

工业设备

节能技术丛书

高效换热器 及其节能应用

吴金星 韩东方 曹海亮 等编著

管式换热器的结构型式

管壳式换热器强化传热及结构发展

高效管壳式换热器及其节能应用

动力工程中常用的高效节能管壳式换热器

高效相变换热器的结构发展

高效相变换热器的节能应用

高效热管及热管换热器的结构发展

高效热管换热器的节能应用

高效紧凑型换热器的结构发展

高效紧凑型换热器的节能应用



化学工业出版社

工业设备

节能技术丛书

本书是《工业设备节能技术丛书》中的一本，主要介绍工业换热器的节能技术。全书共分五章，第一章介绍换热器的基本概念和分类；第二章介绍换热器的设计计算；第三章介绍换热器的运行管理；第四章介绍换热器的节能改造；第五章介绍换热器的节能效果评价。本书可作为从事工业换热器设计、运行、管理和节能工作的工程技术人员、管理人员和大专院校师生的参考书。

高效换热器

及其节能应用

吴金星 韩东方 曹海亮 等编著

前言 (1)

第一章 绪论 (1)

1.1 换热器的概念和分类 (1)

1.2 换热器的作用 (2)

1.3 换热器的节能意义 (2)

第二章 换热器的设计计算 (3)

2.1 换热器的设计计算原则 (3)

2.2 换热器的设计计算方法 (3)

2.3 换热器的设计计算步骤 (3)

2.4 换热器的设计计算实例 (3)



参考文献 (1)



化学工业出版社

地址：北京市东城区

· 北京 ·

电话：010-63996110

换热器是工业生产实现节能降耗的关键设备,在许多领域都有应用。本书作者结合多年工作经验与国内外技术进展,介绍了常用换热器结构型式、强化传热技术,各类换热器节能技术进展。重点介绍了各类高效换热器在工程实践中的节能原理及应用实例。为工程技术人员结合生产实际选用相应的节能技术提供参考和依据。

本书可供从事热能工程规划、热电、锅炉、换热、动力、制冷空调等各级能源管理人员和工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

高效换热器及其节能应用/吴金星等编著. —北京:
化学工业出版社, 2009.9
(工业设备节能技术丛书)
ISBN 978-7-122-05880-5

I. 高… II. 吴… III. 换热器-节能 IV. TK172

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 094611 号

责任编辑:戴燕红 刘砚哲
责任校对:李 林

装帧设计:关 飞

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:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张16 字数477千字 2009年10月北京第1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:48.00 元

版权所有 违者必究

序

能源是国民经济发展的动力，是发展生产力和提高人民生活水平的物质基础。“能源开发与节约并重，把节能放在优先地位”是我国基本的能源政策，“节约优先，效率为本”是解决我国能源问题的根本途径。从常规能源的总量来看，我国是世界上拥有丰富能源资源的国家之一，位居世界第三。但我国人口众多，按人均计算的可开采储量低于世界平均水平，仅相当于世界平均数的 1/2，美国的 1/10。可见，我国的能源资源并不丰富。

我国既是能源生产大国，也是能源消费大国。当前，在我国工业生产过程中，许多企业节能技术落后，设备能率较低，工艺流程不尽合理，节能管理不够完善，从而造成工业生产能源消耗巨大、能源利用率较低，由此而引起的环境污染和生态破坏问题比较严重。国家在“十一五”规划中明确提出，“十一五”期间要比“十五”期末单位 GDP 能耗降低 20%。为了实现“十一五”的节能目标，必须大力推广节能技术，提高能源的利用率，从而降低生产成本，也相应地减少能源利用过程中对环境造成的破坏。

结合我国工业生产系统的主要耗能环节和设备，郑州大学节能技术研究中心组织编写了此套《工业设备节能技术丛书》。丛书计划出版以下 6 个分册：（1）工业及电厂锅炉节能技术；（2）工业窑炉节能技术；（3）高效换热器及其节能应用；（4）泵与风机节能技术；（5）热泵与中央空调节能技术；（6）照明设备节能技术。本套丛书在全面总结国内大量现有节能技术经验和消化吸收国外先进的能源利用技术的基础上，阐述了工业生产中主要耗能设备的结构、原理、特点及其节能技术，并给出了工程实际应用的实例，可以指导工程技术人员掌握常用的节能技术和提高用能效率，以此来促进节能技术的发展和普及应用，希望为我国“节能减排”工作作出贡献。

本套丛书主要面向能源、动力、电力、制冷、冶金、化工、轻工、纺织、建材、机电等广大工业部门，可为从事热能工程规划、热电、锅炉房、换热、动力、制冷空调、燃烧、照明等各级能源管理机构的管理人员、工业企业的节能管理人员和工程技术人员开展节能降耗技术管理和实施工作提供技术支撑，也可作为热能与动力工程类及相关专业学生的专业选修课或专业课，同时也可作为工科其他专业学生普及节能技术的相关知识，并可供动力工程及工程热物理学科的教师参考。特别是该套丛书从工程的角度来讲解节能问题，对当前全社会促进节能减排工作具有十分重要的意义。

浙江大学能源清洁利用国家重点实验室



2009 年 6 月 15 日

前言

随着全球能源形势的日趋紧张,常规能源的日益减少,节能降耗越来越受到人们的重视。我国明确提出,在“十一五”期间单位 GDP 能源消耗要比“十五”期末降低 20%,为此全国各行各业广泛开展了“节能降耗”工作。换热器在工业生产中是调节工艺介质温度以满足工艺需求以及回收余热以实现节能降耗的关键设备,其换热性能和动力消耗关系到生产效率和节能降耗水平,其重量和造价决定了整个生产系统的投资。因此,换热器的强化传热、降低流阻以及提高综合性能一直是国内外科研人员和工程技术人员研究的热点,也取得了大量科研成果。目前,先进的热交换技术已在能源、动力、化工、石油、冶金、核能、制药、轻工、纺织及航空航天等领域得到广泛应用。

强化传热技术是提高换热器效率的主要措施。对换热器的强化传热研究已有较长的历史,并取得了许多应用效果良好的技术成果,如新型管束支撑、强化传热管和管内插入物等。目前,换热器强化传热技术一般采用改变传热结构及其表面状况的被动强化措施,在实现强化传热的同时不可避免地使流动阻力显著增加,且在许多情况下流阻增加的速率远远大于传热增加的速率,相应地增大了系统的动力消耗,这不利于高效回收余热和节能降耗。因此,换热器的结构发展和综合性能完善受到很大限制。今后进一步研制体积小、重量轻、传热性能好的高效紧凑式换热器,满足高负荷传热的要求势在必行。

本书根据编者多年来开展的换热器研究的技术成果和工程实践经验,并结合国内外最新的换热器技术进展,首先介绍了常用换热器的结构型式及其强化传热技术,然后阐述了管壳式换热器、相变换热器、热管换热器及紧凑式换热器的结构发展,并重点介绍了各类高效换热器在工程实践中的节能原理及具体应用实例,为工程技术人员结合生产实际选用相应的节能技术提供参考和依据。

本书可为从事热能工程规划、热电、锅炉、换热、动力、制冷空调等各级能源管理机构的管理人员、工业企业的节能管理人员和工程技术人员开展节能降耗技术管理和实施提供技术支撑,也可作为能源与动力工程类及相关专业学生的专业选修课或专业课,同时也可作为工科其他专业的学生普及换热器与节能技术相关知识的教材,并可供动力工程及工程热物理学科的教师参考。

郑州大学吴金星、郑州中南科莱空调设备有限公司韩东方、郑州大学曹海亮负责本书的主要编著工作,吴金星教授负责统稿。具体编写分工为:吴金星负责编写第 2、5、6、7、8 章,韩东方负责编写第 4、9、10 章,曹海亮负责编写第 3 章,华北水利水电学院王秋红参加了第 1 章及第 9 章的部分内容,中原工学院马富芹参加了编写了第 4、5 章的部分内容。另外,郑州大学曹玉春、和俊民、王保东、王海峰、朱登亮、乔慧芳、王任远等参加了部分章节的资料整理和编写工作。在编写过程中,郑州大学魏新利教授、王定标教授、王利霞教授提出很好的修改意见和建议,并提供了许多参考资料,在此一并表示感谢。在编写过程中参阅了大量的国内外专著、教材和期刊论文,在此谨向这些文献的著者和相关单位表示诚挚的谢意。本书的出版得到郑州大学化学与能源学院及河南瑞邦能源科技开发有限公司的支持,化学工业出版社对本书的出版给予了大力帮助,特此致谢。

由于编者水平和经验有限,书中难免出现疏漏和不足之处,敬请读者批评指正。

编著者
2009 年 3 月

目 录

1 管式换热器的结构型式	1
1.1 概述	1
1.2 换热器的类型及特点	2
1.3 管壳式换热器的类型及结构	3
1.3.1 管壳式换热器的类型	3
1.3.2 管壳式换热器的结构布置	7
1.4 管式换热器的其它型式	11
1.5 非金属管式换热器	14
1.6 管式换热器的发展趋势	16
参考文献	19
2 管壳式换热器强化传热及结构发展	21
2.1 概述	21
2.2 高效换热器的强化传热原理	22
2.2.1 换热器强化传热的途径	22
2.2.2 强化对流传热的物理机制	24
2.2.3 对流传热的场协同强化传热原理	25
2.2.4 换热管内强化传热场协同分析	26
2.2.5 换热器强化传热的评价方法	28
2.3 高效管壳式换热器的管程结构发展	29
2.3.1 高效强化换热管的类型及特点	29
2.3.2 管内插入物的类型及其特点	33
2.4 高效管壳式换热器的壳程结构发展	34
2.4.1 折流杆支撑	36
2.4.2 空心环支撑	37
2.4.3 刺孔膜片支撑	38
2.4.4 管束自支撑	38
2.4.5 整圆形孔板支撑	38
2.4.6 螺旋折流板支撑	40
2.5 高效传热低流阻纵流式换热器的研发	43
2.5.1 花瓣孔板纵流式换热器的结构研发	43
2.5.2 螺旋肋片自支撑换热器的结构研发	46
2.6 高效换热器的复合强化传热技术	49
2.7 高效传热低流阻换热器的发展方向	50
参考文献	51
3 高效管壳式换热器及其节能应用	54
3.1 概述	54
3.2 高效强化管式换热器及其节能应用	54

3.2.1	高效波纹管式换热器及其节能应用	54
3.2.2	高效螺旋槽管换热器及其节能应用	57
3.2.3	高效横纹管换热器及其节能应用	59
3.2.4	高效螺旋翅片管换热器在余热锅炉中的节能应用	60
3.2.5	高效 T 形翅片管式换热器的节能应用	61
3.2.6	内展翅片管式换热器在空分系统中的节能应用	62
3.2.7	高效异型管换热器的节能应用	64
3.2.8	高效管程强化换热器在制冷机中的节能应用	67
3.3	高效管束支撑换热器及其节能应用	69
3.3.1	高效折流杆换热器及其节能应用	69
3.3.2	高效空心环换热器及其节能应用	75
3.3.3	高效螺旋折流板换热器及其节能应用	77
	参考文献	80
4	动力工程中常用的高效节能管壳式换热器	81
4.1	热电系统中常用的高效节能管壳式换热器	81
4.1.1	高效管壳式换热器的节能效益分析	81
4.1.2	高效节能管壳式换热器的热电应用	84
4.2	核电系统中常用的高效节能管壳式换热器	86
4.2.1	我国核电站的发展概况	86
4.2.2	高效节能管壳式换热器的核电应用	87
4.3	车辆空调中的高效节能管壳式换热器	88
4.3.1	车用空调换热器的发展	88
4.3.2	车用空调换热器的类型	89
4.4	高效节能省煤器的结构型式	91
4.4.1	高效节能省煤器的类型	91
4.4.2	几种扩展受热面型式的比较与评价	96
	参考文献	96
5	高效相变换热器的结构发展	98
5.1	相变换热技术的强化	98
5.1.1	强化沸腾换热技术	98
5.1.2	强化冷凝换热技术	101
5.2	蒸发器的结构发展	105
5.2.1	蒸发器的型式及其结构特点	105
5.2.2	蒸发器的传热系数影响因素	116
5.3	冷凝器的结构发展	118
5.3.1	冷凝器的类型及性能对比	118
5.3.2	水冷式冷凝器	120
5.3.3	空气冷却式冷凝器	124
5.3.4	蒸发式冷凝器	125
5.3.5	冷凝器的结构发展趋势	125
5.4	高效蒸发式冷凝器的结构发展	126
5.4.1	蒸发式冷凝器的结构型式及工作原理	126
5.4.2	蒸发式冷凝器的结构进展	128
5.4.3	蒸发式冷凝器存在的问题及解决途径	131
5.4.4	蒸发式冷凝器的应用现状及前景	133

参考文献	135
6 高效相变换热器的节能应用	136
6.1 高效蒸发器的节能应用	136
6.1.1 降膜蒸发器在工业中的节能应用	136
6.1.2 板式蒸发器在冶金工业中的节能应用	139
6.1.3 薄膜蒸发器在工业中的节能应用	142
6.2 高效蒸发式冷凝器的节能应用	146
6.2.1 蒸发式冷凝器在制冷系统的节能应用	146
6.2.2 蒸发式冷凝器在火电厂的节能应用	148
6.2.3 蒸发式冷凝器在化工领域的节能应用	150
6.2.4 蒸发式冷凝器在啤酒生产中的节能应用	152
参考文献	154
7 高效热管及热管换热器的结构发展	155
7.1 热管技术发展历程	155
7.2 热管的工作原理、类型与技术特性	156
7.2.1 热管的工作原理及特性	156
7.2.2 热管的类型与技术参数	158
7.2.3 热管壳体材料与工质的相容性	162
7.2.4 热管的传热极限及寿命影响因素	163
7.2.5 热管技术的重要特性	165
7.3 热管换热器的类型及结构型式	166
7.3.1 热管换热器的类型及特点	166
7.3.2 热管换热器的积灰和低温腐蚀问题	168
7.3.3 烟气余热回收用热管换热器的结构型式	170
参考文献	173
8 高效热管换热器的节能应用	175
8.1 热管换热器在化工和石化中的节能应用	175
8.1.1 化肥工业造气工段中热管换热器的应用	175
8.1.2 大型合成氨装置一段转换炉热管换热器的应用	176
8.1.3 硫酸工业中热管换热器的应用	177
8.1.4 热管换热器在煤化工厂的节能应用	179
8.1.5 石油化工企业中热管换热器的应用	180
8.2 热管换热器在热动力工程中的节能应用	181
8.2.1 工业锅炉中热管换热器的应用	181
8.2.2 电站锅炉中热管换热器的应用	182
8.2.3 工业窑炉中热管技术的应用	182
8.2.4 热管技术应用于核电工程	183
8.2.5 高温热管换热器应用于喷雾干燥	183
8.3 热管换热器在电子电器中的节能应用	185
8.3.1 电子设备的冷却方式	185
8.3.2 电子设备的热管冷却技术	186
8.3.3 热管在机载电子中的冷却技术	188
8.4 热管换热器在其它工业领域中的节能应用	188
8.4.1 钢铁工业中热管换热器的应用	188

8.4.2	炼焦系统中热管换热器的应用	189
8.4.3	发酵工业中热管换热器的应用	190
8.4.4	太阳能领域中热管技术的应用	192
8.4.5	空调通风系统中热管技术的应用	193
参考文献		195
9	高效紧凑型换热器的结构发展	196
9.1	紧凑型换热器概述	196
9.2	板(框)式换热器	198
9.2.1	板(框)式换热器的整体结构	198
9.2.2	波纹板片的结构型式	200
9.2.3	板片的密封结构	201
9.2.4	板(框)式换热器的结构型式	203
9.2.5	板式换热器传热性能的影响因素	205
9.2.6	板式换热器的应用概况	206
9.3	板翅式换热器	207
9.3.1	板翅式换热器的整体结构及性能	207
9.3.2	板翅式换热器的翅片型式	208
9.3.3	板翅式换热器的其它零部件	209
9.3.4	板翅式换热器的流道布置	210
9.3.5	板翅式换热器的应用概况	213
9.4	螺旋板式换热器	213
9.4.1	螺旋板式换热器的发展概况	213
9.4.2	螺旋板式换热器的型式	214
9.4.3	螺旋板式换热器的结构特点	215
9.4.4	国外螺旋板式换热器的新结构	216
9.5	板壳式换热器	218
9.6	紧凑型换热器的其它结构型式	220
参考文献		222
10	高效紧凑型换热器的节能应用	223
10.1	高效板式换热器在工业中的节能应用	223
10.1.1	高效板式换热器的应用概述	223
10.1.2	高效板式换热器在化学工业中的节能应用	224
10.1.3	高效板式换热器在石油化工中的节能应用	225
10.1.4	高效板式换热器在冶金工业中的节能应用	227
10.2	高效紧凑型换热器在制冷系统中的节能应用	227
10.2.1	翅片管式换热器在制冷系统中的节能应用	228
10.2.2	高效板式换热器在制冷系统中的节能应用	230
10.3	高效紧凑型换热器在空调系统中的节能应用	233
10.3.1	制冷用空调换热器	233
10.3.2	采暖用空调换热器	240
10.4	高效紧凑型换热器在热泵系统中的节能应用	241
10.4.1	热泵的种类	242
10.4.2	热泵用换热器高效节能技术	243
参考文献		246

管式换热器的结构型式

1.1 概述

换热器又称热交换器 (heat exchanger), 是用来把温度较高流体的热量传递给温度较低流体的设备。在工业生产中, 工艺介质常常需要加热或冷却, 换热器的主要作用是使流体温度达到工艺流程规定的指标, 以满足规定的工艺流程上的需要。它是化工、炼油、轻工、冶金、能源和动力等许多工业部门的一种通用工艺设备, 在食品、交通、医药、家电、电子及航空航天等工业部门也有着广泛的应用。

在过程工业中, 换热器是保证工业系统正常运行、工艺介质温度合理、节约能源及回收余热 (或废热) 的关键设备, 并且在金属消耗、动力消耗和投资方面在整个工业系统中占有较大份额。因此, 换热设备是过程工业广泛使用的一种通用设备。据统计, 在一般石油化工企业中, 换热器的投资占全部投资的 40%~50%; 在现代石油化工企业中约占 30%~40%; 在热电厂中, 如果把锅炉也作为换热设备, 换热器的投资约占整个电厂总投资的 70%; 在制冷机中, 蒸发器的质量要占制冷机总质量的 30%~40%, 其动力消耗约占总值的 20%~30%。由此可见, 换热器的合理设计和良好运行对企业节约资金、能源和空间都十分重要。提高换热器传热性能并减小其体积, 在能源日趋短缺的今天更具有明显的经济效益和社会效益。

传统的管壳式换热器具有结构简单、可靠性高、适应压力范围广、选材范围大、成本低, 设计、制造和使用技术成熟等优点, 特别在处理量大、温度和压力高等高参数工况下, 管壳式换热器更突显其独特的优势。因此, 管壳式换热器广泛应用于石油、化工、轻工、冶金、食品、制药、能源、动力、航空及其它工业部门。但是, 传统的管壳式换热器一般采用光滑圆管作为传热元件, 弓形折流板支撑管束, 同时折流板又具有导流作用。壳程流体流动时在转折区及进出口附近涡流的滞留区都会形成流动和传热死区, 如图 1.1 中 B 区所示, 从而降低了传热效率。壳程流体横向冲刷换热管束, 造成较大的流动阻力, 并且在大雷诺数下换热管束常发生流体诱导振动, 而导致换热管泄漏失效。因此, 传统的管壳式换热器在结构和性能上都有待进一步完善。

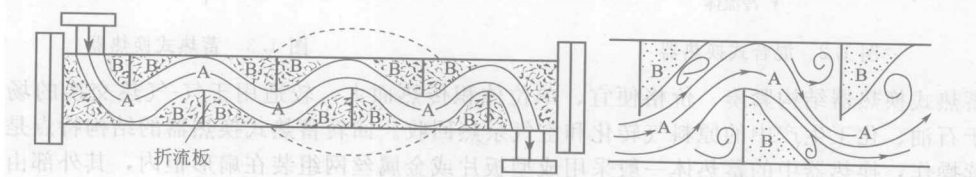


图 1.1 弓形折流板管壳式换热器及其壳程流场示意图

自 20 世纪 70 年代世界爆发能源危机以来, 对传统换热设备的强化传热研究逐渐兴起, 并主要集中在两大方向上: 一是开发新品种的换热器, 如板式、螺旋板式、振动盘管式、板翅式等, 这些换热器的设计思想都是尽可能地提高换热器的紧凑度和换热效率; 二是对传统的管壳式换热

器采取强化传热措施，也就是用各种异型强化管取代原来的光管，如螺纹管、横纹（槽）管、缩放管、翅片管，或者在管内插入扰流物，如螺旋扭带、静态混合器等。以上各种异型强化管的换热效率较光管一般提高 40%~80%，并已在不同场合得到应用，其中应用最广泛的螺纹管已有相应的国家标准。

1.2 换热器的类型及特点

换热器的种类和型式很多，也有许多不同的分类方法。按照传热面型式，换热器可分为管式和板式两大类：管式就是以管材的内外表面为传热面；板式是以各种形状的板材表面作为传热面。根据工艺过程或热量回收用途不同，换热设备可分为加热器、冷却器、冷凝器、蒸发器、再沸器、余热锅炉等。按照传热原理不同，换热设备可分为三大类。

(1) 混合式换热器

又称为直接接触式换热器，如图 1.2 所示。其工作原理是利用冷、热流体直接接触彼此混合而进行热量交换。因此，接触面积直接影响到传热量。混合式换热器具有传热效率高、单位容积提供的传热面积大、设备结构简单、价格便宜等优点，但仅适用于工艺上允许两种流体混合的场合。换热器的两种不同温度的介质，通常一种是气体，另一种是液体，在直接接触过程中完成其热量的传递。例如：冷水塔（凉水塔）、造粒塔、气流干燥装置、流化床等都属于混合式换热器。可见，这类换热器主要是以塔设备为主体的传热设备，但通常又涉及传质，故很难区分与塔器的关系，通常归口为塔式设备，电厂用凉水塔为最典型的直接接触式换热器。

(2) 蓄热式换热器

又称蓄能式换热器（简称蓄能器），如图 1.3 所示。在这类换热器中，能量传递是通过格子砖或填料等蓄热体来完成的。首先让热流体通过蓄热体，把热量积蓄在蓄热体中，然后再让冷流体通过，把热量带走。由于两种流体交替转换输入蓄热体，因此不可避免地存在着小部分流体相互掺混的现象，造成流体的“污染”。

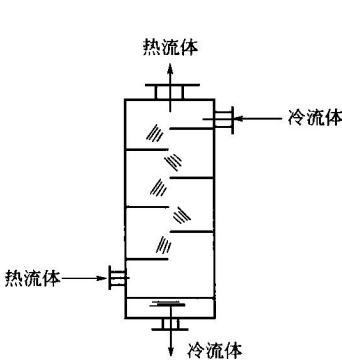


图 1.2 混合式换热器

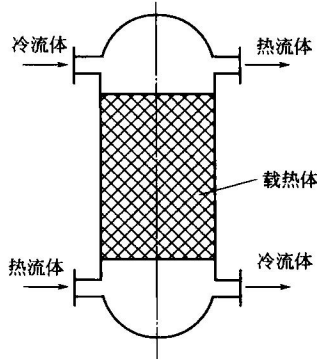


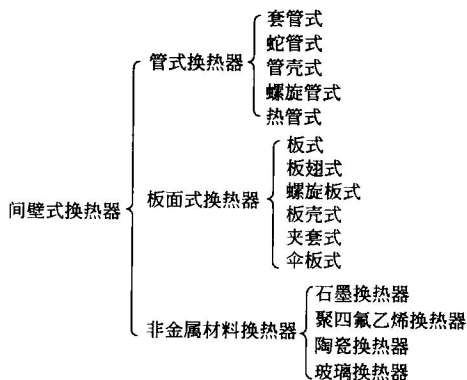
图 1.3 蓄热式换热器

蓄热式换热器结构紧凑、价格便宜、单位体积传热面大，较适用于气-气热交换的场合。主要用于石油、化工生产中的原料气转化和空气余热回收。回转蓄热式换热器的结构特点是，可实现连续操作，换热器中的蓄热体一般采用成型板片或金属丝网组装在扇形柜内，其外部由金属壳体密封，并以 1~4r/min 的慢速转动进行连续换热。

(3) 间壁式换热器

所谓间壁式换热器，是指两种不同温度的流体在固定壁面（称为传热面）相隔的空间里流动，通过两侧流体与壁面的对流换热及壁面的导热而进行热量传递的换热器。参加换热的两种流

体不会混合，传递过程连续而稳定地进行。间壁式换热器的传热面大多采用导热性能良好的金属制造。在某些场合由于防腐的需要，也可用非金属（如石墨，聚四氟乙烯等）制造。这是工业生产中应用最为广泛的一类换热器。按照传热面的形状与结构特点可进行如下分类：



按照传热介质是否有相变，换热设备可分为：①无相变换热器，包括加热器和冷却器；②有相变换热器，包括冷凝器和重沸器。重沸器又分釜式重沸器、虹吸式重沸器、再沸器、蒸发器、蒸汽发生器、废热锅炉。

管壳式换热器是标准化和规范化最早的换热设备，按照换热结构分类，主要有固定管板式换热器、浮头式换热器、U形管式换热器、填料函式换热器、蛇管式换热器、双壳程换热器、单套管换热器、多套管换热器、外导流筒换热器、折流管式换热器、热管式换热器、插管式换热器、滑动管板式换热器。以其结构坚固、可靠性高、适应性强和材料范围广等优点，在很多工业部门中得以大量使用，尤其在石油、化工及能源等部门中处于主导地位。

按照管束支撑（或折流板）的结构型式分类，管壳式换热器可分为单弓形折流板换热器、双弓形折流板换热器、三弓形折流板换热器、圆盘-圆环型折流板换热器、螺旋折流板换热器、折流杆换热器、空心环换热器、整圆形孔板换热器、异型管自支撑换热器等。

换热器种类繁多，还可按照板状、密封形式、管箱等进行分类，每种换热器各自适用于某一工况。为此，在实际应用中应根据介质、温度、压力的不同，选择不同型式的换热器，以便扬长避短，为工业生产带来更大的经济效益。

各种间壁式换热器的换热性能差别较大，与其它类型换热器相比，传统的管壳式换热器的传热效率较低。例如对于水-水换热，传统的管壳式换热器总传热系数 K 值范围一般为 $1150 \sim 2230 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ，而板式换热器 K 值为 $1500 \sim 4700 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ，螺旋板式换热器为 $2000 \sim 3000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

1.3 管壳式换热器的类型及结构

管式换热器是以管子内外表面为传热面的一类换热器。根据换热管的结构和布置不同，有管壳式、套管式、螺旋管式、蛇管式和缠绕管式等多种型式。其中，管壳式换热器是石油、化工等生产系统中应用最广泛的一种间壁式换热器。

1.3.1 管壳式换热器的类型

管壳式换热器又称作列管式换热器，主要由壳体（圆筒）、管束、折流板（又称为挡板）、管板（又称花板）、管箱（又称顶盖，包括圆筒节、封头）、连接法兰、接管、支座和膨胀节等部件组成。管箱（或封头）和壳体上装有流体进、出口接管。沿着管长方向，常常装有一系列垂直于管束的折流板。如图 1.4 所示。进行换热时，一种流体由管箱或封头的进口管进入，通过平行管束的管内，从另一端管箱或封头出口接管流出，称为管程。另一种流体则由壳体的接管进入，在

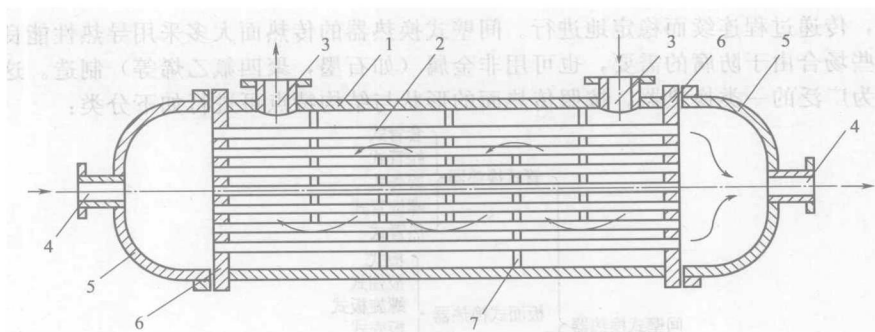


图 1.4 管壳式换热器的总体结构

1—壳体；2—换热管；3,4—进出口接管；5—封头（管箱）；6—管板；7—折流板

壳体与管束间的空隙处流过，而由另一接管流出，称为壳程。一般以管束的外表面积为传热面积。流体一次通过管程的称为单管程，一次通过壳程的称为单壳程。

管壳式换热器传热面积较大时，管子数目相应较多，为了提高管程流体的流速，可将全部管子平均分隔成若干组，使流体在管内往返经过多次，称为多管程。在流体进口管箱内装一块隔板，流体每次只流经一半管子，这样管程就分成了双程；若进、出口管箱中都装置隔板，可把管程分成4程、6程等。在传热面大的情况下，管外的管间流通截面也很大，为了提高壳程流体的速度，往往在壳体内管束上安装一定数目与管束相垂直的折流板，这样既可提高流体速度，同时迫使壳程流体按规定的路径多次错流通过管束，使湍动程度增加，以改善给热条件。常用的折流板有圆缺形（即弓形）和圆盘圆环形两种，弓形折流板应用较为广泛。

管壳式换热器中，冷热流体温度不同使壳体和管束的温度也不同，因而它们的热膨胀程度也有差异。当两流体的温度相差较大（如 50°C 以上）时，就可能由于热应力而引起设备产生较大变形，甚至发生弯曲和断裂，或者管子从管板上松脱。因此，必须采用适当的温差补偿措施，以消除或减小热应力。根据采取的温差补偿结构不同，管壳式换热器可分为以下几种主要型式：固定管板式、浮头式、U形管式、填料函式、填料函滑动管板式等。

(1) 固定管板式换热器

固定管板式换热器是一种典型的管壳式换热器，也是最常用的一种结构型式，如图1.5所示。它主要由壳体、管束、折流板、管板和管箱等零部件组成，管束安装在壳体内，两端固定在管板上。所谓固定管板式，即两端管板和壳体连接成一体的结构形式，在壳体两端与管板连接有管箱或端盖。固定管板式换热器总体结构比较简单、紧凑，造价较低廉，排管较多，在相同直径情况下布置传热面积较大，制造较简单，从而得到广泛采用。但最后一道壳体与管板的焊缝无法进行无损检测，壳程不能机械清洗。固定管板式换热器适用于管程与壳程温差不大、管程与壳程温差大但压力不高、壳程介质干净或虽结垢但通过化学清洗能清除的场合。

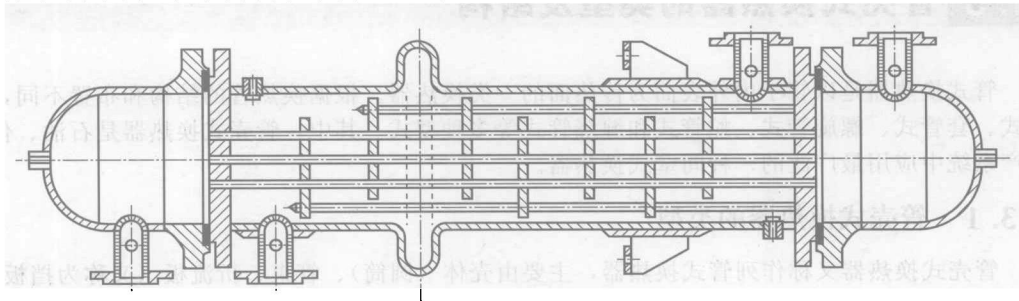


图 1.5 固定管板式换热器的总体结构

固定管板式换热器的管和管板与外壳的连接都是刚性的，当管内、外两种流体的温差较大时，管壁与壳壁内就会产生较大的温差，由于两种材料的线膨胀系数相差较大，在管壁与壳壁内

就会产生很大的温差应力，以至管子扭弯或使管子从管板上松脱，甚至毁坏换热器。因此，为了克服温差应力必须设置温差补偿装置，当外壳和管束膨胀不同时，补偿装置（或补偿圈）发生弹性变形（拉伸或压缩），以适应外壳和管束的不同热膨胀。一般在管壁与壳壁温度相差 50°C 以上时，为安全起见，换热器应有温差补偿装置，如膨胀节、挠性管板等。但补偿装置只能用于壳壁与管壁温差低于 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ 和壳程流体压强不高的情况。当壳程压强超过 0.6MPa 时，由于补偿圈过厚，难以伸缩，失去温差补偿的作用，就应考虑其它结构的换热器。

固定管板式换热器的主要优点是：①传热面积比浮头式换热器大 $20\%\sim 30\%$ ；②旁路漏流较小；③锻件使用较少，成本低 20% 以上；④没有内漏。主要缺点是：①壳体和管子壁温差一般应小于等于 50°C ，大于 50°C 时应在壳体上设置膨胀节；②管板和管头之间易产生温差应力而损坏；③壳程无法机械清洗；④管子腐蚀后造成连同壳体一起报废，管子寿命决定壳体部件寿命，故设备寿命相对较低；⑤不适用于壳程易结垢场合。

(2) 浮头式换热器

浮头式换热器由壳体、管束、折流板、管板、浮头盖、外头盖、管箱等零部件组成。其中一块管板用法兰与外壳相连接，另一块管板不与外壳连接，以使管子受热或冷却时可以在管箱中自由伸缩。在这块能自由伸缩的管板上连接一个封头，称之为“浮头”，如图 1.6 所示。当管束和壳体因温度差较大而热膨胀不同时，管束连同浮头就可在壳体内自由伸缩，而与外壳无关，从而解决热补偿问题。另外，由于固定端的管板是以法兰与壳体相连接的，因此管束可以从壳体中抽出，便于清洗和检修。所以浮头式换热器应用较为普遍，但结构比较复杂，金属耗量多，造价较高。适用于管程、壳程温差大但工作压力不超过 10MPa 的工况，但其耐压、耐温及密封能力差，目前只是在低压与小直径的场合下使用。

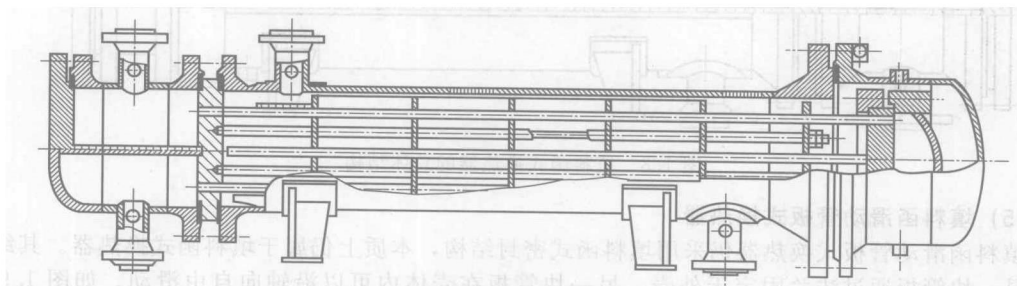


图 1.6 浮头式换热器的总体结构

浮头式换热器的优点是：①管束可以自由抽出，以方便清洗管程和壳程；②两种换热介质温差没有限制，管束的膨胀不受壳体约束，当两种换热介质的温差大时，不会因管束与壳体的热膨胀量不同而产生温差应力；③可在高温、高压下工作，一般温度 $\leq 450^{\circ}\text{C}$ ，压力 $\leq 6.4\text{MPa}$ ；④可用于结垢比较严重的场合；⑤可用于管程易腐蚀的场合。其缺点有：①内浮头密封困难，易发生内漏；②结构复杂，金属材料消耗量大，造价高，成本提高 20% 。

(3) U 形管式换热器

U 形管换热器的典型特征是只有一个管板，每根管子都弯成 U 形，管子两端均固定在同一管板上，因此管程至少为两程，每根管子均可以自由伸缩，而不会造成温差应力，从而解决温差补偿问题。如图 1.7 所示。该换热器管束可以抽出，便于管外机械清洗，而管内一般通过干净或不需要机械方法清洗的介质。U 形管换热器的结构比较简单，质量轻，价格便宜，承压能力强。适用于管程、壳程温差较大，高温和高压，壳程介质易结垢需要清洗，但又不适宜采用浮头式的场合。其主要缺点是管子内壁清洗困难，管子更换困难，且因管子需一定的弯曲半径，管板利用率较低，管板上排列的管子数较少。

(4) 填料函式换热器

填料函式换热器的结构特点类似于浮头式换热器，其中一块管板用法兰与外壳相连接，另一

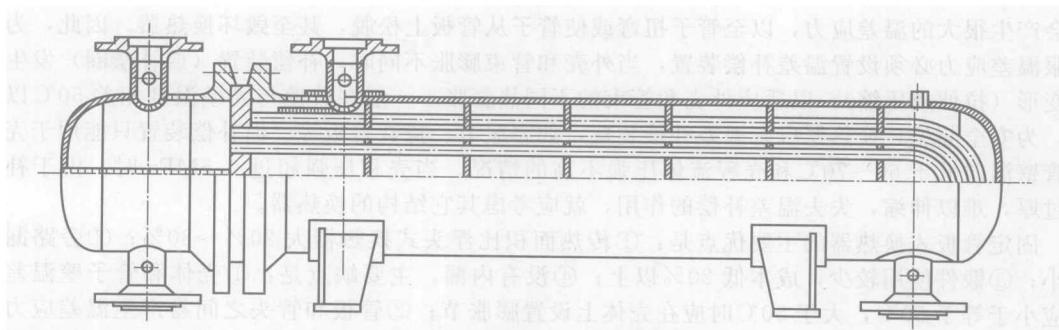


图 1.7 U 形管式换热器的总体结构

块管板不与外壳连接，而连接一个可以自由伸缩的浮头，但浮头部分位于壳体之外，在浮头与壳体的滑动接触面处采用填料函式密封结构。如图 1.8 所示。这种填料函式密封结构使得管束的浮头端在壳体轴向可以自由伸缩，壳壁和管壁之间不会产生热变形差，从而避免了热应力。其结构比浮头式简单，造价也比浮头式低，管束可以从壳体中抽出，管程和壳程都易清洗，维修方便。但填料函处密封效果不佳，壳程内介质有外漏的可能，因此，填料函式换热器一般适用于工作压力为 2.5MPa 以下的工况，且壳程中不应处理易挥发、易燃、易爆和有毒的介质。

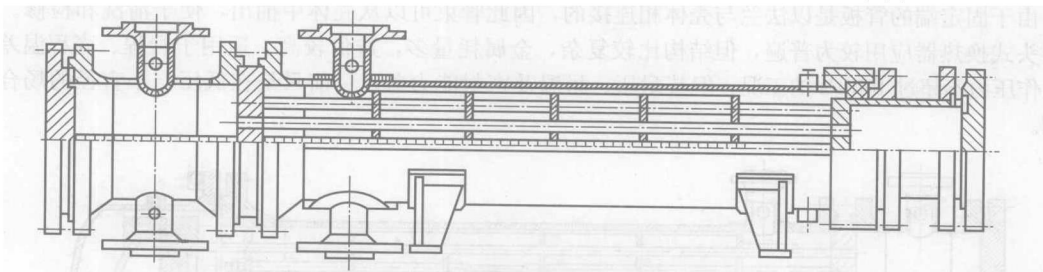


图 1.8 填料函式换热器的总体结构

(5) 填料函滑动管板式换热器

填料函滑动管板式换热器仍采用填料函式密封结构，本质上仍属于填料函式换热器。其结构特点是一块管板通过法兰固定于外壳，另一块管板在壳体内可以沿轴向自由滑动。如图 1.9 所示。当壳体与管束的热变形不同步时，通过滑动端来抵消热应力。填料函滑动管板式换热器结构简单，造价低廉，必要时可在管箱中增设隔板，以强化管程传热。其主要缺陷仍然是填料函泄漏，可能造成壳程与管程流体相混，因此该换热器严禁用于两种介质不相容的场合。若采用管程与壳程完全隔离的填料函结构，可有效解决两种介质的串流现象，但同时也使结构复杂化。

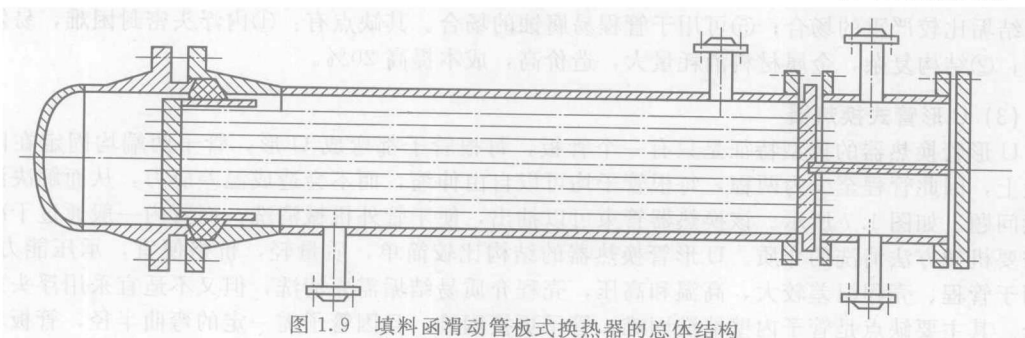


图 1.9 填料函滑动管板式换热器的总体结构

在工程实际应用中，选择采用哪一类管壳式换热器，首先要考虑换热介质的种类、压力、温度、污垢和其它工艺条件，一般要根据换热流体的腐蚀性及其它特性来选择结构与材料，还要考虑管板与壳体的连接方式、换热管的形式与传热条件、设备造价、维修检查是否方便等情况，结

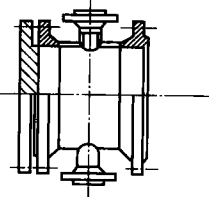
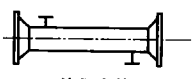
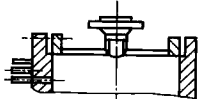
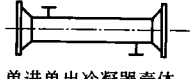
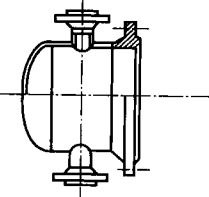
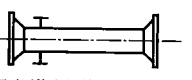
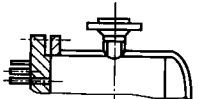
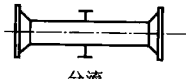
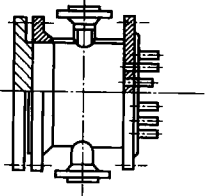
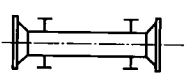
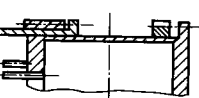
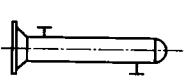
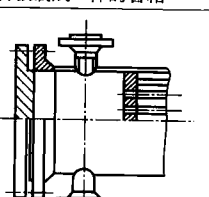
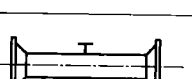
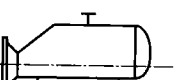
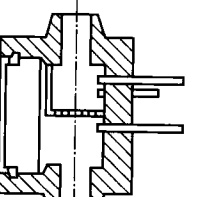
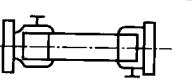
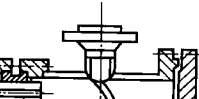
合不同结构型式管壳式换热器的特点进行选择。

1.3.2 管壳式换热器的结构布置

(1) 总体结构

管壳式换热器的主要组合部件有：前端管箱、壳体和后端结构三部分。在国标《管壳式换热器》GB 151—1999 分别用字母来表示不同的组合部件，表 1.1 列出了五种前端管箱形式、九种主要

表 1.1 管壳式换热器主要组合部件的分类及代号

前端管箱型式		壳体型式		后端结构型式	
A	 平盖管箱	E	 单程壳体	L	 与A相似的固定管板结构
		Q	 单进单出冷凝器壳体		
B	 封头管箱	F	 具有纵向隔板的双程壳体	M	 与B相似的固定管板结构
		G	 分流	N	
C	 用于可拆管束与管板制成一体的管箱	H	 双分流	P	 填料函式浮头
		I	 U形管式换热器	S	
N	 与管板制成一体的固定管板管箱	J	 无隔板分流(或冷凝器壳体)	T	 可抽式浮头
		K	 釜式重沸器	U	
D	 特殊高压管箱	O	 外导流	W	 带套环填料函式浮头

的壳体类型和八种后端结构型式。管壳式换热器的型号中前三个字母分别表示三个主要组合部件。如 AES 表示一端平盖一端浮头的单壳程换热器，BEM 表示两端为封头管箱的固定管板式换热器。

(2) 管程结构

在管壳式换热器中，流体流经换热管内的通道及其相贯通的部分称为管程。管内流体从换热器的一端流到另一端称为一个管程。换热器最简单的结构型式是单管程。如需增加传热面积，一般采用适当增加换热管长度或换热管数量的方法。增加换热管长度往往受到加工、安装、操作和维护等方面的限制，因而常常采用增加换热管数量的方法。但换热管数量增加使得管程的流通面积随之增大，从而引起管内流速及传热系数的降低，因此单纯地增加换热管数量或换热面积并不能有效增大传热量。为了解决这个问题，可在增加换热管数量后将管束分程，以使流体在换热管内保持较大流速。为此，需要在换热器一端或两端的管箱内分别设置一定数量的隔板，使每一程中换热管数量大致相等，让流体依次流过各程换热管，在流体流量不变的情况下可有效增大流速，提高管程传热系数。

管束分程可采用多种不同的组合方式，当管程流体进出口温度变化很大时，应尽量避免流体温差较大的两部分管束相邻，否则管束与管板中将产生很大的温差应力，容易引起换热管变形或拉脱等事故。经验表明，管程温差以不超过 20℃ 为宜，管程数小于 4 时，采用平行隔板更为有利。从制造、安装、操作和维护的角度考虑，一般采用偶数管程（单程除外）且程数不宜太多，否则隔板本身占去相当大的布管空间，且在壳程中会形成很大的旁路，影响传热性能。管程的进出口可设置在同一端管箱上，以便于制造、操作和维护。管束的分程布置见表 1.2。

表 1.2 管束分程布置图

管程数	1	2	4			6	
流动顺序							
管箱隔板							
介质返回侧隔板							

管子在管板上的排列方式常见的有四种：正三角形排列（排列角为 30°）、转角正三角形排列（排列角为 60°）、正方形排列（排列角为 90°）和转角正方形排列（排列角为 45°），如图 1.10 所示。排列方式的选择一方面要考虑尽可能多地布置换热管，另一方面要考虑尽量提高壳程流体的对流传热系数，同时还要考虑管外清洗方便及整体结构的要求。

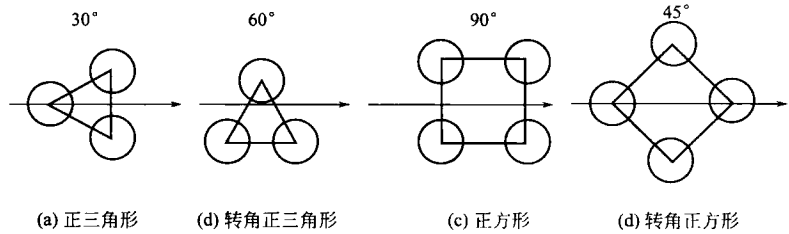


图 1.10 换热器中换热管的排列方式（注：流向箭头垂直于折流板切边）

正三角形排列方式在一定的管板面积上可配置较多的管子数，又由于管子的间距都相等，在管板加工时便于划线与钻孔。与正方形排列方式相比，可节省大约 15% 的管板面积，且传热系