



QICHE DIPAN
DIANKONG JISHU



高职高专汽车类专业

项目化教育规划教材

汽车底盘

● 唐蓉芳

龙志军

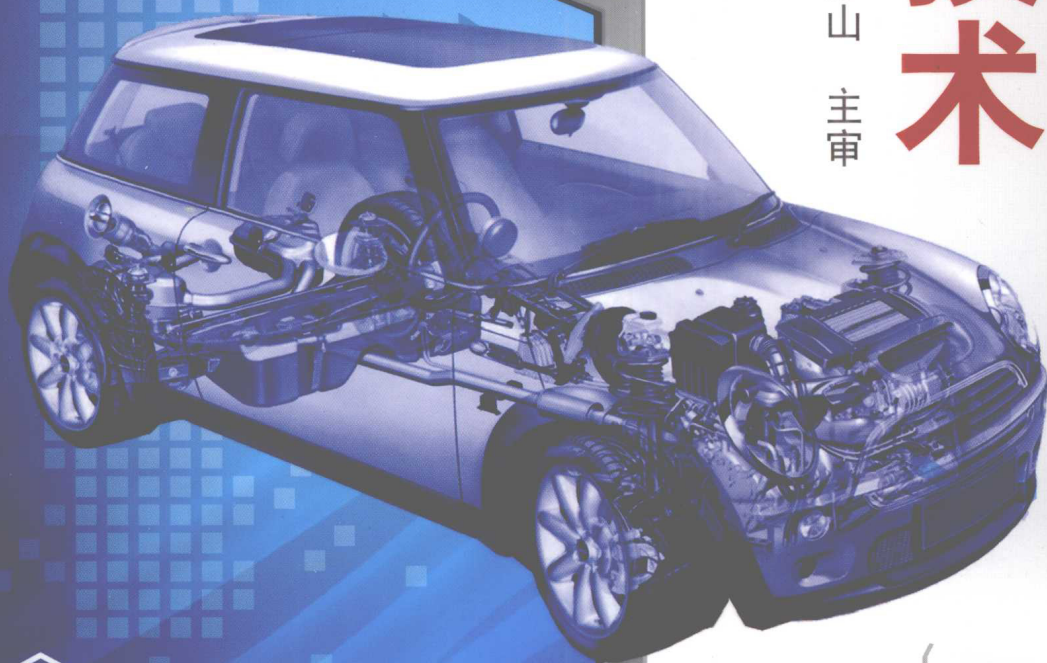
主编

● 岳江

林妙山

主审

电控技术



化学工业出版社

配套电子教案



高职高专汽车类专业

项目化教育规划教材

汽车底盘

电控技术

● 唐蓉芳 龙志军 主编 ● 包展阳 副主编 ● 岳江 林妙山 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书共分五个课题, 主要包括防抱死制动系统 (ABS) 检修、驱动防滑/牵引力控制系统检修、车辆稳定控制 (ESP) 系统检修、电控悬架系统检修、电控动力转向系统和四轮转向系统检修等内容, 并相应地增加了一些汽车技术前沿知识——拓展知识部分, 以增长见识, 拓宽视野, 满足学习需要。

本书是根据汽车专业一体化教学的需要进行编写的。在编写过程中充分考虑高职高专是以培养技术应用型专门人才为根本任务, 以适应社会需要为目标, 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, 并结合高职高专学生的思维特点, 大量采用图解的形式将复杂的内容简单化, 并通过拆分知识点, 使之通俗易懂, 充分体现了一体化教材的特点。为方便教学, 配套电子教案。

本书可作为高职高专院校、本科院校、职业技能培训机构、职业学校的教材, 也可供从事相关工作的人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车底盘电控技术/唐蓉芳, 龙志军主编. —北京:
化学工业出版社, 2010. 2

高职高专汽车类专业项目化教育规划教材

ISBN 978-7-122-07442-3

I. 汽… II. ①唐…②龙… III. 汽车-底盘-电气
控制系统-高等学校: 技术学院-教材 IV. U463. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 238751 号

责任编辑: 韩庆利

文字编辑: 高 震

责任校对: 宋 夏

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京白帆印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 11 字数 281 千字 2010 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 22.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着汽车工业的发展,人们对汽车的舒适性、安全性、可靠性的要求越来越高,传统的机械系统已很难满足这些要求。尤其是以机械系统为主的汽车底盘部分正发生着巨大的变化,特别是电子控制技术在汽车工业中的广泛应用,使得汽车底盘技术越来越复杂,正朝着电子化、智能化方向发展。为满足汽车专业技术教学需要,使广大汽车维修技术人员系统地掌握现代汽车底盘电控技术,我们编写了此书,以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型专门人才。

本书共分五个课题,主要包括防抱死制动系统(ABS)检修、驱动防滑/牵引力控制系统检修、车辆稳定控制(ESP)系统检修、电控悬架系统检修、电控动力转向系统和四轮转向系统检修等内容,并相应地增加了一些汽车技术前沿知识——拓展知识部分,以增长见识,拓宽视野,满足学习需要。

本书是以工作任务为目标,根据汽车专业一体化教学的需要进行编写的。本书的编写以保证基础、加强应用、体现先进、突出能力本位为指导思想。在编写过程中充分考虑高职高专是以培养技术应用型专门人才为根本任务,以适应社会需要为目标,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,并结合高职高专学生的思维特点大量采用图解的形式将复杂的内容简单化,并通过拆分知识点,使之通俗易懂,充分体现了一体化教材的特点。

本书适用于高职高专院校、本科院校、职业技能培训机构、职业学校、或从事相关工作的人员使用。

本书由唐蓉芳、龙志军主编,包晨阳副主编,王正旭、吴正琴参编。岳江、林妙山主审。

本书在编写过程中,得到许多专家与同行的大力支持,并参阅了许多国内外公开出版与发表的文献,在此表示感谢。

本书有配套电子教案,可赠送给用本书作为授课教材的院校和老师,如果有需要,可发邮件至 hqlbook@126.com 索取。

由于编者水平有限,书中可能存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2010 年 1 月

目 录

课题一 防抱死制动系统检修	1
项目一 防抱死制动系统概述	1
一、ABS 的发展	1
二、ABS 的功能	2
三、ABS 的种类	4
四、ABS 控制方式分类	7
项目二 防抱死制动系统的结构原理与拆装	8
一、ABS 的理论基础	8
二、ABS 的结构与工作原理	9
项目三 防抱死制动系统的检修	24
一、ABS 使用与检修注意事项	24
二、ABS 的故障诊断与检查	25
三、ABS 的维修	28
拓展知识	37
一、电子制动比例分配系统	37
二、电子制动辅助系统	38
案例分析	40
综合练习	41
课题二 驱动轮防滑转/牵引力控制系统检修	43
项目一 驱动轮防滑转的控制	43
一、ASR 的控制原理	43
二、ASR 的控制方法	45
三、ASR 的控制过程	47
项目二 典型 ASR 系统的检修	49
一、典型 ASR 系统的结构	49
二、凌志 LS400 TRC 系统主要元件的拆装	49
三、凌志 LS400 TRC 系统的故障诊断	52
案例分析	66
综合练习	67
课题三 车辆稳定控制系统检修	68
一、ESP 的概述	68
二、ESP 的结构与工作原理	69
三、ESP 的工作过程	76
四、ESP 系统的故障诊断	78
拓展知识——车道偏离预警系统研究概述	80

一、车道偏离预警系统	80
二、国内车道偏离预警系统	81
综合练习	82
课题四 电子控制悬架系统检修	83
项目一 电子控制悬架系统	83
一、概述	83
二、电子控制悬架系统的组成与工作原理	84
三、电子控制悬架的控制过程	97
项目二 电子控制悬架系统故障诊断与维修	105
一、悬架高度的人工调节	105
二、故障自诊断	105
三、常见故障分析	108
四、电路故障诊断流程	110
拓展知识——半主动悬架的研究现状与发展趋势	124
一、半主动悬架的研究现状	124
二、半主动悬架控制策略	125
三、半主动悬架发展趋势	126
综合练习	127
课题五 电子控制动力转向系统检修	128
项目一 传统液压式动力转向系统检修	128
一、传统液压动力转向系统	128
二、传统动力转向系统故障检修及维护	129
项目二 电子控制动力转向系统检修	131
一、电子控制动力转向系统的分类及特点	131
二、液压式电子控制动力转向系统	132
三、电动式电子控制动力转向系统	141
四、典型电子控制动力转向系统检修	148
项目三 电子控制四轮转向系统 (4WS) 检修	152
一、四轮转向控制系统转向特性	152
二、转向角比例控制 4 轮转向系统	153
三、电动式电控 4 轮转向系统	157
拓展知识 线控转向 (SBW)——汽车转向技术的未来	161
一、SBW 的组成和工作原理	161
二、SBW 的性能特点	162
三、有待解决的问题	163
综合练习	164
参考文献	167

课题一 防抱死制动系统检修

项目一 防抱死制动系统概述

能力培训目标

▲ 应知理论

1. ABS 的功能与发展
2. ABS 的种类

▲ 应会技能

1. 认识 ABS 各部件
2. 认识整体式 ABS 和分离式 ABS
3. 能在实物上辨别 ABS 的控制方式

一、ABS 的发展

汽车防抱死制动系统 (Antilock Braking System), 简称 ABS。ABS 装置最早应用在飞机和火车上, 而在汽车上的应用较晚。铁路机车在制动时如果制动强度过大, 车轮就会很容易抱死并在平滑的轨道上滑行。由于车轮和轨道的摩擦, 就会在车轮外圆上磨出一些小平面, 小平面产生后, 车轮就不能平稳地行驶, 产生噪声和振动。为了防止这种现象的发生, 1908 年机械工程师 J. E Francis 设计了一种防止机车车轮抱死的装置, 把它安装在机车上以后, 意外地发现制动距离也缩短了, 这就是最早的机械式防抱死制动系统。

1936 年德国的罗博特·博世公司 (Bosch) 取得了 ABS 的专利权。

1948 年美国的 Westinghouse·Air Brake 公司开发了火车专用的 ABS 装置, 该装置利用安装在车轴上的转速传感器测出车轴的减速度 (用飞轮控制检测开关), 然后使电磁阀动作控制制动气压, 防止车轮完全抱死。

飞机着陆时如果制动强度过大, 轮胎抱死, 将导致轮胎严重磨损, 有破裂的危险。如果跑道上结冰, 轮胎打滑, 就难以保持直线行驶性能, 飞机会产生侧滑或机体旋转等不规则运动。为防止这种危险情况的出现, 1945 年德国 Fritz Ostwald 的设计思想被美国政府用在喷气式飞机上。到了 1948 年, 美国波音飞机公司生产的 B-47 飞机装上了 Hydro Aire 公司的 ABS, 该装置利用脉冲进行控制, 转速传感器测出轮胎开始抱死的时刻, 电磁阀动作使液压下降, 轮胎转动后液压又上升, 反复上述动作直到轮速降到很低。

从 20 世纪 50 年代后半期到 1960 年, 固特异 (Good Year) 公司和 Hydro Aire 公司分别开发出各有特点的 ABS 装置。这种装置不是像开关一样, 把液压简单控制在零或最大, 而是根据车轮的减速情况, 阶段性地控制液压, 采用了初期的电子计算机, 使 ABS 的性能得到了很大的改善。目前, 在北美, 规定所有的民航飞机都必须安装 ABS 装置。

1954 年美国福特 (Ford) 汽车公司首次把法国生产的民航机上装备的 ABS 应用在林肯

轿车上。这次试装虽然以失败而告终，但开创了汽车应用 ABS 的先河。同一时期 Kelsey Hayes 公司与 Hydro Aire 公司联合生产货车用 ABS。1957 年，福特汽车公司与 Kelsey Hayes 公司开始联合开发 ABS，1968 年达到了预期目的。

1958 年邓禄普（Dunlop）公司开发出了用于载货车的 Maxaret ABS，它是由飞机用 ABS 派生出来的，也就是现在所说的二通道组合低选择、四轮控制通断式 ABS。前轮采用机械式速度传感器，后轮采用电磁式速度传感器。

1960 年上半年，Harry Ferguson research 公司把 Maxaret ABS 组合成四轮控制式，安装在试验车上，并于 1965 年向英国 Jensen 公司提供了 Ferguson 制造的四轮控制 ABS 样机。

同一时期，美国政府倡导在国产轿车、载货车上安装 ABS，鼓励开发 ABS。之后 Kelsey hayes 公司、邦迪克斯（Bendix）公司开始开发研制，TRW 公司也对开发 ABS 表现出浓厚的兴趣。1969 年福特汽车公司首先推出后二轮控制方式的防抱死制动系统，并在美国、日本的高级轿车上得到应用，但是在此后约 10 年中却没有获得较大的进展。电子控制技术及其精密液压元器件加工制造技术的进步，奠定了复杂而精确的控制技术的基础，1978 年奔驰公司首次推出四轮控制的防抱死制动系统。

20 世纪 80 年代中期，ABS 陆续普及到日本各大汽车公司的产品上。

中国国内生产的汽车装备 ABS 较晚，但因为广泛和国外各大汽车公司合作，所以起点较高。20 世纪 90 年代末，随着上海通用别克、广州本田雅阁、长春奥迪 A6 等车型的投产，ABS 也迅速得到普及。

二、ABS 的功能

驾驶过汽车的人都可能有这样的经历：在积水的柏油路上或在冰雪路面上紧急制动时，汽车轻者会发生侧滑，严重时会掉头、甩尾，甚至产生剧烈旋转。制动力过大，将使车轮抱死，汽车方向失去控制后，若是弯道就有可能从路边滑出或闯入对面车道，即使不是弯道也无法躲避障碍物。

总之，汽车制动时车轮如果抱死将产生以下不良影响：

- （1）方向失去控制，出现侧滑、甩尾，甚至翻车；
- （2）制动效率下降，延长了制动距离；
- （3）轮胎过度磨损，产生“小平面”，甚至爆胎。

ABS 防抱死制动装置就是为了防止上述缺陷的发生而研制的装置，它有以下几点好处：

- （1）增加制动稳定性，防止方向失控、侧滑和甩尾；
- （2）提高制动效率，缩短制动距离（松软的沙石路面除外）；
- （3）减少轮胎磨损，防止爆胎。

现代轿车的 ABS 由输入传感器、ECU（电子控制单元）、输出调制器及连接线等组成，如图 1-1 所示。

输入传感器通常包括四个车轮的轮速信号、刹车信号，个别车型还有减速度信号、手刹车或刹车油面信号。

图 1-1 所示的 ABS 控制 ECU 与输出调制器一体化，输出调制器包括 ABS 电动机、ABS 电磁阀。ABS 的第一个优点是增加了汽车制动时的稳定性。汽车在制动时，四个轮子上的制动力是不一样的，如果汽车的前轮抱死，驾驶员就无法控制汽车的行驶方向，这是非常危险的。倘若汽车的后轮先抱死，则会出现侧滑、甩尾，甚至使汽车整个掉头等严重事

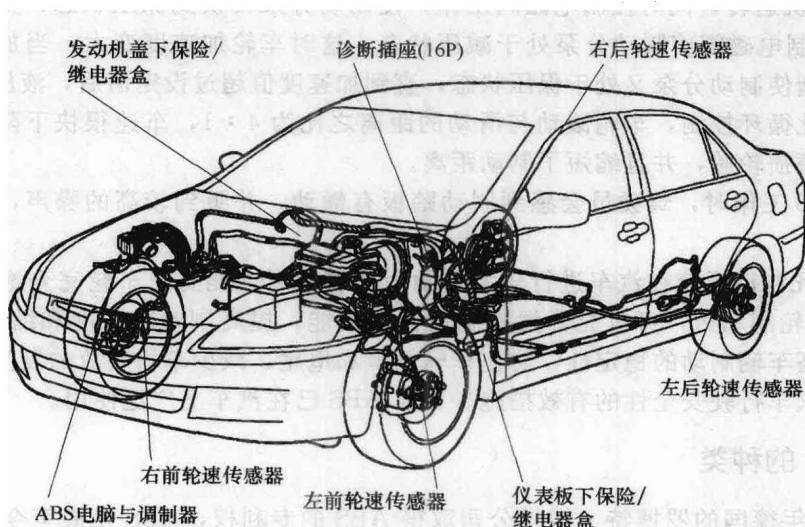


图 1-1 现代轿车防抱死制动系统电控元件位置图

故。ABS 可以防止四个轮子制动时被完全抱死，提高了汽车行驶的稳定性。

ABS 的第二个优点是能缩短制动距离。这是因为在同样紧急制动的情况下，ABS 可以将滑移率（汽车滑动距离与行驶距离的比）控制在 20% 左右，即可获得最大的纵向制动力。

ABS 的第三个优点是改善了轮胎的磨损状况，防止爆胎。事实上，车轮抱死会造成轮胎磨损，轮胎面损耗也会不均匀，使轮胎磨损增加，严重时将无法继续使用。因此，装用 ABS 具有一定的经济效益和安全保障。

另外，ABS 使用方便，工作可靠。ABS 的使用与普通制动系统的使用几乎没有区别，紧急制动时只要把脚用力踏在制动踏板上，ABS 就会根据情况自动进入工作状态，即使是湿滑路面，ABS 也会使制动状态保持在最佳点。

图 1-2 是 ABS 工作时的控制循环图。ABS 的 ECU 接收轮速传感器的信号，当制动踏板踩下，ECU 感知出车轮的圆周加速度数值低于某一设定值时，说明车轮开始抱死，ECU 即

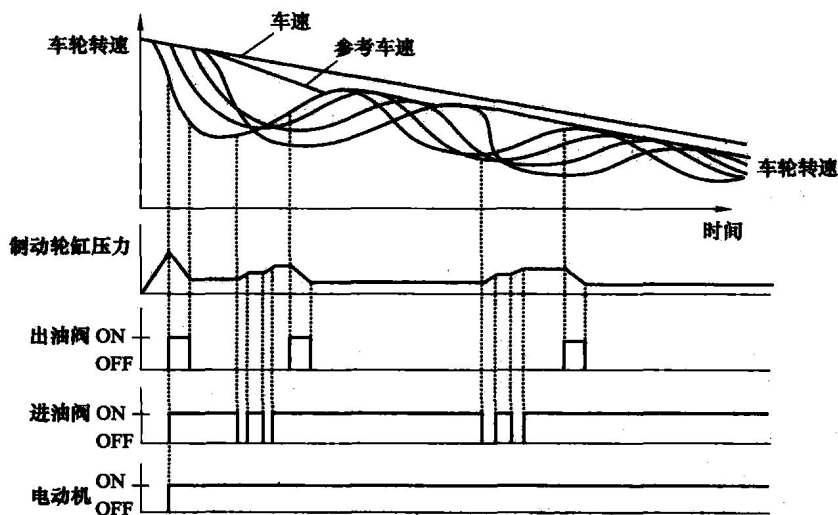


图 1-2 ABS 工作控制循环图

控制 ABS 电动机运转,同时控制电磁阀工作,使制动分泵转换到保压状态;如果车轮继续抱死,ECU 控制电磁阀使制动分泵处于减压状态,这时车轮加速度变大;当加速度超过一定值时,电磁阀使制动分泵又处于保压状态,直到加速度值超过设定值后,液压调节装置再进行加压。如此循环控制,车轮滚动与滑动的距离之比为 4:1,车速很快下降,使制动过程既安全又不磨损轮胎,并且缩短了制动距离。

注意,ABS 工作时,驾驶员会感到制动踏板有颤动,并听到较高的噪声,这些都属于正常现象。

ABS 防抱死制动系统在汽车进行较大制动力的刹车时,能防止车轮完全抱死。ABS 利用 ECU 控制车轮制动力,可以充分发挥制动器的效能,提高制动减速度和缩短制动距离,并能有效地提高车辆制动的稳定性,防止车辆侧滑和甩尾,减少车祸事故的发生,因此被认为是当前提高汽车行驶安全性的有效措施。目前 ABS 已在汽车上广泛使用。

三、ABS 的种类

自从 1936 年德国的罗博特·博世公司取得 ABS 的专利权,ABS 发展至今已经有了 70 多年的历史。早期的 ABS 结构多种多样,直到 20 世纪末才逐渐在机械结构、电子控制上统一起来。ABS 的种类很多,分类方法简要介绍如下。

(一) 按产品的生产公司分类

从装车量上来看,使用较多的 ABS 目前可分为以下几大类:博世(Bosch)、梯威斯(Teves)、德尔科(Delco)和邦迪克斯(BendIX) ABS,这四种系统都是广泛应用的系统,而且还在不断发展、更新换代。

还有其他一些装车量较少的 ABS,要么是各大汽车公司独立开发、只应用在本公司生产的汽车上,要么是上述四种系统中某一种的变型。

尽管不同公司生产的 ABS 的类型不同,但它们都有相同的基本组成和基本工作原理,它们的重要区别是电子计算机及控制线路不同。

1. Bosch 的 ABS 产品

就全世界范围来说,装车量最多的当数德国博世公司开发的 ABS。

博世公司早在 20 世纪 70 年代末就将自己研制生产的 ABS 应用在奔驰系列轿车上。后来又陆续装备在宝马、奥迪、大众等汽车公司的各系轿车上。在欧洲,ABS 市场几乎就是博世产品的天下。

20 世纪 80 年代末,博世的 ABS 广泛应用于美国通用汽车公司生产的各种系列车型上。20 世纪 90 年代初,博世的 ABS 被日本各大汽车公司采用,装备到丰田、本田、尼桑等轿车上。博世 ABS 装车情况如表 1-1 所示。

2. 梯威斯(Teves)的 ABS 产品

德国的 Teves 公司是仅次于博世的老牌 ABS 生产厂家。梯威斯公司于 1984 年首次推出了整体式 ABS-TEVES MK II,该系统将防抱死制动压力调节装置与制动主缸和液压制动助力器组合为一体。而在该系统出现前,所有的 ABS 都是将制动压力调节装置作为一个单独的整体,附加在常规的制动系统中,即采用的都是分离式结构。

1985 年 TEVES MK II 首先装备在美国福特公司生产的林肯-马克轿车上。

梯威斯 ABS 装车情况如表 1-2 所示。

3. 德尔科的 ABS 产品

美国的德尔科公司作为通用汽车公司下属的子公司,专门生产电气元件,它开发的 ABS 系统主要装备通用汽车公司的产品。

表 1-1 博世 ABS 装车情况

博世 ABS 的系统形式	使用公司	使用车型	备注
BOSCH 5.7	奥迪/大众	奥迪 A8	2003 年以后
BOSCH 8.0(EBV,ABS,ASR,MSR,EDS,ESP)		奥迪 A6	2004 年以后
		奥迪 A4	2005 年以后
BOSCH 5.3		奥迪 A6	1998—2004 年
BOSCH 2,BOSCH 2S,BOSCH 2E		奥迪 80/90/100/200	1988—1994 年
		帕萨特	1997 年以后
BOSCH 2S.BOSCH 2E	阿尔法-罗密欧	155,164	1988—1993 年
BOSCH	宝马	除 E36 外的所有车型	—
BOSCH 2	雪铁龙	CX	—
BOSCH 2U/2S	通用	雪佛兰、别克、凯迪莱克等	1986—1993 年
BOSCH	本田	所有车型	1998 年以后
BOSCH 2	捷豹	XJ6/XJ12	—
BOSCH	陆虎	800 系列	—
BOSCH	马自达	RX7/929	—
BOSCH	奔驰	所有车型	所有年代
BOSCH 2E	三菱	XOLT/LANCER	—
BOSCH 2U	尼桑	QUEST	—
BOSCH 2E,BOSCH 2SE	标致	306,605	—
BOSCH	保时捷	所有车型	所有年代
BOSCH 2,BOSCH 2E	雷诺	R25,ESPACE,CLIO	—
BOSCH 2E	绅宝	900	1993 年
BOSCH	富士	LEGACY,IMPREZA	—
BOSCH	丰田	所有车型	1989 年以后
BOSCH 2E,BOSCH 2EH	欧宝	OMEGA-B,ASTRA,CALIBRA	—
BOSCH	沃尔沃	S 系列	1999 年以后

表 1-2 梯威斯 ABS 装车情况

梯威斯 ABS 的系统形式	使用公司	使用车型	备注
TEVES MK IV	宝马	E36	—
TEVESMK II	雪铁龙	BX	—
TEVESMK II /IV	福特	GRANADA,CORPIO,TRANSIT,ESCORT,SIERRA	—
TEVESMK II	捷豹	XJ6/XJ12,XJ-S	1992 年以后
TEVESMK II /IV	雷诺	R21,LAGUNA	—
TEVESMK II /IV	绅宝	900,9000	1989 年以后
TEVESMK II	大众	GOLF,JETTA,PASSAT	1989 年以后
TEVES MK IV		GOLF,VENTO,PASSAT	1992 年以后
TEVESMK II	沃尔沃	440,460,480	1987 年以后

4. 邦迪克斯的 ABS 产品

美国的邦迪克斯公司生产的 ABS 装车情况如表 1-3 所示。

表 1-3 邦迪克斯 ABS 装车情况

邦迪克斯 ABS 的系统形式	使用公司	使用车型	备注
BENDIX ADDONIX	雪铁龙	XM	—
BENDIX MECATRONIC 4.4	福特	MONDEO	—
BENDIX MECATRONIC 1	标致	106	—
BENDIX ADDONIX		205,309,405	—
BENDIX	雷诺	R19	—

5. 其他种类的 ABS

在 ABS 推广的早期,很多汽车公司独立或合作开发了一些只应用在本公司生产的汽车上的 ABS 装置。而到了 20 世纪末,出于降低整车制造成本的考虑,各大汽车公司都倾向于采购电气装置专门生产厂家的产品。下面是几种早期的 ABS 产品。

(1) 丰田 ESC (电子稳定控制)

20 世纪 80 年代中期,丰田公司曾经使用过日清 (AISIN) 公司生产的 ESC,因为年代久远,这种 ABS 装置目前已经见不到了。

(2) 本田 ALB (防止抱死制动)

本田公司在 20 世纪 80 年代中期与 NISSAN 公司合作开发了 ALB。自 1986 年开始,这种 ABS 一直使用到 1997 年,目前在一些老款的本田车上还能见到,现在本田公司使用了博世公司的 ABS 产品。

(3) 菲亚特 AP

菲亚特 AP 系统仅用于意大利的菲亚特车型上,其形式较为特殊。此系统除制动防抱死的 ABS 外,另增加了真空辅助制动系统,采用了两个制动回路控制,一个控制左前轮及右后轮,另一个则控制右前轮及左后轮。

(二) 按结构形式分类

按 ABS 制动压力调节器与制动主缸的结构形式分为分离式和整体式两种。

分离式 ABS 的制动压力调节器为独立总成,通过制动管路与制动主缸和制动轮缸相连,其突出优点是零部件安装灵活,适合于 ABS 作为选装部件时采用。

整体式 ABS 的制动压力调节器与制动主缸以及制动助力器组合为一个整体,其优点是结构紧凑、节省安装空间,一般都作为汽车的标准装备配装汽车。但整体式 ABS 结构复杂、成本较高。

(三) 按控制通道和传感器数量分类

根据控制通道和传感器数量不同,电子控制防抱死制动系统可分为以下八类,如图 1-3 所示。

(四) 按控制车轮数量分类

按控制车轮的数量不同,可分为两轮 ABS 和四轮 ABS。两轮 ABS 只控制两个后轮,结构简单、价格低廉,适用于轻型载货汽车和客货两用汽车。四轮 ABS 又分为四通道 ABS 和三通道 ABS。四通道 ABS 的分布形式如图 1-3 分布形式 1、2 所示,三通道 ABS 的分布形式如图 1-3 形式 3、4 所示。

除上述分类方法外,还有其他分类方法。如按制动压力调节器的动力来源可分为液压式

型、红旗 CA7220E 轿车等都采用了三通道式防抱死制动系统。

项目二 防抱死制动系统的结构原理与拆装

能力培训目标

▲ 应知理论

1. ABS 的理论基础
2. ABS 传感器、ABS 执行器和 ABS ECU 的结构与工作原理

▲ 应会技能

1. 轮速传感器的拆装
2. 制动压力调节器的拆装

一、ABS 的理论基础

1. 汽车制动性能

制动性能是汽车的主要性能之一。评价制动性能的指标主要有制动效能和制动稳定性。

(1) 制动效能 制动效能的评价指标是制动距离、制动时间和制动减速度。由汽车理论可以知道,制动效能主要取决于制动力 F_t 的大小,而制动力不仅与制动器的摩擦力矩有关,而且还受车轮与地面的附着系数的制约。

$$F_t < F_u = G\Phi_b$$

式中, F_u 为车轮与路面间的附着力; G 为车轮对路面的垂直载荷; Φ_b 为轮胎与路面间的纵向附着系数。即制动力的最大值等于附着力。在车轮对路面的垂直载荷 G 一定时,制动力的最大值取决于车轮与地面的纵向附着系数 Φ_b ,而 Φ_b 与车轮相对于地面的滑移率 S 有关。滑移率 S 为:

$$S = (v - v_c) / v \times 100\%$$

式中, v 是车身瞬时速度; v_c 是车轮圆周速度。

纵向附着系数 Φ_b 与滑移率 S 的关系见图 1-4。

由图 1-4 可知,纵向附着系数在滑移率为 20% 左右时最大,此时制动力最大。当车轮抱死滑移率为 100% 时,纵向附着系数反而有所下降,因而制动力亦有所下降,即制动效能将下降。

(2) 汽车制动稳定性 制动时汽车的方向稳定性是指汽车在制动时仍能按指定方向行驶,即不发生跑偏、侧滑以及失去转向能力。

汽车制动时产生侧滑及失去转向能力与车轮和地面间的横向附着力有关,即与横向附着系数 Φ_s 有关,而横向附着系数和车轮与路面的滑移率 S 有关。由图 1-4 可知,当滑移率增大时,横向附着系数减小,当 $S = 100\%$,即车轮抱死时,横向附着系数 Φ_s 下降至零。此时,车轮在极小的侧向外力的作用下产生侧滑。转向轮抱死后将失去转向操纵能力。因此,制动时车轮抱死后将导致汽车的方向稳定性变坏。

从以上分析可知,制动时车轮抱死,制动效能和制动时的方向稳定性均将变坏。而如果制动时将车轮滑移率 S 控制在 15%~20%,图 1-4 中的 S_{opt} 处,此时纵向附着系数 Φ_b 最大,可得到最大的制动力。同时横向附着系数 Φ_s 也保持最大值,使汽车具有良好的抗侧滑能力及制动时的转向操纵能力,因而得到最佳的制动效果。

2. 理想的制动控制过程

图 1-5 是汽车理想的制动过程。制动开始时让制动压力骤升，滑移率达到 S_{opt} 的时间最短，即 Φ_b 达到最大值 Φ_{bmax} 的时间最短。当达到 S_{opt} 后：随即适当降低制动压力，并使滑移率 S 保持在 S_{opt} ，纵向附着系数 Φ_b 保持在最大值 Φ_{bmax} ，同时横向附着系数 Φ_s 也保持较大值。这样既可获得最短的制动距离，又具有良好的抗侧滑能力和转向操纵能力，这种制动控制称为最佳控制。

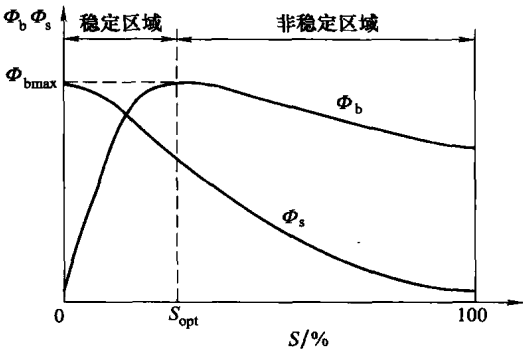


图 1-4 Φ - S 曲线（附着系数与滑移率的关系）

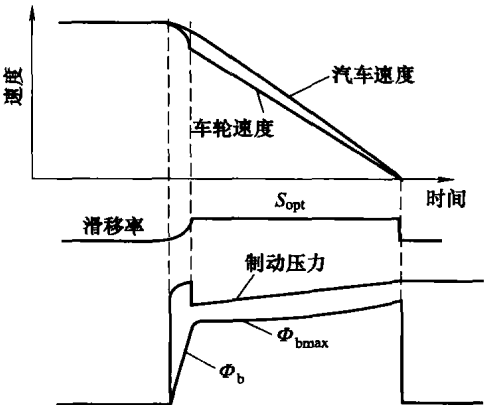


图 1-5 理想的制动控制过程

ABS 的任务就是使实际制动过程控制在接近于理想制动过程。在制动时，当车轮滑移率刚刚超过 S_{opt} ，出现抱死趋势时，ABS 迅速适当降低制动压力，减小车轮制动力矩，使车轮滑移率恢复至略小于 S_{opt} 的附近。随后再次将制动压力提高至使 S 稍微超过 S_{opt} 的附近，又再次迅速降低制动压力，使 S 又恢复至略小于 S_{opt} 的附近。如此反复将车轮滑移率 S 控制在 S_{opt} 附近狭小范围内，以获得最佳的制动效能和制动时的方向稳定性和转向操纵能力。

二、ABS 的结构与工作原理

ABS 的组成通常可以划分为三部分：ABS 电子控制单元、输入信号元件和执行控制元件。图 1-6 是 ABS 的组成框图，左侧是输入信号元件，右侧是执行控制元件。

ABS 电子控制单元接收左侧信号元件产生的信号，发出指令控制右侧执行元件的工作。如果 ABS 存在故障，可以通过诊断线路进行诊断。

（一）输入信号元件

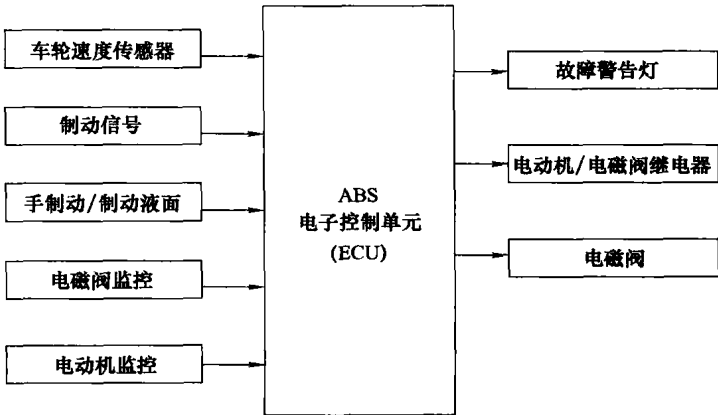


图 1-6 ABS 的组成框图

ABS 的输入信号元件包括轮速传感器、制动开关、手制动/制动液面开关、电动机/电磁阀的监控电路。其中轮速传感器和制动开关的信号是必不可少的。

1. 轮速传感器

轮速传感器感知车轮的转速，产生与车轮转速成正比的电压信号。车轮轮速信号传给 ABS ECU，ABS ECU 通过计算，决定是否进行防抱死控制。目前主要用到两种轮速传感器：最常见的是电磁感应式轮速传感器，其次是霍尔半导体式轮速传感器。

(1) 电磁感应式轮速传感器

① 电磁感应式轮速传感器基本结构 电磁感应式轮速传感器是一种由磁通量变化而产生感应电压的装置，一般由磁感应传感器与齿圈组成。电磁感应式轮速传感器的结构及安装如图 1-7 所示。

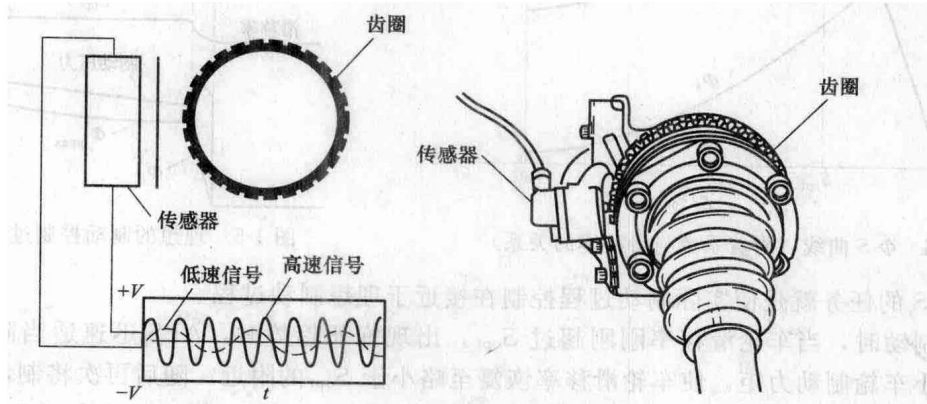


图 1-7 转速传感器的结构及安装

电磁感应式轮速传感器是一个静止部件，通常由永久磁铁、电磁线圈和磁极等构成，安装在每个车轮的托架上。齿圈是一个运动部件，一般安装在轮毂上或轮轴上，与车轮一起旋转。齿圈上齿数的多少与车型、ABS ECU 有关，博世公司的 ABS 齿圈有 100 个齿。传感器磁极与齿圈的端面有一空气隙，一般在 1mm 左右，通常可移动传感器的位置来调整间隙（具体间隙的大小应参考维修手册）。

② 电磁感应式轮速传感器信号产生的原理 电磁感应式轮速传感器的工作原理与普通的交流发电机相同。永久磁铁产生一定强度的磁场，齿圈随车轮在磁场中旋转时，因为齿圈上齿峰与齿谷通过时引起磁场强弱变化，在永久磁铁上的电磁感应线圈中就产生一交流信号，如图 1-8 所示。交流信号的频率与车轮速度成正比，交流信号的振幅随轮速的变化而变化。

例如德尔科 ABS VI 的最低转速时电压为 0.1V，最高时为 9V。ABS ECU 通过识别传感器发来的交流信号的频率来确定车轮的转速。如果 ABS ECU 发现车轮的减速度急剧增加，滑移率达到 20% 时，它立刻给执行器发出指令，减小或停止车轮的制动力，以免车轮抱死。

(2) 霍尔半导体式轮速传感器

霍尔半导体式轮速传感器是近年来出现的，装车量比较少，安装时与球轴承集成的前轮速传感器和带磁性的转子安装在前车桥轮毂上。有磁性的转子固定在球轴承内圈上，传感器安装在球轴承盖上。后轮速传感器安

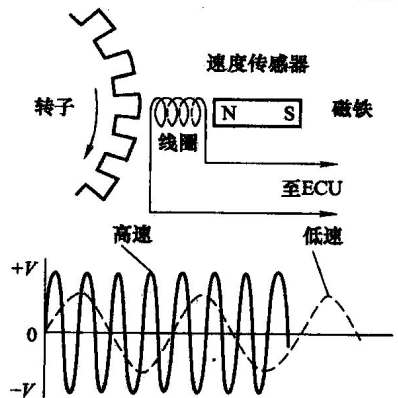


图 1-8 电磁感应式轮速传感器的工作原理

装在后车桥轮毂上，传感器转子安装在轴承内圈上。

霍尔半导体式轮速传感器的工作原理比较复杂。磁性转子由内置有磁性粒子的橡胶组成，南北极按圆周方向均等配置，南北极各 48 对，如图 1-9 所示。磁性转子旋转产生磁场变化，主动式传感器检测到这种磁场变化，并以车速脉冲方式输出。与广泛应用的被动式电磁感应传感器相比，这种传感器能检测到从 0 开始的车速，具有更高的灵敏度，图 1-10 对两种轮速传感器产生的信号作了对比。

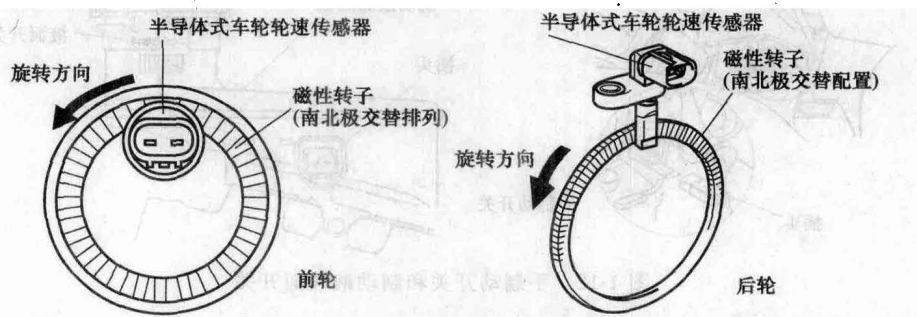


图 1-9 霍尔半导体式轮速传感器

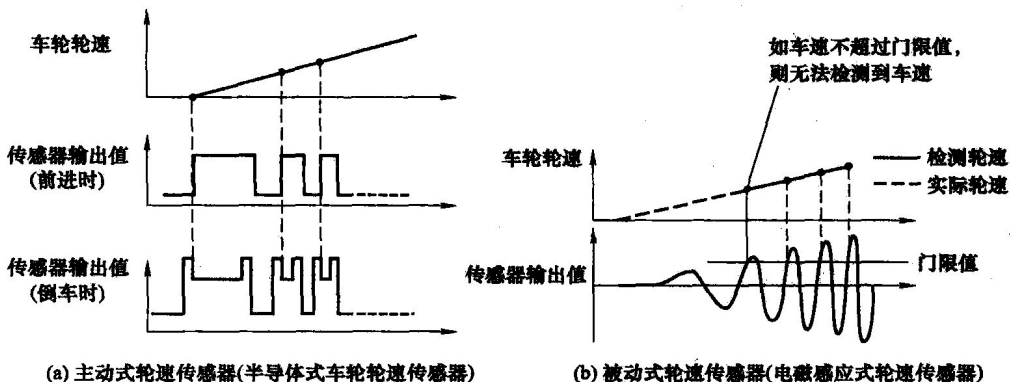


图 1-10 两种轮速传感器信号波形的对比

此外，由于能够检测转子的旋转方向，系统可以区分车辆是向前还是向后运动 [图 1-10 (a)]。我们通常把霍尔半导体式轮速传感器称为主动式轮速传感器，而把电磁感应式轮速传感器称为被动式轮速传感器。

轮速传感器引出两根线接入 ECU，这两根线必须是屏蔽线。轮速传感器或其线路如果有故障，ABS ECU 会自动记录故障，点亮故障警告灯，让普通制动系统继续工作。

2. 制动开关

制动开关的安装位置如图 1-11 所示。制动开关装在制动踏板上部，踩下制动踏板时，制动开关导通，给制动灯送电，制动灯点亮，同时将制动信号送到 ABS ECU。制动信号对于 ABS ECU 来说是必需的。制动信号送到 ABS ECU，表明制动系统开始工作，车轮随时可能出现抱死。接到该信号后，ABS ECU 进入准备工作状态。如果制动开关损坏或者制动灯保险丝烧断，制动信号送不到 ABS ECU，这时如果车轮抱死，ABS ECU 会产生车轮意外抱死的故障码，同时 ABS 故障灯点亮，ABS 失去作用。

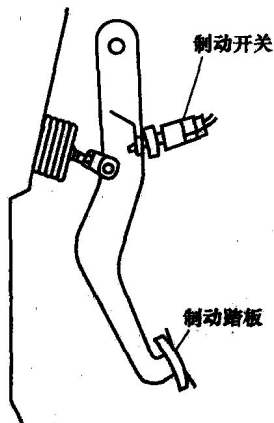


图 1-11 制动开关的安装位置