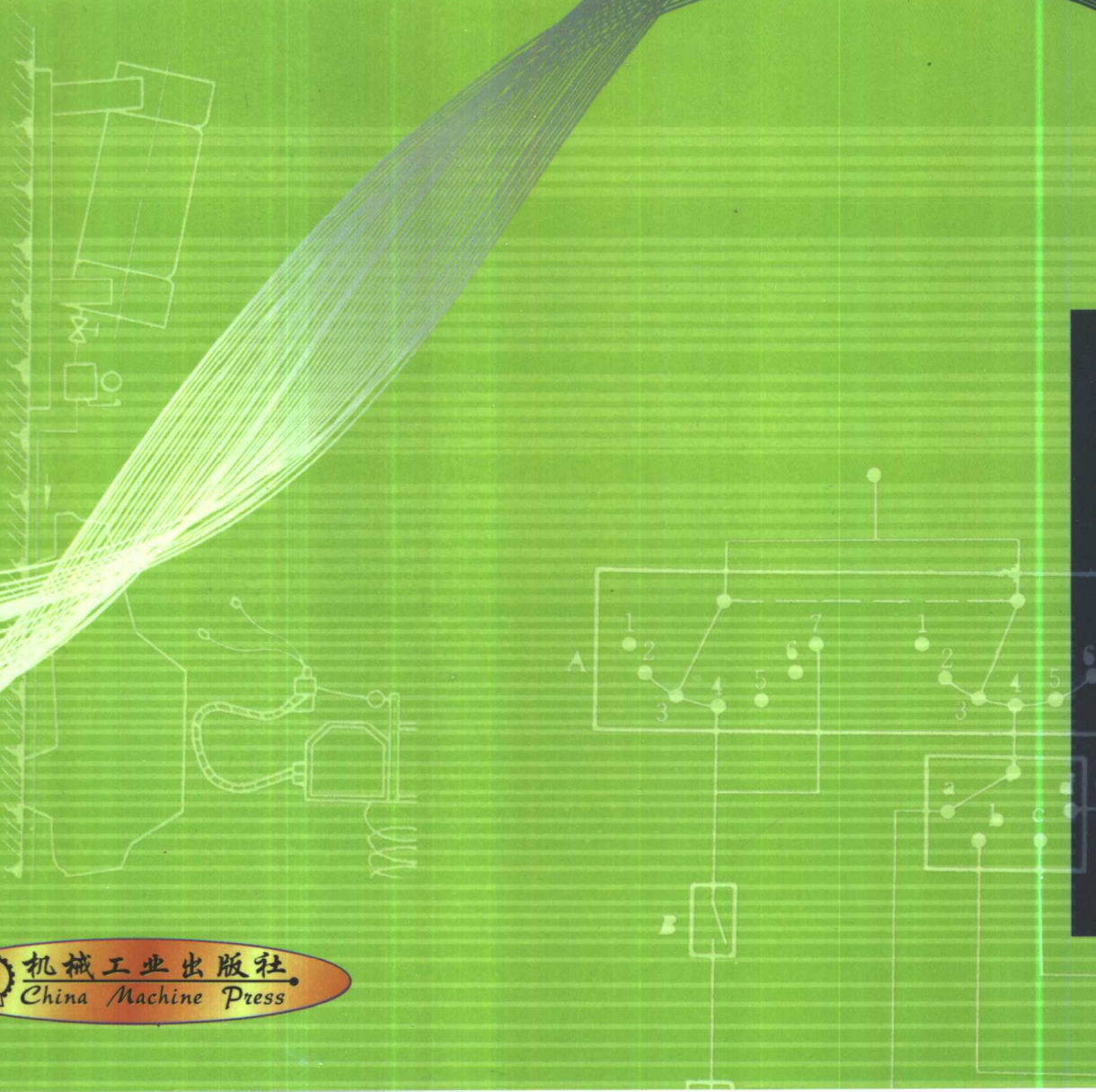


方贵银 李辉 编著

汽车空调技术



 机械工业出版社
China Machine Press

汽车空调技术

方贵银 李辉 编著



机械工业出版社

本书系统地阐述了汽车空调的工作原理、结构、热湿负荷、空调装置、采暖与通风系统、自动控制系统、空调系统设计与性能测试以及实用维修技术。重点介绍了汽车空调的结构、自动控制系统、空调系统设计与性能测试及实用维修技术。

本书取材新颖、内容丰富、条理清晰、通俗易懂、易于接受和掌握,可供涉及汽车空调的技术人员、维修人员参考和自学,也可作为汽车、制冷、暖通空调、热动力、交通运输等专业的教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车空调技术 / 方贵银、李辉编著. — 北京: 机械工业出版社, 2002. 1
ISBN 7-111-09353-4

I. 汽… II. 方… III. 汽车—空气调节设备 IV. U463.85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 063830 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 张亚秋 版式设计: 霍永明 责任校对: 孙志筠

封面设计: 陈 沛 责任印制: 付方敏

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mmB5·16.875 印张·1 插页·660 千字

0 001—3 500 册

定价: 48.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

前 言

随着我国汽车工业的发展和人们物质生活水平的提高，人们对舒适性、可靠性、安全性的要求愈来愈高。近几年来，国内生产的大量轿车及一些豪华客车都安装有空调，它是提高汽车竞争能力的重要手段之一。广大的读者希望了解和掌握汽车空调的结构、原理、设计及一些实用维修技术。为了满足读者的愿望和推动我国汽车空调事业向前发展，作者在总结教学、设计、科研和维修经验以及搜集国内外资料的基础上编写了本书。

本书系统地阐述了汽车空调的工作原理、结构、热湿负荷、空调装置、采暖与通风系统、自动控制系统、空调系统设计与性能测试以及实用维修技术。这些知识具有较强的实用性和可操作性。

参加本书编写的人员除封面署名外，还有赵晓明、王斌、江志伟、李宇、张向明、刘骏、周洪涛、赵德平、张敏、胡昌华、朱一鸣、宋伟佳等。在编写本书时，参阅和引用了一些文献资料，对这些文献资料的作者，表示诚挚的谢意。

限于编者的水平，书中难免有错误和缺点，敬请广大读者批评指正。

作 者

目 录

前 言

第一章 汽车空调概述	1
第一节 汽车空调的功能与特点	1
第二节 我国汽车空调业的发展历程与现状	4
第三节 汽车空调的发展方向	6
第四节 新型汽车空调系统	7
第二章 汽车空调系统的工作原理	16
第一节 汽车空调的制冷原理	16
第二节 汽车空调制冷系统的热力循环	21
第三节 汽车空调的制冷剂和润滑油	34
第四节 汽车空调调节空气时的状态变化	63
第三章 汽车空调的热湿负荷	78
第一节 汽车空调的舒适性	78
第二节 汽车空调车室内外参数的确定	82
第三节 汽车空调热湿负荷的计算	85
第四节 汽车空调送风量的确定	101
第五节 汽车空调隔热保温	103
第四章 汽车空调制冷系统的结构与性能	108
第一节 非独立式汽车空调制冷系统	108
第二节 独立式汽车空调制冷系统	111
第三节 汽车空调制冷系统的驱动型式与驱动功率确定	113
第四节 汽车空调制冷系统类型	116
第五节 汽车空调压缩机的结构与性能	119
第六节 冷凝器和蒸发器的结构与性能	219
第七节 节流膨胀装置的结构与性能	240
第八节 汽车空调辅助部件	253
第五章 汽车空调装置	262
第一节 汽车空调装置分类	262
第二节 汽车空调装置布置	265
第三节 各种类型的空调装置	276

第六章 汽车空调采暖与通风系统	305
第一节 余热式采暖系统	307
第二节 独立热源式采暖系统	312
第三节 汽车空调通风与净化系统	316
第四节 汽车空调配气与气流组织	318
第五节 汽车空调通风管道及噪声	333
第七章 汽车空调自动控制系统	351
第一节 汽车空调常用控制部件	351
第二节 汽车空调系统的压力控制	361
第三节 汽车空调系统的温度控制	366
第四节 汽车空调系统的真空控制	371
第五节 汽车空调系统车速控制	379
第六节 汽车空调模糊控制系统	383
第七节 汽车空调典型控制电路分析	388
第八章 汽车空调系统设计	412
第一节 汽车空调系统设计参数确定	412
第二节 汽车空调压缩机选型与确定	413
第三节 汽车空调蒸发器和冷凝器设计	415
第四节 轿车空调系统设计实例	416
第九章 汽车空调系统性能测试	429
第一节 汽车空调压缩机试验	429
第二节 汽车空调部件性能测试	441
第三节 汽车空调系统性能测试	446
第四节 汽车空调整车性能测试	454
第十章 汽车空调维修技术	459
第一节 汽车空调故障诊断方法	459
第二节 汽车空调常用维修工具使用方法	461
第三节 汽车空调维修操作技能	472
第四节 轿车空调系统检修	484
第五节 客车空调系统检修	490
附录	500
附录 A 湿空气焓-湿图	500
附录 B R12 饱和状态下的热力性质	500
附录 C R134a 饱和状态下的热力性质	505
附录 D R12 过热蒸气的热力性质	510
附录 E R134a 过热蒸气的热力性质	522
参考文献	533

第一章 汽车空调概述

第一节 汽车空调的功能与特点

一、汽车空调的功能

汽车空调是汽车空气调节的简称，即采用人工制冷和采暖的方法，调节车内的温度、湿度、气流速度、洁净度等参数指标，从而为人们创造清新舒适的车内环境。

调节车内温度是汽车空调的基本功能，多数汽车空调只具有这种单一功能。汽车空调在冬季利用其采暖装置升高车室内的温度。轿车和中小型汽车一般以发动机冷却循环水作为暖风的热源，而大型客车则采用独立式加热器作为暖风的热源。在夏季，车内降温由制冷装置完成。

汽车空调的第二个功能是调节车内的湿度。普通汽车空调一般不具备这种功能，只有高级豪华汽车采用的冷暖一体化空调器，才能对车内的湿度进行适量调节。它通过制冷装置冷却降温去除空气中的水分，再由采暖装置升温以降低空气的相对湿度。但在汽车上目前还没有安装加湿装置，只能通过开车窗或通风设施，靠车外新风来调节。

汽车空调的第三个功能是调节车室内的空气流速。空气的流速和方向对人体舒适性影响很大。夏季，气流速度稍大，有利于人体散热降温；但过大的风速直接吹到人体上，也会使人感到不舒服。舒适的气流速度一般为 0.25m/s 左右。冬季，风速大了会影响人体保温，因而冬季采暖希望气流速度尽量小一些，一般为 $0.15\sim 0.20\text{m/s}$ 。根据人体生理特点，头部对冷比较敏感，脚部对热比较敏感，因此，在布置空调出风口时，应让冷风吹到乘员头部，暖风吹到乘员脚部。

汽车空调的第四个功能是过滤净化车内空气。由于车内空间小，乘员密度大，车内极易出现缺氧和二氧化碳浓度过高的情况；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车内，造成车内空气污浊，影响乘员的身体健康，因此必须要求汽车空调具有补充车外新鲜空气、过滤和净化车内空气的功能。一般汽车空调装置上都设有新风门、排风门、空气过滤装置和空气净化装置。

二、汽车空调的特点

汽车直接暴露在太阳下或风雪下，隔热措施困难；汽车在行驶时有大量风沙、废气从各种缝隙钻入车厢内，造成车厢内的空气污染并增加热负荷；汽车的

行驶速度变化无常，难以保证稳定的空调工况等。所以汽车空调的工作环境比房间空调器要恶劣得多。

由于汽车这个“移动房间”的特殊工作环境，它与建筑空调有许多不同之处，具体表现在以下诸方面。

(1) 在炎热的夏季，由于汽车车厢容积小，而且车窗占的面积比例相对较大，易受阳光直射，因此车厢内的温度很高。此外，车厢内的温度还受到地面热量反射、人体散热、发动机的辐射热以及换气热的影响，因此汽车空调的热负荷较大。

(2) 汽车空调制冷压缩机不能利用电力做动力，而由汽车发动机或专门的辅助发动机来驱动，因此对汽车的其它性能（如汽车的加速性能、爬坡性能、燃油经济性）均有一定的影响。

(3) 在由发动机驱动时，汽车空调的制冷性能与汽车行驶速度有关。汽车高速时，冷量就大；汽车低速时，冷量就小，特别是轿车空调。

(4) 汽车上空间紧凑，空调装置布置起来较困难，而且各种汽车空调部件的通用性较差。

(5) 汽车车厢内乘员所占空间比例较大，加上座椅和其它机械装置的高低不平，直接影响了车厢内的风速分布和温度分布的均匀性；从而影响了人体的舒适性。

(6) 冷凝压力偏高。对于轿车、货车、小型旅行车等大多数车辆，冷凝器置于汽车水箱前面，其散热效果受到发动机水箱辐射热，汽车行驶速度、路面尘土污染的影响，尤其在汽车怠速或爬坡时，不仅冷凝压力异常升高，而且影响汽车发动机水箱的散热。即使装在汽车车身侧面的冷凝器，冷却条件也不很理想。

(7) 制冷剂易泄漏。由于汽车在颠簸不平的道路上快速移动，振动厉害，连接处容易松动；冷凝器易受飞石击伤或泥浆腐蚀，产生泄漏现象。

(8) 汽车空调制冷系统中循环的制冷剂流量变化范围较大，给设计带来困难，对于非独立式的汽车空调系统（由主发动机驱动的轿车空调、货车空调等），由于汽车车速变化范围大，发动机转速的变化可从 700r/min（怠速）变到 6000r/min（高速），压缩机转速与发动机转速成正比，因而压缩机转速也相应提高，这给制冷系统的流量控制、制冷量调节带来困难；使得汽车空调系统的能量调节和控制较普通的建筑空调系统复杂。

汽车空调与房间空调不同的工作条件，可归纳为表 1-1。

由于汽车空调自身的特点，汽车空调应比一般房间空调具有更高的技术性能和工作可靠性。具体要求如下：

(1) 汽车空调应保证在任何条件下，车厢内部都具有舒适的温度范围和气流平均速度。舒适的温度范围，冬季为 16~20℃，夏季为 20~28℃；舒适的湿度

表 1-1 汽车空调与房间空调的比较

序 号	比较项目	汽车空调	房间空调
1	制冷剂	R12	R22
2	热负荷 室内人口密度 环境温度 太阳辐射 换气 壁面隔热措施 室内温度变动 玻璃窗面积 降温速度要求	大 大 (约 1 人/m ³) - 30 ~ 120℃ 大 大 有困难 大 大 快	较小 小 (约 0.13 人/m ³) - 30 ~ 50℃ 小 较小 好 小 较小 可缓慢降低
3	冷凝器工作条件	差 (有泥浆污染)	好
4	泄漏可能性 振动 连接管路 压缩机类型	大 大 橡胶软管 开启式	小 小 金属硬管 全 (半) 封闭式
5	压缩机动力源	发动机	电动机
6	压缩机转速	变化大	变化小
7	对结构重量要求	体积小、重量轻	比车用要求低
8	通用性	差 (各车型不同)	好 (标准系列化)
9	控制系统	较复杂	简单
10	室内温度分布	不易均匀	较均匀

范围, 冬季为 55% ~ 70%, 夏季为 60% ~ 75%; 舒适的气流平均速度一般为 0.25m/s。

(2) 汽车空调的控制机构和操纵机构要灵活、方便、可靠。

(3) 汽车空调的零部件要求可靠、体积小、重量轻、安装维修方便。

(4) 汽车空调应具有快速制冷和快速采暖的能力。

(5) 汽车空调冷气装置工作时, 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。

(6) 汽车空调在汽车上的结构布局要紧凑合理。零部件安装要有防振措施, 保证汽车空调在剧烈颠簸振动条件下能可靠地工作。

第二节 我国汽车空调业的发展历程与现状

一、汽车空调业的发展历程

汽车工业是国民经济的支柱产业，汽车工业的发展将成为我国 21 世纪经济发展中新的经济增长点。由于历史原因，我国的汽车工业主要以发展载货汽车为主，因此长期以来，汽车空调技术一直处于空白状态。从 20 世纪 60 年代开始，我国的汽车空调业大致经历了三个发展阶段。第一阶段是从 60 年代初到 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用。第二阶段是 80 年代初至 1990 年。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；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，生产国产大中型客车、轻型车及轿车的空调系统。第三阶段是从 90 年代开始到目前。国内已形成生产规模的汽车空调生产企业，分别从国外引进了国际最先进的平行流式冷凝器和层叠式蒸发器的生产技术和生产线，同时按《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，开始研究开发汽车空调制冷装置工质由氟利昂 R12 向 R134a 的转换。至此，我国汽车空调技术在短时间内接近世界先进水平，并为我国汽车工业的发展作出了重大贡献。

二、汽车空调的发展现状

我国现有主要汽车空调生产厂家 20 多家，其中绝大部分是引进国外技术生产线和生产设备，还有些是中外合资企业，国内汽车空调技术的研究和开发与国外的差距正在逐渐缩小。

从市场占有情况看，由于目前大多数汽车空调生产未上规模，加上汽车空调种类繁多，国内汽车空调销售市场仅为几家所垄断。其中上海德尔福汽车空调系统有限公司生产的爱斯牌汽车空调为别克、帕萨特、桑塔纳、捷达、富康、切诺基等车型配套；一汽—杰克赛尔汽车空调有限公司生产的空调主要为奥迪、红旗轿车及解放牌重、中、轻型车配套；湖北沙市电工仪表集团公司生产为东风汽车公司、神龙富康汽车公司配套的载货车空调和富康轿车空调；空调国际（上海）有限公司主要生产为依维柯、金杯等品牌配套的面包车、大客车空调；岳阳恒立冷气设备股份有限公司生产为上海大众、神龙富康、一汽小红旗配套的轿车空调，还生产为国内 20 多家重点客车厂配套的大、中、轻型客车空调机组；上海开利运输冷气设备有限公司生产可安装在旅游客车及城市公交车上的 AC310、AC112 型顶置式客车空调机组和可安装在卡车司机驾驶室 AC6 型顶置式卡车空调机组；大洋汽车空调工程（大连）有限公司生产了为一汽大众、上海大众配套

的环保型、性能优良的各种车型用的蒸发器、冷凝器及空调系统；四川华盛强制制冷设备有限责任公司生产了中巴独立式 KQFHN16/21V 空调机组和专为 6~12m 的各种城市、旅游长途客车设计的 14、16、20、30 型四大系列巴士空调；南京汽车空调机厂生产 KQZ 系列中客空调机组和 KQZD 系列顶置式大客车空调机组；安源实业股份有限公司制冷设备厂生产了“安源”牌独立式和非独立式客车空调；广州豪华空调器有限公司生产了为海南马自达、奥拓、广州本田、长安之星配套的车用空调；江西福昌空调系统有限公司生产了为江铃配套的汽车空调；东风一派恩汽车铝热交换器有限公司生产为东风汽车公司配套的系列汽车空调系统、EQ6480 轻型客车空调系统，又生产为武汉万通配套的 WTQ6471/EQ6472 轻型客车空调系统和 EQ6590、EQ6690、EQ6700、EQ6800 中型客车空调系统。生产汽车空调的其它厂家还有：阳江宝马利汽车空调设备有限公司、柳州亚美汽车空调有限公司、张家港保税区华友空调器有限公司、豫新机械厂、温州万马汽车空调有限公司、清远明鑫汽车空调有限公司、新电汽车空调机有限公司、南京中港汽车空调器制造有限公司、珠海雪凯利客车空调设备有限公司等。随着我国汽车配件市场的逐步放开，国内汽车空调市场面临国外汽车空调专业生产厂家的严重挑战。因此，国内汽车空调生产如何走上专业化、规模化经营之路，将成为我国未来几年汽车空调业迫切需要解决的问题。

从汽车空调所需工质和关键部件的国产化情况来看，汽车空调制冷装置主要由压缩机、贮液干燥器、膨胀阀、蒸发器和冷凝器（简称两器）以及空调硬管、软管组成。其中压缩机是汽车空调的心脏部件，蒸发器和冷凝器也是空调系统最重要的组成部分。生产汽车空调压缩机的厂家有上海易初通用机器有限公司、一汽牡丹江汽车空调压缩机有限公司、华达杰克赛尔（湖南）汽车空调有限公司、柳州怡风涡卷压缩机实业有限公司、广州万宝压缩机有限公司、南京埃迪压缩机有限责任公司等。其中上海易初通用机器有限公司从 1989 年起，先后引进了日本三电 SD5 系列空调压缩机制造技术和美国德尔福 V5 系列空调压缩机制造技术，生产了 SE5、SE7、SE5V、SE7V 系列汽车空调压缩机，形成了年产 70 万台套的生产能力，市场占有率达到 76%；广州万宝压缩机有限公司 1994 年引进当今世界先进水平的日立制作所涡旋式压缩机成套技术和关键设备，并以美、德、瑞士等国先进设备配套，建成我国首家批量生产涡旋式压缩机的工厂，双班年产达 15 万台 1500~4500W（2~6 匹马力）的商业空调用涡旋式压缩机，1999 年开发出了汽车空调用涡旋式压缩机，具有高效、节能、重量轻、可靠性高、超高速等优点；中美合资柳州怡风涡卷压缩机实业有限公司是由柳州联压机械股份有限公司与美国芝加哥威泰公司合资组建，专门从事涡卷（旋）式压缩机研究与生产，怡风 WFC090 系列涡卷式汽车空调压缩机采用先进设计手段，主要元件在美国制造，坚固耐用，装配精密，密封可靠，工作平稳，适应性强。从目前我

国汽车空调的生产情况来看，压缩机和两器（蒸发器和冷凝器）的国产化率并不太高，这也制约着我国汽车空调向前发展。而新型 R134a 汽车空调装置正处在研究开发之中。

从国内汽车空调技术水平来看，尽管我国汽车空调产品的开发设计水平有了大幅度提高，但其技术含量仍低于国际先进水平。我国汽车空调生产厂家 20 世纪 80 年代引进的两器生产线基本上是管带式的，而目前国际上所采用的层叠式蒸发器和平行流式冷凝器与管带式相比，同体积时可分别增加 10% 和 5%~15% 的换热效率。因此，国内汽车空调面临着产品升级换代的问题。

第三节 汽车空调的发展方向

当前，从市场需求方面看，汽车空调装置应进一步降低成本，提高燃油经济性；从车身制造方面看，随着车厢地板的降低以及车辆向大型化、高级化发展，需进一步提高汽车空调各组成装置的紧凑性和效率；从乘客和驾驶员方面看，车内温度要合理分布，设备操作要简便，空调装置应向全季节型发展。

一、向全自动化方向发展

早期的汽车空调系统，其进出风系统冷气系统和暖气系统彼此间互相独立，因而它们的控制系统也自成一体，且汽车空调都是手动控制，仅凭人的感觉来调节开关，因而温度、湿度及风量很难控制。近年来，随着电子计算机的普及并逐步应用到汽车空调系统，使得空调系统的控制效果日趋完善，空调设备的性能也越来越高。运用这种空调系统能进行全天候的空气调节，集制冷、采暖、通风于一体，在人为设定的最佳温度、湿度及风量的情况下，该系统可根据车室内人员数量及其它情况的变化进行多档位、多模式的微调，从而达到设定的最佳值，使车内始终保持舒适的人工气候环境。同时还可进行故障自动诊断和数字显示，缩短检修和准备时间。

二、提高舒适性

当前不少汽车空调系统的制冷和采暖是各自独立的系统。每当梅雨季节，车窗玻璃上常常蒙上雾气，若要去掉雾气，必须起动冷气装置，但这样一来将会使车厢内太冷。为了克服此缺点，目前正在开发一种全季节型的空调系统。此系统具有换气、采暖、除湿、制冷等所有功能，夏天由发动机驱动制冷系统，冬天由加热器制热采暖，过渡季节（如梅雨季节）则采用制冷与采暖混合吹出的温和风进行除湿，使车厢内换气情况达到最佳状态。

三、高效节能、小型轻量化

要进一步降低空调装置的重量和外形尺寸，必须提高各组成装置的结构紧凑性和效率。为此各国正致力于改进各部件的结构，完善各部件的制造工艺，改进

空调装置的布局，提高空调装置的性能。

在压缩机方面，以往的空调系统多采用斜盘式压缩机，这种压缩机制冷能力相对较低，性能系数和容积效率也相对较小。为了提高压缩机性能，现已开发使用了制冷效率高的旋转式压缩机和三角转子压缩机，同时性能更为优越的涡旋式压缩机和变容量压缩机也在研究开发之中，且结构也越来越紧凑。在冷凝器和蒸发器方面，管片式换热器已逐渐被管带式换热器取代，而目前散热性能更佳、结构更为紧凑的平行流冷凝器和层叠式蒸发器又有取代管带式换热器的趋势。在制冷管路方面，进行优化设计使管路结构更为合理，并在管路上安装和装配防振橡胶块以防共振等。

四、向环保型汽车空调发展

目前所使用的汽车空调制冷工质 R12 对大气臭氧层有一定的破坏作用，根据《蒙特利尔协议》，2000 年已开始禁止使用 R12，因此世界各国都在积极地研制一种更适合于环境保护的新工质。目前一致公认 R134a 是汽车空调 R12 的首选替代物，并基本上解决了空调系统的匹配和材料等一系列问题。我国目前正在开发研制这种 R134a 汽车空调系统，其系统需要作适当改进。

第四节 新型汽车空调系统

空调制冷方式有许多种。目前应用于汽车空调的制冷方式，全部为蒸气压缩式。其它制冷方式，如吸收式、吸附式、蒸气喷射式、空气压缩式等，很少在汽车空调上采用。但利用发动机的余热来驱动制冷系统，是一个理想的节能方案，世界各国都在研究这种新技术。

一、氢化物汽车空调系统^[2]

以色列发明了一种利用汽车排气余热作动力的汽车空调。这种新型汽车空调系统利用金属氢化物作工质，通过在不同温度下金属氢化物释放或吸收氢气的特点而实现制冷。整个系统由两个容器及连结导管组成，如图 1-1 所示。一个容器导管内充满了粉状高温氢化物，另一个容器导管内充满了粒状低温氢化物，两个容器的内导管与外导管相连。汽车排出的高温废气进入第一个容器，使其温度升高，当达到 240℃ 时，导管内的粉状高温氢化物就会释放出氢气，并通过外导管进入第二个容器的内导管。粒状低温氢化物吸收氢气后温度升

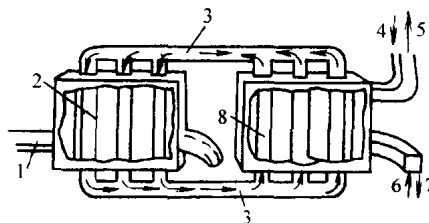


图 1-1 氢化物汽车空调系统

- 1—热空气 2—高温氢化物
- 3—氢气 4—车内热空气进口
- 5—冷空气出口 6—外部空气进口
- 7—外部空气出口 8—低温氢化物

高，这时外面的空气进入第二个容器进行冷却，降低其温度。当汽车排气停止进入第一个容器时，导管内的粉状高温氢化物停止加热，通过外导管而吸收第二个容器释放出的氢气。当粒状低温氢化物释放氢气时吸收热量，使被送入第二个容器的车内热空气冷却降温，起到了制冷作用。为此，利用汽车排气对第一个容器间歇加热，使工质不停地释放、吸收氢气，冷却空气，再把冷却后的空气送回车厢，达到车内降温的目的。这种系统可用于大、小客车的空调。

由于汽车的排气量小，排放废气的放热系数小，因此余热回收装置需要较大的换热面积。同时，余热回收装置还不能增加排气背压，以免影响发动机的性能，所以这就增加了利用汽车发动机排放废气余热实现空调的难度。而利用发动机循环冷却水的余热实现汽车空调有着广阔的前途，但是冷却水余热品位较低，如何采取措施提高余热品位，正确地选用工质对，是研究、开发冷却水余热汽车空调的关键。

二、二氧化碳汽车空调系统^[5]

CO₂ 作为最早采用的制冷剂之一，在 19 世纪末到 20 世纪 30 年代得到普遍使用，随着氟利昂 CFC（英文 chlorofluorocarbons 缩写，意指氟氯烃类物质）的出现，除在船用领域一直被采用外，CO₂ 很快被人们所抛弃，主要原因是在冷却水温高的热带地区，由于 CO₂ 的临界温度只有 31.1℃，采用传统 Perkin 蒸汽压缩式制冷循环时冷量损失较大，且存在着饱和压力过高，压缩机功耗过大的缺点，当然这也和当时的制造水平有关。

20 世纪 70 年代，CFC 及 HCFC（英文 hydrochlorofluorocarbons 的缩写，意指含氢氟氯烃类物质）被发现破坏大气臭氧层及温室效应指数较高而面临全面禁用。HFC-134a（又常写作 R134a，HFC 是英文 hydrofluorocarbons 的缩写，意指不含氯原子的氢氟烃类物质）也由于其温室效应指数较高而被认为是一种过渡型的替代物。在此背景下，采用超临界循环的 CO₂ 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。由于汽车空调易于泄漏，其替代的任务更为迫切，二氧化碳汽车空调的研制进展最快，离实用化的距离也最短，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，DANFOSS、DENSO、ZEXEL 等公司已进入二氧化碳压缩机小批量生产阶段。

（一）超临界循环的 CO₂ 制冷系统原理

20 世纪 90 年代初，挪威技术大学 Lorentzen 教授开发了采用跨临界制冷循环的汽车空调样机，并申请获得了国际专利。跨临界制冷循环的流程图和压焓 ($p-h$) 图如图 1-2、1-3 所示，它是一种与深度冷冻装置中的高压（林德）流程气体液化和分离装置类似的系统，只不过其目的不是为了气体液化和分离，而是利用气体液化后可以蒸发吸收气化潜热的特性以达到制冷的目的。

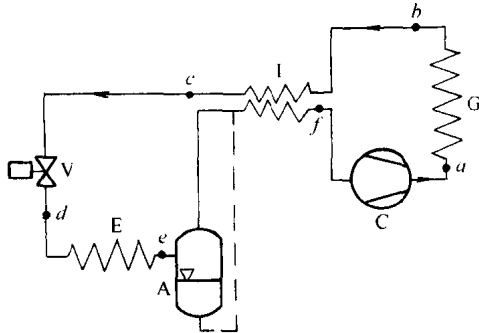
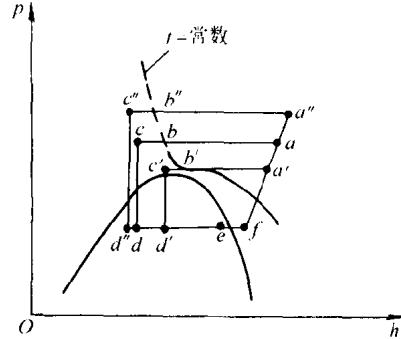


图 1-2 跨临界制冷循环的流程图

C—压缩机 G—气体冷却器
I—内部热交换器 V—节流阀
E—蒸发器 A—贮液器

图 1-3 跨临界制冷循环的 $p-h$ 图

跨临界制冷系统由压缩机 C、气体冷却器 G、内部热交换器 I、节流阀 V、蒸发器 E 与贮液器 A 组成封闭回路。气体工质在压缩机中升压至超临界压力，其在 $p-h$ 图上为过程 $f-a$ ，然后进入气体冷却器中，被冷却介质（空气或冷却水）所冷却。为了提高制冷系统的性能系数 COP (coefficient of performance)，出气体冷却器后的高压气体在内部热交换器中进一步冷却，它是利用与压缩机回气管前的低温低压蒸气进行热交换的原理来实现的，此即过程 $b-c$ 。理想情况下，焓降 $h_b - h_c = h_f - h_e$ 。然后用节流阀减压，经节流后的气体被冷却，且部分气体液化，湿蒸气进入蒸发器 E 内气化，吸收周围介质的热量。蒸发器中的液体并不全部气化，因此其出口状态 e 将在两相区内，这对提高蒸发器的传热效率十分有利。正因为如此，蒸发器出口须配置贮液器，以防止压缩机液击和便于压缩机回油（专用回油管道如图上虚线所示）。贮液器出来的低压饱和蒸气进入内部热交换器的低压侧通道，吸收高温高压的超临界气体的热量后，成为过热蒸气进入压缩机升压。如此周而复始完成循环。

(二) 制冷系统结构及部件实现

CO_2 跨临界系统的工作压力远远超过亚临界循环，蒸发压力为 $3 \sim 4 \text{MPa}$ ，冷却压力为 $10 \sim 11 \text{MPa}$ ，这给压缩机及管路的设计与密封带来一些特殊的问题，需要进行较大改进。 CO_2 具有相当大的单位容积制冷量（ 0°C 时单位容积制冷量分别为 NH_3 的 1.58 倍、R12 的 8.25 倍、R22 的 5.12 倍），故而与传统系统相比， CO_2 制冷系统的容积流量可显著减少，这样使得压缩机的尺寸、阀门与管道的流通面积比一般制冷系统小得多。同时 CO_2 良好的热力性质也为设计结构紧凑、高效的热交换器提供了可能性。

1. 压缩机 CO_2 和氨一样，其等熵指数 κ 值较高，达到 1.30，这可能会产

生压缩机排气温度偏高的顾虑,但由于 CO_2 的低压工作压力 p_0 很高,因而压缩机的压比 $\pi = p_H/p_0$ 却比其它制冷剂系统的低得多,因此不会像氨系统那样需要对压缩机本身进行冷却。正因为等熵指数 κ 值高、压比小,可减小压缩机余隙容积的再膨胀损失,使压缩机的容积效率较高。同时,因为 CO_2 压缩机的吸排气压力均比R134a压缩机的大得多,因而选择压缩机类型及合理的压缩机设计显得尤为重要。经过实验和理论研究,Jurgen SUB和Horst Kruse认为往复式压缩机,主要是柱塞和轴塞式压缩机凭借油润滑,在气缸壁和活塞之间存在良好的油膜滑动密封,成为 CO_2 制冷系统的首选。

因此迄今为止,汽车空调系统中使用的二氧化碳压缩机采用往复式结构,DANFOSS公司研制了三缸斜盘式压缩机、Bock公司研制了两缸立式活塞式客车空调压缩机。

由于应用于汽车空调系统的 CO_2 压缩机气缸体积小,以及存在潜在的高冲击速度,对传统使用的簧片阀提出了挑战,必须采用更为先进的阀门。Bock公司将压缩机排气阀改良后发现压缩机效率提高了7%。

2. 热交换器 CO_2 汽车空调系统热交换器包括蒸发器、气体冷却器和内部气体换热器,占有整个系统质量的一半及大部分体积,应有高效、紧凑、重量轻的特点,以满足汽车空调的特殊要求。

制冷循环中散热由空气冷却器完成。其作用相当于传统制冷循环中的冷凝器。在空气冷却器中,二氧化碳工作在超临界状态下,始终处于气态,并不发生一般冷凝器中的冷凝液化过程。受二氧化碳热物性的制约,空气冷却器中制冷剂侧压力很高,达10~11MPa,另外,由于二氧化碳处于超临界状态,出口温度独立于出口压力,使它可以有较大的压降。因此,制冷剂侧往往设计成较大的流量密度(600~1200kg/s·m²)和较小的管径。同时,小管径也有助于承受较高的压力。

CO_2 的冷却特性使采用小迎风面积、长空气流道、低空气流速的逆流式换热器成为可能。采用逆流式的气冷器接近方形,紧凑的结构和较小的空气流量可以使汽车空调中的空气冷却器不一定放在散热器前,也可不放在汽车前部,有利于汽车设计整体优化,也避免了增加散热器的负荷以及车底热空气进入冷却器中。

最初的空气冷却器由Lorntzen和Pettersen于1990~1991年推出,为传统的管片式。进一步的模型计算表明,采用更小的管径有助于提高换热强度。同时,由于对最小爆炸压力的考虑,也要求缩小管径。因此,Lorentzen和Pettersen在1994年重新设计了气冷器,管径减小到2.0mm。由于过小的管径带来制造上的困难,增加了成本。在这种情况下,“平行流”空气冷却器的概念被提出来了:一组平行的小直径换热管构成一个整体以便于制造。与空气冷却器类似,最初的蒸发器也是从圆管平肋片式逐步发展到“平行流”式换热器。

3. 其它部件 CO_2 跨临界制冷循环节流前的高压制冷剂不是冷凝液体,环

境温度对系统性能的影响大为减小,系统性能基本上由高压侧压力所决定,可以通过控制节流阀的大小调节高压侧压力,从而实现对系统冷量的控制。 CO_2 跨临界制冷循环具有在一定范围内可连续调节冷量的优点,受环境影响不大,适用于汽车空调系统。节流控制元件应当根据不同汽车空调控制精度要求,采用不同元件,一般采用自动控制阀。

在系统中还采用了贮液器,用以防止压缩机液击和便于压缩机回油。贮液器容量设计比实际的大,以满足不同工况要求,为防止水与 CO_2 反应产生腐蚀,应在贮液器中设置干燥器。

此外,出于 CO_2 系统高工作压力和汽车空调具体特点考虑,管路应采用小口径铜管及采用性能良好的接口,以减少泄漏。出于安全考虑,系统需要设高低压保护装置,压缩机需设安全阀等装置。二氧化碳汽车空调系统换热器及安全装置设计参数如表1-2所示。

表 1-2 二氧化碳汽车空调系统换热器及安全装置设计参数

(单位: MPa)

设计参数	气冷器	蒸发器
运行时最大压力	15	7.38
停止运行时最大压力	12	12
压缩机高压开关	16	—
高压安全设定值	17	12
最小爆破压力	42.5	30

三、固体吸附式汽车空调系统

固体吸附制冷是利用某些固体物质在一定温度、压力下能吸附某种气体或水蒸气,在另一种温度、压力下又能把它释放出来的特性,通过吸附与解吸过程导致压力变化,从而起到了压缩机的作用。该制冷系统由发生器、冷凝器、蒸发器和节流装置组成,其工作原理如图1-4所示。通过真空阀1,使得低压、低温制冷剂蒸气被发生器的吸附器吸附。通过高压阀2,使得从发生器内解吸的制冷剂蒸气进入冷凝器中冷凝。通过节流阀3,使得发生器两侧形成压差,实现制冷剂高压冷凝和低温蒸发。为了实现对发生器间歇加热、冷却,还需由阀门4、5来控制热水、冷水,起到热压缩的作用。在固体吸附式制冷系统中,目前实际应用比较成功的工质对有碱金属氯化物—氨、沸石—水和活性炭—甲醇等。

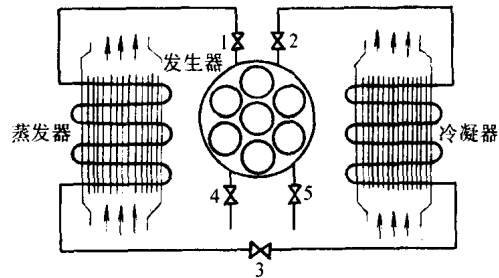


图 1-4 固体吸附制冷汽车空调系统

1—真空阀 2—高压阀
3—节流阀 4、5—控制阀