

回归分析法研究导电硅橡胶的综合性能

肖 建 斌
(青岛科技大学高分子科学与工程学院, 山东 青岛 266042)

摘要: 用回归分析法对白炭黑和乙炔炭黑的用量与硅橡胶的导电性以及综合性能之间的关系进行研究。结果表明: 硅橡胶的导电性随乙炔炭黑的用量增加而提高, 物理机械性能则有所下降; 硅橡胶的导电性随白炭黑的用量增加而下降, 拉伸强度则有所提高。建立的数学模型能较好地拟合硅橡胶的导电性及综合性能与白炭黑和乙炔炭黑的用量之间的关系。

关键词: 硅橡胶; 导电性; 回归分析法

制备导电性能良好的聚合物的方法主要有 3 种。一是通过改变聚合物本身的组成或结构以获得合适的电性能; 二是通过加入掺杂剂改变分子级的性质以形成电荷迁移络合物; 以上两种方法制得的导电聚合物为结构型。第三种方法是将细微的导电颗粒如金属粉末、乙炔炭黑或金属纤维、碳纤维掺入主体聚合物中, 形成导电共混物, 获得所需的导电率。该方法是制备导电聚合物的传统方法, 可用来制备几乎所有的导电聚合物制品。

本文主要用回归分析法对白炭黑和乙炔炭黑的用量与硅橡胶的导电性以及综合性能之间的关系进行研究, 为预测胶料性能及优化配方提供理论依据。

1 实验部分

1.1 原材料

甲基乙烯基硅橡胶, 110-2 深圳精细石化有限公司产品; 乙炔炭黑, 工业级, 焦作炭黑厂产品; 气相法白炭黑, 沈阳化工厂产; 过氧化二异丙苯, 江苏海安东洋化工厂产品; 其余均为工业常用品。

1.2 试样制备

将生胶和配合剂在开炼机上进行混炼, 混炼胶在室温下停放 1 天, 再返炼; 下片, 硫化。硫化条件为: 一段硫化 $170^{\circ}\text{C} \times 15\text{min}$ 二段硫化 $200^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$

1.3 性能的测试

拉伸性能按 GB/T528-92 测定; 硬度按 GB/

T531-92 测定; 压缩永久变形按 GB1683-81 测定; 体积电阻率按 GB2439-89 测定。

2 结果与讨论

由于有机硅生胶是非结晶性聚合物, 其硫化胶的强度较低, 加入白炭黑后, 可通过白炭黑表面的硅醇基团与聚硅氧烷之间相互作用来提高硅橡胶的强度。气相法白炭黑与沉淀法白炭黑对导电硅橡胶的导电性影响差别不大, 但气相法白炭黑的补强效果要优于沉淀法白炭黑, 因此选择气相法白炭黑作为补强剂。

乙炔炭黑、华光炭黑是导电炭黑中性能比较优越的两种, 此外还有碳纤维和石墨等。华光炭黑虽然导电性好, 但它比表面积大, 结构度高, 当超过一定量时, 混炼和交联就相当困难。而碳纤维和石墨的导电性虽好, 但它们在硅橡胶中的补强效果差, 工艺性能也远不及乙炔炭黑, 因此选择乙炔炭黑作为导电填充剂。

2.1 实验的设计与结果分析

在导电性硅橡胶的胶料配合中, 乙炔炭黑和白炭黑的用量是关键。因此选择乙炔炭黑和白炭黑的用量为变量因子, 采用两变量配方实验设计法。乙炔炭黑和白炭黑的用量作为两个配方因子, 分别考察它们与胶料各项性能指标之间的关系, 第一变量因子 X_1 分别用 $-1, 0, +1$ 水平代表乙炔炭黑用量为 50, 65, 80, 第二变量因子 X_2 分别用 $-1, 0, +1$ 水平代表白炭黑用量为 0, 10, 20, 胶料其余配方组分为: 甲基乙烯基硅橡胶 100 过

氧化二异丙苯 2 羟基硅油 1. 0; 三氧化二铁 3. 实验安排及配方设计如表 1.

表 1 试验设计及安排

编号	X ₁ 水平	乙炔炭黑 /份	X ₂ 水平	白炭黑 /份
1	—1	50	—1	0
2	—1	50	0	10
3	—1	50	+1	20
4	0	65	—1	0
5	0	65	0	10
6	0	65	+1	20
7	+1	80	—1	0
8	+1	80	0	10
9	+1	80	+1	20

表 2 试验结果

编号	拉伸强度 /MPa	扯断伸长率 /%	邵尔 A型硬度 /度	压缩永久变形 /150℃×72h	体积电阻率 /(Ω·cm)
1	3.6	260	71	25.1	75
2	4.2	222	77	27.2	107
3	5.3	184	81	28.9	128
4	3.4	215	75	28	23.5
5	4.1	185	79	30.2	32
6	4.7	160	82	31.1	41
7	3.2	165	78	30	8.4
8	3.7	126	81	31.6	11.5
9	4.3	110	84	33	23

性能测试实验结果如表 2 所示, 结合表 1 中每个变量因子的变化, 然后进行结果分析. 对表 2 中 1[#]、2[#]和 3[#]、4[#]、5[#]和 6[#]或 7[#]、8[#]和 9[#]配方进行比较, 在乙炔炭黑用量一定的情况下, 随着白炭黑

用量的增加, 胶料的硬度、拉伸强度和压缩永久变形提高, 扯断伸长率降低, 但体积电阻率明显增大. 比较 1[#]、4[#]和 7[#]、2[#]、5[#]和 8[#]和 3[#]、6[#]和 9[#]配方可知, 在白炭黑用量一定的情况下, 胶料随乙炔炭黑用量增加, 胶料的硬度和压缩永久变形提高, 拉伸强度和扯断伸长率降低, 但体积电阻率明显降低.

2.2 回归方程的建立及检验

大量的配方实践表明, 胶料的各项性能和配方因子之间呈高度相关性, 通常采用多项式回归模型: $y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum \sum b_{ij} x_i x_j$ 其中 y 表示性能指标, x 表示配方因子, b 为回归模型的系数, i, j 表示配方因子数, 经过回归分析计算数学模型的系数, 得到胶料的各项性能指标与乙炔炭黑用量和白炭黑用量配方因子之间的回归方程式, 如表 3 所示. $F_{比}$ 为试验数据与模型预测数据吻合的程度, $F_{0.01}$ 为在可信度为 99% 时 F 检验的临界值, 当 $F_{比} > F_{0.01}$ 时, 说明所建立的数学模型能够准确地预测胶料的性能, 回归方程高度显著. 两变量三水平配方实验设计法的 $F_{0.01}(5, 3) = 28.2$ 由于上述性能指标的 F 比值均大于 $F_{0.01}(5, 3)$, 说明建立的回归方程都高度显著, 因此建立的数学模型均能较好地描述各项性能与乙炔炭黑用量和白炭黑用量之间的关系, 为预测胶料性能及优化配方提供了理论依据.

表 3 性能与因子间的回归方程与显著性检验

性能	回归方程	$F_{比}$
拉伸强度 /MPa	$y = 4.01 - 0.32x_1 + 0.68x_2 - 1.67x_1^2 + 0.082x_2^2 - 0.15x_1x_2$	61
扯断伸长率 /%	$y = 183 - 44.3x_1 - 0.3x_2 - 8.8x_1^2 + 4.7x_2^2 + 5.3x_1x_2$	125
邵尔 A型硬度 /度	$y = 79 + 2.3x_1 + 3.8x_2 - 0.5x_2^2 - x_1x_2$	112.8
压缩永久变形 /150℃×72h	$y = 30 + 2.58x_1 + 1.5x_2 - 0.58x_1^2 - 0.33x_2^2$	183
体积电阻率 /(Ω·cm)	$y = 32.4 - 44.5x_1 + 14.2x_2 + 26.7x_1^2 - 0.35x_2^2 - 9.6x_1x_2$	74.3

表 4 计算值与实测值比较

性能	实测值	计算值
拉伸强度 /MPa	4.1	4.01
扯断伸长率 /%	185	183
邵尔 A型硬度 /度	79	79
压缩永久变形 /150℃×72h	30.2	30
体积电阻率 /(Ω·cm)	32	32.4

为进一步验证数学模型的准确性, 分别采用乙炔炭黑用量为 65 份和白炭黑用量为 10 份转换成配方因子的水平数代入数学模型, 求得计算值与实测值进行比较. 由表 4 中可知, 胶料各项性能的实测值与经过数学模型预测的计算值非常吻

合, 说明建立的数学模型有较高的准确度.

3 结论

1. 硅橡胶的导电性随乙炔炭黑的用量增加而提高, 物理机械性能则有所下降; 硅橡胶的导电性随白炭黑的用量增加而下降, 拉伸强度则有所提高.

2. 建立的数学模型能较好地拟合胶料各项性能与乙炔炭黑用量和白炭黑用量之间的关系, 为预测胶料性能及优化配方提供了理论依据.