



石油化工厂设备检修手册

第八分册 换热器

— 徐 钢 麦郁穗 钱颂文 凌长明 等编著

— 中国石化出版社

石油化工厂设备检修手册

第八分册 换热器

徐 钢 麦郁穗 钱颂文 凌长明 等著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书为《石油化工厂设备检修手册》第八分册。重点阐述换热设备的设计、制造、安装、使用、维护、检修和腐蚀防护技术,包括管壳式换热器、板式换热器、板翅式换热器、螺旋板式换热器和空冷式换热器,内容涉及换热器的类型、结构特点、工艺性能、设计计算方法、选材等。对于高温、高压换热设备的结构特点、检修规程和预紧力计算,也进行了扼要的阐述。本书所涉及的技术都是基本性的,是制造、抢修、管理人员必须掌握的。本书内容实用性强,理论依据正确,引述的某些资料为国内外最新内容、具有新颖性。

本书读者对象为石油化工企业管理人员、工程技术人员和设备操作人员,对于科研、设计、制造和大专院校人员都有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

石油化工厂设备检修手册:第8分册,换热器/徐钢等著.
—北京:中国石化出版社,2004
ISBN 7-80164-645-2

I.石… II.徐… III.①石油化工厂—化工设备—
检修—技术手册②换热器—检修—技术手册
IV.TE65-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 096101 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 16.5 印张 421 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

定价:50.00 元

出版说明

《石油化工厂设备检修手册》是在原《炼油厂设备检修手册》的基础上补充、修订、编写而成的。原手册共有五个分册，已于1980年前后陆续出版。廿年来，这套丛书为我国炼油工业的发展作出了应有的贡献，得到了现场工程技术人员的好评。

随着科学技术的飞速发展，我国的炼油工业技术水平不断提高，管理水平日趋完善，石油化学工业也犹如初升的太阳，在国家经济建设中占有越来越重要的地位。老装置的技术改造，新装置的建设和投产，以及各种技术条件、标准及规范的变化，对设备检修技术及管理水平提出了新的要求。因此，迫切需要重新组织编写一套设备检修丛书，这就是《石油化工厂设备检修手册》诞生的由来。

本手册以国家、部委颁发的最新规范、标准为准绳，密切联系生产实际，力求解决检修现场带有普遍性的问题，跟上检修技术不断发展的步伐。这次修订，增加了土建工程、防腐工程、吊装工程三个分册；并把转动设备和静止设备按类别划分为数个分册。同时，对原有各分册的内容也进行了充实，在原来以炼油厂设备检修为主线的基础上，注意增加了石油化工厂设备检修方面的内容。修订后的手册在具体内容上，更加深入地接触了检修现场的实际情况。

修订后的《石油化工厂设备检修手册》包括：基础数据、焊接、土建工程、防腐工程、泵、压缩机、加热炉、换热器、容器、工艺管线、吊装工程十一个分册，将陆续组织出版。在组织编写过程中，得到了中国石油化工总公司、中国石油天然气总公司、石油大学等有关方面的大力支持，使手册得以顺利出版，特此表示感谢。

《换热器》分册由中国石油化工股份有限公司广州分公司组织编写，华南理工大学、湛江海洋大学、茂名分公司、镇海炼化公司等单位共同完成。第一、二章由湛江海洋大学凌长明副教授、贾明生副教授和华南理工大学钱颂文教授编写；第三、五、六章由广州分公司徐钢、麦郁穗、魏坚军和曾彦华高工编写；第四章由茂名分公司章湘武、姚志东高工编写；第七章由镇海炼化公司楼广治、朱江高工编写。本书第一章中“我国强化传热技术在石油化工中的应用实例”由华南理工大学侯煜和朱冬生教授编写，换热器系列标准、污垢系数和总传热系数部分由华南理工大学方江敏副教授编写；第二章中螺旋板式换热器部分由苏州化工机械厂刘汉城高工提供材料；此外，湛江海洋大学吴学红硕士亦参加了第一、二章的有关工作。

本书在审稿过程中，得到茂名分公司顾望平、洛阳分公司黄梓友、兰州石油机械研究所张延丰、中国石化工程建设公司仇恩沧和洛阳石化工程公司刘巍的指导和帮助，在此特向所有为《换热器》分册付出辛勤劳动的同志们表示最诚挚的感谢。

目 录

第一章 换热设备的类型、结构性能和计算	(1)
1.1 结论	(1)
1.1.1 换热器在工业中的应用	(1)
1.1.2 我国换热器的进展及发展概述	(2)
1.2 常用换热设备工作原理	(4)
1.2.1 管壳式换热器	(4)
1.2.2 板式换热器	(5)
1.2.3 空气冷却器(表冷器)	(7)
1.2.4 热管换热器	(7)
1.3 管壳式换热器基本结构和零部件	(10)
1.3.1 管壳式换热器零、部件名称	(10)
1.3.2 管壳式换热器主要组合部件	(11)
1.3.3 换热器型号表示方法	(15)
1.4 固定管板式、U形管式及浮头式管壳式换热器和冷凝器	(17)
1.4.1 固定管板式	(17)
1.4.2 U形管式	(18)
1.4.3 浮头式和填料函式	(18)
1.5 固定管板管壳式换热器、重沸器系列	(20)
1.5.1 固定管板式换热器	(20)
1.5.2 浮头式换热器、冷凝器的系列和基本参数(JB/T 4714—92)	(22)
1.5.3 U形管式换热器形式与基本参数(JB/T 4717—92)	(27)
1.5.4 浮头式折流杆换热器、冷凝器基本结构及系列规格、型号和参数 行业标准	(29)
1.6 管壳式换热器传热计算	(36)
1.6.1 稳态传热方程	(36)
1.6.2 热负荷	(36)
1.6.3 总传热系数 K	(37)
1.6.4 平均温差和温差修正系数	(37)
1.6.5 污垢系数值	(41)
1.6.6 总传热系数	(43)
1.7 重沸器	(45)
1.7.1 重沸器的分类及比较	(46)
1.7.2 重沸器的选用	(47)
1.7.3 影响重沸器运行的主要因素	(48)
1.7.4 重沸器返塔线的安装位置	(49)

1.7.5 重沸器进料管的安装位置	(49)
1.7.6 T形翅片管在重沸器中的应用	(50)
1.7.7 立式热虹吸式重沸器型式与基本参数(JB/T 4716—92)	(50)
1.8 管式换热器强化传热和提高换热效率的措施	(53)
1.8.1 节能与传热强化	(53)
1.8.2 无相变传热强化	(53)
符号说明.....	(79)
参考文献.....	(79)
第二章 板式换热器.....	(81)
2.1 板式换热器传热、设计方法和板片制造	(81)
2.1.1 板式换热器传热与压降估算	(81)
2.1.2 板片波高对传热板片传热性能的影响	(83)
2.1.3 一些典型板片的传热和压降计算公式	(84)
2.1.4 板式换热器的优化设计方法	(86)
2.1.5 板片的制造	(88)
2.1.6 标准介绍	(91)
2.2 板翅式换热器结构、传热与制造技术	(93)
2.2.1 概述	(93)
2.2.2 制造工艺简介	(93)
2.2.3 板翅式换热器快速创型与制造	(93)
2.2.4 板翅式换热器的结构特点与零部件结构	(93)
2.2.5 板翅式换热器换热与流动基本特征数关系式	(98)
2.3 螺旋板式换热器结构、系列、传热与制造技术	(101)
2.3.1 螺旋板式换热器的发展和结构特点	(101)
2.3.2 螺旋板式换热器的制造、检验与主要零部件结构	(102)
2.3.3 不可拆螺旋板式换热器型式与参数	(106)
2.3.4 螺旋板式换热器的阻力计算	(108)
2.3.5 螺旋板式换热器的传热计算	(109)
2.4 先进加工工艺在换热器中的应用	(112)
2.4.1 激光焊接技术在全焊密封板式换热器中的应用	(112)
2.4.2 换热器所用典型材料的激光焊	(112)
2.4.3 超塑性成型扩散连接(SPF/DB)	(113)
符号说明.....	(113)
参考文献.....	(114)
第三章 管壳式换热器制造和安装.....	(115)
3.1 壳体制造	(115)
3.1.1 圆筒	(115)
3.1.2 筒体法兰	(117)
3.1.3 封头	(117)
3.1.4 材料	(117)

3.1.5 焊接接头	(118)
3.1.6 壳体热处理	(119)
3.2 管束制造	(119)
3.2.1 换热管检查和加工	(119)
3.2.2 管板及折流板加工	(120)
3.2.3 管子在管板上的固定	(121)
3.2.4 焊接法	(124)
3.2.5 重叠式换热器壳体制造	(126)
3.3 管壳式换热器的组装与安装	(127)
3.3.1 管束与壳体组装	(127)
3.3.2 管壳换热器试压和气密	(127)
3.3.3 管壳换热器现场安装	(128)
参考文献	(129)
第四章 空冷式换热器	(130)
4.1 空冷式换热器简述	(130)
4.2 空冷与水冷的比较	(130)
4.3 空冷器的基本类型	(131)
4.3.1 水平式	(131)
4.3.2 直立式	(132)
4.3.3 斜置式	(132)
4.4 空冷器分类	(133)
4.4.1 以空冷器冷却方式分类	(133)
4.4.2 以空冷器管束布置型式分类	(134)
4.4.3 以空冷器通风方式分类	(134)
4.5 空冷器的翅片管和管箱	(135)
4.5.1 空冷器翅片管型式及选用	(135)
4.5.2 空冷器管箱型式及选用	(137)
4.5.3 相关参数的确定	(139)
4.5.4 经验推荐	(140)
4.6 空冷器的风机	(140)
4.6.1 风机的基本型式	(140)
4.6.2 叶片的结构型式	(140)
4.6.3 叶片型式种类	(140)
4.7 空冷器的喷淋系统	(141)
4.7.1 对喷嘴的一般要求	(141)
4.7.2 喷嘴的结构及性能	(141)
4.7.3 喷嘴布置的原则	(142)
4.7.4 喷淋水质的要求	(143)
4.7.5 喷淋水系统	(143)
4.8 空冷器的几何参数	(144)
4.8.1 空冷器的整体型式	(144)

4.8.2 管束	(144)
4.9 传热计算	(148)
4.9.1 传热负荷	(148)
4.9.2 经验总传热系数	(149)
4.9.3 空气出口温度估算	(150)
4.9.4 有效平均温差	(154)
4.9.5 传热面积	(154)
4.9.6 传热系数	(154)
4.9.7 管内阻力降	(156)
4.9.8 空气流动阻力	(157)
4.9.9 风机功率	(157)
4.10 空冷器工艺计算	(158)
4.11 空冷器材料的选用	(161)
4.11.1 翅片管材料	(161)
4.11.2 管箱材料	(162)
4.11.3 风机材料	(162)
4.11.4 百叶窗材料	(163)
4.11.5 钢结构材料	(163)
4.12 空冷器管束制造工艺	(163)
4.12.1 空冷器管束制造工艺	(163)
4.12.2 制造中的质量控制	(166)
4.13 空冷器的安装	(171)
4.13.1 空冷器安装设计注意事项	(171)
4.13.2 空冷器的安装	(171)
4.14 空冷器的检修	(174)
4.14.1 检修周期	(174)
4.14.2 检修内容	(174)
4.14.3 检修与质量标准	(175)
4.14.4 试验与验收	(176)
4.15 空冷器的使用与维护	(177)
4.15.1 空冷器的使用	(177)
4.15.2 空冷器的维护	(178)
4.16 空冷器翅片清洗	(180)
4.16.1 空冷器翅片的清洗目的	(180)
4.16.2 翅片清洗程序	(180)
参考文献	(181)
第五章 换热设备的使用、维护和检修	(182)
5.1 换热设备的使用	(182)
5.1.1 换热设备开工	(182)
5.1.2 日常检查	(184)

5.2 换热设备的维护	(185)
5.2.1 腐蚀分析和防护	(185)
5.2.2 振动的防护	(186)
5.3 换热设备检修、运行档案资料管理	(188)
5.4 换热设备密封	(188)
5.4.1 密封原理	(188)
5.4.2 影响密封的因素	(190)
5.5 垫片选择和使用注意事项	(191)
5.5.1 垫圈材料和类型	(191)
5.5.2 垫圈选择	(192)
5.6 管壳式换热器检修	(194)
5.6.1 换热器检修内容	(194)
5.6.2 换热器检查	(194)
5.6.3 管束泄漏处理	(195)
5.6.4 内浮头泄漏处理	(196)
5.6.5 管壳式换热器试压	(196)
5.6.6 SHS 01009—2004《管壳式换热器维护检修规程》主要技术要求、质量标准	(197)
5.7 换热器检修专用工机具	(198)
5.7.1 抽芯机	(198)
5.7.2 U形管换热器和内浮头管束换热器试压专用工具	(200)
5.8 换热设备清洗	(202)
5.8.1 概述	(202)
5.8.2 清洗方法的分类	(203)
5.8.3 清洗方法的选择	(203)
5.8.4 换热设备常见的污垢	(204)
5.8.5 物理法和化学法清除锈及氧化皮的比较	(205)
5.8.6 换热设备的酸洗	(206)
5.8.7 换热设备的碱洗	(208)
5.8.8 喷射清洗工艺及设备	(210)
5.8.9 清洗过程的监测	(212)
参考文献	(213)
第六章 换热设备腐蚀防护及选材	(214)
6.1 换热设备腐蚀	(214)
6.1.1 换热设备的腐蚀	(214)
6.1.2 换热设备常见的腐蚀类型	(214)
6.1.3 冷却介质对金属腐蚀的影响	(223)
6.2 换热设备材料	(224)
6.2.1 换热设备用材	(224)
6.2.2 有关材料使用规定	(225)
6.2.3 不同腐蚀类型环境下的选材	(225)

6.3 腐蚀监测、检查和分析	(226)
6.3.1 腐蚀的监测	(226)
6.3.2 腐蚀缺陷的检查	(228)
6.3.3 腐蚀破坏的分析	(230)
6.4 换热设备的防腐	(234)
6.4.1 合理选材	(234)
6.4.2 缓蚀剂	(234)
6.4.3 电化学保护	(236)
6.4.4 涂料保护	(236)
6.4.5 化学镀镍磷	(236)
6.4.6 渗铝	(236)
参考文献	(237)
第七章 高压螺纹锁紧环换热器	(238)
7.1 概述	(238)
7.2 螺纹锁紧环换热器的结构特点	(238)
7.2.1 分类	(238)
7.2.2 结构	(239)
7.2.3 优点	(240)
7.2.4 缺点	(240)
7.3 螺纹锁紧环换热器的检修程序	(241)
7.3.1 拆卸程序及注意事项	(241)
7.3.2 安装程序及注意事项	(243)
7.4 检修中可能出现的问题和解决方法	(247)
7.4.1 内、外压紧螺栓拧不出或拧断	(247)
7.4.2 内法兰螺栓拧不出或拧断	(248)
7.4.3 锁紧环螺纹拧不开或半路咬死	(248)
7.5 管、壳程垫片螺栓预紧力的计算	(249)
7.5.1 壳程垫片预紧力数值的计算	(249)
7.5.2 管程垫片预紧力数值的计算(即外圈压紧螺栓预紧力的计算)	(251)
7.6 结论	(252)
参考文献	(252)
附录一 记录表	(253)
附录二 检修所需专用工具	(254)

第一章 换热设备的类型、结构性能和计算

1.1 绪 论

换热器是广泛应用于石油、化工、石油化工、电力、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分类可分为管式和板式换热器;而管式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、空冷式换热器,板式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。另外,还有热能回收的换热器,如回转式换热器、热管换热器等。换热器按工艺用途可分类为冷凝器、加热器、空冷式换热器(表冷器)、重沸器等。

1.1.1 换热器在工业中的应用

换热器是工业中广泛应用的一种节能设备。通常在化工装置中,换热器约占总投资的10%~20%。在石油炼制装置中,换热器约占全部工艺设备投资的35%~40%。

在冷换设备中,应用最广泛的是管壳式换热器。目前这种换热器被当作为一种传统的标准换热器,在许多工业部门中被大量地使用。无论是国内还是国外,它在所有的换热设备中,仍占主导地位。管壳式结构,它具有选材范围广、适应性强、处理能力强、能承受高温和高压、检维修方便等特点,因此,能不断扩大它的使用范围。如制氢装置中高温气体的冷却器多为管壳式;加氢裂解装置中,虽然它的换热工作条件较为苛刻,温度最高达427~455℃,压力最高达24.5MPa,工作介质中含有90%的氢,其换热亦大多采用管壳式换热器。管壳式占整个换热器投资的50%~70%。在烯烃生产装置中,通常以热裂解法来制取,裂化气的温度很高,可达800~900℃。工艺上要求对裂化气进行冷却,然后进行深冷分离。其中所用的高温高压气体冷却器,大都采用管壳式的结构。

另一种高效、紧凑式的新型换热设备,即板式换热器,亦已发展成为一种重要的冷换设备。它在化工和石油化工生产中已逐步推广应用。它适用的介质相当广泛,从水到高粘度的非牛顿型液体,从含有小直径固体颗粒的物料到含有纤维的物料,均可处理。从生产工艺上,它可以用作液体的加热、冷却、冷凝和沸腾。板式换热器的应用场合很广,据统计,处理的介质多达一百余种以上。

由于铝及铝合金钎焊技术的发展和不断完善,促使另一种高效、紧凑式的新型换热器,即板翅式换热器得到广泛的应用。由于它具有体积小、质量轻、效率高和适应温度范围广等突出的优点,从而在化工、石油化工和其他许多工业中,也得到了迅速地推广应用。在石油化工生产工艺中,主要用于生产氮气和氧气的空气分离装置中,后来,又将板翅式换热器用在乙烯装置中。例如,用8种流体同时进行热交换的大型板翅式换热器,若使用管壳式换热器时,则需要7台,其容积要大7~10倍,质量大20~30倍。此外在航空、车辆和船舶等方面亦已开始推广应用。

目前螺旋板换热器在工业中的应用也日趋广泛。美国在一家工厂中装有 6 台螺旋板换热器，用来冷却发烟硫酸。该设备为钢制，并在其表面覆盖一层酚醛树脂，使用一年后，不仅没有发生堵塞，且涂层仍处于良好状态。螺旋板换热器能够准确地控制其出口温度，它可作为氨水和氯水的冷却器、锅炉的省煤器和预热器等。螺旋板换热器在国内首先较普遍地应用在化肥生产中半水煤气的预热器和氨合成塔下部的换热器，目前已逐步推广应用到其他石化生产工艺中。

20 世纪 60 年代初期开始研究板壳式换热器，80 年代在欧洲开始得到了广泛地应用。法国、美国和日本等国均有生产，在我国大连理工大学等均有研究。国内兰州石油机械研究所 60 年代末开始研究，90 年代中期开始用于重整装置。目前已推广应用于石油化工、乙烯、电力、制冷、制药等工业装置中。

在工业装置中，除了遇到高温、高压、高真空和深冷等一些操作条件以外，有时还常常伴随着物料的强烈腐蚀性。为了在换热过程中能妥善地解决这个问题，因而开发了一些耐蚀新结构和材料的换热器。

在这些其他新型换热器的应用中，值得提出的是热管换热器。它是一种新型的传热元件，20 世纪在 60 年代中才开始应用于宇宙航行，但目前它的发展已日趋完善，且逐步推广应用于其他工业部门。它能利用小的表面积传递大的能量，因此它能充分体现换热器的一种优良的设计。

20 世纪 70 年代以来，由于能源供应日趋紧张，在石化技术的开发研究中正日益侧重于节省能源、扩大对能源的适应范围和加强环境保护等；强化传热才获重视，例如：高热流管用于精馏塔中，能够显著地降低能量消耗。日本在生产中采用了高热流管的沸腾和冷凝换热器，其传热效率比普通换热器提高 30% 以上。从设备节能角度考虑低品位能的利用正受到重视，石化工业中的低温余热占总能量消耗比重很大，充分利用低品位能是提高总体热效率的关键，强化传热可高效地利用低品位能。

1.1.2 我国换热器的进展及发展概述

1.1.2.1 提高换热器制造水平，大力采用新技术、新工艺

例如南京工业大学在化工设备及换热器快速创型和制造方面取得了很大进展，尤其是在开展高温板翅式换热器方面。

1.1.2.2 迫切需要发展新材料

管壳式换热器是一个量大而品种繁多的产品，由于工业及国防工业技术的不断发展，换热器操作条件日趋苛刻，迫切需要新的耐磨损、耐腐蚀、高强度材料

近年来，我国在发展不锈钢、铜合金、复合材料、铝镁合金及碳化硅等材料方面都有所进展，其中尤以钛材发展较快，目前一些制造单位已经较好地掌握了钛材的加工制造技术。对材料的喷涂，我国已从国外引进生产线。铝镁合金具有较高的抗腐蚀性和导热性，价格比钛材便宜，我国亦有一定研究开发。

1.1.2.3 重视对钢板预处理工艺水平

对钢材表面进行预处理，是提高产品质量的重要环节，国外 20 世纪 70 年代就已建成了钢材预处理生产流水线。经试验证明，除锈质量的好坏直接影响钢材腐蚀速度，不同的除锈方法，对钢材的保护寿命也不同。如抛丸和喷丸除锈后涂漆的钢板比自然风化后经风动钢丝刷除锈涂漆的钢板要耐腐蚀，寿命长 5 倍。此外，钢板表面氧化皮，对腐蚀速度影响也很

大。锈层还影响环境卫生, 容易造成数控切割和光电切割机的割嘴堵塞。

1.1.2.4 管板加工制造技术

管壳式换热器中加工量最大的是管板, 由于管板管孔多而密集, 切削量大, 精度要求高等特点, 所以成为制造中的关键。石油化工设备的大型化, 管板的加工就显得更为重要。今以国外某公司加工 $\phi 4800 \times 600$ 的管板(管孔 19mm 孔数 22000 个)为例, 来说明机加工技术的发展: 1959 年双轴钻床加工周期为 20 周, 1969 年三轴钻床(BIA 钻头)加工为 11 周, 1978 年五轴钻床加工为 3 周, 20 年中效率提高了约 6 倍。我国 20 世纪 70 年代末采用数控技术, 有条件的厂还可配备各种加工中心和组织柔性自动化制造系统。

1.1.2.5 焊接工艺

工业发达国家在焊接自动化方面是突飞猛进, 随之出现了诸如多功能自动化、集成自动化、焊接专家系统等高技术。目前, 管壳式换热器管子与管板的连接主要有: ①焊接法: 全自动 TIG、MIG、EBW、爆炸焊; ②胀接法: 爆炸胀、软胶胀、液压胀等。我国焊接技术也有较快发展, 如: TIG、MIG、内孔焊、爆炸焊、旋转氩弧焊等, 都已得到应用; 胀管中的爆炸胀、橡胶胀、液压胀都已有成功的经验, 有些设备像旋转氩弧焊已国产化, 焊缝自动跟踪等也早有引进。

1.1.2.6 紧凑式换热器的研究

紧凑式换热器包括板翅、板式、螺旋板式以及板壳式等换热器, 它们具有优异的性能, 在采用多流道布置后, 其优越性更为显著。国内外均有很大进步, 合肥通用研究所等对螺旋板取得了很大成绩。板式换热器需要改进密封结构, 增强板片的刚度, 研究新的垫片材料以提高操作温度 and 操作压力是今后发展的重点。板壳式换热器由于从结构上解决了耐温、抗压和高效之间的矛盾, 已得到初步应用。由兰州石油机械研究所研制的大型板壳式换热器最大面积已达到 $3000\text{m}^2/\text{台}$, 用于工业装置中取得良好的效果。

1.1.2.7 发展和推广强化传热管技术

传热管是管壳式换热器的主要传热元件。国内外对强化传热管的研究非常重视, 通过改进传热管的性能, 就能提高换热器的性能。国内, 兰州石油机械研究所、天津大学、华南理工大学对此取得了很多成果。强化传热管应用的主要方法有两种: 一种是以扩展有效传热面积, 但又不增大流阻太多, 例如将管子的内、外表面轧制成各种不同的表面形状和扭曲管子, 促进流体产生湍流提高传热性能, 如翅片管、低翅片螺旋管、内微翅管、轧槽管、扭曲管等。国外一些国家和我国均已成批生产低翅片管换热器, 并已标准化、系列化; 我国也在炼油厂中使用低翅片螺旋管换热器, 只要使用条件恰当, 工艺流程合理, 总传热系数 K 就可以大大提高。1967 年兰州炼油厂 12 单元使用一台低翅片螺旋管换热器, K 值高达 $580\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$; 1981 年南京炼油厂实行节能改造, 使用了低翅片螺旋管换热器, 总传热系数实测 K 值达 $430 \sim 650\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ 。强化传热管应用的另一种方法是提高传热表面的性能, 使之既符合传热机理的要求, 又能充分发挥其特点, 如美国联合碳化公司等研制成功的一种表面多孔管, 以及德国的 GEWA-T 形管等, 可以使汽泡核心的数量大幅度增加, 从而使沸腾传热膜系数提高几倍乃至几十倍, 总传热系数一般可提高 50% 左右, 并且还有很好的抗污垢能力。国内一些单位(如北京化工研究院等)也研究试制成功了涂层表面多孔管, 并得到了应用(如在南京炼油厂用于重沸器), 又如华南理工大学的 T 形管都取得了明显效果。新的强化传热管还有单面纵槽管、双面纵槽管、内外肋管、针翅管、整体鳍片管、波纹管、螺旋槽管以及华南理工大学的花瓣形锯管等, 我国均已能制造, 今后还要进一步更好发展内微翅管和三维

翅片管等。

1.1.2.8 管壳式热交换器挡板结构的改善

为了提高壳程的传热膜系数,增加介质的湍流性,防止介质走短路,华南理工大学、兰州石油机械研究所和洛阳石化工程公司、北京石化设计院等开发了折流杆结构和空心环结构,以及螺旋折流板,取得了可喜的成果,已在生产中广泛应用。壳程的传热膜系数,对热交换器总传热系数的提高较大。一般热交换器的壳程传热膜系数由于介质流速低,湍流形成困难等,其数值不高,折流杆结构与纵向流的壳程强化技术可以减少热交换器的传热面积,降低压降和热交换器的吨位。华南理工大学化机所与大庆石化机械厂合作,开始开发扭曲管和异型管等混合管束。

1.1.2.9 防垢涂层

为了避免管内外表面污垢的生成,在传热管的内外表面上涂以涂料层,可以起到抗垢的作用,这样就可以使传热管的内外表面具有较低的热阻。目前,涂层的使用温度不高,南京第二化工机械厂在研究开发耐高温涂料方面做了不少工作。

1.1.2.10 换热设备防腐领域的研究

近年来在热交换器耐腐蚀领域的研究、设计方面也取得了较为令人满意的结果,解决了不少生产中的难点。具体来说,有热交换器阳极保护技术,采用石墨、聚四氟乙烯、搪玻璃等制成热交换器,也可采用高合金含量的耐腐钢种;但由于投资高等原因,推广应用的难度较大。

1.1.2.11 研究新型强化传热技术

当前我国开发的强化传热技术,都是采用被动(无源)型强化传热;近年来,国外在主动(有源)型强化传热流体动力技术强化无相变和有相变传热冷凝,沸腾进展很大,我国上海理工大学亦开展了研究,华南理工大学化机所还开展了电磁强化传热研究,均取得一定进展。

1.1.2.12 进一步开展数值传热技术的研究

上述的强化传热技术都是从宏观方面进行探索,今后应多开展数值传热和流体力学方面从微观上探索管壳程奥秘,国外进展很快,目前我国各高校均已普遍开展这一工作,如北京化工大学、西安交通大学等等;最近西安交通大学在板式换热器进口封头上的数值分析,改善了进口流体分配,大大提高了传热和降低流阻,这也是一例。

1.2 常用换热设备工作原理

1.2.1 管壳式换热器

管壳式换热器优点是结构简单、造价低廉、选材范围广、清洗方便、适应性强。加之处理能力大、耐高温、高压,因而是应用最为广泛的一种换热器。炼油、化工中的加热器、冷却器,电厂中的冷凝器、油冷器以及压缩机的中间冷却器等都是管壳式换热器的实例。

图 1.1 是一种最简单的管壳式换热器的示意图。传热面由管束构成,管子的两端固定在管板上,管束装在外壳内,外壳两端有封头。一种流体从封头进口流进管子里,再经封头流出,这条路径称为管程;另一种流体从外壳上的连接管进入换热器,在壳体与管子之间流

动，这条路径称为壳程。有 A、B、C、E 四个或加折流路(F 流路为管程分程隔板形)管程流体与壳程流体通过管壁传递热量。

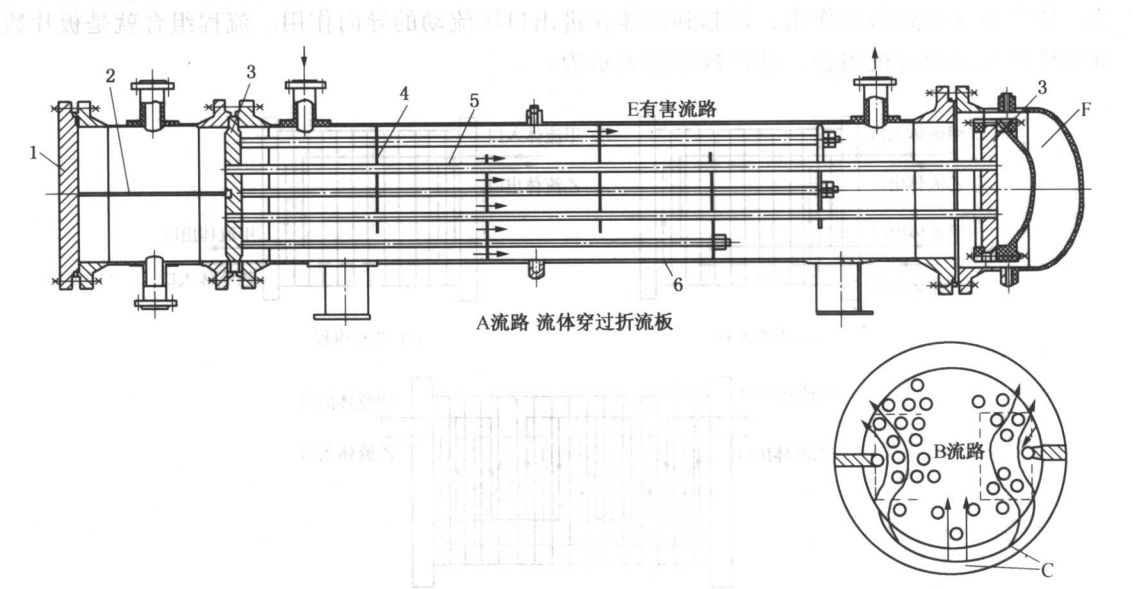


图 1.1 管壳式换热器示意图(AES 型)

1—封头；2—隔板；3—管板；4—挡板；5—管子；6—外壳

1.2.2 板式换热器

板片式换热器结构比较简单，它是由板片、密封垫片、固定压紧板、活动压紧板、压紧螺柱和螺母、上下导杆、前支柱等零部件所组成，见图 1.2。其零部件之少，通用性之高，是任何换热器所不能比拟的。

板片为换热器传热元件，垫片为密封元件，垫片粘贴在板片的垫片槽内。粘贴好垫片的板片，按一定顺序置于固定压紧板和活动压紧板之间，用压紧螺柱将固定压紧板，板片和活动压紧板夹紧。压紧板、导杆、压紧装置、前支柱统称为板式换热器的框架；按一定的规律排列的所有板片，称为板束。在压紧之后，板片间的波纹保持一定的间隙，形成流体的通道。冷、热介质从固定压紧板上的接管中出入板片之间的流体通道，进行换热。

板式换热器由于框架构造不同而有多种形式，最普通的是框架夹板夹紧式，这种结构中，活动压紧板和前支柱之间保留一段自由空间，拆卸清洗时，将活动压紧板推向前支柱，然后松开板束，就有了清洗空间，可以对板片逐张进行清洗或检查。这一空间是拆卸和装板片所必需的。拆装时，只要把板片倾斜一个角度，

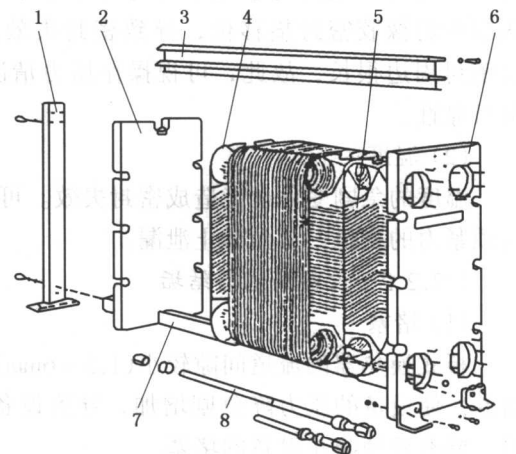


图 1.2 板(片)式换热器的构造

1—前支柱；2—活动压紧板；3—上导杆；4—垫片；5—板片；6—固定压紧板；7—下导杆；8—压紧螺柱、螺母

板束中板片的数量和排列方式，由设计确定，图 1.3 为典型的排列形式；从图 1.3 可见，垫片不仅起到密封作用，还起到流体在进出口区流动的导向作用。流程组合就是板片数量和排列方式的有机组合，并以数学式表示为：

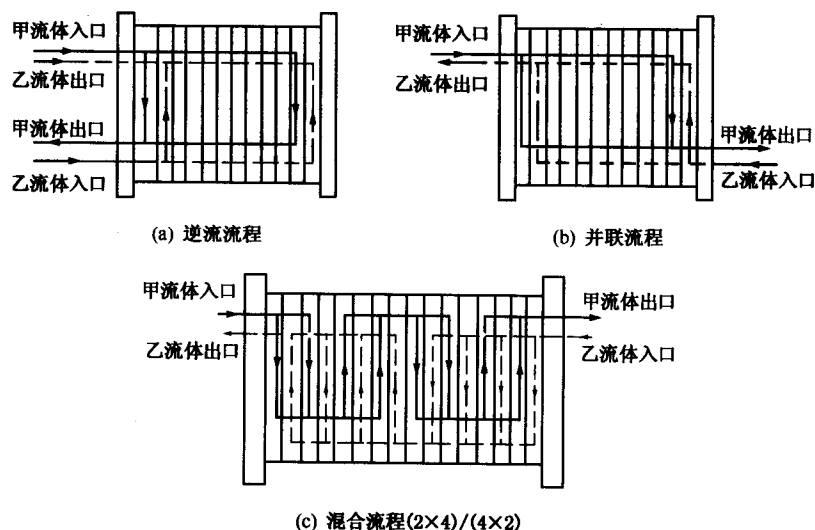


图 1.3 典型的流程组合

板式换热器与板翅式换热器、螺旋板式换热器等合称为紧凑式高效换热器，后者将在第二章介绍。

板式换热器失效的主要因素:

1.2.2.1 密封失效

(1) 压力

可拆式板式换热器在额定工作压力之内使用时出现泄漏,除设备在制造装配方面的质量因素之外,主要与系统中出现的非正常冲击载荷有关(水锤、气锤),使安装在板式换热器中的橡胶密封垫移位,导致密封失效。该种设备的传热元件,其密封刚性相对较差且密封周边很长,故此,可视操作压力情况,提高设备设计压力 1.5~2 倍,以保证其密封可靠性。

(2) 温度

温度的急剧变化也能造成密封失效。可在夹紧螺柱上设计压缩预紧弹簧，有效的补偿密封预紧力的变化，从而防止泄漏。

1.2.2.2 设备堵塞与结垢

(1) 堵塞

板式换热器的流道间隙较小(1.5~6mm),直径大于1.5~3mm的颗粒杂物容易阻塞板片通道,使设备的压力降急剧增加,导致设备因堵塞而失效。这可根据需要在介质进口处设置,能有效地防止设备的堵塞。

(2) 结垢

介质中的钙镁离子在适宜的温度析出后很容易在积瘤(肋槽)上附着长大,形成蜂窝状的垢样。

1.2.2.3 腐蚀

奥氏体不锈钢板式换热器表现出的腐蚀现象大多是应力腐蚀，常发生在板片密封槽底部，以及有污垢形成后的垢底部位，板片组装后形成了多缝隙结构，如板片之间的触点、密封槽底等部位。而缝隙容易造成氯离子的富集，有可能发生应力腐蚀开裂。正确选用材料，定期清垢以破坏腐蚀的生成条件和孕育期，以及选用非含氯元素的粘接剂等，可有效防止应力腐蚀。

1.2.2.4 其他

对于不锈钢板式换热器，严禁使用盐酸(HCl)或盐酸类的清洗剂和清洗粉，可采用硝酸加缓蚀剂或硝酸类的清洗剂、清洗粉进行清洗，适当加温可提高清洗效率。还有，蒸气过高的过热度对橡胶垫片使用寿命影响很大。

1.2.3 空气冷却器(表冷器)

翅片管式换热器在动力，化工，石油化工，空调和制冷工程中应用非常广泛，如空调工程中使用的表面式空气冷却器、空气加热器、风机盘管、制冷工程中使用的冷风机蒸发器、无霜冰箱等。图 1.4 为直接蒸发式空气冷却器的结构示意图。该冷却器属于典型的翅片管式冷却器，在空调工程中应用得非常普遍。其工作原理为：液态制冷剂经过等长的毛细管均匀送入各路翅片管，吸收翅片管外空气的热量后，蒸发成为蒸气，然后回到压缩机。外掠翅片管的空气降温后，再经过适当处理后，即可送入空调房间，使空调房间维持合适的温度，达到空调的目的。

该表冷器两侧流体的传热膜系数相差较大，故在换热系数小的管外空气流体一侧加上翅片，以扩展换热面表面积，并减小传热热阻，有效地增大传热膜系数，从而增加传热量。或者在传热量不变的情况下，减少换热器的体积，达到高效紧凑的目的。

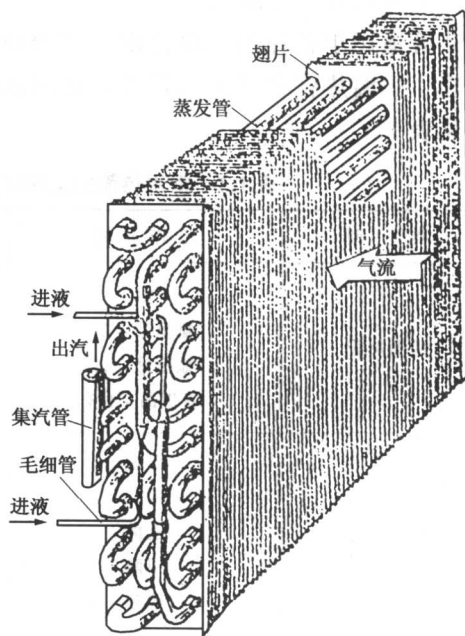


图 1.4 空气冷却器(表冷器)

1.2.4 热管换热器

1942 年，R.S.Gaugler(美国俄亥俄州通用发动机公司)提出将“热管”作为“传热装置”。热管换热器是用热管作为传热元件的换热器，1970 年投入实际应用，最初的研究主要用于航天飞行器内部电子器件的散热，其后的发展惊人，目前已广泛应用于石油、化工、冶金、轻纺、电子、机械等行业。热管技术正处于方兴未艾的时期，人们正致力于热管管内两相流的机理、热管在微小空间、未来新能源和热管化学反应器等方面的理论研究及应用研究。

典型的热管结构如图 1.5 所示，由管壳、吸液芯和端盖组成，将管内抽成 $1.3 \times 10^{-1} \sim 1.3 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 的负压并加以密封。在管内充以适量的工作液体，使紧贴管内壁的吸液芯毛细多孔材料中充满液体。管的一端为加热段(蒸发段)，而另一端为冷却段(冷凝段)，根据应用