



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

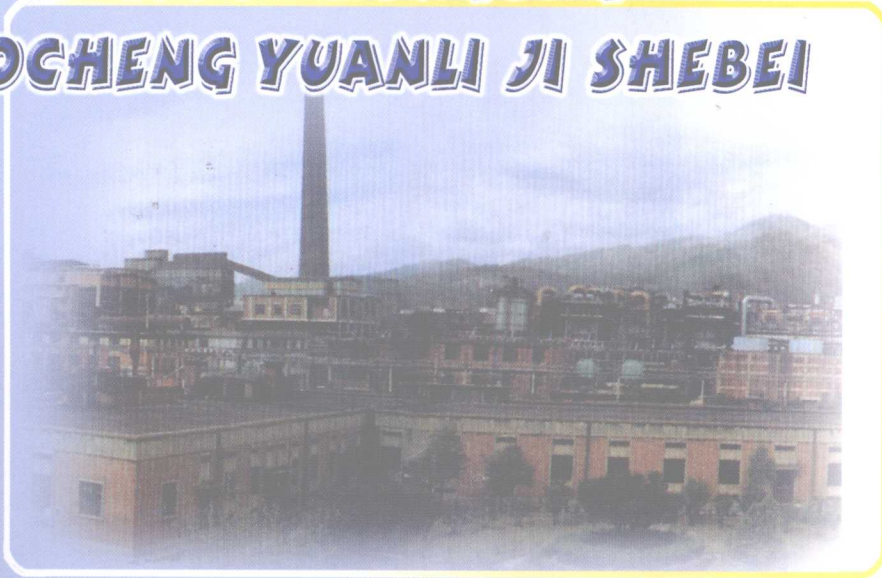
有色冶金化工过程 原理及设备

(第2版)

郭年祥 编著

YOUSE YEJIN HUAGONG

GUOCHENG YUANLI JI SHEBEI



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

有色冶金化工过程原理及设备

(第2版)

编 著 郭年祥
主 审 陈新志 刘 政 姚克俭

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2008

内 容 提 要

本书力求突出化工和有色冶金单元过程的基本原理、典型设备结构及其工艺计算或选型等特点,注重内容的实用性、全面性、准确性和新颖性,编入了一些对工程设计和生产操作有用的内容。

全书内容包括流体(含气体、液体)力学基本原理、流体输送装置、非均相混合物的分离、传热、蒸发、吸收、蒸馏、萃取、干燥、工业燃料及燃烧、工业设备材料及附录。各章(除第11章外)均附有习题。

本书为高等院校本科冶金工程和化学工程专业的教材,亦可供相关领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

有色冶金化工过程原理及设备/郭年祥编著.—2版.—北京:
冶金工业出版社,2008.12

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5024-4749-6

I. 有… II. 郭… III. ①有色金属冶金—化工过程—高等学校—教材 ②有色金属冶金—化工设备—高等学校—教材

IV. TF8

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第204301号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号,邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 宋良王优 美术编辑 李心 版式设计 张青

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4749-6

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2003年3月第1版;2008年12月第2版,2008年12月第3次印刷

787mm×1092mm 1/16;28.75印张;868千字;445页;4501-7500册

49.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

第 2 版前言

本书是 2003 年由冶金工业出版社出版的《化工过程及设备》一书的修订版，基本上保留了原书的章节体系，并按照初版的编写原则，作了一些充实、修改与变动。

与初版相比，本书主要做了以下修改和变动：对个别概念，在文字上作了更加准确的阐述；对大部分章节内容进行了充实；对第 1 章第 4 节的结构进行了调整，对部分内容做了修改；删除了第 2 章中有关用允许吸上真空高度法来计算离心泵安装高度的内容，引进了临界汽蚀裕量、必需汽蚀裕量和装置汽蚀裕量的概念，介绍了一些新型泵，增加了真空泵的性能参数和选用方法的内容；第 3 章过滤一节增加了现代膜过滤分离技术、一些设备过滤的经验数据和改善过滤措施的内容；对第 4 章第 4 节的结构进行了调整，更加突出了本节的重点；第 6 章增加了亨利系数和吸收系数的一些经验计算式，补充了对各种填料性能的介绍；第 7 章增加了反应精馏内容和有色冶金中的精馏例题和习题；第 8 章增加了新型萃取技术：超临界流体萃取、液膜萃取和固体膜萃取的内容；对第 10 章的第 1 节至第 4 节内容进行了重新编写和充实，使结构更加合理，补充了一些新型燃料的介绍；对第 11 章第 4 节的内容和结构进行了较大的改动，增加了较多的内容，并补充了一些新的耐火和防腐材料的介绍；对附录中部分物性数据进行了更新，增加了一些气体的物性数据、冶金热工中常见管件的局部阻力系数和煤气在不同温度的饱和水蒸气含量数据；全书章节的编号改用了通用的方式，并增补了各章的参考文献。

考虑到本书原来是有色冶金专业的“化工原理”和“有色冶金炉”两门课整合后的课程的教材，主要是针对有色冶金和化工专业编写而成，故再版时将其更名为《有色冶金化工过程原理及设备》。

参加修订工作的人员主要有郭年祥等，万平平参加了部分外文资料翻译和整理工作。

全书由陈新志、刘政和姚克俭审定。本书的编写、审定和出版工作，还得到了江西理工大学教务处吴阔华、饶运章、熊小峰、罗家国、王洁等同志的大力支持和帮助。在此对以上人员表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处，诚请读者批评指正。

编者
2008年6月
于江西理工大学

第 1 版前言

为了 21 世纪人才培养的需要, 适应高等院校教学改革的发展, 避免课程内容的重复, 拓宽教材使用面, 作者根据化学工程与工艺、环境工程和冶金工程专业的教学要求, 结合多年的教学经验, 按照“厚基础、宽专业”及精减课时数的原则, 编写了这本书。

本书是在原《化工原理》、《有色冶金炉》教材和自编讲义的基础上经整合充实编写而成的。它涵盖了化工和冶金生产中共同的单元操作内容。

本书避免了以往只注重基本原理和理论介绍, 忽视工程设备工艺设计或只注重工程设备工艺计算, 忽视基本原理和理论介绍的做法, 力求突出单元过程的基本原理、典型设备结构及其工艺计算或选型等教材重点; 注重内容的实用性、全面性、条理性、简明性、准确性和新颖性, 编入了一些对工程设计和生产操作有用的内容。

全书包括流体力学(含气体、液体力学)基本原理、流体输送装置、非均相混合物分离、传热、蒸发、吸收、蒸馏、萃取、干燥、工业燃料及燃烧、工业设备材料及绪论和附录, 并且除第十一章外, 每章均附有习题。

本书可作为高等院校冶金类本科专业替代“化工原理”和“有色冶金炉”两门课整合后的教材, 也可作为化学工程与工艺、环境工程及相关专业本科生化工原理课程的教材, 也可供有关部门从事科研、设计及生产的技术人员参考。

本书主编郭年祥, 副主编赵湘仪。参加全书编写工作的有郭年祥(前言、绪论、第三、四章), 廖春发(第八、十章), 赵湘仪(第六章第一~四节、第十一章), 匡敬忠(第二章、第六章第五、六节、第九章), 陈火平(第一、七章)和肖隆文(第五章、附录)。

全书由浙江大学陈新志教授和南方冶金学院刘政教授审定。其他参审人员有浙江大学张未星教授、浙江工业大学王徽教授和贵州工业大学李军旗教授。

本书的编写得到南方冶金学院教材建设基金的资助，在此表示衷心的感谢。

对于书中错误和疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

2002年12月

于南方冶金学院

目 录

0 绪论	1
0.1 有色冶金化工过程原理及设备的内容、性质及任务	1
0.2 有色冶金化工过程原理及设备解决问题的基本方法	1
1 流体力学基本原理	3
1.1 流体的基本性质	3
1.1.1 密度	3
1.1.2 黏度	4
1.2 流体静力学基本方程式	6
1.2.1 流体的压强	6
1.2.2 流体静力学基本方程式	6
1.2.3 流体静力学基本方程式的应用	8
1.3 流体在管内流动	11
1.3.1 流动的基本概念	11
1.3.2 流动现象	13
1.3.3 流动的基本方程	16
1.3.4 流体在圆管内流动的速度分布规律	24
1.4 流体流动阻力	26
1.4.1 阻力类型	26
1.4.2 等截面直管阻力计算	26
1.4.3 局部阻力计算	32
1.5 管路计算	34
1.5.1 管路类型及其特点	34
1.5.2 管路阻力对管内流动的影响	36
1.5.3 管路计算中的几类问题	36
1.6 流量测量	40
1.6.1 测速管	40
1.6.2 孔板流量计	41
1.6.3 文丘里流量计	43
1.6.4 转子流量计	43
习题	44
参考文献	48

2 流体输送装置	49
2.1 离心泵	49
2.1.1 离心泵的工作原理和主要部件	49
2.1.2 离心泵的基本方程	51
2.1.3 离心泵的主要性能参数和特性曲线	53
2.1.4 离心泵的汽蚀现象与安装高度	57
2.1.5 离心泵的工作点与流量调节	60
2.1.6 离心泵的类型与选用	63
2.2 其他类型泵及常用泵的比较	66
2.2.1 往复泵	66
2.2.2 旋转泵	69
2.2.3 旋涡泵	70
2.2.4 常用泵的比较	70
2.3 离心式风机	71
2.3.1 离心式通风机	71
2.3.2 离心鼓风机	75
2.4 真空泵	76
2.4.1 真空泵的性能指标	76
2.4.2 真空泵的常见类型	76
2.4.3 真空泵的选用	78
2.5 烟囱	80
2.5.1 烟囱工作原理	80
2.5.2 烟囱主要尺寸计算	81
习题	84
参考文献	85
3 非均相混合物的分离	86
3.1 重力沉降	86
3.1.1 重力沉降速度	86
3.1.2 重力沉降设备	92
3.2 离心沉降	98
3.2.1 离心沉降速度	98
3.2.2 离心沉降设备	98
3.3 电力沉降	106
3.3.1 电力沉降速度	106
3.3.2 电力沉降设备	107
3.4 过滤	112
3.4.1 悬浮液的过滤	112

3.4.2 含尘气体的过滤	136
习题	139
参考文献	141
4 传热	142
4.1 概述	142
4.1.1 传热过程的基本概念	142
4.1.2 传热过程中冷热流体的接触方式	143
4.2 热传导	143
4.2.1 傅里叶定律	143
4.2.2 热导率	144
4.2.3 平壁的一维稳态导热	145
4.2.4 圆筒壁的一维稳态导热	149
4.3 对流传热	151
4.3.1 对流传热过程机理	151
4.3.2 牛顿冷却定律	152
4.3.3 影响对流传热的因素	153
4.3.4 对流传热系数关联式	153
4.4 辐射换热	165
4.4.1 辐射换热的基本概念	165
4.4.2 物体辐射力的计算	167
4.4.3 物体表面间辐射换热量的计算	170
4.4.4 气体辐射	177
4.5 稳态综合换热	181
4.5.1 对流与辐射同时存在的综合换热	182
4.5.2 火焰炉内的综合换热	183
4.5.3 通过间壁的换热	186
4.6 传热过程计算	188
4.6.1 传热量的计算	188
4.6.2 传热平均温差计算	189
4.6.3 总传热系数的确定及其影响因素	193
4.6.4 壁温的估算	196
4.6.5 传热面积计算	198
4.7 换热设备	198
4.7.1 换热器的结构形式	198
4.7.2 换热器的选型	204
4.7.3 换热器传热过程的强化	204
习题	205
参考文献	207

5 蒸发	209
5.1 概述	209
5.2 单效蒸发计算	209
5.2.1 物料衡算	210
5.2.2 热量衡算	211
5.2.3 传热面积计算	212
5.2.4 蒸发器的生产能力和生产强度	219
5.3 多效蒸发	219
5.3.1 多效蒸发流程	219
5.3.2 多效蒸发计算	220
5.3.3 多效和单效的比较	223
5.4 蒸发设备及其辅助装置	225
5.4.1 蒸发器的结构形式和特点	225
5.4.2 蒸发的辅助设备	229
5.4.3 蒸发器的选型	229
习题	231
参考文献	231
6 吸收	233
6.1 概述	233
6.2 吸收过程的相平衡关系	233
6.2.1 吸收中气、液相组成的表示方法	234
6.2.2 气液相平衡关系	234
6.2.3 吸收推动力	236
6.3 吸收过程中的传质理论基础	237
6.3.1 气体吸收过程	237
6.3.2 相内传质	238
6.3.3 相际传质	243
6.4 吸收塔的计算	248
6.4.1 吸收剂用量的确定	248
6.4.2 填料层高度的计算	251
6.5 吸收系数	257
6.5.1 吸收系数的实验测定法	257
6.5.2 吸收系数计算的的经验公式	258
6.5.3 吸收系数的特征数关联式	258
6.6 填料塔	259
6.6.1 填料塔与填料	259
6.6.2 填料塔的流体力学特性	261

6.6.3 填料塔径的计算	262
习题	263
参考文献	264
7 蒸馏	265
7.1 双组分理想溶液的气液相平衡关系	265
7.1.1 以拉乌尔定律表示的气液相平衡关系	265
7.1.2 以相平衡曲线图表示的相平衡关系	266
7.1.3 以相对挥发度表示的气液相平衡关系——相平衡方程	267
7.2 精馏原理	268
7.2.1 精馏装置与流程	268
7.2.2 精馏原理	268
7.3 双组分连续精馏塔的计算	270
7.3.1 全塔物料衡算	270
7.3.2 理论塔板数及理论加料板位置的确定	271
7.3.3 板效率和实际塔板数的确定	284
7.3.4 塔高和塔径的计算	285
7.3.5 加热剂和冷却剂消耗量的计算	288
7.4 特殊精馏与反应精馏	290
7.4.1 特殊精馏	290
7.4.2 反应精馏	291
7.5 板式塔	292
7.5.1 塔板类型	292
7.5.2 浮阀塔基本知识	293
习题	295
参考文献	296
8 萃取	298
8.1 概述	298
8.1.1 萃取的基本原理	298
8.1.2 萃取的基本概念	298
8.1.3 萃取剂的选择原则	300
8.1.4 萃取工艺流程	300
8.2 萃取设备	302
8.2.1 萃取设备简介	302
8.2.2 箱式混合-澄清槽	302
8.2.3 塔式萃取设备	303
8.2.4 离心萃取器	305
8.2.5 萃取设备的选择	306

8.2.6 萃取设备的发展方向	307
8.3 多级萃取设计计算	307
8.3.1 物料衡算与操作线方程	307
8.3.2 理论级数的确定	308
8.3.3 箱式混合-澄清槽的设计计算	312
8.4 新型萃取技术	319
8.4.1 超临界流体萃取	319
8.4.2 膜萃取	320
习题	321
参考文献	322
9 干燥	323
9.1 湿空气的性质和湿度图	323
9.1.1 湿空气的性质	323
9.1.2 湿空气的 $H-I$ 图	327
9.1.3 $H-I$ 图的应用	329
9.2 物料湿分的性质和干燥特性	329
9.2.1 湿物料中含水量的表示方法	329
9.2.2 物料湿分的性质	330
9.2.3 干燥特性曲线	331
9.3 干燥过程的计算	332
9.3.1 物料衡算	332
9.3.2 热量衡算	333
9.3.3 干燥器的热效率	334
9.3.4 干燥时间的计算	335
9.4 干燥设备	337
9.4.1 干燥设备的主要类型	337
9.4.2 干燥设备的选择	342
9.4.3 常见干燥器主要尺寸设计计算	343
习题	354
参考文献	356
10 工业燃料及燃烧	357
10.1 概述	357
10.1.1 固体燃料	357
10.1.2 液体燃料	358
10.1.3 气体燃料	359
10.2 燃料的化学组成和发热量	360
10.2.1 燃料的化学组成	360

10.2.2 燃料的发热量	364
10.3 燃烧计算	367
10.3.1 燃烧需要的空气量和燃烧产物计算	367
10.3.2 空气系数的影响及大小的确定	374
10.3.3 燃烧温度的计算	375
10.4 燃料的燃烧	380
10.4.1 气体燃料的燃烧	380
10.4.2 液体燃料的燃烧	381
10.4.3 固体燃料的燃烧	382
习题	384
参考文献	385
11 工业设备材料	386
11.1 腐蚀与防腐蚀	386
11.1.1 腐蚀的概念和分类	386
11.1.2 影响腐蚀的因素	386
11.1.3 防腐蚀的方法	387
11.2 金属防腐材料	388
11.2.1 碳钢和铸铁	388
11.2.2 高硅铁	389
11.2.3 不锈钢耐酸钢	389
11.2.4 耐热钢	390
11.2.5 铝及其合金	390
11.2.6 铜及其合金	391
11.2.7 镍及其合金	392
11.2.8 铅及其合金	393
11.2.9 钛及其合金	393
11.3 非金属防腐材料	394
11.3.1 有机材料	394
11.3.2 无机材料	398
11.3.3 胶黏剂和胶泥	401
11.4 耐火材料	403
11.4.1 耐火材料概述	403
11.4.2 耐火材料的化学矿物组成	405
11.4.3 耐火材料的性质	406
11.4.4 几种常用及新型的耐火材料	411
11.4.5 特种耐火材料	422
11.5 绝热材料	423
参考文献	426

附录	427
附录 1 干空气的物理性质 (101.33kPa)	427
附录 2 水的物理性质	428
附录 3 饱和水蒸气物理性质 (以温度为准)	429
附录 4 无机盐溶液在 101.33kPa 下的沸点	430
附录 5 101.33kPa 下溶液的沸点升高与浓度的关系	431
附录 6 液体黏度共线图	431
附录 7 气体黏度共线图 (常压下用)	433
附录 8 管子规格 (摘录)	434
附录 9 泵规格 (摘录)	435
附录 10 4-72-11 型离心通风机规格 (摘录)	438
附录 11 各种不同材料在表面法线方向上的辐射黑度	439
附录 12 某些气体的平均恒压比热容 (标准状态)	440
附录 13 局部阻力系数	441
附录 14 空气及煤气的饱和水蒸气含量 (101325Pa, 标态)	444

0 绪 论

0.1 有色冶金化工过程原理及设备的内容、性质及任务

冶金、化工等生产的产品有许多种，各种产品的生产工艺流程均不相同，而且一种产品的生产工艺流程也有很多种。尽管冶金、化工等的生产流程十分复杂，但当分析和比较这些生产流程时就会发现，不同产品或同一产品生产流程中具有共同的过程，这种过程不但原理相同，而且所用设备也十分类似。因此各种产品生产工艺流程可以看成由数目较少的这种过程所组成。如将其称为单元过程，那么冶金、化工等生产工艺流程就是由这种单元过程串并联组合而成。而所有这些单元过程所遵循的基本原理只有四种，即流体动力学原理、传热原理、传质原理和化学反应原理。其中化学反应原理在化学、物理化学、冶金原理、化学反应工程和专业课中进行系统的研究，而流体动力学原理、传热原理和传质原理，简称动量传递、热量传递和质量传递则为本课程的主要研究内容。同时，燃料燃烧、耐火材料等亦作为本课程的研究内容。

有色冶金化工过程原理及设备是有色冶金、化工等专业学生必修的一门专业技术基础课程，其主要任务是研究单元过程的基本原理、典型设备的结构、主要工艺尺寸的计算和确定，探索现存工程问题的最有效的研究方法，培养学生运用基础理论分析和解决生产单元过程中各种工程实际问题的能力。

0.2 有色冶金化工过程原理及设备解决问题的基本方法

为了解决前面所述各项任务，化工过程及设备主要运用以下原理作为解决问题的方法。

(1) 物料衡算。依据质量守恒定律，进入与离开某一冶金过程的物料质量之差，等于该过程中累积的物料质量和反应变化量之和，即：

$$\text{输入量} - \text{输出量} = \text{累积量} + \text{变化量}$$

对无反应的连续操作过程，若各物理量不随时间改变，过程中变化量和累积量为零。则物料衡算关系为：

$$\text{输入量} = \text{输出量}$$

通过对一个设备或体系物料的输入、输出和在设备中积累的、变化的量的物料衡算，可从已知量中求出未知量。可从物料的量计算出设备的生产能力、物料的回收率、利用率等等。

(2) 能量衡算。能量衡算的依据是能量守恒定律。能量衡算的基本关系式与物料衡算的相类似。通过进入和排出、产生和消耗以及积累的能量衡算可以算出过程的能量分布、温度分布；计算出必需的能量、能量损失及能量有效利用率等。当能量的形式仅限于热时，则能量衡算就变为热量衡算。

(3) 速率关系式。过程的传递速率与推动力成正比，与阻力成反比，即过程速率 = 推动力/

阻力，这是一种普遍规律。通过速率的计算，可把物料、能量与时间联系起来，与设备的尺寸联系起来，从而进行设备尺寸的计算。

(4) 平衡关系。利用物理化学中的平衡关系，可以判断过程能否进行，以及进行的方向和能达到的极限，确定相间的数量关系。

(5) 经济核算。为生产定量的某种产品所需要的设备，根据设备的型式和材料的不同，可以有若干设计方案。对同一台设备，所选用的操作参数不同，会影响到设备费与操作费。因此，要用经济核算确定最经济的设计方案。

另外，量纲分析法和相似原理法也是本课程解决问题的基本方法。

最后值得指出的是本书有许多经验或半经验公式，使用时必须特别注意其适用范围和各项单位，否则将产生很大的误差。