

# 电机轴承故障的电流识别法分析

康敬东

(长安大学 工程机械学院, 陕西 西安 710064)

**摘要:**采用电流识别法,即用非侵入性传感器监测电机定子电流,对电机轴承的故障进行诊断,并通过试验验证,证明新的滚动轴承故障识别方法的可行性和有效性。

**关键词:**电机轴承;电流识别法;故障诊断

**中图分类号:**TH133.33;TH165.3 **文献标识码:**B **文章编号:**1000-3762(2004)08-0033-03

## Analyses of Current Method to Identify Rolling Bearing Faults of Electrical Machines

KANG Jing-dong

(Construction Machinery College, Chang an University, Xi ' an 710064, China)

**Abstract:** By adopting the current identification method, namely monitoring stator current with noninvasive transducers, the failure diagnoses of motor bearings are made. The feasibility and adaptability are proved by a verification experiment.

**Key words:** motor bearing; current identification method; failure diagnose

由于滚动轴承安装容易,大部分中小容量的电机都采用滚动轴承,但与电机其他部件相比,轴承寿命较短,其运转状态是否良好,将直接影响到电机的工作性能。由于异物的落入、润滑不良、安装不正确或受过载冲击,都可能使轴承出现磨损、压痕、点蚀及裂纹等损坏,且常常为不可修复。因此,应尽早发现轴承的异常,并在事故发生前更换。

在理想状态下,电机气隙磁通密度波形是对称的。如果电机轴承发生故障,则波形将发生畸变。电机内部磁场的畸变会引起电机出线端电流量的变化。通过对电机故障状态下磁场的理论分析,获得了电机滚动轴承故障的定子电流特征频率表达式,并提出一种新的滚动轴承故障识别方法——电流识别法,即采用非侵入性传感器收集电机定子电流信号,再对电流信号作频谱分析,来识别电机轴承的各种故障。

### 1 电机轴承的故障分析

滚动轴承是电机转子与定子间的连接部件,电机转子轴的回转,使滚动体在内、外圈之间滚动。当轴承滚动面受到损伤、制造有缺陷或安装不良时,随着轴的旋转,便产生了周期性的激振力。在激振力的作用下,使轴承各部位及旋转的电机转子轴产生振动,从而造成电机定子和转子之间的间隙(即气隙长度)出现波动。

显然,滚动表面损伤的位置、形态和轴的旋转速度决定了激振力的频谱;轴承和旋转轴决定了振动系统的传递特性;它们二者共同决定了最终的振动频率。故而,轴承异常所引起的振动频率,由轴承损伤部分的位置、形状和电机轴的旋转速度,以及轴承和旋转轴系统的传递特性三者所决定,一般来说,滚动表面损伤的形态表现的越显著、轴的旋转速度越高,则振动的幅度就越大、频率就越高。滚动轴承故障引起的振动可归纳为下面几种情况:

(1)轴承有偏心时的振动:当轴承有偏心时,例如当内圈严重磨损时,内圈中心(即轴的中心)便以外圈中心为中心振摆。这时发生的振动频率

收稿日期:2003-12-10

**作者简介:**康敬东,男,汉族,河南巩县人,讲师,工学博士,任长安大学工程机械运用工程研究所所长,主要研究方向为工程机械设备状态监测与故障诊断。

成分为  $n f_r (n=1, 2, \dots)$ 。

(2)内圈有点蚀时的振动:当内圈的某个部分出现剥落、裂纹、压痕、损伤等情况时,便会产生  $n Z f_i$  (其中  $Z$  为滚动体数;  $n=1, 2, \dots$ ) 频率成分的振动。

(3)外圈有点蚀时的振动:当外圈上发生点蚀时,则产生的振动频率成分为  $n Z f_c$  (其中  $Z$  为滚动体数;  $n=1, 2, \dots$ )。

(4)滚动体上有点蚀时的振动:当滚动体上有点蚀时,发生的振动频率成分为  $2 n f_o (n=1, 2, \dots)$ 。

其中  $f_i$  为内圈的一点与一个滚动体接触的频率,  $f_c$  为滚动体公转频率,  $f_o$  为滚动体的一点与内圈或外圈接触的频率,它们的表达式分别为

$f_i = \frac{1}{2} f_r (1 + \frac{d}{D} \cos \beta)$  (1)

$f_c = \frac{1}{2} f_r (1 - \frac{d}{D} \cos \beta)$  (2)

$f_o = \frac{1}{2} f_r \frac{D}{d} [1 - (\frac{d}{D})^2 \cos^2 \beta]$  (3)

式中  $f_r$  ——电机转子轴的旋转频率  
 $d$  ——滚动体直径  
 $D$  ——轴承节圆直径  
 $\beta$  ——接触角

滚动轴承故障所造成的振动中存在谐波分量,比如  $n f_b (n=1, 2, \dots)$ , 通常其低频分量  $f_b$  的幅值较大,而高阶次频率分量可予以忽略。只有当滚动轴承故障很严重时,才明显出现高阶次的频率分量  $2 f_b, 3 f_b, \dots$ 。

2 轴承故障的电流特征频率分析

首先假定(在轴承发生故障前):(1)铁芯的相对磁导率  $\mu_r$  为无穷大。(2)电机的气隙是均匀的(即气隙长度  $\delta$  为定值)。

设某轴承故障造成频率  $f_b$  的振动,则等效气隙长度  $\delta_b$  的表达式可写为

$\delta_b(\theta, t) = \delta [1 - \epsilon \cos(\theta - \omega_b t)]$  (4)

$\omega_b = 2 \pi f_b$

式中  $\epsilon$  ——相对偏心率  
 $\omega_b$  ——角频率

由此可得气隙磁导为

$\lambda_b(\theta, t) = \frac{1}{\delta_b(\theta, t)} = \frac{1}{\delta [1 - \epsilon \cos(\theta - \omega_b t)]}$  (5)

可把(5)式展为傅里叶级数的形式

$\lambda_b(\theta, t) = \sum_{n_b=0}^{\infty} \Lambda_{n_b} \cos[n_b(\theta - \omega_b t)]$  (6)

如果考虑定、转子双边开槽对气隙磁导的影响,可得出总磁导为

$\lambda(\theta, t) = \sum_{n_r=0}^{\infty} \sum_{n_s=0}^{\infty} \sum_{n_b=0}^{\infty} \Lambda_{n_r, n_s, n_b} \cos[(n_r Z_r \pm n_s Z_s \pm n_b) \theta - (n_r Z_r \omega_r \pm n_b \omega_b) t]$  (7)

式中  $Z_s$  ——定子槽数  
 $Z_r$  ——转子槽数

电机定子、转子的合成磁动势可表示为

$F(\theta, t) = \sum_{v_s} F_{v_s} \cos(v_s P \theta - \alpha t) + \sum_{v_r} F_{v_r} \cos[(v_r P \theta - (s \omega + v_r P \omega_r) t)]$  (8)

式中  $v_s = 6c + 1; c = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$

对绕线式转子:  $v_r = 6c + 1; c = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$

对鼠笼式转子:  $v_r = c \frac{Z_r}{P} + 1; c = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$

根据(7)、(8)式,可获得故障轴承气隙磁通密度表达式

$B(\theta, t) = \mu_0 \lambda(\theta, t) F(\theta, t) = \sum_{m_s, \Omega_s} B_{m_s, \Omega_s} \cos(m_s \theta - \Omega_s t) + \sum_{m_r, \Omega_r} B_{m_r, \Omega_r} \cos(m_r \theta - \Omega_r t)$  (9)

式中  $m_s = n_r Z_r \pm n_s Z_s \pm n_b \pm v_s P$   
 $\Omega_s = n_r Z_r \omega_r \pm n_b \omega_b \pm \omega$   
 $m_r = n_r Z_r \pm n_s Z_s \pm n_b \pm v_r P$   
 $\Omega_r = (n_r Z_r \pm v_r P) \omega_r \pm n_b \omega_b \pm s \omega$

磁通密度随空间和时间而变化,当这些谐波磁通相对定子移动时,它们将在静止定子绕组中感应出相应的电流谐波,则该滚动轴承故障造成的电流谐波的特征频率表达式为

$f_{s1} = n_r Z f_r \pm n_b f_b \pm f$  (10)

$f_{s2} = (n_r Z_r \pm v_r P) f_r \pm n_b f_b \pm s f$  (11)

3 应用实例

本文以 Jo2-21-6 型异步电机为例,采用电流识别法,对电机滚动轴承的故障进行诊断,该电机的基本参数、轴承参数分别列于表 1 和表 2 中。利用表 2 中的数据,根据(1)式可算出轴承内圈有点蚀的振动特征频率为  $f_b = 4.394 f_r$ , 将其代入(10)式可获得轴承内圈有蚀故障时定子电流特征频率,如表 3 所示。

表 1 Jo2-21-6 型异步电机基本参数

功率 /kW	额定电压 /V	额定电流 /A	定子/转子槽数	电机实际转速 /(r·min <sup>-1</sup> )	极数
0.8	380	2.31	36/33	989	6

表 2 6305 型电机滚动轴承参数

钢球直径 $d$ /mm	轴承节径 $D$ /mm	钢球数 $Z$ /粒	接触角 / $\beta$
11.113	43.5	7	$0^{\circ}$

表 3 电机轴承内圈有点蚀故障电流识别法试验结果

特征频率 $f_s/\text{Hz}$ (当 $n_t=1, n_b=1$ 时)	421.5	521.5	566.4	666.4
无故障时定子电流频谱值 /dB	-5.5	-4.6	-4.0	-0.6
内圈有点蚀故障时定子电流频谱 /dB 值	7.6	13.6	1.8	4.5
定子电流频谱 /dB 值增加量	13.1	18.2	5.8	5.1

图 1 为无故障时定子电流的频谱图,图 2 为内圈有点蚀故障时的定子电流频谱图。根据图 1 与图 2 的对比分析以及表 3 中的试验结果,可看出:轴承内圈有点蚀故障将会引起表 3 所计算出

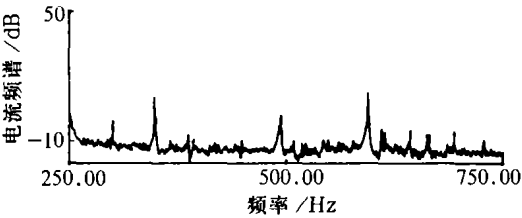


图 1 电机滚动轴承无故障时定子电流频谱图

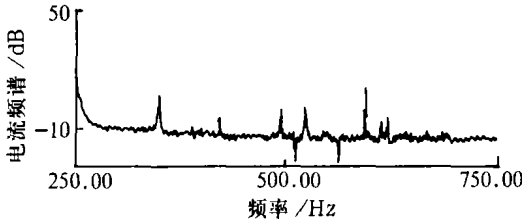


图 2 电机滚动轴承内圈有点蚀故障时定子电流频谱图

(上接第 28 页)

调整超精工艺和改善清洗条件后各批次检测分析结果见表3。表3说明这些措施为降低球轴

表 3 6201.2RZ 轴承振动检测结果

日期批次	轴承生产数/套	静音轴承数/套	静音轴承合格率/%
5.8	4688	2923	62.35
5.9	2662	1692	63.50
5.10	3009	1861	61.85
5.13	5402	3559	65.88
5.14	3195	2064	64.60
5.15	2604	1709	65.63
5.16	2708	1847	68.21
5.17	2869	1896	66.09
5.20	3476	2334	67.15
5.21	3354	2285	68.13
合计	33967	22170	65.27

承的振动值和有效减少异常声起到了关键作用,

的特征频率分量的增加。所以,监测由(10)式或(11)式计算出的电机定子电流特征频率分量的变化,便可对电机轴承故障进行识别和诊断。通过这个实例,验证了前面的理论推导是较为准确的。

4 结束语

通过对故障轴承振动引起的电机气隙磁场变化的分析,获得了电机轴承故障的定子电流特征频率表达式,提出一种新的滚动轴承故障识别方法——电流识别法。最后,通过验证试验,说明本文理论推导所获得的结论是较为准确的,这种新的故障识别方法是可行的。

参考文献:

[1] 王殿举,张大卫等. 电机滚动轴承故障诊断中的几个问题[A]. 第三届全国机械设备故障诊断学术会议论文集[C]. 北京:科学技术文献出版社,1991.

[2] 雷继尧,丁 康. 轴承故障诊断[M]. 西安:西安交通大学出版社,1991.

[3] 张流富,凌 斌. 中小型电机轴承的故障诊断[J]. 成都科技大学学报,1990,(6):125—128.

[4] 海勒尔 B,哈马塔 V. 异步电机中谐波磁场的作用[M]. 北京:机械工业出版社,1980.

[5] 孙 晖,朱善安. 基于 STFT 和 SVD 的滚动轴承异常声识别[J]. 轴承,2003(11):24—27.

(编辑:聂龙宣)

静音轴承合格率达到62%~68%,该批轴承投放市场后用户反映良好。

(编辑:聂龙宣)

《滚动轴承安装设计》对各种机械设备中轴承的工况条件、受力分析、轴承选型、轴承及安装部位的加工公差、轴承游隙、轴承的使用、润滑与密封等方面作了较系统的分析和介绍,并给出了具体计算与选用实例。通俗易懂,实为轴承设计、制造、使用及维护等方面的工程技术人员有价值的工具书。每册50.00元(含邮费)。

需要者请与洛阳轴承研究所资料发行室李立联系,电话:0379—4881150。