

# 换热器设计手册

钱颂文 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

换 热 器 设 计 手 册  
HUANREQI SHEJI SHOUCHE

ISBN 7-5025-3828-3



9 787502 538286 >

ISBN 7-5025-3828-3/TQ · 1532 定价：70.00元

# 换热器设计手册

钱颂文 主编

化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心  
北京·

(京)新登字 039 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

换热器设计手册/钱颂文主编. —北京: 化学工业出版社, 2002.8  
ISBN 7-5025-3828-3

I. 换… II. 钱… III. 化工过程-换热器-设计-手册 IV. TQ051.5-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 032820 号

---

**换热器设计手册**

钱颂文 主编

责任编辑: 周国庆

责任校对: 陶燕华

封面设计: 张竞文

\*

化学工业出版社 出版发行  
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

\*

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 33<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 字数 1160 千字

2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3828-3/TQ·1532

定 价: 70.00 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换  
京工商广临字 2002-22 号

# 序

本书共分四篇。第1篇为管壳式换热器(含翅管列管式),是应用最多的换热器,且多数已系列化和标准化。本篇收集了管壳式换热器的各种国家标准、部颁标准和企业标准,并编入了国外最新的Bell详细设计法计算过程和美国TEMA及ASME有关换热器流体流动诱发振动计算的种种最新规定,内容新颖;介绍了国内专家对卧式管束纯组分和多组分冷凝的逐排计算,具有独创性;列入了国内外有关管壳式换热器的各种计算机程序,包括卧式管束逐排计算的冷凝程序等;对管板分析算法和各种特殊管板的强度计算,以及国外主要的管板规范等也都做了介绍,很多内容是现有文献中少见的。

第2篇为以板为传热面的各种板式换热器,其中收集了国外最新的混合板片计算,以及国内自行开发的螺旋板换热器计算和板翅式CAD计算等有关材料,这些都独具特点。因国内外均未形成完善的系列标准,故对板式换热器的系列标准介绍较少。

第3篇属高温换热器和非金属换热器,列入了一定分量的碳化硅陶瓷高温换热器,可用于节能和防腐设计参考。

第4篇为国内有关单位最新开发研究的换热器快速先进制造等技术,内容新颖独特,适应当今时代的步伐。

本书不仅实用性强,并具有一定的深度和理论水平,都是国内长期从事有关化工机械领域的有一定知名度或一定水平的专家所写,是一部集体创作的化工机械换热器手册。本书管壳式换热器主要由华南理工大学方江敏副教授编写,中石化北京设计院高丽萍高级工程师也参加了部分编写;其中Bell详细设计法、流体流动振动由钱颂文教授编写,湛江海洋大学杨丽明副教授参加编写;冷凝传热和冷凝计算由西安建筑科技大学冯键美博士和张强副教授编写;特种管板计算和各国管板规范简介由华南理工大学马小明副教授、钱颂文教授编写;翅管式换热器由重庆大学王厚华教授编写。

第2篇板(片)式换热器由兰州石油机械研究所杨崇麟教授级高级工程师编写;螺旋板换热器由合肥通用机械研究所陈永东高级工程师编写;板翅式换热器由西安交通大学陈长青教授编写;板翅式换热器CAD由南京工业大学凌祥副教授编写。

第3篇高温换热器由四川大学陈胜利副教授编写,其中陶瓷高温换热器由华南理工大学钱颂文编写,非金属换热设备由华南理工大学廖景娱教授编写。

第4篇换热设备先进快速制造技术由南京工业大学涂善东教授和凌祥副教授编写。

此外,华南理工大学朱冬生教授、江楠教授、孙萍副教授,湛江海洋大学杨丽明副教授、赖学江副教授、凌长明副教授,青岛科技大学李庆领教授和马连湘教授,山东大学程林教授,南京工业大学邹群彩硕士,深圳工程质量监测总站刘宏桂高级工程师,大庆石化机械厂戴建军高级工程师、杨大明高级工程师也参加了部分编写工作。

全书由华南理工大学钱颂文教授主编并组织 and 统稿。由于作者水平有限,不足之处,请读者批评指正。

钱颂文

于2001年12月25日圣诞节和70寿辰纪念,广州

## 内 容 提 要

本书共分四篇。第1篇为管壳式换热器，介绍管壳式换热器的结构型式和主要参数，选用和设计，冷凝传热和冷凝器计算，流体流动诱发振动，结构设计和管板设计，以及翅片管式换热器；第2篇介绍各种板式换热器计算；第3篇介绍高温换热器和非金属换热设备，其中包括碳化硅陶瓷高温换热器；第4篇介绍换热器快速先进制造等技术。

本书收集资料新颖全面，内容丰富实用，可供从事化工过程机械换热设备设计、制造及应用的工程技术人员，以及高等院校相关专业师生参考，也可供热能动力、制冷、轻工、食品及石油化工等领域有关工程技术人员参考。

# 目 录

## 第 1 篇 管壳式换热器

<b>第 1 章 管壳式换热器的类型、结构与型号</b> .....	1
1 概述 .....	1
2 管壳式换热器的类型 .....	1
2.1 管壳式换热器的零、部件名称 .....	2
2.2 管壳式换热器主要组合部件 .....	2
2.2.1 壳体 .....	2
2.2.2 前端管箱 .....	3
2.2.3 后端结构 .....	4
3 管壳式换热器的型式与结构 .....	4
3.1 固定管板式换热器 .....	4
3.2 浮头式换热器 .....	5
3.3 U 型管式换热器 .....	6
3.4 填料函式换热器 .....	6
3.5 其他类型换热器 .....	6
3.5.1 滑动管板式填料函换热器 .....	6
3.5.2 双管板换热器 .....	7
3.5.3 薄管板换热器 .....	8
4 折流杆换热器 .....	9
4.1 折流杆换热器结构简介 .....	9
4.2 折流杆换热器应用进展 .....	10
5 换热器型号表示方法 .....	10
参考文献 .....	12
<b>第 2 章 管壳式换热器系列</b> .....	13
1 固定管板式换热器、立式热虹吸式重沸器 .....	13
1.1 固定管板式换热器型式与基本参数 (JB/T 4715—92) .....	13
1.1.1 基本参数 .....	13
1.1.2 结构型式 .....	19
1.2 立式热虹吸式重沸器型式与基本参数 (JB/T 4716—92) .....	21
1.2.1 基本参数 .....	21
1.2.2 结构型式 .....	24
2 U 型管式换热器型式与基本参数 (JB/T 4717—92) .....	24
2.1 基本参数 .....	24
2.1.1 公称直径 $DN$ .....	24
2.1.2 公称压力 $PN$ .....	24
2.1.3 换热管 .....	24
2.2 基本参数组合 .....	24
2.3 换热器的主要参数 .....	24
2.3.1 计算换热面积 .....	24
2.3.2 主要参数 .....	26
2.4 结构型式 .....	26
2.4.1 结构简图 .....	26
2.4.2 重叠式换热器结构 .....	26
3 浮头式换热器和冷凝器型式与基本参数 (JB/T 4714—92) .....	27
3.1 基本参数 .....	27
3.1.1 公称直径 $DN$ .....	27
3.1.2 公称压力 $PN$ .....	27
3.1.3 换热管 .....	27
3.1.4 管程数 $N$ .....	28
3.1.5 折流板 (支承板) 间距 $S$ .....	28
3.1.6 管箱 .....	28
3.1.7 旁路挡板的数量 .....	28
3.2 基本参数组合 .....	28
3.2.1 内导流换热器的基本参数组合 .....	28
3.2.2 外导流换热器的基本参数组合 .....	30
3.2.3 冷凝器的基本参数组合 .....	31
3.3 换热器的主要参数 .....	32
3.3.1 内导流换热器和冷凝器的主要参数 .....	32
3.3.2 外导流换热器的主要参数 .....	33
3.3.3 计算换热面积 .....	34
3.4 结构型式 .....	34
3.4.1 换热器 .....	34
3.4.2 冷凝器 .....	34
3.4.3 重叠型式 .....	34
4 浮头式折流杆换热器系列规格、型号和参数行业标准 .....	37
4.1 内容与适用范围 .....	37
4.2 结构特征 .....	37
4.3 技术条件及基础数据 .....	37
4.3.1 设计条件 .....	37
4.3.2 基础参数 .....	38
4.4 浮头式折流杆换热器及冷凝器规格型号系列 .....	38
4.4.1 浮头式折流杆换热器及冷凝器型	

号表示方法 .....	38	3.2 壳程传热与压降修正因子 .....	87
4.4.2 规格系列及简图 .....	38	3.3 壳程传热膜系数和压降 .....	89
5 固定管板式折流杆换热器系列 .....	42	3.3.1 壳程传热膜系数 .....	89
6 钢制固定管板式薄管板列管换热器		3.3.2 壳程压降 .....	89
系列 (HG 21503—92) .....	42	3.4 管内传热膜系数和压降 .....	90
6.1 基本参数 .....	42	3.4.1 管内传热膜系数 .....	90
6.1.1 设计参数 .....	42	3.4.2 管内压降和管程压降 .....	91
6.1.2 主要材质 .....	42	附录 Tinker 法参考横流速度的计算 .....	93
6.1.3 参数组合范围 .....	43	4 贝尔-台华法在 E 型以外其他类型管	
6.1.4 参数的确定 .....	44	壳式换热器中的应用 .....	95
6.2 结构型式 .....	44	5 盘-环形折流板换热器设计计算 .....	95
6.2.1 焊入式 .....	44	5.1 设计方法 .....	95
6.2.2 贴面式 .....	44	5.2 Slipcevie 法 .....	95
6.2.3 其他结构 .....	44	5.2.1 热传递计算 .....	96
6.3 允许壁温差 .....	45	5.2.2 壳程压降 .....	97
6.4 型号标记 .....	45	6 冷凝器与再 (重) 沸器的计算步骤 .....	98
参考文献 .....	54	6.1 冷凝器的设计步骤 .....	98
<b>第 3 章 管壳式换热器的选用与设计</b> .....	55	6.2 再沸器的设计计算步骤 .....	99
1 管壳式换热器的选用 .....	55	6.2.1 K 式再沸器 .....	99
1.1 工艺条件的选择 .....	55	6.2.2 卧式热虹吸式 (管外壳程沸腾)	
1.1.1 温度 .....	55	再沸器 .....	101
1.1.2 压力降 .....	56	6.2.3 立式管内热虹吸式再沸器计算 .....	102
1.1.3 流体空间的选择 .....	56	附录 1 污垢系数值 .....	103
1.2 结构与结构参数的选择 .....	56	附录 2 总传热系数推荐值 .....	105
1.2.1 换热管 .....	56	参考文献 .....	108
1.2.2 管程数和壳程型式 .....	56	<b>第 4 章 冷凝传热及各种冷凝器的精确计</b>	
1.2.3 壳程折流板 .....	57	<b>算法</b> .....	109
1.2.4 防旁路流设施 .....	58	1 纯质冷凝换热的计算方法 .....	109
1.2.5 防冲板 .....	58	1.1 纯质竖管内冷凝 .....	109
2 管壳式换热器热力计算 .....	58	1.1.1 重力控制状态 .....	110
2.1 稳态传热方程 .....	58	1.1.2 剪力控制状态 .....	110
2.1.1 热负荷 .....	58	1.2 纯质水平管内冷凝 .....	111
2.1.2 总传热系数 $K$ .....	59	1.2.1 水平管内凝结换热的研究现状 .....	111
2.1.3 平均温度差和温差修正系数 .....	59	1.2.2 重力控制状态 .....	112
2.2 对流传热膜系数 .....	59	1.2.3 剪力控制状态 .....	112
2.2.1 无相变对流传热的传热膜系数 .....	59	1.2.4 剪力与重力控制状态 .....	113
2.2.2 有相变传热的传热膜系数 .....	67	1.2.5 不区分流型的通用型公式 .....	113
2.3 压力降的计算 .....	75	1.3 纯质水平单管外及管束间的冷凝 .....	114
2.3.1 管程压力降 $\Delta p_i$ .....	76	1.3.1 纯质水平单管外的冷凝 .....	114
2.3.2 壳程压力降 .....	77	1.3.2 纯质水平管束间的冷凝和逐排	
2.4 换热器热力计算的其他分析方法		计算法 .....	115
简介 .....	81	2 混合蒸气冷凝换热的分析与计算 .....	117
3 贝尔-台华 (Bell-Delaware) 详细设计法 .....	82	2.1 混合蒸气的冷凝换热机理 .....	117
3.1 几何参数的计算 .....	83	2.2 混合蒸气冷凝换热的预测方法 .....	117
3.1.1 数据的输入 .....	83	2.3 Bell-Ghaly 法的数学模型 .....	117
3.1.2 壳程参数 .....	83	2.4 混合工质管内冷凝的研究现状 .....	118
3.1.3 辅助计算逐步计算步骤 .....	84	2.5 混合蒸气冷凝传热膜系数的计算	



公式	119	7.3 计算过程的逻辑设计	134
2.6 混合工质管外凝结换热的研究		7.4 输入数据说明	134
现状	119	7.5 输出数据说明	134
3 冷凝器的计算机模拟	120	8 折流杆换热器及冷凝器计算程序	134
3.1 冷凝器的类型	120	8.1 程序功能	134
3.2 冷凝器的传热过程	120	8.2 适用范围	134
3.3 冷凝器计算机模拟的具体计算		参考文献	135
步骤	122	<b>第6章 管壳式换热器结构设计</b>	136
3.3.1 纯质壳侧冷凝时分段法卧式		1 壳体、管箱壳体和封头的设计	136
管壳式冷凝器模拟计算具体		1.1 壁厚的确定	136
步骤	123	1.2 壳体、管箱壳体和封头的尺寸及	
3.3.2 混合工质冷凝器模拟计算具		质量	140
体步骤	124	1.3 进出口的设计	141
参考文献	125	1.3.1 接管外伸长度	141
<b>第5章 应用计算机设计计算的方法</b>	127	1.3.2 接管与筒体、管箱壳体的连接	142
1 管壳式换热器设计及性能计算程序		1.3.3 排气、排液管	142
TASC3	127	1.4 接管最小位置	144
1.1 程序功能	127	1.4.1 壳程接管位置的最小尺寸	144
1.2 输入数据	128	1.4.2 管箱接管位置的最小尺寸	144
1.3 输出数据	128	2 管板与换热管	145
2 无相变管壳式换热器设计及性能计		2.1 管板	145
算程序 STEP5	128	2.1.1 管板结构	145
2.1 程序功能	128	2.1.2 管板最小厚度	145
2.2 软件使用限制	128	2.1.3 管板尺寸	146
3 釜式再沸器模拟计算程序 MKETL 和		2.1.4 管板重量计算	147
立式热虹吸再(重)沸器的设计与		2.2 换热管	162
校核程序 TREB4	128	2.2.1 换热管的规格和尺寸偏差	162
3.1 程序功能	128	2.2.2 换热管的排列型式	162
3.2 软件使用限制	129	2.3 管程分程	164
3.3 输入数据	129	3 壳体与管板、管板与法兰及换热管	
3.4 立式热虹吸重沸器的设计与校		的连接	164
核程序 TREB4 简介	129	3.1 壳体与管板的连接结构	164
4 空冷器的校核计算程序 ACE	129	3.2 管板与法兰的连接	168
4.1 程序功能及特点	129	3.2.1 固定式管板	168
4.2 程序适用范围	130	3.2.2 可拆式管板	168
5 HTRI 管壳式换热器计算程序 CST-2	130	3.3 管子与管板连接	171
5.1 程序功能	130	3.3.1 胀接	171
5.2 输入数据文件的基本格式	132	3.3.2 焊接	172
5.3 输入数据文件的基本内容	132	3.3.3 胀焊并用	174
6 釜式重沸器传热与流体力学计算程序		3.3.4 爆炸胀接	175
RKH	132	4 其他各部件结构	175
6.1 程序功能	132	4.1 膨胀节	175
6.2 设计计算方案	132	4.2 折流板或支持板	179
7 无相变管壳式换热器工艺计算与核算		4.2.1 折流板的型式	179
程序 (FRHEX2C)	134	4.2.2 折流板尺寸	180
7.1 程序功能	134	4.2.3 折流板或支持板管孔	181
7.2 计算方法原理	134	4.2.4 折流板或支持板外直径及允	

许偏差	182	6.3 声共振激振机理	203
4.2.5 折流板的布置	183	6.4 声共鸣许用准则	204
4.2.6 支持板	183	6.4.1 旋涡分离引起的声共鸣	204
4.2.7 折流板质量计算	184	6.4.2 湍流抖振引起的声共鸣	205
4.3 防冲与导流	186	6.5 声驻波振动的抑制	205
4.3.1 防冲板的型式	186	6.5.1 防振挡板	205
4.3.2 防冲板的位置和尺寸	186	6.5.2 Helmholtz 空腔共鸣室	206
4.3.3 导流筒	187	6.5.3 翅条片的构思	206
4.4 拉杆与定距管	188	6.5.4 螺旋形的“管间”插入件的 构思	207
4.4.1 拉杆的结构和尺寸	188	6.5.5 谐调	207
4.4.2 拉杆的布置	189	6.5.6 拆除一些管子	207
4.4.3 定距管尺寸	189	6.5.7 管子结构表面的改变	207
4.5 防短路结构	189	6.5.8 不规则的管间距	207
4.5.1 旁路挡板结构尺寸	189	6.5.9 改变壳程质量流率	207
4.5.2 假管	190	7 振动计算程序	208
4.5.3 中间挡板	190	7.1 振动计算步骤	208
参考文献	190	7.2 振动计算中应用试验推算值时应注 意的问题	209
<b>第7章 管壳式换热器流体流动诱发振动</b>	192	<b>第8章 管壳式换热器管板设计</b>	212
1 流动诱发振动基本原理	192	1 概述	212
1.1 流动诱发振动三种基本情况	192	2 管壳式换热器管板的设计计算方法 分析	213
1.2 管子破坏最可能的区段	192	2.1 设计计算公式的基本考虑	213
1.3 破坏机理	192	2.2 管板强度分析的基本方法	213
1.4 流动诱发振动机理	192	2.2.1 固定管板式换热器的管板应 力分析	214
1.5 换热管振动响应曲线	193	2.2.2 U型管式换热器管板应力 计算分析	218
1.6 横流下管束动力行为	193	2.2.3 管板应力的性质	223
1.7 流体动力作用力	193	2.2.4 管板应力的调整	223
2 流体介质与流动诱发振动机理, 旋涡 分离	194	3 管板计算	224
2.1 管束斯脱拉哈数计算	194	3.1 符号说明	224
2.2 避免产生旋涡分离共振准则	195	3.2 U型管式换热器管板	229
2.3 单相流下附加质量系数 $C_m$ 的 确定	196	3.2.1 a型连接方式管板的计算	229
2.4 旋涡分离振动响应预测的动力 分析	196	3.2.2 b、c、d型连接方式管板的 计算	229
3 湍流诱发激振机理	197	3.2.3 e、f型连接方式管板的计算	230
3.1 湍流	197	3.2.4 U型管式换热器管板计算 结果	231
3.2 湍流抖振	197	3.3 浮头式与填料函式换热器管板	232
3.3 欧文 (Owen) 湍流抖振频率表 达式	198	3.3.1 计算步骤	232
3.4 湍流随机激振	198	3.3.2 浮头式、填料函式换热器管 板计算	233
4 流体弹性不稳定模型	198	3.4 固定管板式换热器管板	234
4.1 位移机理	198	3.5 换热管稳定许用压应力	240
4.2 速度机理	199	3.6 换热管与管板连接的许用拉脱力	241
5 阻尼	199		
6 声共鸣	201		
6.1 驻波原理	201		
6.2 声共鸣频率表达式	203		

4 计算示例	254	管板厚度计算公式之间的比较	302
4.1 U型管式换热器管板厚度计算	254	6.8 BS5500和CODAP浮头换热器	
4.1.1 a型连接方式管板厚度计算	254	管板设计准则	302
4.1.2 采用GB 151—1999设计结果的改进	256	6.8.1 管内最大轴向应力	303
4.2 浮头式、填料函式换热器管板厚度计算	257	6.8.2 U型管换热器设计公式	303
4.2.1 浮头式换热器管板厚度的计算	257	6.8.3 法兰管板-TEMA设计程序	303
4.2.2 填料函式换热器管板厚度计算	259	参考文献	304
4.3 固定管板换热器	261	<b>第10章 翅片管式换热器</b>	305
4.3.1 不带膨胀节,其延长部分兼作法兰的管板	261	1 概述	305
4.3.2 不带法兰的管板	269	2 翅片管的类型和结构	305
参考文献	278	2.1 按结构型式分类	306
<b>第9章 其他各种管板应力与强度计算</b>	279	2.2 按制造工艺分类	306
1 管板削弱系数	279	3 翅片管式换热器的传热计算	307
1.1 管板孔间带效率	279	3.1 传热方程	307
1.2 强度与刚度削弱系数	279	3.2 干工况时的总传热系数	307
2 双管板计算	280	3.3 外掠翅片管束的换热和压降计算	309
3 法兰夹持的可拆式管板强度计算	282	3.3.1 圆管-圆形翅片管束	309
4 管板管桥及管壁温度场分析	285	3.3.2 圆管-矩形翅片叉排管束	310
4.1 分析模型	286	3.4 湿工况时的总传热系数	311
4.2 计算步骤	286	4 对数平均温差、温差修正系数与无因次参数R、P	311
5 矩形管板的计算	287	4.1 对数平均温差的计算	311
5.1 分析模型	287	4.1.1 错流(一次交叉流)型的平均温差	312
5.2 平衡方程	288	4.1.2 “混合-非混合”错流(交叉流)平均温差	312
5.3 单个条形梁的分析	289	4.2 温差修正系数	313
5.4 边界位移的求解	291	4.2.1 $\Delta t_{m,n} = f_1(R, P)$ 的推导	314
6 国外管壳式换热器管板设计规范及比较	293	4.2.2 $\Delta t_{m,j} = f_2(R, P)$ 的推导	314
6.1 用于换热器机械设计的设计标准	293	4.2.3 错流(一次交叉流)型的温差修正系数	314
6.2 管板分析基础	293	4.3 多次交叉错流型的平均温差	315
6.2.1 管板分析中的假定	294	4.3.1 总趋势为逆流的多次交叉错流	315
6.2.2 TEMA边界约束的处理方法	294	4.3.2 总趋势为并(顺)流时的多次交叉错流	317
6.2.3 穿孔板的有效弹性常数	294	5 翅片效率	318
6.3 固定式管板设计基础	295	5.1 等截面直翅的传热计算及翅片效率	318
6.3.1 弹性基础上的薄圆板	295	5.1.1 传热计算	318
6.3.2 挠度、转角和弯矩	296	5.1.2 翅片效率	319
6.3.3 边缘处的垂直力	296	5.2 变截面直翅的传热计算及翅片效率	319
6.4 TEMA的固定式管板设计	296	5.2.1 传热计算	320
6.4.1 管板弯曲公式和应力	296	5.2.2 翅片效率	320
6.4.2 TEMA公式的应力分类构思	297	5.3 等厚度环翅的传热计算与翅片效率	320
6.5 法国CODAP固定式管板标准的计算	300	5.3.1 圆翅的传热计算	320
6.5.1 管板最大弯曲应力	300	5.3.2 圆翅的翅片效率	321
6.5.2 CODAP公式中的应力分类	301		
6.6 英国BS5500的固定管板公式	301		
6.7 BS5500与TEMA和CODAP固定			

5.3.3 等厚度正方形环翅的翅片效率	322
5.4 翅片效率的数值计算方法	323
5.5 扇形法与斯密特公式	325
6 翅片管式换热器的热计算	326
6.1 设计计算与校核计算	326
6.2 平均温差法	326
6.3 $\epsilon$ -NTU 法	327
6.3.1 无因次量	327
6.3.2 无因次量间的函数关系	327
6.3.3 $\epsilon$ -NTU 法的计算	329
6.4 翅片管的表面结构及参数	329
7 翅片管式换热器的强化传热	330
7.1 横掠翅片管(束)的流动与换热	

特征	330
7.1.1 一般分析	330
7.1.2 绕流与换热特征	330
7.1.3 流动边界层对换热的影响	331
7.1.4 分离、回流与再附着	332
7.2 高效换热翅表面综述	332
7.2.1 间断型翅片	332
7.2.2 波纹型翅片	334
7.2.3 齿型螺旋翅片	334
7.2.4 椭圆管翅片	335
附录	336
参考文献	338

## 第 2 篇 板式换热器

第 1 章 板(片)式换热器	341
1 概述	341
1.1 板(片)式换热器的基本构造	341
1.2 流程组合	341
1.3 框架型式	343
2 板片的型式与影响板片性能的参数	343
2.1 影响板片传热与压降的参数和结构	343
2.2 板片的型式与性能	343
2.3 混合 $\beta$ 人字板(热混合板)及其性能	345
2.4 几种特殊构造的板片	346
3 板(片)式换热器的性能特点	347
3.1 板(片)式换热器的主要优点	347
3.2 板(片)式换热器的主要缺点	348
3.3 板(片)式换热器与管壳式换热器的比较	349
4 板(片)式换热器的设计计算	350
4.1 一般设计要求	350
4.2 设计计算公式和曲线	351
4.3 平均温差法设计计算步骤	360
4.4 平均温差法校核计算步骤	362
4.5 $\epsilon$ -NTU 法设计计算步骤	365
4.6 热混合设计法	367
4.6.1 机理	367
4.6.2 计算公式	368
4.6.3 设计计算步骤	369
5 工业应用	370
5.1 概况	370
5.2 在供热、空调和生活用水中的应用	371
5.3 在食品工业中的应用	372
5.4 在化学工业中的应用	373

5.4.1 在硫酸工业中的应用	373
5.4.2 在制碱工业中的应用	373
5.5 在石油和石化工业中的应用	374
5.6 在电力工业中的应用	375
5.7 在冶金工业中的应用	375
5.8 在其他场合的应用	375
6 产品制造	375
6.1 概述	375
6.2 制造标准	375
6.3 制造质量要求	376
6.4 制造材料	376
附录	378
参考文献	380
第 2 章 板翅式换热器	381
1 概述	381
1.1 板翅式换热器的发展	381
1.2 制造工艺简介	381
1.3 应用	381
1.4 特点	383
2 结构特点与传热机理	384
2.1 结构与基本元件	384
2.1.1 翅片	384
2.1.2 隔板	385
2.1.3 封条	385
2.1.4 导流片与封头	385
2.2 翅片的结构参数	385
2.3 流道布置	386
2.4 单元组合	386
3 设计计算	388
3.1 换热与流动基本特征数关系式	388
3.1.1 无相变特征数关系式	388
3.1.2 相变特征数关系式	389

3.2 翅片效率与表面效率	390	3 螺旋板式换热器的传热计算	407
3.2.1 单叠布置	390	3.1 无相变液体的螺旋流	407
3.2.2 复叠布置	391	3.2 无相变气体的螺旋流	408
3.2.3 多股流复杂布置	391	3.3 无相变液体的对流传热	408
3.3 翅片型式与结构参数的选择	391	3.4 蒸汽冷凝	409
3.3.1 锯齿翅片	391	3.5 螺旋板式换热器用于立式热虹吸 重沸器	410
3.3.2 平直翅片	392	3.6 无相变流体的轴向流	410
3.3.3 多孔翅片	392	4 螺旋板式换热器的工艺设计	410
3.3.4 翅片结构参数的选择	392	4.1 介质速度	410
3.4 多股流板翅式换热器	392	4.2 总传热系数	411
3.4.1 通道分配与通道排列	392	4.3 工艺设计的一般步骤	411
3.4.2 综合法	392	4.3.1 热平衡设计法(对数平均 温差法)	411
3.5 流体的不均匀分配性	393	4.3.2 $\epsilon$ -NTU 曲线图设计法	412
3.5.1 流体不均匀分配与换热器性 能的关系	393	5 螺旋板式换热器的几何设计	413
3.5.2 流体不均匀分配的基本类型	393	5.1 符号说明	413
3.5.3 改善流体不均匀分配的措施	393	5.2 几何设计	413
3.6 设计计算	394	5.2.1 中心隔板宽度	413
4 设计实例	394	5.2.2 偏心距	414
4.1 两股流相变换热器	394	5.2.3 螺旋体有效换热圈数	414
4.2 多股流无相变换热器	395	5.2.4 螺旋板圈数	414
5 板翅式换热器新技术及在压缩机中 的应用	398	5.2.5 螺旋板有效换热长度 $L_Y$ 及 螺旋板计算长度 $L_B$	415
5.1 铝板翅式换热器表面处理技术	398	5.2.6 换热器螺旋通道长度 $L_T$	415
5.2 板翅式换热器快速创型系统	398	5.2.7 有效换热面积 $A_Y$	415
5.3 板翅式换热器新产品	398	5.2.8 螺旋体长轴外径	415
5.3.1 非金属板翅式换热器	398	6 螺旋板式换热器的强度及稳定性设计	416
5.3.2 不锈钢板翅式换热器	399	6.1 符号说明	416
5.4 高压板翅式换热器的结构强度 特性分析	399	6.2 螺旋板的强度	417
5.5 板翅式换热器在压缩机领域的 应用	399	6.3 螺旋板的挠度计算	417
参考文献	400	6.4 螺旋板许用压力	417
<b>第3章 螺旋板式换热器</b>	<b>401</b>	6.5 半圆筒体或外圈板的计算厚度	421
1 螺旋板式换热器的发展和结构特点	401	6.6 中心隔板的计算厚度	421
1.1 螺旋板式换热器的发展概况	401	6.7 半圆端板	421
1.2 螺旋板式换热器的结构特点	401	6.8 可拆螺旋板式换热器的倒锥平盖	421
1.3 螺旋板式换热器的型式与参数	402	6.8.1 基础板	423
1.3.1 典型结构	402	6.8.2 圆环筋	424
1.3.2 型号表示方法	402	6.8.3 倒锥	425
2 螺旋板式换热器的流动阻力计算	404	6.8.4 刚度设计	425
2.1 试验方法	404	7 螺旋板式换热器的制造与检验	426
2.2 试验结果	404	7.1 螺旋板式换热器的制造工艺程序	426
2.3 介质为液体时螺旋板式换热器流 体阻力计算公式	406	7.2 螺旋板式换热器制造质量的控制	426
2.4 介质为空气时螺旋板式换热器流 体阻力计算公式	406	7.2.1 螺旋板板材的下料	426
2.5 流体作轴向流动时的压力降	407	7.2.2 螺旋板的定距柱	426
		7.2.3 中心隔板	427
		7.2.4 支承环	427

7.2.5 特殊处理	427	8.4 在煤焦化工程上的应用	433
7.3 螺旋板式换热器制造技术的发展	427	8.5 在供热和油田等领域的应用	434
7.3.1 螺旋板式换热器制造工装设备的 发展	427	8.6 工程应用中存在的问题	434
7.3.2 螺旋板式换热器的其他新进展	428	9 国外螺旋板式换热器的新结构	434
8 螺旋板式换热器在工程上的应用	428	9.1 2型螺旋板式冷凝器	435
8.1 在合成氨氮肥工业上的应用	428	9.2 2型安放于塔顶的螺旋板式冷凝器	435
8.2 在烧碱、硫酸工业上的应用	432	9.3 1型螺旋板式冷凝器	435
8.2.1 在烧碱工业上的应用	432	9.4 3型螺旋板式冷凝器	436
8.2.2 在硫酸工业上的应用	432	9.5 3H型螺旋板式冷凝器	436
8.3 在制药、制冷工程上的应用	432	附录 不可拆螺旋板式换热器型式与参数	437
8.3.1 在制药上的应用	432	参考文献	440
8.3.2 在制冷工程上的应用	432		

### 第3篇 高温换热器与非金属换热器

第1章 高温换热器	441	2 不透性石墨换热器	461
1 金属高温换热器	441	2.1 不透性石墨的特性及其在换热器 中的应用	461
1.1 辐射式换热器	441	2.1.1 石墨与不透性石墨简介	461
1.1.1 概述	441	2.1.2 不透性石墨的特性	461
1.1.2 辐射式换热器结构	441	2.1.3 不透性石墨在换热器中的 应用	463
1.2 套管式高温换热器	444	2.2 不透性石墨制设备的设计特点、 强度计算及典型结构结点	463
1.2.1 概述	444	2.2.1 设计特点	463
1.2.2 结构简介	444	2.2.2 强度计算	463
1.3 针、片肋翅管式换热器	445	2.2.3 典型结构节点	463
1.3.1 概述	445	2.3 不透性石墨换热器的类型、结构 及传热特点	464
1.3.2 结构简介	446	2.3.1 不透性石墨换热器的类型	464
1.4 其他型式换热器简介	446	2.3.2 浮头列管式石墨换热器的结构	465
1.4.1 整体式换热器	446	2.3.3 块孔式石墨换热器的结构 与传热	470
1.4.2 列管式换热器	447	2.3.4 其他型式石墨换热器及蒸 发器简介	477
1.4.3 辐射-对流组合换热器	448	2.4 不透性石墨换热器应用实例	478
2 陶瓷高温换热器	450	2.5 国内外石墨换热器发展概况	480
2.1 粘土换热器(四孔砖换热器)	450	2.5.1 国外石墨换热器的发展	480
2.2 碳化硅列管式换热器	451	2.5.2 我国不透性石墨换热器的现 状和发展方向	481
2.3 其他型式换热器简介	457	3 氟塑料换热器	482
2.3.1 八角形管砖换热器	457	3.1 氟塑料的特性及其在换热器中 的应用	482
2.3.2 回转式陶瓷蓄热器	458	3.1.1 氟塑料的特性	482
2.3.3 高铝(刚玉)管式换热器	459	3.1.2 氟塑料在换热器中的应用	484
参考文献	459	3.2 氟塑料换热器的结构型式	485
第2章 非金属换热器	460	3.2.1 管束	485
1 概述	460		
1.1 非金属材料换热器的重要性	460		
1.2 正确选用非金属材料换热器	460		
1.3 非金属材料换热器现状	460		
1.3.1 石墨换热器	460		
1.3.2 氟塑料换热器	460		
1.3.3 玻璃换热器	461		
1.3.4 化工陶瓷换热器	461		

3.2.2 管壳式换热器	486	3.4.2 长沙市宏达热交换器厂产品	491
3.2.3 沉浸式换热器	487	3.4.3 北京化工大学等单位的石墨 改性聚全氟乙丙烯换热器	493
3.3 氟塑料换热器的传热系数与流 体阻力	488	3.5 氟塑料换热器存在的问题及发 展方向	493
3.4 国内氟塑料换热器产品简介	489	参考文献	493
3.4.1 郑州工业大学化工总厂及锦 西化工厂产品	489		

## 第 4 篇 换热器先进制造技术

<b>第 1 章 先进制造技术概论</b>	495	2.1 计算固体力学技术	508
1 先进制造技术基础	495	2.2 计算流体力学技术	508
1.1 现代设计理论和方法	495	3 虚拟工程放大中的实验方法	509
1.2 先进的加工制造技术	495	4 换热器虚拟工程放大技术实例	509
1.3 先进的生产资源管理模式	495	4.1 管壳式换热器的虚拟工程放大实例	509
2 换热设备的先进制造	496	4.2 Kenics 静态混合换热器 (KM) 的 虚拟工程放大实例	510
<b>第 2 章 换热器热力设计物性数据计算机化</b>	498	<b>第 5 章 先进加工工艺在换热器中的应用</b>	513
1 物性数据的选择	498	1 激光焊接技术及在换热器中的应用	513
2 物性数据库结构及特点	498	1.1 激光焊机理	513
3 物性数据库系统特点	498	1.2 金属的激光焊接性	514
4 物性数据库系统功能	499	1.3 换热器所用典型材料的激光焊	515
<b>第 3 章 先进设计方法及其在换热器设计中的 应用</b>	500	2 超塑性成型扩散连接 (SPF/DB)	515
1 先进设计方法概述	500	2.1 超塑性成型扩散连接工艺	516
2 先进设计理论和方法	500	2.2 扩散连接参数	517
2.1 换热器优化设计方法简介	500	3 微型加工技术	517
2.2 模糊优化设计方法	500	3.1 印刷线路板式换热器的特点	518
2.3 计算机辅助参数化绘图 (CAPD)	502	3.2 印刷线路板式换热器的制造工艺	518
2.3.1 计算机辅助参数化绘图简介	502	<b>第 6 章 换热设备先进制造模式的探索</b>	519
2.3.2 以 AutoCAD 为平台进行的 二次开发技术	502	1 换热设备快速创型制造的基本构想	519
2.4 基于 Web 的异地远程设计 (Web- CAD)	503	1.1 异地协作开发与设计	519
3 基于 Web 的板翅式换热器异地远程 设计系统的开发	504	1.2 虚拟工程放大	519
<b>第 4 章 换热器虚拟工程放大技术</b>	507	1.3 分散网络化制造	520
1 虚拟工程放大技术简介	507	1.4 电子商务	520
2 计算机模拟技术	508	2 换热设备先进制造的实例——新型板 翅式换热器的开发与制造	521
		参考文献	523

# 第 1 篇 管壳式换热器

换热器是广泛应用于化工、石油化工、动力、医药、冶金、制冷、轻工等行业的一种通用设备。换热器的种类繁多，若按其传热面的形状和结构进行分类可分为管型，板型和其他型式换热器。而管型换热器又可分为蛇管式换热器、套管式换热器、管壳式换热器。板型换热器可分为螺旋板式换热器、板式换热器、板翅式换热器、板壳式换热器。其他型式的换热器是为了满足一种特殊要求而出现的换热器，如回转式换热器、热管换热器等。在众多类型的换热器结构中，管壳式换热器是用得最为广泛的一种换热设备类型。

管壳式换热器的应用已有很悠久的历史。现在，它被当作一种传统的标准换热设备在许多工业部门中大量使用，尤其是在化工、石油、能源等行业中使用更为广泛。

一般来说，管壳式换热器制造容易，生产成本低，选材范围广，清洗方便，适应性强，处理量大，工作可靠，且能适应高温高压。虽然它在结构紧凑性、传热强度和单位金属消耗量方面无法与板式或板翅式换热器相比，但它由于具有前述的一些优点，因而在化工、石油、能源等行业的应用中仍处于主导地位。在换热器向高温、高压、大型化发展的今天，随着新型高效传热管的不断出现，使得管壳式换热器的应用范围得以扩大，更增添了管壳式换热器的新的生命力。

## 第 1 章 管壳式换热器的类型、结构与型号

### 1 概述

图 1-1-1 为一种最简单的管壳式换热器示意图。如图 1-1-1 所示，它由许多管子组成管束，管束构成换热器的传热面，此类换热器又称为列管式换热器。换热器的管子固定在管板上，而管板又与外壳联接在一起。为了增加流体在管外空间的流速，以提高换热器壳程的传热膜系数，改善换热器的传热情况，在筒体内间隔安装了许多折流挡板。换热器的壳体和两侧管箱上（对偶数管程，则在一侧）开有流体的进出口，有时还在其上装设检查孔，为安置仪表用的接口管，排液孔和排气孔等。在换热器中，一种流体从一侧管箱（称为前管箱）流进管子里，经另一侧管箱（称为后管箱）流出（对奇数单管程换热器），或绕过管箱，流回进口侧前管箱流出（对偶数管程换热器），这条路径称为管程。另一种流体从壳体上的连接管进出换热器壳体，流经管束外，这条路径称为壳程。图 1-1-1 所示即为二管程、单壳程，工程上称为 1-2 型换热器（此处 1 表示壳程数，2 表示管程数）。同样，在换热器筒体内加纵向挡板也能得到多壳程结构。

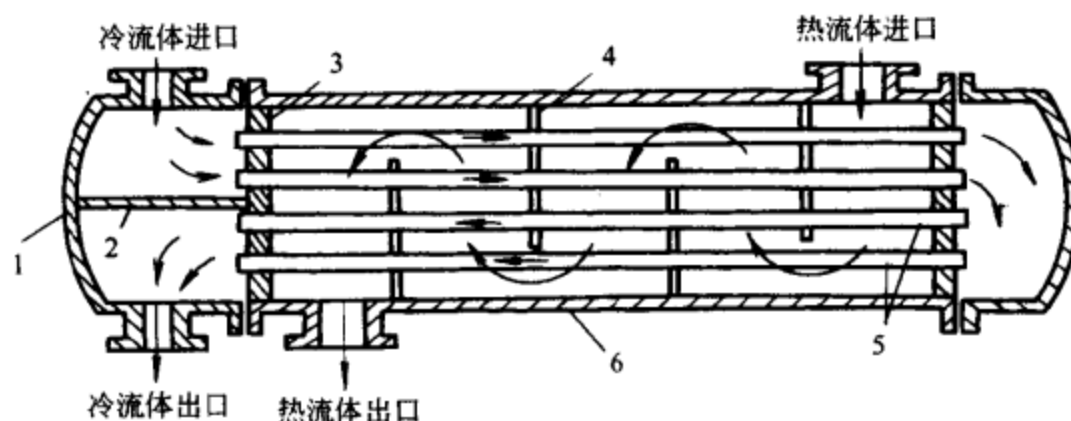


图 1-1-1 管壳式换热器示意图 (BEM)

1—封头；2—隔板；3—管板；4—挡板；5—管子；6—外壳

### 2 管壳式换热器的类型<sup>[1~5]</sup>

传热设备可以按类型命名，也可以按它完成的功能命名，如冷凝器、加热器、再沸器、蒸发器、过热器等。同样，也可按其结构特点进行分类。



在美国，管壳式换热器是依据广泛使用的 TEMA 规范进行分类和设计的。在欧洲则使用 DIM 规范，在日本是依据 JISB 8249 规范，在我国则是按照 GB 151《管壳式换热器》进行分类和设计。

## 2.1 管壳式换热器的零、部件名称

管壳式换热器的零、部件名称见表 1-1-1 和图 1-1-2 至图 1-1-9。

表 1-1-1 管壳式换热器的零、部件名称

序号	名称	序号	名称	序号	名称
1	平盖	21	吊耳	41	封头管箱 (部件)
2	平盖管箱 (部件)	22	放气口	42	分程隔板
3	接管法兰	23	凸形封头	43	悬挂式支座 (部件)
4	管箱法兰	24	浮头法兰	44	膨胀节
5	固定管板	25	浮头垫片	45	中间挡板
6	壳体法兰	26	无折边球面封头	46	U 型换热管
7	防冲板	27	浮头管板	47	内导流筒
8	仪表接口	28	浮头盖 (部件)	48	纵向隔板
9	补强圈	29	外头盖 (部件)	49	填料
10	圆筒	30	排液口	50	填料函
11	折流板	31	钩圈	51	填料压盖
12	旁路挡板	32	接管	52	浮动管板裙筒
13	拉杆	33	活动鞍座 (部件)	53	剖分剪切环 (钩圈)
14	定距管	34	换热管	54	活套法兰
15	支持板	35	假管	55	偏心锥壳
16	双头螺柱或螺栓	36	管束 (部件)	56	堰板
17	螺母	37	固定鞍座 (部件)	57	液面计
18	外头盖垫片	38	滑道	58	套环
19	外头盖侧法兰	39	管箱垫片	59	分流割板
20	外头盖法兰	40	管箱短节		

## 2.2 管壳式换热器主要组合部件

在 GB 151 中，将管壳式换热器的主要组合部件分为前端管箱，壳体和后端结构（包括管束）三部分。详细分类及代号见图 1-1-2。

### 2.2.1 壳体

同 TEMA 相比，我国的 GB 151 增加了 U 型管换热器的壳体 (I)，增加了外导流筒结构 (O)，在釜式重沸器 (K) 中增加了双管束型式，取消了穿流壳体 (全错流 X)<sup>[2-4,6-10]</sup>。

在选择壳体型式时，一般来说，E 型壳体是单程壳体，经济上便宜，通常热效率最高，即它的平均传热温度差修正系数 (MTD-F 系数) 最大，不过，对于管侧多程的换热器，若平均传热温度差修正系数较低，以至需要两个 E 型壳体串联时，那么可以采用更为经济的一个 F 型壳体 (两流程壳体)，然而，F 型壳体的纵向折流板受到流体与热量泄漏的限制，所以必须仔细设计与制造。同时在拆卸或更换管束方面，该壳体也存在较多的问题。假如壳侧压降受到限制，流量较大时，可以采用分流式的 J 型壳体，不过热效率会有损失 (平均传热温度差修正系数较低)。也可以采用 G 型和 H 型壳体中的对 (双) 分流式壳体。