

大型风力机的噪声源产生机制实验研究

王国章,李小龙,张俊霞,黄文军

(榆林学院 能源工程学院,陕西 榆林 719000)

摘要:近年来,风力发电在国内得到了快速发展,但大型风力机产生的噪声也引起了广泛关注。该文通过远场传声器测量法开展了大型风力机噪声实验,研究了风力机的主要噪声源位置及产生机制。结果表明,在风力机的来流风的下游方向、风力机风轮叶片平面方向的噪声较大,存在声压级峰值的纯音基频和倍频,表明风力机的主要噪声源是叶片尖端气动噪声和风轮后面的机械噪声。最后指出了对这些主要噪声源进行有效控制的一些措施。

关键词:风力机;风力发电;噪声源;叶片;气动噪声;机械噪声

中图分类号:V231.3 **文献标识码:**A

Experimental Study on the Noise Sources Generation Mechanism of Large Wind Turbine

WANG Guozhang, LI Xiaolong, ZHANG Junxia, HUANG Wenjun

(College of Energy Engineering, Yulin College, Yulin 719000, China)

Abstract: The wind power generation by wind turbines has been developed rapidly in recent years. However, the noise generated by wind turbines is also widely attracted the focuses of the people. The large wind turbine acoustic tests were conducted by acoustical transducers measurement in far field, and the main noise sources area and their generation mechanism were investigated. The results show that there existed high noise level in downstream and blade plain directions of wind turbine, and also the tone frequency and integer multiples of this frequency were found, which indicated that the aero-acoustic noise in trailing end of blades and mechanical noise after the wind wheel were the main noise sources. Some effective methods to control those noise sources were presented finally.

Key words: wind turbine; wind power generation; noise sources; blade; aero-acoustic noise; mechanical noise

0 引言

随着化石能源的大规模开采和应用,其燃烧产生的CO₂、硫化物、氮化物的急剧增加导致了全球环境的恶化,开发可再生清洁能源成为各国的未来能源目标^[1-3]。风能是一种清洁的可再生能源,没有化石能源(如煤电,油电)会造成环境污染的问题。平均每装一台单机容量为1 MW的风能发电机,每年可减排2 000 t CO₂(相当于种植2.59 km²的树木)、10 t SO₂及6 t NO₂。当前风电技术日趋成熟,产品质量逐渐可靠,可用率已达95%,已是一种安全、发展最快的新型能源。我国东南沿海及其附近岛屿、新疆北部、内蒙古、甘肃北部是中国风能资源丰富的地区,有效风能密度为200~300 W/m²,全年风速不小于3 m/s的时间总数超过5 000 h。在这些区域已建立了许多的大型风电场,且风电场距

离居民区也越来越近,大型风力机由于尺寸巨大,其产生的噪声问题日益凸显,尤其是在夜晚风力较大,且周围环境背景噪声较小时尤为明显,严重影响到居民的正常休息。目前,国内、外风力机产生的噪声已引起了相关环保组织的关注,并陆续收到来自风电场附近居民的投诉^[4]。风力机的叶片噪声产生机理还不明确,噪声的精确预测也较难,特别对于噪声源的主要位置和产生机制尚不清楚,这对于如何抑制风力机的噪声,降低风力机主要噪声源的噪声强度有很大挑战。因此,开展大型风力机的噪声源产生机制研究具有重要的意义。

1 噪声声源分析方法

大型风力发电机的噪音来源主要有机械转动部位的机械噪音及旋转叶片和空气间互动的气动噪音^[5-8]。风力机的噪声预测和分析方法主要有数值

收稿日期:2015-11-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51406176);榆林市科技计划基金资助项目(2014cxy-05)

作者简介:王国章(1982-),男,陕西榆林人,讲师,硕士,主要从事工程材料的研究。

仿真分析法和实验测量法。

数值仿真分析法的主要研究对象是风力机的气动噪声,通过对风力机叶片进行建模,引入声源模型(如FW-H方程),通过仿真模拟来获取气流与叶片间产生的气动噪声。气动噪声的大小与风速有关,随着风速增大而增强。汪建文等^[9]对水平轴风力机叶片辐射噪声特性进行了模拟,获得了叶片产生噪声的主要位置和强度,如图1所示。由图可看出,叶片的尖端和根部的压力较大,尖端压力变化剧烈,噪声较大。



图1 叶片表面的压力分布

实验测量方面,汪建文等^[10]对小型风力机风轮叶尖近尾迹区域声辐射进行实验研究发现,风轮旋转过程中,风力机叶尖辐射噪声频谱是由旋转风轮的基频及其谐波所构成的离散噪声叠加在宽频噪声上组成的。Marcus等^[11]通过试验研究了轴流式风力机叶片和塔架的干涉气动噪声,发现叶片与塔架的干涉噪声有脉冲特点,且噪声与叶片的旋转速度及塔架的阻力系数有关。

本文通过实验研究的方法获得了某型风力机的噪声大小和指向分布规律,并对噪声的产生来源和频谱特性进行了分析,为风力机的优化设计提供了技术基础。

2 实验装置和方法

根据国标风力发电机组噪声测量法及采用远场传声器测量法研究风力机的远声场噪声特性。本文采用风力机的技术参数如表1所示。

表1 风力机运行技术参数

叶片数	2
额定功率/kW	33
额定风速/(m/s)	11
风轮直径/m	∅14.8
额定转速/(r/min)	85
风轮倾角/(°)	0
塔架高度/m	15

以风轮中心为圆心,半径为22 m的圆周上等间距的设置了24个传声器接收点,用来监测风力机的远声场声学特性,如图2所示。整个实验中采用的风力机和传声器的相对位置关系和布置情况如图3所示。

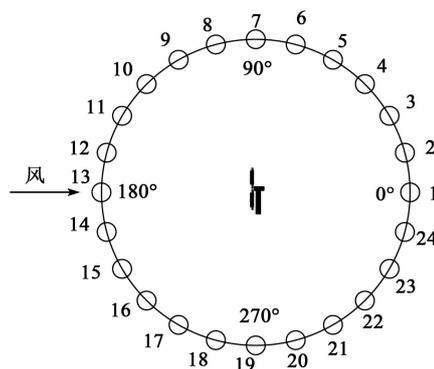


图2 传声器接收点布置图



图3 风力机与传声器相对位置实物图

实验的第一步是对所有声学传声器进行标定。声学传声器的测量原理是运用自由声场法测量噪声的声功率级。声源在单位时间内所辐射出的总能量称为声功率级,即

$$SPL = 10\lg(P/P_0) \quad (1)$$

式中: SPL 为声压级; P 为声功率, $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa为基准声功率。

自由声场中的风力机测量声压级采用

$$SPL = SPL + 20\lg r + 11 \quad (2)$$

式中 r 为风轮中心到测点传声器的距离。

实验正式开始前,在风机刹车不转动的状态下,进行外场实验的背景噪声采集。采集完后启动风机于某个设计转速或正常工作转速(与风速密切相关),进行风力机外场气动噪声的采集和测量。

3 实验结果及分析

图4为24个测点的传声器采集到的风力机噪声的总声压级指向图。总声压级指向图能直观显示

出不同角度方位的噪声分布和对比效果,代表了风力机噪声的主要产生方位和传播方向。由图可看出,噪声总声压级较高的方向是 0°、90°和 270°方位,其中 90°方位声压级最大,达到了 110 dB。结合图 2 可知,当风力机处于水平轴方向或风轮倾角为 0°时,风力机产生的噪声主要位于垂直风向来流平面的 90°和 270°方向,以及风向来流的下游 0°方向。而风向来流的上游 180°方向反而噪声不大。从实验结果可知,大型风力机噪声源的主要位置位于叶片平面及风轮后部的动力和偏航等系统(见图 5),且叶片产生的噪声相对较大,其传播方向主要位于叶片平面,表明叶片噪声源主要产生的位置位于叶尖部位。

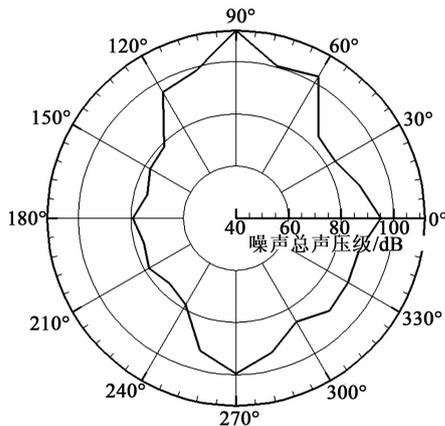


图 4 风力机噪声的总声压级指向图

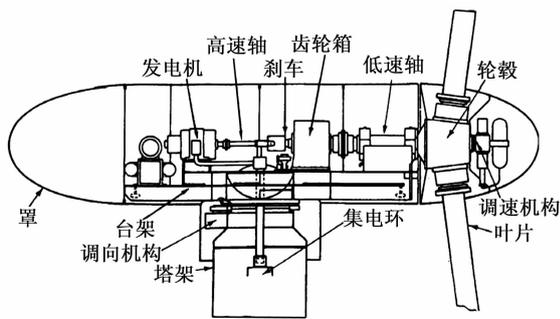


图 5 大型风力机主要结构部件

为进一步获得风力机主要噪声方位的详细信息和产生机理,对传声器采集的时域信息进行傅里叶分析,分析其频域上的音频特征,从而得到上述 3 个主要噪声方位的噪声源的产生机理。

图 6、7 为 0°方向的噪声频谱分析结果。由图可知,风力机产生的噪声频谱是一个宽频范围,随着频率的增加声压级快速减小,而在低频范围内存在几个特定的高峰值,表明有几个主要的噪声源,这是由

风轮后面的动力和偏航系统产生的噪声。

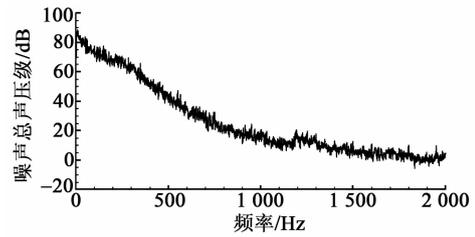


图 6 在 0°方向的频谱分析结果

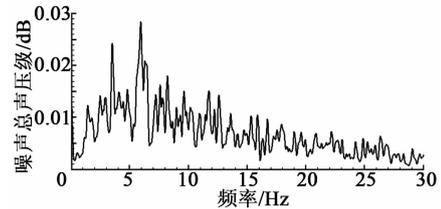


图 7 在 0°方向的频谱低频放大

图 8~11 为在 90°和 270°方向的频谱分析结果。由图可看出,在 90°和 270°方向,噪声频谱同样随着频率的增加,声压级逐步降低,在 90°方向存在几个峰值纯音基频,峰值频率主要在低频范围,且伴随有基频的多个倍频出现,这是叶片尾端风剪切效应和尾流效应形成的离散噪声。

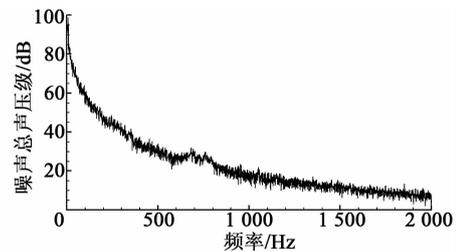


图 8 在 90°方向的频谱分析结果

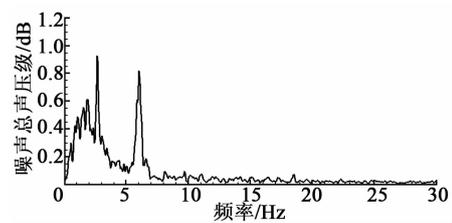


图 9 在 90°方向的频谱低频放大

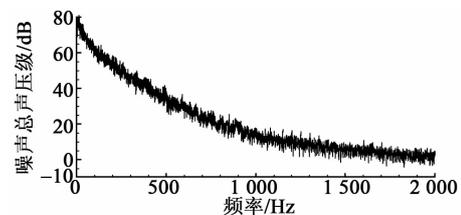


图 10 在 270°方向的频谱分析结果

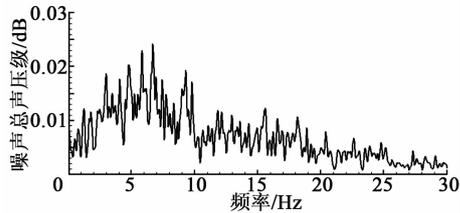


图 11 在 270°方向的频谱低频放大

由图 11 可看出,没有单一的峰值频率,呈现宽频特性,这表明在这个方位测量获得的主要是叶片自噪声占主体,叶片自噪声包括边界层脱落涡噪声、尾缘噪声等,属于一种宽频噪声源。

在 3 个主要噪声方位上,0°和 90°方向存在峰值基频和倍频。这些纯音是主要的噪声源,来源于风轮后面的机械噪声和叶片尖端气动噪声,且它们属于低频噪声范围,穿透能力强,传播距离远,是在设计和工程实际中需要进行降噪的控制点。控制方法可采取优化齿轮轴承传动部件、高阻尼材料和隔音外罩降低机械噪声,对叶片外型进行优化设计、适当降低风轮转速等降低气动噪声。此外,大型风力机发电场的选址上,应位于居民区的下风方向,这样能减弱噪声对居民生活的影响。

4 结束语

本文通过实验对某型风力机的噪声特性和噪声源产生机制进行了研究,发现在风力机的来流风的下游方向、风力机风轮叶片平面方向的噪声较大,通过傅里叶频谱分析发现,这些方向存在声压级峰值的纯音基频和倍频,这是主要的噪声源,最后指出了对这些噪声源进行控制的主要措施。

参考文献:

- [1] 张洋,刘雪枫,李强. 风资源评估综述[J]. 水利电力机械,2007,29(5):72-75.
ZHANG Yang, LIU Xuefeng, LI Qiang. Wind resource assessment reviews[J]. Hydraulic and Electric Machinery, 2007, 29 (5): 72-75.
- [2] 周燕莉. 风力发电的现状与发展趋势[J]. 甘肃科技, 2007, 24(3): 9-11.
ZHOU Yanli. Status and development trends of wind power generation[J]. Science and Technology in Gansu Province. 2007, 24 (3): 9-11.
- [3] 龚希武,张艳,袁一博. 水平轴风力发电机气动分析与噪声控制[J]. 赤峰学院学报(自然科学版),2013,29(9):39-41.
GONG Xiwu, ZHANG Yan, YUAN Yibo. Aerodynamic analysis of horizontal-axis wind turbine generator with noise control [J]. Chifeng University(Natural Science Edition), 2013, 29 (9): 39-41.
- [4] 李晓东,许影博,江旻. 风力机气动噪声研究现状与发展趋势[J]. 应用数学和力学, 2013, 34(10): 1083-1090.
LI Xiaodong, XU Yingbo, JIANG Min. Research status and development trend of wind turbine noise[J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2013, 34 (10): 1083-1090.
- [5] HUBBARD H H, SHEPHERD K P. Wind turbine acoustics [R]. NASA TP-3057, Hampton, Virginia: NASA Lewis Research Center, 1990.
- [6] ZHU W J, HEILSKOV N, SHEN W Z. Modeling of aerodynamically generated noise from wind turbines [J]. Journal of Solar Energy Engineering, 2005, 127(4): 517-528.
- [7] GLEGG S A L, BAXTER S M, GLENDINNING A G. The prediction of broadband noise from wind turbines[J]. Journal of Sound and Vibration, 1987, 118(2): 217-239.
- [8] 李祥雨,孙文磊,刘国良. 风力机组变桨机构在变风速下的动力学联合仿真分析[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版),2014(6):48-52.
LI Xiangyu, SUN Wenlei, LIU Guoliang. Finite element analysis of torque sensor based on COSMOL surface acoustic wave[J]. Journal of Chongqing University of Technology(Natural Science), 2015(11): 17-22.
- [9] 汪建文,王晓迪,高志鹰,等. 风力机旋转风轮不同监测面上的噪声特性分析[C]//南京:中国工程热物理学会流体机械年会,2013.
- [10] 汪建文,白杨,高志鹰,等. 小型风力机风轮叶尖近尾迹区域声辐射测试与分析[J]. 沈阳工业大学学报,2010, 32(1): 27-31.
WANG Jianwen, BAI Yang, GAO Zhiying. Small wind wheel tip near-wake region of acoustic radiation testing and analysis [J]. Journal of Shenyang University of technology, 2010, 32(1): 27-31.
- [11] MARCUS E N, HARRIS W. An experimental study of wind turbine noise from blade-tower wake interaction[R]. Atlanta, GA, USA: AIAA Paper 83-0691, 1983.