

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材  
中央广播电视大学汽车维修(专科)系列教材  
北京中德合力技术培训中心组编

QICHEKONGTIAO

# 汽车空调



田春芝 主编

中央广播电视大学出版社

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材  
中央广播电视大学汽车维修（专科）系列教材  
北京中德合力技术培训中心组编

# 汽车空调

田春芝 主编

中央广播电视大学出版社

北 京

**图书在版编目 (CIP) 数据**

汽车空调 / 田春芝主编; 北京中德合力技术培训中心组编.

—北京: 中央广播电视大学出版社, 2007. 1

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材.

中央广播电视大学汽车维修 (专科) 系列教材

ISBN 978-7-304-03796-3

I. 汽... II. ①田... ②北... III. 汽车—空气调节设备  
—电视大学—教材 IV. U463.85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 014721 号

版权所有, 翻印必究。

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

中央广播电视大学汽车维修 (专科) 系列教材

北京中德合力技术培训中心组编

汽车空调

田春芝 主编

---

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 发行部: 010-58840200 总编室: 010-68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

---

策划编辑: 何勇军

印刷: 北京云浩印刷有限责任公司

版本: 2007 年 2 月第 1 版

开本: 787×1092 1/16

责任编辑: 汪宝明

印数: 0001~3000

2007 年 2 月第 1 次印刷

印张: 13.5 字数: 310 千字

---

书号: ISBN 978-7-304-03796-3

定价: 21.00 元

---

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

## 总 序

随着我国经济持续快速平稳发展,工业化、信息化水平不断提高,产业结构进一步升级优化,不仅需要一大批科技创新人才,而且需要数以千万计的技能型人才和高素质的劳动者队伍。目前,我国已经出现了技能型人才短缺的现象,一方面,企业现有技术人员不能满足产业升级和技术进步的需要;另一方面,技能型人才的教育培养滞后于市场需求。这种现象已经引起各级领导和社会各界广泛关注。就汽车维修行业而言,技能型人才短缺现象更为突出。据调查,随着汽车保有量的大幅度上升,全国汽车维修行业每年需要新增近 30 万从业人员。为此,教育主管部门和相关行业主管部门提出和实施了“制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”,旨在整合教育和行业资源,加大投入力度,改革教育培养模式,创新教学和培训方法,培养一大批适应我国经济建设需要、人才市场紧缺的技能型人才。

中央广播电视大学是面向全国开展现代远程教育的开放大学。中央电大和 44 所省级电大及其所属的分校、工作站、教学点,共同组成了目前世界最大的现代远程教育教学和教学管理系统。中央电大的主要任务是为各类从业人员提供学习的机会和条件,为国家经济和社会发展培养应用型人才。我们有责任也有能力为技能型紧缺人才培养做出自己的贡献。近几年来,中央电大抓住国家大力发展现代远程教育这一有利时机,通过开展人才培养模式改革和开放教育试点项目,有效提升了办学综合实力和为社会提供教育服务的能力。截至 2005 年春,中央电大开放教育试点本专科累计注册学生超过 200 万人,毕业学生超过 60 万人;已构建了“天网地网结合、三级平台互动”的技术模式,建设了适应成人在职学习、学历及非学历教育相结合的课程体系;形成了资源共享、导学与自主学习相结合的教学模式和统一规范管理、分层组织实施、系统协同服务的管理模式及运行机制。

中央电大长期以来形成的一个重要办学特色,就是广泛地与政府部门、行业、企业、部队密切合作,为行业培养应用型人才。为服务于“制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”,中央电大经过考察、论证,选择北京中德合力技术培训中心和中国汽车工程学会作为合作伙伴,联合开办开放教育“汽车运用与维修专业”。这个专业既是高等专科学历教育,又是技能型人才的培养和培训。该专业根据汽车维修行业存在大量人才缺口,行业从业人员专业技术和学历层次偏低,高层次经营管理人才紧缺,一线操作工人技能水平较低的状况,有针对性地设置专业课程,安排教学内容和实训实习环节,培养具有良好的职业道德、专业的理论知识、较强的实践技能和实际工作能力,以及德、智、体全面发展的应用型人才。

办好一个专业，开好一门课程，编写、使用合适的教材是前提。“汽车运用与维修专业”根据专业培养目标和远程开放教育的办学特点，按照课程一体化设计的要求，以文字教材为主体，辅助以音像教材、计算机课件和网上动态资源等多种媒体有机结合，并编写了相配套的教材。这套教材经过专家、学者多次论证和修订，其内容不仅注重学历教育的知识系统性，而且紧密结合汽车最新技术和发展趋势，具有技术的先进性和实用性。

现在，中央电大“汽车运用与维修专业”各门课程的教材就要陆续出版了。看到已经编成的高质量教材，使我对办好这个专业更加充满信心。在此，我对参与课程设置和教学大纲论证、教材编写的专家、学者表示衷心的感谢！

当然，汽车技术进步和更新越来越快，我们的教材也需要不断修订与更新，以便能够与最新的技术保持同步。我祝愿同学们通过本套教材的学习，既能够系统掌握汽车维修知识，又能学到汽车工业的前沿技术，迅速成长为一名具有较高水平的汽车运用与维修专业人员，为我国汽车工业的发展做出积极的贡献。

是为序。

中央广播电视大学党委书记、副校长  
2005年8月



# 序

北京中德合力技术培训中心与中央广播电视大学、中国汽车工程学会合作,联合开办了中央电大“汽车运用与维修专业”,并受中央电大的委托,承担教学资源建设和教材编写任务。

“汽车运用与维修”并不是一个新的专业,国内很多院校都开设过,也编写和出版了众多专业方面的教材,但是在采用远程教育方式的广播电视大学开办这个专业尚属首次。中央电大开办这个专业的目的是为了加速培养适应市场需求的汽车维修行业紧缺的技能型人才。而适用于远程教学需要的汽车维修专业教材,包括文字教材、音像教材以及多媒体课件和网络课件,都不是现有的汽车维修教材可以替代的。

另外,电大汽车运用与维修专业的学习对象是一个庞大的群体,包括全国数百万汽车维修行业的从业人员,以及将要投身这个行业的高中、职高、技校的毕业生等。这个群体有文化基础差异大、工作岗位不同以及学习时间不一样等特点。这就决定了这套汽车维修教材既要能满足全日制学习、业余学习以及自学的需要,同时又能满足短期专题技术培训、现场培训的需要。

这套符合电大教学特色的学历教育系列教材是北京中德合力技术培训中心组织清华大学、北京理工大学、北京交通大学、北京联合大学等高等院校的教授和北京汽修行业的专家进行大纲论证和教材编写的。

这套教材的具体特征是具备知识和技术的先进性、系统性和实践性。

**先进性。**当代汽车制造业发展迅速,汽车技术的进步越来越快,新技术的运用也越来越多,高科技的含量也越来越高,因此,教材编写内容必须突出汽车新技术的应用和发展趋势,使读者能掌握最新的知识和技术。

**系统性。**汽车维修专业课程的设置本身就具有系统性。作为专科学历教育的教材,注意了对学员进行系统的专业理论知识教育。但教材不是把理论知识教育作为重点,而是将重点放在技术应用方面。这样做有利于培养具有操作能力的技术人才。

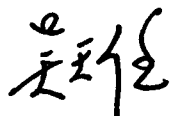
**实践性。**教材编写注意了理论与实训结合,理论教材和实训教材由同一主编统一编写,同时出版,同步使用,使理论课和实训课有机结合起来,并在教学中实现边学习理论边动手操作,学理论时可结合实际操作,并在实际操作中学理论。实践证明,这是培养技能型人才有效的方式。

高水平的编写团队为教材的成功提供了坚实的基础。这套系列教材的出版,是清华大学资深汽车专家庄人隽牵头的编写团队的成果。在此,对教材的主编及参编人员表示真诚的感谢!对参加教学计划的制订、大纲论证、教材评审的专家表示真诚的感谢!

希望这套系列教材能得到电大汽车维修专业教学人员及广大汽修行业从业人员的喜爱。当然,教材中难免有疏漏和不足之处,希望广大读者提出宝贵意见,以便于我们修改完善。

北京中德合力技术培训中心名誉理事长

2005年12月



# 前 言

本教材依据中央广播电视大学汽车专业教学计划和“汽车空调”课程教学大纲编写。

本教材共分 8 章,介绍了制冷循环的原理、汽车空调的组成、各部件的结构和工作原理。第 1 章介绍了汽车空调的基本理论;第 2 章介绍了汽车空调制冷系统的主要组成部件;第 3 章介绍了汽车空调供暖、通风与净化装置;第 4 章介绍了汽车空调控制系统的主要组成部件;第 5 章介绍了汽车空调控制系统;第 6 章介绍了汽车空调的维护、维修工具、设备、检修的基本技能;第 7 章介绍了空调的常见故障分析方法和常见车型故障码自诊断方法;第 8 章介绍了空调主要部件的检修和空调性能测试标准。

本教材反映了当今国内外汽车空调的最新实用技术,可作为大专院校空调专业、汽车专业及各类制冷空调培训班的教学参考书,也可供从事汽车空调工作的技术人员、维修人员参考和自学。

本教材徐志军老师编写了第 6 章、第 7 章和第 8 章,田春芝老师编写了其余章节。于增信老师、赵华老师和谢幼梅老师参与了部分章节资料的整理工作。在本书的编写过程中,还得到了林世生老师和弋国鹏老师的友情帮助,在本书完成之时,对他们的帮助表示衷心的感谢。

本教材涉及面广,引用了不少专家的著作、论文和维修培训资料,在此也致以诚挚的谢意!因作者水平有限,有不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

编者

2006 年 12 月 1 日

# 目 录

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 第1章 汽车空调的基本理论.....         | (1)   |
| 1.1 汽车空调的发展过程.....         | (1)   |
| 1.2 热工学的基本概念.....          | (4)   |
| 1.3 热力学基本定律.....           | (11)  |
| 1.4 汽车空调的制冷原理.....         | (18)  |
| 1.5 汽车空调系统的基本组成和分类.....    | (22)  |
| 1.6 制冷剂和冷冻润滑油.....         | (23)  |
| 第2章 汽车空调制冷系统的主要部件.....     | (35)  |
| 2.1 压缩机和离合器.....           | (36)  |
| 2.2 冷凝器和蒸发器.....           | (47)  |
| 2.3 节流元件.....              | (53)  |
| 2.4 储液干燥器和气液分离器.....       | (58)  |
| 2.5 汽车空调制冷系统的管路.....       | (62)  |
| 第3章 汽车空调暖风、通风与空气净化装置.....  | (64)  |
| 3.1 余热式暖风装置的结构与工作原理.....   | (65)  |
| 3.2 独立燃烧式暖风装置的结构与工作原理..... | (69)  |
| 3.3 汽车的除霜.....             | (75)  |
| 3.4 汽车通风与空气净化装置.....       | (77)  |
| 3.5 余热式暖风系统故障分析.....       | (80)  |
| 第4章 汽车空调控制系统的主要组成部件.....   | (83)  |
| 4.1 汽车空调制冷控制系统.....        | (84)  |
| 4.2 电磁离合器.....             | (91)  |
| 4.3 温度控制组件(温度控制器).....     | (92)  |
| 4.4 压力控制组件.....            | (95)  |
| 4.5 蒸发器压力调节器.....          | (98)  |
| 4.6 发动机转速控制装置.....         | (102) |

## 2 汽车空调

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 4.7 真空控制装置 .....              | (105) |
| 第5章 汽车空调控制系统 .....            | (107) |
| 5.1 汽车电路识图基础 .....            | (107) |
| 5.2 汽车空调系统电路分析 .....          | (110) |
| 5.3 自动空调控制系统 .....            | (117) |
| 5.4 微机空调控制系统 .....            | (122) |
| 第6章 汽车空调制冷装置的维护和维修方法 .....    | (138) |
| 6.1 检查与定期维护的原则与步骤 .....       | (138) |
| 6.2 检修工具与设备的使用 .....          | (140) |
| 6.3 汽车空调系统的维修技能 .....         | (150) |
| 第7章 汽车制冷常见故障分析 .....          | (168) |
| 7.1 汽车制冷常见故障分析方法 .....        | (168) |
| 7.2 空调系统故障自诊断 .....           | (175) |
| 第8章 汽车制冷系统主要部件检修和制冷性能测试 ..... | (194) |
| 8.1 汽车空调系统零件维修 .....          | (194) |
| 8.2 汽车空调系统维修后的检查和试验 .....     | (201) |
| 参考文献 .....                    | (206) |

# 第1章 汽车空调的基本理论

## 教学目标

1. 了解汽车空调的发展过程。
2. 熟悉热工学的基本概念。
3. 熟悉热力学基本定律，特别掌握制冷循环和制冷系数的分析。
4. 掌握汽车空调的制冷原理。
5. 熟悉汽车空调系统的基本组成和分类。
6. 了解与制冷剂和冷冻机油有关的概念和知识。

## 教学重点

1. 与空调制冷有关的热工学基本概念。
2. 热力学基本定律，特别制冷循环和制冷系数的分析。
3. 汽车空调的制冷原理。

## 教学难点

运用热工学的基本概念和基本定律分析汽车空调的制冷原理。

### 1.1 汽车空调的发展过程

#### 1.1.1 汽车空调的概念

何谓空调？空调机由哪些功能系统所组成？“空调”是空气调节的简称，英文的缩写是 A/C，取 AirConditioning 两个词的第一个字母。它既有专业上的定义，也有社会上约定俗成的观念。严格的专业定义是：将指定区域内的空气温度和相对湿度从自然状态调节到所需要的人工状态，并保证其新鲜和洁净，这就是空调。而社会大众则简单地把降低空气温度即有“冷气”称为空调，其实制冷降温只是完成了空调的部分任务，而非空调的全部任务。

汽车空调是空调技术在汽车上的应用，汽车空调系统是用来建立和保持车室内的人工气候

环境，以达到保证车室内司乘人员的健康和舒适以及行车安全的目的。

汽车空调系统能对车内空气的温度、湿度、流速和洁净度等参数进行调节，使车内空气清洁，温度适宜，使乘员感到舒适；并预防或去除风窗玻璃上的雾、霜和冰雪，这不仅可为乘客提供良好而舒适的乘坐环境，减少旅途疲劳，而且可改善驾驶员的工作条件，使其保持清醒头脑，做到行车安全。汽车空气制冷调节，主要是以蒸气制冷机供给的低温气流对车厢内的环境进行降温处理；汽车空气的制热调节，主要是通过冷却水的分流或加热设备供给的高温气流对车厢内的环境进行升温处理。衡量汽车空调的主要指标有温度、湿度、流速和洁净度。

表1-1    汽车空调的主要参数

| 指标/项目 | 温度/°C |       | 相对湿度/%         | 风速/m.s <sup>-1</sup> | CO 含量/% | 噪声/dB |
|-------|-------|-------|----------------|----------------------|---------|-------|
|       | 冬     | 夏     |                |                      |         |       |
| 舒适    | 16~18 | 22~28 | 50~70          | 0.075~0.2            | <0.01   | <45   |
| 不舒适   | 0~14  | 30~35 | 15~30<br>90~95 | <0.075, >3           | >0.015  | >65   |
| 有害    | <0    | >43   | <15, >95       | >0.4                 | >0.03   | >120  |

1.1.2    汽车空调的发展过程

汽车空调的发展经历了 5 个阶段，即单一暖风系统；单一制冷系统；冷暖一体化空调系统；自动控制的汽车空调系统和微机控制的空调系统。下面分别进行介绍：

1. 单一暖风系统的汽车空调

汽车空调是从暖气开始的，最初是让排气管从车内通过。1925 年首先在美国车型中出现利用汽车冷却水通过换热器取暖的方法。1927 年发展到具有加热器、风机和空气滤清器的比较完整的供热系统。1948 汽车供热系统出现在欧洲车辆中，1954 年应用在日本车型中。

2. 单一制冷系统的汽车空调

从 1936 年起，美国开始着手研制汽车制冷机，1950 年以后，汽车空调快速发展。日本和欧洲从 1957 年开始生产加装冷气机的小型乘用车。1967 年以后，美国法定所有使用的客车都要加装空调，1985 年轿车空调安装率达 87.1%。

3. 冷暖一体化系统的汽车空调

1954 年美国通用汽车公司首先在个别车型上安装冷暖一体化的空调器，这时的汽车空调基本上具有调节控制车内温度、湿度的功能。随着汽车空调技术的改进，目前的冷热一体空调基本上具有降温、除湿、通风和过滤的功能。冷暖一体化方式的空调系统目前仍然在大量的经济汽车上使用。

4. 自动控制的汽车空调

冷暖一体汽车空调需要人工操作，这样既增加驾驶人员的工作量，同时控制质量也不太理想。自动控制的汽车空调，只要预先调好温度，系统就能自动地在调定的温度范围内工作。系统根据传感器检测到车内、车外环境的温度信息，自动地控制空调器各部件工作，达到控制车

内温度和其他功能的目的。

### 5. 微机控制的汽车空调

微机控制的汽车空调在自动控制的汽车空调的基础上增加了功能,可以达到显示数字化,冷、暖、通风三位一体化;由微机按照车内外的环境所需,实现微调化;通过微机控制实现空调运行与汽车运行的相互统一,极大地提高了制冷效果,节约了燃料,从而提高了汽车的整体性能和最佳舒适性。目前微机控制的空调装在高级乘用车上。

#### 1.1.3 汽车空调的特点

汽车空调已成为空调技术的一个专门分支。汽车空调与普通空调(如家用空调)相比,具有下面一些特点:

(1) 汽车是交通运输的工具,其容积狭小、人员密集,车窗面积大、厢壁薄从而隔热困难,因此,汽车的热、湿负荷大,在同样的空间容积内配置的空调装置容量要大得多。

(2) 汽车空调一般采用蒸气压缩式制冷机为冷源,压缩机由汽车发动机或辅助发动机来驱动,前者将对汽车的动力性造成影响,而后者由于增加了一台发动机,不仅结构复杂,体积和重量增加,而且给整车的布置也造成困难。

(3) 对于由汽车发动机驱动的非独立式空调,由于主发动机转速可在  $600\text{r/min} \sim 6000\text{r/min}$  的范围内变化,从最低转速到最高转速相差 10 倍之多,空调系统的制冷能力在很大程度上受到发动机工况的影响,很难保持稳定运转。

(4) 汽车车身结构非常紧凑,可供安装空调设备的空间极为有限,要求空调装置重量轻、尺寸小。空调装置的安装位置要考虑轴荷的合理分布,轴荷不均匀会造成某个轮胎加速磨损,引起附加的振动和噪声,如果前轴荷过轻,还会使方向盘发飘,对操纵稳定性和行驶安全性都有影响。

(5) 汽车空调的工作条件很差,如果可靠性不高,不仅影响其使用寿命,维修工作量也将很大。

(6) 汽车种类繁多,结构各不相同,即使是同一种车型,由于使用对象不同,车内的布置要求各异,也呈现出多样性。如轿车、旅行车和大客车不一样,豪华程度不同,要求又不一样。凡此种种,都需要根据其不同的特点,配置不同的空调装置。因此,很难设计一套结构紧凑且同时满足各类汽车要求的空调系统。

(7) 由于车室容积小,车厢高度低,座椅满布,因此,较难组织合理的空气流动和车厢内温度分布。

由此可知,汽车空调系统的设计和生产难度远超过普通空调,而且元器件和总成质量要求更高,调节、控制机构更复杂。

#### 1.1.4 汽车空调要求

(1) 汽车空调安装在运动中的车辆上,会承受剧烈和频繁的振动和冲击,所以要求汽车空调的各个零部件应有足够的强度和抗震能力,接头牢固并防漏。

(2) 隔热性差,密封性好。要求汽车空调应具有快速制冷和快速采暖的能力。

(3) 大多数乘用车汽车空调系统所需的动力来自发动机。要求汽车空调制冷装置工作时, 对汽车发动机的动力消耗、燃油消耗、加速和爬坡性能的影响应尽可能小。

(4) 汽车空调需要引进几乎为 100% 的新风, 所以需要设置鼓风装置和专用风道。

## 1.2 热工学的基本概念

### 1.2.1 工质的状态参数

#### 1. 物质的基本性质

物质在通常情况下有三态, 即固态、液态和气态。一切物质都是由极小的微粒组成的, 这些微粒叫做分子。如果把某种物质不断地分割下去, 分成许多极小的微粒, 最后就可以得到这种物质的分子。如水可以分成水分子, 盐可以分成为盐分子。而这时的水分子、盐分子和原来的水、盐具有同样的化学性质。

##### (1) 物质分子的特征

1) 分子的质量很小。在很小的体积内, 分子数目却是很大的。如直径为 0.1mm 的一滴水约含有 106 个分子。标准状态下 (温度为 0℃, 压力为 101325Pa), 1cm<sup>3</sup> 的氧气含有  $2.7 \times 10^9$  个氧分子。

2) 分子是运动的。一切物质都在不停地运动着。组成物质的分子也同样地在其内部不停地运动着, 只是因为分子很小人们无法直接看到罢了。

3) 分子与分子之间存在一定的距离。分子间不是挤得很紧的, 而是存在一定空隙的。房间里放一瓶打开盖子的香水, 进入房间时可以闻到香味。这是香精的分子飞散开来, 向各个方向运动, 扩散到房间内空气分子间空隙中去的缘故。糖能溶解在水中, 就是糖分子钻到水分子间的空隙中。气体、液体和固体, 它们的分子间都有空隙, 但气体分子间的空隙最大, 固体分子间的空隙最小。

4) 分子与分子之间有相互作用的分子力。分子力是分子间引力与斥力的合力, 当分子间的距离为某一值时, 引力等于斥力。距离减小, 引力与斥力都增大, 但斥力增加得快, 因此分子力表现为斥力, 这时比较难压缩; 距离增大, 斥力较引力减小得快, 分子力表现为引力, 这时比较容易压缩。当分子间的距离很大时, 分子力极小, 甚至可以忽略不计。大多数气体就属于这种情况。

5) 分子的运动与物质的温度有关。物质的温度越高, 物质内部的分子运动越激烈。因此, 物质的热状态跟物质内部分子的不规则运动有关, 这种运动叫做分子的热运动。热水与冷水都由同样的分子组成, 但冷热不同, 就在于分子运动的速度不同。相同物质的分子运动速度不同, 它们的动能也不同。物质温度不同, 则说明组成物质的分子所具有的平均动能不同。分子除了运动所具有的动能外, 还具有和分子间距离有关的位能。分子动能的总和加上分子位能的总和, 组成了物质的内能。在热力学中, 许多内容要用分子和分子运动论才能解释清楚, 例如压力、温度等等, 所以热力学以分子为基本粒子, 来研究一些相关的问题。

##### (2) 工质

在汽车空调制冷系统的蒸发器内蒸发并从被冷却物体中吸收热量而汽化,然后在冷凝器内将热量传递给周围的介质(空气)而本身液化的工作物质叫工质,又称为制冷剂。而在汽轮机和蒸汽机的工作则需要蒸气,内燃机的工作又需要燃气等,工作物质主要是经过吸热、膨胀而完成做功,这种实现热能和机械能相互转换的工作物质也叫做工质。也就是说,工质是工作物质的简称。

## 2. 工质的状态参数

用来描述工作物质状态的物理参数定义为工质的状态参数。

### (1) 压力

1) 定义:单位面积上所受到的垂直作用力,在物理上称压强,用符号  $p$  表示,工程上习惯称压力。公式表示:  $p=F/A$ ,  $F$  为垂直作用力,  $A$  为表面积。

2) 单位:压力的单位是牛/米<sup>2</sup> (N/m<sup>2</sup>),记作 Pa,读“帕”;千倍符号表示为 kPa,兆倍符号表示为 MPa。单位之间的换算关系为:1MPa=1000kPa=1000000Pa。

3) 压力的测量:在空调系统的维修中常用压力表测定制冷剂在系统内各处的压力,此时从表上读到的数据称表压力,记为  $p_g$ ,表明系统压力高于环境压力;用真空表测量出的读数,称为真空度(负压),记为  $p_v$ ,表明系统压力低于环境压力;环境压力记为  $p_b$ 。

压力之间的关系式:当制冷系统内制冷剂压力高于环境压力时,系统的真实压力(或称绝对压力)的计算式为  $p=p_g+p_b$ ;当制冷系统内制冷剂压力低于环境压力,系统的真实压力的计算表达式为  $p=p_b-p_v$ 。

### (2) 温度

1) 定义:表示物体冷热程度的参数。按分子运动学说,气体温度是气体分子平均移动动能的量度。

2) 温度单位(温标):我国常用的温标为摄氏温标(Centigrade),温度符号记为“ $t$ ”,温标记为“ $^{\circ}\text{C}$ ”。在国际单位中,温度单位称为热力学温标(又称绝对温标、开尔文温标)(Kelvin),温度符号记为“ $T$ ”,温标记为“ $\text{K}$ ”;规定采用水的三相点温度为基本定点,并规定该点的热力学温度为 273.16K,热力学温度单位每 1K 为水的三相点温度的 1/273.16。在美国、加拿大等北美地区常用的温度为华氏温标(Fahrenheit),温度符号记为“ $t$ ”,温标记为“ $^{\circ}\text{F}$ ”。它们之间的换算关系:

$$t^{\circ}\text{C} = (t^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9$$

$$t^{\circ}\text{C} = TK - 273.15, \text{近似关系式为 } t = T - 273$$

热力学温度与摄氏温度、华氏温度的关系如图 1-1 所示。

| ℃   | °F  | K   |
|-----|-----|-----|
| 100 | 212 | 373 |
| 0   | 32  | 273 |

图1-1 热力学温度与摄氏温度、华氏温度的关系

3) 温差的关系: 热力学温标与摄氏温标之间每一温度间隔的大小完全一样, 即  $1^{\circ}\text{C}=1\text{K}$ , 它们只是所取零点不同。由于两种温度间隔划分一样, 因而凡涉及到温差的时候, K 或  $^{\circ}\text{C}$  在数值上均相同, 即可用  $\Delta t=\Delta T$  表示。

### (3) 比容

1) 定义: 指 1kg 物质所具有的体积, 符号为  $v$ , 单位为  $\text{m}^3/\text{kg}$ 。

2) 体积与比容的关系:  $v=V/m$ ,

式中,  $m$ —物质的总质量, kg;

$V$ —物质的总体积,  $\text{m}^3$ 。

3) 比容和密度的关系: 单位体积工质的质量称为密度, 以符号  $\rho$  表示,  $\rho$  的单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。密度和比容互为倒数, 即  $v=1/\rho$ 。

以上 3 个参数即压力 ( $p$ )、温度 ( $t$  或  $T$ ) 和  $v$  被称之为基本状态参数。基本状态参数是热力学中工质其他状态参数基本参数。

### (4) 内能

1) 定义: 内能是指工质内部分子运动的动能 (指分子转动、移动、原子振动等) 和分子间由相互作用力而产生的位能的总和; 1kg 工质的内能称为比内能, 用符号  $u$  表示, 其单位为  $\text{kJ}/\text{kg}$ ,  $m\text{kg}$  工质的总内能为  $U=mu$ ,  $U$  的单位为  $\text{kJ}$ 。

2) 内能与基本状态参数之间的数学表达式: 由于分子热运动产生的分子动能是温度  $T$  的函数, 分子位能是比容  $v$  的函数, 因为  $T$  和  $v$  是基本状态参数, 故由它们确定的比内能  $u$  也是状态参数, 其值仅与状态有关, 即  $u=f(T, v)$ 。

3) 关于内能的分析: 由此可知工质由状态 1 变到状态 2 时, 比内能的变化量只与初、终状态有关, 而与期间的过程无关。由于理想气体分子间无作用力, 故分子内位能为零, 其比内能只是温度的单值函数, 即  $u=f(T)$ , 而且只要工质初、终状态的温度一定, 不论其间经历什么过程, 其比内能都相等。由于分子永动不息, 找不到比内能为零的基准点, 故任一状态的比内能绝对值无法确定。通常工程计算只涉及比内能变化值  $\Delta u$ , 所以可任选某一状态比内能为零作基准。对于理想气体, 常取 0K 的比内能为零。

### (5) 焓

1) 定义及数学表达式: 1kg 工质在某一状态下的比容  $v$ 、所承受的压力为  $p$ , 为反抗此压力, 该工质必须具备  $pv$  的能量。此外, 该工质在同样状态下, 还具有内能  $u$ ; 则该工质所含有的总能量为  $u+pv$ , 这个总能量就叫做该工质的焓, 用  $h$  表示, 即  $h=u+pv$  (kJ/kg)。

2) 焓的热力性质: 若 1kg 工质的状态保持一定 (压力、温度、比容等各为某定值), 则工质的内能  $u$  及  $pv$  一定, 焓也一定, 即焓仅由状态所决定, 所以焓也是状态参数。

### (6) 熵

1) 定义: 加热 1kg 工质的热量  $q$  和加热时绝对温度  $T$  的比值  $q/T$ , 叫做工质在这个加热过程中熵的增加量。熵也是一个状态参数。

2) 熵的变化量: 用  $\Delta s$  表示熵的增加量,  $s_1$  为最初状态的熵,  $s_2$  为最终状态的熵, 则在温度不变的过程中熵的增加量可写成  $\Delta s = s_2 - s_1 = q/T$

3) 关于熵的变化量的分析: 从上式可以得出如下重要结论

① 若给工质加入热量, 工质的熵增加, 这表明工质是吸热, 即  $\Delta s$  是正值。

② 若工质对外放热, 工质的熵减小, 这表明工质是放热, 即  $\Delta s$  是负值。

③ 若对工质既不加入热量, 也不放出热量, 工质的熵保持不变, 这表明工质既不放热也不吸热,  $\Delta s$  为零。因此, 由熵的变化就可以判断工质与外界热量交换的方向性, 即工质是吸热还是放热。

应该指出, 熵的增加量定义是工质在等温下吸热或放热与温度之比值。如果不是等温, 熵的定义仍可适用。这时熵的增加量可以这样计算, 即把整个加热过程分割成很多很多小的加热阶段, 在每一个小的加热阶段中, 加入热量是很少的, 因而温度的变化也很小。加热阶段分割得越多越细, 在小的加热阶段中温度的变化就越小。当把整个加热过程分割成无穷多个加热阶段时, 这时每个加热阶段都可看成是在等温下进行的加热。这样, 在求得了每个小加热阶段工质熵的增加量后, 再把每个小加热阶段熵的增加量相加, 就是整个加热过程中熵的增加量。

## 1.2.2 湿空气的热力性质

汽车空调系统中常用的气态物质有两种形式: 气体与蒸气。它们之间是互相联系的, 中间并无严格的界限。气体是指远离液态、不易液化的气态, 而蒸气则指刚由液态过渡过来, 比较容易液化的气态。

### 1. 蒸气的基本概念

图 1-2 表示在换热器管道内气—液两相的转化过程。汽化过程从左往右, 凝结过程从右往左。

#### (1) 汽化

1) 定义: 物质从液态转化为气态的现象称为汽化。汽化过程是一个吸热的过程, 所吸收的热量称为汽化潜热。制冷剂在蒸发器中由液态转变为气态, 同时吸收热量, 汽车空调制冷就是利用制冷剂汽化吸热的原理。