

高等院校规划教材

第3版

汽车电子控制技术

QICHE DIANZI KONGZHI JISHU


下册

付百学 主编



免费下载
www.cmpedu.com

赠电子课件

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等院校规划教材

汽车电子控制技术

下 册

第 3 版

付百学 主编



机械工业出版社

本书共分九章, 主要介绍了汽车行驶安全性控制系统, 包括汽车防抱死制动系统 (ABS)、汽车驱动防滑转系统 (ASR)、汽车电子稳定程序 (ESP)、电子感应制动控制系统 (SBC)、电子制动力分配 (EBD)、辅助制动系统 (BAS)、安全气囊 (SRS) 和汽车雷达防撞系统; 汽车变速系统的电子控制, 包括电控自动变速器 (EAT) 和无级变速器 (CVT); 电控自动空调 (A/C); 巡航控制系统 (CCS); 电子控制悬架 (ECS); 电控动力转向系统 (EPS); 中央门锁与防盗报警系统; 车载网络技术; 其他电子控制装置, 包括汽车电子仪表、汽车导航系统、汽车音响系统、汽车行驶记录仪和轮胎压力监测系统的组成、控制原理, 以及汽车电控系统的故障诊断与检修等内容。

本书可作为高等院校汽车类专业 (方向) 的教材, 也可作为高等职业院校汽车类相关专业的教材, 可供从事汽车电子控制技术应用与研究的工程技术人员、使用与维修人员借鉴参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车电子控制技术. 下册/付百学主编. 第3版. —北京: 机械工业出版社, 2010. 2

高等院校规划教材

ISBN 978-7-111-29678-2

I. 汽… II. 付… III. 汽车-电子控制-高等学校-教材 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 018612 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: 杜凡如 责任编辑: 杜凡如 版式设计: 霍永明

封面设计: 路恩中 责任校对: 刘志文 责任印制: 杨 曦

保定市 中画美凯印刷有限公司印刷

2010 年 3 月第 3 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15.5 印张 · 381 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-29678-2

定价: 29.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

第3版前言

随着汽车工业的迅速发展,我国汽车产销量和保有量迅速增加,2009年我国汽车产、销量分别为1379.1万辆和1364.48万辆,汽车保有总量达到7619.3万辆。到2020年,中国本土汽车产量将达到2000万辆,汽车保有量将增长到1.2亿辆。汽车车型、结构、性能在不断改变,汽车电子化程度越来越高,新结构与装置不断涌现,尤其是汽车电气与电子控制装置装车率迅速增多,要求汽车相关专业的学生,以及从事汽车专业的技术人员、使用与维修人员应及时掌握汽车电子控制技术的理论知识,熟悉汽车电子控制装置的检测、故障诊断与维修的基本方法,不断更新知识,以适应日新月异的现代汽车技术发展的要求。本书在第2版的基础上进行了全面修改和补充,如新增或扩充了电子感应制动控制系统(SBC)、汽车雷达防碰撞系统等。

本书介绍了汽车行驶安全性控制系统,包括汽车防抱死制动系统(ABS)、汽车驱动防滑转系统(ASR)、汽车电子稳定程序(ESP)、电子感应制动控制系统(SBC)、电子制动力分配(EBD)、辅助制动系统(BAS)、安全气囊(SRS)和汽车雷达防碰撞系统;汽车变速系统的电子控制,包括电控自动变速器(EAT)和无级变速器(CVT);电控自动空调(A/C);巡航控制系统(CCS);电子控制悬架(ECS);电控动力转向系统(EPS);中央门锁与防盗报警系统;车载网络技术;其他电子控制装置,包括汽车电子仪表、汽车导航系统、汽车音响系统、汽车行驶记录仪和轮胎压力监测系统的组成、控制原理,以及汽车电控系统的故障诊断与检修等内容。在编写过程中从基本概念、基本组成入手,由浅入深地讲述,注重反映实用性,体现最新汽车电子技术发展动向。语言通俗易懂,精选实例,图文并茂,文字简洁,教学内容深浅有度、重点突出、层次结构合理,便于教学和自学。

本书由付百学主编。编写分工:第一章(付百学,黑龙江工程学院),第二章(胡胜海,哈尔滨工程大学),第三章(孙龙,山东技师学院),第四章(于春鹏,黑龙江工程学院),第五章(朴振华,黑龙江商业职业学院),第六章(张莉,东北林业大学),第七章(刘洋,齐齐哈尔职业学院),第八章(季海成,哈尔滨工业大学),第九章(范智勇,天津开发区职业技术学院)。本书由东南大学何丹娅教授主审。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请广大师生和读者批评指正。

编者

目 录

第3版前言

第一章 汽车行驶安全性控制系统	1
第一节 汽车防抱死制动系统 (ABS)	1
一、概述	1
二、ABS 的组成、分类及控制技术	2
三、ABS 主要部件的结构与工作原理	8
四、ABS 故障诊断与维修	18
第二节 汽车驱动防滑转系统 (ASR)	29
一、概述	30
二、ASR 的基本组成及工作原理	33
第三节 汽车电子稳定程序 (ESP)	41
一、概述	41
二、ESP 的组成和控制原理	41
第四节 电子感应制动控制系统 (SBC)	43
一、SBC 的特点	43
二、SBC 的组成	44
三、SBC 的工作原理	45
第五节 电子制动力分配 (EBD)	47
一、EBD 的组成原理	47
二、EBD 的特点	49
第六节 辅助制动系统 (BAS)	49
一、概述	49
二、BAS 的组成	50
三、BAS 的控制原理	50
第七节 安全气囊 (SRS)	51
一、安全气囊的类型	51
二、安全气囊的控制过程	52
三、安全气囊的结构和工作原理	53
四、装备安全带收紧器的安全气囊	60
五、智能型安全气囊	62
六、安全气囊的检查注意事项及报废 处理方法	63
第八节 汽车雷达防撞系统	66
一、超声波雷达倒车防撞系统	66
二、激光扫描雷达防撞系统	68
三、汽车电磁波雷达防撞系统	68
本章小结	69
复习思考题	70
第二章 汽车变速系统的电子控制	71
第一节 电控自动变速器 (EAT)	71
一、概述	71
二、电控自动变速器的结构与工作 原理	73
三、电控自动变速器的性能检验	101
第二节 无级变速器 (CVT)	109
一、无级变速器的类型和优缺点	109
二、无级变速器的组成及控制原理	110
本章小结	118
复习思考题	118
第三章 电控自动空调 (A/C)	120
第一节 概述	120
一、控制方法	120
二、电控自动空调系统的组成	120
第二节 电控自动空调的结构原理	121
一、传感器	121
二、ECU	126
三、执行元件	126
第三节 电控自动空调控制功能	128
本章小结	133
复习思考题	133
第四章 巡航控制系统 (CCS)	134
第一节 概述	134
第二节 系统组成及工作原理	134
一、操作开关	134
二、传感器	136
三、巡航 ECU	137
四、执行器	138
第三节 巡航控制系统的使用	143

一、使用方法	143	复习思考题	193
二、使用注意事项	143	第七章 中央门锁与防盗报警系统	194
第四节 故障诊断与维修	144	第一节 中央门锁系统	194
一、故障诊断	144	一、基本组成与工作原理	194
二、故障检查与排除方法	146	二、无线遥控的汽车门锁	197
本章小结	150	第二节 防盗报警系统	199
复习思考题	150	一、防盗报警系统的类型	199
第五章 电子控制悬架 (ECS)	151	二、防盗系统的组成	200
第一节 概述	151	三、防盗系统控制原理	200
一、功用	151	四、防盗系统的设定与解除	201
二、分类	151	五、典型防盗系统	202
第二节 电子控制悬架的结构原理	151	本章小结	205
一、减振器阻尼控制系统	151	复习思考题	205
二、车身高度控制系统	158	第八章 车载网络技术	206
三、电子调节空气悬架	163	第一节 概述	206
四、油气弹簧悬架	169	一、采用车载网络技术的必要性	206
五、带路况预测传感器的主动悬架		二、网络技术在汽车上的应用	206
系统	171	三、汽车网络参考模型	207
第三节 故障诊断	173	四、车载网络分类和通信协议标准	208
一、指示灯检查	173	第二节 控制器局域网 (CAN)	210
二、读取故障码	173	一、CAN 总线的特性	210
三、清除故障码	173	二、CAN 协议	210
本章小结	174	三、CAN 的基本组成和数据传输原理	211
复习思考题	174	第三节 局部连接网络 (LIN)	217
第六章 电控动力转向系统 (EPS)	175	一、LIN 标准	217
第一节 液压式 EPS	175	二、LIN 的特点	218
一、反作用力控制式 EPS	175	三、LIN 与 CAN 的比较	219
二、流量控制式 EPS	176	第四节 汽车车载局域网 (LAN)	219
三、阀灵敏度控制式 EPS	177	一、LAN 的构成	219
第二节 电动式 EPS	179	二、LAN 的类型	220
一、齿条助力式 EPS	179	第五节 MOST 总线	220
二、齿轮助力式 EPS	179	一、MOST 总线的特点	220
三、转向轴助力式 EPS	182	二、MOST 的结构原理	221
第三节 四轮转向系统	184	第六节 蓝牙技术	222
一、转向角比例控制四轮转向系统	184	一、蓝牙技术简介	222
二、横摆角速度比例控制四轮转向		二、蓝牙技术的特点	223
系统	187	本章小结	223
三、车速前馈控制四轮转向系统	189	复习思考题	223
本章小结	193	第九章 其他电子控制装置	225

第一节 汽车电子仪表	225	二、激光唱机	235
一、概述	225	第四节 汽车行驶记录仪	237
二、电子仪表板	225	一、组成及原理	237
三、综合信息系统	228	二、主要功能	238
第二节 汽车导航系统	229	第五节 轮胎压力监测系统	238
一、系统特点	229	一、轮胎压力监测系统的组成及功用	238
二、系统组成	230	二、上海通用别克君威轿车轮胎气压	
三、系统功能	232	安全监视系统	239
四、发展趋势	233	本章小结	240
第三节 汽车音响系统	234	复习思考题	240
一、系统特点	234		

第一章 汽车行驶安全性控制系统

第一节 汽车防抱死制动系统 (ABS)

一、概述

汽车防抱死制动系统 (Anti-Lock Brake System, 缩写为 ABS) 是汽车上的一种主动安全装置, 用于汽车制动时防止车轮抱死拖滑, 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, 充分发挥汽车的制动效能。

随着传感技术和单片机技术的快速发展, ABS 控制技术日趋成熟, 成本不断下降, 控制精度迅速提高。国外汽车工业发达国家, ABS 已成为汽车的标准装备。近年来, 国产汽车 ABS 装车率不断提高, 目前 ABS 已在国产轿车上得到了普及。

1. ABS 控制基础知识

(1) 车轮滑移率 (S) 的定义 汽车在制动过程中, 车轮在路面上的运动是一个边滚边滑的过程。汽车未制动时, 车轮处于纯滚动状态; 当车轮制动抱死时, 车轮在路面上的运动处于纯滑动状态。为定量描述汽车制动时车轮的运动状态, 引入车轮滑移率来反映车轮滑动的成分。 S 定义为:

$$S = \frac{v - v_{\omega}}{v} \times 100\% = \frac{v - r\omega}{v} \times 100\%$$

式中 v ——车速 (m/s);

v_{ω} ——车轮速度 (m/s);

r ——车轮半径 (m);

ω ——车轮转动角速度 (rad/s)。

车轮在路面上纯滚动时, $v = v_{\omega}$, $S = 0$; 车轮抱死时即在地面上纯滑动时, $\omega = 0$, $S = 100\%$; 车轮在路面上边滚边滑时, $v > v_{\omega}$, $0 < S < 100\%$ 。 S 越大, 说明车轮在运动中滑动成分所占的比例越大。

(2) 附着系数和滑移率的关系 S 对车轮与地面间的附着系数 (φ) 的影响如图 1-1 所示。

1) φ 随路面性质不同变化较大。干燥路面 φ 大, 潮湿路面 φ 小, 冰雪路面 φ 更小。

2) 在各种路面上, φ 随 S 变化而变化。各曲线的趋势大致相同, 只有积雪路面在 S 接近 100% 时有所上升。

以典型的干燥硬实路面为例说明 φ 和 S 的关系, 如图 1-2 所示。

当 S 由 0% → 10% 增大时, φ 迅速增大。当 S 位于 10% ~ 30% 时, φ 有最大值, 称为峰值附着系数 (φ_p), 与其相对应的 S 称为峰值附着系数滑移率 (S_p)。当 S 继续增大时, φ 逐渐减小。车轮抱死即完全滑动时的附着系数, 称为滑动附着系数。车轮抱死时的滑动附着系数总是小于峰值附着系数, 通常干燥硬实路面上的 φ_s 比 φ_p 小 10% ~ 20%, 潮湿的硬实路面上的 φ_s 比 φ_p 小 20% ~ 30%。

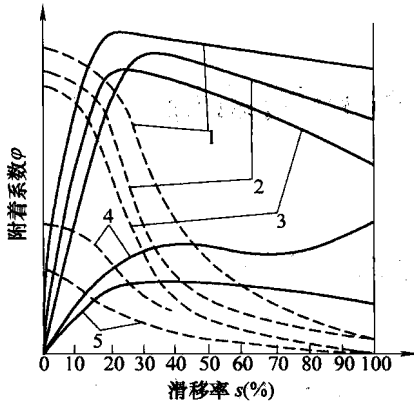


图 1-1 φ 和 S 的关系
 --- 横向附着系数 ——— 纵向附着系数
 1—干混凝土 2—干沥青 3—湿沥青
 4—雪地 5—冰地

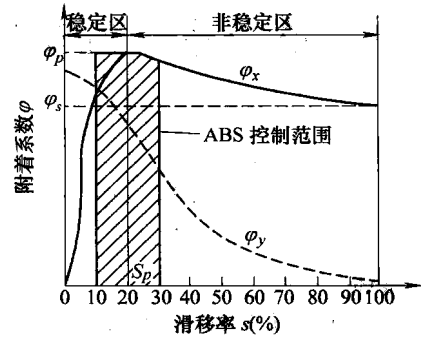


图 1-2 干燥硬实路面上 φ 和 S 的关系
 φ_x —纵向附着系数 φ_p —峰值附着系数 φ_y —横向附着系数
 φ_s —车轮抱死时纵向滑动附着系数

根据附着力 F_φ 与 φ 的关系 ($F_\varphi = F_z \varphi$)，当地面对车轮的法向反作用力 F_z 一定时， S 在 20% 左右时具有最大附着力，此时车轮与路面间能获得最大地面制动力，具有最佳制动效果。通常称纵向附着系数最大时的滑移率 (S_p) 为理想滑移率。如果 S 超过理想滑移率，附着力和地面制动力逐渐减小，制动效能变差、制动距离增长，因此一般称从理想滑移率到车轮抱死完全滑动段为非稳定区。

横向附着系数是研究汽车行驶稳定性的重要参数之一，横向附着系数越大，汽车制动时方向稳定性和转向控制能力越强。从图 1-2 中看出：当 S 为零时，横向附着系数最大；随着 S 的增加，横向附着系数越来越小，当车轮抱死时，横向附着系数接近零，此时横向附着力也接近零，其危害表现为：

- 1) 失去转向控制能力。汽车转向行驶时，尽管驾驶员此时在操纵转向盘，但由于前轮维持汽车转弯运动能力的横向附着力丧失，汽车仍按原来惯性行驶方向滑动，很可能冲入其他车道或冲出路面，从而失去转向控制能力。
- 2) 方向稳定性差。由于横向附着力很小，汽车失去抵抗横向外力的能力，后轮很容易产生横向滑移、甩尾、旋转等，使汽车失去方向稳定性。

2. ABS 的优点

汽车在制动过程中，车轮抱死时危害较大，但滑移率在 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。

ABS 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，能使汽车获得最佳制动性能，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。ABS 的优点可概括为：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；④减少轮胎磨损；⑤减少驾驶员紧张情绪。

二、ABS 的组成、分类及控制技术

1. ABS 的组成

ABS 主要由传感器、ECU 和执行器三部分组成，如图 1-3 和图 1-4 所示，其功能见表 1-1。

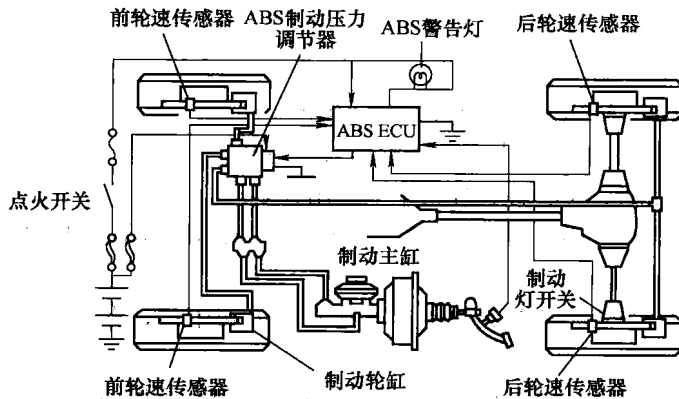


图 1-3 ABS 部件的车上布置

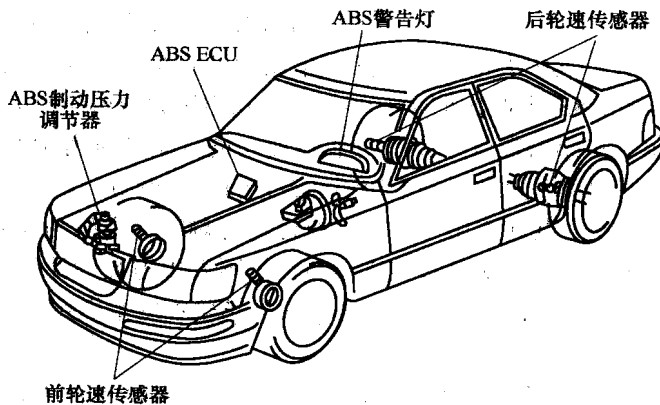


图 1-4 ABS 部件的展开图

表 1-1 ABS 组成元件的功能

组成元件		功能
传感器	车速传感器	检测车速，给 ECU 提供车速信号，用于滑移率控制方式
	轮速传感器	检测车轮速度，给 ECU 提供轮速信号，各种控制方式均采用
	减速传感器	检测制动时汽车的减速度，识别是否是冰雪等易滑路面，只用于四轮驱动控制系统
ECU		接收车速、轮速、减速等传感器的信号，计算出车速、轮速、滑移率和车轮的减速度、加速度，并将这些信号加以分析、判别、放大，由输出级输出控制指令，控制各种执行器工作
执行器	制动压力调节器	接收 ECU 的指令，通过电磁阀的动作实现制动系统压力的增加、保持和降低
	液压泵	受 ECU 控制，在可变容积式制动压力调节器的控制油路中建立控制油压；在循环式制动压力调节器调节压力降低的过程中，将由轮缸流出的制动液经蓄能器泵回主缸，以防止 ABS 工作时制动踏板行程发生变化
	ABS 警告灯	ABS 出现故障时，由 ECU 控制将其点亮，向驾驶员报警，并由 ECU 控制闪烁显示故障码

2. ABS 分类

(1) 按生产厂家分类

1) 博世 (Bosch) ABS, 由德国博世公司生产。

2) 戴维斯 (Teves) ABS, 由德国戴维斯公司生产。

上述两种 ABS 在欧、美、日、韩轿车上应用最多。

3) 德尔科 (Delco) ABS, 由美国德尔科公司生产, 在美国通用、韩国大宇等轿车上应用最多。

4) 本迪克斯 (Bendix) ABS, 由美国本迪克斯公司生产, 在美国克莱斯勒公司生产的汽车上应用最多。

上述四种 ABS 在小轿车上应用广泛, 且每种 ABS 都在不断发展、更新和换代。还有一些国家的生产厂家也生产其他型式的 ABS, 其中有的是从上述厂技术引进, 并在此基础上进行单独开发或合作开发生产, 有相当部分 ABS 属于上述四种的某一变型。另外, 还有德国伟布科 (Wabco) 公司、日本本田 - 信友和美国凯乐塞·海斯公司、英国卢卡斯·格林公司生产的 ABS 数量也较大, 其中大部分在载货汽车或大型客车上广泛采用。中国上海汽车制动系统有限公司生产的 ABS 是从戴维斯 (Teves) 公司引进并合资生产的。

(2) 按控制通道和传感器数目分类 对能够独立进行制动压力调节的制动管路称为控制通道。若某个车轮的制动压力占用一个控制通道进行单独调节, 则称为独立控制或单轮控制; 若两个车轮的制动压力共同占用一个控制通道进行调节, 则称为同时控制或一同控制; 若两个车轮一同控制时, 以保证附着系数较小的车轮不发生抱死为原则进行制动压力调节, 则称按低选原则一同控制; 若以保证附着系数较大的车轮不发生抱死为原则进行制动压力调节, 则称按高选原则一同控制。

1) 四通道式 ABS。采用 4 个轮速传感器, 在通往 4 个车轮制动轮缸的管路中, 各设一个制动压力调节器进行独立控制, 构成四通道控制形式, 如图 1-5 所示。四通道 ABS 附着系数利用率高, 特别适用于汽车左右两侧车轮附着系数相近的路面。但当汽车左右轮附着力相差较大时, 会产生横摆力矩, 使车辆跑偏, 影响汽车行驶时的方向稳定性, 且成本较高, 在实际中应用较少。

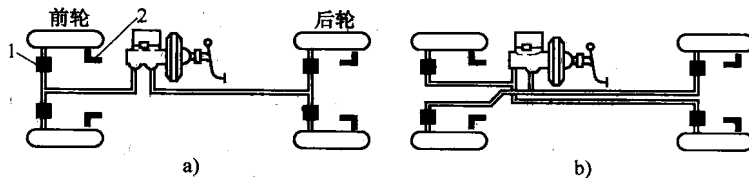


图 1-5 四通道式 ABS

a) 双制动管路前后布置 b) 双制动管路对角布置

1—制动压力调节器 2—轮速传感器

2) 三通道式 ABS。对两前轮进行独立控制, 两后轮按低选原则进行一同控制, 如图 1-6 所示。三通道 ABS 广泛应用于轿车。

两后轮按低选原则进行一同控制, 可保证汽车在各种条件下左右后轮的制动力相等, 在各种条件下制动时都具有良好的方向稳定性, 但会使附着系数大的一侧后轮的附着力不能充分利用。由于紧急制动时轴荷前移, 使前轮的附着力比后轮的附着力大得多, 后轮附着力未

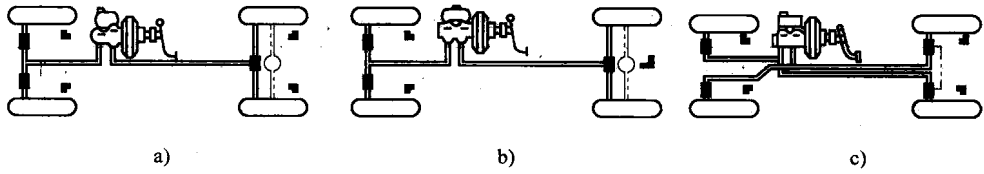


图 1-6 三通道式 ABS

- a) 三通道四传感器 ABS (前后布置) b) 三通道三传感器 ABS
c) 三通道四传感器 ABS (对角布置)

能充分利用的损失对汽车的总制动力影响不大，尤其是轿车。

对两前轮进行独立控制是因为前轮制动力在汽车总制动中占的比例较大（接近 70%），可充分利用两前轮的附着力，使汽车获得最大的总制动力，以缩短制动距离；制动中两前轮始终保持较大的横向附着力，使汽车保持良好的转向控制能力。两前轮制动力不平衡对汽车行驶方向稳定性影响较小，可通过驾驶员的转向操纵进行修正。

3) 双通道式 ABS。为减少制动压力调节器的数量，降低系统成本，有些车也采用双通道 ABS，如图 1-7 所示。双通道 ABS 难以在方向稳定性、转向控制能力和制动效能各方面得到兼顾，目前采用的很少。

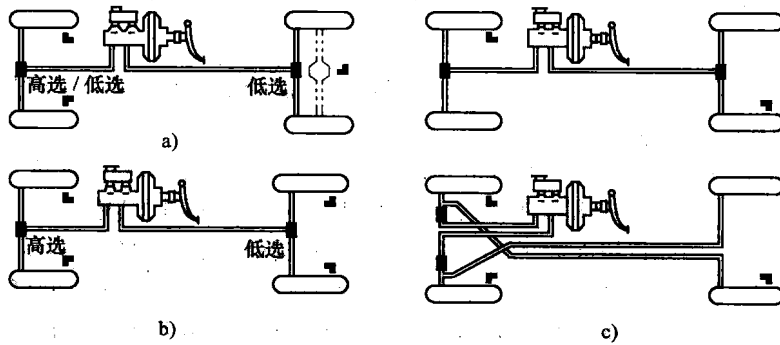


图 1-7 双通道式 ABS

- a) 双通道三传感器 ABS b) 双通道四传感器 ABS
c) 双通道二传感器 ABS

4) 单通道式 ABS。在后轮制动器总管中设置一个制动压力调节器，在后桥主减速器上安装一个轮速传感器（或两后轮各安装一个），对两后轮按低选原则进行一同控制，如图 1-8 所示。制动距离缩短不明显，制动时前轮会出现制动抱死，因而转向操纵能力也未得到改善，但能显著提高制动时的方向稳定性，且结构简单、成本低，在一些轻型载货车上广泛应用。

另外，ABS 按照制动压力调节器的动力来源分为液压式和气压式；按照制动压力调节器调压方式分为流通式和变容式；按照制动压力调节器与制动主缸结构关系分为整体式和分离式；按照 ABS 与 ASR（或 TCS）是否一体化分为 ABS 式或 ABS/ASR 式等。

各种类型 ABS 性能比较，见表 1-2。

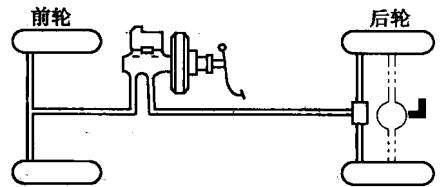


图 1-8 单通道式 ABS

表 1-2 各种类型 ABS 性能比较

系统类型	传感器数目	通道数	控制方式	操纵性	方向稳定性	制动能力
四传感器四通道 (4S/4C)	4	4	四轮独立控制	优	良	优
			前轮独立控制 后轮选择控制 (X 管路)	优	优	良
四传感器三通道 (4S/3C)	4	3	前轮独立控制 后轮选择控制	优	优	良
三传感器三通道 (3S/3C)	3	3	前轮独立控制 后轮近似选择控制	优	优	良
四传感器二通道 (4S/2C)	4	2 (+ 选择阀)	前轮独立控制 后轮选择控制 (X 管路)	优	优	良
		2	前轮独立控制 后轮对角前轮控制 (X 管路)	优	优	中
二传感器二通道 (2S/2C)	2	2	前轮独立控制 后轮对角前轮控制	优	中	中
一传感器一通道 (1S/1C)	1	1	前轮无控制 后轮近似选择控制	差	良	差

3. ABS 控制技术

(1) ABS 控制方法 主要有逻辑门限值控制、最优控制和滑动模态变结构控制等,但目前绝大多数 ABS 采用逻辑门限值控制方式。

逻辑门限值控制方式通常都是将车轮的减速度 (或角减速度) 和加速度 (或角加速度) 作为主要控制门限, 而将车轮滑移率作为辅助控制门限。因为采用其中任何一种门限作为控制都存在着局限性。例如仅以车轮的加、减速度作为控制门限时, 当汽车在湿滑路面上高速行驶过程中进行紧急制动, 车轮滑移率离开稳定区域较远时, 车轮减速度可达到控制门限值; 而对于驱动轮, 如果制动时没有分离离合器, 由于车轮系统存在很大的转动惯量, 会使车轮滑移率进入不稳定区域而车轮减速度仍未达到控制门限值, 严重影响控制效果。仅以车轮的滑移率作为控制门限值时, 由于路面情况不同, 峰值附着系数滑移率的变化范围较大 (8% ~ 30%), 因此仅以固定的滑移率门限值作为控制门限, 很难保证在各种路面的条件下都能获得最佳的制动效果。将车轮加、减速度和滑移率控制门限结合起来, 将有助于路面情况的识别, 提高系统的自适应控制能力。

控制系统中车轮加速度或减速度信号可以由 ECU 根据轮速传感器输入的信号经过计算确定。在确定实际的滑移率时, 先要确定车轮中心的实际纵向速度 (车身速度), 制动时确定车轮中心的实际纵向速度相当困难, 因此通常由 ECU 根据各轮速传感器输入的信号按一定的逻辑确定汽车的参考速度, 再计算出车轮的参考滑移率, 此值与实际滑移率存在一定差异。

逻辑门限值控制方法中的车轮加速度 (或角加速度)、减速度 (或角减速度)、参考滑移率等控制门限值都是通过反复试验获得的经验数据。

(2) ABS 控制过程 分为高附着系数路面控制和低附着系数路面控制两种形式, 下面以博世 ABS 为例, 说明采用逻辑门限值控制方法进行 ABS 的控制过程。

1) 高附着系数路面的 ABS 控制过程, 如图 1-9 所示。在制动的最初阶段, 随着制动轮

缸内制动压力的增大，车轮速度下降，同时车轮减速度也在增大。直至车轮的减速度达到设定的控制门限值 $-a$ 时（第1阶段末，取此瞬时车轮速度为初始参考车速，然后按给定的斜率计算或确定参考车速 v_{Ref} ，由参考车速计算出任一时刻的车轮滑移率），由于一般在高附着系数路面上达到减速度门限值时滑移率比较小，为了避免车轮仍处于稳定区域的滑移率范围内进入车轮制动压力“减小”阶段，此时需要对车轮的参考滑移率与设定的滑移率门限值进行比较。如果车轮的参考滑移率小于门限值 S_1 ，说明车轮滑移率偏小，则进入制动压力“保持”阶段（第2阶段），以使车轮充分地进行制动。当车轮参考滑移率大于门限值 S_1 ，说明车轮已进入不稳定区域，便进入车轮制动压力“减小”阶段（第3阶段）。由于车轮制动力的下降，车轮由于惯性作用开始加速。当车轮减速度小于控制门限值时，应进入制动压力“保持”阶段（第4阶段）。此后，由于汽车惯性作用，车轮仍在回升加速，直至超过设定的第一个加速度控制门限值 $+a$ ，为了适应可能出现的路面附着系数突然增大的情况，设定了第二个加速度控制门限值 $+A$ 。如果在设定的压力“保持”时间内，车轮的加速度未能超过第一个加速度控制门限值 $+a$ ，则判定路面情况为低附着系数，此时控制过程将按低附着系数路面上的控制过程进行；如果车轮的加速度超过第一个加速度门限值 $+a$ ，则继续“保持”制动压力；如果因路面附着系数突然增大而使车轮加速度超过第二个加速度控制门限值 $+A$ 时，应使制动压力再次进入“增大”阶段（第5阶段），使车轮加速度下降，直至车轮加速度低于控制门限值 $+A$ ，然后再进入制动压力“保持”阶段（第6个阶段），至车轮加速度又回落到 $+a$ 以下，表明车轮恢复到稳定区域且制动压力稍有不足，为了使车轮在更长的时间内处于稳定区域且靠近理想滑移率 S_p 附近，将对制动压力进行“增大”和“保持”的快速转换（第7阶段），使制动压力具有较小的阶梯升高率，直至车轮减速度再次超过控制门限值 $-a$ 时，又开始进入制动压力“减小”阶段（第8阶段），此时不再考虑参考滑移率是否超过控制门限值 S_1 ，从而进入下一个控制循环。

2) 低附着系数路面的 ABS 控制过程，如图 1-10 所示。汽车在低附着系数路面上进行制动时，其制动踏板只有轻微的压力，就足以使车轮抱死，而且需要更长的时间加速才能走出高滑移率区。ECU 逻辑电路可以识别主要路况，并能使 ABS 控制特性与之相适应。防抱死制动压力调节过程的第 1 和第 2 阶段与上述在高附着系数路面上控制过程的第 2 和第 3 阶段相同。在进入制动压力保持阶段（第 3 阶段）前段后，由于附着系数很小，车轮加速过程会很慢，致使在设定的制动压力保持阶段内，车轮的角加速度没能达到控制门限值 $+a$ ，ECU 由

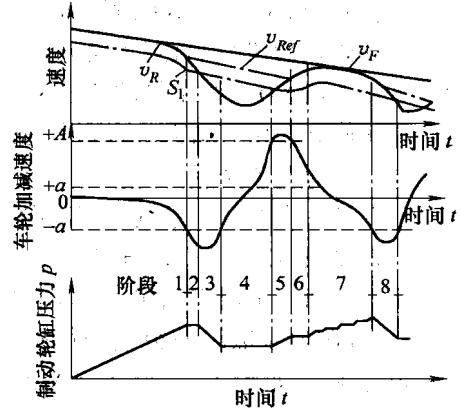


图 1-9 高附着系数路面的 ABS 控制过程

v_F —车速 $+a$ 、 $+A$ —车轮加速度门限值
 v_{Ref} —参考车速 $-a$ —车轮加速度门限值
 v_R —车轮速度 S_1 —滑移率门限值

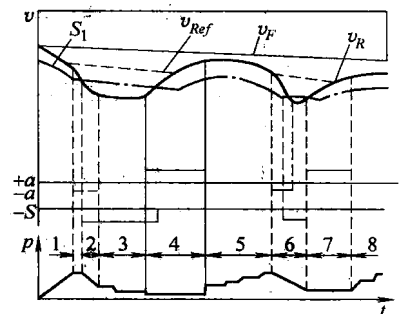


图 1-10 低附着系数路面的 ABS 控制过程

此判定车轮处于低附着系数路面。此后，ECU 将控制制动压力调节器以较低的压力减小率减压（第 3 阶段后段），直到车轮的角加速度超过控制门限值 $+a$ ，此后又进入制动压力保持阶段（第 4 阶段）。当车轮的角减速度又低于角加速度控制门限值 $+a$ 以后，就以较低的压力升高率使制动压力增大，直到车轮的角减速度又低于控制门限值 $-a$ ，则进入了下一个防抱死制动压力调节循环。

由于在第一个循环中系统处于高滑动状态的时间较长，通过该状态信息，在下一个循环中则采用直接减压的方法直到达到 $+a$ 控制门限值，这样车轮在高滑移率区域仅旋转一个短暂的时间，与第一个周期相比，使车辆的平衡性和操纵性提高。

3) 由高附着系数路面突变到低附着系数路面的 ABS 控制过程，如图 1-11 所示。ABS 工作过程中，有时会出现车轮由高附着系数路面突然进入低附着系数路面的情况，如汽车由干燥的沥青或水泥路面驶入结冰路面。假设在上一个防抱死制动调节循环结束且下一个循环开始时，车轮突然由高附着系数路面进入低附着系数路面，由于制动压力仍然保持在与高附着系数相适应的较高水平，在制动压力减小阶段（第 2 阶段），车轮的参考滑移率不仅会超过控制下门限值 S_1 ，而且会超过控制上门限值 S_2 。在这种情况下，当车轮的角减速度从低于控制门限值 $-a$ 变化到高于控制门限值 $-a$ 时，还要对车轮的参考滑移率是否超过控制上门限值 S_2 进行判断。如果车轮的参考滑移率大于控制上门限值 S_2 ，说明车轮已处于不稳定区域，此时将不进行制动压力保持，而应继续减小制动压力，直到车轮的角加速度高于控制门限值 $+a$ （第 3 阶段）。此后再进入制动压力保持阶段，直到车轮的角加速度又低于控制门限值 $+a$ （第 4 阶段）。然后再以较低的压力升高率使制动压力增大，直到车轮的角减速度再次低于控制门限值 $-a$ （第 5 阶段），随后便进入下一个防抱死制动压力调节循环。

另外，当车速低于 20km/h，并在低附着系数路面上进行防抱死制动压力调节时，由于车轮的角减速度较小，此时以滑移率作为主要控制门限，车轮的角减速度和角加速度则作为辅助控制门限。

三、ABS 主要部件的结构与工作原理

1. 传感器

轮速传感器用于检测车轮的转速，并将转速信号输入 ECU，一般安装在车轮处、主减速器或变速器中，主要类型有电磁感应式轮速传感器和霍尔效应式轮速传感器。

(1) 电磁感应式轮速传感器 主要由传感头和齿圈组成，安装位置如图 1-12 所示。安装在车轮处的轮速传感器，齿圈安装在随车轮一起转动的部件上，如轮毂、制动盘、半轴等，而传感头则安装在车轮附近不随车轮转动的部件上，如转向节、制动底板、半轴套管等。传感器与齿圈之间的间隙很小，通常只有 0.5 ~ 1.0mm，多数轮速传感器是不可调的。一些后轮驱动的汽车，在主减速器或变速器上安装一个电磁感应式轮速传感器，传感头安装在主减速器或变速器壳体上，齿圈安装在主减速器或变速器输出轴上。

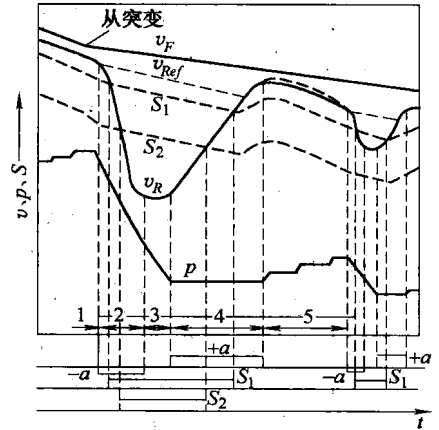


图 1-11 由高附着系数路面突变到低附着系数路面的 ABS 控制过程

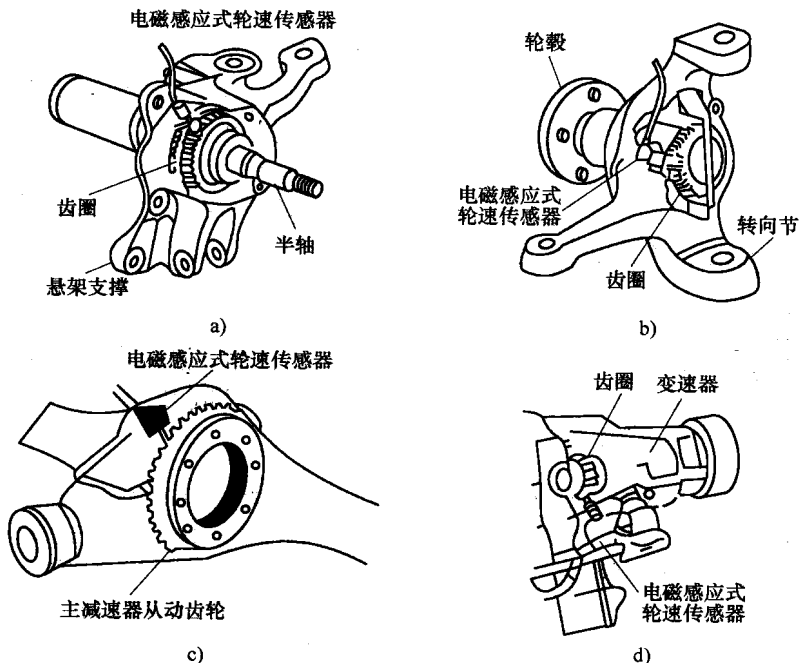


图 1-12 轮速传感器安装位置

a) 驱动轮 b) 从动轮 c) 主减变速器 d) 变速器输出轴

传感器齿圈由磁阻较小的铁磁性材料制成，齿圈外周为细轮齿，传感头主要由永磁体、磁极和线圈组成，如图 1-13 所示。

电磁感应式轮速传感器的工作原理如图 1-14 所示。当齿圈的齿隙与传感器的磁极端部相对时，磁极端部与齿圈之间的空气隙最大，传感器永磁性磁极所产生的磁力线不容易通过齿圈，感应线圈周围的磁场较弱；当齿圈的齿顶与传感器的磁极端部相对时，磁极端部与齿圈之间的空气隙最小，传感器永磁性磁极所产生的磁力线容易通过齿圈，感应线圈周围的磁场较强。当齿圈随同车轮转动时，齿圈的齿顶和齿隙交替地与传感器磁极顶部相对，传感器感应线圈周围的磁场随之发生强弱交替变化，在感应线圈中感应出交变电压，其频率与齿圈的齿数和转速成正比。因此，轮速传感器输出的交变电压频率将与相应车轮的转速成正比。

电磁感应式轮速传感器结构简单、成本低，但输出信号的幅值随转速的变化而变化，在规定的转速变化范围内，其输出信号的幅值一般为 $1 \sim 15\text{V}$ ，若轮速过低，其输出信号低于 1V ，ECU 无法检测，频率响应不高；当转速过高时，传感器的频率响应跟不上，容易产生误信号，抗电磁波干扰能力差。目前，国内外 ABS 控制对应的车速一般为 $15 \sim 160\text{km/h}$ ，其控制范围将逐渐扩大到 $8 \sim 260\text{km/h}$ ，电磁感应式轮速传感器很难适应。

(2) 霍尔效应式轮速传感器 具有输出信号不受转速影响、频率响应高、抗电磁波干扰能力强等优点，广泛用于 ABS 轮速检测及其他控制系统的转速检测。

霍尔效应式轮速传感器由传感头和齿圈组成，如图 1-15 所示。传感头由永磁体、霍尔元件和电子电路等组成。永磁体的磁力线穿过霍尔元件通向齿圈，在图 1-15a 位置时，穿过霍尔元件的磁力线分散，磁场相对较弱；在图 1-15b 位置时，穿过霍尔元件的磁力线集中，

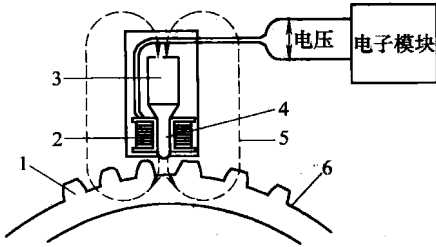


图 1-13 电磁感应式轮速传感器的构成
1—细齿轮 2—线圈 3—磁铁 4—磁极
5—磁通 6—齿圈(回转)

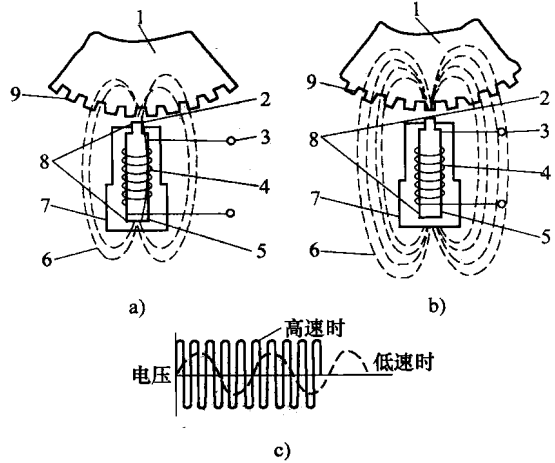


图 1-14 电磁感应式轮速传感器的工作原理
a) 齿隙与磁极端部相对 b) 齿顶与磁极端部相对
c) 传感器输入电压信号

- 1—齿圈 2—磁极端部 3—感应线圈引线 4—感应线圈
- 5—永磁磁极 6—磁力线 7—电磁感应式轮速传感器
- 8—磁极 9—齿圈齿顶

磁场相对较强。齿圈转动过程中，通过霍尔元件的磁力线密度发生变化，从而引起霍尔电压变化，霍尔元件将输出一准正弦波电压。此信号由电子电路（图 1-16）转换成标准的脉冲电压，如图 1-17 所示。

(3) 减速传感器 也称 G 传感器，用于测量汽车制动时的减速度，识别是否是雪路、冰路等易滑路面。减速传感器利用差动变压器原理获得加速度信号，其结构原理如图 1-18 所示。汽车正常行驶时，差动变压器的铁心处于绕组线圈的中部位置，当汽车制动减速时，铁心受惯性力（惯性力与汽车加速度或减速度的大小成正比，方向相反）作用向前移动，从而使差动变压器绕组内的感应电流发生变化，以此作为输出信号控制 ABS 工作。铁心产生的惯性力不同，其在线圈内所处的位置随之不同，减速传感器输出信号也不同。

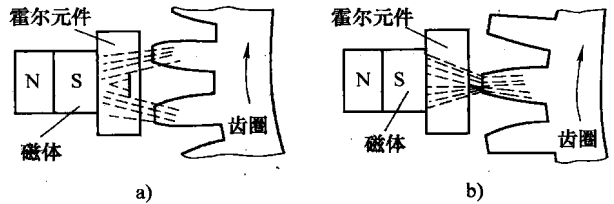


图 1-15 霍尔效应式轮速传感器工作原理
a) 磁场较弱 b) 磁场较强

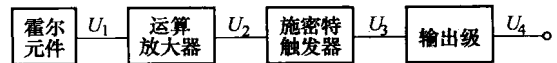


图 1-16 霍尔效应式轮速传感器电子电路

近年来，四轮驱动汽车也开始装用 ABS，其减速传感器主要用于检测车身的减速度，通常采用水银开关型减速传感器，如图 1-19 所示。汽车处于水平位置时，开关处在“开”状态。汽车在低附着系数路面上制动时，由于减速度小，开关内的水银不动，开关仍处于“开”状态；汽车在高附着系数路面上制动时，因为减速度较大，开关则处于“关”状态，从而识别出路面的附着系数信息并传送到 ECU。采用水银开关的减速传感器中，也有能传