

某医院直线加速器机房防护门改造实例分析

朱卫国,刘梅,侯长松,梁婧,张庆召

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 辐射防护与核应急中国疾病预防控制中心重点实验室 北京 100088

摘要: 目的 改造直线加速器机房防护门,降低防护门外的中子辐射剂量水平,减少对人员的危害。方法 根据理论计算的结果,在原防护门防护材料的基础上增加聚乙烯防护材料,以减少门外的中子辐射。结果 增加聚乙烯材料之前防护门外 30 cm 处的中子辐射剂量水平为 2.54 ~ 3.83 $\mu\text{Sv/h}$,防护门改造之后防护门外 30 cm 处的中子辐射剂量水平低于仪器探测下限。结论 对电子标称能量大于 10 MeV 的医用电子直线加速器进行防护门的设计时需要考虑中子的危害,富含低原子序数的材料适用于对中子的屏蔽。

关键词: 中子防护;防护门;迷路设计;医用电子直线加速器

Example Analysis of the Linear Accelerator Protective Door Reconstruction of A Hospital. ZHU Wei - guo , LIU Mei , HOU Chang - song , LIANG Jing , ZHANG Qing - zhao. *National Institute for Radiological Protection , China CDC , Key laboratory of Radiological Protection and Nuclear Emergency , Chinese Center for Disease Control and Prevention , Beijing 100088 China.*

Abstract: **Objective** To reconstruct the door of linear accelerator room for reducing the outside dose level of neutron shield door to reduce the harm to people. **Methods** According to the theoretical calculation results , to increase polyethylene based on the original door protection materials to reduce the neutron radiation outside. **Results** Prior to addition of polyethylene materials , neutron radiation dose level outside the door at 30cm were 2.54 ~ 3.83 $\mu\text{Sv/h}$. After the reconstruction of the shield door , neutron radiation dose level outside were below the instrument detection limit. **Conclusion** When the electron nominal energy greater than 10 MeV , design of door of medical electron linear accelerator must consider the reduce of thought about the harm of neutron , materials with low atomic number were suitable for the neutron shielding.

Key words: Neutron Protection; Protective Door; Maze Road Design; Medical Electron Accelerator

中图分类号: R142 文献标识码: B 文章编号: 1004 - 714X(2015)02 - 03 - 0131

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2015.02.012

恶性肿瘤是一种多发病、常见病,严重威胁着人们的生命健康。据统计,恶性肿瘤已经成为我国居民最主要的死亡原因之一。治疗恶性肿瘤的三种常用手段是手术治疗、放射治疗和化学药物治疗,其中放射治疗因其适应证宽、疗效较好、副作用小的特点,在恶性肿瘤的治疗中占据着不可置疑的重要地位。据国内各大肿瘤防治中心的统计,经诊治的肿瘤患者约有 65% ~ 75% 需要采用放射治疗的手段进行治疗^[1]。

放射治疗至今已经有近百年的历史,我国的放射治疗开始于 20 世纪 30 年代,电子直线加速器的引进则开始于 1975 年。放射治疗在最近数十年得到了空前的发展,越来越多的医院开始采用放射治疗方法来治疗肿瘤,医用电子直线加速器因其具有剂量率高、束流稳定、剂量输出准确等显著特点,逐渐成为肿瘤放射

治疗中广泛应用的设备^[2]。我国人均医用电子直线加速器拥有量在世界上还属于较低的水平,按照世界卫生组织(WHO)推荐的平均百万人口拥有量,我国 13 亿人口应当拥有医用电子直线加速器 2600 台 ~ 3800 台,而目前我国实际配置的医用电子直线加速器仅为推荐值的 1/3 左右^[3]。在未来的一段时间,医用直线加速器或许会迎来一段暴发式的增长,因此医用电子直线加速器治疗机房的辐射防护屏蔽问题也越来越受到科学研究机构和公众的关注。本文就某医院医用电子直线加速器机房防护门的改造实例分析对医用电子直线加速器防护门的防护问题。

1 材料和方法

1.1 改造项目 某医院利用原有的医用电子直线加速器机房改建(机房平面布置见图 1),安装新购置的由瓦里安医疗系统公司生产的型号为 iX Package 的医

作者简介:朱卫国(1979 -),男,理学硕士,助理研究员,主要从事辐射防护研究和建设项目职业病危害放射防护评价工作。

用电子直线加速器 标称最高 X 射线能量为 10 MV ,最高电子线能量为 18 MeV ,X 射线模式下最高输出量为 600 cGy/min。该医用电子直线加速器机房原来安装的是一台标称最高 X 射线能量为 15 MV 的加速器 ,各防护墙的设计建造均按照 15 MV 加速器的辐射防护要求进行 ,改建后的加速器机房安装了新的防护门 ,防护门采用不锈钢饰面包裹的纯铅防护层 ,铅防护层厚度为 18 mm。

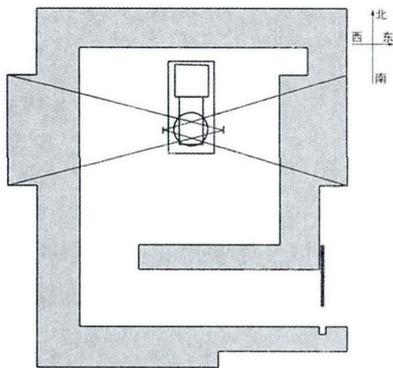


图 1 医用电子直线加速器机房平面布置示意图

1.2 检测设备和条件 辐射防护检测所用的仪器设备均经过中国计量科学研究所的检定并都在检定有效期内 ,用于本次机房的改造过程中检测所使用的仪器包括: ① 便携式 X/γ 剂量率仪 (6150AD 5/h + 6150AD b/h 德国 刻度因子 1.08); ② 中子周围剂量当量仪 [LB6411 + LB123 德国 刻度因子 1.04 探测下限 (MDL) 为 0.03 μSv/h]。检测时医用电子直线加速器采用 X 射线模式 ,能量为加速器标称最高能量 10 MV ,加速器输出量设置为 600 cGy/min ,照射野关至最小。

1.3 屏蔽计算方法 对于大于 10 MV 加速器的机房 ,迷路入口需考虑三项中子 (加速器机头外的杂散中子、杂散中子在机房内壁的散射中子和相互作用中生成的热中子) 在迷路内的散射中子的剂量^[4-6]。

防护门口中子剂量当量率计算为公式 1 和公式 2^[7-8]:

$$\dot{H}_n = H_m e^{1.42\beta} \tag{1}$$

$$\dot{H}_m = \frac{\eta_n \times \omega}{r^{1.2}} \tag{2}$$

式中 \dot{H}_n 为迷路门口的中子剂量率; \dot{H}_m 为迷路内入口中点的中子剂量率; η_n 为中子占有用线束的比率 ,Sv/Gy 取 2×10^{-3} ; ω 为距等中心 1 m 处有用线束的吸收剂量 ,Gy; r 为考查点到辐射源的距离 ,m; β 为迷路的几何系数。

$$\beta = \beta_1 + 0.734\beta_2^{1/2} \tag{3}$$

$$\beta_1 = \frac{l_1}{\sqrt{A_1}}; \beta_2 = \frac{l_2}{\sqrt{A_2}} \tag{4}$$

式中 l_1 、 l_2 为迷路转折长度 ,m; A_1 、 A_2 为迷路横截面积 ,m²。

防护门屏蔽厚度的计算公式为公式 5:

$$S = TVL \cdot \lg \frac{\dot{H}_{\text{未屏蔽}}}{\dot{H}_{\text{控制}}} \tag{5}$$

式中 ,T_{VL} 为中子在屏蔽材料中的什值层厚度; $\dot{H}_{\text{未屏蔽}}$ 为防护门口未屏蔽时的中子剂量当量率; $\dot{H}_{\text{控制}}$ 为防护门口的剂量当量率控制值。

2 结果

2.1 防护门改造前的检测结果 在加速器安装完成后的调试期间 ,对该医用电子直线加速器机房进行了辐射防护检测 ,检测结果见表 1 (检测数据包含天然本底 ,该加速器机房所处位置室外本底范围 0.15 ~ 0.16 μSv/h)。

从检测结果中可以看出 ,防护门外的中子剂量偏高 ,需要针对中子对防护门进行改造 ,在防护门中增加针对中子的防护材料。

2.2 防护门改造建议 加速器治疗机头外的杂散中子经迷路壁多次散射后 ,在迷路入口处的平均能量约为 100 keV ,该能量的中子在聚乙烯中的 TVL 约为 45 mm。治疗机房入口门外的剂量率控制水平 $\dot{H}_{\text{控制}} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ^[4] ,考虑中子的权重因子后 ,防护门外的中子剂量当量率应当控制在 0.25 μSv/h 以下 ,根据以上的计算条件 ,对该医院医用电子直线加速器防护门提出了如下的改造建议: 在原有的防护基础上增加 53 mm 厚的聚乙烯。

2.3 防护门改造后的检测结果 医院根据改造建议将防护门返厂改造 ,医院出于保守起见在建议的基础上额外增加了防护厚度 ,在原有的防护基础上增加了 130 mm 厚的聚乙烯。防护门改造完毕后 ,对该机房防护门外的辐射剂量率水平进行了重新检测 ,检测结果见表 1。

从防护门改造后的检测结果可以看出 ,防护门外的中子剂量率水平已经低于仪器的探测下限 (0.03 μSv/h) ,证明防护门的改造取得了预期的防护效果。

3 讨论

根据医用电子直线加速器的实际情况 ,如果对初级和次级光子提供了适当的屏蔽 ,则初级和次级电子

也将被完全阻止,不需要专门考虑针对电子的防护^[4,9],因此在辐射防护检测中仅需要对最大 X 射线能量照射模式下进行检测。

表 1 机房防护门的辐射防护检测结果

检测防护 门位置	改造前剂量率(μSv/h)		改造后剂量率(μSv/h)		加速器 机头朝向
	X/γ	中子	X/γ	中子	
中央	1.41	3.83	0.88	<MDL	西
	1.38	2.54	0.91	<MDL	东
左缝	1.45	<MDL	1.33	<MDL	西
	1.25	<MDL	1.05	<MDL	东
上缝	1.38	<MDL	1.20	<MDL	西
	1.17	<MDL	1.05	<MDL	东
右缝	1.34	<MDL	1.07	<MDL	西
	1.11	<MDL	0.98	<MDL	东
下缝	1.18	<MDL	0.90	<MDL	西
	1.53	<MDL	1.45	<MDL	东

对于运行能量在 10 MeV 以上的加速器,需要考虑对中子的防护,运行能量≤10 MeV 的加速器一般情况下无需考虑对中子的防护问题^[4,10]。基于以上的考虑,该医院装备的医用电子直线加速器的最大 X 射线能量为 10 MV,在初次安装的防护门的设计中没有考虑对中子的防护问题,但从防护门安装完成后的辐射防护检测结果却发现防护门外具有较高的中子剂量水平。通过对该机房的现场查验,其迷路宽度达到了 2.6 m,并且在迷路内入口处存在一个较大的拐角空间,导致了迷路横截面积的显著增大,根据公式 1 - 公式 4,这将会导致散射到迷路门口的 X/γ 剂量率和中子剂量率均呈指数的上涨,这也是导致防护门外中子剂量率水平较高的直接原因。检测结果显示,防护门外的 X/γ 剂量率水平也较高,考虑到该场所的工作人员和相关的公众的心理承受水平,如果有可能应当对迷路进行改造,减少迷路宽度和内入口的拐角空间,将会显著降低迷路入口处的剂量率水平,降低防护门的辐射防护要求。

由于机房防护门边缘和迷路防护墙之间有搭接的

部分,迷路防护墙采用混凝土浇筑,混凝土中含有 4 ~ 5% 的水,对中子的屏蔽效果比较好,因此在防护门改造前的辐射防护检测中防护门边缘的缝隙处未检测到中子辐射,同样,防护墙外中子辐射水平也低于探测下限。在防护门的改造中添加了富含轻原子序数的聚乙烯作为中子的屏蔽材料,取得了预期的防护效果,但是增加富含轻原子序数的材料对降低 X/γ 辐射水平并无实质性的效果。

在进行加速器机房的设计时,应当考虑文中各参数的选择,在满足工作要求的条件下,尽量减小迷路横截面积,增加迷路的长度,可以降低机房防护门处的辐射剂量水平。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 郑富强, 王捷. 医用直线加速器概况与进展 [J]. 医疗设备信息, 2005, 20(4): 30 - 31.
- [3] 郑钧正, 李君利. 关注现代医学物理进展, 加强医用辐射防护 [J]. 辐射防护, 2008, 28(6): 377 - 384.
- [4] 中华人民共和国国家职业卫生标准. GBZ/T201.2 - 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]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [5] 陈敬忠, 龚怀宇. 医用电子加速器的防护 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2001.
- [6] 姜德智. 放射卫生学 [M]. 苏州: 苏州大学出版社, 2004.
- [7] National Council on Radiation Protection and Measurements. Radiation protection design guidelines for 0.1 - 100 MeV particle accelerator facilities [R]. NCRP report No. 51, 1977.
- [8] 马永忠, 娄云, 王时进, 等. 医用加速器治疗室防护门的屏蔽估算与分析 [J]. 中国自然医学杂志, 2007, 9(4): 297 - 301.
- [9] 朱卫国, 张奇, 侯长松, 等. 医用电子直线加速器治疗室辐射屏蔽计算软件的设计 [J]. 中国医学装备, 2014, 11(9): 34 - 37.
- [10] International Atomic Energy Agency. Radiological Safety Aspects of the Operation of Electron Linear Accelerators [R]. IAEA report No. 188, 1979.

收稿日期: 2015 - 01 - 08

修回日期: 2015 - 02 - 15

欢 迎 投 稿 欢 迎 订 阅