

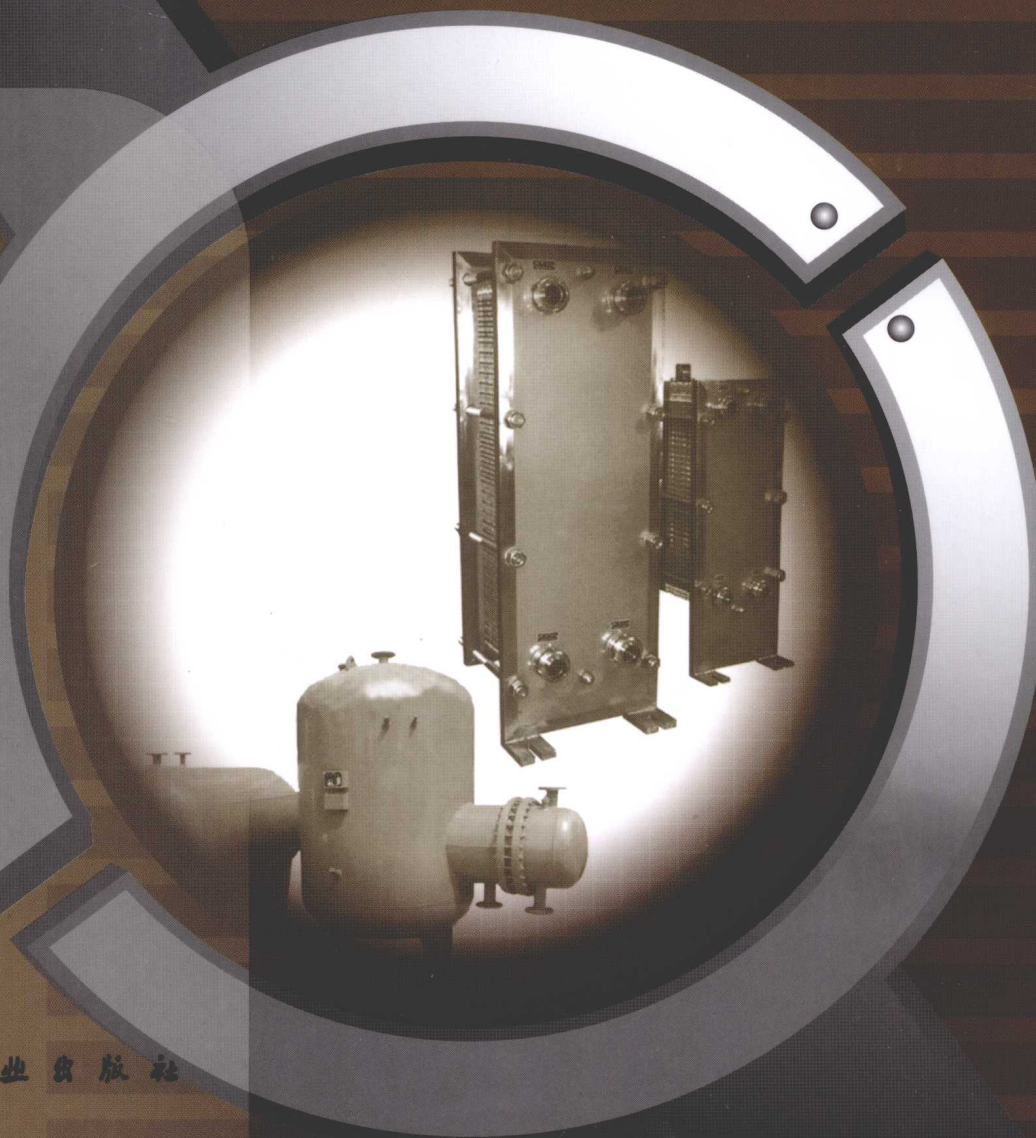


换热器

维修手册

王 勇 主编

HUANREQI
WEIXIU SHOUCE



化学工业出版社



换热器 维修手册

王 勇 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书重点介绍了石油化工行业常见典型换热器在实际工作中的运行、维护、检修、故障排除以及相关检修规程和维修技术。内容涉及常用换热器型式与选用、典型换热器〔管壳式、板(片)式、空冷式等〕的维护检修技术以及换热器防腐防漏、抑垢除垢、安全运行等维修相关技术。

本手册适合于化工、石化行业从事换热器使用、维护、检修的技术人员使用,也可供大专院校、职业技术学院相关专业师生作为参考。

图书在版编目(CIP)数据

换热器维修手册/王勇主编. —北京:化学工业出版社, 2010.6

ISBN 978-7-122-08305-0

I. 换… II. 王… III. 换热器-维修-技术手册
IV. TK172-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第071811号

责任编辑:辛 田
责任校对:王素芹

文字编辑:余纪军
装帧设计:尹琳琳

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 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张17¼ 字数395千字 2010年7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:56.00元

版权所有 违者必究



前言

换热器是两种或多种流体存在温差时进行热量传递的传热设备。作为一种通用工艺设备，换热器广泛应用在石油、化工、能源、冶金、制冷、电力、轻工、食品、运输等各个行业。尤其在石油化工行业，换热器是典型且应用普遍的工艺设备，几乎任何生产工艺都离不开它。换热器的可靠运行对保证石油、化工企业连续化生产至关重要。

由于换热器种类繁多，所处理的介质性质各异，操作工况各有不同，导致换热器在实际运行中容易出现各种故障或损坏，对换热器进行维护、检修是保证换热器长期稳定、可靠运行的重要一环。换热器维修的重点是运行维护和定期检修，运行维护涉及日常检测、防腐处理、抑垢除垢、密封防漏等方面；定期检修涉及检修规程（规范）、结构拆装、清污除垢、修理修配、试车验收等技术环节。同时，要保证换热器的稳定、安全运行，除了日常维护和定期检修，还要做好换热器的管理和事故防范工作。

本书简明叙述了通用、典型的换热器种类、型式及选用，重点介绍了常见换热器的安装验收、日常检查维护、检修规程、检修技术等内容，内容涉及管壳式换热器、板片式换热器（板式、螺旋板式、板翅式）、空冷器、套管式换热器、螺纹锁紧环式换热器等。同时，详细介绍了与换热器检修相关的防垢除垢、防腐防漏、事故防范等技术内容。

本书以国家、各部委颁发的最新标准、规范、规程为依据，密切联系生产实际，解决实际生产现场具有普遍性的换热器维护检修问题。本书编写过程中，除参考成熟通用的换热器检修技术外，在换热器应用维修现场进行了充分调研和大量维修经验资料的搜集与分析，并综合参考了当前换热器检修中较为成熟、可靠、先进的维修技术，加以总结、筛选、提炼和归纳融汇。本书内容翔实丰富，简明扼要，通俗易懂，体现了实用性、针对性、应用性和先进性。

本书适合化工、石油化工行业从事换热器维护检修的工程技术人员和技术工人使用，也可供大专院校、职业技术学院相关师生作为学习参考。

本书由王勇担任主编，编写分工如下：李静编写第1章，王勇编写第2章，滕文锐编写第3章，任世君编写第4章，李振勇编写第5章，全书由赵玉奇主审。

因编者水平所限，书中不足之处在所难免，敬请同行和读者朋友予以批评指正。

编者



目 录

第 1 章 换热器概述

1.1 换热器的应用	1
1.2 换热器的类型、结构与选用	1
1.2.1 换热器的分类	1
1.2.2 常用典型换热器的结构及特点	7
1.2.3 常用典型换热器的影响因素和选用及参考的工况参数	30

第 2 章 管壳式换热器的维修

2.1 管壳式换热器的制造、组装、安装与检验	44
2.1.1 零部件的制造与组装	44
2.1.2 管壳式换热器的安装	49
2.1.3 试压与验收	53
2.2 管壳式换热器的维护	55
2.2.1 日常检查	55
2.2.2 循环冷却水系统的处理	59
2.2.3 腐蚀与防护	62
2.2.4 振动与防护	65
2.2.5 高温介质的热防护	67
2.3 管壳式换热器的检修	70
2.3.1 检修准备与检修内容	70
2.3.2 换热器的清洗除垢	71
2.3.3 换热管的检修处理	74
2.3.4 管子与管板的连接技术	78
2.3.5 管壳式换热器检修机具	88
附录 1 SHS 01009—2004 管壳式换热器检修规程	92
附录 2 SHS 04523—2004 列管式换热器维护检修规程	97
附录 3 管壳式换热器组装工艺通用规程	101
附录 4 管壳式换热器检修方案编制案例	105

第 3 章 板片式换热器的维修

3.1 板式换热器的维修	114
3.1.1 板式换热器的安装与检验	114
3.1.2 板式换热器的运行与故障	118
3.1.3 板式换热器的维护与检修	123
3.2 螺旋板式换热器的维修	131
3.2.1 螺旋板式换热器的制造、装配与检验	131
3.2.2 螺旋板式换热器的维护与检修	133
3.3 板翅式换热器的维修	136
3.3.1 板翅式换热器概述	136
3.3.2 板翅式换热器的维护与检修	142
附录 1 SHS 04521—2004 板式换热器维护检修规程	147
附录 2 SHS 10008—2004 切换板翅式换热器维护检修规程	149

第 4 章 其他常用型式换热器的维修

4.1 空冷式换热器的维修	154
4.1.1 空冷式换热器的安装	154
4.1.2 空冷式换热器的使用与维护	157
4.1.3 空冷式换热器的检修	160
4.2 螺纹锁紧环换热器的维修	163
4.2.1 螺纹锁紧环换热器的结构	163
4.2.2 螺纹锁紧环换热器的检修	165
4.3 套管式换热器的维修	172
4.3.1 结构制造与组装验收	172
4.3.2 套管式换热器的维护与检修	176
附录 1 SHS 04522—2004 空气冷却器维护检修规程	178
附录 2 SHS 03051—2004 高压套管换热器维护检修规程	181
附录 3 SHS 03010—2004 超高压套管式换热器维护检修规程	184

第 5 章 换热器污垢处理、防腐防漏及安全运行

5.1 换热器的防垢与除垢	191
5.1.1 污垢的形成、影响与监测	191
5.1.2 抑垢防垢的措施与技术	193

5.1.3	污垢的清除与清洗	202
5.2	换热器的防腐与防漏	218
5.2.1	换热器的材料选用	218
5.2.2	换热器腐蚀类型与机理	220
5.2.3	换热器的腐蚀防护	228
5.2.4	换热器的密封	237
5.3	换热器事故与防范	245
5.3.1	换热器事故原因分析与防护措施	245
5.3.2	换热器事故调查统计与案例分析	248
5.3.3	换热器运行的档案资料管理	252
附录	SH/T 3532—2005 石油化工换热设备施工及验收规范	253

参考文献	264
------------	-----

第 1 章 换热器概述

1.1 换热器的应用

在工业生产中实现两种物料之间热量传递的设备统称为换热器，换热器是在石油、化工、石油化工、冶金、电力、轻工、食品等行业普遍应用的一种通用工艺设备。在炼油、化工装置中换热器占总设备数量的 40% 左右，占总投资的 30%~45%。近年来，随着节能技术的发展，应用领域不断扩大，利用换热器进行高温和低温热能回收带来了显著的经济效益。换热器是典型的工艺设备，应用十分普遍，几乎任何化工生产工艺都离不开它。

化工工艺过程中存在各种热交换过程，如加热、冷却、蒸发、冷凝等。通过换热器，热量能够从温度较高的流体介质传递给温度较低的流体介质，以满足工艺要求。根据使用目的不同，换热器可以分为热交换器、加热器、冷却器、冷凝器、蒸发器、再沸器等。同时，由于使用条件和工艺要求的不同，换热器又具有各种不同的结构型式。换热器可以作为一个独立的化工设备来使用，也可以作为某一工艺设备的组成部分（如氨合成塔下部热交换器、精馏塔底部的再沸器和顶部的回流冷凝器等）。其他如回收排放出去的高温气体中的废热所用的废热锅炉，也是换热器在工业生产中的应用之一。

1.2 换热器的类型、结构与选用

1.2.1 换热器的分类

换热器的种类随着工业发展而增加，早期的换热设备由于制造工艺和科学水平的限制，其结构简单，换热面积小，体积较大，因此换热效率比较低，如夹套式和蛇管式等。随着制造工艺的发展，在工业生产中出现了一种单位体积设备所能提供的换热面积大、传热效果好的换热器，称为管壳式或列管式换热器。由于它具有突出的优势，长期以来在化工生产中占据了主体地位。20 世纪 20 年代，出现了板式换热器，开始在食品工业中应用。30 年代末，瑞典制造出第一台板壳式换热器，应用于纸浆厂。60 年代初，由于制造工艺进步，这些类型的换热器得到了完善与发展，在化工生产中的应用也愈加广泛。在这个时期中，又相继出现了一些其他新型换热器，使换热器的种类更加多样化。由于各种换热器的作用、工作原理、结构，以及其中工作的流体种类、数量等差别很大，为了研究和



使用的方便,通常根据其某个特征进行分类。

(1) 按作用原理分类

按作用原理,也即依据传热方式分类,可以分成混合式换热器、蓄热式换热器和间壁式换热器。

① 混合式换热器 又称直接接触式,如图 1-1 所示。它是通过两种换热流体的直接接触与混合的作用来进行热量交换的,必须使两种流体的接触面积尽可能大,以促进它们之间的热量交换。在实际操作中,为了获得大的接触面积,可在设备中放置格栅或填料,有时也将液体喷成细滴。此种换热器效率较高,冷水塔、冷却塔、洗涤塔、电厂的除氧器、混合式减温器等都属于此类。这里以工业上常用的冷水塔和混合式冷却器为例,说明其结构和原理。

a. 冷水塔 冷水塔有很多种类,根据循环水在塔内是否与空气直接接触,可分成干式、湿式。干式冷水塔是把循环水送到安装于冷却塔中的散热器内被空气冷却,这种塔多用于水源奇缺而不允许水分散失或循环水有特殊污染的情况。湿式冷水塔则让水与空气直接接触,把水中的热传给空气,在这种塔中,水因蒸发而造成损耗,蒸发又使循环的冷却水含盐度增加,为了稳定水质,必须排放掉一部分含盐度较高的水,补充一定的新水,因此湿式冷水塔要有补给水源。

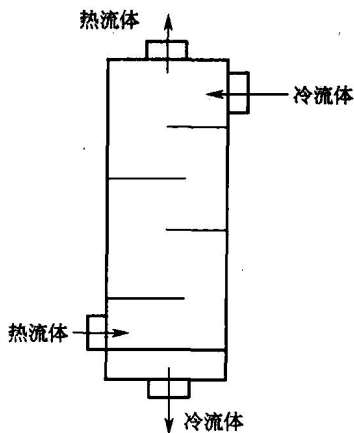


图 1-1 混合式换热器示意图

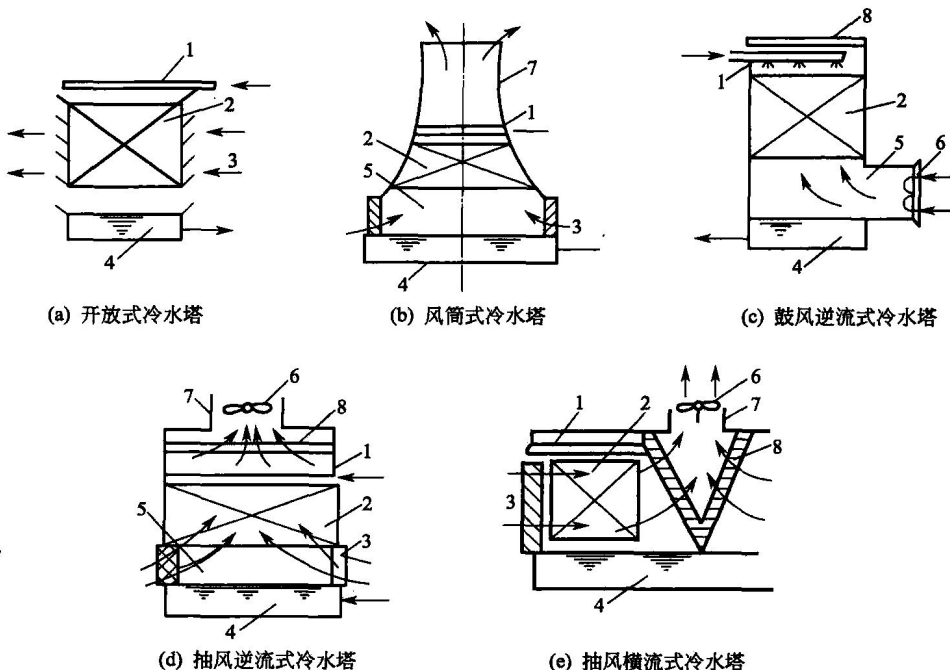


图 1-2 湿式冷水塔示意图

1—配水系统; 2—淋水装置; 3—百叶窗; 4—集水池; 5—空气分配区; 6—风机; 7—风筒; 8—收水器



图 1-2 所示为湿式冷水塔的各种类型。在开放式冷水塔中,利用风力和空气的自然对流作用使空气进入冷水塔,其冷却效果要受到风力及风向的影响,水的散失比其他型式的冷水塔大。在风筒式自然通风冷水塔中,利用较大高度的风筒,空气形成的自然对流使空气流过塔内与水接触进行传热,其特点是冷却效果比较稳定。在机械通风冷水塔中,空气以鼓风机送入,如图 1-2(c) 所示;或以抽风机吸入,如图 1-2(d) 所示,所以它具有冷却效果好和稳定可靠的特点,它的淋水密度(指单位时间内通过冷水塔的单位截面积的水量)可远高于自然通风冷水塔。按照热质交换区段水和空气两者流动方向的不同,方向相反的为逆流塔,方向垂直交叉的为横流塔,如图 1-2(e) 所示。

各种形式的冷水塔结构有所差异,但一般包括淋水装置、配水系统、通风筒三个主要部件。淋水装置也成为填料,作用是将进冷水塔的热水尽可能形成细小的水滴或水流膜,以增加水和空气的接触面积,延长接触时间,促进热交换。其形式一般有点滴式、薄膜式和点滴薄膜式三种;配水系统的作用是将热水均匀地分配到整个淋水面积上,从而使淋水装置发挥最大的冷却能力。常用的配水系统有槽式、管式和池式三种;通风筒是冷水塔的外壳,气流的通道,其作用是创造良好的空气动力条件,并将排出冷却塔的湿热空气送往高空,减少或避免湿热空气回流。自然通风的通风筒通常很高(可达 150m 以上),机械通风则较低(10m 左右)。

b. 混合式冷凝器 工业上常用的混合式冷凝器,其作用是使蒸汽与冷却水直接接触过程中放出潜热而被冷凝,这种冷凝方式只适用于冷凝液没有回收价值或者对冷凝液纯度要求不高的场合,例如单效或多效蒸发装置二次蒸汽的冷凝。

混合式冷凝器的类型较多,现在广泛使用的类型有如图 1-3 所示的几种。其中图 1-3(a) 是液柱式冷凝器,在其内部安装多块圆缺形多孔淋水板,水从板的小孔以柱状淋洒而下,以增大冷却水和蒸汽的接触面积。图 1-3(b) 是液膜式冷凝器,在其内部有盘环间隔排列的淋水板,冷却水从板上流下时形成液膜,蒸汽与液膜接触时产生冷凝。图 1-3(c) 是填充式冷

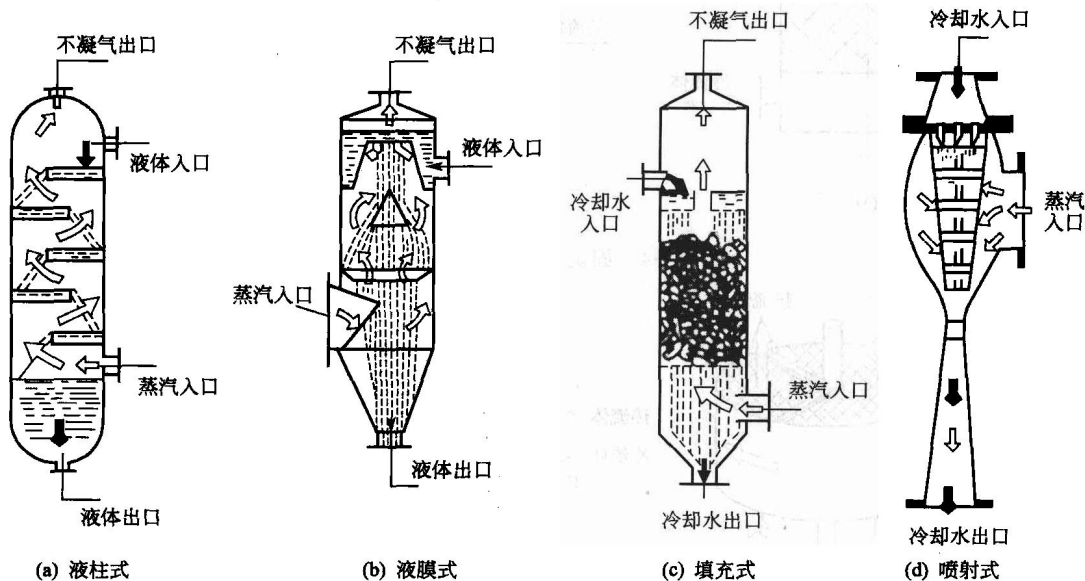
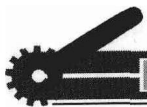


图 1-3 混合式冷凝器



凝器，采用拉西环等作为填料，填充于塔体之内，冷却水沿填料表面下流，故填料表面即为水和蒸汽的接触场所，使蒸汽冷凝。图 1-3(a)、图 1-3(b)、图 1-3(c) 所示三种型式的共同特点是汽水为逆流方向，蒸汽都是由下而上流动，两相接触时间长，热的交换充分，水的出口温度高，可节约用水，且不凝气温度低，体积小，可节省抽汽设备动力。图 1-3(d) 为喷射式冷凝器，其工作原理基于文丘里管，故冷却水在入口必须具备一定压力，以使喷管喷出之水呈雾状，并将蒸汽吸入器内进行混合冷凝，同时夹带不凝性气体从下部流出。所以它具有不需抽出不凝性气体的优点，但单位蒸汽冷凝量所用的冷却水量较大。

② 蓄热式换热器 又称再生式换热器，它借助固体构件（填充物）组成的蓄热体传递能量。在这类换热器中，热、冷流体依时间先后交替流过蓄热体组成的流道，热流体先对蓄热体加热，把热能储存在蓄热体中，随即让冷流体流过，从蓄热体中带走热量，使蓄热体温度降低。即蓄热式换热器里所进行的热传递过程不是稳态过程，而是被周而复始地加热和冷却的过程，在此过程中温度每时每刻都在变化。此类换热器主要运用于存在高温废气而又需获得高温预热空气的场合，例如高炉的热风炉及各式加热炉，各类空气预热器等。蓄热式换热器类型有很多，图 1-4 所示为固定床蓄热式换热器（也常称为固定床蓄热再生器），其中图 1-4(a) 为其基本原理示意图，图 1-4(b) 为实际应用中的双床切换型蓄热再生器。图 1-5 和图 1-6 为旋转型蓄热式换热器（也称为旋转式蓄热再生器）的原理和基本结构；图 1-7 所示为旋转型蓄热式换热器实际生产应用——回转式空气预热器。

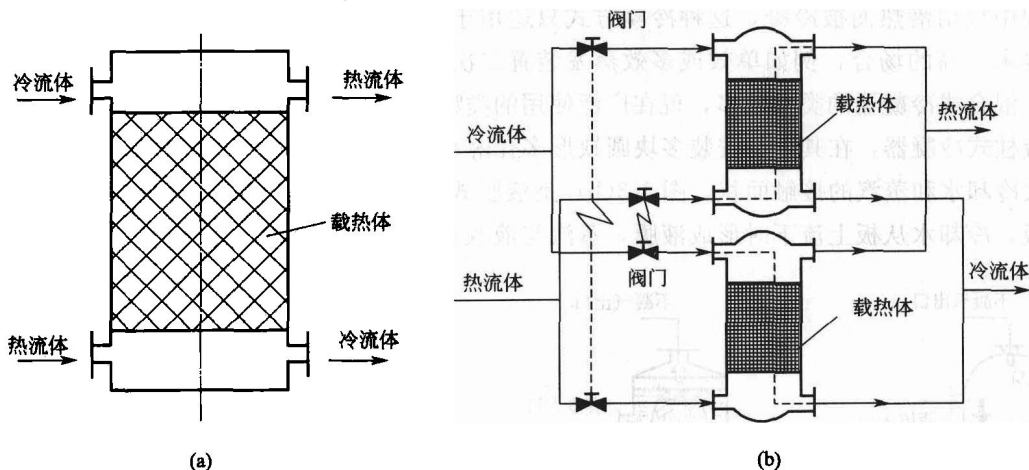


图 1-4 固定床蓄热式换热器

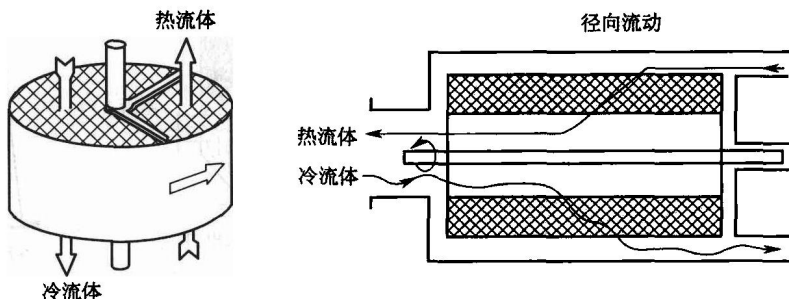


图 1-5 旋转型蓄热式换热器原理

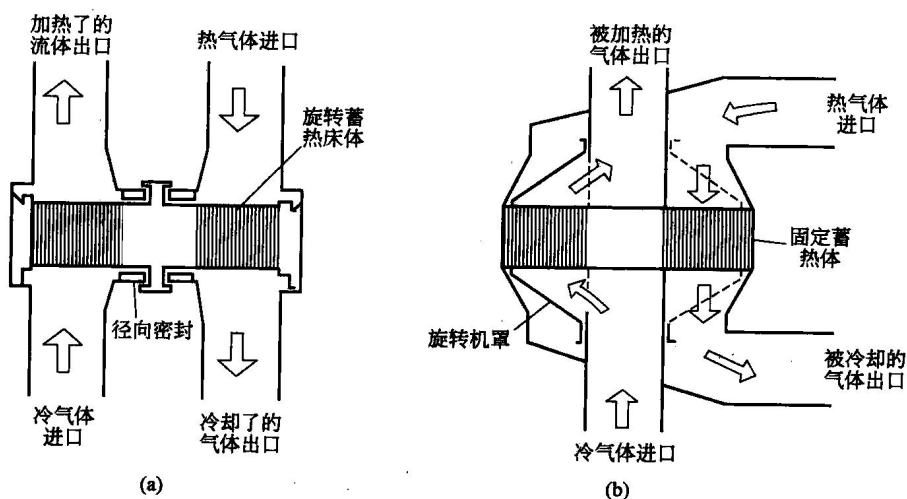
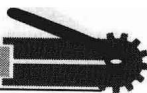


图 1-6 旋转型蓄热式换热器基本结构

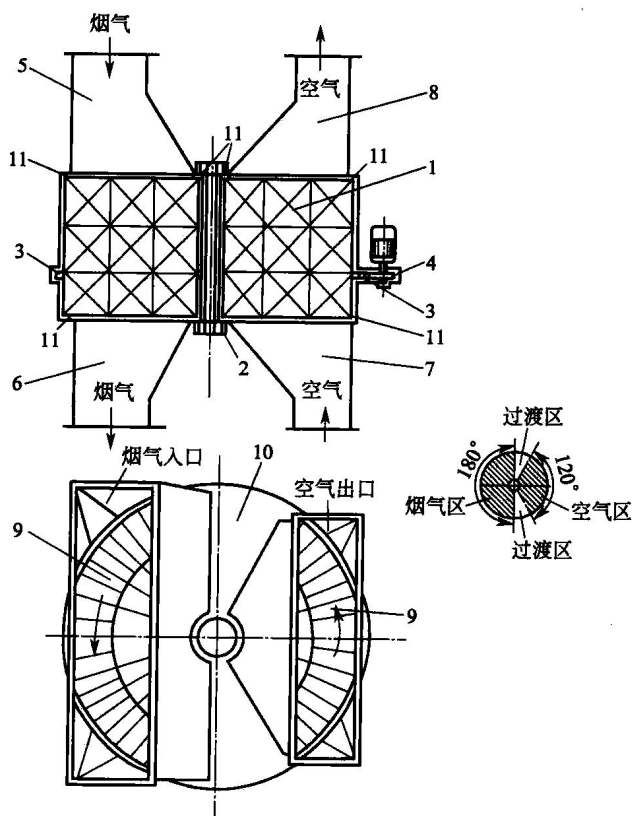
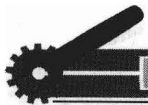


图 1-7 回转式空气预热器

- 1—转子；2—转子的中心轴；3—环形长齿条；4—主动齿轮；
5—烟气入口；6—烟气出口；7—空气入口；8—空气出口；
9—径向隔板；10—过渡区；11—密封装置



③ 间壁式换热器 工业上应用得最广泛的就是间壁式换热器。其基本工作原理如图 1-8 所示。此类换热器的主要特征是：冷、热流体在各自流道中流动，被一固体壁面隔开，彼此不相互接触，热量通过固体壁面传递，因此特别适用于生产中介质不容掺混的场合。间壁式换热器的结构型式非常多，常用的有管壳式换热器、套管式换热器、管式换热器、板式换热器、板翅式换热器等。此类换热器在“常用典型换热器的原理、结构型式与应用”一节中有详细介绍，兹不赘述。

(2) 按用途分类

按用途可以把换热器分为：加热器、预热器、过热器、蒸发器、再沸器、冷凝器、冷却器、深冷器等。

加热器：用于把流体加热到所需温度，被加热流体在此过程中不发生相变。

预热器：用于把流体预先加热，为后面的工艺流程做准备。

过热器：用于把饱和蒸汽加热至过热状态。

蒸发器：用于加热液体使之蒸发汽化。

再沸器：用于把冷却了的液体再度加热沸腾。

冷凝器：用于把热气体冷却使之相变成为液体。

冷却器：用于把热流体冷却至需要的温度。

深冷器：用于把热流体冷却至 0°C 以下的深低温。

(3) 按换热器传热面的形状和结构分类

这种分类用于区分各种型式、不同特征的间壁式换热器。其分类有：

① 通过管壁传热的换热器 即“管式”换热器，如蛇管式换热器、套管式换热器、管壳式换热器等；

② 通过板面传热的换热器 即“板面式”换热器，如螺旋板式换热器、板式换热器、伞板式换热器、板翅式换热器、板壳式换热器等；

③ 其他形式的换热器 这些换热器都是为了满足特殊要求而出现的，型式往往比较特殊，如回转式换热器和热管等。

(4) 按材料分类

按制造材料的不同可以把换热器分为金属材料换热器、非金属材料换热器和稀有金属材料换热器。

金属材料换热器在生产中的使用最为广泛，大多数换热器材料是碳钢、不锈钢、铝、铜、镍及其合金。但是在石油、化学、核动力等工业中许多工艺要在高温高压、剧毒或深冷等条件下进行，这时金属材料换热器已经不能满足需要，而应采用特殊材料的换热器。使用得较多的材料是：石墨、工程塑料、玻璃、陶瓷和稀有金属。

(5) 按流体的相态分类

按换热器中流体的相态分类，可将换热器分为气-液换热器、液-液换热器、气-气换热器三类。

① 气-液换热器 大部分的气-液换热器大多都是管翅式紧凑换热器，液体走管内。散

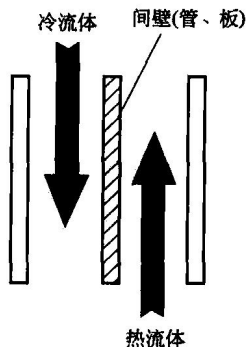


图 1-8 间壁式换热器
工作原理



热器是目前气液换热器的主要形式，用空气冷却发动机夹套内的水。类似的单元设备在其他例如汽车的水冷式发动机、火车机车、柴油机动力设备和柴油机发电厂也会用到。其他的例子如飞行器的空气冷却器、空调压缩机、冷凝器和蒸发器的中间冷却器和后冷却器。通常，液体泵出后在管内流动，管子有很高的对流传热膜系数，空气以错流的方式流过管子，空气侧的传热膜系数比液体侧的要低。一般在管外增加翅片来强化传热。

② 液-液换热器 大部分的液-液换热器都是管壳式的，板式的相对较少。两种液体都被泵送流经换热器，所以换热的基本模式是强制对流。液体的密度相对较高，因此有很高的传热率，一般不用翅片或其他装置来强化传热。在某些应用中，也会用低翅片管、微翅片管或其他传热强化措施来强化传热。

③ 气-气换热器 这种换热器用在尾气-空气预热同流换热器、旋转式再生器、中间冷却器和或后冷却器中，冷却一些落地式的柴油动力装置、柴油机火车机车以及低温气体液化系统中的高负荷发动机入口的空气。很多情况下，一种气体被压缩，密度增大，而另一种气体则是低压低密度状态。相比液-液换热器，这种换热器的尺寸大很多，因为气侧的对流换热系数比液侧的低。所以，多数采用二次传热面来强化传热。

1.2.2 常用典型换热器的结构及特点

(1) 管壳式换热器

管壳式换热器是目前应用最为广泛的一种换热器，主要部件有管箱、壳体、管板、管束等。它种类很多，根据结构特点的不同可以分为刚性结构和具有温差补偿结构两大类。它们的共同特点是在圆筒形壳体中设置了由许多管子组成的管束，管子的两端采用胀接或焊接或胀、焊结合的方式固定在管板上，管子的轴线与壳体的轴线平行。

管壳式换热器属于间壁传热式换热器，一种换热流体通过管内，一种换热流体通过壳体（管外），两种换热流体通过管束的管壁进行热量交换，主要是传导和对流两种传热方式。热流体先用对流给热的方式将热量传给管壁的一侧，再以传导的方式将热量从管壁一侧传给另一侧，最后管壁另一侧又以对流给热方式将热量传给了冷流体，从而完成了换热器的传热过程。

图 1-9～图 1-14 为 GB 151—1999 所列管壳式换热器几种典型结构型式，表 1-1 中分别列出了各组成零部件名称。

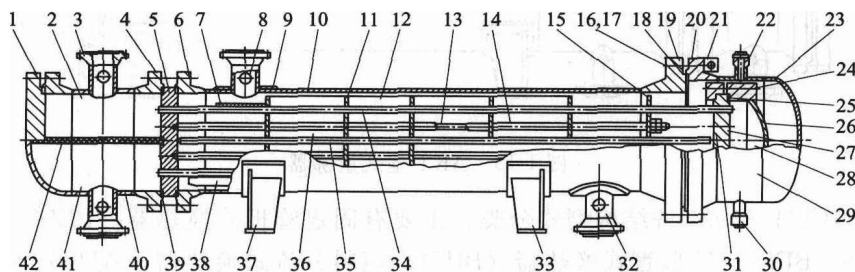


图 1-9 AES、BES 浮头式换热器

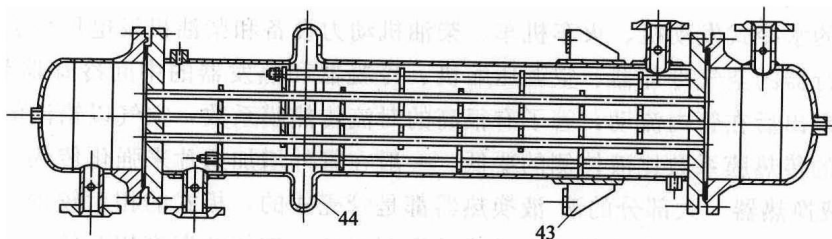


图 1-10 BEM 立式固定管板式换热器

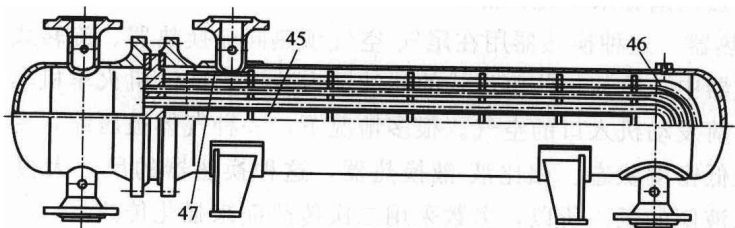


图 1-11 BIU U 形管式换热器

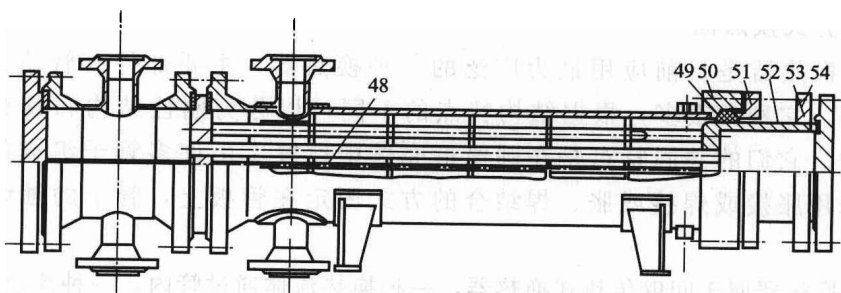


图 1-12 AFP 填料函双壳程换热器

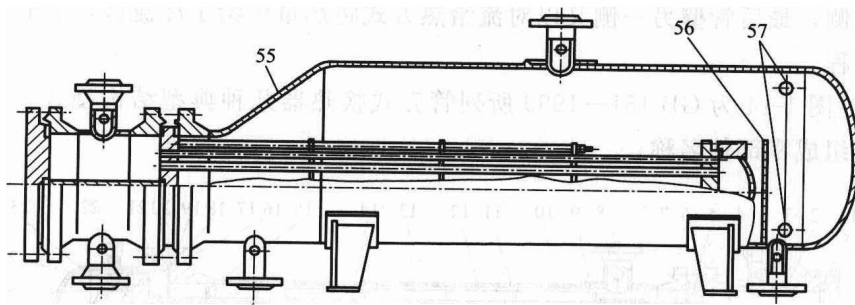


图 1-13 AKT 釜式重沸器

根据 GB 151—1999 按结构型式分类，主要有固定管板式换热器（BEM）、浮头式换热器（AES、BES）、U 形管式换热器（BIU）、填料分流式换热器（AJW）、釜式重沸器（AKT）。

管壳式换热器前端管箱、中部壳体及后端结构型式有多种型式，如表 1-2 所示。

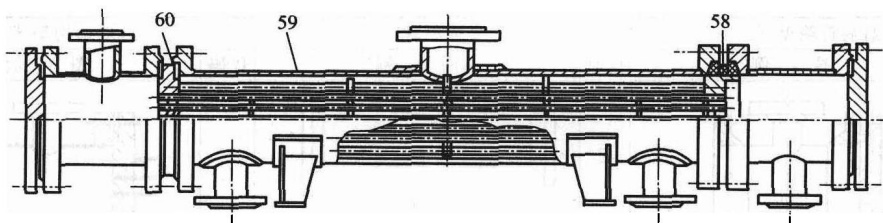


图 1-14 AJW 填料函分流式换热器

表 1-1 管壳式换热器零部件名称 (图)

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	耳式支座(部件)
4	管箱法兰	24	浮头法兰	44	膨胀节(部件)
5	固定管板	25	浮头垫片	45	中间挡板
6	壳体法兰	26	球冠形封头	46	U 形换热管
7	防冲板	27	浮动管板	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	壳体(部件)	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
13	拉杆	33	活动鞍座(部件)	53	部分剪切环
14	定距管	34	换热管	54	活套法兰
15	支持板	35	挡管	55	偏心锥壳
16	双头螺栓或螺栓	36	管束(部件)	56	堰板
17	螺母	37	固定鞍座(部件)	57	液面计接口
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	圆筒
20	外头盖法兰	40	管箱圆筒(短节)	60	管箱侧垫片

① 固定管板式换热器 固定管板式换热器的结构如图 1-15 所示。它的管端以焊接或胀接的方法固定在管板上，管板与壳体以焊接的方法相连。它的主要部件有管箱、管板、管子膨胀节、定距管、折流板（有的是折流杆）等。与其他型式的壳式换热器相比，结构简单。由于没有壳侧密封件，当壳体直径相同时，可以安排更多的管子，在有折流板的流动中短路流动减小，管程可以分成任何程数，因两个管板由管子互相支撑，故在各种管壳式换热器中它的管板最薄，制造成本较低。由于不存在弯管部分，管内不易积聚污垢，即使产生污垢也便于机械清洗和化学清洗。如果管子发生泄漏或损坏，也便于堵管或换管。



表 1-2 管壳式换热器结构型式

前端管箱型式		壳体型式		后端结构型式	
代码	图 例	代码	图 例	代码	图 例
A		E	 单程管壳	L	
		Q	 单进单出冷凝器管壳	M	
B		F	 具有纵向隔板的双程壳体	N	
		G	 分流	P	
C		H	 双分流	S	
		I	 U 形管式换热器	T	
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)	U	 U 形管束
D		K	 釜式重沸器	W	 带套环填料函式浮头
			 外导流		