

# 轮胎配套的注意要点及关键技术探讨

张勇<sup>1</sup>,王君<sup>1</sup>,郝鹏程<sup>1</sup>,孙晓明<sup>1</sup>,王明杰<sup>1</sup>,马永禄<sup>2</sup>

(1. 双星集团有限责任公司, 山东 青岛 266400; 2. 黄岛区检验检测中心, 山东 青岛 266400)

**摘要:**介绍轮胎配套的注意要点及关键技术。轮胎配套的注意要点包括前端分析、车辆信息分析及产品质量先期策划。90%以上的设计变更应在开发初期完成,以大幅降低费用。在轮胎配套的关键技术方面,重点介绍接地印痕对轮胎的转向、操控性、舒适性、噪声和水漂等性能的影响、低滚动阻力轮胎设计以及实车评价中舒适性的技术要点和解决方案。

**关键词:**轮胎;配套;产品质量先期策划;接地印痕;滚动阻力;舒适性;实车评价

**中图分类号:**TQ336.1

**文章编号:**2095-5448(2023)09-0444-09

**文献标志码:**A

**DOI:**10.12137/j.issn.2095-5448.2023.09.0444



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

随着我国汽车行业的发展,轮胎企业越来越重视汽车的配套业务。不同车厂配套都有相应的开发流程,随着市场竞争的不断深化,轮胎配套周期不断缩短,投资费用不断压缩,车厂对轮胎的配套要求越来越高,但都基本遵循IATF 16949汽车质量管理体系,包括产品质量先期策划、失效模式与影响分析、生产件批准程序、测量系统分析、统计过程控制及供应商体系审核等。

车厂对轮胎企业的基本要求是:产品要满足技术要求;项目节点要准时;要具备优异的产品开发能力、持续改进能力、快速反应能力和成本控制能力;轮胎供应商的真诚度要高。车厂也都有各自的特殊要求,如通用的全球产品质量先期策划、福特的产品质量先期策划现状报告、克莱斯勒的供应商质量保证程序、现代和起亚的新车零部件质量保证手册、雷诺的联合新产品质量程序以及大众的质量管理协议等。

本文主要介绍轮胎配套的注意要点(包括前端分析、车辆信息和产品质量先期策划)以及关键技术,如接地印痕对轮胎性能的影响、低滚动阻力轮胎设计以及实车评价等。

**作者简介:**张勇(1975—),男,山东青岛人,双星集团有限责任公司正高级工程师,硕士,主要从事轮胎研究工作。

**E-mail:**zy@doublestar.com.cn

## 1 轮胎配套的注意要点

### 1.1 前端分析

刚接触车厂新项目时,应首先进行充分的技术交流,然后才能确定报价和立项等。如果是新车厂,还要考虑车厂审核,毕竟获得车厂的准入供应商资格是做项目的前提条件。前端分析对于轮胎配套能否成功非常重要,分析领域涵盖市场、技术、质量、成本、生产、设备等,建议注意要点如下。

(1)首先确认车厂的持续成长能力以及是否符合轮胎企业的发展战略;项目开发是轮胎供应商与车厂同步开发新车型项目还是后期再参与车型配套的项目;对替换市场是否有贡献;如果是新车厂,需要确认审厂时间和审厂应对是否有问题;了解车型、销量、利润、竞品以及产品和质量等是否满足车厂的需求。

(2)对车厂要求规范进行分析,如轮胎的滚动阻力,制动性能,噪声、振动和声振粗糙度(NVH),舒适性,操控稳定性,电阻,气密性等是否满足车厂的需求;是否需要动力学和有限元分析模型;需要何种认证;考虑产品在市场的互换性,吸取成熟经验作为设计参考。

(3)根据项目有无经验、开发难度、车厂对轮胎企业的信赖度、项目成功能否提升品牌形象等进行评分,以最终分值作为项目开发的依据,分值

越低代表项目越难推进,并制定一个限值,分值在限值以下的项目应舍弃。

## 1.2 车辆信息

轮胎要与车辆相匹配,满足车辆的各项技术指标,在项目考察阶段,对车辆信息的分析也至关重要,车辆信息应包括:①车辆类型、用途和尺寸;②车辆自身质量、承载质量和满载质量;③驱动方式、轴距、悬架类型;④空载和满载时的前轴和后轴负荷;⑤车速;⑥最小离地间隙、最小转弯半径;⑦轮胎和轮辋规格;⑧路况和行驶条件;⑨动力系统参数等。

## 1.3 产品质量先期策划

国内车厂在项目管理中一般采用产品质量先期策划。轮胎企业作为零部件公司在向车厂提供轮胎时,产品质量先期策划是必须要做的一项工作,用于确保所有的步骤按时完成,在轮胎生产前解决所有的问题,它是个复杂的过程,需要几个来回才能确定最后的策划结果。

产品质量先期策划既是质量计划,也是持续项目开发计划,它从项目正式启动一直到生产件批准程序结束,执行人是整个产品质量先期策划小组,正常产后需要进行总结,如果没有问题,该项目才可以关闭<sup>[1]</sup>。产品质量先期策划是为了满足客户需求,建立具体的管理方法并保障产品的阶段,保证所有要求在计划的时间点完成,用于保证产品质量、产品交付和成本管理等。

### 1.3.1 产品质量先期策划的产生

由于克莱斯勒、福特和通用公司各自使用不同的产品质量计划指导书,导致供应商产生了不必要的损失,因此这3家车企共同开发了产品质量先期策划,用来管理全球的供应商及其二级供应商,使产品质量计划的复杂性降低,形成了统一。产品质量先期策划成为供应商与二级供应商之间针对产品质量计划的信息互换手段。产品质量先期策划是为了满足客户需求而提供的资源,保障供应商实际执行产品质量计划,针对变更及时采取措施,防止设计变更延迟,用最少的费用生产最好的产品。

### 1.3.2 产品质量先期策划的必要性

产品质量先期策划可以优化开发周期和设计

变更次数。设计变更所造成的浪费由小到大依次为产品设计阶段、过程设计阶段、量产阶段,因此有必要在开发早期解决质量问题,减少量产后的变更。变更的原因可能有对技术要求的理解和分析不足、对客户的要求理解不到位、产品量产的能力欠缺等。

### 1.3.3 产品质量计划

产品质量计划包括5个阶段,分别为项目计划及定义阶段、产品设计及开发验证阶段、过程设计及开发阶段、产品及过程有效性确认阶段、量产阶段。应注意的是需要将车厂的要求转化为产品设计要求,再将设计要求转化为合适的部件、过程和生产要求。

第1阶段,输入车厂要求规范、项目计划、车辆信息、可行性分析、产品/过程能力研究及竞品分析等。输出设计目标、质量目标、物料清单预测、初步过程流程图、产品及过程的特殊性、产品保障计划等。需要注意的是,应从车厂需求和提供更好产品的角度来制定设计目标。

第2阶段,输出设计失效模式与影响分析、设计验证、设计总结、试制总结、图纸、施工、变更、工装、模具、设备、产品及过程的特殊性、试制管理计划、检测设备、小组可行性分析及经营层支持等。该阶段是产品设计和开发完成的阶段,需要注意的是,应采取客户驱动的设计方法,包括产品试制和验证,以满足客户要求,并导出产品的特殊性以及过程管理所需要的特殊因子。

第3阶段,输出质量体系总结、过程流程图、过程分布计划图、特性矩阵图、过程失效模式与影响分析、小批量管理计划、测量系统分析计划、过程指导书、初期过程能力调查计划等。该阶段主要讨论制造系统的主要特征和产品的生产管理计划,目的就是保证有效的制造系统。

第4阶段,输出量产启动、测量系统评价、初期过程能力调查、量产认可、量产有效性确认、产品检验、量产管理计划、质量计划确认等。需要注意的是,该阶段用于检验是否满足客户的需求,通过小批量试制来评价制造过程的有效性,在小批量试制期间,质量部门应严格遵守管理计划和过程流程图要求。

第5阶段,输出减少过程能力分散分析、客户满足与否检验、效果及服务评价等。需要注意的是,量产阶段过程能力较为分散,需要针对异常情况和偶发情况进行分析,并进行系统的过程管理,采取相应的措施,并对产品质量计划的效果和服务进行评价。

### 1.3.4 特殊性分析工具的关联性

(1)质量功能展开。质量功能展开在产品阶段是一种非常有效的手段,可以有效地将车厂的需求分解到各阶段和部门,通过协调各部门的工作以保障产品质量,满足车厂的需求。

(2)失效模式与影响分析。失效模式与影响分析分为输出设计失效模式与影响分析和过程失效模式与影响分析,通过分析找出潜在的失效模式及可能的后果,提前采取必要的预防措施,从而提高产品质量及可靠性,有效的失效模式与影响分析可以缩短开发时间及减少开发费用。

(3)控制计划。控制计划可以实现最优化的管理,由技术部门牵头制定文件,涉及研发、技术、质量、生产、销售、采购及工厂等各部门。当发生产品变更、工艺变更、过程能力不足及检验方法变更时,需要及时对控制计划做出修改。

(4)统计过程控制。统计过程控制通过抽样发现异常,并采取措施消除异常,以达到控制质量的目的。需要注意的是,对发生多频次和涉及特殊性的问题都要做控制图,用于监控和保证过程的稳定,并现场解决问题。

需要注意的是,客户的需求、输出设计失效模式与影响分析、设计验证计划和报告活动的关联性、过程失效模式与影响分析、控制计划、过程指导书的关联性、设计部门与制造部门之间的沟通、过程设计部门与制造部门之间的沟通都是产品质量先期策划的核心。

## 2 轮胎配套的关键技术

随着我国汽车工业的飞速发展以及市场对汽车性能的要求逐步提高,对于配套轮胎的性能要求越来越高,在早期的载荷能力和耐磨性能等基础上,增加了低滚动阻力、高舒适性和操控性能等的匹配要求。对轮胎性能匹配的研究已成为汽车和轮胎企业的新课题<sup>[2]</sup>。

### 2.1 接地印痕对轮胎性能的影响

轮胎有3个边界区域,一个是轮胎与路面的接触区域,另外两个是胎圈与轮辋的接触区域。轮胎与路面的接触区域就是接地印痕。接地印痕的形状与轮胎性能密切相关,如椭圆形接地印痕有利于舒适性、抗湿滑性能、水漂性能等;矩形接地印痕有利于转向、操控稳定性、干地抓着力、耐磨性能等。需要注意的是,蝴蝶形接地印痕虽然有利于制动性能,但对生产工艺的要求偏高,容易出现均匀性合格率低和耐磨性能差等问题,因此,出现蝴蝶形接地印痕是需要改善的,带束层宽度过小时容易出现这种印痕。

接地印痕参数主要包括长轴、短轴、接地系数、有效面积和总面积等,同时需要根据印痕形状和接地压力分布进行分析。影响接地印痕的因素有轮廓设计、胎面厚度、冠带条、带束层等,这些因素会导致接地印痕形状有很大差异。例如,在相同条件(充气压力、负荷和速度)下,接地印痕面积会随着带束层宽度和角度的增大而增大。

(1)转向性能。车辆转向时,轮胎会产生侧向力和回正力矩。带束层的角度越大,接地印痕的形状越倾向于椭圆形,侧向力和回正力矩越大。一般来说,椭圆形接地印痕轮胎的回正力矩比矩形接地印痕轮胎大,在车辆转向时轮胎的刚度小,转弯轻松。

(2)操控稳定性。带束层的角度越小,胎冠的刚度越大,车辆进行变道测试时操控稳定性越好。另外,有轮辋保护设计或增加胎圈区域的胶料厚度都有利于提高操控稳定性。一般情况下,矩形接地印痕轮胎的操控稳定性优于椭圆形接地印痕轮胎。

(3)舒适性。带束层的角度越大,轮胎的刚性越小,车辆进行冲击测试时舒适性越好。一般情况下,椭圆形接地印痕轮胎的舒适性优于矩形接地印痕轮胎。

(4)噪声。轮胎因为带束层和胎体在径向产生振动,胎侧在横向也产生振动,在500 Hz以下时会产生噪声,带束层的角度越小,噪声越低,采用高硬度的三角胶有利于降低噪声。一般情况下,矩形接地印痕轮胎的噪声低于椭圆形接地印痕轮胎。

(5) 水漂性能。带束层的角度越大, 轮胎的接地印痕形状由矩形趋向于椭圆形, 受到水的冲击力越小, 水漂现象越不容易发生。不同接地印痕轮胎的水漂受力情况如图1所示, 其中 $F$ 为冲击力,  $\alpha$ 为受力角度。

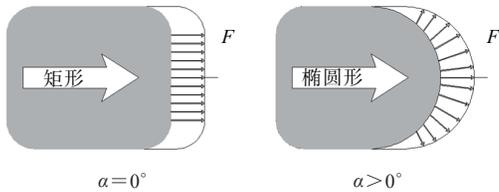


图1 不同接地印痕轮胎的水漂受力示意  
冲击力计算公式如下:

$$F = \frac{1}{2}r(V\cos\alpha)^2$$

式中,  $r$ 为接地长度,  $V$ 为行驶速度,  $\alpha$ 为受力角度(行驶方向为 $0^\circ$ )。

受力角度越大, 冲击力越小, 因此椭圆形接地印痕轮胎比矩形接地印痕轮胎更不容易发生水漂。

## 2.2 低滚动阻力轮胎技术

车厂不仅对电动汽车轮胎的滚动阻力要求很高, 对燃油汽车的轮胎也有同样要求, 轮胎的滚动阻力直接影响汽车的燃油经济性, 约20%的汽车燃油被轮胎滚动阻力所消耗<sup>[3]</sup>, 因此车厂对轮胎的滚动阻力要求越来越高。

### 2.2.1 滚动阻力的产生机理

通常来讲, 构成轮胎的橡胶呈粘弹性, 由于橡胶具有粘性, 变形时的能量无法完全恢复, 一部分能量会以热能损耗, 这部分热能就是滞后损失。轮胎在行驶过程中, 由于自身变形、道路变形引起冲击, 产生滚动能量、变形能量、反弹能量、热能量和运动能量等能量损失, 机械能转变为热能, 轮胎消耗了传递给车轮的部分能量, 只剩下较少的能量来驱动车辆。

轮胎的滚动阻力主要与3个因素有关, 即各部件胶料的单位体积应变能、能量损耗因子和体积, 对各部件胶料的3个参数乘积求和, 即得到整体轮胎的滚动阻力<sup>[4]</sup>。因此轮胎滚动阻力与变形、滞后生热和体积相关, 要降低滚动阻力, 应减小轮胎的变形, 降低胶料的滞后生热以及减轻轮胎的质量。

无论是利用有限元分析, 还是从实际使用中的损坏结果都可以看出, 轮胎滚动阻力的分布主

要集中在橡胶变形较多的区域, 即胎肩和胎圈部位。轮胎横截面如图2所示,  $A$ 与 $A'$ 为胎肩部位,  $B'$ 为轮胎前部,  $B$ 为轮胎后部。轮胎截面 $A-O-A'$ 和 $B'-O-B$ 的接地压力、充气压力及滚动阻力分布如图3和4所示。

从图3和4可以看出: 轮胎肩部区域的刚度比中心位置大, 接地压力大, 能量损耗多, 产生的滚动阻力大; 按照轮胎行驶方向, 接地前部的滚动阻力比接地后部大; 充气压力分布基本一致。

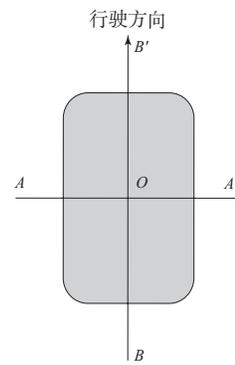
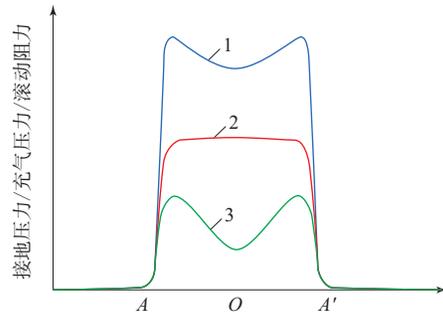
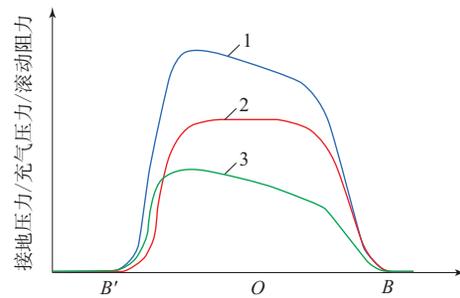


图2 轮胎横截面示意



1—接地压力分布; 2—充气压力分布; 3—滚动阻力分布。

图3 轮胎截面 $A-O-A'$ 的接地压力、充气压力和滚动阻力分布示意



注同图3。

图4 轮胎截面 $B'-O-B$ 的接地压力、充气压力和滚动阻力分布示意

降低滚动阻力就是减小阻碍轮胎前进方向上的力和力矩。轮胎接地区域压力分布如图5所示,Z向合力在轮胎中心线靠前部分,行驶的轮胎前后区域所受到的接地压力会有差异;X向合力向后,阻止轮胎向前运动,从而产生阻碍轮胎前进的滚动阻力。

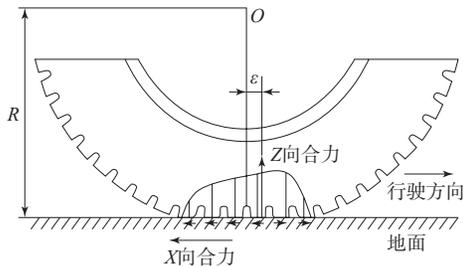


图5 轮胎接地区域压力分布示意

滚动阻力计算公式:

$$F_R = \frac{z\varepsilon}{R}$$

式中, $F_R$ 为滚动阻力, $z$ 为垂直方向合力, $\varepsilon$ 为垂直方向合力与中心间的偏差距离, $R$ 为地面与轮胎滚动中心之间的距离。

因此降低滚动阻力,应减小垂直方向合力或偏差距离,或使用直径大的轮胎。

## 2.2.2 低滚动阻力轮胎的设计

### 2.2.2.1 减小胎面变形

轮胎滚动阻力耗油量约占燃油的20%,通常轮胎的滚动阻力每降低10%,燃油消耗量可减小1%~2%。轮胎各部位对滚动阻力贡献最大的是胎面,约占65%,胎侧和胎圈约占25%。轮胎部件胶料的滞后损失占90%~95%,轮胎移动时空气阻力及轮胎与路面的摩擦力占5%~10%。不同结构、材料和花纹的轮胎的滚动阻力是不同的,因此,同样车辆配备不同的轮胎,其滚动阻力的差别可达到50%<sup>[5]</sup>。

为减小胎面变形,应采用低滚动阻力的胎面胶和基部胶配方,如确实因为舒适性等的需要,可以改善影响较小的胎侧轮廓设计。

(1)胎面胶。胎面胶采用丁苯橡胶,可以改善抗湿滑性能和操控性能,但会增大滚动阻力,采用天然橡胶(NR)和顺丁橡胶(BR)有利于降低滚动阻力,但抗湿滑性能和操控性能较差。可以考虑采用化学改性的溶聚丁苯橡胶与NR或BR并用

的体系;补强体系采用白炭黑/炭黑并用体系,并对白炭黑进行化学改性,粒径大的炭黑有利于降低滚动阻力;硫化体系可以适当增大促进剂的用量。应该注意的是,随着芳烃油用量的增大,胶料的抗湿滑性能提高,但滚动阻力也随之增大。

(2)基部胶。基部胶具有滞后损失小、生热低的特点,通过改变基部胶厚度,可以降低滚动阻力,也可以对平顺性、噪声和操控性能稍作调整。

(3)肩部变形。在轮胎肩部区域滚动阻力较大,弯曲、压缩、剪切等同时产生,因此肩部的设计尤其重要。轮廓设计时应尽量将接地印痕前端的直线距离最小化,肩部下沉量应减小,胎面弧度应增大。

(4)结构设计。应提高胎面的刚性,如使用较强的冠带条,提高花纹块刚性,必要时减小花纹沟深度和钢片厚度等。减小胎冠帘线角度可以增大轮胎的径向刚度,减小滞后损失,从而降低滚动阻力。

胎侧的结构刚性增大时,胎肩部位的屈挠加重会增大变形。因此,胎侧轮廓设计时,断面宽应增大,结构设计时胎侧刚性要小,包括使用小三角胶,减小上断面高和胎侧厚度等。

### 2.2.2.2 轮胎轻量化

轮胎总质量每减小10%,滚动阻力降低约12%。质量最小化是为了降低轮胎的运动能量,可以通过轮廓设计如减小行驶面宽度、胎面厚度、带束层宽度和胎侧厚度等来实现。

另外,为降低轮胎滚动阻力,可对模具内轮廓的肩部进行局部优化设计,最终目的就是减小肩部体积,减轻质量,这不仅有利于降低轮胎的滚动阻力和噪声,而且提高了车辆转弯时轮胎的外侧支撑。

### 2.2.2.3 增大轮胎外直径

要增大轮胎的外直径,可以增大地面与轮胎滚动中心之间的距离,轮胎断面高越大,滚动阻力越低。研究表明,轮胎外直径每增大10 mm,滚动阻力降低1%左右。结构设计时可考虑增大轮胎的膨胀率,如增大带束层角度等。选择轮胎时可考虑使用行驶面宽度小、外直径大的轮胎,这是因为轮胎的接地面积小,滚动阻力会降低。

### 2.2.2.4 提高充气压力

车辆在高速公路上行驶时,轮胎的滚动阻力

所消耗的能量占有所有能量的25%左右。随着充气压力的增大,轮胎的滚动阻力下降。因此,可选择充气压力大的增强级轮胎。

#### 2.2.2.5 行驶时间和环境温度

轮胎以一定的速度行驶时,随着行驶时间的延长,轮胎的滚动阻力降低;当行驶达到一定时间后,轮胎的滚动阻力将相对保持恒定。如轮胎行驶约2 h后,滚动阻力将趋于恒定,因此将行驶2 h左右称为“适应”。

环境温度低,轮胎滚动阻力将增大,因此对于同一轮胎,冬季的滚动阻力比夏季高。有研究表明,环境温度每升高1℃,轮胎的滚动阻力降低0.5%~1%。

#### 2.2.2.6 行驶速度

当行驶速度为100~120 km·h<sup>-1</sup>时,轿车轮胎的滚动阻力变化很小;随着行驶速度的增大,轮胎的滚动阻力显著增大,这是由于轮胎高速旋转时的强烈振动以及空气阻力增大所致,大部分是由滞后损失引起的。

另外,也可以通过减小负荷、选择好的路面来降低滚动阻力。三线花纹沟比四线花纹沟的滚动阻力低,这可能是因为花纹条移动小。同时,花纹饱和度增大、胎肩厚度减小、带束层角度增大、接地印痕形状偏椭圆形,接地压力分布均匀以及低温硫化都有利于降低滚动阻力。

### 2.3 实车评价

轮胎作为汽车底盘部件,具有牵引制动、承载、缓冲及转向的功能。只有车辆遇到极限情况时才能明确知道轮胎的重要性,所以实车性能的测试在轮胎配套中至关重要。

#### 2.3.1 实车评价现状

##### 2.3.1.1 主观评价

主观评价主要包括干地、湿地、雪地、冰面的舒适性和操控性能等。轮胎舒适性和操控性能评价依靠车手在各种道路上的主观感受,其与接地印痕、刚性、力和力矩、障碍物测试、物理性能等数据密切相关,也与环境、路面、车辆等条件息息相关。

主观评价时应优先考虑轮胎与车辆的刚性匹配,带束层加宽可提高车辆的操控性能,但会导致行驶时的冲击颠簸加大,从而影响转弯能力和驾乘舒适性。前后轴轮胎是否达到好的均衡非常关

键,因此单个轮胎的测试数据只能作为参考,还是需要通过主观评价来进行最终的判断。

##### 2.3.1.2 客观评价

室外实车客观评价包括汽车滑行试验以及欧盟轮胎标签法要求的通过噪声、湿滑路面附着性能、操控性能、舒适性、干地制动性能等客观评价试验,主要通过测试仪器在试验场地内进行测量并分析数据。测试时使用非接触汽车测试仪、高度计、陀螺仪、方向盘测力传感器、数据采集传输仪和油耗仪等<sup>[6]</sup>,必要时可以使用机器人。

汽车滑行试验主要包括车辆行驶燃油或耗能效率的测试及SAE J 1236滑行测试;水漂测试主要研究纵向和横向的水漂性能,测试方法分为滑行法和加速法,可采用整车涉水或一侧涉水的方式,在欧洲水漂测试是轮胎测试中的重点项目之一;动态印痕测试研究动态的接地印痕、花纹动态模拟、磨损和驾驶预测等;另外还包括NVH、摇摆和抖动、舒适性和操控稳定性测试等。

法规测试包括通过噪声、抗湿滑性能、翻滚测试、正弦停滞测试及快速失压等试验。通过噪声试验适用于欧盟标签法、ECE R117,ISO 362,ECE R52等法规测试;牵引拖车法适用于欧盟标签法的抗湿滑性能测试、轿车轮胎制动牵引性能测试及轻型载重轮胎动态力和力矩测试等;快速失压测试装置用于模拟轮胎突然爆裂的测试。

##### 2.3.1.3 试验场

国内试验场目前已具有一定的规模,主要有中汽试验场、交通部公路交通试验场、山东中亚轮胎试验场、海南热带汽车试验场、湖北襄阳达安汽车试验场、安徽定远汽车试验场、重庆垫江试验场、广德试验场等;冬季试验场有红河谷试验场、牙克石试验场。国内试验场主要面向国内车厂开发、产品认证和开发流程的支持。国外试验场主要有德国的法兰克福试验场、芬兰的冬季试验场、韩国的大邱试验场以及美国俄亥俄州的亚克朗试验场。这些试验场各有特点,可以结合地域、设备能力、试验能力和人员能力等方面进行选择。

##### 2.3.2 操控稳定性

操控稳定性主要研究在干路面、湿路面、雪地和冰面的转向、稳定性和极限抓地力,包含直线性能和转向性能评价。直线性能评价分稳态和瞬

态,大多考虑对胎侧的尺寸和结构进行改善。转向性能来自于轮胎运动方向与车辆行驶方向的差别而形成的侧偏角,评价包括偏中心测试、转向过度/转向不足测试和延迟性能测试等,大多考虑对胎面的尺寸和结构进行改善。

需要注意的是湿地操控稳定性是欧洲要求必须测试的项目,一般水膜厚度标准为1~3 mm,测试前应确认轮胎的磨损程度、水膜厚度和风速等。

接地印痕形状越接近矩形,接地面积越大,轮胎的操控稳定性越好。另外,还应注意挤出时的稳定性、接头的质量、成型设备参数、胎坯不圆度、模具安装、后充气及动平衡均匀性检测等。

在开发设计阶段可以通过以下措施增大轮胎的侧偏刚度:①低高宽比;②增大带束层宽度;③加强胎圈反包区域;④减小花纹沟深度。在使用阶段可以通过以下措施增大轮胎的侧偏刚度:①增大充气压力;②增大轮胎负荷;③增大轮辋宽度;④增大外倾角<sup>[7]</sup>。

### 2.3.3 舒适性

实车舒适性测试是在不同路面、不同行驶速度下感受花纹噪声、路面噪声及振动缓冲吸收情况,包括方向盘的振动及收敛安定性<sup>[8-9]</sup>。舒适性主要研究冲击力、摇摆、振动、弹性记忆和噪声等。

车辆结构分为弹簧上端质量和弹簧下端质量。弹簧上端质量包括悬架、底盘、车身、发动机等,弹簧下端质量包括轮胎及轮辋等。一阶舒适性涉及到轮胎、轴和悬架等,对应较大的变形,如通过减速带;二阶舒适性主要研究振幅和阻尼的影响,对应小的变形和响应,主要涉及轮胎。另外还有动平衡均匀性引起的舒适性问题。

车辆的舒适性很大程度上取决于轮胎的缓冲性能。缓冲性能就是轮胎在负荷下的径向变形,这个变形可以吸收车辆在不平道路上所受到的冲击,但过大的径向变形会导致骨架材料受应力过大而疲劳,使胎体被破坏,因此轮胎的缓冲性能应控制在一定的范围之内。

(1)舒适性频率。舒适性频率范围主要是指100 Hz以下的振动,其中外部因素有轮胎、悬架、道路条件、风和动态行为等。在100~300 Hz范围内轮胎振动因固有模态进行传递;在300~800 Hz范围

内因轮胎反复振动而产生结构传递和空气传播。

轮胎由于带束层、胎体结构等会引起多种频率下的固有振动,即模态。轮胎模态应取决于车辆的特性。

应该注意的是,轮胎振动方向不同,固有振动频率也不同,如扭转运动的频率为40~60 Hz;垂直运动的频率为70~120 Hz;前后运动的频率为80~130 Hz;轮胎空腔内的振动频率为210~250 Hz。

可以通过竞品分析进行模仿设计,以便得到与车辆性能相匹配的轮胎性能方向。内容包括:竞品轮胎的基本信息,如尺寸、质量、轮廓和刚度等;振动特性,如固有频率、频响函数等,动态特性,如轮胎的包络性、振动衰减均匀性和高速均匀性等。

(2)轮胎舒适性的主要设计因素应包括:

①轮胎刚性,主要考虑胎面的硬度、模量、弹性等;②阻尼,主要考虑冠带条、带束层和胎体等帘线的刚度;③质量,主要考虑胎面的体积和厚度;④变位量(指与标准的差异大小),主要考虑三角胶高度、模具轮廓(断面宽、水平轴以下的高度占总高度的比值),如增大三角胶高度可以提高轮胎的舒适性,减小三角胶高度可以提高轮胎的振动衰减能力<sup>[10]</sup>。

另外,不同的悬架质量对舒适性频率变化和刚性均有影响。车辆质量较大时,振动较少,晃动较小,反之质量较小时,振动较多,晃动较大。因此,当乘车人数较多时感受到的舒适性就相对较好;因电池质量导致新能源汽车质量增大,舒适性也相对较好。

(3)轮胎冲击力。以过10 mm的坎为例,假设车辆质量为1 t,对应轮胎可以假想为垂直弹簧,过坎的冲击力与弹力一致,弹力小时过坎的舒适性较好,因此变位量大的轮胎舒适性较好。

(4)平点现象。平点现象会导致接地面的帘线变形,进而影响轮胎的舒适性。平点检测是基于轮胎的均匀性指标来考察轮胎在生成平点后的恢复能力。对轮胎进行加热或高速运转并测量其均匀性后,在一个平面上承受规定时间的静态载荷;然后测试其均匀性,运转并观察平点消失的恢复时间。

需要注意的是,平点生成前需进行暖胎,可消

除加工过程中的各种残余影响,使轮胎性能更稳定,而且测试负荷保持稳定的状态,平点对径向力及牵引力的影响较大,对侧向力基本无影响。

影响轮胎舒适性的因素还有其他原因,如轮胎不圆度、载荷的反弹变化等,这些都会造成车辆

与轮胎发生共振、振动和噪声等。

### 2.3.4 实车评价结果分析

实车评价性能对轮胎设计项目变更的影响程度如表1所示,A表示影响大,B表示影响中等,C表示影响小。

表1 实车评价性能对轮胎设计项目变更的影响程度

项 目	NVH			水漂	牵引	制动性能			舒适性和操控稳定性		轮胎轮辋 滑移量	耐磨 性能
	车内花纹 噪声	车内均方 根值噪声	通过噪声			干地	湿地	湿地抓着	舒适性	操控稳定性		
花纹	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	C	A
胎面胶配方	B	B	B	C	C	A	A	A	B	B	B	A
轮廓	B	B	B	C	C	B	B	B	B	B	C	B
带束层密度	C	B	C	C	C	B	B	B	B	B	C	C
带束层角度	C	B	C	C	C	B	B	B	B	B	C	C
胎体材料	C	B	C	C	C	C	C	C	B	B	C	C
三角胶高度	C	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
胎面厚度	C	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
胎体反包高度	C	C	C	C	C	C	C	C	B	B	C	C
钢丝圈	C	C	C	C	C	C	C	C	B	B	A	C

### 3 结论

(1) 前端分析和车辆分析是对轮胎配套项目的前期考察,其重要性往往会被忽视。只有通过认真的前期考察工作,才能确定开展项目的必要性,否则很容易造成各方的损失。

(2) 项目初期阶段应集中资源进行可行性分析,根据法规和车厂的期望确定产品设计和质量目标,开发初期就要完成90%以上的设计变更,以避免量产阶段的变更,这样才能够大幅降低费用。

(3) 产品质量先期策划是用来确保轮胎质量、产品交付和成本管理,满足车厂要求的一种方法,也是跨功能小组积极配合的结果。在产品开发过程中,为实现以多样的视角和在职能范围内积极有效地沟通和成果,应建立完善的信息管理体系。

(4) 轮胎接地印痕形状的变化会对转向、操控、舒适、噪声、水漂等性能产生影响,因此轮胎开发离不开接地印痕的研究。

(5) 轮胎行业每年在新材料和设计研发上投入大量的精力和资源,就是为了降低滚动阻力,以满足不断提高的法规和性能要求。在实际使用中应注意,只有当轮胎保持合适的充气压力时,所有

降低滚动阻力的措施才有意义。

(6) 车厂对轮胎的舒适性要求越来越高。无论是运动型还是豪华型车辆,驾乘舒适性都会受到轮胎的影响,因此,需要轮胎与车辆相匹配才能达到最佳的舒适性。通过轮胎主观主价与客观评价相结合的方法可以提高评价结果的准确性。

### 参考文献:

- [1] 聂微. 工厂质量管理五大手册应用指南:最新版产品质量先期策划/CP/PPAP/FMEA/SPC/MSA实施指南[M]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [2] 李昊,邓世涛,王琰,等. 配套205/55R16轮胎的设计和开发[J]. 轮胎工业,2017,37(11):657-663.
- [3] 龚科学,危银涛,叶进雄. 基于热力学有限元分析的轮胎滚动阻力仿真[J]. 中国机械工程,2009,20(5):626-629.
- [4] 陈建国,黄炽强,周涛,等. 205/55R16低滚动阻力轿车子午线轮胎的设计开发[J]. 橡胶科技,2020,18(12):706-709.
- [5] 陈琛. 滚动阻力及米其林绿色轮胎[J]. 汽车与配件,2009(8):73.
- [6] 张勇,刘坤,乔元梅,等. 轮胎性能实车评价与室内评价的关联性研究[J]. 橡胶科技,2020,18(10):589-593.
- [7] GENT A N, WALTER J D. 轮胎理论与技术[M]. 危银涛等,译. 北京:清华大学出版社,2013:408-413.
- [8] 周海超,陈青云,李慧云,等. 花纹结构对轮胎气动噪声影响的风洞试验研究[J]. 橡胶工业,2020,67(11):821-826.
- [9] 沙雷,梁荣亮,雷斌. 轮胎操纵稳定性及舒适性主观评价的研究[J]. 北京汽车,2020(3):18-21,43.
- [10] 姜贺贺. 路面冲击下车轮负载特性研究[D]. 长春:吉林大学,2017.

收稿日期:2023-05-21

## Discussion on Main Points and Key Technologies for Tire Matching

ZHANG Yong<sup>1</sup>, WANG Jun<sup>1</sup>, HAO Pengcheng<sup>1</sup>, SUN Xiaoming<sup>1</sup>, WANG Mingjie<sup>1</sup>, MA Yonglu<sup>2</sup>

(1. Doublestar Group Co., Ltd, Qingdao 266400, China; 2. Huangdao District Inspection and Testing Center, Qingdao 266400, China)

**Abstract:** The points to note and key technologies for tire matching were introduced. The key points to note for tire matching included front-end analysis, vehicle information analysis and advanced product quality planning. Over 90% of design changes should be completed in the early stages of development to significantly reduce costs. In terms of key technologies for tire matching, the effect of ground footprint on tire steering, handling, comfort, noise, water drift of the tires, low rolling resistance tire design, and technical points and solutions for comfort in real vehicle evaluation were mainly introduced.

**Key words:** tire; matching; advanced product quality planning; ground footprint; rolling resistance; comfort; real vehicle evaluation

### 《工业重点领域能效标杆水平和基准水平 (2023年版)》发布

2023年7月4日,国家发展和改革委员会(简称发改委)等5部门联合发布《工业重点领域能效标杆水平和基准水平(2023年版)》的通知。此举旨在加快有关行业节能降碳步伐,进一步推动落后产能出清进度。

在2021版文件中煤制焦炭等25个重点领域能效标杆水平和基准水平的基础上,本版文件中新增乙二醇、尿素、钛白粉、聚氯乙烯、精对苯二甲酸、子午线轮胎、工业硅、纸中原纸、棉/化纤及混纺机织物、针织物(包括纱线)、粘胶短纤维11个领域,进一步扩大工业重点领域节能降碳改造升级范围。其中,全钢和半钢子午线轮胎的单位产品能耗(每吨产品消耗的标准煤质量)标杆水平分别为235和290 kg,基准水平分别为340和430 kg。

通知要求强化能效水平引领,做好工作统筹衔接,完善相关配套政策,依据能效标杆水平和基准水平,稳妥有序地推动分类节能降碳技术改造升级。对拟建、在建项目,应对照能效标杆水平建设实施,推动能效水平应提尽提,力争全面达到标杆水平。对能效介于标杆水平和基准水平之间的存量项目,鼓励加强绿色低碳工艺技术装备应用,引导企业应改尽改、应提尽提,带动全行业加大节能降碳改造力度,提升整体能效水平。对能效低

于基准水平的存量项目,各地要明确改造升级和淘汰时限,对于不能按期改造完毕的项目进行淘汰。之前明确的25个领域原则上在2025年年底前完成技术改造或淘汰退出,新增的11个领域原则上应在2026年年底前完成技术改造或淘汰退出。

(本刊编辑部)

### 海南橡胶收购合盛农业股权

近期,海南天然橡胶产业集团股份有限公司(简称海南橡胶)收购合盛农业集团(简称合盛农业)股权事项收官。海南橡胶以协议转让方式受让合盛农业36.00%股权,并通过强制要约获得32.10%股权,最终合计持有合盛农业68.10%已发行普通股,成为合盛农业的间接控股股东。

合盛农业拥有优质天然橡胶加工资源,已形成覆盖种植-加工-销售的全产业链和全球主要地区的布局,其种植端主要布局在喀麦隆,加工端位于印度尼西亚、泰国和中国,且已构建覆盖欧洲、北美和亚洲的全球销售网络。其天然橡胶自种植产量为2万t、加工量为87万t、加工产能为143万t。

目前,海南橡胶拥有多个天然橡胶销售贸易端平台,橡胶产品销往亚洲、欧洲、北美等地,年贸易量为310万t,占全球的22%,在全球天然橡胶行业拥有较强的影响力和市场竞争力。

(摘自《中国化工报》,2023-06-28)