



基础教学实验室信息化、智慧化建设方案研究

张向伟¹, 黄丽丽^{2*}

(1. 山东大学 管理学院, 济南 250100; 2. 山东建筑大学 材料科学与工程学院, 济南 250101)

摘要: 该文围绕基础教学实验室信息化、智慧化建设方案研究, 分析了当前国内外基础教学实验室在信息化与智慧化建设方面现状与不足, 设计了一套综合性的建设方案, 包括构建智能化管理平台、引入先进教学技术、加强安全监控体系、建设数字化教学资源库和教学行为分析系统等关键措施。通过实施该方案, 预期能够显著提升实验室的信息化与智慧化水平, 促进教育资源的优化配置, 增强学生的学习体验与参与度, 保障实验室运行的安全稳定。

关键词: 智慧实验室; 信息化; 智慧化; 数据化; 实施效果评价

中图分类号: G642

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20240367

Research on the Informatization and Intelligentization Construction Plan of Basic Teaching Laboratories

ZHANG Xiangwei¹, HUANG Lili^{2*}

(1. School of Management, Shandong University, Jinan 250100, China;

2. School of Material Science and Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

Abstract: Centering on the informatization and intelligentization construction of basic teaching laboratories, and by analyzing the current status of informatization and intelligentization construction of basic teaching laboratories at home and abroad, a comprehensive construction plan is designed, including key measures such as building an intelligent management platform, introducing advanced teaching technology, strengthening the security monitoring system, and developing a digital teaching resource library and a teaching behavior analysis system. Through the implementation of this plan, it is anticipated to significantly enhance the informatization and intelligentization levels of laboratories, promote the optimal allocation of educational resources, enhance students' learning experiences and participation, and ensure the safe and stable operation of laboratories.

Key words: smart laboratory; promotion of information technology; intelligent; digitalization; evaluation of implementation effectiveness

随着大量开放式实验教学的开展, 传统实验室在管理、效率 and 安全性等方面面临诸多挑战, 如管理混乱、资源利用率低、实验过程不透明等。实验室的高效运营与管理策略亟待深入探索与优化, 这已成为实验室管理领域的一个重要研究课题。推动实验室向智能化和安全性方向发展, 并加强实验室的建设与管理, 已成为业界广泛关注的焦点与热点^[1]。

物联网技术作为近年来迅速崛起的科技前

沿, 正为实验室管理的智能化转型提供坚实的技术基石。其广泛的应用潜力不仅赋能了智慧实验室的构建, 还显著加速了这一创新管理模式的发展步伐, 为实验室的智能化升级铺设了坚实的道路。

2018 年的新时代中国高等学校本科教育工作会议明确提出, 在今后两年到三年时间内, 打造智慧课堂、智慧实验室、智慧校园, 深化课堂教学革命^[2-3]。近年来, 信息技术的飞速进步,

收稿日期: 2024-07-12

基金项目: 教育部产学合作协同育人项目(220604978161948, 202002284019); 山东大学实验室建设与管理研究项目重点项目(sy20232101); 教育部供需对接就业育人项目(2023122703661, 2023122075914)。

作者简介: 张向伟, 硕士, 高级实验师, 主要从事实验室建设与管理方面的研究。E-mail: 113397480@qq.com

* 通信作者: 黄丽丽, 博士, 副教授, 主要从事实验室建设与管理方面的研究。E-mail: huang0539@sdjzu.edu.cn

特别是物联网、大数据、云计算、人工智能等技术的快速发展为智慧实验室行业提供了强大的技术支持。这些技术的应用使得实验室设备更加智能化, 管理系统更加高效化, 数据分析更加精准化^[4]。

1 基础教学实验室信息化、智慧化概述

1.1 智慧实验室的定义

智慧实验室, 也称为智能实验室或数字化实验室, 是运用物联网、大数据、云计算、人工智能、数字孪生等先进技术, 构建现代化实验室的一种创新模式。其核心在于通过现代信息技术和先进设备, 将实验室的各类资源、数据和业务流程进行深度整合与优化, 实现实验室的智能化、自动化、数字化管理^[5]。智慧实验室的智能运维体系全面覆盖了设备的智能调控、环境的精密监测、远程的实时监督以及实验数据的深度挖掘与分析, 这一体系共同构建了智慧实验室高效、安全、数据驱动的科研环境。

1.2 当前国内外实验室信息化、智慧化建设的发展现状与不足

目前国内实验室的信息化、智慧化建设受益于物联网、大数据、云计算、人工智能和数字孪生等现代信息技术进步, 提升了效率与科研水平, 建设需求因科研创新及多领域发展而增长, 获得政策与投资支持, 投资规模持续扩大, 超预期高速增长^[4]。欧美等国家的智慧实验室建设在技术应用、自主化智能化程度、人才培养与国际合作等方面取得了显著进展, 为科研创新提供了有力支撑^[6]。整体而言, 国内外实验室信息化、智慧化发展均呈快速发展态势, 但发展阶段与特点各异。

实验室信息化、智慧化建设目前面临技术标准不统一、数据安全与隐私保护、认知与投入不足及专业人才短缺等挑战, 如技术标准和数据接口不统一、各公司的产品良莠不一、不同系统间的兼容性不足。其次, 实验室数据的采集、存储、分析和应用, 特别是在涉及敏感信息和核心技术领域, 同样面临着严峻的数据安全和隐私保护挑战。如何确保实验室数据的安全性、完整性和隐私性, 成为行业关注的焦点。再次, 智慧实验室的建设需要大量的资金投入, 包括硬件设备、软件系统、网络设施等方面, 部分高校或企业认知不足、投入有限, 限制了智慧实验室的发

展进程。最后智慧实验室的建设和应用需要一批具备跨学科知识和实践经验的专业人才, 但目前市场上这类人才相对短缺, 且培训体系和机制尚不完善, 这导致一些单位在推进智慧实验室建设时面临人才瓶颈。这些问题共同制约了国内实验室信息化、智慧化的全面推进与高效发展。

2 基础教学实验室信息化、智慧化的重要性

智慧实验室的建设和应用, 不仅显著提升了教学质量与效率, 还强力推动了教育信息化进程。它融合先进技术与设备, 实现教学资源的数字化、智能化管理, 优化教学环境, 激发教学模式创新, 有效地增强了学生学习兴趣与效果。作为教育信息化的关键一环, 智慧实验室将信息技术与教育进行完美融合, 引领了教学模式变革, 同时助力教育资源共享与整合, 促进教育公平^[7]。更重要的是, 智慧实验室能够培养学生的实践能力和创新思维, 促进多学科交叉融合, 提升教学效率和质量, 培养出符合行业所需的高素质人才。

3 基础教学实验室信息化、智慧化建设需求分析

智慧实验室建设, 作为现代教育体系中的重要一环, 其深远意义远超于传统物理空间的构建。它不仅是技术与设备的集成, 更是教育理念、教学模式与学生能力培养的深刻变革。基础教学实验室信息化、智慧化建设要在能够满足日常实验教学 and 实验室管理的基础需求之外, 考虑如何能全面支撑智慧实验教育理念、促进实验教学改革、提升学生实验能力以及提高实验教学水平。

3.1 实验教学需求

3.1.1 支撑智慧实验教育理念

1) 以学生为中心的学习模式

智慧实验室要强调个性化学习路径, 通过智能系统分析学生的学习行为与能力差异, 推送定制化实验任务和学习资源, 激发学生主动探索的兴趣, 实现从“教为中心”向“学为中心”的转变。

2) 强调实践与创新能力

鼓励学生在虚拟与现实结合的环境中动手操作, 模拟复杂场景, 解决真实问题, 培养批判性思维、创新思维和解决问题的能力。

3.1.2 支持实验教学改革

1) 混合式教学模式

融合线上预习、线下实操、线上讨论与反馈等多元教学手段,打破时空限制,增强师生互动,提高教学效率。智慧实验室平台要能够记录学生实验过程,为教师提供详尽的教学数据支持,便于精准教学。

2) 模块化课程设计

根据学科特点和教学需求,设计灵活多样的实验模块,支持跨学科融合实验项目,满足不同层次学生的学习需求,促进知识深度与广度的拓展。

3.1.3 提升学生实验能力

1) 强化技能训练

利用虚拟仿真技术、智能实训设备等,提供高度仿真的实验环境,让学生在安全无虞的条件下反复练习,快速掌握实验技能。

2) 培养自主学习与合作能力

智慧实验室要鼓励学生自主探究,设置团队项目,促进学生之间的沟通与协作,培养团队精神和领导能力。

3) 增强数据分析能力

通过大数据分析软件,教会学生如何收集、整理、分析实验数据,培养其科学思维和分析能力,为科研创新打下坚实基础。

3.1.4 提高实验教学水平

1) 优化实验教学资源

整合国内外优质教学资源,包括教材、视频、案例等,构建丰富的在线教学资源库,供师生随时查阅和使用。

2) 智能评估与反馈

采用智能评估系统,对学生实验过程、实验结果进行即时反馈和综合评价,帮助教师快速了解学生学习情况,及时调整教学策略。

3) 促进教师专业发展

成为为教师提供学习新技术、新方法的平台,通过参与技术培训、交流研讨等活动,不断提升教师的教学能力和科研水平。

3.2 日常管理需求

实验室信息化、智慧化建设的管理需求包括以下3个方面。

1) 实验室设备与资源管理的信息化

通过建立实验室信息管理系统实现设备的全生命周期管理^[8],优化资源配置,利用射频识别、

二维码技术提升盘点与定位效率。

2) 实验室安全与环境监控的智慧化

安装智能传感器等设备实时监测环境参数,异常即警报并通知处理,同时记录安全事件,为事后分析提供数据支持,提升安全管理水平^[9]。

3) 实验过程分析的数据化

结合数字化手段,抓取教学过程数据,并进行分析,深入了解学生对教学内容和方式的接受程度,从而针对性地优化教学方法、改进教学过程、提高教学效果^[10-11]。

4 基础教学实验室信息化、智慧化建设方案设计

智慧实验室综合管理平台系统的方案架构主要包括物联设备层、感知控制层、数据层和平台层,如图1所示。

4.1 建设理念

基于“智能化、互联化、协同化”的核心理念,深度融合信息技术、物联网、大数据、人工智能等多种先进技术。旨在通过构建一个集自动化、数字化、智能化于一体的综合性系统,实现实验资源的优化配置、实验过程的精细管理和实验数据的精准分析。具体来说,强调对实验环境的全面感知、智能控制以及实验数据的实时采集与分析,旨在模拟并超越人类智能在实验环境中的应用水平,推动科研与教学效率与质量的全面提升。

4.2 建设目标

建设目标简单说就是“五化”,即物联化、智能化、协同化、绿色化和创新化。

物联化即基于物联网技术,实现实验室内所有设备、仪器、环境参数的互联互通,确保数据的实时采集与传输。

智能化即利用人工智能和机器学习技术,对实验数据进行深度分析,提供精准的实验指导与决策支持。

协同化即促进实验室内外的信息共享与协同工作,提升科研与教学团队的合作效率。

绿色化即通过智能化管理,实现实验室能耗的优化,打造绿色、低碳的实验环境。

创新化即鼓励创新思维与实践,为科研人员提供自由探索的空间和条件。



图 1 智慧实验室综合管理平台系统方案架构图

4.3 要实现的主要功能

1) 智能环境控制

通过传感器实时监测实验室的温度、湿度、气体浓度等环境参数，自动调节至最佳实验条件。

2) 设备远程监控与自动化

利用物联网技术，实现实验设备的远程监控、自动化操作与智能调度，减少人工干预，提高实验效率。

3) 数据实时采集与分析

通过大数据与人工智能技术，对实验数据进行实时采集、处理与分析，提供精准的科研指导与决策支持。

4) 教学过程可视化记录与评价

通过视频采集、屏幕录制等技术，记录学生在实验过程中的操作和表现，为教师提供评价和指导依据。

5) 资源与信息共享

通过互联网和云平台，实现实验数据、教学资源 and 知识的共享与交流，促进师生之间的互动与合作。

6) 虚拟仿真实验

利用虚拟现实技术，提供虚拟仿真实验环

境，解决传统实验受限的问题，扩展实验内容和领域的广度和深度。

4.4 硬件设施建设

4.4.1 实验室环境监测与安全防护系统

安装环境检测传感器，如温湿度传感器、空气质量监测仪、光照强度传感器等，实时监测并调控实验室环境参数，如控制空调的温湿度、窗帘的开合度、换气装置的循环风量和照明系统的照明亮度等，确保实验条件稳定适宜。

配备视频监控系统，实现实验室的 24 h 安全监控。支持面部识别和人员判别并记录，如在警戒时间段，若有人员非法闯入则系统报警并通知管理人员，确保实验室内所有人员及资产的安全无虞。

部署火灾报警系统，气、液体泄漏检测系统等安全防护设备，与智能报警系统相连，一旦检测到异常情况立即触发警报同时切断实验室电源，并通过电话、微信、短信等方式通知相关人员，迅速启动应急响应预案，如图 2 所示。

4.4.2 实验教学控制系统

实验教学控制系统包括电子班牌系统、智慧门禁管理系统、智能电源管理系统、智慧多媒体控制系统等，如图 3 所示。

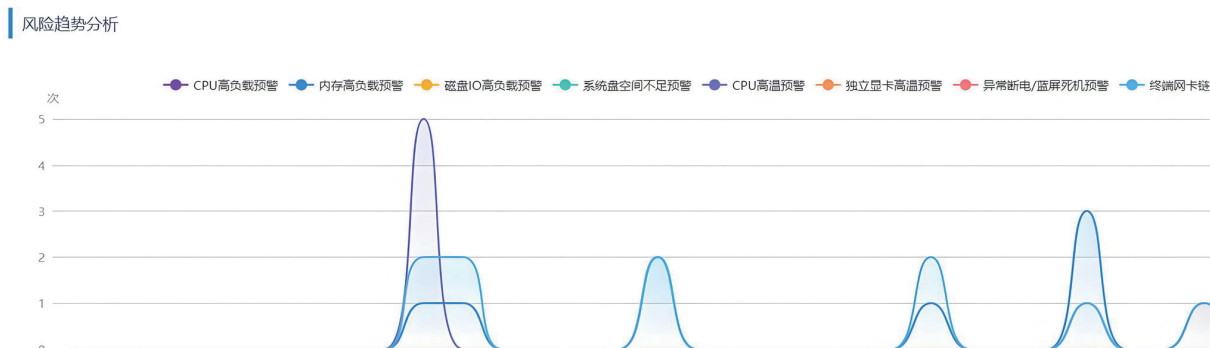


图 2 实验室环境监控与安全防护系统界面



(a) 电子班牌系统



(b) 智慧门禁管理系统



(c) 智能电源管理系统



(d) 多媒体控制系统

图 3 智慧实验室控制系统图

电子班牌系统支持从学校的教务系统下载课表数据并显示课程信息, 同时显示实验室简介、负责人及联系方式、新闻通知、制度文件、失物招领信息等内容。

智慧门禁管理系统支持多种认证方式, 如校园卡、NFC、指纹、面部识别等, 支持系统签到

和门锁控制, 在有课的时间段, 可以自动识别实验人员并打开实验室大门; 智能电源管理系统自动打开灯光和各类设备电源; 任课教师根据需求通过智能多媒体中控打开并调节多媒体设备和教学设备。

配置高清 LED 显示屏、投影仪、电子白板

等多媒体交互设备,提高实验教学的互动性和直观性。引入VR和AR技术,为学生提供沉浸式的学习体验,使抽象概念具体化,提升教学效果^[12-14]。

设计并引入具有高度集成化、智能化的实验设备,能够自动记录实验数据、提供实验指导,并支持远程操控和虚拟仿真实验功能;配备触控屏或平板电脑作为交互式界面,学生可用于访问教学资料、进行实验操作和查看实验结果。

4.4.3 教学行为监测分析系统

在合理的位置安装用于捕捉个体行为数据(如学生的到课率、座位分布、学生异常行为检测、教师授课操作时长、师生面部表情、学生操作行为记录等)的摄像机等音视频采集设备,采集到的数据由后台的智能助教系统分析和存储后,可以获取师生的状态及个体画像,了解学生对老师教学内容和方式的接受程度,从而针对性地优化教学方法或者进行个性化教学推送,提高教学效果。

4.5 软件系统开发

4.5.1 实验教学综合管理系统

实验教学综合管理系统的主要功能包括人员管理、学期校历管理、课表管理、实验管理、日志管理和实验评价体系等。

其中人员管理部分包括实验指导教师和实验学生的管理;课表管理部分与学校的教务系统相对接,为电子班牌系统的数据来源;实验管理部分包括实验大纲和指导书管理、实验模板(或实验任务)管理、实验报告管理、实验成绩管理等;日志管理部分则需记录学生、教师等所有人员所有系统操作日志。

实验评价体系则是围绕“教、学、评”的一致性关系模式,实现教育评价从“基于经验”向“数据驱动”转变。它可以对实验全过程数据进行采集,借助大数据赋能形成对教师、学生的多元化评价。

4.5.2 实验资源预约与调度管理系统

实验室资源预约与调度系统的核心功能涵盖了对实验场所、实验设备及实验材料等资源的在线预约与管理调度。系统不仅允许学生浏览并实时了解实验室资源的当前使用情况,还能根据个人实际需求便捷地进行资源预约操作。

系统支持自动排课和冲突检测,确保实验室资源的合理分配和高效利用。支持资源使用统计和详细报告功能,帮助实验室管理者全面了解资源使用情况,进行更加精准的资源优化配置,提升实验室的整体运营效率。实验室安全数据系统看板如图4所示。



图4 实验室安全数据系统看板

5 基础教学实验室信息化、智慧化实施路径与策略

实验室的信息化、智慧化建设应构建“评估—反馈—改进”的动态保障体系,形成覆盖需求分析、方案设计、系统实施、效果追踪的全生命周期管理闭环。

5.1 实施步骤

5.1.1 前期调研与规划

1) 需求调研

深入学校、教师与学生群体,全面了解他们对实验室信息化与智慧化的具体需求,涵盖教学内容、实验设备、管理流程等多方面内容。

2) 现状评估

对当前实验室的硬件设施、软件环境和管理流程等方面进行全面细致的评估,找出存在的问题和解决方法。

3) 规划制定

根据需求调研和现状评估的结果,制定出详细的信息化、智慧化建设规划,明确建设目标、建设内容、实施步骤、时间节点等要素。

5.1.2 系统开发与集成

1) 硬件采购与部署

根据规划采购实验设备和家具,如智能实验台、交互式教学设备、环境监控与安全防护系统等硬件设备并进行安装调试。

2) 软件开发与定制

根据实验教学综合管理系统和实验资源预约与调度管理系统的需求,由软件开发公司进行软件系统的开发与定制,确保系统功能能够满足实际教学和管理的需要。

3) 系统集成与测试

将硬件设备与软件系统进行联调测试,确保系统之间能够实现无缝对接与顺畅运行,保证数据能够在不同系统之间准确、高效地传输和处理。

5.1.3 试运行与优化调整

1) 试运行阶段

选择部分有代表性的实验室进行试运行,收集管理人员、教师和学生的使用反馈,记录系统运行情况,发现并收集系统问题。

2) 优化调整

根据试运行阶段的反馈和运行状态对系统进

行优化调整,如改进用户界面、优化操作流程、提高系统稳定性等。

3) 全面推广

在试运行成功并进行优化调整后,将建设方案全面向全校推广,实现实验室的全面升级。

5.2 保障措施

5.2.1 资金与技术支持

1) 资金保障

确保实验室信息化、智慧化建设所需的资金充足,制定详细的经费预算,争取学校、政府等相关部门的资金支持。

2) 技术支持

与供应商保持密切联系并建立专业的技术团队,负责硬件设备的维护、软件系统升级和故障处理,确保能够得到及时的技术支持和售后服务。

5.2.2 教师培训与激励

1) 教师培训

组织教师参加智慧实验室的使用培训,如设备操作、软件使用、教学设计等,提升教师对新设备、新系统的操作能力和教学应用能力。

2) 激励机制

鼓励教师积极使用智慧实验室进行教学创新和实践,如设立教学成果奖、提供教学研究经费等,激发教师的积极性和创造力。

6 基础教学实验室信息化、智慧化效果评估与持续改进

基础教学实验室信息化、智慧化改造的评估工作,通常围绕教学效果提升和管理效率优化两大核心维度展开。

6.1 效果评估方法

6.1.1 教学效果评估

1) 学生学习成效

考试成绩提升率:比较使用信息化、智慧化实验室前后,学生在相关课程考试中的平均成绩提升百分比。

实验报告质量评分:采用量化评分标准,对学生提交的实验报告进行打分,评估其内容的完整性、创新性、逻辑性等。

创新能力评估:通过学生参与的科研项目、创新竞赛获奖情况、专利申请数量等指标,评估学生在创新能力方面的提升。

2) 学生满意度

满意度调查问卷结果：包括学生对实验室环境、教学设备、教学资源、师生互动等方面的满意度评分。

反馈意见分析：对学生提出的反馈意见进行分类统计，分析共性问题和改进建议。

3) 教师教学效果

教学设计评价：评估教师在信息化、智慧化环境下教学设计的创新性、实用性、针对性等。

教学方法评价：观察教师是否有效运用了信息化教学手段，如多媒体教学、虚拟仿真实验等，以及这些手段对学生学习效果的促进作用。

师生互动评价：评估师生互动的频率、质量，以及学生在课堂上的参与度和积极性。

6.1.2 管理效率评估

1) 资源利用率

设备使用率：统计实验室设备、实验台等硬件资源的实际使用时间占比，评估其利用效率。

资源预约成功率：通过实验室资源预约系统统计预约成功率，评估资源分配的合理性和有效性。

2) 管理流程优化

预约系统响应时间：测试并记录预约系统的平均响应时间，评估其处理速度和用户体验。

审批流程简化度：对比信息化、智慧化建设前后的审批流程，评估流程简化的程度和效率提升情况。

3) 成本效益

投入产出比：计算信息化、智慧化建设的总投入与带来的教学和管理效益之间的比例，评估其经济效益。

社会效益评估：通过问卷调查、访谈等方式收集师生、家长及社会对实验室信息化、智慧化建设的认可和满意度，评估其社会效益。

6.2 持续改进策略

6.2.1 收集用户反馈与需求

收集用户反馈与需求主要通过建立反馈机制、定期调研等，并利用数据分析工具对收集到的反馈数据进行深入挖掘和分析，识别共性问题和潜在需求^[15]。

6.2.2 定期升级与维护系统

根据技术发展趋势和用户需求变化，定期对实验教学管理系统、实验室资源预约与调度系统

等软件进行升级，引入新功能、优化性能；制定设备维护计划，定期对实验室硬件设备进行检修和保养，确保设备处于良好运行状态；加强实验室网络安全和物理安全建设，定期进行安全检查和加固措施的实施，保障实验室信息化、智慧化的安全稳定运行。

7 结束语

山东大学管理学院自 2021 年起分 3 期进行基础教学实验室的智慧化项目改造，目前已顺利完成 10 余间实验室的智慧化改造任务，建立了集成化的实验室综合管理平台和孪生实验教学空间，利用人工智能和大数据技术，不仅实现了使用情况的实时监测与预警功能，还融入了 AI 教学能力评价体系。这些智能化与自动化技术的深度应用，使山东大学管理学院显著提升了实验操作的效率与精确度，实现了实验资源的优化配置，有效降低了实验成本，并大大增强了实验过程的安全性。这些技术不仅激发了科研与教学的创新活力，还积极推动了跨学科的合作与融合，为复杂实验难题的解决提供了坚实的技术支撑和强大的推动力。截至 2024 年 7 月，已经成功申请智慧实验室相关的发明专利 3 项、软件著作权 10 余项。这些成就不仅吸引了省内外众多高校、行业领军企业的广泛关注，更在国内经管学科领域树立了鲜明的示范标杆，引领了经管学科实验室发展的新方向。后期项目的核心任务将聚焦于运用前沿技术，进一步推动教学向精细化、集约化和智能化方向迈进，致力于完善基于技术标准的教育评价体系，依托数据治理的深化，强化多模态数据的采集与分析能力，力求在人工智能和大数据的驱动下，实现教学评价“认知—实践—研究”三位一体的深度融合。

参考文献

- [1] 盛元广通. 高校智慧实验室管理平台的设计构建 [EB/OL]. (2020-01-13)[2024-07-02]. <https://www.sygt168.cn/news/684.html>.
- [2] 陈玲. 在淘汰“水课”打造“金课”背景下高校教师认真备课的必要性[J]. 科教导刊: 电子版(下旬), 2020(6): 124.
- [3] 陈宝生. 在新时代全国高等学校本科教育工作会议上的讲话[J]. 中国高等教育, 2018(S3): 4-10.
- [4] 李基锦. 2024 年中国智慧实验室行业的市场发展现状

- 及投资价值评估分析[EB/OL]. (2024-06-25)[2024-07-02]. <https://www.chinairm.com/hyzz/20240714/230741946.shtml>.
- [5] 裴慧华. 基于物联网架构的高校智慧实验室关键技术[J]. 电声技术, 2022, 46(7): 62-64.
- [6] 未来智库. 智慧实验室建设行业市场现状和未来市场空间分析[EB/OL]. (2024-06-25)[2024-07-02]. <https://www.vzkoo.com/read/2024062565292973391ac828ff70080c.html>.
- [7] 李开慧. 浅论信息技术与电工电子技术教学融合的策略[J]. 现代职业教育, 2015(11): 66-67.
- [8] 李开良. 全自动试管样本前处理系统设计与实现[D]. 南京: 东南大学, 2019.
- [9] 瑞熙贝通. 智慧实验室综合管理平台建设方案[EB/OL]. (2023-02-06)[2024-07-02]. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/603934846>.
- [10] 钱明霞, 赵磊磊. 大数据赋能本科教学质量评价: 价值意蕴、现实困境与路径选择[J]. 重庆高教研究, 2023, 11(5): 40-48.
- [11] 代依伶. 基于沉浸式虚拟现实的小学科学课程教学设计与应用研究[D]. 成都: 四川师范大学, 2019.
- [12] 黄弢, 万晨晖, 王峻峰, 等. 基于物联网的全天候实验室探索与建设[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(1): 232-236.
- [13] 马佳楠. 信息技术整合对师生互动和教学效果的影响[J]. 科学与信息化, 2024(6): 145.
- [14] 贾蓉, 段景山, 何翔, 等. 高校智能实验室管理平台建设[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(11): 170-174.
- [15] 张爽. 企业市场营销中客户关系管理分析[J]. 老字号品牌营销, 2024(4): 171-173.

编辑 葛晋

(上接第 141 页)

- [10] MURCIA J E, MARTINEZ S, MARTINS V, et al. Risk assessment and green chemistry applied to waste generated in university laboratories[J]. Heliyon, 2023, 9(5).
- [11] 包容, 饶艳, 代明. 北美大学实验室废弃物的分类与管理[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(11): 248-252.
- [12] 周琪, 林夏露, 毛国传, 等. 中美两国医科院校实验室废弃物处理现状比较[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(9): 149-152.
- [13] AMARIGLIO A, DEPAOLI D. Waste management in an Italian hospital's operating theatres: An observational study[J]. American Journal of Infection Control, 2021, 49(2): 184-187.
- [14] CAPELO S, SIQUENIQUE G, MORGADO J. Waste management in the laboratories of the university of evora (2007-2021)[J]. Quimica Nova, 2023, 46(7): 706-717.
- [15] 刘硕, 赵珏, 刘德英. 高校实验室生物废弃物分类管理支撑“双一流”建设[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(8): 252-256.
- [16] TAYLOR P D, JONKER L B. Evolutionary stable strategies and game dynamics[J]. *Mathematical Biosciences*, 1978, 40(1-2): 145-156.
- [17] FRIEDMAN D. On economic applications of evolutionary game theory[J]. *Journal of Evolutionary Economics*, 1998(8): 15-43.

编辑 王燕