

# 轮胎花纹性能的优化设计\*

张兴皖, 朱家明\*\*, 王雪琪, 黄婷婷

(安徽财经大学 统计与应用数学学院, 安徽 蚌埠 233030)

**【摘要】**对于轮胎的花纹设计,选取轮胎的抓地力和降噪音作为评价指标。对抓地力:对轮胎行驶过程中受力分析,借助物理知识得出轮胎的抓地力的近似计算公式,代入数据进行验证,根据验证结果,设计出抓地性能好的轮胎花纹。对轮胎噪音:根据花纹槽的波形,对花纹槽的发声系统进行动力学分析,综合考虑轮胎的干涉与合成,得出轮胎噪音的公式表示,结合理论分析,设计出轮胎噪音很弱的轮胎花纹。最后综合以上两个方面,根据不同的具体情况设计对应的轮胎。

**【关键词】**轮胎花纹;抓地力;轮胎噪音

**【中图分类号】**U463.341 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1673-1891(2015)03-0028-04

DOI:10.16104/j.cnki.xccxb.2015.03.009

轮胎,作为车辆与地面接触的唯一媒介,肩负着承重、刹车以及行车安全等重要职责。而车辆在正常路面上行驶时,轮胎真正与地面接触的面积与我们行走在路上鞋底与地面所接触的面积差不多。这么小的接触面积,需要完成以上这么多重要而又复杂的工作,这时轮胎上的花纹就起到了至关重要的作用。轮胎花纹的主要作用就是增加胎面与路面间的摩擦力,以防止车轮打滑。它提高了胎面接地弹性,在胎面和路面间切向力的作用下,花纹块能产生较大的切向弹性变形。切向力增加,切向变形随之增大,接触面的“摩擦作用”也就随之增强,进而抑制了胎面与路面打滑或打滑趋势。出于轮胎性能的需要,轮胎的胎面经常会被人们加工出不同形状的花纹。并且在设计轮胎时,往往要针对其使用环境,设计出具体的花纹形状,以此来提高汽车的使用性能和寿命。因此轮胎花纹的设计工作对轮胎的生产有重要的作用,为车辆提供了安全行驶的前提保证<sup>[1]</sup>。

## 1 花纹设计的抓地力能力评估模型

### 1.1 研究思路

由于抓地力的直接测量存在困难,而且抓地力  $F$  与地面滚动摩擦力  $F_r$  成正比,故通过直接测量  $F_r$  的数值来反映轮胎的抓地力。在路面材料的弹性模量  $E_2$ 、反向法力  $N$  等其他影响  $F_r$  的因素不变的情况下,轮胎的抓地力和轮胎与地面接触面的胎面宽度  $L$ 、轮胎与地面接触面到轮胎中心轴的距离  $R$  存在关系,又花纹槽的宽度  $w$  和深度  $d$  与  $L$ 、 $R$  有相关关系,通过建立  $F_r$  与  $L$ 、 $R$  的关系建立抓地力  $F$  与花纹槽的宽度  $w$  和深度  $d$  的关系,并通过收集到的数据进行相关分析。最终确定基于抓地力良好的前

提下,轮胎花纹的初始设计方案。

### 1.2 研究方法

通过汽车在路面行驶过程中的受力分析<sup>[2]</sup>图(如图1)建立相关等式进行研究。根据受力图,结合物理知识得出车子在行驶过程中轮胎胎面与地面滚动摩

擦力  $F_r$  的计算公式为:  $F_r = \frac{2}{3} \times \frac{\varepsilon N}{\pi R} \left[ \frac{4NR}{\pi L} \times \left( \frac{1-V_1^2}{E_1} + \frac{1-V_2^2}{E_2} \right) \right]^{1/2}$ ,

其中  $\varepsilon$  为弹性滞后系数<sup>[3]</sup>,  $k_0$  为路面与胎面的恢复系数,  $V_1$ 、 $E_1$  分别为轮胎材料的泊松比和弹性模量,  $V_2$ 、 $E_2$  分别为路面材料的泊松比和弹性模量,  $w$ 、 $d$  分别为花纹槽的宽度和深度。且  $\varepsilon$  与  $k_0$  满足:  $\varepsilon = 1 - k_0^2$ , 则抓地力与滚动摩擦力之间满足如下公式:

$$F = k \times F_r = k \times \frac{2}{3} \times \frac{\varepsilon N}{\pi R} \left[ \frac{4NR}{\pi L} \times \left( \frac{1-V_1^2}{E_1} + \frac{1-V_2^2}{E_2} \right) \right]^{1/2} = k \times \frac{2}{3} \times \frac{1-k_0^2}{\pi R} \times N \left[ \frac{4NR}{\pi L} \times \left( \frac{1-V_1^2}{E_1} + \frac{1-V_2^2}{E_2} \right) \right]^{1/2}$$

其中轮胎与路面接触面到轮胎转轴距离和花纹槽的深度、宽度之间的计算公式为:  $R = 1/(k_1 \times w) + 1/(k_2 \times d)$ , 轮胎与路面接触面的胎面宽度和花纹槽的深度、宽度之间的计算公式为:  $L = k_3 \times w + k_4 \times d$ 。

运用 C++ 进行编程并调试,通过输入不同参数值计算出抓地力。本例中取  $N=1000$  kg,  $k=1.4$ ,  $t=0.16$ ,  $k_1=1100$ ,  $k_2=1600$ ,  $k_3=0.8$ ,  $k_4=1.1$ 。得到的抓地力数据如表1(单位:  $F-N$ ;  $d-m$ ;  $w-m$ )。

表1 不同花纹槽深度和宽度所对应的抓地力取值

	$d$							
$w$	0.0047	0.0055	0.0063	0.0071	0.0079	0.0087	0.0095	0.0103
0.003	585799	567181	549367	532612	516970	502409	488861	476246
0.007	632533	631868	628172	622591	615845	608399	600560	592532
0.011	613194	623364	629248	632088	632726	631755	629596	626560
0.015	583746	600107	611877	620216	625943	629653	631786	632677

收稿日期:2015-04-15

\*基金项目:国家自然科学基金项目(项目编号:11301001);安徽财经大学教研项目(项目编号:acjyzd201429)。

作者简介:张兴皖(1994-),男,安徽蚌埠人,信息与计算科学专业本科生,研究方向:应用数学与数学建模。

\*\*为通信作者朱家明副教授。

0.019 545522 574515 589952 601889 61108 618101 623364 627203  
 0.023 527794 549958 567725 582055 593642 603010 610557 616597  
 0.027 503871 527334 546560 562542 575799 586855 596084 603779  
 0.031 482543 506765 526992 544027 558461 570743 581220 590169

根据表1中的数据,利用MATLAB软件进行绘图,得出如图2的三维立体图形。

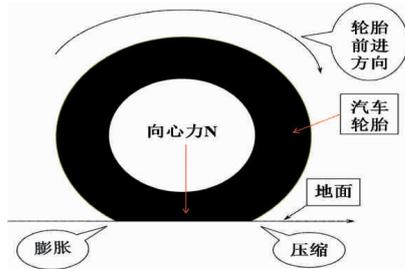


图1 轮胎行驶过程中的简单受力分析图

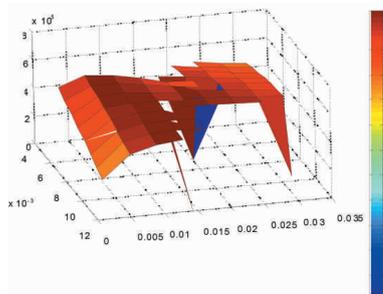


图2 抓地力值对应的三维图像

### 1.3 结果分析

由表1可以分析出:当花纹槽宽度w固定不变时,抓地力F随着花纹槽深度d变化而变化,且变化规律满足“当花纹槽深度小于定值时,抓地力随着深度的增大而增大,即两者成正相关的关系;当花纹槽深度大于定值时,抓地力随着深度的增大而减小,即两者成负相关的关系”,当花纹槽深度d固定不变时,抓地力F随着花纹槽宽度的增大而减小,即两者成负相关的关系。由此,可以根据两者的搭配情况,根据控制变量法,在抓地力最大时确定轮胎的最优适用范围。

人们普遍认为提高轮胎行驶效率的有效途径是增大轮胎花纹槽的深度,但事实上,随着轮胎花纹槽深度的不断增大,汽车行驶中与地面的摩擦阻力不断增大,也会增大轮胎表面的磨损,另外使用的燃油数量也会增加,所以轮胎花纹槽的深度和宽度设计需要考虑到多个因素,从而在满足实际需求的同时更好地增强汽车的性能。

## 2 花纹设计的排水测定模型

### 2.1 研究思路

轮胎的排水性与抓地力是一个相互牵制甚至是矛盾的问题,要获得更好的排水性,胎面

就需要设计较多的沟槽,但沟槽多势必会减少轮胎的有效接地面积,同时对胎面的刚性也是一种影响。

排水性主要由花纹槽的宽度和深度决定,要对其进行研究,先要了解花纹槽截面的设计,进而了解各个参数之间的影响和相关关系式。通过花纹槽的相关参数的研究建立模型,如在潮湿的路面上,无花纹轮胎的制动距离是有花纹轮胎的2倍左右,不仅如此,在倾盆大雨的时候,因轮胎接触地面的水不能排出,而产生制动不灵、转向盘难以控制,那时,车子就像水上滑艇一样。这种现象,常在花纹不深或无花纹轮胎时发生。那么,正常花纹轮胎在深水路面上行驶,到底能发挥多大作用呢?

### 2.2 研究方法

以纵向花纹为例,假设目前下着大雨,降雨量达到5 mm,汽车以80 km/h的速度行驶。每条花纹槽的宽度为w,w分别可取0.5 cm,0.8 cm,1.1 cm,1.4 cm,1.7 cm,2.0 cm。花纹槽的条数为n,n可取1,2,3,4,5。花纹槽的深度为d,d一般不应低于1.6 mm,所以这里d可取0.2 cm,0.3 cm,0.4 cm,0.5 cm,0.6 cm

显然轮胎花纹不同,轮胎与路面之间的排水量也不同,但可约略计算为:排出的水量 $L_0 = \text{轮胎花纹槽的宽度} \times \text{行走距离} \times \text{水深}$  速度为80 km/h的汽车,1s内约行进22 m,为方便计算起见,将花纹槽条数分别设为2条和4条。当花纹槽条数设为2条时,1s内一只轮胎排出的水量为 $L_0 = 22 \times 2 \times w \times d$  (单位:L-升;w-cm;d-cm)。

表2 2条花纹槽时的排水量表

d	w					
	0.5	0.8	1.1	1.4	1.7	2.0
0.2	4.4	7.04	9.68	12.32	14.96	17.6
0.3	6.6	10.56	14.52	18.48	22.44	26.4
0.4	8.8	14.08	19.36	24.64	29.92	35.2
0.5	11	17.6	24.2	30.8	37.4	44
0.6	13.2	21.12	29.04	36.96	44.88	52.8

利用控制变量法,使其中一个自变量为定值,而考虑另一个自变量对因变量的影响作用,这样便于分别分析两种因素与因变量满足的数学模型,更加便于生活中利用分析结果来为社会谋利。以下分别考虑花纹槽的深度和宽度对排水性的影响:

A. 花纹槽的宽度影响:当胎面保持花纹槽深度为固定值不变时(给出的几个深度取值是依据现实生活中常见轮胎花纹槽深度所定),工作中的轮胎每秒排水量随花纹槽宽度的增大而增大,即两者是

正相关的关系。

B. 花纹槽的深度影响:花纹槽的深度对排水性的影响分析类似于宽度对排水性的影响,即:当胎面保持花纹槽宽度为固定值不变时(给出的几个宽度取值是依据现实生活中常见轮胎花纹槽宽度所定),工作中的轮胎每秒排水量随花纹槽深度的增大而增大,即两者是正相关的关系。

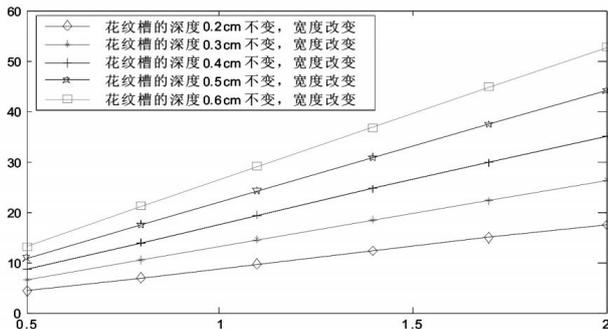


图3 深度固定、宽度改变的排水性强弱

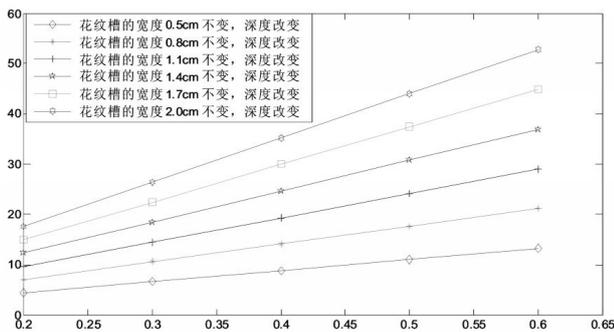


图4 宽度固定、深度改变的排水性强弱

当花纹槽条数设为4条时,1s内一只轮胎排出的水量为  $L_0=22 \times 4 w d$  (单位:  $L_0$ -升;  $w$ -cm;  $d$ -cm)。

表3 4条花纹槽时的排水量表

d	w					
	0.5	0.8	1.1	1.4	1.7	2.0
0.2	8.8	14.08	19.36	24.64	29.92	35.2
0.3	13.2	21.12	29.04	36.96	44.88	52.8
0.4	17.60	28.16	38.72	49.28	59.84	70.40
0.5	22	35.2	48.4	61.6	74.8	88
0.6	26.4	42.24	58.08	73.92	89.76	105.6

4条花纹槽对排水性的影响与2条花纹槽时的影响类似分析,在此就不详细介绍了。

由两表中数值可以看出一秒钟内由不同的花纹槽的宽度、花纹槽的深度以及花纹槽的条数对排水量的影响会产生非常大的差异。相差毫米,可产生的排水量却会相差很多倍。当花纹槽的宽度很大时,虽然排水量会相应地增大,但是会使轮胎与地面的接触面积相应减少从而影响了它的抓地力,

使之减少;而当花纹槽的深度很大时,虽然排水量也会相应地增大,但是会使相应的空气阻力增大以及产生的热量增加,会增大轮胎的磨损,不利于延长轮胎的寿命。

### 2.3 结果分析

由前面分析可知,极端值会产生其他方面的负面影响,花纹愈深,则花纹块接地弹性变形量愈大,由轮胎弹性迟滞损失形成的滚动阻力也将随之增加,另外较深的花纹不利于轮胎散热,使胎温上升加快,花纹根部因受力严惩而易撕裂、脱落等,应将极值去掉。而从图3、4中的趋势可以看出花纹槽的宽度和花纹槽的深度的值越大,其排水量增加的越快,因此采用的花纹槽应尽量宽和深,今后将结合几个方面来确定花纹的最优范围。另外对于横向花纹,混合花纹,和越野花纹虽然他们都具有横向的花纹,但是对于他们纵向的花纹的排水性可以进行相同的上述类似分析,得到的结论大致相同,在此不再细分。

### 3 总结

轮胎的抓地力主要是通过胎面与地面的接触来实现,理论上光头胎的抓地力是最高的,但仅限于干地。如果在湿滑路面,由于光头胎无排水性,会使车辆难以驾驭,影响安全性。在抓地力的模型中笔者研究了抓地力与花纹槽的宽度和深度的关系,也得到了较为合理的最佳适用范围。大面积的橡胶块设计,对于提升轮胎的抓地力有利,这点从不同轮胎的胎面设计上就能看出区别。一般来说,偏重运动性的轮胎会采用大面积的橡胶块,提高车辆的抓地力,而以舒适性为趋向的轮胎,花纹会比较碎,橡胶块会比较小。大面积橡胶块在提升轮胎的抓地力的同时,也会“提升”轮胎的行驶噪音。解决方案是在大面积橡胶块中“开沟槽”降低噪音,同时为了不影响轮胎的抓地力和胎面刚性,在沟槽中间会增加“自锁片”的设计,从而提高抓地力和刚性。而碎花纹块就不会出现噪音较大的情况。

本文建立的抓地力能力评估模型和噪音优化模型与实际生活结合紧密,易于推广到汽车相关问题的解决处理和实际应用中,如推广至无噪轮胎花纹设计的问题;对轮胎花纹设计的分析在实际问题解决过程中具有很好的借鉴参考作用,对车辆的改进优化系统的投入实用阶段铺垫基础,充分体现了建模与经济生活的密切联系;轮胎花纹的分析经验对以后汽车行业升级部件也具有一定的参考价值,为行业的优化竞争技术作贡献。

**注释及参考文献:**

- [1]2014年第七届“认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛(14-04-18) <http://www.tzmcm.cn/>  
[2]柳和玲.轮胎地面接触变形分析与实验研究[D].西安:西北农林科技大学,2012.  
[3]唐红度.滚动摩擦力计算中弹性滞后系数的确定[J].力学与实践,2003(5):25-76.  
[4]于森邈,周洁.花纹沟设计对轮胎花纹噪声的影响[J].轮胎工业,2012(4):206-209.

## The Optimized Design of Tread's Performance

ZHANG Xing-wan, ZHU Jia-ming, WANG Xue-qi, HUANG Ting-ting

(Institute of Statistics and Applied Mathematics, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu, Anhui 233030)

**Abstract:** For tire tread design, we select tire grip and intensity of noise for evaluation. For grip: by stress analysis of tire driving, we use physical knowledge derived approximate formula for calculating grip tires. In addition, we substitute data for verification. According to the verified results, we design a good grip performance tire tread. For tire noise: in line with the waveform pattern grooves, we tread grooves sound system dynamics analysis, considering interference with the synthesis of the tire, we obtain the equation tire noise. Theoretical analysis, we design a weak tire tread noise. Based on the above last two aspects, we depend on the design of the tire corresponding to the specific circumstances.

**Key words:** tire tread; grip; tire noise

(上接第23页)

- [2]张信群.基于SolidWorks配置功能实现冲模标准模座参数化造型[J].机电工程技术,2011(4):45-47.  
[3]刘新会,池成忠,张建刚,等.基于UGNX下Mold Wizard模块的注射模标准件库开发[J].模具工业,2012(10):5-9.  
[4]江洪,魏峥,王涛威.SolidWorks二次开发实例解析[M].北京:机械工业出版社,2004.  
[5]赵万龙.Visual Basic 程序设计[M].北京:中国铁道出版社,2006.

## The Establishment of the Standard Parts Library Of Plastic Mould with the Configuration Functions in SolidWorks

ZHANG Xin-qun

(Chuzhou Vocational & Technical College, Chuzhou, Anhui 239000)

**Abstract:** To realize rapid call the three-dimensional model of the standard parts of plastic mould. The complicated methods of secondary development in SolidWorks were abandoned, and the standard parts library was established with the help of Configuration functions in SolidWorks. For example of Shouldered guide pillar, the methods which established the standard parts library were detailedly introduced. The calls of standard are rapid and accurate, and the late management and maintenance are convenient. **Conclusion:** The design efficiency of plastic mold can be effectively improved.

**Key words:** SolidWorks; configuration; shouldered guide pillar; standard parts