

# Future Development of Chemical Reaction Engineering

Yezi Lv<sup>1</sup>, Yanjie Tong<sup>1</sup>, Yuanxin Wu<sup>1</sup>, Ying Wu<sup>2</sup>, Shengdong Zhu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory for Green Chemical Process of Ministry of Education, Hubei Key Laboratory of Novel Chemical Reactor and Green Chemical Technology, School of Chemical Engineering and Pharmacy, Wuhan Institute of Technology, Wuhan

<sup>2</sup>Pipe Engineering Division, Wuhuan Engineering Co. Ltd., Wuhan

Email: zhused2003@21cn.com

Received: Apr. 18th, 2011; revised: May 26th, 2011; accepted: Jun. 7th, 2011.

**Abstract:** The chemical reaction engineering has become a relatively mature engineering discipline after its more than 50-year development. The future development of chemical reaction engineering was discussed from the following 3 aspects: the improvement of chemical reaction engineering theory, the personality in developing novel reaction equipment and the expansion of application scope of chemical reaction engineering. It is shown that the chemical reaction engineering is still full of vigor and it will play an important role in solving the energy, resource and environmental problems for our society sustainable development.

**Keywords:** Chemical Reaction Engineering; Future Development; Sustainable Development

## 化学反应工程的未来发展

吕椰子<sup>1</sup>, 童彦杰<sup>1</sup>, 吴元欣<sup>1</sup>, 吴迎<sup>2</sup>, 朱圣东<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>武汉工程大学化工与制药学院, 湖北省新型反应器和绿色工艺重点实验室, 绿色化工过程省部共建教育部重点实验室, 武汉

<sup>2</sup>中国五环科技股份有限公司管道工程室, 武汉

Email: zhused2003@21cn.com

收稿日期: 2011年4月18日; 修回日期: 2011年5月26日; 录用日期: 2011年6月7日

**摘要:** 化学反应工程经过 50 多年的发展, 已成为一门相对较为成熟的工程学科。本文将从化学反应工程理论体系的进一步完善, 新型反应装置开发的个性化, 化学反应工程应用范围的进一步拓展 3 个方面对化学反应工程的未来发展进行分析和讨论, 可以看出化学反应工程学科仍具有旺盛的生命力, 在解决人类所面临的能源, 资源和环境问题, 保持社会可持续发展发挥极其重要的作用。

**关键词:** 化学反应工程; 未来发展; 可持续发展

### 1. 前言

自 1957 年第一届国际反应工程会议正式命名化学反应工程以来, 化学反应工程经过 50 多年的发展, 已成为一门较为成熟的工程学科。化学反应工程的服务对象已由最初的化学工业扩展到冶金、材料、能源、环境、生物等诸多进行化学或是生物反应而实现物质转化的过程工业<sup>[1-4]</sup>。化学反应工程的理论和方法在指导包括化工过程在内的过程工程的开发和放大, 工业

反应装置的选择, 设计, 优化和控制发挥着重要作用。基于反应过程在过程工程中所处的核心地位这一客观事实, 化学反应工程的未来发展将对过程工业的未来发展产生深刻影响, 将在解决人类所面临的能源, 资源和环境问题发挥极其重要的作用, 因此对于化学反应工程的未来发展进行分析和讨论具有重要的现实意义<sup>[1-4]</sup>。本文将从化学反应工程理论体系的进一步完善, 新型反应装置的开发, 化学反应工程应用范围的进一步拓展 3 个方面对化学反应工程的未来发展进行

分析和讨论。

## 2. 化学反应工程理论体系的进一步完善

根据现有的不同尺度化学反应过程的内在规律,从多尺度的角度已形成如下化学反应工程理论体系的基本框架<sup>[1]</sup>:

1) 在微观尺度上化学反应过程的反应速率不受传递影响,此时化学反应动力学为化学反应的本征动力学;

2) 在颗粒(包括气泡和液滴)尺度上,传质过程(如外扩散和内扩散)将对化学反应过程的影响,同时对于强放热的催化反应,传热将对化学反应过程造成影响,有时会出现热稳定性问题;

3) 在微团尺度上,对不同的混合状态将会对化学反应过程造成影响;

4) 在反应装置尺度上,由于过程的连续化而出现的返混将对对化学反应过程造成影响,同时对于强放热反应,传热将对化学反应过程的造成影响,反应装置会出现热稳定性问题;

5) 在工厂尺度上,反应装置物料的进出口浓度和温度或是物料的流程改变将会对反应装置内的化学反应过程和反应装置的热稳定性造成的影响。

上述基于多尺度的化学反应工程理论体系和化学反应工程中富有特色的数学模型方法,已在包括化学工业在内的过程工业的过程开发和放大中发挥了重要作用,但同时应当注意到,运用现有的化学反应工程的理论在解决有些工业反应过程的放大和优化控制会遇到难以克服的困难,这说明现有的化学反应工程的理论体系还有待进一步完善<sup>[1-4]</sup>。对于现有化学反应工程的理论体系进行完善主要包括两个方面:一方面是需要对于不同尺度的流体流动,传递和混合相互作用规律进行准确的定量表述,现代测量技术和现代计算技术的发展将为定量描述不同尺度的流体流动,传递和混合相互作用规律提供强有力的技术支撑;另一方面是随着化学反应工程应用范围进一步拓展,现有化学反应工程的理论也应进行相应的调整和补充,以解决其将会面临的实际问题。

## 3. 新型反应装置的开发

反应装置是发生化学(或是生物)反应的场所,是

整个过程工业的核心设备<sup>[5]</sup>。尽管反应装置在整个工厂的投资和操作费用占得比例并不高(一般只有 10%左右),但反应装置的合理设计和选择却至关重要,因为它一方面会通过影响反应速率,选择性和热力学平衡,从而影响反应效果,另一方面对于前处理和后分离设备的投资和操作费用有决定性影响。总的来说,反应装置将对整个生产过程的经济效益和资源与能源的利用效率有决定性的影响<sup>[2,5]</sup>。人们在新型反应装置的开发方面已进行了大量的工作,开发了大量新型结构的反应装置<sup>[5]</sup>,这些工作的目的是希望强化反应装置内的反应过程,主要通过两种途径实现:一条途径是通过强化反应装置内的传递和混合过程,改善反应装置内的流体流动情况,如微反应装置和规整填料反应装置;另一条途径是在反应装置内实现过程耦合,即通常所讲的多功能反应装置,如反应精馏装置和膜反应装置。这些新型反应装置确实具有很多优点,但成功的工业应用的实例并不多见,如上面所提到的微反应装置,这让我们不得不反思这种以反应装置型式为导向的新型反应装置开发模式。由于反应装置的真正作用在为化学(或是生物)反应提供一个适合的场所,不同的反应过程对于反应装置内的传递,混合和流体流动有不同的要求,因此新型反应装置的开发将会向个性化方向发展,针对特定的化学(或是生物)反应过程对传递和混合的要求,开发出结构合理的反应装置,以实现反应过程和反应装置完美结合,在工厂尺度实现反应过程的强化和过程耦合,从而提高整个工厂的资源和能源利用效率。

## 4. 化学反应工程应用范围的进一步拓展

化学反应工程的应用范围远远超出最初服务的化学工业,现已扩展到冶金、材料、能源、环境、生物等诸多进行化学(或是生物)反应而实现物质转化的过程工业。化学反应工程的应用范围还将进一步拓展,从理论上讲,对于一切包括化学反应(或是生物)反应所导致物质转化的过程工业,化学反应工程将在其过程开发和放大,工业反应装置的选择,设计,优化和控制发挥着重要作用<sup>[1-4]</sup>。应该说,目前化学反应工程在过程工业所发挥的重要作用还没有得到足够的重视,具体体现在对于很多工业规模的物质转化过程的资源和能源利用效率远低于化学反应工程应用较为成

熟的石油化学工业和基础化学工业的资源和能源利用效率<sup>[2]</sup>。化学反应工程在过程工业节能减排, 提高资源和能源的利用率的作用还没有得到充分发挥。勿用质疑, 化学反应工程将在提高过程工业资源和能源的利用率, 解决人类所面临的能源, 资源和环境问题, 保持社会可持续发展发挥极其重要的作用<sup>[1-5]</sup>。

## 5. 结语

随着现代测量技术和计算技术的不断发展和化学反应工程应用范围进一步拓展, 化学反应工程理论将得到进一步的完善, 特别是对于不同尺度化学(或是生物)反应过程和反应装置内的流体流动, 传递和混合情况将有更准确的认识。新型反应装置的开发则将会向个性化方向发展, 针对特定的化学(或是生物)反应过程对传递和混合的要求, 开发出结构合理的反应装置,

实现反应过程和反应装置完美结合, 在工厂尺度实现反应过程的强化和过程耦合, 以提高整个工厂的资源和能源利用效率。化学反应工程的应用范围也将得到进一步拓展, 化学反应工程将在解决人类所面临的能源, 资源和环境问题, 保持社会可持续发展发挥极其重要的作用。

## 参考文献 (References)

- [1] M. P. Dudukovic. *Frontiers in reactor engineering*. Science, 2009, 325(5941): 698-701.
- [2] M. P. Dudukovic. *Reaction engineering: status and future challenges*. Chem. Eng. Sci., 2010, 65(1): 3-11.
- [3] M. P. Dudukovic. *Challenges and innovations in reaction engineering*. Chem. Eng. Comm., 2008, 196(1-2): 252-266.
- [4] 李洪钟. 聚焦结构、界面与多尺度问题, 开辟化学工程的新里程[J]. 过程工程学报, 2006, 6(6): 991-996.
- [5] 吴元欣, 朱圣东, 陈启明. 新型反应器与反应器工程中的新技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.