

导电天然橡胶在工频电流电路中的特性

刘金宝 高长松

(南京橡胶厂 210003)

摘要 以乙炔炭黑和高导电炭黑填充天然橡胶,研究其在工频电流电路中的特性。结果表明:填充高导电炭黑的天然橡胶的导电性能明显优于填充乙炔炭黑的天然橡胶,高导电炭黑的适宜填充量为30份;导电天然橡胶交流电阻低于直流电阻;导致导电天然橡胶受热迅速破坏的耗散功率为20—30W,高导电炭黑天然橡胶正常使用的耗散功率不宜超过4W。

关键词 导电天然橡胶,高导电炭黑,交流电阻,耗散功率

通常,橡胶作为弹性绝缘材料被广泛应用,其电阻率一般为 10^{12} — $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$,最高可达 $10^{17} \Omega \cdot \text{cm}$ 。但是,有些特定用途的橡胶制品,如低压电器开关、电缆屏蔽护套、安全地垫、电键等,需要用高导电性弹性体制作,这些制品的电阻率常常要求在 $10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下,甚至低达 $5 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

橡胶本身并不导电,但通过添加导电填料可成为电的良导体。目前橡胶工业多采用乙炔炭黑作为导电填料。最近市场上出现一种称为谢尔炉炭黑的新型高导电炭黑^[1]。这两种炭黑在天然橡胶中的填充量对天然橡胶硫化胶在工频交流电路中的特性有很大影响。本文通过研究导电天然橡胶(以下简称导电橡胶)的工频电流伏-安特性、橡胶耗散功率及生热,对导电橡胶的性能与适用范围进行了初步探讨。

1 实验

1.1 原材料

1#烟片胶(二段塑炼,塑性值 0.40 ± 0.05),国产;高导电炭黑 HG-3(即谢尔炉炭黑),山东华光化工厂产;乙炔炭黑,国产;其它配合剂均为国产材料。

1.2 试样制备

胶料在 $\Phi 160\text{mm} \times 320\text{mm}$ 开炼机上按常规方法混炼,使用50t蒸汽平板硫化机硫化试样,硫化条件为 $150^\circ\text{C} \times 30\text{min}$ 。试样为圆柱形,直径为13mm,高度为6.3mm。试验配方如表1所示。

表1 试验配方 份

配方号	HG-3 炭黑	乙炔炭黑	高耐磨炉黑
1	20	—	30
2	30	—	20
3	40	—	10
4	50	—	—
5	—	20	30
6	—	30	20
7	—	40	10
8	—	50	—

基本配方:天然橡胶 100;氧化锌 6;硬脂酸 1.5;防老剂 2.5;促进剂 0.8;硫黄 2.5,合计 163.3。

1.3 性能测试

导电橡胶电性能测定装置如图1所示。图中弹簧6为汽车气门弹簧,其作用是保持两测量电极与橡胶表面紧密接触。上电极3用黄铜制成,与橡胶接触处直径为16mm。下电极5为钢制圆盘,与橡胶接触面直径为40mm。上、下垫板2和8材料为MC尼龙。实

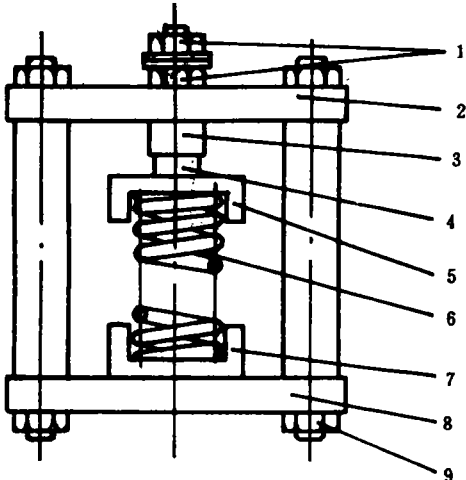


图 1 导电橡胶电性能测定装置

1—电极螺母;2—上垫板;3—上电极;4—橡胶试样;5—下电极;6—弹簧;7—弹簧座;8—下垫板;9—连杆及螺母
实际测量时,弹簧压缩量为 3mm(压力为 90N)。

导电性能测定原理图见图 2。图中, U 为交流电压(AC)220V,频率 50Hz,经调压器 B 降压后输入试验装置。串联在电路中的 A 为 69L9 型电流表,量程 0—5A。 V 为 85L1 型电压表,并联在电路中,用来测量负载 Z (导电橡胶)的端电压。

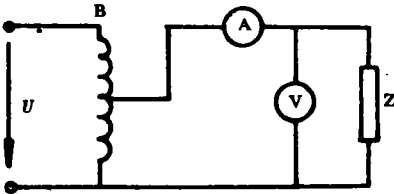


图 2 导电特性测定原理图

1.4 计算

电阻率按 $\rho=RS/l$ 计算。式中 R 为橡胶试样电阻; l 为橡胶试样高度(本文为 0.63 cm); S 为橡胶试样横截面积(本文为 1.3 cm²)。

2 结果与讨论

2.1 导电炭黑品种和用量对橡胶工频电流伏-安特性的影响

橡胶是通过加入其中的导电炭黑的紧密接触而形成电流通路的,因此,导电炭黑用量

显著影响着橡胶的伏-安特性。

乙炔炭黑用量与橡胶导电性的关系如图 3 所示。在炭黑用量少于 20 份时,橡胶几乎不导电。随着炭黑用量增加,电流迅速增大,当填充量为 50 份时,电流可达 0.85A(电压为 50V)。由于乙炔炭黑视比容(9—16mL·g⁻¹)比普通炭黑(约 2—3mL·g⁻¹)大得多,要大量填充乙炔炭黑在工艺上很困难,因此,用量超过 50 份,就几乎失去实用价值。

根据欧姆定律 $R=U/I$ 和图 3 数据,计算出乙炔炭黑导电橡胶电阻,如图 4 所示。从

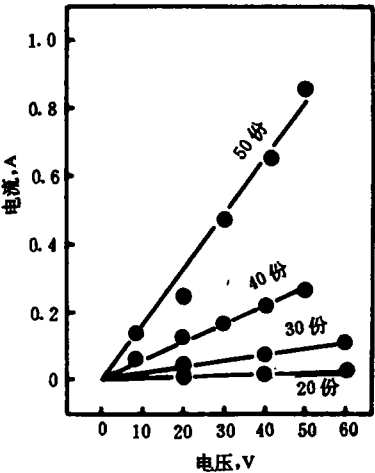


图 3 乙炔炭黑导电橡胶的伏-安特性曲线

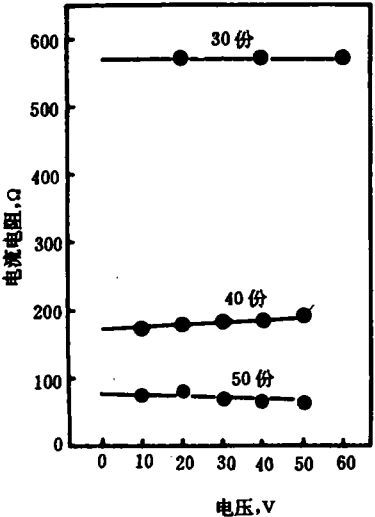


图 4 乙炔炭黑导电橡胶的交流电阻-电压关系

图 4 可以看出,乙炔炭黑导电橡胶的交流电阻随电压的增大基本保持不变,即电压与电流呈线性关系。填充 50 份乙炔炭黑的硫化胶,其交流电阻率约为 $140\Omega \cdot \text{cm}$ 。

导电炭黑 HG-3 填充量与橡胶导电性的关系如图 5 所示。从该图可以看出,填充 20 份导电炭黑 HG-3,电流可达 2A 以上(此时电压为 10V)。填充 40 份,电流可达 5A 以上(此时电压为 6V)。用量高于 40 份后,电性能基本上不再提高。由此可知,导电炭黑 HG-3 的适宜填充量为 30 份左右,此时导电橡胶的交流电阻率约为 $4\text{--}20\Omega \cdot \text{cm}$ (见图 6 和表 2)。

图 5 和 6 还表明,导电炭黑 HG-3 导电

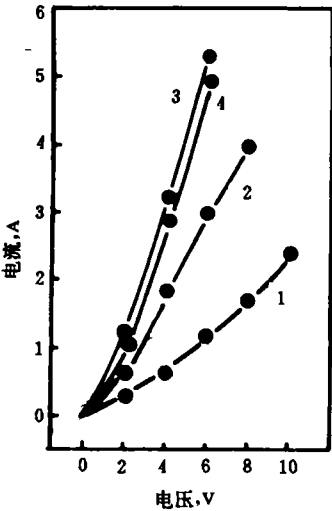


图 5 HG-3 炭黑导电橡胶的伏-安特性曲线
图中 1,2,3,4 分别表示 HG-3 炭黑的填充量为 20,30,40,50 份

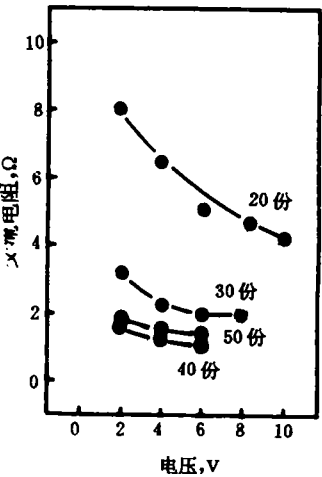


图 6 HG-3 炭黑导电橡胶的交流电阻-电压关系

橡胶的电阻与电压呈非线性关系,起初电阻随电压升高而显著减小,之后渐趋稳定。

上述试验结果表明,导电炭黑 HG-3 的导电性明显优于乙炔炭黑。当端电压为 10V 时,填充 50 份乙炔炭黑的导电橡胶通过的电流仅为 0.135A,而填充 30 份导电炭黑 HG-3 的导电橡胶可通过 5A 以上的电流,两者相差逾 40 倍。

为检验导电橡胶的实用性,将一负载(300W 电炉)与实验装置串联。结果表明,乙炔炭黑导电橡胶中最好的试样(配方 8)也不能正常使用(橡胶发热、冒烟),只有 HG-3 炭黑导电橡胶可持续工作。填充 30 和 40 份 HG-3 炭黑的导电橡胶串联电炉后的伏-安特性如表 2 所示。通电 0.5h 后,切断电源,取下试样作外观检查,未见橡胶有破坏现象。

表 2 串联 300W 电炉后 HG-3 炭黑导电橡胶的伏-安特性

	电 压,V					
	1	2	3	4	5	6
配方 2						
电流,A	0.08	0.22	0.42	0.70	1.00	1.30
电阻,Ω	12.5	9.1	7.1	5.7	5.0	4.6
配方 3						
电流,A	0.10	0.20	0.50	0.95	1.30	—
电阻,Ω	10.0	10.0	6.0	4.2	3.8	—

2.2 导电橡胶的交流电阻

配方 1—8 试样的直流电阻分别为 30, 15, 14, 13, 2300, 1000, 300 和 110Ω。将此数据与图 4 和 6 比较, 可以发现导电橡胶在直流 (DC) 状态和 AC 状态下的电阻有较大差异 (用图 1 装置测定, 选用同一试样), 交流电阻小于直流电阻。笔者认为, 这种结果可以用图 7 所示的 RC 并联电路模型来解释。

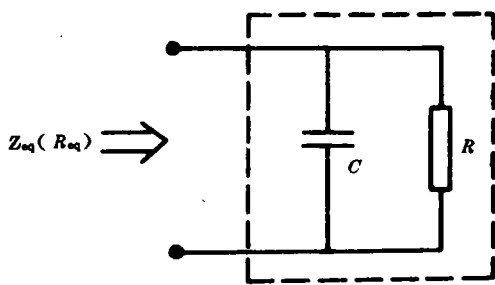


图 7 导电橡胶 RC 并联电路模型

在图 7 中, $Z_{eq} (R_{eq})$ 为 RC 并联电路的等效电阻。

当外接一直流电源时, 电容支路 $I_C = 0$, 则 $R_{eq} = R$ 。

当外接一交流电源时, $I_C \neq 0$, 则

$$Z_{eq} = \frac{Z_C \cdot Z_R}{Z_C + Z_R}$$

式中 $Z_C = -j/\omega C$, $Z_R = R$, 因此

$$Z_{eq} = \frac{-jR/\omega C}{R - j/\omega C}$$

经整理, 得

$$|Z_{eq}| = \frac{R \sqrt{1 + (\omega CR)^2}}{1 + (\omega CR)^2}$$

由于 $\sqrt{1 + (\omega CR)^2} / [1 + (\omega CR)^2] < 1$ (工频电流情况下, $\omega = 2\pi f = 100\pi$; $C > 0$, $R > 0$), 因此, $|Z_{eq}| < R$ 。

另外, 从橡胶微观状态分析, 导电炭黑比表面积越大, 与绝缘橡胶之间形成的微电容效应越显著。由于微电容的不断充、放电, 形成电流的第二通道, 从而降低了导电橡胶在交流电路中的阻抗 (电阻)。

2.3 导电橡胶的电功损耗

导电橡胶在使用过程中, 其电阻会不断

消耗电能而产生热量, 使橡胶温度升高。根据能量守恒定律可知, 导电橡胶的生热功率必与消耗功率相等, 即 $P = UI = I^2 R$ [2]。

由试验得知, 导电天然橡胶受热迅速破坏的耗散功率约为 20—30W。例如, 当电压为 8V、电流为 2.5A 时, 配方 3 的试样在 2min 内出现冒烟、焦化现象; 当电压为 50V、电流为 0.4A 时, 配方 8 的试样在 1min 内出现冒烟、鼓泡。可见橡胶破坏主要与耗散功率及橡胶耐热性有关, 与导电炭黑品种基本无关。

降低橡胶耗散功率可延长使用寿命。例如, 功耗降至 10W (配方 8 试样, 电压 40V, 电流 0.25A), 持续通电 20min 才出现冒烟现象。

不同功耗时, 通电时间与橡胶温度之间的关系如图 8 所示。该图表明, 若需导电天然橡胶长时间工作, 功耗不宜超过 4W, 因为天然橡胶的正常使用温度在 100℃ 以下。

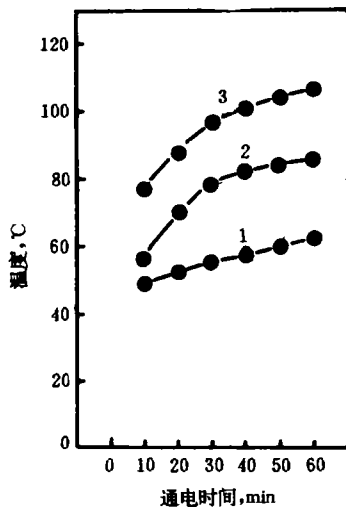


图 8 HG-3 炭黑导电橡胶通电时间与温度的关系

1— $P=3W$; 2— $P=4W$; 3— $P=7W$

2.4 温度对电阻的影响

任何导体的电阻都具有随温度 T 变化而变化的特性 [3], 即

$$R = R_0 (1 + \alpha T)$$

式中 R ——任意温度 $T(^{\circ}\text{C})$ 的电阻, Ω ;

R_0 —— 0°C 时的电阻, Ω ;

α ——电阻的平均温度系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

金属导体的 α 值为正值, 但碳材料与之不同, α 为负值。因此, 当温度升高时, 金属导体电阻增大, 碳材料导体的电阻减小。经笔者试验, 导电天然橡胶具有与普通碳电阻相似的电阻-温度特性(见图9)。这表明在实际使用导电橡胶时, 应严格控制其耗散功率。因为一旦超负荷使用, 温度就会急剧上升, 导电橡胶的电阻随之下降, 这样通过的电流又增大了, 形成恶性循环, 从而导致橡胶的迅速破坏。

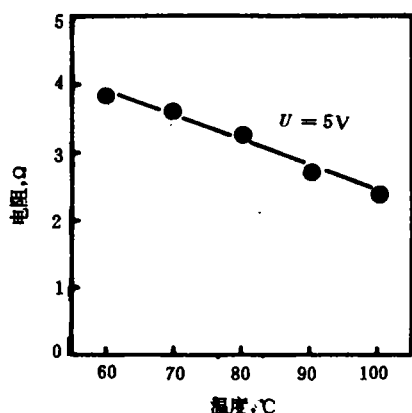


图9 HG-3 炭黑导电橡胶(试样2)的电阻-温度特性

3 结论

(1)HG-3 炭黑的导电性、实用性明显优于乙炔炭黑。在相同电压条件下, 流过填充30份HG-3炭黑的天然橡胶的电流, 是流过填充50份乙炔炭黑的天然橡胶电流的40倍以上。因此, 在实用电路(串联300W负载)中, 乙炔炭黑导电橡胶完全不能正常使用, 而HG-3炭黑导电橡胶可持续工作0.5h以上, 此时电流为1.3A。

(2)导电天然橡胶的交流电阻低于直流电阻。

(3)导致导电天然橡胶破坏的耗散功率约为20—30W。正常使用时, 耗散功率不宜超过4W。

(4)导电天然橡胶电阻随温度升高而降低, 与普通碳材料电阻-温度特性相符(温度系数 α 为负值)。

参考文献

- 1 宁英沛等. 一种新型的高导电炭黑. 橡胶工业, 1993; 40(10): 585
- 2 上海铁道学院《电工原理》编写组. 电工原理. 北京: 人民铁道出版社, 1974: 22
- 3 浙江大学电工教研室. 电工学(上册). 北京: 人民教育出版社, 1979: 40

收稿日期 1994-01-03

Behaviour of Electric Conductive Rubber in Circuit of Current at Industrial Frequency

Liu Jinbao and Gao Changsong

(Nanjing Rubber Factory 210003)

Abstract A study was made on the behaviour of NR compounds filled with acetylene black and super conductive black in the circuit of the current at the industrial frequency. The result showed that the conductivity of NR compound filled with super conductive black was significantly better than that of NR compound filled with acetylene black; the appropriate loading level of the super conductive black was 30 phr; the AC resistance of the conductive NR compound was lower than its DC resistance; the dissipation power which might result in

橡胶增粘剂 TKB 系列的特性及增粘作用

蒲启君 赵忠礼 李花婷 齐玉娥 许春华 薛仕媛

(化工部北京橡胶工业研究设计院 100039)

魏述章 李建忠 赵先 郝玉鑫 曹俊群

(青岛助剂厂 266042)

摘要 测定橡胶增粘剂非热反应型对-叔丁基苯酚甲醛树脂 TKB 系列产品的基本热力学性质,包括溶解性、粘度、比热容和导热系数;展示出 TKB 系列产品与国外同类产品对比的红外光谱图,表明其与国际同类先进产品的一致性;研究 TKB 系列对天然橡胶、丁苯橡胶和顺丁橡胶三种胶料的增粘作用及粘性保持性,并推荐在干胶胶料中 TKB 的最佳配合量(2—6 份);提出准确评价胶料存放粘性的图解方法。

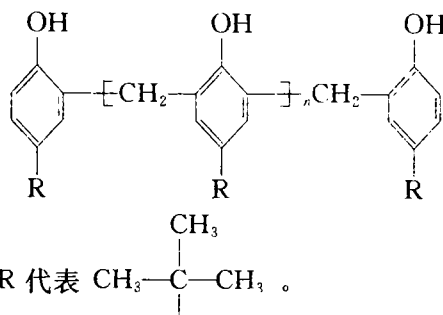
关键词 对-叔丁基苯酚甲醛树脂,粘性,增粘剂,增粘作用

众所周知,合成橡胶尽管有耐磨、强力高和耐老化等优点,但因其自粘性比天然橡胶差,故在轮胎中长期不能高比例配用。世界天然橡胶资源有限,如何提高合成橡胶的自粘性,以扩大其应用领域,提高橡胶制品,特别是轮胎质量是 50 年来世界橡胶工业技术开发的主要课题之一。经过近 30 年的开发和推广应用证明,非热反应型对-叔丁基苯酚甲醛树脂是一类高效增粘树脂,也是我国引进意大利 Pirelli 公司子午线轮胎技术必须配套的重要助剂之一。化工部北京橡胶工业研究设计院与青岛助剂厂合作开发出橡胶增粘剂 TKB 系列(“八五”国家重点科技攻关项目),实现了该类高效增粘剂的国产化。本文研究了 TKB 系列产品的特性及其对橡胶的增粘作用。

1 TKB 系列产品的化学名称

TKB 系列产品化学名为 4-(1,1-二甲基乙基)苯酚甲醛树脂,俗名为非热反应型对-

叔丁基苯酚甲醛树脂。其特征化学结构如下:



TKB 系列包括 TKB-120, TKB-130, TKB-140 和 TKB-N。TKB-120, TKB-130 和 TKB-140 为对-叔丁基苯酚甲醛树脂,字母后面的数字表示软化点温度。TKB-N 为含氮三元缩合树脂。

2 TKB 系列产品的标准

TKB 系列产品必须符合意大利 Pirelli 公司标准的要求。TKB 系列产品质量控制项目和指标见表 1。

意大利 Pirelli 公司、桦林橡胶厂、青岛

fast deterioration of the conductive rubber by heat was 20-30W; the normal dissipation power of NR compound filled with super conductive black had better not exceed 4W.

Keywords conductive NR, super conductive black, AC resistance, dissipation power