

现代汽车新技术丛书



汽车底盘电子控制系统原理与检修

麻友良 编著



辽宁科学技术出版社

1003050

现代汽车新技术丛书

汽车底盘电子控制系统原理与检修

麻友良 编著

辽宁科学技术出版社

· 沈阳 ·

图书在版编目(CIP)数据

汽车底盘电子控制系统原理与检修/麻友良编著. - 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1999.1
(现代汽车新技术丛书)
ISBN 7-5381-2876-X

I. 汽… II. 麻… III. ①汽车-底盘-电子控制-控制系统-理论②汽车-底盘-电子控制-控制系统-车辆修理 IV.
U463.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 27996 号

辽宁科学技术出版社出版
(沈阳市和平区北一马路 108 号 邮政编码 110001)
沈阳七二一厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本: 787×1092 毫米 1/16 字数: 520 千字 印张: 23 1/4
印数: 4001 - 8000

1999 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月第 2 次印刷

责任编辑: 马旭东 董 波
封面设计: 曹太文

版式设计: 于 浪
责任校对: 周广均

定价: 32.00 元

《现代汽车新技术丛书》编委会

主 编 姚国忱
常务副主编 麻友良 赵显新
副 主 编 牛卓民 游道华 杨志恒
编 委 (以姓氏笔画为序)
牛卓民 江宗藩 包镒棣 宋建国
吴杰山 杨仁甫 杨志恒 周家透
张远程 张应华 张炳焕 赵正飞
赵显新 姚国忱 聂玉峰 麻友良
游道华 曹 崢

《汽车底盘电子控制系统原理与检修》

作 者 麻友良

前 言

随着人们对汽车安全性、舒适性等要求的不断提高,汽车底盘电子控制技术也得到了迅速发展。制动防抱死系统(ABS)的使用,对汽车的制动安全性起到了很大的作用,因此,ABS 不仅在一些轿车上使用,许多载货汽车上也都使用了 ABS,ABS 已逐渐成为现代汽车上的标准件。近些年来,汽车防滑转电子控制系统(ASR)也在一些汽车上得到应用。ASR 的应用,提高了汽车的起步、加速、通过滑溜路面的能力和汽车在这些情况下的操纵稳定性。电子控制自动变速器比较早的纯液力控制的自动变速器又前进了一大步,其控制精度和控制范围是纯液力控制自动变速器无法实现的。电子控制自动变速器通过适时、准确的自动换挡控制,提高了汽车的操纵性、舒适性和安全性,也使汽车的燃油消耗有可能比使用普通变速器的汽车更低。电子控制悬架可根据不同的路面、车速等情况自动控制悬架的刚度和阻尼以及车身的高度,使得汽车的乘坐舒适性和操纵稳定性进一步提高。此外,动力转向电子控制系统、汽车行驶速度控制系统等电子控制装置的使用都使汽车的操纵性、安全性和舒适性等得到了进一步的提高。

汽车底盘电子控制系统在汽车上的应用将越来越普遍,这对汽车的使用与维修提出了更高的要求。因为检修这些装备了电子装置的汽车,还需要具备电子技术知识和电子设备故障检修基本技能。编写本书正是为了在这方面给读者以帮助。

本书主要介绍制动防抱死系统(ABS)、防滑转电子控制系统(ASR)、电子控制自动变速器、悬架电子控制系统等目前汽车底盘电子控制装置的基本原理、结构、使用及维修,以帮助读者提高对汽车底盘电子控制装置的认识和维护水平。本书还介绍了国内常见或结构比较典型的部分汽车底盘电子控制装置的具体故障检修方法,以给读者在实际工作中提供实践指导,从实践中提高检修汽车电子控制装置的水平。

编写此书参考了大量的国内外资料,一些书给了我许多有益的启示和帮助,在此一并向这些书的作者致谢。由于本人的水平和时间所限,书中会有不妥或错误之处,恳请读者批评指正。

编著者

1998年5月

内 容 提 要

本书介绍现代汽车底盘主要电子控制系统的结构、原理、使用和检修,内容包括:制动防抱死系统(ABS)、防滑转电子控制系统(ASR)、电子控制自动变速器、悬架电子控制系统的基本原理、结构、使用及一般维修方法,并以国内常见和典型车型为例,介绍底盘电子控制系统的故障检修方法。

本书可作为从事汽车使用与修理的工人和技术人员了解并掌握汽车底盘电子控制系统技术知识的学习用书和实践用的工具书,也适用于大中专院校汽车运用工程专业学生及技校学生阅读。

目 录

第一章 制动防抱死系统(ABS)	1
第一节 ABS 概述	1
一、普通制动器的问题	1
二、ABS 的发展概况	2
三、ABS 的基本组成和原理	3
四、ABS 的分类	3
第二节 ABS 的结构	4
一、车轮转速传感器	4
二、ABS 控制器	5
三、制动压力调节器	8
第三节 ABS 的使用与检修	13
一、ABS 的某些工作现象与故障的区别	13
二、ABS 检修时应注意的问题	14
三、ABS 故障自诊断	15
四、ABS 主要部件故障的一般检查方法	15
五、制动液及制动液的更换	17
六、制动系统的排气	17
第二章 日本丰田(TOYOTA)汽车 ABS 的检修实例	19
第一节 丰田皇冠(CROWN)3.0 汽车 ABS 的检修	19
一、皇冠(CROWN)3.0 汽车 ABS 结构	19
二、皇冠(CROWN)3.0 汽车 ABS 故障检查方法	20
三、皇冠(CROWN)3.0 汽车 ABS 故障自诊断	23
四、皇冠(CROWN)3.0 汽车 ABS 部件故障检查方法	25
第二节 凌志(LEXUS)ES300 汽车 ABS 的检修	30
一、凌志(LEXUS)ES300 汽车 ABS 系统的结构	30
二、凌志(LEXUS)ES300 汽车 ABS 系统的故障检查方法	32
三、凌志(LEXUS)ES300 汽车 ABS 的故障自诊断	33
四、凌志(LEXUS)ES300 汽车 ABS 电路和部件的故障检查	35
第三节 丰田子弹头(PREVIA)汽车 ABS 的检修	43
一、丰田子弹头(PREVIA)汽车 ABS 的结构	43
二、丰田子弹头(PREVIA)汽车 ABS 系统自诊断	43
三、丰田子弹头(PREVIA)汽车 ABS 部件及电路的故障检查	48

第四节 丰田凌志(LEXUS)LS400 汽车 ABS 的检修	52
一、凌志(LEXUS)LS400 汽车 ABS 的结构	52
二、丰田凌志(LEXUS)LS400 汽车 ABS 故障自诊断	56
三、丰田凌志(LEXUS)LS400 汽车 ABS 电路故障检查	57
第三章 其他日本汽车 ABS 的检修实例	66
第一节 日产(NISSAN)汽车 ABS 的检修	66
一、日产(NISSAN)汽车 ABS 概述	66
二、日产(NISSAN)汽车 ABS 故障自诊断	67
三、日产(NISSAN)汽车 ABS 的故障检查	69
第二节 本田(HONDA)汽车 ABS 的检修	72
一、概述	72
二、本田(HONDA)汽车 ABS 故障自诊断	74
三、本田(HONDA)汽车 ABS 故障检查	76
第三节 马自达(MAZDA)汽车 ABS 的故障检修	79
一、概述	79
二、马自达(MAZDA)626 和 MX-6 型汽车 ABS 故障自诊断	81
第四节 三菱(MITSUBISHI)汽车 ABS 的故障检修	82
一、三菱(MITSUBISHI)汽车 ABS 的故障自诊断	82
二、三菱(MITSUBISHI)汽车 ABS 故障码	83
第四章 美国通用汽车 ABS 故障检修实例	85
第一节 美国通用(GM)汽车达科(Delco)ABS-VI 的检修	85
一、概述	85
二、达科(Delco)ABS-VI 的结构	85
三、达科(Delco)ABS-VI 的故障自诊断	89
四、达科(Delco)ABS-VI 故障检修	93
第二节 美国通用(GM)汽车戴维斯(Teves)-II ABS 的故障检修	100
一、概述	100
二、美国通用(GM)汽车戴维斯(Teves)-II ABS 结构	101
三、戴维斯(Teves)-II ABS 故障自诊断	103
四、戴维斯(Teves)-II ABS 故障检修	104
第五章 汽车防滑转电子控制(ASR)系统	114
第一节 概述	114
一、汽车防滑转电子控制(ASR)系统的作用	114
二、防滑转控制的方式	114
三、ASR 系统的基本组成与原理	115
四、ASR 与 ABS 的比较	116
第二节 ASR 系统部件的结构原理	116
一、ASR 系统的传感器	116

二、ASR 系统的控制器	117
三、ASR 系统的执行机构	117
第三节 ASR 控制系统故障检修实例	121
一、凌志 (LEXUS) LS400 ASR 控制系统总体结构	121
二、凌志 LS400 TRC 液压部件的拆卸与安装	122
三、凌志 LS400 汽车 TRC 系统的故障自诊断	126
四、凌志 LS400 汽车 TRC 系统故障的检查	126
第六章 电子控制自动变速器	148
第一节 概述	148
一、普通变速器的不足	148
二、自动变速器的发展概况	148
三、自动变速器的类型	149
四、自动变速器的优点	150
第二节 电子控制自动变速器组成与原理	151
一、电子控制自动变速器的基本组成	151
二、液力变扭器	154
三、行星齿轮变速器	157
四、自动变速控制系统	165
第三节 电子控制自动变速器的使用	181
一、自动变速器的档位和控制开关	181
二、电子控制自动变速器的正确操纵	182
三、电子控制自动变速器使用注意事项	184
第四节 电子控制自动变速器的检修	184
一、概述	184
二、电子控制自动变速器的试验	185
三、电子控制自动变速器故障自诊断	194
四、电子控制自动变速器电子控制系统部件的故障检查	194
五、电子控制自动变速器常见故障分析和诊断方法	198
六、电子控制自动变速器的调整	207
七、自动变速器维修注意事项	208
第七章 日本汽车电子控制自动变速器故障检修实例	210
第一节 丰田 A340E 型电子控制自动变速器	210
一、丰田 A340E 型电子控制自动变速器的结构	210
二、A340E 型电子控制自动变速器故障分析和故障诊断一般程序	215
三、A340E 型电子控制自动变速器故障自诊断	215
四、A340E 型电子控制自动变速器故障检修	218
第二节 丰田 A341E 和 A342E 型电子控制自动变速器	228
一、丰田 A341E 和 A342E 型电子控制自动变速器的结构	228

二、A341E 和 A342E 型电子控制自动变速器故障分析	232
三、A341E 和 A342E 型自动变速器故障自诊断	240
四、丰田 A341E 和 A342E 型自动变速器电子系统电路的检查	242
第三节 丰田 A46DE 和 A46DF 型电子控制自动变速器	259
一、丰田 A46DE 和 A46DF 型电子控制自动变速器的结构	259
二、A46DE 和 A46DF 型电子控制自动变速器故障诊断一般程序	263
三、A46DE 和 A46DF 型电子控制自动变速器故障自诊断	264
四、A46DE 和 A46DF 型电子控制自动变速器故障检修	264
第四节 丰田雅阁 (ACCORD) 轿车自动变速器的检修	265
一、本田雅阁 (ACCORD) 轿车自动变速器的结构	265
二、本田雅阁 (ACCORD) 轿车自动变速器故障自诊断	267
三、本田雅阁 (ACCORD) 轿车自动变速器的试验	268
四、本田雅阁 (ACCORD) 轿车自动变速器电控元件的检测	270
第八章 其他国家汽车电子控制自动变速器的检修实例	273
第一节 美国克莱斯勒 (CMC) AW-4 型自动变速器的检修	273
一、美国克莱斯勒 (CMC) AW-4 型自动变速器的结构	273
二、克莱斯勒 AW-4 型自动变速器的故障检修	276
三、克莱斯勒 AW-4 型自动变速器常见故障的原因及检修方法	283
第二节 韩国大宇 (DAEWOO) 轿车 AW850 型自动变速器的检修	291
一、概述	291
二、大宇 (DAEWOO) 轿车 AW850 型自动变速器故障自诊断	292
三、大宇 (DAEWOO) 轿车自动变速器试验	294
第三节 韩国现代 (HYUNDAI) 轿车自动变速器的检修	296
一、概述	296
二、现代 (HYUNDAI) 轿车自动变速器故障自诊断	298
三、现代 (HYUNDAI) 轿车自动变速器试验	300
第九章 电子控制悬架系统	303
第一节 概述	303
一、普通悬架的不足	303
二、电子控制悬架系统的基本组成与分类	303
第二节 电子控制悬架系统的基本原理	304
一、半主动悬架的基本原理	304
二、主动悬架的基本原理	305
第三节 电子控制悬架部件的基本构造和工作原理	309
一、电子控制悬架系统用传感器	309
二、电子控制悬架系统控制器	312
三、可调式悬架系统	312
第四节 电子控制悬架系统检修实例	317

一、丰田凌志(LEXUS)LS400 汽车电子控制悬架系统的总体结构	317
二、丰田凌志(LEXUS)LS400 汽车电子控制悬架系统的一般性检查	317
三、丰田凌志(LEXUS)LS400 汽车电子控制悬架系统的故障自诊断	323
四、丰田凌志(LEXUS)LS400 汽车电子控制悬架系统的故障分析	327
五、丰田凌志(LEXUS)LS400 汽车电子控制悬架系统电路故障检查	329
主要参考文献资料	361

第一章 制动防抱死系统(ABS)

第一节 ABS 概述

一、普通制动器的问题

1. 车轮制动力分析

忽略车轮及与其一起旋转部件的惯性力矩和车轮的滚动阻力，汽车制动时车轮的受力情况见图 1—1。

图中： W —车轮承受的径向载荷； Z —地面对车轮的法向反力； M_z —制动器产生的制动力矩； T_z —车轴对车轮的纵向推力； X_z —地面对车轮的切向反作用力； r_0 —车轮的工作半径； T_H —车轴对车轮的横向推力； X_H —地面对车轮的横向反作用力； v —汽车行驶方向； ω —车轮制动方向。

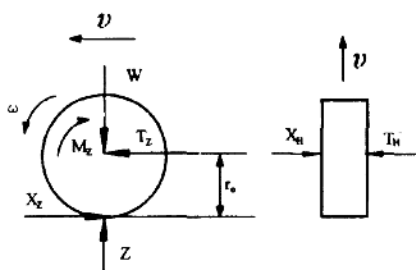


图 1—1 制动时车轮的受力情况

制动时，地面对车轮的切向反力 X_z 使车辆减速度，因此， X_z 为地面制动力；地面对车轮的横向反力 X_H 可阻止车轮在 T_H 力的作用下侧向滑移，因此， X_H 为地面防侧滑力。

地面制动力是在制动器的制动力矩作用下产生的，在车轮没有拖滑时，地面制动力主要取决于制动器制动力矩的大小 ($X_z = M/r_0$)，在这种情况下，制动踏板的压力增大，制动器产生的制动力矩相应增大，地面制动力也就增大，汽车的减速度增加。但是，地面制动力受地面附着力的限制，最大地面制动力 X_{max} 为：

$$X_{max} \leq \Phi_z Z = \Phi_z W$$

式中： Φ_z ——地面纵向附着系数。

由上式可知，在紧急制动情况下，地面纵向附着系数对制动效果有着直接的影响。最大地面防侧滑力 X_{max} 为：

$$X_{max} \leq \Phi_H Z = \Phi_H W$$

式中： Φ_H ——地面横向附着系数。

由上式可知，地面横向附着系数的大小对防止车辆侧滑、甩尾起着决定性的作用。

2. 滑移率与制动效果

滑移率 s 的定义如下:

$$s = \frac{v - r_0 \omega}{v} \times 100$$

式中: v ——车辆相对地面的移动速度;

r_0 ——车轮的工作半径;

ω ——车轮的角速度;

车轮被完全抱死时:

$$\omega = 0$$

$$s = 100$$

车轮作纯滚动时:

$$r_0 \omega = v$$

$$s = 0$$

某种路面的地面附着系数与滑移率之间的关系见图 1—2。

从这有代表性的地面附着系数变化特性中可知, 车轮滑移率在 20 左右时, 纵向附着系数最大, 横向附着系数也不小。在紧急制动时, 如果能适当地控制制动器制动力的大小, 使车轮处于边滚边滑 ($s = 20$) 的状态, 可使地面制动力达到最大, 缩短制动距离; 同时, 可保持良好的防侧滑能力。

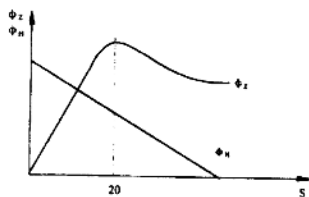


图 1—2 滑移率与地面附着系数

3. 普通制动器的问题

普通制动器在紧急制动时由于制动器的制动力过大而将车轮抱死, 带来了如下的问题:

(1) 由于纵向附着系数不是最大, 降低了地面制动力而使制动距离延长了。

(2) 由于横向附着系数为零, 地面对车轮无防侧滑能力, 因此, 紧急制动时易出现车辆侧滑和甩尾。

(3) 轮胎与地面的剧烈摩擦, 使轮胎的磨损加剧。

二、ABS 的发展概况

1. 制动防抱死系统的作用

制动防抱死系统简称 ABS, 是英文 “Anti-lock brake system” 的缩写。ABS 的作用就是在汽车制动时, 自动控制制动器制动力的大小, 使车轮不被抱死, 处于边滚边滑 (滑移率在 20 左右) 的状态, 以保证车轮与地面的附着力在最大值。因此, ABS 相比于普通制动系统有如下优点:

- (1) 充分发挥制动器的效能, 缩短制动时间和距离。
- (2) 可有效防止紧急制动时车辆侧滑和甩尾, 具有良好的行驶稳定性。
- (3) 可在紧急制动时转向, 具有良好的转向操纵性。
- (4) 可避免轮胎与地面的剧烈摩擦, 减少了轮胎的磨损。

2. 制动防抱死系统的发展过程

ABS最初的应用始于飞机。40年代末, ABS在波音47飞机上应用, 以后, ABS成为飞机上的标准件。但这种采用真空管的ABS在汽车上应用其性能达不到要求, 加之其体积大、成本高等, 因此, 在汽车上的实用价值不大。1971年, 德国波许公司首次推出了电子ABS, 并从开始的集成电路, 发展为用微机控制。从此, ABS在汽车上的应用得以迅速的发展。现在, ABS已成为汽车上的标准件, 其控制形式也从二轮防抱死控制发展为四轮防抱死控制。1987年, 波许公司又推出了汽车驱动防滑转系统(Anti-Slip Regulation 简称ASR), ASR是ABS的完善和补充, 它可防止汽车起步、加速、在滑溜路面行驶时车轮滑转, 以提高汽车的牵引性和操纵稳定性。目前, 集ABS和ASR功能为一体的防滑控制系统已在一些汽车上使用。

三、ABS的基本组成和原理

1. 制动防抱死系统的基本组成

制动防抱死系统由防止车轮抱死的电子控制系统和普通的制动系统组成, 见图1—3。现在我们在说ABS时, 通常是单指防抱死电子控制系统。防抱死电子控制系统由传感器、控制器和执行机构组成。

2. 制动防抱死系统的基本原理

防抱死电子控制系统的核心是由微电脑组成的控制器, 它通过传感器监视汽车制动时车轮是否抱死。在一般的制动情况下, 司机踩在制动踏板上的力较小, 车轮不会被抱死, 控制器无控制信号输出, 这时, 就如同普通的制动系统, 制动力完全由司机踩在制动踏板上的力来控制。在紧急制动或是在松滑路面行驶时制动, 车轮被抱死的情况下, 控制器就会输出控制信号, 通过执行机构(即制动压力调节器)控制制动器的制动力, 使车轮不被抱死。

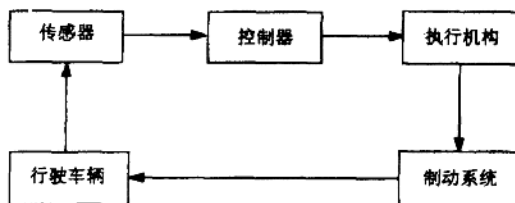


图 1—3 防抱死制动系统的组成

四、ABS 的分类

目前, 汽车上使用的ABS有不同的结构形式, 下面以不同的分类方式加以概括。

(一)按控制器所依据的控制的参数不同分类

1. 以车轮滑移率 S 为控制参数的ABS

控制器根据车速和车轮转速传感器的信号计算车轮的滑移率, 作为控制制动力的依据。当计算得到的滑移率 S 超出设定值时, 控制器就输出减小制动力信号, 通过制动压力调节器减小制动压力, 使车轮不被完全抱死; 当滑移率 S 低于设定值时, 控制器输出增大制动力信号, 制动压力调节器又使制动压力增大。通过这样不断地调整制动压力,

控制车轮的滑移率在设定的最佳范围。

这种直接以滑移率为控制参数的 ABS 需要得到准确的车身相对于地面的移动速度信号和车轮的转速信号。车轮转速信号容易得到,但取得车身移动速度信号则较难。已有用多普勒(Doppler)雷达测量车速的 ABS,但到目前为止,此类 ABS 应用还很少见。

2. 以车轮角加速度为控制参数的 ABS

控制器根据车轮转速传感器的信号计算车轮的角加速度,作为控制制动力的依据。计算机中事先设定了两个门限值:一个是角减速度门限值,作为车轮被抱死标志;一个是角加速度门限值,作为制动力过小,车轮转速过高标志。制动时,当车轮角减速度达到门限值时,控制器输出减小制动力信号;当车轮转速升高至角加速度门限值时,控制器则输出增加制动力信号。如此不断地调整制动压力,使车轮不被抱死,处于边滚边滑的状态。

目前汽车上使用的 ABS 基本上都是此种形式。

(二)按制动压力调节器的结构不同分类

1. 机械柱塞式 ABS。

2. 电磁阀式 ABS。

目前,ABS 采用电磁阀式制动压力调节器的较为多见。

(三)按功能和布置的形式不同分类

1. 后轮防抱死 ABS。

2. 四轮防抱死 ABS。

现代汽车,后轮防抱死 ABS 已很少应用,基本上都采用了四轮防抱死制动系统。

(四)按主要生产厂家分类

1. 德国的波许(BOSCH)ABS、戴维斯(Teves)ABS

这是目前欧、美、日、韩等国汽车采用最多的 ABS。

2. 美国的邦迪克斯(Bendix)ABS。

3. 美国的达科(Delco)ABS。

4. 日本的 OEM ABS。

第二节 ABS 的结构

本节主要介绍组成 ABS 的三大要素:传感器、控制器和执行机构的常见结构形式。

一、车轮转速传感器

车轮转速传感器的作用是将车轮的转速转变为电信号,输送给控制器,以使控制器能准确判断制动时车轮是否被抱死,能及时控制制动力的大小。车轮转速传感器有磁感应式、光电式等,目前普遍采用的是磁感应式车轮转速传感器。磁感应式车轮转速传感器的结构见图 1—4。

由传感器外壳、永久磁铁、感应线圈和磁极组成转速信号探头，与车轮一起旋转的齿圈则为产生感应信号的触发转子。车轮转动时，磁极端部的气隙随齿圈的转动而发生周期性的变化(或者说是齿圈的突齿切割了磁力线)，使穿过感应线圈的磁通量随之变化，感应线圈便产生了与车轮转速相对应的交变电压信号，见图 1—5。

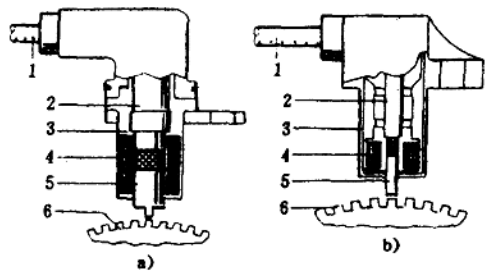


图 1—4 磁感应式车轮转速传感器

a) 槽式磁极 b) 柱式磁极

1—导线 2—永久磁铁 3—传感器外壳 4—感应线圈
5—磁极 6—齿圈

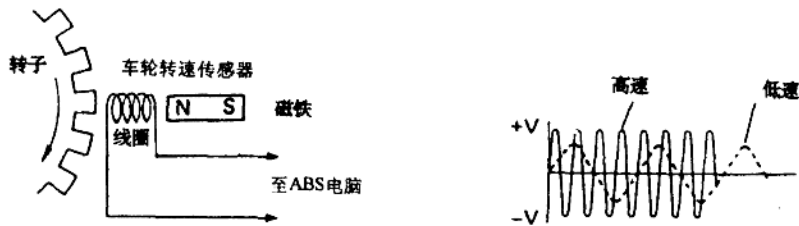


图 1—5 磁感应式车轮转速传感器工作原理

二、ABS 控制器

(一)ABS 控制器的基本组成

ABS 电子控制器的主要任务是接收传感器的信号，进行计算分析，判断制动车轮的状况，并据此输出控制信号，使制动压力调节器及时调节制动力的大小。此外，控制器还具有故障监控报警和故障自诊断等功能。通常的 ABS 控制器组成见图 1—6。

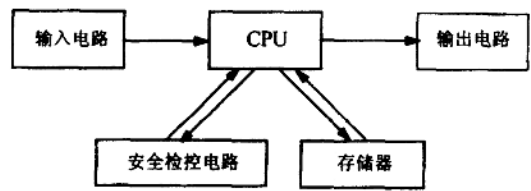


图 1—6 ABS 控制器的基本组成

为了提高 ABS 工作的可靠性，一些 ABS 控制器采用两片或四片 CPU。对于有两片 CPU 的 ABS 控制器，一片 CPU 为工作片，另一片 CPU 则作为故障备用。对于有四片 CPU 的 ABS 控制器，通常是将 ABS 系统分为两个完全相同且相互独立的控制单元，如图 1—7 所示。每一个控制单元中都有两片 CPU，一片为主 CPU，用于数据的处理和判断；另一片为安全片，主要用于检查控制信号的准确性。每个控制单元控制成对角线的一前轮和一后轮，当一个控制单元发生故障而不能正常工作时，另一控制单元仍可单独工作。

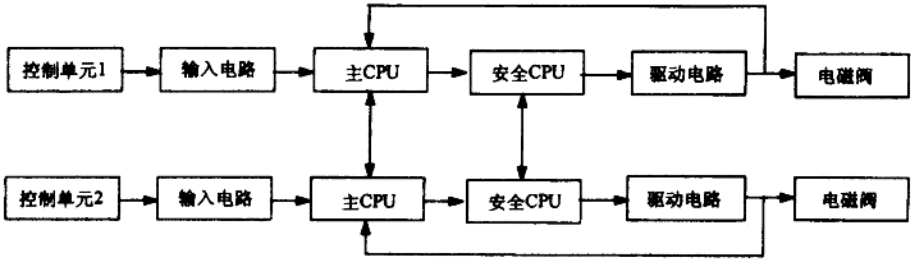


图 1—7 有四片 CPU 的 ABS 控制器

下面以波许(Bosch)公司的 ABS2S 电子控制器(见图 1—8)为例说明其内部结构。

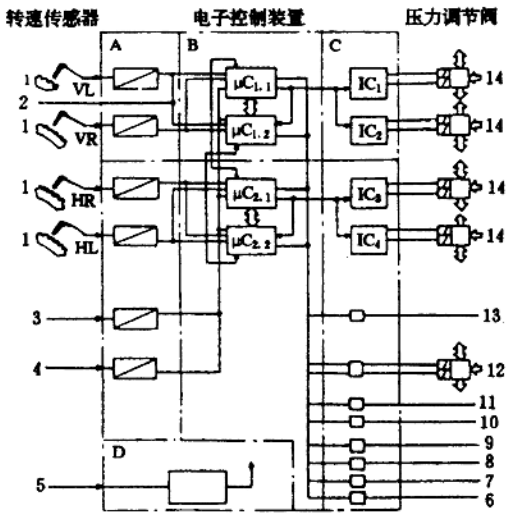


图 1—8 ABS2S 电子控制器内部结构

1—车轮转速传感器 2—横摆力矩限制 3—发动机电子控制器输入接口 4—自检初级电路 5—电源 6—电磁阀 7—自检输出 8—车轴负荷传动装置 9—减速制动继电器 10—ASR 指示灯 11—警告灯 12—电磁阀 13—发动机电子控制器输出接口 14—制动压力调节阀 VL—左前 VR—右后 HR—右前 HL—左后 A—输入模块 B—数字控制模块 C—输出模块 D—稳压与保护模块