

文章编号: 1006-1355(2014)03-0107-05

车用交流发电机气动噪声试验研究

张亚东¹, 董大伟¹, 闫兵¹, 华春蓉¹, 张胜杰², 王媛文¹

(1. 西南交通大学 机械工程学院, 成都 610031;

2. 成都华川电装有限责任公司, 成都 610106)

摘要: 针对某型汽车交流发电机在高速段(6 000 r/min 以上)噪声源以及各主要阶次对总噪声的贡献量问题, 对交流发电机进行噪声测试分析。通过阶次分析得出气动噪声的频率特性, 采用交流发电机有无前、后扇叶分别单独运转等试验方法确定各阶次噪声的具体来源以及前后扇叶对主要单阶次贡献量的大小。得到前后扇叶为该型交流发电机的气动噪声声源, 第6、8、10、12、18等阶次为该型交流发电机的主要气动噪声成分; 前扇叶对12、18阶次噪声贡献明显比后扇叶大, 后扇叶对6、8、10阶次噪声的贡献较前扇叶大。该方法对汽车交流发电机的气动性能和高转速下噪声的改进提供一种切实可行的依据。

关键字: 声学; 交流发电机; 气动噪声; 阶次分析; 噪声测试

中图分类号: U467.3

文献标识码: A

DOI编码: 10.3969/j.issn.1006-1355.2014.03.022

Experiment Study on Aerodynamic Noise of an Automotive Alternator

ZHANG Ya-dong¹, DONG Da-wei¹, YAN Bing¹, HUA Chun-rong¹,
ZHANG Sheng-jie², WANG Yuan-wen¹

(1. School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Chengdu Huachuan Electric Parts Co. Ltd., Chengdu 610106, China)

Abstract: To detect the noise sources and determine their orders which have major contribution to the total amount of the noise for a certain type automotive alternator at high speed (6000r/min or above), the noise measurement tests are conducted for the alternator. Through the order analysis, the aerodynamic noise frequency characteristic of the alternator is derived. The alternator with the front or rear fan's individual operating is tested respectively to detect the noise sources and determine their contribution to the global noise. It is found that the front and rear fan blades are the sources of the aerodynamic noise of the alternator, and the noises of orders 6, 8, 10, 12 and 18 are the main components of the aerodynamic noise. The front fan blades have larger noise contribution to the noise of orders 12 and 18 than the rear fan blades; and the rear fan blades have larger noise contribution to the noise of orders 6, 8 and 10 than the front fan blades. This method may provide a practical basis for testing and analysis of aerodynamic noise performance of automobile alternators at high speed and improvement of their structures.

Key words: acoustics; alternator; aerodynamic noise; order analysis; noise test

随着人们对汽车乘坐舒适性要求越来越高, 汽车NVH性能研究也受到相关研究机构和生产厂家的重视。普通工况下, 发动机的工作噪声一般大于交流发电机(本文简称发电机)的噪声, 但汽车在怠速或启动、停止过程的瞬间, 可能会听到一种可辨的异于发动机噪声的嘘叫声, 该噪声来源于汽车发电

机的电磁噪声或风扇噪声, 频率相当高, 特别刺耳。特别是当人们运用各种方法将发动机噪声降下来之后, 发电机噪声就成为重要的噪声来源^[1]。发电机在正常运转状态下, 噪声源复杂, 主要噪声为机械噪声、电磁噪声和气动噪声等, 其中机械噪声是有轴承振动、蜗杆蜗轮振动等引起的结构噪声, 电磁噪声主要来源于电磁力引起的结构共振^[2], 气动噪声产生的根源是叶片表面压力周期性脉动以及涡的脱落、产生和破裂。它的大小与冷却风扇和爪极的转速以及交流发电机内部风路密切相关^[3]。气动噪声主要可以分为宽频噪声和有调噪声两大类, 其产生的机

收稿日期: 2013-07-17

作者简介: 张亚东(1987-), 男, 甘肃省会宁县人, 在读硕士研究生, 目前从事车辆噪声与振动控制研究。

E-mail: Alizyd@163.com

理主要包括以下两点:

(1) 旋转风扇自身产生的噪声和风扇产生的气流与周围固壁相互周期性作用产生的干扰噪声, 风扇扇叶分布不当是造成有调噪声的主要原因;

(2) 相对于有调噪声, 宽频噪声产生的机理更加复杂, 主要是由于流场的湍流流动和涡声作用机理的双重作用造成。由于发电机内部结构复杂(电机整体结构图如图1所示), 致使其内部流动复杂, 产生强烈的非定常流动, 涡流噪声明显。声源组成的复杂性和噪声源的无法分离, 以及主要阶次对总噪声的贡献量难以确定, 使得噪声治理针对性差, 直接影响发电机气动性能和噪声特性的改进工作。

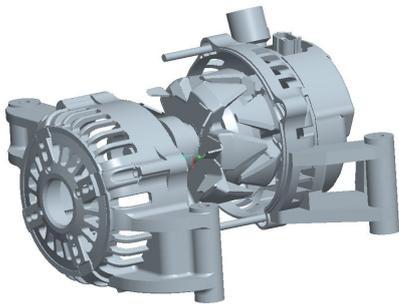


图1 发电机整体结构图

针对发电机的气动噪声问题, 文献[3]参考发动机的“单阶次准缸体模型”^[4], 提出针对发电机通风有调噪声的矢量合成公式, 根据公式采用两种优化方案对发电机风扇扇叶分布进行优化设计, 得到在发电机的高转速(6 000 r/min 以上), 发电机总噪声级中气动噪声的贡献量最大(相对于电磁噪声), 有调噪声是风扇旋转产生的第12、18等阶次成分过于突出而产生的, 并对所得结果进行实验验证。但并没有分析主要阶次对总噪声贡献量的大小以及确定气动噪声传播途径等问题。

本文将采用试验研究的方法, 首先分析气动噪声对发电机总噪声的影响; 然后通过阶次分析找出气动噪声的频率特性; 最后采用发电机前、后扇叶分别单独运转等方法确定各阶次噪声的具体来源以及前后扇叶对主要单阶次噪声贡献量的大小, 为后续的空气动力学噪声总声压级和有调噪声的控制提供基础。对发电机的气动性能和噪声特性的改进等问题提供理论研究基础。

1 阶比分析原理

旋转机械的噪声振动信号中多数离散频率分量都与主旋转频率有关, 以参考轴的转速为基本转速, 所对应的基本频率(基频)定义为阶比1, 其他与转速相关的频率为基本频率的 N 倍信号则定义为 N 阶, 分析或追踪动态信号中阶次信号能量即为阶比分析。通常阶比与转速的关系可表示为

$$f = O \times \frac{\text{rpm}}{60} \quad (1)$$

式中 f 为信号频率(Hz), O 为阶比, rpm为参考轴转速(r/min)。可见阶比与转速有直接的对应关系。阶比分析实质上是等时间间隔的信号转换成等角度间隔的信号, 再对其进行频谱分析的一种信号处理方法。因此本文后续分析都采用阶比分析(又称阶次分析)方法, 得到发电机的气动噪声特性以及前后扇叶对主要阶次贡献量的大小。

2 发电机噪声特性试验

本次试验使用发电机独立运行工况下进行噪声测量分析, 麦克风为丹麦B&K公司生产, 数据采集卡采用成都佳仪公司的USB 2080采集卡完成多路信号采集, PC机数据采集系统运用本课题组开发的采集系统软件, 完成信号采集、部分信号处理和实时保存等功能^[5]。试验方案见表1。

实验在西南交通大学汽车工程研究所的电机声功率测试实验室^[6]内整机状态下进行。该实验室经中国测试技术研究院检测, 得到其在不同测试表面的环境修正量, 其中1 m处环境修正量0.1 dBA。测试结果表明,

实验室的声学环境已达到标准GB/T 6882-2008的要求^[7]。选择在空载和冷态负载工况下进行测试。测点选择在距发电机中心0.5 m处(实验台架见图2)。本文中使用的声压级均为A声级。根据能量叠加原理, 可得到声压级的平均值 L_{pm}

$$L_{pm} = 10 \lg\left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m 10^{0.1L_{pi}}\right) \quad (2)$$

式中 $L_{pi}(i=1, 2, \dots, m)$ 为第 i 个测点测得的声压级, m 为测点总数, 实验中, $m=5$ 。

表1 发电机电动噪声研究方案(同型号发电机)

试验	第一次	第二次	第三次	第四次
发电机状态	前后扇叶都有	去除前扇叶	去除后扇叶	去除前后扇叶
方案	6台	3台	3台	6台

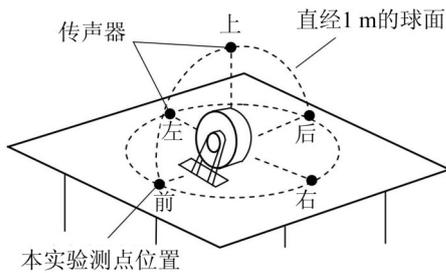


图2 实验台架示意图

3 发电机气动噪声分析

通过空载与负载转速声压级曲线(见图3)对比可知,在中、高速段,除了转子爪极结构共振引起的10 500 r/min 转速附近^[2],空载与总噪声平均声压级基本相同。这意味着,在发电机运行的中、高速段,发电机的噪声主要是空气动力学噪声。

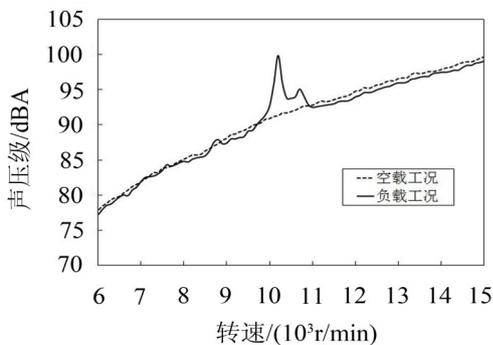


图3 空载与负载转速声压级对比

3.1 发电机气动噪声阶次分析

图4为冷态负载工况主要阶次转速声压级对比曲线,有图分析可知,在高速段36阶次电磁噪声^[2]与总噪声相比,二者相差20 dB左右,按噪声叠加原理,36阶次电磁噪声可忽略不计,在高速段噪声不是由36阶次电磁噪声引起。

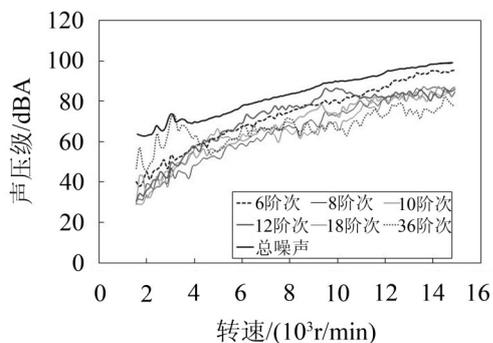


图4 负载工况主要阶次声压级对比

进一步通过空载与负载工况主要阶次声压级分析(见图5、图4),可知发电机在高速段空载和负载工况下,不仅噪声总声压级基本相同;噪声的主要阶

次也相同,都是由6、8、10、12、18等阶次成分组成,各阶次成分的幅值也较为接近。因此下文发电机各阶次噪声来源分析中,将以6、8、10、12、18等阶次成分为主要阶次分析对象,确定各主要阶次对气动噪声的贡献量等问题。

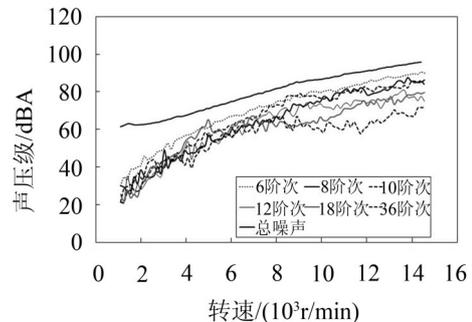


图5 空载工况主要阶次声压级对比

3.2 发电机各阶次噪声来源分析

通过对某型发电机去除前扇叶、去除后扇叶以及去除全部前后扇叶的试验样品,在空载、冷态负载工况进行测试试验和噪声特性对比分析,可知去除扇叶后,8、10、12、18等阶次成分明显下降(10 dB左右),说明8、10、12、18等阶次成分基本来源于冷却风扇噪声。6阶次成分噪声也有5.0 dB左右的下降,按噪声合成原理,说明6阶次成分噪声虽主要来源于风扇噪声,但转子中的爪极部件也有次要贡献^[3],在10 500 r/min以上,转子爪极的影响较明显。

图6为去除前扇叶、去除前后扇叶以及前后扇叶都有的主要单阶次对比曲线,主要对比分析第6、8、10、12、18、36阶次噪声,有图可知去除前后扇叶后,主要第6、8、10、12、18等阶次明显下降(10 dB左右),而36阶次不明显,进一步说明第6、8、10、12、18等阶次成分基本来源于冷却风扇噪声;只去除前扇叶后可见第12、18等阶次下降明显,其中12阶次影响最大。

图7为去除后扇叶、去除前后扇叶以及前后扇叶都有的发电机主要单阶次对比曲线,通过对6、8、10、12、18、36等阶次对比分析,有图可知去除前后扇叶后,主要第6、8、10、12、18等阶次明显下降(10.0 dB左右),而36阶次不明显,进一步说明第6、8、10、12、18等阶次成分基本来源于冷却风扇噪声;只去除后扇叶后可见第6、8、10等阶次明显下降,其中10阶次影响最大。

表2为交流发电机去除前后扇叶后对各主要阶次噪声的影响对比表。有表可知前扇叶对12、18阶次的贡献比后扇叶大;后扇叶对6、8、10阶次的贡献比前扇叶大。其中36阶次在只去除前扇叶,只去除

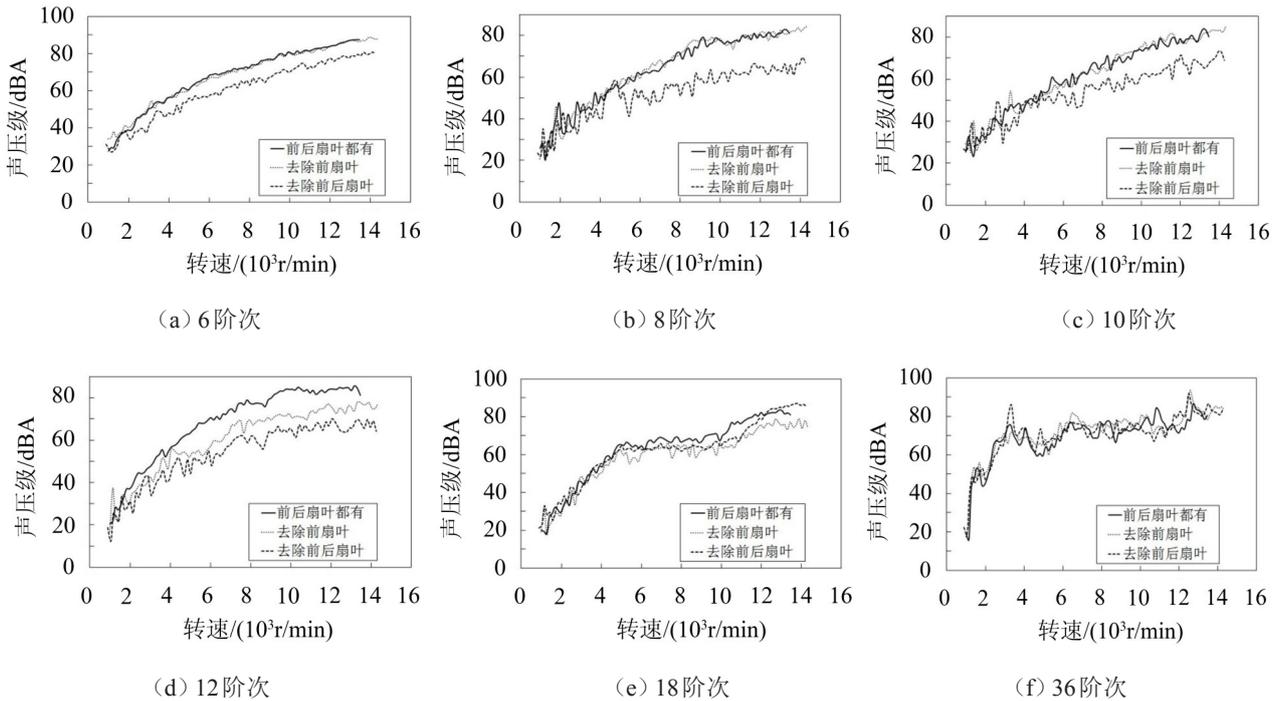


图6 去除前扇叶发电机主要阶次声压级对比(空载)

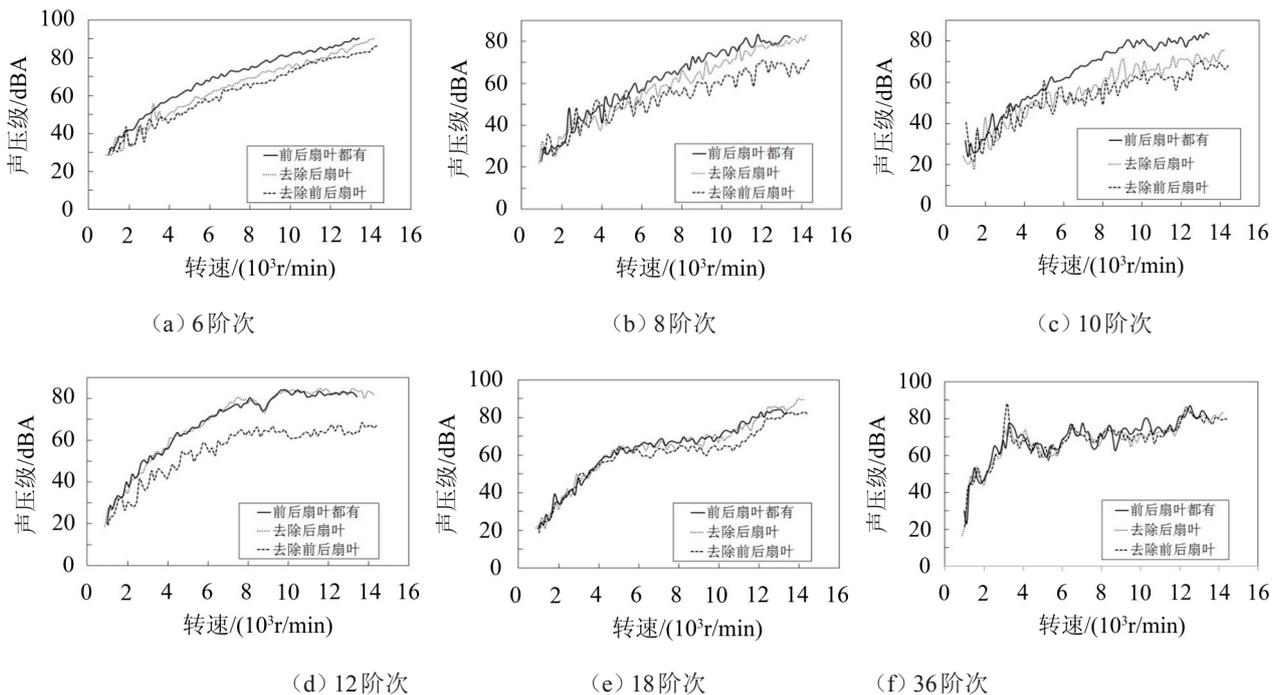


图7 去除后扇叶发电机主要阶次声压级对比(空载)

后扇叶和前后扇叶都去除的情况下贡献量均不明显。而表现出来的3300 r/min附近的峰值是36阶次引起的定子与端盖结构共振所致,12500 r/min附近较大峰值是36阶次引起的转子爪机电磁力引起的结构共振。

4 结语

本文通过实验研究的方法,首先分析气动噪声对交流发电机总噪声的影响;然后通过阶次分析得

出气动噪声的频率特性;最后采用交流发电机有无前、后扇叶分别单独运转等方法确定各阶次噪声的具体来源以及前后扇叶对主要单阶次贡献量的大小。其主要结论如下:

(1) 该型交流发电机的气动噪声主要阶次为6、8、10、12、18等;

(2) 交流发电机的气动噪声各主要阶次成分基本来源于冷却风扇噪声;

(下转第123页)