

大类招生背景下无机化学实验室管理的探索与实践

温志慧, 冯占恒, 祁雪, 邱晓航*

化学国家级实验教学示范中心(南开大学), 天津 300071

摘要: 过硬的实验室条件、高效的管理对于实验课教学至关重要。为了能够更科学有效地使用实验室, 为教师和学生提供更加良好的教学平台, 实验室技术人员需要进行更加高效的实验室管理。在大类招生的背景下, 无机化学实验室作为大学生进入实验室的第一站, 以服务师生为宗旨, 以课程需求为导向, 实验室技术人员从实验室布局、实验室管理制度的执行等管理方面进行了探索和实践。

关键词: 无机化学实验室; 实验室管理; 实验教学; 大类招生; 人才培养

中图分类号: G64; O6

Exploration and Practice in Inorganic Chemistry Laboratory Management under Broad-based Admission Programs

Zhihui Wen, Zhanheng Feng, Xue Qi, Xiaohang Qiu *

National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education, Nankai University, Tianjin 300071, China.

Abstract: Excellent laboratory conditions and efficient management are essential for the success of experimental class instruction. To utilize laboratories more scientifically and effectively, providing an enhanced teaching platform for both educators and students, laboratory technicians need to engage in more efficacious management strategies. In the context of broad-based admission, where the inorganic chemistry laboratory often serves as the initial point of entry for college students into laboratory settings, technicians have embarked on exploration and implementation of strategic measures. These include optimizing laboratory layout and enforcing laboratory management systems, all aimed at serving the needs of teachers and students and guided by the requirements of the curriculum. This paper discusses the explorations and practices undertaken in these areas.

Key Words: Inorganic chemistry laboratory; Laboratory management; Experiment teaching; Broad-based admission; Talent cultivation

基础无机化学实验课是大一新生入学接触的第一门化学实验课程, 对于新生激发学习兴趣, 夯实理论基础、掌握基本实验技能、养成良好学习与科研习惯至关重要。学生的课程学习离不开无机化学实验室的实践平台。自2014年《国务院关于深化考试招生制度改革的实施意见》印发以来, 高等学校大力推广大类招生改革, 这些改革措施为教育改革带来了新的活力^[1,2]。同时, 大类招生培养模式也对实验室的条件和管理提出了更高的要求。南开大学无机化学实验室依托化学国家级实验教学示范中心, 为无机化学实验课程的开展提供了高标、高效、高利用率的实践平台。近年来, 实验教学条件的改善除了硬件设施上的更新换代, 高效实验室管理的探索也在同时进行。管理人员须时

收稿: 2023-10-19; 录用: 2023-11-21; 网络发表: 2023-11-30

*通讯作者, Email: qiuxh@nankai.edu.cn

基金资助: 南开大学 2023 年本科教育教学改革项目 NKJG2023044

刻学习如何更有效地管理实验室，摸索管理模式，总结管理经验，从而能够更好地服务于教学。笔者以南开大学无机化学实验室为平台，以服务师生为宗旨，通过调整实验室布局、细化管理、改进工作方法，建设了符合当下教学课程和教学理念的实验平台，从而有利于相关课程在安全、舒适的环境下高效地开展。

1 依据实验开展特点，完善实验室布局

化学国家级实验教学示范中心的实验教学基本条件是从事本科教学的物质基础和保障，它不仅体现一个国家级实验教学示范中心的教学环境优劣，也能折射出对教学工作的重视程度。南开大学无机实验室现有实验室5间，总建筑面积约490平方米，每年为约500名本科学子提供实验场所，工作量约3万人时数。在大类招生背景下，无机化学实验室承担物质科学与可持续发展理科实验班、分子科学与工程专业、新能源科学与工程专业以及伯苓(化学)拔尖与强基班的“无机化学实验2-1”，这是大一新生入学接触的第一门化学实验课程，教学目标在于着重知识、基本技能和基本操作训练；同时还为伯苓(化学)专业和化学各专业开设“无机化学实验2-2课”，旨在为学生提供初步的科研训练，培养科学素养和科研习惯。此外，本实验室还承担了面向非专业本科生的通识选修实验课“生活中的化学实践”，旨在通过简单的化学实验让来自各个学科的本科生均能够切身体会到生活中的化学之美。2019年在化学国家级实验教学示范中心的统筹和2021年国际化学奥林匹克竞赛设备家具采购专项资金的支持下，中心成员认真盘查现有实验教学条件的不足，对实验条件进行了必要且较为彻底的改善。

无机实验室根据实验教学任务的特点，在实验室的整体布局、实验台设计、墙地水电工程、功能区划分、设备柜体更新等重要环节均做了重大改善，为今后的实验教学和人才培养提供了良好的平台。目前实验室有常规无机化学实验仪器360套，半微量无机化学实验仪器60套，实验室还配置有大型仪器综合热分析仪、扫描电子显微镜。

无机实验室开展的实验具有体量大、学生实验基础薄弱、安全性要求高等特点。首先，在满足消防要求且保证学生均能独立开展实验的前提下，实验室布局时要求做到最大的学生容纳量。目前，可以同时提供440个学生的独立实验柜。其次，中央实验台需保证学生和老师的视野足够广阔，遮挡尽量少。实验台面除经常使用的铁架台、电热板和真空泵外，其余器材均收纳入柜(图1a, b)。由于大类招生，学生的基础层次不齐，考虑到部分学生基础薄弱甚至零基础的情况，每排实验台上均设有仪器清单，名称、图片、规格一应俱全(图1c)。为满足实验教学需求，此次改造按需设置足够插座。例如，由只能同时使用四台电子天平变为八台电子天平，有效改善了课上称量药品排队用时过长的情况。化学实验室的消防安全为重中之重，因此实验台面和台体的选材要求很高。台面采用 ≥ 20 mm厚一体实芯陶瓷台面，坯体与上表层釉面经高温一体烧制而成，可抵御(除氢氟酸等类型化学试剂)任何强酸碱及有机溶剂腐蚀。较改造前的理化板，陶瓷台面燃烧性能A级不燃，高温不变形，降低了实验室火灾风险。此次改造不仅对材质进行了升级，同时在实验台边缘增加了止滑槽，能够有效阻止玻璃试管等从台面滚落，且可以防止少量液体从台面边缘溢出，进一步保障学生的人身安全。

无机实验室空间有限，其中一间用于放置分析天平、扫描电镜以及热重分析仪。由于功能区划分不明确，分析天平和其他大型仪器使用时会有相互干扰的问题。为此，我们将其进行了调整，确保能够同时使用而不受干扰。考虑到消防要求，采用桌上吊柜的形式将整个空间一分为二；考虑到有两台大型仪器，利用储物柜将大型仪器区分隔开来，既解决了不同仪器同时使用互相干扰的问题，同时也增加了存放备用仪器的空间(图1d-f)。

2 以服务教学为宗旨，严行实验室管理制度

首先，建立于管理制度上的实验室管理能够有效地保障实验室管理的有序化、规范化，最大程度地降低管理成本；其次，还可以有效防止管理的任意性，充分保障教学任务的完成；同时，它也



图1 (a) 原中央实验台; (b) 现中央实验台; (c) 台上仪器清单;
(d) 仪器室设计图; (e) 原仪器室; (f) 现仪器室

是规范实验技术人员和代课教师行为的依据,是评判过失的标准,是规范职业道德的准绳。南开大学无机化学实验室的具体制度有:实验技术人员岗位职责制度、实验室试剂管理制度(包括实验室危化品试剂的科学分类及规范存储建议、实验室易制毒试剂的管理制度、实验室易制爆试剂的管理制度、实验室废弃物收集管理办法)、实验室仪器设备使用维护制度、实验室安全维护制度(实验室安全管理办法、实验室安全卫生巡查制度)。实验室技术员对一系列的规章制度均应在思想上足够重视,并且严格遵守。做到行为有依据,做事有章程,从而逐渐提升实验技术人员的管理意识和管理能力。为此,无机化学实验室从以下几个方面进行了探索和实践。

2.1 实验室试剂的管理

化学实验室在开展实验中会用到多种常规、危险、易制毒、易制爆化学品。尤其是无机化学实验室中储存有多达150余种试剂。其中危险化学品有34种,包括易制毒试剂5种,易制爆试剂11种。试剂柜有常规试剂柜、易制毒试剂柜和防爆试剂柜。实验室试剂管理严格按照《南开大学危险化学品科学分类及规范存储建议》进行分类和存储。其中对易制毒、易制爆的存储使用始终坚持“五双”管理,保证线上线下账物相符。

试剂的种类、数量、质量是直接影响课程教学的关键因素。试剂由于长时间存放而导致的变质、受潮,或者生产批次不同、更换厂家等均会导致质量问题。为确保试剂的质量,在每个实验项目开课一周,实验技术人员和代课教师将用此批试剂进行实验预做,及时发现问题、解决问题。根据课程进度,实验技术人员提前将课程所需试剂根据实验习惯放置到合理的位置:固体试剂摆放至电子天平旁边的试剂架上;液体试剂摆放至通风橱一侧,并且根据提供液体试剂的量放置合适的公用

烧杯。滴瓶以及小型广口瓶放置于中央实验台上的试剂架上。待教学结束，检查剩余试剂，及时将试剂回收存放至相应的试剂柜中并记好用量。实验技术人员严格按照实验室试剂管理的规定，保证试剂的质量和数量，做到有质量、有余量。

试剂配制和配制后的管理是实验技术人员的一项基础且非常重要的工作。根据所需试剂的性质特征可以分为可长期存放和即配即用。1) 配制好的试剂需单独分类存放，不得与原试剂混放，防止原试剂吸潮变质。2) 需要即配即用的试剂要在开课前及时准备，并且要定时检查试剂是否发生性状改变，并且在实验课结束后及时处理。

根据开设实验的特征，制定特定的试剂管理方法，部分实验试剂特征及管理方法如表1所示。例如基础无机化学实验“氧化还原反应及重要化合物性质”中，需要的试剂多达47种。每个实验室中央实验台排数为3-4台，原则上每排中央实验台的试剂架上均配备一整套小滴瓶。在没有做出试剂取用规范前，学生会邻近实验台随意拿取试剂，导致一排实验台试剂架上会出现相同试剂2-3瓶，而其他试剂架上试剂缺失的现象；学生乱拿乱放，寻找所需试剂浪费时间，效率极低。为解决上述问题，相应措施如下：1) 同实验室不同中央实验台使用不同颜色的标签；2) 对试剂进行编号，按照序号排列并张贴试剂序列单；3) 在开课前，实验技术人员向代课老师说明情况，对学生提出相应原位置取放的要求。

表1 无机化学实验中部分试剂特征及管理方法

实验项目	试剂特征	采取措施
硫酸亚铁铵的制备	废铁屑大小粗细不定	筛选适合材料，提供裁剪工具
气体摩尔常数的测定	镁带需去除氧化层	提供砂纸
粗盐提纯	粗盐成分不定	预做筛选
三草酸根合铁(III)酸钾的制备	硫酸亚铁铵易变质；双氧水易分解	近期采购，监测变质情况；双氧水即配即用
离子交换法测定PbCl ₂ 的溶度积	离子交换树脂需转型处理；标准氢氧化钠溶液需求量大	提前两周进行树脂前处理；草酸标定氢氧化钠，准备200 mL/人
三氯化六氨合钴(III)的制备	双氧水易分解；浓盐酸易挥发	双氧水即配即用；浓盐酸即用即取
氧化还原反应及重要化合物性质	种类多(47种)，易混放，难查找	一排一签色，试剂编号，说明取用要求
无水四碘化锡的制备	碘单质性质活泼，洒落腐蚀天平	对天平称重台进行贴膜保护，强调称取操作要求

有些无机化学实验中会用到一些成分比例不定的试剂。如“粗盐的提纯实验”中所使用到的粗盐；“硫酸亚铁铵的制备”中所使用的废铁屑等。在准备此类试剂时，则需要根据实验特征，先进行预选，再通过多次预做选择适合大范围开展的材料，从而达到预期的实验教学效果。

2.2 实验室仪器设备的管理

无机化学实验课作为首门实验课，对学生实验习惯的养成至关重要，而良好的实验习惯对今后学习、科研、甚至生活、工作均有深远的影响。无机化学实验课要求学生独立完成每一个实验。因此在常规实验器材的配备上，均秉持一人一份的原则。为提升学生对物品的责任意识，在学生用实验柜设计时，为每个柜门均配置了同心锁和挂锁锁扣。同心锁方便实验技术人员在学期初按需分批开柜(图2左)，防止学生错班认领，保证学生做实验时保持合理间距；挂锁锁扣的设计方便学生自配挂锁，负责起自己所使用的实验仪器。学期末，同学清点仪器并上交实验柜的使用权，如有缺失或者损毁，均需要扫码登记申领并与期末考核挂钩。

无机化学实验基础操作较多，个人实验柜中的玻璃仪器多达20多种，大小不一，形状各异。要将所有玻璃仪器装到一个有限的空间，需要学生有一定的收纳整理能力。实验柜设计带有U型槽，学生在收纳整理时方便放置较长或较小的实验仪器(图2右)。个人实验器材个人负责的管理模式不仅提

升的管理效率，减少了混放、乱放、互放的情况，增强了爱护仪器的意识，而且提高了学生收纳整理的能力，有效培养学生良好的科研和生活习惯。每排中心实验台均配套有公用仪器柜，用于存放公用仪器，如铁圈、铁夹、蝴蝶夹、橡胶管、树脂柱等仪器；并且每个实验室均配有公用仪器分布图。在学期初，实验技术人员对所需要的公用仪器进行清点，根据开设实验需求按比例配置。如铁夹数：学生数 = 2 : 1；橡胶管：学生数 = 3 : 1；蝴蝶夹：学生数 = 1 : 1；真空泵：学生数 = 1 : 5 等。每次实验课结束时，由值日生清点所用到的公用仪器，并向实验技术人员上报破损故障情况，以便及时更换维修。



图2 学生个人实验柜以及学生个人实验柜使用情况表(左)；个人实验柜中的实验器材(右)

2.3 实验室安全及卫生管理

大一新生掌握的化学知识还停留在高中阶段，缺少化学实验安全意识，对可能产生的潜在危险缺乏预判与关注，安全意识淡薄，实践技能较差，缺乏应急能力^[3]。2023年2月，教育部印发了《高等学校实验室安全规范》，为高校实验室安全管理提供了依据。由于课程开设对象为一年级新生，因此在开学初学生均需要进行实验室安全培训，并且考核合格后方能进入实验室^[4]。在进入实验室的第一节课，老师还会着重强调安全的重要性，要求学生在实验室期间做好个人防护，学习如何预防安全事故的发生，向学生详细介绍消防用品的放置位置以及使用方法，教会学生如何看实验室张贴的室内逃生平面图，并且带领学生进行消防演练。目前我们实验室还张贴了实验室安全管理制度管理条例。为了帮助学生全面了解实验项目可能出现的风险及相应的应急处理方案，无机化学实验室将南开大学实验安全风险分析报告作为课前预习资料。南开大学实验安全风险分析报告内容包括实验过程风险分析(包括主要危险源、风险分析、控制和防护措施和突发情况处理)、实验室危险和有害因素分析(包括物理性危险和有害因素，化学性危险和有害因素、环境危险和有害因素、心理生理性危险和有害因素、行为性危险和有害因素)、基本防护要求(包括实验室工程控制措施和个人防护)、实验室废弃物种类等。除学校、学院以及中心的安全检查以外，实验室的安全负责人根据安全管理条例的相关内容对仪器设备进行定期检查是否存在安全隐患。

为教学提供良好的实验室环境最基本要做到的就是保证实验室整洁、干净。实验室的卫生管理工作分为两个维度：首先是实验室的技术人员要统管实验室卫生清洁和维护，对实验室的清洁用具做定期更换和清洁；第二是课后值日生要做好日常卫生清洁，根据“无机化学实验室安全卫生日常检查清单”(图3)逐项检查和打扫并签字，再由教师同意后方可离开实验室。

无机实验室安全卫生日常检查清单

(2023年____月____日)

	检查内容	值日生确认(√)
1	关闭并拔下天平电源,天平台面无撒落药品。	
2	药品拧紧瓶盖并整齐放置,试剂架上物品放回原位。	
3	通风橱内公用杯中的废液倒掉,洗净;	
4	通风橱内药品盖好盖并放回原位,台面擦干净。调整通风橱玻璃视窗开至距台面 15-20 cm 处;	
5	实验完毕后废液桶应盖上盖子;	
6	废液桶中液量距桶盖应空余 10cm,如果到达 10cm 处,则需盖好提至一旁,并放置空桶。	
7	废液桶外壁污渍需擦干净,若撒至地面,用拖把擦干净。	
8	每个实验台上蒸馏水空桶需及时更换。	
9	倒掉垃圾,并换上新的垃圾袋。	
10	加热板、真空泵电源拔掉。	
11	加热板及其金属罩擦干净,摆放整齐。	
12	铁架台杆上铁夹、蝴蝶夹、铁圈等公用仪器取下并放回原公用柜中。	
13	铁架台台面擦拭干净,靠柱子摆放整齐。	
14	地面、实验台面擦拭干净。	
15	凳子、拖把、扫帚、抹布、刷子等放至指定位置并摆(叠)放整齐。	
16	将个人遗落在柜外的仪器送至 C205。	
17	关通风橱、关多媒体,关窗、拉电闸。	
18	关闭楼道学生衣物柜。	

公用器材缺漏	情况说明	是否补齐
破损		

值日生签字: _____ 教师签字: _____

图3 无机化学实验室安全卫生日常检查清单

2.4 实验技术人员培养管理

实验技术人员是教学和科研的保障者。因此实验技术人员能力的培养非常关键。首先,实验技术人员需要定期接受学校要求的“从严把关,安全准入”轮训,对于实验室安全要点要了然于胸;另外,实验教学中心针对实验技术人员开展了化学实验技能系列培训,加强不同学科实验室之间经验交流,促进化学实验教学改革,切实提升教学质量^[5]。实验技术人员也应抓住到国内其他兄弟院校交流学习的机会,拓宽视野,学习新的实验室建设及管理理念和方法,结合本实验室特征摸索更加符合自身的工作模式。实验技术人员能力的培养不仅需要学校学院提供学习条件,同时也需要技术人员自我提升和创新,坚定职业信念,系统掌握实验教学课程体系和专业知识,进行教学改革,提升教学质量。

3 以实验教学需求为导向,做好教学中的服务工作

3.1 无机化学实验准备工作卡册

良好的实验准备工作是实验教学的坚实基础。基础实验准备工作繁重,实验准备工作卡册能够有效提高了实验技术人员的工作效率,减少准备工作中出现的漏发、错发等现象,同时也是新的技

术人员开展工作的指明灯。实验准备工作卡册明确给出实验名称、类别、开设对象、学时数、教材、药品及仪器(名称、规格、每人消耗量),图4为基础无机化学实验准备工作卡册的部分内容。

实验序号及名称		6. 三草酸根合铁(III)酸钾的制备			
目的要求 特色	制备三草酸根合铁(III)酸钾,加深对三价铁和二价铁化合物性质的了解				
实验类别	基础	实验者类别	本科生	是否必修	是
面向专业	物质科学与可持续发展理科实验班、分子科学与工程 专业、新能源科学与工程专业、伯苓(化学)拔尖班、 伯苓(化学)强基班				
计划学时	70	实际学时		每组人数	1
教材类别及名称	《基础化学实验(第二版)》,邱晓航等编				

药品	药品名称	规格	每人消耗量
	(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂ ·6H ₂ O	A.R	5g
	H ₂ C ₂ O ₄ 溶液	1M	33mL
	K ₂ C ₂ O ₄ 溶液	饱和	10mL
	乙醇	95%	5 mL
	H ₂ SO ₄	3M	滴瓶
	冰		
	H ₂ O ₂	A.R 3%	20mL
仪器等	名称	规格型号	台件数
	水循环真空泵		1
	称量纸	15*15	1
	定性滤纸	中速	1

图4 基础无机化学实验准备工作卡册(部分)

3.2 实验教学过程服务工作的管理

实验准备服务工作贯穿实验教学的全过程。

在学期初,实验准备人员进行药品和仪器清点,根据选课人数,班级数以及人数分布,采购补充仪器药品;在正式开始实验课之前,要对代课老师讲明实验室目前的情况,包括实验室仪器药品存放习惯及要求、仪器设备操作维护要求、实验室应急预案、日常卫生管理要求、产品回收存储、仪器报损流程等。

在每个实验授课前一周,根据实验准备工作卡册要求,实验准备人员在实验室准备好所需物资,做到规范配置、拿取方便。例如用量较大的配制试剂使用2500-3000 mL细口瓶存储,为方便学生移取配有公用杯,专杯专用;固液试剂分开放置,固体试剂放置在称量区;液体试剂通常需要在通风良好的区域移取,放置在通风橱一侧(临时存放)。备好实验课所需物资后,由代课老师和实验技术人员共同完成实验预做工作。预做实验不仅能够及时发现试剂和设备存在的问题,有效避免了开课过程中由于物资准备欠缺而出现的突发状况;同时,预做实验是实操备课,保障了教学过程的流畅度;预做实验也能激发教学改革激情,在做中发现问题,解决问题。

上课时,实验技术人员及时有效地提供教学临时所需物资,迅速解决学生仪器报损和补给。同时,实验技术人员也时刻掌握课堂情况,对于学生实验中遇到的问题做出合理分析,思考工作改进。每堂实验课结束后,要求值日生认真清点药品和公用仪器的使用情况,根据“无机化学实验室安全卫生日常检查清单”逐项检查和打扫并签字,再由教师同意后方可离开实验室。

整个学期的实验课程结束后,第一,督促学生进行第二次仪器清点,上报缺失和破损的仪器,并进行实名申领;第二,学生收回个人柜锁,实验技术人员第三次清点仪器并锁好同心锁;第三,统计学生整个学期的个人报损情况,计入考核成绩。第四,学期末清点药品和仪器,做好帐物相符。

3.3 实验室开放管理

实验室是学生练习基本操作和开展实验的唯一场所，不可由其他形式的场所替代。为了方便学生自主练习、研究性学习及科普活动，实验室建立了规范的开放制度。

第一，无机化学实验室为学生提供“一次办”便利，提前一天提交申请，便可进入实验室自主练习基本操作以及重复熟练课程中实验，由实验技术人员负责学生和实验室安全。在大类招生的情况下，有少部分学生在高中没有接触过化学实验，甚至没有化学基础，单纯依靠有限的实验教学时间练习实验操作远远不能保障每个学生都能熟练掌握实验技能。因此，无障碍申请使用实验室能够很好地巩固基本操作要点，激发学生学习的主动性。

第二，鼓励高年级学生开展自主创新实验。(1) 设计实验。学生需具备较为完整的理论体系、掌握了基本实验技能，秉持“以学生为中心”的原则，提示学生根据理论结合兴趣点，查阅资料，制定实验方案，撰写设计实验初稿。(2) 与教师探讨设计实验的可行性与安全性，完善设计，提升可行性的目的。(3) 确定好实验后，实验技术人员一周内准备实验所需药品和仪器，开展实验时，指导教师和技术人员共同做好安全监督工作(图5左)。创新性实验让学生主动接触科研前沿，而不仅仅是陈旧老化的乏味内容，极大地提高了学生的学习热情，有效激发了学生学习兴趣，提升了学生的专业自信^[6]。

第三，依托南开化学科普基地进行实验室开放日活动。实验室设施齐全，条件完善，成为南开大学化学科普基地服务社会的重要场所。近年来，面向幼儿园、开展面向幼儿，中小学、非专业学生的科普活动，为激发青少年崇尚科学、点燃梦想起到积极作用(图5右)。



图5 老师指导学生自主设计实验(左)；科普基地活动(右)

4 结语

化学教育离不开实验课程的实践。而实验课程的开设需要有过硬的实验室条件，以及高效的管理，从而为化学教育提供强大的支撑。随着物质条件的改善，管理模式也需更新迭代，才能匹配教学和科研的需要。在大类招生的背景下，南开大学化学国家级实验教学示范中心以服务师生为宗旨，通过调整实验室布局、细化管理、改进工作方法，建设符合当下教学课程和教学理念的实验平台，从而有利于相关课程在安全、舒适的环境下高效地开展。

参 考 文 献

- [1] 刘希伟. 华南师范大学学报(社会科学版), 2017, No. 5, 62.
- [2] 刘永红, 李慧慧, 段丽君, 文利柏, 胡先文, 陆冬莲, 王运, 成协设. 大学化学, 2022, 37 (4), 2109045.
- [3] 杨国鑫, 杜姣姣, 张向荣, 白艳红, 郑阿群. 大学化学, 2022, 37 (1), 2103045.
- [4] 韩宁, 王满意, 虞俊超. 实验技术与管理, 2023, 40 (4), 200.
- [5] 韩杰, 李一峻, 邱晓航. 化学教育(中英文), 2021, 42 (18), 79.
- [6] 邱晓航, 朱宝林, 马建功, 程鹏. 化学教育(中英文), 2021, 42 (18), 66.