特稿与约稿

# 国际视野下化工高等教育研究的现状、问题及未来发展趋势分析

李清彪[1,2],孙道华[2]

(1.集美大学 食品与生物工程学院,福建 厦门 361021;2.厦门大学 化学化工学院,福建 厦门 361005)

[摘要]为了解化工高等教育发展的新态势,文中运用文献计量学方法,对国内外化工高等教育研究论文进行了检索分析。对比论文产出情况发现,与工程教育强国相比,我国化工高等教育研究的高水平论文产出偏少,且缺少原创性和引领性。通过梳理和分析论文主题词获知,当前全球化工高等教育研究呈现出从关注"如何教"转变为关注"如何学",更加注重教与学的方式变革、培养过程和成效的发展态势。从全球工程教育领导者的案例分享可以看出,未来的工程教育需要更富有变革性的新理念和新方法。

[关键词]化工;高等教育;文献计量学;工程教育

# Ananlysis on the Current Status, Challenges and Future Development Trend of Chemical Engineering Higher Education in Global Perspectives

Li Qingbiao[1,2], Sun Daohua[2]

(*1. College of Food and Bioengineering, Jimei University, Xiamen, Fujian 361021; 2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005*)

**Abstract**: This paper reviews and analyzes the literature from China and abroad on chemical engineering higher education using bibliometrics in order to reveal the new trends in university teaching and learning on the subject. In comparison with countries owning strong engineering education, the high quality papers on chemical engineering higher education are relatively few from China in terms of output, not to mention those of originality and leading quality. From the key words analysis, it is found that a shift from "how to teach" to "how to learn" emerges as a contemporary global trend in chemical engineering higher education. Namely, it emphasizes more on the outcome based education with necessary changes in the traditional roles between teaching and learning. Some cases analysis was given at the end of the paper to share the successful experiences of the leaders in global engineering education. It is clear that new con-

[作者简介]李清彪(1963-),男,教授;孙道华(1975-),女,副教授。

[通信作者]李清彪,E-mail:kelqb@xmu.edu.cn;qbli@jmu.edu.cn。

cepts and methodologies with transformational effects are required to meet the demands for new generation engineering education.

**Key words**: Chemical engineering; Higher education; Bibliometrics; Engineering education

现代化学工程学科是19世纪末为适应化学品大规模生产的需要，在工业化学基础上逐步形成的一门工程技术学科。1887年，“化工之父”George E Davis为把多年在化工厂实践积累的知识传授给学生，在曼彻斯特技术学校(Manchester Technical School)开设了12堂课，首次提出“化学工程”的概念[1]。1888年，麻省理工学院(MIT)化学系的Lewis M Norton基于化工实践，在工业化学的基础上增加了机械工程内容，开设了第一门以“化学工程”命名的学士学位课程，即著名的第十组课程(Course X)。这成为化学工程学科诞生的标志，化工高等教育的序幕也由此拉开。1921年，MIT组建第一个化工系，将机械系的流体力学、传热学和化学系的热力学、动力学、扩散、混合等核心内容进行整合，确立了化工单元操作课程的理论体系。

Phillip C Wankat指出[2]，化工高等教育的百年发展历程共经历了三次大的变革。第一次是从1887年至二战时期，化工高等教育从工业化学走向化学工程。第二次是从二战后至1997年的工程科学革命，化工高等教育增加了数学、物理、机械、工程等基础性学科及大工程学科的内容。这两次变革都围绕教学内容的革新展开。第三次变革始于1997年ABET工程认证标准2000的实施，化工高等教育从关注教学内容转变为强调学习成效，从关注教什么转向关注教学效果。历经三次变革后，化工专业的课程教学内容已基本完善，课程体系已基本成形，这意味着化工高等教育的学科专业属性逐渐凸显，未来的关注重心将向教育学属性转移，更注重教学过程和成效，即从过去的“教什么”逐渐转移到“如何教”，以期让学生取得最佳学习效果，从而达到最初设置的教育目标。这也是近年来欧美国家一流大学化工专业课程体系发展的趋势。从教学内容看，欧美国家一流大学的化工专业课程体系包含通识课程和专业课程两个模块，其中专业课程模块包含自然科学、工程知识和综合设计实践三个层次。在教学内容达成共识的基础上，如今欧美国家的化工高等教育更重视教学设计和过程，关注如何教，注重创造良好的学习环境，强调教学成效，这也预示着化工高等教育的第四次变革方向。为明确化工高等教育未来的变革方向，本文通过检索分析国内外化工高等教育研究的相关论文，了解我国化工高等教育研究的现状；通过论文关键词和主题词的梳理分析，明确全球化工高等教育研究的变革方向及近五年的研究热点；最后通过全球工程教育领导者的案例分享，获知当前工程教育前沿的新理念和新方法。

## 一、从论文产出情况看我国化工高等教育研究现状

学术论文是衡量研究水平的重要指标之一，对比分析国内外化工高等教育研究领域的论文产出情况，可大致了解我国化工高等教育研究的现状。

图1所示为1980年以来化工高等教育领域发文且被SCI/SSCI收录较多的国家。从图中可知，美国论文发表数量是我国的6.5倍，西班牙是我国的2.4倍。如果剔除会议论文，只计算综述(review)和研究论文(article)两种类型的学术论文，那么我国只有14篇，美国有195篇，是我国的13.9倍，同时，西班牙、英国、巴西、德国、法国、南非、加拿大、澳大利亚、瑞典的化工高等教育领域的论文发表数量均超过我国。

图2所示为1980年以来化工高等教育领域发文且被EI收录较多的国家。从EI数据库检索可知，化工高等教育研究论文共计1 982篇，其中中国有28篇，美国有671篇，是我国的24.0倍，而英国、西班牙、澳大利亚、加拿大、德国、马来西亚、南非的EI论文数量都超过了我国。

通过检索CNKI数据库得到的国内化工高

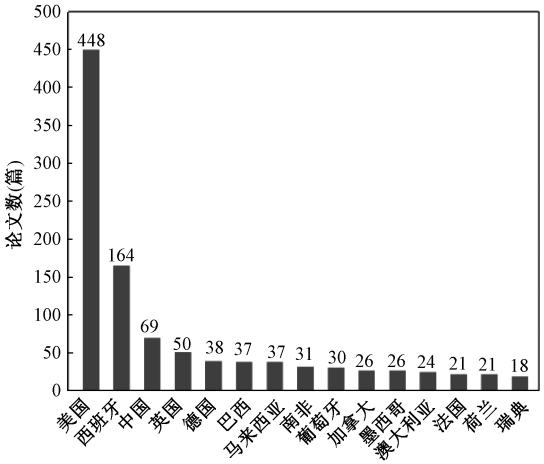


图 1　1980 年以来化工高等教育领域被 SCI/SSCI 收录的论文发表较多的国家

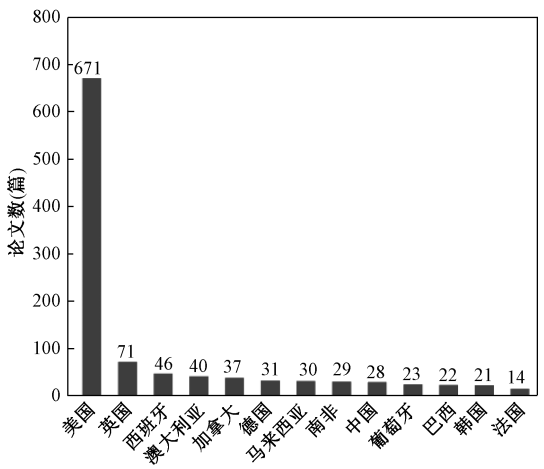


图 2　1980 年以来化工高等教育领域发文且被 EI 收录较多的国家

等教育研究论文的产出情况如图 3 所示。从图 3 可知，1980 年以来，国内化工高等教育研究论文共计 5 322 篇，但是代表高水平论文来源的 CSCD 和 CSSCI 数据库仅收录了其中的 52 篇，核心期刊论文也只有 202 篇。可见，我国化工高等教育领域的高水平研究论文数量不多。

以上结果表明，相较于国外一些国家，我国化工高等教育研究状况令人担忧。虽然论文产出数量较多，但被 SCI 及 CSCD 等数据库收录的高水平论文数量偏少，与工程教育强国相比存在不小的差距。这说明在化工高等教育研究领域，我国还缺少原创性或引领性的研究论文，目前尚处于跟跑阶段。

为找出差距及产生的原因，我们分析了国内

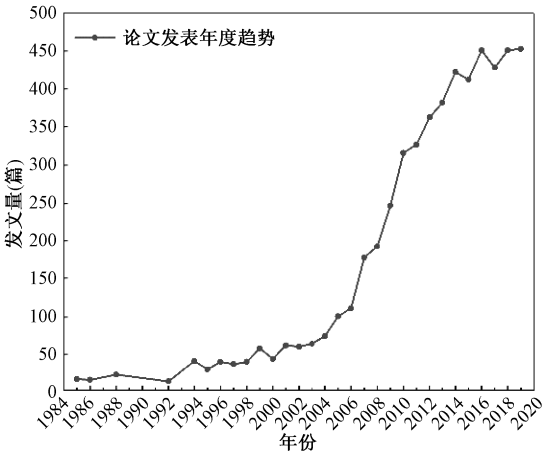


图 3　1980 年以来 CNKI 收录的我国化工高等教育研究论文数量增长趋势

化工高等教育研究论文的产出机构。图 4 列出了 1980 年以来国内化工高等教育研究论文发文量排名前 30 位的机构。由图 4 可以看出，在这些机构中，有三分之一是职业技术学院。进一步分析近 5 年发文量最多的机构发现，发文量排在前 5 名的机构中有三家是职业技术学院(见图 5)。这是否表明，国内本科院校的工科教师过于重视科学研究而忽视教学研究？

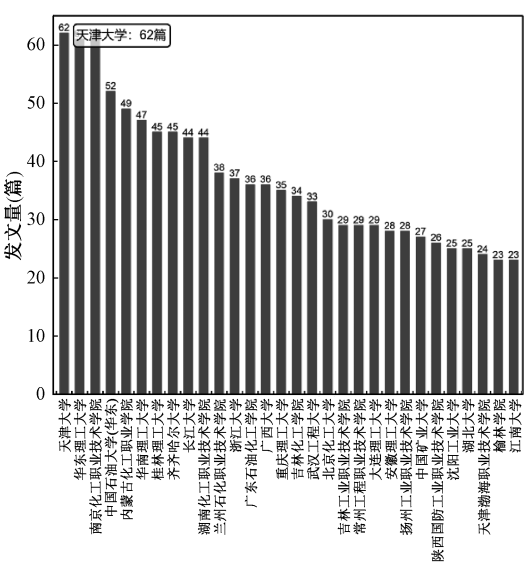


图 4　1980 年以来国内化工高等教育研究论文发文量排名前 30 位的机构

2018 年麦可思针对各类型本科院校工科专业教师基本教学能力胜任比例的调查数据显示[3]，从学生的评价看，工科教师的“信息技术使用技能”得分最高，而“有效的表达技巧”“设计教

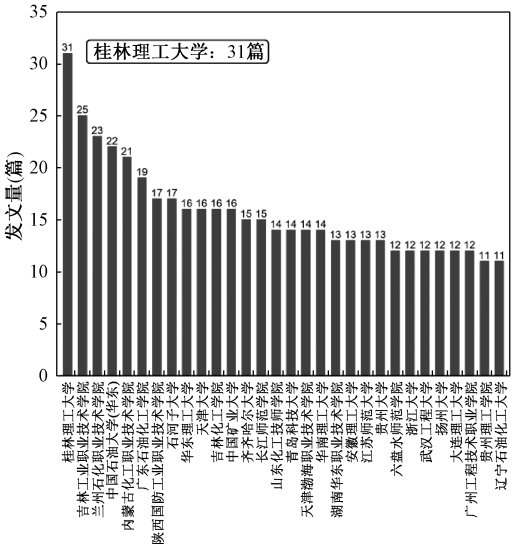


图 5　2015—2019 年国内化工高等教育研究论文发文量排名前 30 的机构

学方法和教学材料”“促进知识和技能的迁移”“有效的学习引导技巧”“激发并维持学生学习动机和投入”等体现教学技能和方法的指标得分普遍偏低。这表明我国本科院校工科教师的教学经验还需丰富、技能和方法有待提高，他们迫切需要加强教育学、心理学等教育教学相关学科知识的学习。

早在 1990 年，美国著名学者博耶就提出了教学学术的概念，倡导从专业角度看待教学。与科学研究一样，教育教学研究也是大学教师必须开展的学术活动。在美国，工科教师参与工程教育研究是一项传统，美国工程教育发展历程中的很多著名的研究报告都是由工科教师牵头甚至亲自调研并执笔完成的[4]。因此，合格的大学工科教师既要具有较高的学科专业水平，又要时刻关注全球教育发展的趋势和面临的挑战，关注教育教学技术的最新应用和发展，不断提升教学学术研究的能力和水平。对于我国大学化工专业教师来说，这一点更加重要。

## 二、从论文高频主题词看化工高等教育研究的热点及发展新态势

本文选取 SCI/SSCI 和 EI 数据库作为检索分析数据的来源，以化工高等教育为主题对 1980 年以来的论文进行了检索和分析，得到的高频主题词如图 6 所示。由图 6 可知，出现频次超过 100 次的主题词有 13 个，其中，“students”超过 1200 次，“curricula”和“teaching”都超过 600 次，这表明，国外的化工高等教育以学生、课程、教学为中心和重心。其他高频主题词还反映出国外化工高等教育以“问题解决”为教与学的方式或培养目标，注重教学与社会的联系，注重学习系统的研究，注重学生工程管理和工程研究能力的培养，注重教学在化学工业中的应用。出现频次为 50～100 次的主题词有 16 个，反映出国外化工高等教育注重新技术在教学中的应用，注重学生的个性化培养，注重实验教学，注重培养学生的可迁移能力（调查研究、数学模型等）和社会责任感（可持续发展、社会因素等）。出现频次为 30～50 次的主题词有 22 个，反映出国外化工高等教育注重学生跨学科知识的广度（生物技术、环境工程、事故预防等），注重培养学生的学习和研究能力（研发管理、知识收集、职业发展、专业认证、E-learning、技术写作等），注重激发学生的学习动力和热情。

通过对主题词的汇总分析，我们可以获知化工高等教育研究呈现出以下三个发展态势：1.最关注学生如何学，尤其注重研究各种新出现的学习方式，如协作/合作学习、项目导向学习、研究性学习、基于问题的学习、同伴辅助学习等；2.注重教学变革，研究各种教育技术、理论和方法，如项目驱动式教学、可持续教育学、教学心理学、实践教学等；3.重视教与学的目标成效，重视培养的过程和结果，对学生知识和能力的要求愈发多元和全面，如批判性思维、问题解决/决策能力、领导力、可迁移能力、专业胜任力、对专业和环境的责任感等。

为了了解当前的化工高等教育研究热点，我们把论文检索时间限定在近 5 年，通过分析相关论文获知，全球化工高等教育研究的新热点主要包括：注重个性化培养过程，注重对毕业生、新生、高年级学生、二年级不同阶段学生的教育的研究，注重对翻转课堂、互动学习环境等学习支持环境的研究，注重教与学关系的研究。

2018 年 MIT 从全球工程教育机构中遴选出十所“当前的工程教育领导者”和十所“新出现的

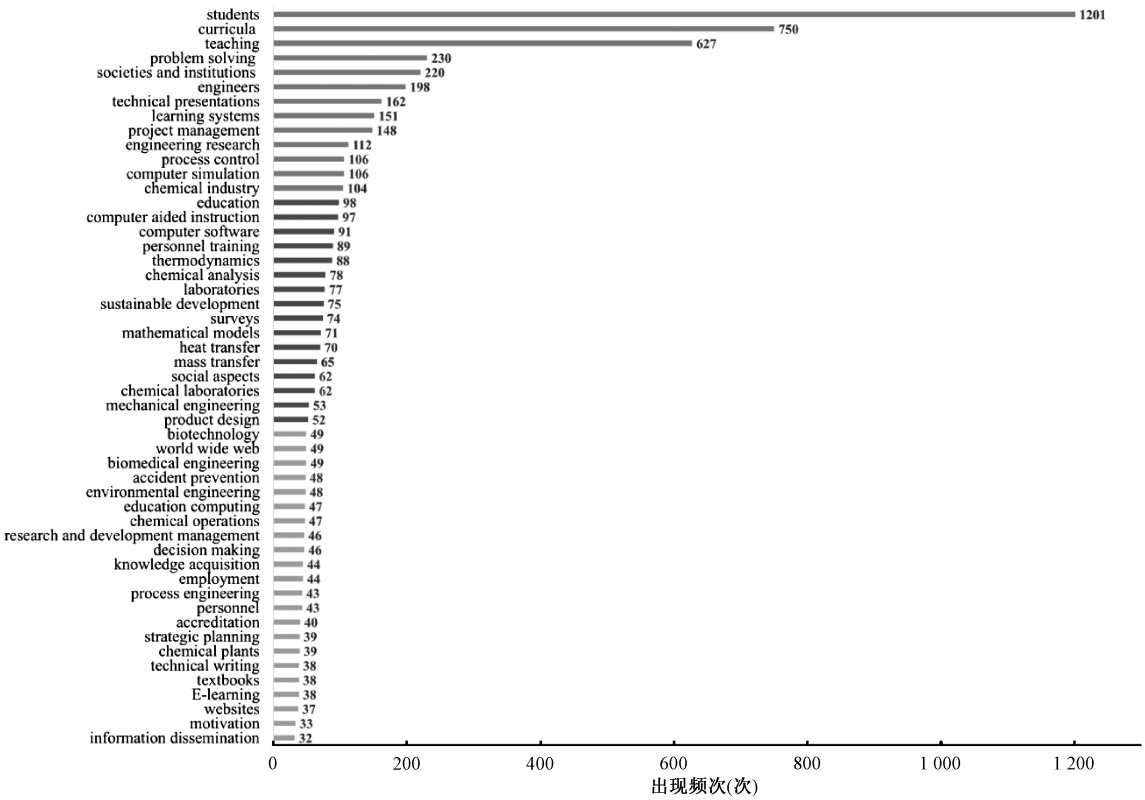


图 6　1980 年以来国外化工高等教育论文出现频次较高的主题词

工程教育领导者”，梳理各自最新的工程教育理念和方法[4]。结果发现，这些理念和方法的取向与本文主题词归纳分析得出的结论大多吻合。如提出以学生为中心的教育理念，给学生更多的选择权，在基础核心课程之外提供创新创业、服务学习、实践实习、研究方法等更多有竞争力的主题。再如注重培养学生的社会责任感，强调工程师在社会上的角色、责任感和道德，培养学生的全球化视野和跨文化工作的能力，注重跨学科整合知识能力、跨学科高效工作能力、整合工程内外能力的提升。

**三、全球前沿工程教育理念和方法的案例分享**

为了更好地呈现工程教育未来的变革理念、方向和方法，本文从 2018 年 MIT 评选出的工程教育领导者中选取 4 所大学作为案例，分享其工程教育的新理念和新方法[5]。

新加坡科技设计大学是“新出现的工程教育领导者”中走在最前沿的大学，其工程教育新理念和新方法的突出特点包括：1.基于设计和制造的实践性工程背景学习贯穿始终，强调基于设计的主动学习，各种开放设计活动和项目贯穿整个课程体系。2.该校积极与 MIT 合作，教学团队虽来往于两个国家，但设计活动和项目贯穿整个课程体系，跨学科教学团队之间、课程体系中的不同课程之间、学生校内外正式与非正式学习之间保持良好的连贯性。3.注重跨学科学习，不受限于传统的工程学科架构，也不提供传统的工程学科学位。学生第一学年学习通用知识，第二和第三学年才在 4 种跨学科的专业中选择自己的专业。4.提供不限于传统工程专业学习的更广泛的学习体验，包括研究机会、工业实习、本科教学机会、人文和社会科学课程等，通识课程贯穿大学四年。

澳大利亚查尔斯特大学也是“新出现的工程教育领导者”，其工程教育新理念和新方法的突出特点包括：1.五年的课程分为两个模块，学生第一阶段在校内围绕一系列基于项目的设计挑战进行结构化学习，沉浸在更广泛的工程社会背景中，第二阶段在校外基地开展带薪的实际工作和学习，为职业和就业做好准备；2.强调自主学习和以学生为中心的实践性学习；3.几乎所有的工程技术内容（包

括知识获取和技能开发)都被划分为多组“主题”,灵活嵌入在线学习平台,供学生随时学习。

伦敦大学是“当前和新出现的工程教育领导者”,其工程教育新理念和新方法的突出特点包括:1.采用理论与实践相结合的课程结构,所有工科院系前两年都采用统一的、为时五周的课程循环,前四周让学生学习关键工程技能和知识,第五周则让学生通过解决集约化的设计项目,将知识应用于真实的工程问题,在实践中加强学习;2.跨学科的学习交流,所有工科院系学生在为期两年的研究中共同参与多学科的项目和模块;3.从以教师为中心传授工程知识转变为以学生为中心开展项目学习。

荷兰代尔夫特理工大学也是“当前和新出现的工程教育领导者”,其工程教育新理念和新方法的突出特点包括:1.重视学科知识学习,尤其是数学、机械和工程基础学科;2.强调以设计为中心的学习;3.营造有抱负的文化,重视主动学习和实践性学习;4.注重校内外混合学习和在线学习。

通过案例分享可知,在教育新态势下,全球工程教育领导者都采取了积极的应对策略,采用各具特色的新理念和新方法,围绕“以学生为中心”,践行“系统、整合、自由、灵活”的教育理念。这些新理论和新方法为我国化工高等教育的发展提供了新的思路。

## 四、结语

本文通过对国内外化工高等教育研究论文产出情况和高频关键词的分析,以及工程教育新理念和新方法的案例分享,发现化工高等教育从关注“如何教”转变为关注“如何学”,且更加注重教与学的方式、培养过程和成效,这是化工高等教育在信息时代发展的必然趋势。信息技术的迅猛发展给教育带来颠覆性的变革,具有不受时空限制、高度自主、以学习者为中心等特点的学习方式层出不穷。翻转课堂、线上线下混合式学习、研究性学习、问题探究式学习等更强调让学生拥有自由、高效的学习过程,获得最佳的学习体验和效果,这些学习方式正走进我们的课堂。

应对此变革,我国的化工高等教育需要加快改革步伐。近年来,虽然国内的工程教育受到更多重视,但人们对工程教育研究的关注依然不够。尤其是在化工高等教育研究方面,与美国等工程教育强国相比,我国的研究力量偏弱,研究人员学术水平偏低,缺少领导力和原创力,化工专业教师开展教育教学研究的意识和能力仍需进一步提升。教育管理者要有系统观念,在教育实践中贯彻跨课程、跨项目、跨学科、跨文化、跨国界、跨空间、跨理论与实践、跨校企合作的理念,通过技术变革,为学习者提供数字学习生态系统。教师要突破知识传播者的传统角色,树立“以学生为中心”的教育理念,围绕学生当前的成长及未来的需求开展教学。《2019 年地平线报告》中提出了高等教育面临的多项挑战[6],并强调教师适应新技术、新环境的能力可能会成为促进高等教育创新发展的重要因素。因此,教师只有不断学习新的教育技术和技能,不断积累教学经验,才能保持较高的教学效能。在教育新态势下,化工高等教育领域需要一批具备“三维”(富有激情、充满爱心、魅力十足)和“四术”(教学的学术、整合的学术、探究的学术、应用的学术)能力的教师,以助力我国从化工教育大国走向化工教育强国。

(文字编辑:李丽妍)

**参考文献:**

[1] Science History Institute. The first century of chemical engineering[EB/OL]. https://www.Science history.org/distillations/the-first-century-of-chemical-engineering.

[2] Wankat P C. Progress in reforming chemical engineering education [J]. Annual Review of Chemical &Biomolecular Engineering,2013,4:23-43.

[3] 麦可思公司.麦可思 2018 年大学师资发展与保障评价[R].2018.

[4] 雷环,王孙禺. 工科教师的结构:以中美研究型大学为例[M]. 北京:社会科学文献出版社,2016:87.

[5] Massachusetts Institute of Technology. The global state of the art in engineering education[R]. 2018.

[6] EDUCAUSE. Horizon Report: 2019 higher education edition [R]. 2019.