

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202204065

www.dxhx.pku.edu.cn

对标新工科无机材料合成方法课程改革实践

陈沛*, 杨祖培, 陈新兵, 刘彬

陕西师范大学材料科学与工程学院, 西安 710062

摘要: 为顺应新工科人才培养的需求, 对无机材料合成方法课程进行了改革探索。结合本专业光电功能材料研究特色, 整合教学内容; 采用对分课堂教学模式和多途径实践教学, 提升学生创新思维、综合能力和实践能力; 多角度融入思政元素, 增强学生的家国情怀; 细化采分点, 突出过程性评价。该改革实践对同类课程建设具有借鉴意义。

关键词: 新工科; 人才培养; 无机材料合成方法; 课程改革

中图分类号: G64; O6

Practice on the Construction of Inorganic Materials Synthesis Method Course under the Background of Emerging Engineering Education

Pei Chen *, Zupei Yang, Xinbing Chen, Bin Liu

School of Material Science and Engineering, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China.

Abstract: In order to meet the requirements for training of new-type engineering talents, the reform practice for the course of inorganic materials synthesis method was carried out. The teaching contents were integrated based on the characteristics of the optoelectronic functional materials researches; the teaching mode of presentation-assimilation-discussion class and various teaching resources were adopted to cultivate students' creative thinking, comprehensive ability and practical ability; ideological and political education materials were introduced into teaching activities to enhance students' native land emotion; the rating scale was further refined for objectively evaluating students' learning effects. The course construction practice provides references for the curricular reformation of other courses of the same major.

Key Words: Emerging engineering education; Talent training; Inorganic materials synthesis method; Course reform

为应对新一轮科技革命和产业变革的需求, 我国在2015年提出了“中国制造2025”战略, 核心目标是加快制造业创新发展、实现制造大国向制造强国的转变, 该目标的实现依赖于创新型工程技术人才的支撑。为应对这种战略需求, 2018年教育部高等教育司发布了“新工科”建设政策, 明确提出加快培养新兴领域工程科技人才。在此背景下, 各高等院校的工科专业将人才培养目标聚焦到培养科学基础厚、工程实践能力强、综合素质高、国际竞争力强的复合型人才。因此, 传统以教为主的授课模式以及多年未变的教学内容已无法满足新工科人才培养的需求, 进行课程改革已是大势所趋^[1]。近年来, 对标新工科需求的课程改革理论和实践研究日益增多, 并且取得了累累硕果^[2,3]。

我校工科类专业中的材料化学专业, 经过近二十年建设, 已形成了聚焦新型光电功能材料的理

收稿: 2022-04-20; 录用: 2022-06-10; 网络发表: 2022-09-07

*通讯作者, Email: chenpei@snnu.edu.cn

基金资助: 教育部第二批新工科研究与实践项目(E-CL20201939); 陕西师范大学2020年一流课程建设项目

论和实践课程群。旨在培养专业知识深厚、实验技能扎实、自主学习能力强、创新意识敏锐、具有综合分析和解决一些实际问题能力、兼具国际视野和家国情怀的复合型人才。学生毕业后能够从事光电功能材料及相关领域的工作,或者进入研究生阶段继续深造。在材料化学专业人才培养方案中,无机材料合成方法是一门必修的专业基础课,也是实现该专业人才培养目标的桥梁和重要支撑^[4],以培养无机材料合成基本知识和技能扎实、兼具综合能力和人文素质的本科专业人才为目标。然而,原教学实践环节存在的一些问题,严重阻碍了教学目标的实现。因此,开展无机材料合成方法课程改革及实践探索势在必行。

1 课程基本概况

1.1 师范背景下的课程概况

陕西师范大学是综合性一流师范大学,在师范教育背景下开展材料工科类专业基础课程无机材料合成方法的建设,既有优势也有劣势^[5]。优势在于,任课教师在教育领域多年耕耘、积淀深厚,取得了大量的研究成果,提出了许多新型教学方法和教学模式,可以为工科课程改革提供很好的借鉴;劣势在于,师范院校背景下校内工科氛围不浓厚^[6],支撑工科专业建设的资源诸如实践实习、实操平台等不足,需要学校、学院和任课教师三方协同,加强搭建与行业内企业的沟通交流渠道,拓展相应的专业实践基地和平台。

1.2 课程建设面临的问题

1.2.1 课程内容零散且合适的教材缺失

一方面,课程内容繁杂零散。就无机材料合成方法而言,根据前驱体的物理状态可分为液相合成法(又称湿化学合成法)、气相合成法、固相合成方法。为满足人们对特定材料的需求,还会使用一些特殊装置营造极端条件,如超高温、超高压、等离子体、激光、超重力等,或引入一些外场辅助来促进化学反应速度,如光、电、微波、超声波等。这些合成方法都有自身的特殊性,反应装置、工艺参数和反应机理差异非常大,在授课中需要逐一进行讲解。本课程包含八种以上合成方法,如沉淀法、电化学沉积法、溶胶凝胶法、水热法、微乳液法、高温固相合成法、自蔓延法、化学气相沉积法等。对学生而言,这些合成方法彼此间缺乏联系,知识点零散繁杂,只能通过死记硬背来掌握,难以融会贯通并灵活应用。

另一方面,课程内容中经典合成方法与科技发展现状脱节严重。科技领域的迅猛发展迫切需要新型的功能材料,而经典的合成方法早已无法满足新材料的有效开发。在此背景下,新的合成方法或制备技术不断出现。要实现新工科对人才培养的要求,这些新的知识就必须走入课堂,完成“所学”与“能用”的衔接,满足企业对人才知识储备的需求。因此,每年都需要对一些教学内容进行调整和更新。

此外,适合光电功能材料合成教学的教材缺失。目前已出版的、涉及无机材料合成方法的各类教材书籍,往往以金属材料、无机非金属材料或纳米材料等的合成为主,与光电功能材料为主要特色的专业课程教材匹配度很低;同时,这些已出版的教材中往往缺少合成参数调控对材料形貌、结构及性能影响的内容,导致学生对于无机材料合成路线设计的理念和策略难以理解和掌握,不足以支撑其创新能力的培养目标。

1.2.2 综合交叉性内容阻碍了学生学习积极性

一方面,无机材料合成方法课程内容具有较高的综合性和交叉性,学生要深入理解和掌握相关知识内容难度较大,影响了学生学习积极性。首先,要学好本课程,要求学生不但牢固掌握无机化学和物理化学课程里的知识,诸如化合物物化性质、化学反应类型、化学反应热力学和动力学知识等,而且还能够将其融会贯通、灵活使用,才能够理解合成参数对光电材料结构、形貌和性能的调控机制,这对本科生来说是极具挑战的。另外,材料与合成方法之间没有直接对应关系,使用同种合成方法可以通过改变合成参数制备不同种类的材料,同种材料又可以用不同合成方法来制备。这

导致学生总感觉该课程难度较大,课堂上似乎都听懂学会了,但实践时又无从下手、抓不住重点。

另一方面,相关课程的设置顺序影响了学生学习积极性。合成方法仅仅是获得材料的必要手段,材料最终是否具有理想性能才是评价合成方法优劣的判据。而材料的性能与其结构密切相关,以材料结构、性能为靶心才能有的放矢地去调控合成参数。这就要求学生在上无机材料合成方法课程时,应当修完我院开设的材料表征技术和新型光电材料及其应用课程,掌握材料的化学组成、微观结构、晶体结构等的表征技术,以及学会测试光电材料光、电、电催化等性能的技术方法,了解实验数据图的合理分析方法,才能依据此结果来指导合成参数的调控。然而,无机材料合成方法课程和材料表征技术在大三下学期同步开设,新型光电材料及其应用课程在大四上学期授课,导致学生难以理解合成方法、合成参数调控与材料组成、结构和性能之间的关联,对知识内容的掌握和理解比较肤浅和机械。

1.2.3 课程实践性强但实践平台不足

该课程具有理论性、实践性和工具性强的特点。原有教学模式以课堂教学为主,学习时空单一,学生参与度低、实践少,并且缺乏直接配套的实验课程,导致学生课堂上学到的知识无法及时在实践中理解、消化和运用,对培养学生科研思维、解决工程问题能力和创新能力不利。另外,虽然学院积极对接光电功能材料相关的企业,在校企共同努力下,已经搭建了一些实践平台,但受教学时间限制,在课程进行期间难以抽出整块时间去企业实践。因此,需要开辟其他可行性高的实践途径,实现应用型人才的培养。

2 课程改革创新举措

从教学实际情况和学院光电功能材料研究特色出发,通过对教学内容选择和优化,让学生在深入掌握无机材料合成方法基本知识和实验技能基础上,了解光电功能材料合成领域的新知识和新方法;通过引入对分课堂教学模式,有效促进学生学习兴趣、提升自主学习能力以及加强综合能力;通过校企协同等方式,创建多种实践途径,增强学生的实践能力;通过多环节渗透思政元素,培养学生的家国情怀和学习兴趣;通过加强过程性考核评价,来实现对学生学习效果的客观评价。

2.1 突出特色重构课程内容

为了便于学生理解和接受,在课程内容设置时,紧密结合学院材料研究方向,关注光电功能材料研究热点,来调动学生的积极性、开阔学生的视野,引导学生择业和就业方向。具体操作上,把教学内容划分成五章,分别是总述、液相合成方法、固相合成方法、气相合成方法和合成方法最新进展,以“光电功能材料”为主线贯穿五大部分,进而构成形散而神不散的内容体系。

在第一章的总述中,以生活中随处可见的例子来引入相关的光电器件,如新能源电动汽车及其“心脏”磷酸铁锂电池、电容电池或燃料电池,进而讲述这些器件的核心材料,如电极材料和相关的膜材料。学生从材料科学基础等先期课程的学习中已经了解,材料的结构决定其性能,那么就自然地引入“材料的结构取决于合成方法”。在此基础上,通过实例,让学生从宏观上了解通过热力学和动力学来调控材料的合成路线,不同合成条件下得到的材料结构也不相同。结构与性能紧密关联,调控合成参数就可以优化材料性能。通过总述部分的学习,引领学生从宏观上把控整个课程内容,并快速了解课程核心所在。

在第二章到第四章的各种合成方法中,做到特色鲜明、重点突出。例如液相合成法虽然种类较多,包括沉淀法、水/溶剂热法、溶胶-凝胶法、微乳液法、电化学沉积法和高沸点溶剂热分解法,但它们都具有非常突出的特色,即在新型光电材料形貌控制上的优势显著。因此,在课程内容设计时,从固体(无定形和晶体)在液相中的生长机理(成核-核生长)入手,讲解合成参数、添加物结构和反应原料类型对材料形貌的影响机制,帮助学生掌握这类合成方法的特征。同样,固相合成法种类也较多,包括高温固相法、自蔓延高温合成法、机械研磨法等,它们共同的特点是可以调控反应物种类和反应条件来实现对光电功能材料晶体结构和化学组成的较精准控制。在授课时,从化学反应

热力学和动力学基础知识入手,分析合成参数和材料结构的关联机制,加深学生对合成参数设置的理解。而对于气相合成法基本可归结到气相化学沉积这一种合成方法上,这种合成方法在光电薄膜材料和单晶制备上具有特殊的优势,课程内容将围绕这一特点展开。

在第五章的合成方法最新进展中,以最近五年高档次期刊发表的论文为具体实例,讲授多种合成方法联合应用来制备特定结构和性能优异的新型光电功能材料。让学生了解合成方法仅是材料制备的工具,不必拘泥于合成方法类型,可以灵活使用这些工具达到制备出性能优异新材料的目的。

通过上述调整,我们删减了一些陈旧、冗长的内容(如分离与纯化方法、高/低温装置介绍等),以及应用范围极小的一些特殊合成方法(如爆炸合成法、激光照射法、微重力及超重力合成等),使授课内容更加集中。其次,将科研成果转化为教学内容,以案例法融入课堂,突破教材边界,加深知识广度和深度,突出知识高阶性和前沿性,让授课内容更具有生命力,利于学生接受。同时,在授课过程中,重点讲授合成参数设置背后的理论依据,力求学生在深入掌握理论知识的同时,种下学以致用种子,在实践中知道如何选择合成方法、如何调控合成参数,得到理想的光电功能材料,最终达到课程的教学目的。

2.2 开展对分课堂教学模式培养学生综合能力

在以教师授课为主、学生参与为辅的教学模式中,学生除了学到固化的知识外,很难培养学生的团队协作、知识应用/扩展/创新等能力,更不可能培养学生的实践能力。因此,课堂教学应着重培养学生对知识的理解和掌握,其他能力的培养则需要通过采用新的教学模式来实现。为此,近五年本课程尝试了对分课堂教学模式,取得了较好的教学效果。

优化对分课堂教学模式^[7]中授课内容的分配。教师和学生参与课堂教学活动的程度相同,可以更好地发挥学生的能动性。同时,由于教师授课时间缩短,对教师课堂授课效率提出了更高的要求。因此,在教师开展课堂教学过程中,要注意突出重点和难点内容,易懂的内容留给学生自己看,确保在有限课时内完成教学内容,把握好教学进度;同时,对于应用性比较强的合成工艺流程,要巧妙运用动画、图片、视频等多媒体技术,灵活使用启发式、讨论式、参与式、研究式和案例式等多种教学方法,调动学生学习积极性和主动性,进而提高课堂效率。如讲授化学气相沉积法时,播放我国企业利用化学气相沉积法合成钻石的工艺流程的视频,让学生直观感受和了解无机材料合成方法的具体应用及相关产业,唤起学生的学习热情。

加强对分课堂教学模式中小组研讨与交流。在教师讲完一个合成方法后,将学生按3—4人分成多个小组,自行在学校电子图书馆内检索以该合成方法制备光电功能材料的中、英文文章各1篇。组内成员共同阅读、相互交流,在理解文献资料的基础上,分工完成2篇文献的PPT讲稿。在下次授课课堂上,由教师随机抽出三个学习小组在讲台展示、讲解PPT内容。听讲的学生就讲解内容进行提问,形成学生间的互动。对于受知识水平所限学生无法回答的问题,由教师进行作答。进而,教师对学生所讲内容进行点评和补充,引导学生思考,不放过任何一个知识传递的过程。同时,要求学生在PPT最后一页列出在查阅、理解、整理文献及做PPT和讲解PPT过程中的感受与反思,让学生学会审视自身的不足、感受自己点滴的进步以及科学研究的深奥和魅力。在2个课时的课堂教学中,三个学习小组每组各讲10 min,听讲学生提问和教师总结共20 min,完成1个课时,另1个课时由教师讲授新的教学内容。如此循环,完成整个课程36学时的教学任务。

在对分课堂教学模式下,讲PPT的学生充满激情;听的学生跟着节奏脑子要飞速旋转,努力思考并寻找讲解中的问题,准备提问;教师要根据课堂情况变化,随时准备调控课堂节奏和回答各种意想不到的问题,不敢有丝毫懈怠。学生忙起来、动起来、活跃起来,教师紧张起来,这样的课堂生机勃勃。

最为重要的是,通过对分课堂可以实现学生多种能力的培养,具体如下。

1) 自学能力:学生在阅读文献中遇到不懂的专业术语和专业知识,必须去进行二次文献查阅,找到答案,有利于培养学生的科研阅读习惯和自学能力,可受益终身;在阅读英文文献内容时,学

生会自发关联已学过的英语句型、语法等知识,并掌握一些专业英语单词,同时,还可以将英文文献中的合成步骤、工业制备流程等与课堂所学内容联系起来,加深对理论知识的掌握。经过一学期的英文文献阅读,学生对科技论文不再有畏难情绪,不但累积了专业理论知识、提高了英文阅读水平,而且为科研文献的阅读奠定良好的基础。

2) 科研思维 and 创新能力:为了做好课堂汇报用的PPT,学生必须仔细思考文章内容、体会文章内在逻辑关系。在这一过程中,文章作者的科学思维必然迁移到学生头脑中,才能确保学生读懂文章。经过多篇优秀文章的阅读,更多的科研思维复制、刻印到学生头脑中,于无形中完成了对学生基本科研思维的培养。其次,在抽出文章主干制作成10 min的PPT过程中,学生必须有所取舍,对原文内容按自己讲解的逻辑主线进行二次加工,这有助于激发学生的创新能力。

3) 表达能力和国际视野:为了站在讲台上清晰地讲出文章的核心内容,学生必须在课下多次进行语言的组织和整理,讲解完后还会清晰地意识到自己在逻辑或语言上的问题。在一学期几次上台讲解PPT过程中,学生的语言表达能力一定会逐渐提升。再者,通过阅读最新科技前沿文章,学生不但能体会到课堂知识在实践中的灵活应用,而且还能了解本领域国内外科研工作者关注的焦点。让学生的目光从固化的课本内容转移到现实社会生活中的本领域发展前沿,拓宽了学生的国际视野。

4) 综合素质:在对分课堂中,教师对学生所做PPT的格式、配色、讲解语言的逻辑性、讲解者的声音和姿态,以及所选文章的创新性或不足之处的点评,对学生而言都是具有强烈的启发性和认同性,能帮助学生快速提升专业综合素质。同时,教师在回答学生问题时,会有意识地将学生所学的多种基础课程(如无机化学、物理化学、结构化学等)贯穿在一起,启迪学生要注重课程体系、学科之间的联系,拓宽思维,提升学生综合思考分析能力。

2.3 创建多途径培养学生实践能力新模式

针对课堂教学导致学生实践能力培养不足的问题,结合现有资源,在不占用课时的情况下,本课程授课教师从多个途径加强学生实践能力的培养。

1) 产教融合营造实践环境:学院每学期都会邀请本领域企业高级工程人员到学院进行讲座交流,就企业某几种材料的研究进展进行介绍。学生通过参加讲座,可以了解企业产品研发、工艺生产流程及人才需求现状等;同时,组织学生到西安当地的合作企业进行实地参观、见习,参观生产线以及通过听取生产一线人员对光电功能材料生产工业和设备等的讲解,加深对工业生产各个环节的认识。

2) 教研结合鼓励项目实践:依托学校的各种大学生创新创业项目,以及学院的“材料学子勤助科研”项目,引导学生进入本院教师的实验室开展相关研究,在实验室高年级研究生带领下,完成从合成路线设计、实验操作、合成参数调控到材料结构性能表征测试的完整流程。在实践中提升实验技能、加深对理论知识的理解,并尝试将课堂上学到的知识加以运用,培养其创新意识和实践能力。例如,依托笔者所在实验室,3名本科生组成小组,开展了“铁氧化物/碳基复合电催化剂制备及在锌空电池中的应用研究”项目。在项目实施中,要求学生依据本人所提供的水热合成法资料,独立设计合成方案、操作,利用水热法合成出含铁有机金属配位化合物(Fe-MOF)的纳米材料,并通过优化实验条件及结构表征,获得尺寸均匀、形貌规整的Fe-MOF。进而开展碳化、结构表征、电化学性能测试、锌空电池性能测试等系列实验。在整个过程中,教师随时关注实验进展情况,在每个环节中进行恰当的启发和引领,引导学生深入思考、小心操作和仔细分析。在项目结题时,学生们的实验操作技能显著提高,在合成参数与产物形貌、电催化性能的关联方面形成较深刻的认识,并初步建立数据分析的缜密科研思维,为毕业论文设计及后续深造奠定了基础。

3) 理论实验结合加强实践:学院材料专业开设了多门实验课程,诸如无机非金属材料制备与表征实验、新能源材料与器件综合实训等。这些实验课在大三下学期开设,并且均包含一部分材料合成的实验内容。因此,本课程教师与这些课程的授课教师进行对接,本着共同培养学生的目的,在相互沟通、交流的基础上,将多种合成方法融入到这些实验课程中,既实现了本课程内容的外延和

扩展, 为学生巩固、理解并实践本课程所学的内容创造更多的机会。而且还有助于形成关联紧密的专业课程群, 促进学科发展。

2.4 挖掘思政元素提升育人效果

同其他专业课程一样, 本课程在传授知识的同时还承担着育人功能。结合本课程特点, 抓住新型光电功能材料这一核心, 从课堂案例、文献阅读和新材料研究进展等多个角度进行课堂思政。例如, 在合成方法讲解中, 选用我国科学家发表在*Science*、*Nature*等顶级期刊上的研究成果作为实例, 播放我国企业自主研发的合成装置和工艺流程等, 树立学生的民族自信心和爱国情怀。在讲授合成操作时, 列举*Science*和*Chemical Science*期刊上关于搅拌子和玻璃容器对实验结果产生重大的实例。让学生明白细节决定成败, 在科学研究中一定要深入探索、认真分析, 才能有所收获的道理。在对分课堂教学模式中, 如果学生没有完全消化和吸收课堂上老师讲解的知识, 凭借自己有限的知识储备、在有限时间完全读懂科技文章的难度较大。这就要求学习小组成员一定要分工合作, 依靠团队力量完成老师交给的任务, 从而培养了学生的团队协作能力。

2.5 细化采分点革新评价体系

采用对分课堂教学模式, 学生全阶段参与课程, 便于教师多环节、多角度评价学生学习情况, 采分点可以贯穿整个课程学习阶段, 可以形成过程性评价体系, 有助于全面客观评价学生的学习效果, 也方便学生了解自己的不足之处, 并进行针对性加强。因此, 在新的考核方式中, 更注重学生平时表现和自主学习能力的培养, 将平时成绩的权重从原来的30%提高到了目前的50%。具体考核方法如下:

1) 课堂出勤、课堂表现占10%; 学习小组分工合作情况占5%; 文献解读准确性占5%; PPT制作情况占5%; 小组学习、文献阅读的心得体会占5%; PPT讲解语言和逻辑情况占5%。

2) 参加完工程师讲座、企业见习后的小感想, 以及在参与大创等科研项目的小心得, 都计入考核, 占5%。在这些评分点中捕捉能体现课程思政教育效果的闪光点, 给予5%的计分。教师会不定期通过微信小程序等问卷, 了解学生对教师以及这门课程的评价, 帮助教师改进教学方式与方法、提高教学质量。因此, 能积极参与问卷作答并提出建议的学生, 也给予5%的计分。

3) 调整期末考核内容, 降低定义、概念等记忆性知识的比例, 注重考查学生的创新能力和逻辑思维能力, 加大综合能力的考评。例如, 摘取文章中材料合成部分的英文, 要求学生翻译成中文; 设计综合题, 给出多种原材料, 要求学生用三种以上合成方法设计材料合成路线。期末考试成绩占50%。

图1是2021年学生在各采分点的平均成绩分布图, 可以看出, 学生在实践方面(文献阅读、PPT制作、PPT讲解)的能力还有待于进一步提升, 教师应继续加大教学改革力度。



图1 2021年学生在各采分点的平均成绩分布图(百分制)

3 教学反思

经过近五年的课程改革建设,在以下几个方面取得了良好的教学效果:

1) 学生学习兴趣提高,自学能力提升,团结协作意识增强。同时还掌握了许多做 PPT 的技巧,能克服畏难情绪,有勇气走上讲台进行演讲,语言表达逻辑性有所增强。

2) 教师对该课程教学更加投入。在学生讲解中会随时出现各种问题和困惑,涉及不同学科,需要多种知识交叉融合才能得到答案。如果教师在课堂上无法作答,将是非常尴尬的事情。另外,课时有限而课程容量较大,对教师的课堂管理和组织能力提出了新要求。故而,教师要不断学习新知识、新的教学方法,要充分利用课堂时间、精讲精练。同时,还要积极与学生沟通,抓好学情反馈。这些压力转变成动力,促进教师不断提高教学质量。

虽然已经取得了显著的效果,但是该课程还缺少线上内容,今后将完善网络课程内容的建设。进一步将多媒体课件、材料合成小视频、习题、国内高校同类课程网页的链接等放到网络上,为学生自主学习、拓宽知识面和扩大视野提供更多可能。同时,应着手建立虚拟仿真实实践教学平台,以及深度建设校企合作平台,进一步培养学生实践技能和解决复杂工程问题的能力。

4 结语

围绕新工科人才培养需求和立德树人根本任务,本文针对材料化学专业无机材料合成方法课程目前教学中存在的主要问题,提出从授课讲义内容、教学模式、实践性、课程思政、过程评价等方面进行教学改革,并经过近五年的教学改革实践,取得了良好的效果。具体来讲,通过突出合成方法特色和引入光电功能材料最新进展来优化精炼教学内容,通过对分课堂教学新模式,着重培养学生创新思维和综合能力;通过多途径开展实践教学,解决学生实践能力薄弱问题;通过多角度引入思政元素,增强学生的家国情怀;通过细化采分点,形成过程性评价体系,提升对学生能力考核的客观性。本课程的改革实践模式为其它课程教学提供了有益的借鉴。

参 考 文 献

- [1] 黄云清. 中国大学教学, **2020**, No. 2, 28.
- [2] 刘鑫桥, 王庚, 吴津蕊. 西北工业大学学报(社会科学版), **2021**, No. 4, 63.
- [3] 陈燕. 天津大学学报(社会科学版), **2020**, 22 (3), 214.
- [4] 张静. 吉林工程技术师范学院学报, **2017**, 33 (9), 24.
- [5] 陈庆星. 设计艺术研究, **2008**, 27 (1), 49.
- [6] 孙强, 张岩, 罗美淑. 湖北师范大学学报(自然科学版), **2020**, 40 (2), 88.
- [7] 张学新. 对分课堂: 中国教育的新智慧. 北京: 科学出版社, 2017: 1-284.