

# 双碳战略背景下轮胎创新应用研究进展 (下)

唐帆<sup>1</sup>, 聂卫云<sup>2</sup>

(1. 安徽世界村新材料有限公司, 安徽 马鞍山 243000;

2. 南京鲸翼电力新能源有限公司, 江苏 南京 211200)

**摘要:** 双碳背景下绿色、节能、减排、碳转化利用等将逐步成为全球各行各业生产生活的首要要求, 而轮胎行业发展趋势逐渐向绿色化、数智化方向变革。本文简要阐述双碳背景下国内外轮胎的发展现状及存在问题, 并指出轮胎行业未来发展需从技术创新着手, 从轮胎核心原材料、轮胎结构、轮胎工艺与装备、轮胎结构的数字化设计、轮胎生产智能化等多角度加强自主或合作创新, 打造出超低滚阻、高抗湿滑、超强静音等优异特性的轮胎系列产品, 实现双碳目标逐步渗透入轮胎研发、生产、消费全领域。基于新能源汽车崛起为契机, 未来中国将有望成长为名副其实的轮胎强国。

**关键词:** 轮胎; 双碳战略; 创新; 研究进展

**中图分类号:** TQ330.1

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-797X(2024)11-0007-06

**DOI:**10.13520/j.cnki.rpte.2024.11.002

(接上期)

## 4.2.2 天然弹性体

天然弹性体作为生物基弹性体中重要组成部分, 在大到国防军工中, 小到人们日常生活中承担着举足轻重的作用。研究人员一方面探索新型生物基合成弹性体及其制备方法, 另一方面探寻针对天然橡胶的复合改性方法并寻求新的天然橡胶的替代品如杜仲胶、蒲公英橡胶等第二天然弹性体。

天然橡胶作为与煤炭、钢铁、石油并称的四大战略资源, 被广泛应用于航空航天、汽车、医疗卫生等领域。目前天然橡胶将近应用于近4万多种橡胶制品中, 因其具备高弹性、高强度、优异的绝缘性能和耐磨性能等优异性能而被人类始终坚持探索与研究着。X ZHANG等<sup>[34]</sup>制备环氧化改性天然橡胶兼具二者拉伸结晶和抗湿滑性能双重优势, 将可能应用于轿车轮胎胎面。N LORWANISHPAISARN等<sup>[35]</sup>研发出一种声化学法制备环氧化改性天然橡胶, 产品性能(如粘度、初始塑性值和塑性保持率等)相比于传统方法制备产品均优。

自然界中发现与天然橡胶同分异构体的生物基聚合物为杜仲胶, 因在室温下自身结晶特性而表现出硬塑料难以被推广直接使用。现今对于杜仲胶研究主要

为针对其改性或与其他橡胶共混并用<sup>[36-37]</sup>。X QI等<sup>[38]</sup>首次实现杜仲胶在铈催化作用下转化成氢化杜仲胶。研究发现氢化杜仲胶中氢化度超过16.5%时, 室温下表现出弹性体且具备较好的拉伸强度和韧性, 具备替代天然橡胶的可能。程前等<sup>[39]</sup>将杜仲胶与异戊橡胶复合并用, 研究发现杜仲胶比例增大后, 复合胶拉伸强度与拉伸伸长率下降, 定伸应力上升。

自然界中发现另一种从橡胶草中提取出来的蒲公英橡胶, 对其研究最早起始于欧美国家, 美国俄亥俄州立大学于2007年启动“卓越计划”<sup>[40]</sup>, 针对蒲公英橡胶和银菊胶研究, 此后日本参与该计划。欧盟于2008年启动“珍珠计划”和“驱动计划”, 针对生物质能源和可再生橡胶研究。德国大陆轮胎公司于2013年成立蒲公英橡胶研发中心<sup>[41]</sup>。中国于2015年4月成立蒲公英橡胶产业技术创新战略联盟, 中国蒲公英橡胶的商业开发进入快速发展期<sup>[42]</sup>。YF CHENG等<sup>[43]</sup>研究橡胶草基因组, 针对多种条件下组织表达情况研究, 为橡胶草基因的功能化和遗传改良提供数据支撑, 对蒲公英橡胶产量的提高具有重要科研意义。

**作者简介:** 唐帆(1987-), 男, 高级工程师, 经理, 硕士研究生, 主要从事废橡胶绿色高值化循环利用研究工作。

**收稿日期:** 2023-11-28

### 4.3 其他新材料的应用

#### 4.3.1 环保纳米氧化锌

橡胶行业中,氧化锌属于一种硫化活性剂,在橡胶体系中存在明显团聚现象,后针对此问题,发展到纳米氧化锌即增大比表面积来提升分散效果,但所含重金属锌存在不环保问题始终未得到解决,直接限制其应用。米其林公司为保证橡胶制品的环保型,虽无法彻底不使用,但将氧化锌用量已减到较低水平,如胎面胶中氧化锌用量仅为1份<sup>[44]</sup>。

环保纳米氧化锌是通过木质素对纳米氧化锌进行改性,改性后的产品分散效果得到很大提升,优点:

(1) 实际配方中,实现环保纳米氧化锌与普通氧化锌或纳米氧化锌等量替代,相当体系中不环保重金属锌比例减少20%~40%。

(2) 环保纳米氧化锌相对密度得到大大降低,有利于橡胶制品轻量化。

(3) 由于木质素来源较为容易,大大降低原材料成本。

#### 4.3.2 改性聚双环戊二烯

聚双环戊二烯属于一种交联三维网状型兼具刚性与韧性的热固性工程塑料,具备质轻、吸水率低、耐化学腐蚀、涂饰性好等优点,应用前景广阔。近年来,针对聚双环戊二烯改性逐渐成为新的研究热点。如由上海东杰高分子材料有限公司研发的改性聚双环戊二烯<sup>[45]</sup>,经应用测试,发现具备密度低和钢性强的优点,目前被应用于汽车轻量化车身材料,开创性提出其在免充气轮胎中的应用潜力,有望推动骨架材料和免充气轮胎技术的进步和突破。

## 5 轮胎结构的创新发展

### 5.1 子午线轮胎

自米其林公司于1946年开发出全球第1条子午线轮胎,掀起轮胎工业一场革命。子午线轮胎分全钢和半钢子午胎,其中全钢子午胎由钢丝为骨架制成,可支持更高的载重和支撑性,应用于货车、自卸车等大型车辆;半钢子午胎由尼龙帘线或人造丝为骨架制成,胎面采用钢丝束层加强胎体,应用于轿车、SUV等家用汽车<sup>[46,47]</sup>。据统计,每年高速公路46%的交通事故由扎胎或爆胎等引起。

德国马牌于2002年发明全球首条补气保用轮胎,经多年发展至今包括自封式和刚性支撑式两大类。佳通驾控P80RFT采用双层高碳钢带束钢丝交叉叠加与

双层零度缠绕冠带层技术,大大降低轮胎因扎破而发生事故的风险,将补气保用技术发挥到极致<sup>[48]</sup>。

针对子午线轮胎吸振能力弱、胎面噪声大等缺陷,各大轮胎品牌都在研发轮胎静音技术,大多通过在轮胎内添加静音棉等方式来降低轮胎行驶中产生的噪音。部分轮胎企业研发出独特的静音设计,如米其林公司推出的Acoustic静音技术即特别设计结构的聚氨酯海绵置于轮胎内侧,行驶中产生噪音与其共振进而消音<sup>[49]</sup>。德国马牌ComfortContact系列采用独特消音舱设计即轮胎行驶中气流流经胎面产生噪音被吸入腔室共振,噪音中的高频声波被消音舱吸收<sup>[50]</sup>。

轮胎性能受温度等因素影响较大,玲珑轮胎企业采用AWT(Adjustable with temperature)温度自适应技术<sup>[51]</sup>,实现不同温度条件下,轮胎胎面配方原料及时转换胶料内部分子组合构象,调整胶料动态性能,保持稳定干湿地抓地性能,实现轮胎在秋冬季低温下具有和夏季相同的制动性能,保证驾驶的安全性,该技术已成功在欧洲新产品上投入使用,如图5所示。

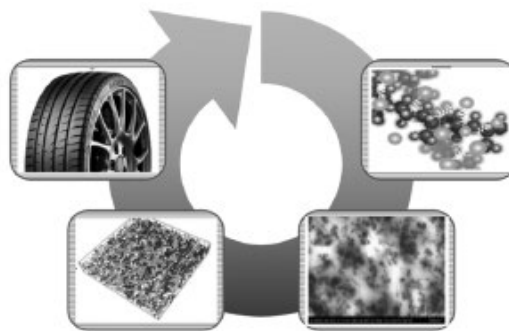


图5 AWT温度自适应技术轮胎胎面配方原料内部分子组合转换图

### 5.2 自修复轮胎

因爆胎引发的交通事故不断增多即轮胎安全=生命安全,为加强轮胎安全性,从2008年开始多家轮胎企业先后推出自修复轮胎。随着GB/T 38510—2020《涂覆式刺扎自密封轮胎自密封性能评价》于2021年2月1日正式实施,标志自修复轮胎获得政府认可,发展迎来时代的风口。

通用股份旗下千里马涂覆式刺扎自密封轮胎即应用高分子纳米复合材料技术促使轮胎拥有自修复特殊功能。该技术于2022年被升级后应用于新能源汽车,实现扎钉后快速自动修补,无需补胎,为新能源汽车提供高安全保障<sup>[52]</sup>。中策橡胶公司于2022年申请《一种自修复轮胎密封胶及其制备方法和自修复轮胎》发

明专利<sup>[53]</sup>。针对全钢载重子午线轮胎应用需求,万达宝通开发出自修复材料(SSR胶料),经试验实现被扎后充气压力保持率在99.4%。正新旗下玛吉斯轮胎在多规格轮胎上均使用MAXXIS SEAL自修补技术。中橡狼牌开发自修复材料应用于乘用车子午线轮胎,实现轮胎6 000次钢钉刺扎仍不漏气。玲珑轮胎推出Seal in自修复轮胎,相比于市场上同类自修复轮胎,可实现在50℃高温和-25℃低温下自修复效果好,200 km·h<sup>-1</sup>超高速行驶不融胶<sup>[54]</sup>。

### 5.3 免充气轮胎

纵观轮胎发展史,自发现橡胶以来,轮胎由最初实心轮胎发展成充气轮胎,实现轮胎重大飞跃,一致沿用至今。现今因轮胎爆胎安全性问题凸显,免充气轮胎因可实现防爆防扎而将引来良好发展趋势。虽免充气轮胎在轮胎市场占比很小,多数品种还处于研发初期,但经多年发展打下了坚持的基础。

江昕轮胎企业于2000年开始自行研发并生产免充气轮胎。产品内腔由钢带和支撑架形成的多组品字形空腔结构,兼具弹性好、导热快、滚动阻力低与承载能力强等特点,解决同类型轮胎在相对高速行驶过程中出现散热慢及重载变形等痛点,产品主要应用于自行车、电动车、代步车、平衡车等领域,为同类产品更好的设计提供新思路及宝贵的实践经验<sup>[55]</sup>。丰源轮胎企业于2016年推出防爆破、防漏气、防静电安全轮胎,采用胎侧涂有无静电且坚硬的支撑胶,防止轮胎漏气及过热发生火灾<sup>[56]</sup>。双星轮胎企业于2022年推出SAFORTSF520“全防爆”安全轮胎,采用独特设计配方和SAFORT魔性支撑体结构技术,一方面实现胎体支撑+降噪+舒适完美结合,另一方面实现轮胎因漏气造成车辆倒翻机率大大降低,直接应用于所有乘用车上<sup>[57]</sup>。北京化工大学采用热塑性高分子材料作为胎体和轮辋材料,设计出胎体内部为倒锥形通孔结构的非充气轮胎,一方面大大降低轮胎的重量,另一方面增加轮胎的回弹性<sup>[58]</sup>。

## 6 轮胎生产工艺与装备的创新发展

传统轮胎依次采用密炼机+压延机组合的炼胶工序-胶囊反包成型机的硫化成型工艺。炼胶工序存在以下问题:

(1) 属间歇式混炼,无法解决间歇式混炼所固有缺陷-得到混炼胶产品质量不均匀问题。

(2) 虽炼胶中基本可密闭,但上料和下料阶段无

法实现密闭,产生大量粉尘等污染物,一方面造成资源浪费,另一方面对车间环境造成严重污染。

(3) 高能耗即能耗占橡胶整体加工能耗一半以上。虽对炼胶产品均匀性和过程环保性问题,经一系列创新发展如用连续式混炼机代替密炼机,但产生了新问题如混炼产品因在设备中停留时间短而不够充分均匀<sup>[59]</sup>。

打破固定思维,从混炼工艺、装备及原材料源头考虑,美国卡博特公司于2001年创造性提出湿法混炼技术,最大限度提升炭黑填料在胶乳中分散程度,得到耐磨性、耐屈挠疲劳性等性能优异的产品,实现生产成本降低、混炼工艺简化、生产环境改善。此后国内外轮胎企业陆续开始针对性研发,全球(如美国、日本、法国、韩国等)陆续出现有关湿法混炼技术的专利保护。中国湿法混炼技术研发起步较晚,基于汽车工业环保意识增强及双碳背景下,低能耗、低滚阻、高环保、耐磨、耐湿滑的“绿色轮胎”受到广泛关注。在高校,华南理工大学、青岛科技大学、北京化工大学、四川大学等针对湿法混炼技术实现混炼原材料中各组分之间相互作用机理、分散的均匀性与稳定性等问题进行系统研究与应用,但未能真正实现产业化应用<sup>[60-61]</sup>。基于新的橡胶补强理论体系基础,怡维怡橡胶研究院联合益凯新材料、赛轮集团提出液相状态下橡胶溶液与填料浆液连续混炼的新思路<sup>[62]</sup>,攻克纳米填料表面处理等多项关键核心技术,创造性研发出打破困扰轮胎行业的“魔鬼三角”定律即轮胎无法同时兼顾滚动阻力、抗湿滑性能和耐磨性能-液体黄金轮胎。采用新型橡胶复合材料EVEC胶,经全球首创化学炼胶技术制得,为轮胎产品带来节能性、安全性、环保性、舒适性、静音性等性能全面提升,被誉为“世界橡胶轮胎工业第四个里程碑式的技术创新”。赛轮集团与国内多家知名车企配套合作,已在国内外市场销售超1000万条液体黄金轮胎。

## 7 轮胎结构的数字化设计的创新发展

轮胎产品开发中轮胎结构设计属于十分重要的一个环节,直接影响轮胎性能、成本及完成周期。轮胎研发中,传统方法为工程师仅依靠自身经验来针对产品研发中质量问题提出解决方案,经试验反复验证优化,最终得最优产品,造成研发周期大大延长,产品质量难以获质的飞跃。目前应用最多的子午线轮胎中全钢商用车子午线轮胎实际行驶中因应力集中而部分易

发生损坏如胎冠、胎侧易出现冠空、肩空、胎圈裂等现象，而中国载重子午线轮胎翻新率 10% 以下，造成橡胶资源极大浪费。此类问题仅依靠工程师经验来改进，技术突破十分有限且周期漫长<sup>[63]</sup>。

基于科学进步，尤其计算机发展，数字化技术作为一种新兴生产力，已成为轮胎行业重要驱动力，轮胎行业进入全新创新年代。全球头部知名轮胎企业很早将数字化设计与仿真、设计仿真一体化应用于轮胎结构设计中，并建立自己的新轮胎设计体系。在中国，北橡院于 20 世纪 80 年代初开始针对原料配比与轮胎性能关系而开发配方设计软件，并将 CAD 软件应用于轮胎结构设计，大大简化轮胎的研发步骤，缩短研发周期。轮胎结构的数字化设计重要研究成果之一为哈尔滨工业大学“变约束平衡轮廓 (VCEP) 设计理论”，应用于双钱轮胎企业载重子午线轮胎中，实现胎圈耐久时间由 100 h 延长到 130 h，轮胎翻新次数达 3 次<sup>[64]</sup>。

## 8 轮胎生产智能化的创新发展

“双碳”战略和“中国制造 2025”背景下，中国轮胎生产正加速朝绿色低碳、智能制造方向靠拢。各大轮胎企业将绿色低碳、智能制造作为突破点，加快轮胎生产转型升级，产生诸多智能科技成果。如米其林公司研发集指挥+控制+通讯与制造一体化系统 (C3M) 技术即连续低温混炼-直接挤出-成型鼓上一次性完成轮胎成型 (成型鼓上依次编织/缠绕骨架层-预硫化环状胎面-轮胎电热硫化)，应用于宽车系列轮胎、摩托车轮胎等高性能轮胎，将传统生产工艺七步转变为一步完成，一方面大大简化生产环节，提升生产效率，在生产成本、环保、节能及产品质量及稳定性方面得到更大提升，另一方面基建投资节省 50%，占地减少 50%~90%，原材料消耗减少 90%<sup>[65]</sup>。

近年来，中国轮胎智能化解决方案陆续产生新成果，如联亚智能紧密围绕轮胎行业转型升级智能化生产需求，推出轮胎静音材料全自动贴合技术与装备、轮胎全氮气硫化电加热技术与装置、自修复轮胎生产线、全自动胶条缠绕机、全钢钢丝缠绕系统、全自动包布/包胶机及联动线等多项蕴含原创技术的智能装备产品。国内各大轮胎企业对轮胎生产智能化重视程度也越来越高。据中国科学院《互联网周刊》于 2023 年 6 月发布“2023 工业互联网 500 强”中轮胎企业有三家即三角轮胎 (第 73 位)、中策橡胶 (第 155 位)

和赛轮集团 (第 200 位)。轮胎“十四五”规划在《科技创新》一章中，关于推动轮胎生产智能化建设需在国家知识产权保护下加强合作创新，扩大和加速轮胎生产智能化的实施<sup>[66]</sup>。

## 9 结语

双碳背景下，绿色、节能、减排、碳转化利用等将逐步成为全球各行各业的生产生活的首要要求。基于国家政策驱动及轮胎市场需求的改变，这将推动轮胎行业产品结构加速调整，趋势逐渐向绿色化、数智化方向变革，为轮胎产业带来新的挑战和新的发展机遇。

全球汽车行业正经历一场百年未有的变局和革命，在支持新能源政策如购车补贴和免征购置税政策两大主推市场引擎下，抛弃传统燃油车、拥抱新能源汽车将成为未来的必然趋势，这为轮胎行业创造出巨大的轮胎配套及替换市场。新的标准、新的赛道对轮胎行业提出更高要求，自 2010 年国家工信部发布《轮胎产业政策以来》，在全国各地陆续推出针对调整轮胎产业结构、提升行业集中度、淘汰落后产能等政策，中国轮胎产业也在逐渐向高端化、智能化、绿色化的方向发展，要想在竞争中获得一席之地，需要从技术创新着手，从轮胎核心原材料、轮胎结构、轮胎工艺与装备、轮胎结构的数字化设计、轮胎生产智能化等多角度加强自主或合作创新，打造出超低滚阻、高抗湿滑、超强静音等优异特性的轮胎系列产品，实现双碳目标逐步渗透入轮胎研发、生产、消费全领域，未来成为名副其实的轮胎强国<sup>[67-68]</sup>。

### 参考文献：

- [1] 苏博. 加强碳管理、摸清碳足迹，正成为轮胎企业刚需 [J]. 中国橡胶, 2023, 39(06):31-33.
- [2] 杨宏辉. 实现“双碳”目标，橡胶企业大有可为 [J]. 中国橡胶, 2022, 38(05):15-17.
- [3] P Sahu, JS Oh. Biobased elastomer from renewable biomass  $\beta$ -farnesene: Synthesis, characterization, and properties [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2022, 61(32):11 815-11 824.
- [4] 张立群. 我国轮胎循环利用行业的科技创新与实践 [J]. 中国轮胎资源综合利用, 2023, (05):28-35.
- [5] 包检青, 王其营. 轮胎生产企业碳排放碳中和的管理及规划 [J]. 橡塑技术与装备, 2023, 49(01):70-75.
- [6] 李慧敏, 刘宝涛, 张凯凯, 等. 电动车轮胎的发展现状及开发设计 [J]. 橡塑技术与装备, 2023, 49(01):19-26.
- [7] 侯亮. 轮胎产业的市场现状与发展趋势分析 [J]. 橡塑技术与装备, 2021, 47(13):7-9.

- [8] 陈志宏, 胡浩, 赵敏. 创新, 综合创新, 再创新——共同实现轮胎全行业高质量发展[J]. 橡胶工业, 2023, 70(09):643-654.
- [9] 董华, 孙小淇, 李默. 中国轮胎产业技术创新现状、问题及发展对策[J]. 化工管理, 2022, (22):7-11.
- [10] 张仁瀚. 美国“双反”措施对我国轮胎产业的经济效应影响研究[D]. 云南: 云南财经大学, 2023.
- [11] 史一锋. 我国轮胎行业的发展现状与展望[J]. 轮胎工业, 2022, 42(11):643-649.
- [12] 吴桂忠, 李士建. 百年变局叠加世纪疫情, 我国轮胎企业怎么办[J]. 中国橡胶, 2022, 38(11):16-19.
- [13] 史一锋. 浅谈百年变局对轮胎行业的影响和面临的突出问题[J]. 中国橡胶, 2023, 39(05):10-13.
- [14] 张敏娜, 邓洋, 韩慧泽. 我国废旧轮胎资源化综合利用技术现状研究[J]. 资源节约与环保, 2023, (03):8-11.
- [15] 田晓龙, 郭磊, 王孔烁, 等. 废旧轮胎循环与资源化利用发展现状[J]. 中国材料进展, 2022, 41(01):22-29.
- [16] 刘鹤, 陈静, 罗忠瑞. 我国废旧轮胎回收再利用的方法探究[J]. 资源节约与环保, 2022, (11):123-128.
- [17] NY NING, SQ LI, HG WU, et al. Preparation, microstructure, and microstructure-properties relationship of thermoplastic vulcanizates(TPVs): A review[J]. Progress in Polymer Science, 2018, 79:61-97.
- [18] 吴思武, 唐征海, 郭宝春. 动态共价键交联橡胶的设计和性能[J]. 高分子学报, 2019, 50(05):442-450.
- [19] LM Polgar, M van Duin, AA Broekhuis, et al. Use of Diels-Alder Chemistry for Thermoreversible Cross-Linking of Rubbers: The Next Step toward Recycling of Rubber Products?[J]. Macromolecules, 2015, 48(19):7 096-7 105.
- [20] D Aaontarnal, M Capelot, F Tournilhac, et al. Silicalike malleable materials from permanent organic networks[J]. Science, 2011, 334(6058):965-968.
- [21] J Liu, Y Wu, JX Shen, et al. Polymer-nanoparticle interfacial behavior revisited: A molecular dynamics study[J]. Phys Chem Chem Phys, 2011, 13(28):13 058-13 069.
- [22] YJ LIU, ZH TANG, J CHEN, et al. Tuning the mechanical and dynamic properties of imine bond crosslinked elastomeric vitrimers by manipulating the crosslinking degree[J]. Polymer Chemistry, 2020, 11(7):1 348-1 355.
- [23] Y Chen, ZH Tang, XH Zhang, et al. Covalently Cross-Linked Elastomers with Self-Healing and Malleable Abilities Enabled by Boronic Ester Bonds[J]. ACS Appl Mater Interfaces, 2018, 10(28):24 224-24 231.
- [24] C Lv, KF Zhao, JP Zheng. A highly stretchable self-healing poly(dimethylsiloxane) elastomer with reprocessability and degradability[J]. Macromol Rapid Comm, 2018, 39:1 700 686-1 700 687.
- [25] ZH Tang, YJ Liu, QY Huang, et al. A real recycling loop of sulfur-cured rubber through transalkylation exchange of C-S bonds[J]. Green Chem, 2018, 20(24):5 454-5 458.
- [26] ZH Tang, YJ Liu, BC Guo, et al. Malleable, Mechanically Strong, and Adaptive Elastomers Enabled by Interfacial Exchangeable Bonds[J]. Macromolecules, 2017, 50(19): 7 584-7 592.
- [27] 吉海军, 乔荷, 王朝, 等. 生物基合成橡胶的研究进展[J]. 材料工程, 2019, 47(12):1-9.
- [28] JM Yang, G Zhao, YZ Sun, et al. Bio-isoprene production using exogenous MVA pathway and isoprene synthase in escherichia coli[J]. Bioresource Technology, 2012, 104(1):642-647.
- [29] OA Abdelrahman, DS Park, KP Vinter, et al. Renewable isoprene by sequential hydrogenation of itaconic acid and dehydradecyclization of 3-methyl-tetrahydrofuran[J]. ACS Catalysis, 2017, 7(2):1 428-1 431.
- [30] 邓京波. ETB Global 公司和 Trinseo 公司共同开发从乙醇生产高纯度生物基 1,3-丁二烯的技术[J]. 石油炼制与化工, 2021, 52(12):48-49.
- [31] PG Machado, A Walter, M Cunha. Bio-based propylene production in a sugarcane biorefinery: A techno-economic evaluation for Brazilian conditions[J]. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 2016, 10(5):623-633.
- [32] QN ZHANG, MZ SONG, YY XU, et al. Bio-based polyesters: Recent progress and future prospects[J]. Progress in Polymer Science, 2021, 120:101 430-101 431.
- [33] 王润国, 孙超英, 安晓鹏, 等. 生物基弹性体的研究进展[J]. 橡胶工业, 2023, 70(09):675-685.
- [34] X ZHANG, KJ NIU, WX SONG, et al. The effect of epoxidation on strain-induced crystallization of epoxidized natural rubber[J]. Macromolecular Rapid Communications, 2019, 40(14):1 900 042-1 900 042.
- [35] N LORWANISHPAISARN, P SAE-OUI, C SIRISINHA, et al. A new approach to the epoxidation of natural rubber through a sonochemical method[J]. Industrial Crops and Products, 2023, 197:116 629-116 630.
- [36] 袁引弟, 闫思梦, 于金志. 并用橡胶复合材料的结构特点与性能[J]. 应用化工, 2023, 52(09):2 703-2 707.
- [37] 冷泽健, 岳盼盼, 陈婕. 天然杜仲胶的改性及应用研究进展[J]. 生物物质化学工程, 2021, 55(06):49-58.
- [38] X QI, X ZHAO, YX LI, et al. A high toughness elastomer based on natural *Eucommia ulmoides* gum[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2020, 138(11):50 007-50 008.
- [39] 程前, 康海澜, 李龙, 等. 杜仲胶与异戊橡胶并用胶的力学性能及动态性能[J]. 弹性体, 2022, 32(1):1-5.
- [40] 钱伯章. 福特汽车利用蒲公英研发合成橡胶[J]. 世界橡胶工业, 2011, 38(06):31-32.
- [41] 朱永康. 大陆集团推进蒲公英橡胶的研究[J]. 世界橡胶工业, 2016, 43(10):39-40.
- [42] 崔树阳, 张继川, 张立群等. 蒲公英橡胶产业的研究现状与未来展望[J]. 中国农学通报, 2020, 36(10):33-38.
- [43] YF CHENG, JX LUO, H LI, et al. Identification of the WRKY gene family and characterization of stress-responsive genes in *Taraxacum kok-saghyz* rosin[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(18):10 270-10 271.
- [44] 李滨, 刘超, 陈峻峰. 改性木质素绿色化学湿法混炼对橡胶与橡胶助剂性能的提升[J]. 橡胶工业, 2021, 68(12):883-889.
- [45] 张婷婷, 刘东立, 许宁, 等. 改性聚双环戊二烯在免充气轮胎中的应用潜力探究[J]. 橡胶科技, 2022, 20(11):540-542.
- [46] 张璋. 子午线轮胎生产技术的发展[J]. 自动化应用, 2023,



- 64(S1):32-34.
- [47] 吴桂忠. 高性能子午线轮胎研发、生产和试验研究概况及发展趋势 [J]. 中国橡胶, 2022, 38(02):17-26.
- [48] 章佳. 佳通轮胎: 以科技赋能发展, 以创新引领未来 [J]. 中国对外贸易, 2022, (01):25-27.
- [49] 张俊良. 世界知识产权局公布米其林静音聚氨酯轮胎发明 [J]. 化学推进剂与高分子材料, 2014, 12(02):28-29.
- [50] 卫东. 德国马牌 ComfortContact CC6 [J]. 汽车与运动, 2021, (09):72-73.
- [51] 本刊编辑部. 玲珑轮胎 AWT 技术投入使用 [J]. 轮胎工业, 2021, 41(04):273-374.
- [52] 池瑜莉, 王童, 陈轶嵩, 等. 车用自修复材料现状及未来发展趋势 [J]. 汽车文摘, 2021, (10):20-25.
- [53] 刘辉, 陆晓祺, 董兴旺, 等. 一种自修复轮胎密封胶及其制备方法和自修复轮胎 [P]. 中国:CN 114058293A, 2022-02-18.
- [54] 刘勇, 苟增亮, 李明. 自修复材料在全钢载重子午线轮胎中的应用 [J]. 轮胎工业, 2021, 41(01):19-21.
- [55] 王明江. 将免充气空心轮胎推向新高度 [J]. 中国橡胶, 2020, 36(01):2-3.
- [56] 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(02):81-83.
- [57] 王竹清, 王伟. 基于拓扑优化与仿生理念的免充气轮胎 [J]. 弹性体, 2022, 32(05):20-25.
- [58] 刘超, 吴晓辉, 卢咏来, 等. 非充气轮胎中剪切带结构与材料的研究进展 [J]. 橡胶工业, 2023, 70(03):231-239.
- [59] 唐帆, 聂卫云, 路丽珠, 等. 橡胶混炼技术创新及产业化应用 [J]. 橡胶科技, 2021, 19(11):525-533.
- [60] 隋雁俊. 基于全钢胎面全配方的湿法连续混炼制备机理及实验研究 [D]. 青岛: 青岛科技大学, 2023.
- [61] 汪传生, 来庆祥, 洪雨飞, 等. 全配方湿法连续混炼工艺的研究 [J]. 橡胶工业, 2023, 70(09):667-674.
- [62] 王梦蛟, 王正, 贾维杰, 等. 橡胶/白炭黑连续液相混炼胶在轮胎中的应用 [J]. 橡胶工业, 2023, 70(09):655-666.
- [63] 苏博, 吴师通. 大数据视野下, 数字化技术加速轮胎行业技术升级 [J]. 中国橡胶, 2020, 36(05):26-32.
- [64] 范仁德. “双碳”战略, 数智赋能, 橡胶工业强国可期 [J]. 中国橡胶, 2022, 38(01):10-15.
- [65] 蒋冰, 朱东, 陈晓伟, 等. 轮胎制造企业数字化转型之路 [J]. 化工管理, 2022, (31):83-87.
- [66] 吴长辉, 李红卫, 田健等. 轮胎智能化发展概述 [J]. 轮胎工业, 2022, 42(12):707-710.
- [67] 李相博. 橡胶轮胎生产及装备制造企业绿色制造发展研究 [J]. 轮胎工业, 2023, 43(01):3-6.
- [68] 苏博. 创新技术赋能可持续发展 [J]. 中国橡胶, 2023, 39(10):18-21.

## Research progress in tire innovation and application under the background of dual carbon strategy

Tang Fan<sup>1</sup>, Nie Weiyun<sup>2</sup>

(1.Anhui GVG New Material Co. LTD., Ma'anshan 243000, Anhui, China;  
2.Nanjing Jingyi Electric New Energy Co. LTD., Nanjing 211200, Jiangsu, China)

**Abstract:** In the context of dual carbon, green, energy-saving, emission reduction, and carbon conversion and utilization will gradually become the primary requirements of production and life in various industries around the world, and the development trend of the tire industry is gradually shifting towards greenery and digital intelligence. This article briefly elaborates on the current development status and existing problems of domestic and foreign tires under the dual carbon background, and points out that the future development of the tire industry needs to start with technological innovation. From multiple perspectives such as core raw materials, tire structure, tire technology and equipment, digital design of tire structure, intelligent tire production, etc., we need to strengthen independent or cooperative innovation, and create a series of tire products with excellent characteristics such as ultra-low rolling resistance, high wet slip resistance, and strong silence. The goal of achieving dual carbon gradually permeates the entire field of tire research and development, production, and consumption. Taking the rise of new energy vehicles as an opportunity, China is expected to grow into a true tire power in the future.

**Key words:** tire; dual carbon strategy; innovation; research progress

(R-03)

(全文完)