

# Experimental Analysis and Adjustment Strategy of Four-wheel Alignment on Vehicle Tire Wear

Shaoping Chen

ShangHai Yulu Automotive Technology Co., Ltd., Shanghai, China

## Abstract

This article conducts an in-depth analysis of the relationship between wheel alignment and tire wear, exploring corresponding adjustment strategies. By elaborating on the principles and technologies of wheel alignment, it clarifies the main factors affecting tire wear. The experimental design is rigorous, the testing process is comprehensive, and the data analysis methods employed are precise, ensuring the reliability and accuracy of the experimental data. The results indicate that proper wheel alignment has a significant effect on reducing tire irregular wear. The article also provides a detailed analysis of tire irregular wear and proposes targeted adjustment strategies, offering theoretical basis and practical guidance for tire irregular wear issue. In conclusion, this article summarizes the importance of wheel alignment in vehicle tire wear test and presents prospects for future research directions.

## Keywords

Four-wheel alignment; Vehicle tire wear; Experimental design; Data analysis; Adjust strategy

## 四轮定位对车辆轮胎偏磨的实验分析与调整策略

陈少平

上海御录汽车科技有限公司, 中国·上海 201800

## 摘要

本文围绕四轮定位对车辆轮胎偏磨的关系进行深入分析,探讨了相应的调整策略。通过阐述四轮定位的原理及技术,明确了车辆轮胎偏磨的主要影响因素。实验设计严谨,测试流程完整,采用的数据分析方法精确,确保实验数据的可靠性与准确性。实验结果表明,合理的四轮定位对减少轮胎偏磨有着显著效果。文章还对轮胎偏磨进行了详尽分析,提出了针对性的调整策略,为轮胎偏磨问题提供理论依据和实践指导。最终,本文总结了四轮定位在车辆轮胎磨耗试验中的重要性,并对未来研究轮胎磨耗、偏磨方向提出展望。

## 关键词

四轮定位; 车辆轮胎偏磨; 实验设计; 数据分析; 调整策略

## 1 引言

在车辆行驶过程中,四轮定位对于确保车辆行驶的操控性、舒适性和安全性至关重要,以及对轮胎偏磨有一定影响;四轮定位参数不合格会导致车辆跑偏,方向盘异常抖动,回正困难等问题,定位不准会导致轮胎发生偏磨。轮胎的不均匀磨耗还会影响轮胎的通过噪声、驾乘舒适性以及牵引和制动性等诸多性能,因此轮胎磨耗始终是国内外研究的一个热点问题【a】。

轮胎磨耗的研究方法主要有室外路试、室内转鼓测试以及数值分析法【b-c】。轮胎磨耗室外路试是最接近客户实车驾驶的磨耗方法,实验分析选择了A00级小型纯电动车进行测试,测试轮胎花纹为轿车轮胎花纹;测试严格按照

轮胎磨耗试验标准进行测试。测试设备包括PBOX、GPS和TPMS。在采集数据阶段,记录好磨耗车辆在不同工况下的轮胎偏磨情况,包括轮胎主沟花纹深度、肩部花纹深度、硬度及轮胎不均匀磨损问题。

根据《汽车轮胎道路磨耗试验方法》(GB/T 29041),实验对轮胎偏磨程度进行定量分析,磨耗试验总里程设定9000km,每行驶3000公里进行换位并测量花纹深度。通过对不同工况(城市公路、山路、一般公路、高速)中的定位角度进行调整,优化了轮胎的接触面,减少了不均匀磨损现象。

根据轮胎花纹每个阶段测量数据,对于有轮胎偏磨问题的车辆,进行车辆四轮定位参数调整,包括对前束角和外倾角的调整,以改善轮胎偏磨现象。

调整四轮定位参数的车辆,轮胎磨耗测试车辆经过3000km测试,结果反馈轮胎偏磨问题得到改善,轮胎预测平均里程公里数提高,且行驶操控性和安全性得到显著改

【作者简介】陈少平(1982—),男,中国江西吉安人,硕士,中级职称,从事汽车车轮轮胎研究。

善。进一步的磨耗数据分析表明,车辆定期进行四轮定位,不仅能改善轮胎偏磨问题,而且能够提高轮胎里程公里数。

## 2 车辆轮胎偏磨的影响因素

车辆轮胎磨损的影响因素主要包括四轮定位、驾驶习惯、路面状况、胎压、负载、以及气候条件等。合理的控制好胎压、定期进行四轮定位、调整合适的载重及改善驾驶行为是减少轮胎磨损的有效策略。

在所有的轮胎磨损影响因素里面,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的重要因素【d-e】,四轮定位涉及到前束角、外倾角、内倾角和后倾角等多个参数,它们对轮胎的接地面积及磨损模式形成直接影响。四轮定位不当会导致轮胎偏磨、车辆跑偏等问题,进而影响轮胎寿命。外倾角过大会导致轮胎内侧偏磨,过小会导致外侧偏磨;前束角异常会导致轮胎偏磨问题或方向盘抖动问题;外倾角与前束角共同偏差容易引发胎面局部过度磨损,两者也是影响四轮定位参数的主要参数;四轮定位异常会显著加速轮胎磨损,缩短使用寿命,科学管理四轮定位可以延长轮胎寿命,同时还可以提升操控安全性和燃油经济性。

## 3 四轮定位的技术和影响

Walloch 认为轮胎花纹块大小或者刚度的不均匀会造成胎面花纹块前部磨损的不均匀,而对于具有前束角的驱动轮,其内侧胎肩的花纹块磨损较为严重。而 Stalnaker 的观点则是“在具有前束的驱动轮上,因为在外侧胎肩上存在着曲率造成的推力和前束造成的侧向力,使磨损主要出现在外侧胎肩;锯齿形磨损出现在经常制动的自由转动车轮上,在驱动轮上由于制动力和驱动力相互平衡则不会出现这种情况”。对于胎冠磨损和胎肩磨损的成因,Walloch 和 Stalnaker 的理论最具有代表性,他们认为由于轮胎的弯曲变形,导致了轮胎中间(胎冠)和轮胎边缘(胎肩)之间的周长差,其产生的轮胎内力作用在胎冠上如同驱动力,作用在胎肩上如同制动力;胎冠处内力与驱动力共同作用导致胎冠磨损加剧,而在自由转动的车轮胎肩处内力如同制动力,导致胎肩磨损加剧 [f]。

四轮定位是通过调整车辆四个轮胎之间的角度关系,通过优化轮胎与地面的接触,以提高车辆行驶稳定性、操控性和轮胎寿命。四轮定位主要涉及的技术参数包括前束角、外倾角、内倾角和后倾角。前束角指车轮中心线与车辆纵向中心线在水平面上的夹角。正前束角是为了补偿行驶中因驱动力导致的车轮外张;负前束角是为了提升转向灵敏性,常见于运动车型。外倾角是车轮中心线与垂直线的夹角。正外倾是为了增强转弯时的轮胎接地面积,负外倾是为了提升车辆直线行驶稳定性。

四轮定位的目的是基于车辆行驶过程中轮胎与地面之间的摩擦力,通过精确调整几何参数,最大化接触面积,降

低轮胎磨损。在实际调整中,技术人员会通过松动轮胎悬挂系统连接部件,如转向节、控制臂、衬套等,进行前束角和外倾角的微调。

四轮定位参数是造成轮胎异常磨损的主要原因,在车轮定位参数中,车轮外倾角和前束角对轮胎磨损有较大影响,如两者不能很好匹配,会加速轮胎的磨损,使轮胎的使用寿命大大缩短。车轮外倾角和前束角在汽车使用过程中要发生变化,一旦两参数的平衡被破坏,车轮就不可能是纯粹的向正前方向滚动,而产生向内侧滑或向外侧滑,从而引起轮胎的偏磨损。车轮的外倾角过大,造成轮胎胎冠外侧磨损;车轮的外倾角过小或负外倾,造成轮胎胎冠内侧磨损;前束角过大,车轮内侧花纹沟边部起绒毛状磨损,或似荷叶边状的磨损,磨损痕迹从内到外,横过胎面;当前束角过小时,车轮外侧边部花纹沟起毛,磨损严重;

## 4 测试方法

测试方法按照 GB/T 29041 轮胎道路磨耗试验要求,轮胎磨耗试验总测试里程 9000km;试验胎压和载荷都按照标准要求要求进行。

测量数据要求,每 3000 公里为一个阶段,每个阶段花纹测量一次,即 3000km、6000km、9000km 时进行测量轮胎花纹沟深、检查轮胎磨损梯度、检查轮胎磨损均匀程度,观察轮胎有无异常。

对于轮胎换位原则为每行驶 3000km 进行前后交叉即 FL → RR、FR → RL、RL → FL、RR → FR 对调。轮胎换位时重新做动平衡并记录数据;轮胎换位方法如图 A.1 所示:

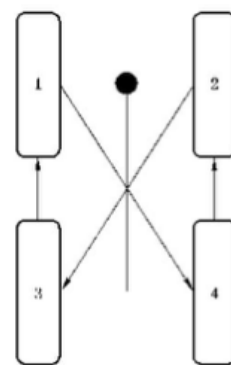


图 A.1 单车试验换位示意图

每个阶段前后需将磨耗轮胎车辆进行四轮定位测量。基于实验设计,四轮定位的具体参数调整包括前轮外倾值和前束值。四轮定位后的实地测试要求是将所有参数调整至用户手册要求的合理范围内。

PBOX 通过记录实时收集轮胎速度、径向加速度、纵向加速度、距离等参数。通过 GPS 可以记录车辆行驶轨迹。PBOX 能够精确测量、记录和分析车辆的各种动态性能参数(速度、加速、制动、G 值等)。GPS 记录驾驶员行车路线,保证驾驶的磨耗路线每一圈都一样。轮胎上安装好胎压监控

系统，确保轮胎胎压正常。

磨损评估采用轮胎花纹深度测量仪，测量轮胎胎面花纹深度，测花纹时首先要先做好轮胎标记，在轮胎胎侧上标记清晰轮胎方位和轮位（FR,FL,RR,RL）；轮胎磨损标识位置作为测量点，沿周向顺时针方向等间距（约 60°）划分六个测量点并将序号（1.2.3.4.5.6）清晰标记。确保试验过程中标记清晰可见。研究的花纹沟深度包括轮胎主沟和内外侧沟。

实验结束后，通过对每个阶段轮胎花纹数据进行剖析，从而分析出轮胎磨损的情况，再通过对比每阶段试验前后的四轮定位参数，来预测轮胎下阶段的偏磨并调整四轮定位参数。

本次测试车辆为 A00 级小型纯电动车，驱动电机为单电机，电机布置采用前置布置，驱动方式采用前置前驱，前悬架类型为麦弗逊式独立悬架，后悬架为扭力梁式非独立悬架。四轮定位指标为空载状态，因考虑到后悬架为扭力梁式非独立悬架，后轴四轮定位参数是不可调的，所以选择只调整前轴的外倾角和前束角。

## 5 四轮定位调整及轮胎偏磨分析

在本实验中，数据采集与分析方法主要包括轮胎磨损数据的获取、四轮定位参数的测定，以及最终的数据分析处理。

### 5.1 四轮定位调整

四轮定位参数根据车轮几何学原理进行精确测量。四轮定位是轮胎偏磨的主要因素，测量内容主要是前束角和外倾角，使用专业的四轮定位仪进行测试与校正。四轮定位仪的测量误差控制在 ±0.01°，确保了数据的有效性。在静态场景下，车辆需置于平坦水平的测试台上，并根据车辆制造商提供的初始标准值进行对比。

本次测试车辆初始阶段的四轮定位参数：前轴外倾角（左）为 0° 07'，前轴外倾角（右）为 -0° 32'，前轴前束角（左）为 0° 14'，前轴前束角（右）为 0° 13'；后轴外倾角（左）为 -0° 37'，后轴外倾角（右）为 -0° 27'，后轴前束角（左）为 0° 04'，后轴前束角（右）为 0° 10'；

在 0km, 3000km, 6000km,9000km 对轮胎进行花纹测量，根据花纹沟深偏磨情况，对四轮定位参数进行调整。为进一步验证四轮定位数据对轮胎偏磨影响，采用 3000km 和 6000km 对四轮定位进行测量以及调整。

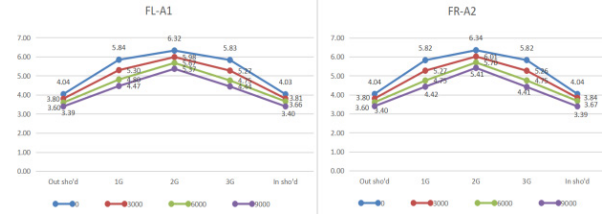
项目	初始标准值	位置	0km	3000km	3000km	6000km	6000km
			空载	满载空载	满载空载	满载空载	满载空载
前轴	外倾角	左	0°07'	-0°02'	-0°04'	-0°01'	-0°27'
		右	-0°32'	-0°47'	-0°37'	-0°40'	-0°49'
	前束	左	0°14'	-0°16'	0°06'	0°15'	0°04'
		右	0°13'	-0°20'	0°05'	0°03'	0°10'
后轴	外倾角	左	-0°37'	-0°46'	-0°37'	-0°35'	-0°32'
		右	-0°27'	-0°43'	-0°35'	-0°34'	-0°37'
	前束	左	0°04'	0°06'	0°07'	0°06'	0°05'
		右	0°10'	0°05'	0°04'	0°07'	0°06'

### 5.2 轮胎偏磨分析

实测试验车辆的轮胎的花纹主沟有 3 条，需测量轮胎花纹三条主沟花纹（1G、2G、3G）和内外二条侧沟花纹（Out sho' d 和 In

sho' d）。周向测量 6 个位置，取 6 个点的平均值作为测量结果，试验开始到结束的所有测量应由同一个人完成。在 0 公里、每个阶段结束后测量花纹沟深。

图 X 是试验车辆前轮各阶段轮胎花纹深度图，FL-A1 代表左前轮胎，FR-A2 代表右前轮胎：



从轮胎的各阶段花纹数据可以看出，每个阶段，轮胎都出现不同程度的偏磨。轮胎偏磨是轮胎磨损不均匀程度（如胎肩过度磨损、中心磨损、锯齿状磨损等）的体现。偏磨指数 ΔW 表示轮胎不同部分（如内侧 VS 外侧，或左胎 VS 右侧）的磨损程度。

磨损性能偏磨分析的计算公式：

$$\Delta W = \frac{(Max RSD - Min RSD)}{Max RSD} * (GDP - TWI)$$

ΔW: 偏磨指数

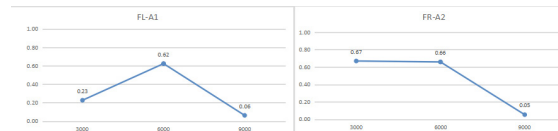
Max RSD: 测量的最大磨损量

Min RSD: 测量的最小磨损量

GDP: 初始测量最大沟深

TWI: 磨损标记高度

每个阶段左前胎和右前胎的肩部磨损指数如图 X 所示，FL-A1 代表左前轮胎，FR-A2 代表右前轮胎：



从轮胎的各阶段前胎肩部的磨损指数可以看出，四轮定位的调整对轮胎的偏磨影响非常大，在 9000km 调整四轮定位参数后，轮胎偏磨指数大大降低，并趋于线性稳定，9000~15000 磨损阶段，轮胎偏磨问题基本解决。

## 6 结语

四轮定位实验结果表明，车辆轮胎偏磨程度与四轮定位的参数存在密切关系。

针对不同路况，PBOX 数据分析显示，城市道路与高速公路的四轮定位需求存在显著差异。在城市道路行驶的车辆，通常需要更严格的前轮定位调整，以应对频繁的转弯和减速现象，而在高速公路情况下则可适当放宽对此参数的要求。

驾驶员因素对轮胎磨损影响比较大，从国内现有的

资料看,对驾驶员对轮胎磨耗及偏磨的影响还不够深入,有待进一步研究探讨。驾驶苛刻度 DSN (Driving Severity Number) 作为轮胎偏磨损理论研究的重要方向,因此,驾驶苛刻度 DSN 是今后轮胎偏磨损理论研究的一个重要方向。

### 参考文献

- [1] 康凯.轮胎综合性能测试评价体系研究及验证[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
- [2] 尹海山.轮胎磨耗及其温度场的理论与实验研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2017.
- [3] 张竞楠.轮胎胎面磨耗仿真分析及磨耗特性的研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2019.
- [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] 董保利.滚动轮胎稳态磨损及其主要影响因素分析[D].上海: 同济大学,2009.