

# 聚焦学生解决复杂工程问题能力培养的 化工原理课程三维立体式教学模式 探索与实践<sup>\*</sup>

孟秀霞,张津津,庄淑娟,黄昊飞,王 平,杨乃涛

(山东理工大学 化学化工学院,山东 淄博 255049)

**[摘要]**针对学生解决复杂工程问题能力不足的问题,山东理工大学化工原理教学团队基于 OBE 理念,构建了三维立体式教学模式,从知识、能力、素质三个维度提升学生的综合应用能力。任务导向的“课前一课中—课后—高效学习支持系统—系统评价”混合式教学设计,旨在提高学生的知识吸收率;以学科竞赛和工程案例为载体构建的课程综合知识体系,旨在提升学生的创新应用能力;课程思政元素的嵌入,旨在增强学生的综合素质。该教学模式的实施有助于提升学生的综合应用能力,同时为提升教师的整体教学水平奠定了基础。

**[关键词]**化工原理;复杂工程问题;教学模式;课程思政

## Exploration and Practice of Three-dimensional Teaching Mode in Unit Operations of Chemical Engineering Focused on the Cultivation of Students' Ability to Solve Complex Engineering Problems

Meng Xiuxia, Zhang Jinjin, Zhuang Shujuan, Huang Haofei,  
Wang Ping, Yang Naitao

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University of Technology,  
Zibo 255049, Shandong, China)

**Abstract:** In view of the lack of students' ability to solve complex engineering problems, the teaching team for unit operations of chemical engineering in Shandong University of Technology has constructed a three-dimensional teaching mode based on OBE concept to improve students' comprehensive application

**[作者简介]** 孟秀霞(1974-),女,教授。

**[通信作者]** 孟秀霞,E-mail: mengxiux@126.com。

<sup>\*</sup> 基金项目:2019 山东省一流本科课程;山东理工大学课程思政项目-化工原理。

ability from the three dimensions of knowledge, ability and quality. The mixed teaching design, based on task oriented pre-class, in-class, after-class, efficient learning support system and systematic evaluation, aims at improving knowledge absorption rate of students. Taking subject competitions and engineering cases as carriers, the curriculum comprehensive knowledge system is constructed to improve students' innovative application ability. Embedding ideological and political elements in the curriculum enhances students' comprehensive quality. The implementation of this teaching mode is of great help to the improvement of students' comprehensive application ability, and lays a foundation for improving teachers' overall education and teaching level.

**Key words:** Unit Operations of Chemical Engineering; Complex engineering problems; Teaching mode; The ideological and political education

工程教育认证标准中指出,本科工程教育的基本定位是培养学生解决复杂工程问题的能力<sup>[1-2]</sup>。对于化工专业来说,学生解决复杂工程问题能力的培养需要以各门课程目标的达成为前提<sup>[3-5]</sup>。化工原理作为化工类专业的一门专业基础课,在课程体系占据重要地位。通过该课程的学习,学生要树立工程观念,掌握处理复杂化工问题的基本思路和方法,为后续的专业课学习奠定基础。但是,传统教学的弊端导致学生解决复杂工程问题的意识不足,主动探索意识和创新意识不足,实践能力不突出。为此,山东理工大学化工原理课程教学团队聚焦学生解决复杂工程问题能力的培养,不断推进课程教学改革,将教学、综合知识体系、课程思政等进行一体化设计,构建了三维立体式教学模式(见图1),从知识、能力、素质三个维度提升学生的综合应用能力,同时加强教学团队建设,提升教师的教学水平。

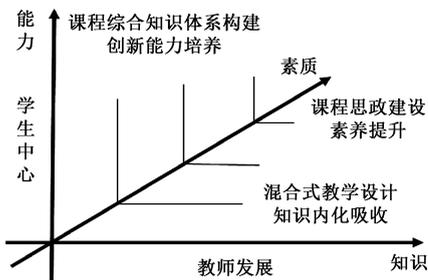


图1 知识、能力、素质三维立体式教学模式

### 一、基于 OBE 理念的混合式教学设计

在传统教学中,教与学分离,学生参与度不高、知识吸收效率低且掌握不够牢固。他们在面对复杂工程问题时往往不知所措,主动探索性也

不强,往往在考前临时突击,使得教学很难达到既定的要求。为此,化工原理课程教学团队集思广益,充分发挥任务导向式教学的优势<sup>[6]</sup>,以 OBE 理念为指导<sup>[7]</sup>,进行“课前一课中—课后—高效学习支持系统—系统评价”的混合式教学设计(见图2),鼓励学生全程参与教学过程,促进学生对知识的内化和吸收,为其解决复杂工程问题奠定知识基础。

课堂教学以学生为中心,以教学任务完成为目标,分为课前、课中、课后三个阶段。高效学习支持系统保障学习目标的达成。教学效果评价采用终结性评价和形成性评价相结合的方式,评价结果可以反映课程目标与要求的达成情况,并作为持续改进的依据。

课前,教师在网络教学平台上以多媒体课件或动画模型的形式发布竞赛题目、典型工程案例、生活案例等导学任务,引导学生完成预习,再根据学生的预习情况优化教学设计。课中,教师以学生知识内化吸收为核心目标,采用讲授与讨论的方式进行教学,精讲部分知识点,引导学生通过小组讨论、翻转课堂、自主解决实践性问题等方式,分析学习任务,掌握学习重点和难点,完成知识的内化和吸收。课后,教师除布置常规作业外,还布置一些综合类、开放式、思政小专题等探讨性任务,引导学生自主收集资料并撰写报告,培养学生的创新思维,关注学生的个性发展。

建立高效学习支持系统是提升教学效果的关键步骤,该系统注重线上和线下同步辅导。学生

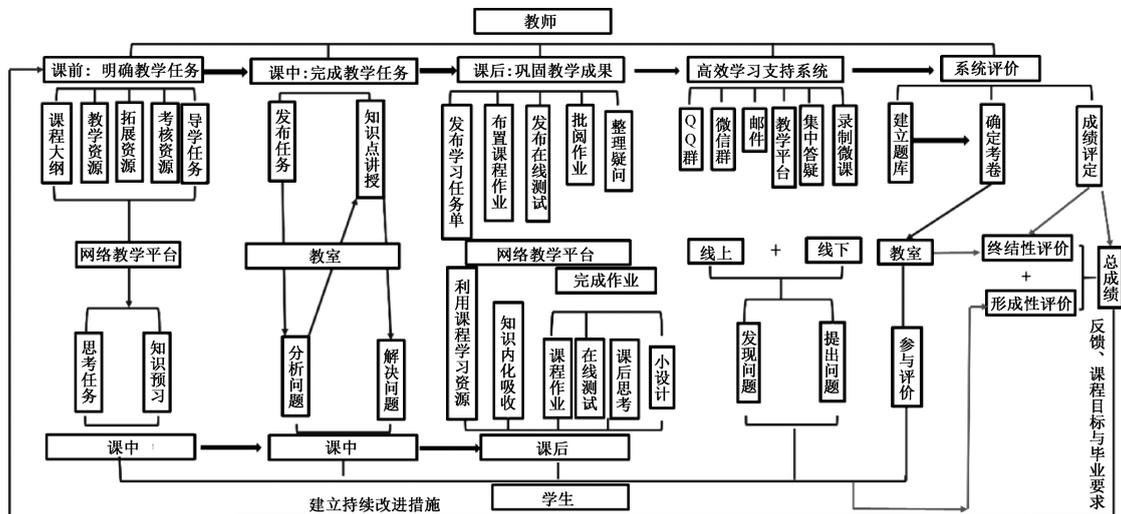


图2 以学生为中心的混合式教学设计

在遇到困难时,可以通过网络教学平台、QQ群、微信群、电子邮件等与教师交流。对于学生遇到的共性问题,教师安排集中答疑,或录制微视频上传至教学平台供学生观看;对于学习困难的学生,教师建立持续帮扶机制,并给予其特殊指导,以促进教学目标的达成。

科学合理的评价机制是高质量教学的保证。本课程采用形成性评价和终结性评价相结合的多元化评价方式(见图3),以提升学生的综合素质。形成性评价注重学习过程和学习阶段性成果的评价。教师引导学生以成果为导向,

积极参与以学生为中心的教学活动,并通过课后作业、课堂讨论、在线测试、思政小专题、小设计以及任务参与情况等评价学生的学习效果。终结性评价以课程目标为导向,依据“教考分离”原则,采用统一命题、统一组织、平行阅卷的方式,考核思政教育效果和学生分析与解决问题的能力。根据考核结果,教师对学生的总成绩进行系统分析,并反馈课程目标与毕业要求的达成情况。对于达成值小于100%的目标,教师进行总结并制定持续改进措施,及时改进教学方法和模式。

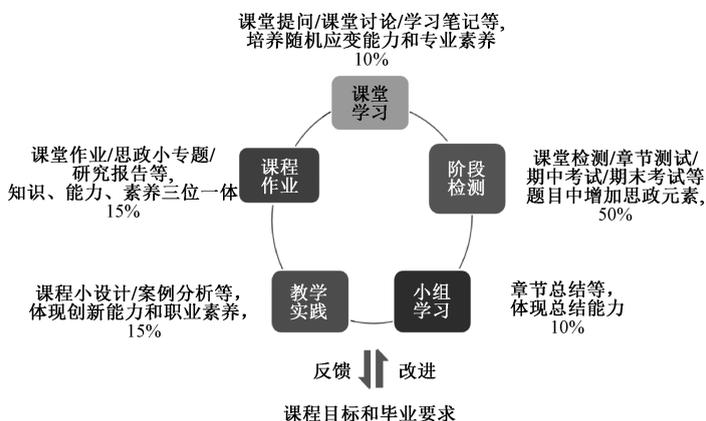


图3 形成性评价和终结性评价相结合的评价方式

## 二、以课程目标为导向的课程综合知识体系构建

复杂工程问题的解决需要依靠学生的知识、能力、素养。为了使将知识、技术、方法融会贯通,教师在教学中有必要选择适当的载体,使学

生经历系统知识的构建与应用过程,并形成一定的创新意识。在化工原理课程中,教学团队基于OBE理念,以成果需求为导向,以课程目标为指南,优化教学内容,整合教学资源,构建了课程综合知识体系,以提升学生的知识应用能力,培养学

生的创新能力。

首先,教学团队依据课程目标将教学内容分为学习基本要求、学习重点和难点三部分。其中,学习基本要求主要包括单元操作的基本知识、基本原理,强调专业知识和工程意识和专业素养的培养;学习重点从知识、能力、素质三个维度体现;学习难点则是需要利用基础知识、基本技能、基本素养进行分析的复杂工程问题。针对学习重点与难点,我们构建了“生活—工程—科研”层层递进的案例式教学模式,全面提升学生的学习兴趣,培养学生的工程观念,提升学生的创新意识。如在讲授热传导基本方程式时,我们先在课堂中提出“热水瓶为什么能保温”的问题,引导学生分析气体的保温原理;然后以管道的保温设计为例,通过分析其工作原理,使学生建立工程的概念;进一步通过科研案例与课程内容相结合的方式,引导学生分析现象、联系原理、大胆创新,从而提高学生的学

习兴趣,突破教学难点;之后引导学生思考我校毕玉隧教授发明的化学发泡剂引发的聚氨酯泡沫的保温原理。

其次,教学团队以学科竞赛、典型工程案例为载体,构建了课程综合知识体系,并建立了相应的教学模块,从理论解析、所需能力和素质等方面进行系统分析,以增强学生对复杂工程问题的分析、设计和优化能力。如讲解传热单元操作时,我们将竞赛题目(见表1)融入教学,让学生以小组为单位进行探讨,提出分析和解决问题的思路,并进行成果分享,以实现知识、能力、素养的全面提升。为了系统评价学生综合运用知识的能力,我们结合全国化工实验大赛和设计大赛,借鉴学科竞赛组织模式举办面向全体学生的校级化工设计大赛、化工实验大赛等,为学生提供实践的机会,以期提高学生分析和解决复杂工程问题的能力,提升学生的团队合作能力和思辨能力。

表1 以学科竞赛题目构建课程综合知识体系的示例

竞赛题目	综合能力
<p>工厂中有一台列管式换热器(管壳间不加折流档板),管内用较高压强的气体与管壳间的水逆流换热,可将流量 <math>G \text{ kg/h}</math> 的气体自 <math>80^\circ\text{C}</math> 冷却到 <math>60^\circ\text{C}</math>,冷却水的温度从 <math>20^\circ\text{C}</math> 升到 <math>30^\circ\text{C}</math>,总传热系数 <math>K = 40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})</math>。现需要将气体出口温度降到 <math>50^\circ\text{C}</math> 以下。</p> <p>讨论时共提出如下三条建议:1. 将水的流量 <math>W \text{ kg/h}</math> 增加一倍;2. 并联一台规格完全相同的换热器;3. 串联一台规格完全相同的换热器。假设无论采用并联或串联操作,每台换热器的冷水都是单独使用,而且流量 <math>W</math> 相同,水的进口温度均为 <math>20^\circ\text{C}</math>,传热温差均可用算术平均值计算。</p> <p>请计算以上三条建议中哪些是可行的。换热器内流体为湍流流动,忽略污垢热阻和热损失,忽略温度变化对流体物性的影响。</p> <p>已知水在强制对流传热时的传热系数关联式为 <math>h = 0.023 \frac{\lambda}{l} \left( \frac{lu\rho}{\eta} \right)^{0.8} \left( \frac{c_p \mu}{\lambda} \right)^{0.4}</math>, 式中 <math>h</math> 为对流传热系数,水的对流传热系数为几千 <math>\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})</math>,气体的为几十 <math>\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})</math>; <math>\lambda</math> 为流体的热导率(导热系数),单位为 <math>\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})</math>; <math>u</math> 为流体速度,单位为 <math>\text{m/s}</math>; <math>\mu</math> 为流体的黏度,单位为 <math>\text{N} \cdot \text{S}/\text{m}^2</math>; <math>\rho</math> 为流体的密度,单位为 <math>\text{kg}/\text{m}^3</math>; <math>c_p</math> 为流体的比热,单位为 <math>\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})</math>; <math>l</math> 为定型尺寸,单位为 <math>\text{m}</math>。</p>	<p>知识:涉及对流传热系数、影响对流传热系数的因素、总传热系数的影响因素和定量关系、传热温差、热量衡算、总传热速率方程、总传热速率方程的应用和强化传热方式等知识,以及流体流动与传热的系统知识,非常有利于学生掌握传热领域的相关知识</p> <p>能力:涉及利用热量衡算式的计算,换热面积的计算、对比与分析,同时要深入剖析三种情况改变了哪些变量、如何改变、定量关系如何,才能联合对流传热系数计算式、热量衡算式和总传热速率方程进行计算,可以锻炼学生分析、计算、综合能力与建立知识体系框架的能力</p> <p>素养:随着知识体系不断构建,学生的抗挫折能力、逻辑性、识别主次矛盾的能力和系统观念都能提到提升</p>

最后,教学团队优化教学资源,打造高效学习支持系统。传统的教学资源非常单一,难以满足学生高效学习的需求。为此,化工原理课程教学团队从多方收集资料,制作了新形态教学资源。其中,动态视图、视频可以从视觉上提升学生的学习兴趣;结合学科竞赛录制的化工原理(上/下册)在线开放课程(山东省高校联盟)可供学生自主学习,提升学习效果;学校网络教学平台上共享的课件、小视频、动态信息、学科前沿信息、考研资料、思政专题内容等资源,有助于提升学生的学习效率。此外,教学团队还在化工原理实验和课程设计的基础上,开设了课外自主实验和探究性实验,以提高学生的动手能力和探索意识。如乙醇-水精馏塔的提纯实验将理论与实际相结合,能够充分激发学生自主学习的动力<sup>[8]</sup>。

### 三、以学生培养目标为导向的课程思政案例库建设

复杂工程问题的解决不是一蹴而就的,需要反复尝试、不断改进和优化才能实现,这就要求具备抗挫折能力和协作意识。但传统的课程教学往往只注重知识传授,忽视了育人元素的挖掘,

导致学生在解决复杂工程问题时缺少动力,也很少能从法律、环保、节能、社会需要及文化角度全面考虑。对此,我们立足立德树人的根本任务,倡导思政育人的教学理念<sup>[9-10]</sup>,开启了课程思政案例库建设。

依据专业办学定位和课程教学目标,教学团队确定了课程思政案例建设思路(见图4),基于此进行思政案例的挖掘与梳理。我们参考教指委化工类专业课程思政案例要求,从家国情怀、科创精神、职业操守、政治认同四个方向分析课程中蕴含的思政内容,依托知识点融入思政案例,构建课程思政教学体系。各个思政方向涉及的思政点主要包括:家国情怀方向以中国梦、传统文化、国家重大工程为思政点;科创精神方向以科学精神、科技进步、安全环保等为思政点;职业操守方向以法制意识、社会责任、工程伦理、工程师素养、老一辈化工专家及教育家的精神为思政点;政治认同方向以中国特色社会主义、核心价值观、“四个自信”等为思政点。据此梳理的典型课程思政教学点及教学案例设计如表2所示。

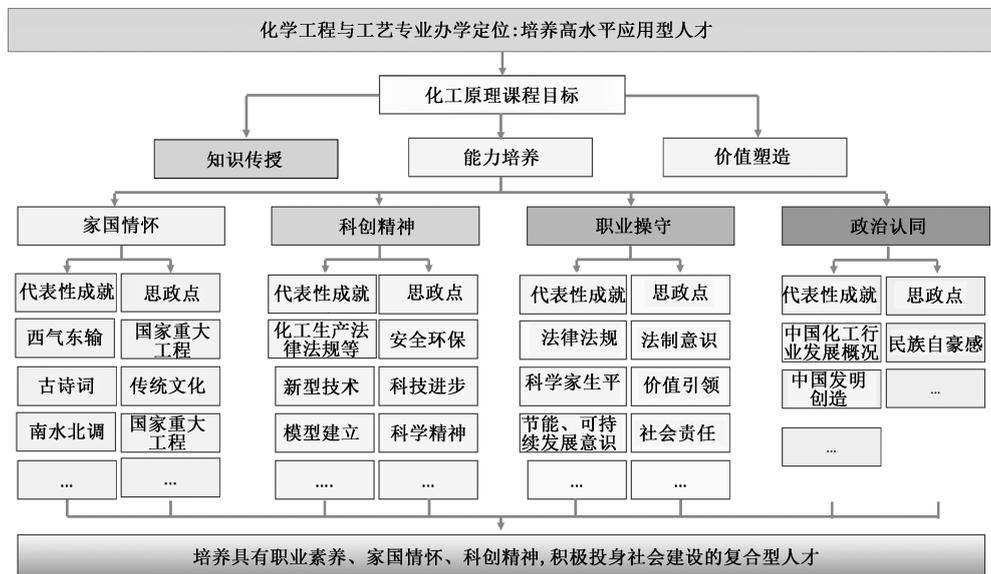


图4 课程思政案例建设思路

教学团队基于混合式教学设计,将课程思政融入整个教学过程。教师课前布置思政小专题任务,让学生查找相关资料;课上通过讲解、案例分析、翻转课堂、问题导向等方式进行教学。有关牛

顿、傅里叶、菲克、伯努利等多位外国科学家和时钧、余国琮、屠呦呦、顾毓珍等为我国化工事业作出重大贡献的本国科学家的案例,教师主要采用讲授式教学,介绍各位科学家的科学思想、重要发

表2 部分课程思政教学点及教学设计

序号	章节	示范案例	融入知识点	课程思政要素切入点(简述)	思政点/方向
化工原理(上册)					
1	绪论(2课时)	时钧院士与化工过程	单元操作的分类	通过讲解时钧院士与热力学的不解情缘,培养学生的爱国精神和科学素养	化工专家/职业操守
2	第一章 流体流动(14课时)	流体流动类型与古诗词	1.4.1 流体流动类型	通过古诗词描绘的意境思考流动类型的影响因素,并根据质点的运动情况理解静静的流水和滚滚长江水的流动类型,以此体会中国文化的博大精深,培养家国情怀	传统文化/家国情怀
3	第二章 流体输送机械(8课时)	离心泵的串并联;南水北调	2.1.5 离心泵的工作点与流量调节	将国家重大工程——西气东输和南水北调调入课程内容(离心泵的串联和并联操作),让学生分组讨论南水北调工程离心泵的串并联操作模式,激发学生的科研兴趣,培养学生的家国情怀	重大工程/家国情怀
4	第三章 非均相物系的分离和固态流态化(12课时)	重力沉降分离与PM <sub>2.5</sub> 的净化	3.2.1 重力沉降	利用重力沉降原理分析PM <sub>2.5</sub> 为什么悬浮在空中,并结合PM <sub>2.5</sub> 的危害,提出净化方式,告诫学生加强安全环保意识,为社会和人类作贡献,提高职业素养	安全环保/科创精神
5	第四章 传热(12课时)	热传导系数与聚氨酯化学发泡剂	4.2.2 热传导系数	以导热能力的衡量参数导热系数的知识点为依托,立足区域典型工程创新实例新型聚氨酯化学发泡剂的发明,通过比较化学发泡剂与物理发泡剂的热传导系数,使学生理解化学发泡剂的保温效果和保温原理,引导学生学习科学家的科学奉献精神,培养学生的创新意识,提升职业素养	化工专家、社会担当/职业操守
化工原理(下册)					
6	第一章 精馏(16课时)	假酒的精制	1.5.4 逐板计算法	以精馏塔设计中的逐板计算法为依托,分析混合物的提浓过程,融入假酒的精制,培养学生的职业操守	社会责任/职业操守
7	第二章 吸收(12课时)	吸收塔的操作:工程案例	2.7 填料塔	生产工艺中的吸收塔常受到工艺条件的影响而发生变化,通过改变工艺操作条件分析吸收塔的变化过程,锻炼学生解决复杂工程问题的能力,培养学生的职业素养	生产问题解决/职业操守
8	第三章 萃取(8课时)	萃取与青蒿素的提取	3.1 萃取操作概述	屠呦呦研究团队利用萃取法从中草药青蒿中提取出青蒿素,并研制出系列青蒿素类药品,这一成果挽救了全球特别是发展中国家数百万人的生命,在世界抗疟疾史上具有里程碑式的意义,可以启发学生学习老一辈科学家的无私奉献精神,增强职业素养	专家学者/职业操守
9	第四章 干燥(12课时)	湿度与燃料电池湿度监控	4.1 湿空气的性质与焓湿图	物系确定时,湿球温度受到干球温度、湿度的影响;众多科学家通过不懈努力开发出的湿度传感器可以随时显示燃料电池堆的湿度变化,再借助加湿器调节湿度,从而增强其电导率,改善燃料电池性能,这一研究成果有效推动了燃料电池的商业化开发,此案例有助于提高学生的社会责任感,培养学生的职业操守	科技进步/科创精神

明/发现过程,以培养学生的科学思维和爱国精神。有关“蛟龙号”、西气东输、南水北调等国家重大工程的案例,教师注重以问题导向的方式启发学生进行深入思考,引导学生利用所学的基础知识分析其中蕴含的科学原理。如讲述静力学方程时,我们嵌入“蛟龙号”的介绍,启发学生计算深入7 600米海底所承受的压力,以体会我国的科技进步,培养学生的民族自豪感。此外,为了使学生深入理解燃料电池车的湿度监控,我们以翻转课堂的形式进行教学:课前要求学生查找资料,了解燃料电池车的湿度检测原理,并提出如何检测湿度的问题;课堂上要求学生分享对这一问题的思考,并提出自己的观点。

教学团队还充分利用网络教学平台、QQ群、微信群开展思政专题的线上讨论。如讲授精馏章节的内容时,我们对精馏专家余国琮院士提出的重水提纯过程进行讨论,从专业角度训练学生的思维,使学生体会老一辈科学家无私奉献的精神,提高学生的职业素养。

#### 四、改革成效

从思政元素的挖掘到思政案例库的建设,从

多元化的教学过程设计到多视角的教学过程,从线下到线上,化工原理课程教学团队进行了全方位育人,全面提升了学生的综合素养,培养了学生的社会责任感。

自2017年实施综合改革以来,课程教学取得了显著的成效,学生的综合素质明显提高。从化工2017级和2018级学生成绩来看,实行教学改革的班级学生平均成绩在73分以上,且90分以上的学生明显增多,占比分别提高10%和9.8%(见图5);课程目标达成度均在0.7以上,原因可能是聚焦学生解决复杂工程问题能力培养的教学改革切实提高了学生的课堂参与度、学习积极性和创新实践能力。近三年,学生参加全国化工原理实验大赛和化工设计竞赛并获奖的级别不断提高。问卷调查结果显示,95.4%的学生对教学比较满意,85%的学生认为自己解决复杂工程问题的思维得到了训练,80%的学生认为自己的团队协作能力得到了提高。英科医疗、东岳研究院、齐鲁石化等多家用人单位反馈,我校化工专业培养的学生能力突出。

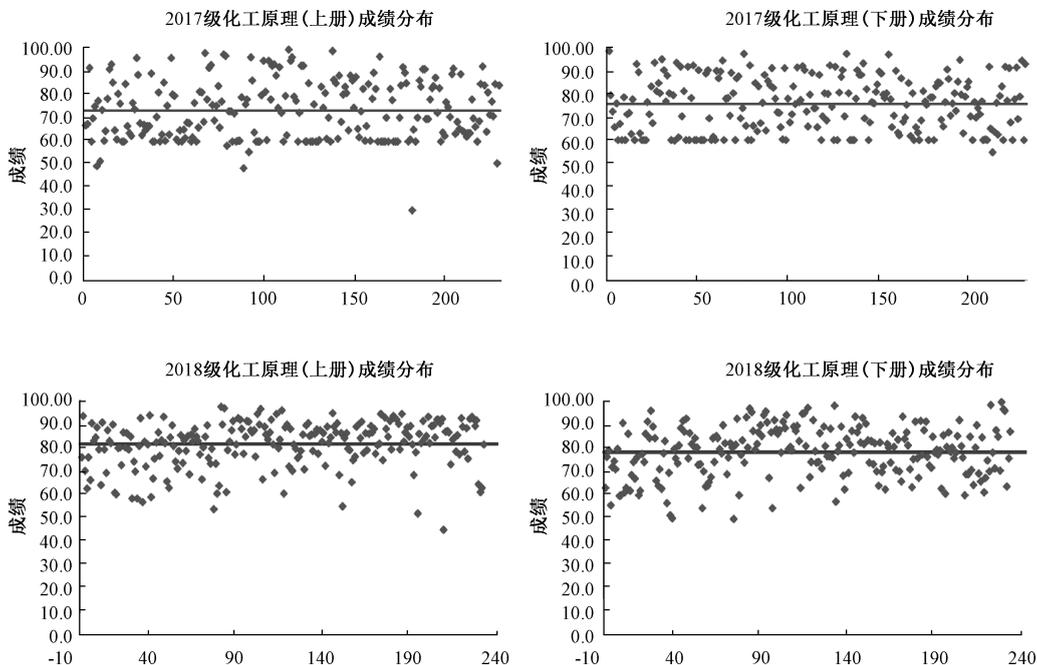


图5 化工2017级和2018级学生化工原理成绩分布图

通过持续推进教学改革,教师的教学能力也得到了显著提升。化工原理课程教学团队被评为

全国石油和化工教育教学团队,团队成员曾获校级教学成果一等奖、全国 (下转第143页)

- [4] 谷德银,刘作华,王星敏,等.新工科背景下的化工原理实验教学教学改革研究[J].广东化工,2021,48(12):220,249.
- [5] 覃芳.“新工科”背景下《化工原理实验》课程教学改革模式探讨[J].化工管理,2020(20):12-13.
- [6] 贾广信,焦纬洲,李裕,等.以项目式教学驱动面向新工科的化工原理实验创新——以中北大学为例[J].化工高等教育,2021,38(4):93-99.
- [7] 高爱萍,归凤铁,王红军.化工原理实验课程新教学模式探讨[J].山东化工,2021,50(6):209-210.
- [8] 张梦娟,马继龙,邵国泉.化工原理实验教学模式的改革研究[J].广州化工,2021,49(19):158-159.
- [9] 程倩,张继国,陈欲晓,等.工程认证导向下化工原理实验课程改革与探索[J].化工高等教育,2020(2):122-125.
- [10] 孟玉兰,张文君,曹晶晶,等.“双一流”背景下化工原理实验教学的改革与探索[J].实验室科学,2021,24(1):117-119.

(上接第90页)高等院校化工类专业教师课程思政能力比赛二等奖、全国化工原理教学能力大赛二等奖、校级教学优秀奖、教学设计二等奖、教学质量奖等多个奖项和“全国石油和化工教育教学名师”等荣誉称号。多位青年教师在讲课比赛中脱颖而出,团队建设的化工原理(上、下册)在线开放课程已连续开放4个学期,吸引了内蒙古科技大学、沈阳化工大学、临沂大学等9所学校的学生选修,线上互动次数达到6万余次。

## 五、结束语

为适应高素质应用型人才的培养需求,化工原理课程教学团队及时更新教学观念,全方位实施教学改革,聚焦学生解决复杂工程问题能力的培养,构建了三维立体式教学模式。教学团队以OBE理念为指导,以学生为中心进行了混合式教学设计,切实提高了学生的知识吸收率,促进了知识目标的达成;以学科竞赛和工程案例为载体,构建了课程综合知识体系,提升了学生的知识整合能力和创新能力;嵌入课程思政元素,增强了学生的综合素质。通过教学模式改革,我们期望学生最终能成长为具有现代工程意识和能力、具备创新意识并掌握现代工具的应用型工程技术人才。

(责任编辑:李丽妍)

## 参考文献:

- [1] 中国工程教育认证协会秘书处.工程教育认证工

作指南[Z].2015.

- [2] 蒋宗礼.本科工程教育:聚焦学生解决复杂工程问题能力的培养[J].中国大学教学,2016(11):5.
- [3] 宋峰,庄淑娟,杨乃涛,等.化工设计课程综合改革的探索与实践[J].化工高等教育,2016(6):30-32.
- [4] 黎小辉,牛梦龙,丁亮,等.专业认证背景下化工过程分析与合成课程针对复杂工程问题的教学设计、构建及实施[J].化工高等教育,2019(4):48-52.
- [5] 贾原媛,闫方友,王彦飞.以化工原理习题为载体培养学生解决复杂工程问题的能力[J].中国轻工教育,2020(1):83-87.
- [6] 李卫宏,周惠燕,王芙蓉.化工原理问题导向式线上教学的探索与实践[J].化学教育,2021,42(2):24-29.
- [7] 潘鹤林,黄婕,叶启亮.基于OBE理念构建化工原理课程教学模式的探索与实践[J].化工高等教育,2018(5):25-31.
- [8] 段东红,郝晓刚.《化工原理》教学实践环节的改革[J].太原理工大学学报(社会科学版),2002,20(4):3.
- [9] 王磊,杜薇,管国锋.化工原理课程思政建设探索与实践[J].化工高等教育,2020(5):19-25.
- [10] 潘鹤林,黄婕,卢杨,等.高校化工原理课程思政教学探索与实践[J].化工高等教育,2020(1):110-114.