

小型制冷设备丛书

小型制冷设备原理与设计

北京雪花电器集团公司教育培训中心 组编

刘 东 主编

科 学 出 版 社

1 9 8 9

内 容 简 介

本书为北京雪花电器集团公司教育培训中心组织编写的《小型制冷设备丛书》之一（另二册为《小型制冷设备制造工艺》及《小型全封闭制冷压缩机》）。

该书全面系统地介绍了电冰箱、小型空调器的原理、类型、结构以及各主要零部件的构造、材料与工作特性等。本书是编者多年生产实践和培训的经验总结。

本书是电冰箱、空调器行业的工程技术人员、维修人员的必备资料，也可作为中等专业技术学校、职业教育培训班的教科书。

小型制冷设备原理与设计

北京雪花电器集团公司教育培训中心 组编

刘 东 主编

责任编辑 陈 忠 徐一帆

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100707

大兴张各庄印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1989年12月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1989年12月第一次印刷 印张：6.5

印数：0001—18 000 字数：147 000

TSEN 7-03-001745-5/TS·4

定价：2.90元

目 录

第一章 热力学基础	1
第一节 表示制冷剂状态的基本参数	1
第二节 热力学第一定律	4
第三节 显热与潜热	7
第四节 制冷剂的热力性质	11
第五节 焓及压-焓图	16
第六节 热力学第二定律及熵	20
第二章 蒸汽压缩式制冷原理	21
第一节 蒸汽压缩式制冷的工作原理	21
第二节 制冷循环的热力计算	25
第三节 制冷循环的工况及回热循环	27
第四节 制冷机的制冷量及功率	31
第三章 制冷剂与冷冻油	31
第一节 制冷剂的特性	31
第二节 常用制冷剂性质的比较	36
第三节 氟制冷剂的检漏	39
第四节 冷冻油的特性	42
第五节 冷冻油与制冷剂溶液	45
第六节 制冷循环内的润滑油	46
第七节 制冷剂与水份的关系	48
第四章 传热与传热计算	51
第一节 导热	52
第二节 对流换热	57
第三节 辐射	70
第四节 传热量的计算	71

第五章 冷凝器	77
第一节 冷凝器的作用与传热过程	77
第二节 冷凝器的种类与结构型式	78
第三节 冷凝器的选择与计算	85
第六章 蒸发器	94
第一节 蒸发器的种类与结构型式	94
第二节 蒸发器的选择与计算	99
第七章 节流机构	101
第一节 毛细管	101
第二节 膨胀阀	106
第八章 电冰箱	110
第一节 电冰箱的种类	110
第二节 电冰箱的结构	113
第三节 电冰箱的制冷系统	119
第四节 电冰箱的控制系统	123
第五节 电冰箱热力计算与部件确定	146
第九章 低温箱及小型制冷机	156
第一节 多级制冷循环	156
第二节 复叠式制冷循环	166
第三节 低温箱	169
第四节 其他小型制冷机	171
第十章 空气调节的基本理论	178
第一节 湿空气的性质	178
第二节 湿空气的焓湿图	181
第三节 空气处理过程	185
第十一章 空调机组	190
第一节 概述	190
第二节 窗式空调器	193
第三节 热泵型空调器	196
第四节 去湿机	200

第一章 热力学基础

第一节 表示制冷剂状态的基本参数

人工制冷装置是通过制冷剂的状态变化来降低温度的。用来描述反映制冷剂（或称为工质）热力状态的物理量，被叫做热力状态参数，常用的状态参数有：温度、压力、比容等。

一、温度

物体有冷热之分，物体的冷热程度用温度表示。根据分子运动论，物质的大量分子热运动平均动能的度量称为温度。它是物质的热力状态参数之一，用它可以描述制冷系统内制冷剂的状态变化规律。

在热力学中，温度的读数，称为温标。用热力学温标表示的温度叫做热力学温度，用符号 T 表示，它的单位是开〔尔文〕，用符号 K 表示。

在工程上常用的温标是摄氏温标，它以水的冰点为零度，水的沸点为100度，冰点到沸点之间分成100等分，每一等分是一度。用摄氏温标表示的温度叫做摄氏温度，用符号 t 表示，它的单位是摄氏度，用符号 $^{\circ}C$ 表示。

热力学温度 T 与摄氏温度 t 的换算关系为

$$T = t + 273.16 \quad (1-1)$$

为了简化，可取 $-273^{\circ}C$ 为热力学温度的零度，即可写为

$$T = t + 273 \quad (1-2)$$

例如水的冰点 0°C 就是热力学温度 273K ，其沸点 100°C 就是热力学温度 373K ，用等式可写为

$$0^{\circ}\text{C} = 273\text{K}$$

$$100^{\circ}\text{C} = 373\text{K}$$

即两种温标的刻度相等， $1^{\circ}\text{C} = 1\text{K}$

二、压力

垂直作用在物体表面上的力叫做压力，在普通物理学中把垂直作用在物体的单位面积上的力称为压强，在工程上称为压力。对于流体来说，流体施加于容器壁面的垂直作用力就是压力。压力用符号 P 表示。

压力的大小，用单位面积上所作用的力的大小来衡量。如果作用在面积 A 上的作用力为 F ，则压力为

$$P = \frac{F}{A} \quad (1-3)$$

帕斯卡是压力的法定计量单位，1帕斯卡等于1牛顿/平方米，用符号表示为

$$1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2 \quad (1-4)$$

帕斯卡与实行法定计量单位前的压力单位的换算关系为1帕斯卡等于 9.86923×10^{-6} 标准大气压，用符号表示为

$$1\text{Pa} = 9.86923 \times 10^{-6}\text{atm}$$

$$1\text{atm} = 101325\text{Pa}$$

1帕斯卡又等于 1.01972×10^{-5} 千克力每平方厘米，用符号表示为

$$1\text{Pa} = 1.01972 \times 10^{-5}\text{kgf}/\text{cm}^2$$

$$1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 9.80665 \times 10^4\text{Pa}$$

1帕斯卡又等于 7.50062×10^{-3} 毫米汞柱，用符号表示为

$$1\text{Pa} = 7.50062 \times 10^{-3}\text{mmHg}$$

$$1\text{mmHg} = 133.322\text{Pa}$$

当压力值较大时，也可以使用帕斯卡的十进倍数单位作为压力单位，如千帕斯卡和兆帕斯卡，分别用kPa和MPa表示。

$$1\text{kPa} = 1 \times 10^3\text{Pa}$$

$$1\text{MPa} = 1 \times 10^6\text{Pa}$$

工质在容器内的压力，实际应用中有两种表示方法。

1. 绝对压力

直接指明工质作用于容器壁上的压力的实际数值，叫做绝对压力，用符号 P_j 表示。

2. 表压力

用压力表测量压力时，压力表上显示的读数，叫做表压力，用符号 P_b 表示。

当绝对压力高于当地大气压力时，绝对压力就等于当地大气压力与表压力之和。

$$\text{即 } P_j = B + P_b \quad (1-5)$$

式中 B ——当地大气压力。

当容器内工质的绝对压力低于当地大气压力时，表压力是一个负值，此时容器中的压力称为真空压力或负压力。真空压力表的读数表示出容器中的真空程度，被称为真空度，用符号 H 表示。真空度等于当地大气压力与绝对压力之差。

$$\text{即 } H = B - P_j \quad (1-6)$$

三、密度和比容

单位体积物质的质量，叫做密度，用符号 ρ 表示，它的单位是千克每立方米，用符号 kg/m^3 表示。

单位质量物质的体积，叫做比容，用符号 v 表示，它的单位是立方米每千克，用符号 m^3/kg 表示。

同一物质的密度与比容互为倒数关系，密度与比容的乘积等于1。即 $\rho v = 1$

$$(1-7)$$

气体的密度与比容的大小，随其压力和温度的改变而增大或减小。当压力不变，温度升高时，比容增大，密度减小；反之，温度降低时，比容减小，密度增大。当温度保持不变，压力增大时，比容减小，密度增大；反之，压力减小时，比容增大，密度减小。

表示制冷剂状态的基本参数还有其它一些物理量，此不繁举。

第二节 热力学第一定律

一、热

热是自然界中能量的一种表现形式。物体吸收或放出热的多少叫做热量，用符号 Q 表示，它的单位是焦耳，用符号 J 表示。

焦耳是热量的法定计量单位，1焦耳等于1牛顿·米的功，用符号表示为

$$1J = 1N \cdot M \quad (1-8)$$

在实行法定计量单位之前，热量的单位采用卡，用符号 cal 表示。1克水的温度升高或降低1摄氏度时，所吸收或放出的热量就是1卡。

当热量值较大时，则采用千卡为单位，用符号 $kcal$ 表示。

$$1kcal = 1 \times 10^3 cal$$

卡与焦耳之间存在着一定的换算关系。

1卡等于4.1868焦耳，用符号表示为

$$1cal = 4.1868J \quad (1-9)$$

$$1J = 0.238846cal$$

当热量值较大时，法定计量单位也可以采用千焦耳为单位，用符号 kJ 表示。

$$1\text{kJ} = 1 \times 10^3 \text{J}$$

二、功

功是克服外力移动物体时需要消耗的能量。功也是能量的一种表现形式，它的大小与外力的大小和移动物体的距离有关，功量等于外力与移动物体距离的乘积，用符号 W 表示，它的单位是焦耳，用符号 J 表示。

焦耳也是功量的法定计算单位，功量与热量的单位相同。

当功量值较大时，也可以采用千焦耳为单位，即 kJ 。

在实行法定计量单位之前，功量的单位采用千克力米，用符号 $\text{kgf} \cdot \text{m}$ 表示。

千克力米与焦耳之间存在着一定的换算关系。

1千克力米等于9.80665焦耳，用符号表示为

$$1\text{kgf} \cdot \text{m} = 9.80665\text{J} \quad (1-10)$$

$$1\text{J} = 0.101972\text{kgf} \cdot \text{m}$$

三、功率

单位时间里完成的功，叫做功率，用符号 P 表示。

如果用 W 表示功， t 表示时间，则功率为

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-11)$$

功率的单位根据功的单位与时间的单位来决定，在法定计量单位制中，功以焦耳为单位，时间以秒为单位，所以功率的单位就是焦耳每秒，用符号表示为 J/S 。

在法定计量单位制中，功率的单位是瓦特，用符号 W 表示。

1瓦特等于1焦耳每秒，用符号表示为

$$1\text{W} = 1\text{J/S}$$

工程上还用千瓦作功率的单位，用符号 kW 表示。

$$1\text{kW} = 1 \times 10^3 \text{W}$$

四、热力学第一定律

热能与机械功或其他形式的能量可以互相转换，也可以从一个物体传递给另一个物体，在转换或传递过程中，能量的总量保持不变，这就是热力学第一定律，并可以表达为以下关系式

系统得到的能量 + 系统最初具有的能量 = 系统失去的能量 + 系统最终尚有的能量

热和功都是能量的表现形式，实行法定计量单位前，它们的计量单位不同，彼此相互转换时存在着一定的比例关系，用数学式可以表示为

$$Q = AW \quad \text{或} \quad W = \frac{1}{A}Q$$

式中 Q —热量, kcal;

W —功量, kgf·m;

A —功热当量, kcal/kgf·m, $A = \frac{1}{427}$

kcal/kgf·m;

$\frac{1}{A}$ —热功当量, $\frac{1}{A} = 427 \text{kgf} \cdot \text{m} / \text{kcal}$ 。

实行法定计量单位之后，功量 W 的单位是J或kJ，则功热当量 $A = 0.239 \text{kcal} / \text{kJ}$ ；热功当量 $\frac{1}{A} = 4.187 \text{kJ} / \text{kcal}$ 。

根据以上当量关系，可得出功率与热量之间的换算关系为。

$1 \text{W} = 0.86 \text{kcal} / \text{h}$ ，即1瓦特 = 0.86千卡/小时；

$1 \text{kW} = 860 \text{kcal} / \text{h}$ ，即1千瓦 = 860千卡/小时。

按法定计量单位为

$1 \text{W} = 1 \text{J} / \text{S}$ ，即1瓦特 = 1焦耳/秒；

$$1\text{kW} = 3.6 \times 10^6 \text{J/h}$$

即 1千瓦 = 3.6×10^6 焦耳/小时。

第三节 显热与潜热

自然界中的物质有三种状态（聚集态），即固体、液体和气体。物质由一种状态变成另一种状态，叫做物态变化。物质在吸热或放热的过程中，伴随着温度的升高或降低，有时则使物质产生物态变化。根据热量变化对物质产生的热效应不同，人们将热量分为显热和潜热两种概念。

一、显热

物质在一定状态下发生温度变化，所需要的热量叫做显热。物质的温度升高时，需要吸收热量；温度降低时，会放出热量。一定质量的同一物质，升高或降低相同的温度时，所需要吸收或放出的热量是相等的。例如，1kg的水，从 20°C 升高到 30°C ，需要吸收42kJ的热量；如果将这些水从 30°C 冷却到 20°C ，则会放出42kJ的热量。

物质的温度变化，可用温度计测量显示。

质量相等的不同物质，变化同样的温度，所需要的热量是不相等的，为了计算各种物质的显热量，人们将单位质量的某种物质，当温度升高或降低 1°C 时，所吸收或放出的热量，叫做该物质的比热，用符号 C 表示。它的单位用符号 $\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ 或 $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$ 表示。

比热是物质的基本特性之一，不同的物质具有各自的比热。现将几种常见物质的比热列于下表。

表1-1 几种物质的比热 $[\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}]$

水	4.187	铜	0.394	机油	1.675
冰	2.093	铁	0.431	甘油	2.428
铝	0.921	石油	2.093	酒精	2.428

对于气体的比热，根据测定条件的不同，分为定压比热和定容比热

1. 定压比热

在一定的压力条件下，每千克气体的温度升高或降低 1°C 所吸收或放出的热量，叫做定压比热，用符号 C_p 表示。它的单位用符号 $\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ 或 $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$ 表示。

2. 定容比热

在一定的体积条件下，每千克气体的温度升高或降低 1°C 所吸收或放出的热量，叫做定容比热，用符号 C_v 表示。它的单位也是 $\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ 或 $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$ 。

3. 定压比热与定容比热的分析

气体在定压条件下加热，吸收热量后温度升高，而体积膨胀，气体在膨胀过程中，要克服外部阻力而作功。因此，气体需要吸收使温度升高的热量和对外部作功所需要的能量，这样就比气体在定容条件下加热，所需要吸收的热量多。所以气体的定压比热 C_p 大于定容比热 C_v ，即 $C_p > C_v$ 。

4. 绝热压缩指数

气体的定压比热与定容比热之比称为绝热压缩指数，简称绝热指数，用符号 K 表示。

$$\text{即 } K = \frac{C_p}{C_v} \quad (1-12)$$

例如，制冷剂R12的定压比热 $C_p = 0.6150 \text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ ；定容比热 $C_v = 0.5411 \text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ ；绝热指数 $K = 1.135$ 。

二、显热量的计算

任何物质，不论形态如何，凡是由于温度的变化，而产生热量变化的数量，可利用下式进行计算求得，即

$$Q = m \cdot C(t_2 - t_1), \text{ 单位kJ} \quad (1-13)$$

式中 Q —温度变化时热量的变化量，单位kJ；

m —被加热或被冷却物质的质量，单位kg；

C —被加热或被冷却物质的比热，单位kJ/kg·°C

t_1 —物质的初始温度，单位°C；

t_2 —物质的终了温度，单位°C。

当对物质加热时， $t_2 > t_1$ ， t_2 与 t_1 之差是正值，则计算出的热量的变化量 Q 也是正值，表示物质吸热过程中热量的变化量。

当对物质冷却时， $t_2 < t_1$ ， t_2 与 t_1 之差是负值，这时计算出的 Q 就是负值，表示物质放热过程中热量的变化量。

例如，将10kg的水，由 $t_1 = 20^\circ\text{C}$ 加热至 $t_2 = 50^\circ\text{C}$ 时，需要吸收多少热量？

解 由物质的比热表查出，水的比热 $C = 4.187\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$ ，将已知量代入下式

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot c (t_2 - t_1) \\ &= 10 \times 4.187 \times (50 - 20) \\ &= 10 \times 4.187 \times 30 \\ &= 1256.1\text{kJ} \end{aligned}$$

此时表示水需要吸收1256.1kJ的热量。

若将10kg的水，由 $t_1 = 80^\circ\text{C}$ 冷却至 $t_2 = 50^\circ\text{C}$ 时，需要放出多少热量？

解 将已知量代入下式

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot c (t_2 - t_1) \\ &= 10 \times 4.187 \times (50 - 80) \\ &= 10 \times 4.187 \times (-30) \\ &= -1256.1\text{kJ} \end{aligned}$$

此时表示水需要放出1256.1kJ的热量。

三、潜热

物质在某温度和压力条件下进行物态变化时，物质中热

量的变化量，叫做潜热，用符号 L 表示。其单位是 kJ/kg 。

潜热对物质不产生温度变化，只显示物态的变化，即在温度不变的条件下，使物质从一种状态变成另一种状态。

根据物质状态变化的不同方式，潜热可分为以下几种类型。

1. 熔解潜热

物质从固体变成液体的过程，叫做熔解，在熔解过程中，物质需要吸收热量，所吸收的热量叫做熔解潜热。

例如， 1kg 的冰在大气压力下，从零摄氏度的冰变成零摄氏度的水，需要吸收 335kJ 的熔解潜热。

2. 凝固潜热

物质从液体变成固体的过程，叫做凝固或冻结。在凝固过程中，物质应放出热量，所放出的热量叫做凝固潜热或冻结潜热。

同一物质的凝固潜热与熔解潜热相等，只是热量的变化方向不同，前者是物质放出热量，而后者则是物质吸收热量。

3. 汽化潜热

物质从液体变成气体的过程，叫做汽化。在汽化过程中，物质需要吸收热量，所吸收的热量叫做汽化潜热。

例如， 1kg 水在标准大气压力下，从 100°C 的水变成 100°C 的水蒸气，需要吸收 2257.2kJ 的汽化潜热。

物质的汽化过程有两种方式，即蒸发和沸腾。

蒸发是只从液体表面发生的汽化现象；沸腾则是液体吸热后，当温度升高到一定程度时，液体内部发生剧烈汽化的现象。液体沸腾时的温度叫做沸点。在一定压力下，不同的物质具有各自的沸点。例如，在标准大气压力下，水的沸点是 100°C ，而制冷剂R12的沸点是 -29.8°C 。

4. 液化潜热

物质从气体变成液体的过程，叫做液化。液化是汽化的相反过程。物质在液化过程中，应放出热量，所放出的热量叫做液化潜热。

同一物质的液化潜热与汽化潜热相等。

5. 升华潜热

物质不但可以在固体和液体之间，或者在液体和气体之间进行物态变化，有的物质也可以在固体和气体之间直接进行物态变化。物质从固体直接变成气体的过程，叫做升华。物质在升华过程中，需要吸收热量，所吸收的热量叫做升华潜热。例如，固体二氧化碳（干冰）在通常大气压力下的升华温度是 -78.9°C ；1kg固体二氧化碳在升华过程中，需要吸收575kJ的升华潜热。

6. 凝华潜热

物质从气体直接变成固体的过程，叫做凝华，凝华是升华的相反过程。物质在凝华过程中，需要放出热量，所放出的热量叫做凝华潜热。

同一物质的凝华潜热与升华潜热相等。

四、人工制冷对潜热的利用

物质在状态改变过程中，热量的变化量比较大，即潜热的数值较大。人工制冷装置是利用制冷剂在状态改变过程中发生的潜热变化来达到人工制冷的目的。

例如，电冰箱便是利用制冷剂通过冰箱内的蒸发器吸收热量，由液体变成气体；再利用制冷剂通过冰箱外的冷凝器放热，由气体冷凝成液体；如此循环将冰箱内的热量转移到冰箱外面的空气中去，实现降低箱内温度的目的。

第四节 制冷剂的热力性质

在人工制冷装置中，进行聚集态变化以达到制冷目的的

物质，称为制冷剂或工质。在制冷系统中，如果没有制冷剂，就不能进行制冷。制冷剂的热力性质直接关系到制冷装置的技术经济指标，因此，应该了解制冷剂的热力性质，以便合理地选择和应用制冷剂。

一、制冷剂在汽化和液化过程中的热力状态变化

制冷剂液体在蒸发器中吸热汽化的过程是在一定压力条件下进行的。对液体制冷剂在定压条件下加热，制冷剂的热力状态变化过程可分为三个阶段，即液体吸热阶段、汽化阶段和蒸气过热阶段。

例如，将制冷剂R12液体放进一容器中，在一定压力 P 下进行加热，其热力状态变化过程如图1-1所示。

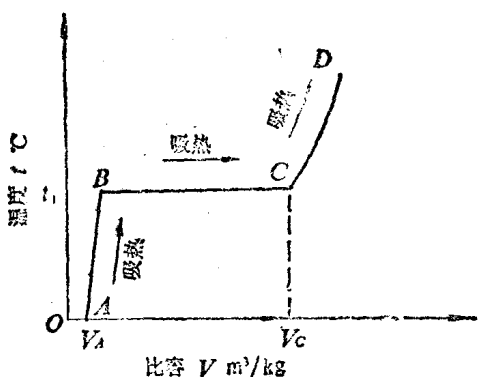


图1-1 R12热力状态变化图

1. 液体吸热阶段

如果制冷剂R12液体的初始温度是 0°C ，在容器中吸热时，液体的温度不断上升，比容稍有增大。图1-1中A—B线段表示R12液体的吸热过程，A点是液体吸热前的初始状态，在一定压力 P 下，尚未达到液体的饱和温度，此时是未饱和液体，或称为过冷液体。当液体吸热达到饱和温度时，则成

为饱和液体状态，即图中 B 点所表示的位置。 $A-B$ 线段表示液体由未饱和液体达到饱和液体的过程，吸收的热量是属于显热。

2、汽化阶段

当制冷剂 $R12$ 的饱和液体在该压力 P 下继续吸收热量，则液体开始蒸发，逐渐由液体全部转变成蒸气，这个变化过程是液体吸热汽化的过程。图1-1中 $B-C$ 线段表示液体的汽化过程， B 点是此压力 P 下的饱和液体状态，由 B 点继续吸收热量，温度保持不变，比容迅速增大，当液体全部转化成蒸气时，则成为干饱和蒸气状态，即图中 C 点所表示的位置。在 $B-C$ 线段，制冷剂 $R12$ 由饱和液体变成干饱和蒸气的过程，所吸收的热量是属于汽化潜热。

3、蒸气过热阶段

将制冷剂 $R12$ 的干饱和蒸气在同一压力 P 下继续加热，则蒸气温度开始升高，成为高于此压力 P 下的饱和温度的过热蒸气。图1-1中 $C-D$ 线段表示蒸气的过热过程， C 点是干饱和蒸气状态，由 C 点继续加热，随着蒸气温度的不断升高，蒸气的比容有明显地增大。蒸气在过热阶段吸收的热量是属于显热。

制冷剂蒸气在冷凝器中放热液化的过程也是在一定压力条件下进行的。对制冷剂蒸气在定压条件下冷却，其热力状态变化过程是液体在定压条件下加热汽化的相反过程。对过热蒸气冷却，蒸气放出热量，温度下降，成为干饱和蒸气；继续放出热量，比容迅速减小，温度保持不变，由干饱和蒸气变成饱和液体；饱和液体放热冷却，即成为过冷液体。

制冷剂 $R12$ 的液体吸热汽化与蒸气冷却液化的过程，热量的变化量是相等的，只是热量的变化方向相反。在定压条件下，制冷剂的汽化潜热与液化潜热是相等的。

二、制冷剂热力状态术语