

国外汽车新技术丛书 之一

汽车控制技术

中国第一汽车集团公司
技术中心 科技信息部

国外汽车新技术丛书之一

汽车控制技术

主编 原田 宏

朝仑书店

目 次

1. 汽车控制技术发展概要	1
1.1 代的化分	1
a. 第 1 代	1
b. 第 2 代	1
c. 第 3 代	2
1.2 环境能源问题采取的措施	3
a. 发动机系统控制	3
b. 自动行驶	4
c. 发动机、传动系综合控制	4
1.3 行驶控制和安全性	4
a. 防抱死制动系统(ABS)	4
b. 牵引控制系统(TCS)	5
c. 防止侧滑系统(VSC)	6
1.4 追求舒适行驶	7
a. 衰减力控制悬架	7
b. 后轮转向(4WS)	8
c. 动力转向(PS)	8
d. 4 轮驱动控制	8
e. 主动悬架	9
f. 综合控制系统和课题解决	9
1.5 辅助驾驶和智能化	12
a. 预防事故控制	12
b. 实现汽车的更加智能化	13
c. 汽车的将来	14
2. 环保车和发动机、驱动系统的控制	15
2.1 发动机控制	16
a. 低排放	17
b. 低油耗	17
c. 舒适性	17

d. 可靠性和安全性	17
2.2 发动机控制系统	17
a. 进气	17
b. 燃料	18
c. 点火时间	19
d. EGR(废气再循环)	19
2.3 发动机模型	19
a. 扭矩计算模型	20
b. 进气压力的计算模型	23
c. 燃料动态模型	27
d. 发动机速度计算模型	31
2.4 发动机控制逻辑	33
a. 低排放控制	34
b. 低油耗及动力性能的提高	43
2.5 将来的发动机控制	45
2.6 驱动系统控制	45
a. 低油耗	47
b. 舒适性	48
2.7 发动机、驱动系模型	48
2.8 制动变速器的控制系统	51
2.9 驱动控制逻辑	52
a. 滑移控制	52
b. 变速控制	54
2.10 将来的驱动系控制	58
2.11 发动机、驱动控制的将来	59
3. 行驶安全和底盘控制	61
3.1 避免事故技术	61
3.2 ABS 的进步和现在	62
3.2.1 ABS 开发的原委	63
3.2.2 后两轮控制 ABS(美国)	64
a. 飞机技术的采用	64
b. 基础技术的发展	64
3.2.3 4 轮控制 ABS	68
a. 控制基本理论	69

b. 高选择和低选择	71
c. 液压执行元件(机构)	73
3.2.4 日本的 ABS	74
3.2.5 ABS 的现在	75
a. 提高车体速度的推测精度	75
b. 推测路面状态	76
c. 4 轮驱动车用 ABS	76
d. 车体振动和踏板反作用	76
e. 跑偏控制 ABS	77
3.3 TCS 的现状和将来	77
3.3.1 TCS 开发原委	77
3.3.2 TCS 的实例	80
a. 系统 A(日产—TS)	82
b. 系统 B(博世、帝普托洛尼克)	82
c. 系统 C(三菱 TCC)	83
d. 系统 d(本田 TCS)	84
3.3.3 驱动控制的基本型	85
3.3.4 驱动控制系统的型式分类	86
3.3.5 驱动控制系统的现在和未来	87
3.4 未来技术和车辆行驶的控制	89
3.4.1 控制基本型的掌握方法	89
a. 驾驶交感型控制和现实适应型控制	90
b. 视觉型控制和触觉型控制	90
c. 个人型控制和社会型控制	90
3.4.2 控制理论的阶层和连锁	91
3.4.3 技术人员的课题和将来技术	92
3.5 结束语	93
4. 舒适行驶和底盘控制技术	94
4.1 舒适行驶	94
4.1.1 解决二律背反和舒适性	95
4.1.2 提高行驶性能和舒适性	95
4.2 控制系统的变化	96
4.2.1 电子控制悬架	97
a. 离地高度调整系统	97

b. 衰减力控制	97
c. 主动悬架	102
4.2.2 后轮转向系统	109
a. 前轮转向比例方式	110
b. 转向力反馈方式	110
c. 偏航角速度反馈方式	111
d. 模型跟踪方式	113
e. 非线性控制	113
f. 自保险装置	114
4.2.3 4WD 控制	115
4.2.4 系统的复合化	117
4.2.5 控制情报	121
a. 判断车辆外部环境	121
b. 驾驶员意图的判断	122
4.3 底盘控制系统课题	123
4.3.1 控制系统组合化	123
a. 功能组合化	124
b. 情报综合化	124
c. 硬件通用化	124
4.3.2 控制目标的研究	124
4.3.3 其它课题	125
4.4 舒适行驶的未来状况	125
4.4.1 综合控制概念	125
4.4.2 高性能化	125
4.4.3 车辆稳定性控制	128
4.5 结束语	129
5. 汽车的智能化辅助驾驶系统	130
5.1 驾驶员与辅助驾驶系统	130
5.1.1 汽车与驾驶员的关系	130
5.1.2 辅助驾驶的分类	131
5.2 汽车的社会性课题与智能化所带来的改善	132
5.2.1 提高安全性	133
a. 防止发现滞后	133
b. 防止反应滞后	133

5.2.2	交通堵塞的缓解	134
a.	驾驶员行为引起的堵塞	134
b.	交通容量的增大	134
5.2.3	油耗和排放的改善	134
a.	停车次数的减少	134
b.	行驶速度的稳定化	135
c.	行驶速度的优化	135
d.	跟踪车队行驶降低空气阻力	135
5.2.4	方便性和舒适性的提高	135
5.3	研究开发的实例	136
5.3.1	控制情报辅助系统	136
a.	前方障碍物报警系统	136
b.	侧方障碍物报警系统	137
c.	近距离障碍物报警系统	139
d.	偏离车线报警系统	139
e.	前方道路危险报警系统	140
f.	瞌睡驾驶报警系统	140
5.3.2	控制操作辅助系统	143
a.	速度控制辅助系统	143
b.	转向操作辅助系统	146
5.3.3	紧急情况下的操作自动化系统	147
a.	躲避碰撞自动制动系统	147
b.	脱离车线防止系统	148
c.	躲避碰撞自动转向系统	149
5.3.4	正常行驶时的部分自动化控制系统	149
a.	自适应行驶控制系统	149
b.	车线系统保持	151
5.4	智能化的通用技术	152
5.4.1	障碍物识别技术	152
a.	光雷达	152
b.	电波雷达	154
c.	图像处理识别障碍物	156
d.	障碍物识别技术的课题	157
5.4.2	行车线识别技术	158

a. 图像的白线识别	158
b. 新行车线标识的识别	159
c. 行车线标识识别的课题	160
5.4.3 前方道路障碍的识别	161
a. 车辆的识别	161
b. 基础设施的识别	162
5.4.4 车辆位置、行驶轨迹的识别	162
a. 推算定位法	162
b. GPS 卫星位置测定	162
5.4.5 移动体通信技术	163
a. 车间通信	163
b. 路车间通信	163
5.4.6 执行机构	164
a. 节气门执行机构	164
b. 制动执行机构	164
c. 转向执行机构	164
5.5 系统开发的经过和今后的前景	165
5.5.1 系统研究开发的经过	165
a. 导向式自动驾驶系统的研究开发	166
b. 自律型自动驾驶系统的研究开发	166
c. 辅助驾驶系统的研究开发	166
5.5.2 智能化系统发展的前景	167
5.6 今后的课题	168
a. 与使用环境相关的课题	168
b. 与人相关的课题	169
c. 与可靠性、耐久性相关的课题	169
d. 事故责任的问题	169
e. 驾驶员对辅助驾驶系统过度的信赖及紧张感的下降	169
f. 车辆与基础设施的作用分担	170
g. 作为社会系统的开发	170
h. 标准化、规格化	170
5.7 结束语	170
6. 控制技术的现状和未来发展	172
6.1 控制理论的现状与未来	172

6.1.1	目的与设计顺序	172
a.	控制对象与输入输出关系	173
b.	目标值和目标性能的设定	173
c.	控制系统结构的选择	173
d.	控制方法的选择	174
e.	按人的特性的设计和评价	174
6.1.2	各种控制系统设计方法	174
a.	PID 控制	175
b.	倒模型的前馈控制	176
c.	倒模型的反馈控制	177
d.	调节器和监视器	178
e.	最佳调节器和卡耳门滤波器	178
f.	模型追随控制	179
g.	两个自由度控制系统的伺服系统设计	180
h.	H^∞ 控制和 μ 综合控制	181
i.	非线性控制	182
j.	自律分散控制系统	183
6.1.3	智能化控制系统设计方法	183
a.	适应控制	184
b.	模糊控制	185
c.	神经网络控制	186
6.1.4	人的驾驶特性与控制	186
6.2	控制技术的现状与展望	188
a.	传感器技术	189
b.	执行机构技术	191
c.	半导体技术	192
d.	多重通信技术	193
e.	FDI 和故障诊断支援技术	194
f.	ECU 软件开发支援系统	195
6.3	控制系统开发的革新	196
a.	车辆 LAN 的采用	196
b.	开发支援工具的运用	196
c.	层次化系统	196
d.	新开发体制	198
e.	梦想的实现	199

1

汽车控制技术发展概要

1.1 代的划分

综观控制系统采用历史和控制技术质的变化,大致可以划分为三代。

a. 第 1 代

1960 年~70 年代为摇篮期,是以电子化为开端,采用二极管、晶体管和 IC(集成电路)作为发动机和电装件的重要部件,替换原来的单独控制系统进入实用阶段的时代。虽然燃料喷射、变速器控制等达到了实用化,但处于以模拟技术为中心的时代,演算精度和控制自由度等的制约较多,确保硬件/软件两方面的可靠性曾是重要的课题。

电子化在 EFI(Electronic Fuel Injection)中起到了很大的作用,初期主要的问题是构成要素的可靠性问题与驾驶人员本身操作的不确定性相比,可靠性相当高,并且,能适应广范围使用环境条件的变化,在机械不能操作的领域中发挥特长,EFI 的效果迅速得到了认同迅速地普及开来。另外,行驶机构寻求新的机能,最先开发出后 2 轮的 ABS,但是由于可靠性、价格、效果等方面还不十分成熟,因此市场上没有得到普及。有关第 1 代的其它详细情况,在此不再一一例举,加以省略。

b. 第 2 代

第 2 代是在 80 年代,为普及期或成长期,这是以 LSI 和电脑的应用为开端,“机电一体化”这一术语被人们接受的时代。为了符合排放法规和降低能耗的要求,机电一体化在发动机控制领域中发挥出了巨大的威力。以前所担心的可靠性问题,由于它的采用减小了担心的程度,也可以说是早期地得到了解决。由于高精度的执行机构的出现,运用演算精度高和复合判断机能,使自由度更多的控制成为可能,技术人员的梦想一个一个地得到了实现。这是包括发动机和驱动制动系统在内的复合系统得到迅速发展

①实现一些没有控制就不能实现的性能和功能,追求提高水平和附加价值。

②借助控制,从诸多制约中解放出来,以确保必要的功能和特性等。结果可确保降低整体成本、实现小型化和节省空间的设计自由度等,这也是当时的重要目的。

进入1980年代,当第1代的课题全部完成之后,随着经济的持续增长,开始追求更高质量和性能的汽车。也就是开始重视了高速行驶性能、进入了追求驾车乐趣和便于驾驶的时代。另外,随着电子相关硬件可靠性的提高和电脑成本的大幅降低,为满足市场要求,不断提高的控制技术有效地应用于很多领域。使原来机械技术难于解决的一些特性也变得容易实现了,日本国内各公司展开竞争,其竞争的结果使日本汽车技术迅速地成长,领先于世界。下面,概括介绍第2代主要控制系统的开发过程。

1.2 环境能源问题采取的措施

a. 发动机系统控制

表1.2表示的是成为发动机控制发展原动力的排放和燃耗法规的历史。以适应日本法规为目的,发动机系统向追求动力性和快捷性展开。控制技术对以后的排放净化、降低燃耗起到积极的作用。随着控制理论的应用,现在已经发展到了将现代控制理论可适应用于每个气缸的进气、燃烧和排放模型化的多变数状态量。试图运用密集的控制,达到众多错综复杂的目标。另外,控制技术对可变气缸和米勒循环等新发动机作出了重大贡献。作为新机构,确立了电子控制节气门的技术后,希望它能够得到进一步地发展。为尽快实现普及,确立硬件/软件两方面的可靠性。

表 1.2 排放及燃耗法规

年代	1960年	1970年	1980年	1990年	2000年
美国	○ 大气净化法	○ 马斯基法	○ 大气净化法修订	○ 1983年 法规	○ 新大气 净化法 CAFE 法规
加州	○ 加州防止污染法		○ OBD	○ LEV, ULEV 法规	
日本	○ 汽车排放法规	○ 1976 法规	○ 1978 法规	○ 强化 法规 NOx	○ 强化 油耗 法规
欧洲			○ 应用 US 法规(德国)	○ ○ ○ 新排放法规	

b. 自动行驶

作为发动机控制的应用早期开发出来的自动行驶,其必要性是因为向北美地区出口车辆增加而认识到的,在日本由于进入 80 年代高速公路的延长,作为易于驾驶高级附加功能而普及。现在,附加了车间距离报警装置,为更加提高安全性向更加智能化的系统方向发展,开始研究适应行驶控制系统 ISO 标准化问题。

c. 发动机、驱动系统的综合控制

满足了以前排放法规的要求,出现了追求快捷、驾驶的余地,便采用了微机控制式自动变速器(自动锁定超速 AT)。1980 年初所说的 ECT(Electronic Controlled Transmission)由于用微机控制离合器和变速器,提高控制精度和自由度、降低燃耗、提高运转性能和驾驶操作性能等,还有自诊断功能等,使很多的目标有实现的可能。以后要更进一步降低燃耗、净化排放、提高快捷性,使发动机系统和驱动系统向整体控制系统发展,现在进化为适应行驶环境具有智能的控制系统。例如:推定路面坡度,根据车速和行驶阻力使发动机输出适当的功率,另外,在弯路行驶时,可以选择符合转向和驾驶人员意图的档位等,也就是说,根据行驶环境,适应特性的适应 AT(1993 年 FTO IN-VECS)这一更加符合驾驶人员感觉的模糊控制技术已经达到实用化。

1.3 行驶控制 and 安全性

80 年代是行驶基本性能和高速行驶性能以及极限性能等都大幅度提高的时代。80 年代初,以德国和日本的运动车等为中心采用了多连杆悬架,追求进一步提高运动性能和行驶安全性,并希望在底盘系统增加新的机能。进而,控制技术和支撑它的微机技术迅速发展,使得一个一个新的底盘控制系统达到了实用化。特别是解决难以驾驶操作的状态,防止或修正过剩操作和操作失误的系统迅速发展。

a. 防抱死制动系统(ABS)

由于数字化提高了性能,以及电子产品价格的降低,1980 年至 1983 年,在日本首先开始采用了 4 轮 ABS(Anti lock Brake System), (Prelude ALB, Crown ESC)。由于性能有很大提高,在与欧洲汽车技术进行竞争的同时,于 80 年代中期正式投放市场。由于动力性能的提高,高速行驶机会的增加,ABS 系统确保了与提高加速性能平衡的制动性和保证行驶的安全性,在这个意义上不仅反提高了冬季行驶制动时的安全性,其效果也得到了人们的认可。现在,年轻人为主的冬季驾车行驶十分盛行,再加上日本的特殊地形和气候条件,现在 ABS 系统的必要性几乎是人人皆知。但是,如何降低系统成本成为一大课题。1992 年规定,12 吨以上的大型观光客车必须装 ABS 系统,并对在其它的大型车辆上是否必须装备的法规进行了讨论,并报道在普通型轿车上作为标准装备。因此,对降低价格的要求更加强烈。无论是 ECE,FWVSSI 法规的动向还是现在

的日本市场,促进形成了在安全上花费必要费用是应该的认识。在90年代的后期,市场甚至要求所有轿车都要装备ABS系统。

ABS控制系统的思考方法也是根据时代要求的变化而变化的。其控制从初期的确保稳定性的后2轮同时控制,向确保操作稳定性的前轮独立控制+后轮同时控制的方向发展,并进一步向部分抑制高速时制动力,但保证方向稳定性优先的跑偏力矩控制升华,此种技术基本确立。由于主动后轮转向系统已经进入实用化阶段,以实现4轮独立制动力控制与后轮转向的相乘效果为目的,使缩短制动距离和提高方向稳定性成为可能的双赢的协调控制系统也已经实现了(1992 Crowni Four)。现在,即使在干燥路面上行驶,也要求包括提高运动性能在内的、更加细腻的控制。但是,依靠过去经验构成的控制逻辑的积累已经不能满足现在的需要了,预计复杂化的逻辑控制和庞大的ECU(Electronic Control Unit)很难适应未来高度的控制要求。

今后,必须建立具有充分理论依据的控制体系,确立更高的技术。特别是需要从原来的以车体速度为基准的控制,向正确测定各轮的对地速度,4轮的滑移率按目的控制的方式升华,需要建立能够正确把握车辆行驶状态和各个车轮转动状态,构筑与其它控制系统进行统一协调的控制。

将来通过高速LAN(Local Area Network)的采用,应再构筑可以与其它系统进行信息共享的ABS系统。

b. 牵引控制系统(TCS)

80年代后期,为防止驱动时车轮打滑,提高车辆方向稳定性的TCS(Traction Control System)投入了使用。1985年,沃尔沃公司宣布开发出了TCS(燃料喷射控制方式),1987年奔驰公司宣布开发出了ASR(节流阀及制动控制方式)的前后,在日本也开始了对各种系统的开发竞争,具有副节流式的功率控制机构的制动控制方式率先达到实用化(1987年Crown TRC)。TCS是为控制车轮打滑的发动机功率,以解决失效时的一种办法,有仍保留机械接续的2阀式或驱动双线式节流控制等各种各样的机构。是控制加速时全部驱动力的方式,抑制车轮打滑的制动控制,用驱动系统中的一部分控制驱动力的方式。发动机系统、驱动系统及制动系统控制机构的形式依公司或车型而不同,按性能要求、系统构成,价格等进行组合已达到实用化。日本是一个多山、多坡路的国家,只有发动机驱动系统的控制,在控制响应性和控制效果上不能满足性能的要求,因此需要追求更高的安全性,发展附加有制动的控制方式。在平坦的地区,比较廉价的系统只是发动机驱动系统的控制系统也是比较有效的。由于粉尘造成环境污染问题,1990年初,日本禁止使用带有防滑钉轮胎的规定实施后,对这种系统的需求增多了。

在干燥路面行驶,即使在加速转弯时的侧滑不大的情况下,由于车速过高,也会出现转弯半径过大的现象。测定车辆动态和驾驶人员的操作,抑制、控制发动机的输出

不要超过轮胎的极限范围的这一新概念——追从控制(1990年 Diamante)作为 TCS 的发展型已经进入了实用化阶段。可以说它是实现与行驶环境相对应的辅助驾驶安全系统之一。

c. 防止侧滑系统(VSC)

由于驾驶人员的过剩操作,以致经常出现不能进行正常操作的状态。因此,寻求一般驾驶人员决不能陷入不能操作状态的系统。从行驶安全的整体情况来看,对前后方向的运动采用过剩操作补偿的系统 ABS, TCS 十分有效,而采用对横向运动所出现的不稳定动作没有补偿的手段。如果出现侧滑现象,只有依靠驾驶人员的驾驶技术而别无其它对应方法。因此,开始研究提高极限或当临近极限时进行保护以及预报极限的智能系统。

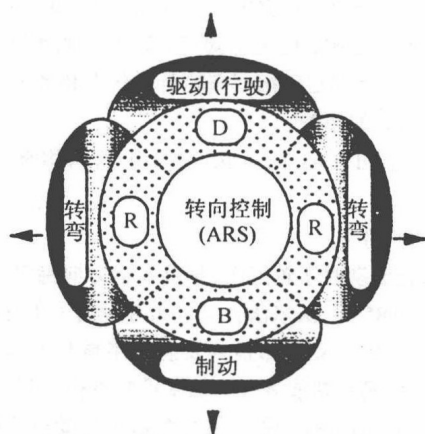


图 1.1 底盘控制的作用分担及安全保护装置

D:驱动力分配控制 R:横摆刚性分配控制 B:制动分配控制

图 1.1 是有关纵、横向的各控制系统的作用分担概念图。1995 年,有效利用制动力控制车辆跑偏急增的新系统——VSC(Vehicle Stability Control, Crown)进入了实用化阶段。其效果示例见图 1.2。预计今后以使车辆更具有安全性为目的防止侧滑系统的概念将会演化发展成各种形式的系统。

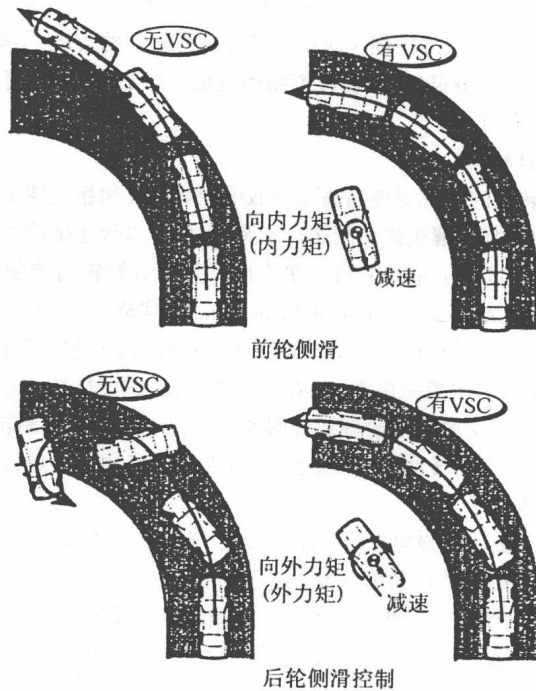


图 1.2 VSC(Vehicle Stability Control, Crown)的动作和控制效果

1.4 追求舒适行驶

所说的舒适驾驶, driving pleasure, fun to drive 等驾驶的乐趣是追求高速性、高极限性和许多新的功能开始的, 并逐步发展到追求感性和安全性, 适应环境性和适应驾驶员的嗜好, 追求的内容越来越广, 越来越高水平。下面, 介绍变化过程。

a. 衰减力控制悬架

为追求新颖性、附加价值、有差别。首先是以衰减力控制开始的, 但其效果并没有得到市场的认可。而且还出现了说它是无用的论调。初期的系统(1981 地平线 1982 卡佩拉 1983 小太阳)以区分驾驶操作, 预先改变减震器特性的前馈控制为中心。如果出现了行驶状态的预测错误, 失去控制效果或起反作用, 如何正确预测路面干扰的状况, 是重要的课题。由此考虑出了由传感器正确地把握路面干扰状态, 根据行驶状态准确进行反馈控制的系统, 出现了可以预测弹簧上弹簧下之间的相对位移、路面输入、对地位移预观传感器等, 与传感器相适应的各形式的系统已经进入了实用化的阶段。理想的方式是根据虎克理论构成的主动控制方式, 但它还存在着传感器的构成和成本问

题。因此,考虑出了许多既能实现又相似的系统。由于 Karnopp 方式、滑动方式和根据经验进行切换的方式以及模糊理论应用等进行了许多新的尝试,明确理论与现实的差异,这一领域的技术进步很快。但是,道路环境也良好的现在,人们对性能和成本(性能价格比)的要求更高了。

b. 后轮转向(4WS)

常规的前轮转向的系统对提高高速领域中的响应性和稳定性是有限度的。因此,后轮也转向增加自由度,解决这一问题。于是,想出了机械连接前后转向方式,并开始技术开发。1985 年世界上最初的可以更自由设定的后轮转向控制方式在“地平线”HICAS(High Capacity Actively Controlled Suspension)上实现了。之后,各公司做进一步的开发工作,使得日本的后轮转向技术(4WS: Wheel Steering)领先于世界。当初提出了按理论解析,侧滑为零的控制法则,但在现实中存在失效时确保安全性和转向系统的特性几乎没有摆脱原来的型式的问题,也提出了最大控制转向角控制在 2deg 左右,加之追求低速小回转性转向可达到 5deg 左右的机构。但是,还没有确定应该如何设定理想的最佳特性。

1987 年,由于振动式跑偏率传感器的出现,显示出了主动反馈控制效果巨大。由于抗侧风和低 μ 路面等干扰的强制性,以及与 ABS 和主动悬架的协调控制的效果明确,展开了后轮转向的新一轮开发。由于从前馈控制向反馈控制的升华以及根据传感器和目标性能的不同,开发了各种方式的主动后轮转向(ARS: Active Rear wheel Steering)。

商用车确保小回转性和操纵性以及安全性十分重要,特别是对转向的相位滞后远比轿车大,因此 4WS 的控制效果很大。如果能够解决成本和可靠性的问题,今后它将会得到广泛的普及。控制效果越大,在故障时没有相应的解决措施,为保证安全,必须开发故障检测和补偿机构等。

4WS 一般作为商品名使用。但是,不仅是后轮,前轮主动控制系统也实现了,为了便于区别,作为技术用语,决定使用后轮转向。

c. 动力转向(PS)

由于液压方式和电动方式的普及,车速感应特性可变 PS(Variable Power Steering)的使用也为常事。今后将发展成可以提供主动安全信息的系统。作为对转向的感觉影响大并将车辆的行驶状况和道路环境的变化直接反馈给驾驶员的控制系统,即作为人机接口的重要因素,要求它应该具有相当的灵敏度和准确性,并且希望它升华为可以监视驾驶员操作失误的智能化系统。

d. 4 轮驱动控制(4WD)

4WD(4 Wheel Drive)是以提高在多种道路的通过性为目的而开发的。进入 80 年代,由于最大限度地用了 4 轮驱动力和实现了驱动力工作限制控制,提高了在高速道