



基于环境安全的实验室智能监控管理系统

葛 镜¹, 张国平¹, 王宁宁¹, 汪馨童²

(1. 华中师范大学 物理科学与技术学院, 武汉 430079; 2. 武汉学院 信息工程学院, 武汉 430212)

摘要: 高校实验室是开展科学研究和人才培养的重要场所, 但近年实验室频发的安全事故对正常的教学科研工作带来了不利影响。为有效地进行实验安全管理, 设计了一套实验室智能监控管理系统, 能实现实验室环境全天候智能化的监测和安全管理。系统分为上位机和下位机两部分, 上位机安装在办公室或其他场所, 能远程监控实验室的各项环境参数并控制实验室的环境设备; 下位机安装在实验室实时采集实验室的各项环境参数, 并连接实验室的环境设备。系统采用基于 ARM 的芯片作为主芯片, 选择了一系列适合的传感器采集环境参数, 包括一氧化碳、二氧化碳、温湿度、漏水传感器等。该系统已在华中师范大学电工电子湖北省实验教学示范中心试用, 试用期间运行正常, 为实验室的管理工作带来很大便利。

关键词: 实验室; 安全管理; 智能监控; 管理系统

中图分类号: G642

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230490

Laboratory Intelligent Monitoring and Management System Based on Environmental Safety

GE Jing¹, ZHANG Guoping¹, WANG Ningning¹, WANG Xintong²

(1. College of Physical Science and Technology, Central China Normal University, Wuhan 430079, China;

2. School of Information Engineering, Wuhan College, Wuhan 430212, China)

Abstract: The university laboratory is an important place to carry out scientific research and personnel training, but in recent years, the frequent safety accidents in the laboratory have brought adverse effects on the normal teaching and research work. How to effectively manage experimental safety is a problem that needs to be considered and solved. A set of laboratory intelligent monitoring and management system is designed, which can realize the intelligent monitoring and safety management of the laboratory environment all day long. The system is divided into upper computer and lower computer. The upper computer installed in the office or other places can remotely monitor various environmental parameters of the laboratory and control the environmental equipment of the laboratory. The lower computer installed in the laboratory can collect various environmental parameters of the laboratory in real time and connect the environmental equipment of the laboratory. This system uses ARM based chip as the main chip, and selects a series of suitable sensors to collect environmental parameters, including carbon monoxide sensor, carbon dioxide sensor, temperature and humidity sensors, water leakage alarm controller, etc. The system has been put into trial use in Hubei Electrical and Electronic Experiment Teaching Demonstration Center of Central China Normal University. During the trial period, it runs normally and brings great convenience to the management of the laboratory.

Key words: laboratory; security management; intelligent monitoring; management system.

高校实验室是开展教学科研, 培养高端人才的重要场所。近年来, 我国高校实验室安全事故频发, 给高校师生日常的科研教学工作带来了不利影响, 对实验教学和科学研究的正常开展造成了阻碍^[1-2]。为满足实验室安全规范化管理, 以及健康、可持续发展, 近年来教育主管部门将实验室安全提升到一个重要的层面, 高校实验室安

全管理工作越来越受到重视^[3-4]。

实验室安全监控主要依靠实验室管理人员的人工监控, 这种监控管理方式存在着一些问题^[5-6]。实验室的人员配备有限, 往往一个实验室管理人员分管几间或十几间实验室, 不可能时刻保障每个实验室有管理人员值守。目前, 实验室一般采用视频监控的方式提高人员管理效率, 但

收稿日期: 2023-10-19; 修回日期: 2024-01-02

基金项目: 华中师范大学校级实验项目(2021sys02)。

作者简介: 葛镜(1980-), 女, 博士, 高级工程师, 主要从事高校实验教育方面的研究。E-mail: gj@mail.ccnu.edu.cn

实验室使用频率高,很多实验在下班后、节假日仍需开展,即使实验室管理人员通过视频监控可以同时管理多间实验室,但难以 24 小时值守。实验室无管理人员值守时,如突发安全事故,可能因无法及时处理而演变成重大异常情况,从而造成无法挽回的损失。华中师范大学湖北省高等学校电工电子实验教学示范中心(以下简称“中心”),长期开设开放实验,在非工作日实验室在无管理人员现场值守时如何有效地实现实验室的安全管理,是需要考虑和解决的问题。传统的实验室安全监控管理方式已经不再适应当前物联网时代的发展需求,实验室的安全监控管理技术也亟须进一步提高与完善^[7]。基于以上原因,中心设计了一套实验室智能监控管理系统,通过采集实验室环境参数,自动控制实验室环境设备,实现实验室环境的全天候智能化安全管理。

1 环境参数

实验室智能监控管理系统需要采集哪些环境参数,是首先考虑的问题。现有的一些实验室环境监控主要以烟雾报警、火灾防护为主^[8]。在设计系统时除了考虑实验室的设备安全外,实验室内的人员安全更是应关注的重点,因此将一氧化碳、二氧化碳浓度,臭氧、粉尘等参数以及温度、湿度,漏水和火灾监测等环境参数列入系统的监控。

1) 一氧化碳和二氧化碳是空气中常见气体,但含量太高也会造成人员危害。如一氧化碳吸入过量,会造成一氧化碳中毒,严重者甚至窒息死亡;二氧化碳吸入过量会导致呼吸急促,严重时可引起头痛、神志不清等症状。为了确保实验室的人员安全,将一氧化碳和二氧化碳浓度列入环境采集。

2) 电子类实验室的环境需要保持在一个相对稳定的状态,实验室温湿度过高过低都不利于设备的正常运行,因此将温度和湿度列入环境监控参数。

3) 由于实验室内安装空调、风扇等设备,设备在工作时产生的冷凝水可能渗入室内,下雨时雨水可能飘入室内,为防止漏水对实验室环境产生影响,将积水情况列入环境监控参数,在易积水位置进行监测,提醒管理人员及时清理积水。

4) 火灾对实验室的安全会造成严重威胁,为防

止火灾的异常情况发生,还需配备火灾探测器^[9-10]。

选取适当的环境参数后,通过实验室环境质量标准来确定各参数的安全阈值范围,实验室的环境质量标准如表 1 所示。根据各环境参数的分子量,将各环境参数换算成对应传感器使用的单位标准,换算后 O₃ 浓度每小时均值约为 $4.7 \times 10^{-9} \text{ mg/m}^3$, PM_{2.5} 每日均值为 $150 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, CO 浓度参考《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)中规定的 CO 浓度限值每小时均值为 10 mg/m^3 , 换算后上限阈值为 8×10^{-6} , CO₂ 浓度参考《室内空气中二氧化碳卫生标准》(GB/T 17094—1997)中规定室内空气中 CO₂ 卫生标准值为每小时小于等于 2000 mg/m^3 , 换算后上限阈值为 1.017×10^{-3} 。

表 1 实验室环境质量标准

环境参数	安全阈值	备注
温度/℃	16~24	每小时均值
相对湿度/%	50~70	每小时均值
臭氧(O ₃)/mg·m ⁻³	$\leq 4.7 \times 10^{-9}$	每小时均值
PM _{2.5} /μg·m ⁻³	≤ 150	日均值
一氧化碳(CO)/mg·m ⁻³	$\leq 8 \times 10^{-6}$	每小时均值
二氧化碳(CO ₂)/mg·m ⁻³	$\leq 1.017 \times 10^{-3}$	每小时均值

2 系统总体设计与实现

实验室各类环境参数通过实验室智能监控管理系统采集和监控,系统能判断环境参数是否在安全阈值范围内。当检测到异常参数时,系统能实时报警,但如果仅仅是报警并不能确保实验室的安全,我们需将实验室的现场环境设备(包括空调、抽湿机、抽风机等)纳入系统的控制范围,并通过启动或调控实验室的现场环境设备,将实验室的环境调整到正常范围。系统包括上位机和下位机两部分,总体架构如图 1 所示。

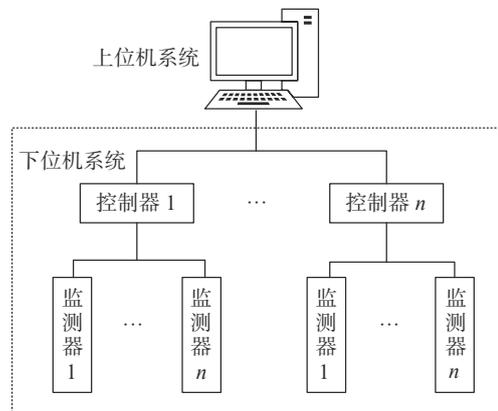


图 1 实验室智能监控管理系统总体架构图

2.1 上位机系统的设计与实现

上位机系统为一个可视化交互平台, 安装在电脑上, 一套系统能同时监控管理多个实验室。实验室管理员在办公室或其他场所登录上位机系统即可远程监控实验室的各项环境参数。上位机系统工作流程如图 2 所示。当用户登录系统后, 根据用户权限匹配相应的主界面。选择合适的通信方式接收下位机采集的环境参数, 将数据在主界面呈现给用户。如果环境参数不在设置的阈值范围内将自动启动报警机制, 通过接收用户在上位机输入的指令向下位机发出调控信号, 如果无人值守系统则向下位机自动发出启动调控实验室的现场环境设备的指令。整个调整过程和数据都存入数据库并显示给用户。

上位机用户界面如图 3 所示。实验室管理人员登录用户界面读取实验室的各项环境温度, 通过上位机操控实验室内的各类环境设备, 无人值守时系统能自动对环境异常作出反应。

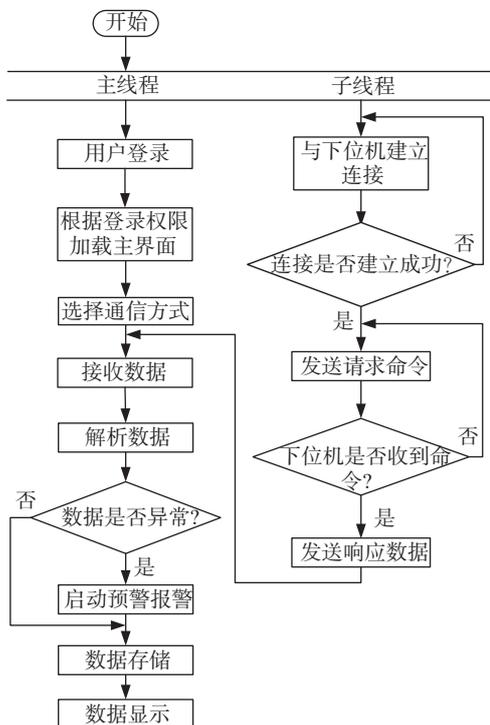


图 2 上位机系统工作流程图



图 3 实验室智能监控系统用户界面图

2.2 下位机系统的设计与实现

下位机系统安装在实验室内, 负责实时采集实验室内部环境参数, 控制现场环境设备, 包括环境监测器及控制器两部分, 它们之间的通信方式有两种, 即无线或有线通信。无线通信方式可选择 ZigBee 或者 LoRa, 有线通信方式采用 RS-485 进行。当下位机系统收到来自上位机提取系统

环境参数请求命令时, 下位机系统采用有线 RS-485 通信方式将采集的数据传送至上位机。下位机系统架构图如图 4 所示。

根据实验室安全需求, 环境监测器集成了多个不同类型的传感器, 检测一氧化碳、二氧化碳、臭氧、粉尘浓度, 以及温湿度传感器、漏水传感器和烟雾报警器^[1]。环境监测器采集实验室各区

域的环境数据，并将获取到的环境参数通过网络传送至控制器^[12]。每间实验室的环境检测模块都

配备一个 LED 显示屏，以便在实验室里的实验操作人员可直观看到各项环境参数，如图 5 所示。

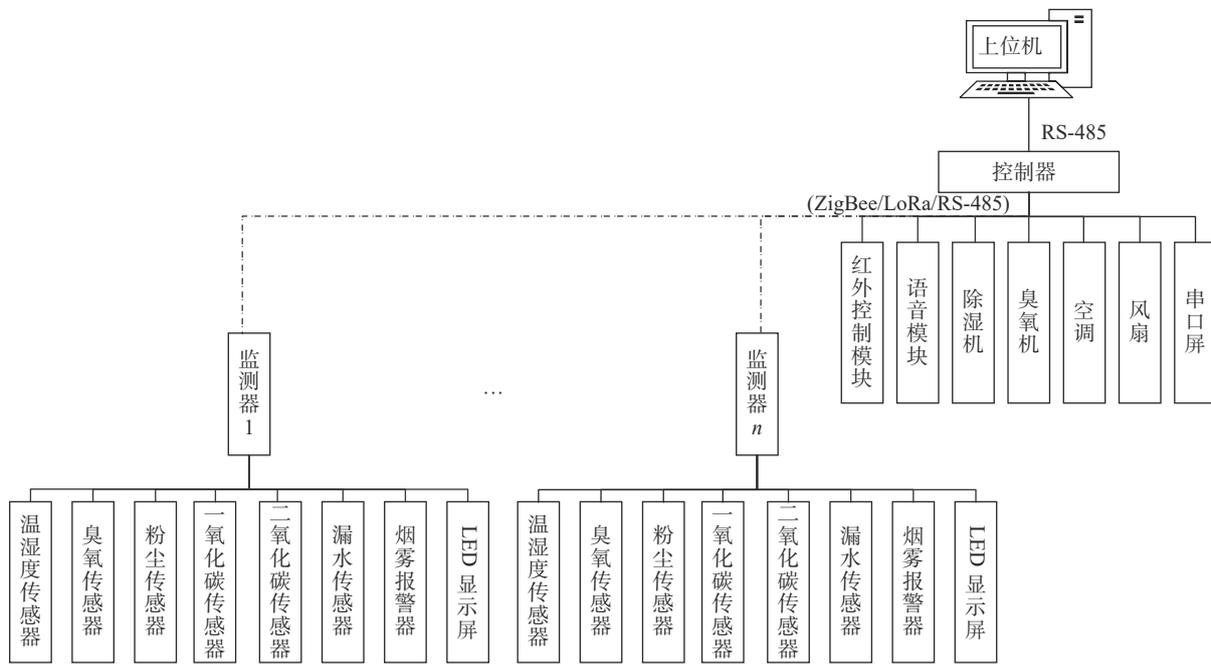


图 4 下位机系统架构图



图 5 LED 屏显示图

控制器连接着实验室现场的环境设备，并负责对它们进行控制和管理，同时对环境监测器传送的数据进行进一步封装及暂存。控制器收集监测器采集的各项参数，通过与系统预先设置的各项参数阈值进行对比，判断当前环境是否符合安全标准，如某项参数不达标，则向上位机发出报警信息，系统启动相应的环境设备，使环境恢复到预先设置的符合实验安全运行的最佳状态。如实验室温度高于系统设置的正常温度范围，系统自动报警并启动实验室空调进入制冷状态，如空调已启动则进一步降低空调温度，从而实现环境的自动调整。

3 系统的硬件

3.1 主控芯片

下位机中的环境监测器和控制器是整个系统

硬件的核心单元。环境监测器实现实验室环境参数的采集，控制器实现环境参数的收集，对环境设备控制调控，并负责联系上位机。环境监测器的主控芯片选用意法半导体公司生产的基于 ARM 的 Cortex-M3 低功耗 STM32F103VET6。控制器需要实现的功能更多，主控芯片选用意法半导体公司生产的基于 ARM 的 Cortex-M4 低功耗 STM32F407ZET6。芯片能满足系统的设计需求，价格合适，功耗较低，并且有空余资源可用于后期的进一步开发^[13-14]。

环境监测器的设计框图如图 6 所示。数据采集模块负责采集实验室各项环境参数，并将参数存储在存储模块中供调用，通信模块将监测器采集的参数传输给控制器，数据显示模块能将数据采集模块收集的参数实时显示。

控制器的设计框图如图 7 所示。控制器读取环境监测器采集的各项环境参数，同时存储各项环境温度的阈值，并判断环境参数是否在阈值范围内。设备控制模块连接和控制实验室内的环境设置，包括空调、风扇、除湿机、臭氧消毒机、抽风机等设备，对于不同的设备采用不同的连接和管理方式，如空调采用红外模块进行遥控，除湿机通过连接设备到总线进行控制。数据交互模块负责将参数提供至上位机，包括控制器收集到

的环境参数, 监测器环境采集模块中各传感器的连接状态, 外部设备的开关控制状态, 同时将用户指令反馈给控制器。

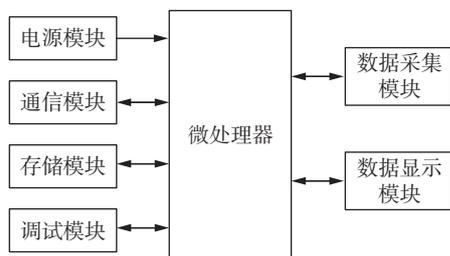


图6 环境监测器设计框图

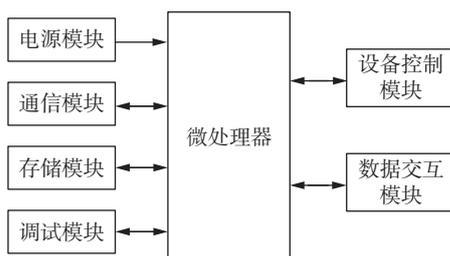


图7 环境控制器设计框图

3.2 传感器的选择

根据各类传感器的特点, 结合性价比和性能特点, 最终选取的传感器类型和特点如表2所示。温湿度传感器使用DHT22型号传感器, 该传感器内部有一个NTC测温元件和一个电容式感湿

元件, 还内置了一个8位单片机, 具有稳定、低功耗、长距离输出等优点。漏水传感器使用EYK-JSK930型号, 是一款成本低廉的智能化液体泄漏检测设备, 输出信号为继电器信号。该传感器除了可使用检测线缆, 也能和其他检测探头配套使用, 一旦检测到液体, 控制器立即启动继电器, 输出常开常闭无源信号。烟雾报警器采用JTY-GD-DG311型号光电感烟火灾探测器, 具有灵敏度高、耗电小、稳定可靠、使用方便等特点。臭氧传感器采用MQ131型号传感器, 使用电导率较高的半导体金属氧化物作为气敏材料, 空气中臭氧浓度增加使传感器的电导率降低, 传感器内部构建简单的电路, 能将电导的变化转换为气体浓度相应的输出。臭氧传感器有良好的灵敏度, 具有长寿命、低成本等优点。粉尘传感器PM_{2.5}选择型号为GP2Y1051AU0F, 检测浓度范围为0~500 μg·m⁻³, 灵敏度0.5 V/(0.1 mg·m⁻³), 响应时间小于120 s, 当空气中粉尘浓度从0%到90%时的响应时间小于120 s。系统使用ZE07-CO电化学一氧化碳模组, 其检测浓度范围为0~5×10⁻⁴ μg·m⁻³, 分辨率1×10⁻⁷, 具有功耗低、抗干扰能力强的特点。系统使用MH-Z14型号CO₂传感器, 利用非色散红外原理对空气中的CO₂浓度进行检测, 输出数据的灵敏度更高。

表2 传感器选择表

传感器	选型	相关参数	特点
温湿度传感器	DHT22	工作电压3~5.5 V(DC), 采集时长间隔2 s, 温度的测量范围为-40~80 °C, 湿度测量范围为0~99.9%RH, 温度精度为±0.5 °C, 湿度精度为±2%RH, 分辨率为0.1 °C和0.1%RH	体积小、功耗低
漏水传感器	JTY-GD-DG311	工作电压9~30V(DC), 工作环境为-20~50 °C、5%~95%RH	运行稳定、抗干扰性强
烟雾报警器	EYK-JSK930	工作电压9~28 V(DC), 工作环境为-10~50 °C、0~95%RH	灵敏度高、稳定可靠、耗电小
臭氧传感器	MQ131(低浓)	工作电压5±0.2V, 检测浓度范围为10~1×10 ⁻⁶ , 响应时间小于3 s	灵敏度较高、响应时间短
粉尘传感器 (PM _{2.5})	GP2Y1051AU0F	工作电压4.8~5.2 V(DC), 检测浓度范围为0~500 μg·m ⁻³ , 灵敏度0.5 V/(0.1 mg·m ⁻³), 响应时间小于120 s	能够检测低浓度的空气污染
一氧化碳传感器	ZE07-CO	工作电压5~12 V(DC), 检测浓度范围为0~5×10 ⁻⁴ μg·m ⁻³ , 分辨率1×10 ⁻⁷	高灵敏度、低功耗、寿命长
二氧化碳传感器	MH-Z14A	工作电压4.5~5.5V(DC), 检测浓度范围为0~5×10 ⁻³ μg·m ⁻³ , 响应时间小于120 s	量程可选、自动校准

4 结束语

实验室智能监控管理系统, 实时采集实验室内部的环境参数, 控制设备状态, 从而保证在无人值守时实验教学和科研工作的仍能正常进行,

实现实验室智能化的安全管理。该系统于2023年初在华中师范大学湖北省高等学校电工电子实验教学示范中心试用, 持续运行10个月, 系统无异常, 能稳定运行。

系统的环境检测器和控制器之间可实现正常

通信, 通过上位机能读取环境参数并控制实验室现场的环境设备。系统能实时监控实验室的各项环境参数, 当环境参数超出系统预设的阈值范围时, 系统能报警并自动启动外围设备改善环境情况, 也可由管理人员远程控制和管理。系统运行中进行了掉电测试, 每隔 5 min 进行一次强制断电, 测试后系统仍然能稳定运行, 且各模块无损坏或异常。

经过上述测试, 系统的试用情况符合预期, 环境监控系统能够稳定、可靠地运行, 满足设计需求, 实现智能环境监控功能。系统的可靠运行验证了设计方案的可行性、有效性, 具备了安全可靠的实验室环境监控能力, 能够节约人力成本, 实现实验室的自动化管理, 特别是无人值守时能远程监控管理, 为实验室的管理工作带来便利。该系统可进一步在其他专业实验室, 如物理实验室、材料实验室、化学实验室中进行推广应用。

参考文献

- [1] 易玉枚, 王文豪. 高校实验室应急管理体系构建[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(11): 282-286.
- [2] 李浩, 侯永振, 田兵伟. 提升高校实验室安全管理的对策和措施研究[J]. 实验科学与技术, 2021, 19(2): 146-150.
- [3] 宿艳, 戴岳, 杨金辉, 等. 高校化学实验室安全体系的构建与实践[J]. 实验科学与技术, 2021, 19(3): 142-145.
- [4] 王大刚, 贾均平, 曾玉祥, 等. 新时代高校实验室安全管理研究与探索[J]. 实验室科学, 2023, 26(3): 190-193.
- [5] 朱臻, 窦小刚. 基于信息化平台建设的高校实验室安全管理体系研究[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(4): 1-3.
- [6] 黄渝斐, 王卓然, 陈铖颖, 等. 高校专业实验室信息化管理研究[J]. 实验科学与技术, 2022, 20(3): 146-149.
- [7] 易力力, 陶桂宝. 高校实验室安全管理系统敏捷协同开发[J]. 实验科学与技术, 2023, 21(2): 138-141.
- [8] 湾晓芳. 物联网+大数据技术下实验室建设前景[J]. 数字通信世界, 2023(9): 155-157.
- [9] 李庆, 黄传翔. 基于 ZigBee 技术的家居环境多参数监测系统研究[J]. 电子测试, 2020(19): 43-45.
- [10] 邱首星, 朱呈祥, 张鹏, 等. 基于 NB-IoT 通信的智能温室监控系统[J]. 自动化与仪器仪表, 2020(9): 11-15.
- [11] 张蕾. 基于 ZigBee 技术的煤矿井下信息采集系统的设计[J]. 矿业装备, 2021(1): 136-137.
- [12] 万云, 蒋阳. 基于 LoRa 技术的温室群远程监控系统的设计[J]. 计算机工程与设计, 2021, 42(2): 595-601.
- [13] 陈浩, 李洪鑫. 基于 STM32 的农业大棚环境数据采集系统[J]. 电子世界, 2020(18): 142-143.
- [14] LIU M L, ZHANG C Z. Design of formaldehyde concentration detection system for smart home based on STM32 controller[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1780(1): 12-21.

编辑 王燕