

# 轮胎导电性能的研究

李承民, 陈忠茂, 王志远, 曹 晖, 韩贞花

(广州市华南橡胶轮胎有限公司, 广东 广州 511400)

**摘要:**分析轮胎的导电通路, 测试各个通路不同胶料的电阻率, 通过调整轮胎各部件配方中炭黑的品种改变轮胎电阻。结果表明: 轮胎的导电性能取决于轮胎各部件的胶料配方, 不同配方胶料的导电性能取决于配方中炭黑品种, 烟囱胶的尺寸(宽度)对轮胎导电性能不会产生数量级的影响。

**关键词:** 轮胎; 导电性能; 电阻率; 烟囱法

**中图分类号:** TQ336.1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1006-8171(2013)03-0135-05

汽车二氧化碳排放量是汽车能耗水平的重要标志, 而轮胎是汽车重要耗能部件之一。为此欧盟率先制定了“标签法规”降低轮胎的能耗指标, 以达到控制汽车二氧化碳排放量的目的。

为了达到“标签法规”对轮胎湿滑性能等级、滚动阻力等级的技术指标要求, 保护环境, 保障汽车行驶安全性, 轮胎行业在研制新配方、突破滚动阻力和湿滑性能的技术指标方面, 比较成功的方案就是采用高比例白炭黑配方满足降低滚动阻力和提高抗湿滑性能的要求。一般认为, 电阻率小于  $1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$  的胶料可以顺利导除汽车行驶中产生的静电, 满足汽车安全性能要求。而高比例白炭黑配方胶料的电阻率远大于  $1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ , 不能满足汽车行驶安全要求。最成功解决轮胎导电性能的工艺方法是采用“烟囱法”胎面生产轮胎, 即在电阻率大于  $1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$  的橡胶中嵌入电阻率远小于  $1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$  的橡胶, 形成导电通路, 满足轮胎导电性能要求。

## 1 “烟囱法”胎面结构

### 1.1 胎面结构

“烟囱法”胎面结构示意图见图1。

### 1.2 轮胎导电通路

轮胎在行驶过程中通过“烟囱胶”接触地面,

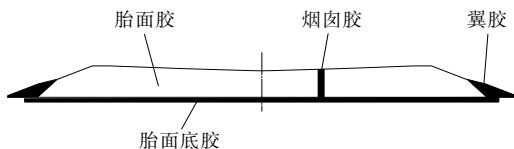
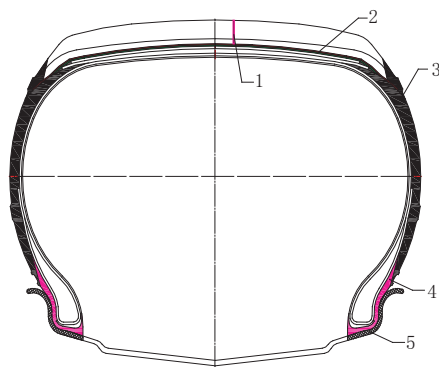


图1 “烟囱法”胎面结构示意图

导除汽车行驶过程中产生的静电荷, 防止因静电产生的灾害, 保证汽车安全。图2为轮胎导电通路示意。



1—烟囱胶; 2—胎面底胶; 3—胎侧; 4—胎圈护胶; 5—轮辋。

轮胎导电电路为从5~1的通路。

图2 轮胎导电通路示意

电阻( $R$ )测试公式为

$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

式中,  $V$  为测试时的加载电压,  $I$  为在所测试电压下的电流强度。轮胎串联电路总  $R$  为

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \rho_1 l_1 / s_1 + \rho_2 l_2 / s_2 + \rho_3 l_3 / s_3 + \rho_4 l_4 / s_4 \quad (2)$$

**作者简介:** 李承民(1965—), 男, 黑龙江望奎县人, 广州市华南橡胶轮胎有限公司高级工程师, 学士, 主要从事轮胎工艺流程和工装设计、轮胎设计、生产技术开发及管理工作。

式中,  $\rho$  为材料电阻率,  $l$  为材料长度,  $s$  为材料截面积。

对于特定的轮胎产品, 其构成部件的尺寸变化很小, 即  $l/s$  几乎可以看成常数, 如果调整只能是倍数关系, 对整个轮胎的电阻影响不会产生数量级影响。  $\rho$  是材料的体积电阻率, 受材料配方的影响, 不同配方材料其差别极大。因此了解、测试不同配方材料的体积电阻率是了解轮胎电阻级别的有效途径, 也是改善轮胎导电性能的关键因素。

## 2 导电性能测试

轮胎的电阻是导电通路的电阻之和, 为了确保轮胎的电阻在设计控制范围内, 了解轮胎不同部件胶料的电阻率是必要的, 根据现有条件和物理学原理, 制作试样测试轮胎不同部件材料的电阻率。

### 2.1 测试方法

采用 VICTOR VC9810A<sup>+</sup> 型万用表(量程为 2 000 M $\Omega$ , 电压为 9 V)进行测试, 试样规格为 12.5 mm  $\times$  3.5 mm 磨耗标准试片, 标距为 200 mm, 测试温度为 26  $^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度为 82%, 两个测试点用打磨过表面氧化物的黄铜片包覆, 并用夹子夹紧, 测试台采用聚乙烯绝缘垫板, 测试时试片处于自由状态。

本工作在不具备 GB/T 2439—2001《硫化橡胶或热塑性橡胶 导电性能和耗散性能电阻率的测定》规定的测试设备情况下, 自行设计测试方法, 尽管该方法的测试结果存在误差(甚至在数倍左右), 但作为一种材料定性分析用的电阻率数据, 确定不同配方胶料的导电特点是完全可行的。

### 2.2 电阻率

轮胎胎面胶的电阻率如表 1 所示, 其他部件的电阻率如表 2 所示。

虽然胶料电阻受测试方法等影响, 数据波动很大, 但足够作为定性分析数据。从表 1 和 2 可以看出, 胎面胶 A~D 的电阻率都可以满足导除静电的要求, 但是气密层胶、过渡层胶、胎侧胶和胎体胶的电阻率均偏高。即轮胎的导电性能受到胎侧阻隔, 高名义高宽比轮胎的导电性能较差。

表 1 轮胎胎面胶的电阻率

| 胎面胶编号  | $R/\text{k}\Omega$ | $\rho \times 10^{-6} /$<br>( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) |
|--------|--------------------|---------------------------------------------------------|
| 胎面胶 A  |                    |                                                         |
| 1 $\#$ | 480                | 1.05                                                    |
| 2 $\#$ | 430                | 0.94                                                    |
| 3 $\#$ | 483                | 1.06                                                    |
| 平均值    |                    | 1.02                                                    |
| 胎面胶 B  |                    |                                                         |
| 1 $\#$ | 75                 | 0.18                                                    |
| 2 $\#$ | 50                 | 0.12                                                    |
| 3 $\#$ | 69                 | 0.17                                                    |
| 平均值    |                    | 0.16                                                    |
| 胎面胶 C  |                    |                                                         |
| 1 $\#$ | 2.2                | 0.005 3                                                 |
| 2 $\#$ | 2.2                | 0.005 3                                                 |
| 3 $\#$ | 2.2                | 0.005 3                                                 |
| 平均值    |                    | 0.005 3                                                 |
| 胎面胶 D  |                    |                                                         |
| 1 $\#$ | 1.7                | 0.004 1                                                 |
| 2 $\#$ | 1.9                | 0.004 6                                                 |
| 3 $\#$ | 2.2                | 0.005 3                                                 |
| 平均值    |                    | 0.004 7                                                 |
| 胎面胶 E  |                    |                                                         |
| 1 $\#$ | $>2.5 \times 10^6$ | $>5\ 200$                                               |
| 2 $\#$ | $>2.5 \times 10^6$ | $>5\ 200$                                               |
| 3 $\#$ | $>2.5 \times 10^6$ | $>5\ 200$                                               |
| 平均值    |                    | $>5\ 200$                                               |

因此, 为了保证轮胎具有较好的导电性能, 必须对胎侧胶配方作出调整, 以降低电阻率, 胎侧胶的期望电阻率为  $1 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$  以下。

因此, 后续研究为胶料中主要导电介质——炭黑品种对胶料导电性能的影响。

## 3 炭黑导电理论

炭黑对橡胶具有优异的补强作用, 橡胶制品特别是轮胎的制造离不开炭黑的应用, 研究炭黑导电理论指导生产应用, 可以得到性能优异的轮胎。

理论上通过调整炭黑的用量和品种, 在一定范围内, 可以得到具有任意导电性能的材料。添加炭黑的高分子材料导电结构非常复杂, 针对导电结构主要有以下两种说法:

(1) 炭黑粒子形成聚合链结构, 通过此链  $\pi$  电子移动, 从而产生导电现象——《导电通路说》;

(2) 不只是粒子间的接触, 电子在母体分散的炭黑粒子间的距离间跳跃, 从而产生导电现

表 2 轮胎其他部件的电阻率

| 部 件  | $R/\text{k}\Omega$ | $\rho \times 10^{-6} /$<br>( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) |
|------|--------------------|---------------------------------------------------------|
| 气密层胶 |                    |                                                         |
| 1#   | $1.3 \times 10^6$  | 2 708                                                   |
| 2#   | $1.3 \times 10^6$  | 2 708                                                   |
| 3#   | $1.4 \times 10^6$  | 2 916                                                   |
| 平均值  |                    | 2 777                                                   |
| 过渡层胶 |                    |                                                         |
| 1#   | $8.3 \times 10^5$  | 1 729                                                   |
| 2#   | $7.4 \times 10^5$  | 1 542                                                   |
| 3#   | $8.0 \times 10^5$  | 1 667                                                   |
| 平均值  |                    | 1 646                                                   |
| 冠带层胶 |                    |                                                         |
| 1#   | 18 000             | 37.5                                                    |
| 2#   | 22 000             | 45.8                                                    |
| 3#   | 20 000             | 41.7                                                    |
| 平均值  |                    | 41.7                                                    |
| 胎体胶  |                    |                                                         |
| 1#   | $4.0 \times 10^5$  | 833                                                     |
| 2#   | $3.3 \times 10^5$  | 687                                                     |
| 3#   | $3.2 \times 10^5$  | 667                                                     |
| 平均值  |                    | 729                                                     |
| 胎面底胶 |                    |                                                         |
| 1#   | 98.5               | 0.22                                                    |
| 2#   | 80                 | 0.18                                                    |
| 3#   | 57                 | 0.13                                                    |
| 平均值  |                    | 0.18                                                    |
| 胎侧胶  |                    |                                                         |
| 1#   | $9.0 \times 10^5$  | 1 874                                                   |
| 2#   | $7.5 \times 10^5$  | 1 562                                                   |
| 3#   | $7.0 \times 10^5$  | 1 458                                                   |
| 平均值  |                    | 1 631                                                   |
| 胎圈护胶 |                    |                                                         |
| 1#   | 9.2                | 0.020                                                   |
| 2#   | 11.3               | 0.024                                                   |
| 3#   | 15.6               | 0.034                                                   |
| 平均值  |                    | 0.026                                                   |

象——《隧道效果说》。

炭黑填充胶料的导电性能受加工条件的影响,其中最大影响因素是炭黑的品种和用量,导电炭黑的一般特性如下。

(1)炭黑的微观结构。炭黑微观结构可通过 X 射线衍射法或高分辨位相差电子显微镜分析得到。

(2)影响导电性能的因素。影响炭黑导电性能的基本因素是粒子直径、结构以及表面状态等。一般作为具有高导电性能的炭黑应具备结构高度发达、粒子直径小、比表面积大、捕捉电子的杂质少和结晶化结构等基本性质。比表面积大、粒子

直径小的结构炭黑,即使用量较小,也因粒子间距较小和已形成导电通路而具有较高的导电性能。炭黑杂质中的氢、氧等对导电性能具有显著影响,将普通炭黑在高温下进行热处理,电导率会显著增大,这是因为捕捉  $\pi$  电子的杂质在高温下被消除,也可解释为形成结晶结构所致。酸性环境对炭黑导电性能有很大的影响,硫化胶的电阻受羧基的影响比氧含量更大、更显著。

(3)加工条件的影响。当聚合物中加入炭黑导电材料时,通常具有一定导电率是不容易的,特别是分散状态、结构破损度对导电性能和物理性能有一定的影响,因此,可再现性的混炼技术和成型条件是必不可少的。

(4)混炼条件的影响。假设所用的聚合物和炭黑品种固定不变,所得的高分子材料导电性能与炭黑填充量、分散状态以及结构破坏程度有关。混炼时间为 2~5 min 时,胶料电阻最小,随着混炼时间的延长,电阻增大。这可以理解为导电性能受分散状况和结构破坏程度的影响。但结构较小的炭黑基本上不受混炼时间的影响,相反,受结构破坏程度的影响特别大。

(5)聚合物可塑性(粘度)的影响。加工时聚合物的粘度(可塑性)对结构的破坏存在影响,提高胶料的可塑性,加工时剪切力下降,可抑制结构破坏,从而防止电阻增大。

(6)成型方法和硫化的影响。硫化条件对导电性能的影响非常显著,随着硫化时间的延长,电阻随之减小。可能是因为混炼或成型时已破坏的炭黑结构在加热和加压过程中再还原的缘故。

4 炭黑品种对轮胎导电性能的影响

4.1 不同配方

影响胶料导电性能的主要因素是炭黑的粒子直径、结构、表面活性等。表 3 所示为轮胎不同部件的填料品种和用量。

对比表 1~3,可以看出不同配方由于使用不同品种的炭黑,胶料的导电性能差异很大。采用烟卤胶结构的轮胎导电通路为轮辋→胎圈护胶→胎侧胶→胎面底胶→烟卤胶。各部件胶料电阻率为:烟卤胶  $4.1 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ ,胎面底胶  $1.93 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ ,胎侧胶  $3.47 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ ,

表 3 轮胎不同部件的填料品种和用量

份

| 填料品种    | 胎面胶 A | 胎面胶 B | 胎面胶 C | 胎面胶 D | 胎面胶 E | 气密层胶 | 过渡层胶 | 冠带层胶 | 胎体胶 | 胎面底胶 | 胎侧胶 | 胎圈护胶 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-----|------|-----|------|
| 炭黑 N326 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 45   | 0   | 0    | 0   | 0    |
| 炭黑 N339 | 90    | 60    | 40    | 0     | 10    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    |
| 炭黑 N330 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0   | 35   | 0   | 70   |
| 炭黑 N234 | 0     | 0     | 0     | 65    | 0     | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    |
| 炭黑 N660 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 70   | 40   | 0    | 60  | 35   | 60  | 0    |
| 白炭黑     | 0     | 20    | 20    | 0     | 70    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    |
| 陶土      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 30   | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    |

胎圈护胶 3×10<sup>4</sup> Ω·cm。

4.2 标准配方

检验炭黑的标准配方组分和用量为标准胶 100,炭黑 50,氧化锌 5,硬脂酸 3,硫黄 2.5,促进剂 DM 0.6。标准配方下,采用不同品种和产地的炭黑及不同混炼时间胶料的电阻率如表 4~9所示。

从表4~9可以看出:标准配方采用炭黑品种

表 4 采用炭黑 N660 标准配方胶料的电阻率

| 生产商 | R/kΩ    | $\rho \times 10^{-6}/(\Omega \cdot \text{cm})$ |
|-----|---------|------------------------------------------------|
| A   | 4 480   | 13.1                                           |
| A*  | 23 267  | 67.9                                           |
| B   | 20 667  | 47.2                                           |
| B*  | 197 333 | 575.6                                          |
| C   | 35 000  | 102.1                                          |
| C*  | 152 333 | 444.3                                          |

注:\* 为混炼时间增加 10 min。

表 5 采用炭黑 N550 标准配方胶料的电阻率

| 生产商 | R/kΩ  | $\rho \times 10^{-6}/(\Omega \cdot \text{cm})$ |
|-----|-------|------------------------------------------------|
| A   | 145   | 0.43                                           |
| A*  | 1 477 | 4.31                                           |
| B   | 473   | 1.38                                           |
| B*  | 1 830 | 5.34                                           |
| C   | 209   | 0.57                                           |
| C*  | 749   | 2.19                                           |

注:同表 4。

表 6 采用炭黑 N326 标准配方胶料的电阻率

| 生产商 | R/kΩ  | $\rho \times 10^{-6}/(\Omega \cdot \text{cm})$ |
|-----|-------|------------------------------------------------|
| A   | 15.3  | 0.03                                           |
| A*  | 21.3  | 0.04                                           |
| B   | 7.3   | 0.02                                           |
| B*  | 9.6   | 0.02                                           |
| C   | 70    | 0.17                                           |
| C*  | 125.7 | 0.27                                           |

注:同表 4。

表 7 采用炭黑 N330 标准配方胶料的电阻率

| 生产商 | R/kΩ | $\rho \times 10^{-6}/(\Omega \cdot \text{cm})$ |
|-----|------|------------------------------------------------|
| A   | 5.4  | 0.011                                          |
| A*  | 16.3 | 0.034                                          |
| B   | 5.4  | 0.012                                          |
| B*  | 6.9  | 0.014                                          |
| C   | 11.0 | 0.023                                          |
| C*  | 36.2 | 0.072                                          |

注:同表 4。

表 8 采用炭黑 N339 标准配方胶料的电阻率

| 生产商 | R/kΩ | $\rho \times 10^{-6}/(\Omega \cdot \text{cm})$ |
|-----|------|------------------------------------------------|
| A   | 6.8  | 0.014                                          |
| A*  | 12.5 | 0.026                                          |
| B   | 4.1  | 0.009                                          |
| B*  | 8.3  | 0.017                                          |
| C   | 4.3  | 0.009                                          |
| C*  | 7.7  | 0.016                                          |

注:同表 4。

表 9 采用炭黑 N234 标准配方胶料的电阻率

| 生产商 | R/kΩ | $\rho \times 10^{-6}/(\Omega \cdot \text{cm})$ |
|-----|------|------------------------------------------------|
| A   | 2.5  | 0.005 2                                        |
| A*  | 3.1  | 0.006 4                                        |
| B   | 2.5  | 0.005 1                                        |
| B*  | 3.9  | 0.008 3                                        |
| C   | 1.7  | 0.003 6                                        |
| C*  | 3.2  | 0.006 7                                        |

注:同表 4。

不同,胶料电阻率相差很大,导电性能最好的是采用炭黑 N234 标准配方胶料,其他按降序排列依次为炭黑 N330,N339,N326,N550,N660;当采用同品种炭黑时,不同生产厂家由于制造工艺不同,炭黑表面活性不同,胶料电阻率亦有一定差异,特别是电阻率较大的炭黑 N660,电阻率存在约 1 个数量级别的差异;胶料的混炼时间过长,胶

料的导电性能变差。

4.3 硫化的影响

胶料硫化后,橡胶分子结构发生重大变化,形成新的交联网络结构、产生新的官能团和化学键,影响炭黑原子核外电子云的分布区域。同时由于硫化后,在加工过程中被破坏的炭黑分子结构得到恢复,这对材料的导电性能产生影响。同配方未硫化胶和硫化胶的电阻率如表 10 所示。

表 10 同配方未硫化胶和硫化胶的电阻率

| 项 目  | R/kΩ | $\rho \times 10^{-6}/(\Omega \cdot \text{cm})$ |
|------|------|------------------------------------------------|
| 硫化胶  |      |                                                |
| 1#   | 0.8  | 0.003 5                                        |
| 2#   | 0.9  | 0.003 9                                        |
| 3#   | 0.9  | 0.003 9                                        |
| 平均值  |      | 0.003 8                                        |
| 未硫化胶 |      |                                                |
| 1#   | 35   | 0.14                                           |
| 2#   | 40   | 0.16                                           |
| 3#   | 42   | 0.17                                           |
| 平均值  |      | 0.16                                           |

注:试样规格均为 100 mm×12.5 mm×3.5 mm。

从表 10 可以看出,未硫化胶料的电阻率为  $1.6 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ ,硫化胶的电阻率为  $3.8 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ ,说明硫化胶的电阻率远小于未硫化胶料。因此,在设计胶料在线导电性能检测设备时,需要充分考虑未硫化胶和硫化胶的差异,作好设备检测范围的设计。

5 轮胎电阻的测试和分析

采用“烟囱法”胎面(如图 1 所示,胎面部件“烟囱胶”宽度为 0.6~0.8 mm)生产轮胎进行轮胎电阻检测。

5.1 成品断面剖析

断面切割后分析,胎面“烟囱胶”清晰可见,宽度为 0.6~0.8 mm,轮胎断面结构完全符合“烟囱法”的设计要求。

5.2 轮胎导电性能检测

采用胎面胶 E 或胎面胶 E 和胎面胶 D 烟囱

胶制备 205/55R16 规格轮胎,其电阻值分别为  $2.86 \times 10^{10}$  和  $8.63 \times 10^8 \Omega$ 。可以看出,后者达到了 GB/T 26277—2010《轮胎电阻测量方法》规定轮胎电阻小于  $10^{10} \Omega$  的指标要求。

为了验证轮胎不同部位对导电性能的影响,采用不同配方胎侧胶和不同结构尺寸“烟囱胶”制作轮胎。当“烟囱胶”宽度为 1.5 mm,胎面底胶厚度分别为 0.5 和 0.8 mm,采用炭黑 N660 配方的胎侧胶和翼胶,测试电压为 1 kV 时,轮胎的电阻分别为  $3.94 \times 10^8$  和  $4.35 \times 10^8 \Omega$ ;当“烟囱胶”宽度为 1.5 mm,胎面底胶厚度为 0.8 mm,采用炭黑 N330 配方的胎侧胶和翼胶,测试电压为 10 V 时,轮胎电阻为  $5.0 \times 10^4 \Omega$ ;当“烟囱胶”宽度为 0.7 mm,胎面底胶厚度为 0.5 mm,测试电压为 10 V 时,采用炭黑 N330 配方的胎侧胶和翼胶,轮胎电阻为  $6.7 \times 10^4 \Omega$ 。

6 成品性能

采用胎面胶 E 和上述其他部件生产 6 条出租车轮胎,在前轮安装使用 3 个月,没有异常情况发生,轮胎行驶超过 29 000 km,花纹剩余 3.2 mm,轮胎在继续使用中。由于“烟囱胶”的耐磨性能优于母体胎面胶,轮胎在使用过程中胎面在磨损后“烟囱胶”有轻微的凸起,这有利于接触地面有效导除车辆的静电。

7 结论

- (1)轮胎的导电性能取决于轮胎各个部件的胶料配方。
- (2)不同配方的导电性能取决于配方中炭黑品种。
- (3)“烟囱胶”的尺寸(宽度)对轮胎的导电性能不会产生数量级的影响。
- (4)“烟囱胶”的优异耐磨性能有利于导除汽车行驶中产生的静电。

第 17 届中国轮胎技术研讨会论文