

基于全生命周期视角的轮胎配方设计与成本效益分析

杨 斌 (潍坊顺福昌橡塑有限公司, 山东 潍坊 262700)

摘要: 本文从全生命周期的角度出发, 对轮胎配方设计对于生产成本、使用成本以及整个生命周期总成本的影响进行了研究。对标准、高性能和经济型这三种常见的配方进行比较, 得出不同的配方在各个生命周期阶段所具有的经济效益。高性能配方尽管生产成本低, 但在长时间使用后所造成的生命周期成本较低。标准配方、经济型配方由于耐磨性差、使用成本高, 所以经济效益较差。本文给轮胎配方的设计提出优化的方向, 并给出轮胎生命周期成本未来优化的策略。

关键词: 轮胎配方设计; 成本效益; 全生命周期分析; 性能优化; 环保材料

中图分类号: TQ336.1; F407.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 012-0019-03

Tire formula design and cost-benefit analysis based on a life cycle perspective

Yang Bin (Weifang Shunfuchang Rubber and Plastic Co., Ltd., Weifang Shandong 262700, China)

Abstract: This paper studies the effects of tire formula design on production cost, use cost and the total cost of the whole life cycle from the perspective of whole life cycle. A comparison of three common formulas: standard, high-performance and economical is conducted to conclude the economic benefits of different formulas in various life cycle stages. The-performance formula has a high production cost, but it has a low life cycle cost after a long time of use. The standard formula and the economical formula have poor wear resistance and use cost, so they have poor economic benefits. This paper proposes an optimization direction for the design of tire formulas and gives the optimization strategy of the life cycle cost of tires in the.

Keywords: tyre formula design; cost-effectiveness; life cycle analysis; performance optimization; environmental-friendly materials

由于市场对于节能、环保以及高性能轮胎的需求越来越大, 轮胎制造企业也面临着怎样才能在成本和性能之间取得平衡的问题。全生命周期评价 (LCA) 为轮胎配方设计提供了全方位的评价体系, 包含制造、使用直至废弃物回收全过程。本文主要研究标准、高性能以及经济型这三种常见的轮胎配方所造成的影响, 探究配方设计对成本效益有何作用并给出改进配方的设计方法, 从而在保证产品性能的基础上达到降低成本的目的, 在激烈的市场竞争中增强产品的市场占有率。

1 轮胎全生命周期分析框架

1.1 全生命周期视角概述

全生命周期评价 (LCA) 是综合性的一种方法, 用来评价产品的整个生命周期内, 即从原材料的开采、生产、使用直到废弃物的回收再利用等各个阶段中所消耗的资源以及所产生的环境影响和经济收益。轮胎行业里, LCA 不只是对生产过程中的能耗、排放等环境要素进行考察, 还会考虑产品在使用过程中所表现出的性能状况以及废弃物产生之后如何被回收利用。从全生命周期的角度出发, 可以找到并改进轮胎配方设计过程中重要的影响因素, 从而提高资源利用率、减少环境污染, 达到最大经济效益的目的。该方法使轮胎生产商可以对产品的整个生命周期做出全方位

的评价^[1]。

1.2 轮胎生命周期各阶段划分

轮胎的生命周期可以分为生产阶段、使用阶段和废弃回收阶段这三个部分。生产阶段为原材料采购、配方设计、生产加工等环节, 是成本与能源消耗的主要来源; 使用阶段指轮胎在行驶中所表现出的各项性能指标, 即耐磨性、燃油经济性、维修费用等, 直接关系到消费者承担的经济压力; 废弃回收阶段包含轮胎处理、回收再利用或者废弃, 给环境造成较大的影响并且耗费较多的成本。各个阶段的成本、环境影响不一样, 要从全生命周期角度来考虑并加以优化。

1.3 成本结构分析

轮胎从诞生到报废的各个时期, 成本结构存在较大差别, 生产阶段的成本主要是由原材料采购、生产工艺及能耗等所构成, 轮胎配方的不同会使得材料种类以及价格有所不同。

使用阶段主要是从轮胎的耐用性、燃油经济性和保养费用等各方面来评价轮胎性能的好坏, 耐磨性及滚动阻力对长期使用的成本有很大影响。废弃回收成本主要是轮胎处置费、回收加工费及有关环境管理费用。利用成本结构分析可以找出各个阶段的成本主要影响因素, 从而给配方的设计以及降低整个生命周期成本提供指导。

2 轮胎配方设计与成本效益关系

2.1 配方设计的经济性影响

轮胎配方设计的好坏会直接影响到轮胎的生产成本和性能。不同的原材料、配比会造成生产成本有较大差别,高性能橡胶材料一般价格高一些,但是可以提高使用寿命以及耐磨性。相反,用低价格的材料来制备轮胎会降低初产成本,但是会使轮胎的耐久性变差,进而加大长期使用费用。轮胎的油耗效率同其配方有关,配方中所选的橡胶、炭黑以及各种添加剂等都会对轮胎的滚动阻力产生影响,进而作用于车辆的燃油经济性,并且还会牵涉到消费者使用的成本问题^[2]。

配方设计还会直接影响到轮胎的使用成本。耐磨性是决定轮胎寿命的重要因素,配方中不同的材料选择都会对轮胎的磨损速度造成很大影响。更耐磨的配方虽然会增加生产成本,但是可以减少车辆维修、更换轮胎的次数,从长期看,降低了维护成本。配方中所含有的抗氧化剂、抗老化剂等都会使轮胎的寿命得到延长,并且可以降低车辆的总使用成本。因此轮胎的配方设计要达到成本、性能和使用寿命三者之间的平衡。

2.2 生命周期成本与效益

从全生命周期角度来说,轮胎配方设计不仅会改变生产阶段的成本,还会对它的使用阶段产生影响。生产阶段,轮胎的配方、材料的选择会决定生产的能耗以及原材料的使用情况,不同的配方会造成不同的制造效率及成本投入。使用阶段,配方设计会直接对轮胎的燃油消耗、耐久性以及行驶稳定性产生影响,进而作用于车辆运营成本。采用低滚动阻力配方可以提升燃油经济性,降低油耗,并且能减轻用户的使用负担。耐磨性、轮胎寿命都会对轮胎的更换次数造成影响,从而影响到车辆整体使用的总成本。

生命周期成本的评价不能只看轮胎生产、使用的阶段,还要考虑废弃回收阶段的成本。伴随着全世界环保政策越来越严苛,轮胎回收处理也成了不能被忽略的一个环节。选择易回收的材料或者采用环保型配方,尽管会增加生产过程中的初始投入,但从整个生命周期的角度看,该种设计可以减少废弃轮胎处理成本以及环境治理费用。利用生命周期成本效益分析,可以清楚的找出各种配方设计对于全生命周期成本的影响,从而做出更好的配方选择。

2.3 成本控制与性能优化的平衡

轮胎成本控制和性能改善是配方设计中的一大难题。一般情况下,提高轮胎性能(耐磨性、舒适性、安全性等)会用到价格高的材料以及复杂一些的制造工艺,从而造成初期生产成本增加。消费者的使用阶段对轮胎的性能有耐久性、舒适度和燃油经济性等各

方面的要求,在满足这些要求的同时还要考虑成本问题。配方设计要兼顾各项性能指标,在保证高性能的基础上尽量减小生产成本和使用成本。

为了达到成本效益的最大化目的,轮胎生产厂家要对材料以及工艺进行细致的选择,并且依靠改变配方设计中所用的原材料比例的方式来达成成本与性能之间的平衡。使用改性橡胶、增强剂可以提高轮胎性能,在保持其他材料价格不变的情况下达到整体成本控制的目的^[3]。使用新的生产工艺、改进生产过程、提高生产效率可以有效地降低单位成本。经过这样的优化平衡之后,轮胎在保证性能的同时可以达到经济实用的目的,在市场上具有更强的竞争优势。

3 案例分析

选择三种常用的轮胎配方做对比,即标准配方、高性能配方和经济型配方。标准配方使用传统的橡胶、炭黑等材料,成本低,耐久性好,燃油经济性在行业内属于中游水平,符合大众市场的需求。高性能配方采用高档合成橡胶及耐磨材料,行驶稳定性、耐磨性更好,适合于高端车辆,低滚动阻力提高燃油效率、舒适性,但是生产成本高。经济型配方使用低成本的橡胶、填料,其主要目的就是降低成本,适合于低预算市场,但是会牺牲一部分性能,比如耐磨性、燃油效率等。从生产成本、使用阶段的经济效益和全生命周期成本三个角度来评价不同的配方在实际使用中具有的成本效益。

经过对比可知,高性能配方生产成本最高,但是它在使用阶段的经济效益最好,主要是因为它的使用寿命长、油耗低。虽然初始投资较大,但是由于其耐久性好、性能优越,在整个使用周期内所花费的总成本却比标准配方和经济型配方要低。高性能配方可以减小轮胎的更换次数、降低油耗和维修费,在长期使用过程中给车主节约更多的钱。标准配方在生产成本上比较均衡,但是由于耐磨性差、燃油效率低,造成使用过程中维修和更换成本高,从而增加了生命周期总成本。经济型配方虽然可以降低生产成本,但由于性能上存在不足,在使用过程中油耗高、轮胎寿命短,所以生命周期总成本也较高。虽然经济型配方初期购买价格低,但是长期使用成本使其没有很强的竞争优势。因此轮胎配方设计的改进要兼顾生产成本和使用成本,不能只顾眼前的成本降低而忽略长远的经济效益,并且还要考虑到消费者对于性能以及成本之间关系的需求^[4]。

4 经济性评估与优化策略

4.1 经济性分析模型

轮胎配方设计时常用到的经济性分析手段有成本

效益比 (BCR)、净现值 (NPV)。成本效益比 (BCR) 就是把配方设计的总效益和总成本进行比较, 来评价它的经济价值。BCR 值大于 1 代表该配方的设计是具有正向经济效益的, 即对企业的经营有利, 反之亦然。净现值 (NPV) 是将不同的配方所产生现金流按一定的折现率折算成现值, 然后求和得到未来现金流的现值, 进而更加真实的体现投资回报的长期效益。NPV 正值表示投资有正效益, 负值说明没有效益, 需要重新考虑配方设计。

这些经济性分析模型给轮胎制造企业给予科学的决策支撑, 可以促使它们评判各种配方的设计是否合理。利用这些工具可以对不同的配方进行比较, 从而做出更好的投资决策, 在成本控制以及效益回报方面表现好的配方上进行投资。企业可以采用敏感性分析来检验不同的市场、生产状况下配方的经济性, 在各种情况之下都保持较高的效益, 进而提升企业的竞争力以及市场份额。

4.2 配方优化建议

配方优化的关键之处就在于挑选合适的原料来调节生产成本与使用成本两者间的对比情况。用合成橡胶代替天然橡胶可以降低生产成本, 也可以提高轮胎的耐磨性及寿命。合成橡胶耐老化性好、滚动阻力小, 能提高燃油效率、延长使用寿命, 降低车主使用成本。在配方中加入碳黑、硅材料以及橡胶等物质之后, 可以改善轮胎的滚动阻力状况, 并且减小油耗数值, 进而提升车辆的燃油效率。保证轮胎性能的前提下, 选用低成本填料、添加剂代替部分昂贵的材料, 可使总成本下降, 利润增加。

配方优化还要考虑环保的要求以及市场对于绿色产品的需要。使用环保材料可以降低生产成本, 并且还可以减小轮胎在使用、废弃过程中给环境造成的不良影响。绿色化学技术应用, 用可再生材料代替不可再生资源、减少有害化学品的加入来达到减缓环境压力的目的, 并且不会对产品的市场价值造成影响^[5]。这些优化手段既可以改善轮胎的市场接受度, 又可以加强消费者的品牌忠诚度, 在日趋重视环保的市场中占有优势, 给企业带来更高的经济效益。

4.3 全生命周期成本优化

全生命周期成本优化是轮胎企业降低成本的主要方法。在生产环节中, 企业可以采用先进的生产设备、自动化的生产流水线和精细化的管理模式来提高生产效率、减少能源消耗和原材料的浪费。利用准确的工艺控制来减小由于过程不稳定造成的质量波动, 从而降低废品率。改善生产过程以削减废料的生成并提升资源回收利用率, 也属于缩减生产环节成本的有效手

段。引入智能化生产设备之后可以对生产过程中的各种参数进行实时监测与调节, 进而提高生产效率、降低物料损耗, 并且使生产成本得到不断改善。

在使用和废弃回收过程中, 配方的设计也起着非常重要的作用。经由改善轮胎的耐久性、耐磨性以及燃油效益, 可以缩减消费者使用成本, 并且可以加大轮胎的服役年限, 进而削减频繁换胎及修缮支出。使用抗老化的材料或者改善表面处理工艺, 使轮胎具有较好的耐磨性能, 在炎热多雨的时候也能维持较高的使用寿命^[6]。废弃回收阶段的改进就是用可回收材料、先进的废轮胎处理技术等来降低废弃回收成本, 并且还可以减少污染。回收材料再利用可以减小新轮胎的原料使用量, 从而节约资源、降低成本。经过第一阶段的综合分析, 第二阶段的成本控制、第三阶段的技术革新之后, 轮胎制造企业就可以降低生产成本、提升自身市场竞争力, 并且走向可持续发展之路。

5 结论

本文从全生命周期的角度出发, 对轮胎配方设计对于各个阶段的成本效益进行分析。研究表明高性能配方虽然生产成本低, 但是由于它的耐磨性好、燃油效率高, 所以生命周期成本比标准和经济型配方低。相反, 标准和经济型配方的生产成本低, 但是油耗高、寿命短造成总成本高。因此轮胎配方的设计要兼顾性能和成本, 减少长期使用的成本, 最大化经济效益。伴随着环保政策的发展, 轮胎回收以及资源再利用将会成为重要的问题。轮胎制造商需关注环保材料和智能制造技术, 提升产品的可持续性。优化配方设计以减小整个生命周期的成本为手段, 是提高市场竞争力的主要方式。

参考文献:

- [1] 国家知识产权局. 一种轮胎生命周期管理系统及方法 [J]. 轮胎工业, 2025, 45(08): 479.
- [2] 李建鹏. 轮胎配方优化与硫化工艺对轮胎性能的影响研究 [J]. 中国轮胎资源综合利用, 2025, (01): 33-35.
- [3] 李翠平, 张新军, 李鹏. 轮胎全生命周期碳中和技术的发展 [J]. 橡胶工业, 2024, 71(01): 75-79.
- [4] 杨海龙, 万如, 杜凡. 高性能轮胎胎面配方开发 [J]. 特种橡胶制品, 2022, 43(06): 40-43.
- [5] 林凯. 轮胎自洁素的配方设计与优化 [J]. 河南化工, 2022, 39(10): 27-30.
- [6] 徐岩, 王传磊. 超耐磨半钢子午线轮胎胎面配方设计 [J]. 中国橡胶, 2020, 36(11): 39-42.

作者简介:

杨斌 (1985-), 男, 汉族, 山东济南人, 专科, 助理工程师, 研究方向: 轮胎配方设计和研发工作。