

# 声强法在电动机噪声测试中的应用\*

程发斌,汤宝平,赵玲

(重庆大学机械工程学院测试中心,重庆 400030)

**摘要:**分析了声强测量的特点、优点和有关声强测量的基本原理,并与通常的声压测量进行了比较。研究了基于双通道FFT分析仪的虚拟式声强测量系统的原理与组成。分别采用声强法和声压法对电动机辐射空气噪声声功率进行了测定。结果表明,采用声强测量技术对电机噪声进行测量分析,能够在工业现场准确地评价电机噪声声功率级,克服了传统的采用声压法测量易受环境影响而要进行数值修正的问题以及声功率测量必须在特定声学环境里测量的问题。该方法在噪声测量中有一定的优越性。

**关键词:**声强;声功率;电动机;噪声测量

**中图分类号:**TH73;TB52

**文献标识码:**A

电动机工作时会产生噪声,一般来说,电动机功率越大,噪声越大。噪声不仅影响人们的生活、工作环境,对人体健康造成危害,而且使人们的工作效率降低。电机噪声主要有3大类:电磁噪声、机械噪声和空气动力噪声。一般电机的空气动力噪声较大,机械噪声中的滚动轴承噪声次之,滑动轴承噪声与电磁噪声较小。对电机噪声的控制是一门相当复杂的技术。最有效的控制方法就是要有效的产品设计方法,然后在此基础上进行优化设计。而达到这一目的的一个重要手段,就是要能够得到电机表面的声学特性,从而通过分析找出主噪声源,然后再作进一步地改进<sup>[1-2]</sup>。

目前,采用声压法测量电动机噪声,能够得到高精度的声强量。但是,测量结果易受环境的影响而要进行数值的修正,声功率的测量也需要在特定的声学环境里直接测量声压,再得出声功率级,而声强测量不受周围环境反射的影响,也不受背景噪声的影响,没有声学环境的要求。因此,声强测量已成为近年来用于噪声源鉴别、声功率评定的最有效的手段之一。

## 1 声强测量法的基本原理

通常的声学测量仪器都是直接测量声压,测量结

果易受环境的影响而要进行数值的修正,声功率的测量也需要在特定的声学环境里直接测量声压,再得出声功率级,但声强测量不受周围环境反射的影响,也不受背景噪声的影响,没有声学环境的要求。另外,声强测量不仅测得该声场的数值大小,也同时测量出了声场的方向<sup>[3-5]</sup>。测得的结果形成的是一个能量场(既有大小,又有方向的矢量场)。

声强是指在单位时间内通过垂直于声波传播方向上的单位面积的声能,是描述声能流动的具有大小和方向的声学量。声强常记为 $I$ ,单位为 $W/m^2$ 。在声场中,某 $r$ 方向上的声强定义为:

$$I_r = \overline{p(t) \cdot u_r(t)}$$

式中:横线表示对时间取平均,即 $\frac{1}{T} \int_0^T dt$ ;

$I_r$ — $r$ 方向上某点的声强;

$p(t)$ — $r$ 方向上某点处的瞬时声压;

$u_r(t)$ — $r$ 方向上同一点处媒质质点的瞬时速度。

瞬时声强是瞬时声压及瞬时质点速度的乘积,所以声强测量仪器应能同时实测出这两个瞬时量,然后加以相乘。由于用传声器测量声压的问题早已解决,所以要解决的现实问题是实测质点的速度,而质点速

\* 收稿日期:2004-09-01

基金项目:国家自然科学基金资助项目(批准号:50405090)

作者简介:程发斌(1978-),男,四川资中人,重庆大学硕士研究生,研究方向为智能测试与虚拟仪器技术。

度的测量并不容易。不过,质点速度与声压梯度(瞬态声压随距离的变化率)之间的关系可通过线性欧拉方程联系起来。用这个方程,能够使用两个互相靠近并留有间隔的传声器测出声压梯度,并由此推导出质点速度。这种方法叫做声压梯度法。

安装两传声器  $A$  及  $B$  相距一小段距离,设两传声器的声学中心的连线方向为  $x$ ,当声波沿  $x$  方向进行时,所测出的两个声压  $p_A(t)$  及  $p_B(t)$  之间存在梯度。

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho_0 \frac{\partial u}{\partial t}$$

$$\text{所以: } u(t) = -\frac{1}{\rho_0} \int \frac{\partial p(t)}{\partial x} dt$$

上述关系说明,如果知道声压梯度和气体密度,就能算出质点的加速度,再将加速度对时间积分,就可以求出质点速度。

实际声场中声压梯度是一个连续变化的函数。用两个互相靠近并留有间隔的传声器(即声强探头)测出声压差并除以传声器之间的距离,可以得出压力梯度的直线近似,这种方法称为有限差分近似。

设两传声器声学中心之间的距离为  $d$ ,当  $d$  远远小于波长  $\lambda$  时,采用有限差分  $\frac{\partial p(t)}{\partial x}$  可以近似的改写为  $\frac{p_B(t) - p_A(t)}{d}$ ,于是上式可改写为:

$$u(t) = -\frac{1}{\rho_0 d} \int [p_B(t) - p_A(t)] dt$$

两传声器之间中点的声压可以认为是  $p_A(t)$  及  $p_B(t)$  的平均值

$$p(t) = \frac{p_A(t) + p_B(t)}{2}$$

则  $x$  方向上的瞬时声强为

$$I_x(t) = p(t) \cdot u(t) = \frac{1}{2\rho_0 d} [p_A(t) + p_B(t)] \int [p_A(t) - p_B(t)] dt$$

取其时间平均就可以得到  $x$  方向上的有功声强。

根据信号的处理方式不同可以分为数字式和模拟式两种声强计。模拟式声强计就是直接将双传声器测得的信号,经过加、减、积分及乘法电路,结合模拟滤波器,按上式可计算得到需要的声强。数字式声强计由两只传声器获取的声信号,经前置放大、A/D 变换及滤波后,使之相加得到平均声压;使之相减并积分则得到质点速度;再将二者相乘并对时间求平均即得到

声强。

传感器在声场中接触到的是时域中的瞬时信号,而对于噪声控制,平均声强的测定及其频域中的谱分析是十分重要的,所以声强测量仪器需要将测到的时域信号转变为频域中的声强分布。也可以借助快速傅立叶变换,只需将测得的  $p_A(t)$  及  $p_B(t)$  信号,输入双通道的 FFT 分析仪,求两个声压互谱 ( $G_{AB}$ ) 的虚部,再用下式算得声强

$$I(\omega) = -\frac{\text{Im}[G_{AB}]}{\omega \rho_0 d}$$

其 FFT 分析仪的信号处理框图如图 1 所示。

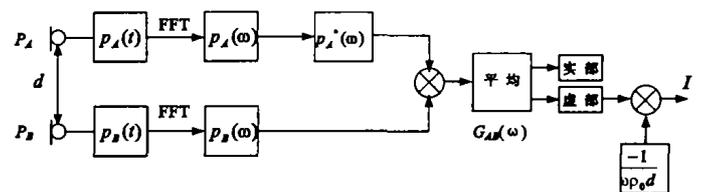


图 1 用 FFT 分析仪的信号处理框图

使用硬件化 FFT 分析仪间接测量声强  $I$  可以使一台仪器有多种用途,提高了仪器的使用率,并且比较容易修正两通道间的相位误差。对于相对平稳的声场,此方法经济易行、通用性强。也可以使用专用的软件在通用微机上进行 FFT 计算,这样在测量时不仅可应用台式微机,而且可以用笔记本式微机,可以解决电源有无的问题。

## 2 声强测量系统

声强测量系统应将来自声强探头的双传声器声压信号进行处理,以得到探头检测处的声强值,包括模拟信号处理和数字信号处理两大部分。由于声强测量中一个重要的检测对象就是检测声场在双传声器上的相位差,所以对系统相位差提出较高的要求。

声强测量的优点在于它受环境条件的影响较小,不像声压测量那样要对环境提出各种要求,甚至要使用消声室。为了使声强测量在现场中进行,就必须要求声强测量设备使用方便、操作简单、设备轻便灵活。特别是在现场使用的试验设备,操作简便是非常重要的,这样对操作者的技术要求可以大大降低,能迅速地推广和应用。声强测量系统的整个硬件系统由两大部分组成:声强探头和信号数字化仪。声强探头(SIP)将探头所在的声压信号转换成点信号,通过前置放大器带动长线输出;信号数字化仪(SDR)与 PC 机相连,并在 PC 机的控制下,将 SIP 通过长线传输来的模拟声压信号放大、抗混滤波、模数转换,最后将转换得到的

数字声压信号送入 PC 机。利用声强探头和声强计或其他处理设备,可组成不同类型的声强测量系统,以声强探头、信号数字化仪和双通道 FFT 分析仪为基本设备组成的声强测量系统如图 2 所示。

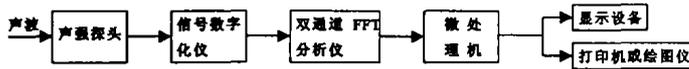


图 2 声强测量系统

### 3 声强技术在电机噪声测量中的应用

表 1 是某一异步电动机的声功率级测量结果。被测声源附近有强干扰和无强干扰两种情况进行测量<sup>[5-7]</sup>。

1) 被测声源附近有强干扰源存在的情况。由异步电动机拖动直流电动机,安装在直流电机上用于降温的风机也同时开动,无任何隔声措施,用声强法测异步电动机的噪声声功率级。

2) 被测声源附近无强干扰声源存在的情况。由异步电动机拖动直流电动机,拆去直流电机上的风机,同时,在直流电机上加隔声罩,用声强法测异步电动机的噪声声功率级。

在进行上述测试时,异步电动机和直流电机的工作状况均保持不变,测量结果如表 1 所示。

表 1 测量结果 dB(A)

声学环境	运行状况	采用方法	声功率级
有强干扰	负载	声强法	110.87
		声压法	115.80
无强干扰	负载	声强法	110.64
	空载	声压法	111.88
		声压法	106.89

从测量结果可以看出,采用声强法对异步电动机进行声功率级测定时,在有直流电机的强干扰情况下测得声功率级为 110.87 dB(A)。在基本无外界干扰的情况下测得的声功率级为 110.64 dB(A),两者仅差 0.23 dB,这说明在有强干扰和没有干扰的情况下,声强测量结果基本相同。而采用声压法对异步电动机进行声功率级测定时,在直流电机的强干扰情况下测得声功率级为 115.80 dB(A)。在基本无外界干扰情况下测得的声功率级为 111.88 dB(A)。两者相差近 4.98 dB。这充分说明,用传统的声压法在现场测量电机负载噪声声功率级的精度是很不理想的。

从表 1 还可以看到,异步电动机负载噪声声功率级比空载噪声声功率级大将近 9 dB。所以测量电机

的负载噪声比测量电机的空载噪声更为重要。而声强技术为电机的负载测量提供了有效手段,为制订标准提供了条件。

由此可见,声强法适于在恶劣声学环境中对被测噪声源进行声功率级测定,特别是在发电机附近有强噪声干扰源存在的情况下,对发电机进行较高精度的声功率级测定。实验表明,声强法测量在电机行业有着广泛的应用前景,它是声压法所无法比拟的。

除测定声源声功率外,声强测量技术还可以识别主要噪声源、测定材料的声阻抗率及吸声系数、测定声能传递损失及测定振动表面声辐射效率等功能。

### 4 结论

声强技术和有源控制技术在近些年来有很大的突破,在声功率测量和声源识别中得到广泛应用。并且在噪声控制设备的测量和评价中取得较大进展,如隔声结构的传递损失、声学材料的吸声特性、消声器的传递损失等。由于在复杂的声场条件下的测量结果的差异性,使得人们对声强向量的本质有了更清晰的认识,从而为更有效、更准确地测量声强度提供了基础。

在现场对负载电机进行噪声测试时,现场声学环境往往非常恶劣,采用传统的声压法显然是行不通的,作者通过对声强技术在电机噪声测试中的应用研究,证明了声强技术能够在恶劣的现场声学环境中对电机噪声声功率级进行准确的测量,同时为电机负载运行下的噪声测试提供了有效的测量手段。结果表明,声强技术在电机行业有着广泛的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 池万刚. 采用近场声强测量研究电机表面声学特性[J], 电机技术, 1998, 73(2): 36-38.
- [2] 舒歌群等. 内燃机噪声测量中的声强测试技术[J]. 内燃机学报, 1998, 16(1): 69-74.
- [3] 郭之贇. 机械工程中的噪声测试与控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [4] 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.
- [5] 胡章伟等. 选择声强法用于强背景噪声下声源识别[J], 应用声学, 1991, 10(4): 31-36.
- [6] 邓兆祥等. 汽车噪声声强测量分析系统的开发与应用[J]. 汽车工程, 1994, 16(5): 283-288.
- [7] JING XIAODONG, SUN XIAOFENG. High-intensity sound absorption at an orifice with bias flow[J]. Journal of

Propulsion and Power, 2002, 18(3):718-720.

## Application of Sound Intensity Technique to Measure the Noise of Electromotor

CHENG Fa-bin, TANG Bao-ping, ZHAO Ling

(Test Center, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** This paper has explained the characteristics, virtue of sound intensity measurement and the principle. And compare with traditional sound pressure measurement. The principle and composing of virtual sound intensity measurement system based on two-channel FFT analysis are researched. The sound power of large turbogenerator in operating site is determined by means of sound intensity measurement and sound pressure measurement. It is demonstrated that the method of sound intensity measurement of engine is practicable and the measuring data are valid and the method conquers the problems of traditional method of sound pressure measurement which is apt to environment influence and sound power measurement need to especially acoustic environment. It is proved that the sound intensity method is especially suited to determine high accurately the sound Power level of the electrical machines operating in situated conditions especially in case of acoustically worst environments or on load and the method is so superiority in noise measurement.

**Key words:** sound intensity; sound power; electromotor; noise measurement

(编辑 成孝义)

(上接第10页)

## High Purity Strontium Carbonate Prepared by Ultrasonic Technology

JIA Shang-yuan, LIU Xiang-guo, PENG Xiao-dong, WEI Qun-yi

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** The new technology to produce high purity  $\text{SrCO}_3$  by with industry carbonate, hydrochloric acid, vitriol, sodium hydroxide as raw materials is investigated. The  $\text{Sr}(\text{OH})_2$  is mainly purified by crystallization separating method. The authors Use ammonium bicarbonate in the reaction of carbonation, the high purity  $\text{SrCO}_3$  is produced under the ultrasonic action. The solution concentration of  $\text{Sr}(\text{OH})_2$  and reaction temperature have important effects on the reaction of carbonation. The results show that the purification of  $\text{Sr}(\text{OH})_2$  is 99.78%; The particles of the high purity  $\text{SrCO}_3$  distribute equably and the average particle size is small. The light concentration and the low temperature can enhance the ultrasonic cavitating reaction, and then the physical and chemical characteristics of it is improved.

**Key words:** high purity strontium carbonate; physical and chemical characteristics; ultrasonic; crystallization separating method

(编辑 成孝义)