

# 齿轮箱振动的故障诊断与分析

安妮<sup>1,2</sup>, 徐建民<sup>1</sup>

(1. 武汉工程大学机电工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 武钢股份公司设备维修总厂, 湖北 武汉 430080)

**摘要:**针对齿轮箱常见的振动故障,通过振动信号的频谱分析得出其主要原因是齿轮啮合过程中产生了振动的激励源。建立齿轮箱螺栓的有限元模型,在模拟工况下计算得出螺栓的第3阶固有频率与齿轮箱振动主频率相近,形成共振是致使螺栓断裂的主要原因。通过这种分析计算方法,螺栓断裂事故得到了有效的控制。

**关键词:**齿轮箱;振动;频谱分析;螺栓断裂;有限元分析

**中图分类号:**TH165+.3

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2011.12.017

## 0 引言

齿轮箱作为主要机械传动设备,被广泛应用于现代冶金、化工、动力等工业领域<sup>[1-3]</sup>。在冶金行业中,轧机齿轮箱长期在高速、重载荷条件下连续工作,容易出现故障,甚至引起生产事故,对生产有很大的影响。设备运行中,齿轮箱振动为常见故障之一,导致其部件疲劳破坏<sup>[4-7]</sup>。本文以某酸轧机组齿轮箱故障为例,通过对轧机齿轮箱振动信号的频谱分析进行故障诊断,并对断裂螺栓的力学特性进行研究,找到螺栓断裂的根本原因。

## 1 齿轮箱振动特征分析

轧机作为酸轧机组的核心设备,其运行状态直接影响到产品的质量和产量。2010年5月,轧机4#机架齿轮箱连接螺栓断裂事故,严重影响到该产线的正常生产,其后,齿轮箱螺栓断裂事故频频发生,4#机架齿轮箱在1~5架中振动最为明显,造成长时间停机抢修,给企业生产带来了一定的影响。因此,公司在4#机架安装在线监测系统,实现对4#机架齿轮箱的实时监控,从齿轮箱运行状态着手,分析引起振动的因素和螺栓断裂的根本原因。

齿轮箱故障诊断的常见方法是振动信号的频谱分析法<sup>[6]</sup>,根据监测结果,轴承座轴向、径向和水平方向(即轧制方向)振动信号的频谱图如图1~3所示。

对比齿轮箱上各测点振动的频域变化可以看出,振动信号在349.8077 Hz、699.4629 Hz以及

其倍频处能量集中且数值较大。根据齿轮箱各类零件损坏比例的统计,齿轮失效占60%,其次依次为轴承19%、轴10%、箱体7%、紧固件3%、油封1%。因此,确定进一步的研究方向为齿轮振动信号分析。

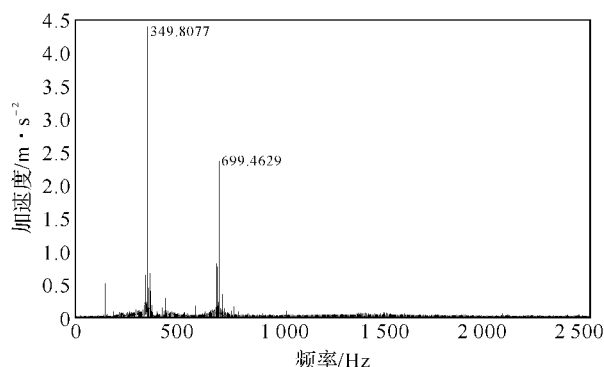


图1 测点1(径向)加速度频谱图

Fig. 1 Acceleration spectrum of measuring point 1 (radial direction)

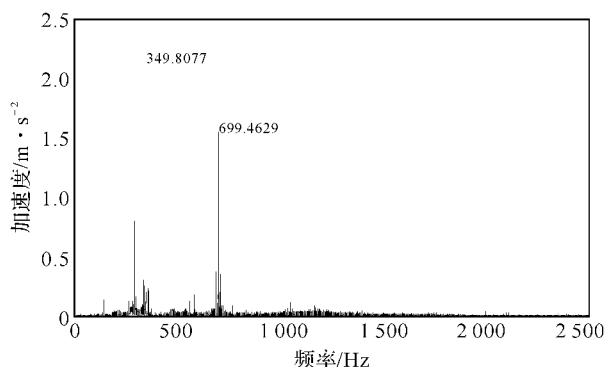


图2 测点2(轴向)加速度频谱图

Fig. 2 Acceleration spectrum of measuring point 2 (axial direction)

收稿日期:2011-10-31

作者简介:安妮(1987-),女,湖北武汉人,硕士研究生,研究方向:机械设备故障诊断。

指导老师:徐建民,男,教授,硕士,硕士生导师,研究方向:机械设备故障诊断。

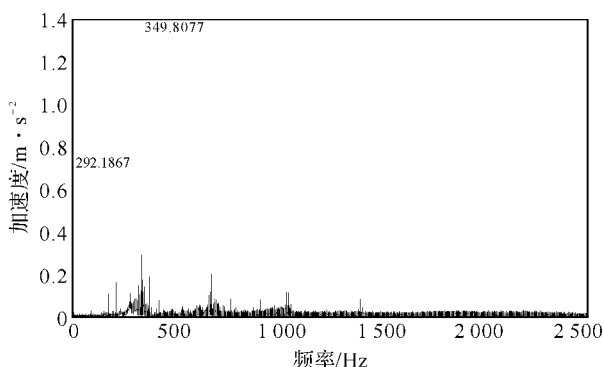


图 3 测点 3(轧制方向)加速度频谱图

Fig. 3 Acceleration spectrum of measuring point 3 (rolling direction)

齿轮振动信号中包含多种频率成分<sup>[8]</sup>,主要为以下 3 种:

(1) 啮合频率为  $f_m$

$$f_m = z f_z = z \frac{n}{60}$$

式中:  $f_z$  为齿轮回转频率,  $z$  为齿轮齿数,  $n$  为齿轮转速(r/min)。

(2) 固有频率

齿轮固有频率一般为 1~10 kHz, 而且该齿轮箱的两对齿轮质量大, 这种包含固有频率的高频振动振幅较小, 当经过曲折途径传到齿轮箱时一般已经衰减了, 多数情况只能测得齿轮的啮合频率。

(3) 边频带

齿轮的边频带是判断齿轮故障非常有价值的信息。齿轮的制造缺陷和安装误差都可能成为振动

的激励源, 故障齿轮的振动信号表现为回转频率对啮合频率及其倍频的调制, 对于其频谱而言, 其谱线是以啮合频率  $f_m$  为中心, 以故障齿轮的转频  $f_z$  为间距呈对称分布的, 一对边频可表示为  $f_m \pm f_z$ ; 如果有若干对边频, 则可表示为  $m f_m \pm n f_z$ 。边频带反映了故障源信息, 边频带的间隔反映了故障源的频率, 幅值的变化反映了故障的程度。

取测点 1 的振动信号进行研究分析。图 4 反映出齿轮箱各轴的转速, 齿轮箱两对齿轮齿数分别为下输出轴:  $\frac{z_1}{z_2} = \frac{41}{30}$ , 上输出轴:  $\frac{z_1}{z_2} = \frac{36}{36}$ , 由此计算出各齿轮啮合频率。齿轮箱的各轴频率对比如表 1 所示。

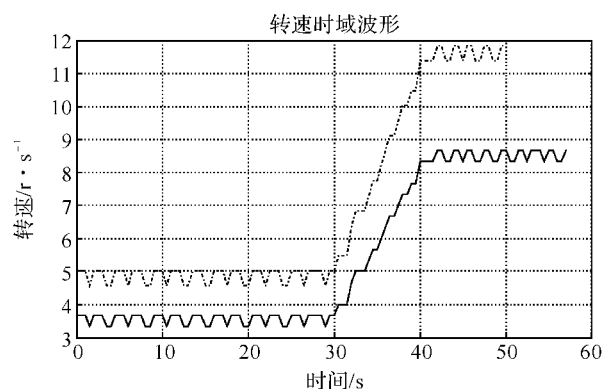


图 4 齿轮箱转速信号

Fig. 4 Speed signal of gearbox

注: —— 电机输出 - - - - 齿轮箱输出

表 1 齿轮箱频率对比

Table 1 Frequency comparison of gearbox

轴序号	传动比	转速 转频 / $r \cdot \min^{-1}$		啮合频率 / Hz				对应特征频率 / Hz	
		齿轮 1	齿轮 2	齿轮 1	齿轮 2	齿轮 1	齿轮 2	齿轮 1	齿轮 2
I 输入轴	/	3.55	8.499 4	145.55	348.475 4	146.093 4	349.807 7		
II 下输出轴	$\frac{41}{30}$	4.85	11.615 8	145.55	348.475 4	174.6	418.168 8	/	/
III 上输出轴	$\frac{36}{36}$	4.85	11.615 8	174.6	418.168 8			/	/

从表 1 中可知, I 轴 41 齿同 II 轴 30 齿齿轮的啮合频率均有对应特征频率, 说明该对齿轮啮合存在一定的故障。图 5 为测点 1 频谱的频率细化图。观察可知, 在特征频率 349.807 7 Hz 的两侧均有边频, 间隔约为 8.5 Hz; 而这些边频均同 I 轴 41 齿齿轮的转频(8.499 4 Hz)相近, 因此可以判断 I 轴 41 齿齿轮可能出现故障, 在啮合过程中形成振动的激励源。

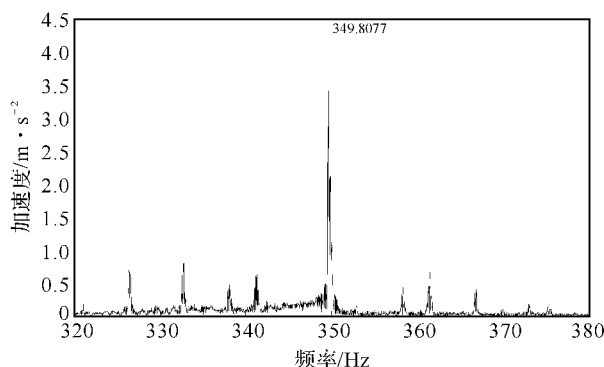


图 5 测点 1 放大后的频谱图

Fig. 5 Amplified spectrum of measuring point 1

## 2 螺栓力学特性分析

在找到引起齿轮箱振动的振源后,进一步对螺栓断裂的原因进行分析.模拟工况建立力学分析模型<sup>[9-10]</sup>,在模型的下端面施加轴向约束,在其下螺纹面施加径向约束,在上端面再施加 958 kN 拉力.按照实际的约束情况对螺栓加载预紧力,得出螺栓预紧力工况下模态的前 5 阶振型图(如图 6 所示).

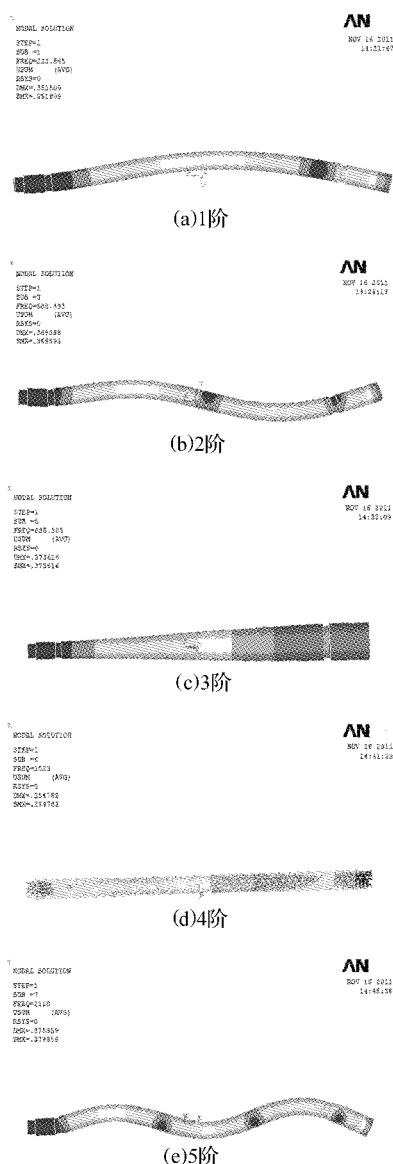


图 6 螺栓的前 5 阶振型图

Fig. 6 The first five order modal map of bolt

由图 6 可以得到螺栓预紧力工况下模态的前 5 阶固有频率值如表 2 所示.

表 2 螺栓预紧力模态的前 5 阶固有频率

Table 2 Natural frequency of bolt under the preload mode

频率/Hz	阶次				
	1	2	3	4	5
频率/Hz	223	588	685	1 023	1 110

从螺栓预紧力工况下模态的分析结果(见表 2)及其受力方式可知,螺栓的第 3 阶固有频率(685 Hz)与箱体振动特征频谱(699.462 9 Hz)相当接近,螺栓长期在相近振动频谱的工作环境下,极易发生机械共振,加速其失效断裂.

根据各阶固有频率的振型图,清楚地说明了齿轮箱振动时,螺栓上各个部分的振动幅度大小变化,以及每阶振型的最大变形.

## 3 结 语

齿轮在制造、安装过程中产生的误差往往引起系统振动,在齿轮箱振动信号的频谱图上,这些故障信息反映在边频带中,边频带的间隔与故障齿轮的转频相吻合,通过频谱分析法快速、准确的找到故障源.

文中所采用 ANSYS 模态分析方法,建立螺栓在模拟工况下的力学模型,计算出螺栓第 3 阶固有频率与齿轮箱振动主频率相近,产生共振是导致螺栓断裂的主要原因.这种方法也为今后解决此类工程问题提供了一种新思路.

### 参考文献:

- [1] 康海英, 梁军英. 基于时频和频谱分析的齿轮箱故障诊断[J]. 机械工程学院学报, 2004(3): 10-13.
- [2] 鲁艳军, 陈汉新, 贺文杰, 等. 基于混合特征提取和 WNN 的齿轮箱故障诊断[J]. 武汉工程大学学报, 2011, 33(5): 82-88.
- [3] 尚云飞, 陈汉新, 孙魁, 等. 面向齿轮箱故障诊断的序贯概率比检验理论和方法[J]. 武汉工程大学学报, 2011, 33(12): 65-69.
- [4] 贺文杰, Bajolet Julien, Yoann Plassard, 等. 基于 EMD 和 FFT 的齿轮箱故障诊断[J]. 武汉工程大学学报, 2011, 33(1): 65-70.
- [5] 肖萍. 齿轮箱振动故障的分析[J]. 宁夏石油化工, 2003(4): 40-42.
- [6] 陈宇晓. 齿轮箱故障的振动诊断方法[J]. 宁波职业技术学院学报, 2003(2): 80-82.
- [7] 李晓虎, 贾民平. 频谱分析法在齿轮箱故障诊断中的应用[J]. 振动、测试与诊断, 2003, 23(3): 168-170.
- [8] 陈汉新, 王庆均, 陈绪兵, 等. 基于解调振动信号特征提取齿轮箱的故障诊断[J]. 武汉工程大学学报, 2010, 30(9): 67-77.
- [9] 郝文化. ANSYS 实例分析与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [10] 刑静忠, 王永岗. ANSYS 分析实例与工程应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

(下转第 88 页)