

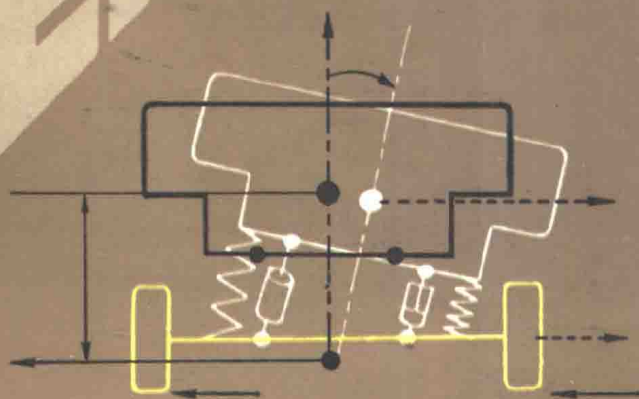


87.37036
G K H

375571

汽车操纵稳定性

郭孔辉 著



汽车操纵稳定性

郭孔辉 著

吉林人民出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了汽车操纵稳定性的基本概念、评价理论、试验方法及计算机模拟预测,并讨论了各种设计参数对汽车操纵稳定性的影响等。可作为高等院校汽车专业的教学参考书,对于从事汽车设计、试验、研究工作的工程技术人员也有实际的参考价值。

汽车操纵稳定性

郭孔辉 著

★

吉林人民出版社出版 吉林省新华书店发行
长春新华印刷厂印刷

★

850×1168毫米32开本 10.25印张 2插页 242,000字

1983年6月第1版 1983年6月第1次印刷

印数:1—4,860册

统一书号:15091·196 定价:1.25元

前 言

操纵稳定性是汽车的重要的基本性能之一。不少汽车存在“高速发飘”问题——在高速时司机往往感到难以控制汽车的行驶方向。但有的汽车，尽管车速很高，司机对汽车行驶方向的准确控制却感到很有信心。一般的汽车，行驶车速越高，操纵稳定性的问题也越突出，造成事故的性质也越严重。然而，这不等于说速度较低的汽车就没有操纵稳定性问题，实际上有些载重车、吉普车、旅行车等，在较低的车速下（例如40公里/小时左右）也出现过不少因方向失控（多数是甩尾）而造成安全事故的例子。

对汽车操纵稳定性的系统研究，早在三十年前就已经开始了，并且已经取得不少有价值的研究结果。这使得现代的汽车在操纵稳定性方面比起早期的汽车有了很大的进步。有关的研究文献也非常之多。但是至今仍然有许多方面还缺乏明确的认识。现在，计算机模拟的研究已经可以越来越详尽地模仿汽车操纵特性的各种细微末节，但是仍然有些大的基本的问题并没有根本解决。例如，从理论上和实验上如何确切地评价汽车操纵稳定性的优劣，至今还是不够明确的。如果优劣的标准模糊，那么，在研究如何获得良好性能的问题上就必然会遇到根本的障碍。如果在评价标准问题上能获得明确的认识，那将会使汽车操纵稳定性的研究大大前进一步。为了促进对这个问题的认识，近年来产生一个引人注目的研究方向，把汽车和司机一起当作一个闭环系统来

研究。同时对司机的动力学特性的研究也就成了越来越重要的问题。

当然，这种对汽车闭环系统的研究，归根到底还是为了获得有良好特性的汽车。因此，这种闭环系统的研究不是对“开环系统”（单纯汽车系统）研究方法的否定，而是为了提供更可靠的前提。在某种意义上说，是为了提出评价汽车特性的更确切的指标。而评价指标研究的结果往往会产生对试验方法和手段的新要求。

汽车在接近侧滑状态下的运动特性与汽车的安全事故有着密切的关系。由于这问题涉及轮胎与路面之间复杂的力学特性，加上各种路面性质的多样性和多变性，以及试验的危险性，使这个重要方面的研究变得十分困难。显然这方面的深入研究是十分重要的。这也是近年来着重研究的方向之一。

此外，空气动力特性和各种阵风（特别是横向阵风）对汽车操纵稳定性的影响；整车参数和部件（特别是轮胎、悬架、转向系等）特性的选择对汽车操纵稳定性的影响等等，也还有不少没有被认识的领域。因此，即使在汽车生产十分发达的国家，凭经验来评价和凭经验来设计仍然占有相当重要的地位。

在我国，认真地开展汽车操纵稳定性研究是七十年代以来的事情。七十年代初，清华大学和长春汽车研究所都同时系统地开展这方面研究工作。各个汽车生产厂也都从自己产品的需要出发，在不同的程度上进行了操纵稳定性的试验和研究工作。北京汽车厂围绕吉普车的甩尾侧滑问题与清华大学合作，长期进行着这项研究工作。

我国开展汽车操纵稳定性研究的历史虽不太长，由于吸取了国外的研究成果和经验，进展较快，也有不少研究成果。这本篇幅有限的书，当然不能面面俱到地收集国内外的研究成果。它主

要是以作者的研究实践为基础，结合国内外的主要研究成果，并使之系统化而编写成的。

章节顺序的编排上是本着“先表后里”和“先简后繁”的原则。所谓“先表后里”就是先讨论性能好坏的表现和评价；而后讨论为什么会有这些表现，进而讨论如何设计如何模拟和寻优问题。所谓“先简后繁”就是先讨论少自由度较简单的模型，先抓住主要的基本关系和基本概念，然后讨论考虑更多因素的多自由度模型，以及先讨论线性系统，然后讨论非线性系统。

作者相信，对于已具备工科大学的数学、力学基础，并对汽车结构有大致了解的读者，在阅读本书时不会有多大困难。在动力学分析中，富立叶变换与拉普拉斯变换是基本的工具，作者假定读者已经掌握这方面的初步知识。

书中所引用的试验研究结果，基本上都是长春汽车研究所、操纵稳定性研究组同志们共同努力的结果。特别是王德宝同志在多年的试验工作中，付出了很大的劳动。在计算机模拟研究工作中得到计算机组许多同志的帮助，特别是王淑兰同志完成了大部分计算机程序的编制工作。在这本书的初稿完成后，王德宝、朱万里、谷成久同志担负了文稿的整理和校对工作。没有这些同志的劳动和帮助，这本书的出版是难以想象的，作者在此表示衷心的感谢。

最后，由于作者水平与眼界的限制，这本书的缺点和错误一定不少，衷心希望得到批评指正。

作 者

1980年10月 于长春

目 录

第一章 概述	1
一、问题的由来	1
二、汽车是一个反馈系统	2
三、汽车操纵动力学系统	6
四、操纵稳定性的定义	8
第二章 汽车操纵稳定性的评价	9
一、评价的基本概念	9
1. 指令反应评价与扰动反应评价	9
2. 力输入反应与角输入反应	10
3. 不同“工作点”下的评价	10
4. 线性区与非线性区	11
5. 稳态评价与动态评价	11
6. “开环评价”与“闭环评价”	12
二、常见的试验评价方法	13
1. 角阶跃试验	13
2. 角脉冲试验	16
3. 正弦角输入试验	16
4. “回正性”试验	17
5. “撒手稳定性”试验	18
6. “蛇行”穿杆试验	21
7. “移线”试验	21
8. “8”字形行驶试验	22
9. 稳态圆周试验	23
10. 路扰反应试验	26
11. 风扰反应试验	27

三、各种试验评价之间的联系	28
1. 阶跃输入反应与其它输入反应的关系	
——“杜阿密”积分的推广	28
2. 脉冲输入反应与其它输入反应的关系	30
3. 由斜阶跃反应推求等速输入反应与理想阶跃反应	33
4. 起跃时间的推换	34
5. 叠加推断的实例	36
6. 开环特性与闭环特性的关系	38
四、频率特性分析方法	39
1. 频率特性与任意输入反应	39
2. 由脉冲试验求系统频率特性 (11) (12)	40
3. 提高分析精度问题	43
4. 阶跃试验的频率特性分析	47
五、一种求系统近似传递函数的方法	48
六、动态反应误差分析	54
1. 操纵误差的时域分析	54
2. 操纵误差的频域分析	63
七、在较小的场地上提高试验评价车速的方法	68
八、高速不足转向性的测定方法	73
第三章 轮胎的静力学特性	77
一、作用在轮胎上的力和力矩	77
二、偏离角与侧向力特性	76
三、偏离角与回正力矩特性	81
四、负荷与附着系数对偏离特性的影响	82
五、侧倾偏离与侧倾推力	83
六、纵向力对偏离角的影响	85
七、影响轮胎偏离特性的结构因素	86
八、轮胎的偏离角对滚动阻力与驱动力的影响	87
第四章 悬架系的静力学特性	90
一、车身的侧倾与纵倾	90

二、车轮负荷的确定	98
三、独立悬架的举升效应和车轮侧倾	101
四、侧倾转向	102
五、悬架导向系的弹性纵向力转向与侧向力转向	106
第五章 转向系的静力学特性	109
一、转向系的弹性与侧向力转向	109
二、转向系的综合刚度	111
三、转向——悬架杆系干涉引起的附加转角	113
四、前轮定位参数——前轮的角反馈与力反馈	115
五、转向梯形	127
六、转向力与“路感”	128
七、转向系的间隙	130
第六章 空气力学特性	131
一、空气阻力	132
二、侧向力	134
三、升力	135
四、横摆力矩	136
五、侧倾力矩	136
六、纵倾力矩	137
第七章 简化模型的转向运动动力学分析	139
一、二自由度角输入运动	140
二、二自由度力输入运动	153
三、考虑转向系转动惯量的三自由度力输入运动	159
第八章 最小总方差设计	166
一、计算总方差的一般方法	166
二、二自由度角输入运动的总方差计算	170
三、最小总方差与稳定性因数的选择	172
四、其它设计参数对总方差的影响	179
五、力输入运动的总方差	184

六、小 结	187
第九章 考虑侧倾自由度的方向盘角输入操纵运动	191
一、线性三自由度角输入操纵运动的数学模型	191
二、关于轮胎特性的线性化问题	202
三、“红旗”CA770型汽车角输入反应的模拟与试验验证	205
四、各种结构参数对操纵稳定性的影响	214
五、侧向力反应的特征和动态侧滑问题的初步讨论	228
第十章 考虑侧倾自由度的方向盘力输入操纵运动	232
一、线性四自由度力输入运动的数学模型	233
二、“红旗”CA770 汽车力阶跃输入反应的模拟与弯道撒手 试验的比较	243
三、若干结构参数对力输入操纵运动的影响	257
四、四自由度力输入反应运动特征的模拟	272
第十一章 汽车稳态转向特性的全工况模拟	284
一、QYHS792程序的功能与特点	285
二、输入参数和形式	288
三、输出形式	292
四、模拟实例	294
五、QYHS 792 模拟程序的数学模型	301

第一章

概述

一、问题的由来

汽车操纵稳定性的研究，是与汽车车速的不断提 高分 不开的。早期的低速汽车，还谈不上操纵稳定性问题，最早提出操纵稳定性问题，是在具有较高车速的赛车上。后来，随着车速的不断提高，在轿车、大客车和载重车上也都不同程度地出现了类似的问题。司机觉得操纵稳定性不好的汽车，通常有如下的表现：

（1）“飘”。有时司机并未发出转向指令，而汽车自己不断改变行驶的方向，使人感到飘浮。

（2）“贼”。有时汽车就象受惊的马，突然地忽东忽西，不听司机的操纵。

（3）“反应迟钝”。司机转向指令已发出相当时间，汽车还没有转向反应，或转向过程完成的过慢。

（4）“晃”。司机给出稳定的转向指令，但汽车却左右摇摆，行驶方向难于稳定。这样的汽车在受到路面不平或突然阵风的扰动时，也会出现这种摇摆。

（5）“丧失路感”。正常汽车的转弯的程度，会通过方向盘在司机手上产生相应的感觉。有些操纵性能不好的汽车，特别是在车速较高时或转向较剧时会丧失这种感觉。这会增加司机的操纵困难或影响司机作出正确的判断。

（6）“失去控制”。某些汽车在车速超过一个临界值之后或

向心加速度超过一定值之后，司机已经完全不能控制汽车的行驶方向。可能司机向左打方向而汽车却产生向右的转向。

上面只是列举了几种基本现象，也不是所有操纵稳定性不好的汽车都同时具有以上表现。

二、汽车是一个反馈系统

最初，人们设计汽车的转向系统所依据的原理如图 1—1 所

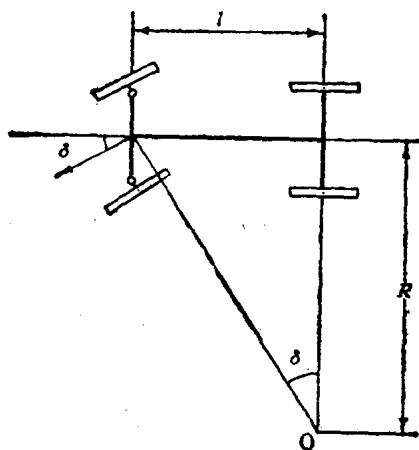


图 1—1

示，按照这种原理，汽车的转弯半径 R 与前轮转角 δ 及轴距 l 之间存在以下关系

$$R = \frac{l}{\tan \delta} \quad (1-1)$$

这种原理，至今仍是设计汽车转向系统的基本依据。但是，这种原理只能得出汽车的转弯半径完全取决于前轮转角的结论。式 (1—1) 说明：一定汽车的转弯半径 R 只与前轮转角 δ 有关，

而与车速无关。那么，高速行驶时汽车转弯半径与前轮转角（或方向盘转角）间的不一致的情况是怎样产生的呢？

1930年法国布劳海特（Brouhiet）发现了汽车轮胎偏离现象使人们的认识开始有了突破。所谓“偏离”现象就是轮胎的前进方向并非永远沿着本身的旋转平面，而可能与旋转平面成一角度，这就是偏离角。这种偏离角 β 的大小与轮胎所受的侧向力有关。

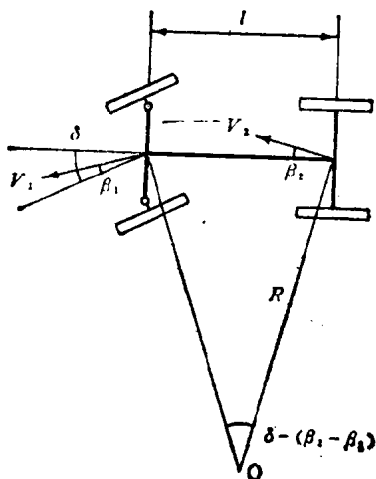


图1-2

在偏离角不大时，可有如下近似关系：

$$R = \frac{l}{\tan[\delta - (\beta_1 - \beta_2)]} \quad (1-2)$$

式中 β_1 ——前轮偏离角；

β_2 ——后轮偏离角。

如果把前轮转角看成汽车系统的输入，并认为转弯半径 R 是系统的输出，在轮胎没有偏离现象的情况下，汽车可以看成图1—3那样的“开环”系统。这就是式（1—1）所表达的内容。

在有偏离现象的情况下,原来 δ 的作用被 $\delta - (\beta_1 - \beta_2)$ 所代替,而 $\beta_1 - \beta_2$ 是向心加速度 $\frac{V^2}{R}$ 的函数,其方框图 (如图1—4所示)。如果用一个比较环节由 δ 与 $(\beta_1 - \beta_2)$ 来产生“有效输入”

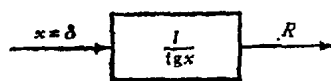


图1—3

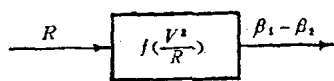


图1—4

入” $\delta - (\beta_1 - \beta_2)$, 以图1—3系统作为“主路”,以图1—4系统作为“反馈回路”,就可以形成一个图1—5这样的“闭环”系统。这个“闭环系统”就是式(1—2)所表示的内容。因此,包含

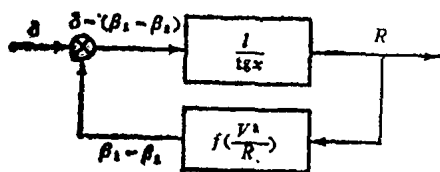


图1—5

“偏离现象”的汽车转向运动系统,是一个以无偏离转向为基本系统并加入一个偏离角反馈回路的闭环系统,在 $\beta_1 - \beta_2 > 0$ 时,有效输入 $x = \delta - (\beta_1 - \beta_2) < \delta$, 这是“负反馈”。汽车术语中称这种负反馈特性叫做“不足转向”。具有“不足转向”(负反馈)特性的汽车,如果前轮转角 δ 一定,在极低速时,向心加速度与轮胎的侧向力均接近于零,因而 $\beta_1 = \beta_2 \approx 0$, $R = \frac{l}{\tan \delta}$ 。当车速 V 逐渐增高 (δ 不变) 时,向心加速度 $\frac{V^2}{R}$ 和轮胎所受的侧向力随之增大,从而使 $\beta_1 - \beta_2$ 增大,而有效的“前轮转角” $\delta - (\beta_1 - \beta_2)$ 减小,从而抑制了转弯程度。因此,“不足转向”汽车,在 δ 不变时, $\beta_1 - \beta_2$ 将随车速 (因而也是向心加速度) 的

增大而增大，转弯半径 R 也将随车速的增大而增大。

在 $\beta_1 - \beta_2 < 0$ 时，有效输入 $x = \delta_1 - (\beta_1 - \beta_2) > \delta$ ，这是“正反馈”。汽车术语中称这种特性为“过度转向”。具有“过度转向”（正反馈）特性的汽车，如果前轮转角一定，有效输入 $x = \delta - (\beta_1 - \beta_2)$ 将随 $\frac{V^2}{R}$ 的增大而增大。这是进一步加剧转弯程度的因素。“过度转向”汽车通常表现为 $\beta_1 - \beta_2$ ，或 R 随向心加速度 $\frac{V^2}{R}$ （在 δ 一定时也就是车速 V ）的增大而减小。这种正反馈作用大到一定程度有可能出现“恶性循环”，即向心加速度 $\frac{V^2}{R}$ 产生了负值的 $\beta_1 - \beta_2$ ，从而使有效输入 $x = \delta - (\beta_1 - \beta_2)$ 加大，转弯半径减小。而 R 的减小又进一步使 $\frac{V^2}{R}$ 增大， $\beta_1 - \beta_2$ 进一步减小，有效输入 x 进一步增大。接着使 R 再减小， x 再增大…，直至使汽车完全失去操纵。

除了轮胎的偏离现象以外，还有其它一些因素可以造成汽车转向运动的反馈作用。这些因素主要是：

（1）转向悬架系统的弹性。由于存在这种弹性、在汽车转弯时路面提供的侧向力的作用下，车轮会发生附加变形。这种变形往往构成了相应车轮附加转角，从而也影响有效转向输入。它可以是负反馈，也可以是正反馈，取决于具体的结构与不同部位的刚度相对值。

（2）侧倾转向效应。汽车转弯时，车身产生侧倾。由于悬架系与转向系的导向运动特性关系，车身的侧倾可以造成车轮或整个车轴在水平面内的转动，这也是一种能够改变有效转向输入的附加输入。在数值上它又取决于运动输出（转弯半径，或向心加速度）。因此也是一种反馈。

（3）车轮倾斜效应。对独立悬架的汽车，车身侧倾会引起

车轮的侧倾。而车轮侧倾会造成轮胎偏离角的变化（详见第三章）这种由离心力 $\rightarrow$ 车身侧倾 $\rightarrow$ 轮胎偏离 $\rightarrow$ 转向输入也构成了一条反馈回路。

（4）空气动力的影响。这种影响只在车速相当高时才比较明显。这种影响是通过高速下，空气对汽车的三个方向的力与三个方向的力矩表现出来。一方面它直接影响前后轮的侧向力，从而影响相应的偏离角；另一方面，它通过空气对汽车的升力，影响前后车轮的垂直负荷，通过改变轮胎偏离刚性（垂直负荷对轮胎偏离特性的影响详见第三章）而间接影响偏离角。

所有这些反馈因素，一般说来，根据具体的结构和使用情况，既可能是负反馈，也可能是正反馈。凡是正反馈的转向特性，都可称为“过度转向”特性。凡是负反馈的转向特性，都可称为“不足转向”特性。所以一般说来，汽车的“过度——不足转向”特性应该包括上述各种反馈的综合效果。就轮胎偏离角来说，一辆具有过度转向特性的汽车，如果在悬架转向系统设计时使它具有很强的“侧倾不足转向”特性，其综合结果仍可以是具有一定不足转向的汽车。

三、汽车操纵动力学系统

上面已经说明，就汽车本身来说，已经是一个具有若干反馈回路的“闭环系统”。在进一步研究汽车操纵运动时，还必须研究包括司机特性在内的“司机——汽车”系统。在这种系统中，司机的操纵动作是根据他所感受到的车辆运动状态而发出的司机认为适当的操纵量。这样的系统又增加了一条“外环”反馈回路。

如果我们只对汽车转向运动系统的外部特性感兴趣，就可以把整个汽车笼统地当作一个方框(图1—6)输入 x 表示司机给汽车

的转向指令(方向盘角或力)。输出 y 表示汽车的转向运动参量(横摆角速度, 转弯半径等)。

在分析包括司机作用在内的“人—车”操纵运动系统时, 图

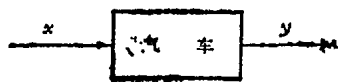


图1—6

1—6系统的输入是司机反应的输出, 而司机反应输出是由于司机对汽车运动的观测与感受所引起的。这样, 整个汽车操纵动力学系统(“人—车”系统)就可以用图1—7的方框图来表示。这

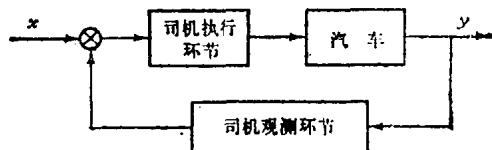


图1—7

时, 整个系统由一条“主路”和一条反馈回路所组成。“主路”包括两个环节。即除了图1—6的“汽车环节”外, 在它的前面还有一个“司机执行环节”。反馈回路上是一个司机的“观测环节”。这样, 整个系统可以看作一个“自动调节系统”。调节对象就是“汽车”, 而司机可以看作由“观测环节”、“执行环节”和“比较环节”(图中的 $\otimes$)三部分组成的“调节器”。这个系统的输入 x 可以认为是转向运动的客观需要。