



面向 21 世纪 课程 教材
Textbook Series for 21st Century



化学工程基础

(第二版)

武汉大学 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

化学工程基础

(第二版)

武汉大学 主编

高等教育出版社

内容提要

本书第一版是“面向 21 世纪课程教材”，本版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本版教材在保持第一版特点和风格的基础上，重新改写和更新了部分内容，既包括了一些传统的化工过程及设备，又介绍了一些化学工程技术的新进展，侧重于理科化学与应用化学专业学生所必须了解的化学工程学及化学反应工程学方面的基本知识。针对理科学生缺乏工程技术知识的实际情况，加强了“化学工业与化学工程”的内容，以便学生在接受化学工程知识之前对化学工业和化工过程有所了解。全书共十一章，包括化学工业与化学工程、流体流动与输送、热量传递、传质分离基础、吸收、精馏、其他传质分离技术、化学反应工程学基本原理、均相反应过程、气-固相催化反应器及生化反应器。

本书可作为综合性大学或师范院校理科化学类专业的化工基础课教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化学工程基础/武汉大学主编. —2版. —北京:高等教育出版社, 2009. 8

ISBN 978-7-04-027268-0

I. 化… II. 武… III. 化学工程-高等学校-教材
IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 107806 号

策划编辑 鲍浩波 责任编辑 刘 佳 封面设计 于文燕
版式设计 马敬茹 责任校对 王 超 责任印制 朱学忠

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京明月印务有限责任公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2001 年 7 月第 1 版
印 张	30.75		2009 年 8 月第 2 版
字 数	570 000	印 次	2009 年 8 月第 1 次印刷
		定 价	35.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 27268-00

第二版前言

本书自 2001 年作为“面向 21 世纪课程教材”出版以来,全国许多高等学校理科化学类专业选用了本教材。2006 年,本版教材入选普通高等教育“十一五”国家级教材规划选题。

“化学工程基础”是理科化学类专业重要的技术基础课程。本书根据《普通高等学校本科化学专业规范(讨论稿)》和理科化学类专业培养创新人才的要求,既包括了一些传统的化工过程及设备,又介绍了一些化学工程技术的新进展,内容侧重于理科化学与应用化学专业学生所必须了解的化学工程学及化学反应工程学方面的基本知识。针对理科学生缺乏工程技术知识的实际情况,加强了“化学工业与化学工程”的内容,以便学生在接受化学工程知识之前对化学工业和化工过程有所了解。

与第一版教材相比,此次修订进一步突出了理科特点,改写了原书传质过程、吸收和新型分离技术等章节,适当介绍了实验研究用的反应器和增加了生化反应器的内容,删除了辐射传热和多相催化反应动力学。突出了“三传类似”的思想,对文字做了进一步的润色。

参加本书编写与修订工作的有武汉大学罗运柏(第一章、第八章和第九章)、于萍(第二章和第十章),南开大学李富生(第六章)、邱平(第十一章),兰州大学严世强(第四章和第五章),厦门大学叶李艺(第三章)、李军(第七章)。全书最后由罗运柏整理定稿。

本书初稿承蒙复旦大学徐华龙教授审阅;武汉大学马玉龙老师和周新花老师亲自参与了修订内容的讨论;贵州教育学院陈明元老师提出了很好的修改建议;高等教育出版社鲍浩波、刘佳为本书的出版付出了辛勤劳动;武汉大学教务部和武汉大学化学与分子科学学院对本书修订工作给予了大力支持,在此一并致谢。

限于编者的学识水平,教材中一定会有不当甚至错误之处,恳请广大读者批评指正,编者将不胜感激。

编者

2009 年 5 月

第一版前言

根据教育部关于高等理科教育面向 21 世纪进行教学内容和课程体系改革的精神,在高等教育出版社的积极支持和具体组织下,由武汉大学、南开大学、兰州大学和厦门大学四校共同编写了这本《化学工程基础》教材,供理科化学专业和应用化学专业开设“化工基础”课程使用。

在理科化学系开设化学工程方面的课程由来已久,自新中国成立以来其教学内容已由“工业化学”、“化学工艺学”和“化工原理”逐渐演变成为今日的“化学工程基础”。

理科化学和应用化学专业培养的人才,应当既具有扎实的基础理论知识,又具有联系实际分析问题和解决问题的能力。化工基础课程担负的任务是:传授化工基础知识、培养学生的技术经济观点、提高他们从事应用和开发研究的能力,使他们在科技成果转变为生产力的过程中能较好地与工程技术人员相互配合。

本书在编写过程中着重考虑了以下几点:

一、针对理科学生缺乏工程技术知识的实际情况,增加了关于化学工业与化工生产过程的一般性介绍,以便学生在接受化学工程知识之前,对化学工业和化工生产过程有所了解。

二、在“流体流动”、“传热”和“传质”等三个传递过程的内容中,着重介绍了过程的基本原理和处理工程问题的思想方法,适当削减了以设备设计为目的的有关工科专业视为重点的内容,增加了反映学科发展的若干新知识,如膜分离技术、超临界萃取技术、反应与分离联用技术、变压吸附技术以及新型加热技术等。

三、在化学反应工程学的内容中,将基础知识单列一章,着重介绍建立数学模型的思想方法,同时将均相反应过程和多相催化反应过程各单列一章,试图加强有关内容的深度和广度。

四、考虑到现代化学工业和生物技术的相互渗透,增加了生化反应器一章。由于生化反应器和化学反应器有许多相似之处,故在介绍了化学反应工程的基本知识后,再介绍生化反应器,所占篇幅不大,但内容却获得了较宽的拓展,扩大了学生的工程技术知识视野。

参加本书编写的有武汉大学马玉龙(第一章、第八章和第九章)、周新花(第二章和第十章),南开大学李富生(第六章)、刘展红(第十一章),兰州大学严世强

(第四章和第五章), 厦门大学凌敬祥(第三章)、邓旭(第七章), 全书最后由马玉龙整理定稿。

本书初稿承蒙福建师范大学蒋家俊老师审阅, 提出了许多宝贵意见; 武汉大学化学系郑洁修老师对初稿又做了多处修改, 付出了辛勤的劳动; 在编写和出版过程中, 浙江大学俞庆森老师、北京师范大学王定锦老师、高等教育出版社王蕙焯老师和南京大学芮必胜老师等提出了许多很好的意见和建议, 在此一并致谢。

由于作者学识水平有限, 本书还会有许多不足之处, 恳请读者指正, 并将改进意见反馈给我们, 以便再版时修改。

编者

2000年11月

目 录

第一章 化学工业与化学工程	1
§ 1 化学工业概述	1
1-1 化学工业发展概况	1
1-2 我国化学工业的发展与进步	3
1-3 化学工业分类	4
1-4 化学工业的特点与发展趋势	5
1-5 化工生产工艺及流程	8
1-6 实验室研究与化工过程开发	10
§ 2 化学工程学	13
2-1 化学工程学的形成与发展	13
2-2 化学工程学研究特点、内容和对象	15
2-3 化学工程领域发展趋势	16
§ 3 物料衡算与能量衡算	18
3-1 物料衡算	18
3-2 能量衡算	20
3-3 单位制与单位换算	20
第二章 流体流动与输送	22
§ 1 流体静力学	22
1-1 相对密度	22
1-2 压强	23
1-3 流体静力学方程	24
1-4 流体静力学方程应用举例	25
§ 2 流体流动	27
2-1 流体的流量和流速	28
2-2 稳态流动与非稳态流动	29
2-3 流动型态	30
2-4 牛顿黏性定律	31
2-5 边界层及边界层分离	33
2-6 流体在管内的速度分布	35
§ 3 流体流动系统的质量衡算	37
§ 4 流体流动系统的能量衡算	38

§ 5 管内流动阻力	41
5-1 直管阻力损失计算通式	41
5-2 层流流动的阻力损失计算	43
5-3 湍流摩擦阻力计算与量纲分析法	44
5-4 非圆形管内的流动阻力	48
5-5 局部阻力损失计算	48
§ 6 流体流量的测量	52
6-1 孔板流量计	52
6-2 转子流量计	54
§ 7 流体输送设备	57
7-1 离心泵的构造及工作原理	57
7-2 往复泵	66
7-3 旋转泵	67
7-4 真空泵	68
习题	69
第三章 热量传递	76
§ 1 概述	76
1-1 稳态与非稳态传热	76
1-2 传热基本方式	76
1-3 热平衡方程与热流量方程	78
§ 2 热传导	79
2-1 傅里叶定律	79
2-2 导热系数	80
2-3 平壁的稳态热传导	82
2-4 圆筒壁的稳态热传导	83
§ 3 对流传热	85
3-1 对流传热过程分析	85
3-2 牛顿冷却定律	85
3-3 传热膜系数	86
3-4 对流传热小结	92
§ 4 热交换的计算	94
4-1 总传热系数	94
4-2 传热的平均温度差	97
4-3 热交换计算示例	102
§ 5 热交换器	103
5-1 热交换器的分类	103
5-2 间壁式换热器	104

§ 6 传热过程的强化	110
本章符号说明	112
思考题	113
习题	114
第四章 传质分离基础	117
§ 1 传质分离过程	118
1-1 分离与人类的关系	118
1-2 传质分离操作的种类	118
§ 2 传质过程分析	122
2-1 双组分混合体系中的分子传质过程	122
2-2 对流传质过程(对流扩散)	132
2-3 两相间的传质模型	135
§ 3 传质分离过程的研究进展	137
3-1 传质分离理论研究	137
3-2 传质分离过程的研究	138
习题	139
第五章 吸收	141
§ 1 化学工业中的吸收操作	141
1-1 吸收操作流程	142
1-2 吸收设备	143
1-3 其他吸收流程	144
1-4 吸收操作分类	145
§ 2 吸收过程气液相平衡	145
2-1 溶解度曲线	147
2-2 亨利定律	149
2-3 相平衡与吸收过程的关系	153
§ 3 吸收速率方程	155
3-1 膜推动力表示的吸收速率方程	155
3-2 总推动力表示的吸收速率方程	158
3-3 气膜控制与液膜控制	161
§ 4 低浓度气体吸收过程的计算	164
4-1 低浓度气体的吸收特点	164
4-2 物料衡算与操作线方程	164
4-3 吸收剂	168
4-4 填料层高度的计算	172
4-5 吸收塔的调节与分析	182
4-6 解吸操作	183

§ 5 其他类型吸收过程简介	185
5-1 多组分吸收	185
5-2 化学吸收	185
5-3 非等温吸收	186
习题	187
第六章 精馏	192
§ 1 气液相平衡	192
1-1 x - y 相图	192
1-2 气液相平衡方程	194
§ 2 精馏原理	197
2-1 精馏基本原理	197
2-2 精馏流程	199
§ 3 双组分连续精馏的物料衡算和能量衡算	200
3-1 恒摩尔流假定	200
3-2 物料衡算和热量衡算	201
§ 4 理论塔板数的计算	207
4-1 逐板计算法	207
4-2 图解法	209
4-3 回流比的影响及选择	212
4-4 进料状况的影响	217
4-5 简捷法求理论塔板数	218
4-6 塔板效率和实际塔板数	219
§ 5 间歇精馏	222
5-1 间歇精馏的特点	222
5-2 恒回流比操作时的间歇精馏计算	222
§ 6 多组分精馏和其他精馏方法简介	227
6-1 多组分精馏	227
6-2 共沸精馏	228
6-3 萃取精馏	230
§ 7 传质设备	231
7-1 评价塔设备的指标	231
7-2 填料塔	232
7-3 板式塔	236
本章符号说明	242
思考题	243
习题	243
第七章 其他传质分离技术	247

§ 1 膜分离技术	247
1-1 分离用膜和膜分离设备	248
1-2 反渗透	252
1-3 超滤	257
1-4 电渗析	260
1-5 气体的膜分离	263
1-6 渗透汽化膜分离	265
1-7 液膜分离	268
§ 2 超临界流体萃取	273
2-1 萃取基础	273
2-2 超临界流体性质	275
2-3 超临界流体与溶质体系的相平衡	277
2-4 超临界流体萃取的传质动力学	281
2-5 超临界流体萃取工艺	281
2-6 超临界流体萃取技术的应用	283
§ 3 吸附与离子交换	285
3-1 概述	285
3-2 吸附平衡-吸附等温线	286
3-3 吸附动力学-吸附传质速率	290
3-4 固定床吸附器	292
3-5 变压吸附	295
3-6 离子交换	298
思考题	302
第八章 化学反应工程学基本原理	303
§ 1 化学反应工程学概述	303
§ 2 工业反应器	305
2-1 工业反应器类型	305
2-2 工业反应器操作方式	308
§ 3 化学反应动力学基础	309
3-1 化学反应的转化率和收率	309
3-2 反应体积、反应时间与空间速度	312
3-3 反应动力学	314
§ 4 反应器中物料的流动模型	318
4-1 全混流模型	318
4-2 活塞流模型	319
4-3 非理想流动模型	319
§ 5 反应器内物料的停留时间分布	321

5-1 分布函数	321
5-2 停留时间分布函数的测定	323
5-3 停留时间分布函数的统计特征值	327
§ 6 理想流动模型的停留时间分布	331
6-1 活塞流模型的停留时间分布	331
6-2 全混流模型的停留时间分布	332
§ 7 非理想流动模型	333
7-1 轴向扩散模型	333
7-2 多釜串联模型	336
习题	340
第九章 均相反应过程	343
§ 1 间歇反应器	343
1-1 反应器结构和操作	343
1-2 反应器基本关系式	343
§ 2 活塞流反应器或理想管式反应器	347
2-1 简单一级反应	348
2-2 简单二级反应	348
2-3 反应器体积	348
§ 3 连续搅拌釜式反应器	350
3-1 简单一级反应	351
3-2 简单二级反应	352
3-3 反应器体积	352
§ 4 全混流反应器的串联操作	355
§ 5 均相反应过程优化与反应器选择	360
5-1 以生产强度为优化目标	360
5-2 以产率和选择性为优化目标	361
习题	364
第十章 气固相催化反应器	369
§ 1 固体催化剂的特性	369
1-1 比表面积	369
1-2 孔容积	370
§ 2 气固相催化反应过程	370
2-1 外扩散的影响	371
2-2 内扩散对反应速率的影响	374
§ 3 固定床催化反应器	379
3-1 固定床催化反应器的类型	379
3-2 固定床内的传递特性	381

3-3 固定床催化反应器有效容积的计算	384
§ 4 固体流态化和流化床反应器	387
4-1 固体流态化	387
4-2 流化床反应器	390
4-3 流化床反应器的放大	393
习题	395
第十一章 生化反应器	398
§ 1 生化反应过程	398
1-1 生化反应过程概述	399
1-2 生化反应过程的特点	400
1-3 酶催化剂的主要类型和用途	402
§ 2 生化反应动力学	406
2-1 酶催化反应动力学	406
2-2 发酵和细胞培养动力学	418
§ 3 生化反应器	422
3-1 生化反应器的特殊要求	423
3-2 生化反应器类型	423
3-3 机械搅拌反应釜	424
3-4 塔式生化反应器	427
3-5 膜生化反应器	430
3-6 酶生化反应器	431
3-7 生化反应器的计算	432
本章符号说明	437
习题	438
附录	441
主要参考文献	468
索引	470

第一章 化学工业与化学工程

化学工业是综合利用化学和物理方法将原料生产成化学产品的加工工业,包括基本化学工业、塑料、合成纤维、石油、橡胶、药剂和染料工业等,是利用化学反应改变物质结构、成分、形态等生产化学产品的部门,如无机酸、碱、盐、稀有元素、合成纤维、塑料、合成橡胶、染料、油漆、化肥、农药等。化学工业是国民经济中的一个重要组成部分,它既为农业、轻工业、重工业和国防工业提供生产资料,也为人类衣、食、住、行各方面提供必不可少的化工产品。

化学工程是工程学科之一,以物理学、化学和数学为基础,结合工业经济基本法则,研究化学工业中具有共同特点的物理和化学变化过程及其有关的机理和设备。具体地说,研究化工单元操作和化学反应工程学以及有关的流体力学、热传递和物质传递原理、热力学和化学动力学以及系统工程等在化学工业上的应用,以指导各种过程及其设备的改进和发展,在石油、冶金、轻工、原子能等工业中也广泛应用。

§ 1 化学工业概述

1-1 化学工业发展概况

18世纪,在纺织、印染、制皂工业的推动下,路布兰(N. Leblanc)纯碱制造工艺首先成为近代化学工业的里程碑,由它带动了硫酸、盐酸、漂白粉等化工产品的生产。19世纪,以煤为基础原料的有机化学工业在德国迅速发展起来。但那时的煤化学工业规模并不大,主要着眼于各种化学产品的开发。

现代化学工业的发展从美国开始。19世纪末20世纪初,石油的开采和大规模石油炼厂的兴建为石油化学工业的发展和化学工程技术的产生奠定了基础。与以煤为基础原料的煤化学工业相比,炼油业的化学背景不那么复杂多样化,因此有可能也有必要进行工业过程本身的研究,以适应大规模生产的需要。这就是在美国产生以“单元操作”为主要标志的现代化学工业的背景。

由于单元操作的发展,20世纪30年代以后,化学机械从纯机械时代进入以

单元操作为基础的化工机械时期。20世纪40年代,因战争需要,三项重大开发同时在美国出现。这三项重大开发是,流化床催化裂化制取高级航空燃料油、丁苯橡胶的乳液聚合以及制造首批原子弹的曼哈顿工程。前两者是用20世纪30年代逐级放大的方法完成的,放大比例一般不超过50:1。但是曼哈顿工程由于时间紧迫和放射性的危害,必须采用较高的放大比例,达1000:1或更高一些。这就要求依靠更加坚实的理论基础,以更加严谨的数学形式表达单元操作的理论。

曼哈顿工程的成功大大促进了单元操作在化学工业中的应用。20世纪50年代中期提出了传递过程原理,把化学工业中的单元操作进一步解析为三种基本操作过程,即动量传递、热量传递和质量传递以及三者之间的联系。同时,在反应过程中把化学反应与上述三种传递过程一并研究,用数学模型描述过程。连同电子计算机的应用以及化工系统工程学的兴起,使得化学工业发展进入更加理性、更加科学化的时期。

20世纪60年代初,新型高效催化剂的发明,新型高级装置材料的出现,以及大型离心压缩机的研究成功,开始了化工装置大型化的进程,把化学工业推向一个新的高度。此后,化学工业过程开发周期已能缩短至4~5年,放大倍数达500~20000倍。

20世纪70年代后,现代化学工程技术渗入到了各个加工领域,生产技术面貌发生了显著变化。化学工业还同时面临来自能源、原料和环保三大方面的挑战,进入一个新的更为高级的发展阶段。

现代化的技术进步一日千里。20世纪最后几十年的发明和发现,比过去两千年的总和还要多。化学工业也是如此。在这几十年中,化学工业在世界范围取得了长足进展。化学工业在很大程度上满足了农业对化肥和农药的需要。随着化学工业的发展,人类对纤维的需要有近2/3是由合成纤维提供的。塑料和合成橡胶渗透到国民经济的所有部门,在材料工业中已占据主导地位。医药合成不仅在数量上而且在品种和质量上都有了较大发展。化学工业的发展速度已显著超过国民经济的平均发展速度,化工产值在国民生产总值中所占的比例不断增加,化学工业已发展成为国民经济的支柱产业。

在原料和能源供应日趋紧张的条件下,化学工业正在通过技术进步尽量减少其对原料和能源的消耗;为了满足整个社会日益增长的能源需求,化学工业正在努力提供新的技术手段,用化学的方法为人类提供更新更多的能源;为了自身的发展,化学工业正在开辟新的原料来源,为以后的发展奠定丰富的原料基础;随着电子计算机的发展和应用,化学工业正在进入高度自动化的阶段;一些高新技术,如激光、模拟酶的应用,正在使化学工业生产的效率显著提高,技术面貌发生根本性的变化;由于有了更新的技术手段,化学工业对环境的污染进一步得到控制,并将为改善人类的生存条件做出新的贡献。

1-2 我国化学工业的发展与进步

我国是化学技术发展最早的国家之一,早在纪元前就已经有了酿酒、冶铜、漂染和发酵等生产技术。但是由于我国封建社会的时间过长,阻碍了化学工业的发展。1949年以前,我国化学工业处于十分落后的状态,农药、基本有机合成产品和石油化工产品等几乎为空白,仅有少数染料、制药和涂料生产厂家,大多采用进口原料进行生产或半成品的加工,发展比较早并已形成一定生产能力的三酸两碱工业,也处于设备陈旧、技术落后、产量和质量都不能与发达国家相比的状态。

新中国成立以来,我国的化学工业取得了令世界瞩目的巨大成就,不仅化工生产所需要的原料已经做到了基本自给,而且基本无机化工产品、基本有机化工产品、化肥、农药、医药、涂料、染料、塑料、合成橡胶和合成纤维等产品也已基本配套齐全,已成为世界化学工业的重要组成部分。1949年,我国化学工业总产值仅有3.2亿元。2006年,全国国有及年销售收入500万元以上的非国有(以下简称规模以上企业)石油和化学工业企业完成工业总产值(当年价格)42760.47亿元。

目前,全国已有化肥、酸碱盐、医药、农药、新材料、高分子聚合物、涂料、信息材料等20多个行业,基本上已经形成布局合理、门类齐全、规模不断发展的化学工业体系。我国石油化工产业正处于其生命周期中的成长期,是世界石油化学工业发展最快、市场增长潜力巨大、发展前景最为广阔的国家。尤其是近10年来,我国经济的快速发展和消费水平的不断提高,石油化工产品消费量迅速扩大,许多石化产品的消费量已经居世界第一位,我国正在发展成为世界石化产品市场中心。2003年我国主要石油化工产品市场规模情况见表1-1。

表1-1 2003年我国主要石油化工产品消费量及世界排位

产品名称	消费量/ 10^4 t	全世界消费量/ 10^4 t	占世界消费量比例/%	世界排位
原油加工量	25 231.2	374 000.0	6.75	3
乙烯	1 540.0	9 600.0	16.04	2
五大通用合成树脂	2 660.1	13 384.6	19.87	2
五大工程塑料	95.7	461.9	20.72	1
合成橡胶	128.6	1 111.8	11.57	1
合成纤维	1 330.0	2 852.8	46.62	1
精对苯二甲酸	724.0	2 200.0	32.91	1
乙二醇	346.2	1 422.1	24.34	1

近年来,我国还积极研究开发了一些高效、低毒和低残留量的有机磷和拟除虫菊酯类农药,停止了高残留量农药“六六六”、“DDD”等品种的生产。这些高效农药的开发和生产为农业丰收和粮食的安全生产提供了保障。随着石油化工的发展,我国合成材料的产量也有了大幅度的增长,并迅速跃居世界前列。

1-3 化学工业分类

化工产品种类繁多,性质和用途又各不相同,故其分类方法也有多种。不同国家或不同部门,分类方法不尽相同。按产物的组成可分为无机化学工业和有机化学工业;按原料资源可分为煤炭化学工业、石油化学工业、农产化学工业等。世界上大多数国家按产品的性质、用途及其加工过程相似的原则进行分类。

我国的化学工业有两种分类方法,一种是按行业划分,即按行业和企业划分为 20 大类,另一种是按产品划分,将所有化工产品分成 19 大类,如表 1-2 所示。

表 1-2 我国化学工业分类

序号	按行业划分	按产品划分
1	化学矿	制碱
2	无机盐	无机盐
3	有机化工原料	有机原料
4	化学肥料	化学肥料
5	化工农药	农药
6	合成纤维单体	合成纤维
7	涂料、颜料	涂料及颜料
8	染料和中间体	染料
9	感光 and 磁性材料	国防化工
10	化学试剂	高纯物质和化学试剂
11	石油化工	石油化工
12	化学医药	医药
13	合成树脂和塑料	合成树脂和塑料
14	酸、碱	硫酸
15	合成橡胶	橡胶
16	催化剂、试剂和助剂	专用化学品
17	煤化工	煤化工
18	橡胶制品	信息材料
19	化工新型材料	化工新材料
20	化工机械	

冶金(包括钢铁、有色金属及稀有金属的冶炼)、硅酸盐(包括玻璃、陶瓷、水