

# 高校实验室安全责任落实与检测隐患整改率提升路径

赵晓慧\*

(安阳师范学院物理与电气工程学院, 安阳 455000)

**摘要:** 本文聚焦高校实验室安全责任落实与隐患整改核心问题, 针对责任体系残缺、整改闭环失效等突出痛点展开系统性研究。采用文献分析、数据调研结合量化模型的方法, 构建全链条分层级责任体系, 建立“考核-问责-激励”联动机制, 并从排查体系、闭环机制、资源技术支撑维度提出隐患整改措施。通过引入责任积分、考核回归等公式及K-均值聚类、故障树分析等算法, 实现安全管理的量化与精准化。本文明确各层级责任边界与整改关键节点, 为提升实验室安全管理水平提供系统性解决方案。

**关键词:** 实验室安全; 责任落实; 隐患整改; 量化管理; 闭环机制

## 0 引言

实验室作为高校科研与检测核心场所, 高压实验、电磁测试、原子层沉积等场景潜藏着设备安全、化学危害、电磁辐射等多重安全风险, 其安全管理水平直接关乎师生人身安全与科研教学秩序稳定。当前多数实验室存在安全责任划分模糊、传导断层, 隐患排查不准、整改闭环失效等问题, 已成为引发安全事故的重要诱因。现有管理模式缺乏针对性与系统性, 难以适配复杂实验场景安全管理需求。基于此, 本文针对安全责任落实与隐患整改的关键痛点展开分析, 具体聚焦责任体系残缺导致的权责模糊、责任传导断层问题以及隐患排查不精准、整改闭环失效、资源技术支撑不足等核心痛点, 通过系统性分析问题根源、构建科学管理体系、创新优化实施路径, 填补当前高校实验室安全管理中“重形式、轻实效”“重排查、轻闭环”的管理漏洞, 旨在填补管理漏洞, 为高校实验室安全管理提供科学可行的实践路径。

## 1 实验室安全责任落实与隐患整改的现状

### 1.1 安全责任体系残缺, 责任落实虚化

安全责任的划分模糊、传导衰减、问责宽松, 这三重突出问题共同作用, 直接导致实验室安全责任的落实彻底流于形式。(1)多数实验室未结合高温高压实验、电磁测试

等具体场景细化责任, 如高温高压实验操作环节, 要清楚设备注意事项、正常操作流程, 如何填写仪器使用记录, 紧急情况如何处置等流程要专人专责, 常出现操作时多人参与、出问题无人担责的情况。(2)责任传导过程中“上热中温下冷”的断层现象较为明显, 某省调研数据明确显示, 部分一线教师完全不清楚自身肩负的安全职责, 普遍将专业性极强的安全管理工作简单等同于日常实验流程<sup>[1]</sup>。(3)考核问责机制的长期缺失持续弱化了安全管理的约束效力, 安全责任与绩效评价的关联度始终处于较低水平。

### 1.2 隐患整改管控断裂, 闭环管理失效

隐患整改全流程中, 排查不准、评估不科学、闭环不严的关键断点相互交织, 严重阻碍了整改率的有效提升。首先, 排查过度依赖经验且缺乏相关专项工具, 对各种实验仪器接线混乱, 试剂随意摆放等隐蔽隐患识别能力弱; 未按风险等级对特殊设备类、普通教学类、有危害设备进行分级分类管理, 将示波器探头损坏与高压柜绝缘击穿风险同等处置, 造成资源错配。其次, 风险评估工作往往停留在表面层次, 以原子层沉积检查为例, 工作人员仅关注外观完好, 未使用多气体检测仪检测室内空气质量, 导致整改后仍存在仪器正常使用下有害气体回流风险。此外, 闭环管理的执行力较为薄弱, 重通知轻跟踪的现象在整个行业内也存在, 且缺乏对整改全流程的规范记录<sup>[2]</sup>。

## 2 实验室安全责任刚性落实的核心路径

### 2.1 构建全链条、分层级的责任体系

#### 2.1.1 全链条责任界定

在界定责任时需以实验室安全管理流程为核心脉络,将责任无缝贯穿于实验项目立项、设备采购、设备调试、操作实施、废弃物处理及事后复盘的完整链条,明确各环节责任主体的具体职责边界<sup>[3]</sup>。从量化角度引入责任累积积分,见公式(1):

$$R = \int_{t_0}^{t_n} f(t) dt \quad (1)$$

式中:  $R$  为全链条安全责任总量; 积分区间  $[t_0, t_n]$  对应从实验立项( $t_0$ )到事后复盘( $t_n$ )的完整时间维度;  $f(t)$  为责任密度函数, 反映不同节点责任权重(如特种设备操作环节权重设为 0.3, 远超普通仪器操作的 0.05), 具体量化值包括特种设备操作规范执行度、接地电阻检测频次等可测指标。

同时按科研实验室、教学实验室、实训室功能分区, 需将责任细化至每台特种设备、每个实验流程、每间实验室, 形成《岗位责任清单》, 明确特种设备实验操作员需每次使用填写《仪器使用记录》, 对该仪器产生的数据和问题等量化要求, 避免责任模糊。

#### 2.1.2 分层级责任落地

责任落地时需依据实验室人员岗位层级构建金字塔式责任体系。顶层管理层需承担安全决策与资源保障的核心责任, 定期召开安全工作会议研判潜在风险并制定科学管理策略<sup>[4]</sup>; 中层技术主管承担操作规程制定、实验室隐患技术评估责任, 将现有仪器设备年度校准计划转化为可执行措施并全程监督。一线实验员或指导教师承担直接操作责任, 严格执行一系列的规范和流程, 以确保实验安全, 数据真实可靠, 定期组织应急演练, 确保实验人员熟悉流程, 提升应急响应能力。各层级权责清晰、各负其责, 通过签订层级化安全责任书明确各层级责任目标与履职标准, 将安全责任与岗位考核直接挂钩, 让每个层级的人员都清楚自身的安全使命与失职后果, 建立实验设备隐患溯源机制, 从制度层面强化履职约束。

### 2.2 建立“考核+问责+激励”联动机制

#### 2.2.1 精准化考核

以责任清单为根本遵循构建多维度考核指标体系, 核心指标包括: 实验仪器设备操作合规率、实验室线路检测达标率、实验室安全台账完整性、应急处置熟练度<sup>[5]</sup>。考核结果的综合评估可引入多元线性回归模型, 实现多指标下的精准评分, 见公式(2):

$$S = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j X_j + \epsilon \quad (2)$$

式中:  $S$  为考核综合得分, 分;  $\beta_0$  为基础分常数项, 分;  $m$  为考核指标数量, 个;  $\beta_j$  为第  $j$  项指标的权重系数;  $X_j$  为第  $j$  项指标的原始得分, 分;  $\epsilon$  为随机误差项。此外工作人员需采用日常巡查、月度抽查与年度考核相结合的立体化考核方式, 日常巡查由安全专员负责实时记录履职情况, 月度抽查重点聚焦关键环节与高风险岗位, 年度考核则进行全面系统评估, 三者形成层层递进的考核闭环。

#### 2.2.2 协同化问责与激励

将考核结果作为问责与激励的直接依据, 建立分级问责机制, 对考核不合格者根据情节轻重依次采取约谈提醒、暂停实验操作资格、绩效扣减等问责措施, 对造成触电、火灾等事故的依法依规追究相应责任, 让问责成为不可触碰的底线<sup>[6]</sup>。同时设立安全专项激励, 考核优秀个人优先获得特种设备操作资格升级培训机会, 优秀团队给予实验仪器安全专项经费倾斜, 对发现使用设备中存在线路不合规, 操作不规范等重大隐患的人员, 年底评优评先优先考虑。具体流程图如图 1。

### 2.3 强化意识、技能双提升培训

#### 2.3.1 常态化意识培训

以实验室安全责任认知为核心开展常态化意识培训, 培训内容必须聚焦《实验室安全制度》的最新要求、特种设备操作责任边界、电磁辐射危害以及典型安全责任案例的深度剖析。通过实验操作虚拟现实体验增强代入感, 明确要求所有实验室人员每月至少参与一次的专题意识培训。

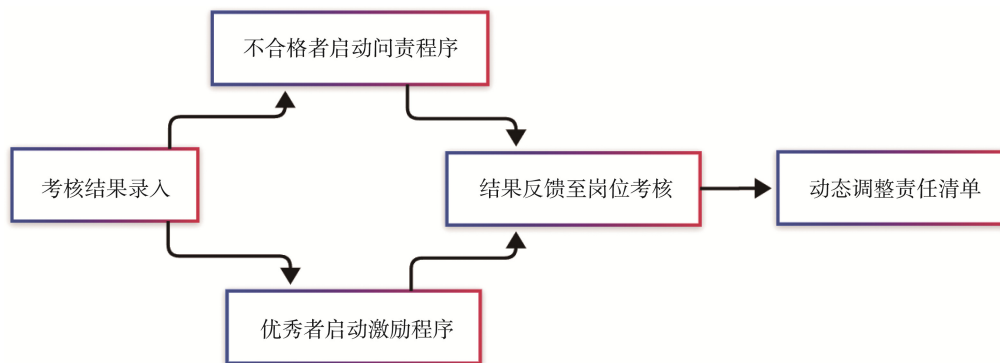


图 1 协同化问责与激励流程图

### 2.3.2 实操化技能培训

围绕实验室责任履行设计内容,重点包括高压设备验电/放电操作、电缆绝缘电阻测量、高温设备的增温操作、接地系统安装与检测、漏电保护器调试、实验仪器火灾应急处置、化学试剂泄漏处置等核心技能。采用理论讲解夯实基础、现场演示明确标准、实操演练提升能力的立体化培训模式,邀请实验仪器生产商提供专业的技术人员授课,手把手指导操作细节,建立技能档案记录仪器操作考核成绩、应急处置技能等数据,并将实操技能考核合格作为上岗的必要条件,定期组织技能复核培训,针对新设备引入、新试剂使用等情况及时开展专项技能培训<sup>[7]</sup>。

## 3 实验室检测隐患整改率提升的关键措施

### 3.1 构建隐患排查体系

#### 3.1.1 标准化排查

以电气设备为例,依据 GB 50169—2016《电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范》、GB 12158—2006《防止静电事故通用导则》等电气标准,结合实验室场景构建多维度标准体系,指标包括:高压设备绝缘电阻( $\geq 1000 \text{ M}\Omega/\text{kV}$ )、接地电阻( $\leq 4 \text{ }\Omega$ )、电缆绝缘层厚度(符合 GB/T 12706《额定电压 1 kV ( $U_m=1.2 \text{ kV}$ )到 35 kV ( $U_m=40.5 \text{ kV}$ )挤包绝缘电力电缆及附件》要求)、电磁辐射值( $\leq 40 \text{ V/m}$ )、漏电保护器动作电流( $\leq 30 \text{ mA}$ )等。为实现多维度指标的综合量化评估,可引入加权综合评价,见公式(3):

$$P = \sum_{i=1}^n \omega_i \frac{x_i}{x_{i0}} \quad (3)$$

式中: $P$ 为排查综合合规得分(取值范围 0~1,越接近 1 合规性越高); $n$ 为排查指标总数,个; $\omega_i$ 为第  $i$  项指标的权重; $x_i$ 为第  $i$  项指标的实际检测值,按对应指标单位执行; $x_{i0}$ 为该指标的标准阈值,按对应指标单位执行。将标准嵌入实验室信息管理系统,预设接地电阻超标自动预警、绝缘电阻数据异常提示等逻辑校验规则,确保排查数据与电气检测业务关联可追溯。

针对原子层沉积、化学试剂存储等其他高风险场景,补充专项排查标准:原子层沉积实验需检测室内有毒气体浓度(如 HCL、 $\text{NH}_3$  等)、设备密封件老化程度;化学试剂存储需核查试剂分类存放合规性、腐蚀性试剂密封状态等。

#### 3.1.2 精准化排查

基于实验室风险评估的作业条件危险性评价(likelihood, exposure, consequence, LEC)法量化结果,精准聚焦涉及痕量分析、高温高压等技术场景的高风险检测项目,采用高压绝缘检测仪、接地电阻测试仪、电磁辐射检测仪、多气体检测仪等智能设备结合人工研判,实现设备、电路、环境全维度排查<sup>[8]</sup>。同时利用物联网技术对高风险区域布设智能终端实现隐患数据的实时采集与传输,并结合检测任务的技术复杂度动态调整传感设备的采样频率。建立隐患排查数据库后,可运用  $K$ -均值聚类算法( $K$ -means clustering algorithm,

$K$ -means)挖掘关联规律,其核心目标函数,见公式(4):

$$J = \sum_{k=1}^K \sum_{x \in C_k} \|x - \mu_k\|^2 \quad (4)$$

式中: $J$ 为簇内平方和; $K$ 为预设的隐患类型簇数,个; $C_k$ 为第  $k$  个簇的样本集合; $x$ 为隐患数据样本向量; $\mu_k$ 为第  $k$  个簇的中心向量。通过该算法深度挖掘隐患与检测流程、设备运行参数的关联规律,精准定位技术薄弱环节,为后续靶向整改提供数据驱动的技术支撑。

### 3.2 建立“评估-整改-验收-复核”全流程闭环机制

#### 3.2.1 科学评估与靶向整改

针对排查出的安全隐患,第一时间启动专业化技术评估流程,由专业教师、实验室安全员等人员组成团队引入风险矩阵法,结合《实验室应急预案》判定根源。以高压柜绝缘电阻下降隐患为例,运用故障树分析(fault tree analysis, FTA)系统(依据 GB/T 7829—1987《故障树分析程序》)梳理隐患的传导路径,其中顶事件(压击穿事故)发生概率的核心计算见公式(5):

$$P(T) = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - P(A_i)] \quad (5)$$

式中: $P(T)$ 为顶事件发生概率; $m$ 为故障树中导致顶事件的最小割集数量,个; $P(A_i)$ 为第  $i$  个最小割集中所有基本事件同时发生的概率。该公式可量化隐患的影响范围,为整改工作找准核心靶点。同时依据评估结果制定高度匹配技术场景的个性化整改方案,明确整改过程中的技术参数控制范围与关键验证标准,通过实验室信息管理系统将整改任务精准拆解至具体技术岗位,借助系统内置的流程节点预警功能实时跟踪整改进度<sup>[9]</sup>。

#### 3.2.2 严格验收与闭环管理

实验室需严格依据实验室专项验收标准,明确仪器测试运行报告等技术文件要求,整改完成后相关责任主体需通过实验室信息管理系统提交包含完整过程技术参数的验收申请<sup>[10]</sup>。同时验收小组采用专用测试仪器现场核验等专业技术手段开展现场核查,运用统计学方法严谨验证整改结果的稳定性与合规性,可采用卡方(chi-square goodness-of-fit,  $\chi^2$ )拟合优度检验,见公式(6):

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (6)$$

式中: $\chi^2$ 为检验统计量; $r$ 为数据分组数,个; $O_i$ 为整改后第  $i$  组指标的实际观测值,按对应指标单位执行; $E$ 为该组指标的标准理论值,按对应指标单位执行。将计算得到的  $\chi^2$  值与临界值对比,可严谨验证整改结果的合规性<sup>[11]</sup>。验收合格的隐患及时纳入数据库并设定合理的技术复核周期,设定特种设备每季度复测、接地系统每月抽查的复核周期;不合格项立即下发技术整改意见书,形成“排查-评估-整改-验收-复核”的全流程闭环管理<sup>[12]</sup>。以电气设备为例,整改结果验证数据计算如表 1 所示。

表1 整改结果验证数据情况

| 数据分组(检测项目)         | 实际观测值 | 标准理论值(GB 标准) | 偏差项 $[(O-E)^2/E]$ | 检验统计量 $(\chi^2)$ | 自由度 | 临界值 $(\alpha=0.05)$ | 合规性判定 |
|--------------------|-------|--------------|-------------------|------------------|-----|---------------------|-------|
| 高压柜绝缘电阻/M $\Omega$ | 2500  | $\geq 2000$  | 125               | 127.618          | 4   | 11.07               | 合规    |
| 接地电阻/ $\Omega$     | 3.2   | $\leq 4.0$   | 0.16              |                  |     |                     |       |
| 漏电保护器动作电流/mA       | 25    | $\leq 30$    | 0.833             |                  |     |                     |       |
| 电磁辐射值/(V/m)        | 32    | $\leq 40$    | 1.6               |                  |     |                     |       |
| 电缆绝缘厚度/mm          | 1.8   | $\geq 1.6$   | 0.025             |                  |     |                     |       |

### 3.3 强化资源与技术的双重支撑保障

#### 3.3.1 资源保障

首先,需建立学院实验室专项资源保障机制,将高压绝缘检测仪、接地电阻测试仪、多气体检测仪等设备采购、实验室信息管理系统电气模块升级、电气安全培训等经费纳入专项预算,确保资金投入的稳定性与针对性<sup>[13]</sup>,为实现资源的最优配置,可引入线性规划优化模型,其目标函数与约束条件为公式(7):

$$\begin{cases} \max Z = \sum_{j=1}^q v_j y_j \\ \text{s.t.} \sum_{j=1}^q c_{ij} y_j \leq b_i \quad (i=1,2,\dots,p) \\ y_j \geq 0 \quad (j=1,2,\dots,q) \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $Z$  为资源配置总效益;  $q$  为资源类型数,个;  $v_j$  为第  $j$  种资源的效益系数;  $y_j$  为第  $j$  种资源的配置量;  $p$  为约束条件数,个;  $c_{ij}$  为第  $j$  种资源对第  $i$  个约束条件的消耗系数;  $b_i$  为第  $i$  个约束条件的上限值,按对应约束单位执行<sup>[14]</sup>。依据该模型制定资源需求清单实施精准配置,搭建跨部门技术资源共享平台,有效整合仪器校准、试剂纯化等分散的专业技术资源,打破部门壁垒提升资源利用率,建立规范化资源调配技术评审流程,由技术委员会全面评估资源配置的合理性与必要性。

#### 3.3.2 技术支撑

实验室需构建“硬件升级+软件优化+专家支撑”的立体化技术支撑体系,引入基于机器学习的安全隐患识别算法,通过 10 万+条设备运行数据训练模型,提升绝缘老化、接地异常等隐患识别准确率至 95% 以上<sup>[15]</sup>。具体来说,先务必与高校建立深度合作机制联合研发电气隐患智能预警系统,定期开展特种设备故障诊断、实验室应急处置安全融合培训,提升实验人员的技术应用能力。针对复杂疑难隐患立即启动远程专家会诊系统,借助高清视频技术实现现场情况的实时传输与专家精准技术指导,并搭建集成设备故障库、隐患案例库的信息化平台,嵌入人工智能算法实现隐患的智能分类、风险预判与整改方案推荐。

## 4 结束语

本文实践表明,实验室安全管理需以责任刚性落实

为核心,以隐患精准整改为抓手,通过体系构建、机制创新与技术赋能形成管理合力。全链条责任界定与分层级落地解决了责任虚化难题,多维度考核与智能排查技术提升了管理实效。本文打破传统经验化管理局限,构建了量化驱动、数智赋能的安全管理框架。未来可结合物联网与人工智能技术深化智能预警系统研发,扩大智能检测设备的应用覆盖范围,推动高校实验室安全管理从“被动防控”向“主动预判”转型,助力科研、教学工作安全高效开展。

### 参考文献

- [1] 马涛, 夏子渊. 提升高校基层单位实验室安全管理能力的建议[J]. 中国现代教育装备, 2024(11): 47-49.
- [2] 陈睿, 张洁, 罗宇成, 等. 高校实验室安全年度考核评价机制的探索和实践[J]. 实验室研究与探索, 2024, 43(3): 224-229.
- [3] 李江, 张惠芹, 徐文, 等. 高校实验室安全责任追究智能管理的探索与实践[J]. 实验技术与管理, 2024, 41(5): 232-236.
- [4] 自治区党委办公厅人民政府办公厅印发《关于城镇燃气安全提升行动的方案》等 37 个安全生产专项文件的通知[Z]. 宁夏回族自治区人民政府公报, 2023(16): 3-84.
- [5] 周营新. 高校实验室安全管理风险评价研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2023.
- [6] 陆璐. 高校实验室安全管理评价体系研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2023.
- [7] 黄小勇, 李霆, 周玉宇, 等. 高校实验室安全定量管理的探索与实践[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(9): 318-323.
- [8] 李响妹, 陈建铭, 李浩亮. 高校实验室安全检查与隐患治理[J]. 科教导刊, 2022(20): 13-15.
- [9] 田志刚. 高校实验室安全等级评价及管控对策研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2021.
- [10] 范强锐, 曲运波, 胡燕. 高校实验室的安全检查及安全隐患整改[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(2): 212-214.
- [11] 阎林平, 骆铁妹, 唐俊峰, 等. 高校落实实验室安全主体责任的策略研究[J]. 实验室研究与探索, 2025, 44(3): 246-250, 268.
- [12] 彭思雨. 高校突发事件风险管控机制研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2023.
- [13] 任光辉, 赵云. 基于新安法的高校实验室安全责任体系建设与探索[J]. 科教导刊, 2022(33): 140-142.
- [14] 武强. S 高校实验室安全管理问题与对策研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2022.
- [15] 史天贵, 郭宏伟, 姚朋君, 等. 高校实验室安全责任体系建设与实践[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(1): 13-16.