

# 异步电动机的负载噪声分析\*

马佐群

(浙江农业大学)

**摘要** 电机的噪声一般是在空载稳定状态下测取的,但某些电机负载时的噪声与空载时有较大的差异,特别是由变频器供电的电机噪声比工频正弦电源供电时的噪声可高出3~22dB(A)。该文通过负载对电机系统振动模态特性的影响,从几个方面分析了负载对异步电动机电磁噪声所产生的影响,并对实验测得的数据进行了分析。对于小型异步电机,在工频50Hz运转情况下,由于其共振频率远离激振力的频率,负载引起的电机噪声的变化不大,一般在 $\pm 3$  0dB(A)左右。但在变频供电情况下,由于激振力频率发生很大的变化,在有些状态下负载引起的电机噪声的变化很大。

**关键词** 异步电机 噪声 负载

随着设施农业电气化自动化程度的逐步提高,许多农业设施也向着工厂化方向发展。特别是小型异步电动机在设施农业环境控制中的应用越来越多,而且又常常安装在室内,运行时间长,其运行噪声已成为一个重要的环境污染源。对禽、畜保持良好的生长环境有一定的影响,已日益受到人们的关注。按照电机噪声测定的国家标准,电机噪声的测量一般都在空载稳定状态下进行,而电机在实际运行中总是要带负载的,因此在负载状态下测量的噪声可以更准确地反映电机的噪声水平。在电机噪声测量中,发现某些电机负载时的噪声要比空载时明显增大,因此国外许多电机公司已将电机的负载噪声作为电机的一项性能指标<sup>[1]</sup>。我国已在Y2新系列异步电机技术任务书中不仅建议要降低电机的空载噪声,还提出了考核电机负载噪声指标的要求。主要是以考核电机空、负载噪声的差值为基础,本文分析了空负载时异步电机噪声水平的变化。

## 1 负载时电机电磁噪声的变化

异步电机的噪声主要可分为机械噪声、通风噪声和电磁噪声,由于异步电机在空载和负载运行时,电机的转速变化很小,因此电机机械噪声和通风噪声的数值变化很小,但负载的变化即电流的变化会产生较强的磁势谐波磁场,从而引起电磁噪声的变化,因此异步电机的负载噪声主要是指电磁噪声。

根据Timar<sup>[2]</sup>对负载时电机系统模态特性变化的研究表明,电机负载时明显地改变了电机结构的动力特性,对电机的模态特性产生了显著的影响,从而引起电机噪声的变化。电

收稿日期: 1998-04-06

\* 国家自然科学基金资助项目(59775046)

马佐群, 讲师, 杭州市凯旋路268号 浙江农业大学农业工程学院, 310029

机在空载和负载情况下声功率级的变化可采用近似分析法, 将其表示为不同模态频率处电磁噪声声功率级变化的关系, 它包括定、转子谐波磁通密度的变化、电机激振频率和模态放大因子的变化、以及模态所对应的声辐射因子的变化, 据此我们分析负载对电机电磁噪声水平的影响。

### 1.1 定、转子谐波磁通变化对电机噪声水平的影响

定子谐波磁通分量是由定子绕组谐波和齿谐波二部分的矢量合成所决定的, 它是电机产生振动及噪声的主要原因。异步电机在空载运行状态下定子齿谐波的幅度要比绕组谐波的幅度大得多, 空载时的噪声大小主要取决于齿谐波的大小。但定子齿谐波的幅度与负载的关系不大, 而绕组谐波的幅度与定子电流成正比。研究表明, 在中、小型鼠笼型异步电机中, 由负载所引起的定子电流的增大使绕组谐波所产生的电机声压的最大变化约为3~7 dB。

转子谐波磁通分量是电机产生振动和噪声的另一重要原因, 它包括转子偏心、磁饱和、绕组及齿等因素所产生。转子谐波磁通也包括齿谐波和绕组谐波二部分, 其中齿谐波与负载关系不大, 转子绕组谐波的幅度与转子电流的有功分量  $I_2 \cos \varphi$  成正比, 由负载引起的转子电流变化所产生的声压的最大变化约为13 dB。

综上所述, 定、转子的谐波磁通都会造成负载时电机噪声的增大。

### 1.2 激振频率的变化对电机噪声水平的影响

当异步电机带负载运行时, 其运行转速下降, 转差率增大, 造成电机中电磁力波的频率发生变化, 其变化量与电机转差率的关系为

$$\Delta f = g \frac{f_1 Z_2}{p} S \quad (1)$$

式中  $f_1$ ——电源频率;  $p$ ——极对数;  $Z_2$ ——转子槽数;  $S$ ——转差率;  $g$ ——正整数。

式(1)表明力波的频率变化还与电机极对数和转子槽数有关, 对于普通中小型电机, 负载时的转差率约为3%~5%, 由力波频率变化所引起的声功率的变化不大, 最大约为0.5 dB。但当激振力频率接近电机结构的共振频率时, 转差率的变化将引起电机声功率水平的很大变化。

### 1.3 模态放大因子变化对电机噪声水平的影响

电机结构的放大因子是表示电机阻尼在共振区影响的一个重要参数。对于某阶模态的放大因子为

$$H_i = \frac{1}{\sqrt{(1 - \lambda^2)^2 + 4\xi^2 \lambda^2}} \quad (2)$$

式中  $\xi$ ——电机系统的等效线性阻尼因子;  $\lambda$ ——频率比, 即激振力频率与电机结构的模态频率之比。

当  $\lambda = \lambda_{\max} = \sqrt{1 - 2\xi^2}$  时, 放大因子达到最大值。一般由于  $\xi$  很小,  $\lambda_{\max} \approx 1.0$ , 表明当激振力频率与同阶模态的固有频率一致时, 电机将发生共振造成很大的振动与噪声。

由此可知, 当激振力频率变化后使  $\lambda$  靠近1.0, 则由转差率引起的激振力频率的变化将使电机的负载噪声增大; 反之, 当激振力频率变化后使  $\lambda$  离开1.0, 则电机的负载噪声将减少。图1中给出了不同的阻尼情况下由放大因子的变化所引起的声功率随  $\lambda$  变化的情况, 例如取  $\xi = 0.01$  时, 如果空载时  $\lambda = 0.95$ , 负载时由于转差率的变化刚好使  $\lambda = 1.0$ , 则由负载引

起的电机声压约增大了13.92 dB;反之若空载时,  $\lambda=1.0$ , 负载时  $\lambda=0.95$ , 则由负载引起的电机声压反而下降了13.92 dB。

### 1.4 声辐射因子变化对电机噪声水平的影响

电机的辐射因子主要取决于电机结构尺寸及电机激振力频率的乘积。当负载变化引起激振力频率变化时, 电机的辐射因子也发生变化。电机的外形尺寸与电机激振力频率的乘积较小时, 辐射因子的变化较大, 反之则较小。对于高阶模态及大尺寸电机, 辐射因子随激振力频率的变化较小, 此时由负载引起的激振力频率的变化对电机辐射因子的大小及噪声水平影响较小。而对于低阶模态及小尺寸的电机, 辐射因子随激振力频率的变化较大, 如以球模型为例, 若激振力频率下降5%, 电机声压水平降低约3.5dB。

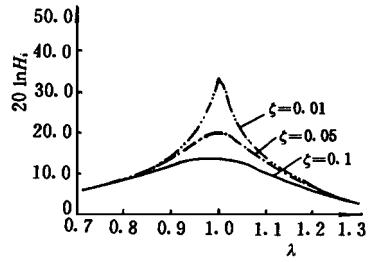


图1 不同阻尼比下模态放大因子对应的声压

Fig. 1 Sound pressure of modal amplification factor under different damping ratios

## 2 实验数据及结果分析

实验是在一台型号为 Y100L1-4, 功率为2.2 kW 的三相四极异步电机上进行的, 分别在工频和变频调速情况下测量了电机噪声随负载的变化情况。负载为一台直流发电机, 为减小气动噪声的影响, 拆除了电机风扇, 并在直流发电机外设置了具有良好吸音效果的隔音罩, 以减小对测试结果的影响。

表1为50 Hz 工频供电及采用开关频率为0.7、1.7及3.0 kHz 逆变器供电的情况下, 在距电机中心0.5 m 处测得的声压级随负载变化的情况。

表1 不同负载下的声压级

Tab. 1 Sound power levels under different loads

电机运动状态	声压级/dB(A)			
	50 Hz 工频电源供电时	不同开关频率下逆变器供电时		
		0.7 kHz	1.7 kHz	3.0 kHz
空载(50 Hz)	74.5	85.1	74.1	73.0
15% 额定负载	76.6	83.3	75.6	75.3
30% 额定负载	74.7	82.5	75.7	73.9
45% 额定负载	75.8	83.4	75.2	75.0
60% 额定负载	74.4	84.0	77.3	78.6

在50 Hz 工频供电的情况下, 电机负载分别为额定负载的15%、30%、45%和60%时, 测得的电机噪声与空载时相比, 最大增大2.1 dB(A), 最大下降了

0.1 dB(A)。当采用开关频率为0.7 kHz 逆变器供电情况下, 相应负载时测得的数据与50 Hz 时电机的空载噪声(85.1 dB(A))相比, 最大下降了2.6 dB(A)。在开关频率为1.7 kHz 及3.0 kHz 时, 电机的噪声随电机负载的增大而稍有增大, 在负载较大时噪声的增大才较为明显。

## 3 结论

一般情况下, 电机负载引起的电机定子及转子电流的变化总使电机的负载噪声增大, 由负载引起的电机转差率的变化所产生的激振力频率的改变以及负载引起的电机模态参数的

变化对电机声功率水平有着不同的影响。当激振力频率远离电机的共振频率时, 负载引起的激振力频率以及模态参数的变化对电机噪声的影响很小; 当激振力频率在电机的共振频率附近时, 如果负载使激振力频率靠近电机的共振频率, 则电机的负载噪声增大; 如果负载使激振力频率离开电机的共振频率, 则电机的负载噪声减小。

对于小型电机, 在工频运转情况下, 由于其共振频率远离激振力的频率, 负载电流与空载电流相差不是很大以及电机尺寸较小, 声辐射较小, 使负载引起的电机噪声变化不大, 一般在  $\pm 3$  dB (A) 范围内, 但在变频器供电的情况下, 由于激振力频率发生很大的变化, 在某些状态下负载引起的电机噪声可能很大。

### 参 考 文 献

- 1 Kako F, et al Experimental study on magnetic noise of large induction motors IEEE Trans PAS, 1983, 102(8): 2805~ 2810
- 2 Timar P L. The influence of loading on the sound power level radiated by induction motors Noise Control Engineering J, 1988, 31(2): 125~ 133
- 3 Timar P L, et al Noise and vibration of electrical machines Elsevier, 1989

## Analysis on the Noise of Induction Motors With Loading

Ma Zuoqun

(Zhejiang Agricultural University, Hangzhou)

**Abstract** According to the noise measure standard of electric motors, the noise of induction motors is normally measured in the state of non-load and steady operation. In some motors, however, the variation of noise under load and non-load conditions is quite big, especially in the motors powered by the frequency converters, the sound power level can reach a maximum exceeding 3~ 22 dB (A). Yet electric machines are always run under load condition, so the noise level of induction motors under such condition will be more accurate. The effects of load on the electromagnetic noise of induction motors were analyzed through those on the vibration modal behaviours of the electric machinery system. The paper also analyzed the data gathered from the experiments. When working frequency is 50 Hz, the variation of the load noise is insignificant, often about  $\pm 3$  dB (A), for the resonant frequency of motor and the frequency of exciting force are far apart. But when the motor is powered under frequency converter condition, the frequency of exciting force changes greatly, the variation of the load noise in some circumstances may be significant.

**Key words** induction motors, loading, noise