

绿色轮胎

王登祥 Ken Immel

[上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司大中华橡胶厂 200030]

摘要 论述了绿色轮胎的定量概念和生产途径,强调指出绿色轮胎对胎面胶料的要求。认为胎面聚合物体系在0℃温度下具有较高的损耗因子 $\tan\delta$ 值,决定它将具有很好的湿牵引力;在70℃左右温度下具有较低的 $\tan\delta$ 值,决定它将具有较低的滚动阻力。

关键词 绿色轮胎,胎面,滚动阻力,损耗因子

轮胎滚动时与地面接触,整个印迹区域发生变形,从而消耗了能量,我们把这种能量叫做滚动损失。绿色轮胎是轮胎市场销售用语,它表示这种轮胎与普通轮胎相比,具有非常低的滚动阻力。降低轮胎滚动阻力将会减少车辆燃料消耗,从而降低汽车排出的气体对大气的污染。绿色轮胎一词来源于“绿色目标”或“最佳环境保护”。

必须使消费者明白装配绿色轮胎是通过更有效地利用燃料和减少汽车排放的废气来保护环境。但是欲使广大市场接纳绿色轮胎,就必须让消费者证明这种轮胎具有节省燃料进而减少汽油费用支出的好处。

1 绿色轮胎的定量概念

米其林公司的 Padula^[1]说,他们的绿色轮胎可降低滚动阻力22%~24%,从而为轿车轮胎用户节省燃料3%~5%;为载重轮胎用户节省燃料6%~8%。德国萨公司^[2]称,如果以全球计算,年节省燃料约为320亿L,减少车辆废气(二氧化碳)排放量达810 kg。

在美国,轮胎滚动阻力降低20%,相当节省燃料4%。使用一条这样的轿车轮胎,从新胎到轮胎报废全过程可节省约19.20美元

(假定行驶6.44万km,燃料价格以0.32美元 L^{-1} 计)。此价值还没有将对环境的贡献计算在内。

大陆公司 Stark^[3]说,一条轿车子午线轮胎的平均质量为8 kg,若换算成能量用油计算,轮胎组成材料用油6 L,生产过程用油14 L,在平均5万km的行驶寿命中克服滚动阻力需耗油200 L。由此数字对比可以得出如下结论:在轮胎生产过程中少量增加成本是可以接受的,如果这样做能大大降低轮胎滚动阻力,更是值得的。

2 生产绿色轮胎的途径

虽然轮胎的模具、花纹设计和轮胎结构对轮胎滚动阻力有一定影响,但是本文仅从材料角度论述如何降低绿色轮胎的滚动阻力。降低轮胎滚动阻力现有如下两种基本方法:

(1) 减小轮胎质量

减小轮胎质量是降低轮胎滚动阻力最快速、最有效的方法。为了保证轮胎质量小,在确保轮胎使用性能的前提下,必须采用最小的部件厚度。轮胎生产厂必须严格控制工艺,以保证部件达到最小厚度,绝不允许工厂采取擅自加大部件厚度的办法来解决生产问题。采用轻质材料制备轮胎部件也是减小轮胎质量的一种有效方法,采用芳纶带束层替代钢丝带束层就是一个明显的例子。

(2) 减小材料能耗(滞后损失)

降低轮胎滚动阻力的第2种方法是减小轮胎材料的能量损失(滞后损失)。聚酯帘线的滞后损失较大,但经过合适的改良后,有可能推出较小滞后损失的品种。

作者简介 王登祥,男,54岁。高级工程师。大中华橡胶厂技术副厂长。曾开设上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司轮胎研究所美国阿克隆分部 T. R. T. R. 公司并担任总经理。参加的子午线轮胎研究开发项目多次获得上海市科技进步奖并获得国家科技进步三等奖;曾获得国家专利2项。在美国《橡胶世界》上发表论文1篇,国内杂志发表论文21篇,译文18篇,并出版专著1本。现任《合成橡胶工业》和《轮胎工业》杂志编委。

3 绿色轮胎对各部件胶料要求

3.1 胎面

胎面所在的位置和所占的体积,决定它对轮胎滚动阻力的影响最大。用 1.7 m 直径的室内转鼓试验设备进行滚动阻力试验时,胎面和基部胶滚动阻力占滚动阻力总值的 33%;用双滚筒试验设备进行滚动阻力试验时,占滚动阻力总值的 73%。胎面胶料是影响轮胎所有使用性能参数最大的一种胶料。

过去 20 年间,人们对发展胎面胶料下了很大功夫,目标就是要使胎面良好的耐磨性和牵引性兼而得之。Nordsiek^[4]第 1 个提出这种假设,他说:“牵引性与耐磨性相比较是一种高频现象。有可能使这两种性能同时都得到改善。”从那以后,开展了在各种温度和频率下的动态机理试验。用 WLF (Williams-Landel-Ferry) 方程可以证明在低温下进行的实验室试验结果等于在高频下进行的(牵引性)试验结果。Roch^[5]证明了在合适的实验室温度下如何测得 195/65R15 轮胎湿牵引力和滚动阻力的相互关系。

胶料滞后损失或能量损失是由于输入到胶料中的能量没有作为应力全部释放出来所造成。这种输入能和转化能之差(能量损失)在胶料中表现出温升。滞后损失同样也被认为是胶料在变形过程中消耗能量的度量。在填充聚合物中关系到滞后损失的有如下几个因素:

- ⑧ 聚合物的玻璃化温度 T_g ;
- ⑧ 聚合物和填料之间的相互作用;
- ⑧ 填料和填料之间的相互作用。

在低应变条件下,填充细粒子补强填充剂(主要是炭黑和白炭黑)的胶料有一定的模量和损耗因子 $\tan\delta$ (取决于应变幅度)。有一种称之为 Payne 的效应:当变形时,填料和填料之间的相互作用被打断,但是变形一旦解除,这种相互作用又很快重新形成。因此 Payne 效应在低应变时(0.1%~10%)对滞后损失有重要影响。由于滚动阻力是在低应变时产生的^[2,6],减小 Payne 效应会减小滞后损失,因而也就降低了轮胎滚动阻力。

现按胎面胶料不同组分分述如下:

(1) 聚合物体系

选择聚合物体系是胎面配方设计最重要的一步,因为聚合物体系规定了对应温度下的

$\tan\delta$ ^[7]。其它配合剂由于只影响硫化程度而不是基本因素。一种聚合物在 0℃左右温度下具有较高的 $\tan\delta$ 值,这就决定它将具有很好的湿牵引力;在 70℃左右温度下具有较低的 $\tan\delta$ 值,从而决定它将具有较低的滚动阻力。采用何种温度测量 $\tan\delta$ 可以和轮胎使用性能取得很好的相关性呢?这取决于轮胎试验参数以及实验室试验设备种类和试验参数。美国某炭黑公司对于一般胎面胶料做 $\tan\delta$ 测量时试验温度采用 70℃,频率采用 10 Hz;对于滚动阻力特别低的胶料试验温度采用 60℃,频率采用 10 Hz。而德固萨公司测量 $\tan\delta$ 有史以来一直以 60℃和 1 Hz 作为试验条件。

溶聚丁苯橡胶(S-SBR)被广泛用于绿色轮胎胎面胶,这种橡胶可根据要求生产成诸如宏观结构、微观结构以及链节终止改性的不同专用品种。

在聚合物生产过程中,添加化学品能够改变聚合物链节终端,显著增强聚合物和炭黑之间的相互作用,改善炭黑的分散性,减小填料和填料之间的相互作用,减小 Payne 效应,从而降低轮胎滚动阻力。

日本瑞翁公司的 Nipol NS116 是一种终止链段改性的 S-SBR,苯乙烯质量分数为 0.21,乙烯基质量分数为 0.63,玻璃化温度 T_g 为 -30℃。Nipol NS116 具有很好的牵引性,与 BR(T_g 为 -100℃)和 NR(T_g 为 -75℃)两种胶并用时效果非常好,因为 BR 除具有低的滚动阻力外还具有很好的耐磨性,而 NR 具有很好的加工性和中等的牵引性和耐磨性。推荐配合比例为:S-SBR 50 份,BR 30 份,NR 20 份。经计算,整个聚合物体系的 T_g 为 -60℃。在聚合物体系中选择玻璃化温度范围较宽的聚合物,是一个好的构思,能使体系兼得良好的牵引力和低的滚动阻力。

(2) 补强体系

白炭黑被广泛用于绿色轮胎胎面配方,因为它对降低滚动阻力最有效而对湿牵引力的负面影响最小,但是在使用时必须配用硅烷偶联剂 Si69(德固萨产品)或 A-1289(Witco 公司产品),以确保聚合物和填料之间的相互作用。当然,混炼工艺也需特别制定,而这些措施势必会提高成本。

罗纳-普朗克公司的 ZS1165MP 是工业标准炭黑,其比表面积为 $165 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$,具有标准微珠结构(MP——micropearl),也即具有良好的分散性^[8,9]。得到良好的分散性是十分重要的。一个填充 80 份白炭黑的胶料有一个庞大的初始体积。将一种名为 TESPT 的硅烷偶联剂(其中填充 8% 的白炭黑)配置在填料和填料相互作用的区域,可以促进聚合物和填料的相互作用。硅烷偶联剂对于促进白炭黑具有最好的分散性是十分必要的,此外它还能降低未硫化胶粘度,使硫化胶具有最高模量等优点^[10]。

白炭黑和硅烷偶联剂于较高温度下在密炼机内多停留一段时间,将会使两者之间的作用更好,通常把这种混炼叫做动态反应性混炼,或充分混炼,或热处理。实施这一措施的目的,是确保硅烷偶联剂和白炭黑完全作用,脱去乙醇。按照动态反应性混炼工艺,需将白炭黑和硅烷偶联剂于 $140 \sim 160$ 温度下混炼 $3 \sim 6 \text{ min}$,但是温度不得超过 170 ,否则硅烷偶联剂中的硫将会和聚合物发生反应。

由于白炭黑胶料具有很高的电阻,在白炭黑胶料配方中掺入一些炭黑(用量最高可达 10 份)是可行的,它可以防止产生静电现象。也有采用胎侧包胎冠的办法来解决静电问题,因为胎侧胶可以将静电导入地面。米其林公司在 1994 年曾因轮胎(胎面掺用了大量白炭黑)产生静电问题引起一场法庭诉讼案,现称静电问题已得到解决。

生产炭黑的公司正在继续努力开发具有良好牵引力并兼顾低滚动阻力的炭黑品种,研究开发方向如下:

- ⑧ 较大的炭黑粒径^[11];
- ⑧ 较高的炭黑结构^[12];
- ⑧ 炭黑在混入橡胶后仍旧维持它的高结构^[13];
- ⑧ 在炭黑生产过程中将白炭黑混入^[14,15];
- ⑧ 在炭黑表面增加一些稳定的活性区^[16];
- ⑧ 宽的炭黑聚集体尺寸分布^[16]。

轮胎公司为了降低原材料成本,也对新炭黑品种的开发十分感兴趣。有些轮胎公司倾向于将白炭黑和炭黑并用来降低全用白炭黑时的高成本。

(3) 操作油

根据物理性能要求,芳香油的用量为 25 ~ 35 份不等。油用量的增大会改善牵引性,但使滚动阻力增大。

环烷油可用来替代芳烃油改善滚动阻力,但是这会损害牵引性。

(4) 硫化体系

一般说来,添加大量的硫化剂可以稍稍改善滚动阻力,但是有导致牵引力下降的趋势。总的来说,绿色轮胎胎面配方中所用的硫化体系和普通轮胎没有太大区别,白炭黑胶料配方毫不例外,也遵循这一规律,但是可能使用高达 2 份的促进剂 DPG 来提高硫化速度。

绿色轮胎胎面胶料与标准胎面胶料相比的物理性能如下:

- ⑧ 硬度稍高;
- ⑧ 模量稍高;
- ⑧ 扯断伸长率稍低;
- ⑧ 70 时的 $\tan \delta$ 明显降低;
- ⑧ 0 时的 $\tan \delta$ 稍微增加。

当然,必须使胎面花纹设计和胎面配方设计互相配合,才能得到所希望的轮胎使用性能。

3.2 胎面基部胶

NR 和 BR 以 50/50 并用并添加中等用量的大粒子炭黑 N660,是通常所用的胎面基部胶配方。

3.3 带束层

对带束层胶料配方最重要的性能要求是对钢丝帘线的初始粘合强度和老化后粘合强度。常常单用 NR,不采取并用。最近的发展趋势是:采用高用量的低结构炭黑如 N326,并增大树脂用量^[11],这样可以提高硬度和模量而不使 $\tan \delta$ 增大,也不影响加工性能。最近的研究表明,带束层边缘龟裂的产生直接与材料的能量损失有关。有文献称^[13],过度减小胶料滞后损失会影响轮胎的耐久性能。

3.4 胎体

对聚酯帘线胎体的胶料配方来说,粘合性和耐疲劳性是主要考虑的指标。中等程度的滞后损失是需要的,可以推迟裂口增长时间。胎体胶料用量毕竟大大小于胎面胶料,因此对轮胎生热性能的影响也很有限。

胎体胶配方通常采用 60 份 NR,40 份 SBR 并添加炭黑 N660。

3.5 气密层

气密性和加工性能是气密层胶料关键性要求。要达到最好的气密性,要求大量使用 CIIR 或 BIIR,但是这两种橡胶会影响加工性能、成型操作和成品质量^[11]。

增大 CIIR 或 BIIR 用量(减小 NR 用量)将会带来如下后果:

® 影响压延操作(胶片气泡较多);

® 降低胶料粘性(硫化前,气密层接头脱开,并造成污染);

® 增加胎坯存量(需等待窝藏于气密层接头处的气泡消失);

® 硫化前胎坯气密层接头脱开数量增多。

对气密层来说,与轮胎滚动阻力关系不大。许多研究表明,聚酯胎体内的任何一种胶料对滚动阻力的影响都不大。

3.6 三角胶

较硬和模量较高的三角胶会降低带束层边缘的应力水平,因此使用高硬度、高模量的三角胶是当前的趋势。三角胶的变形量是非常小的。

大多数三角胶配方采用 NR 和 S-SBR 或 BR 并用,并添加炭黑 N326。用树脂替代操作油,以及添加必要量的增粘剂有利于轮胎成型。

3.7 胎侧

与基部胶一样,胎侧胶采用 NR 和 BR 以 50/50 并用,并添加中等用量的大粒子炭黑如 N660。

4 结语

生产绿色轮胎,是营造绿色环境的需要。美国环保署对汽车的油耗标准指标逐年提高,由此引发了美国三大汽车公司对其配套轮胎增设了滚动阻力及干、湿路面牵引性测试项目。例如,美国通用汽车公司总部位于底特律郊区的 Milford 试验场对配套轿车轮胎的滚动阻力指标是小于 35 N(152.4 mm 轮辋,1.7 m 直径转鼓)。据该公司专家说,滚动阻力每降低 1 N,就等于每升汽油多跑 0.04 km。滚动阻力小于 35 N 仅是美国通用汽车公司对其配套轿车轮胎的要求,推算绿色轮胎的滚动阻力应当在 26.5~27 N 范围内,但达到这个指标是比较困难的,因为人们要求在降低轮胎滚动阻力的同

时必须不损害轮胎的牵引性。

生产绿色轮胎的关键在于胎面配方,而胎面配方的关键在于聚合物体系。测定胎面胶料的 $\tan\delta$ 是选择聚合物体系的常用方法:要求一种聚合物体系在 0℃ 左右温度下具有较高的 $\tan\delta$ 值,这将决定它具有很好的湿牵引力;在 70℃ 左右温度下具有较低的 $\tan\delta$ 值,这决定它将具有较低的滚动阻力。

对于一般胎面胶做 $\tan\delta$ 测定时试验温度采用 70℃,频率采用 10 Hz;对于滚动阻力特别低的胶料,试验温度采用 60℃,频率采用 10 Hz。

参考文献

- 1 Padula, Steve M. Tire fuel economy labeling——An update. In: The Tire Industry Conference by Clemson University. Hilton Head Island: SC, USA, 1995. No. 11
- 2 McNeish, Alan A., Byers, et al. Low rolling resistance tread compounds——some compounding solutions. In: CA, USA. ACS, Rubber Division 151th Meeting, Anaheim: Calif, USA, 1997. No. 13
- 3 Stark, Rainer. Environmental impact of a tyre. Tyre Tech. '94, No. 15
- 4 Schuring D.J. The rolling loss of pneumatic tires. Rubber Chemistry & Technology, 1980, 53(3): 600
- 5 Schuring D.J., Futamura S. Rolling loss of pneumatic highway tire in the eighties. Rubber Chemistry & Technology, 1990, 63(3): 315
- 6 Roch P. Compounding for wet grip. Tyre Tech. '94, No. 9
- 7 Nordsiek K.H. The integral rubber concept——an approach to an ideal tire tread rubber. Kautschuk Gummi Kunststoffe, 1985, 38(3): 178
- 8 Bomo, Francis. Advantages of using a high dispersible silica in terms of mixing and formulation costs. In: ITEC '96. Akron: No. 21B
- 9 Cochet, Barruel, Barriquand, et al. Dispersibility measurements of precipitated silicas 'influence of dispersion on mechanical properties. Rubber World, 1994, 210(3): 20
- 10 Wolff S. Chemical aspects of rubber reinforcement by fillers. Rubber Chemistry & Technology, 1996, 69(3): 325
- 11 Laube S., Curtin M., Denstaedt G. Carbon black effects in truck tire components. In: CA, USA. ACS, Rubber Division 150th Meeting. Louisville: KY, USA, 1996. No. 18
- 12 Bomo, Francis. Very high structure carbon black for low rolling resistance tires. Tyre Tech. '94, No. 10
- 13 Mouri, Akutagawa. Reducing energy loss to improve tire rolling resistance. In: CA, USA. ACS, Rubber Division 151th Meeting. Anaheim: Calif, USA, 1997. No. 14
- 14 Wa Mengjiao, Mahmud K., Murphy I. Carbon/silica dual phase filler, a new generation reinforcing agent for rubber part I——

Characterization of carbon/ silica deal filler. In :CA ,USA. ACS ,
Rubber Division 151th Meeting. Anaheim :Calif ,USA ,1997. No.
24

15 William J P ,Wang Mengjiao ,Brown T. Carbon/ silica dual phase
filler ,a new generation reinforcing agent for rubber part ——
Application of carbon/ silica dual filler to tire tread compounds.
In :CA ,USA. ACS , Rubber Division 151th Meeting. Anaheim :
Calif ,USA ,1997. No. 25

16 Freund ,Forster. New filler concepts for tire tread with optimized
traction ,abrasion and rolling resistance. In :CA ,USA. ACS ,Rub-
ber Division 149th Meeting. Canada ,1996. No. 4

收稿日期 1998-10-18

关于表彰对我国橡胶工业发展和科技进步做出
重要贡献人员的联合通知

1989 年在中华人民共和国成立 40 周年之际 ,原化工部橡胶司、中国橡胶工业协会、中国化工学会橡胶专业委员会曾联合举办报告会并表彰对我国橡胶工业发展和科技进步做出贡献的人员。此项工作对于增强行业凝聚力、激励科技人员及企业家为橡胶工业发展和科技进步的献身精神起到了很好的作用。中国化工学会橡胶专业委员会 1997 年在承德召开的五届一次委员会会议上 ,提议在建国 50 周年、橡胶专业委员会成立 20 周年之际 ,再次举办全国橡胶技术研讨会并表彰为行业发展和科技进步做出重要贡献的人员。经研究 ,此项工作由中国橡胶工业协会、中联橡胶 (集团) 总公司和中国化工学会橡胶专业委员会共同筹办 ,现决定联合发出通知如下 :

一、表彰人员的范围及条件

1. 在 1999 年 9 月 30 日前从事橡胶工业服务达 30 年以上、对我国橡胶工业发展和科技进步有重要贡献、在行业中有较高声望的司局级管理人员。在任职司局级管理人员原则上各单位只限一人。
2. 荣获国家科技进步一、二等奖并在生产中推广应用的项目主要负责人 ,以及被公认对橡胶行业有重要贡献的正高级技术职称的技术或经济类人员。
3. 对橡胶工业科技进步做出重要贡献的 (全国劳动模范或全国五一奖章获得者) 知名企业家。

4. 以上三条均包括在本行业办理了离退休手续符合上述条件的人员。1989 年受到表彰的人员 ,此次不再表彰。

二、推选和确认办法

1. 中国橡胶工业协会各会员单位、中联橡胶 (集团) 总公司各成员单位、橡胶专业委员会各团体会员单位、各省市化工厅局及大专院校、科研院所 ,按照上述条件及范围 ,认真推选 ,并按要求填好表格 (表格不够可以复印) ,签署意见并加盖公章 ,于 1999 年 5 月 30 日前寄橡胶专业委员会秘书处。各单位申报名单在一人以上者 ,请注明排列顺序 ,以备讨论时参考。
2. 由中国橡胶工业协会、中联橡胶 (集团) 总公司和橡胶专业委员会组成工作班子 ,严格按照表彰条件及范围 ,将提交的名单进行汇总整理 ,提出初步意见。
3. 由三个单位组成评审委员会 ,按条件确认最终表彰名单。

三、表彰办法

1. 在 '99 全国橡胶技术研讨会暨行业表彰大会上宣读表彰名单。
2. 授予荣誉证书及纪念品。
3. 在《中国橡胶》、《橡胶工业》及《合成橡胶工业》等刊物上发表表彰名单。

中国橡胶工业协会
中联橡胶 (集团) 总公司
中国化工学会橡胶专业委员会