

机械工业知识丛书

石油炼厂机械及设备

兰州石油机械研究所编



机械工业出版社

机械工业知识丛书

石油炼厂机械及设备

兰州石油机械研究所 编



机械工业出版社

出 版 说 明

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国机械工业欣欣向荣，蓬勃发展，形势很好。

“中国靠我们来建设，我们必须努力学习。”为了适应机械工业发展的需要，我们请有关单位编写了一套《机械工业知识丛书》，供机械行业的领导干部、管理人员和有关同志参考。

《石油炼厂机械及设备》为本丛书之一。书中扼要地介绍了石油炼厂机械及设备的基本知识，分章介绍了换热器、塔器、高压容器、加热炉、压缩机、泵、过滤机和贮罐的类型、结构及技术经济指标等，并简要地叙述了当前国内外制造、应用情况及今后发展趋势。

本丛书在编写过程中，承各编写单位大力支持，做了大量的工作，我们表示衷心感谢。

由于我们水平有限，书中难免有缺点和错误，希望读者批评指正。

目 录

出版说明

第一章 概述	1
一、我国石油工业发展概况	1
二、石油及炼厂的主要工艺装置	1
第二章 换热器	3
一、管壳式换热器	5
二、套管式换热器	7
三、沉浸式蛇管冷却器	8
四、板式换热器	9
五、螺旋板式换热器	11
六、板翅式换热器	13
七、板壳式换热器	15
八、空气冷却器	17
第三章 塔器	21
一、圆泡帽塔盘	24
二、筛孔塔盘	25
三、浮阀塔盘	26
四、舌形塔盘	27
五、浮动喷射塔盘	28
六、填料塔	29
第四章 高压容器	32
一、高压容器的结构及制造方法	32
二、高压容器的密封结构	38
第五章 加热炉	43
一、斜顶炉	45
二、立式炉	46
三、圆筒炉	47

IV

四、无焰燃烧炉.....	47
五、“五七”炉.....	48
第六章 压缩机.....	50
一、活塞式压缩机.....	51
二、离心式压缩机.....	54
三、旋转式压缩机.....	57
四、轴流式压缩机.....	58
第七章 泵.....	59
一、往复泵.....	60
二、离心泵.....	61
三、其他类型泵.....	64
第八章 过滤机.....	66
一、过滤机的种类和操作过程.....	67
二、国内外过滤机的发展简况.....	71
第九章 贮罐.....	73
一、贮罐的分类.....	74
二、贮罐的结构型式.....	74
三、贮罐的发展趋势.....	79

第一章 概 述

一、我国石油工业发展概况

人们常用“石油是工业的血液”这句话来说明石油在国民经济中的重要地位。由此可见，石油是实现我国社会主义工业化、农业机械化和国防现代化的必要物质条件。开采和炼制更多的石油产品是发展整个国民经济的重要一环，有计划、高速度、高质量地发展石油炼厂机械及设备又是发展石油工业的重要保证。

石油的炼制和使用虽然已有两千年的历史，但是旧中国在帝国主义、封建主义和官僚资本主义的压迫、剥削下，基础工业非常薄弱。外国专家给中国戴上“贫油国”的帽子，致使我国的石油工业得不到应有的发展，更谈不上有什么石油机械制造业。

解放后，在毛主席独立自主、自力更生发展国民经济方针的指引下，经过石油工业战线广大职工、特别是大庆职工的艰苦奋斗，不但为我国摘掉了“贫油国”的帽子，而且使我国石油产量得到大幅度的增长。随着石油工业的高速发展，我国已有计划地建设了独立完整的炼油、石油化工机械制造业体系，炼厂机械及设备不论在数量或质量上都得到很大的发展。

我国的石油、天然气资源极为丰富，这就为石油炼厂机械及设备的发展开辟了广阔的前途。为了实现敬爱的周总理在四届人大政府工作报告中提出的实现四个现代化的宏伟目标，今后，在石油机械制造业广大职工的努力下，石油炼厂机械及设备必将有更大的发展，必将为我国石油工业的高速发展和实现四个现代化作出更大的贡献。

二、石油及炼厂的主要工艺装置

从油田开采出来的石油，通常称为原油。从不同油田或油井采出的原油，它的色泽(从粘稠的黑褐色到透明的绿黄色)和嗅味

(从恶臭到芳香)各不相同,粘度、比重和含硫量也有显著的差异。

原油通常并不能直接使用,必须经过适当的提炼加工,制成具有一定质量和标准规格的石油产品才能使用。原油可以炼制成各种车用汽油、航空汽油、喷汽燃料、煤油、柴油、润滑油、润滑脂、各种化工原料和溶剂以及石蜡、沥青、焦炭等各种石油产品。加工原油的炼油厂不管其大小都是由几个乃至几十个作用不同的装置及相应的辅助系统所组成。根据原油的组分、交通条件和对产品品种、数量、质量的具体要求,炼油厂的类型、加工深度和规模也有很大差别。炼油厂的类型基本上有三种:燃料型;燃料-润滑油型;燃料化工型。炼油厂的规模可以从年加工能力几万吨到数千万吨不等,目前新建的炼油厂一般年加工能力都在400~500万吨以上。世界上最大炼油厂的年加工能力已达3150万吨(单装置1225万吨)。

炼油厂的主要工艺装置有:常减压装置、催化裂化装置、延迟焦化装置、催化重整装置、加氢精制装置、加氢裂化装置、烃类水蒸汽转化制氢装置、气体分馏装置、烷基化装置、迭合装置、脱硫装置、硫磺回收装置、分子筛脱蜡装置、尿素脱蜡装置、丙烷脱沥青装置、酮苯脱蜡装置等27种主要装置。随着炼油工业和石油化工工业的发展,炼油厂和乙烯、合成橡胶、氮肥等化工厂往往建在一起,如北京东方红石油化工总厂和上海金山石油化工总厂都是这样。每个厂除炼油厂外都还有六、七个化工厂。这样做的目的,就是可以使炼油厂出来的各种产品及废水、废气、废热都可得到充分的综合利用,更好地发挥人力、物力的作用。

虽然这种综合的石油化工厂的装置多而复杂,但仔细分析一下,不难发现,不管是哪一种工艺过程的装置都是由一些同类机械和设备再加上一些辅助的系统所组成。这些机械和设备主要有:换热器、塔器、高压容器、加热炉、压缩机、泵、过滤机、贮罐以及各种工艺管道和阀门等组成。下面对这些机械和设备分别加以介绍。

第二章 换 热 器

在炼油厂和化工厂中，几乎所有的工艺过程都有加热、冷却和冷凝过程。这些过程总称为传热过程，而传热过程的进行必须通过传热设备（各种换热器）来完成。因此，换热器是炼油、化工厂中不可缺少的重要设备。根据统计，换热器约占炼油、化工装置工艺设备总重量的30~40%左右。这是因为，绝大多数化学反应或传质传热过程都与热量的变化有密切关系。反应过程中，有的要放热，有的要吸热。要维持反应的连续进行，就必须排除多余的热量，或补充反应所需的热量。工艺生产过程中的某些废热和余热也都需要加以回收利用，以降低生产成本。另外，经过化学反应后所得到的油品或化工产品，需要将其冷却或冷凝，以便贮藏或运输。这些热量交换的过程，都需要通过换热设备来进行。

衡量换热器效果的主要指标是传热系数 K （千卡/米²·时·度）。 K 表示当两种流体的温度差为1℃时，每小时通过1米²传热面积的热量。 K 值越大，说明换热效率越高。除此以外，它的主要技术经济指标还有承受的温度和压力，紧凑性以及单位换热面积的金属消耗量等。因此，如何尽量强化传热过程，提高温度和压力，降低材料消耗，这就成为换热器的研究、设计和制造中的主要课题。

在工业上使用的换热器，型式和种类很多。在炼油、化工和石油化学工业中，主要的换热器型式有：套管式、管壳式、板式、板壳式、板翅式、螺旋板式以及空气冷却器等。

以上各种型式的换热器，我国大部分都能成批生产，板壳式和高压板翅式换热器正在试制过程中。从目前换热器发展趋势来看，对于传统的、使用较多的管壳式换热器主要是进行技术改造，如采用螺纹管、小直径管等以增大换热面积；在总体结构上，采用多程、小折流板间距和微间隙等，以强化传热。与此同

表 1 各种换热器的技术经济指标对比

参 数 型 式	最大传 热面积 (米 ²)	最大外形尺寸 (毫米)	最高操 作压力 (公斤/ 厘米 ²)	最高使用温度 (°C)	最大处 理量 (米 ³ / 小时)	最佳传热系数 (千卡/米 ² ·小时·°C)	紧 凑 性 (米 ² /米 ³)	单位换热面 金属耗量 (公斤/米 ²)
管壳式	6700	直径4650 长33000	840	1900~1500		水-水1200~2400 蒸汽-水1000~3400	40~150	30
套管式			1000	800		液-液300~1200	20	150
蛇管式(沉浸式)			1000			水-水510~880(铜) 水-水440~1750(铝) (加搅拌)	15	100
板 式	1000	板片2128×912 角孔直径200	28	260 (石棉纤维) 360 (石棉橡胶)	1000	水-水6000	250~1500	16
螺旋板式	500	直径1500 高1500	40	1000		液-液 600~2000 蒸汽-水3300	100	50
板壳式	800		64	800		蒸汽冷凝3000		
板翅式		1200×1200×6000	57	-269~+500	15300	空气强制对流30~300	250~1370	

时，则大力发展以波纹薄板为传热元件的紧凑式换热器，如板式、板翅式、板壳式及螺旋板式等。表 1 中所列为各种换热器的技术经济指标对比。

一、管壳式换热器

管壳式换热器又叫列管式换热器，它应用广泛，是炼油厂与化工厂中使用最多的一种换热器。它在整个换热器生产中，无论就其产量或产值来说，都超过半数以上，是一种量大面广的产品。管壳式换热器虽然在换热效率、紧凑性和金属消耗等方面不及其它新型换热器，但它具有结构坚固、负荷弹性大和用材范围广等独特的优点。因此，它在各种换热器的竞相发展中，得以继续占据优势。而在高温高压和大型换热器中，经改进设计的这类换热器更是居于主导地位。不过近年来，这种换热器的设计都按照有关标准规定严格进行，结构性能改进不大。这种换热器有多种结构型式，常用的有固定管板式、浮头式、U形管式和重沸器四种。我国均有相应的标准系列。

1. 固定管板式换热器

固定管板式换热器是管壳式换热器中最基本的一种，它由一个钢制圆筒形的外壳和在壳内平行装置的许多钢管（称为管束）所组成(见图 1)。这许多钢管的两端均被胀接或焊接在两块多孔的圆形厚钢板（称为管板）上。这两块管板分别焊在外壳的两端，

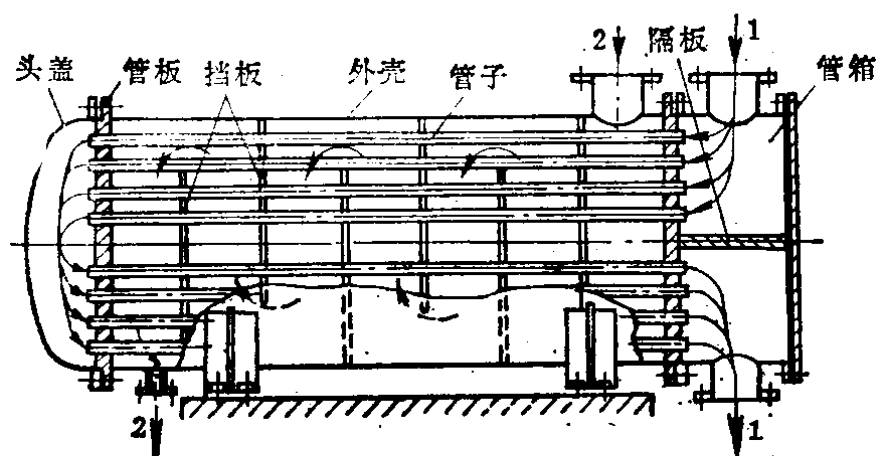


图 1 固定管板式换热器

这样，整个管束都被固定在外壳上，不能移动，故称为固定管板式换热器。两端的头盖和管箱用螺栓连接在管板上，组成一个整体。操作时，流体 1 从管内通过；流体 2 从管外的间隙通过，两种流体通过管壁进行热交换。

这种换热器与其它几种管壳式换热器相比，它的优点是结构简单，单位传热面所耗金属较少。但由于它的管束与外壳焊死，无法进行机械清洗，因此管间(壳程)通过的流体要求干净，同时要求冷、热流体的温度差不超过 50°C ，否则会使管束与壳体间产生很大的温差应力，致使管束变形或破坏胀口。

2. 浮头式换热器

浮头式换热器的特点是管板一端是固定的，另一端是活动的，可以自由地在壳体内伸缩（如图 2）。能移动的管板与头盖组成一体，称为“浮头”。由于浮头可以自由伸缩，所以管束加热后也不会管束与外壳间产生温差应力。即使当管内外两种流体温度差大于 50°C 时，该换热器也能适用。同时，由于浮头直径比外壳内径小，管束也可以从壳体中拉出，因此管束的外表面与壳内便于清洗，或者更换管子。缺点是结构复杂，金属消耗较多。

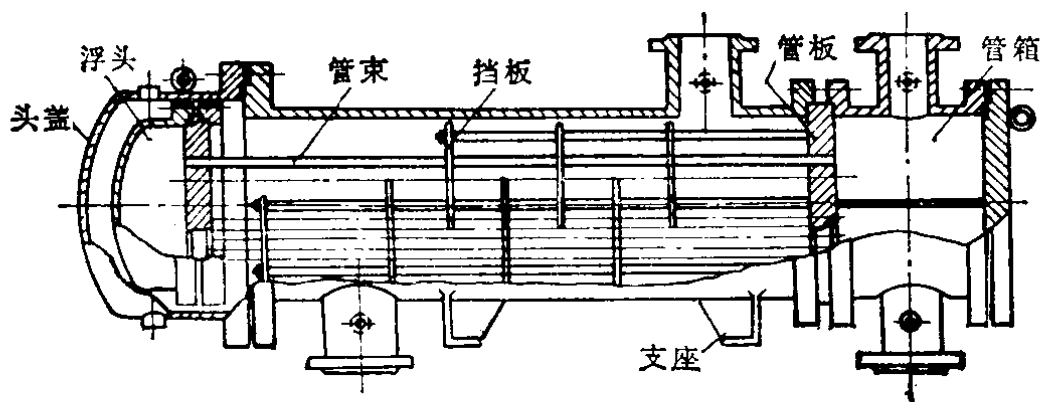


图 2 浮头式换热器

3. U 形管式换热器

U形管式换热器（图 3）是由许多弯成“U”字形的管子组成。管子两端均固定于同一块管板上，管子受热后能自由伸长，避免了温差应力。它的缺点是，在相同直径管板上管子排列得少，流体在U形管子的拐弯处对内壁有冲蚀作用，且难于清洗。因

此，该换热器一般多用于高压、流量不大、两种流体温差较大以及介质比较干净的情况。在炼油厂中采用的不多。

4. 重沸器

重沸器在结构上与管壳式换热器相类似。它的特点是，在一个圆筒形外壳内装有一个或

几个管束，但在管束上方留有蒸发空间(见图4)。当管束通入水蒸汽或其它热载体时，管外的流体受热沸腾蒸发。在炼油厂中，常用作精馏塔底的蒸发器，或作液体石油产品的加热器。

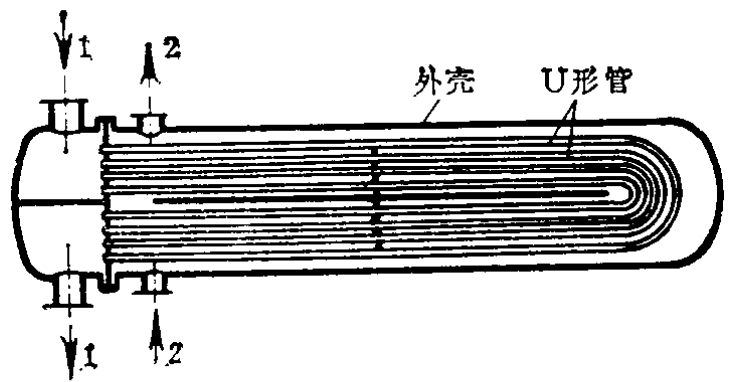


图3 U形管式换热器

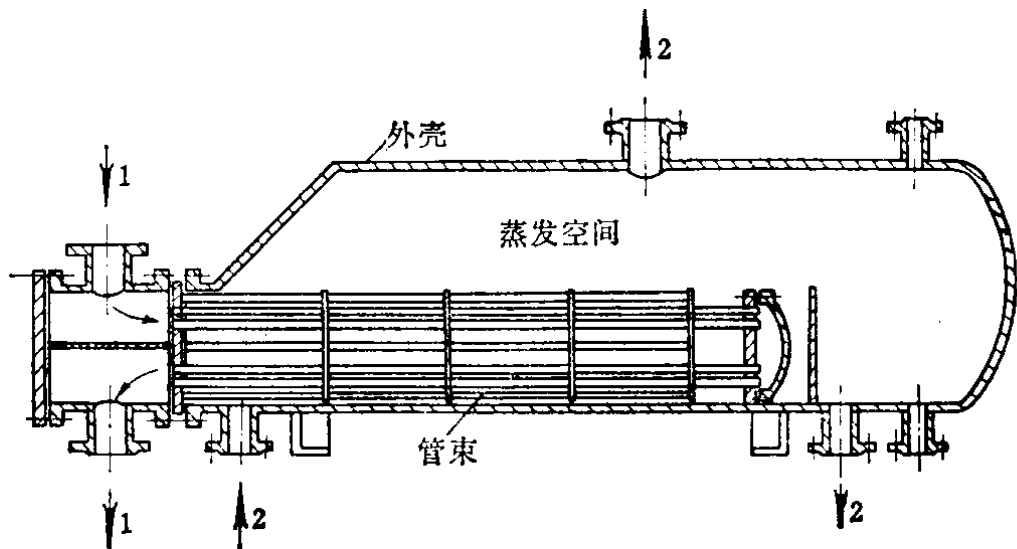


图4 重沸器

二、套管式换热器

套管式换热器是由两根不同直径的管子套在一起制成的。在实际应用中是将几段套管上下排列，管端用U形弯管连接，其结构如图5。在进行换热时，流体1流经内管，流体2在外管内壁与内管外壁之间所形成的环形间隙中流动，两种流体通过内管壁进行热交换。

这种换热器的优点是，环形间隙中流体的流速高，可获得全

逆流方式的传热，因此传热效果较好；高压流体可从内管通过，能适应很高的压力。套管式换热器与管壳式换热器相比，在同样使用条件下，它不易结焦和结垢。此外，它的构造简单，拆装容易。因此，这种换热器在化工与炼油厂中获得了较广泛的应用。

套管式换热器的缺点是，接头很多，容易产生泄漏，管间隙清洗困难，单位换热面积的金属消耗量大，处理量小等，因此一般只在需要传热面不大和压力很高的条件下使用。

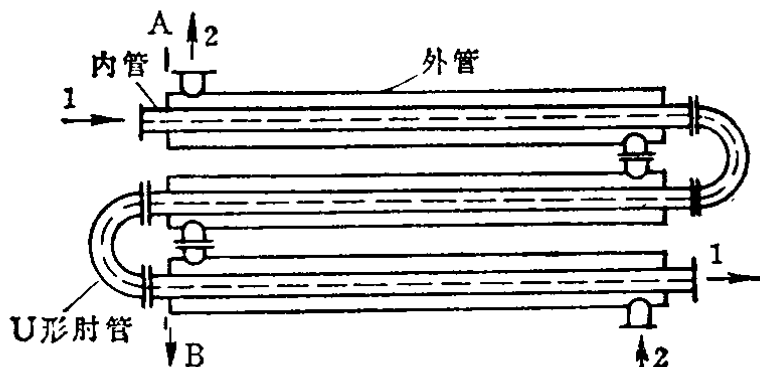


图5 套管式换热器

三、沉浸式蛇管冷却器

这种换热器一般是用来冷却炼油厂、化工厂中的油品或其他产品的，所以又叫冷却器。在我国炼油厂中通俗称作“水箱”。这种冷却器，箱中的水和蛇管内流经的热流体都连续不断地流进和流出。这样，就形成了如图6所示的沉浸式蛇管冷却器。

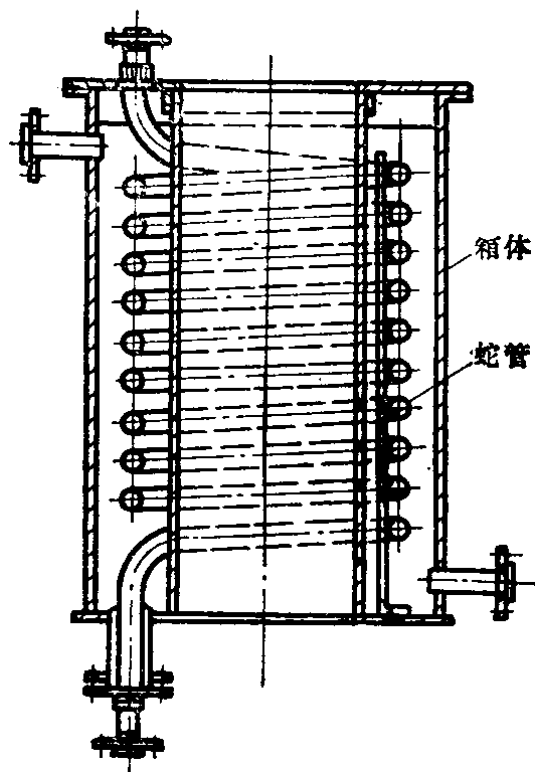


图6 沉浸式蛇管冷却器

此种换热设备的优点是，结构简单，价格低廉，可用普通材料制造，蛇管内可以承受高的压力，因此它常用来冷却高压流体。它的缺点是，传热效率低、设备笨重、外形尺寸庞大，占地面积大，因此在现代化的炼油厂中已趋于被空气冷却器所代替。

四、板式换热器

板式换热器是一种以波纹板为传热面的新型换热设备。它与传统的列管式换热器相比，传热效率约高 2~4 倍，结构紧凑，重量轻，节省材料，拆洗方便，适应性大。因此它为国内外所普遍重视，应用范围也愈来愈广。远在二十年代，国外就已作为食品工业的工艺设备。近十多年来，发展很快，现已成为一种重要的化工单元设备，广泛用于食品、造纸、制药、化工、石油化学及机械、造船、动力等工业部门。目前各工业较发达的国家均成批生产板式换热器，并建立了专业生产工厂。

我国继 1965 年制成第一台 66 米² BP 型水平波纹板式换热器以来，于 1971 年又试制成功效率更高的人字型波纹板式换热器，并在化工及合成纤维等部门中开始应用。其主要性能见表 2。

板式换热器主要由框架（包括固定压紧板、活动压紧板和螺纹压紧装置）、板片及密封垫片三部分构成，外形如图 7 所示。冷流体自板片一侧通过，而热流体则从板片的另一侧通过，由此实现热交换。通过垫片的设置，使叠装后板片间所组成的流

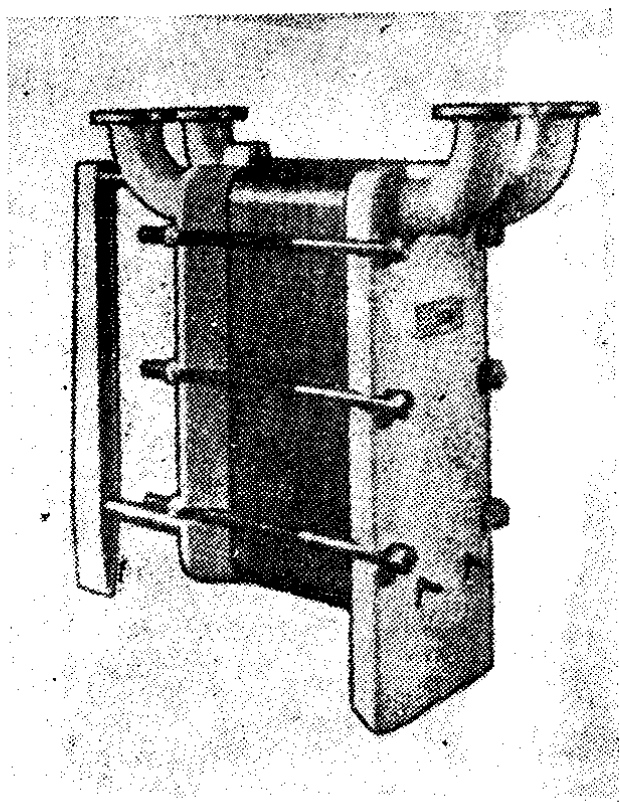


图 7 板式换热器的外形

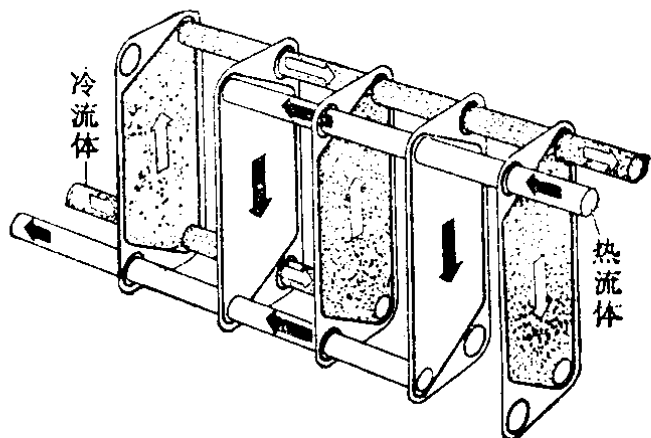


图 8 板式换热器的流程

表 2 板式换热器的主要技术性能

型 式	允许压力 (公斤/厘米 ²)	允许温度 (°C)	板 片 换热面积 (米 ²)	设 备 总 换热面积 (米 ²)	传 热 系 数 (千卡/米 ² ·小时·°C)
水平波纹	6	120	0.5	1~100	2000
人字形波纹	10	120	0.3	1~60	3000

道, 奇数层与偶数层互不相通, 而奇数层或偶数层本身则是彼此相通的。因此, 冷热流体能各自流过相邻的夹层, 其流程如图 8 所示。

板片是板式换热器的核心元件。通过在板片上设置的各种波纹和其他型式的扰流结构, 使流经板片表面的流体产生强烈的扰动, 从而强化了传热过程, 提高了换热效率。因此, 板片的结构型式将直接影响换热器的效率。国外现有的板片型式不下二十余种, 主要的有水平波纹、阶梯形波纹, 以及球形、锯齿形和人字形等。人字形是较好的一种结构, 它除流体阻力略大外, 其传热效率和耐压能力都比较好。图 9 是我国生产的两种板片的型式。

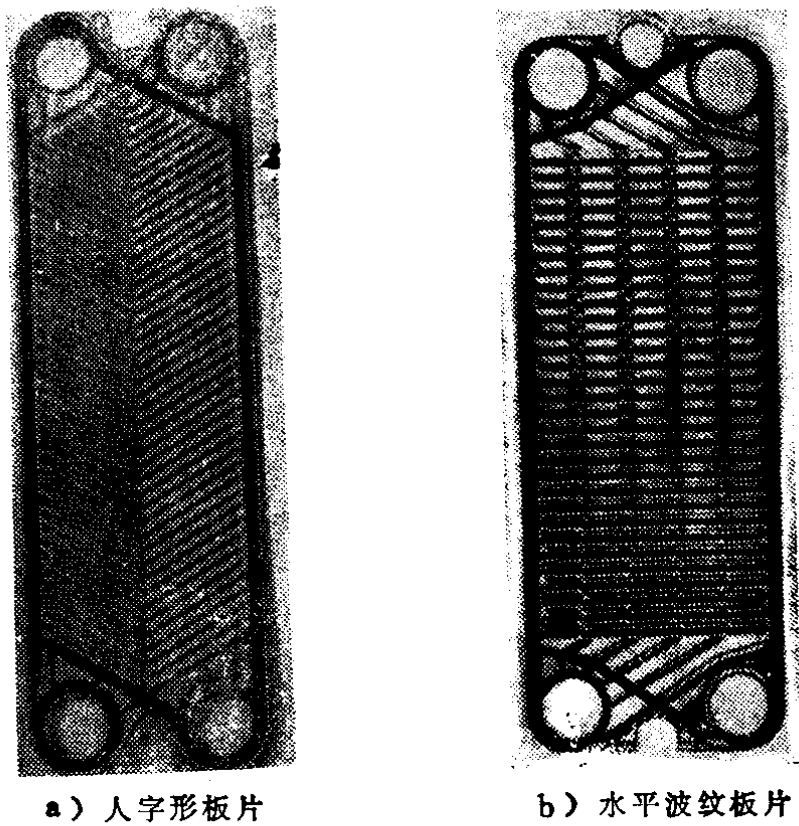


图 9 板式换热器的传热板片

板片通常用 0.6~1.2 毫米厚的不锈钢板制造。根据工艺需要,也可用其他具有较好延辗性能的材料,如铝合金、铜合金、钛和碳钢等。板片一般是在水压机上冲压成型的,由于板片面积大且要求成型后有一定精度,因此需要较大的冲压力(从数千吨到上万吨)。冲压模具的制造比较复杂,加工要求高,模具费用贵。

密封垫片在板式换热器中占有特殊地位,它是设备能否正常工作以及扩大使用范围的关键。由于垫片材料的限制和结构上的一些原因,板式换热器目前还只能在较低的温度和压力(≤ 25 公斤/厘米²)下工作。通常用作垫片的材料是各种橡胶,其耐温性能很差,工作温度一般不超过 150℃。近年来,国外采用压缩石棉纤维垫片,据称最高工作温度可达 360℃。国内一般采用丁腈橡胶,最近正在研究用聚丙烯酸脂橡胶。国内对石棉橡胶垫片也作过初步试验研究,但目前尚未用于生产。

板式换热器的缺点是,密封周边长,泄漏可能性大,处理量较小,压力难以提高,温度受垫片材料的限制。但由于它具有高效、紧凑和拆洗方便等突出的优点。因此它的使用范围逐年扩大,是一种有发展前途的换热器。板式换热器的进一步的发展方向,主要是研究耐高温的垫片,提高设备的工作温度和压力极限,扩大使用范围。

五、螺旋板式换热器

螺旋板式换热器早在三十年代为瑞典首先创制使用,此后其他许多国家如美、英、日、苏等国都已形成了厂家或国家标准。它的结构很简单,由两张平行的钢带在专用卷床上卷制成具有两个螺旋通道的螺旋体,再加上端盖和接管法兰便组成如图10所示的总体结构。操作时,液体 1 从螺旋体外的接管进入,沿螺旋通道向中心流动,并经螺旋体中心处的接管流出;而液体 2 则从螺旋体中心处的另一个接管进入,沿螺旋通道向外流动并经接管流出。两种不同温度的流体分别流经相邻的螺旋通道,通过钢板进

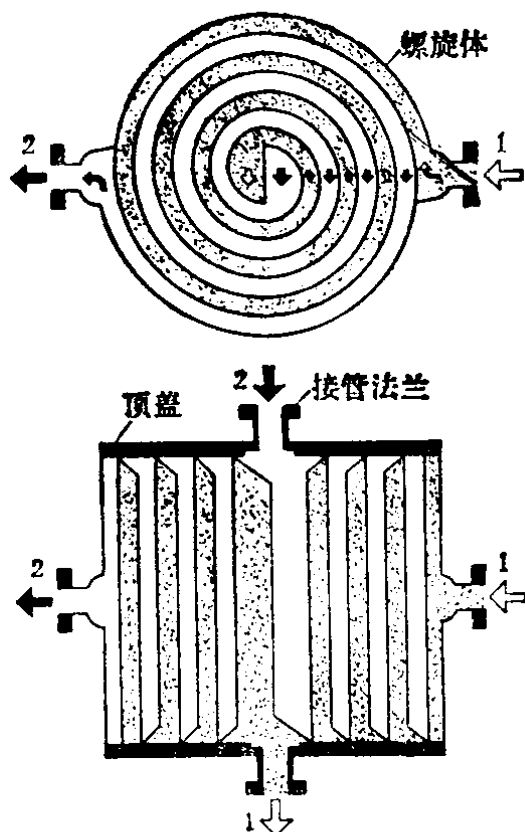


图10 螺旋板式换热器
流道结构示意图

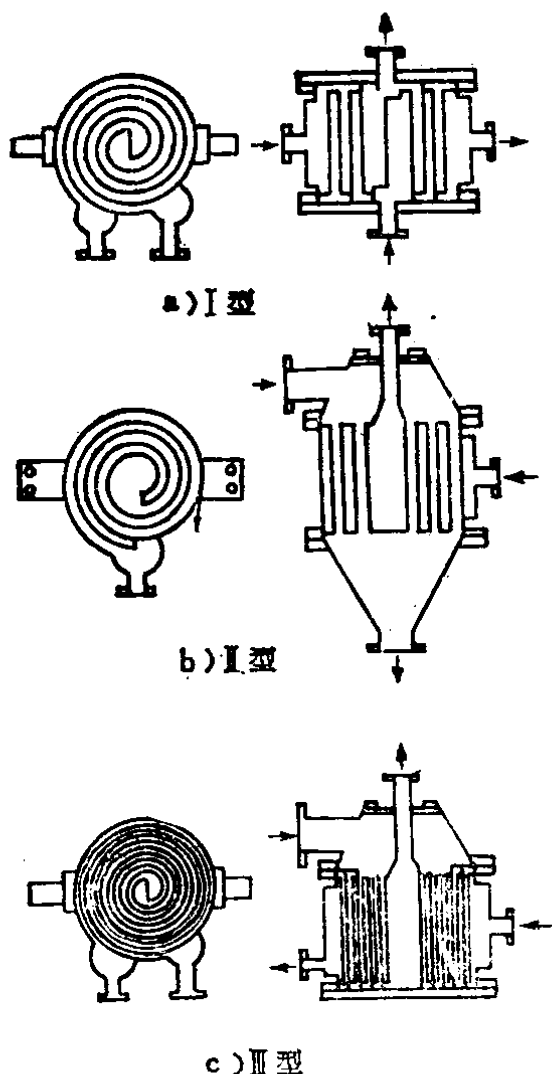


图11 螺旋板式换热器的三种型式

行热交换。

该种换热器已广泛用于化工、石油化学、合成纤维、造纸、肥料和制药等工业部门。它的最大优点在于有“自洁”作用，不易污塞，适于处理含固体颗粒或纤维的悬浮液体以及其他高粘性介质。其次还有体积小、效率高及制造简单等优点。它主要缺点是损坏后难以修复。

螺旋板式换热器在结构上主要有三种型式，即 I 型、II 型和 III 型（图 11）。I 型为通道两端都焊死的不可拆结构，两种流体以逆向螺旋流动。II 型是两螺旋通道的两端交错焊死并带有封头的可拆结构。一种流体螺旋流动，另一种则是轴向流动。III 型是一螺旋通道两端焊死，另一通道两端敞开并带有封头的可拆结