

磨损轮胎的性能研究

李方舟,黄宗茂,王代华,陈其忠,毛德政

(怡维怡橡胶研究院有限公司,山东 青岛 266045)

摘要:使用4个规格、不同剩余花纹深度的磨损轮胎,通过实车测试研究磨损率对轮胎性能的影响。结果表明,随着磨损率增大,轮胎的滚动阻力系数呈先增大后减小的趋势,接地面积呈先减小后增大的趋势,干地制动性能呈先降低后提高的趋势但变化较小,湿地制动性能明显降低。

关键词:轮胎;磨损;滚动阻力系数;干地制动性能;湿地制动性能

中图分类号:TQ336.1

文章编号:2095-5448(2023)10-0481-05

文献标志码:A

DOI:10.12137/j.issn.2095-5448.2023.10.0481



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎是车辆中唯一与地面接触并承受载荷的重要零部件,对车辆的驾驶安全性、舒适性和操纵性能等有重要影响。在轮胎使用过程中,磨损不可避免,磨损后的轮胎花纹沟深度减小,轮廓改变,胶料老化,轮胎的各项性能发生变化。王文军等^[1]将新轮胎与行驶1万km的磨损轮胎进行冰地性能对比研究发现,轮胎的冰面抓着性能随磨损发生改变,新轮胎的冰面抓着性能无法反映轮胎在整个生命周期的性能状况。K. R. S. WRIGHT等^[2]研究老化和磨损对235/55R19轮胎刚度和纵向摩擦特性的影响发现,磨损前后轮胎纵向摩擦力的变化幅度为10%,而轮胎刚度变化不大。F. BIESSE等^[3]通过大量统计及测试发现,与新轮胎相比,剩余花纹深度为2.0 mm的轮胎的湿地制动距离延长10 m以上,易引发交通安全事故。

目前联合国世界车辆法规协调论坛(UN/WP29)正在讨论制定磨损轮胎湿地性能法规,轮胎在全生命周期内的性能研究和管控将成为趋势。本工作使用4个规格轮胎,经过实车路试后获得剩余花纹深度不同的磨损轮胎,分别进行滚动阻力、接地压力分布和干/湿地制动性能测试,研

究磨损程度对轮胎性能的影响。

1 实验

1.1 测试轮胎

为保障轮胎磨损速率相近,本工作所有路试车辆均为出租车,轮胎规格与车辆原配轮胎相同,轮胎及车辆信息如表1所示。

表1 路试轮胎及车辆信息

轮胎规格	初始纵沟深度/mm	路试地点	路试车型
205/55R16	7.09	青岛	斯柯达速派
205/60R16	6.95	海口	东风俊风E11K
205/50R17	7.47	青岛	吉利EV450
215/50R17	7.44	青岛	北汽EU5

注:测试轮胎纵沟数量均为4,均按4条纵沟的平均深度进行磨损情况对比。

因测试车辆的驱动方式均为前置前驱,前轮轮胎磨损量较后轮轮胎大,且车辆行驶路况及驾驶习惯各不相同,导致磨损后轮胎的剩余花纹深度有较大差异。为研究不同磨损程度下轮胎的性能变化,按剩余花纹深度进行分组(4条深度相近的轮胎归为一组进行制动测试),测试轮胎的磨损信息及制动测试的安装轮位如表2所示。

1.2 测试项目及方法

(1)室内测试。滚动阻力,测试标准为ISO 28580:2018。接地压力分布,充气压力为220 kPa,

作者简介:李方舟(1992—),男,山东青岛人,怡维怡橡胶研究院有限公司工程师,硕士,主要从事轮胎结构设计及性能研究工作。

E-mail:525957934@qq.com

表2 轮胎磨损及测试信息

轮胎规格	磨损时间/月	磨损里程/万km	剩余花纹		平均磨损率/%	制动测试轮位
			深度/mm	深度百分率/%		
205/55R16	14	6.8	6.59	91	16.5	右前轮
	10	5.4	6.44	88		左前轮
	16	6.1	6.24	84		左后轮
	14	6.8	5.50	71		右后轮
205/55R16	16	7.6	4.10	45	48.0	右前轮
	16	6.1	4.38	50		左前轮
	15	8.1	4.51	53		左后轮
	16	7.6	4.91	60		右后轮
205/60R16	4	4.2	5.88	80	24.0	右前轮
	4	4.2	5.83	79		左前轮
	4	4.1	5.66	76		左后轮
	4	4.1	5.27	69		右后轮
205/60R16	4	5.4	2.10	9	81.5	右前轮
	4	4.1	2.85	23		左前轮
	4	4.2	2.86	23		左后轮
	4	4.2	2.64	19		右后轮
205/50R17	10	6.3	3.44	31	53.5	右前轮
	12	5.0	4.60	51		左前轮
	12	5.0	4.59	51		左后轮
	14	8.0	4.72	53		右后轮
205/50R17	10	2.4	7.07	93	9.0	右前轮
	10	2.4	7.12	94		左前轮
	11	6.0	6.82	89		左后轮
	10	6.3	6.76	88		右后轮
215/50R17	10	4.3	6.97	92	16.0	右前轮
	10	4.3	6.85	90		左前轮
	14	9.8	6.11	77		左后轮
	11	11.0	6.11	77		右后轮
215/50R17	10	4.3	5.30	63	35.8	右前轮
	10	6.1	5.21	61		左前轮
	15	4.0	5.33	63		左后轮
	10	4.3	5.70	70		右后轮
215/50R17	11	11.0	4.11	43	54.3	右前轮
	9	11.0	3.85	38		左前轮
	14	9.8	4.28	46		左后轮
	10	6.1	4.89	56		右后轮

注:因4种轮胎初始花纹深度不同,为研究轮胎性能与磨损情况的对应关系,本研究磨损程度用磨损率对比。剩余花纹深度百分率=(磨损后剩余花纹沟平均深度-1.6)/(新轮胎花纹沟平均深度-1.6)×100%,磨损率=100%-剩余花纹深度百分率。

试验载荷为轮胎最大载荷的70%。

(2)室外测试。干湿地制动测试,测试车辆为大众高尔夫8,测试场地为山东招远IDIADA汽车试验场,沥青路面,湿地制动水膜厚度为1.0 mm。干湿地制动条件均为速度100 km·h⁻¹降至零,充气压力为220 kPa,试验载荷为轮胎最大载荷的70%。制动测试时每条轮胎至少完成6次有效测

试,取6次测试的制动距离平均值。每组测试均选用未磨损的新轮胎作为基准,参照欧盟ECE R117法规进行数据修正。使用Racelogic Vbox 3i数据采集系统记录制动距离并辅助分析。

2 结果与讨论

2.1 滚动阻力系数

轮胎滚动阻力系数是影响车辆能耗的重要指标,随着滚动阻力系数的减小,车辆的能耗降低^[4-6]。选取不同规格的磨损轮胎进行滚动阻力测试,结果如图1所示。滚动阻力性能指数以新轮胎为100计,指数大,代表滚动阻力性能好。

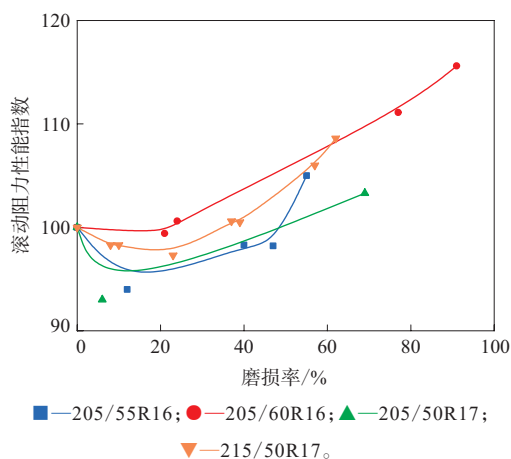


图1 轮胎滚动阻力随磨损率的变化趋势

从图1可以看出,随着轮胎磨损率的增大,4个规格磨损轮胎的滚动阻力性能均呈现先降低后提高(即滚动阻力系数先增大后减小)的趋势。

随着轮胎磨损,滚动阻力性能受两方面因素影响:(1)轮胎部件中胎面的形变及能量损耗最大,随着磨损率的增大,胎面胶体积减小,轮胎的滚动阻力系数减小;(2)轮胎在实车路试磨损中,行驶面宽度增大,导致滚动阻力系数增大,另外轮胎在使用过程中,防老剂逐渐析出,胶料发生老化,导致滚动阻力系数增大,老化程度与轮胎的行驶里程和温度及胎面胶的生胶体系和防老化体系等因素有关。实车路试的后轮轮胎磨损率较低,行驶时间和里程长,老化程度高,与磨损较快的前轮轮胎相比,可能会呈现出不同的变化趋势。

轮胎磨损前期,胎面胶损失较少,但行驶面宽度增大较快,加上胶料老化的影响,导致轮胎滚动

阻力系数增大;当轮胎磨损率较大时,行驶面宽度变化较小,胎面胶损失较多成为影响轮胎滚动阻力的主因,导致滚动阻力系数减小。

2.2 接地压力分布

轮胎在一定充气压力和载荷下的接地印痕与轮胎的使用性能息息相关。本工作从接地面积、花纹沟面积和花纹饱和度等方面分析轮胎接地压力分布。

接地面积为在测试工况下轮胎印痕中花纹块的面积。一般而言,接地面积越大,轮胎的抓性能越好。

花纹沟面积为在测试工况下轮胎印痕中花纹沟(包含花纹纵沟、横沟和刀槽)的面积,花纹沟面积等于印痕面积减接地面积。在湿地行驶时,花纹沟承担排水的作用。

花纹饱和度为接地面积除以印痕面积。

以205/55R16规格轮胎为例,不同磨损率下轮胎的接地压力分布如图2所示。轮胎的接地面积、花纹沟面积和花纹饱和度随磨损率的变化趋势如图3—5所示。

从图2—5可以看出,不同磨损率下轮胎的接地压力分布差异较大,随着轮胎磨损程度的增大,4个规格轮胎的接地面积均呈现先减小后增大的趋势;205/60R16轮胎的花纹沟面积逐渐减小,其

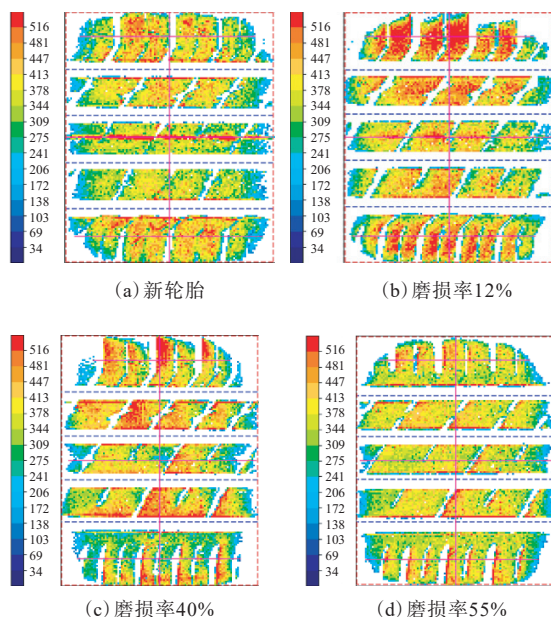
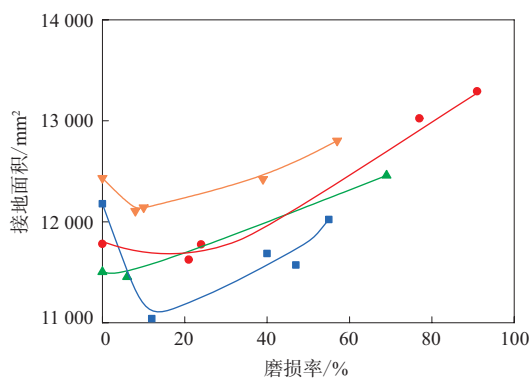
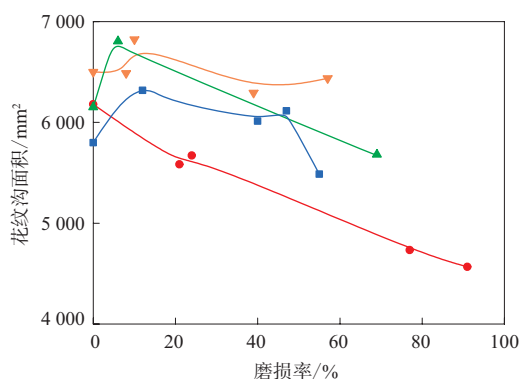


图2 不同磨损率下205/55R16轮胎的接地压力分布



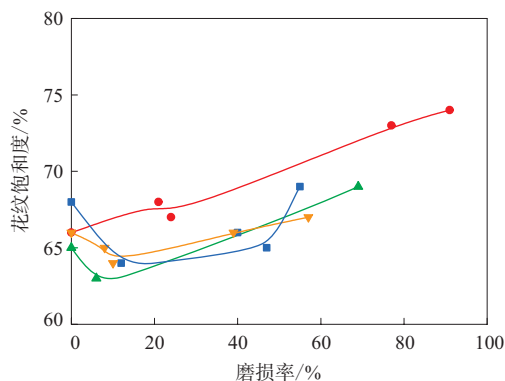
注同图1。

图3 轮胎接地面积随磨损率的变化趋势



注同图1。

图4 轮胎花纹沟面积随磨损率的变化趋势



注同图1。

图5 轮胎花纹饱和度随磨损率的变化趋势

余3个规格轮胎的花纹沟面积呈现先增大后减小的趋势;205/60R16轮胎的花纹饱和度逐渐增大,其余3个规格轮胎的花纹饱和度呈现先减小后增大的趋势。

综上所述,轮胎磨损过程中胎面花纹可能会有以下变化。

(1) 为了提高花纹块刚性及满足生产工艺要求,花纹沟壁设计有倾斜角度,花纹块截面呈梯形,使花纹沟面积随轮胎磨损而逐渐减小,接地面积则逐渐增大。

(2) 部分花纹沟、装饰图案和花纹倒角等不是全深度设计,另外轮胎上还有一些加强筋、沟内装饰凸台等设计,随着磨损率的增大,部分花纹沟和倒角等被磨损,而加强筋等露出表面,使花纹块面积增大、花纹沟面积减小。

(3) 如果新轮胎花纹块的棱边设计较尖锐,磨损后可能出现棱边破损,使花纹沟面积增大、花纹块面积减小。

(4) 轮胎磨损后,接地印痕的长度、宽度及形状等会发生变化,接地压力分布也随之变化,此外还有可能产生偏磨及畸形磨损等问题,对接地面积及印痕产生影响。

本次实车路试的轮胎中有些出现了不同程度的偏磨,偏磨与轮胎的结构、花纹、车辆参数和驾驶工况等因素有关^[7-9]。图2(b)和(c)中轮胎有一定程度的偏磨及畸形磨损,导致轮胎接地压力分布不均匀,不利于制动。

2.3 干地制动性能

在速度 $100\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 降至零的制动条件下,轮胎干地制动性能随磨损率的变化趋势如图6所示。

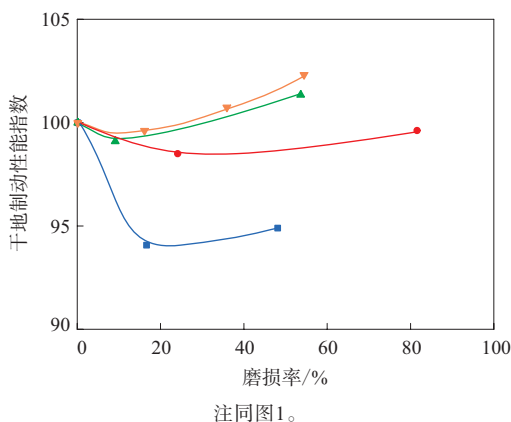


图6 轮胎干地制动性能随磨损率的变化趋势

从图6可以看出,随着磨损率的增大,4个规格轮胎的干地制动性能呈现先降低后提高的趋势。与新轮胎相比,205/55R16规格磨损轮胎的干地制动性能最大降幅为7%,其余3个规格磨损轮胎的干地制动性能差异在 $\pm 3\%$ 范围内,变化程度较小。

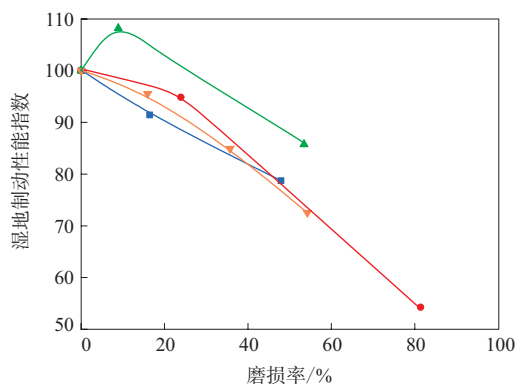
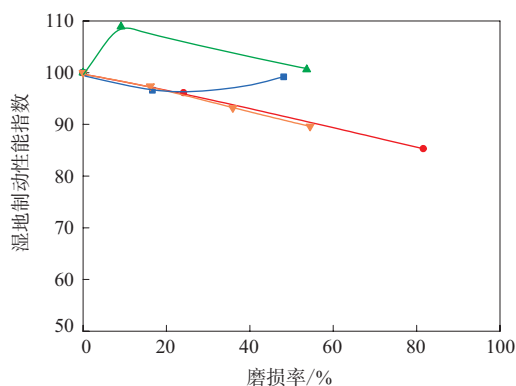
刘俊杰等^[10]以235/65R17轮胎为研究对象,对轿车轮胎的干地制动性能研究发现,胎面胶配方、轮胎骨架材料和行驶里程均会影响干地制动性能。本次干地制动试验中,不同磨损程度的轮胎接地面积不同,通常接地面积越大,轮胎的制动性能越好。根据前面的分析,随着轮胎磨损率的增大,接地面积呈现先减小后增大的趋势,这与干地制动性能变化趋势基本一致,也验证了接地面积对干地制动性能影响的结论。

2.4 湿地制动性能

在速度 $100\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 降至零的制动条件下,湿地制动性能测试结果如下:205/55R16轮胎剩余花纹深度为100%(新轮胎,下同),83.5%和52%时湿地制动距离分别为45.18、49.09和54.87 m;205/60R16轮胎剩余花纹深度为100%,76%和18.5%时湿地制动距离分别为45.23、47.62和65.99 m;205/50R17轮胎剩余花纹深度为100%,91%和46.5%时湿地制动距离分别为49.81、45.83和56.98 m;215/50R17轮胎剩余花纹深度为100%,84%,64.2%和45.7%时湿地制动距离分别为50.51、52.84、58.20和64.45 m。由此可见,随着磨损率的增大,205/50R17轮胎的湿地制动距离先缩短后延长,其余3组轮胎的湿地制动距离呈现不断延长的趋势,这与轮胎磨损后接地压力分布变化有关。当花纹磨损率为40%~60%时,轮胎的湿地制动距离较新轮胎延长7~14 m。轮胎最小剩余花纹深度为2.61 mm(205/60R16规格,磨损率为81.5%),与新轮胎相比,湿地制动距离延长20.76 m。可见,磨损对轮胎湿地制动性能影响较大,在多雨、道路湿滑地区,应注意检查轮胎剩余花纹深度,以保证驾驶安全性。

在两种制动条件下,轮胎湿地制动性能随磨损率的变化趋势如图7所示。

从图7(a)可以看出,与滚动阻力和干地制动性能相比,轮胎湿地制动性能受磨损率的影响较大。对比图7(a)与(b)可以看出,与速度 $100\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 降至零的制动条件相比,磨损轮胎在速度 $80\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 降至零的制动条件下的湿地制动性能有所提高,这是因为在湿地制动性能测试时,轮胎接地区域存在“三区(排水区、过渡区和牵引区)概念”^[11],在制动初期,行驶速度较高,轮胎排水能力对抗湿滑性能影响较大。新轮胎及磨损程度低的

(a) 速度 $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 降至零(b) 速度 $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 降至零

注同图1。

图7 不同制动条件下轮胎湿地制动性能随磨损率的变化趋势

轮胎因花纹沟深度大,排水空间大,湿地制动性能较好;磨损程度大的轮胎,部分花纹横沟完全磨损,无法切割水膜,花纹纵沟的深度较小,排水能力较弱,导致在速度 $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 降至零制动条件下的湿地制动距离较长。在制动中后期,由于速度减慢,排水能力对湿地制动性能的影响减小,过渡区和牵引区的影响增大,磨损轮胎的接地面积

大,更有利于湿地制动。

3 结论

随着轮胎磨损率的增大,轮胎的滚动阻力系数呈现先增大后减小的趋势,接地面积呈现先减小后增大的趋势,干地制动性能呈现先降低后提高的趋势但变化较小,湿地制动性能明显降低。

参考文献:

- [1] 王文军,逯艳博,梁荣亮. 轮胎冰面抓着性能与胎面磨损关联性研究[J]. 上海汽车,2018(10):26-31.
- [2] WRIGHT K R S, BOTH A T R, ELS P S. Effects of age and wear on the stiffness and friction properties of an SUV tyre[J]. Journal of Terramechanics,2019,84:21-30.
- [3] BIESSE F. Analysis of wet road usage with a driving safety concern[C]. Technischer Konress 2019. Berlin. VDA. 2019:74-91.
- [4] 朱斌,吴军,沙雷,等. 客车轮胎滚动阻力与电动客车续航里程关联性研究[J]. 中国汽车,2022(2):41-46.
- [5] 张新月,殷瑞婧,周福强,等. 整车燃油经济性与轮胎相关性的试验研究与理论分析[J]. 轮胎工业,2017,37(4):195-199.
- [6] SCHURING D J, FUTAMURA S. Rolling loss of pneumatic highway tire in the eighties[J]. Rubber Chemistry & Technology, 1990,63(3):315-367.
- [7] 卢帅,王昌宁,张鹏,等. 全钢子午线轮胎胎肩边沟设计对偏磨影响的有限元分析[J]. 轮胎工业,2020,40(6):335-338.
- [8] 于国鸿,王慎平,武茂军. 公共汽车轮胎花纹偏磨原因分析及解决措施[J]. 橡胶科技,2019,17(10):589-591.
- [9] 梁晖,王国林,梁晨,等. 行驶面宽度和弧度高对轮胎偏磨影响的有限元分析[J]. 橡胶工业,2019,66(3):207-212.
- [10] 刘俊杰,陈亚婷,仇吉伟,等. 轿车轮胎干地制动性能的研究[J]. 轮胎工业,2019,39(6):326-329.
- [11] 王梦蛟. 填料-弹性体相互作用对填充硫化胶滞后损失、湿摩擦性能和磨耗性能的影响(续一)[J]. 轮胎工业,2007,27(11):648-656.

收稿日期:2023-06-28

Study on Performance of Worn Tires

LI Fangzhou, HUANG Zongmao, WANG Daihua, CHEN Qizhong, MAO Dezheng

(EVE Rubber Research Institute Co., Ltd, Qingdao 266045, China)

Abstract: The effect of wear rate on tire performance was studied through actual vehicle testing by using 4 worn tires with different specifications and remaining pattern depth. The results showed that with the increase of the wear rate, the rolling resistance coefficient of the tire increased first and then decreased, the ground contacting area decreased first and then increased, the dry braking performance decreased first and then increased, but the change was small, and the wet braking performance decreased significantly.

Key words: tire; wear; rolling resistance coefficient; dry braking performance; wet braking performance