

# 新工科背景下化工过程安全 人才培养模式探索\*

陈国华,张心语,李一川

(华南理工大学 机械与汽车工程学院 安全科学与工程研究所,广东 广州 510640)

**[摘要]**探索新工科背景下化工过程安全人才培养模式对于缓解现阶段化工行业的迅速发展与安全管理不到位的突出矛盾具有重要意义。文章在分析总结国内外化工过程安全人才培养现状及主要问题的基础上,重点从课程体系、教学模式和考核方式三方面探究化工过程安全人才培养模式,提出了包括公共基础课、学科基础课、专业必修课、专业选修课、实践教学环节、通识教育课六大模块的化工过程安全专业课程体系,并建立了以渐进式双语教学为主,以在线慕课教学、计算机模拟仿真教学、循证翻转课堂教学、CDIO 教学等多种教学方法为辅的多元教学模式,以及“理论+纪律+实践+团队+创新”的五元考核方式。该模式对培养化工过程安全高层次复合型人才具有重要的示范作用。

**[关键词]**新工科;化工过程安全;人才培养;课程体系;教学模式;考核方式

## Exploration on Talents Cultivation Mode for Chemical Process Safety under the Background of New Engineering

Chen Guohua, Zhang Xinyu, Li Yichuan

(*Institute of Safety Science & Engineering, School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510640*)

**Abstract:** It is of great significance to explore the talents cultivation mode of chemical process safety for relieving the prominent contradiction between the rapid development in chemical industry and the defect of safety management in chemical industry under the background of new engineering. Based on analysis and summary of the current situation and main problems of chemical process safety talents cultivation at home and abroad, this paper focused on three aspects of curriculum system, teaching mode and evaluation method to study the talents cultivation mode of chemical process safety. The curriculum system of chemical process safety was proposed, which included six modules of public basic courses,

**[作者简介]** 陈国华(1967-),男,教授,博导,博士;张心语(1995-),女,硕士生;李一川(1996-),男,硕士生。

**[通信作者]** 张心语, E-mail: 15914460385@qq.com。

\* 基金项目:广东省本科高校教学质量与教学改革工程特色专业建设项目(粤教高函[2018]179号);广东省高等教育教学改革项目(粤教高函[2018]180号);华南理工大学第一批新工科专业建设和新工科研究项目(教务[2017]48号)。

subject basic courses, professional compulsory courses, professional elective courses, practical teaching, and general education courses. The multiple chemical process safety teaching mode was established with progressive bilingual teaching as the mainstay, supplemented by MOOC teaching, computer simulation assisted teaching, evidence-based flip classroom teaching, CDIO teaching and other teaching methods. And a diversified curriculum evaluation index system was proposed, which included five elements of theory, practice, team, innovation and discipline. The research results have important demonstration effects on cultivating high-level chemical process safety compound talents in colleges and universities.

**Key words:** New engineering; Chemical process safety; Talents cultivation; Curriculum system; Teaching mode; Evaluation method

继 2017 年教育部组织高校通过深入研讨,形成“复旦共识”“天大行动”“北京指南”,并发布《关于开展新工科研究与实践的通知》《关于推进新工科研究与实践项目的通知》之后<sup>[1-2]</sup>,在新工科背景下我国化工过程安全人才教育已步入从教育大国向教育强国、从人力资源大国向人力资源强国迈进的历史新起点。石化和化学工业在我国国民经济中占有举足轻重的地位,“十二五”期间,我国已建成 22 个千万吨级炼油基地和 10 个百万吨级乙烯基地,形成了长江三角洲、珠江三角洲、环渤海地区三大石化产业集聚区<sup>[3]</sup>。

化工生产具有生产流程长、工艺过程复杂、物料危险性高、工艺条件严苛等特点,因此生产过程中易发生火灾、爆炸、中毒、灼伤、腐蚀等事故。石化产业是我国的支柱产业,但目前掌握化工工艺与安全工程专业知识的化工安全复合型人才培养,不能满足当前化工安全生产的迫切需要。因此,现阶段化工行业的迅速发展与安全管理的矛盾非常突出,化工过程安全人才培养工作对于更好地推动本科教学改革、落实“人才强安”战略及建设新工科具有重要意义。

## 一、化工过程安全人才培养现状分析

### (一)国内外人才培养现状及特点分析

国内外高校的化工过程安全人才培养工作大致有以下几个特点。

#### 1. 专门开设化工过程安全相关课程

国外化工行业起源于 19 世纪,于 1890 年进入兴盛期。但化工行业的兴旺发展导致了较多事故的发生。在 1976 年意大利塞韦索市化学污染

事故发生后的 40 多年里,国外的化工过程安全水平有了很大改善,化工过程安全教育也得到了长足发展<sup>[4]</sup>。

目前,国外多所高校开设了有关化工过程安全的课程。乔治亚理工学院、得州农工大学、宾夕法尼亚州立大学、俄亥俄州立大学、西弗吉尼亚大学、得克萨斯理工大学等 13 所美国大学均开设了与化工过程安全相关的本科课程<sup>[5]</sup>;英国的伦敦大学学院、纽卡斯尔大学、谢菲尔德大学等高校均开设了预先危险性分析、危险与可操作性分析、失效模式及后果分析等化工安全课程<sup>[6]</sup>;比利时鲁汶大学安全工程硕士培养方案中设置了过程安全方向,重点研究代表性单元(如反应器、蒸馏塔、炉等)的过程安全与定量风险评估<sup>[7]</sup>;澳大利亚墨尔本大学开设了本科过程安全案例教学课程,让学生以小组讨论和上台演讲的方式深入研究事故案例<sup>[8]</sup>;此外,法国、德国、挪威、瑞典、俄罗斯、西班牙等国家的学校也开设了化工过程安全相关课程。各类课程的开设为培养化工安全人才奠定了基础。

我国在化工过程安全人才培养方面起步较晚,但在课程建设上有可取之处。清华大学增设了工程伦理概念课程,着重塑造化工过程安全人才的工程伦理价值观。教学过程中强调实践的重要性,将与安全相关的实践项目融入日常学习中,实践学分占比达到五分之一<sup>[9]</sup>。中国石油大学作为国内首个开设化工安全工程专业的高校,在专业培养计划中设置了化工安全仪表、化工设备安全、化工工艺热安全风险评估等课程。华南理工

大学近年来开展了较多与化工过程安全相关的教育活动,如2008—2014年与全球第五大石化企业道达尔集团共同举办了八届化工过程安全全英文培训课程,拓展了学生的专业视野和国际化眼光<sup>[10]</sup>,2018年针对企业一线生产管理人员开办了化工安全复合型人才高级研修班,开设了化工生产过程安全、化工过程安全设计等课程,积极推动化工过程安全人才培养<sup>[11]</sup>。

2.构建系统化的培养模式已逐步成为化工过程安全教育的重要趋势

美国是最早建立化工过程安全教育体系的国家之一。1985年,美国化学工程师协会化工过程安全中心启动了安全与化学工程教育项目。经过43年的发展,美国已形成课程教学、教师研讨、资格认证等多元化的化工安全教育体系<sup>[12]</sup>。过程安全领域的顶级专家 Genserik Reniers 教授将过程安全教育分为三部分:一是以大学为基础开展的教学工作,包括本科生和研究生的科研工作;二是实习、在职培训等围绕专业开展的教育;三是针对政府监管机构的培训。他还将这三部分归纳成较为系统的“过程安全教育模型”<sup>[13]</sup>。

3.国内化工过程安全教育发展空间巨大

国内化工过程安全教育在1999年与安全科学相关的高等教育机构数量呈现显著增长后才有所发展。到2016年,我国有183所高等教育机构可授予与安全科学相关的学士学位,其中有46所研究方向涉及化工过程安全<sup>[14]</sup>,但绝大多数仍停留在开设化工原理、危险化学品安全技术、化工过程安全设计等与化工过程安全相关的课程<sup>[15]</sup>,尚未形成成熟的人才培养体系。到目前为止,仅有中国石油大学化工安全工程专业成功通过教育部新专业审批,并于2018年开始招生<sup>[16]</sup>。可见,我国化工过程安全人才培养还有巨大的发展空间。

## (二) 主要问题

如何完善和发展化工过程安全领域的学科体系,推进教育教学改革,以适应我国行业需求及经济全球化的需求,已成为新工科建设中亟待研讨的一个重要课题。目前,我国化工过程安全人才培养体系尚处于建设阶段,主要存在以下问题:

1.尚未形成成熟、系统的化工过程安全课程体系;2.相关课程与化工过程安全的契合度不够高,内容不够深入;3.实践教学环节相对薄弱,不能充分满足学生的就业需求;4.与化工过程安全相关的双语课程较少,学生的专业英语能力亟待加强,国际化视野有待拓宽;5.教学模式较为单一,仍未摆脱以教师为中心的单向灌输教学,学生综合能力得不到提高;6.课程评价标准单一,考核方式不够灵活,且不能突出对学生创新思维的评价。

针对目前化工过程安全人才培养中存在的问题,结合2017年11月最新修订的工程教育认证标准、化工过程安全专业的培养目标及化工企业安全管理复合型人才的需求,本文以高校本科生为主体,重点从课程体系、教学模式和考核方式三方面提出改革措施,初步建立了具有化工过程安全特色的人才培养模式。

## 二、化工过程安全课程体系研究

### (一) 培养目标

化工过程安全专业以提高人才培养与市场需求的耦合度为导向,结合新工科建设目标,培养熟悉国家的安全方针、政策和法规,具备扎实的化工专业基础知识和工程实践能力,掌握现代化工过程安全工程和管理理论、方法,具有创新意识和国际化视野的复合型化工过程安全工程技术与管理人才,使之逐步成为“知工艺、懂安全、精技术、会管理”的化工过程安全领域卓越工程师,为企业急需的安全总监、安全监管高级工程师等高层次化工过程安全人才提供后备力量<sup>[17]</sup>,为社会提供高质量的化工过程安全领域精英人才。

### (二) 课程体系

结合培养目标,本文构建了包括公共基础课、学科基础课、专业必修课、专业选修课、实践教学环节、通识教育课六大模块的化工过程安全专业课程体系,如图1所示。该课程体系具有以下几个特点。

#### 1. 强化基础知识

在化工生产中,高温、高压、深冷、负压等不安

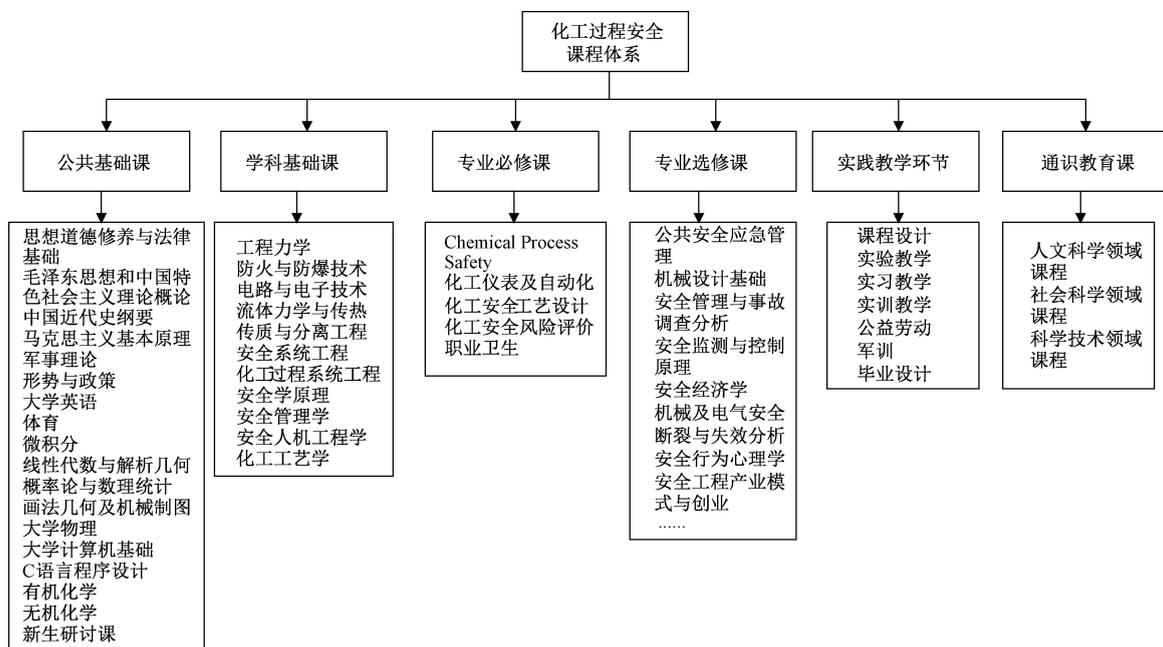


图1 化工过程安全课程体系

全因素很多,因此学生需要对化学反应机理及化工生产过程有较深的认识。安全工程专业开设的化学化工类课程有限,学生的知识基础较为薄弱,为此公共基础课中设置了有机化学与无机化学课程,以使学生系统、深入地学习化学基础知识;学科基础课中设置了化工过程系统工程课程,讲授系统工程、单元过程及模块、过程系统的结构分析、化工过程系统的合成方法等知识。

## 2. 注意课程与化工过程安全的高度契合

安全工程课程体系中的专业课程设置往往涉及面广,但针对性不强。本文提出的化工过程安全课程体系中增加了化工仪表及自动化、化工工艺学、化工安全工艺设计、化工安全风险评价、Chemical Process Safety 等与化工过程安全契合度高且实践性强的课程,学生可以学习化工工艺、自动化装置及设备、化工行业各类装置的安全设计、化工园区中危险源或有害因素的量化评估等方面的知识。

## 3. 课程设置有一定弹性,注重学生个性化发展

专业选修课作为课程体系中的弹性模块,着眼于学科知识广度的拓展,可以让学生在保证修满规定学分的前提下按需选择。专业选修课涉及

管理学、经济学、机械安全、电气安全、公共安全等领域,各校也可根据实际情况设置更多课程供学生选择。另外,开设新生研讨课、安全工程产业模式与创业等个性化课程有助于培养学生的家国情怀和人文精神,提高学生的科研能力和创新创业能力。

## 4. 实践教学环节较为系统和全面

化工过程安全具有较强的实践性,需建立多元化、多环节的实践教学体系,如图2所示。该体系在满足工程教育认证标准和安全工程专业补充标准的基础上,增加了化工过程安全专业实验和化工过程安全实训。为加深学生对化工过程安全的认识,提高其防范、控制化工事故灾害发生的能力,化工过程安全专业实验基本涵盖了影响化工生产过程安全问题的关键因素,涉及化学品安全信息、化学品反应安全、化工装置和管路泄漏、化学品扩散、化工火灾安全、化工设备安全等内容。化工安全生产实训分为两部分:仿真实训在介绍实训安全管理知识的基础上,运用计算机模拟仿真技术,针对装置开停车、危险源辨识、HAZOP分析、事故后果模拟、事故预防与控制等内容进行训练,将生产装置场景、模拟系统与评价系统相结合,具有真实感强、不需要物料、可重复利用、安

全、环保、节省投资等优点<sup>[18]</sup>；企业实训是让学生分组进入不同的化工企业，接触实际生产活动，在

完成仿真实训的基础上，借助真实的职业环境进一步培养学生的实际操作能力和综合素质。

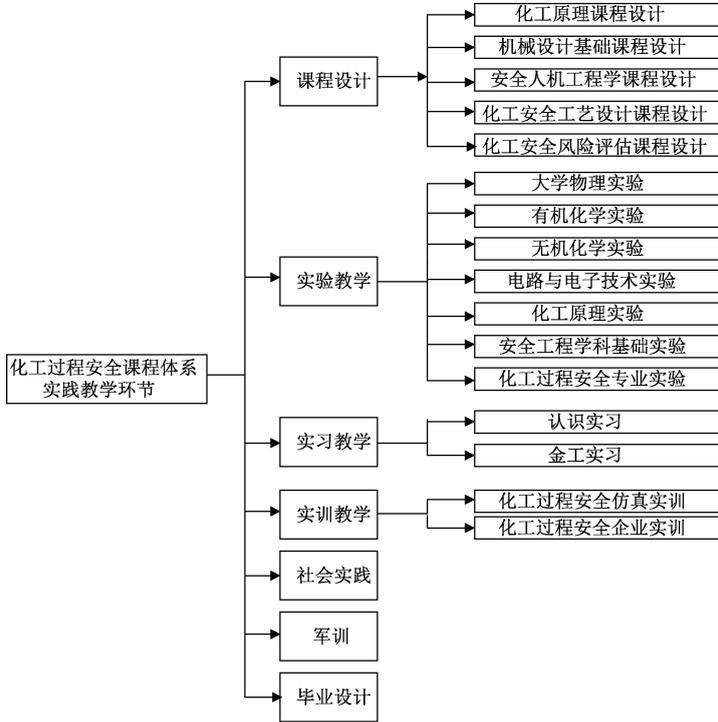


图2 化工过程安全实践教学环节

### 三、化工过程安全教学模式研究

专业英语能力的高低在一定程度上反映出化工专业人才的水平。对于高校化工专业毕业生来说，无论参与国际学术交流、出国深造，还是进入外资或中外合资企业从事安全管理工作，都离不开精湛的专业英语水平。国内化工企业的技术工艺、仪器及设备也大多是从国外进口的，因此扎实的专业英语知识是必需的。经过30年的发展，国外化工过程安全领域的教学模式及教材均较为系统和全面，高校可借鉴国外化工过程安全教学方面的先进经验，重视我国化工过程安全学科发展的独特性，因地制宜地开展教学。

根据国内外化工过程安全领域的发展现状，笔者认为高校可结合订单式人才培养，建立以渐进式双语教学为主，以在线慕课教学、计算机模拟仿真教学、循证翻转课堂教学、CDIO教学等多种教学方法为辅的多元化工过程安全教学模式。

#### (一) 渐进式双语教学

化工过程安全课程体系双语教学课程的教学计划如表1所示。双语教学模式按第二语言使

用的侧重程度主要分为基本型、过渡型和沉浸式三种。为了逐步提高学生的专业英语水平，本文建议采用渐进式双语教学模式开展教学，教学过程主要分为三个阶段。

第一阶段采用基本型双语教学模式，对大一和大二的8门课程开展教学。授课过程中，主要内容采用中文教学，一些重要的专业术语及关键性概念等进行中英文对照讲解。这种教学模式有助于学生形成化工过程安全知识体系，并掌握一些关键专业词汇的英文表述<sup>[19]</sup>。

第二阶段采用过渡型双语教学模式，涉及大三的化工安全工艺设计和化工安全风险评估课程。这种教学模式要求教师与学生具备一定的专业英语基础。教学过程中，较为基础的章节采用英文教学，有难度的章节采用中文教学，目的是让学生逐渐熟悉英语环境，从而提高专业英语水平。

第三阶段采用沉浸式双语教学模式进行Chemical Process Safety课程的教学。教师和学生均采用全英文完成课程的讲解和交流反馈。这种教学模式可产生很好的学习成效，但对教师和

表1 化工过程安全双语教学课程的教学计划

	大一		大二		大三		大四	
	1	2	1	2	1	2	1	2
公共基础课	无机化学	有机化学						
学科基础课			流体力学与 传热、化工 工艺学	防火与防爆技术、传质与 分离工程、化工过程系统 工程、安全系统工程				
专业必修课					化工安全 工艺设计	化工安全 风险评价		
						Chemical Process Safety		

学生英语水平的要求也很高。

## (二) 辅助教学方法

### 1. 在线慕课教学

长期以来,教师根据教材内容实施灌输式教学,学生处于被动地位,慕课的实施将有效改变这一现状。学生将在线学习部分专业课程或课程的部分章节,如化工过程系统工程课程中ASCEND、Aspen Plus等化工过程模拟软件操作方法的介绍,化工仪表及自动化课程中用于压力检测、物位检测、温度检测、流量检测的各类仪表的介绍,化工安全风险评价课程中FLACS、SAFETI等风险评价模拟软件操作方法的介绍等。另外,在进行课程设计、实验及实训之前,学生可通过在线慕课平台对这些内容进行预习,以便各项实践教学活动顺利进行。在线慕课平台可解决课程时间安排冲突或教师不足的问题,让学生合理安排时间进行自主学习。该平台也可对其他专业甚至外校学生开放。精心设计的课程视频、经典的章节知识检测题目及完备的学习分析监测系统是建构国内一流在线慕课平台的基础。

### 2. 计算机模拟仿真教学

计算机模拟仿真教学主要分为两部分:一是用于专业课程教学,让学生通过操作模拟仿真软件完成专业课程学习任务,这部分主要与在线慕课平台结合,让学生在慕课平台学习模拟软件的使用方法,下载软件独立操作,掌握理论知识的应

用;二是用于实训教学,通过先进的计算机技术再现典型化工生产流程、操作过程和设备原理,让学生在逼真的操作环境下完成生产装置操作训练,提高实践能力。化工过程安全计算机模拟仿真教学基本结构如图3所示。

### 3. 循证翻转课堂教学

循证学也叫循证实践,最初应用于医学界<sup>[20]</sup>。循证概念应用于翻转课堂教学中,意为“将学生在课上或课下学习的数据作为证据,在翻转课堂教学中针对学生学习中的问题开展教学”。化工过程安全循证翻转课堂教学与在线慕课平台结合,有助于解决学生在慕课学习中遇到的问题,使其掌握所学知识的应用。为了充分了解学生的知识掌握程度,教师可借助Socrative、Three Ring等国外常用的教育科技产品来搜集课上学习数据,利用慕课平台的学习监控系统搜集课下学习数据。

### 4. CDIO教学

CDIO教学以“构思—设计—实现—运作”为理念,主要用于课程设计,按照“学生分组参观实习—教师布置课程设计任务—学生自主选择课程设计题目—推进课程设计—完成课程设计并考核”的流程开展教学活动。组织学生参观化工企业有利于使其建立感性认识,并结合化工企业实际产品着手设计。选定题目后,学生成立小组并明确分工,组长负责团队的整体协调工作。课程

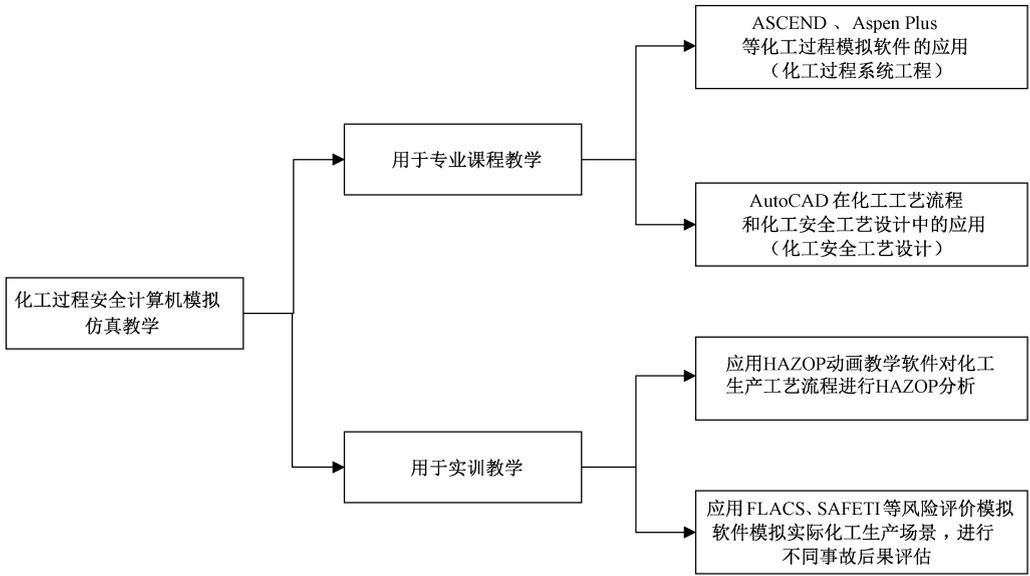


图3 化工过程安全计算机模拟仿真教学基本结构

设计过程中以学生为主,教师进行指导与监督,以充分发挥学生的主观能动性。基于 CDIO 的化工过程安全课程设计教学符合培养大纲对工程专业学生能力培养的要求,可达到对专业基础知识、个人能力、团队协作能力和工程系统能力的综合培养<sup>[21]</sup>。

#### 四、化工过程安全考核方式研究

考试是人才培养质量检验和评价的必要方式,不仅具有反馈与评判作用,而且具有导向和激励功能。考核是教学活动和人才培养的重要环节,针对当前考核方式较为单一且不够灵活的问题,笔者构建了“理论+纪律+实践+团队+创新”的化工过程安全五元考核方式。

理论方面的考核包括期中和期末考试、课程论文、单元检测、英语口语检测等常规测试及课堂笔记、课堂互动、课后作业等平时检测;纪律方面的考核主要考查学生课堂出勤、课堂纪律、作业情况及考试纪律等指标;实践方面的考核主要针对课程设计、实验教学、实习教学及实训教学,兼顾平时表现与成果考核,另设立计算机模拟仿真上机考试,考查学生对模拟软件的操作和应用情况;团队方面的考核包括团队实验及实训考试、团队作业、团队讨论等指标,重点考查学生的团队合作能力和在团队中的贡献度;创新方面的考核主要对学生的创新思维进行合理评判并加分。

在每门课程中,教师可根据不同的考查重点,

灵活设置权重,从而综合评价学生的能力。

#### 五、预期实践效果

我校安全工程专业作为华南地区最早开办的安全工程本科专业,自1999年以来已形成了较为成熟的人才培养模式,近年来学校又与多家企业签订协议,共建实训基地,并成功申请了校级新工科专业建设项目与省级特色专业建设项目,这为化工过程安全人才培养奠定了良好的基础。本文提出的化工过程安全人才培养模式预期达到以下效果:1.建立包含六大模块的化工过程安全课程体系,使学生同时掌握化学工程和安全工程学科的知识,并通过学习自己感兴趣的专业课及通识课,拓宽知识面;2.建立以渐进式双语教学为主、多种教学方法为辅的多元化工过程安全教学模式,全面提高学生的专业英语能力,为外企就业或出国深造打好基础,并建立一支专业英语教学能力较强的师资队伍;3.建立化工过程安全五元考核方式,综合评价学生的能力,同时鼓励并发展学生的创新思维能力;4.建成华南地区具有影响力的化工过程安全特色专业,辐射粤港澳大湾区,形成专业示范引领的激励机制,依托本专业现有合作单位,形成“校企联盟”深度融合的体制机制,并通过专业建设指导、教师交流、对口培训等多种形式,助力同类院校相关专业的人才培养,实现共同发展。

## 六、结束语

针对现阶段化工安全生产形势严峻、化工过程安全管理人才紧缺及人才培养不够系统化等问题,本文以新工科建设精神为导向,重点从课程体系、教学模式、考核方式三方面研究了化工过程安全人才培养模式,以期增强学生的工程实践能力、创新能力及国际竞争力。但培养高素质化工过程安全人才不是一蹴而就的,政府、高校及企业需要共同重视,共同努力。(文字编辑:李丽妍)

### 参考文献:

- [1] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3):1-6.
- [2] 李华, 胡娜, 游振声. 新工科:形态、内涵与方向[J]. 高等工程教育研究, 2017(4):16-19.
- [3] 工业和信息化部. 关于印发石化和化学工业发展规划(2016—2020年)的通知[EB/OL]. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757017/c5285161/content.html>.
- [4] Krause U. Process safety in engineering education-Pro's and Con's of different approaches[J]. Chemical Engineering Transactions, 2016, 48:871-876.
- [5] Dee S J, Cox B L, Ogle R A. Process safety in the classroom: the current state of chemical engineering programs at US universities[J]. Process Safety Progress, 2016, 34(4):316-319.
- [6] Pitt M J. Teaching Safety in Chemical Engineering: What, How and Who? [J]. Chemical Engineering & Technology, 2012, 35(8):1341-1345.
- [7] Ku Leuven. Master of Safety Engineering (Leuven) [EB/OL]. [https://onderwijsaanbod.kuleuven.be/opleidingen/e/CQ\\_50268884.htm](https://onderwijsaanbod.kuleuven.be/opleidingen/e/CQ_50268884.htm).
- [8] Shallcross D C. Safety education through case study presentations [J]. Education for Chemical Engineers, 2013, 8(1):e12-e30.
- [9] 杜奕, 陈定江, 林章凜, 等. 化工安全教育体系的建

设与实践[J]. 实验技术与管理, 2015(11):231-233.

- [10] 华南理工大学化工过程安全中心. 第八届道达尔国际化课程暨化工安全工程师俱乐部成立仪式[EB/OL]. <http://www.ce119.com/portal.php?mod=view&aid=94>.
- [11] 广东省应急管理厅. 我省首期化工安全复合型人才培养高级研修班在华南理工大学正式开班[EB/OL]. [http://www.gdsafety.gov.cn/gdyjgl/gkai\\_aqsc/201810/77eb663ce6874e5990ce41b251785fee.shtml](http://www.gdsafety.gov.cn/gdyjgl/gkai_aqsc/201810/77eb663ce6874e5990ce41b251785fee.shtml).
- [12] Louvar J F, Hendershot D C. SACHE: 17 years of promoting teaching of safety to chemical engineering students[J]. Chemical Health & Safety, 2003, 10(5): 8-10.
- [13] Mkpate E, Reniers G, Cozzani V. Process safety education: a literature review[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2018, 54:18-27.
- [14] Zhang J, Fu J, Hao H, et al. Development of safety science in Chinese higher education[J]. Safety Science, 2018, 106:92-103.
- [15] 彭萌. 中美安全学科高等教育比较研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [16] 中国石油大学新闻网. 石大新增化工安全工程本科专业 [EB/OL]. <http://news.upc.edu.cn/2018/0322/c251a88661/page.htm>.
- [17] 赵东风, 路念明, 陆旭, 等. 中国化工安全复合型人才培养模式探讨[C]. CCPS中国过程安全会议, 2015.
- [18] 葛秀坤, 邵辉, 郝永梅. 3D虚拟仿真技术在“化工安全工程”实验教学中的应用[J]. 黑龙江教育(高教研究与评估), 2016(5):15-16.
- [19] 孟亦飞, 赵东风, 廖启霞. 化工过程安全课程本科双语教学模式探讨[J]. 当代教育论坛, 2010(9):113-114.
- [20] 林磊. 循证设计:沟通营销决策与设计实践的桥梁[C]. 国际创新设计与教育论坛, 2011.
- [21] 阳富强, 沈斐敏, 陈伯辉. 基于CDIO理念的安全工程专业人才培养模式探索[J]. 化工高等教育, 2013, 30(5):16-20.