

实用汽车空调技术

王运朋 编



广东科技出版社

实用汽车空调技术

王运朋 编

广东科技出版社

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了汽车空调的原理、结构、使用和检修技术。内容包括汽车空调的基础理论；冷气系统的分类、原理及部件构造；采暖系统；空气调节和分配系统；汽车空调的电路控制和真空控制；各类汽车空调的修理技术和性能检测技术等。书中还专门介绍了近年新型汽车电脑控制空调系统的使用与检修技术。本书图文并茂，叙述深入浅出，基本原理与操作技术紧密结合，有较强的实用性和可读性。

本书可作为汽车专业、制冷专业、空调专业和交通、机电类相关专业的教学参考书，同时适于工程技术人员、汽车空调检修人员以及广大汽车驾驶员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

实用汽车空调技术 / 王运朋编
— 广州：广东科技出版社，1995. 2.

ISBN 7-5359-1362-8

I. 实……

II. 王……

III. 空气调节设备—汽车, 技术

IV. U270.38

出版发行：广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号)

E-mail: gdkjwb@ns.guangzhou.gb.com.cn

出版人：黄达全

经 销：广东省新华书店

印 刷：广州番禺市印刷厂

规 格：787mm×1092mm 1/16 印张 25.5 字数 615 千字

版 次：1995 年 2 月 第 1 版

1999 年 4 月 第 3 次印刷

印 数：20 301 ~ 25 000 册

定 价：28.00 元

前 言

我国汽车工业正以国民经济的支柱产业高速发展着。作为汽车技术现代化标志之一的汽车空调技术，在我国也得到蓬勃发展。从事汽车制造和维修技术工作的工程技术人员，汽车驾驶员以及汽车、制冷专业的在校学生，迫切希望有一本全面、系统、准确介绍汽车空调技术方面的专著，从中获得有用的知识，指导自己学习和实践。本书是根据作者多年从事汽车空调技术的教学工作和科研实践，结合近年来国内外有关文献资料，编撰而成。

汽车空调技术涉及到物理学、化学、工程热力学、材料学、机械学、电子学和汽车方面的专业知识。在大学高年级里，引进本课程是合适的，因为学生已经学过基础学科和技术基础学科，只要引进的教材概念严谨、条理清楚，学生就可以在较短的时间里获得全面的知识。因此他们利用本专著时，可以不理睬基础知识而直接进入汽车空调技术领域，而且可以不理睬修理和保养的具体条例。因为这些实践的知识到毕业后参加实践时再来学也还不晚。

对于从事实际工作者，情况就比较复杂。因为汽车空调技术是近年来兴起的，对于工作多年的工程师们可能要全面了解本学科的理论基础，以及为自己的工作经验作一个总结，或者要开展一项新的设计。本书可以为他们提供方便，提供钥匙。

对于从事实际工作的人员，在他们未获得必要的基础知识时，本书为他们自学汽车空调技术提供了最快捷的途径和最经济的工具。他们可以花上一点时间，对照过去的实践，结合本书提示的理论和实践指南，达到事半功倍的效果。

作者编撰本书的目的，正是为了满足上述两种人员对汽车空调技术的要求。

限于作者的水平，书中难免有不完善的地方，恳望读者和专家批评指正。作者也借此前言，向为本书提供资料的厂家及有关人员表示感谢。

编者

1994年5月于广州广东工学院

目 录

第一章 汽车空调技术概况	(1)
第一节 汽车空调的功能	(1)
第二节 汽车空调的重要性	(2)
第三节 汽车空调的特点	(4)
第四节 汽车空调技术的发展和现状	(5)
第二章 汽车空调的制冷减湿基本原理	(7)
第一节 热力学基本知识	(7)
第二节 制冷循环的热力过程	(18)
第三节 压焓图 $\lg P-h$	(22)
第四节 汽车空调制冷系统的热力循环和热力计算	(25)
第五节 制冷剂及润滑油	(31)
第六节 空气调节时的状态变化	(36)
第七节 汽车空调运行工况及特性	(44)
第三章 汽车空调制冷系统构造	(50)
第一节 制冷压缩机总论	(50)
第二节 往复式活塞式压缩机	(52)
第三节 旋转式压缩机	(71)
第四节 汽车空调压缩机的发展趋势	(92)
第五节 电磁离合器	(96)
第六节 储液干燥器	(97)
第七节 热交换器	(100)
第八节 节流膨胀阀	(103)
第四章 汽车空调制冷系统的分类	(105)
第一节 离合器循环控制的制冷系统	(105)
第二节 蒸发器压力控制的制冷系统	(120)
第三节 大型客车的制冷系统	(136)
第四节 红旗牌轿车和桑塔纳轿车的制冷系统	(146)
第五节 制冷系统的比较和发展趋势	(149)
第六节 空气循环的制冷系统	(151)
第五章 汽车空调取暖系统	(155)
第一节 余热式取暖系统	(155)
第二节 独立热源取暖系统	(164)
第六章 汽车空调的通风和调节系统	(168)
第一节 汽车空调通风系统	(168)
第二节 汽车空调的配气	(170)

第三节	手动调节的汽车空调系统	(173)
第四节	电控气动的自动空调系统	(196)
第五节	全自动的汽车空调系统	(204)
第六节	微型计算机控制的汽车空调系统	(209)
第七节	大、中型客车的空调系统	(214)
第八节	货车和工程车上的空调系统	(227)
第九节	冷藏汽车	(231)
第十节	空气的净化处理	(239)
第七章	汽车空调的保护和控制装置	(244)
第一节	制冷系统的安全保护	(244)
第二节	独立空调系统的操纵和保护装置	(249)
第三节	汽车运行工况与空调系统运行工况之间关系的控制	(256)
第四节	汽车空调电路	(262)
第八章	汽车空调维修保养技术	(271)
第一节	汽车空调定期保养技术	(271)
第二节	汽车空调常见故障和排除	(279)
第三节	检修工具和检修方法	(284)
第四节	制冷系统的制冷剂放卸、抽真空、充注冷冻油和制冷剂	(292)
第五节	轿车空调修理工艺	(307)
第六节	汽车空调零部件的检修	(320)
第七节	大型客车独立空调的检修	(331)
第八节	独立空调零部件的维修	(340)
第九节	计算机控制的高级轿车空调的维修	(349)
第九章	汽车空调系统质量评定	(365)
第一节	汽车空调出厂前的外观检查	(365)
第二节	汽车空调出厂前的性能测试	(366)
第三节	汽车用水暖式暖风装置的测试	(375)
第四节	汽车空调路试时产品质量评定方法	(377)
附录 1	R_{12} 饱和状态下的热力性质	(388)
附录 2	R_{134a} 饱和状态下的热力性质	(393)
附录 3	湿空气的密度、水蒸气压力、含湿量和焓	(396)
附录 4	压力单位的换算	(398)
附录 5	功、热量、能量单位的换算	(399)
附录 6	功率单位的换算	(400)
	主要参考书目	(401)

第一章 汽车空调技术概况

第一节 汽车空调的功能

汽车空调,就是一一年四季对车厢内或驾驶室内空气的温度、湿度、流速、清洁度、噪音等参数进行调节,控制在舒适的标准范围之内技术。汽车空调是空气调节工程重要的分支之一,其工业产值仅次于房间空调而居第二位。

夏天,只要求降低某一空间温度,叫做降温,例如夏天的房间空调空气内循环。冬天只要求提高某一空间的温度叫供热,例如暖气取暖。只要求降低某一空间的湿度,叫除湿,例如春夏之交的除湿机。用清新的空气流动的方式来消除空气中的灰尘和有害物质,叫做通风。有些空间,例如体育馆、音乐厅、录音室,不仅对温度、湿度有一定的要求,还要求对噪声、净化、风速等都有一定的要求。汽车空调技术是包括降温、供热、除湿、通风、净化、调风速、防噪声等方面的技术,是空气调节中要求功能最全面的空调技术。

现代汽车空调的基本功能是改善驾驶员的工作劳动条件和提高乘员的舒适性。所以,汽车空调不仅具有生产性空调的性质,而且具有舒适性空调的性质。

生产性空调是为了满足产品生产过程的要求对生产空间的环境进行调节,生产过程得以正常进行。舒适性空调是为了满足人们在活动时对环境条件的要求。生产性空调和舒适性空调根据调节对象的不同,对空调的要求也不同。汽车空调的调节对象都是车内的人,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受和反映决定的。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,以提高司机的劳动生产率和行车安全。创造良好的车内环境,保护乘员的身体健康,利于乘员旅游观光,学习或者休息。舒适性指标见表 1-1。

在汽车空调指标中,最重要的指标是温度。人感到最舒服的温度是 20~28℃。温度超过 28℃,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,容易造成事故;超过 40℃,则称为有害温度,对身体的健康造成损害。温度低于 14℃,人就会感觉到“冷”,温度越低,越觉得手脚动作僵硬,不能灵活操作机器;当温度下降到 0℃时,会产生冻伤。汽车是运动的房间,经历着地球上最恶劣的环境下使用。例如在炎热的南方,汽车在太阳底下停留 60 分钟,车内平均温度高达 60℃,而车顶内表面高达 90℃,整辆汽车像蒸笼。即使在公路上正常行驶,车内的温度也高达 40℃以上。这时司机最容易疲劳和分散精力,而造成事故。冬天,汽车的保温性能是很差的,故车内外的温度往往差不了 5~6℃。汽车运动,引起车内空气的流动,使人觉得更冷;而车内空间狭小,人在座位上脚部的血液循环不畅,身体下部会觉得更冷,使人难于忍受。汽车空调可使夏天车内温度保持在 25℃左右,而冬天在 18℃以上,保障了司机的正常操作,防止事故发生,也保证乘员在舒适的温度下旅行。

表 1-1 汽车空调环境参数

项目 范围	温度 (°C)		相对湿度 (%)	换气量 (m ³ /l·h)	风速 (m/s)	CO ₂ 含量 (%)	CO 含量 (%)	减速度 (m/s ²)	振动 (mm)	噪声 (dB)
	冬	夏								
舒适带	16~18	22~28	50~70	20~30	0.2	<0.03	<0.01	<3	<0.2	<45
不舒适带	0~14	30~35	15~30, 90~95	5~10	<0.75, >0.3	>0.03	>0.015	>3	>0.4	>65
有害带	<0	>43	<15, >95	<5	>0.4	>10	>0.03	>4	>15	>120

汽车空调的第二个指标是湿度。湿度的指标是用相对湿度来表示。人觉得最舒适的相对湿度在 50%~70%。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。湿度过高,人会觉得闷,这是由于人体皮肤的水分不能蒸发,干扰了人的正常新陈代谢过程。例如,天快要下雨时,由于空气湿度太大,人会觉得闷热,情绪不稳。在温度为 24°C,相对湿度 100%时,人们会感到不如 32°C,相对湿度 50%时舒适。相反,环境的湿度太小,人的皮肤会痒。这是由于湿度太小,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。冬天,气候干燥,皮肤缺水而干裂(不是冻裂)。所以汽车空调要求车内的湿度参数控制在 50%~70%的范围内。

汽车空调的第三个指标是空气的清新鲜度。由于车内空间小,乘员密度大,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、野外有毒的花粉都容易进入室内,造成车内空气闷浊,严重影响乘员的身体健康。汽车空调必须具有补充足够新鲜空气的功能,必须具有对车内的空气过滤吸附功能,以保证车内空气的清新鲜度。

汽车空调的特殊要求是具有除霜(除雾)功能。这是由于汽车空调车内和外界温度相差太大时,在玻璃上出现雾或霜,影响司机的视线。汽车空调还要求操作简单、容易、稳定,保证不增加司机的劳动强度,不影响司机的正常驾驶。

可以根据图 1-1 列出舒适和不舒适环境的 10 个项目参数,可供参考。

试验表明,人在夏天和冬天的舒适参数有区别。而且在相同的情况下,人会感觉到头热足寒,这说明身体各部分感觉的舒适温度是不同的,试验表明,头部的舒适温度比足部的要低 1.5°C~2°C 为宜。所以现代汽车空调都希望有上凉、下热的环境,来适应人各部分对舒适环境的要求。

第二节 汽车空调的重要性

1886 年,德国的戈特利布·戴姆勒和卡尔·本茨各自于同年发明了汽车以后的 100 多年来,汽车工业经过汽车技术,生产方式的几次大飞跃,已经成为人类文明的基本要素和国民经济的支柱产业。当今世界,汽车工业的迅速发展和汽车保有量的高速增长,极大程度上为人类活动提供了方便。由于汽车工业的固有特点和科学技术的不断进步,汽车工业出现了技术集约化,生产集中化,市场国际化,组织集团化的趋势。全球的市场竞争空前激烈。而市场竞争的实质,就是汽车技术的竞争。汽车空调技术,是提高汽车

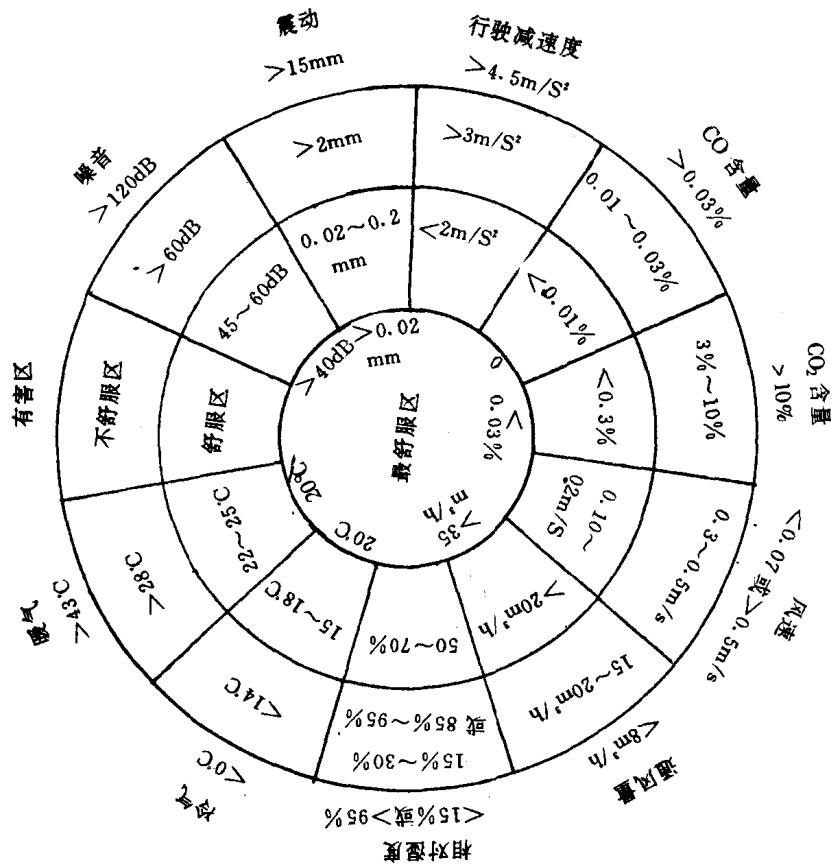


图 1-1 舒适环境示意图

市场竞争力的重要手段。

目前，汽车空调不仅作为改善工作条件，提高工作效率，提高汽车安全性的重要手段，更主要目的是提高汽车等级，提高市场竞争力。汽车空调，是汽车现代化的重要标志之一。

现在世界的轿车和轻型汽车，几乎百分之百装上汽车空调。越高级的汽车，汽车空调的性能越自动化。可以说，没有汽车空调，就没有现代化的轿车市场和轻型汽车的市场。因为再也没有顾客会愿意购买没有空调设备的轿车和轻型汽车。

汽车空调，也极大地促进了汽车运输的发展。从某种意义上来说，现代工业文明，就是把更多的人和物以更快、更省、更全面的方法和方式投入到空间运动中。空中运输，只能是从点到点，而铁路和水运，只能作为线上运输。唯有汽车运输，可以全方位地，方便、安全、可靠、快捷地把整个社会连接起来。然而汽车运输要成为主流的运输方式，必须提供强有力的技术手段为前提。汽车空调技术就是提供这种技术之一。

有了汽车空调，才能全天舒适地将乘员长途运送，也才有现代的旅游事业，才有数千公里跨省、跨地区的长途汽车客运事业。

有了汽车空调，才能将活鲜的农副产品进行长途贩运，农业商品的国际化贸易才能加速扩大。所以说，汽车空调是农业商品化生产的重要技术保障之一。

汽车空调能极大提高汽车的安全性能。汽车空调本身不能提高安全性。但是汽车安装了空调后，实现了“头凉脚暖”，驾驶汽车的司机能头脑冷静，精神集中，手脚灵活。

特别是炎热的夏天，能极大减少司机的劳动疲劳，降低交通事故的发生。根据统计资料，汽车安装空调后，交通事故可以降低 12%~15%，而劳动生产率可以提高 20%~25%。

1988 年以后生产的轿车，已经百分之百装有空调设备，其他类型的汽车安装空调设备的，也占 80%。而且像挖掘机、筑路机、装载机一类工程机械和坦克等军用车辆也安装空调器。空调器正在成为车辆不可缺少的重要车辆附件。

第三节 汽车空调的特点

汽车空调，是房间空调的延续；反过来，房间的分立式空调，又是汽车空调的延续。汽车空调是以消耗发动机的动力来调节控制车辆内的环境为目的。了解汽车空调特点，有利于认识汽车空调的使用和维修。与房间空调相比较，汽车空调主要有如下特点：

(1) 汽车空调安装在运动中车辆上，承受剧烈和频繁的振动和冲击。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。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，甚至破坏制冷系统的部件，如压缩机。所以，各部件的连接要牢固，要经常检查系统内制冷剂的量。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独立的取暖设备，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 10%~20%（和汽车的速度有关）。发动机的输出功率减少 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，霜雪的冷，风雨的潮湿，环境险恶，千变万化。要使汽车空调能迅速的降温，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。例如，汽车在高速运动时，发动机的转速高达 6 000rpm，而在怠速时，才 600~700rpm，两者相差 10 倍之多。这导致压缩机输送的制冷剂量变化大。制冷剂流量变化大，导致汽车空调设计困难，制冷效果不佳，而且会引起压力过高或者压缩机的液击现象，发生事故。因此，汽车空调制冷系统比房间空调复杂得多。

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 60 年代下降了 50%，是原始汽车空调质量的 1/4，而制冷能力却比 60 年代增加 50%。

汽车空调的制暖方式和房间空调的完全不同。对于非独立式汽车空调制暖一般利用发动机的冷却水，而房间空调则是利用一个电磁阀，改变制冷剂的流向，使蒸发器和冷

凝器功能互相对换。独立式空调系统则采用独立取暖燃烧器。

近年来，我国有些小型汽车制造厂生产的某些轻型汽车，利用上述的房间窗式空调器的制热原理，利用压缩机压缩制冷剂产生的热量来制热，达到冬天车内取暖的目的，这是一个非常错误的设计方案。

虽然这一设计在空调系统投资上下降了一些，但这种下降不到整车成本的0.1%，而运行成本却大大增加了。首先，耗油量增加；其次发动机负荷增加，容易磨损，寿命一般要下降5%~8%；更主要的，不能真正达到调节、控制车内温度和湿度的目的，即不是完全的汽车空调，同时也容易发生事故。因为汽车空调制冷系统制冷剂的压力，有时高达1.6MPa，而蒸发器的铜管管壁的冷凝器薄。如果蒸发器里的铜管因震动、冲击、腐蚀、强度减弱，则高压制冷剂蒸气有可能涨破蒸发器铜管，通过空调送风到车内，使车内乘员发生生命危险。

第四节 汽车空调技术的发展和现状

汽车空调技术是随着汽车的普及而发展起来的。和事物发展由低级到高级的规律一样，汽车空调技术的发展史也是由低级到高级，由功能简单到多功能发展，其发展可以概括为五个阶段。

第一阶段：单一取暖，即利用房间取暖的方法。1925年首先在美国出现利用汽车冷却水通过加热器取暖的方法。到1927年发展到具有加热器、风机和空气滤清器比较完整的供热系统。这种供热系统直到1948年才在欧洲出现。而日本到1954年开始使用加热器取暖。目前，在寒冷的北欧、亚洲北部地区，汽车空调仍然使用单一供热系统。

第二阶段：单一冷气。1939年，由美国通用汽车帕克公司(Packard)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。由于二次世界大战而阻碍了其发展。战后的美国经济迅速发展，特别是1950年美国石油产地，西南部的德克萨斯州的炎热天气，急需大量的冷气车，使单一降温的空调汽车得以迅速发展起来。欧洲、日本到1957年才加装这种单一冷气的轿车。单一降温的方法目前仍然在热带、亚热带地区使用。例如，广东、海南岛使用的空调出租汽车，大部分只有制冷降温功能。

第三阶段：冷暖一体化。1954年通用汽车公司，首先在纳什(Nash)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，目前的冷热一体空调基本上具有降温、除湿、通风、过滤、除霜等功能。这种方式目前仍然在大量的经济汽车上使用，是目前使用量最大的一种方式。

第四阶段：自动控制的汽车空调。冷暖一体汽车空调需要人工操纵，这显然增加了驾驶人员的工作量。同时控制质量也不大理想。自从冷暖一体化出现后，通用公司就着手研究自动控制的汽车空调，并于1964年首先安装在凯迪拉克(cadillac)牌轿车上，紧接着通用、福特，克莱斯勒三大汽车公司竞相在各自的高级轿车上安装自动空调。日本、欧洲直到1972年才在高级的轿车上装上自动空调。例如目前的高级皇冠牌、世纪牌、总统牌、德国的奔驰牌、奥迪牌等。

这种自动空调装置，只要预先调好温度，机器就能自动的在调定的温度范围内工作。机器根据传感器检测到车内、车外环境的温度信息，自动地指挥空调器各部件工作，达到控制车内温度和其他功能的目的。目前，大部分的中、高级轿车，高级大巴，都安装

自动空调。

第五阶段：微型计算机控制。1973年美国通用汽车公司和日本五十铃汽车公司（后合并到三菱集团）一起联合研究微机控制的汽车空调系统，1977年同时安装在各自的汽车上，将汽车空调技术推到一个新的高度。微机控制的汽车空调功能增加，显示数字化，冷、暖、通风三位一体化。由电脑按照车内外的环境所需，实现微调。通过电脑控制，实现了空调运行与汽车运行的相关统一，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的舒适性。

目前微机控制的空调都装在高级汽车上，例如通用的骑士牌、福特公司的林肯、马克牌，丰田汽车的凌志（LEXUS），本田的雅阁、奔驰—500，三菱大客车 BS712D 型等。

汽车工业是国民经济的支柱产业，也逐渐成为我国的支柱产业之一。由于历史原因，我国的汽车工业主要发展载货汽车，所以汽车空调技术一直处于空白状态。在 60 年代，曾经有利用汽车发动机排气的废气温度来取暖的供热系统，并在 60、70 年代生产的北京吉普车和北方的一些长途客车上应用。东风牌汽车则应用水暖式供热。80 年代初期，我国从日本购进降温用汽车制冷系统，装在我国生产的红旗、上海、伏尔加等小轿车上，发展成单一的降温汽车空调。现在自动空调，微机控制的空调已经应用在高级轿车和豪华大客车上。特别是 80 年代中后期，我国第一汽车制造厂以及上海、北京、湖南、广州、佛山等分别从日本、德国引进先进的空调生产线和空调技术，使我国的汽车空调接近世界先进水平，为发展我国的汽车空调打下了良好的坚实的基础。但是我国汽车空调技术的研究、开发目前仍然处于落后状态，应该引起各方面的重视。

第二章 汽车空调的制冷减湿基本原理

第一节 热力学基本知识

在汽车空调中，制冷剂在制冷系统中的各种状态变化，例如温度的升降，压力的增减，吸热和放热，以及空气的减湿，有害气体的吸附等等，都是热力学研究的对象。所以汽车空调的基本理论是热力学。为了深入认识汽车空调技术，必须具备一些最基本的热力学知识。

一、热力学第一定律

热力学第一定律是热力学的基本定律。实质上它就是普遍的能量守恒和能量转换定律应用于热领域的一种表达形式。它阐明了热能和其他能量的转换中的守恒原理。它说明：自然界物质所具有的能量，既不能创造，也不能消灭，只能从一种能量形态转变为另一种能量形态，而且转换中能量的总量保持不变。

在各种能量转换中，热能和机械能的转换是最引人关注的。例如各种动力机械，其驱动力大部分都直接或间接来自热能。在热领域，热力学第一定律可以这样表述：热能作为一种能量形态，可以和其他能量形态互相转换，转换中能量的总量不变。热能，例如内燃机，都必须利用燃料燃烧所产生的热能来转换成机械能。

汽车空调中的制冷系统，是一种能量转换装置。用它来实现从温度较低物体拿出“热能”而释放到温度较高的环境中去，从而使物体的温度降低到环境温度以下并维持较低的温度。向高温环境释放的热量，是由外界对制冷系统输入机械功转换来的。其过程见图 2-1。

根据热力学第一定律，制冷过程能量转换的总能量不变，即：

$$q_H = q_C + W \dots\dots (2-1)$$

q_H —向高温环境所释放的热量 (kJ)

q_C —从低温物体吸收的热量 (kJ)

W —外界向制冷系统输入的机械功 (kJ)

式(图 2-1)就是热力学第一定律在汽车空调制冷中的能量转换表达式。从式中可知，任何制冷方式都需要消耗机械功。

二、热力学第二定律

日常生活中知道，水只能自发从高处流向低处，自然界的热量，也只能从高温物体自发地传递到低温物体。针对热量传递的方向性问题，热力学第二定律指出：热量只能自发地从高温的物体转移到温度低的物体；热量从冷物体转移到热物体，必须消耗其他形式的能量。制冷系统中，冷物体的热量不能自发地向温度高的环境放热，必须利用制

冷机实现由低温物体向高温物体的热量传递，必须消耗制冷机的机械功，以此作为由低温向高温传递热量的补偿。

如果把自发地实现的过程称为自发过程，则把其逆向过程称为非自发过程。经验表明，非自发过程不能自发地实现。利用热机或制冷机或者其他方法，使非自发过程得以实现，这时总是需要另一种自发过程伴随进行，以作为实现非自发过程的一种补偿。例如汽车空调的制冷中，将低温的车室内的热量转移到高温的车室外，是一种非自发过程，只有通过压缩机对制冷系统做功，消耗了机械功，才能使这一非自发过程得以实现。压缩机做功，使制冷剂变成高温高压状态，则这时就可以自发地将系统内的热量传递给车外，以作为其对非自发的压缩过程的补偿。同时高压状态又可以自发地向低压处膨胀。

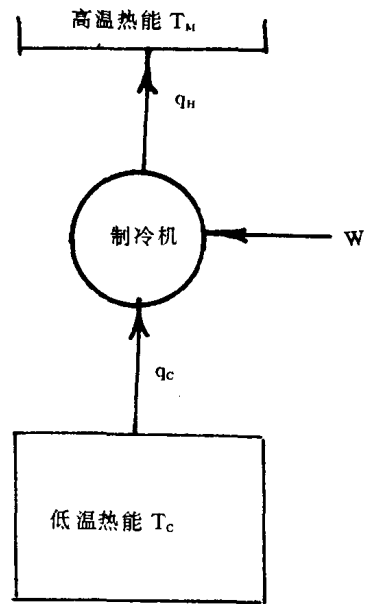


图 2-1 制冷机的能量转换关系

所以，汽车空调的基本理论，完全是以热力学定律为基础。我们知道，热力学第二定律还总结出这样一个事实：热机中的燃烧热量不可能全部转变为机械功，总要有一部分热量放出给温度较低的环境。即有卡诺循环的热机效率公式：

$$\eta = 1 - \frac{q_2}{q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1} \dots\dots (2-2)$$

q_1 —高温热源的热量

T_1 —高温热源的温度

q_2 —低温热源的热量

T_2 —低温热源的温度

转变为机械功的，叫做可用热量，用 q_w 表示；传递给低温热源的，叫不可用热量。所以，热机的效率也可以这样表示：

$$\eta = \frac{q_w}{Q} \dots\dots (2-3)$$

Q —热机接受的总热量

根据热力学第二定律， $q_w < Q$ ，因此热效率永远达不到 100% 的水平。

同样，制冷机在消耗了机械功的同时，将低温的热量转移到高温，这个热量叫做制冷量，用 q_c 表示。那么制冷机的热效率 ϵ 可表示为：

$$\epsilon = \frac{\text{制冷量}}{\text{消耗的机械功}} = \frac{q_c}{W} \dots\dots (2-4)$$

冷机的热效率称为制冷系数，它是制冷机工作优劣的一个重要技术指标，请注意， ϵ 是可以达到 1，甚至大于 1，但是不能无穷大。若无穷大，则 $W \rightarrow 0$ ，根据热力学第二定律，不消耗机械功的制冷循环是不存在的。

三、空调中常用的热力学状态参数

在热力工程中，用来实现能量转换的物质叫做工质。制冷机是用氟里昂、氨、水等作为制冷工质。在实现制冷能量转换过程中，工质的状态总是在发生不断的变化，例如，从液态变为气态，由高温到低温，由低压到高压等等。但是在转换过程的某一瞬间，工质又具有一定的状态。决定工质状态的物理量，叫做工质的状态参数。

最基本的状态参数有温度、压力、容积。此外还有热力学参数，如：焓、熵、内能。状态参数的最大特点是不仅它们可以被测量，而且其值只与工质所在系统的初始状态和最终状态有关（简称始态和终态），而与工质变化的途径无关。例如：系统内的工质由状态1 (P_1, V_1, T_1) 变化到状态3 (P_3, T_3, V_3)，其变化途径可以从状态1直接变到状态3，也可以从状态1变到状态2，再变化到状态3。这两种途径变化的最终状态参数 P_3, V_3, T_3 ，其值是一样的，如图2-2。

1. 压力

气体分子总是充满着容器，大量分子撞击容器壁的结果，就形成了气体对容器壁的压力。压力就是单位面积上所受的垂直力。工程上压力以 P 表示，单位是帕斯卡 (Pa)。其定义是每平方米的平面上承受 1 牛顿的力。压力的单位还有 KPa 和 MPa 等。

$$1\text{MPa} = 10^3\text{Kpa} = 10^6\text{Pa}$$

地球表面包围着一层厚厚的大气层，大气的重量对地球表面的物体产生压力，称为大气压力，简称大气压。大气压随着地球的环境变化而变化。海平面的大气在 20℃ 时的压力称为标准大气压，用 P_0 表示。

$$1P_0 = 101\ 325\text{Pa} \approx 0.101\text{MPa}$$

工程上还使用一些旧的单位，这些单位是公斤力/厘米² (kgf/cm^2)、毫米汞柱 ($\text{mm} \cdot \text{Hg}$)、巴 (bar)。在空调的许多文献资料中，还经常出现英制压力单位 PSI， $1\text{PSI} = 1$ 磅/平方英寸。

压力通常用压力表测定。压力表都处在大气压作用下，所以其构造原理均建立在压力平衡的基础上，这种表压力都等于容器的真实压力和大气压力之和。

$$P = P_0 + P_g \quad \dots\dots\dots (2-5) \quad (P_g > P_0 \text{ 时})$$

P —真实压力

P_g —表压力

真实压力也叫绝对压力。

当容器的压力小于大气压时，则该容器处于真空状态，简称真空。这时，用小于 0 的真空压力表来测量，表压力称为真空度，用 P_v 表示；被测介质的实际压力叫真空压力。真

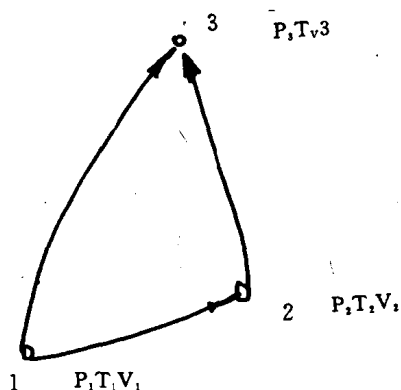


图 2-2 工质状态变化与途径无关

空压力的大小：

$$P = P_0 - P_v \quad \dots\dots\dots (2-6) \quad (\text{当 } P_0 > P_v \text{ 时})$$

从上面的表达式看出，表压力 P_g 或真空度都是相对值，只有绝对压力才是一个真正说明工质状态的热力参数；而且，真空度是一个负值的压力值，使用起来很麻烦。所以，在工程计算中，以及本书以后所提到的压力值，除有特别的说明，介绍到压力的概念都是指绝对压力。

绝对压力、大气压力、表压力、真空度之间的关系见图 2-3 所示。

2. 温度

温度是衡量物体和系统冷热的尺度，同时用以确定热量传递的方向。当甲物体的温度 T_1 高于乙物体的温度 T_2 ，则热量将由甲物体转移到乙物体。如果两物体温度相等，两者不发生热量的宏观转移而处于平衡状态。

温度以 T 表示。其单位是指热力学温标，又叫绝对温标，绝对温标单位以 k 表示。

工程上一般用摄氏温标表示温度。摄氏温度规定在 1 个标准大气压下，水的三相共存点温度为 0°C ，水的沸点为 100°C ，以此分为 100 等份，每一等份为 1°C 。并用 t 表示。绝对温标与摄氏温标的关系为：

$$T (k) = t (^\circ\text{C}) + 273.15 (K) \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

在工程上还经常用英制的华氏温标，用符号 $^\circ\text{F}$ 来表示。华氏温标规定水在一个标准大气压下，三相共存的温度为 32°F ，水的沸点为 212°F ，将它们之间的温差分为 180 等份。所以华氏温标和摄氏温标的关系为：

$$1^\circ\text{C} = \frac{5}{9} (^\circ\text{F} - 32) \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

3. 比容

工程热力学中，单位质量的物体所占的容积称为比容，用小写字母 v 表示，单位为 m^3/kg 。常用大写字母 V 表示容积，单位为 m^3 。若以 G 表示物体的质量，则比容为：

$$v = \frac{V}{G} \quad (\text{m}^3/\text{kg}) \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

比容的倒数是密度，即单位容积物体的质量，用 ρ 表示。

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{G}{V} \quad (\text{kg}/\text{m}^3) \quad \dots\dots\dots (2-10)$$

4. 热量和热流

按分子运动学说，物体的温度是分子平均移动动能的量度，故温度不同，其分子运

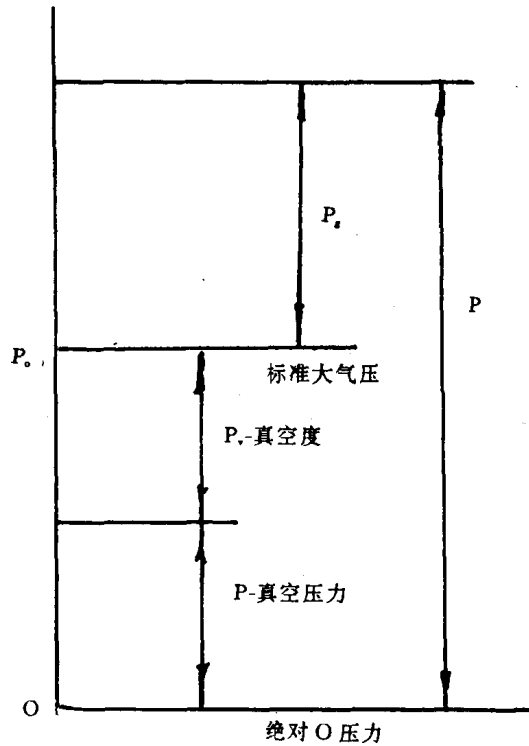


图 2-3 大气压、表压、绝对压力的关系

动的平均动能也不同。当两个温度不同物体接触时，其分子互相碰撞而传递能量。这种能量的传递叫做热流。而每个物体的分子运动即分子热运动所具有的能量，叫做热量。可见热量是一种能，是一种物质内部的能，简称内能。

热量的单位采用焦耳 (J)。工程上常用卡路里 (cal)，还有千卡 (kcal)，同样有 kJ。

热流是单位时间传递的热量，其单位有 kcal/h、kJ/h 以及 kW/h。

在空调中，热流就是单位时间里将低温物体的热量传递到高温环境的能量，它代表了制冷机的制冷量。其单位也是相同。

5. 比热

物体的温度发生变化时，所吸收或放出的热量，与其重量、材料的性质以及变化时所处的温度有密切关系。例如：1 升水从 20℃ 升到 60℃ 要比 60℃ 升到 100℃ 吸收的热量要少；不同品种的物质，同样重量，所吸收的热量也不同。

单位质量的物体温度升高 1℃ 所吸收的热量，叫做该物质的比热，用 C 表示。单位用千焦/公斤·K (kJ/kg·K) 或 kcal/kg·℃。

由实验可知，若某质量为 G 的物体，温度从 T₂℃ 下降到 T₁℃ 时，其放出的热量为：

$$Q = GC \cdot (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ}) \quad \dots\dots\dots (2-11)$$

反之，如果该物体温度升高，则就变成吸热。而且，该物质在同一状态下的放热量和吸热量相同。

各种物质的比热都已经测定，请查物质的热力学参数手册。

6. 基本热力过程

空调制冷过程是依靠制冷剂的状态变化来实现的。而工质的每一状态变化的热力过程都取决于状态参数压力、体积 (或比容)、温度。这三个参数是相互关联的，并有一定的关系式，这就是著名的气体状态方程式：

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \quad \dots\dots\dots (2-12)$$

一定量的气体，如果压力保持不变，对其加热，那么气体的温度和容积将增大，这个过程叫等压过程。此时 (2-12) 变为：

$$\frac{V}{T} = \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \dots\dots$$

一定量的气体，如果容积不变，对其加热，那么气体的压力和温度都增加，这个过程叫等容过程。此时 (2-12) 变为：

$$\frac{P}{T} = \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \dots\dots$$

同理，一定量的气体，如果温度保持不变，气体的容积和压力的变化过程叫做等温过程。此时 (2-12) 变为：

$$PV = P_1V_1 = P_2V_2 = \dots\dots$$

在热力过程中，等压过程、等容过程、等温过程是最简单、最基本的过程，它们都可在二维坐标图上清楚表示出来。

以上讨论的气体热力过程，都是针对 1kg 气体而言。若对 Gkg 气体的变化，则气态