

## 中华人民共和国国家职业卫生标准

GBZ/T 201.3—2014

### 放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分： $\gamma$ 射线源放射治疗机房

Radiation shielding specification for radiotherapy room—  
Part 3: Radiotherapy room of  $\gamma$ -ray sources

2014-10-13 发布

2015-03-01 实施



中华人民共和国  
国家卫生和计划生育委员会 发布

## 目 次

前言 .....	Ⅲ
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 治疗机房的剂量控制要求与屏蔽考虑 .....	2
5 $\gamma$ 射线源远距治疗机房的屏蔽计算 .....	4
6 后装治疗机房的屏蔽计算 .....	10
7 $\gamma$ 刀治疗机房的屏蔽计算原则与注意事项 .....	11
附录 A (规范性附录) 导出剂量率参考控制水平的方法 .....	12
附录 B (资料性附录) $\gamma$ 射线源放射治疗装置的参数与性能示例 .....	13
附录 C (资料性附录) 辐射屏蔽估算用的典型参数 .....	14
附录 D (资料性附录) 头部 $\gamma$ 刀治疗机房参考图 .....	16
附录 E (资料性附录) $^{60}\text{Co}$ 放射源远距治疗机房屏蔽估算示例 .....	17
附录 F (资料性附录) $\gamma$ 射线源近距离后装治疗机房屏蔽估算示例 .....	20

## 前 言

根据《中华人民共和国职业病防治法》制定 GBZ/T 201 的本部分。

GBZ/T 201 的本部分按照 GB/T 1.1—2009 规则起草。

GBZ/T 201《放射治疗机房的辐射屏蔽规范》按部分发布,分为以下五部分:

- 第 1 部分:一般原则;
- 第 2 部分:电子直线加速器放射治疗机房;
- 第 3 部分:γ 射线源放射治疗机房;
- 第 4 部分:中子源放射治疗机房;
- 第 5 部分:质子加速器放射治疗机房。

本部分是 GBZ/T 201 的第 3 部分。

本部分起草单位:北京市疾病预防控制中心、中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所、中国医学科学院北京协和医院。

本部分主要起草人:娄云、马永忠、万玲、王时进、冯泽臣、孟庆华、程金生、张福泉。

## 放射治疗机房的辐射屏蔽规范

### 第 3 部分: $\gamma$ 射线源放射治疗机房

#### 1 范围

GBZ/T 201 的本部分规定了应用  $\gamma$  射线源的放射治疗机房的剂量控制要求、机房的辐射屏蔽厚度计算与评价。

本部分适用于  $\gamma$  射线源远距治疗、高剂量率(HDR)后装近距离治疗和立体定向放射治疗三类机房的屏蔽防护。

#### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GBZ/T 201.1 放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分:一般原则

#### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

##### 3.1

##### **关注点 focus of attention**

通常在治疗机房外、距机房外表面 30 cm 处,选择人员受照的周围剂量当量(以下简称为剂量)可能最大的位置作为关注点。在距治疗机房一定距离处,公众成员居留因子大并可能受照剂量大的位置也应作为关注点。

##### 3.2

##### **源表观活度 apparent activity**

$A_{app}$

当放射源在某处的空气比释动能率与同种核素忽略自吸收的可视为点状放射源在同位置的空气比释动能率相同时,则把该可视为点状放射源的活度看作该种核素放射源的源表观活度(也叫名义活度或等效活度),本部分所涉及的活度(A)均指源表观活度。

##### 3.3

##### **$\gamma$ 射线源后装近距离治疗 $\gamma$ -ray sources afterloading brachytherapy**

依照临床要求,采用后装技术,使  $\gamma$  射线源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的一种放射治疗手段(简称后装治疗),本部分特指高剂量率(HDR)后装近距离治疗。

##### 3.4

##### **$\gamma$ 射线源远距治疗 $\gamma$ -ray sources teletherapy**

利用放射源组件中的放射源发出的  $\gamma$  射线,在放射源至皮肤之间的距离不小于 50 cm 的几何条件下实施的体外放射治疗,本部分专指  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  射线源远距治疗。

##### 3.5

##### **多源 $\gamma$ 射线立体定向放射治疗 multi-source $\gamma$ -ray stereotactic radiotherapy**

多源  $\gamma$  射线立体定向放射治疗(俗称  $\gamma$  刀治疗)是指配合使用立体定向装置、CT、磁共振或 X 射线数字减影等影像设备及三维重建技术,确定病变组织和邻近重要器官的准确位置及范围,采用多源  $\gamma$  射

束聚束照射靶点,进行大剂量三维立体定向照射的技术。

多源 $\gamma$ 射线立体定向放射治疗的装置俗称 $\gamma$ 刀装置。仅用于头部肿瘤等疾病治疗的 $\gamma$ 刀称为头部 $\gamma$ 刀,可用于头部以外的肿瘤治疗的 $\gamma$ 刀称为体部 $\gamma$ 刀。

### 3.6

#### 平衡锤 counterweight

##### 平衡防护屏

$\gamma$ 射线源远距治疗装置上的一个部件。在治疗装置机架旋转时,起平衡机头重量的作用。它有两种形式,一种只起平衡作用;另一种还能衰减治疗线束对治疗机房的直接照射。本部分提到的平衡锤,是指既起平衡作用又起射线屏蔽作用的平衡锤。

## 4 治疗机房的剂量控制要求与屏蔽考虑

### 4.1 剂量控制要求

#### 4.1.1 治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的周围剂量当量率(以下简称剂量率)应不大于下述 a)、b)和 c)所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ :

- a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子,可以依照附录 A,由以下周剂量参考控制水平 $H_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ):  
放射治疗机房外控制区的工作人员: $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ;  
放射治疗机房外非控制区的人员: $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。
- b) 按照关注点人员居留因子( $T$ )的不同,确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ):  
人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ;  
人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。
- c) 由上述 a)中的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和 b)中的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ,选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )。

#### 4.1.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b)两种情况控制:

- a) 在治疗机房正上方有建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自放射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时,距治疗机房顶外表面 30 cm 处和(或)在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处,可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ,按照 4.1.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )加以控制。
- b) 除 4.1.2 中 a)的条件外,应考虑下列情况:
  - 1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿透机房墙壁辐射在相应处的剂量率的总和,应按 4.1.2 中的 a)确定关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )加以控制;
  - 2) 穿透治疗机房屋顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射,以年剂量 250  $\mu\text{Sv}$  加以控制;
  - 3) 对无人员停留并只有借助工具才能进入的机房顶,考虑上述 1)和 2)之后,机房顶外表面 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 100  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  加以控制(可在相应处设置辐射告示牌)。

## 4.2 $\gamma$ 射线源治疗装置与机房屏蔽相关的性能与参数

### 4.2.1 $\gamma$ 射线源治疗装置的使用核素和性能参数

$\gamma$  射线源远距治疗装置和多源  $\gamma$  射线立体定向放射治疗装置( $\gamma$  刀)使用<sup>60</sup>Co 放射源,后装治疗装置使用  $4\pi$  发射的<sup>192</sup>Ir、<sup>137</sup>Cs 或<sup>60</sup>Co 放射源,其性能与参数示例见附录 B。

### 4.2.2 治疗装置所用核素的辐射特性

$\gamma$  射线源治疗装置常用放射性核素的主要辐射特性列于附录 C 的表 C.1。

### 4.2.3 治疗机房一般屏蔽要求

除需满足 GBZ/T 201.1 的要求外, $\gamma$  射线源放射治疗机房屏蔽应考虑下列内容:

- 后装治疗按  $4\pi$  发射的点源考虑机房屏蔽,应在治疗机房的地板标识出相应机房外可能受照射剂量最高的使用位置,作为计算屏蔽时的辐射源参考位置。
- $\gamma$  射线源远距治疗机房墙和顶的屏蔽除考虑有用线束(或称主射线束,下同)和泄漏辐射外,在主屏蔽与次屏蔽接合处还应考虑患者的  $30^\circ$  人体散射辐射,有用线束屏蔽区宽度计算参见 GBZ/T 201.1。
- 头部  $\gamma$  刀治疗机房可不设迷路,参考图见附录 D。该机房屏蔽只需考虑散射辐射,包括治疗射线和准直器的泄漏辐射的散射。自  $\gamma$  刀治疗焦点至  $\gamma$  刀可开启的治疗装置屏蔽门的张角相应的屏蔽墙区和部分屏蔽顶区域为一次散射辐射区。散射辐射与入射辐射的夹角通常为  $60^\circ \sim 120^\circ$ ,其他区域为二次散射辐射区。治疗机房入口门处于治疗装置后部二次散射辐射区,辐射能量接近 0.2 MeV。门的防护还应考虑在治疗装置屏蔽门关闭的贮源状态下的泄漏辐射。
- 体部  $\gamma$  刀治疗机房墙、顶和门的屏蔽主要应考虑装置治疗状态下的泄漏辐射、准直器的泄漏辐射和有用线束的一次散射辐射,散射辐射与入射辐射的夹角通常为  $40^\circ \sim 140^\circ$ 。对个别体部  $\gamma$  刀(或称全身  $\gamma$  刀)需考虑旋转照射时单个源的有用线束。
- 后装治疗机房、 $\gamma$  远距治疗机房和体部  $\gamma$  刀治疗机房应设置迷路。
- 散射辐射的能量可按式(1)计算,表 C.2 列出了放射治疗装置常用  $\gamma$  射线源散射辐射能量的典型值。

$$E_s = \frac{E}{1 + 1.96(1 - \cos\varphi)} E \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$E_s$ ——散射辐射的能量,单位为兆电子伏(MeV);

$E$ ——入射辐射的能量,单位为兆电子伏(MeV);

$\varphi$ ——入射辐射与散射辐射的夹角,单位为度( $^\circ$ )。

当式(1)中  $E$  为入射辐射最高能量时,计算出的  $E_s$  为散射辐射最高能量。

- 生产厂家给出的放射源治疗装置性能不低于国家标准的产品指标时,可依其指标计算机房屏蔽。尤其是对  $\gamma$  刀治疗机房,需详细分析生产厂家给出的有关准直器的几何条件、源准直器在治疗中的移动或转动、准直束和准直器的泄漏辐射等详尽资料,确定散射面积、散射角度、散射辐射强度与剂量。当获得生产厂家提供的治疗装置周围的散射辐射剂量场数据时,屏蔽计算中宜尽可能利用这些实际数据。
- $\gamma$  远距治疗装置机头可以偏转,当设置具有  $10^{-3}$  屏蔽透射因子的可伸缩平衡锤时,治疗束仍有可能偏离平衡锤并照射到机房墙与顶,治疗机房仍应按屏蔽有用线束设计与建造,但可以对有用线束照射附加一个使用因子(例如  $U=1/10$ )。

## 4.3 辐射源至关注点的距离

辐射源至关注点的距离按如下估算:

- a) 直接与治疗机房连接的区域,关注点为距治疗机房(包括治疗机房顶)外表面 30 cm 的相应位置;
- b) 对于  $\gamma$  射线源远距治疗机房主屏蔽区,辐射源到关注点的距离为等中心位置至关注点的距离与源轴距(SAD)之和;
- c) 除 b)外的辐射源位置:对后装治疗机房,为治疗源在机房内的参考位置;对  $\gamma$  射线源远距治疗机房,为等中心位置;对  $\gamma$  刀治疗机房,为治疗束焦点。

## 5 $\gamma$ 射线源远距治疗机房的屏蔽计算

### 5.1 治疗机房不同关注点应考虑辐射

#### 5.1.1 应考虑辐射束

治疗机房的屏蔽设计与评价,应考虑辐射束为治疗装置的有用线束、泄漏辐射和散射辐射(见图 1~图 4)。

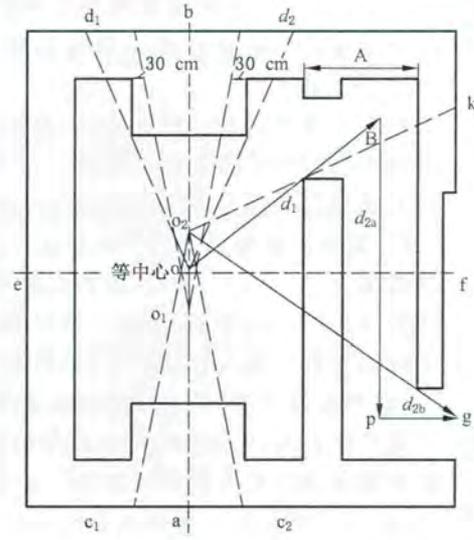
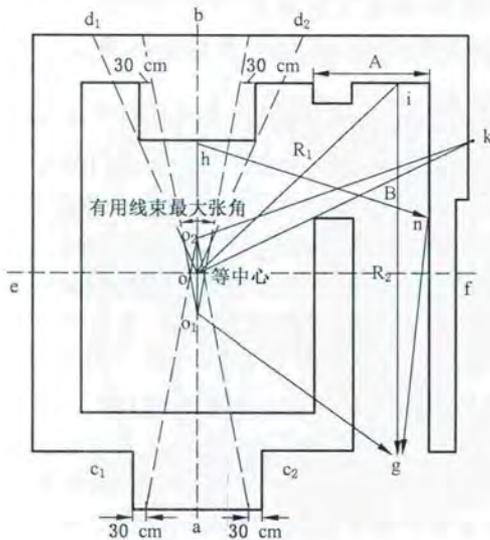


图 1 治疗机房的关注点和其主要照射路径示意图 (直迷路,有用线束不向迷路照射)

图 2 治疗机房的关注点和其主要照射路径示意图 (L型迷路,有用线束不向迷路照射)

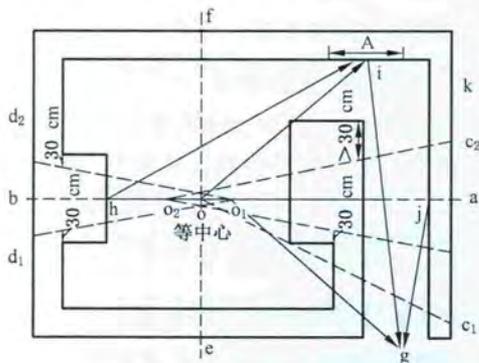


图 3 治疗机房迷路散射路径示意图 (直迷路,有用线束向迷路照射)

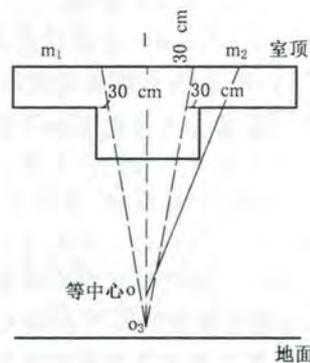


图 4 治疗机房顶的关注点局部纵剖面示意图

## 5.1.2 治疗机房不同位置应考虑辐射束

### 5.1.2.1 主屏蔽区

治疗机房中,有用线束的照射方向见图 1~图 4。图 1~图 3 中的 a、b 点及图 4 中的 l 点的屏蔽厚度应按有用线束估算。

### 5.1.2.2 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

图 1~图 2 中的  $c_1$ 、 $c_2$ 、 $d_1$ 、 $d_2$  和图 3 中的  $c_1$ 、 $d_1$ 、 $d_2$ ,以及图 4 中的  $m_1$ 、 $m_2$  点的屏蔽厚度应按下列辐射束估算:

- a) 有用线束水平照射或向顶照射(使用因子  $U=0.25$ )时人体的散射辐射,以等中心位置 o 为散射体中心,散射角  $\theta$  接近  $30^\circ$ ,屏蔽墙的斜射角与散射角相同。示例散射路径见图 1 中“ $o_1-o-d_2$ ”和图 4 中“ $o_3-o-m_2$ ”;
- b) 治疗装置的泄漏辐射以位置 o 为中心,使用因子  $U=1$ ,屏蔽墙的斜射角接近  $30^\circ$ ,示例路径见图 1 中“ $o-d_2$ ”。一般情况,该辐射相对 a)项较小,保守地不考虑 a)项辐射的人体吸收时,可忽略此 b)项。

### 5.1.2.3 侧屏蔽墙

图 1 和图 2 中的 e 点及图 3 的 e、f 点的屏蔽厚度可不考虑对散射辐射的屏蔽,而应按治疗装置的泄漏辐射估算,以位置 o 为中心,使用因子  $U=1$ 、调强因子  $N=5$ (调强治疗时)。示例路径见图 3 中“ $o-e$ ”和“ $o-f$ ”。

### 5.1.2.4 迷路外墙

迷路外墙(k 点)的屏蔽应考虑如下:

- a) 当有用线束不向迷路内墙照射时(见图 1 和图 2),k 点的屏蔽厚度应考虑下列情况:  
靶点位于  $o_2$ (如偏离 o 点 0.8 m)时,k 点辐射剂量率最大,泄漏辐射起决定性作用。 $o_2$  至 k 的泄漏辐射的斜射角较小,通常以  $0^\circ$ 垂直入射保守估算。  
在按附录 A 计算 k 处的导出剂量率时,使用因子  $U$  为:
  - 1) 自位置 o 至 k 的泄漏辐射没有受到迷路内墙的屏蔽时, $U=1$ 。
  - 2) 自位置 o 至 k 的泄漏辐射得到迷路内墙的屏蔽时, $U=0.25$ 。
- b) 当有用线束向迷路内墙照射时(见图 3),迷路外墙在 k 处的厚度同位置 a 处的厚度。

### 5.1.2.5 治疗机房迷路入口

#### 5.1.2.5.1 有用线束不向迷路内墙照射时的迷路入口

有用线束不向迷路内墙照射的情景见图 1 和图 2,相应迷路入口处的辐射剂量考虑如下:

- a) 图 1~图 2 的迷路入口 g 点包括下列辐射:
  - 1) 受有用线束向下照射时,人体散射至 i 点的辐射并再次受墙的二次散射至 g 处的辐射,散射路径为“辐射源-o 点人体-i-g”;
  - 2) 至 i 点的泄漏辐射受墙散射至 g 处的辐射,散射路径为“ $o_1-i-g$ ”;
  - 3) 有用线束穿出人体达到位置 h,受主屏蔽墙的散射至 n 处迷路外墙再次散射,到达 g 处的辐射。散射路径为“ $o_1-h-n-g$ ”(此项相对较小,可忽略);
- b) 图 1~图 2 的 g 点,也需核算治疗装置的泄漏辐射(以偏离 o 的位置  $o_1$  为中心)经迷路内墙屏

蔽后在迷路入口  $g$  的辐射剂量。示例路径见图 1 中的“ $o_1-g$ ”。当屏蔽内墙为斜型时,还应以位置  $o_2$  为中心,重复核算泄漏辐射在  $g$  处的剂量。示例路径见图 2 中的“ $o_2-g$ ”。核算结果应为  $g$  处的参考控制水平的一个分数(应小于  $1/4$ )。若此项辐射剂量值较高,应增加迷路内墙的屏蔽厚度。当治疗机房主屏蔽区加厚屏蔽部分凸向屏蔽墙外表面或凸向屏蔽墙内表面时, $o_1$  至  $g$  的泄漏辐射射入迷路内墙的斜射角有所不同,通常以  $30^\circ$  斜射角保守估计。

5.1.2.5.2 有用线束向迷路内墙照射时的迷路入口

有用线束向迷路内墙照射的情景见图 3,相应迷路入口处的辐射剂量考虑如下:

- a) 入射至  $i$  墙的辐射散射至  $g$  处的辐射中, $i$  墙的入射辐射可能来自:
  - 1) 泄漏辐射;
  - 2) 患者散射;
  - 3) 向  $b$  处照射的有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面  $h$  处的散射辐射;
- b) 应核算穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至  $g$  处的辐射剂量。示例路径见图 3 中“ $o_2-j-g$ ”。此项值应为  $g$  处的参考控制水平的一个分数(一般小于  $1/4$ )。若此辐射剂量值较高,应增加迷路内墙的屏蔽厚度;
- c)  $g$  处也需核算泄漏辐射(以位置  $o_1$  为中心)在  $g$  处的剂量。示例路径见图 3 中的“ $o_1-g$ ”。核算结果应为  $g$  处的参考控制水平的一个分数(应小于  $1/4$ )。若此项辐射剂量值较高,应增加迷路内墙的屏蔽厚度。

5.2 治疗机房屏蔽计算方法

5.2.1 使用什值层(十分之一层厚, TVL)的计算方法

5.2.1.1 有效屏蔽厚度

当  $\gamma$  射线束以  $\theta$  角斜射入厚度为  $X$  (mm) 的屏蔽物质时,射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度  $X_e$  (mm) 计算见式(2)、式(3):

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$X = X_e \cdot \cos\theta \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

$\theta$ ——斜射角,即入射线与物质平面的法线的夹角。

5.2.1.2 屏蔽厚度  $X$  (mm) 与屏蔽透射因子  $B$  的相应关系

屏蔽厚度  $X$  (mm) 与屏蔽透射因子  $B$  相互计算:

- a) 对于给定的屏蔽物质的厚度  $X$  (mm),按式(2)计算有效屏蔽厚度  $X_e$  (mm),相应的辐射屏蔽透射因子  $B$  的计算见式(4):

$$B = 10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \quad \dots\dots\dots(4)$$

- b) 对于计算出的屏蔽透射因子  $B$ ,按式(5)计算所需的有效屏蔽厚度  $X_e$  (mm),并按式(3)计算所需屏蔽厚度  $X$  (mm):

$$X_e = TVL \cdot \lg B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

$TVL_1$ ——辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度(见表 C.1),单位为毫米(mm);

$TVL$ ——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度(见表 C.1),单位为毫米(mm)。

当未指明  $TVL_1$  时,  $TVL_1 = TVL$ 。

## 5.2.2 不同辐射的屏蔽计算方法

## 5.2.2.1 有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算

以下列方法进行有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算：

- a) 关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时,设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 $B$ 按式(6)计算,并按式(5)计算所需要的有效屏蔽厚度 $X_e$ ,再按式(3)获得屏蔽厚度 $X(\text{mm})$ ：

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中：

$\dot{H}_c$  ——按 4.1.1 和附录 A 确定的剂量率参考控制水平,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ )；

$R$  ——辐射源至关注点的距离(见 4.3),单位为米(m)；

$f$  ——对有用线束为 1;对  $\gamma$  射线源远距治疗装置的泄漏辐射为泄漏辐射比率；

$\dot{H}_0$  ——活度为  $A$  的放射源在距其 1 m 处的剂量率,按照式(7)计算,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ )：

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_\gamma \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中：

$A$  ——放射源的活度,单位为兆贝可(MBq)；

$K_\gamma$  ——放射源的空气比释动能率常数(或称  $K_\gamma$  常数),在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似,此时, $K_\gamma$  的单位记为  $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ,见表 C.1。

- b) 在给定的屏蔽物质厚度  $X(\text{mm})$  时,首先按式(2)计算有效厚度  $X_e(\text{mm})$ ,按式(4)计算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ ,再按式(8)计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率  $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$ ：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中：

$\dot{H}_0$  ——活度为  $A$  的放射源在距其 1 m 处的剂量率,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ )；

$f$  ——对有用线束为 1;对  $\gamma$  射线源远距治疗装置的泄漏辐射为泄漏辐射比率；

$R$  ——辐射源至关注点的距离(见 4.3),单位为米(m)。

## 5.2.2.2 患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算

患者一次散射辐射的屏蔽与剂量以下列方法估算：

- a) 关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时,设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 $B$ 按式(9)计算,然后按式(5)计算所需要的有效屏蔽厚度 $X_e(\text{mm})$ ,再按式(3)转换为屏蔽厚度 $X(\text{mm})$ ：

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2 \cdot R_0^2}{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{\text{ph}} \cdot (F/400)} \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中：

$\dot{H}_c$  ——按 4.1.1 和附录 A 确定的剂量率参考控制水平,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ )；

$R_s$  ——患者(位于等中心点)至关注点的距离,单位为米(m)；

$R_0$  ——放射源与等中心位置之间的距离,单位为米(m)；

- $\dot{H}_0$  ——活度为  $A$  的放射源在距其 1 m 处的剂量率,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ );
- $\alpha_{\text{ph}}$  ——患者  $400\text{ cm}^2$  面积上垂直入射  $\gamma$  射线散射至距其 1 m(关注点方向)处的剂量相对于等中心处剂量的份额,又称  $400\text{ cm}^2$  面积上的散射因子,见表 C.3;
- $F$  ——治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积,单位为平方厘米( $\text{cm}^2$ )。

b) 在给定屏蔽物质厚度  $X(\text{mm})$  时,首先按式(2)计算有效厚度  $X_e(\text{mm})$ ,再按式(4)计算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ ,并按式(10)计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率  $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$ :

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{\text{ph}} \cdot (F/400)}{R_s^2 \cdot R_0^2} \cdot B \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

- $\dot{H}_0$  ——活度为  $A$  的放射源在距其 1 m 处的剂量率,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ );
- $\alpha_{\text{ph}}$  ——患者  $400\text{ cm}^2$  面积上垂直入射  $\gamma$  射线散射至距其 1 m(关注点方向)处的剂量相对于等中心处剂量的份额,又称  $400\text{ cm}^2$  面积上的散射因子,见表 C.3;
- $F$  ——治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积,单位为平方厘米( $\text{cm}^2$ );
- $R_s$  ——患者(位于等中心点)至关注点的距离,单位为米(m);
- $R_0$  ——放射源与等中心位置之间的距离,单位为米(m)。

c)  $\alpha_{\text{ph}}$  与放射源的核素及散射角(散射方向与入射方向的夹角)有关,其值见表 C.4~表 C.5。散射辐射在混凝土中的 TVL 值见表 C.6。

5.2.2.3 穿过患者或迷路内墙的有用线束在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量

有用线束穿过患者或迷路内墙,垂直射入屏蔽墙并散射至计算点的辐射剂量率按式(11)计算:

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \cdot \frac{(F/10^4)}{R^2} \cdot \alpha_w \cdot B_p \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

- $\dot{H}$  ——计算点的辐射剂量率,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ );
- $\dot{H}_0$  ——活度为  $A$  的放射源在距其 1 m 处的剂量率,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ );
- $F$  ——治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积,单位为平方厘米( $\text{cm}^2$ );
- $10^4$  —— $1\text{ m}^2$  面积转换为  $10^4\text{ cm}^2$ ;
- $R$  ——散射体(有用线束在屏蔽墙上的投影区)中心点与计算点的距离,单位为米(m);
- $\alpha_w$  ——散射因子,单位面积( $1\text{ m}^2$ )散射体散射到距其 1 m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。 $\alpha_w$  与入射角和反散射角(入射方向和反散射方向相对散射体垂线的夹角)有关, $45^\circ$  和  $0^\circ$  入射辐射在混凝土散射体上的  $\alpha_w$  分别见表 C.4 和表 C.5;
- $B_p$  ——有用线束射入散射体(屏蔽墙)前的屏蔽透射因子。对于患者吸收, $B_p$  接近 0.15,有时忽略该项,保守取为 1。对于有用线束向迷路墙照射时的迷路内墙, $B_p$  依内墙的屏蔽厚度按式(4)计算。

5.2.2.4 泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量

入射到屏蔽墙上的泄漏辐射被散射至计算点的辐射剂量率  $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$  按式(12)计算:

$$\dot{H} = \frac{f \cdot \dot{H}_0 \cdot S \cdot \alpha_w}{R_l^2 \cdot R^2} \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:

$f$  ——治疗装置的泄漏辐射比率,通常取  $10^{-3}$ ;

$\dot{H}_0$  ——活度为  $A$  的放射源在距其  $1\text{ m}$  处的剂量率,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ );

$S$  ——散射面积,即自泄漏辐射始点(图 1 的位置  $o$  或  $o_1$ 、 $o_2$ )和计算点共同可见的散射体区域的面积,单位为平方米( $\text{m}^2$ );

$\alpha_w$  ——散射体的散射因子;

$R_L$  ——泄漏辐射始点(图 1 的位置  $o$  或  $o_1$ 、 $o_2$ )至散射体中心点的距离,单位为米( $\text{m}$ );

$R$  ——散射体中心点至计算点的距离,单位为米( $\text{m}$ )。

### 5.2.2.5 治疗机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算

#### 5.2.2.5.1 有用线束不向迷路照射

迷路散射情景见 5.1.1,典型的散射路径见图 1 的“ $o_1$ - $o$ - $i$ - $g$ ”,相应迷路入口处的辐射屏蔽与剂量估算考虑如下:

a) 自治疗装置的靶点  $o_1$  向位置  $o$  的患者照射至迷路  $i$  点的散射角  $\theta$  接近  $45^\circ$ ;  $i$  处墙向  $g$  处的二次散射的散射角小于  $10^\circ$ ,通常按  $0^\circ$  对待。  $i$  处墙的散射面积为自入口( $g$ )和等中心位置  $o$  共同可见的区域(见图 1 的 A 区),包括治疗机房吊装顶上方的区域。

b) 入口  $g$  处的散射辐射剂量率  $\dot{H}_g$  按式(13)计算:

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot S}{R_2^2} \cdot \frac{\dot{H}_0}{R_0^2} \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中:

$\alpha_{ph}$  —— $400\text{ cm}^2$  面积上的散射因子,见表 C.3,通常取散射角  $45^\circ$ ;

$F$  ——治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积,单位为平方厘米( $\text{cm}^2$ );

$\alpha_2$  ——混凝土墙对入射的患者散射辐射(能量见表 C.2)的散射因子,通常取  $i$  处的入射角为  $45^\circ$ ,散射角为  $0^\circ$ , $\alpha_2$  值见表 C.4,保守使用  $0.25\text{ MeV}$  的值;

$S$  —— $i$  处的散射面积,单位为平方米( $\text{m}^2$ );

$\dot{H}_0$  ——活度为  $A$  的放射源在距其  $1\text{ m}$  处的剂量率,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ );

$R_1$  ——“ $o$ - $i$ ”之间的距离,单位为米( $\text{m}$ );

$R_2$  ——“ $i$ - $g$ ”之间的距离,单位为米( $\text{m}$ );

$R_0$  ——放射源与等中心位置之间的距离,单位为米( $\text{m}$ )。

c)  $g$  处的散射辐射能量约为  $0.2\text{ MeV}$ ,防护门需要的屏蔽透射因子  $B$  计算见式(14):

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中:

$\dot{H}_c$  ——按 4.1.1 和附录 A 确定的剂量率参考控制水平,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ );

$\dot{H}_{og}$  ——图 1 中的  $o_1$  位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在  $g$  处的剂量率,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ ),其值按式(8)计算;

$\dot{H}_g$  ——入口  $g$  处的散射辐射剂量率,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ )。

使用式(14)计算时,迷路内墙的屏蔽透射因子按式(4)计算, $X_0$  由屏蔽内墙的厚度  $X$  按

式(3)计算。当迷路内墙各段厚度不等时还需核算自  $o_2$  位置到  $g$  的辐射剂量率。

使用式(14)计算出  $B$  值,按式(5)计算防护门的铅屏蔽厚度。计算中,  $TVL_1 = TVL$ ,  $X_e = X(0^\circ \text{入射})$ 。在  $g$  处的散射辐射能量约 0.2 MeV,铅中的  $TVL$  值为 5.0 mm。

d) 在给定防护门的铅屏蔽厚度  $X(\text{mm})$  时,防护门外的辐射剂量率  $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$  计算见式(15):

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \dots\dots\dots(15)$$

式中:

$\dot{H}_g$  ——入口  $g$  处的散射辐射剂量率,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ );

$\dot{H}_{og}$  ——图 1 中的  $o_1$  位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在  $g$  处的剂量率,单位为微希每时( $\mu\text{Sv/h}$ );

$TVL$  ——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度[式中  $TVL = 5.0 \text{ mm}(\text{铅})$ ],单位为毫米(mm)。

5.2.2.5.2 有用线束向迷路照射

机房情景见图 3,考虑的辐射照射见 5.1.2.5.2。在按式(11)估算图 3 中“ $o_2$ -j-g”项散射时,有用线束边缘(见图 3 位置  $c_1$ )距  $g$  处可能较近,并且还可能存在迷路内墙的杂散辐射,建议增加 2 倍安全系数。

5.2.3 治疗机房屏蔽设计和剂量估算示例

附录 E 列举了活度为 156 TBq<sup>60</sup>Co 放射源远距治疗机房的屏蔽设计和剂量估算实例。

6 后装治疗机房的屏蔽计算

6.1 不同关注点应考虑辐射

治疗机房应考虑治疗源  $4\pi$  发射的  $\gamma$  射线(即初级辐射)对墙和室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射,见图 5。图中虚线区域为治疗源可能的使用区域,其中  $a$  和  $b$  点分别为治疗源在  $o_1$  和  $o_2$  使用时人员在室外可能受照剂量最大的位置,“ $o_1$ -i-g”(或“ $o_2$ -i-g”)为至治疗机房入口的散射路径。

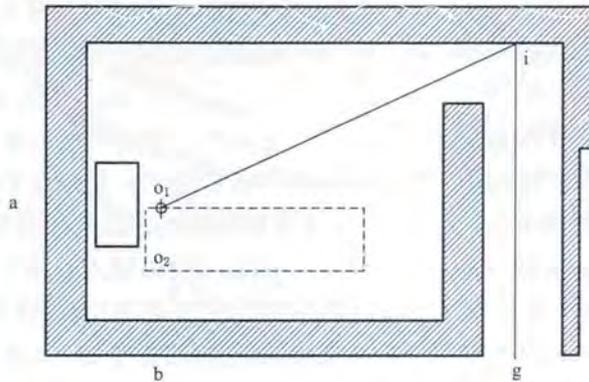


图 5 后装治疗机房的关注点和其主要照射路径示意图

6.2 初级辐射的屏蔽

计算公式同 5.2.2.1 中的式(6)和式(7),其中  $f = 1$ ;  $A$  为所有可同时用于治疗放射源活度的总和。

### 6.3 散射辐射的屏蔽

入口  $g$  处的散射辐射剂量  $\dot{H}$  采用式(16)计算:

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_{\gamma} \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots(16)$$

式中:

$A$  ——放射源的活度,单位为兆贝可(MBq);

$K_{\gamma}$  ——放射源的空气比释动能率常数(或称  $K_{\gamma}$  常数),在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似,此时,  $K_{\gamma}$  的单位记为  $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ,见表 C.1;

$S_w$  ——迷路内口墙的散射面积,其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积,单位为平方米( $\text{m}^2$ );

$\alpha_w$  ——散射体的散射因子;

$R_1$  ——辐射源(图 5 的位置  $o_1$  或  $o_2$ )至散射体中心点的距离,单位为米(m);

$R_2$  ——散射体中心点至计算点的距离,单位为米(m)。

### 6.4 治疗机房屏蔽设计和剂量估算示例

附录 F 列举了活度为  $370\text{GBq}^{192}\text{Ir}$  放射源后装治疗机房的屏蔽设计和剂量估算实例。

## 7 $\gamma$ 刀治疗机房的屏蔽计算原则与注意事项

对  $\gamma$  刀治疗机房的屏蔽计算,应结合 4.2.3 中 c)~g)的一般要求确定机房应屏蔽的辐射束及其屏蔽计算条件,并参考 5.2.1 的方法计算相应辐射的屏蔽透射因子  $B$  和屏蔽厚度  $X$ 。在计算中应注意:

- a) 头部  $\gamma$  刀治疗机房不考虑有用线束的屏蔽;对体部  $\gamma$  刀治疗机房,应根据放射源的排列以及源和准直器的几何尺寸等参数,确定可同时投射到相应关注点的射线束部分所相应的放射源活度,以其计算关注点未屏蔽前的入射辐射剂量率。
- b) 对贮源状态下来自  $\gamma$  刀装置壳体的泄漏辐射,可参考厂家给出的剂量分布(特别是距机房外表面较远处的泄漏辐射剂量率数据)按照  $^{60}\text{Co}$  的  $TVL$  计算相应的屏蔽厚度及机房外的剂量。
- c) 头部  $\gamma$  刀治疗机房根据厂家提供的最大准直器照射条件下的散射辐射场,以最接近机房墙内表面的散射辐射剂量按照距离平方反比关系计算机房外关注点的剂量率;体部  $\gamma$  刀治疗机房主要应考虑装置治疗状态下放射源组装部件与准直器的泄漏辐射的一次散射辐射及有用线束的一次散射辐射,依据厂家提供的散射辐射剂量场进行相应的屏蔽厚度与剂量计算。

附录 A

(规范性附录)

导出剂量率参考控制水平的方法

关注点的周剂量参考控制水平为  $H_c$  时,该关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 如式(A.1):

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$H_c$  ——周参考剂量控制水平,单位为微希每周( $\mu\text{Sv/周}$ )[见 4.1.1a)];

$U$  ——关注位置方向照射的使用因子;

$T$  ——人员在相应关注点驻留的居留因子;

$t$  ——治疗装置周治疗照射时间,单位为时(h)。其值为平均每周治疗照射人数和每人治疗照射时间的乘积。

对于开展调强放射治疗的  $\gamma$  射线源远距治疗装置,相应有用线束和有用线束散射辐射,每周与常规放射治疗人数相同时,周工作负荷(周治疗照射时间)与常规放射治疗相同;但对泄漏辐射,周工作负荷(周治疗照射时间)为常规放射治疗工作负荷的  $N$  倍(当调强因子为  $N$  时)。

**附录 B**  
(资料性附录)

**γ 射线源放射治疗装置的参数与性能示例**

**B.1 常见 γ 射线源治疗装置的额定装源活度**

$^{60}\text{Co}$  远距治疗装置:  $(2.8\sim 3.7)\times 10^5$  GBq。

$^{60}\text{Co}$  头部 γ 刀治疗装置:  $2.4\times 10^5$  GBq。

$^{60}\text{Co}$  体部 γ 刀治疗装置:  $3.0\times 10^5$  GBq。

$^{192}\text{Ir}$  后装治疗装置:  $3.7\times 10^2$  GBq。

$^{137}\text{Cs}$  后装治疗装置:  $7.4\times 10^1$  GBq。

$^{60}\text{Co}$  后装治疗装置:  $7.4\times 10^1$  GBq。

**B.2  $^{60}\text{Co}$  远距治疗装置性能示例**

源轴距(SAD): 0.8 m。

等中心处最大照射野: 35 cm×35 cm。

平衡锤的屏蔽透射因子:  $10^{-3}$ 。

准直器泄漏辐射比率:  $2\times 10^{-2}$ 。

治疗状态下治疗机头的泄漏辐射比率:  $10^{-3}$  ( $<185$  TBq);  $5\times 10^{-4}$  ( $\geq 185$  TBq)。

贮源状态下距源 1 m 处的空气比释动能率: 20 μGy/h。

**B.3  $^{60}\text{Co}$  γ 刀治疗装置性能示例**

放射源数量: 18~201 个。

初装源时的焦点剂量率: 4.3 Gy/min(头部 γ 刀); 3.0 Gy/min(体部 γ 刀)。

最大准直器直径( $\phi$ ): 22 mm(头部 γ 刀); 55 mm(体部 γ 刀)。

治疗状态下治疗装置的泄漏辐射比率:  $10^{-3}$ 。

准直器泄漏辐射比率:  $2\times 10^{-2}$ 。

贮源状态下距源 1 m 处的空气比释动能率: 20 μGy/h。

## 附录 C

(资料性附录)

## 辐射屏蔽估算用的典型参数

C.1  $\gamma$  射线源治疗装置所用放射性核素的主要辐射特性参数见表 C.1。表 C.1  $\gamma$  射线源治疗装置常用放射性核素的主要辐射特性参数

核素	半衰期 $T_{1/2}$	$\gamma$ 射线能量均值 MeV	空气比释动能率常数 $K_{\gamma}$ $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$	TVL mm			HVL mm		
				铅	铁	混凝土	铅	铁	混凝土
$^{60}\text{Co}$	5.27a	1.25	0.308	41	71 (87)	218 (245)	12 (15)	21 (35)	62
$^{137}\text{Cs}$	30.0a	0.662	0.077	22	53 (69)	175	6.5	16 (30)	48
$^{192}\text{Ir}$	74.0d	0.37	0.111	16	43 (49)	152	6	13 (19)	43

注 1: 表中数据来源于国际原子能机构(IAEA)No.47 的表 20 和表 22。  
注 2: TVL 和 HVL 栏内“( )”中的值为第一个什值层厚度(TVL<sub>1</sub>)或第一个半值层厚度(HVL<sub>1</sub>)。

C.2 放射治疗装置常用  $\gamma$  射线源散射辐射能量典型值见表 C.2。表 C.2 放射治疗装置常用  $\gamma$  射线源散射辐射能量典型值

入射辐射与散射辐射的夹角		30°	45°	60°	90°	120°	135°	150°
不同 $\gamma$ 射线源散射 辐射能量典型值 MeV	$^{60}\text{Co}$	0.94	0.73	0.56	0.36	0.27	0.24	0.22
	$^{137}\text{Cs}$	0.56	0.48	0.40	0.29	0.22	0.21	0.19
	$^{192}\text{Ir}$	0.34	0.31	0.27	0.21	0.18	0.17	0.16

注: 表中散射辐射能量由式(1)计算而来, 计算中所用  $\gamma$  射线源入射辐射能量值为 IAEA No.47 的表 20 中相应  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  和  $^{192}\text{Ir}$  的  $\gamma$  射线能量均值。

C.3 患者受照面积 400 cm<sup>2</sup>对垂直入射辐射的剂量散射因子  $\alpha$  见表 C.3。表 C.3 患者受照面积 400 cm<sup>2</sup>对垂直入射辐射的剂量散射因子  $\alpha$ 

散射角	10°	20°	30°	45°	60°	90°	135°	150°
散射因子 $\alpha$	$1.1 \times 10^{-2}$	$8.0 \times 10^{-2}$	$6.0 \times 10^{-3}$	$3.7 \times 10^{-3}$	$2.2 \times 10^{-3}$	$9.1 \times 10^{-4}$	$5.4 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-4}$

注: 表中值取自国际原子能机构(IAEA)No.47 表 5。

C.4 混凝土对 45°入射辐射的散射因子  $\alpha_2$ (散射面积 10<sup>4</sup> cm<sup>2</sup>)见表 C.4。

表 C.4 混凝土对 45°入射辐射的散射因子  $\alpha$  (散射面积  $10^4 \text{ cm}^2$ )

反散射角		0°	15°	45°	75°
γ 辐射 45°入射辐射在不同反散射角下的混凝土散射因子 $\alpha$	1.25 MeV( <sup>60</sup> Co)	$1.02 \times 10^{-2}$	$1.07 \times 10^{-2}$	$1.19 \times 10^{-3}$	$1.26 \times 10^{-3}$
	0.5 MeV	$2.03 \times 10^{-2}$	$2.10 \times 10^{-2}$	$2.15 \times 10^{-3}$	$1.70 \times 10^{-3}$
	0.25 MeV	$3.39 \times 10^{-2}$	$3.50 \times 10^{-2}$	$3.05 \times 10^{-3}$	$1.82 \times 10^{-3}$
注: 表中值取自国际原子能机构(IAEA)No.47 表 6。					

C.5 混凝土对 0°入射辐射的散射因子  $\alpha_w$  (散射面积  $10^4 \text{ cm}^2$ ) 见表 C.5。

表 C.5 混凝土对 0°入射辐射的散射因子  $\alpha$  (散射面积  $10^4 \text{ cm}^2$ )

反散射角		0°	30°	45°	60°	75°
γ 辐射 0°入射辐射在不同反散射角下的混凝土散射因子 $\alpha$	1.25 MeV( <sup>60</sup> Co)	$7.79 \times 10^{-3}$	$7.65 \times 10^{-3}$	$7.00 \times 10^{-3}$	$5.94 \times 10^{-3}$	$4.06 \times 10^{-3}$
	0.5 MeV	$1.82 \times 10^{-2}$	$1.78 \times 10^{-2}$	$1.58 \times 10^{-2}$	$1.26 \times 10^{-2}$	$7.54 \times 10^{-3}$
注: 表中值取自国际原子能机构(IAEA)No.47 表 7。						

C.6 患者散射辐射在混凝土中的什值层列于表 C.6。

表 C.6 患者散射辐射在混凝土中的什值层厚度 (TVL)

散射角	15°	30°	45°	60°	90°	135°
1.25 MeV( <sup>60</sup> Co)患者散射辐射在混凝土中的什值层厚度 (TVL)/mm	223	213	197	189	151	128
注: 表中值取自国际原子能机构(IAEA)No.47 表 11。						

附录 D  
(资料性附录)  
头部 $\gamma$ 刀治疗机房参考图

头部 $\gamma$ 刀治疗机房参考平面图见图 D.1,参考立面图见图 D.2。

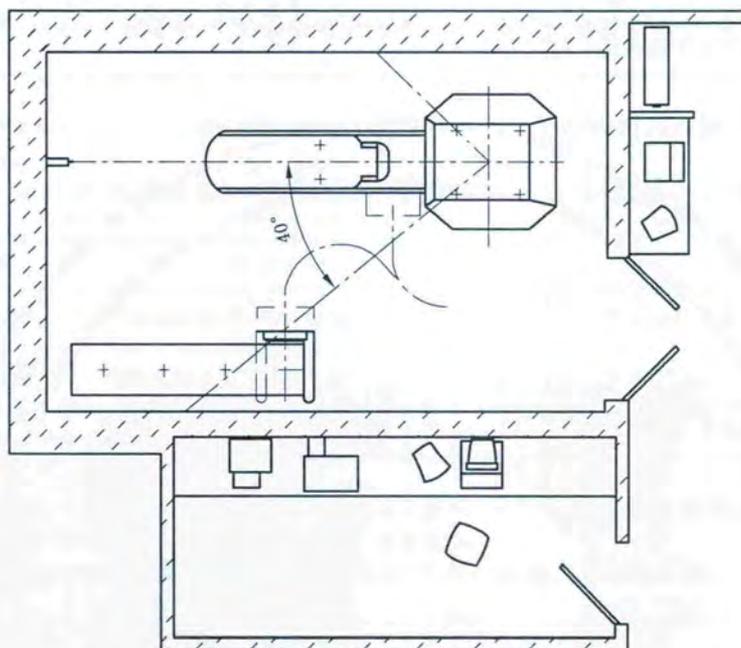


图 D.1 头部 $\gamma$ 刀治疗机房参考平面图

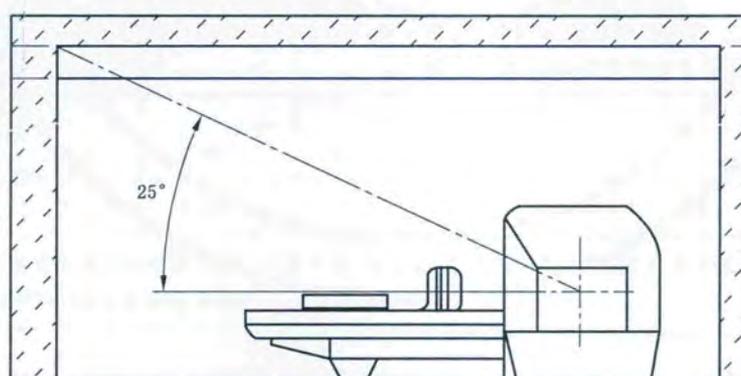


图 D.2 头部 $\gamma$ 刀治疗机房参考立面图

## 附录 E

(资料性附录)

 $^{60}\text{Co}$  放射源远距治疗机房屏蔽估算示例

## E.1 示例条件

$^{60}\text{Co}$ 放射源远距治疗机房为地上一层建筑,有用线束不向迷路照射,采用钢筋混凝土(密度为  $2.35 \text{ t/m}^3$ )结构屏蔽,机房示意图见图 1。

该装置 $^{60}\text{Co}$ 治疗源活度为  $156 \text{ TBq}$ ,治疗源照射状态下有用线束中心轴上距源  $100 \text{ cm}$  处的剂量率  $\dot{H}_0$  为  $0.8 \text{ Gy/min}$  ( $4.8 \times 10^7 \mu\text{Gy/h}$ );机头泄漏辐射比率  $f = 10^{-3}$ ;等中心处的最大治疗野面积  $F$  为  $35 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$ 。

治疗患者为  $40 \text{ 人/d}$  (工作时间为  $8 \text{ h/d}$ ),患者在等中心处的治疗剂量为  $3 \text{ Gy/人}$ ,每周工作  $5 \text{ d}$ ,则工作负荷为  $600 \text{ Gy/周}$  ( $\text{SAD} = 80 \text{ cm}$ ) (相当于距靶点  $1 \text{ m}$  处  $384 \text{ Gy/周}$ ),相应 $\dot{H}_0$  下的出束照射时间  $t$  (周工作负荷)为  $1.6 \text{ h/d}$  ( $8 \text{ h/周}$ )。

## E.2 主束屏蔽厚度与剂量估算

E.2.1 确定主束屏蔽外关注点 a 的导出剂量率  $\dot{H}_{c,d}$ :

$H_c$ :控制区的剂量控制目标为  $100 \mu\text{Sv/周}$  ( $0.10 \text{ mSv/周}$ );

$\text{SAD} = 0.8 \text{ m}$ ;

$R$ :等中心点 o 与关注点 a 的距离  $3.0 \text{ m}$ ;

$U$ :使用因子  $0.25$ ;

$T$ :居留因子  $1$ 。

按照式(A.1)导出剂量率  $\dot{H}_{c,d}$ :

$$\begin{aligned}\dot{H}_{c,d} &= H_c / (t \cdot U \cdot T) \\ &= 100 / (8 \times 0.25 \times 1) \\ &= 50 (\mu\text{Sv/h})\end{aligned}$$

按照 4.1.1b),该处的 $\dot{H}_c$  应为  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

E.2.2 使用 5.2.2.1 中的式(6)计算出 a 点相应的屏蔽透射因子  $B$  为:

$$\begin{aligned}B &= \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \\ &= \frac{2.5 \times (3 + 0.8)^2}{1 \times 48 \times 10^6} \\ &= 7.52 \times 10^{-7}\end{aligned}$$

由表 C.1 查出混凝土的  $\text{TVL}_1$  和  $\text{TVL}$  均取为  $218 \text{ mm}$ ,依照式(5)求出所需的混凝土屏蔽为  $1334 \text{ mm}$ 。

## E.3 泄漏辐射屏蔽厚度与剂量估算

依据设计指标,治疗机头的泄漏辐射因子  $f$  为  $10^{-3}$ 。

位置 e 为公众区,按照周剂量控制值  $H_c$  为  $5 \mu\text{Sv}$ ,居留因子  $T=1$ ,采用 E.2.1 的方法同样计算  $\dot{H}_{c,d}$ :

$$\begin{aligned}\dot{H}_{c,d} &= H_c / (t \cdot U \cdot T) \\ &= 5 / (8 \times 1 \times 1) \\ &= 0.6 (\mu\text{Sv/h})\end{aligned}$$

按照 4.1.1b),该处的  $\dot{H}_c$  应取为  $0.6 \mu\text{Sv/h}$ 。

使用 5.2.2.1 的式(6)计算出 e 点相应的屏蔽透射因子  $B$  为:

$$\begin{aligned}B &= \frac{\dot{H}_e}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \\ &= \frac{0.6}{48 \times 10^5} \cdot \frac{2.6^2}{1 \times 10^{-3}} \\ &= 8.5 \times 10^{-5}\end{aligned}$$

由表 C.1 查出混凝土的  $TVL_1$  和  $TVL$  均为 218 mm,依照式(5)求出所需的混凝土屏蔽为 885 mm。

#### E.4 机房入口屏蔽设计与剂量估算

当有用线束向关注点 b 方向照射时,治疗机房入口的剂量最高。按照 5.1.2.5.1,机房入口的剂量应考虑患者体表的二次散射和泄漏辐射一次散射辐射剂量。

患者体表二次散射辐射剂量和泄漏辐射一次散射辐射剂量分别估算如下:

a) 患者体表二次散射辐射剂量:

采用式(13)计算治疗束通过患者体表散射至机房入口 g 产生的剂量  $\dot{H}_g$ ,相关的计算参数如下:

$\alpha_{ph}$ :  $90^\circ$  方向的散射系数 0.000 9(查表 C.3);

$F=(35 \times 35)\text{cm}^2$ ;

$\alpha_2$ : 能量为 0.5 MeV 的散射辐射通过混凝土墙面的散射系数,对  $45^\circ$  入射和  $15^\circ$  反散射为 0.021(查表 C.4);

$S$ : 墙的散射面积  $5.8 \text{ m}^2$ (宽  $\times$  高:  $2.3 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ ),迷路内口设置有过梁;

$R_1=5.0 \text{ m}$ ;

$R_2=6.0 \text{ m}$ ;

$R_0=0.8 \text{ m}$ ;

$$\begin{aligned}\dot{H}_g &= \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot S}{R_2^2} \cdot \frac{\dot{H}_0}{R_0^2} \\ &= \frac{0.000 9((35 \times 35)/400)}{5.0^2} \cdot \frac{(0.021) \cdot 5.8}{6.0^2} \cdot \frac{4.8 \times 10^7}{0.8^2} \\ &= 28 \mu\text{Sv/h}\end{aligned}$$

b) 泄漏辐射一次散射辐射剂量:

机头泄漏辐射通过迷路散射至机房入口产生的剂量  $\dot{H}_L$ ,采用式(12)进行估算,相关的计算参数如下:

$f=0.001$ (主束的 0.1%);

$\alpha_w = 1.07 \times 10^{-2}$  ( $^{60}\text{Co}$   $45^\circ$ 入射辐射和  $15^\circ$ 反散射的散射系数,查表 C.4);

$S = 5.8 \text{ m}^2$  (宽 $\times$ 高:  $2.3 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ );

$R_L = 5.0 \text{ m}$ ;

$R = 6.0 \text{ m}$ 。

$$\begin{aligned} \dot{H}_L &= \frac{f \cdot \dot{H}_o \cdot S \cdot \alpha_w}{R_L^2 \cdot R^2} \\ &= \frac{0.001 \times 48 \times 10^6 \times 5.8 \times 0.0107}{(5.0 \times 6.0)^2} \\ &= 3.3 \mu\text{Sv/h} \end{aligned}$$

机房入口屏蔽前的总剂量率为  $31.3 \mu\text{Sv/h}$ ,若将该处剂量率控制为  $10 \mu\text{Sv/h}$ ,则所需入口门的屏蔽为  $2.5 \text{ mm Pb}$ ;若该处剂量率控制为  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ,则所需屏蔽为  $5.5 \text{ mm Pb}$ 。

## 附录 F

(资料性附录)

## γ 射线源近距离后装治疗机房屏蔽估算示例

## F.1 示例条件与基本参数

图 5 为用于妇科治疗的 HDR γ 射线源近距离治疗机房示意图。治疗装置的放射源为<sup>192</sup>Ir,活度  $A$  为 370 GBq,  $K_\gamma$  为  $0.111 \mu\text{Sv}/(\text{MBq} \cdot \text{h})$  (查表 C.1)。该装置每周治疗患者人数  $n$  为 30 人,放射源活度为 370 GBq 时,平均每位患者的治疗照射时间(工作负荷)  $t$  为 6 min(0.1 h),周治疗照射时间  $t_w$  为 3.0 h。

## F.2 初级辐射屏蔽厚度与剂量估算

$H_c$ :非控制区的剂量控制目标为  $5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ;

$R$ :放射源  $o_1$  与关注点  $a$  的距离 2.5 m;

$U$ :使用因子 1;

$T$ :居留因子 1。

按照式(A.1)导出剂量率  $\dot{H}_{c,d}$ :

$$\begin{aligned}\dot{H}_{c,d} &= H_c / (t \cdot U \cdot T) \\ &= 5 / (3 \times 1 \times 1) \\ &= 1.7 (\mu\text{Sv}/\text{h})\end{aligned}$$

按照 4.1.1b),该处的  $\dot{H}_c$  应取为  $1.7 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

使用 5.2.2.1 的式(6)和式(7)计算出  $a$  点相应的屏蔽透射因子  $B$  为:

$$\begin{aligned}B &= \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \\ &= \frac{\dot{H}_c}{A \cdot K_\gamma} \cdot \frac{R^2}{f} \\ &= \frac{1.7}{370 \times 10^3 \times 0.111} \cdot \frac{2.5^2}{1} \\ &= 2.6 \times 10^{-4}\end{aligned}$$

由表 C.1 查出混凝土的  $\text{TVL}_1$  和  $\text{TVL}$  均为 152 mm,依照式(5)求出所需混凝土屏蔽为 545 mm。

## F.3 机房入口屏蔽厚度与剂量估算

治疗源在  $o_1$  点  $4\pi$  发射的 γ 射线(即初级辐射)通过迷路散射至机房入口  $g$  产生的散射辐射剂量率  $\dot{H}$ ,采用式(16)进行计算,相关的计算参数如下:

$S_w$ :散射面积  $3.3 \text{ m}^2$  (1.5 m 宽 × 2.2 m 高);

$\alpha_w = 3.39 \times 10^{-2}$  (<sup>192</sup>Ir 45° 入射辐射和 0° 反散射的散射因子,保守地取 0.25 MeV 的散射因子,查表 C.4);

$R_1$ : 辐射源  $o_1$  至散射面中心  $i$  的距离, 5.5 m;  
 $R_2$ : 散射面中心  $i$  至机房入口  $g$  的距离, 5.0 m;  
 $A, K_\gamma$  值同 F.2。

$$\begin{aligned} \dot{H} &= \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \\ &= \frac{(370 \times 10^3) \times 0.111 \times 3.3 \times (3.39 \times 10^{-2})}{5.5^2 \times 5.0^2} \\ &= 6.1 \mu\text{Sv/h} \end{aligned}$$

机房入口屏蔽前的总剂量率为 6.1  $\mu\text{Sv/h}$ , 若将该处剂量率控制为 10  $\mu\text{Sv/h}$ , 屏蔽前的剂量率已满足剂量率控制目标, 入口仅需设置带有联锁的安全门, 以防止在放射源治疗照射状态下人员误入机房; 若机房入口剂量率控制为 2.5  $\mu\text{Sv/h}$ , 按式(5)计算防护门的铅屏蔽厚度。估算中,  $\text{TVL}_1 = \text{TVL}$ ,  $X_e = X(0^\circ \text{入射})$ 。在  $g$  处的散射辐射能量约 0.2 MeV, 铅中的 TVL 值为 5.0 mm, 求出所需屏蔽为 2.0 mmPb。