

SHIJIE QICHE ZHUDONG ANQUAN JISHU
WENXIAN XUANBIAN

世界汽车主动安全技术 文献选编

汽车主动安全技术编委会 编

 科学技术文献出版社

世界汽车主动安全技术 文献选编

汽车主动安全技术编委会 编

科学技术文献出版社

Scientific and Technical Documents Publishing House

北 京

图书在版编目(CIP)数据

世界汽车主动安全技术文献选编/汽车主动安全技术编委会编. -北京:科学技术文献出版社,2008. 11

ISBN 978-7-5023-6083-2

I. 世… II. 汽… III. 汽车-安全技术-文献-汇编-世界 IV. U461.91-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 119636 号

出 版 者 科学技术文献出版社
地 址 北京市复兴路 15 号(中央电视台西侧)/100038
图书编务部电话 (010)51501739
图书发行部电话 (010)51501720,(010)51501722(传真)
邮 购 部 电 话 (010)51501729
网 址 <http://www.stdph.com>
E-mail: stdph@istic.ac.cn
策 划 编 辑 周国臻
责 任 编 辑 白 明
责 任 校 对 唐 炜
责 任 出 版 王杰馨
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者 北京时尚印佳彩色印刷有限公司
版 (印) 次 2008 年 11 月第 1 版第 1 次印刷
开 本 787×1092 16 开
字 数 258 千
印 张 11.25
印 数 1~3500 册
定 价 35.00 元

© 版权所有 违法必究

购买本社图书,凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

前 言

自 1886 年卡尔·本茨制造出世界上第一辆汽车开始,汽车工业已走过了 120 多年的漫长发展史,汽车目前已经遍布世界各地。在汽车发展的不同时期,对汽车的技术要求是不尽相同的。汽车诞生的早期,汽车的舒适性和动力性是人们关注的焦点,人们希望汽车能够跑得更快、乘坐更加舒适。随着汽车性能的提高和高速公路的快速发展,汽车的行驶速度得到了极大的提高,加之汽车数量的迅猛增加,汽车交通事故所造成的人员生命财产损失日益严重,世界各国的汽车用户以及政府都对汽车的安全性提出了更高的要求。

早期的汽车安全技术主要是为了减轻汽车事故中人员的伤害,这是一种被动式的安全技术,例如:安全电池、座椅安全带、复合安全玻璃以及著名的安全气囊等。这些被动安全技术客观上讲对于减少事故中人员的伤亡起到了至关重要的作用,因此它们大部分都被法规要求强制配置。由于被动安全技术并不会减少交通事故的数量,因此人们对这种汽车安全技术并不满意,于是一种可以避免事故发生的安全技术进入了人们的视线,这就是汽车主动安全技术。汽车主动安全技术也是一种驾驶员辅助系统,它能够在轻松、舒适的驾驶条件下帮助驾驶员避免交通事故。汽车主动安全技术是伴随着电子技术和计算机技术发展而发展的,特别是 20 世纪 90 年代开始的信息革命为汽车主动安全技术的发展注入了强劲的动力。目前,世界各国特别是西方发达国家都投入了大量的人员和资金进行汽车主动安全技术的开发,许多新技术已经投入市场并取得了良好的反响。

中国的汽车工业经过 50 多年的曲折发展,虽然汽车产量和销量都已迈入大国行列,但是汽车核心关键技术大多掌握在外方手中,特别是汽车主动安全技术。走自主创新道路,开发具有自主知识产权的汽车主动安全技术,对于打破外方技术封锁,塑造自主品牌,缩小整体技术差距具有重要意义。本论文选旨在普及汽车主动安全技术知识,针对目前世界上比较成熟的汽车主动安全技术,选编了国内外具代表性的相关文献供相关专业人员和广大读者学习参考。

编 者

2008 年 4 月

目 录

一、汽车主动安全技术简介	(1)
二、具有数字电控单元的乘用车防滑系统	(13)
三、带 μ 值估算的防抱死制动系统研究	(22)
四、基于发动机油门控制方法的防滑控制系统	(31)
五、ASR 与 ABS 集成加速防滑装置形成商务车辆 ABS/ASR 安全系统	(41)
六、电子制动力分配控制——先进的 ABS 附加功能	(53)
七、汽车液压制动系统前后桥制动力分配的电子控制	(64)
八、通过横摆力矩控制提高车辆操纵性能	(77)
九、提高车辆动力学特性的电控系统的演化	(93)
十、BMW 主动巡航控制系统	(110)
十一、从自适应巡航控制到主动安全系统	(122)
十二、汽车爆胎后运动特征分析及 BMBS 的控制原理	(139)
十三、爆胎汽车的稳定性控制方法分析	(162)
附录 汽车主动安全系统大事记	(173)

一、汽车主动安全技术简介

刘 巍

吉林大学汽车工程学院

随着汽车行驶速度的提高、汽车数量的增加以及交通运输的日益频繁,汽车交通事故所引起的人员生命财产安全已成为不容忽视的社会问题。根据欧盟的《欧洲新闻》(Europe Newsletter)(2005 年第 51 期)报道,2003 年欧洲交通事故死亡人数达到 46700 人。这些人员死亡造成总的经济损失达到 2000 亿欧元,相当于欧洲 GDP 的 2%。降低汽车交通事故的发生,特别是降低车祸死亡人数已是世界汽车工业可持续发展的重要课题。

为了减少交通事故、提高汽车的安全性能,各汽车生产商开发出了以碰撞安全为核心的被动安全技术和以制动防抱死系统(Anti-Locking Brake System, ABS)为代表的主动安全技术。被动安全技术是指事故发生后减少乘员受伤害的技术;而主动安全技术是指在轻松和舒适的驾驶条件下帮助驾驶员避免事故的技术。随着政府和用户对汽车使用安全性的日益重视,现代汽车安全技术已经不在满足于“事后补救”的被动技术,正在从“降低事故的破坏性”向“避免事故发生”的方向发展。

电子技术、计算机技术和传感器技术是推动汽车主动安全技术发展的动力。在现代科学技术快速发展的推动下,特别是 20 世纪 90 年代后汽车主动安全技术进入了快速发展的历史时期。目前比较成熟的汽车主动安全技术包括:制动防抱死系统、牵引力控制系统、电子制动力分配系统、电子稳定性程序、制动辅助系统、自适应(智能)巡航控制系统和爆胎监测及制动系统等,如图 1-1 所示。现将各系统的功能原理、结构特点做以下介绍。

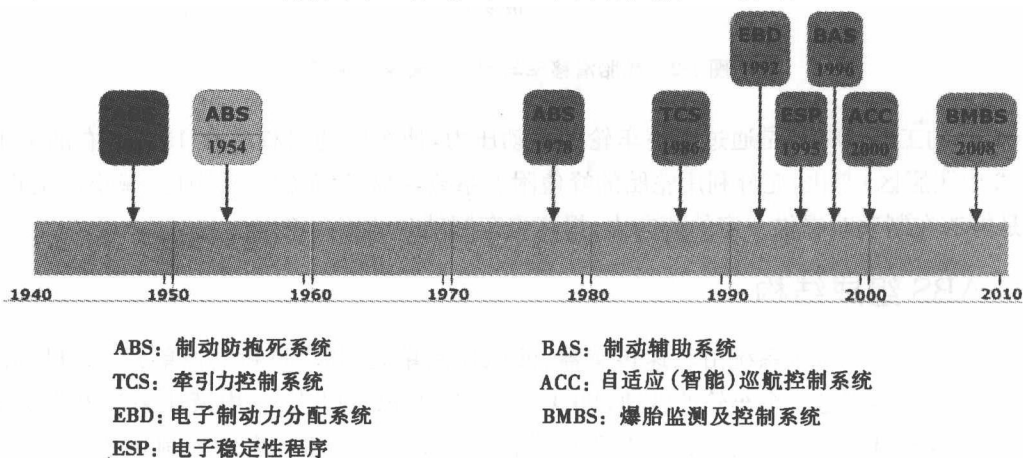


图 1-1 汽车主动安全技术发展历史

1 制动防抱死控制系统

制动防抱死控制系统(ABS),顾名思义,它是避免汽车制动时车轮抱死的一种装置。分析ABS的功能原理之前,首先要了解汽车轮胎的特性,如图1-2所示。轮胎自由滚动时轮胎的滑移率为零,而车轮发生抱死时轮胎的滑移率为100%。从图中可知,车轮抱死时轮胎的纵向利用附着系数减小,而且轮胎侧向利用附着系数接近于零。因此当汽车车轮抱死后,汽车的制动强度降低,制动距离增长,侧向稳定性降低。

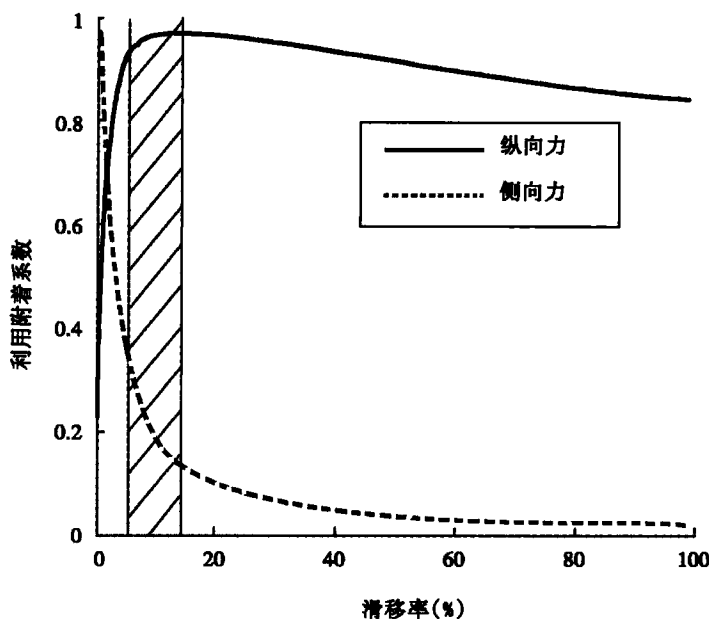


图 1-2 轮胎滑移率与利用附着系数关系

ABS的工作目标就是通过调整车轮的制动压力,使车轮的滑移率在15%左右的范围内(图1-2中阴影区)变化,充分利用轮胎的峰值附着系数,提高汽车的制动强度、减小制动距离,特别是能够在制动时提供一定的侧向力,提高汽车制动时的侧向稳定性。

1.1 ABS 组成结构

如图1-3所示,ABS系统由轮速传感器、液压控制单元(HCU)和电控单元(ECU)组成。其中,轮速传感器测量4个车轮的转速;HCU是ABS的执行机构,它由液压泵和电磁阀和蓄能器等组成,HCU的主要功能是根据ECU的控制指令通过对液压泵的控制和电磁阀的开关控制调节车轮的制动压力;电控单元是ABS的控制核心,它由主控电控单元和一系列的功率驱动芯片等组成,它的主要功能是接受轮速传感器传递来的四个轮速信号,估算汽车的车速,

通过逻辑判断车轮的抱死情况,从而发出控制指令控制 HCU 液压泵和电磁阀的通断电。

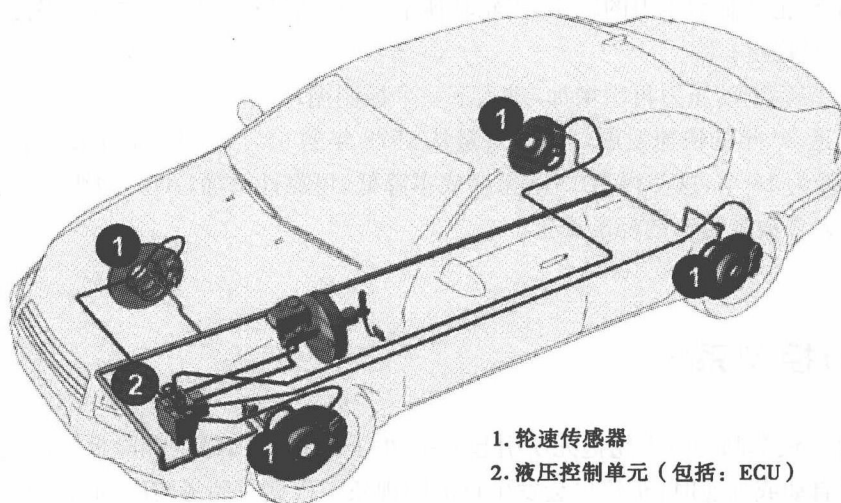


图 1-3 ABS 组成结构

1.2 ABS 典型控制方法

ABS 的轮缸制动压力的调节主要依据车轮的滑移率和车轮的加、减速度,如图 1-4 所示。整个控制流程可以划分 5 个控制区域:

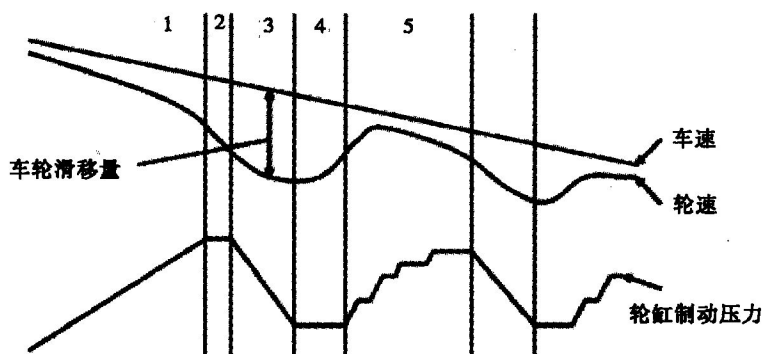


图 1-4 ABS 典型控制流程

- (1) 驾驶员踩制动踏板,轮缸压力随着主缸制动压力的增加而增加,车速和轮速开始分离;
- (2) 当车轮的加速度和滑移量超过设定门限值,车轮出现抱死趋势,系统进入压力保持阶段;
- (3) 轮速与车速进一步分离,车轮出现滑移,当车轮加速度和滑移量超过设定门限值,系

统进入压力降低阶段;

(4)随着车轮轮缸制动压力的减小,车轮转速上升,车轮滑移量减小,系统再次进入压力保持阶段,车轮恢复稳定;

(5)车轮稳定后制动压力再次增加,进入下一个控制循环。

ABS 经过近 30 年的快速发展,HCU 重量从 1978 年的 6.7 千克降低为 1.6 千克,零件数量从 140 多个降为 16 个,这使得 ABS 的系统成本降低,可靠性增加,ABS 的普及率逐年提高,目前已经成为大多数乘用车的标准配置。

2 牵引力控制系统

ABS 解决了汽车制动时车轮抱死所引起的制动力下降、侧向稳定性降低的问题。而汽车在低附着路面启动或加速时,车轮也会发生打滑的现象。根据轮胎滑转时的力学特性可知:汽车的牵引性能变差,对于前置前驱的汽车来讲,汽车将丧失转向能力,而对于前置后驱的汽车来讲,汽车将可能发生甩尾现象。牵引力控制系统(Traction Control System, TCS)就是针对这种现象,通过对汽车发动机输出力矩和驱动轮制动力控制,调节驱动车轮的滑转率,提高汽车的牵引性能和方向稳定性。

2.1 TCS 组成结构

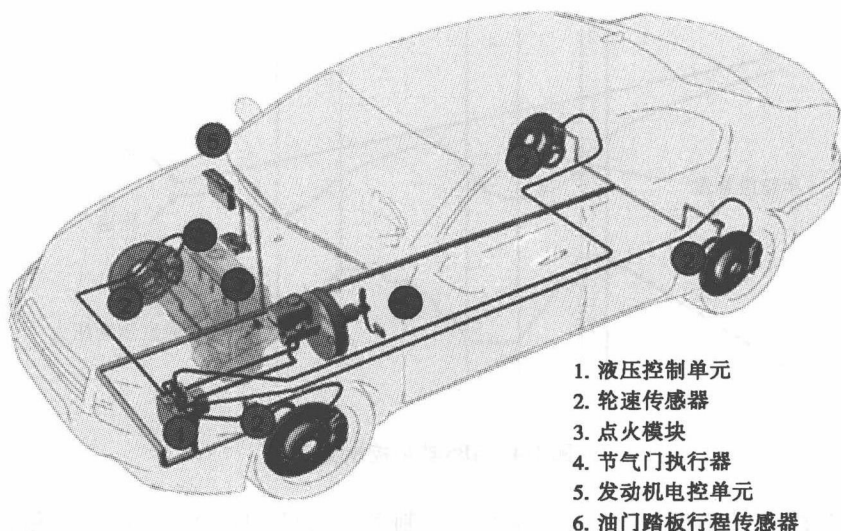


图 1-5 TCS 系统组成结构

TCS 系统是在 ABS 结构基础上通过系统扩展而成的。其中,车轮轮速传感器与 ABS 中轮速传感器的结构功能是相同的,液压控制单元在 ABS 的 HCU 基础上增加了两个吸入阀和

两个隔离阀等相关部件,实现对驱动车轮主动制动的功能。在 ABS 基础上增加的传感器和执行器包括:油门踏板行程传感器、发动机电控单元、节气门执行器(包括节气门位置传感器)和发动机点火模块。油门踏板行程传感器用来监测驾驶员油门操作行为;发动机电控单元与 TCS 的控制单元通过 CAN 总线进行通信,接受 TCS 控制单元的控制指令,对发动机点火模块和节气门执行器等发出控制指令;发动机点火模块根据发动机电控单元的指令通过改变点火提前角和中断点火等减小发动机的输出力矩;而节气门执行器根据控制指令调整节气门开度,控制发动机的输出力矩。由于利用现有 ABS、发动机管理系统和传统制动系统,TCS 具有配置灵活、低成本和更好利用制动系统的优点。

2.2 TCS 控制方式

TCS 的控制方式分为单独制动控制、发动机控制和发动机与制动联合控制三种(如图 1-6 所示)。制动控制是控制车轮滑转最直接和高效的方式,特别是汽车在低附着路面启动和在分离路面加速时,制动控制可以充分控制每个驱动车轮的滑转率,提高汽车牵引性能。而发动机力矩控制可以通过减小驱动车轮的驱动力来减小车轮的滑转现象,并且减少车速,这种控制对于前置后驱的汽车更加有利,可以极大的提高汽车的稳定性。采用制动和发动机联合控制,既可以提高汽车的牵引性能,也可以保证汽车的稳定性,这种方法被广泛应用。

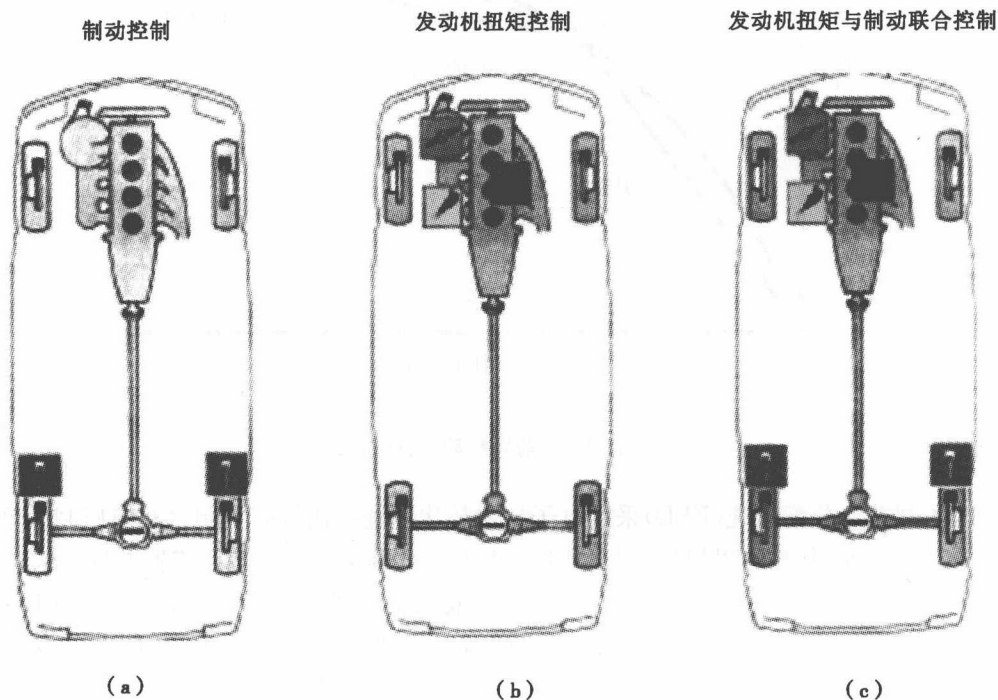


图 1-6 TCS 控制方式

3 电子制动力分配系统

当汽车制动时,理想的制动状况是前后车轮同时抱死(图 1-7 中 I 曲线),此时的路面附着条件利用最充分,汽车制动强度最大,制动距离最短。这就要求汽车前、后轮制动力分配,应该与前后车轮垂直载荷有关,当然这与汽车总重和重心位置相联系,同时还与载荷大小、载荷分布有关。而实际的制动系统的前后制动力分配系数是固定值(图 1-7 中 β 线)。当后轮制动力超过 A 点后,汽车后轮先于前轮抱死,汽车制动时可能发生甩尾现象。因此,传统的汽车制动系统通常都通过在前后轴制动管路间增加比例阀来限制后轴车轮的制动力,以避免制动时后轮先于前轮发生抱死而出现侧滑(如图 1-7 所示)。

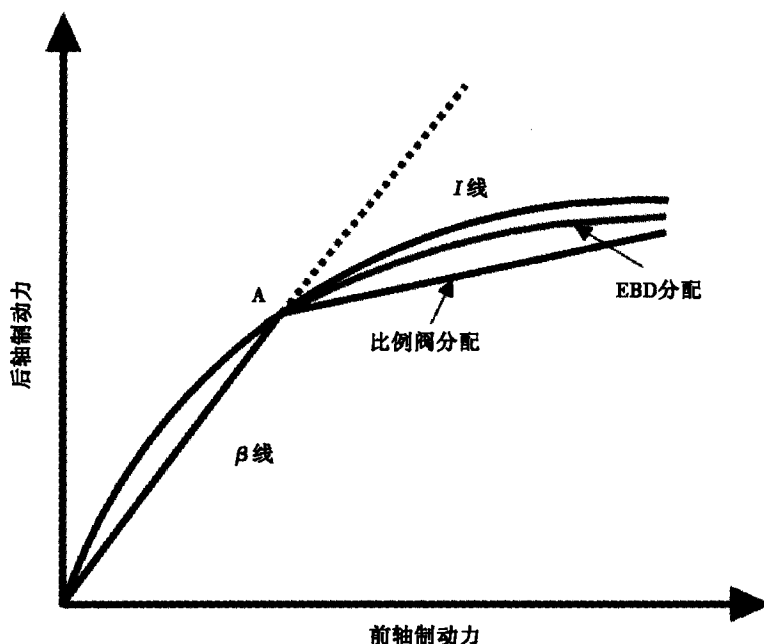


图 1-7 前后制动力分配曲线

电子制动力分配系统(EBD)采用电子技术替代传统的比例阀控制汽车液压制动系统的前后桥制动力分配,其基本思想是:尽可能增大后轮制动器制动力,由传感器监测车轮的运动情况,一旦发现后轮有抱死趋势,电子控制器控制液压制动器降低制动压力。由于 EBD 调节频率高、调节幅度小、控制精确,可使 β 线尽可能接近 I 曲线(图 1-7)。因此 EBD 在保证制动稳定性的同时,使后轮获得了最大制动力,从而提高了整车的制动效能。

3.1 EBD 控制方式

EBD 沿用现有 ABS 的传感器、液压控制单元和 ECU,仅仅对相关的液压阀和控制软件进

行调整。因此,装配有 ABS 的车辆可以通过扩展的 EBD 功能实现接近于理想的制动力分配,并无需额外增加硬件,完全可以代替比例阀。

不同厂商的 EBD 的控制方式有所不同,下面以大陆公司的产品为例介绍 EBD 的控制方式,如图 1-8 所示。当驾驶员进行制动操作后,ECU 在各种行驶状况下持续计算前后轮滑移率的差,如果制动时前轮与后轮的滑移率差值超过设定门限值,后轮有抱死倾向时,那么所对应后轮的 ABS 常开阀关闭,常闭阀打开,车轮压力降低,与 ABS 不同之处是:HCU 的液压泵不工作,降压所排出的制动液暂时存在低压蓄能器中,如图 1-8(a)所示。

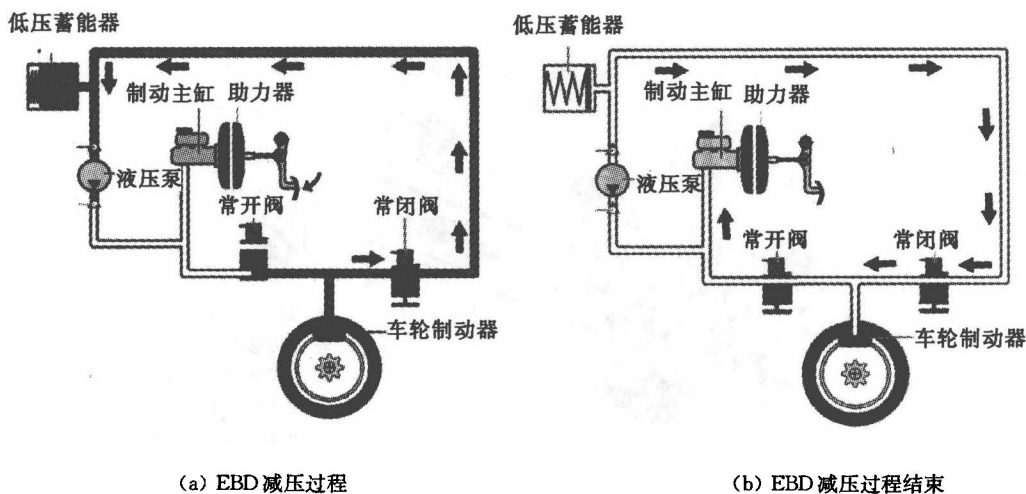


图 1-8 EBD 的控制方式

当制动结束后,制动踏板松开,制动主缸内的制动压力为零,此时再次打开常闭阀,低压蓄能器中的制动液经常闭阀、常开阀返回主缸,低压蓄能器排空,如图 1-8(b)所示。

采用 EBD 的制动系统的优点如下:

- (1) 在整个有效载荷范围内,在各种转向情况,上下坡路面和各种动力传动系统状态下(离合器结合/分离,自动变速箱),优化车辆操纵稳定。
- (2) 不需要传统的比例阀或限压阀。
- (3) 减小前轮制动器的热应力。
- (4) 前后制动片磨损均匀。
- (5) 在相同制动踏板力下能够得到更大的车辆减速度。
- (6) 车辆使用寿命内恒定的制动力分配方式。
- (7) 只需要对现有的 ABS 部件做很小的改动。

4 电子稳定性程序

电子稳定性程序(Electronic Stability Program, ESP)是在 ABS 和 TCS 的基础上发展而

成的新一代汽车主动安全技术。

研究发现:汽车侧滑是造成交通事故的主要原因之一,而 ESP 通过对目标车轮进行制动力调节和发动机输出力矩的控制可以有效的抑制汽车的侧滑运动,提高汽车的侧向稳定性。美国高速公路安全管理署(NHTSA)在分析美国 7 个州 1997 年到 2004 年的交通事故数据发现:ESP 可以减少 34%乘用车单车事故以及 59%的 SUV 单车事故。ESP 通过差速制动控制技术,可以有效地抑制汽车的侧滑运动,避免交通事故的发生。

4.1 ESP 组成结构

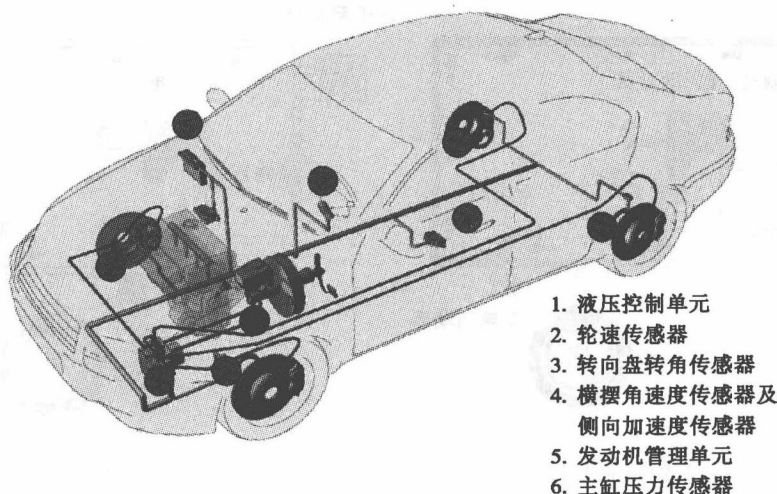


图 1-9 ESP 组成结构

ESP 的硬件结构在 TCS 硬件的基础上增加了侧向加速度传感器和横摆角速度传感器,方向盘转角传感器和主缸压力传感器等。方向盘转角传感器用于监测驾驶员的转向操作;横摆角速度传感器用于监测汽车横摆运动;侧向加速度传感器用于监测汽车侧向运动,通常是用来估算汽车质心侧偏角。主缸压力传感器用于测量制动主缸的压力,实现制动压力的精确控制。ESP 的液压控制单元的基本结构与 TCS 基本相同,不同之处在于 ESP 的 HCU 是四通道结构,可以实现每个车轮的制动压力独立调节。

ESP 的控制软件与 ABS 和 TCS 相比更加复杂,它需要处理更多的传感器数据,涉及了车速估算、质心侧偏角估算、制动轮缸压力估算和路面附着系数估算等大量的计算。因此,ESP 的电控单元需要计算能力更强的主控单元和容量更大的存储空间。

4.2 ESP 工作原理

通过方向盘转角传感器信号和估算的车速信号,根据线性单轨车辆模型确定驾驶员所期望的名义横摆角速度和名义质心侧偏角。而汽车实际横摆角速度和质心侧偏角通过传感器测量和算法估算得到。通过比较横摆角速度和质心侧偏角的名义值和实际值,判断汽车处于过多转向还是过度不足转向。如图 1-10 所示,当汽车处于过多转向时,通过对前外车轮施加制

动产生与汽车转向运动方向相反的横摆力矩,从而抑制汽车的过多转向运动;当汽车处于不足转向时,则通过对后内侧车轮施加制动产生与汽车转向运动方向相同的横摆力矩,抑制汽车的严重不足转向运动。

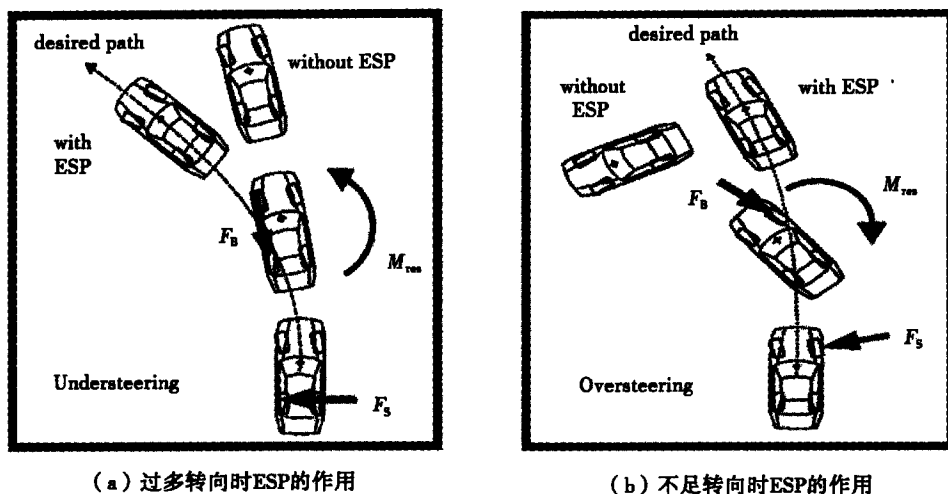


图 1-10 ESP 控制汽车的转向

自从 ESP 诞生,世界各国的汽车用户和政府部门越来越重视 ESP 的性能和作用,各个整车厂和系统供应商投入了大量的资金和人员进行 ESP 相关的研究,ESP 产品在新车上的普及率迅速提高。2004 年欧洲新车 ESP 装车率平均达到了 36%,而德国的新车装车率更是达到了 64%。美国已经制定了新的标准,计划于 2011 年实现乘用车 ESP 装车率达到 100%。

5 自适应巡航控制系统

汽车在公路上行驶时,驾驶员必须时刻估计前方车辆的速度和两车距离来不断地调整汽车的速度,频繁的加速和制动操作将加剧驾驶员的疲劳。传统的巡航控制系统是一种定速巡航系统,它只能根据驾驶员设定的车速来调节汽车油门变化来控制车速变化,与前方汽车的距离仍然需要驾驶员的干预来控制。而自适应巡航控制系统,也称智能巡航控制系统(Adaptive Cruise Control System, ACC)是在传统的巡航控制技术基础上增加了能够测量前方车辆距离的传感器,因此既具有定速巡航的能力,又具有应用车载传感器信息自动调整车辆行驶速度,保持本车与前车安全间距的功能。

5.1 ACC 控制方式

ACC 的控制方式包括车速控制和车距控制。如图 1-11 所示,当驾驶员设定巡航车速后,如果汽车此时车速低于巡航车速,而且汽车前方规定范围内没有障碍物(图 1-11(a)),那么汽

车将自动加速到设定的巡航车速；一旦探测到汽车前方规定的范围内出现障碍物(图 1-11 (b)),ACC 进入车距控制模式,通过油门和制动装置的自动调节,保证与其他车辆的距离始终处于规定的范围内;当探测到汽车前方规定范围内障碍物消失后,ACC 将再次进入车速控制模式,汽车将自动加速到设定的巡航车速。

当驾驶员踩加速踏板或制动踏板后,汽车退出 ACC 控制进入常规加速或制动模式,一旦驾驶员撤销加速踏板或制动踏板上的压力,汽车马上进入 ACC 控制状态。

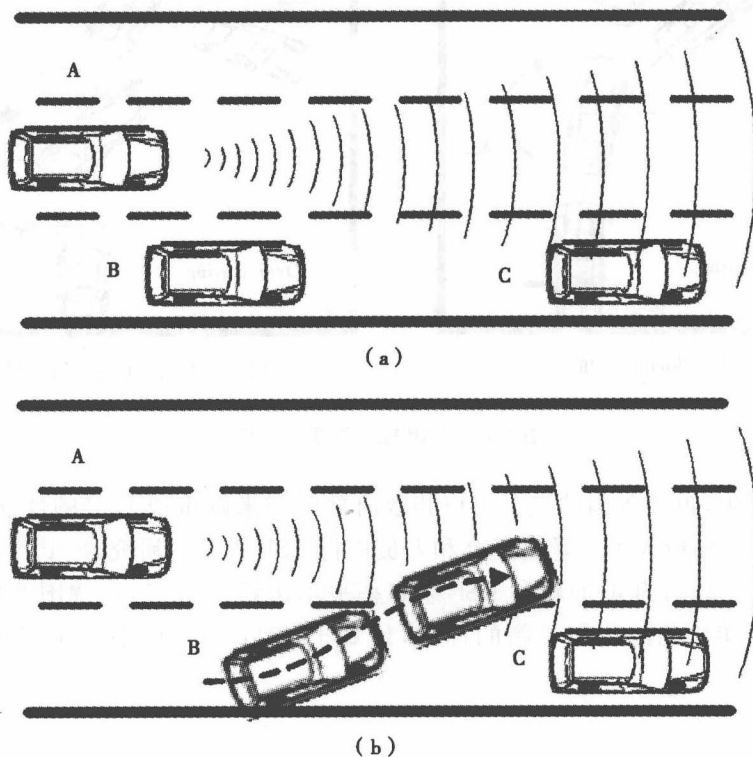


图 1-11 ACC 控制方式

5.2 ACC 组成结构

ACC 系统包括:传感器单元、ACC 控制器、执行机构和人机界面等。传感器单元用于感知本车状态及行车环境等信息,目前的 ACC 系统采用雷达传感器发出三束交叠的无线电波对前方车辆进行探测,通过反射信号计算前方车辆的方向和距离,如果配合横摆角速度传感器,ACC 在转弯时仍然有效。ACC 控制器是系统的核心单元,用于对行车信息进行处理,确定车辆的控制命令;ACC 控制器通过车载网络与发动机管理单元、变速器控制单元等其他控制系统通信,实现传感器信号数据共享和综合控制;执行机构主要由制动踏板、加速踏板及车辆传动系控制执行器等组成,用于实现车辆加、减速;人机界面用于驾驶员设定系统参数及系统状态的显示等。

6 爆胎监测及制动控制系统

爆胎监测及制动控制系统(Blow-Out Monitoring and Brake System, BMBS)是一项具有十分重要智能化的汽车行车安全技术。BMBS 集机械、计算机、电子控制与液压控制于一体,能够对行驶中汽车轮胎的胎压进行实时监测和预警,特别是在行驶中的汽车发生爆胎或其他快速泄气状况的紧急时刻启动语音及灯光报警,并同时实施自动制动,将汽车减速到安全速度,从而避免事故的发生。

6.1 BMBS 组成结构

BMBS 系统包括:胎压监测模块 A、BMBS 控制器 B 和电控行车制动器及预警系统组成。

(1) 胎压监测模块:爆胎监测模块(又称分机)安装于汽车轮胎中,由气压、温度传感器、微处理器、RF(射频)电路及锂亚电池组成。功能为:实时监测轮胎气压、温度的变化状态,并将数值发送至 BMBS 控制器。

(2) BMBS 控制器(又称主机)安装于汽车驾驶室内适当位置,由信号接收电路、微电脑智能控制电路及伺服驱动电路组成。功能为:对接收到的信号进行分析、判断,爆胎时启动制动执行机构及预警系统。

(3) 电控行车制动器由 BMBS 真空助力器组成,在接到 BMBS 发出的爆胎信号时可以自动制动。

预警系统由语音提示、仪表台指示灯显示及车辆双跳灯警示等。爆胎后对驾驶员及后方车辆进行提示。

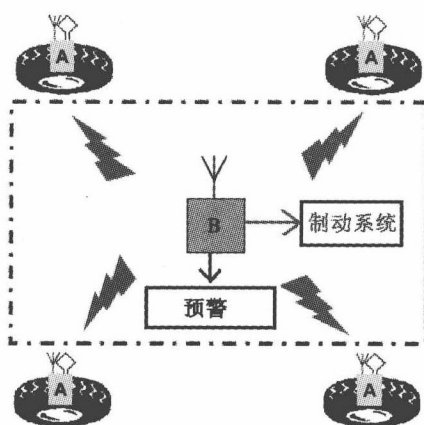


图 1-12 BMBS 组成结构

6.2 BMBS 系统功能

(1) 车辆在高速行驶的过程中一旦发生爆胎情况,该系统能够在 500ms 内自动做出反应