

QICHE DONGLIXUE

[德]M. 米奇克 著 • **汽车
动力学**

陈荫三 译 • C 卷

(第二版)

• 人民交通出版社 •

QICHE DONGLIXUE

汽车动力学

C 卷 (第二版)

[德] M. 米奇克 著
陈 荫 三 译

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为德国《汽车动力学 C 卷》(第二版)的中译本。《汽车动力学》修订后分成三卷出版。即“驱动和振动”、“车辆振动”以及“行驶的操纵稳定性”,本书是其中的 C 卷“行驶的操纵稳定性”。修订后的本卷从较为简单的线性理论入手,经过若干中间环节,最后再分析大家所关注的双车轴、双轮辙的汽车。与修订前相比,在车辆数据、特征参数、特征值、定义等方面以及驾驶员-汽车封闭回路方面都进行了更为深入的考虑和讨论。

本书作为向国内读者介绍国外学术发展的理论译著,适合于从事汽车工程技术人员、教师参阅。

图书在版编目(CIP)数据

汽车动力学 C 卷/(德)米奇克(Mitschke, M.)著;陈荫三译. —2 版. —北京:人民交通出版社,1996
ISBN 7-114-02529-7

I. 汽… II. ①米… ②陈… III. 汽车-动力学 N. U461.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第22981号

Dynamik der Kraftfahrzeuge

Manfred Mitschke

Springer-Verlag, 1990

汽车动力学 C 卷(第二版)

[德] M. 米奇克 著

陈 荫 三 译

责任编辑:张大勇 封面设计:王炬

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:787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张:10 字数:233 千

1997 年 9 月 第 1 版

1997 年 9 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—1000 册 定价:23.00 元

ISBN 7-114-02529-7

U · 01780

第二版前言

《汽车动力学》第二版是完全重新修订的。比起已译为波兰文和中文的第一版来，重点要突出得多，并根据研究和开发的进展加以拓宽。此外，出版新版本还有两点形式上的原因：要把原来符号改用目前通用的和标准规定的符号；并在题例，特别在图表中，采用国际单位制。第二版《汽车动力学》分为三卷：卷 A《驱动和制动》，于 1982 年出版，1988 年重印；卷 B《振动》，于 1984 年出版；卷 C《行驶的操纵稳定性》，即本卷。

在第一版的“第四部分：操纵性与线路保持性”的基础上修订后的本卷从较为简单的线性理论入手，经过若干中间环节，最后再分析大家所关注的双车轴，双轮辙的汽车。与过去相比，修订版在车辆数据、特征参数、特征值、定义等方面以及驾驶员-汽车封闭回路方面都进行了更为深入的考虑和讨论。

我特别要感谢 K. H. 德波曼博士和 F. -J. 拉曼博士，他们曾在我研究所工作过，现已进入工业界。两位博士就本书的一些重要问题提出了建议。诸如：如何编排本卷章节；如何阐明某些内容；如何既满足大学生的要求，又能适应从事实践工作的工程师们的需要等。此外，H. -J. 雷色先生通读了手稿，审核了第 I、II 章的公式并设计了许多图表；E. 施瓦茨先生审核了第 III、IV 章的图表；W. 哈鲁普卡先生参与校对了清样；I. 恰乌达洛芙和 H. 玛婷女士打印了手稿；U. 施拉德先生绘制了图表。我在此一并致以谢意。

最后，要感谢施普林格出版社，我要强调的是，我们之间再次进行了十分默契的合作。

M. 米奇克

1990 年 5 月于布伦瑞克

目 录

1 引言	1
2 卷 C 的编排	4
I 线性单轨模型, 客观特征量, 主观评价	6
3 双轴汽车的运动方程	6
3.1 曲率中心和瞬心	8
4 轮胎特性	10
4.1 侧偏力, 回正力矩, 侧偏角	10
4.2 对侧偏特性的理解	14
4.3 侧偏刚度, 轮胎拖距	16
5 转向特性	20
6 侧风作用下的空气动力学特性参数	22
7 线性单轨模型的微分方程	25
7.1 特殊情况: 匀速行驶	29
7.2 轮胎拖距的考虑	30
I. A 匀速圆周行驶	30
8 向心加速度	31
8.1 最大值 (简化分析)	31
8.2 由道路线型决定的数值	35
8.3 弯道上正常行驶时的向心加速度	36
8.4 线性化的极限	37
9 与向心加速度有关的函数, 圆周行驶参数	37
9.1 转向盘输入	41
9.2 前轮输入, 侧偏角	44

9.3 质心处的侧偏角	45
9.4 在圆周中车辆的位置	46
9.5 转向盘力矩	46
9.6 圆周行驶参数	46
10 特征值, 主观陈述	47
10.1 不足转向与过多转向	48
10.2 质心处侧偏角, 转向盘转角-质心处侧 偏角梯度	54
10.3 转向盘力矩	57
11 车辆参数对圆周行驶特性的影响	59
11.1 用于计算的基本模型	59
11.2 侧偏刚度的影响, 质心处侧偏角的意义	61
11.3 转向系统参数的影响	63
11.4 质心位置的影响	64
11.5 载荷的影响	65
I.B 瞬态特性	66
12 稳定性, 固有频率, 阻尼	66
12.1 稳定性和不足转向/过多转向	68
12.2 固有频率, 相对阻尼系数	69
12.3 固有侧向扰动的考虑	72
13 操纵性能, 转向盘转角斜坡输入	73
13.1 拉普拉斯变换和传递函数	73
13.2 阶跃响应	74
13.3 转向盘转角斜坡输入, 峰值响应时间, 圆周行驶参数(放大因数)	81
13.4 时间函数的讨论, 车辆参数的影响	86
13.5 评价参数与车辆参数的关系	89
13.6 转向盘转角输入速度和车速的影响	91

14	转向特性, 频率特性	94
14.1	频率特性的解释	95
14.2	频率特性的评价	98
14.3	车辆参数的影响	99
15	在给定车道曲线上的行驶, “理想的”驾驶员, 缓和曲线	104
15.1	在给定车道曲线情况下的稳定性	106
15.2	缓和曲线	107
15.3	转向盘输入	110
16	侧风性能	110
16.1	定值侧向风	111
16.2	瞬态性能, 传递函数, 放大函数	115
16.3	过渡性能, 车辆参数的影响	117
16.4	频率特性	124
16.5	随机侧风	127
17	第 I 章总结	131
II	驾驶员-汽车-道路, 评价准则	134
18	双平面模型	135
19	预期操纵	136
20	控制	140
20.1	稳定性探讨	142
20.2	驾驶员的传递函数	145
20.3	驾驶员信息的获取	147
21	侧风下的直线行驶	150
22	驾驶员和车辆的适应	157
23	驾驶员作为有适应能力的控制者	159
24	第 II 章总结	160
III	曲线极限加速度, 切向力的影响	162

25	运动方程	162
III. A	匀速圆周行驶	164
26	曲线行驶阻力	164
27	切向力对轮胎特性曲线的影响	166
28	干路面上的操稳性, 前轮驱动, 后轮驱动, 全轮驱动	169
28.1	附着工况决定的极限	171
28.2	转向盘输入, 不足/过多转向	173
28.3	转向盘力矩	180
28.4	质心处的侧偏角	181
28.5	质心位置和驱动方式的影响	182
29	结冰路面上的操稳性	184
30	湿路面上的行驶	186
31	驱动功率决定的行驶极限	188
III. B	准线性分析	189
32	轮胎特性曲线的近似	189
33	不足/过多转向	191
34	稳定性	192
35	各种驱动方式车辆的稳定性极限	194
III. C	瞬态行驶, 转向盘转角斜坡输入	195
36	在干路面上匀速行驶	197
37	在干路面上切向力保持不变行驶	200
38	结冰路面上的行驶	203
39	第 III 章总结	203
IV	双轨模型, 四轮车辆	206
IV. A	匀速圆周行驶	207
40	轮荷变化, 质心高度和轮距的影响	207
40.1	最大的向心加速度	210

40.2 质心处侧偏角, 不足转向特性, 转向盘	
力矩的变化	212
40.3 前后轴上不同的轮荷变化	215
40.4 侧翻极限	215
41 升力	217
42 瞬心, 瞬时轴线	220
43 车辆侧倾和轮荷的计算(以刚性车轴为例)	222
44 前后轴侧倾刚度不同, 稳定装置	225
45 各种悬架	227
46 悬架的运动学和弹性运动学	233
47 转向系统	241
47.1 几何关系	241
47.2 弯道快速行驶时的转向力矩	242
47.3 弯道缓慢行驶时的转向力矩, 阿克曼转	
向, 回位特性	244
47.4 静态转向力矩	246
48 前束和切向力附加转向的影响	248
49 侧倾和侧偏力附加转向的影响	250
50 外倾的影响	253
50.1 轮胎特性	253
50.2 对操稳性的影响	255
51 侧倾的影响	258
51.1 侧倾角的大小	258
51.2 对车辆振动和轮胎磨损的作用	259
51.3 最大的侧向加速度	260
IV. B 瞬态行驶	262
52 车辆系统	262
52.1 坐标系	263

52.2 程序结构	264
53 轮胎特性曲线	265
53.1 轮胎模型	266
53.2 轮胎的导入特性	269
54 侧向加速度较大情况下行驶的两个例子	270
55 动态侧倾的影响	270
55.1 侧倾弹性和阻尼的影响	272
55.2 头部高度上的侧向加速度	273
56 弯道行驶, 加速踏板位置变化时的操稳性	275
56.1 车辆操稳性的评价准则	277
56.2 轴荷转移	278
56.3 轴荷变化的影响	280
56.4 切向力, 驱动轴位置, 摩擦差速器的影响	285
56.5 切向力附加转向的影响	288
56.6 不足转向趋势的增强	292
56.7 节 56 的小结	293
57 第 IV 章总结	294
V 其它	295
58 转向盘松开(脱手操纵)时的操稳性	295
58.1 运动方程	295
58.2 车辆参数的影响	296
59 全轮(四轮)转向	300
59.1 后轮转角输入	300
59.2 运动方程	301
59.3 $\delta_H = H_{\delta L} \delta_L^*$, 不足转向梯度相同时	301
59.4 $\delta_H = H_{\delta L} \delta_L^*$, 质心处侧偏角为零时	303
59.5 $\delta_H = H_{\psi} \dot{\psi}$	304
VI 总结	309

1 引言

汽车操纵稳定性是指汽车对驾驶员的转向操纵;对弯道路行驶时车辆(通过操作加速和制动踏板而得到的)加速和减速以及对外界扰动的响应。

对于汽车操纵稳定性主要是通过模拟以及实际交通工况的比较,以及研究工程师的主观判断去描述和评价。操纵稳定性好的车辆

- 应该容易控制(对驾驶员要求不应过高);
- 在出现扰动时,不应使驾驶员感到突然和意外;
- 操稳性的行驶极限应能清楚地辨别。所用的操纵稳定性评价准则亦应能概括上述这几点。

当载荷变化,轮胎变更或在不同路面上行驶时,操稳性的变化应尽可能小。

正如卷 B“振动”一样,操稳性评价准则亦可分为舒适性和安全性两个主要部分。

主动安全性以减少事故为目的,要求车辆操稳性与驾驶员相匹配。换句话说,驾驶员和车辆要作为一个控制回路来考虑,这一点在试验时一直已经这样做了(因为驾驶员最终要对车辆进行评价);而在理论方面则还很不够。图 1.1a)上给出了一个简化后的控制回路:车辆应该沿一条期望车道 y_{soil} 行驶,而事实上,车辆行驶在实际车道 y_{ist} 上。面对侧向偏差 $\Delta y = y_{soil} - y_{ist}$,驾驶员通过转向盘转角输入 δ_L 来加以调整,这样就有了新的实际车道 y_{ist} 和新的(希望能小些)侧向偏差 Δy 。同时,汽车上还受到一个扰动,比如侧风的作用。

为了能从理论上对控制回路进行评价,“驾驶员”框和“车辆”框必须以数学表达式给出,然后我们才有可能来探讨上述要求是否已经实现,即车辆是否与驾驶员匹配。现有涉及“驾驶员-车辆”控制回路的文献表明,驾驶员必须适应各

种车辆和各种行驶工况（比如，在停车场内转向盘要打许多圈才能停准车位；而在高速直线行驶时，转向盘的转角只有几度，甚至几分），至少要能适应正常的，无事故危险的工况。这就意味着，在各种工况下，看来驾驶员的数学表达式应该是不同的，并且表达式中的系数也应是变化的。此外，驾驶员又是个性各异的。事实上，我们只对极限工况下的“驾驶员-车辆”控制回路感兴趣，因为在这种有事故危险的工况下，驾驶员用来适应和处理的时间十分有限，才有必要进行研究；而正常工况下的“驾驶员-车辆”控制回路实际上不值得去进行讨论。

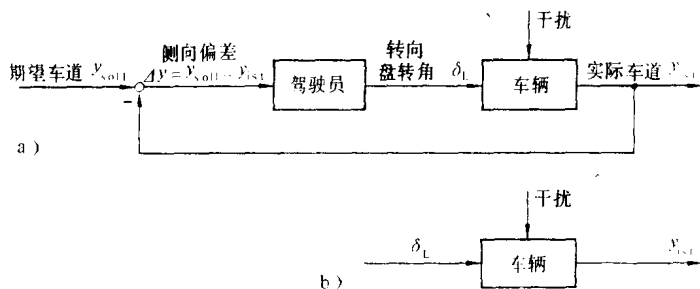


图 1.1

a)简化的驾驶员-车辆控制回路;b)车辆的局部系统

鉴于对极限工况下驾驶员的情况了解很少，所以一般只单独考察车辆，当然，对车辆性能的了解总是必要的；但另一方面，孤立起来对车辆性能目前也难以评价，只有通过经验数据和比较性试验，即通过主观判断才能评价。

在图 1.1b)上从控制回路中把车辆局部系统单独画出，在车辆上只有输入 δ_L 、扰动和输出，比如 y_{ist} 。习惯上，一种是讨论 $\delta_L = \text{const}$ ，特别是 $\delta_L = 0$ 即紧定转向盘的情况 (fixed control)；另一种是考察一部没有驾驶员的汽车，比如在弯道

出口处松开转向盘,来试验汽车的操稳性(free control)。除此之外,还有其它工况,在图 1.2 上加以概括,其中部分已有标准。

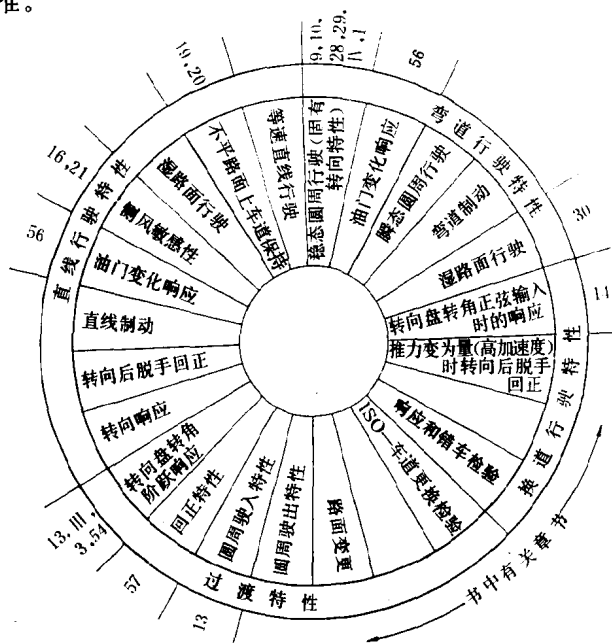


图 1.2 按主要行驶工况对操稳性进行检验

(Verfahren und Kriterien zur Bewertung des Fahrverhaltens von Personenkraftwagen. Rönitz, R.; Braess, H. H.; Zomotor, A.; Automobil-Industrie 1/1977, S. 29—39 und 3/1977, S. 39—48)

在上述情况下,车辆的操稳性不仅是按照与事故关系的密切程度(所幸的是,原西德在 1986 年每 560 000 km 才发生一次事故^①),而且也要按照正常的使用情况来加以评价。这

① 按“Verkehr in Zahlen 1987, 16. Jahrgang, Bundesministerium für Verkehr”算出。1986 年原西德轿车总数为 2 691.7 万辆,总行驶里程 3 362 亿 km,发生事故 600 100 起(人物损失超过 3 000 马克的)。

方面,测量信息的提供,以及传感和运动要求方面的权衡看来是重要的。如果对驾驶员刺激和要求太少,他会懒洋洋的;如果要求过多,又会使他思想不能集中。

本书的首要任务是使读者对汽车操稳性有定性的理解,能了解所观察到的现象的原因。其次是从工程师角度给以定量的评价。

作者力图使本书满足两部分读者的需要:一部分是从头到尾通读本书的(比如大学生);另一部分是只想了解有限的局部内容的。满足后者的要求是很困难的,因为他们从目录或索引,或者从后面第Ⅵ章中,希望只通过读一节就能了解尽可能多的东西,而不必再去翻阅与此有关的前后许多提示。另外,困难还在于他们虽然都在做汽车技术工作,但是他们对汽车技术方面知识掌握的程度相差很大。

2 卷 C 的编排

车辆通过几个重要的坐标系来描述,如图 2.1 所示(参看卷 A 的图 2.1)。 x_0, y_0, z_0 是空间固定坐标系。在车身质心 SP_A 上有固定在车身上的坐标系,在左前轮质心 SP_R 上有固定在车轮上的坐标系。除了车速 v 外,重要的运动参数有:

- 转向(前轮输入 δ_v 和转向盘转角 δ_L);
- 侧向运动;
- 绕铅垂轴的转动,即所谓横摆 ψ ;
- 绕纵轴的转动^②,即侧倾 χ 。

上述这些参数的相互影响,我们将在各种行驶工况下予以讨论(在图 1.2 上已经标明了有关章节)。书中只限于双轴汽车,计算用例中大多数为轿车。

^② 在文献中侧倾角常用 φ 表示,但因为车轮的转向(即车轮绕其垂直轴的摆动)也用 φ 表示,所以作者认为这似乎不尽合理。

第 I 章将从简单的线性车辆模型入手,忽略侧倾自由度。将要提出一些汽车技术方面的特征数值和客观的特征参数,并涉及主观判断问题。

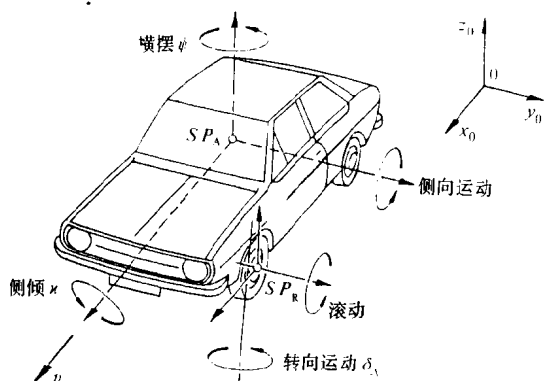


图 2.1 车辆上对操稳性十分重要的坐标系

第 II 章对驾驶员-车辆控制回路做一些基础性描述。以便理解第 I 章所提出的若干客观特征参数和主观判断问题。

在下面几章中,又回到车辆问题上来。第 III 章说明非线性轮胎特性的影响,导出前轮转向、后轮转向以及全轮转向的作用,并对附着极限附近的操稳性进行讨论。

第 IV 章加入了弯道里外侧轮荷变化的影响,以及悬架和侧倾的影响。

第 V 章讨论脱手操纵和全轮转向的问题。

第 VI 章最后给出概括性总结。

I 线性单轨模型,客观特征量,主观评价

本章是进入复杂的操稳性领域的导论。为易于理解,对所提出的理论模型加上两点重要的假设,予以简化:

1. 车辆质心在路面上。因此,质心上作用的离心力不会改变两侧轮荷的大小(弯道外侧轮荷的增加以及内侧轮荷的减少都将被忽略)。另外,也不应该出现侧倾。

2. 系统是线性的。也就是说,比如轮胎侧偏力与侧偏角成正比,或者侧向空气力与流入角成正比。

采用上述简化后,对车辆操稳性的描述只能局限于正常状态(而不能适用于附着极限的状态)。但是本章的导论对于理解操稳性还是很重要的。

在理论探讨的同时,还定义了所谓客观特征概念,像不足转向、过多转向、稳定性、峰值响应时间等,还介绍了对车辆操稳性的主观评价。

3 双轴汽车的运动方程

图 3.1a)所示为一部双轴、四轮、质心在路面上的平面车辆模型。正如上面所讲,同一车轴上两轮轮荷的变化将被忽略;每根车轴上的两个车轮都可以用一个车轮来代替,这样车辆就简化为单轨模型。质心 SP 的速度 $v_{SP}=v$ 在车道曲线的切线方向,与切向加速度 $\dot{v}$ 一致;而向心加速度 v^2/ρ 则指向曲率中心 M 。距离 $\overline{MSP}$ 是车道曲线的曲率半径 ρ 。 v 与车辆纵轴线之间的夹角 β 称为质心的侧偏角;车辆置于固定坐标系