要是 β 、X或 γ 射线。

个人防护用品选择的原则

1. 防护性能可靠。
2. 价格低廉、使用方便。
3. 便于清洗和消毒处理，耐潮湿、最好具有耐高温、抗腐蚀性能。
4. 衰减分布均匀，稳定性，长期使用衰减性能不变。
5. 不应有可接触到的铅外露或无覆盖保护层产品



核医学的内照射防护

待积当量剂量 (HT, 50)

待积有效剂量 E_{50}



核医学安全操作规程

- (一) 严格执行操作规则
- (二) 操作中的注意事项
- (三) 严守个人防护规则
- (四) 用具要求
- (五) 除污保洁技术



图 10-5 排除注射器内空气

除污染基本原则是：

- ①根据污染核素的理化性质和污染物的性质选择适当的去污剂和去污方法；
- ②尽早清除以防污染扩散；
- ③防止去污过程中使污染面扩大；
- ④除污后要做安全监测，控制在规定值以下。

Radtek Radtek Radtek Radtek
Radtek Radtek Radtek Radtek
Radtek Radtek Radtek Radtek