

某医用电子回旋加速器辐射安全 and 环境影响的分析与评价

林 炬

中图分类号: R145 文献标识码: B 文章编号: 1004 - 714X(2007) 02 - 0199 - 02

【摘要】 介绍医用电子回旋加速器辐射安全与环境影响评价的方法, 重点介绍其机房墙壁的厚度确定及其他屏蔽措施的选择方法。
【关键词】 电子回旋加速器; 辐射安全; 环境影响

目前医用电子直线加速器已在江苏地区得到了广泛推广及运用, 成为各大型医院的必备治疗设备之一。但随着直线加速器使用技术的日益成熟, 其最高强度仅为 15MV 的 X 射线逐渐不能满足治疗的需要。由于直线型加速器受到加速轨道长度及机器外形的限制, 无法产生高于 15MV 的射线, 因此经过技术革新, 采取了回旋型加速器, 使得在保证机器外形不过于庞大的前提下能够产生更高能量的电子束。
2005 年, 某医院新建的内科医技楼进行初步设计时计划引进我省第一台瑞典 Scanditronix 公司研制的 MM 50(Medical Microtron 50 MV) 肿瘤立体定向放射治疗仪, 其工作原理与目前常见的电子直线加速器基本一致, 但最高射线强度可达 50MV, 因此对环境产生的辐射影响可能会更大。笔者试图从环境保护及屏蔽计算的角度分析与评价医用电子回旋加速器运行对环境的影响, 重点探讨回旋加速器在屏蔽要求方面与常见的直线加速器的不同之处。

1 辐射安全环境影响评价

1.1 评价依据^[1-4] 根据《辐射环境保护管理导则 - 核技术应用项目环境影响报告书(表)的内容和格式》(HJ/T10.1-1995)的规定, 50MV 的医用电子回旋加速器编制环境影响报告表。环境影响评价主要采用模拟类比测量法及经验计算法。调查内容主要包括: 机房选址是否适宜、平面布局是否科学、屏蔽设计是否合适、安全通风设施是否合理可靠、应急措施是否有效可行、拟建地点电离辐射背景值现状和周围是否有重要敏感保护目标等。通过对项目运行后对周围环境及工作人员影响的分析预测, 做出代价利益分析, 得出项目环境影响评价结论。

1.2 评价原则与标准 电子回旋加速器的评价原则与标准与目前对电子直线加速器的评价原则与标准一致。仍然严格执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《医用电子加速器卫生防护标准》(GBZ126-2002)等标准中的相关规定。

2 回旋加速器运行期环境影响分析

2.1 辐射环境影响分析 根据电子加速器的工作原理, 加速器运行对环境的主要影响是 X 射线和来自 X 射线产生的中子和感生放射性的影响, 以及射线电离机房内空气所产生的臭氧和二氧化氮的影响。医用电子回旋加速器同时使用电子线和 X 射线, 而 X 射线对屏蔽要求高, 因此, 在治疗室设计中, 只估算 X 射线与中子线的屏蔽。

2.1.1 X 射线屏蔽防护分析 X 射线屏蔽防护预测一般采用类比测量法或经验计算法。由于电子回旋加速器目前使用较

少, 保守起见采用经验计算法。MM50型回旋加速器性能指标有①电子线束: 10~50MV, 输出剂量 3Gy/min 电子线共 8 档, 每档相差 5MV; 照射野最大为 40cm×40cm(SSD=100cm), 只有对称野。②X 射线束: 10~50MV, 输出剂量 3Gy/min 50MV 能量最大剂量率为 2Gy/min 照射野最大为 40cm×40cm(SSD=100cm), 只有对称野。根据 Scanditronix 公司提供的设计图纸, 以及该医院计划将机房建于新建的内科医技大楼主体外的地下一房, 拟建的电子回旋加速器机房布局图见图 1。

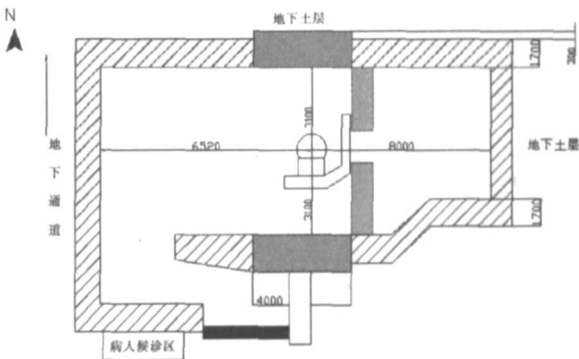


图 1 拟建机房周围情况示意图

2.1.1.1 主屏蔽墙厚度计算^[2]

B = Pd^2 / WUT (式 1)

式中: B—透射量, 相应于 B 值的屏蔽厚度可通过查图表读出; P—每周指定的剂量当量限值, mSv/week; d—加速器的等中心到考查点的距离, m; W—周工作负荷, 取 1 000mGy·m^2/Week; T—占有因子; U—使用因子。参照《γ 远距治疗室设计防护标准》(GBZ 1152-2002)中表 3 的内容: 全居留 T=1 的区域包括工作室、办公室、候诊室、居住区等常有人居留的地方; 部分居留 T=1/4 的区域包括公共走廊、人操纵的电梯、无人看管的停车场等有时有人居留的地方; 偶然居留 T=1/16 的区域包括公共浴室、厕所、少量行人车辆通过的地方。根据周剂量限值、并利用因子 U、居留因子 T 的选用值见表 1。

表 1 回旋加速器机房剂量限值、利用因子 U、居留因子 T 的选用值

| 位置 | 南墙 | 北墙 | 西墙 | 东墙 | 屋顶 |
|------------------|-----|------|------|------|------|
| 利用因子 U | 1/4 | 1/4 | 1 | 1 | 1/4 |
| 居留因子 T | 1 | 1/16 | 1/4 | 1/16 | 1/16 |
| 周剂量限值 (mSv/week) | 0.4 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |

将本项目有关参数代入公式, 求出 B 值, 从文献[2]的图 4-11 中查出相应的屏蔽墙厚度, 与设计厚度相比较, 根据比较结果做出设计合格与否的判断。(见图 2)图 2 中右起向左第一条斜线为 100MV 射线衰减曲线, 第二条斜线为 40MV 射线衰减曲线。由于两条线距离很近, 因此按照 100MV 曲线考虑 50MV 的射线的衰减情况。

作者单位: 江苏省辐射环境保护咨询中心, 江苏 南京 210036
作者简介: 林炬(1981~), 男, 江苏南京人, 助理工程师 从事辐射环境影响评价工作。

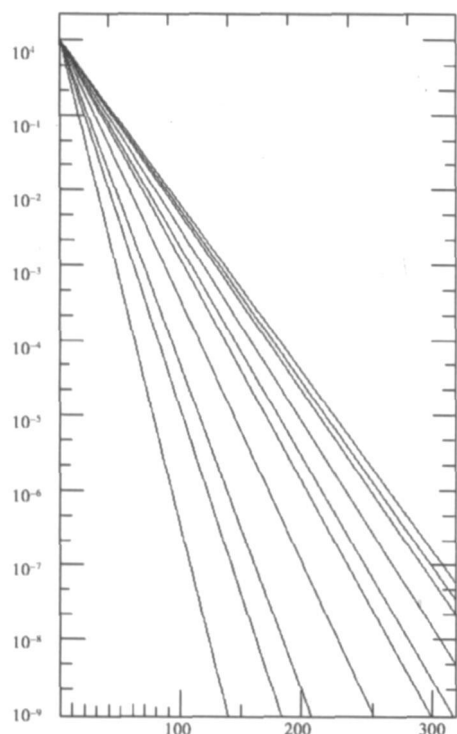


图 2 初级辐射主屏蔽材料的厚度(混凝土)

经计算,使用 $\rho=2.35\text{ g/cm}^3$ 的混凝土做屏蔽墙,50MV 的 X 射线需要的主屏蔽墙厚度为约 290cm,通过换算,使用 $\rho=3.5\text{ g/cm}^3$ 的混凝土做屏蔽墙,50MV 的 X 射线需要的主屏蔽墙厚度为约 194cm。

2.1.1.2 主屏蔽墙宽度计算^[2] 主屏蔽墙宽度根据几何原理计算,并考虑散射问题。主屏蔽墙宽度 AB 的计算公式:

$$AB = 1 + 2d \cdot \tan \theta_{1/2} \quad (\text{式 } 2)$$

$\theta_{1/2}$ 为射线最大出射角的一半, d 同式 1。

MM 50 型回旋加速器的最大照射野为 $40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$,靶至治疗床距离为 80cm,治疗床至墙外侧的距离为 5.4m,治疗床至房顶外侧距离为 4.7m,根据几何学知识,经计算,考虑散射的问题两边各加 0.5m 作为安全保证,南、北主屏蔽墙宽度应大于 280cm,屋顶主屏蔽墙宽度应大于 220cm。

(1) 漏射屏蔽计算通过计算漏射线的透射量,以确定屏蔽厚度,公式如下:

$$B_L = Pd^2 W_L U T \quad (\text{式 } 3)$$

式中: B_L —漏射透射量,相应于 B_L 值的屏蔽厚度可由透射曲线读出; d —从漏射辐射体到考查点的距离, m; W_L —加速器泄漏 X 射线量, mGy/Week; T —占有因子; U —使用因子; P —以每周的剂量当量表示的剂量限值, mGy/Week。将上述有关参数数值代入公式,求出 B_L 值,利用计算的 B_L 按 2β 有用线束能量查图 4 得到屏蔽厚度加上一个半值层 ($\Delta_{1/2}$)。

$$(2) \text{ 散射屏蔽计算 } B_s = Pd_i^2 \times d_s^2 W U T \alpha A \quad (\text{式 } 4)$$

式中: B_s —散射透射量; P —周剂量当量限值,同式 3 mSv/Week; W —周工作负荷,取 1000Gy/Week; T —占有因子; U —使用因子; d_i —靶至散射体的距离, m; d_s —散射体至参考点的距离; α —散射系数,由图中读出; A —照射野。将有关参数代入上述公式,即可求出屏蔽散射线所需的屏蔽墙厚度,在此基础上再叠加一个半衰减,与实际施工厚度相比较,根据比较结果做出设计合格与否的判断。由上图可知,厂家提供的设计图纸对于机房屏蔽墙的宽度与厚度的设计还是合理到位的。但是由于电子回旋加速器射线能量较高,散射线与漏射线的强度也较高,虽然根据理论计算可以满足屏蔽要求,但是出于最优化原则,建议布局做如下修改:沿拟建迷道西侧顶端向北再建一堵宽 200cm,厚 180cm 的屏蔽墙,成 L 型。建议将病人等待区由机房南墙外移至过道南侧,避免直接沿机房外墙建设,降低就诊患

者受照剂量,布局图见图 3。

表 2 回旋加速器机房主屏蔽墙和次屏蔽墙厚度计算结果

| 屏蔽墙 | 主屏蔽 (cm) $\rho=3.5\text{ g/cm}^3$ | | 次屏蔽 (cm) $\rho=2.35\text{ g/cm}^3$ | | 计算厚度 | | 屏蔽厚度 | |
|-----|-----------------------------------|-----|------------------------------------|-----|------|-----|------|-----|
| | 宽度 | | 厚度 | | 散射 | | 综合 | |
| | 计算 | 设计 | 计算 | 设计 | 散射 | 漏射 | 综合 | 设计 |
| 东墙 | / | / | / | / | 54 | 120 | 120 | 170 |
| 西墙 | / | / | / | / | 54 | 120 | 120 | 175 |
| 南墙 | 392 | 400 | 194 | 200 | 60 | 120 | 120 | 170 |
| 北墙 | 392 | 400 | 194 | 200 | 60 | 120 | 120 | 170 |
| 顶层 | 380 | 400 | 200 | 200 | 72 | 140 | 140 | 150 |

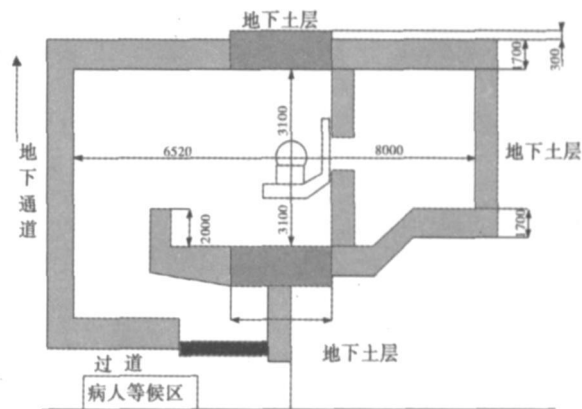


图 3 笔者建议的拟建机房布局图

医用电子回旋加速器治疗室的通风管道、水管及电缆管道在穿越屏蔽墙时,为了防止辐射经管道的泄露,管道应采取“U”型并低于地面 40cm 以上。

2.1.2 中子屏蔽防护分析与评价 当加速器 X 射线能量高于 10MV 时就需要考虑中子的屏蔽防护。根据分析与计算,就回旋加速器而言,机房防护墙只要满足屏蔽 X 射线的要求,对中子的屏蔽效果要比对 X 射线大 300 多倍,足以满足屏蔽中子的要求。因此机房防护墙不必考虑中子屏蔽计算。

2.1.3 防护门厚度确定 根据有关资料推算,由于 MM50 使用的是合金靶,则中子线强度最大约为 3MV。类比目前国内同样采用 MM 50 型回旋加速器的其他医院。防护门为加速器生产厂家 Scanditronix 公司订做,采用统一参数:屏蔽措施为 50mm 厚铅板,内含 120mm PVC 材料对 X 射线及中子线进行防护,外壳为 4mm 厚的不锈钢。根据生产商介绍,此种 PVC 材料为专用填充物,可满足中子屏蔽需求。根据目前卫生、环保部门已有的测量结论,只要建设方严格按照厂家提供的设计图纸进行施工,周围放射性环境均接近当地本底值,不会发生超标情况。

2.2 非辐射环境影响分析 回旋加速器产生的有害气体包括臭氧及二氧化氮,经专用的排风装置排入大气,通风口位于机房墙角地面,所有用于通风的管道均低于机房地面 40cm 以上,有效的避免破坏机房屏蔽效果。机房通风大于每小时 4 次,由于产生的量很少且分解迅速,因此不会对周围空气环境产生影响。

3 污染防治及安全措施分析

医用电子回旋加速器在污染防治及安全措施上的要求与直线加速器一致,但更加严格,须重点考虑规划布局、技术防治、安全管理等方面的因素。尤其要重视和防范可能产生的各种事故风险,如安全连锁装置失效,加速器工作时人员误入机房等情况。

4 讨论

医用电子回旋加速器与直线加速器在屏蔽措施、安全措施等方面有高度一致的相似性,所不同之处在于回旋加速器射线能量更高,因此在机房的屏蔽性,安全性上有着更高的要求。

Genie2000软件在环境样品测量中的应用

付 杰,张 京

中图分类号: TL816⁺9 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2007)02-0201-03

【摘要】 目的 通过对 Genie2000软件的应用, 提高对 γ 能谱分析软件的认识, 更加精确地完成 γ 能谱测量工作。方法 以环境样品为例, 介绍 γ 谱分析软件 Genie2000的应用。结果 规范 Genie2000分析放射性核素的方法。结论 通过对 Genie2000软件的熟练使用, 可快速、准确的分析环境样品中放射性核素的活度。
【关键词】 Genie2000软件; γ 能谱分析; 环境样品

随着 HPG α 能谱仪的发展和广泛应用, γ 能谱分析软件也得到不断地改进。一套优秀的软件不仅可在常规条件下为用户提供准确可靠的数据, 而且可在核辐射应急情况下准确、快速分析样品, 识别放射性核素并确定其含量, 为应急响应提供有力支持。Canberra公司制作的谱分析软件 Genie2000以其人性化的操作界面和准确、周全的计算程序赢得了用户的青睐, 笔者以环境样品的测量为例, 简单介绍 Genie2000软件的应用。

1 Genie2000功能介绍

本实验室 γ 能谱测量分析系统由 HPG α 探头、多道分析仪 DSA-2000、Genie2000软件及铅室组成。Genie2000基本谱软件仅能进行简单的谱分析(如寻峰、峰面积计算等), 但可通过安装兼容软件来实现其强大功能。与 Genie2000兼容的部分软件及应用领域见表 1。

表 1 Genie2000 兼容软件及应用领域

| 软件 | 中文名 | 应用领域 |
|---------------|-------------------------|------------------|
| Gamma V3.0 | γ 能谱获取和分析软件 3.0版 | 完整 γ 能谱分析 |
| ISOCs | 现场物体计数系统 | 现场无源效率刻度 |
| LabSOCS | 实验室无源效率刻度软件 | 实验室无源效率刻度 |
| Inspector1000 | 多功能数字化便携式 γ 谱仪 | 野外 γ 能谱测量 |

Genie2000基本谱软件安装 Gamma V3.0后, 可进行本底扣除、效率校正、核素标识、干扰校正、级联符合相加校正、测量几何条件描述、加权平均活度和 MDA(Minimum Detectable Activity)计算等。安装 ISOCs后, 与现场 γ 谱仪配合, 可在现场进行无源效率刻度, 快速完成样品的测量工作; 安装 LabSOCS后, 可完成实验室无源效率刻度, 省去了制作刻度源及执行相

关手续带来的不便。ISOCs和 LabSOCS软件均基于蒙特卡罗模型建立, 并通过了大量的实验验证, 可靠性值得信赖。安装 NaI2 \times 2和 Inspector1000后, 可针对配备 NaI探头的多功能数字化便携式 γ 谱仪的测量结果进行分析。

2 Genie2000应用程序

2.1 样品的采集和预处理 样品的采集和预处理可参照中华人民共和国环境保护行业标准 HJ/T 61-2001“辐射环境监测技术规范”推荐的方法执行, 如采集土壤样品时, 使用土壤采集器在 10m \times 10m 范围内, 采用梅花形布点或蛇形布点, 在未耕区取垂直深 10cm 的表层土。去除石块、草根等杂物, 混合后取 2~3kg 样品装在双层塑料袋内密封, 再置于布袋中保存。样品运至实验室后, 立即去除沙石、杂草等异物, 称重后置于搪瓷盘中摊开晾干, 碾碎后过 120目, 105 $^{\circ}$ C 烘干, 计算样品失水量, 装入样品盒, 称重, 备用^[1]。

2.2 样品的测量 本实验室使用的 γ 能谱仪系统为 Canberra公司生产的 DSA-2000数字谱仪, 探测器的技术指标: 对 1.33 MeV 能量分辨率为 1.71KeV, 相对效率 34%, 在 30-2000keV 的积分本底为 1.21cps。在测量开始前, 需对仪器进行预设。首先打开 Genie2000软件, File菜单下进入 Open Database 在这里可以选择 Detector或 File 前者是打开探测器, 后者是打开已存文件。另外, Genie2000能自动将其他类型的文件转换为本身识别的 CNF格式文件, 如 Ortec ADCAM、Oxford文件等。打开 Detector后, 在 MCA 菜单下进入 Acquire Setup选项, 这里可以设定测量时间、谱仪的道数、峰面积、计数和感兴趣区的选择等, 当到达设定值时, 电脑会自动停止测量。在 MCA-Adjust菜单下的 HVPS 确定所加高压, 本仪器推荐为 4000V。其他仪器参数一般由 Canberra公司人员设定, 这里不再阐述。样本信息可在 Edit-Sample information中输入, 包括样品名称、

作者单位: 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所, 北京 100088
作者简介: 付杰(1980~), 男, 天津人, 汉族, 在读硕士, 主要从事辐射检测与评价工作。

机房建设时在确保按照图纸进行施工的前提下, 一方面确保重晶混凝土的密度达到设计要求, 另一方面机房主体必须一次浇灌完工。此外电缆沟的深度、防护门的厚度、搭界宽度与缝隙宽度都是需要重点关注的对象, 根据加速器生产厂家提供的资料, 防护门内填充的防中子材料为特制的 PVC 材料, 具体成分不明, 究竟能否起到良好的防护效果尚需进一步研究。

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

科技大出版社, 2001: 92
[2] 张文启主编. 实用放射防护指南 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992: 3
[3] 张丹枫, 赵兰才. 辐射防护技术与管理 [M]. 南宁: 广西民族出版社, 2003: 397-398
[4] 顾伟民, 吴建军, 张丹枫. 对 15MV 医用直线加速器治疗室屏蔽设计的研讨 [J]. 中国辐射卫生, 2005 14(2): 137.
(收稿日期: 2006-09-20)