

国内外非充气轮胎研究概况

刘伟婧, 路波, 葛金虎, 刘晓芳
(山东玲珑轮胎股份有限公司, 山东 招远 265400)

摘要:介绍国内外在非充气轮胎领域的前沿性探索。国外轮胎与轮辋一体化轮胎、放射螺旋网状结构轮胎、蜂窝状轮胎和国内负泊松比结构轮胎、3D打印聚氨酯轮胎等非充气轮胎具有节能环保、安全性能高、滚动阻力低、可模块化设计等优势,但也存在噪声、温升和疲劳破坏等方面的不足。提出了结构与材料的优化匹配将是未来非充气轮胎的发展趋势。

关键词:非充气轮胎;结构;材料;优化匹配;发展趋势

中图分类号:U463.341⁺6;TQ336.1

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2021)04-0213-05

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2021.04.0213



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

21世纪轮胎产品呈现出百花齐放的态势。轮胎按照帘线排列方式可分为斜交轮胎和子午线轮胎,根据不同的组成结构可分为无内胎充气轮胎和有内胎充气轮胎,按照胎体结构又可分为实心轮胎和充气轮胎^[1]。近年来,随着高分子材料的迅猛发展,聚氨酯(PU)弹性材料、热塑性树脂材料逐渐受到各大轮胎公司的密切关注,成为非充气轮胎主要位置首选材料,为轮胎家族注入了介于实心轮胎与充气轮胎之间的新成员。国内外轮胎企业和高校对非充气轮胎展开了大量的探索研究。本文简要介绍国内外非充气轮胎的研究进展。

1 国外非充气轮胎研究进展

非充气轮胎不依靠气体支撑轮胎,也没有传统轮胎的轮辋,因此具有不怕扎、弹性好、耐磨、滚动阻力小等特性。国外开始非充气轮胎的研究比较早,尤其是米其林和普利司通等公司对非充气轮胎的研究已经脱离概念的范畴,进入试验测试阶段,并逐渐从弹性填充材料压缩变形的底部承载形式向依靠支撑体结构伸张变形的顶部承载方式转变。

1.1 米其林公司

世界轮胎巨头法国米其林公司于2005年研发了一款Tweel非充气轮胎(如图1所示),成为了非

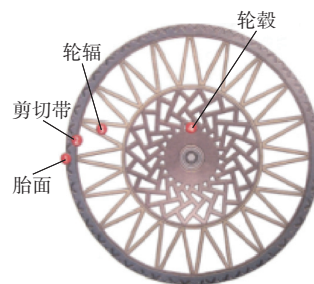


图1 Tweel非充气轮胎

充气轮胎的先驱。现代轮胎必须由压缩空气承载负荷的做法被彻底改变了,取而代之的是轮胎与轮辋一体化的设计理念。

Tweel非充气轮胎包括轮毂、高强度聚氨酯轮辐、直接绕在轮辐外面的剪切带和胎面,没有中间过渡的充气内胎。其具有以下优良性能:安全不爆胎;横向及纵向刚性可独立设计;胎面耐磨并且可模块化更换,节能环保;胎面花纹设计可以产生足够的抓着力和抗湿滑性能,滚动阻力较小等。Tweel非充气轮胎已应用于多种场合,如滑移装载机、割草机、NASA月球车、载重机械、工程车辆等。其应用代表着非充气轮胎已从理念设计进入到实体阶段。

之后米其林公司又推出了Airless非充气轮胎,径向有115条带有玻璃纤维的树脂环,与橡胶胎面粘合,二者镶嵌式连接,不需要维护保养^[2]。高强度胎体为无数辐射状结构,在横向、纵向和径向的弹性得到较好地控制,提高了车辆行驶的安

作者简介:刘伟婧(1990—),女,河北唐山人,山东玲珑轮胎股份有限公司助理工程师,硕士,主要从事轮胎结构设计及先进技术研究工作。

E-mail:871833234@qq.com

全性和乘坐舒适性。

2019年米其林公司与通用汽车公司合作推出了Uptis非充气轮胎,如图2所示。这款轮胎采用玻璃纤维填充的高强度树脂材料,具有安全稳定、无需经常维护、节约原料的特点。Uptis非充气轮胎在结构和复合材料方面实现了突破性创新,并且计划于2024年前广泛应用于乘用车。



图2 Uptis非充气轮胎

1.2 普利司通公司

2011年普利司通公司推出了第1代放射螺旋网状构造的非充气轮胎,如图3所示。该轮胎装配了两组热塑性树脂材料的辐条,分别以顺时针和逆时针方向装配在轮辋上,且每根辐条的内外周侧均与车轮中心呈约45°角^[3]。它在翻越障碍物时,具有一定的弹性,保证了乘坐舒适性。

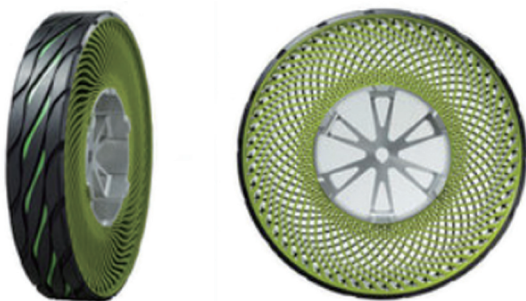


图3 普利司通第1代非充气轮胎

2013年普利司通公司发布了第2代非充气轮胎AirFree,如图4所示。该轮胎仍然采用了橡胶胎面和热塑性材料成型的轮辐。与第1代产品相比,第2代非充气轮胎的最大负荷从100 kg提高至410 kg,最大行驶速度由6 km·h⁻¹提高到60 km·h⁻¹,同时拥有更低的滚动阻力,可大幅减小二氧化碳的排放量。这款轮胎通过革命性的新型设计使轮胎的承载能力、环保性能和行驶速度均得到了进一



图4 AirFree概念轮胎

步提升^[1]。目前,这款产品已成功试用于日本的老年人专用电动代步车。

1.3 固特异轮胎公司

美国固特异轮胎公司从20世纪70年代展开了对PU实心轮胎的研究,将PU材料粘接在轮辋上,车轴上直接安装轮辋使用,PU实心轮胎的配方及工艺均已获美国专利^[4]。一款名为“TurfCommand”的非充气轮胎于2017年推出,如图5所示,固特异将其应用于割草机上。这款轮胎的轮辐由热塑性材料制成,并将胎面与轮辋连接起来,在保证轮胎刚度的前提下兼顾柔韧性,使割草机能在重载状态下保持平稳行驶并减少对草皮的破坏。

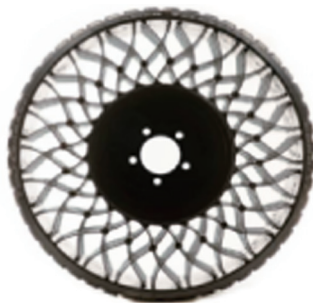


图5 TurfCommand非充气轮胎

此外,固特异推出了球形概念轮胎Eagle 360 urban,这款轮胎为全行业指引了一种全新的轮胎装载与更换方案。2018年,固特异带来了能物联、能呼吸、还能种上苔藓提供氧气的3D打印概念轮胎Oxygene。2019年固特异带来了飞行概念轮胎AERO,它适用于公路行驶,能将车辆动力传输至路面并吸收道路的反作用力;同时也可充当汽车飞行器的推进系统,为汽车提供向上的推力。2020年固特异推出了全新的概念轮胎Recharge。这款轮胎采用轻量化、免充气结构及高窄胎设

计。整个轮子是100%可生物降解的,其胎面基材由生物材料制成,轮辐也被灵感源自蜘蛛丝的天然强化纤维所代替。Recharge轮胎的核心技术在于它的独立胶囊,当胶囊插进轮胎中心时,胶囊内填充的液体就会释放到胎面基材上,其含有100%可生物降解的增强纤维的胎面还可根据磨损程度自动从胶囊中泵出补充胎面液体。胶囊里的液体胎面配方可基于人工智能技术进行个性化定制。

1.4 韩泰公司

韩泰公司在非充气轮胎领域做了大量的研究工作。2013年,韩泰发布了名为i-Flex的非充气轮胎,如图6所示。这款轮胎由PU材料制成,侧面采用蜘蛛网式结构,并有一个花瓣形的强化支撑结构,质量大大减小。i-Flex轮胎的内部结构极其复杂,每个均匀分布的小凸起都是一个微型减震器,可有效改善轮胎的震动、噪声与油耗问题。



图6 i-Flex非充气轮胎

在2015年的上海车展上,韩泰公司展示了3款概念轮胎,如图7所示。



图7 韩泰概念轮胎

第1款BoostRac轮胎,致力于在沙地及泥地提供强大的牵引力,可在复杂的地形、陡峭的山路甚至沙漠地带行进,能够给车辆提供最大的牵引力。其胎面花纹采用六边形结构设计,数量达到120个,并且可以实现花纹结构变换功能,可从适应泥沙路面转换为铺装路面行驶。

第2款Alpik轮胎,致力于在雪地有理想的牵引效果,轮毂与轮胎外径增大使汽车离地间隙更大,能有效改善冰雪路面的驾控体验。同时,Alpik轮胎具有独特的暗钉设计。

第3款Hyblade轮胎采用了“刀锋”形的花纹结构,当车辆在积水路面通行时,轮胎可“划开”水膜,有效应对暴雨天气或积水路况轮胎打滑问题的发生,由此带来最佳的湿地表现。

此外,韩泰公司又连续推出了胎面速度可变、胎面花纹可变、胎面接触面积可变以及磁悬浮4款新概念轮胎。这4款轮胎都采用了组合设计的方式,各部分相互配合以提升轮胎的性能,设计感十足。

1.5 固铂轮胎公司

2008年,美国固铂轮胎公司与威斯康辛州麦迪逊聚合物研究中心合作研制出了蜂窝状车轮,如图8所示。它主要由胎圈、蜂窝状轮辐和轮毂组成。其中,蜂窝状轮辐利用仿生学原理,利用六边形结构互相支撑形成蜂窝状。这种蜂窝结构的车轮在满足良好减震性能的同时,可最大限度地提高车轮强度;它在降低噪声和轮胎摩擦生热上也比普通轮胎更优。目前,美国军用悍马已开始使用这种轮胎。



图8 蜂窝状轮胎

2 国内非充气轮胎研究进展

2.1 北京汽车股份有限公司

2014年,北京汽车股份有限公司与美国密歇根大学马正东教授合作研发了一款基于三维负泊松比结构的非充气轮胎,称之为N-轮,如图9所示。该轮胎主要由负泊松比结构的V形支撑体、橡胶缓冲带、橡胶胎面和轮圈组成。负泊松比结构的刚度随着接地区域受力的增大而增大。



图9 负泊松比结构轮胎

2.2 南京航空航天大学

南京航空航天大学利用金属材料设计出了一种非充气机械弹性车轮,如图10所示,填补了我国特种车辆非充气轮胎方面的空白。机械弹性车轮主要由车轮外圈、弹性环、弹性环组合卡、轮毂、回位弹簧、销轴、铰链等构成,弹性幅度大,抗震性能优异^[5-7]。

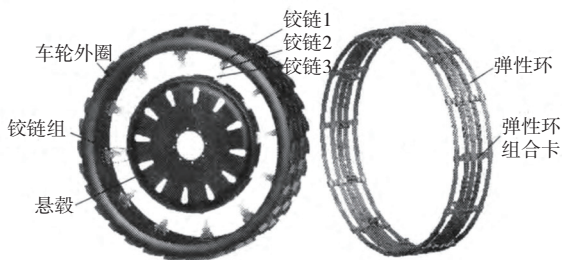


图10 机械弹性车轮

2.3 北京化工大学

北京化工大学与山东玲珑轮胎股份有限公司联合开发了国内首款3D打印PU轮胎,如图11所示。轮胎采用热塑性PU材料,通过熔融沉积法完成打印,内部为正六边形空心结构。



图11 3D打印PU轮胎

之后,吉林大学、北京化工大学、山东玲珑轮胎股份有限公司共同合作,采用3D打印技术制备了具有精细结构的非充气轮胎,如图12所示,并进行了三向刚度、滚动阻力等测试,研究发现3D打印非充气轮胎具有优异的操纵稳定性和低滚动阻力等性能。



图12 3D打印非充气轮胎

国内其他轮胎企业有关非充气轮胎的研究和相关专利也逐年增加。虽然从材料选用到结构设计各不相同,但是从不同方面发挥了非充气轮胎的特长^[8-10]。无论是何种设计,非充气轮胎的支撑结构都采用横向排布的结构形式。当轮胎承受纵向载荷时,横向排布的支撑结构缝隙可得到充分地压缩,轮胎的形变量得到提升,保证了驾驶舒适性。当轮胎承受横向载荷时,受力方向与支撑结构的作用力方向平行,支撑结构间的间隙失效,完全通过支撑结构对轮胎进行支撑,轮胎横向的形变量变小,提高了轮胎的侧偏刚度,保证了操纵稳定性。由于非充气轮胎取消了部分传统轮胎的结构,再配合高强度树脂等材料的运用,质量相比传统轮胎轮辋的组合有了大幅度的减小。

3 结语

与传统充气式橡胶轮胎相比,非充气轮胎有着诸多的优势,如节能环保、可模块化设计、重复再生性、无可比拟的安全性和低滚动阻力等。但其也仍然存在着很多亟待解决的问题,如噪声、温升和疲劳破坏等。

非充气轮胎的发展还需要结构与材料的全面优化匹配,组合设计空间极大,可实现新概念非充气轮胎兼具充气轮胎的优势特点。非充气轮胎可与节能环保高性能可回收材料、仿生学设计、智能控制与智能驾驶、磁悬浮等前沿技术融合,其替代传统充气式橡胶轮胎将会是未来全球轮胎行业发展势不可挡的趋势。

参考文献:

- [1] 曾季, 阙元元, 蔡尚脉, 等. 电动汽车轮胎的发展现状与设计思路[J]. 橡胶工业, 2019, 66(12): 883-894.
- [2] 高晓东, 杨卫民, 张金云, 等. 国内外非充气轮胎的最新研究进

- 展[J].橡胶工业,2015,62(3):183-187.
- [3] 姜成,赵又群,阮米庆,等.非充气安全轮胎技术现状与发展[J].机械设计与制造,2013(9):266-272.
- [4] FRENCH T, HOLMES T. How we developed the run flat tyre[J]. Physics in Technology, 1974, 5(3):160-165.
- [5] 岳红旭,赵又群.一种新型安全车轮的非线性有限元分析[J].中国机械工程,2012,23(11):1380-1385.
- [6] 蒋延华,郑涛,龙飞飞,等.三防安全轮胎的开发[J].轮胎工业,2019,39(2):81-83.
- [7] 岳红旭.匹配新型弹簧弹力车轮的越野车行驶性能研究[D].南京:南京航空航天大学,2012.
- [8] 司晨龙.开式非充气轮胎气动特性分析与噪音控制方法研究[D].扬州:扬州大学,2020.
- [9] EVANGELIA GANNIARI-PAPAGEORGIOU, PANAGIOTIS CHATZISTERGOS, WANG X X. The influence of the mechanical behavior of non-pneumatic tires[J]. International Journal of Applied Mechanics, 2020, 12(3):120500246.
- [10] 何蕾.新型镍钛合金非充气轮胎诞生[J].钛工业进展,2018(1):14.

收稿日期:2020-10-26

Research Overview of Non-inflated Tire

LIU Weijing, LU Bo, GE Jinhua, LIU Xiaofang

(Shandong Linglong Tire Co., Ltd, Zhaoyuan 265400, China)

Abstract: The frontier exploration in the field of non-inflated tires was described. Foreign non-inflated tires such as tire and rim integrated tire, radial spiral mesh tire, honeycomb tire and domestic non-inflated tire such as negative Poisson's ratio tire and 3D printed polyurethane tire, were introduced. They all had the advantages of energy saving and environmental protection, high safety performance, low rolling resistance and modular design. However, there were also deficiencies in noise, temperature rise and fatigue damage. It was pointed out that the optimal matching of structure and material was the development trend of non-inflated tires in the future.

Key words: non-inflated tire; structure; material; optimal matching; development trend

一种基于解析胎侧刚度的重载轮胎建模方法

由中国人民解放军火箭军工程大学申请的专利(公布号 CN 111767653A, 公布日期 2020-10-13)“一种基于解析胎侧刚度的重载轮胎建模方法”,公开了一种基于解析胎侧刚度的重载轮胎建模方法,第1步,根据柔性胎体梁模型构建解析胎侧刚度模型;第2步,根据解析胎侧刚度模型建立胎侧大变形非线性解析刚度求解模型。

本方法从理论和试验方面研究了重载轮胎的柔性胎体梁弯曲动力学特性和大扁平比胎侧曲梁的刚度特性,建立了考虑充气预紧轴向力的一维柔性胎体梁弯曲振动方程;考虑胎侧的充气预紧弦刚度和结构刚度,提出了大扁平比胎侧曲梁的解析刚度建模方法;推导了大扁平比胎侧曲梁在大变形过程中,由于胎侧结构变化造成的非线性

解析刚度的变化,对于重载轮胎的参数设计和选材提供了理论基础。

(本刊编辑部 马 晓)

黑猫轮胎福建项目投产

经过1年多的建设,黑猫轮胎(福建)有限公司(简称黑猫轮胎)轮胎项目日前投产。

该项目是福建省重点项目,位于福建省漳平工业园区,总投资2亿元,规模为年产2 800万条轮胎。项目达产后,将成为国内大规模的自行车、电动车、摩托车轮胎生产基地,并将成为集管理智慧型、生产智能型、环境友好型、资源循环再利用为一体的“中国智造”轮胎生产企业。

随着黑猫轮胎生产项目的顺利投产,漳平工业园区初步形成橡胶原料-内胎-外胎-成品销售全闭合的轮胎产业链。

(摘自《中国化工报》,2021-02-09)