

智能云柜——实验室危化品智能存储系统

陈思锐¹, 陈幸子¹, 徐淑宏²

(1.东南大学电子科学与工程学院, 江苏南京 211100; 2.东南大学电子科学与工程学院, 南京 210000)

摘要: 随着科研教学水平的不断提高, 高校实验室化学品表现出种类增多、数量增加、管理难度上升等趋势。实验室危化品管理一直是社会高度关注的问题。基于物联网技术设计一套实验室智能安全柜控制系统, 主要方案为使用 Arduino 单片机和相关模块, 围绕智能取用和智能登记两大功能, 通过 Arduino IDE 软件设计一款实现危化品的存储及使用的智能系统。将应用于高校与企业实验室等有危化品存储需求的场所, 解决传统危化品管理系统不智能、不完整的缺点, 在未来智能化大趋势下具有广阔的应用前景。

关键词: 高校实验室危化品智能化管理; 物联网; 单片机开发; 智能取用; 智能登记

中图分类号: T

文献标识码:

Intelligent Cloud Cabinet--Intelligent Storage System for Laboratory Hazardous Chemicals

Chen Sirui¹, Chen Xingzi¹, Xu Shuhong²

(1.School of Electronic Science and Technology, Southeast University, Nanjing 211100, China ;2. School of Electronic Science and Technology, Southeast University, Nanjing 210000, China)

Abstract: With the continuous improvement of the level of research and teaching, laboratory chemicals in colleges and universities show a trend of increasing types, increasing numbers and rising management difficulties. Laboratory hazardous chemicals management has always been a highly concerned issue in society. Based on IOT Network technology to design a set of laboratory intelligent safety cabinet control system, the main program for the use of Arduino microcontroller and related modules, around the intelligent access and intelligent registration of the two major functions, through the Arduino IDE software to design a realization of the storage and use of hazardous chemicals intelligent system. It will be applied in universities and enterprise laboratories and other places with the demand for storage of hazardous chemicals, to solve the

shortcomings of the traditional hazardous chemicals management system is not intelligent and incomplete, and it has a broad application prospect under the future trend of intelligentization.

Keywords: Intelligent Management of Hazardous Chemicals in University Laboratories; Internet of Things; Microcontroller Development; Intelligent Access; Intelligent Registration

1 研究背景

化学试剂的管理,尤其是危化品的管理,一直是高校实验室安全管理的重要组成部分。随着科研、教学的不断推进,高校化学品的种类和数量也在不断增加。化学试剂理化性质各异,不同试剂有不同的存储需求,特别是有些试剂还具有易燃易爆、有毒有害的特性,如果对试剂管理不善,容易引发安全事故^[1]。另外,学生流动性大,试剂取用繁琐,给高校实验室危化品的管理带来很多问题。为了提高高校实验室的管理水平,除了提高师生的安全意识、完善实验室的安全管理制度,实验室的智能化开放及管理是至关重要的^[2]。

本项目团队对本学院的共计六个实验室(即 APC、ASIC、MEMS、显示中心、601、OSC)进行了充分的调研,调研结果显示,目前实验室危化品的管理机制以及实验室配套硬件设施等均不够完善,存在较大的不便性与安全漏洞,实验室对开发出一套转线下手工登记管控系统为线上智能管理、实时监控系统的的需求很迫切,展现出浓厚的兴趣与较高的预期水平。

目前危险化学品在企业或者高校内的使用如何管理一直是目前难以解决的问题,传统的管理方式给使用企业或高校带来了比较大的困扰,主要调研结果如下:

1)人工记录台账、双人双锁的管理模式,不仅效率较低,台账容易混乱追溯难,流转及库存不匹配难以求证且易错率高。双人双锁的管理方式也有诸多不便,尤其在当下新冠疫情形势反复不稳定,人员流通受限制的情况下,若两把钥匙的管理者无法进入实验室或交递钥匙则无法打开柜门取用药品,对实验的进度阻碍较大且极不方便。此模式还存在一定的管理风险,缺乏智能化监管手段。

2)实验室内的危化品摆放比较混乱,对某些种类如有机试剂与酸类试剂等,混放不仅增大了药物倾倒带来的危险,还加快了药物的变质速度,使实验效果受到影响^[3]。此现象存在一定的安全隐患,不符合危化品要求的存储环境。

3)实验药品没有标注详细的信息如保质期、存储条件等,异常情况如低库存、试剂过期、超时未归还等情况,难以监控和管理^[4]。

4)危化品种类多、危险性大,没有明确的注意事项以及入库条件、存放位置、废液倾倒指示等,对于新生或对该药品陌生的同学存在较大的安全隐患和风险,使用上也较为不便。

5)按照《实验室危化品安全管理办法》规定,取用危化品时必须保证至少两人到场,传统的双人双锁的管理办法仍存在一人拿两把钥匙开柜门取药品的漏洞^[4]。

当前市面上已上市可购买的实验室危化品智能管理柜种类、数量均较少,价格也较高昂,且实现的功能不够完善,大多数仅能完成电子解锁柜门并自动称重计算取用量等基础功能,无法涵盖和满足上述的多方面需求。在用户体验方面,目前已生产使用的危化品智能柜体并没有编程实现配套软件,用户无法在实验室之外的场所通过电子移动设备来实时监控危化品的情况是否正常,更无法实现远程遥控打开柜门、实时获取并更新信息等功能。因此,这类产品的功能较为基础且受限,可供开发升级的空间还很大,用户的体验感和满意程度也仍存在较大的上升空间。此市场目前仍面临着供不应求、产品功能不够完善等困境,还有很大的需求和激发空间。

2 项目内容

化学试剂的管理,尤其是危化品的管理,以及危化品存储过程的安全问题,受到全社会的高度关注。学生流动性大,试剂种类与数量不断增加且取用过程繁琐,大幅增加高校实验室危化品管理难度,带来不容忽视的安全隐患。加之考虑到工作安排等不稳定因素,人员进出实验室受限制,现有的“双人双锁”模式的传统试剂柜易造成药品无法取用等问题。由此可见,实验室的智能化开放是必然趋势和迫切需求^[5]。基于物联网技术^[1],本项目设计的智能云柜系统通过软硬件配套管理的方式,实现将线下手动开锁的人工台账系统转变为线上远程可视的智能登记系统^[4],并增添柜内数据实时监测及记录等功能,简化药品日常存储以及取用管理工作,提高管理精确度、即时性与安全性。

本项目的亮点为使用物联网技术^[1],使用 Arduino mega2560 单片机以及相关传感控制模块,硬件结合软件,制造出有一套危化品存储智能柜体,在提供实时变化的信息的同时,优化用户使用体验,通过登录相关物联网 APP 即可查看实验室内危化品的状态^[4],实现实验室之外也能够放心可靠地监控柜内情况。

此系统为高校实验室内导师和学生的工作自由度、方便性提供了一方面的保障;本柜体还增设温度监测功能,进一步提高高温天气下易燃易爆品日常存储的安全性;此外,本系统采用 OLED 模块用于显示数据和人机交互,优化用户体验。

本项目设计智能云柜的系统结构和工作流程分别如图 1、图 2 所示:

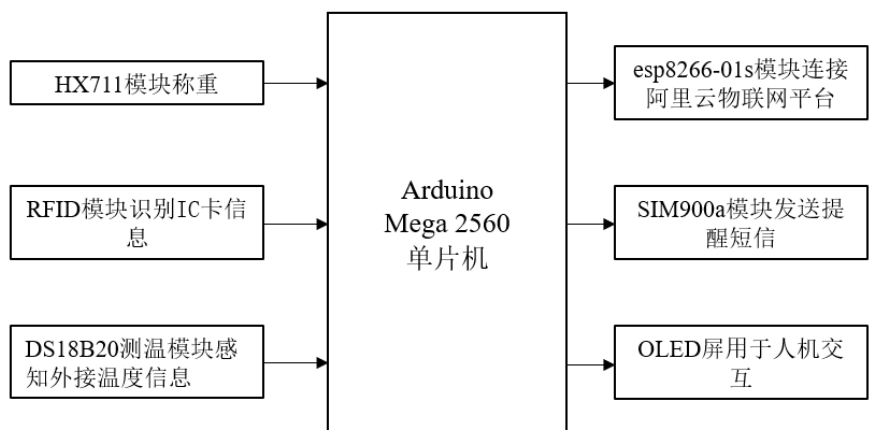


图1 系统的硬件结构组成

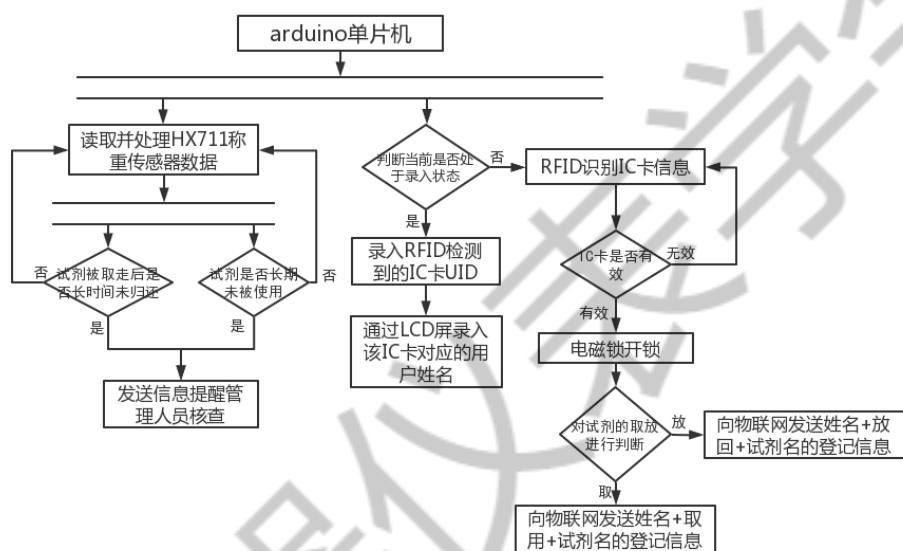


图2 智能云柜系统功能流程图

3 项目技术路线

本项目采用 Arduino mega 2560 单片机作为核心，使用单片机配套 Arduino IDE 软件进行编程，通过使用传感和控制模块来实现具体功能。主要功能和实现方法如下：

- 1)设置智能门禁，取用试剂和放回试剂的人员通过识别卡（IC 卡）进行匹配；
- 2)系统在识别了 IC 卡后能够打开柜门；
- 3)系统能感知到试剂被取走与被放回；
- 4)系统对试剂取用进行智能登记，登记中要包含试剂使用时间、取用量、使用人员信息和试剂名；
- 5)当试剂长时间未被使用，或被实验人员取走长时间未放回时，系统能感知到并进行预

警；

6)对于易燃易爆特性的危险试剂，能时刻监测所处环境的温度，当温度超出阈值时进行报警；

7)对于试剂的添加，能自动记录人员、时间、药品量等信息，并由添加药品人员录入药品保质期，当药品到期时进行提醒。

不同功能具体实现方法：

1)关于功能 1 和功能 2，可以通过射频识别模块 RFID 对 IC 卡进行识别，当识别有效时，单片机会向小灯泡发送高电平，表征通过身份验证，可以开柜门。

2)关于功能 3，通过 HX711 称重传感器模块实时检测各试剂重量，在 RFID 对 IC 卡识别有效后，通过对传到单片机的传感器数据进行处理和判断来确定人员对试剂的取用以及被取用的试剂。

3)关于功能 4，通过 esp8266-01s 模块与物联网平台进行连接，向物联网平台实时发送在 2 中得到的相关信息，并通过物联网平台将这些信息展示出来（在手机上登录相关的物联网 app 也可以查看）。

4)关于功能 5，也是通过对传到单片机的传感器数据进行处理和判断来确定试剂是否长时间未被使用，或被人员取走后长时间未放回。当检测到这两种情况时，通过 SIM900a 模块向指定手机（可设定为管理人员手机）发送相关短信来提醒管理人员及时检查。

5)关于功能 6，可以通过 DS18B20 温度传感器模块实时上传安全柜中的温度信息，并在当检测到的温度高于所设阈值时采取一系列报警（蜂鸣器报警、红灯闪烁、通过 SIM900a 发送报警信息等）。如图 2。

4 项目成果

4.1 单片机 Arduino Mega2560

Arduino Mega2560 是采用 USB 接口的核心电路板，具有 54 路数字输入输出，适合需要大量 IO 接口的设计。处理器核心是 ATmega2560， 同时具有 54 路数字输入/输出口（其中 15 路可作为 PWM 输出），15 路模拟输入，4 路 UART 接口，一个 16MHz 晶体振荡器，一个 USB 口，一个电源插座，一个 ICSP header 和一个复位按钮。Arduino Mega2560 也能兼容为 Arduino UNO 设计的扩展板。Arduino Mega2560 已经发布到第三版，与前两版相比有以下新的特点：

在 AREF 处增加了两个管脚 SDA 和 SCL，支持 I2C 接口；增加 IOREF 和一个预留管脚，

将来扩展板将能兼容 5V 和 3.3V 核心板;改进了复位电路设计;USB 接口芯片由 ATmega16U2 替代了 ATmega8U2。

4.2 射频识别模块 RFID-RC522

采用 Philips MFRC522 原装芯片设计读卡电路,使用方便,成本低廉,适用于设备开发、读卡器开发等高级应用的用户、需要进行射频卡终端设计/生产的用户。本模块可直接装入各种读卡器模具。模块采用电压为 3.3V,通过 SPI 接口简单的几条线就可以直接与用户任何 CPU 主板相连接通信,可以保证模块稳定可靠的工作、读卡距离远。

利用了先进的调制和解调概念,完全集成了在 13.56MHz 下所有类型的被动非接触式通信方式和协议。支持 14443A 兼容应答器信号。数字部分处理 ISO14443A 帧和错误检测^[2]。此外,还支持快速 CRYPTO1 加密算法,用语验证 MIFARE 系列产品。MFRC522 支持 MIFARE 系列更高速的非接触式通信,双向数据传输速率高达 424kbit/s^[3]。

4.3 称重传感器模块 HX711

HX711 是一款专为高精度电子秤而设计的 24 位 A/D 转换器芯片。与同类型其它芯片相比,该芯片集成了包括稳压电源、片内时钟振荡器等其它同类型芯片所需要的外围电路,具有集成度高、响应速度快、抗干扰性强等优点。降低了电子秤的整机成本,提高了整机的性能和可靠性。该芯片与后端 MCU 芯片的接口和编程非常简单,所有控制信号由管脚驱动,无需对芯片内部的寄存器编程。输入选择开关可任意选取通道 A 或通道 B,与其内部的低噪声可编程放大器相连。通道 A 的可编程增益为 128 或 64,对应的满额度差分输入信号幅值分别为 $\pm 20\text{mV}$ 或 $\pm 40\text{mV}$ 。通道 B 则为固定的 32 增益,用于系统参数检测。芯片内提供的稳压电源可以直接向外部传感器和芯片内的 A/D 转换器提供电源,系统板上无需另外的模拟电源。芯片内的时钟振荡器不需要任何外接器件。上电自动复位功能简化了开机的初始化过程。

4.4 Wifi 模块 esp8266-01s

ESP8266 采用 ESP8266 芯片设计,是一款超低功耗的 UART-WiFi 透传模块,拥有业内极富竞争力的封装尺寸和超低能耗技术,专为移动设备和物联网应用设计,可将用户的物理设备连接到 Wi-Fi 无线网络上^[4],进行互联网或局域网通信,实现联网功能。

ESP8266 封装方式多样,天线可支持板载 PCB 天线,IPEX 接口和邮票孔接口三种形式;ESP8266 可广泛应用于智能电网、智能交通、智能家居、手持设备、工业控制等领域。

4.5 蓝牙模块 SIM900a

SIM900A 模块是一款尺寸紧凑的 GSM/GPRS 模块,采用 SMT 封装,基于 STE 的单芯

片案，采用 ARM926EJ-S 架构，性能强大，可以内置客户应用程序。可广泛应用于车载跟踪、车队管理、无线 POS、手持 PDA、智能抄表与电力监控等众多方向。支持 RS232 串口和 LVTTTL 串口，并带硬件流控制，支持 5V~24V 的超宽工作范围，使得本模块可以非常方便的与产品进行连接，提供包括语音、短信和 GPRS 数据传输等功能。

4.6 温度传感器模块 DS18B20

DS18B20 是常用的数字温度传感器，其输出的是数字信号，具有体积小，硬件开销低，抗干扰能力强，精度高的特点^[5]。DS18B20 数字温度传感器接线方便，封装成后可应用于多种场合，如管道式，螺纹式，磁铁吸附式，不锈钢封装式，型号多种多样，有 LTM8877，LTM8874 等等。

主要根据应用场合的不同而改变其外观。封装后的 DS18B20 可用于电缆沟测温，高炉水循环测温，锅炉测温，机房测温，农业大棚测温，洁净室测温，弹药库测温等各种非极限温度场合^[5]。耐磨耐碰，体积小，使用方便，封装形式多样，适用于各种狭小空间设备数字测温和控制领域^[6]。

4.7 OLED 模块

OLED 模块为 OLED 显示屏+PCB+铁框构成。

OLED 显示屏是指有机电激发光二极管（Organic Light-Emitting Diode，OLED）由于同时具备自发光，不需背光源、对比度高、厚度薄、视角广、反应速度快、可用于挠曲性面板、使用温度范围广、构造及制程较简单等优异之特性，被认为是下一代的平面显示器新兴应用技术^[6]。

OLED 为自发光材料，不需用到背光板，同时视角广、画质均匀、反应速度快、较易彩色化、用简单驱动电路即可达到发光、制程简单、可制作成挠曲式面板，符合轻薄短小的原则，应用范围属于中小尺寸面板。显示方面：主动发光、视角范围大；响应速度快，图像稳定；亮度高、色彩丰富、分辨率高。工作条件：驱动电压低、能耗低，可与太阳能电池、集成电路等相匹配。适应性广：采用玻璃衬底可实现大面积平板显示；如用柔性材料做衬底，能制成可折叠的显示器^[7]。由于 OLED 是全固态、非真空器件，具有抗震荡、耐低温（-40℃）等特性，在军事方面也有十分重要的应用，如用作坦克、飞机等现代化武器的显示终端。OLED 模块较 LCD 显示屏优势在于便于安装，应用场合主要是工业现场，军工行业，地质勘探，石油煤炭勘探等行业。

5 最终成果

本项目所搭建的目标系统，即“智能云柜——实验室危化品智能存储系统”，其完整工作流程为：实验人员使用 IC 卡刷卡进行身份识别，通过认证后，绿灯亮起代表此时允许打开柜门；开门后，系统检测实验人员具体取用的试剂格，在取用前后称重计算差值得出取用量，将实验人员、试剂名称、取药时间、取药用量等信息上传至物联网平台进行登记，并将提醒短信发送至管理人员预留的手机号上，进行远程报备。针对有时实验人员存在取药后忘记放回或忘记关门等不规范不安全行为，本系统设置了计时提醒，当取药时长超过 30 分钟仍未放回，则向取药人员发送短信提醒及时放回药品。此外，我们额外设置了温度传感器，实时监测柜内温度，降低高温给易燃易爆品带来的巨大安全隐患。

本项目相较于传统试剂柜的改进点在于，首先，将手工台账方式转变为自动登记，创造性地采用物联网平台，将包含取药人员、试剂名称、取用时间等取药信息转化为字符串，通过模块传输给物联网，将上述信息按照预先设置的格式显示并保存留档，相较于不准确、不及时的繁琐人工登记，简化取用流程，提高数据可追溯性；其二，创造性地增设预警，检测到实验人员未取药、忘放回等失误时，用短信发送模块发送短信提醒实验人员进行正常、规范的操作，提高安全性；其三，高温天气下易燃易爆品存储的安全隐患问题不容忽视，考虑到现实需求，通过添加温度传感器增设温度监控功能，辅助实验室师生监控柜内危化品存储状态信息，安全存储；此外，由于化学试剂的腐蚀性，传统金属锁需定期更换，而本系统设置的刷卡门禁系统可用电磁锁模块替换，开门更便捷、门禁耐久性更优秀。

本项目硬件实物照片如图 3 所示。

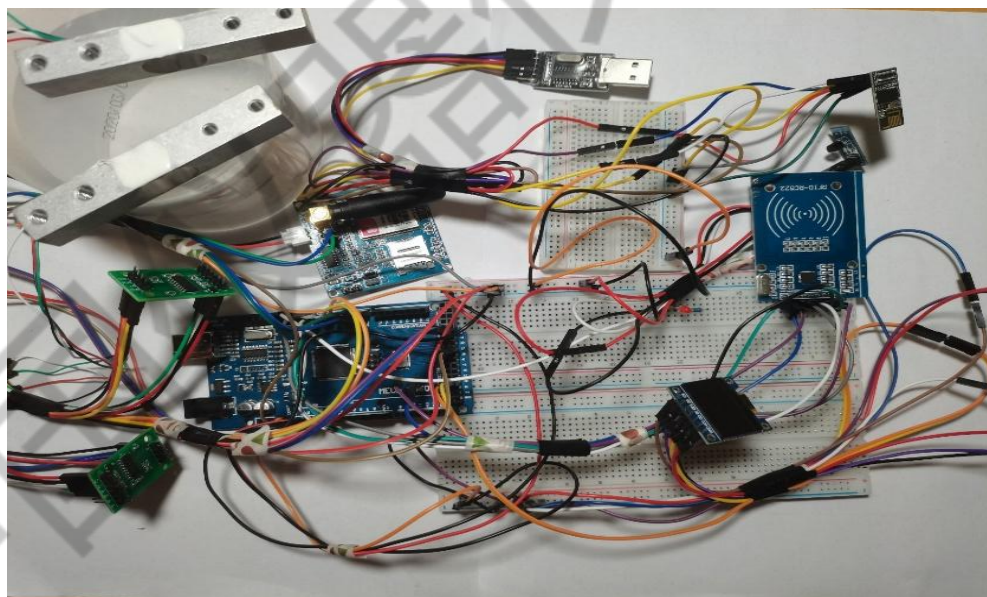


图 3 智能云柜硬件实物照片

6 总结

本项目基于物联网技术,通过 Arduino mega2560 单片机的开发以及模块的使用,成功设计并搭建出一套“智能云柜”——实验室危化品智能存储系统,实现了实验室危化品的智能存储与智能取用两大功能,对高校实验室药品的日常管理流程和手工台账登记方式进行了较大的改进,简化流程,减轻工作量。在药品尤其是易燃易爆品等危化品的日常存储和管理方面,具有较大的实用价值。

参考文献:

- [1]冯伟,彭力.实验室危化品试剂智能存储柜系统的设计与实现[J].实验室研究与探索, 2021, 40(06):158-163.DOI:10.19927/j.cnki.syyt.2021.06.032.
- [2]刘洋, 万国良. 高校实验室危化试剂管理柜的研究设计与实现 [J]. 实验技术与管理, 2019, 36(8):253-255.
- [3]郑永健. 实验室危化品智能监控与管理系统研发[D].山东大学, 2023.DOI:10.27272/d.cnki.gshdu.2022.005199.
- [4]邓术章,周兆欣,张安西等.基于物联网的危化品储存智能监测管理平台的开发[J].中国储运, 2016(07):106-109.DOI:10.16301/j.cnki.cn12-1204/f.2016.07.031.
- [5]宗文锦. 危化品存储柜安全管控系统研究与开发[D].江南大学, 2022.DOI:10.27169/d.cnki.gwqgu.2021.000222.
- [6]林海旦, 姜周曙, 亓文涛, 等. 高校实验室化学试剂安全管理规范化探究 [J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(7):299-301, 305.
- [7]唐玉琼, 王志勤, 蒋丽娟, 等. 高校试剂管理系统建设探讨 [J]. 实验室科学, 2020, 23(2):196-200