

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2023.06.10

基于 γ 放射源的便携式照射装置研究

孙陶, 唐晓川, 沈长枫, 张岩, 刘会省

(核工业航测遥感中心, 河北 石家庄 050000)

摘要: 为解决现场校准在线监测用固定式辐射剂量监测仪表时需提供标准辐射场的问题, 本研究运用蒙特卡洛模拟方法, 设计并建立了基于 γ 放射源的便携式照射装置, 该装置放射源屏蔽切换挡位不少于3个, 表面漏射线减小到有用射线束的0.5%, 辐射场均匀性优于5%, 满足固定式X、 γ 辐射剂量率仪现场校准工作需要, 弥补固定式辐射剂量监测仪现场量值传递服务能力的短板。

关键词: 便携式照射装置; γ 放射源; 固定式辐射剂量监测仪; 现场校准

中图分类号: TB98; TL84 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-5795 (2023) 06-0084-08

Study on portable irradiation device based on γ radioactive source

SUN Tao, TANG Xiaochuan, SHEN Changfeng, ZHANG Yan, LIU Huisheng

(Airborne Survey and Remote Sensing Center of Nuclear Industry, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: In order to solve the problem that the reference radiation field should be provided for field calibration of fixed radiation dose rate monitoring instruments used for on-site online monitoring, this work developed a portable radiation source irradiation device based on γ source using Monte Carlo simulation method. The radiation source shielding switch gears are not less than 3, the surface leakage ray is lower than 0.5% compared with the useful ray beam, and the radiation field non-uniformity is less than 5%, which meet the fixed X or γ radiation dose meter field calibration needs. The study has improved the quantity transfer ability for the field calibration of the fixed dose rate meters.

Key words: portable irradiation device; γ radioactive source; fixed radiation dose monitoring instruments; field calibration

0 引言

随着核能开发规模的不断扩大及核技术利用领域的快速拓展, 辐射剂量连续监测在放射性矿产、核安全监控、辐射环境监测中的应用愈发普及, 现场在线监测用固定式辐射剂量监测仪表使用量显著增多。这些固定式仪表被放射性矿产、核电站、同位素应用企业、各地市环境辐射监测站等单位广泛应用于环境常规辐射连续监测、核

事故早期预警及核事故的应急监测, 多为不可拆卸式, 不便于定期送检。常见的在线监测用固定式辐射剂量监测仪表多安置于自动环境监测站或固定于场区墙壁, 包括区域 γ 监测仪、在线监测NaI γ 能谱仪、高气压电离室等。为了满足此类固定式辐射剂量监测仪表的定期检定/校准需要, 弥补现场量传服务能力的短板, 需开展相关技术研究。

美国对 γ 便携式照射装置开展了相关研究。

收稿日期: 2023-09-28; 修回日期: 2023-11-16

基金项目: 中核集团新型关键勘查技术装备研制项目(物SD03-01)

引用格式: 孙陶, 唐晓川, 沈长枫, 等. 基于 γ 放射源的便携式照射装置研究[J]. 计测技术, 2023, 43(6): 84-91.

Citation: SUN T, TANG X C, SHEN C F, et al. Study on portable irradiation device based on γ radioactive source[J]. Metrology & Measurement Technology, 2023, 43(6): 84-91.



2009年美国国家标准与技术研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST)对校准现场照射源的能谱分布、剂量率和辐射角分布等特征进行了详细研究,并通过对现场仪表的照射完成仪表校准因子、重复性和固有误差等性能的检验。美国 SENTINEL 公司研制了小型 γ 照射装置,内置 3.7×10^9 Bq 的铯源,出射口配有衰减器,应用于核电站固定式辐射连续监测系统和海军舰艇上安装的固定式辐射监测仪表的现场校准,该装置通过可调节照射器、便携式照射装置和放射源等提供现场校准用参考辐射场^[1-4]。

中国原子能科学研究院等科研机构研制了针对固定式辐射剂量监测仪表的现场校准装置,并开展了相关校准技术研究。2000年12月,国家质量技术监督局参照 ISO 4037-1-1996^[5],发布了 GB/T 12162.1-2000《用于校准剂量仪和剂量率仪以及确定其能量响应的 X 和 γ 参考辐射》,其第1部分规定了用于校准剂量仪和剂量率仪的 γ 参考辐射场辐射特性及产生方法^[6]。2004年2月,国家质量监督检验检疫总局参照 ISO 4037-2-1997^[7],发布了国家标准 GB/T 12162.2-2004,其第2部分规定了用于校准辐射防护仪器的能量范围为 8 keV ~ 1.3 MeV 和 4 ~ 9 MeV 的 X 和 γ 参考辐射的剂量测定程序,使辐射防护剂量仪和剂量率仪的校准有章可循^[8]。2006年3月,国家质量监督检验检疫总局发布了 JJG 521-2006《环境监测用 X、 γ 辐射空气比释功能(吸收剂量)率仪检定规程》,详细规定了环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能(吸收剂量率)检测仪表的计量技术要求、检定项目和检定方法^[9]。2010年,国家国防科技工业局发布了 JJF 122-2016《固定式环境监测用 X- γ 辐射剂量率仪现场校准规范》,有针对性地对 X- γ 辐射剂量率仪现场校准提出了要求^[10]。2014年,中国原子能科学研究院开展了基于同位素放射源的全景 γ 参考辐射及应用于现场防护水平固定式辐射监测仪表的现场校准研究,该项工作基于同位素源,采用模拟扣除散射射线的方法消除环境散射的影响,但未见理论成果的设计细节及完整数据^[11-17]。2016年,上海市计量测试技术研究院研制了一套自动化照射装置与三片曲面辐射减弱器,可远程实现照射装置空间定位以及辐射场强度 $0.27 \sim 34.86 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$

的调节,保证了辐射场再现性和均匀性^[18]。上述研究机构所研制的校准装置多以科学试验和保证国家量值传递为目的,体积和重量均较大,不易于现场拆装及操作,不能满足国内巨大的计量服务需求。

目前,国防科技工业系统尚无二级专业计量机构研制 γ 便携式照射装置。因此,本文依据国家相关工作标准和业务服务需求,运用理论计算、蒙特卡洛模拟、设计集成、测试试验相结合的工作思路,系统地研究基于 ^{137}Cs γ 放射源的体型小、操作易、重量轻、方便现场拆卸及携带的便携式准直照射装置,满足 JJF 122-2016 校准规范对固定式辐射剂量监测仪表的现场校准要求。

1 装置总体设计

基于 γ 放射源的便携式照射装置主要用于提供可移动式的 γ 射线标准辐射场,为固定式辐射剂量监测仪表提供现场检定/校准/测试服务。根据 JJF 122-2016 校准规范要求,校准人员需使用 γ 便携式照射装置提供电离辐射准直照射,对被校仪表的低、中、高量程段开展校准因子、相对误差、重复性等项目的校准。该装置重量不宜过大,应便于移动、携带和现场架设,并利用激光对准器将被校件的参考点置于辐射场中的检验点上,通过调节衰减器或便携式照射装置与被校仪表参考点之间的距离来获得不同的剂量率参考值。固定式放射性测量仪表现场校准示意图如图1所示。

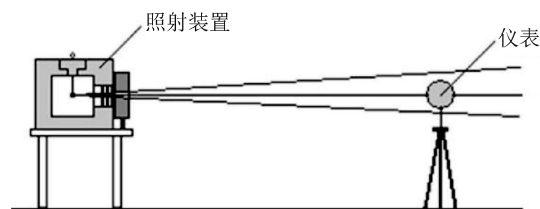


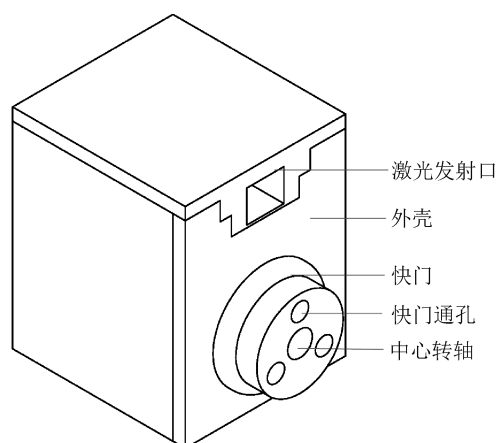
图1 现场校准示意图

Fig.1 Schematic diagram of on-site calibration

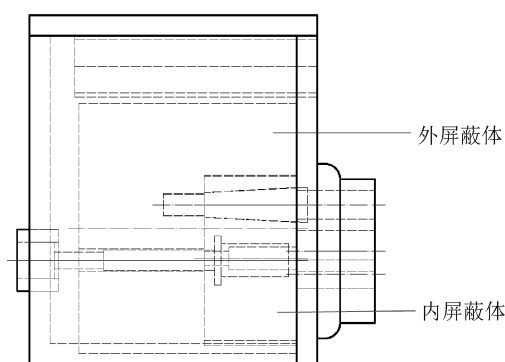
便携式照射装置作为现有活度为 3.7×10^8 Bq 的 ^{137}Cs 点状 γ 校准源的载体,用于提供 γ 射线参考辐射场,并保证辐射安全、放射源定位准确以及辐射束的准直品质。便携式照射装置主要包括源室系统(屏蔽容器、快门、衰减器)和辐射束准直器,用于提供均匀规则的准直射束,实现良好

的屏蔽效果及快门开合,并准确调节辐照强度。照射装置总体结构如图2所示。

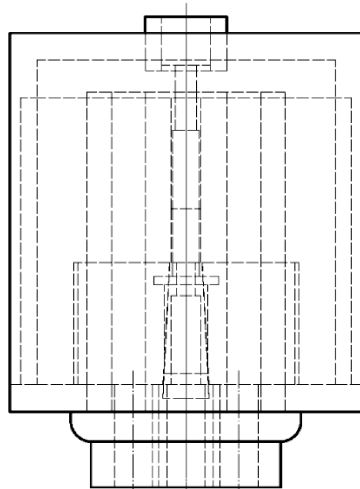
源室系统根据GBZ 135-2002《密封 γ 放射源容器放射卫生防护标准》要求设计,源室材料主



(a) 立体图
(a) Stereogram



(b) 左视图
(b) Left view



(c) 俯视图
(c) Top view

图2 照射装置总体结构图

Fig.2 Overall structure diagram of irradiation device

要由钨合金和不锈钢构成,具有较好的屏蔽效果,内置 ^{137}Cs 放射源,外壁采用7 mm厚的钢板作为支撑,钢板内壁加装钢丝倒钩,防止搬运过程中钨与外壁松动,从而提高装置整体强度。放射源放入铝合金源盒内,照射装置快门采用可旋转式设计,使用时配合装置顶部的定位装置完成照射。源室系统通过控制3个以上不同厚度的钨衰减器可进行不少于3个屏蔽挡位的切换。辐射束准直器采用NIST推荐的锯齿形钨合金准直器或ISO 4037-2019《辐射防护-校准剂量仪和剂量率仪及确定其光子能量响应的X和 γ 参考辐射》推荐的环形准直器,采用较大的散射腔以降低散射对辐射场的干扰。这两种准直设计能够较好地实现辐射束准直性能并降低参考辐射场散射,准直器设计的张角可根据实际需求设计调节,确保2 m处辐射场范围达到使用要求。

2 部件设计与集成

放射性同位素产生的参考辐射场具有输出射线稳定、重复性好和操作简便等优点。 ^{137}Cs γ 射线参考辐射场采用射线束准直设计,主要用于校准电离辐射剂量(率)仪及确定其能量响应。准直照射装置的安全容器由60 mm以上厚度的钨合金制成,将透过容器辐射剂量减小到有用射线束的0.5%,辐照装置内置搭载现有活度为 $3.7 \times 10^8 \text{ Bq}$ 的 ^{137}Cs 点源提供 γ 射线准直照射。便携式照射装置由准直器、屏蔽容器、快门、衰减器4部分组成,通过组装集成实现较好的屏蔽效果和较高的硬件强度。

准直及散射腔主要用于限束塑形,达到减小散射并准直射线的目的。准直器与散射腔连接,散射腔越大其散射辐射抑制作用就越明显,但装置也越重。对散射腔照射装置产生的参考辐射进行蒙特卡洛模拟,按式(1)计算与放射源距离为 d 处的辐射光斑大小。

$$D = 2d \cdot \tan(\alpha / 2) \quad (1)$$

式中: D 为圆形辐射光斑的直径, d 为辐射束的照射距离, α 为辐射张角。

在相同尺寸条件下,圆柱形散射腔的散射辐射量比球形散射腔的散射辐射量小,且圆柱形散射腔的散射辐射量主要受散射腔长度而非直径的

影响,因此,散射腔设计为 $\phi 10\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 的圆柱形空腔,外包裹有钨合金屏蔽材料。且因为便携式照射装置载源活度较低、需求光斑较小,所以采用较为简单的圆锥台形空腔设计即可产生较好的准直辐射特性,设计张角为 6° ,从而达到距离放射源 2 m 处射束轴心 $\phi 20\text{ cm}$ 范围内均匀性优于 5% 的准直效果。

屏蔽容器包括屏蔽体和转轴,主要用于射线屏蔽和开关。照射装置由 γ 放射源提供辐射场,因此需采取屏蔽措施防止射线泄漏,保证人员的安全。 γ 射线穿过屏蔽材料时,射线强度按指数规律衰减,即

$$I = I_0 e^{-\mu R} \quad (2)$$

式中: I 为射线穿过屏蔽材料后的辐射量, I_0 为屏蔽之前的辐射量, μ 为屏蔽材料的线衰减系数, R 为屏蔽材料的厚度。

根据GB/T 12162.1-2000《用于校准剂量仪和剂量率仪以及确定其能量响应的X和 γ 参考辐射》第1部分中关于安全容器的要求,对于 ^{137}Cs 放射源优先选用铅、钨材质作为屏蔽材料。本研究选用屏蔽性能好、结构坚固的钨合金材质。根据计算,屏蔽材料将透过容器辐射剂量减小至有用射线束的 0.5% 。

屏蔽容器由钨合金一体铸造成型,外层钢板用于承重。屏蔽体为钨合金材质圆柱体,尺寸为 $\phi 122\text{ mm} \times 106\text{ mm}$,为内、外相嵌而成的实心结构。外屏蔽体包裹内屏蔽体和散射腔,外屏蔽体一侧开槽用于安装内屏蔽体的圆柱形空腔,空腔尺寸为 $\phi 83\text{ mm} \times 50\text{ mm}$,散射腔设在外屏蔽体圆柱形空腔底部,散射腔尺寸为 $\phi 10\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 。内屏蔽体紧贴嵌入外屏蔽体中,尺寸为 $\phi 80\text{ mm} \times 50\text{ mm}$,内部开有用于射线准直的圆锥台形空腔,准直腔尺寸为 $(\phi_{\text{小}} 12\text{ mm} / \phi_{\text{大}} 17\text{ mm}) \times 50\text{ mm}$,圆心开有用于安装同心转轴的贯通孔,其转轴贯穿于内屏蔽体中心,通过轴承带动内屏蔽体转动,实现快门开合。再运用蒙特卡洛模拟研究粒子输运问题,为照射装置的辐射防护设计提供模拟计算。

快门由转动件和支撑座组成,固定在射束照射方向的矩形钢板外壳上,主要用于安装不同屏蔽挡位的衰减器,同时避免射线误照射。支撑座固定于射束照射方向的矩形不锈钢壳体上,转动件通过轴承与转轴同轴安装于支撑座上,外形尺

寸为 $\phi 85\text{ mm} \times 27\text{ mm}$ 。快门内部围绕圆心均匀开有3个内侧设有螺纹的圆孔,用于固定不同屏蔽挡位的衰减器。当快门圆形通孔位置与内屏蔽体上的准直器内腔体、外屏蔽体上的散射腔对准定位时,可实现射线贯通照射,即为快门开状态;反之,射线束被截断,则为快门关状态,防止射线泄漏,保证人员安全。为了实现 γ 射束对准定位与测距,照射装置的快门上方安装有用于现场瞄准的激光器,可发射波长为 660 nm 的穿透性强、红色定点光斑的激光束,从而实现辐射束方向定位对准并测量辐照距离。

衰减器是控制放射源屏蔽挡位切换的关键部件,主要用于提供不同挡位强度 γ 射线的屏蔽效果。衰减器以3个调节档位为一组,全部固定于快门圆形通孔,通过快门旋转实现多种剂量照射。根据 γ 射线的衰减规律,利用式(3)计算经过衰减器后 γ 射线强度按指数规律衰减数据,获取 γ 射线能量为 662 keV 条件下(^{137}Cs 放射源)的照射装置衰减器规格。

$$I = I_0 e^{-\mu d} \quad (3)$$

式中: I 为射线穿过衰减器后的剂量率, I_0 为衰减之前的剂量率, μ 为物质的 γ 射线质量衰减系数, d 为衰减器的厚度。

依据 γ 射线的衰减规律,采用钨合金材质,设计了3个不同衰减率的圆柱形衰减器,固定于快门前端,厚度分别为 9 mm 、 14 mm 、 23 mm ,其衰减倍数分别为 $\times 2$ 、 $\times 3$ 和 $\times 6$ 。通过添加衰减器,实现标准场剂量率向低剂量率扩展,通过旋转实现不同挡位强度 γ 射线的多剂量照射。便携式照射装置样机如图3所示。

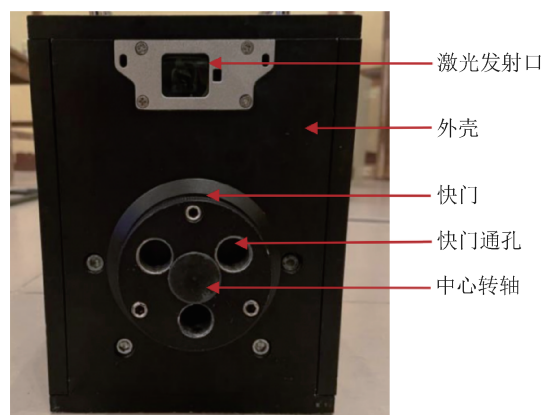


图3 装置样机

Fig.3 Device prototype

3 蒙特卡洛模拟

为了研究 γ 便携式照射装置参考辐射及其辐射防护、射线衰减问题,使用MCNP程序开展蒙特卡洛模拟计算,并利用TW32003型高压电离室开展现场实验。蒙特卡洛模拟场景设置如下:①照射装置工作时装载 ^{137}Cs 标准源,活度为 $3.7 \times 10^8 \text{ Bq}$;②准直器为圆锥形,放射源位于圆锥的顶点;③散射腔为圆柱体,以降低射束中由屏蔽体产生的散射辐射;④屏蔽容器主要由钨合金材料构成,内部设计有钨合金套筒,外部设计有不锈钢壳体,使泄漏辐射降低至安全范围;⑤快门由不锈钢材料构成,关闭时联合钨合金旋转屏蔽体使出射方向泄露辐射在安全范围内;⑥工作环境由照射装置本身、载体平台、仪器支架、地面等构成。

γ 射线的输运问题带有明显的随机性,蒙特卡洛模拟方法在处理 γ 射线粒子输运问题时,通过随机数来模拟大量 γ 粒子在介质中的运动状况,重现 γ 粒子的运输规律。照射装置主要为钨合金材质,成分W 89%、Ni 7%、Cu 4%, $\rho = 17 \text{ g/cm}^3$,照射装置外壳为不锈钢材质,成分Fe 69%、Cr 16%、Ni 10%、Mo 2%、Mn 2%、Si 1%, $\rho = 7.8 \text{ g/cm}^3$ 。照射装置平台为铝合金材质,成分Al 93.5%、Si 0.5%、Fe 6%, $\rho = 2.78 \text{ g/cm}^3$ 。固定式仪表支架为不锈钢材质,成分Fe 69%、Cr 16%、Ni 10%、Mo 2%、Mn 2%、Si 1%, $\rho = 7.8 \text{ g/cm}^3$ 。水泥地面成分O 52.9%、Si 33.7%、Fe 1.3%、杂质元素12.1%, $\rho = 2.35 \text{ g/cm}^3$ 。放射源活度值为 $3.7 \times 10^8 \text{ Bq}$,活性区为 $\phi 8 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 的圆柱,外有厚度为1.5 mm的不锈钢包壳。利用MCNP程序对照射装置进行建模,通过模拟研究装置产生的参考辐射的散射辐射和均匀性等,观察装置的屏蔽效果、准直效果等,从而实现优化设计。计算模型主要考虑照射装置、载体平台、固定式仪表支架、地面等因素的影响。采用模拟方法编程构建照射装置MCNP模型如图4所示。

当模拟计算散射辐射时,计数栅元为球形,置于射束轴线方向距离放射源一定间隔的位置,模拟计算现场校准环境及照射装置自身的散射贡献,参考辐射场中散射剂量模拟结果如图5所示。由模拟结果可知,在 ^{137}Cs 辐射场中,因为照射装置距地面较高,在距放射源5 m以内,准直束并未

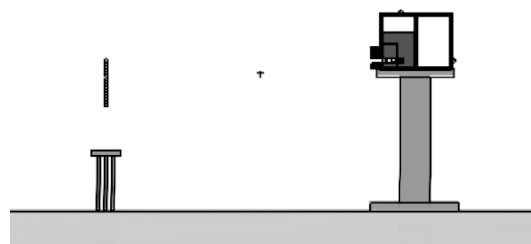


图4 MCNP模型

Fig.4 MCNP model

接触地面,所以地面的散射贡献不足总剂量的0.5%,影响微弱。载体平台和仪器支架的散射贡献均低于1%,散射贡献较小。总体来说,参考辐射场中散射辐射不超过总剂量的5%。

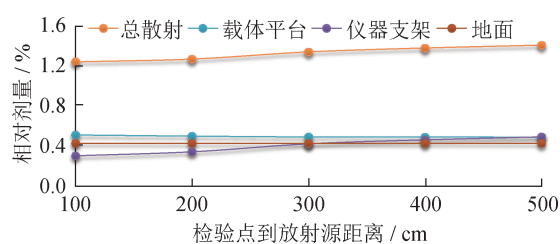


图5 散射剂量模拟结果

Fig.5 Simulation results of scattering dose

当模拟计算均匀性时,计数栅元为球形,置于射束轴线方向距离放射源1~5 m处的位置,模拟计算现场校准时的均匀性,辐射场均匀性模拟结果如图6所示。由模拟结果可知:距离辐射源1 m处,射束轴心半径5 cm范围内的均匀性小于5%;距离辐射源2 m处,射束轴心半径10 cm范围内的均匀性小于5%;距离辐射源3 m处,射束轴心半径15 cm范围内的均匀性小于5%;距离辐射源4 m处,射束轴心半径20 cm范围内的均匀性小于5%;距离辐射源5 m处,射束轴心半径25 cm范围内的均匀性小于5%。

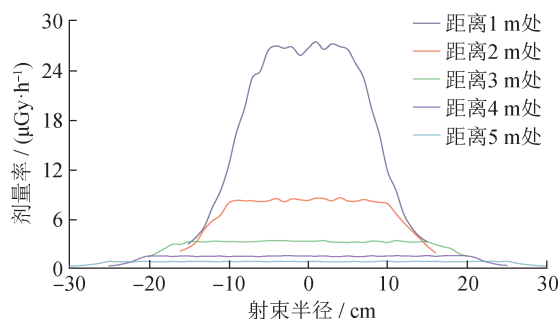


图6 均匀性模拟结果图

Fig.6 Simulation results of radiation field uniformity

当模拟计算表面接触剂量时,计数栅元为球形,在照射装置关闭状态下,置于照射装置外壳上、下、左、右、前、后6个面的中心位置,模拟计算现场校准时的表面接触剂量,照射装置表面辐射剂量模拟结果如表1所示。由模拟结果可知,照射装置表面辐射剂量低于有用射线束的0.5%。

表1 表面辐射剂量模拟结果

Tab. 1 Simulation results of surface radiation dose	
相对于照射装置的位置	漏射线贡献 / %
前	0.21
后	0.19
上	0.21
下	0.22
左	0.16
右	0.16

当模拟计算衰减效果时,计数栅元为球形,置于射束轴线方向距离放射源1~2.5 m处的位置,模拟计算无衰减器和使用不同衰减器时的衰减效果,结果如图7所示。由模拟结果可知,距放射源2 m处,衰减器对辐射剂量率的衰减系数分别为2倍、3倍和6倍。

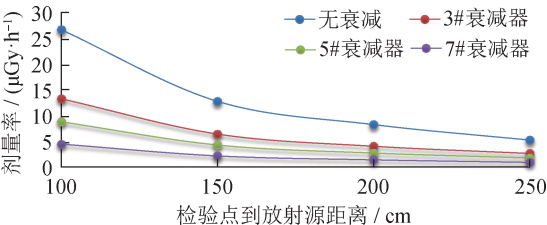


图7 参考辐射剂量对比图

Fig.7 Comparison diagram of reference radiation dose

蒙特卡洛模拟后,对均匀性、表面接触剂量、衰减剂量等进行了现场验证实验,参考辐射场中剂量率分布如表2所示,使用不同衰减器时,2 m处辐射剂量率如表3所示,根据实验数据可知,该装置可满足多剂量照射的使用需要。

4 测试试验

依据JJF 122-2016校准规范,使用该装置对中国辐射防护研究院生产的LT-101型通用剂量率仪的校准因子、重复性和相对误差等项目开展测试试验。

1) 在本底环境下,连续读取被校仪表读数10

表2 参辐射场中剂量率分布

Tab.2 Dose rate distribution in the reference radiation field				
校准距离 / m	空气比释动能率 / (μGy·h ⁻¹)	均匀区范围 / cm	散射辐射 / %	漏射线 / %
1	26.62	± 5	1.2	0.2
2	8.20	± 10	1.3	0.2
3	3.24	± 15	1.3	0.2

表3 不同屏蔽挡位下的剂量率

Tab.3 Dose rates at different shielding gears		
放射源屏蔽挡位	空气比释动能率 / (μGy·h ⁻¹)	衰减倍数 / 倍
无衰减器	8.20	0
3#衰减器	4.00	2
5#衰减器	2.70	3
7#衰减器	1.35	6

次,计算测量结果的平均值,作为被校仪表的天然本底辐射剂量率测量示值。

2) 使用基于γ放射源的便携式照射装置,在距离被校仪表直线距离2 m的位置,依次选择0屏蔽挡位、3#屏蔽挡位、5#屏蔽挡位、7#屏蔽挡位进行照射试验。每个测量挡位重复读数10次,取10次读数的平均值作为被校仪表在该测量挡位的响应计数率,分别扣除本底计数率后,与参考辐射场的剂量率的约定真值比较,计算出不同测量挡位下被校仪表的校准因子。将每个测量挡位下的校准因子求和后取平均值,即为该被校仪表的校准因子。

3) 记录被校仪表在5#屏蔽挡位下的重复测量数据,按贝塞尔公式计算单次测量相对试验标准偏差,作为该被校仪表的重复性。

4) 将被校仪表在0屏蔽挡位、3#屏蔽挡位、5#屏蔽挡位、7#屏蔽挡位的测量数据与相应测量挡位的剂量率约定真值进行比较,按照式(4)计算被校仪表的相对固有误差I。

$$I = \frac{(D_M - D_H)}{D_H}$$

(4)

式中: D_M为被校仪表所在测量挡位的示值(扣除环境本底示值), D_H为被校仪表所在测量挡位的剂量率约定真值。测试试验数据如表4所示。

表4 测试数据

Tab.4 Test data

距离 / m	挡位	标称值 / ($\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)	测量时间 / s	测量示值 / ($\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)				
		0	60	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11
				0.11	0.11	0.11	0.12	0.12
2	7	1.35	60	1.26	1.29	1.32	1.20	1.27
				1.29	1.20	1.54	1.30	1.32
2	5	2.70	60	2.44	2.52	2.56	2.46	2.52
				2.61	2.50	2.53	2.70	2.67
2	3	4.00	60	3.49	3.22	3.53	3.65	3.65
				3.64	4.36	3.74	3.64	3.66
2	0	8.20	60	6.56	7.32	6.49	6.51	6.72
				6.55	6.49	7.77	7.32	7.50

分析测试试验数据, 得到不同测量挡位下的测试结果如表5所示。根据表5计算得出被校仪表的重复性为3.3%, 校准因子为1.15。试验结果表明利用该装置可依据JJF 122-2016校准规范完成对剂量率仪的现场校准工作。

表5 测试结果

Tab. 5 Test results

约定真值 / ($\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)	仪表示值 / ($\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)	校准因子	相对固有误差 / %
1.35	1.19	1.14	-12
2.70	2.44	1.11	-10
4.00	3.54	1.13	-11
8.20	6.81	1.20	-17

5 结论

按照JJF 122-2016校准规范要求, 针对剂量率仪等固定式辐射剂量监测仪表现场校准需要, 运用电离辐射计量、蒙特卡洛模拟方法, 研制了基于 γ 放射源的便携式照射装置。实现距离辐射源2 m处, 辐射场均匀性优于5%, 且衰减器调节挡位不少于3个, 表面漏射线减小至有用射线束的0.5%, 满足了固定式X、 γ 辐射剂量率仪现场校准工作的需要, 为促进固定式辐射剂量监测仪表现场计量技术发展提供重要支撑。

参考文献

[1] 吕海峰. 用于防护水平 γ 射线空气比释动能自动化标

准装置的技术研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2013.

LYU H F. Technical research for automatic standard device for γ -ray air [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2013. (in Chinese)

[2] 王军良. 防护级 γ 射线参考辐射场及照射量标准的建立[D]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院, 2003.

WANG J L. Establishment of reference radiation field and radiation amount standard for protective grade γ -ray [D]. Beijing: The PLA Academy of Military Medical Sciences, 2003. (in Chinese)

[3] 黄扬, 乔秀芳, 张友德. 重建后的 γ 射线照射量(防护水平)标准装置[J]. 实用测试技术, 2000(6): 19-21.

HUANG Y, QIAO X F, ZHANG Y D. Reconstruction of γ -ray exposure (protection level) standard device [J]. Practical Test Technique, 2000(6): 19-21. (in Chinese)

[4] 王贵林, 柳敏华, 王成国, 等. γ 射线照射量标准装置的建立[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1998(3): 57-59.

WANG G L, LIU M H, WANG C G, et al. Establishment of a standard device for γ -ray exposure [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 1998(3): 57-59. (in Chinese)

[5] International Organization for Standardization. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy: ISO 4037-1-1996 [S]. Geneva, Switzerland, 1996.

[6] 国家质量技术监督局. 用于校准剂量仪和剂量率仪以及确定其能量响应的X和 γ 参考辐射: GB/T 12162. 1-2000[S]. 北京: 中国质检出版社, 2000.

The State Bureau of Quality and Technical Supervision. The X and γ reference radiation for calibrating the meter

- and meter and to determine its energy response: GB/T 12162.1-2000 [S]. Beijing: China Quality Inspection Press, 2000. (in Chinese)
- [7] International Organization for Standardization. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy: ISO 4037-2-1997 [S]. Geneva, Switzerland, 1997.
- [8] 国家质量监督检验检疫总局. 用于校准剂量仪和剂量率仪以及确定其能量响应的X和 γ 参考辐射: GB/T 12162.2-2004[S]. 北京: 中国质检出版社, 2004.
- The State General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. The X and γ reference radiation for calibrating the meter and meter and to determine its energy response: GB/T 12162.2-2004[S]. Beijing: China Quality Inspection Press, 2004. (in Chinese)
- [9] 国家质量监督检验检疫总局. 环境监测用X、 γ 辐射空气比释功能(吸收剂量)率仪检定规程: JJG 521-2006 [S]. 北京: 中国质检出版社, 2006.
- The State General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Procedure for X- γ (absorbed dose) for environmental monitoring: JJG 521-2006[S]. Beijing: China Quality Inspection Press, 2006. (in Chinese)
- [10] 国家国防科技工业局. 固定式环境监测用X、 γ 辐射剂量率仪现场校准规范: JJF 122-2016[S]. 北京: 国防工业出版社, 2016.
- State Administration of Science, Technology and Industry for National Defence. Specification for field calibration of X and γ radiation dose rate meter for fixed environmental monitoring: JJF 122-2016 [S]. Beijing: National Defence Industry Press, 2016. (in Chinese)
- [11] 倪宁, 肖雪夫, 滕忠斌, 等. MC法模拟 γ 射线参考辐射能量注量谱[J]. 核电子学与探测技术, 2018, 38(3): 309-313.
- NI N, XIAO X F, TENG Z B, et al. The mc method simulates the γ -ray reference radiation energy injection spectrum [J]. Nuclear Electronics and Detection technology, 2018, 38(3): 309-313. (in Chinese)
- [12] 徐阳. 移动式小尺度参考辐射的 Monte Carlo 模拟及应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- XYU Y. Study on the monte carlo simulation and application of mobile small - scale reference radiation [D]. Chongqing: Chongqing University, 2016. (in Chinese)
- [13] 高飞, 肖雪夫, 倪宁. 固定式环境 γ 辐射剂量率仪现场校准技术[J]. 原子能科学技术, 2015, 49(2): 212-217.
- GAO F, XIAO X F, NI N. Fixed environment γ radiation dose rate meter field calibration technology [J]. Atomic Energy Science and Technology, 2015, 49(2): 212-217. (in Chinese)
- [14] 高飞, 肖雪夫, 侯金兵, 等. (60)Co单源照射装置的蒙特卡罗方法优化设计[J]. 原子能科学技术, 2014, 48(3): 523-527.
- GAO F, XIAO X F, HOU J B, et al. Optimization design of Monte Carlo method for (60)Co single source irradiation device [J]. Atomic Energy Science and Technology, 2014, 48(3): 523-527. (in Chinese)
- [15] 高飞, 倪宁, 宋明哲, 等. 现场校准试验用便携式 γ 射线照射装置研究[J]. 宇航计测技术, 2014, 34(5): 34-37, 54.
- GAO F, NI N, SONG M Z, et al. Portable γ -ray irradiation device study for field calibration test [J]. Aerospace Meter, 2014, 34(5): 34-37, 54. (in Chinese)
- [16] 高飞, 肖雪夫, 倪宁, 等. 便携式(137)Cs照射装置研究及现场校准实验[J]. 辐射防护, 2014, 34(3): 134-137, 146.
- GAO F, XIAO X F, NI N, et al. Portable (137)Cs irradiation device study and field calibration experiment [J]. Radiation Protection, 2014, 34(3): 134-137, 146. (in Chinese)
- [17] 高飞, 肖雪夫, 侯金兵, 等. (60)Co放射源照射装置研究及辐射场测量[J]. 同位素, 2013, 26(4): 239-243.
- GAO F, XIAO X F, HOU J B, et al. (60)Co radiation source irradiation device research and radiation field measurement [J]. Isotopes, 2013, 26(4): 239-243. (in Chinese)
- [18] 赵超, 杨振, 唐方东, 等. 环境 γ 辐射剂量率仪现场校准用辐照装置的研制[J]. 核技术, 2016, 39(9): 11-16.
- ZHAO C, YANG Z, TANG F D, et al. Development of an irradiation device for field calibration of an environmental γ radiation dose meter [J]. Nuclear Technology, 2016, 39(9): 11-16. (in Chinese)

(本文编辑: 刘宇轩)



第一作者: 孙陶 (1991—), 男, 电离辐射计量工程师、国家一级注册计量师、计量检定员, 现主要从事电离辐射专业计量技术研究。