

汽车防滑 控制系统 ——ABS 与 ASR

司利增 编著

人民交通出版社

PDG

438087

QICHE FANGHUA KONGZHI XITONG

汽车防滑控制系统 ——ABS 与 ASR

司利博 编著



00438087

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是关于目前为我国汽车界人士所广泛关注的 ABS 与 ASR(或称 TCS)的专题性著作,较为系统地讲述了 ABS 与 ASR 的控制理论、结构原理和使用维修。重点介绍了 17 种典型 ABS 与 ASR 的结构及其工作原理,并且结合 ABS 与 ASR 对液压助力及液压力制动系统、第二制动系统等内容进行了较为详尽地介绍。

本书对于 ABS 与 ASR 的研究和开发具有借鉴价值,对于 ABS 与 ASR 的使用和维修具有一定指导作用,可供从事汽车工程和汽车维修工作的技术人员使用,也可作为高等院校汽车工程专业和汽运工程专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车防滑控制系统:ABS 与 ASR/司利增编著. —

北京:人民交通出版社,1997.7 重印

ISBN 7-114-02291-3

I. 汽… II. 司… III. 汽车-电子防滑刹车系统

IV. U463.54

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 0000 * 号

汽车防滑控制系统——ABS 与 ASR

司利增 编著

责任印制: 张 凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

北京京东印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:10 字数:264 千

1996 年 6 月 第 1 版

1997 年 7 月 第 1 版 第 2 次印刷

印数 2501—5500 册 定价:18.00 元

ISBN 7-114-02291-3

U·01585

前 言

随着 ABS 和 ASR(或称 TCS)技术的发展与成熟,以及对汽车行驶性能要求的提高,在 80 年代后期还只是少数汽车选择装备的 ABS 与 ASR,在进入 90 年代以后,得到了迅速普及。特别是 ABS 的普及速度是汽车上其它任何一种新系统都无法相比的。在国外,1990 年生产的轿车和轻型货车中已经有 25%将 ABS 作为标准装备或者选择装备,到 1994 年这个数字已经超过了 50%,而且许多专家预测,到 1995 年,这个数字将会达到 90%~95%;在国内,不仅在许多进口的高、中级轿车上可以看到 ABS 与 ASR,而且 ABS 与 ASR 的开发与应用已经列入发展计划,在最近的几年内,一些国产汽车(特别是轿车和客车)将陆续装备 ABS 和 ASR。正是由于 ABS 与 ASR 对提高汽车行驶性能的显著作用以及在汽车上装备率的迅速提高,使 ABS 与 ASR 成为我国汽车界人士所广泛关注的对象,迫切要求系统而深入地了解 ABS 与 ASR 的结构原理和维修方法。编写本书的目的就是顺应这种需求,以期普及 ABS 与 ASR 知识,为 ABS 与 ASR 的研究与开发提供借鉴,促进 ABS 与 ASR 使用维修水平的提高。

ABS(Anti-Lock Brake System)是对防止车轮发生制动抱死控制系统多种称谓中使用较为普遍的一种,在本书中,将附加于制动系统中的防止车轮发生制动抱死的控制系统称为制动防抱死系统,而将具有防止车轮发生制动抱死功能的制动系统称为防抱死制动系统。ASR(Acceleration Slip Regulation)和 TCS(Traction Control System)是对防止驱动车轮发生驱动滑转的控制系统使用较为普遍的两种称谓,在本书中将其称为驱动防滑转系统。由于

制动防抱死系统和驱动防滑转系统都是通过对作用于车轮上的力矩进行控制,防止车轮相对于路面发生滑动的控制系统,而且这两个系统在结构上也是相互联系的。因此,在本书中将制动防抱死系统和驱动防滑转系统统称为防滑控制系统。

本书力图以一般与典型相结合的方式,对防滑控制系统的控制理论、结构原理和使用维修进行系统、深入地介绍,内容主要包括:防滑控制系统的发展及作用、控制理论及结构形式、组成部件及工作原理、使用维护及故障诊断与排除。重点介绍了现代防滑控制系统发展历程中具有代表性的17种典型系统,并且结合防滑控制系统对国内书籍中很少涉及而应用日渐广泛的液压助力制动系统、液压动力制动系统、第二制动系统等内容进行了较为详尽的介绍。全书以液压制动的防滑控制系统为主,但也兼顾了气压制动的防滑控制系统。

在本书的编写过程中,曾得到西安公路研究所朝承斌高级工程师和西安公路交通大学汪贵平讲师的支持和帮助,在此谨表谢意。

限于作者的水平,加之资料来源广泛而且不够系统,尽管努力而为,恐难以尽如人意,其中的谬误与疏漏,诚望读者给予指正。

司利增

目 录

第一章 防滑控制系统的发展及其作用	1
第一节 防滑控制系统的发展及应用.....	1
第二节 防滑控制系统的作用.....	7
第三节 防滑控制系统对汽车行驶性能的影响	12
第二章 防滑控制系统的基本结构及工作原理	20
第一节 防滑控制系统的基本组成及工作过程	20
第二节 防滑控制系统的控制原理	30
第三节 车轮转速传感器	42
第四节 制动压力调节装置	47
第五节 电子控制装置	59
第三章 典型防滑控制系统	77
第一节 格林(GIRLING)SCS 制动防抱死系统	77
第二节 三菱(MITSUBISHI)RBLCS 制动防抱死系统.....	85
第三节 本田(HONDA)4WALB 制动防抱死系统.....	92
第四节 丰田(TOYOTA)RABS 制动防抱死系统	99
第五节 丰田(TOYOTA)ESC 制动防抱死系统	102
第六节 日产(NISSAN)4WABS 制动防抱死系统	109
第七节 德尔科(DELCO)ABS VI 制动防抱死系统	118
第八节 法格(FAG)ABS 制动防抱死系统	124
第九节 法格(FAG)ASBS 制动防抱死系统	128
第十节 波许(BOSCH)ABS 2S 制动防抱死系统	136
第十一节 坦威斯(TEVES)MK II 防抱死制动系统	147
第十二节 瓦布科(WABCO)气压制动防抱死系统	162

第十三节	瓦布科(WABCO)ABS 防抱死制动系统	170
第十四节	宝马(BMW)ABS/ASC+T 防滑控制系统	178
第十五节	坦威斯(TEVES)MK IV 防滑控制系统	187
第十六节	波许(BOSCH)ABS/ASR 2U 防滑控制系统	193
第十七节	丰田(TOYOTA)ABS/TRAC 防滑控制系统	206
第四章	防滑控制系统的维护与检修	217
第一节	使用与维修中的一般性注意事项	217
第二节	制动液的选用、更换及补充	219
第三节	空气排除	221
第四节	故障诊断和排除的一般方法	228
第五节	故障代码的读解与清除	233
第六节	波许(BOSCH)ABS 2S 故障诊断与排除	239
第七节	坦威斯(TEVES)MK II 故障诊断与排除	261
附录	防滑控制系统及其装备车型	306
参考文献		311

第一章 防滑控制系统的发展及其作用

第一节 防滑控制系统的发展及应用

随着汽车行驶速度的提高,以及道路行车密度的增大,对于汽车行驶安全性能的要求也就越来越高,汽车的防滑控制系统就是在这种要求下产生和发展的。目前,防滑控制系统已经成为汽车向电子化发展的一个重要方面。

汽车防滑控制系统最初只是在制动过程中防止车轮被制动抱死,避免车轮在路面上进行纯粹地滑移,提高汽车在制动过程中的方向稳定性和转向操纵能力,缩短制动距离,所以,被称为制动防抱死系统(Anti-Lock Brake System),简称 ABS。随着对汽车性能要求的不断提高,防滑控制系统的功能进一步得到完善和扩展,不仅能够在制动过程中防止车轮发生抱死,而且能够在驱动过程中(特别在起步、加速、转弯等过程中)防止驱动车轮发生滑转,使汽车在驱动过程中的方向稳定性、转向操纵能力和加速性能等也都得到提高。驱动过程中防止驱动车轮发生滑转的控制系统被称为驱动防滑转系统(Acceleration Slip Regulation),简称 ASR。由于驱动防滑转系统是通过调节驱动车轮的牵引力实现驱动车轮滑转控制的,因此,也被称为牵引力控制系统(Traction Control System),简称 TCS。汽车防滑控制系统就是对制动防抱死系统和驱动防滑转系统的统称。

纵观防滑控制系统的发展历程,大体上可以分为四个阶段。第一阶段重点在于解决控制方面的技术难题;第二阶段则侧重于提高系统的安全性和可靠性,这方面的进步如图 1-1 所示;第三阶段

更侧重于降低系统的成本,以适应防滑控制系统(特别是制动防抱死系统)日益普及的要求,在80年代中期,制动防抱死系统的成本约占汽车总成本的5%~10%;第四阶段以追求高的效能成本比为目标,从而发展了集制动防抱死和驱动防滑转功能为一体的防滑控制系统。

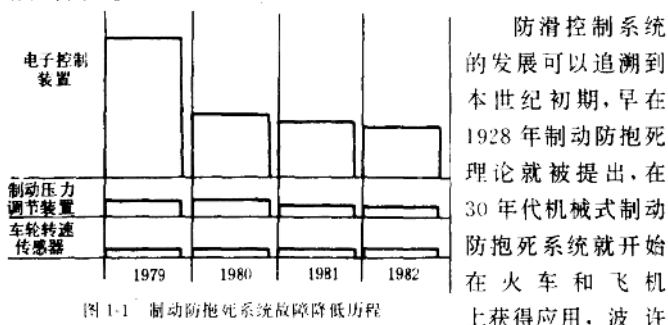


图 1-1 制动防抱死系统故障降低历程

(Bosch)公司在1936年第一个获得了用电磁式车轮转速传感器获取车轮转速的制动防抱死系统的专利权。

进入50年代,汽车制动防抱死系统开始受到较为广泛的关注。福特(Ford)公司曾于1954年将飞机的制动防抱死系统移置在林肯(Lincoln)轿车上;凯尔塞·海伊斯(Kelse-Hayes)公司在1957年对称为“Automatic”的制动防抱死系统进行了试验研究,研究结果表明制动防抱死系统确实可以在制动过程中防止汽车失去方向控制,并且能够缩短制动距离;克莱斯勒(Chrysler)公司在这一时期也对称为“Skid Control”的制动防抱死系统进行了试验研究。由于这一时期的各种制动防抱死系统采用的都是机械式车轮转速传感器和机械式制动压力调节装置,因此,获取的车轮转速信号不够精确,制动压力调节的适时性和精确性也难于保证,控制效果并不理想。

随着电子技术的发展,电子控制制动防抱死系统的发展成为可能。在60年代后期和70年代初期,一些电子控制的制动防抱死系统开始进入产品化阶段。凯尔塞·海伊斯公司在1968年研制生

产了称为“Sure-Track”的两轮制动防抱死系统,该系统由电子控制装置根据电磁式转速传感器输入的后轮转速信号,对制动过程中后轮的运动状态进行判定,通过控制由真空驱动的制动压力调节装置对后制动轮缸的制动压力进行调节,并在1969年被福特公司装备在雷鸟(Thunderbird)和大陆·马克 III(Continental MK III)轿车上。克莱斯勒公司与本迪克斯(Bendix)公司合作研制的称为“Sure-Brake”的能防止4个车轮被制动抱死的系统,在1971年开始装备帝国(Imperial)轿车,其结构原理与凯尔塞·海伊斯的“Sure-Track”基本相同,只是“Sure-Track”只能对两个后制动轮缸进行防抱死制动压力调节。波许公司和坦威斯(Teves)公司在这一时期也都研制了各自的第一代电子控制制动防抱死系统,这两种制动防抱死系统都是由电子控制装置对设置在制动管路中的电磁阀进行控制,直接对各制动轮缸的制动压力进行调节。

别克(Buick)公司在1971年研制了由电子控制装置自动中断发动机点火,以减小发动机输出转矩,防止驱动车轮发生滑转的驱动防滑转系统。

瓦布科(Wabco)公司与奔驰(Benz)公司合作,在1975年首次将制动防抱死系统装备在气压制动的载货汽车上。

这一时期的各种防滑控制系统都是采用模拟式电子控制装置,由于模拟式电子控制装置存在着反应速度慢、控制精度低、易受干扰等缺陷,致使各种防滑控制系统均未达到预期的控制效果,所以,这些防滑控制系统很快就不再被采用了。

进入70年代后期,数字式电子技术和大规模集成电路的迅速发展,为防滑控制系统向实用化发展奠定了技术基础。波许公司在1978年率先推出了采用数字式电子控制装置的制动防抱死系统——波许ABS 2,并且装备在奔驰轿车上,由此揭开了现代防滑控制系统发展的序幕。尽管波许ABS 2的电子控制装置仍然是由分离元件组成的控制装置,但由于数字式电子控制装置与模拟式电子控制装置相比其反应速度、控制精度和可靠性都显著提高,因此,波许ABS 2的控制效果已相当理想。从此之后,欧、美、日的许

多制动器专业公司和汽车公司相继研制了形式多样的防滑控制系统。

在现代防滑控制系统的发展历程中,以下几种防滑控制系统的出现具有里程碑意义。

瓦布科公司和奔驰公司合作于 1981 年推出了大客车和载货汽车用的气压式现代制动防抱死系统。

波许公司在 1983 年推出了在波许 ABS 2 基础上改进的波许 ABS 2S 型制动防抱死系统。波许 ABS 2S 更适合于批量生产,而且质量也比波许 ABS 2 小。而更有代表意义的是波许 ABS 2S 的电子控制装置首次采用了大规模集成电路替代分离元件,从而使电子控制装置中的元器件数量减少到 60 个,这还不及波许 ABS 2 电子控制装置中元器件数量的一半。在电子控制装置中采用了两个完全一样的微处理器,利用冗余方法提高了系统的工作可靠性。

坦威期公司于 1984 年首次推出了整体式制动防抱死系统——坦威斯 MK II,该系统将防抱死制动压力调节装置与制动主缸和液压制动助力器组合为一个整体,而在该系统出现以前,所有的制动防抱死系统都是将制动压力调节装置作为一个单独的整体,附加在常规的制动系统中,即采用的都是分离式结构。坦威斯 MK II 在 1985 年首先被装备在福特公司生产的林肯·马克 VII 型轿车上。

自 80 年代中期以来,防滑控制系统向着提高效能成本比的方向发展。波许公司在 1985 年对其 ABS 2S 进行了结构简化和系统优化,推出了经济型的制动防抱死系统——波许 ABS 2E。格林(Girling)公司为了适应中级轿车装备制动防抱死系统的要求,曾在 1987 年推出了一种机械式制动防抱死系统——格林 SCS,并装备在英国福特公司生产的护卫者(Escort)轿车上。凯尔塞·海伊斯公司在 1988 年推出了适用于轻型货车和客货两用汽车的后轮制动防抱死系统。德尔科(Delco)公司也于 1990 年推出了更为经济的四轮制动防抱死系统——德尔科 ABS VI。这些努力都为制动防抱死系统的迅速普及创造了条件。

由于高级轿车的质量/功率在不断降低(如图 1-2 所示),为了提高汽车的加速性能,充分地利用车轮的附着力,获得尽可能大的驱动力已成为一个重要的技术课题,为此,许多高级轿车采用了四轮驱动形式,但四轮驱动会使汽车的结构变得更复杂,而且也使成本提高较多。

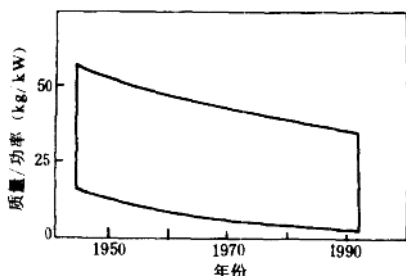


图 1-2 轿车质量/功率的变化历程

波许公司在 1986 年率先推出了具有制动防抱死和驱动防滑转功能的防滑控制系统——波许 ABS/ASR 2U, 并首先装备在奔驰轿车上。目前, 已有许多高级轿车(如宝马、凌志、皇冠、克尔维特、凯迪拉克等)将具有制动防抱死

和驱动防滑转功能的防滑控制系统作为标准装备或选择装备。

防滑控制系统极大地提高了汽车的主动安全性, 被认为是汽车上采用安全带以来在安全性方面所取得的最为重要的技术成就。图 1-3 所示是德国保险公司在 1986 年对涉及装备了制动防抱

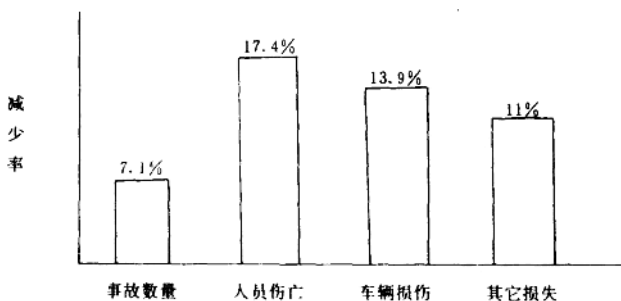


图 1-3 制动防抱死系统减少事故及损失的统计结果

死系统汽车的交通事故所进行的调查分析结果。由此可以看出, 防

滑控制系统(特别是制动防抱死系统)可以较大程度地减少交通事故中的人员伤亡和财产损失。所以,一些国家的保险公司对于装备防滑控制系统的汽车有减收保险费的优惠。

由于防滑控制系统对提高汽车行驶安全性能得到日益普遍的认同,而且已有形式多样、价格档次不同的多种防滑控制系统可供不同档次的汽车进行选择。所以,在 80 年代初期还只是部分高级轿车选择装备的制动防抱死系统,到 80 年代后期已经成为所有高级轿车和多数中级轿车的标准装备,一些高级轿车已将具有制动防抱死和驱动防滑转功能的防滑控制系统作为标准装备或选择装备。进入 90 年代以来,防滑控制系统的普及速度更为迅速,到 1990 年,在世界范围内已有 25% 新生产的轿车和轻型货车将制动防抱死系统作为标准装备或选择装备,已有一些汽车公司(如通用、奔驰、宝马和波尔舍等)已在其生产的轿车上 100% 地装备了制动防抱死系统;到 1994 年,在世界范围内新生产的轿车和轻型货车中已有 50% 以上将制动防抱死系统作为标准装备或选择装备,预测在 1995 年新生产的轿车和轻型货车中将会有 90%~95% 装备制动防抱死系统。在大型客车和货车上,制动防抱死系统也在迅速地普及,而且有些已经装备了驱动防滑转系统。图 1-4 为制动防抱死系统在北美生产汽车上的装备历程。

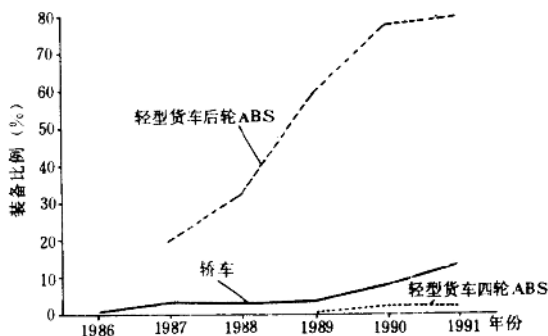


图 1-4 制动防抱死系统在北美生产汽车上的装备历程

第二节 防滑控制系统的作用

在驾驶员、汽车和环境三者所组成的闭环系统中,汽车与环境之间的最基本联系是轮胎与路面之间的作用力。由于汽车的行驶状态主要是由轮胎与路面之间的纵向作用力和横向作用力决定的,因此,驾驶员对汽车的控制实质上是在控制车轮与路面之间的作用力。但是,车轮与路面之间的作用力必然要受到轮胎与路面之间附着力的限制,汽车的加速和减速运动主要受车轮纵向附着力的限制,而汽车的转向运动和抵抗外界横向力作用的能力则主要受车轮横向附着力的限制。

在硬实的路面上,轮胎与路面之间的附着力就是轮胎与路面之间的摩擦力。所以,轮胎与路面之间的附着力也必然会遵循摩擦定律,即轮胎与路面之间的附着力取决于其间的垂直载荷和附着系数,其关系如式 1-1 所示。

$$F_p = G\mu \quad (1-1)$$

式中: F_p ——轮胎与路面间的附着力, N;

G ——轮胎与路面间的垂直载荷, N;

μ ——轮胎与路面间的附着系数。

在汽车的实际行驶过程中,轮胎与路面间的垂直载荷和附着系数会随许多因素而变化,因此,轮胎与路面间的附着力实际上是经常变化的。在影响附着力的诸多因素中,车轮相对于路面的运动状态对附着力有着重要的影响,特别是在湿滑路面上其影响更为明显。

一、车轮滑动率对附着系数的影响

在汽车的实际行驶过程中,车轮在路面上的纵向运动可以区分为两种形式——滚动和滑动,车轮相对于路面的滑动又可区分为滑移和滑转两种形式,引入车轮滑动率的概念可以表征在车轮纵向运动中滑动成分所占的比例。

汽车在制动过程中,车轮可能相对于路面发生滑移,滑移成分在车轮纵向运动中所占的比例可以由负滑动率来表征,车轮的负滑动率可以通过式 1-2 来确定。

$$S_B = \frac{r\omega - v}{v} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中: S_B ——车轮的负滑动率;

r ——车轮的自由滚动半径, m;

ω ——车轮的转动角速度, rad/s;

v ——车轮中心的纵向速度, m/s。

当车轮在路面上自由滚动时,车轮中心的纵向速度完全是由于车轮滚动产生的,此时, $v = r\omega$, 因此, 滑动率 $S_B = 0$; 当车轮被制动到完全抱死在路面上进行纯粹地滑移时, 车轮中心的纵向速度则完全是由于车轮滑移产生的, 此时, $\omega = 0$, 因此, 滑动率 $S_B = -100\%$; 当车轮在路面上一边滚动一边滑移时, 车轮中心纵向速度的一部分是由于车轮滚动产生的, 另一部分则是由于车轮滑移产生的, 此时, $r\omega < v$, 因此, $100\% < S_B < 0$, 车轮中心纵向速度中, 车轮滑移所占的成分越多, 滑动率 S_B 的数值就越大。

汽车在驱动过程中, 驱动车轮可能相对于路面发生滑转, 滑转成分在车轮纵向运动中所占的比例可由正滑动率来表征, 车轮的正滑动率可由式 1-3 来确定。

$$S_A = \frac{r\omega - v}{r\omega} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中: S_A ——车轮的正滑动率;

r ——车轮的自由滚动半径, m;

ω ——车轮的转动角速度, rad/s;

v ——车轮中心的纵向速度, m/s。

当车轮在路面上自由滚动时, 车轮中心的纵向速度完全是由于车轮滚动产生的, 此时, $v = r\omega$, 因此, 滑动率 $S_A = 0$; 当车轮在路面上完全滑转时, 车轮中心的纵向速度 $v = 0$, 因此, 滑动率 $S_A = 100\%$; 当车轮在路面上一边滚动一边滑动时, $r\omega > v$, 因此, $0 < S_A$

$<100\%$ ，在车轮转动中，滑转所占的比例越大，车轮滑动率 S_A 的数值也就越大。

车轮滑动率可以综合为式 1-4 所示的一般性关系。

$$S = \begin{cases} \frac{r\omega - v}{v} \times 100\% & (\text{车轮滑移时}) \\ 0 & (\text{车轮自由滚动时}) \\ \frac{r\omega - v}{r\omega} \times 100\% & (\text{车轮滑转时}) \end{cases} \quad (1-4)$$

通过试验发现，在硬实的路面上，弹性轮胎与路面间的附着系数 μ 和滑动率 S 存在着如图 1-5 所示的一般性关系。

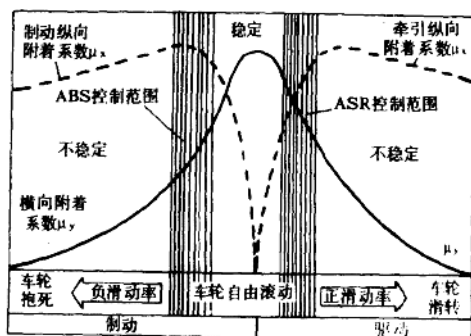


图 1-5 附着系数与滑动率的一般性关系

通常当车轮滑动率处于 $15\% \sim 30\%$ 的范围内时，轮胎与路面间的纵向附着系数 μ_x 有其最大值，该最大值称为峰值附着系数 μ_p ，与其相对应的车轮滑动率称为峰值附着系数滑动率 S_p 。当车轮在路面上自由滚动时，由于轮胎与路面之间没有产生相对运动趋势，其间的纵向附着系数（即摩擦系数）就是零，当车轮滑动率从零增大到峰值附着系数滑动率 S_p 时，尽管车轮滑动率不等于零，但轮胎与路面之间并没有发生真正的滑动，滑动率不等于零完全是由于弹性轮胎变形产生的。因此，当车轮滑动率处于这一范围时，轮胎与路面间的纵向附着系数实质上就是其间静摩擦系数的表现，所以，随着轮胎与路面间纵向相对滑动趋势的增大，其间的

纵向附着系数就会迅速增大,当车轮滑动率达到峰值附着系数滑动率 S_p 时,弹性轮胎与路面之间即将发生相对滑动,此时其间的纵向附着系数就是最大静摩擦系数的表现。此后,直到车轮将完全滑动($|S|=100\%$)的范围内,轮胎与路面之间的纵向附着系数就是从最大静摩擦系数到滑动摩擦系数的过渡,轮胎与路面间的纵向附着系数将是不稳定的。当车轮在路面上完全滑动时,轮胎与路面间的纵向附着系数称为滑动附着系数 μ_s ,由于物体间的滑动摩擦系数总是小于最大静摩擦系数,所以,轮胎与路面间的滑动附着系数 μ_s 总是小于峰值附着系数 μ_p 。通常,在干燥硬实的路面上, μ_s 比 μ_p 要小 $10\% \sim 20\%$,在湿滑硬实的路面上, μ_s 比 μ_p 要小 $20\% \sim 30\%$ 。在各种路面条件下轮胎与路面间峰值附着系数 μ_p 和滑动附着系数 μ_s 的平均值如表 1-1 所示。

峰值附着系数 μ_p 和滑动附着系数 μ_s 的平均值 表 1-1

路面种类及状况	峰值附着系数 μ_p	滑动附着系数 μ_s
沥青路面和水泥路面(干)	0.8~0.9	0.75
沥青路面(湿)	0.5~0.7	0.45~0.6
水泥路面(湿)	0.8	0.7
石子路	0.6	0.55
土路(干)	0.68	0.65
土路(湿)	0.55	0.45~0.5
雪(压实)	0.2	0.15
冰	0.1	0.07

从图 1-5 可以看出:车轮在路面上自由滚动时,其间的横向附着系数 μ_y 最大,随着车轮滑动率 S 数值的增大,横向附着系数 μ_y 会迅速减小,当轮胎在路面上完全滑动时($|S|=100\%$),轮胎的横向附着系数几乎减小到零,轮胎与路面之间的横向附着系数也就接近于零,车轮将完全丧失抵抗外界横向力作用的能力,此时,如果车轮上存在外界横向力的作用(如汽车重力的横向分力、路面不