

载重子午线轮胎内温疏水阀自动排凝硫化工艺研究

丛明辉, 崔晓, 刘华龙, 李超, 董凌波*, 王世田, 原永栋

(三角轮胎股份有限公司, 山东威海 264200)

摘要: 研究内温疏水阀自动排凝硫化工艺对载重子午线轮胎硫化质量和能耗的影响。结果表明: 相对于采用切断阀定时排凝硫化工艺, 采用疏水阀自动排凝硫化工艺且在蒸汽/氮气转换段边通氮气边排凝, 轮胎硫化程度均一性提高, 能耗下降约50%, 轮胎耐久性能提升约4%, 滚动阻力系数不变, 但疏水阀过滤网需定期进行维护保养, 以免出现疏水阀堵塞和密封性能不佳的问题。

关键词: 载重子午线轮胎; 硫化工艺; 硫化程度均一性; 疏水阀; 排凝; 能耗; 耐久性能

中图分类号: U463.341+.3/.6; TQ330.6+6

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2023)06-0365-04

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2023.06.0365



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

蒸汽/氮气介质硫化工艺会产生大量冷凝水, 影响轮胎硫化质量, 目前主要有两种排凝方式, 分别为切断阀定时排凝和疏水阀自动排凝。定时排凝排凝效果好, 但排凝过程中胶囊内部蒸汽和冷凝水同时排出, 能耗较高; 自动排凝可能残余少量冷凝水无法完全排出, 排凝效果略差, 但因只排冷凝水而无蒸汽排出, 能耗较低^[1]。本工作研究轮胎硫化内温切断阀定时排凝和疏水阀自动排凝两种排凝工艺对轮胎硫化质量和能耗的影响, 并对疏水阀自动排凝硫化工艺进行优化, 在提升轮胎硫化质量的前提下, 进一步降低轮胎生产成本。

1 实验

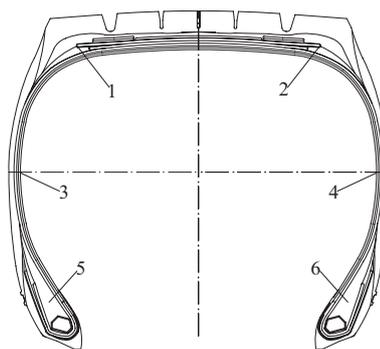
1.1 主要设备

24通道硫化测温仪和直径为0.5 mm的T型铜、铜镍合金测温导线, 华南理工大学产品; LL-B1640/4800×2型硫化机, 桂林橡胶机械有限公司产品。

1.2 硫化测温点

测温点选取试验轮胎硫化程度薄弱点(主要是轮胎胎肩和胎圈部位)及硫化胶囊冷凝水积存区域对应的轮胎内衬层表面, 具体硫化测温点位

置如图1所示。



1—下模2#带束层端点; 2—上模2#带束层端点; 3—下模内衬层表面; 4—上模内衬层表面; 5—下模三角胶中心; 6—上模三角胶中心。

图1 轮胎测温点位置示意

1.3 试验方案

试验针对同一规格轮胎, 在同一硫化机台, 分别采用不同内温硫化工艺进行轮胎硫化验证。其中正常硫化工艺为切断阀定时排凝硫化工艺, 试验硫化工艺采用疏水阀自动排凝硫化工艺。正常和试验硫化工艺上下热板及模套等外温工艺参数相同, 方案如表1所示。

1.4 测试分析

轮胎硫化测温从模具合模开始记录测温数据, 开模轮胎硫化周期结束后, 结束测温并保存数据。利用阿累尼乌斯方程计算基准温度为150℃

作者简介: 丛明辉(1986—), 男, 山东威海人, 三角轮胎股份有限公司工程师, 硕士, 主要从事轮胎配方研发工作。

*通信联系人(donglingbo@triangle.com.cn)

表1 硫化工艺方案

硫化步骤	正常硫化工艺	试验硫化工艺	
		方案1	方案2
充蒸汽时间/min	10	10	10
排凝	每隔2 min排凝1次,每次5 s	疏水阀不定时自动排凝	疏水阀不定时自动排凝
充氮气时间/min	35	35	35
排凝	每隔5 min排凝1次,每次5 s	不进行排凝	通氮气同时排凝50 s
保压时间/min	3	3	3
氮气回收时间/s	40	40	40
主排时间/s	10	10	10
抽真空时间/s	10	10	10

的等效硫化时间,该等效硫化时间与相应部位胶料 t_{90} 的比值为等效硫化程度^[2-3]。

2 结果与讨论

2.1 测温结果

轮胎等效硫化时间及硫化程度如表2所示。

从表2可以看出,方案1试验硫化工艺轮胎的等效硫化时间及硫化程度相对于正常硫化工艺偏高,这是因为切断阀定时排凝工艺排凝时冷凝水和蒸汽同时排出,硫化胶囊内部热量损失大,而疏水阀自动排凝工艺排凝时仅排出冷凝水,硫化胶囊内热量损失小。方案2较方案1试验硫化工艺在

表2 轮胎等效硫化时间及硫化程度

项 目	测温点					
	1	2	3	4	5	6
等效硫化时间/min						
正常硫化工艺	16.24	19.61	85.42	119.69	34.07	32.06
试验硫化工艺						
方案1	19.41	25.38	90.62	131.95	34.05	35.88
方案2	16.49	18.69	79.81	98.93	31.96	32.72
硫化程度/%						
正常硫化工艺	88	106	208	292	227	214
试验硫化工艺						
方案1	105	137	221	322	227	239
方案2	89	101	195	241	213	218

开始通氮气时排凝50 s,轮胎硫化程度降低,与正常硫化工艺轮胎的硫化程度差异不大。

轮胎上下模硫化程度均一性如表3所示。

模存在温差,温差越大,轮胎硫化均一性越差。

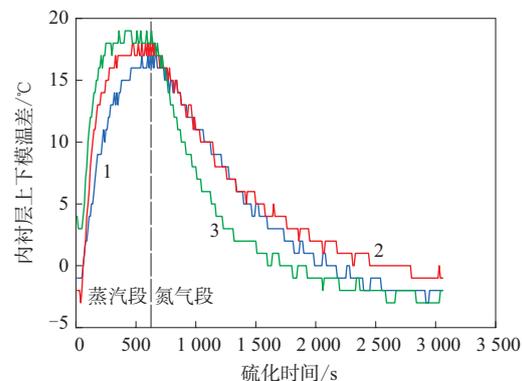
以轮胎内衬层表面部位为例,其上下模温差如图2所示。

表3 轮胎上下模硫化程度均一性

部 位	正常硫化工艺	试验硫化工艺	
		方案1	方案2
带束层端点	0.83	0.77	0.88
内衬层表面	0.71	0.69	0.81
三角胶中心	1.06	0.95	0.98

注:硫化程度均一性为轮胎相同部位下、上模硫化程度的比值。

硫化均一性值越接近1,说明轮胎上下模硫化程度差异越小,对轮胎性能越有利。从表3可以看出,方案2试验硫化工艺轮胎硫化均一性最好,方案1试验硫化工艺轮胎硫化均一性最差。造成轮胎硫化均一性差异的主要原因是轮胎硫化时上下



1—正常硫化工艺;2—方案1试验硫化工艺;3—方案2试验硫化工艺。

图2 轮胎内衬层表面上下模温差

从图2可以看出,在蒸汽段,正常硫化工艺上下模温差小于试验硫化工艺,分析原因可能为蒸汽段正常硫化工艺采用切断阀定时排凝,一方面定时排凝排除冷凝水的效果要好于疏水阀自动排凝,另一方面,每次排凝会对胶囊内部硫化介质进行搅动,提高了上下模硫化介质温度分布均匀性;在氮气段,正常硫化工艺上下模温差与方案1试验硫化工艺差异不大,说明在氮气段无大量冷凝水产生,排凝次数过多会造成不必要的热量损失。

为提升方案1试验硫化工艺轮胎硫化均一性,降低上下模温差,目前轮胎行业内主要有优化硫化机中心机构进汽孔喷射角度、降低氮气压力及优化排凝步序和时间等方法^[4-6]。由于设备改造工程量、费用高,而高压氮气有利于提高轮胎不同胶部件间粘合强度以及胶料的密实程度,因此方案2在方案1的基础上,在蒸汽和氮气转换时,边通氮气边进行排凝,上下模温差较方案1降低明显。分析原因可能为,高压氮气通入瞬间,硫化胶囊内上层空间的低压蒸汽因压力增大,产生绝热压缩,导致温度瞬间上升,即胶囊内上层空间温度更高,上下模温差增大。通过在充氮气的同时进行排凝,增强了对胶囊内部硫化介质搅动,硫化介质温度分布更加均匀,减弱了蒸汽绝热压缩使胶囊内上层蒸汽温度上升的影响。

综上所述,上下模温差由小到大的排列顺序为:方案2试验硫化工艺、正常硫化工艺、方案1试验硫化工艺,即方案2试验硫化工艺轮胎硫化均一性最好。

2.2 能耗分析

正常硫化工艺及方案1和方案2试验硫化工艺每条轮胎内温蒸汽用量测量结果分别为11.1、5.5和5.9 kg。

由此可见,采用试验硫化工艺每条轮胎硫化时内温蒸汽用量可降低约50%,这是因为疏水阀自动排凝工艺排凝时仅排出冷凝水,蒸汽损耗少;切断阀定时排凝工艺排凝时蒸汽和冷凝水一同排出,蒸汽损耗多。按照蒸汽价格为200元·t⁻¹进行计算,每条轮胎蒸汽用量减小约5.2 kg,节约成本约1.04元。

2.3 成品轮胎性能

为进一步考察试验硫化工艺对轮胎性能的影响,采用方案2试验硫化工艺试制12R22.5轮胎,并进行成品性能试验,同时采用正常硫化工艺生产同规格轮胎进行对比。

2.3.1 耐久性能

按照GB/T 4501—2008进行成品轮胎耐久性试验,达到国家标准要求后,按照企业标准继续进行试验,试验条件和结果如表4所示。

表4 成品轮胎耐久性试验条件和结果

项 目	试验阶段								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
负荷率/%	66	85	101	110	120	130	140	150	160
试验时间/h									
正常硫化工艺轮胎	7	16	24	10	10	10	10	10	2.85
方案2试验硫化工艺轮胎	7	16	24	10	10	10	10	10	6.62

注:试验速度为56 km·h⁻¹,试验结束时轮胎损坏。

从表4可以看出,方案2试验硫化工艺轮胎累计行驶时间为103.62 h,正常硫化工艺轮胎累计行驶时间为99.85 h。方案2试验硫化工艺轮胎耐久性能较正常硫化工艺轮胎提升约4%。

2.3.2 滚动阻力性能

轮胎滚动阻力系数按照GB/T 29040—2012《汽车轮胎滚动阻力测试方法》进行测试,试验条件和结果如表5所示。

从表5可以看出,方案2试验硫化工艺轮胎滚动阻力系数与正常硫化工艺轮胎相同。

2.4 工艺问题

疏水阀长期使用会出现异常损坏,主要形式为疏水阀堵塞,无法及时有效地排除冷凝水;其次

表5 成品轮胎滚动阻力性能试验条件和结果

项 目	正常硫化工艺轮胎	方案2试验工艺轮胎
试验速度/(km·h ⁻¹)	80	80
升温行驶时间/min	180	180
滚动半径/m	0.514	0.514
滚动阻力/N	198.5	198.6
滚动阻力系数/(N·kN ⁻¹)	6.7	6.7

是疏水阀泄漏,即疏水阀失去密封性,硫化介质大量泄漏。

硫化内温管路与硫化胶囊内部连通,胶囊老化后内表面产生大量胶屑,硫化时受硫化介质冲击后掉落,且随硫化介质传递至疏水阀过滤网中,当过滤网表面积存的杂质过多时,疏水阀堵塞。通过对疏水阀堵塞时硫化轮胎进行测温发现,冷凝水主要积存在下模内衬层表面测温点处,该位置升温缓慢,硫化程度仅为95%,远低于195%的正常硫化程度水平。

疏水阀过滤网表面杂质一旦透过过滤网进入疏水阀内,可能会导致疏水阀内排凝孔无法被有效密封,导致硫化介质泄漏。疏水阀泄漏时每条轮胎蒸汽用量测量结果约为13.2 kg,较正常硫化工艺的11.1 kg还高出约19%。

3 结论

(1)疏水阀自动排凝硫化工艺轮胎硫化程度较切断阀定时排凝硫化工艺高,但上下模硫化均一性较差。通过在蒸汽/氮气转换段边通氮气边排凝,可有效降低轮胎上下模温差,提升轮胎硫化均一性。

(2)疏水阀自动排凝硫化工艺较切断阀定时排凝硫化工艺节约内温蒸汽用量约50%,每条轮胎生产成本降低约1.04元。

(3)采用疏水阀自动排凝硫化工艺试制的12R22.5轮胎的耐久性能提升约4%,滚动阻力系数相同。

(4)疏水阀过滤网需定期进行维护保养,否则会出现疏水阀堵塞无法及时有效排凝以及疏水阀密封性能不佳硫化介质泄漏等问题。

参考文献:

- [1] 赵璞,李楠.疏水阀在半钢轮胎硫化机的节能应用[J].橡塑技术与装备,2021,47(3):28-32.
- [2] 杨清芝.实用橡胶工艺学[M].北京:化学工业出版社,2005:420-428.
- [3] 张恒.阿伦尼乌斯方程在全钢载重子午线轮胎硫化计算中的应用研究[J].橡胶工业,2021,68(6):409-414.
- [4] 罗玉海.轮胎定型硫化机氮气硫化喷头角度设计与试验[J].轮胎工业,2015,35(3):184-185.
- [5] 王俊霞,慕振兴,陈培文,等.降低全钢载重子午线轮胎硫化上下模温差的措施[J].橡胶科技,2021,19(4):176-181.
- [6] 张恒.排凝在轮胎氮气硫化工艺中的应用研究[J].轮胎工业,2021,41(7):452-454.

收稿日期:2023-01-06

Study on Internal Curing Process of Truck and Bus Radial Tire with Automatic Condensation Discharge

CONG Minghui, CUI Xiao, LIU Hualong, LI Chao, DONG Lingbo, WANG Shitian, YUAN Yongdong

(Triangle Tire Co., Ltd, Weihai 264200, China)

Abstract: The effect of automatic condensation discharge with drain valves on the vulcanization quality and energy consumption of truck and bus radial tires with internal curing process was studied. The results showed that compared with the curing process using timed condensation discharge of cut-off valves, the curing process with automatic condensation discharge of drain valves enabled the condensation discharge at the same time of nitrogen input in the steam/nitrogen conversion stage, the cured tires had higher homogeneity of the cure degree, the energy consumption was reduced by about 50%, and the tire durability was improved by about 4% while the rolling resistance coefficient was kept the same. However, the filter screen of the drain valve needed regular maintenance to avoid the problems of blockage and poor sealing performance of the drain valve.

Key words: truck and bus radial tire; curing process; cure degree homogeneity; drain valve; condensation discharge; energy consumption; durability