

# 高速方向盘摆振问题关键控制 路径研究

刘亮, 钟秤平, 刘伟, 杨新星

江铃汽车股份有限公司 江西南昌 330052

**摘要:** Nibble问题随样本量增加而成显著增长, 为了避免其在投产和售后阶段出现大规模爆发, 需要花费大量的人力和物力来解决。研究方向盘摆振问题在新车开发过程中管控的方法, 通过对方向盘抖动机理和传递路径研究, 并借用CAE软件分析研究灵敏度因子, 组合有效方案, 对关键系统和零部件参数进行优化, 结合实车调校和验证, 使方向盘抖动问题在新车型投产前就能够得到有效控制。

**关键词:** 方向盘摆振; DOE分析; 轮胎均匀性; 转向助力特性; 固有频率

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.09.012

高速方向盘摆振使方向盘持续产生回转摆动, 影响转向操纵性, 严重时使车身产生明显晃动现象。随着高速公路驾驶工况增多, Nibble关注度越来越高。设计上规避Nibble成为新车型开发的重点, 也是难点, 其涉及到轮胎、悬挂、转向等多个系统耦合, 难解耦, 若前期设计不当, 底盘数据冻结后, Nibble问题可能会更加难解决。

## 机理分析

方向盘抖动主要发生车速在100~120km/h, 车轮等旋转件在旋转时, 因质量、力、尺寸等的不均匀, 产生力波动, 一部分通过转向系统传递给方向盘, 产生明显的方向盘摆振, 定义为Nibble。另一部分通过悬架传递给车架车身, 驾驶室座椅、地板和方向盘等产生明显的垂向抖动, 定义为shake。

## 传递路径

方向盘抖动从激励源车轮-路面和发动机输入, 方向盘反馈输出, 中间传递路径较多, 涵盖了悬架/转向/

制动/动力传动等多个系统零部件。当激励频率与其中某部件固有频率发生耦合时, 就会激励共振, 放大能量, 加剧方向盘抖动。

## 关键系统研究

根据Nibble发生机理和传递路径, 结合以往项目案例和经验总结, 将摆振问题从车轮端激励和车辆敏感性进行分解, 列出分析图, 如图1所示, 主要从车轮、悬挂和转向这三个系统来逐步研究。

## 灵敏度因子分析

Nibble DOE分析对关键系统和零部件设计有着重要的指导意义, 例如贾小利等人通过DOE正交试验优化系统衬套参数, 有效地抑制摆振现象, 取得良好的工程应用效果<sup>[1]</sup>。

当悬挂(转向)硬点和结构设计冻结后, 后期可调整的空间很小, 或者调整代价非常大, 所以需从前期设计上进行反复分析和验证, 提前规避问题。通过CAE仿真软件Adams创建整车模型, 分析出Nibble主

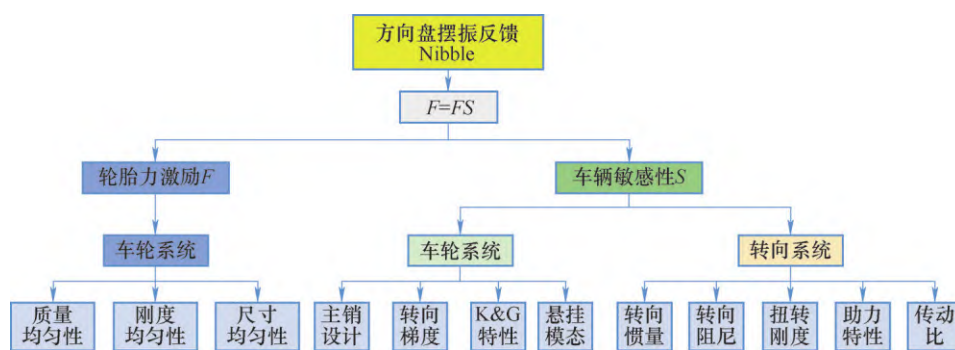


图1 关键系统影响分析

要灵敏度因子，对影响较高因子进行组合推荐，给出Nibble优化建议，如图2所示。

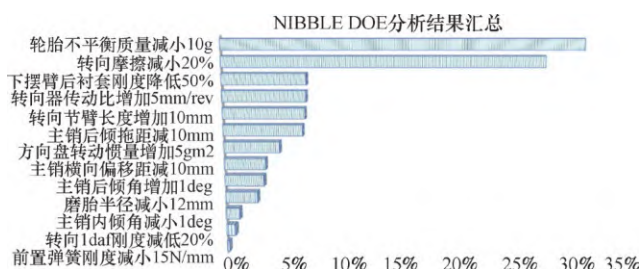


图2 Nibble DOE分析

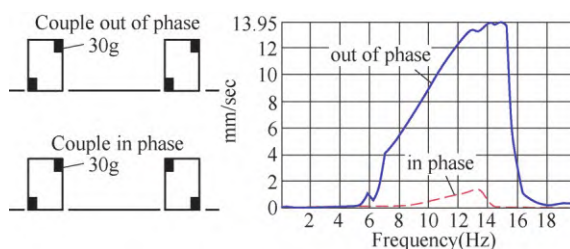
## 关键部件管控

### 1. 轮胎设计

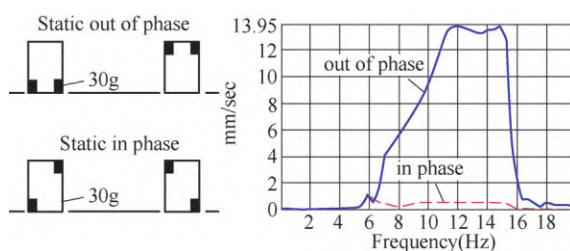
轮胎是激励源头，由于质量、内部刚度和几何尺寸等不均匀性，使车轮高速旋转时产生激励力，通过悬挂和转向系统传递反馈到方向盘上产生摆振，提高轮胎均匀性控制能有效减小Nibble的响应。刘程等对轮胎均匀性参数及影响因素做了比较详细的阐述和验证<sup>[2]</sup>。

(1) 质量均匀性：动平衡 经评估，当动平衡残余量接近30g时就容易出现Nibble，这时候就有必要对车轮进行重新动平衡，主机厂对动平衡残余量的控制标准一般在8~15g，这里推荐≤10g。

另外，动平衡在左右车轮的相位分布也有较大关系，这里将动平衡也进一步分解为偶平衡和静平衡，轮胎动平衡块在左右位置相同时，称为out of phase，而位置对称时，称为couple in phase，如图3所示。经分析，out of phase时，方向盘摆振响应较大，较容易感知到Nibble，而in phase时，响应很小，不容易察觉到Nibble。



a) 偶平衡相位分析



b) 静平衡相位分析

图3 轮胎动平衡分析

(2) 力均匀性：RFV和TFV 车辆行驶中，轮胎径向力偏差RFV及一次谐波R1H产生径向力波动，引发车轮垂向抖动。而切向力偏差TFV及一次谐波T1H使轮胎产生切向波动力，引发车轮纵向抖动。刘凤阳等研究了RFV随车速增加变化不明显，而TFV随车速增加而显著增加<sup>[3]</sup>，如图4所示。因此，车辆在高速行驶下，TFV对Nibble的影响也更大，但目前国内轮胎厂对TFV/T1H研究较少，无法量化控制。

因此，加强对RFV的管控，并进行了实车验证，这里根据RFV值挑选一批轮胎，将其分为A、B两组。其中：A组RFV>120N，B组RFV<100N。经验证，B组Nibble表现明显更好。

(3) 尺寸均匀性：RRO和LRO 当车辆长时间静置或车轮发生磕碰导致胎体失圆，或轮胎在制造过程中就出现了尺寸偏差等，也很容易引发Nibble，通常对

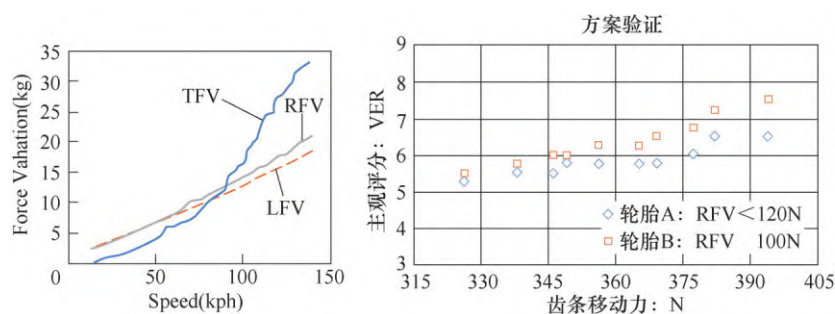


图4 轮胎径向力RFV验证

轮胎径向尺寸偏差 (RRO) 和侧向尺寸偏差 (LRO) 进行控制, 一般推荐  $< 1.2\text{mm}$ 。

另外, 轮辋与轮毂轴承的装配也非常重要, 若配合间隙过大, 使轮辋和轮毂轴承不同心, 从而导致 Nibble 进一步恶化。一般需对轮辋中心孔公差和轮毂轴承外径公差进行管控, 而配合间隙又不能过小, 否则容易装配干涉。目前国内已普及用锥形螺栓定位来替代中心孔定位, 其同轴度更好。

## 2. 悬挂设计

Nibble 发生时, 车轮绕主销轴线持续回旋摆动, 转向梯形和主销臂参数对摆振有力臂放大作用, 通过大量实车仿真分析并经过测试验证, 加大转向梯形臂长和减小主销力臂能有效控制方向盘摆振现象。

(1) 转向梯形臂设计 对于齿轮齿条式转向器, 梯形纵臂长  $l$  一般推荐  $135 \sim 145\text{mm}$ , 该值越大越有利于降低摆振的敏感性。但不能过大, 否则将影响最大齿条力, 最小转弯直径及转向传动比等。

(2) 主销参数设计 对于双叉臂型悬挂, 主销  $W$  值一般推荐  $\leq 5\text{mm}$ , 而轮心偏置距  $KPOS$  值推荐  $\leq 90\text{mm}$  时, 该值越小越有利于降低摆振的敏感性。但不能过小, 否则将影响转向回正, 弯道转矩增益及高速直线转向调控等。

(3) 悬挂 K&C 设计 悬挂 K&C 特性对 Nibble 也有

一定影响, 车轮跳动时前束梯度 (Bump steer)、外倾梯度 (Bump camber) 和回正力柔度 (Aligning Torque compliance) 适当设计小些, 有利于降低 Nibble 激励, 根据 CAE 模型分析静态前束 (toe) 和外倾 (camber) 对摆振影响小, 而轮跳过程中负前束 (toe) 变化及正外倾 (camber) 变化有利于减小摆振激励, 较高的轮心纵向 (退让) 刚度有利于减小方向盘摆振响应。

## 3. 转向设计

转向器作为 Nibble 重要传递介质, 转向系统的设计非常重要。通过转向系统来管控 Nibble 方法通常为: 一是增加方向盘惯量, 二是增加转向系统阻尼, 三是降低转向扭转刚度。

除上述, 本文还研究了转向助力特性调校对 Nibble 也有一定影响, 即在不改变扭杆刚度 (T-bar) 下, 通过改变阀芯表面几何特性来改变转向手感<sup>[4]</sup>。这里将转阀刃口宽度由  $0.19\text{mm}$  减小到  $0.16\text{mm}$ , 使中心区在压力  $P_0 \pm 0.5\text{MPa}$  附近助力变大, 如图 5 所示, 车轮激励转向齿条横向移动时受到更大的液压阻力抵抗冲击, 使方向盘摆振减弱。经过实车验证, 转阀刃口宽减小后, Nibble 主观提升 0.25 分。

## 4. 模态控制

高速行驶时的方向盘摆振一般是由车轮总成与地

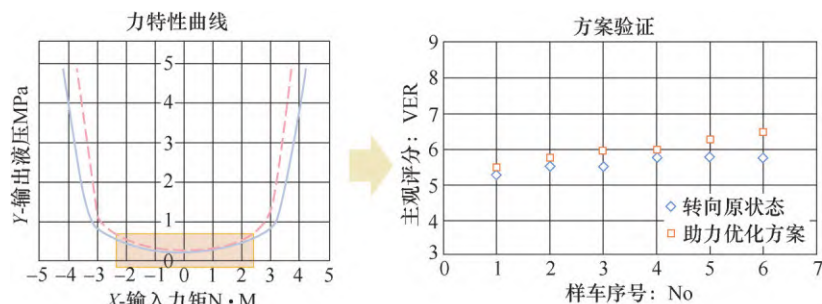


图5 助力特性优化验证

面激励而产生，而当车轮旋转频率与悬架固有频率接近时，就会加剧摆振。而轮胎旋转方向和簧下前后方向模态更容易发生耦合问题。

如图6所示，在对Nibble问题车进行主客观测试时发现，车速在115km/h时出现了摆振现象，振动加速度和速度响应最大峰值都是13.3Hz。

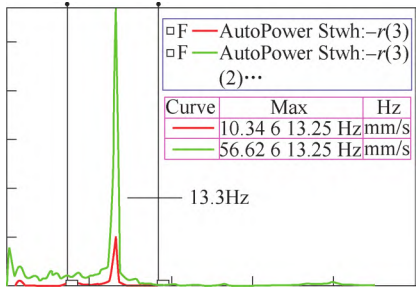


图6 Nibble测试与分析

根据公式，车轮行驶频率 $f = \text{速度} v / (2 \pi r)$ ，当车速100~120km/h行驶时，车轮行驶频率为11~14Hz（见表1），与Nibble发生频率接近，也与表2中模态分析的悬架簧下反向垂跳模态（Tramp）与前后步行模态（Walk）频率接近。

表1 车轮行驶频率计算

| 车速/ (km/h) | 100  | 105  | 110  | 115  | 120  |
|------------|------|------|------|------|------|
| 车轮行驶频率/Hz  | 11.7 | 12.3 | 12.9 | 13.5 | 14.1 |

表2 悬挂模态分析

| 模态    | Hop  | Tramp | Walk |
|-------|------|-------|------|
| 频率/Hz | 11.7 | 12.3  | 12.9 |

经过模态优化分析，通过对下摆臂衬套和轮胎刚度等调校可以改变步行模态（walk）。提高步行模态（walk）频率，一方面有利于将摆振车速提高到120km以上，另一方面使hop、tramp和walk模态频率尽可能相互避开1~2Hz。经最终调校，将Walk频率提升至14.7Hz，Nibble改善明显，主观提升0.5分。

结语

本文基于CAE DOE分析和验证，总结Nibble关键控制方法，在车轮系统上，通过加强轮胎均匀性控制，来减小激励端输入。在悬挂系统上，通过加大梯形纵臂长度，并减小主销W值和KPOS值来降低Nibble敏感性。在转向系统上，通过增加系统阻尼和减小扭转刚度，并优化助力曲线来削弱Nibble传递。在模态控制上，通过提高walking模态，避免激励共振。系列措施在新车型实施后，基本无抱怨。

另外，由于造型和市场需求的变化，对轮胎尺寸的追求越来越大，诸如此类，不利于Nibble管控。目前最有效的办法是配置EPS转向，并增加ANC（Active Nibble Compensation）高级功能。此外，国内还应用了一些新措施，比如在方向盘和管柱上增加扭转吸振器<sup>[5]</sup>，在转向梯形机构上增加减振器<sup>[6]</sup>等，有一定效果，但由于成本较高，未能普及。

参考文献：

[1] 贾小利，张军，闵福江，等.轿车高速行驶方向盘摆振控制与工程应用[J].噪声与振动控制，2015，35（4）：228-232.

[2] 刘程，刘振国，张新峰，等.轿车轮胎均匀性影响因素试验研究[J].橡胶工业，2019，66（1）：3-12.

[3] 刘凤阳，陈良，刘振国，等.行驶速度对轿车轮胎均匀性的影响研究[J].中国汽车，2019（5）：59-62.

[4] 王霄锋.汽车底盘设计[M].2版.北京：清华大学出版社，2018.

[5] 姜骏，陈华杰，王双.动力吸振器在方向盘抖动优化中的应用研究[J].上海汽车，2020（8）：22-27.

[6] 胡辰，卢剑伟.转向减振器对车辆摆振系统动力学影响分析[J].机械设计与制造，2023（1）：69-73. **AUTO1950**

**汽车工艺师 2024年 第9期 广告目次**      Advertisement Catalogue

| 单位名称        | 查询编号 | 位置 |
|-------------|------|----|
| 汽车工艺师       |      | 封面 |
| 金粉商城        | 8000 | 封二 |
| 《汽车工艺师》杂志订阅 | 0001 | 封三 |
| 公益广告        | 8000 | 封底 |
| 公益广告        | 8000 | 1  |
| 公益广告        | 8000 | 2  |