

绿色低碳聚氨酯非充气轮胎的设计与制造

王雷^{1,2}, 焦志伟^{1,2}, 孙嘉乐^{1,2}, 杨卫民^{1,2}, 罗燊^{1,2}, 谭晶^{1,2*}

(1. 北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029; 2. 轮胎设计与制造工艺国家工程实验室, 北京 100029)

摘要:介绍绿色低碳聚氨酯非充气轮胎的设计与制造。分析节能机理;针对现有非充气轮胎节能性差的问题,为提高真圆度,该非充气轮胎采用胎体、轮辋、错位八字形的燕尾凸起结构、帘线、轮辐支撑结构组成,胎体采用聚氨酯/橡胶粉复合材料,外模具与带凸起结构的轮毂组装,轮毂与胎体一体浇注成型。该非充气轮胎用聚氨酯材料替代橡胶材料,其回收利用率高;高强度胎体可以保证轮胎的真圆度,降低轮胎的油耗和减少磨损,延长轮胎的使用寿命。

关键词:非充气轮胎;真圆度;聚氨酯;节能;浇注成型

中图分类号:U463.341;TQ330.6+6

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2023)04-0288-04

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2023.04.0288



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎作为重要的现代交通工具配件,广泛应用于自行车、汽车、航天航空等领域^[1-2]。轮胎的制造材料从木头、金属到现在的橡胶、聚氨酯等高分子材料,发生了很大变化。以橡胶为主要原料的传统充气轮胎具有良好的弹性和缓冲减震性能,已被广泛应用了100多年。但充气轮胎存在易爆、制造工序复杂、制造成本高、不适用于极端恶劣环境等缺点,限制了其使用范围的进一步扩大和生产效率的进一步提高^[3]。

随着经济发展以及人们对轮胎性能要求提高,充气橡胶轮胎已无法满足某些特殊行业的需求,轮胎企业与科研院所纷纷研制和推出新型轮胎。其中,非充气轮胎打破了传统充气轮胎的设计理念及限制,具有免维护、免泄漏、免爆胎等优点。

在国外,2005年法国米其林轮胎集团研发出名为Tweel的非充气轮胎^[4],2008年美国固铂公司和威斯康星州麦迪逊的聚合物工程中心^[5]利用蜂窝六边形相互支撑的维形特性研制了一种免充气新型仿生蜂巢轮胎,2013年韩泰轮胎公司与辛辛

那提大学联合推出了4款免充气概念轮胎^[6]。

在国内,2005年赵又群等^[7]提出一种基于铰链组结构的机械弹性车轮,2014年北汽集团开发了负泊松比结构的非充气轮胎^[8],2020年张子峰等^[9-10]提出了仿袋鼠下肢结构的非充气概念轮胎。

以上研发的非充气轮胎虽然具有良好的减震性能,但在行驶过程中由于受外力作用会产生较大形变,无法保证轮胎在行驶过程中保持圆形,这就大幅提高了轮胎的滚动阻力和油耗,降低了节能性能。

本工作介绍一种节能、低碳的聚氨酯非充气轮胎的设计与制造,为非充气轮胎的研发提供参考。

1 节能机理

在追求低碳生活的今天,降低轮胎的滚动能耗成为轮胎设计与制造工艺创新的发展方向。物体的滚动能耗主要取决于翻转力臂(e)和转动惯量^[11],翻转力臂越小,滚动能耗就越小。杨卫民^[12]从力

基金项目:山东省重大科技创新工程项目(2019JZZY010450);中央高校基本科研业务费项目(JD2215)

作者简介:王雷(1996—),男,山东临沂人,北京化工大学在读硕士研究生,主要从事非充气轮胎的研制与性能研究。

*通信联系人(tanj@mail.buct.edu.cn)

引用本文:王雷,焦志伟,孙嘉乐,等.绿色低碳聚氨酯非充气轮胎的设计与制造[J].橡胶工业,2023,70(4):288-291.

Citation: WANG Lei, JIAO Zhiwei, SUN Jiale, et al. Design and manufacture of green and low-carbon polyurethane non-pneumatic tire[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(4): 288-291.

学杠杆原理出发,提出翻转力臂是决定物体实现连续滚动所需要力(P)和能量大小的关键因素。不同形状物体的翻转力臂如图1所示。

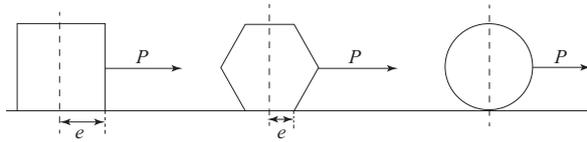


图1 不同形状物体的翻转力臂

Fig. 1 Turning arms of objects with different shapes

从图1可以看出,从正方形到正六边形再到正多边形物体,其边数越多,翻转力臂越小。当物体呈圆形时,其翻转力臂趋于零,此时滚动能耗最小,运动节能性也最好。因此在负载变形状态下,轮胎越圆,其翻转力臂越小,质心抬举能耗也越低,于是提出了轮胎的真圆度概念。真圆度体现了轮胎接近圆的程度,轮胎的真圆度低会使轮胎在行驶过程中出现非正常跳动,加速轮胎磨损,同时会造成轮胎的滚动阻力和油耗提高^[13-15]。对于充气轮胎而言,气压不足会导致轮胎的真圆度降低,从而使得轮胎的磨损、滚动阻力和油耗提高^[16]。

2 结构

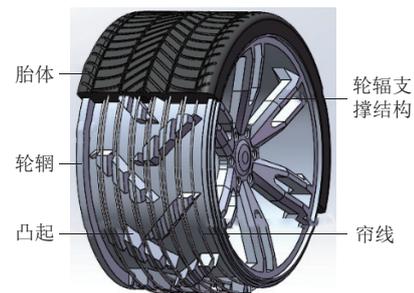
现有非充气轮胎通过胎面与支撑结构的大变形来实现非充气轮胎的减震性,而在负荷作用下,大变形会引起轮胎的翻转力臂增大,在行驶过程中无法保证轮胎的真圆度,导致其节能运动性较差。

针对现有的非充气轮胎的节能性差问题,为提高轮胎的真圆度,杨卫民等^[17-18]提出了一种安全绿色、节能降噪的非充气轮胎,主要由聚氨酯/橡胶粉复合材料制作的胎体、轮辋、错位八字形的燕尾凸起结构、帘线、轮辐支撑结构组成(如图2所示)。燕尾凸起结构以相互错开的八字形周向均匀安装在轮辋上,相邻两组凸起结构首尾重叠,从轮胎的主视图上看,凸起结构组成一个完整的圆[如图2(c)所示],有利于提高轮胎的真圆度。

在轮辋上焊接凸起结构,有利于聚氨酯轮胎固定在轮毂上。八字形凸起不仅可以实现轮胎周向的固定,还可以防止轮胎在轴向方向上的窜动,减少脱圈事故发生,提高轮胎结构与轮辋结构的稳定性。该轮胎为减轻轮胎质量,采用了薄胎体



(a) 外观



(b) 剖视图



(c) 主视图

图2 安全绿色、节能降噪非充气轮胎的结构

Fig. 2 Structure of safe, green, energy-saving and noise-reducing non-pneumatic tire

设计,凸起结构还进一步减小了部分胎体厚度,提高了轮胎的刚度,这就使轮胎在行驶过程中的变形小,从而提高了轮胎的真圆度,有利于节能。

3 制造

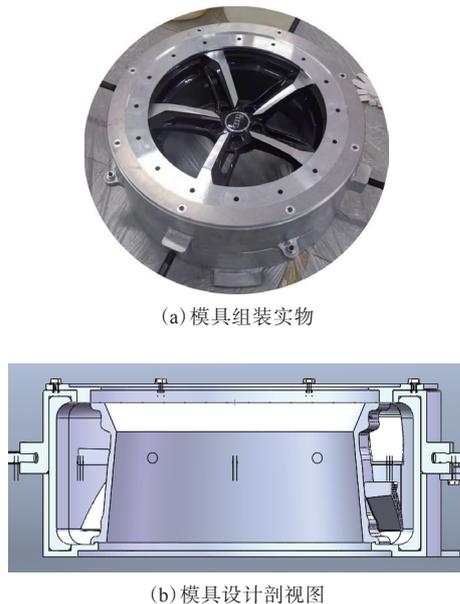
3.1 材料

安全绿色、节能降噪轮胎采用聚氨酯/橡胶粉复合材料替代传统充气轮胎的橡胶材料,将聚氨酯[组合聚醚与聚合二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI)按质量比1:1制成]和橡胶粉按照一定比例混合。

3.2 模具

轮胎模具主要包含外模具和带凸起结构的轮

毂。外模具主要由底板、上板、顶盖和9个滑块组成,外模具和凸起结构采用数控加工技术加工,凸起结构焊接到 $18\times 8J$ 的锻造轮毂上。模具组装结构如图3所示。



(a) 模具组装实物

(b) 模具设计剖视图

图3 模具组装结构
Fig. 3 Mold assembly structure

3.3 成型

将帘线按要求缠绕到模具上,然后将配好的聚氨酯/橡胶粉复合材料快速浇注到组装好的模具中,在常温下固化48 h以上,得到聚氨酯轮胎,如图4所示。

轮毂与轮胎一体浇注成型方法既简化了工艺流程,降低了成型成本,又省去了胎毂装配过程,解决了因提高轮胎减震性能而牺牲真圆度的问题,降低了轮胎行驶过程中的滚动阻力和油耗,提



图4 浇注成型的聚氨酯轮胎外观
Fig. 4 Appearance of cast polyurethane tire

高了能源利用率。高强度胎体降低了因胎体变形造成的噪声,轮胎采用在轮辋上固定的错位八字形燕尾凸起结构,大幅缩短了制动距离。

由于现有模具的花纹块复杂、加工困难、加工成本较高,因此本工作未分析轮胎花纹。后续将利用3D打印和3D复印技术^[19]制造花纹块,将花纹块固定到外模具上进行轮胎浇注,这样可以简化花纹块的加工流程,降低加工成本,缩短加工时间,提高效率。

4 结语

轮胎最不安全的故障是爆胎,非充气轮胎以特殊的结构实现传统充气轮胎的充气结构功能,解决了汽车爆胎的安全隐患,无需驾驶人检查胎压。

本工作提出的绿色低碳非充气轮胎用聚氨酯材料替代橡胶材料,轮胎的回收利用率高。同时高强度的胎体可以保证轮胎的真圆度,降低油耗和减少轮胎的非正常磨损,提高汽车的能源利用率和轮胎的使用寿命。

随着技术的发展和社会的进步,相信非充气轮胎的相关技术问题会得到解决,非充气轮胎也将会在未来轮胎市场上占有一席之地。

参考文献:

- [1] DHRANGDHARIYA P, MAITI S, RAI B. Effect of spoke design and material nonlinearity on non-pneumatic tire stiffness and durability performance[J]. arXiv e-prints, 2021. DOI: 10.48550/arXiv.2013.03637.
- [2] 陈家瑞. 汽车构造[M]. 北京:人民交通出版社,2006.
- [3] ŽMUDA M, JACKOWSKI J, HRYCIÓW Z. Numerical research of selected features of the non-pneumatic tire[C]. Computational Technologies in Engineering (TKI' 2018): Proceedings of the 15th Conference on Computational Technologies in Engineering. AIP Publishing LLC:2019,2078(1):020027.
- [4] SASSI S, EBRAHEMI M, AI-MOZIEN M, et al. New design of flat-proof non-pneumatic tire[J]. International Journal of Mechanical Systems Engineering, 2016, 2: 114.
- [5] 苏博. 固铂仿生蜂巢轮胎[J]. 橡胶科技市场, 2009, 7(10): 14. SU B. Cooper bionic honeycomb tire[J]. China Rubber Science and Technology, 2009, 7(10): 14.
- [6] 张姝, 张光星, 苏博. 韩泰轮胎发展的嬗变与启发[J]. 中国橡胶, 2021, 37(2): 30-39.

- ZHANG S, ZHANG G X, SU B. Evolution and inspiration of Hankook tire development[J]. China Rubber, 2021, 37(2): 30-39.
- [7] 赵又群, 邓耀捷, 肖振, 等. 基于铰链组结构的机械弹性车轮[P]. 中国: CN 20687073U, 2018-01-12.
- [8] WANG F, ZHAO J Z. Non-pneumatic tire[P]. WPIO: WO 2004062947, 2004-07-29.
- [9] 张子峰, 付宏勋, 李亚龙, 等. 一种仿生非充气轮胎[P]. 中国: CN 211364161U, 2020-08-28.
- [10] 张子峰, 付宏勋, 李亚龙, 等. 一种仿生非充气轮胎[P]. 中国: CN 110682741A, 2020-01-14.
- [11] 杨卫民. 轮胎滚动能耗的力学基础与测试方法研究[C]. 第十四届中国橡胶基础研究研讨会摘要集. 北京: 中国化学学会橡胶专业委员会, 2018: 57.
- [12] 杨卫民. 轮胎设计与制造工艺创新的发展方向[J]. 轮胎工业, 2012, 32(9): 515-521.
- YANG W M. Development direction of tire design and manufacturing process innovation[J]. Tire Industry, 2012, 32(9): 515-521.
- [13] 刘肖英, 何雪涛, 张金云, 等. 碳纤维材料在航空轮胎上的应用[J]. 弹性体, 2014, 24(4): 27-32.
- LIU X Y, HE X T, ZHANG J Y, et al. Application of carbon fiber in the aircraft tire[J]. China Elastomers, 2014, 24(4): 27-32.
- [14] 张鹏, 仇国华. 轮胎动平衡及不圆度的影响因素及控制方法[J]. 轮胎工业, 2019, 39(7): 435-437.
- ZHANG P, QIU G H. Influencing factors and control methods of tire dynamic balance and roundness[J]. Tire Industry, 2019, 39(7): 435-437.
- [15] 王国林, 陈晨, 周海超, 等. 胎面与胎体间接触特性对轮胎滚动阻力影响的研究[J]. 橡胶工业, 2020, 67(6): 403-409.
- WANG G L, CHEN C, ZHOU H C, et al. Study on influence of contact characteristics between tread and carcass on tire rolling resistance[J]. China Rubber Industry, 2020, 67(6): 403-409.
- [16] 杨慧, 游长江. 轮胎[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [17] 杨卫民, 尹芳放, 谭晶, 等. 一种安全绿色节能降噪非充气轮胎[P]. 中国: CN 209851977U, 2019-12-27.
- [18] 杨卫民, 尹芳放, 谭晶, 等. 一种安全绿色节能降噪非充气轮胎[P]. 中国: CN 110039957A, 2019-07-23.
- [19] 林莉, 陈庆湘. 子午线轮胎活络模花纹块的加工方法[J]. 橡塑技术与装备, 2018, 44(13): 19-22.
- LIN L, CHEN Q X. The processing method of radial tire segmented mold pattern block[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2018, 44(13): 19-22.

收稿日期: 2022-11-16

Design and Manufacture of Green and Low-carbon Polyurethane Non-pneumatic Tire

WANG Lei^{1,2}, JIAO Zhiwei^{1,2}, SUN Jiale^{1,2}, YANG Weimin^{1,2}, LUO Shen^{1,2}, TAN Jing^{1,2}

(1. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. National Engineering Laboratory of Tire Design and Manufacturing Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The design and manufacture of the green and low-carbon polyurethane non-pneumatic tire were introduced, and the energy saving mechanism was analyzed. Aiming at the problem of poor energy saving of existing non-pneumatic tires, in order to improve the roundness, this non-pneumatic tire was composed of the carcass, rim, dovetail convex structure with misalignment of splayed formation, cord, and spoke support structure. The carcass was made of polyurethane/rubber powder composite material, the outer mold was assembled with the wheel hub with a convex structure, and the hub and carcass were molded together using integrated casting process. Since polyurethane material was used for this non-pneumatic tire instead of rubber material, the tire had a high recycling rate. At the same time, high strength carcass could ensure the roundness of the tire, reduce fuel consumption and wear of the tire, and extend the service life of the tire.

Key words: non-pneumatic tire; roundness; polyurethane; energy saving; casting

启事 自投稿之日起30天内未收到编辑部录用通知的作者请与编辑部联系, 确认未被录用或已收到未被录用通知的作品方可投向其他刊物, 切勿一稿多投, 谢谢合作!