

# 航空轮胎等压变温硫化工艺的可行性分析

佟 伟, 杜爱华

(青岛科技大学 高分子科学与工程学院, 山东 青岛 266229)

**摘要:**对比传统等压等温硫化工艺和新型等压变温硫化工艺硫化航空轮胎的能量传递情况和实际硫化效果,分析等压变温硫化工艺的可行性。结果表明:与传统等压等温硫化工艺相比,等压变温硫化工艺优势明显,轮胎各部位硫化程度更加均匀,既能提高轮胎的内在质量,又能较大幅度地节约能源,是一种有效的航空轮胎硫化方式。

**关键词:**航空轮胎;硫化工艺;等压等温;等压变温

**中图分类号:**TQ330.6<sup>+</sup>7;V226<sup>+</sup>.8

**文献标志码:**B

**文章编号:**1006-8171(2019)11-0689-03

**DOI:**10.12135/j.issn.1006-8171.2019.11.0689



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

轮胎硫化是一个非稳态的传热过程,热边界非单一边界,轮胎内部各部位温度分布和硫化程度<sup>[1]</sup>均呈变化状态。

硫化机内硫化热源传递途径如图1所示。

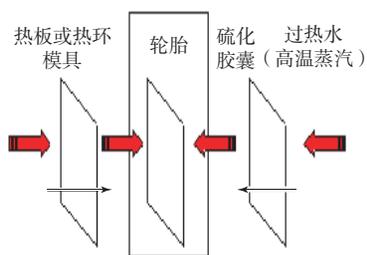


图1 硫化机内硫化热源传递途径

自20世纪20年代以来,航空轮胎一直采用传统等压等温硫化工艺,内温由过热水提供,外温由热板、热环或蒸锅提供,硫化过程中需要消耗大量的过热水,热量利用率低。采用新型等压变温硫化工艺<sup>[2]</sup>硫化航空轮胎,硫化胶囊在通过热水前内部温度相对较低,为使硫化胶囊快速升温,先在硫化胶囊中充入高温蒸汽(压力范围一般为1.4~1.6 MPa)预加温,再充入压力高、温度较低的过热水完成硫化过程,此工艺相对简单,技术也易于得到保障。

本研究通过对比传统等压等温与新型等压变温两种硫化工艺,探讨采用新型等压变温硫化工

**作者简介:**佟伟(1983—),男,山东泰安人,青岛科技大学在职硕士研究生,主要从事轮胎生产工艺研究。

**E-mail:**tongwei521@yeah.net

艺硫化航空轮胎的可行性。

## 1 传统等压等温硫化工艺

将过热水循环过程中过热水/轮胎的热传导过程建立数学模型,轮胎胎侧热传导形式简化为平壁模型,轮胎胎面周向热传导形式简化为圆筒壁模型<sup>[2]</sup>,根据傅里叶热传导方程分别计算胎侧和胎面的导热通量。两种硫化方式外部的导热通量相同。

傅里叶热传导基本微分方程为

$$\frac{1}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (1)$$

式中, $a$ 为积分符号; $T$ 为热力学温度,K; $t$ 为时间,s。

傅里叶热传导方程为

$$dq = -\lambda ds \frac{\partial T}{\partial n} \quad (2)$$

式中, $q$ 为导热通量, $W \cdot m^{-2}$ ; $\lambda$ 为导热系数, $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ ; $s$ 为等温表面的面积, $m^2$ ; $n$ 为轮胎与传热面间的垂直厚度,m。

以某规格航空轮胎(简称A轮胎)为例,硫化时,在硫化胶囊内通入低压过热水,持续4 min,再向硫化胶囊内通入高压过热水,保持66 min循环,过热水温度不变。

### 1.1 平壁模型

已知 $\lambda=0.25 W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ , $T_1=458 K$ , $T_2=405 K$ , $n=0.013 m$ ,热水循环70 min,由式(2)计算得 $q$ 为 $672 W \cdot m^{-2}$ ,传递热量为2 737 kJ。

## 1.2 圆筒壁模型

已知 $\lambda=0.25 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ ,  $T_1=458 \text{ K}$ ,  $T_2=405 \text{ K}$ ,  $n=0.027 \text{ m}$ , 热水循环70 min, 由式(2)计算得 $q$ 为 $325 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 传递热量为740 kJ。

轮胎硫化阶段, 循环热水传递热量为以上两者之和, 即3 477 kJ, 则单位时间内传递能量均值为 $828 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

## 2 新型等压变温硫化工艺

仍以A轮胎为例, 在硫化胶囊内首先通入饱和蒸汽, 保压4 min, 再向硫化胶囊通入过热水, 保持10 min循环后, 停止过热水循环, 保压45 min。

### 2.1 蒸汽加热阶段

A轮胎配用的每个硫化胶囊容积约为 $0.0297 \text{ m}^3$ , 则将硫化胶囊气压充至 $1.50 \text{ MPa}$ 时, 由式(3)计算得需要蒸汽质量为 $0.2046 \text{ kg}$ 。

$$PV = mRT \quad (3)$$

式中,  $P$ 为绝对压力, Pa;  $V$ 为气体体积,  $\text{m}^3$ ;  $m$ 为气体质量, kg;  $R$ 为气体常数,  $\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$ 。

由饱和蒸汽表可查得压力为 $1.50 \text{ MPa}$ , 温度为 $198 \text{ }^\circ\text{C}$ , 焓为 $2792 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 则轮胎硫化周期的初始升温阶段蒸汽传递能量为570 kJ。

### 2.2 过热水循环阶段

过热水循环阶段热传导形式同传统等压等温硫化工艺, 传递热量约为490 kJ。

### 2.3 保压阶段

保压阶段硫化胶囊内热水温度约下降 $18 \text{ }^\circ\text{C}$ , 依据水的比热容表可查得温度为 $180 \text{ }^\circ\text{C}$ , 密度为 $0.887 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 比热容为 $4.417 \text{ kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C})^{-1}$ , 由式(4)计算得到能量约为2 090 kJ。

$$Q = \Delta t \times m \times C_p \quad (4)$$

式中,  $Q$ 为放热量, kJ;  $\Delta t$ 为加热放热前后温度差,  $^\circ\text{C}$ ;  $C_p$ 为比热容,  $\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C})^{-1}$ 。

轮胎硫化阶段传递热量为以上3个阶段之和, 即3 150 kJ, 则单位时间内传递热量均值为 $890 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

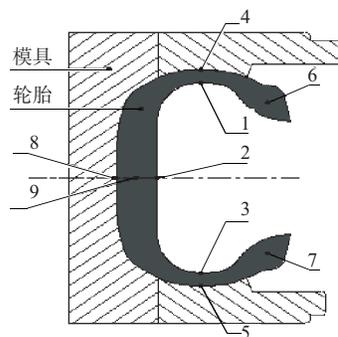
由此可见, 传统等压等温硫化工艺单位时间内被轮胎吸收的硫化介质的热量与新型等压变温硫化工艺相近, 说明采用传统等压等温硫化工艺, 大量的热水是无效循环。

## 3 轮胎硫化测温

利用热电偶轮胎硫化测温法<sup>[1]</sup>对采用传统等压等温硫化工艺和新型等压变温硫化工艺进行硫化测温。

### 3.1 测温点

轮胎硫化测温点位置如图2所示。



1—内衬层部件表面(上模); 2—内衬层部件表面(冠部); 3—内衬层部件表面(下模); 4—胎侧(上模); 5—胎侧(下模); 6—胎圈厚点(上模); 7—胎圈厚点(下模); 8—胎冠表面中心; 9—胎冠中心厚点。

图2 轮胎硫化测温点位置

### 3.2 测温结果

轮胎测温结果以硫化程度(等效硫化时间与正硫化时间的百分比)表示, 如表1所示。

表1 A轮胎各测温部位硫化程度 %

测温部位	等压变温硫化工艺	等压等温硫化工艺
1	450	909
2	343	936
3	312	892
1—3均值	368	912
4	394	281
5	276	325
4—5均值	335	303
6	285	312
7	280	324
8	300	323
9	278	315
6—9均值	286	319

从表1可以看出: 硫化结束时, 两种硫化工艺轮胎各测温部位均能达到正硫化, 测温部位4—9的硫化程度相当; 采用新型等压变温硫化工艺, 测温部位1—3过硫化程度比采用传统等压等温硫化工艺明显降低, 胶料的物理性能能够得到比较好的保持, 有利于提升后续轮胎翻新能力。同时, 两种硫化工艺硫化的轮胎外观均良好, 无质量缺陷;

解剖轮胎后,胶料无发泡现象。

#### 4 结论

新型等压变温硫化工艺使航空轮胎各部位硫化程度更加均匀,过硫化程度降低,可以提高轮胎的内在质量和性能,同时可较大幅度地节约能源,

是一种有效的硫化方式。

#### 参考文献:

- [1] 姚钟尧,罗超云,姚耀文. 3.2版轮胎硫化测温仪[J]. 橡胶工业, 2003,50(12):743-750.  
[2] 朱黎峰,罗文超. 硫化工艺现状与展望[J]. 中国橡胶,2014,30(4): 10-13.

收稿日期:2019-09-06

### 优科豪马推出715R区域驱动轮胎

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntiredealer.com)2019年8月29日报道:

优科豪马轮胎公司新SmartWay认证的715R轮胎(见图1)是一款胎肩开放型区域驱动轮胎。



图1 715R轮胎

该轮胎现有规格为11R22.5,另有295/75R22.5,285/75R24.5和11R24.5三个规格将于2020年年初推出。

优科豪马称,715R轮胎延长了胎面磨损里程,具有20.6 mm(26/32英寸)胎面花纹及先进的胎面设计,策略性布置的锁紧花纹条可以控制花纹块移动,使胎踵/趾磨损最小。

该轮胎其他的特点包括精确布置的开放的胎肩花纹块,有助于最少夹持异物,最大限度提高牵引性能。独特的抗切割和抗崩花掉块胶料可降低滚动阻力,提高燃油效率。16层级结构和H负荷等级提高了轮胎的负荷能力。

(吴秀兰摘译 赵 敏校)

### 东洋轮胎加强全球投资

近日,在连续完成在欧洲的大手笔投资后,东洋轮胎发布全球战略规划。东洋轮胎未来4年将在欧洲再建一个年产800万条轮胎的新工厂,并提升企业在北美市场的核心竞争力,努力将在北美

的排名从现在的第7名升至第5名。

2019年7月底,该公司对外宣布,拟在塞尔维亚建设一个年产值4.5亿美元的轮胎工厂,并在德国设立新的研发中心。东洋轮胎在战略规划中表示,塞尔维亚工厂最早于2020年年初投入使用,2022年全部建成,是其加强全球投资的重要一环。以此为基础,东洋轮胎将加强欧美市场的开发。

东洋轮胎认为,塞尔维亚新工厂有助于提高其在欧洲的市场份额。目前,欧洲市场的销售收入已经占该公司总营收的15%。到投产时,东洋轮胎将首次在欧洲本地完成对欧洲市场的轮胎供应。而此前供应欧洲市场的日本和马来西亚工厂的销售重心将转移到其他重要市场。东洋轮胎方面表示,原来日本工厂供应欧洲的产能将释放出来,转而供应本地市场,马来西亚和中国工厂的产能也可转向发展中国家。另外,塞尔维亚工厂还将是东洋轮胎美国工厂的有益补充。同时,为了满足其他市场需求,东洋轮胎正在提高马来西亚、美国和日本工厂的产能。东洋轮胎马来西亚工厂产能将提升至每年740万条,日本工厂则会增产20万条载重轮胎,到2021年1月,美国工厂的产能也将提高10%,以满足皮卡和SUV车型的轮胎需求。

在不断建新厂的同时,东洋轮胎还将在欧洲建设一系列配套设施。在宣布建设塞尔维亚工厂后,东洋轮胎宣布在德国建设研发中心,用于欧洲工厂的设计和研发。此外,东洋轮胎正在考虑在欧洲另建一个轮胎试验场。

东洋轮胎表示,加强海外投资是其中期经营计划的一部分。另外,该公司修订全球增长战略,这与其大股东及战略合作伙伴三菱集团的最新全球策略有关。

(摘自《中国化工报》,2019-09-16)