

化学反应工程课程在培养学生创新能力中的作用

张良佺¹, 张蕴贤², 李辉辉¹

(1. 浙江科技学院 生物与化学工程学院, 杭州 310023; 2. 复旦大学 中国语言文学系, 上海 200437)

摘要: 为了更好地培养和提高学生在化工过程开发时的创新能力, 根据创新的性质讨论科学理论创新和技术创新, 并在此前提下分析了科学与技术的含义及区别; 根据创新的方法将创新分为原始创新、移植创新和改进创新 3 种不同类型, 分析三者之间的区别, 提出不同类型创新程度的定性判别原则; 根据研究对象性质的不同, 将化工过程开发分为实验型和计算型 2 类课题, 同时将实验型课题细分为工艺、单元过程及分析方法, 将计算型课题细分为工艺计算、单元模拟和计算方法研究。针对不同的细分领域分别考察了可能的创新类型, 并将有关创新的概念、理论应用于多个化学反应器开发实例, 分析其创新性质及创新程度的判定。

关键词: 化工过程开发; 化学反应器; 创新程度; 创新能力

中图分类号: G642.3; TQ03

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2017)01-0074-07

The role of chemical reaction engineering curriculum in cultivating students' innovative ability

ZHANG Liangquan¹, ZHANG Yunxian², LI Huihui¹

(1. School of Biological and Chemical Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 2. Department of Chinese Language and Literature, Fudan University, Shanghai 200437, China)

Abstract: In order to better cultivate and improve the innovative ability in the development of chemical technological process, this article focuses on innovation of scientific theory and technological innovation according to the nature of innovation and on that premise, analyzes the meanings and differences between science and technology; The article classifies innovation into three types: original innovation, transplanted innovation and transformed innovation according to different innovative approaches, explores the differences among them, and proposes the principle of qualitative discriminant degree for different types of innovation; Based on different natures of the research object, research topics in chemical engineering process development fall

收稿日期: 2016-12-17

基金项目: 浙江科技学院重点建设课程项目(F464103G02)

通信作者: 张良佺(1965—), 男, 安徽省铜陵县人, 教授, 博士, 主要从事绿色化工过程开发研究。E-mail: zhlq816@163.com。

into experimental types and computational types, with the former subdivided into technology, unit process and analytical method, and the latter into process calculation, unit simulation and calculation method research; For different segments, possible types of innovation are investigated respectively; Finally, the article probes into evaluation of innovation quality and degree through case studies of several chemical reactors by applying relevant concepts and theories of innovation.

Keywords: development of chemical technological process; chemical reactor; degree of innovation; innovative ability

在熟练并牢固地掌握了化学反应工程学科的基本概念、基本规律和科学的工程思维方法后,人们自然地需要将这些知识理论应用到实践当中,即应用到工业化学反应器的开发过程中。同时在化工过程开发实践当中,也必将遇到新的现象、新的事实、新的规律及新的技术方法,于是必将涉及创新。在探讨化学反应工程课程的逻辑结构及工程思维方式^[1]的基础上,笔者从创新的性质、创新的层次、创新的方法及创新的理论等方面展开论述,并结合具体案例分析化工过程开发中所涉及的创新问题,以期更好地培养和提高学生的创新能力。

1 科学与技术——创新领域

科学研究的基本要求是“创新”,对愿意从事科学技术研究活动的人而言创新是一个永恒的话题^[2-3]。为深入地了解 and 准确地把握什么是创新,以及如何在化工过程开发中更好地贯彻创新原则,应当首先了解2个基本的范畴,即什么是科学和技术,以及两者之间的区别。这其实是创新的领域性质。所有的创新都离不开这2个基本的领域,都是在这2个领域内发生,所以,在讨论创新问题时首先必需了解这2个基本概念。

1.1 科学与技术的概念

科学是以范畴、定理、定律形式反映现实世界各种现象(即事物)的本质和运动规律的知识体系。由此可以看出,科学的定义中其实具有2个基本且重要的内容,即事物和规律。事物即自然界中存在着的各种各样的现象,其中有些是显露的,但有些(甚至大部分)是掩盖着的,若需了解其真相,就有一个去伪存真、由表及里的过程。规律即事物内在的、本质的、必然的联系。规律可以是定性的,也可以是定量的。规律表现出的基本特征是:在一定条件下,客观事实的同一结果能够重复出现(即可重复性)。由此可推知,若掌握了规律,即具有预见性及指导性。如门捷列夫的元素周期律,这是定性的规律,通过掌握元素性质的周期性变化,在化学发展历史上利用该规律预见新的元素;又如蒸气压与温度之间的关系,呈现出来的是数学关系式,这是定量的规律,利用该规律可以预测一定温度下的蒸气压,当然,也可以通过一定的蒸气压来测算体系所处的温度状态;又如在反应过程开发中通常采取的反应动力学模型,其实也是定量规律的表现形式。科学常常需回答的是“是什么(事实)”和“为什么是(规律)”的问题,这是科学的基本任务。

在古代,技术被称为是一种“手艺”;在近代,技术发展于科学实验。技术包括2个基本要素,一是工具,主要体现为物质性;二是规则,表现为知识性,即科学理论。以化工生产中的技术为例:其一包括选用什么原料,反应、分离中的方法及相应的设备(物质性);其二包括产品生产工艺中的所有原理等内容(知识性)。从技术与科学之间的关系角度,也可以将技术定义为科学理论的应用。对化工行业而言,如化学工程原理在具体产品生产中的应用便形成化工技术。技术的根本任务是解决“做什么”和“怎么做”的问题。“做什么”指的是对象及目标;“怎么做”是指手段和方法。

1.2 科学与技术的关系

科学与技术之间的关系难以一言以蔽之,有时将两者严格区分开来颇为不易。从时间上看,技术常

常先于科学;通过提供大量事实,归纳出适用于一定范围内的规律,抽象出科学理论。如以化工热力学的发展为例,首先是蒸汽机的发明,产生了热功机械(即技术);归纳出热与功的转化规则,形成了工程热力学(即科学);再将这些规律应用于化工生产,指导热功转换及能量的有效利用(即新技术),并通过热力学函数应用于组成变化(化学平衡和相平衡)的体系,形成了化工热力学新的理论体系(新科学)。这时,科学与技术就比较难区别了。由此不妨对两者之间的关系以简洁明了的链式形式总结如下:技术的发明创造→归纳抽象出科学理论→应用于新的领域产生新的理论体系。从不同性质角度考察,技术是发明,是从实践中创造新的工具、设备;而科学是发现,基于事实提出规则,以指导实践。总之,科学是技术的归纳与升华,技术是科学的演绎和使用。

2 化工开发过程中的有关创新理论

科学技术领域中所涉及的创新主要包括发现新事物、新现象和新规律,发明新装置、新工艺等,可以从不同角度对创新进行分类^[4-10]。

2.1 对创新的分类

从不同的创新内容看,创新可分为产品创新和过程创新。产品创新是指技术上有变化的产品的商品化。它可以是完全新的产品,也可以是对现有产品的改进。过程创新也称工艺创新,是指一个产品的生产技术的重大变革,它包括新工艺、新设备及新的管理和组织方法。

从创新大小程度不同看,创新可分为根本型创新、适度创新和渐进型创新。根本型创新是指引入一项新技术,从而产生了一个新的市场基础。例如万维网,这种创新必然会产生新企业和新顾客。适度创新是由公司的原有产品线组成,但产品并不是创新性的,即市场对它并不陌生,它只是企业当前产品线上的新产品。渐进型创新被定义为:为当前市场当前技术提供新特色、收益或升级的产品。

从不同的创新方法看,创新可分为原始创新、移植创新(又称集成组合创新)和改进改造型创新。

2.2 创新方法视角下的 3 种创新

从创新方法角度划分的 3 种创新,即原始创新、移植创新和改进改造型创新,在化学化工领域中,通常被用来评价化学化工理论与技术的革新和进步。

2.2.1 原始创新

原始创新即“全新”,指的是一种新思维的提出。当发现新事实和新规律时,一经提出就能彻底改变人们的思维方式;或首次将有关理论应用于工业化生产,并产生重大进步的技术。由此可见,原始创新最重要的特征是“前无古人”。无论是概念或事实、规律,还是技术,如工艺、设备等,在此之前从无他人提出即“全新”。同时需提请注意的是,创新的程度高低应由创新成果的实际效应来判断。对原始理论创新可通过考察其改变人们思维的彻底程度,以及影响领域范围来进行判断;对技术领域的原始创新可根据该新技术的实用性及经济效益的大小来进行判断。例如 17 世纪牛顿三大定律的创立,20 世纪爱因斯坦的相对论及量子力学的创立,都是属于重大的原始理论创新,它们的提出彻底改变了人类对自然界的看法和思维方式。而瓦特发明的蒸汽机的首次出现则是重大的原始技术创新,蒸汽机的发明引起了现代工业革命。又如在相平衡过程中引进“超临界”概念属于理论原始创新,首次将高压超临界流体相平衡理论引入咖啡豆的萃取分离,获得咖啡因的超临界萃取技术,则属于原始技术创新。虽然这也属于原始创新,但其影响范围和前面例子相比显然要小得多。原始创新较多地分布于基础研究及应用基础研究领域,如基础化学领域、分子热力学和分子动力学领域,以及注重化学反应、注重产品表征的精细化工和高分子领域。这种创新要求高,大多数化工研究者不太容易达到。

2.2.2 集成(组合或移植)创新

该创新的实质是移植或组合,即将某一过程或某一领域中的已有理论或技术引入不同性质的新过程或新领域中,并产生新的理论或技术。从该定义可以看出,与原始创新相比,集成创新的重要特征是:理

论或技术在某一过程或某一领域已经存在,因此总体来看,其创新程度不如原始创新,没有做到“前无古人”。例如将量子力学理论应用于分子或原子等微观粒子及化学反应过程中而形成的量子化学,即属于理论集成创新;又如将等离子体技术和化学反应技术相结合而产生新的技术和成果,即属于技术集成创新。与原始创新一样,集成创新的程度高低也应该由创新成果的实际效应来判断。但同时也带有自身的一些特点,最显著的一点是其创新程度的高低往往取决于不同过程或领域之间性质差异的大小,以及新过程的复杂程度。通常,过程或领域相互之间差异越大,新过程越复杂,创新程度往往也越高。若新过程很简单,则其创新程度往往很低,甚至没有。这一点有时会引起人们的误解。例如对计算型课题中数学方法的移植,由于任何一个过程或事物总具有质和量两方面的规定性,数学方法往往只考虑过程量之间的关系,因此,它很容易从一个过程或领域移植到一个新的不同性质的过程或领域中。如果过程简单,数学方法本身也未作任何改进,则创新往往很少甚至没有;反之,如新过程很复杂,将数学方法应用到该过程中时,对计算方法本身进行了重大的改进,则创新程度往往也较高。如将正交配置法应用到化学反应器的模拟和优化,由于过程复杂,数学方法本身需进行较大的改造,与现有的有限差分法相比有较大的改进,故属于移植创新。笔者认为,以“过程或领域”来定义理论知识或方法是否真正具备了移植性质,这样的划分较为准确,一些学者以“行业”来划分似不太恰当。如将“超临界萃取技术”由“萃取过程”移植到“化学反应过程”,可视为集成移植创新;但若将“超临界技术”由“化工行业”移植到“食品或药品行业”,若过程都是“萃取”,似不能认为是“移植创新”,认为是“移植创新”只是含糊的说法,从严格意义上讲并不成立。集成创新较多地分布于精细化工和高分子领域,化学工程领域也较为常见。

2.2.3 改进、改造创新

该创新的实质是对“旧”的改进、改造。如对已有事实或理论的补充及改进,对已有设备、工艺的改进、改造等。既没有做到“前无古人”,也不是不同领域或不同过程之间的相互移植,往往只是针对相同领域或过程,对有关理论或工艺、设备所作的补充或改进。目前在中国主要表现为“引进、消化、吸收再创新”,即先引进国外专利技术后,经反复实践及理解后加以改进,形成具有自主知识产权的专利或技术,当前中国社会经济技术发展水平与世界先进国家相比,在较多领域尚处于初级阶段,所以,“引进、消化、吸收再创新”在所有创新中占据了主要部分。该创新主要分布于大化工领域。

2.2.4 3种创新的举例说明

由创新的分类可知,创新可大可小,可以是对规律的发现,也可以是对原有事实的增补;同时也包括实践及实验上的扩大,得出新事实,发现新规律,发明新工艺、新技术。创新虽划分为3种,但在当前阶段,原始创新在化学化工类研究中不为常见,后两种创新为创新的主流。为更好地理解上述3种创新,现以超临界技术为例来说明不同程度的创新。

20世纪40年代超临界平衡(固体或液体在超临界流体中的溶解)的实验取得了成功,状态方程法计算也取得实质进展,属于理论创新且是原始创新,其意义重大。后来经过长时间的超临界 CO_2 萃取实践,取得了从咖啡豆中萃取咖啡因的实验室成果,并工业化成功,由于是首次将超临界平衡理论转化为技术(指实现了工业化生产的技术),属于技术上原始创新。再后来,又在 CO_2 中加入了夹带剂(增溶剂),例如乙醇,提高了极性化合物的萃取率,虽然有着较大的飞跃和创新,但只是扩大了应用范围,不属于原始创新,只是对旧的进行了“改进”,但改进创新同样存在程度之差,加入乙醇等夹带剂属于创新程度较高的改进型创新。而其他人在添加夹带剂的思维启发下,对不同体系选择不同的夹带剂,就更属于改进创新了。将超临界萃取技术应用于其他行业,如食品、药品等,用于分离人参、西洋参中DDT、六氯苯等,从而改善了品质及安全性,若过程性质相差较大,则属于集成创新;若都是萃取过程,则只能属于改进创新,抑或没有创新,只是模仿而已。若将超临界萃取技术应用于反应过程,即将超临界条件下的液体作为反应物直接参与反应而发展成超临界化学反应技术,由于反应过程与萃取过程差异较大,这便属于集成(移植)创新。

3 化工过程开发中不同方面的创新

创新是科研的灵魂。弄清楚在化工过程开发中有哪些方面或领域易于产生创新及该问题的来龙去脉将会为人们从事创新工作指引方向。因此,有必要将化工过程开发中所涉及的有关创新内容进行条理化总结。

3.1 不同化工过程开发中的创新

不同化工过程开发中常见的创新以示意图(图 1)形式表示如下。

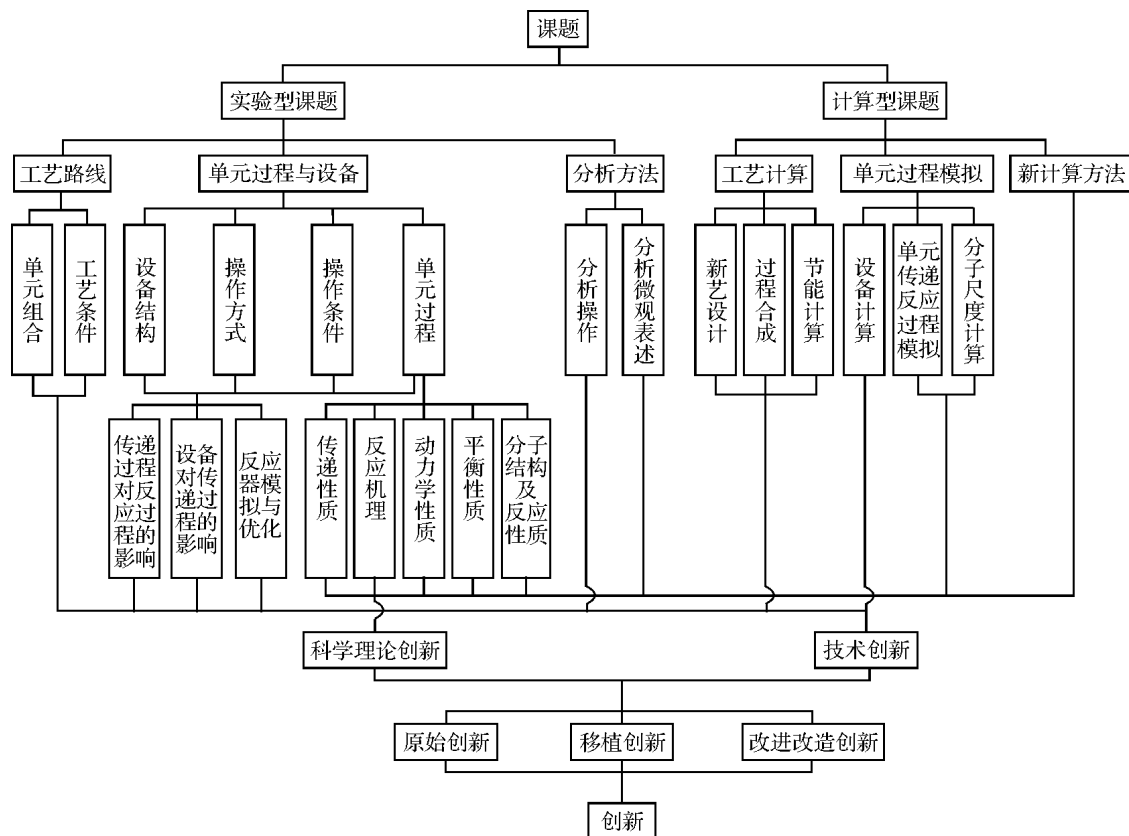


图 1 化工过程开发创新示意图

Fig. 1 Diagram of development innovation of chemical technological process

如图 1 所示,科学研究通常是以课题形式呈现,化工过程开发也不例外,其课题按性质可分为实验型和计算型课题 2 种。实验型课题是指以做实验为主,按实验目的又可分为定性实验、定量实验和结构分析实验;根据实验对象的透明度,可以分为黑箱实验、灰箱实验和白箱实验等。笔者根据研究对象的具体性质将化工过程开发实验型课题分为:产品生产的工艺研究、组成整个工艺的单元过程与设备研究及所涉及的分析方法研究三方面。计算性课题主要指理论计算,对化工过程开发而言则主要包括化工车间、工段和设备的新方法设计;已有车间、工段和设备的核算,平衡生产能力,讨论扩产的可能性;能耗计算,节能的讨论;对过程模拟方法进行条件优化或进行过程合成等。对化工过程开发实验型课题而言,其创新领域通常表现在“工艺路线”和“单元过程与设备”;对计算型课题,其创新点则通常表现在“工艺计算”和“新计算方法”。“单元过程”模块中既包含“科学理论创新”,也包括“工程技术创新”。现主要阐述科学理论创新部分,从化学反应角度看理论创新主要包括三大块:一是“微观结构理论”,由原子结构、分子结构及分子相互之间作用构成;二是“微观化学平衡理论”,主要是分子热力学理论;三是“微观速率理论”,主要包括分子碰撞理论、过渡态理论及分子动态学理论。可见,在三大块理论中其共同点是“微观描述”,即从原子、分子等微观层次上阐述的理论。需说明的是,化学、化工类学科起源于实验,所以长期以来被

称为经验学科,但伴随其不断发展,其中包括了大量的理论计算,因此,现在纯实验性课题几乎不存在了。

3.2 化工过程开发中的创新及创新程度高低的判别

对化工开发中创新程度高低的判别可以分为 3 步^[11-12]进行:首先是与现有的理论、技术进行比较,找出不同点(可通过对不同过程的比较来进行判断),如新机理、新模型的提出,新工艺、新方法等;其次是对不同点作进一步分析,只有那些比现有理论、技术改进了的不同点才是创新(即是从成果的效应即结果来判断是否是创新),如新模型计算误差比以往模型误差小,新工艺的能耗低、选择率高等;最后是根据改进的程度,判断创新程度的高低,一般改进的程度越大,创新的程度越高,如前人从未研究过的理论、模型的提出,即属“全新”。

4 与化学反应工程领域有关的创新实例

化学反应工程所涉领域通常为“大化工”,因此,创新的性质往往表现为技术创新,理论创新相对较少,而在国内目前比较多的创新属于改进、改造型创新,也有一些属于移植集成创新,原始创新相对较少。现列举几例^[13-16]说明如下:

如华东理工大学肖文德开发的“流向变换反应器”采取非稳态技术,与传统稳态操作反应器相比,该反应器在操作方式上发生了较大的变化,从而使得整个反应器中的反应状态也随之产生很大的变化,因此,该装置可回收较低浓度的二氧化硫废气;而常规技术由于采取固定床稳态操作,缺点较多,只能适应较高的二氧化硫入口浓度,回收较低浓度的二氧化硫时则需要较大的经济成本。显然,该非稳态流向变换反应器技术属于改进型创新,但其创新程度较为明显。

又如气固相固定床反应器,根据反应气体在床层中的流向可分为轴向流动和径向流动,轴向流动是指反应气体的流向与床层的中心轴相平行,径向流动则是指反应气体的流动方向与床层中心轴相垂直,即沿着床层横截面的半径方向流动。对塔设备而言,通常轴向高度要比床层直径大得多,因此,当反应器采用轴向流动时,反应物料往往压力降较大。为减少压力降,可行的方法是增大催化剂颗粒之间的空隙,即采取较大粒径的催化剂。但是,当采取大粒径催化剂时,必将伴生反应组分在粒内的扩散阻力增大,这将影响到催化剂的有效内表面利用率。所以,降低压力降与提高催化剂内表面利用率是一对矛盾。径向流动反应器技术的开发,则能较好地处理这一对矛盾。由于其流道短,流速低,可大幅度地降低床层压力降,从而为使用小颗粒催化剂提供了条件。如早期的合成氨反应器都是采取轴向流动的,为既能获得较低的压力降,又能获得较高的内表面利用率,华东理工大学张成芳等开发了“合成氨径向反应装置”,改变了传统的气体轴向流动方式,降低了流体流动压力,同时可以采取小颗粒催化剂,从而保证了催化剂较高的内表面利用率,这体现了技术上的进步,显然也属于改进、改造创新。

再如早期己内酰胺加氢精制采取釜式反应器,由于釜式反应器中返混严重,导致催化反应分离困难,反应效果不够理想。闵恩泽等开发了磁稳定床,应用该床进行己内酰胺加氢精制反应。相较于釜式反应器,磁稳定流化床具有许多优点,如磁场作用能够有效地控制相间返混,能够保持床层均匀的空隙率,反应流体不易出现沟流等,从而有效地克服了釜式反应器的缺点,提高了反应能力,尤其是提高了反应的选择性,获得了较高的己内酰胺优品率,取得了巨大的经济效益。由于将磁场理论由物理学领域首次引入化学反应过程中,并且过程之间的差别较大,其创新意义明显,故属于移植型集成创新。

创新实例在反应工程发展过程中比比皆是。应当对每个实例细心揣摩、用心体会,借鉴其成功经验,才能为化工过程开发创新提供知识储备和方法论上的启示。

5 结 语

综上,根据创新的领域可以将创新分为科学理论创新和技术创新,根据创新的方法则将创新分为原始创新、移植组合创新和改进改造创新。根据课题性质可将化工过程开发研究分为实验型课题和计算型课题,对化工实验型课题分为工艺过程研究、单元过程研究及分析方法开发,对计算型课题则分为工艺计

算、单元过程模拟计算及计算方法开发。将创新概念与不同性质的课题研究相结合,提出了创新性质、创新程度的判定原则,并结合有关化学反应器开发过程所涉及的创新案例,具体分析了创新的性质和判定。总之,化学反应工程作为一个完整的学科体系具有很强的生命力和创造力,学好该课程实则是成为卓越工程师的基本前提和有力保证,这正是本文用意所在。

参考文献:

- [1] 张良仝,张蕴贤. 化学反应工程课程的逻辑结构及工程思维方式[J]. 浙江科技学院学报,2016,28(5):401.
- [2] 马沛生. 论文的选题与写作(化学化工类)[M]. 天津:天津大学出版社,2008.
- [3] 李望,朱晓波. 化学反应工程课程教学方法初探[J]. 教育教学论坛,2015(43):156.
- [4] 钱炜鑫,张锐,曹发海,等. 反应动力学贯串的化学反应工程教学思路及教学案例[J]. 化工高等教育,2013,134(6):39.
- [5] 秦祖赠,文衍宣. 工程案例讨论与分析在《化学反应工程》教学中的应用[J]. 广州化工,2013,41(16):208.
- [6] 金涌,程易,颜彬航. 化学反应工程的前世、今生与未来[J]. 化工学报,2013,64(1):34.
- [7] 李翔,王安杰,陈永英. 化学反应工程教学难点和教学方法体会[J]. 广州化工,2015(19):207.
- [8] 赵启文,张兴儒. 化学反应工程研究方法探析与教学实践[J]. 化工高等教育,2013,134(2):37.
- [9] 黄燕. 化学反应工程的应用及其课程教学改革[J]. 学园,2013(16):56.
- [10] 吴锡慧,郁平,王磊. 化学反应工程教学改革与实践[J]. 广东化工,2013,40(9):207.
- [11] 白妮,王爱民. 化学反应工程教学内容及教学方法探讨[J]. 榆林学院学报,2014,24(4):95.
- [12] 余启明. 基于应用型人才培养的化学反应工程课程教学模式探索[J]. 黄山学院学报,2014,16(5):132.
- [13] 闵恩泽. 石油化工:从案例探寻自主创新之路[M]. 北京:化学工业出版社,2009:66-75.
- [14] 张成芳,朱子彬,徐懋生,等. 径向反应器流体均布设计的研究[J]. 化工学报,1979(1):67-90.
- [15] 张海涛,乐清华,袁向前,等. 创新化工过程分析与开发课程体系提高成人教育工程素质[J]. 化工高等教育,2010(2):19-21.
- [16] 张建立. 化工过程开发与设计课程案例教学初探[J]. 河南化工,2011(4):61-63.