

石油化工 设计手册

第三卷 >>

化工单元过程(上)

王子宗 主编



SHIYOU HUAGONG
SHEJISHOUCE



化学工业出版社

石油化工 设计手册

第三卷 >> 化工单元过程(上)



王子宗 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

《石油化工设计手册》(修订版)共分四卷出版。第三卷“化工单元过程”分上下两册,上册内容有流体输送机械,非均相分离,搅拌与混合,制冷与深度冷冻,换热器,蒸发,工业结晶过程与设备设计,蒸馏;下册内容有气体吸收与解吸,液液萃取,吸附与变压吸附,气液传质设备,膜分离,干燥,化学反应器,并列举相应的实际应用实例。可以指导设计人员在相应的化工单元过程设计中正确选取运用。

适合从事石油化工、食品、轻工等行业技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油化工设计手册. 第3卷, 化工单元过程. 上/王子宗
主编. —修订版. —北京: 化学工业出版社, 2015. 5
ISBN 978-7-122-23166-6

I. ①石… II. ①王… III. ①石油化工-化工过程-技术手册 IV. ①TE65-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 039116 号

责任编辑: 王湘民 谢丰毅
责任校对: 蒋 宇

文字编辑: 刘志茹 陈 雨 王湘民
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市胜利装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 86% 字数 2241 千字 2015 年 10 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 328.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2015—22 号

《石油化工设计手册》(修订版) 编委会

主任委员 袁晴棠 中国石油化工集团公司科学技术委员会常务副主任, 中国工程院院士

副主任委员 王松汉 中国石化工程建设公司原副总工程师、教授级高级工程师, 第一版主编

委员 (以姓氏笔画为序)

王子宗 中国石油化工集团公司副总工程师、教授级高级工程师

王静康 天津大学教授, 中国工程院院士

孙国刚 石油大学教授

吕德伟 浙江大学教授

汪文川 北京化工大学教授

张旭之 中国石油化工集团公司原发展战略研究小组组长、教授级高级工程师

张霖明 中国石化工程建设有限公司副总工程师、高级工程师

肖雪军 中石化炼化工程(集团)股份有限公司副总工程师兼技术部主任、教授级高级工程师

罗北辰 北京化工大学教授

周国庆 化学工业出版社副总编辑、编审

施力田 北京化工大学教授

赵 勇 中国石化工程建设有限公司质量安全标准部副主任、教授级高级工程师

赵广明 中国石化工程建设有限公司工厂系统室主任、教授级高级工程师

费维扬 清华大学教授, 中国科学院院士

袁天聪 中国石化工程建设有限公司高级工程师

徐承恩 中国石化工程建设有限公司, 中国工程院院士, 设计大师

麻德贤 北京化工大学教授

蒋维钧 清华大学教授

谢丰毅 化学工业出版社原副总编辑、编审

《石油化工设计手册》(修订版) 编写人员

- 主 编** 王子宗 中国石油化工集团公司副总工程师、教授级高级工程师
全国勘察设计注册工程师化工专业管理委员会委员
注册化工工程师、注册咨询工程师
- 副 主 编** 肖雪军 中石化炼化工程(集团)股份有限公司副总工程师兼技术部主任、教授级高级工程师
全国注册化工工程师执业资格考试专家组副组长
注册化工工程师
- 袁天聪 中国石化工程建设有限公司高级工程师
注册化工工程师

第三卷(上) 编写人员

- 第一章** 吴 青
- 第二章** 时铭显 朱企新 刘隽人 康 永 张建伟 赵 扬
施从南 都丽红 姬忠礼 孙国刚
- 第三章** 施力田 王英琛 林猛流 黄雄斌 高正明
- 第四章** 高光华
- 第五章** 朱士亮 陈卫航 陆善娟 宁 静 高丽萍
- 第六章** 胡修慈 史晓平
- 第七章** 王静康 龚俊波
- 第八章** 蒋维钧 汪永宗 袁希钢

前言

《石油化工设计手册》第一版出版以来深受读者欢迎，对提高石化工程设计水平，产生了积极的影响。十年来，石化工程建设在装置大型化和清洁化上有了长足的进步，工程装备技术水平有了重要的进展，设计手段、方法和理念也得到了提高和提升。为适应这些变化，我们组织有关专家学者对手册进行了修编工作。

设计质量是衡量石油化工装置建设质量的一个重要因素。好的设计工具书、手册可以指导和规范设计工作，对推动石油化工技术进步和提高设计质量水平具有重要意义。

手册第一版出版后，我们收到一些读者的意见，他们坦诚地指出了书中的个别错误，也期待着在再版时能够得到修正，并进一步提高图书的内容质量。正是读者的热爱，激励着我们认真地进行再版的修编工作。

修订版的修订原则是：保持特点、充实风容，尊重原著、继承风格，在实用性、可靠性、权威性、先进性方面再下功夫，反映时代特点和要求；内容要简明扼要，一目了然，突出手册特点，提高手册的水平。手册的定位则以石油化工工艺设计人员所需的设计方法和设计资料为主要内容。

手册仍分四卷：第一卷——石油化工基础数据；第二卷——标准规范；第三卷——化工单元过程；第四卷——工艺和系统设计。

感谢参与本手册第一版编写工作的各位专家，他们有着一丝不苟、认真负责和谦虚谨慎、艰辛耕耘的精神，本次修订是在他们已获得成功的成果之上，进行再次开发。

本次手册的修订出版，得到了中国石化工程建设有限公司的全力支持。中国石化工程建设有限公司是世界知名的工程公司，近年来承担了大量的石化工厂、炼油厂、煤化工工厂的工程设计，有一大批国内知名的设计专家。参加修订工作的编者很多来自中国石化工程建设有限公司，他们经验丰富，手册内容也基本反映了编者的实践经验和与国际接轨的做法。此外，清华大学、天津大学、中国石油大学、北京化工大学、浙江大学、上海理工大学、大连理工大学、北京工商大学、河北工业大学、上海化工研究院、大连化学物理研究所、四川天一科技股份有限公司的相关专家教授在修订工作中也付出了辛勤劳动，在此一表表示感谢。

衷心希望这套手册能够成为工程设计人员实用的工具书，对提高石化工业的设计水平有所裨益。

由于编写经验不足，书中疏漏和不妥之处，敬请专家和读者不吝指正。

王子宗
2015年4月

第一版序

《石油化工设计手册》就要正式出版了。《手册》全面收集了石油化工设计工作中所需要的具体技术资料、图表、数据、计算公式和方法，详细介绍了工程设计的步骤和工程设计中应该考虑的问题，列有大量参考文献名录，注出图表、数据、公式等的出处，读者希望对有关问题深入了解时，可以很方便的去查阅相关的文献资料。手册选用的材料准确，有科学根据，图表、数据、公式等均经过严格的核实，手册收集的资料一般都经过实践检验，对那些正在科研阶段或虽已经过鉴定，但未工业化的科研成果和资料均未编入，有些方向性的新技术编入时，也都注明其成熟程度。手册充分体现了实用性、可靠性、权威性、先进性相结合，尤其突出实用性，是一套非常适合从事石油化工和化工设计、施工、生产、科研工作的广大技术人员查阅使用的工具书，也可作为大中专院校的师生查阅使用。

为编纂这套《手册》，国内 100 多位有很高学术理论水平和丰富经验的专家学者做出了极大努力，他们克服各种困难，查阅大量资料，伏案整理写作，反复修改文稿，经过五个寒冬酷暑春去秋来，终成这套《手册》。可以说《手册》是他们五年心血的结晶，《手册》是他们学识和智慧的硕果。当你阅读《手册》时请一定记住他们的名字，这是对他们最好的感谢。在《手册》出版之际，我也要向为《手册》提供资料和其他方便条件的单位和同志们表示衷心的感谢。

我相信，这套《手册》一定会成为石油化工、化工行业广大工程技术人员十分喜爱的工具书。

中国工程院院士



2001 年 8 月

第 1 版前言

石油化学工业是能源和原材料工业的重要组成部分，在国民经济中具有举足轻重的地位和作用。2000 年我国原油加工能力 2.737 亿吨/年，加工原油 2.106 亿吨，居世界第三位；乙烯生产能力 446.32 万吨/年，产量 470.00 万吨，列世界第七位。我国的石化工业已形成完整的工业体系，具有比较雄厚的实力。在石化工业发展的过程中，石化战线的设计工作者进行了大量的设计实践，积累了丰富的经验，提高了设计技术水平，亟需进行归纳整理，使其系统化、逻辑化、规范化，提供给广大设计工作者及有关工程技术人员应用。为此，化学工业出版社组织有关专家编写了《石油化工设计手册》。

这套手册已列为“十五”国家重点图书。手册共分四卷，约 900 余万字。自 1997 年开始组织，先后有 100 余人参加编写，这些作者都是具有扎实的理论功底和丰富实践经验的专家、教授。他们在编写工作的前期，仔细研究了国内外石油化工设计工作的现状，明确了指导思想，制定了编写大纲，此后多次征求有关方面的意见，并反复进行补充修改。在编写过程中，始终坚持理论联系实际、实事求是、突出实用等原则，对标准、规范、图表、公式和数据资料进行精心筛选，慎重取材。形成文稿后，又对稿件进行多次审查，重点章节经反复讨论、推敲，最后交执笔专家修定。各位专家一丝不苟、认真负责和谦虚谨慎、艰辛耕耘的精神令人钦佩。相信这套手册的出版不仅为石化广大工程技术人员提供一套重要的工具书，而且会对我国石化工业的发展有所裨益。

由于在国内第一次出版石油化工专业的设计手册，经验不足，书中疏漏和不妥之处，敬请专家和读者不吝指正。

袁晴棠 张旭之

2001 年 10 月

上册目录

第1章 流体输送机械

1.1 泵	1	1.1.6.2 部分流泵的选择计算	147
1.1.1 概述	1	1.1.7 螺旋离心泵	149
1.1.1.1 泵的主要参数	1	1.1.7.1 螺旋离心泵结构	149
1.1.1.2 泵的分类及特点	1	1.1.7.2 螺旋离心泵特点	150
1.1.1.3 石油化工用泵的选用	1	1.1.7.3 螺旋离心泵性能参数	150
1.1.1.4 泵轴的密封	9	1.1.8 齿轮泵	154
1.1.1.5 泵用联轴器及选用	9	1.1.8.1 齿轮泵的特点	154
1.1.2 离心泵	10	1.1.8.2 齿轮泵主要性能参数确定	155
1.1.2.1 离心泵的有关参数	10	1.1.8.3 齿轮泵的选择	156
1.1.2.2 泵的性能曲线	11	1.1.8.4 齿轮泵选型	157
1.1.2.3 管路系统的运行	11	1.1.9 转子泵	162
1.1.2.4 泵的气蚀参数	14	1.1.9.1 WZB 型外环流转子式稠 油泵	162
1.1.2.5 泵的功率和效率	16	1.1.9.2 HLB 型滑片式动力往复泵	164
1.1.2.6 泵的比转速	17	1.1.9.3 HGBW 型、HGB 型滑片 式管道泵	168
1.1.2.7 离心泵的性能换算	18	1.1.9.4 NYP 系列内环式转子泵	169
1.1.2.8 离心泵的型号与结构形式	24	1.1.9.5 WH 型旋转(外环流)活 塞泵	171
1.1.2.9 离心泵选型的一般顺序	126	1.1.10 往复泵	171
1.1.2.10 离心泵数据表	127	1.1.10.1 往复泵的分类与结构	171
1.1.2.11 离心泵选择实例	134	1.1.10.2 往复泵的工作	173
1.1.3 旋涡泵	136	1.1.10.3 空气室的类型	175
1.1.3.1 旋涡泵的工作	136	1.1.10.4 往复泵类型选择	176
1.1.3.2 旋涡泵结构型式	137	1.1.11 螺杆泵	185
1.1.3.3 旋涡泵参数选择	137	1.1.11.1 螺杆泵的工作原理和特点	185
1.1.3.4 旋涡泵结构选择	138	1.1.11.2 螺杆泵的参数	185
1.1.4 混流泵	140	1.1.11.3 三螺杆泵的主要性能参数 确定	186
1.1.4.1 混流泵原理	140	1.1.11.4 螺杆泵的类型选择	187
1.1.4.2 PP 系列化工混流泵	140	1.1.12 射流泵	198
1.1.5 轴流泵	143	1.1.12.1 射流泵的组成与分类	198
1.1.5.1 轴流泵的特点及主要结构	143	1.1.12.2 射流泵的特点	198
1.1.5.2 轴流泵主要参数的确定	143	1.1.12.3 射流泵的参数确定	198
1.1.5.3 轴流泵的特性曲线和调节 方法	144	1.1.12.4 射流泵的选择	200
1.1.5.4 化工轴流泵的结构选择	145	1.2 风机	201
1.1.6 部分流泵	147		
1.1.6.1 部分流泵的基本原理和 特点	147		

1.2.1 概述	201	1.3.2.3 热力计算	243
1.2.1.1 风机分类及应用	201	1.3.2.4 基础确定条件及其数据 估算	250
1.2.1.2 风机主要性能参数	202	1.3.2.5 气体管路及管道振动	252
1.2.1.3 风机选择	203	1.3.2.6 冷却系统及冷却水量	254
1.2.2 离心式风机	203	1.3.2.7 气量调节、安全运转自控	255
1.2.2.1 离心式风机主要性能参数及 性能曲线	203	1.3.2.8 活塞式压缩机噪声	255
1.2.2.2 离心式风机无量纲性能曲线 及选择曲线	204	1.3.2.9 润滑及无油润滑压缩机	256
1.2.2.3 离心式风机构造与系列	207	1.3.2.10 常用活塞式压缩机型号编 制和选择	257
1.2.2.4 离心式风机类型选择	208	1.3.2.11 常用气体压缩性系数图 (图 1-86~图 1-95)	269
1.2.3 罗茨式风机	219	1.3.3 离心式压缩机	272
1.2.3.1 罗茨式风机应用范围及 特点	219	1.3.3.1 概述及主要结构	272
1.2.3.2 罗茨式风机工作原理和 结构	220	1.3.3.2 热力方案确定	273
1.2.3.3 罗茨式风机热力计算	221	1.3.3.3 操作性能	275
1.2.3.4 罗茨式风机主要结构参数 选取	222	1.3.3.4 调节及防喘振控制	276
1.2.3.5 罗茨式风机类型选择	223	1.3.3.5 油路及密封系统	277
1.2.4 轴流式风机	223	1.3.3.6 常用离心式压缩机技术 参数	279
1.2.4.1 轴流式风机原理及性能 特点	223	1.3.4 轴流式压缩机	282
1.2.4.2 轴流式风机结构	231	1.3.4.1 轴流式压缩机原理及主要 结构	282
1.2.4.3 轴流式风机类型选择	232	1.3.4.2 轴流式压缩机选定	283
1.2.5 混流式风机与斜流式风机	235	1.3.4.3 轴流式压缩机特性及调节	284
1.2.5.1 混流式风机结构与原理	235	1.3.5 螺杆式压缩机	286
1.2.5.2 斜流式风机结构与应用	235	1.3.5.1 螺杆式压缩机的特点及结构	286
1.2.5.3 GXF(SJG)系列斜流式风机	236	1.3.5.2 螺杆式压缩机主要参数 选择	287
1.2.6 喷射式风机	239	1.3.5.3 容积流量及内压力比的 确定	288
1.3 压缩机	240	1.3.5.4 螺杆式压缩机气量调节	290
1.3.1 概述	240	1.3.5.5 螺杆式压缩机型号选择	291
1.3.1.1 压缩机的类型及应用	240	1.3.5.6 螺杆式压缩机数据	291
1.3.1.2 各类压缩机的特点及比较	240	1.3.6 压缩机噪声控制	298
1.3.2 活塞式压缩机	241	1.3.6.1 压缩机噪声	298
1.3.2.1 分类	241	1.3.6.2 噪声允许标准和控制措施	298
1.3.2.2 活塞式压缩机结构、参数及 方案选择	241	参考文献	301

第 2 章 非均相分离

2.1 概述	302	2.2 悬浮液性质及预处理技术	304
2.1.1 液固分离过程	302	2.2.1 悬浮液性质	304
2.1.2 气固分离过程	303	2.2.1.1 固体颗粒性质	304

2.2.1.2 液相基本性质	306	滤饼	341
2.2.1.3 固液两相体系的基本性质	306	2.4.2 过滤基本方程及过滤机生产能力	
2.2.2 预处理技术	307	计算	342
2.2.2.1 凝聚与絮凝	307	2.4.2.1 过滤基本方程	342
2.2.2.2 调节黏度	310	2.4.2.2 不可压缩性滤饼的过滤	343
2.2.2.3 调节表面张力	310	2.4.2.3 可压缩滤饼的过滤	347
2.2.2.4 超声波处理	310	2.4.2.4 过滤机生产能力计算	348
2.2.2.5 冷冻和解冻	310	2.4.2.5 滤饼洗涤	349
2.2.3 悬浮液增浓	310	2.4.3 过滤机类型和适用范围	350
2.2.3.1 重力沉降	310	2.4.3.1 重力过滤设备	350
2.2.3.2 旋液分离器	314	2.4.3.2 加压过滤机	351
2.3 离心机	316	2.4.3.3 真空过滤机	360
2.3.1 离心分离原理及分类	316	2.4.3.4 压榨过滤机	373
2.3.1.1 离心力场中离心分离过程的		2.4.4 过滤介质	376
基本特性	316	2.4.4.1 过滤介质的分类	376
2.3.1.2 离心分离过程分类及原理	316	2.4.4.2 过滤介质的性能	376
2.3.2 离心机生产能力计算	318	2.4.4.3 常用织造滤布的主要性能和	
2.3.2.1 离心沉降理论	318	使用场合	378
2.3.2.2 过滤离心机生产能力计算	320	2.4.4.4 金属过滤介质	382
2.3.2.3 沉降离心机的生产能力		2.4.4.5 过滤介质的选用	384
计算	321	2.4.5 助滤剂	384
2.3.2.4 沉降离心机、分离机生产		2.4.5.1 助滤剂的性能	384
能力的模拟放大	324	2.4.5.2 助滤剂的选用	385
2.3.3 离心机类型及适用范围	325	2.5 固液分离设备的选型	386
2.3.3.1 过滤离心机	325	2.5.1 选型的依据	387
2.3.3.2 沉降离心机	333	2.5.1.1 物料特性	387
2.3.3.3 离心分离机	335	2.5.1.2 分离任务与要求	387
2.3.4 离心机功率计算及有关工艺参数的		2.5.1.3 各种类型分离机械的适应	
选定	337	范围	388
2.3.4.1 启动转鼓件所需功率	337	2.5.2 初步选型	390
2.3.4.2 转鼓内物料达到工作转速所消		2.5.2.1 表格法选型	390
耗的功率	337	2.5.2.2 图表法选型	390
2.3.4.3 轴承摩擦消耗的功率	338	2.5.3 采用不同分离设备的互相匹配	391
2.3.4.4 转鼓及物料表面与空气摩擦消		2.5.4 选型试验	392
耗的功率	338	2.5.4.1 沉降试验	393
2.3.4.5 卸出滤饼消耗的功率	338	2.5.4.2 过滤试验	393
2.3.4.6 机械密封摩擦消耗的功率	340	2.5.4.3 实验中取样品应注意的	
2.3.4.7 向心泵排液所消耗的功率	340	问题	396
2.3.4.8 离心机、分离机的功率	340	2.5.5 小型试验机试验	396
2.4 过滤机	341	2.6 气固过滤器	396
2.4.1 过滤分离原理	341	2.6.1 袋式过滤器的分类和性能	397
2.4.1.1 概述	341	2.6.1.1 袋式过滤器分类	397
2.4.1.2 不可压缩滤饼和可压缩		2.6.1.2 袋式过滤器的性能	397

2.6.2 袋式过滤器的滤料	399	2.8.1 洗涤分离过程的基本原理与分类	444
2.6.2.1 滤料的特性指标	399	2.8.2 文氏管洗涤器	446
2.6.2.2 滤料的结构类型及特点	400	2.8.2.1 文氏管洗涤器的类型	446
2.6.2.3 滤料的种类	401	2.8.2.2 文氏管洗涤器的捕集效率	447
2.6.3 袋式过滤器的清灰方式	405	2.8.2.3 文氏管洗涤器的压降	448
2.6.3.1 机械振打清灰	405	2.8.2.4 文氏管洗涤器的设计	448
2.6.3.2 反吹风清灰	407	2.8.3 喷淋接触型洗涤器	449
2.6.3.3 脉冲喷吹清灰	409	2.8.3.1 喷淋塔	449
2.6.4 袋式过滤器的结构型式	411	2.8.3.2 离心喷淋洗涤器	450
2.6.4.1 脉冲喷吹袋式过滤器	411	2.8.3.3 喷射洗涤器	451
2.6.4.2 反吹风清灰袋式过滤器	421	2.8.4 其他型式洗涤器	452
2.6.4.3 扁袋过滤器	422	2.8.4.1 动力波洗涤	452
2.6.4.4 气环反吹袋式过滤器	424	2.8.4.2 冲击式洗涤器	453
2.6.5 袋式过滤器的选择设计	426	2.8.4.3 湍球塔	454
2.6.5.1 袋式过滤器选择设计步骤	426	2.8.4.4 强化型洗涤器	455
2.6.5.2 袋式过滤系统设计中的几个 问题	428	2.8.5 液沫分离器	456
2.6.6 颗粒层过滤器	429	2.8.5.1 惯性捕沫器	456
2.6.6.1 颗粒层过滤器的分类及 特点	429	2.8.5.2 复挡除沫器	457
2.6.6.2 颗粒层过滤器的性能和 主要影响因素	429	2.8.5.3 旋流板除沫器	457
2.6.6.3 颗粒层过滤器的结构型式	430	2.8.5.4 纤维除雾器	458
2.7 旋风分离器	433	2.9 静电除尘器	458
2.7.1 旋风分离器工作原理	433	2.9.1 静电除尘器基本原理	458
2.7.1.1 旋风分离器内气体流动 特点	433	2.9.1.1 气体的电离	459
2.7.1.2 旋风分离器内颗粒的运动 与分离机理	435	2.9.1.2 气体导电过程	459
2.7.1.3 影响旋风分离器性能的 因素	436	2.9.1.3 收尘空间尘粒的荷电	460
2.7.2 石油化工常用旋风分离器设计	438	2.9.1.4 荷电尘粒的迁移和捕集	460
2.7.2.1 常用旋风分离器类型	438	2.9.1.5 被捕集粉尘的清除	462
2.7.2.2 PV型旋风分离器的优化设计 方法	440	2.9.2 静电除尘器的工艺设计与主要参 数的确定	462
2.7.2.3 E-II型旋风分离器的设计 方法	441	2.9.2.1 粉尘特性的影响	462
2.7.3 多管式旋风分离器	442	2.9.2.2 烟气性质的影响	465
2.8 洗涤分离过程	444	2.9.2.3 工艺系统设计	467
		2.9.2.4 原始参数	467
		2.9.2.5 主要参数的确定	468
		2.9.3 静电除尘器类型及适用范围	472
		2.9.3.1 静电除尘器类型	472
		2.9.3.2 静电除尘器的适用范围	473
		2.9.3.3 在石油化工生产中的应用	474
		参考文献	477

第3章 搅拌与混合

3.1 概论	479	3.1.1.1 釜体	479
3.1.1 搅拌釜的结构	479	3.1.1.2 搅拌器	480

3.1.2 搅拌釜的流场特性	481	3.5.2 搅拌设备选择	514
3.1.2.1 流型	481	3.5.2.1 搅拌器的型式	514
3.1.2.2 速度分布	482	3.5.2.2 桨叶参数的确定	515
3.1.2.3 湍流特性	482	3.5.2.3 搅拌釜的结构	515
3.1.3 搅拌效果的量度及其影响因素	483	3.5.3 搅拌器的工艺设计	515
3.1.4 搅拌与混合常用无量纲数群 及其意义	484	3.5.3.1 悬浮临界转速	515
3.2 搅拌桨的类型及其特性	486	3.5.3.2 工艺设计	517
3.2.1 中低黏度流体搅拌桨	486	3.5.3.3 固-液悬浮搅拌器设计实例	518
3.2.1.1 径流型搅拌桨	486	3.5.4 带导流筒的搅拌釜	519
3.2.1.2 轴流型搅拌桨	488	3.5.4.1 流动特性	519
3.2.2 高黏度流体搅拌桨	492	3.5.4.2 搅拌桨型式	520
3.2.2.1 锚式及框式桨	492	3.5.4.3 导流筒直径与釜直径之比	520
3.2.2.2 螺带式及螺杆式	493	3.5.5 固-液传质	520
3.3 低黏度互溶液体的混合	496	3.6 气液分散	521
3.3.1 过程的特征及其基本原理	496	3.6.1 过程特征	521
3.3.2 桨型的选择	496	3.6.1.1 通气式气液搅拌器及其釜 体结构	521
3.3.3 设计计算	497	3.6.1.2 自吸式气液搅拌器及釜体 结构	522
3.3.4 多层桨	499	3.6.2 气液搅拌釜的分散特性	523
3.4 高黏度液体的混合	499	3.6.2.1 搅拌釜内的气液流动状态	523
3.4.1 高黏度液体的混合机理	499	3.6.2.2 最大通气速度	524
3.4.2 高黏度搅拌桨的混合性能	499	3.6.2.3 气泡直径、气含率和比表面积	524
3.4.2.1 混合性能指标	499	3.6.3 气液搅拌釜的传质特性	526
3.4.2.2 各种搅拌桨的混合性能	500	3.6.4 搅拌器型式的选择	527
3.4.3 非牛顿流体的混合	501	3.6.5 通气时的功率计算	527
3.4.3.1 非牛顿流体的分类	501	3.6.5.1 通气功率	527
3.4.3.2 非牛顿流体性质对混合的 影响	503	3.6.5.2 不通气时的功率确定	528
3.4.4 搅拌桨型式的选择	503	3.7 液液分散	531
3.4.5 牛顿流体的搅拌功率	503	3.7.1 过程特征	531
3.4.5.1 锚式搅拌桨的搅拌功率	503	3.7.2 液-液搅拌釜的分散特性	533
3.4.5.2 螺带式搅拌桨的搅拌功率	504	3.7.3 桨型选择与釜体结构	534
3.4.5.3 多种型式高黏度搅拌桨的 K_P 值	504	3.7.4 达到要求的分散程度所需的搅 拌功率	534
3.4.6 非牛顿流体的搅拌功率	504	3.8 气液固三相混合	537
3.4.6.1 宾汉塑性流体的搅拌功率	510	3.8.1 过程特征	537
3.4.6.2 触变性流体的搅拌功率	510	3.8.2 气液固三相搅拌釜的混合特性	537
3.4.6.3 黏弹性流体的混合及功率	511	3.8.2.1 功率特性	537
3.5 固-液悬浮	512	3.8.2.2 临界悬浮特性	538
3.5.1 过程特征及其基本原理	512	3.8.2.3 气含率特性	539
3.5.1.1 固体颗粒悬浮状态	512	3.8.3 气液固三相搅拌釜的传质特性	539
3.5.1.2 固体颗粒的沉降速度	513	3.8.3.1 影响传质的因素	539
3.5.1.3 固-液悬浮机理	514	3.8.3.2 固相对传质的影响及机理	540

3.8.4 搅拌桨的选型	541	3.10.1 搅拌釜的 CFD 方法	546
3.9 搅拌釜的传热	541	3.10.1.1 控制方程的离散	546
3.9.1 搅拌釜内壁传热膜系数 h 的计算	542	3.10.1.2 旋转桨叶的处理	547
3.9.1.1 涡轮类搅拌桨、带挡板釜	542	3.10.2 动量传递特性的 CFD 模拟	547
3.9.1.2 涡轮类搅拌桨、无挡板釜	542	3.10.2.1 单相流场	547
3.9.1.3 三叶推进式搅拌桨	542	3.10.2.2 多相流场	550
3.9.1.4 六叶后弯式搅拌桨	542	3.10.3 热量传递特性的 CFD 模拟	552
3.9.1.5 MIG 搅拌桨	543	3.10.4 质量传递特性的 CFD 模拟	552
3.9.1.6 螺带式搅拌桨	543	3.10.4.1 相内质量传递	553
3.9.1.7 用单位质量功耗关联的湍流搅 拌传热关联式	544	3.10.4.2 相际质量传递	553
3.9.2 搅拌釜内盘管外侧传热膜系数 h_c 的 计算	544	3.10.5 化学反应的 CFD 模拟	554
3.9.2.1 涡轮搅拌桨,无挡板釜	544	3.11 搅拌釜的放大	555
3.9.2.2 涡轮搅拌桨,有挡板釜	545	3.11.1 引言	555
3.9.2.3 三叶推进式搅拌桨	545	3.11.2 几何相似放大时搅拌性能参数 的变化关系	555
3.9.2.4 六叶后弯式搅拌桨盘管壁的 传热膜系数 h_{0c}	545	3.11.3 互溶液体混合过程的放大	556
3.9.2.5 双层盘管的传热	545	3.11.3.1 几何相似放大	556
3.9.3 搅拌釜内垂直管外壁传热膜系数 h_c 的计算	545	3.11.3.2 非几何相似放大	557
3.9.4 搅拌釜内垂直板式蛇管的传热膜 系数 h_c 的计算	545	3.11.4 气液分散、液液分散过程的放大	558
3.9.5 计算实例	545	3.11.5 固液悬浮过程的放大	559
3.10 搅拌釜的 CFD 模拟	546	3.11.6 搅拌釜放大的系统优化设计 新方法	560
		3.11.7 搅拌釜设计工艺数据表	561
		主要符号说明	562
		参考文献	564

第 4 章 制冷与深度冷冻

4.1 蒸气压缩制冷	570	4.1.3 复叠式制冷循环	583
4.1.1 单级蒸气压缩制冷循环	570	4.1.4 混合制冷剂单级制冷循环	585
4.1.1.1 单级压缩制冷机的组成和 工作原理	570	4.1.5 制冷压缩机的型式及其性能图表	585
4.1.1.2 温熵图和压焓图	571	4.1.5.1 活塞式制冷压缩机	585
4.1.1.3 理想制冷循环的热力计算	572	4.1.5.2 螺杆式制冷压缩机	594
4.1.1.4 实际制冷循环	573	4.1.5.3 离心式制冷压缩机	600
4.1.1.5 单级蒸气压缩制冷机的性能 与工况	577	4.2 吸收制冷	603
4.1.2 分级压缩制冷循环	579	4.2.1 吸收制冷基本原理	603
4.1.2.1 一级节流、中间冷却的两级 压缩循环	579	4.2.2 氨水吸收式制冷机	604
4.1.2.2 两级节流、中间冷却的两级 压缩循环	581	4.2.2.1 氨水溶液的性质	604
4.1.2.3 两级压缩制冷循环的中间 压力	583	4.2.2.2 单级氨水吸收式制冷机的基本工作 循环过程及在 h - ξ 图上的 表示	605
		4.2.2.3 单级氨水吸收式制冷机的热力 计算	610
		4.2.2.4 两级氨水吸收式制冷机	610

4.2.3 溴化锂吸收式制冷机	611	4.3.4.1 空气深冷分离	632
4.2.3.1 溴化锂水溶液的性质	611	4.3.4.2 天然气的液化与乙烯深冷 分离	634
4.2.3.2 单效溴化锂吸收式制冷机的基本 工作循环过程与 h - ξ 图	615	4.4 制冷剂	637
4.2.3.3 单效溴化锂吸收式制冷机的热力 计算	617	4.4.1 制冷剂的选用原则和种类	637
4.2.3.4 双效溴化锂吸收式制冷机	618	4.4.1.1 制冷剂的选用原则	637
4.2.3.5 溴化锂吸收式制冷机组的型式 与选型	619	4.4.1.2 制冷剂的种类和命名	638
4.2.3.6 溴化锂吸收式制冷机的设计 计算	621	4.4.1.3 关于 CFC(CFC _s)问题简述	639
4.3 深冷与气体液化	625	4.4.2 制冷剂的热力学性质和热物理 性质	639
4.3.1 深冷的制冷原理	626	4.4.2.1 制冷剂的热力学性质	639
4.3.1.1 节流膨胀	626	4.4.2.2 制冷剂的热物理性质	639
4.3.1.2 作外功的等熵膨胀	627	4.4.3 常用制冷剂	682
4.3.2 气体液化的林德循环	627	4.4.3.1 氟利昂	682
4.3.2.1 一次节流的简单林德循环	627	4.4.3.2 碳氢化合物	682
4.3.2.2 具有氨预冷的林德循环	629	4.4.3.3 无机化合物	682
4.3.2.3 二次节流膨胀的林德循环	630	4.4.3.4 混合制冷剂	682
4.3.3 具有膨胀机的气体液化循环	630	4.4.4 制冷剂与制冷机操作和运行有关的 特性	683
4.3.3.1 克劳德循环	630	4.4.4.1 制冷剂的溶水性	683
4.3.3.2 海兰德循环	632	4.4.4.2 制冷剂的溶油性	683
4.3.3.3 卡皮查循环	632	4.4.4.3 制冷剂的检漏	683
4.3.4 气体液化和分离方法	632	4.4.5 载剂	684
		参考文献	689

第 5 章 换热器

5.1 换热器设计基础	690	5.1.3.2 换热器工艺设计的内容和 手段	725
5.1.1 换热器的应用与分类	690	5.1.3.3 换热器的设计变量与设计 因素	727
5.1.1.1 换热器的作用	690	5.1.4 结垢与污垢热阻	728
5.1.1.2 热源和冷源	690	5.1.4.1 概述	728
5.1.1.3 换热器的分类	690	5.1.4.2 冷却用水的污垢热阻及其 控制	729
5.1.1.4 换热器的性能和选型	695	5.1.4.3 其他流体污垢热阻的参考值	731
5.1.1.5 换热器的材料	696	5.1.4.4 防治和控制污垢的设计措施	733
5.1.2 换热器的基本计算公式	697	5.1.5 换热器总传热系数经验值	734
5.1.2.1 焓衡算与焓衡算	697	5.1.6 传热过程的增强措施	738
5.1.2.2 传热速率方程	700	5.1.6.1 强化传热的目标	738
5.1.2.3 总传热系数	701	5.1.6.2 强化传热的原则	739
5.1.2.4 单相流体的对流给热系数与流动 摩擦因子	701	5.1.6.3 强化传热的简化评价指标	739
5.1.2.5 平均温度差	711	5.1.6.4 管内传热强化的常用技术	740
5.1.2.6 换热器的热分析	721	5.2 管壳式换热器的设计与选型	745
5.1.3 换热器工艺设计要点	725		
5.1.3.1 工艺设计任务和设计条件	725		

5.2.1 概述	745	5.4.1.1 蒸气的冷凝过程	859
5.2.1.1 管壳式换热器的分类	746	5.4.1.2 冷凝器的结构特征与选型	861
5.2.1.2 部件结构	752	5.4.1.3 冷凝传热基本关系式	864
5.2.1.3 管壳式换热器标准系列及 型号	763	5.4.2 单组分饱和蒸气冷凝器的计算	871
5.2.2 管壳式换热器计算步骤	770	5.4.3 过热蒸气冷凝及冷凝冷却器	874
5.2.2.1 设计型计算	770	5.4.4 多组分蒸气冷凝	878
5.2.2.2 操作型计算	771	5.4.4.1 概述	878
5.2.3 无相变管壳式换热器的设计	771	5.4.4.2 多组分冷凝的计算内容(组分 间互溶)	879
5.2.3.1 管壳式换热器有关设计因素的 选择	771	5.4.4.3 多组分冷凝计算示例	883
5.2.3.2 管程给热系数与压降	777	5.4.4.4 凝液分层时的冷凝给热系数	892
5.2.3.3 壳程给热系数和压降	779	5.4.5 含不凝性气的冷凝	892
5.2.3.4 管壳式换热器平均温度差的 计算	794	5.4.5.1 概述	892
5.2.4 计算示例	804	5.4.5.2 几种计算方法	893
5.2.5 折流杆换热器	812	5.4.5.3 计算示例	895
5.2.5.1 折流杆换热器的基本元件	812	5.5 空气冷却器	903
5.2.5.2 折流杆换热器设计估算	812	5.5.1 概述	903
5.2.5.3 核算公式	817	5.5.1.1 空冷器的特点及应用	903
5.3 再沸器	821	5.5.1.2 空冷器的结构与型式	904
5.3.1 概述	821	5.5.1.3 翅片管和管束	906
5.3.1.1 再沸器的用途与分类	821	5.5.1.4 空冷器型号的表示方法及系列 标准	913
5.3.1.2 沸腾传热的基本关系式	823	5.5.2 空冷器传热计算	917
5.3.1.3 再沸器型式的选用	828	5.5.2.1 总传热系数和传热热阻	917
5.3.1.4 再沸器的设计	829	5.5.2.2 管外空气侧传热和压降计算	923
5.3.1.5 热虹吸式再沸器的操作稳 定性	830	5.5.2.3 空冷器有效平均温度差	927
5.3.2 釜式再沸器的计算	831	5.5.3 空冷器的设计	929
5.3.2.1 基本关系式	831	5.5.3.1 设计条件与基本参数	929
5.3.2.2 设计步骤	833	5.5.3.2 设计步骤与示例	937
5.3.2.3 计算示例	835	5.5.4 湿式空冷器的计算要点	942
5.3.3 立式热虹吸再沸器	837	5.5.4.1 湿式空冷器的使用	942
5.3.3.1 概述	837	5.5.4.2 湿式空冷器的喷水措施	943
5.3.3.2 设计步骤及方法	838	5.5.4.3 湿式空冷器的有关计算关系	944
5.3.3.3 计算示例	842	5.6 其他管式换热器	945
5.3.4 卧式热虹吸再沸器	856	5.6.1 套管式换热器	945
5.3.4.1 对流沸腾给热系数 α_{co}	857	5.6.1.1 概述	945
5.3.4.2 管束间两相流压降 Δp_{tp} 与空隙 率计算	857	5.6.1.2 套管换热器的传热与压降 计算	948
5.3.4.3 错流时的临界热流密度	858	5.6.1.3 套管换热器计算示例	953
5.4 冷凝器	858	5.6.2 沉浸式蛇管换热器	957
5.4.1 概述	858	5.6.2.1 概述	957
		5.6.2.2 蛇管换热器的传热与压降计算	959

5.6.2.3 计算示例	960	5.7.4.4 计算示例	1054
5.6.3 喷淋式冷却器	962	5.7.4.5 扩散联结式与印刷电路式板翅式换热器	1064
5.6.3.1 概述	962	5.7.5 伞板式换热器	1065
5.6.3.2 淋洒式冷却器的计算	963	5.7.5.1 结构与性能	1065
5.6.3.3 计算示例	964	5.7.5.2 传热与阻力计算	1067
5.6.4 热管及热管换热器	969	5.7.6 板壳式换热器	1068
5.6.4.1 热管的基本结构与工作原理	969	5.7.6.1 结构与性能	1068
5.6.4.2 热管的工作特性	974	5.7.6.2 基本参数与有关设计计算	1070
5.6.4.3 热管的传热计算	979	5.7.7 管翅式换热器	1071
5.6.4.4 热管换热器	983	5.7.7.1 结构与性能	1071
5.7 板式及紧凑式换热器	987	5.7.7.2 管翅式换热器设计计算中的几个问题	1074
5.7.1 概述	987	5.8 特殊材料换热器	1082
5.7.2 螺旋板换热器	987	5.8.1 石墨换热器	1083
5.7.2.1 分类和基本结构尺寸	988	5.8.1.1 不透性石墨的性能与应用	1083
5.7.2.2 螺旋板换热器的工艺计算	999	5.8.1.2 石墨换热器的结构型式	1083
5.7.2.3 螺旋板换热器的简捷法计算	1005	5.8.1.3 石墨换热器的传热与流体阻力	1098
5.7.3 板框式换热器	1011	5.8.2 氟塑料换热器	1101
5.7.3.1 结构及性能	1011	5.8.2.1 特性及用途	1101
5.7.3.2 平均温差与换热性能	1019	5.8.2.2 氟塑料换热器的结构型式	1102
5.7.3.3 板式换热器的传热系数与流动阻力	1025	5.8.2.3 氟塑料换热器的传热与压降	1103
5.7.3.4 流程数与流道数的确定	1032	5.8.3 玻璃换热器	1105
5.7.3.5 污垢系数	1034	5.8.3.1 玻璃换热器的特性及用途	1105
5.7.4 板翅式换热器	1034	5.8.3.2 玻璃换热器的结构型式及传热特性	1105
5.7.4.1 结构与性能	1034	5.8.4 贵重合金及稀有金属换热器	1106
5.7.4.2 板翅式换热器流道的传热与流动特性	1037	参考文献	1111
5.7.4.3 板翅式换热器的传热与流体力学计算	1046		

第6章 蒸发

6.1 概述	1113	6.2.2.3 其他流程	1121
6.2 蒸发装置的类型与所需能耗	1113	6.2.2.4 多效蒸发的数学描述	1122
6.2.1 单效蒸发	1114	6.2.2.5 多效蒸发的计算方法	1123
6.2.1.1 单效真空蒸发	1114	6.2.2.6 多效蒸发系统的计算机程序介绍	1127
6.2.1.2 连续蒸发	1115	6.2.2.7 蒸发的商用设计软件简介	1127
6.2.1.3 传热面积	1115	6.2.3 热泵蒸发	1128
6.2.1.4 有效传热温差和传热温差损失	1115	6.2.3.1 蒸汽喷射泵(热力喷射泵)	1129
6.2.1.5 分批蒸发	1119	6.2.3.2 机械压缩式热泵	1132
6.2.2 多效蒸发	1119	6.2.4 减压闪蒸	1136
6.2.2.1 顺流(并流)流程	1120	6.2.4.1 多级闪蒸器	1136
6.2.2.2 逆流流程	1121	6.2.5 蒸发系统的热能利用	1139