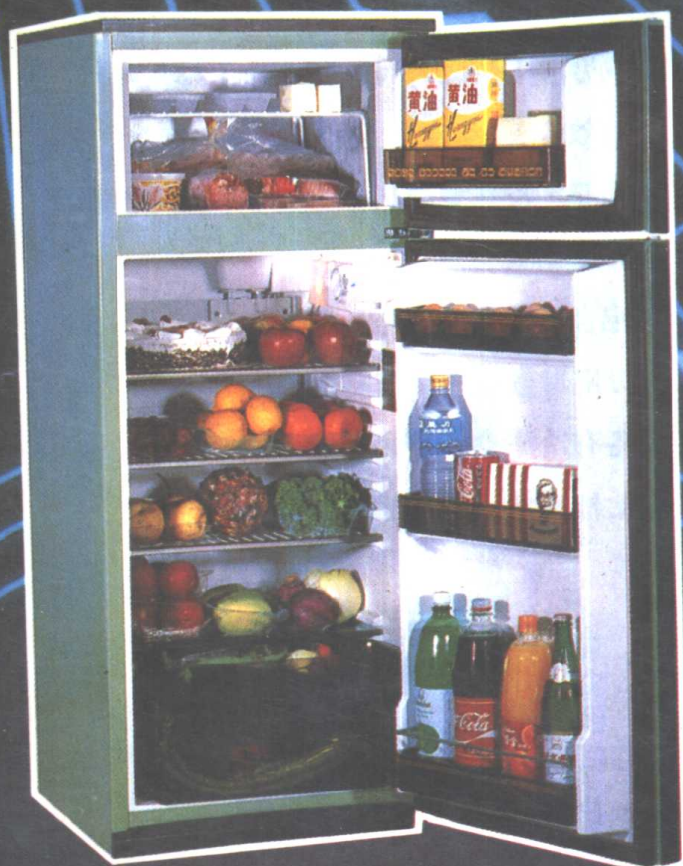


工人技术等级标准(家用电器维修专业)考核辅导丛书

# 家用制冷设备原理 与故障分析、检修

李援璞 主编



机械工业出版社

工人技术等级标准(家用电器维修专业)考核辅导丛书

# 家用制冷设备原理与 故障分析、检修

主编 李援瑛

参编 刘慧贞 王银波



机械工业出版社

本书系工人技术等级标准(家用电器维修专业)考核辅导丛书之一。全书共分十二章。

本书以家用制冷设备的结构、工作原理和故障分析、排除方法为重点,系统地叙述了制冷与空调原理、电工基础知识、电冰箱和房间空调器的组成与工作原理,以及制冷设备的维修操作方法。本书对家用制冷设备在使用和维修中易出现的问题,从各个角度做了较详细的分析,且每章后均附有提纲挈领的思考题,以便于读者学习时作为重点内容的参考。

本书为从事家用制冷设备的维修技术人员参加国家工人技术等级考核的辅导教材,也可作为部队培养军地两用人才及各相关专业学校进行技术培训的教材。

## 家用制冷设备原理与故障分析、检修

李振瑛 主编

责任编辑 钱润洲 版式设计 朱淑珍  
封面设计 晋人字 责任印制 李兴民

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

河北省涞源县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本787×1092<sub>1/16</sub>·印张15.5 插页2·字数371千字

1996年5月第一版 第一次印刷

印数 8000-10000 定价 18.00元

ISBN7-111-04322-7/TB·212

工人技术等级标准（家用电器维修专业）考核辅导丛书  
编写委员会

|       |     |     |     |
|-------|-----|-----|-----|
| 主 编   | 王仲文 | 孙祥根 | 关毅杰 |
| 副 主 编 | 贡克勤 | 高文龙 |     |
| 主任编委  | 李兴民 | 高士曾 | 刘志平 |
| 编 委   | 韩泽林 | 魏 钢 | 李玉林 |
|       | 赵炳祺 | 武绪廉 | 张 屹 |
|       | 曹志宏 | 陶宏伟 | 沈 文 |
|       | 邹 平 | 宋贵林 | 李旭东 |
|       | 李振华 | 张峻峰 | 邓从真 |
|       | 王 敏 | 杜德昌 | 李 波 |
|       | 段 欣 | 李援瑛 | 刘慧贞 |
|       | 王银波 | 孟宪明 | 刘新民 |
|       | 赵山鹰 | 孙志奇 | 聂在强 |
|       | 迟朋亘 | 陈延军 | 黎国胜 |

# 目 录

## 序

## 前言

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| <b>第一章 热学基础知识</b> .....           | 1  |
| 第一节 分子运动论 .....                   | 1  |
| 第二节 热运动和温度 .....                  | 2  |
| 第三节 热量和比热容 .....                  | 2  |
| 第四节 热传递的方式 .....                  | 3  |
| 第五节 物质的状态变化 .....                 | 3  |
| 第六节 热和功 .....                     | 5  |
| ● 思考题 .....                       | 7  |
| <b>第二章 热力学基础知识</b> .....          | 8  |
| 第一节 压力 .....                      | 8  |
| 第二节 温度 .....                      | 9  |
| 第三节 显热和潜热 .....                   | 10 |
| 第四节 密度和比容 .....                   | 12 |
| 第五节 内能和外能 .....                   | 12 |
| 第六节 制冷剂的状态变化 .....                | 13 |
| 第七节 热力学第一、第二定律 .....              | 14 |
| 第八节 节流 .....                      | 16 |
| 思考题 .....                         | 17 |
| <b>第三章 单级蒸汽压缩制冷</b> .....         | 18 |
| 第一节 单级蒸汽压缩制冷循环 .....              | 18 |
| 第二节 制冷剂的压—焓图 ( $\lg p-i$ 图) ..... | 19 |
| 第三节 单级蒸汽压缩制冷循环在压—焓图上的表示 .....     | 21 |
| 第四节 单级蒸汽压缩制冷循环的理论计算 .....         | 25 |
| 第五节 制冷剂的饱和液和干饱和蒸汽的热力性质表 .....     | 29 |
| 第六节 制冷剂和冷冻机油 .....                | 30 |
| 思考题 .....                         | 34 |
| <b>第四章 常见的制冷方法</b> .....          | 35 |
| 思考题 .....                         | 39 |
| <b>第五章 空气调节的基础知识</b> .....        | 40 |
| 第一节 湿空气的性质 .....                  | 40 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 第二节 湿空气的焓—湿图 ( $i-d$ 图) .....  | 42  |
| 第三节 湿空气的应用及空气处理在焓—湿图上的表示 ..... | 43  |
| 第四节 饱和湿空气的物理性质表 .....          | 49  |
| 思考题 .....                      | 49  |
| <b>第六章 电工学基础知识</b> .....       | 50  |
| 第一节 电工学基础 .....                | 50  |
| 第二节 半导体基础 .....                | 77  |
| 第三节 电工测量仪表的使用 .....            | 87  |
| 思考题 .....                      | 90  |
| <b>第七章 电冰箱的分类、规格与结构</b> .....  | 92  |
| 第一节 电冰箱的分类 .....               | 92  |
| 第二节 电冰箱的规格和型号 .....            | 95  |
| 第三节 电冰箱的结构 .....               | 96  |
| 第四节 电冰箱的箱体与箱内附件 .....          | 98  |
| 思考题 .....                      | 99  |
| <b>第八章 蒸气压缩式电冰箱的制冷系统</b> ..... | 100 |
| 第一节 制冷系统的组成和工作原理 .....         | 100 |
| 第二节 活塞式压缩机的工作过程 .....          | 100 |
| 第三节 制冷压缩机 .....                | 102 |
| 第四节 冷凝器 .....                  | 110 |
| 第五节 干燥过滤器 .....                | 112 |
| 第六节 毛细管 .....                  | 112 |
| 第七节 蒸发器 .....                  | 113 |
| 第八节 电冰箱制冷系统的典型布置 .....         | 115 |
| 思考题 .....                      | 117 |
| <b>第九章 电冰箱的电气控制系统</b> .....    | 118 |
| 第一节 电动机 .....                  | 118 |
| 第二节 启动继电器和过载保护器 .....          | 121 |
| 第三节 温度控制器 .....                | 126 |
| 第四节 电冰箱的除霜装置 .....             | 133 |
| 第五节 电冰箱加热器 .....               | 136 |
| 第六节 箱内风扇电机和照明灯 .....           | 137 |
| 第七节 电冰箱典型电路分析 .....            | 138 |
| 思考题 .....                      | 145 |

|                           |     |                         |     |
|---------------------------|-----|-------------------------|-----|
| <b>第十章 电冰箱的修理技术</b> ..... | 146 | <b>思考题</b> .....        | 157 |
| 第一节 电冰箱的正常工作状态 .....      | 146 | <b>第十二章 房间空调器</b> ..... | 158 |
| 第二节 电冰箱修理的工具与配件材料 .....   | 149 | 第一节 概述 .....            | 188 |
| 第三节 电冰箱修理工具的使用方法 .....    | 151 | 第二节 空调器的功能, 分类与参数 ..... | 190 |
| 第四节 焊接操作 .....            | 159 | 第三节 空调设备的热、湿负荷 .....    | 193 |
| 第五节 压缩机的开壳和封焊技术 .....     | 166 | 第四节 房间空调器的工作原理与特性 ..... | 196 |
| 第六节 制冷系统的清洗 .....         | 167 | 第五节 空调器的制冷系统 .....      | 202 |
| 第七节 箱体的整修 .....           | 168 | 第六节 空调器的风路系统 .....      | 206 |
| 第八节 电冰箱内胆的维修 .....        | 170 | 第七节 空调器的电气控制系统 .....    | 208 |
| <b>思考题</b> .....          | 171 | 第八节 恒温恒湿机和除湿机 .....     | 217 |
| <b>第十一章 电冰箱常见故障的判断、</b>   |     | 第九节 风机盘管空调器 .....       | 219 |
| <b>检查与维修</b> .....        | 172 | 第十节 房间空调器的安装 .....      | 222 |
| 第一节 检查电冰箱故障的一般方法 .....    | 172 | 第十一节 房间空调器的常见故障         |     |
| 第二节 制冷系统故障的判断和排除 .....    | 173 | 与排除方法 .....             | 229 |
| 第三节 电冰箱故障判断与排除方法 .....    | 181 | <b>思考题</b> .....        | 237 |
| 第四节 电冰箱制冷系统的检漏、           |     | <b>参考文献</b> .....       | 238 |
| 抽真空与充氟 .....              | 182 |                         |     |

## 第一章 热学基础知识

### 第一节 分子运动论

任何物体都是由一种或几种物质组成。例如：木质桌子是由木头这种物质组成；钢木家具是由钢、木两种物质组成；水是由氢、氧两种物质组成……。

物质又是由什么组成的呢？一切物质都是由极小的微粒分子组成。经过科学研究的结果：如氢分子的直径是  $2.3 \times 10^{-8} \text{cm}$ ；水分子的直径是  $4.0 \times 10^{-8} \text{cm}$ 。一般分子直径都在  $10^{-8} \text{cm}$  左右。根据分子直径的计算，如果把  $0^\circ\text{C}$ （摄氏度）一个标准大气压下，体积为  $1 \text{cm}^3$  的氧气分子一个挨着一个地排列起来，那么可以排成  $8.1 \times 10^6 \text{km}$  长，也就是沿着赤道围绕地球转 203 圈。

物质分子虽然很小，但它们也具有质量，例如：经过可靠数据计算，氢分子的质量为  $3.35 \times 10^{-27} \text{g}$ ，氧分子的质量为  $5.30 \times 10^{-27} \text{g}$ 。

物体是由大量的分子组成。如  $1 \text{cm}^3$  体积的水中含有的分子数约为  $3.0 \times 10^{23}$  个。假如 45 亿人都来数这些分子，每人每秒数一个，那么需要将近 23 万年的时间才能数完。如果将  $1 \text{g}$  酒精倒入容积是 100 亿  $\text{m}^3$  的水库中，酒精分子均匀地分布在水中，每  $\text{cm}^3$  的水中，酒精的分子数仍然在 100 万个以上。

物体中的分子在永不停息地做无规则的运动。在房间里喷上少量的香水，房间里的各个角落很快就有了香味，这是香水分子的扩散现象。当锻打时，固体的钢锭体积可以减小，这说明了物体的分子之间是有空隙的。请看实验：在一个较长的玻璃管内装上一半水，再沿着管壁慢慢地注入带有颜色的酒精，这时可以清楚地看到水和酒精的分界面，如图 1-1 所示。记下酒精的液面，然后将管口堵住，上下颠倒几次，使水和酒精混合在一起，这时可以看到混合后液体的表面比混合前要低。这说明了混合后液体的体积比混合前两种液体的总体积要小一些，通过以上的现象可以说明，经过混合后分子重新排列，其中一部分分子的间隙被另一部分分子所占据，于是体积减小了，这一例也充分说明了物体内分子之间是存在着间隙的。

由于分子之间有间隙，分子之间距离的大小决定着它们之间的作用力。分子间的距离等于某一数值时，这个距离大约是  $10^{-10} \text{m}$ ，通常用  $r_0$  表示这一距离，分子之间的引力和斥力相等，于是分子处于平衡状态。分子之间的距离发生了变化，它们之间的作用力也要发生变化。如果分子间的距离大于  $r_0$  时，分子间的引力大于斥力，分子间的作用力表现为引力。当分子间的距离小于  $r_0$  时，分子间的引力小于斥力，分子间的作用力表现为斥力。当分子间的距离远远大于  $r_0$  时，分子间的作用力可以忽略不计。

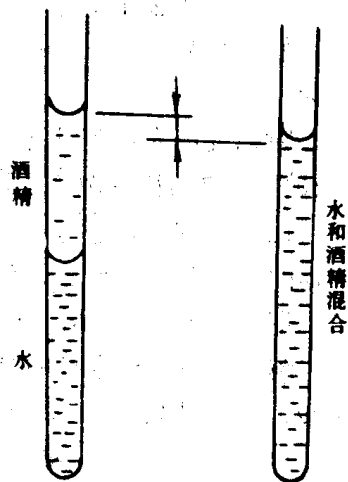


图 1-1 水和酒精混合前后的情况

根据以上的理论，可解释下面现象。当固体受到拉伸时，固体内部分子间的引力大于斥力，因而阻碍物体的拉伸，当固体受到压缩时，固体内部分子间的斥力大于引力，因而阻碍固体的压缩，使固体不能无限制地被压缩。气体分子间的距离大，气体分子间的作用力可以忽略，因此气体没有一定的形状和体积，气体总是充满容器的容积。液体内部分子间的作用力小，所以液体有流动性，因此没有一定的形状，只有一定的体积。固体内部分子间作用力大，所以固体有一定的形状和体积。

## 第二节 热运动和温度

根据分子运动论，物体内部由大量的分子组成；分子在做永不停息的无规则运动；分子之间存在着引力和斥力，物体内部分子做无规则运动的快慢与物体的温度有关。

例如：一盆凉水放在火炉上加热，请仔细地观察水状态的变化。开始是平静的一盆水，随着水不断地吸收热量，其温度不断升高，水盆内的水有小气泡向上冒，当水的温度达到沸点时，沸腾了的水就会有大气泡上下翻滚，大量的蒸汽从水面上冒出来。这表明盆内的水分子的运动随着温度的升高而加剧，一般将物体内部分子的无规则运动叫做热运动。

## 第三节 热量和比热容

热量是衡量物体吸收或放出热的多少。一壶沸水放在室内，热水向室内空气放出热量，水的温度不断下降，最后水温达到与室温相同。相反地，一壶冷水，当给它加热使之沸腾，是由于冷水从外界吸收了热量达到沸点而沸腾。

热量的单位为焦耳 (J) 或千焦耳 (kJ)，其中， $1\text{kJ} = 10^3\text{J}$ 。

物体吸收或放出热量，会导致物体温度的升高或降低。相同质量的不同物质，温度升高或降低相同的温度，所吸收或放出的热量是不同的。

例如，质量是  $1\text{kg}$  (千克) 的水，温度升高 (或降低)  $1^\circ\text{C}$  (摄氏度) 时，所吸收 (或放出) 的热量为  $4.2\text{kJ}$ ；质量是  $1\text{kg}$  的冰，温度升高 (或降低)  $1^\circ\text{C}$  时，所吸收 (或放出) 的热量为  $2.1\text{kJ}$ 。

因此规定为：质量为  $1\text{kg}$  的某种物质，温度升高 (或降低)  $1^\circ\text{C}$  或  $1\text{K}$  (开尔文) 所吸收 (或放出) 的热量叫做这种物质的比热容。不同的物质比热容不同，比热容是物质的属性之一。

比热容的单位有  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 、 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$  或  $\text{J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ 、 $\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})$ 。(C 表示摄氏温标的温度单位，K 表示绝对温标温度的单位)。

例如：质量为  $10\text{kg}$  的水，温度从  $20^\circ\text{C}$  升高到  $100^\circ\text{C}$  时，求水所吸收的热量为多少千焦耳。

解：水的比热容指的是  $1\text{kg}$  的水，温度升高  $1\text{K}$  时，所吸收的热量是  $4.2\text{kJ}$ 。水的质量是  $10\text{kg}$ ，温度升高  $100 - 20 = 80 (^\circ\text{C})$  时，所吸收的热量。

$$Q = 4.2\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times 10\text{kg} \times 80^\circ\text{C} = 3360\text{kJ}$$

根据以上计算，总结出某种物质温度升高时，所吸收的热量的计算公式，即

$$Q = cm(t_2 - t_1)$$

式中  $c$ ——物质的比热容， $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ；

$m$ ——物质的质量， $\text{kg}$ ；

$t_1$ ——物质初始温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_2$ ——物质吸热后终了温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$Q$ ——物质温度升高 ( $t_2 - t_1$ ) 时所吸收的热量,  $\text{kJ}$ 。

同样的道理也可以总结出某种物质温度降低时向外界放出热量的计算公式, 即

$$Q = cm(t_1 - t_2)$$

式中 ( $t_1 - t_2$ ) 为物质温度降低的数值。

如果两个温度不同的物体相互接触时, 第一个物体放出的热量等于第二个物体吸收的热量, 二者最后的温度趋于一致, 这种现象叫做热平衡, 用公式表示为

$$Q_{\text{放}} = Q_{\text{吸}}$$

这个公式叫做热平衡方程。

制冷系统中, 制冷机的制冷量就是根据这个道理提出来的。

## 第四节 热传递的方式

热量从高温物体向低温物体传递, 传递的方式有三种: 热传导, 对流和辐射。

### 一、热传导

两个物体相互接触时, 热量从高温物体向低温物体传递; 或者一个物体, 热量从高温部位向低温部位传递, 这种热传递的方式叫做热传导。

单门直冷式电冰箱, 用蒸发器做冷冻室, 将要冷冻的食品放在蒸发器内的板管上, 食品将热量传递给蒸发器管路中流动的制冷剂, 制冷剂吸收了热量而蒸发, 使食品温度下降, 这就是蒸发制冷的原理。

### 二、对流

依靠液体或气体流动而传递热量的方式叫做对流。

例如, 单门直冷式电冰箱, 箱体的上部有一个容积较小的冷冻室 (即蒸发器), 下部是大容积的冷藏室。冷冻室内的空气温度低于冷藏室内空气的温度, 冷藏室内温度高的气体向上流动, 冷冻室内温度低的气体向下流动, 形成冷、热气体的对流进行热传递。箱体内冷藏室内的温度逐渐下降, 冷冻室内的温度逐渐上升, 当其温度达到规定值时, 制冷系统重新工作, 制冷降温, 以利保存在电冰箱内的食品不易变质或腐烂。

### 三、热辐射

热量从高温物体直接沿直线射出去的传热方式叫做热辐射。

电冰箱背后的冷凝器, 是个热交换器, 冷凝器内流动着的制冷剂比室内空气温度高, 它将热量散发给空气的方式, 除了空气的对流以外, 还有热辐射。

## 第五节 物质的状态变化

自然界中物质所处的状态有三种: 固态、液态和气态。例如, 水处于液态是水, 处于固态是冰, 处于气态是水蒸汽。

### 一、物质的状态变化

物质所处的三种状态, 在一定条件下可以相互转化。如图 1-2 所示

例如，在一定条件下，固态的冰，吸收了外界的热量熔解变成成为液态的水；液态的水吸收了外界的热量变成成为气态的水蒸汽，水蒸汽遇冷向外放热凝华成小冰晶（如深秋天气，早晨在草和树叶上结霜的现象）。反过来，固体的冰从外界吸收热量升华成气态的水蒸汽（如冬天在室外晾湿衣服，由于天气寒冷而水结成冰，过几天衣服也会干的）；水蒸汽向外放热液化成水（如夏天早晨看到树叶上的露水）；水遇冷向外放热又可结成冰。

物态的变化又称为相变，应用在制冷机上，就是我们要着重介绍的蒸汽压缩式制冷的原理，这种制冷方式是依靠制冷机内的制冷剂相变来完成的。

为了今后学习制冷原理的方便，先介绍一下描述物质状态变化有关的物理量。

## 二、描述物质状态变化的物理量

(1) 熔点 将固态物质加热到一定温度时，从固态变成同温度的液态的温度叫做熔点。

(2) 熔解过程 物质从固态变成同温度的液态的过程叫做熔解过程。

如，在一个标准大气压下，冰在熔点  $0^{\circ}\text{C}$  时变成同温度的水的过程叫做冰的熔解过程。

(3) 熔解热 质量为  $1\text{kg}$  的某种物质，从固态变成同温度的液态所需要吸收的热量，叫做这种物质的熔解热。

熔解热的单位为  $\text{kJ/kg}$ ，如冰在 1 个标准大气压下， $0^{\circ}\text{C}$  时的熔解热为  $336\text{kJ/kg}$ 。

(4) 蒸发 在任何温度下，液体表面的汽化过程叫做蒸发。

(5) 沸腾 在一定气压下，某种液体在一定温度时，液体表面和内部的大量汽化过程叫做沸腾。

(6) 沸点 液体沸腾时的温度叫沸点。

如：一个标准大气压下，水的沸点是  $100^{\circ}\text{C}$ 。

(7) 汽化热  $1\text{kg}$  的某种液体，在一定气压和一定温度下，变成同温度的气体所需要吸收的热量，叫做这种液体的汽化热。

汽化热的单位为  $\text{kJ/kg}$ 。如在一个标准大气压下，温度为  $100^{\circ}\text{C}$  时， $1\text{kg}$  的水变成同温度的水蒸汽所需要吸收的热量为  $2264.22\text{kJ}$ 。水的汽化热为  $2264.22\text{kJ/kg}$ 。

(8) 冷凝 在一定气压和温度下，气体变成同温度的液体过程叫做冷凝过程，简称为冷凝。

(9) 冷凝热  $1\text{kg}$  的某种物质，在一定气压和温度下，从气体变成同温度的液体，所需要放出的热量，叫做这种物质的冷凝热。

冷凝热的单位为  $\text{kJ/kg}$ 。如，在一个标准大气压下， $100^{\circ}\text{C}$  的水蒸汽的冷凝热为  $2264.22\text{kJ/kg}$ 。

(10) 升华 某种固态物质，从外界吸收了热量变成了同温度的气态物质的过程叫做升华。

(11) 升华热 将  $1\text{kg}$  的某种固态物质，在一定气压下，直接变成同温度的气态物质所需

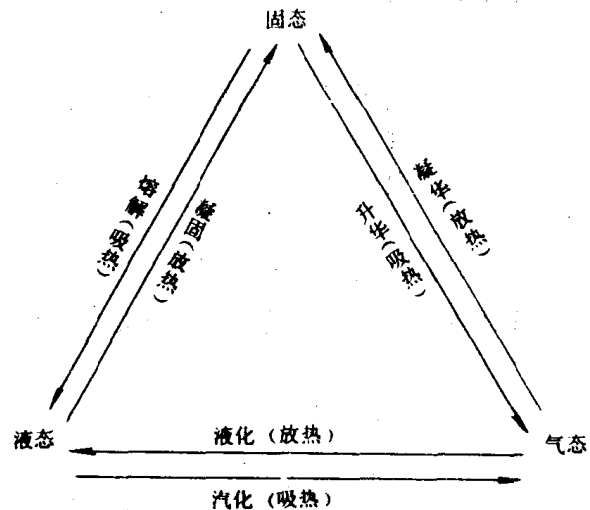


图 1-2 物质状态的变化

要吸收的热量，叫做这种物质的升华热。

升华热的单位为  $\text{kJ/kg}$ 。

## 第六节 热 和 功

由于物体运动所具有的能叫做动能，动能的大小决定于物体的质量和运动的速度，物体的质量越大，速度越快，它的动能也就越大。根据分子运动论，组成物体的大量分子都在做永不停息地无规则运动，因此，组成物体的大量分子都具有动能。

### 一、分子动能

分子无规则运动所具有的动能叫做分子动能。物体中各个分子运动的速度一般是不相同的，所以每个分子的动能也不相等，组成物体的所有分子动能的平均值，叫做分子的平均动能。

物体分子运动越激烈，分子的平均动能越大；表现出来物体的温度也就越高；物体分子运动越缓慢，分子的平均动能越小，表现出来物体的温度也就越低。所以说物体的温度升高或降低，标志着物体分子运动的平均动能增加或减少。

### 二、分子势能

由于物体之间有相互作用力，所以物体之间有势能。物体分子之间也有相互作用力，所以分子之间也存在着由于它们的位置所决定的势能。

物体分子之间有相互作用的引力和斥力，所以分子之间也具有势能，这种势能叫做分子势能。

### 三、物体的内能和物体内能的变化

#### 1. 物体的内能

物体分子运动的平均动能与分子之间相互作用的分子势能总和叫做物体的内能。

一切物体都具有内能。物体的内能只决定于物体内部分子的平均动能和势能。

#### 2. 物体内能的变化

在考虑固体和液体内能变化时，必须同时考虑分子无规则运动的平均动能和分子间相互作用的势能变化。对于气体，由于气体分子之间的距离很大，分子间的相互作用可以忽略不计，所以分子之间的相互作用的势能和分子势能的变化可以不考虑。气体的内能，只考虑物体分子的平均动能，气体内能的变化，也就只需要考虑分子平均动能的变化。

那么，物体的内能为什么会发生变化呢？例如，用打气筒给自行车轮胎打气时，当轮胎气足了的同时，用手摸一摸气筒壁，气筒壁的温度升高了。这说明了气筒内的活塞克服了筒壁的摩擦阻力做了功，使筒壁的温度升高；换句话说，气筒壁的内能增加了。

又如，当暖水瓶内的开水没有灌满，瓶内的水蒸汽分子运动很激烈，其内能较大而冲开暖水瓶的软木塞，对软木塞做了功，瓶内水蒸汽的温度就会下降，也就是瓶内水蒸汽的内能减少了。

通过以上的实例说明，要想使物体的内能增加，可以采取外界对物体做功；相反地，要想使物体的内能减少，可以采取物体对外界做功来达到。

除了采取做功的方法使物体的内能发生变化以外，还可以用热传递的方法来改变物体的内能。

例如，将食品放在直冷式电冰箱的冷冻室内，食品将热量传递给冷冻室（蒸发器）管路里的制冷剂，食品的温度下降，内能减少。

又如：深秋，初冬时节，北方的天气较冷。室内需要供暖设备，这时室内如果安装上空气调节器（简称空调器），经过空调器处理后的空气温度比室温高，由空调器吹入室内，形成室内冷、热空气的对流，逐使室内空气温度有所上升，即空气的内能增加，使室内工作和生活的人们感到温暖、舒适。

综上所述，改变物体内能有两种方式：一是对物体做功，二是热传递。因此物体内能的增加与减少，可以用外界对物体做功，或物体对外界做功来量度，也可以用物体从外界吸收热量，或物体向外界放出热量来量度。

#### 四、功和功率

##### 1. 功

(1) 功的概念 一个物体受到力的作用，如果在力的方向上移动一段距离，就说这个力对物体做了功，一列火车，机车牵引列车向前进，列车受到机车的牵引力，并且在这个力的方向上前进了一段距离，那么牵引力对列车做了功。如果一个人用力推一辆汽车，由于用力小而没有推动，这个推力对汽车没有做功。一个人扛着很重的物体向前走，我们只能说这个人在工作，而人对物体没做功。在物理学中提到做功，有两个不可缺少的因素：一是物体受力，二是物体在力的方向上移动距离。

(2) 功的计算公式 力对物体做的功，由力的大小和在力的方向上移动的距离长短来决定。作用在物体上的力越大，物体在力的方向上移动的距离越长，这个力对物体做的功越多。因此，功就等于力的大小和距离的长度的乘积。写成公式，即，

$$W = Fs$$

式中  $F$  ——作用在物体上的力，N（牛顿）；

$s$  ——在力方向上移动的距离，m（米）；

$W$  ——力对物体做的功，N·m（牛顿·米），

1N·m（牛顿·米）规定为1J（焦耳），1J就是1N的力，使物体在力的方向上移动的距离是1m时，力对物体做的功。即

$$1\text{J(焦耳)} = 1\text{N} \cdot \text{m(牛顿} \cdot \text{米)}$$

##### 2. 功率

当力对不同的物体做了相等的功时，但所用的时间却不一定相同。力对物体做的功相等时，如果用的时间长，我们说力对物体做的功慢；如果用的时间短，我们说力对物体做的功快。做功快慢用功率来表示，功跟完成这些功所用时间的比值叫做功率。用  $W$  表示功， $t$  表示完成这些功所用的时间， $P$  表示功率，那么功率的表示式为

$$P = \frac{W}{t}$$

式中  $W$  ——功，J；

$t$  ——做功用的时间，s；

$P$  ——功率，J/s。

1J/s 称为1瓦特，简称为瓦，用  $W$  表示。

技术上常用千瓦，kW（千瓦）做功率的单位， $1\text{kW} = 10^3\text{W}$ 。功率的单位还有马力，1马

力 = 735W = 0.735kW。

**例题：**用 360N 的力在水平方向上拉车，行走了 100m，用了 1 分钟的时间，求力对车做的功和功率。

**解：**力拉车行走 100m 的距离与 360N 的力的方向一致，所以这个力对车做了功，做的功为

$$W = Fs$$

$$W = 360\text{N} \times 100\text{m} = 36000\text{J}$$

其功率为

$$P = \frac{W}{t}$$

$$P = \frac{36000\text{J}}{60\text{s}} = 600\text{W}$$

力对车做的功是 36000J，功率是 600W。

虽然做功和热传递在改变物体内能上是等效的，但是它们之间有着本质上的不同。做功使物体内能的改变，是其他形式的能与内能之间的转化，在上面讲的实例中，摩擦生热就是机械能转化为内能的过程。热传递是物体之间内能的转化。实例中，食品放在冰箱冷冻室内，正是食品的内能转化为冷冻室（蒸发器）管路内制冷剂的内能的过程。

### 思 考 题

1. 分子运动论的内容包括哪几个部分？举例说明分子运动论的正确性。
2. 什么叫分子的热运动？分子的热运动与物体的温度有什么关系？举例说明。
3. 什么叫热传递？热传递有几种方式？举例说明。
4. 物质存在有几种状态？有关状态及状态变化的名称有哪些？物质状态变化的条件是什么？
5. 功和功率有什么不同？它们之间的关系如何？
6. 热和功之间有什么关系？
7. 内能包括几个部分？内能的变化有几种方法？各是什么？两种改变物体内能的方法有什么本质上的不同？举例说明。

## 第二章 热力学基础知识

### 第一节 压 力

#### 一、压力

在制冷系统中,大量制冷剂(也称为制冷物质或工质)气体或液体分子垂直作用于容器壁单位面积上的作用力叫做压力(即是物理学中所提及的压强概念),用 $p$ 表示。

#### 二、压力的单位

##### 1. 帕斯卡(Pa)和兆帕(MPa)

当1平方米( $m^2$ )面积上所受到的作用力是1牛顿(N)时,规定为这个压力为1帕斯卡(Pa),简称为1帕,在实际应用中,帕的单位太小,因此,实际上采用兆帕做单位。 $1\text{MPa}=10^6\text{Pa}$ 。

##### 2. 标准大气压

标准大气压是指 $0^\circ\text{C}$ 时,在纬度 $45^\circ$ 海平面上,空气对海平面的平均压力,相当于760毫米汞柱(mmHg)高所产生的压力。

1个标准大气压近似等于 $0.1\text{MPa}$ 。

#### 三、测量压力的工具——压力表

测量制冷系统内制冷剂的压力采用的是以MPa做单位的真空联程表,如图2-1所示。

在压力表上的刻度有正、负之分。表盘上为正值刻度是从0开始向右依次是0.1、0.2……,其单位为MPa;表盘上为负值的刻度是从0向左至到-0.1,其单位也为MPa。

当压力表放在空气中测量空气的气压时,如果空气的大气压为一个标准大气压,即 $0.1\text{MPa}$ ,这时压力表指针指示为0。如果用压力表测制冷系统内的压力时,压力表的指针指示为0,说明了制冷系统中的压力为 $0.1\text{MPa}$ 。从此可以看出,压力表指针指示的压力数值与制冷系统内制冷剂的真实压力值不符,为了清楚它们之间的关系,提出了表压力、绝对压力和真空度的概念。

#### 四、表压力、绝对压力、真空度

(1) 表压力 表压力指的是用压力表测制冷系统中制冷剂的压力时,压力表所指示的压力值,表压力用 $p_{\text{表}}$ 表示。

(2) 绝对压力 绝对压力指的是制冷系统中制冷剂的真实压力值。绝对压力用 $p_{\text{绝}}$ 表示。在制冷技术计算中、查压—焓图中的压力值都是用绝对压力值。

(3) 真空度 真空度指的是制冷系统中制冷剂的压力比大气压低时,制冷系统中出现了真空,其真空程度的高低在压力表上表示出来的数值是比大气压低的数值,例如,指针指示压力表0刻度的左边 $-0.1\text{MPa}$ 的位置上,说明制冷系统中的制冷剂的压力比大气压低了 $0.1\text{MPa}$ ,即制冷系统中没有了制冷剂,制冷系统处于绝对真空状态。

(4) 表压力、绝对压力、真空度之间的关系 当制冷系统中制冷剂的压力比大气压高时,在压力表上表示出为0以上的数值,这时制冷剂所处的状态称为是正压状态。例如,压力表指针指示为 $0.1\text{MPa}$ ,那么,制冷系统制冷剂的真实压力为 $0.2\text{MPa}$ ;如果压力表指针指示为

0.03MPa 时,那么制冷系统中制冷剂的压力为0.13MPa。根据以上表压力值与真实压力值之间的关系,说明了制冷剂处于正压状况下,制冷剂的绝对压力值(真实压力值)等于当时当地的大气压值与表压力值之和(以上所举的例子都是在标准大气压的情况下的状况)。用公式表示,可以写成

$$p_{\text{绝}} = B + p_{\text{表}}$$

式中  $B$  ——当时当地的大气压数值, MPa;

$p_{\text{表}}$  ——压力表指针指示的压力值, MPa;

$p_{\text{绝}}$  ——制冷系统中制冷剂的真实压力值, MPa。

当制冷系统中制冷剂的压力值比大气压低时,在压力表上表示出为0以下的数值,这时制冷剂所处的状态为负压状态。如果压力表指针指示为-0.03MPa,此时,制冷剂的真实压力为0.07MPa。根据以上表压力值与绝对压力值之间的关系,说明制冷剂处于负压状态下,绝对压力值等于当时当地大气压值与表压力值之差。用公式表示,可以写成

$$p_{\text{绝}} = B - p_{\text{表}}$$

从以上实例不难看出,制冷系统中出现负压时,压力表指针指示的压力值越大,说明制冷系统中真空度越高;压力表指针指示的压力值越小,说明制冷系统中真空度越低。换另外一种说法,制冷系统中,出现负压时,绝对压力值越大,其真空度越低;绝对压力值越小,其真空度越高。

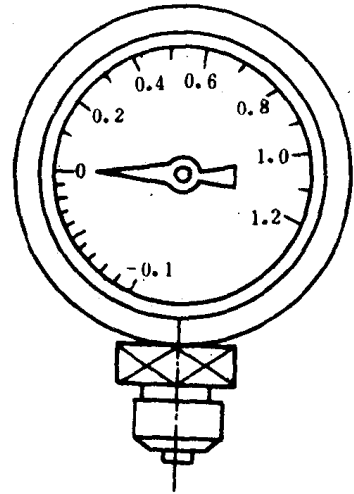


图 2-1 真空联程压力表

## 第二节 温 度

### 一、温度

温度是表示物体冷热程度的物理量,在制冷系统中,它表示了制冷剂的冷热程度。

### 二、温标

(1) 温标 温标是温度的标定方法。最常见的温标有摄氏温标、华氏温标和绝对温标(又叫做热力学温标或开氏温标)。

(2) 三种温标的标定方法 如图 2-2 所示。

1) 摄氏温标 摄氏温标是取在一个标准大气压下(760mmHg 或 0.1MPa),冰、水混合物的温度定为 0 度,水的沸点定为 100 度,在这两个定点之间分成 100 个等分,每一个等分间隔为 1 度。

摄氏温标的符号表示为  $t$ , 其单位是摄氏度,可以写成“°C”。

2) 华氏温标 华氏温标是取在一个标准大气压下,冰、水混合物的温度定为 32 度,水的沸点定为 212 度,两定点之间分成 180 个等分,每一个等分间隔为 1 度。

华氏温标的单位为华氏度,可以写成“°F”。

摄氏温度与华氏温度之间的换算关系是

$$\text{摄氏温度} = \frac{5}{9}(\text{华氏温度} - 32)$$

3) 热力学温标 把物质中的分子全部停止运动时的温度定为 0 度的温标叫做热力学温标, 热力学温标用符号  $T$  表示, 其单位是 “K”。

热力学温度与摄氏温度之间的换算关系为

$$T = t + 273.15$$

从公式中可以看出,  $0^{\circ}\text{C}$  相当于  $273.15\text{K}$ ,  $100^{\circ}\text{C}$  相当于  $373.15\text{K}$ , 绝对零度相当于  $-273.15^{\circ}\text{C}$ 。在实际应用中, 将热力学温度与摄氏温度的差值取 273, 即

$$T = t + 273$$

### 三、测量温度的工具——温度计

常用的温度计, 有玻璃棒式的温度计, 如水银温度计、酒精温度计等。此外, 还有压力温度计、热电偶温度计、电阻温度计、半导体温度计等。

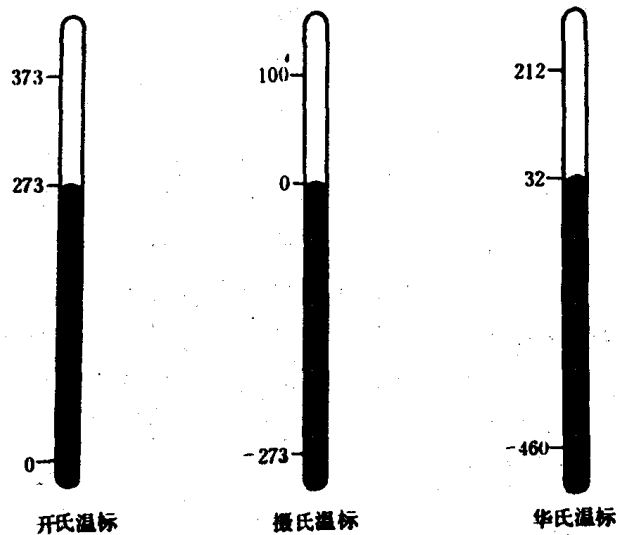


图 2-2 三种温标的标定方法

## 第三节 显热和潜热

热量是物体吸收或放出热的多少。但是, 有的物体吸收或放出热量只有温度的变化, 而无状态的变化; 有的物体吸收或放出热量, 只有状态的变化, 而无温度的变化, 它们的区别是: 一个物体吸收或放出的是显热, 另一个吸收或放出的是潜热。

### 一、显热

(1) 显热 物体吸收或放出热量时, 物体只有温度的升高或降低, 而状态却不发生变化。这时物体吸收或放出的热量叫做显热。

(2) 显热量的计算 利用前面所讲的吸热或放热公式来计算显热量。如果两个物体相接触时, 一个物体放出的热量全部被另一个物体所吸收, 那么就可以用热平衡方程来处理, 即

$$Q_{\text{放}} = Q_{\text{吸}}$$

### 二、潜热

(1) 潜热 物体吸收或放出热量时, 物体只有状态的变化而温度不变。这时, 物体吸收或放出的热量为潜热。

(2) 潜热量的计算 例如, 当  $5\text{kg}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$  的冰溶解成同温度的水时, 它所吸收的潜热量用以下公式计算

$$Q = rm$$

式中  $r$  —— 溶解热,  $\text{kJ/kg}$ ;

$m$  —— 冰或水的质量,  $\text{kg}$ 。

冰的溶解热为  $336\text{kJ/kg}$ , 冰的质量为  $5\text{kg}$ ,  $5\text{kg}$  的冰溶解成同温度的  $5\text{kg}$  的水所需要吸收

的热量（潜热量）

$$Q = 336 \text{ kJ/kg} \times 5 \text{ kg} \\ = 1680 \text{ kJ}$$

。 例题：有 2kg、25℃ 的水，放入冰箱冷冻室内，结成 -10℃ 的冰时，求总共放出的热量为多少 kJ？

2kg、25℃ 的水，结成 -10℃ 的冰的变化过程如下

2kg、25℃ 的水放出显热  $Q_1$  变成 0℃ 的水，0℃ 的水放出潜热  $Q_2$  变成 0℃ 的冰，0℃ 的冰放出显热  $Q_3$  变成 -10℃ 的冰。2kg、25℃ 的水结成 2kg、-10℃ 的冰时，总共放出的热量为

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

解：

$$Q_1 = c_{\text{水}} m_{\text{水}} (t_1 - t_2)$$

水的比热容  $c_{\text{水}} = 4.2 \text{ kJ/kg} \cdot \text{C}$

$$Q_1 = 4.2 \times 2 \times (25 - 0) = 210 (\text{kJ})$$

$$Q_2 = rm$$

$$Q_2 = 336 \times 2 = 672 (\text{kJ})$$

$$Q_3 = c_{\text{冰}} m_{\text{冰}} (t_2 - t_3)$$

$$Q_3 = 2.1 \times 2 \times 10 = 42 (\text{kJ})$$

总共放出的热量为

$$Q = 210 + 672 + 42 = 924 (\text{kJ})$$

制冷系统在制冷过程中，显热与潜热都有所应用。例如，制冷剂在蒸发器内吸收了潜热蒸发制冷，制冷剂从蒸发器出来经过回气管时，吸收了显热而使其温度升高等等；

干冰（固态二氧化碳  $\text{CO}_2$ ）吸收了周围的热量（潜热量）升华制冷。

在计算显热量时，所提到的比热容，常用于固态、液态、气态有关方面的计算。对于气态物质还常采用定容比热容和定压比热容来进行有关的热力计算。

### 三、定容比热容、定压比热容、绝热指数

(1) 定容比热容 保持气体容积不变的加热过程中气体的比热容称为定容比热容。用符号  $c_v$  来表示。如氮气瓶放在阳光下受热是定容加热过程，这时氮气吸收了热量，温度上升的同时其压力也在升高。

(2) 定压比热容 保持压力不变的加热过程中气体的比热容，叫做定压比热容。用符号  $c_p$  来表示，如使用空调器对空气的加热或冷却，一般都可以认为是定压（大气压）过程，气体的定压加热时，气体吸收了热量，一方面使气体的温度升高；另一方面还要克服外力做膨胀功。

由于定压加热时，气体不但温度升高而且对外做功，而定容加热只是使气体的温度升高，而对外不做功。因此，单位质量的气体温度升高 1℃ 时，定压加热所吸收的热量比单位质量同种气体定容加热温度升高 1℃ 时吸收的热量要多，也就是说，定压比热容大于定容比热容。即  $c_p > c_v$ 。

(3) 绝热指数 同种气体的定压比热容  $c_p$  与其定容比热容  $c_v$  的比值，称为绝热指数，用