

空冷电机气动噪声的分析与验证

郑国丽, 丰帆, 黄鹏程, 张维伟
(中车株洲电机有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘要: 介绍了空冷电机气动噪声的来源、测量方法以及工程上常用的气动噪声控制措施。以某空冷电机为例, 采用 CFD 方法对外风路的稳态流场、瞬态流场以及声场进行了数值分析, 将计算结果通过试验进行验证。这对自通风型空冷电机的气动噪声分析具有一定的参考意义。

关键词: 空冷电机; 气动噪声; 试验验证; 降噪措施

中图分类号: TM 343 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2019)09-0065-04

Analysis and Verification of Aerodynamic Noise of Air-Cooled Motor

ZHENG Guoli, FENG Fan, HUANG Pengcheng, ZHANG Weiwei
(CRRC Zhuzhou Electric Co., Ltd., Zhuzhou 412001, China)

Abstract: The source of aerodynamic noise of air-cooled motor, the measurement method and the commonly used aerodynamic noise control measures in engineering were introduced. Taking an air-cooled motor as an example, the steady-state flow field, the transient flow field and the sound field in the external wind path were numerically analyzed by CFD method, and the calculation results were verified by experiments. The reference significance for the aerodynamic noise analysis of self-ventilated air-cooled motor was provided.

Key words: air-cooled motor; aerodynamic noise; test verification; noise reduction measures

0 引言

在现代社会发展中, 人们逐渐意识到噪声对健康的危害。电机作为一种噪声源, 其噪声水平已被列为一项衡量质量的重要指标, 成为影响电机在市场竞争的一个重要因素。电机噪声问题越来越受关注, 国内外的用户对电机的噪声指标提出了新的严格要求^[1]。因此, 控制电机噪声已成为国内外电机制造企业生存与发展的重要问题之一。

电机运转时通常有多种噪声源并存^[2-4], 涉及电磁噪声、机械噪声、空气动力噪声。封闭式电机主要噪声为电磁噪声和机械噪声, 但在自通风式空冷电机中, 空气动力噪声是主要的噪声组成部分。本文着重研究气动噪声。以往对电机气动噪声的控制一般会根据制造经验, 采用声音传播

控制, 安装隔声罩、消音器、吸声材料等减少因反射而产生的噪声^[5]; 或者采用试验平台, 通过试验验证降噪措施的可行性^[6]。噪声控制的最佳方法是通过改造声源来降低噪声。在设计阶段, 掌握电机气动噪声的产生机理和计算方法, 分析噪声的频谱成分, 根据噪声产生机制改进电机的通风系统结构, 使产生的噪声最小, 从而提高电机的整体性能。

声学与流动动力学密切相关。因此, 可通过计算流体动力学的方法模拟由流体流动产生的噪声。本文以某冷却方式为 IC611 的空冷电机为例, 采用 CFD 稳态计算预测给定转速下体积流量, 通过瞬态计算对气动声学进行分析, 并将数值计算结果与试验数据进行对比, 验证了所提计算方法的可行性。

作者简介: 郑国丽(1983—), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电机冷却设计与气动噪声分析。

丰帆(1985—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为电机冷却设计。

黄鹏程(1981—), 男, 硕士, 教授级高工, 研究方向为电机设计。

1 空冷电机气动噪声分类

电机空气动力噪声是指在通风系统中,由于空气流动产生的涡流、冲击或者压力突变引起的噪声。空冷电机的气动噪声主要分为3种^[7]。

(1) 旋转噪声(又称为离散噪声)。风扇旋转时,冷却介质受到扇叶周期性力的作用,由周期性的压力和速度脉动而产生的噪声。旋转噪声属于偶极子声源,噪声频率为叶片每秒打击空气的次数。

(2) 涡流噪声。电机旋转过程中,周围空气由于黏滞力的作用,分裂成一系列的涡流使空气扰动而产生的噪声。涡流噪声的频谱一般连续分布且频率范围宽,因此也被称为宽频噪声。

(3) 笛声。气流遇到障碍物发生干扰时易产生单一频率的笛声。在高压电机中,电机大多采用空空冷却,定转子布置有径向冷却风道,当风道轴向对齐时,在转子旋转过程中,定转子通风槽钢时而对齐时而错开,产生的压力脉动引起噪声。

对电机噪声频谱进行分析时,因为离散噪声的频率是叶频的整数倍,频谱中除了离散噪声还有频率范围较宽的涡流噪声,所以在计算分析时,声源除了考虑风扇叶片的旋转,还要考虑管道内紊流引起的噪声。

2 气动噪声测量

电机噪声测量目的一般分为研究性测试和鉴定性测试。本文着重进行研究性测试:(1)为了分析产生噪声的原因,验证采样电机的噪声主要来源于气体流动;(2)为了验证气动噪声分析方法的可行性与准确性。

根据噪声测量标准布置接收点,噪声数值模型的接收点与试验接收点一致。电机运转时涉及多种噪声源,为了分离出气动噪声,试验时采用了2种方法进行测量。(1)突然断电法。电机电磁过程比机械过程响应快。突然断电后,电磁振动和噪声快速消失,因为转子有惯性,所以转速维持不变,此时的噪声源主要为机械噪声与气动噪声。(2)改变电压法。电压越高电磁噪声越大,因此可以通过降低电压的方法降低电磁噪声。

测量时,噪声仪频谱测量选择FFT傅里叶转换,设置上限频率和带宽;噪声计的计数采用A

特性。噪声测量前测量背景噪声,根据标准对测量结果进行背景噪声修正。噪声计的传声器应向声源。应尽量减少除地面以外,包括测量者本身在内的所有物体表面所产生反射声的影响^[8]。

通过对测量结果进行分析:(1)降压法和突然断电法测出的噪声值与正常运行工况下的噪声值基本相同,说明声源主要为气动噪声。(2)通过测点位置可判断出气动噪声为主要声源,气动噪声有明显的指向性,顺流方向较强,在电机两端进出口较高,机座中间较低。

3 计算案例

3.1 数学模型

本文以某冷却方式为IC611的4级电机为例,冷却系统分为内外2个通风系统,如图1所示。由于内风路为封闭式循环系统,气动噪声微不足道,声源主要来自于外部风扇与通风管内的空气噪声。因此,计算模型由外风扇、风扇罩、冷却管组成,如图2所示。计算域包括进出口延长段、静止域和旋转域,共设置4个声音接收点。

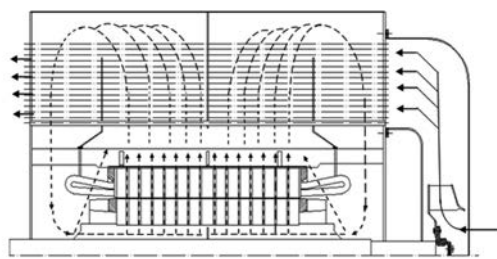


图1 电机通风系统示意图

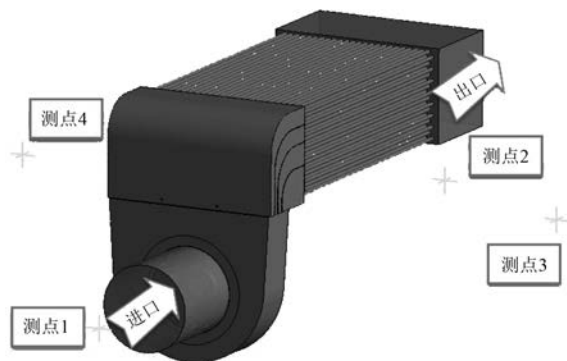


图2 外风路计算模型

3.2 流场与声场计算

采用CFD方法进行电机流场的稳态计算。

湍流模型选择 Realizable $k-\varepsilon$ 模型。选择稳态计算的目的:(1) 为了验证计算的准确性;(2) 为后续的非稳态计算提供初始流场,加快非稳态计算的收敛,提高仿真计算的鲁棒性^[9]。

采用大涡模拟 (LES) 计算瞬态场,计算域内设置一脉动压力监测点,当风扇旋转 2~3 圈后,压力脉动基本上呈周期性变化,如图 3 所示。

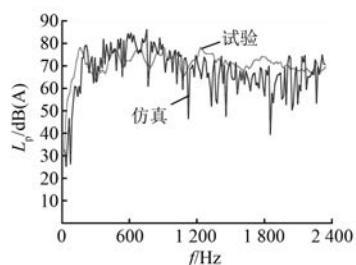


图 3 某监测点处静压随时间变化曲线

开始激活 Fluent 软件噪声模块,噪声模型采用 FWH 模型,由此获得的声压信号可以使用傅里叶变换和相关后处理能力进行处理,以计算和绘制总声压级和频谱曲线等。图 4 和图 5 所示为某瞬时计算域的截面速度分布。

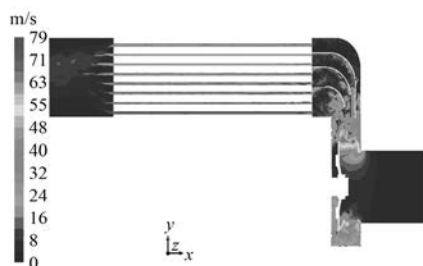


图 4 轴向截面速度分布

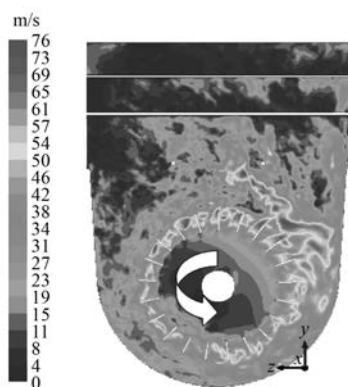


图 5 径向截面速度分布

由图 4、图 5 可知,沿叶片宽度的气流速度为非均匀分布。为了降低气流速度的不均匀程度,

最常用的方式为风扇叶片采用斜切的始端,以保证沿叶片的气流冲角变化较小,减少叶片进口冲击损失,提高风扇效率。圆周方向,叶片迫使流体随风扇旋转,并对流体沿其运动方向做功,风扇出风速度非均匀分布。

3.3 试验验证

气动噪声是在流场的基础上对声场进行求解,即流场计算的准确性直接决定了声场计算的准确性,因此声场计算以前,有必要验证流场的准确性。出口平均速度的仿真值为 16.2 m/s,试验值为 15.7 m/s。通过对比出口平均流速的计算值与试验值,相对误差为 3.1%,说明稳态流场计算与试验吻合程度较好。

计算时仿真模型噪声接收点与试验测量位置相同。电机气动噪声计算完成后可获得监测点处噪声频谱与总声压级,将仿真计算结果与试验测试结果进行对比,以验证仿真计算的准确性。图 6~图 9 所示为各接收点的频谱曲线。

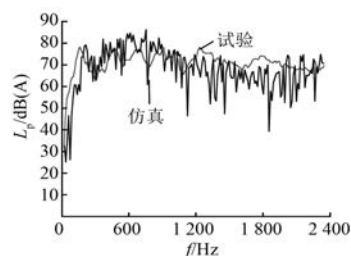


图 6 测点 1 频谱曲线对比

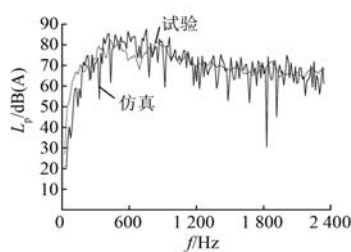


图 7 测点 2 频谱曲线对比

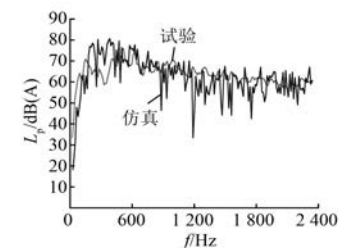


图 8 测点 3 频谱曲线对比

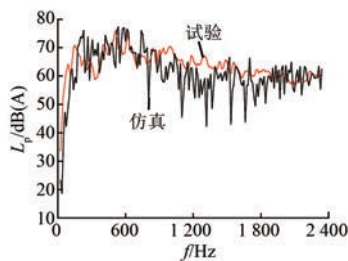


图9 测点4 频谱曲线对比

表1所示为各接收点总声压级对比。计算结果与试验结果偏差在可接受范围内,认为计算方法可行。

表1 单点总声压级验证

测点	试验/dB(A)	仿真/dB(A)	偏差/dB(A)
1	95.53	97.48	1.95
2	96.87	99.25	2.38
3	89.08	92.57	3.49
4	87.41	89.68	2.27

4 气动噪声控制

降低电机空气动力噪声有控制声源和控制噪声的传播与反射2种途径^[10]。

4.1 控制声源

4.1.1 合理设计风量

风量越大,噪声越大,设计时应恰当的考虑电机损耗所需的冷却风量,使风量的裕度最小。降低风量的措施包括:(1)提高电机的效率,降低电机的总损耗和通风损耗。(2)提高绝缘的耐热等级。

4.1.2 合理设计和选用冷却风扇

(1)减小风扇的消耗功率,使风扇尽可能在高效率区域工作。(2)采用风扇导流罩尽量避免回流损失。(3)采用轴流风扇或后倾风扇代替径向离心式风扇。(4)适当减小风扇外径,改变叶片形状。

4.1.3 合理设计冷却系统

(1)减少系统中流体流过任何一部分时的压降,降低系统风阻。(2)迎风的阻碍物均应尽量做成流线形,避免急剧转向和截面突变。(3)冷

却方式采用全封闭机壳水冷或喷油冷却等。(4)使定子风道错开、增大气隙等,减少定子风道之间的干扰。

4.2 控制噪声的传播和反射

(1)吸声。在机座内壁、电机进出口通风罩内壁覆盖吸声材料,如玻璃棉、泡沫塑料、毛毡棉絮等,降低反射声从而达到降噪目的。(2)消声。在保证气流通过的同时,设计一种能够阻止或减弱声能传播的降噪装置,一般分为阻式、抗式和阻抗复合式。(3)隔声。采用隔音材料或隔声装置隔离噪声源,如隔声墙、隔声罩等。

5 结 语

本文介绍了电机气动噪声的分类,鉴别了气动噪声的测量方法、气动噪声的数值分析方法与试验验证以及工程上常用的气动噪声控制措施。对于以气动噪声为主的自通风型空冷电机降噪具有一定的参考意义。

【参考文献】

[1] 周玲慧,向善海,陈华.高效高功率密度低噪声电机研究[J].电机与控制应用,2015,42(7): 71.

[2] 王建民,让余奇.电机噪声分析及抑制措施[J].船电技术,2010,30(8): 8.

[3] 王立名,苏国霞.降低异步电动机通风噪声的方法研究[J].防爆电机,2018,53(4): 22.

[4] 杨侨明,陈文卿,周明龙,等.压缩机用电动机振动噪声现状研究[J].制冷与空调,2019,19(3): 65.

[5] 庄重,张国强,孙野.电动机冷却用外循环风路噪声研究[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2017,35(2): 275.

[6] 朱新,王德柱.电机冷却风机振动与噪声的控制措施及效果研究[J].船电技术,2019,39(3): 62.

[7] 陈永校,诸自强,应善成.电机噪声的分析与控制[M].杭州:浙江大学出版社,1987: 213.

[8] 吴胜举,张明铎.声学测量原理与方法[M].北京:科学出版社,2018: 81.

[9] 王福军.计算流体力学分析[M].北京:清华大学出版社,2011: 113.

[10] 马大猷.噪声与振动控制工程手册[M].北京:机械工业出版社,2002: 90.

收稿日期: 2019-06-04