

国外汽车新技术丛书 之二

汽车行驶性能和底盘机构

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 之二

汽车行驶性能和底盘机构

宇野高明

三省堂书店

序 言

世界进入 21 世纪之初,中国如愿以偿地加入世界贸易组织(WTO)。这对于尚处在发展之中的中国汽车工业来说,既是一个发展的良好机遇,又是一个严峻的挑战。中国一汽面临着国际汽车工业的残酷竞争和国内汽车工业激烈竞争的双重压力。在此咄咄逼人的形势之下,我们应该如何抉择?不言而喻,那就是加快对国外汽车新技术的学习、消化吸收和创新。这是使中国汽车工业立足于世界汽车工业之林的必由之路,更是中国汽车工业的摇篮——中国一汽在国内汽车行业竞争中取胜,保持行业领先的必然选择。

值此历史转变的重要时期,一汽技术中心的科技人员,肩负着振兴中国汽车工业和振兴一汽的双重历史使命。全身心地投入到研究开发具有国际先进水平的新产品之中,让一汽的新产品占据中国市场的半壁江山,并打入国际市场,是一汽技术中心科技人员义不容辞的神圣义务。为便于广大科技人员了解国外汽车技术发展趋势,作为学习国外汽车新技术,研制适合我国国情的具有世界先进水平的汽车新产品的借鉴,科技信息部组织编译了这套“国外汽车新技术丛书”,并将陆续出版发行,以飨读者。

由于编译者的水平所限,加之时间仓促,书中错误之处在所难免,希望广大读者予以批评指正。

一汽技术中心科技信息部

汽车行驶性能和底盘机构

前 言

汽车是作为将人快速地、安全地、舒适地送到目的地的交通工具而发展起来的。汽车的高效功能强烈地吸引着人们，它已不仅仅是简单的交通工具，而是作为人类的亲密朋友在发展。宛如刚刚懂事的孩子被会动的玩具所吸引一样，很多人对汽车的特殊感情超过对一般工具的感情，成为生活中不可缺少的东西。人们感受初次驾驶汽车的喜悦和按着自己的愿望驶过高山峻岭时的兴奋，人与汽车之间的关系越来越密切，甚至把它作为自己身体的一部分。

汽车的动态性能，即所谓的汽车行驶性能，随着“发动机的高性能化”和为使其性能在汽车上能发挥出来的“底盘高性能化”的发展而发展。发动机的高性能化和底盘的高性能化是汽车行驶性能的二个方面。只有二者均衡地发展，才能制成与人为友的汽车。

近4~5年来，日本汽车的底盘行驶性能取得飞速的发展，现在已达到不亚于欧洲汽车的水平。其原因是，在人与车的关系中进一步思考“行驶”，并按照这种思考方法去评价，在评价的基础上进行彻底改进并寻找突破性的技术开发。

即使在汽车公司举办的汽车驾驶学校，也正在逐步拓宽对汽车行驶性能的基础知识的理解，并且做基于理论上的驾驶检验的工作。另外，不仅说明包括感觉、窍门和经验的驾驶技巧，而且也出现了在加深理解行驶性能的基础上，探索达到最佳驾驶的驾驶技术研究动向。在这些研究动向中，驾驶员要了解车的特性，车要知道驾驶员的特性，开始了向更高层次的探索。

本书介绍了汽车的行驶性能，特别是以底盘行驶性能为主，介绍了行驶性能的实质。另外，还介绍了实现提高底盘行驶性能的技术课题和解决这些技术课题所采用的底盘机构。目前，已出版了许多解释汽车行驶性能和底盘机构的著作，但是，解释汽车行驶性能的书，多是一些用运动方程式说明汽车运动机理的学术著作，一般人难以理解；介绍底盘机构的书，对与汽车行驶性能的关系又介绍得不够充分。本书尽量不使用数学公式，利用图介绍行驶性能，并尝试在探讨与其行驶性能的关系中介绍底盘机构。

底盘技术是一门深奥，颇具趣味的专门技术。一人也好，多人也好，如果懂得底盘技术，能进一步加深体会控制汽车的喜悦，将不胜荣幸。

最后,在本书编写过程中,(株)普里斯通、(株)尤尼西亚尼克斯、东机工(株)、茅场工业(株)、日本发条(株)、东海橡胶工业(株)等公司提供了宝贵数据和资料,还有日产汽车公司的松井彻先生帮助进行了模拟计算,以及其他许多先生提出了宝贵意见或提供了资料,在此一并表示谢意。

宇野高明
1994年8月
(郝长文 译)

目 次

第1章 底盘性能的基本	1
1-1. 底盘的构成和功能	1
1-2. 底盘的高行驶性能	3
(1)底盘行驶性能的基本是轮胎性能	3
(2)底盘行驶性能取决于各装置的协调	3
第2章 底盘行驶性能和轮胎性能	7
2-1. 转弯的力学	7
(1)转弯时力的平衡和转弯侧向力	7
(2)转弯姿态和转弯机理	12
(3)转弯极限	15
2-2. 操纵稳定性和悬架性能	16
(1)稳定性和操纵性	16
(2)抗干扰性(稳定性)	18
(3)NSP 和转弯轨迹——转向不足、过度转向	22
(4)悬架特性和稳定性	24
(5)提高操纵性和稳定性——高能力的概念	26
(6)操纵稳定性的动态考察	32
(7)狭义的操纵稳定性和广义的操纵稳定性	35
2-3. 轮胎的转向性能	36
(1)滑移角——转弯侧向力特性	36
(2)转弯时内外轮负荷移动和转弯侧向力的负荷依存性	39
(3)轮胎的制动、驱动特性	44
(4)转弯侧向力特性的驱动、制动力依存性和转弯极限	47
(5)提高转弯极限	49
2-4. 驱动形式和行驶性能	52
(1)驱动形式和操纵稳定性	53
(2)驱动形式和牵引极限	55
(3)驱动形式和行驶性能	58
第3章 悬架的功能及构造	60

3-1. 悬架的基本功能和一般的结构	60
(1) 悬架的基本功能——跳动	60
(2) 悬架的吸收冲击功能	61
(3) 悬架的基本构造	65
3-2. 悬架几何学和车轮姿态	67
(1) 悬架几何学的重要性	67
(2) 主销偏移距变化、外倾变化与几何学	68
(3) 车轮前束角与几何学	71
3-3. 悬架柔性	72
(1) 连杆接头结构与柔性	72
(2) 悬架前后刚度与脉冲性冲击	73
(3) 弹性转向的机构	75
(4) 几何学和柔性共同发挥作用	75
3-4. 稳定性和悬架特性	80
(1) 底盘性能的基本——稳定性	80
(2) 起伏不平路面上的稳定性	81
(3) 制动时的稳定性	83
3-5. 汽车姿态控制	86
(1) 汽车姿态控制	86
(2) 防下沉几何形状	87
(3) 防前倾和防扬起几何形状	91
(4) 侧倾运动和车身举起为零的几何形状	95
3-6. 转向功能与前悬架	96
(1) 转向机构	96
(2) 转向功能与几何学	99
3-7. 悬架设计的实际	105
(1) 各种性能处在矛盾之中	105
(2) 悬架布置的制约条件	105
(3) 李彼希的最小律和底盘性能	107
第4章 各种悬架的结构和特征	109
4-1. 前悬架	109
(1) 悬架形式的发展趋势和技术背景	109
(2) 单横臂式悬架	112
(3) 双横臂式悬架	116

(4) 多联杆式悬架	119
4-2. FR 车的后悬架	122
(1) 悬架形式的发展趋势和技术背景	122
(2) 前置斜定位臂式悬架	122
(3) 双横臂式悬架	125
(4) 多联杆式悬架	128
4-3. FF 车的后悬架	137
(1) 悬架形式的发展趋势和技术背景	137
(2) 单横臂式后悬架	137
(3) 全纵臂式后悬架	141
(4) 扭杆式后悬架	142
(5) 双横臂式后悬架	146
(6) 多联杆式后悬架	146
4-4. 悬架形式和底盘行驶性能	148
第 5 章 悬架调节件的结构及特性	151
5-1. 弹簧的功能和结构	151
(1) 弹簧的功能	151
(2) 弹簧结构和特性	153
(3) 杠杆比和弹簧刚度	159
(4) 稳定装置	159
5-2. 减震器的性能和结构	159
(1) 减震器的性能	159
(2) 减震器的结构及特性	160
5-3. 橡胶衬套的结构和特性	166
5-4. 调节件特性设计概要	170
(1) 考虑弹簧刚度的方法	170
(2) 减震器阻尼特性研究	173
(3) 稳定装置作用	174
第 6 章 制动、转向和 LSD	176
6-1. 制动器的功能和构造	176
(1) 制动机构和制动器的功能	176
(2) 制动系统的构成和工作机构	179
(3) 前后制动力分配和制动时的稳定性	184
(4) 部件特性和制动性能	187

6-2. 动力转向系统	191
(1)动力转向系统的构成和功能	191
(2)PS 系统的工作机构	193
(3)构成 PS 系统的部件及其机构	196
6-3. LSD(带差动限制的差速器)	198
(1)差速器的功能和构造	198
(2)LSD 的功能及基本原理	202
(3)机械式 LSD 和底盘行驶性能	204
(4)粘性 LSD 的机构	209
第 7 章 底盘控制及可变机构	211
7-1. 底盘控制技术	211
(1)适应控制	211
(2)主动控制	212
7-2. 减震器控制和空气悬架	213
(1)日产“超声波”悬架系统	215
(2)丰田的“压电 TEMS”	217
(3)电子控制空气悬架	218
(4)控制悬架的发展趋势	222
7-3. 主动控制悬架	223
(1)主动控制悬架的原理	223
(2)主动悬架的目的和控制	224
(3)主动控制悬架的系统构成	227
7-4. 4WS	229
(1)4WS 的目的及原理	229
(2)日产 HICAS 的理论与结构	233
(3)4WS 技术发展趋势	238
7-5. 驱动力控制——主动 LSD	239
(1)主动 LSD 的目的和控制	239
(2)主动 LSD 的系统构成	242
7-6. 驱动力控制——电子控制 4WD 系统	242
(1)高性能底盘和 4WD 系统	242
(2)“地平线 GTR”用 E-TS	245
第 8 章 底盘的高性能化	248
8-1. 如何磨合——底盘的匹配和开发试验人员	248

- (1)评价道路决定车辆249
- (2)根据开发试验人员的评价决定车辆.....250
- 8-2. 底盘性能的方向性 251
 - (1)道路环境与行驶性能251
 - (2)追求安全性和驾驶乐趣的高度平衡.....252

第 1 章 底盘性能的基本

汽车是由乘人或载货的“车身”和实现“行驶”、“转弯”、“停止”功能的“底盘”构成的。

马车的马被发动机取代，汽车被称作无马的马车那个时代，底盘由发动机、驱动系、悬架和车轮构成，悬架系与马车同样由板簧和车桥构成。

汽车的历史也是速度提高的历史。在汽车的行驶速度与马车没有多大差别的时代，悬架及轮胎采用马车那样的也就可以了。可是，如果发动机性能提高，汽车可能行驶得更快一些，悬架、轮胎等底盘的进步就成为决定汽车性能的关键。即使开发出大功率的发动机，如果没有把发动机的功率有效地转化为驱动力，并稳定行驶的底盘，也不能说是优良的汽车。

1 - 1. 底盘的构成和功能

英语 chassis 直译为“底盘”之意，其定义有多种。例如，广义上讲，汽车除了“车身”之外，行驶所需要的装备都是底盘，具体地说，是由发动机、传动系、转向系、制动系、悬架、车轮等部分构成。

在这个范围内考虑底盘时，底盘上装备了行驶所需要的全部机械装置，只靠底盘，就能“行驶”、“转弯”、“停止”。

这些装置安装在相当汽车骨格的“车架”各个规定的位置上，整体构成底盘。可是，由于车身技术的提高，最近的轿车都采用无车架的承载式车身，也就是上述各种装置不是安装在车架上，而是直接安装在车身上，这种结构已成为当前的主流。

另一方面，狭义上讲，一般把发动机、传动系之外的部分定义为底盘。在这种情况下，可以把“转弯”、“停止”的功能考虑为底盘之范围。

图1-1 有车架的底盘

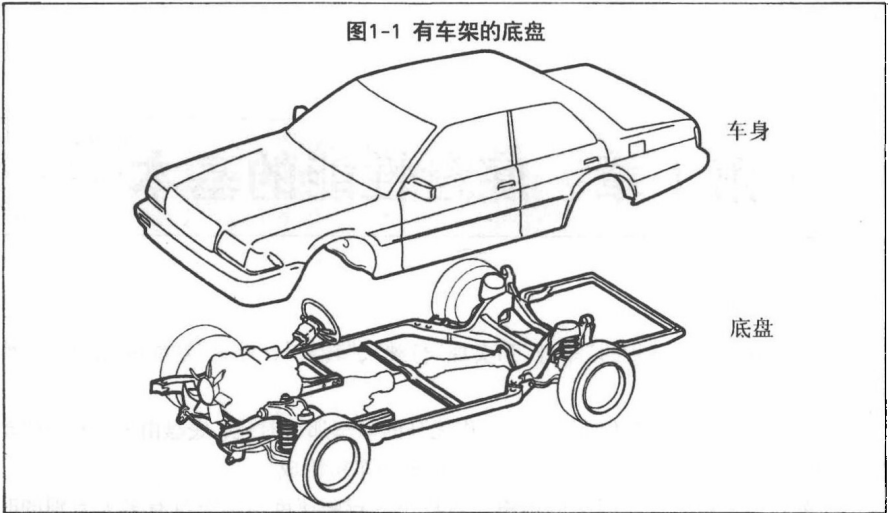
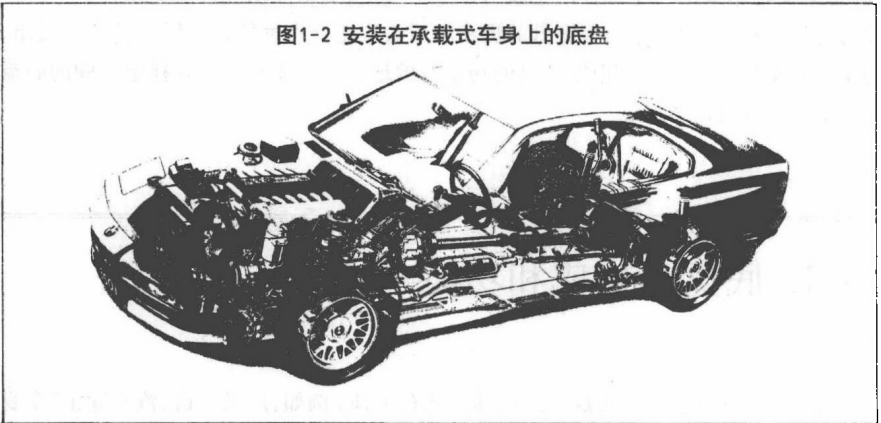


图1-2 安装在承载式车身上的底盘



附带说明一下,也有时将赛车从总体上分为“发动机”和“底盘”二部分,发动机之外的部分都称为底盘。这也有按构造分类的意思。但是,就赛车而言,不仅仅出于把车身和驾驶仓上罩作为“乘员的收容部分”,这种考虑也受到了为提高高速行驶性能把它作为“空气动力特性最佳化装置”来理解的影响。

如上所述,底盘构成范围的定义依情况而异。本书中,按上述的狭义范围,把 LSD (带差动限制装置的差速器)和 4WD 系统都作底盘范围来考虑,介绍其功能和结构。最近,这些驱动装置不仅仅与“行驶”功能,而且与“转弯”功能的关系越来越密切,是论述底盘行驶高性能化所不可缺少的。

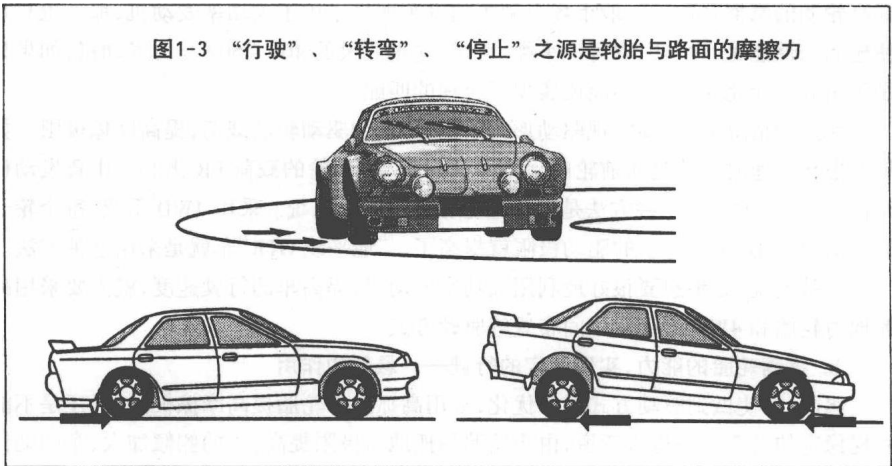
1—2. 底盘的高行驶性能

(1) 底盘行驶性能的基本是轮胎性能

汽车由4个轮胎支撑着,各个轮胎以一张明信片大小的面积与路面接触。使汽车加速、转弯、制动的力,都是轮胎与路面的接触面上产生的摩擦力。例如加速时,发动机的动力传递给轮胎,使轮胎和路面之间产生向前的摩擦力而加速。同样,在转弯时使轮胎产生横向的摩擦力,制动时使轮胎产生向后的摩擦力。

也就是说,支撑底盘行驶性能的是轮胎与路面的摩擦特性。如果想到在冰雪路上行驶,这个问题就容易理解。在冰雪路那样的摩擦系数非常小的容易打滑的路面上,无论发动机功率多么大,轮胎也只是空转,不可能充分加速。即使装备高性能的转向机和悬架,轮胎也发生侧滑,不能如愿地转弯,即使装备高性能的制动器,轮胎也仍然打滑,很难停止。不言而喻,为了提高在容易打滑的路面上行驶、转弯、制动的性能,将轮胎换成防滑轮胎,改善轮胎的摩擦特性是一种有效方法。

从上述事例可知,底盘行驶性能的基本是轮胎的性能。

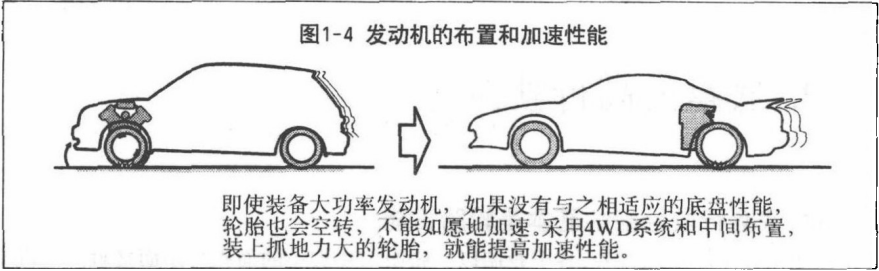


(2) 底盘行驶性能取决于各装置的协调

底盘的高行驶性能是在驱动系、悬架、轮胎、制动系等各底盘构成装置和车身的刚性等整体取得良好的匹配,才能实现的综合性能。

为了便于理解这个问题,举一个稍稍脱离现实的例子,探讨一下在FF小型车(1000CC级别的车)上装载400~500马力的大功率发动机时出现的情况。

图1-4 发动机的布置和加速性能



a. 与发动机输出功率相适应的驱动形式和轮胎

装载 400 ~ 500 马力发动机的 FF 小型汽车，如果想要在油门全开的状态下下车，就会出现前轮空转，不能进行与发动机功率相适应的起车加速。这是因为发动机产生的驱动力过大，超过了轮胎与路面的摩擦极限。为了有效地利用发动机的功率，有必要提高摩擦极限。

另外，如果在转弯时使油门全开，那么轮胎也空转，陷入即使转动方向盘也不能向预转方向转向的失控状态，实现不了稳定的转弯。为了避免出现这种状况，也仍有必要提高轮胎的摩擦极限。也就是说，在转弯时，轮胎、发动机输出功率、驱动系的匹配也是很重要的。

提高轮胎摩擦极限的简单方法，是将轮胎更换成赛车轮胎那样的强抓地力轮胎和提高轮胎的摩擦系数。一般市场上销售的汽车如果采用了大功率发动机，那么也只是使轮胎高性能化，大体上取得了平衡。可是，这里假设的 400 ~ 500 马力发动机，如果只是采用高性能化轮胎，也不能说实现了合理的匹配。

在这种情况下，需要实现驱动形式的优化，增加驱动轮的载荷，提高摩擦极限。如果考虑在加速时载荷是从前轮向后轮移动，那么驱动轮的载荷 FR 比 FF，中置发动机车比 FR 大一些。另一种方法是采用四轮驱动(4WD)系统。采用 4WD 系统，每个轮子的驱动力变小，所有轮子的驱动极限就提高了。“地平线 GTR”车就是采用这种方法。

也就是说，如果想要很好地利用大功率发动机，提高车的行驶速度，就需要采用高抓地力轮胎和 4WD 系统及中间布置等驱动方式。

b. 提高轮胎的能力，实现稳定的行驶——悬架的作用

然而，即使做到驱动方式的最优化，装用高抓地力轮胎提高摩擦极限，但还是不能实现稳定的转弯。一进入弯道，由于轮胎的抓地力极限提高，车的侧倾加大，车的动作很不稳定。由此导致轮胎的接地，即路面与轮胎的接触状态紊乱，不能确保稳定的摩擦特性。而对驾驶员来说，汽车动作紊乱时难以操纵，不能实现稳定的转弯。

原来，悬架是作为路面输入力的缓冲装置而研制的。为了实现这种状况下稳定的转弯，悬架成为高性能底盘的重要装置。也就是说，使汽车的动作稳定，又能很好地发挥轮胎的性能，是悬架应具备的重要功能。因此，能够确保与轮胎相适应的高刚性，并



能实现最佳特性的悬架系统成为至关重要的装置。

为了得到使人放心的转弯性能,有必要按照轮胎、悬架装置的需要提高车身的刚性。

为了实现协调的操作性能必须采用与发动机输出功率相适应的轮胎及驱动方式,以及与轮胎相适应的悬架系统及装置,还要确保车身的刚性。

c. 高性能制动器是高性能底盘的安全装置

对使用大功率发动机、快速行驶的汽车来说,确实保证正确地停车的制动器是不可缺少的。制动的基本原理是把动能转变成热能,使汽车减速、停止。如果提高发动机的输出功率,那么最高车速提高,这部分动能变大,所以要加大制动器的容量,提高能量吸收能力。

另外,不仅速度高,加速性能也极高,所以即使在弯曲道路上行驶,也会立刻碰到下一个转弯。因此,制动器储存的热能还没有彻底冷却掉,在制动时又不断地积蓄热能,终于失去制动效果。对于这种状况,有必要采用大型化制动器,加大热容量,设置通风道等,保持制动器处于良好冷却的状态。

d. 以各装置的高性能化和协调性,达到安全、舒适、快速行驶

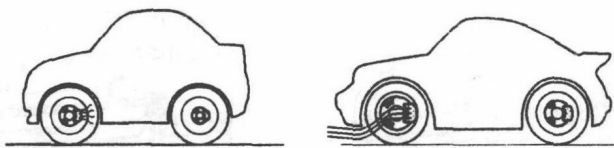
为了实现底盘行驶的高性能化,最基本的是确保以上各装置潜在性能的协调。然而,协调所需要的不仅仅是这些,更需要许多性能间的绝妙的协调。

例如,直行是底盘性能的基本,但是看起来简单,实际上是很难的。道路不是很平坦的,总有凹凸不平之处,汽车在行驶中受侧风的影响和各种各样的外部干扰。为了在这种状态下直行,就需要抗外部干扰强的悬架特性。另外,反过来说,直行性好的汽车,转弯很难,在转弯时,有可能不按驾驶员的意图转弯。

如果提高悬架刚性,则转向时汽车的侧倾小,转弯生硬。另一方面,乘坐不舒适,感到硬梆梆的,噪声和振动大。这样,“直行性能”与“转弯性能”,“转弯性能”与“乘坐舒适性”,一般是相对立的。

当研究底盘的高性能化时,提高如该例的两个对立性能,并且寻找最佳的平衡点,

图1-6 发动机输出功率与制动器容量的平衡



随着发动机输出功率的提高,若不提高制动器容量,则制动性能不足。有必要使制动器大型化,提高冷却性能。

这也是很重要的工作。也就是说,寻找平衡点,实现悬架等各装置高性能化和设定各装置之间的协调关系是重要的工作。

高性能底盘的性能,恰好像发动机和轮胎、悬架、制动器及车身演奏的协奏曲。从宏观上看,这些基本功能正向“安全”、“舒适”、“快速”方向发展,性能在逐渐提高。

例如,由于发动机等的高性能比,才能轻快地、舒适地、快速地进行;由于轮胎、悬架等的高性能化,才能在高速下稳定地放心地进行;即使在弯道上,也能按照驾驶员的意图转弯,快乐地行驶;即使在不平坦的路面上行驶,汽车的振动也不大,能移舒适地进行。另外,由于制动器等的高性能化,也能在更短的距离内稳定地停车。

本书将介绍如何去考虑这些底盘行驶性能,采用什么结构来实现底盘的行驶性能。

图1-7 底盘的发展方向



底盘开发的目的是使汽车的功能向更安全、更舒适、更快速的方向发展。

(郝长文 译)

第 2 章 底盘行驶性能和轮胎性能

进入弯道前刹车。认真地操作方向盘,靠近路边线,边加速边通过弯道。转弯是驾车的乐趣。卓越的转弯性能是高性能底盘最重要的性能之一。

本章,介绍转弯和制动等的底盘行驶性能以及对此性能起重要作用的轮胎性能。第 1 节介绍转弯的机理,第 2 节介绍操纵稳定性和悬架的特性,第 3 节介绍转弯和对加速、制动起重要作用的轮胎特性,第 4 节介绍驱动形式和行驶性能的关系。

2-1. 转弯的力学

(1) 转弯时力的平衡和转弯侧向力

a. 转弯时力的平衡

“一打方向盘,车辆就转弯”。首先,对这极其理所当然的事情稍做详细地分析。

极低速行驶时,按头脑中的印象,车辆向打方向盘的方向运动。但是,速度达到某程度,情况就发生了变化。要求我们必须考虑“离心力”和“向心力”的平衡。

例如,如图 2-2 所示,将系有绳子的球轮起来时,球按圆轨迹公转,“离心力”和“绳子的拉力”平衡。可是,绳子一断,两个力失去平衡,球脱离圆轨迹,向外飞去。

车辆转弯时,与“离心力”平衡的力是“路面与轮胎的摩擦力”,可以放心地转弯只有在两个力平衡的时候。这个力一旦失去平衡,犹如断了绳的球一样,向外飞去,只有靠路边的护栏挡住。轮胎和路面的摩擦力一般被称作轮胎的“转弯侧向力”。

“离心力”如下式,与转弯的曲率半径成反比,与速度的平方成正比。

$$\text{离心力(kg)} = \frac{\text{车辆重量(kg)}}{9.8(\text{m/s}^2)} \times \frac{(\text{速度(m/s)})^2}{\text{曲率半径(m)}}$$

例如,转弯由 R200 缩小到 R100,转弯侧向力需要 2 倍,如果速度从 50km/h 提高