

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.03.054

某乘用车加速工况啸叫分析及控制

赵红飞¹, 李春楠², 韦宁³, 张宏献¹, 陈跃¹

(1. 柳州工学院 柳州市测控智能化研究重点实验室, 广西 柳州 545616;

2. 柳州铠钥科技有限公司, 广西 柳州 545616;

3. 广西生态工程职业技术学院 汽车与信息工程学院, 广西 柳州 545004)

摘 要:针对某乘用车加速、滑行工况出现的啸叫噪声进行诊断分析与控制。通过主观评价确定问题工况, 实车测试中发现 3 600 r/min 以上车内啸叫点。利用相关性分析可知, 啸叫由发动机前端附件的发电机爪尖变形引起。通过优化整型模结构, 有效控制高速啸叫问题, 保证了产品一致性, 提升了车辆声品质。

关键词:啸叫; 发电机; 声源定位

中图分类号:U461.4;TB53 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2025)03-0281-04

Analysis and Control of Vehicle Whistling in Acceleration Conditions

ZHAO Hongfei¹, LI Chunnan², WEI Ning³, ZHANG Hongxian¹, CHEN Yue¹

(1. Liuzhou Key Laboratory of Test and Control Intelligence, Liuzhou Institute of Technology, Liuzhou 545616, China;

2. Liuzhou Kaikey Technology Co., Ltd., Liuzhou 545616, China;

3. School of Automotive and Information Engineering, Guangxi Eco-Engineering Vocational & Technical College, Liuzhou 545004, China)

Abstract: This paper diagnoses, analyzes and controls the whistling noise occurring during acceleration and coasting of a vehicle. The problem condition is determined by subjective evaluation. The actual vehicle testing show that there are whistling points in the car above 3 600 r/min. The correlation analysis shows that the whistling is caused by the deformation of the generator claw tip attached to the front end of the engine. By optimizing the integer modulus structure, the whistling problem is effectively controlled, which ensures product consistency and upgrades vehicle sound quality.

Keywords: whistling; generator; sound source localization

0 引言

随着汽车技术的快速发展, 汽车的噪声、振动与声振粗糙度 (noise, vibration, harshness, NVH) 问题愈发受到关注, 用户对汽车的舒适性要求不断提高^[1-3]。汽车在低速行驶时可以明显地分辨出一种与发动机不同的噪声, 其中来自于汽车交流发电机的噪声较为明显^[4]。汽车发电机作为汽车供电系统关键部件之一, 一般为爪极结构, 其结构如图 1 所示, 发电机将发动机的机械能转换为电能供车载电器使用。

通过对发电机结构在不同工况下的测试及对其结构的拆解研究^[5], 从发电机的工作原理上看, 发电机的噪声大致可分为 3 类: 发电机定子与转子气隙间谐波力与电机结构共振辐射的电磁噪声; 发电机风扇高速旋转产生的空气动力噪声; 发

电机轴承、电刷、换向器等结构相对运动接触产生的机械噪声^[6-7]。黄泰明等^[8]通过数值分析方法研究了车用爪极发电机在高转速下不同部件对气动噪声的影响。张凡等^[9]研究了端盖极定子对车用交流发电机启动噪声的影响。李志波等^[10]针对某车型用爪极发电机的电磁噪声振动问题进行了分析和实验验证, 推导出电磁力解析模型; 定性分析了电机负载、定子与转子同轴度、转子动平衡、爪极形状等方面对电磁力幅值的影响。惠颖男等^[11]通过提取电机转动时声音信号中的梅尔频率倒谱系数 (Mel frequency cepstrum coefficient, MFCC)、短时能量和语谱图等声学特征并导入模型进行故障识别, 有效提高了电机故障识别的准确度。HUANG 等^[12]采用拉丁超立方采样的方法改善了混合模拟方法在发动机声场求解的应用效果。

基金项目: 广西自然科学基金项目 (2021JJA160243); 广西高校中青年教师科研基础能力提升项目 (2023KY1782; 2024KY1813)

第一作者简介: 赵红飞 (1985—), 男, 河南武陟人, 高级工程师, 硕士, 研究方向为噪声与振动控制, zhf1985cg@163.com。

本文针对某乘用车在加速工况下前舱传来的啸叫声,采用主观评价、声源定位等方法锁定声源,并针对问题点提出优化方案,有效地解决了加速工况啸叫问题。

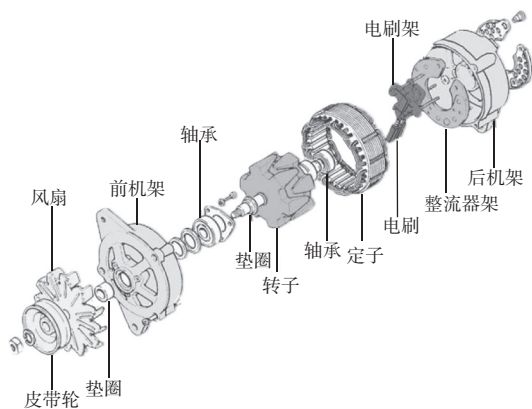


图1 爪极发电机结构图

1 加速工况啸叫问题定义与分析

本文针对搭载 S15T+6AT 的某平台车型进行 NVH 主观评价,发现在加速和滑行时,发动机高速段存在啸叫,且主观评价该啸叫噪声与发动机转速相关性高。

对以上主观评价结果进行分析可知,该问题与发动机强相关。基于此判断,本文在故障车辆上针对啸叫问题开展针对性测试。本文主要采集该乘用车在小油门加速和滑行工况下的驾驶员右耳、发动机近场噪声。小油门加速工况驾驶员右耳处坎贝尔图如图2所示。由图可知在发动机高速段(3 600 r/min 以上)存在 34 阶噪声,通过对声音进行回放分析,确认其与主观评价时听到的啸叫一致,其声品质较差。

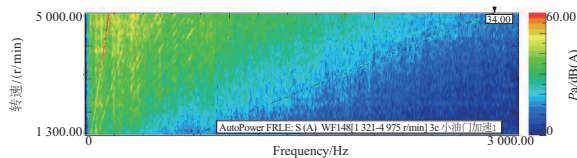


图2 小油门加速工况驾驶员右耳噪声

由前述可知,啸叫的产生与发动机的转速有关,故该啸叫声源与发动机的轴系部件及其附件、变速箱等相关。为排查啸叫发声部件在动力总成的具体部位,首先采用在怠速 P 挡工况下,提高发动机转速的方式并结合主观评价确认啸叫问题未发生改变,由此确定该啸叫声源部位在发动机侧;后通过分析发动机各轴系旋转部件的主要噪

声阶次,初步确定该啸叫问题与发动机前端附件的发电机内部结构阶次有关。

对于发电机的噪声诊断方面,贺岩松等^[13]通过评估发电机定子系统模态阵型和固有频率的方法来预测发电机的噪声并取得了一定效果,但是该方法更多在于仿真实理论研究方面。本文基于实测的故障数据进行分析,类似的方法也已经有一定的应用研究^[14-15]。因该车型采用的发电机皮带轮和曲轴皮带轮速比为 2.844 89,发电机极对数为 6,故以发动机转速为基础阶次时可得到 17 阶、34 阶为其谐阶次。基于上述判断及分析,借助于 NVH 四驱转毂实验室进行加速滑行工况的啸叫测试以便进一步确定及验证啸叫发声部件。本次测试主要采集发电机壳体上振动加速度、驾驶员右耳处噪声等数据。测试数据结果如图3所示。由图可知,发电机壳体上的振动与驾驶员右耳处噪声对应的 34 阶特征吻合,故最终确定该啸叫声来源部件为发电机。

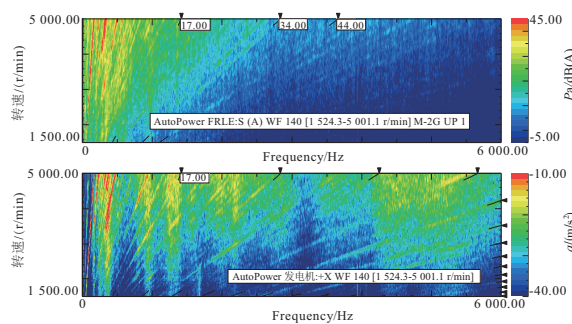


图3 小油门加速工况驾驶员右耳噪声与发电机振动坎贝尔图

为快速确定发电机啸叫噪声在不同供应商产品上的表现,加快整车研发进度,现针对两家不同供应商 A 和 B 供应的发电机样件进行主观评价及测试分析。该阶段分析样件为 A 供应商故障件、B 供应商质量控制较好及较差两个样件。主观评价结果如表1所示,驾驶员右耳处噪声如图4和图5所示。(本刊为黑白印刷,如有疑问请咨询作者)

表1 不同供应商不同样件主观评价结果

序号	发电机供应商	状态	主观评价结果
1	A	原车样件	啸叫较大
2	B	较好样件	啸叫轻微
3	B	较差样件	啸叫较大

由表1、图4和图5可知,两家供应商发电机均

存在啸叫问题,其中 B 供应商较好样件啸叫微小,基本满足指标要求。但不同供应商生产的样件表现差异较大,且同一供应商生产的产品一致性亦较差。如在 3 400~3 800 r/min 转速段中 B 供应商较好样件相比较差样件低 2~7 dB(A)。由此确定发电机啸叫原因主要为发电机内部结构设计缺陷以及产品一致性差导致。

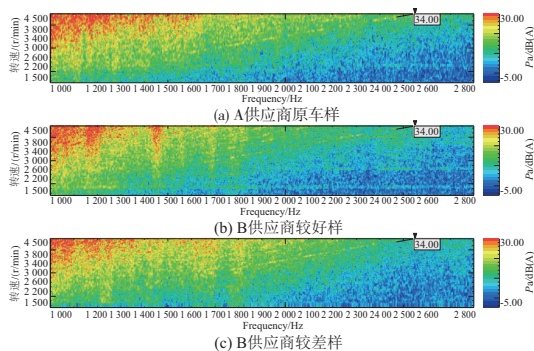


图 4 不同样件驾驶员右耳噪声坎贝尔图

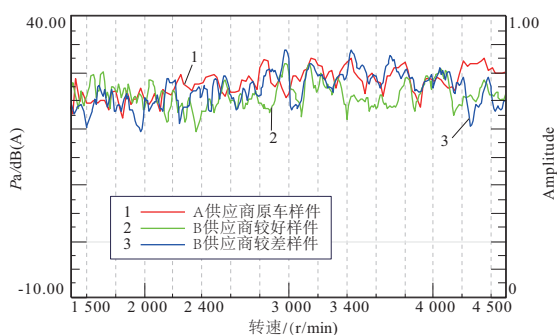


图 5 不同样件驾驶员右耳噪声声压级

2 方案整改与验证

在对发电机内部结构进行噪声结构优化方面, GUO 等^[16]对发电机转子进行了斜极分割、利用偏心极弧的设计削弱了发电机的齿槽转矩、降低了径向电磁力波和反电势畸变率,最终显著改善了发电机的振动噪声性能。而 WU 等^[17]将发电机的 N 极和 S 极的转子爪向与转子旋转方向进行方向偏移,从而使电磁噪声降低了 6.7 dB(A),取得了可观的效果。而在企业研发过程中,阻尼导热材料的应用,也在改善发电机电磁噪声方面有一定的改善作用^[18]。针对增程式汽车用发电机的噪声改善方面,在发电机内部添加转子辅助槽、降低电磁激励源与提高模态频率两方面进行优化分析都有较好的效果^[19-20]。

针对以上结论,通过与供应商研究具体结构

设计及理论分析,以 B 供应商较好样件为标准,提出以下改进方案。

2.1 A 供应商优化措施

A 供应商针对此啸叫问题,从以下几方面进行改进:1)加强发电机端盖主筋,提高端盖刚性;2)减小皮带轮端轴与轴承配合间隙,降低高速运转时可能产生的微动位移,以此降低高转速段的机械噪声;3)优化爪极倒角形状(图 6),降低旋转时的高频噪声。

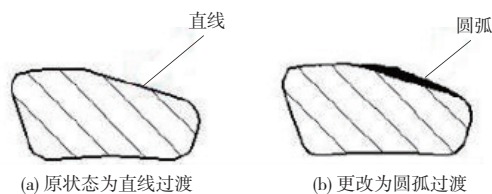


图 6 爪极倒角处理

2.2 B 供应商优化措施

通过对 B 供应商两台样件的一致性分析并结合测试数据,得出高转速啸叫噪声主要来源为转子爪极。经与该供应商共同分析样件状态,现有产品的爪尖存在一定的变形,6 个爪尖未形成一圆形结构。究其根源为车削加工精度不够,加工后爪尖厚薄不均,各对爪尖的空气阻力与导磁性能磁场密度不同,导致在高转速段产生可识别的异常噪声。

因转子爪极为热锻成型工艺生产,在锻打及冷却过程中,爪极极易变形。故生产实践中,会在冷却工艺后增加爪尖整形工序。B 供应商整形工序的整形模为开放式,只能够保证爪尖内侧尺寸,无法有效抑制爪尖向外侧变形,从而影响到高转速时发电机的阶次噪声。B 供应商针对此问题,将整形模改为全封闭式,在多个维度上限制爪尖变形,使爪极的最终形态与设计尺寸保持一致,各爪的相对位置统一。经批量下线检测,改进后产品尺寸满足拟定要求,且产品一致性高。

2.3 优化措施验证

将 A、B 供应商优化后的发电机分别装车,进行加速、滑行工况测试,测得驾驶员右耳处噪声结果如图 7 和图 8 所示。结合图 7 和图 8 结果可知,第 2 轮 B 供应商样件与第 1 轮认可的 B 供应商较好样件在高转速段声压级相当;第 2 轮 A 供应商样件在 3 600~4 000 r/min 转速段啸叫较原车 A 供应商样件大,尤其在 3 950 r/min 附近,阶次噪声高出对标件 7 dB(A)。主观评价与

客观测试结果一致,B 供应商优化样件 34 阶啸叫较小,主观评价可接受;A 供应商优化样件 34 阶啸叫存在,主观评价不接受。由 A、B 供应商优化样件主观评价及测试结果可知,通过优化整形工序整形模能够有效地改善发电机 34 阶啸叫噪声问题。

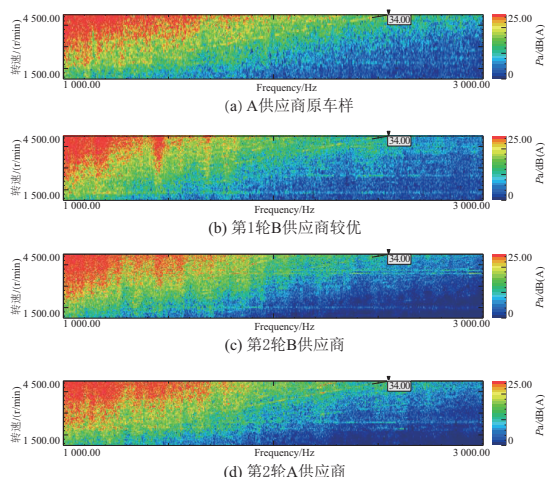


图7 优化后样件测试结果坎贝尔图

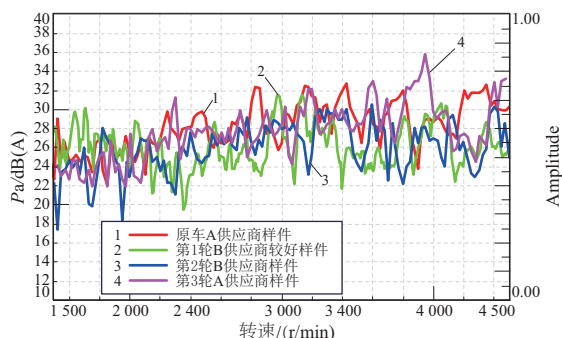


图8 优化后样件测试结果声压级

3 结语

针对某乘用车加速、滑行工况高转速啸叫问题,综合运用主观评价、声源定位以及频谱分析等技术,确定了发动机前端附件的发电机爪尖变形导致的高速啸叫问题,并通过优化整形模而有效抑制了爪尖变形。实践证明,该方案能够有效改善发电机高速啸叫且保证了产品的一致性,提高了整车的声品质。

参考文献:

- [1] 中国公路学报编辑部. 中国汽车工程学术研究综述·2023[J]. 中国公路学报,2023,36(11):1-192.
- [2] 张雄,汪志强,周祥. 汽车座椅舒适性振动测试方法优化研究[J]. 内燃机与配件,2025(3):68-70.
- [3] MASRI J, AMER M, SALMAN S, et al. a survey of

modern vehicle noise, vibration, and harshness: a state-of-the-art[J]. Ain Shams Engineering Journal, 2024, 15(10):102957.

- [4] 李凯,范习民. 某发动机 NVH 测试及关键部件降噪研究[J]. 汽车制造业,2024(2):52-56,61.
- [5] 王国刚,刘龙军. 车载发电机 NVH 性能研究[J]. 汽车制造业,2023(5):42-45.
- [6] 尚伟,赵忠义,王慎玉. 车用发电机噪声试验与仿真分析[J]. 辽宁工业大学学报(自然科学版),2024,44(4):229-233.
- [7] 欧阳彩云,高东东,王金立,等. 爪极发电机噪声优化测试及拆解分析[J]. 内燃机,2021(1):28-31.
- [8] 黄泰明,李伟平,纪念洲,等. 车用爪极发电机的不同部件对气动噪声的影响[J]. 重庆大学学报,2023,46(3):71-83.
- [9] 张凡,黄燕,柳琦,等. 近场项对车用交流发电机气动噪声影响分析[J]. 振动与冲击,2020,39(7):232-237,267.
- [10] 李志波,杨依,王映品,等. 车用爪极发电机电磁振动影响因素研究[J]. 微特电机,2020,48(4):13-17.
- [11] 惠颖男,闫兵,辛阳. 车用交流发电机变速过程噪声测试方法研究[J]. 机械工程与自动化,2011(5):107-109.
- [12] HUANG T M, LI W P, YUE W H, et al. Alternator noise reduction based on claw-pole optimization[J]. Applied Acoustics,2022,198:108999.
- [13] 贺岩松,张浩,赵勤,等. 基于物理模型爪极发电机定子系统模态分析[J]. 电机与控制学报,2019,23(3):51-56.
- [14] 万大千,王朝建. 车用发电机噪声特性研究[J]. 科技与创新,2023(19):101-103.
- [15] 田素琴,谢佳茵,董芳余,等. 车用发电机降噪优化设计[J]. 汽车实用技术,2023,48(21):111-114.
- [16] GUO D, SHI Q Q, WANG Y W, et al. Optimal design of rotor structure for vibration and noise reduction in electric vehicle generator[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering,2024,238(14):4646-4658.
- [17] WU S L, YAN X Y, CHEN Z G, et al. New rotor topologies for electromagnetic forces and acoustic noise reduction of claw pole alternators[J]. Journal of Electrical Engineering & Technology, 2023, 18(5):3751-3762.
- [18] 顾秋麟. 阻尼材料对爪极式汽车交流发电机散热及电磁噪声影响的试验研究[J]. 电机技术,2024(1):24-28,33.
- [19] 黄煜明,郭新华,李昭代,等. 增程式汽车发电机噪声机理分析与控制[J]. 微电机,2023,56(10):70-76.
- [20] 史青桥. 某增程式电动汽车发电机 NVH 性能分析与优化[D]. 重庆:重庆理工大学,2023.

收稿日期:2024-09-16