

大型设备的声功率级声强测试方法*

李志远, 陈慧, 陈品, 陆益民

(合肥工业大学机械与汽车工程学院 合肥, 230009)

摘要 大型机电设备的声功率级在典型工况下的测试是噪声测试的难点,为此以声强法测试技术为手段,研究了大型风力发电机在生产环境中的噪声声功率级测试方法。通过理论分析和实际测试,研究了离散点声强测试和扫描声强测试两种基本方法以及子面分离测试的理论基础。在对设备的声辐射表面采用两种基本方法进行整体测试的同时,比较了将设备噪声辐射面划分为若干个子面的分离测试方法。结果表明,对于大型机电设备采用离散点法和扫描法都能满足工程测试精度的要求,采用子面分离测试同样能达到整体测试的结果。同时,利用子面声强测试的结果还可以对多声源设备中的各组合声源进行声功率级排序,确定多声源设备的主要噪声源。

关键词 声强测试; 大型设备; 风力发电机; 声功率级; 子面测试

中图分类号 TM301.4⁺³; TB52⁺⁴; TH89

引言

衡量机电产品及设备噪声的一个十分重要的客观指标是声功率级,机电产品及设备的声功率级通常是采用声压法在特定的安静环境中进行测试的。但是,对于大型机电设备来说,由于设备体积较大且声源分布较复杂,一方面难以营造满足声压测试要求的环境,另一方面声压测点的分布无法全面涵盖复杂的多声源体,有些情况下甚至无法对大型设备施加典型的工况负荷;因此采用声压法难以精确测试大型机电设备的噪声声功率。

随着微电子技术、计算机技术和数字信号处理技术的快速发展,声强技术已成为声学工程中一种重要的测试技术^[1-2]。文献[3]在研究大型客车噪声控制时采用声强法和噪声谱分析法来识别主要噪声源。文献[4]利用声强测试技术对某摩托车进行噪声源识别,通过采取针对性降噪措施,降低了摩托车行驶噪声。文献[5]对某中型乘用车的车外辐射噪声进行了声强测试试验,并对该车的主要噪声进行了识别和研究。按照文献[6-7]的规定,用声强法测试声源的声功率有两种方式,即离散点法和扫描法,但是对于大型机电设备噪声声功率级的测试,由于其体积庞大,无论采用离散点法还是扫描法都难以进行整体操作;因此,研究采用声强子面测试大型机电设备的声功率级是十分必要的。

1 声强测试原理分析

以平行六面体测试包络面为例,包络面包围整个被测噪声源。采用离散点法测试声源的声功率级时,测试包络面的总面积为 S ,将包络面划分为 N 个测试面元,每个测试面元的面积为 S_i ,如图1所示。

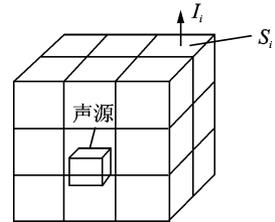


图1 声强法测试声功率级

当被测声源和外部环境噪声稳定时,将每个测试面元的外法线方向的平均声强 I_i 测出,即得通过每个测试面元上的声功率

$$W_i = I_i S_i \quad (1)$$

被测声源的噪声总声功率为

$$\omega = \sum_{i=1}^N \omega_i = \sum_{i=1}^N I_i S_i \quad (2)$$

或

$$\omega = \int_S I dS \quad (3)$$

对于大型机电设备,为了便于测试,将其总测试面 S 划分为 m 个子测试面,其中第 k 个子测试面具有 p 个测试面元,每个测试面元的面积为 S_j ,第 k 个

* 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAA02A21-8)

收稿日期:2011-01-14;修改稿收到日期:2011-03-21

子测试面辐射的声功率为

$$\omega_k = \sum_{j=1}^p \omega_{ij} = \sum_{j=1}^p I_i S_j \quad (4)$$

被测声源的噪声总声功率为

$$\omega = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^p I_i S_j \quad (5)$$

总声功率级为

$$L_W = 10 \lg(W/W_0) \quad (6)$$

其中: W_0 为基准声功率, $W_0 = 10^{-12} W$ 。

采用扫描法测试声功率级的原理分析与上面类似, 同样可以得出

$$\omega = \sum_{k=1}^m \int_{\epsilon_k} I_j dS_j \quad (7)$$

由于声强是矢量, 在测试过程中, 若测试包络面以外存在其他干扰声源, 其沿整个测试包络面辐射的声功率为

$$\int_s I_n d\theta = 0 \quad (8)$$

式(8)说明, 在测试包络面上, 声能流从一边流入的声强为正, 从另一边流出的声强为负, 但对整个包络面的积分为0(见图2), 所以外部干扰噪声源的声功率为0。这表明在进行声强测试时, 封闭包络面以外的其他噪声源理论上不会影响声强测试结果。

在双传声器法声强测试中, 将每个传声器测得的 $P_A(t)$ 及 $P_B(t)$ 信号进行傅里叶变换, 得到两个声压互谱的虚部, 则有功声强的频率分布值为

$$I(\omega) = \text{Im}[G_{AB}(\omega)] / \omega \rho_0 d \quad (9)$$

其中: ω 为圆频率; ρ_0 为静态平衡时的气体密度; d 为双传声器声学中心之间的距离; $G_{AB}(\omega)$ 为声场声压 $P_A(t)$ 及 $P_B(t)$ 间的单边互谱密度函数; $\text{Im}[G_{AB}(\omega)]$ 为取两声压互谱的虚部^[8]。

将式(9)的测试结果代入式(5)或式(7)中, 即可得到声源的总声功率, 进而由式(6)得到声源的总声功率级。

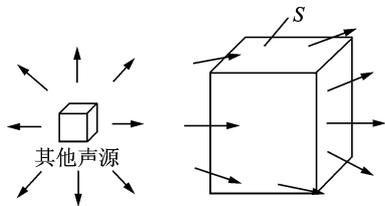


图2 测试包络面外的其他声源的影响

2 大型机电设备的声强测试

2.1 测试系统

声强测试分析系统如图3所示, 其中: 声强探头

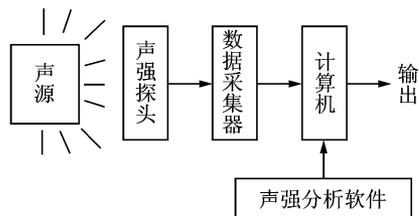


图3 声强测试分析系统

为B&K3599;数据采集器为B&K3560E。

2.2 子测试面的测试

以某型大功率风力发电机声功率级测试为例, 被测对象主要有发电机主体、热交换器、滑环箱等。为了测试风机在实际状况下的噪声, 用变频电动机反拖发电机。由原理分析可知, 测试过程中驱动变频电动机的运行噪声对被测发电机声功率级测试精度的影响可以忽略。试验时发电机在全速(1 915 r/min)和满负荷(1 600 kW)工况条件下进行。测试采用离散点法和扫描法两种方法, 每种方法的测试面又分为子面分离测试和整体测试两种情况。

在发电机5个侧面上分别划分子测试面, 子测试面划分的依据是能正确分离出发电机的各组成部件。整个包络面共划分为44个子测试面, 其中热交换器包含20个子面, 发电机主体包含14个子面, 滑环箱包含8个子面, 接线盒包含2个子面; 发电机的左、右侧面各包含13个子面, 前、后侧面各包含5个子面。

采用离散点法对发电机进行子面声强测试时, 还要对各个子面进行测试面元划分, 每个面元的中点就是离散声强测试的测点。整个发电机共布置面元215个, 其中左、右侧面各布置65个测点, 前侧面布置24个测点, 后侧面布置29个测点, 顶面布置32个测点。图4为发电机左侧面的测点分布图。测试时将声强探头轴线垂直于被测表面, 依次测出每个子面中每个测点处的表面法线方向的声强。

采用扫描法进行子面测试时, 用声强探头对各个侧面的各个子面进行连续扫描, 每个子面扫描2次,

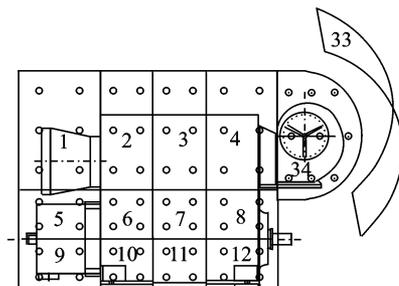


图4 子面测试发电机左侧面的子面划分及声强测点分布图

每次扫描的路线相互垂直。图5为子面测试时发电机左侧各子面的水平扫描路线示意图。

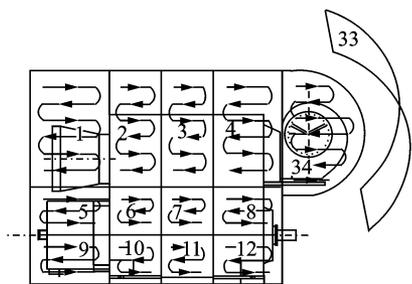


图5 子面测试发电机左侧面的水平声强扫描图

扫描时声强探头的轴线垂直于被测子面,沿扫描路线均匀移动声强探头,依次测出各侧面每个子面的两次扫描所得的声强值。声强信号分析仪对每一扫描周期得到的信息进行空间平均,进而得到这个子面的声强值。

2.3 整体测试面的测试

在对发电机进行离散点法整体包络面测试时,包络面共布置216个测点,其中左、右侧面各布置65个测点,前侧面布置24个测点,后侧面布置30个测点,顶面布置32个测点。图6为左侧面测点布置示意图。

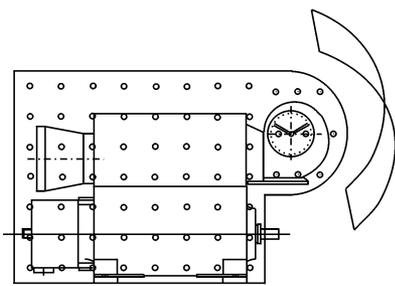


图6 整体测试发电机左侧面的声强测点分布图

在进行扫描法的整体测试时,对发电机5个侧面进行连续扫描。以左侧面为例,水平扫描线路如图7所示,每个面元扫描2次,每次扫描的路线相互垂直,计算得到每个侧面的声功率值。

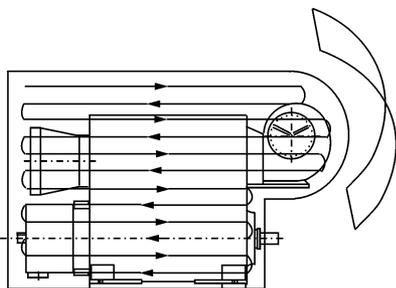


图7 整体测试发电机左侧面的声强扫描线图

3 测试结果分析

3.1 子测试面的测试结果

表1为分别采用离散点法和扫描法各子面测试时叠加得到的发电机各侧面的声功率级以及总声功率级。由表1可以看出,采用离散点法和扫描法对发电机噪声的总声功率级进行测试,两者的差值很小。

表1 子面测试发电机各侧面声功率级 dB(A)

测量方法	左侧	后侧	右侧	前侧	顶面	总计
离散点法	93.76	91.88	89.72	85.18	85.02	97.41
扫描法	93.11	92.46	90.08	85.61	86.17	97.48

从表1可看出,发电机的左侧面辐射噪声最为严重,后侧面的噪声也较大,所以左侧面和后侧面是发电机主要的噪声辐射面。

表2为分别采用离散点法和扫描法子面测试时得出的发电机各部件的声功率级。由表2可看出,发电机的热交换器和滑环箱辐射的声功率级最高,其中热交换器的出风口贡献最大,滑环箱和热交换器的出风口是主要噪声源。所以应对滑环箱和热交换器的出风口进行降噪处理,能有效降低发电机的整机噪声。

表2 子面测试发电机各组成部件声功率级 dB(A)

测量方法	热交换器			滑环箱	发电机主体	接线盒
	出风口	其他	进风口			
离散点法	90.18	88.11	83.76	92.89	91.93	78.54
		92.85				
扫描法	90.09	89.12	84.57	93.25	90.98	79.73
		93.27				

3.2 整体测试面的测试结果

对整体测试,计算出每个侧面的声功率级,然后将5个侧面的声功率级叠加,得到整个发电机辐射的总声功率级。表3为整体测试时离散点法和扫描法测得的发电机各侧面和总声功率级值。

表3 整体测试发电机各侧面声功率级 dB(A)

测量方法	左侧	后侧	右侧	前侧	顶面	总计
离散点法	93.78	92.05	89.55	85.59	84.95	97.45
扫描法	93.14	92.48	90.10	85.64	86.18	97.51

表3与表1进行比较可以得出,不论是离散点法还是扫描法,采用各子分离测试结果与整体测试的

结果都十分接近,因此可以通过分别测试发电机各个组成子面辐射的声功率级值来叠加合成整体辐射的声功率级值。对于大型机电设备来说,这样处理比进行整体测试更有实用意义。

3.3 声功率级频谱分析

为了确定发电机的主要噪声频率成分,对测得的发电机的总声功率级进行频谱分析,图8为发电机的总声功率级的频谱图(A计权)。

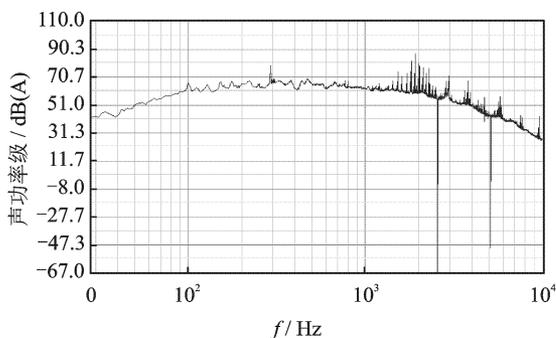


图8 发电机的总声功率级频谱图

由图8可知,发电机在100 Hz~1 kHz 范围内为中低频宽带噪声,它具有气流噪声的特征,实际反映的是热交换器的出风口的气流噪声。在1 914 Hz 附近的噪声值最大,进一步分析可知,这是滑环的摩擦引起的噪声。

4 结论

1) 采用声强法测试大型机电设备的噪声声功率级时,将设备划分为若干个子面进行测试,与进行整体测试的结果比较,两者差值很小,误差完全满足声学工程测量精度(2dB)的要求;因此,完全可以使用子面测试代替整体测试。

2) 进行声源的噪声声功率级测试时,采用离散点法和扫描法测试结果的相对误差很小,能得到基本相同的测试结果。

3) 采用划分子面进行测试的方法,不但可以得到大型机电设备的声功率级值,还能够将大型机电设备的各组成部件噪声分离出来,从而可以得到复杂声辐射设备中各部件辐射的声功率级。

4) 对于本研究的测试对象而言,滑环箱和热交换器的出风口是主要噪声源,即滑环的摩擦噪声和热交换器出风口的气流噪声最大,这为该风力发电机进一步降噪提供了改进依据。

参 考 文 献

- [1] Shirahatti U S, Crocker M J. Studies on sound power measurements using the sound intensity technique[J]. Noise Control Engineering, 1993, 41(2):323-330.
- [2] Liu Qiyuan, Lian Xiaomin, Jiang Xiaoyu. Reducing noise of automobiles by using sound intensity method [C]// Proceedings of Fourth International Congress on Sound and Vibration. St. Petersburg, Russia: International Congress on Sound and Vibration, 1996.
- [3] 连小珉,刘起元,蒋孝煜. 声强法识别大型客车主要噪声源[J]. 汽车工程, 1994, 16(6):334-338. Lian Xiaomin, Liu Qiyuan, Jiang Xiaoyu. Identification of main noise source of coach with sound intensity method[J]. Automotive Engineering, 1994, 16(6): 334-338. (in Chinese)
- [4] 徐中明,贺岩松,王朝国,等. 声强测量技术在摩托车噪声控制中的应用[J]. 汽车工程, 1998, 20(1):57-60. Xu Zhongming, He Yangsong, Wang Chaoguo. Application of sound intensity measurement method in noise control of motorcycle [J]. Automotive Engineering, 1998, 20(1):57-60. (in Chinese)
- [5] 郝志勇,韩军,毕凤荣. 一种中型乘用车表面噪声的声强测试分析[J]. 汽车工程, 2003, 25(4):392-395. Hao Zhiyong, Han Jun, Bi Fengrong. An investigation on noise source identification of a medium bus sound Intesity measurement [J]. Automotive Engineering, 2003, 25(4):392-395. (in Chinese)
- [6] ISO9614-1—1993 Acoustics-determination of sound power levels of noise sources using sound intensity-part 1: measurement at discrete points[S].
- [7] ISO9614-2—1996 Acoustics-determination of sound power levels of noise sources using sound intensity-part 2: measurement by scanning[S].
- [8] 蒋孝煜,连小珉. 声强技术及其在汽车工程中的应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2001:50-53.



第一作者简介:李志远,男,1949年10月生,教授。主要研究方向为动态测试技术、振动与噪声控制。曾发表《滑阀式真空泵排气系统抗性消声结构的研究》(《真空科学与技术》)2006年第26卷第2期)等论文。

E-mail:13956085586@163.com

E-mail:chhenan@126.com