

轮胎耐磨性能探讨与出租车专用轮胎的开发

任振兴,王鹭飞,韩磊,马丽华,王君,徐伟,刘杰,孙超

(青岛双星轮胎工业有限公司,山东 青岛 266400)

摘要:分析轮胎磨损的影响因素和轮胎磨损机理,介绍205/55R16 91V出租车专用轮胎的开发。针对出租车轮胎的使用特点,对轮胎的结构和胎面胶配方等进行设计。成品性能试验结果表明,轮胎的充气外缘尺寸、强度、脱圈阻力、高速性能和耐久性能均达到相应的国家标准要求,同时轮胎的耐磨性能满足出租车行驶里程需要。

关键词:出租车专用轮胎;结构设计;施工设计;耐磨性能;成品轮胎性能

中图分类号: TQ336.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2024)03-0145-05

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2024.03.0145



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着新能源技术的不断发展,燃油汽车尾气排放造成的大气污染问题逐步得到遏制。但轮胎磨损会产生有害的微小颗粒物,也会造成环境污染。

轮胎是完全暴露在外界唯一与地面接触的汽车部件。车辆能够在路面上产生横向、纵向等运动,完全是由轮胎与地面接触的作用结果。在车轮滚动过程中,由于轮胎与地面之间的相对运动,使轮胎的胎面、胎侧和胎圈等部位受到应力作用,根据能量守恒定律,在受力变形过程中必然消耗一定的能量。胎面磨损是轮胎与地面在各种作用形式和环境条件下相互作用、胎面胶逐渐脱落的过程。胎面磨损直接影响轮胎的使用寿命^[1]。

1 轮胎磨损的影响因素

1.1 外部因素

轮胎在使用过程中受到外部环境的影响,初期具有的机械性能、外观、形状等随着使用时间的延长而发生变化。

在氧气和臭氧的作用下,橡胶的交联结构会与氧气和臭氧发生反应,使得胶料的物理性能下降。橡胶在高温下会产生分解,低温下会发生脆化现象。在外界高低温度的影响下,当受外力作用时橡胶会产生内部和外部的开裂等问题。在光的作用下橡胶也会劣化,橡胶分子链之间的网状

结构会发生断裂,轮胎表面出现断裂、发粘、硬化、喷霜和龟裂等现象。橡胶遇到油或有机溶剂时会膨胀,导致胶料的物理性能下降。油的扩散速度随着温度升高而加快,因此在高温下橡胶的劣化速度更快。

在外界因素的影响下,橡胶的弹性和抗撕裂性能等大幅降低,对轮胎磨损产生较大的影响。同时,不同车辆的驱动和制动装置以及驾驶方式和习惯等都对轮胎的磨损产生一定的影响。研究表明^[2]:轮胎的行驶速度越快、充气压力越小或负荷越大,胎面的磨损速率越大;制动和侧偏工况下胎面的磨损速率均远大于自由滚动下胎面的磨损速率。

1.2 内部因素

由于轮胎是由多部件、多材料组合而成,不同的胎体材料、花纹角度、花纹饱和度等都对轮胎的磨损产生一定的影响。

陈龙等^[3]研究了花纹角度对轮胎磨损的影响。结果表明:花纹块的磨损主要发生在前进方向的侧面,且与该侧面垂直的前表面也易产生磨损,在两个表面交界处的磨损最显著;花纹磨损偏角明显影响花纹块的耐磨性能,随着花纹角度的增大,花纹块同一位置区域磨损宽度逐渐增大,磨损表面形成的凹坑也逐渐变大;在仿真分析中,应力分布可以表征花纹块的磨损程度。

龙飞飞等^[4]研究了不同炼胶工艺对半钢轮胎耐磨性能的影响。结果表明,采用新型炼胶工艺

作者简介:任振兴(1991—),男,山东青岛人,青岛双星轮胎工业有限公司工程师,学士,主要从事轮胎研发工作。

E-mail: 869833634@qq.com

可以改善炭黑和白炭黑的分散性,提高胎面胶的耐磨性能。

2 轮胎磨损机理

轮胎不仅承载汽车质量,而且还起到驱动、转向和制动的作用,因受到各方向应力的作用会导致胎面磨损。轮胎从刚开始的缓慢磨损到最终的严重磨损可分为不同的种类。

2.1 变形损失摩擦磨损

不同路面的粗糙程度不同,由于路面的凹凸导致胎面部位的橡胶产生变形,车辆在行驶过程中,压缩与回弹反复进行,在这个过程中产生一定的能量损失,橡胶发生细小的劣化,轮胎产生轻微破损磨损,一般为轮胎自由转动下产生的细小轻微磨损。

2.2 粘着摩擦磨损

在制动力和驱动力的作用下,轮胎与路面产生粘着摩擦力,在行驶过程中,轮胎与路面反复产生脱离与粘着,发生能量损失,橡胶表面产生磨损。

2.3 弯曲摩擦磨损

车辆在行驶过程中会出现不同程度的紧急制动和急转弯等情况,轮胎会冲击路面,橡胶受到较强的剪切应力而发生能量损失,轮胎产生鳞状粗糙磨损,轮胎表层至里层产生磨损。

2.4 冲击摩擦磨损

车辆在混凝土和沥青等粗糙路面上行驶时受到较强的剪切应力作用,轮胎表面出现破损磨损,路面越粗糙,车辆行驶速度越快,负荷越大,剪切应力远大于胎面胶的拉伸强度,轮胎磨损越严重。

3 轮胎异常磨损

3.1 胎肩磨损

轮胎两侧胎肩产生异常磨损的主要原因是轮胎充气压力偏低或轮辋宽度大于标准轮辋,因此轮胎在使用过程中需要及时补足充气压力且采用标准轮辋进行安装。胎肩异常磨损实例见图1。

3.2 中心部位磨损

胎面圆周中心部位出现异常磨损的主要原因是轮胎充气压力偏高或轮辋宽度小于标准轮辋,因此轮胎在使用过程中需要及时调整充气压力且采用标准轮辋进行安装。中心部位异常磨损实例见图2。

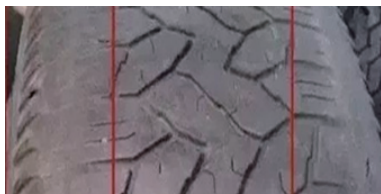


图1 胎肩异常磨损

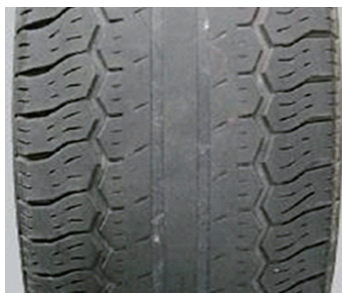


图2 中心部位异常磨损

3.3 对角磨损

胎肩部位至对面胎肩部位出现一定角度或不规则角度磨损的主要原因是车轮定位异常或制动锁死,因此轮胎在使用过程中需要定时对车辆进行四轮定位。胎面对角磨损实例见图3。



图3 胎面对角磨损

3.4 羽毛状磨损

胎面圆周方向呈羽毛状或波浪状磨损的主要原因是车轮定位异常、急侧偏或车辆打滑,因此需要定期对车辆进行保养定位。羽毛状磨损实例见图4。

3.5 偏磨

胎面圆周上一侧产生磨损的主要原因是 inappropriate 的车轮定位、轮胎安装不当或没有按轮胎交换时间点进行交换,因此在偏磨发生时应及时检查轮胎的安装是否合适,并对车辆进行四轮定位。偏磨实例见图5。

4 出租车专用轮胎的开发

4.1 技术要求

参照GB/T 2978—2014,确定205/55R16 91V



图4 羽毛状磨损

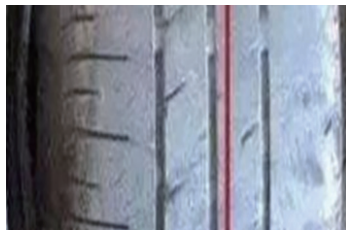


图5 偏磨

出租车专用轮胎的技术参数如下:充气外直径(D') 626~638 mm,充气断面宽(B') 205~223 mm,标准轮辋 6.5J,标准充气压力 250 kPa,标准负荷 615 kg,负荷指数 91,速度级别 H,轮胎前轮要求使用寿命为12万km。

4.2 结构设计

4.2.1 外直径(D)和断面宽(B)

由于轮胎在充气后会在横向和纵向产生膨胀,不同 B 的轮胎在横向和纵向产生的膨胀大小不同,一般高系列的轮胎, B 方向的膨胀大于 D 方向的膨胀;低系列的轮胎主要是 D 方向的膨胀, B 方向的膨胀小。

为保证成品轮胎的 D 和 B 满足国家标准要求,本次设计 D 取629 mm, B 取219 mm。

4.2.2 行驶面宽度(b)和弧度高(h)

b 与轮胎的宽度息息相关, b 过小,轮胎容易早期磨肩; b 过大,容易发生肩空等问题。

为确保轮胎的耐磨性能,本次设计 b 取172 mm, h 取8.7 mm。

4.2.3 胎圈着合直径(d)和着合宽度(C)

为了保证轮胎在使用过程中易拆卸和安装,同时保证轮胎在高速行驶过程中不会产生脱圈问题,本次设计 d 取404.2 mm, C 取182 mm。

4.2.4 胎面花纹

根据耐磨轮胎的行驶路况和使用条件,胎面花纹针对节距、花纹饱和度和花纹沟深度等进行设计。合理的花纹块形状能保证花纹块每个部位

的强度均衡,避免异常磨损,提高操纵稳定性;5种节距的引入会使各节距间的变化更加合理,节距序列更加稳定,有效减小噪声峰值能量;最佳的主沟位置与宽度设定能够保持接地压力均衡,提高耐磨和抗湿滑性能;合理的钢片数量以及形态设定可以获得更好的接地压力分布;另外钢片能有效地划破水膜,使轮胎获得更好的抗湿滑性能;使用钢片加封闭式胎肩设计,在保证更好的通过噪声同时获得更长的行驶里程;多节距数量设定,可以减小大节距尺寸,有效降低噪声。

轮胎胎面花纹见图6。



图6 胎面花纹示意

(1)节距设计。采用5种节距,节距数量为70,平均节距宽度为28.2 mm。

(2)花纹饱和度设计。为提高轮胎的耐磨性能,采用较高的花纹饱和度,平均花纹饱和度为70%,横向花纹宽度约为节距宽度的11%,中间两条纵沟宽度为行驶面宽度的5.5%,肩部两条纵沟宽度为行驶面宽度的5.8%。

(3)花纹沟深度设计。为保证轮胎的使用寿命,确保轮胎能够达到目标行驶里程,结合胎面胶配方的耐磨体系,模具中心花纹沟深度为8.5 mm。

4.3 施工设计

4.3.1 胎面

考虑到出租车行驶路况复杂的特点,本次设计的原则是平衡普通路面和苛刻路面的耐磨性能。通过重点设计胎面胶配方的生胶体系和补强填充体系,在保证普通路面耐磨性能的同时兼顾沙石等苛刻路面的耐磨性能。同时,胎面基部胶采用低生热胶料,其厚度比普通轮胎胎面基部胶偏大,以避免轮胎行驶时间过长导致生热过高而出现鼓包的问题。同时增大胎面整体厚度,以确保花纹沟底基部胶厚度大于2.0 mm,较厚的花纹沟底胶能够有效地避免轮胎在行驶过程中出现沟底裂的问题。

胎面胶配方特点如下。

(1) 生胶体系: 顺丁橡胶(BR) 由于分子链柔顺性好, 玻璃化温度较低, 具有优异的耐磨性能, 因此胎面胶通常采用40~45份BR(牌号9000), 同时并用55~60份(以干胶计) 乳聚丁苯橡胶(ESBR, 牌号1723), 其相对溶聚丁苯橡胶^[5]在苛刻路面有更好的拉伸性能和抗撕裂性能, 可以减少尖锐石子带来的损伤, 但在普通路面耐磨性能会有一定的损失。天然橡胶(NR) 虽然强度高, 但其耐老化性能较差, 不利于后期磨耗, 因此胎面胶配方不选用NR。

(2) 补强填充体系: 由于BR的模量和强度较小, 需选用结构性较高的细粒子炭黑来提高胶料的模量和强度, 炭黑VQ和N234都具有较高的结构度和较大的比表面积, 但炭黑VQ的比表面积更大, 补强性能和耐磨性能更好, 因此胎面胶的补强填充体系采用68~72份炭黑VQ或炭黑N234并用5~10份高分散性白炭黑, 白炭黑可以提高胶料的抗撕裂性能。但高结构细粒子炭黑的分散相对困难, 尤其是ESBR体系, 炭黑分散性对胶料的耐磨性能产生影响, 因此需要优化混炼工艺, 另外再增加2份加工助剂可以提高炭黑分散性。

(3) 软化增塑体系: 除ESBR自身含油外, 可再增加5份以内的油, 以平衡胶料的硬度, 但油用量过大会降低胶料的耐磨性能。

(4) 防护体系: 防老剂6PPD/4020用量为2~2.5份, 防老剂TMQ/RD用量为1~2份, 防护蜡用量为1.5份。

(5) 活化体系: 氧化锌和硬脂酸的用量为4.5份。

(6) 硫化体系: 硫黄和促进剂的用量为3份, 硫黄用量过大会生成不稳定多硫键, 对胶料的耐老化性能不利。

4.3.2 胎侧、胎体和带束层

由于出租车行驶里程高, 日均行驶里程约为300 km, 这就需要轮胎具有优异的耐久性能, 同时出租车行驶路况复杂, 要求胎面和胎侧具有较强的抗冲击能力。为提高轮胎的耐久性能, 本次设计胎体采用2层1100dtex聚酯帘布, 带束层采用2层2×0.30ST钢丝帘线。为减少耐久性能试验过程中胎肩部位带束层端点重复剪切和胎侧帘布反包

端点处频繁屈挠生热, 1[#]带束层边部加贴1层厚度为0.7 mm、宽度为20 mm的贴边胶, 同时1[#]胎体的反包高度增大, 距离行驶面约25 mm。为提高胎侧的抗撞击性能, 本次设计胎侧厚度比普通轿车轮胎增大10%。

4.3.3 胎圈和三角胶

本次设计钢丝圈采用直径为0.96 mm的钢丝, 排列方式为4-5-4, 安全倍数大于6。三角胶高度为35 mm。

4.4 成品轮胎性能

4.4.1 充气外缘尺寸

轮胎的充气外缘尺寸按照GB/T 521—2018进行测量。轮胎在标准充气压力下的 D' 为630 mm, B' 为212 mm, 达到了技术要求。

4.4.2 强度和脱圈阻力

轮胎的强度和脱圈阻力按照GB/T 4502—2023进行测试。试验充气压力为180 kPa, 国家标准要求轮胎的最小破坏能为295 J, 最小脱圈阻力为8 890 N。经测试, 轮胎的破坏能为551 J, 脱圈阻力为12 460 N, 两项性能均达到国家标准要求。

4.4.3 高速性能

轮胎的高速性能按照GB/T 4502—2023进行测试。试验条件为: 充气压力 280 kPa, 负荷率为80%, 要求在 (38 ± 3) °C 的温度下停放3 h以上。轮胎高速性能试验步骤见表1。

表1 轮胎高速性能试验步骤

阶段	试验速度/(km·h ⁻¹)	行驶时间/min
1	0~230	10
2	230	10
3	240	10
4	250	10
5	260	10
6	270	10
7	停机冷却, 检查	25
8	280	10
9	290	10
10	每行驶10 min增大10 km·h ⁻¹	损坏为止

经测试, 轮胎的高速性能通过270 km·h⁻¹×2 min阶段, 达到了国家标准要求(≥ 240 km·h⁻¹)。

4.4.4 耐久性能

轮胎的耐久性能先按照GB/T 4502—2023进行测试, 超过国家标准要求(≥ 34 h) 后再按照企业标准进行测试。试验条件为: 充气压力

180 kPa,要求在 $(38\pm 3)^\circ\text{C}$ 的温度下停放3 h以上,试验速度 $120\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;低气压下行驶时间 $\geq 1.5\text{ h}$,低气压为140 kPa,要求在 $(38\pm 3)^\circ\text{C}$ 的温度下停放3 h以上,试验速度与常规耐久性能试验相同。轮胎耐久性能试验步骤见表2。

表2 轮胎耐久性能试验步骤

阶段	负荷率/%	行驶时间/h
1	85	4
2	90	6
3	100	24
4	停机冷却,按照低气压标准调整充气压力后停放2 h	
5	100	1.5
6	停机检查,冷却15~25 min,调整至常规充气压力	
7	110	10
8	120	10
9	130	10
10	140	10
11	150	损坏为止

经测试,轮胎的累计行驶时间为60 h,试验结束时轮胎未损坏,达到了标准要求。

4.4.5 实车行驶里程

选择205/55R16 91V燃油出租车为试验车型,整车4条轮胎换装,路试期间不更换轮位,试验地点为青岛市,城市铺装路面约占90%,高速道路约占10%,中长途距离为50~500 km,短途距离小于50 km,车辆平均行驶速度为 $60\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,载质量小于0.7 t,轮胎充气压力为250 kPa。

经过约14个月的实车行驶里程试验,轮胎

的行驶里程约为11万km,前轮平均磨耗量为3.4 mm,平均单位磨耗里程为 $33\,000\text{ km}\cdot\text{mm}^{-1}$;后轮平均磨耗量为2.2 mm,平均单位磨耗里程为 $51\,600\text{ km}\cdot\text{mm}^{-1}$,预计轮胎前轮的使用寿命约为20万km,后轮的使用寿命约为27万km。

5 结语

轮胎对汽车的承载、操纵和制动等起到决定性的作用,轮胎的耐磨性能越好,不仅能够节约汽车的使用成本,更能降低空气中有害颗粒的排放,减少大气污染。轮胎的耐磨性能受内部和外部等因素的影响,同时轮胎的结构和配方等都对轮胎的耐磨性能产生重要影响。205/55R16 91V出租车专用轮胎的充气外缘尺寸、强度、脱圈阻力、高速性能和耐久性能均达到相应的国家标准要求,同时轮胎的耐磨性能满足出租车行驶里程需要。

参考文献:

- [1] 曾凯凯,王伟,王广博. 浅谈汽车轮胎磨耗试验[J]. 汽车实用技术, 2021,46(16):110-113.
- [2] 王洁,李钊,李子然. 制动工况下不同滑移率轮胎胎面的磨耗行为研究[J]. 橡胶工业,2021,68(8):563-568.
- [3] 陈龙,吴健,王友善,等. 花纹角度对轮胎磨耗机理的影响[C]. “万力杯”第20届中国轮胎技术研讨会论文集. 北京:中国化工学会橡胶专业委员会,2018:153-157.
- [4] 龙飞飞,刘鹏,郭志钢,等. 不同炼胶工艺对半钢轮胎磨耗性能的影响[J]. 橡塑技术与装备,2021,47(3):41-45.
- [5] 刘华侨,李红卫,顾培霜,等. 不同牌号溶聚丁苯橡胶的实用性评价方法探讨[J]. 轮胎工业,2022,42(9):536-541.

收稿日期:2023-10-17

Exploration of Tire Wear Resistance and Development of Special Tire for Taxi

REN Zhenxing, WANG Lufei, HAN Lei, MA Lihua, WANG Jun, XU Wei, LIU Jie, SUN Chao

(Qingdao Doublestar Tire Industry Co., Ltd, Qingdao 266400, China)

Abstract: The influencing factors and mechanism of tire wear were analyzed, and the development of 205/55R16 91V taxi-specific tires was introduced. The tire structure and tread compound formula based on the usage characteristics of taxi tires were designed. The test results of finished tires showed that, the inflated peripheral dimension, strength, bead resistance, high-speed performance and durability of the tire met the corresponding national standards, and the wear resistance of the tire met the needs of taxi driving mileage.

Key words: taxi-specific tires; structural design; construction design; wear resistance; finished tire performance