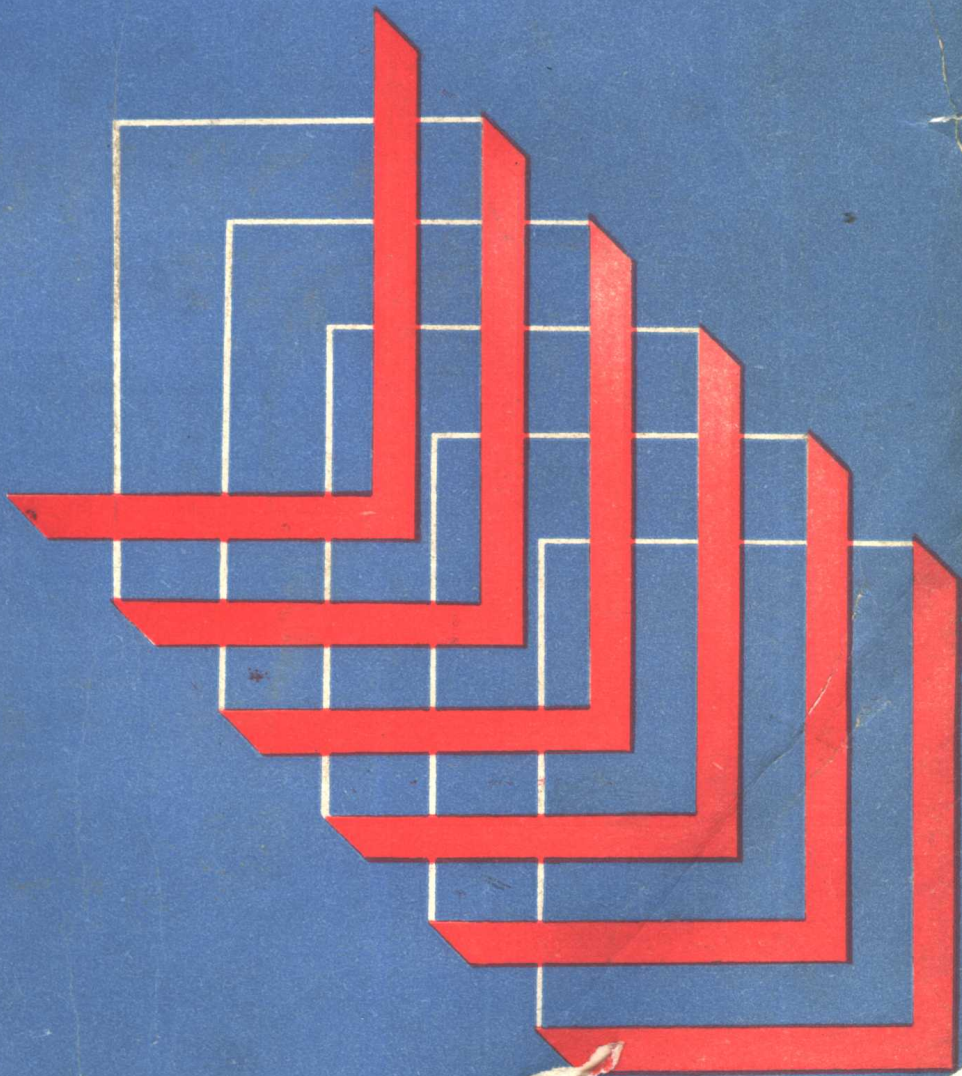


高等学校教材

Heat Exchanger Theory and Design

热交换器原理与设计

史美中 王中铮 编



东南大学出版社

高等学校教材

热交换器原理与设计

史美中 王中铮 编

东南大学出版社

内 容 提 要

本书是高等工业学校工程热物理专业教材委员会规划书目之一。其内容是在热计算基本原理的基础上,以间壁式、混合式、蓄热式、紧凑式热交换器为主要对象。系统阐述其工作原理、传热计算、结构计算、流动阻力计算和设计程序,扼要叙述蒸发冷却器、热管热交换器、太阳能集热器的有关问题,对试验研究方法,强化传热的途径以及优化设计和性能评价进行了探讨。本书是编者多年来从事热交换器教学、科研工作后编写的专业教材。本书系统性好,文字简炼,特色明显,对所讨论的各种热交换器,具有详尽的例题。全书有图270余幅,且数据较多,便于设计计算参考。

本书可供高等学校工程热物理专业和热能工程专业作为教材,也可供其他专业及各种涉及热工工作的生产、设计、科研人员参考。

热交换器原理与设计

史英中 王中铮 编

东南大学出版社出版

南京四牌楼2号

江苏省新华书店发行村前印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/16印张27.75 字数635千字

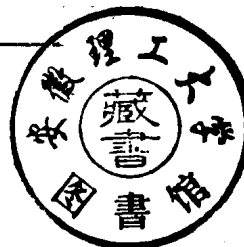
1989年11月第一版 1989年11月第1次印刷

印数: 1-2000册

ISBN 7-81023-203-7

TK·1 定价: 5.40元

责任编辑 雷家煜



前 言

本书系工程热物理专业教材委员会教材规划书目之一，并由委员会委托章熙民同志审订。

热交换器是化工、动力、冶金、食品、轻工、能源、航天等各种工程领域中普遍使用的基本设备，虽然使用历史已久，但仍处于不断改进和发展之中。由于近年来科学技术发展的需要，各高等学校工程热物理专业、热能工程专业及其它有关专业已经或准备开出热交换器方面的课程。这样，仅仅依靠目前已有的一些专著或手册之类的参考书籍显然不能满足教学的要求。因而，尽快编写出一本适合于高等院校师生使用的热交换器教材成为十分必要的事情，这对于从事上述有关领域的工程技术人员、科研人员全面了解热交换器的工作原理、设计方法以及更好地开展热交换器的研究也是颇有意义的。

鉴于本书是一本热交换器原理与设计的教材，而不是设计手册，所以在内容的阐述上，着重以原理为基础，并注意对问题的分析；在设计方法上，不完全采用工程上选型办法，而是以满足流动和传热为条件，进行自行设计；在取材上较为全面，不仅有原理与设计，还包括了试验研究、强化技术和性能的评价。

在热交换器类型方面，虽然新型热交换器随着科学技术的进步而不断涌现，但都是在通用热交换器的基础上获得发展的。因而本书在把热交换器的原理、设计与测试所构成一个完整的内容体系的同时，以通用热交换器作为重点论述对象。

出于上述考虑，本书在讨论热交换器计算原理(第一章)的基础上，全面地阐述了间壁式(第二章，以管壳式为代表)、混合式(第五章)、蓄热式(第六章)等三种主要类型热交换器的工作原理、结构、传热计算、流动阻力计算和设计程序等方面的问题。对螺旋板式、板式、板翅式、翅片管式则作为当前用得最多的紧凑式热交换器，以单独一章(第四章)作了比较详细的介绍。对于高温、高压和低温领域热交换器的特殊问题在本书的第三章作了综合的叙述。对于不属于前述几种主要类型的热交换器，则挑选了蒸发冷却器、周期工作的单向式热交换器、热管式热交换器、太阳能集热器，辟出专门的一章(第七章)作扼要介绍。对于一些共同性的问题，例如性能试验、结垢和腐蚀、强化传热的途径和研制进展、性能评价方法和优化设计等等，根据需要在本书第八章中进行了深浅不同的探讨。

本书以采用国际单位制为主，但还有少量的公式和图表，由于其系数或单位转换方面存在一定困难，仍保留了工程单位制。

本书由东南大学史美中、天津大学王中铮合编，史美中担任主编。具体分工：史美中编写绪论，第一、二、三、五章，王中铮编写第四、六、七、八章。在本书的取材中，我们引用了

其他著作的一些内容、图表和数据，在此我们对有关著作的作者表示真挚的谢意。

承天津大学章熙民同志对全部书稿进行了认真仔细的审阅，提出了许多宝贵的意见和有益的建议；重庆大学程俊国同志也对部分章节内容作了审阅，谨此一并表示由衷的感谢。

限于编者水平，书中难免还有不少缺点和错误，我们殷切希望广大读者批评指正。

编者 1988年4月

• ？ •

目 录

绪 论

§ 0—1 研究热交换器的重要性	(1)
§ 0—2 各种工作流体的特性	(2)
§ 0—3 热交换器的分类及基本结构	(4)
一、分类简介	(4)
二、各种类型的间壁式热交换器	(6)
§ 0—4 热交换器设计计算的内容	(9)
参考文献	(9)

第一章 热交换器计算的基本原理

§ 1—1 热计算概念	(11)
一、传热方程式	(11)
二、热平衡方程式	(12)
§ 1—2 平均温差的计算	(13)
一、流体的温度分布	(13)
二、顺流和逆流情况下的平均温差	(15)
三、其它流动方式时的平均温差	(17)
四、流体比热或传热系数变化时的平均温差	(30)
§ 1—3 传热有效度的计算	(35)
一、传热有效度	(35)
二、顺流和逆流时的传热有效度	(36)
三、其它流动方式时的传热有效度	(41)
§ 1—4 热交换器热计算的方法	(48)
一、设计性热计算	(48)
二、校核性热计算	(49)
§ 1-5 流体流动方式的选择	(53)
一、顺流和逆流	(53)
二、混流和错流	(54)
参考文献	(55)
第一章主要符号表	(55)

第二章 管壳式热交换器

§ 2—1 管壳式热交换器的类型、标准与结构	(57)
一、主要类型	(57)

二、标准	(60)
三、管子在管板上的固定与排列	(61)
四、管板	(64)
五、隔板	(65)
六、折流板和支持板	(65)
七 假管和旁路挡板	(69)
§ 2—2 管壳式热交换器的结构计算	(69)
一、管程流通截面积的计算	(70)
二、壳体直径的确定	(71)
三、壳程流通截面积的计算	(71)
四、进出口连接管直径的计算	(73)
§ 2—3 管壳式热交换器的热补偿问题	(73)
一、热交换器中的温差应力	(73)
二、热补偿的措施	(74)
§ 2—4 管壳式热交换器的传热计算	(76)
一、传热系数的确定	(76)
二、传热系数的计算	(77)
三、换热系数的计算	(78)
四、壁温的计算	(87)
§ 2—5 管壳式热交换器的流动阻力计算	(89)
一、管程阻力计算	(90)
二、壳程阻力计算	(92)
§ 2—6 管壳式热交换器的合理设计	(100)
一、流体在热交换器内流动空间的选择	(100)
二、流体温度和终温的确定	(101)
三、管子直径的选择	(103)
四、流体流动速度的选择	(103)
§ 2—7 管壳式热交换器的设计程序	(104)
§ 2—8 管壳式热交换器的振动与噪声	(112)
一、流体诱发振动的原因	(112)
二、振动的预测和预防	(113)
§ 2—9 管壳式冷凝器与蒸发器的工作特点	(115)
一、管壳式冷凝器的工作特点	(115)
二、管壳式蒸发器的工作特点	(120)
参考文献	(125)
第二章主要符号表	(125)

第三章 高温、低温热交换器综述

§ 3—1 高温高压管壳式热交换器	(128)
-------------------------	---------

一、型式选择	(128)
二、结构设计	(129)
三、材料的选用	(131)
§ 3—2 工业炉用高温热交换器	(131)
一、金属热交换器	(132)
二、陶质热交换器	(137)
§ 3—3 低温热交换器	(140)
一、低温热交换器的作用	(140)
二、设计低温热交换器时的特殊问题	(142)
三、低温热交换器的主要类型及结构特点	(144)
参考文献	(147)

第四章 紧凑式热交换器

§ 4—1 螺旋板式热交换器	(148)
一、基本构造和工作原理	(149)
二、特点	(150)
三、螺旋板式热交换器的设计计算	(152)
四、结构设计选择要点	(163)
§ 4—2 板式热交换器	(164)
一、构造和工作原理	(165)
二、特点	(169)
三、板式热交换器的流程安排及传热、压降计算	(172)
四、板式热交换器的热力计算程序设计	(176)
§ 4—3 板翅式热交换器	(181)
一、构造和工作原理	(181)
二、特点	(187)
三、板翅式热交换器的设计计算	(188)
四、板翅式热交换器单元尺寸的决定和设计步骤	(201)
§ 4—4 翅片管热交换器	(206)
一、构造和工作原理	(207)
二、特点	(209)
三、翅片管的选择	(209)
四、翅片管热交换器的传热计算与阻力计算	(214)
五、空冷器的设计	(225)
参考文献	(232)
第四章主要符号表	(233)

第五章 混合式热交换器

§ 5—1 冷水塔	(235)
-----------------	---------

一、冷水塔的类型	(235)
二、冷水塔的构造	(237)
三、冷水塔的工作原理	(240)
四、冷水塔的热力计算	(242)
五、冷水塔的通风阻力计算	(249)
六、冷水塔的设计计算	(252)
§ 5—2 喷射式热交换器	(254)
一、喷射式热交换器的一般问题	(254)
二、汽—水喷射式热交换器	(256)
三、水—水喷射式热交换器	(268)
§ 5—3 混合式冷凝器	(273)
一、混合式冷凝器的类型	(273)
二、液柱式冷凝器的设计计算	(274)
三、液柱式冷凝器的安装	(278)
参考文献	(279)
第五章主要符号表	(279)

第六章 蓄热式热交换器

§ 6—1 蓄热式热交换器的结构和工作原理	(281)
一、回转型蓄热式热交换器	(281)
二、阀门切换型蓄热式热交换器	(283)
三、蓄热体颗粒移动型蓄热式热交换器	(284)
§ 6—2 蓄热式热交换器与间壁式热交换器的比较	(285)
§ 6—3 回转型蓄热式热交换器的设计计算	(289)
§ 6—4 阀门切换型蓄热式热交换器的设计计算	(294)
参考文献	(316)
第六章主要符号表	(316)

第七章 其它类型的热交换器

§ 7—1 蒸发冷却(冷凝)器	(318)
一、蒸发冷却(冷凝)器的结构	(318)
二、蒸发冷却(冷凝)器中的传热	(319)
三、蒸发冷却器传热面积的计算	(323)
§ 7—2 周期工作的单向式热交换器	(329)
一、带有盘管或夹套的搅拌容器	(330)
二、带外部热交换器的搅拌容器	(332)
三、传热计算	(334)
§ 7—3 热管热交换器	(336)
一、热管的组成与工作特性	(337)

二、热管换热器的传热计算	(342)
三、热管换热器的流动阻力计算	(346)
四、热管换热器的热管工作安全性校验	(347)
五、热管热交换的热力设计	(349)
§ 7-4 太阳能集热器	(355)
一、平板型集热器的构造和工作原理	(355)
二、平板型集热器的传热计算	(356)
三、平板型集热器的设计	(362)
参考文献	(369)
第七章主要符号表	(369)

第八章 热交换器的试验与研究

§ 8-1 热交换器的传热特性试验	(371)
一、热交换器的传热系数的测定	(371)
二、对流换热系数的确定	(375)
§ 8-2 热交换器的阻力特性试验	(384)
§ 8-3 热交换器的结垢与腐蚀	(387)
一、污垢类型及除垢方法	(387)
二、污垢热阻	(388)
三、腐蚀类型及腐蚀测试	(391)
四、腐蚀的防止	(394)
§ 8-4 热交换器的传热强化与研制进展	(395)
一、增强传热的基本途径	(395)
二、增强传热的方法	(396)
三、热交换器研制进展	(399)
§ 8-5 热交换器的优化设计简介	(401)
§ 8-6 热交换器性能评价	(404)
一、热交换器的单一性能评价法	(405)
二、传热量与流动阻力损失相结合的热性能评价法	(405)
三、熵分析法	(406)
四、焓分析法	(406)
五、具有强化传热表面的热交换器热性能评价——纵向比较法	(408)
六、热经济学分析法	(408)
参考文献	(408)
第八章主要符号表	(410)

附 录

附录 1 常用单位制及其换算	(411)
附录 2 当量直径计算公式	(413)

附录3	管内气体冷却的对流换热系数	(414)
附录4	管内液体冷却的对流换热系数	(415)
附录5	水的污垢热阻经验数据	(416)
附录6	气体的污垢热阻经验数据	(416)
附录7	各种油品及溶液的污垢热阻经验数据	(417)
附录8	流体流速的选择	(418)
附录9	无机盐溶液在大气压下的沸点	(419)
附录10	饱和水蒸汽压力表	(420)
附录11	饱和湿空气表	(420)
附录12	带用局部阻力系数计算公式	(422)
附录13	某些热交换器的 $\psi=f(P, R)$ 图	(425)
附录14	翅片管式热交换器的 $\psi=f(P, R)$ 图	(427)
附录15	环形翅片效率图	(429)
附录16	三角形通道进出口突然收缩阻力系数 K_c 和突然扩大阻力系数 K_e	(430)
附录17	正方形通道进出口突然收缩阻力系数 K_c 和突然扩大阻力系数 K_e	(431)
附录18	湿空气的温湿度	(432)
附录19	湿空气密度计算图	(433)

绪 论

§ 0-1 研究热交换器的重要性

在工程中,将某种流体的热量以一定的传热方式传递给他种流体的设备,称为热交换器。在这种设备内,至少有两种温度不同的流体参与传热。一种流体温度较高,放出热量。另一种流体的温度较低,吸收热量。但是有的热交换器中也有多种温度不同的流体在其中传热的,例如空分装置中的可逆式板翅热交换器。

但是,这里所讲的热交换器是指以传热为其主要过程(或目的)的设备。在工业中的有些设备,例如制冷设备、干燥设备、精馏设备等等,在其完成指定的生产工艺过程的同时,都伴随着热的交换,但传热并非它们的主要过程,对它们的研究就不属于热交换器的范畴。

根据热交换器在生产中的地位、作用的不同,它应满足多种多样的要求,一般来说,对其基本要求有:

(1) 满足工艺过程所提出的要求,有较高的热交换强度,并使设备在有利的平均温差下工作;

(2) 具有适合于温度和压力条件的、尽可能是不易破坏的工艺结构,构造简单、紧凑,安装、修理方便,运行安全;

(3) 热损失少。

热交换器是动力、冶金、炼油、化工、建筑、重型机械制造、航空、原子能及食品、医药等工业部门广泛应用的通用设备,并在某些工业企业中占有很重要的地位,例如在石油化工厂中,它的投资要占到建厂投资的1/5左右,它的重量占工艺设备总重的40%^[1],在年产30万吨乙烯装置中,它的投资约占总投资的25%^[2];在我国一些大中型炼油企业中,各式热交换器的装置数达到300~500台以上。就其压力、温度来说,国外的管壳式热交换器的最高压力达840[bar],最高温度达1500[°C],而最大外形尺寸长达33[m],最大传热面积达6700[m²]^[1,3],现有实际情况,还要超过上面给出的数据。

热交换器作为一种利用能源与节约能源的有效设备,在余热利用、太阳能利用和地热能利用等方面也起着重要的作用。

随着生产规模的扩大和生产技术的现代化,热交换器技术的研究必须满足各种情况特殊而又条件苛刻的要求,因而各国在组织大规模工业生产的同时,都很重视热交换器的研究,并组织了较强的专业研究中心,例如早在六十年代就在传热工程领域内出现了有影响的两大国际性研究集团,即1962年成立的美国传热研究公司(Heat Transfer Research Inc,简称HTRI)和1968年成立的英国传热及流体流动服务公司(Heat Transfer & Fluid Flow Service,简称HTFS)。在我国,也有兰州石油机械研究所、通用机械研究所、中国环球化学

工程公司、中国石油化工总公司洛阳石油化工总公司等单位。在热交换器的研究和设计方面进行了多年的工作，对我国热交换器的设计和改进、技术标准的制订和推广作了很大的推动。

热交换器的发展为传热学研究提供了日渐广泛而深刻的课题，而传热学的研究又为热交换器在传热性能和设计方面提供切实有效的数据和计算方法。因此，热交换器和传热机理之间的关系是互相促进、不可分割的。当前世界上每年发表有关传热及传热设备的文章约在六、七千篇以上，一些国际性传热会议、国内学术讨论会（例如中国工程热物理学会及各有关分会的学术讨论会、有关行业的学术讨论会）上都有一定数量的热交换器讨论专题，国内还曾多次举行热交换器研究的学术会议，均反映了传热学及传热设备的研究一直受到学术界和工程界的普遍重视。

但是，热交换器的研究又有别于传热学的研究，热交换器自身存在着从原理、设计到测试所构成的一个完整的内容体系，它包含着传热学所没有包括的流体力学、工程力学，材料科学等领域以及设计方法、设备结构、测试技术，计算和优化技术等方面的问题，因而热交换器对传热虽有其依赖关系，但又有其相对的独立性。学习《热交换器原理与设计》课程，就是为了帮助读者在具备传热学基本知识的基础上，全面了解热交换器的工作原理和基本的设计方法。至于对热交换器的深入研究还要涉及到更为广泛的内容，例如：

强化传热机理的研究和新型热交换器的研制；

流体热物性的研究；

制造材料和防腐蚀技术的研究；

结垢和防垢技术的研究；

设计工作的自动化和制造技术的研究；

振动与防振措施的研究；

测试技术的研究；

热交换系统和设备的优化，等等。

作为一门课程的教材，不可能去详细探讨上述各方面的问题，因而本书着重阐明各类常规热交换器的工作原理、设计方法及性能测试方面的基本知识，读者如需深入了解有关的专题，可以阅读专著并对国内外有关学术刊物的论文给予关注。

§ 0—2 各种工作流体的特性

在热交换器中参加传热过程的流体，也就是放热或吸热的流体，分别称为热流体或冷流体，通称工作流体。虽然有很多场合，工作流体的种类和参数已为工艺条件所确定，但也有许多场合是可由设计者进行选择 and 确定的。无论什么情况，了解工作流体的特性，对设计者来说都是很重要的。一般而言，对工作流体的基本要求是：

(1) 来源充足，输送方便，价格便宜，能就近解决；

(2) 使热交换器在给定的热负荷下所需的传热面积比较小。因而所用的流体应该是：密度、比热、导热系数大；在高温工作时的工作压力低；在沸腾或冷凝过程中汽化潜热大；

(3) 有较小的化学活性，不易结垢和腐蚀；等等。

工业上最常用的热流体有烟气、水蒸汽、热水。此外，有时也采用油、联苯混合物，熔融盐类、液体金属等作热流体。常用的冷流体有水和空气。现将这几种流体的主要特性简单介绍如下：

1. 烟气

燃料燃烧所得的烟气具有很高的温度，用它作为热流体，被加热流体的温度可达 $700\sim 1000[^\circ\text{C}]$ 以上。因此应用烟气的主要原因在于它是一种高温热流体。烟气的缺点在于：它的换热系数低，因而单位传热量所需的传热面积较大；它的比热很低，这就必然使所通过的烟气容积流量也较大，而使设备显得笨重；由于温度高、容积大，不仅增加了输送的困难，而且管线粗大还增加了输送过程中的热损失；同时，燃料燃烧过程不易调节，被烟气加热的产品容易发生过热和烧焦现象；烟气中往往夹杂有烟灰和其它固体颗粒，易在传热面上积垢，形成热阻；当烟气流速达到一定数值时，此种固体颗粒会使传热面磨损；如果在烟气中含有硫化物气体或不完全燃烧时产生的一氧化碳和化学活性很大的碳氢化合物，在一定条件下，会使金属传热面很快遭到腐蚀。

当被加热的流体需加热到 $400[^\circ\text{C}]$ 以上的高温时，在一般工业上烟气还是很恰当的热流体。但是烟气的换热系数低，而使用烟气的热交换器的实际传热面积又不可能太大，所以烟气在设备内温降有一定限制，故其排气温度往往较高，结果是使热交换器的热效率比较低。

2. 水蒸汽

水蒸汽的应用很为广泛。它在凝结时能放出大量的热，因此传递一定热量时所需的蒸汽量较少，也相应减小了输送冷凝水的动力消耗；水蒸汽凝结时的换热系数很大，因此可以提高传热系数，从而减小传热面积；它在一定压力下凝结时的温度不变，这就便于控制。在实际中应用水蒸汽加热时，既可以用锅炉中产生的新蒸汽，也可用工业生产中的废气，或二次蒸汽，使热能利用更加经济。

当热交换器使用水蒸汽加热时往往稍加过热，目的在于免除蒸汽输送管道中因热损失而发生凝结。

饱和蒸汽的缺点是其蒸汽压随温度的提高而增加得很快。因此使用水蒸汽时的加热温度受到很大限制，一般只适用于加热到 $150\sim 160[^\circ\text{C}]$ 以下，通常不超过 $180[^\circ\text{C}]$ 。要达到更高的温度，就使设备在高的压力下工作，导致设备本身以及管道、阀门等结构复杂化，池漏的防止也更困难。因此，对于高温的加热要求，可考虑采用其它热流体。

3. 热水

水的比热和密度较大，换热系数比烟气高。但在传热时，水的温度随流动过程而降低，所以用水加热的热交换器，其平均温差比用水蒸汽时要低。在其它性质上，热水并不比蒸汽差多少，热水应用的温度范围也与蒸汽差不多。

水也是一种最恰当最经济的冷流体，不过要注意水的温度与地理条件及季节的关系。

4: 矿物油

可以将其他流体加热到250[°C]左右,其优点是可以在低压下操作。但是它的换热系数不大,对过热现象异常敏感,循环油泵即使短时期地停止工作,就能引起过热或分解;油在长时期使用后,粘度急剧上升,生成的胶质将沾污传热面,因而用矿物油加热受到一定的限制。

5: 熔融盐类

通常应用的盐类混合物是亚硝酸盐、硝酸盐的混合物。用它来加热时,在常压下可加热到530—540[°C],但由于这种混合物的熔点较高(约140[°C]),全部导管及热交换器都必须用一定压力的蒸汽来加热。

6: 液体金属

有良好的热稳定性及很低的饱和蒸汽压力,但在使用时须配备特殊附属设备,且本身的价格昂贵,有毒,因此,工业上应用有限。

7. 联苯混合物

属于一种有机物,它的沸腾是等温地进行的。常压下的沸点是258[°C],因此它具有远低于水的饱和蒸汽压力,其最可贵的性质之一是能达到高温。它可以在温度低于280[°C]、压力小于0.7[bar]的情况下、以液体状态进行热交换。液体混合物的比热只有水的2/3~1/2,故自熔点加热至常压的沸点(约有12—258[°C])所需热量几乎与水自0—100[°C]所需的热量相同。它的缺点是汽化潜热小,在300—350[°C]时,只有水的1/4~1/5,然而它的蒸汽密度比水蒸汽大,因而单位体积蒸汽热量的改变(沸腾或冷凝)几乎与水一样。联苯混合物对普通金属结构不起化学作用。它容易燃烧,但是没有爆炸危险;它对人身也无很大毒害作用,但长期处在粘膜中会刺激粘膜和皮肤;它有特殊气味,因而容易察觉泄漏。

对于冷却用的流体,空气和水是将其他流体冷却到近于大气温度的最常用的流体,当冷流体温度要求低于15~0[°C]左右时,则可用NaCl或CaCl₂水溶液,氨液和氟利昂等。

§ 0—3 热交换器的分类及基本结构

一、分类简介

随着科学和生产技术的发展,各种工业部门要求热交换器的类型和机构要与之相适应,流体的种类、流体的运动、设备的压力和温度等也都必须满足生产过程的要求。近代尖端科学技术的发展(如高温高压、高速、低温、超低温等)又促使了高强度、高效率的紧凑热交换器层出不穷。虽然如此,所有的热交换器仍可按照它们的一些共同特征来加以区分。

1) 按照用途来分:有预热器(或加热器)、冷却器、冷凝器、蒸发器等。

2) 按照制造热交换器的材料来分:有金属的、陶瓷的、塑料的、石墨的、玻璃的等等。

3) 按照温度状况来分, 有: 温度工况稳定的热交换器, 热流大小以及在指定热交换区域内的温度不随时间而变; 温度工况不稳定的热交换器: 传热面上的热流和温度都随时间改变。

4) 按照热流体与冷流体的流动方向来分, 有:

顺流式(或称并流式): 两种流体平行地向着同一方向流动, 如图0-1(a);

逆流式: 两种流体也是平行流动, 但它们的流动方向相反, 如图0-1(b);

错流式(或称叉流式): 两种流体的流动方向互相垂直交叉, 如图0-1(c)。当交叉次数在四次以上时, 可根据两种流体流向的总趋势将其看成逆流或顺流, 如图0-1(d)及(e);

混流式: 两种流体在流动过程中既有顺流部分, 又有逆流部分, 图0-1(f)及(g)所示就是一例。

5) 按照传送热量的方法来分, 有间壁式、混合式、蓄热式等三大类, 这是在对热交换器分类时最主要的一种分类方法。

间壁式: 热流体和冷流体间有一固体壁面, 一种流体恒在壁的一侧流动, 而另一流体恒在壁的他侧流动, 两种流体不直接接触, 热量通过壁面而进行传递。

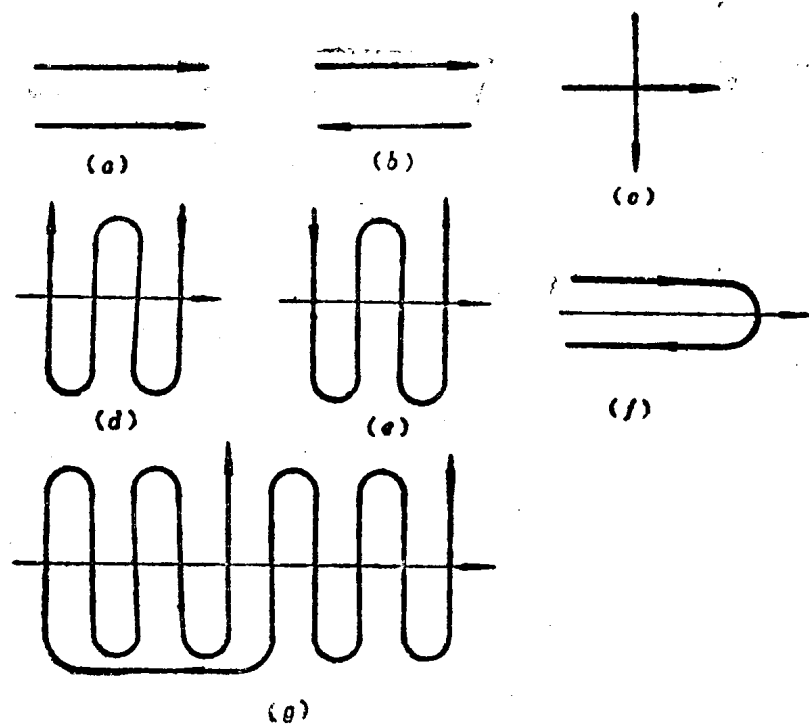


图 0-1 流体的流动方式
 (a) 顺流, (b) 逆流, (c) 叉流;
 (d) 总趋势为逆流的四次叉流;
 (e) 总趋势为顺流的四次叉流;
 (f) 先顺后逆的平行混流;
 (g) 先逆后顺的串联混流。

混合式(或称直接接触式): 这种热交换器内依靠热流体与冷流体的直接接触而进行传热, 例如工业上的冷水塔, 洗涤塔等。

蓄热式(或称回热式): 其中也有固体壁面, 但两种流体并非同时而是轮流地和壁面接触, 当热流体流过时, 把热量储蓄于壁内, 其温度逐渐升高, 而当冷流体流过时, 壁面放出热量, 其温度逐渐降低, 如此反复进行, 以达到热交换的目的。例如炼铁厂的热风炉。

在间壁式、混合式和蓄热式三种类型中, 间壁式热交换器的生产经验、分析研究和计算方法比较丰富和完整, 因而在对混合式和蓄热式热交换器进行分析和计算时, 常采用一些渊源于间壁式热交换器的方法。下面首先介绍间壁式换热器的各种不同型式。

二、各种类型的间壁式热交换器

按照传热壁面的形状, 间壁式热交换器又可分成管式热交换器, 板式热交换器, 夹套式热交换器以及各种异形传热面组成的特殊型式热交换器等类型。在这里先对管式热交换器的基本结构进行介绍, 其他类型则在有关章节分别叙述。

1) 沉浸式热交换器

沉浸式热交换器的管子常用直管(或称蛇管)或螺旋状弯管(或称盘香管)组成传热面, 将管子沉浸在液体的容器或池内, 如图0-2所示。这种热交换器可用作液体的预热器和蒸发器, 也可用作气体和液体的冷却器或冷凝器。液槽内的液体体积大, 流速低, 因而管外液体中的传热以自然对流方式进行。整个液体的内部温度一般等于或接近于液体的最终温度, 传热温差不大, 同时由于整个液体的体积大, 就使这种热交换器对于工况的改变不够敏感。

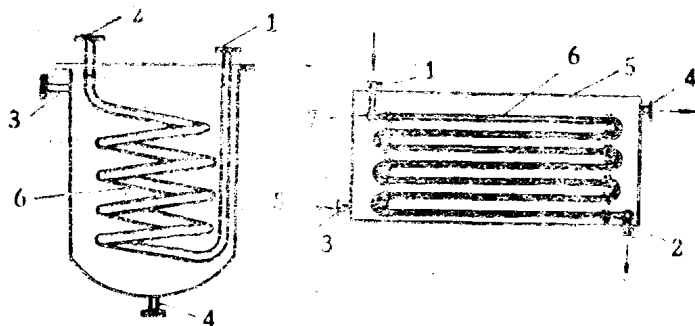


图 0-2 沉浸式热交换器示意图

1~4——流体进、出口; 5——液槽;
6——管子; 7——分配管;

传热系数低, 体积大是其根本弱点, 然而它却具有构造简单, 制作、修理方便和容易清洗等优点, 因此现时仍有很多地方应用。由于更换管子方便, 所以它还适用使用有腐蚀性的流体。为了提高液槽侧的换热系数, 也可在槽内装搅拌器。如果流过管内的流体流量或所需传热面较大时, 可以考虑做成几圈同心的螺旋管或几排并列的蛇管, 以增加传热面。