

# 全钢子午线轮胎变温变压硫化工艺的研究

付金鹏

(宁夏神州轮胎有限公司,宁夏 石嘴山 753400)

**摘要:**针对全钢子午线轮胎变温变压硫化工艺展开研究。在不更改硫化工艺步序的前提下,缩短内压蒸汽循环时间,将过热水循环时间与不循环时间的比例调整为1:2,可以提升硫化效率,减少能耗,同时成品轮胎的耐久性能和高速性能提升。

**关键词:**全钢子午线轮胎;硫化工艺;变温变压

**中图分类号:**TQ330.6<sup>+</sup>7;TQ336.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**2095-5448(2023)06-0294-03

**DOI:**10.12137/j.issn.2095-5448.2023.06.0294



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

在轮胎生产过程中,硫化过程能量消耗最多、对轮胎整体性能影响较大<sup>[1-2]</sup>。作为一种典型的厚橡胶制品,轮胎不仅是热量的不良导体,同时其几何形状与构成材料极为复杂,不同半成品所采用的胶料也不同,因此,轮胎的硫化过程也是一个非稳态的导热过程。如果想让轮胎的各部件达到均衡硫化,使其物理性能处在相对较高的峰值,需要合理设定硫化温度与时间。

目前,我国全钢子午线轮胎的硫化工艺大多采用过热水循环与不循环的方式进行等压变温硫化,可有效提高轮胎硫化的稳定性,但是,大部分轮胎企业将硫化过程中使用的过热水循环时间与不循环时间比例调整为3:1或更高,热水和能量消耗加大,同时增大了硫化机管路系统的负荷,存在硫化温度低、传热速度相对较慢、轮胎硫化效率低的缺陷<sup>[3-6]</sup>。

本工作针对12.00R20全钢子午线轮胎,研究变温变压硫化工艺<sup>[7-8]</sup>,以提升硫化效率和减少能耗。

## 1 实验

### 1.1 主要设备和仪器

蒸锅式硫化机,江苏晟林科技有限公司产品;

**作者简介:**付金鹏(1988—),男,宁夏石嘴山人,宁夏神州轮胎有限公司助理工程师,学士,主要从事轮胎工艺技术和管理工作。

**E-mail:**359629521@qq.com

铂热电阻,西安华新科技有限公司产品;温度记录仪,北京橡胶工业研究设计院有限公司产品。

### 1.2 试验方法

合模后向硫化胶囊注入压力为1.5 MPa、温度为204℃左右的高温蒸汽,硫化胶囊内温度迅速上升,热传导速度加快。受蒸汽注入方式影响,高温蒸汽的长期进入会导致上下模胎坯温差增大,导致胎坯硫化不均匀。且因为蒸汽排凝管路的不同,排凝罐内冷凝水迅速增多,硫化胶囊内温度出现下降趋势。因此,必须进行适当的温度测量,明确上下模胎坯温差及蒸汽进入的最佳时间,调整轮胎硫化工艺,明确过热水循环时间与不循环时间的比例,并观察硫化胶囊内部温度是否有下降的趋势。

试验中,采用铂热电阻测量胎坯温度,观察硫化温度曲线,采用温度记录仪记录硫化过程温度变化;同时,采用阿伦尼乌斯方程计算各时段的等效硫化时间和累计硫化效应;最后根据各部位胶料的 $t_{90}$ 计算出最终硫化效果。

## 2 结果与讨论

### 2.1 方案1(现行工艺)

选择蒸锅式硫化机,采用变温变压硫化工艺方案1,对胎坯进行硫化,方案如表1所示。其中,引入空气压力、高温蒸汽和过热水的目的是降低

表1 变温变压硫化工艺方案1

步序	工艺	时间/min	目的
1	内压蒸汽循环	5	观察上下模胎坯温度变化
2	内压蒸汽不循环	2	保持硫化胶囊内压 <sup>1)</sup> 不变
3	过热水循环	18	提供内压温度
4	过热水不循环	36	防止管路震动
5	内压保持0.5 MPa	1.5	排除硫化胶囊内的水
6	内压保持0 MPa	1	排除硫化胶囊内的剩余蒸汽
7	抽真空	0.5	确保内压降至0 MPa

注:硫化时间合计为64 min;1)压力为(1.1±0.1) MPa。

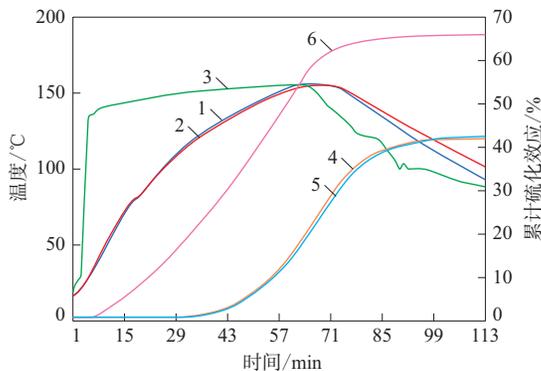
过热水的压力起伏。

根据表1方案进行试验,发现上下模胎坯内表面温差随着蒸汽温度的升高而逐渐增大;内压蒸汽注入完成后,最大温差为12℃;上、下模胎坯内表面温度上升较快,胎坯硫化14 min后,上模胎坯内表面温度显示为174℃;硫化27 min后,上、下模胎坯内表面温差小于2℃。

硫化过程中轮胎各部件的温度与累计硫化效应变化趋势如图1—3所示。

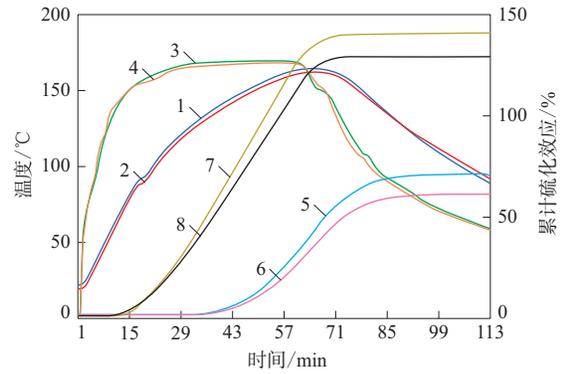
从图1—3可以看出:随着蒸汽的注入,各部件温度迅速上升,在正硫化阶段逐步平稳;各部件因胶料 $t_{90}$ 不同,其等效硫化时间及累计硫化效应也存在差异,其中内衬层表面及胎侧表面升温速度较快,其累计硫化效应较其他各部件明显高,所以在保证各部件胶料累计硫化效应满足工艺要求的情况下,可以适当调整内衬层及胎侧胶料的 $t_{90}$ ,减小各部件累计硫化效应的差异。

同时,注入蒸汽5 min内上下模胎坯的温差不



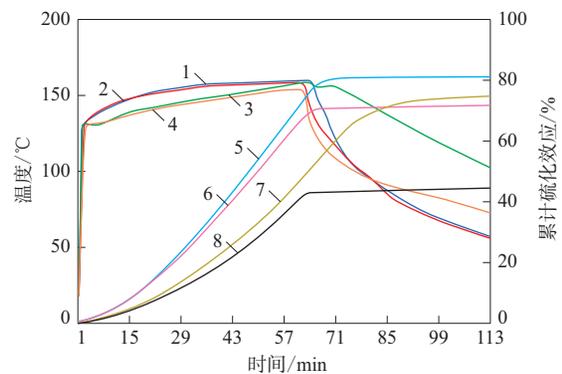
1—0°带束层下部端点温度;2—0°带束层上部端点温度;3—2°带束层下部端点温度;4—0°带束层下部端点累计硫化效应;5—0°带束层上部端点累计硫化效应;6—2°带束层下部端点累计硫化效应。

图1 带束层端点的温度与累计硫化效应变化趋势



1—三角胶下部中心温度;2—三角胶上部中心温度;3—内衬层下部温度;4—内衬层上部温度;5—三角胶下部中心累计硫化效应;6—三角胶上部中心累计硫化效应;7—内衬层下部累计硫化效应;8—内衬层上部累计硫化效应。

图2 三角胶和内衬层的温度与累计硫化效应变化趋势



1—胎侧下部表面温度;2—胎侧上部表面温度;3—胎面与3°带束层之间的温度;4—胎冠表面温度;5—胎侧下部表面累计硫化效应;6—胎侧上部表面累计硫化效应;7—胎面与3°带束层之间的累计硫化效应;8—胎冠表面累计硫化效应。

图3 其他部位的温度与累计硫化效应变化趋势

大于10℃,在过热水不循环时,胎坯表面温度降低1~2℃,但在胎冠、带束层处没有温度降低的趋势,这说明硫化过程的发热量和轮胎自身的保温隔热实际效果能够维持轮胎的内部温度,并促使各组分发生化学反应,所以缩短过热水循环时间是可行的。根据试验验证,当过热水循环时间与不循环时间的比例为1:2时,轮胎各项性能处于最优状态。

### 2.2 方案2(调整后的变温变压工艺)

选择蒸锅式硫化机,采用变温变压硫化工艺方案2,将步序1的内压蒸汽循环时间调整为3 min,步序2的内压蒸汽不循环时间调整为1 min,

其他步序及工艺参数不变。

与方案1相比,方案2缩短了内压蒸汽循环时间,并未影响硫化温度的持续上升,通过温度与累计硫化效应趋势测量,上下模胎坯温差有所降低,当硫化进行到第4步(过热水不循环)时,轮胎各测温点温差不大于2℃;带束层端点启模硫化效应最低点对应时间为14.25 min,相对较长;通过测温试验验证,缩短内压蒸汽循环时间后,轮胎内部温度并未受到影响。而且,总硫化时间缩短,即采用方案2可提高硫化效率,减少蒸汽用量,从而降低能耗。

### 3 成品轮胎性能检测

根据方案1和2,分别硫化2条12.00R20全钢子午线轮胎,经过X光、外观、无损检测均合格后,按照GB/T 4501—2016进行耐久性试验和高速性能试验,结果如表2所示。

表2 两种方案轮胎的耐久性能和高速性能对比

项 目	方案1	方案2
耐久性能		
累计行驶时间/h	79.54	82.79
行驶里程/km	4 801	4 937
高速性能		
累计行驶时间/h	13.20	15.13
行驶里程/km	953	1 159

从表2可以看出,与方案1相比,在不更改硫化工艺步序及过热水循环时间与不循环时间比例的前提下,调整内压蒸汽循环时间,可以提升成品轮

胎的耐久性能和高速性能。缩短3 min硫化时间的方案2具有很强的可行性。

### 4 结语

在全钢子午线轮胎变温变压硫化过程中,直接引入高温蒸汽可以合理加速橡胶的热传导,增强硫化胶的流动,从而缩短胶料硫化反应时间,提高硫化效率。由于上下模胎坯温差的限制,引入高温蒸汽的时间不宜超过5 min。同时在全钢子午线轮胎变温变压硫化过程中,结合测温试验,可将过热水循环时间与不循环时间的比例调整为1:2。

### 参考文献:

- [1] 梁国彰. 浅谈轮胎硫化工艺设备的节能[J]. 橡塑技术与装备, 2011, 37(6): 59-61.
- [2] 张继锋, 殷允锋, 张磊, 等. 过热水硫化工艺的改进[J]. 轮胎工业, 2017, 37(7): 432-435.
- [3] 殷允锋, 郑涛. 全钢载重子午线轮胎过热水硫化工艺优化应用[J]. 世界橡胶工业, 2016, 43(3): 45-48.
- [4] 谢意. 子午线轮胎过热水硫化工艺优化措施[J]. 云南化工, 2018, 45(8): 187-188.
- [5] 王新庆. 轮胎变温硫化过热水温度控制研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2010.
- [6] 武柄丞, 李文东, 杨茂林, 等. 巨型工程机械子午线轮胎的变温硫化工艺研究[J]. 橡胶工业, 2019, 66(2): 142-145.
- [7] 佟伟, 杜爱华. 航空轮胎等压变温硫化工艺的可行性分析[J]. 轮胎工业, 2019, 39(11): 689-691.
- [8] 张梦飞. 厚壁橡胶制品非等温硫化数值模拟与实验研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2021.

收稿日期: 2023-01-23

## Study on Vulcanization Process of All-steel Radial Tire with Variable Temperature and Variable Pressure

FU Jinpeng

(Ningxia Shenzhou Tire Co., Ltd, Shizuishan 753400, China)

**Abstract:** The vulcanization process of all-steel radial tires with variable temperatures and variable pressures was studied. On the premise of keeping the original vulcanization process sequence, the vulcanization efficiency was improved by shortening the cycle time of the internal pressure steam and adjusting the ratio of the cycling time to the non-cycling time of the superheated water to 1:2, which would reduce energy consumption. The test results also showed that the durability and high-speed performance of the finished tire were improved.

**Key words:** all-steel radial tire; vulcanization process; variable temperature and variable pressure