

“新工科”轻工类机械专业实验教学 改革与建设

曹琳^{1,2}, 张峻霞^{1,2}, 房德磊^{1,2}, 张琰^{1,2}

¹天津科技大学机械工程学院, 天津

²天津市轻工与食品工程机械装备集成设计与在线监控重点实验室, 天津

收稿日期: 2023年6月13日; 录用日期: 2023年7月12日; 发布日期: 2023年7月21日

摘要

在新工科发展背景下, 需要培养学生创新能力和工程意识, 从而更好地适应社会需求, 对接企业需要。本文分析了传统机械类实验教学存在的问题, 探索并提出了新工科建设背景下轻工特色高校机械类实验教学管理与建设改革方案, 从实验室分类管理模式、师资队伍、实验室信息化建设、实验教学体系、教学质量体系监督等方面进行创新改革, 为新工科背景下高素质、创新型机械人才的培养奠定坚实基础。

关键词

新工科, 机械实验, 教学改革, 实验室管理

The Reform and Construction of Experimental Teaching of “Emerging Engineering” Light Industry Machinery

Lin Cao^{1,2}, Junxia Zhang^{1,2}, Delei Fang^{1,2}, Yan Zhang^{1,2}

¹College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin

²Tianjin Key Laboratory of Integrated Design and On-line Monitoring for Light Industry & Food Machinery and Equipment, Tianjin

Received: Jun. 13th, 2023; accepted: Jul. 12th, 2023; published: Jul. 21st, 2023

Abstract

Under the background of the development of emerging engineering, it is necessary to cultivate

文章引用: 曹琳, 张峻霞, 房德磊, 张琰. “新工科”轻工类机械专业实验教学改革与建设[J]. 教育进展, 2023, 13(7): 4605-4612. DOI: 10.12677/ae.2023.137724

students' innovation ability and engineering awareness, in order to better adapt to social needs and enterprise needs. The problems of traditional mechanical experimental teaching were analyzed. The reform plan of mechanical experimental teaching in light industry characteristic colleges and universities under the background of new engineering construction was explored and puts forward. The innovative reform was conducted in laboratory management mode, faculty and laboratory information construction, experimental teaching system, supervision of teaching quality system. This study lays a solid foundation for the cultivation of high-quality, innovative mechanical talents under the background of new engineering construction.

Keywords

New Engineering, Mechanical Experiments, Teaching Reform, Laboratory Management

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

为适应新一轮科技革命和产业变革带来的机遇与挑战，高等教育要紧紧围绕国家发展战略和区域产业需求，加快新工科专业的建设与发展[1]。“新工科”建设是我国高等工程教育主动应对新一轮科技革命与产业革命的战略行动[2]，是探索形成具有中国特色和世界水平的工程教育体系，也是推动我国从工程教育大国迈向工程教育强国的重要措施[3]。“新工科”项目的正式认定，标志着高校新工科建设进入实施阶段。在新经济和新产业背景下，“新工科”的建设其中重要一方面就是要改革和创新现有工科专业，包括对传统工科专业的升级[4]。相比传统工科人才，实践创新能力强、具有国际竞争力的高素质复合型“新工科”人才更符合未来新经济和新兴产业的需要。这类人才不仅精通某一专业，而且具有跨学科融合的特征，不仅能运用现有知识解决当前问题，也能学习新知识和新技术以解决未来出现的问题，能够引领未来技术和产业发展。

“新工科”建设为轻工特色高校带来新机遇的同时也带来了更多挑战，因此教学改革势在必行。实验教学作为高校教学改革体系的重要组成部分，是培养大学生创新实践能力的必要环节，也是高校新工科建设的关键组成部分，其中实验教育是“新工科”专业培养创新型人才的重要途径[5]。

传统轻工类机械实验教学存在专业设置多、教学资源分配不均、教学模式单一、实验室缺乏信息化管理等诸多问题。在新工科背景下，高校需要培养实践型、创新型人才，以对接企业需求，因而进行实验教学改革与建设势在必行。

本文旨在以提高学生实践能力和创新能力的实验教学体系和实验室管理体系为目标，探索与人才培养目标相适应的实验教学新模式。根据轻工高校机械学科优势、师资力量、实验设备条件以及实验教学的覆盖面，对实验室管理模式、实验师资队伍、实验室信息化建设、实验教学体系、教学质量体系监督等方面进行创新改革探索。

2. 机械类实验室管理现状与问题分析

2.1. 实验室设置相对独立

传统轻工机械类的实验教学与实验室建设同国内大多数高校一样，是按学科分类设立的，依据专业建立实验室，各个实验室彼此独立，布点多，未按照功能和专业特点将实验室资源进行整合，缺乏整体

规划。各个专业管辖下的实验室规模较小、专管专用。在实验室建设上追求“小而全”，经费投入分散，从而造成仪器设备和实验用房的低效益等教育资源浪费。

2.2. 实验教学资源配置不均

各个专业实验教学人员配置不均，实验室房间数量不同，实验设备购置年限存在较大差异，各个专业彼此独立，学科建设重点分散，因此在设备购置管理过程中，存在重复购置情况，轻工类专业没有配备更全更专业的实验设备等。实验教学资产的不匹配，不利于轻工类特色专业的规模化建设和管理，难以实现资源的优化配置、人员工作效率的提升和设备的利用效益。教学资源的不匹配已经无法满足新工科背景下对当前学校教育发展与改革的要求。

2.3. 教学模式单一

传统机械实验教学体系模式单一，往往重视理论、轻视实验，注重课堂教学、轻视动手实践，轻工类机械实验教学也不例外。由于传统的实验教学主要依附于理论课程，实验课往往会根据理论课的内容来安排实验教学；理论课上教授什么，实验课上就做什么，实验内容与实验步骤严格遵循实验教师的指导，学生的参与感不高；课程实验设备与仪器陈旧等原因，导致实验内容存在很大局限性，从而使验证性实验数据结果存在较大误差。机械专业课程实验彼此独立，没有形成科学系统的实验交叉体系。同时实验教学多以演示性、验证性实验偏多，缺乏综合创新类实验教学项目，因此机械传统实验教学方式缺乏对学生创新实践能力的培养。

2.4. 实验室管理信息化缺乏

目前实验室在教学服务管理环节中，实验室的使用需要人工申请审核后安排后续的使用计划，不能有效的在线完成预约申请等便捷服务，缺少综合信息管理平台以及有效的开放管理制度[6]。在实验室信息化教学中，学生主要通过线下教和学的方式进行，没有建立全开放实验教学体系，教学方式缺乏信息化管理与建设。建设实验室信息化平台不仅可以实现实验室管理的信息共享，有效提高实验室和实验设备的资源利用率，还能实现全开放实验教学体验，进而高效提升学生实践能力。

3. 实验室管理模式探索

3.1. 实验室分类管理

高校实验室是高校开展人才培养、科学研究、生产制造实验和技术研发的重要基地，是保证高校人才教育培养、科学研究与科技研发的关键所在[7]。高校实验室不仅是学生获取实验操作技能和科研思维的重要途径，也是教师开展教学设计与指导、科研工作的主要依托，是连接专业理论教学与实际应用、产学研结合的重要纽带。高校实验室的建设状况在很大程度上决定了高校在人才培养、科学研究等方面的水平与实力。先进的实验室不仅拥有高性能的研究仪器设备，具备安全稳定的运行环境，还需要广阔的科学视野、开放舒适的工作氛围、便捷高效的管理服务等。只有加快实验室管理建设，才能实现实验教学内容与研究项目的时代针对性，才能培养出更多高质量的创新人才。

为优化实验室的使用，将实验室按照用途进行分类，分为科研实验室和本科教学实验室。科研实验室主要用于教师以及团队进行科研实验，此类实验室设备复杂，学科专业性强、实验课题多样，管理难度大等特点，由导师对实验室内科研设备以及研究生进行责任管理。本科教学实验室主要用于本科阶段所进行的实验项目，包括本科基础类实验项目以及专业类实验项目。此类实验室中通用设备简单，易管理，多用于验证性实验使用，实验教师是主要责任人，对实验室进行安全及责任管理。实验室分类规范化管理，不仅大大提高了实验室的利用率，同时也保证了实验过程的安全性。

3.2. 调整实验队伍师资结构

3.2.1. 实验中心实行主任负责制

成立实验教学中心，调整师资队伍，将分散在各专业实验教学人员统一整合到实验教学中心。中心主任由长期从事实验教学、理论教学和科研工作，教学经验丰富，学术水平高，管理能力强的正高级职称人员担任。下属各实验均要明确责任人，做到安全、卫生等工作责任落实到具体人，由于实验员数量有限，部分科研用实验室将推行教师代管制度。各实验室责任人要定期配合示范中心做好该实验室设备资产的帐物核对工作。

3.2.2. 实验中心教学人员由专员、兼职人员构成

建立有效的激励机制，完善专兼结合、互通互融的长效机制，吸引从事科学研究和理论教学的教师充实到实验教学队伍中；进一步发展兼职教师、项目教师等多种实验教学教师类型，聘请有丰富现场经验的专业技术人员为兼职教师参与实验教学计划制定、实验项目设置、实验内容安排以及实验教学指导，形成特色的实验教学模式，将实验教学队伍建设成为“精通实验技术、爱岗敬业、团结协作、勇于创新”的高水平实验教学团队。

3.2.3. 鼓励实验队伍年轻化

重视实验教学队伍的建设，引导和鼓励青年教师积极投入到实验教学中来，将实验教学、理论教学、科研相结合，教学与科研相长。加大对实验教师的培养，支持出国进修和培训、参加国内外学术交流活 动，更新知识结构提升青年教师的科研水平和工程实践能力。

3.3. 优化实验资源，加大实验室信息化建设

大多数高校均已建立了实验室综合信息管理平台[8] [9]，实验室信息化建设是高校实验室发展建设的重点任务[10]。为实现实验室在时间、空间、内容、过程的全开放实验教学体系，拓宽学生开展实验项目和课程学习的空间，增强学生学习的自主性和积极性，需建立和强化数字化和网络化的信息化平台。开放实验室是有效方法之一，不仅有效提高实验设备的利用率，也为进一步提高学生的实践动手能力、自主学习能力和创新能力提供有力的保障[11] [12] [13]。

学生可根据自己的特长和爱好采取“网上预约”的方式，自主选择训练内容，自主参与创新设计。实验项目和实验课程资源可转变为以视频、音频、图片、动画、文本等多媒体形式，并以二维码方式呈现。以优质信息化教学资源支撑教学手段的革新，依托优质教学资源，采用数字化手段革新教学方法提高实验教学质量与效率，应用数字仿真技术、多媒体技术、电子教案、实验视频与虚拟实验等现代化手段构建网络实验教学平台，实现学生网上实验课程选课与预约、实验预习、实验签到、实验监控、实验报告自动批改与评分、实验成绩管理、实验信息发布与教学质量评价等功能，从而实现网络化实验教学环境。

3.4. 实验教学引入虚拟实验技术

鉴于传统的机械实验教学方式以实验室为主，但实验室资源有限，同时也存在实验室设备老旧、成本高昂、实验难度大等问题。因此，为了更好地适应现代化教学的需求，引入虚拟实验技术已经成为一个不可避免的趋势。利用虚拟实验技术，可以将传统实验室的机械基础实验项目及专业实验项目搬到虚拟环境中进行，为学生提供更加灵活和便利的学习方式，同时也能降低实验成本，提高资源利用效率。虚拟实验是通过计算机技术模拟实验过程、环境和现象，实现真实实验的替代。虚拟实验资源共享、操作便捷、安全可靠、信息可视化等特点。在机械实验教学中，引入虚拟实验技术可以为学生提供更加灵

活和便利的学习方式，同时也能降低实验成本，提高资源利用效率。虚拟实验可以帮助学生更好地理解实验原理和现象，同时也可以提高学生的实验操作技能和实验分析能力。此外，虚拟实验可以通过不断更新和扩展实验项目，满足学生学习的不同层次和需求。

4. 实验教学体系改革探索

4.1. 分层级、多模块、立体化实验教学体系

以“新工科”发展对人才需求为导向，以培养学生实践和创新能力为目标，通过实验教学与理论教学、科学研究和工程实践的有机结合，构建突出能力贯通式递进培养的“五层级、三模块、四平台”的开放式实验教学体系，实现“理论教学与实验教学相结合”、“实验项目与科研实践相结合”、“基本技能与创新能力相结合”的新工科人才培养模式。通过搭建支撑学校轻工特色人才培养的实验教学平台，培养具有机械系统思想的创新性工程应用与研究型轻工类机械专业人才。

“五层级”为机械基础类实验、综合设计类实验、专业创新类实验、工程实训类实验、新工科创新型实验。五个层级的实验分类，实现学生实践能力的阶梯式培养。“三模块”为机械基础模块、机械专业模块以及新工科创新模块。其中机械专业模块包括机制专业模块、机电专业模块、过控专业模块、模具专业模块、工业设计专业模块、车辆专业模块六个子模块。“四平台”为“机械基础实验教学平台”、“轻工装备实验教学平台”、“工程训练教学平台”和“天津市重点实验室平台”。

“五层级”是指按照能力贯通式递进培养要求划分为课内层级和课外层级。课内层级为培养计划规定的必修实验，包括机械基础型实验、综合设计型实验、专业创新型实验；课外层次为工程实训型、新工科创新型实验是为成绩优异、动手能力强的学生设置，此为选择型实验。各层次由低至高难度递进，实现从基本动手能力到综合设计能力，从实践能力到创新能力，从而实现创新意识的阶梯式递进化培养。层级式培养模式如图1所示。

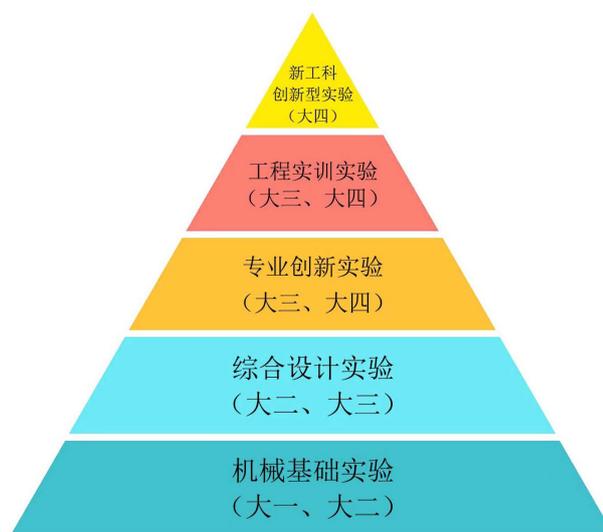


Figure 1. The level-classified experimental teaching training mode
图1. 层级式实验教学培养模式

第一层级的机械基础型实验，主要是机械基础认知以及原理性实验。通过该类实验，使学生了解机械相关仪器和设备的基本性能，掌握基本的实验方法，结合理论教学对学生基本技能的训练，侧重培养学生的基本技能；第二层级的综合设计型实验是在机械基础型实验之上，根据机械专业人才综合能力培

养要求并结合工程实际开设的实验,目的在于结合专业实际提高学生的综合素质,让学生利用已有理论知识和实验设备以及实验技能完成实验,培养专业技能,提高学生综合设计能力;第三层级的专业创新型实验是在机械基础型实验和综合设计型实验基础上进行的应用性较强的提高性实验,目的在于培养学生的实际操作能力和解决工程实际问题的能力;第四层级的工程实训型实验目的在于将理论知识运用于实践,在实践中进一步理解、掌握和巩固所学内容,增强动手操作技能,将所学知识应用于工程实际,学以致用,提高分析实际问题和解决实际问题的能力;第五层级的新工科创新型实验是以天津市重点实验室开放实验、与科研项目主持教师合作完成项目的研究任务等为主,结合科研对学生创新性思维的培养需要提供实验项目,提高学生的实践能力、探索精神、创新意识。

“三模块”是指将实验项目按照专业领域划分为机械基础模块、机械专业模块和新工科创新模块三个模块。其中机械基础模块的服务对象涵盖全校理工类相关专业的学生,旨在培养学生的机械基础和为体现学校的发展定位提供支撑。机械专业模块分别按专业对人才培养的需要,将相关的综合设计型、专业应用型及创新研究型实验分类形成六个专业实验模块,专业实验模块是在机械基础模块层级上,为学生提供的具有轻工类机械特色的实验项目。新工科创新模块以实验教学与科学研究、工程项目、行业应用相结合为手段,将科研成果和行业实际应用转化为实验教学项目,充实更新实验教学内容。增设与轻工类机械方向科研的实验项目和内容,形成科学研、工程实践与实验教学三者间的良性互动,达到学生能力培养和素质提高的目的。各个模块根据轻工机械行业发展前沿更新实验项目,加强实验教学与工程应用密切融合,全面培养学生运用教学实验进行研究和创新的能力,能够在实际工程项目中运用所学知识和技能,解决实际问题,从而满足新工科发展对于机械人才培养提出了新的要求。

“四平台”中机械基础实验教学平台涵盖机械类最基本的实验教学内容;轻工装备实验教学平台包括轻工特色下的机械专业的实验教学内容,涵盖研究创新实验,引导学生深化专业学习与科学研究;工程训练教学平台则让学生根据工程实际内容,可以自主设计、自主创新地进行新的实验;天津市重点实验室平台依靠高水平科研促进实践教学内容,着重提供科研创新转化的实验教学内容,由轻工专业特色科研成果经过凝练、整理、补充进综合性、创新型实验教学环节中。

“五层级、三模块、四平台”的轻工特色机械专业实验教学体系以培养学生创新意识为核心、阶梯式递进化培养,涵盖了机械基础、专业综合设计、工程实训、科研创新等多类型实验,是面向学生理论知识运用、实验技能提高、创新意识培养与素质养成的协调发展为目标的新体系。轻工特色实验教学体系强调实验教学内容与科学研究的结合,注重培养全面发展的应用型人才,符合新工科对于人才培养的目标。体系的创新在于不断改进实验教学方法及实验教学项目,结合理论学习与实践运用,以达到培养学生动手实践能力、创新思维的目的。

立体化创新的实验教学体系的实验教学项目和内容由简到难、由基础型实验到创新型实验,层次化实验项目适应不同专业方向能力培养的需要。实验课程设置从模块中选择项目,实现了实验项目的模块化;体系中实验项目和内容涵盖了机械全领域及我校理工类专业,贯穿了学生本科学习的全过程。

4.2. 建立考核办法及实验教学质量保障体系

实验考核是实验教学的重要环节,也是检查、提高实验教学效果的重要手段[14]。建立新型的适应新工科发展体系需求的实验教学考核办法,以适应学生能力培养、个性化发展。不断完善实验教学评价体系,与理论教学评价体系有机合成为一体,从而形成新工科发展的人才培养质量保障体系。首先对实验教学课程设置考核与评价细则,其中主要包括创新、实践、团队协作、实验报告四个环节,分列各个环节的考核评价细则,对其中的实验报告环节设置评分标准表。根据课程教学大纲的课程目标以及教学进度与学时分配对考核部分分值进行计算并赋值。最后对考核结果进行分析并提出实验教学

改进措施，最终形成课程目标达成度评价报告。具体考核体系流程以机械设计制造专业 CAD/CAM 实验课程为例。

4.2.1. 课程的考核环节及评分标准

在《CAD/CAM 综合实验》课程的实验教学过程中，对学生的考察主要分为创新(15%)、实践成绩(包含建模、CAM 仿真、数控制造)(50%)、团队协作(15%)、实验报告(20%)四个环节，。综合考察学生在课堂中的学习效果、课后的学习效果，以及设计能力和综合表达能力。实验报告评分标准如表 1 所示。

Table 1. Laboratory report marking scale

表 1. 实验报告评分标准表

观测点	16~20 分	12~15 分	9~11 分	0~8 分
完成进度	按时完成	按时完成	延时完成	补交
基本概念掌握程度	80% 以上概念清晰	60% 以上概念清晰	40% 以上概念清晰	40% 以下概念清晰
解决问题的正确性	80% 以上正确	60% 以上正确	40% 以上正确	40% 以下正确
书写的工整程度与表述	书写工整，条理清晰	书写较工整，表述基本清晰	书写潦草，表述不清晰	缺乏条理

4.2.2. 课程目标达成度评价方式

《CAD/CAM 综合实验》课程大纲考核部分的参考分值如表 5 所示，其中，创新占总成绩的 15% (即 $P_1 = 0.15$)、建模占 16% (即 $P_2 = 0.16$)、CAM 仿真占 17% (即 $P_3 = 0.17$)、数控制造占 17% (即 $P_4 = 0.17$)、团队协作占 15% (即 $P_5 = 0.15$)、实验报告占 20% (即 $P_6 = 0.2$)，四项满分均为 100 分。

4.2.3. 课程目标达成度评价结果

《CAD/CAM 综合实验》课程目标达成度以 2019 级机制专业 1~4 班为例，结果如表 2 所示。

Table 2. Objective achievement of the Integrated CAD/CAM Experiment

表 2. 《CAD/CAM 综合实验》课程目标达成度

课程目标	支撑环节	目标分值	学生平均得分	达成度计算结果
1	创新	100	86.97	$D_1 = 0.870$
2	建模	100	88.41	$D_2 = 0.884$
3	数控制造	100	85.00	$D_3 = 0.850$
4	CAM 仿真	100	84.77	$D_4 = 0.848$
5	实验报告	100	89.47	$D_5 = 0.895$
6	团队协作	100	85.95	$D_6 = 0.860$
总体目标	总评成绩	100	86.88	0.869

4.2.4. 考核结果分析

《CAD/CAM 综合实验》课程个人成绩占 50%，小组成绩占 50%。个人成绩包含建模、CAM 仿真、数控加工 3 个方面，小组成绩包含实习报告、创新性、团队协作 3 个方面。课程要求以团队形式完成任务，每人主要负责建模、CAM 仿真、数控加工当中的一个方面，并协助其他人完成任务，比如负责建模的同学在建模过程中，应考虑 CAM 仿真过程及数控加工的工艺性等问题，综合考核小组成员在各自团

队中发挥作用和团队协作能力。在下一学年的《CAD/CAM 综合实验》进行过程中,准备在三个方面进行改进:增加先修课程《工程软件基础》中 CAM 环节的讲解,大部分同学对于这部分内容知识掌握较少;增加铣床加工工艺流程讲解环节,使学生在编程时更合理的考虑工艺路线设置;鼓励创新设计,使作品有更好的展示度。

5. 结束语

“新工科”发展背景下,作为轻工特色大学,需要充分发挥其学科专业特色和人才培养优势,建立符合新工科建设要求的工程人才培养模式,从而培养出具有创新能力强、扎实的专业技能的高素质复合型人才。本文通过分析传统机械类实验教学存在的问题,结合“新工科”建设对机械人才培养提出的新要求,探索并提出了“新工科”建设背景下轻工特色高校机械类实验教学改革方案,从实验室管理模式、师资队伍、实验室建设、实验教学体系、教学质量监督等方面进行创新改革建设,构建出“新工科”背景下轻工特色大学机械人才培养新模式,以实现新工科背景下对工程人才知识、能力和素质的要求。

参考文献

- [1] 刘丙利, 周来. 新工科再深化视域下卓越网络工程师培养模式研究[J]. 电脑与电信, 2021(1): 14-16.
- [2] 戴玉杰, 罗学刚, 贾士儒, 周立群. 新工科背景下制药工程专业学生创新能力培养[J]. 中国轻工教育, 2020(5): 16-20.
- [3] 杨锋苓, 王贵超, 曲延鹏, 王卫国. 新工科背景下过程装备与控制工程专业工程训练课程教学改革[J]. 化工高等教育, 2022, 39(2): 76-81.
- [4] 姜莉, 王强, 付百学, 朱荣福, 赵雨彤. 面向“新工科”的项目化教学法在物流与交通类课程教学中的应用[J]. 物流技术, 2018, 37(12): 152-155, 160.
- [5] 刘磊, 张嘉鹭. “新工科”背景下工程机械类虚拟仿真实验教学资源建设[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(1): 140-143.
- [6] 周文峰. 高校实验教学中心信息化运行管理系统设计与应用[J]. 现代经济信息, 2018(30): 396.
- [7] 刘亚刚, 张启英, 王典. 加强高校实验室管理工作的几点思考[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(5): 244-246, 251.
- [8] 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, 8.
- [9] 王会燕, 刘媛霞, 孙逊, 鲜学丰, 张震, 李金祥. 实验室综合信息化管理平台建设[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(6): 146-149.
- [10] 刘高君, 郑舸. 机械类开放实验室信息管理系统应用研究[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(7): 254-256.
- [11] 郭盛, 黄刚, 尹婵娟. 高校实验室信息管理系统的构建[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(5): 268-271, 275.
- [12] 朱盼盼, 朱雨莲, 王旗. 基于 MOOC 模式的物理全面开放实验室探索[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(12): 262-265.
- [13] 林宗德. 机械基础实验室实践教学开放的探索与实践[J]. 福建农机, 2018(4): 39-41.
- [14] 陈蓉, 陈红仙, 朱忠奎, 汪一鸣. 轨道交通实践教育中心建设的探索与实践[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(3): 143-146.