

化工原理实验课程一体化教学设计与实践^{*}

——由“解题能力”向“解决问题能力”转变

赵文立, 贾原媛, 武莉娅, 吴志国, 郝庆兰

(天津科技大学 化工与材料学院, 天津 300457)

[摘要]以工程案例为载体, 包含理论讲解、案例分析和实验设计的一体化教学模式, 旨在培养学生的复杂工程问题分析能力、实验设计与规划能力、实验操作与团队协作能力以及数据分析与科学研究能力。实践表明, 该模式实现了从关注“解题能力”培养向关注“解决问题能力”培养的转变, 为工科实验课程教学改革提供了实践范例, 对新工科人才培养起到了促进作用。

[关键词]化工原理实验; 吸收; 案例分析; 实验设计

Integrated Teaching Design and Practice of Chemical Engineering Principles Experiments—from Test Taking Ability to Problem Solving Ability

Zhao Wenli, Jia Yuanyuan, Wu Liya, Wu Zhiguo, Hao Qinglan

(College of Chemical Engineering and Materials Science, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: An integrated teaching design including theoretical lecture, case analysis and experimental design, is performed based on engineering case, aiming at cultivating several abilities of undergraduate students, including analysis of complex engineering problems, design and planning of engineering experiments, experiment operation and team cooperation, data analysis and scientific research. This model of chemical engineering principle experiment teaching realizes the transformation from the cultivation of test taking ability to the cultivation of problem solving ability. It offers a practical example for teaching reform of engineering experimental curriculum and plays a promoting role in cultivation of talents under new engineering education.

Key words: Chemical engineering principles experiments; Absorption; Case study; Experimental design

[作者简介] 赵文立(1985-), 男, 讲师, 博士。

[通信作者] 郝庆兰, E-mail: haoqinglan@tust.edu.cn。

^{*} 基金项目: 第二批新工科研究与实践项目“以制盐与盐化工为特色的化学工程与工艺专业改造升级探索与实践”(E-HGZY20202006)。

2017年,教育部正式启动新工科建设计划^[1],对人才培养提出了新的要求。新工科建设的内涵是以立德树人为引领,以应对变化、塑造未来为建设理念,以继承与创新、交叉与融合、协调与共享为主要途径,培养多元化、创新型卓越工程人才^[2-3]。作为人才培养主阵地的高校,应积极落实新工科建设,根据以学生为中心的OBE理念开展课程教学^[4]。

化工原理课程是化学工程与技术专业一门重要的基础课,其课程体系由化工原理理论课、化工原理实验课及化工原理课程设计构成。其中,化工原理理论课主要讲授各单元操作有关设备及流程的设计与操作,旨在帮助学生建立工程概念,提升工艺计算和设备选型能力,是培养学生解决复杂化工问题能力的“基石”^[5];化工原理实验课是重要的实践环节,与理论课教学相辅相成,共同肩负起培养高素质化工人才的重任。

本文以吸收实验的教学设计为例,阐述包含理论讲解、案例分析和实验设计的一体化教学设计与实施。这样的教学设计旨在培养学生运用理论知识分析和解决问题的能力,使教学从关注学生“解题能力”向关注学生“解决问题能力”转变,最终实现知识传授、能力培养和价值塑造“三位一体”的教学目标。

一、化工原理实验课程教学设计存在的问题

传统的化工原理实验课程教学设计主要存在两方面的问题。一是课程教学大多遵循“实验预习—教师讲解—实验操作—撰写报告”的过程。这种教学设计的优势在于教学思路清晰、易于管理和评价、对学生实验能力的培养能够起到促进作用,弊端在于实验课与理论课衔接过于简单,且多数实验为验证型实验,即实验结果相对确定,学生仅按照操作规程完成实验,缺乏对实验现象背后的本质原理的思考,无法有效锻炼和提升自身的实验设计与数据分析能力,也不能将实验课内容与产业前沿问题结合起来。二是随着化工原理课程覆盖的专业越来越多,学生规模也越来越大,用人单位对化工类人才的要求也提高了,“解题

型”人才不再受到企业的欢迎^[6]。因而,如何激发学生对实验科学的浓厚兴趣,提高学生学习的积极性、主动性与创造力,引导学生由“解题型”人才向“解决问题型”人才转变,是目前化工原理实验课程急需解决的问题。

二、化工原理实验课程一体化教学设计

本课程通过理论教学与案例分析、实验设计与规划、设计方案验证、数据分析与科学研究四个教学环节,着重培养学生的复杂工程问题分析能力、实验规划与设计能力、实验操作与团队协作能力、数据分析与科学研究能力(见图1)。

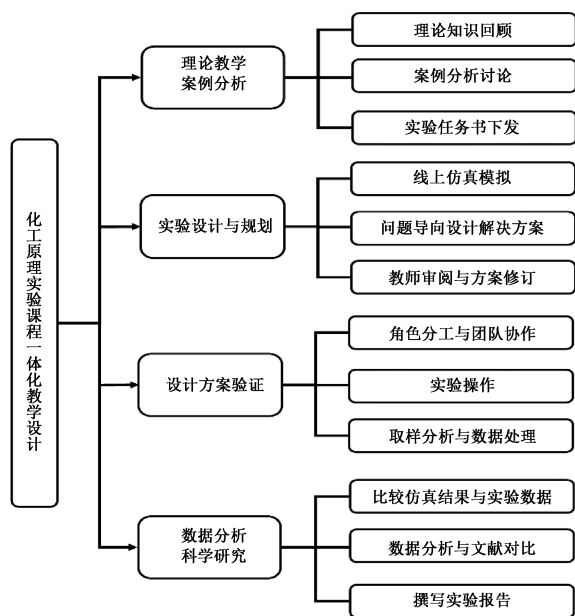


图1 化工原理实验课程一体化教学设计

实验课开始前,教师组织学生在理论知识回顾的基础上进行案例分析与讨论。该环节主要起到从理论教学到实验教学的过渡作用,通过将实际工程案例与理论知识相结合,充分激发学生的学习主动性。随后,教师组织学生结合案例背景,在实验室现有设备条件的基础上进行实验方案讨论与设计。教师在实验课前对学生提交的设计方案进行审阅并反馈修改意见。在实验操作阶段,学生以团队协作的方式完成设备调试、取样分析、数据处理。实验结束后,教师组织学生进行实验总结,主要考查实验设计目标的达成情况和学生提出合理优化建议的能力。最后,学生撰写并提交实验报告。

三、化工原理实验课程一体化教学的实施

(一) 理论教学与案例分析

基于一体化教学思想,理论教学与案例分析环节以实际工程案例为载体,将理论课与实验课的内容紧密结合,以培养学生的复杂工程问题分析能力。在该环节的教学,教师首先回顾吸收章节的理论知识,在此基础上引入工程案例,阐述我国农村“煤改气”“煤改电”政策实施的意义,与学生共同探讨政策实施过程中出现的问题,让学生查阅资料并讨论“煤改气”“煤改电”的优点和缺陷;然后介绍天然气燃烧过程中碳排放统计数据,让学生查阅资料并总结二氧化碳过度排放带来的问题及相应的处理方法,从而引出吸收单元操作实验课内容,并下发实验任务书。

(二) 实验设计与规划

实验设计与规划环节主要培养学生以解决问题为导向的实验设计与规划能力。化工原理单元操作实验中的吸收实验相对复杂,主要体现为设备数量多、结构复杂、实验数据记录量大以及计算过程繁琐等。若教师完全让学生自主设计吸收实验,则难度较高,也容易打击学生的学习积极性。能力培养是一个渐进的过程,也是一个从熟悉已知到探索未知的过程。因此,教师在教学设计中,以氨气吸收过程为例,通过虚拟仿真实验(见图2)让学生了解吸收-解吸联合装置的操作流程、吸收塔中流体流动状况与传质系数的测定以及强化传质的方法等。氨气-水体系吸收为典型的气膜控制过程,教师要求学生结合虚拟仿真模拟训练的情况,在实验室现有设备的基础上设计受液膜控制的二氧化碳-水体系吸收实验,以训练学生的知识迁移能力。

教师以问题为导向,引导学生完成实验设计,主要关注的问题包括:1. 氨气与二氧化碳吸收过程的本质区别是什么;2. 吸收效果与气-液传质的关系;3. 如何对影响吸收效果的关键参数进行定性判断;4. 在现有设备的基础上,为了定量分析并验证关键参数的影响,应该如何取样,又如何分析样品;5. 如何保证实验结果的可靠性;6. 实验中存在哪些安全隐患。学生在思考这些问题的基础

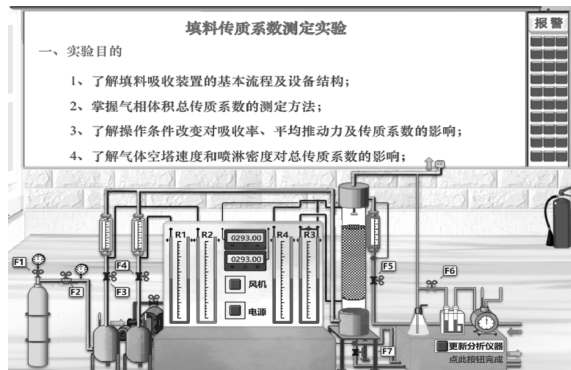


图2 氨气吸收过程虚拟仿真实验

上,构思实验报告框架,内容包括实验目的、实验原理、实验装置、实验操作步骤与实验安全规程、原始数据记录、数据处理与结果分析以及实验反思。在实验设计部分,学生要通过讨论完成实验报告的前四项内容。

教师主要从以下几方面对学生的实验设计方案进行审阅与批改:1. 实验设计方案能否合理支撑实验目的;2. 现有设备条件是否能够实现实验方案;3. 实验操作步骤是否合理可行;4. 取样与分析过程是否具有可靠性与可重复性;5. 实验流程安排以及角色分工是否合理;6. 对于实验过程中的安全隐患是否有足够的考虑。对实验方案进行反复讨论和修改的过程有利于发挥学生的主动性,并有助于培养学生的实验设计能力和逻辑思辨能力。

(三) 设计方案验证

设计方案验证环节主要培养学生的实验操作能力和团队协作能力。学生组成4人小组(1名组长和3名组员),按照任务分工各司其职,分别完成实验统筹、实验准备及过程控制、样品分析和数据处理等工作。组长根据实验方案与组员讨论并完成工作分配,确定进度安排,提出应对实验中可能出现的问题的方案。负责实验准备及过程控制的同学提前熟悉设备操作,包括离心泵、鼓风机、气相和液相流量计、钢瓶、压差计、温度计以及各种阀门管件的使用;同时,根据原料组成及所选用的吸收剂,确定每组实验的气、液流量范围。负责样品分析的同学准备取样装置并配置化学滴定所需溶液,同时熟悉自动滴定分析装置的操作步

骤。需要注意的是,负责样品分析的同学在实验开始前应对样品浓度范围有一个大致的判断,在取样分析后应及时对结果的可靠性进行定性判断。最后,负责数据处理的同学利用数据处理软件(Excel 或 Origin 等)对实验数据进行现场分析与处理,并判断实验结果是否符合预期。由学生自己组织并完成实验操作,一方面能够锻炼学生对实验设备的现场操作能力,另一方面能够提高学生的责任意识和团队合作能力。

(四)数据分析与科学研究

该环节主要培养学生的数据处理、结果分析和科学研究能力。氨气吸收实验主要考察填料吸收塔的流体力学性能以及单一气、液流量下的气-液体积传质系数($K_x a$),数据处理过程相对简单,不能有效锻炼学生的数据分析能力。同时,该实验方案未考察吸收塔设计过程中关键操作参数对于质量传递的影响,包括气相和液相流量、吸收剂类型、填料类型以及吸收塔与解吸塔的相互制约关系等,缺乏对学生科学研究能力的锻炼。因此,在完成基本流体力学性能测试的基础上,教师要求学生考察不同气、液相流量对于气-液体积传质系数的影响,并将结果与相同条件下氨气吸收实验结果进行比较,分析两种吸收过程的本质区别,进一步理解双膜理论的含义。为了培养学生的科学研究能力,教师还要求学生根据实验数据分别建立气、液相流量与气-液体积传质系数的函数关系式,并与文献中的经验公式进行对比分析。在分析过程中,教师要求学生重点观察对于难溶气体的吸收(即液膜控制过程),气-液体积传质系数是否随气相流量变化。如果通过实验数据得到的结论与理论不一致,教师则要求学生查阅文献,并给出合理的解释^[7]。改进后的吸收实验一方面有助于学生理解工业吸收过程的复杂性,包括多因素协同效应、流体力学行为与传质速率的相互作用关系以及吸收塔与解吸塔的相互制约关系;另一方面能够锻炼学生处理复杂工程问题的能力,培养学生的质疑精神。最后,学生根据实验数据处理结果,阐述现有工艺能否实现对工业规模二氧化碳产量的吸收,提出优化方案,并完成实验报

告的撰写。

四、教学改革成效

为了解化工原理实验课程一体化教学的实施效果,本文选取具有代表性的设计方案与实验结果进行分析。化工原理实验课程遵循以学生为中心的 OBE 理念,没有强制规定学生设计方案的形式,以充分发挥学生的创造力。其中比较典型的形式是利用思维导图将实验操作条件与关键参数建立关联,在此基础上进行实验方案设计(见图 3)。学生通过实验数据发现,液相体积传质系数随着气相与液相流量的增加而增加,与典型的液膜控制存在一定差异(见图 4)。然而,液相流量对于 $K_x a$ 的影响更为显著。为说明该现象产生的原因,学生分别从气-液平衡、流体力学状况以及实验误差等多个角度进行了讨论。

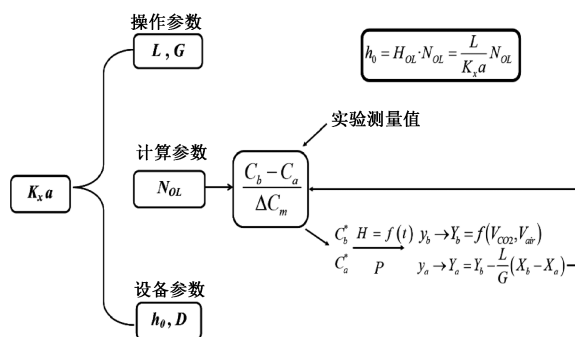


图3 计算过程思维导图

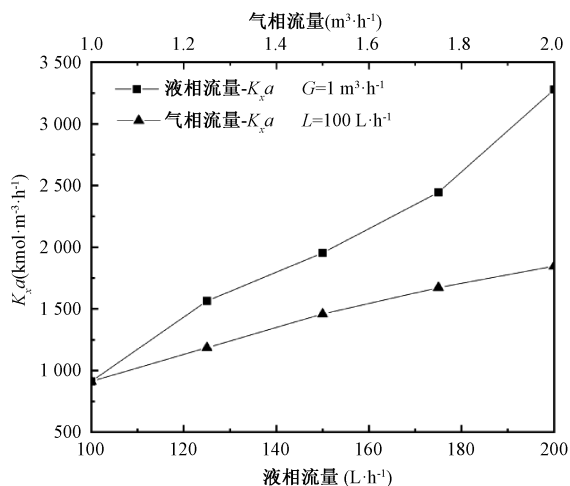


图4 气相流量与液相流量对液相相对流传质系数的影响

实验结束后,教师还布置了开放性测试题,从实验误差与数据分析、操作型问题及工业应用三

个方面考查学生对吸收过程的掌握程度。测试结果如图 5 所示。结果显示,大多数学生能够正确认识偶然误差与系统误差的区别,并在实验数据的基础上得出合理的结论,对实验室吸收实验与工业吸收过程的差异也有清晰的认知。然而,对于操作型问题的分析,15%的学生仍感到困难,这为后期课程的持续改进指明了方向。

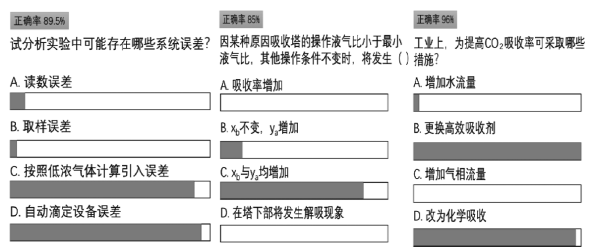


图 5 课后测试结果

为收集学生对于教学的反馈信息,我们邀请学习该课程的 65 名同学参与问卷调查,结果如图 6 所示。从图 6 可知,绝大多数同学认为自主实验设计能够加深自己对于吸收过程的理解。有 66% 的学生认为,在数据处理过程中,气-液体积传质系数的测量和计算较为困难,这说明学生对于吸收实验的重点与难点有较为准确的认知。对于实验设计过程的评价呈多样化分布。39% 的同

学认为实验操作与参数调节较为困难,主要原因在于参数的控制与调节过程完全由学生自主确定,并无实验指导书或操作手册可以参考,因此增加了实验的不确定性。34% 的同学认为理论基础与工程设计概念难以对接,这表明目前理论教学与实验教学的衔接还不够紧密,特别是对于工程设计概念不够重视。此外,还有部分同学在团队协作与设计方案验证方面存在一些困难。每位同学都有自己的学习习惯与交流模式,多样化的结果表明学生开始思考自己在化工原理实验课程学习过程中的不足,这为教师因材施教提供了方向。对于案例分析与实验课程相结合的教学手段,多数同学表示赞同。理论学习的最终目的就是学以致用,通过实际工程案例将课本上的知识与实验设计甚至工程设计联系起来,是由培养“解题能力”向培养“解决问题能力”转变的有效途径。值得注意的是,有 20% 的学生认为案例教学对于实验教学帮助有限或没有帮助,这在一定程度上反映了教学设计仍存在不足,主要表现为:1. 案例对于实验教学的支撑度不够;2. 教师对于实验设计的反馈及时性有待提高;3. 现有实验设备仍不能满足学生对于实验设计的差异化需求。

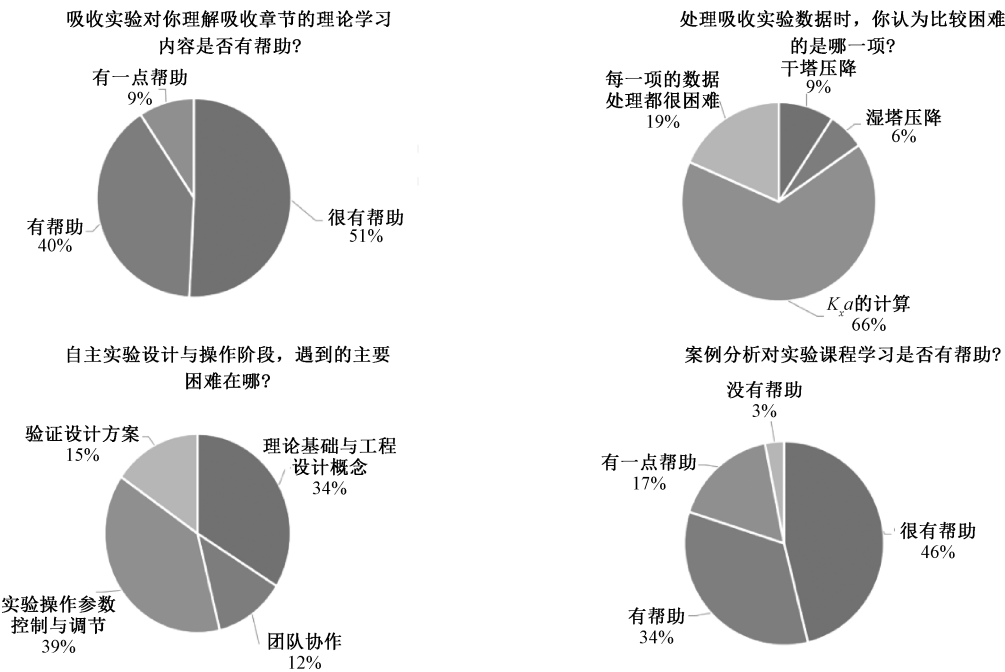


图 6 化工原理实验课程教学效果问卷调查

五、结论

化工原理实验课程一体化教学设计以案例教学为载体,通过案例分析与开放性讨论将理论课内容与工业前沿问题联系起来,并逐步过渡到实验教学。在实验教学过程中,学生在虚拟仿真实验的辅助下,自主设计实验方案并进行设计方案验证;在数据分析与讨论环节,将实验数据与理论课内容和前沿文献数据进行对比与分析。一体化教学设计致力于让学生将课程理论与实际工程问题联系起来,使学生改变被动学习状态,形成工程意识并完成知识的内化,从具备“解题能力”向提升“解决问题能力”转变,从而成长为研究型与创新型人才。一体化教学的直接受益对象为我校化学工程与工艺、生物工程、食品科学与工程、轻化工程等专业的本科生,受益人数约 1000 人/年。同时,我们正在积极探索将新工科理念下的化工原理实验课程教学新范式向其他课程推广,并致力于发展高等教育教学新方法。

(责任编辑:李丽妍)

参考文献:

- [1] 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:教高[2018]2号[Z].2018.
- [2] 吴爱华,侯永峰,杨秋波,等.加快发展和建设新工科,主动适应和引领新经济[J].高等工程教育研究,2017(1):1-9.
- [3] 林健.面向未来的中国新工科建设[J].清华大学教育研究,2015,38(2):32-34.
- [4] 张文妍,杨晓莉,胡小红,等.借鉴工程认证 OBE 理论,构建“课程思政”的培养目标达成度评价体系[J].科技与创新,2019(23):138-139.
- [5] 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.
- [6] 李裕,贾广信,赵慧鹏,等.化工原理课程立体化学习体系的构建与实施[J].化工高等教育,2019,36(6):27-31.
- [7] 尹红,刘欢,叶向群.化工原理吸收实验中气液两相流率对气相体积吸收系数的影响[J].教育教学论坛,2019(19):255-258.
- [3] 王楠,程宏毅.习近平:坚持中国特色社会主义教育发展道路培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人[N].人民日报,2018-09-11(01).
- [4] 张烁,谢环驰.习近平主持召开学校思想政治理论课教师座谈会强调:用新时代中国特色社会主义思想铸魂育人贯彻党的教育方针落实立德树人根本任务[N].人民日报,2019-03-19(01).
- [5] 吴玉程.新时代高校落实“三全育人”的理论与实践探究[J].中国高等教育,2018(Z2):35-37.
- [6] 杨晓慧.高等教育“三全育人”:理论意蕴、现实难题与实践路径[J].中国高等教育,2018(18):4-8.
- [7] 北京化工学院化工史编写组.化学工业发展简史[M].北京:科学技术文献出版社,1985.
- [8] 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.
- [9] 侯虞钧,陈新志,周浩.马丁-侯状态方程向固相发展[J].高校化学工程学报,1996,10(3):217-224.
- [10] 包云.试论物理化学课程思政元素的挖掘[J].文化创新比较研究,2021(5):75-77.
- [11] 及方华,李和平,陆振欢.情感共鸣法:化工热力学课程思政元素的挖掘、融合与内化[J].科教导刊,2021(10):131-133.

(上接第 59 页)