

## “项目-专利-论文”一体化教学模式改革与实践 ——以“高聚物成型工艺”课程为例

张健夫\*, 白伟, 侯娟, 邹辰旻

长春理工大学化学与环境工程学院, 长春 130012

**摘要:** 为应对传统教学模式在快速发展的高科技领域中日益显现的局限性, 以“高聚物成型工艺”课程为例, 提出并实践了“项目-专利-论文”一体化教学模式, 将科研问题凝练、专利申请、产权保护和论文撰写和投稿融入教学活动中。对该模式的实施过程、优势及推广适用性进行探讨, 此模式在高等教育化学教学中具有普适性和推广潜力。

**关键词:** 项目; 专利; 论文; 课程建设

**中图分类号:** G64; O6

## Reform and Practice of “Project-Patent- Scholarly Paper” Integrated Teaching Mode: Taking “Polymer Processing” Course as an Example

Jianfu Zhang\*, Wei Bai, Juan Hou, Chenyang Zou

School of Chemistry and Environmental Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130012, China.

**Abstract:** To address the growing challenges of conventional teaching methods in the rapidly advancing high-tech field, this study introduces and implements a “project-patent-scholarly paper” integrated teaching model, using “Polymer Processing” course as a case study. This model integrates the distillation of scientific research problems, patent applications, intellectual property protection, and scholarly paper writing and submission into the teaching process. The implementation procedure, advantages, and potential for broader application of this model are explored. This model demonstrates broad applicability and significant potential in higher education chemistry teaching.

**Key Words:** Project; Patent; Scholarly paper; Course construction

党的二十大报告提出“实施科教兴国战略, 强化现代化建设人才支撑”的战略决策, 并强调“着力造就拔尖创新人才”, 首次将教育、科技、人才进行“三位一体”统筹布局<sup>[1]</sup>。科学研究是知识进步和技术发展的推动力, 将其融入本科教学, 可以帮助学生切实掌握并运用相关知识以期培养学生的创新能力、实践能力和批判性思维, 成为提升教学质量、培养拔尖创新人才的关键环节。科研项目、专利申请、论文撰写是知识创新和技术转化的重要环节, 也是基础研究的关键载体<sup>[2]</sup>。本文探讨“项目-专利-论文”一体化教学模式, 旨在通过引导学生接触科研项目, 从理解学术成果的撰写与发表过程, 到最终实现创新成果的保护, 建立一个动态互动、互相促进的教育循环。

近年来, 在教育领域, 将科学研究融入教学的研究逐渐受到重视, 但大多聚焦于特定学科的应

收稿: 2024-08-30; 录用: 2024-10-16; 网络发表: 2024-11-27

\*通讯作者, zhangjianfu@cust.edu.cn

基金资助: 吉林省教育科学“十四五”规划2023年度一般课题《省属高校鲜明特色学科引领学科交叉发展的模式探索与实施路径研究》(GH23532); 2023年吉林省研究生精品示范课程《高分子结构与性能》

用, 缺乏系统整合科研元素进入课堂教学的探讨。化学作为一门基础学科和中心学科, 其学科建设和发展对于整个科技领域以及经济社会的进步都起到强有力的推动作用。因此, 化学专业的本科教育工作尤为重要, 也是培养相关专业学生科学思维和创新能力的的重要途径。以高分子领域相关课程为例, 高分子科学作为一个高度动态和技术驱动领域, 涉及到新材料的开发、复杂物理化学过程, 以及高度专业化的工业应用, 具有更新速度快和跨学科教育的特点。传统教学方式受限于教材内容, 往往滞后于前沿发展, 限制学生对科研信息的获取和创新实践能力的培养。尽管国内许多高校开设了高分子相关课程, 如“高分子化学与物理”“高聚物成型工艺”“高分子加工”等, 但由于专业设置和课程特色的差别, 授课内容侧重点、教学方法以及教学形式不具有普遍适用性<sup>[3-5]</sup>。

2015年以来, 长春理工大学化学与环境工程学院课程团队在“高聚物成型工艺”本科课程中, 结合Outcome-Based Education (OBE)教学理念<sup>[6]</sup>和心理学记忆模型, 探索并实施了“项目-专利-论文”一体化教学模式(见图1)。该模式通过融合源于项目的科学问题凝练、专利申请过程梳理、科研论文阅读和撰写, 帮助学生全面理解科学研究到知识产权保护的全过程, 打通信息壁垒; 同时鼓励学生在项目实践中发现问题, 通过科学研究探索解决方案, 并以论文和专利的形式将实践成果转化为理论贡献和技术创新, 进而实现理论与实践的有机结合, 强化专业知识输出和创新思维培养。此外, 该模式还可以有效地实现专业建设与基础研究的有机结合, 促进科研对教学的反哺, 推动知识创新与学科专业均衡发展。

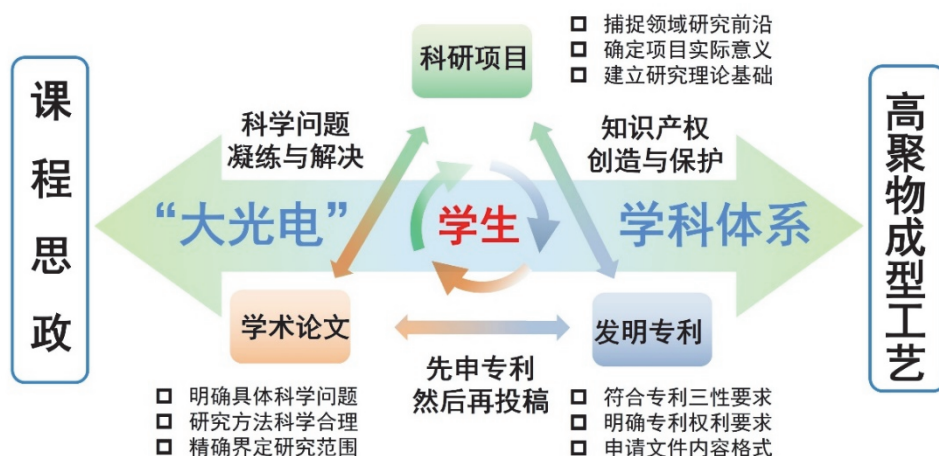


图1 基于学校特色“大光电”学科体系构建以“高聚物成型工艺”课程为代表的“项目-专利-论文”一体化教学模式

## 1 融入项目元素, 以项目为引领, 打造知识新网络

### 1.1 科学问题的来源与科学问题意识的提升

科研项目是推动科学发展、技术创新和社会发展的引擎。长春理工大学以光电技术为特色, 光、机、电、算、材相结合为优势构建以知识创新、技术创新和国防科技创新为核心的“大光电”学科体系, 形成鲜明的光电和国防特色。课程团队所在的化学工程与工艺专业, 是吉林省特色高水平专业、吉林省一流专业。专业结合“大光电”学科体系, 以精细化工和功能高分子方向为专业特色, 旨在培养学生具备扎实的工程基础知识和专业技能, 为社会输送化学相关领域中从事应用研究、技术开发、教学和生产相关的人才。

高分子材料在光电和国防特色领域具有重要应用, 是化学工程与工艺专业重要的专业课程。传统课堂中常常以知识传授为主, 忽视知识的实际应用场景。通过引入科研项目, 学生可以亲身接触到科研团队在解决真实科学问题, 不仅使理论知识更加具象化且贴近生活, 也让学生看到科学问

题在实际工程和研究中的来源和背景。例如，提高材料折射率的方法较多，但能够结合现有工业化工艺进行生产的技术路线仍然较少。硫原子具有高摩尔折射率和低分子分散度的特点，如将其引入聚合物体系中，就可以赋予含硫聚合物材料优异的高折射率、低色散和高透明性。传统方法通过合成等手段引入含硫单体，技术复杂且难以和现有高分子加工行业衔接。课程组在国家自然科学基金的支持下，利用密炼等方法，在聚苯乙烯(PS)中直接引入和分散单质硫，设计合成同时具有高折射率和高阿贝数的光学聚合物材料(见图2)。该策略不仅为光学应用提供了一种新的高折射率材料，也为将物质分散到聚合物材料中提供了新的思路<sup>[7]</sup>。在“高分子材料混合与制备”章节，针对讲授“间歇混合设备”知识点时，通过这一项目的引入，提升了学生对科学问题的意识和敏感度，以及对学科发展的关注度和参与度。这样的学习体验不仅增强了学生的专业自信，也使他们面对未来可能从事的研究领域有更深入的理解和准备。

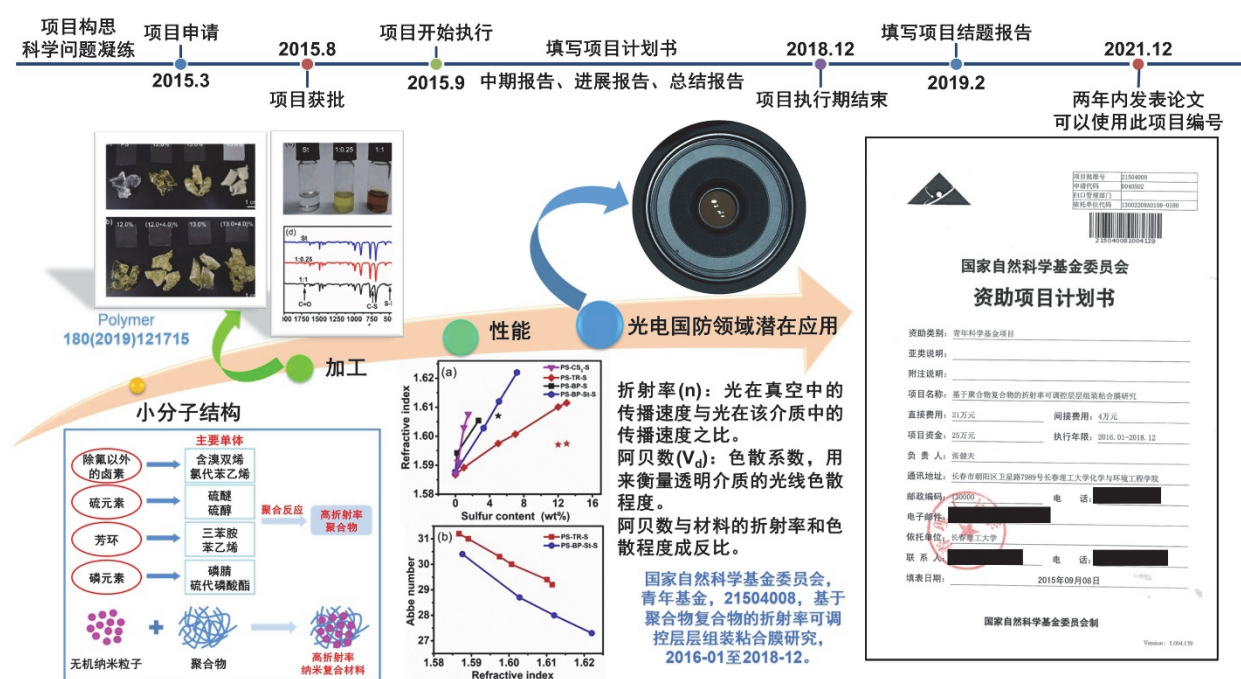


图2 项目申请和执行时间轴、体现关键科学问题的代表性工作和调节高分子材料折射率的关键因素<sup>[7]</sup>

## 1.2 科研活动的融入以及批判性思维和问题意识的培养

高分子材料的制造过程中，高聚物成型方法扮演着至关重要的角色。特别是在选择高分子材料成型加工方法时，要充分重视并考虑不同原料、聚合引发体系和聚合工艺条件等因素的影响。然而学生在课堂学习中，往往局限于基础知识的学习记忆，缺乏对知识的质疑和深层探讨。科研项目和科技活动的核心在于探索未知、挑战现有理论，将其融入教学活动中，要求学生进行方案步骤的批判性思考、评估实验设计的合理性、反思数据分析的准确性、并质疑得出结论是否充分和可靠。这样的训练有助于学生形成独立思考的习惯，并培养他们对知识和信息的批判性态度。

例如，课程组在授课过程中向学生展示国家自然科学基金青年基金项目——《基于聚合物复合物的折射率可调控层层组装粘合膜研究》。从学生已经熟悉的光电特色入手引入折射率和阿贝数的调控矛盾，并结合现有项目背景和课程实际进行技术路线的探讨，促使学生思考问题根源、意义和解决途径，帮助其更好地理解成型加工方法对于制品性能的优化。通过这种思考过程，学生能够深入理解理论知识与实际应用之间的关系，学会从不同角度审视问题，识别问题背后的复杂性和多样

性,提升他们的问题意识<sup>[8]</sup>。同时,学生也对高分子材料的研究产生兴趣,并希望参与到相关的科研项目和活动中。学生不再仅仅是知识的接受者,而是主动探究和解决问题的主体。课程组成员也鼓励学生从事类似的科研项目活动,如申请大学生创新训练项目,亲身体会科学知识如何在实践中得以生成和应用,学生不仅学习到如何利用已有的知识解决实际问题,还能体验知识的不确定性和研究过程中的挑战。在参与科研的过程中,学生还需查阅文献、设计实验技术路线、分析数据等,这些都要求他们主动获取信息、独立解决问题。与传统教学相比,这种学习方式更能激发学生的求知欲和探索精神,使他们在面对新问题时更加积极主动,具有更强的应变能力。

## 2 梳理申请流程,以专利为导向,培养产权保护意识

国务院在《“十四五”国家知识产权保护和运用规划》中提到,要激发全社会的创新活力,推动新发展格局。鼓励工科学子参与科研项目、创新竞赛或创业活动,通过实践提升知识产权意识和商业意识。因此,工科学子应了解知识产权框架和保护机制,认识到创新成果的保护对个人职业发展和国家科技进步的重要性。对知识产权保护的意识能够激励学生进行原创性研究和技术开发,同时提高他们的专业素养和职业竞争力。本教学团队通过线上线下混合式教学,引导学生踏入科研领域,同时重视科研成果的保护与管理。在竞争激烈的科研环境中,专利能够提供关键的竞争优势。专利保护可以确保技术成果在特定领域中的领先地位,而获得专利授权的前提是专利内容必须具备新颖性、创造性和实用性。将科研项目与专利产权相结合,构建“科研项目-专利产权”的循环反馈模式,可以最大化创新成果的价值,促进技术进步。

### 2.1 专利案例的融入和知识产权的理解

在“高聚物成型工艺”课程中引入专利申请和实施的必要内容,对于培养学生的知识产权保护意识具有重要意义。这种教学方法不仅帮助学生理解知识产权的基本概念,还增强了他们在未来职业生涯中保护和运用创新成果的能力。高聚物成型工艺是涉及新材料、新工艺开发的重要领域,学生在学习过程中会接触到大量前沿知识和技术创新。这些创新成果往往具有很高的商业和科研价值,然而,如果没有有效的知识产权保护,这些成果可能会面临被侵权或滥用的风险。同时在课程中融入专利的发展历史,特别是我国专利的发展历程,结合高分子发展史、我国建国史以及工业发展史,结合时事政治,打破课堂上师生之间的时空局限、增加课程思政的丰富性,让学生了解我国知识产权制度从无到有、从弱到强的发展历程,以及在共产党的领导下,我国知识产权事业取得的历史性成就<sup>[9]</sup>。引导学生思考专利制度对国家经济和科技创新的影响,增强对专利保护的认识,强调创新不仅是个人或团队的成果,更是推动社会进步的动力。保护知识产权不仅是维护自身利益的行为,也是保护整个创新生态系统,促进行业的健康发展。

### 2.2 专利的结构内容和写作训练

理解专利的结构、内容和申请过程本身就是一种学习和创新的实践。在课程中,引导学生了解专利的要求及撰写技巧,不仅可以使学生掌握一项实用技能,还可以培养学生对创新成果的法律保护意识。学生在撰写专利申请时,需要对自己的技术创新进行系统性总结和表述,也有助于他们深化对知识的理解,并培养精确表达和逻辑思维能力。例如:在课堂上,通过分析已授权的专利案例“一种高折射率含硫聚苯乙烯的制备方法,ZL201910315916.9”,让学生了解专利的结构和内容,揭开专利的神秘面纱<sup>[10]</sup>。通过分析高折射率含硫聚苯乙烯的合成工艺条件和优势,让学生理解专利的申请和保护主要围绕专利的“三性”进行,即新颖性、创造性和实用性(见图3)。随后,为学生展示专利准备和撰写的一般流程。在确定研究目标和预期成果后,首先进行专利检索和技术预研,以了解相关领域已有的专利技术,确保科研项目具有明确的创新点和应用前景。由于相关专业已有许多专利技术,申请专利前需进行全面检索,以确认发明的新颖性和独创性,避免重复已有专利或研究成果,并确保科研成果符合专利申请的基本要求。在科研过程中,要详细记录实验数据和技术创新,形成完整的发明记录,为专利申请提供基础材料。当发现重要技术成果突破时,应及时启动专利申

请流程。撰写专利说明书是申请过程中的核心环节，需要详细、准确地描述发明内容。通过背景技术和发明内容部分展示发明的创新性；在实施方式中突出发明的实际应用效果和解决的问题。使用专业术语，确保语言准确清晰，描述所有技术特征。

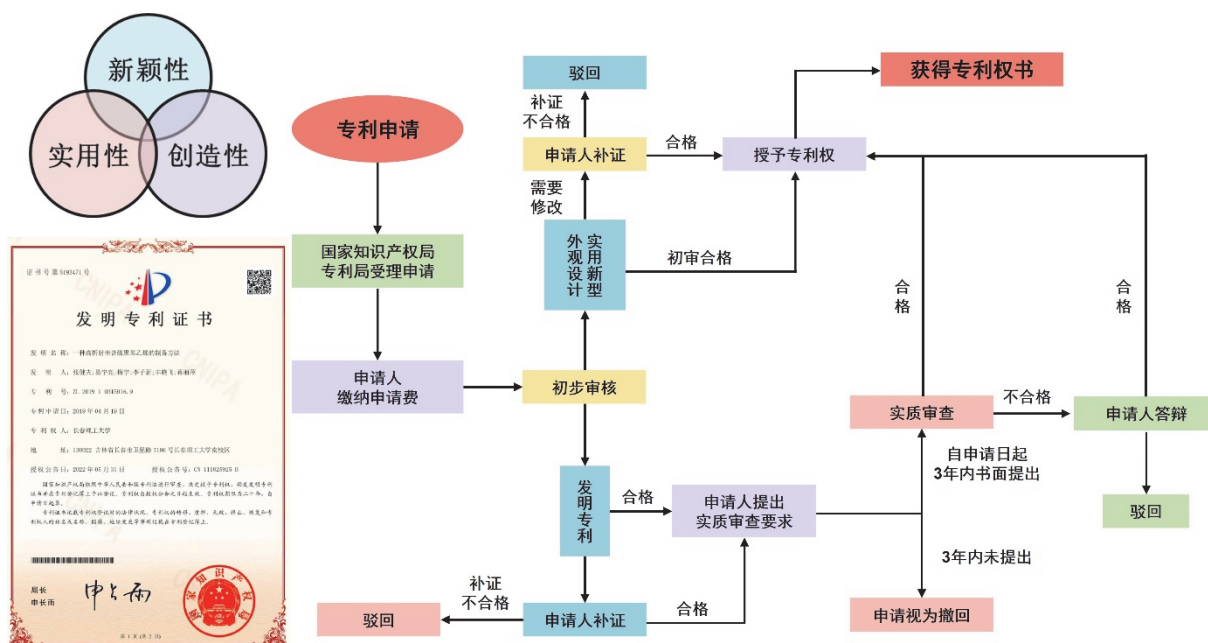


图3 专利的“三性”、依托项目获批的授权发明专利证书首页及专利申请流程图<sup>[9]</sup>

### 2.3 专利申请的流程步骤及时间节点的策略指导

专利申请是一个复杂且严格的过程，涉及多步操作和关键时间节点。通过严格遵循专利申请的流程步骤和时间节点，能够有效保护创新成果，避免技术泄露或侵权风险。课程组采用线上线下混合式教学模式，利用线上平台进行学习资源的整合，将专利的原始文件和过程文本，特别是涉及专利文本的撰写和修改过程，利用线上平台上传便于学生随时查阅，课前让学生通过线上资源进行自主学习；线下课堂则集中讨论修改专利文本过程中遇到的具体问题，并进行案例分析。

例如，设计苯乙烯本体聚合的实验项目，重点在于折射率的调节(见图4)。学生自拟试验方案，教师团队进行方案修正和实验指导，帮助学生理解聚合反应和折射率调节的相关技术，并感悟方法的科学性、创新性和潜在应用价值。随后，模拟专利申请过程，从创新成果的确定和初步评估、专利文件的准备、专利申请的提交、专利的初步审查、实质审查、授权与公告到专利维持和管理，详细分享各步流程和时间节点，并进行策略指导，为学生的学术和职业发展打下基础。

## 3 结合科研论文，以论文为媒介，奋楫科研前沿

### 3.1 科研论文结合课程实际有助于学生从科学前沿角度深入理解课程内容

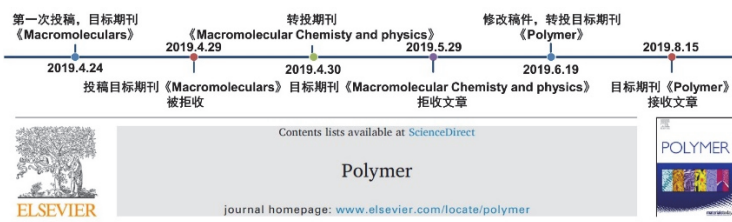
科研论文中的新发现、新理论和新方法是推动相关领域科学进步和技术创新的关键，不仅能够激发新的研究思路，还能促进进一步的学术探讨。在教学过程中，将科研成果的创新性和先进性融入课程内容，可以帮助学生获得更为多样化的认知体验。通过阅读和理解科研论文，学生能够进行更深入的学习，提高教学质量和扩展学术视野。许多重要的学术论文首先以英语发表，直接阅读原文能够获取最准确的信息和最新的研究成果，从而避免潜在的误差和理解偏差。此外，这还可以增强学生对专业术语的掌握，提高学术英语的阅读理解能力。在阅读过程中，学生应尝试识别论文中



图4 发明专利的申请时间轴及“三性”在通知书上的具体体现<sup>[10]</sup>

的潜在问题或局限性，这有助于提高他们的独立思考和问题解决能力，同时掌握科学论证和推理的技巧。通过参与学术讨论，学生不仅能够为未来的科研工作和职业发展打下坚实的基础，而且还能将课堂上学到的高分子材料和成型工艺知识，与全球范围内的先进材料及成型技术相联系，从而拓宽他们的视野<sup>[11,12]</sup>。

在高分子材料和成型工艺领域，科研论文为学生提供了深入了解世界先进技术的途径。随着高分子材料加工成型技术的不断创新，学生可以通过论文了解到这些技术如何直接影响材料的结构和性能。阅读科研论文对于本科生尤为重要，它有助于学生积累知识、培养科研能力，并为未来的学术和职业生涯做好准备。科研论文的投稿过程复杂且充满挑战，通过展示投稿过程中的原始文件和往来邮件，特别是严格的同行评议全过程，学生可以更直观地感受到科学研究的艰辛(见图5)。这种经历不仅帮助学生理解论文投稿和项目执行中的困难，也加深了对知识产权保护意义的理解。面对失败时，学生应学会从中汲取教训，坚持不懈，保持批判性思维，提高科研育人的深度。



Direct introduction of elemental sulfur into polystyrene: A new method of preparing polymeric materials with both high refractive index and Abbe number

Liping Jiang<sup>a,b,c</sup>, Ruixia Kong<sup>a,c</sup>, Yuliang Yi<sup>a</sup>, Siqi Yang<sup>a,b,c</sup>, Yu Mei<sup>a</sup>, Xiaofei Feng<sup>a</sup>, Zhanhai Yao<sup>b</sup>, Jianfu Zhang<sup>a,b,c,\*</sup>

<sup>a</sup> School of Chemistry and Environmental Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun, 130022, China  
<sup>b</sup> State Key Laboratory of Polymer Physics and Chemistry, Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Changchun, 130022, China  
<sup>c</sup> Jilin Provincial Science and Technology Innovation Center of Optical Materials and Chemistry, Changchun, 130022, China

图5 科研论文投稿时间轴及论文标题<sup>[7]</sup>

### 3.2 结合课程特色的定制化礼品从工程和经济角度进行分析

为了帮助学生直观地了解和学习英文论文的写作风格和研究方法，课程团队将与结题的科研项目 and 专利申请紧密相关的已发表科研论文分享给学生。例如，课程团队分享了在《高分子领域经典杂志 *Polymer*》上发表的论文及相关引用文献，通过线上平台提供给学生<sup>[7]</sup>。与此同时，课程中引入定制化的签字笔作为创新方式，以增强学生对学校“大光电体系”教育的认同感。这些签字笔在笔杆上印有课程名称和学院与学校的英文名称缩写“SCEE-CUST”，笔帽部分印有提高材料折射率的科研论文，扫描二维码后即可浏览或下载相关论文(见图6)<sup>[7]</sup>。此举旨在让学生在使用这些定制化礼品时，感受到学校在材料领域的专业特色和教育精神。

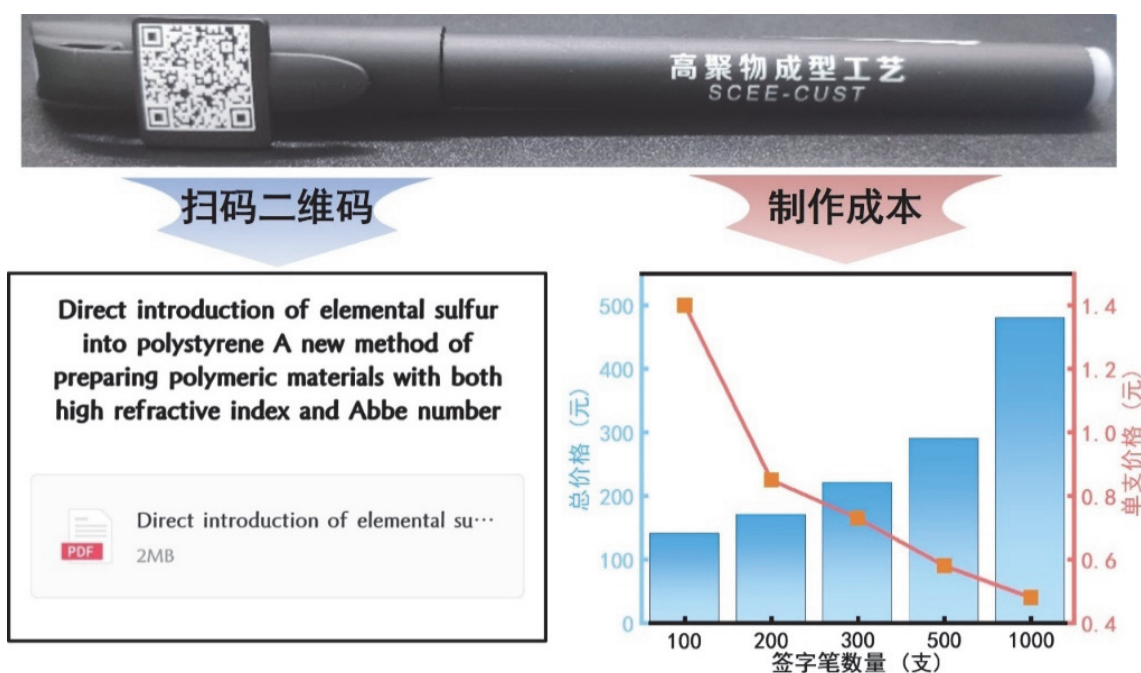


图6 课程定制的签字笔照片、扫码出现的内容和签字笔成本趋势

此外，课程还鼓励学生计算签字笔的生产成本，并分析不同批量下单支笔的成本。学生将依据不同订购数量(如100支、200支、300支、500支、1000支)计算每支笔的成本。随着订购数量的增加，单支笔的成本会逐渐下降，因为固定成本在更多的产品中得到分摊。通过这样的成本计算和分析，学生不仅可以直观地了解我国高分子加工产业的先进水平，还能学习到基本的成本管理方法和思路。这种分析不仅帮助学生感受到我国高分子加工产业的发达程度，也提高了他们对工程和经济角度的综合理解。“看得见多远的过去，就能走得向多远的未来”。结合世界高分子发展史以及我国高分子发展史，可以进一步从历史的角度更为立体的阐释和剖析高分子学术界和产业届现状<sup>[12-20]</sup>。

## 4 “项目+专利+论文”协同一体化教学模式实践及改革成效

课程组成员教师将实践项目、知识产权保护意识以及科研论文撰写的要素融入课堂教学，使教学内容更加丰富多元，并逐步形成“项目-专利-论文”一体化新型教学模式，为学生提供更加全面、立体的学习体验。通过线上教学平台建立“项目-专利-论文”线上课堂资源库，结合线上线下混合教学方式，打破时间与空间限制，学生可以根据个人安排和时间灵活选择学习资源和参与讨论，能够有效激发学生对“大光电学科体系”中特色的高聚物成型工艺知识的学习兴趣和实际应用意识。加深对高分子结构和性能之间关系的理解，增加学习主动性和参与意识。同时，学生在完成项目任务

的过程中需要与他人合作,不仅能培养学生的团队协作能力,还能提升沟通技巧和解决问题的能力。最后在课堂上明确指出授权发明专利和已经发表的高水平论文对于新的科研项目申请的强支撑作用,形成闭环从而进一步加深理解。以发表的论文中涉及的技术路线为例,特别是有关连续挤出技术的内容加以强调和讲述,更可以让学生将其与自己设计和思考的技术路线进行横向对比。“项目-专利-论文”三个互相关联却又截然不同的部分通过时间线串联在一起,使学生对于项目申请和管理的时间节点,以及专利从申请到授权所需要的时间节点,和文章发表的相关时间节点的接触与理解,同样对于学生的时间管理能力有一定的提高,有助于未雨绸缪,在理解科研活动重要性的同时对于时间规划乃至人生规划有了更深层次的理解和认识,培养学生多维综合素质。

自2019年开始,课程团队在“高聚物成型工艺”的课程内容和教学方法上进行“项目+专利+论文”教学模式的实践并逐步完善提高,尝试培养学生创新能力,指导学生撰写国家专利和科研论文。自改革实施以来,学生参与科研活动的比例整体增加,完成课堂学习的学生已参与并发表科研论文8篇、申请并授权专利3项(见图7)。在2019至2024学年,课程班级中授权专利或发表SCI论文的学生在执行此模式后数量整体保持稳定,这一趋势验证了“项目-专利-论文”一体化教学模式的可持续性。课程团队教师历年教学评价均在94分以上,“高聚物成型工艺”获评2021年校级课程思政示范课、2023年校级一流课并顺利结题,证明了该模式在提升课程质量和影响力方面的有效性。得益于该模式从科研项目入手的优势和一体化教学模式,使得同样的教学模式在加深科研深度之后,同样适合研究生教育。课程组负责的研究生课程“高分子结构与性能”同样引入“项目-专利-论文”一体化教学模式进行改革实践,并获得了2023年吉林省省级研究生精品课立项支持,进一步体现了该教学模式的可推广性、先进性和实用性。

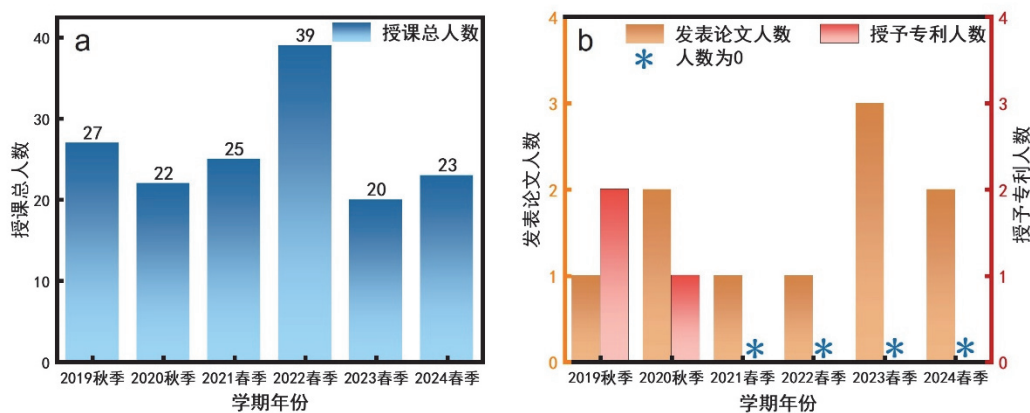


图7 完成课堂学习的同学在毕业前参与发表SCI论文和申请专利并最终获得授权的人数

## 5 结语

在不断探索和研究中,我们结合“高聚物成型工艺”课程的专业特点,构建了特色鲜明的“项目-专利-论文”一体化教学模式,注重理论知识传授的同时,更强调实践能力、创新能力和学术素养的培养。通过项目驱动,引导学生深入探索高聚物成型工艺的科学问题,培养创新思维和实际问题解决能力,为知识产权保护提供实践机会,指导学生将研究成果转化为具有产权保护的专利。其中包括了解专利申请的基本流程、掌握撰写专利申请文件的技巧。对于论文发表,鼓励学生将研究成果整理成科研论文,并在学术期刊上发表,将科研工作转化为学术贡献。这一模式将理论知识和实践活动紧密结合,极大激发学生的科研兴趣和创新热情。同时学生在探索科研中的反馈也促使教师改进教学策略,形成教学相长的良性循环,从而整体提升教学质量。此外,“项目-专利-论文”一体化教学模式不仅适用于“高聚物成型工艺”课程,也可推广至其他相关高等教育化学专业课程,并

通过校企合作、创新实验室的建立等途径进行进一步推广和应用。该模式与当前教学改革中强调的“产学研结合”和“以学生为中心”的理念高度契合，不仅符合教育现代化的要求，也为国家创新型人才的培养提供了重要支撑，具有很高的现实意义和推广价值。

### 参 考 文 献

- [1] 习近平: 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告. [2024-10-16]. [https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content\\_5721685.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm)
- [2] 汪靖伦, 周虎, 郑柏树, 李国斌, 岳明, 周智华. 大学化学, **2024**, *39* (7), 93.
- [3] 魏秋红, 李慧亮, 唐然肖, 吴秋华, 蒙涛, 陈晓翠, 张帅华. 大学化学, **2022**, *37* (11), 2203052.
- [4] 刘巧宾, 孙金鹏, 王晓蓓. 云南化工, **2022**, *49* (6), 173.
- [5] 潘艳飞, 黄金田. 中国教育技术装备, **2023**, (13), 111.
- [6] 张文会, 雷传文, 潘博文. 大学化学, **2023**, *38* (5), 101.
- [7] Jiang, L.; Kong, R.; Yi, Y.; Yang, S.; Mei, Y.; Feng, X.; Yao, Z.; Zhang, J. *Polymer* **2019**, *180* (10), 121715.
- [8] Bernardi, F. M.; Pazinato, M. S. *J. Chem. Educ.* **2022**, *99* (3), 1211.
- [9] 秦建彬, 史学涛, 张广成, 狄西岩, 顾军渭, 闫毅. 大学化学, **2022**, *37* (3), 2105050.
- [10] 张健夫, 易宇亮, 梅宇, 李子新, 丰晓飞, 蒋丽萍. 一种高折射率含硫聚苯乙烯的制备方法: 中国, CN111 825 925. B[P]. 2022-05-31.
- [11] Parchmann, I.; Broman, K.; Busker, M.; Rudnik, J. *Chemistry Education: Best Practices, Opportunities and Trends*, 1st ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2015; pp. 259–277.
- [12] Vos, M. A. J.; Taconis, R.; Jochems, W. M.; Pilot, A. *Int. J. Sci. Educ.* **2011**, *33* (10), 1407.
- [13] Staudinger, H. *Über Polym. Ber. Dtsch. Chem. Ges.* **1920**, *53*, 1073.
- [14] 刘晓霞, 江明. 高分子通报, **2011**, No. 6, 1.
- [15] 江明. 科学, **2009**, *62* (6), 1.
- [16] Morawetz, H. *Polymers: The Origins and Growth of a Science*. John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 1985; pp. 1–306.
- [17] 江明. 高分子学报, **2017**, No. 9, 1382.
- [18] 董建华. 高分子通报, **2019**, No. 1, 1.
- [19] 安立佳, 陈尔强, 崔树勋, 董侠, 傅强, 韩艳春, 何嘉松, 胡文兵, 胡祖明, 江明, 等. 高分子学报, **2019**, *50* (10), 1047.
- [20] Qin, B.; Zhang, X. *CCS Chem.* **2024**, *6*, 297.