

某医院陀螺刀机房屏蔽厚度的计算与评价

晏彬, 吴文质

中图分类号: X591 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2008)04-0431-02

【摘要】 目的 使拟建的陀螺刀机房的防护达到国家防护标准要求。方法 依据辐射防护基本原则及放射卫生防护相关法规标准, 并结合该建设项目对机房所需屏蔽厚度进行计算。结果 机房各向的屏蔽设计厚度均略大于理论所计算厚度, 可满足防护标准要求。结论 该陀螺刀机房的屏蔽厚度设计可达到本建设项目所选定的剂量控制目标值。

【关键词】 陀螺刀机房; 屏蔽厚度; 计算与评价

陀螺刀设备融合立体定向技术和放射治疗技术于一体, 它利用肿瘤细胞相对于正常组织细胞对放射线更敏感的原理, 采用钴-60发出的 γ 射线, 用几何聚焦方式, 通过精确的立体定向, 将经过规划的一定剂量 γ 射线集中于预照靶点, 致死性的摧毁靶点内的肿瘤组织。同时, 陀螺刀设备中的154枚放射源发出的 γ 线束由于采用旋转聚焦的方式进行放射治疗, 使人体正常组织所受到的照射较小, 从而达到杀死病灶组织, 保护正常组织的治疗目的。

现将该报告书中有关机房屏蔽厚度的计算与评价情况介绍如下。

1 机房屏蔽设计和设备参数

1.1 机房屏蔽设计 根据陀螺刀机房建筑设计图纸(见图1)其设计参数如下:①机房的四周墙体和顶棚厚度都为600mm的钢筋混凝土(混凝土密度 $\geq 2.3\text{g/cm}^3$);②机房内空尺寸:8100mm(长) \times 6590mm(宽) \times 3900mm(高);③机房门洞尺寸:1600mm(宽) \times 2100mm(高);④机房周边环境情况:东墙外为楼梯间, 南墙外为控制室, 西墙外为陀螺刀治疗中心过道,

作者单位:江西省劳动卫生职业病防治研究所, 江西 南昌 330006
作者简介:晏彬(1956~), 男, 江西省人, 实验师, 从事放射性防护监测与质检工作。

2.1 剂量频数分析(表1) 从表1可以看出2000~2004年间年剂量当量在年剂量限值十分之一(2mSv)以下者的相对频数在92.8%左右, 而大于 15mSv 相对频数只有1%左右, 这说明我市的整体防护水平有一定程度的提高。

表1 四平市放射工作人员个人剂量当量频数分析

年份	剂量当量频数分布%			
	$\leq 2\text{mSv}$	$2 < \leq 15\text{mSv}$	$15 < \leq 50\text{mSv}$	$> 50\text{mSv}$
2000	94.6	4.1	1.3	0.00
2001	94.9	3.3	1.8	0.00
2002	91.7	6.9	1.4	0.00
2003	90.5	8.8	0.7	0.00
2004	92.6	7.0	0.4	0.00
均值	92.8	6.1	1.1	

2.2 年均剂量与集体剂量(表2) 从表2可见, 2000~2004年间年均剂量当量在 $1.78 \sim 2.37\text{mSv}$ 之间, 5a 的平均年均剂量当量为 1.99mSv , 累积集体剂量当量 6.09manSv , 5年间监测人数而年均剂量总体呈下降趋势。

2.3 不同类型医院X射线工作人员受照射剂量(表3) 由表3可见各级医院中乡镇级医院诊断X射线放射工作人员的年平均剂量当量高, 其主要原因是资金短缺、机器陈旧, 大部分为80年代前产品, 而且防护设施差, 这些对剂量都有一定贡献, 企业、厂矿医院年剂量当量大于市级医院, 这是由于企业、

北墙外为医院停车场, 机房顶上为医院门诊用。

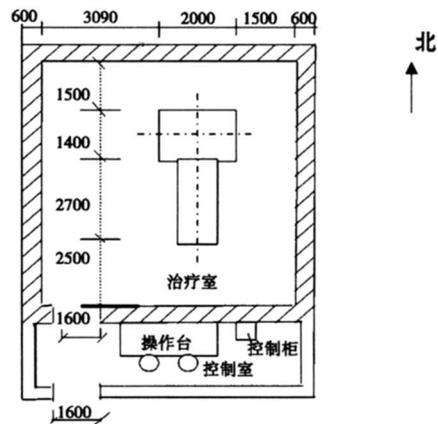


图1 陀螺刀机房建筑设计图

1.2 设备参数 ①钴源总活度: $2.59 \times 10^{14}\text{Bq}$; ②钴源比活度: $\geq 8.51 \times 10^{12}\text{Bq}$; ③焦点剂量率: $\geq 2.5\text{Gy/m}^2\text{h}$; ④四组不同的焦点, 等中心处射野直径分别为: 5mm , 15mm , 25mm 和 40mm ; ⑤放射源自转角度: 50° ; ⑥治疗头自转速度: 30r/min ; ⑦治疗头环绕人体旋转角度: $\pm 270^\circ$; ⑧治疗头公转速度: $[(0.5$

厂矿医院领导重视不够, 加之放射工作人员的防护意识不强所致, 相比之下, 受照射的机会相对较高。

表2 四平市2000~2004年放射工作人员职业照射剂量

年份	监测人数	平均剂量 (mSv/a)	集体剂量当量 (manSv)
2000	128	2.374	1.213
2001	136	1.957	1.187
2002	152	2.057	1.084
2003	187	1.786	1.321
2004	211	1.781	1.286
合计	814	1.991	6.091

表3 不同类型医院X射线工作人员受照射剂量(mSv)

医院类型	监测人数	年均剂量 (mSv/a)	集体剂量当量 (manSv)
县级以上医院	437	1.78	5.02
企业厂矿医院	159	1.95	1.23
乡镇医院	218	2.15	1.34

3 小结

从我市2000~2004年五年间开展放射工作人员个人剂量监测的情况可以看出, 个人剂量监测人数在有所增加的情况下而人均年剂量当量总体呈下降趋势, 这与使用单位改善机器设备, 防护设施是分不开的。但对中小单位医院今后仍须加强管理, 在改善防护设施的同时, 加强培训, 提高个人防护意识。

(收稿日期: 2007-11-27; 修回日期: 2008-07-17)

~1.5) ± 0.1] r/m²h^④放射源到等中心的距离: 530mm^⑤ 陀螺刀处治疗状态下的漏射辐射率为等中心点的 0.0001%; ⑥陀螺刀铅平衡锤的透射率: 2 × 10⁻⁵.

2 机房屏蔽厚度的计算方法

2.1 屏蔽厚度计算的防护原则

(1) 机房屏蔽设计应遵循辐射防护最优化原则和选定源相关的个人剂量约束值, 本机房选定个人剂量约束值为: 放射工作人员: 2mSv/a(国家防护标准剂量限值为 20mSv/a); 公众: 0.1mSv/a(国家防护标准剂量限值为 1mSv/a)^[1]

(2) 在屏蔽厚度设计时, 按国家标准规定, 对源的设计、建造和运行中留有足够的安全余地, 以确保可靠的安全运行。

(3) 在进行屏蔽厚度计算时, 对泄漏辐射按初级辐射能量(1.25MeV)计算, 对散射辐射按 0.5MeV(散射线能量一般都低于 0.5MeV), 直接查“宽束 γ射线在不同的减弱倍数 K 时所需混凝土的防护厚度表”^[2]。

(4) 屏蔽计算时不考虑治疗头运动对于射线散射场的影响也不考虑射线穿越墙体的角度是连续多样性的, 统一取为 90°。

(5) 对同一屏蔽体按有用线束(主束)透射辐射、泄漏辐射和散射辐射分别进行计算屏蔽厚度。若二者之差相差不到十分之一值层厚度时, 则在其中较厚的那个厚度上再加一个半值层厚度(HVT=6.1cm)。

2.2 主屏蔽厚度计算方法 初级 γ射线的屏蔽厚度(主防护体厚度)按式(1)计算得出, 通过确定有用线束的衰减倍数 K 查表可得相应的混凝土屏蔽厚度。

$$K = WUT/Pd^2 \quad (1)$$

式中: K 有用束减弱倍数; W 周工作负荷, mGy/Week; U 利用因子, 对有用线束固定照射方向取 1 对旋转方向取 1/4 散、漏辐射取 1/4; T 居留因子, 对控制室、相邻办公室取 1 部分停留区取 1/4 对偶尔停留区取 1/16; d 源(靶)到防护计算点的距离, m; P 周剂量约束值, mGy/Week 对职业放射工作人员: P=0.04mGy/Week(即职业放射工作人员在控制室的剂量约束值为 2mGy/a); 对公众个人: P=0.004mGy/Week^[3]。

陀螺刀设备总装源活度(A)为 2.59 × 10¹⁴ Bq(2.59 × 10⁵ GBq)^[4], 钴-60在空气中的比释动能率常数(Γ_k)为 0.357 mGy·m²/h·GBq 每周辐照时间(t)为 17h(陀螺刀以每天治疗 10个病人, 每个病人需照射 20min 每周工作 5d 计算, 则每周的总辐照时间约为 17h), 陀螺刀铅平衡锤的透射量为 2 × 10⁻⁵, 则陀螺刀设备外有用线束透射的工作负荷。

$$W = A \cdot \Gamma_k \cdot t \cdot 2 \times 10^{-5} \\ = 2.59 \times 10^5 \times 0.357 \times 17 \times 2 \times 10^{-5} \\ = 31.44 \text{ mGy/Week}$$

2.3 散射辐射屏蔽厚度计算方法 散射线的衰减倍数 K 由式(2)确定, 相应的屏蔽厚度可查表得知。

$$K = \frac{W \Omega_a}{P d^2} \times \frac{a}{400} \quad (2)$$

式中: Ω 照射野为 400cm²的散射系数, a=0.0009(散射角取 90°); d 从散射辐射体到考查点(屏蔽体外表面)的距离, m; Ω 照射野面积, cm²; a=πD²/4 ≈ 12.6cm²(按最大的准直器焦斑直径 40mm 计算); K、T、P、W 含义同式(1)。因 γ源到散射体之间的距离不是 1m 应按照距离平方反比律加以修正, 该陀螺刀放射源到等中心的距离为 530mm 则周工作负荷为:

$$W = A \cdot \Gamma_k \cdot t \cdot 0.53^2 \\ = 2.59 \times 10^5 \times 0.357 \times 17 / 0.53^2 \\ = 5.6 \times 10^6 \text{ (mGy/Week)}$$

2.4 漏射辐射屏蔽厚度计算方法 漏射辐射屏蔽厚度由式(3)确定:

$$\Delta = TVI \times [1 \frac{1}{4} WLT/Pd^2] \quad (3)$$

式中: Δ 漏射辐射屏蔽厚度, cm; TVI 十分之一值层厚度, cm; 钴-60 初级 γ射线对混凝土(ρ=2.3g/cm³)的 TVI=20.3; T、P、d 含义同式(1); W_l 周(漏射辐射)工作负荷, mGy·

m²/Week 根据陀螺刀设备厂家提供的参数, 即陀螺刀处治疗状态下, 距等中心 1m 处的漏射辐射率为等中心点的 0.0001%, 则 W_l=A·Γ_k·t × 0.00001/0.53² = 2.59 × 10⁵ × 0.357 × 17 × 0.00001/0.53² = 5.6m(Gy/Week)

3 计算结果

根据陀螺刀周工作负荷、焦(靶)点或散射体至屏蔽体外表面防护计算点的距离、不同使用因子、机房各方向区域的居留因子和各类人员的周剂量约束值等参数, 按照上述公式分别计算出各向屏蔽体屏蔽有用线束、散射辐射和漏射辐射所需的屏蔽厚度, 并根据计算结果最终确定各向屏蔽体的综合评价厚度, 屏蔽体厚度计算结果见表。

表 1 某医院陀螺刀机房屏蔽体厚度计算结果

序号	墙体名称	射线束	周剂量约束值 (mG)	U	T	因 子	因 子	距离 (m)	K 值	计算厚度及材料 (mm)	综合评价厚度及材料 (mm)	原设计厚度及材料 (mm)
1	东墙	主束	0.004	1/4	1/4	3	10	51.1	51.1	487 砼	546 砼	600 砼
	东墙	散射	0.004	1	1/4	3	26	933.0	32.9	546 砼		
	东墙	漏射	0.004	1	1/4	3	26	(n=1.52)	308 砼			
2	西墙	主束	0.004	1/4	1/4	4	26	27.1	27.1	426 砼	484 砼	600 砼
	西墙	散射	0.004	1	1/4	4	48	494.0	17.0	484 砼		
	西墙	漏射	0.004	1	1/4	4	48	(n=1.23)	250 砼			
3	顶棚	主束	0.004	1/4	1	4	70	89.0	89.0	533 砼	581 砼	600 砼
	顶棚	散射	0.004	1	1	4	95	1618.7	57.1	581 砼		
	顶棚	漏射	0.004	1	1	4	95	(n=1.76)	357 砼			
4	南墙	散射	0.04	1	1	7	50	70.51	2.49	376 砼	376 砼	600 砼
	南墙	漏射	0.04	1	1	7	50	(n=0.40)	81 砼			
5	北墙	散射	0.004	1	1/4	2	80	1264.7	178.5	564 砼	564 砼	600 砼
	北墙	漏射	0.004	1	1/4	2	80	(n=2.30)	467 砼			
6	防护门	散射	0.04	1	1	7	50	70.51	70.51	28mmPb	28mmPb	—
	防护门	漏射	0.04	1	1	7	50	2.49	18mmPb			

注: 表中 n 为十分之一值层的个数, n=lgk

4 评价结论

陀螺刀机房原设计周墙和顶棚的屏蔽厚度均为 600mm 砼, 该机房建成并投入使用后, 可以满足放射人员和公众的年受照剂量低于国家标准个人剂量限值的十分之一。因此, 该机房原屏蔽体的设计厚度是适宜可行的。

5 讨论

陀螺刀机房未设计迷路, 机房防护门(设在机房的南墙西侧)需 28mm Pb 当量的屏蔽层方可满足防护标准的要求。按照防护门的几何尺寸计算, 该防护门仅铅板就需 1.320kg。如果机房增设迷路, 则既可提高屏蔽防护的安全性, 又可降低防护门的造价, 还可为今后防护门的检修提供便利。为此, 我们已在该建设项目放射性职业病危害放射防护预评价报告书中建议建设单位增设机房迷路。

参考文献:

[1] GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 [S].
 [2] 张丹枫, 赵兰才编著. 辐射防护技术与工程 [M]. 南宁: 广西民族出版社, 2003.
 [3] GBZ/T 152-2002 γ 远距治疗室设计防护要求 [S].
 [4] GBZ168-2005 X γ 射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准 [S].