

发泡点分析仪的胶料硫化程度计算方法改进

王朱遗,张庆华

[ 弘埔技术(香港)有限公司,上海 201615 ]

摘要:改进发泡点分析仪(BPA)的胶料硫化程度(CD)计算方法。改进后计算方法为:根据胶料已知CD与硫化时间的Excel表,拟合一次函数或二次函数曲线,得出拟合方程式,采用拟合方程式计算胶料的CD。与改进前计算方法(以正硫化时间为基准)相比,改进后计算方法计算的胶料CD,尤其是发泡点CD准确性大幅提高。

关键词:发泡点分析仪;硫化程度;发泡点;硫化测温;函数

中图分类号:TQ330.7+2 文献标志码:A 文章编号:2095-5448(2017)06-39-04

发泡点分析仪(BPA)是测试和分析胶料硫化 and 发泡特性的设备,试样为楔形<sup>[1]</sup>。将试样放入BPA中进行标准操作后,利用试样厚度与硫化时间的相关性,测算出试样测温点的硫化时间(等效硫化时间),从而确定试样测温点相应厚度处的硫化程度(CD),并可根据试样中发泡点与薄端点的距离测算发泡点的CD。过去,一直以正硫化时间为基准<sup>[2-3]</sup>来计算胶料的CD,但这不适用于CD较低的发泡点分析。随着软件的数理统计功能增强,利用智能化程度较高的Excel表可以对胶料的CD数据散点进行线性拟合,一般来说可拟合成一次函数(线性函数)或二次函数(多项式函数)曲线。两种CD函数曲线相比较,与数据点分布状态更接近的是二次函数曲线,因此用二次函数方程式可以更准确地计算胶料的CD。

1 改进前计算方法

BPA测试胶料CD改进前计算式为:

$$CD = t_{EQ} / t_{90} \times 100\%$$

式中, $t_{EQ}$ 为测温点的等效硫化时间(卸除内压时的硫化时间), $t_{90}$ 为正硫化时间。

BPA采用改进前计算方法测算的某胎面胶和硫化测温计算的全钢载重子午线轮胎不同部位胶料的CD如表1和2所示。

需要说明的是,国内外有些企业采用 $t_{95}$ 为正硫

作者简介:王朱遗(1949—),男,浙江绍兴人,弘埔技术(香港)有限公司工程师,从事橡胶材料技术支持工作。

表1 BPA测算的某胎面胶CD

| 测温点 | $t_{EQ}/s$ | $t_{90}/s$ | CD/%  |
|-----|------------|------------|-------|
| ch1 | 266.15     | 459.60     | 57.91 |
| ch2 | 168.55     | 459.60     | 36.67 |
| ch3 | 93.27      | 459.60     | 20.29 |
| ch4 | 45.49      | 459.60     | 9.90  |

表2 全钢载重子午线轮胎硫化测温计算的不同部位胶料CD

| 测温点 | 部位        | 胶料   | $t_{EQ}/s$ | $t_{90}/s$ | CD/% |
|-----|-----------|------|------------|------------|------|
| ch1 | 包布外端点(下模) | 带束层胶 | 2.44       | 20.34      | 12   |
| ch2 | 反包端点(下模)  | 带束层胶 | 2.64       | 20.34      | 13   |
| ch3 | 反包端点(上模)  | 带束层胶 | 4.27       | 20.34      | 21   |
| ch4 | 包布外端点(上模) | 带束层胶 | 5.29       | 20.34      | 26   |
| ch1 | 包布外端点(下模) | 胎侧胶  | 2.92       | 13.29      | 22   |
| ch1 | 包布外端点(下模) | 上三角胶 | 2.35       | 10.21      | 23   |
| ch5 | 胎肩中(上模)   | 胎面胶  | 7.36       | 19.37      | 38   |
| ch6 | 胎侧(下模)    | 外护胶  | 5.97       | 19.90      | 63   |
| ch7 | 胎肩中(下模)   | 胎面胶  | 5.81       | 19.37      | 30   |

化时间来计算胶料的CD。

2 改进后计算方法

为确定硫化曲线中硫化时间所反映的CD是否合理,将已知CD的几个轮胎部位胶料硫化时间列表(表3),并用Excel表对各部件胶料CD与硫化时间做一次函数和二次函数曲线,如图1—8所示。

表3 轮胎几个部位胶料的硫化仪数据(151℃)

| 胶料   | $t_{10}/min$ | $t_{30}/min$ | $t_{50}/min$ | $t_{60}/min$ | $t_{70}/min$ |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 胎面胶  | 6.1          | 8.1          | 9.3          | 10.1         | 11.2         |
| 带束层胶 | 4.2          | 6.9          | 9.1          | 10.5         | 12.3         |
| 垫胶   | 4.3          | 5.5          | 6.3          | 6.8          | 7.5          |
| 胎侧胶  | 5.4          | 7.2          | 8.3          | 9.0          | 9.8          |

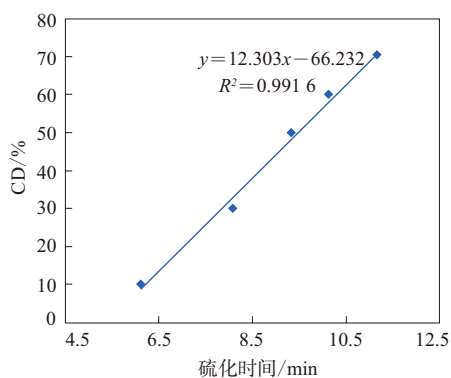


图1 胎面胶CD与硫化时间的一次函数曲线

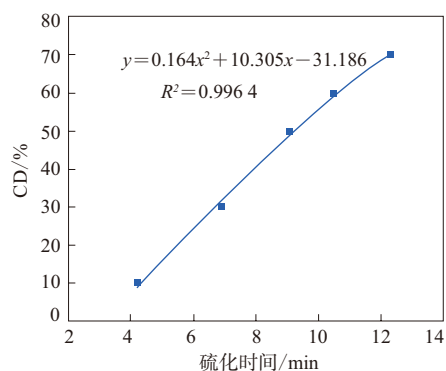


图4 带束层胶CD与硫化时间的二次函数

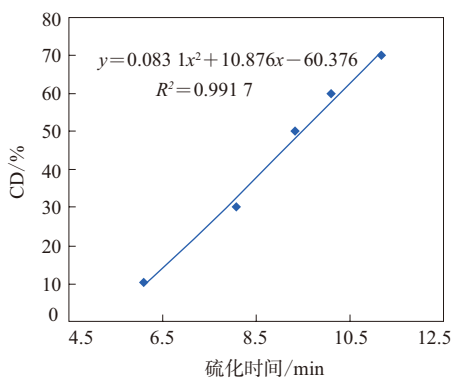


图2 胎面胶CD与硫化时间的二次函数曲线

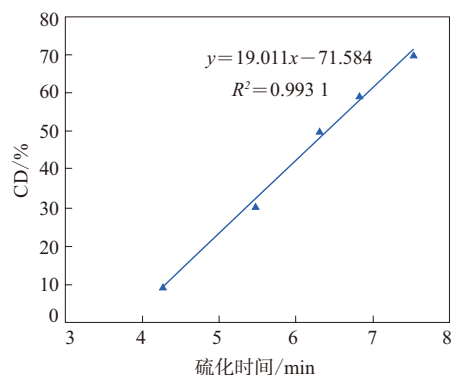


图5 垫胶CD与硫化时间的一次函数曲线

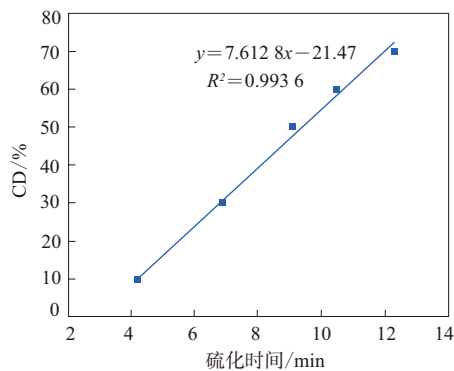


图3 带束层胶CD与硫化时间的一次函数

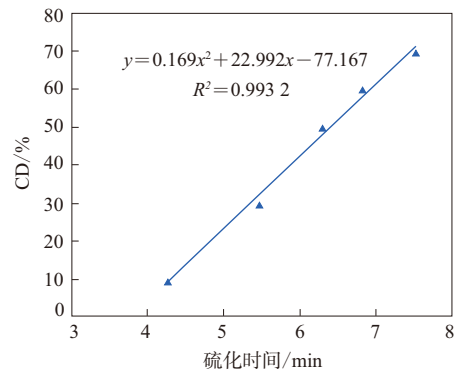


图6 垫胶CD与硫化时间的二次函数曲线

图1—8的函数曲线拟合程度对比如表4所示。从表4可以看出,各轮胎部位胶料CD与硫化时间的一次函数与二次函数相关性差别不大,均能表征任意硫化时间所对应的CD,但二次函数曲线更准确。

因此,根据胶料已知CD与硫化时间的Excel表,拟合一次函数或二次函数曲线,得出拟合方程式,采用拟合方程式就可以准确计算胶料的CD。

### 3 改进前后计算方法比较

改进前后方法计算的胎面胶和垫胶CD及其与实际(已知)CD的差值分别如表5和6所示。改进前后计算方法均采用表3的胎面胶和垫胶硫化数据以及两种胶料的 $t_{90}$ 分别为16.7和11.1 min,改进后方法采用表4对应的一次函数方程式计算。

从表5可以看出,改进前后方法计算的胎面胶

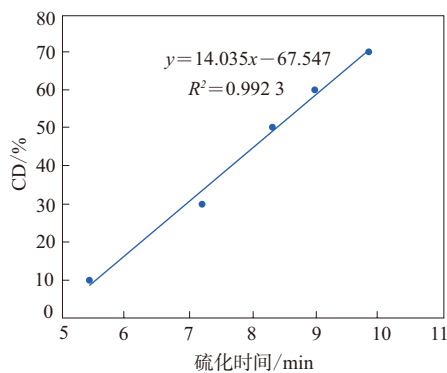


图7 胎侧胶CD与硫化时间的一次函数曲线

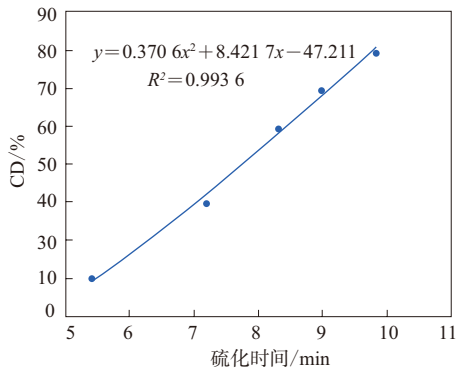


图8 胎侧胶CD与硫化时间的二次函数曲线

表4 轮胎几个部位胶料CD与硫化时间函数曲线拟合程度的比较

| 胶料   | 一次函数                   |                | 二次函数                               |                |
|------|------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|
|      | 方程式                    | R <sup>2</sup> | 方程式                                | R <sup>2</sup> |
| 胎面胶  | $y = 12.303x - 66.232$ | 0.9916         | $y = 0.831x^2 + 10.876x - 60.376$  | 0.9917         |
| 带束层胶 | $y = 7.6128x - 21.47$  | 0.9936         | $y = 0.164x^2 + 10.305x - 31.186$  | 0.9964         |
| 垫胶   | $y = 19.011x - 71.584$ | 0.9931         | $y = 0.169x^2 + 20.992x - 77.167$  | 0.9932         |
| 胎侧胶  | $y = 14.035x - 67.547$ | 0.9923         | $y = 0.3706x^2 + 8.4217x - 47.211$ | 0.9936         |

表5 改进前后方法计算的胎面和垫胶CD

| 项目    | 实际CD  |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | 10    | 30    | 50    | 60    | 70    |
| 改进前方法 |       |       |       |       |       |
| 胎面胶   | 36.53 | 48.50 | 55.68 | 60.47 | 67.07 |
| 垫胶    | 38.73 | 49.55 | 56.76 | 61.26 | 67.57 |
| 改进后方法 |       |       |       |       |       |
| 胎面胶   | 8.94  | 33.30 | 48.55 | 58.03 | 71.19 |
| 垫胶    | 9.40  | 32.60 | 48.38 | 58.07 | 71.57 |

表6 改进前后方法计算的胎面胶和垫胶CD与实际CD的差值

| 项目    | 实际CD   |        |       |       |       |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
|       | 10     | 30     | 50    | 60    | 70    |
| 改进前方法 |        |        |       |       |       |
| 胎面胶   | +26.53 | +18.50 | +5.68 | +0.47 | -2.93 |
| 垫胶    | +28.73 | +19.55 | +6.76 | +1.26 | -2.43 |
| 改进后方法 |        |        |       |       |       |
| 胎面胶   | -1.06  | +3.30  | -1.45 | -1.97 | +1.19 |
| 垫胶    | -0.60  | +2.60  | -1.62 | -1.93 | +1.57 |

及垫胶CD差异较大,改进后方法计算的CD与实际CD接近。

从表6可以看出:改进前方法计算的硫化初期CD与实际CD差异较大,硫化后期差异较小;改进后方法计算的CD与实际CD的差异均较小。由于胶料发泡阶段基本在硫化初期,因此采用改进前方法计算胶料发泡点的CD不合理。

4 改进后发泡点CD计算实例

4.1 试样不同位置的CD

BPA所用试样的纵断面如图9所示,试样从左至右厚度逐渐增大,测试点到薄端的距离(以下简称距离)与该测试点对应的横断面厚度(以下简称厚度)相关,在温度相关性分析上可直接用距离来表征厚度。试样中的圆点为测试点,即埋设热电偶的热端点,各测试点间距相等。

试样CD与距离(厚度)的关系如图10所示。

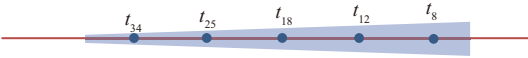


图9 BPA所用试样的纵断面示意

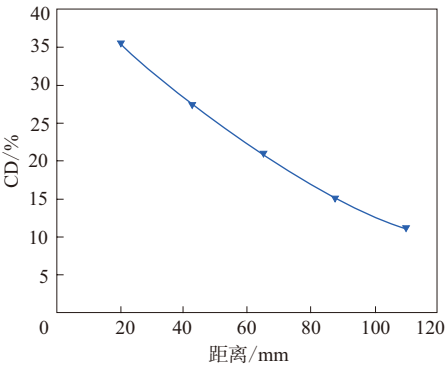


图10 试样CD与距离(厚度)的关系

从图10可以看出,试样不同距离(厚度)测试点的CD不同,随着距离(厚度)增大,CD下降,即CD是距离(厚度)的函数,而且是减函数。

#### 4.2 发泡点CD测算

对表3的胎面胶进行BPA测试,在4个测温点(均在试样纵断面中心线上)埋设热电偶。根据BPA试样横断面不等厚的特点,先计算出4个测温点的(等效)硫化时间,然后按照表4的胎面胶二次函数方程式分别计算出4个测温点的CD,结果如表7所示。

依据表7绘制的CD与测温点距离的二次函数曲线如图11所示。

根据胎面胶CD与距离的二次函数方程式  $y = 0.0014x^2 - 0.4437x + 43.549$ , 求得胎面胶发泡点的  $CD = (0.0014 \times 105.8^2 - 0.4437 \times 105.8 + 43.549) \times 100\% \approx 12.27\%$ 。

表7 测温点的距离和CD

| 测温点 | 距离/mm | CD/%  |
|-----|-------|-------|
| ch1 | 20    | 35.26 |
| ch2 | 50    | 24.65 |
| ch3 | 80    | 16.90 |
| ch4 | 110   | 11.20 |

注:发泡点的距离为105.8 mm。

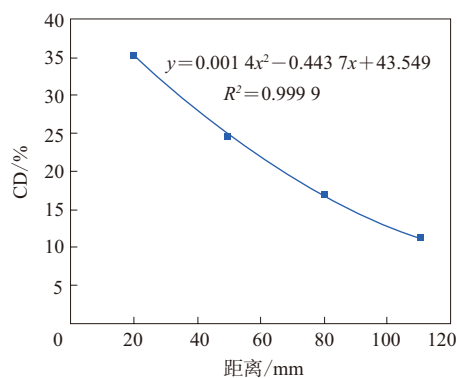


图11 胎面胶CD与测温点距离的二次函数曲线

#### 5 结语

BPA测试胶料CD和发泡点CD时,采用Excel表拟合的CD与硫化时间的一次函数和二次函数方程式计算的结果较以正硫化时间为基准计算的结果准确性大幅提高,这对于改进轮胎和橡胶制品的硫化工艺具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 王朱遗,张庆华. BPA橡胶发泡点分析仪测试理论和计算式[J]. 橡胶科技, 2015, 13(3): 45-49.
- [2] 王伟,邓涛,张萍. 轮胎硫化程度的计算分析[J]. 合成橡胶工业, 2005, 28(3): 191-194.
- [3] 丁剑平,胡鹏,顾勤,等. 橡胶硫化反应活化能对轮胎硫化程度模拟的影响[J]. 橡胶工业, 2008, 55(3): 142-144.

收稿日期: 2016-12-14

## Improvement of Calculation Method of Rubber Curing Degree of Foam Point Analyzer

WANG Zhuyi, ZHANG Qinghua

[Hope Technology (Hong Kong) Co., Ltd, Shanghai 201615, China]

**Abstract:** The method of calculating the curing degree of rubber (CD) of the foam point analyzer (BPA) was improved. The relationship between CD value and curing time was established by the linear or quadratic function fitting based on microsoft excel for known data of CD value and curing time. Then the CD of test compound was calculated by using the fitted equation. The accuracy of result by using this improved method, particularly the CD value at foaming point, were greatly improved compared with regular calculation method which was based on the optimum cure time.

**Key words:** foam point analyzer; curing degree; foaming point; vulcanization temperature measurement; function