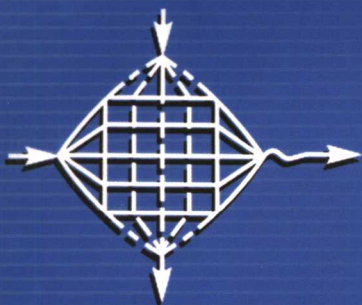




北京市高等教育精品教材立项项目

换热器 原理与设计

余建祖 编著



HUANREQI
YUANLI YU SHEJI



北京航空航天大学出版社



北京市高等教育精品教材立项项目

换热器 原理与设计

余建祖 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

重点介绍工业上应用最广泛的各种有相变和无相变的高效间壁式换热器的基本理论和设计方法。涉及板翅式换热器、板式换热器、翅片管式换热器、冷却空气型蒸发器、冷却液体型蒸发器、水冷冷凝器、空冷冷凝器和热管换热器等。书中给出了大量的公式、图表和技术参数,各部分内容都配有实际工程设计计算例题,供读者应用时参考。

本书可作为高等院校制冷、低温、空气调节、热能工程以及飞行器环境控制等专业的教材,也可供化工、能源、机械、交通、冶金、动力以及航空航天等领域有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

换热器原理与设计/余建祖编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2006.1

ISBN 7-81077-597-9

I. 换… II. 余… III. ①换热器—原理②换热器—设计 IV. TK172

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 123577 号

换热器原理与设计

余建祖 编著

责任编辑 王 实

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:17.25 字数:386 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 7-81077-597-9

定价:23.00 元

前言

换热器是非常重要的换热设备,几乎在所有的工业领域中都有应用,尤其广泛应用于化工、能源、机械、交通、冶金、动力及航空航天等。近年来,由于高新技术的发展和新能源的开发,要求改进原有换热器的性能,研制新型的高效、紧凑换热器的呼声越来越高。

本书是为了适应科技发展的需要和新世纪教学改革的新形势而编写的。书中重点介绍了在工业上应用最广泛的、有相变和无相变的高效间壁式换热器,内容包括换热器的基本理论、设计方法、设计资料和制造工艺等方面。

全书共分6章。第1章介绍了换热器的功用、分类以及设计的一般要求和过程,目的是让读者对换热器及其设计建立一个总体概念。第2章在介绍有关换热器传热计算方法的基础上,进一步明确了换热器传热热阻的概念;阐明平均温差法与效率(效能)-传热单元数法两者之间的关系,以及它们在设计计算和校核计算中的计算步骤、差别和特点;提供了常用流动形式的温差修正系数和效率(效能)-传热单元数关系的解析式,以适应换热器计算机辅助设计的需要。另外,还专门讨论了流体平均温度和与温度有关的物性影响修正问题。鉴于板式换热器具有广阔的应用前景和巨大的市场潜力,在航空、汽车、化工、能源及制冷、空调等领域得到越来越广泛的应用,并且其设计理论、试验研究、制造工艺及开拓应用的研究方兴未艾,因此,在第3章重点介绍了板式换热器的设计理论和工程计算方法,详细阐述了板式换热器结构设计及强度校核的一般原则和方法,并列举工程实例以帮助读者深入理解设计原理及步骤。此外,还对近几十年来得到发展和广泛应用的另外两种新型的高效、紧凑热交换设备——板式换热器和翅片管式换热器的设计理论和方法进行了介绍和探讨。第4章和第5章分别介绍了蒸发器和冷凝器的工作原理、基本结构及设计方法。这两章编写时均考虑了国内外CFC类工质替代的现状和发展,并特别注意了内容的先进性和实用性,例如,在第4章中介绍了近年来发展起来并得到广泛应用的微细内翅管结构;在第5章中介绍了管带式冷凝器结构及其传热、阻力特性的设计计算。第6章系统论述了热管的特性、传热过程和流动过程以及热管内部的传热极限等基础理论,并介绍了热管和热管换热器的设计。热管是一种新型的高效换热元件,自20世纪60年代问世以来,发展很快,已得到广泛应用,特别是在航空航天、热能工程等许多领域中发挥了独特的作用。本章列举了热管换热器在这些方面的应用实例,供读者参考。

本书内容系统、完整,理论与实际并重。书中对各种换热器设计中所涉及的传热学和流体力学理论,都用相当的篇幅进行了介绍。随着科学技术的发展,教材的内容也进行了更新,力求反映出国内外在换热器材料、传热表面、工质、设计技术和相关传热理论等方面的最新研究

成果。

书中对各种换热器设计方法的介绍简明扼要、条理清楚、深入浅出,紧密结合工程实际。作者还根据多年从事换热器研究、设计和教学的经验,在每章后都有针对性地列出了思考题和习题,以帮助读者复习有关理论和概念,掌握换热器设计各个环节的要点、工程计算方法和关键技术。这些思考题和习题如果运用得当,对学生创新思维能力和工程素质的培养都能起到积极的作用。

北京航空航天大学人-机环境工程/制冷及低温工程教研室徐扬禾教授仔细审阅了全书,并提出了宝贵意见,李敏教授等提供了资料,并提出了富有建设性的建议;余雷、高红霞、赵增会、谢永奇及王永坤等同志为本书的出版做了大量工作。在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中不足之处,敬请读者批评指正。

余建祖

2005年10月

目 录

第 1 章 绪 论

1.1 换热器及其分类	1
1.2 换热器设计概述	5
1.2.1 换热器的合理设计	5
1.2.2 换热器的设计过程	6
思考题与习题	8

第 2 章 换热器的传热及阻力计算

2.1 换热器传热计算中的基本参数和方程	9
2.2 换热器的传热热阻及翅片效率	10
2.2.1 换热器的传热热阻	10
2.2.2 几种常用扩展表面的翅片效率	16
2.3 换热器传热计算的基本方法	17
2.3.1 平均温差法	17
2.3.2 效率-传热单元数法	20
2.4 换热器传热计算的步骤	26
2.5 换热器传热壁面的换热特性	27
2.5.1 换热特性的关系式及线图	27
2.5.2 计算表面传热系数的步骤	29
2.6 换热器的流阻	30
2.6.1 换热器芯体部分阻力	31
2.6.2 换热器的局部阻力	32
2.6.3 换热器总流阻及泵送功耗的计算	32
2.7 流体平均温度和与温度有关的物性影响及修正	33
2.7.1 流体平均温度	33
2.7.2 随温度变化流体物性参数的影响及修正	35
思考题与习题	37

第 3 章 高效无相变换热器

3.1 板翅式换热器的结构特点及制造工艺	43
----------------------------	----

3.1.1	翅片形式	43
3.1.2	板翅式传热表面的几何特性	45
3.1.3	制造工艺	48
3.2	无相变工况下传热表面的传热和阻力特性	49
3.2.1	传热和阻力特性的经验关系式	49
3.2.2	扩展表面的试验数据和关系式	52
3.2.3	流体横掠管束时的传热和阻力特性	55
3.3	板翅式换热器的压力损失	59
3.3.1	换热器芯体进口、出口的压力变化和损失	59
3.3.2	换热器芯体内的压力损失	61
3.3.3	端盖的附加压力损失	63
3.3.4	压力损失计算方程	64
3.4	板翅式换热器的结构设计	65
3.4.1	翅片	66
3.4.2	导流片和封条	66
3.4.3	隔板和盖板	68
3.4.4	封头和接管	68
3.5	板翅式换热器的强度校核	69
3.5.1	设计参数选用的规定	69
3.5.2	主要零部件强度计算	70
3.6	板翅式换热器的设计计算	75
3.6.1	校核性计算例题(η -NTU法)	75
3.6.2	设计性计算问题的主要方程和求解步骤	82
3.7	板式换热器	94
3.7.1	板式换热器的构造和工作原理	95
3.7.2	板式换热器的设计计算	104
3.8	翅片管式换热器	113
3.8.1	翅片的表面结构及传热与阻力特性实验关系式	114
3.8.2	翅片管式换热器的设计步骤及计算举例	122
	思考题与习题	128

第4章 蒸发器

4.1	蒸发器的类型、基本构造及工作原理	131
4.1.1	冷却空气型蒸发器	132

4.1.2 冷却液体型蒸发器	135
4.2 制冷剂在水平管内的沸腾换热	136
4.3 冷却空气型蒸发器的设计与计算	141
4.3.1 自然对流空冷器空气侧的换热	141
4.3.2 湿工况下空冷器空气侧的换热	143
4.4 冷却液体型蒸发器的设计与计算	156
4.4.1 干式壳管式蒸发器的设计与计算	156
4.4.2 满液式蒸发器的设计原则	166
思考题与习题	167
第5章 冷凝器	
5.1 冷凝器的类型、基本构造及工作原理	170
5.1.1 水冷式冷凝器	170
5.1.2 空气冷却式冷凝器	172
5.1.3 蒸发式冷凝器	174
5.2 制冷剂冷凝时的表面传热系数	174
5.2.1 管外冷凝时的表面传热系数	174
5.2.2 管内冷凝时的表面传热系数	177
5.3 冷凝器的设计与计算	179
5.3.1 水冷冷凝器的设计与计算	179
5.3.2 空气冷却式冷凝器的设计与计算	188
思考题与习题	196
第6章 热管换热器	
6.1 概 述	198
6.1.1 热管及其工作原理	198
6.1.2 热管的类型	199
6.1.3 热管的性能和特点	201
6.1.4 热管的应用	202
6.2 工质、吸液芯和管壳	206
6.2.1 工质的选择	206
6.2.2 吸液芯	208
6.2.3 管 壳	212
6.3 热管的传热极限	212

6.4 热管的设计计算	215
6.4.1 热管的阻力特性计算	215
6.4.2 热管的传热(温度)特性计算	218
6.4.3 热管计算举例	220
6.5 热管换热器的设计与计算	224
6.5.1 热管换热器的传热计算	225
6.5.2 热管换热器的流动阻力计算	226
6.5.3 热管换热器的热管工作安全性校验	226
6.5.4 热管换热器的热力设计	227
思考题与习题	229

附 录

附录 A 常用单位制及其换算表	231
附录 B 换热介质的热物理性质	234
附录 C 物性参数计算式	241
附录 D 环形翅片效率曲线图	243
附录 E 换热器传热系数的经验数值	244
附录 F 铝及铝合金产品的高、低温机械性能	246
附录 G 焊缝系数	250
附录 H 垫片参数	251
附录 I 翅片管式换热器参考图表	255
部分习题答案	260
参考文献	263

第 1 章 绪 论

1.1 换热器及其分类

换热器也称热交换器,是把热量从一种介质传给另一种介质的设备。

换热器是各种工业部门最常见的通用热工设备,广泛应用于化工、能源、机械、交通、制冷、空调及航空航天等各个领域。换热器不仅是保证某些工艺流程和条件而广泛使用的设备,也是开发利用工业二次能源,实现余热回收和节能的主要设备。

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,因此,为研究和讨论方便,通常根据其某个特征进行分类。表 1-1 概括性地列举了根据换热器的各种特征所作的分类。

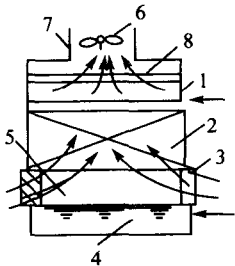
表 1-1 换热器的分类表

分类方法	类型及特点
按传热过程特点分类	(1) 直接接触式(混合式) (2) 间壁式(表面式) (3) 周期流动式(蓄热式): 旋转式、阀门切换式 (4) 流体耦合间接式
按传热表面紧凑性分类	(1) 紧凑式(传热面积密度 $\geq 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$) (2) 非紧凑式(传热表面密度 $\leq 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$)
按传热表面结构特点分类	(1) 管式: 套管式、壳管式、蛇管式 (2) 板式 (3) 扩展表面式: 板翅式(平板肋片式)、翅片管式(肋管式)及管带式 (4) 蓄热式(再生式)
按流程分类	(1) 单流程: 顺流、逆流及交叉流 (2) 多流程: 扩展表面式换热器(逆流交叉流和顺流交叉流)、壳管式换热器、板式换热器
按传热机理分类	(1) 传热表面两侧无相变对流换热 (2) 传热表面的一侧为无相变对流换热,另一侧为相变对流换热 (3) 传热表面两侧有相变对流换热 (4) 对流和辐射的复合换热

按照换热器中热量传递的方式可将换热器分为直接接触式换热器、周期流动式换热器、间壁式换热器及流体耦合间接式换热器四大类。

直接接触式换热器,也叫混合式换热器,是冷热流体直接接触进行换热的设备。通常见到的是一种流体为气体,另一种流体为汽化压力较低的液体,而且在换热后容易分离开来。例如,在水冷却塔中,热水和空气在直接接触的过程中发生热和质的传递,达到冷却水的目的。

工业用水经过工艺过程后温度升高,若直接排入水源,则将产生热污染,为防止水源的热污染并使水能够循环使用,通常采用冷却塔对水进行冷却。图 1-1 所示为抽风逆流式水冷却塔示意图。图中由于工艺过程而升温的水被导入配水系统 1,并均匀喷洒在淋水装置中的填料上,填料可采用不同材料和形状。淋水装置的作用是使进入冷却塔的热水尽可能形成细小的水滴或薄的水膜,以增加与空气的接触面积和接触时间,促进水和空气的热、质交换。冷却热水的空气则是由装在塔顶的通风机的百叶窗抽入塔内,这时塔内是负压,对水的蒸发有利,所以这种抽风逆流式水冷却塔用得较普遍。



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 1-1 抽风逆流式水
冷却塔示意图

周期流动式换热器,也称蓄热式换热器,借助于由固体制成的蓄热体交替地与热流体和冷流体接触,蓄热体与热流体接触一定时间,并从热流体吸收热量,然后与冷流体接触一定时间,把热量释放给冷流体,如此反复进行,达到换热的目的。周期流动式换热器有旋转型和阀门切换型两种(见图 1-2)。在旋转型换热器中,多孔骨架材料旋转形成从热侧流体到冷侧流体的规则周期性固相流动。因此,骨架材料交替地被加热和冷却,使热量间接地由热流体传递给冷流体。阀门切换型换热器中有两个相同的芯体,借助于快速动作的阀门的关启,每一个芯体交替地作为热或冷芯体。周期流动式换热器通常用做空气预热器,如用于锅炉和燃气轮机装置中。

与间壁式换热器相比,周期流动式换热器具有以下三个主要优点:

① 可采用更为紧凑的传热表面。例如,24 目的网屏多孔芯体的比表面积数量级为 $3\ 300\ \text{m}^2/\text{m}^3$ 。

② 以单位传热面积计算,一般传热面价格便宜。

③ 由于周期往复流动,不存在永久性的流动停滞区域,因此表面具有自清扫功能。自清扫特征的一个典型实例是烧劣质煤的中心电站使用的是 Ljungstrom 型空气预热器。

其主要缺点如下:

① 由于泄漏和携带,部分冷热流体混合。

② 如果流体压力不同(如燃气轮机回热器),旋转型设备的密封是一个难题。

间壁式换热器,也称表面式换热器,其中冷热流体被一个固体壁面隔开,热量通过固体壁面传递。工业上应用的换热器绝大多数是间壁式换热器,本书将重点讨论这种换热器。

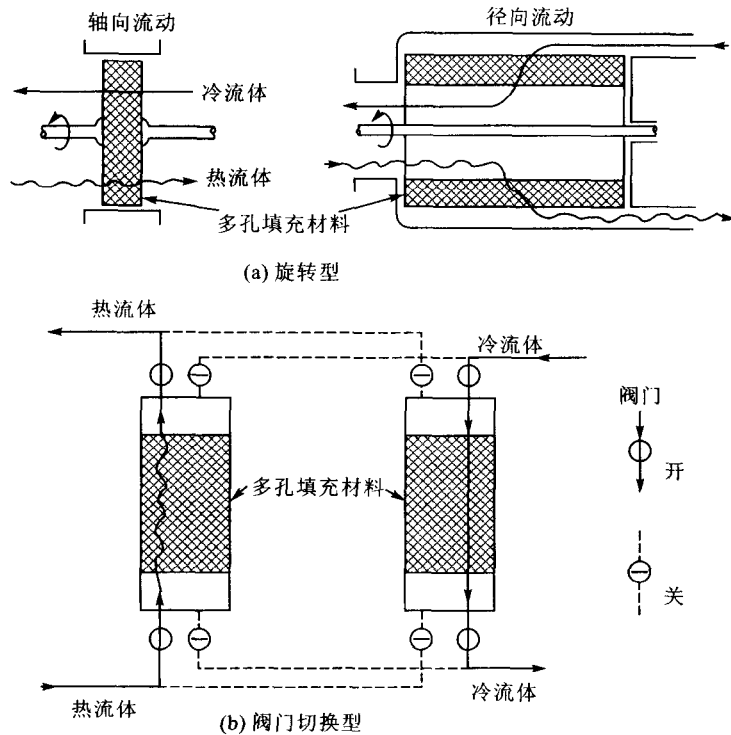


图 1-2 周期流动式换热器

构成间壁式换热器的间壁,主要是管和板,为了扩展传热面,管和板上常带有各种翅片,用它们组成的具体换热器可以是多种多样的,常用的有壳管式换热器、套管式换热器、管式换热器、板式换热器、翅片管式换热器及板翅式换热器等。

图 1-3~图 1-6 为一些典型间壁式换热器构造原理示意图。

图 1-3 为套管式换热器的构造简图,它由不同直径的两种管子套在一起组成的同心套管构成。小圆管内流过一种流体,小圆管外壁与大圆管内壁之间形成的环形空间流过另一种流体。小圆管的管壁就成为隔在两种流体之间的传热壁面。如果需要更多的传热面时,可用多个套管连接起来工作。

图 1-4 为壳管式换热器的构造简图,它由许多根平行管组成的管束插入一圆筒形壳体内构成。图中所绘管束由多根 U 形管构成,管端装在管板上,管板连至壳体上,使管内侧空间与管外侧空间隔开。一种流体从管内流过,另一种流体在壳内从管外流过。为了确保流体按一定顺序流入管子,管板外装有管箱和隔板。壳体内还布置着许多横向折流板,以确保壳内流体横向流过管外,并有足够的流速。

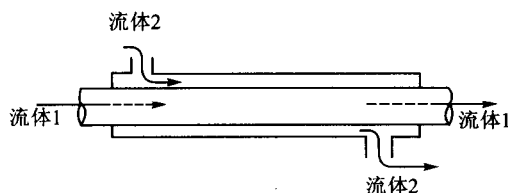


图 1-3 套管式换热器

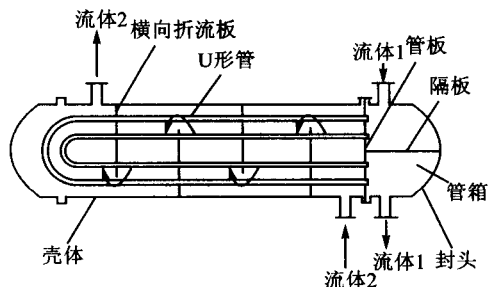


图 1-4 壳管式换热器

图 1-5 为管式换热器的构造简图。换热面是由很多管子按一定方式排列成的管束构成的，管子两端连在管板上，形成管内、管外两侧分隔的通道。这种换热器通常用于气体的加热或冷却，气体从管外横向流过，另一种流体从管内流过。如图 1-5(a)所示，管束为圆形光管，为了增强气体流过管外时的换热，可采用滴形管、椭圆管或扁管等，也可采用外面带翅片的管子。图 1-5(b)为圆管外套装整体翅片构成的管束，装翅片后使传热面积大大增加。

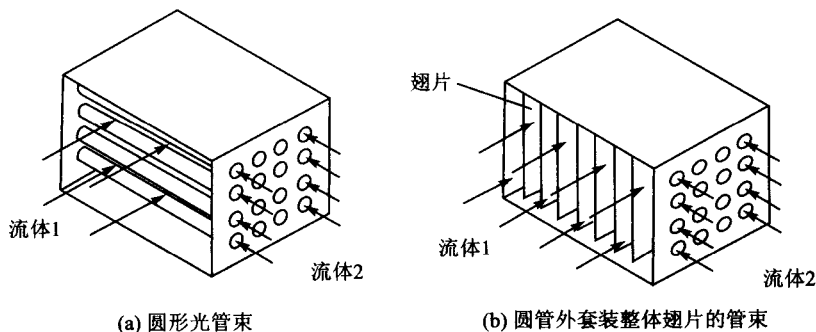


图 1-5 管式换热器

图 1-6 所示是构成板翅式换热器的基本单元。它是将波形翅片夹在两层隔板之间，两侧用封条密封。其中，波形翅片可以是矩形、三角形、波纹形等形式。图 1-6 中为矩形翅片。将许多这样的单元重叠起来就构成了板翅式换热器。相邻单元，即隔板两侧，流过不同温度的流体，通过两侧带有翅片的平板传递热量。

图 1-7 所示的液体耦合间接式换热器系统由两台间壁式换热器组成，它们之间是通过某种传热介质(如水或液态金属)的循环耦合在一起。其主要优点如下：① 因为热流体流动面不直接与冷流体流动面耦合，使换热器形体设计比较方便，特别是当两种流体流动密度不均衡性高达 6:1 时，例如燃气轮机换热器；② 液体耦合一般更有利于紧凑的机械布置。

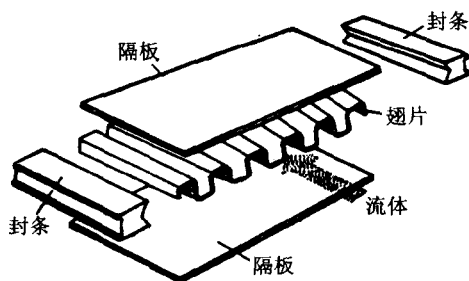


图 1-6 板式换热器的单元结构图

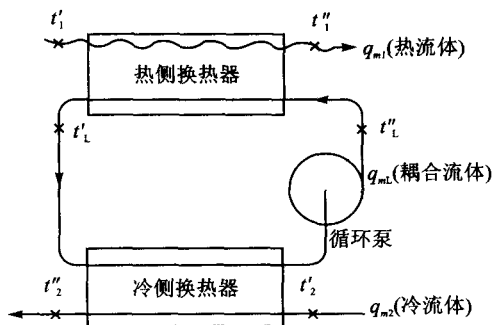


图 1-7 液体耦合间接式换热器

由上述简单介绍可以看出,在各种结构的换热器中,传热面的密集程度(单位体积内布置的换热面积)相差很大,壳管式通常在 $100\sim 200\text{ m}^2/\text{m}^3$,而板式式一般都在 $1000\text{ m}^2/\text{m}^3$ 以上。对传热面密集程度较大的换热器(通常大于 $700\text{ m}^2/\text{m}^3$),习惯上称为紧凑型换热器。

在间壁式换热器中,通常是两种不同温度的流体进行换热;有时也可能有两种以上不同温度的流体参与换热,如板式换热器就有这种情况。由于流体在换热器中的流动方向和顺序,即流动形式,直接关系到换热器中各部分换热壁面两侧流体间的温差和通过换热面的热流密度,从而决定整个换热器的热力工作性能,如总的传热量、流体的温度分布等,因此设计换热器必须考虑换热器的流动形式。按流动形式对换热器进行分类,最基本的有顺流型、逆流型和叉流型,以及由基本流型组合而成的多程、复合流动型等。

此外,为了适应某方面问题分析讨论的需要,还可按换热器中工作流体的种类、工作参数以及其他特征进行分类。

1.2 换热器设计概述

1.2.1 换热器的合理设计

换热器在工业生产和生活的各个领域都得到了广泛应用,而且其工作性能的优劣直接影响着整个装置或系统综合性能的好坏,因此换热器的合理设计极其重要。

一个设计合理的换热器一般应满足以下几点要求:

- 在给定的工作条件(流体流量、进口温度等)下,达到要求的传热量和流体出口温度;
- 流体压降要小,以减少运行的能量消耗;
- 满足外形尺寸和重量要求;
- 安全可靠,满足最高工作压力、工作温度以及防腐、防漏、工作寿命等方面的要求;
- 制造工艺切实可行,选材合理且来源有保证,以减少初始投资;

- 安装、运输以及维修方便等。

所有这些要求和考虑常常是相互影响、相互制约的。在不同应用场合下,各项要求的苛刻程度不尽相同,因而设计时侧重点也应有所不同。

1.2.2 换热器的设计过程

换热器的设计涉及各种数量的分析和以经验为基础的定性决断。图 1-8 可用以说明换热器设计的一般过程和所包含的内容。

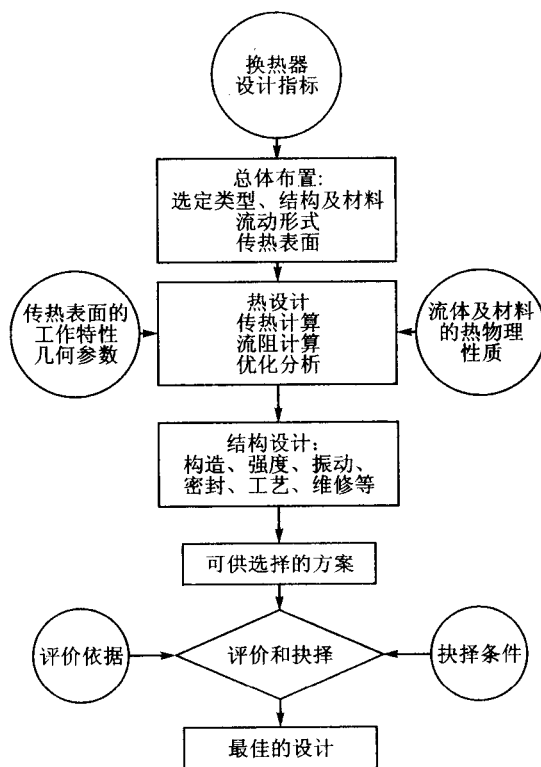


图 1-8 换热器设计过程框图

1. 设计指标

换热器的设计指标包括工作流体的种类及其流量、进出口温度、工作压力和换热器效率等。航空航天器用换热器还应包括允许的压降、尺寸和质量等。

2. 总体布置

换热器的总体布置首先要选定换热器的类型和结构、流体流动形式及所用材料,然后选择

传热表面的种类。要考虑运行温度和压力以及 1.2.1 节换热器合理设计中提到的其他要求。

3. 热设计

换热器的热设计包括传热计算、流阻计算及确定尺寸。进行热设计除技术性能指标外,还需要有传热面的特性(包括换热特性、流阻特性和结构参数)以及流体和材料的热物性参数,可以将优化技术应用到换热器热设计中。根据设计目标,对于选定的各种换热器形式和传热表面,通过不同的角度进行优化分析,提供几种可供选择的方案。

4. 结构设计

换热器的结构设计包括以下内容:

- 根据最高工作温度和最大工作压力,以及热设计和阻力计算结果,确定各部分的材料和尺寸,保证换热器在稳定运行时的性能;
- 根据工作温度、压力及流体性质,选择焊接方法及密封材料;
- 以保证流体分配的均匀性为目标,进行封头、联箱、接管及隔板等的设计;
- 为满足热力和阻力性能的结构设计,对主要零部件须进行强度校核,以避免在极限工作状态下因强度不够,导致破坏或选材过厚而造成浪费。
- 要考虑维修(包括清洁、修理及保养等)和运输的要求。

对于一些在特殊条件下工作的换热器,有的还须计算其在启动和停车时期内的热应力,核算由于流体流动引起的结构振动,或为了减少腐蚀和结垢而验算流速。总之,结构设计和热设计有相同的重要性,设计换热器时需要同时兼顾,并且应该相互协调。

5. 设计方案抉择

换热器热设计和结构设计完成后,提供了几个可供选择的方案,然后设计者根据评价的判据,考虑各种具体条件进行最后抉择。

抉择的条件多为定性的,如模具制造的条件、钎焊炉尺寸、运输限制、交货日期、公司政策和竞争强度等都将影响最终的选择。

评价判据指的是可以量化衡量的指标,如重量、外形尺寸、泵送流体的耗费、初始投资及寿命等。

通过上述各方面的分析研究,最终可向业主提交一个换热器的最佳设计,或提交几个可供选择的设计。

思考题与习题

1-1 概述换热器的分类方法。列举日常生活中见到的或用到的几种换热器,说明这些换热器的类型及其功用。

1-2 间壁式换热器最主要的特点是什么?常用有哪些类型?

1-3 对两种流体参与换热的间壁式换热器,其基本流动形式有哪几种?说明流动形式对换热器热力工作性能的影响。

1-4 一个设计合理的换热器一般应满足哪些要求?说明换热器设计的一般过程和所包含的内容。

1-5 试写出以热流密度表示的傅里叶定律、牛顿冷却公式以及斯特藩-波耳兹曼定律这三个传热学基本公式,并说明其中每一个符号的物理意义。

1-6 一根内径为 5 cm、厚度为 3.2 mm 的长钢管通过一温度 t_{∞} 为 30 °C、气压为 0.1 MPa 的大房间。流量为 0.6 kg/s,温度为 82 °C 的热水从管子的一端流入,如果管长为 15 m,试计算热水的出口温度。此时既要考虑管外壁的自然对流,又要考虑其辐射热损失。

说明:因为管外壁与空气的自然对流换热量以及管壁同墙壁间的辐射换热量都很小,所以可以认为整个管壁近乎为常温,即 $t_w = 82$ °C。其他有关的参数为:

水的比定压热容 $c_p = 4.175$ kJ/(kg · K);

管壁的辐射率 $\epsilon = 0.8$;

取黑体辐射常数 $\sigma_0 = 5.669 \times 10^{-8}$ W/(m² · K⁴)。

自然对流表面传热系数可按下式计算:

$$\alpha = 1.32 \left(\frac{t_w - t_{\infty}}{d_0} \right)^{0.25} \quad (\text{式中 } d_0 \text{ 为钢管外径})$$

1-7 如图 1-9 所示,欲用初温为 175 °C 的油($c_{p1} = 2.1$ kJ/(kg · K))把流量为 230 kg/h 的水从 35 °C 加热到 93 °C。油的流量亦为 230 kg/h。现有下面两个换热器:

换热器 1 $K = 570$ W/(m² · K), $A = 0.47$ m²;

换热器 2 $K = 370$ W/(m² · K), $A = 0.94$ m²。

问应当使用哪个换热器?

(取水的比定压热容 $c_{p2} = 4.175$ kJ/(kg · K))

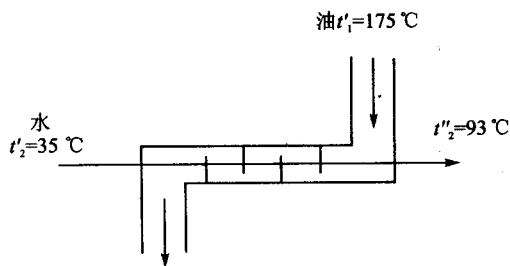


图 1-9 习题 1-7 用图