

国内外非充气轮胎的最新研究进展

高晓东, 杨卫民, 张金云, 迟百宏, 谭 晶*

(北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029)

摘要:以轮胎基本性能要求为基础, 重点介绍非充气轮胎的设计内涵和优化方法。针对科技发展及社会进步对轮胎提出的新要求, 综述轮胎从材料到结构的全面优化改革, 并基于非充气轮胎的特点, 提出了 3D 打印新概念的轮胎成型制造方法。

关键词:非充气轮胎; 优化改进; 成型工艺; 3D 打印

中图分类号:TQ336.1 **文献标志码:**B **文章编号:**1000-890X(2015)03-0183-06

21 世纪科技迅猛发展, 时代和社会需求不断变化, 传统轮胎由于自身结构特点, 无法满足这些要求, 各种新型轮胎应运而生, 其中非充气轮胎完全打破了传统轮胎设计理念, 具有革命化的意义。非充气轮胎在结构设计、材料选择和加工成型等方面不断变化与改进, 向安全、节能、环保、智能化方向发展。

1 轮胎性能要求

无论充气轮胎还是非充气轮胎, 都必须满足轮胎的基本性能要求, 这是轮胎使用的基本条件。其中, 安全舒适性、功能适用性和使用过程中的节能环保尤为重要, 轮胎的设计及优化也主要围绕这三方面进行。

1.1 安全舒适性

轮胎的安全舒适性主要涉及振动、噪声及紧急制动等方面。

轮胎的缓冲减震与轮胎的材料和结构密切相关。材料硬度大、弹性小, 瞬间变形能力小, 吸震效果差, 则其缓冲减震作用低。子午线轮胎行驶平稳, 舒适度高, 耗胶量更小, 这是其替代斜交轮胎的重要原因。

轮胎噪声主要包括气动噪声、泵浦效应噪声、腔体共振噪声、滑移噪声、花纹块碰撞振动噪声等

几种形式。除合理选择材料外, 通过改进轮胎轮廓和花纹设计, 如采用非对称不同节距花纹、减小花纹深度和宽度等方法可在一定程度上降低轮胎噪声^[1-3]。

汽车遇到危险或其他特殊情况时, 轮胎的紧急制动至关重要。除花纹设计外, 材料选择对轮胎的紧急制动性能影响巨大。轮胎胎面材料既要有足够大的摩擦因数, 还要具有高耐磨性能。

1.2 功能适应性

轮胎在使用过程中需满足在各种环境下的牵引性能、耐磨性能、耐老化性能以及支撑能力。

轮胎的牵引力是汽车的直接动力。轮胎胎面通常采用橡胶材料, 橡胶相对较软, 具有通过扩大接触面积提高牵引性能的自身优势。当然, 花纹设计对摩擦驱动也有重要影响。

轮胎的耐磨和耐老化性能关系到其使用寿命。胶料配方及成型和硫化工艺是决定轮胎寿命的基础。而在轮胎使用过程中, “桥式效用”会使轮胎不同部位发生不同程度的磨损, 轮胎承载和使用强度也决定其使用寿命。

轮胎的支撑能力是最基本的要求。在六分力的共同作用下, 轮胎的受力复杂而又多变^[4]。轮胎承载过大和速度过快引起的爆胎时有发生, 危害巨大。为了提高轮胎的承载能力或速度, 在结构设计时也应考虑提高其自身强度。

1.3 节能环保

节能、低碳环保是 21 世纪经济发展的新主题, 粗放式经济模式已不适应社会经济的发展。

作者简介:高晓东(1991—), 男, 山东诸城人, 北京化工大学在读硕士研究生, 主要从事高分子材料成型加工及先进制造技术的研究。

* 通信联系人

近10年来,全球汽车产量总体维持增长态势,《2014—2019年中国汽车行业市场深度调研及投资战略研究报告》显示:2013年全球汽车产量达到8 724.98万辆,同比增长3.6%。随着汽车的爆炸式增加,轮胎的能耗与环保也日趋重要。对降低轮胎能耗起决定性作用的滚动阻力约占整车能耗的20%,轮胎节能带来的价值是巨大的^[5]。欧盟提出并在实施的新标签法中首次出现了滚动阻力的标志,进一步表明其为科学的全球性特征^[6]。低断面轮胎能有效降低滚动阻力;另外,轮胎材料应保证生热率低、内耗小。

对轮胎的环保要求主要体现在两方面:一是通过节能减少汽车尾气的排放,这也与降低轮胎滚动阻力有关;二是表现在轮胎材料上,轮胎的磨损消耗不可避免,胶料各添加体系中的有害物质会散布到空气中,对人和环境造成严重的危害^[7]。因此,各种新型无污染材料相继被应用到轮胎中,逐渐替代了原来的有害材料。

然而,传统充气轮胎由于其本身的特点,不可避免地存在一些问题,如刺扎爆胎、难以保证胎内合适压力和制造成型工艺复杂等,尤其在特种领域无法抵抗轻型武器的冲击^[8-10]。同时传统轮胎的各功能相互牵制、相互矛盾,不能实现多目标优化^[11]。非充气轮胎在这种历史条件下应运而生^[12-13]。

2 非充气轮胎研发现状

非充气轮胎的材料选择和结构设计相比传统轮胎有很大不同。非充气轮胎一般采用高分子材料辐板或网面等结构,在保证安全、可靠、节能等性能的基础上,发挥出传统轮胎所没有的优势。21世纪以来,各轮胎公司及研究部门相继在非充气轮胎研发方面取得了一些成果。

2.1 国外

国外非充气轮胎的研发起步较早,法国米其林、日本普利司通等公司都已推出几代非充气轮胎产品。在全球非充气轮胎专利申请量方面,国外轮胎公司占主导地位。其中,米其林公司排名第一,占全球非充气轮胎总申请量的15%左右;普利司通轮胎公司排名第二,截止到2013年已经累计申请了37项专利^[14]。各轮胎公司的非充气

轮胎从材料选用到结构设计存在差异,从不同方面发挥非充气轮胎的特长。

2005年米其林率先提出Tweel非充气轮胎,它包括轮毂、聚氨酯轮辐、直接绕在轮辐外面的剪切带和胎面胶,没有中间过渡的充气内胎,如图1所示^[15-18]。Tweel依靠其材料选择和内外结构的优化设计,同样具有承载力、舒适性和安全性^[19]。这种非充气轮胎不用考虑刺扎防爆情况,结构简单、易于翻新、抓着力强、滚动阻力小、噪声低、更耐磨。聚氨酯轮辐比金属轮辋更耐冲击,能够起到缓冲等弹簧的作用^[20]。之后米其林又推出Airless非充气轮胎,其径向有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,也不需要维护保养。



图1 Tweel轮胎

2008年美国Resilient技术公司和威斯康星州大学麦迪逊分校聚合物工程学中心的研发人员利用仿生学原理开发出一种新型非充气轮胎——蜂窝轮胎,如图2所示^[21]。它巧妙地将蜂窝六边形或类细胞结构运用到轮胎轮辐上,摩擦发热低、散热快,而且具有一定的强度,能承受地雷或小型武器的打击,目前主要被美国军方使用。它和Tweel轮胎是比较早也是比较典型的非充气轮胎,它们的出现有革命性的意义。

2014年日本普利司通公司推出第2代新型AirFree Concept非充气概念轮胎,如图3所示。它采用既能保持高强度又能保持柔软性的树脂材料,其网格延伸方向内外相反,通过偏移角度的模拟计算,可以优化轮胎的强度和缓冲性能^[22-24]。与第1代产品相比,它在承载能力、适应环境和驾驶性能方面有很大进步,更具实用性,更接近商品化产品。



图2 蜂窝轮胎



图3 AirFree Concept 轮胎

韩国韩泰轮胎公司也在进行非充气轮胎的设计^[25-27]。近期,该公司连续推出4款比较超前的概念型非充气轮胎:胎面速度、花纹和接触面积可变轮胎及磁悬浮轮胎,如图4所示。



(a)胎面速度可变轮胎



(b)胎面花纹可变轮胎



(c)胎面接触面积可变轮胎



(d)磁悬浮轮胎

图4 韩泰4款概念型非充气轮胎

这4款轮胎都使用组合设计的方式,各部分相互配合展现出轮胎性能,未来感十足。

2.2 国内

目前,国内几家轮胎企业和研究团队正在开发设计非充气轮胎。由于起步较晚及资金和技术等方面的限制,国内非充气轮胎基本还处在初期研发设计阶段。在非充气轮胎全球专利排名前列的公司中,也没有出现中国公司。但是,非充气轮胎近年已在国内日益发展起来。

2008年北方车辆研究所李莉等^[28]设计出一种新型辐板式非充气轮胎,如图5所示。它由带花纹的橡胶胎面和聚氨酯胎体构成,主要应用在路况较差的条件下。

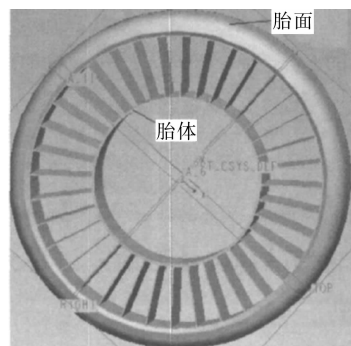


图5 辐板式非充气轮胎

2012年南京航空航天大学岳红旭等^[29]设计出非充气机械弹性车轮,其主要由车轮外圈、弹性环、弹性环组合卡、轮毂、回位弹簧、销轴和铰链等构成,如图6所示。这种轮胎弹性幅度大、抗震性能好,可满足特种车辆的要求。

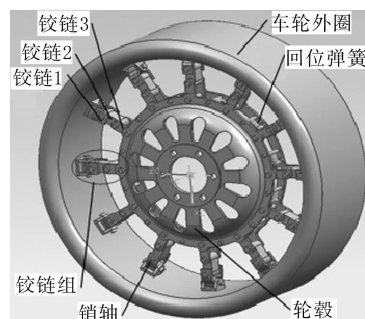


图6 非充气机械弹性车轮

北京化工大学杨卫民团队^[30]提出一种刚柔结构非充气轮胎,其主要由胎面和胎体结构两部分组成,胎体部位有倒锥形通孔,如图7所示。由于胎体和轮辋材料均为热塑性高分子材料,大大减小了轮胎的质量,对节能减排、降低油耗具有重大意义。



图7 刚柔结构非充气轮胎

军民融合(北京)科技有限公司于2013年提出一种新型非充气轮胎^[31]。它的外层与内层之间设有由内角为 111.8° 的第一六边形、内角为 110.4° 的第二六边形、内角为 119.8° 的第三六边形和正六边形组成的蜂窝层,能承受较大变形,抗震和耐磨性能好。

除此之外,国内的研究和相关专利也越来越多。如马正东^[32]的基于负泊松比结构的超轻非充气轮胎、刘文一^[33]的非充气防弹安全轮胎、阚国梁^[34]的弹性结构体连杆连接式轮胎等。

3 非充气轮胎成型工艺研究

非充气轮胎的加工成型方法与充气轮胎有很大不同。目前,国内外非充气轮胎大多采用浇注成型工艺方法。浇注工艺没有传统充气轮胎生产所需的混炼、成型和硫化等复杂过程。金属浇注或高分子材料注塑工艺现在都已较为成熟,浇注成型的轮胎具有更高的均匀性。目前,聚氨酯轮胎或全塑轮胎的胎面也采用浇注成型,它们具有优异的抗割口增长性能,并且不会出现橡胶轮胎的胎面剥离现象^[35]。

非充气轮胎对结构设计要求较高,结构设计直接影响到整胎的性能,因此,非充气轮胎的结构设计需要实际测试和改进。采用浇注成型工艺决定了非充气轮胎需要模具,由于开模周期长、成本较高,限制了非充气轮胎的发展。

作为无模成型技术的代表,3D打印技术的出现为非充气轮胎复杂结构的设计提供了实现的可能,并可大大缩短从设计到产品制作完成的时间。3D轮胎打印技术一方面可大大降低研发成本,另一方面会极大推动新型轮胎产品的优化与更新。

3D打印成型技术主要有熔融沉积、光固化、

三维粉末粘接和选择性激光烧结4种工艺方式。其中,光固化技术主要使用光敏树脂材料,通过紫外光或其他光源照射凝固成型,逐层固化,最终得到完整的产品。光固化技术精度高,表面质量好,但是产品强度不高,材料具有毒性,成本较高。由于光敏材料和成型要求的限制,该技术很难应用于非充气轮胎3D打印^[36-37]。三维粉末粘接技术是通过喷涂粘合剂使材料粉末粘接成型,成型快速,但是这种粘接成型方式不能满足非充气轮胎的强度等基本性能要求。

目前,可应用于非充气轮胎3D打印的主要是熔融沉积和选择性激光烧结技术。熔融沉积法主要是针对高分子材料(如聚氨酯等),通过微细喷嘴将高分子材料挤喷出来,并层层堆积成型。这种3D成型方法虽然结构简单、成本低廉,但是成型受温度影响较大,精度不高,强度也较低^[38]。各种材料成型后的强度不同,优化设备及工艺条件可实现轮胎的3D打印。选择性激光烧结工艺借助计算机辅助制造(CAM)技术可对高分子材料及金属进行成型,其采用分层制造叠加原理,将粉末加热至熔融状态后直接成型,不受形状复杂程度的限制,也不需要模具^[39-40]。选择性激光烧结成型精度高,强度较大,在轮胎3D打印方面应用前景很广。

4 展望

非充气轮胎的发展与科技进步密不可分,各种新型轮胎将会在各种环境中发挥其特殊性能。绿色纳米材料、无模成型工艺、轮胎智能反馈功能是未来新型轮胎发展的主要研究及应用领域,这三方面的发展也需要科学的进步和新技术的出现。

虽然非充气轮胎的材料和结构大多不同,但是相比传统充气轮胎,其构造更为简单。非充气轮胎直接采用金属或高分子材料轮辐外加胎面的结构,其中具有较高强度和缓冲性能的高分子材料轮辐是未来的发展趋势。非充气轮胎与充气轮胎的成型方法完全不同,原有的轮胎成型生产线对非充气轮胎已不适用。因此,非充气轮胎的革命性不仅在于其材料和结构设计,还在于它所引起的整个轮胎成型加工技术的全面改革。

未来非充气轮胎 3D 打印有更多的成型选择,应用多材料的非充气轮胎可以在不同的 3D 加工平台上进行分步加工,而全塑轮胎等单一材料产品可以在类似加工中心的单个 3D 打印机上完成。目前,虽然 3D 打印还存在一些问题,但是随着材料科学、计算机科学等交叉学科的进步,非充气轮胎的研究及应用将会得到巨大发展。

参考文献:

- [1] 葛剑敏,范俊岩,王胜发,等. 低噪声轮胎设计方法与应用[J]. 轮胎工业,2006,26(2):79-84.
- [2] Kim S,Sung K, Lee D, et al. Cavity Noise Sensitivity Analysis of Tire Contour Design Factors and Application of Contour Optimization Methodology[J]. Journal of Central South University,2012,19(8):2386-2393.
- [3] 赵书凯,邓世涛,丁海峰,等. 轮胎噪声影响因素及低噪声轮胎设计方法[J]. 轮胎工业,2014,34(2):76-80.
- [4] 王传铸. 轮胎与汽车的性能匹配分析[J]. 轮胎工业,2004,24(11):643-648.
- [5] 杨文利,叶滨. 近年世界轮胎发展回顾[J]. 橡胶科技市场,2008,9(3):10-14.
- [6] 于清溪. 轮胎的绿色特性与发展[J]. 橡塑技术与装备,2013,39(1):21-32.
- [7] 王丽丽. 环保型轮胎的发展[J]. 轮胎工业,2012,32(5):259-262.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Davis B. Michelin's Run-flat Tire Uses New Design[J]. Tire Business,1997(1):1,22.
- [13] 张仲志,吕建刚,宋彬,等. 非充气轮胎技术的分析与展望[J]. 轮胎工业,2014,34(9):523-527.
- [14] 苏博,张浩成. 全球非充气轮胎市场概况及专利技术分析[J]. 中国橡胶,2013,29(20):22-26.
- [15] Chanadra A. Tire Technology Recent Advances and Future Trends[J]. Rubber World,2007,236(6):27-32.
- [16] Begam S. Design and Analysis of Alternating Spoke Pair Concepts for Non-pneumatic Tire with Reduced Vibration at High Speed Rolling[D]. South Carolina:Clemson University,2009.
- [17] Narasimhan A. A Computation 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 Obstacle[D]. South Carolina:Clemson University,2009.
- [18] Rhyne T B, Cron S M. Development of a Non-pneumatic Wheel[J]. Tire Science and Technology,2006,34(3):150-169.
- [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] 岳红旭,许靖,胡国强. 安全轮胎国内外发展现状[J]. 轻型汽车技术,2011(9):3-7.
- [21] Jaeyung Ju, Doo-Man Kim, Kwangon Kim. Flexible Cellular Solid Spokes of a Non-pneumatic Tire[J]. Composite Structures,2012,94(8):2285-2295.
- [22] Bridgestone Corp. Non-pneumatic Tire[P]. JPN:JP 2013/177140,2013-09-09.
- [23] Bridgestone Corp. Non-pneumatic Tire[P]. JPN:JP 2013/151292,2013-08-08.
- [24] Bridgestone Corp. Non-pneumatic Tire[P]. JPN:JP 2013/163516,2013-08-22.
- [25] Hankook Tire Co., Ltd. Method of Designing Spokes of Non-pneumatic Tire[P]. USA:USP 8 578 607,2013-11-12.
- [26] Hankook Tire Co., Ltd. Non-pneumatic Tire[P]. KR:KR 2013/0063254,2013-06-14.
- [27] Hankook Tire Co., Ltd. Method of Designing Spokes of Non-pneumatic Tire[P]. EU:EP 2463118,2012-06-13.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 北京化工大学. 一种刚柔结构非充气轮胎[P]. 中国:CN 102582365A,2012-07-18.
- [31] 军民融合(北京)科技有限公司. 一种非充气轮胎[P]. 中国:CN 202641265U,2013-01-02.
- [32] 马正东. 基于负泊松比结构的超轻量化非充气轮胎结构[P]. 中国:CN 102529583A,2012-07-04.
- [33] 刘文一. 一种非充气防弹安全轮胎的车轮总成及其制造方法[P]. 中国:CN 102874044A,2013-01-16.
- [34] 阚国梁. 弹性结构体连杆连接式轮胎[P]. 中国:CN 101007489,2007-08-01.
- [35] 肖永清. 聚氨酯实心轮胎的结构特点和性能优势[J]. 化学工业,2013,31(9):39-42.
- [36] 余东满,朱成俊,曹龙斌,等. 光固化快速成型工艺过程分析及应用[J]. 机械设计与制造,2011(10):236-238.
- [37] 陈小文,李建雄,刘安华. 快速成型技术及光固化树脂研究进展[J]. 四川激光,2011,32(3):1-3.
- [38] Lee C S, Kim S G, Kim H J, et al. Measurement of Anisotropic Compressive Strength of Rapid Prototyping Parts[J].

Journal of Materials Processing Technology, 2007, 187/188: 627-630.

[39] Kruth J P, Wang X, Laoui T, et al. Lasers and Materials in Selective Laser Sintering[J]. Assembly Automation, 2003,

23(4): 357-371.

[40] Zach C. 3-D Production through the Cloud[J]. Appliance Design, 2014, 62(8): 23-24.

收稿日期: 2014-12-19

美国“双反”冲击我国轮胎行业

中图分类号: U463.341⁺.6 文献标志码: D

美国时间 2015 年 1 月 21 日, 美国商务部发布了对华乘用车及轻型载重轮胎反倾销初裁结果, 认定中国输美轮胎产品存在倾销行为。同时, 美国商务部公布了倾销及补贴合并有效初裁税率, 税率从 30.46% 至 169.28%。美国商务部在此次裁决中继续了这两年来不给予国有企业以分别税率的政策, 使得中策橡胶集团有限公司等大批企业税率高达 100.2%。该税率明显高于以前预期, 高于我国轮胎企业的承受能力。

“我们对美国对我国轮胎行业初裁表示强烈愤慨!” 中国橡胶工业协会轮胎分会史一锋秘书长说, “这是对我国轮胎行业的歧视行为, 是一种纯粹的贸易保护。尤其是美国无视世贸组织的相关裁决, 仍坚持不合理做法, 拒绝给予我国涉案的国有企业分别税率待遇, 这对我国国有企业是非常不公平的。实际上, 我国国有轮胎企业在出口中相对规范, 出口产品价格也相对较高。美国对我国轮胎企业征收如此高的关税, 使我国半钢轮胎出口美国几无可能, 这直接影响我国数万产业工人就业。”

青岛泰凯英轮胎有限公司王传铸总经理称: “如此高的税率, 对美国经销商来说是‘要钱’, 对国内大部分轮胎企业而言, 简直就是‘要命’。我国半钢轮胎出口美国之路基本堵死。”

近年来, 中国轮胎产品质量已有很大提高, 但同国外轮胎巨头相比, 品牌知名度仍然不够, 竞争力仍显不足。有业内人士分析, 在国外市场, 中国轮胎目前仍然主要依靠价格优势来竞争。因此, 提高关税对削弱中国轮胎的竞争力最为有效。按美国商务部公布的税率, 就算最低的税率 30.46%, 我国半钢轮胎出口美国也基本无路。资料显示, 2009 年“特保案”期间, 美国对中国轮胎实施限制关税, 为期 3 年, 其中, 第一年对从中国进口的轮胎加征 35% 关税, 第二年加征 30%, 第三年加征 25%。受此影响, 涉案轮胎对美出口量一度下降超过 60%, 中国对美轮胎总体出口量下

降多半。“相比‘特保案’, 此次‘双反’征收的税率如此之高, 且时间相对较长, 中国轮胎更难有招架之力。”这位业内人士感叹道, “如果是这样, 我国轮胎在美国的生路会彻底断绝。”

根据国家统计局及海关的数据, 我国轮胎产量 40% 出口, 其中 50% 出口美国。一旦美国出口受阻, 轮胎会寻找出路, 会去欧洲及其他国家。为了抢占市场, 就会开始降价, 每家的利润肯定会越来越薄。更致命的是“双反”可能会引起连锁反应, 其他国家效仿, 那么我国轮胎原出口部分只能在国内市场寻求出路。一位中国橡胶工业人士表示, 国内轮胎产能已经明显过剩, 在内销疲软背景下, 美国“双反”的推出势必会加速行业洗牌。目前其影响已经显现。现在我国半钢轮胎的开机率普遍较低, 好的企业在 80% 左右, 山东大部分企业开机率在 60% 以下。此次税率最高的山东永盛橡胶集团有限公司不得不停掉大部分生产线。山东相当多轮胎企业已定下从 2 月 10 日左右开始放春节假。

佳通轮胎股份有限公司认为, 虽然美国公布税率中佳通轮胎最低, 但这一税率是不合理的, 也是难以承受的。佳通公司会评估其影响, 调整经营策略。公司已计划在美国投资建厂, 并加快美国建厂进程。力争出口美国的轮胎就在美国本土生产。

我国还有一些企业同佳通公司持同样想法, 即在国外办轮胎厂规避关税, 如山东玲珑轮胎股份有限公司、杭州中策橡胶有限公司、金宇轮胎集团有限公司等, 大多选择在东南亚地区建厂。我国轮胎企业选择东南亚建厂, 一方面原因是看好原材料产地优势, 更重要原因是规避贸易摩擦。

我国半钢轮胎生产中, 内外资企业比例是 3:7, 外资占据绝对优势。近年来我国半钢轮胎发展加速, 出现了半钢轮胎投资热。美国“双反”对我国半钢轮胎形成严重信心打击, 不利于我国半钢轮胎民族工业的发展。

(摘自《中国化工报》, 2015-01-27)