



智慧实验室建设背景下动物房屏障环境 智能管理平台建设研究

黄雪琳, 罗钰雯, 丁运萍, 吉宁*

(四川大学 口腔疾病防治全国重点实验室, 成都 610041)

摘要: 动物实验室是生命科学研究的发展与实验动物应用不可缺少的一部分。随着 5G 时代的来临, 智慧实验室已成为高等院校实验室建设的一个重要方向, 动物房屏障环境也需将实验室智慧化建设运用到管理实践中。该文以四川大学华西口腔医学院动物模型中心为例, 探讨动物房屏障环境智能化管理平台建设的方案、物联网和互联网在管理中的应用及搭建智慧实验室的优势, 为智慧实验室建设提供参考。

关键词: 智慧实验室; 屏障环境; 智能化管理平台; 动物屏障系统

中图分类号: TP274+2

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20240430

Research on the Construction of an Intelligent Management Platform for Barrier Environments in Animal Facilities under the Context of Smart Laboratory Development

HUANG Xuelin, LUO Yuwen, DING Yunping, JI Ning*

(State Key Laboratory of Oral Diseases, Sichuan University, Chengdu 610041, China)

Abstract: Animal laboratories are indispensable for advancing life science research and for the application of laboratory animals. With the advent of the "5G" era, the development of "smart laboratories" has become a key focus for higher education institutions. Consequently, the application of smart laboratory construction to management practices is also essential for the barrier environment of animal facilities. Using the Animal Model Center at the West China School of Stomatology of Sichuan University as a case study, a framework for constructing an intelligent management platform for barrier environments of animal facilities is explored. It discusses the application of the Internet of Things and the Internet in management in this context and highlights the advantages of establishing smart laboratories, aiming to provide reference for future smart laboratory development.

Key words: smart laboratory; barrier environment; intelligent management platform; animal barrier system

“十四五”规划纲要提出: 加快推动数字产业化, 构建基于 5G 的应用场景和产业生态, 在智慧交通、智慧物流、智慧能源、智慧医疗等重点领域开展试点示范。智慧化建设将成为未来各个行业的发展方向^[1]。

1 智慧实验室建设的背景

目前智慧实验室的含义还未明确, 查阅大量

相关文献及当前的研究成果, 其基本内涵为综合利用互联网技术、传感技术、(自动)控制技术以及大数据技术、人工智能 (artificial intelligence, AI) 技术、机器人技术等先进技术和网络计算机软件, 构建在一定程度上能够感知实验室人员语言和行为诉求并自动实现的现代化实验室^[2-4]。其核心要素是实物物联化、信息网络化、管理智能化, 具体特征是实现先进数字化技术在实验室中

收稿日期: 2024-08-19

基金项目: 四川省科技厅重点研发项目(2022YFS0003); 中国医学科学院医学与健康科技创新工程项目(2019-I2M-5-004)。

作者简介: 黄雪琳, 硕士, 助理实验师, 主要从事兽医、动物模型中心管理方面的研究。E-mail: xuelhuang@163.com

* 通信作者: 吉宁, 硕士, 实验师, 主要从事实验动物学、动物模型中心管理方面的研究。E-mail: jining_1023@scu.edu.cn

的应用；实现实验室及其设备、仪器、试剂耗材的物联化和网络化管理；实现日常实验环节监督及其数据的汇总、整理和分析，并反哺实验室管理决策，即智能化管理^[5-6]。从功能上看，智慧实验室数字化可以强化互动、多感官，提高教学和管理效果；网络化可以解决学习和管理在空间及时间上的限制；智能化可提醒管理人员对物品、设备的清点、订购和维护等管理工作。总之，实验室智慧化不仅极大程度解放了实验室人员的繁重劳动^[7]，实现为科研人员减负，同时还显著提高了实验室的安全、质量和效益^[8-10]。

2 动物房屏障环境智能管理平台的意义及优势

动物实验室是生命科学研究的关键平台^[11]，将智慧化建设运用到动物房屏障环境管理实践中，可建成高水平的智慧化动物实验室。相比于传统实验室，智慧实验室具有以下主要特点和优势。

2.1 实验室要素数据化和信息化

动物房屏障环境智能管理平台(以下简称“智能管理平台”)通过安装温湿度传感器、压力传感器、氨浓度传感器、二维码识别传感器以及摄像头等设备，可将人员、设备、物品、环境指标等实验室要素信息化并能感知其状态，实现实验室要素的数据化和信息化。

2.2 管理智能化、自动化和互联网化

智能管理平台可通过传感器等感知设备实现自动化数据采集，显示实验室要素的状态信息，并通过数据分析和处理，自动调整指标参数，或提示管理人员的工作内容。此外，通过互联网实现在线共享、实时更新和多端同步，解决管理的时间和空间限制，同时方便管理人员与科研人员信息实时互通。因此智能管理平台可提高实验室管理效率，减轻人力管理负担。

2.3 降低运行成本和提高安全性

智能管理平台可根据系统设置的阈值，将温度、湿度、压差、光照等实时自动调整到符合要求的最低能耗状态，还可以实时显示设备的使用状态以及物品的库存等信息，提高设备和物品的利用率，降低实验室的运行成本。此外，通过智能门禁监控系统实现对人员的身份管理和权限设置，物品管理系统对危化品使用的监管，烟雾报

警和电源控制系统对实验室运行安全的监测和控制等，较大地提高了实验室的安全性。

2.4 提高动物福利

智能管理平台通过独立通风笼(independent ventilated cage, IVC)或数字化通风笼(digital ventilated cage, DVC)，可实时监测和调整环境参数，为实验动物创造较为舒适的繁育条件。一方面满足动物福利的要求，另一方面可避免环境因素造成实验结果不准确。

3 动物房屏障环境智能管理平台建设的需求分析

随着教学、科研平台的发展，建设标准化屏障环境已成为高校和科研机构动物房尤其是啮齿类动物房的基本要求。屏障环境对环境指标、人员、物品、实验动物进出、设施设备有明确的国家标准化管理要求和操作规范，部分实验设施设备具备感知及远程控制功能，是探究智慧实验室建设的理想模型^[12]。动物房屏障环境在设计和管理的上有如下 4 个高度严格的要求。

1) 对温湿度、光照、噪声和空气质量等环境指标有精确的范围要求，需要全天候不间断地监控实验室的运行情况。

2) 对实验室人员、实验动物、实验物品、实验设备等有具体的管理和操作要求，种类繁多且要求精细。

3) 高校动物房屏障环境实验室人员主要为研究生和本科生，具有人员流动性大、实验周期短等特点，因此人员培训的工作量大，且培训效果欠佳。

4) 实验耗材如垫料、饲料、防护服、口罩、手套、实验试剂等种类繁多、供应必须充足。

结合以上特点，动物房屏障环境需要借助传感器等感知设备对环境指标、人员信息、设备和物品状态进行实时采集，利用物联网技术进行实时监控以保障实验环境的稳定和安全运行；需要通过远程控制与数据共享，实现设备管理、使用和维护，同时实现实验人员随时随处学习和培训的目的；需要通过先进的智能管理软件监控物品库存量，对需求量进行预测和订购等。由此可知，智能实验室建设在动物房屏障环境管理中具有建设基础和实际需求，目前传统的动物房管理模式急需改进。

4 动物房屏障环境智能管理平台构建方案

智慧实验室建设方案和评价指标等尚处于探索阶段,根据当前的研究成果,最常用的智慧实验室的架构体系为3层架构:感知层/物理层、应用层及网络层/界面层/用户层^[13]。

智慧实验室的建设首先需要解析实验、教学场景,结合感知层的实验室设施设备的功能特性和差异,明晰应用层的需求,构建标准化、数字化的集成管理平台和大数据平台。但要构建层次完整、功能齐全和有针对性的智慧实验室,需要

感知层、应用层和网络层相应领域的软硬件设施共同发展到一定水平才能实现,因此我们提出分模块、分层构建的建设方案,如图1所示。而当前许多领域的智能传感器尚需研发,数据处理芯片和算法还需要进一步发展,所以每个模块的建设需辅以可扩展性设计,为补充、升级等未来建设预留空间和链接端口。其次,甄选最新信息技术下的新设备、新平台和新技术等,完善和升级感知层和应用层,再进一步搭建网络层,逐项对标功能需求,最终建成有针对性和解决实际问题的、具有个性和共性的智慧实验室。

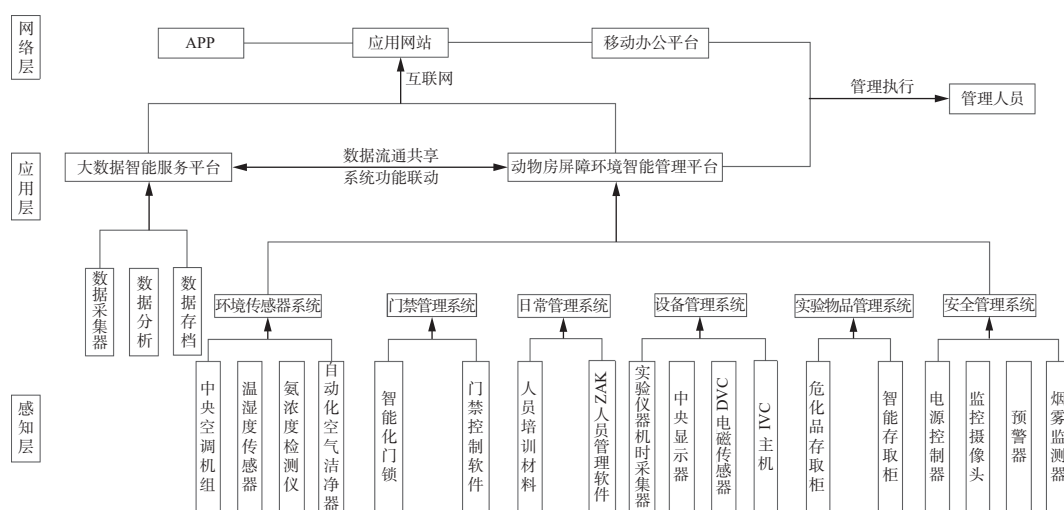


图1 智慧实验室架构体系原理示意图

4.1 感知层/物理层

该层由人脸识别、定位传感、环境传感、设备状态感知等数据的感知采集,以及人员、设备、物品、方法、能耗等数据采集和管理制度组成,是数据的来源,是智慧实验室建设的基础,其核心工作是应用场景和需求的数据化。动物实验室屏障环境的应用场景主要由设施、设备、人员、实验物品等组成,可分为环境监测、设施设备管理、人员管理、实验物品管理和安全管理等。通过温湿度传感器、视频监控、氨浓度检测器、烟雾感知器、IVC/DVC饲养架等设备,能实时采集实验室内各种状态信息,并提供数据信息;同时预留拓展端口,为实验室的优化或功能扩展预留空间。

4.2 应用层

该层为管理功能的系统实现,根据感知层各模块的特性构成相应的子管理系统并进行集成,

构建动物房屏障环境管理平台;同时构建数据采集、存储、清洗、分析、报告的大数据平台。智能管理平台分为以下6个系统。

1) 环境传感器系统。由中央空调机组、压差传感器、温湿度传感器、氨浓度检测器等组成,可实时采集和控制动物实验室屏障环境的空气洁净度、温湿度、氨浓度、压差等环境指标。

2) 门禁管理系统。依靠门禁控制软件和智能化门锁实现实验人员按规定入室。

3) 日常管理系统。包括人员培训、实验管理、伦理审批管理、动物入室管理、笼位管理、耗材审批等多种功能,使各项流程简单化、规范化。

4) 设备管理系统。通过对IVC/DVC的管理实现动物房内的笼位监测及笼内环境温湿度、动物行为等监测。

5) 实验物品管理系统。进行试剂耗材的盘点、统计等工作。

6) 安全管理系统。包括电源控制器、监控摄像头、预警器等, 能实现管理人员对实验室的实时监控, 远程控制电源开关并能及时对意外事故做出应急处理。

此外, 各个子系统产生的数据汇聚到大数据智能服务平台, 经过汇总、分析等处理, 为实验室管理实现决策反哺, 实现智能化管理。

4.3 网络层/界面层/用户层

该层通过搭建手机 APP、网站等网络平台将感知层和应用层收集的数据整合起来, 通过实验中心网络平台发布相关信息, 如实验仪器预约情况、培训信息等, 使信息可视化, 有效提高设备的使用率, 使智慧实验室的建设更加实际化。同时, 实验室管理人员可通过网络层随时、随地监控设施设备、人员、物品的状态和运行情况, 实现各个节点环境参数、实验参数等数据信息的互联互通; 实现实验室人员、设备、方法、环境等的信息化管理, 使各个环节管理规范、流程化和信息化。

5 动物房屏障环境智能管理平台的运用

5.1 实现环境指标的实时监控

根据 GB 14925—2023 要求^[12], 屏障环境内对洁净度级别、最小压差、温湿度、光照、氨浓度有明确要求。若采用每日现场巡查、检测等传统管理模式不仅工作量大、耗时, 也无法满足实时监控的要求。若采用中央空调机组、温湿度传感器、氨浓度检测仪等环境检测传感器, 通过其环境感知技术, 如红外线感知、声学感知、光照感知等, 可实现对屏障系统内环境参数进行实时监测数据的记录; 还可以根据区域要求设定不同指标的阈值, 出现异常时报警提示。管理人员只需定时查看电脑端显示器上的各种数据即可了解屏障环境内的各种环境指标, 并根据具体情况作出后续处理操作, 以及通过网路层远程控制管理平台实现对实验室环境指标的查看和调节。整个流程智能、高效, 为屏障环境内环境监测提供可靠方案, 同时实现随时、随处可监控的目的。

5.2 智能柜实现对实验物品管理的优化

传统实验室管理中存在试剂耗材采购领取等各环节松散、关联度低、试剂取用数量不对等以及各类申请及审批线下处理的办公效率低下等问题^[14]。易燃易爆、有毒有害等危险化学品按规定要特殊化管理, 需选取防爆储存专柜储存危化

品, 并使用智能锁和应用物联网技术以软硬件结合的模式进行双人共同管理。一方面系统监控防止危化品被盗等问题的发生, 另一方面防止有毒有害液体意外流出等风险; 在实验物品管理系统设置试剂耗材入库、物品领取、归还和盘点 4 个阶段, 配合门禁、视频监控等管控手段实现试剂耗材尤其是危化品闭环安全管理。

5.3 实验人员入室和管理优化

高校动物实验室具有实验人员多、流动性大、实验操作繁杂等特点。为保证动物实验室屏障环境科学、有效运行, 最大程度减少人员对屏障系统内的污染, 保障实验动物质量, 必须制定科学有效、切实可行的管理制度、操作规程及人员培训制度的标准化流程。因此整个屏障系统实行实验室所有通道、饲养间内外侧均安装门禁系统, 所有实验人员经培训合格后开通门禁, 实现一人一账号, 并在管理平台上设置管理人员、实验人员、清洁、保卫等不同的用户类别, 并根据用户类别设定相应权限。如实验人员只能在规定的时段内进入授权的实验室, 这样可保证实验室内部管理有序, 防止相互干扰。同时所有人员只开通内侧门权限, 一旦离开屏障系统, 不能从污物走廊返回系统内, 保证了单向流通的原则。另外门禁系统控制面板可以查看人员进出记录, 有助于管理人员了解实验室的使用情况。

5.4 依托感知器, 提高安全管理效率

屏障区每个饲养间、走廊及非屏障区均安装视频监控设备, 实行 24 h 无死角监控, 方便管理人员及时了解屏障系统内的运行情况、人员的进出以及操作, 便于实验室的监督管理; 若发生意外时, 系统能自动感应并触发报警装置, 工作人员能及时做出应急处理, 提高管理效率。另外预警器对环境的温湿度、压差、断电进行实施监控, 一旦以上情况出现异常, 便会自动报警, 后台管理人员也能及时处理, 保障实验室正常运行。

5.5 饲养设备优化, 提高动物福利

目前大多动物屏障系统使用的是 IVC 饲养系统。一套 IVC 设备就是一个组合式的微型屏障系统, 实验动物分组饲养在各个笼盒内, 互不干扰, 且与外部隔离, 避免交叉感染, 提高实验动物的安全, 简化了屏障系统的操作程序^[15-16]。但 IVC 系统只能给实验动物提供舒适的环境, 实验人员观察实验动物的行为只能打开笼盒以及人工

清点或寻找笼盒,过程繁琐易混淆且动物容易产生应激反应。因此为提高科研质量和简化设施管理,可采用由电磁传感器、硬件(含传感器)、软件(管理和分析平台)组成的DVC。DVC通过自动监测系统评估笼内动物饲料、饮水、垫料、意外漏水、动物活动情况及笼盒定位;在不干扰实验动物的情况下,直接从饲养笼盒内收集信息和数据,并与DVC分析平台结合使用,远程评估动物活动数据,显著提高动物福利及设施管理效率和人员工作效率^[17]。

本文以华西口腔医学院动物模型中心为例,梳理了动物房屏障环境智能化管理平台的构建方案,总结了智能化管理模式在实验室仪器管理、危化品管理、环境监测和实验动物管理等方面的实践经验。智能化管理能有效节省人力资源,缓解实验室管理人员工作压力,为实验人员的数据准确性与实验室安全提供保障;构建智慧实验室可以改变传统实验室落后的管理模式,让实验室管理向便捷化、智能化方向迈进。

6 结束语

在“双一流”学科建设的新形势下,智慧实验室管理平台建设是各高校实验室管理智能化与信息化发展的必然趋势。数据的自动收集和统计分析,能为实验室未来建设规划提供可靠的数据和决策支撑,进一步助力高校实验室管理多元化和国际化发展。信息技术能促进高校科研实验室管理工作改革创新,有效推动高校实验室管理的智能化与信息化发展,更好地发挥实验室服务于科研的作用,促进高校科研事业质量的提高。但目前来说,形成一个统一、完善的智慧实验室体系框架,建立适合本校特色智慧实验室是高校发展的难点,探索切实可行的高校智慧实验室发展之路,具有深远而宝贵的现实意义。

参考文献

- [1] 庄燕. “十四五”规划下实验室建设管理的创新与探索[J]. 化纤与纺织技术, 2023, 52(8): 80–83.
- [2] 王子亮,王继荣,李杰. “智慧化”在实验室管理中应

- 用的初探[J]. 中国检验检测, 2024, 32(3): 60–62.
- [3] MANICKAM P, MARIAPPAN S A, MURUGESAN S M, et al. Artificial intelligence (AI) and internet of medical things (IoMT) assisted biomedical systems for intelligent healthcare[J]. Biosensors, 2022, 12(8): 562.
- [4] HOU H J, ZHANG R, LI J M. Artificial intelligence in the clinical laboratory[J]. Clinica Chimica Acta, 2024, 559: 119724.
- [5] 张捷. 高校智慧实验室的建设及管理[J]. 化工管理, 2023(8): 154–156.
- [6] 刘毅,丁然. 智慧实验室标准体系建设探究[J]. 中国标准化, 2023(23): 87–91.
- [7] NAUGLER C, CHURCH D L. Automation and artificial intelligence in the clinical laboratory[J]. Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences, 2019, 56(2): 98–110.
- [8] 王维,谢永芳,赵仁宏. 智能化技术在实验室中的应用[J]. 电子技术, 2023, 52(6): 110–111.
- [9] 崔锦,徐秋良,赵洋,等. 智慧畜牧业背景下畜牧兽医类实验室建设探索与实践:以河南牧业经济学院畜牧兽医类专业实验室为例[J]. 现代畜牧业, 2023, 7(3): 56–60.
- [10] 岳利可,梁兴雨. 基于互联网技术的实验室智慧管理平台研究与构建[J]. 实验室科学, 2024, 27(2): 193–196.
- [11] 石磊,庄志洪,李博. 基于“智慧实验室”的高校实验室信息化探究与实践[J]. 实验室研究与探索, 2023, 42(7): 269–273.
- [12] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 实验动物环境及设施: GB 14925—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [13] 李云. “互联网+教育”模式下高校智慧计算机实验室的建设研究[J]. 电子测试, 2019(18): 106–107.
- [14] 高颜超,胡雪利,陈伟,等. 浙江省生物安全实验室智慧化监管实践与展望[J]. 实验技术与管理, 2024, 41(1): 232–238.
- [15] 郑茂恩,郭中坤,刘涛,等. IVC系统在实验动物中的研究应用[J]. 医学动物防制, 2021, 37(1): 51–53.
- [16] FEARY J R, SCHOFIELD S J, CANIZALES J, et al. Laboratory animal allergy is preventable in modern research facilities[J]. European Respiratory Journal, 2019, 53(6): 1900171.
- [17] KAHN S. Animal welfare in the context of World Trade Organization dispute settlement[J]. Revue Scientifique et Technique de L'OIE, 2020, 39(1): 69–79.

编辑 钟晓