

制冷技术基础

解焕民 编著

机械工业出版社

制 冷 技 术 基 础

解 焕 民 编 著

机 械 工 业 出 版 社

(京)新登字054号

本书主要介绍制冷装置、冷库和冷冻工艺的基础知识。在介绍工程热力学、传热学和流体力学的常用基础理论的基础上,重点介绍制冷和制冷循环的基本概念,制冷剂、载冷剂的性质和选用,制冷压缩机及其辅助设备的工作原理、构造、安装、操作、维修等方面的知识,并结合生产实际,对制冷装置常见故障的判断和排除方法作了深入浅出的阐述。

本书可作为制冷和冷库人员的培训教材,也可供制冷工程技术人员和大专院校制冷、热能专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

制冷技术基础/解焕民编著. --北京:机械工业出版社, 1994
ISBN 7-111-04011-2

I. 制...

I. 解...

II. 制冷-技术

IV. TB66

出 版 人 马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)

责任编辑: 蒋有彩 版式设计: 霍永明 责任校对: 韩 晶

封面设计: 肖 晴 责任印制: 王国光

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1994年6月第1版·1994年6月第1次印刷

787mm×1092mm/16·17.75印张·427千字

0 001—4 000册

定价: 17.00元

前言

制冷技术是一门研究低温的产生和应用，以及物质在低温条件下所发生的物理、化学和生物学等机理变化的科学技术。所谓制冷，就是人工制取低温，也就是利用人为的科学技术手段来制取低于周围环境的温度，以满足人类社会的种种需要。

低温是指这样的温度范围：从平常与普通液态制冷剂相关联的温度（25℃左右，即相当于300K左右）至与液氮相关联的温度（4K以下）。标准沸点在上述温度范围内的低温工质多达36种。从环境温度至120K的范围属于普冷，采用的制冷工质为氨、氟利昂和碳氢化合物；120K以下的范围，属于深冷（也叫低温）；0.3K以下为超低温。常用的低温工质有甲烷、氮、氢、氖、氦、氙等。人工制冷温度范围的习惯划分方法如图0-1所示。

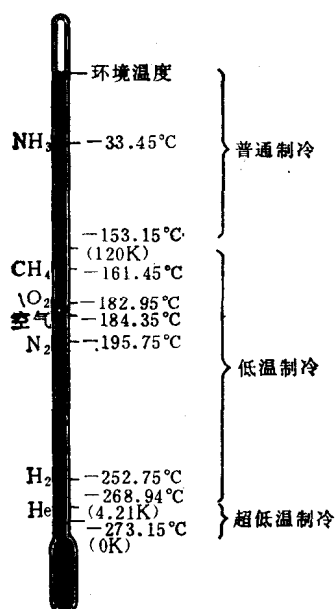


图0-1 人工制冷温度范围划分示意图

（图中温度数值是指制冷工质的标准沸点）

人工制冷是借助于一种专门装置，消耗一定的外界能量，迫使热量从温度较低的被冷却物体，转移给温度较高的周围环境，得到人们所需要的低温。这种专门装置就是制冷装置。由于工农业生产、科学研究、冷冻治疗、家庭生活等领域需要的低温不同，因此，要相应地采取不同的制冷方法和制冷设备。

制冷技术是现代科学技术的一个重要分支，应用范围十分广泛。它的产生和发展是与社会的经济活动和生活水平密切相关的。第一台制冷机是1834年美国人泼尔金斯（Perkins）试制成功的，是由人力转动的乙醚制冷机。1844年约翰·高里（John Gorrie）试做了用空气作为工质的封闭循环制冷机。卡尔·林德（Carl Linde）于1875年提出了氨蒸汽压缩式制冷机，是

举世公认的制冷机始祖。卡列 (Carre) 也在1875年提出了用二氧化碳水溶液的吸收式制冷机, 还预言了试制氨水溶液的吸收式制冷机的可能性。此后, 氨蒸汽压缩式制冷机与氨水溶液的吸收式制冷机一直居于领先地位。蒸汽喷射式制冷机是1896年以后发展起来的。由于工业生产和科学技术的水平所限, 在20世纪以前, 制冷压缩机只限于卧式和往复式, 用蒸汽机驱动, 其转速和效率均很低, 工质仅限于氨和二氧化碳等几种物质。自20世纪以来, 蒸汽压缩式制冷机的面貌发生了很大的变化, 种类和型式增多, 转速提高, 设备紧凑, 并且向更低的温度、多品种、自动化的方向发展。与此同时, 制冷剂的种类不断增多。1930年之后, 随着氟利昂的出现, 给制冷技术带来了新的变革, 促使其迅速发展。近十几年来, 又应用了氟利昂共沸溶液作为制冷剂。目前正在积极进行混合制冷工质的研究, 将给蒸汽压缩式制冷机的发展开辟新的途径。小型制冷机的问世和普及应用, 逐渐占据制冷技术的主导地位。

新中国成立以后, 我国的制冷工业开始兴起。随着“四个现代化”的进程, 冷库、冷藏柜、电冰箱和空调器等得到了快速发展。因此, 制冷技术必将成为我国各族人民迫切需要掌握的一门科学技术。基于这种动机, 作者在书中主要介绍蒸汽压缩式制冷机的一般原理、构造、安装、操作、维修以及常见故障的判断和排除, 还要介绍冷库和冷冻工艺的基础知识。所以, 《制冷技术基础》是大、中、小型制冷设备的使用、管理、维修工作人员的良好益友 (或培训教材), 也可作为制冷工程技术人员和大专院校相关专业师生的学习、参考用书。

限于作者的能力和水平, 书中的缺点、错误或不妥之处在所难免, 恳请制冷行业的同行们不吝指正。

解焕民

1993年7月于泉城

目 录

前言

第一章 制冷理论基础知识 1

第一节 概述 1

一、制冷方法及其适用范围 1

二、人工制冷 1

第二节 工程热力学基础 5

一、制冷介质和制冷系统 5

二、状态参数 5

三、物态、状态及其变化 8

四、热和功 10

五、理想气体和实际气体 13

六、热力过程 15

七、热力循环 17

八、热力学基本定律 17

九、湿空气的基本概念 18

十、制冷剂的压-焓($\lg p-h$)图 21

十一、制冷量 22

十二、制冷效能 23

十三、制冷性能系数 23

十四、溶液——二元混合物 23

第三节 传热学基础 24

一、热传递的基本方式 24

二、热传导(简称导热) 25

三、对流换热 26

四、辐射换热 28

五、传热过程 29

六、换热器 30

七、传热的增强和削弱 33

第四节 流体力学基础 34

一、流体静压力及其特性 35

二、制冷流体及其流动状态 35

三、一维定常(稳态)流动 36

四、气体动力学基础 38

第二章 制冷剂、载冷剂和

冷冻机油 40

第一节 制冷剂 40

一、制冷剂必须具备的特性 42

二、制冷剂的分类 42

三、制冷剂的选用原则 43

四、几种常用的制冷剂 44

五、制冷剂的饱和液体及饱和蒸气热力性质表 45

六、制冷剂的使用和检漏 46

七、制冷剂的毒性等级 48

八、制冷剂特性与制冷装置维护、运行的关系 48

第二节 载冷剂 49

一、对载冷剂的一般要求 49

二、几种常用的载冷剂 49

三、盐水循环量计算 52

第三节 冷冻机油 52

一、冷冻机油与制冷剂的互溶性 53

二、冷冻机油的分类 53

三、冷冻机油的选用 54

四、冷冻机油的换油和储运 55

第三章 蒸气压缩制冷循环的

热力分析和计算 56

第一节 单级蒸气压缩制冷循环 56

一、理想制冷循环(理论循环) 56

二、实际制冷循环 58

第二节 双级蒸气压缩制冷循环 63

一、两级节流、中间完全冷却循环 64

二、一级节流、中间完全冷却循环 66

三、一级节流、中间不完全冷却循环 67

四、关于双级蒸气压缩制冷循环的几个问题 68

第三节 复叠式制冷循环 70

一、复叠式制冷循环的组成和应用 70

二、热力计算 72

第四节 混合工质制冷技术简介 73

第四章 制冷压缩机 74

第一节 制冷压缩机的分类和型号 74

一、活塞式制冷压缩机的分类 74

二、活塞式制冷压缩机型号表示方法	75	三、控制制冷剂供给量的其它设备	131
第二节 活塞式压缩机的结构	77	第二节 辅助设备	133
一、机体组	77	一、冷凝器、蒸发器的配套设备	133
二、曲柄连杆机构	79	二、液-气换热器	133
三、活塞组	80	三、贮液器	133
四、气阀机构	81	四、集油器	134
五、轴封装置	83	五、油-气分离器	134
六、卸载装置与能量调节机构	84	六、液-气分离设备	137
七、润滑系统	87	七、不凝性气体分离设备(空气分离器)	137
八、压缩机的冷却	89	八、中间冷却器	138
第三节 活塞式压缩机的性能及其影响因素	90	九、过滤器	138
一、影响活塞式压缩机性能的主要结构参数和工作环境	90	十、视液镜	139
二、温度条件与压缩机性能的关系	91	十一、安全装置	139
三、影响压缩机排气温度的因素	93	十二、电磁阀	140
四、压缩机制冷量的调节	94	十三、配管(连接管路与接头)	140
五、压缩机功率的调节	95	第三节 控制器件和指示仪表	141
第四节 压缩机的启动和维护	95	一、控制器件的设计、安装要求	142
一、压缩机的启动	95	二、自动控制机构	142
二、压缩机的维护要点	95	三、制冷剂循环控制	144
第五章 冷凝器和蒸发器	97	四、冷却水循环控制	145
第一节 冷凝器	99	五、温度控制器	145
一、冷凝器的结构	99	六、其它控制器件	146
二、影响冷凝器性能的因素	105	第七章 制冷装置的参数选择、调节、操作和维护	147
三、影响冷凝器传热效果的因素	106	第一节 制冷装置的参数选择	147
四、影响冷凝温度的因素	108	一、制冷装置的运行参数	147
五、冷凝器的设计计算	109	二、制冷装置的耗量计算	151
六、冷凝器的设计压力和试验压力	111	三、冷量分配	154
七、冷凝器的维护要点	111	第二节 空气状态的调节	154
第二节 蒸发器	112	一、空气循环	155
一、蒸发器的结构	114	二、热传递方式	156
二、蒸发器的设计计算	117	三、空气冷却器的布置方式	157
三、制冷剂的供液方式对蒸发器性能的影响	121	第三节 制冷装置的操作	158
四、影响蒸发器传热系数 k 的因素	122	一、制冷装置的启动	158
五、蒸发器的维护要点	124	二、制冷装置的停用	161
第六章 节流机构、辅助设备及其控制	125	三、除霜	161
第一节 节流机构	125	第四节 制冷装置的维修和故障分析	163
一、节流机构的型式和分类	125	一、压缩机的维护	163
二、节流机构的功用	129	二、换热器的维护	164
		三、制冷装置的主要故障、产生原因及消除方法	165
		第五节 制冷装置的容量试验	167

一、制冷量的测定	167	三、食品的贮存特点和热物理性质	206
二、压缩机功率的测定	169	四、食品冷冻加工的一般系统	213
三、冷凝器的冷凝热量测定	169	五、食品冷冻加工中的空气调节	220
第八章 冷库建筑的基本知识	170	第二节 冻结防腐的原理和工艺	224
第一节 冷库建筑	170	一、冻结原理	224
一、冷库建筑的特点和分类	170	二、冻结过程	226
二、冷库的组成	172	三、冻结方法和冻结装置	229
三、冷库的布置	173	四、冻干	231
四、冷库建筑结构	176	第三节 一些常用食品的冷冻加工	
第二节 冷库容量的计算	180	工艺	233
一、冷库的垂直运输量计算	180	一、肉(也适用于鱼)	233
二、冷却间和冻结间的生产能力计算	180	二、牛奶和奶制品	239
三、冷库容量的计算	181	三、蛋类	241
第三节 冷库的电器设备	183	四、水果和蔬菜类	242
一、冷库电器设备的特点	183	第十章 冷藏链和冷的其它应用	245
二、冷库电器的具体要求和注意		第一节 冷藏运输	245
事项	183	一、船用制冷装置	245
第四节 冷库建筑的维修	184	二、铁路冷藏车(保温车)	248
一、冷库维修的原则和注意事项	184	三、公路冷藏车(冷藏汽车)	249
二、冷库建筑维修的具体措施	185	四、冷藏集装箱	250
第五节 冷库的卫生管理	188	第二节 冰箱、冷藏箱和冻结柜	251
一、冷库的环境卫生与消毒	188	一、家用冰箱	251
二、食品冷冻加工工艺过程中的		二、冷藏箱(柜)	255
卫生管理	190	三、冻结柜和冻结物冷藏柜	256
第六节 冷库的库房管理和经济性		第三节 冷的其它应用	257
指标	191	一、制冰	257
一、库房管理工作	191	二、制冷装置在空调工程中的应用	259
二、冷库的经济性指标	194	三、化学工业中冷的应用	263
第七节 冷库的安全	197	四、工业原材料和建筑材料的低温	
一、安全设备	197	处理	264
二、安全操作	198	五、科学仪器的低温试验箱	265
三、预防措施和紧急救护	199	六、低温医学与冷冻疗法	266
第九章 食品的冷冻加工工艺知识	200	附图1 氨的lgp-h图	269
第一节 食品冷冻加工的基本知识	200	附图2 R12的lgp-h图	270
一、低温对反应速度的影响	200	附图3 R22的lgp-h图	271
二、低温对微生物、酶和氧化作用等的		附图4 湿空气的H-d图	272
影响	201	参考文献	273

第一章 制冷理论基础知识

第一节 概 述

制冷技术用以研究制冷机械及其主要设备的设计、制造、使用和操作。本书所指的制冷的含义比较广泛，更多的是涉及制冷在商业和其它行业中的应用。

冷和热的概念是相对的。在制冷工程中，所谓冷就是指低于周围环境（如大气、大地、江河、海洋等）的温度状况。

两种不同温度的物体相接触时，便会发生热传递现象，并且热量总是从温度较高的物体传向温度较低的物体，直至两物体的温度相等（即热平衡）为止。热量永远不会无代价地自发地从低温物体传向高温物体。这是自然界的普遍规律。

在人们的日常生活和生产活动中，冷源可分为天然冷源和人工冷源两大类。天然冷源是不消耗或少消耗能量即可获得冷源，但它的使用范围狭小，基本上不能用于制冷工程。人工制冷是借助于制冷装置，以消耗机械能或电磁能、热能、太阳能等形式的能量为代价，使热量从低温系统向高温系统发生转移而得到低温的方法。

一. 制冷方法及其适用范围

在低于环境温度的范围内，通常有以下六种物理效应可用于制冷和吸热：

1) 膨胀——利用高压气体膨胀时的吸热，使温度降低来实现制冷。它只适用于空调系统和 0°C 以上的低温水系统。

2) 蒸发——利用低温状态下容易蒸发的液体蒸发时吸收热量实现制冷。它能够获得各种不同的温度环境，是目前应用最为广泛的制冷方法，普遍应用于冷藏、冷冻和空调等系统。

3) 升华——利用固体二氧化碳（俗称干冰）升华为气体时，从周围环境吸取大量的升华潜热实现制冷。这种方法可以获得低温。

4) 熔化（融化）——利用物质从固态向液态转化的相变过程，从周围环境吸取大量的熔化潜热实现制冷。采用冰融化获得低温的方法通常有两种：一是利用冰融化实现制冷，它不能获得 0°C 以下的低温，主要用于贮存食品或防暑降温；二是利用冰和盐类物质的混合物的熔化潜热实现制冷，它能获得 0°C 以下的低温。

5) 化学反应——利用吸热的化学反应，致使周围的物体冷却。

6) 热电效应——利用分子组合过程所伴随的吸热电效应而制冷。

二. 人工制冷

目前采取的人工制冷方式主要有蒸气压缩式、吸收式、蒸汽喷射式和热电制冷等。

1. 蒸气压缩式制冷

蒸气压缩式制冷是人工制冷中应用广泛而又经济的制冷方式之一。它可以采用离心式、螺杆式和活塞式三种型式的压缩机，对制冷剂蒸气进行压缩。压缩机是构成蒸气压缩式制冷装置的核心部分。

图1-1为蒸汽压缩式制冷装置的示意图。经节流机构节流而进入蒸发器的液体，从周围物体中吸取汽化潜热而蒸发，随后变成低温、低压气体，被压缩机吸入并经压缩，变成高温、高压气体，然后进入冷凝器；在冷凝器内，用常温的冷却水或空气将其冷却成高压液体，再经节流机构进入蒸发器。如此循环往复，从低温处吸热而实现制冷，再利用制冷装置的作用，在高温处放出热量。

(1) 离心式压缩机(图1-2) 它依靠高速旋转而产生离心力的原理，提高制冷剂蒸气的压力，实现对蒸气的压缩过程，然后再经过冷凝、节流和蒸发等过程而达到制冷目的。

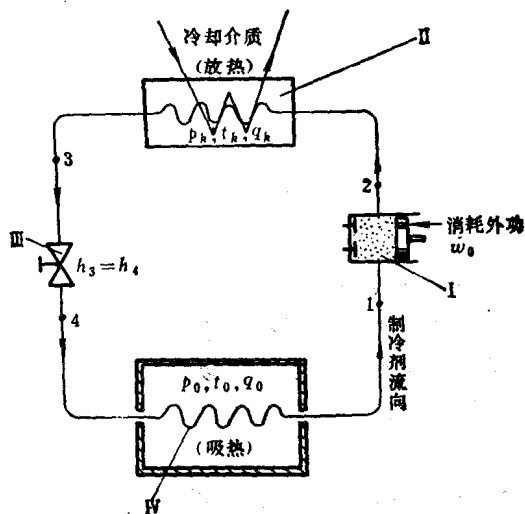


图1-1 蒸汽压缩式制冷装置示意图

I—压缩机 II—冷凝器 III—节流机构 IV—蒸发器

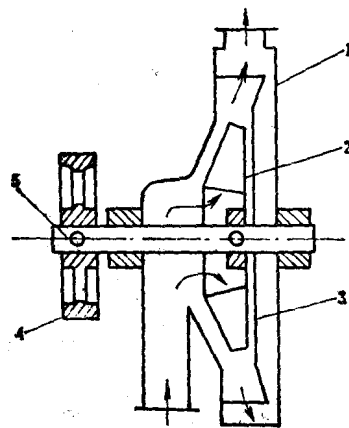


图1-2 离心式压缩机的原理图

1—机壳 2—转子 3—扩压器 4—带轮 5—主轴

离心式压缩机属于速度型压缩机。由于它的转速高，压缩过程连续进行，生产能力大，气体洁净，以及运转平稳、操作方便、无轴封漏泄等优点，用于大型制冷。

(2) 螺杆式压缩机(图1-3) 它是一种新型的高速回转机械，具有运转平稳可靠、维修方便、结构紧凑、启动容易、体积小等优点，很有发展前途。目前尚存在转子加工困难、油泵设备复杂和噪声较大的问题。

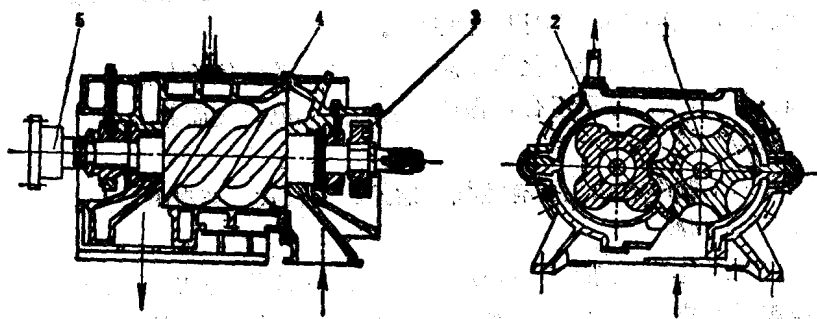


图1-3 螺杆式压缩机

1—阴螺杆 2—阳螺杆 3—同步齿轮 4—机壳 5—联轴器

与螺杆式压缩机同属于容积型回转式压缩机的，还有滑片式压缩机。它的排气压力不高，故其应用范围较小，主要用于双级制冷装置的低压缸。

(3) 活塞式压缩机 它是目前国内使用最为广泛的制冷压缩机，具有运转平稳、操作方便、排气量大而稳定、压缩效率高等优点。缺点是易损件多和零部件多。

活塞式压缩机是依靠活塞的往复运动以压缩气缸内气体的。图1-4表示结构简单的单缸、立式、单作用活塞式压缩机，其飞轮9与原动机（如电动机）相连接，并把动力传给曲轴1，再经连杆2把曲轴1的回转运动变为活塞3的往复运动。气缸盖6与阀板8之间构成两个空间：吸气室和排气室。它们分别通过安装在室内阀板8上的吸气阀5和排气阀7，与蒸发器、冷凝器相连接。

2. 吸收式制冷

吸收式制冷是以消耗热能为前提条件的，如图1-5所示。它主要由吸收器、发生器、节流阀、蒸发器和冷凝器等主要部件组成制冷循环。若与单级活塞式压缩制冷循环相比较，只是用发生器和吸收器代替了压缩机，其它都是一样的。吸收式制冷装置无机械运动部分，运行平稳、振动小、耗电少、对热能质量要求低、经济性较好、结构简单、较易制造、便于维修和管理的优点是突出的。

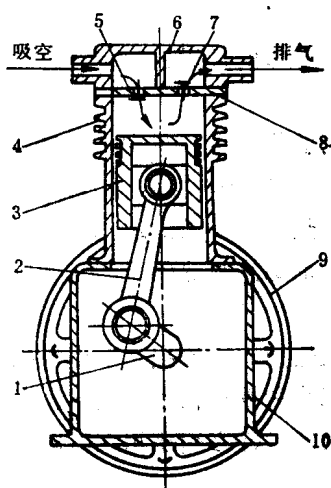


图1-4 活塞式压缩机

1—曲轴 2—连杆 3—活塞 4—气缸 5—吸气阀
6—气缸盖 7—排气阀 8—阀板 9—飞轮 10—曲轴箱

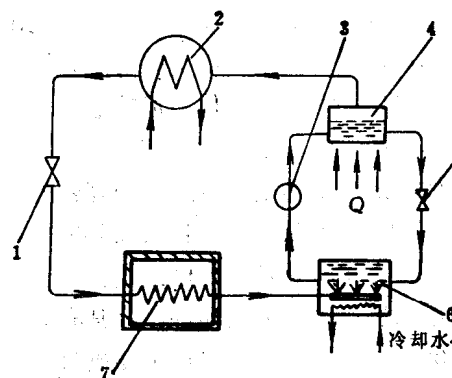


图1-5 吸收式制冷系统

1—膨胀阀 2—冷凝器 3—泵 4—蒸气发生器 5—调节阀 6—吸收器 7—蒸发器

吸收式制冷装置是利用物质的下述特性制成的：高沸点物质在一定条件下可以吸收（溶解）低沸点物质而组成二元溶液，当溶液温度较高时，溶质的溶解度就小，反之就大。于是，把低沸点物质作为制冷剂，把高沸点物质作为吸收剂。溶液中的两个纯组分在同一压力下的沸点差别越大，则由溶液中释出的制冷剂蒸气越纯，这就意味着制冷循环越完善，制冷装置也就越简单。

运行于沸点温度低于 0°C 的吸收式制冷装置，通常采用氨作为制冷剂，而吸收剂则采用稀氨水溶液。当运行沸点高于 0°C 时，多采用溴化锂溶液作为吸收剂，而把水作为制冷剂。这是因为溴化锂水溶液具有无臭、无毒、运行安全、水蒸气易从溶液中释出且不夹带吸收剂等优点。但是，溴化锂在空气中具有强烈的腐蚀性，而且价钱较贵，耗水量也很大。

3. 蒸汽喷射制冷

蒸汽喷射制冷装置主要由喷射器、冷凝器、蒸发器和水泵等组成,其工作循环如图1-6所示。

蒸汽喷射制冷是依据流体力学关于断面小压力低、水在低压下沸腾的理论设计而成的。它利用高压蒸汽经过一种特制的喷射器,以高速喷射,使该处的静压力急剧降至真空程度;与喷射器颈部相连接的蒸发器,在真空中使水沸腾,汽化吸热而达到制冷目的。喷射后的水蒸气被冷凝为水而重复使用。

为了获得5℃的低温水,往往要经过一、二级喷射,才能达到5℃水所相应的真空度。因此,整个系统的密封程度便成了蒸汽喷射制冷装置正常工作的关键。此外,喷射器是一种效率低的设备。但它具有结构简单、运动部件少、易于制造和维护、可用水作为制冷剂等优点。

蒸汽喷射制冷与溴化锂吸收式制冷一样,只能用于0℃以上的制冷需要,而且耗汽量较大,故应具备充足的水源。

4. 热电制冷

热电制冷又叫半导体制冷或温差电制冷。它与上述三种制冷方式在原理和设备上均不同,是利用半导体材料制成制冷器件,通电后发生珀尔帖效应而直接制冷的。

珀尔帖效应是这样一种物理现象:当电流从任意两种材料所构成的电路中流动时,在导体的接头处将发生吸热或放热现象,而吸收或放出的热量仅与导体的性质、接头的温度有关。实验证明,吸热(或放热)量与电流强度成正比。

当电流通过N型和P型半导体组成的电偶对时,在电场力的作用下,N型半导体中的电子与P型半导体中的空穴,都从一个接头向另一个接头运动。发生电子与空穴相复合的接头,要放出热量,称为热端;电子与空穴不相复合的一端,要吸收热量,叫做冷端。由于珀尔帖效应是可逆的,则当电流反向时,原来吸热的一端变为热端,而原来放热的一端变为冷端。如果适当控制电流,即可保持一定的温度。

热电制冷不用制冷剂,无运动部件,具有如下特点:①无噪声、无磨损、工作可靠、使用维护方便;②冷却速度快,可实现手动或自动控制;③体积小和重量轻,可朝多级微型化方向发展;④通过改变电流方向,可达到冷却、加热两用的目的;⑤必须使用直流电源,耗电量较大;⑥效率不高。

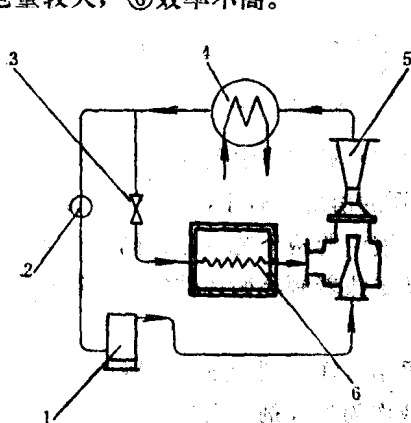


图1-6 蒸汽喷射制冷系统

1—锅炉 2—泵 3—膨胀阀 4—冷凝器
5—喷射器 6—蒸发器

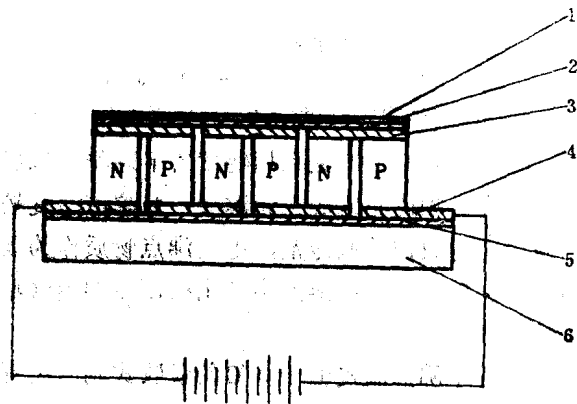


图1-7 热电制冷器电偶对的工作原理示意图

1—冷却板 2、5—电绝缘导热层 3、4—电极联片
6—散热器 P、N—P型、N型半导体

第二节 工程热力学基础

工程热力学是一门研究热能及其与其它形式能量相互转化规律的科学，即研究物质状态变化过程中，有关热、功转换的关系和条件。

在工程热力学中，通常把那些作为主要研究对象的物质统称为热力学系统，简称为系统；还把用以实现能量转化或能量传递的工作介质叫做工质；把供给工质热量的高温物质称作高温热源；把吸收工质所放出的热量的冷却介质或周围环境称作低温热源。根据系统与外界是否通过其边界进行物质、能量的交换，又可分为开口、闭口、绝热和孤立系统。系统的划分应视具体情况而定，这对于研究制冷技术理论是非常重要的。

一. 制冷介质和制冷系统

所谓的制冷介质，是指那些在使用过程中不管有无相变现象，均能使其它物体或物质的温度降低到环境温度以下的物质。

制冷系统是工作于两个不同热源之间的一种系统。它从低温热源吸取热量并将其送往高温热源。制冷剂就是制冷系统中使用的制冷介质，通常采用具有物态变化的流体。制冷剂在低温、低压下吸收热量，而在较高的温度和压力下放出热量。

所谓的二次制冷剂，是指那些在间接制冷系统中，从被制冷的物质或空间吸收热量，并把它传递给制冷系统蒸发器内的挥发性或非挥发性物质。

二. 状态参数

状态参数是一些表示系统（或工质）所处状态的物理量。当系统处于一定状态下，其状态参数具有确定的数值。对于单相均质的系统，通常可由任意两个相互独立的状态参数确定其热力状态。

常用的状态参数有温度、压力、比容、浓度、内能、焓和熵等，其中温度、压力和比容是可以直接（或间接）用仪器测量的，故叫做基本状态参数。

1. 温度

温度是表示物体冷热程度的物理量，用以说明与该物体接触时的热传递方向。如果两物体相接触时不发生热传递现象，则两者无温差，即处于热平衡状态。

所谓温标，就是温度的数值表示法，是为度量物体温度高低而对温度零点和分度方法所做的一种规定。在法定计量单位中，采用热力学温标（或称绝对温标、开尔文温标），并且允许摄氏温标同时使用。在热力学温标中，量的符号为 T ，单位符号为 K ；在摄氏温标中，量的符号为 t ，单位符号为 $^{\circ}C$ 。两种温标的换算关系为：

$$T = t + 273.15 \approx t + 273 \quad (K) \quad (1-1)$$

下面介绍几种常用温度：

- 1) 绝对零度—热力学温度的零度，即 $0K$ ，等于 $-273.15^{\circ}C$ 。
- 2) 室温—通常表示居住场所习以为常的温度。在制冷、空调工程中，室温表示操作或试验冷柜用的室的温度，或者使人感到舒适的被调节的室的温度。
- 3) 露点—在给定的湿度和压力下，随着气温的下降，大气中的水蒸气开始凝结时的温度。也可定义为在恒定的压力下，空气中的水蒸气分压力所对应的饱和温度，此时的相对湿度为100%。

- 4) 饱和温度—与给定压力相对应的液体温度或气体的冷凝温度。
- 5) 蒸发温度—蒸发压力下的沸点。在制冷工程中，是指制冷剂于给定压力下的沸腾温度，即制冷剂的定压汽化温度。
- 6) 冷凝温度—在给定压力下，蒸气的冷凝温度与其液体的沸点相等。
- 7) 干球温度—当修正了热辐射影响之后，由准确的温度计指示的气体或气体混合物的温度。
- 8) 湿球温度—当水蒸发或冰升华成水蒸气至空气中，使空气在相同的温度下绝热地处于饱和状态时的温度。
- 9) 低温—低于普通制冷装置所能达到的温度，例如 -34°C 以下；也指制冷系统中任一部分的温度低于另一平行的制冷部分的温度水平。
- 10) 沸点—在给定压力下，液体开始沸腾的温度。也就是说，液体的蒸气压力等于气-液分界面上外界绝对压力时的温度。沸点随外界压力和物质性质的不同而异。例如，水在 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ (1atm) 下的沸点为 100°C ，在 $2 \times 1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 下为 120°C ；在 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 下，R12的沸点为 -29.8°C ，R22为 -40.8°C ，R13为 -81.5°C ，R717为 -33.4°C 等。
- 11) 冻结点—借助于移去热量而使给定的液体冻结或固化时的温度。
- 12) 冰点—水的冻结点。在 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 下，水的冰点等于 0°C 。
- 13) 熔点(凝固点)—在给定压力下物体的固、液两相处于平衡状态时的温度。熔点随物质及其所受压力的变化而改变。对于非晶体，无熔点可言。
- 14) 临界温度—与物质的临界状态相对应的饱和温度。在临界状态下，液体和气体具有相同的特性。
- 15) 三相点—在单一物质系统中，气、液、固三相平衡共存时的温度。
- 16) 闪点—油类可燃物质所具有的足够的蒸发能力，以支持其开始燃烧时的温度。
- 17) 絮凝点—对液态R12与油的比例为9:1的混合物，以一定的速度冷却，直至观察到第一次明显的沉淀物时的温度。絮凝点给出了油的结蜡性质指标。制冷用途通常需用低絮凝点的油。

2. 压力

压力是均质液体或气体对其容器壁的单位面积上所施加的垂直作用力，又称压强。

在法定计量单位中，量的符号为 p ，单位符号为Pa。

一般可按下列方法表示容器内工质压力的大小：

- 1) 绝对压力 p —容器内工质的实际压力。热力计算中所用到的压力均为绝对压力。
- 2) 表压力 p_g —由压力表测出的压力。一般指高于大气压的相对压力。
- 3) 真空度 p_v —由真空计测示的压力。一般指低于大气压的相对压力。
- 4) 大气压 p_a —因地球上方的大气质量所造成的压力，是气压计指示的压力。绝对压力 p 、表压力 p_g 、真空度 p_v 与大气压 p_a 之间的关系，可用下列两式表示，它们的换算关系于图1-8。

$$p = p_a + p_g \quad (\text{当 } p > p_a \text{ 时}) \quad (1-2)$$

$$p = p_a - p_v \quad (\text{当 } p < p_a \text{ 时}) \quad (1-3)$$

在制冷工程中，所谓的压力平衡，是指压缩机卸载期间，使高压侧和低压侧的压力相等或接近相等。例如，可以采用卸载阀或借助于气塞液体控制设备，使压缩机的吸气压力和排

气压力近乎相等。这样，可减小压缩机的启动转矩。

3. 比容和密度

1) 比容——单位质量工质所占据的容积。

$$v = \frac{V}{m} (\text{m}^3/\text{kg}) \quad (1-4)$$

式中 V ——工质占据的总容积(m^3)；

m ——工质总质量(kg)。

2) 密度——单位容积中所容纳的工质质量，用 ρ 表示。它是比容的倒数。

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{m}{V} (\text{kg}/\text{m}^3) \quad (1-5)$$

4. 内能

内能是物质内部所具有的能量，用符号 U 表示，单位为 J 。它包括分子的移动能和转动能、分子间的位能、分子中原子的振动能、原子内部电子的能量和原子核能等。单位质量物质所具有的内能称为比内能，用符号 u 表示，单位为 J/kg 。 $U = mu$ ， $\Delta U = m\Delta u = m(u_2 - u_1)$ 。内能即为工质内部的热能，内能的变化量就是热量。

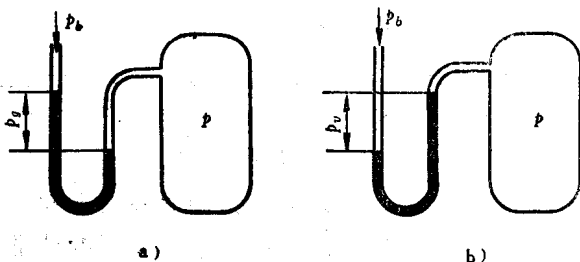


图1-8 压力换算关系

a) $p > p_b$, b) $p < p_b$

5. 焓

焓是物质所含有的内能与推动功（压力位能）之总和。它是一个复合的状态参数，对于描述流动工质的能量关系特别有用，是一个非常重要的概念。焓的定义式为：

$$\left. \begin{aligned} H &= U + pV \\ h &= u + pv \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

式中 H ——焓(J)， $H = mh$ ；

pV ——推动功(J)；

h ——比焓(J/kg)；

pv ——比推动功(J/kg)。

6. 熵

熵是一个导出的状态参数，表征工质状态变化时其热量传递的程度，用符号 S 表示，单位为 J/K 。比熵符号为 s ，单位为 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

比熵的定义式为：

$$ds = \frac{\delta q}{T} \quad (1-7)$$

式中 ds ——可逆微元过程的比熵变化量($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)；

δq ——可逆微元过程的传热量(J/kg)；

T ——工质的绝对温度(K)。

$m\text{kg}$ 工质在某一可逆过程中，它的熵变化量计算公式为：

$$\left. \begin{aligned} \Delta s &= \int_1^2 ds = \int_1^2 \frac{\delta q}{T} = \frac{q_{1-2}}{T} \\ \Delta S &= m\Delta s = m \frac{q_{1-2}}{T} = \frac{Q_{1-2}}{T} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

计算熵变化量 Δs 、 ΔS 的关键，在于找到求可逆传热量 q_{1-2} (J/kg)和 Q_{1-2} (J)的方法。

还要指出熵是热力状态自发实现可能性的量度，也用来量度工质不可用能的大小。

三、物态、状态及其变化

1. 物态变化

物质一般以三种聚集态，即气、液、固三态存在于自然界。在一定的条件下，三态(相)之间可以平衡共存或互相转化，这就是物态变化，亦称相变。近年来还把“等离子体”叫做“物质第四态”。

气态的特点是分子具有最大的自由度，并且不存在固有的确定的形状或容积，具有流动性和可压缩性，能够充满任何容器的空间。液态的特点是分子的自由度有限，具有流动性，但存在实质上的不可压缩性。固态的特点是尺寸稳定，具有相对不可压缩性，分子运动限制于作有限的振荡。物态的变化示意图见图1-9。

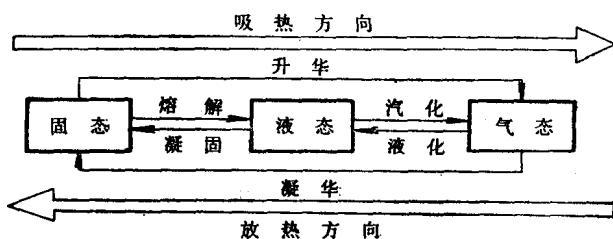


图1-9 物态变化示意图

(1) 汽化 液体变成气体(蒸气)的吸热过程，可分为蒸发和沸腾两种形式。

蒸发是液体表面分子汽化成蒸气分子的过程，沸腾是液体的表面和内部同时发生的剧烈汽化过程。

在制冷工程中，正是利用低沸点物质在低温下汽化吸热而得到低温的。这里要纠正一个错误概念，即制冷剂在蒸发器内，是在一定的蒸发压力相对应的饱和温度下进行的沸腾过程，而不是蒸发过程。因此，从这个意义上讲，蒸发器应改名为沸腾器。还要说明一点，除了在一定的压力下对液体加热可使液体沸腾，也可在一定的加热条件下，通过对不饱和液体降压(至液体温度所对应的饱和压力)，液体也能开始沸腾。

(2) 冷却 物体借助于放热而使其温度逐渐降低，或使其它物体温度逐渐降低的过程。作为冷却介质，总是使其它物体(或物质)的温度下降。

(3) 凝结 在降温条件下，物态发生变化的放热过程。

物质从液态变为固态的过程，叫做凝固；物质由气态直接变为固态的过程，叫做凝华。凝固和凝华都是变为固体的物态变化。液化则是变为液体的一种物态变化。对气体的增压或冷却，均能使其实现液化；但在临界温度以上，无论压力施加多大，气体也不会液化。

冷凝也是一种凝结过程，它是借助于放出热量而将蒸气变成液体的过程。在蒸汽冷凝器中，水蒸气得到冷凝，所得到的水叫做冷凝水。而蒸气凝结时形成的液体统称作冷凝液。

所谓过冷，是指把制冷剂的温度降到相应于给定压力的冷凝温度以下的过程；也指将液体冷却至它的冻结点以下，但这种情况只存在于不平衡状态之中。

(4) 冻结 借助于放出热量而把液体、食品或其它物品中含有的水分变成固体(冰)的过程。完成全部冻结过程所需的时间，叫做冻结时间。物体(大部分)达到冻结状态时的温度范围(水为 $-4 \sim -1^\circ\text{C}$)，叫做最大结晶区。

在食品冻结工艺过程中，通常采取如下几种方法：

使温度快速下降的快速冻结法，是在被冻结的食品或其它物品内产生预期的结晶结构的

常用方法。

平板式冻结法是冷藏平板与包装物品直接接触的冻结法。喷淋式冻结法是一种把制冷液体喷淋入存放待冻结食品的隔热室内的冻结法。托盘式冻结法是将待冻结食品置于低温气流中的冻结法；这种冻结法是把食品摆在浅盘内，而浅盘放在可移动的搁架上，并置于吹风的隔热保温室中。

(5) 熔化 从固体变为液体的吸热过程。

(6) 升华 从固体直接变成气体而不出现液体的物态变化过程。升华潜热等于熔化潜热与汽化潜热之和。

(7) 液体定压加热汽化过程 未饱和液体(过冷液体) $\xrightarrow{\text{(状态变化)}}$ 饱和液体 $\xrightarrow{\text{(物态变化)}}$ 湿饱和蒸气(湿蒸气) $\xrightarrow{\text{(物态变化)}}$ 干饱和蒸气 $\xrightarrow{\text{(状态变化)}}$ 过热蒸气。

1) 过冷液体—温度低于给定压力所对应的饱和温度的液体。

2) 饱和液体—具有给定压力对应下的饱和温度的液体。

3) 过冷度—给定压力下的饱和液体与过冷液体之温差。

4) 湿蒸气—饱和液体与饱和蒸气的混合物。它是一种对应给定压力的饱和温度并含有悬浮液滴的蒸气。

5) 饱和蒸气(干饱和蒸气)—对应给定压力的饱和温度且不含有悬浮液滴的蒸气。饱和蒸气在湿蒸气中的质量比例，定义为干度 x ；这是确定湿蒸气状态的重要参数。湿度 $y = 1 - x$ 。

6) 过热蒸气—在给定压力下对饱和蒸气继续加热而得到的非饱和蒸气。

7) 过热度—在给定压力下的过热蒸气与饱和蒸气之温差。

8) 过热量—在相同压力下，过热蒸气与饱和蒸气之焓差。

9) 过冷量—在相同压力下，饱和液体与过冷液体之焓差。

2. 特殊的状态和工况

(1) 稳定状态 系统连同其周围环境在内的一种运行状态，其主要参数视为不随时间变化。通常把制冷系统中的状态变化，近似地看作它的状态参数不随时间改变的稳定状态变化。

(2) 临界状态 物质的气、液两态平衡共存的一种边缘状态。这种状态只能在一定温度(临界温度)和压力(临界压力)下实现。此时，液体和气体具有完全相同的属性。

(3) 标准工况 对系统的性能特点作比较时所依据的工况。在该工况下试验所得的性能，叫做标准性能。

在有关制冷压缩机的国家标准中，规定了压缩机和压缩机组的名义工况(又称铭牌工况)和考核工况。

名义工况 在此工况下的压缩机和压缩机组的性能，适用于相同条件(转速、电压、频率等)下的所有同型号的压缩机和压缩机组。

考核工况 在此工况下，压缩机和压缩机组按规定条件(转速、电压、频率等)进行试验，并作为性能比较基准的性能工况。

(4) 标准状态 压力为 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 、温度为 0°C 时的状态。在标准状态下， 1kmol 的任何气体的容积均为 22.4m^3 (标准)。