

## 对 15MV 医用直线加速器治疗室屏蔽设计的研讨

顾伟民<sup>1</sup>, 吴建军<sup>1</sup>, 张丹枫<sup>2</sup>

中图分类号: R144 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2005)02-0137-01

**【摘要】** 目的 探讨医用加速器治疗室屏蔽设计的结构形式对迷路外口处辐射水平的影响, 为防护门的最优化设计提供科学依据。方法 以现有加速器治疗室为样板, 通过现场测量和实验研究找出一定的规律。结果 迷路外口处的辐射水平, 主要取决于迷路的结构形式与迷路内墙的防护厚度。结论 对加速器防护门的设计不能仅凭经验和一般计算方法, 要考虑多种因素的影响, 才能做到最优化。

**【关键词】** 医用加速器; 防护门; 辐射防护最优化

为了探讨 15MV 医用加速器防护门设计的最优化, 对我院加速器治疗室迷路外口处的中子和 X、 $\gamma$  射线的剂量率进行了测试, 并对中子屏蔽材料和方法进行了初步探讨, 报道如下。

## 1 加速器治疗室的结构形式与屏蔽厚度

1.1 结构形式 治疗室使用面积 63.68 m<sup>2</sup> (8.7 m × 7.32 m), 房高 4 m, S 型双路[迷路外口(门洞)开在迷路外墙上], 迷路长(迷路内口与迷路外口之最近距离)5.65 m, 迷路宽 1.8 m, 迷路内口宽 2 m, 迷路外口(门洞)的内侧 1.45 m, 外侧宽 1.2 m, 主防护墙宽度 4.6 m, 迷路墙为副防护, 迷路墙外是控制室。

1.2 屏蔽厚度( $\rho=2.35 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$  混凝土) 主防护墙 2.4 m, 副防护墙 1.4 m, 迷路内墙 1.6 m (在与迷路外口相对处又增加 18 cm), 迷路外墙 1.2 m (在与迷路内口相对处又增加 40 cm), 屋顶主防护 2.4 m, 副防护 1.4 m。经防护部门监测, 治疗室墙外均为本底水平。

## 2 测试条件与方法

2.1 射线装置 瑞典医科达 PRECISE 医用直线加速器, 用 15 MV X 射线模式, 等中心最大剂量率 5.6 Gy · min<sup>-1</sup>, 采用标准水模(30 cm × 30 cm, 水深 20 cm), 照射野 30 cm × 40 cm, 源皮距 100 cm, 有用线束向下、向迷路和向迷路内口相邻一侧 3 个方向照射, 取其中之最大测量值。

2.2 测试仪器 美国 190N 型中子测量仪和美国 451P 型加压电离室 X、 $\gamma$  巡测仪。

2.3 测试内容 测量迷路外口(门口)处中子和 X、 $\gamma$  射线剂量率, 分为开门测试、加不同厚度防护材料测试和关上原防护门测试。

2.4 防护材料 实验用防护材料有特制的石墨防护板、硼酸防护板、硫酸钡防护板和铅板, 其面积均为 45 cm × 40 cm。原防护门所用防护材料: 石墨厚度 90 mm, 硼酸粉厚度 23 mm, 铅板厚度 13 mm。

## 3 测试结果 (表 1)

## 4 结果分析

4.1 迷路外口处之辐射水平与迷路结构形式的关系 表 1 中的数据表明, 在开门无防护的条件下测试, 中子和 X、 $\gamma$  射线的剂量率分别为 3.31  $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$  和 1.6  $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ , 较文献[1]报道的

15 MV 单折 L 型迷路外口中子 30  $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$  (有用线束水平照射)小得多。分析其原因, 主要与迷路结构形式有关。①本例之迷路为 S 型, 迷路外口(门口)设在迷路外墙上, 其宽度被含钡混凝土封堵为 1.2 m, 使散射线射到门口多了一折; ②迷路内口与迷路均较窄, 分别为 2 m 和 1.8 m, 缩小了迷路内口处之散射面积; ③迷路内墙较厚为 1.6 m, 减少了透过迷路内墙的漏射线。

表 1 迷路外口处在不同防护条件下之辐射水平

序号	迷路外口防护条件	仪器读数( $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ )	
		中子	X、 $\gamma$ 射线
1	开门, 无防护	3.31	1.6
2	关门, 原防护门	0.01	0.1
3	开门, 5mm BaSO <sub>4</sub> +20mm 石墨+13mm 硼酸+2mm Pb <sup>1)</sup>	2.0	0.31
4	开门, 20mm 石墨+13mm 硼酸+5mm BaSO <sub>4</sub> +2mm Pb	0.8	0.25
5	开门, 48mm 石墨+18mm 硼酸+5mm BaSO <sub>4</sub> +2mm Pb	0.01	0.23
6	开门, 48mm 石墨+18mm 硼酸+5mm BaSO <sub>4</sub> +4mm Pb	0.01	0.17

注: 1) 防护材料的排列顺序系由内向外。

需要说明的是 本例所设计的迷路结构形式是可取的, 科学的; 而迷路墙及其他主、副防护墙厚度的设计过于保守, 因当初是按 18MV X 射线, 环境剂量控制到 0.5  $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$  设计的, 对迷路墙又要求特别加厚, 因墙外是控制室, 因此, 不符合最优化的原则。

4.2 防护门的屏蔽设计问题 本例实测结果, 迷路外口处中子和 X、 $\gamma$  射线的剂量率分别为 3.31  $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$  和 1.6  $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 。根据文献[2]介绍的计算方法, 若将中子和 X、 $\gamma$  射线的剂量率降至 0.25  $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ , 则需含硼聚乙烯 5.6 cm, 需铅 2.3 mm。实验中, 采用 48 mm 厚石墨作中子慢化剂+18 mm 硼酸作中子吸收剂(合计 66 mm 含硼石墨), 则中子剂量率即降至 0.01  $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 用 5 mm 硫酸钡(约相当于 1 mm Pb)和 2 mm Pb 板(合计约相当于 3 mm Pb), 即将 X、 $\gamma$  射线剂量率降至 0.23  $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 。计算数据与实验数据基本相符, 但是本例之防护门由防护器材厂商根据经验设计制造, 采用了 90 mm 厚石墨、23 mm 厚的硼酸粉和 13 mm 厚铅板。显然不符合最优化的防护原则。因此, 对防护门的屏蔽设计不能凭一般经验和一般计算方法, 必须全面考虑上述诸多影响因素。

4.3 防中子材料的层次排列问题 表 1 中第 3、4 两项实验所用防护材料及其厚度均相同, 仅层次排列有别, 结果表明, 第 4

作者单位: 1 济南军区总医院, 山东 济南 250031

2 山东省医学科学院

作者简介: 顾伟民(1956~), 男, 山东莱西人, 副主任技师, 主要从事医疗设备管理维修。

量保证措施, 配备专职检修人员, 定期做好机器的保养及检修。四是加大行政执法力度, 对质控性能问题较突出, 多年得不到

改进的旧机器, 要强制性的给予停用, 或淘汰、报废的处理。

(收稿日期: 2004-09-01)

## 福建省工业探伤的状况与对策

郭进瑞, 魏伟奇, 方国秋, 金益和, 翁振乾, 黄海潮

中图分类号: R146 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2005)02-0138-01

**【摘要】** 目的 了解和掌握工业探伤放射防护状况, 加强管理, 确保从业人员的健康与安全。方法 依据国家有关法律、法规和国家标准。结果 部分单位法制观念薄弱, 防护意识不强。结论 加强法规 标准宣传和预防性监督工作, 提高放射防护意识。

**【关键词】** 工业探伤; 放射防护; 状况; 对策

工业上广泛应用 X 射线或  $\gamma$  射线探伤技术来发现工件内部存在的缺陷, 分析其形成的原因和规律, 评价这些缺陷对工件使用性能的影响, 以便改进设计或工艺, 进一步提高产品质量, 降低生产成本, 避免恶性事故的发生。工业探伤在工业生产的许多部门如机械制造、地质勘探、石油、化工、冶金、航天和仪表工业中得到了广泛应用。为了解和掌握工业探伤放射防护状况, 加强管理, 确保从业人员的健康与安全, 笔者对福建省 1998~2003 年工业探伤的放射卫生现状与存在的问题和对策作简要的分析。

### 1 基本情况及存在主要问题

截止到 2003 年底, 我省现有工业探伤作业的单位共有 80 家, 其中福州市有 20 家; 各单位使用的工业 X 射线机共有 131 台,  $\gamma$  射线探伤机有 3 台, 用于移动式探伤机的有 83 台, 有固定探伤机房的单位有 35 家。全省从事工业探伤的放射工作人员共约 282 名。全省工业探伤主要应用在机械制造和维修、化工石油、电力等工业部门, 至 2003 年底, 已有 21 家以上工业探伤单位因各种原因停用工业探伤机。工业探伤持有有效许可证的单位只有 16 家, 约占 20%。国务院颁布的第 44 号《放射性同位素与射线装置放射防护条例》(以下简称条例) 第七条规定<sup>[1]</sup>: 任何放射工作单位必须在领得许可证后方可在许可证有效期内从事许可范围的放射工作。办证率低与工业探伤单位有关人员不了解有关法规和办证手续, 法制观念薄弱有关。持有有效《放

射工作人员证》从事工业探伤的工作人员有 171 人, 约占 60%。说明有 40% 的放射工作人员没有按规定进行健康体检和放射卫生防护知识的培训, 而卫生部第 52 号令《放射工作人员健康管理规定》第五条规定<sup>[2]</sup>: 放射工作人员持证后方可从事所限定的放射工作。按国家规定要进行经常性监测的单位只有 57 家, 占 71%。放射防护监测是国家法规规定的经常性监督管理的重要内容, 是保证放射工作人员及公众安全的必要手段, 而不少工业探伤单位对此不够重视, 认为是可有可无的, 有的单位甚至以各种理由拒绝监测。工业探伤单位普遍存在放射防护意识淡薄, 不遵守放射防护规章制度的现象。如大部分探伤室未经过预防性监督审查, 造成有些探伤室防护门屏蔽厚度不够或设计不合理, 导致防护门没有足够防护效果。有的单位专用探伤室的门窗没有进行任何的防护措施就直接进行探伤作业。有些移动式探伤作业人员因缺乏自我保护意识而受到照射的剂量水平也较高。虽然各工业探伤单位都能制定规章制度, 但有规章制度不依, 执行不严的现象时可见到, 如不少单位没有建立完善的工作档案(放射工作人员健康档案、放射工作人员个人剂量监测档案、放射防护监测档案), 不能正确佩戴外照射个人剂量计等。有些探伤室防护不符合要求。部分探伤室没有预防性监督、设计, 造成墙体防护厚度不够, 防护门也没有足够防护效果; 有的探伤室窗户没有任何防护屏蔽, 有的探伤室没有天顶棚, 这些易给探伤室外其他工作人员或公众造成误照射。有的探伤室门外没有设立警告装置、照射工作状态信号指示灯和“当心电离辐射”警示标志牌<sup>[3]</sup>, 还有的单位没有按要求安装可靠的门—机联锁安全装置<sup>[4]</sup>, 以确保防护门关闭后工业探伤机才能进行透照检查, 防止误照射事故的发生。

(下转第 143 页)

作者单位: 福建省职业病与化学中毒预防控制中心, 福建 福州 350001

作者简介: 郭进瑞(1974~), 男, 福建福清人, 医师, 从事放射卫生防护工作。

项的排列方式, 其防护效果明显优于第 3 项, 因为迷路外口处散射中子的平均能量仅 0.1 MeV 左右, 可直接与碳(C)原子通过弹性散射使其能量降至热中子而被硼(B)吸收, 不需要先经过与钡原子( $Z=56$ )的非弹性散射降低其能量。这与文献[3]中报道的最佳组合有相似之处。

#### 4.4 中子慢化剂与吸收剂

4.4.1 中子慢化剂 常用者有聚乙烯和石蜡。由于二者具有相同的  $\text{CH}_2$  基, 含氢量和密度均相近, 故大致可相互转换。本例实验采用了石墨作慢化剂, 其成分是碳(C)。石墨( $\rho=1.67 \text{ g/cm}^3$ )也是良好的中子慢化剂, 热中子俘获截面大, 次级  $\gamma$  产额小。本例实验初步说明, 对 0.1 MeV 的散射中子, 含硼石墨的半值层厚度初步估计约为 17 mm。但由于仅此初步实验, 而且测量的中子剂量率很低, 故难作定论, 有待进一步实验研究和验证。

4.4.2 中子慢化剂与吸收剂之配合比例 有关资料<sup>[4]</sup>提到含硼聚乙烯中含硼量大约为 5%。笔者设计采用分层法, 曾采用第一层为 70 mm 厚石蜡, 第二层为 15 mm 厚硼酸, 硼酸的厚度约为总厚度的 17.6%, 按单位体积重量计算, 硼酸含量约为 25%。由于硼在硼酸分子中的重量比为 17%, 故实际硼含量

应为 4.25%。本次实验采用 48 mm 石墨, 18 mm 硼酸。硼酸的厚度约为总厚度的 27%, 以重量计, 硼酸含量约为 24%, 换算成硼含量约为 4.08%。上述这两种分层比例经实测均满足了防护要求, 但究竟采取何种比例最佳, 尚需进一步研究。

(山东省疾病预防控制中心辐射防护安全所于夕荣副所长和李炜、张显鹏医师对中子、X、 $\gamma$  射线剂量的测量给予了大力支持与帮助, 特致谢意!)

#### 参考文献:

- [1] 陈敬忠, 龚怀宇. 医用电子加速器的防护[M]. 成都: 四川科技出版社, 2001, 92.
- [2] 张丹枫, 赵兰才. 辐射防护技术与和管理[M]. 南宁: 广西民族出版社, 2003, 397-398.
- [3] H. T. 古雪夫. 电离辐射防护[M]. 北京: 原子能出版社, 1988, 286-287.
- [4] 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 原子能出版社, 1999, 656.

(收稿日期 2004-10-18)