

## 教学型公共仪器平台建设与开放机制探索

奚忠华, 孔璇凤, 杨金月, 刘斌, 朱婷玉, 张晖, 章文伟\*

南京大学化学化工学院, 化学国家级实验教学示范中心(南京大学), 南京 210093

**摘要:** 南京大学自2009年开始进行“三三制”本科教学改革, 化学实验教学也按照此理念不断进行实验教学改革, 以培养学生扎实的专业实践能力和良好的交叉跨界能力, 提升学生的综合实践能力和创新实践能力。仪器设备在改革过程中起着重要的支撑作用, 为了满足各实验课程的教学需求, 化学国家级实验教学示范中心以培养“四个实践能力”为抓手, 高质量建设了以教学为主的公共仪器平台。然而, 仪器的开放共享也是资源优化利用的一项重要任务, 如何在教学任务之余兼顾对外开放, 需要进行不断的探索。本文以化学实验教学中心公共仪器平台为例, 介绍平台在实验教学、使用培训、共享开放等方面所采取的管理机制, 以及在此基础上取得的一些成果, 供国内高校类似的仪器平台参考。

**关键词:** 仪器平台; 实验教学; 仪器共享; 仪器培训

中图分类号: G64; O6; G482

## Construction of Public Teaching Instrument Platform and Exploration of Opening Mechanism

Zhonghua Xi, Xuanfeng Kong, Jinyue Yang, Bin Liu, Tingyu Zhu, Hui Zhang, Wenwei Zhang \*

National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Nanjing University), School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China.

**Abstract:** Since 2009, Nanjing University has implemented the “Three-stage & Three-Track” undergraduate teaching reform. In line with this concept, the experimental teaching of chemistry has undergone continuous reform to cultivate students’ solid professional practice skills, strong interdisciplinary abilities, and enhanced comprehensive and innovative practical capabilities. Instruments and equipment have played an important supporting role in this reform. To effectively utilize the limited large instruments to meet the needs of various experimental courses, the National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Nanjing University) has established a high-quality, teaching-oriented public instrument platform, focusing on cultivating “four practical abilities”. However, optimizing the utilization of resources through open sharing of instruments, while balancing teaching tasks, remains an important challenge requiring ongoing exploration. This paper presents the management mechanisms adopted by the platform in experimental teaching, instrument training, sharing and opening, using the public instrument platform of the National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Nanjing University) as a case study. It highlights the achievements made, providing a reference for similar instrument platforms at other domestic universities.

**Key Words:** Instrument platform; Experimental teaching; Instrument sharing; Instrument training

收稿: 2024-05-17; 录用: 2024-06-21; 网络发表: 2024-06-27

\*通讯作者, Email: wwzhang@nju.edu.cn

基金资助: 南京大学中央高校改善基本办学条件专项; 南京大学教学实验室建设提升计划; 南京大学实验室安全研究课题(LSG202308)

南京大学于2009年起,在本科教学阶段开展了“三三制”改革探索,对学生实施“大类培养”、“专业培养、”和“多元培养”三个培养阶段;在三个培养阶段中,学生可以根据自身的学习基础和学习兴趣,进行“专业学术类”、“学术交叉类”和“就业创业类”三种发展途径的选择。“三三制”改革旨在建立个性化、多元化的人才培养新模式,致力于为学生提供更多的课程选择、专业选择和发展路径选择权、帮助学生完成“学习转型”到“学术转型”、激发学生创新能力和创新思维<sup>[1]</sup>。实验课程是课程实践、实习实训、科研训练、学科竞赛“四位一体”本科实践教学体系的重要环节,是培养学生专业实践能力、跨界实践能力、综合实践能力和创新实践能力(简称“四个实践能力”)的关键载体。为进一步深化实践育人教学改革,提升实验教学质量,化学国家级实验教学中心(南京大学)(以下简称“中心”)对实验教学进行了不断的改革和探索<sup>[2,3]</sup>,并于2017年推出了“一基二核三功能”实验课程新体系<sup>[4]</sup>。新课程体系全面贯彻“三三制”本科教学改革方针,按照“基础素养课程→核心专业课程→功能研究课程”三个层次逐步推进,分别开设“化学实验基础→化学合成与表征+化学原理与测量→化学功能子实验+化学生物学综合实验+基于项目的研究实验”等课程。新的课程体系源于化学知识体系逻辑结构,打破传统实验教学体系下各门二级学科实验课程之间的壁垒,旨在体现现代化学学科知识、技术和发展趋势,促进化学和相关学科知识交叉融合,提升学生“四个实践能力”,更好培养拔尖创新人才。

实验教学改革和课程建设离不开实验条件的支撑,而大型仪器设备是开展高水平实验教学和科研的必备条件<sup>[5,6]</sup>。根据实验教学改革和课程建设需求,中心申请中央高校改善基本办学条件专项和南京大学教学实验室建设提升计划,有计划地购置了一系列服务学科前沿和交叉领域实验教学并接轨科研的仪器设备,构建了实验教学中心公共仪器平台。平台除保障教学实验外,还对全校、社会开放测试。通过完善的开放共享制度和信息化系统,所有设备实现智慧化、信息化管理,在确保教学实验优先的前提下,可高效率地支撑起科研的全天候开放需要。

## 1 公共仪器平台建设

### 1.1 平台构建

2009年,南京大学仙林校区正式启用,为满足仙林校区实验教学的需求,中心以原中级化学实验室部分仪器及少量新购仪器为基础,构建了中心公共仪器平台。首批仪器设备12台,基本满足当时的实验教学需求。2010年至今,中心基于“三三制”人才培养模式,不断深化实践育人教学改革,完善实验教学培养方案。尤其是伴随着“一基二核三功能”实验课程新体系的实施,人才培养目标定位和教学方案发生了较大变化,为此,中心以“夯实基础、提升能力、体现前沿、引导创新”为指导方针,优化每一门课程的知识结构和能力结构,在强化专业基础的同时,针对实验教学中缺失的前沿知识和先进技术,通过科教融合,有选择性地部分科研前沿和学科交叉热点转化为实验教学内容,新创并改进了大批实验项目,如:二维材料及其异质结的制备与光谱学研究、光氧化还原与[Ni]协同催化C(sp<sup>2</sup>)-O交叉偶联反应、高分子柔性储能与应力传感器件的制备及性能测试、改性黏土填充聚乙烯高分子纳米复合材料的加工成型及性能研究、多肽的合成、纯化与结构鉴定、高分子荧光探针的共轭设计及生物医学应用,等,依托各门实验课程开设,以增强课程的高阶性、创新性和挑战度,提升学生的专业实践能力、跨界实践能力、综合实践能力和创新实践能力。为了支持这些新创实验项目的开设,中心申请中央改善办学条件、实验室提升计划等项目经费超过1100万元,陆续购置了原子力显微镜、共焦显微拉曼光谱仪、液相色谱质谱联用仪、核磁共振仪、万能材料试验机、热机械分析仪、多肽合成仪等与实验项目相配套的大型实验仪器设备。目前,公共仪器平台拥有电化学分析、光学分析、色谱分析、热分析、材料加工与性能表征等各类大型仪器设备共计43台,能够完成不同门类实验课程教学中涉及到的物质成分分析、结构表征、材料加工与性能测试等的不同需求,初步搭建了一个与学科发展前沿、学科交叉、创新创业相匹配的多元化人才培养实验平台,有力保障了中心实验课程体系的改革和建设。详细设备种类如图1所示。

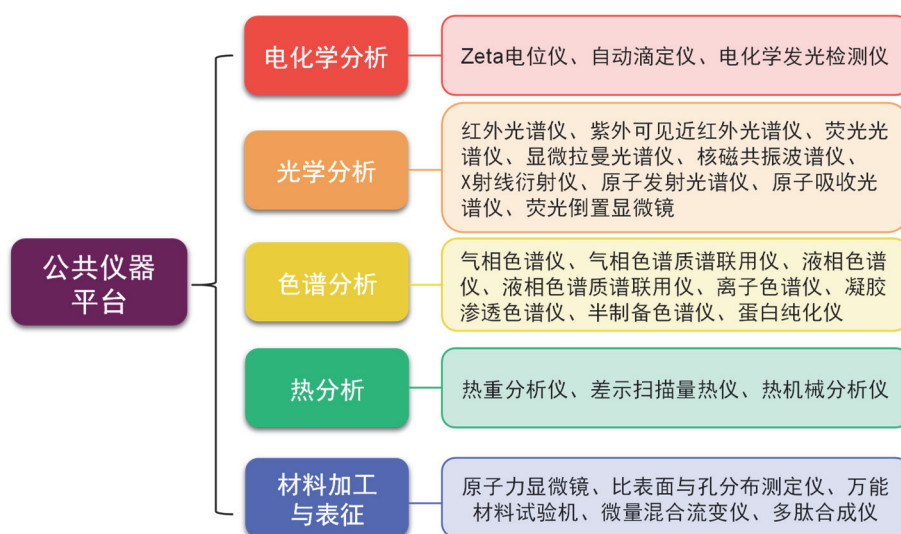


图1 公共仪器平台主要设备

## 1.2 教学实验管理机制

实验教学中心公共仪器平台因教学需求而建设，主要服务于中心各门实验课程教学，以及教师开发新实验和学生进行科研训练、学科竞赛等。尤其是“一基二核三功能”实验课程体系下的“二核”(化学合成与表征(I/II/III)、化学测量与原理(I/II/III))和“三功能”(化学功能分子实验、化学生物学综合实验、基于项目的研究实验)实验课程，涉及到很多与化合物或材料的组成分析、结构表征、材料加工与性能测试相关的内容，均需在公共仪器平台完成相应教学任务。相关仪器实验授课以教师、实验技术人员为主，辅以少量研究生助教。为保证实验教学的顺利开展，平台针对实验教学主要实行以下的管理措施：

(1) 仪器实行专人管理，包括实验技术人员和科研助理等兼职人员。多课程均会使用的仪器统一集中放置，单一课程使用仪器放置各实验室，所有仪器由中心实验室智慧管理系统<sup>[7]</sup>进行统一的开放管理。

(2) 实验课程负责人每学期提前制定仪器设备使用计划表，详细标注实验项目所使用仪器的具体安排日期、时间段等信息。

(3) 仪器管理人员在收到各实验课程的教学安排后，核对各仪器的使用计划，避免不同课程间发生时间冲突等情况。如仪器安排出现冲突，需及时联系课程负责人，协调仪器使用安排。

(4) 所有任课教师在进行仪器教学或测试前均需获得仪器独立操作资格。没有独立操作资格的教师需经过仪器管理员培训，具备独立操作仪器能力和资格后方可上岗。

基于以上管理机制，优化了大型仪器使用教学安排，确保中心各门实验课程教学有序开展。

## 1.3 数字资源建设

中心公共仪器平台近年来采购了一批新仪器设备，为了能够发挥仪器的应有作用，急需加强实验室数字资源的建设。借助“南京大学本科实验教学质量提升计划”，公共仪器平台为实验室主要仪器开发了完整的数字资源，包括：仪器操作手册、操作视频、原理讲解视频等。相关资源发布在中心实验室智慧管理系统所属网站“用户指南”栏目下，以供学生预习，使其能够快速掌握仪器的原理、结构、操作步骤及数据处理方法等。

下一步的数字资源建设将围绕仪器的实验项目开展，针对贵重仪器开发虚拟仿真实验项目，其中“虚实结合打造拉曼光谱实验教学新模式”项目已经获得教育部产学合作协同育人项目2024年第一批立项。

## 2 实验室开放机制

经过多年建设,中心初步搭建了一个与学科发展前沿、学科交叉、创新创业相匹配的多元化人才培养实验平台,公共仪器能够满足学术专业、交叉复合和就业创业类实验教学的不同需求,支撑了化学合成与表征(I/II/III)、化学测量与原理(I/II/III)、化学功能分子实验、化学生物学综合实验等课程的实验开设。平台仪器设备在满足教学需求之余,也对科研测试进行开放共享,有效发挥大型仪器设备的教学和科研支撑作用。

自2012年国家实施创新驱动发展战略以来,国内高校、科研院所等机构开始大量采购大型仪器设备,并建立了针对科研的各层级仪器共享平台。不过,虽然设备能够快速采购,但是实验室开放机制建设、仪器共享率等问题仍然存在,需要进一步改进。对于教学型的公共仪器平台的开放共享,国内高校各实验教学中心所见报道并不多,这其中主要存在问题包括:仪器设备是否能够符合科研测试的需求;如何协调教学与科研测试的需求,避免科研测试影响教学正常进行;仪器管理人员的缺乏问题;实验室共享开放机制的实施问题等。

中心公共仪器平台在原中级化学实验室共享开放的基础上<sup>[8]</sup>,经过多年探索,建立了一套行之有效的仪器开放共享制度,已经能够支撑实验室24小时开放共享。

### 2.1 精准的仪器设备采购目标

实验室仪器设备的采购首先以各实验课程的教学需求为主要参考条件,初步确定仪器设备的型号和仪器参数。同时,在教师中调研科研测试的主要需求,在不增加太多成本的情况下,优先选择性能更好的仪器型号。在此过程中,针对教学型仪器平台,采购大型仪器还需要充分考虑以下两个方面:仪器产品型号尽量选择行业主流仪器设备,并确保参数性能满足实验需求,避免购置功能单一或非主流的设备;综合考虑仪器的维护、保养及耗材等成本问题,避免后期出现无力负担高额维修、维护成本的情况。

### 2.2 多层次培训体系

通常,学生对于仪器的原理知之甚少,只会机械操作仪器,针对仪器意外情况的处理能力缺乏。而仪器的开放共享意味着要对学生进行深入的培训工作,使其具备独立上机操作的能力,这使得仪器培训工作存在一定的困难和问题<sup>[9]</sup>。然而,国内高校多数大型仪器开放共享实验室、特别是教学型仪器平台均存在管理人员不足的问题。为了能够提升仪器培训工作的效率,中心公共仪器平台主要采取以下措施构建了一个多层次的培训体系。

(1) 学校安全平台培训。自2018年起,实验室推行安全准入制度:教师、学生在正式进入实验室之前,必须参加实验室安全与环保知识培训与考试,考试合格并与学校签订安全责任协议书后,才能进入实验室学习和工作。

(2) 仪器工程师培训。仪器安装完毕后,工程师会进行仪器培训工作。中心提前发布培训通知,组织实验教师、实验技术管理人员和学生参加培训,并做好培训视频的录制和存档工作。

(3) 数字培训资源。仪器管理员依据培训内容及仪器常用功能制定操作指南,拍摄操作视频,并发布在中心实验室智慧管理系统,形成平台数字资源。该资源可供学生培训前进行预习。

(4) 现场培训。学生正式上机操作前,必须经过现场培训和考核,获得操作资格证后方可独立测试。培训工作主要由仪器管理员负责。对于协助教师开发新实验、具有丰富使用经验的博士生和科研助理人员,中心也会邀请他们协助培训。学生操作资格的审核由仪器管理员负责。现场培训过程中,需特别强调仪器使用的注意事项,避免可能会对仪器造成伤害的操作。

### 2.3 仪器平台信息化管理系统

高校实验室的共享开放离不开信息化管理系统,它是实验室发展的必然趋势<sup>[10]</sup>。中心公共仪器平台建立了一套较为完善的基于物联网监控的实验室智慧管理系统,系统可以监测实验室环境和大型仪器工作状态,辨识常规安防手段所无法发现的险情,并在常规安防警报触发之前发现险情,在第一时间以邮件、短信、电呼等形式向管理员推送警报和应急预案,保障实验室安全。系统还具备

智慧化管理功能，可以实现大型仪器操作资格审核、预约上机、实验记录电子化、实验数据安全传输等功能。基本工作流程如图2所示。

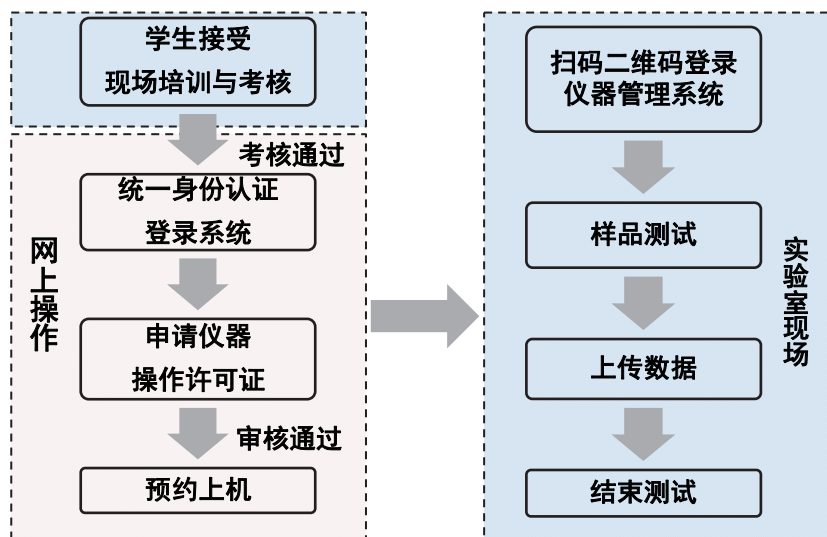


图2 仪器平台智慧系统上机操作基本流程图

为达成实验室24小时开放，中心还针对门锁进行了智慧化改造。平台采用定制化的二维码智能锁来进行手机电子钥匙的管理，从而实现学生自主开门测试。具体操作过程如下：学生取得独立操作资格后可向仪器管理员申请电子钥匙，管理员审核确认后开通电子钥匙，电子钥匙与学生手机号绑定，可根据学生预约测试时间设置失效日期和具体时间。学生按预约时间到达实验室后，打开手机蓝牙功能，利用手机微信扫描门锁上的二维码，手机会通过蓝牙与门锁传输信息，确认无误后打开门锁。

#### 2.4 仪器平台开放共享制度建设

公共仪器平台在培训体系和信息化管理系统建设完成后，制定了《化学国家级实验教学示范中心仪器开放共享管理细则》，充分发挥大型仪器设备的教学和科研支撑作用，鼓励教师开发新的实验教学项目，最大化支持实验教学改革，并对实验教学改革做出贡献的教师奖励一定的免费使用机时；同时，通过收取适当科研测试费用作为大型仪器维修基金反哺实验教学，确保大型仪器的可持续性开放共享。细则主要包含以下几点：

(1) 中心公共仪器平台服务于学校、学院的实验教学任务，中心仪器设备优先保障实验教学，仅在不影响实验教学的前提下对外共享仪器设备。需要使用平台大型仪器的单位或个人，需提前联系仪器管理人员了解仪器状况及所需准备事项，并做好预约，按照预约时间进行测试。

(2) 进入实验室工作的单位或个人，应遵守实验室的各项规章制度和安全措施，实验完毕要认真填写使用登记，保持实验室的整洁。尊重实验室技术人员及服从实验室技术人员的指导及安排，没有获得独立操作资格前禁止上机，违反操作规范，或操作仪器不当造成损害者，按南京大学有关规定赔偿损失。

(3) 平台遵照学校大型仪器共享平台建设和运行管理办法的规定开放运行，遵守学校的相关收费标准，实行有偿服务。对于长期拖欠测试费用的课题组和个人，中心有权取消其使用仪器的资格。

(4) 为提升教师参与实验教学的积极性，针对参与实验教学的教师和研究生，在其利用中心仪器进行科研测试时，化学实验教学示范中心对其产生的测试费提供优惠金。

(5) 为提升教师参与实验教学改革的积极性，化学实验教学示范中心的大型仪器需尽最大可能

满足教改项目的测试和开发需求。对于结题的教改项目，依据项目完成度给予项目完成人免费使用时，仅限项目完成人所在课题组使用。

### 3 开放共享成果

#### 3.1 开放共享对象

除了保障基本实验教学外，中心公共仪器平台不仅面向全校师生开放仪器使用、面向全社会开放样品测试，同时也承接中小学生的参观学习任务，完成了以下不同类型的项目支撑作用：(1) 教师的教改实验项目；(2) 本科生的毕业论文测试；(3) 本科生的创新创业项目；(4) 研究生的科研测试需求；(5) 少量社会单位的送样测试；(6) 中小学生的科普活动；(7) 高中生的研究性学习活动。随着这些项目的开展，近三年来，仪器平台开放共享机时得到了显著的增长，年开放机时达8000小时以上。

#### 3.2 主要成果

基于中心公共仪器平台开放共享，在实验教学改革、学生创新创业竞赛、科学普及教育等方面取得良好成效。具体如下：

**实验教改成果：**依托中心公共仪器平台的良好条件支持，近五年，中心按照“三三制”教学理念开发新实验项目近30项并应用于本科实验教学，如偏重“学术专业类”的聚集诱导发光侧链聚合物的可控合成及其光物理性质研究、电化学氯化、光氧化还原与[Ni]协同催化C(sp<sup>2</sup>)-O交叉偶联反应、电化学活性金属有机框架(MOF)材料的设计及其增强电致化学发光新机制研究等；偏向“交叉复合类”的二维材料及其异质结的制备与光谱学研究、生物基聚氨酯的制备及其纳米复合材料的功能化设计、多肽的合成、纯化与结构鉴定、蛋白连接酶天冬酰胺肽链内切酶(AEP)的表达与纯化、高分子荧光探针的共轭设计及生物医学应用等；偏向“就业创业类”的改性黏土填充聚乙烯高分子纳米复合材料的加工成型及性能研究、高分子柔性储能与应力传感器件的制备及性能测试、基于脲基氢键的自修复材料的制备及表征、聚合物修饰的超疏水界面的设计制备、性能测试及机制理解等。新实验的融入丰富了“一基二核三功能”实验教学体系内涵，提升了课程的“两性一度”，学生的专业实践能力、跨界实践能力、综合实践能力和创新实践能力得到显著提升。

**创新创业成果：**中心公共仪器平台为学生开展创新创业活动亦提供了强有力的支撑。近五年，学生主动参与创新实验设计竞赛项目24项，其中4个项目分别获得第1-4届全国大学生化学实验创新设计大赛总决赛特等奖1项、一等奖2项和二等奖1项。万能材料试验机和热机械分析仪支撑了南京大学透明聚酰亚胺团队参与“互联网+”大学生创新创业大赛，其项目“触摸未来——智能设计新型柔性透明聚酰亚胺材料”获得第八届江苏省“互联网+”大学生创新创业大赛一等奖以及第八届中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛金奖。依托液相色谱质谱仪，2015级本科生李丽凤同学申请的项目“液质联用技术分析茶叶中农药残留”获批2018年南京大学校级大学生创新训练计划，该项目于2019年初顺利通过答辩。此外，为了开发原子力显微镜和显微拉曼光谱仪的更多功能，平台申请了江苏省大型科学仪器开放共享自主研究课题“AFM-Raman系统联用与功能开发”，课题顺利结题，并在《自然·光子学》等顶级学术期刊发表论文多篇。

**科普开放成果：**针对高中学生，结合平台仪器特点，设计了“红外光谱法鉴定生活中常见塑料制品”的科学探究项目。借助该实验项目，可以让中学生在科普活动中获得参与感和满足感，不仅学习了红外光谱法的基本原理，也能亲手鉴定自己挑选样品的主要成分。该项目获得参与学生的一致好评，并推广至南京大学淮安研究院，进一步扩大了受众面，提升了学校的影响力。

### 4 结语

南京大学化学国家级实验教学示范中心以培养学生“四个实践能力”为抓手，高质量建设了以教学为主的公共仪器平台。鉴于教学型公共仪器平台因其教学属性、在仪器开放共享方面存在特殊

的困难，中心通过建立良好的培训体系和开放机制，在保障教学实验的同时，提升了仪器的开放使用率，并在开放过程中吸引科研教师参与到实验教学中，进而开发并推出与科研前沿接轨的新实验项目，进一步提升实验教学质量。这样既能做到仪器的开放共享，也能促进实验教学改革，为人才培养做出更多的贡献。

#### 参 考 文 献

- [1] 谈哲敏. 创新人才教育, **2013**, No. 1, 50.
- [2] 李育佳, 朱成建, 张剑荣. 大学化学, **2020**, *35* (2), 6.
- [3] 章文伟, 张晖, 奚忠华, 孔璇凤. 实验技术与管理, **2019**, *36* (8), 218.
- [4] 章文伟, 芦昌盛, 淳远, 俞寿云, 朱成建. 大学化学, **2022**, *37* (2), 2108092.
- [5] 王意, 薛涛, 李方, 刘洋, 邓小娟. 实验科学与技术, **2023**, *21* (3), 150.
- [6] 宜原原, 刘亚丰, 雷敏, 占艺, 夏炎枝, 卢群伟. 实验室研究与探索, **2023**, *42* (10), 254.
- [7] 化学实验教学中心实验室智慧管理系统. [2024-06-01]. <https://chemexp.nju.edu.cn/>.
- [8] 卞宁生, 徐铮, 李翔, 奚忠华, 蔡军. 实验室研究与探索, **2009**, *28* (3), 288.
- [9] 金增祥, 马传峰, 郭成浩. 实验技术与管理, **2018**, *35* (11), 272.
- [10] 姜丽, 宋建华. 实验技术与管理, **2018**, *35* (1), 25.