

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202004072

www.dxxh.pku.edu.cn

基于化学的“化学测量学与技术”新工科专业建设建议

霍冀川^{1,*}, 张树永², 朱亚先³, 李攻科⁴, 杨屹⁵, 李梦龙⁶, 王玉枝⁷, 郑兰荪³¹ 西南科技大学分析测试中心, 四川 绵阳 621010² 山东大学化学与化工学院, 济南 250100³ 厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005⁴ 中山大学化学学院, 广州 510275⁵ 北京化工大学理学院, 北京 100029⁶ 四川大学化学学院, 成都 610064⁷ 湖南大学化学化工学院, 长沙 410082

摘要: 概述了基于化学的“化学测量学与技术”新工科专业增设的背景。从国家发展战略出发, 针对化学测量学与技术快速发展对交叉学科人才的迫切需求, 论证了基于化学的“化学测量学与技术”专业设置的必要性。在调研仪器设备研制企业及应用领域对专业人才培养需求的基础上, 对基于化学的“化学测量学与技术”新工科专业的培养定位、培养目标、毕业要求以及教学内容、课程体系以及师资队伍和教学条件建设等提出了建议。

关键词: 新工科; 化学测量学与技术; 化学类专业; 建议

中图分类号: G64; O6

Suggestions on “Chemistry Metrology and Technology” as an Emerging Engineering Education Major Based on Chemistry

Jichuan Huo^{1,*}, Shuyong Zhang², Yaxian Zhu³, Gongke Li⁴, Yi Yang⁵, Menglong Li⁶, Yuzhi Wang⁷, Lansun Zheng³¹ Center of Analysis and Testing, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan Province, P. R. China.² School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, P. R. China.³ College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, P. R. China.⁴ School of Chemistry, Sun Yet-Sen University, Guangzhou 510275, P. R. China.⁵ College of Science, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, P. R. China.⁶ College of Chemistry, Sichuan University, Chengdu 610064, P. R. China.⁷ College of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan University, Changsha 410082, P. R. China.

Abstract: The background of the establishment of “chemistry metrology and technology” as an emerging engineering education major based on chemistry is analyzed. Based on the national development strategy, aiming at the urgent demand of interdisciplinary talents for the rapid development of chemistry metrology and technology, the necessity of setting up the major of “chemistry metrology and technology” based on chemistry is demonstrated. Based on the investigation of professional talents in instrument development enterprises and application fields, some suggestions on the program of “chemistry metrology and technology” major including orientation, objectives,

收稿: 2020-04-19; 录用: 2020-05-19; 网络发表: 2020-06-02

*通讯作者, Email: huojichuan@swust.edu.cn

graduation requirements and professional training are provided. Some requirements of the curriculum, teaching staff and teaching conditions are put forward.

Key Words: Emerging engineering education; Chemistry metrology and technology; Chemistry majors; Suggestion

2013–2017 年教育部高等学校化学类专业教学指导委员会牵头申请了教育部首批“新工科”研究与实践项目——“基于化学的新工科设置和建设方案研究”，旨在开展基于化学的“新工科”专业建设的必要性和可行性研究，积极推动化学与“新工科”的对接。经过多次专题研讨，项目组最终提出设置“化学测量学与技术”^[1]的构想，并制订了培养方案、毕业要求和培养模式等的具体建议。本文介绍了该“新工科”专业研究的主要成果，希望对教育主管部门和相关高校设置和建设该专业提供有益的参考。

1 专业设置的必要性

物质组成和结构分析是科学研究和技术进步的基础。科学仪器设备的开发和应用是科学技术进步的基础。设计、生产、维护及使用相关仪器设备的能力和水平，代表着一个国家的科技实力和创新能力，是建设创新型国家必须着力解决的重大基础性、战略性问题^[2]。设置本科“化学测量学与技术”新工科专业的必要性主要体现在以下几个方面：

(1) 是我国战略发展的需要。自然科学研究的是物质世界，明确物质的组成(物质的种类和含量)和结构(分子结构以及固体材料、液体物质的结构)是开展自然科学研究，揭示自然科学规律的基础。物理学、化学、生命科学、环境科学、材料科学、信息科学、能源科学、医学、药学、海洋科学、地质科学以及工程技术的研究，都离不开分析物质化学组成和结构的仪器设备。虽然我国已经是仪器仪表的制造大国，但不是制造强国。在很多精密仪器的生产制造上，还有很多核心技术尚未取得突破。当前，我国的化学组成和结构分析大型仪器设备的研发能力、生产能力和维护使用水平，相对于发达国家还存在较大差距，大型仪器设备还主要依赖进口^[3]。以核磁共振波谱仪为例，截至 2018 年，全国共约有 1800 台核磁共振波谱仪，其中 1400 多台是一家国外供应商的产品，国产的仅有 50 台^[4]。2019 年初，国际巨头自恃产品技术先进而大幅涨价的情况，给我国敲响了警钟。购置这些仪器设备，一方面大量消耗我国的外汇储备，另一方面由于对仪器的工作原理和设计生产过程不熟悉，导致我国的仪器设备使用维护和升级改造能力不足，难以产生开拓性、原创性成果，严重制约了我国科研水平的提升；而如果不能突破西方的技术垄断和技术封锁，大型物质组成和结构分析仪器有可能成为西方遏制我国科技发展的重要工具，会严重影响我国的科技、经济和社会发展甚至国家安全。

(2) 是化学测量学与技术发展的必然要求。化学测量学是研究物质的组成、含量、结构和形态等化学信息的理论、方法、仪器、使用和数据解析的一门科学。化学测量学的发展可以追溯到 16 世纪分析天平的发明，迄今已有 500 年的历史。进入 20 世纪，化学测量学的发展经历了三次重大变革。第一次变革发生在 20 世纪初，随着物理化学和溶液四大平衡理论即酸碱电离平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原平衡、配位反应平衡的建立，为分析化学提供了理论基础，使化学分析从技术发展成科学。这一阶段的测量以化学分析为主。第二次变革发生在 20 世纪 40 年代到 60 年代，随着物理学、电子学、半导体材料的发展，相关仪器设备和分析方法迅猛发展，新型测试仪器大量涌现并不断升级，基于物理原理的分析测试仪器在化学物质组成和结构测试中发挥着越来越重要的作用。第三次变革从 20 世纪 70 年代末至今，主要特征是计算机控制的分析数据采集与处理，实现了分析过程的连续、快速、实时、智能化，化学计量学开始出现。人们开始利用数学、统计学的方法设计选择最优分析条件，最大限度地获得物质的各类化学信息并进行系统分析。另外，各种联用技术快速发展，使分

析变得更加快速和现场化。当前,化学测量学在满足国家重大需求、维护国家安全及经济社会发展中发挥着越来越重要的作用。2018年,国家自然科学基金委对资助领域进行了调整,将化学测量学单独列为8个资助领域之一,凸显了化学测量学在现代科学技术领域的基础地位和重要作用。

(3) 体现多学科交叉发展的时代特征。迄今,化学测量学已经发展成为一门建立在化学、物理学、数学、计算机科学、精密仪器制造等学科基础上的综合性科学,呈现出多学科高度交叉融合的特征。进入新世纪,化学测量的仿生化、智能化、大数据化、网络化、云平台化,给化学测量学带来了新的、革命性的变化。与此同时,化学测量学的大科学化发展也为大科学装置的建设和使用提供了物质和技术基础,而大科学装置的建设和使用是各国开展尖端科技研究,抢占科技制高点,建设世界科技中心的基础。

(4) 是适应科技和社会发展的必然要求。“化学测量学与技术”专业要求突出新方法学研究,旨在建立新策略、新原理、新方法和新技术;注重学科交叉、方法集成及信号关联;重视基于新原理的仪器创制以及关键部件性能提升;同时开发现有仪器设备新功能、新应用,拓宽现有技术在重要科学领域的应用。以满足科研和社会对各类检测仪器、检测技术及检测服务的需要。

在2020年修订的本科专业目录中,只有080301测控技术与仪器专业和080302T精密仪器与本专业相关,但这2个专业涉及面比较广泛,学生缺乏物质组成与结构,以及化学物质与激励源相互作用的相关知识,难以开展物质组成和结构分析测试仪器设备原理研发、设计制造、维护使用工作。因此,目前尚没有专业能够培养化学测量学与技术相关人才。

2 专业人才需求调研

(1) 仪器设备研制企业情况:根据观研天下发布的年度报告^[5],2018年我国仪器仪表制造业共有企业4355家,资产总计9833亿元,累计同比增长12.2%,利润总额780.5亿元,累计同比增长6.9%。这表明该领域需求旺盛,发展前景良好。但我国仪器仪表生产企业也存在数量多、竞争激烈、行业产品主要集中在中低端市场、整体的市场占有率特别是高端市场的占有率较低、整体利润率偏低等问题。近年来我国设立了大型仪器专项,推动大中型仪器的研制工作,同时出台了一系列政策措施引导和鼓励企业加大研发投入。目前,我国仪器设备的研发投入仅次于美国居世界第二位,研发人员总数已连续6年稳居世界第一,但研发人员的综合能力亟待进一步提升。

(2) 仪器设备应用领域情况:调查显示,截止2018年底,我国共有各类检验检测机构39472家,全行业从业人员达到117.43万人,累计向社会出具检测报告4亿余份,实现营业收入2810.5亿元,近年来呈现逐年快速增长的趋势。而全国各大工矿企业、公司、医院、科研院所、高校等分析检验检测机构的从业人数将远远超过上述统计数据,但人员的数量和水平都远远无法满足需求。

综上所述,设置基于化学的“化学测量学与技术”新工科专业,是满足国家发展战略急需、应对新一轮科技革命与产业变革、促进学科发展的需要。“化学测量学与技术”新工科专业培养的人才可以服务于化学、材料、信息、能源、环境、生命、医学和药学等诸多学科领域,具有知识综合、研发能力强、就业面广、人才需求量大、发展前景广阔等特点。

3 专业培养要求建议

3.1 专业简介

化学测量学与技术是化学类本科专业,依托化学学科开展人才培养。该专业建立在化学、物理学、数学、计算机科学、精密仪器制造科学等多学科交叉与融合基础上,综合性强,是应对新一轮科技革命与产业变革需要的新工科专业。旨在发展与化学相关的测量策略、原理、方法与技术,研制各类分析仪器、装置及相关软件,以精准获取物质组成、分布、结构与性质的时空变化规律。涉及材料、能源、信息、环境、生命、海洋、空间和安全、流程工业中的在线分析、仪器制造、仪器使用和维护等诸多领域,学生就业范围广,发展前景广阔。

3.2 专业人才培养定位与目标建议

本专业培养德智体美劳全面发展，具有高度的社会责任感、良好的科学文化素养和职业道德，较好地掌握化学测量学与技术相关基础知识、基本理论和基本技能，具有学科交叉和综合应用能力，具有国际视野和科学技术敏感性，具有较强创新意识和实践能力，能够在化学信息学与技术相关学科领域从事物质化学组成和结构分析仪器设备的原理研发、设计制造、使用和维护、管理和教育教学等工作的应用型、复合型或创新型人才。

毕业五年及以上的学生应能实现以下目标：

- (1) 爱国敬业、身心健康，具有高度的社会责任感、良好的科学文化素养和职业道德。
- (2) 能够综合运用化学、物理学、数学、计算机科学、精密仪器制造科学、信息科学、大数据科学、智能科学等专业知识，分析解决本学科及其相关学科实际工程技术问题的能力和素质。
- (3) 具有根据化学测量仪器的原理和应用需求，进行相关仪器设备的研制开发、设计制造、使用维护、管理、教育教学等工作的能力。
- (4) 具备与国内外同行、专业客户和公众进行有效沟通交流的能力，能够开展团队协作，成为相关行业领域的骨干。
- (5) 坚持绿色可持续发展的理念，有创新创业意识，能跟踪国内外化学测量学与技术专业学科前沿并不断拓展及提高自身业务水平的终身学习能力。

3.3 专业毕业要求建议

在《化学类专业教学质量国家标准》的基础上^[6,7]，强化以下特色要求：

- (1) 能够将数学、自然科学、工程基础以及计算机科学、精密仪器制造科学、数据科学等知识应用于解决仪器设备研发、设计、生产、使用维护和应用过程中的复杂问题。
- (2) 能够应用数学、自然科学和工程科学的基本原理，识别、表达、分析与化学测量学与技术相关的复杂问题，以获得有效结论。
- (3) 能够设计、开发解决化学测量学与技术领域复杂问题的方案，在方案中体现创新意识，并综合考虑社会、健康、安全、法律、文化以及环境等因素。
- (4) 能够基于化学测量学基本理论和方法，研究和开发与物质组成和结构测量相关的测量策略、原理、方法与技术，设计满足特定需求的测量系统、单元、装置及软件，实现对物质组成、分布、结构与性质及其时空变化规律的测量。
- (5) 能够利用现代信息技术获取相关测量的信息，能够开发、选择与使用信息技术平台、软件和信息技术工具，对复杂化学测量问题进行合理的预测和模拟，得到可靠结论。
- (6) 能够基于化学测量学与技术的专业基础理论，评价仪器设备的研制、制造和使用维护过程对社会、健康、安全、法律以及文化的影响，理解相关法律法规的要求及个人应承担的责任。
- (7) 具有绿色和可持续发展意识，能够正确评价化学测量学与技术对资源、社会和环境可持续发展可能产生的影响。
- (8) 具有人文精神、职业素养和社会责任感，能够在本领域相关工作实践中遵守职业道德和行为规范，履行责任。
- (9) 具有良好的团队合作精神和协调管理能力，能够在多学科合作的团队中承担团队成员或者负责人的角色。
- (10) 具有与国内外同行及社会公众进行有效沟通和交流的能力，能够就化学测量学与技术领域复杂工程技术问题撰写报告和设计文稿，进行陈述发言，能够清晰表达或回应指令，具备较高的国际交流与合作能力。
- (11) 理解并掌握工程技术管理原理与决策方法，能够进行有效的组织和管理，具有较强的创业潜力。
- (12) 具有自主学习能力和终身学习意识，能够通过不断学习更新知识、提升能力，适应个人和

单位高水平发展的需要。

3.4 培养规格建议

3.4.1 建议学制

本科专业建议学制为四年。各学校也可以根据自身办学定位和人才培养目标, 设置五年制双学位专业, 或者本硕贯通专业。

3.4.2 建议授予学位

建议授予理学学士或者工学学士学位。五年制双学位专业可以同时授予理学和工学学士学位。本硕贯通专业建议授予工学硕士学位。

3.4.3 参考学分

四年制本科总学分以 140–160 学分为宜。五年制双学位专业以 180 左右学分为宜。包含课堂教学及各类实践教学环节。各高等学校可根据具体情况做适当调整。

3.5 教学内容和课程体系建议

化学测量学与技术以化学为基础, 主要借助物质的化学、物理及物理化学性质, 如光学性质、电化学性质、热学性质、声学性质、磁学性质、放射性质等, 发展相应的分析测试仪器和方法。当前, 仪器的智能化和自动化程度越来越高, 系统的综合性也越来越强, 主要涉及信号发生系统、检测系统、系统集成等部分。因此, 化学测量学与技术专业教学内容和课程体系应以化学和物理学为基础, 同时融入分析仪器、化学信息、质量保证与控制等内容。

本专业的化学基础参照《化学类专业本科教学质量国家标准》执行, 建议强化化学信息学、化学测量学的基本原理, 增加分析仪器设计、研发和使用及维护等内容, 主要包括:

(1) 化学测量学原理

光谱分析、色谱、质谱、电化学分析、核磁共振波谱分析、X 射线分析、显微分析、热分析、表面分析、成像分析、分析联用技术等。

(2) 基本仪器及部件

信号发生系统: 光源、离子源、单色器、分光系统等。

检测器系统: 半导体、PN 结、传感器、光/电/热检测器、电荷转移器件等新型检测器等。

系统集成: 集成电路、微机电系统、信息采集与处理、仪器制造工艺等。

(3) 计算机

人工智能、软件设计、计算机图形处理、CAD 等。

(4) 化学信息学

化学信息的设计、制造、组织、处理、检索、分析、传播和使用; 化学文献、化学信息数据库和 Internet 中的化学资源; 化合物登记、构效关系研究工具和技术、虚拟数据库组装技术、数据库挖掘技术、统计方法和技术、大型数据的可视化表达等。

(5) 质量保证与控制

质量保证: 样品采集与制备、误差与数据处理、分析仪器维护与校准、实验室信息管理系统等。

质量控制: 标准物质、量值溯源和传递、分析方法标准化等。

(6) 实验

微电子学实验、仪器设计与搭建、仪器使用与维护、大数据与云计算、虚拟仿真软件、虚拟仿真实验。

(7) 实践

通过多种方法和途径, 完成仪器设计、加工、组装生产或大型仪器操作及维护等实践环节。

课程体系构建是高等学校的办学自主权, 也是体现学校办学特色的基础。各高校应根据各自的人才培养定位、培养目标和培养要求, 遵循学生知识、素质、能力的形成规律和学科内在逻辑, 构建体现学科优势, 支持培养目标达成, 能够满足学生未来多样化发展需要的课程体系。

3.6 师资队伍建议

除了符合化学类专业办学基本条件外,应强化结构化学、仪器分析、化学信息学等课程的师资建设,同时强化数学、物理学、计算机科学、微电子、集成电路和机械、控制、大数据、云计算等方面的师资建设,满足课程建设和教学需要^[8]。应建立企业或行业专家参与教学的机制。

3.7 教学条件要求

除了满足化学类专业办学基本条件外,还应该增加电工电子、微电子科学与技术、大型仪器设备实验、集成电路设计与制作、仪器组装和测试、使用和维护等相关实验条件;加大与相关企业和用人单位合作育人的力度,建立相关实习基地和实习内容,满足仪器设计、加工、组装生产或大型仪器操作和维护或流程工业中的在线分析、质量控制或各类检验检测的实习需要。

4 结语

“化学测量学与技术”专业是基于化学设置的新工科专业。本文对专业设置的必要性,专业建设要求等给出了比较明确的意见和建议,希望对本专业的申报、建设与发展起到引领和参考作用,推进专业建设和人才培养,服务于我国应对新一轮科技革命与产业变革的战略需要。

参 考 文 献

- [1] 张树永,朱亚先,霍冀川,宋丽娟,徐华龙,郑兰荪. 大学化学, **2020**, 35 (10), 6.
- [2] 于海婵. 中国科学基金, **2014**, 28 (4), 263.
- [3] 张小蒙,王益民. 实验室研究与探索, **2017**, 36 (6), 291.
- [4] 别只关注 500 强数量! 暴露的问题也值得仪器仪表企业重视. [2020-04-01].
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1639919685903718016&wfr=spider&for=pc>.
- [5] 2019 年中国仪器仪表制造行业分析报告-市场调查与投资商机研究. [2020-04-01].
<http://data.chinabaogao.com/jixie/2019/0364034032019.html>.
- [6] 2013-2017 年教育部化学类专业教学指导委员会. 普通高等学校化学类专业教学质量国家标准. 北京: 高等教育出版社, 2018.
- [7] 张树永,朱亚先. 中国大学教学, **2018**, No. 3, 25.
- [8] 刘娅莉,张小华,周海晖,何德良,陈金华,邓剑如,李永军. 大学化学, **2018**, 33 (9), 38.