

14.00R20越野子午线轮胎的硫化测温

苏长艳, 苏艳平, 王英琦

(三橡有限公司, 辽宁 沈阳 110144)

摘要: 介绍14.00R20越野子午线轮胎的硫化测温过程, 绘制测温曲线, 利用胶料的活化能和测温数据计算各部位胶料的硫化程度。结果表明: 轮胎硫化条件和各部位硫化程度较理想, 胎侧中部的硫化程度最大, 达到400%以上; 胎冠肩部的硫化程度最小, 不到100%。

关键词: 越野子午线轮胎; 硫化测温; 硫化程度; 等效硫化时间

轮胎硫化是非稳态的传热过程, 硫化过程中各部位在温度梯度, 硫化程度不同。因此, 胶料的正硫化时间(t_{90})不能直接作为轮胎的硫化时间^[1]。目前, 通常采用热电偶硫化测温法确定轮胎的硫化时间, 即首先测定硫化时间内轮胎内部的温度变化, 得到位置-时间-温度数据, 据此进行硫化程度计算。简言之, 就是将测温点的时间-温度数据和该点胶料的 t_{90} 代入阿累尼乌斯方程计算等效硫化时间^[2]。

硫化机对模具的加热方式分为蒸锅式和热板式2种^[3], 蒸锅式硫化机虽然具有均匀加热模具的优点, 但由于蒸锅内存在蒸汽压力, 硫化机需要应对这部分作用力的锁模力, 同时硫化结束后蒸锅内的蒸汽需要排空, 造成能源浪费。热板式硫化机采取保温罩等改进措施后, 解决了模具胎冠部分外露部分散热而造成温度下降的问题。因此, 蒸锅式硫化机已逐渐被热板式硫化机所取代。

14.00R20越野子午线轮胎主要装配于轮式装甲车辆上, 该车辆除公路行驶外, 还要在很多复杂的非铺装路面上行驶, 对轮胎的抗刺扎性能、抗崩花掉块性能要求极高。因此, 摒弃传统意义上的“宁过勿欠”硫化工艺, 制定合理的轮胎硫化工艺条件意义重大。为此, 进行了热板式硫化14.00R20越野子午线轮胎的硫化测温, 并对测温数据进行分析, 为硫化工艺的调整和控制提供依据。

1 硫化计算原理

1.1 平均活化能

取各种胶料试样, 分别测试151, 156, 161和166 ℃下的 t_{90} , 根据阿累尼乌斯方程计算各部件胶料的活化能^[4]。

$$\lg \frac{t_1}{t_2} = \frac{E}{2.303R} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1} \quad (1)$$

式中, E 为硫化反应活化能, $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$; T_1 和 T_2 为硫化温度, K ; t_1 和 t_2 分别为 T_1 和 T_2 下的正硫化时间, min ; R 为气体常数, 数值为 $8.3143 \text{ J} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$ 。

1.2 硫化程度

根据151 ℃条件下各部位胶料的 t_{90} 及活化能, 运用阿累尼乌斯方程对测温数据进行处理, 计算出各部位胶料151 ℃的等效硫化时间, 从而得出当前工艺条件下轮胎的硫化程度^[5]。

$$t_e = \int_{t_s}^{t_m} \exp[E/R(1/T_0 - 1/T)] dt \quad (2)$$

式中, t_e 为等效硫化时间, min ; t_s 为硫化起始时间, min ; t_m 为硫化终止时间, min ; T_0 为硫化基准温度, K ; T 为硫化测得温度, K 。

据式(2), 可以用硫化模拟数据计算各测温点某一时间间隔的等效硫化时间、到某一时刻的累计等效硫化时间、总等效硫化时间和后硫化效应等, 掌握同步硫化情况。

2 准备工作

2.1 测温点

14.00R20越野子午线轮胎选取24个有代表性的硫化测温点,具体位置如图1所示。1号测温点在胎冠中部胎冠胶与模具之间;2号测温点在胎冠中部胎冠胶下部;3号测温点在胎冠中部内衬层与胶囊之间;4号测温点在下模胎冠肩部胎冠胶与模具之间;5号测温点在下模胎冠肩部靠近束束层的胎冠下胶片与垫胶间;6号测温点在下模胎侧大菱形区胎侧与模具之间;7号测温点在下模胎体反包端点;8号测温点在下三角与钢丝圈之间;9号测温点在上模胎冠肩部的胎冠胶与模具之间,与4号测温点对称;10号测温点在上模胎冠肩部胎冠下胶片;11号测温点在上模胎侧大菱形区胎侧与模具之间,与6号测温点对称;12号测温点在上模胎侧大菱形区内衬层与胶囊之间;13号测温点在下模硬三角部位内衬层与胶囊之间;14号测温点在下模上、下三角胶之间;15号测温点在下模耐磨胶料与模具之间;16号测温点在下模胎侧大菱形区胎侧与胎体之间;17号测温点在胎冠中部2nd带束层与3rd带束层之间;18号测温点在下模胎冠肩部胎面底层胶与胎冠下胶片之间;19号测温点在上模胎冠肩部胎冠下胶片;20号测温点在上模胎侧大菱形区胎侧与胎体之间,与16号测温点对称;21号测温点在上模硬三角部位内衬层与胶囊之间,与13号测温点对称;22号测温点在上模上、下三角胶之间,与14号测温点对称;23号测温点在上模胎冠肩部胎面底层胶与胎冠下胶片之间,与18号测温点对称;24号测温点为下模胎体反包端点,与7号测温点对称。

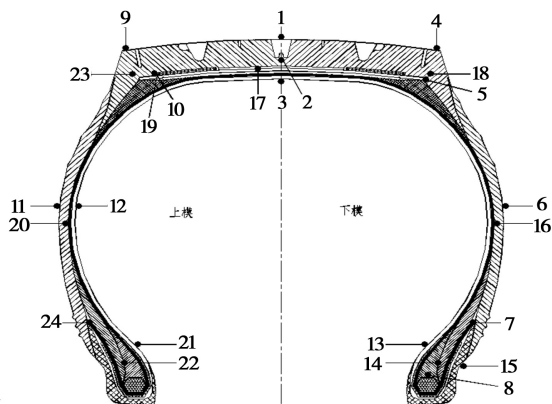


图1 14.00R20轮胎硫化测温点位置

2.2 测试仪器

TC-USB型硫化测温仪,北京橡胶工业研究设计院产品;GT-M2000-A型无转子硫化仪,台湾高铁科技股份有限公司产品;68英寸(172.72 mm)热板式双模定型硫化机,桂林橡胶机械厂产品。

2.3 测试导线

测温模具的下模侧部开有2个相距约20 cm、长和宽均为1 cm的导线出口。测温导线长10 m左右,导线表面光滑,没有挤压、严重扭曲和打折问题。为了保证测温顺利进行和测定结果准确,需对导线进行如下处理。

(1) 线头焊接

将导线一端的红黄2股线线头点焊在一起或紧紧扭结在一起,此端埋入轮胎内。导线另一端的红黄2股线裸露出适当长的线头,以连接到测温仪接线盒。

(2) 导线标识

选用耐高温、粘性好的白色胶布条,标上相应的编号后粘贴在导线上,要求每根导线分别贴2条胶布,以防止导线从下模导出过程中胶布脱落而不能辨别测温位置。

2.4 测温胎坯

测温胎坯埋线过程如下。

(1) 将胎侧向两边分开,与胎冠脱离后,从接头处将胎冠扒开,找到带束层等胎冠附近的测温点,将各导线埋入后,胎冠重新压合。

(2) 继续扒开上模胎侧部位,直至找到胎体反包端点和胎圈包布端点,将各导线埋入,然后埋入另一侧导线,下模的胎侧部位要露出钢丝圈。胎坯表面的埋线点导线表面要用胶片封住并固定。

(3) 带束层、胎体反包端点、胎圈包布正包和反包端点等容易确定的测温位置找到后,将导线放好并用胶片固定。上、下三角胶等不易确定的测温位置只能通过在相关部位的扎眼情况确定,并将导线放入,导线放好后,在扎眼的地方用胶片将导线固定。

(4) 从胎坯导线埋点起分别将每根导线拉紧,间隔20 cm左右用透明胶带固紧,有标识胶布或导线线头的地方全部用胶带密封,以防导线从下模引出时标识胶布脱落或导线不能全部顺利导出。

2.5 测定方法

将胎坯放到托盘上,导线引出的地方应稍偏离下模导线出口,然后用机械手将胎坯吊起,用软的细铁丝将导线从下模引出,连接好测温仪和电脑。将导线连接到与导线编号相同的测温仪接线口中,导线中的黄线接测温仪接线盒里的正(H)口,红线接负(L)口,将导线线头压紧,防止导线接触不良或脱落。全部导线引出后,边往外扯线边将胎坯慢慢放下,在胎坯降落到距下模30 cm时暂时停止,将导线与出口的间隙密封好后,打开电脑和测温仪,闭合模具,开始硫化测温。

2.6 硫化工艺条件

测温前对硫化机和管路进行检查,保证所测轮胎硫化温度和压力满足工艺条件要求。本测试14.00R20越野子午线轮胎的硫化工艺条件为:侧板温度(145 ± 2) $^{\circ}\text{C}$,模套温度(156 ± 2) $^{\circ}\text{C}$,内温(173 ± 2) $^{\circ}\text{C}$,硫化周期65 min(热水循环28 min)。

测温时设定10 s读1次温度,轮胎硫化完毕后打开硫化机,慢慢提升轮胎,轮胎在正常条件下自然冷却,测温至各部位温度降至105 $^{\circ}\text{C}$ 左右,观测轮胎的后硫化效应。由于导线出口太小,开模时19和23号测温点导线被扯断,而5号测温点位置与19和23号测温点位置接近,因此19和23号测温点测试数据可以参考5号测温点所测数据。

3 结果与讨论

3.1 测温曲线

根据测温得数据,绘制轮胎各部位的时间-温度曲线,如图2~7所示。

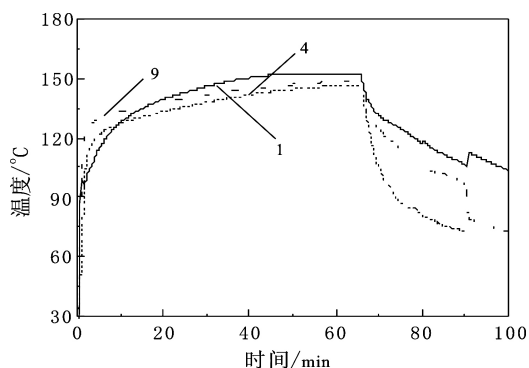


图2 胎冠表面时间-温度曲线

从图2可以看出:胎冠表面1,4和9号测温点的最高温度分别为152.2,146.7和148.9 $^{\circ}\text{C}$ 。轮胎表面测试温度反映的是硫化外温,由此得出,模套对应部位实际硫化外温比设定值略微偏低。

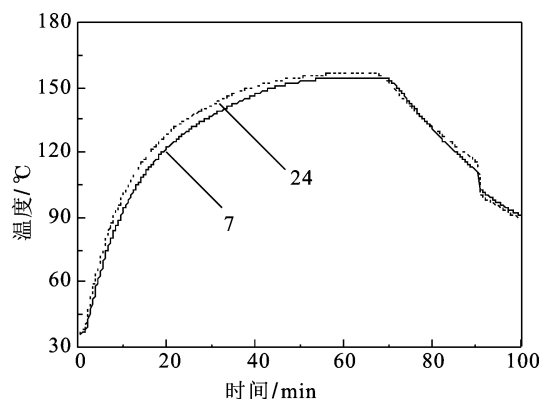


图3 胎体反包端点时间-温度曲线

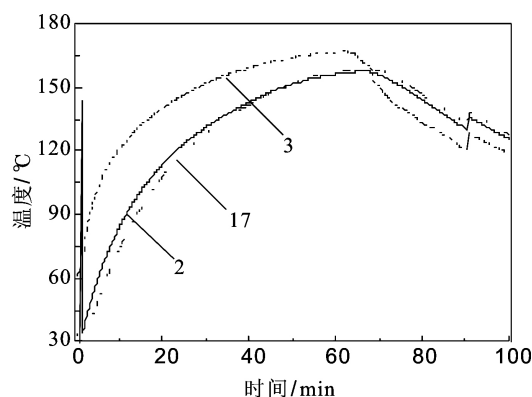


图4 胎冠内部时间-温度曲线

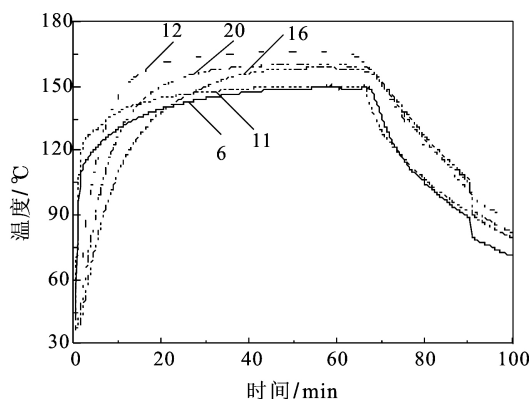


图5 胎侧表面时间-温度曲线

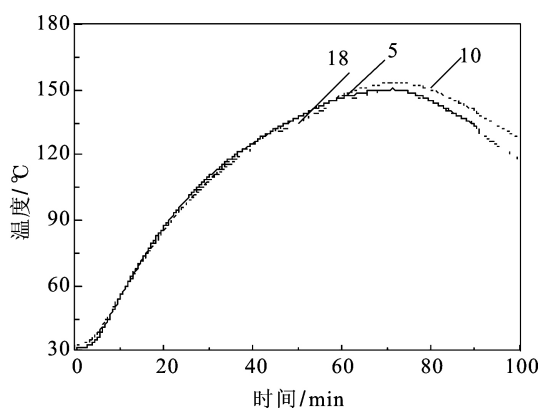


图6 胎肩部位时间-温度曲线

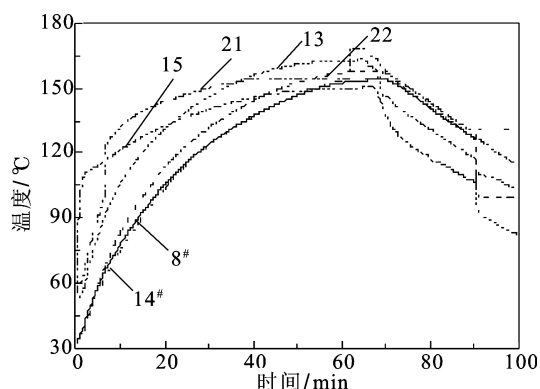


图7 胎圈部位时间-温度曲线

从图3可以看出：上、下模具胎体反包端点的温度变化接近，由此表明导线埋入点基本准确，上、下模具对应点的温度一致。

从图4可以看出：胎冠内部3号测温点最高温度偏高，为164.9℃，这是由于该测温点在处于内表面，受胶囊热效应的影响；2和17号测温点度比较接近胎冠部位的温度设定值，最高温度分别为157.0和159.0℃。

从图5可以看出：胎侧部位的6和11号测温点处于模具外部，硫化最高温度和设定值接近；16，20和12号测温点的温度分别为149.0，159.0，163.0℃，逐渐升高，这是由于受到内部胶囊过热水的影响，而且越靠近胶囊温度越高。

从图6可以看出：由于胎肩部位同时受模套和侧板温度的双重影响，因此胎肩部位的热传导情况比较特殊，5，10和18测温点的最高温度分别为148.8，151.0和147.7℃。由此得出，胎肩部位的实

际温度处于模套和侧板温度之间。

从图7可以看出：胎圈部位8，13，14，15，21和22号测温点最高温度分别为153.6，163.1，154.4，150.3，167.9和157.9℃。其中13和21号测温点处于轮胎内表面，温度较高，其它各测温点温度基本符合硫化设定温度。

从内、外温测定结果看，模套部位对应的轮胎外表面温度略微偏低，侧板对应的轮胎外表面温度适中，而轮胎内表面温度较高。总体来说，轮胎各部位硫化温度基本符合硫化设定温度。

3.2 硫化程度

轮胎硫化最理想的状况是各部位胶料同步达到正硫化，当硫化结束时硫化程度均达到最高，即硫化结束时，各部位胶料的 t_e 等于参比温度下的 t_{90} ^[1]。实际上，这是可望而不可及但却力求逼近的状况。

表1为14.00R20越野子午线轮胎各部位测温点的硫化程度计算结果，可以看出：①上、下模具各对应测温点胶料的硫化程度相差不大，说明导线埋入点基本准确，上、下模具各对应点胶料温度一致；②上、下模具胎侧中间部位的硫化程度高于胎侧靠近胎肩部位的硫化程度，这是由于胎侧中间的断面最薄，受胶囊过热水作用显著；③降温到105℃时各部位的硫化程度差异减小，表明后硫化效应主要发生在130℃以上，130℃以下硫化基本停止；④轮胎表面降温迅速，基本没有后硫化效应。胎冠肩部和胎圈中部由于处在轮胎传热薄弱位置，硫化程度较小，但散热较慢，故后硫化效应显著。

测温结果表明，本硫化工艺条件和各部位的硫化程度比较理想，硫化结束时胎侧中部的硫化程度最大，达到400%以上，胎冠肩部的硫化程度最小，不到100%，而胎冠部位硫化程度较小，有利于提高轮胎的抗崩花掉块性能。

4 结论

通过硫化测温得出，14.00R20越野子午线轮胎硫化模套对应部位外表面温度略微偏低，侧板对应外表面温度适中，而轮胎内表面温度较高。总体来说，轮胎各部位硫化温度基本符合硫化设定温度，硫化程度比较理想，胎冠部位硫化程度较小，有利于提高轮胎的抗崩花掉块性能。

表1 14.00R20越野子午线轮胎各部位硫化程度计算结果

测温点	151 ℃的 t_{90} /min	等效硫化时间/min		硫化程度/%	
		硫化结束	降温到 105 ℃	硫化结束	降温到 105 ℃
胎冠中部表面(1)	14.6	50.2	55.1	344	377
胎肩表面(4)	14.6	30.9	32.5	212	223
胎肩表面(9)	14.6	38.9	42.1	266	288
胎侧外表面(6)	16.5	43.9	49.1	266	298
胎侧外表面(11)	16.5	52.3	56.6	317	343
胎圈外表面(15)	14.8	39.3	46.2	266	312
胎冠中部(2)	14.6	35.8	57.3	245	392
胎冠中部(3)	35.6	83.3	99.7	234	280
胎冠中部(17)	20.4	35.5	60.8	174	298
胎侧中部(16)	16.5	67.9	81.2	412	492
胎侧中部(20)	16.5	89.4	102.6	542	622
胎冠肩部(5)	20.4	14.0	31.9	69	156
胎冠肩部(10)	20.4	14.5	38.2	71	187
胎冠肩部(18)	20.4	12.0	29.3	59	144
胎体反包端点(7)	16.1	39.5	53.3	245	331
胎体反包端点(24)	16.1	48.7	62.8	302	390
下三角与钢丝圈之间(8)	19.1	25.8	43.5	135	228
胎侧内表面(12)	35.6	122.1	135.3	343	380
下模三角胶内表面(13)	35.6	66.6	80.9	187	227
上模三角胶内表面(21)	35.6	66.6	89.8	187	252
下模三角胶间(14)	11.3	26.0	45.9	230	406
上模三角胶间(22)	11.3	38.0	59.7	336	528

参考文献:

- [1] 丁剑平, 姚钟尧. 橡胶硫化反应活化能的测定[J]. 橡胶工业, 2005, 52(8): 498-500.
- [2] 丁剑平, 胡 鹏, 顾 勤. 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): 142-145.
- [3] 陈 波. 轮胎硫化蒸汽供热系统节能优化[J]. 轮胎工业, 2011, 31(9): 564-566.
- [4] 惠炳国, 王振太, 刘世东. 全钢载重子午线轮胎的硫化测温[J]. 轮胎工业, 2008, 28(1): 46-49.
- [5] 成海龙, 车银平. 半钢子午线轮胎的硫化测温[J]. 轮胎工业, 2005, 25(11): 686-689.

Measurement of the Vulcanization Temperature of 14.00R20 Cross-country Radial Tire

Su Changyan, Su Yanping, Wang Yinqi
(T-Rubber Co., Ltd., Shengyang 110144, China)

Abstract: Measurement of the vulcanization temperature of 14.00R20 cross-country radial tire was introduced. The temperature curve was obtained and then the cure degree of different parts of the rubber compound was calculated using rubber curing activation energy and measured temperature data. The results showed that the tire curing conditions and the cure degree of various parts were good. The middle part of the sidewall had the highest degree of cure, over 400%; and the tread shoulder had the lowest degree of cure, less than 100%.

Keywords: cross-country radial tire; vulcanization temperature measurement; degree of cure; equivalent curing time