



高校放射源库建设与安全管理实践研究

王小梅¹, 陈秀莲², 覃雪², 刘军^{2*}

(1. 四川大学实验室及设备管理处, 成都 610065; 2. 四川大学物理学院, 成都 610065)

摘要: 随着核科学的应用与发展, 高校涉及使用放射源的教学、科研实验不断增加。放射源安全是放射性实验室安全管理的重要内容, 源库作为放射源收储管理场所, 加强源库的物防、技防建设对放射源安全管理有极其重要的作用。该文介绍了四川大学核工程与核技术实验室在放射源库建设与安全管理方面的探索和实践, 通过放射源收储监测平台建设、剂量监测及安全联锁系统建设、源库安防系统建设, 实现了放射源辐射剂量在线实时监测、远程视频监控、智能巡检和关键环节报警“四位一体”的全面监控, 实现了放射源管控由“人防”为主到“技防”为主的转变。该文的安全管理实践期望对其他放射性实验室的源库建设和管理提供参考。

关键词: 放射源; 源库建设; 安全管理; 在线监测

中图分类号: G647; TL93

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20240352

Study and Practice of Construction and Safety Management of Radioactive Source Library in Universities

WANG Xiaomei¹, CHEN Xiulian², QIN Xue², LIU Jun^{2*}

(1. Laboratory and Equipment Management Department, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. College of Physics, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: With the application and development of nuclear science, the use of radioactive sources in teaching and research experiments in universities is constantly increasing. The safety of radioactive sources is an important part of the safety management of radioactive laboratories. As the primary storage facility for these sources, strengthening the library's physical and technical security measures is crucial for safety management. This paper mainly introduces the exploration and practice of the Nuclear Engineering and Nuclear Technology Laboratory at Sichuan University in constructing and safely managing a radioactive source library. By establishing a storage and monitoring platform, a dose monitoring and safety interlock system, and a source library security system, the laboratory has implemented a comprehensive “four-in-one” monitoring framework, which enables real-time online dose monitoring, remote video surveillance, intelligent inspection, and alarms for critical operational points. This approach has shifted the radioactive source control paradigm from a primary reliance on manual management to a technology-driven system. These practices can serve as a valuable reference for the construction and management of source libraries in other radioactive laboratories.

Key words: radioactive source; source library construction; safety management; online monitoring

随着核科学技术的不断进步, 我国高校核专业发展迅速, 高校核专业实验室的放射源与射线装置越来越多, 放射源的使用也日益增加。高校使用的放射源多为活度较小的IV、V类源, 危险度相对较小, 但是核素种类多、使用频繁、使用时人群密集, 存在丢失、被盗等风险^[1-2]。2016—2020年发生的26起辐射事故中, 一般辐射事故25起, 较大辐射事故1起。从事故类型来看, 主

要为放射源丢失、被盗、失控事故, 共23起。3起人员受到超剂量照射事故, 分别发生在工业辐照和工业探伤领域^[3]。放射源由于具有强烈的社会敏感性, 其丢失或泄露可能给社会和环境造成无法估量的损失和危害。

根据中华人民共和国公安部《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》相关规定, 放射源库出入口和存放场所应设置入侵报警装置和视

收稿日期: 2024-07-04

作者简介: 王小梅, 博士, 助理研究员, 主要从事实验室安全管理方面的研究。E-mail: wangxiaomeimn@scu.edu.cn

*通信作者: 刘军, 硕士, 实验师, 主要从事辐射探测实验教学及实验室辐射安全管理方面的研究。E-mail:

liujun1@scu.edu.cn

频监控装置, 监视及回放图像应能清楚辨别进出人员的体貌特征和活动状况^[4]。源库作为放射源收储管理的场所, 加强源库建设和规范放射源出入库管理, 完善放射源固定台账、移动台账, 使放射源出入库状态可实时监测、有迹可查, 对放射源安全管理极为重要^[5-8]。高校放射性实验室作为教学和科研的重要基地, 肩负着培养优秀人才、服务社会的重要使命, 其放射源的安全管理是保证校园安全乃至社会安定和谐的重要保证。因此, 高校放射源库的建设和管理是高校辐射安全管理的一项重要课题^[9-10]。

本文详细介绍了四川大学核工程与核技术实验室源库建设与安全管理的实践研究, 包括放射源收储监测平台建设、剂量监测^[11-12]、安全联锁系统建设及源库安防系统建设等, 通过引入现代传感、互联网等技术手段, 构建了放射源使用和收储科学化、专业化的安全管理体系, 实现了对放射源收储的智能化监管。

1 源库建设

四川大学核学科始建于 1958 年, 是国内较早开设核专业的几所高校之一。四川大学核工程与核技术实验室现有放射源 48 枚, 其中 IV 类放射源 2 枚、V 类放射源 37 枚、豁免源 9 枚, 所涉及的射线种类包括 α 、 β 、 β^+ 、 γ 、中子。四川大学核工程与核技术实验室每年面向 100 余名本科生开设放射性专业实验课程 6 门, 同时还有研究生和教师科研项目使用放射源, 所用放射源的活度较小, 但使用频率高、使用人员多、使用面广、流动性强, 管理难度很大。四川大学核工程与核技术实验室放射源收储室自 20 世纪 60 年代初就开始使用, 放射源收储装置简单, 缺乏监管监控设施^[13]。在学校的大力支持下, 实验室于 2016 年对源库进行了一次升级改造, 安装了监控系统和放射源收储平台等设施设备; 2019 年实验室整体搬迁, 重新设计并建设了源库^[14]。

在对源库布局规划时, 考虑到放射源体积小、可以移动使用等特点, 源库的选址应靠近放射源的使用场所, 同时应选择整个建筑中公众滞留时间相对较少的区域。四川大学核工程与核技术实验室源库建设于实验区(放射性工作区)内部, 方便放射源的使用。源库内的平面布局示意图如图 1 所示, 采用辐射屏蔽、监控、安全联

锁、红外报警等多种设施和技术手段保证源库的辐射安全、防侵入等^[15]。

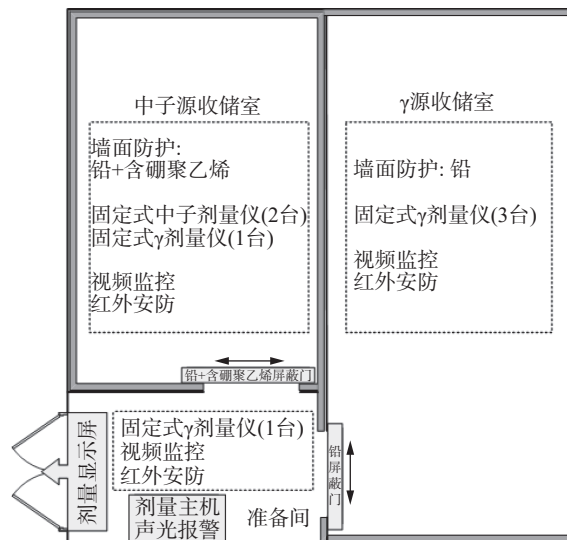


图 1 源库平面示意图

1.1 分类收储, 智能监测

源库采用折弯式迷宫设计, 将准备间的相邻两侧房间分别设计为 γ 源收储室和中子源收储室, 不仅可对放射源实行分类收储, 也便于统一配备安防系统。 γ 源收储室用于收储 α 、 β 、 γ 源, 中子源收储室单独用于收储中子源, 并通过放射源收储管理系统对放射源的出入库状态进行实时监测。

1.2 屏蔽防护

为保障实验室人员和公众的健康安全, 并保证源库对周边环境的辐射影响在国家法规许可范围内, 根据收储放射源的不同种类, 分别对两间放射源收储室墙面采用相应的屏蔽防护。 γ 源收储室的墙面和屏蔽门均采用铅进行屏蔽防护; 中子源收储室的墙面和屏蔽门均采用铅+含硼聚乙烯进行屏蔽防护。考虑到源库中放射源种类和数量可能会随着核专业的发展而不断增加, 在对源库进行屏蔽设计时, 在满足现有放射源辐射屏蔽防护的基础上, 预留了一定空间, 用于未来可能涉及的源库屏蔽改造。

1.3 剂量监控

为保障进入源库人员的剂量安全, 建立了剂量监控系统, 在 γ 源收储室安装有 3 台固定式 γ 剂量仪, 中子源收储室安装有 2 台固定式中子剂量仪和 1 台固定式 γ 剂量仪, 准备间安装有 1 台固定式 γ 剂量仪。所有固定式剂量仪探测到的辐射剂量数据都将实时传输至中控台, 并同步显示

在源库大门外侧 LED 显示屏上,方便工作人员进入源库前了解内部的剂量情况。

1.4 防侵入设施

源库安装了多种防侵入设施:源库外侧大门为防盗门,实行双人双锁管理;源库内室门为滑轨式屏蔽防护门,通过门禁系统的登记和刷卡方可实名进入;在 γ 源收储室、中子源收储室和准备间分别安装了多个高清摄像头和红外报警器。

2 源库安全保护体系

源库的安全防护主要包括人员安全和放射源安全两个方面。人员安全即辐射剂量安全,确保源库内的剂量水平在法规许可范围内,以保证进入源库人员所接受的剂量不超出个人剂量限值;放射源安全,即源库防侵入和放射源防盗、防丢失。此前,源库的安全管控以“人防”为主,无法及时预告预警,需要耗费大量人力物力。现在通过引入现代传感、物联网、互联网等技术,着力打造“人防+技防”相结合的辐射监管新模式。

2.1 剂量安全连锁系统

为进一步确保进入源库人员的健康安全,建

立了一套剂量安全连锁系统,其原理示意图如图2所示。源库内共安装了7个固定式剂量仪,不仅可以实现对源库内各房间辐射剂量水平全天候、全时段24小时在线监测,还可以通过系统设置报警阈值,实现源库任一剂量仪超剂量即可触发声光报警。

此外,剂量在线监测系统与两道屏蔽门进行连锁控制: γ 源收储室内的3个 γ 剂量仪与进入该室的铅屏蔽防护门连锁;中子源收储室的2个中子剂量仪和 γ 剂量仪与进入该室的铅+含硼聚乙烯屏蔽防护门连锁。当任一剂量仪所测剂量超出阈值时,发出声光报警的同时,对应的屏蔽门将被锁住,只能从内侧打开,即只出不进;仅允许管理员通过超级权限进入排查、处理。

剂量安全连锁系统能够对放射源库内辐射剂量实时监测,并对辐射强度进行统计分析,工作人员不仅能够了解环境辐射水平情况,也可以通过预警信息及时发现问题,防患于未然,从而达到及时预警、及时发现、及时处置的目的,确保师生生命财产安全和环境安全,有效减少放射源丢失、被盗等辐射事故的发生。

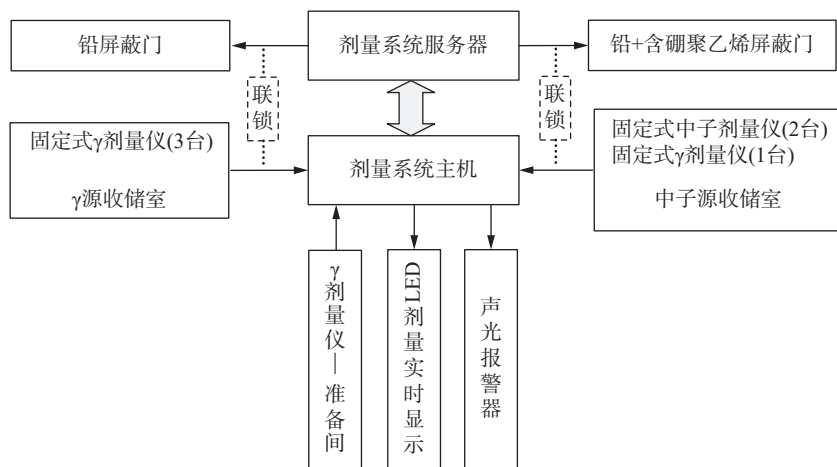


图2 辐射剂量安全连锁系统原理示意图

2.2 防盗防丢失管理

源库全封闭、不设窗户,通过排风系统对室内进行换气。源库内部采用折弯式迷宫设计,由准备间和两间收储室组成。准备间外侧为防盗门,双人双锁管理;内侧为“铅屏蔽防护门”和“铅+含硼聚乙烯屏蔽防护门”,分别通向 γ 源收储室、中子源收储室,由门禁系统和剂量连锁系统控制。 γ 源收储室、中子源收储室和准备间各安装有2个高清摄像头和2个红外防侵入报警器:

摄像头连接到门卫室,24小时值守,视频可保存3个月以上;红外防侵入报警器连接到学校保卫处接警中心,如有可疑人物非法进入源库,将触发红外报警器,同时在接警中心和源库内发出报警。

除了上述“技防”手段,“人防”也是源库管理中重要环节。通过不断加强放射源出入库管理,严控放射源借用审批流程、归还管理与定期盘点:放射源借用时,严格执行出入库登记、使用过程记录制度,同时通过放射源管理系统实时

监测放射源在库状态，定期盘点放射源，核对纸质台账、放射源管理系统的电子台账。

3 放射源收储管理

放射源收储安全管理主要包含两个方面，一是放射源的屏蔽防护，保证放射源借还、收储期间的剂量安全；二是放射源出入库管理，保证放射源整个借还流程清晰、过程有迹可循，确保放射源不丢失。对于辐射安全，可以通过储源铅罐、储源柜进行屏蔽防护；放射源安全可以通过智能型放射源收储监控系统对放射源借还、出入库进行监管和记录。

3.1 智能型放射源收储与监控系统

智能型放射源收储与监控系统安放在 γ 源收储室中，用于收储 α 、 β 、 γ 源，其结构示意图如图 3 所示。智能型放射源收储与监控系统由多组放射源收储单元、放射源管理系统和放射源借还平台等部分组成，可对所收储的放射源进行借还管理和实时监控，并可通过网络远程监控放射源收储状态。

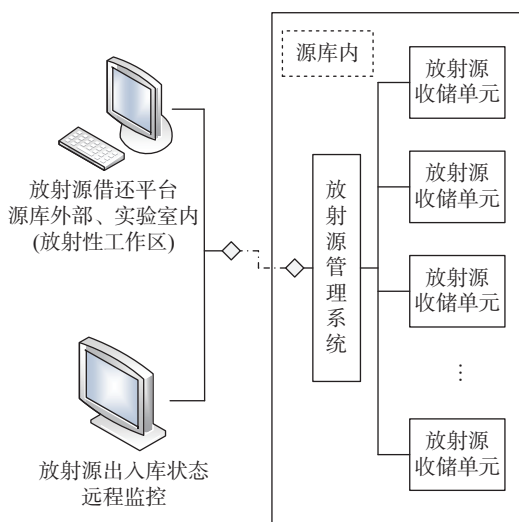


图 3 智能型放射源收储与监控系统结构示意图

放射源收储单元如图 4 所示，每个单元为一个独立的柜子，用于收储一枚放射源，内含盖革-米勒(Geiger-Muller, G-M)计数管和柜门开关控制器，并连接到放射源管理系统。

G-M 计数管的计数结果与放射源的状态将实时显示在放射源管理平台主屏幕上，如图 5 所示。放射源与源柜一一对应存放，根据放射源的强弱设置每个收储单元正常计数范围，如果计数不在设定范围内，系统会发出报警，提醒管理员

及时核查放射源是否存放在源柜内，是否被破坏或发生泄漏。

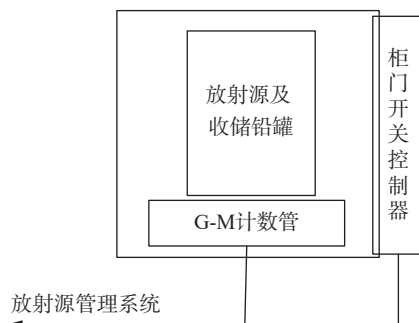


图 4 放射源收储单元结构示意图

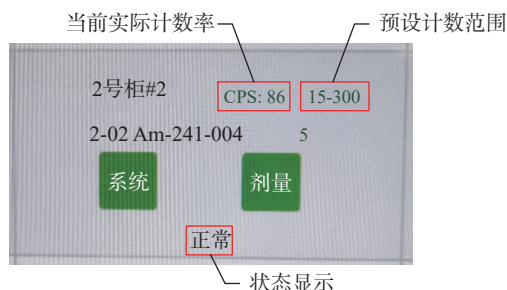


图 5 计数结果及状态显示图

放射源收储单元内部设置有一个收储铅罐罐座，罐座顶部开设凹槽，凹槽内设置有下连接部，下连接部上设置有下通讯接口，其中包含下电源接口和下数据接口。

收储铅罐针对所存放的不同放射源分别设计相适应厚度的辐射防护材料，使得存放有放射源时，外表面剂量率不超过 $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 。收储铅罐内部设置有隔网，放射源放置在隔网上。收储铅罐底部设置了凸状的上连接部，与罐座顶部凹槽内的下连接部所匹配。上连接部内开设折弯状的通讯槽，放置放射源向外辐射。当收储铅罐放置在罐座上时，G-M 计数管的电源接口和数据接口能够导通，从而实时测量每一收储单元内收储铅罐内的射线计数率，并通过 TCP/IP 接口发送至中控台。系统通过门开关控制器对放射源进行借还授权、权限管理、统计放射源的借还信息。当收储铅罐脱离罐座，则 G-M 计数管无法探测到辐射剂量数据，因此可通过 G-M 计数管计数率确认放射源是否在库，提示工作人员对门开关控制器统计放射源信息进行复核。

收储放射源时，每一枚放射源有独立的收纳铅罐、收储单元(收储柜)以及放射源使用记录本，要求一源、一罐、一柜、一本，一一对应，

严禁交叉混装,“源-罐-柜-本”一一对应图如图6所示。智能型放射源收储监控系统建立起了放射源收储的电子台账,为防止放射源意外事故

发生提供强有力的数据保障。同时与纸质台账互促互补,确保数据的可追溯性,为放射源收储管理提供双重保障。

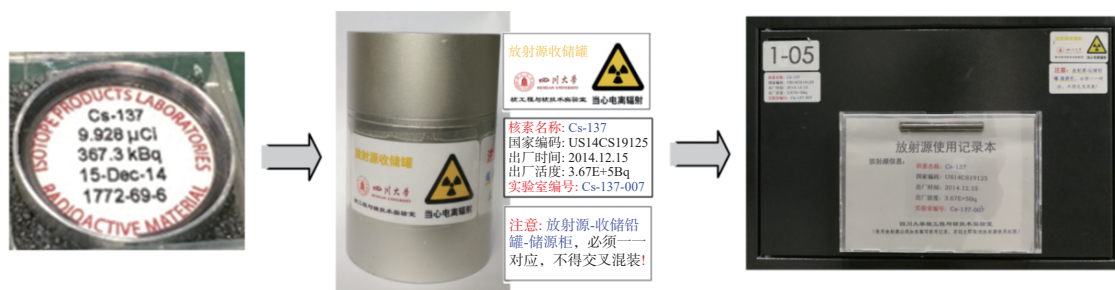


图6 放射源收储管理“源-罐-柜-本”一一对应图

3.2 中子源收储平台

实验室现有一枚 Am-Be 中子源,考虑到中子辐射屏蔽防护的特殊性,与其他放射源分开、单独收储于中子源收储室。根据中子源的屏蔽防护、人员的使用安全和实验需求,设计安装了一套干式中子源储存、实验平台,满足中子源收储屏蔽及实验的需要。中子源封装固定在中子源收储平台中,不能取出。

在屏蔽防护方面,由内到外分别由聚乙烯、石蜡、碳化硼、不锈钢等材料无缝填充组合,内层以石蜡为主要成分慢化吸收中子,外层为 γ 屏蔽体,使中子剂量和 γ 剂量均满足辐射安全需求。同时,根据实验需求,在收储装置的竖直方向和与中子源等高的水平方向设置实验通道,并配以不同厚度、种类的中子慢化、吸收材料,以满足实验对不同能量、不同通量的中子的需求。每个通道配有与其直径相同的圆柱形屏蔽棒,用于未开展实验期间对测量通道的中子屏蔽防护。

3.3 运行情况及改进措施

放射源收储系统运行情况良好,实现了对放射源借、还管理的在线审核与管理,与纸质出入库记录同步建立电子记录,电子记录避免了出入库登记遗漏情况。同时,对大多数活度较强的放射源通过 G-M 计数器实现了在库监测。但对于部分活度较低的放射源,因源罐屏蔽,导致计数率极低,系统无法对这些源的在库状态进行准确判断。在下一步改进中,拟将探测器集成到源罐底部,而将源柜探测器改为供电插座,源罐放入源柜后,接通电源、探测器开始工作,实现对放射源的状态监测。

4 结束语

随着核技术的日益成熟,国内核技术应用单位和放射源的使用量均大幅度攀升,为促进国民经济和社会发展做出了重要贡献,随之而来的安全管理问题也逐渐暴露,如部分单位无固定的放射源收储场所、放射源收储场所安防设施陈旧老化、安防措施不到位,以及网络化、智能化水平低^[16-17]。目前,四川大学核工程与核技术实验室源库投入使用效果良好,有效保障了学校师生的生命安全,其建设和管理多次获得教育部专家和生态环境部门监督检查人员的高度评价。四川大学核工程与核技术实验室在放射源库建设与安全管理方面的创新性探索实践,通过放射源在线辐射剂量实时监测、远程视频监控、智能巡检和关键环节报警“四位一体”的全面监控,不仅达到了国家对放射源存放的相关要求,还实现了放射源管控由“人防”为主到“技防”为主的转变。随着未来互联网、物联网技术的进一步发展,放射源库建设与安全管理的智能化水平也将大幅度提升。

参考文献

- [1] 渠晖,王满意,虞俊超,等.高校辐射安全规范化管理探究[J].实验技术与管理,2022,39(10):222-225.
- [2] 张琪,张素芬,樊伟,等.高校实验室辐射安全管理实践与探索[J].实验室研究与探索,2023,42(11):305-308.
- [3] 龚宇,党磊,李小丁,等.我国2016—2020年辐射事故回顾与分析[J].辐射防护,2023,43(6):665-670.
- [4] 中华人民共和国公安部.剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求:GA 1002—2012[S].北京:中国标准出版社,2012.