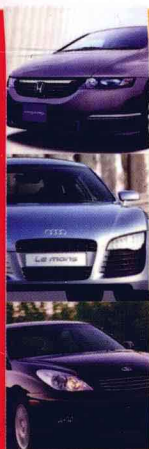


普通高等教育“十一五”国家级规划教材 配套教材  
高职高专规划教材

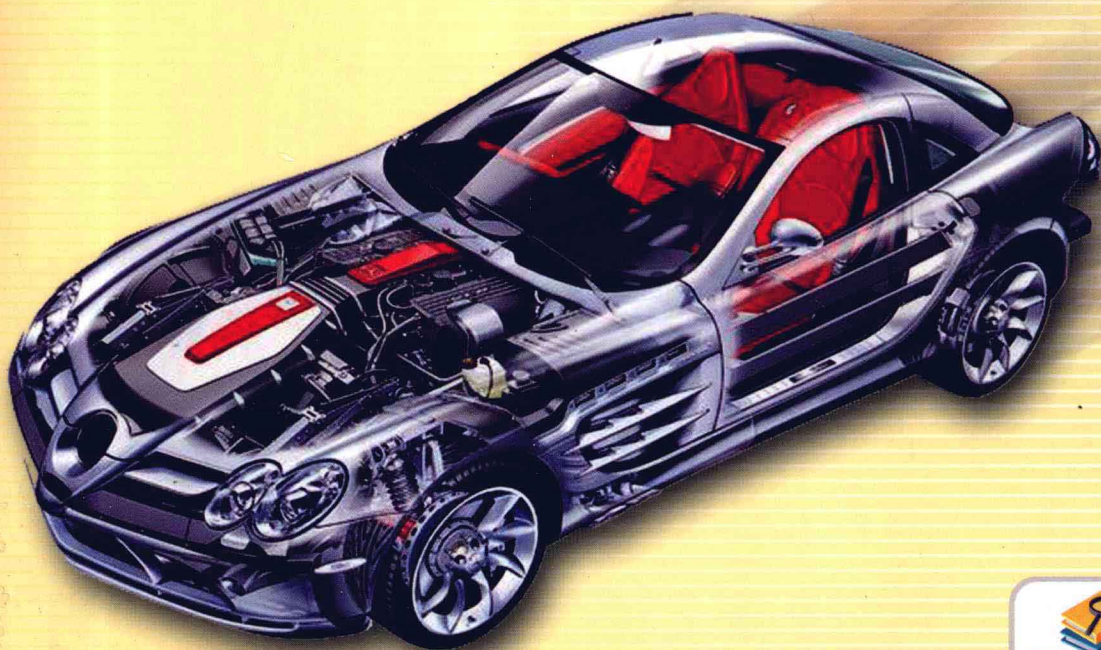


# 汽车空调

第2版

QICHE KONGTIAO

郝军 主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



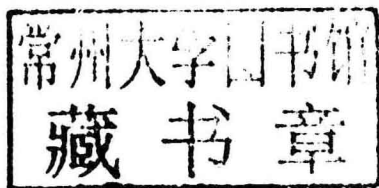
配电子课件

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材  
高职高专规划教材

# 汽车空调

第2版

主编 郝 军  
参编 孔令来  
主审 林为群



机械工业出版社

本教材全面、系统地介绍了汽车空调的基础知识；汽车空调主要部件的结构与工作原理；汽车空调制冷系统的温度控制；汽车空调通风、暖风与配气系统；控制电路的工作原理及分析方法，以及各类微电脑控制系统的基本组成、结构特点和工作原理。本教材还针对高职高专汽车电子类专业的培养方向，用较多篇幅介绍了汽车空调系统的检修、维护方法和技术规范，使教材具有一定的实用价值，便于指导教学和工程实践。

本教材图文并茂，深入浅出，通俗易懂。适用于汽车电子技术专业使用，可作为汽车类其他专业培训教材和汽车驾驶员、汽车空调专业维修技术人员的入门及提高书籍。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

汽车空调/郝军主编. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2009. 11  
(2011. 1重印)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材. 高职高专规划教材  
ISBN 978-7-111-28584-7

I. 汽... II. 郝... III. 汽车—空气调节设备—高等学校: 技术学校—教材 IV. U463. 85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 188294 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
策划编辑: 葛晓慧 责任编辑: 葛晓慧 版式设计: 霍永明  
封面设计: 赵颖喆 责任校对: 樊钟英 责任印制: 杨 曦  
北京双青印刷厂印刷

2011 年 1 月第 2 版第 3 次印刷

184mm × 260mm · 10.75 印张 · 265 千字

8001 - 12000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-28584-7

定价: 19.50 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面防伪标均为盗版

## 第2版前言

“汽车空调”是汽车维修类专业的一门重要课程，为使教学更具有贴近维修工作实际，适合更多学校和专业的应用以及专题培训的需要，本书第2版根据职业技术教育的特点和在收集各学校对第1版使用后的反馈意见的基础上进行了如下修订和改进：

1. 增加了对汽车空调新技术的介绍。
2. 在汽车空调系统电路里增加了以富康轿车为代表的新型控制电路及分析。
3. 为了使教材更贴近工程实际，在第四章第四节中增加了汽车空调主要部件和电控系统的检修内容，使用者可根据教学需要采取理实一体化的方式进行教学。

本教材的修订部分由郝军编写，林为群担任主审，林为群教授对全书内容尤其是新修订、增加的内容进行了详细认真的审阅，并提出了宝贵的修改意见，编者在此表示诚挚的感谢！

本教材配有电子课件，凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 注册后下载。咨询邮箱：[cmpgaozhi@sina.com](mailto:cmpgaozhi@sina.com)。咨询电话：010-88379375。

希望新版教材能够更适合汽车维修专业人才培养的需要，适合专业教学和实训的需要。读者在使用中的意见和建议可使用 E-mail 发至 [haohly@sina.com](mailto:haohly@sina.com)。

编者

# 第 1 版前言

中共中央、国务院在第三次全国教育工作会议做出了“关于深化教育改革，全面推进素质教育的决定”的重大决策，明确提出要大力发展高等职业教育，培养一大批具有必备的理论知识和较强的实践能力，适应生产、建设、管理、服务第一线急需的高等技术应用性专门人才。为此，教育部召开了关于加强高职高专教学工作会议，进一步明确了高职高专是以培养技术应用性专门人才为根本任务，以适应社会需要为目标，要体现地区经济、行业经济和社会发展的需要，即用人的需求。

“教书育人，教材先行”，教育离不开教材。机械工业出版社组织全国 11 所职业技术学院有多年高职高专教学经验的老师编写了高职高专汽车电子技术专业、汽车贸易专业两套教材。

两套教材是根据高中毕业 3 年制（总学时 1600~1800 学时）、兼顾 2 年制（总学时 1100~1200 学时）的高职高专教学计划需要编写的。在内容上突出了基础理论知识的应用和实践能力的培养。突出针对性和实用性，强化实践教学。

本教材从工程实际出发，全面、系统地介绍了汽车空调的结构、原理、检修和维护技术。内容有：空调的基础知识；汽车空调主要部件的结构与工作原理；汽车空调制冷系统的温度控制；汽车空调通风、暖风与配气系统；控制电路的工作原理及分析方法。特别是结合目前中、高档轿车自动空调的普及应用，较详细地讲述了各类微电脑控制系统的基本组成、结构特点和工作原理。本教材还针对高职高专汽车电子类专业的培养方向，用较多的篇幅介绍汽车空调系统的检修、维护方法和技术规范，使教材具有一定的实用价值，便于指导教学和工程实践。

本教材图文并茂，深入浅出，通俗易懂，专业教学时数为 30~50 学时。也可作为汽车类各专业培训教材和汽车驾驶员、汽车空调专业维修技术人员的入门及提高书籍。

本教材由郝军担任主编，并编写第一~六章及负责全书的统稿工作；孔令来编写第七、八章。

天津交通职业技术学院林为群担任本书的审定工作，提出了宝贵的编写、修改意见，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

高职高专汽车类专业系列教材编委会

# 高职高专汽车类专业系列 教材编委会

主任	承德石油高等专科学校	王世震
副主任	天津交通职业学院	林为群
	长春汽车工业高等专科学校	李春明
	辽宁省交通高等专科学校	张西振
	江西交通职业技术学院	邹小明
	机械工业出版社	蓝伙金
委员	北京电子科技职业学校	么居标
	河南机电高等专科学校	娄云
	辽宁省交通高等专科学校	毛峰
	承德石油高等专科学校	郝军
	河北工业职业技术学院	祁翠琴
	郑州工业高等专科学校	李焕锋

# 目 录

## 第 2 版前言

## 第 1 版前言

<b>第一章 汽车空调基础知识</b> .....	1
第一节 汽车空调概况 .....	1
第二节 汽车空调系统的组成与分类 .....	4
第三节 热力学基础知识 .....	6
第四节 制冷剂与冷冻油 .....	10
习题 .....	15
<b>第二章 汽车空调制冷系统工作原理与结构</b> .....	16
第一节 汽车空调制冷系统的工作原理 .....	16
第二节 制冷压缩机 .....	17
第三节 冷凝器与蒸发器 .....	27
第四节 汽车空调其他部件 .....	31
习题 .....	36
<b>第三章 汽车空调制冷系统的温度控制</b> .....	37
第一节 恒温器控制的离合器制冷循环系统 .....	37
第二节 吸气节流阀控制的蒸发器压力制冷系统 .....	43
第三节 其他方法控制的蒸发器压力制冷系统 .....	50
习题 .....	54
<b>第四章 汽车空调通风、暖风与配气系统</b> .....	55
第一节 汽车通风与空气净化装置 .....	55
第二节 汽车空调供暖系统 .....	58
第三节 汽车空调配气系统 .....	62
习题 .....	71
<b>第五章 汽车空调系统电路</b> .....	73
第一节 汽车空调系统保护元件 .....	73
第二节 汽车空调系统运行控制装置 .....	78
第三节 汽车空调系统电路 .....	82
习题 .....	91
<b>第六章 汽车空调自动控制系统</b> .....	93
第一节 汽车空调自动控制系统工作原理 .....	93
第二节 汽车空调传感器和控制执行器件 .....	98
第三节 自动空调典型电路分析 .....	108
习题 .....	119
<b>第七章 中、大型汽车空调系统</b> .....	120
第一节 中、大型汽车空调系统的结构与工作方式 .....	120
第二节 独立空调制冷系统的结构与工作原理 .....	125
第三节 独立采暖系统的结构与工作原理 .....	127
习题 .....	130
<b>第八章 汽车空调系统的故障诊断与使用、维护</b> .....	131
第一节 汽车空调系统的使用与维护 .....	131
第二节 汽车空调系统的维修操作技能 .....	134
第三节 汽车空调故障诊断 .....	146
第四节 汽车空调系统故障分析与检修 .....	149
第五节 汽车空调系统的检验 .....	163
<b>参考文献</b> .....	166

# 第一章 汽车空调基础知识

## 学习目标

### 能力目标:

1. 能明确汽车空调的特点和组成分类。
2. 能掌握热力学知识在汽车空调上的应用。
3. 能学会使用制冷剂和冷冻油的方法。

### 知识目标:

1. 了解汽车空调的基本概念和特点。
2. 掌握汽车空调的组成和分类。
3. 了解热力学在汽车空调上应用的基本知识。
4. 掌握制冷剂和冷冻油的特性和使用方法。

## 第一节 汽车空调概况

### 一、汽车空调的基本概念

空调即空气调节,它的意义是指在封闭的空间内,对温度、湿度及空气的清洁度进行调节控制。

空调是汽车现代化标志之一,现代汽车空调的基本功能是在任何气候和行驶条件下,能改善驾驶员的工作劳动条件和提高乘员的舒适性。由于汽车空调的调节对象是车内的人,故偏重于舒适性的要求。舒适性是由人对车内的温度、湿度、空气流速、含氧量、有害气体含量、噪声、压力、气味、灰尘、细菌等参数指标的感觉和反映决定的。现代汽车空调就是将车内空间的环境调整到对人体最适宜的状态,创造良好的劳动条件和工作环境,以提高驾驶员的行车安全,同时,保护乘员的身体健康。为此,现代汽车空调系统就必须具备完善的功能,以及完成这些功能所需要的装置。这些装置既可单独使用,也可综合使用,以完成空气调节工作。

衡量汽车空调质量的指标主要有四个,即温度、湿度、流速和清洁度。

#### 1. 温度

在夏季,人感到最舒适的温度是 $22\sim 28^{\circ}\text{C}$ ,在冬季则是 $16\sim 18^{\circ}\text{C}$ 。温度低于 $14^{\circ}\text{C}$ ,人就会感觉到“冷”,温度越低,越觉得手脚动作僵硬,不能灵活操作机件。温度超过 $28^{\circ}\text{C}$ ,人就会觉得燥热,温度越高,越觉得头昏脑胀,精神集中不起来,思维迟钝,容易造成交通事故,超过 $40^{\circ}\text{C}$ ,则称为有害温度,对身体的健康会造成损害。另外,人体面部所需求的温度比足部略低,即要求“头凉足暖”,温差大约为 $2^{\circ}\text{C}$ 。

#### 2. 湿度

人觉得最舒适的相对湿度,夏季是 $50\%\sim 60\%$ ,冬季则是 $40\%\sim 50\%$ 。在这种湿度环



境中，人会觉得心情舒畅，皮肤觉得特别光滑、柔嫩。湿度过低，人的皮肤会干燥，这是由于湿度太低时，皮肤表面和衣服都较干燥，它们之间（特别是化纤衣服）摩擦产生静电的缘故；湿度过高，人会觉得发闷，这是由于人体皮肤的水分蒸发不出来，干扰了人体正常的新陈代谢过程。

### 3. 流速

人在流动的空气中比在静止的空气中要舒服，这是因为流动的空气能促进人体内外散热的缘故，所以，空气流速是汽车空气调节的重要内容之一。通常空气流速在  $0.2\text{m/s}$  以下为好，并且以低速流动为佳。

### 4. 清洁度

由于车内空间小，成员密度大，全封闭空间的空气极易产生缺氧和二氧化碳浓度过高；汽车发动机废气中的一氧化碳和道路上的粉尘、野外有刺激性的花粉都容易进入车内，造成车内空气混浊，严重时会影响乘员的身体健康。

舒适性环境参数见表 1-1。

表 1-1 舒适性环境参数

项目范围	温度/℃		相对湿度 (%)	换气量 / $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	风 速 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)	加速度 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	振动 /mm	噪声 /dB
	冬	夏								
舒适带范围	16~18	22~28	50~70	20~30	0.075~0.2	<0.03	<0.01	<3	<0.2	<45
不舒适带	0~14	30~35	15~30 90~95	5~10	<0.075 >0.3	>0.03	>0.01 5	>3	>2	>65
有害带	<0	>43	<15, >95	<5	>0.4	>10	>0.03	>4	>15	>120

## 二、汽车空调的工作特点

汽车空调是房间空调的延续。但由于汽车空调是以消耗发动机的动力来调节控制汽车内的环境的，所以，了解汽车空调特点，有利于汽车空调的使用和维护。汽车空调的主要特点如下：

1) 因汽车空调安装在运动中的车辆上，要承受剧烈和频繁的振动和冲击，所以汽车空调的各个零部件应有足够的强度和抗振能力，接头牢固并防漏。汽车空调制冷系统极容易发生制冷剂的泄漏，破坏整个空调系统的工作条件，统计表明，汽车空调因制冷剂泄漏而引起空调故障的约占全部故障的 80%，而且泄漏频率很高。

2) 空调系统所需的动力来自发动机。轿车、轻型汽车、中小型客车及工程机械，空调所需的动力和驱动汽车的动力都来自同一发动机，这种空调系统叫非独立式空调系统；对于大型客车和豪华型大中型客车，由于所需制冷量和暖气量大，一般采用专用发动机驱动制冷压缩机和设立的取暖设备，故称之为独立式空调系统。对于非独立式空调系统，会影响汽车的动力性能，但比独立式空调系统在设备成本和运行成本上都经济。汽车安装了非独立式空调后，耗油量平均增加了 10%~20%（和汽车的速度有关），发动机的输出功率减少了 10%~12%。

3) 要求汽车的制冷制热能力大，其原因在于：

① 车内乘员密度大、产生热量多、热负荷大，而冬天人体所需的热量也大。

② 汽车为了减轻自重，隔热层薄；汽车的门窗多、面积大，所以汽车隔热性能差，热量流失严重。

③ 汽车都在野外工作，直接接受太阳的热辐射、霜雪的冷、风雨的潮湿，环境恶劣，千变万化。要使汽车空调能迅速地降温，在最短的时间里达到舒适的环境，要求制冷量就特别大。非独立式空调系统，由于汽车发动机的工况变化频繁，所以，制冷系统的制冷剂流量变化大。

4) 汽车空调结构紧凑、质轻。由于汽车本身的特点，要求汽车空调结构紧凑，能在有限的空间进行安装，而且安装了空调后，不致于使汽车增重太多，影响其他性能。现代汽车空调的总重，已经比 20 世纪 60 年代下降了 50%，是原始汽车空调质量的 1/4，而制冷能力却增加了 50%。

5) 汽车空调的取暖方式与房间空调完全不同。对于非独立式汽车空调制暖，一般利用发动机的冷却水；而独立式空调系统则通常采用燃油取暖装置。

### 三、汽车空调技术的发展

汽车空调的功能是随着人们对汽车舒适性的要求不断提高，而从低级到高级，由功能简单向功能齐全方向发展的，其过程可以概括为以下五个阶段：

第一阶段：单一供暖。1925 年首先在美国出现利用汽车冷却液通过加热器的方法取暖。到 1927 年发展到具有加热器、鼓风机和空气滤清器等比较完整的供热系统。目前，在国内大部分货车上仍然使用单一供暖系统。

第二阶段：单一制冷。1939 年，由美国通用汽车公司首先在轿车上安装机械制冷降温的空调器，成为汽车空调的先驱。目前，在热带、亚热带地区，汽车空调仍然使用单一制冷系统。

第三阶段：冷暖一体化。1954 年美国通用汽车公司，首先在纳什牌轿车上安装了冷暖一体化的空调器，汽车空调才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，目前的冷暖一体化空调基本上具有降温、除湿、通风、过滤、除霜等功能。这种方式是目前使用量最大的一种形式。

第四阶段：自动控制的汽车空调。冷暖一体化汽车空调需要人工操纵，这显然增加了驾驶员的工作量，同时控制质量也不太理想。1964 年美国通用汽车公司将自动控制的汽车空调安装在凯迪拉克轿车上。这种自动空调装置使用了电子控制方法，只要预先设定好温度，机器就能自动地在设定的温度范围内工作，达到调节车内空气的目的。

第五阶段：微机控制的汽车空调。1973 年美国通用汽车公司和日本五十铃汽车公司一起联合研究微机控制的汽车空调系统，1977 年同时安装在各自生产的汽车上。随着微电子技术的发展，微机控制的汽车空调功能不断增加和完善，实现了控制显示数字化，冷、暖、通风三位一体化，故障诊断智能化。目前，高档轿车全自动空调已经与车身计算机系统组成局域网络，计算机根据车内外的环境条件，自动控制空调系统的工作，实现了空调运行与汽车运行的相关统一，极大地提高了调节效果，节约了燃料，从而提高了汽车的整体性能和最佳舒适性。

我国汽车空调工业的发展大致经历了三个阶段：第一阶段是从 20 世纪 60 年代初到 20 世纪 70 年代末，主要是利用汽车发动机排出的废气或冷却循环水产生的热量来供给车室内采暖。第二阶段是 20 世纪 80 年代初至 20 世纪 90 年代初。20 世纪 80 年代初期，我国从日本购进制冷降温用的汽车空调系统，装配在红旗、上海等小轿车和豪华大客车上；20 世纪 80 年代中后期，我国一些汽车厂从日本、德国引进先进的空调生产线和空调生产技术，生

产用于大中型客车、轻型车及轿车的空调系统。第三阶段是从 20 世纪 90 年代开始到目前。国内有一批形成生产规模的汽车空调制造企业，分别从国外引进最先进的压缩机、冷凝器和蒸发器的生产技术和生产线。同时，按照《蒙特利尔议定书》和《中国消耗臭氧层物质逐步淘汰国家方案》的要求，普及应用汽车空调制冷系统制冷剂由 R12 向 R134a 的转换。至此，我国汽车空调技术在短时间内接近了世界先进水平。

#### 四、自动空调新技术在汽车上的应用

随着人类对环境污染的重视和科技水平的提高，目前，在汽车自动空调系统采用了许多新技术，今后几年内，汽车空调将在下列方面采用新技术：

1) 系统控制向智能化、网络化发展。不仅在轿车上如此，在大客车及其他车型上也向微机智能化控制方向发展。冷、暖、通风三位一体化，控制设定、运行及故障报警实现数字显示化。由电脑根据车内、外环境温度和人工设定要求，自动控制压缩机运转、热水阀开度、风机速度、辅助发动机转速及各种风门的开闭位置，并有故障诊断和记忆功能。由于实现了智能化、网络化，不仅提高了乘员舒适性，而且节省能源，缩短故障判断时间。

2) 可变排量压缩机进一步得到发展和应用，涡旋式压缩机前景看好。涡旋式压缩机早在 19 世纪初就已开发出来，但直到 1988 年才由 Copeland 公司在家用空调器和热泵上得到实际应用，到 1993 年三电公司正式开发出适宜于汽车空调上用的涡旋式压缩机。在加工、材料等疑难问题逐步得到解决后，它的高效、节能、零部件数少等优点大受人们青睐。

3) 换热器进一步向小型化、高效能方向发展。平流式冷凝器和层叠式蒸发器将进一步发展，层叠式管片工艺与多元平流式原理在蒸发器和冷凝器上相互渗透、相互结合，出现多元流层叠式蒸发器和叠片式多元平流冷凝器。管子内肋翅更细化，壁厚和直径进一步减小，翅片的开口及凹凸形状将更精确、更科学，翅片的厚度也更薄。

4) 快速、高密封性的管口连接方式将更普及，尺寸公差要求将更严格。

5) 跨临界二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 汽车空调系统将日趋成熟。CO<sub>2</sub> 作为最早采用的制冷剂之一，在 19 世纪末就曾经应用，但由于技术原因，一直未普及。随着氯氟碳制冷剂工质对环境的危害渐渐被人们所重视，采用超临界循环的 CO<sub>2</sub> 系统以其优良的环保特性、良好的传热性质，较低的流动阻力及相当大的单位容积制冷量，重新在制冷领域受到重视。目前，美、日、欧都相继研制成功了二氧化碳汽车空调系统并装车试运行，并逐步进入二氧化碳压缩机小批量生产应用阶段。

6) 新型空调结构。除了单向制冷以外，不少汽车上已开始使用双向空调，即采用热泵系统，夏季制冷，冬季取暖（逆向工作）。由于热泵系统冬季供暖效率较低，往往需要加设一个水暖加热器，并由控制系统自动控制热泵系统的工作。当水温高时，发动机冷却液进入水暖加热器；当水温低时，自动启动压缩机工作，制冷工质逆向流动，蒸发器成了散热器。

## 第二节 汽车空调系统的组成与分类

### 一、汽车空调系统的组成

汽车安装空调系统的目的是为了调节车内空气的温度、湿度，改善车内空气的流动性，并且提高空气的清洁度。因此，汽车空调系统主要由以下几部分组成。

(1) 制冷装置（系统） 对车内空气或由外部进入车内的新鲜空气进行冷却或除湿，使车内空气变得凉爽舒适。

(2) 暖风装置 主要用于取暖，对车内空气或由外部进入车内的新鲜空气进行加热，达到取暖、除霜的目的。

(3) 通风装置 将外部新鲜空气吸进车内，起通风和换气作用。同时，通风对防止风窗玻璃起雾也起着良好作用。

(4) 加湿装置 在空气湿度较低的时候，对车内空气进行加湿，以提高车内空气的相对湿度。

(5) 空气净化装置 除去车内空气中的尘埃、臭味、烟气及有毒气体，使车内空气变得清新。

将上述全部或部分有机地组合在一起安装在汽车上，便组成了汽车空调系统。在一般的轿车和客、货车上，通常只有制冷装置、暖风装置和通风装置，在高级轿车和高级大、中客车上，除了制冷装置、暖风装置外，还有加湿装置和空气净化装置。

## 二、汽车空调系统的分类

### 1. 按功能分类

按功能可分为单一功能和组合式两种。

1) 单一功能是指冷风、暖风各自独立，自成系统，一般用于大、中型客车上。

2) 组合式是指冷、暖风合用一个鼓风机、一套操纵机构。这种结构又分为冷、暖风分别工作和冷、暖风可同时工作两种方式，多用于轿车上。

### 2. 按驱动方式分类

按驱动方式可分为非独立式汽车空调系统和独立式汽车空调系统两种。

1) 非独立式汽车空调系统 空调制冷压缩机由汽车本身的发动机驱动，汽车空调系统的制冷性能受汽车发动机工况的影响较大，工作稳定性较差。尤其是低速时制冷量不足，而在高速时制冷量过剩，并且消耗功率较大，影响发动机动力性。这种类型的汽车空调系统一般多用于制冷量相对较小的中、小型汽车上。

2) 独立式汽车空调系统 空调制冷压缩机由专用的空调发动机（也称副发动机）驱动，故汽车空调系统的制冷性能不受汽车主发动机工况的影响，工作稳定，制冷量大，但由于加装了一台发动机，不仅增加了成本，而且体积和重量也增加了。这种类型的汽车空调系统多用于大、中型客车上。

### 3. 按控制方式可分为手动、半自动和全自动（智能）空调系统三种。

(1) 手动空调系统 这类系统不具备车内温度和空气配送自动调节功能，制冷、采暖和风量的调节需要使用者按照需要调节，控制电路简单，通常使用在普及型轿车和中、大型货车上。

(2) 半自动空调系统 这类系统虽然具备车内温度和空气配送调节功能，但制冷、采暖和送风量等部分功能仍然需要使用者调节，他配有电子控制和保护电路，通常用在普及型或者部分中档轿车上。

(3) 全自动（智能）空调系统 这类系统具有自动调节和控制车内温度、风量以及空气配送方式的功能，保护系统完善，并具有故障诊断和网络通信功能，工作稳定可靠，目前广泛应用在中、高档轿车和大型豪华客车上。

### 第三节 热力学基础知识

#### 一、温度

温度是用来衡量物体冷热程度的物理量，测量温度的标尺称为温标。工程上常用的温标有：

(1) 摄氏温标 它将标准大气压下冰的熔点定为  $0^{\circ}\text{C}$ ，水的沸点定为  $100^{\circ}\text{C}$ ，两者之间均分为 100 分度，每单位分度为 1 摄氏度，表示为  $1^{\circ}\text{C}$ 。用摄氏温标标定的温度称为摄氏温度，用符号  $t$  表示，单位为  $^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 华氏温标 它将标准大气压下冰的熔点定为  $32^{\circ}\text{F}$ ，水的沸点定为  $212^{\circ}\text{F}$ ，两者之间均分为 180 分度，每单位分度为 1 华氏度，表示为  $1^{\circ}\text{F}$ 。用华氏温标标定的温度称为华氏温度。

(3) 热力学温标 热力学温标是一种绝对温标，它将水的三相点定为  $273.16\text{K}$ ，绝对温度为  $0\text{K}$ 。用热力学温标标定的温度称为热力学温度，用符号  $T$  表示，单位为  $\text{K}$ 。

三种温度的比较见表 1-2。

表 1-2 温度的比较换算

温度名称	代号	单位	换算方法
摄氏温度	$t$	$^{\circ}\text{C}$	$t = 5/9 (\theta - 32)$
华氏温度	$\theta$	$^{\circ}\text{F}$	$\theta = 9/5t + 32$
热力学温度	$T$	$\text{K}$	$T (\text{K}) = t + 273$

用于测量温度的仪表称为温度计。测试汽车空调性能常用的温度计有：压力表式温度计、热电偶温度计和热敏电阻式温度计（数字式），它们是利用蒸汽的饱和压力和饱和温度的对应关系（压力表式温度计）或某些材料的热电效应进行温度测量的。

下面介绍干球温度、湿球温度、干湿球温差、露点温度、冷凝温度、蒸发温度。

#### 1. 干球温度和湿球温度

1) 干球温度是指用干球温度计测量空气温度时，干球温度计所指示的温度，就是通常使用的温度计所测量的空气温度。

2) 湿球温度是指在稳定条件下，湿球温度计所指示的温度。如图 1-1 所示，在感温球上包上纱布，并把纱布的一端放在水槽中，靠毛细管现象把水吸上去，使感温球湿润。由于湿纱布上的水分蒸发需要吸收相应的汽化热，所以湿球温度计上的读数将要比干球温度计上的读数低一些，此时湿球温度计所指示的温度叫湿球温度。

标准湿球温度应在感温球周围有  $3 \sim 5\text{m/s}$  的风速。

#### 2. 干湿球温差

用干、湿球温度计测量未饱和空气时，干、湿球温度计所显示的温度不同，湿球温度低于干球温度，二者形成的温差叫干湿球温差，这个温差越大，表明空气越干燥，反之，空气越潮湿。

#### 3. 露点温度

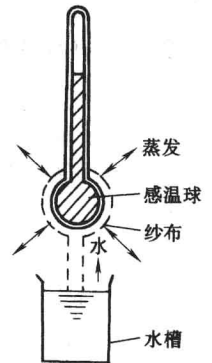


图 1-1 湿球温度的测定

将自然环境的空气冷却后，空气的湿度便降低，当湿度达到 100% 时，即干球温度和湿球温度相同时，空气中所含有的水蒸气便成为饱和状态，再进一步冷却，水蒸气便不能以其原来的状态存在下去，其中一部分凝结成露水。于是，把湿度为 100% 的温度叫做凝结成露水的温度——露点温度。

#### 4. 冷凝温度

在空调系统中，在冷凝器中制冷剂在一定高压下由气态变为液态时的温度称为冷凝温度。

#### 5. 蒸发温度

在空调系统中，在蒸发器中制冷剂低压汽化时的温度称为蒸发温度。

### 二、湿度

湿度用来表示空气的含湿程度。1m<sup>3</sup> 湿空气中所含水蒸气的质量，叫空气的绝对湿度。由于湿空气是空气和水蒸气的均匀混合物，所以绝对湿度在数值上等于水蒸气的含量，用  $r_w$  表示。

绝对湿度只能说明湿空气在某一温度下实际所含水蒸气的质量，但不能说明湿空气的吸湿能力。因此，采用湿空气的相对湿度来说明空气的潮湿程度，或说明空气接近饱和的程度。相对湿度就是湿空气中实际所含的水蒸气量与同温度下饱和湿空气所含的水蒸气量的比值，用  $\psi$  表示，即

$$\psi = \frac{r_w}{r_s} = \frac{p_w}{p_s} \times 100\%$$

式中  $r_w$ ——空气的绝对湿度；

$r_s$ ——饱和湿空气的密度；

$p_w$ ——空气中水蒸气的分压力；

$p_s$ ——饱和湿空气中的水蒸气分压力（简称饱和水蒸气压力）。

$\psi$  值越小，表示湿空气离饱和状态越远，空气较干燥，还能吸收更多的水分；反之，若  $\psi$  值越大，则表示空气越潮湿，吸收水分的能力越差。当  $\psi = 0$  时，则为干空气；当  $\psi = 100\%$  时，则为饱和空气，再也不能吸收水分了。

湿空气在状态变化过程中，由于水分蒸发，水蒸气凝结，其体积和质量会发生变化。即使湿空气中的水蒸气含量不变，由于温度变化，其体积也跟着变化，故绝对湿度也将发生变化。

### 三、压力与真空度

压力就是固体、液体或气体垂直作用于物体表面上的力。在实际应用中是以物体单位面积上所受压力——压强来表示的，常用  $p$  表示，其单位为帕斯卡，简称帕（Pa）。工程上常称压强为压力，本书也沿用此名称。

地球表面包围着一层很厚的空气层，称它为大气层，大气的重量对地球表面物体单位面积上所产生的压力称为大气压力（简称大气压）。把在地球纬度 45°、温度为 0℃ 时，大气对海平面的压力称为标准大气压，它相当于 101.325kPa。

表示压力常用的方式有绝对压力、表压力和真空度。

(1) 绝对压力 它表示实际的压力值，是把完全真空状态作为零值。

(2) 表压力 通过压力表上指示读出的压力值,称为表压力值。它是将标准大气压作为零值,在此基础上进行压力计量的结果。

(3) 真空度 低于大气压力的数值称为真空度。

上述三种压力在制冷技术领域经常应用,绝对压力是设计及查阅制冷剂特性表时使用,表压力则是在观察系统运行状况时使用,真空度则是在维修系统抽真空时使用。它们之间的关系如图 1-2 所示,用公式表示如下

$$\text{表压力 } p_{\text{表}} = \text{绝对压力 } p_{\text{绝}} - \text{大气压力 } B$$

$$\text{真空度 } p_{\text{真}} = \text{大气压力 } B - \text{绝对压力 } p_{\text{绝}}$$

#### 四、汽化与冷凝

##### 1. 汽化

物质由液态变为气态的过程称为汽化。1kg 液体转变为气体需要的热量(单位为 J 或 kJ),叫做该物质的汽化热。汽化过程有两种形式,即蒸发和沸腾。

蒸发是指在任何温度下液体表面上所发生的汽化过程,蒸发过程一般为吸热过程。沸腾是一种在液体表面和内部同时进行的汽化现象。任何一种液体只有在一定的温度下才能沸腾,沸腾时的温度称为沸点。在一定压力下,蒸发可以在任何温度下进行,而沸腾只能在一定温度下发生。制冷剂在蒸发器内吸收了热量后,由液态汽化为蒸汽,这个过程就是沸腾。

在制冷技术中,对蒸发一词通常是理解为液体的沸腾过程。

在空调制冷系统中,主要是利用制冷剂在蒸发器内的低压下,不断吸收周围空气的热量进行汽化的过程来制冷的。这种过程通常是在蒸发器中以沸腾的方式进行,但习惯上称它为蒸发过程,并把沸腾时的温度称为蒸发温度,沸腾时所保持的压力称为蒸发压力。

##### 2. 冷凝

冷凝是指气态物质经过冷却(通过空气或水等热交换方式)使其转变为液体。冷凝过程一般为放热过程。在制冷技术中,指制冷剂在冷凝器中由气态凝结为液态的过程,同时放出热量,放出的热量由冷却空气带走。

在汽车空调制冷系统中,制冷剂在冷凝器中由气态变成液态的变化过程就是一个冷凝过程。

#### 五、饱和温度和饱和压力

如果对制冷剂加热,则其中的一部分液体就会变成蒸气;反之,如果制冷剂放出热量,则其中的一部分蒸气又会变成液体(温度不变)。在这种制冷剂液体和蒸气处于共存的状态时,液体和蒸气是可以彼此转换的。处于这种状态的制冷剂蒸气叫饱和蒸气,这种状态下的制冷剂液体叫做饱和液体。汽化过程中,由饱和液体和饱和蒸气组成的混合物称为湿饱和蒸气,简称湿蒸气。饱和蒸气的温度叫做饱和温度;饱和蒸气的压力叫做饱和压力。干饱和蒸气指在容器中的液体全部蒸发成蒸气的状态。

通常所说的沸点都是指液体在一个大气压下的饱和温度。对于不同的液体,在同一压力

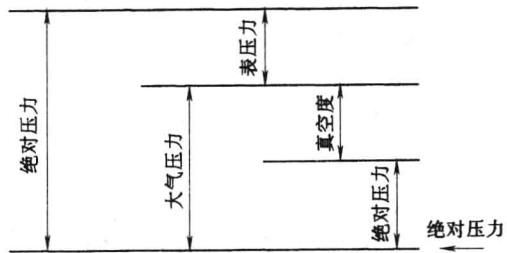


图 1-2 压力与真空度的关系

下，它的饱和温度也是不同的，见表 1-3。

表 1-3 几种液体在一个标准大气压下的正常沸点

液体名称	沸点/℃	液体名称	沸点/℃
水	100	R22	-40.8
酒精	78	R134a	-26.15
R12	-29.8	R142b	-9.25
氨	-33.4	R405a	-27.3

## 六、热量与热容

### 1. 热量

有热量出入，温度就有变化，温度变化的大小和出入的热量成比例，这种热的量叫做热量。热量的单位为焦耳（J）。

温度不同的物体接触时，热量从温度较高的物体传到温度较低的物体，或从同一物体内部温度较高的部分传到温度较低的部分，直到温度趋于一致为止。热的传递有热传导、热对流和热辐射三种形式。

(1) 热传导 在物体（固体）两点之间有温差时，热量将通过物体内部从高温点向低温点移动，这种现象就是热传导。一般说来，金属是热的良导体；而一些非金属，如木头、石棉等导热能力极差，称为绝热材料。

(2) 热对流 温度不同的流体（气体和液体）各部分之间发生相对位移，冷热流体相混使热量转移，这种热的传递方式称为热对流。冷凝器就是利用空气对流进行冷却的。

(3) 热辐射 它是指发热源直接向其周围的空间散发热量，通过辐射波将热量传递给其他物体的过程。热辐射和电波的传播很类似，其特点是热量由热源表面以光（电磁波）的形式连续发射，以光速传播，可以不依靠其他物质。

### 2. 热容

物质的温度升高 1K 所需要的热量称为热容。比热容大的物体有不易热和不易冷的性质。

热容的单位为 J/K，比热容的单位为 J/(kg·K)。单位质量的物质温度升高 1K 所需的热量称为比热容。

## 七、显热与潜热

物体受热，温度就会上升，温度上升到一定程度物体状态就会发生变化。冰加热后融化成水（固体→液体）；水加热，温度上升到 100℃ 开始沸腾汽化（液体→气体），这时即使继续加热，温度也不再升高。在水未达到 100℃ 之前，所加的热能使温度上升，这种热能感觉出来，称之为显热，能用温度计测出。达到 100℃ 以后，继续加热，用于使液体变成气体发生状态变化，这种热叫做潜热，是不能用温度计测出的，如图 1-3 所示。

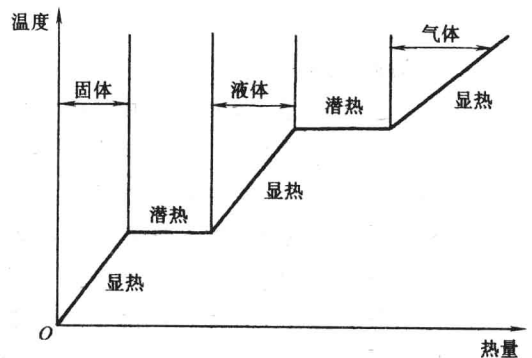


图 1-3 显热与潜热



潜热按物体状态变化不同，可分为以下几种：

液化潜热：从气体变成液体时放出的热叫做液化潜热。

凝固潜热：从液体变成固体时放出的热叫做凝固潜热。

熔化潜热：从固体变成液体时吸收的热叫做熔化潜热。

蒸发潜热：从液体变成气体时吸收的热叫做蒸发潜热。

升华潜热：从固体变成气体时吸收的热叫做升华潜热。

## 八、节流

在流体通路中，通道突然缩小，液体压力便下降，如果此时产生气体，则总体积还要增大。这种变化只是状态的变化，与外界没有热和功的交换，因此流体的热量不变，这种状态变化称为节流，如图 1-4 所示。

在空调制冷系统中，制冷剂在膨胀阀中的状态变化就是节流过程。制冷剂被膨胀阀节流后，如果压力下降得比饱和压力还低，部分液体将变成饱和蒸汽，体积急剧增大。

这时的蒸发热是由液体本身供给的，所以液体温度下降较大。

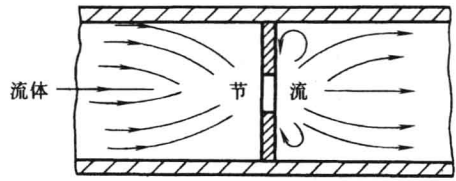


图 1-4 节流示意图

## 九、制冷能力与制冷负荷

### 1. 制冷能力

制冷机就是把热量不断地从低温物体转移给高温物体的装置。制冷能力的大小是以单位时间内所能转移的热量来表示的，单位为 J/h。

### 2. 制冷负荷

为了把汽车内部的温度和湿度保持在一定的范围内，必须将来自车外太阳的辐射热和车室内人体散发出的热量排除到大气中去。这两种热量的总和就叫做制冷负荷。

由于汽车制冷负荷受到车身形状及外界大气温度、湿度、车速等客观条件和乘员数量的影响，所以，汽车空调系统的制冷负荷较大。

## 第四节 制冷剂与冷冻油

### 一、制冷剂的定义

在制冷系统中用于转换热量并且循环流动的物质称为制冷剂。

汽车空调是利用蒸汽气压缩制冷装置驱动其循环流动实现制冷的。液体制冷剂在蒸发器中低温下吸取被冷却对象的热量而汽化，使被冷却对象得到降温。然后，又在高温下把热量传给周围介质而冷凝成液体。如此不断循环，借助于制冷剂的状态变化，达到制冷目的。

目前汽车空调系统使用的制冷剂，通常有 R12、R134a，英文字母 R 是 Refrigerant（制冷剂）的简称，其数字代号使用的是美国制冷工程师协会（ASRE）编制的代号系统。

制冷剂的种类很多，理论上只要能进行气液两相转换的物质，均可作为蒸发制冷系统的制冷剂。但寻找制冷效率高，且对环境没有污染的制冷剂却很困难，目前使用的 R134a 只是 R12 的替代品，其排放物产生的温室效应仍然对环境有较大的危害。