

新型防爆安全轮胎的研究进展

唐帆¹, 黎广¹, 蒋水金¹, 强金凤¹, 路丽珠¹, 王闯²

(1. 安徽世界村新材料有限公司, 安徽 马鞍山 243000. 2. 安徽世界村智能装备有限公司, 安徽 马鞍山 243000)

摘要:介绍新型防爆安全轮胎的研究进展。分析传统轮胎行驶中爆胎、磨损、运转不平稳等故障与原因。重点介绍自密封轮胎、自支撑型充气保用轮胎、辅助支撑型充气保用轮胎等新型防爆充气安全轮胎, 防爆免充气实心轮胎(橡胶实心、聚氨酯实心、镂空实心)、胎面/支撑结构免充气轮胎、防爆免充气空心轮胎等新型防爆免充气安全轮胎, 以及新型防爆中空安全轮胎的产品结构和技术特点。新型防爆中空安全轮胎兼具充气轮胎和免充气轮胎的特点, 是未来新型防爆安全轮胎的发展方向之一。

关键词:防爆安全轮胎; 内胎; 免充气轮胎; 实心轮胎; 中空轮胎; 研究进展

中图分类号:U463.341

文献标志码:A

文章编号:2095-5448(2019)00-0000-06

DOI:10.12137/j.issn.2095-5448.2019.00.0000

作为车辆与地面唯一接触的重要部件, 轮胎的结构与性能对车辆行驶的安全性和舒适性起着极其重要的作用。传统充气轮胎由于自身结构特点决定了其在复杂的行驶环境中存在扎破或爆胎等安全隐患, 造成车辆通过性降低或者丧失机动性, 而备用轮胎会增加车辆负荷。为了提高轮胎安全性能, 仿生轮胎、零压续跑轮胎、防爆安全轮胎等新型轮胎不断涌现。使用发现, 仿生轮胎和零压续跑轮胎的安全性能提升空间有限, 在缺气失压后轮胎性能会显著下降, 而防爆安全轮胎还能保持良好的使用性能, 因此近年来备受关注, 研究成果不断涌现。本文介绍几种新型防爆安全轮胎的研究进展, 为未来安全轮胎的设计和选择提供参考。

1 传统轮胎行驶中的故障与原因

1.1 爆胎

爆胎已成为威胁汽车行驶安全的重要因素, 轮胎扎破、割口或穿孔、超载超速、胎压不正常都是造成爆胎事故的主要原因。轮胎气压过高或者超载超速, 会使胎面磨损加速, 轮胎承载和抗压能

力降低。轮胎气压过低, 胎体变形较大, 胎侧容易出现辗痕或裂口, 同时产生屈挠, 导致过度生热, 促使橡胶老化和帘布层疲劳或帘线折断, 还会使轮胎接地面积增大而加速胎肩磨损。此外, 长里程行驶、搭配不合理、轮辋不适合、维护不当等也会导致爆胎^[1-4]。

1.2 磨损

轮胎的正常磨损包括平稳行驶磨损、制动磨损、加速磨损与转向磨损; 非正常磨损包括充气压力不当、轮胎定位调整错误等。其中, 非正常磨损是影响轮胎正常使用的主因。车辆运行时, 滚动轮胎在车辆及其自身质量作用下, 胎面与带束层发生循环强制变形。充气压力越低, 强制变形越大, 导致摩擦温度升高, 滚动阻力增大, 轮胎急剧磨损。充气压力越高, 接地面积越小, 胎面中央部位磨损加剧。轮胎定位调整错误将导致轮胎严重偏磨, 同时将加剧胎面对角线的磨损^[5]。

1.3 运转不平稳

车辆在行驶中, 轮胎的磨损不可能沿轮胎圆周表面均匀分布。随着磨损加剧, 轮胎原有平衡状态打破, 导致轮胎运转不平稳。造成轮胎运转不平稳的原因还有: 轮辋挠曲、轮胎安装失准、轮胎偏心及制动抱死等。此外, 车辆跑偏、滚动噪声、橡胶老化等因素也会影响汽车的行驶性能, 其原因也与轮胎的充气状况有关。由此可见, 轮胎

作者简介:唐帆(1987—), 男, 江苏南京人, 安徽世界村新材料有限公司工程师, 硕士, 主要从事橡胶绿色高值化循环利用研究工作。

E-mail:736130360@qq.com

的充气状况对轮胎的安全、使用寿命、平稳性与操控稳定性等起着至关重要的作用,同时也是交通事故高发的原因,严重威胁行车安全^[6-7]。

2 新型防爆安全轮胎的研究现状

随着人们对车辆行驶安全性能和改善交通状况的要求越来越高,传统轮胎已经不能满足人们的要求,安全轮胎应运而生。根据轮胎安全技术可将安全轮胎分为两大类,即新型防爆充气安全轮胎和新型防爆免充气安全轮胎。

2.1 新型防爆充气安全轮胎

新型防爆充气安全轮胎采用补气保用技术,即充气轮胎遭到外物刺扎后,依然能保证汽车暂时或长时间稳定行驶。在不改变充气轮胎基本结构和性能的基础上,该技术可以提高轮胎的安全性能。新型防爆充气安全轮胎主要包括自密封轮胎、自支撑型补气保用轮胎、辅助支撑型补气保用轮胎等^[8-9]。

2.1.1 自密封轮胎

自密封轮胎的特点是行驶面被直径小于8 mm、长度小于10 mm(每个轮胎企业都有自定标准,此尺寸仅供参考)的尖锐物体扎破后,轮胎内壁涂敷的密封胶会在瞬间全方位将扎破处紧紧封住,不让轮胎内气体泄漏。拔去尖锐物体后,胶状物会自动记忆复位闭合,完全堵住漏洞,从而起到保护作用。

目前,德国大陆轮胎公司、法国米其林轮胎公司、美国固特异轮胎橡胶公司、意大利倍耐力轮胎公司、韩国韩泰轮胎公司和锦湖轮胎公司等已可以向汽车制造商提供配套自密封轮胎。

2.1.2 自支撑型补气保用轮胎

自支撑型补气保用轮胎采用独特的多层结构设计,胎侧增加了一层高强度支撑胶,结合强度优化的三角胶,使得胎侧强度远高于普通轮胎,大大降低了爆胎概率,确保轮胎在零胎压下依然能够支撑整车总质量,并保证车辆继续正常行驶一段时间。

1973年,固特异公司首次提出了自支撑型结构的补气保用轮胎,并于1994年开始批量生产并装配于车辆。受自身结构特点限制,早期的自支撑型补气保用轮胎胎侧硬、胎面窄、抓着性能和耐久性能较差。普利司通轮胎公司于2009年发布第

3代自支撑型补气保用轮胎,采用革新的胎侧增强配方和新型胎体骨架材料。第3代轮胎在补气行驶时产生的热量不到第1代产品的一半,在正常使用条件下,垂向刚度接近普通轮胎。

2.1.3 辅助支撑型补气保用轮胎

辅助支撑型补气保用轮胎通常由轮胎、内支撑体和轮辋3个部分组成。该轮胎将特制的内支撑体安装在轮辋上,轮胎充气压力正常时,支撑体与轮胎脱离,轮胎的各项性能与普通轮胎相当且不受支撑体影响。当轮胎充气压力下降或漏气时,在接地处轮胎冠部与支撑体接触,支撑体开始支撑汽车质量,汽车能够继续行驶。

军事车辆、高级别行政官员防暴车辆、军事冲突地区的政府、救援组织和私人承包商的装甲战车通常选配辅助支撑型补气保用轮胎。

2.2 新型防爆免充气安全轮胎

免充气轮胎目前还没有严格规范的定义,一般是指不借助空气压力而具有减震缓冲性能的轮胎。该轮胎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,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。

2.2.1 新型防爆免充气实心轮胎

新型防爆免充气实心轮胎按原材料分为橡胶实心轮胎和聚氨酯实心轮胎。前者由于原料消耗量大、质量大、能耗高、硫化时间长,发展受到制约,而后者在20世纪80年代奥地利LIM公司开发成功后在各国迅速发展,目前已经成为慢速轮胎中备受欢迎的轮胎^[10-12]。

2.2.1.1 橡胶实心轮胎

橡胶实心轮胎已经有上百年的生产历史,其主要特征是胎体质量大、弹性差、滚动阻力大、承载量大,适用于运动速度慢、负载量大的车辆。为了提高橡胶实心轮胎的弹性和缓冲性能并降低滚动阻力,近年来,橡胶发泡技术也应用于实心轮胎的生产中。橡胶实心轮胎主要包括橡胶外胎/免充气发泡内胎和橡胶弹性体复合体系发泡一体胎。

(1) 橡胶外胎/免充气发泡内胎

河间市海祺轮胎有限公司主要生产免充气发泡内胎,运用天然橡胶发泡技术,采取微闭孔整体发泡结构,使胎腔内部形成无数独立的气室,使内

胎与外胎紧密结合,增强了轮胎的支撑力度与弹性。该轮胎具有充气轮胎无法比拟的抗刺扎、免充气性能;缓冲性能好,行驶更安全、平稳;不受温度影响,不变形,不爆胎;使用寿命长达3年以上。目前世界各国都推行低碳环保绿色出行,城市公共自行车逐步普及。该轮胎免充气、寿命长、免维护,节省了大量后期维护的人力、物力、财力,成为公共自行车的标配。

(2) 橡胶弹性体复合体系发泡一体胎

中国科学院宁波材料所超临界流体绿色加工团队与中策橡胶集团有限公司合作,选用橡胶弹性体复合体系,通过真空和流体辅助加工制备了橡胶弹性体复合体系发泡一体胎。该轮胎在免充气的同时,还具有质量小、滚动阻力低、防滑、耐磨、防脱圈、舒适等特点。

研究团队选择的橡胶弹性体发泡体系便于复配,这在赋予发泡材料优异性能的同时解决了橡胶熔融加工的难题,使得发泡材料具有良好的耐磨、防滑、回弹性、抗压缩变形、耐高温性能,可广泛用于单车、电动助力车、平衡车、轮椅车、童车等低速两轮车领域。橡胶弹性体发泡体系便于染色,可赋予发泡一体胎丰富的色彩。

美国Nexo公司发明的Nexo Tires轮胎内部由大量Nexell发泡材料填充,弹性更出色,骑行更舒适,但最大行驶里程只有4 998 km。

2.2.1.2 聚氨酯实心轮胎

聚氨酯实心轮胎技术的研究起步于20世纪50年代,美国大卫兄弟公司利用聚氨酯弹性体开发了直接装配在电动车上的Durotane轮胎,英国邓禄普公司开发的聚氨酯实心轮胎用以运输质量特别大的货物。美国固特异轮胎公司在20世纪70年代开始研究聚氨酯实心轮胎,将聚氨酯材料粘接在轮辋上,再将轮辋直接安装在车轴上使用,该轮胎的配方和工艺均获美国专利^[13-14]。

聚氨酯作为具有热塑性的一种材料,环境温度对其影响很大,低温时会变硬、变脆,高温时会变软甚至会成为液体。实心结构的聚氨酯轮胎在运行时产生大量的热量排不出去,使轮胎变软、滚动阻力增大,使轮胎失去支撑作用,进而容易脱胎,严重时甚至会爆胎^[15-17]。鉴于此,德国Schwalbe公司开发了Schwalbe免充气轮胎。该轮胎由一条外

胎和一条免充气内胎组成,其中外胎由橡胶制成,免充气内胎由一条白色热塑性聚氨酯免充气轮胎和一个蓝色免充气环组成,免充气环能确保聚氨酯免充气轮胎与不同尺寸的轮辋兼容。该轮胎常规行驶里程约为1万km,无需维护,不会被刺穿戳破,更不用充气。这使其不仅适用于自行车,更适用于速度较快且质量较大的电动车。

发泡热塑性聚氨酯弹性体(E-TPU)使压缩材料恢复原始形状的作用力是普通发泡材料的两倍,正是以上特性使其用于免充气轮胎有别于迄今为止使用于实心轮胎的其他发泡材料。由数千个密封空气球形成一个高弹性气垫的E-TPU制成的内胎的性能比现有内胎好得多,将成为发展前景良好的内胎替代品。

2.2.1.3 镂空实心轮胎

广州市晨旭科技发展有限公司采用无毒环保材料(非普通橡胶)制备了镂空实心轮胎,申请专利“镂空加强筋免充气轮胎”(公开号CN 203046757U)。该轮胎具有缓冲性能好、抗刺扎、免充气与可回收利用等优点。经测试,该轮胎在 $45 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度与650~800 N的压力下,可持续行驶5 000 km。该轮胎广泛应用于摩拜单车、小鸣单车中。

中国石化巴陵石化公司根据客户需求,自主研发成功高性能环保氢化苯乙烯-丁二烯嵌段共聚物(SEBS)。该产品可用于制造实心自行车轮胎,拓展了SEBS应用领域,产品加工性能优于国际同类产品,成为国内共享单车轮胎企业的首选原料。

东莞市奥迪利塑胶原料有限公司针对自行车轮胎,专门研制了一款特殊级热塑性弹性体,可将热塑性弹性体直接一步注射成型为设计要求的自行车轮胎。该热塑性弹性体具有较好的耐候性和耐化学腐蚀性,更轻量化,使其在轮胎中的应用性能比传统的热固性橡胶更优异。该热塑性弹性体制成的轮胎经阳光暴晒后仍能保持良好的柔软性和高回弹性,材料可100%回收再使用,已通过欧盟的ROHS环保测试。

美国Nexo公司发明的Ever Tires轮胎,在内部设计的几个大洞内填充Nexell共混聚合物,即使轮胎浸泡在水中也不会进水,扎钉后可以继续行驶。Ever Tires轮胎可以支持缺气后行驶8 050 km

(5 000英里),不用装配打气筒和修理工具。但这款轮胎的滚动阻力较大,不适合竞赛使用。

2.2.2 新型胎面/支撑结构免充气轮胎

2004年米其林公司发布了概念轮胎Michelin X Tweel。这是一款先进的免充气子午线轮胎,彻底改变了现代轮胎必须由压缩空气提供支撑的做法,取而代之的是轮胎与轮辋一体化的设计,使轮胎和轮辋组成一个结实的整体。用于提供整条轮胎刚性的是从轮胎侧面辐射开来的网状支撑结构,该网状结构为轮胎提供支撑,同时通过支撑结构的形变来减小轮胎的震动,达到提高舒适性的目的。该轮胎配有硬性轮毂,该轮毂通过具有弹性、易变形的聚亚安酯轮辐与轮轴相连,轮胎上的所有部件构成一个统一运作的整体。与传统轮胎不同,该轮胎不用充气,因此解决了传统轮胎慢漏气后破坏路面、工地、农田等问题,且便于回收利用^[18-19]。

2008年美国国防部牵头Resilient技术公司和美国固铂轮胎公司利用仿生学原理共同开发出蜂巢轮胎。该轮胎巧妙地将蜂窝六边形或类细胞结构运用到轮胎轮辐上,不仅不用充气而且还可以起到减震作用,承载力和抵御力极强,不仅能够运输一些重物,而且能在汽车遇袭的情况下,使车辆以50~80 km·h⁻¹的速度继续行驶。此外,该轮胎摩擦发热低、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^[20-23]。

2011年普利司通公司发布了一款免充气概念轮胎,该轮胎采用网状编制结构,每根辐条的内周侧和外周侧与轮胎中心约呈45°夹角。该设计使胎面每处受力都可以由多条辐条分担,且轮胎滚动时可以将压力线性传递,达到与充气轮胎相同的性能。2014年普利司通公司推出第2代新型AirFree Concept免充气概念轮胎,该轮胎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,可优化轮胎的强度和缓冲性能。与第一代产品相比,该免充气概念轮胎承载能力提高,滚动阻力和材料可燃性降低,最大承载质量为410 kg,最高行驶速度为60 km·h⁻¹,更具实用性和接近商品化。该轮胎基于完全可回收材料开发,旨在应对全球

愈发严峻的气候环境,目前已经搭载在丰田小型电动车上。2017年普利司通公司还推出了一款免充气单车轮胎,这款轮胎采用可循环利用的热塑性橡胶制作而成,辐条被设计成曲线造型。由于采用与传统轮胎完全不同的结构,这款轮胎无需充气,也没有爆胎的危险,非常易于保养^[24-27]。

韩泰轮胎公司于2013年发布了i-Flex免充气安全轮胎,主要由聚氨酯合成材料制造而成,采用一种轮胎与轮辋相结合的概念技术,侧面构造如蜘蛛网状,再加上一个五花瓣形的强化支撑,轮胎的质量小于通常轮辋加轮胎的质量。i-Flex免充气安全轮胎内部结构十分复杂,每个均匀分布的小凸起都是一个微型减震器,可有效降低非充气安全轮胎的震动、噪声与油耗。值得一提的是,i-Flex免充气安全轮胎使用独特的环保设计,回收利用率可高达95%。韩泰轮胎公司于2015年7月发布的第5代i-Flex一体式新型免充气轮胎,也是免充气概念轮胎领域的新成果。该轮胎通过全面材料革新,在安全和环保方面取得突破。车辆质量由空气压力承担,不仅免除了车主确认胎压的负担,还可避免行驶过程中因胎压不足而导致的交通事故,安全性大幅提升。此外,免充气概念轮胎的制造过程简化,有利于节约能源、减少有害物质排放,符合环保要求。空心加强材料的应用与轮胎质量的减小能有效降低滚动阻力。据测试,免充气概念轮胎能使车辆滚动阻力降低5%以上^[28-31]。

2017年9月28日,固特异公司正式推出割草机免充气轮胎。该轮胎采用热塑性连接结构,实现了刚性与柔韧性的巧妙融合,在确保出色负载能力的同时,带来平稳的驾乘体验并最大程度地降低对草坪的破坏。该产品可变形并吸收冲击能量,进而保障平顺的驾乘体验。

深圳市金特安科技有限公司采用网状编制结构,每根辐条的内周侧和外周侧都与轮胎中心呈一定角度,使胎面每处受力都可以由多条轮辐分担,在轮胎滚动时将压力线性传递,使支撑结构发生弹性形变,吸收冲击力,减少车辆避震和悬架的负载,从而达到与充气轮胎相同的性能。

2.2.3 新型防爆免充气空心轮胎

江苏江昕轮胎有限公司开发了新型防爆免充

气空心轮胎,主要利用纳米技术改进传统材料,省去了钢丝和帘线等骨架材料,并缩短了生产线,可节省原材料10%,节约能源40%以上。该轮胎利用三角形力学原理,内外胎一体设计,在胎体内打若干大小不一的小孔,达到充气轮胎行驶效果。胎体不用充气,彻底免除了传统充气轮胎易漏气、易爆的缺陷和补胎、换胎的麻烦,寿命为普通轮胎的4倍。该轮胎的成本和价格与充气轮胎也十分相近。此外,轮胎内侧设有热交换器,使胎体内外的热、冷空气自动交换,具有防止轮胎老化的功能。在模具中先注射长条状半成品(孔隙为直孔),然后再根据相应的规格截断,再转入模具中硫化成型。该轮胎广泛用于自行车、电动自行车、高尔夫球车、儿童车、老年代步车、医疗器械车、摩托助力车等,在很大程度上缓解了共享单车与城市公共自行车维护难的问题^[32-33]。

2.3 新型防爆中空安全轮胎

安徽世界村新材料有限公司自主开发的新型防爆中空安全轮胎采用“外实-内空”的设计理念,即外部采用密封式的胎体包围(减小车辆行驶阻力,避免因长期积累杂质而在行驶中甩出造成危险及冬天骨架结冰造成弹性减弱及侧滑),内部采用酒桶拱形等骨架与胎体前后相连(骨架对胎体起支撑回弹作用并形成整体),骨架中部沿圆周方向连通圆形气体通道并在胎体内侧预留与内腔相通的充气口(气体经气体通道充满整个胎体内部空间,增强轮胎整体弹性),可根据不同用途轮胎的需求选择是否充气,以提高驾乘舒适性。

新型防爆中空安全轮胎以低成本的废旧轮胎处理后的再生橡胶为原材料替代传统生胶(天然橡胶、合成橡胶等),采用注射、中空、硫化一次成型工艺替代传统密炼-开炼-模压硫化成型工艺。该轮胎具备以下优势:(1)原材料成本降低;(2)生产工艺简化,效率提高,避免了各工序流转造成的热量流失、降低了工序流转成本和有害气体的无组织排放,解决了传统生产中重新加压、加温、耗能、耗时、成本高等传统弊病;(3)产品耐热、耐磨、耐候性能好且绿色环保,同一模具生产,质量稳定,内部骨架使轮胎承压均匀,轮胎动平衡均匀性好。新型防爆中空安全轮胎将广泛应用于单车、电动助力车、平衡车、轮椅车、童车等低速车领域。

3 展望

为满足人们对轮胎安全性能的要求,突破传统充气轮胎的基本结构,研发新型防爆安全轮胎成为当前轮胎发展的一种趋势。其中,新型防爆中空安全轮胎完全打破了传统轮胎设计理念,兼具充气轮胎和免充气轮胎的双重特点,具有革命性的意义。通过结构设计、配方优化和加工成型等方面的改进,新型防爆中空安全轮胎还将向安全、节能、环保、智能化方向发展^[34-35]。

参考文献:

- [1] 马双华,田栢苓,胡慧杰,等. 子午线轮胎发展综述[J]. 轮胎工业, 2009, 29(7): 387-390.
- [2] 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.
- [3] 曲晓海,杨中江,张宏壮,等. 新型汽车轮胎防爆内胎的研制[J]. 机械设计与制造, 2012(7): 97-99.
- [4] 佟金,杨欣,张伏. 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.
- [5] 李力. 中国可缺气行驶轮胎技术领域竞争及发展状况[J]. 汽车与配件, 2009(9): 39-41.
- [6] 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.
- [7] Rhyne T, Thompson R, Cron S, et al. Non-pneumatic Tire[P]. USA: USP 7 201 194, 2007-04-10.
- [8] 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.
- [9] 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): 183-188.
- [10] B Croporation. Non-pneumatic Tire[P]. JP:JP 078538, 2013-10-22.
- [11] Rhyne T B, Cron S M. Development of a Non-pneumatic Wheel[J]. Tire Science and Technology, 2006, 34(3): 150-169.
- [12] Gasmi A, Joseph P F, Rhyne T B, et al. Development of a Two-dimensional Model of a Compliant Nonpneumatic Tire[J]. International Journal of Solids & Structures, 2012, 49(13): 1723-1740.
- [13] Schmidt A R, Strohmayer H F, Sibrall W, et al. Reinforced Polyurethane Tires[P]. USA: USP 4519432, 1985-05-28.
- [14] Chung D A. Polyurethane Tire and Wheel Assembly[P]. USA: USP 4164251, 1979-08-14.
- [15] 肖军. 聚氨酯轮胎发展分析[J]. 化学工业, 2015, 33(10): 42-45.
- [16] 李浩,朱锡,梅志远. 聚氨酯基水声吸声材料的合成工艺及改性[J]. 塑料, 2010, 39(1): 20-24.
- [17] 李汉堂. 环保型材料——热塑性聚氨酯[J]. 特种橡胶制品, 2006, 27(1): 45-49.
- [18] Davis B. Michelin's Run-flat Tire Uses New Design[J]. Tire Business, 1997(3): 22-23.

- [19] 苏博.米其林非充气安全轮胎[J].橡胶科技市场,2009,7(12):12-13.
- [20] 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):266-268.
- [21] 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.
- [22] French T, Holmes T. How We Developed the Run Flat Tyre[J]. Physics in Technology, 1974, 5(3):160-165.
- [23] 杨欣,许述财,佟金,等.内支撑式RFT零压行走机理分析[J].清华大学学报(自然科学版),2014,54(7):871-876.
- [24] 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.
- [25] Naresimhan 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,2010.
- [26] J U J, Veeramurthy M, Summers J D, et al. Rolling Resistance of a Non-pneumatic Tire Having a Porous Elastomer Composite Shear Band[J]. Tire Science and Technology, 2013, 41(3):154-173.
- [27] Heo H, Ju J, Kim D M, et al. A Computational Study of the Flow around an Isolated Non-pneumatic Tire[J]. SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems, 2014, 7(1):405-412.
- [28] Narasimhan A, Ziegert J, Thompson L. Effects of Material Properties on Static Load-Deflection and Vibration of a Non-pneumatic Tire during High-speed Rolling[J]. SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems, 2011, 4(1):59-72.
- [29] Zhao Y Q, Zang L G, Chen Y Q, et al. Non-pneumatic Mechanical Elastic Wheel Natural Dynamic Characteristics and Influencing Factors[J]. Journal of Central South University, 2015, 22(5):1707-1715.
- [30] Ju J, Kim D M, Kim K. Flexible Cellular Solid Spokes of a Non-pneumatic Tire[J]. Composite Structures, 2012, 94(8):2285-2295.
- [31] Ju J, Summers J D, Ananthasayanam B, et al. Design of Cellular Shear Bands of a Non-pneumatic Tire Investigation of Contact Pressure[J]. SAE International Journal of Passenger Cars Mechanical Systems, 2010, 3(1):598-606.
- [32] 黄如谏.江昕轮胎 美轮美“还”——探秘防弹型免充气空心轮胎王者系列报道之一[J].中国轮胎资源综合利用,2015(2):16-22.
- [33] 高兴.江昕.核心科技打造高质量轮胎[J].电动自行车,2017(9):27-29.
- [34] 施红星,杜宏云.推动我国绿色轮胎发展进程[J].上海汽车,2004,(10):35-36.
- [35] 蔡为民.推动绿色轮胎产业化发展迫在眉睫[J].橡塑技术与装备,2012,38(10):1-2.

收稿日期:2018-07-11

Research Progress on New Explosion-Proof Safety Tires

TANG Fan¹, LI Guang¹, JIANG Shuijin¹, QIANG Jinfeng¹, LU Lizhu¹, WANG Chuang²

(1. Anhui GVG New Material Co., Ltd. Ma'anshan 243000, China; 2. Anhui GVG Intelligent Equipment Co., Ltd. Ma'anshan 243000, China)

Abstract: The research progress of new explosion-proof safety tires was presented. The issues such as puncture, wear and unsteady running of traditional tires and the related causes were analyzed. New types of explosion-proof pneumatic tires including self-sealing tire, self-supported run-flat tire and auxiliary supported run-flat tire, explosion-proof non-pneumatic tires such as explosion-proof solid tires including rubber type, polyurethane type and hollow solid type, non-pneumatic tire with tread/support structure and explosion-proof non-pneumatic hollow tires were mainly introduced. Particularly, their structure and technical characteristics were discussed. The new explosion-proof hollow tire combined the characteristics of pneumatic tire and non-pneumatic tire, and was one of the development directions of explosion-proof tires in the future.

Key words: explosion-proof safety tires; inner tube; pneumatic tire; solid tire; hollow tire; research progress