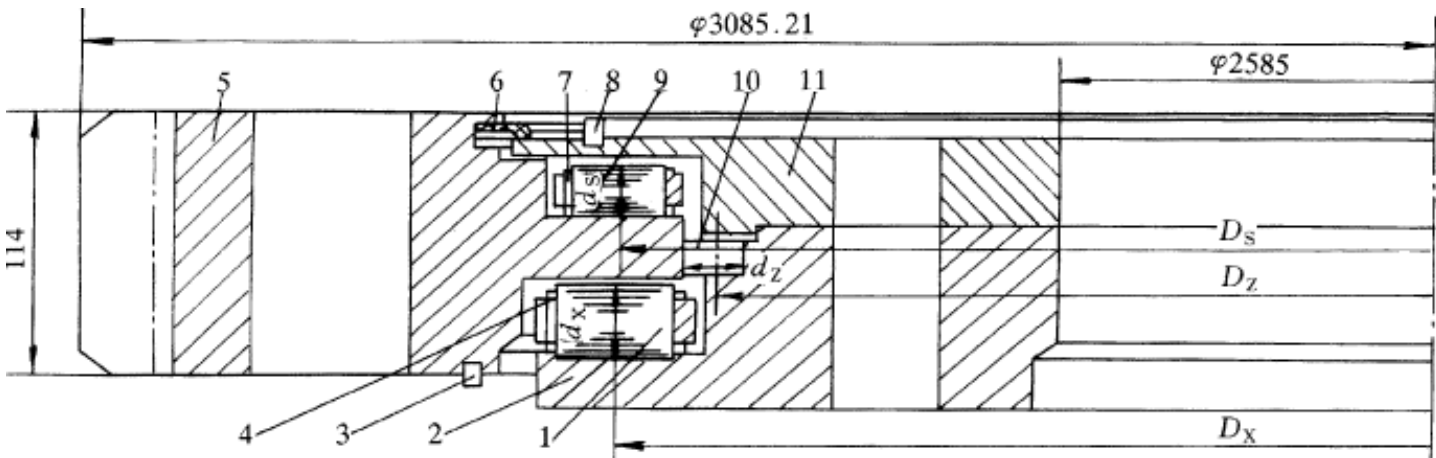


低速重载大轴承故障特征与诊断探讨

甘晓晔 寇 惠

摘要 低速重载大轴承由于结构和工作条件特殊,故障机理复杂,诊断难度较大。本文经理论推导和在微机上使用ALGOR FEAS软件,首先确定了大轴承特征频率,接着用振动和声发射法理论诊断出大轴承故障的类型和部位。经过现场实际验证,理论分析结果基本正确,从而探索出一套诊断此类轴承故障的方法。



1.下排滚动体 2.内下圈 3、8.档板 4、7.保持架 5.大齿圈
6.密封圈 9.上排滚动体 10.中排滚动体 11.内上圈

图1 大轴承基本结构

连铸机钢包回转台用大轴承的结构如图1所示。它有上中下三排直径不等的圆柱滚动体,内圈由上圈和下圈组成,外圈和大齿圈是一个整体。大轴承工作时内上、下圈固定不动,大齿圈旋转,上下两排水平放置的滚动体主要承受轴向载荷和较大的倾翻力矩,垂直放置的中排滚动体主要承受径向载荷(外载荷约300t)。运转速度低(1r/min),且不连续。因此说该大轴承是一个多点接触的弹性体,其附带的大齿圈又与大型金属结构件相连,所以其刚度的变化对力的分布影响很大,故障机理复杂,诊断难度较大。

从现场提供的资料看,大轴承常见的故障有:内上、下圈和外大齿圈各滚道面的磨损、剥落,保持架断裂等等。根据此故障特征,本文提出用目前理论和技术都较成熟的振动法和对裂纹、剥落反应较敏感的声发射法来诊断大轴承的故障。

一、大轴承特征频率的提取

大轴承由于其自身的特点,虽然在结构上与一般滚动轴承有较大差别,但其工作原理和运动方式与普通滚动轴承相似。一般滚动轴承产生的振动无外乎有两种:一是由于轴承滚动元件的表面质量引起的随机振动,但一般振级很小;二是由于外力(或故障产生的冲击力)的激励而引起的轴承某个元件在某固有频率上的振动。大轴承由于其结构特殊不能套用现成的理论公式,因此笔者在微机上运用ALGOR FEAS软件,对大轴承各元件固有频率进行了理论计算。该理论计算结果(见表1)经过了实测验证。

滚动轴承典型特征在于几何尺寸、滚动体数目和

表1 大轴承各元件某几阶固有频率值 Hz

阶数	大齿圈	阶数	内上圈	阶数	内下圈
5	59.39	5	44.08	4	48.89
6	72.23	6	64.51	7	98.11
10	155.46	7	75.69	13	210.90
12	210.93	9	105.50	21	419.60

17	357.11	11	156.92	29	620.19
21	417.65	12	166.54		
23	524.82	14	209.56		
30	614.55	23	421.18		
		29	528.05		
		35	667.56		

表2 大轴承传输振动频率公式及计算结果

计算滚动体内容		公式			计算结果(Hz)		
		上排	中排	下排	上排	中排	下排
通过频率	大齿圈	$(1)/(2)Z_S f_D$	$\frac{1}{2} Z_z f_D (1 - \frac{d_z}{D_z})$	$(1)/(2)Z_X f_D$	3.2500	5.9822 ~ 6.0154	2.7000
	内上圈	$(1)/(2)Z_S f_D$	—	—	3.2500	—	—
	内下圈	—	$\frac{1}{2} Z_z f_D (1 + \frac{d_z}{D_z})$	$(1)/(2)Z_X f_D$	—	6.0344 ~ 6.0679	2.7000
滚动体自转频率		$\frac{1}{2} \frac{D_S}{d_S} f_D$	$\frac{1}{2} \frac{D_z}{d_z} f_D [1 - (\frac{d_z}{D_z})^2]$	$\frac{1}{2} \frac{D_X}{d_X} f_D$	1.4563	1.9174	1.1667
保持架旋转频率		$(1)/(2)f_D$	$\frac{1}{2} f_D (1 + \frac{d_z}{D_z})$	$(1)/(2)f_D$	0.0083	0.0084	0.0083

轴承的转速，轴承会产生特有的振动频率，如滚动体的自传频率、公转频率和相互间的通过频率，我们称这些频率为传输振动频率。这种与“轴承相关”的频率即使是新轴承也会产生，但振幅很小，当轴承有故障时，这种与轴承相关的频率的幅值将增大。观察与分析这些频率成分的变化，可诊断出轴承故障部位和性质。本文应用运动学原理推导出的大轴承传输振动频率公式及计算结果见表2。

已知：大齿圈的转速 $n=1r/min$ ，故大齿圈的旋转频率应为 $f_D=n/60$ 。

上排滚动体： $D_S=2796mm$ $d_S=16mm$

$Z_S=390$ 个

中排滚动体： $D_Z=2761mm$ $d_Z=12mm$

$Z_Z=721 \sim 725$ 个

下排滚动体： $D_X=2800mm$ $d_X=20mm$

$Z_X=324$ 个

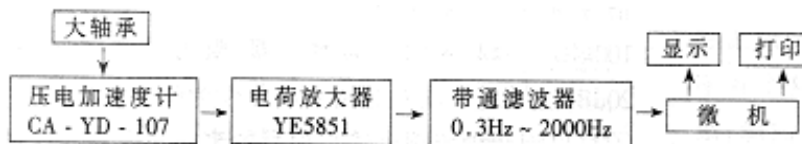


图2 大轴承振动测试系统

二、大轴承故障的振动诊断法

1.测试系统的构成

本测试系统构成如图2所示。压电加速度计采用CA-YD-107型，其灵敏度为 $5pC/ms^{-2}$ ，谐振频率 $> 25kHz$ ，频响在 $0.5Hz \sim 2000Hz$ ，最大横向灵敏度比 $< 5\%$ 。YE5851电荷放大器灵敏度 $10mV/pC \sim 100mV/pC$ ，输出 $20V_{pfp}/10mA$ ，电源 $\pm 12V$ 。为减少噪声及其他干扰信号，在电荷放大器内放置了 $0.3Hz \sim 2000Hz$ 的带通滤波器。

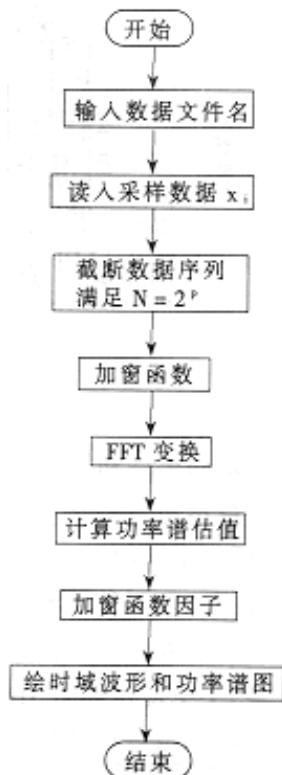


图3 计算功率谱程序框图

2. 振动信号分析

(1) 功率谱分析

频谱分析是信号处理常用的方法，根据功率谱原理，本文用C语言编制了大轴承功率谱分析程序，程序框图如图3，由此得到的大轴承故障特征信号如图4。

由图4a可看到时域信号表现为冲击信号，而且幅值被调制，说明大轴承某元件产生剥落故障。把图4b上的频率值与前面得到的大轴承各元件的固有频率相对应，从对固有频率激起的数量和频谱图中能量最大的频率占有率看，大齿圈与内上圈固有频率与谱图中能量大的频率接近，说明大齿圈与内上圈产生故障。经现场拆检后验证此结论是正确的，可见频谱图反应故障特征及部位很敏感。

(2) 包络分析

当大轴承某一元件表面出现局部损伤时，在受载运行时要撞击与之相互作用的其他元件表面，产生冲击脉冲力，其脉冲间隔，即脉冲的重复频率也是表示故障部位的重要信息。由于重复频率的能量较低，容易被背景噪声淹没，所以从原始信号中寻找重复频率比较困难，因此提出使用包络分析法。

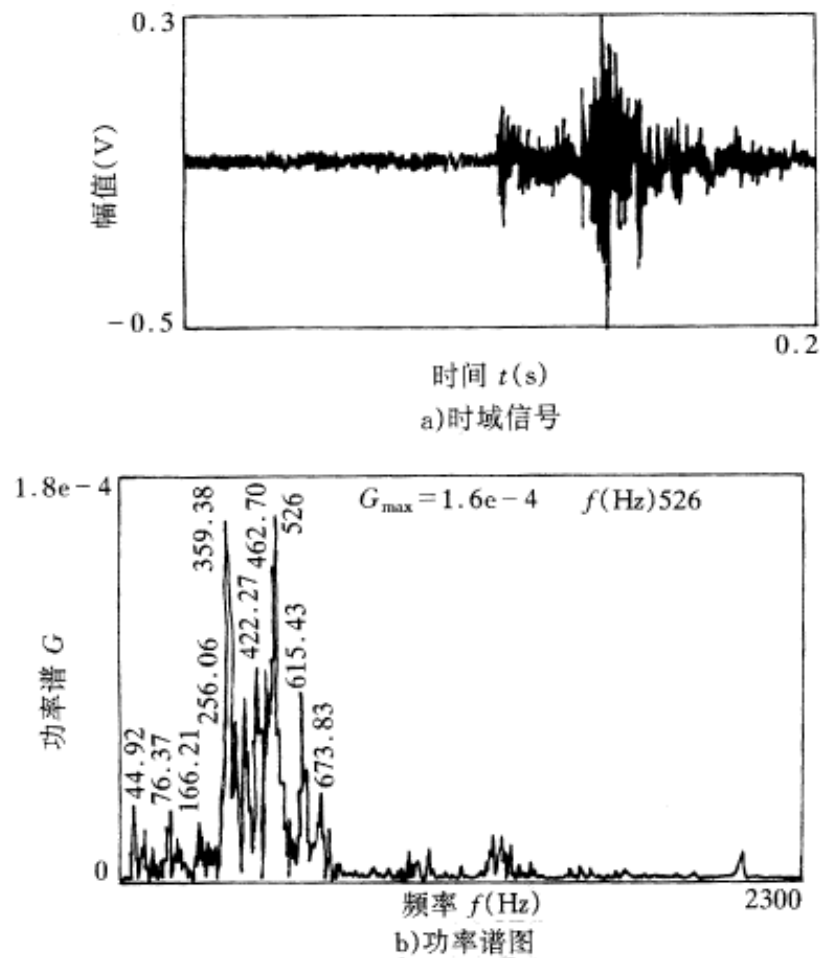


图4 大轴承振动信号

即把冲击脉冲力频带内包含的轴承各元件的高频振动分量用加速度传感器拾取。经放大、滤波送入“解调器”解调，得到大轴承故障的低频脉动信号，然后经频谱处理得到其功率谱。

随着各方面技术的发展，实现信号包络的方法很多，文中使用的是Hilbert Transform法。大轴承故障信号经包络后得到的功率谱图如图5所示。

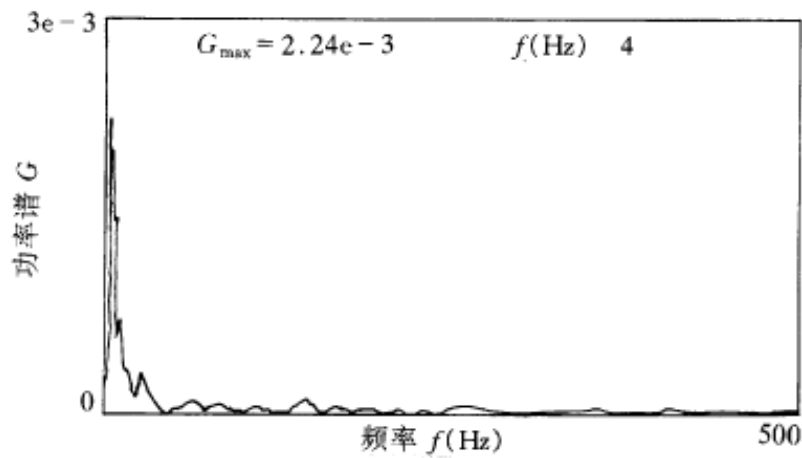


图5 包络谱图

从图中发现只有4Hz的频率成分突出，而且该频率成分对应的能量较大。前面我们曾计算了大轴承各元件的传输振动频率，其中上排滚动体通过大齿圈和内上圈的通过频率都为3.25Hz，实测频率与这个频率很接近，这说明大齿圈和内上圈滚道面产生了故障，滚动体通过故障表面引起冲击产生的低频脉动频率由包络法“解调”出来。

三、大轴承故障的声发射诊断法

1. 声发射测试系统构成

声发射(Acoustic Emission, 简称AE)是材料在外载荷或内力作用下，以弹性波形式释放应变能的现象。声发射可提供材料的微观变形和开裂以及裂纹的发生和发展的动态信息。声发射的出现要具备两个条件：一是材料要受外载作用；二是材料内部结构不均匀或有缺陷。当材料的裂纹形成和扩展时会产生突发型声发射信号。由于声发射的活动往往在材料破坏以前就发生，因此根据声发射的特点及其发射的强度，不仅可推测声发射源的目前状态，而且可以研究它形成的历史，并预报其发展趋势，从而进行状态的监测和故障诊断。

目前应用声发射的领域很多，但把其用于此类大轴承的故障监测似乎还不多见。本文根据声发射技术发展的状况以及大轴承现场运行状态，通过合理选择参数，构成大轴承声发射测试系统。该检测系统由四路独立的信号通道组成，每路通道的构成框图如图6。

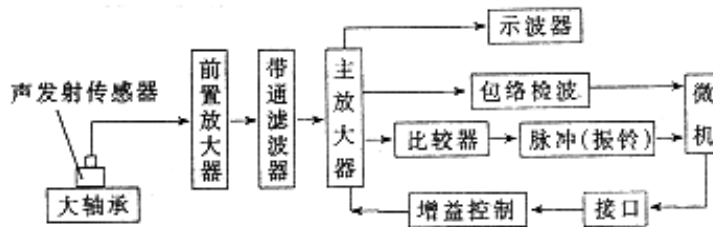


图6 大轴承声发射测试系统

声发射传感器选频率为150Hz的谐振传感器，由于其输出信号通常为数伏到数毫伏，所以其后的放大器总增益必须达到50dB ~ 100dB。本系统由前置放大器与主放大器实现，前置放大器为固定增益(40dB)的高输入阻抗的低噪声放大器，主放大器为线性放大器，其增益为0 ~ 60dB，可由程序编程设定，调整步距为5dB。主放大器端带有可调阈值电平的旋钮，满刻度为5V，每旋转一圈增加或减少0.5V，可根据现场的实际情况设定阈值(即设备正常运转时，无振铃输出的位置)，既要抑制噪声信号，又要保证有用信号通过。使用通带范围100kHz ~ 200kHz的带通滤波器，阻带衰减倍频程大于20dB，这样通带以外的频率成分作为噪声干扰剔除。为了尽可能减少传感器输出信号的衰减以及减少干扰，传感器至前置放大器的距离选用1.5m。

表3 故障轴承的能量和振铃事件比统计结果

次数过程	第一次			第二次			第三次		
	E	E _t	$\overline{N_s}$	E	E _t	$\overline{N_s}$	E	E _t	$\overline{N_s}$
落包	0.3376	0.1099	32	0.3161	0.1029	0			
运转	1.0681	0.3477	298	0.4142	0.1348	44	0.6454	0.2101	114
浇铸	0.3404	0.1180	37	0.2467	0.0802	20			
起包	0.3416	0.1112	41	0.3387	0.1102	23	0.4142	0.1348	44

2.声发射信号分析

(1)声发射特征参数的拾取

由主放大器输出的四路信号每路有三种形式：即声发射原始信号、包络检波信号和脉冲信号。选取包络信号主要考虑了以下几方面的因素：第一，声发射包络信号与原始信号比属于低频信号，它的后处理和A/D转换等要比声发射原始信号处理容易得多，便于现场进行监测和诊断；第二，声发射的包络信号可做能量分析，这里按下式

$$E = \frac{1}{f} \sum_{i=0}^m V_i^2 \quad (1)$$

式中 f ——采样频率
 V_i ——采样点的电压

计算声发射信号的能量 E 及单位时间的能量 E_t ；第三，考虑到大轴承由于低速重载的特点，声发射信号有可能被低转速、低故障频率调制，因此用其包络信号做频谱分析更有利于对大轴承故障信号进行分析。

计数法是目前声发射检测中常用的方法，它可表示声发射信号的强度和频度，因此主放大器输出的脉冲信号也很必要。

另外这里使用了振铃事件特征参数。即每单位事件激发的振铃数。考虑到现场测试的采样频率及微机处理数据的方便，本文取

$$\overline{N_s} = \frac{1000^2}{f \cdot m} \ln \frac{V_i}{V_t} \quad (2)$$

式中 $\overline{N_s}$ —— m 个采样点振铃计数比的平均值
 V_i ——第 i 点的采样值
 f ——采样频率
 m ——采样点数
 程序框图见图7所示。

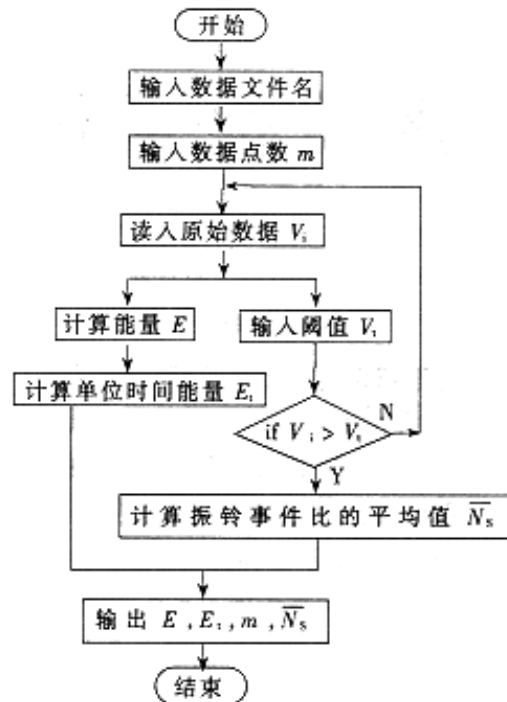


图7 程序框图

(2)声发射信号结果分析

声发射包络信号的功率谱图如图8所示。从谱图上看到，实测的频率在大轴承各元件固有频率表(表1)中

可找到与之对应的成分,说明大轴承各元件滚动面都产生了故障,但从各频率成分对应的能量和各元件被激起的固有频率数量来看,大齿圈和内上圈的故障严重一些; 实测得到的频率7.32Hz约为前面计算的上排滚动体通过大齿圈和内上圈通过频

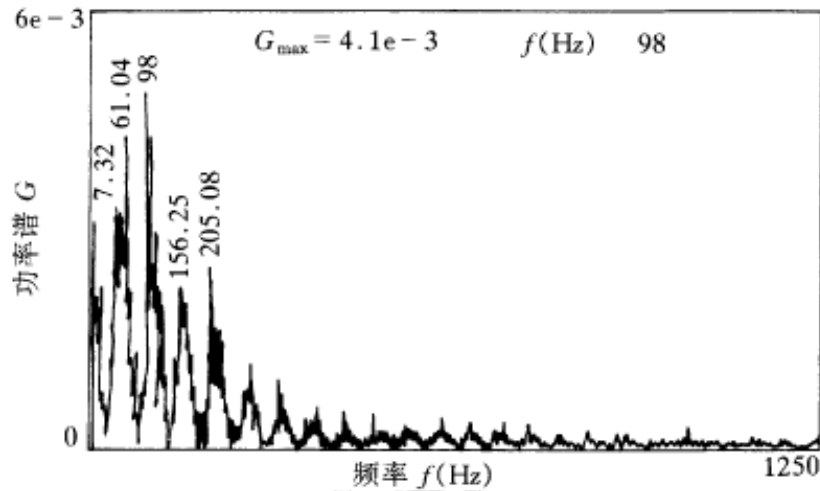


图8 声发射信号包络谱

率的2倍,说明大齿圈和内上圈滚动面产生了故障,滚动体与故障表面碰磨的重复频率被表现出来; 由声发射原理可知声发射信号对裂纹、剥落和磨损故障较敏感,因此判定大轴承的元件产生了剥落或磨损故障。以上分析结果在现场拆检后得到了证实。

表4 正常轴承能量和振铃事件比统计结果

次数过程	第一次			第二次			第三次		
	E	E_t	$\overline{N_s}$	E	E_t	$\overline{N_s}$	E	E_t	$\overline{N_s}$
落包				0.4079	0.0916	0			
运转	0.4573	0.0205	21	0.7795	0.0398	66	0.6900	0.0310	12
浇铸				0.4078	0.0916	0			
起包	0.4143	0.0930	15	0.4214	0.0611	4	0.6532	0.0587	6

对能量统计和振铃事件比 $\overline{N_s}$ 的统计见表3。期间考虑了大轴承的几个工作状态,同时为分析时有个比照,又采集了一台运行状态良好的大轴承的数据,其统计结果见表4。经过观察比较几次采样信号,把阈值 V_t 确定为0.5V。

从统计结果看, 运转时无论是能量还是振铃事件比的值较其它几个过程都大,说明运转过程中滚动体与滚道面的碰磨产生声发射信号较强; 对比两台机的统计结果,可看到故障大轴承声发射信号的能量和振铃事件比的值普遍比正常轴承的值大,尤其在运转过程中差别更大,这说明故障轴承声发射信号的频度和程序都较强。

四、结论

本文讨论的低速重载大轴承监测与故障诊断方法目前很少见到,特别是把声发射信号应用于该轴承监测系统中更是首例。经过理论分析和现场实测可得如下结论:

1. 运用有限元理论和运动学原理获取的大轴承传输振动频率及各元件固有频率计算是可行的。经过现场实验验证,所得数据基本正确,为下一步故障诊断提供了良好的理论基础。

2. 振动信号在本文所研究的低速重载并间歇运转的大轴承故障诊断中比较灵敏适用。从所测信号和频谱图上可明显反映故障的类型和部位,而通常所说的振动信号的低频干扰这里并不明显,再配合包络解调分析,更能明确诊断故障所在。经与拆检后所观察的大轴承实际故障相比较,证明本文分析诊断的结果是正确的。

3. 声发射法首次应用在大轴承的监测和故障诊断系统,文中由谐振传感器、增益放大、包络检波和微机组成的测试系统切实可行。信号处理中所使用的包络谱分析、能量统计及计算振铃事件比等方法基本正确,可明显反映出大轴承故障的类型和部位。这在后来大轴承被拆检后观察到的实际情况中得到了证实。

4. 本文在信号处理中编译了相关的软件,调试出了适用的程序,如希尔伯特变换的包络分析程序、声发射

信号的能量统计及振铃事件比的计算等程序，为以后的进一步开发和应用准备了有利的工具。

作者通联：甘晓晔 辽宁本溪大学机械系 117022
〔编辑 王 其〕

低速重载大轴承故障特征与诊断探讨

作者: [甘晓晔, 寇惠](#)
作者单位: [辽宁本溪大学机械系, 117022](#)
刊名: [设备管理与维修](#)
英文刊名: [PLANT MAINTENANCE ENGINEERING](#)
年, 卷(期): 1998, ""(2)
引用次数: 4次

引证文献(4条)

1. [曹进华, 郑海起, 栾军英](#) [多套超低速重载轴承同轴安装的故障诊断](#)[期刊论文]-[轴承](#) 2008(9)
2. [曹进华, 郑海起, 俞文文](#) [多个低速重载轴承同轴不完全旋转状态下的振源识别](#)[期刊论文]-[煤矿机械](#) 2008(9)
3. [曹进华, 郑海起, 武威, 张明](#) [超低速重载、旋转不完全轴承故障诊断](#)[期刊论文]-[军械工程学院学报](#) 2007(5)
4. [叶小松](#) [回转大轴承的状态维修及其最佳检测周期仿真研究](#)[学位论文]硕士 2005

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_sbglywx199802006.aspx

下载时间: 2010年6月2日