

非充气轮胎技术的分析与展望

张仲志, 吕建刚, 宋 彬, 郭劲琰, 高 飞

(军械工程学院, 河北 石家庄 050003)

摘要:介绍非充气轮胎的种类和特点, 并分析非充气轮胎技术的发展趋势。非充气轮胎按照结构形式主要可分为聚氨酯(PU)实心型、胎面辐板型、胎面非辐板型和网面型, 目前技术比较成熟的是 PU 实心型, 未来应开发具有安全性、通用性和经济性的非充气轮胎技术。

关键词:非充气轮胎; 材料; 结构设计

中图分类号:TQ336.1; U463.341 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-8171(2014)09-0523-05

近年来, 随着车辆速度的提高和行驶环境的扩展, 对轮胎的要求越来越高。普通充气轮胎有以下几点不足: ①易扎刺, 易爆胎, 且爆胎后可能引发致命事故^[1-2]; ②需要维持合适的内部空气压力; ③制造工艺复杂。在军事应用方面, 普通轮胎无法承受轻武器和地雷的袭击^[3]。针对以上不足, 人们研制了多种类型的安全轮胎^[4-6], 但同时具有充气 and 橡胶材质两个特性使轮胎的防护能力很难提高, 在泄气失压后轮胎性能显著下降。因此, 需要对轮胎结构进行新的探索, 非充气轮胎技术应运而生。

1 非充气轮胎的概念

对于非充气轮胎目前还没有严格规范的定义, 一般认为非充气轮胎是指不依赖气体支撑的轮胎^[7]。它是通过特殊的结构设计和材料应用实现轮胎承载、减震等性能要求。非充气轮胎从根源上避免了爆胎危险, 提高了轮胎的安全性, 同时能够保证车辆具有良好的操纵稳定性和乘坐舒适性。

非充气轮胎技术是由轮毂、支撑结构和胎面组成的一套完整的技术体系, 涉及到轮毂、支撑结构和胎面的结构、尺寸、配合、装卡、材料、相互作用和摩擦磨损等。

2 非充气轮胎的种类及代表产品

按结构形式, 非充气轮胎可分为聚氨酯(PU)

实心型、胎面辐板型、胎面非辐板型和网面型。

2.1 PU 实心型

PU 实心型轮胎(如图 1 所示)是在普通充气橡胶轮胎的结构基础上, 利用异氰酸酯与活泼氢的化学反应, 在轮胎内部产生聚氨酯^[8], 与轮胎形成一体, 以具备支撑能力, 从而保证车辆的行驶安全性。聚氨酯分子间存在物理和化学交联作用, 增强了 PU 实心轮胎的耐磨性、负荷能力以及吸震和减震能力。

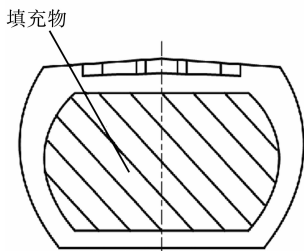


图 1 PU 实心型轮胎示意

PU 实心轮胎技术的研究起步于 20 世纪 50 年代, 其中美国大卫兄弟公司利用 PU 弹性体开发了直接装在电动车上的 Durotane 轮胎, 英国邓禄普公司开发的 PU 实心轮胎用以运输质量特别大的货物^[9]。

20 世纪七八十年代, 奥地利 LIM 公司^[10]利用液体两次注射法成型, 以端羟基聚丁二烯和甲苯二异氰酸酯为主材料、以二胺类为扩链剂并配合催化剂和颜料等助剂生产 PU 实心轮胎。它首先将 2 个钢丝圈装在模具的胎圈部位, 注射 PU 高定伸应力的弹性体, 开模后绕上带束层, 再装胎

面模具,注射低定伸应力的 PU 弹性体,最后成型制得轮胎^[11]。LIM 公司生产的 PolynairMK. 12 轮胎与美国大陆轮胎公司的 TS771 在同等状态下运行 1 万 km 后的结果表明:PolynairMK. 12 比 TS771 轮胎节油 9.95%,胎面磨耗量降低 51%,质量减小 22%,内生热降低 54%,操纵性能和道路行驶性能相当^[12-13]。

美国固特异轮胎公司在 20 世纪 70 年代开始 PU 实心轮胎的研究,将聚氨酯材料粘接在轮辋上,将轮辋直接安装在车轴上使用,该轮胎的配方和工艺均已获美国专利^[14]。

美国 Uniroyal 公司研发出浇注型 PU 实心轮胎^[15],将聚氨酯覆盖在金属轴上,其特点是不怕扎刺、弹性好,并通过在材料中添加适当的液态惰性二甲基硅氧烷进一步改善了轮胎的耐磨性能^[16]。

2.2 胎面辐板型

胎面辐板型轮胎由轮毂、板式轮辐和柱形胎面组成,如图 2 所示。板式轮辐是轮胎的核心部件,轮胎依靠板式辐条支撑负荷,摆脱了对气体的依赖。轮辐材料分为金属和橡胶化合物两种,轮辐的数量由轮胎性能要求决定。柱形胎面采用耐磨材料,同时可以调节柱形胎面的结构参数,使其适应不同的路面。

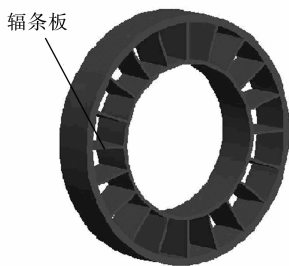


图 2 胎面辐板型轮胎示意

2005 年法国米其林公司研制成功 Tweel 轮胎^[17](如图 3 所示),其特点是使用聚乙烯材料,由剪切环、轮毂和轮辐板组成^[18],简化了装配和拆卸操作,该轮胎具有优异的牵引和低滚动阻力性能,路面压力分布均匀,而且横向刚度是橡胶轮胎的 5 倍,可以单独调整纵向和横向性能,从而使操控响应性显著提高。Tweel 轮胎生产工艺简单,设备投资少,成本低。

美国 Clemson 大学的 Amir Gasmi 等^[19]设计

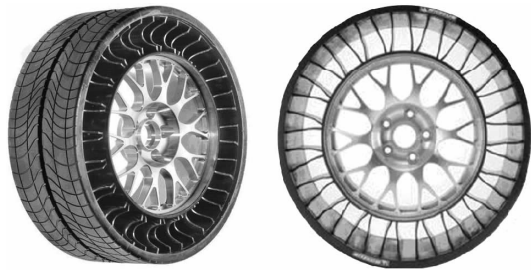


图 3 米其林 Tweel 轮胎结构示意图

了一种轮辐板轮胎,由活动带、轮毂和轮辐板组成,其中轮辐板可以分为连续型和分散型两种类型。

2008 年北方车辆研究所设计了一种胎面辐板型轮胎,其结构分为板式轮辐、带有花纹的橡胶胎面和由聚氨酯制成的胎体 3 个部分^[20]。针对恶劣路况,花纹采用适用于驱动轮胎的越野花纹,深度为 20 mm,胎冠中部采用粗壮宽大的花纹块,并相互联结,横向花纹由冠部向肩部逐渐加深,保证了在松软路面上优良的牵引性能,胎肩采用弧形,使轮胎具有优良的越障能力。

2012 年南京航空航天大学设计的机械弹性轮胎由外圈、弹性环、弹性环组合卡、轮毂、回位弹簧、销轴和铰链等构成^[21-22]。车轴将扭矩传给轮毂,进一步通过销轴、铰链组以力矩作用拉动弹性外轮作旋转滚动运动,该结构轮胎具有优异的缓冲隔震性能。

2.3 胎面非辐板型

胎面非辐板型轮胎由轮毂、特种结构轮辐和胎面组成(如图 4 所示)。它与胎面辐板型组成相似,但是采用了特殊设计的轮辐结构来代替空气,实现承载作用。轮辐的结构设计多种多样,相应的轮胎性能也各有侧重点。

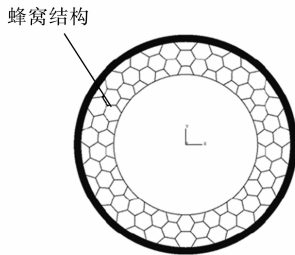


图 4 胎面非辐板型轮胎示意

普利司通在 2011 年研制成功无空气轮胎(如图 5 所示),其主要特点是车轮装配了两组经过特殊设计的辐条,一组以顺时针方向装配在轮辋内

部进行导向,另一组以逆时针方向装配在轮辋外部,两组支撑辐条的组合能够使轮胎在无扭曲下进行有效地屈挠,为车辆提供稳定性。设计中采用了热塑性辐条,它比大多数的传统轮胎中使用的热固性塑料更容易进行循环利用。新型轮胎将首先应用于行动不便者的代步车,并逐渐发展应用于标准车辆。

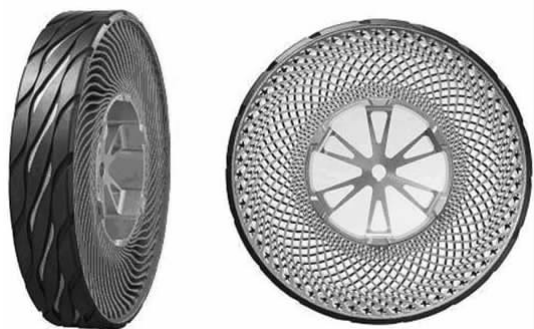


图5 普利司通胎面非辐板型轮胎结构示意图

1993年马来西亚 Asiatic Airboss 公司研制成功 Airboss 活节轮胎,其特点是由 Airboss 活节和特制轮辋组成,其中 Airboss 活节由数十个用薄钢板补强的、剖面为圆角梯形的中空橡胶件构成,在每个橡胶件底边开有洞眼,在成型时安上螺栓;将每个橡胶件底边的螺栓与特制轮辋上的相应洞眼对准,用螺母固定,得到轮胎总成。该轮胎已用于装载机和挖掘机等大型工程车辆,可减少停机时间,节省设备维护费用。活节轮胎用模压法或浇注法均可制造,材料为天然橡胶或丁苯橡胶,活节数多少视轮胎规格而定。活节损坏后,可单独取下翻新或更换,操作简便。Airboss 活节式轮胎具有如下优异性能:①使用寿命是普通轮胎的4.5倍,在使用12个月后胎面厚度仍保持75%;②刚性分别比充气轮胎和实心轮胎大23.5%和100%,滚动阻力下降50%~58%;③减震性为充气轮胎的1.52~1.85倍;④牵引力比充气轮胎大37%。

美国 North Texas 大学的 Jaehyung Ju 等^[23]基于蜂窝技术,提出了一种多单元轮辐轮胎。该结构分为规则和外扩增大两种类型,在相同轮胎宽度和额定负荷下,优化了蜂窝结构。

2.4 网面型

网面型轮胎对胎面进行了综合设计,采用了

开放式胎面(如图6所示)。例如部分轮胎中的一个部件既起到轮辐的支撑作用,又发挥胎面的平稳接触功能。胎面采用了由钢丝、金属弹簧等部件构成的网状结构,其设计相对灵活,现有多种型号,已应用于太空探测领域^[24]。

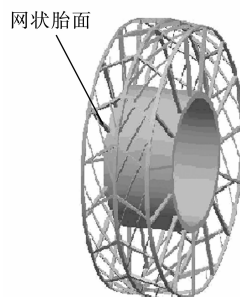


图6 网面型轮胎示意

网面型轮胎主要代表产品是美国固特异公司和 NASA 联合设计的 spring tire,如图7所示。该款轮胎应用金属材质,采用编织结构,由800条承重弹簧构成,有效地实现了传统轮胎的承载和驱动等功能,解决了传统轮胎材质无法适应空间大温差变化的问题。该轮胎应用弹簧钢,其高强度使特种车辆的安全防护能力取得了质的飞跃。该轮胎技术计划首先应用于空间探测,在民用领域也有很大的应用潜力。

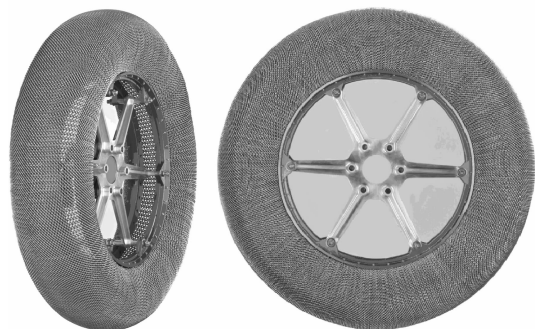


图7 spring tire 结构示意图

2007年吉林大学研制了一种金属网弹性轮胎^[25],该轮胎结构由大轮圈、小轮圈、轮辋和轮辐组成,拥有良好的机械可靠性、越障性、行驶稳定性和耐磨性,能够满足车辆在复杂路面下的行驶要求。

3 非充气轮胎的发展趋势与应用

目前世界各大轮胎公司对于非充气轮胎的研

究盛况空前,不仅是成熟的 PU 实心轮胎得到了广泛应用,米其林的 Tweel 轮胎和 Asiatic Airboss 的活节轮胎也在工程应用中得到了认可。部分企业同时开展数个非充气轮胎项目,其中米其林公司除 Tweel 轮胎研究外,还进行着采用可翻新复合材料的非充气轮胎研发。

我国的非充气轮胎研究起步稍晚,但已全面开展^[26],其中上海天衣轮胎有限公司的研究成果已经获得了美国专利,哈尔滨工业大学、北京航空航天大学 and 吉林大学等也在进行相应研究^[27-29]。

非充气轮胎展现了许多优良特性,在民用、军事和航天等领域都存在着巨大的潜力。然而除 PU 实心轮胎的研究开始较早外,各个国家和企业开始投入研究的时间都不长,仍在探索阶段,现阶段已量产的非充气轮胎的使用范围也具有严格的限制。

因此,非充气轮胎要更好地应用于车辆还有很多工作要做。

(1)完善结构设计,优化轮胎性能。例如现阶段实心轮胎的散热情况不良,只能应用于低速行驶的车辆,可以与金属机械结构相结合,在 PU 实心轮胎上设计散热孔,扩展应用范围。

(2)进行强度校核,延长轮胎寿命。从目前发展趋势来看,多种非充气轮胎的轮辐结构具有大角度连接的部位,受力时容易产生应力集中现象,可以从轮胎的疲劳检测方面着手校核轮胎的结构强度。

(3)简化装配工艺,减少轮胎成本。无论是加入填充剂,还是应用聚氨酯胎面材料或者使用机械结构,都应在设计的同时考虑简化装配工艺,减少生产成本,这样才能与成熟的充气橡胶轮胎技术展开竞争。

(4)结构的通用性。已投入使用的非充气轮胎现阶段仍限于工程车辆和航天领域,要满足普通车辆的使用要求,使其适用于高速条件,并具有舒适性,设计过程中还应增加对轮胎平顺性等参数的检测。

(5)增强轮胎排斥异物的能力。非充气轮胎除 PU 实心轮胎外,皆为开放式结构,异物易卡入其中,在行驶过程中,卡入物体后车辆易失去平衡,应考虑应用网面结构等设计消除或减少影响。

参考文献:

- [1] 郭孔辉,黄江,宋晓琳.爆胎汽车整车运动分析及控制[J].汽车工程,2007,29(12):1041-1045,1109.
- [2] 庄继德.现代汽车轮胎技术[M].北京:北京理工大学出版社,2002:309-312.
- [3] 高树新,何建清,解来卿.安全轮胎及其在军车上的应用[J].轮胎工业,2009,29(5):259-263.
- [4] French T, Holmes T. How We Developed the Run Flat Tyre [J]. Physics in Technology, 1974(5):160-165.
- [5] Davis B. Michelin's Run-flat Tire Uses New Design[J]. Tire Business, 1997(3):1, 22.
- [6] 佟金,杨欣,张伏,等.零压续跑轮胎技术现状与发展[J].农业机械学报,2007,38(3):182-187.
- [7] Rhyne T, Cron S M. Development of a Non-pneumatic Wheel [J]. Tire Science and Technology, 2006, 34(3):150-169.
- [8] 朱吕民.聚氨酯合成材料[M].南京:江苏科学技术出版社,2002:378-379.
- [9] 郝立新,刘锦春,刘保成.聚氨酯浇注轮胎的开发和研究进展[J].轮胎工业,1996,16(11):643-649.
- [10] Richard M. LIM Modeled Tire Technology Strategic Considerations[J]. Journal of Elastomers and Plastics, 1984, 16(2):93-102.
- [11] Stuart M. Giving the PU Tyre Its Due[J]. European Rubber Journal, 1983, 164(10):14-16.
- [12] Andreas S, Oskar S. Multi-layer or Laminated Compound Body, in Particular Vehicle Tire, and Process and Coupling Mass for Its Production[P]. USA: USP 4 774 142, 1988-09-27.
- [13] Andreas R S, Herbert F S, Walter S, et al. Reinforced Polyurethane Tires[P]. USA: USP 4 519 432, 1985-05-28.
- [14] Daniel A C. Polyurethane Tire and Wheel Assembly[P]. USA: USP 4 164 251, 1979-08-14.
- [15] George H N, Richard L P. Industrial Solid Tires and Method of Manufacture[P]. USA: USP 5 605 657, 1997-02-25.
- [16] Richard L P, Thomas H P. High Friction Polyurethane Elastomers having Improved Abrasion Resistance [P]. USA: USP 6 723 771, 2004-04-20.
- [17] Bezgam S. Design and Analysis of Alternating Spoke Pair Concepts for a Non-pneumatic Tire with Reduced Vibration at High Speed Rolling[D]. South Carolina: Clemson University, 2009.
- [18] Narasimhan A. A Computational Method for Analysis of Material Properties of a Non-pneumatic Tire and Their Effects on Static Load-deflection, Vibration and Energy Loss from Impact Rolling over Obstacles[D]. South Carolina: Clemson University, 2009.
- [19] Gasmi A, Joseph P F, Rhyne T B, et al. Development of a Two-dimensional Model of a Compliant Non-pneumatic Tire

[J]. International Journal of Solids and Structures, 2012, 49 (13): 1723-1740.

[20] 李莉, 胡立臣, 邵朋礼. 一种新型轮胎的设计与分析[J]. 工程设计学报, 2008, 15(3): 220-224.

[21] 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.

[22] 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.

[23] Ju J, Kim D, Kim K. Flexible Cellular Solid Spokes of a Non-pneumatic tire[J]. Composite Structures, 2012, 94(8): 2285-2295.

[24] Asnani V, Delap D, Creager C. The Development of Wheels for the Lunar Roving Vehicle[J]. Journal of Terramechanics, 2009, 46(3): 89-103.

[25] 管欣, 王鹏, 詹军. 金属弹性车轮的建模与动态仿真研究[J]. 中国机械工程, 2007, 18(21): 2637-2640.

[26] 杨欣, 佟金, 张伏, 等. 自适应虚拟设计在零压续跑轮胎内支撑设计中的应用[J]. 吉林大学学报, 2006, 36(5): 705-706.

[27] Chen B C, Wang R B, Jia Y, et al. Design of a High Performance Suspension for Lunar Rover Based on Evolution[J]. Acta Astronautica, 2009, 64(9-10): 925-934.

[28] Ding L, Gao H B, Deng Z Q, et al. Wheel Slip-sinkage and Its Prediction Model of Lunar Rover[J]. J. Cent. South University Technol., 2010, 17(1): 129-135.

[29] 丁亮, 高海波, 邓完全, 等. 基于月球车轮地作用地面力学积分模型的月壤力学参数辨识方法[J]. 航空学报, 2011, 32(6): 1112-1122.

收稿日期: 2014-04-03

玲珑集团荣获第 3 届山东省企业管理创新成果奖

中图分类号: F27 文献标志码: D

2014 年 5 月 26 日, 由山东省人民政府主办的第 3 届山东省企业管理创新成果奖获奖名单出炉, 全省共有 20 家企业获奖, 玲珑集团有限公司王希成主创的“打造速度模式, 推动企业国际化进程”获此殊荣, 成为烟台市唯一获奖企业。

玲珑集团有限公司的创新成果主要包含了速度模式和国际化进程两大创新点。速度模式的演绎主要表现在 4 种速度的提升: 一是管理转化为效益的速度; 二是研发转化为产品的速度; 三是产品交给客户的速度; 四是技改形成产能的速度。通过这 4 种速度的提升, 使企业 4 年内在德州、泰国、柳州的工厂相继开工建设、投产, 保持裂变式的快速发展。而国际化进程则通过“3+3 战略”和“人才国际化、研发国际化、营销国际化、制造国际化、品牌国际化、合作国际化”的有机结合, 形成了立足国内、面向全球的产业发展格局, 突破了发展地域和发展境界, 为创建具有世界一流技术水平和 管理水平 的民族企业奠定了坚实的基础。到 2020 年, 玲珑集团有限公司轮胎总产量将达到 9 000 万 套, 力争稳步进入世界轮胎前十强。

(山东玲珑轮胎股份有限公司 王 妍)

38 129 条双驼轮胎被召回

中图分类号: TQ336.1; U463.341 文献标志码: D

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntire-dealer.com)2014 年 6 月 12 日报道:

青岛喜盈门双驼轮胎有限公司与其合作伙伴 Lionshead 特种轮胎及车轮有限公司, 正对 Vail Sport ST LH 99 无内胎挂车轮胎进行召回, 此次召回涉及从 2011 年 11 月 20 日到 2013 年 9 月 21 日生产的 38 129 条轮胎(胎侧日期编码从 4 711 到 3 713)。

此次召回是之前对 1 440 条 Vail Sport ST LH 99 无内胎挂车轮胎召回的扩展, 之前召回的轮胎 DOT 编号为 69, 生产日期为 2013 年 7 月 14 日至 7 月 27 日(日期编码为 2 813 或 2 913)。所有召回轮胎的规格均为 225/75D15, 负荷等级为 D。

美国高速公路交通安全管理局(NHTSA)该召回行动的 ID 编码为 14T001。第 2 次召回行动增加了将近 40 000 条可能受到影响的轮胎。

据 NHTSA 过失调查办公室称, 涉及的召回轮胎长期使用时会失效并会发生从轮辋上脱落的风险。同样, 这些轮胎不能满足联邦机动车辆安全标准 No. 119“除轿车外其他车辆用新充气轮胎”的要求。

“轮胎在道路意外事件中损坏、长期使用失效或者从轮辋中脱落增加了撞车的风险。”NHTSA 称。

Lionshead 公司将通知用户, 经销商将对这些轮胎进行更换。新一轮召回于 2014 年 6 月开始。最初的召回始于 2014 年 2 月。

(马 晓摘译 许炳才校)