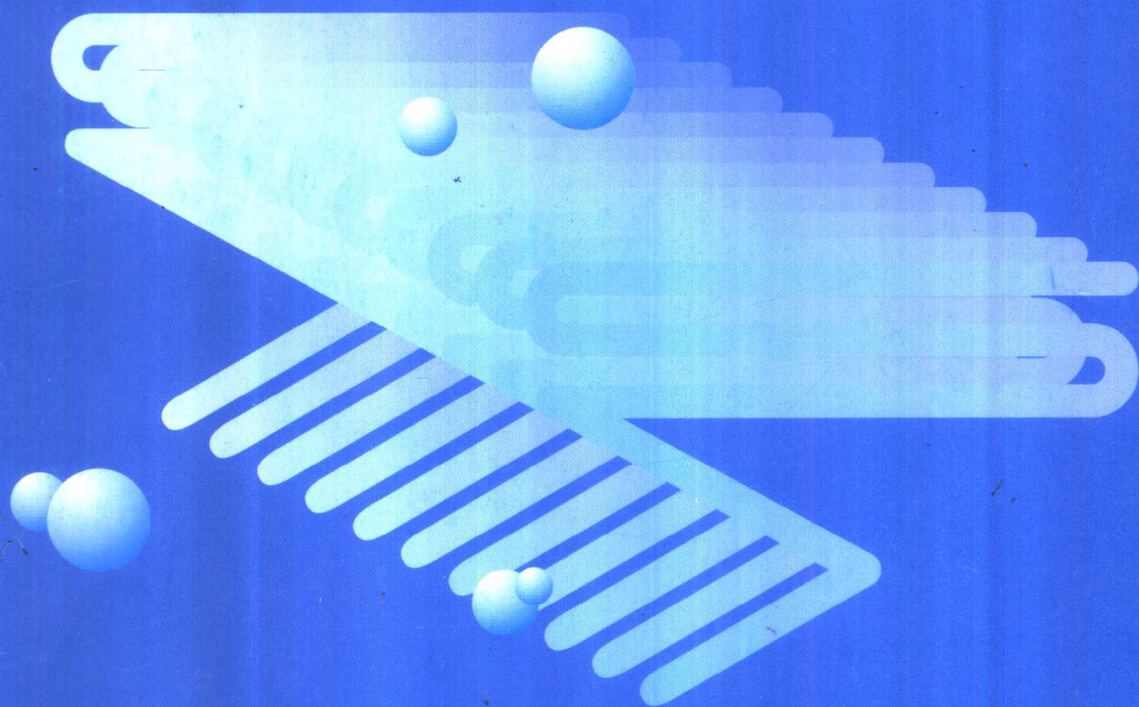
 新世纪高等院校精品教材 · 机电类

制冷与低温设备

陈光明 张朝涵 主编



浙江大學出版社

新世纪高等院校精品教材·机电类

制冷与低温设备

陈光明 张朝涵 主编

浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

制冷与低温设备 / 陈光明, 张朝涵主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2003. 5

ISBN 7-308-03327-9

I. 制... II. ①陈... ②张... III. ①制冷装置②低温装置 IV. TB657

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 042164 号

责任编辑 杜希武

封面设计 宋纪浔

出版发行 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)

(E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 杭州杭新印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 9.25

字 数 240 千

版 印 次 2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月第 1 次印刷

印 数 0001—2000

书 号 ISBN 7-308-03327-9/TB·028

定 价 18.00 元

前 言

为了适应现代社会、经济、科技、文化和世界高等教育的发展,教育部于1998年7月正式颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录》。新目录将原来的热力发动机、流体机械及流体工程、热能工程与动力机械、热能工程、制冷与低温技术、能源工程、工程热物理、水利水电动力工程、冷冻冷藏工程(部分)等九个专业合并为一个新的专业——热能与动力工程专业。新专业目录的实施以及专业课时的减少对专业教材提出了新的、更高的要求。为了满足全国高等学校“热能与动力工程”专业对制冷与低温方面教材的需要,我们曾编写并在机械工业出版社出版了《制冷与低温原理》。这次与读者见面的《制冷与低温设备》是该专业的另一本重要教材。

全书根据教育部颁布的“热能与动力工程”专业培养目标和要求,以及淡化专业意识、拓宽基础、加强素质教育和能力培养的原则,在吸收国内外最新教学和研究成果的基础上编写而成,主要介绍在制冷与低温领域中常用的传热与传质设备的工作原理、结构以及设计方法。全书共有十一章。第一章简要介绍常用制冷与低温设备的类型及其作用,还介绍了该领域的最新研究与发展成果;第二章介绍常用换热设备的结构及特点;第三章介绍换热设备设计和计算的常用方法以及需要遵循的一些原则;第四章至第十一章分别详细介绍制冷与低温工程中常用的传热与传质设备的结构、工作原理以及设计方法,并给出典型的设计例题。这些设备包括:冷凝器、蒸发器、中间冷却器和冷凝蒸发器、回热器、切换式换热器、精馏塔、吸附器、冷却塔等。大部分章节末尾还附有思考题和习题。

本书由浙江大学制冷与低温工程研究所组织编写。参加编写的成员有:张朝涵副教授(第一、二、八、九、十、十一章),陈光明教授(第三章),沈永年教授(第四、五、六章),邱利民教授(第七章)。全书由陈光明、张朝涵主编,陈光明审定。

本书在编写和出版过程中,得到了华中理工大学郑贤德教授,上海理工大学华泽钊教授,上海交通大学王如竹教授,浙江大学陈国邦教授,冯仰浦教授和刘楚芸教授,王勤博士等的支持和帮助;浙江大学博士生陈斌、宣永梅、何一坚等对书中的习题、部分图稿进行了详细的校核与绘制,在此一并表示衷心的感谢。

本书可作为1998年教育部新设大专业“热能与动力工程”本科生的教材,也可供机械、化工、建筑、航天、食品、医药等领域从事制冷与低温、建筑环境与设备(暖通空调)有关的科研、设计、生产等工作的技术人员参考。

陈光明 张朝涵

2003年1月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 制冷与低温设备及其作用	(1)
第二节 常用制冷与低温设备的类型	(3)
第三节 制冷与低温设备的最新研究与发展状况	(5)
思考题	(8)
第二章 常用换热设备的结构及特点	(8)
第一节 管式换热器	(16)
第二节 板翅式换热器	(21)
思考题	(22)
第三章 换热设备设计计算	(22)
第一节 换热设备设计概述	(26)
第二节 换热设备的热力计算	(30)
思考题	(30)
第四章 冷凝器	(31)
第一节 概述	(31)
第二节 常用冷凝器	(33)
第三节 冷凝器设计计算举例及示例	(36)
第五章 蒸发器	(42)
第一节 概述	(42)
第二节 常用蒸发器	(43)
第三节 蒸发器设计计算示例	(46)
第六章 中间冷却器和冷凝蒸发器	(50)
第一节 中间冷却器和冷凝蒸发器的作用和构造	(50)
第二节 中间冷却器选择计算	(52)
第三节 冷凝蒸发器设计计算示例	(54)
第七章 回热器	(59)
第一节 概述	(59)
第二节 常用回热器	(60)
第三节 回热器设计计算	(66)
第八章 切换式换热器	(84)
第一节 概述	(84)
第二节 设计例题	(86)

思考题与练习题.....	(93)
第九章 精馏塔.....	(95)
第一节 概述.....	(95)
第二节 常用精馏塔.....	(97)
第三节 精馏塔设计计算举例.....	(119)
思考题与练习题.....	(121)
第十章 吸附器.....	(123)
第一节 概述.....	(123)
第二节 常用吸附器.....	(126)
第三节 吸附器设计计算举例.....	(131)
思考题与练习题.....	(132)
第十一章 冷却塔.....	(133)
第一节 概述.....	(133)
第二节 常用冷却塔简介.....	(135)
第三节 冷却塔设计计算举例.....	(137)
思考题与练习题.....	(140)
参考文献.....	(141)

绪 论

在制冷与低温装置中,除仪表、阀门、节流元件及管道外的非运动部件,基本上都可以归入制冷与低温设备的范畴,其投资约占装置总投资一半左右。设备性能的优劣将直接影响整个装置的运行性能和经济效益。

本书主要介绍制冷与低温装置中经常用到的换热设备和用于混合气体分离的塔设备。

第一节 制冷与低温设备及其作用

一、制冷设备及其作用

制冷技术的应用范围很广。在常温到 120K 温度范围内用到的降温制冷技术有:空气调节技术、食品冷藏技术、食品冷加工技术、恒温恒湿技术、人造溜冰场、真空冷冻干燥技术、医用冷刀、制冷机、冷饮机、建筑冻土或冷却等等。在所有的制冷装置中都要用到制冷设备,如换热设备中的冷凝器、蒸发器,传质设备中的冷却塔、吸收器、发生器等。缺少这些传热、传质设备,制冷装置将无法运行。

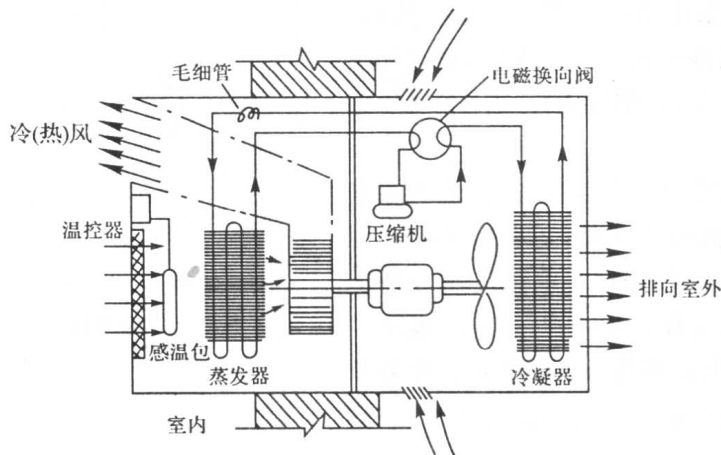


图 1-1 热泵型空调器工作原理图

图 1-1 是热泵型空调器的工作原理图。从图中可以看出:制冷工质经制冷压缩机压缩后,由于其压力和温度均升高,所以必须在作为冷凝器的换热器中冷却、冷凝,由气态转变成液态。

这样,才能为后面的节流、降温提供条件。另外,节流、降压后的液态制冷工质必须在作为蒸发器的换热器中与室内的空气进行热交换而吸热蒸发,才能将冷量交给室内空气,从而达到在夏季降低室温、实现空调的目的。以此类推,任何蒸汽压缩式制冷装置,要实现制冷的目的,冷凝器和蒸发器是必不可少的。有了这两只换热器,才能实现制冷循环过程中工质冷凝热的移出和蒸发热的吸收,使制冷装置能连续不断地运行。

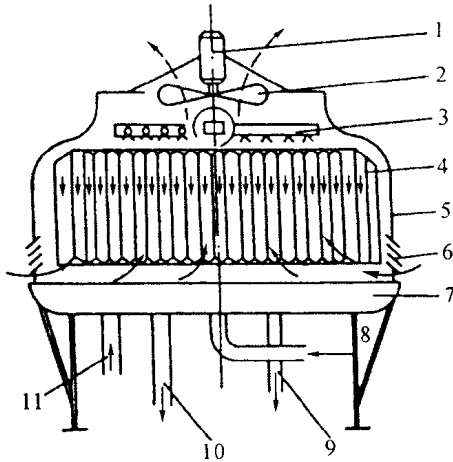


图 1-2 冷却塔

- 1-电机 2-风机 3-布水器 4-填料 5-塔体 6-进风百叶
- 7-水槽 8-进水 9-溢水管 10-出水管 11-补水管

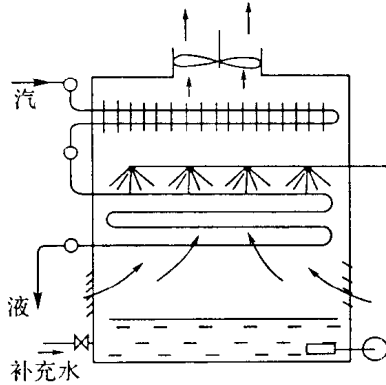


图 1-3 蒸发式冷凝器

图 1-2 是冷却塔示意图。在冷却塔中,水与不饱和空气间进行热量与质量的传递,它们之间的温度差和水蒸汽分压差推动了这一热、质传递过程,使水的温度下降而得到冷却。集中式空调装置中的蒸发式冷凝器(如图 1-3 所示)综合了空冷式冷凝器和冷却塔的功用,即用冷却塔冷却水,再将所得到的凉水去冷却制冷剂。这里的冷却塔可看做制冷装置中的传热和传质设备。空冷式冷凝器的冷凝温度最低只能达到空气的干球温度,而在使用冷却塔的蒸发式冷凝器中,冷凝温度可能达到空气的湿球温度,除非空气已经饱和,否则其冷凝温度都比空冷式冷凝器的冷凝温度要低。

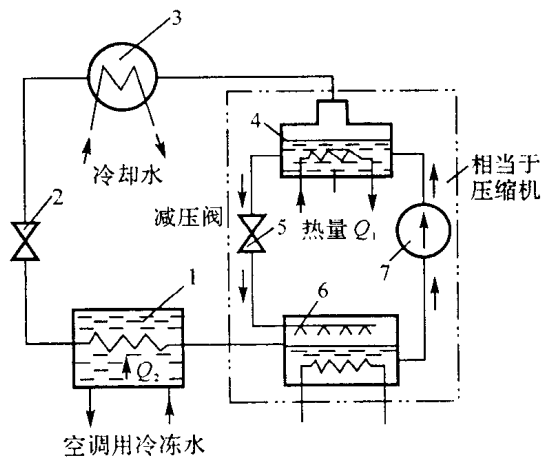


图 1-4 吸收式制冷系统

- 1-蒸发器 2-膨胀阀 3-冷凝器 4-发生器
- 5-减压阀 6-吸收器 7-溶液泵

图 1-4 是蒸汽吸收式制冷系统,系统中除了冷凝器、蒸发器等换热设备外,还有用来吸收制冷剂蒸汽的吸收器和用来产生高浓度制冷剂蒸汽的发生器。吸收过程需要冷却,发生过程需要加热。吸收器和发生器都是保证吸收式制冷装置正常运行所不可缺少的传热与传质设备。

二、低温设备及其作用

在气体分离和液化中,要用到低温传热、传质设备,下面以空气分离装置为例说明低温设备的种类与作用。

图 1-5 为每小时产氧气 1×10^4 标准立方米、产氮气 1.1×10^4 标准立方米的空气分离装置的流程图。图中的氮—水预冷器利用向外排放的低温污氮来冷却水，再用冷水来冷却进入装置的压缩空气。切换式换热器用来去除压缩空气中的二氧化碳和水分。在双级精馏塔中联系上、下塔的冷凝蒸发器是一种换热设备。另外，装置中用到的污氮—氧气液化器、液空—液氧过冷器和液氧蒸发器等都是起换热作用的设备，这些换热设备一般多采用板翅式换热器。装置中的精馏塔用来将液化空气进行精馏，通过在塔板上的热、质传递，最终由于各组分沸点的差异而实现了氧、氮等组分的分离。精馏塔是以实现传质为主的低温设备。另外，这套装置中用到的液空、液氧吸附器，是利用硅胶等吸附剂去除乙炔，以保证装置安全运行的另一种传质设备。

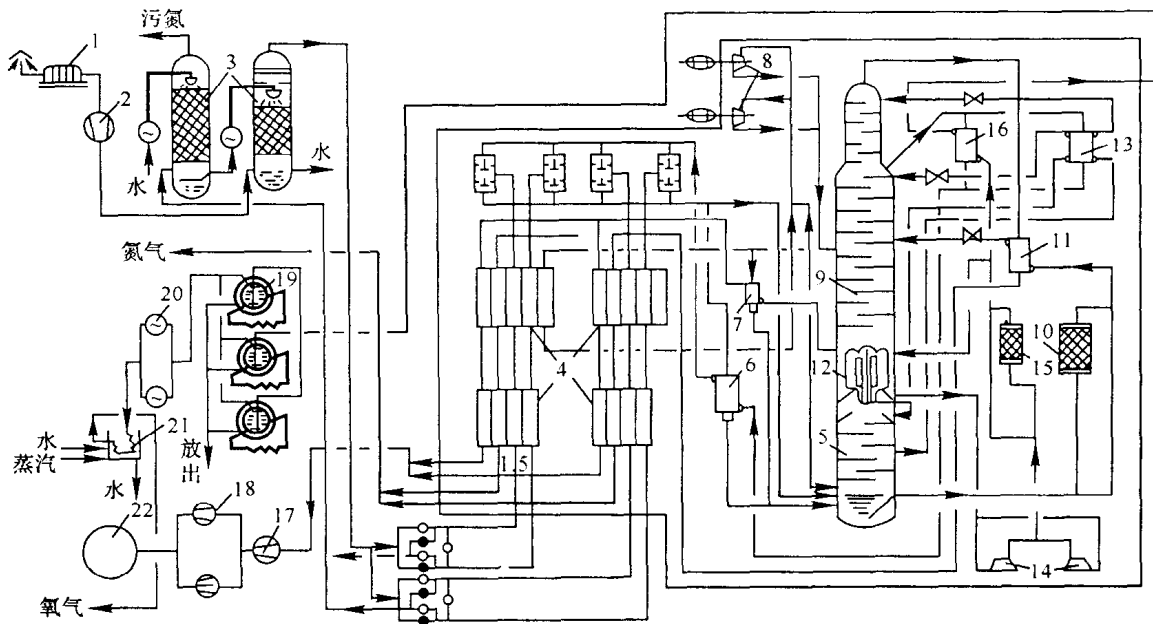


图 1-5 KD10000/11000 型空气分离装置流程图

1-空气过滤器 2-透平压缩机 3-氮水预冷器 4-切换式换热器 5-下塔 6-污氮液化器 7-氧气液化器 8-透平膨胀机 9-上塔
10-液空吸附器 11-液空过冷器 12-冷凝蒸发器 13-液氮过冷器 14-液氧泵 15-液氧吸附器 16-液氧过冷器 17-透平式氧压机
18-活塞式氧压机 19-液氧贮槽 20-多级液氧泵 21-液氧蒸发器 22-氧气贮槽

在氮气、氢气和天然气等气体的液化装置中，为实现原料气温度的逐步降低，都要使用不同类型的换热设备。在大型装置中一般使用板翅式换热器；在小型装置中，一般使用光管式或低翅片管式换热器。

综上所述，为实现气体的液化或气体组分的分离，在所用的装置中传热设备或传质设备是不可缺少的。

第二节 常用制冷与低温设备的类型

制冷与低温工程领域的常用设备，按其主要用途的不同，可分为传热设备和传质设备两大类，下面分别作介绍。

一、传热设备

传热设备是指在该设备内的一股或多股热流体通过一定的传热方式将热量传递给另一股或多股冷流体的设备。这类设备由于使用广泛和使用要求的不同而形成不同的形式,换热器(或热交换器)是这类设备的统称。

从不同的角度可将换热器分成不同的类型,例如:

1. 按用途或功能的不同分类

(1)冷凝器:用来冷却从制冷压缩机排出的制冷剂过热蒸汽,并使它凝结为液体。在冷凝器中,制冷剂的热量排放给冷却介质而被冷凝。按冷却介质和冷却方式的不同,冷凝器又可分为水冷式、空冷式和蒸发式三种类型。

(2)蒸发器:在制冷装置中,用蒸发器来对外输出冷量。通过蒸发器内制冷液体的蒸发来吸收被冷却介质的热量。按照被冷却介质的不同,蒸发器可分为:(a)冷却液体的蒸发器;(b)冷却空气的蒸发器等等。在冷却液体的蒸发器中,制冷剂液体可以在管内或管外蒸发。对卧式蒸发器,又有满液式和干式蒸发器之分。在满液式蒸发器中,制冷剂在传热管外沸腾,而在干式蒸发器中,制冷剂则在传热管内沸腾。

(3)回热器:它是使温度不同的气流交替通过装有填料的容器,利用填料这一中间媒介实现热量从热气流到冷气流的转移。这种换热器又称蓄冷器或再生式换热器。气体制冷机中使用的回热器一般分为无阀和有阀两种。在有些制冷应用中,为了回收冷量,提高效率,将温度较高的制冷剂与温度较低的制冷剂进行换热,这种换热装置也习惯称之为回热器。

(4)切换式换热器:它是空气分离装置中用来实现空气与污氮、氮、氧等产品气体换热,并使空气中的水分、二氧化碳冻结和清除的设备,它代替了原有的蓄冷器的作用。

2. 根据传热面的结构形状的不同分类

(1)管式换热器:传热管由光管或翅片管组成。在制冷装置中广泛使用翅片管式换热器。翅片管型式有绕片管、套片管和轧片管等。在低温装置中用到列管和绕管等形式。

(2)板翅式换热器:传热面由隔板形成的一次传热表面和由翅片形成的二次传热表面组成。在空气分离装置和石油化工装置上广泛使用板翅式换热器。

3. 从换热过程的特点或方式出发分类

(1)表面式或间壁式:冷、热流体之间有一固体壁面,冷流体在壁面的一侧流动,而热流体在壁面的另一侧流动,热量通过壁面进行传递,两种流体不直接接触。

(2)直接接触或混合式:冷、热流体直接接触进行换热。

(3)再生式或蓄冷式:冷、热流体交替地与壁面或填料接触。当冷流体流过时,把冷量储于壁面或填料内,使其温度逐渐降低。当热流体流过时,壁面或填料吸收热量,其温度逐渐升高。如此反复进行,以实现两种流体的热量交换。

此外,还可以根据换热流体的种类、流向等进行分类,这里不一一列举。

二、传质设备

气液传质设备是制冷与低温工程中用以进行精馏、气液直接接触换热等过程的设备。这些过程大部分受相平衡关系的控制,因此要求设备中气液两相能有良好的接触。

气液传质设备的类型主要有板式塔和填料塔等类型:

(1)板式塔:塔内以塔板作为气液逐级逆流接触的基本构件,塔板又分有筛孔塔板、浮阀塔

板和泡罩塔板等型式。

(2) 填料塔: 塔内以填料作为气液逆流接触的基本构件, 填料又有个体填料和规整填料之分。

表 1-1 给出了上述两种类型塔的特性比较。

表 1-1 板式塔与填料塔的比较

项 目	板 式 塔	填 料 塔
传质机理	塔内流体逐级逆流接触, 靠上升蒸汽穿过塔板上的液层实现传质	塔内流体连续逆流接触, 靠往下流的液体在填料表面与上升蒸汽接触而实现传质
压力降	压力降一般比填料塔大	压力降小, 较适合于要求压力降小的场合
空塔速度 (生产能力)	一般空塔速度大	一般空塔速度小, 但新型填料塔生产能力也高
塔效率	效率较稳定, 大塔板效率比小塔板有所提高	塔径 $\phi 1.5\text{m}$ 以下效率高。塔径增大, 效率常会下降
液气比	适应范围较大	对液体喷淋量有一定要求
持液量	较大	较小
材质要求	一般用金属材料制作	可用非金属耐腐蚀材料制
安装维修	较容易	较困难
造价	直径大时一般比填料塔造价低	$\phi 800\text{mm}$ 以下, 一般比板式塔便宜, 直径增大, 造价显著增加
质量	较轻	重

另一类传质设备是用于混合气体和液体分离的吸附器。

分离用的吸附设备有搅拌槽、流化床吸附器、固定床吸附器、移动床吸附器和模拟移动床吸附器等类型。基于吸附器中吸附剂再生方法的不同, 吸附循环还分为变温吸附(TSA)循环、变压吸附(PSA)循环和惰性气体清洗吸附循环以及组合吸附循环等。

精馏塔用于混合气体的分离, 即先液化后精馏分离。由于精馏方法简单, 并能任意放大规模而得到广泛应用, 但其能耗高。吸附分离可在常温下进行, 对小到中规模都能使用, 在不要求高纯度产品时吸附分离的成本一般比精馏分离低。吸附分离可用于下列场合: (1) 待分离的关键组分之间的相对挥发度较低; (2) 进料中待分离的组分的浓度相当低; (3) 待分离的两组组分具有重叠的沸点范围; (4) 液化需要较低温度和高压; (5) 存在对吸附分离有利的其他因素。

第三节 制冷与低温设备的最新研究与发展状况

一、传热设备的研究和发展趋势

1. 研究

由于近代科学的发展, 从动力工业到宇宙开发都需要热交换, 并且对换热器不断提出各种特殊的要求, 而传热设备的设计又与传热过程的机理密切相关, 因此, 对传热学及传热设备的研究总是紧密联系在一起。近年来, 从传热机理的探讨到设备结构的改进和创新, 从设计计

算到制造工艺的改进,都不断涌现出新成果。随着这些成果的推广应用,日益显现其巨大的经济和社会效益。

(1) 传热机理

对冷凝和沸腾过程的传热机理的深入研究得到了新的更切合实际的计算公式。例如通过研究电磁场对电导流体传热的影响,揭示了在磁流变系统中热传导的各向异性特征,在顺着场的方向上传热增强,而在垂直场的方向上传热减弱。采用静电系统所产生的离子化的气流,应用于传热技术中,可使传热速率提高几倍。还有对蒸发冷却、低密度气体与固体表面间的传热和融磨冷却等研究都有很大进展。

在空分装置精馏塔的板翅式冷凝蒸发器中应用了类环状流微液膜蒸发技术,同时采用降低翅片高度、减少翅片节距等措施,提高气相流速,强化冷凝传热。采用这些技术后的精馏塔冷凝蒸发器比采用前的同类换热设备的传热系数提高了 21.6%,总传热温差减小了一半左右,取得可观的经济和社会效益。

(2) 设备结构的改进和创新

(a) 依靠外来能量增强传热,如用机械或电使传热表面或流体发生振动,增强过渡流区域和受迫流动的换热效果;对管内层流或过渡流的流体施加声波或超声波,使之交替地受到压缩和膨胀,以增加脉动而强化传热;对参与换热的流体加以高电压,形成一个非均匀的径向静电场,使传热面附近的电介质流体产生混合作用,从而强化换热过程。试验表明,此法对自由流动、膜状沸腾和凝结换热均有较显著的强化效果。

(b) 用扰动促进物,增强换热流体的扰动。如用螺旋线、入口涡流发生器、缠绕带、位移促进器和螺旋沟槽管等,或在管内外套装金属丝、金属螺旋圈环、麻花铁等插入物,增强换热流体的扰动,破坏流动边界层而强化传热过程。

(c) 改变换热表面状况。通过改变换热表面的形状、大小、粗糙度等来提高换热系数,如采用椭圆管、螺旋管、波纹管、变截面管,以及在管子内表面或外表面覆盖一层由多孔性金属烧结形成的粗糙表面,也可以对金属管进行电火花加工或切削而形成多孔金属层。另外,还可以在换热面上施加涂层改变表面张力大小或改变对光的吸收率和发射率大小等方法来达到强化传热的目的。

二、传质设备的新发展

在传质用的板式塔和填料塔两种塔设备中,板式塔的研究起步较早,其流体力学和传质模型比较成熟,数据可靠。尽管与新型填料塔相比较,板式塔存在效率较低、通量较小、压降较高、持液量较大等缺点,但也有结构简单、造价较低、适应性强、易于放大等优点。因而,在 20 世纪 70 年代以前的很长一段时间里,板式塔的开发研究一直处于优先地位。然而 20 世纪 70 年代初期出现的世界性能源危机迫使填料塔技术取得了长足进展。由于性能优良的新型填料相继问世,特别是规整填料及新型塔内件的不断开发应用和基础理论研究的不断深入,使填料塔的放大技术有了新的突破,改变了国内以板式塔为主的局面,并出现了填料塔逐步取代板式塔的趋势。规整填料塔作为低压降下具有高传质效率的传质设备备受青睐。在我国,随着石油化工的不断发展、传质分离工程研究的日益深入,填料塔技术及其应用进入了一个崭新的时期,应用水平进入了世界的先进行列。

填料塔应用的一个新领域是空分装置。由于现代钢铁、氮肥、化工、火箭等技术的发展,氧、氮及稀有气体的使用迅速增加。目前世界各国均已开始把规整填料用于空分装置的主精馏塔

和氩塔中,一般可节能 8%左右。我国已把铝质规整填料用于空分装置的主精馏塔,效果良好,各项指标均达到了设计要求,压力降小于板式塔的 1/10。

思 考 题

1. 什么叫制冷与低温设备? 举例说明它们在装置中起什么作用。
2. 换热器从结构上可分成哪几种类型? 不同类型的换热器主要应用于哪些场合?
3. 板式塔与填料塔的传质机理有何不同?
4. 强化换热根据哪些原理? 有哪些途径?
5. 吸附分离主要应用于什么场合? 有何特点?

第二章

常用换热设备的结构及特点

第一节 管式换热器

管式换热器在制冷与低温装置中应用广泛,其由于应用场合不同而产生了繁多的型式。为了便于选型和设计计算,熟悉典型和常用的换热器的结构及工作特性是必要的。根据结构的不同,管式换热器可分为管壳式、绕管式、套管式、翅片管式等类型。本节对常用的管壳式换热器的典型结构与特点作介绍。

一、管壳式换热器

管壳式换热器结构的共同特点是有一个外壳,内装传热管束,管内通道部分统称管程,管外面与壳体内表面之间的通道部分统称为壳程。冷、热流体分别流过管程和壳程,通过传热壁面实现换热。这是应用最广泛的一种换热设备,已有国家标准系列。

管壳式换热器的典型结构如图 2-1 所示,它由封头或称管箱、壳体、传热管(简称管子)、法兰、管板、折流板、流体进出管及支承机构等组成。

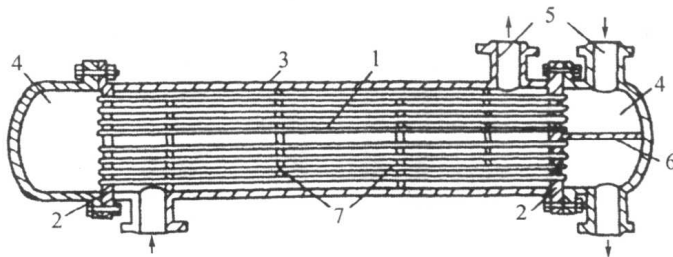


图 2-1 管壳式换热器

1-管束 2-管板 3-壳体 4-管箱 5-接管 6-分程隔板 7-折流板

1. 结构形式

管壳式换热器按其传热管固定结构的不同一般分为:

(1)刚性结构,即固定管板式,如图 2-1 所示,它又分为单管程和多管程两种。这种形式结构简单、紧凑、造价便宜,应用较广,但管外不能进行机械清洗。

(2)考虑冷热补偿的结构,它可使受冷热部分自由伸缩。该结构形式又可分为:(a)U形管式。它只有一块管板,因此管子在受热或冷却时可以自由伸缩。这种换热器结构简单,但弯管

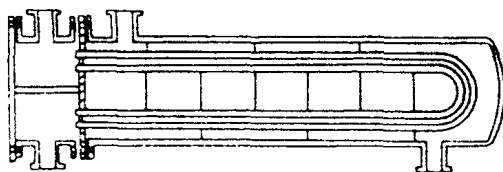


图 2-2 U 形管式换热器

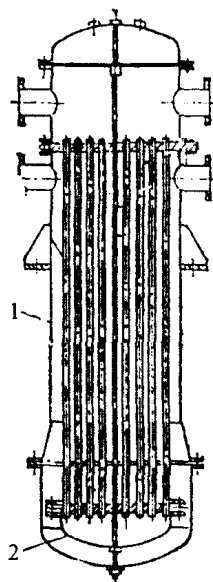
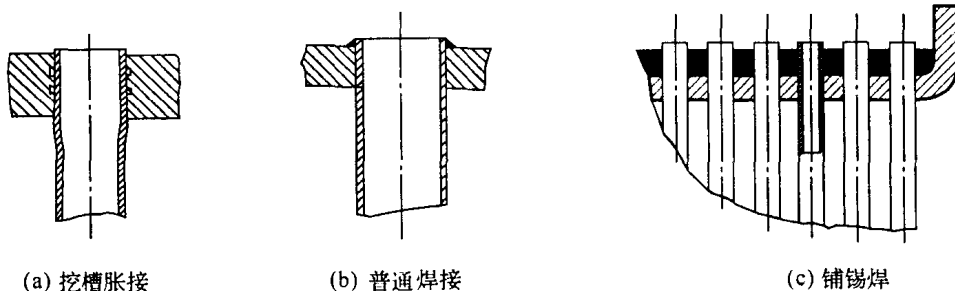
工作量较大,而且由于管子有一定的弯曲半径,管板利用率较低,管内难进行机械清洗,拆换管子不易,适用于清洁流体和温差变化大或高压的场合。其结构如图 2-2 所示。(b)浮头式:这种换热器的一端管板能够自由伸缩,即所谓“浮头”,如图 2-3 所示。它适用于管壁和壳壁温差大,管束空间需要常清洗的场合,但其结构较复杂,制造费用较高。此外,还有其他形式,如带膨胀节的换热器等等。

2. 典型结构

以固定管板式换热器为例,介绍其具体结构。

(1) 管子在管板上的固定

管子在管板上的固定有胀接、普通焊接、铺锡焊等方法,如图 2-4 所示。胀接法能保证连接的严密性,同时易于更换损坏的管子,常用于铜管和小口径钢管与管板的连接。普通焊接对管孔的加工要求相对较低,但焊接接头易被腐蚀,也不易更换损坏的管子。空分装置用的管式换热器多采用铺锡焊。它是在管板上铺一层焊锡,然后将管子与管板钎接起来。采用铺锡焊时管子可以密排,但不能用于工作压力较高的场合,否则管子有可能松脱。

图 2-3 内浮头式换热器
1-壳体 2-浮头

(a) 挖槽胀接

(b) 普通焊接

(c) 铺锡焊

图 2-4 管子与管板的连接方法

(2) 管子在管板上的排列

管子在管板上的排列方式常用等边三角形或正方形排列法,如图 2-5 所示。管孔的中心距一般取为 $s \geq 1.25d_o$ (d_o 为管子外径),管孔边缘的距离应不小于 4mm,最外部的管孔边缘与外壳内表面的距离应不小于 3~5mm。

(3) 管板

管板常用圆形平板,它与壳体的连接有可拆和不可拆两种形式。固定管板式换热器常用不可拆连接,两端的管板直接焊于外壳上并延伸到壳体外兼作法兰,如图 2-1 所示。对于 U 形管式、浮头式换热器,管板与壳体是可拆的,如图 2-2 所示。

(4) 分程隔板

在管箱内安装分程隔板是为了将换热器的管程分为若干流程,如图 2-1 所示。所采用的程

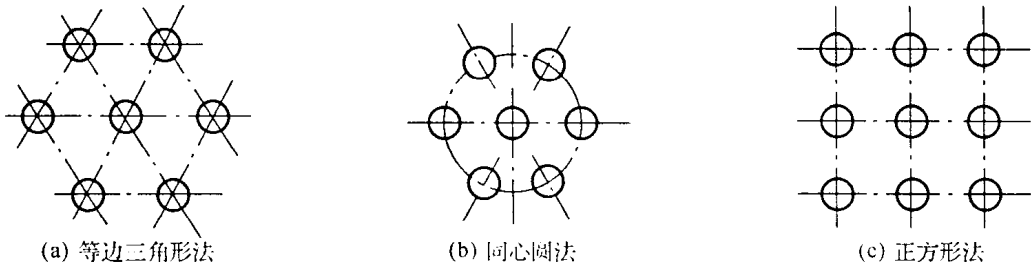


图 2-5 管子在管板上的排列

数有 1、2、4、6、8、10、12 等七种。

(5) 纵向隔板、折流板和支承板

为了提高壳程流体的流速,强化壳程流体的换热,在管外空间常设纵向隔板或折流板。如果壳程是蒸汽冷凝或液体蒸发的相变过程,则不须加折流板。但管子较长时,可装一个或几个支承板,以免管子下垂。

固定管板式换热器的折流板多做成弓形(圆缺形),而 U 形管式换热器则用环形和盘形的折流板。折流板的固定和间距是通过拉杆和定距管束实现的。图 2-6(a)为弓形折流板介质流动图,(b)为圆环与圆盘形折流板介质流动图。图 2-7 为拉杆与定距管安装固定图。

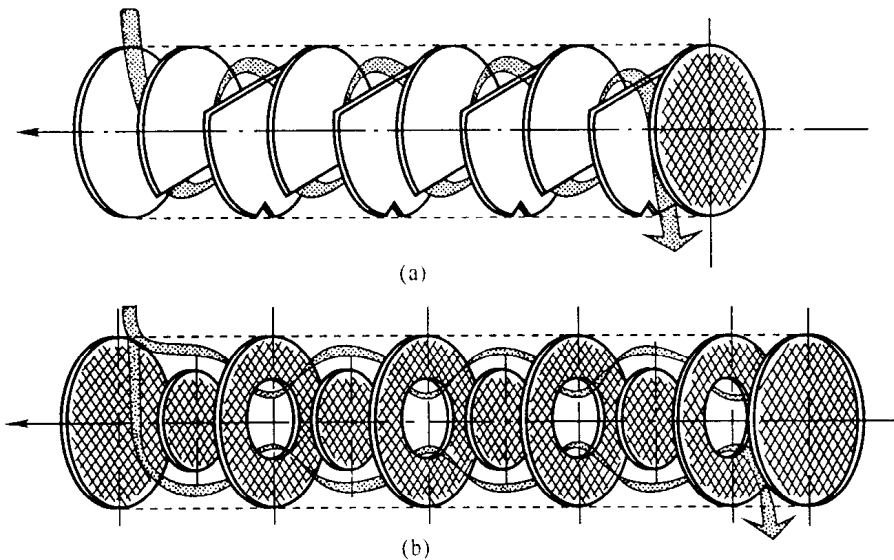


图 2-6 不同折流板形式时的介质流动图

管壳式换热器具有结构简单、造价低廉、处理量大和适应性强等优点,在制冷与低温装置中得到广泛应用。

二、绕管式换热器

绕管式换热器的结构如图 2-8 所示,其传热管分层以螺旋状盘绕在中心管上,每层有几根管子同时盘绕。为使每根盘管的长度基本相同,以保证流体的均匀分配,每层同时绕的管子数目由里向外增加。相邻两层管子的盘绕方式相反,以使管子盘绕紧密并增强管间流体的扰动,进而强化换热。管层之间及管层与中心管和外壳之间均用垫条隔开,以形成流体通道。在设计时,每根管子的长度都需要计算,若管层的长度为 l_0 ,则管长为

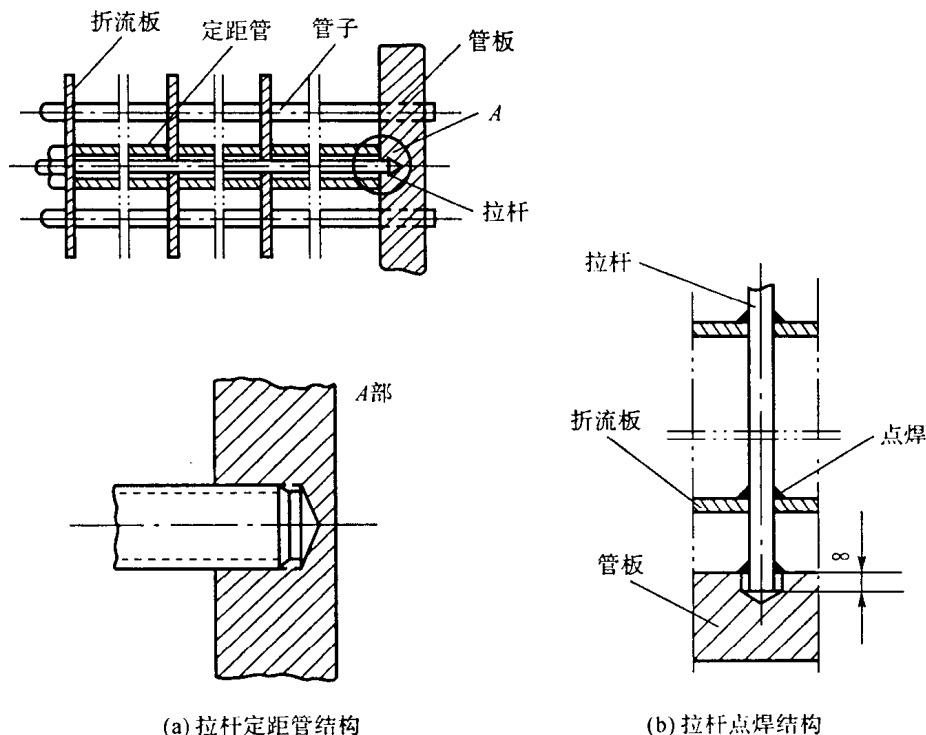


图 2-7 拉杆与定距管的安装固定

$$l = \frac{l_{co}}{\sin \alpha} \quad (2-1)$$

式中, α 是盘管的螺旋角。若纵向管子中心距为 S_2 , 管层的平均直径为 D_{co} , 同时有 n 根管子盘绕, 则螺旋角可按下式确定:

$$\tan \alpha = \frac{nS_2}{\pi D_{co}} \quad (2-2)$$

这种换热器的优点是结构紧凑, 也不需要另外的热补偿装置, 适用于高、低压流体间换热, 在低温装置中应用较多。在气体液化装置中使用的绕管式换热器的绕管为套管或滚轧翅片管等。

三、套管式换热器

套管式换热器的基本部件是由直径不同的两根或多根标准管子套在一起形成的套管。套管可盘成长圆形、圆形, 或做成排管, 再用 U 形弯头连接。套管端部有可拆和不可拆两种形式。当内管过长时, 可在一定长度处设置纵向定位翅片, 如图 2-9 所示。冷、热流体呈逆向流过内管和套管的环隙, 实现热交换, 如图 2-10 所示。

套管式换热器的优点是: 结构紧凑、简单, 两种流体可实现逆流换热。缺点是: 环隙通道清洗困难, 接头多时容易泄漏, 单位换热面积的金属耗量较大。

套管式换热器适用于流量不大、传热面积较小的场合, 在一些制冷及气体液化装置中用到。

四、翅片管式换热器

翅片管式换热器是一种传热管带翅(亦称带肋)的管式换热器。由于其结构紧凑, 在制冷、