



国家技能型紧缺人才培养培训工程
中等职业教育汽车运用与维修专业规划教材

汽车防滑控制系统 结构与维修

栾庭森 主编

ABS ASR EBD EDS BAS MSR HAC DAC ESP



54
12



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国家技能型紧缺人才培养培训工程
中等职业教育汽车运用与维修专业规划教材

汽车防滑控制系统结构与维修

主 编 栾庭森
副主编 李慧峰
参 编 仇海兵 盛桂芬
主 审 赵 琳



机械工业出版社

本书重点讲述了汽车制动防抱死系统（ABS）和汽车驱动防滑系统（ASR）的结构、工作原理和维修方法及部分典型车型的维修方法；详细讲述了目前中、高档轿车上广泛应用的车辆电子稳定程序（ESP）的基本结构、基本工作原理及基本检修方法；简单介绍了ABS的各种扩展功能，如汽车电子制动力分配（EBD）、电子差速锁（EDS）、制动辅助系统（BAS）、发动机牵引力矩控制（MSR）、上坡起步辅助控制系统（HAC）、下坡辅助控制系统（DAC）的功用及基本工作原理。

本书可作为中职学校汽车运用与维修专业教材，也可供广大的汽车驾驶员及维修人员使用。

图书在版编目（CIP）数据

汽车防滑控制系统结构与维修/栾庭森主编. —北京：机械工业出版社，2006.12

国家技能型紧缺人才培养培训工程、中等职业教育汽车运用与维修专业规划教材

ISBN 7-111-20464-6

I. 汽... II. 栾... III. ①汽车—机械防滑刹车系统—结构—专业学校—教材②汽车—机械防滑刹车系统—车辆修理—专业学校—教材
IV. ①U463.540.3②U472.41

中国版本图书馆CIP数据核字（2006）第145431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：张双国、宋学敏 责任编辑：葛晓慧 版式设计：张世琴

责任校对：李秋荣 封面设计：陈 沛 责任印制：杨 曦

北京机工印刷厂印刷

2007年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm · 8.5印张 · 2插页 · 200千字

0 001—3 000册

定价：13.00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

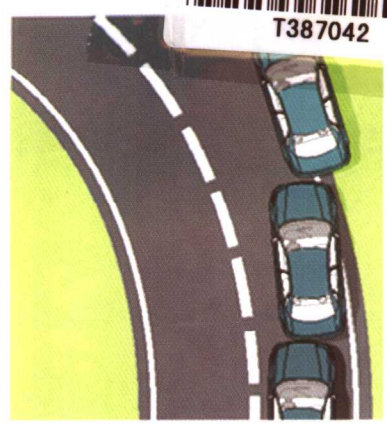
购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）88379182

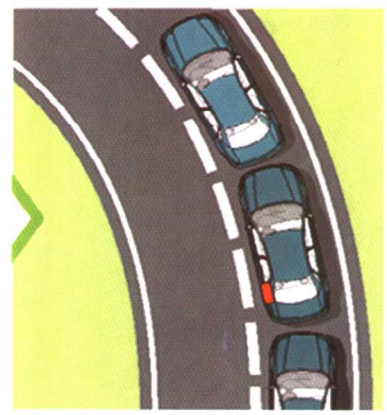
封面无防伪标均为盗版



图 4-20

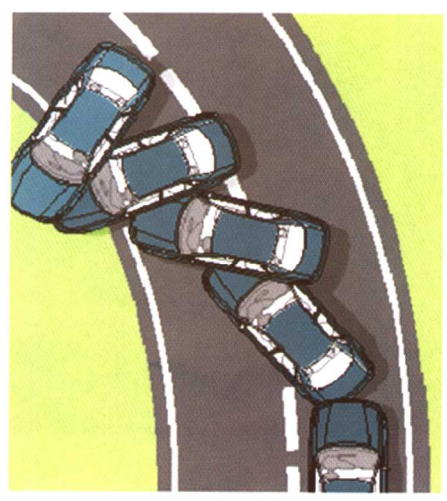


无 ESP 时行驶状态

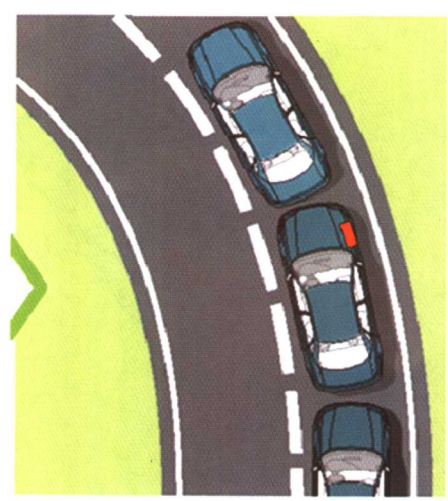


有 ESP 时行驶状态

图 4-21



无 ESP 时行驶状态



有 ESP 时行驶状态

图 4-22

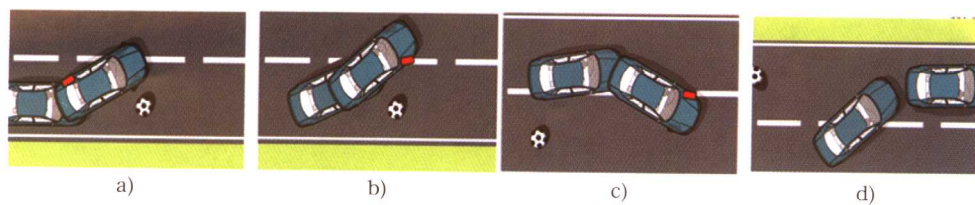
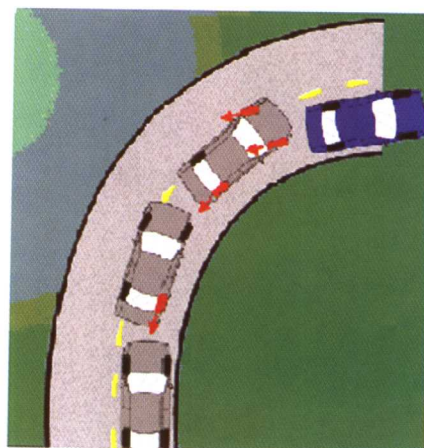
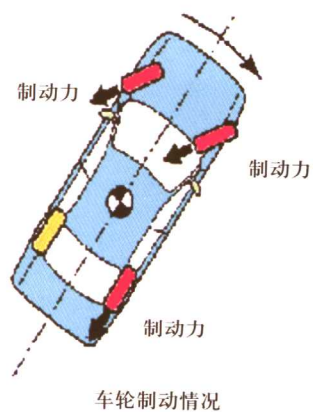
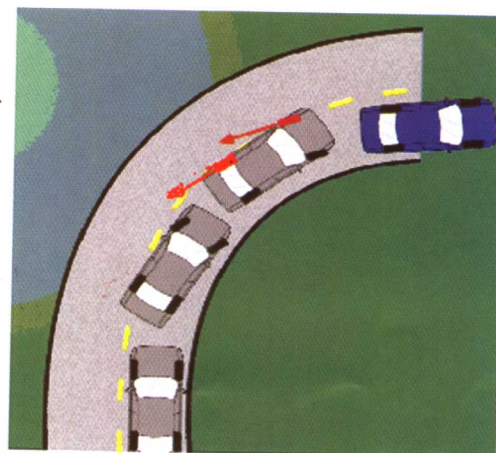
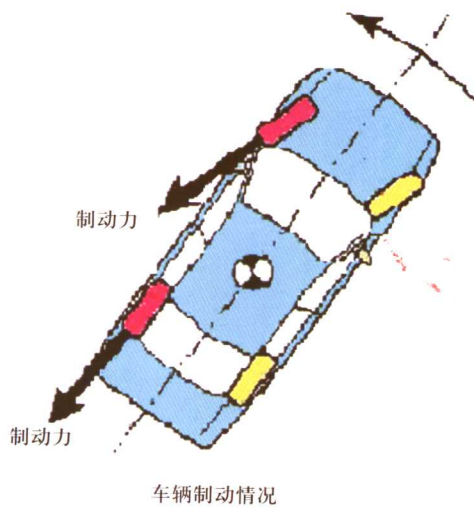


图 4-23



ESP 介入时车辆行驶情况

图 4-24



ESP 介入时车辆行驶情况

图 4-25

前 言

汽车在现代社会中的广泛使用,给人类生活带来了便利和效率,但也由于交通事故的不断上升,给人类社会带来了不幸,所以人们对汽车的安全性提出了越来越高的要求。由于电子技术的飞速发展,电子控制技术在汽车上的应用越来越广泛,且技术日益成熟、应用日趋普及,尤其在汽车防滑控制方面的应用更是日新月异。目前汽车制动防抱死系统(ABS)在汽车上的应用已经相当普及,在此基础上还发展出ABS的各种扩展功能,如驱动防滑系统(ASR)、汽车电子制动力分配(EBD)、电子差速锁(EDS)、制动辅助系统(BAS)、发动机牵引力矩控制(MSR)、上坡起步辅助控制系统(HAC)、下坡辅助控制系统(DAC)以及车辆电子稳定程序(ESP)等。但由于人们对汽车防滑控制方面的内容尚不熟悉,普遍缺乏这方面的知识,市场上也缺乏这方面的系统资料,给汽车的使用和维修工作带来一定困难。为了帮助广大驾驶员和汽车维修技术人员了解这方面的知识,我们编写了《汽车防滑控制系统结构与维修》。本书内容较广泛、图文并茂、通俗易懂,既有原理结构,又有故障诊断与检修,实用性较强,具有一定的可操作性,对汽车的使用和维修工作具有一定指导意义。

本书由北京市交通学校栾庭森组织编写,全书共分四个单元,其中第一单元序论、课题1、课题2、课题3,第二单元课题1由北京市交通学校仇海兵编写;第一单元课题4,第二单元课题2由北京市交通学校李慧峰编写;第一单元课题5、课题6,第二单元课题3,第三单元,第四单元由栾庭森编写。全书部分英文资料由北京市交通学校盛桂芬翻译,北京市交通学校赵琳担任了本书的主审。

教材编写过程得到了北京市修理公司有关技术人员的大力支持。他们为本教材的编写提供了大量的技术资料、丰富的实践经验,在此表示衷心的感谢。

由于编者学识水平有限,编写时间仓促,书中难免有许多错误和缺点,敬请批评指正。

编 者

目 录

前言

单元 1 汽车防抱死制动系统(ABS) 1

序论 1

课题 1 防抱死制动系统的基础知识 3

1.1.1 汽车制动性能的主要评价指标 3

1.1.2 汽车制动时的受力分析 4

1.1.3 防抱死制动系统的作用及优点 8

课题 2 防抱死制动系统的基本组成、控制方式和分类 8

1.2.1 防抱死制动系统的基本组成 8

1.2.2 防抱死制动系统的控制方式 9

1.2.3 防抱死制动系统的分类 12

课题 3 防抱死制动系统主要部件的结构与工作原理 14

1.3.1 传感器 14

1.3.2 电子控制单元 (ABS ECU) 18

1.3.3 执行器 20

课题 4 典型防抱死制动系统的结构与工作原理 24

1.4.1 博世 (BOSCH) ABS 系统的结构与工作原理 24

1.4.2 戴维斯 (TEVES) ABS 系统的结构与工作原理 31

1.4.3 德尔科 (DELCO) ABS 系统的结构与工作原理 35

课题 5 ABS 应用实例 43

1.5.1 捷达王及都市先锋轿车 ABS 系统结构与检修 43

1.5.2 北京切诺基轻型越野车 ABS 基本结构与诊断 51

1.5.3 别克世纪轿车 ABS 系统结构与检修 52

课题 6 ABS 系统的正确使用及检修 64

1.6.1 驾驶带 ABS 系统的车辆时的注意

事项 64

1.6.2 ABS 使用与检修中的一般注意

事项 64

1.6.3 ABS 系统故障的常规检查 (直观检查) 65

1.6.4 使用诊断仪对 ABS 系统检测 (以大众系列用 V. A. G1552 诊断仪为例) 65

1.6.5 带有 ABS 系统的液压制动系统的加液及排气步骤 71

1.6.6 ABS 系统拆装注意事项 72

单元 2 汽车驱动防滑控制系统 74

课题 1 驱动防滑控制系统的工作原理、控制方式和组合使用 74

2.1.1 驱动防滑控制系统的作用与工作原理 74

2.1.2 驱动防滑系统的控制方式 75

2.1.3 制动防滑系统与驱动防滑系统的组合使用 77

课题 2 防滑控制系统实例 78

2.2.1 防滑控制系统的主要组成 78

2.2.2 ABS/TRC 系统主要部件的功能和结构 79

2.2.3 ABS/TRC 的工作过程 81

2.2.4 ABS/TRC 系统电路分析 83

课题 3 驱动防滑控制系统的检修 88

2.3.1 驱动防滑控制系统检修的一般程序 88

2.3.2 初步检查 88

2.3.3 驱动防滑控制系统的故障自诊断测试 90

2.3.4 ABS 系统故障征兆模拟测试方法 91

2.3.5 ABS 和 ASR 系统故障诊断表 92

单元3 ABS系统部分扩展功能简

介	96
课题1 电子制动力分配 (EBD) 结构及 工作原理	96
3.1.1 行车制动装置简介	96
3.1.2 制动防滑与制动效果评价	96
3.1.3 电子制动力分配 (EBD) 基本结 构及工作原理	97
课题2 电子差速锁 (EDS) 基本结构及 原理	99
3.2.1 汽车差速器基本原理	99
3.2.2 电子差速锁 (EDS) 的基本功用 及工作原理	101
课题3 制动辅助系统 BAS (Brake Assist System) 基本结构及原理	104
3.3.1 制动辅助系统 BAS 工作原 理	104
3.3.2 制动辅助系统 (BAS) 的工作 过程	104
课题4 发动机牵引力矩控制 (MSR) 系 统简介	106
3.4.1 发动机制动现象	106
3.4.2 发动机牵引力矩控制 (MSR) 基本工作原理	106
3.4.3 装备发动机牵引力矩控制 (MSR) 系统优点	106
课题5 上坡起步辅助控制 (HAC) 系统 及下坡辅助控制 (DAC) 系统简 介	106
3.5.1 上坡起步辅助控制 (HAC) 系统	106
3.5.2 下坡辅助控制 (DAC) 系统	108

单元4 车辆电子稳定程序 (ESP)

结构及工作原理	110
课题1 汽车的操纵稳定性	110
4.1.1 轮胎的侧偏特性	110
4.1.2 汽车的稳态转向特性	112
课题2 车辆电子稳定程序 (ESP) 基本 结构	113
4.2.1 车辆电子稳定程序 (ESP) 特点 及分类	113
4.2.2 车辆电子稳定程序 (ESP) 的组 成及基本工作原理	113
课题3 车辆电子稳定程序 (ESP) 工作原 理及工作过程	120
4.3.1 车辆电子稳定程序 (ESP) 的工 作原理	120
4.3.2 车辆电子稳定程序 (ESP) 工作 过程	120
4.3.3 车辆电子稳定程序 (ESP) 制动 压力控制过程	123
4.3.4 ESP 与其他动力控制系统的关 系	124
4.3.5 ESP 控制电路	126
课题4 车辆电子稳定程序 (ESP) 故 障诊断	126
4.4.1 车辆电子稳定程序 (ESP) 的故障 显示及检测	126
4.4.2 车辆电子稳定程序 (ESP) 的自 诊断及主要部件的标定 (以宝 来为例)	127
4.4.3 阅读测量数据块	129
参考文献	132

单元1 汽车防抱死制动系统 (ABS)

序 论

汽车制动防抱死装置 (英文为 Anti-lock Braking System, 简称 ABS) 的作用就是在汽车制动时, 防止因车轮抱死而使其在路面上拖滑, 以提高汽车制动过程中的方向稳定性、转向控制能力和缩短制动距离。它是电子控制技术在汽车上最有突出成就的一项应用, 能够有效地提高行车的安全性。

众所周之, 为了使汽车行驶时能够根据需要降低速度直至停车, 汽车车轮上均装有制动器。在汽车制动防抱死装置出现之前, 制动器制动力矩的大小仅与驾驶员的操纵力、制动力的分配调节以及制动器的尺寸和形式有关。这样在紧急制动时, 不可避免地会出现车轮在地面上抱死拖滑的现象。当车轮抱死时, 轮胎对地面的纵向及侧向附着性能很差, 所能提供的纵向和侧向附着力很小, 汽车受到干扰外力作用下就会出现方向失稳和制动距离过长的问題, 容易发生交通事故。在潮湿路面或冰雪路面上制动时, 这种现象更容易发生。

人类对汽车制动时的方向失稳现象及其产生原因的认识是逐步加深的。在路面车辆诞生初期, 汽车前轮上一般不装制动器, 而仅安装在后轮上。一方面的原因是当时路面车辆行驶速度低, 但主要的原因是为了防止前轮丧失转向能力。这种做法大约持续了 15 年, 其间虽然人们注意到后轮抱死有时会造成汽车绕前轴转动, 但当时占支配地位的想法是这总比前轮丧失转向能力好。到了 20 世纪 20 年代初期, 随着汽车质量的增加和车速的提高, 仅靠后轮制动不足以提供充分的制动力, 这样才在前轮上安装制动器。但当时仍然认为前轮制动只是对后轮制动的一种补充, 同时不允许前轮先于后轮抱死。后来, 人们又认识到应根据静态轴荷的分配比例来分配前后轮的制动力。到了 20 世纪 30 年代末期, 汽车界又认识到制动时轴荷的动态转移, 即前轮增重、后轮减重, 且后轮先抱死更易造成汽车特别是铰接汽车的方向失控, 导致交通事故的发生, 从而开始着手研制能限制汽车后轮制动力矩的装置, 由此诞生了限压阀、比例阀、惯性阀、感载比例阀等。现今这些前后制动力分配和调节装置被许多国家广泛应用在轿车、货车、客车、铰接车辆的后制动管路中。到 1968 年底, 几乎所有的铰接车辆上都装有这类装置。

随着前后轮制动力分配装置技术的发展, 为提高路面车辆制动性能的其他技术也在发展着。例如汽车的液压制动技术、钳盘式制动器技术、双管路制动系统、真空伺服制动装置等技术都得到了应用和推广。

然而以上技术的应用, 并不能完全解决车轮制动时的抱死问题, 这是因为它们是开环制动系统, 无法感知制动轮的运动状况, 轮缸的压力不能适时地调节, 制动轮的制动力得不到相应的控制, 制动时汽车方向失稳问题仍未得到根本的改善。直到 20 世纪 50 年代, ABS 装置才被开发应用到汽车上。

据欧洲各国统计,应用了制动防抱死技术后,交通事故的发生率大大减少。汽车制动防抱死系统这一优点一直在激励各国的汽车工程师致力于这方面的研究工作,其中英国和德国的学者为此付出了更多的努力和心血,他们也是研究这项技术的先驱者。1965年前后,制动防抱死装置开始安装在汽车上进行路试;1968年底,它在英国被成功地安装在半挂拖车机组牵引头的后轮上,并投入实际运营。其后十年间,制动防抱死装置主要是装在这种铰接车辆上,有效地解决了铰接车辆在制动时经常发生的折转问题,在客车、高档轿车上也有少量的应用。

除了瑞典以外,其他国家政府的交通管理部门也在积极认真地评价汽车制动防抱死系统的优点。在当时的联邦德国,从1969年到1972年交通部主持了一项研究项目,即对安装有制动防抱死系统的轿车、公共汽车、货车和半挂拖车机组的制动性能进行了全面的系统的测试,由此产生的试验报告以后成为对关于欧洲制动防抱死性能检测的ECE第13号法规的13号补充法规讨论的基础。

然而在当时,制动防抱死技术远未成熟,仍处在早期发展阶段,存在着性能方面和可靠性方面的问题。主要表现在它的电气部分的安装上,例如轮速传感器、导线、插头、信号线等;特别是单片机的问题,单片机常常发出错误的信号,使压力调节器不能正常的工作;此外还有压力调节器反应迟钝及制动防抱死系统抗电磁场干扰能力差等缺点。在制动防抱死系统的使用和维修方面也存在着很多问题,如维修备件缺乏、维修费用调整不当、维修人员和驾驶员对结构不熟悉、缺乏必需的维修设备等等。结果制动方面产生的一切问题都归咎到制动防抱死装置上,导致使用人员对制动防抱死装置完全丧失了兴趣和信心。最终,在几个恶性交通事故发生后,1978年经法院裁决,美国公路交通管理局取消对新出厂的营运车辆所规定的制动距离和后轮不抱死的条款。此后,美国对制动防抱死装置的应用迅速减少,制动防抱死装置的市场也迅速消失。

欧洲主要是西欧各国对制动防抱死系统的性能标准的讨论始于1972年。参加讨论的有政府交通安全管理部门的代表,大学和研究所的专家,汽车生产厂家、制动器生产厂家和电子产品生产厂家的代表。他们经过多次会议的讨论,最终形成了关于欧洲制动防抱死系统性能的若干规定,并于1979年将 these 规定作为联合国欧洲经济委员会关于汽车制动性能的第13号法规的13号补充法规颁布实施。

进入20世纪80年代,制动防抱死装置又迎来了它的第二次大发展。在20世纪80年代初期,欧美各国突然加速了新的防抱死装置的研究和应用。制动防抱死装置在家用轿车和商用货车上的应用使市场迅速膨胀,这样大大刺激了各制动防抱死装置生产厂家投入更多的力量研制性能更好、结构更简单、使用更可靠、性价比更高的制动防抱死装置。与此同时,制动防抱死系统在汽车上的布置方案也迅速增多。例如对于豪华型家用轿车,以前仅有三通道、四通道两种布置方案,进入20世纪80年代以后,由于中档家用轿车对制动防抱死装置的需求,同时又考虑到此种装置占整车价格的比例,于是相对简单的各种二通道、一通道制动防抱死装置应运而生,这是20世纪70年代没有预见到的。

由于新的制动防抱死装置布置方案的出现,1979年通过的第13号补充法规不能完全适用,于是欧洲国家又从1982年起对第13号补充法规进行了修订,于1985年形成了新的文本。

20 世纪 80 年代中期以后,借助于电子控制技术的迅速发展,制动防抱死系统反应更灵敏、成本更低、安装更方便、维修更容易、价格更适合在中小型家用轿车上装备。1987 年,欧共体颁布了一项法规,要求从 1991 年起,欧共体成员国生产的所有新车型均需装备制动防抱死装置,同时规定凡载重 16t 以上的货车必须装备制动防抱死装置,并且禁止无此装置的汽车进口。日本规定,从 1991 年起总质量超过 13t 的牵引车、总质量超过 10t 的运送危险品的拖车、在高速公路上行驶的大客车都必须安装制动防抱死装置。

现今,德国生产的轿车已有 21% 装备了制动防抱死装置。它主要应用在豪华轿车上,但占总量 60% 以上的中低档家用轿车应用这种系统的还不多,主要原因是这种系统价格较高,占中低档轿车的整车价格比例较大。美国福特汽车公司生产的货车,制动防抱死系统的配备率达 94%,而通用汽车公司 1994 年起生产的货车和客车则全部装备了这种装置。预计在今后的五年里,世界范围内制动防抱死装置在汽车上的装备率将达到 80%。

随着人们对汽车性能要求的提高,不仅需要在制动过程中防止车轮抱死,而且要求在驱动过程中(特别是在起步、加速和转弯过程中)防止驱动车轮滑转,使汽车在驱动过程中的方向稳定性、转向控制能力和加速性能得到提高,因而有的装有一种驱动防滑系统,简称 ASR。驱动防滑系统是汽车制动防抱死系统功能的自然扩展,它的作用是维持汽车行驶时的方向稳定性,并尽可能利用车轮一路面间的纵向附着能力,提供最大的驱动力。而且该系统可防止驾驶员过分踩下节气门踏板所带来的负效应,获得较好的行驶安全性及良好的起步加速性能,同时它可减少轮胎及动力传动系统的磨损。ASR 系统作用时,仪表盘上的 ASR 指示灯就会点亮,这样驾驶员就被告知路面的状况,从而可及时采取相应的措施,以改善驱动条件。ASR 系统的这种控制方式称为“光滑路面状况显示控制”。ASR 系统已成功地应用在许多高档轿车、客车和货车上,并且取得了明显的效果。由于驱动防滑系统总是和防抱死系统结合在一起应用,通常称为 ABS/ASR 系统。

课题1 防抱死制动系统的基础知识

为了便于我们后面对制动防抱死系统更好地理解,首先要了解一下防抱死系统的基础知识。

1.1.1 汽车制动性能的主要评价指标

什么样的汽车制动效果才是最理想的呢?这就涉及到我们评价汽车制动性能的指标了。一般来说有三个方面。

1. 制动效能

制动效能主要指制动距离与制动减速度,通常实用中多指制动距离。制动距离是指在良好路面上,驾驶员开始踩制动踏板到汽车完全停车所行驶的距离。显然制动距离越短,越有利于避免交通事故的发生,它是制动性能最基本的评价指标。

2. 制动时汽车的方向稳定性

制动时汽车的方向稳定性,一般是指制动过程中维持汽车直线行驶和按预定弯道行驶的能力。如果汽车制动时发生侧滑、甩尾,严重时出现调头,都会使汽车失去方向稳

定性；如果汽车在弯道行驶中制动时，汽车不再按原来弯道行驶，出现冲入其他车道或冲出路面，或者即使是直线行驶也无法避开障碍物，操纵转向盘也不起作用，则认为汽车失去转向控制能力（转向操纵性）。汽车制动过程中，失去方向稳定性和失去转向控制能力，都是造成交通事故的重要原因。

3. 制动效能的恒定性

制动效能的恒定性，主要指抗热衰退性能。抗热衰退性能是指当汽车频繁制动时（如下长坡时长时间连续制动），制动器温度升高后，其制动效能的保持程度。因为制动过程实际上是把汽车行驶的动能通过制动器吸收后转换为热能，所以制动器温度升高后能否保持在冷状态时的制动效能，已成为设计制动器时要考虑的一个重要问题。

以上三项指标中，前两项指标在采用 ABS 装置后，其性能都会有明显的改善和提高，对避免交通事故的发生能起到很好的作用，因此 ABS 是汽车上十分重要的制动安全装置。

1.1.2 汽车制动时的受力分析

汽车要从一定的速度减小到较小的车速或停车，必须要在与行驶方向相反的方向上施加一外力，这个外力只能由地面和空气提供。由于空气阻力相对较小，所以实际上外力主要来源于地面，称之为地面制动力。地面制动力越大，制动距离就越短，所以地面制动力对汽车制动性具有决定性作用。

下面先分析车轮在制动时的具体受力状况，以说明影响汽车地面制动力的主要因素。

(1) 地面制动力 在良好的硬路面上制动时车轮的受力情况如图 1-1 所示。

图 1-1 中滚动阻力偶矩和减速时的惯性力、惯性力偶矩均忽略不计。 T_μ 是车轮制动器中摩擦片与制动鼓或制动盘相对滑转时的摩擦力矩，单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$ ； F_{xb} 是地面制动力，单位为 N ； W 为车轮垂直载荷、 T_p 为车轴对车轮的推力、 F_z 为地面对车轮的法向反作用力，它们的单位均为 N 。

显然，从力矩平衡得到

$$F_{xb} = \frac{T_\mu}{r} \quad (1-1)$$

地面制动力是使汽车减速行驶的外力，它取决于两个摩擦副的摩擦力：一个是制动器内制动摩擦片与制动鼓或制动盘间的摩擦力，一个是轮胎与地面间的摩擦力——附着力。

(2) 制动器制动力 在轮胎周缘为了克服制动器摩擦力矩所需的力称为制动器制动力，以符号 F_μ 表示。它相当于把汽车架离地面，并踩住制动踏板，在轮胎周缘沿切线方向推动车轮直至它能转动所需的力，显然

$$F_\mu = \frac{T_\mu}{r} \quad (1-2)$$

式中， T_μ 为制动器的摩擦力矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$)。

由式 (1-2) 可知，制动器制动力仅由制动器结构参数所决定，即取决于制动器的形

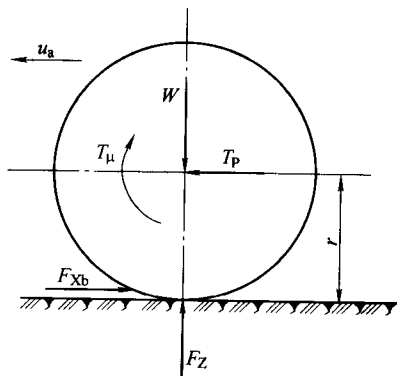


图 1-1 车轮在制动时的受力情况

式、结构尺寸、制动器摩擦副的摩擦系数以及车轮半径，并与制动踏板力，即制动系的液压或空气压力成正比。图 1-2 所示是试验得到的某四座轿车的制动器制动力与踏板力的关系曲线。

(3) 地面制动力、制动器制动力与附着力之间的关系 在制动时，若只考虑车轮的运动为滚动与抱死拖滑两种状况，当制动踏板力较小时，制动器摩擦力矩不大，地面与轮胎之间的摩擦力即地面制动力，足以克服制动器摩擦力矩而使车轮滚动。显然，车轮滚动时的地面制动力就等于制动器制动力，且随踏板力增长成正比地增长，如图 1-3 所示。但地面制动力是滑动摩擦的约束反力，它的值不能超过附着力，即

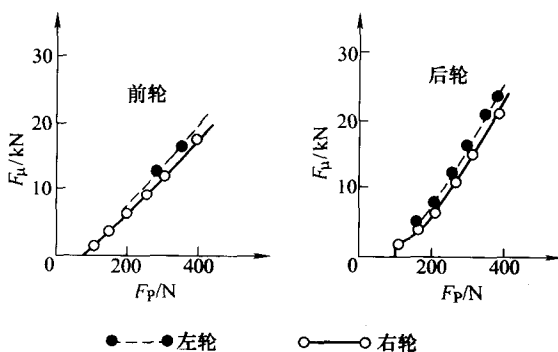


图 1-2 制动器制动力与制动踏板力的关系曲线

$$F_{xb} \leq F_{\phi} = F_z \varphi \quad (1-3)$$

或最大地面制动力 F_{xbmax} 为

$$F_{xbmax} = F_z \varphi \quad (1-4)$$

式中 φ 为路面附着系数。

当制动器踏板力 F_p 或制动系液压力 p 上升到某一值、地面制动力 F_{xb} 达到附着力 F_{ϕ} 值时，车轮即抱死不转而出现拖滑现象。制动系液压力 $p > p_a$ 时，制动器制动力 F_{μ} 由于制动器摩擦力矩的增长而仍按直线关系继续上升。但是，若作用在车轮上的法向载荷为常数，地面制动力 F_{xb} 达到附着力 F_{ϕ} 的值后就不再增加。

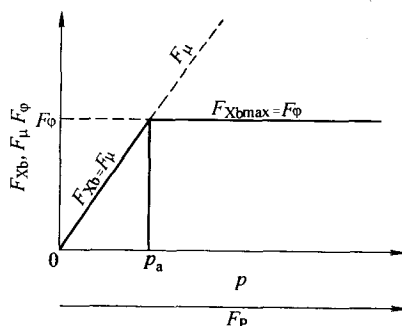


图 1-3 制动过程中地面制动力、制动器制动力及附着力的关系

由此可见，汽车的地面制动力首先取决于制动器制动力，但同时又受地面附着条件的限制，所以只有汽车具有足够的制动器制动力，同时地面又能提供高的附着力时，才能获得足够的地面制动力。

(4) 硬路面上的附着系数 上面曾假设车轮的运动只有滚动和抱死拖滑，但仔细观察汽车制动过程，就会发现胎面留在地面上的印痕从车轮滚动到抱死拖滑是一个渐变的过程。图 1-4 所示是汽车制动过程中逐渐增大踏板力时轮胎留在地面上的印痕。

印痕基本上可分三段：

第一段内，印痕的形状与轮胎胎面花纹基本上一致，车轮还接近于单纯的滚动。

第二段内，轮胎花纹的印痕可以辨别出来，但花纹逐渐模糊，轮胎不只是单纯的滚动，胎面与地面发生一定程度的相对滑动，即车轮处于边滚边滑的状态。

第三段形成一条粗黑的印痕，看不出花纹的印痕，车轮被制动器抱住，在路面上作

完全的拖滑。

从这三段的变化情况可以看出,随着制动强度的增加,车轮滚动成分越来越少,而滑动成分越来越多。一般用滑移率 s 说明这个过程中滑动成分的多少。滑移率的定义是

$$s = \frac{u_w - r_{r0} \omega_w}{u_w} \times 100\% \quad (1-5)$$

在纯滚动时, $u_w = r_{r0} \omega_w$, 滑移率 $s = 0$; 在纯拖滑时, $\omega_w = 0$, $s = 100\%$; 边滚边滑时, $0 < s < 100\%$ 。所以,滑移率的数值说明了车轮运动中滑动成分所占的比例。滑移率越大,滑动成分越多。

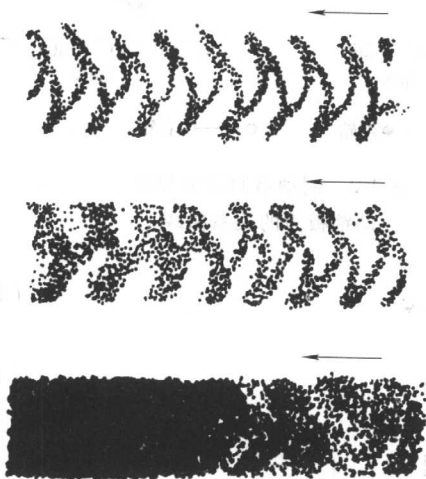


图 1-4 制动时轮胎留在地面上的印痕

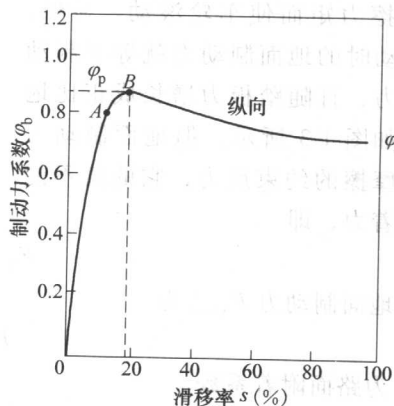


图 1-5 φ_b-s

若令地面制动力与垂直载荷之比为制动力系数 φ_b , 则在不同滑移率时, φ_b 的数值不同。图 1-5 给出了试验所得的制动力系数曲线, 即 φ_b-s 曲线。曲线在 OA 段近似于直线, 随 s 的增加而迅速增大。过 A 点后上升缓慢, 至 B 点达到最大值。制动力系数的最大值称为峰值附着系数 φ_p , 一般出现在 $s = 15\% \sim 20\%$ 。滑移率再增加, 制动力系数有所下降, 直至滑移率为 100% 。 $s = 100\%$ 的制动力系数称为滑动附着系数 φ_s , 在干燥路面上, φ_p 与 φ_s 的差别较小, 而在湿路面差别较大。若令 $\gamma = \varphi_p / \varphi_s$, 则 γ 在 $1/3 \sim 1$ 之间。

在 φ_b-s 曲线的 OA 段, 虽有一定的滑移率, 但轮胎并没有与地面发生真正的相对滑动。滑移率大于零的原因是轮胎的滚动半径变大。当出现地面制动力时, 轮胎前面即将与地面接触的胎面受到拉伸而有微小的伸长, 滚动半径 r_r 随地面制动力的加大而加大, 故 $u_w = r_r \omega_w > r_{r0} \omega_w$ 或 $s > 0$ 。显然, 滚动半径与地面制动力成正比地增大, φ_b-s 曲线 OA 段近似直线。至 A 点后, 轮胎接地面积中出现局部的相对滑动, φ_b 值的增大速度减慢。因为摩擦副间的动摩擦系数小于静摩擦系数, 故 φ_b 值在 B 点达最大值后又逐渐降低。

图 1-5 所示曲线是在轮胎没有受到侧向力的条件下测得的。实际行驶中制动时, 轮胎常常受到侧向力而出现侧偏或侧滑现象。图 1-6 中给出了试验得到的、有侧向力作用而发生侧偏时的制动力系数 φ_b 、侧向力系数 φ_l 与滑移率 s 的关系曲线。侧向力系数为侧向力与垂直载荷之比。曲线表明, 滑移率越低, 同一侧偏角条件下的侧向力系数 φ_l 越大, 即

轮胎保持转向、防止侧滑的能力越大。所以，制动时若能使滑移率保持在较低值，便可获得较大的制动力系数与较高的侧向力系数。这样，制动性能较好，侧向稳定性也较好。具有一般制动系的汽车是无法做到这一点的，但近年来发展起来的制动防抱死装置却能实现这个要求，从而显著地改善了汽车在制动时的制动效能与方向稳定性。

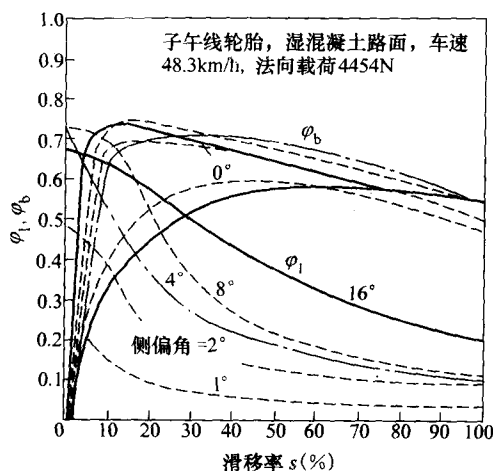


图 1-6 有侧偏时的 ϕ_b - s 、 ϕ_1 - s 曲线

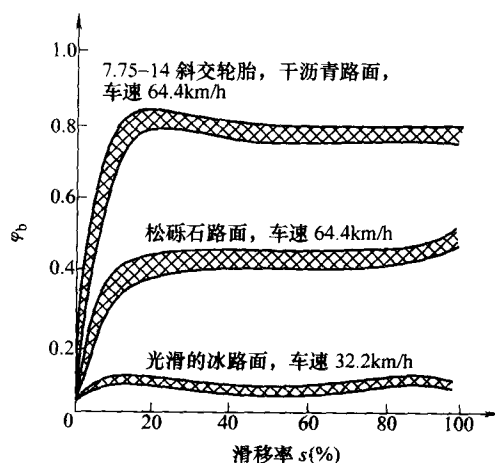


图 1-7 各种路面上的 ϕ_b - s 曲线

附着系数的数值主要决定于道路的材料、路面的状况、轮胎结构、胎面花纹与材料以及汽车运动的速度等因素。图 1-7 所示是斜交轮胎在各种路面上的 ϕ_b - s 曲线。图 1-8 所示是车速对货车轮胎 ϕ_b - s 曲线的影响。

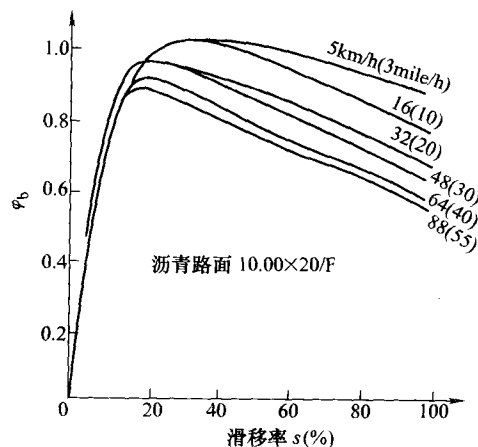


图 1-8 车速对制动力系数曲线的影响

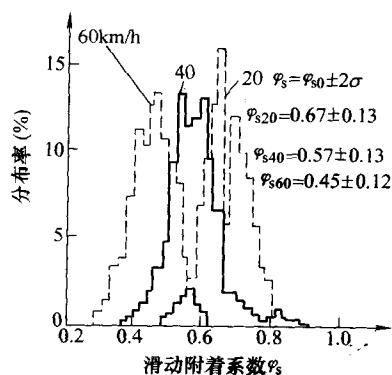


图 1-9 三种车速下潮湿沥青路面滑动附着系数的分布

图 1-9 所示是轮胎在三种车速下潮湿沥青路面上测得的 ϕ_b 与 ϕ_s 值。可以看出，在良好、平整的沥青路面上，对于有胎面花纹的轮胎，其附着性能比无胎面花纹、光整的轮胎要好得多；另外，车速对附着系数的影响也不小。

当然, 轮胎的磨损会影响它的附着能力。随着胎面花纹深度的减小, 它的附着系数将有显著下降。路面结构的排水能力也有很大影响。为了增加路面潮湿时的附着能力, 路面的宏观结构应具有一定的不平度而且有自动排水的能力; 路面的微观结构应是粗糙且有一定的尖锐棱角, 以穿透水膜, 让路面与胎面直接接触。增大轮胎与地面的接触面会提高附着能力。因此, 低气压、宽断面和子午线轮胎的附着系数要较一般轮胎的附着系数高。

1.1.3 防抱死制动系统的作用及优点

由上述分析可知, 汽车在制动过程中, 车轮抱死时危害较大。只有滑移率在 20% 左右时, 车轮与路面间的纵向附着系数最大, 可获得最大地面制动力, 能最大程度地缩短制动距离; 同时当滑移率在 20% 左右时, 车轮与路面间横向附着系数也较大, 使汽车制动时能较好地保持方向稳定性和转向控制能力。为了确保行车安全, 获得最佳制动性能, 制动时防止车轮抱死, 并将车轮滑移率控制在理想滑移率附近的狭小范围内, 人们才大力开发、研制和推行防抱死制动系统。

ABS 是在传统制动系统的基础上, 增加了一套防止车轮制动抱死的控制系统。在制动过程中, 当车轮趋于抱死, 即车轮滑移率进入非稳定区时, 该系统会迅速降低制动系统压力, 使车轮滑移率恢复到靠近理想滑移率的稳定区内。通过自动、高频率地对制动系压力进行调节 (其频率高达每秒十多次), 该系统使车轮滑移率保持在理想滑移率附近的狭小范围内, 达到充分利用车轮与路面间纵向峰值附着系数和较高利用横向附着系数的目的, 实现防止车轮抱死和获得最佳制动性能。

应当指出的是, 采用传统的制动系统进行制动时, 尽管驾驶员也知道间歇性地踩、放制动踏板防止车轮抱死, 但再有经验的驾驶员也无法做到精确地判断和控制, 特别是在紧急制动时, 都不可能将车轮滑移率控制在理想范围之内, 往往会使车轮抱死。尤其是在汽车在冰雪、下雨打滑的路面上制动时, 很容易产生侧滑、甩尾和失去转向控制能力, 此时驾驶员往往产生一种紧张情绪, 缺乏安全感, 更加无法做到准确的判断。

总结以上内容可以得出 ABS 的优点是:

- 1) 制动时保持方向稳定性。
- 2) 制动时保持转向控制能力。
- 3) 缩短制动距离 (松散的沙土和积雪较深的路面除外, 因为在这些路面上车轮制动抱死时, 其地面物质如积雪会被铲起并堆在车轮前面, 形成一种阻力, 使制动距离变短, 而在装有 ABS 的汽车上, 由于车轮不会抱死, 反而没有这种效果)。
- 4) 减轻驾驶员紧张情绪。

课题 2 防抱死制动系统的基本组成、控制方式和分类

1.2.1 防抱死制动系统的基本组成

现代 ABS 尽管采用的控制方式、方法以及结构形式各不相同, 但除传统的常规制动

装置外,一般 ABS 都是由传感器、电子控制器和执行器三大部分组成。其中,传感器主要是车轮转速传感器,执行器主要指制动压力调节器,如图 1-10 所示。

1. 车轮转速传感器

车轮转速传感器是 ABS 中最主要的一个传感器。车轮转速传感器常简称为轮速传感器,其作用是对车轮的运动状态进行监测,获得车轮转速信号。

2. 电子控制器

ABS 的电子控制器常用 ECU 表示,俗称 ABS 电脑。它的主要作用是接收轮速传感器等的输入信号,计算出轮速、参考车速、车轮减速度(加速度)、滑移率,并进行判断、输出控制指令,控制制动压力调节器等工作。另外,ECU 还有监测等功能,如有故障时会使 ABS 停止工作并点亮 ABS 警告灯。

3. 制动压力调节器

制动压力调节器是 ABS 中的主要执行器。其作用是接收 ECU 的指令,驱动调节器中的调压电磁阀动作(或调压电动机转动等),调节制动系分泵内的压力,使之增大、保持或减小,实现制动系压力的控制功能。

由于 ABS 是在传统制动系统基础上增加一套控制装置形成的,因此 ABS 也是在传统的常规制动过程的基础上进行工作的。在制动过程中,车轮还没有趋于抱死时,其制动过程与常规制动过程完全相同,此时 ABS 不起作用;只有车轮趋于抱死时,ABS 才会对趋于抱死车轮的制动压力进行调节。

通常,ABS 只有在汽车速度达到一定数值(如 5km/h 或 8km/h)时,才会对制动过程中趋于抱死车轮的制动压力进行调节。当汽车速度降到一定数值时,因为车速很低,车轮制动抱死对汽车制动性能的不利影响很小,为了使汽车尽快制动停车,ABS 就会自动终止防抱死制动压力调节,其车轮仍可能被制动抱死。

在制动过程中,如果常规制动系统发生故障,ABS 会随之失去控制作用。若是 ABS 发生故障,而常规制动系统正常时,汽车制动过程仍像常规制动过程一样进行,只是失去防抱死控制作用。现代 ABS 一般都能对系统的工作情况进行监测,具有有效保护和自诊断功能,一旦发现影响 ABS 正常工作的故障时,将自动关掉 ABS,恢复常规制动,并将 ABS 警告灯点亮,向驾驶员发出警告信号,提醒驾驶员及时进行修理。

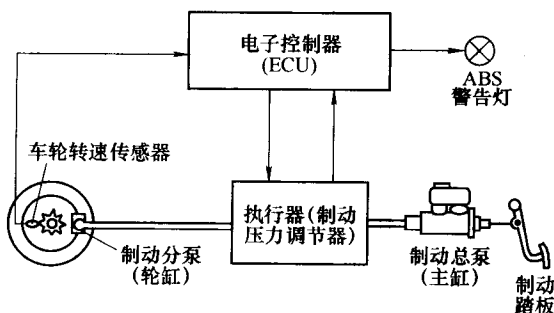


图 1-10 ABS 的组成

1.2.2 防抱死制动系统的控制方式

ABS 为了在制动时将滑移率控制在理想滑移率附近的狭小范围之内,就要对制动系压力进行反复调节,其控制方式直接决定 ABS 的控制效果。

1. 控制方式

目前提出的控制方式很多,主要有逻辑门限值控制、最优控制和滑动模态变结构控