

化工基础课程理论、设计与实验一体化教学改革与实践*

宋永吉** 李翠清 葛明兰 杨索和 王虹 任晓光

(北京石油化工学院 北京 102617)

近年来我国高校进行的“卓越工程师教育培养计划”及工程教育有关的改革，目的就是增强工科专业人才培养的工程意识，我国高校参加的工程专业教育认证也是以“应用”或“实践”^[1]为特征，目的都是试图改变工科教育重“理”轻“工”的“跑偏”人才培养模式。

作为化工类专业的重要专业基础课程，化工基础(化工原理)系列课程对化工专业学生的工程意识、思维方法和实践能力的培养至关重要，改进化工基础课程教学内容和方法是工科人才培养模式改革的最基础工作之一，也是工程教育改革的突破口。

一、化工基础课程教学现状

化工基础课程对化学工程与工艺及相关专业通常指“化工原理”理论课、“化工原理实验”课程和“化工原理课程设计”。对其它相关专业如过程装备和自动化专业，一般仅指“化学工程基础”课程，也有的院校在这些专业开设少量的“化工原理实验”课程。

化工基础的这些课程通常是独立开设，虽然理论体系是相互联系的，但在教学过程中采用的实例或案例却很少有紧密的相互关联，学生学习时的感觉是只见树木不见森林！

由教育部发起的“卓越工程师教育培养计划”是我国高等教育界开展的比较系统的工程教育改革活动^[2,3]，其目标是创新高校与行业企业联合培养人才的机制，改革工程教育人才培养模式，提升学生的工程实践能力。我国部分院校参与试点的国际“CDIO 工程教育模式”

*基于工程教育理念的化工专业基础课程教学体系的改革与实践项目

改革^[4]试点也是同样的目标，都是培养学生提升工程的创新思维和实际动手能力。

进入21世纪以来，国内化工类工科高校在化工原理课程教学过程中进行了大量教学改革和探索工作，比如，中国石油大学(北京)针对传统化工原理教学主线不突出、章节之间缺乏系统性和连续性问题，提出了以三传为主线、加强单元过程类比、强调工程学科特点的新教学大纲，并提出了改进教学方式配合教学体系调整的具体方案^[5]。华南理工大学在《化工原理》教材建设、课程体系、教学方法上进行了很多改革^[6]。长春工业大学在化工原理教学过程中，在课堂理论教学中，强化工程观念，培养分析和解决问题能力，在实验教学环节中培养综合能力^[7]。合肥学院在化工原理课程设计教学中，注重教学环节设置，将化工工业设计过程的主要过程纳入教学过程中，从教学内容的选择、教学方法和设计方式等方面进行改进，提高了学生解决工程问题的能力^[8]。武汉科技大学^[9]在化工基础教学过程中，从课程内容优化与整合、教师队伍建设、搭建开放性实践平台等方面对化工原理课程体系和教学方法进行改革，增强了学生工程意识和创新能力。贵州大学探讨了化工原理课程教学、实验指导、课程设计“三位一体”的教学理念^[10]，但是缺少三位一体的教学载体。华东理工大学化工原理课程教学团队在教学中尤其重视培养学生的工程观点和工程能力^[11]，在实验内容上进行扩展。吸收实验由单一的吸收塔操作改为吸收-解吸联合操作，精馏实验的装置为手动/仪控/DCS，该装置能进行全回流和部分回流连续精馏操作。天津大学化工原理主要改革举措包括：加强教学团队建设，参加各级教改项目、编写各类教材，加强案例教学、布置综合题目、撰写读书报告、改进考核方法和强化课程设计等内容^[12]。

综上所述，这些化工基础课程的教学改革都是在单门课程的基础

上进行的，尽管在培养学生工程应用能力方面起到了很大作用，但是由于没有相互联系的统一平台，在教学系统性和学生对单元设备原理和相互联系的理解方面还有所欠缺。

二、化工基础课程体系的改革

北京石油化工学院的人才培养目标是培养“工程一线的工程师”，为此，学校对人才培养方案进行了几轮的修订，修订的原则是在逐步压缩总学时的基础上增加实验实践教学所占学时的比例，强调基础课程要适应工科的特点，专业课程要强调工程应用。

化工基础课程教学团队不断寻求理论知识在实践过程中的再现性，以提高学生工程应用能力作为理论课程教学追求的目标，在理论教学、实验环境建设等方面进行了大量探索和实践。

1. 化工基础课程体系的融合

作为化工工程与工艺以及相关专业的专业基础课程，化工基础课程群在化工专业人才培养中起着十分重要的作用，我们的校友访谈结果表明，毕业生往往认为最重要的课程就是“化工原理”。

化工基础课程教学体系中通常包括化工原理课程、化工原理实验课程和化工原理课程设计课程。

我校化工基础教学以往也是基础理论课程、设计课程和实验课程是互相分离的独立体系，实验装置也是验证性和简单的综合型或设计型的独立单元，各门课程教学内容缺少连续性的载体，这样的课程体系在培养学生系统性的工程观念、产品或过程的全生命周期设计思维以及团队合作能力方面都难以适应当前工科人才培养要求。按着“构思—设计—实现—运行”工程教育理念，课程教学团队将化工基础的基础理论课程、设计课程和实验课程通过一个综合流程实验平台有机结合起来，这是我校化学工程与工艺专业在“卓越工程师教育培养计

划”实施过程中重要的课程体系改革理念之一。

按着工程教育和 CDIO 的“构思—设计—实现—运行”工程教育理念，化工基础课程体系的改革重点是将化工专业基础课程教学体系中的基础理论课程、设计课程和实验课程有机结合起来，在讲授“化工原理”理论的过程中，逐步布置“化工原理课程设计”的设计内容，设计内容要把化工基础开设的主要实验项目以连续的工艺流程形式串连组合起来，学生在理论课程学习的基础上，以学生小组为单位对给定的设计任务设计工艺流程的各个部分。在设计结果符合要求的基础上，利用一体化综合流程实验平台的化工单元设备组件或模块，搭建一套连续的工艺流程，在该工艺流程设备上包括化工常见的单元操作设备，并实现过程的开车、运行、停车过程和相应的实验项目，通过实际操作初步掌握化工过程流程操作的基本要素。

为此，对以往的“化工原理”、“化工原理实验”和“化工原理课程设计”课程，重新研究课程大纲、教学内容和教学方法，研究课程之间的衔接和教学安排，课程成绩的记录和考核方法。

2.化工基础课程教学内容和方法

传统的“化工原理”课程理论课教学是以单元操作原理为核心，教师在教学过程中往往忽视或忽略单元操作装置相关内容的讲授，而对工科培养的一线工程技术人员来说，这恰恰是他们应该学习的知识。例如，通常在“流体流动”一章，我们可能重点讲授伯努利方程及其应用，但往往忽略流体输送系统的构成、管件、流量计及其安装与操作等工程上常用的知识。在流体输送设备一章，我们可能重点介绍离心泵的结构和原理，但对离心泵的选型、安装和运行、其它各种泵和风机、压缩机的介绍就相对较少甚至忽略不讲了。在传热一章，我们可能重点讲解导热和对流传热的基本知识，而对换热器的选型和操作

的知识讲解相对较少，对精馏过程的再沸器也鲜有介绍。这些我们经常简介或忽略的知识往往是工科学生在工业岗位上经常用到知识，因此我们加强了这些工程知识内容的讲授。

对于以化工基础课程作为相关专业课程的专业来说，他们的“化工原理”或“化学工程基础”课程讲授的内容重点也要因专业而有所区别，对于这些专业来说，单元操作原理知识应以够用为度，而单元设备原理、性能和操作知识应作为主要的讲授内容。例如，对于“过程装备与控制工程专业(原化工机械)”应重点讲授主要单元设备原理，对于“自动化(原化工仪表与自动化)”专业，应重点结合单元设备原理讲授单元设备性能和操作特性知识，为相关控制方案和仪表设计和操作提供技术支持。

根据工程教育的理念，培养工程设计能力、强调团队合作及培养职业道德和责任意识也是工科人才培养的重要内容，为此应在化工基础系列课程内增加设计教学内容，课堂应增加团队研讨、课程报告等教学内容。例如，在流体流动和流体输送设备内容之后设置一个管路系统的设计大作业，在传热一章之后设置一个换热器设计大作业。在精馏一章或吸收一章之后设置精馏塔或吸收塔设计大作业，或者按传统的做法作为一个独立课程，设计一个精馏塔小系统。这些设计内容都以小组的形式进行，并且要举行报告答辩，以此培养学生的沟通、合作、交流和表达能力。

三、化工基础课程一体化实践平台建设

为了配合上述思路的化工基础系列课程改革，我们设计了一套“乙醇-空气”混合气体的分离系统。实验流程以模拟净化分离某企业生产过程中产生的含有乙醇的空气为背景，通过吸收分离使尾气排放达到标准，同时通过精馏浓缩回收一定浓度的乙醇。

1. 设计理念

系统能用于学生设计管路输送系统、换热器、精馏塔和吸收塔，系统所用设备尽可能采用工业形式的设备和测量与控制仪表，系统能适应乙醇浓度和气体处理量的变化，学生在完成设计后能组建相应的实际流程，并完成流程的开车、运行和停车操作。图 1 为该分离与精制系统的原理简图，图 2 为装置的实际照片，图 3 为该装置的工艺流程图。

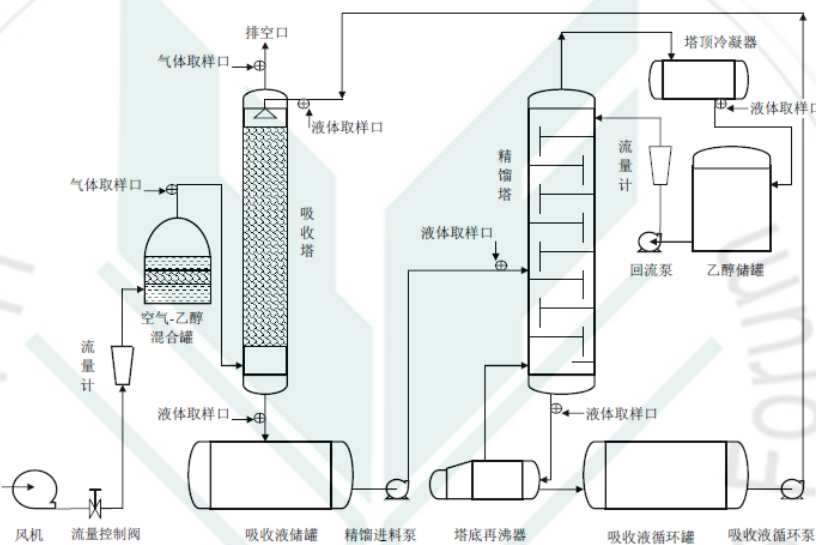


图 1 一体化综合流程实验平台

——乙醇-空气混合气体吸收分离与精制系统原理简图

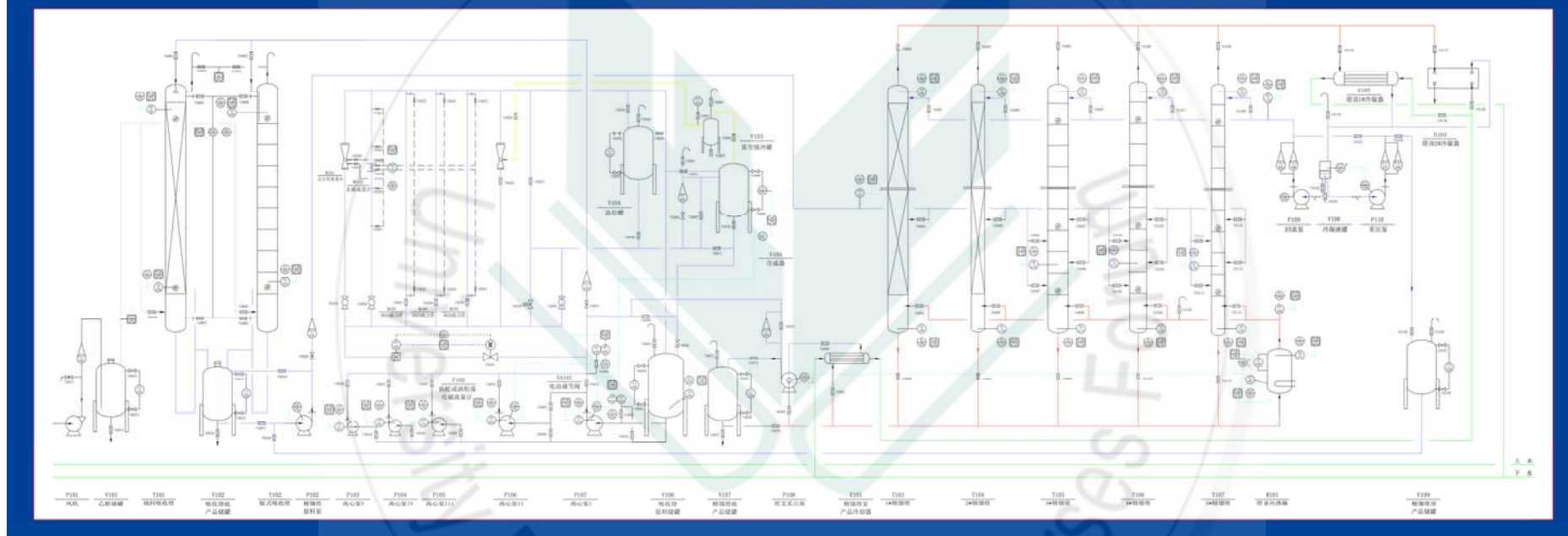


图 2 一体化综合流程实验平台

——乙醇-空气混合气体吸收分离精制系统装置图片



乙醇——空气混合气体吸收分离系统工艺流程图



2. “化工原理课程设计”和“化工原理实验”的教学组织

将一个班分成4个小组(每小组4~8名学生),确定小组长,每组分别给出不同的设计任务,提出设计要求。设计要求为:(1)吸收塔和精馏塔可以采用筛板塔或填料塔。(2)吸收塔的操作温度为20℃。(3)要进行全流程的工艺条件、装置工艺条件、管道、阀门、测控设计计算或选型,提出浓度分析方案。(4)绘制PFD、PID及吸收塔和精馏塔的工艺条件图。(5)设计系统开车和停车方案。(6)编制设计说明书。

小组中的每一名成员可以只负责一部的设计任务。设计完成后举行设计答辩,根据设计说明书的情况、答辩过程和每一名小组成员的表现给出课程设计成绩。

一体化综合流程实验平台共有4套相同的装置。在指导教师认为各小组的设计基本合理的条件下,分组开始装置的熟悉、开车、运行和停车实验。在进入实验室前要求学生认真学习实验指导书,指导书主要内容包括:实验目的、装置流程介绍、实验任务、实验内容、实验操作、实验数据表、实验数据处理及结果要求、实验工作分工、实验工作安全要求、实验工作总结等。

实验结束后,根据每组学生的实验操作规范性、实验结果和每名成员的表现,对每名学生进行成绩评定。本实验时间一般为8~16学时,学生先期要参加单元装置实验。

四、结束语

传统的化工原理课程注重单元过程原理知识讲授,课程设计通常只设计精馏塔或吸收塔,化工原理实验课程是各个单元实验互相独立,实验装置也基本是验证性的独立单元。

通过将理论课、设计课和实验课融合起来,学生在理论课程学习

单元操作原理的基础上,对一个简单的吸收分离和精馏精制过程进行系统的设计,在尽可能模拟工业装置的实验中进行开车、运行和停车实际操作。基于一体化综合流程实验平台,通过小组合作,使学生获取化工单元操作的系统性知识,培养学生系统性思维能力,认识在化工企业中常用的各种控制和显示仪表及设备,培养学生根据不同任务分析和选择合适的流程和单元设备,以更宽广的视野了解化工行业单元设备的现状。通过团队合作,使学生认识到分工与协作的重要性,认识到做为未来化工工程师在健康、安全和环保方面的职业责任。

参考文献

- [1] 朱高峰. 高等工程教育研究, 2011, (1):1-5.
- [2] 林健. 卓越工程师培养: 工程教育系统性改革研究, 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [3] 《卓越工程师教育培养计划工作进展报告 2010-2012》编写组. 卓越工程师教育培养计划工作进展报告(2010-2012), 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [4] Edward F. Clawley. 重新认识工程教育: 国际 CDIO 培养模式与方法. 顾佩华, 等译. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [5] 曹 睿, 刘艳升. 化学工程与装备, 2009, (2):123-126.
- [6] 钟理, 马四朋, 伍钦. 科学研究月刊, 2005, (5): 91- 93.
- [7] 李然, 李天一, 李 伟, 等. 化工高等教育, 2006, (6): 9-10.
- [8] 张凌云, 朱德春, 孙宏, 等. 合肥学院学报(自然科学版), 2011, Vol.21, (4): 89-91.
- [9] 张春桃, 王海蓉. 化工高等教育, 2012, (6): 15-17.
- [10] 曹阳, 高轶群, 乐意, 等. 化工高等教育, 2007, (2): 59-61.

[11] 黄婕, 齐鸣斋, 刘田. 化工高等教育, 2012, (2): 1-3.

[12] 张凤宝.中国大学教学 2015, (4): 8-12.

