

热电偶法研究 195/60R15 88H 轿车子午线轮胎的硫化时间

李世军^{1,2}, 郭素华¹

(1. 天津科技大学材料科学与化学工程学院, 天津 300457; 2. 银川佳通轮胎有限公司, 宁夏 银川 750011)

摘要: 采用热电偶法研究 195/60R15 88H 轿车子午线轮胎的硫化时间。根据测温 and 计算分析, 确定在外部热板蒸汽温度 173 ℃、内部过热水温度 193 ℃下, 轮胎硫化总时间为 16 min, 各测试点在测试结束时硫化效果全部达到不小于 1.1 的企业标准。用该硫化工艺生产的成品轮胎物理性能、耐久性能和高速性能均达到企业标准要求, 能满足使用需要。

关键词: 热电偶法; 硫化时间; 硫化效果; 轿车子午线轮胎; 耐久性能; 高速性能

轮胎是一种典型的厚橡胶制品, 原材料品种多, 结构复杂。轮胎硫化是一个非稳态传热过程, 各部位温度和硫化程度不同, 各部位胶料的硫化时间不能直接作为轮胎整体的硫化时间。轮胎硫化时间的确定通常采用宁过勿欠的传统方法, 但该方法延长了硫化时间, 产品普遍存在过硫现象, 这不仅降低了轮胎性能, 还造成了能源浪费。因此, 确定合理的硫化时间是轮胎开发过程中必须面对和解决的问题。

确定轮胎硫化时间通常采用气泡点法和热电偶法^[1]。气泡点法通过分段硫化并测试不同硫化程度硫化胶的多孔性, 当硫化胶中不再形成气泡时, 该硫化时间被确定为最佳硫化时间。热电偶法是测试不同时间点下各部位的温度, 通过计算硫化效应来判断硫化时间。最佳硫化时间的确定应当考虑以下情况: 硫化最慢的部位 (一般为最厚的部位) 必须达到正硫化; 开模后硫化反应还在进行, 即后硫化效应; 理想状况是硫化结束时各部位胶料同步达到正硫化。

热电偶法利用化学反应原理和数学计算确定轮胎的硫化条件, 适用于任何品种和规格的轮胎^[2], 能够全面反映轮胎各部位胶料的硫化程度, 且不需

要像气泡点法那样多次反复硫化和解剖分析。本工作采用热电偶法确定 195/60R15 88H 轿车子午线轮胎的硫化时间。

1 实验

1.1 主要仪器与设备

ZIW-16 型测温仪, 北京橡胶工业研究设计院产品; MDR2000 型硫化仪, 美国阿尔法科技有限公司产品; LLP-B120×1960×2A 型双模定型硫化机, 福建三明化工机械厂产品。

1.2 测试点位置

本工作选取具有代表性的 12 个测试点, 测试点位置如图 1 所示。

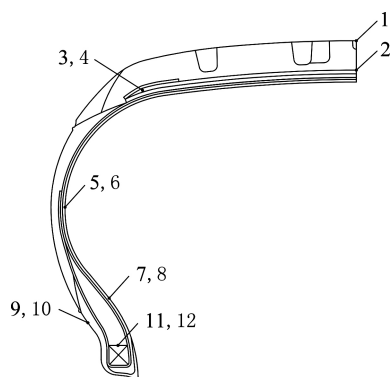
1.3 初步硫化条件

参考我公司相似规格轮胎硫化工艺, 初步制定 195/60R15 88H 轿车子午线轮胎硫化时内压过热水循环时间为 4.5 min, 不循环时间为 8 min, 硫化总时间为 16 min。

2 结果与讨论

2.1 硫化温度系数 (K) 的确定

根据范特霍夫法则, 硫化温度和硫化时间的关



1—胎面胶中心上表面；2—带束层上表面；3—上模2[#]带束层端点；4—下模2[#]带束层端点；5—上模（胎侧）气密层胶表面；6—下模（胎侧）气密层胶表面；7—上模（胎圈）气密层胶内表面；8—下模（胎圈）气密层胶内表面；9—上模胎圈胶外表面；10—下模胎圈胶外表面；11—上模三角胶下表面；12—下模三角胶下表面。

图1 测试点位置示意

系式^[3]为：

$$t_1/t_2 = K^{(T_2 - T_1)/10} \quad (1)$$

式中， T_1 和 T_2 为硫化温度，℃； t_1 和 t_2 分别为 T_1 和 T_2 对应的正硫化时间，min。

在不同温度下用硫化仪测出各部位胶料的正硫化时间，将硫化温度和相应的正硫化时间代入式（1），计算出各部位胶料的 K 。根据测量和计算，195/60R15 88H 轿车子午线轮胎 K 的平均值为 1.88。

2.2 计算方法

硫化强度（ I ）计算公式为：

$$I = K^{(T - T_0)/10} \quad (2)$$

式中， K 为 1.88； T 为实际硫化温度，℃； T_0 为规定硫化温度，取 160℃。

硫化效应（ E ）即等效硫化时间计算公式为：

$$E = \sum I \times \Delta t \quad (3)$$

式中， Δt 为测温间隔时间，min。

硫化效果（ F ）的计算公式为：

$$F = E/t_0 \quad (4)$$

式中， t_0 为规定硫化温度下各部位胶料的正硫化时间，min。用硫化仪测得 T_0 （160℃）下各部位

胶料的 t_0 分别为：胎面胶 10.1 min，带束层胶 9.4 min，气密层胶 12.5 min，三角胶 7.4 min，胎圈胶 9.2 min。

2.3 测试与计算

在外部热板蒸汽温度 173℃、内部过热水温度 193℃下进行轮胎硫化，并每间隔 1 min 测量各测试点的温度，绘制成硫化温度-时间曲线，见图 2 和 3；用公式（2）和（3）计算 E ，绘制出各测试点的 E -硫化时间曲线，见图 4 和 5，用公式（4）计算 F 。

从图 2~5 可以看出：胎面胶中心上表面（测试点 1）及上、下模胎圈胶外表面（测试点 9 和 10）直接与硫化模具内表面接触，初始温度较高，出模后上述部位直接向空气中散热，致使降温较快，后硫化效应小， E 较小。上、下模（胎侧）气密层胶表面（测试点 5 和 6）处的硫化胶囊内压过热水温度高，且胶层厚度最小，传热较快，故升温较快，

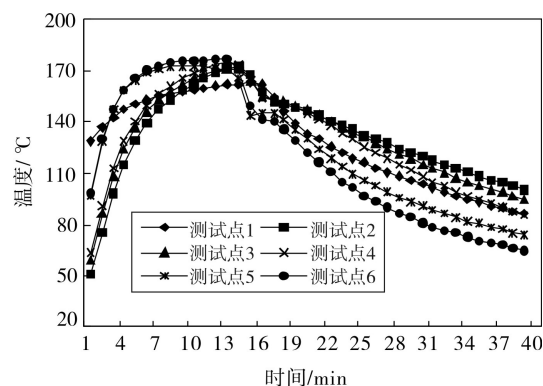


图2 测试点1~6的硫化温度-时间曲线

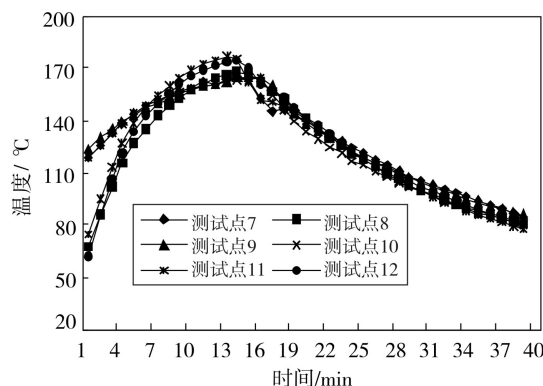
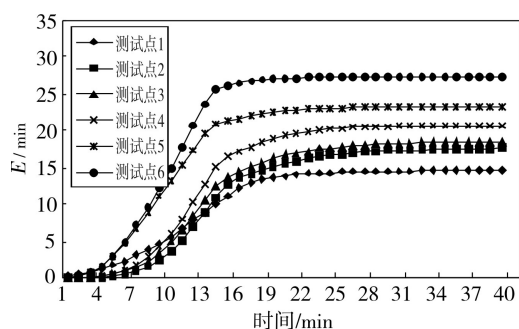
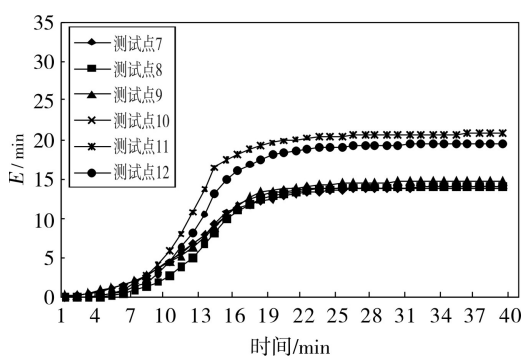


图3 测试点7~12的硫化温度-时间曲线

图4 测试点1~6的 E -硫化时间曲线图5 测试点7~12的 E -硫化时间曲线

E 较大;内压过热水加热结束后,由于内压冷却水的加入,降温较快,后硫化效应较小。上、下模(胎圈)气密层胶内表面(测试点7和8)处的硫化胶囊壁较厚,升温较慢, E 较小;由于过热水加热结束后内压冷却水的加入,后硫化效应也较小。带束层上表面(测试点2),上、下模带束层胶端点(测试点3和4)及上、下模三角胶下表面(测试点11和12)在胶层中部,硫化初期升温较慢, E 较小;但出模后降温较慢,后硫化效应较大。

根据公式(2)~(5)计算得到胎面胶中心上表面(测试点1)在不同硫化时间下的 E 和 F ,见表1。

从表1可以看出:硫化时间16 min开模时,测试点1的 E 为12.35, F 为1.22;硫化时间39 min全程测试结束时,测试点1的 E 为14.70, F 为1.46, F 均达到企业标准(≥ 1.1)的要求。

采用同样的方法,可以计算出各测试点开模时和测试结束时的 E 和 F ,见表2。

从表2可以看出:除了上、下模(胎圈)气密

表1 测试点1的 E 和 F

硫化时间/min	$T/^\circ\text{C}$	E	F
1	128.5	0.14	0.01
2	137.4	0.38	0.04
13	161.7	8.86	0.88
14	162.2	10.01	0.99
15	162.7	11.20	1.11
16	162.2	12.35	1.22
17	153.7	13.02	1.29
39	86.4	14.70	1.46

表2 各测试点开模时和测试结束时的 E 和 F

测试点	开模		测试结束	
	E	F	E	F
1	12.35	1.22	14.70	1.46
2	14.10	1.50	17.74	1.89
3	15.08	1.60	18.58	1.98
4	17.87	1.90	20.79	2.21
5	22.08	1.77	23.22	1.86
6	26.07	2.09	27.48	2.20
7	11.72	0.94	13.92	1.11
8	11.80	0.94	14.10	1.13
9	12.68	1.38	14.81	1.61
10	12.50	1.36	14.11	1.53
11	18.77	2.54	20.80	2.81
12	16.93	2.29	19.41	2.62

层胶内表面(测试点7和8)开模时的 F 低于1.1以外,其它测试点均达到了企业标准要求。利用开模后的后硫化效应,测试点7和8测试结束时的 F 分别达到1.11和1.13,满足企业标准的要求。

根据以上测试与计算,195/60R15 88H轿车子午线轮胎各测试点在测试结束时 F 全部达到企业标准要求。结合我公司半钢子午线轮胎硫化工艺,最终制定出该规格轮胎的硫化工艺,见表3。

表3 195/60R15 88H 轿车子午线轮胎的硫化工艺

项 目	数 值
外部热板蒸汽压力/MPa	1.0 ± 0.1
内部过热水压力/MPa	2.2 ± 0.1
外部热板蒸汽温度/℃	173 ± 3
内部过热水温度/℃	193 ± 3
硫化步骤	
内压蒸汽进入	
时间/min	0.5
压力/MPa	≥ 1.2
内压过热水循环	
时间/min	4.5
压力/MPa	2.2 ± 0.1
内压过热水不循环	
时间/min	8.0
压力/MPa	2.2 ± 0.1
内压过热水回收	
时间/min	0.5
压力/MPa	≥ 1.5
内压冷却	
时间/min	2.0
压力/MPa	≥ 0.5
抽真空	
时间/min	0.5
压力/MPa	≤ 0.3

3 成品轮胎性能

3.1 物理性能

用以上硫化条件生产 195/60R15 88H 成品轮胎, 并进行物理性能测试, 结果见表 4。

表4 成品轮胎的物理性能

项 目	测试值	企业标准
胎面胶性能 (173 ℃ × 16 min)		
邵尔 A 型硬度/度	60	62 ± 5
拉伸强度/MPa	15.8	≥ 15
拉伸伸长率/%	457	≥ 350
300% 定伸应力/MPa	9.9	10 ± 3.0
粘合强度/(kN · m ⁻¹)		
带束层-带束层	9.0	≥ 5.0
带束层-胎面	9.2	≥ 6.0
胎体-胎侧	9.5	≥ 6.0

从表 4 可以看出, 成品轮胎物理性能均达到企业标准的要求, 满足使用需要。

3.2 耐久性能

按照企业标准进行成品轮胎耐久性能试验, 试验速度为 120 km · h⁻¹, 结果见表 5。

从表 5 可以看出: 成品轮胎行驶时间达到 67.5 h, 满足企业标准 (≥ 67.5 h) 要求, 试验结束时轮胎未损坏。

3.3 高速性能

按照企业标准进行成品轮胎高速性能试验, 试

表5 成品轮胎的耐久性能

项 目	试验阶段							
	1	2	3	4	5	6	7	8
试验气压 /kPa	180	180	180	140	140	140	140	140
试验负荷率 /%	85	90	100	100	100	100	100	100
行驶时间 /h	4	6	24	1.5	9.5	6.5	8	8

注: 试验结束时轮胎未损坏。

验气压为 280 kPa, 负荷为 448 kg。成品轮胎高速性能试验结果如表 6 所示。

从表 6 可以看出: 试验结束时成品轮胎最高速度达到 220 km · h⁻¹, 行驶 13 min 后才出现肩部脱层, 达到了企业标准要求 (在速度不低于 220 km · h⁻¹

条件下行驶 1 min 以上)。

4 结语

采用热电偶法研究 195/60R15 88H 轿车子午线轮胎的硫化时间。根据测温 and 计算分析, 确定在外

表6 成品轮胎的高速性能

项 目	试验阶段						
	1	2	3	4	5	6	7
试验速度/(km·h ⁻¹)	0~170	200	170	180	190	210	220
行驶时间/min	10	10	10	10	20	10	13

注：试验结束时轮胎肩部脱层。

部热板蒸汽温度 173 ℃、内部过热水温度 193 ℃下，轮胎硫化总时间为 16 min，各测试点在测试结束时 *F* 全部达到企业标准要求。用该硫化工艺生产的成品轮胎物理性能、耐久性能和高速性能均达到企业标准要求，完全能满足使用需要。热电偶法能较全面地反映出轮胎各部位胶料的硫化效果，对于判定产品尤其是新产品硫化条件的适宜性，提高产品质量具有重要的意义。

参考文献：

- [1] 王登祥, Kin Immel. 美国轮胎公司确定轮胎硫化时间的方法 [J]. 轮胎工业, 1999, 19 (5): 291-295.
- [2] 姚钟尧. 确定和优化轮胎硫化时间的方法 [J]. 特种橡胶制品, 2005, 26 (6): 32-41.
- [3] 梁星宇, 周木英. 橡胶工业手册 (第三分册) 配方与基本工艺 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1993: 1129-1133.

Study on the Curing Time of 195/60R15 88H PCR Tire by Thermocouple

Li Shijun^{1,2}, Wu Suhua¹

[1. School of Material Science and Chemical Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China;
2. Giti Tire (Yinchuan) Co., Ltd., Yinchuan 750011, China]

Abstract: In this study, the curing time of compounds of 195/60R15 88H PCR tire was investigated using thermocouple method. Based on the temperature measurement results and data analysis, the steam temperature in the external heat plate was set at 173 ℃, the internal superheated water temperature was selected at 193 ℃, and the preferred total curing time was 16 minutes. The experimental test results showed that the effect of vulcanization at all measurement points met the requirements of enterprise standard, which was no less than 1.1. The physical properties, endurance performance and high speed performance of the finished tire met the requirements of enterprise standard and application requirements.

Keywords: thermocouple; curing time; curing effect; PCR tire; durability; high-speed performance

欢迎订阅 2015 年《橡胶科技》《橡胶工业》《轮胎工业》
欢迎在三刊刊登广告