

某 10MV 医用电子加速器屏蔽计算与防护效果验证对比分析

赵艳芳, 楚彩芳, 时峰, 胡传朋, 贾陈志

中图分类号: R147 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2013)02-0169-03

【摘要】 目的 根据辐射防护基本原则及相关法规标准, 对某医院 10MV 医用电子加速器机房屏蔽设计进行核实和计算, 并验证放射防护效果, 以实现放射防护最优化。方法 采用 GBZ/T 201.2-2011 中的计算方法对某医院放疗中心 10MV 加速器机房屏蔽设计进行核实与计算, 利用防护检测设备对其工作场所辐射水平进行防护效果验证检测, 并对比分析计算结果与验证检测结果。结果 主屏蔽墙和室顶主屏蔽计算结果(分别为 $1.52 \mu\text{Sv/h}$ 、 $2.93 \mu\text{Sv/h}$) 与防护效果验证检测结果(最大分别为 $1.25 \mu\text{Sv/h}$ 、 $2.8 \mu\text{Sv/h}$) 接近, 其余副屏蔽墙(顶)计算结果(最大为 $1.19 \mu\text{Sv/h}$) 大于防护效果验证检测结果(最大 $0.23 \mu\text{Sv/h}$); 防护门外计算结果($0.33 \mu\text{Sv/h}$) 略小于检测结果(最大为 $0.60 \mu\text{Sv/h}$)。结论 医用电子加速器屏蔽计算结果与防护效果验证检测结果基本相符, 建设单位应按照国家有关标准设计, 保证施工质量, 并加强放射防护效果验证, 确保放射工作人员和相关公众的健康与安全。

【关键词】 医用电子加速器; 屏蔽计算; 效果验证

医用电子加速器运行时将产生电离辐射等有害因素, 需采取适当的防护措施, 预防和减少对放射工作人员和相关公众健康的影响。合理的机房布局和屏蔽设施是保证放射工作人员和相关公众健康与安全的重要前提。根据《中华人民共和国职业病防治法》和《放射诊疗建设项目卫生审查管理规定》的要求, 建设单位在可行性论证阶段应当委托具有相应资质的职业卫生技术服务机构对建设项目进行职业病危害放射防护预评价, 在投入正式运行前应进行职业病危害控制效果评价。本文依据国家相关标准对某医院放疗中心 10MV 加速器机房屏蔽设计进行核实与计算, 利用防护检测设备对其工作场所辐射水平进行防护效果验证检测, 并对比分析计算结果与验证检测结果, 以确定辐射防护设计的有效性和科学性。

1 对象和方法

1.1 对象 选择一家三级甲等肿瘤专科医院, 该医院放疗中心拟引进一台医科达医疗器械有限公司生产的 Synergy VMAT 型 10MV 医用电子加速器。设备

作者单位: 河南省职业病防治研究院, 河南 郑州 450052
作者简介: 赵艳芳(1982~), 女, 硕士, 主管医师, 从事放射防护工作。

照射剂量监测手段, 要准确计算工作人员在实践中的有效剂量是困难的, 但用个人剂量计按周期定期监测或用 X- γ 辐射仪监测现场空气比释动能率进行有效剂量估算, 若估算值低于国家标准规定的工作人员年有效剂量限值, 则能确保工作人员真正的年有效剂量满足国家标准要求, 这是一种偏安全的结果。

基本参数如下:

辐射类型为 X 射线, 6 MV、10 MV 两档; 最大输出剂量率: X 射线为 600 cGy/min ; X 射线泄漏辐射因子: $\leq 0.1\%$, 等中心高度: 1250 mm 。

加速器机房设计由迷路和治疗室构成, 所有屏蔽墙均用混凝土(密度为 2.35 g/cm^3) 浇筑而成。机房设计参数见表 1。

表 1 加速器机房屏蔽设施设计参数

屏蔽设施	设计值(mm)
北/南/室顶主屏蔽墙	2 500
北/南/室顶副屏蔽墙	1 300
西屏蔽墙	1 300
东屏蔽墙迷路内/外墙	1 000 ~ 1 300
主屏蔽区宽度	南墙、北墙、室顶 均为 4 608

1.2 方法

1.2.1 理论计算法 通过对加速器机房现场调查分析和资料调研, 采用国家标准中相关原则和计算公式对建设项目机房屏蔽墙和防护门厚度进行核算与评估。

参考文献:

- [1] 放射工作人员职业健康管理办法[S]. 2007-06-03.
- [2] GB18871-2002, 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S].
- [3] GBZ128-2002, 职业性外照射个人监测规范[S].

(收稿日期: 2012-10-18)

1.2.2 放射卫生检测 依据检测规范和方法,对试运行期间加速器机房工作场所辐射水平进行检测,与国家相关标准和计算结果相比较,对其符合程度做出评价。

2 屏蔽设施计算结果

2.1 加速器治疗机房关注点设置 加速器治疗机房四周屏蔽墙及防护门口关注点设置见图 1,室顶关注点设置见图 2。

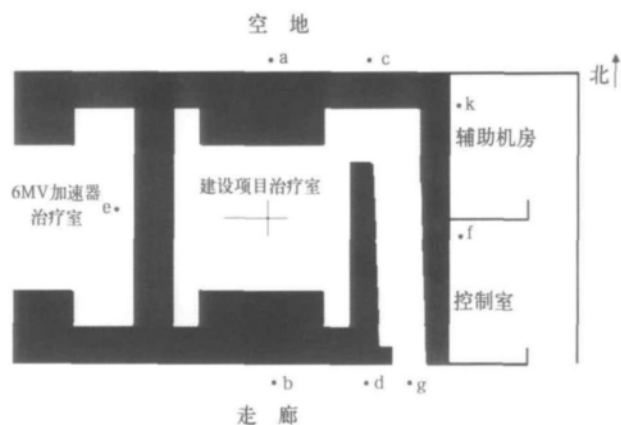


图 1 加速器治疗机房关注点位置平面示意图

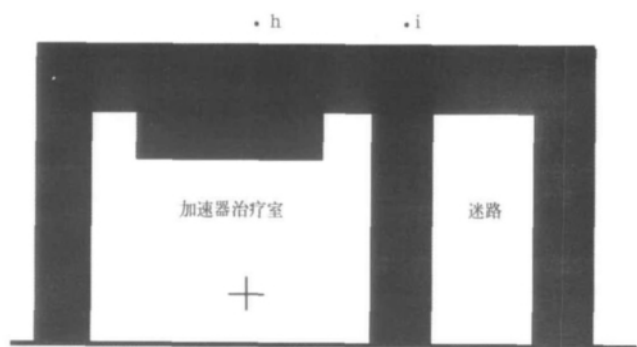


图 2 加速器治疗机房关注点位置剖面示意图

2.2 屏蔽防护厚度计算结果 根据 GBZ/T 201.2 - 2011^[1]中对治疗机房不同位置应考虑辐射束的相关原则,主屏蔽区的屏蔽厚度应按有用线束估算;与主屏蔽区直接相连的副屏蔽区应按有用线束水平照射或向顶照射时人体的散射辐射和加速器的漏射辐射估算;侧屏蔽墙的屏蔽厚度应按加速器的泄漏辐射估算。参考 GBZ/T 201.2 - 2011 中有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算、患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算以及机房门屏蔽计算公式和参数取值对加速器机房屏蔽设计进行核实和计算。计算结果见表 2。此外,参考《放射防护实用手册》,建设单位加速器铅防护门设计应增加 100 mm 5% 含硼聚乙烯,以防止门口中子辐射^[2]。

3 放射防护检测结果

加速器机房主体工程施工厚度与设计厚度一致,无变更记录。防护门按照预评价报告的建议增加 100 mm 5% 含硼聚乙烯。

检测仪器:451P 型加压电离室巡测仪(美国 Cardinal Health 公司)、190 型多功能巡测仪(美国 Cardinal Health 公司)、FD-3013H 型智能化 X-γ 辐射仪(上海申核电子仪器有限公司),仪器均在检定有效期内使用。

检测条件:10 MV X 射线,光野 40 cm × 40 cm,600 cGy/min 的剂量率。巡测各屏蔽墙时,位置均为墙外 30 cm,距地面 1.2 m;巡测机房室顶时,位置为距顶表面 50 cm;巡测天空散射点时,位置距地面 1.2 m;检测主屏蔽墙时小机头旋转 45°。机房门检测时有用线束 0°、90°、180°、270° 四种朝向,加散射体分别测试。检测结果见表 2。

表 2 加速器治疗机房屏蔽计算结果及防护效果验证检测结果

关注点	屏蔽防护墙	设计厚度(mm)	周围剂量当量率(μSv/h)	
			计算值	实测值 ^[2]
a(空地)	北主屏蔽墙	2 500	1.52×10^0	0.53 ~ 1.04
b(走廊)	南主屏蔽墙	2 500	1.52×10^0	0.38 ~ 1.25
c(空地)	北副屏蔽墙	1 300	6.77×10^{-1}	0.09 ~ 0.13
d(走廊)	北副屏蔽墙	1 300	6.77×10^{-1}	0.09 ~ 0.16
e(相邻机房)	西副屏蔽墙	1 300	1.10×10^0	0.08 ~ 0.10
f(控制室)	迷路内墙 + 迷路外墙	2 300	3.06×10^{-4} ^[1]	0.10 ~ 0.16
k(辅助机房)	迷路外墙	1 300	1.16×10^{-1}	0.11 ~ 0.13
g(机房门)	防护门	15 mm 铅当量	7.86×10^{-2}	3.32×10^{-1} 0.10 ~ 0.60
□	迷路内墙	1 200	2.53×10^{-1}	
h(室顶)	主屏蔽顶	2 500	2.93×10^0	2.2 ~ 2.8
i(室顶)	副屏蔽顶	1 300	1.19×10^0	0.08 ~ 0.23

注:[1]远低于环境本底辐射水平;[2]检测结果未扣除本底,室外为 0.07 ~ 0.10 μSv/h,室内为 0.14 ~ 0.15 μSv/h;所有屏蔽墙、室顶外均未检出中子。

4 讨论

(1) 遵循防护与安全的最优化原则,医院根据实际情况以及放射工作人员心理承受能力,制订了加速器治疗机房工作场所及相关场所周围剂量当量率控制水平(控制室控制在 1.0 μSv/h 以下,其余屏蔽墙外控制在 2.5 μSv/h 以下,室顶控制在 10 μSv/h 以下),更直接的评价加速器机房防护效果。在 2011 年

之前,国家无关于工作场所周围剂量率控制水平的强制要求,仅根据周剂量控制水平、居留因子、工作时间等参数推算剂量率控制水平,一般情况下,建议全居留场所控制在 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 以下,部分或偶然居留场所控制在 $10 \mu\text{Sv/h}$ 以下^[1-3]。2011 年卫生部发布的 GBZ 126-2011 标准中明确规定加速器迷宫门处、控制室和机房屏蔽墙外 30 cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$,对室顶无明确要求^[4]。因此医院制订的加速器工作场所及相关场所周围剂量当量率控制水平符合国家标准要求。

(2) 由表 2 可知,按最大输出剂量率 6.0 Gy/min 计算,加速器机房周围全居留场所中周围剂量当量率计算结果为 $3.06 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ (加速器控制室 f 点),小于剂量率控制水平 $1.0 \mu\text{Sv/h}$,且远小于环境本底辐射水平,因此,加速器剂量贡献对该关注区域的辐射水平和在该区域居留人员影响可以忽略不计;加速器治疗机房四周屏蔽墙外部分居留场所中周围剂量当量率最大为 $1.52 \mu\text{Sv/h}$ (北墙外空地 a 点及南墙外走廊 b 点),小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平,加速器机房室顶周围剂量当量率最大为 $2.93 \mu\text{Sv/h}$ (室顶 h 点),小于 $10 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。由此可以推断,加速器机房屏蔽设计符合国家标准要求,医院可按照屏蔽设计进行施工。建成后的放射防护效果验证检测结果均小于剂量率控制水平。主屏蔽墙外检测结果最大为 $1.25 \mu\text{Sv/h}$,室顶主屏蔽外检测结果最大为 $2.8 \mu\text{Sv/h}$,其余副屏蔽墙外检测结果最大为 $0.23 \mu\text{Sv/h}$,均小于计算结果。其中主屏蔽的计算结果与验证检测结果基本接近,对于副屏蔽墙的计算结果与验证检测结果相差较大原因可能为计算所选择的参数相对较为保守,如 X 射线的泄漏辐射因子,设备厂家给出的参数为小于等于 0.1%,计算时取 0.1%,而实际上可能远小于此值,致使计算出的结果偏大。

(3) 当加速器的加速电压大于 10 MV 时,在 X 射线束工作模式中,通过 (X, n) 反应,或在电子束工作模式中,通过 (e, n) 反应产生中子。但发生 (X, n) 反应的截面至少大于 (e, n) 反应截面一个数量级,因此,主要考虑在 X 射线束工作模式下 (X, n) 光-核反应

产生的中子。加速器机房使用混凝土屏蔽如果对光子的屏蔽物质是混凝土,那么混凝土的屏蔽作用满足光子的同时,也能满足中子,这是因为混凝土中含有足够的含氢物质,使中子慢化,然后被吸收。但是,由于中子在迷道中的多次散射,在迷道口的辐射水平较高,特别是在调强适形 (IMRT) 治疗中,由于子射野的多次累积照射,中子剂量也相应多次累积,其贡献不容忽视。因此,在防护门的设计中除在门上加贴适当厚度的铅皮外,还应加贴适当厚度中子防护材料。而在标准中明确提出,加速器 ($\leq 10 \text{ MV}$) 机房的迷路散射辐射屏蔽仅考虑 X 射线,未列出机房入口的中子剂量率计算方法。但根据以往 10 MV 加速器现场检测经验以及参考资料,预评价报告建议防护门需加贴适当厚度的中子防护材料。防护材料的组合从里向外依次是:铅、防中子材料、铅,外层铅主要用于屏蔽中子俘获 γ 射线。

对于防护门的计算,较为复杂。所需考虑的因素较多,包括一次散射、多次散射、漏射辐射等;影响因素也很多,如机头方向、机房的大小、迷路的情况等等,此外,防护门防护厚度未必如厂家所述,此原因亦成为预评价时虽对光子而言不符合最优化原则,亦不建议其减薄的主要考虑因素。综合分析,上述两方面可能造成计算结果与验证检测结果有一定差距。

医用电子加速器机房屏蔽设计时以辐射防护最优化为原则,并留有安全余地。建设单位在建筑施工时要严格按照建筑规范进行,混凝土浇筑时要连续浇灌,防护门必须达到设计要求,否则就会影响屏蔽效果,危及放射工作人员与公众的健康与安全。

参考文献:

- [1] GBZ/T 201.2-2011. 放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分:电子直线加速器放射治疗机房[S]. 2-9, 16-19.
- [2] 赵兰才,张丹枫. 放射防护实用手册[M]. 济南: 济南出版社, 2009: 355.
- [3] GBZ/T 201.1-2007. 放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分:一般原则[S]: 2.
- [4] GBZ 126-2011. 电子加速器放射治疗放射防护要求[S]: 5.

(收稿日期:2012-10-25)