

文章编号:1000-582x(2001)03-0022-03

用 Magic Formula 对轮胎特性曲线的拟合与优化

任光胜

(重庆大学机械工程学院,重庆 400044)

摘要: 轮胎特性是研究汽车动力学的基础,特别是轮胎的侧偏特性对汽车操纵稳定性有着非常重要的影响。在汽车操纵稳定性的仿真研究中,用试验的方法来获得轮胎特性已不能满足研究的需要,而有必要建立轮胎模型。作者介绍了采用 Magic Formula 建立轮胎模型的方法,包括试验曲线的样条化、优化目标函数的设计和拟合优化方法等,得到了 Magic Formula 轮胎模型中的各参数,为进一步对汽车操纵稳定性的仿真研究奠定了基础。

关键词: Magic Formula; 轮胎模型; 曲线拟合; 优化; 仿真

中图分类号: U 270.1⁺1

文献标识码: A

在汽车动力学研究中,对轮胎特性的准确描述是整车动力分析的基础。由于汽车行驶时,所有地面作用力都是通过轮胎作用在汽车上的,汽车轮胎的机械特性,特别是侧偏特性对汽车操纵稳定性有着非常重要的影响。可以说轮胎的机械特性是研究汽车操纵稳定性的理论基础^[1]。而在对整车进行操纵仿真、驾驶平稳性仿真和耐久性仿真时,必须建立轮胎特性模型。在操纵仿真中,为满足对轮胎特性的准确描述,一种称之为“Magic Formula”的轮胎模型建模技术受到广泛注意。该技术可对轮胎模型的特性进行良好描述,不但可以用函数表述轮胎的转向力、回复力矩和驱动/制动力,也可以直接利用轮胎试验数据。

通常有3种方法可用来表达从试验中得到的轮胎特性:表格;图;表达式。

表格和图两种表达方式在理论研究中难于处理且不易满足车辆特性仿真研究的需要。而表达式又可细分为:1)含有系列参数的表达式(付立叶、多项式);2)含有特殊函数的表达式。

文中所讨论的 Magic Formula 是属于含有特殊函数的表达式这一类。虽然该技术可广泛用于汽车转向力、驱动/制动力和回复力矩的表达,但文中所涉及的 Magic Formula 仅局限于稳态条件下的纯转向力或纯驱动/制动力的情况。

1 Magic Formula^[2]

Magic Formula 是利用三角函数来表达稳态条件下的轮胎特性参数,亦即转向力、驱动/制动力和回复力矩是轮胎转向角和倾角的函数,具体表达式如下(参见图1):

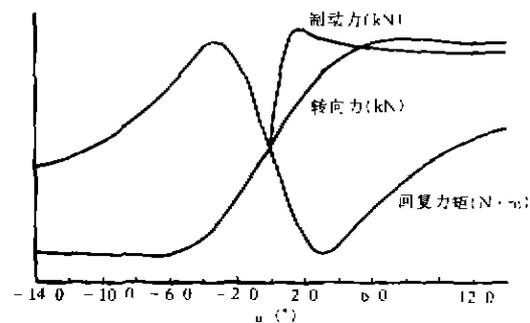


图1 稳态轮胎特性曲线

转向力

$$F_y = D \sin(C \arctan(B\phi)) + \Delta S_{\phi}$$

其中

$$D = a_1 F_z^2 + a_2 F_z \quad C = 1.30$$

$$B = \frac{a_3 \sin(a_4 \arctan(a_5 F_z))}{CD} (1 - a_{12} |\gamma|)$$

$$E = a_6 F_z^2 + a_7 F_z + a_8$$

$$\Delta S_{\phi} = a_9 \gamma$$

• 收稿日期:2000-12-08

作者简介:任光胜(1962-),男,四川泸县人,副教授。主要从事 CAD/CAPP/CAM/PDM 及汽车安全性等领域的教学与研究。

$$\Delta S_v = (a_{10}F_z^2 + a_{11}F_z)\gamma$$

$$\varphi = (1 - E)(\alpha + \Delta S_h) + (E/B)\arctan(B(\alpha + \Delta S_h))$$

回复力矩

$$M_x = D\sin(C\arctan(B\varphi)) + \Delta S_v$$

其中

$$D = a_1F_z^2 + a_2F_z \quad C = 2.40$$

$$B = \frac{a_3F_z^2 + a_4F_z}{CDe^{a_5F_z}}(1 - a_{12}|\gamma|)$$

$$E = (a_6F_z^2 + a_7F_z + a_8)/(1 - a_{13}|\gamma|)$$

$$\Delta S_h = a_9\gamma$$

$$\Delta S_v = (a_{10}F_z^2 + a_{11}F_z)\gamma$$

$$\varphi = (1 - E)(\alpha + \Delta S_h) + (E/B)\arctan(B(\alpha + \Delta S_h))$$

驱动 / 制动力

$$F_x = D\sin(C\arctan(B\varphi))$$

其中

$$D = a_1F_z^2 + a_2F_z \quad C = 1.65$$

$$B = \frac{a_3F_z^2 + a_4F_z}{CDe^{a_5F_z}}$$

$$E = a_6F_z^2 + a_7F_z + a_8$$

$$\varphi = (1 - E)\kappa + (E/B)\arctan(B\kappa)$$

式中, B 是斜度因子, C 是形状因子, D 是最大值因子, E 是曲率因子, BCD 是曲线斜率, ΔS_h 是水平切换因子, ΔS_v 是垂直切换因子。这些参数均随 a_1 至 a_{13} 的变化而改变。

2 轮胎性能测试仿真模型

用于 Magic Formula 拟合计算的轮胎性能测试仿真模型如图 2 所示。模型中, 转向角、倾角和轮胎负载为输入参数, 模型可根据 Magic Formula 自动地计算出转向力和回复力矩。

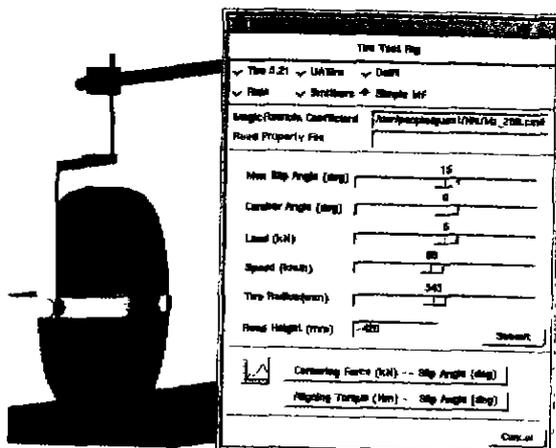


图 2 轮胎性能测试仿真模型

3 试验曲线的拟合与优化

文中所论及的是轮胎的纯转向力和回复力矩试验曲线的拟合, 不涉及系数 a_9 、 a_{10} 、 a_{11} 、 a_{12} 和 a_{13} 的影响。因此, Magic Formula 中的系数 C 、 $a_1 \sim a_8$ 为拟合与优化过程中的设计变量。

3.1 轮胎测试数据的数字化

在用 Magic Formula 对轮胎特性进行拟合与优化前, 必须对试验获得的轮胎测试数据曲线进行数字化并建立相应的数据库。图 3 为轮胎转向力和回复力矩的测试曲线之一, 图 4 是经数字化后从数据库中输出的轮胎回复力矩测试数据样条函数曲线。

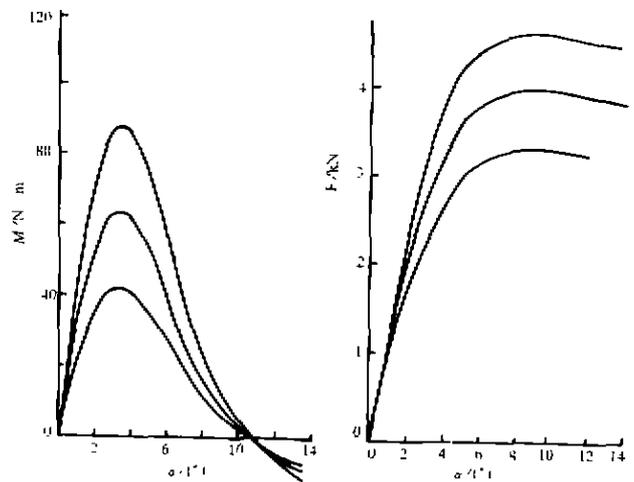


图 3 轮胎转向力和回复力矩测试曲线

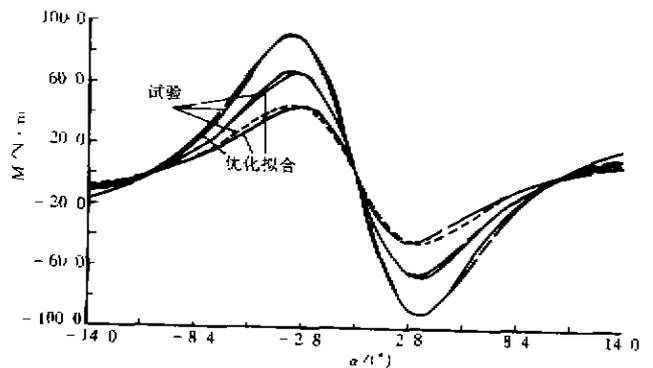


图 4 轮胎测试数据样条函数曲线(空气压力 = 0.24 MPa)

3.2 优化目标函数

由于试验曲线与轮胎负载有关, 拟合与优化时必须针对多条曲线进行, 因此, 优化目标函数是多目标的。在用 Magic Formula 对轮胎测试曲线进行拟合时, 首先构筑测量函数如下:

```

if((SFORCE(.MSFull.Load,0,1,0) - 4000):0, .MSFull.
FUNCTION_MEA_1,0)
+ if((SFORCE(.MSFull.Load,0,1,0) - 5000):0, .MSFull.
FUNCTION_MEA_2,0)
+ if((SFORCE(.MSFull.Load,0,1,0) - 6000):0, .MSFull.
FUNCTION_MEA_3,0)
    
```

式中,函数 SFORCE 为施加在轮胎试验模型上的负载, .MSFull.FUNCTION_MEA_1(或-2或-3)为测量函数,具体计算由 Magic Formula 导出的转向力(或回复力矩)与测试数据样条函数曲线的差值。因而上述目标函数的意义是根据轮胎负载的不同,分别计算在不同负载下由 Magic Formula 得出的转向力(或回复力矩)与在此负载下轮胎测试数据曲线的差值。而

优化目标为该差值最小。

3.3 优化方法

由于 Magic Formula 中参数众多,各参数对转向力或回复力矩的影响不一样,在进行拟合与优化之前有必要研究各参数的影响灵敏度问题。在此基础上,再以 $a_1 \sim a_8$ 为变量,以 .MSFull.FUNCTION_MEA_1(或-2或-3)为测量函数,分别在不同负载下对单条轮胎测试曲线进行拟合,以得出 Magic Formula 中 $a_1 \sim a_8$ 的初始值。图 5 为单曲线拟合情况。然后以得到的 $a_1 \sim a_8$ 为初值,分别对峰值 D、斜率 BCD、曲线形状 E(若曲线形状差别较大,可适当调整参数 C)等进行多目标优化,从而得出最终的 C、 $a_1 \sim a_8$ 参数如表 1 所示,其拟合优化结果之一如图 6 所示。

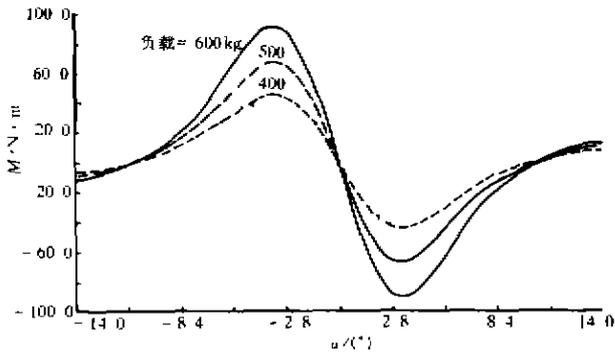


图 5 单曲线拟合情况(空气压力 = 0.24 MPa)

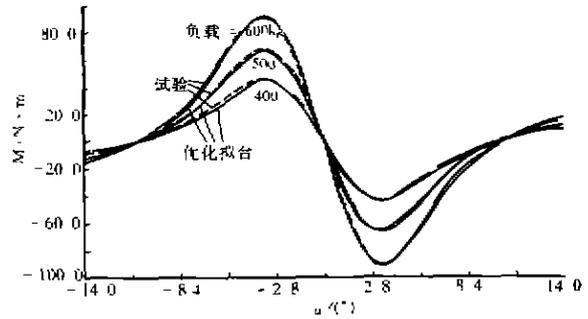


图 6 拟合优化结果(空气压力 = 0.24 MPa)

表 1 Magic Formula 中的各参数

空气压力(MPa)	轮胎特性	C	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
0.20	转向力	1.35	-37.1	981	1098	1.52	0.218	0.0	-0.404	0.707
0.20	回复力矩	2.40	-2.65	-2.35	-1.863	-2.73	0.092	-0.078	0.372	-1.348
0.24	转向力	1.35	-35.1	981	1168	2.82	0.078	0.0	-0.404	0.707
0.24	回复力矩	2.45	-2.14	-2.24	-1.917	-2.52	0.119	-0.074	0.221	-0.232

4 结论

Magic Formula 是用途十分广泛的轮胎模型建立方法之一,作者仅针对轮胎特性试验曲线进行了拟合与优化,获得了 Magic Formula 模型中的各参数。从优化结果来看,优化曲线与试验曲线是比较吻合的,特别是在 $\pm 3^\circ$ 范围内吻合情况很好。据此可用数学表达式对轮胎特性曲线进行表述,为后续对汽车操纵稳定性进行更深一步地理论研究奠定了良好基础。

参考文献:

- [1] 瀧木乙崇,景山 一郎. 自動車用タイヤのタデ化に関する研究[A]. JSAE[C]. Paper NO. 9731640, 1997.
- [2] BAKKER A, NYBORG L, PACEJKA H B. Tyre Modelling for Use in Vehicle Dynamics Studies[A]. SAE[C]. paper No. 870421, 1987.
- [3] 樋口明, PACEJKA H B. 過渡的タイヤ発生力とのモデリング[A]. JASE[C]. Paper No. 9731659, 1997.

(下转 106 页)

张的今天,这一点将是这个技术发展的原始动力。因此,从数据通信发展的角度来看,IP over WDM 网络将成为第三代互连网的核心技术,IP over WDM 技术发展的前景将非常光明。

参考文献:

[1] DOUGLAS E COMER. Internetworking with TCP/IP Vol I(Third Edition)[M]. U. S. A:Prentice Hall. 1998.

[2] UYLESS BLACK. Emerging Communications Technologies

(2nd Edition)[M]. U. S. A:Prentice Hall. 1998.

[3] 赵慧玲,胡琳. 宽带 Internet 网络技术[M]. 北京:电子工业出版社,1999.

[4] 王海军,王治业. WDM 技术的多样性极其特点. 电信科学[J]. 1999,15(10):23-25.

[5] 思科系统公司. 利用 DWDM 实现核心网络的光网络互联. 世界电信[J]. 2000,13(5):38-41.

[6] 基于 IP over DWDM 的城域网技术研究. 电信科学[J], 2000,16(3):7-11.

Study of IP over WDM System Structure

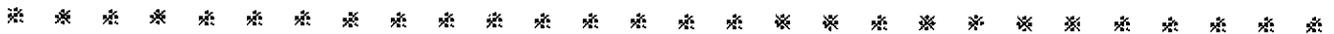
SHEN Ke , XU Guo , GAN Yu-yu

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: WDM technology is the basis of optical network implementation. Due to eliminating SONET/SDH and ATM elements, and allowing direct connection with IP routers, IP over WDM can reduce network cost and simplify network expansion . In this thesis, the structure and protocol layers of IP over WDM are firstly explained. Then the procedures of this network are described briefly. At last, the problems and future of IP over WDM are analyzed

Key words: IP over WDM; System Structure; network

(责任编辑 张小强)



(上接 24 页)

Optimization of Curve Fitting Used in Development of Magic Formula Tire Model

REN Guang-sheng

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Characteristics of a tire are the foundation of vehicle dynamics studying, especially play a vital role in vehicle handling study. It is necessary to establish a tire model in the simulation for vehicle handling because the tire characteristics got by test can not be satisfied. The optimization of fitting to the tire test data curves by Magic Formula is discussed, included the digitalization of tire test data curves, designing objective functions and optimization processes, etc. Finally the parameters in Magic Formula tire model are obtained and they lay a foundation for the development of vehicle handling aftertime.

Key words: magic formula; tire model; curve fitting; optimization; simulation

(责任编辑 成孝义)