

多学科融合背景下综合开放创新化学实验教学体系及平台建设与实践

张恒, 刘刚, 徐政虎, 马莹*

山东大学化学与化工学院化学实验教学中心, 济南 250100

摘要: 基于“四新学科”建设需求, 根据山东大学多学科特色, 基于化学与各学科交叉融合发展趋势, 化学实验教学中心构建了多学科融合的综合开放创新化学实验教学体系, 并重构中心管理框架, 在实验室建设和管理、实验技术队伍建设等方面进行探索, 取得了良好的效果。

关键词: 多学科; 交叉融合; 实验教学; 平台

中图分类号: G64; O6

Construction and Practice of Comprehensive Open and Innovative Chemistry Experimental Teaching System and Platform in the Context of Multidisciplinary Integration

Heng Zhang, Gang Liu, Zhenghu Xu, Ying Ma *

Center for Experimental Chemistry Education, School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China.

Abstract: Based on the demand for the construction of the “Four New Disciplines”, the multidisciplinary characteristics of Shandong University, and the development trend of cross-fertilization between chemistry majors and various disciplines, the Chemistry Experimental Teaching Center has constructed a comprehensive open and innovative chemistry experimental teaching system with multidisciplinary fusion. The center has also restructured its management framework and explored various aspects of laboratory construction and management, as well as the development of experimental technology teams. These efforts have yielded significant positive outcomes.

Key Words: Multidisciplinary; Cross-fertilization; Experimental teaching; Platform

化学被广泛认为是二十一世纪的中心科学, 社会发展、国家富强和人民幸福, 离不开化学学科发展的推进。目前, 我国处在实现科技实力和综合国力跨越提升的关键时期, 国家对于一流人才的渴求超过历史任何时期, 为实现中华民族的伟大复兴, 国家提出“新工科、新文科、新农科和新医科”即“四新学科”建设^[1,2]。这些学科创新型人才培养成为我国高等教育的主要任务, 而创新意识、实践能力和思想品德的培养和提升是实现该任务的必由之路, 实验课程教学的改革和创新则是实现学生创新意识和实践能力提升的最核心路径。多数综合性大学都设有多个专业, 化学实验教学的对象不仅仅是化学、化工及其相关专业的学生, 在理工农医文很多专业的培养中都起到了至关重要的

收稿: 2024-05-07; 录用: 2024-05-31; 网络发表: 2024-06-07

*通讯作者, Email: mayingl@sdu.edu.cn

基金资助: 基础学科拔尖学生培养计划 2.0 研究课题(20222117); 山东省本科教学改革研究项目(Z2021039); 山东大学校级教育教学改革研究项目(2022Y073, 2023Y101); 山东大学实验室建设与管理研究项目(sy20232204)

作用,通过化学知识及化学实验基本操作的学习引导学生学会运用化学知识解决专业问题的方法,并提升学生创新实践能力,对四新学科学生培养和专业发展起着积极的作用^[3]。因此综合性大学发展既适合化学类专业学生培养,又适合“四新学科”复合型创新人才培养的综合开放创新化学实验教学体系就至关重要。基于此,我校化学实验中心依据本校学科特点及化学实验教学中心特色,不断改革、创新和建设,构建了多学科融合背景下的综合开放创新化学实验教学体系及平台,取得了显著成效。

1 多学科融合综合开放创新化学实验教学体系

化学实验教学中心根据化学实验教学自身的特点,坚持“以人为本”“以学生为主导”的教育教学理念,结合学生的实际学业水平和追求个性张扬发展的需求,及培养学生实验技能、综合能力和创新能力的需要,积极探索多模式、多方法的教学,使实验教学内容丰富、形象生动,能够激发学生的兴趣、启发学生的思维、提升学生的实践能力。基于当前交叉复合型人才培养及创新型人才培养需求,充分发挥化学实验教学在人才培养过程中不可替代的重要作用,中心构建了具有山东大学特色的多学科融合综合开放创新化学实验教学体系(图1),从多方面进行探索,致力于把实验教学中心建设成培养一流化学人才和“四新学科”复合型创新人才的重要场所。

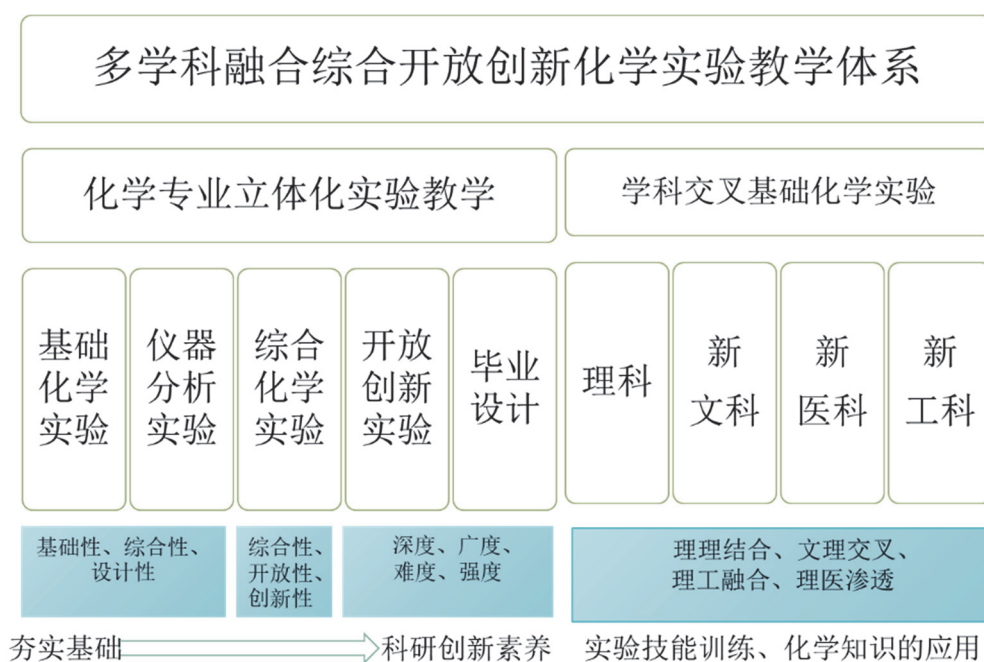


图1 多学科融合综合开放创新化学实验教学体系

1.1 化学专业立体化实验教学体系

对于化学专业学生,中心以提升科研创新思维及能力作为目标,优化资源配置,重组实验内容,完善综合性立体化实验教学新体系。

针对以往实验课完全依附于理论课教学、实验内容重叠、实验设备重复的弊端,我们对实验教学内容进行了有机的整合,避免重复实验,削减简单实验,增加复杂实验和研究性、创新性实验项目,构建了“基础化学实验、仪器分析实验、综合化学实验、开放创新实验和毕业论文研究”逐层递进立体化的实验教学新体系,着重培养学生的综合研究能力和创新思维能力,及学生发现问题、提出问题、分析问题、解决问题的能力。

分层次构建基础化学实验项目。对于基础实验按照课程内容分为基本操作实验项目、综合实验项目、设计实验项目三个层次，将简单、分立的实验项目进行了综合化处理，在夯实基础、规范操作基础上，注重培养学生发现问题、提出问题、分析问题、解决问题的能力。如无机及分析化学实验中铁系列化合物的制备及性质测定，从铁屑出发，先制备莫尔盐并进行定性分析，再由莫尔盐制备草酸亚铁并进行成分分析，再由草酸亚铁制备三草酸根合铁(III)酸钾并测定其成分，三者相互关联、循序渐进、前后呼应。在基础实验中增加开放设计实验内容，如物理化学实验中，学生可根据自己的兴趣，进行基础实验项目的改进，包括实验影响因素的考察、不同实验方法测定相同物理量的对比分析、不同状态物质物理性质的测定等。学生通过查阅文献，提出实验方案，经指导老师审核后可利用课余时间在教学实验开展探索。

突出综合实验“三性”。加强科研成果向实验教学内容的渗透和转化，强调综合实验综合性、开放性、创新性，提升学生创新研究能力。综合化学实验的内容与教师的科研课题紧密相连，涉及化学、材料、生命、环境、能源、医药等一级学科，将基础实验理论和基本操作技能融会贯通在一个综合的实验中，全面提升学生综合运用基础知识和基本实验操作的能力，培养学生的综合科学素养。

提升创新实验的“四度”。拓展开放创新实验课题，加强开放创新实验的深度、广度、难度和强度。规范完善开放创新实验的管理，加强选题、开题、中期检查、结题答辩等环节的管理，使学生参与到省部级以上科研项目中，注重与毕业设计课题的衔接，使更多的学生得到创新科学研究训练，以此加强学生创新思维能力和科学研究能力的培养。

1.2 学科交叉的化学实验课程建设

化学实验教学中心承担我校多个专业的基础化学实验教学工作，为促进“四新学科”建设和复合型创新人才培养，以提高学生基础化学实验技能、加强化学知识的运用作为教学目标，结合本校人才培养需求及学科特点，我们建设了文理结合、文理交叉、理工融合、理医渗透的特色实验课程。

依托我校理论与计算化学山东省重点实验室，构建的具有山东大学特色的“基础-实用-综合-前沿”四位一体的学科交叉实验课程“分子模拟实验”，设计了一系列分子水平上的实验教学项目，更好地帮助学生了解物理化学尤其是结构化学理论课程相关知识点。借助分子模拟研究手段，学生通过计算机实验，将抽象的理论与形象的实验结果联系起来，增加对抽象化学理论的感性认识。

为推动“新文科”建设和人才培养，依托山东大学文史见长的特色优势，助力“建设中国特色、中国风格、中国气派的考古学”，开设“考古化学”实验课程。以考古学院科研内容为背景，结合化学实验基本操作，开放探索考古化学学科交叉实验项目，吸引了来自于全校各个专业的学生参与。通过该类文理学科知识互通的交叉实验项目，可引导学生实现文理学科知识的互联互通，思维方式和研究方法的互鉴互补，提升创新解决各类问题的综合能力。

为推动“新医科”建设和人才培养，改革医学类基础化学实验项目，将基础化学实验与医学知识紧密结合，设计实施具有医学特色的基础化学实验，体现了基础化学与医学内容的创新性融合。医学基础化学实验内容包括基础化学实验、提高和综合性实验、设计和研究创新性实验。通过实验技能的训练，不仅仅帮助医学类、药学类学生掌握化学实验的基本方法和基本操作技能，加深对基础化学理论知识的理解，同时为其学习生化检验、药物分析、临床诊断等专业课打下坚实的基础，培养学生综合运用化学知识解决医学问题能力，以培养新时代高素质创新型医学人才。

在化学专业实验教学体系基础上，强化“理工融合”，构建了适合化工专业的“重基础、重能力、强化实验创新”的实验教学体系。在一年级按照大化学专业培养方式，打破传统学科及专业划分，进行学科交叉融合培养基本实验实践能力，二三四年级强化合作学习与研究能力的结合，加强创新能力与实践能力的提升。化工专业实验课程由化工教研室和实验教学中心统一规划，与化学专业实验课程统一管理、统一安排，并依托本院优秀师资承担化学类实验课程的教学，为培养学生成为化工及相关领域杰出人才夯实基础。

2 基于多学科融合的化学实验教学平台建设

化学实验教学中心是化学实验教学工作开展的平台，实验教学中心按照主任-分室主任-实验员的方式进行组织管理，按主任-主讲教师-实验指导教师的模式组织实验教学工作。为更好地将实验教学及实验室管理融合发展，由学院分管教学的副院长兼任实验教学中心主任。

2.1 发展历程

1998年，山东大学化学与化工学院根据实验室建设和实验教学改革的需要，首先合并调整了无机与分析化学实验室，并在此基础上建立了“基础化学实验教学中心”，开始实验独立设课和对实验室进行校院二级管理的改革。1999年，学院进一步合并中级无机化学实验室、中级物理化学实验室和高分子实验室，建立了“综合化学实验室”。同年，中心将所属教学实验室的全部大中型教学仪器全部归属仪器分析实验室，并对原有仪器设备进行了初步更新，初步建立起学院教学仪器“集中管理，开放使用”的机制。2000年山东大学合校后，学校将原来分属三个校区的化学教学实验室全部并入中心。2001年，化学二楼交付使用后，学院按照优先满足本科实验教学需要的原则，调整了中心实验室的布局，增加了中心实验教学面积，使中心教学使用面积达到3300平方米。2001年，中心制定了中心建设规范、中心中长期发展规划和年度工作目标，确立了中心建设的目标、原则和计划。2002年，根据规划，中心建立了开放创新实验室，2003年又完成了化工基础实验室的搬迁和建设。至此，山东大学化学实验教学中心理顺了中心管理体制，完成了中心的建设。

2.2 实验中心实验室管理构架

结合多学科融合的化学实验教学体系，实验中心对内部教学实验室的构架和职能重新梳理整合(如图2)。中心分别按照专业教学实验室和公共教学实验室进行管理，每个分室实验教学管理隶属实验教学中心，所承担的实验课程建设隶属相应教研室。教研室负责实验课程建设，实验分室采用分室主任负责制，承担本分室实验教学辅助和实验室建设工作。比如，基础化学实验室中的无机及分析化学实验室主要承担化学专业学生无机及分析化学实验课程，公共基础化学实验室中的无机化学类实验教学实验室主要承担医药学科、工科、文科及其他理科学生的大学化学实验，两门课程均归属于无机教研室开展教学和课程建设工作，但在实验室管理、教学协助方面分属于实验中心不同的实验分室管理。这种管理方式既可以充分发挥化学学科的专业作用，充分支持“四新学科”的建设，又可以依据不同专业需求建设和进行实验室开放工作。

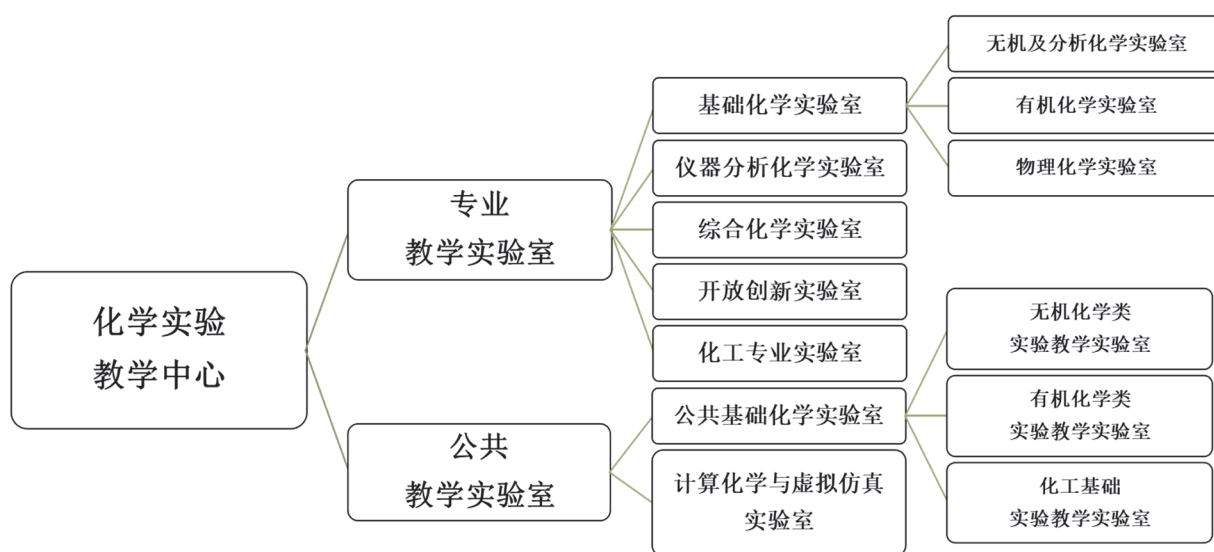


图2 化学实验教学中心实验室构架

2.3 实验教学平台建设

以山东大学“培养最优秀的本科生”为抓手，中心加强基础实验条件更新，按照“集中资金、分期分批、超前建设、一步到位”的原则，在学校和学院的支持下对实验的物理空间、环境设施和条件、仪器设备进行了系统完善的更新升级。中心在基础化学实验室中购入多学科适用、受益面广的基础设施，在仪器分析化学实验分室购入体现科研前沿检测技术手段的设备，加强分析表征能力的培养。加强与校内外国家重点实验室、教育部重点实验室、结构成分测试中心等教学科研公平合作，资源共享，实现协同指导，加强科研教学转化，多学科融合互动，强力支撑综合创新型人才培养。这些资源协同利用，扩大了实验教学的空间，提升实验教学硬件条件，更加充实了实验教学内容，更好地激发了学生对化学实验学习的兴趣，为学生自主学习提供了良好的条件。

2020年，按照中国化学品安全协会发布的《化学化工实验室安全管理规范》(T/CCSAS 005-2019)、中华人民共和国国家标准GB/T 32146.1-2015《检验检测实验室设计与建设技术要求》和教育部化学类专业教学指导委员会制定的《化学类专业教学质量国家标准》^[4]中有关教学条件的要求，实验教学中心进行了整体环境改造，提升了教学实验室内通风系统，完善尾气处理装置，强化实验室安全信息化管理，增加了实验室监控门禁以及智能可视化的管理系统，并建设了统一的易燃易爆及易制毒易制爆药品储藏室。在实验室改造中，将6s(整理Seiri、整顿Seiton、清扫Seiso、清洁Seiketsu、素养Shitsuke和安全Safety)管理方法融入到实验室建设中，对实验空间进行整体规划和整理。根据不同分室承担的教学任务量及实验课程项目情况，分别进行设计，并按照教学实验室、药品储藏室、天平室、实验准备室、仪器室及仓库明确房间类别。按照必要和非必要及使用频率情况对实验试剂、实验药品及实验设备进行合理放置，并用标签贴进行定位标识。比如，在有机化学实验室，我们将学生常用的玻璃仪器通过聚苯乙烯发泡板(俗称KT板)定位存放，并将常用的电热套、加热器和升降台进行位置标记(图3)，与学生实验台号一一对应，学生在实验结束之后要将玻璃仪器按照KT板标示复原，检查电热套、加热器和升降台等设备状况后按照位置标记物归原处，值日生负责检查复原情况并进行记录。通过6s管理方法的融合不仅仅大大提升了实验室空间的利用率，节省师生物品取用时间提高了实验效率，方便定期检查和盘点，降低了易损耗设备和玻璃仪器的损坏率，更重要的是通过与课程思政相结合在学生责任感和良好实验习惯的养成方面取得了明显的效果。



图3 常用玻璃仪器(左)和电热套(右)

2.4 实验技术队伍建设

自中心成立以来，实验员队伍稳定、工作热情高、担负起繁重的中心建设、实验教学改革的重任。近年来，根据实验员队伍年龄偏大、学历偏低的情况，中心通过引进和培养相结合的方法，积极改善实验员队伍，先后引入多名具有博士学位的年轻教师充实到实验技术一线。结合多学科实验

教学体系的特点,除化学专业学习背景的实验技术人员外,还分别引进具有生物学及工科学习背景的实验技术人员。中心目前有全职实验技术人员21人,其中12人具有博士学位,7人具有硕士学位;副高级职称8人,中级职称12人,建起一支学历高、年轻化、职称结构合理的高水平实验技术队伍。

实验中心在学院的支持下,完善中心考核管理制度,制定实验技术队伍的建设规划目标、实验中心岗位目标、岗位职责以及有效的奖励和评价机制,激发实验技术人员的积极性和能动性。中心定期举办实验技术人员实验技能培训,不定期选派老师参加国内实验室管理、实验教学的培训和会议,提升实验技术人员自身工作能力。资产与实验室管理部和本科生院每年设立实验室研究与管理项目、实验教学教研项目资助实验技术人员进行实验教学和管理改革,学院设立配套资金加大力度进行支持,尤其鼓励跨学科实验教学改革及实验室建设项目。近五年,实验技术人员与机械工程学院、物理学院、生命学院、考古学院在实验室安全、实验室开放及实验教学改革方面进行了多项合作,其中基于考古学和化学相结合的两项实验项目获得全国大学生化学实验设计大赛二等奖(图4)。



图4 全国大学生化学实验设计大赛获奖奖状

3 教学及管理特色

3.1 将中国优秀传统文化融入实验教学,加强实践课程思政建设

在化学实验教学中自然融入课程思政元素,履行传承与创新中国优秀传统文化的大学职能。既强化了实践类课程的思政教育功能,又体现了化学在社会发展、人类进步和文明传承中的作用,提升了学生的人文素养、集体主义精神、团结协作意识和爱国奉献精神。例如将青铜器发展、鎏金工艺融入贵金属实验教学,将瓷器发展融入硅酸盐实验教学,将“石灰吟”融入热力学实验,将中国“玉文化”融入元素化学实验等,提升学生的文化素养。

在实验教学及日常管理中,我们发现学生存在的普遍问题是心理不够坚强,以自我为中心,团队意识薄弱,奉献精神不足。针对这种情况,我们在实验教学中特意强化挫折教育,对违规操作、违反课堂纪律、粗心大意等现象采取严厉制裁,对造假作弊采取零容忍!强调实验室“6s”规范管理,实验过程特别强调公共仪器用后复原,数量少的贵重仪器协作使用,不能以自我为中心,事事为他人着想,爱护公共环境,爱护国家财产。通过挫折教育增强学生的心理素质,潜移默化中培养学生修身齐家,治国平天下的家国情怀。

3.2 加强实验室开放,全面提高学生科学素养

在完成正常教学前提下,化学实验教学中心利用现有实验仪器和设备,依据“因材施教、形式多样、学科交叉”的原则,开发合适的实验教学项目,积极推进实验室校内外开放共享,充分利用实验资源,发挥特色辐射作用,提升学生实践能力,培养学生创新精神,提高学生综合科学素养。

除综合化学和开放创新实验开放外，在基础化学实验课内设立开放实验项目，提供实验课题，在正常实验教学安排之外，实验室对学生开放。比如无机及分析化学实验室，会在春季学期，配合学生理论课学习，开放元素性质实验，学生自由选择时间进入实验室进行实验探索。学生通过查阅资料运用已有的知识、技术和技能，设计切实可行的实验方案并自由选择时间进入实验室进行探索和实践。开放实验既培养了学生的信息获取能力，也培养了学生发现、提出、分析、解决问题的能力，注重因材施教，发展和张扬不同层次学生的个性，不仅要使学生“会做”而且更要使学生“会想”，为后续的综合化学实验打下扎实的基础。每个基础化学实验课程每年提供开放实验项目不低于2个，实验室开放总共可达5000人次以上。

中心开发系列兴趣型、科普型、自主型、学科交叉型或创新型实验项目面向全校学生和部分中学生开放。学生可根据自己的专长、兴趣爱好、课余时间预约选做实验。自2015年开始，每年面向各类中学生开放实验达600人时数。

3.3 重视培养学生安全环保意识

化学实验教学中心重视学生实验室安全教育。学生入学后需通过实验室准入考试后方可进入实验室进行实验课程的学习。同时开设专业必修实验室安全课程详细向学生们介绍安全防护、应急处理、火灾常识、电气安全、危险化学品的废弃物管理及辐射相关知识，提升学生安全意识。每个实验室内及周围配备必要消防和安全防护设施，教学实验室内安装网络监控实时呈现实验室情况。实验中心每年联合学校相关部门举办消防演习或危化品泄露事故应急处置演练活动，提升学生应对突发事件的能力。结合实验室6s管理，在实验室设置安全和警示标示、区域划分、高温及加热仪器定位标记、试剂区标示等营造整洁安全的实验教学氛围，培养学生良好的实验习惯。

3.4 学科交叉、协同共建计算化学实验平台

目前国内已有较多高校陆续开设了计算化学实验或分子模拟实验课程，以期培养学生采用计算化学思维解决化学问题的能力。山东大学化学实验中心是国内较早系统开设该门课程的高校，分子模拟实验曾获首批国家一流线下课程，但该课程对实验室的硬件资源有一定的要求，通常需要在配有专门服务器的计算化学实验室完成。计算资源的不足也往往成为限制课程开设的一个重要瓶颈，在单机性能提升有限的情况下，采用计算机集群进行并行计算一直以来被认为是一种有效的提升计算资源的途径。2019年山东大学分子模拟实验室进行计算机更新，为最大限度利用国有资产价值同时提升现有的计算资源，我们发挥综合性大学的优势，联合计算机学院将原计划报废的计算机搭建成小规模的计算化学集群，如图5，作为现有计算资源的补充供实验教学使用。

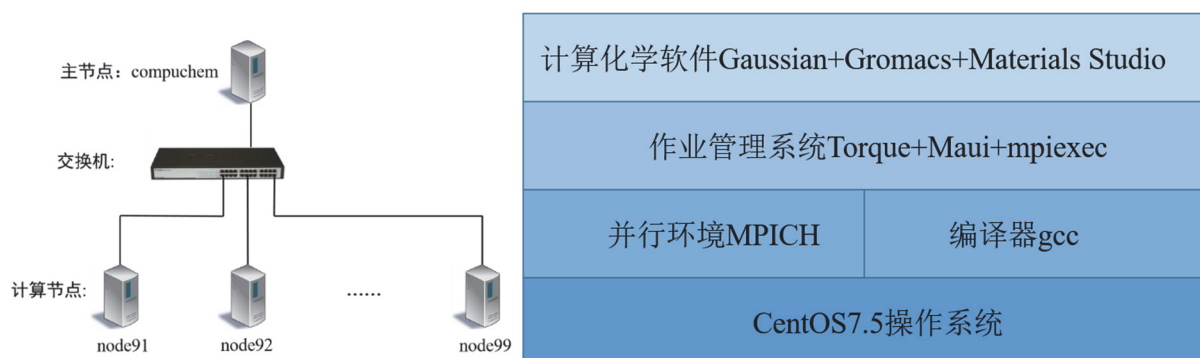


图5 计算化学实验平台的软硬件架构

4 结语

化学实验教学中心经过20余年的建设与实践，依据本校学科特色，对实验教学体系不断改革、创新和建设，构建了多学科融合背景下综合开放创新化学实验教学体系；重构实验教学中心管理框

架, 发挥化学学科的专业作用支持“四新学科”建设, 并在实验室硬件条件、实验室规范化管理、实验技术人员队伍建设方面进行探索和实践, 建设了一个具有山东大学特色、培养一流化学人才和“四新学科”复合型创新人才的重要场所。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国教育部. 教育部关于加快建设高水平本科教育全面提高人才培养能力的意见. [2024-04-25].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201810/t20181017_351887.html
- [2] 中华人民共和国教育部. 教育部办公厅关于实施一流本科专业建设“双万计划”的通知. [2024-04-25].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201904/t20190409_377216.html
- [3] 张树永, 朱亚先, 郑兰荪, 霍冀川, 宋丽娟, 徐华龙. 高等工程教育研究, **2021**, No. 3, 21.
- [4] 教育部高等学校教学指导委员会. 普通高等学校本科专业类教学质量国家标准(上). 北京: 高等教育出版社, 2018: 130.