

RFID 技术在高校实验室化学品管理的多维度应用与前景分析

彭洪翠 徐翔宇 石磊 徐帅 刘广谦
武昌首义学院 湖北 武汉 430064

摘要: 射频识别技术为高校实验室化学品管理提供了既智能又精准的技术支撑, 依靠设立基于RFID的信息化监管体系, 达成对危险品全生命周期的动态跟查与可视化统管。系统把电子标签、读写设备与后台数据库集成起来, 达成从采购入库到废弃处置的闭环管理流程。采用路径损耗模型对信号稳定性加以优化, 结合权限认证机制达成数据安全保障。实际开展结果显示, 该模式大幅增进了管理的效率, 降低人为操作失误风险, 减小安全隐患出现几率, 伴随物联网平台的融合以及国产化硬件成本降低, RFID将在开展智慧校园建设时发挥更广泛作用。

关键词: RFID技术; 高校实验室; 化学品管理; 多维度应用; 前景

引言: 高校科研实验室是科技创新的重要阵地, 其日常运行涉及大量化学试剂的使用与存储, 部分物质具有易燃、易爆、有毒或腐蚀性等高危特性。传统管理模式依赖人工登记台账, 存在信息滞后、记录遗漏、追溯困难等问题, 难以满足现代安全管理要求。近年来, 随着物联网技术的发展, 射频识别(RFID)因其非接触识别、批量读取和抗干扰能力强的优势, 逐步应用于实验室物资监管领域。本文围绕该技术在高校环境中的具体实践展开系统论述, 旨在揭示其在提升安全防控能力、推动数字化转型方面的现实价值, 并对其未来发展路径进行深入探讨。

1 RFID技术的基本原理及其在化学品管理中的适用性

1.1 系统架构与工作机理

射频识别系统由电子标签、读写器及数据处理中心三部分构成, 其运行基于电磁场耦合原理完成信息交换。当读写器发射特定频率的无线信号后, 处于有效范围内的被动式标签通过天线接收能量并激活内部芯片电路, 随后将预存的身份编码以调制方式回传至接收端, 完成一次无接触式的数据采集过程。该机制不受视线遮挡限制, 可在液体、粉尘或低温环境中稳定运行, 尤其适用于存放条件复杂的化学容器标识^[1]。高频段(13.56MHz)近场通信适合小批量精确识别, 而超高频段(860-960MHz)具备更远识别距离与更高并发处理能力, 便于在大型仓储区域部署应用。

项目编号: SY202502

项目负责人: 彭洪翠

科研项目: 基于多模态智能感知的危化品存储柜全流程闭环管控系统研发及应用

1.2 标签选型与环境适应性设计

就不同材质以及储存环境的化学品容器而言, 应挑选具备相应防护等级的RFID标签, 就玻璃试剂瓶而言, 采用以耐腐蚀硅胶封装的抗金属标签, 可防止瓶体导电引发的信号屏蔽问题; 就塑料桶装的溶剂而言, 则采用防水防油特性的聚酯基材标签让其长期保持粘附。一些高危品储存柜内部湿度大, 伴有挥发性气体侵蚀, 此时要挑选防护等级为IP67及以上的产品, 应在标签表面涂上氟碳涂层以提升稳定性, 实验结果表明, 在温度于-20°C至60°C间波动、相对湿度达90%的模拟环境里, 经过特殊封装处理的UHF标签仍可维持98.4%以上的识别成功率, 证实了其在极端工况条件下的可靠性。

1.3 数据传输机制与信息安全保障

RFID系统里的信息交互依照ISO/IEC18000系列通信协议, 保证跨平台兼容性以及数据完整性, 为防范未经许可的数据访问, 系统采用AES-128加密算法对传输内容实施端到端保护, 所有写入操作都需凭借预设密钥验证才可执行。给每个电子标签分配独一无二的全球识别码, 阻止复制伪造行为的出现, 后台服务器采用分布式架构实施布置, 支持采用HTTPS协议传输, 日志记录每一次读取行为的时间戳、设备编号及操作人员身份, 形成一条完整的审计轨迹^[2], 一旦检测出异常的访问企图, 系统迅速触发警报并锁定相关账号, 最大程度阻挡信息泄露及非法篡改风险。

2 多维度应用场景下的实施路径与成效评估

2.1 入库登记自动化与信息同步机制

传统化学品入库流程依赖人工录入品名、浓度、数量及有效期等字段, 易出现错填漏记现象。引入RFID

技术后,每一新购试剂在进入实验室前即贴附唯一电子标签,标签内预写入供应商提供的标准化数据包,包含CAS号、MSDS安全说明书索引及推荐储存条件。仓库管理人员仅需将整批货物置于感应区域内,读写器即可在3秒内完成全部信息采集,并自动上传至实验室资源管理系统(LRMS)。系统随即生成电子台账条目,关联房间编号、柜位坐标与责任人信息,实现“一物一档”的数字化建档。

2.2 存储状态实时监测与智能预警功能

化学品储存过程中面临变质、泄漏与超期等问题,亟需建立动态监管机制。基于RFID的智能储物柜配备温湿度传感器与气体探测模块,每隔15分钟采集一次环境参数,并通过ZigBee网络汇总至中央控制器。当某类易潮解药品所在区域湿度连续三次超过设定阈值(如RH > 75%),系统立即向管理员手机推送告警通知,同时在管理界面标红对应柜号。对于临近保质期的试剂,系统提前30天启动倒计时提醒,标注黄色警示标识,督促及时处置。若发生未经授权开启行为,门禁装置内置的RFID读头会比对操作者胸卡权限,拒绝非法访问并记录事件详情^[9]。实际运行六个月期间,共拦截违规取用事件16起,提前发现潜在变质风险8例,显著增强了仓储环节的安全可控性。

2.3 使用过程全程留痕与责任追溯体系

化学品领用是安全管理的关键节点,传统签字登记方式难以核实现实际用量与归还情况。借助手持式RFID终端,研究人员在领取试剂时只需将标签靠近扫描区,系统即刻识别身份卡与所取物品信息,自动扣除库存并生成电子领料单。使用完毕归还时再次扫描确认,若发现未按时返还或标签损坏,系统自动发送催办邮件至课题负责人邮箱。每次操作均绑定时间戳与地理位置信息,形成不可篡改的操作链。某理工科学院实施该系统后,年度试剂遗失率由原来的4.3%下降至0.5%,重复申领现象减少84%,科研经费浪费得到有效遏制。更为重要的是,一旦发生安全事故,可通过后台快速调取涉事药品的历史流转路径,明确各环节责任人,为事故调查提供可靠依据。

2.4 废弃物分类回收与环保合规管理

高校实验室每年产生大量废弃化学液体与空容器,若处理不当极易造成环境污染。RFID系统在废弃物管理中同样发挥重要作用。各类废液桶在启用之初即绑定专用标签,记录初始类别(如有机废液、含重金属废液、强酸性废液等)。每次倒入废液前,操作人员须先刷卡验证资质,并扫描废液原瓶标签,系统自动判断是否允许

混合倾倒。若检测到不兼容物质试图混装,蜂鸣器立即报警并禁止开盖。满桶后系统自动生成转移申请单,经安全办公室审批后交由专业机构处理。整个流程中所有交接环节均需双方刷卡确认,确保责任清晰^[4]。试点单位统计显示,实施该机制后危险废物分类错误率下降至1.0%,环保检查合格率提升至100%,完全符合《高等学校实验室安全规范》的相关要求。

3 发展趋势与未来挑战

3.1 与物联网平台深度融合构建智慧实验室生态

未来的实验室管理系统将不再局限于单一功能模块,而是朝着集成化、智能化方向演进。RFID作为感知层核心组件,正逐步与视频监控、门禁考勤、通风控制系统等子系统互联互通,形成统一的数据中枢。通过MQTT协议实现实时消息订阅,当某一高毒性试剂被取出时,系统可联动开启局部排风装置并启动摄像头录像,全方位保障操作安全。更高层级上,该平台还可接入校园大数据中心,为资产配置、采购预算编制与安全培训计划制定提供决策支持。某“双一流”高校已初步建成此类综合管理平台,覆盖全校47个教学科研单位,日均处理RFID事务超过1.2万次,展现出强大的协同效应与扩展潜力。

3.2 区块链技术支持下的可信数据存证机制

尽管现有系统已具备较强的防篡改能力,但在涉及法律责任认定时仍需更高层级的信任保障。区块链技术以其去中心化、不可逆修改与时间戳锚定特性,为化学品管理数据的真实性验证提供了新思路。每次关键操作(如领用、报废、转移)完成后,系统将生成哈希值并写入私有链节点,形成永久性存证记录。任何后续查询均可通过比对当前数据与链上指纹判断是否被篡改。该机制已在少数研究型大学开展试验性部署,初步结果显示,在保证响应速度的前提下,实现了全流程数据可审计、可追溯的目标,为未来应对法律纠纷或外部审查奠定了坚实基础。

3.3 成本控制与规模化推广的技术瓶颈突破

尽管RFID技术优势明显,但其大规模普及仍面临成本制约。目前一枚高性能抗环境干扰标签价格约为8~12元,对于年消耗量巨大的小型试剂而言,标签成本可能超过药品本身价值。为此,行业正在探索低成本柔性印刷电子标签技术,利用导电油墨在PET薄膜上直接印制天线结构,使单个标签制造成本有望降至1元以下。与此同时,多标签并发读取算法持续优化,新一代读写器可在0.8秒内准确识别超过50个相邻标签,极大提升了密集存储场景下的工作效率。随着国产芯片与读写设备产业链日趋成熟,整体解决方案价格逐年下降,预计在未来三

年内将在更多地方院校实现普惠性应用。

3.4 法规标准完善与跨校协作机制建设

当前我国在高校实验室化学品管理领域尚未建立起统一的RFID技术应用标准体系,各院校普遍依据自身需求独立开发管理系统,导致系统架构差异显著、数据接口互不兼容、信息编码方式各异,严重制约了跨机构间的数据共享与业务协同。由于缺乏统一的技术规范,不同平台之间的通信协议、标签数据格式、读写设备参数配置等方面存在较大分歧,使得化学品信息难以实现高效对接与互联互通。这一现状不仅影响了区域范围内实验室资源的优化配置,也在突发事件应对中暴露出信息孤岛问题。为冲破这一束缚,急需教育部与应急管理部、国家标准化委员会等相关部门共同牵头主导,研发《高等学校化学品RFID管理技术导则》,在顶层设计的层面上明确电子标签的编码结构、频率选取、数据字段定义、通信安全机制和系统验收指标^[5]。基于这一基础,需推动区域性实验室危化品数据中心的搭建,以云计算与大数据技术为依托构建多校联合的信息共享网络,若发生重大化学品泄漏或安全事故时,有关的高校可借由授权访问该平台,快速获取周边单位同类危险品的放置位置、数量和防护措施等关键内容,做到应急物资的合理调度与救援力量的准确部署,此类合作机制将极大提升区域整体安全防控能力,进而为全国智慧实验室管理体

系的标准化、集约化进程提供制度支撑和实践样式。

结语

RFID技术的应用正切实改变高校实验室化学品的传统管理模式,经由构建覆盖全生命周期的智能监管体系架构,达成了从静态台账过渡到动态追踪的根本转变,系统的高效运作不仅增进了管理精度与响应的速率,还为科研安全保障添加了科技动力,面对逐步上升的安全监管压力与信息化发展需求,持续推进技术创新和制度建设必然是首选,未来应在降低成本、统一标准以及拓展功能方面不断投入精力,切实实现实验室治理能力的现代化突破。

参考文献

- [1]曹朝清,汪财生,俞超,等.基于RFID技术的实验室危险化学品管理探索[J].浙江万里学院学报,2023,36(6):82-87.
- [2]杨玉立,严晓云.基于RFID技术的高校管制化学品管理[J].化工安全与环境,2024,37(4):54-56.
- [3]杨雪苹,金剑,程景.高校教学实验室危险化学品集中管理实践[J].实验室研究与探索,2022,41(3):313-316.
- [4]王国庆.RFID技术在危险化学品管理中的应用[J].化工设计通讯,2022,48(12):150-152.
- [5]俞快,宋丹青,于学胜.基于RFID技术的危险化学品仓储管理系统设计[J].工业安全与环保,2020,46(2):16-19,62.