

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202203070

www.dxhx.pku.edu.cn

信息化时代下“化工原理”多层次教学模式的创新与实践

张钰^{1,*}, 张茂林²¹ 信阳师范学院化学化工学院, 河南 信阳 464000² 信阳师范学院教育科学学院, 河南 信阳 464000

摘要: 人工智能技术为教与学的改进创造了机遇, 同时也带来了挑战。利用现代信息技术构建新的教学环境、提升教学质量、培养一流人才势在必行。课程团队在教学实践中针对“化工原理”课程传统教学的痛点问题, 本着立德树人的根本任务, 以学生发展为中心的教学理念, 坚持“资源为基、能力为本、实践为桥”, 优化教学内容, 把知识体系重构为4模块, 体现出“定性分析–定量计算–实践应用”3个层次; 创新教学模式, 针对不同知识模块, 采用不同的教学方法, 坚持以学生自主探究、自主解决问题为原则, 重构了师生的角色; 践行以评促学, 推动学评互促, 以比格斯SOLO (可观察的学习成果结构)分类评价理论为指导, 实现了对学生知识深度和思维层次的有效评价, 摸索出融理论与实践、知能与应用于一体的多层次教学模式。

关键词: 化工原理; 创新教学; 建构主义; SOLO分类评价; 信息化教学

中图分类号: G64; O6

Innovation and Practice for Multilevel Teaching Model of “Principles of Chemical Engineering” in the Intelligent Era

Yu Zhang^{1,*}, Maolin Zhang²¹ College of Chemistry and Chemical Engineering, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, Henan Province, China.² School of Education Science, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, Henan Province, China.

Abstract: While artificial intelligence technology creates opportunities for the improvement of teaching models, its application is limited because of certain challenges. Modern information technology should be used to construct a new teaching environment, improve teaching quality, and train first-class talents. Pain points against the traditional teaching problems in teaching practice, which are based on the fundamental task of Khalid Ents centered on the development of teaching philosophy in students, adhere to the “resources as the base, the ability for this, the practice of bridge” concept, optimize the teaching content, reconstruct the four-module knowledge system, and embody the three levels, namely, “qualitative analysis–quantitative calculation–practical application”. This approach innovates the teaching mode, adopts different teaching methods for different knowledge modules, is based on the principles of students’ independent inquiry, improves problem solving skills, and reconstructs the roles of teachers and students. The practice of promoting learning by evaluation enhances the mutual promotion of learning evaluation under the guidance of structure of the observed learning outcome (SOLO) methods, realizes the effective evaluation of students’ knowledge depth and thinking level, and allows the exploration of a multi-level teaching model that integrates theory and practice as well as knowledge and application.

Key Words: Principles of chemical engineering; Innovative teaching; Constructivism; SOLO methods; Information teaching

收稿: 2022-03-28; 录用: 2022-04-20; 网络发表: 2022-04-28

*通讯作者, Email: zhangyu@xynu.edu.cn

基金资助: 全国教育科学规划(BFA180063)

教育从农耕时代的小规模、个性化教育,到工业时代班课制、规模化教育,再到信息时代个性化、差异化教育,经历了三次革命。信息化时代下,学生知识的获取不再仅仅依靠课堂,而是依赖技术获取信息、开始社交活动和交流,泛在学习成为普遍模式,对课程要求变高^[1]。2018年,教育部颁布《教育部关于加快建设高水平本科教育全面提高人才培养能力的意见》^[2]。意见中指出,紧紧围绕全面提高人才培养能力这个核心点,加快形成高水平人才培养体系,推动课堂教学革命^[2]。2021年召开的全国教育工作会议中又强调,以推动高质量发展为主题,以改革创新为根本动力^[3]。唯有创新,才能以变应变,才能实现高质量发展。本文以“化工原理”课程为例,从教学内容、知识体系、教学方法和评价手段四个方面进行创新实践,摸索出融理论与实践、知能与应用于一体的多层次教学模式,使不同层次学生的知识、能力和素质得以全方位发展,为其他课程的教学创新提供参考和借鉴。

1 化工原理课程概况

“化工原理”课程是面向化学化工类专业本科生的专业核心课程,承担着由理及工、由基础到专业的特殊使命^[4]。本课程重点介绍化工三大单元操作(传动、传热、传质)的基本原理、典型设备及其工艺计算和设计^[5]。内容来源于化工生产实践,又面向化工生产实践,具有显著的工程性,强调工程观念和创新意识,注重实践能力的培养。

依据工程教育专业认证标准,对照布鲁姆教育分类^[6],我校围绕“培养应用型、创新型化工人才”这一整体目标,从知识、能力和素质3个方面入手,将本课程的具体学习目标细化为6个部分(见表1)。

表1 课程学习目标

课程目标	支撑的毕业要求	具体目标阐释
知识目标	1. 工程知识	能够描述单元操作过程的基本原理及分析计算方法
		能够正确选择并使用典型设备
能力目标	2. 问题分析	能够正确运用单元操作基本原理分析问题,利用技术经济观点解决工程实际问题
	3. 设计/开发	能够根据化学工程的基本原理,开发用于化工生产过程的设备及工艺流程
素质目标	6. 工程与社会	树立正确的工程观念和技术经济观点
	9. 个人与团队	提高辩证思维能力,具备科学探索精神,形成创新意识和团队合作意识
	12. 终身学习	提高终身学习能力

2 化工原理课程教学存在的痛点问题

在教学实践过程中,我们逐渐认识到“化工原理”传统授课模式面临着如下3个方面的挑战。

2.1 化工行业发展迅速,课程内容陈旧,不能满足学生的发展需求

传统的课程内容不能彰显时代意义,缺乏对科学研究热点和前沿技术的引入,理论与实践结合不足,而且课程育人功能不全。另一方面,随着信息技术的发展,以教材为核心的教学资源匮乏,不能满足学生的需求。因此,打破传统的教学教具认识,构建多维的教学资源体系是开展课程创新的重要基础。

2.2 教学模式落后,目标指向单一,未能实现学生的全面发展

“化工原理”课程中计算公式繁杂且晦涩难懂,容易造成教学模式枯燥单调。传统的模式中,教师“一根粉笔一言堂”。这种授课方式不顾及学生的学习心理,不能充分发挥学生的主观能动性,未能实现学生能力素质的全面发展。以互联网和工业智能为核心的新型化工产业迫切需要高素质复合型人才。如何在有限的课时内讲授化工生产中比较重要的单元操作,让学生掌握基本原理,形成工程观念,提高辩证思维能力和终身学习能力成为本课程创新的关键。

2.3 评价方式简单, 结果运用有限, 未能形成对教学的有效支撑

传统的教学过程中, 虽然开展了多种形式的评价, 如线上测试、小组讨论、小组互评、课后作业、期末考试等, 但是这些评价结果并没有被深度分析, 并用于改进教学、促进学生发展, 导致未能充分发挥教学评价的诊断和改进作用。

3 创新举措

针对上述痛点问题, 我们本着立德树人的根本任务, 秉持以学生发展为中心的教学理念, 坚持“资源为基、能力为本、实践为桥”, 优化教学内容, 革新教学模式和评价-反馈手段, 创造学生在教师指导下自主学习的环境和条件, 将理论与实践紧密结合, 使不同层次学生的知识、能力和素质得以全方位发展。

3.1 资源为基——丰富课程资源, 优化课程内容

(1) 拓展课程资源, 满足个性化需求。

我们借助智慧学习平台, 进行多维度拓展, 按知识点构建了丰富的学习资源(图1), 不仅便于学生快速定位学习内容, 也利于教师精准把握学生的学习难点, 剖析教学效果。这些资源有梯度地发布, 为学生提供了选择性和发展性学习的机会和载体, 满足学生个性化发展的需求。

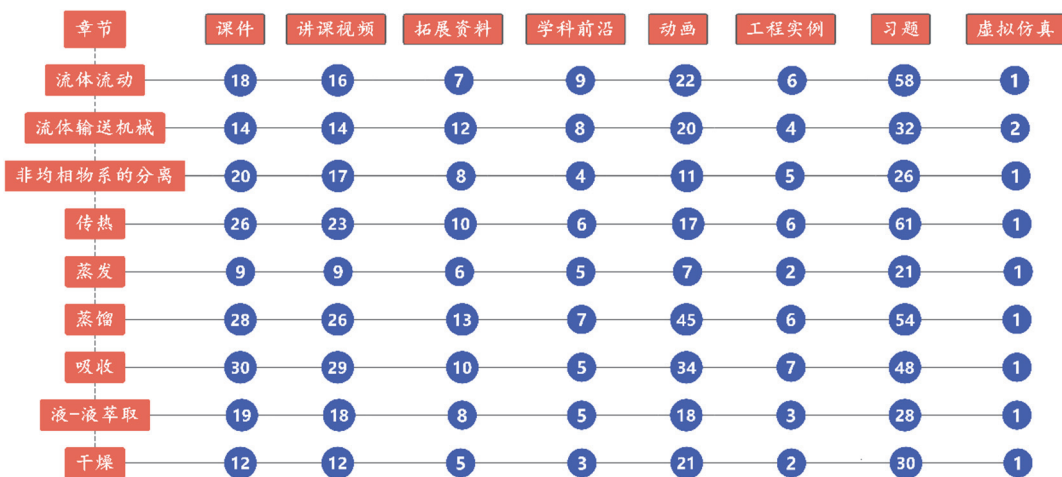


图1 “化工原理”课程资源概况

(2) 重构知识体系, 促进思维发展。

皮亚杰的发生认识论表明, 人的思维发展与知识建构具有内在一致性^[7]。知识从一个状态变成另一个状态的过程, 是知识建构的过程, 也是思维发展的过程。我们将知识学习与思维发展统一起来, 把9个章节的课程内容重构为如下4个模块(表2)。这样的模块体现了“定性分析-定量计算-实践应用”3个层次, 与“知识、能力和素质”的课程目标相一致^[8](图2)。

(3) 紧跟时代前沿, 强调绿色化工。

在新发展理念和“碳达峰、碳中和”政策引领下, 化工人才的培养要立足于新时代国家战略需求, 适应行业绿色发展的趋势。我们以绿色可持续发展理念为指导, 在教学过程中, 突出化工单元过程的强化途径、节能措施等。

与此同时, 瞄准跟踪学科发展前沿, 将先进学术研究和科技发展成果融入课程, 注重科研反哺教学, 提升学生的创新意识。此外, 将生活常识、社会热点和工程案例引入教学过程, 增加课程的趣味性, 激发学生的学习兴趣。

表2 “化工原理” 课程内容模块

章节	过程分析	数学描述	实例分析	实践
1. 流体流动	1.1 流体的物理性质 1.2 流体静力学 1.4 流体流动现象	1.3 流体流动的基本方程 1.5 流体在管内的流动阻力 1.6 管路计算	1.7 流量测量 1.8 减阻现象	课程设计 虚拟仿真 专业实验
2. 流体输送机械	2.1.1 离心泵的结构和工作原理 2.1.4 离心泵的气蚀现象和允许安装高度	2.1.2 离心泵的基本方程式 2.1.3 离心泵的主要性能参数与特性曲线 2.1.5 离心泵的工作点和流量调节	2.1.6 离心泵的类型、选择和使用 2.2 其他类型的液体输送机械 2.3 气体输送和压缩机械	科研实验 实训 创新项目 校企合作
3. 非均相物系的分离	3.1 概述 3.2 沉降分离 3.3.1 过滤操作原理 3.3.2 颗粒床层的特性及流体流过床层的压降	3.3.3 过滤基本方程式 3.3.4 恒压过滤 3.3.5 恒速过滤与先恒速后恒压过滤 3.3.6 过滤常数的测定 3.3.9 过滤机的生产能力	3.3.7 过滤设备 3.3.8 滤饼的洗涤 3.4 非均相混合物分离技术和设备的新进展 3.5 过滤操作强化	
4. 传热	4.1 概述 4.2.1 傅里叶定律 4.2.2 导热系数 4.3 对流传热概述 4.6 辐射传热	4.2.3 通过平壁的稳态热传导 4.2.4 通过圆筒壁的稳态热传导 4.4 传热过程计算 4.5 对流传热系数关联式	4.7 换热器 4.8 传热过程强化	
5. 蒸发	5.2.1 溶液的沸点和温度差损失	5.2.2 单效蒸发的计算	5.1 蒸发设备 5.3 蒸发操作的经济性和多效蒸发	
6. 蒸馏	6.1 两组分溶液的气液平衡 6.2 平衡蒸馏和简单蒸馏 6.3 精馏原理和流程	6.4 两组分连续精馏的计算	6.5 间歇精馏 6.6 恒沸精馏和萃取精馏 6.7 多组分精馏	
7. 吸收	7.1 气体吸收的相平衡关系 7.2 传质机理与吸收速率	7.3 吸收塔的计算 7.4 吸收系数	7.5 其他条件下的吸收和脱吸 7.6 板式塔 7.7 填料塔	
8. 液-液萃取	8.1 概述 8.2 三元体系液-液萃取	8.3 萃取过程的流程和计算	8.4 液-液萃取设备 8.5 萃取分离的进展	
9. 干燥	9.1 湿空气的性质及湿焓图	9.2 干燥速率与干燥过程计算	9.3 干燥器	

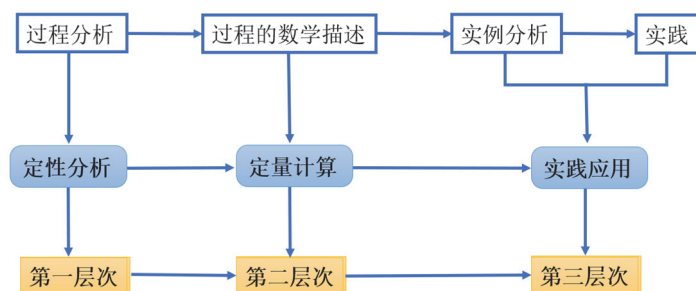


图2 知识体系的三个层次

(4) 强化思政育人，实施精准滴灌。

在教学过程中，针对“化工原理”主要章节，挖掘出对应的典型案例，将思政元素融入课堂教学，引导学生树立绿色发展观、形成科学探索精神、提升创新意识(表3)。

表3 课程思政案例

章节	案例	对应的思政点
1. 流体流动	南水北调工程	家国情怀
2. 流体输送机械	抗疫期间稀缺的人工膜肺设备	社会责任感和创新精神
3. 非均相物系的分离	雾霾的分离	社会责任感、环保意识
4. 传热	建筑保温材料	节能减排和创新意识
5. 蒸发	多级闪蒸海水淡化技术	工程素养和工匠精神
6. 蒸馏	化工发展趋势和超重力精馏技术	节能减排、职业道德以及科学探索精神
7. 吸收	酸雨的形成	绿色发展、环保意识

(5) 注重知识迁移，推动学以致用。

为了解决学生知识面过窄、适应面单一的问题，满足未来化工人才“宽口径”的发展需求，我们还注重化工学科与其他学科的融合，提升学生的综合能力。例如，伯努利方程不仅可以解决化工生产中流体流动的问题，还能解释高铁和地铁中为什么设置安全黄线、飞机飞行原理，以及乒乓球旋球的运动轨迹等问题。

3.2 能力为本、实践为桥——革新教学模式，创新育人过程

基于以上的课程资源，针对优化后的3层次4模块课程内容，采用不同的教学手段，坚持以学生自主探究、自主解决问题为原则，重构师生角色，实现师生的共同参与、相互作用。同时，配套40学时的实践环节，促进理论与实践的紧密结合，提升学生运用所学知识解决实际问题的能力，充分挖掘不同层次学生的发展潜力。

(1) 过程分析模块：采用以问题为导向的三段五步式教学法(图3)。

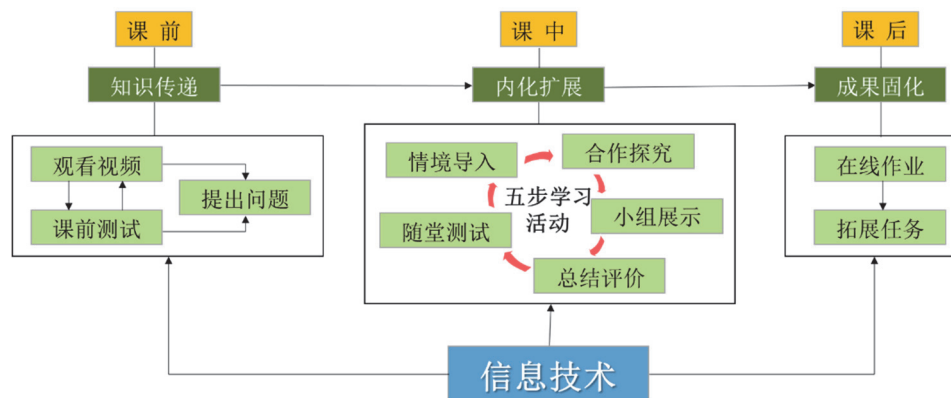


图3 三段五步式教学法流程图

本模块中，三段五步式教学法打通了线上线下的活动，使学生形成浑然一体的自主高效学习行为。

(2) 过程的数学描述模块：采用情景式教学法(图4)。

单元操作过程的数学描述是教学难点，因此本模块采用情景式教学法。整个过程中学生动脑、动手、动眼、动情，积极投入学习中，提升运用工程方法建立数学模型的能力。

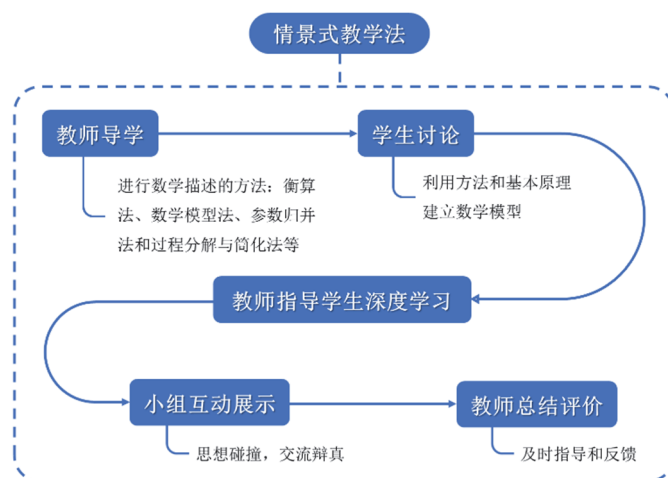


图4 情景式教学法流程图

(3) 实例分析模块：采用翻转式课堂教学法。

实例分析是对数学描述结果的应用，涉及化工单元操作中各类设备的结构和适用场合。随着科技的进步，化工新设备、新技术层出不穷。该模块要求学生小组合作，不局限于教材，采用信息化手段，查阅相关资料，了解最新工艺，对比新旧技术，重点关注过程强化措施，生成PPT进行汇报。课堂上，小组上台展示并分享学习成果。在教师的引导下，小组之间互相交流提问，拓展内化知识。

(4) 实践模块：采用PBL项目式教学法。

项目式教学法着眼于整门课程，强调相互联系和综合应用。在实践环节，每一个章节都设置了相应的虚拟仿真练习、专业实验和实训。另外，课程设计、科研实验以及校企合作等项目贯穿于整个课程。学生团队合作，完成实验项目、设计项目、科研项目、创新项目(图5)或生产项目等。这些项目融理论性和工程技术性于一体，有效解决了理论与实践脱节的问题，实现了学生知识的转化和素质的提升。



图5 学生创新项目

3.3 践行以评促学，推动学评互促

以评促学是教学评价的初心，亦是其终极旨归。为了更好地借助评价促进学习，以比格斯SOLO分类评价理论为指导，以现代信息技术工具和手段为依托，将诊断性评价、形成性评价以及发展性评价结果反馈于教学过程。

(1) 诊断性评价。

上课前，通过问卷调查、访谈和数据分析对学生的学习能力、学习态度、学习风格进行诊断性评价，评价结果用于选择和改进教学方法(图6)。

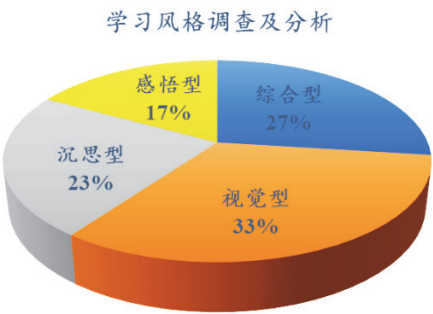


图6 学习风格调查及分析

(2) 形成性评价。

本课程采取总结性考核、过程性考核与实践考核相结合的方式(表4)。教师针对每项考核方式都制定了详细的评价标准。

在评价尺度上，以比格斯SOLO分类评价理论为指导，根据学生对相关问题和任务的完成情况，实现了对学生知识深度和思维层次的有效评价^[9] (表5)。

课程结束后，撰写课程总结，同时以匿名问卷的形式来获取学生对课程的反馈和建议，及时反思，持续改进，构建了以学生发展为中心的“教-评-改”一体化的教学过程，保证教学效果。

表4 考核方式与课程目标的对应关系

课程目标	成绩构成	考核项目	权重/%	评价标准
知识目标+能力目标	总结性成绩	期末闭卷考试	50%	卷面得分
能力目标+素质目标	过程性成绩	讨论	30%	小组讨论参与度
		回答问题		对问题的理解和凝练度
		小组展示		小组展示的内容、课件制作、表达以及团队协作程度
		线上测试、作业		准确率
知识目标+能力目标+素质目标	实践成绩	设计项目	20%	设计的可行性，计算的准确性，参数及图表的完整性实验技能
		实验项目		的熟练及准确程度
		科研项目		理论与方法的实践应用
		创新项目		创意及成效

表5 比格斯SOLO分类评价量表^[9]

层次	具体表现(知识深度)	过程描述(思维层次)
1	简单重述现象，或者“复制粘贴”别人说过的话	重述：对基本概念和原理进行简单的记忆，并未概括和总结
2	围绕现象给出事实性信息和基本描述	综述：对概念或者原理进行简单的概述，形成低层次的新知
3	基于一定的理论和依据，作出推断	追溯：从旧知中寻找关联，解释新概念
4	综合不同观点，提出自己的观点，作出“升华”的总结	重构：结合旧知与新知，打散重构，形成抽象层次更高的知识
5	深入分析问题，从理论的高度解释问题，并提出关联问题的解决方案	迁移：对概念和原理进行升华，并能应用解决关联问题

(3) 发展性评价。

学期结束后，教师将学生成绩与前序物理化学和大学物理课程成绩进行对比分析，评价学生是否在原有基础上有所发展，查找学生成绩不稳定的原因，找出持续低分学生并加强关注。

4 创新成效

4.1 学生综合素质提升

在学习方面,学生从低头沉默到过半人数抢答问题,从机械完成作业到精心准备展示材料,从草草交差到一遍遍修改力求完美,从不自信的“聆听者”到思维缜密的“演讲者”,学习积极性充分调动了起来,自信心大大增强。组与组的竞争、组内成员的竞争使每个学生都卯足了“学劲”,提高了学习效率。

在能力方面,学生历经学习知识、检索资料、思考讨论、汇报展示、项目设计、实验研究等一步步学习活动,熟悉了化学工业生产的全过程,知识内化于心,不再是停留在课本上冷冰冰的文字,学生解决问题的能力 and 创新能力大大提高。同学之间经常交流讨论,团结协作能力提升,关系更加融洽。

在个人感悟和反馈方面,学生们纷纷表示:“化工原理”教学创新理念先进,他们真切地感受到师生之间平等、包容和共享的关系。教学过程中充满着激励,满足了他们的自尊心和归属感。他们“亲其师,信其道”,重新定义了自己的人生价值,树立了人生目标。

在本课程多层次教学模式实践中,学生的综合素质大大提升,受到了专业教师、研究生导师和用人单位的一致好评。

4.2 教师事业满意度提高

作为教师,当我们被学生高水平的作业和表现惊艳时;当我们看到学生因为意见不一致而争得面红耳赤时;当我们得知学生加班熬夜自学视频剪辑、动画技术,在宿舍、教室多次排练时,我们都倍感兴奋、激动和欣慰,为我们的传道授业解惑而感到骄傲!

5 结语

本课程创新是融理论与实践、知能与应用于一体的多层次教学模式,它突破了传统教学模式的束缚,体现了全新的现代教育理念。在整个教学活动中,从学生发展的需要出发,将学习知识、项目设计、实验研究、工程技术融合为一体,学生始终在宽松的环境中处于积极探索的学习情境,充分体现了他们的主体地位和个体价值。课程所训练和培养的自主学习能力、工程实践能力和创新能力是理工科各个专业学生所共同需要的。因此本创新教学模式可以广泛适用于理工科各专业课程。

参 考 文 献

- [1] 张茂林, 何浩冉. 信阳师范学院学报(哲学社会科学版), **2021**, 41 (6), 67.
- [2] 教育部. 教育部关于加快建设高水平本科教育全面提高人才培养能力的意见. [2018-10-08].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201810/t20181017_351887.html
- [3] 教育部. 2021年全国教育工作会议召开. [2021-01-08].
http://www.moe.gov.cn/jyb_zzjg/huodong/202101/t20210108_509194.html?ivk_sa=1024320u
- [4] 李卫宏, 周惠燕, 王芙蓉. 化学教育(中英文), **2021**, 42 (2), 24.
- [5] 任永胜. 化学教育(中英文), **2020**, 41 (24), 75.
- [6] [美]安德森, 著. 布鲁姆教育目标分类学. 蒋小平, 译. 北京: 外语教学与研究出版社, 2009.
- [7] 张沿沿, 冯友梅, 顾建军, 李艺. 电化教育研究, **2020**, No. 6, 33.
- [8] 陈敏恒, 潘鹤林, 齐鸣斋. 化工原理教学指导与内容精要. 北京: 化学工业出版社, 2017.
- [9] 殷常鸿, 张义兵, 高伟, 李艺. 电化教育研究, **2019**, No. 7, 16.