

低滚动阻力实心轮胎的开发

李元敬^{1,2}, 高光涛², 刘天佑^{1,2}

(1. 青岛科技大学 高分子学院, 山东 青岛 266044; 2. 贵州轮胎股份有限公司, 贵州 贵阳 550008)

摘要:介绍低滚动阻力实心轮胎的开发。花纹设计:通过适当减小周向花纹沟的数量和深度,设计出名为K3的花纹。胎面胶配方设计:采用全天然橡胶的生胶体系,并以白炭黑部分替代炭黑。成品性能测试结果表明,试验轮胎的滚动阻力降低,能耗减小,胎面胶和基部胶的物理性能均达到国家标准要求。

关键词:实心轮胎;花纹设计;配方设计;滚动阻力

中图分类号:U463.341+.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-8171(2018)00-0000-04

在现有工业车辆市场中,叉车用户占绝大部分。随着市场逐年细分,客户对轮胎产品的要求不断提高,已不再仅仅满足于轮胎的使用寿命长及磨损小,而且更加注重能源的使用效率。

叉车配套轮胎市场竞争激烈,如已有的速利达叉车轮胎有限公司、中策橡胶集团有限公司、正新橡胶(中国)有限公司等公司的各类产品。如果能开发出更进一步满足配套客户需求的产品,则更有利于公司的产品市场推广,因此研发低能耗轮胎必将提高叉车配套轮胎产品的市场竞争力,争取配套轮胎市场现有份额,从而提升公司产品的竞争力。

经过充分的市场调研,分析和判断市场发展趋势,我公司开发出低滚动阻力实心轮胎,现将试验有关情况介绍如下。

1 轮胎花纹的设计

轮胎的实际滚动阻力是影响车辆能耗的最大因素,如果能够有效地降低轮胎的滚动阻力,必将获得能耗更低的轮胎产品。本工作通过轮胎花纹的对比,开发出一种新的低滚动阻力轮胎花纹。

首先从我公司现有产品中选取1条6.50-10/5.00 OB502和1条6.50-10/5.00 K2轮胎,采用TJR-RR-TB(Y)型轮胎滚动阻力试验机(天津

久荣车轮技术有限公司产品),按照GB/T 18861—2012《汽车轮胎和摩托车轮胎滚动阻力试验方法多点试验》进行滚动阻力性能对比,按每阶段的负荷比例来增大试验运行负荷,每阶段运行25 min,记录各阶段轮胎的滚动阻力系数。不同负荷下轮胎的滚动阻力系数和滚动半径如表1所示。

从表1可以看出:在相同负荷下,K2花纹轮胎的滚动阻力系数均比OB502花纹轮胎小;与同规格进口品牌轮胎相比,高负荷下K2花纹轮胎具有更小的滚动阻力系数。

通过对K2花纹结构和花纹分布等进行分析,发现在相同配方下K2花纹轮胎的滚动阻力更低,但从表1可以看出K2花纹轮胎虽然能够降低滚动阻力,但降幅相当有限。通过适当减小周向花纹沟的数量和深度,重新开发了命名为K3的轮胎花纹。试验证明K3花纹轮胎比K2花纹轮胎具有更低的滚动阻力。分析得出,在相同胎面配方体系下,减小周向花纹沟的数量,可以在一定程度上减小轮胎与地面的摩擦频率,从而降低轮胎的滚动阻力。

采用27×10-12/8.00 K3花纹轮胎进行滚动阻力性能测试,并与同规格的K2花纹轮胎和同规格进口品牌轮胎进行对比,试验结果如表2所示。

从表2可以看出,K3花纹轮胎的滚动阻力系数与K2花纹轮胎和同规格进口品牌轮胎相比具有明显优势。由此可知,减小花纹块的分散程度能够改善滚动损失^[1]。因此新开发的低滚动阻力实心轮胎可以采用K3花纹作为定型的花纹结构。

作者简介:李元敬(1982—),男,贵州铜仁人,贵州轮胎股份有限公司工程师,青岛科技大学在职硕士研究生,主要从事橡胶配方设计及工艺管理工作。

E-mail:43743816@qq.com

表1 6.50-10/5.00不同花纹实心轮胎的滚动阻力系数和滚动半径

项 目	滚动阻力系数/%					滚动半径 ¹⁾ /mm				
	条件1	条件2	条件3	条件4	条件5	条件1	条件2	条件3	条件4	条件5
6.50-10/5.00 K2轮胎	2.478	2.307	2.117	2.192	2.218	287.9	290.5	292.0	295.3	297.7
6.50-10/5.00 OB502轮胎	2.705	2.410	2.264	2.194	2.496	290.2	293.4	295.5	298.4	300.9
同规格进口品牌轮胎	2.501	2.410	2.313	2.472	3.526	286.6	288.4	290.8	294.1	296.5

注:1)滚动半径是用各阶段行驶里程除以轮胎运行圈数所得的动态平均周长,用以辅助评估轮胎的动态粘弹性能。条件1—5负荷分别为900 kg(负荷率50%),1350 kg(负荷率75%),1800 kg(负荷率100%),2340 kg(负荷率130%),2720 kg(负荷率151%)。

表2 27×10-12/8.00不同花纹实心轮胎的滚动阻力系数和滚动半径

项 目	滚动阻力系数/%					滚动半径 ¹⁾ /mm				
	条件1	条件2	条件3	条件4	条件5	条件1	条件2	条件3	条件4	条件5
27×10-12/8.00 K3轮胎	2.013	1.949	1.911	1.898	2.013	338.5	342.6	347.7	348.2	350.5
27×10-12/8.00 K2轮胎	2.472	2.234	2.098	2.031	2.117	341.8	345.4	348.4	351.9	355.8
同规格进口品牌轮胎	2.277	2.244	2.165	2.171	2.383	346.7	349.3	349.3	355.3	358.0

注:1)同表1注。条件1—5负荷分别为1500 kg(负荷率50%),2250 kg(负荷率75%),3000 kg(负荷率100%),3900 kg(负荷率130%),4530 kg(负荷率151%)。

2 胎面胶配方的设计

2.1 试验配方

1[#]配方:天然橡胶(NR) 80,丁苯橡胶(SBR)

10,顺丁橡胶(BR,牌号9000) 10,炭黑N234

17,白炭黑7000GR 35,氧化锌 5,硬脂酸 2,抗硫化返原剂 0.5,防老剂4020 2,防老剂RD

2,硫黄/促进剂/偶联剂 3.98,其他 3.4。

2[#]配方:NR 100,炭黑N234 7,白炭黑7000GR 45,氧化锌 5,硬脂酸 2,抗硫化返原剂 0.5,防老剂4020 2,防老剂RD 2,硫黄/促进剂/偶联剂 4.34,其他 4.3。

3[#]配方:NR 80,BR9000 20,炭黑N234 7,白炭黑7000GR 45,氧化锌 5,硬脂酸 2,抗硫化返原剂 0.5,防老剂4020 2,防老剂RD 2,硫黄/促进剂/偶联剂 4.34,其他 4.3。

2.2 性能测试

胶料各项性能均按相应的国家标准测试。

2.3 小配合试验

小配合试验结果如表3所示。

从表3可以看出,2[#]配方胶料的拉伸强度最大,压缩生热总体较好。分析认为,1[#]配方加入了10份SBR,与NR相比,SBR的分子链和侧基不同,苯环侧基有较大的空间旋转位阻,因此1[#]配方胶料的压缩疲劳温升较高,而2[#]配方采用了全NR的生胶体系,NR的侧基空间位阻远小于SBR的苯环侧基,因此可以从整体上减小胶料的大部分内摩擦,故2[#]配

表3 小配合试验结果

项 目	配方编号					
	1 [#]		2 [#]		3 [#]	
硫化仪数据(145℃)						
$F_L/(dN \cdot m)$	2.23		2.68		2.40	
$F_{max}/(dN \cdot m)$	18.23		18.71		18.02	
t_{10}/min	7.48		8.33		8.38	
t_{90}/min	30.03		33.86		28.00	
硫化时间(145℃)/min	60	100	60	100	60	100
邵尔A型硬度/度	68	68	70	70	67	68
100%定伸应力/MPa	2.2	2.3	2.4	2.3	2.3	2.3
300%定伸应力/MPa	10.4	10.8	11.6	11.8	9.0	10.4
拉伸强度/MPa	19.8	21.1	21.3	22.2	19.6	20.1
拉断伸长率/%	506	498	493	487	501	496
拉断永久变形/%	10	11	9	9	9	8
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	87	90	89	87	77	80
回弹值/%	51	50	51	51	50	50
阿克隆磨耗量/cm ³	0.196	0.198	0.214	0.210	0.201	0.199
炭黑分散等级	5	5	6	5	5	5
压缩疲劳温升 ¹⁾ /℃						
中部	32.1	42.9	32.8	35.4	39.2	40.1
底部	9.4	9.6	6.0	6.7	7.6	7.2
100℃×48h老化后						
100%定伸应力/MPa	2.4	2.6	2.6	2.8	2.5	2.8
300%定伸应力/MPa	11.1	11.6	12.7	12.4	13.1	13.4
拉伸强度/MPa	20.7	22.4	22.6	23.1	20.5	20.8
拉断伸长率/%	485	474	458	461	489	471
拉断永久变形/%	9	10	8	9	8	8
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	75	87	80	80	79	77
压缩疲劳温升 ¹⁾ /℃						
中部	40.8	41.9	35.5	37.8	38.2	39.7
底部	9.5	9.8	7.1	7.5	7.6	7.2

注:1)冲程 4.45 mm,负荷 1.0 MPa,恒温室温度 55℃,压缩频率 30 Hz。

方胶料拥有较好的压缩疲劳性能。3[#]配方胶料的撕裂强度明显小于另外两组配方胶料,因此将3[#]配方用作胎面胶配方不是最优选择。总体分析发现胎面胶配方中使用大量白炭黑可以降低胶料的压缩疲劳温升,而本次开发目的是从配方设计角度来减小轮胎内部能量损耗,从而让车辆的动力更多地传递到路面,使轮胎的整体能耗减小。通过对3组配方胶料的试验结果进行分析优选后,确定2[#]配方作为低滚动阻力实心轮胎胎面胶配方。

2.4 大配合试验

采用2[#]配方进行大配合试验,试验结果如表4所示。

从表4可以看出,2[#]配方胶料的各项性能均与小配合试验结果相吻合,且高于国家标准(GB/T 10824—2008)要求,也能够工业化试产规模

表4 大配合试验结果

项 目	2 [#] 配方	国家标准	
硫化仪数据(145℃)			
$F_L/(dN \cdot m)$	2.72		
$F_{max}/(dN \cdot m)$	19.26		
t_{10}/min	9.05		
t_{90}/min	31.75		
硫化时间(145℃)/min	60	100	
邵尔A型硬度/度	70	71	67±5
100%定伸应力/MPa	2.4	2.3	
300%定伸应力/MPa	11.7	11.9	
拉伸强度/MPa	21.2	22.0	≥18
拉断伸长率/%	501	497	≥450
拉断永久变形/%	10	9	
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	93	90	
回弹值/%	51	51	
阿克隆磨耗量/cm ³	0.209	0.209	≤0.4
炭黑分散等级	6	6	
压缩疲劳温升 ¹⁾ /℃			
中部	35.2	35.6	
底部	6.2	6.4	
100℃×48h老化后			
100%定伸应力/MPa	2.8	2.9	
300%定伸应力/MPa	12.2	13.1	
拉伸强度/MPa	22.8	22.2	
拉断伸长率/%	483	489	
拉断永久变形/%	9	9	
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	92	89	
压缩疲劳温升 ¹⁾ /℃			
中部	35.6	35.8	
底部	10.5	11.0	

注:同表3。

下得到实现,因此该配方胶料可以进行成品试验。

2.5 成品试验

2.5.1 实验室验证

采用2[#]配方生产6.50—10/5.00 K3低滚动阻力轮胎,并与常规实心轮胎配方生产的6.50—10/5.00 OB502和6.50—10/5.00 K2普通轮胎进行滚动阻力性能测试,试验结果如表5所示。

从表5可以看出,采用2[#]配方生产的试验轮胎的滚动阻力系数只有普通轮胎的70%左右,这也证实了胎面胶配方中大量使用白炭黑替代炭黑可以降低轮胎滚动阻力30%~35%^[2]。

综上所述,合理的花纹设计加上低压缩疲劳生热的胎面胶配方可以获得轮胎较低的滚动阻力。同时,胎面胶配方中使用白炭黑部分或全部替代炭黑,不仅能降低轮胎的滚动阻力,节约能耗,而且可以提高胎面抗刺扎、抗崩花掉块和抗湿滑等性能^[3]。这一设计的轮胎产品比普通产品具有更好的实际表现。经过上述验证,低滚动阻力实心轮胎项目可以进行小批量试制,并投放市场。

2.5.2 实际道路试验

将小批量试制的低滚动阻力实心轮胎装配到3T电瓶叉车上进行实际道路试验,试验路面为干燥水泥路面,记录电瓶充满后的使用时间,并与正常轮胎进行对比,试验结果如表6所示。

从表6可以看出,低滚动阻力实心轮胎在实际使用中能延长电瓶的使用时间,这也证明了试验轮胎可在很大程度上节约能源消耗,实际道路试验节能效果在13%左右。由此可知,试验轮胎达到了降低滚动阻力的目的。

2.5.3 成品轮胎物理性能

以批量试验的6.50—10/5.00 K3轮胎抽样进行物理性能测试,试验结果如表7所示。

从表7可以看出,成品轮胎胎面胶和基部胶的物理性能均完全满足国家标准要求。

3 结语

新开发的低滚动阻力实心轮胎的各项物理性能与普通实心轮胎相当,不过其制造成本却要高

表5 6.50-10/5.00实心轮胎的滚动阻力系数和滚动半径

项 目	滚动阻力系数/%					滚动半径 ¹⁾ /mm				
	条件1	条件2	条件3	条件4	条件5	条件1	条件2	条件3	条件4	条件5
6.50-10/5.00 K3低滚动阻力轮胎	1.766	1.644	1.509	1.562	1.580	279.9	282.5	290.0	282.4	289.7
6.50-10/5.00 K2普通轮胎	2.481	2.310	2.120	2.187	2.212	285.8	288.7	292.0	287.3	294.7
6.50-10/5.00 OB502普通轮胎	2.691	2.392	2.268	2.211	2.502	298.4	290.7	294.7	290.4	300.5

注:同表1。

表6 电瓶充满后的使用时间 h

轮胎类型	第1次	第2次	第3次	平均时间
低滚动阻力实心轮胎	6.13	6.20	5.97	6.10
普通实心轮胎	5.27	5.37	5.15	5.26

表7 成品轮胎的物理性能

项 目	胎面胶		基部胶	
	实测值	标准 ¹⁾	实测值	标准 ¹⁾
邵尔A型硬度/度	69	67±5	90	85±5
100%定伸应力/MPa	2.3		9.5	
300%定伸应力/MPa	11.4		—	
拉伸强度/MPa	21.0	≥18	14.8	≥13
拉断伸长率/%	501	≥450	168	
拉断永久变形/%	10		9	
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	96		50	
回弹值/%	49		31	
阿克隆磨耗量/cm ³	0.207 2	≤0.6	—	

注:1)GB/T 10824—2008。硫化温度为145℃。

出普通轮胎近1/3,但是长期使用低滚动阻力轮胎在能源消耗上仍有较好的隐形经济价值,该产品对于有特殊需求的客户具有较大的吸引力。由于该类型轮胎胎面胶的压缩疲劳温升较低,轮胎使用寿命较普通实心轮胎略长,该项目仍然具有一定的市场价值。目前该系列产品已经投放市场,市场反映良好。

参考文献:

- [1] 阎守义. 世界轮胎实用手册[M]. 1版. 北京: 中国物资出版社, 1999:332.
- [2] 张立,王礼,王廷山,等. 白炭黑及其分散剂的发展及在轮胎中的应用[J]. 橡胶工业,2015,62(9):571-574.
- [3] 潘广丽,董彩丽,于国鸿,等. 加工助剂在白炭黑胎面胶中的应用[J]. 轮胎工业,2004,24(9):535-538.

收稿日期:2017-08-24

Development of Low Rolling Resistance Solid Tire

LI Yuanjing^{1,2}, GAO Guangtao², LIU Tianyou^{1,2}

(1. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266044, China; 2. Guizhou Tire Co., Ltd, Guiyang 550008, China)

Abstract: The development of low rolling resistance solid tire was described. In the pattern design, by properly decreasing the number and depth of the circumferential grooves, the pattern known as K3 was designed. In the formula design of tread compound, using all NR in the rubber system, and taking silica partly instead of carbon black. It was confirmed by the finished tire test that, the rolling resistance and energy consumption of the test tire decreased, and the physical properties of the tread and base compound all met the requirements of the national standards.

Key words: solid tire; pattern design; formula design; rolling resistance