

文章编号: 1006-1355(2014)04-0189-03+196

风力发电机噪声传播的数值仿真

谢双义¹, 金鑫²

(1. 重庆公共运输职业学院, 重庆 402247;

2. 重庆大学 机械传动国家重点实验室, 重庆 400030)

摘要: 探讨风力机噪声的传播问题, 推导了噪声随距离分布的数学关系。由于噪声的接受者一般位于地面, 以接受者到塔架的距离作为自变量来分析噪声传播特征。继而应用 Cadna A 软件进行噪声仿真预测, 将数学推导结果与仿真结果进行比较, 结果显示了良好的一致性。

关键词: 声学; 风力发电机; 噪声传播; 风能

中图分类号: O42; O422.8

文献标志码: A

DOI编码: 10.3969/j.issn.1006-1355.2014.04.041

Numerical Simulation of Noise Emission of Wind Turbines

XIE Shuang-yi¹, JIN Xin²

(1. Chongqing Vocational College of Public Transportation, Chongqing 402247, China;

2. State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The problem of wind turbine noise emission and propagation is discussed, and the mathematical relationship between noise intensity and distance is formulated. Since the noise recipients are generally located on the ground, the distance from the recipient to the wind turbine tower can be regarded as the independent variable to analyze the characteristics of noise propagation. Then, the noise is predicted numerically using software Cadna A. Results of mathematical derivation are compared with the simulation results, and both results are found to be in a good agreement.

Key words: acoustics; wind turbine; noise propagation; wind energy

随着风能技术的大力发展, 风力机对环境的影响受到越来越多的关注。风力机对环境的影响主要有两方面, 其一是对人们视觉的冲击, 其二是噪声干扰。风力机的噪声是设计风力机时应该考虑的一项主要指标^[1]。随着技术的进步, 风力机产生的噪声已经大大减小。如图1所示, 上世纪90年代及2000年以后生产的风力机其趋势线处于80年代风力机的下方, 并且要平坦很多, 表明相同尺寸的风力机90年代以后生产的噪声要小, 并且噪声随风轮尺寸的增大的速度要平缓许多^[2]。

即便风力机的噪声大大减小了, 如果居住者距

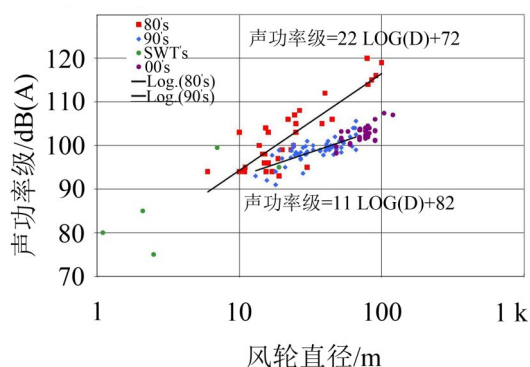


图1 风力机噪声

离风场太近, 风力机也会带来噪声污染。因此, 考虑噪声的传播问题, 分析声强函数的特点, 关注声强随不同变量变化的斜率, 是有意义的课题。

1 风力机噪声简介

风力机噪声的来源主要分为两种^[3]:

(1) 机械噪声: 产生于各部件之间的相互作用, 如齿轮啮合, 发电机的转动, 偏航电机的工作, 冷却

收稿日期: 2013-12-03

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BAA22B02); 国家自然科学基金项目(51005255); 教育部高等学校博士学科点科研基金项目(20090191120005)

作者简介: 谢双义(1986-), 男, 山东泰安人, 硕士, 主要从事风力机控制系统建模与仿真。

E-mail: xsy.1986@163.com

风扇及液压机械的运转等等;

(2) 气动噪声:产生于空气流过叶片的过程。如图2所示,主要有三种噪声:**a.**低频噪声,叶片旋转到塔架附近时由于气流变化导致的低频噪声;**b.**入流湍流噪声,叶片与来流中的湍流相互作用产生的噪声;**c.**翼型噪声,包括气流流过翼型表面产生的噪声,钝尾缘或叶片上的裂纹小孔等产生的噪声。

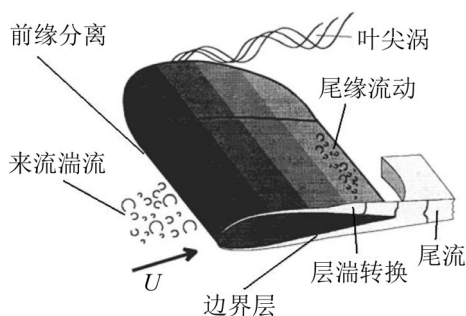


图2 气动噪声

2 模型描述

为了简化噪声传播模型,本文基于以下假定:

(1) 风力机看成一个点状声源,并且产生的噪声呈球形扩散;

(2) 地面完全吸收噪声;

(3) 不考虑短距离内空气对噪声的吸收;

(4) 声源发出的噪声为宽带噪声。

假定2成立是因为风场一般建在郊区等乡村环境,地面对声音的吸收率很高。由于本文强调的是声强随各种变量的变化特性,因此可以采用这些理想假定,后续可以讨论更为精确的模型。模型的几何简图如图3所示。图中黄色标记的是声源和接受者。

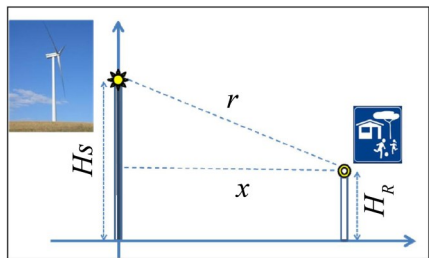


图3 噪声传播简图

建立模型的第一步首先要估计声源的声能级 L_{wA} (A计权)。目前很多实测的或理论的数据可供参考。因为 L_{wA} 仅影响曲线垂直方向的偏移,故对 L_{wA} 的精确程度要求不高。

计算的 L_{wA} 通过制造厂商提供。如表1所示是基于IEC 61 400-11标准的风力机噪声表。

表1 Nordex N 80型风力机噪声传播数值表
(轮毂高度 ≤ 80 m)

在10 m高处的标准风速	视在声功率级	音调可听度
$V_s / (m/s)$	$L_{wA} / [dB(A)]$	$\Delta L_a / dB$
4	98.0	≤ 4
5	100.5	≤ 4
6	102.5	≤ 4
7	103.0	≤ 4
8	103.5	≤ 4
9	104.0	≤ 4
10	104.0	≤ 4
11	104.5	≤ 4
12	105.0	≤ 4

通过对这些数据进行多项式插值可获得任意风速下的噪声值^[4]。这些数据可以用来计算距离风力机 r 米处(见图3)的声强级 L_I 。在点状声源和完全吸收的地面条件下,有如下公式

$$L_I = L_{wA} - 20 \log_{10} \frac{r}{r_0} - 11 - \alpha r \quad (1)$$

式中 L_{wA} 是声源的声能级, r_0 是参考距离,选取为1 m, α 是空气吸收系数,它和声源频率,温度以及空气湿度有关,可以参考文献^[6]计算得到。本例中,假定 α 为常数,其值如下^[5]

$$\alpha = 0.005 \text{ dBA/m} \quad (2)$$

距离声源100 m范围之内的衰减可以忽略不计^[8]。参考ISO 9 613标准中给出的噪声传播公式,忽略地面反射,阻挡等因素。并且其影响可以很容易地作为附加条件模拟得到。

公式(1)从常用的牛顿场公式演化而来,牛顿场公式给出了某点声强级 I 关于声源能级 W 和距离 r 之间的关系

$$\frac{I}{I_0} = \frac{W/W_0}{4\pi(r/r_0)} \quad (3)$$

式中 I_0 , W_0 和 r_0 是把这些对数参数无量纲化的参考值。将所有常数代入式(3)并假定 K 如下

$$K = \frac{I_0 r_0^2 W}{4\pi W_0} \quad (4)$$

可得到声强的表达式

$$I = K \frac{1}{r^2} \quad (5)$$

文中 K 仅和风速有关,因为风速影响声源的能级大小。考虑图2中的几何关系

$$r^2 = x^2 + (H_R - H_S)^2 = x^2 + H^2 \quad (6)$$

式中 $H = H_R - H_S$,于是声强级最终可写成下式

$$I = K \frac{1}{(x^2 + H^2)} \quad (7)$$

图4为声强随水平距离 x 的变化趋势。考察公式(7),可以发现当 $x=0$ 时,声强最大 $I_{\max} = K/H^2$,在 $x = H/\sqrt{3}$ 处存在拐点。从这个结果可以看出,在离风力机更近的某个范围内噪声减小慢,而在整个范围之外噪声减小更快。曲线的凹陷程度影响声强函数的斜率。可以看出,影响拐点位置的唯一因素是声源与接受者的高差 H 。

另外,考察声强和声源高度的关系,从公式(7)可以发现声强与两个变量 x 和 H 的关系是一样的。这表明声强关于 H 的曲线与关于 x 的曲线是一样的,如图5所示。从图中可以看出,声源离地越高,对地面接受者的影响越小。

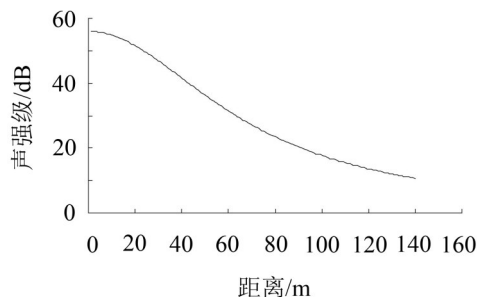


图4 声强级—水平距离曲线

3 软件仿真

通过噪声预测软件 Cadna A (Computer Aided Noise Abatement) 获得了不同的预测结果。Cadna A 是一款德国的噪声预测软件。“角度扫描”和“射线追踪”方法是这款软件的基础。软件将仿真区域分割成很多小的表面,形成计算网格。接受器可放置于不同的高度,本例中为2 m。每个网格单元在所有的方向释放出射线,这些射线经过多次的反射和接收器相遇。每根射线段的长短表明噪声的衰减。放置于仿真区域的接收器可以记录下各自位置的声强,并可以导出为列表。本文算例中,接收器的间隔为5 m。表2为仿真参数。

表2 仿真参数

声源生能级	103.5 dBA
风速	8 m/s
声源高度	70 m
网格高度	2 m
接收器高度	4 m
接收器间距	5 m

图5为单个风力机仿真的结果,图中黑白相间的小圆点是接收器,声源位于左起第一个接收器的位置。波浪形的黑色线条是等声区的分界线,等声区用不同的颜色来区分。从图中可以看出,位于塔架处的噪声最大,随着距离的增加,噪声值减小(颜色越暗噪声越小),可以初步反应仿真结果的正确性。图6为软件仿真的结果与理论推导结果的比较,两者有很好的 consistency,验证了模型的正确性。

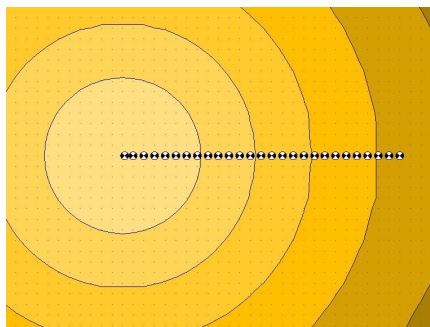


图5 仿真结果

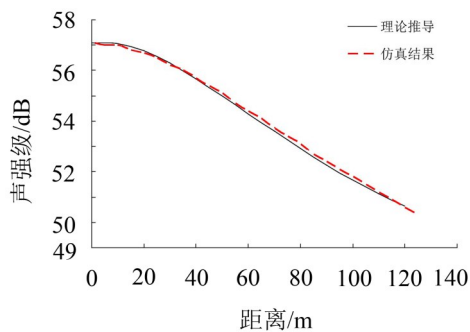


图6 结果比较

在单个风力机仿真的基础上,建立了一组风力机的模型来模拟风场的噪声。风场中风力机水平方向间隔200 m,前后方向间隔100 m。如图7所示,仿真参数采用表一所示,接收器间隔扩大成10 m。结果清楚的显示了临近风力机噪声的叠加效果。将接收器测得的噪声值导出并绘制曲线得到图8。通图中可以看出,距离塔架越远的接收器测得的噪声值越小。随着接收器位置的变换,噪声值呈近似的正弦变化。

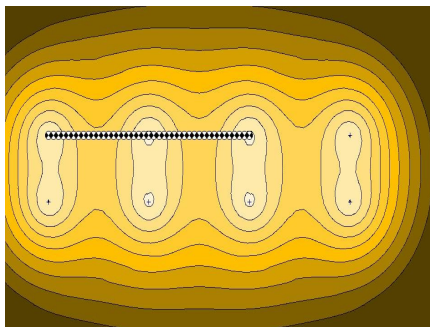


图7 一组风力机的噪声