

HUAXIAN CHANG ZHI LENG

YU KONG TIAO

赵亮 主编

化纤厂 制冷 与空调

高等纺织院校教材



中国纺织出版社

高等纺织院校教材

化纤厂制冷与空调

赵 亮 主编

中国纺织出版社

(京)新登字037号

内 容 提 要

本书着重阐述蒸气压缩式制冷的基本原理、系统组成、设备结构、制冷剂的热力性质、 $\lg p-h$ 图的应用、制冷循环的热力分析计算和制冷设备的选择计算。详细叙述了空气调节的基本理论和 $h-d$ 图的组成与应用。对化纤厂生产车间冷热负荷的确定、不同季节的空气调节过程、车间送排风布置等也作了适当的介绍。

本书可供高等纺织、石化院校纺织机械、化学纤维等专业师生以及化纤厂、科研单位的工程技术人员阅读和参考,也可作为各行制冷与空调操作人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

化纤厂制冷与空调/赵亮主编. —北京:中国纺织出版社, 1994

ISBN 7-5064-1031-1

I. 化… II. 赵… III. ①蒸气压缩制冷-空气调节-化工厂②空气调节-蒸气压缩制冷-化工厂③化工厂-蒸气压缩制冷-空气调节 IV. TB66

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第01390号

中国纺织出版社出版发行

北京东直门南大街4号

邮政编码: 100027 电话: 01—4662932

通县觅子店印刷厂印刷 各地新华书店经销

1994年9月第一版 1994年9月第一次印刷

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 12 8/16 插页: 2

字数: 299 千字 印数: 1—3,000

定价: 12.00元

前 言

本书是为纺织院校化学纤维、纺织机械等有关专业的“制冷与空调”课程所编写的教材。

本书内容深入浅出，注重理论联系实际，吸收了国内外同类教材的优点，密切结合化纤厂生产的特点，系统地阐述了制冷与空调的基本理论和工程的实际问题。

为了照顾各类专业在要求上的差异，教材按40~50学时编写，讲授时可根据具体情况取舍。

本书有关章节末尾，列有结合工程实际的例题，以便读者复习巩固，掌握解决工程实际问题的能力。

本书由北京服装学院赵亮副教授担任主编、拟订“编写提纲”，并负责各章节的审改和统稿。参加编写工作的还有纺织工业部纺织设计院耿德玉高级工程师和 杨 国 华 高 级 工 程 师。

本书在定稿前，得到了北京化工学院李斯特教授、北京涤纶实验厂安文江高级工程师（教授级）、北京服装学院刘相臣副教授的支持和帮助。李斯特教授主审了全书，并提出了许多宝贵的意见和建议，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

1993.5

目 录

结论.....	(1)
---------	-----

第一篇 制 冷

第一章 蒸气压缩式制冷原理.....	(3)
第一节 蒸气压缩式制冷循环.....	(3)
一、蒸气压缩式制冷循环的主要设备.....	(3)
二、蒸气压缩式理论制冷循环的工作原理.....	(3)
第二节 制冷剂的热力性质表和压焓图($\lg p-h$ 图).....	(4)
一、制冷剂的热力性质表.....	(4)
二、制冷剂的压焓图($\lg p-h$ 图).....	(4)
第三节 单级蒸气压缩式制冷循环在 $\lg p-h$ 图上的表示.....	(6)
一、理论制冷循环.....	(6)
二、实际制冷循环.....	(7)
第四节 单级蒸气压缩式理论制冷循环的热力计算.....	(8)
一、工作参数的确定.....	(8)
二、理论循环的热力计算.....	(9)
第五节 制冷循环变工况的分析.....	(11)
一、蒸发温度对制冷循环的影响.....	(12)
二、冷凝温度对制冷循环的影响.....	(12)
三、液体过冷对制冷循环的影响.....	(12)
四、蒸气过热对制冷循环的影响.....	(13)
五、回热制冷循环.....	(14)
第二章 制冷剂和载冷剂.....	(17)
第一节 制冷剂的作用与分类.....	(17)
一、制冷剂的作用.....	(17)
二、制冷剂的分类.....	(17)
三、对制冷剂的要求.....	(19)
第二节 常用制冷剂的性质和选用原则.....	(20)
一、氨.....	(20)
二、氟利昂.....	(22)
三、制冷剂的选用原则.....	(25)
第三节 载冷剂.....	(27)
一、载冷剂的作用和种类.....	(27)

二、对载冷剂的要求	(27)
三、常用的载冷剂	(27)
四、载冷剂的选用	(28)
第三章 活塞式制冷压缩机	(33)
第一节 活塞式制冷压缩机的分类	(33)
一、按制冷量大小分类	(33)
二、按压缩机与电动机的组合形式分类	(33)
三、按压缩机的气缸布置方式分类	(33)
四、按压缩机的级数分类	(33)
五、按使用的制冷剂种类分类	(38)
第二节 活塞式制冷压缩机的基本结构和工作原理	(38)
一、基本结构	(38)
二、结构参数和常用术语	(40)
三、活塞式制冷压缩机工作原理	(41)
第三节 活塞式制冷压缩机的排气量及其影响因素	(42)
一、制冷压缩机排气量的计算	(42)
二、影响压缩机排气量因素的分析	(43)
第四节 活塞式制冷压缩机的工况、运行特性和主要技术指标	(45)
一、工况	(45)
二、运行特性	(45)
三、主要技术指标	(46)
第五节 活塞式制冷压缩机的冷量调节	(47)
一、顶开吸气阀片调节制冷量	(47)
二、通过启动和停止压缩机运转台数调节制冷量	(49)
第四章 制冷换热设备	(50)
第一节 冷凝器	(50)
一、冷凝器的基本型式及其结构特点	(50)
二、几种常用的冷凝器的结构及特点	(50)
三、冷凝器的选择计算	(52)
第二节 蒸发器	(57)
一、蒸发器的基本型式及其结构特点	(57)
二、蒸发器的选择计算	(63)
第五章 其他型式制冷机	(65)
第一节 离心式制冷压缩机	(65)
一、离心式制冷压缩机的工作原理与结构	(65)
二、离心式制冷压缩机的制冷系统	(67)
三、离心式制冷压缩机的特性曲线	(68)
四、离心式制冷压缩机冷量的调节	(70)

第二节 螺杆式制冷压缩机	(73)
一、螺杆式制冷压缩机的工作原理与结构	(73)
二、螺杆式制冷压缩机的气路和油路系统	(74)
三、螺杆式制冷压缩机的能量调节	(78)
第三节 溴化锂吸收式制冷机	(79)
一、溴化锂吸收式制冷机的工作原理	(79)
二、溴化锂吸收式制冷机的工作过程及辅助设备和有关措施	(80)
三、溴化锂水溶液的性质及 $h-\xi$ (焓-浓度) 图	(84)
四、溴化锂吸收式制冷机的热工计算	(89)
五、溴化锂吸收式制冷机的性能	(96)
六、两效溴化锂吸收式制冷机	(97)
七、溴化锂吸收式制冷机的发展动向	(99)
第六章 化纤厂冷冻站设计	(105)
第一节 制冷技术在化纤厂的应用	(105)
一、化纤生产工艺用冷	(105)
二、空气调节用冷	(105)
第二节 化纤厂常用制冷设备	(105)
一、活塞式制冷机	(106)
二、螺杆式制冷机	(106)
三、离心式制冷机	(106)
四、溴化锂吸收式制冷机	(107)
第三节 化纤厂冷冻站的设计	(107)
一、冷负荷的计算	(107)
二、制冷机选型	(108)
三、冷冻站设计的技术要求	(108)
四、冷冻站管道设计	(108)
五、制冷设备和管道的隔热	(109)
六、冷冻水系统	(110)
七、冷却水系统	(114)
第四节 化纤厂冷冻站设计举例	(114)

第二篇 空气调节

第七章 湿空气的物理性质和焓湿图 ($h-d$ 图)	(119)
第一节 湿空气的组成和物理性质	(119)
一、湿空气的组成	(119)
二、湿空气的状态参数	(119)
第二节 湿空气的焓湿图 ($h-d$ 图)	(123)
一、坐标的选定	(124)

二、等参数线的绘制	(124)
第三节 湿空气 h - d 图的应用	(125)
一、湿空气状态参数的确定	(125)
二、露点温度的确定	(125)
三、湿空气湿球温度的确定	(126)
四、空气处理在 h - d 图上的表示	(127)
第八章 空调系统冷(热)湿负荷与送风量的确定	(133)
第一节 室内外空气计算参数的确定	(133)
一、室内空气计算参数的确定	(133)
二、室外空气计算参数的确定	(135)
第二节 空调系统冷(热)湿负荷计算	(137)
一、室外热源造成的热湿负荷的计算	(137)
二、室内热源造成的热湿负荷的计算	(149)
第三节 空调房间送风状态及送风量的确定	(151)
一、夏季送风状态和送风量的确定	(151)
二、冬季送风状态和送风量的确定	(153)
第九章 空气的处理过程	(155)
第一节 通过喷水室的空气处理过程	(155)
一、喷水室的组成	(155)
二、喷水室的主要部件	(156)
三、喷水室的处理过程	(157)
四、喷水室内的热湿交换	(157)
第二节 通过加热器的空气处理	(158)
一、加热器的类型与构造	(158)
二、加热器的使用场合及处理过程	(159)
第三节 通过表面冷却器的空气处理	(160)
一、表冷器的类型及构造	(160)
二、表冷器的处理过程	(161)
第四节 通过干蒸汽加湿器的空气处理	(161)
一、干蒸汽加湿器的构造	(161)
二、干蒸汽加湿器的处理过程	(162)
第十章 化纤厂的空气调气	(163)
第一节 化纤厂空气调节的主要特点及任务	(163)
一、化纤厂空气调节的主要特点	(163)
二、化纤厂空气调节的主要任务	(167)
第二节 化纤厂常用的空气调节系统	(167)
一、回风式空调系统	(167)
二、全新风直流式空调系统	(170)

第三节	化纤厂空调自控概述.....	(173)
第四节	化纤厂空调设计实例.....	(174)
附录一:	中英文名词对照.....	(177)
附录二:	附图.....	(183)
附图 1	R717(NH ₃) 的 $\lg p-h$ 图.....	(183)
附图 2	R12(CF ₂ Cl ₂) 的 $\lg p-h$ 图	(184)
附图 3	R22(CHF ₂ Cl) 的 $\lg p-h$ 图	(185)
附图 4	溴化锂溶液 $h-\xi$ 图	(186)
附图 5	湿空气焓湿图	(插页)
附录三:	附表.....	(187)
附表 1	压力单位换算表.....	(187)
附表 2	功、能和热量单位换算表.....	(187)
附表 3	功率单位换算表.....	(188)
附表 4	导热系数单位换算表.....	(188)
附表 5	传热系数单位换算表.....	(188)
附表 6	比热容单位换算表.....	(188)
附表 7	冷冻吨换算表.....	(188)
参考文献		(189)

绪 论

我国是世界文明发达最早的国家之一。早在公元前一千多年以前，我国劳动人民就已掌握采集天然冰进行冷藏技术。

随着生产力不断发展，近代制冷技术作为一门技术科学，起步才两百多年历史，19世纪中叶，世界上第一台机械制冷装置问世，人类才开始采用人工制冷技术。

所谓制冷，就是使某一物体或某一空间的温度低于周围环境介质的温度，并维持这个低温的过程。在制冷技术中所说的低温，是指低于环境温度而言。把热水冷却成常温的水，不是制冷，它只是冷却；只有把水变成低于常温的冷水或制成冰，才可称作制冷。

实现制冷有两种途径：一是天然冷却；另一是人工制冷。

天然冷却就是用深井水或天然冰冷却物体或空间的空气。由于客观条件的限制，天然冷却应用范围很窄，而人工制冷却得到广泛应用。

人工制冷的方法很多，按其物理过程的不同可分为：液体汽化法、气体膨胀法、热电法和固体绝热去磁法。目前较为广泛应用的还是利用液体汽化来实现制冷，其中包括蒸汽压缩式制冷、吸收式制冷和蒸汽喷射式制冷。

根据制冷温度的不同，人工制冷可分为：

普通制冷——高于 -120°C

深度制冷—— $-120^{\circ}\text{C}\sim 20\text{K}$

低温制冷—— $20\text{K}\sim 0.3\text{K}$

超低温制冷—— 0.3K 以下

空气调节，简称空调。是在20世纪初开始形成的。随着工业发展和科技水平的提高，空调技术将日趋完善。空调的主要任务是：采用人工的方法，创造和保持满足一定要求的空气环境。所谓空气环境是指某一特定空间的空气温度、湿度、清洁度和空气流动速度等能满足工艺和舒适要求。

空调的基本方法，就是采用空气加热、冷却、加湿、减湿等方法和手段，来消除来自内部和外部影响环境的主要干扰量，从而控制该空气环境，以满足生产工艺或生活舒适的要求。

对空气环境的干扰主要来自两方面：一方面来自环境内部人和生产过程所产生的热、湿和其他有害气体量的变化；另一方面来自环境外部太阳辐射和室外气候条件的变化。

制冷与空调技术在国民经济各个领域中都得到广泛的应用，它与四个现代化的发展紧密相联，与人们的物质文化生活水平的提高息息相关。

制冷与空调技术与化纤生产有着十分密切的关系。在化纤生产过程中，如腈纶纺丝过程会释放出丙烯腈等有害气体；维纶在缩醛化过程中有甲醛气体逸出；在涤纶纺丝过程中，丝束冷却系统对丝的形成与质量有密切关系。如VD405侧吹风的送风温度最好控制在 $22\sim 23^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度在60%~65%为宜，平均风速控制在 $0.4\sim 0.5\text{m/s}$ 较为理想。集束、丝筒车间夏季

车间温度应控制在 $24\sim 27^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为65%，冬季车间温度应大于 20°C 、相对湿度为65%。
物检室温度一般控制在 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $65\%\pm 2\%$ 。

为了保证车间内的温湿度，空气需要用低温水（深井水或冷冻水）进行处理。在我国北方水量丰富地区可用深井水，水温一般在 $8\sim 18^{\circ}\text{C}$ 。如水量很少或没有深井水的南方，就需采用人工方法制取冷冻水，一般水温为 15°C 左右。涤纶丝束的冷却需用 $6\sim 9^{\circ}\text{C}$ 冷冻水。

制冷与空调是相互联系的两个领域，但它们也各有其范围。它们是一个长期稳定的工业，制冷与空调技术正在飞速地向前发展。新技术的应用，新产品的开拓，使这一工业生机勃勃，充满活力。

作为从事化纤生产、研究的工程技术人员和化纤工程专业的学生，应该了解化纤厂制冷与空调的基本知识和基本理论，掌握必要的基本技能，让制冷与空调技术更好地为化纤工业服务。

第一篇 制 冷

人工制冷的的方法很多，按其物理过程的不同可分为：液体气化制冷、气体膨胀制冷、热电制冷等。其中液体气化制冷的应用最为广泛。蒸气压缩式、吸收式、蒸气喷射式等均属于液体气化制冷。在化纤生产过程中，空调系统的制冷装置常用的是蒸气压缩式和溴化锂吸收式制冷。

第一章 蒸气压缩式制冷原理

第一节 蒸气压缩式制冷循环

一、蒸气压缩式制冷循环的主要设备

蒸气压缩式制冷系统主要由制冷压缩机（制冷机）、蒸发器、冷凝器和膨胀阀（又称节流阀或毛细管）等四部分组成，并由管道将它们连成一个封闭的循环系统。

一般称压缩机为主机，蒸发器、冷凝器和膨胀阀等为辅机。

从压缩机出口到膨胀阀入口，其中包括冷凝器称之为高压侧；由膨胀阀出口到压缩机入口，其中包括蒸发器称之为低压侧。

二、蒸气压缩式理论制冷循环的工作原理

图1-1为蒸气压缩式理论制冷循环示意图。

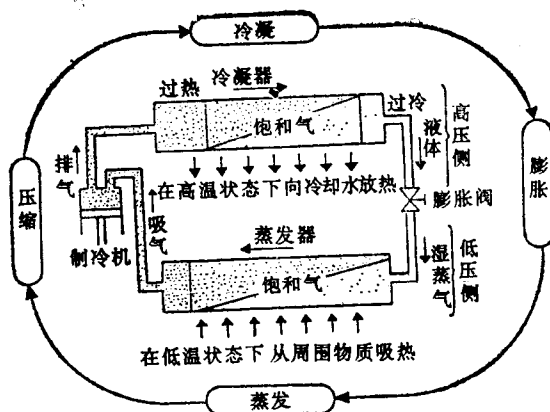


图 1-1 蒸气压缩式理论制冷循环

利用液体汽化制冷原理,使制冷剂从某一初始状态经制冷系统的四大设备又回到初始状态的制冷循环,称之为蒸气压缩式制冷循环。

蒸气压缩式制冷循环由四个热力过程组成。

1. 蒸发过程 制冷剂在蒸发器中吸热增加干度。在蒸发过程中制冷剂蒸气的压力和温度保持不变。

2. 压缩过程 制冷剂蒸气在制冷压缩机中被压缩,温度和压力急剧升高。

3. 冷凝过程 制冷剂蒸气在冷凝器中与冷却介质进行热交换,先经冷却、冷凝、再冷却(过冷),冷凝过程中压力不变。

4. 膨胀过程 制冷剂液体在经膨胀阀节流后,压力下降,温度也降低。

在制冷循环过程中,液体制冷剂在蒸发器中,吸收被冷却物体的热量汽化之后,变成低温低压的制冷剂蒸气,被制冷压缩机吸入,经压缩机压缩后变成高温高压的气体进入冷凝器;在冷凝器中受冷却水或空气冷却成高压液体,此液体再经膨胀阀减压降温进入蒸发器中,如此循环不止,从低温处吸收热量而实现制冷。

第二节 制冷剂的热力性质表 和压焓图($\lg p-h$ 图)

制冷剂状态的基本参数为温度(t)、压力(p)、比容(v),它们可用直接或间接的方法测出,然而衡量一个物质的状态,除了基本参数外,还有内能(u)、焓(h)、熵(s)三个常用的参数,以焓(h)在制冷工程中最为常见。

在制冷系统中,制冷剂发生着一系列的状态变化,其计算很复杂。在实际工程中常用图表来确定参数的大小和制冷剂的状态。

目前,在制冷工程计算中,常用的图表有制冷剂的热力性质表和 $\lg p-h$ 图。

一、制冷剂的热力性质表

制冷剂的常见热力性质表分为两种,一种是饱和热力性质表,可以查取饱和液体或饱和蒸气的热力性质;另一种是过热蒸气表,可根据 t 、 p 查取制冷剂的过热气的 v 、 h 、 s 。常用制冷剂的热力性质表,见表2-7、表2-8及表2-9。

由热力性质表可求出制冷剂状态参数较精确的数据。但从制冷剂的热力性质表上,还不能了解从干饱和蒸气状态或饱和液体状态向过热状态或湿蒸气状态变化时的全部状态参数的变化过程。如果把制冷剂全部状态各点参数连续地表示在曲线上,其中常见的曲线之一为压焓图。

二、制冷剂的压焓图($\lg p-h$ 图)

可以用 $p-v$ 图或 $T-S$ 图来描述工质状态变化的过程,但在制冷工程中最常用的是由压力及焓组成的热力图,称之为压焓图,参见图1-2。它是用来分析和计算蒸气压缩式制冷循环最重要的状态参数图。该图是以制冷剂的绝对压力(p)为纵坐标,以制冷剂的焓(h)为横坐标所组成的直角坐标系。

为便于图形的展开,避免图下部分的线条过分拥挤,在绘制中缩小了图幅,所以纵坐标

又以对数 $\lg p$ 标度分列（注意：图上标的数值是绝对压力值，而不是压力的对数值），故又称压焓图为 $\lg p-h$ 图。

下面结合图 1-2 分析压焓图的构成。

1. 一个临界点 图上曲线的最高点 c 为制冷剂的临界点。在该点上制冷剂液态和气态无明显差别，也就是说只要蒸气温度高于此点温度，不论如何增大压力，都不能使汽体液化，这点温度称为临界温度，相应的压力和比容称之为临界压力和临界比容。

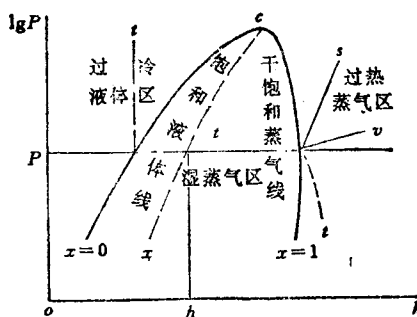


图 1-2 制冷剂的 $\lg p-h$ 图

2. 两条饱和线 图中，从 c 点出发向左右两下方引出两条粗实线。 c 点左侧的粗实线为饱和液体线， c 点右侧粗实线为干饱和蒸气线。处在饱和液体线上的任意点的状态均是相应压力下的饱和液体；同样，处在干饱和蒸气线上的任意点均是干蒸气。

3. 三个区域 饱和液体线和干饱和蒸气线将图面分成三个不同的区域：饱和液体线的左侧区域为过冷液体区（又称未饱和液体区，液体温度低于同压力下的饱和温度）；干饱和蒸气线右侧的区域为过热蒸气区（蒸气温度高于同压力下的饱和温度）；饱和液体线和干饱和蒸气线之间的区域为湿蒸气区（又称气液共存区），在该区域内制冷剂处于气液两相混合的饱和状态，其压力和温度之间存在着逐一对应的关系。

4. 六组等参数线

(1) 等压 (p) 线：图上与横坐标相平行的水平细实线均是等压线，它是曲线中压力相等的各点连线。图中纵坐标上所标注的压力值是绝对压力值。

(2) 等焓 (h) 线：图上与横坐标相垂直的细实线均是等焓线，在等焓线上的各点焓值相等。为了焓在计算中不得负值，假定在 0°C 时氟利昂的饱和液体焓值为 200kJ/kg ，氨饱和液体的焓值为 500kJ/kg 。

(3) 等温 (t) 线：图上用虚线表示的为等温线，它是曲线中温度相等的各点连线。查图时要特别注意等温线的走向，它在不同区域的变化情况不同。

等温线在饱和液体线左侧（即过冷液体区）它是由上而下几乎与等焓线平行，与饱和液体线相交后，向右水平转折，与等压线重合（在湿蒸气区），到达干饱和蒸气线时向右下方转折（在过热蒸气区）。

(4) 等熵 (s) 线：图中从左向右向上弯曲的细实线为等熵线。在制冷过程中，制冷压缩机的压缩过程是绝热压缩，即沿着等熵线进行，因此，在图上等熵线均从干饱和蒸气线作为起始点。

(5) 等容 (v) 线：图中从左向右稍向上弯曲的点划线为等容线，较等熵线平坦些。

在饱和液体线的左侧，液体部分由于在此压力状态下体积几乎不变，所以比容的变化在图上难于表示；在干饱和蒸气线右侧的点，表示制冷剂蒸气在过热状态下的比容值。它和湿蒸气区的比容值不同，虽然制冷剂温度不变，但由于蒸发过程中得到了热量，使比容增大。

(6) 等干度 (x) 线：干度是指干蒸气的重量成分。由于湿蒸气是饱和液体和干饱和蒸气的混合物，因此用湿蒸气中干蒸气的重量百分数来表示湿蒸气的气、液成分，通常用 x

表示, 则 $(1-x)$ 表示湿蒸气中饱和液体的重量百分数。

等干度线只存在于湿蒸气区内, 它是从临界点 c 出发, 把湿蒸气区内各状态下干度相等的点连结起来, 所组成的虚线为等干度线。从饱和液体线 ($x=0$) 至干饱和蒸气线 ($x=1$), 其干度 (x) 值逐渐增大的, 参见图1-2。表1-1为 $\lg p-h$ 图上各区域干度范围值。

表 1-1 $\lg p-h$ 图上各区域干度范围值

干度范围值	制冷剂状态	$\lg p-h$ 图上的区域
$x=0$	饱和液体	饱和液体线上
$x=1$	干饱和蒸气	干饱和蒸气线上
$0 < x < 1$	湿蒸气	湿蒸气区
$x=0$ 以左	过冷液体	过冷液体区
$x=1$ 以右	过热蒸气	过热蒸气区

由于某些制冷剂的汽化潜热较大, 其湿蒸气区较宽, 中间部分很少用; 同时, 在制冷系统中, 制冷剂的 actual 压力并不太高, 靠近临界点的高压部分在热力计算中也很少用到, 因此, 为了缩小图面, 突出实用部分, 往往把高压部分和湿蒸气区的中间部分截去, 使图面更加清晰, 便于查找。

制冷剂的状态点是根据它的状态参数确定的, 当制冷剂处在饱和状态时, 仅需知道一个状态参数便可在图上找到其状态点, 在该状态下的其他参数就可在图上查得。当制冷剂处在过冷、湿蒸气和过热状态时, 均要知道两个状态参数才能在图上确定其状态点。

在实际应用中应该注意, 制冷剂饱和液体和蒸气的热力性质表中的数值仅反映两条饱和线上的状态参数, 表中所列的数值较在 $\lg p-h$ 图查得的要精确, 但对过冷液体、湿蒸气和过热蒸气 (也可在过热蒸气的热力性质表中查得) 则必须利用两个已知状态参数在 $\lg p-h$ 图上才能求得在该状态下的其他状态参数。

第三节 单级蒸气压缩式制冷循环 在 $\lg p-h$ 图上的表示

一、理论制冷循环

单级蒸气压缩式理论制冷循环是指制冷剂在每一次循环过程中只经过一次压缩, 而且是在理想条件下实现的循环。所谓理想的条件是: 制冷剂在传热过程中无温差存在, 且在蒸发器和冷凝器中无压力损失, 即蒸发压力和冷凝压力保持不变; 压缩过程是绝热过程, 不存在损失; 制冷剂在节流膨胀过程中压力下降, 节流前后焓值不变, 但系统管路中无任何损失。

在单级压缩式理论制冷循环中, 制冷剂各点状态和过程中参数值可在 $\lg p-h$ 图上表示出来, 若将这些点连在一起, 就可描绘出理论制冷循环过程, 参见图1-3。

状态点 1 是制冷剂进入制冷压缩机的状态, 如不考虑管路的冷量损失, 则制冷压缩机吸气温度 t_1 , 即为制冷剂出蒸发器时的温度 t_0 , 即 $t_1 = t_0$ 。在理想情况下, 制冷压缩机吸入的是干饱和蒸气, t_0 是在蒸发压力 p_0 下的饱和温度, 所以等压线 p_0 和干饱和蒸气线的交点即为制

制冷剂进入制冷压缩机的状态点1。

制冷剂经压缩机绝热压缩后进入冷凝器中，冷凝压力为 p_k ，冷凝温度为 t_k 。

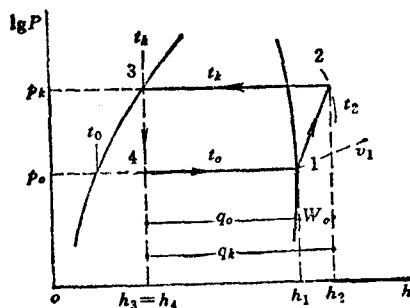


图 1-3 单级压缩式制冷理论循环在 $\lg p-h$ 图上的表示

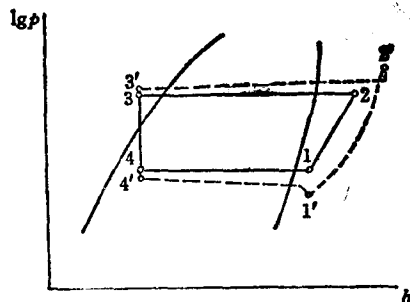


图 1-4 单级压缩式实际制冷循环

在 $\lg p-h$ 图上，过状态点1，作等熵线 s_1 与等压线 p_k 相交得点2。状态点2为制冷剂出压缩机的状态，即进冷凝器的状态。1-2过程为制冷剂在压缩机中绝热压缩过程。

制冷剂在冷凝器中的整个冷凝过程是在等压 p_k 和等温度 t_k 下进行，直至制冷剂放出全部潜热，冷凝为饱和液体结束，过状态点2作等压线 p_k 与饱和液体线（ $x=0$ ）相交得点3，状态点3为制冷剂出冷凝器的状态，即进膨胀阀的状态。2-3过程为制冷剂在冷凝器中定压冷凝成饱和液体的过程。

当制冷剂流经膨胀阀绝热节流后，压力由 p_k 降到 p_0 ，由于制冷剂在膨胀阀前后的焓值不变，因此该过程可认为是沿等焓线进行。此时，过点3作等焓线 h_3 与等压线 p_0 相交得点4。

状态点4即为制冷剂出膨胀阀的状态，亦即进蒸发器的状态。3-4为制冷剂在膨胀阀中进行的绝热节流过程。

由 $\lg p-h$ 图上可见，制冷剂在状态点4正处于湿蒸气区，这说明制冷剂在节流过程中已有部分汽化，成为气、液共存的湿蒸气状态，当这些湿蒸气进入蒸发器后，在蒸发器中制冷剂湿蒸气中的液态部分，将在蒸发压力 p_0 下等压蒸发吸热，从而达到制冷的目的。当液态制冷剂全部蒸发成干饱和蒸气，即回复到状态点1时，压缩机继续吸入而进行制冷循环。

二、实际制冷循环

在单级蒸汽压缩式制冷理论循环的分析中，假定制冷系统是在理想条件下工作的，不存在任何损失。但实际循环与理论循环存在不少差别，如图1-4所示。

在图1-4中1-2-3-4-1表示单级蒸汽压缩式理论制冷循环，而实际制冷循环为1'-2'-3'-4'-1'所示。

在蒸发器中，由于实际传热过程存在温差，故蒸发温度低于被冷却物体温度，图中点4'的压力应低于点4。制冷剂流经蒸发器及吸气管道等有流动阻力，故压缩机吸气状态点1'的压力，又将低于状态点4'，4'-1'的过程大致如图中虚线所示。

在压缩机中，在吸气过程以及压缩过程的起始阶段，由于气缸壁的温度高于制冷剂蒸气温度，蒸气吸收气缸壁的热量，在压缩过程的中间阶段，压缩接近绝热压缩，但在压缩过程終了阶段，由于制冷剂蒸气温度高于气缸温度，蒸气又向气缸壁放出热量。实际压缩过程大致如图中1'-2'虚线所示。

在冷凝器中, 冷凝器有传热温差, 故图中点3'高于点3, 从压缩机排气状态2'经过排气阀、排气管、冷凝器管道等存在流动阻力, 故点2'的压力应高于状态点3', 2'-3'表示实际排气、冷凝、过冷过程。

综上所述, 由于存在流动摩擦阻力, 以及与外界的热量交换, 蒸气压缩式制冷的实际循环与理论循环相比较, 实际所消耗的功率有所增加, 而实际获得的冷量却减少。所以, 实际制冷循环的制冷系数必定小于理论制冷循环的制冷系数。

由于制冷的实际循环比较复杂, 难于细致的计算, 因此在实际制冷工程中, 一般均以理论循环作为计算基准。但在选择制冷装置设备、系统管道和机房设计时, 都应考虑上述影响, 以保证实际需要, 并尽量减少损失和功耗的增加, 提高制冷系统的实际制冷系数。

第四节 单级蒸气压缩式理论制冷循环的热力计算

理论制冷循环热力计算的目的是, 就是根据制冷装置设计运行工况和所需的冷量, 来确定制冷装置中各主要设备的容量大小, 为设备的设计或选择提供必要的的数据, 以及根据制冷装置中现有的设备和运行工况, 校核设备是否匹配和在该工况下所能提供的冷量。

在进行热力计算之前, 应先确定循环的形式、工质和工作参数。

一、工作参数的确定

(一) 蒸发温度

蒸发温度即制冷剂在蒸发器中沸腾时的温度, 用 t_0 表示。 t_0 的确定与所采用的载冷剂的种类有关。

1. 采用水或盐水作载冷剂时, t_0 可按下式计算:

$$t_0 = t_{i2} - (4 \sim 6) (^{\circ}\text{C}) \quad (1-1)$$

式中 t_{i2} 为蒸发器中载冷剂出口温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

2. 采用空气作载冷剂时, t_0 可按下式计算:

$$t_0 = t_{i2} - (8 \sim 10) (^{\circ}\text{C}) \quad (1-2)$$

式中 t_{i2} 为空气冷却器中空气出口的干球温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

(二) 冷凝温度

冷凝温度即制冷剂在冷凝器中凝结时的温度。用 t_k 表示。 t_k 的确定取决于冷凝器的结构型式和所采用的冷却介质 (水或空气), 若用空气冷却时, 还取决于当地的气象条件。

1. 采用水冷却的冷凝器时, t_k 可按下式计算:

$$t_k = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} + (5 \sim 7) (^{\circ}\text{C}) \quad (1-3)$$

式中: t_{w1} ——冷凝器冷却水的进口温度 ($^{\circ}\text{C}$);

t_{w2} ——冷凝器冷却水的出口温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

t_{w1} 一般取 $t_{w1} \leq 31^{\circ}\text{C}$, t_{w2} 一般取 $t_{w2} \leq 35^{\circ}\text{C}$ 。冷凝器进出口温差与冷凝器结构有关, 一般大