

国/外/汽/车/类/职/业/教/育/优/秀/教/材

汽车空调 与气候控制系统

AUTOMOTIVE AIR-CONDITIONING AND
CLIMATE CONTROL SYSTEMS

(英) Steven Daly 著
杨占鹏 宋进桂 于京诺 等译

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国外汽车类职业教育优秀教材

汽车空调与气候控制系统

(英) Steven Daly 著

杨占鹏 宋进桂 于京诺 等译



机械工业出版社

本书详细介绍了汽车空调的发展简史、汽车空调的市场与培训鉴定情况、空调系统基本结构与工作原理、空调系统主要部件、电子控制系统、空调系统故障诊断与排除、A/C 系统维修、环境问题和有关法规,并运用这些知识和信息进行了实例分析。本书的特点是集综合性、知识性、实用性于一体,并用较大的篇幅介绍空调系统的主要部件和电子控制系统。本书对学习空调系统的结构原理、空调系统的使用与维修和技术鉴定提供有力的支持。

本书适用于汽车专业院校师生、汽车维修技术人员与汽车维修企业管理人员阅读。

Elsevier Butterworth-Heinemann

Automotive Air-Conditioning and Climate Control Systems

Steven Daly

Original ISBN: 0-7506-6955-1

Copyright 2006 © by Elsevier Butterworth-Heinemann.

Authorized Simplified Chinese Edition is published by CMP.

All Rights Reserved.

本书中文简体版由埃斯韦尔 Butterworth-Heinemann 公司授权机械工业出版社独家出版发行。

版权所有,侵权必究。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2008-2079

图书在版编目(CIP)数据

汽车空调与气候控制系统/(英)戴利(Daly, S.)著;杨占鹏等译. —北京:机械工业出版社,2009.3

国外汽车类职业教育优秀教材

ISBN 978-7-111-26354-8

I. 汽… II. ①戴…②杨… III. 汽车—空气调节设备—教材
IV. U463.85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 024067 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:徐 巍 责任编辑:管晓伟

版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:王伟光 责任印制:乔 宇

北京四季青印刷厂印刷(三河市杨庄镇环伟装订厂装订)

2009 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18.75 印张·1 插页·466 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-26354-8

定价:39.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379368

封面无防伪标均为盗版

译 者 的 话

空调作为汽车子系统近年来得到了迅速发展。但详细介绍空调新技术的综合文献却相对缺乏。汽车维修技术人员、汽车运用与管理人员以及汽车维修培训教学人员都迫切需要了解汽车空调的基本知识、结构原理、性能检测、故障诊断与排除、部件维修和有关法规等内容。为此,机械工业出版社引进了2006年出版的英文版《AUTOMOTIVE AIR-CONDITIONING AND CLIMATE CONTROL SYSTEMS》(汽车空调与气候控制系统)。

作为英国汽车工业协会(IMI)推荐的学习材料,本书详细介绍了汽车空调技术的发展简史、汽车空调的市场与培训鉴定情况、基本工作原理、系统主要部件、电子控制系统、故障诊断与排除、A/C系统维修、环境问题和有关法规,并运用这些知识和信息进行了实例分析。本书集综合性、知识性、实用性于一体,并以较大的篇幅介绍空调电子控制系统,将对学习空调系统的结构原理、空调系统的使用与维修和技术人员资格认定提供了有力的支持。本书适用于汽车专业院校师生、汽车维修技术人员与管理人员阅读。

参加本书翻译的有杨占鹏、宋进桂、于京诺、田殿山、刘其福、王亮申、陈燕、李春国、郭萍、李栋、孙德林、王忠英、李永和等。限于译者水平,书中难免存在错误之处,敬请广大读者批评指正。

译 者

前言

可以说,到目前为止,未曾见过能让工程师完全了解技术发展所需要的有关汽车子系统的详细论述。在英国,汽车空调就是这样的一个被疏忽的汽车子系统。美国市场上的教科书内包含了像通用汽车公司(GM)这样的一些美国汽车制造厂家提供的汽车子系统的详细资料,但是却几乎没有文献综合介绍欧洲的情况。这个问题,再加上要求汽车制造厂家降低有害制冷剂气体(R134a)的全球政治压力,正在促使空调技术发生着变革。替代制冷剂(像CO₂)和替代空调系统的研究多年来一直在进行之中。尽管汽车工业抵制这样的新潮流,希望将R134a逐渐地分阶段退出,以便有更多的引入替代技术的准备时间,但可以肯定地说,在今后的几年间,空调(A/C)技术,包括空调系统、维修程序和可能的技师认证,都将发生重大变革。

本书并不卷入政权当局与工业之间的争论,而是希望为读者详尽地提供有关流行的空调系统、制冷剂和新型的可能推广使用的替代系统(如CO₂)的新知识。本书的主要内容在于技术方面,因此,仅提供了几个附加的章节来介绍法规和环境。本书还介绍了电子学内容,包括一些最新的传感器、执行器、OBD和EOBD,使用测量仪表、诊断仪和示波器的测试程序以及怎样阅读欧洲汽车电路图的附加说明。然后,运用这些知识和信息对三个总部设在欧洲的制造厂家的实例进行了分析。

A/C工程师们必须基本理解汽车电子控制原理,才能在汽车暖风、通风和空调领域内工作起来得心应手。本书给出了空调的全面知识,从而使读者能对气候控制系统追根求源。

我希望你喜欢阅读这本书,就像我喜欢撰写它一样。

史蒂文·戴利 (Steven Daly)

目 录

译者的话

前言

导语——汽车空调市场、培训与鉴定

情况回顾 1

第 1 章 空调基础 8

1.1 汽车空调系统发展史 8

1.2 暖风与通风入门 12

1.3 制冷的基本原理 27

1.4 蒸气压缩制冷 38

1.5 替代制冷循环 40

1.6 空调系统 51

1.7 膨胀阀系统 52

1.8 固定孔管系统（循环离合器节流孔管） 53

1.9 双式空调 54

第 2 章 空调系统的主要部件 56

2.1 压缩机 56

2.2 冷凝器 66

2.3 接收-干燥器/储液器 68

2.4 膨胀阀/固定孔管 70

2.5 蒸发器 74

2.6 除雾装置 75

2.7 基本的控制开关 77

第 3 章 空调电气与电子控制系统 78

3.1 电学原理 78

3.2 传感器与执行器 92

3.3 传感器和执行器的检测 126

3.4 示波器波形取样 137

3.5 多路传输线路系统 146

3.6 车载诊断系统（OBD）和欧洲车载诊断系统（EOBD） 150

3.7 如何识读电路图 156

3.8 实例分析 1：自动空调手动控制系统 166

3.9 实例分析 2：汽车空调自动温度控制系统 179

3.10 实例分析 3：自动气候控制系统 194

第 4 章 空调系统故障诊断与排除 216

4.1 汽车初始检查 216

4.2 温度测量 217

4.3 压力表读数和循环检测 218

4.4 A/C 系统泄漏的检测 226

4.5 视液镜检测 229

第 5 章 A/C 系统的维修 231

5.1 维修基础知识 231

5.2 制冷剂的回收、循环利用和加注 235

5.3 A/C 系统冷冻机油的更换 251

5.4 A/C 系统的冲洗 254

5.5 气味的去除 257

5.6 A/C 系统的改造 258

5.7 压缩机部件的更换和调整 259

5.8 固定孔管的拆卸和更换 270

第 6 章 环境问题 271

6.1 全球变暖 271

6.2 臭氧层 272

第 7 章 立法沿革 274

7.1 历史回顾 274

7.2 美国的观点 277

附录 285

附录 A DIN72552 端子编号 285

附录 B DIN40719 电气装置的字母代码 288

附录 C DIN40900 电气元件符号 289

附录 D 计量单位换算表 289

导语——汽车空调市场、培训与鉴定情况回顾

本部分的主要目标：

- 能使读者评估空调市场的增长趋势。
- 能使读者评估因空调市场的增长与发展所带来的机遇。

下文从各种统计学的视角，对空调市场进行了评论。无论远景怎样，空调市场现在是巨大的，过去十年在持续增长，今后数年也将持续增长。

1. 汽车安装空调的新纪录

自 20 世纪 90 年代中期以来，空调的装车率（装有空调的新车与没装空调的新车的注册数之比）已经大幅度增长。增长的规律是一条典型的 S 形增长曲线。增长最快的时期是 1995 年到 1998 年，在这期间空调的原厂装车率增加了两倍。

2. 全球统计数据

图 1 给出了国际上各个地区汽车空调注册数字的信息，还包括对未来需求的预测情况。图中的数字包含安装手动空调、半自动空调和自动气候控制（ACC）在内的所有车辆。气候控制系统装车率见图 2。

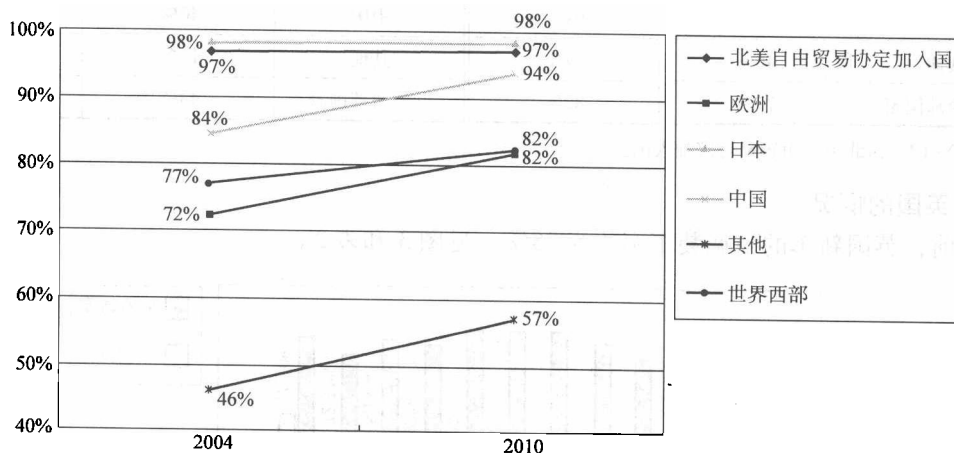


图 1 世界各地汽车空调装车率

这些统计数字证明，在新车上空调的装车率在增长。在 A/C 装车率并不增长的地区（北美自由贸易区各国和日本），ACC 系统的装车率却在增长。这证明，用户希望通过购买新车来提升舒适程度，当然，也证明了汽车厂家在新车销售方面的激烈竞争。

3. 数据对比

空调（A/C）和气候控制（ACC）系统装车率的比较见表 1。

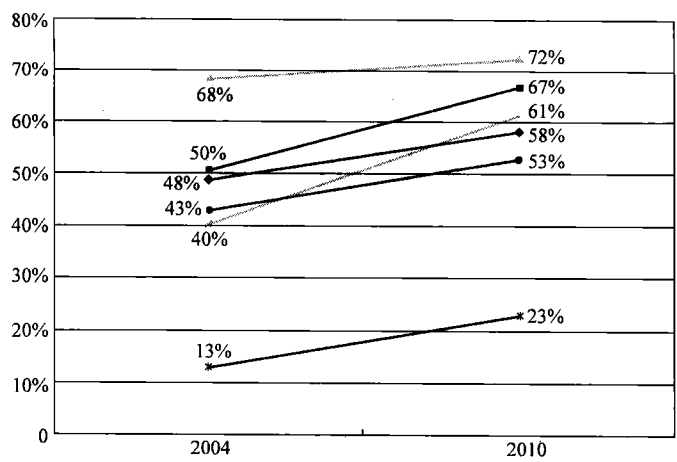


图2 气候控制系统装车率
(图注同图1)

表1 世界各地汽车空调装车率

A/C 装车率			ACC 装车率		
	2004	2010		2004	2010
NAFTA	97%	97%	NAFTA	48%	58%
欧洲	72%	82%	欧洲	50%	67%
日本	98%	98%	日本	68%	72%
中国	84%	94%	中国	40%	61%
其他	46%	57%	其他	13%	23%
世界西部国家	77%	82%	世界西部国家	43%	53%

注：NAFTA 指北美自由贸易协定加入国。

4. 英国的情况

目前，英国新车的空调装车率约为 75%，见图 3 和表 2。

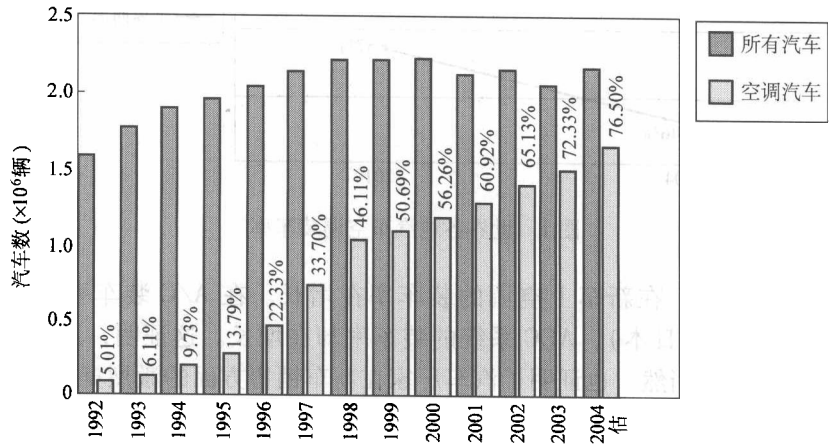


图3 英国汽车空调装车率

表 2 英国空调汽车装车率的增长情况

年 份	A/C 汽车注册辆数	A/C 装车率 (%)
1995	267932	13.79%
1996	451030	22.33%
1997	726190	33.70%
1998	1024009	46.11%
1999	1094381	50.69%
2000	1168849	56.26%
2001	1293679	60.92%
2002	1405092	65.13%
2003	1500902	72.33%
2004	1693250	76.50%

5. 道路上行驶的空调汽车总数

新车注册仅提供了汽车空调的局部情况。虽然每年的新车注册数量决定了道路上正在使用的空调汽车总数量，但实际上，汽车空调市场的大小都是与道路上正在使用的空调汽车总数量紧密相关。而不是每年的新车注册数量。将英国的数字作为一个例子，这些累计数字被列入图 4 中。

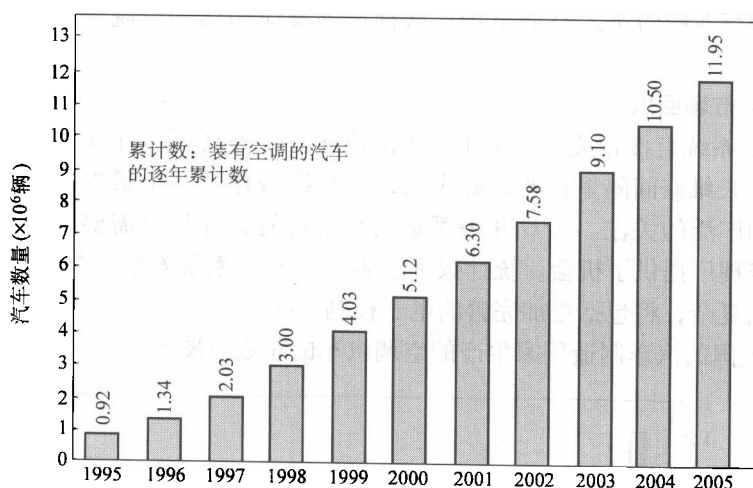


图 4 英国空调汽车数量增加的情况

尽管英国汽车注册数量的累计年度增长率在 1995 年到 1998 年达到最大值，但是，空调汽车的总增长率继续在加大。自 1998 年以来，空调汽车总数已经增长到了每年 1 百万辆以上，并在继续增长。据估计，现在英国道路上的空调汽车为 1195 万辆（大约每 2.5 辆汽车中就有 1 辆空调汽车）。这就是说，从 1997 年的 203 万辆，到现在增长了 422%，并且仅仅用了 8 年时间。

这种长期的高增长率是由于两种因素综合作用的结果：一是新车的 A/C 装车率非常高；二是 A/C 装车率非常低的汽车在退出（由于损伤、事故性破坏等）。

图 5 中的柱状图进一步给出了 2004 年英国道路正在行驶的 1058 万辆空调汽车的老化比例。每个柱状图表示到注册年份的汽车数量。1058 万辆汽车中的大部分都是新车，是最近几年注册的。

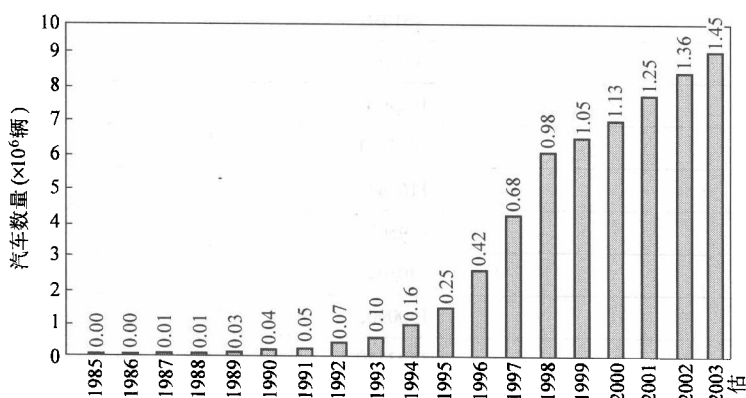


图 5 英国空调汽车的老化状况

自 20 世纪 90 年代中期以来的持续的市场增长与汽车的老化状况都清楚地表明，汽车的维护与修理的机会正在扩大。以前特许经营商控制着 90% 的空调维修项目，而现在，所有的经销商、事故车修理厂家、私营汽车修理厂和快修店都在修理带有空调的汽车。实际上，最近几年，修理行业纷纷进入空调市场。这种连锁反应为培训学院提供了机会（将在第 3 章中讨论）。

6. 全球空调市场回顾

与汽车 A/C 系统直接相关的汽车业务在快速增长。提高可靠性（在整车、系统和部件各个层面）和延长维修间隔里程的趋势表明，A/C 维修作为一个稀少的售后服务市场增长领域，已经得到广泛的关注。A/C 几乎都成为标准配置，并且也需要服务和维护，从而为眼光超前汽车修理厂提供了机会。统计数字还表明，ACC 系统安装的数量增加，这就是说，空调系统将更加复杂，将包括更加完善的电子控制系统。

2003 年在英国的汽车制造厂家生产的空调汽车的总数见图 6。

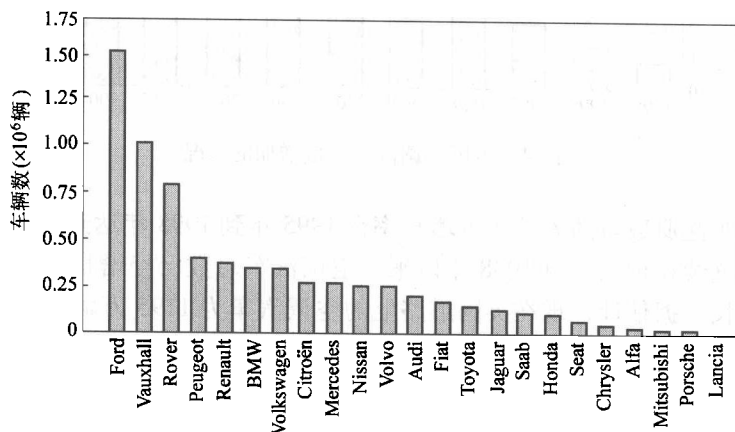


图 6 2003 年英国空调汽车生产总数

现在，涉及空调业务的不再只是特许经销商。每年都有越来越多的公司进入 A/C 及其销售业务，汽车制造厂家也能很容易地进行服务及前维护工作。超过半数的汽车制造厂家或从事 A/C 相关的计划维护项目或通过他们的营销网络进行宣传，以便增加业务量和扩大影响。

A/C 服务与维修的机会会有：

(1) 制冷剂漏失 空调系统制冷剂每年自然漏失约 10% ~ 15%，从而导致了一系列的问题：

- 1) 制冷效果差——在热天最为明显。
- 2) 润滑性能变差——常常引起压缩机故障。
- 3) 空气进入系统——会引起制冷效果下降，并加速系统内部腐蚀。
- 4) 水汽进入系统——能引起堵塞和造成腐蚀。

A/C 系统的正确维修不仅会改善空调的效能和经济性，而且还会较小损坏的危险性。

(2) 异味问题——防菌处理 出现发霉而令人作呕的气味是 A/C 系统常见的令人遗憾的副效应。这些异味以及汽车综合征（汽车乘员会表现出像流感一样的症状）都是由蒸发器内细菌积累所致。这个问题能够很容易地得到处理。

(3) 系统一般诊断与维修 不巧，空调系统的预防性维护并没有形成惯例，A/C 系统往往几年得不到维护。这样，往往导致部件或系统失效。冷凝器位于汽车前部，这使它很容易受到盐的腐蚀和石块的打击等。

(4) 技术开发 新技术的开发需要新的方法和新工艺。培训机构能够提供教育支持，从而加速了实际应用，设备供应商将有机会提供适用于新型空调系统或制冷剂的新设备。如果 CO₂ 空调系统普及应用（2008 年），那么，就必须采用新的做法。对该领域内的专业厂家来说，这便将是一个提供有助于顺利过渡的技术培训和资源的大好时机。

(5) 培训机会 英国有许多工业和教育培训提供商。作为培训中心，大部分提供商都在认证团体的指导下，从事鉴定工作。汽车领域相关的认证团体有很多，城市与指导（City & Guide）和汽车工业协会（IMI）就是其中的两家。通过教育与工业之间的协作，这些团体所建立的鉴定标准已经产生。目前，还没有法规要求汽车领域必须参加一些能够处理汽车空调的培训课程的学习。环境保护法（EPA）惟一的要求是制冷剂的安全操作。在美国也提出了这个要求。

(6) 强制培训（制冷剂的安全操作）——建筑行业培训局（CITB） 环境保护法不准许有意地将制冷剂排放到大气中。在制冷剂必须从系统中放出却又不能立即重新使用的情况下，由受到适当管制的公司将制冷剂回收起来。这些回收公司应雇佣有能力完成制冷剂回收工作的工程师，这些工程师从事制冷设备的安装、调试、维修，就必须熟悉最新的法规。

BES 制冷剂方案的内容包括制冷剂的安全操作。通过相应的评定就能取得一套 CITB- 建筑检验证书与认证卡，这就证明有能力胜任与环境保护法相符的制冷剂操作。

7. 民办教育

(1) 城市与指导（City & Guide）6408 汽车空调（维修）认证 城市与指导（City & Guide）6408 汽车空调认证是一项得到公认的资格鉴定。该认证所开设的课程包括汽车制冷剂和空调的基础知识。该课程得到城市与指导（City & Guide）的认可，并得到气动部件欧洲有限公司的监督和评估。课程长度约为 20 小时。作为短期专业课程，该课程对边学习边

工作的学员是最理想的,能让学员将所学知识应用于自己的工作中。大多数参考者都工作在汽车维修业,为了将他们的业务扩展到 A/C 服务和维修业,他们需要有关知识。本书包含完成该课程所需要的基础知识。

(2) 城市与指导 (City & Guide) 进步奖 3 级 城市与指导 (City & Guide) 在他们的进步奖第七部分 (Progression Award, Unit7) 中提供空调和气候控制系统及其部件的故障诊断与维修的 3 级培训。这个部分目前是可选的,当然,由于 A/C 系统将来可能成为标准配置,所以希望这个部分最后能成为强制性培训。本书包括完成该部分所需的基础知识。该部分一般都提供核心单元和能使参考者获得全面鉴定的其他可选单元。

(3) 汽车工业协会 (IMI) 对零售的汽车行业来说,IMI 是一个主要的认证团体。他们提供了从一级到五级的一系列认证。

● 一级 (Level 1) ——对在校 14 岁以上的学生或继续教育的学员开展的学徒期之前的职业认证项目。

● 二级 (Level 2) ——适合于已经通过一级资格认证的人,或在英语、数学和一门理科课程可能达到 GCSE 的 D ~ F 级的人。这些认证涵盖日常任务,同时需要以前的知识或工作经历。

● 三级 (Level 3) ——适合于已经通过二级资格认证的人,或在英语、数学和一门理科课程可能达到 GCSE 的 A ~ C 级的人。这些高级认证涵盖比较复杂的非日常任务,同时需要以前的知识或工作经历。

● 四级 (Level 4) 以上——管理与主管技师的注册认证。适合于那些已经取得三级资格认证的人。经过四级认证后方能进行更高的教育、管理和五级认证,从而在从事经营所需的技巧方面打下良好的基础。

IMI 提供资格与课程管理局 (QCA) 课程,以及 A/C 和其他学习单元内的 A/C 鉴定。IMI 还提供汽车技师资格鉴定。

(4) 汽车技师鉴定 (ATA) ATA 是为从事汽车工业领域的技师准备的一个民间鉴定项目。它依托大的汽车制造厂、独立的维修组织和汽车能手俱乐部 (Automotive Skills),受汽车工业协会 (IMI) 的管理。ATA 注册的技师都有标志,并受专用产品代码的约束。这些技师均配有带照片的身份识别卡,他们的详细情况都包括在 ATA 网页上。

ATA 为客户、技师和雇员带来的主要好处有:

- 客户信任 ATA 注册技师和雇用 ATA 注册技师的各种组织。
- 是当前的技术能力和职业可信度的证明。
- 建立了技师招收与培训的标准。

8. 美国

(1) 强制教育——制冷剂的安全操作 现在,凡是打开汽车空调系统制冷回路的技师都必须取得制冷剂回收再利用操作程序的资格证,并遵守 1990 年的《大气清洁法修正案》第 609 部分。

汽车空调协会 (MACS) 提供了一个目录单。此目录单可以从因特网上下载,或靠邮寄来获取。一旦完成后,按照 EPA 的要求,投考者就被授予制冷剂安全操作资格证书。

(2) ASE 认证 ASE 的任务就是要通过维修人员的自愿测试与认证,来提高汽车修理和服务质量。

大约有 40 万专业人员持有现行的 ASE 证书。

成为特许的汽车 HVAC 培训提供商能提供从教育获得利润的机会，并加强了与维修企业之间的联系，实现技能和知识的更新。这还能促进了工具与消费品售后市场的需求。由于 CO₂ 空调系统的推广使用，特别是操作这样的系统具有危险性，如果要求技师持有职业特许证的话，教育培训肯定是一个前景广阔的领域。

第1章 空调基础

本章学习目标：

- 给出了暖风和通风系统的发展历史，介绍了空调（A/C）系统。
- 为读者提供有关空调（A/C）系统设计和优化的实例分析。
- 能使读者掌握暖风、冷风、通风和空调系统的基本原理和工作情况。
- 介绍了替代制冷剂和将系统转换为 R134a 的情况。

1.1 汽车空调系统发展史

运输系统的历史始于马车时代，这种运输工具后来被汽车的发明所超越。早年的汽车，车厢是敞开的。这就是说，乘员不得不调整他们的衣服，来适应不同的气候状况。为了满足乘员的要求，最后采用了有暖风、冷气和通风功能的封闭式车厢。早期的暖风系统采用加热粘土砖的方法，将这些砖放在车内，或者采用简单的燃油燃烧器来给车内供热。通过打开车窗或风窗，或使车窗或风窗倾斜的方法，来实现车内通风换气。将出风口加到车门上和横隔板上，从而改善了空气循环。百叶窗式板相当于我们现代的空气管。空气流受车速影响，难以控制；有时，含有尘土空气流和含有有害烟雾的潮湿空气会从发动机室进入车内。将一块冰放到车内并让其融化，冷气系统就是这样简单。最终，克服了许多设计问题。这些问题包括用风窗底部出风口实现自然气流通风和在低速时用电动机增加气流流速的问题。最后引入了热交换器，这种热交换器利用来自排气系统的热量，或利用来自冷却水的热量，来为汽车车内供热。早期的车内冷气系统是售后加装的，根据蒸发冷却原理来工作。这些系统是由一个安装到车窗上的盒子或圆筒所构成。该装置的入口能使空气从外面进入，并经过内部浸有水的金属丝网格栅和锯屑吸湿锥。由于吸收空气中的热量，水就会变为蒸汽，然后经过该装置的出口而进入车内。在该装置内部，水盛在一个水池内，并且必须注满，以便保持吸湿锥的湿润，否则该装置就不会工作。如果进入该装置的空气的相对湿度较低，进入车内的空气就是凉爽的。如果进入该装置的空气的相对湿度较高，那么，水就不会蒸发。当该装置正常工作时，它就会将凉爽的饱和水蒸气输送到车内，从而提高了湿度水平。这些装置仅仅在湿度极低的国家才真正有效。

1939年，帕卡德（Packard）将依靠一个封闭回路进行工作的最早的机械式汽车空调系统推向市场。该系统使用了压缩机、冷凝器、接收-干燥器和蒸发器（装载行李箱内）。仅有的一个控制装置就是风机开关。帕卡德的营销战的口号是：“在世界上惟一的空调汽车里，才能忘记今夏酷暑”。该系统的主要问题是压缩机工作起来不能停止（没有离合器），因此必须拆下传动带，才能在冬季的数月里使系统处于分离状态。在1940~1941年期间，许多汽车制造厂家制造装有空调的汽车，但是，这些汽车批量小，并非按批量生产而设计。直到二次世界大战之后，凯迪拉克对空调系统的一个新特点进行大肆宣扬，这种空调系统将

控制开关设置在行李搁板上,这就是说,驾驶员必须爬到后座椅上才能关闭空调系统。这也要比钻到机罩下面拆传动带好。在1954~1955年期间,纳什·凯尔维纳特(Nash-Kelvinator)推出了批量销售的空调。这是一种控制开关设在仪表板上并采用电磁离合器的、结构紧凑且用户买得起的A/C总成。

1.1.1 空调系统的设计及优化实例分析——空气操纵系统

1. 试验手段

过去,对所提出的空气操纵系统设计进行评价的一种唯一的方法是制造一个样机,并在试验室对其进行测试。将空气操纵系统零部件放在试验台架上。在入口处提供调节的空气,并在几个重要的位置,对空气流分布和温度分布进行测量。这种方法消耗时间多,并需要制造昂贵的样机。此外,这种方法不能说明设计的原因和设计的方法。特别是,测试不可能检测到内循环区、涡流、温度分层及严重影响性能和压力损失的限制因素。除此之外,系统的性能通常通过多种不同的结构来评价。例如,有时必须不同的工作模式(通风模式、地板出风口模式、除霜和混合模式)、八种不同的温度控制情况下,对空气操纵系统进行评价。

2. 现代设计方法

现代汽车系统的设计工艺由于引进了计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程(CAE)、计算机辅助制造(CAM)而得到改进。CAD能实现在计算机上完成设计和进行评价。汽车制造厂家和零部件供应商可共用标准件,确保了零部件的正确装配。可以将设计交给客户,以便客户核实和获得反馈意见。可以在短期内以不同的格式(如STL文件,即立体平版印刷术),对设计进行修改和复核。使用快速成型设备,结构复杂的零件和总成可以迅速地制造出来。CAD还包括提供虚拟测试的设备。一般情况下,提供这种设备需要使用额外的模块即插件,以便将CAD转换成CAE。现在,CAD软件甚至用于英国的许多中等学校。这些学校的工程系将Solidworks作为一个软件包。软件包内还包括像Cosmos Works这样的用于有限元分析和计算流体动力学分析的插入式模块。有限元分析(FEA)基本上是机械应力分析,而计算流体动力学(CFD)对像空气这样的流体流过复杂的几何结构进行分析。这些额外的特征全都以计算机为基础,并利用数学方程来预测例如零件或总成的应力分布(FEA)以及出风口的空气流量这样的一些变量。所有的这些试验原来都用人力来完成,为了对模型进行优化,需要连续不停地调节。

3. 工艺

受客户需要和政府法规的推动,A/C系统在设计理念方面出现了新的开端。这就导致了一个技术标准的形成。这个标准将包括最低性能要求、温度、控制区、流速等。这就带来了多种概念设计。这些设计将具有多个计算机模型(见图1-1),从而展示了实现原始规格的几

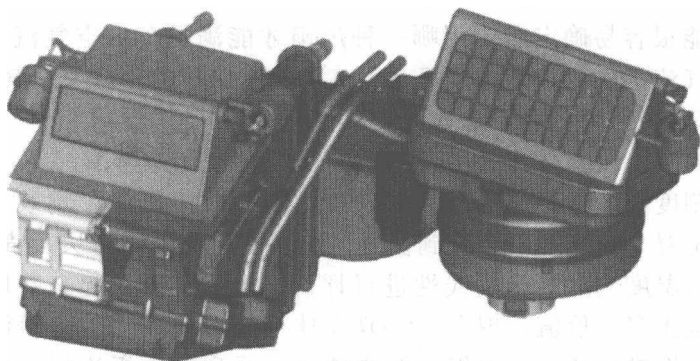


图1-1 利用CAD设计的计算机模型(无送风管道和出风口)

个可能的解决方案。这些方案必须经过测试，以便确定它们的性能。

使用 CFD 进行的性能测试包括流体流速（空气流速）测试、压力值测试（见图 1-2）和温度分布测试。使用 CFD 能够实现对流体流经极为复杂的几何结构和边界条件进行分析。典型的几何结构包括：变径管、横截面从圆形变为方形的管、整个长度上走向复杂多变的管和有多个分支与内壁面的管。

作为分析的一部分，设计师可以改变系统的几何形状或边界条件（如进气流速、体积流动速率等），并观察对流体的流线谱的影响（见图 1-3）。CFD 是进行参数分析的有效工具，能够大大减少优化设计性能所需的物理试验的工作量。

风扇的性能曲线可以输入到计算机模型中。没有这种功能，设计人员就必须估算风扇封壳内的空气流量，再用 CFD 计算压力，并且看是否与风扇的特性相匹配。如果压力并不匹配，那么就必须再进行估算。通常情况下，完成一次匹配，至少需要重复三次（试运行）。

这个软件具有将风扇性能曲线直接输入到模型中的能力。作为正常分析的构成部分，每个分析方案都要经过运行，然后与风扇曲线相互配合，从而确定精确的风扇工作条件。使用这种技术，工程师们就能很容易确定需要用哪一种风扇才能满足车内空气流量的要求。通常情况下，车内空气流量的要求是：暖风 75L/s，冷气 141.6L/s。风扇气流的优化见图 1-4。经过改善的风扇设计见图 1-5。

作为性能改善的一个典型例子，让我们来考察一下 HVAC 系统仪表板上的温度调节刻度盘的典型设计规格。换言之，从对温度的影响效果来说，将刻度盘从位置 1 移到位置 2 与从位置 2 移到位置 3 应该是相同的。过去，直到汽车的所有样品都制成后，才对温度刻度盘的直线性进行评价。这样，改动起来费用昂贵，测试的数据对所需改动也无多少价值。现在，CAD 立体模型一完成，工程师们就能对所提出的设计模型的直线性进行评价。他们一般要创立一系列的分析流程，从而对 HVAC 系统的所有三个工作模式的八个不同温度设定值进行评价。用不了一个星期，他们就能确定出每个设

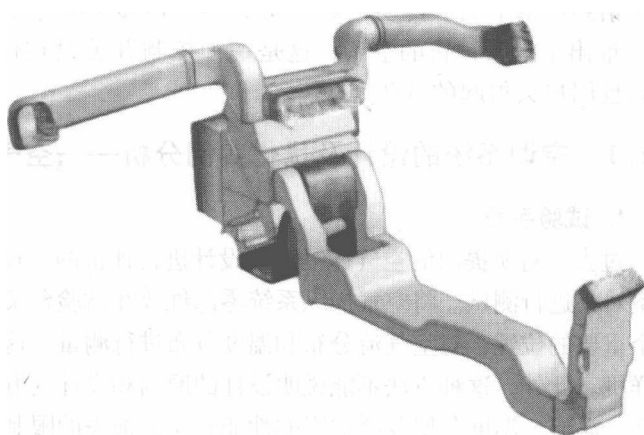


图 1-2 用 CFD 预测空气压力损失

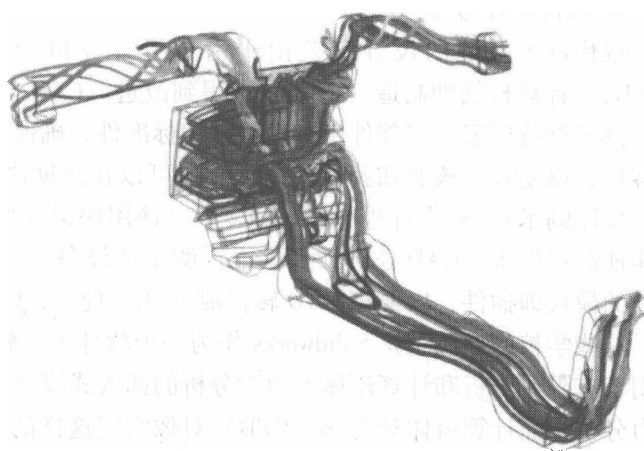


图 1-3 流线展示了空气操纵系统中的流场

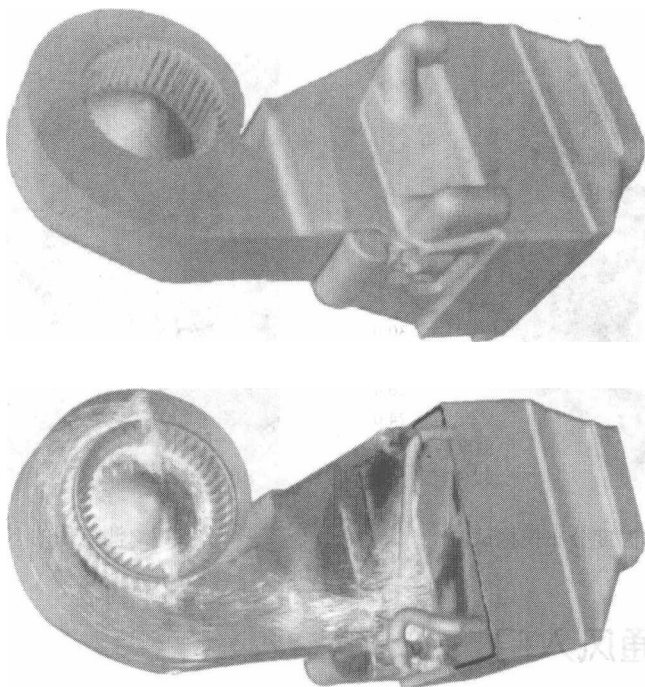


图 1-4 风扇气流的优化

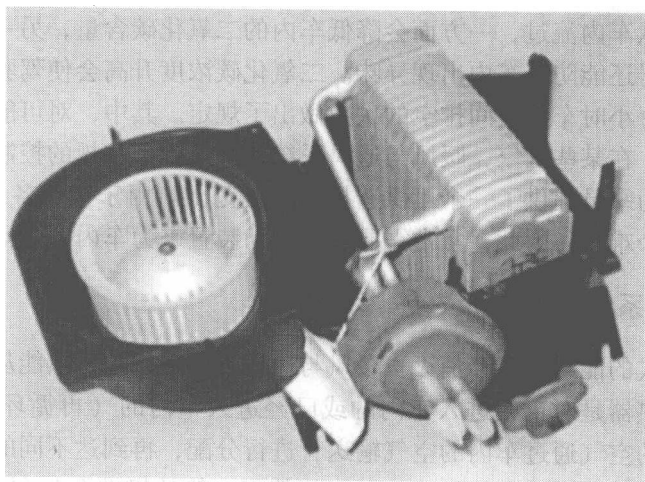


图 1-5 改善的风扇设计

定值的出风口温度。

人体温度分布模拟试验见图 1-6。

所有的人体温度分布模拟完成后，就制造样机（如图 1-7 所示），从而确保了实体模型按照计算机模型的预测值进行运行。仿真系统与实际系统性能的精确度的差异可能高达 10% ~ 15%。总之，研制周期缩短，各种设计可以更快地得到评价，这样可以有更多的时间来优化工作性能。