

基于模态分析的电驱动桥噪声优化

吕良远, 周炳松, 余云飞, 刘任权, 全旺贤

(柳州五菱新能源汽车有限公司, 广西 柳州 545007)

摘要:利用试验与仿真相结合的方法对一款增程式汽车的电驱动桥模态引起的车内噪声问题进行分析、优化。通过提升电驱动桥的模态频率避开整车敏感频率,达到改善车内噪声的目的。

关键词:电驱动桥; 噪声优化; 模态分析

中图分类号: U469.72; U463.33

文献标志码: A

文章编号: 1006-3331(2023)06-0033-04

Noise Optimization of Electric Drive Axle Based on Modal Analysis

LYU Liangyuan, ZHOU Bingsong, YU Yunfei, LIU Renquan, QUAN Wangxian

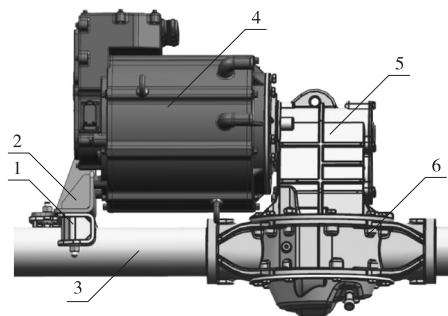
(Liuzhou Wuling New Energy Automobile Co., Ltd., Liuzhou 545007, China)

Abstract: This paper analyzes and optimizes the interior noise caused by the mode of electric drive axle of an extended range vehicle by the combination method of test and simulation. By increasing the mode frequency of the electric drive axle to avoid the vehicle sensitive frequency, which the purpose of improving the interior noise is achieved.

Key words: electric drive axle; noise optimization; modal combination

电驱动桥噪声是电动汽车的主要噪声源之一^[1]。

针对电驱动桥噪声的控制,大多研究以电机电磁力引起的电磁噪声以及旋转阶次噪声为主^[2-4],而忽视了电驱动桥总成模态与整车激励频率敏感性的相关影响。本文以一款增程式电动汽车为研究对象,利用测试与仿真相结合的分析方法,通过对该车电驱动桥总成模态进行优化,从而避开整车的激励频率来改善电驱动桥引起的车内噪声问题。



1-后桥支架; 2-电机支架; 3-半轴桥管; 4-电机总成;
5-减速器总成; 6-差速器总成

图1 电驱动桥布置型式

1 问题描述及排查

本文所述的电驱动桥结构型式如图1所示:驱动电机左端面通过螺栓与电机支架刚性连接,电机支架又通过螺栓与后桥支架刚性连接,后桥支架通过焊接方式固定在后桥上;驱动电机右端面与减速器壳体左端面通过周布螺栓刚性连接;减速器壳体与差速器壳体同样是通过周布螺栓刚性连接。

1.1 问题描述

在进行主观评价时,发现驾驶过程中车内能听到明显的“呜呜”声,尤其在车速 100 km/h 工况下特别明显。评价人员一致认为该异常噪声属于必须改善的问题^[5]。

利用 LMS Test. lab 测试分析系统进行实车测试和频谱分析发现:匀速 100 km/h 车速下车内前排噪

收稿日期:2023-08-01。

第一作者:吕良远(1988—),男,硕士;工程师;主要从事整车 NVH 集成工作。E-mail:362628505@qq.com。

声总声压级为 69.5 dB(A)、中排噪声总声压级为 71.4 dB(A)、后排噪声总声压级为 74.2 dB(A)。通过对采集到的声音进行滤波回放分析,确定 470 Hz 为“呜呜”声的主要贡献频率,其后排噪声值达到 68.7 dB(A)。匀速 100 km/h 车内噪声部分频谱如图 2 所示。

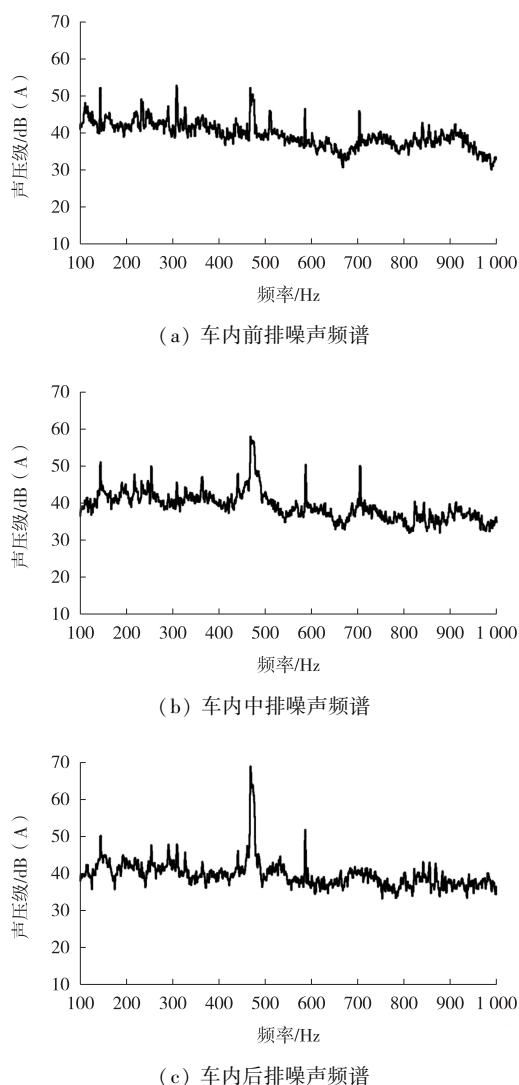


图2 匀速 100 km/h 车内噪声频谱

1.2 问题排查

对测试车辆前、中、后排噪声进行对比分析,发现中排及后排噪声明显比前排大。结合主观评价初步判定“呜呜”声主要来源于中、后排地板下的电驱动桥。为进一步确认,分别对整个后桥区域的不同零部件进行振动噪声相关性测试及频谱分析。因为后桥上的零件都是刚性连接的,而测试后发现后桥上多个位置的振动都存在 470 Hz 峰值,且电机及减速器壳

体的 470 Hz 振动峰值最明显,这说明车内“呜呜”声与电驱动桥有很强的相关性,且主要问题就在电机及减速器上。频谱相关性分析结果如图 3 所示。

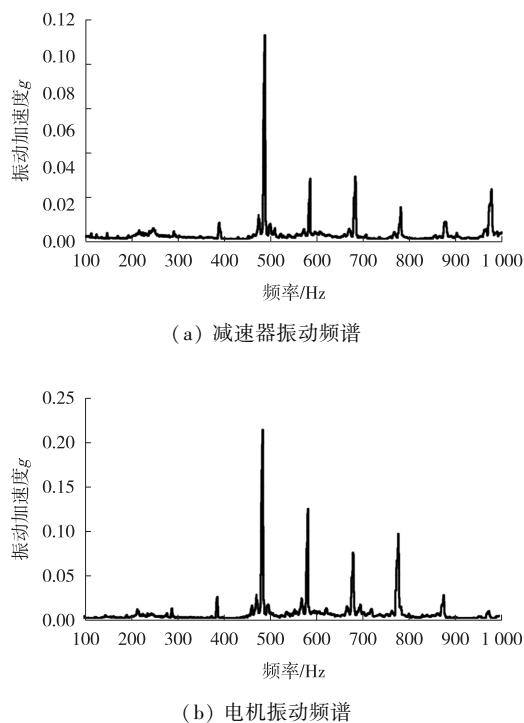


图3 噪声与振动相关性分析

2 问题分析及优化

2.1 问题分析

电驱动桥在旋转过程中会产生旋转振动,旋转轴的一阶激励频率可用式(1)表示,同时旋转轴还会产生 2、3、4……谐阶次振动^[6]。

$$f=n/60 \quad (1)$$

式中: f 为频率; n 为转速。

通过读取测试时整车 CAN 信号里的车速及电机转速可知,车速在匀速 100 km/h 时的电机转速为 7 100 r/min,通过式(1)可知电机转子轴第 1 阶激励频率 f_1 为 118 Hz,第 2、3、4 谐阶次振动频率分别为 236、354、472 Hz;其中第 4 阶频率与车内“呜呜”声频率相近。

通过测试实车装配状态下电驱动桥的模式,部分测试结果见表 1,其中电驱动桥的第 7 阶(电机减速器 Z 向)模式频率 465 Hz 与车速 100 km/h 时电机转子轴 4 阶频率及整车问题频率 470 Hz 都非常接近。

由此基本可以确定车内的“呜呜”声是因为电驱动桥的第 7 阶模态被电机转子轴第 4 阶激励共振而产生。

表 1 电驱动桥模态测试结果

阶次	频率/Hz	振型
1	52	后桥 X 向一阶弯曲
2	66	后桥 Y 向一阶弯曲
3	93	后桥绕整车 Y 轴旋转
4	140	后桥 X 向二阶弯曲
5	233	后桥 Z 向二阶弯曲
6	299	电机减速器 X 向模态
7	465	电机减速器 Z 向模态
8	519	电驱动桥 X 向高阶模态

利用 CAE 仿真分析是一种快速寻找优化方案的方法,可以节约大量的时间。通过对电机及减速器内部结构进行适当简化(但需保证内部零件的重量及质心的准确性)^[7],进行仿真计算后得到电驱动桥仿真结果与测试结果的误差见表 2。仿真与测试结果误差都在 10% 以内,满足工程分析要求^[8];测试与仿真分析的模态振型基本一致,可以确定仿真分析的准确性。

表 2 电驱动桥测试与仿真模态对比

阶数	仿真频率/Hz	误差/%	振型
1	48	-7.7	后桥 X 向一阶弯曲
2	61	-7.6	后桥 Y 向一阶弯曲
3	84	-9.7	后桥绕整车 Y 轴旋转
4	133	-5.0	后桥 X 向二阶弯曲
5	214	-8.2	后桥 Z 向二阶弯曲
6	275	-8.0	电机减速器 X 向模态
7	437	-6.0	电机减速器 Z 向模态
8	498	-4.0	电驱动桥 X 向高阶模态

2.2 方案优化

通过前文的分析可知,产生该问题的主要原因是电驱动桥总成的第 7 阶模态被激发引起车内“呜呜”声,根据经验一般可优化该阶模态与激励频率避开 10% 以上即可达到避频效果,从而改善车内“呜呜”声。根据振动理论可知,改变模态的方法主要是改变系统刚度及质量。若系统是由多个零件构成的总成

件,则可通过加强相连零件间的连接刚度来提升系统刚度。在进行方案优化时应尽量选用轻量化、低成本方案,这样更有利于控制整车成本及能耗。

基于以上原则,本文通过增加电机支架与后桥支架的连接点(由 2 个增加至 3 个)、增加电机支架加强筋(由 3 根增加至 4 根)并优化加强筋的位置,同时电机支架整体厚度由 4 mm 加厚至 5 mm。优化前后实物对比如图 4 所示。该优化方案不涉及零件的模具开发及更改,成本增加相对较少。

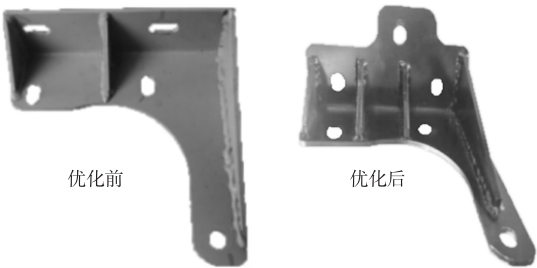


图 4 优化前后样件实物

从表 3 可以看出,优化后的电驱动桥模态频率相比优化前都有不同程度的提高,同时也避开了问题车速下电机转子轴各谐阶次频率。

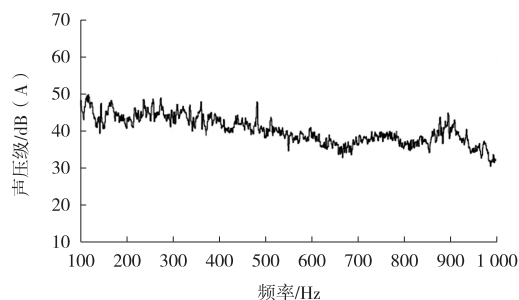
表 3 优化前后电驱动桥模态对比

阶数	优化前频率/Hz	优化后频率/Hz	振型
1	48	51	后桥 X 向一阶弯曲
2	61	65	后桥 Y 向一阶弯曲
3	84	87	后桥绕整车 Y 轴旋转
4	133	139	后桥 X 向二阶弯曲
5	214	277	后桥 Z 向二阶弯曲
6	275	372	电机减速器 X 向模态
7	437	542	电机减速器 Z 向模态
8	498	596	电驱动桥 X 向高阶模态

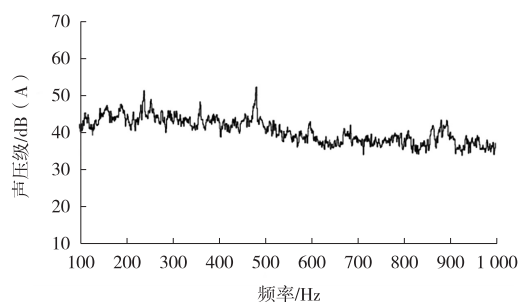
2.3 优化方案实车验证

根据仿真优化方案进行电机支架样件制造并搭载实车进行效果验证,优化后,车速在匀速 100 km/h 时,车内前排噪声总声压级从 69.5 dB(A) 下降至 69.1 dB(A);中排噪声总声压级从 71.4 dB(A) 下降至 70.2 dB(A);后排噪声总声压级从 74.2 dB(A) 下降至 70.2 dB(A),原来最突出的 470 Hz 处噪声值下降至 39.8 dB(A),峰值已基本消失(如图 5 所示)。

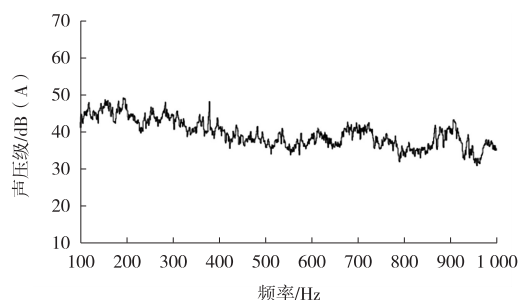
进行实车主观评价时车内已完全听不到“呜呜”声,说明该方案优化效果明显达到预期。



(a) 优化后车内前排噪声频谱



(b) 优化后车内中排噪声频谱



(c) 优化后车内后排噪声频谱

图5 优化后车内噪声频谱

3 结束语

本文利用试验测试与仿真相结合的方法对一款增程式汽车电驱动桥模态引起的车内噪声问题进行分析、优化,提升电驱动桥模态以避免整车的激励频率,并通过实车验证优化方案的有效性,为以后电驱动桥引起的整车噪声优化提供了一种思路:若无法改变激励,可通过改变结构模态来避开激励频率从而改善整车噪声。

参考文献:

- [1] 俞正才. 电驱动 NVH 性能综合主观评价的研究[D]. 南昌:南昌大学,2021.
- [2] 李晓华,黄苏融,李良梓. 电动汽车用永磁同步电机振动噪声的计算与分析[J]. 电机与控制学报,2013,17(8):37-42.
- [3] 林巨广,谢涛辉. 电动汽车动力总成噪声分析与优化[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2020(8):1010-1012.
- [4] 彭宜爱,沙晓铭,秦政委. 阶次分析在驱动桥异响中的应用[J]. 汽车实用技术,2019(24):138.
- [5] 刘宁宁. 车内噪声综合烦躁度主观评价方法研究[D]. 上海:上海工程技术大学,2013.
- [6] 谭祥军. 从这里学 NVH 旋转机械 NVH 分析与 TPA 分析[M]. 北京:机械工业出版社,2021:5-27.
- [7] 黄芹普. 基于 ANSYS 的齿轮箱模态分析与试验研究[D]. 郑州:华北水利水电大学,2016.
- [8] 张爽,陈长征. 纯电动汽车驱动桥模态分析[J]. 机械工程师,2018(11):27-29.