

综述·专论

半钢子午线轮胎全生命周期碳排放计算与减排策略研究

陈名行,周志峰,赵天琪,蔡尚脉,陈瑞军

(北京橡胶工业研究设计院有限公司,北京 100143)

摘要:以半钢子午线轮胎为研究对象,计算从原材料、轮胎生产、轮胎使用到轮胎热裂解回收的轮胎全生命周期中各阶段碳排放量,分析轮胎全生命周期各个阶段要素对碳排放的影响,提出轮胎低碳减排策略,同时为后期轮胎全生命周期全面评价体系提供基础数据。

关键词:半钢子午线轮胎;全生命周期;碳排放;减排

中图分类号:TQ336.1

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2023)05-0393-07

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2023.05.0393



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

人类活动引起的温室气体过量排放导致温室效应不断增强,对全球气候产生不良影响,二氧化碳是最主要的温室气体,减小其排放量是解决气候问题的关键途径,如何减少碳排放成为全球尤其是中国关注的重大问题。我国政府承诺了2030年碳达峰和2060年碳中和的“双碳”目标^[1]。在此时代背景下,减少碳排放成为各行各业的关注点和重点课题。

轮胎工业作为传统制造行业,其主要的原材料——合成橡胶和炭黑以化石能源为原料,而在轮胎加工生产过程中需要高温高压蒸汽,在轮胎使用过程中需要消耗大量的能源。全国轮胎产量由1985年的1 925万条增长到2019年的6.52亿条^[2],年均增速10%以上,轮胎产量连续15年居世界首位。高产量叠加高消耗导致轮胎行业的碳排放尤其突出,迫切需要加快构建资源能源消耗少的低碳制造体系^[3]。本工作以半钢子午线轮胎为研究对象,计算轮胎从“诞生”到“死亡”过程中各阶段碳排放量以及各个阶段要素对碳排放的影响,提出轮胎低碳减排策略,并为后期轮胎全生命周期

全面评价体系提供基础数据。

1 轮胎全生命周期碳排放量计算的基本思路

生命周期评价方法(Life Cycle Assessment, LCA)是研究产品在其全生命周期中对环境影响最有力的工具。产品全生命周期是指产品从原材料提取、制备以及产品生产、使用、报废、回收处理的整个过程。LCA是产品在全生命周期中对社会和环境影响的评估方法,其目的在于减少能源消耗、原材料使用和环境释放。因此,开展对产品及其生产、使用直至报废全生命周期与环境协调性的评估研究,是改造或者淘汰某一产品或生产工艺的基础性工作,不仅为绿色产品的设计和开发提供了依据,而且为政府环境管理部门制定环境政策提供了信息。

生命周期评价方法受到国际社会各个领域的关注,不仅在发达国家被广泛研究,在国内各行业也得到了越来越多的应用。随着实践经验的不断积累,产品生命周期评价将逐步完善,其应用领域将进一步扩大。

作者简介:陈名行(1983—),男,湖南新化人,北京橡胶工业研究设计院有限公司高级工程师,硕士,主要从事橡胶配方的研究工作。

E-mail:114065331@163.com

引用本文:陈名行,周志峰,赵天琪,等.半钢子午线轮胎全生命周期碳排放计算与减排策略研究[J].橡胶工业,2023,70(5):393-399.

Citation: CHEN Mingxing, ZHOU Zhifeng, ZHAO Tianqi, et al. Life cycle carbon emission calculation and emission reduction strategy of steel-belted radial tire[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(5): 393-399.

轮胎生命周期评价就是利用LCA的理论方法,系统地、定量地分析和评价轮胎从原材料获得以及产品制造、使用到最终报废和回收利用的整个生命过程中的能源消耗、资源消耗以及对环境造成的潜在影响,环境影响主要以碳排放量表征^[4-6]。

目前,子午线轮胎是轮胎工业的主流产品,我国轮胎子午化率达94.0%^[7],发达国家已达到或接近100%。本工作的研究单元是1条规格为215/45R17的半钢子午线轮胎,评价过程不考虑轮胎企业的建设、相关设备的保养和维修以及原材料运输过程的环境影响,将轮胎全生命周期划分为原材料获取、轮胎生产、轮胎使用及轮胎回收利用4个阶段。

轮胎全生命周期如图1所示。

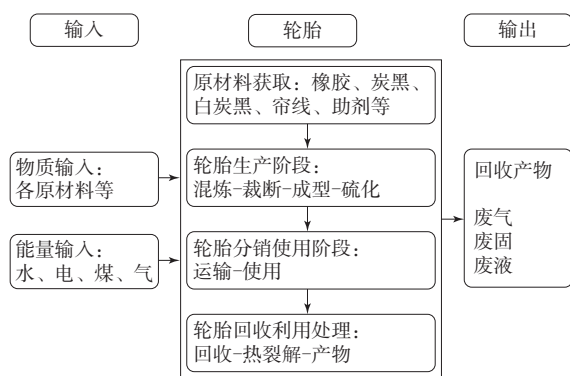


图1 轮胎全生命周期
Fig. 1 Whole life cycle of tire

2 轮胎各阶段的碳排放分析及计算

生命周期目标清单分析是明确轮胎生命周期各个阶段的输出和输入项目及其清单数据获取方式。进行分析之前,必须清楚轮胎生产需要哪些必要的原材料。轮胎原材料主要为橡胶(包含合成橡胶和天然橡胶)、补强剂(炭黑和白炭黑)、硫化剂、促进剂、帘线等。

2.1 原材料阶段

橡胶是轮胎的基础原材料,目前应用于轮胎工业的橡胶有天然橡胶、丁苯橡胶(包括乳聚丁苯橡胶和溶聚丁苯橡胶)、丁二烯橡胶、异戊橡胶和丁基橡胶(包括卤化丁基橡胶)五大类橡胶。

橡胶若不经补强,很难制造出具有较高强度的轮胎,人们利用炭黑对轮胎进行补强已经有

超过100年的历史,炭黑是仅次于橡胶的第二大橡胶工业用原材料。白炭黑是则橡胶工业的另一种重要补强剂,其补强性能仅次于炭黑,在橡胶制品中应用也比炭黑要晚,但相比炭黑,白炭黑不需要消耗石油资源。此外,白炭黑能显著地减小胶料滞后损失,降低轮胎滚动阻力,并使轮胎保持良好的抗湿滑性能,符合绿色轮胎的发展趋势,白炭黑在轮胎胶料中的应用比例越来越大,发展非常迅猛。目前,在高性能轮胎胎面胶中,白炭黑已取代炭黑成为主要的补强剂。随着国家政策的有力支持和汽车轮胎工业的持续快速发展,白炭黑的应用将更加普遍。

根据轮胎各部件结构计算,215/45R17轮胎全胎质量为10.4 kg,所需要的原材料如下:合成橡胶 2.847 kg,天然橡胶 1.184 kg,补强剂 2.724 kg,钢丝帘线和纤维帘线 2.881 kg,其他(助剂) 0.764 kg。根据各原材料的碳排放系数,计算得到1条轮胎所需原材料生产产生的碳排放量为32.689 kg CO₂-eq(二氧化碳当量),如表1所示。

表1 生产1条轮胎所需要原材料的碳排放情况
Tab. 1 Carbon emissions of raw materials required for production of one tire

原材料	用量/ kg	质量占 比/%	碳排放系数/ (kg CO ₂ -eq · kg ⁻¹)	碳排放量/ kg CO ₂ -eq
合成橡胶				
丁苯橡胶	2.117	20.36	2.50	5.293
非丁苯橡胶	0.730	7.02	2.50	1.825
天然橡胶	1.184	11.38	0.11	0.130
炭黑	1.740	16.73	3.33	5.794
白炭黑	0.984	9.46	0.07	0.069
纤维帘线	1.192	11.46	4.70	5.603
钢丝帘线	1.689	16.24	6.42	10.842
其他	0.764	7.35	4.10	3.132
总计	10.400	100		32.689

注:数据根据轮胎结构和常用配方计算得出,其中碳排放系数来自RCEES2012和Ecoinvent v2.1及个人估算数据。

2.2 生产阶段

轮胎是受各种作用力的壳体,由胎面、胎侧、胎体、带束层、内衬层及胎圈等部件组成。每个部件具有不同的特点和功能,相互配合,组成一个有机的整体。轮胎生产是一个相当复杂的过程,包含了很多步骤,涉及很多加工工序,主要生产包括:胶料混炼,胎面、胎侧、带束层、胎体、内衬层、胎圈等半成品制备,胎坯成型,轮胎硫化,产品出

厂检验等。轮胎生产阶段的主要设备为电力设备,其能源消耗以电能为主,如表2所示。

表2 轮胎生产主要设备及单位功能单元耗电量
Tab. 2 Main equipments and power consumption of per function unit for tire production

生产工序	相关设备名称	单位功能单元平均耗电量/(kW·h)
胶料混炼	切胶机	0.019 3
	皮带输送机	0.005 3
	GK400型密炼机	0.321 3
	XKY-660型压片机	0.105 1
	胶片冷却装置	0.010 5
压延和裁断	钢丝/纤维帘布压延联动生产线	0.205 6
	胶片压延生产线	0.093 4
	裁断机	0.567 6
	钢丝圈缠绕挤出机组	0.007 0
胎坯成型	一次法成型机(二鼓)	0.113 9
	二次法成型机(三鼓)	0.223 4
胎坯硫化	硫化机	0.105 1
轮胎检测	动平衡及均匀性检测机	0.934 4
	X光检测机	0.008 8

注:数据根据企业环境影响评价报告计算得出。

轮胎生产的主要步骤如下。

(1)原材料准备及密炼。

原材料的准备包括烘胶、生胶切块、配料粉碎、筛选等过程。

密炼是指各生胶和配合剂在密炼机中完成混合和均匀分散而形成混炼胶的过程。混炼胶在密炼车间制备,生胶自动称量、自动投入密炼机;炭黑和油料密闭输送,自动称量、自动投入密炼机;粉料集中称量、袋装投入密炼机。密炼得到的混炼胶经压片、浸隔离液、冷却直至叠片存放备用。每条轮胎在此阶段的耗电量是0.461 4 kW·h,电能的碳排放系数为0.884 kg CO₂-eq·(kW·h),计算得出此阶段1条轮胎的碳排放量为0.408 kg CO₂-eq。

(2)压延、裁断及挤出。

压延是指胶料在两辊筒间的压力作用下延展成为具有一定形状的胶片,或在织物、钢丝上实现挂胶的工艺过程。胎体帘布和带束层帘布就是通过压延实现挂胶的。压延一般在四辊或三辊压延机上进行。压延胶片和帘布需要按照一定宽度和角度裁断,胶片和帘布的宽度和角度变化主要取决于轮胎规格以及轮胎结构设计的要求,裁断分别在零度和大角度裁断机上进行。挤出是也轮胎

生产过程中的重要工序,如胎面、胎侧、胎肩垫胶均为挤出成型。每条轮胎在此阶段的平均耗电量是0.873 7 kW·h,计算得出此阶段1条轮胎的碳排放量为0.773 kg CO₂-eq。

(3)成型。

成型是将前面各工序准备的半成品如帘布、钢丝圈、胎面、胎体等,在成型机上一层一层地贴合直至组装成胎坯的过程,成型胎坯也叫做生胎。目前生胎的成型主要有一次法成型和二次法成型。生胎经过检查后,运送到硫化工序。每条轮胎在此阶段的耗电量是0.337 3 kW·h,计算得出此阶段1条轮胎的碳排放量为0.298 kg CO₂-eq。

(4)硫化。

硫化是将生胎装入钢制硫化模具内,生胎伸张到预定的形状并紧紧压实;轮胎硫化在硫化机内进行,即在一定的温度、压力和时间下,硫化模具内的轮胎胶料发生交联,轮胎轮廓尺寸固定,各部件紧密结合,轮胎物理性能大幅提升。每条轮胎在此阶段的平均耗电量为0.105 1 kW·h。同时,硫化过程中需要大量蒸汽,蒸汽由3台20 t·h⁻¹锅炉提供,锅炉燃料为天然气,其年消耗量为1.5万t,蒸汽锅炉导致的碳排放量为4.125万t CO₂-eq·a⁻¹,计算得出此阶段1条轮胎的碳排放量为2.155 kg CO₂-eq。

(5)检测。

硫化轮胎要进行一系列的安全检测,如外观检查、X光检查、均匀性检测、动静平衡检查。其中,半钢子午线轮胎一般要经过X光、均匀性、静平衡或动平衡等性能的检查,经检验合格后入库。每条轮胎在此阶段的耗电量是0.943 2 kW·h,计算得出此阶段1条轮胎的碳排放量为0.834 kg CO₂-eq。

根据以上对轮胎各生产工序的清单分析,计算得出1条轮胎在生产过程中的碳排放总量为4.468 kg CO₂-eq。

2.3 分销和使用阶段

轮胎分销阶段的能耗主要与运输方式和运输距离有关,轮胎运输多采用公路运输。本项目根据企业调研,结合相关文献,对轮胎运输进行以下假设:采用18 t卡车公路运输,平均运输距离500

km,往返50%空载率,运输方式的碳排放因子为 $0.095\ 85\ \text{kg CO}_2\text{-eq}\cdot\text{t}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$,这样在分销过程中1条轮胎运输的碳排放量为 $0.997\ \text{kg CO}_2\text{-eq}$ 。

轮胎使用阶段碳排放主要来自汽车行驶过程中产生的燃油消耗,我国汽车每行驶100 km平均油耗为 $8.09\ \text{L}$ ^[8],但整车的燃油消耗并不是全部由轮胎产生,轮胎在汽车运行过程的能量消耗约占汽车行驶过程总能量消耗的20%。因此对轮胎使用阶段进行以下假设:轮胎使用阶段能耗约占汽车行驶过程总能量消耗的20%,轮胎平均行驶里程为80 000 km,轮胎在使用阶段消耗的汽油为 $647.2\ \text{L}$,汽油密度为 $0.740\ \text{t}\cdot\text{kL}^{-1}$,碳排放系数为 $2.925\ 1\ \text{kg CO}_2\text{-eq}\cdot\text{kg}^{-1}$,则1条轮胎在使用过程中的碳排放量为 $700.456\ \text{kg CO}_2\text{-eq}$ 。

轮胎在行驶过程中,除了消耗燃油,胎面也一直在磨损。轮胎周长计算式为:轮胎周长=[断面宽度×扁平比×2+钢圈尺寸(英寸)×2.54]×3.14,215/45R17轮胎的直径为 $62.53\ \text{cm}$,其周长为 $196.344\ \text{cm}$ 。假设轮胎胎面花纹面积占比为0.6,胎面磨损深度为 $5\ \text{mm}$,胎面密度为 $1.17\ \text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$,则1条轮胎的磨损质量为 $1\ 481.7\ \text{g}$,约占轮胎总质量的14.25%。

2.4 回收利用阶段

轮胎使用磨损之后,失去原有的使用价值,变成废旧轮胎。我国是轮胎生产和消费大国,废旧轮胎数量随着汽车销量以及保有量的不断增大而增大,预计我国新增废旧轮胎达 $2\ 000\ \text{万t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。如何回收利用废旧轮胎,是资源再利用的重要课题,目前废旧轮胎回收利用的途径主要有:热裂解、焚烧、轮胎翻新、生产胶粉、生产再生胶、原形利用等^[9]。

热裂解是半钢子午线轮胎最常用的回收利用方式^[10]。废旧轮胎的热裂解通常是在氮气气氛或真空条件下,在高温和机械力共同作用下,废旧轮胎中的高分子发生裂解,生成相对分子质量大小不等的各类小分子物质。相对分子质量较大的部分冷凝后得到液态热解油,另一部分不能被冷凝的气体则是可燃热解气,可作为燃料为热裂解过程提供热量来源。而固体残留物则是热解炭黑,其主要成分为炭黑,并含有白炭黑、氧化锌等其他

无机添加剂。热解炭黑经过活化造粒后可以作为半补强炭黑使用。钢丝则作为废钢回收。在最佳的资源化利用工艺下,整个废旧轮胎回收热裂解过程可以做到无废气、无废渣,裂解产物可以完全利用^[11]。

废旧轮胎热裂解的碳排放量计算只考虑核心工艺生产设备的二氧化碳排放量。废旧轮胎热裂解的热量来源为轮胎热裂解过程中产生的热解气以及辅助加热所消耗电能,热解气燃烧过程产生 CO_2 ,加热电能消耗折算成燃油消耗排放的 CO_2 计入 CO_2 总量。如装置全部使用电能,则直接按电能消耗计算碳排放量。根据文献[12]提供的2013—2015年的数据,得到废旧轮胎平均耗电量为 $113.39\ \text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{t}^{-1}$,1条废旧轮胎回收热裂解过程中由于电能消耗的碳排放量为 $0.894\ \text{kg CO}_2\text{-eq}$ 。

废旧轮胎热裂解产物产率取决于废旧轮胎的类型及数量^[13],假设热解气产率为10.00%,并结合轮胎部件材料成分及推理得到各产物产率:热解油 40%~50%,炭黑 30%~35%,钢丝 10%~20%,热解气 8%~12%。

废旧轮胎热裂解产物非常复杂,热解油是一种宽沸点的复杂混合物,以烃类化合物为主,主要来源于胶料中橡胶自身热解产物、有机添加剂及其热解产物等;热解气用气相色谱仪进行分析,轮胎热解气体主要包含 CO 、 CO_2 、 CH_4 、 C_2H_4 、 C_2H_6 、 C_3H_8 、 C_4H_8 以及它们派生的不饱和烃^[14]。由于未查询到相关产物的碳排放系数,因此热解油参考柴油的碳排放系数,热解气则按不饱和烯烃计算碳排放系数。计算得到的1条废旧轮胎回收热裂解过程中由于产物回收的碳排放量为 $-31.174\ \text{kg CO}_2\text{-eq}$,则废旧轮胎回收热裂解过程中总的碳排放量为 $-30.280\ \text{kg CO}_2\text{-eq}$ 。1条废旧轮胎回收产物情况如表3所示。

3 轮胎碳排放结果分析

根据轮胎全生命周期碳排放量清单分析可知,1条215/45R17轮胎在其整个生命周期中碳排放量为 $708.330\ \text{kg CO}_2\text{-eq}$ 。其中,分销及使用阶段的碳排放量最大,达到了 $701.453\ \text{kg CO}_2\text{-eq}$,

表3 1条废旧轮胎回收产物情况				
Tab. 3 Recycled product situations of one waste tire				
产物	产量/ kg	质量占 比/%	碳排放系数/ (kg CO ₂ -eq · kg ⁻¹)	碳排放量/ kg CO ₂ -eq
热解油	3. 613	40. 5	3. 10	-11. 201
炭黑(白 炭黑)	2. 724	30. 5	2. 15	-5. 857
钢丝	1. 689	18. 9	6. 42	-10. 843
热解气	0. 892	10. 0	3. 67	-3. 273
总计	8. 918	99. 9		-31. 174

占比高达99.0%；其次是原材料阶段,碳排放量为32.689 kg CO₂-eq,占比为4.6%；生产阶段碳排放量相对较小,为4.468 kg CO₂-eq,占比为0.6%；轮胎回收利用阶段由于回收了热解油、热解炭黑、钢丝和热解气,即产物的回收利用减少了轮胎全生命周期碳排放,此阶段的碳排放量总和为负值,为-30.280 kg CO₂-eq,各阶段的碳排放量如表4所示。

表4 1条轮胎生命周期碳排放量			
Tab. 4 Carbon emissions of one tire in life cycle			
阶 段	碳排放量/kg CO ₂ -eq	占比/%	
原材料阶段	32. 689	4. 6	
轮胎生产	4. 468	0. 6	
轮胎分销及使用	701. 453	99. 0	
轮胎回收利用	-30. 280	-4. 3	

原材料阶段,主要是由原材料生产导致碳排放,其中钢丝帘线生产碳排放量最大,占原材料阶段的33.2%,其次是橡胶和补强剂生产,分别占比22.2%和17.9%,剩余原材料生产碳排放量占比为26.7%(见图2)。因此,提升原材料性能和轮胎结构以减少轮胎制造过程中原材料使用,可以有效减小轮胎全生命周期碳排放量。此外,使用低碳排放系数的原材料也能减少环境影响,如使用天然橡胶或其他生物质橡胶替代合成橡胶、使用白炭黑替代炭黑等。

轮胎生产阶段碳排放主要由生产过程中的能耗产生,其中硫化是高温硫化,而橡胶是热的不良导体,传热速度慢,传热不均匀,消耗了大量的能量,其碳排放量最大,占生产阶段的48.2%,其他工序的碳排放量占比较小(见图3)。因此,对于轮胎生产阶段,一方面,提高硫化机保温隔热,减少热量流失;另一方面在保证轮胎质量的前提下,优化硫化设备和工艺,改善温度均匀性,缩短加热时

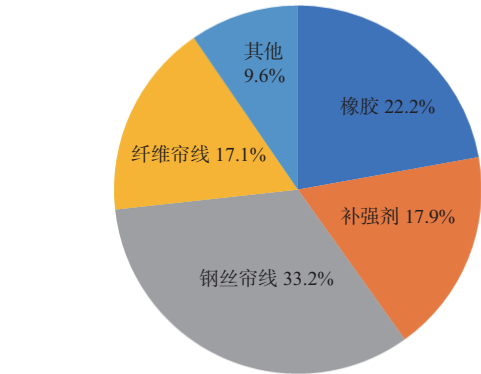


图2 原材料阶段各原材料生产碳排放量占比
Fig. 2 Proportions of carbon emissions from raw material production in raw material stage

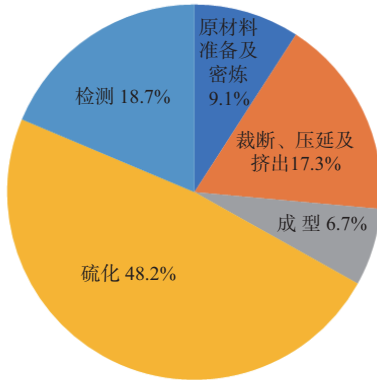


图3 轮胎生产阶段各工序碳排放量占比
Fig. 3 Proportions of carbon emissions from various processes in tire production stage

间,降低能耗;最后,提高轮胎生产线整体效率,达到共同降低碳排放的效果。

轮胎分销和使用阶段碳排放主要来源于汽车行驶过程中轮胎克服滚动阻力而产生的能源消耗。轮胎使用阶段是全生命周期中最重要的阶段,也是碳排放的主要产生阶段。轮胎使用阶段的能耗与轮胎滚动阻力直接相关,开发低滚动阻力轮胎一直以来是轮胎厂商的研究重点和热点。一方面轮胎轻量化是降低轮胎滚动阻力最快速、最有效的方法,另一方面改善轮胎配方,应用新材料如应用官能化溶聚丁苯橡胶、表面改性白炭黑等进一步降低轮胎滚动阻力损失,从而减小在使用阶段轮胎的碳排放量。

废旧轮胎回收利用阶段,1条废旧轮胎在机械破碎和热裂解处理过程产生的碳排放量为0.894 kg CO₂-eq,而通过热解油、热解炭黑、钢丝和热解气回收产生的碳排放量为-31.174 8 kg CO₂-eq,

所以1条废旧轮胎回收利用阶段产生总的碳排放量为 $-30.280\text{ kg CO}_2\text{-eq}$,贡献了轮胎全生命周期 -4.3% 的碳排放量。废旧轮胎资源化过程能源回收效率的大小依次为热裂解 $>$ 机械粉碎 $>$ 能源化发电^[15],因此,热裂解是轮胎回收利用阶段减小碳排放量的重要途径。

4 结语

研究分析可知,轮胎全生命周期碳排放主要集中在轮胎使用阶段,其碳排放量占据了全生命周期碳排放量的99.0%(如不考虑回收阶段因碳排放量为负值的影响,其占比也高达95.0%),这也说明发展绿色轮胎是减小轮胎全生命周期碳排放的重要途径。因此,选择合适的胶种和配合剂,优化配方设计,再辅以提高性能新材料应用及轮胎结构优化,减少原材料消耗和减薄部件,从而降低轮胎滚动阻力,减少轮胎使用阶段燃油消耗;此外,采取合理有效的工艺设计,减少生产阶段能耗和物耗,注重轮胎回收利用阶段的资源化利用,可以有效减少轮胎全生命周期碳排放。

参考文献:

- [1] 曾诗鸿,李根,翁智雄,等.面向碳达峰与碳中和目标的中国能源转型路径研究[J].环境保护,2021,49(16):26-29.
ZENG S H, LI G, WENG Z X, et al. Research on China's energy transition path towards the goals of carbon peak and carbon neutrality[J]. Environmental Protection, 2021, 49(16): 26-29.
- [2] 李花婷,陈名行,李高平.十四五合成橡胶行业发展指南——橡胶加工行业发展[R].北京:北京橡胶工业研究设计院有限公司,2021.
- [3] 吴桂忠.浅议低碳经济时期国内轮胎工业发展战略[J].中国橡胶,2011,27(4):4-7.
WU G Z. Development strategy of domestic tire industry in period of low-carbon economy[J]. China Rubber, 2011, 27(4): 4-7.
- [4] 李智芬.生命周期评价研究及其在轮胎工业中的应用[D].上海:上海交通大学,2011.
LI Z F. Research on life cycle assessment and its application in tire industry[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2011.
- [5] 徐杰峰.子午线轮胎生命周期评价研究[D].西安:西北大学,2010.
XU J F. Life cycle assessment of radial tire[D]. Xi'an: Northwest University, 2010.
- [6] 杨蕾.轮胎生命周期的经济、能量和碳排放分析[D].上海:同济大学,2009.
YANG L. Analysis of economy, energy and carbon emissions in tire life cycle[D]. Shanghai: Tongji University, 2009.
- [7] 中国橡胶工业协会.中国橡胶工业年鉴[R].北京:中国橡胶工业协会,2021.
- [8] 杨东,刘晶茹,杨建新,等.乘用车子午线轮胎碳足迹分析[J].中国人口资源与环境,2014(24):110-113.
YANG D, LIU J R, YANG J X, et al. Carbon footprint analysis of radial tires for car[J]. China Population Resources and Environment, 2014(24): 110-113.
- [9] 巩雨注,王小萍,贾德民.废旧轮胎粉碎技术及其应用进展[J].橡胶工业,2021,68(1):66-72.
GONG Y Z, WANG X P, JIA D M. Crushing technology and application progress of waste tires[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(1): 66-72.
- [10] 殷浩,赵浩天,林正伟,等.超临界流体制备废旧轮胎热裂解炭黑/碳纳米管杂化粒子及其性能的研究[J].橡胶工业,2022,69(9):667-673.
YIN H, ZHAO H T, LIN Z W, et al. Preparation of waste tire pyrolytic carbon black/carbon nanotube hybrid particles by supercritical fluid technology and their properties[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(9): 667-673.
- [11] 李德治.轮胎生产与资源循环利用的全生命周期过程研究[D].广州:广东工业大学,2013.
LI D Z. Research on the whole life cycle process of tire production and resource recycling[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2013.
- [12] 马秀琴,葛梦媛,刘力,等.废轮胎热裂解企业能源消耗及碳排放现状调查研究[J].中国轮胎资源综合利用,2017(6):33-35.
MA X Q, GE M Y, LIU L, et al. Investigation on energy consumption and carbon emissions of waste tire pyrolysis enterprises[J]. China Tire Resources Recycling, 2017(6): 33-35.
- [13] 徐宗平,郭庆民.废轮胎热解回收中的废气综合利用[J].再生资源与循环经济,2017,10(4):34-37.
XU Z P, GUO Q M. The multipurpose utilization of waste gas in waste tire pyrolysis recycling[J]. Recycling Research, 2017, 10(4): 34-37.
- [14] 徐文胜,蒋旭光,严大海,等.废轮胎中试回转窑热解气特性及能耗分析[J].能源工程,2005(2):30-34.
XU W S, JIANG X G, YAN D H, et al. Chromatographic analysis and calorific value calculation of gas from scrap tyres pyrolysed in a pilot-scale rotary kiln[J]. Energy Engineering, 2005(2): 30-34.
- [15] 许江林,孙承亮,于佳雪,等.废旧轮胎资源化的能量与物质流分析[J].上海节能,2018(11):850-855.
XU J L, SUN C L, YU J X, et al. Analysis on energy and material flow in resourcing waste tyre[J]. Shanghai Energy Conservation, 2018(11): 850-855.

收稿日期:2022-12-30

Life Cycle Carbon Emission Calculation and Emission Reduction Strategy of Steel-belted Radial Tire

CHEN Mingxing, ZHOU Zhifeng, ZHAO Tianqi, CAI Shangmai, CHEN Ruijun

(Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry Co., Ltd, Beijing 100143, China)

Abstract: Take steel-belted radial tire as the research object, the carbon emissions of various stages of whole life cycle of the tire from raw materials, tire production, tire use to hot cracking and recycling were calculated, the influence of factors in each stage of tire life cycle on carbon emission was analyzed, and the low carbon emission reduction strategy for the tire was proposed. Meanwhile, the basic data for an overall evaluation system of the tire life cycle were provided.

Key words: steel-belted radial tire; whole life cycle; carbon emission; emission reduction

专利4则

由镇江高美新材料有限公司申请的专利(公布号 CN 115197577A, 公布日期 2022-10-18)

“一种抗静电硅橡胶复合材料、柔性静电屏蔽袋及其制备方法”, 涉及的硅橡胶复合材料配方为: 甲基乙烯基硅橡胶 100, 气相法白炭黑 35~45, 导电填料 2~10, 羟基硅油 3~8, 硬脂酸锌 0.6~2, 非离子型抗静电剂 0~3, 高分子型抗静电剂 2~5, 硫化剂 0.2~0.5。其中, 非离子型抗静电剂为脂肪醇酞胺类非离子型抗静电剂, 高分子型抗静电剂为季铵盐型、聚醚型、磺酸盐型或内铵盐型抗静电剂中的1种或多种并用, 导电填料为金属系导电填料和碳系导电填料并用。采用该硅橡胶复合材料制备的防静电屏蔽袋的防静电作用良好, 能提供全方位随形支撑保护, 同时具有良好的防震功能, 可有效防磕碰或防跌落撞击, 具有较高的实用价值。

由无锡安睿驰科技有限公司申请的专利(公布号 CN 115232410A, 公布日期 2022-10-25) “一种自修复橡胶的制备方法”, 涉及的自修复橡胶配方为: 丁基橡胶 100~120, 聚异丁烯 140~150, 功能填料 5~20, 防老剂 3~5, 巯基化合物 4~6, 促进剂 2~4。该发明利用丁基橡胶与聚异丁烯形成氢键网络体系以及巯基化合物配合高分子材料形成硫键网络体系, 从而形成基于氢键和硫键的双网络自修复体系, 解决了橡

胶自修复性能不佳的问题。

由上海熹贾精密技术有限公司申请的专利(公布号 CN 115160787A, 公布日期 2022-10-11) “一种阻燃室温硫化硅橡胶”, 涉及的室温硫化硅橡胶配方为: α, ω -二羟基聚二甲基硅氧烷 80~100, 补强剂 10~20, 偶联剂 1~3, 阻燃填料 10~20, 催化剂 1~3, 交联剂 1~5。其中阻燃填料为镍钴锰复合氢氧化物, 其通式为 $\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z(\text{OH})_2$, $0.6 \leq x < 1, x+y+z=1$ 。该发明添加少量镍钴锰复合氢氧化物就使室温硫化硅橡胶获得了优异的阻燃性能, 并具有抑烟效果。

由四达氟塑股份有限公司申请的专利(公布号 CN 115181379A, 公布日期 2022-10-14) “一种氟橡胶密封圈加工工艺”, 提供了一种氟橡胶密封圈加工工艺, 该工艺包括: (1) 将三元含氟共聚弹性体100份、聚四氟乙烯(粉末粒径为3~20 μm) 25份、双25硫化剂2份和三烯丙基异三聚氰酸酯4份共混制成混炼胶; (2) 将混炼胶停放8 h以上, 然后将其放入预成型模具中, 制得未硫化的密封圈毛坯; (3) 将密封圈毛坯放入硫化机中进行一段硫化, 再放入高温烘箱中进行二段硫化, 制得成品密封圈。该发明不但极大地降低了半导体制造设备的密封成本, 而且可以有效减少密封产品在等离子体环境下的颗粒物析出。

(本刊编辑部 赵 敏)