

滚动损失与胎面胶弹性滞后 及组分的关系(第 1 报)

Сахиовский Н. Л. и др. 著 林平超译 刘润祺校

轮胎的滚动损失决定着汽车的燃料节约水平。例如,当滚动损失降低 4%—5%时,燃料消耗即减少 1%。

轮胎滚动总损失与轮胎最大的橡胶部件——胎面的滞后损失有很大关系。对单层全钢载重轮胎尤其如此。

我们研究了胎面胶的弹性滞后性能及组分对轮胎滚动损失的影响;探索了胎面的负荷条件、胎面在滚动总损失中所占的比例,以及降低全钢载重轮胎胎面滚动损失的一些途径。

研究用的是异戊橡胶(СКИ-3)与顺丁橡胶(СКД)并用的胎面胶。通过改变炭黑 П245、软化剂(石油基 ПН-6Ш 芳烃油)和硫黄用量,在较宽的范围内调节其弹性滞后性能。首先,令损失模量 K 、动态模量 E 、机械损耗角正切 $\text{tg}\delta$ 和 K/E 与炭黑、油和硫黄用量呈近似线性关系。描述胶料弹性滞后性能与其组分关系的回归方程是:

$$R = R_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad (1)$$

式中 R ——胶料性能指标;

R_0 ——配合剂用量在零水平上变化时的胶料性能指标;

x_1, x_2 和 x_3 ——分别是炭黑、油和硫黄含量(设定单位);

b_1, b_2 和 b_3 ——分别反映炭黑、油和硫黄含量变化对胶料性能影响的系数。

炭黑用量 40—80 份(重量),软化剂 10—30 份,硫黄 1.5—4.5 份。分别用设定单位和实用单位将试验设计的阵列列于表

1。

表 1 试验设计阵列

胶料 编号	x_1 设定单位	x_2 设定单位	x_3 设定单位	x_1 重量份	x_2 重量份	x_3 重量份
1	-1	-1	+1	40	10	4.5
2	-1	+1	-1	40	30	1.5
3	+1	-1	-1	80	10	1.5
4	+1	+1	+1	80	30	4.5
5	0	0	0	60	20	3.0

用不同的方法对胶料弹性滞后性能进行了测定:用 КМР-01 仪器在冲击拉伸下于 22 和 100℃下测定;用 ДПИ 机在交变弯曲下于 100℃下测定;用肖伯弹性计于 22 和 100℃下与用手提式弹性计 ППЗ 于 22℃下直接在轮胎上测定回弹性。由表 2 看出, E 和 K 值胶料 2 的最小,而胶料 3 和 4 的最大,而且 K 值相差 3 倍以上, E 值相差 2 倍以上。比较胶料 5 个指标的实测值与计算值,其中,计算值是根据胶料 1—4 数值的算术平均值而定,计算值与实测值之间相差不超过 4%。这就证明,描述胶料弹性滞后性能与组分关系的方程(1)有令人满意的适用性(即线性模型对这种情况是适用的)。

用胶料 1—5 做胎面制造了 Д-3МА 型 11.00R20 全钢轮胎。所有轮胎的帘布层和带束层贴胶、胎圈胶和胎侧胶都是一样的。

用德国“Хазбах”公司轮胎耐久性试验机在冷、热状态下,亦即滚动初期(经过 1—3s)和滚动 4h 后,测定轮胎的滚动损失(表 3)。测定时轮胎滚动速度:冷状态为 $40\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$,热状态为 40 和 $70\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

表 2 Д-3 MA 型 11.00R20 全钢轮胎胎面胶的弹性滞后性能

指 标	胶 料 编 号				
	1	2	3	4	5
KMP-01(22℃)					
K,MPa	1.40	0.78	3.20	3.53	2.10/2.23
E,MPa	4.85	2.30	6.70	7.50	5.25/5.34
滞后损失					
K/E(W 恒定)	0.29	0.34	0.48	0.47	0.40/0.40
K/E ² (σ 恒定),MPa ⁻¹	0.060	0.148	0.072	0.063	0.076/—
KMP-01(100℃)					
K,MPa	0.86	0.48	1.72	1.54	1.11/1.15
E,MPa	3.96	1.89	4.48	4.50	3.71/3.71
滞后损失					
K/E	0.22	0.25	0.38	0.34	0.29/0.30
K/E ² ,MPa ⁻¹	0.055	0.0134	0.085	0.076	0.078/—
肖伯弹性					
回弹值,%					
22℃	47	39	28	27	34/35
100℃	58	53	38	44	49/48
III3 弹性					
回弹值(22℃),%					
	49	37	24	26	32/34

注:胶料 5 中分子是实测值,分母是计算值。

表 3 Д-3 MA 型 11.00R20 轮胎的滚动阻力系数(负荷 29kN)

试验条件			阻 力 系 数				
测定时轮 胎状态	内压,MPa	滚动速度 km·h ⁻¹	胶 料 编 号				
			1	2	3	4	5
冷	0.8	40	0.0114	0.0124	0.0148	0.0141	0.0132/0.0132
	0.6	40	0.0134	0.0140	0.0170	0.0163	0.0149/0.0154
热	0.8	40	0.0074	0.0082	0.0096	0.0089	0.0086/0.0085
		70	0.0070	0.0077	0.0096	0.0087	0.0085/0.0083
	算术平均值		0.0072	0.0079	0.0096	0.0088	0.0086/0.0084
	0.6	40	0.0079	0.0083	0.0098	0.0094	0.0087/0.0089
		70	0.0076	0.0080	0.0097	0.0089	0.0089/0.0086
算术平均值		0.0078	0.0082	0.0097	0.0092	0.0088/0.0087	

注:胶料 5 中分子是实测值,分母是计算值。

轮胎滚动阻力系数(*f*)的实测值与计算值有令人满意的一致性(相差大约 3%),证明了方程(1)对描述轮胎滚动损失与胎面胶

组分关系的适用性。
描述冷状态滚动阻力系数(*f_s*)和热状态滚动阻力系数(*f_r*)与胎面组分相互关系的方

程有以下形式:

$$f_x=0.0132+0.0013x_1-0.00008x_2-0.0004x_3$$

(2)

$$f_r=0.0084+0.00072x_1-0.00003x_2-0.00004x_3$$

(3)

根据这些方程计算了 11.00R20 轮胎内压为 0.8MPa 时滚动损失变化与提高胎面胶中炭黑、油和硫黄用量的关系。由表 4 看出,炭黑用量提高 10 重量份, $f_{x,r}$ 就增大 4.2%—5%。11H-6111 油用量实际上对滚动损失没有影响,而提高硫黄用量,滚动损失则降低。不进行补充实验,用所得到的数据也能计算出以异戊橡胶与顺丁橡胶并用为基础的胎面胶组分(即炭黑、油与硫黄)变化时 11.00R20 轮胎的滚动损失。

表 4 异戊橡胶和顺丁橡胶并用的胎面胶中配合剂用量提高对 11.00R20 轮胎滚动损失变化($\Delta f_{x,r}$)的影响

测定时 轮胎 状态	轮胎 内压 MPa	$f_{x,r} \times 10^3$	$\Delta f_{x,r}, \%$		
			炭黑 (10 份)	11H-6111 油 (10 份)	硫黄 (1.0 份)
冷	0.8	13.2	+4.9	+0.6	-2.0
	0.6	15.4	+5.0	-1.0	-2.1
热	0.8	8.4	+4.2	-0.3	-3.1
	0.6	8.7	+4.8	+0.3	-1.7

对全钢载重轮胎在不同的动态负荷条件下(规定变形 K 、周期能量 K/E 、应力 K/E^2)的滚动阻力系数与胎面胶滞后损失的关系进行分析(表 5)可知, f 与 K/E 有最好的相关性。这与带束斜交载重轮胎滚动损失的研究结果是相符的。

表 5 $\Pi-3$ MA 型 11.00R20 轮胎滚动损失与胎面胶滞后损失对应的相关系数

测定时轮 胎状态	温度 $T^*, ^\circ\text{C}$	滞后损失对应的相关系数		
		K	K/E	K/E^2
冷	22	0.86	0.95	0.69
热	100	0.82	0.97	0.23

* 测定滞后性的温度。

载重轮胎胎面胶总的动态负荷条件与规

定周期能量的条件相似的结论已得到证实。 f 与 K/E 相关系数高(等于 1)证明这些参数的关系具有线性特点(图 1)。

载重轮胎滚动总损失可用经验公式描述:

$$f=A+CK/E$$

(4)

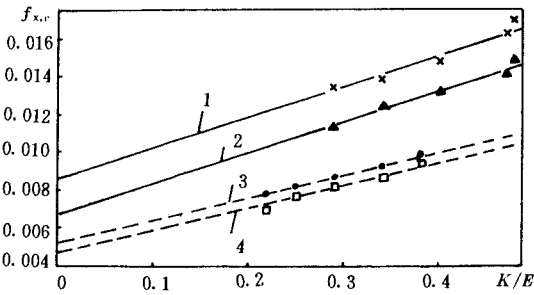


图 1 $\Pi-3$ MA 型 11.00R20 轮胎在冷(—)和热(---)状态下的滚动阻力系数($f_{x,r}$)与胎面胶滞后损失(K/E)的关系
内压:1,3—0.6MPa;2,4—0.8MPa

式中 A 为纵坐标轴上的截距($K/E=0$ 时),相当于轮胎胎身的滚动损失(f_x)。正如所料,它随内压的降低而增大,可是 $C=\text{tg}\alpha$ (α 是直线 $f=\Phi K/E$ 的倾斜角),实际上跟它无关。

在热状态下测定轮胎的滚动损失时,无论 A 还是 C 都有所降低。下面列出内压为 0.6 和 0.8MPa 时轮胎在冷与热状态下的滚动损失与在 22 和 100 $^\circ\text{C}$ 下测得的 K/E 的关系方程式:

$$f_{x0.8}=0.0067+0.0165K/E_{22}$$

(5)

$$f_{x0.6}=0.0084+0.0167K/E_{22}$$

(6)

$$f_{r0.8}=0.0046+0.0124K/E_{100}$$

(7)

$$f_{r0.6}=0.0051+0.0122K/E_{100}$$

(8)

应用这些方程便可根据实验室所测胎面胶料弹性滞后性能的数据确定 $\Pi-3$ MA 型 11.00R20 轮胎的滚动损失。

我们还测定了 11.00R20 全钢轮胎胎面在滚动损失中所占的比率。根据方程:

$$\Delta f_{x,r}=\frac{f_m-f_x}{f_m}\cdot 100\%$$

就像按(5)一(8)式确定轮胎滚动总损失(f_m)和胎身损失(f_k)之差所占比率一样,计算了胎面滚动损失所占的比率。

由表 6 可见,11.00R20 轮胎胎面损失在滚动总损失中的比率,随着胎面胶 K/E 的增大和轮胎内压的提高而增大,这与胎身的滚动损失减小有关系,随胎面胶弹性滞后性而定。在 0.8MPa 内压时胎面在总的“冷”损失中占 39%—53%,在总的“热”损失中占 34%—48%。

针对在好路面上使用的全钢公共汽车和载重汽车轮胎,研制了一种胎面胶(表 7),并与现在成批生产用胎面胶进行比较,其特点是在规定周期能量(K/E)条件下滞后损失减小了 15%—20%。

表 6 Д-3 MA 型 11.00R20 轮胎胎面滞后损失在轮胎滚动总损失中的比率($\Delta f_{x,r}$)

胶料编号	K/E		$\Delta f_x, \%$	$\Delta f_r, \%$
	22℃	100℃		
1	0.27	0.22	38.5	34.0
2	0.33	0.25	42.5	38.5
3	0.48	0.38	53.0	47.5
4	0.47	0.34	50.0	45.0
5	0.39	0.29	46.0	44.0

表 7 生产配方与研制配方胎面胶的弹性滞后性

项 目	试验胶料	生产胶料
300%定伸应力,MPa	15.5	10.5
拉伸强度,MPa	28.2	23.0
相对伸长率,%	512	570
撕裂强度,kN·m ⁻¹	110	90
邵尔 A 型硬度,度	64	66
回弹值,%		
22℃	38	34
100℃	54	46
滞后损失(K/E)		
22℃	0.32	0.41
100℃	0.23	0.29

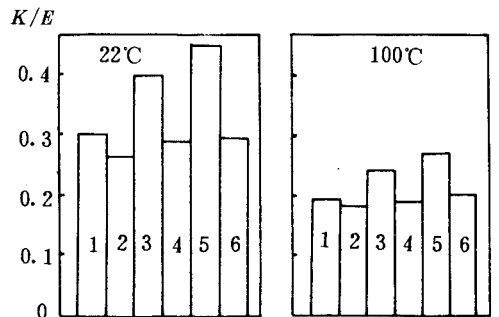


图 2 11.00R20 轮胎胎面胶的弹性滞后性

轮胎生产者:1—轮胎工业科研院;2—Nokia;
3—皮列里;4—固特异;5—森贝特;6—米西林

按方程(5)一(8)计算了用成批生产胶料与研制胶料做的 11.00R20 轮胎的滚动阻力系数,在轮胎内压为 0.8MPa 时,冷状态下,分别等于 0.0138 和 0.0126;热状态下,分别等于 0.0080 和 0.0074。

用实验测定成批生产配方胶料和研制胶料做的 11.00R20 轮胎的滚动损失,证实了计算的数据。

当轮胎内压为 0.8MPa 时,实测的滚动阻力系数在热状态下分别为 0.0082 和 0.0077,在冷状态下分别为 0.0137 和 0.0123,这与计算数据很吻合。

研制胶料能保证轮胎滚动损失降低 7%,特点是滞后损失(K/E)的水平与国外主要公司的接近。

这就从实验上证实了全钢载重轮胎胎面胶动态负荷的条件近似于规定周期能量的条件,亦即是说全钢载重轮胎的滚动损失与胎面胶滞后损失(用 K/E 表示)呈线性关系。推出了描述 11.00R20 全钢子午线轮胎滚动损失与胎面胶组分及性能的关系的回归方程。

译自俄罗斯“Каучук и резина”,
[5],35(1992)