

【监测技术】

一种小物体 α 表面污染测量装置设计

刘建忠,王 勇,姚小丽,刘惠英,周彦坤

中图分类号: TL75 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2012)01-0078-02

【摘要】 目的 介绍了一种针对小物体的 α 表面污染测量装置设计,解决这些小物体 α 表面污染难以直接测量的难题。方法 利用 α 粒子比电离大的特点,利用测量其电离电流的方法来估算 α 放射性核素的活度。结果 设计了一套针对小物体的表面污染测量装置,对装置进行了实验验证。结论 这种方法能有效解决因 α 粒子射程太短给实际工作带来的难题。

【关键词】 α 粒子; 表面污染; 电离电流

核电厂在换料大修期间一般都有打开一回路压力边界的检修作业,此时,操作人员拆下的各种部件、所用工具、防护用品等小物体极易被一回路水所污染,因此,这些小物体在出控制区时必须进行表面污染的监测。由于这些物体的表面一般都呈不规则形状,也几乎没有平整表面,监测时一般只能进行 β 表面污染测量或测量其 γ 放射性来反推表面污染数据。

为解决上述实际工作中的难题,我们基于本课题组研发的 α 粒子间接测量技术,设计了一套小物体 α 表面污染测量装置,并对实验装置进行了实际测试。

1 小物体 α 表面污染测量装置设计^[1-4]

实验装置主要包括预过滤装置、样品室、离子捕集器、抽气装置、电子学线路和电源等部分组成。其结构示意图如图 1 所示。

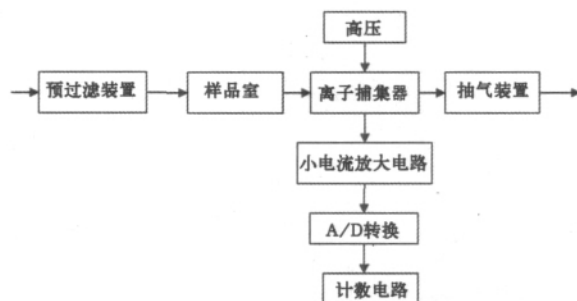


图 1 小物体 α 表面污染测量装置结构示意图

1.1 结构材料 由于 γ 射线与物质相互作用的主要反应截面都与物质的原子序数有关,为降低本底,本实验装置的主要功能部件均采用铝合金为主要材料来制作以降低结构材料原子序数,降低装置本底。

作者单位: 中国辐射防护研究院,山西太原 030006

作者简介: 刘建忠(1969~),男,副研究员,从事辐射监测和剂量学研究工作。

(上接第 71 页)

3 放射性职业病危害因素控制效果评价讨论及建议

经过现场各防护点的检测,估算探伤室工作人员人员操作时所致的最大辐射水平低于年剂量限值的 1/25。

建立严格规范的探伤室工作人员管理制度及操作规程;建立放射防护领导小组,确保探伤工作的安全顺利进行。

探伤室工作人员操作人员应参加放射卫生法律法规、放射防护知识和专业技能的培训,并参加上岗前及上岗期间职业性健康检查,尽早发现职业禁忌症,确保探伤工作人员及患者的健康安全。^[3]

4 控制效果评价结论

1.2 预过滤装置 空气中的灰尘和自由离子(被天然本底辐射或其它原因电离的离子)能抬高仪器的本底,影响其探测限和灵敏度,需在样品室的入风口处加装预过滤装置以消除它们。灰尘过滤使用 0.5 mm 薄海绵,在保持一定风压的基础上尽量提高过滤效率。自由离子的清除采用一个内部有高压电场的装置来完成,外部形状为扁盒状,内置栅网电极,电极加直流高压,自由离子在电场的作用下被清除。

1.3 样品室 样品室用来放置被测样品,其尺寸要能容纳常用的工具和防护用品,如:电钻、螺丝刀、安全帽等。样品室的外形尺寸初步设计为:350mm×350mm×260mm;由于被测物体可能带有易脱落的放射性污染物,为防止二次污染,样品室的样品托盘应能方便的更换或清洁;样品室的门应有一定的密封性能,防止未经过滤的空气直接进入离子捕集器。为保证被测样品四周都能被气流吹到,样品室底板能以 10 转/min 的转速旋转。

1.4 离子捕集器^[5] 离子捕集器是本装置实现测量功能的关键部件,被 α 粒子电离的离子对被气流载带,到达离子捕集器后,在离子捕集器射电场的作用下分别向正负电极运动,从而在正负电极中感应出电流,这个感应的微弱电流被电子线路记录下来,就是 α 粒子的电离电流,与 α 粒子的活度成正比,经实验刻度后即可反推得到 α 粒子的活度值。离子捕集器结构示意图如图 2 所示。

离子捕集器的性能直接决定着整个装置的性能,离子捕集器设计主要包含离子捕集器结构设计、电极结构、绝缘设计。离子捕集器按形状有筒状和盒状,电极结构又包括金属丝、金属筒、金属板和金属栅网几种。根据前期工作的经验:筒状离子捕集器结构简单,气流的平顺性好,但其电场的梯度大,工作电压高、本底高,信噪比低;丝状和筒状电极主要匹配筒状离子捕集器,共同存在电场的梯度大,工作电压高、本底高,信噪比低的缺点及结构简单、气流平顺性好的优点;平板状电极则会

该探伤室建设项目放射防护设施的防护效果良好,各项安全防护措施有效,达到了国家放射防护标准的要求。正常运行情况下,对工作人员及公众的健康产生的影响可得到有效的控制,能够预防和控制潜在照射的发生,具备正式运行条件。

参考文献:

- [1] 郭荣华,康智忠,曹丽娟,等.某公司新建 X 射线探伤室建设项目放射性危害因素预评价[J].中国辐射卫生,2010,19(4):474.
- [2] GBZ117-2006 工业 X 射线探伤室卫生防护标准[S].
- [3] 张钦富,吕玉民,程晓军.电离辐射与防护[M].郑州:河南医科大学出版社,1990.

(收稿日期:2011-05-18)

严重影响抽气装置的工作效率。因此本实验装置拟选择盒状金属栅网离子捕集器。本实验装置的电极直流高压的具体数值将来由实验确定。

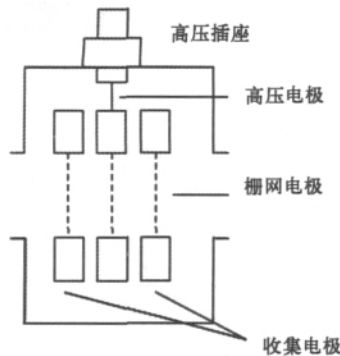


图2 电离室结构图

1.5 抽气装置 抽气装置将样品室内的空气以一定的速率抽至电离室。被 α 粒子电离的离子以一定的速率进行复合,如复合率较高将使严重影响装置的探测下限和灵敏度。离子复合率与风速有关,实验装置的风速值通过实验选取。抽气装置的风扇选用交流轴流风扇,型号:DP200A,额定电压220V,频率50/60Hz。

1.6 电子线路 电子线路主要完成信号的放大、整形、A/D转换、计数和输入输出,包括小电流放大电路、A/D转换和计数电路。小电流放大电路(静电计)是整个电子线路的关键。本实验装置的小电流测量要求达到 10^{-14} A;其电路结构包括电阻式、V/F变换式和动电容式等,V/F变换式的测量精度达不到本实验装置的要求,动电容式静电计的测量精度最高,但体积过大,使用不便,因此使用自行研制的V-F变换型静电计。

1.7 电源电源 部分包含直流低压、直流高压、工频220V交流。直流高压分两路,一路供预过滤装置,另一路供离子捕集器;直流低压向电子线路供电;220V交流供风扇。

1.8 实际装置外观图 图3为测量装置外观照片。

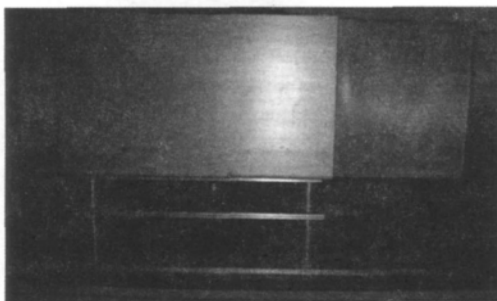


图3 小物体 α 表面污染测量装置

2 小物体 α 表面污染测量装置性能实验

2.1 本底电流 本装置为开放式结构,受环境辐射、气候等条件影响较大,装置的本底电流并不是一个固定值,而经常波动在11~44fA之间。最大值出现在夏秋之交,最低值出现在春末,年平均值为 26.4 ± 8.6 fA($n=31$)。

2.2 装置的线性、灵敏度与探测限 α 粒子探测器必须知道其线性范围,否则难以进行实际使用。为检验实验装置的这一性能,选取4个活度差距较大的 ^{239}Pu 源,活度范围为11.13~4265.0Bq,分别测出电离电流,表1列出了各 α 源的有关参数及测出的相应电离电流值。

由表1可知,若平均刻度系数取为0.153Bq/fA, α 源活度从 10^1 Bq到 4×10^3 Bq之间,由净电离电流测量值算得的源活度,误差不大于2%。由表1所列数据可得到净电离电流 y (fA)与源活度 x (Bq)之间的直线回归方程

$$y(\text{fA}) = -0.697 + 6.619x(\text{Bq}) \quad (1)$$

表1 ^{239}Pu α 源活度及电离电流

源序号	活度 (Bq)	净电离电流 (fA)	刻度系数 (Bq · fA ⁻¹)	平均刻度系数 (Bq · fA ⁻¹)
1	11.13	71.6	0.155	0.153
2	102.8	681.2	0.151	
3	748.0	4950.2	0.151	
4	4265.0	27350	0.156	

对活度为4265.0Bq的这个源,由于生成的空间离子密度较大,复合较明显,电流测量值较预期(直线回归)值偏低约3.2%。

仪器的灵敏度可视作其直线方程的斜率。则实验装置的灵敏度为6.619fA/Bq。仪器探测限的表达式为:

$$L_D = K_\alpha S_0 + K_\beta S_D \quad (2)$$

其中 S_0 、 S_D 分别为本底电流及样品电流(包括本底)测量值的标准偏差,当样品的测量值接近本底时, S_D 趋于 S_0 。

现以11.13Bq的源为例,测量时的本底电流为 14.84 ± 0.78 fA,源的电流测量值为 86.45 ± 3.53 fA。设 $K_\alpha = 2$, $K_\beta = 3$,则

$$\begin{aligned} L_D &= 2S_0 + 3S_D = 2 \times 0.78 \text{ fA} + 3 \times 3.53 \text{ fA} \\ &= 12.15 \text{ fA} = 1.84 \text{ Bq} \end{aligned}$$

L_D 的置信概率为97.7%,误判率为0.15%(单侧)。

2.3 灵敏区分布 室内部为 $300 \times 300 \times 220$ mm的长方体,其中流过的气流不可能处处均匀,因此在样品室不同位置 α 源的测量值应当有所不同,为测试这种不均匀性,将一 ^{239}Pu 源放在样品室内不同位置,测量其电离电流值并进行比较。图4为不同区域的灵敏度分布。图中数字表示相对值,以电流的最大测量值为1.000。图中以中间区域效率最高,上下两侧偏低且对称,微小差别是由本底及测量值的统计涨落引起的。

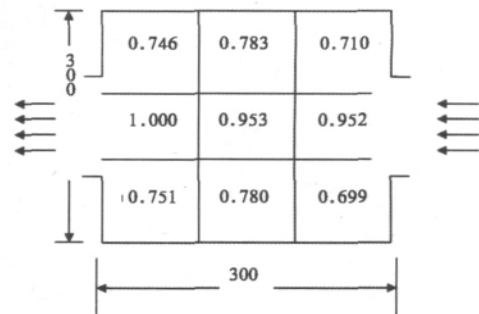


图4 灵敏区分布图

2.4 探测范围实验

2.4.1 探测下限实验 将一单位面积活度为 0.27 Bq/cm^2 的源置于样品室内,测得平均净电离电流为 3.581×10^{-13} A。

2.4.2 总活度探测下限实验 将一总活度为8.78Bq的源放入样品室中,测得的平均净电离电流为 9.86×10^{-14} A。

2.4.3 探测上限实验 实验将多个面源同时置入样品室进行测量,实验中将 ^{241}Am 源(5.39MeV)的表面粒子发射率按能量归一到 ^{239}Pu (5.14MeV)。 α 面源总活度 $1.57 \times 10^4 \text{ Bq/cm}^2$,测得电离电流值为 3.02×10^{-11} A。

2.5 装置对 β 、 γ 辐射灵敏度实验 进一步检验小物体 α 表面污染测量装置的实用性能,进行了 β 、 γ 辐射的灵敏度实验,分别将 β 、 γ 源放入样品室,测量电离电流并与测量 α 粒子的灵敏度进行比较,测量结果如表2所示。

表2 长距 α 探测实验装置对 β 、 γ 的响应

源	源强(Bq)	电流测量值(fA, 去本底)	比值(fA/Bq)
$^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ β 源	1×10^7	4.79×10^5	4.79×10^{-2}
^{241}Am γ 源	2.2×10^8	4.0×10^4	1.82×10^{-4}
^{239}Pu α 源	3.1×10^3	2.9×10^4	9.35

一种便携式热释光剂量测量系统的校准

杨新芳 赵进沛 李秀芹 杨会锁

中图分类号: TL816 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2012)01-0080-01

【摘要】 目的 建立一个移动式热释光剂量测量系统实验室自校准方法。方法 利用自备辐照器对热释光探测器进行定量照射,然后用已经检定的实验室标准剂量测量系统检测获得个人剂量当量值 $H_p(10)$,以此剂量当量值 $H_p(10)$ 作为约定真值,用相同的受照探测器在便携式热释光剂量读出仪上进行读数,并计算出校准因子。结果 用上述方法校准的便携式热释光剂量测量系统以及实验室标准剂量测量系统,对同一批受照的热释光探测器进行监测,两组数据无显著性差异。结论 上述便携式热释光剂量测量系统实验室自校准方法结果可信,并且简便、快速、易行,是解决现场个人剂量应急监测装备校准的好方法。

【关键词】 个人剂量监测;热释光剂量读出器;防原医学

利用实验室已经检定的热释光剂量测量系统和自备辐照器,对便携式热释光剂量测量系统进行校准,可解决现场个人剂量监测,且快速、简单、易行。

1 实验设备

Harshaw3500TLD 读出仪(美国),BR2000D-Ⅱ便携式热释光剂量读出器(北京博创特公司),GR-200A(LiF:Mg,Cu,P)探测器(防化研究院),BR2000A 热释光退火炉(北京博创特公司),FJ-417 ^{137}Cs 辐照器(北京核仪器厂)

2 方法

2.1 量值传递 在精密筛选探测器和保持剂量读出系统稳定的基础上,取探测器 100 片随机分为 5 组,每组 20 个探测器,用自备 FJ-417 ^{137}Cs 辐照器,分别照射 14.7×10^{-6} 、 29.4×10^{-6} 、 58.8×10^{-6} 、 88.2×10^{-6} 和 $147 \times 10^{-6} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$,每组随机

基金项目:北京军区立项课题(06BJ009);总后勤部卫生部立项课题(11WQZ04)

作者单位:北京军区疾病预防控制中心 北京 100042

作者简介:杨新芳(1963~),女,山东济南人,副研究员,从事放射防护监督监测工作。

抽出 10 个探测器,在实验室测量系统 Harshaw3500TLD 读出仪读数,根据标准剂量学实验室给出的刻度因子,为上述受照的探测器赋予剂量当量 mSv 值。每组剩余的 10 个探测器,在 BR2000D-Ⅱ便携式热释光剂量读出器上读数,由上述标准测量系统得出的个人剂量当量值(mSv)除以便携式热释光剂量读出仪计数,计算出便携式读出器的刻度因子即 N' 。

2.2 验证 用 FJ-417 ^{137}Cs 辐照器照射三组探测器,照射量分别为 $29.4 \times 10^{-6} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $58.8 \times 10^{-6} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $88.2 \times 10^{-6} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$,每组 20 个探测器。每组探测器又随机等分成两部分,分别用经过检定的标准测量系统和自校准的便携式热释光剂量读出仪读数,用各自的刻度因子计算 mSv,得出两组数据,然后用 t 检验的方法检验两组数据有无显著性差异。

3 结果

3.1 量值传递 将标准剂量学实验室的量值,通过自备辐照器传递给便携式热释光剂量测量系统,获得便携式热释光剂量测量系统的校准因子平均值为 $1.22 \times 10^{-5} \text{ mSv/计数}$ 。

(下转第 82 页)

由表 2 可以看出,装置测量 α 时,比测量 β 时的灵敏度大 190 倍以上,比测量 γ 时的灵敏度大 5 万倍以上,因此,装置本身对 β 和 γ 射线灵敏度较低,有很好的对 $\beta\gamma$ 辐射的抑制能力,可以在强混合辐射场中很好地工作。

2.6 装置实际样品测试 进一步检验实验装置的实用性能,进行了一次实际测试,测试结果说明实验装置的技术性能能够满足实际工作的需求。

2.6.1 测试样品 放 α 小盘,有效直径 20mm,不锈钢材质,为防止污染扩散,测试时将若干 α 小盘置入培养皿中;

2.6.2 涂抹核素 ^{39}Pu 、 ^{233}U 、 ^{237}Np 、 ^{241}Am 。

2.6.3 测试结果 用手持式 α 谱仪测量结果该样品活度为 328.87Bq,利用研制的测量 3.25E-12A 按表面污染格式的测量结果为 0.73 Bq/cm^2 ,测量时共放置 14 个 α 小盘。从测试结果可以看出,小物体 α 表面污染测量装置的测量结果与手持式 α 谱仪的测量结果非常接近,相对偏差 2.2%。

3 结论

通过上面的实验证明,小物体 α 表面污染测量装置对 α 粒子有较好的响应,有较大的线性范围,而且对 $\beta\gamma$ 射线有较好的抑制能力。通过上述的研究和实验证明,装置原理可行、测量结果重复性好,在辐射防护领域有广阔的应用前景。

同时,这种测量方法所测量的是电离电流的平均值,它不能区分粒子的类型和能量;装置受环境因素(气压、温湿度、灰尘等)的影响较大。

参考文献:

- [1] MacArthur DW, Allander KS, Long range Alpha Detector [Z]. Los Alamos National Laboratory Report. LA-12073-MS. 1991.
- [2] MacArthur DW, Allander KS, Bounds JA, et al, Small Long range Alpha Detector (LRiD) with Computer Readout [Z]. Los Alamos National Laboratory Report LA-12199-MS. 1991.
- [3] MacArthur DW, Allander KS, McAtee JL, Long range Alpha Detector for Contamination Monitoring [Z]. Los Alamos National Laboratory Preprint LA-UR-91-3396, 1991.
- [4] MacArthur DW, McAtee JL, Long range Alpha Detector (LRAD) [Z]. Los Alamos National Laboratory Preprint. LA-UR-3398, 1991.
- [5] 韩景泉, 离子收集式 α 探测器 [J]. 原子能科学技术, 1998, 32: 503-509.

(收稿日期: 2011-04-18)