

文章编号: 1002-0268 (2004) 07-0119-04

Bosch VDC 系统的控制原理及展望

李 刚, 于学兵
(大连理工大学, 辽宁 大连 116023)

摘要: VDC 系统 (Vehicle Dynamics Control、车辆动力学控制系统, 在美日等国称为 VDC, 而在欧洲称为 ESP, Electronic Stability Program, 即电子稳定程序) 是 Bosch 公司 1995 年推出的用于改善车辆操纵稳定性的一种车辆动力学控制系统。VDC 系统包括两个控制回路: 控制车辆运动的主控制回路, 控制制动和驱动滑移的副控制回路。文中详细介绍了这两个回路的工作原理, 并给出了改善车辆操纵稳定性的实例。最后, 指出了 VDC 系统的发展趋势。

关键词: 车辆动力学控制; 控制; 车辆; 操纵稳定性

中图分类号: U461.6 **文献标识码:** A

Control Concept and Outlook of Bosch VDC System

LI Gang, YU Xue-bing
(Dalian University of Technology, Liaoning Dalian 116023, China)

Abstract: Vehicle Dynamic Control system (VDC, in the Euro: Electronic Stability Program (ESP)) is a system which can improve the handling and stability of vehicle, it was introduced in 1995 by Bosch. The Bosch VDC is based on a complete controller with major and minor loops. In the major control loop the vehicle motion is controlled and in the minor control loop the wheel slip for brake and drive are controlled. This paper describes the control concept of VDC and give out examples. Finally, it is pointed out the development trend of the VDC.

Key words: Vehicle Dynamic Control (VDC); Control; Vehicle; Handling stability

0 引言

随着高速公路的发展和汽车技术的进步, 汽车的车速在不断提高。现代轿车的设计最高时速一般都大于 200km/h, 汽车在高速公路上的行驶速度通常也都在 100km/h 以上。另外, 驾驶员的非职业化发展趋势, 也要求汽车具有更好的可操控性和更高的安全性。因此, 汽车的安全性能, 特别是主动安全性能日益受到人们的重视, 也成为各大汽车公司技术开发的重点和热点。

车辆的急转是影响车辆安全的重要因素, 它将会导致严重的事故。Audi 公司^[1]的调查研究表明, 随着车速的提高由于车辆急转而引发的交通事故也在急剧增长。时速在 80km/h 和 100km/h 之间的人员伤亡事故有 40% 与急转有关; 而在时速超过 160km/h 以后,

人员伤亡事故与车辆急转的关系将接近 100%, 即这时几乎每一起事故都由急转引起。由于在急转发生时驾驶员将失去对车辆的控制, 从而导致发生严重的交通事故。假如有一种系统能在车辆将要发生急转时自动的介入以防止急转的发生, 使驾驶员保持对车辆的控制, 将会大大减少发生事故和造成人员伤亡的几率。

Toyota 公司^[2]对由车辆失控引发的交通事故进行的原因调查表明, 多数失控是由于车辆的侧滑引起, 进而导致严重的事故, 并得出结论——这一情况无法通过 ABS、TRC (牵引力控制, 也称为 ASR) 以及其它常规技术解决。

Bosch 公司的 VDC 系统^[3]就是为了改善以上工况下车辆的操纵性能而设计开发的。该系统主要是通过实现左右制动力的差动控制, 直接地对汽车提供横摆

力矩, 使车辆的行为尽可能地与驾驶员的意图相符合, 抵消汽车的不稳定运动。并且, 在驾驶员转向操作过大或过猛时, VDC 系统将帮助他们防止车辆发生急转。与 TRC 相同, VDC 利用制动力矩和发动机转矩来实现所需的车辆动力学控制。

1 VDC 系统的控制原理

VDC 系统用于在轮胎与路面间达到附着极限的临界工况下, 控制车辆和车轮的动力性。当车辆处于全部制动或部分制动、滑行、驱动、发动机拖动制动、换档过渡和从驱动到制动的过渡等工况时, 只要在物理极限允许的范围内, VDC 将极大地改善车轮和车辆的稳定性。通过控制和分配轮胎的纵向力和侧向力, 使得车辆尽可能地沿着驾驶员预期的路径行驶, 减少车辆滑移带来的危险, 改善车辆的操纵稳定性, 并且可以建立一种与驾驶员的经验相适应的可预测的车辆行为体系。

Bosch VDC 系统包括一个主控制回路和一个副控制回路——主回路通过调整横摆角速度和车辆侧偏角来控制车辆运动, 使其安全并保持稳定; 副回路通过调整车轮的制动力、驱动力和侧偏力来控制其制动和驱动滑转。这一设计消除了不同驱动工况之间和控制器过渡阶段(如部分制动和全部制动之间的过渡)的不连续性, 并且使控制器各部分的任务更加清晰。图 1 是 VDC 系统的控制原理简图。

1.1 主反馈回路

如图 1 所示, 主反馈回路的模块 1 是信号处理和观测器模块。将有以下变量值反馈给该模块: 轮速传感器、制动压力传感器、转向盘转角传感器、横摆角速度传感器和侧向加速度传感器的信号值, 发动机实际转矩和加速踏板位置传感器等由发动机管理系统 CAN 输出的信号值, 传动比等由自动变速器 CAN 输出的信号值, 副反馈回路中估算的车轮滑移率, 车轮制动油缸中的压力, 车辆的纵向速度、加速度和车轮的制动力。信号处理和观测器模块将对这些信号进行滤波, 并估算摩擦系数、侧向速度、车轮和车辆的实际侧偏角以及轮胎力等附加变量的值。另外, 该模块还将检测是否存在左右车轮附着系数不一致和急转弯等情况。然后利用经过滤波的信号值, 估算变量值和依赖于工况的校正参数定义车辆运动控制回路中的名义值, 这些名义值将用于控制器其它的大多数部件。

模块 2 是车辆运动名义值计算模块, 它将计算用于主反馈回路控制的横摆角速度和车辆侧偏角的名义值。这些名义值将根据驾驶员输入、全部制动和滑行

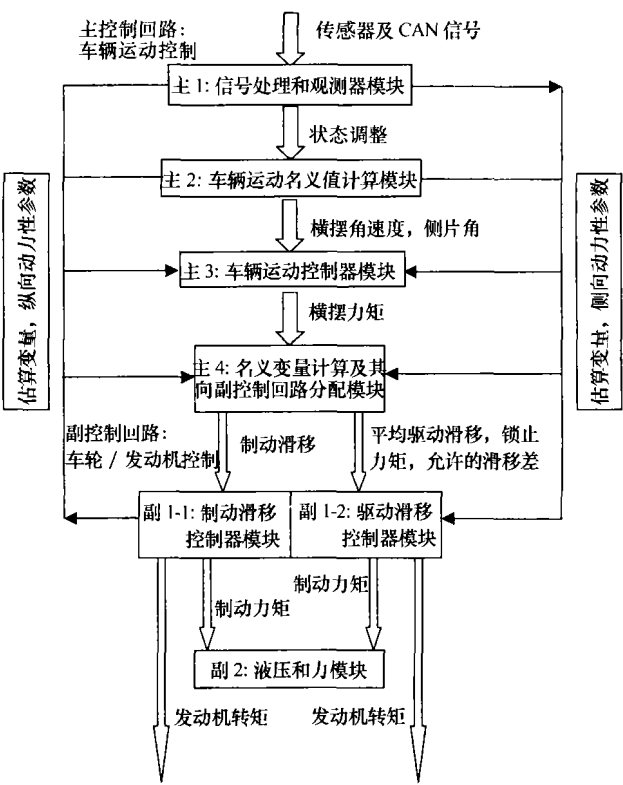


图 1 VDC 控制原理框图

等驱动状况以及摩擦系数、路面倾角或左右附着系数不同等环境状况诸多因素来决定。其中驾驶员输入包括: 转向盘转角、制动主缸内的制动压力和加速踏板的位置。利用这些信息和 Ackerman 方程可计算出初步的横摆角速度名义值。然后对该名义值进行滤波, 依据估算的路面摩擦系数加以限制, 最后根据给定的驾驶状况和环境予以校正。另一方面, 利用对过度转向或不足转向的工况分析, 可推导并修改得到车辆侧偏角的名义值和最大允许值, 即该模块的输出参数。

模块 3 是车辆运动控制器模块, 该模块将比较车辆运动的名义值和实际值并给出所需的变化量。横摆角速度的实际值由横摆角速度传感器提供。车辆侧偏角的实际值由观测器估算^[4]。因为要得到可靠的估算值十分困难, 所以车辆侧偏角只在能够得到可靠估算的特殊情况下(例如全部制动期间)才起控制作用, 否则该值的利用将受到限制。车辆运动控制器的初始化条件和增益由副控制回路的状态、驱动状况和环境条件来决定。控制的灵敏度将受到传感器偏移补偿状态的影响。车辆运动控制器的输出是横摆力矩所需的变化量, 这一变化量将使横摆角速度和车辆侧偏角的实际值更加逼近于名义值, 即车辆的实际行为更加逼近名义行为(期望行为)。该输出最后经死区滤波后传递给主控制回路的最后一个功能模块。

在主控制回路的最后一个功能模块中, 即模块

4. 将计算副控制回路的输入变量。对于制动操作, 根据所需的横摆力矩的变化量, 计算每一个单独车轮的制动滑移的变化量。它们被限制后将传递给制动滑移控制器的副控制回路, 该控制器将设置任何所需的滑移率值, 来得到要求的纵向和侧向轮胎力。对于驱动操作, 根据所需的横摆力矩变化量, 计算平均驱动滑移、锁止力矩和驱动轮间允许的滑移差的名义值。如果在全部制动期间主控制回路中的执行信号为零, 则不对名义制动滑移率值进行校正并且车辆减速度将达到最大值; 然而, 在驱动操作中名义值将视情况调整。

1.2 副控制回路

如图 1, 副反馈回路包括制动滑移控制器模块(副 1-1)和驱动滑移控制器(副 1-2), 后者本身还有一个副控制回路——发动机管理系统。制动滑移控制器控制每个车轮的绝对滑转值, 并因此得到主控制回路中也需要的车轮侧向力。控制器的独特设计使得这一点成为可能。车轮的滑转值可由车轮的自由滚动速度导出^[4]。利用短持续时间内调整阶段的制动滑转值是稳定的这一原理并利用信号处理和观测器模块产生的信息, 即使在滑移控制期间也可以方便地对车轮的滑转值进行估算。利用估算的车辆侧向速度、转向盘转角和横摆角速度可以将推导出的任一车轮滚动速度转化为车辆速度。更进一步, 每一车轮的自由滚动速度可由估算的车速反推到车轮上得到。这些估算的速度将应用在所有的控制器部件中并作为 VDC 系统设计的基础。车轮滑移控制器是一个简单的 PID (比例积分微分) 控制器。在全制动期间, 如果轮胎侧偏角为零, 名义滑转值将对应于附着——滑移曲线的最大值, 否则将利用侧向和纵向摩擦系数的估算值对其进行校正^[4]。如果主控制回路要求名义滑转值产生一个变化, 那么这一变化量将加到名义滑转值上使其处于 0 到 1 之间。制动滑移控制器的输出是名义车轮制动力矩, 它将被转换为车轮制动油缸内所需的压力值。然后利用液压和力模块(副 2)将这个名义压力值转换为使液压单元动作的执行命令。如果通过降低压力不能使车轮制动滑转值充分小, 发动机将增加转矩以减小发动机的阻力矩。利用估算的车轮制动压力, 液压单元也将对制动力作一个较好的估算。

对于驱动滑移, 驱动滑移控制器控制平均轮速(或相应的传动轴转速)和驱动轮的轮速差来调整相应的驱动轴转矩和锁止力矩的名义值。驱动滑移控制器的名义值由主控制回路来决定。该控制器需要发动机转速、实际的发动机转矩、发动机拖动制动转矩和

驾驶员要求的发动机转矩等数据。这些数据通常由现代发动机管理系统 ECU 通过控制器总线(例如 CAN)提供。另外, 运动学传动比和相应的转矩传动比由电子变速箱控制系统得到。以这些信息为基础, 即在一个物理基础上, 控制器的输出以名义发动机转矩的形式表达。以转矩为基础的发动机管理控制器界面允许对 VDC 系统进行高度不依赖发动机的开发和应用。对于传动轴的转速, PID 控制器的输出是要求的传动轴转矩; 对于驱动轮的轮速差和差速, PI 控制器的输出要求的是锁止转矩。然后这些转矩被分配到转矩执行器, 在那里生成名义制动转矩和名义发动机转矩, 后者习惯分为所要求的快发动机衰减率和慢发动机衰减率。传动轴转矩需求的准稳态部分主要由作为慢速转矩的执行器节气门执行器建立; 而动态部分则由快速发动机转矩执行器、点火延迟和停止喷油来建立。锁止力矩必须由驱动轴上的一个非对称制动执行机构来建立。

2 VDC 的控制实例

图 2 是在发生过多转向和不足转向时, 带有 VDC 系统和不带 VDC 系统的车辆状况比较。从中可以看出, VDC 系统将使车辆更加安全。

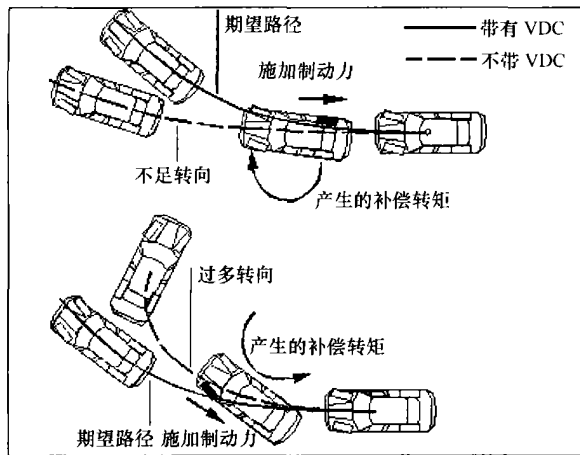


图 2 在发生过多转向和不足转向时, 带有 VDC 系统和不带 VDC 系统的车辆状况比较图

3 结论

VDC 系统的出现, 极大的改善了车辆的安全性, 提高了临界状态下车辆的操纵稳定性。该系统以横摆角速度和车辆侧偏角为控制变量, 实时地调整车辆的行为, 使之与驾驶员的意图和路面状况相适应, 在临界工况下给予驾驶员全力支持, 确保车辆和行人的安全。随着 VDC 系统各种元件的不断开发, 性能、安

全性和可靠性的不断提高，成本的下降，以及元件或系统发生故障情况下安全模式的引入，VDC 系统将会被越来越多的车辆所采用。

另外，必须指出，VDC 系统的正常工作需要车辆其它系统的密切配合，特别是车辆的减震装置。试验^[9]研究表明，当车辆的减震器严重老化时，VDC 系统的判断将出现失误，系统不能正常工作，严重时将发生危险。

4 展望

由于传感器对系统的性能和可靠性起着至关重要的作用，所以传感器的设计开发将成为未来研究和开发的主要方向之一。另外，以力和力矩为基础的 VDC 系统控制原理的模块化设计结构非常适应线控制制动和悬架控制，这也将成为技术发展的方向之一。在不久的将来，VDC 系统将与悬架控制系统和转向系统等与车辆动力性有关的控制系统通过网络组成一

个车辆动力性控制网络，使车辆的操纵更加友好，更加安全。

参考文献:

[1] Glaser H Electronic Stability Program ESP [M] . Lycksele Sweden: Audi Press Presentation, 1996.

[2] Sugiyama M, Inoue H, Uchida K, Monzaki S, et al Development of VSC (Vehicle Stability Control) System [J] . TOYOTA Technical Review, 1997.

[3] Van Zanten A T, Erhardt R, Pfaff G. VDC, The Vehicle Dynamics Control System of Bosch [J] . SAE paper 950759.

[4] van Zanten A T, Erhardt R, Pfaff G, et al Control Aspects of the Bosch-VDC [C] . Aachen: AVEC'96, International Symposium on Advanced Vehicle Control, 1996.

[5] Car Safety Systems Risk From Wom Shock Absorbers——New Tests Prove that ESP and ABS Systems are Ineffective when Combined with Wom Shock Absorbers [R] . http://www.tenneco-automotive.com/news/newproduct/eu_01_2000.html

(上接第 118 页)

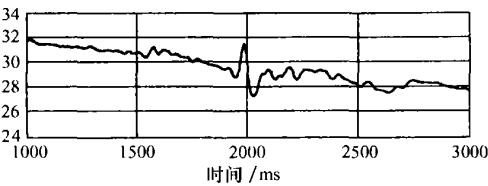


图 9 车轮通过凸起时的轮速变化

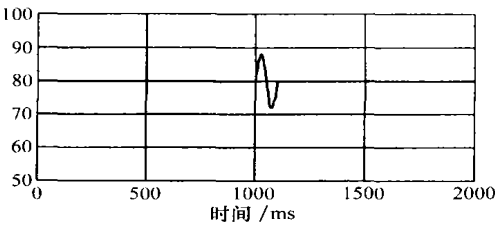


图 10 假想车轮通过凸起时的轮速变化

4 结语

多功能气压 ABS 开发测试系统的成功，为快速实现自主开发气压ABS提供了保障。从ABS电磁阀

性能测试、ECU 硬件软件调试、ABS 车型匹配到 ECU 故障诊断等，都可以在同一台架上进行，大大提高了研发效率，使 ABS 开发过程由传统的道路试验为主转变为以台架试验为主，减少了传统开发过程中所必须的实车道路试验。从而，有效缩短 ABS 的研究开发周期，降低开发成本。更重要的是，使用该系统还可以代替某些危险试验、破坏性试验，提高安全性和经济性。需要指出的是，最终产品还是要经过道路试验的考核。

参考文献:

[1] 林波. ABS 混合仿真试验台的建设和门限控制方法的研究 [D] . 清华大学硕士学位论文, 2001.

[2] Gwaghu G. An Analytical Model of Pneumatic Tyres for Vehicle Dynamic Simulations [J] . Int. J. of Vehicle Design, 1990, 11 (6) (part I), 1991, 12 (1) (part II), 1991, 12 (2) (part III).

[3] 张洪欣. 汽车设计 [M] . 北京: 机械工业出版社, 1996.

[4] 程军. 汽车防抱死制动系统的理论与实践 [M] . 北京: 北京理工大学出版社, 1999.