## 测试 · 分析

# 摩托车仿生花纹沙地轮胎硫化温度场分析

王一斌,胡海明\*

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:采用ANSYS Workbench软件研究摩托车仿生花纹(以驼形花纹为例)沙地轮胎(简称驼形花纹轮胎)硫化温度场,并与普通花纹(长条形花纹和宽段形花纹)沙地轮胎进行对比分析。结果表明:3种花纹轮胎模具温模时间和温模后型腔温度基本相同,驼形花纹轮胎模具型腔温度差最小,温度差减小速度最快,传热最均匀;硫化900 s时,驼形花纹轮胎传热均匀性最好,可以保证一定的硫化均匀性;硫化1 200 s时,驼形花纹轮胎各部位温度明显提升,上下胎肩温度差绝对值减小,传热均匀性更好;硫化1 500 s时,3种花纹轮胎硫化效果相当,驼形花纹轮胎上下胎肩温度差绝对值进一步减小,传热均匀性进一步提升。

关键词:摩托车轮胎;仿生花纹轮胎;沙地轮胎;驼形花纹;硫化温度场

中图分类号:TQ336.1

文献标志码·A

文章编号:1000-890X(2023)07-0543-08

**DOI:** 10. 12136/j. issn. 1000-890X. 2023. 07. 0543



硫化是轮胎重要的加工工序,硫化过程中模 具型腔温度变化对轮胎性能影响很大[1-10]。对于 硫化机模具温度场而言,王芹等[11]通过优化模具 底座结构,减小了模具型腔花纹块上下两侧温度 差,使轮胎胎肩性能差异减小。胡海明等[12]通过 改变模具中套结构减小了模具型腔温度差,使轮 胎传热更加均匀。石鹏等[13]通过改变模具传热 边界条件改善了模具型腔温度差,有利于模具设 计。对于平板硫化机模具而言,武凯迪[14]研究了 摩托车轮胎活络模具结构,发现模具底座耐磨板 为扇形时,模具型腔温度差较小,并设计出一种适 用于平板硫化机的摩托车轮胎活络模具,消除了 两半模开模对帘线或帘布的损坏,但模具仍存在 一些问题, 当开模阻力过大时, 顺序拉杆可能会将 弹簧销顶开,使开模动作失效。同时,王月[15]通过 仿真研究了有无花纹沟槽对轮胎各部位硫化升温 的影响,认为花纹沟槽在轮胎硫化仿真中不应被

忽略。毛渴新<sup>[16]</sup>研究了光面轮胎、条形花纹轮胎和块状花纹轮胎在硫化中的温度分布,得到胎肩和胎面花纹体积比影响轮胎整体硫化升温快慢。

本工作基于平板硫化机设计仿生花纹(驼形花纹,源自骆驼脚掌形状)摩托车轮胎活络模具,其开模方式采用翘板式,可以提高开模的稳定性和可靠性,并研究了花纹形状对于模具型腔温度差的影响;同时,设计驼形花纹沙地轮胎(简称驼形花纹轮胎),对驼形花纹轮胎与目前普通花纹(长条形花纹和宽段形花纹)沙地轮胎(简称长条形花纹轮胎和宽段形花纹轮胎)硫化过程进行分析,以探究驼形花纹轮胎与长条形花纹轮胎和宽段形花纹轮胎硫化过程进行分析,以探究驼形花纹轮胎与长条形花纹轮胎和宽段形花纹轮胎硫化温度场的差异。轮胎硫化测温方法有多种(如智能硫化测温和热电偶硫化测温[17]等),本工作采用ANSYS Workbench软件进行轮胎硫化温度场分析,传热数据获得更加快速、科学,可大幅节约测试成本。

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(ZR2013EEL101)

作者简介:王一斌(1997一),男,山东烟台人,青岛科技大学在读硕士研究生,主要从事模具设计与制造研究。

\*通信联系人(2467420183@qq.com): 胡海明(1964一), 男, 山东临沂人, 青岛科技大学教授, 主要从事模具计算机辅助设计的教学与科研工作。

引用本文: 王一斌, 胡海明. 摩托车仿生花纹沙地轮胎硫化温度场分析[J]. 橡胶工业, 2023, 70(7): 543-550.

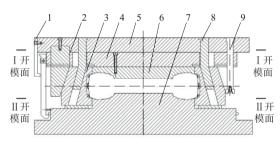
Citation: WANG Yibin, HU Haiming. Analysis of vulcanization temperature field of motorcycle bionic pattern sand tire[J]. China Rubber Industry, 2023, 70 (7):543-550.

#### 1 摩托车轮胎模具结构及使用特点

#### 1.1 模具结构

本工作设计翘板式摩托车轮胎活络模具,通 过改变花纹块形状,可以得到驼形花纹和其他花 纹轮胎模具。

摩托车轮胎模具主要由9个部件组成(见图 1),采用花纹块径向驱动杆代替传统活络模具中的导向条完成导向功能,开模方式为翘板式。花纹块径向驱动杆固定在上板,其数量跟花纹块相同,两者互相间隔设置在上板周边,在翘板式开模机构作用下完成分模过程。花纹块径向移动板下端面设有卡槽,花纹块端部设有与卡槽配合的限位卡板,花纹块通过限位卡板卡接在卡槽内,可相对花纹块径向移动板进行水平滑动。



1—翘板式开模机构;2—花纹块夹紧块;3—花纹块;4—花纹块 径向移动板;5—上板;6—上侧板;7—底座; 8—花纹块径向驱动杆;9—开模限位杆。

#### 图1 摩托车轮胎模具示意

Fig. 1 Schematic diagram of motorcycle tire mold

### 1.2 模具使用特点

模具使用特点如下。

(1)开模时,上板不动,平板硫化机下热板带着底座向下移动,由于翘板式开模机构的作用,花纹块径向移动板、上侧板和花纹块随着底座一起向下运动,直到I开模面分开。在开模过程中,由于开模限位杆固定于上板不动,其对花纹块径向移动板向下运动的过程中,花纹块径向驱动杆使花纹块产生径向移动,使花纹块脱离轮胎,此时,完成第1次开模动作。之后,平板硫化机下热板继续向下运动,翘板式开模机构脱离底座上的夹紧块,此时,II开模面分离,完成第2次开模动作。随后轮胎可由人工取出。

(2) 合模时, 平板硫化机下热板带动底座向上运动, 当花纹块径向驱动杆重新插入花纹块时, 由

于花纹块径向驱动杆的作用,花纹块以及花纹块 径向移动板、上侧板在协同向上移动的同时,花纹 块也向内移动,当花纹块径向移动板面碰到上板 底面时,翘板式开模机构重新卡住底座上的夹紧 块,模具恢复到原始状态。

#### 2 摩托车轮胎模具传热性能分析

不同花纹轮胎适用于不同的路面。沙地花纹轮胎主要应用于沙地路面,其花纹与地面接触面积小,轮胎具有较好的承载能力和抗剪切性能,不会出现滚动下陷,便于其正常通过沙地<sup>[9]</sup>。其中,驼形花纹轮胎具有安全性高、舒适性好、经济节能等优势,更能满足车辆在沙地行驶。

模具结构差异会使轮胎硫化温度场分布出现 较大差异,这将导致硫化后成品轮胎质量不均匀, 从而严重影响轮胎性能。

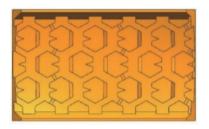
本工作以摩托车轮胎模具为研究对象,将其上板和底座升温至160 ℃,模拟硫化6 h,观察驼形花纹、长条形花纹和宽段形花纹(见图2)模具型腔温度变化,研究花纹形状对摩托车轮胎模具型腔温度的影响。由于摩托车轮胎模具有对称性,为缩短软件运行时间,取其1/8进行分析。

选取摩托车轮胎模具型腔内的5个点(a—e 点,模具上侧板中心点为a点,花纹块上侧中心点为b点,花纹块中间部分的中心点为c点,花纹块下侧中心点为d点,下侧板中心点为e点),分别测量其温度,做出不同花纹模具型腔各点温度与时间的关系曲线,如图3—5所示。

从图3—5可以看出:模具上下侧板的a和e点温度先达到稳定,其次是花纹块上下侧的b和d点,最后是花纹块中心的c点;不同花纹模具型腔中各点温度变化基本相同,驼形花纹模具型腔温模时间为11 664 s,温模后温度为158.6 ℃,长条形花纹模具型腔温模时间为11 664 s,温模后温度为158.5 ℃,宽段形花纹模具型腔温模时间为11 880 s,温模后温度为158.7 ℃。

不同花纹模具型腔的a与c点温度差和b与c点温度差与时间的关系曲线分别如图6—7所示。

从图6—7可以看出:不同花纹模具型腔的a与 c点温度差随时间变化没有明显差异,b与c点温度



(a) 驼形花纹



(b)长条形花纹

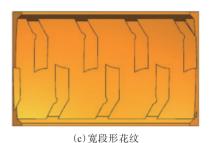


图2 3种模具型腔花纹 Fig. 2 Three types of mold cavity patterns

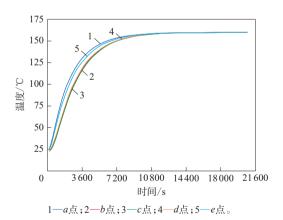


图3 驼形花纹模具型腔各点温度与时间的关系曲线 Fig. 3 Relation curves between temperatures and time at various points of camel pattern mold cavity

差随时间变化有明显差异; 驼形花纹模具型腔中b与c点温度差一直最小,最大温度差为2.5 °、其次是长条形花纹,最大温度差为2.8 °、差值最大的是宽段形花纹,最大温度差为3.5 °、驼形花纹模具型腔温度差减小速度最快,最先达到稳定状

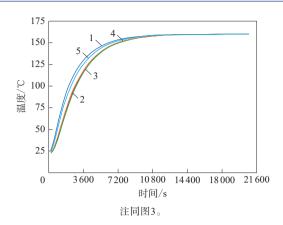


图4 长条形花纹模具型腔温度与时间的关系曲线 Fig. 4 Relation curves between temperatures and time at various points of long strip pattern mold cavity

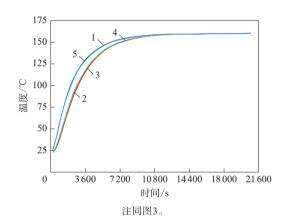
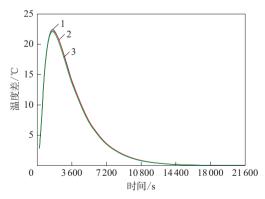


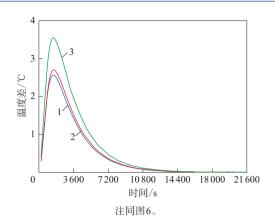
图5 宽段形花纹模具型腔温度与时间的关系曲线 Fig. 5 Relation curves between temperatures and time at various points of wide section pattern mold cavity



1一驼形花纹;2一长条形花纹;3一宽段形花纹。

图6 不同花纹模具型腔中 a 与 c 点温度差与 时间的关系曲线

Fig. 6 Relation curves between temperature differences and time at a and c points of different pattern mold cavities 态。这说明驼形花纹模具型腔的传热最均匀,该模具有利于轮胎整体硫化,其硫化的轮胎性能更好。



不同花纹模具型腔中b与c点温度差与 时间的关系曲线

Fig. 7 Relation curves between temperature differences and time at b and c points of different pattern mold cavities

#### 3 驼形花纹轮胎结构设计

轮胎是车辆与地面接触的唯一部件,车辆承 重、行使和刹车等主要通过轮胎完成。不同花纹 轮胎有不同特点和用涂:纵向花纹轮胎滚动阻力 较小,抗侧滑性能好,可应用于优质路面的高速 行驶[10];泥雪地花纹轮胎适用于泥地和雪地,抓 着性能好,具备更好的提速和刹车性能;沙地花 纹轮胎主要应用于沙地。

驼形花纹轮胎的花纹结构如图8所示,包括中 心块、侧块及侧沟3个部分。中心块基于骆驼脚掌 结构设计而成,分为前部和后部,前部中间有一纵

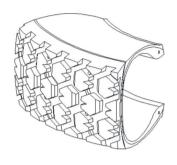


图8 驼形花纹轮胎花纹结构 Fig. 8 Pattern structure of camel pattern tire

向沟槽,中心块宽度从前到后逐渐减小,沟槽斜边 呈30°,3个中心块并列为1组,沿圆周方向交替相反 排列;侧块和侧沟沿圆周对称分布。驼形花纹结 构特点为:中心块中间纵向沟槽宽度从前至后逐 渐减小,在轮胎进入沙地到出来的过程中,具备限 流固沙的作用,并且花纹与沙之间具有较大的接 触面积和摩擦力;中心块后部有30°的倾斜角度,随 负荷的增大,倾斜角度逐渐增大,从而减小轮胎下 陷程度,给轮胎提供更大的推动力;中心块沿圆周 方向交替相反排列,可以极大提高轮胎抓着性能 和推动性能。因此,与长条形花纹和宽段形花纹轮 胎相比,驼形花纹轮胎刚进入沙地时接地面积小, 所受阻力也小,而进入沙地后接地面积增大,抓着 性能提高。

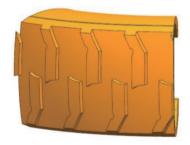
将不同花纹轮胎(见图9,各部件材料相同) 胎坯放入温模后的模具中,通入170 ℃的水蒸气进







(b)长条形花纹



(c) 宽段形花纹

图9 不同花纹轮胎(局部) Fig. 9 Tires with different patterns (part)

行硫化,观察硫化900,1 200和1 500 s时轮胎温度 场情况。轮胎各部件材料属性如表1所示。

选取不同花纹轮胎上的7个点(位置分别在胎 冠、带束层、上胎肩、下胎肩、胎体上钢丝帘线、 胎体下钢丝帘线和胎里)测量温度,观察其温度 变化。

表1 轮胎各部件材料属件 Tab. 1 Material properties of tire components

项	目	胎冠 胶	带束 层胶	胎侧 胶	胎里 胶	钢丝 帘线		
密度/(Mg・	m <sup>-3</sup> )	1.457	1.180	1.110	1.120	7.890		
热导率/[W	• (m • °C) <sup>-1</sup> ]	0.272	0.260	0.254	0.260	47		
比热容/[J•	$(kg \cdot ^{\circ}C)^{-1}]$	1 458	1 490	1 484	1 489	475		

°C

#### 轮胎硫化温度场分析

#### 4.1 硫化900 s时不同花纹轮胎温度场分析

硫化900 s时不同花纹轮胎各部位温度如表2 所示,热流密度分布如图10所示。

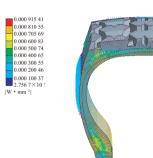
从表2可以看出: 当硫化时间为900 s时, 与长

条形花纹轮胎相比,驼形花纹轮胎硫化温度较高, 胎冠温度高4.7℃,带束层温度高0.6℃,上胎肩 温度高1.0 ℃,下胎肩温度、胎体上钢丝帘线温 度和胎体下钢丝帘线温度相差不大,胎里温度高 1.2 ℃,上下胎肩温度差绝对值小0.9 ℃;与宽段

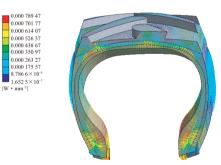
表2 硫化900 s时不同花纹轮胎各部位温度

	ab. 2	remp	cratures	oi various	parts of thes with	different patte	i iis at vuica	mization 700 s
冠	帯市	: 厚	上胎肩	下胎启	胎体上钢丝密线	胎休下钢丝窑丝	胎甲	上下胎肩温度差绝对

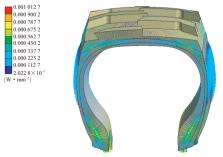
不同花纹轮胎	胎冠	带束层	上胎肩	下胎肩	胎体上钢丝帘线	胎体下钢丝帘线	胎里	上下胎肩温度差绝对值
驼形花纹轮胎	155.3	155.5	152.7	154. 1	144.6	144.6	159.9	1.4
长条形花纹轮胎	150.6	154.9	151.7	154.0	144.4	144.4	158.7	2.3
宽段形花纹轮胎	157.6	159.7	153.5	155.9	144.8	144.8	162.5	2.4



(a) 驼形花纹轮胎



(b)长条形花纹轮胎



(c) 宽段形花纹轮胎

图10 硫化900 s时不同花纹轮胎热流密度分布云图 Fig. 10 Heat flux density distribution nephograms of tires with different patterns at vulcanization 900 s

形花纹轮胎相比, 驼形花纹轮胎硫化温度低, 胎冠 温度低2.3℃,带束层温度低4.2℃,上胎肩温度 低0.8 ℃,下胎肩温度低1.8 ℃,胎体上钢丝帘线 和胎体下钢丝帘线温度相差不大,胎里温度低2.6 ℃,上下胎肩温度差绝对值小1 ℃,因此驼形花纹 轮胎硫化较为均匀,传热也较为稳定。

以胎冠和胎肩为例,从表2和图10可以看出: 与长条形花纹轮胎相比, 驼形花纹轮胎胎冠和胎 肩温度较高,热流密度较大;与宽段形花纹轮胎相 比, 驼形花纹轮胎胎冠和胎肩温度较低, 热流密度 较小。分析认为:3种花纹轮胎胎冠热量小部分由 带束层传递,大部分由模具传递,模具和硫化胶囊 传递的热量都相对较大,因此胎冠温度较高;胎肩 热量主要由模具和硫化胶囊传递, 驼形花纹轮胎 两个传热源的热流密度相同,长条形花纹轮胎和 宽段形花纹轮胎由硫化胶囊传递的热量较大,导 致上下胎肩温度差绝对值较大。其他部位情况类 似。总之, 驼形花纹轮胎硫化时传热好, 有利于缩 短硫化时间,同时保证硫化均匀性。

#### 4.2 硫化1 200 s时不同花纹轮胎温度场分析

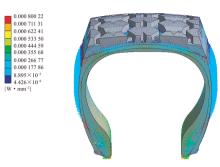
硫化1 200 s时不同花纹轮胎各部位温度如表 3所示,热流密度分布如图11所示。

从表3可以看出: 当硫化时间为1 200 s时, 与 长条形花纹轮胎相比, 驼形花纹轮胎硫化温度较 高,其胎冠温度高2.5 ℃,带束层温度高0.8 ℃,上 胎肩温度高0.3 ℃,胎里温度高0.8 ℃,下胎肩温 度、胎体上钢丝帘线温度、胎体下钢丝帘线温度和 上下胎肩温度差绝对值接近;与宽段花纹轮胎相 比, 驼形花纹轮胎硫化温度明显降低, 驼形花纹

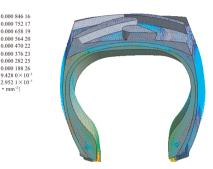
#### 表3 硫化1 200 s时不同花纹轮胎各部位的温度

Tab. 3 Temperatures of various parts of tires with different patterns at vulcanization 1 200 s

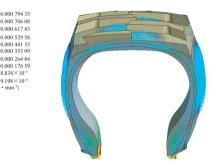
不同花纹轮胎	胎冠	带束层	上胎肩	下胎肩	胎体上钢丝帘线	胎体下钢丝帘线	胎里	上下胎肩温度差绝对值
驼形花纹轮胎	158.3	160.8	158.1	158.5	154.6	154. 6	164. 2	0.4
长条形花纹轮胎	155.8	160.0	157.8	158.3	154.4	154.4	163.4	0.5
宽段形花纹轮胎	158.7	161.8	158.1	158.9	154.8	154.8	164.9	0.9



(a) 驼形花纹轮胎



(b)长条形花纹轮胎



(c) 宽段形花纹轮胎

图11 硫化1 200 s时不同花纹轮胎热流密度分布云图 Fig. 11 Heat flux density distribution nephograms of tires with different patterns at vulcanization 1 200 s

轮胎胎冠温度低0.4 °C,带束层温度低1.0 °C,上胎肩温度相同,下胎肩温度低0.4 °C,胎里温度低0.7 °C,胎体上钢丝帘线温度和胎体下钢丝帘线温度相差不大,上下胎肩温度差温度差绝对值小0.5 °C。

以胎冠和胎肩为例,从表3和图11可以看出:与硫化时间为900 s相比,硫化时间为1 200 s时3

种花纹轮胎各部位温度有所提升; 驼形花纹轮胎和宽段形花纹轮胎的热流密度减小, 传热基本稳定, 而长条形花纹轮胎热流密度增大, 传热较慢。分析认为: 驼形花纹轮胎胎冠大部分热量由硫化胶囊传递; 驼形花纹轮胎胎冠大部分热量由硫化胶囊传递; 驼形花纹轮胎胎肩热量转变为硫化胶囊传递, 由于之前为双向传递, 因此上下胎肩温度差绝对值减小, 即随着硫化时间延长, 上下胎肩温度差绝对值减小。其他部位情况类似。总之,随着硫化时间延长, 驼形花纹轮胎各部位温度明显提升, 上下胎肩温度差绝对值减小, 传热更加均匀。

°C

#### 4.3 硫化1 500 s时不同花纹轮胎温度场分析

硫化1 500 s时不同花纹轮胎各部位温度如表 4所示,热流密度分布如图12所示。

以胎冠和胎肩为例,从表4和图12可以看出, 3种花纹轮胎热流密度基本相同。胎肩热量主要 由硫化胶囊传递,随着硫化时间延长,热流密度增 大,上下胎肩温度差绝对值减小。其他部位情况 类似。因此在1500s时,3种花纹轮胎硫化效果基 本相同,驼形花纹轮胎传热温度差更小,传热均匀 性更好。

#### 5 结论

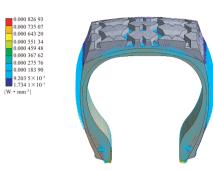
(1)对于驼形花纹、长条形花纹和宽段形花纹 模具型腔,其温模时间和温模后温度基本相同,驼

°C

表4 硫化1500 s时不同花纹轮胎各部位的温度

Tab. 4 Temperatures of various parts of tires with different patterns at vulcanization
--

不同花纹轮胎	胎冠	带束层	上胎肩	下胎肩	胎体上钢丝帘线	胎体下钢丝帘线	胎里	上下胎肩温度差绝对值
驼形花纹轮胎	159.7	162.5	160.4	160.7	159.4	159.4	164.8	0.3
长条形花纹轮胎	158.3	161.7	159.6	160.0	159. 2	159. 2	164.8	0.4
宽段形花纹轮胎	159.7	162.6	161.1	161.5	159.6	159.6	165.0	0.4



(a) 驼形花纹轮胎

0.000 775 66 0.000 678 71

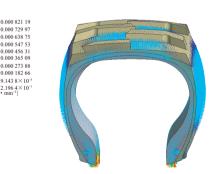
0.000 581 76 0.000 484 82 0.000 387 87

0.000 290 92 0.000 193 97

9.702 6×10<sup>-1</sup> 7.825 5×10<sup>-1</sup> • mm<sup>-2</sup>]



(b)长条形花纹轮胎



(c) 宽段形花纹轮胎

图12 硫化1 500 s时不同花纹轮胎热流密度分布云图 Fig. 12 Heat flux density distribution nephograms of tires with different patterns at vulcanization 1 500 s 形花纹模具型腔温度差最小,温度差减小速度最快,传热最均匀。

(2)对于驼形花纹、长条形花纹和宽段形花纹 轮胎,硫化900 s时,驼形花纹轮胎传热均匀性最 好,可以保证一定的硫化均匀性;硫化1 200 s时, 驼形花纹轮胎各部位温度明显提升,上下胎肩温 度差绝对值不断减小,传热均匀性更好;硫化1 500 s时,3种花纹轮胎硫化效果基本相同,驼形花纹轮胎上下胎肩温度差绝对值进一步减小,传热均匀性进一步提升。

#### 参考文献:

- [1] 刘鹏,于翠香,刘志兰,等. 轮胎活络模具传热结构优化及其在轮胎 硫化中的应用研究[J]. 模具工业,2022,48(7):15-21.
  - LIU P, YU C X, LIU Z L, et al. Optimization of heat transfer structure of tire segment mould and application in tire vulcanization[J]. Die & Mould Industry, 2022, 48 (7):15–21.
- [2] 刘学军. 滚塑模具内表面传热系数与模具转速间关系的研究[J]. 中国塑料,2022,36(3):134-139.
  - LIU X J. Study on relationship between heat transfer coefficient at inner surface of rotational mold and its rotation speed[J]. China Plastics, 2022, 36(3):134–139.
- [3] 刘学军,江辉.加热过程的滚塑模具内表面传热系数的计算[J].中国塑料,2020,34(10):56-62.
  - LIU X J, JIANG H. Calculation of heat transfer coefficients at internal surface of rotational mold in heating process[J]. China Plastics, 2020, 34 (10):56–62.
- [4] 陈伟业,周柯成,李凯,等.控制策略下热冲压模具升温传热仿 真[J].锻压技术,2019,44(7):106-112,118.
  - CHEN W Y, ZHOU K C, LI K, et al. Heat transfer simulation of hot stamping die heating process under control strategy[J]. Forging & Stamping Technology, 2019, 44 (7):106–112, 118.
- [5] 胡海明,李新荣,王芹.全钢子午线轮胎活络模具传热性能分析[J]. 橡胶工业,2019,66(7):547-550.
  - HU H M, LI X R, WANG Q. Analysis of heat transfer performance of flexible mold for all-steel radial tire[J]. China Rubber Industry, 2019,66 (7):547-550.
- [6] 王犇,李旭东.大型模具系统注塑成型过程中传热行为的数值模拟[J].甘肃科学学报,2018,30(4):119-125.
  - WANG B, LI X D. Numerical simulation of heat transferring behavior in the process of injection moulding of large die mold system[J]. Journal of Gansu Sciences, 2018, 30 (4):119–125.
- [7] 胡海明,毛渴新.圆锥面与斜平面轮胎模具传热模拟分析[J].模具工业,2018,44(4):47-50.
  - HU H M, MAO K X. Simulation of heat transfer in tire mould with conical surface and inclined plane[J]. Die & Mould Industry, 2018,

44(4):47-50

- [8] 邹丽梅, 林权.基于ANSYS的热嘴传热模拟分析及模具设计[J]. 现代塑料加工应用, 2017, 29(5):52-55.
  - ZOU L M, LIN Q. Heat transfer simulation analysis and mold design of hot nozzle based on ansys[J]. Modern Plastic Processing and Application, 2017, 29 (5):52-55.
- [9] 刘继英. 基于3D打印的随形冷却注塑模具传热因素研究[J]. 塑料工业,2017,45(2):78-81.
  - LIU J Y. The research on conformal cooling heat transfer factors of injection mold based on 3D printing[J]. China Plastics Industry, 2017,45(2):78-81.
- [10] 唐睿.金属热成形中考虑界面摩擦及传热的模具磨损模型研究[J].机电信息,2016(15):90-91,93.
  - TANG R. Research on die wear model considering interface friction and heat transfer in metal hot forming[J]. Mechanical & Electrical Information, 2016(15):90–91,93.
- [11] 王芹, 胡海明. 轮胎模具底座拓扑优化[J]. 橡胶工业, 2020, 67(2): 145-148.
  - WANG Q, HU H M. Topology optimization on tire mold base[J]. China Rubber Industry, 2020, 67 (2):145–148.
- [12] 胡海明,叶杨. 轮胎模具中套有限元分析[J].模具技术,2019(6): 40-43.
  - HU H M, YE Y. Finite element analysis for cone ring of tire

- mould[J]. Die & Mould Technology, 2019 (6):40-43.
- [13] 石鹏, 杜平, 孙日文, 等. 活络轮胎模具传热模拟与实验研究[J]. 塑料工业, 2021, 49(z1): 96–102. SHI P, DU P, SUN R W, et al. simulation and experimental research
  - on heat transfer of active tire mould[J]. China Plastics Industry, 2021,49(z1):96–102.
- [14] 武凯迪. 摩托车胎活络模具结构分析与性能研究[D]. 青岛:青岛 科技大学,2021.
  - WU K D. Structure analysis and performance research of motorcycle tire flexible die[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2021.
- [15] 王月. 轮胎硫化温度场的有限元分析[D]. 沈阳: 东北大学, 2009. WANG Y. Finite element analysis of tire vulcanization temperature field[D]. Shenyang: Northeastern University, 2009.
- [16] 毛渴新. 轮胎模具热学分析与优化设计[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2019.
  - MAO K X. Thermal analysis and optimization design of tire mold[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2019
- [17] 傅彦杰. 系列硫化测温仪的开发与应用[J]. 橡胶工业,1997,44 (10):40-42.
  - FU Y J. Development and application of series vulcanization thermometer[J]. China Rubber Industry, 1997, 44 (10):40-42.

收稿日期:2023-03-17

# Analysis of Vulcanization Temperature Field of Motorcycle Bionic Pattern Sand Tire

WANG Yibin, HU Haiming

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: The vulcanization temperature field of motorcycle bionic pattern (camel pattern as an example) sand tire (camel pattern tire for short) was analyzed with ANSYS Workbench software, and compared with the ordinary pattern sand tires (long strip pattern and wide section pattern). The results showed that the mold heating time and mold cavity temperatures after heating for all three types of pattern tire were basically the same; however, the temperature difference of the camel pattern tire mold cavity was the smallest, the temperature difference decreased the fastest, and the heat transfer was the most uniform. After being vulcanized for 900 s, the camel pattern tire had the best heat transfer uniformity, which could ensure better vulcanization uniformity. After being vulcanized for 1 200 s, the temperatures of various parts of the camel pattern tire increased significantly, the absolute value of the temperature difference between the upper and lower shoulder decreased, and the heat transfer uniformity was better. When the vulcanization time reached 1 500 s, the vulcanization effects of the three types of pattern tires were equivalent, but the absolute value of temperature difference between the upper and lower shoulder of the camel pattern tire was further reduced, and the heat transfer uniformity was further improved.

Key words: motorcycle tire; bionic pattern tire; sand tire; camel pattern; vulcanization temperature field