

基于制动能量回收导致轮胎偏磨损的轮胎定位优化

张相琴,徐峰,韩志明

(上海蔚来汽车有限公司,上海 201804)

摘要:针对电动汽车耐久性能路试出现的轮胎偏磨损问题,采集制动能量回收对应的制动力矩,基于双横臂悬架的Kinematic & Compliance曲线计算制动力与前束的关系曲线。结果表明:电动汽车采用制动能量回收模式会增大制动力,减小前束值;减小前束值会加剧轮胎内侧偏磨损。补偿基于侧滑机理设定的前束值后电动汽车耐久性能路试结果表明,行驶5.5万km后轮胎的最大偏磨损量仅为0.65 mm,解决了由于电动汽车制动能量回收产生的制动力增大而引起的轮胎偏磨损问题。

关键词:电动汽车;前束;轮胎;偏磨损;制动能量回收;台架试验;定性分析

中图分类号: TQ336.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2022)01-0054-04

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2022.01.0054



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎偏磨损有多种形式,其中之一是胎肩不均匀磨耗而导致轮胎提前报废,缩短轮胎使用寿命,甚至引起爆胎故障,危害行驶安全,并造成经济损失。引起轮胎偏磨损的机理很复杂,主要涉及因素包括轮胎的结构设计和材料、车辆的使用和匹配设计以及行驶路面和驾驶习惯^[1-5]。其中,静态初始轮胎定位参数——前束和外倾角是造成轮胎偏磨损的重要因素^[4-5]。初始轮胎定位参数设定是根据不同车型的设计理念、整车匹配等对应的外倾角变化来设计的。例如为了获得更好的轮胎侧偏性能和操控性能而增大负外倾角。为了平衡外倾角的影响,需要匹配前束值来保证轮胎的直线行驶和减小滚动阻力。文献[6-8]分析前轮在前束和外倾角作用下的运动轨迹的几何关系,推导出前束和外倾角的匹配公式。文献[9]采用分析法优化前束和外倾角的匹配,计算出最小侧滑对应的前束值。车辆行驶时轮胎会受到滚动阻力、侧向力、制动力及牵引力的作用,导致轮胎磨损分布差异。其中,电机在车辆行驶时充当电动机,在进入能量回收模式时利用制动减速的能量充当发电机。将制动的能量存储到电池中,一方面可以延长车辆制动器的使用寿命,另一方面可延长电动汽车的续航里程^[10]。

作者简介:张相琴(1988—),女,上海人,上海蔚来汽车有限公司工程师,硕士,主要从事汽车底盘系统集成工作。

E-mail: xiangqin.zhang@nio.com

本工作基于有关前束和外倾角的侧滑机理^[6],设定电动汽车的双横臂悬架的初始轮胎定位参数。针对电动汽车耐久性能路试出现的轮胎偏磨损问题,采集整车能量回收对应的制动力矩和计算双横臂悬架模型对应的KC(Kinematic & Compliance,运动学和柔性)曲线,发现电动汽车使用能量回收模式会增大制动力和能量回收频次,减小前束值。同时,轮胎台架试验也定性验证了减小前束值会加剧轮胎内侧偏磨。最终,通过耐久性能路试确认修正的前束值与外倾角匹配,轮胎偏磨损量满足设计要求。

1 制动能量回收对四轮定位和轮胎异常磨损的影响

1.1 轮胎定位初始设定

电动汽车轮胎的前束和外倾角匹配参考文献[6]采用下式计算轮胎的接地印痕长度(l)。

$$l = 2\sqrt{(D - \Delta)\Delta} \quad (1)$$

式中, D 为轮胎名义直径, Δ 为转向轮胎在前桥垂直负荷作用下的径向变形量,由下式确定:

$$\Delta = 19.1 \times \frac{ck(0.5G_1)^{0.85}}{P^{0.5}B^{0.7}D^{0.45}} \quad (2)$$

式中: c 和 k 均为修正因数,子午线轮胎的 c 为1.5, $k=0.0015B+0.42$; B 为轮胎断面宽度, G_1 为前桥的垂直负荷, P 为轮胎充气压力。

基于前束和外倾角匹配轮胎侧滑量最小的几

何关系,在角度较小时,前束(β)与外倾角(γ)的对应关系简化公式为

$$\beta = \frac{24K_z L d \gamma}{(8L - l)(3DK_z - G_1)} \quad (3)$$

式中, K_z 为轮胎的径向刚度, L 为整车轴距, d 为测量前束处的轮辋直径。

计算前束值需要的整车参数为: c 1.5, k 0.8175, G_1 13 000 N, D 722 mm, P 260 kPa, γ 0.008 5 rad, d 534 mm, K_z 330 N·mm, L 3 010 mm。计算的轮胎接地印痕长度为232 mm。为了改善转弯的稳定性和操控性能,静态外倾角初始值设为 -0.5° 。将前束的单位转化成角度^[11],静态前束初始值设为 0.1° 。

1.2 轮胎偏磨损量

耐久性能路试数据(每5 000 km记录一次)显示,耐久路试的前轮轮胎为内侧偏磨损。最严重的车辆行驶45 000 km时轮胎内侧偏磨损量为2.2 mm。理论上轮胎达到磨损极限1.6 mm就需要更换,此时的内侧花纹沟深度仅为1.52 mm,如图1所示。关于偏磨损量,行业内没有定量标准^[3],在满载情况下,每1万km的轮胎内外侧偏磨损量应不超过1.5 mm。

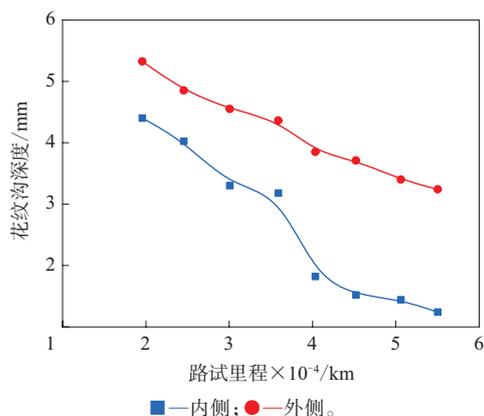


图1 初始定位参数轮胎的偏磨损情况

1.3 制动能量回收对轮胎定位的影响

为了提供更长的续航里程,电动汽车采用滑行能量回收模式,即松开油门踏板,车辆处于滑行状态时电机给出制动力矩,从而通过能量回收实现车辆减速。该车型通过CAN软件通信,采集前电机在 $0.2g$ (g 为重力加速度)加速度下对应的输入扭矩为 $200 \text{ N} \cdot \text{m}$,考虑到传动比,折算到单胎

的制动力矩为 $960 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。轮胎的动态半径为 375 mm ,则对应的制动力为 $2 560 \text{ N}$ 。

基于Adams/Car软件建立汽车双横臂悬架模型,如图2所示,计算得到制动力与前束的关系,如图3所示。基于该曲线,制动力 $2 560 \text{ N}$ 对应的前束值将会减小 0.05° 。

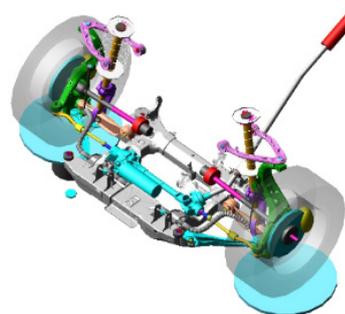


图2 基于Adams/Car软件建立的汽车双横臂悬架模型

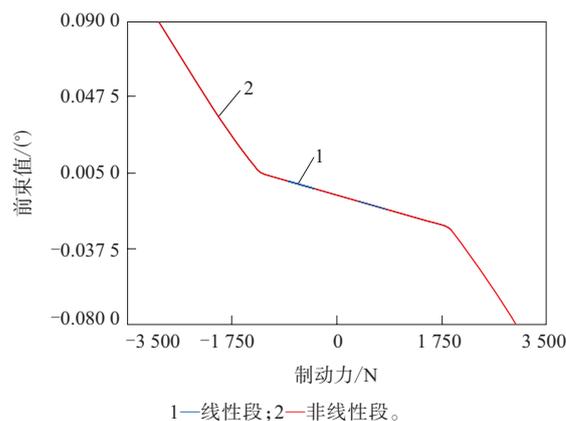


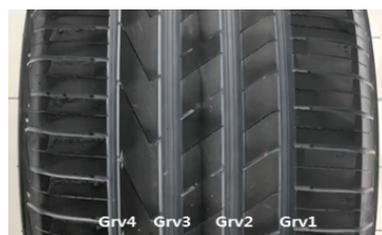
图3 基于KC曲线计算的制动力与前束的关系曲线

2 轮胎磨损台架试验和路试验证

轮胎磨损试验按照满载要求设定垂直负荷和充气压力,车速为 $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,测试时间为11 h。分别收集3组轮胎定位参数对应的轮胎磨损情况,如图4和表1所示。

从表1可以看出,前束 -0.2° , -0.1° 和 0° 对应的均是内侧偏磨损,内侧偏磨损量分别为0.39,0.29和0.04 mm,可见前束初始负值越大,轮胎越容易产生内侧偏磨损。

为了补偿能量回收的影响,将前束初始值从 0.1° 更改为 0.15° ,重新进行耐久性能路试,结果如图5所示。

(a) -0.2° (b) -0.1° (c) 0°

左面为外侧,右面为内侧。Grv1—4为花纹沟1—4。

图4 不同前束值对应的轮胎实际偏磨损情况

表1 轮胎定位参数对应的轮胎磨损量 mm

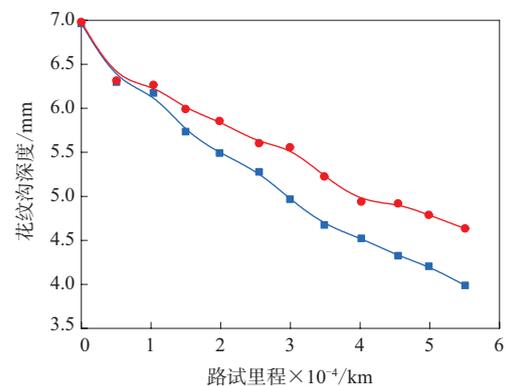
项 目	前束/($^\circ$)		
	-0.2	-0.1	0
花纹沟1	0.87	0.84	0.93
花纹沟2	0.37	0.44	0.62
花纹沟3	0.29	0.42	0.66
花纹沟4	0.48	0.55	0.89
偏磨损量 ¹⁾	0.39	0.29	0.04

注:1)偏磨损量为花纹沟1与4磨损量之差;外倾角为 -1° 。

从图5可以看出,行驶5.5万km后轮胎的偏磨损最大值为0.65 mm,提高了轮胎的使用寿命。

3 结语

本工作基于涉及前束和外倾角的侧滑机理设定电动汽车的双横臂悬架的初始定位参数,针对耐久性能路试中出现的轮胎内侧偏磨损问题,考虑能量回收的影响,增大前束初始值,通过耐久性



注同图1。

图5 前束值修正后轮胎的偏磨损情况

能路试验证了修正的前束值与外倾角匹配,轮胎偏磨损量满足设计要求,主要得到如下结论。

(1)电动汽车使用制动能量回收模式会增大制动力,减小前束值。

(2)前束初始负值越大,轮胎越容易产生内侧偏磨损。

(3)考虑制动能量回收影响补偿的前束值与外倾角匹配,轮胎偏磨损量满足设计要求。

参考文献:

- [1] 黄海波,靳晓雄,丁玉兰,等. 轮胎偏磨损机理及数值解析方法研究[J]. 同济大学学报,2006(2):234-238.
- [2] 庾晋,周洁. 影响轮胎磨损的因素探讨[J]. 轮胎工业,2002,22(10):629-630.
- [3] 庄毅胜,严磊,郑作民,等. 悬架K&C特性在轮胎偏磨损问题中的研究应用[J]. 汽车使用技术,2013(6):34-37.
- [4] 安相避,李树珉,马效. 轮胎定位与轮胎磨损关系的分析[J]. 汽车研究与开发,2002(2):29-32.
- [5] 阚萍,王雷,王传磊,等. 汽车前轮定位参数影响轮胎异常磨损研究[J]. 农业装备与车辆工程,2016,4(4):4-7,11.
- [6] 马俊,钱立军. 汽车外倾角与前束值的合理研究匹配[J]. 合肥工业大学学报,2012(1):24-28.
- [7] 魏道高,陈雪琴,胡能俊,等. 车辆前轮前束值和外倾角合理匹配算法的商讨[J]. 拖拉机与农用运输,2003,19(6):139-142.
- [8] 马文烈,李芳根,刘仁鑫,等. 轮胎外倾角与前束合理匹配的研究[J]. 拖拉机与农用运输,2006(6):51-52.
- [9] 宋年秀,樊攀,胡韶文,等. 基于轮胎磨损的外倾角与前束值匹配的研究[J]. 汽车技术,2015(4):28-32.
- [10] 张洪威,段恒,穆凯,等. 电动汽车制动能量回收系统的探究[J]. 工程技术与应用,2018(11):74-75.
- [11] 耶尔森·赖姆帕尔. 底盘基础[M]. 北京:科学普及出版社,1992:91-92.

收稿日期:2021-07-19

Tire Alignment Optimization Considering Uneven Tire Wear due to Brake Energy Recovery

ZHANG Xiangqin, XU Feng, HAN Zhiming

(NIO Co., Ltd, Shanghai 201804, China)

Abstract: Aiming at the problem of uneven tire wear in the durability road test of electric vehicle, the braking torque corresponding to braking energy recovery was collected, and the relationship curve between the braking force and the toe was calculated based on the kinematic & compliance curve of the double wishbone suspension. The results showed that using energy recovery mode could increase the braking force and reduce the toe value. At the same time, reducing the toe value could aggravate the inner side uneven wear of the tire. The durability road test results of the electric vehicle after compensating the toe value set based on the side slip mechanism showed that, the maximum uneven wear of the tire after driving 55 000 km was only 0.65 mm, which solved the problem of uneven tire wear caused by the increase of braking force due to the braking energy recovery of the electric vehicle.

Key words: electric vehicle; toe; tire; uneven wear; brake energy recovery; bench test; qualitative analysis

圣奥化学发布“迈向蔚蓝”行动计划

日前,在连云港市举行的“圣奥化学-霍尼韦尔低碳新技术交流会”上,圣奥化学科技有限公司(简称圣奥化学)正式发布“迈向蔚蓝”低碳商业模式转型行动计划。

霍尼韦尔特性材料和技术集团副总裁兼亚太区总经理刘茂树、霍尼韦尔中国区业务发展副总裁黄志明等以及圣奥化学相关管理人员出席并见证了“迈向蔚蓝”行动计划发布仪式。

发布仪式上,圣奥化学CEO苏斌表示,在国家“双碳”目标的指引以及中国中化和中化国际的要求下,圣奥化学积极践行绿色发展理念,发布“迈向蔚蓝”行动计划,通过全方位技术革新、工艺改造和生产管理,减少碳排放量和自身运营给环境带来的影响,打造中国精细化工工业界的绿色低碳发展典范。

圣奥化学作为中化国际成员企业,是全球领先的聚合物添加剂服务商,战略定位为发展以聚合物添加剂、高精专化学品转型升级为核心的高端专用化学品产业链。目前,圣奥化学的碳排放主要来自电、蒸汽等二次能源消耗带来的间接排放。

为了实现“双碳”“双控”目标,圣奥化学采取

了以下四方面行动。

(1)合理设计产品结构,采用环保工艺。通过合理设计产品结构、优先发展高技术含量、高附加值的高精专化学品产业,凸显低碳循环经济优势,实现节能减排目标。

(2)优化集成节能减排技术,发展循环经济。依托下属企业所在园区布局,使用集中供气供热,促进水资源循环利用,推进废气、废液、废渣资源化利用,加强物质流管理,实现循环化发展。

(3)加强能源管理,全面优化运营管控。根据各级政府和管理部门对节能减排、“双碳”工作的规范和要求,逐步建立和完善能源管理体系。

(4)使用清洁原料,提升资源利用率。根据国务院印发的《2030年前碳达峰行动方案》,国家鼓励石化企业调整原料结构,使用轻质化原料代替传统原料;提升碳原子利用效率,减少二氧化碳在生产过程中的排放;不断进行技术改进和研发创新,增加低碳原料的使用以及物料的梯级循环使用;鼓励并引导合作伙伴制定减排计划,实施减排项目,将低碳理念贯穿产业链各个环节,减少产品全生命周期的碳排放。

(本刊编辑部)