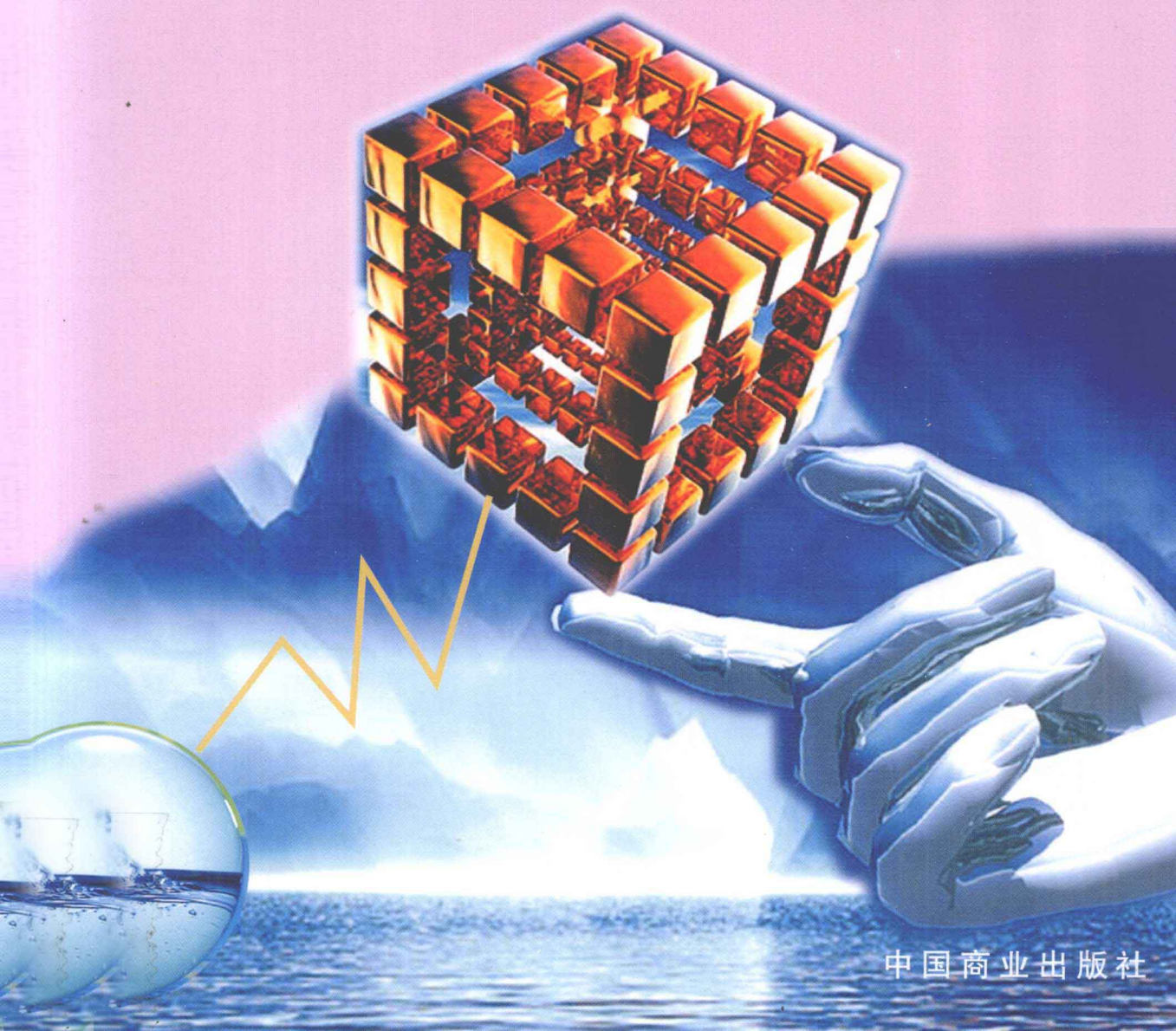


高等职业技术教育教材

制冷与空调设备

主编 崔建宁



中国商业出版社

高等职业技术教育教材

制冷与空调设备

崔建宁 主编

中国商业出版社

图书在版编目(CIP)数据

制冷与空调设备/崔建宁主编. —北京:中国商业出版社,2001.7

ISBN 7-5044-4223-2

I. 制… II. 崔… III. ①制冷-设备-高等学校:技术学校-教材②空气调节设备-高等学校:技术学校-教材 IV. TB65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 048023 号

责任编辑:刘树林

中国商业出版社出版发行
(100053 北京广安门内报国寺1号)
新华书店总店北京发行所经销
中国石油报社印刷厂印刷

*

787 × 1092 毫米 16 开 12 印张 295 千字
2001 年 7 月第 1 版 2007 年 1 月第 5 次印刷

定价: 18.00 元

* *

(如有印装质量问题可更换)

编审委员会名单

主任：匡奕珍

副主任：张萍 朱立 崔建宁

委员：邹汉贞 谢一风 李丰桐 李军

叶学群 姜献忠 邢振禧 邹新生

吕美进 韦伯琳 伊佩奇 周秋淑

李建华 涂河 林巧婷

编审说明

为适应我国高等职业技术教育的发展,根据《制冷与空调》专业教学计划和教学大纲的要求,结合我国制冷和空调行业的发展情况,我们组织全国有关职业技术学院的部分专业教师编写了《制冷与空调设备》一书。本书是高等职业技术教育必用教材,也可供职工大学、电视大学和高等专科学校使用,或作为本科院校的参考教材。

本书由江苏省商校崔建宁主编,朱颖、邢振禧参编,具体编写分工是:崔建宁编写绪论、第一、三章,朱颖编写第二、四章,邢振禧编写第五、六章。最后由匡奕珍副教授主审。

在本书编写过程中,有关设计、施工、管理单位和兄弟院校的专家、教师们提出了很多宝贵意见,提供了不少资料,在此表示衷心感谢。

由于编写时间仓促,编者水平有限,书中如有疏漏之处,敬请广大读者不吝赐教,以便于修订,使之日臻完善。

制冷与空调专业教材编审委员会

2001年2月

目 录

绪 论	(1)
第一章 冷凝器与蒸发器	(2)
第一节 冷凝器	(2)
第二节 蒸发器	(17)
第三节 蒸发器——冷凝器组与蒸发冷凝器	(41)
第二章 制冷系统辅助设备	(46)
第一节 中间冷却器	(46)
第二节 分离与贮存设备	(48)
第三节 其它附属设备	(63)
第三章 制冷与空调系统常用阀件	(72)
第一节 截止阀	(72)
第二节 节流器	(74)
第三节 安全阀、压力表阀及止回阀	(82)
第四节 空调系统通风管道用阀	(86)
第五节 阀门型号	(91)
第六节 液位指示器	(92)
第四章 泵与风机	(96)
第一节 泵与风机的主要性能参数和分类	(96)
第二节 离心式水泵	(98)
第三节 氨 泵	(112)
第四节 制冷与空调系统常用风机	(118)
第五章 空气调节设备	(128)
第一节 喷水室	(128)
第二节 电加热器及热回收设备	(134)
第三节 加湿器与除湿机	(139)
第四节 空气过滤器与净化设备	(155)
第六章 空气调节机组	(166)
第一节 组合式空调机组	(166)
第二节 柜式空调机组	(171)
第三节 风机盘管式空调机组	(174)
第四节 诱导式空调机组	(177)
主要参考文献	(181)

绪 论

一、《制冷与空调设备》课程研究的内容

制冷系统由制冷机、冷凝器、节流装置、蒸发器和辅助装置及管线等组成,合理地选择与设计可为特定的空间提供所必需的冷源。空调系统则由制冷系统、空气净化装置及热源交换装置等组成,为特定的空间提供所必需的温湿度和洁净度。制冷系统加上制热装置后可实现冷热转换,既可向特定空间提供冷源,又可向特定空间提供热源。研究除制冷机外的这些设备的构造、工作原理、性能特点及发展方向是本门课程的重要内容。

二、制冷与空调设备的发展趋势

目前,制冷与空调技术的发展很快,制冷与空调设备的种类、型式日益发展和增多。随着新技术、新工艺、新材料的研究和应用,促使高效、节能的新设备不断出现。特别是在热交换设备和空气净化设备方面,研制和开发新产品一直是十分活跃的领域。在热交换设备中主要应用间壁式换热器,其中尤以管式换热器用得最为广泛。在强化传热、提高单位面积换热量,使换热器的结构紧凑,各种翅化式热交换管已逐步试用于制冷装置中的换热器上。如在氨卧式冷凝器中采用绕金属丝的翅化管,可比光管提高换热系数 60% ~ 100%;在氟冷凝器中,美国开利公司已生产出每英寸 36 翅的低螺旋管,日本日立公司发明了一种“超热流——C 管”,这种管的翅距更密(可达 0.5mm),翅片外缘开有锯齿缺口,因而有更大的外缘表面积,在相同的负荷下,可节省近一半的铜材,体积也可减小 1/3。在空气净化设备中,人们对空气成分的要求越来越高,空气滤化器和空气发生器的应用也日益广泛。

计算机的普及应用,为制冷与空调设备的研究开辟了美好前景,特别是计算机的快速计算、计算机的辅助设计和辅助制造(CAD、CAM)对多种方案的比较、工艺设计、设备制造都带来很大的方便,因而为制冷与空调设备的优化设计创造了条件。

三、《制冷与空调设备》课的学习方法和要求

本门学科是一门应用学科,直接为今后的工作服务,因此要求学生能掌握制冷与空调设备的构造、工作原理、性能特点、维护和使用要求;熟悉各种设备在制冷与空调系统中的位置、作用;了解制冷与空调设备的发展趋势。在课程行学习中加强理论和实际相结合,为今后从事专业工作打好基础。

第一章 冷凝器与蒸发器

冷凝器与蒸发器均属热交换器。所谓热交换器,是指实现两种(或两种以上)温度不同的流体间相互传热的设备,所以也称为热交换设备。冷凝器与蒸发器是制冷系统中主要的热交换设备,用于制冷剂与热源间的换热,同样也用于不同工况下制冷剂、载冷剂间的换热。因此,它是制冷系统中的主要热力设备,并与其它制冷设备一起构成了完整的制冷系统。

本章主要介绍制冷系统中常用冷凝器与蒸发器的作用、工作原理、结构特点和适用范围;也较详细地介绍了热交换器的传热机理和影响因素。

第一节 冷凝器

冷凝器是制冷装置中主要的热交换设备之一。冷凝器的作用是将制冷机升压排出的制冷剂过热蒸汽冷却冷凝成制冷剂液体,并放热于冷却介质(水或空气)中。

一、冷凝器的传热及影响因素

(一)冷凝器的传热

冷凝器是用于制冷剂与高温热源间换热的主要热交换设备。通过冷凝器向冷却介质(水或空气)放出的热量称为冷凝器负荷。从热力学角度来看,冷凝器负荷应等于制冷系统中的有效制冷量、无效制冷量以及外界耗能所转换热量三部分之和。根据传热学原理可知,冷凝器负荷就是制冷剂热流体通过间壁式热交换器壁面传向冷却介质(水或空气),再通过冷却介质传向环境的传热量。在冷凝器的传热中,由于压缩后的过热制冷剂蒸汽向冷凝器传热壁面放出热量后被冷却、冷凝成液体,所以其放热量应包括汽体冷却热、凝结热,当有液体过冷时还包括液体过冷热。其中,凝结热要占制冷剂放热量的80%以上。冷却介质作为冷凝器中的吸热流体,并起到向环境散热的作用,冷却介质主要靠显热传热。

(二)影响冷凝器传热的因素

根据热交换器传热量计算式可以知道,热交换设备的传热量大小与换热面积、传热温差、传热系数的大小成正比。对已选定的冷凝器来说,其换热面积是一定的,因此在正常使用中要提高冷凝器单位面积传热量,除了提高冷凝器内冷热流体间的传热温差外,更重要的是提高冷凝器的传热系数。这是因为提高冷凝器内冷热流体间的传热温差,不仅要受到客观条件的限制,而且还会增大传热的不可逆损失。

传热系数是反映传热过程强弱的重要指标,它受各种传热因素的影响,即取决于冷凝器中冷热流体的热物理性质、流动情况、传热表面特性以及冷凝器结构特点等影响因素。分析这些影响因素,有利于在冷凝器的设计、安装、管理、操作维修中采取相应的措施来提高其传热性能。

1. 制冷剂及其传热特性对冷凝器传热的影响

不同的制冷剂表现出各自的特性,影响传热的特性主要是制冷剂的比热、导热系数、密度、粘度等。导热系数较大的制冷剂,能减小制冷剂内部以及与换热壁面间的导热热阻,增大传热

系数。当比热和密度大时,单位容积制冷剂就能携带更多的热量,故其对流换热方式转移热量的能力就大,传热系数也大。当粘度大时,会使制冷剂的流动阻力增大,使其传热性能降低。同时,制冷剂的导热系数、比热、密度与粘度等特性还受到温度的影响。

制冷机压缩后的制冷剂过热蒸汽在冷凝器壁面上的放热是一个冷却冷凝过程。在冷却阶段,制冷剂以显热的形式向冷凝器壁面放热;在冷凝阶段,制冷剂以膜状凝结和珠状凝结两种不同的换热形式向冷凝器壁面放出凝结潜热。制冷剂蒸汽在冷凝器中的凝结主要属于膜状凝结。

从换热效果看,在珠状凝结的情况下,由于壁面上没有形成液膜,因此热阻较小,在相同的温差(饱和温度与冷壁面温度之差)下,其放热量可以达到膜状凝结的15~20倍。在膜状凝结时形成的液膜,将使制冷剂的热阻增大,放热系数降低。因此理想情况是避免液膜增厚并能使其迅速与传热面分离。当蒸汽与冷凝液膜同向运动时,液膜与传热面的分离较快,因此这时的放热系数也较高。当液膜与蒸汽反向运动时,则放热系数可能降低,也可能增大。这将取决于蒸汽的流速,当蒸汽流速较小时,则液膜变厚,放热系数降低;当蒸汽流速较大时,液膜层则会被蒸汽带着运动以致较快地与传热表面脱离,使传热系数增大。

2. 冷却介质及流动特性对冷凝器传热的影响

冷凝器的冷却介质常采用水或空气,由于水的热容量大于空气的热容量,因此用水作冷却介质的冷凝器的传热性能要优于用空气作冷却介质的冷凝器。并且,用水作冷却介质时,制冷系统的冷凝压力明显低于用空气作冷却介质的,这有利于制冷系统的安全工作。

在冷凝器传热壁的冷却介质一侧,流动着的冷却水或冷却空气的流速对冷却介质一侧的放热系数有很大的影响。随着冷却介质流速的增加其放热系数也增大。但是流速太大,会使设备中的流动阻力损失增加,使水泵和风机的功率消耗增大。一般冷凝器内最佳水流速度约为0.8~1.5m/s,空气流速约为2~4m/s。对于不同结构型式的冷凝器,由于冷却介质流动途径不同(如管内、管外、自由空间流动等),流动方式不一样(如自然对流、强迫流动等),在各种具体情况中传热系数的大小也是各不相同的。

3. 不凝性气体对冷凝器传热的影响

在制冷系统中,总会存在一些空气以及制冷剂与润滑油在高温下分解出来的不凝性气体,这些气体随制冷剂蒸汽进入冷凝器。制冷剂蒸汽会在冷却壁面放热凝结成液体,而不凝性气体只是被单纯冷却而积聚在制冷剂液膜层附近形成气体层。这给制冷剂蒸汽分子向液膜表面的扩散和对流造成了很大的阻力,影响了制冷剂蒸汽的进一步凝结放热,使得冷凝器传热性能明显地降低。实验证明,蒸汽中含有不凝性气体时,即使是极微量也会对凝结换热产生极有害的影响。在一般的冷凝温度下,蒸汽中的不凝性气体含量为0.2%时,冷凝器的传热系数约降低20%~30%;含量为0.5%时,传热系数约降低50%;而含量约为1%时,传热系数仅是纯蒸汽时的1/3。

为了防止在冷凝器中积聚过多的不凝性气体,防止恶化传热过程,在通常的制冷装置中都设有空气分离器,用来及时排除不凝结气体。而在小型氟利昂制冷装置中,为使系统简化,也可不专设空气分离器,若系统需要放空气时,可通过连接在冷凝器或贮液器上的放空气管(或阀)将其直接排出系统。

4. 传热面状态对冷凝器传热的影响

冷凝器的传热面状态对冷凝器的传热也有较大的影响。若冷却壁面光滑、清洁,液膜流动

阻力就较小,凝结的制冷剂液体就能较快地流去,使液膜层减薄,放热系数就能相应增大。如果传热壁面粗糙、锈蚀,在凝结雷诺数较低时,凝液易于积存在壁面上,从而加厚了液膜,这时的传热系数可低于光滑管的30%左右。但在凝结雷诺数 $Rec > 140$ 后,其传热系数则有可能高于光滑管。

蒸汽中含有油时,对制冷剂的凝结放热系数也有很大的影响,但这种影响与制冷剂与油类的溶解度有关。如氨和润滑油不易相溶,在冷凝时,蒸汽中混有的润滑油将会沉积在冷却壁面上形成油膜,使氨侧的放热系数降低。厚度为0.1mm的油膜,其热阻相当于厚度为33mm钢板的热阻。但和润滑油互溶或微溶的氟利昂制冷剂蒸汽在冷凝时,由于润滑油全部或部分溶解于氟利昂之中,因此较少地在传热壁面上形成油膜,对冷凝器传热的影响也较小。冷却介质的纯净度对冷却侧的传热有很大的影响。在用水冷却的冷凝器中,由于实际使用的冷却水不免含有某些矿物质和泥沙之类的杂质,因此使用一段时间后,在冷凝器的传热面上都会附着一层水垢。水垢的厚度取决于水质的好坏、冷凝器使用时间的长短和操作管理的妥善与否。用空气冷却的冷凝器,其传热表面也会被尘土沾污。冷却介质侧的污垢存在必定增大传热热阻,降低传热效果,严重时会使制冷系统无法工作。此外,设备的外表面所涂有的油漆和传热表面的锈蚀等不利因素,均会影响冷凝器的传热性能。

表1-1列举了冷却水的污垢热阻值。

表1-1 冷却水的污垢热阻 $R(\text{m}^2 \cdot \text{℃})/\text{W}$

冷却水种类	有色金属管		钢管	
	水速(m/s)		水速(m/s)	
	< 0.9	> 0.9	< 0.9	> 0.9
海水	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002
井水	0.0002	0.0002	0.0004	0.0004
湖水	0.0002	0.0002	0.0004	0.0004
硬水	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
流动水	0.0004	0.0002	0.0008	0.0004
泥水	0.0006	0.0004	0.0002	0.0008

5. 冷凝器结构型式对冷凝器传热的影响

无论何种结构的冷凝器,都应设法使制冷剂凝液迅速地从冷却壁面离开。如常用的壳管式冷凝器是采用圆管作热交换壁面,这种冷凝器中的圆管有横放和直立两种形式。在冷凝时,单根横管的外表面放热系数要高于直立管,因为单根横管的凝结液膜比直立单管容易分离。一定长度的直立单管凝结液膜向下流动时,会使管下部的液膜层厚度增加,平均放热系数下降。但当多根横管组成管簇时,上部横管壁上凝结的液体会流到下面的管壁上而形成较厚的液膜层,这时平均放热系数也会减小,但不高于直立管簇的平均放热系数。所以,现代卧式壳管式冷凝器在设计上向增大长径比的方向发展,以提高冷凝器的传热系数。

二、冷凝器的种类、工作原理与结构特点

按采用的冷却介质不同,冷凝器主要有水冷却式、空气冷却式、空气与水联合冷却式等类

型。此外,还有采用其它冷却介质进行冷却的冷凝器。冷凝器的选择是根据制冷剂种类、水(空气)温度、水质、水量、当地气候水文条件和制冷装置整体设计、使用要求等条件来决定的。常用的冷凝器有如下几种。

(一)水冷却式冷凝器

利用水吸收制冷剂放出的冷却冷凝热量的冷凝器叫做水冷却式(或水冷式)冷凝器。水冷式冷凝器的冷却水根据各地情况,可用地表水(江、河、湖、海),也可用地下水。冷却水有一次使用的,也有循环使用或部分水循环使用的。目前采用的水冷式冷凝器有壳管式、套管式和螺旋板式等多种,多用于水源较丰富的地区和制冷装置需固定安装的场合。

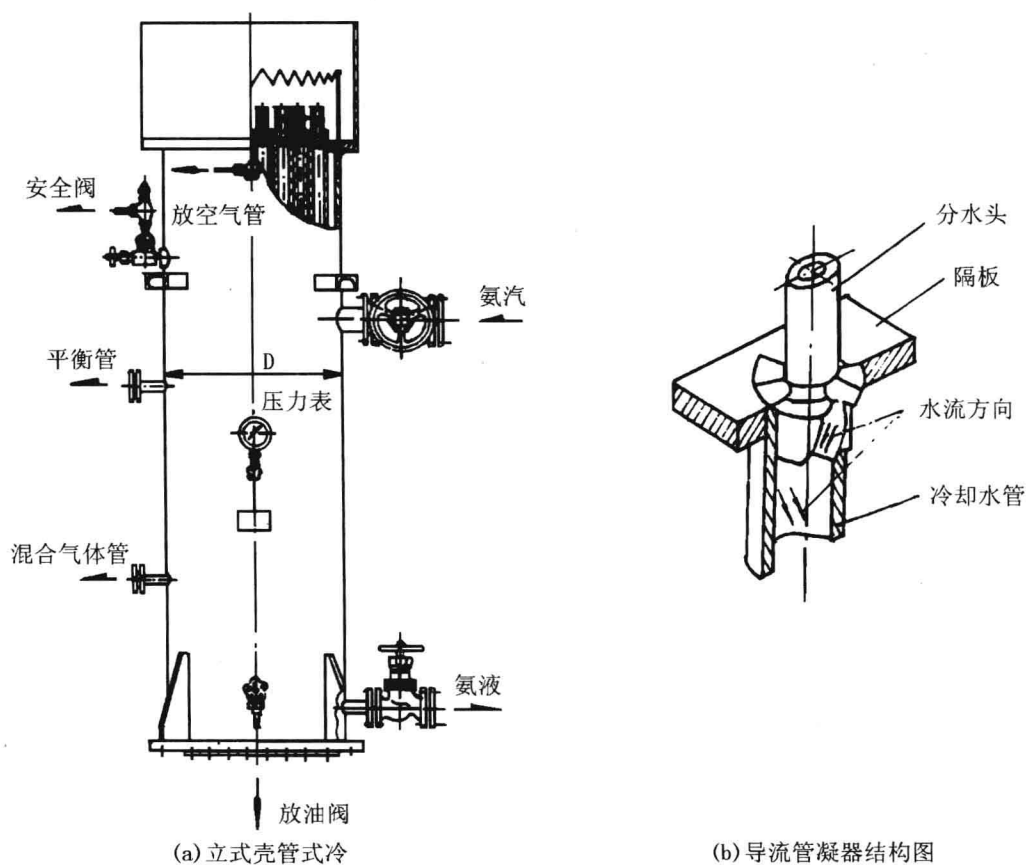


图 1-1 立式壳管式冷凝器

1. 立式壳管式冷凝器

立式壳管式冷凝器多用于氨制冷系统中,它垂直安放在室外混凝土的水池上。其结构如图 1-1(a)所示。立式壳管式冷凝器的外壳是由钢板焊成的圆柱形筒体,筒体两端焊有多孔管板,在两端管板的对应孔中用扩胀法或焊接法将无缝钢管固定严密,成为一个垂直管簇。壳体上有通往其他设备的管接头。在壳体上部有进汽管、安全管等接头;中部有均压管、压力表管和混合气体管等管接头;下部有出液管和放油管接头。壳体最上端装有配水箱,把冷却水均匀地分配到各个管口。在配水箱中有的装有多孔筛板,筛板下每根管口设置一个扁圆形铸铁分水环;也有的不装筛板,在每根管口上装有一个带斜槽的由铸铁或陶瓷制成的导流管头,如

图 1-1(b)所示。导流管头的作用是使冷却水呈膜状流动,即冷却水经导流管头斜槽沿钢管内壁形成薄膜水层作螺旋状向下流动,从而延长冷却水流的路程和时间,同时空气在管子中心向上流动,从而增强热量交换,提高冷却能力,节约用水。在实际工程中,当斜槽锈蚀或堵死时,冷却水会从导流管头的中孔往下直流,在管壁内表面上不能形成液膜层,从而影响冷凝器的传热,所以要经常检查和更换损坏或堵塞的导流管头。在冷凝器运行时,要注意适宜的冷却水量。水量不宜过小,过小就不能形成连续水膜,从而降低传热性能,并加速管壁的腐蚀和沾污;水量也不可过大,因为冷凝器的传热系数并不按此比例增加,反而造成浪费。

立式壳管式冷凝器在工作时,冷却水经配水箱均匀地通过水分配装置,在自身重力作用下沿管内壁表面呈膜状覆盖所有传热壁面不断流下。由油分离器来的氨汽从冷凝器上部进汽管进入筒体的管间空隙,通过管壁与冷却水进行热交换。氨蒸汽放出热量,在管外壁表面上呈膜状凝结,沿管壁流下经下部出液管流入贮液器。若冷凝器内混有不凝性气体,需经放空气管(混和气体管)通往空气分离器放出;冷凝器内积聚的润滑油需经放油管通往集油器放出,或随制冷剂液体一起进入贮液器。筒体上的平衡管与贮液器上的平衡管相通,以保持两个密闭容器间的压力均衡,保证凝结的氨液及时流往贮液器。安全管、压力表管分别与安全阀和压力表连接,是压力容器安全操作所必备的。

立式壳管式冷凝器具有传热系数高、冷却冷凝能力大的特点,可以安装在室外,节省机房面积。若循环水池设置在冷却水塔下面,可简化冷却水系统,节约占地面积。立式壳管式冷凝器对冷却水质要求不高,而且在清洗时不需要停止制冷系统工作。但立式冷凝器的用水量大,一般当冷却水温升高 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 时,冷凝器的单位面积冷却水量约为 $1\sim 1.7\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,水泵耗功率也相应增加;金属消耗量大,比较笨重,搬运安装不方便;制冷剂泄漏不易发现;易于结水垢,需要经常清洗。

立式冷凝器适用于水质差、水温较高而水量充足地区的大、中型氨制冷系统。

2. 卧式壳管式冷凝器

卧式壳管式冷凝器较普遍地应用于大、中、小型的氨、氟利昂制冷系统中,尤其在船舶制冷和空调制冷用冷凝机组、冷水机组中应用较为广泛。

(1)氨用卧式壳管式冷凝器。氨用卧式壳管式冷凝器与氨用立式壳管式冷凝器有类似的壳管结构,主要区别是冷凝器的圆筒形壳体水平布置,其结构如图 1-2 所示。壳体内采用由多根 $D25\times 2.2\text{mm}$ 或 $D38\times 3\text{mm}$ 无缝钢管组成的一个横卧管簇,筒体两端盖配有分水筋,端盖和筒体端面间夹有橡皮垫片并用螺栓固定。在一端的端盖上有冷却水的进出水管接头,在另一端的端盖上、下各有一个旋塞或闷头以便放空气与泄水。在横卧的冷凝器筒体上部依次安装有进汽管、平衡管、安全管、压力表管和放空气管等管接头,筒体下部安装有出液管接头。近年来,一些工厂生产的氨用卧式壳管式冷凝器不再设有贮油包和放油管。

卧式和立式壳管式冷凝器均属于间壁式热交换器,其传热原理是相同的,但冷却水的流动特性不相同。卧式壳管式冷凝器的冷却水从一端的端盖下部的进水管流入,由于两端的端盖内部有相互配合的分水筋,因此冷却水能在管簇内多次往返流动。每向一端流动一次称为一个水程。国内生产的卧式壳管式冷凝器的水程数一般可达到 $4\sim 10$ 个。制成多流程可以缩小流动断面面积,提高流速,增加水侧的放热效果;但流程过多,流动阻力损失也会增大。冷却水往返一个完全流程后从同端端盖的上部出水管流出。冷却水下进上出可充分保证运行过程中的冷凝器管内充满着水,启动时有利于排出管内的空气,另外也符合冷、热流体间的传热流动

特性。

制冷剂蒸汽从筒体上部的进汽管进入,在筒体内管间流动,与横管的冷却表面接触后放出热量,即在管子外壁上凝结成液膜。因管径所限,凝结的液膜在重力作用下顺着管壁流下,较快地与管壁脱开。上部管簇在制冷剂一侧有较高的凝结放热系数,上部凝液滴到下部管簇外壁表面上时,会增大其液膜厚度,降低放热效果。因此,合理地增大冷凝器的长径比,错开管簇排列,减少垂直方向管子的排数,可提高冷凝器的整体传热系数。

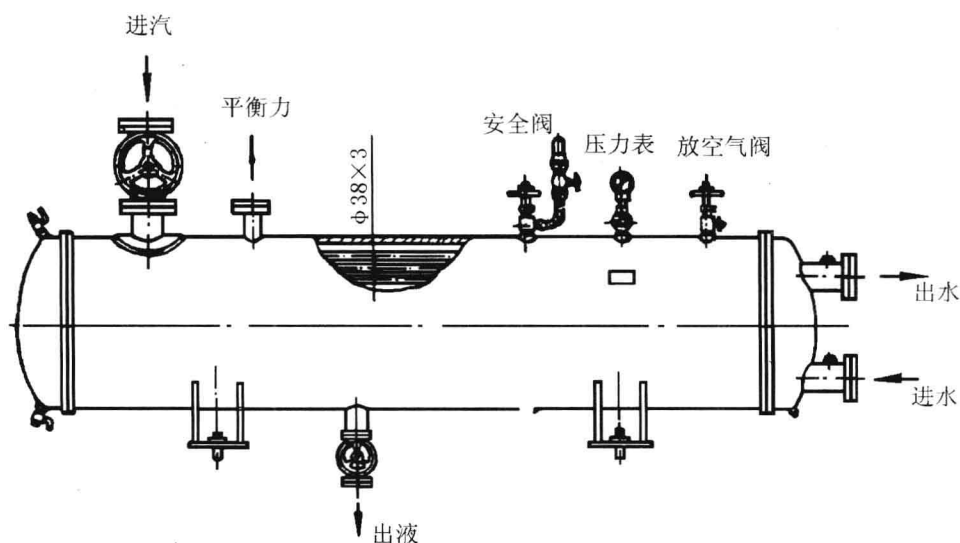


图 1-2 氨用卧式壳管式冷凝器

冷凝器传热系数的大小与冷却水的流速有关,流速不宜过高或过低。一般取淡水流速为 $0.8 \sim 1.2 \text{ m/s}$,海水流速为 0.7 m/s 时,对数平均温差为 $\Delta t = 4^\circ\text{C} \sim 6^\circ\text{C}$ 时,其传热系数可达 $K = 698 \sim 930 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;单位热负荷 $q_F = 1071 \sim 5234 \text{ W}/\text{m}^2$ 。

(2)氟用卧式壳管式冷凝器。氟用卧式壳管式冷凝器的结构如图 1-3(a)所示。其结构基本上与氨用卧式壳管式冷凝器相同,但由于氟里昂性质和氨不同,为了达到良好的冷凝效果,在结构和材料上有些差别。氟用卧式壳管式冷凝器筒体上部有进汽管,下部有出液管,筒体内部的管簇一般采用紫铜管或无缝钢管。用铜管的优点是:铜的导热系数比钢大,相同的传热面积可提高传热系数约 10% 左右;铜的延伸性好,可滚压成外形像螺纹的薄壁低肋片铜管(又称螺纹管)。根据不同用途,热交换管簇有多种不同的肋形断面,图 1-3(b)所示肋形断面的几何尺寸是其中一种。若肋片形状和参数选择合理时,其传热系数要比光滑管提高 $1.5 \sim 2$ 倍;铜管比无缝钢管光滑,液体流动阻力小,污垢不易积聚,在水速、水质相同的条件下,铜管比钢管的污垢热阻可减少近一半左右,管内水速可提高到 $2 \sim 2.5 \text{ m/s}$ 以上,也会使传热系数有相应提高。根据实验测定。对 R12,当冷却水流速为 $c = 1.7 \sim 1.9 \text{ m/s}$ 时,肋片管的传热系数可达 $K = 930 \sim 1337 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。对 R22,当冷却水流速为 $c = 6 \sim 2.8 \text{ m/s}$ 时,传热系数 $K = 1361 \sim 1593 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。所以用薄壁低肋铜管制成的冷凝器在传递相同热量时要比由无缝钢管制成的冷凝器体积小,重量轻,耗水量少,制冷剂充注量少,操作管理成本低。据有关资料统计,氨用卧式壳管式冷凝器每平方米冷凝面积的单位重量约为 $40 \sim 60 \text{ kg}$,而氟用卧式壳管式冷凝

器采用薄壁低肋片铜管时约为 9~18kg。但铜管价高于无缝钢管。

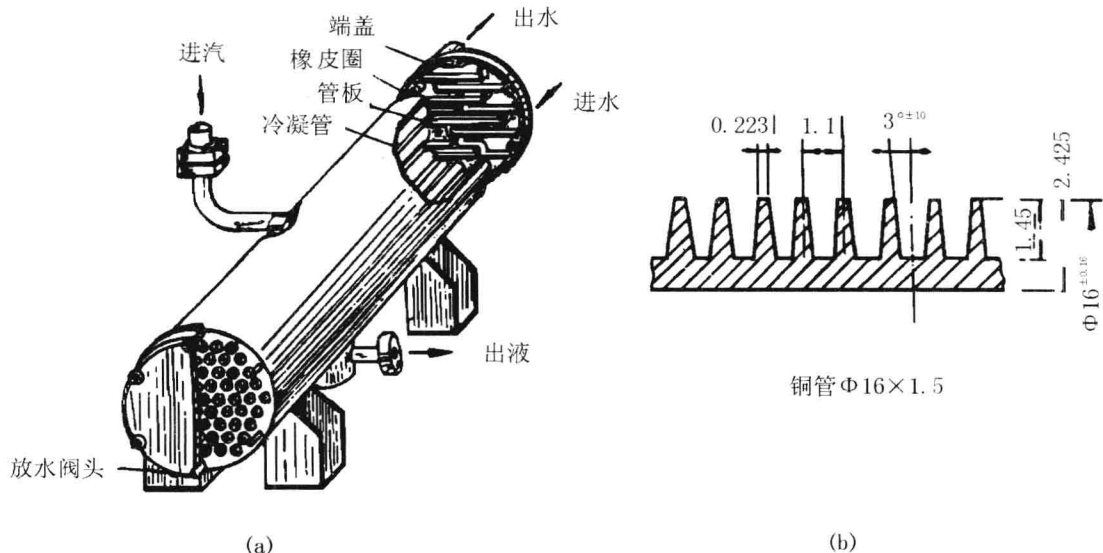


图 1-3 氟用卧式壳管式冷凝器

卧式壳管式冷凝器具有传热系数高、冷却用水比立式壳管式冷凝器少、单位传热面积冷却水消耗量约为 $0.5 \sim 0.9 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、占空间高度小、有利于有限空间的利用、结构紧凑、便于机组化、运行可靠、操作方便等优点；但却有泄漏不易发现、对冷却水水质要求比立式冷凝器高、水温要低、清洗时要停止工作、卸下端盖才能进行、材料消耗量大、造价较高等缺点。所以，卧式壳管式冷凝器多用于水源丰富和水质较好的地区，以及船舶、室内、操作地方狭窄等场所。

3. 套管式冷凝器

(1) 氨用套管式冷凝器。氨用套管式冷凝器结构如图 1-4 所示。它是用管件将两种直径大小不同的无缝钢管连接成为同心圆的套管，根据冷凝面积需要把多段这种套管连接而成。每一段套管称为一程，每程的内管与次一程的内管顺序用 U 形弯管连接。外管与外管互联程数往往较多，一般都是上、下排列，也有平斜排列固定于管架上的。管组向凝结液体流动方向有一定的倾斜，以利液体流动。如传热面积需要较大时，可数排并列，每排与总管连接。两个载热体在冷凝器中进行热交换时，冷却水自下而上在内管中流动；制冷剂蒸汽由上端进入套管间的环隙，在内管外壁表面上冷凝，凝结液体从内管外壁流落到外管底部，依次往下流动由下端排出。由于套管式冷凝器是用标准的无缝钢管（一般外管用 $D57\text{mm}$ ，内管用 $D38\text{mm}$ ）和管件组合而成，所以制造上较简单。而排数和程数可根据需要增加或拆除，机动性较大。冷液体的流速较大，冷热两流体呈逆向流动，故热交换的效果较好。但是接头多，容易泄漏，占地较大，每单位长度的传热面积有限。若套管过长，管内冷却水的流动阻力会增大，同时积聚于外管底部的凝结液体也会增多，并且不凝性气体排出较困难，从而降低了传热效果，所以氨用套管式冷凝器仅适用于所需传热面积不大的氨制冷装置中。

(2) 氟用套管式冷凝器。氟用套管式冷凝器在结构上不同于氨用套管式冷凝器，如图 1-5 所示。它是一根直径较大的无缝钢管内穿一根或数根直径较小的铜管（光管或外肋管），再盘成圆形或椭圆形的结构，管的两端用特制接头将大管与小管分隔成互不相通的两个空间的热

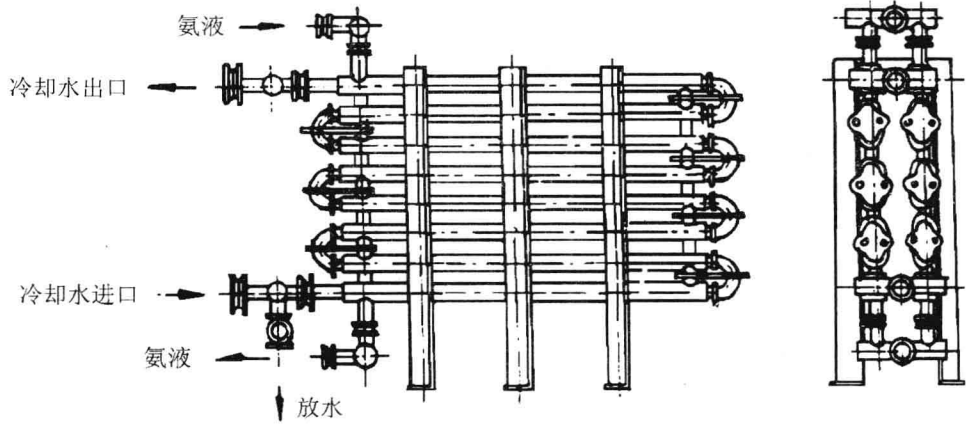


图 1-4 氨用套管式冷凝器

交换设备。冷却水自下端流进小管内,依次经过各圈内管,从上端流出。制冷剂蒸汽由上方进入大、小管间的环隙,在大管内、小管外流动。制冷剂蒸汽被冷却水吸收热量后,在内管外表面上冷凝,凝结的液体滴到外管底部,依次流往下端出口。制冷机组在安装时,通常是将封闭式制冷压缩机放在套管式冷凝器的中间,使整个机组占有较小的空间。氟用套管式冷凝器具

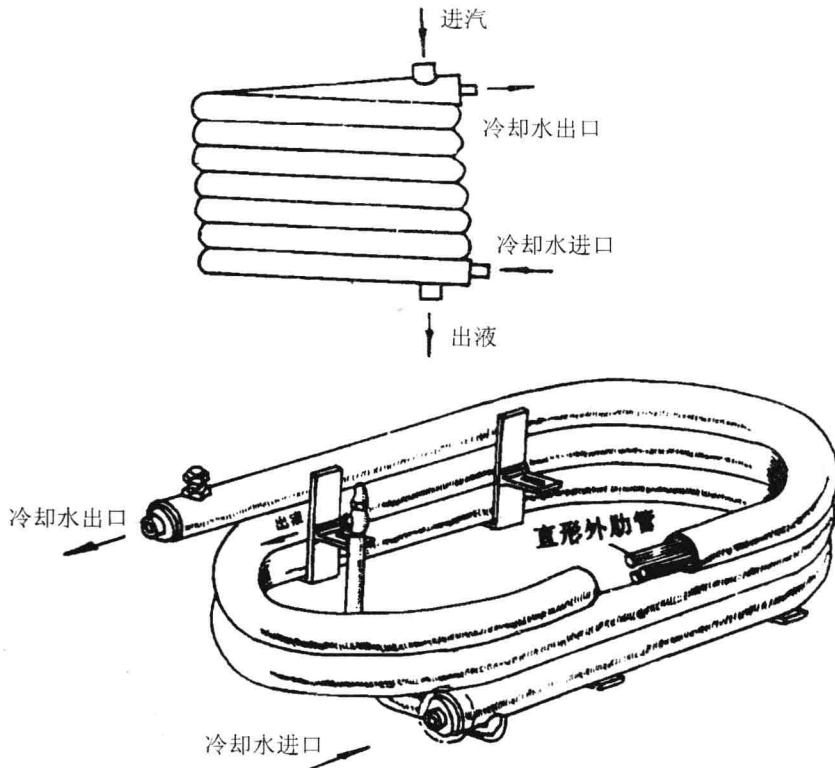


图 1-5 氟用套管式冷凝器

有结构简单紧凑,便于制作和传热性能好等优点,它的传热系数可达 $1027 \sim 1163 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。但是金属耗用量较大,冷却水的流动阻力大,使用时要保持足够的冷却水输送压头,否则将会降低冷却水的流速和流量,引起制冷系统的冷凝压力上升,影响传热效果。为了进一步提高传热系数,目前试制了滚压薄壁肋片的内管。

4. 螺旋板式冷凝器

螺旋板式冷凝器结构如图 1-6 所示。它是一种高效率的热交换器,我国石油化工、冶金、轻纺等工业部门在 20 世纪 50 年代就开始应用,冷冻厂在 70 年代才开始试用。其结构是由两张厚度为 $4 \sim 5 \text{mm}$ 的钢板上焊有直径为 $3 \sim 10 \text{mm}$ 圆钢的定距撑,以保持一定的流道和增大螺旋板的刚度,在专用设备上卷成螺旋形,焊在一块分隔板上,构成一对同心的螺旋板流道。流道始于冷凝器的中心而终止于外缘,在中心处用隔板将两个通道隔开,螺旋通道的上、下端用圆钢封条焊牢加上封头和一些有关管接头。氨用螺旋板式冷凝器的冷却水是从中心下部流入,沿螺旋通道流动,吸热后由外围流出。氨蒸汽从冷凝器外围进入,经螺旋通道流动,放出热量后的凝结液体汇集于底部,由出液管排至贮液器。有的与此相反,冷却水从外围进入,沿螺旋通道至中心,从顶端排出,而氨蒸汽是由中心顶部进入与冷却水进行热交换,凝结的液体汇集于底部排出。

氨用螺旋板式冷凝器用板材代替管材,使成本降低,结构紧凑,热量损失减少;冷却水在狭道中流速较高,污垢不易沉积;单位体积的传热面积大,传热系数高。曾对试运转三年的 36m^2 螺旋板式冷凝器进行测试,当冷凝压力为 $1.31 \sim 1.42 \text{MPa}$,吸入压力为 0.245MPa ,水速为 $1 \sim 1.3 \text{m/s}$ 时,传热系数可达 $954 \sim 1023 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。但制造较复杂,制冷剂侧的每圈钢板上承受的压力较大,钢板又不宜过厚,承受压力受到一定限制,用于氨制冷系统不应小于 2.45MPa 。

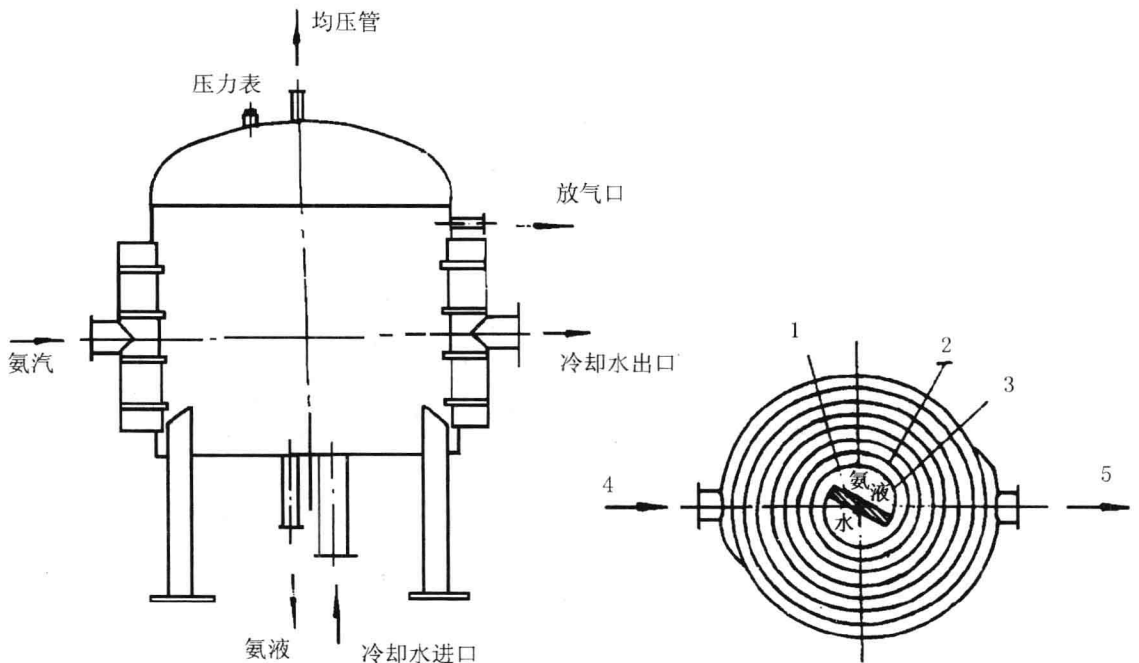


图 1-6 氨用螺旋板式冷凝器

水侧阻力大,压降较大,使用时为了减少隔板上压差,应先通入冷却水后再通入氨蒸汽。停机时先断氨蒸汽后再关闭冷却水,并将剩水放尽,减少锈蚀。

(二)空气冷却式冷凝器

以空气为冷却介质的冷凝器称为空气冷却式冷凝器,又称为风冷式冷凝器,其基本结构如图 1-7 所示。

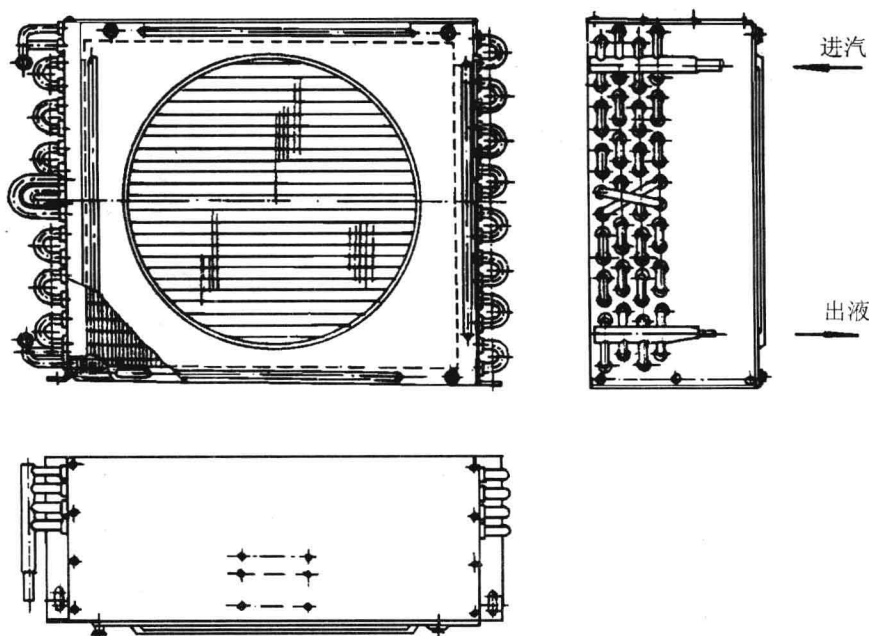


图 1-7 空气冷却式冷凝器

空气冷却式冷凝器一般采用 $D10 \times 0.7\text{mm} \sim D16 \times 1\text{mm}$ 直径较小的铜管弯制成蛇形盘管,或在铜管两端焊制有半圆形弯头,蛇形盘管常采用错列排列。这种冷凝器的冷却介质是空气,故放热系数较小,光滑铜管外空气侧放热系数一般只有 $38 \sim 81\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$,而管内制冷剂侧的放热系数可达 $1163 \sim 2363\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。为了减少管壁两侧放热系数过于悬殊的影响,需要增强空气侧的放热系数,所以在管外套有 $0.2 \sim 0.6\text{mm}$ 的铜片或铝片作肋片,套片间距通常为 $2 \sim 4\text{mm}$ 。整个空气冷却式冷凝器一般制成长方体的外型。

空气冷却式冷凝器工作时,制冷剂蒸汽从冷凝器上端的分配集管进入蛇形盘管内,自上而下地通过管壁与管外垂直蛇形盘管吹入的肋片间流动的空气进行热量交换,冷凝后的制冷剂液体从管下端流出。

由于空气冷却式冷凝器以空气为冷却介质,冷凝器的冷凝温度和冷凝压力都比水冷式冷凝器高,因此它适用于冷凝温度较高,而冷凝压力较低的 $R12$ 、 $R133$ 、 $R144$ 、 $R142$ 等制冷系统,以及供水困难和可移动的制冷装置中。

(三)空气与水联合冷却式冷凝器

常见的空气与水联合冷却式冷凝器有淋浇式冷凝器和蒸发式冷凝器等。

1. 淋浇式冷凝器

淋浇式冷凝器又称为淋水式冷凝器或大气式冷凝器,它主要用于大、中型氨制冷系统中。