

全钢载重子午线轮胎的滚动阻力与胎面胶性能相关性研究

张文广¹, 赵敏²

(1. 朝阳浪马轮胎有限责任公司, 辽宁 朝阳 122009; 2. 北京橡胶工业研究设计院有限公司, 北京 100143)

摘要: 研究全钢载重子午线轮胎滚动阻力与胎面胶性能的相关性。结果表明: 全钢载重子午线轮胎低滚动阻力指数与胎面胶硬度指数、拉伸强度指数和拉断伸长率指数没有相关性, 与回弹值指数疑似相关, 与300%定伸应力指数有强相关性; 与低损耗因子 ($\tan\delta$) (20和100 °C) 指数疑似相关, 与低 $\tan\delta$ (60 °C) 指数的相关性很好; 与弹性模量指数和低粘性模量指数没有相关性。胎面胶的 $\tan\delta$ (60 °C) 可作为轮胎滚动阻力的代用性能, 低 $\tan\delta$ (60 °C) 指数修正因数为1/5, 即胎面胶 $\tan\delta$ (60 °C) 减小0.1, 轮胎滚动阻力下降16.4%。

关键词: 全钢载重子午线轮胎; 滚动阻力; 胎面胶; 物理性能; 粘弹性; 相关性

中图分类号: U463.341⁺.3/.6

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2021)0?-0001-04

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2021.0?.0001



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

全钢载重子午线轮胎行驶路面复杂, 其胎面胶配方设计时需要与轮胎用途相结合。研究轮胎使用性能与胎面胶性能的相关性, 根据路面苛刻度及使用情况选择低滚动阻力、耐磨或抗切割胎面胶配方^[1], 对轮胎性能改进和新配方开发目标值设定具有很好的指导意义。

本工作主要研究全钢载重子午线轮胎滚动阻力与胎面胶性能的相关性。

1 性能评价

1.1 胎面胶性能

采用常规混炼工艺制备3种天然橡胶(NR)配方(编号为1290B, 1270和1600A)胎面胶, 按照相应国家标准进行物理性能测试(粘弹性委托江苏麒祥高新材料有限公司进行测试), 并将各项物理性能指数化, 结果见表1。

1.2 轮胎滚动阻力

分别使用1290B, 1270和1600A配方胎面胶试制12R22.5 18PR LM288全钢载重子午线轮胎(轮胎设计和生产工艺相同), 委托国内某检测机构对

轮胎的滚动阻力进行测试, 结果见表2。

2 轮胎低滚动阻力指数与胎面胶性能的相关性

2.1 低滚动阻力指数与胎面胶硬度指数和拉伸性能指数的相关性

根据表1和2的测试数据进行制图并计算得到轮胎低滚动阻力指数与胎面胶邵尔A型硬度指数、300%定伸应力指数、拉伸强度指数、拉断伸长率指数和回弹值指数的线性回归方程及相关因数(R^2)。

低滚动阻力指数与邵尔A型硬度指数的线性回归方程为

$$y=0.8458x+10.856, R^2=0.1910$$

低滚动阻力指数与300%定伸应力指数的线性回归方程为

$$y=-0.5798x+157.96, R^2=0.9999$$

低滚动阻力指数与拉伸强度指数的线性回归方程为

$$y=-0.6417x+162.01, R^2=0.5148$$

低滚动阻力指数与拉断伸长率指数的线性回归方程为

$$y=0.3821x+54.931, R^2=0.0390$$

低滚动阻力指数与回弹值指数的线性回归方

作者简介: 张文广(1980—), 男, 辽宁朝阳人, 朝阳浪马轮胎有限责任公司高级工程师, 主要从事轮胎配方设计工作。

E-mail: zhang028061@163.com

表1 胎面胶物理性能测试结果

项 目	胎面胶配方		
	1290B	1270	1600A
邵尔A型硬度/度	66	62	65
邵尔A型硬度指数	100	94	98
10%定伸应力/MPa	0.8	0.8	0.8
100%定伸应力/MPa	2.8	2.4	2.4
300%定伸应力/MPa	11.6	13.3	14.0
300%定伸应力指数	100	115	121
拉伸强度/MPa	26.6	30.2	28.6
拉伸强度指数	100	114	108
拉断伸长率/%	558	579	544
拉断伸长率指数	100	104	97
邵尔A型硬度×拉伸强度× 拉断伸长率指数	100	111	103
压缩生热 ¹⁾	12	16	21
低生热指数	100	75	57
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	72	111	100
回弹值/%	54	53	48
回弹值指数	100	98	89
粘弹性 ²⁾			
20 ℃			
损耗因子(tanδ)	0.083	0.089	0.136
低tanδ指数	100	93	61
弹性模量(G′)/MPa	7.067 5	8.787 5	6.977 5
G′指数	100	124	99
粘性模量(G″)/MPa	1.412 5	2.213 8	1.514 5
低G″指数	100	64	93
复合模量(G*)/MPa	7.207 5	9.065 0	7.140 0
G″/G* ²	0.027 35	0.027 13	0.029 71
低G″/G* ² 指数	100	101	92
60 ℃			
tanδ	0.056	0.080	0.124
低tanδ指数	100	70	45
G′/MPa	5.380 0	6.037 5	4.967 5
G′指数	100	112	92
G″/MPa	0.815 0	1.269 8	0.855 3
低G″指数	100	64	95
G*/MPa	5.440 0	6.172 5	5.042 5
G″/G* ²	0.027 57	0.033 49	0.033 64
低G″/G* ² 指数	100	82	82
100 ℃			
tanδ	0.052	0.059	0.124
低tanδ指数	100	88	42
G′/MPa	8.087 5	10.420 0	8.100 0
G′指数	100	129	100
G″/MPa	1.809 3	2.791 5	1.928 5
低G″指数	100	65	94
G*/MPa	8.285 0	10.787 5	7.992 5
G″/G* ²	0.026 56	0.024 21	0.030 00
低G″/G* ² 指数	100	110	86

注:硫化条件为145 ℃×45 min;1)冲程 4.45 mm,负荷

1.0 MPa,温度 55 ℃;2)频率 20 Hz,应变 10%±2%。

表2 轮胎滚动阻力测试结果

项 目	胎面胶配方		
	1290B	1270	1600A
滚动阻力系数/(N·kN ⁻¹)	4.72	5.14	5.36
低滚动阻力指数	100	92	88

程为

$$y=0.859\ 3x+11.081, R^2=0.702\ 3$$

通过上述线性回归方程得出轮胎低滚动阻力指数与胎面胶硬度指数和拉伸性能指数的相关性,结果如表3所示。

表3 轮胎低滚动阻力指数与胎面胶硬度指数和
拉伸性能指数的相关性

项 目	斜率	截距	R ²	相关性判断结果
邵尔A型硬度指数	0.85	11	0.19	无
300%定伸应力指数	-0.58	158	1.00	强相关
拉伸强度指数	-0.64	162	0.51	无
拉断伸长率指数	0.38	55	0.04	无
回弹值指数	0.86	11	0.70	疑似相关

注:相关性判定基准为R²>0.8,相关性高;R²在0.6~0.8之间,疑似相关;R²<0.6,无相关性。

从表3可以看出,轮胎低滚动阻力指数与胎面胶硬度指数、拉伸强度指数和拉断伸长率指数没有相关性,与回弹值指数疑似相关,与300%定伸应力指数有强相关性。

2.2 低滚动阻力指数与胎面胶粘弹性指数的相关性

根据表1和2的测试数据进行制图并计算得到轮胎滚动阻力指数与粘弹性指数的线性回归方程。

低滚动阻力指数与低tanδ(20 ℃)指数线性回归方程为

$$y=0.246\ 6x+72.393, R^2=0.708\ 1$$

低滚动阻力指数与低tanδ(60 ℃)指数线性回归方程为

$$y=0.219\ 6x+77.546, R^2=0.976\ 0$$

低滚动阻力指数与低tanδ(100 ℃)指数线性回归方程为

$$y=0.170\ 8x+80.198, R^2=0.736\ 8$$

低滚动阻力指数与G′(20 ℃)指数线性回归方程为

$$y=-0.069\ 7x+100.8, R^2=0.027\ 2$$

低滚动阻力指数与G′(60 ℃)指数线性回归方程为

$y=0.110\ 4x+82.088,R^2=0.032\ 9$
低滚动阻力指数与 G' (100 ℃) 指数线性回归方程为

$y=-0.078\ 2x+101.87,R^2=0.045\ 3$
低滚动阻力指数与低 G'' (20 ℃) 指数线性回归方程为

$y=0.119\ 3x+83.077,R^2=0.141\ 4$
低滚动阻力指数与低 G'' (60 ℃) 指数线性回归方程为

$y=0.101\ 9x+84.482,R^2=0.105\ 6$
低滚动阻力指数与低 G'' (100 ℃) 指数线性回归方程为

$y=0.119x+83.035,R^2=0.134\ 2$
低滚动阻力指数与低 G''/G^{*2} (20 ℃) 指数线性回归方程为

$y=0.864x+8.962\ 1,R^2=0.470\ 3$
低滚动阻力指数与低 G''/G^{*2} (60 ℃) 指数线性回归方程为

$y=0.566\ 3x+43.408,R^2=0.914\ 8$
低滚动阻力指数与低 G''/G^{*2} (100 ℃) 指数线性回归方程为

$y=0.207\ 5x+72.864,R^2=0.169\ 0$
通过上述线性回归方程得出轮胎低滚动阻力指数与胎面胶粘弹性指数的相关性,结果见表4。

表4 轮胎低滚动阻力指数与胎面胶粘弹性的相关性				
项 目	斜率	截距	R^2	相关性判断
低 $\tan\delta$ 指数				
20 ℃	0.25	72	0.71	疑似相关
60 ℃	0.22	78	0.98	强相关
100 ℃	0.17	80	0.74	疑似相关
G' 指数				
20 ℃	-0.07	101	0.03	无
60 ℃	0.11	82	0.03	无
100 ℃	-0.08	102	0.05	无
低 G'' 指数				
20 ℃	0.12	83	0.14	无
60 ℃	0.10	84	0.11	无
100 ℃	0.12	83	0.13	无
低 G''/G^{*2} 指数				
20 ℃	0.86	9	0.47	无
60 ℃	0.57	43	0.91	疑似相关 ¹⁾
100 ℃	0.21	73	0.17	无

注:1) G''/G^{*2} 是一个评价生热性经验选用参数(定应力变形部位),虽然 R^2 很高,但是否真具有相关性还有待进一步研究。其余注同表3。

从表4可以看出:轮胎低滚动阻力指数与胎面胶的低 $\tan\delta$ (20和100 ℃) 指数疑似相关,与低 $\tan\delta$ (60 ℃) 指数的相关性很好;与 G' 指数和低 G'' 指数没有相关性,与低 G''/G^{*2} (20和100 ℃) 指数没有相关性,与低 G''/G^{*2} (60 ℃) 指数疑似相关。虽然前述研究表明,轮胎低滚动阻力指数与300%定伸应力指数的相关性最好,但由于此次评价的配方均为NR系配方,可以推测胶料的300%定伸应力与 $\tan\delta$ 的变化趋势间接一致,因此300%定伸应力只作参考,不作为轮胎滚动阻力的代用性能;轮胎低滚动阻力指数与低 $\tan\delta$ (60 ℃) 指数的 R^2 为0.98, $\tan\delta$ (60 ℃) 可以作为轮胎滚动阻力的代用性能,这也与传统经验理论相一致^[2]。

2.3 与轮胎滚动阻力相关的 $\tan\delta$ (60 ℃) 修正因数的确定

由于胎面以外的部件亦会对轮胎滚动阻力产生影响,因此胎面 $\tan\delta$ 不会对轮胎滚动阻力产生100%的影响,也受到胎面体积占轮胎整体体积的比例以及各部件变形量差值的影响, $\tan\delta$ 修正因数即胎面对轮胎滚动阻力的影响比例^[3]。为使各配方轮胎低滚动阻力指数的差与代用性能低 $\tan\delta$ (60 ℃) 指数的差一致,必须确定 $\tan\delta$ (60 ℃) 修正因数。

为确定胎面胶性能对轮胎滚动阻力的影响比例,低 $\tan\delta$ (60 ℃) 指数必须与轮胎低滚动阻力指数的绝对值一致,因此需设定修正因数。表5示出了不同 $\tan\delta$ 修正因数下低 $\tan\delta$ (60 ℃) 指数。

根据表5制图并计算得出轮胎低滚动阻力指数与使用修正因数修正后低 $\tan\delta$ (60 ℃) 指数的线性关系。

修正因数为1/3时,两者线性回归方程为

$y=0.658\ 8x+33.625$

表5 不同 $\tan\delta$ 修正因数下的低 $\tan\delta$ 指数			
修正因数	胎面胶配方		
	1290B	1270	1600A
1/1	100	70	45
1/2	100	85	73
1/3	100	90	82
1/4	100	93	86
1/5	100	94	89
1/6	100	95	91
1/7	100	96	92
1/8	100	96	93

修正因数为1/5时,两者线性回归方程为

$$y=1.098x-10.296$$

修正因数为1/7时,两者线性回归方程为

$$y=1.5372x-54.217$$

修正因数为1/8时,两者线性回归方程为

$$y=1.7568x-76.177$$

由于回归直线的斜率越近似于1、截距越近乎为0,轮胎低滚动阻力指数与低 $\tan\delta$ 指数的绝对值越一致,因此斜率为1、截距为0时的修正因数即为所求的修正因数。从上述分析可知,胎面胶低 $\tan\delta$ (60℃)指数修正因数为1/5时,回归直线的斜率最接近1、截距最接近0,此时与轮胎低滚动阻力指数的绝对值基本保持一致,即表明胎面胶 $\tan\delta$ (60℃)对轮胎滚动阻力的影响比例约为20%。

根据以上数据可以得出轮胎低滚动阻力指数与胎面胶低 $\tan\delta$ (60℃)指数相关性的线性方程,根据回归直线的斜率计算影响比例^[4]。

轮胎低滚动阻力指数与胎面胶低 $\tan\delta$ (60℃)指数相关性的线性方程为

$$y=-164.5x+107.55, R^2=0.8638$$

根据公式可以预测出 $\tan\delta$ (60℃)减小0.1,则轮胎的滚动阻力可以改善16.4%。

3 结论

全钢载重子午线轮胎低滚动阻力指数与胎面胶硬度指数、拉伸强度指数和拉伸伸长率指数没有相关性,与回弹值指数疑似相关,与300%定伸应力指数有强相关性;与胎面胶的低 $\tan\delta$ (20和100℃)指数疑似相关,与 $\tan\delta$ (60℃)指数的相关性很好;与 G' 指数和低 G'' 指数没有相关性,与低 G''/G'^2 (20和100℃)指数没有相关性,与低 G''/G'^2 (60℃)指数疑似相关。胎面胶的 $\tan\delta$ (60℃)可作为轮胎滚动阻力的代用性能,低 $\tan\delta$ (60℃)指数修正因数为1/5,即胎面胶60℃时的 $\tan\delta$ 减小0.1,轮胎滚动阻力下降16.4%。

参考文献:

- [1] 张利召. 抗湿滑低滚动阻力轮胎胎面胶的研究[D]. 太原: 中北大学, 2021.
- [2] 丁剑平, 贾德民, 周小舒, 等. 子午线轮胎滚动阻力的数值模拟[J]. 汽车技术, 2005(3): 23-25.
- [3] 罗怀和. 结构参数对轿车子午线轮胎滚动阻力的影响[J]. 橡胶科技, 2020, 18(11): 623-625.
- [4] 王国林, 陈晨, 周海超, 等. 胎面与胎体间接触特性对轮胎滚动阻力影响的研究[J]. 橡胶工业, 2020, 67(6): 403-409.

收稿日期: 2020-03-06

Correlation Between Rolling Resistance and Tread Compound Properties of Truck and Bus Radial Tire

ZHANG Wenguang¹, ZHAO Min²

(1. Chaoyang Langma Tire Co., Ltd, Chaoyang 122009, China; 2. Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry Co., Ltd, Beijing 100143, China)

Abstract: The correlation between rolling resistance and tread compound properties of truck and bus radial (TBR) tire was studied. The results showed that the low rolling resistance index of TBR tire had no correlation with the hardness index, tensile strength index and elongation at break index, it was suspected related to the rebound value index, it had a strong correlation with modulus at 300% elongation index. It was suspected to be related to low loss factor ($\tan\delta$) (20 and 100℃) index, and had a good correlation with low $\tan\delta$ (60℃) index. It had no correlation with elasticity modulus index and low viscous modulus index. The $\tan\delta$ (60℃) of tread compound could be used as a substitute for tire rolling resistance performance, low $\tan\delta$ (60℃) index correction factor was 1/5, that was, $\tan\delta$ (60℃) decreased for 0.1, the tire rolling resistance decreased by 16.4%.

Key words: TBR tire; rolling resistance; tread compound; physical property; viscoelasticity; correlation