

QICHE YEYA FANGBAO ZHIDONG XITONG (ABS) DE LILUN YU SHIJIAN

汽车液压防抱制动系统 (ABS) 的理论与实践

► 张 新 著



中南大学出版社

长沙理工大学学术专著出版基金资助项目

汽车液压防抱制动系统 (ABS) 的理论与实践

张 新 著

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

汽车液压防抱制动系统(ABS)的理论与实践/张新
著—长沙:中南大学出版社,2005.1
ISBN 7-81105-028-5

I. 汽... II. 张... III. 汽车—制动装置,防抱死
IV. U463.52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 005853 号

汽车液压防抱制动系统(ABS)的理论与实践

张 新 著

☐责任编辑 周兴武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路 邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 长沙市华中印刷厂

☐开 本 850×1168 1/32 ☐印张 8 ☐字数 196 千字

☐版 次 2005 年 1 月第 1 版 ☐2005 年 1 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 7-81105-028-5/TH·001

☐定 价 18.00 元

图书出现印装问题,请与出版社调换

内 容 提 要

通过建立整车车辆动力学数学模型、车轮轮胎模型、制动系统模型和驱动系统模型,采用 Matlab/Simulink 软件进行了汽车液压 ABS 系统的动态仿真研究;建立了一种基于 PC 微机的 ABS 系统集成开发环境,将车辆数学模型与控制系统的硬件和车辆制动系统结合起来进行模拟,从而构成了硬件在环模拟试验台;针对自制 ABS 系统进行了大量的 ABS 实时硬件闭环模拟研究,从而大大减少了 ABS 实车道路试验的次数、缩短了 ABS 电子控制单元的开发周期、降低了开发费用。

完成了 ABS 电子控制单元的软硬件研制开发,采用了目前国际上流行的双 CPU 结构,控制软件全部采用 C 语言编写程序,ABS 控制器能够自动识别路面条件并进行有效控制,具有故障诊断功能,控制算法可靠。研究开发了一种用于 Infineon 公司 80C166 系列的单片机开发的单片机仿真器,具有可实现单片机与微机的实时数据交换、可实时显示单片机的数据等优点,大大加快了单片机应用程序的开发。

建立了 ABS 车载开发与测试系统,通过 ABS 车载开发系统可以采集、分析 ABS 控制数据,反复修改、调试和验证 ABS 电子控制单元软硬件。

严格按照国标和欧洲汽车制动法规要求完成了自制 ABS 产品的夏季和冬季道路试验。道路试验结果表明,自制 ABS 产品完全满足欧洲汽车制动法规 ECE R13 和国家相关标准的要求,在主要性能指标上已达到国外同类产品的水平。

综合上述成果,本书初步从理论研究到产品开发完整地构建了液压制动 ABS 系统关键技术的研究开发技术体系,对于推动汽车 ABS 产品的国产化进程,提升 ABS 系统的自主开发能力,具有重要的科学意义和应用前景。

ABSTRACT

In this report, the mathematical model of a vehicle, a type, a braking system and a driving system is established, then a dynamical Anti-lock Braking System (ABS) simulation is conducted by using the Matlab/Simulink software. An ABS integrated development system based on PC is designed, which runs the ABS simulation that integrate the vehicle mathematical model, hardware of the control system and the vehicle braking system to form the so called "hardware-in-the-loop" real time simulation test bench. A great deal of simulation results of hardware-in-the-loop have been got that reduce the road test times and cost greatly.

The hardware and software of an ABS Electronic Control Unit (ECU) have been developed, the electro circuit of which is a popular double CPU frames. The C language is used to programm all the software. With the ABS diagnostic function and reliable control logic, the ABS controller can identify road condition automatically and applied effective ABS control. A microcontroller emulator for 80C166 of Infineon has been developed, which could realize the real time data exchange between the microcontroller and PC, and the real time data display of the microcontroller. So the development of ABS control software will be shorten greatly.

The ABS vehicle developing and measuring system has been established, through it, the data of the ABS can be collected and analyzed; the software and hardware of the ABS can be debugged and verified.

According to the national standard and the ECE Regulation No. 13, the summer and winter road test of the self made ABS product has been done. The results of the ABS road test showed that the self made ABS product meets the requirements of national standard and the ECE R13. The performance of the self made ABS has already been the same as the abroad one.

Integrating all the achievements mentioned above, the system from theoretical research to product development of ABS has been founded, which provides the theoretical basis and design method for the ABS development.

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 防抱制动系统(ABS)的发展概述	(3)
1.2 ABS 的分类、配置和控制方法	(7)
1.3 汽车制动防抱制动系统的关键技术	(9)
1.4 本书研究的内容	(10)
第二章 ABS 系统车辆动力学建模与动力学模拟	(14)
2.1 ABS 系统数学模型的建立	(14)
2.2 ABS 系统的车辆动力学模拟	(25)
2.3 本章小结	(38)
第三章 ABS 计算机集成开发系统的软硬件设计	(39)
3.1 集成开发系统设计原理	(39)
3.2 集成开发系统软件设计	(43)
3.3 集成开发系统硬件设计	(48)
3.4 在集成开发系统环境下的 ABS 系统动力学模拟 与实时硬件模拟	(54)
3.5 本章小结	(61)
第四章 ABS 电子控制单元单片机仿真器的研究开发	(64)
4.1 C166 开发系统总体结构	(64)
4.2 软件系统设计方法	(66)
4.3 软件各项功能的描述	(73)
4.4 C166 单片机仿真开发系统的硬件设计	(85)
4.5 本章小结	(96)

第五章 ABS 电子控制单元硬件系统设计	(97)
5.1 CPU 的特点及系统的总体布置	(97)
5.2 电磁阀的电源管理及驱动输出模块	(101)
5.3 轮速信号的输入处理模块	(104)
5.4 诊断信号处理模块	(105)
5.5 网络通讯接口模块	(106)
5.6 系统电源管理模块	(106)
5.7 控制器硬件实现	(107)
5.8 本章小结	(108)
第六章 ABS 电子控制单元软件系统设计	(109)
6.1 ABS 电子控制单元控制软件的特点	(109)
6.2 ABS 的主程序总体设计	(112)
6.3 ABS 系统的初始化程序	(114)
6.4 诊断系统程序	(116)
6.5 I ² C 串口通讯的实现	(120)
6.6 串行口通讯编程	(124)
6.7 车轮速度计算模块的设计	(126)
6.8 车轮加速度和参考滑移率计算模块设计	(130)
6.9 ABS 控制算法模块设计	(133)
6.10 ABS 驱动模块的算法设计	(143)
6.11 双 CPU 结构的编程	(148)
6.12 本章小结	(150)
第七章 ABS 车载系统的研究开发	(151)
7.1 系统组成	(151)
7.2 ABS 车载开发系统总体设计	(157)
7.3 车载系统硬件设计	(162)
7.4 车载系统软件设计	(167)

7.5	车载系统道路试验验证	(173)
7.6	本章小结	(179)
第八章	ABS 实车道路匹配试验研究	(180)
8.1	试验概述	(180)
8.2	试验条件、车辆及设备	(185)
8.3	试验依据、项目及大纲	(198)
8.4	试验结果及分析	(204)
8.5	本章小结	(236)
第九章	结论与展望	(237)
参考文献		(241)
致 谢		(246)

第一章 绪 论

汽车制动防抱死系统(Anti-lock Braking System, 简称 ABS)是在传统的制动系统的基础上采用电子控制技术,在制动时防止车轮抱死的一种机电一体化系统。图 1-1 为一个四轮车辆防抱死制动系统的原理图。它是由电子控制单元(Electronic Control Unit, 简称 ECU)、电磁阀或称压力调节器和轮速传感器三部分组成。在车辆紧急制动时,驾驶员脚踩制动踏板的制动压力过大时,轮速传感器及电子控制单元 ECU 可以检测到车轮有抱死的倾向,此时电子控制单元 ECU 控制电磁阀动作以减小制动压力。当车轮轮速恢复并且轮胎与地面摩擦力有减小趋势时,电控单元控制电磁阀增加制动压力。这样能够使车轮一直处于最佳的制动状态,最有效地利用地面附着力,得到最佳的制动距离和制动稳定性。

传统的汽车制动系统的功能是使行驶的汽车车轮受制动力矩的作用,使车辆停止。当车辆紧急制动时,在大多数情况下往往会抱死车轮,使轮胎与地面由滚动摩擦变为滑动摩擦,此时一方面造成车轮轮胎的严重磨损,另一方面车辆后轮抱死会产生侧滑,容易使车辆丧失稳定性,而前轮抱死会使车辆丧失转向能力。这些状态都容易导致汽车交通事故的发生。ABS 系统的引入使制动过程中车轮处于非抱死状态,这样不仅可以防止制动过程中后轮抱死而导致车辆侧滑甩尾,大大提高制动过程中的方向稳定性,同时可以防止前轮抱死而丧失转向能力,提高汽车躲避车辆前方障碍物的操纵性和弯道制动的轨迹保持能力,而且最终的制动距离往往要比同类车型不带防抱死系统的车辆制动距离要

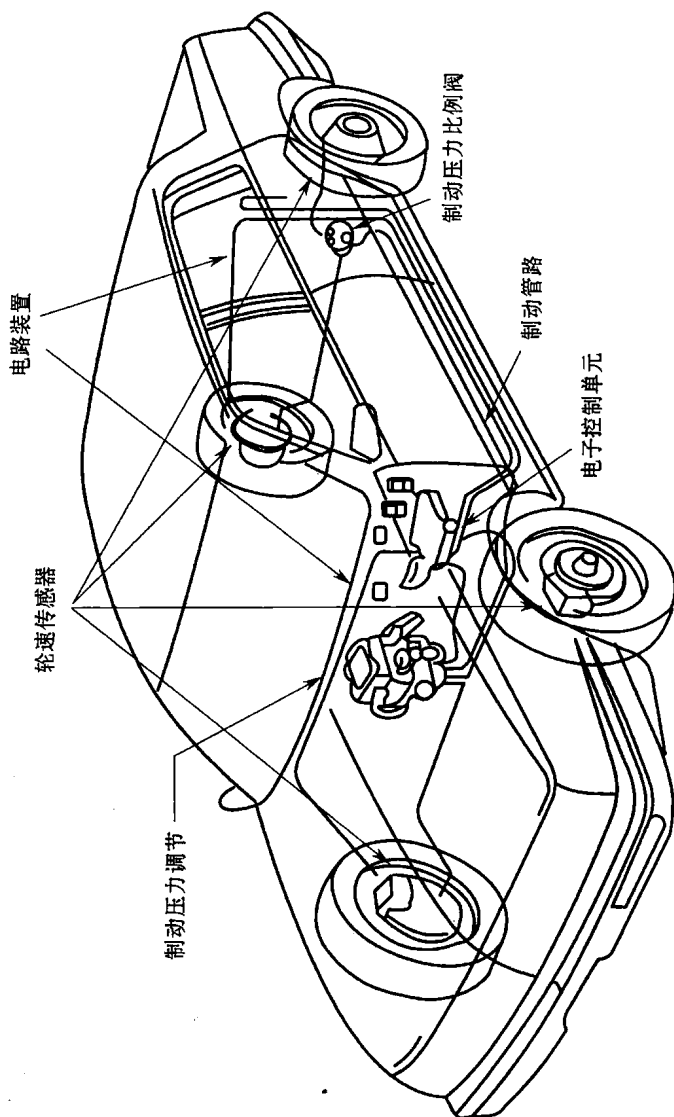


图1-1 汽车制动防抱死系统 (ABS) 原理示意图

短,因此,ABS 系统是一种有效的车辆安全装置。

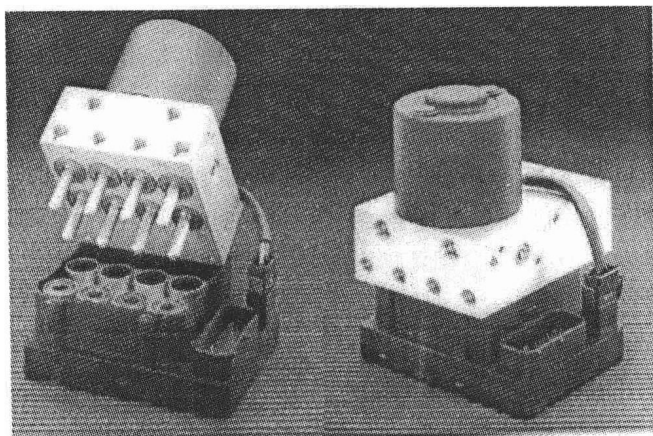
1.1 防抱制动系统(ABS)的发展概述

最早的汽车制动防抱死系统(ABS)专利是英国在 1932 年发布的 382241 号专利,在 20 世纪 30 年代,美国、德国、法国也有人申请有关防抱死装置的专利。德国 BOSCH 公司在 1936 年将电磁传感器用于测量车轮速度,当传感器检测到车轮抱死时,在每条制动管路上的电动机启动以控制制动进油阀阀口大小来调节制动压力。BOSCH 公司的这一专利被认为是 ABS 系统形成中的一个里程碑,其原理一直沿用至今^[1]。

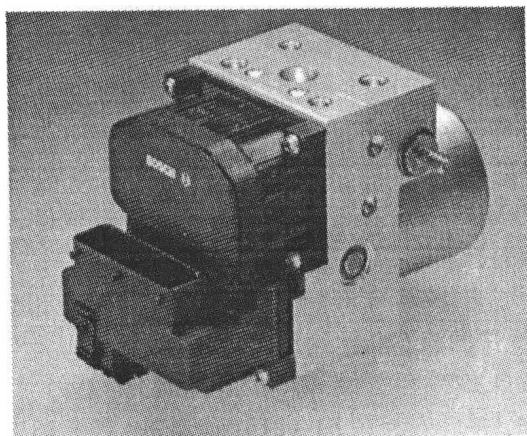
防抱死系统的实际应用被认为始于 1943 年,首先是用于铁路上,美国的西屋公司开始批量生产用于火车上的防抱死制动系统^[2]。而飞机发展的需要进一步推动了 ABS 的发展。随着飞机体积和质量的加大、速度的加快,飞机着陆时,轮胎制动抱死产生剧烈摩擦,在驾驶员反应过来之前轮胎就会磨出斑点,大大缩短了轮胎的寿命^[3]。制动防抱死系统的应用防止了这一现象的发生。20 世纪 40 年代末 50 年代初,ABS 系统已广泛地应用于飞机上。这些早期的制动防抱死系统大多是机械式的,利用惯性飞轮探测车轮是否抱死,从而减小制动压力。20 世纪 50 年代防抱死系统开始应用于汽车工业。1951 年 Goodyear 航空公司将 ABS 系统装于载重车^[4];1954 年福特汽车公司在林肯牌轿车上装用法国航空公司的 ABS 装置^[5]。60 年代开始应用电磁传感器探测车轮轮速,控制部分主要是机械式的,系统相对简单,只有在特定的车辆参数和工况下防抱死效果显著;在车辆参数及工况发生变化时,防抱死功能就会丧失^[6]。而要改善这些性能就会增加机械系统的复杂性和体积,从经济观点来说是不合适的。所以在当时,ABS 系统的发展处于进退两难的境地。幸好 20 世纪 70 年代

电子技术有了很大的发展。70 年代初期 ABS 系统的制造厂家采用分离元件的电子线路,但控制器体积较大,有多达上千个元件,并且可靠性较差,难于实用化。在 70 年代中期,由于大规模集成电路的应用,ABS 控制器由上千个元件减少到几百个元件,大大缩小了控制器的体积,并增强了可靠性。但控制功能的实现是靠硬件构成的逻辑电路,这决定了控制器不可能实现复杂的控制逻辑^[9]。1978 年 ABS 系统有了突破性的发展。德国 BOSCH 公司与奔驰公司合作研制出三通道车轮带有数字式控制器的 ABS 系统,并批量装备于奔驰轿车上^[7]。由于微处理器的引入,使 ABS 系统开始具有了智能,从而奠定了现代 ABS 的基础和基本模式。80 年代以后,ABS 在技术上得到了很大的发展,许多汽车零部件公司纷纷开始生产 ABS 产品,汽车新车的 ABS 装车率在美国等西方发达国家已超过 90%。在发展过程中,ABS 体积逐步减小,质量逐步减轻,控制和诊断功能逐步增强。液压 ABS 系统已将控制器和控制阀体集成于一体,可以作为一个附加系统添加到常规的制动系统中去,目前国际上比较流行的 BOSCH 公司的 BOSCH5.3 ABS 和 Teves 公司的 MK20I ABS 控制单元如图 1-2 所示。

目前 ABS 控制器已普遍采用 16 位单片机为 CPU,同时采用通用诊断协议接口,ABS 除本身朝着集成化、低价格、大批量的方向发展外,还在原系统基础上进行了扩展。20 世纪 80 年代中后期,防滑控制系统(ASR)得到了发展,它包括制动防滑和牵引控制两部分,利用原有的 ABS 系统,只增加部分控制系统和相应的软件,就可以实现防滑控制功能,使性能价格比大大提高^[8,9]。目前一些先进的 ABS 产品已经具有电子制动力分配(EBD)功能,它只需对原有的 ABS 控制软件进行改进,即可使制动时汽车前后车轮的制动力得到合理分配,从而可取消感载比例阀,降低 ABS 系统成本^[10];ABS 的另一个发展是车辆动力学控制系统(VDC)



MK20IABS控制单元



BOSCH 5.3ABS控制单元

图 1-2 ABS 控制单元

(也可称之为电子稳定程序 ESP),它是在 ABS 的基础上通过测量方向盘转角、横摆角速度和侧向加速度对车辆的运动状态进行控制。它可以在车辆运动处于危险状态下自动进行控制,努力去纠正人为操纵中出现的错误,从而进一步提高了汽车操纵的安全性^[3]。

我国对 ABS 的研究始于 20 世纪 70 年代。1977 年,长春汽车研究所首先进行了气压制动 ABS 的研究^[11]。随后,西安公路学院开发了 DZT-1 型中规模集成逻辑电路型电子 ABS,于 1982 年 10 月进行了路试。湖北东风汽车公司于 1985 年引进了德国 KNOOR 公司气压 ABS,安装于 EQ140 汽车进行试验研究,并自行开发了以 Z80CPU 为核心的电控部件。航空部五一四厂研制的 3500-QFBD-2 型气压电子 ABS,于 1986 年 12 月通过了新产品投产技术鉴定,应用对象为 CA140 载货汽车。但产品性能较差、价格较高,主要缺点是系统本身不能自动适应各种不同工况。在硬件设计上,设置了路面选择开关,汽车制动前应由驾驶员根据路面状况人为地进行选择,增加了系统实现难度^[12]。近年来,交通部重庆公路研究所先后开发了两代 ABS 产品,其第二代产品为 FKX-AC1 型,适用于中型汽车。该产品中央处理器采用了美国 Intel 公司的 MCS-96 系列 8098 单片机,控制软件、传感器和执行机构都由自己研制,现已在部分车辆上试装^[13];济南重型汽车集团技术中心自 1994 年开始研究气压制动 ABS,目前已自行研制成功了 16 位的汽车防抱制动电子控制器(ECU)^[14];清华大学汽车工程系自 1989 年开始 ABS 的理论研究,1991 年引进美国本迪克斯 ABS,并已安装在 BJ-213(切诺基)吉普车上,同时自行开发了 MCS-51 与 MCS-96 系列单片机控制器,并进行了初步的道路实验^[15, 16, 17]。总的来说,我国的 ABS 研究工作仍处于起步阶段,技术上还不很成熟,一些 ABS 产品与国外产品相比,还有较大的差距。随着汽车工业的迅猛发展,汽车装用 ABS 已成为

必然趋势,使得 ABS 产品的国产化任务也变得更为迫切。

1.2 ABS 的分类、配置和控制方法

1.2.1 ABS 系统的分类和组成

按实现制动防抱功能的结构和控制方法的不同,ABS 可分为以下三种类型:

(1) 机械式 ABS: 这种类型的 ABS 是在车轮轮毂附近安装一个惯性式车轮角减速度传感器,传感器主要由飞轮和随车轮减速自动产生轴向位移的机构所组成。该机构的轴向位移用来控制制动管路的压力^[18]。

(2) 电子控制的 ABS: 目前应用最为广泛同时也是发展得比较成熟的是电子控制式 ABS 产品,其中又包括液压制动 ABS 和气压制动 ABS,液压制动 ABS 通常应用于整备质量小于 3.5 t 的轿车、越野车和轻型客、货车上;气压制动 ABS 通常用于整备质量大于 3.5 t 的客车和载重卡车上。电子控制的 ABS 主要包括以下几个组成部分:

① 电控单元(Electronic Control Unit, 简称 ECU)。它通常由 16 位单片机构成,它的功能之一是检测车轮速度信息,在进行计算后按控制参数适时发出指令,调节制动压力,防止车轮抱死;功能之二是对 ABS 系统进行故障诊断和报警,保证系统一旦发生严重故障,立刻向驾驶员报警并恢复常规制动,使制动功能不会失效。

② 轮速传感器。它通常采用磁电式或霍尔式传感器,由它获得车轮速度信号,给 ECU 提供制动过程车轮的运动状态信息。

③ 电磁阀执行机构(又称压力调节器)。它是控制制动压力的主要部件。其响应速度一般要求 12 ~ 15Hz。

④ 系统外围电路和管路。它们是电源供给、报警灯显示和制动管路。

(3) 自适应控制 ABS: 自适应控制是根据最佳控制理论构成轮速的伺服控制, 从而实现高精度的控制。它的基本出发点是利用路面峰值附着系数(即最大制动力)处的滑移率来伺服控制汽车的制动, 从而达到最佳的制动稳定性和最短的制动距离。但由于路面附着系数和瞬时车速的测量等一系列的难题有待克服, 故自适应控制的 ABS 尚处于研究中。日本、德国已经在进行此项课题的前期研究^[19]。

1.2.2 ABS 的配置

ABS 配置的选择主要由性能价格比来决定。性能主要以整车的稳定性、转向轮的可操纵性和制动距离作为评价指标, 控制通道数不同, 其性能也不相同。按控制通道数 ABS 可分为单通道、双通道、三通道、四通道和多通道等几种配置。单通道结构简单, 价格便宜, 常用于轻型卡车后轮低选控制, 能有效防止后轮侧滑; 双通道目前已很少采用; 三通道是目前在轿车和轻型车上应用最多的一种配置方式, 它采用两前轮独立控制, 后轮低选控制; 四通道系统各车轮独立控制, 多用于轿车上; 多通道 ABS 一般用于多轴卡车和挂车上^[3]。

1.2.3 ABS 的控制方法

目前市场上已有的 ABS 产品几乎毫无例外地采用逻辑门限值控制方法, 它并不涉及具体系统的数学模型, 这对于非线性系统是一种有效的控制方法, 具有控制简单, 计算量小, 便于实现的优点, 但控制逻辑复杂, 波动较大。从目前的应用情况看, 该方法较好地实现了 ABS 的控制。ABS 的控制方法还有滑模变结构控制、模糊控制、制动器耗散功率控制等许多种方法^[20, 21, 22],

但由于这些方法实现起来还有一定的困难,目前尚未应用于实车上。逻辑门限值控制方法主要是根据两个判据来进行,一是以车轮角减速度作为控制参数,角减速度大说明车轮容易抱死,所以存在一个门限值;二是以车轮滑移率作为辅助控制参数使用,滑移率大说明车轮容易抱死,也有一定的门限值与之对应,此种控制方式是日前被普遍采用的方法。

1.3 汽车制动防抱制动系统的关键技术

由于 ABS 的有效性在汽车安全行驶中的不断体现,得到了越来越多的认同,未来汽车普遍安装 ABS 已成为汽车工业发展的一个必然趋势,然而作为 ABS 技术本身,在许多方面仍需研究和提高。ABS 的关键技术和发展方向主要体现在以下几个方面:

(1) ABS 压力调节器设计及制造加工技术:降低 ABS 系统的成本,是普及 ABS 的一个重要方面。在 ABS 系统中,机械执行部件几乎占整个系统成本的一半。其中电磁阀是 ABS 系统的执行部件,应当具有响应快、迟滞时间短等特点,一般应当具有大于 150 Hz 的开关频率。因此,目前 ABS 压力调节器的发展一方面是提高液压机构的集成度(针对液压制动 ABS),使电磁阀、回流泵、蓄能器和阻尼器等部件集成为一个整体,同时改进电磁阀的设计和工艺,降低液压部件的成本;另一方面是把制动防抱 (ABS) 与驱动防滑 (ASR) 两种控制结合起来,使控制性能大大提高,价格却因许多部件可以共用而提高不多^[23]。

(2) ABS 电子控制单元 ECU 的软硬件技术:随着计算机、电子技术的飞速发展,ABS 电子控制单元不断向小型化、低成本、高性能发展。硬件方面,电控单元的主芯片正由原来的 8 位机、16 位机向 32 位机发展,其他电子元件、集成电路也在向进一步集成化、专用化发展。软件方面将采用现代控制理论,实现更深