

制 冷 与 空 调 应 用 技 术 丛 书

制 冷 机 辅 助 设 备

李树林 南晓红 李夏莉 / 编著



科 学 出 版 社

制冷机辅助设备

李树林 南晓红 李夏茹 编著

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书主要介绍制冷机的蒸发器、冷凝器、节流机构、其他辅助设备
及冷却塔等在系统中的作用、安装、操作和维护。对常用的制冰装置和
试验用制冷装置也作了一般介绍。

本书可供从事制冷、空调的生产、管理、维修人员及有关用户阅读。

图书在版编目(CIP)数据

制冷机辅助设备/李树林等编著.-北京:科学出版社,1999.7
(制冷与空调应用技术丛书)
ISBN 7-03-006728-2

I. 制… I. 李… III. 制冷机附属设备 IV. TB657.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 11559 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

北 京 双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1999 年 7 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/32

2001 年 6 月 第 二 次 印 刷 印张: 5 3/4

印数: 4 001—6 000 字数: 124 000

定 价: 8.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<环伟>)

《制冷与空调应用技术丛书》编委会

主 编 杨 磊

副主编 俞炳丰 王天富 陶慰祖 黄 翔

张华俊 买宏金

编 委 (按姓氏笔画为序)

马鸿鸣 王天富 史美耀 刘卫东

买宏金 米新生 李安桂 李树林

李夏莉 李振斋 李彩琴 连之伟

杨启华 杨栓平 杨 磊 张子慧

张华俊 张 欧 张景春 郑爱平

哈 文 赵 忖 赵家禄 俞炳丰

南晓红 陶海澄 陶慰祖 黄清华

黄 翔 韩宝琦

序 言

随着国民经济与科学技术的发展,以及人民生活水平的提高,制冷空调技术的应用日益广泛,相应从事这一技术的教学、科研、生产、工程等从业人员也日益增多。为了适应形势发展的需要,有关制冷空调的教学用书、专著、工程手册、期刊杂志、科普书籍等陆续问世,但至今尚未发现一套既偏重应用又成系列的制冷与空调技术方面的丛书,鉴于此,西安制冷学会编写了《制冷与空调应用技术丛书》。

由于制冷与空调技术应用的领域较宽,所以我们挑选了较常应用的内容进行组织编写,全书共13分册,每一分册都由学术水平较高且有丰富实践经验的专家撰写。在撰写过程中,他们不仅介绍了国内外的先进技术、设备,以及使用、维修的知识和宝贵经验,同时还提出了自己的见解。由于作者水平所限,书中缺点及不足之处在所难免,尚希读者批评指正。

西安制冷学会理事长

西安建筑科技大学教授 杨磊

1999年4月

前 言

随着国民经济的发展和人民生活水平的提高,空调制冷、冷冻、冷藏装置及产品迅速增加,从事制冷、空调的生产、维修的人员越来越多,因而了解一些制冷设备的工作原理及使用、维护方面的知识已成为广大群众的迫切需要。

我们在总结实际工作经验的基础上,参阅有关书籍和资料,编写了本书,供读者学习参考。

本书由李树林、南晓红、李夏莉等共同编写,西安交通大学俞炳丰教授审核。由于编者水平所限,缺点和不足之处在所难免,希望读者批评指正。

作 者

1999年4月

目 录

序 言 前 言

1 制冷换热设备	1
1-1 概述	1
1-2 冷凝器的种类、结构及工作过程	6
1-2-1 水冷式冷凝器	6
1-2-2 空气冷却式冷凝器	13
1-2-3 蒸发式冷凝器	15
1-3 蒸发器的种类、结构及工作过程	16
1-3-1 冷却液体载冷剂的蒸发器	17
1-3-2 冷却空气的蒸发器	24
1-4 其他换热设备	29
1-4-1 过冷器	29
1-4-2 中间冷却器	30
1-4-3 冷凝蒸发器	32
1-4-4 回热器	33
2 节流机构与辅助设备	35
2-1 节流机构	35
2-1-1 手动节流阀	35
2-1-2 浮球节流阀	36
2-1-3 热力膨胀阀	39
2-1-4 热电膨胀阀	46
2-1-5 毛细管	47

2-2	其他辅助设备	48
2-2-1	润滑油的分离及收集设备	48
2-2-2	制冷剂的贮存及分离设备	52
2-2-3	制冷剂的净化设备	58
2-2-4	安全设备	65
2-2-5	其他辅助设备	67
3	制冰装置	72
3-1	制冰原理	72
3-1-1	冰的物理性质及用途	72
3-1-2	制冰原理	73
3-2	几种制冰装置	78
3-2-1	盐水制冰装置	78
3-2-2	桶式快速制冰装置	79
3-2-3	其他型式的制冰装置	81
4	试验用制冷装置	84
4-1	试验用制冷装置的用途和种类	84
4-2	试验装置的特点和结构	86
4-2-1	低温箱	87
4-2-2	低温室	88
4-2-3	低温低压箱	89
4-3	试验装置的冷却方式及制冷系统	91
4-3-1	试验装置的冷却方式	91
4-3-2	试验装置的制冷系统	93
4-4	试验装置的加热和真空系统	101
4-4-1	加热系统	101
4-4-2	通风系统及真空系统	102
5	制冷设备的安装与维修	104
5-1	制冷设备的安装	104

5-1-1	冷凝器的安装	104
5-1-2	蒸发器的安装	109
5-1-3	其他辅助设备的安装	111
5-2	制冷设备的操作管理	114
5-2-1	换热设备的操作管理	114
5-2-2	集油器及各设备的放油操作	116
5-2-3	贮液器的操作管理	119
5-2-4	蒸发器的除霜操作	121
5-2-5	放空气操作	124
5-3	制冷设备的维修	127
5-3-1	热交换设备的维修	127
5-3-2	管道与阀门的维修	131
5-3-3	制冷设备的故障分析举例	134
6	冷却水系统及冷却塔	137
6-1	冷却水系统及循环水冷却设备	137
6-1-1	冷却水的水温和水质要求	137
6-1-2	冷却水系统的分类及其选择	139
6-1-3	循环供水系统的类型及水冷却设备	141
6-2	冷却塔的构造及玻璃钢冷却塔	145
6-2-1	冷却塔的构造	145
6-2-2	玻璃钢冷却塔	149
6-3	冷却塔的安装	153
6-3-1	冷却塔的布置原则	153
6-3-2	冷却塔的安装	154
6-4	冷却塔的运行管理	157
6-4-1	冷却塔的定期检查	157
6-4-2	冷却塔常见的故障及相应措施	159
6-4-3	冷却塔的经济运行及防冻等问题	161
附录	164

1 制冷换热设备

1-1 概 述

在各种型式的蒸气制冷机、吸收式制冷机及蒸气喷射式制冷机中,除了起主导作用的压缩机以外,还必须有一系列的辅助设备。制冷设备按它们在制冷系统中所起的作用可分为两类。一类是完成制冷循环所必不可少的设备,它们包括冷凝器、蒸发器、节流机构,以及复叠式制冷机的冷凝蒸发器,吸收式制冷机的发生器、吸收器、溶液泵,喷射式制冷机的喷射器等;另一类是辅助设备,包括各种分离器、贮存容器及辅助热交换器等,它们的功用是改善制冷机的工作条件或提高制冷机的经济性及安全可靠性。

在制冷设备中,换热设备占很大的比重,而且在制冷系统中起重要的作用,它们的特性对制冷机的性能具有较大的影响。

制冷换热设备大多数是面式换热器,只有在蒸气喷射式制冷机中有时使用直接接触传热的混合式热交换器。面式换热器的共同特点是冷热两种流体分别在换热面的两侧同时连续流动,但是它们的结构型式是多种多样的。目前应用比较广泛的有壳管式、蛇管式、直管式、螺旋管式、螺旋板式等多种。决定换热器结构型式的主要因素有换热器的用途、传热介质(包括制冷剂、载冷剂和冷却介质)的种类、流动方式及传热过程的特性等。不同型式的换热器,其传热系数和单位金属消耗量是不同的,这就会直接影响制冷机运行的经济性及制冷设

备的制造成本。

制冷换热设备大多采用冷作和焊接结构,使用的原材料多为钢板、钢管或铜管。氨对黑色金属无腐蚀作用,而对铜及铜合金(除磷青铜外)有腐蚀作用,所以氨制冷设备都用钢材制成。氟利昂对一般金属材料无侵蚀作用,可以使用铜或铜合金,但为了减少有色金属的消耗量及降低成本,只有换热器的传热面采用铜管,而其他部分仍采用钢材。当用海水作为冷却介质时,对于氨仍可用碳钢管,但管壁应适当加厚,并且采用锌保护层,对于氟利昂,冷凝器仍然可以用铜管,而当流速较大时可用铜镍合金管,为了抗海水腐蚀,也有采用钛或钛合金、铝黄铜作为换热器材料的。以盐水为载冷剂的氟利昂蒸发器,铜管上需加锌保护层。空气冷却器在工作过程中外表面会出现凝结水或霜层,若采用钢管时应在管外表面涂锌,对于铜及黄铜管应在管外表面涂锡,管外的翅片可用薄钢板、铜板或铝板制作。在选择材料时还应考虑换热器的工作温度,通常工作温度在 -30°C 以上时可用普通碳素钢;工作温度为 $-40\sim-80^{\circ}\text{C}$ 时用优质碳素钢;而当工作温度在 -80°C 以下时,应使用铜、铜合金或不锈钢。

制冷机的换热设备是使制冷剂在其中吸收热量或放出热量的设备,它包括冷凝器、蒸发器和一些辅助热交换器等,其共同点是热流体和冷流体同时在器内流动,热量通过壁面从热流体传给冷流体。两物体之间的传热是一种很复杂的现象。

传热的基本方式是传导、对流和辐射。制冷换热设备的传热情况,往往是传导、对流、辐射同时起作用。比如在水冷式冷凝器中,制冷剂蒸气冷却和凝结时放出的热量,主要通过流传递给冷凝器管子外壁,然后通过导热传至管子内壁,再通过对流把热量传给冷却水。而温度较高的冷凝器壳体还通过对

流和辐射把热量传递给周围的空气。为了在工程上简化计算，通常把各种复杂的热交换过程用一个综合系数来表示，这就是传热系数。传热系数是反映传热过程强弱的指标，其单位为 $W/(m^2 \cdot K)$ 。它表示冷热流体间温度相差 $1^\circ C$ 时，单位时间通过 $1m^2$ 面积的传热量。

传热系数的大小与冷热流体的流动情况、传热壁面的材料、形状、尺寸等许多因素有关。表 1-1 中列出了制冷换热设备传热系数的大致范围。

表 1-1 常用制冷换热设备传热系数的大致范围

换热器名称及型式		传热系数 [$W/(m^2 \cdot K)$]	相应条件	
卧式冷凝器(氨)		810~1050	传热温差 $4\sim 6^\circ C$ ，单位面积冷却水用量 $0.5\sim 0.9m^3/(m^2 \cdot h)$	
卧式冷凝器(氟利昂)		930~1160	传热温差 $7\sim 9^\circ C$ ，低肋管，肋化系数 ≥ 3.5 ，水速 $1.5\sim 2.5m/s$	
套管式冷凝器		970~1290	传热温差 $8\sim 11^\circ C$ ，低肋管，肋化系数 ≥ 3.5 ，水速 $2\sim 3m/s$	
空气冷却式冷凝器 (强制对流)		29(R12) 35(R22)	迎面风速 $2.5\sim 3.5m/s$ ，冷凝温度与进风温差 $\geq 15^\circ C$ ，室外温度 $35^\circ C$	
空气冷却式冷凝器 (自然对流)		6~9		
壳管式蒸发器	满液式	氨,水	490~580	蒸发温度 $0^\circ C$ ，水速 $1\sim 2m/s$
		氨,盐水	410~550	传热温差 $4\sim 6^\circ C$
		氟利昂, 盐水	490~520	传热温差 $4\sim 6^\circ C$ ，水速 $1\sim 1.5m/s$ ，肋化系数 3.5
	干式	氟利昂, 盐水	520~760	传热温差 $4\sim 8^\circ C$ ，水速 $1\sim 1.5m/s$ ，光管外径 15.9mm
		氟利昂,水	450~910	传热温差在 $7^\circ C$ 以上，水速高的情况为大值
		氟利昂,水	340~790	传热温差在 $4^\circ C$ 以下，水速低的情况为相应小值
		氟利昂,水	1630~1750	R22, 8 肋内肋管，水速 $1.1r/s$

续表 1-1

换热器名称及型式		传热系数 [W/(m ² ·K)]	相应条件	
冷库用	冷却排管	氨, 空气	10.5~13	光管, 蒸发温度为-20℃
	冷风机组 蒸发器	高温库 (氨)	17.5~18.5	库温与蒸发温度差 10℃, 迎面风速 2.5m/s
		低温库 (氨)	11.5~14	
空调用空 气冷却器		R12	37	管排数 3~4, 迎面风速 2~2.5m/s
		R22	43	管排数 6~8, 迎面风速 2.5~3m/s

在传热过程中, 热流体和冷流体的温度是经常改变的, 而且流体的温度对整个传热面积来说, 也并不是始终保持不变。因此, 要计算由热流体传递给冷流体的热量(或冷流体所吸收的热量), 就必须采用平均传热温差, 通常用符号 Δt_m 表示。

平均传热温差的计算与冷热流体的相对流动方式有关。图 1-1 示出了最常见的顺流和逆流式换热设备中, 冷、热流体沿换热面积的温度变化关系。

冷热流体从换热设备的一端沿同一个方向流向另一端, 这种流动方式称为顺流, 如图 1-1(a) 所示。顺流中, 热流体放热, 温度从 t_1 下降至 t_2 ; 而冷流体吸热, 温度由 t'_1 上升到 t'_2 。进口端冷热流体的温度差 $\Delta t_1 = t_1 - t'_1$, 出口端温差 $\Delta t_2 = t_2 - t'_2$ 。

冷热流体沿相反的方向流动时, 这种流动方式称为逆流, 如图 1-1(b) 所示。逆流情况下, 热流体的温度由 t_1 降至 t_2 , 冷流体的温度由 t'_2 上升至 t'_1 。两端冷、热流体的温度差 $\Delta t_1 = t_1 - t'_1$, $\Delta t_2 = t_2 - t'_2$ 。

无论是顺流还是逆流换热, 平均传热温差的计算方法都

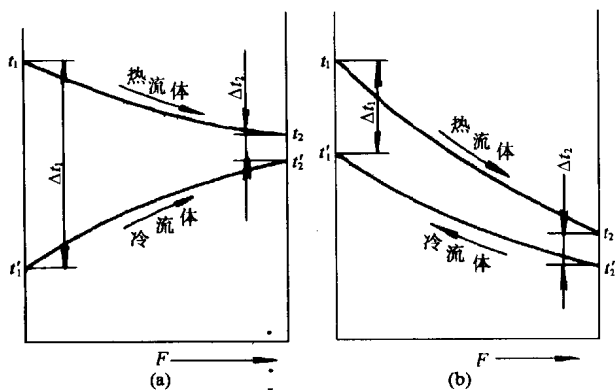


图 1-1 顺流和逆流时流体温度的变化
(a)顺流； (b)逆流

是相似的。平均传热温差的计算方法有两种，一种是对数平均温差，即

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

另一种是算术平均温差，即

$$\Delta t_m = \frac{1}{2}(\Delta t_1 + \Delta t_2)$$

同对数温差相比，算术温差的误差较大。但当 Δt_1 与 Δt_2 很接近 $\left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} < 2\right)$ 时，用算术平均温差代替对数平均温差进行传热计算，其计算偏差小于 4%，这在一般工程计算中是允许的。

这样，表面式换热设备的基本传热公式为

$$Q = KF\Delta t_m$$

式中 Q ——换热设备的传热量(W);
 K ——传热系数[W/(m²·K)];
 F ——换热设备传热面积(m²);
 Δt_m ——平均传热温差(K)。

通常利用基本传热公式,根据 $\Delta t_m, Q, K$ 来求取传热面积 F 。

1-2 冷凝器的种类、结构及工作过程

在制冷机中,冷凝器是一个由制冷剂向外放热的热交换器。压缩机的排气(或经油分离器后)进入冷凝器后,将热量传递给周围介质——水或空气,制冷剂蒸气冷却凝结为液体。冷凝器按其冷却介质和冷却方式,可以分为水冷式、空气冷却式(也称风冷式)和蒸发式三种类型。

1-2-1 水冷式冷凝器

用水作为冷却介质,使高温、高压的气态制冷剂冷凝的设备,称为水冷式冷凝器。由于自然界中水温一般比较低,因此水冷式冷凝器的冷凝温度较低,这对压缩机的制冷能力和运行的经济性都比较有利。目前制冷机中大多采用水冷式冷凝器。水冷式冷凝器中使用的冷却水可以一次流过,也可以循环使用。当使用循环水时,需建有冷却塔或冷却水池,使离开冷凝器的水得到再冷却,以便重复使用。

常用的水冷式冷凝器有卧式壳管式冷凝器、立式壳管式冷凝器、套管式冷凝器等型式。

(1) 卧式壳管式冷凝器

卧式壳管式冷凝器是壳管式的一种,各种型式的制冷机

都可使用。壳管式的主体部分如图 1-2 所示。它是一个由钢板卷制焊接成的圆柱形筒体，筒体的两端焊有两块圆形的管板，两个管板上钻有许多位置对应的小孔，在每对相对应的小孔中装入一根管子，管子的两端用胀接法或焊接法紧固在管板的管孔内，这样便组成了一组直管管束。

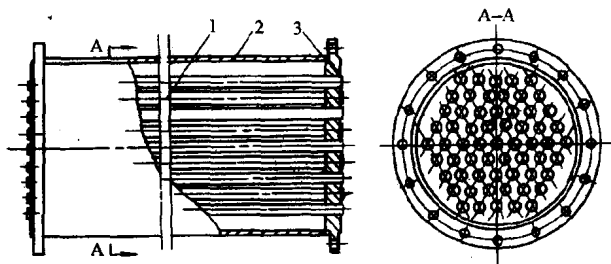


图 1-2 壳管式冷凝器主体部分的结构

1. 管子； 2. 壳体； 3. 管板

卧式壳管式冷凝器系水平放置，结构如图 1-3 所示。在这种冷凝器中，制冷剂的蒸气是在管子外表面上冷凝，冷却水是在泵的作用下经管内流过。制冷剂蒸气从上部进入筒壳内，凝结成液体后由筒壳的下部流入贮液器中。正常运行中筒壳的下部只存少量液体，但对于小型制冷机，为了简化设备，有时不另设贮液器，而是将制冷剂液体贮存在冷凝器下部。冷凝器的出液管可以直接焊在筒壳的下部，也可以在筒壳下部焊一个液包，而出液管接在液包上。对于氨冷凝器，通常在筒壳下还焊有一个集污包，以便集存润滑油及机械杂质。

卧式壳管式冷凝器的两端用两个端盖封住。端盖内部用隔板分开。两个端盖的分隔要互相配合，以便冷却水能在管子内多次往返流动。冷却水每向一端流一次，称为一个管程。管

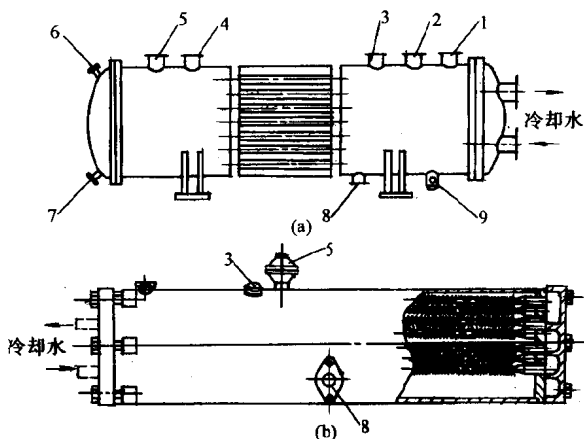


图 1-3 卧式壳管式冷凝器

(a) 卧式壳管式氨冷凝器；(b) 卧式壳管式氟利昂冷凝器

1. 放空管接头；2. 压力表接头；3. 安全阀接头；4. 均压管接头；
5. 进气管接头；6. 放空气旋塞接头；7. 泄水旋塞接头；
8. 出液管接头；9. 放油管接头

程数一般为双数，以便冷却水的进、出口设在同一个端盖上，而且冷却水从下面流进，上面流出。端盖是用螺栓与管板的外缘紧固在一起的，两者之间需有防漏用的橡皮垫片。端盖上部接有放空气旋塞，用来在开始充水时排除管内的空气；下部安装的泄水旋塞是用来在冷凝器停止使用时排除其中的水，以防管子被腐蚀或冻裂。

卧式壳管式氨冷凝器通常是用 $\phi 25 \sim \phi 38 \text{mm}$ 的无缝钢管制成，氟利昂冷凝器可用无缝钢管（一般为 $\phi 25 \text{mm}$ 以上），也可用紫铜管。用钢管的冷凝器，多采用滚压肋片管（管外横向肋片）。卧式壳管式冷凝器的结构紧凑，传热系数大，冷却水耗