

# 分级分类动态管控与安全教育融合的高校辐射安全智慧化管理策略研究

江凯禧, 林兆花\*, 高丽娟, 肖军, 张润发

(北京师范大学珠海校区实验室安全与设备管理办公室, 珠海 519087)

**摘要:** 针对我国高校实验室辐射安全管理中存在的管理重心失衡、技术赋能不足及教管分离等系统性矛盾, 本文提出融合分级分类动态管控与安全教育的新型治理系统。该系统能够有效破解传统管理模式的结构缺陷, 实现管理与教育的深度融合, 提升高校实验室辐射安全管理的科学性和智能化水平。

**关键词:** 高校实验室安全; 辐射管理; 智能管理; 安全教育

## 0 引言

近年来放射性同位素与射线装置在高校实验室的应用规模显著扩大, 其应用范围也从传统的核工程领域向材料科学、核医学等交叉学科快速渗透。然而, 随着技术应用的快速扩张, 辐射安全管理滞后的问题日益凸显<sup>[1]</sup>。一方面辐射剂量超标等事故时有发生; 另一方面放射性同位素与射线装置的管理失控或事故对实验室人员、校园安全和环境造成多方面、多层次的危害。例如, 短间接触大剂量辐射(如大于1 Sv)可导致急性放射病, 长期暴露于低剂量辐射(如年均大于20 mSv)可显著增加白血病、甲状腺癌等疾病的发病率<sup>[2]</sup>, 导致教学与科研中断, 甚至引发环境污染和破坏。

鉴于辐射事故的危害具有隐蔽性、累积性和不可逆性的特点, 国家有关部门出台了《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》<sup>[3]</sup>《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》<sup>[4]</sup>以及《高等学校实验室安全分级分类管理办法(试行)》<sup>[5]</sup>等法规文件, 以规范和加强辐射安全管理<sup>[6]</sup>。然而, 常规的高校辐射安全管理仍存在诸多不足, 难以适应实验室与科研活动的动态变化及分级分类管理的要求<sup>[7]</sup>。例如, 信息孤岛现象严重, 各部门之间缺乏有效沟通, 安全教育形式化, 难以真正提升师生的辐射安全意识。为此, 探索一种融合动态分级分类管控与智慧化安全教育的高校实验室辐射安全管理模式, 以提升高校辐射风

险防控效能与实验活动人员的安全素养, 已成为亟待解决的重要挑战。为此, 本文在深入分析我国高校辐射安全管理现状与短板的基础上, 提出了一种融合分级分类动态管控与安全教育的辐射安全管理策略和系统设计, 将为有关院校优化和升级实验室辐射安全管理方法提供有益参考。

## 1 我国高校辐射安全管理现状与短板

### 1.1 重心失衡与技术赋能不足

我国高校实验室辐射安全管理工作虽然整体处于不断发展和完善的阶段, 但在实践中也逐渐暴露出一些需要进一步优化的环节。这些问题相互关联, 给管理工作带来了一定的复杂性。

从管理体系架构来看, 目前的管理重心仍主要集中在放射性同位素与射线装置的全生命周期管理以及人员的基础管理上<sup>[7-10]</sup>。这种管理方式虽然具有其必要性, 但在一定程度上分散了对科研项目动态风险的关注。现有的分级分类机制还不够完善, 同时也难以根据实际情况进行动态调整。这使得风险评估在面对科研实验快速迭代和项目变更时, 难以做到及时和准确修正。在技术支撑体系方面, 智能化建设仍在逐步推进中。目前, 多数高校依赖于孤立的电子台账, 导致监测数据碎片化, 难以有效整合, 形成了数据孤岛。此外, 物联网平台的搭建尚未普及, 这在很大程度上限制了实时监控和智能预警的效能。同时, 信息化系统在数据管理效率、可视化程度以及模块整合性方面

**基金项目:** 中国高等教育科学研究规划课题重点项目(24SY0211); 广东省高等教育学会实验室管理专业委员会2024年基金项目(GDJ20240001); 北京师范大学2024年度研究生综合素养课程“实验室安全与环境健康”教改项目(110115113)。

**第一作者:** 江凯禧, 博士, 助理研究员, 研究方向为实验室安全管理。

**\* 通信作者:** 林兆花, 博士, 副教授, 研究方向为实验室安全管理、仪器设备管理。E-mail: linzhao@bnu.edu.cn

也存在一些不足。

### 1.2 教管分离与投入不足

教育保障体系也呈现出一定的被动性。安全教育机制与风险管理尚未紧密结合, 培训内容较为单一, 难以满足不同应用场景的需求<sup>[11-12]</sup>。动态教育过程与风险的关联性较弱, 缺乏个性化推送, 且效果评估机制尚不完善。在资源保障层面, 经费投入的持续性不足对智能化升级、监测设备更新以及教育资源开发产生了一定的制约。同时, 长效投入机制的缺失、技术迭代所需资金的缺口以及应急储备不足等问题, 也在一定程度上影响了辐射安全管理工作的有效开展, 形成了管理效能提升的瓶颈。

综上, 我国高校实验室辐射安全管理暴露的体系性矛盾源于静态化管理模式与动态化风险环境的结构性错配<sup>[13-14]</sup>, 亟需从传统管理模式向系统性和动态性的治理框架转变。

## 2 基于分级分类动态管控与安全教育融合的系统设计

### 2.1 分级分类管理与融合教育的内生逻辑

#### 2.1.1 分级分类管理的关键要素

辐射安全管理的关键在于控制能量传播, 而分级分类管理是实现这一目标的关键手段。通过量化风险参数, 建立风险矩阵模型, 以期实现防护效能最大化和成本最小化(表 1)。不同级别的辐射源引发的风险差异显著, 因此需要差异化管理措施。例如, 低风险设备只需基本防护, 而高风险源则需严格监控。这一管理方式的理论基础包括风险管理理论、分层控制理论、权变理论和资源分配理论, 其核心是依据实际情况制定策略, 优化资源配置, 确保有限的安全管理资源精准投入高风险领域, 从而提升整体安全管理水平。

#### 2.1.2 安全教育的关键要素

常规的分级分类管理依赖外部约束(如检查、奖惩), 但辐射安全风险的特殊性(如放射性物质的不可感知性和危害滞后性)要求建立其内在安全逻辑。融合教育的目标是通过风险认知校准、行为模式重塑和文化基因植入, 构建“安全优先”的实验室安全文化生态(表 1)。个体需通过教育建立“辐射风险想象力”, 并通过“事故情景重现模拟”等教育培训手段强化对风险层级的感性认知。例如, 将实验室分级与教育认证绑定, 高风险实验需通过虚拟现实技术(VR)进行模拟考核; 系统追踪人员操作数据, 自动推送针对性教育内容, 如实验辐射剂量超均值时触发防护强化培训。

#### 2.1.3 分级分类管理与教育融合的必然要求

为此, 需要构建基于分级分类动态管控与安全教育融

合的新型管理系统。一方面通过动态分级标准与智能监测技术的结合, 实现从设备生命周期管理向“风险场景—项目特性—技术参数”多维联动的精准跃迁; 另一方面以风险导向的教育资源重构和个性化推送机制破解教管分离困境, 依托物联网平台与数据中台建设打通信息壁垒, 最终形成“风险识别—动态调控—智能预警—教育赋能—资源保障”的闭环治理体系, 为破解传统管理模式的结构性缺陷提供系统性解决方案。

表 1 辐射安全分级分类管理和安全教育的核心目标、措施与理论基础

类别	关键要素	详情描述
分级分类管理	核心目标	控制能量传播, 实现防护效能最大化和成本最小化
	核心措施	智能分级分类、动态调整机制
	理论基础	风险管理理论、分层控制理论、权变理论和资源分配理论
辐射安全教育	核心目标	风险认知校准、行为模式重塑、安全文化基因植入
	核心措施	安全实操培训、安全课程、虚拟现实技术
	理论基础	风险认知理论、行为主义学习理论、复杂适应系统理论

### 2.2 融合系统的设计与智能化管理策略

#### 2.2.1 系统用户设置

辐射安全管理与教育的融合, 本质上是通过知识赋能破解“制度空转”困境。为此, 基于分级分类动态管控与安全教育融合的辐射安全管理系统(图 1), 旨在打破传统管理模式的局限, 通过智能化、动态化的管控手段提升辐射安全管理的科学性和有效性。该系统用户可设置为三类: 各级实验室管理员、教师/研究人员、学生, 不同角色拥有不同权限。

#### 2.2.2 系统核心应用模块设置

核心应用模块聚焦智能运用, 涵盖动态干预、智能监测和安全教育三个子模块。动态干预模块包括智能放射源风险评估与分级分类, 这一技术已取得显著进展, 不再是技术瓶颈。例如, 运用机器学习模型(输入参数包括核素类型、活度、操作频率), 可自动生成管控等级; 实行风险指数定期评估制度, 当风险要素(分值)波动达到所设阈值时, 将触发风险管理等级变更。同时, 系统还可依据定期的安全隐患巡查结果, 实时更新实验室风险等级。此外, 动态干预模块还具备智能准入控制、智能实时风险分析(基于监控和感应器的信息整合)以及应急预案(预警)自动触发系统, 能将预警信息及时分发给相关人员, 实现干预与闭环管理。智能监测模块主要集成智能辐射剂量仪、设备传感器和环境传感器, 实现信息兼容与整合, 确保对

实验室环境和设备状态进行全方位实时监测。安全教育模块则创新性地将以往相互独立的检查管理和安全教育进行整合联动, 借助智能系统实现教育与监测的深度融合。只有通过准入考试、实操培训以及相关资质考试的人员, 才能获得实验室门禁和设备使用权限。针对出现的重大安全隐患或违规行为, 系统将启动干预-教育联动机制, 对相关责任人和单位开展针对性安全教育与培训, 或根据实验室实时风险状态生成定制化教育内容, 考核合格后方可重新开展辐射实验活动。在风险分析-监测联动方面, 系统将对“屡查屡犯”和“屡查不改”的隐患要素和人员分别

实施专项管理和惩戒措施, 以强化安全管理效能。

### 2.2.3 系统存储与传输模块设置

存储与传输模块则负责保障整个系统的稳定运行, 不仅能满足辐射安全管理所在部门内的信息高效存储和交互, 还能实现与辐射安全关联的设备采购和科研管理部门的数据交互, 确保数据的安全性和完整性。通过辐射安全管理系统融合分级分类动态管控与安全教育, 打破传统局限, 借助智能放射源风险评估、智能实时风险分析等新技术, 实现动态干预、智能监测与安全教育协同, 将引领高校辐射安全智慧化管理新方向。

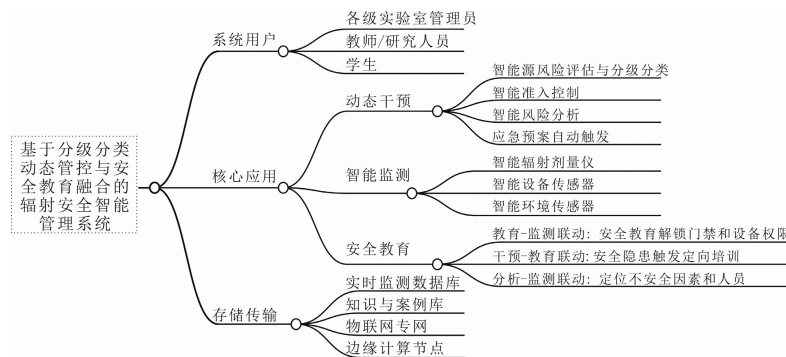


图1 基于分级分类动态管控与安全教育融合的辐射安全智能管理系统

## 3 认识与展望

随着高校科研的发展, 放射性同位素与射线装置的应用日益广泛, 为科研创新提供了强大动力, 同时也带来了新的辐射安全管理挑战。当前高校辐射安全管理存在制度和理念滞后、难以适应快速变化需求等问题, 面对复杂多样的辐射源和科研活动, 现有模式缺乏精准有效的管理规范。为此, 基于分级分类动态管控与安全教育融合的辐射安全管理系统应运而生。该系统通过智能放射源风险评估、实时风险分析、动态干预和智能监测, 及时发现并干预潜在风险, 并将安全教育贯穿全过程, 形成内循环优化的管理体系。这一创新模式弥补了传统管理的不足, 推动高校辐射安全管理向科学化、规范化和精细化迈进, 为高校辐射安全管理提供了新思路和方法。

### 参考文献

- [1] 郭筠, 黄开胜, 吕志刚, 等. 高校核技术及应用学科科研项目的辐射安全管理[J]. 实验技术与管理, 2023, 40(2): 1-6+25.
- [2] 王明明, 张伍魁, 陈光福, 等. 核医学教学中的辐射安全教育[J]. 中国辐射卫生, 2011, 20(3): 338-340.
- [3] 国务院. 放射性同位素与射线装置安全和防护条例[EB/OL]. (2019-03-02)[2025-03-03]. [https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/xzfg/201909/t20190918\\_734315.shtml](https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/xzfg/201909/t20190918_734315.shtml).

- [4] 国家环保总局. 放射性同位素与射线装置安全许可管理办法[EB/OL]. (2006-01-18)[2025-03-03]. [https://www.mee.gov.cn/gzk/gz/202112/t20211214\\_964123.shtml](https://www.mee.gov.cn/gzk/gz/202112/t20211214_964123.shtml).
- [5] 中华人民共和国教育部. 高等学校实验室安全分级分类管理办法(试行)[EB/OL]. (2024-04-08)[2025-03-03]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202404/content\\_6946788.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202404/content_6946788.htm).
- [6] 艾德生. 高校实验室安全形势与任务[J]. 实验技术与管理, 2025, 42(1): 1-10.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 程世红, 张磊, 侯作贤, 等. 高校核与辐射安全管理的实践与探索[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(11): 295-297.
- [10] 宁信, 张锐, 王满意, 等. 高校辐射安全管理的实践与探索[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(12): 312-315.
- [11] 陈实, 潘铁京. 科学规范管理高校辐射安全工作[J]. 实验室研究与探索, 2009, 28(6): 168-169+181.
- [12] 陈洪霞, 刘朋, 陈永清. 高校核与辐射安全监管规范化研究[J]. 中国现代教育装备, 2016, (19): 4-5.
- [13] 盛路. 高校辐射安全管理实践与思考[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(12): 211-213.
- [14] 战永佳, 于秀敏, 佟庆伟. 香港与内地高校实验室辐射安全管理工作比较[J]. 实验技术与管理, 2009, 26(3): 305-308.