

# 移动式电子束术中放疗加速器机房的改造及辐射水平监测

周含 沈泽天 沈君妹 陈俊婷 朱锡旭 李兵

南京大学医学院附属金陵医院 中国人民解放军南京总医院 江苏 南京 210002

**摘要:** 目的 本文主要通过测量本院引进的一台移动式术中电子线加速器放疗系统周围的辐射水平 确保设备的辐射安全。方法 在最大的辐射状态下 垂直角度 左右 45° 条件下 运行术中加速器 测量加速器机房周围的辐射水平。结果 加速器的运行 导致加速器手术室及周围的辐射水平大幅上升 垂直向下方向 最高达 60 μSv/h 45° 方向略小于垂直方向; 靠近加速器中心的手术室墙面辐射水平较高。结论 术中放疗机房经过特殊改造 符合相关国家辐射水平的标准 简要介绍本院最新术中放疗设备 Mobetron 2000 机房的改造 以及环评验收等一系列流程 同时为设备的正常投入使用建立基本的质量保证。

**关键词:** 术中放疗; 环境评估 验收测试; 质量保证

中图分类号: R144.1 文献标识码: B 文章编号: 1004 - 714X(2017)04 - 0488 - 04

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2017.04.043

**Analysis the Reconstruction of the Machine Room for Mobile Linear Accelerator For Intra - Operative Radiation Therapy.** ZHOU Han , SHEN Ze - tian , SHEN Jun - shu , CHEN Jun - ting , ZHU Xi - xu , LI Bing. *Jinling Hospital , Nanjing University School of Medicine/Nanjing General Hospital of Nanjing Military Region PLA , Nanjing 210002 China.*

Corresponding Author: LI Bing , Email: lib99@163.com

**Abstract: Objective** Mobile linear accelerator for intra - operative radiation therapy is the new technology for the cancer treatment. **Methods** In the extremity radiation condition 0° and 45° directions ,run the accelerator ,measured the radiation level around the operating room. **Results** The radiation level rised sharply when the accelerator was running ,the max radiation level was 60 μSv/h . **Conclusion** The paper introduce the reconstruction of the machine room and environment assessment of acceptance testing for Mobile Linear Accelerator Intra - operative Radiation Therapy Mobetron 2000. And we will setup the basical quality assurance for the clinic.

**Key words:** Intra - Operative Radiation Therapy; Environment Assessment; Acceptance testing; Quality Assurance

术中放射治疗(Intraoperative Radiotherapy ,IORT) 是将放射治疗与肿瘤的手术治疗结合的一种全新的治疗技术 术中将肿瘤切除后对瘤床 淋巴引流区及可能侵犯的部位进行的单次大剂量照射的治疗方法<sup>[1]</sup>。在上个世纪 30 年代放疗发展初期 发达国家的一些学者就开始对 IORT 探索 但局限于当时的设备发展 未取得显著的临床效果 随着高能直线加速器的发展 术中放射治疗技术也慢慢的进入临床应用 至今已有近百年的历史。目前已成为了治疗早期乳腺癌和直肠癌等的有效辅助手段<sup>[2-4]</sup>。我院于 2015 年 7 月引进移动式术中电子线加速器放疗系统( Mebotron 2000) 使用之前对其中一间手术室进行特殊的改造 然后对改造的机房进行环评验收 保证了术中放疗机的安全使用 。

现将本院术中放疗机房的改造 环境评估及验收测试 汇总如下。

## 1 材料与方 法

1.1 材料 IntraOP 公司术中放疗设备 Mebotron2000 , QA 有机玻璃一块 ,Dosimeter AT1123 辐射检测仪以及 451P 型电离室巡测仪。

方法: 在最大的辐射状态下 垂直角度 左右 45° 条件下 运行术中加速器 测量加速器机房周围的辐射水平<sup>[5-6]</sup>。

1.2 辐射安全 术中放射治疗的过程中 射线在杀死肿瘤的同时 对放射治疗医生 护士 技术人员 手术间 周边无关人员都或多或少的受到一定的影响 因此辐射防护的安全是机房设计的首要考虑的问题<sup>[7]</sup>。

因为辐射防护要有针对性 所以需要分析 Mobe-tron 2000 术中放疗设备产生的辐射场类型<sup>[8]</sup>。在开

基金项目: 江苏省社会发展面上项目( BE2015688)  
作者简介: 周含(1991 -) 女 江苏宿迁人 硕士 物理师 从事肿瘤放射治疗物理技术的研究。  
通讯作者: 李兵 ,Email: lib99@163.com

机出束情况下,术中放射治疗手术室内会产生以下几种射线:①主射线辐射: Mobetron 2000 专用加速器采用限制在限光筒内的电子束射入肿瘤位置,电子束在人体内射程仅为几个厘米,基本上全部进入人体。因此,电子束不是室内辐射的主要来源。②漏射线辐射:从限光筒与人体组织之间缝隙泄露的电子束、以及束流损失造成的电子辐射也很少。因此,由于电子束泄露或束流损失造成的韧致辐射也非常少<sup>[9]</sup>。③散射线辐射:室内辐射场的剂量贡献主要来自于电子束射入人体后产生的韧致辐射<sup>[10]</sup>。

## 2 环境评估

2.1 环评标准 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)剂量约束值和《移动式电子加速器术中放射治疗的放射防护要求》(GBZ/T 257-2014)中周剂量控制水平(“专用手术室外的工作人员: ≤100 μSv/周,专用手术室外的公众人员: ≤5 μSv/周”与医院年工作时间 50 周之乘积)制定的本项目管理目标的要求:职业人员年有效剂量小于等于 5 mSv,公众年有效剂量小于等于 0.25 mSv<sup>[11-12]</sup>。

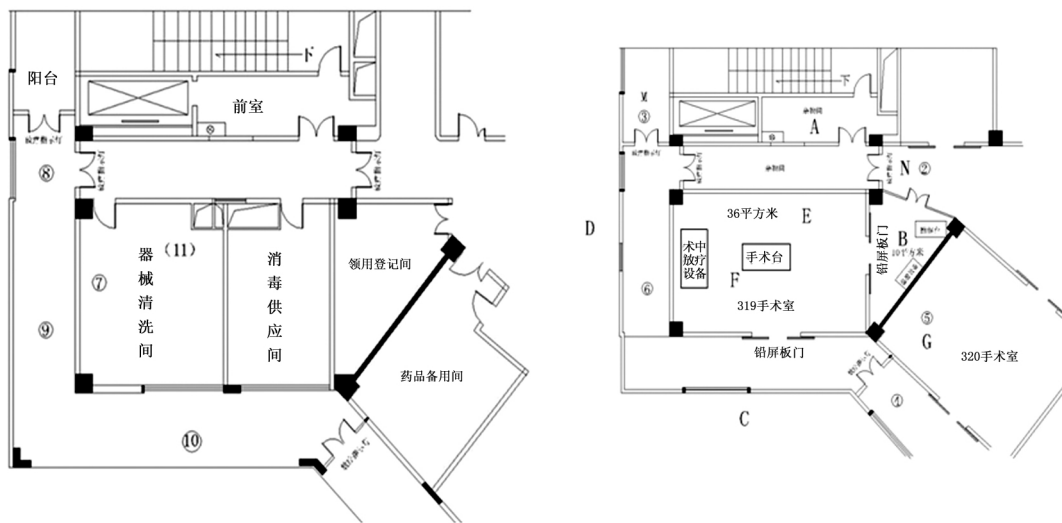


图 1 手术室二楼、三楼监测点位图

## 3 结果

3.1 移动式术中电子线加速器放疗系统治疗室的辐射屏蔽参数与剂量评估 移动式术中电子线加速器放疗系统 Mobetron 2000 采用向下治疗照射时的最高照射条件参数(12 MeV 电子束,照射野中心处最高治疗剂量率 300 cGy/min 和最大直径 10 cm 的限光筒)工况下测定<sup>[13]</sup>。由厂家提供 Mebotron 1000 的剂量分布图以及辐射剂量率推导出本院购置的系统专用手

本项目运行后术中放射治疗手术室控制区四周墙体及楼上楼下相邻房间的辐射屏蔽措施应满足 GBZ/T 257-2014 中“在术中放射治疗工作量每周不超过 10 人次的条件下: 1) 居留因子  $T \geq 1/2$  的场所,  $H_{cmax} < = 10 \mu\text{Sv/h}$ ; 2) 居留因子  $T < 1/2$  的场所  $H_{cmax} < = 20 \mu\text{Sv/h}$ 。

2.2 环境评估验收 专用手术室北侧原为楼内通道及电梯前室,现已封闭该层电梯门,原电梯前室及北侧走廊均作为杂物间堆放手术区杂物,专用手术室东侧为控制室,控制室门外为手术室内开展术中放射治疗时医护人员的临时等待区,控制室东侧为 320 手术室,属于项目环境敏感点,专用手术室西侧及南侧楼内走廊,一般较少有人通过,仅医护人员处理手术区手术后污物时通过;南侧及西侧走廊窗外 30 m 范围内无其他等高建筑;专用手术室楼下二楼为手术区器械清洗间及消毒供应间,医院工作时间均有在岗的清洗及消毒工作人员,开机出束时清场;专用手术室楼下一楼为医生会议室及办公室,医院工作时间均有在岗医生,属于本项目环境敏感点。手术室测量点图见图 1。

术室控制区外辐射水平的基本参数。

由图 2 可看出,专用手术室内,在离靶点 300cm 的位置,由图 3(a)(b)可知四周方向的辐射剂量率,最高值为 2.2 μSv/min(北 180 方向),4.4 μSv/min(东 90 方向),5.3 μSv/min(南 0 方向),4.8 μSv/min(西 270 方向);由图 2(c)(d)可知向上方向最高辐射剂量率为 4.0 Sv/min,向下方向最高辐射剂量率为 6.5 Sv/min。

该辐射剂量参考图为厂家提供的 Mobetron 1000

型号专用加速器在开机时候的周围辐射场,而本单位的术中放疗机为 Mobetron 2000,最高照射条件参数为:12 MeV 电子束,照射野中心处最高治疗剂量率 300 cGy/min 和最大直径 10 cm 的限光筒。在产生韧致辐射的电子线能量相同的前提下,韧致辐射剂量率

与电子线的剂量率成正比。因此本单位的 Mobetron 2000 移动式电子加速器周围辐射剂量值也相应缩小至图 2 测定值的 3/10。同时专用手术室控制区外的辐射水平的基本参数,见表 1。

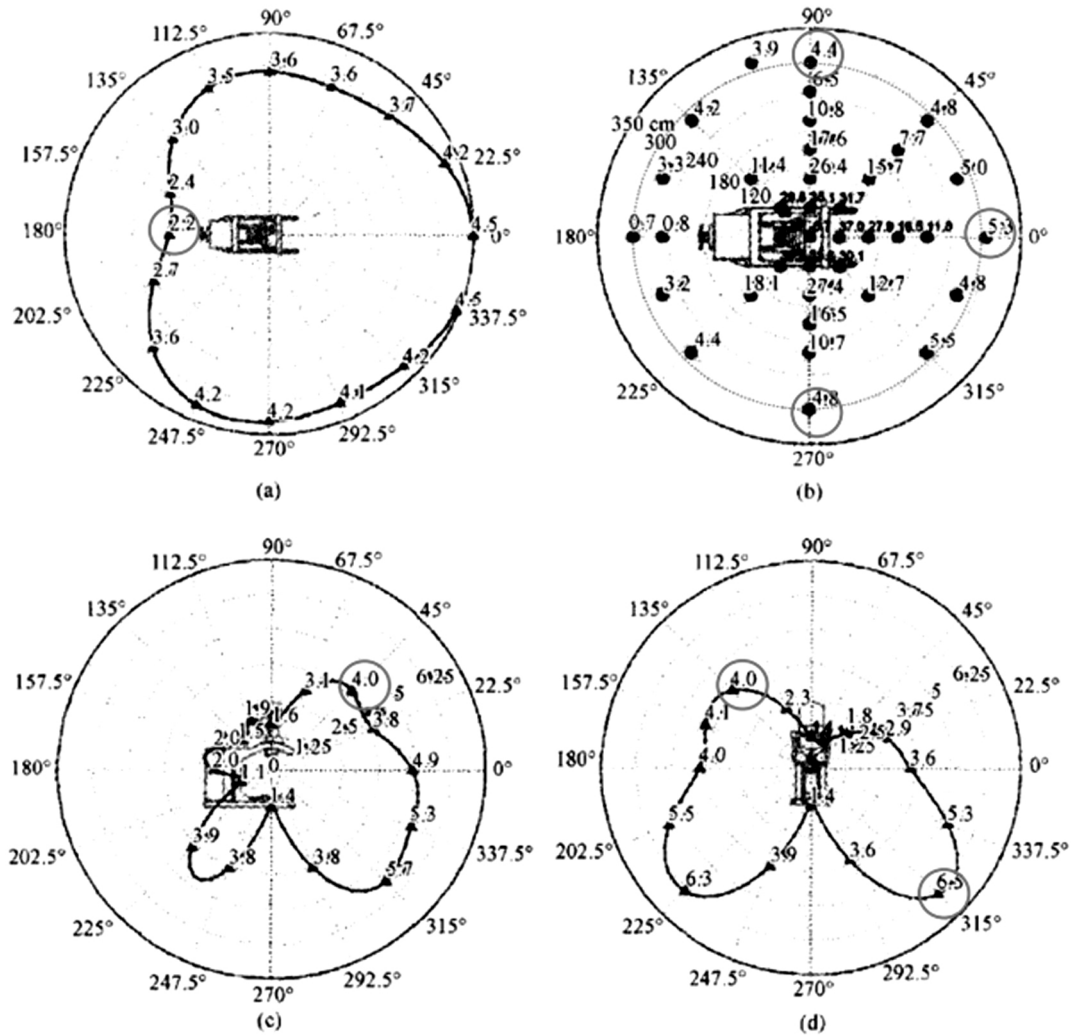


图 2 其中 a 为 Mobetron 1000 室内靶平面 (Z = 100) 上距靶 300 cm 处的剂量分布; b 为室内地面上距靶不同位置的剂量分布; c 为室内靶 X 平面上距靶 300 cm 处的剂量分布; d 为室内照射靶 Y 平面上距靶 300 cm 处的剂量分布。

表 2 确定用于估算 IORT 专用手术室控制区外围辐射水平的基本参数

参数	不同方位的辐射参数			备注
	楼下	水平面	楼上	
辐射能量 E (MeV)	12	7	7	参考《辐射防护导论》图 3.25(即 NCRP51 的 E.6)
300 cm 处的剂量率(μSv/h)	最大值 117	北:最大值 39.6 东:最大值 79.2 南:最大值 95.4 西:最大值 86.4	最大值 72	靶点剂量率 1.8* 10 <sup>8</sup> μSv/h
TVL 铅 (mm)	51	50	50	参考《辐射防护技术与管理》
TVL 砼 (mm)	40.6	35.4	35.4	

3.2 术中放射治疗专用手术室内外的辐射场所剂量分布及点测试数据 根据《移动式电子加速器术中放射治疗的放射防护要求》(GBZT 257 - 2014) 中的防护要求,结合本项目已改造完成的现场实际情况,

共设置周围剂量当量的辐射剂量率监测点位 12 个。周围剂量当量监测结果见表 2。

表 2 结果表明改造后的手术室周围环境中,二楼及三楼控制区辐射范围内辐射剂量率水平较高,一楼

医生办公室及各投影房间满足辐射水平的要求。

3.3 术中放射治疗专用手术室内外的辐射场所整改方案 楼下二楼清洗间西侧走廊以及南侧走廊等辐射水平超过 10  $\mu\text{Sv/h}$  鉴于可能在治疗的过程中工作人员可能的通行路径。由于手术室年份较长,无法重新实施建筑整改,也无法在原来基础上在添加铅皮,因此后面的整改过程中,我们将两条走廊划入控制区。在二楼器械清洗间西侧走廊和南侧走廊入口处

安装与专用加速器联锁的安全门,三楼专用加速器开机时走廊内无人逗留,并且一旦安全门联锁,工作人员将无法开启二楼的门禁,楼下门禁失效,确保了在治疗的几分钟内工作人员以及其他人员的安全。调整控制区后,在专用手术室周出束时间为 1.11 h 的前提下,专用手术室上述环境敏感点及关注点年有效剂量均能满足环境评估的目标要求,改造后的术中放射治疗手术室保护目标一览表。

表 2 环境贯穿辐射剂量率监测结果

序号	监测点位描述	监测结果( $\mu\text{Sv/h}$ )	备注
1	三楼已改造的术中放射治疗手术室 东侧控制室控制台( B 点)	3.8	开机工况: 电子线能量 12 MeV , 出束剂量率 300 cGy/min
2	北侧走廊安全门外( N 点)	2.2	
3	西侧走廊安全门外( M 点)	0.22	
4	南侧走廊安全门外	0.97	
5	320 手术室( G 点)	0.11	
6	控制区内西侧走廊上( 与专用加速器 之间距离约 2 m)	36	
7	二楼 控制区内二楼器械清洗间内	38	
8	器械清洗间西侧走廊( 偏北)	1.83	
9	器械清洗间西侧走廊( 偏南)	14.1	机头角度垂直向下
10	器械清洗间南侧走廊	16.7	
11	一楼 医生办公室( 投影房间)	1.3	
12	外科大楼西侧楼下( 离楼西墙约 5 m)	0.5	

表 3 术中放射治疗手术室保护目标有效剂量估算一览表

序号	监测点位描述	实测结果( $\mu\text{Sv/h}$ )	居留因子	年有效剂量( mSv)
1	三楼已改造的术中放射治疗手术室 东侧控制室控制台( B 点)	3.8	1	0.209
2	北侧走廊安全门外( N 点)	2.2	1/16	0.008
3	西侧走廊安全门外( M 点)	0.22	1/16	<0.001
4	南侧走廊安全门外	0.97	1/16	0.003
5	320 手术室( G 点)	0.11	1	0.006
6	器械清洗间西侧走廊( 偏北)	1.83	1/16	0.006
7	一楼 医生办公室( 投影房间)	1.3	1	0.072
8	外科大楼西侧楼下( 离楼西墙约 5M)	0.5	1/4	0.007

从表 3 可以看出,对于 12MeV 高能电子束,各监测点位的有效剂量等符合辐射防护的安全标准<sup>[14-15]</sup>。

Mobetron 系统主要使用的电子线能量为 6,9,12 MeV 在临床的使用过程中,出束等待时间半分钟,散射较大,且临床应用中单次剂量较大,相对生物效应远大于常规放射治疗剂量<sup>[16-18]</sup>,因此更加注意系统的质量保证及辐射防护,保证病人与临床工作者的利益。

4 讨论

对于手术室的辐射安全,所有的术中参与人员都非常关心,在术中的过程中不仅要保护病人的辐射安全,工作人员的自身安全也是十分重要的,尤其是术中放疗机置于麻醉科内,如何打消外科医生,麻醉医生,护士等的顾虑,也是我们需要考虑的,在机器验收的同时,我们也对专用手术室周边的辐射剂量进行了测量。

从表 1 可知,二楼的清洗间及消毒供应间漏射量较大,高达 117  $\mu\text{Sv/min}$ ,由于专用手术室在就的手术间的基础上改造,考虑到楼层承重墙的承载能力,在

专用手术室内铺设的铅皮厚度有限 ,加上机器本身自带的 Beam Stopper 具有阻挡部分射线的功能 ,减少直射时的剂量辐射 ,我们在 Beam Stopper 四周额外铺设了铅皮 ,周围墙体由于墙壁上一些麻醉设备的影响 ,本身的墙体比较薄弱 ,也是周围漏射量高的一个原因。

经过改造过后的手术室 ,测量的周围剂量当量如表 2 所示 ,控制西侧走廊及二楼清洗间较高 ,由于西侧为设备的存放地人员较少经过 ,二楼 ,目前我院的术中放疗患者较少 ,月工作负荷为 1 例左右 ,目前治疗的 10 例患者都为保乳手术 ,照射剂量为 15 ~ 20 Gy 左右 ,远远小于极限照射 ,最大漏射的二楼清洗间 ,我们在后期的规划中将其划入控制区内 ,出束期间禁止工作人员及普通公众出入。

在我院购进 Mobetron 2000 移动式术中电子线加速器放疗系统并进行验收的半年来 ,其环境评估 ,验收测试都得到了充分验证 ,符合临床的使用要求。本文亦将会给安装类似设备的单位提供有价值的参考 ,共同推进术中放疗设备在国内的应用。相信随着术中放疗机与手术治疗的联合应用 ,将会使更多的肿瘤患者得到更及时的治疗 ,其应用对象也将越来越广泛。

参考文献

[1] 唐劲天. 肿瘤手术中放射治疗技术(一) [J]. 中日友好医院学报 2000 ,14(2) : 121 - 123.

[2] 李明辉 ,符贵山. 移动式术中放疗 Mobetron 加速器的测试 [J]. 中华放射肿瘤学杂志 2009 ,18(4) : 322 - 325.

[3] 金大伟. 可移动式电子直线加速器术中放疗的辐射防护 [J]. 2007 全国放射肿瘤学学术年会. 2007.

(上接第 479 页)

3 小结

不同的密封时间 ,锆英砂中<sup>238</sup>U、<sup>232</sup>Th 和<sup>40</sup>K 的测量值很稳定 ,密封时间对这三种天然核素的测量值不产生影响。相对于<sup>238</sup>U、<sup>232</sup>Th 和<sup>40</sup>K 的测量值 ,随着密封时间的不同 ,锆英砂中<sup>226</sup>Ra 的测量值产生一定的波动 ,波动范围在 98% ~ 100.5% 之间 ,这种波动不会给出入境监管部门对于锆英砂放射性的监管带来影响 ,可忽略不计。因此 ,对进口锆英砂中四种天然核素<sup>238</sup>U、<sup>232</sup>Th、<sup>226</sup>Ra 和<sup>40</sup>K 比活度的表征 ,可以在拿到样品后第一时间进行 ,无需密封等待 ,密封时间不会影响测量值的准确性。

[4] 华长江 ,王晓萍. 现代术中放疗的进展 [J]. 临床肿瘤学杂志 , 2012 ,17(4) : 375 - 378.

[5] 沈文同 ,陈毅 ,张毅斌 ,等. 术中放疗加速器 Mobetron 的临床运用测量及质量保证方法 [J]. 医学理论与实践 2015(5) : 586 - 588.

[6] 韩春彩 ,严源 ,陈春燕 ,等. 一台术中放疗用加速器工作场所辐射水平分析 [J]. 中国辐射卫生 2012 ,21(1) : 73 - 75.

[7] 彭建亮 ,娄云 ,马永忠 ,等. 关于赛博刀机房的辐射屏蔽计算与评价 [J]. 中国辐射卫生 2010 ,19(2) : 165 - 166.

[8] 许鸣 ,华长江 ,赵锐 ,等. 移动式术中放疗系统的工作原理及临床应用 [J]. 中国医疗设备 2011 ,26(10) : 84 - 85.

[9] 方杰. 辐射防护导论 [M]. 1991: 原子能出版社.

[10] 王连元 ,曾逊闻. 电子束术中放射治疗 (IORT) 的临床剂量学 [J]. 解放军医学院学报 ,1990(3) : 266 - 268.

[11] 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 [C]//. 放射防护及劳动卫生学术交流会暨 2011 年稀土环保与新技术论坛 2011.

[12] 华宏雨. 移动式术中放疗电子加速器手术室剂量场与防护实验研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志 2012 ,32(6) : 652 - 655.

[13] 姜瑞瑶 ,黄国锋 ,熊霏 ,等. 术中放疗深度剂量、表面剂量及漏射线的剂量研究 [J]. 中国医学物理学杂志 2007 ,24(3) : 168 - 169.

[14] 马永忠 ,万玲 ,娄云 ,等. 移动式加速器术中放射治疗辐射场剂量水平的测量与分析 [J]. 首都公共卫生 2012 ,06(4) : 150 - 154.

[15] 任如龙. 医用电子直线加速器 [M]. 医学研究生学报 ,1994(1) : 99 - 100.

[16] 鞠忠建 ,巩汉顺 ,任世旺 ,等. 术中放射治疗手术室周围环境辐射防护分析 [J]. 医疗卫生装备 2011 ,32(6) : 107 - 109.

[17] 曾逊闻. 现代肿瘤术中放射治疗学 [M]. 1996: 人民军医出版社.

[18] 徐鹏 ,程素洁. 术中放疗与外科手术联合治疗骨恶性肿瘤临床研究 [J]. 中国辐射卫生 ,2014 ,23(5) : 470 - 471.

收稿日期:2017-03-21 修回日期:2017-06-11

参考文献

[1] 虞平. 近两年我国锆英砂及其精矿进口情况分析 [J]. 稀有金属快报 ,2007 ,26(8) : 20 - 24.

[2] 林振汉. 我国锆英砂矿的放射性分析 [J]. 稀有金属快报 , 2005 ,24(9) : 35 - 37.

[3] 国家质量监督检验检疫总局. 进口矿产品放射性检验规程 [S]. SN /T1537 - 2005. 北京: 中国标准出版社 ,2005.

[4] 中华人民共和国工业和信息化部. 锆精矿 [S]. YS/T 858 - 2013 ,北京: 中国标准出版社 ,2013.

[5] 唐碧华 ,白立新 ,王辉东 ,等. HP Ge  $\gamma$  谱仪体源探测效率与射能量和体源密度的关系 [J]. 核电子学与探测技术 2006 ,26(5) : 683 - 686.

收稿日期:2016-08-18 修回日期:2017-04-08