

不同治疗模式下医用直线加速器屏蔽计算及验证

Radiation shielding calculation and verification of medical linear accelerator under different therapy mode

杨悦, 熊川宝

(安徽省核工业勘查技术总院理化分析测试中心, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 对 10 MV 常规治疗模式和 6 MV 高剂量输出非均整(FFF)治疗模式下医用直线加速器机房外关注点剂量率水平进行计算和现场监测。结果显示, 不同治疗模式对机房周边辐射水平有较大影响, 主束方向应重点关注加速器功率, 防护门区域应重点关注加速器等中心最大剂量率; 在进行加速器机房防护设计时, 应做好选址、布局、分区、防护和管理, 做好机房的屏蔽设计, 确保防护门、屏蔽墙施工的可靠性。

关键词: 医用直线加速器; 高剂量输出非均整(FFF)治疗模式; 辐射防护

中图分类号: R144 文献标识码: B

文章编号: 1002-221X(2024)01-0087-03

DOI: 10.13631/j.cnki.zggyyx.2024.01.029

医用直线加速器作为肿瘤和镇痛治疗领域最为常用的放射诊疗设备, 其线束权重分配(IMR)和高剂量输出非均整(FFF)治疗模式, 在临床上展现出巨大优势^[1]。但由于 IMR 模式下治疗时长及 FFF 模式下出束剂量的增加, 使加速器机房的辐射防护工作变得更为困难^[2]。为提高我国核技术应用水平, 提升地方医疗服务能力, 保障辐射工作人员和公众的安全, 本研究以瓦里安 EDGE 型直线加速器为例, 结合理论计算和现场监测, 对比研究常规治疗模式(10 MV)、FFF 模式(6 MV)下机房周边剂量率水平的特点, 为加速器机房屏蔽防护设计提供相应的参考和建议。

1 对象与方法

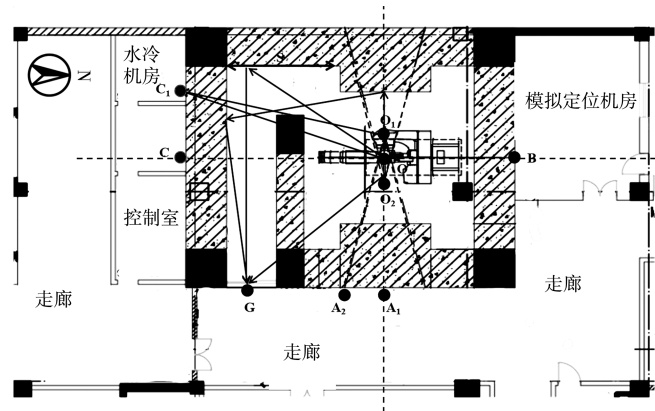
1.1 对象 瓦里安 EDGE 型直线加速器, X 射线最大能量 10 MV, 射线最大出射角 28°, 源轴距(SAD) 100 cm, 最大照射野 40 cm×40 cm, 机架±180°旋转, 电子线最高能量 22 MeV。其中, 10 MV 常规治疗模式的最大剂量率 6 Gy/min; 6 MV FFF 模式的最大剂量率 14 Gy/min。

作者简介: 杨悦(1994—), 女, 工程师, 主要从事地球物理与遥感地质、辐射防护监测、核素检测等工作。

通信作者: 熊川宝, 工程师, E-mail: chuanbaoxiong2018@126.com

加速器机房位于地下负一层, 采用普通砼浇筑, 东、西墙均采用内凸型主屏蔽设计, 室顶主屏蔽加钢板, 直迷路设计, 迷道口安装 15 mm 铅当量的防护门。加速器机房屏蔽情况和周围环境如图 1 所示。

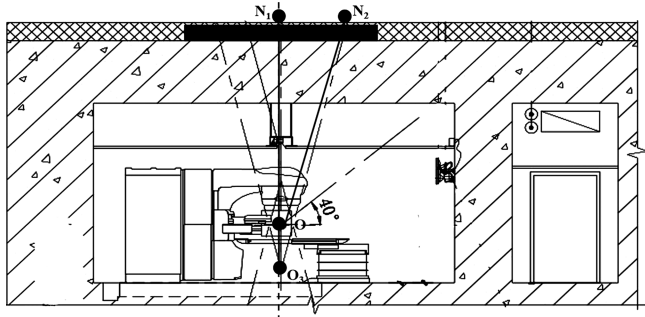
1.2 屏蔽计算 实际治疗条件下, 加速器往往在降低功率条件下进行调强治疗。本研究根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2—2011), 采用保守的参数选取, 对 10 MV 常规治疗模式、6 MV FFF 模式下, 加速器机房屏蔽体外 30 cm 处各关注点位置的辐射剂量率进行预测。其中, 墙体散射面积 20 m², 患者散射面积取 0.16 m²。关注点位置及辐射路径情况如图 1 和图 2 所示。



注: O₁—加速器东侧照射时出束口; O₂—加速器西侧照射时出束口; O—等中心点; A₁—东侧主屏蔽; A₂—东侧次屏蔽; B—模拟定位室侧屏蔽; C—控制室侧屏蔽; C₁—水冷机房侧屏蔽; G—防护门。

图 1 加速器机房屏蔽和周围环境俯视图

1.3 现场监测 采用经检定且处于有效期内的 FH 40G+FHZ 672E-10 型多功能辐射剂量率仪, 在关注点位置进行定点测量。检测时, 加速器照射野开至最大, 调整为 10 MV 常规治疗和 6 MV FFF 模式; 根据关注点漏散射线情况, 合理选择模体并调整加速器出束角度。



注：O₃—加速器向上照射时出束口；O—等中心点；N₁—顶部主屏蔽；N₂—顶部次屏蔽

图2 加速器机房周边关注点位置及辐射侧视图

2 结果

2.1 关注点处辐射水平计算结果 结合加速器机房

表1 10 MV 常规治疗和6 MV FFF 模式下各关注点处的剂量率计算结果比较

关注点	射线类型	距离 (m)	屏蔽材料及厚度	入射角度 (°)	10 MV 常规治疗模式(μSv/h)		6 MV FFF 模式(μSv/h)		10 MV 常规治疗/6 MV FFF
					分剂量率	总剂量率	分剂量率	总剂量率	
A ₁	有用线束	7.4	3 m 砼	0	6.6E-2	6.6E-2	1.6E-2	1.6E-2	4.13
N ₁	有用线束	6.005	1.4 m 砼+0.35 m 钢板	0	1.39	1.39	0.56	0.56	2.48
A ₂ 及对称点	泄漏辐射	7.39	1.8 m 砼	30	1.8E-3	5.0E-3	1.6E-3	3.3E-3	1.52
	散射辐射				3.2E-3		1.7E-3		
N ₂ 及对称点	泄漏辐射	5.78	1.4 m 砼	30	5.8E-2	0.2	6.3E-2	0.16	1.25
	散射辐射				0.14		0.10		
C	泄漏辐射	9.1	3.0 m 砼	0	1.2E-6	1.2E-6	6.8E-7	6.8E-7	1.76
B	泄漏辐射	6.0	1.8 m 砼	0	2.1E-2	2.1E-2	2.2E-2	2.2E-2	0.95
C ₁	泄漏辐射	9.1	1.8 m 砼	0	9.1E-3	9.1E-3	9.4E-3	9.4E-3	0.97
G	泄漏辐射	7.2	1.2 m 砼	30	0.32	0.37	0.40	0.54	0.69
	散射辐射				6.08+10.8		0.15 m 铅门		

注：根据砼和钢的TVL值，10 MV 常规治疗模式下1.4 m 砼+0.35 m 钢板=(140+37×35/10) 砼=257.7 cm 砼；6 MV FFF 模式下1.4 m 砼+0.35 m 钢板=(140+33×35/10) 砼=255.5 cm 砼。

表2 加速器机房关注点周围剂量率监测结果[μSv/h]

监测点位	10 MV 常规治疗模式	6 MV FFF 模式	监测条件
A ₁	0.14	0.14	90°朝 A ₁ 方向
N ₁	0.15	0.14	180°由下向上
A ₂ 及对称点	0.15	0.14	90°朝 A ₁ 方向；使用水膜
N ₂ 及对称点	0.16	0.15	180°朝机房顶；使用水膜
C	0.14	0.14	0°朝 A ₁ 方向；使用水膜
B	0.15	0.16	0°朝地面；使用水膜
C ₁	0.15	0.13	90°朝 A ₁ 方向；使用水膜
G	0.26	0.38	90°朝 A ₁ 方向；使用水膜
G	0.42	0.81	-90°朝 A ₁ 对面方向；使用水膜

注：监测结果未扣除本底值，仪器关机状态下操作位C点本底为0.13 μSv/h；检测值为相应点位区域的平均值。

3 讨论

两种模式下的剂量率水平越接近，表明不同模式

的实际设计情况及最大出束条件，分别对10 MV 常规治疗模式和6 MV FFF 模式下关注点位置处的周围剂量当量率水平进行计算。结果表明，机房东侧主屏蔽和南、北侧屏蔽区域的附加剂量率较低，机房顶及防护门区域则附加剂量率水平较高。见表1。

2.2 关注点处辐射水平测量结果 为验证屏蔽计算结果的可靠性，分别在10 MV 常规治疗模式和6 MV FFF 模式下对直线加速器进行现场监测(表2)。两种模式下，除防护门外G点，机房各关注点的周围剂量当量率均接近天然本底值。楼顶位置由于受房顶覆土以及水泥道路的影响，其辐射水平较理论计算值有所降低^[3]。6 MV FFF 模式下防护门处的剂量率水平明显高于10 MV 出束模式，同理论计算结果一致。

对关注点剂量率的影响越小^[4]。由表1可见，A₁点、N₁点、A₂及对称点、N₂及对称点、C点区域，10 MV 常规治疗模式的机房周围辐射水平高于6 MV FFF 模式；B点、C₁点区域，10 MV 常规治疗模式的机房周围辐射水平接近于6 MV FFF 模式；G点区域，10 MV 常规治疗模式的机房周围辐射水平低于6 MV FFF 模式。为此，在加速器机房的屏蔽设计中，针对主束区域应重点关注加速器的功率影响，对于机房门区域应重点关注加速器等中心最大剂量率的影响。

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130—2020)B.5.3.3中“对于剂量率仪，如果仪器的读数是本底范围最大值的2倍以上，才能确认还有其他辐射存在”及现场监测结果(表2)，在当前的防护模式下，除加速器防护门位置，其他区域防护未检出漏散射线。表明本项目加速器机房的辐射屏蔽效果满足规

范要求,能有效保证建设项目的安全性;但除防护门区域外,其他区域可能存在过度防护,建议针对“辐射防护的最优化原则”进行相应的设计优化。

在进行加速器机房设计的过程中,应按照相关标准的设计要求,做好选址、布局、分区、防护和管理,降低辐射影响,保障工作人员和公众健康;并结合加速器参数、安装位置和方向,科学设计加速器机房的屏蔽,确保防护门、屏蔽墙施工的可靠性,重点关注防护门的屏蔽设计,确保在加速器最大剂量率工作条件下,防护门的屏蔽厚度和密闭性满足相关要求。

(声明 本研究署名无争议,作者间无利益冲突)

参考文献

- [1] 孟令广,王元,程晓军.某医院Haleyon直线加速器机房辐射屏蔽评估[J].中国职业医学,2021,48(5):582-586.
- [2] 杨平,汪传文,李德龙,等.某医院医用电子直线加速器建设项目放射防护控制效果评价[J].中国工业医学杂志,2021,34(1):84-86.
- [3] 田源,宋一昕,冯泽臣,等.低能医用电子直线加速器的机房屏蔽设计方案国内外比较[J].中华放射医学与防护杂志,2020,40(12):895-902.
- [4] 彭建亮,李石银.医用直线加速器均整与非均整模式下加速器机房外周围辐射水平对比研究[J].中国医学装备,2019,16(11):160-162.

(收稿日期:2022-10-11;修回日期:2023-01-03)

某高新医疗产品企业职业病危害现状分析

Analysis on current situation of occupational hazards in a certain high-tech medical product enterprise

刘雅雯,王雪涛,徐洋,杨汉彬,贾晋阳,马奎

(国家卫生健康委职业安全卫生研究中心检测与评价室,北京102308)

摘要:采用职业卫生现场调查、职业卫生检测等方法,对某高新医疗产品企业职业病危害现状进行评价。结果显示,在正常生产情况下,各岗位工人接触的电焊烟尘、二氧化锡、二氧化氮和噪声等职业病危害因素的浓/强度能够控制在职业接触限值内,基本符合国家有关职业卫生标准、规范的要求。

关键词:医疗产品企业;职业病危害因素;评价

中图分类号:R135 **文献标识码:**B

文章编号:1002-221X(2024)01-0089-03

DOI:10.13631/j.cnki.zggyyx.2024.01.030

为贯彻执行《中华人民共和国职业病防治法》,维护劳动者的职业健康权益,我们于2021年对某高新医疗产品企业开展了职业病危害现状调查。

1 对象与方法

1.1 对象以北京市某高新医疗产品企业作为调查对象,针对该企业员工在指夹车间日常生产期间可能接触职业病危害因素的浓/强度进行评价,确定企业员工职业病危害因素接触水平。

1.2 方法

1.2.1 职业卫生调查包括原辅料使用情况,生产工艺流程、主要设备,职业卫生管理体系,企业工作

制度及工作内容、职业病危害因素及接触时间等。经过现场调查该企业涉及的职业病危害因素包括电焊烟尘、二氧化氮(NO_2)、二氧化锡和噪声。

1.2.2 职业病危害因素检测粉尘、化学毒物检测依据《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》(GBZ 159—2004)设置采样点。按照《工作场所空气中粉尘测定》(GBZ/T 192—2007)进行粉尘采样分析。使用AKFC-92A型矿用粉尘采样器、Omni5000IS型空气采样泵采样。按照《工作场所空气有毒物质测定》(GBZ/T 160—2004)进行化学毒物采样分析。 NO_2 使用EM-1500型气体采样器采样,二氧化锡使用FDS-30型粉尘采样器、Omni5000IS型空气采样泵采样。根据《工作场所物理因素检测》(GBZ/T 189—2007),使用YSD-130型检测仪测定噪声。

1.2.3 评价依据《工业企业设计卫生标准》(GBZ 1—2010)、《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素》(GBZ 2.1—2019)、《工作场所有害因素职业接触限值 第2部分:物理因素》(GBZ 2.2—2007)等标准对检测结果、防护设施等进行评价。

2 结果

2.1 基本情况该企业指夹车间主要生产指夹血氧仪,年产量约4万套,使用的原辅料为电子板PCB、屏幕(电子屏)和无铅锡丝(月用量15 kg)。主要生

作者简介:刘雅雯(1998—),女,助理工程师,主要从事职业卫生工作。

通信作者:王雪涛,主任药师, E-mail: 13146686168@163.com