

物联网时代实验试剂智能监管服务系统设计与实践

何坤瑶, 童智鹏, 杨亮

(海南大学 材料科学与工程学院, 海南 海口 570228)

摘要: 目前, 随着全国高校实验教学水平和科研实力的提高, 随之相关专业投入使用的化学试剂尤其是危化试剂的品种与数量暴增, 对实验试剂的监管难度也不断增大。如何安全、高效全面的管理化学试剂成为高校实验室建设的重要议题。仅仅单纯的存储、量取和使用的传统管理方法远远不能适应现代高速发展的试验需求, 也无法保证使用人员的人身安全。当下物联网时代, 采用具有较高的理论水平和较强的信息化程度的现代化实验室试剂管理系统, 以满足实验试剂全生命周期监管可以大大提高实验试剂的使用效率和安全性。本文设计了一种实验试剂智能监管系统, 利用计算机技术、网络技术、近场通讯技术、传感器技术、二维码技术和 IC 卡技术等多种技术手段, 可对试剂采购、入库、使用、储存到报废全生命周期进行数据化监控与服务, 大大提高实验室试剂管理效率和使用效率, 加快试剂的流通与更迭, 避免试剂管理不当而造成试剂浪费和杜绝试剂存放引起的安全事故, 保障高校师生及科研成员的人身安全。本系统主要由适用不同实验场景的不同功能智能盘点终端系统与智能监控危化品存储箱组成, 智能盘点终端系统采用二维码技术、近场通讯技术、模块化设计等技术手段实现试剂快速入库、日常库存盘查、报废统计等; 联网可控制的智能监控危化品存储箱负责为危化品储存提供可控温湿度的环境条件, 且在使用时可根据试剂的存储配伍禁忌而自动分析试剂安全的存放位置并实时记录试剂相关数据, 能将数据自动上传至服务器实现管理数据的互联互通; 若出现如危化品长时间未归还、使用量达到阈值等异常情况, 还可以自动向管理员发送预警。本文设计并实现的智能实验试剂监管系统管理系统能够为高校的化学实验室管理提供一体化的实验室管理软件与系统, 将危化品相关数据统计集中管理, 实现了危化品在其全生命周期内可识别、可监督、可管控、可查询和可共享, 有效提高危化品使用安全性, 有助于提升高校的实验试剂管理质量和水平。

关键词: 危化品监管; 可追踪危化品; 便携式; 危化品盘点; 入库登记系统

现如今，在人们的生产、学习和生活中化学试剂高频出现，尤其是强调实践教学的高校，其科研及教学都离不开品种繁多的化学试剂^[8]。依靠使用人员的个人专业技术能力做到分类存放，并及时发现混放隐患的方法，完全取决于个人的专业技术水平、工作经验和责任感。实际上，由于人员技术水平和工作经验的局限性，化学试剂混放的安全隐患难以避免或难以排查。规范、安全及高效使用试剂以支撑高校实验教学及科研工作顺利开展，同时提供安全高效的实验室研发环境，由此，化学试剂安全管理是高校教学与科研工作正常开展的重要保证^[5]。但是，大量增加的化学试剂已然给实验室带来了巨大的安全隐患，面对种类繁多、性质各异的化学试剂尤其是危险化学品，使用和管理稍有不慎就会引发安全事故甚至造成人员伤亡。如，最近南京航空航天大学（将军路校区）一实验室发生爆燃，造成2人当场死亡、至少9人受伤，而近几年类似事故在高校屡次发生，因此，提高化学试剂尤其是危化品的管理刻不容缓。

按国标 GB13690-1992《常见危险品的分类和标志》将危化品分为八类：第1类爆炸品（如氯酸钾、硝酸钾等）；第2类压缩气体和液化气体（如甲烷、乙烷）；有毒气体（如氯气和氨气等）；第3类易燃液体，易燃液体分三个等级：低闪点液体，闪点 $<-18^{\circ}\text{C}$ （如乙醚闪点在 -45°C ）；中闪点液体，闪点在 -18°C 至 23°C 之间的液体（如酒精、甲醇、吡啶、丙酸乙酯等）；高闪点液体，闪点在 23°C 至 61°C 之间的液体（如丁醇）；第4类易燃固体（如红磷）、自燃物品（黄磷）和遇湿易燃物品（锂、钠等碱金属）；第5类氧化剂（如过氧化氢、高锰酸钾）和有机过氧化物（如过氧化甲乙酮）；第6类毒害品：毒害品按毒性大小分为剧毒品（如氰化物）；有毒品（如苯）；有害品（如甲苯）；第7类腐蚀品：腐蚀品分为酸性腐蚀品（如硫酸）；碱性腐蚀品（如氢氧化钠）；第8类放射性物质（如硝酸钍）。^[1]上述有许多实验室常见试剂，然而与较为成熟的工业部门的管理相比，高校的化学试剂管理由于使用品种繁多、性质各异、存储地点分散、使用人员繁杂等特点增加了管理难度。

目前，许多高校实验室都存在以下管理特点与漏洞：

- 1、高校科研方向综合性强，覆盖面广，所涉及的试剂和危化品品种繁多、特性各异，要求特定的储存条件。而许多高校为了节约校内建设资金，化学试剂储存并未分类安排，也不及时清点库存，存在诸多安全隐患。
- 2、高校科研实验室多为相对独立的行政单位，区域分散，其安全管理工作往往被各级管理部门忽视而沦为形式主义。试剂尤其是危化品的定期盘点、相关

数据的及时获得变得尤为困难复杂。[2]

- 3、高校实验试剂使用范围广，实验室人员流动性强，试剂去向复杂不固定，都导致盘点变得困难。
- 4、较工业生产相比高校实验试剂使用量不大而导致存放时间增加，不同地区对其存放要求也各不相同。许多高校仍存在储存条件简陋、不及时升级破旧设备等问题。
- 5、许多高校仍实行人工盘点管理的方法，效率低，易出错，管理时间成本增加。
- 6、不重视试剂报废，而造成环境污染，资源浪费甚至危及人员生命安全。

因此，针对上述管理现状，本文设计的智能实验试剂监管系统能从解决实验试剂和危化品储存、管理、使用不当引发的安全事故，规范化学试剂实用并且实现远程对化学试剂的安全监控、管理和信息掌握来提高实验试剂利用率、储存安全性、减轻管理人员工作量、提高管理效率。

一、硬件系统组成

表格 1 盘点终端类型及功能

功能	名称	结构	型号	软件版本
入库盘点	危化品入库盘点器	称重模块 (0-5kg)、RFID 读卡模块、 二维码打印模块	WH-001	
	化学试剂入库盘点器	称重模块 (0-5kg)、 二维码打印模块	HX-001	
	超重化学品入库盘点	称重模块 (0-30kg)、 二维码打印模块	CZ-001	V1.0
库存盘点	化学试剂库存盘点器	称重模块 (0-5kg)、 二维码扫码枪	HX-002	
	超重化学品库存盘点终端	称重模块 (0-30kg)、 二维码扫码枪	CZ-002	
报废盘点	药品报废	二维码扫码枪	BF-001	

1.1 智能盘点终端系统

智能盘点终端系统包括微型盘点终端和盘点软件。该组件利用射频识别、压力传感、近场通讯等技术，并且在设计上将各功能进行模块封装实现了各种类型样品快速批量入库、实时称量、日常清查盘点等功能，具有小型化、便携式、低

成本、操作简便等优点。该组件解决现存化学试剂管理难问题，增强危险化学品试剂的管理，简化化学试剂拿、放程序，减少人工，提高实验效率。本智能盘点系统主要分类如表 1 所示。

1.1.1 硬件说明

上述终端分为微型化学药品盘点器终端和大件化学药品盘点器终端，总体结构都是由通过压力传感模块和标签识别模块组成，大件盘点器终端内置的称重装置量程可达 30kg，满足各种大件药品的盘点入库的需求。

其外壳由尼龙材质固定螺母和固定螺丝固定的终端侧挡板，尼龙材质防腐防锈，增强装置耐用性。在结合处铆接固定，侧挡板通过沉头固定螺丝固定，使终端坚固稳定。在终端底部四角安装有增加稳定性的软底座便于药品平稳放置，并且将终端边缘修饰为圆角便于抓拿携带，也使整个终端美观。如图 1 化学试剂入库盘点器外观三视图。

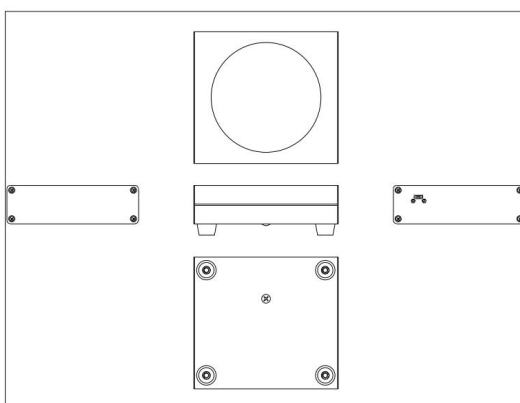


图 1 化学试剂入库盘点器外观三视图

该终端由 MicroUSB 接口与电脑进行连接实现供电与控制，压力传感器通过支撑作用的固定螺丝与螺丝孔固定在内置有处理测量数据的压力传感相关芯片的双孔悬臂横梁上。使用时，将试剂瓶放于压力传感器上方，压力传感器芯片测量重量数据并及时被计算机所捕获。该终端内置有自动识别出瓶底 NFC 标签的药品信息天线并通过 RFID 信号控制器进行读写^[7]。最后，所有数据信息通过 RS485 协议转换 USB 芯片转换后经由相关软件传送至个人终端。若个人终端已联网，此药品信息将自动上传到云端服务器，若未联网，将加密暂存于个人终端并在联网时上传，同时该盘点器会自动生成可与海南大学试剂平台对接的数据并打印本试剂的唯一性二维码标签，方便日后查询和管理该试剂。

该盘点器仅通过 micro USB 接口便可实现装置供电、盘点读取、重量测量、数据传输等功能，不需要外接电源与其他复杂线路，实现便携简便使用。而且利

用微型接口降低了暴露在外受损的风险，提高了终端的使用时长，增大利用率。如图 2 盘点终端电路模型图所示。

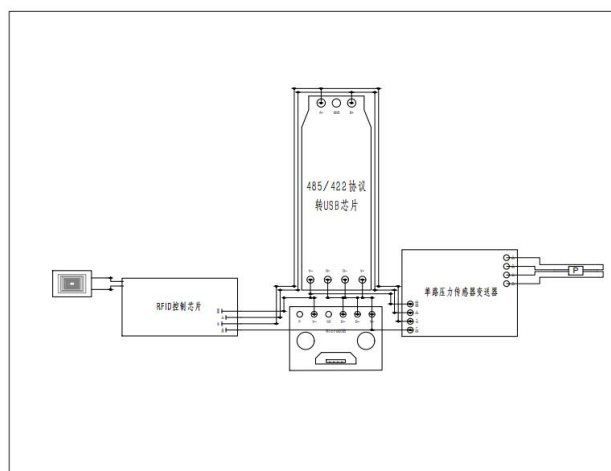


图 2 盘点终端电路模型图

1.1.2 试剂盘点管理软件

本软件设计是为配合智能盘点终端使用，适用于各种型号的盘点终端进行试剂入库、日常盘点、清查调用、报废注销等功能。入库时用以采集危化品的基本资料、入库人员信息并形成唯一的 ID，将此 ID 写入到瓶底的 RFID 电子标签，生成对应的唯一识别二维码粘贴于瓶身，用于识别和监控该危化品生命周期使用等，将以上信息上传到云端服务器并形成可访问的网页地址，以期实现试剂的高效数字化监管。库存盘点和报废时可自动更新数据并上传服务器。

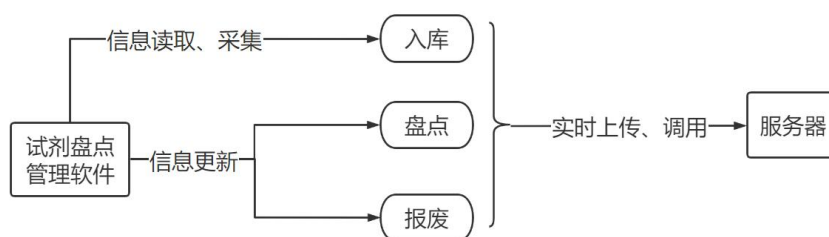


图 3 软件使用流程框图

1.2.智能监控危化品存储箱

该智能危化品管理储存柜利用网络技术、计算机技术、近场通讯技术等技术手段实现化学试剂由采购入库、申请领用、使用存放及报废弃用全程智能监控管理，具有提高化学试剂储存安全性、使用效率、极大减轻人工工作量与追责流程，提高管理效率等优点。

该装置外观上为一个大容量箱体，其整体上配置为长方体构造，其正面设置

有带双重机械锁与软件控制的电子锁的箱门^[9]，箱门背部设有温湿度传感器。其内部置多层存放试剂的功能模板。其外观图如图 5 所示。

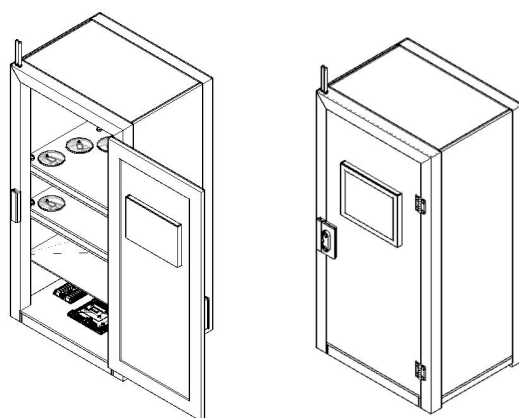


图 4 箱体外观示意图

此外，该箱体内部设计了制冷及散热通风系统。制冷功能主要通过半导体制冷器模块实现，其主要由进气用无刷电机、半导体芯片、散热用散热风扇、散热鳍片、制冷器模块半导体制冷芯片、制冷器模块吸热鳍片、绝热片构成。芯片表面涂有导热硅脂，提高吸散热效率，制冷与进气受继电器组成的三十二路继电器模块控制。箱体顶板上还有制冷器模块导风板和防水导风槽调整通风风向，制冷器模块为滑盖设计，防渗液漏水，便于拆卸安装。

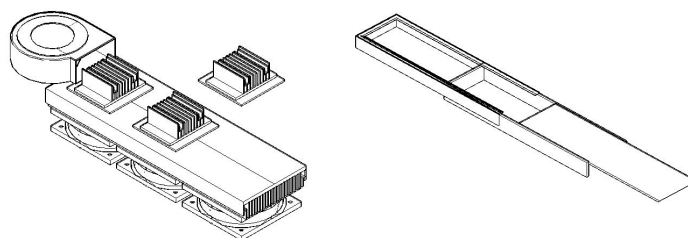


图 5 (左) 制冷及散热通风系统图，(右) 滑盖设计示意图

内部还有设计有多个隔板，是存放管理试剂的主要功能模块。其外部主要由模块盖板与模块底板通过固定组合件固定合成。内置有多个独立由电磁继电器组成的 44 八路继电器模块控制的 LED 灯珠，除外有压力传感器模块、压力传感器模块 RFID 信号控制器、压力传感器模块 RFID 接收芯片和压力传感器模块压力信号控制器各七个，并通过压力传感器十路数据变送器与压力传感器通讯。在该模块外部还覆盖聚四氟乙烯薄膜并用布基胶带填补缝隙固定薄膜，使该组件具有防水防滑、防各类试剂腐蚀，更耐磨损等功能。其结构图如图 6 所示。

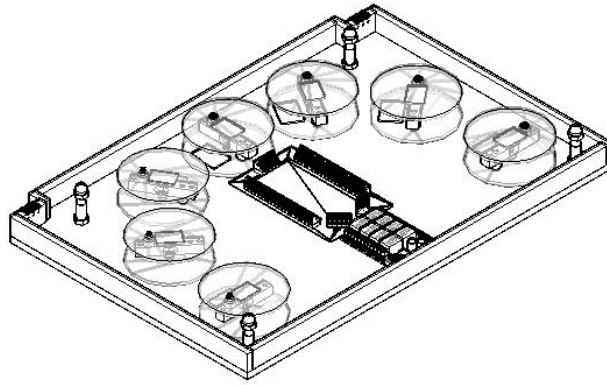


图 6 功能模块结构示意图

显示屏、锁组件、散热及 PID 调速制冷系统、制冷及散热通风系统均与工控主板通过 RS485 协议进行组网通讯，提高通讯的稳定性，各个模块封装隐蔽连接，规避受损风险，保证箱体在各种极端条件下正常运行。其内部布局如图 7 所示。

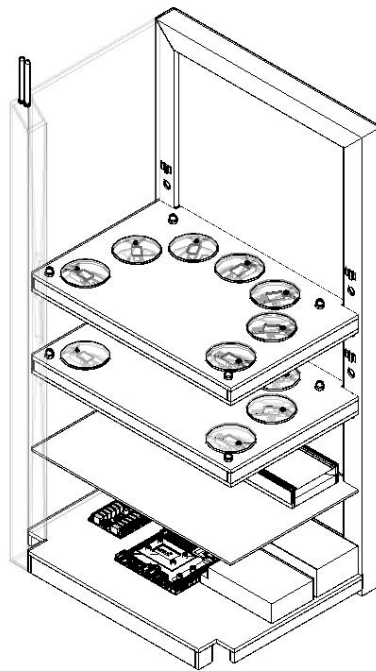


图 7 箱体内部结构示意图

1.3.服务器配置

本系统服务器端位于华为云平台，操作系统采用 x86_64 架构下的 Centos 8 操作系统，通过 socket 协议与箱体软件和盘点器软件进行通讯，同时服务器还面向用户提供网页服务，实现数据互联互通，使用户通过简单的网络访问即可完成多种功能控制、数据查询、数据统计等常用功能，同时还可通过网页进行试剂共享，提高试剂的使用效率，降低库存和采购成本，满足数字化与智能化管理。相

应软件采用预设置固定 IP 以定向到服务器，通过服务器验证后，采取 TCP 协议通道的 Socket 协议上传相应数据到指定服务器的指定数据库。除外，各类药品信息，用户账户信息，药品柜存储信息等都储存于服务器内的数据库中，保证多终端的随时调用，提供大数据分析功能^[6]。

二、软件系统

本系统所有代码的开发均基于 Visual Studio 2022 社区版，主要功能主要由盘点入库模块、智能盘点组件与储存管理模块和智能监控危化品储存箱模块组成，其工作流程如图 8 所示。药品采购后，首先选择相应盘点终端称量入库，生成储存种类、CAS 号、实时重量等各类试剂信息的 NFC 标签与二维码，并将 NFC 标签与二维码贴于试剂瓶上偏于后续试剂的监管更新。终端软件将危化品信息利用 RS485 协议上传至服务器，用户可通过计算机访问查看，除外还可通过手机、平板利用二维码技术和 HTTP 协议进行扫码访问。领用后的试剂存放于储存箱，箱体中功能存放隔板识别 NCF 标签从云端服务器同步试剂信息并且与本地试剂信息进行分类比对，满足试剂配伍存放的条件才可以存放，同时向云端服务器更新试剂存放信息。使用者可以通过手机客户端或直接利用箱体自带触摸屏控制箱门来取用或归还试剂，同时箱体自带摄像头将记录操作者，内置软件将记录时间、地点和试剂消耗量等各种信息。在使用时，箱体通过自带压力传感器实时监控重量，通过 NFC 标签识别存放位置是否有误，通过内置温湿度传感器检测箱体内试剂存放环境是否异常，若有任何问题将启动警报系统，通过箱体闪灯报警和通过云端服务器向使用者终端如微信公众号、小程序、短信等方式发送警报提醒。

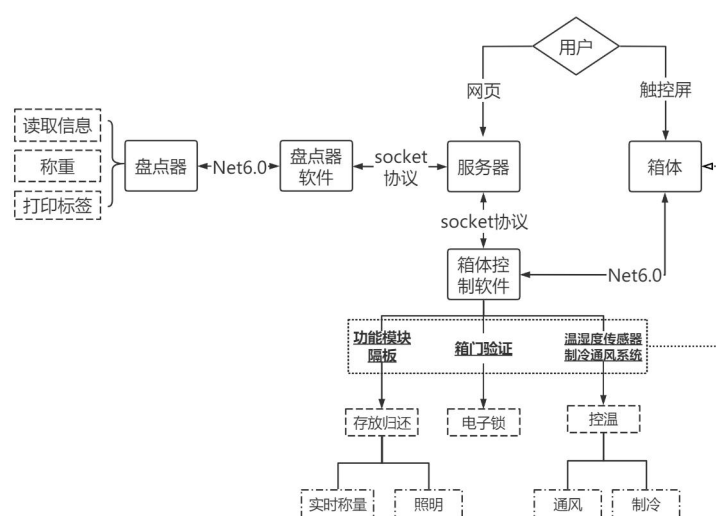


图 8 智能实验试剂监管系统工作流程图

2.1 智能盘点系统

该盘点终端组件都可以利用 IC 卡技术将信息写入 NFC 标签及读取已写入电子标签中的信息并上传至云端服务器并进行试剂入库。日常库存盘查时，只需要将药品放于压力传感器区称重，该终端将自动读取此药品 NFC 标签并更新此药品最新重量、盘点日期等信息。通过手机等设备也可以直接扫描试剂瓶上二维码查看实时试剂的实时信息。盘点终端可以将读取到的数据传输给个人终端，个人终端采用 Socke 协议上传，数据写入、查询和修改采用 Socke 协议与服务器通讯，本地采集数据进备份到华为网络去服务器以方便全网访问，利用 html 技术、二维码技术实现网络信息的手机扫码访问及 PC 端访问，同时提供管理员利用 Socke 技术进行后台数据的管理、备份及查询等功能。除外，本组件包括各种型号盘点终端，有适用于各种大件药品试剂的盘点终端，满足 30kg 以内任何试剂盘点。例如图 9 入库盘点终端原理图所示。

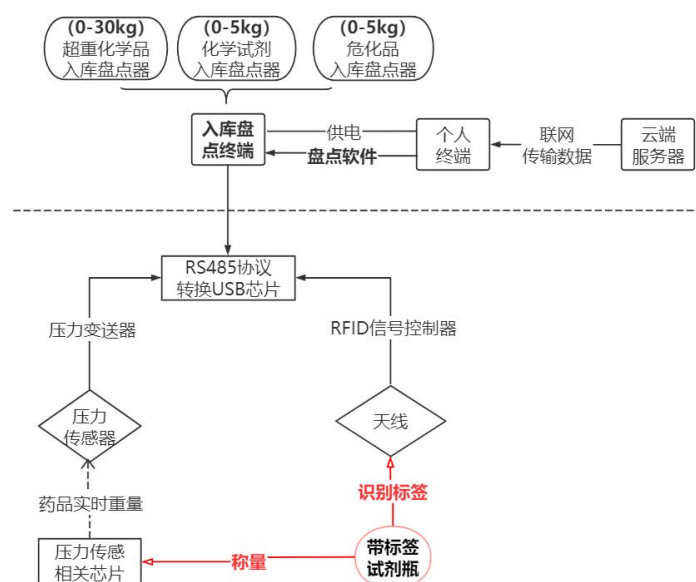


图 9 入库盘点终端原理图

2.2.智能监控危化品储存箱

2.2.1 存放归还

通过服务器从手机客户端或者直接从箱体自带触控屏计算机控制通过用户验证后开启箱门，若有任何其他情况也有双重机械锁保证箱门的开关。使用者将试剂放置于多功能存放隔板上，隔板内置天线识别瓶身 NFC 标签，并通过箱体自带计算机分析箱体现有各种试剂的性质，满足共同存放条件便能成功存放；若试剂性质冲突或本身易燃易爆等，如挥发性酸与碱、有机氧化物与易燃物，箱体将发出警报提醒使用者更换存放指定类型的存储柜以满足存储安全要求。一旦确

定位置，内置压力传感器将称量试剂实时重量，箱体内部摄像头记录操作者，并自动更新瓶身标签，与存放位置、时间等信息一起通过 Socket 协议传送给服务器，使存放过程数据化，便于随时查看调用。归还时，通过验证开启箱门后，试剂原存放位置隔板内置小灯珠将亮起提醒使用者将试剂放回原位。放置后，内置天线读取 NFC 标签确定试剂信息，并更新实施重量，记录归还人与归还时间，再上传云端服务器。在整个使用和存放过程中，通过射频识别技术、压力传感技术等各种信息传感识别技术，实时采集试剂从投入使用到报废处理的全过程，收集试剂性质、使用量（重量）、使用人、使用时间、位置等各种信息，并通过网络连接，实现试剂管理的智能化。

2.2.2 控温与报警

箱体内部设计有温湿度传感器和制冷及散热通风系统。温湿度传感器置于触控屏背板附近，连续监控着箱体内部的温度，通过箱体控制软件记录数据并定时上传至服务器备份。若温湿度传感器检测到温湿度出现异常，软件分析数据后控制制冷通风系统工作，调节箱体内部环境。除外软件还可以通过服务器给使用负责人发送多种形式的警报提醒，如短信、订阅公众号消息提醒、小程序消息提醒等。也可以直接通过控制箱体内置触控屏计算机发送警报，提醒周边使用者。

三、系统实践分析

3.1. 本方案创新优势

针对化学试剂储存的 RFID 电子标签识别技术^[3-4]、记录技术已较为普遍，但本方案增加了自动称量实时重量和自动更新数据并上传至服务器形成该试剂明细网页与全校危化品唯一的 ID 和唯一的二维码标签的功能，形成的明细网页还可以通过指定链接访问，可远程通过多端计算查询指定危化品使用及报废详情、学院或个人危化品存量及仓库储存危化品的存量。除外，箱子内还设置了环境监控模块，保证了化学试剂存储的安全性。同时，本智能可追踪危化品储存管理系统，可自动通过服务器数据库存储调取试剂性质、使用量和使用记录等信息，真正实现了危化品的数据化储存、取用，并且本系统兼容各类学校网络，适用于各大高校，未来将会提供软件 API 与外界系统交流，满足各类高校自定义管理。除外，本方案系统硬件在外观设计上都采用模块化设计、滑槽安装设计、可更换双天线设计、封装内部线路等易拆卸设计便于安装与后续拆卸检修，且设计多种类型盘点终端满足更广泛的实验室甚至是研究所商业使用。

四、优化与改进

本方案已经实现主要功能，完成了各类药品入库、日常盘点的相关功能，并且还完成箱体每个模块的设计与整体硬件的基本组装，确保了联网功能与触控屏的正常使用，自动对使用者、使用时间、地点的记录与上传等功能，服务器端已经完成部分功能。目前，正在优化软件与现有功能，并且通过实践检验，但仍有许多设想待完善与补充。

4.1.智能盘点系统

4.1.1 硬件方面

通过不断测试使用改进终端功能，完善外观与组装的设计，如为超重化学品库存盘点终端配备轮子或推车便与其日常移动使用等。

4.1.2 软件方面

根据不同使用场景进行功能细分，升级系统以满足不同情况下用户体验。操作软件页面还需要更简洁美观，提高使用效率。需要去实验室利用终端入库更多试剂和从网络收集整理试剂名称、性质、CAS号、生产厂商等完善丰富数据库信息以满足各种实验室试剂管理。

4.2 智能监控危化品存储箱

4.2.1 硬件方面

可以在现有功能基础上扩大储存空间，继续实现箱内分区管理。增加照明系统与警报系统的联系，增设报警灯闪烁等功能。增设语音提示功能，增强用户体验。增强控温系统精准性，保证及时各类危化品控制异常存放状态。增设箱内监控摄像头，监控危化品实时状态。

4.2.2 软件方面

需要增强与服务器连接稳定性，保证使用者能快速、准确进行联网控制。扩大数据库容量，满足更多实验室危化品管理需求。进行多设备组网测试与公网访问等测试，完善服务器信息的查重、危化品信息销毁等功能，优化面向使用者端的客户管理软件相关功能。未来将会提供软件 API 与外界系统交流，满足各类高校自定义管理。

五、结语

基于物联网的智能实验试剂监管系统可实现高校化学试剂和危化品全生命周期内可识别、可监督、可管控、可查询和可共享服务，对于降低高校实验室安全隐患、提高药品的利用率、保证科研及教学的高效稳定运行具有重要意义。

项目支持: 海南大学 2020 年校级实验室建设与管理改革项目 (项目编号:HDSHIY202001)

致 谢: 感谢海南大学实验室与高管管理处给予的资金支持与鼓励, 感谢海南大学团委的资金支持, 感谢海南大学材料科学与工程学院学工办进行项目组人员配备;

参考文献

- [1]王文芳,肖建东,赵海双.高校化学实验室危化品安全管理[J].高校实验室工作研究,2012(02):92-94.
- [2] 林红岳.安全高效化学试剂管理在高校的应用[J].当代化工研究,2017,(第2期).
- [3]姜周曙,朱立超.一种化学试剂存放的自动识别、分类、排查和预警方法[P].浙江省:CN113159559A,2021-07-23.
- [4]黄镇东,蔡宇晴,孙嘉,徐景晟.一种应用于材料化学领域实验室的智能化化学试剂柜[P].江苏省:CN213644158U,2021-07-09.
- [5]胡燕倩.我国危化品物流发展的现状,原因及策略分析——基于发达国家危险品运输管理经验的借鉴[J].对外经贸实务,2013,000(005):90-92.
- [6]王旭磊,赵来军.如何真正提升我国危化品安全管理——基于危化事故大数据的分析[J].探索与争鸣,2016(2):5.
- [7]申秀兰.基于RFID的山东省危化品气瓶管理系统应用研究[D].山东大学.
- [8]钱程.西方国家如何加强危化品安全管理[J].湖南安全与防灾,2009.
- [9]牟晓洲.危化品管理终端智能锁:,CN210888397U[P].2020.