

冰雪路面抗滑冬季轮胎多元体技术探讨

王 强, 齐晓杰*, 杨 兆, 王云龙, 王国田, 吕德刚

(黑龙江工程学院 汽车与交通工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150050)

摘要:通过改变胎面胶单元体材料之间的结构、形状和分布比例,基于人工神经网络优化组合有利于车辆启动、制动及防侧滑3种功能材料组成的多元体轮胎胎面,利用低温仓恒温测试技术和计算机仿真研究多元体胎面的冰雪路面摩擦特性和抗滑机理,建立由基本理论、模型和工艺方法构成的多元体橡胶复合材料高抗滑理论及实现方法体系,用于解决冬季轮胎抗滑问题,为高抗滑冬季轮胎研究提供理论指导。

关键词:冬季轮胎;胎面;抗滑性;多元体;摩擦特性

中图分类号:TQ336.1⁺1 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-8171(2018)00-0000-05

我国冬季受冰雪影响的地区约占国土面积的1/2,尤其是东北、西北地区。冰雪路面的附着系数很低,很容易出现车辆打滑和失控的情况,致使车速减慢、交通阻断,严重时导致交通事故频繁发生,特别是交叉路口、上下坡和弯道区域,冰雪路面对交通的影响更加明显。据统计,冰雪引起的交通事故数量一般较正常情况高出3~4倍^[1-2]。车辆在冰雪路面上行驶,尤其是上坡、起步时,因轮胎与路面的摩擦因数减小,附着力大大降低,汽车驱动轮很容易打滑或空转;制动距离会大大延长,一般高于干燥路面4倍以上;转弯时,很容易造成侧滑和方向跑偏现象。与夏季轮胎和全天候轮胎相比,冬季轮胎的材质相对较软,轮胎花纹沟相对更宽更深,可以在冰雪路面提供更强的抓着性和防滑性,保障低温状态下汽车在路面上的附着力,在冬季干冷、湿滑和积雪的路面上都能提供更好的制动和操控等性能^[3-5]。目前,国内外对冬季轮胎的研究、生产和使用都相当重视,有些国家用立法进行约束,而我国还没有相关的法规强制要求。但随着对交通重视程度的增强和安全意识的提高,我国冬季轮胎的需求量迅速增大,国内轮胎企业必将关注国内外冬季轮胎市场的走向,开展

适合我国国情的冬季轮胎的研究愈发重要^[6-7]。

高抗滑性是冬季轮胎安全使用的重要性能,冰雪路面轮胎橡胶的摩擦特性和抗滑机理是目前的研究热点。现有研究主要是通过胎面材料改性及花纹设计来提高轮胎冰雪路面的抗滑性,冬季轮胎使用时经常出现启动打滑、制动距离长、转弯侧滑等问题的根本原因是轮胎胎面采用单一均质橡胶复合材料,其不能很好地协调冬季轮胎的多工况行驶性要求,亦不能同时在启动、制动和侧滑运动状态下充分发挥最佳性能。为了提高轮胎综合抗滑性能,本工作从改变原有的单一均质胎面材料入手,探讨采用非均质胎面材料提高轮胎在冰雪路面的综合抗滑性能。非均质胎面采用3种不同功能材料(3种不同配方组分)组合而成,即分别针对有利于车辆启动、制动和防侧滑3种典型运动状态优化设计胎面胶单元材料,再通过改变胎面胶单元材料之间的结构、形状和分布比例组合优化,最终形成非均质的胎面材料,定义为多元体橡胶复合材料^[8-10]。

1 抗滑轮胎多元体总体技术方案

抗滑轮胎多元体总体技术方案如图1所示,技术方案将实现如下研究目标。

(1)探讨多元体橡胶复合材料组成对其与冰雪路面相互作用的影响规律,从而明确多元体橡胶复合材料在冰雪路面的摩擦机理,为提高轮胎胎面的抗滑性提供理论基础。

基金项目:黑龙江省自然科学基金资助项目(E2015025)

作者简介:王强(1981—),男,黑龙江哈尔滨人,黑龙江工程学院副教授,博士,主要从事轮胎技术、汽车行驶安全性等方面研究工作。

*通信联系人(1354839309@qq.com)

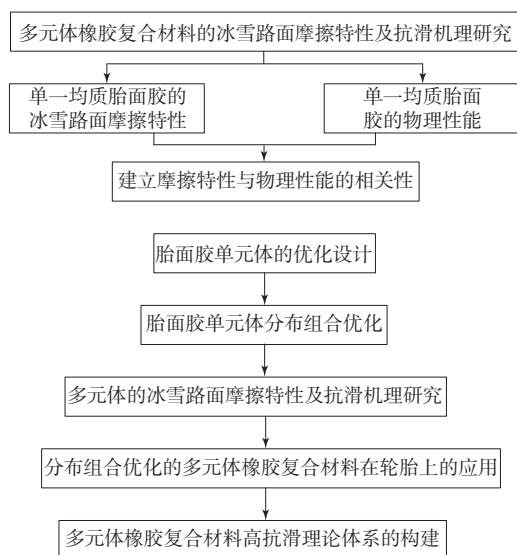


图1 总体技术方案

(2) 探索高抗滑轮胎胎面用多元体橡胶复合材料的优化和最佳制备工艺。

(3) 建立一套能反映轮胎胎面与冰雪路面间摩擦特性的仿真和试验平台。

(4) 建立、优化和完善一套适于解决冬季轮胎抗滑问题、由基本理论及数学和力学模型构成的多元体橡胶复合材料高抗滑理论和实现方法体系。

2 抗滑轮胎多元体技术探讨

2.1 轮胎胎面的冰雪路面摩擦特性与胎面材料性能的相关性研究

(1) 建立胎面摩擦特性与胎面材料性能之间的相关性。采用单一均质典型配方、花纹结构的夏季轮胎、冬季轮胎、全天候轮胎胎面混炼胶,通过改变混炼胶的配方体系和硫化工艺(硫化温度、程度、压力和时间等),获得不同物理性能胎面胶标准试样。在低温仓恒温环境下,利用万能拉伸试验机获得定伸应力、拉伸强度、弹性模量、拉断伸长率、拉断永久变形和撕裂强度等参数;利用邵尔硬度计和阿克隆磨耗机等试验仪器测得硬度、耐磨性、回弹性、耐疲劳性、脆性温度、耐热性和耐老化性等物理性能参数。

在低温仓恒温环境下构建摩擦特性试验平台,并利用Abaqus有限元软件进行计算机数值模拟,研究胎面胶标准试样在不同运动状态(启动、制动和侧滑)与不同形式冰雪路面的摩擦特性。通过试验和计算机仿真分析,建立摩擦特性与物

理性能之间的相互影响关系,明确物理性能中哪些参数在考虑负荷、转弯半径、温度和滑移速度条件下对摩擦因数、牵引力(启动状态)、制动力(制动状态)、侧滑力(侧滑状态)等摩擦特性起主要影响作用,并建立摩擦特性与胎面材料性能之间的相关性。

(2) 验证和修正所建立的相关性。对单一均质典型配方、花纹结构的夏季轮胎、冬季轮胎、全天候轮胎胎面切块,测试胎面胶的硬度、定伸应力、拉伸强度、弹性模量、拉断伸长率、拉断永久变形、撕裂强度、耐磨性、弹性、耐疲劳性、脆性温度、耐热性和耐老化性等物理性能参数。将未进行胎面切块的完整轮胎打磨掉花纹,进行不同形式冰雪路面摩擦测试,同时,利用汽车道路试验场进行更接近实际情况的不同形式冰雪路面的摩擦道路测试,获得特定胎面物理性能参数下的摩擦特性,进一步验证和修正所建立的相关性。

2.2 满足不同形式冰雪路面、不同运动状态的胎面胶单元体的优化设计

依据已经建立的摩擦特性与胎面材料性能之间的相关性,优化设计并分别制备在不同形式冰雪路面下有利于提高启动性、制动性和防侧滑性的胎面胶单元体。采用丁苯橡胶、顺丁橡胶、天然橡胶和顺式异戊橡胶为橡胶基体,研究中采用其中两种或者多种并用胶通过改变并用比完成基体橡胶种类的选择和优化;通过改变硫黄和促进剂的种类和用量及硫化温度、硫化程度、硫化压力和硫化时间等参数完成硫化体系的优化;通过改变增强体、炭黑和白炭黑等种类和用量来完成补强与填充体系的优化。以设计-分析-试验-制备-优化一体化为原则,应用概率统计原理、Abaqus有限元数值模拟和低温仓恒温试验相结合获得最优化的胎面胶单元体。采用三段混炼工艺,混炼过程控制最佳混炼温度、混炼时间、排胶温度和转子转速。胎面胶单元体制备工艺流程如图2所示,关键工艺为控制第1和2段混炼胶的排胶温度比普通胎面胶混炼排胶温度高,密炼机转子转速则较低。

2.3 胎面胶单元体分布组合优化及其冰雪路面摩擦特性和抗滑机理研究

2.3.1 胎面胶单元体分布组合优化

针对有利于启动、制动和防侧滑3种运动状

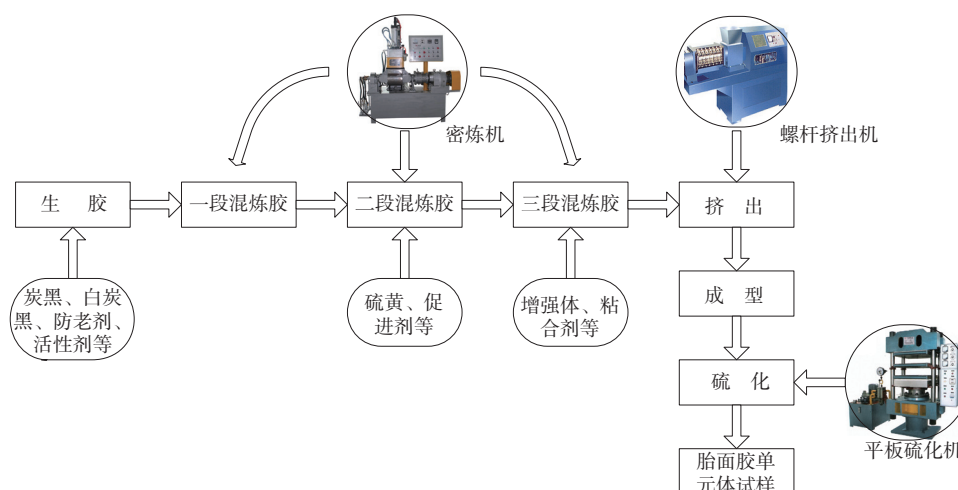
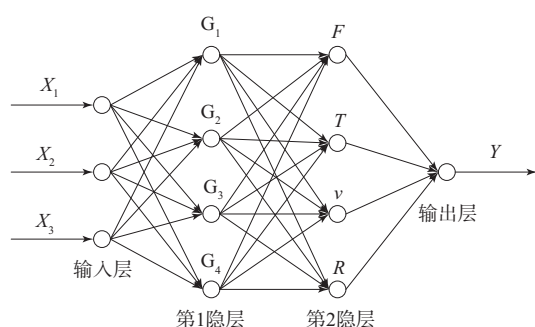


图2 胎面胶单元体制备工艺流程

态,雪路面、冰雪混合路面、压实冰路面和冰水混合路面4种典型工况,负荷、环境温度($-40\sim-5^{\circ}\text{C}$)、行驶速度($10\sim 60\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)和转弯半径4种条件,进行胎面胶单元体分布组合优化,获得满足雪路面、冰雪混合路面、压实冰路面、冰水混合路面及其综合路面工况下的车辆启动、制动和防侧滑综合性能优良的胎面胶多元体。采用人工神经网络中的“多层误差反向传播”算法和基于共享小生境技术的遗传算法并应用Matlab软件求解多目标分布组合优化问题,构建由输入层、第1隐层、第2隐层和输出层组成的多层前向神经网络,结构如图3所示。



X_1 —有利于启动单元体; X_2 —有利于制动单元体; X_3 —有利于防侧滑单元体; G_1 —雪路面; G_2 —冰雪混合路面; G_3 —压实冰路面; G_4 —冰水混合路面; F —负荷; T —环境温度; v —行驶速度; R —转弯半径; Y —组合优化后的多元体。

图3 组合优化神经网络结构

通过分别改变有利于启动、制动和防侧滑胎面胶单元体的结构、形状、分布比例,寻找最佳分布组合方案,如图4所示。采用冷喂料三复合挤出

工艺,利用不同分布组合的胎面口型板,并通过控制不同部位温度(机头、口型板、排胶和加热区)和挤出速度制备多元体。

利用橡胶加工分析仪、扫描电镜、透射电镜、差视扫描量热仪、热重分析仪、动态力学分析仪、气相色谱分析仪和傅里叶变换红外光谱仪等对胎面胶多元体组合界面微观结构进行表征和分析。

在低温仓恒温环境中采用万能拉伸试验机 and 剪切剥离机进行胎面胶多元体拉伸、压缩、弯曲、撕裂和剥离等试验。

2.3.2 多元体的冰雪路面摩擦特性和抗滑机理研究

利用低温仓恒温测试环境搭建试验平台,进行雪路面、冰雪混合路面、压实冰路面、冰水混合路面及其综合路面工况的台架摩擦特性试验,获得多元体材料分布、负荷、环境温度、行驶速度和转弯半径等参数与摩擦因数、启动牵引力、制动力和侧滑力等之间的相互影响规律。主要进行以下两方面的试验。

(1) 表面光滑胎面胶多元体摩擦特性试验与单一均质典型配方、花纹结构夏季轮胎、冬季轮胎和全天候轮胎打磨掉花纹的胎面胶进行摩擦特性对比研究。

(2) 制备单一均质典型配方、花纹结构夏季轮胎、冬季轮胎和全天候轮胎花纹结构相同的胎面胶多元体,并与这些典型花纹结构轮胎胎面的摩擦特性进行对比研究。

同时,利用Abaqus有限元软件,构建胎面胶

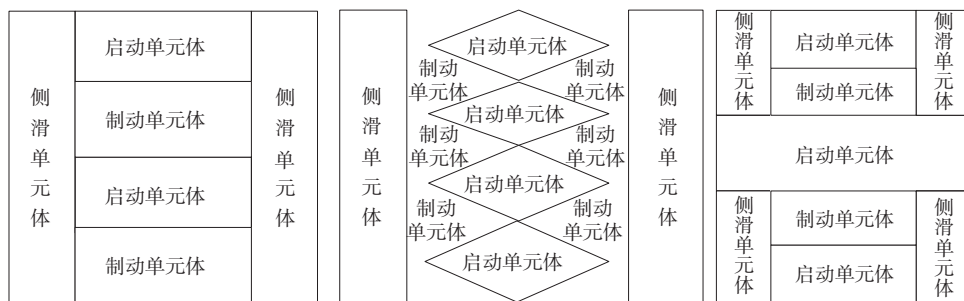


图4 不同比例和形状的单元体分布组合方案

多元体与冰雪路面接触的摩擦力学模型和数学模型,进行摩擦特性分析。通过试验和计算机仿真系统研究胎面胶多元体与不同形式冰雪路面的摩擦特性,探索多元体橡胶复合材料在提高车辆启动牵引力、缩短制动距离和增强侧滑稳定性等方面的高抗滑机理。

2.4 分布组合优化的多元体橡胶复合材料在轮胎上的应用和高抗滑理论体系的构建

2.4.1 分布组合优化多元体在轮胎上的应用

采用雪路面、冰雪混合路面、压实冰路面、冰水混合路面及其综合路面工况的分布组合优化多元体制备轮胎胎面,花纹结构和形式及成型工艺均与单一均质典型配方的夏季轮胎、冬季轮胎和全天候轮胎相同。

2.4.2 高抗滑理论体系的构建

通过整胎低温仓恒温台架测试和道路实测,研究车辆启动、制动和侧滑3种运动状态的摩擦特性,并与单一均质典型配方、花纹结构的夏季轮胎、冬季轮胎、全天候轮胎进行抗滑性能对比试验,进一步揭示胎面胶多元体复合材料提高车辆启动、制动和侧滑综合性能的抗滑机理。通过Abaqus有限元数值模拟和试验测试技术相结合,在考虑轮胎综合性能的情况下,构建不同形式冰雪路面胎面胶多元体橡胶复合材料的高抗滑理论体系。

在计算仿真方面主要进行如下工作。

(1) 利用Abaqus软件构建胎面胶多元体轮胎与冰雪路面的动力学模型,获得轮胎的径向刚度、横向刚度和纵向刚度与轮胎胎面结构、充气压力、负荷、速度和环境温度($-40\sim+20\text{ }^{\circ}\text{C}$)等参数之间的相互关系。

(2) 利用Abaqus软件进行温度场与应力应变

场耦合分析,获得汽车行驶过程中多元体轮胎胎面、胎体和胎侧的应力分布和温度分布,并分析在一定充气压力、负荷、速度和环境温度($-40\sim+20\text{ }^{\circ}\text{C}$)条件下的变化规律和相互作用机制。

(3) 利用Abaqus软件构建轮胎-冰雪路面接触摩擦模型,预测轮胎在冰雪路面下的接地应力分布,分析不同材料性能、冰面温度、负荷、速度、充气压力和轮胎橡胶温度与冰面间的摩擦因数变化关系、摩擦形成机理和影响因素。

(4) 研究轮胎的动力学、热学和摩擦学之间的耦合作用,建立轮胎动力学综合模型。

(5) 利用软件ADAMS/Car模块、ADAMS/Drive模块和Matlab软件,进行轮胎不同形式冰雪路面启动、驱动、制动和侧滑等行驶性能及抗滑等方面的仿真分析研究。

在试验测试方面主要进行如下工作。

(1) 低温仓恒温环境台架测试,采用轮胎静载-变形测试试验台进行轮胎静载-变形试验测试,采用汽车底盘测功机和红外热像分析仪进行轮胎高速运行-变形试验测试、滚动温度场测试。

(2) 实车冰雪道路测试,在标准汽车试验场地采用汽车操纵稳定性测量仪和高速摄像机等在不同形式冰雪路面下进行车辆启动、驱动、制动、侧滑等方面的操纵稳定性测试和分析,主要包括稳态回转试验、转向盘转角阶跃输入试验、转向轻便性试验和蛇形试验等。

3 结语

加强研究冬季轮胎安全行驶性、减少或不损伤路面、降低轮胎行驶能耗,对于提高北方汽车在冰雪路面,特别是在北方城市冬季多间断性、薄冰、硬质冰雪道路上的安全行驶性能,保障道路畅

通,减少交通事故具有重要意义。本研究从改变胎面单一均质材料角度,探讨了冰雪路面抗滑冬季轮胎多元体技术及室内、外不同形式的冰雪路面摩擦特性研究技术方案,最终通过在轮胎上的应用揭示轮胎胎面多元体橡胶复合材料的抗滑机理,为冬季轮胎的设计和使用奠定理论基础。

参考文献:

- [1] 黄飞. 城市快速路冰雪路面交通事故演化机理研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [2] 翟露露. 寒区冰雪期城市交通出行方式综合评价与结构优化[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
- [3] 谢伟忠, 陈龙, 袁世海, 等. 两种冬季轮胎在寒区的性能研究与对比测试[J]. 汽车实用技术, 2017(8): 162-165.
- [4] 谢立. 固特异开发超抓着性能冬季SUV轮胎[J]. 橡胶科技, 2016, 14(12): 33.
- [5] 邓世涛, 田兆菊, 侯波, 等. 冬季轿车子午线轮胎的研发[J]. 轮胎工业, 2013, 33(2): 86-89.
- [6] 杨宏辉, 赵佳. 冬季轮胎市场蓄势待发[J]. 中国橡胶, 2013, 29(7): 11-14.
- [7] 周利冲, 王洪伟. 仿章鱼吸盘式轮胎花纹设计与有限元分析[J]. 西安理工大学学报, 2013, 29(2): 228-232.
- [8] 王国林, 马银伟, 梁晨, 等. 仿蝗虫脚掌的子午线轮胎胎冠结构设计[J]. 机械工程学报, 2013, 49(12): 131-135.
- [9] 于清溪. 轮胎摩擦特性的探讨[J]. 橡塑技术与装备, 2013, 39(3): 8-20.
- [10] 杜俊超, 孙海欧, 于文杰. 填充轮胎用聚氨酯材料的研究[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2013, 11(1): 51-55.

收稿日期: 2017-11-05

Polyploid Technique Exploitation about Anti-Slide Winter Tire on Ice-Snow Road

WANG Qiang, QI Xiaojie, YANG Zhao, WANG Yunlong, WANG Guotian, LYV Degang

(Heilongjiang Institute of Technology, Haerbin 150050, China)

Abstract: By changing structure, shape and distribution proportion among haploid materials of tire tread compound, the tire tread was optimized and combined in favor of starting, braking and anti-sideslip performance based on artificial neural network, and the friction characteristics and anti-slide mechanism on ice-snow road of the polyploid tread were studied using testing technique of low-temperature cabin and computer simulation to develop polyploid rubber composite high anti-slide theory consisted of basic theory, models and technique method, and its realizing method system, which could be applied to solving anti-slide problem of winter tire, and provide theory instruction for studies on high anti-slide winter tire.

Key words: winter tire; tread; anti-slide; polyploid; friction characteristics