

头部伽玛刀机房屏蔽设计厚度计算方法及验证

刘雅 程金生 郭朝晖 刘立明

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 北京 100088

中图分类号: R815.6 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2014)03-0219-02

摘要: 目的 验证头部伽玛刀机房放射防护设计的可靠性,给出一种可靠的头部伽玛刀机房屏蔽设计的计算方法。方法 根据 IAEA 第 47 号报告中给出的计算方法、公式及各项参数值,对头部伽玛刀机房屏蔽厚度进行计算,将计算结果与原设计方案进行比较分析。结果 根据现场检测结果可看出,设计方案的防护效果符合国家标准。结论 通过计算和分析,验证了计算方法的正确性。依据计算结果,按最优化原则提出防护建议。

关键词: γ 射线头部立体定向外科治疗; 辐射防护; 机房屏蔽; 计算方法

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2014.03.010

γ 射线头部立体定向外科治疗又称头部伽玛刀,近年来,头部伽玛刀逐渐在国内医院投入使用,该设备使用多源同步旋转照射方式,依据放射防护最优化原则,根据 IAEA 第 47 号报告中针对放疗机房提供的评价机房周围不同区域屏蔽材料厚度的估算方法,分析 1 例头部伽玛刀机房的屏蔽防护情况。

1 场所布局及辐射源项分析

1.1 场所布局 选取验证的头部伽玛刀机房北侧为设备间和走廊,西侧为风机房和模具室,南侧为控制室,东侧为伽玛刀机房,屋顶上方为低压配电室。见图 1。

1.2 正常状态下的辐射源项分析 ①选取验证的头部伽玛刀装置应用 ^{60}Co γ 射线源,其半衰期为 5.27 a,平均能量为 1.25 MeV。该装置使用 30 颗 ^{60}Co γ 射线源,装源总活度为 296 TBq(8 000 Ci),其中每颗源活度约为 9.9 TBq(268 Ci)。FreeGS-A 型头部治疗 γ 刀装置的最大准直器规格为直径 50 mm,焦点距离 40 cm。②焦点空气比释动能率最高为 4 Gy/min。③治疗状态下,准直体透射辐射不超过有用线束的 0.1%。④患者体表及周围物体的散射辐射^[1-2]。⑤在非治疗状态下机头的泄漏辐射。

2 屏蔽设计计算

2.1 屏蔽计算公式

$$X = \text{TVL} \lg H_{\text{未屏蔽}} \times 2 / H_{\text{控制}} \quad (1)$$

式中 X - 所需的屏蔽厚度,单位 mm; $H_{\text{未屏蔽}}$ - 未屏蔽条件下,计算点处的周剂量当量(近似等于有效

剂量当量),单位为 $\mu\text{Sv/w}$; $H_{\text{控制}}$ - 计算点处应控制的周剂量当量,单位为 $\mu\text{Sv/w}$ 。职业照射和公众照射的剂量管理控制值均按年剂量限值^[3-4]的 1/4 考虑,即对职业照射为 100 $\mu\text{Sv/w}$,对公众照射为 5 $\mu\text{Sv/w}$; TVL - 1/10 减弱层厚度,单位 mm。考虑到验证计算中所用参数的误差,计算中取 2 倍安全因子。

$$\text{对初始辐射 } H_{\text{未屏蔽}} = WUTd_1^2/d_2^2 \quad (2)$$

式中: W - 周工作负荷; U - 利用因子; T - 居留因子; d_1 - 源到焦点的距离; d_2 - 源到计算点距离。

$$\text{治疗状态下,对准直体透射辐射的次屏蔽墙计算 } H_{\text{未屏蔽}} = WT\eta d_1^2/d_2^2 \quad (3)$$

式中: η - 透射辐射比率; 其他含义同前。

对患者体表散射辐射的次屏蔽墙计算

$$H_{\text{未屏蔽}} = \alpha WT(F/400) d_1^2/d_3^2 d_4^2 \quad (4)$$

式中: α - 辐射场面积为 400 cm^2 (20 cm × 20 cm) 时散射系数; F - 入射到患者表面的辐射场面积; d_3 - 源到散射表面的最近距离; d_4 - 散射表面到计算点的距离。其他含义同前。

2.2 计算参数和结果 根据头部伽玛刀工作特点,屏蔽验证计算中主要考虑准直体透射辐射和患者体表散射辐射。计算参数如下: W - 根据建设单位提供的资料,每天治疗患者 10 ~ 15 人,每人治疗剂量 5 ~ 7 Gy,按最大值计算,每周工作负荷(焦点处)为 15 × 7 × 5 = 525 Gy; η - 透射辐射与初始辐射的比率 0.1%; α - 散射角 90°, 散射系数为 9.1 × 10⁻⁴; 对小散射角,例如 30°, 散射系数为 6.0 × 10⁻³; TVL - 散射角为 90° 的散射辐射在普通混凝土中的 TVL 为 15.1 cm^[5]; 对初始辐射和泄漏辐射,TVL 为 21.8 cm; 对小角度(不大于 30°) 散射,散射辐射能量接近初始辐射能量,取 TVL

值与初始辐射近似相同。 F —入射到患者表面的辐射场面积,FreeGS-A 型头部伽玛刀最大准直器^[6]规格为直径 50 mm,保守考虑取治疗束辐射场为 10 cm×10 cm; d_1 —源到焦点距离,为 0.4 m; d_3 —源到散射表面的最近距离,取 0.3 m; U 、 T 、 d_2 、 d_4 取值见表 1。

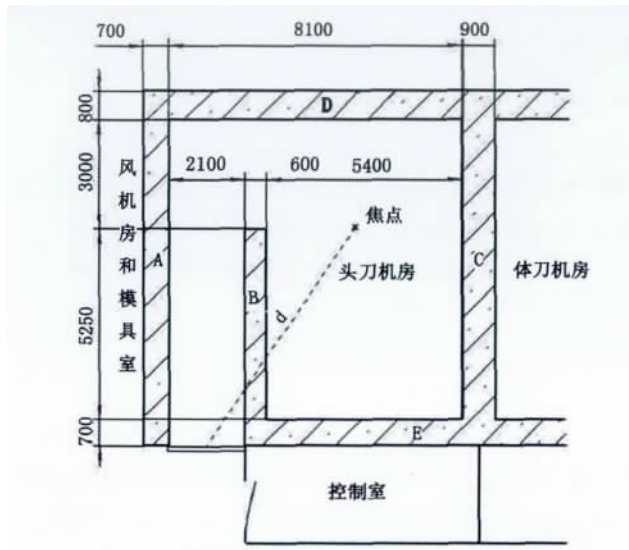


图 1 头部伽玛刀机房屏蔽设计示意图

以 A 墙为例,计算如下:对透射辐射,将各参数值代入方程(2),计算出 $H_{\text{未屏蔽}} = 0.282 \text{ mSv/w}$ 。代入公式(1)计算出墙体厚度为 39 cm。对人体表面散射,将各参数值代入方程(3),计算出 $H_{\text{未屏蔽}} = 0.71 \text{ mSv/w}$ 。代入公式(1)计算出墙体厚度为 33 cm。当计算给出的不同辐射所需的屏蔽厚度其数值相差一个 1/10 值厚度或更大时,一般应采用其中较厚的屏蔽厚度;若相差不到一个 1/10 值厚度,则应当采用其中较大的屏蔽厚度并增强一个半值厚度。为保守起见,取透射辐射的半值厚度,即 $21.8 \text{ cm}/3.3 = 6.6 \text{ cm}$ 。因此, A 墙的综合屏蔽厚度为 46 cm。

但是,按照 GBZ 168-2005《X、γ 射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》的要求,屏蔽墙外剂量率一般不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。在 1 m 处透射辐射的剂量率为:

$4 \times 10^{-3} \times 60 \times 0.4^2$ (在焦点处最大剂量率 4 Gy/min) $= 38.4 \times 10^{-3} \text{ Gy/h} = 38.4 \times 10^3 \mu\text{Gy/h}$ 。

在 6.1 m 处的剂量率为 $1.03 \times 10^3 \mu\text{Gy/h}$ 。46 cm 厚 A 屏蔽墙的减弱系数为 129 ($n\text{TVL} = 46/21.8 = 2.11, 10^{2.11} = 129$)。因此,墙外剂量率为 $(1.03 \times 10^3)/129 = 7.98 \mu\text{Sv/h}$,大于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 。为了满足 GBZ 168-2005 标准的要求, A 墙厚度需增加 2 个 HVL 厚度,即 $X = 46 \text{ cm} + 2 \times 21.8/3.3 = 60 \text{ cm}$ 。

同理可计算其他各墙厚度。头部伽玛刀机房屏蔽验证计算结果列于表 1。另外,为对防护门进行评价需估算迷宫外出口处剂量率。

对透射辐射 $D_t = D_0 \eta / (d^2 \times k)$ (5)

式中: D_t —经 B 墙(60 cm 厚)屏蔽后的迷宫口处剂量率; D_0 —距源 1 m 处剂量率 $38.4 \times 10^6 \mu\text{Gy/h}$; η —透射系数 1×10^{-3} ; d —源到迷宫口距离, $d = 6.0 \text{ m}$ ($[4.35^2 + 4.125^2]^{1/2}$); k —B 墙屏蔽减弱系数, $k = 10^{n\text{TVL}}$, $n\text{TVL} = 60/21.8 = 2.75$, $k = 562$ 。

将上述参数代入方程(5),得到 $D_t = 1.9 \mu\text{Gy/h}$ 。

对人体表面散射,计算方程为:

$D_s = D_0 \alpha F / (d^2 \times k)$ (6)

式中: D_s 为经 B 墙(60 cm 厚)屏蔽后的迷宫口处剂量率; $D_0 = 38.4 \times 10^6 \mu\text{Gy/h}$; α —散射角 90° , 散射系数为 9.1×10^{-4} ; $F = 100 \text{ cm}^2/400 \text{ cm}^2$; $d = 6.0 \text{ m}$; k —B 墙屏蔽减弱倍数, $k = 10^{n\text{TVL}}$, $n\text{TVL} = 60/15.1 = 3.97$, $k = 10^{3.97} = 9332$ 。

将上述参数代入方程(6),得到 $D_s = 0.03 \mu\text{Gy/h}$ 。因此,在迷宫外出口处总剂量率为: $1.9 \mu\text{Gy/h} + 0.03 \mu\text{Gy/h} = 1.9 \mu\text{Gy/h}$,低于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 的要求。建设单位拟安装 18 mmPb 当量防护门,属过度防护,可适当减小厚度。

2.3 屏蔽厚度计算结果及评价 各墙屏蔽厚度的计算结果见表 1。由表 1 验证计算结果可看出,各墙设计厚度符合防护要求,其中 C 墙和 D 墙设计厚度均远大于验证厚度,防护过于保守。

表 1 头部伽玛刀机房屏蔽验证计算结果

屏蔽墙	剂量控制值 ($\mu\text{Sv/w}$)	计算参数			验证计算厚度(cm)				设计厚度 (cm)
		U	T	$d(\text{m})$	透射 辐射	散射 辐射	综合 厚度	满足 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的厚度	
A 墙	5	1	1/8	6.1	39	33	46	60	70
C 墙	5	1	1/8	3.6	48	40	55	69	90
D 墙	5	1	1/8	4.9	42	36	49	63	80
E 墙	100	1	1	4.8	34	30	41	61	70
顶墙	5	1	1/8	2.8	53	43	60	74	80

3 机房防护检测结果评价

头部伽玛刀机房的屏蔽防护检测结果见表 2。

表 2 头部伽玛刀机房屏蔽防护检测结果¹⁾ ($\mu\text{Sv/h}$)

检测位置	平均值 ± 标准差	检测位置	平均值 ± 标准差
①控制室	0.11 ± 0.01	⑥门中	0.10 ± 0.01
②上门缝	0.11 ± 0.01	⑦南墙	0.15 ± 0.02
③左门缝	0.11 ± 0.01	⑧西墙	0.11 ± 0.01
④右门缝	0.10 ± 0.01	⑨体刀机房	0.33 ± 0.03
⑤下门缝	0.10 ± 0.01	⑩房顶(配电室)	0.11 ± 0.01

注:1) 表中所列数值含 γ 外照射天然本底值 $0.10 \mu\text{Sv/h}$, $\mu\text{Sv/h}$ 为周围剂量当量率单位。

2011 年全国外照射个人剂量监测系统比对不合格的原因分析

张兴晖 董倩倩 叶倩鸥 刘双

大连市疾病预防控制中心 辽宁 大连 116021

中图分类号: TL818⁺.5 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2014)03-0221-03

摘要: 目的 确保放射工作人员个人剂量监测数据的可靠性。方法 参加 2011 年全国放射工作人员外照射个人剂量监测系统比对。结果 综合性能 $|B| + S > 0.4$ 比对不合格。结论 探测器的筛选、校正因子的正确使用、工作人员的操作技术等对个人剂量监测数据有很大影响。

关键词: 质量控制; 个人剂量; 比对; 不确定度

DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2014.03.011

个人剂量监测是放射工作人员职业健康管理的重要内容,目前我国放射工作人员外照射个人剂量监测绝大部分采取热释光个人剂量监测技术^[1]。热释光材料测量凭借其灵敏度高、可靠、精确且经济实用的优点已经成为全球个人剂量监测的最主要手段之一^[2]。为进一步规范监测方法和程序,提高检测技术水平,同时也对我中心的个人剂量监测质量进行客观评估,我中心参加了由中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全所组织的 2011 年全国放射工作人员个人剂量监测系统比对。

1 仪器与方法

作者简介: 张兴晖(1978-),男,大学本科,主管医师,主要从事放射工作人员个人剂量监测、职业病危害放射防护评价等放射卫生相关工作。

从表 2 可以看出,除位置⑨略高于 γ 外照射天然本底值外,其余各点近似为天然本底值,附加照射剂量很小。预期放射工作人员和公众所接受的年剂量小于相应的年剂量管理控制值。辐射防护屏蔽效果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中的规定要求。

4 讨论

根据 IAEA 第 47 号报告提供的估算方法对选取的头部伽玛刀机房的屏蔽厚度进行估算,各项参数值选取都是依据实际情况选择。由表 2 的检测结果可看出,除体刀机房外,各检测点检测结果均接近天然本底值。从验证计算结果可以看出,设计方案中各屏蔽墙设计厚度均符合防护要求,其中 C 墙和 D 墙设计厚度均远大于验证厚度,防护过于保守,可适当减少厚度,达到防护最优化目标。

1.1 仪器 使用我中心新购置的 RGD-3B 型热释光剂量仪、V 型热释光退火炉、GR-200A 型 LiF(Mg, Cu, P) 探测器。

1.2 方法 具体实施按照《2011 年全国放射工作人员个人剂量监测系统比对方案》(以下简称“方案”)进行。共设 7 组,每组 3 个剂量计。1~5 号组为盲样组,其中 1~3 号组为 X 射线组,4、5 号组为 γ 射线组,6 号组为跟随本底组,7 号组为备用组,每个剂量计内放置 2 个探测器。检测项目为个人剂量当量 $H_p(10)$ 。检测程序依据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2002)进行,结果的不确定度参照《外照射个人剂量系统性能检验规范》(GBZ 207-2008)进行评定。

1.3 质量控制

1.3.1 探测器选择 购买已经过筛选(变异系数 $<$

参考文献

- [1] 中华人民共和国卫生部. GBZT 201.1-2007 放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分: 一般原则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [2] 郑钧正. 电离辐射医学应用的防护与安全[M]. 北京: 原子能出版社, 2009: 167-168.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. GB 18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [4] 中华人民共和国卫生部. GBZ 128-2002 职业性外照射个人监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [5] IAEA Safety Report Series No. 47, Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facility[P]. IAEA, 2006: 45-49.
- [6] 中华人民共和国卫生部. GBZ/T 220.2-2009 建设项目职业病危害放射防护评价规范第 2 部分: 放射治疗装置[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

收稿日期: 2014-02-15