

职业院校电子电器应用  
与维修专业项目教程系列教材



# 新型电冰箱故障分析 与维修项目教程

肖凤明 主编



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

职业院校电子电器应用与维修专业项目教程系列教材

# 新型电冰箱故障分析与维修 项目教程

肖凤明 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书按中华人民共和国教育部中等学校要求,根据中职学生的实际情况编写。本书求新、求实、图文并茂、表格齐全,具有初中文化程度的读者即可读懂。本书适合于工人技术系列“制冷工、制冷设备维修工、家用电器维修工、冷藏工”及干部系列“制冷空调”中级职称、高级职称人员阅读,也适合作为职业高中、技校、中等职业学校、高等职业学院相关专业教材或各级技工、技师、高级技师培训用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

新型电冰箱故障分析与维修项目教程 / 肖凤明主编. —北京:电子工业出版社, 2014.4

职业院校电子电器应用与维修专业项目教程系列教材

ISBN 978-7-121-22622-9

I. ①新… II. ①肖… III. ①冰箱—维修—中等专业学校—教材 IV. ①TM925.210.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第044348号

策划编辑:张帆

责任编辑:王凌燕

印刷:北京京师印务有限公司

装订:北京京师印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:18.25 字数:467.2千字

印次:2014年4月第1次印刷

印数:3000册 定价:33.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltts@phei.com.cn](mailto:zltts@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线:(010)88258888。

# 前言

## 《《《《 PREFACE

《中华人民共和国劳动法》明确规定：国家对规定的职业制定职业技能标准，实行职业资格证书制度。职业技能鉴定是提高劳动者素质，增强劳动者就业能力的有效措施。通过建立职业资格证书制度，可以为企业、事业单位合理使用劳动力，以及劳动者自主择业提供依据和凭证。同时竞争上岗，以贡献定报酬的新型劳动分配制度，也必将成为劳动者努力提高职业技能的动力。

随着我国经济的迅速发展和人民生活品位的提高，电冰箱已成为家庭生活中不可缺少的电器产品。随着科学技术的进步，如何有效提高维修人员的技术水平，是当前制冷行业急需解决的难题。为了提高电冰箱维修水平和服务质量，普及电冰箱知识，按中华人民共和国教育部中等学校要求，电子工业出版社组织制冷技术专家，根据中职学生的实际情况，编写了《新型电冰箱故障分析与维修项目教程》一书。

本书编写过程中，每个章节均按中华人民共和国劳动和社会保障部职业技能鉴定中心题库内容编写，并得到了海尔、海信、美的、容升、科龙等电冰箱生产企业及中央国家机关职业技能鉴定指导中心、中国医学科学院协和医科大学、侨办宾馆、北京建筑大学、东城区职工大学、北科学学校、文天学校的大力支持和帮助，在此表示诚挚的感谢。

本书由肖凤明高级工程师负责全书的统编工作，参加编写和提供帮助的还有李惠君、胡盛寿、丑承章、王峥、顾东风、王希振、李志远、万雷、韩春雷、杨杰、胡道涛、朱曼露、李影、杨国胜、李光、曹也丁、赵伟、王琳、高虹、倪震勇、吴春国、刘保会、辛晓雁、许庆茹、孙晓建、于丹、刘辉、孙洁、王清兰、朱长庚、于广智、陈曦、郝友明、苑明、陈会远、海星、林芳芳、于志刚、孙占合、张顺兴、王自力、程芳甸、马玉梅、张文辉、杨鑫雨、肖剑、马玉华、韩淑琴、付秀英等。

由于编者水平有限，编写时间较短，编写难度较大，尽管尽了最大努力，书中也难免有不足之处，欢迎广大读者批评指正。

作 者

# 目录

## <<<< CONTENTS

|                                        |      |
|----------------------------------------|------|
| <b>第1单元 制冷基础知识入门</b>                   | (1)  |
| 项目 1.1 夯实制冷基础知识                        | (1)  |
| 任务 1.1.1 学一点制冷理论基础知识                   | (1)  |
| 任务 1.1.2 热力学基本定律及其在制冷技术中的应用            | (6)  |
| 项目 1.2 掌握制冷技术的制冷循环与应用                  | (8)  |
| 任务 1.2.1 传热学在 $\lg p-h$ 图上的应用及理论循环计算方法 | (8)  |
| <b>第2单元 电工、电子技术基础训练</b>                | (11) |
| 项目 2.1 掌握电工技术元器件结构、特点及工作原理             | (11) |
| 任务 2.1.1 电工、电子基础知识                     | (11) |
| 任务 2.1.2 电冰箱关键元件：电源电路                  | (21) |
| 项目 2.2 掌握电子技术元器件的结构、特点及工作原理            | (24) |
| 任务 2.2.1 电冰箱关键元件：CPU 电路                | (24) |
| 任务 2.2.2 电冰箱电气安全技术                     | (27) |
| <b>第3单元 维修工具的结构及使用方法</b>               | (31) |
| 项目 3.1 维修工具的使用方法                       | (31) |
| 任务 3.1.1 管工工具及使用方法                     | (31) |
| 任务 3.1.2 钳工工具及使用方法                     | (33) |
| 任务 3.1.3 抽真空、灌制冷剂工具及使用方法               | (36) |
| 项目 3.2 抽空灌注机使用方法                       | (39) |
| 任务 3.2.1 抽空灌注机使用方法 (R600a/R134a)       | (39) |
| <b>第4单元 常用仪表技能实训</b>                   | (42) |
| 项目 4.1 万用表技能实训                         | (42) |
| 任务 4.1.1 指针式万用表的使用方法                   | (42) |
| 任务 4.1.2 数字式万用表的使用方法                   | (46) |
| 项目 4.2 钳形电流表、兆欧表技能实训                   | (48) |
| 任务 4.2.1 钳形电流表的使用方法                    | (48) |
| 任务 4.2.2 兆欧表的使用方法                      | (49) |

## 第5单元 焊接技术技能实训 (52)

### 项目 5.1 硬钎焊焊接技术实训 (52)

#### 任务 5.1.1 气焊焊接火焰操作技术入门 (52)

#### 任务 5.1.2 气焊焊接火焰操作技术提高 (55)

## 第6单元 家用新型电冰箱分类与制冷循环 (59)

### 项目 6.1 新型电冰箱的分类与结构特点 (59)

#### 任务 6.1.1 电冰箱的分类 (59)

#### 任务 6.1.2 电冰箱的结构特点 (60)

#### 任务 6.1.3 电冰箱的正常标准 (63)

#### 任务 6.1.4 电冰箱内胆材料特点及发展方向 (64)

#### 任务 6.1.5 磁性门封条及防露结构 (66)

### 项目 6.2 新型电冰箱的制冷系统冷量循环方法 (67)

#### 任务 6.2.1 直冷式、间冷式电冰箱制冷系统循环分析 (67)

#### 任务 6.2.2 理想与理论制冷循环分析 (70)

#### 任务 6.2.3 制冷剂在制冷系统主要部件中制冷时循环工作的压力、温度、状态分析 (73)

#### 任务 6.2.4 电冰箱噪声的产生及排除 (74)

## 第7单元 新型电冰箱常用的制冷剂和酯类油 (76)

### 项目 7.1 掌握新型电冰箱制冷剂代换办法与使用注意事项 (76)

#### 任务 7.1.1 制冷剂 (76)

#### 任务 7.1.2 绿色制冷剂代换办法 (78)

#### 任务 7.1.3 制冷剂的测定、存放方法与使用注意事项 (80)

#### 任务 7.1.4 制冷剂 R134a 代换方法 (82)

#### 任务 7.1.5 制冷剂 R600a 代换方法 (86)

### 项目 7.2 掌握新型电冰箱酯类油的性质及选用 (92)

#### 任务 7.2.1 电冰箱压缩机酯类油的作用及主要性质和要求 (92)

#### 任务 7.2.2 电冰箱异味去除方法 (94)

## 第8单元 新型电冰箱的制冷部件技能实训 (95)

### 项目 8.1 掌握新型电冰箱专用压缩机的结构、特点、工作原理 (95)

#### 任务 8.1.1 新型电冰箱专用压缩机 (95)

#### 任务 8.1.2 压缩机机械部分和气缸故障的判断技能实训 (106)

### 项目 8.2 掌握新型电冰箱蒸发器、冷凝器、节流阀的结构、特点及工作原理 (111)

#### 任务 8.2.1 蒸发器、冷凝器 (111)

#### 任务 8.2.2 节流阀(毛细管) (116)

#### 任务 8.2.3 制冷辅助部件 (119)

## 第9单元 电冰箱充灌制冷剂方法及门封不严的调整技能实训 (125)

- 项目 9.1 电冰箱充灌制冷剂方法技能实训 (125)
  - 任务 9.1.1 电冰箱的抽真空技能实训 (125)
  - 任务 9.1.2 充灌制冷剂技能实训 (127)
  - 任务 9.1.3 充灌制冷剂后出现的故障现象与技能实训 (131)
  - 任务 9.1.4 电冰箱冰堵切忌灌甲醇 (137)
  - 任务 9.1.5 电冰箱门封不严的调整和门封的更换技能实训 (138)
- 项目 9.2 电冰箱故障的检查新法 (139)
  - 任务 9.2.1 电冰箱故障的检查方法 (139)

## 第10单元 电冰箱电气控制部件检测方法 (142)

- 项目 10.1 掌握电冰箱电控板原件检测方法 (142)
  - 任务 10.1.1 电冰箱电控板原件的检测方法 (142)
- 项目 10.2 掌握电冰箱元器件的结构、特点及工作原理 (153)
  - 任务 10.2.1 电冰箱关键元器件——温度控制器的工作原理、检测方法 (153)
  - 任务 10.2.2 电冰箱关键元器件——启动和保护装置的工作原理、检测方法 (163)
  - 任务 10.2.3 电冰箱关键元器件——化霜控制装置及除露控制装置的工作原理、检测方法 (169)

## 第11单元 新型电冰箱控制电路分析与系列故障技能实训 (180)

- 项目 11.1 海信新型系列电冰箱故障分析与故障维修技能实训 (180)
  - 任务 11.1.1 海信 BCD-282TDe 豪华电冰箱故障分析与故障维修技能实训 (180)
  - 任务 11.1.2 海信 BCD-255W/PP 变频系列电冰箱故障分析与维修技能实训 (190)
- 项目 11.2 海尔新型系列电冰箱故障分析与故障维修技能实训 (192)
  - 任务 11.2.1 海尔 BCD-222BBF/242BBF 豪华三门电冰箱故障分析与故障维修技能实训 (192)
  - 任务 11.2.2 海尔系列电冰箱故障分析与维修技能实训 (199)
- 项目 11.3 容声高贵豪华系列电冰箱故障分析与故障维修技能实训 (207)
  - 任务 11.3.1 容声 BCD-200AK 高贵豪华微电脑控制电冰箱故障分析与故障维修技能实训 (207)
  - 任务 11.3.2 容声系列电冰箱故障分析与维修技能实训 (214)
- 项目 11.4 美的新型系列电冰箱故障分析与故障维修技能实训 (222)
  - 任务 11.4.1 美的 BCD-192EM 豪华触摸微电脑控制电冰箱故障分析与故障维修技能实训 (222)
  - 任务 11.4.2 美的 BCD-205/E 豪华触摸微电脑控制电冰箱故障分析与故障维修技能实训 (228)
  - 任务 11.4.3 美的系列电冰箱故障分析与故障维修技能实训 (231)
- 项目 11.5 科龙新型系列微电脑控制电冰箱控制电路分析与维修技能实训 (235)
  - 任务 11.5.1 科龙 BCD-207AK、BCD-217AK、BCD-237AK 豪华微电脑控制电冰箱故障分析 (235)
  - 任务 11.5.2 科龙系列电冰箱故障分析与维修技能实训 (245)

**第 12 单元** 制冷工、制冷设备维修工、家用电器维修工、冷藏工考工及制冷空调中级职称题库及论文 ..... (255)

|                                                          |       |
|----------------------------------------------------------|-------|
| 项目 12.1 制冷工、制冷设备维修工、家用电器维修工、冷藏工考工及制冷空调中级职称题库.....        | (255) |
| 项目 12.2 制冷工、制冷设备维修工、家用电器维修工、冷藏工考工及制冷空调中级职称论文写作与答辩要点..... | (275) |
| 任务 12.2.1 论文写作方法.....                                    | (275) |
| 任务 12.2.2 论文的答辩.....                                     | (277) |
| 项目 12.3 制冷工、制冷设备维修工、家用电器维修工、冷藏工考工及制冷空调中级职称论文.....        | (277) |
| 任务 12.3.1 “双绿色”电冰箱的选购与科学巧用.....                          | (277) |
| 任务 13.3.2 怎样看新型电冰箱单片机电路图.....                            | (281) |

## 制冷基础知识入门

**学习目的：**从理论基础入手，讲述热力学的基本概念和简单计算。

**学习重点：**绝对压力、相对压力、真空度、比容、温标和热量。

**教学要求：**掌握压力、温度和热量的概念及测量，熟悉热力学的基本定律和热力学的简单计算。

## 项目 1.1 夯实制冷基础知识

## 任务 1.1.1 学一点制冷理论基础知识

## 1. 制冷理论基础知识

## 1) 气体的基本状态参数

气体或蒸发的分子时刻处于无规则的运行中，其状态随着外部条件的变化而发生变化，即物质以气态、液态、固态存在是相对的，在一定条件下可以相互转化，即使是气体，也有饱和及过热等状态之分。为了描述气体在各种状态下的特征，必须用某些物理量来确定地描述气体的性质，这些物理量称为气体的状态参数，最常用的有温度、压力和比容，它们被称为气体的基本状态参数。

## 2) 温度与温标

温度是物体内部分子运动平均动能的标志，或者说是表示物体冷热程度的量度。两个冷热不同的物体相互接触时，一个物体放热，另一个物体吸热，热量由热物体转移至冷物体，放热的物体变冷，吸热的物体变热。

表示温度的标度称为温标，常用的有摄氏温标和华氏温标，前者的单位用摄氏度（℃）表示，后者用华氏度（℉）表示。摄氏温标规定在 1 个标准大气压下，清洁水的熔点和清洁水的沸点各为 0℃ 和 100℃。在这两个点之间 100 等分，每个等分就是 1℃。华氏温标规定在 1 个标准大气压下，清洁水的熔点和清洁水的沸点分别为 32℉ 和 212℉，在这两个点之间 180 等分，每个等分就是 1℉，摄氏和华氏温标之间的关系为：

$$t_{\text{C}} = \frac{5}{9}(t_{\text{F}} - 32)$$



式中  $t_C$ ——摄氏温标,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_F$ ——华氏温标,  $^{\circ}\text{F}$ 。

在热力学计算中通常使用绝对温标, 也称热力学温标或开氏温标, 其单位用  $\text{K}$  表示。它规定以水的三相点 ( $273.16\text{K}$  即  $0.001^{\circ}\text{C}$ ) 作为基点, 每一个等分与摄氏温标大小一样, 因此两者的关系为:

$$T = t_C + 273.15$$

式中  $T$ ——绝对温标,  $\text{K}$ ;

$t_C$ ——摄氏温标,  $^{\circ}\text{C}$ 。

在工程计算中, 为了方便常近似地取:

$$T = t_C + 273$$

### 3) 压强 (包括绝对压力、表压力和真空度)

在工程上把单位面积上所受的垂直作用力称为压力, 而在物理学上称为压强, 用公式表示为:

$$P = \frac{F}{S}$$

式中  $P$ ——压力,  $\text{Pa}$ ;

$F$ ——垂直作用力,  $\text{N}$ ;

$S$ ——面积,  $\text{m}^2$ 。

压力的单位为帕 ( $\text{Pa}$ ), 在工程计算中由于  $\text{Pa}$  单位太小, 经常用兆帕 ( $\text{MPa}$ ) 来代替。

### 4) 比容与密度

单位质量的物质所占有的容积称为比容, 用公式表示为:

$$u = \frac{V}{G}$$

式中  $u$ ——比容,  $\text{m}^3/\text{kg}$ ;

$V$ ——容积,  $\text{m}^3$ ;

$G$ ——质量,  $\text{kg}$ 。

单位容积的物质所具有的质量称为密度, 用公式表示为:

$$\rho = \frac{G}{V}$$

式中  $\rho$ ——密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$V$ ——容积,  $\text{m}^3$ ;

$G$ ——质量,  $\text{kg}$ 。

### 5) 热能、热量、功、功率和制冷量

热能是能量的一种形式, 它是物质分子运动的动能。热能是可以随物质运动由一种形式转变为另一种形式的能量。热量是物质热能转移时的度量, 表示某物体吸热或放热多少的物理量, 热量的单位为焦耳 ( $\text{J}$ ) 或千焦耳 ( $\text{kJ}$ ), 过去用卡 ( $\text{cal}$ ) 或千卡 ( $\text{kcal}$ ) 表示。其关系为:

$$1\text{kcal} = 4.18\text{kJ}$$

功是能量的一种形式, 它是作用在物体上的力和物体在力的方向上所移动距离的乘积, 单位为焦耳 ( $\text{J}$ ) 或千焦耳 ( $\text{kJ}$ )。



功率是单位时间内所做的功，单位为瓦（W）或千瓦（kW）。

制冷量又称冷量，是指单位时间里由制冷机从低温物体（房间）向高温物体（环境）所转移的热量，单位为瓦（W）或千瓦（kW），也可以用焦耳/小时（J/h）或千焦耳/小时（kJ/h）表示。

过去制冷量用千卡/小时（kcal/h）表示，它与瓦之间的关系为：

$$1\text{W}=0.86\text{kcal/h} \text{ 或 } 1\text{kW}=860\text{kcal/h}$$

英制冷量为英热单位（B.T.U.），其关系为：

$$1\text{B.T.U.}=0.252\text{kcal} \text{ 或 } 1\text{B.T.U/h}=0.292\text{W}$$

#### 6) 比热、显热

比热用来衡量单位质量物质温度变化时所吸收或放出的热量，比热的单位为 J/(kg·K) 或 kJ/(kg·K)。

显热是指物体在加热（或冷却）过程中，温度升高（或降低）所需吸收（或放出）的热量，它能使人们有明显的冷热变化感觉，通常可以用温度计测量物体的温度变化。

如果把一杯开水（100℃）放在空气中冷却，它不断地放出热量，温度也不断地下降，但其形态仍然是水，这种放热称为显热放热。同样，把水放入电冰箱中，它的温度会逐渐下降，在冷却到 0℃ 之前放出的热量也是显热。

#### 7) 潜热

当单位质量的物体在吸收或放出热量的过程中，其形态发生变化，但温度不发生变化，这种热量无法用温度计测量出来，人体也无法感觉到，但可通过试验计算出来，这种热量称为潜热。

例如，把一块 0℃ 的冰加热，它不断地吸热而融化，但其温度维持不变，直至固体的冰完全融化成水之前，这时单位质量的冰所吸收的热量称为溶解潜热。与上述现象相反，从 0℃ 的水中抽取热量，则会使水凝固成冰，这时单位质量的水放出的热量就称为凝固潜热，100℃ 的水因沸腾而汽化时，所吸收的热量称为蒸发潜热，也称汽化潜热；相反，100℃ 的水蒸气变成 100℃ 的水时，所放出的热量称为液化潜热。

#### 8) 物质的三态及状态变化

物质是具有质量和占有空间的物体。它以固态、液态和气态三种状态中的任何一态存在于自然界中，随着外部条件的不同，三态之间可以相互转化。如果把固体冰加热便变成水，水再加热变成水蒸气；相反，将水蒸气冷却可变成水，继续冷却可结成冰。这样的状态变化对制冷技术有着特殊意义，人们可利用制冷剂在蒸发器中汽化吸热，而在冷凝器中则又冷凝放热。即应用热力学第二定律的原理，通过制冷机对制冷剂气体的压缩，以及以后的冷凝中的冷凝和蒸发器中的汽化，实现热量从低温空间向外部高温环境的转移，实现制冷的目的。

物质在状态变化过程中，总是伴随着吸热或放热现象，这种形式的热量统称为潜热，如熔化潜热、汽化潜热、液化潜热、升华热和固化热。

#### 9) 沸腾、蒸发、汽化、冷凝和液化

沸腾是指在一定温度（沸点）下，液体内部和表面同时发生剧烈的汽化过程。这时，液体内部形成许多小气泡上升至液面，迅速汽化并吸收周围介质的热量。

蒸发是指在任何温度下，液体外露表面的汽化过程。蒸发在日常生活中到处可见，如放在杯子中的酒精很快会蒸发掉，湿衣服晒在阳光下会干燥等，物质的蒸发过程伴随着吸热。

**注意**

沸腾和蒸发是汽化的两种形式。

在变频电冰箱制冷技术中,习惯上把制冷剂液体在蒸发器中的沸腾称为蒸发,这种换热器称为蒸发器也来源于此。

冷凝又称液化,是指物质从气态变成液态的过程。例如,水蒸气遇冷就会凝结成水珠。水蒸气液化很容易,但有些气体的液化要在较低温度和较高压力下才能实现,如电冰箱中制冷剂 R134a 在室温下需加压到 0.6MPa (6 个大气压) 以上才能在冷凝器中放热液化。冷凝或液化都伴随着放热。

冷凝和汽化是相反过程,在一定的压力下,蒸汽的冷凝温度与液体的沸腾温度(沸点)相同,汽化潜热与液化潜热的数值相等。

#### 10) 饱和温度、饱和压力、过冷和过热

**饱和温度和饱和压力:** 装在密闭容器里的液体,从液面飞越出来的分子不可能扩散到其他地方去,只能聚积在液体上面的那个空间里,做无规则运动。其中一部分气体分子碰撞液面时,又回到液体中去,一部分新的分子又从液面上飞升到气体空间。当两者达到平衡时,空间里的气体比容不再变化,液体和它的蒸气处于动态平衡状态,蒸气中的分子数不再增加,这种状态称饱和状态。在此状态下的蒸气称为饱和蒸气,饱和蒸气的温度称为饱和温度,饱和蒸气的压力称为饱和压力。

**过冷和过热:** 在饱和压力的条件下,继续使饱和蒸气加热,使其温度高于饱和温度,这种状态称为过热,这种蒸气称为过热蒸气。饱和液体在饱和压力不变的条件下,继续冷却到饱和温度以下称为过冷,这种液体称为过冷液体。

#### 11) 制冷系数和电冰箱的能效比 (EER)

对于电冰箱来说,根据热力学第二定律,要把电冰箱中的热量  $q_0$  排放到高温环境中,必须消耗一定的机械功  $L$ 。为了评定电冰箱的性能,便引出了制冷系数  $\varepsilon$ 。

$\varepsilon$  的值可能大于 1,  $\varepsilon$  越大,则在相同的条件下,该电冰箱的性能越好。因此,电冰箱技术的重要任务之一是不断提高制冷系数  $\varepsilon$ 。

#### 12) 温度和含湿量

**绝对温度**是指每立方米空气中所含水蒸气的质量,常用单位为  $\text{g/m}^3$ 。

**相对湿度**是指空气中的水蒸气分压力与同湿度下饱和水蒸气分压力的百分比值。

**含湿量**又称比湿,是指湿空气中水蒸气质量(一般以  $\text{g}$  为单位)与干空气质量(一般以  $\text{kg}$  为单位)的比值,常用单位为  $\text{g/kg}$ 。它比较确切地反映了空气中实际含有水蒸气的量,是电冰箱中常用的一种状态参数。

#### 13) 空气的干、湿球温度和干、湿球温差

**干球温度和湿球温度:** 用干、湿球温度计测量空气温度时,温度计球部不包潮湿棉纱的干球温度计所指示的空气温度称为干球温度;球部包潮湿棉纱的湿球温度计所指示的空气温度称为湿球温度。

**干、湿球温差:** 用干、湿球温度计测量未饱和空气时,干球温度计显示的温度较高,湿球温度计显示的温度较低,两个温度的差称为干、湿球温差。该温差大,表示空气干燥;温差小,表示空气潮湿。



#### 14) 传热和对流换热

传热又称换热,是指热量从高温物体(空间)向低温物体(空间)传递的形式。传热的基本形式有三种:导热(热传导)、对流(对流换热)和辐射。

### 2. 热力学名词、术语

#### 1) 工质与介质

在制冷技术中,将制冷剂称为工质,即表示工作的物质之意。

凡是可以用来传递热量的物质称为介质,常见的介质有空气和水等。

#### 2) 温度

温度是用来表示物体冷热程度的参数,从分子论的观点分析,温度反映了物质分子热运动的剧烈程度,更确切地说,反映了物质分子平均速度的大小。

我国法定计量单位规定:摄氏温度用符号 $^{\circ}\text{C}$ 来表示。

#### 3) 热量

热量是物体含热多少的一种度量,单位是焦耳(J)或千焦(kJ)。

#### 4) 制冷量、制热量

制冷量、制热量用于表示制冷或制热的能力,用W或kW表示。

#### 5) 蒸发与沸腾

(1) 蒸发:液体表面的汽化现象,液体可在各种温度下蒸发。

(2) 沸腾:液体表面和内部同时激烈汽化的现象,液体在一定压力下达到一定的沸点温度才能沸腾。

#### 6) 冷凝

气体液化为液体现象,分为冷却和凝结两个过程。

#### 7) 功率

功率是指单位时间内所做的功,其单位为瓦,一般用W或kW表示。

#### 8) 过热与过冷

(1) 过热:饱和蒸气在饱和压力条件下,继续受热到饱和温度以上,称为过热气体。过热气体的温度与饱和温度的差值称为过热度。例如,水蒸气被加热到 $105^{\circ}\text{C}$ 时,过热度为 $5^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 过冷:饱和液体在饱和压力条件下,继续冷却到饱和温度以下,称为过冷液体。过冷物体的温度与饱和温度的差值称为过冷度。

#### 9) 节流

节流是指流体在管道中流动,通过阀门、孔板等设备时,由于局部阻力,使流体压力降低的现象。

#### 10) 热量传递方式

(1) 热传导(导热):热量由同一物体的某部分转移到另一部分,或者两个相接触的物体之间热量的转移(在气体、液体、固体中均可发生)。

(2) 对流:热的流体因为质轻向上位移,冷的流体就沉降,如此不断循环(对流只能在气体、液体中发生)。

(3) 热辐射:热能通过电磁波来进行传递,热能转换为辐射能,辐射能不要任何介质作为媒介,通过空间便可传递到另一物体,另一物体接受了辐射能后又转换成热能。



### 11) 内能

由于组成物质的分子总是在不停地做无规则的运动,因此,像一切运动着的物体一样,运动着的分子具有动能。分子间存在相互作用力,因此,分子还具有由它们的相对位置所决定的势能,这就是分子的势能。物质的所有分子的动能和势能的总和称为物质的内能。内能用符号  $U$  表示,单位是  $J/kg$  或  $kJ/kg$ 。

### 12) 外能

气体在任何条件下都具有和外压对抗的能量,这种能量称为外能。外能的大小取决于该条件下气体的压力  $P$  与比容  $u$  的乘积。

### 13) 焓

焓是一种能量,用来表明制冷剂所处状态的热力状态参数。在热力学中,气体的内能和外能之和称为气体的焓。焓一般用符号  $h$  或  $i$  表示,单位是焦耳/千克 ( $J/kg$ )。有时也采用千焦耳/千克 ( $kJ/kg$ ) 作为焓的单位。

物质在各种状态下的焓,可由物质的热力性质表或物质  $lgp-h$  图直接查得。

### 14) 熵

熵和焓一样,也是一种表示制冷剂所处状态的参数。制冷剂被加热时熵增大,反之,从制冷剂取出热量时熵就减小。只要制冷剂既不吸热,也不放热,熵值就不变。熵一般用符号  $s$  表示,单位是焦耳/开尔文 ( $J/K$ ) 或千焦耳/开尔文 ( $kJ/K$ )。

物质在状态变化过程中吸收或放出的热量  $dQ$  和此时物质的热力学温度  $T$  的比值,称为熵的变化量,即物质吸收或放出的热量等于物质的热力学温度和熵的变化量的乘积。

熵和焓一样,由物质的热力学性质表或物质的  $lgp-h$  图直接查得。

## 3. EER 的含义与电冰箱的性能

### 1) EER 的含义

EER 是电冰箱的制冷性能系数,也称能效比,表示电冰箱的单位功率制冷量。

$$EER = \text{制冷量} / \text{制冷消耗功率}$$

单位:瓦/瓦或千卡/小时·瓦。

EER 反映了电冰箱的制冷效率的高低,是电冰箱运行中重要的技术指标。

### 2) 电冰箱的性能

电冰箱性能的高低,主要取决于 EER 指标的高低。EER 越高,电冰箱能耗越少,性能越好。也就是说,性能系数的物理意义就是每小时消耗  $1W$  的电能所产生的冷量数,所以性能系数高的电冰箱,产生同等冷量所消耗的电量少。

## 任务 1.1.2 热力学基本定律及其在制冷技术中的应用

### 1. 热力学第一定律

在我们的现实生活中,无数的自然现象给出一个结论:能量不能消失也不能创造,它只能从一种形式转变为另一种形式,这一结论称为能量守恒及转换定律。它在自然界中具有普遍性,且是最基本的定律之一。



热力学第一定律是能量守恒及转换定律的一种特殊形式，它说明了热能和机械能之间相互转换的关系，其意义是：“在所有情况下，当一定量的热能消失时，则必产生一定量的机械能”，反之亦然。换言之，即能量的形式可以相互转换而其总能量保持不变。因此，在制冷工质受热做功的过程中，工质由于受热而自外界得到的能量，应该等于工质对外做功所付出的能量与储存在工质内部的能量之和。这就是热力学第一定律的基本内容。

储存于工质内部的能量表现为工质内能的增加。所谓内能，是指工质在某种状态下内部所蕴藏的总能量。它是工质内部大量分子不断运动（移动、振动、转动）所具有的动能及分子相互之间吸引力所引起的位能的总和。通常用  $u$  表示  $1\text{kg}$  工质的内能，单位是  $\text{kJ/kg}$  或  $\text{kcal/kg}$ ； $U$  表示  $G$  千克气体的内能，单位是  $\text{kJ}$  或  $\text{kcal}$ 。

在工程中，常用马力（PS）作为功率的单位，而用马力·小时（PS·h）作为功的单位。已知：

$$1\text{PS}=75\text{kgf} \cdot \text{m/s}=735.499\text{W}$$

因此

$$1\text{PS} \cdot \text{h}=75 \times 60 \times 60=270000\text{kgf} \cdot \text{m}$$

如用热量单位表示，则

$$1\text{PS} \cdot \text{h}=\frac{270000}{427} \approx 632\text{kcal}$$

同样，在电能上功率用千瓦（kW），而功用千瓦·小时（kW·h）表示。

$$1\text{kW}=102\text{kgf} \cdot \text{m/s}$$

因此， $1\text{kW} \cdot \text{h}=102 \times 60 \times 60=367200\text{kgf} \cdot \text{m}=1.36\text{PS} \cdot \text{h}$

$$1\text{kW} \cdot \text{h}=\frac{367200}{427} \approx 860\text{kcal}$$

若在一个具有活塞的理想气缸中储存  $1\text{kg}$  气体工质，外界加给工质以微量的热量  $dq$ ，将使工质状态发生变化，此时工质做了微量的膨胀功  $dL$ ，同时工质吸热后又使本身内能产生  $du$  的变化。根据能量守恒原则，能量收支必须平衡：

$$dq=du+Adl$$

这个方程称为热力学第一定律的解析式。用文字简述：加给工质一定量的热能，结果一部分用于改变工质的内能，另一部分用于工质对外做功。

对  $G\text{kg}$  工质而言则有：

$$Q=\Delta U+AL=U_2-U_1+AL$$

式中  $L$ ——每千克工质对外所做的功， $\text{kgf} \cdot \text{m/kg}$ ；

$Q$ 、 $\Delta U$ 、 $L$ ——相应于  $G$  千克工质得到的热量  $\text{kJ}$ （ $\text{kcal}$ ）、内能的增加  $\text{kJ}$ （ $\text{kcal}$ ）和对外所做的功  $\text{kgf} \cdot \text{m}$ 。

应该指出：上列方程式不仅适用于膨胀过程，也适用于压缩过程；不仅适用于加热过程，也适用于放热过程。按一般规定，工质吸收热量（ $q>0$ ）为正值，放出热量（ $q<0$ ）为负值；内能增加（ $\Delta u=u_2-u_1>0$ ）为正值；膨胀功为正值，压缩功为负值。以上为热力学第一定律的内容。

## 2. 热力学第二定律

在工程热力学中研究的所有热力过程，都属于热力学第一定律的范畴。但是，任何



不违反热力学第一定律的热力过程，在实际上并不是都可以实现的。第一定律指出：能量的形式可以转换而其能量的总量保持不变。但是它没有指明能量转变过程的方向。例如，两个温度不同的物体之间的传热问题，第一定律只说明了若物体失去热量，则另一物体必获得与其相等的热量。而热流的方向究竟如何？即热量是由高温物体传向低温物体呢，还是恰恰相反？对于热功相互转换的问题，第一定律仅说明了热能和机械能在相互转换时能量保持不变，而未说明这种转换的条件。通过长期观察自然界中进行的各种热力过程后，我们得到这样一个事实：热总是从高温物体传向低温物体，而不可能自发地从低温物体传向高温物体；机械能可以无条件地转变为热能，但是无法使热能再全部地转变为机械能。

进而言之，自然界涉及的热现象的一切过程都是单向进行的，无论用任何方法都不能使其恢复原状而不引起其他变化。这就是热力学第二定律的基础。

应该指出：上述情况仅说明了自发过程的单向性，并不是说自然界凡涉及热现象的一切过程都不能反向进行。这种反向过程是有可能实现的，但必须有另外的补偿过程存在。例如，制冷机的工作过程，就是要使热量由低温传向高温，正如低处的河水可用泵输送到高山一样，为此都必须消耗机械能，其消耗机械能的过程就是一个补偿过程。

根据上述能量形式转换的方向性，热力学第二定律可以表述为：“不消耗外功，热量不可能自发地从低温物体传向高温物体”。另一表述：“要使热能全部而且连续地转变为机械能，是不可能的”。

## 项目 1.2

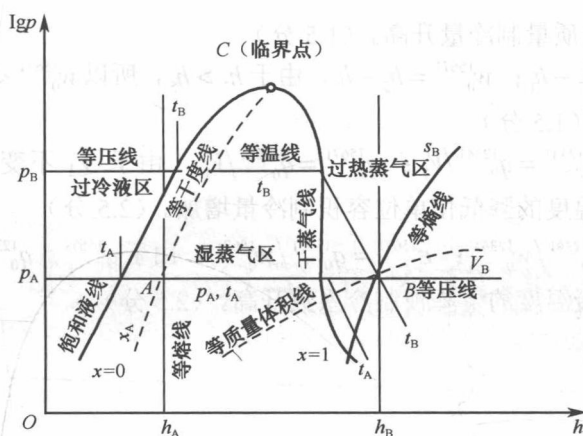
## 掌握制冷技术的制冷循环与应用

### 任务 1.2.1 传热学在 $\lg p-h$ 图上的应用及理论循环计算方法

#### 1. 制冷剂状态变化在 $\lg p-h$ 图上的表示

为了维修电冰箱使用方便，人们在实践中总结绘制出了制冷剂的压—焓图（ $\lg p-h$  图），又叫莫尔图。此图由莫尔发明，用于制冷系统的理论分析和热力计算。此图规定制冷剂的焓  $h$  为横坐标，压力  $\lg p$  为纵坐标组成坐标图，图上用不同的线簇将制冷剂在不同状态下的温度、质量体积及蒸气的干度同时表示出来。应注意图面上纵坐标的数值是制冷剂的绝对压力数值。 $\lg p-h$  图具有下列特征：一点——工质的临界点  $C$ ；两线——干度  $x=0$  的饱和液体线和  $x=1$  的干蒸气线，两线交于临界点  $C$ ；三区——饱和液体线左方为过冷区，饱和液体线和干蒸气线之间为气液共存区，又称湿蒸气区或饱和区，干蒸气线右方为过热蒸气区；五态——图上的点对应着制冷剂的 5 种状态，过冷状态、饱和状态、湿蒸状态、干饱和蒸气状态、过热状态。实用的  $\lg p-h$  图通常只画出工程计算中需查取的部分，临界点  $C$  及气液共存区横向的中央部分不画出。

$\lg p-h$  图的组成如图 1-1 所示。

图 1-1 制冷剂  $\lg p-h$  图的组成

由图 1-1 可见, 在制冷剂  $\lg p-h$  图上, 代表各参数的等值线的分布情况为:

- (1) 等压线是一组水平线簇。气液共存区, 由于在一定压力下就有一确定的温度值, 所以等压线也就是等温线。
- (2) 等焓线为一组垂直线簇。
- (3) 等质量体积线为一组自左下向右上延伸, 斜率较小的曲线簇。
- (4) 等熵线为一组自左下向右上延伸, 斜率较大的曲线簇。
- (5) 等干度线簇只存在于饱和区, 所有等干度线都相交于临界点 C。
- (6) 等温线为一组折线簇, 即在过冷液区为垂直线, 在气液共存区内为与等压线重合的水平线, 在过热蒸气区则为略向右凸近似垂直的曲线。

对应于制冷剂的  $p$ 、 $h$ 、 $t$ 、 $V$ 、 $s$  及干度  $x$  6 个状态参数, 只要知道其中任意两个, 就可在该制冷剂的  $\lg p-h$  图上确定制冷剂所处的状态 and 该状态下的其余参数值。而处于  $x=0$  的饱和液体线与  $x=1$  的干蒸气线上的制冷剂, 则只需知道其中一个参数就可确定其所处的状态。

## 2. 理论循环计算方法

电冰箱压缩式制冷理论循环用 12341 表示, 当冷凝温度由  $t_2$  降低为  $t_5$  后, 该循环用 15671 表示。已知各状态点的比焓及状态 1 的比体积, 计算冷凝温度降低前后该循环的单位质量制冷量  $q_0$ 、理论比功  $w_0$ 、单位容积制冷量  $q_v$  及制冷系数  $\varepsilon$ , 并分别比较它们值的大小, 如图 1-2 所示。

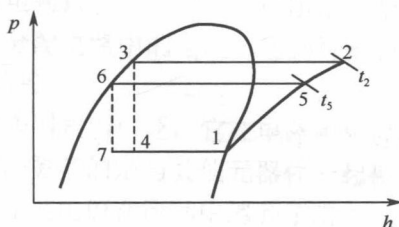


图 1-2 电冰箱压缩式制冷理论循环

解: 单位质量制冷量  $q_0^{12341} = h_1 - h_4$ ;  $q_0^{15671} = h_1 - h_7$ , 由于  $h_4 > h_7$ , 所以  $q_0^{15671} > q_0^{12341}$ , 即