

物联网技术下的化验室化学试剂管理模式研究

蔺圣然, 王 钰*, 白婷婷

(西安市排水管理中心, 西安 710016)

摘要: 化学试剂是实验室日常工作的重要物质基础, 其管理水平直接影响实验室的运行效率和安全性。传统的化学试剂管理模式存在信息化程度低、实时监控难度大、库存管理效率低下等问题。本文针对当前实验室化学试剂管理中存在的问题, 提出了基于物联网技术的智能化管理解决方案, 设计了以感知层、网络传输层和应用层为核心的三层架构, 并结合多类型传感器、数据分析模型和管理平台模块, 实现对试剂存储环境的实时监控、分级预警及全生命周期管理, 旨在提升试剂管理的自动化水平, 实现试剂全过程可追溯、可监控、可管理的目标。

关键词: 物联网技术; 化学试剂; 实验室管理; 智能监控

0 引言

随着实验室规模不断扩大和检测业务量持续增长, 化学试剂管理的重要性日益凸显。传统的人工管理方式已难以满足现代实验室对试剂精细化、智能化管理的需求。物联网技术作为新一代信息技术的重要分支, 通过将传感器、射频识别等技术与互联网深度融合, 为解决试剂管理难题提供新的技术支撑。

1 物联网技术在实验室管理中的应用

物联网技术的快速发展为实验室管理提供了全新的技术支持, 推动了实验室管理从传统模式向智能化、信息化模式的转变。刘涛等人研究了物联网技术在电子实验室管理中的应用, 表明其能够实现实验设备的智能监控和资源共享, 从而提升管理效率和资源利用率^[1]。马振进一步探讨了基于物联网和大数据技术的实验室创新管理模式, 指出该模式通过传感器网络 and 数据分析技术, 实现了实验室资源的动态监控与智能调度, 显著提高了精细化管理水平^[2]。邓文翰分析了物联网技术在高校实验室中的渗透应用, 强调其在设备监测、安全管理和数据存储方面的显著成效, 为实验室的安全性和运行效率提供了有力保障^[3]。高梓源则研究了基于物联网技术的实验室智能管控一体化建设, 提出通过环境监测、设备管理和数据传输的综合解决方案, 不仅降低了管理成本, 还提升了运作效率^[4]。综上所述, 物联网技术在实验室管理中的应用, 有效提升了管理的智能化与信息化水平, 同时显著增强了实验室的资源利用效率与安全性能。

2 化学试剂管理的现状与问题分析

2.1 传统化学试剂管理模式分析

传统的化学试剂管理模式主要依赖人工操作和纸质记录, 其管理流程通常包括采购申请、入库验收、存储保管、使用领用和废弃物处置等环节^[5]。在采购环节, 管理人员需根据各部门申请和库存情况制定采购计划; 入库时通过人工方式登记试剂的名称、规格、批号、有效期等信息; 存储过程中主要依靠定期巡检方式监控储存环境; 领用环节采用纸质申请单和审批制度; 废弃物处置则需要专人负责记录和跟踪。这种管理模式在小规模实验室运行时尚能满足基本需求, 但随着实验室规模扩大和试剂种类增多, 其局限性日益显现, 难以适应现代实验室的管理要求。

2.2 化学试剂管理中存在的主要问题

通过对多个实验室的调研分析, 目前化学试剂管理中存在的主要问题可归纳为以下几个方面: 首先, 信息化水平低, 人工记录容易出现误差, 且数据统计分析困难, 无法实现试剂全生命周期的有效追踪; 其次, 存储环境监控不足, 特别是对于易燃易爆、有毒有害等危险化学品, 缺乏实时监测手段, 存在安全隐患; 第三, 库存管理效率低下, 常出现积压浪费或紧急采购的情况, 且试剂使用过程缺乏有效监管; 第四, 应急响应机制滞后, 当发生泄漏、火灾等突发事件时, 难以及时获取准确信息并采取相应措施; 第五, 缺乏科学的数据分析手段, 无法对试剂使用情况进行精确预测和合理调配, 造成资源浪费。

第一作者: 蔺圣然, 技术人员, 研究方向为水质检测、水质监测、检测结果分析、实验室数据处理。

* 通信作者: 王钰, 技术人员, 研究方向为水质检测、水质监测、检测结果分析、实验室数据处理。E-mail: 1152014976@qq.com

2.3 化学试剂管理的效率提升需求

基于上述问题分析, 现代实验室化学试剂管理亟需在以下方面实现效率提升: 第一, 建立智能化的信息管理系统, 实现试剂采购、入库、存储、使用、处置全过程的电子化管理和实时监控; 第二, 构建环境监测预警体系, 通过各类传感器实时采集温度、湿度、有害气体浓度等数据, 建立安全预警机制; 第三, 优化库存管理策略, 利用大数据分析技术, 建立科学的库存预警和补货模型, 实现库存的动态优化^[6]; 第四, 完善应急处置机制, 建立基于物联网的实时监控和快速响应系统; 第五, 加强数据分析与决策支持, 通过对历史数据的挖掘分析, 为试剂采购、使用规划提供科学依据。随着物联网、大数据等新一代信息技术的发展, 这些需求的实现已具备技术可能性, 关键在于如何将这些技术有效整合并付诸实施。

3 基于物联网技术的化学试剂管理模式设计

3.1 物联网系统架构设计

物联网化学试剂管理系统采用三层架构, 包括感知层、网络传输层和应用层。感知层主要由 RFID 标签、各类化学气体传感器、环境参数检测模块等组成, 负责采集试剂存储环境中的关键参数数据。网络传输层采用 ZigBee 无线传感网络结合 4G/5G 通信技术, 实现数据的可靠传输。应用层包括数据处理中心和管理平台, 完成数据分析与展示。系统的核心在于建立试剂全生命周期的智能监测体系, 实现对危险化学品存储环境的实时监控和预警。系统总体架构如图 1 所示。

3.2 传感器与数据采集技术

采用多类型传感器协同工作的方式进行数据采集。针对

易燃易爆类试剂, 配置 MQ-4 甲烷传感器和 MQ-7 一氧化碳传感器, 检测范围分别为 0~10000 μL/L 和 0~2000 μL/L; 对于强酸强碱类试剂, 使用 pH 值传感器实时监测泄漏情况; 同时配置 DHT11 温湿度传感器监测存储环境, 测量范围为温度 -40~80℃, 湿度 0%~100%RH。传感器数据采集周期可根据实际需求设置, 一般情况下温湿度每 5 min 采集一次, 气体浓度每分钟采集一次^[7]。数据采集过程中采用卡尔曼滤波算法消除噪声干扰, 提高数据可靠性。

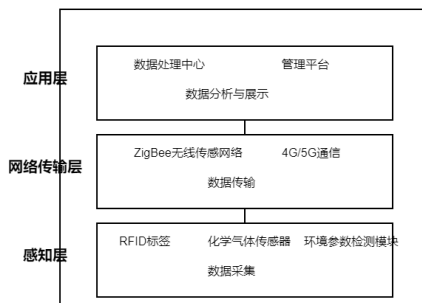


图 1 物联网化学试剂管理系统架构图

3.3 化学试剂管理平台功能设计

管理平台基于 B/S 架构设计, 重点实现以下功能模块:

- (1) 试剂信息管理模块: 包括基础信息录入、库存查询、使用记录等功能;
- (2) 环境监测模块: 实时显示各测点温湿度、气体浓度等参数, 并具备历史数据查询与导出功能;
- (3) 预警管理模块: 设置多级预警阈值, 当监测参数超出安全范围时自动触发报警;
- (4) 数据分析模块: 通过数理统计方法分析试剂使用规律, 预测库存需求^[8]。平台采用分布式架构, 确保数据处理的实时性和可靠性。系统的关键监测参数及预警阈值设置如表 1 所示。

表 1 关键监测参数及预警阈值设置

参数类型	监测范围	一级预警阈值	二级预警阈值
温度	-40~80℃	> 35℃ 或 < 5℃	> 45℃ 或 < 0℃
相对湿度	0%~100%RH	> 75% 或 < 25%	> 85% 或 < 20%
甲烷浓度	0~10000 μL/L	> 1000 μL/L	> 5000 μL/L
CO 浓度	0~2000 μL/L	> 50 μL/L	> 200 μL/L

3.4 数据处理与分析模型

本系统建立了完整的数据处理与分析体系, 重点解决化学试剂存储过程中的环境参数监测与预警问题^[9]。数据处理首先对采集的温度、湿度、气体浓度等原始数据进行预处理, 包括异常值识别与剔除、数据平滑等操作^[10]。考虑到环境参数的连续性特征, 采用滑动平均法进行数据平滑处理:

$$Y_t = \frac{X_{t-n} + X_{t-(n-1)} + \dots + X_{t-1} + X_t}{n}$$

其中, Y_t 为平滑值, X_t 为原始数据, n 为平滑周期, 一般取值为 5~10 min。

针对不同类型化学试剂的危险特性, 系统设计了分级预警模型。以易燃易爆试剂为例, 基于气体浓度检测值建立预警判别式:

$$R = \frac{C - C_0}{(C_{MAX} - C_0)} \times 100\%$$

其中, R 为危险等级判别值, C 为当前检测浓度, C_0 为安全阈值, C_{MAX} 为允许最大浓度。当 R 值处于不同区间时触发相应级别的预警。

系统将处理后的数据按照时间序列存储, 构建了多维度的数据分析模块。在日常监测中, 实时显示各监测点的环境参数

变化趋势, 并与标准值进行比对。当检测到异常时, 系统自动追踪参数变化规律, 分析可能的原因。例如, 温度异常可能与制冷系统故障或环境干扰有关, 系统会结合湿度、气体浓度等其他参数进行综合判断, 提高预警的准确性。

4 系统实现与应用效果评估

4.1 系统硬件与软件实现

系统硬件实现主要包括三个层面: 感知层采用 STM32 单片机作为主控制器, 连接 DHT11 温湿度传感器、MQ-4 甲烷传感器、MQ-7 一氧化碳传感器等数据采集模块, 并配置 RF433MHz 无线通信模块实现数据传输; 网络层采用 ZigBee 协议组网, 搭建 WSN 无线传感网络, 通过网关节点连接以太网实现数据上传; 服务器端采用双机热备份方案, 配置 Dell R740 服务器, CPU 为 Intel Xeon Gold 6258R, 内存 64GB, 存储采用 RAID5 阵列。软件平台采用 B/S 架构, 后端使用 Spring Boot 框架开发, 数据库选用 MySQL 8.0, 并集成 Redis 缓存提升系统响应速度。前端采用 Vue.js 框架实现, 结合 Element UI 组件库构建用户界面, 使用 ECharts 实现数据可视化展示。系统各功能模块经过严格的单元测试和集成测试, 整体性能稳定可靠。

4.2 系统应用案例分析

某大型综合性检测实验室在导入该系统后, 对其危险化学品库房进行了为期 6 个月的试运行评估。试运行期间, 系统共处理数据采集记录超过 500 万条, 成功识别并预警异常事件 47 次, 其中温度异常 12 次、湿度异常 15 次、气体浓度异常 20 次。在一次制冷系统故障事件中, 系统及时发现温度异常上升趋势, 提前 4 h 预警, 使管理人员有充足时间启动应急预案, 避免了因温度升高导致的试剂变质风险。通过 RFID 电子标签追踪, 系统准确记录了 94 种重点监管试剂的库存变动, 平均盘点时间从传统的 34 h 缩短至 15 min, 库存准确率达到 99.8%。特别是在易制毒化学品管理方面, 系统实现了从购入到使用的全程可追溯, 有效防止了试剂流失。

4.3 系统实施效果与优化建议

通过半年的实际运行数据分析, 系统在提升管理效率、降低安全风险等方面取得显著成效: 试剂库存周转率提升 28%, 库存积压降低 35%, 人工管理成本降低 42%, 突发事件响应时间缩短至平均 10 min 以内。环境监测数据的准确率达到 99.5%, 预警响应及时率达到 100%。但在实际运行中也发现需要优化的方面: 首先, 建议增强系统的人工智能分析能力, 通

过机器学习算法对历史数据进行深度挖掘, 提高异常预测的准确性; 其次, 可以开发移动端应用, 方便管理人员随时查看监控数据; 最后, 建议增加视频监控模块, 实现对重点区域的实时视频监控, 进一步提升系统的综合管理能力。

5 结论

本文围绕实验室化学试剂管理的难点与痛点, 提出了基于物联网技术的智能化管理模式, 并通过系统架构设计、功能模块实现及实际应用案例进行全面验证。研究以实验室管理效率提升和安全保障为目标, 综合运用 RFID、环境传感器、无线传输等物联网技术, 构建了一套适用于化学试剂全生命周期管理的智能化系统。研究表明, 物联网技术在化学试剂管理中的应用能够有效提升信息化与自动化水平, 实现试剂全生命周期的可追溯、可监控与高效管理, 显著降低了安全隐患与管理成本, 为现代实验室的高效、安全运行提供了创新性解决方案。同时, 研究也为智能化实验室管理的发展与优化提出了可行的改进方向, 具有广泛的应用前景与推广价值。

参考文献

- [1] 刘涛, 黄育, 潘安. 物联网技术在电子实验室管理系统中的应用[J]. 中国宽带, 2023, 19(12): 76-78.
- [2] 马振. 基于物联网+大数据技术的实验室创新管理模式分析[J]. 信息记录材料, 2023, 24(09): 205-207, 211.
- [3] 邓文翰. 物联网在高校实验室管理中渗透分析[J]. 大众标准化, 2022, (23): 123-125.
- [4] 高梓源. 基于物联网技术的实验室智能管控一体化建设[J]. 长江信息通信, 2022, 35(07): 111-113, 116.
- [5] 张高峰. 化学实验室安全管理现状与对策探究[J]. 现代盐化工, 2022, 49(01): 98-99.
- [6] 王雪宁. 高校化学试剂安全管理的现状调查与分析[J]. 化工设计通讯, 2021, 47(12): 137~138.
- [7] 齐一凡, 李柱, 江静君. 基于物联网技术实现化学试剂智能化管理的应用实践[J]. 城镇供水, 2024, (03): 30-33.
- [8] 常旭琴. 物联网技术在危险化学品管理中的应用研究[J]. 中国科技期刊数据库工业A, 2023, (07): 133-136.
- [9] 刘高, 李铭, 田华, 等. 实验室化学试剂管理研究进展[J]. 四川化工, 2024, 27(01): 32-35.
- [10] 楼琼蕙. 探讨物联网技术在实验室安全管理中的应用[J]. 电脑编程技巧与维护, 2022, (01): 169-171.