

中国科学院大学研究生教材系列

资源环境与过程工程

李建强 徐 哲 向军辉 编著



科学出版社

中国科学院大学研究生教材系列

资源环境与过程工程

李建强 徐 哲 向军辉 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

过程工业起源于化学工业,是涵盖所有物质的物理和化学加工工艺的工业总称,涉及资源开发、能源转换和环境保护等诸多方面。本书全面分析了我国过程工业发展中资源、能源、环境的现状及问题,并结合过程工业实践,通过过程工业在资源利用、节能减排、污染治理等方面的典型案例阐述其重要地位及价值。本书共7章,内容丰富,理论与实践并重,系统介绍过程工业所面临的资源、环境等共性问题及其产生的原因和解决办法。

本书是中国科学院大学化学工程专业研究生的教材,主要读者对象为具备化工、冶金、能源、环境等专业背景的学生,也可供相关专业的科研工作者阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

资源环境与过程工程 / 李建强, 徐哲, 向军辉编著. —北京: 科学出版社, 2014

中国科学院大学研究生教材系列

ISBN 978-7-03-040102-4

I. 资… II. ①李… ②徐… ③向… III. 过程工业—研究生—教材
IV. T

中国版本图书馆CIP数据核字 (2014) 第 045103 号

责任编辑: 张淑晓 孙静惠 / 责任校对: 蒋 萍

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 耕者工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年3月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2014年3月第一次印刷 印张: 22 3/4

字数: 446 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

过程工程是在化学工程的基础上形成的新学科,研究物质、能源在化学、物理和生物转化过程中的流动、传递和反应及其相互关系,以及过程的绿色化和集约化。过程工程的服务对象已不限于传统的化学工业,而是扩展到冶金、材料、能源、环境、生物等诸多进行物质和能量转化的过程工业。在我国,过程工业产值占制造业总产值的一半,占国内生产总值(GDP)的1/6,具有重要的战略地位。而我国过程工业的现状是资源综合利用率低、能耗高、环境污染严重。我国经济和社会的可持续发展,要求过程工业尽早实现资源的循环使用或全利用,要求能量的节约与优化利用,要求零排放、不污染、不破坏环境的清洁生产。

对此,我国过程科学与工程领域的科技工作者责无旁贷。事实上,过程工程的实践已经为资源环境等问题提供了一些有效的解决途径,过程工业各部门现已采用的诸多新理念、新方案、新技术和新工艺在资源高效综合利用、能源回收和节能减排、污染物控制与治理方面均具有指导意义和实质性贡献。凝练存在于资源、能源、环境等领域中过程工程的共性问题,总结过程工业在资源利用、节能减排、污染治理方面的理论创新和实践经验,是一项长期、艰巨而又具有重要意义的任务。

本书全面分析了我国过程工业发展中资源、能源、环境的现状及问题,并结合过程工业在资源利用、节能减排、污染治理等方面的典型案例,阐述过程工程的新理论、新技术,具有重要学术意义和应用价值。本书内容丰富,数据翔实,理论与实践并重,是一部供过程工程相关专业研究生学习的优秀教材,同时也值得从事过程工程研究的科技工作者参考和阅读。

中国科学院院士

李洪钟

2014年3月

前言

过程工业是指在生产过程中运用过程工程技术,对生产对象进行化学和物理转换、生产新的物质产品,或者进行物质传递的所有工业行业的总称。无论从经济的角度还是从统计的角度来看,过程工业都是一种新的工业分类,是按照工业行业的生产技术特点对众多工业行业进行分类、归纳、合并后,出现的一种新的工业行业集合。过程工业(化工、冶金等)占我国制造业总产值的46.9%,占GDP的16%以上,是我国国民经济的主导,也是我国最主要的资源能源消耗和污染排放行业。目前,我国过程工业的概念尚未普及,更没有相关书籍系统地介绍过程工业所面临的资源、环境等共性问题,以及产生的原因和解决措施。本书选择与过程工业可持续发展密切相关的资源、能源、环境问题为切入点,通过过程工业在资源利用、节能减排、污染治理等方面的典型案例,阐述其在国民经济和工业发展中的重要地位及价值,既可加深读者对我国资源、能源、环境现状的认识,同时也可强化读者对过程工业内涵与外延的认知。

与同类书籍相比,本书全面、系统地介绍过程工业所面临的资源、环境等共性问题,同时通过案例重点介绍我国典型过程工业的问题、根源和相应处理方案,较完整地体现出我国现阶段相关研究领域的重大需求,并最终归结到统一途径——过程工业实践来解决,这种结构设计是本书的独到之处。

全书共7章,第1章总体介绍过程工程、过程科学的概念和涵义,以及我国资源、能源、环境的总现状与问题。第2章从资源角度详细介绍我国矿产资源面临的严峻形势以及过程工业对矿产资源综合利用方面的重要贡献。第3、4章从能源角度详细介绍我国能源现状和节能减排政策,以及在过程工业的节能减排方面采取的重要举措。第5~7章从环境角度关注过程工业与环境污染治理的紧密联系,分别从水体污染、大气污染、固体废物污染三方面予以介绍。

本书由中国科学院过程工程研究所、中国科学院大学的三位教师在长期从事资源环境与化学工程等相关课程教学与研究的基础上共同编写而成。成书过程中,作者课题组的张国才博士、马炳倩博士、宋英翠硕士、向恒硕士、马晓光硕士、巴国庆硕士等提供了大量的素材并撰写了部分章节,中国科学院过程工程研究所的张军玲副研究员、赵宏欣副研究员参与了部分章节的文字输入和校对,在

此表示衷心感谢；北京大学袁章福研究员，中国科学院电工研究所王志峰研究员、白凤武研究员，中国科学院青海盐湖研究所周园研究员以及中国科学院过程工程研究所的王志研究员、李松庚研究员、王体壮博士为本书更新了大量矿产资源统计数据并提供了部分工业案例，在此表示感谢。

衷心感谢李洪钟先生于百忙之中抽出宝贵时间亲自审阅书稿并欣然作序。同时，感谢中国科学院大学教材中心为本书的出版提供资助。

感谢在本书出版过程中给予帮助的所有人员！

由于作者水平有限，不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

2013年7月

目 录

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 过程科学与过程工程	1
1.1.1 过程科学	2
1.1.2 过程工程	5
1.1.3 过程科学、过程工程的发展趋势	7
1.2 资源、环境与绿色过程工程	7
1.2.1 资源及其现状	7
1.2.2 环境与环境问题	10
1.2.3 绿色过程工程——解决资源环境问题的利器	13
参考文献	18
第2章 矿产资源综合利用	19
2.1 矿产资源及其综合利用概况	19
2.1.1 矿产资源概述	19
2.1.2 矿产资源综合利用概述	20
2.1.3 矿产资源综合利用现状及发展方向	24
2.2 我国主要矿产资源介绍	29
2.2.1 我国矿产资源的基本特点	29
2.2.2 能源矿产	34
2.2.3 黑色金属矿产	37
2.2.4 有色金属矿产	44
2.2.5 稀有贵金属矿产	55
2.2.6 非金属矿产	60
2.3 过程工业中的典型矿产资源综合利用	79
2.3.1 洁净煤技术	79
2.3.2 煤矸石综合利用	86
2.3.3 攀枝花钒钛磁铁矿综合利用	90
参考文献	93

第3章 能源与可持续发展	95
3.1 能源概述	95
3.1.1 能量与能源	95
3.1.2 能量的形式	96
3.1.3 能源的分类	97
3.1.4 能源危机与挑战	100
3.2 新能源及其开发利用	101
3.2.1 太阳能	101
3.2.2 生物质能	108
3.2.3 风能	119
3.2.4 氢能	123
3.2.5 其他新能源	130
3.3 我国能源发展现状	135
3.3.1 我国能源资源主要特点	136
3.3.2 我国能源工业发展及挑战	136
3.3.3 我国能源发展战略和目标	138
3.4 过程工业中的典型能源技术	139
3.4.1 太阳能热发电技术与海水淡化联产	139
3.4.2 过程工业余热回收技术与相变储能	151
参考文献	165
第4章 过程工业与二氧化碳减排	167
4.1 温室效应和我国二氧化碳排放现状	167
4.1.1 温室气体排放及其影响	167
4.1.2 我国二氧化碳排放现状	170
4.2 二氧化碳的回收与利用	171
4.2.1 二氧化碳的分离回收方法	171
4.2.2 二氧化碳的利用技术	177
4.3 我国节能减排战略	185
4.3.1 全面推动能源节约	185
4.3.2 提高能源供给能力	187
4.3.3 推进能源技术进步	189
4.3.4 能源环境协调发展	190
4.3.5 深化能源体制改革	192
4.3.6 加强能源国际合作	193

4.4 过程工业中的典型节能减排技术	194
4.4.1 煤炭工业节能减排	195
4.4.2 钢铁行业节能减排	205
参考文献	211
第5章 水污染治理	213
5.1 水污染概述	213
5.1.1 天然水的组成与性质	213
5.1.2 水体污染及重要污染物	215
5.1.3 污染物在水体中的转化	225
5.2 水污染治理方法	233
5.2.1 水污染治理方法概述	233
5.2.2 废水的物理处理法	235
5.2.3 废水的化学处理法	238
5.2.4 废水的物理化学处理法	240
5.2.5 废水的生物处理法	244
5.3 典型过程工业的污水治理技术	248
5.3.1 油田污水治理技术	248
5.3.2 煤化工污水处理工艺	254
5.3.3 我国过程工业污水治理技术新进展	258
参考文献	269
第6章 大气污染治理	271
6.1 大气污染概述	271
6.1.1 大气的组成及结构	271
6.1.2 大气污染及重要污染物、污染源	274
6.2 大气污染治理技术	290
6.2.1 粉尘的控制与防治	290
6.2.2 除尘装置的性能及分类	293
6.2.3 气态污染物净化技术	296
6.3 典型过程工业大气污染治理	308
6.3.1 氧化铝工业的大气污染治理	308
6.3.2 稀土金属生产中的大气污染及治理	315
参考文献	321
第7章 固体废物处理与利用	323
7.1 固体废物概述	323

7.1.1	固体废物的含义及特点	323
7.1.2	固体废物的来源和分类	324
7.1.3	固体废物的主要危害	327
7.2	固体废物处理与利用	328
7.2.1	固体废物处理与利用的目标	328
7.2.2	固体废物处理与利用的方法	330
7.2.3	我国固体废物处理处置产业情况	338
7.3	典型固体废物的处理与案例	345
7.3.1	城市垃圾的处理与利用	346
7.3.2	煤系固体废物的处理与利用	346
7.3.3	冶金废渣的处理与利用	348
7.3.4	化工固体废物的处理和利用	349
7.3.5	石油工业固体废物的处理与利用	351
7.3.6	以循环经济理念支撑的固体废物资源化示范工程	352
	参考文献	354

第1章 绪 论

1.1 过程科学与过程工程

对于很多人而言,过程工程还比较陌生。其实,过程工程概念的应用早已相当广泛。本书面向的主要是化学工程专业的读者,而我国对“化学工程”学科的统一定义,即为“研究以化学工业为代表的过程工业中有关的化学过程和物理过程的一般原理和共性规律,解决过程及装置的开发、设计、操作及优化的理论和方法问题”。过程工程起源于化学工程,后者的理论体系是过程工程的基础,但过程工程的内涵绝不限于化学工程。过程工业是覆盖所有物质的物理和化学加工工艺的工业的总称。据统计,我国过程工业占制造业总产值的46.9%,占GDP的16.6%,其涉及能源转换、资源利用和环境保护等诸多方面,不仅包括一些国民经济的支柱产业,如石油、化工、冶金、能源、材料、食品等,还包括一些高新技术产业,如生物、医药、微电子、纳米材料等。因此,过程工业的发展水平体现了一个国家的综合国力,在某种程度上是一个国家工业发展水平的标志。

从生产方式以及生产时物质所经受的主要变化来分类,工业可以分为过程工业(process industry)与产品工业(product industry)两大类。过程工业是以自然资源作为主要原料连续生产产品工业所需原料的工业,其原料中的物质在生产过程中经过了多次化学变化和物理变化,生产过程主要是连续生产,产量的增加主要靠扩大工业生产规模来达到,一般污染比较严重。过程工业是一个国家发展生产和增强国防力量的产业基础,包括化学工业、石油炼制工业、石化工业、煤炭工业、钢铁工业、有色金属工业、建材工业、造纸工业、核工业等。产品工业是以过程工业生产的产品为原料,不连续地生产被人类直接使用的产品的工业,在生产过程中主要对原料进行物理加工或机械加工,原料主要发生物理变化,生产过程基本上是不连续的,是用逐件装配的方式生产的,产品的增加主要靠增建或改进“生产线”来达到,相对过程工业污染比较轻。产品工业对于提高人民生活水平和增强国家国防力量具有重要意义,主要包括机械工业、电子工业、汽车工业、航空工业、航天工业、船舶工业、兵器工业等。

有学者将工厂分为物流型工厂(flow shop)与工件型工厂(job shop)两大类,将工业分为流程工业和离散工业,其实也就是过程工业和产品工业。近期随

着物流型工厂的间歇化及工件型工厂的连续化,二者之间的界限已变得模糊起来。

这些对工业部门重新分类的标准,必将带来作为其理论基础的工程科学的重新分类和变革,因此有必要对过程工业的理论基础——过程科学与过程工程进行系统阐述。

1.1.1 过程科学

1. 过程科学的产生

过程科学(process science)是科学发展到一定阶段的产物。各个学科所研究的对象都是客观实际的,不同学科之间的差别不在于研究对象,而在于它们研究的角度不同,研究的方面各有侧重。按照研究的对象来进行分类,反映人类探索自然秘密、进行科学研究的最初阶段总是直接面对事物本身,只有在经过一段时间以后,才会发现此事物与其他事物之间的联系,才会从研究方法上得到启发并推广到对其他事物的研究上去。然而,一旦建立起不同事物之间的联系及它们在研究方法上的相似关系,从学科分类来讲就需要重新分析讨论。科学发展到今天,学科之间的交叉与综合已经使按研究对象来区别学科的办法不适用了。按研究角度、研究侧面进行学科分类,有助于更深刻地了解和认识学科之间的区别与共性。

过程科学来源于工业实践。每一种科学理论都有其实践基础与背景,只有不断地理论联系实际,在实践中检验理论,才能逐渐发展出比较成熟的科学理论。随着工业日趋分为过程工业和产品工业两大类,过程工业迫切需要有自己的技术理论基础,从原理上研究如何提高生产率,降低投资费用和操作成本等,需要从原理上改进设备,开发新的工艺流程,并尽力消除污染,使其符合可持续发展的基本原则,这是过程科学产生的社会要求。

过程科学脱胎于“三传一反”的化工原理。化学工业是过程工业中的一个重要分支,在诸多过程工业中最早建立其理论体系。化工原理将众多化学工艺中的共性操作进行总结和归纳,得到众多工艺操作的学识基础即单元操作。20世纪初,英美的化工界先驱就提出了化学工程学的概念,从原理上研究各种化学工业生产中的物理变化过程,使化学工业不断得到飞跃发展。到20世纪50年代,在单元操作的基础上,开始从动量、热量、质量的传递(三传)角度研究化学工业中的物理变化过程。同一时期“化学反应工程学”(一反)开始出现,用以研究化工过程中带有化学反应时的变化过程,使得化学工程学成为一门更全面的工程科学,简称为“三传一反”。相应地,冶金、能源、建材等工艺也组成了单元过程,共用着相类似的理论基础。比如,冶金学的“冶金传输原理”和“冶

金反应工程学”实际上就是化学工程的“三传一反”在高温冶金状态的应用。近年来,随着生物化工的兴起,有人主张考虑过程中信息的传递对过程的影响,将“三传一反”扩展为“四传一反”。因此,随着工业实践的不断深入和扩展,化学工程的学识基础可以广义地归纳成“三传一反+X”,X包括不一定如三传一反那样重要的或预计将来会出现的科学内涵。“三传一反+X”是现代化学工程的学识基础,同时也是其他过程工业部门的理论基础,直接标志了过程科学的兴起。

过程科学的产生,将对过程工业的有效支撑起到积极的作用,有助于从众多工程科学中找到相似的过程共性,然后更加全面系统地指导其在过程工业中的应用。

2. 过程科学的内涵

要理解过程科学,首先要看“过程”的概念。《辞海》对“过程”的解释为:“同‘状态’相对。过程指事物状态的变化在时间上的持续和空间上的延伸;状态指事物特性的量度和描述。”可以看出,“过程”的本质特征是与时间相关联的,任何一个时间的函数 $f(t)$ 都具有过程的含义,可被看作广义的过程。ISO900X:2008版的质量控制体系对产品、过程、过程方法等进行了阐释:产品的概念已不仅指有形的商品,还包括很多服务性、管理性的内容,如科研、咨询等软性服务领域的最终结果,过程被定义为将一组输入转化为输出的活动,而产品则是过程的结果。

因此,广义的过程科学应该是以过程为研究对象的科学,是与时间有关的科学,是考察体系输入与输出之间本质因果关系的科学,它是相对于只关心体系输入与输出结果的产品科学的科学。

考虑作为过程工业的理论基础,狭义的过程科学可以被认为是以不同规模物质和能量转化与传递过程的共性规律作为其主要研究内容,将物质、能量、信息转化与传递过程的实验室研究成果转化为现实生产力的科学,其实质还是一门技术(工程)科学。

一门技术科学体系内的各种知识之间存在着层次上的区别,可以分为基础理论、技术基础、实际应用三个层次。过程科学的内部结构也是如此。

物理化学中的热力学和动力学可以看作是过程科学的基础理论。热力学的研究对象已经从可逆过程(平衡态)向不可逆过程(非平衡态)发展,为过程科学的基础理论提供了新的思路。

“三传一反+X”是过程科学的技术基础,研究对象包括流动、传递、反应、分离等基本内容。

过程科学的应用层次包括过程模拟、过程实施、辅助内容等。过程模拟又包括分子模拟、单元模拟、过程系统模拟等三个层次。随着计算机技术和计算技术

的发展, 基于信息技术的系统集成成为过程科学的重要内容和方法, 未来过程科学将着眼于发展虚拟工厂的技术, 即利用过程原理和信息数据, 借助于先进高效的计算技术, 在模拟平台上复现新开发的整个工艺流程的实况。过程实施是将多个单元过程集成在一起进行优化, 即系统集成, 并放大到实际生产的过程, 侧重于实践的方面。辅助内容包括科研知识库, 有物性数据和经济数据, 如物质的物理化学性质等。

3. 过程科学的特征

1) 非线性特征

以下几个方面说明, 过程科学具有非线性特征, 而未来的过程科学也很可能会在这些方面取得突破, 获得创新性的发展。

(1) 随时间的演化而变化是过程的实质, 作为学科基础的热力学发展到了不可逆过程热力学, 预示着过程科学向非线性科学发展的必然性。

(2) “三传一反+X”是过程工程的理论基础, 也是过程科学最核心的内容。随着信息传递的引入, 所考察的系统就具有了复杂系统的特性, 所以过程科学的发展要吸收系统科学发展的前沿——“复杂系统”的知识, 这也决定了过程科学的技术基础包括非线性科学。

(3) 过程科学与产品科学之间一个比较大的区别就是“放大”效应: 控制化学实验室内反应体系的作用机制, 当将尺度扩大很多倍时, 整个体系的物理与化学过程的主要矛盾就发生了变化, 不同尺度的体系的特征参量并不随着几何尺寸的变化相应增加或保持不变, 所以过程科学要考察不同尺度下控制体系的作用机制, 这说明过程科学以非线性科学为基础的必要性。

(4) 多尺度效应、复杂系统都是系统科学中“结构—单元—环境”基本模式的交互和嵌套作用, 过程科学与系统科学将互相渗透和汲取养分, 从方法论上来说可能是可能达到非线性的。

2) 与系统科学的相似及交叉

在“横断性”(即横贯多个领域的特性)方面, 过程科学与系统科学有相似性, 在没有单一的研究对象这一点上, 二者是共同的。但总的来说, 过程科学的抽象性没有系统科学那么强, 哲学与方法论的指导意义也没有系统科学那么深远, 系统科学的研究对象更为抽象、“横断性”更为典型。过程科学在研究对象与内容上较系统科学更“具体入微”, 作为过程科学中重要内容之一的系统集成就是系统科学的知识与方法的自觉运用。

控制论中过程控制的思想深刻地渗透到管理科学的理念当中, 但对于复杂系统而言, “控制”不仅没有意义, 而且也很难做到, 而“协调”机制才能使过程

系统保持稳定。所以，过程科学、系统科学在工程应用领域的实践中趋于交叉融合，对管理科学的理论与实践也会产生深刻的影响。

1.1.2 过程工程

1. 过程工程的内涵及作用

与过程科学对应，通过一系列物理化学分离和化学反应（包括催化、电化与生化反应）改变原料的状态、微观结构或化学组成的过程技术及其配套的工程应用，统称为过程工程（process engineering）。过程工程作为物质的物理与化学等加工技术的总称，涉及领域广泛，包括传统的酸碱、金属、燃油、药物的制造、核燃料的处理、材料器件的加工、环境保护、太空中生活用元素的循环和宇宙资源的利用等。在大科学时代的今天，过程科学与过程工程的关系，有时候就如材料科学与材料工程一样，很难有严格的界限。

从某种意义上说，过程工程可以理解为“泛化学工程”，但又有科学意义上的提升。过程工程的内容包括过程原理的研究，数据信息的测定及组织（数据库），以及过程的系统集成等，如图 1-1 所示。过程工程是以研究物质的物理、化学和生物转化过程（包括物质的运动、传递、反应及其相互关系）的过程科学为基础的，任务是解决实验室成果向产业化转化的瓶颈问题，创建清洁高效的工艺、流程和设备，其要点是解决不同领域过程中的共性问题。过程工程实现物质转化“过程”的定量、设计、放大和优化等操作，而过程科学侧重于理论上的研究与创新。



图 1-1 过程工程内涵及作用示意图

过程工程研究与化学实验研究的本质区别在于，后者的化学反应体系是在实验室规模中进行的，往往是在理想条件下完成的，把这样的反应移到工业生产的规模中，整个体系的物理、化学、生物变化过程可能会与实验室条件下有很大的不同。这就需要对实验室体系进行“放大”。传统的依靠经验的“逐级放大”，虽然最后有可能摸索出工业条件下整个体系的变化规律，但耗时很长，而且消耗大量的人力、物力、财力，所以过程工程研究的一个重要基础内容就是研究省时、高效、低消耗的放大方法，这反映了过程工程在认识论上的地位。

过程工程与工业设计的作用也不相同。设计工作是依据现有的成熟技术进行的,而过程工程是开发新工艺、新流程、新设备的创新研究,无论是过程原理的创新,还是系统集成创新,所得到的都是新的工业技术,是在为设计工作提供可靠的依据。过程工程的项目,一般需要工程科研机构、设计部门、经济管理部门等的密切合作才能完成。

实施过程工程的研究,要形成一个应对价值链的宏观结构:要有根据市场需求并针对关键问题开展工艺创新的队伍,要具备针对实验室成果向产业化过渡中的共性问题,开展数据信息、过程原理和系统集成方面研究的优势,也要具备与企业合作实施工程项目的能力。在整个价值链上,任一环节打不通,瓶颈问题就不能得到解决。

过程工程的综合有利于集中众多工艺的特点,从中凝练共性问题,联结临近科学技术,研究和寻找出普适性的过程科学规律,并将此普适性的过程科学规律返回、引入不同工艺,更好地解决实际问题,同时不断积累经验,达到工艺和工程、应用和科学的更好结合。我国可以通过过程工程,在传统的工业实践中解决过程科学前沿的问题,促进我国过程工业跨越式发展,与此同时,推动前沿学科的进步。

2. 过程工程概念的认知过程

虽然目前过程科学的名称还没有被广泛地使用,但是过程工程的名称已经屡见于书刊等媒体了。1955年美国人H. E. 施魏尔的《过程工程经济学》一书比较早地提到过程工程的概念。位于苏黎世的瑞士联邦高等技术学院设有机械与过程工程系,还设有过程工程研究所。法国国家科研中心化工科学研究所明确指出,从事过程工程研究的目的是研究物质和能量转换的过程以及发展并实现此过程的设计、优化、控制和工业规模化(放大/缩小)所必需的概念、理论和方法。

我国也是在最近才逐渐接受过程工程的概念。《化工冶金》杂志于2001年更名为《过程工程学报》,中国科学院化工冶金研究所(简称化冶所)在2001年4月正式更名为中国科学院过程工程研究所(简称过程工程所)。化冶所的名称变迁很好地说明了过程工程的缘起与发展。20世纪50年代建所初期,化冶所的学科方向是化工冶金,致力于应用化工原理强化冶金过程;七八十年代,学科方向逐步演变为化学反应工程和冶金物理化学,应用领域由冶金扩展到资源、环境、材料和生物技术,并开拓了计算机技术在化学工程中的应用;到90年代,学科方向又进一步扩展为工程化学,形成以多相反应和分离工程为核心的应用基础研究和以生化、资源/环境、能源和材料为应用领域的应用研究框架,初步具备了基础研究—应用开发—产业化的布局和工艺创新—过程开发—工程实施的综合集成能力,具备了以“过程工程”为学科方向的条件。因此,21世纪初化冶所的

改名也顺理成章。

1.1.3 过程科学、过程工程的发展趋势

科学的进一步发展使得过程科学与其他科学之间的界限变得模糊,比如过程科学从传统的宏观尺度向微观尺度的深入,使得过程科学与化学(特别是工业化学)之间的互补与融合成为趋势。另外,过程科学所关注的对象向更大的巨系统扩展,更加显现出横断科学的特点。有科学家指出,软固体、多尺度方法、离散化方法、纳微尺度的理化过程、微反应器及过程强化、虚拟工厂、外场强化分离等前沿课题将成为过程科学关注的重点。

尽管过程工业是国民经济的支柱产业,但目前我国过程工业的现状令人担忧。新过程开发非常困难,一方面缺少工艺创新;另一方面有工艺无产业的状况非常普遍,主要原因是实验室成果很难产业化。已有过程能耗高、污染重、产品质量差并造成资源浪费,这些问题是我国经济发展的瓶颈问题,为解决这些难题,必然涉及过程科学的前沿。

过程工业是操作物质-能量流特别巨大的国民经济物质生产的基础。用高新技术改造传统过程工业和针对过程工业的高新技术产业化,是国民经济发展的核心问题和国家的重大战略需求。我国的过程工程就是要致力于开拓建立资源高效-洁净-合理利用资源的新过程,从研究物质转化中的多相反应-分离规律、数据信息与工程学基础,到开发普适性的先进工艺过程与设备,直至产业化放大,以解决过程工业中高技术产业化的瓶颈问题。

资源与环境问题是可持续发展战略中两个密切相关的问题。绿色过程工程正是研究与自然环境相容的资源高效-洁净-合理利用的物质转化过程,其内涵包括:①建立资源-环境保护新体系的思想方法论与实施策略,源头污染控制与资源-环境同一论的清洁生产策略和生态工业系统;②原子经济性化学反应处于绿色过程的核心地位,理想的绿色化学反应,即原料中的原子100%地转化为产物,不产生副产物或废弃物,实现废弃物的零排放;③运用环境-经济综合评价体系,建立过程工业的物质流程-能量流程-信息流程综合。

1.2 资源、环境与绿色过程工程

1.2.1 资源及其现状

1. 资源的概念

广义上的资源主要指自然界中人类能够开发利用的物质和条件,如光、热、