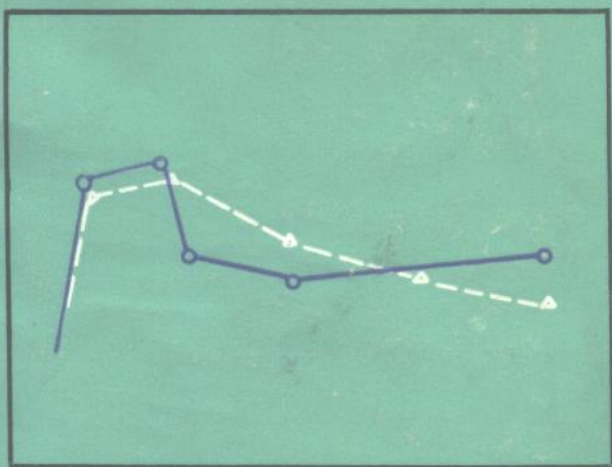




机械故障诊断丛书

机械故障诊断案例选编

何正嘉 黄昭毅



10

西安交通大学出版社

7417
1738

368160

机械故障诊断丛书之十

机械故障诊断案例选编

何正嘉 黄昭毅



西安交通大学出版社

DV05/05

内 容 提 要

本书精选了我国工业战线广大工程技术人员卓有成效地解决机械故障诊断问题案例五十例。涉及齿轮箱和轴承、旋转机械、发动机、液压设备及其它等五个方面。案例诊断对象明确，方法具体，故障特征典型，分析透彻，效果显著。可供石化、电力、冶金、机械、交通、矿山、电子、国防等有关行业从事设备管理和机械维护的工程技术人员参考。亦可作为大专院校相应专业的学生、研究生和教师的参考用书。



机械故障诊断案例选编

何正嘉 黄昭毅

责任编辑 高民事

西安交通大学出版社出版

邮政编码 710049

西安交通大学出版社电脑排版

西安交通大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店经售

开本 787×1092 1/32 印张 7.125 字数:147 千字

1991年6月第1版 1991年6月第1次印刷

印数:1—5000

ISBN7-5605-0420-5/TB·24 定价: 3.95 元

“机械故障诊断丛书”总前言

机械故障诊断技术是有关设备运行、维护的一项新兴技术。它的推广应用不但根本改变了原有设备维修制度，而且在保证设备安全运行、消除设备事故方面起着巨大的作用。当前，机械设备运行状态的监测，已经从单凭直觉的耳听、眼看、手摸发展到采用先进的传感技术、计算机和信息处理技术。新的监测手段，诸如超声、声发射、红外等，层出不穷。人工智能、专家系统、模糊数学等新兴学科在机械故障诊断技术中也找到了用武之地。

近年来，在国家计委中国设备管理协会和有关学会的大力支持下，机械故障诊断技术在各行各业中推广应用。它已经并将继续在实践中获得巨大的经济效益和社会效益。本丛书是为满足广大工程技术人员的迫切需要而编写的；同时，也希望这套丛书能引起高等学校机械类专业广大师生和有关研究人员的兴趣。

在组织编写这套丛书时要求既注意科学性，又注意实用性。内容有一定的理论深度，力求阐明机械故障诊断技术的理论基础，努力避免过多的数学推导，既能为广大实际工作者所接受，对研究人员和高等学校的师生也有参考价值。为了尽量节省读者的精力和时间，每本就一个专题编写，简洁明了，以便于读者阅读和使用。

由于各类产业机械既有各自的特点，又有某些共同点，机械故障诊断技术本身又正处于迅速发展的阶段，本丛书在

编写时着重讨论多个行业中机械设备的共同技术问题，诸如轴承、齿轮、转子、润滑油等的监测与诊断，同时尽量向读者介绍和展示一些诊断方面的新技术、新动向，以开阔视野。丛书也注意总结作者的理论研究成果和实际经验，以促进这些成果和经验在生产中发挥应有的作用。

本丛书和广大读者见面之后，编者和作者衷心希望能得到广大读者的反馈信息，以便改进我们的工作，提高丛书的质量。

“机械故障诊断丛书”编辑委员会

1988年2月

前 言

机械故障诊断技术已在迅速发展的工业生产中越来越显示出它的科学性和重要性。在我国国民经济的石化、电力、冶金、机械、交通、矿山、电子、国防等部门里，设备的状态监测和故障诊断工作的开展，如同雨后春笋，蓬勃兴旺。屈梁生教授主编的《机械故障诊断》丛书，旨在进一步推动这一可喜的进展。

本书精选了 50 例机械故障诊断案例，根据诊断对象的不同分为齿轮箱和轴承、旋转机械、发动机、液压设备及其它等五部分。案例全部选自我国广大工程技术人员在近几年生产实践中卓有成效的工作实例。我们高兴地看到，它们既反映了多学科交叉、理论结合实际成就，也反映了当前我国工业生产和科学技术发展的特点。案例的诊断对象明确，方法具体，故障特征典型，分析透彻，效果显著。这对正确识别运行设备的状况和进行故障诊断具有重要的参考价值，特别是对那些单机运行的关键设备。案例署有开展工作的单位和作者姓名，以便此书能够起到有关工程技术人员互相交流、切磋、借鉴的媒介作用。

借此机会，谨向热情支持案例选编工作的南京栖霞山化肥厂、上海宝山钢铁总厂、四川化工总厂、石家庄供电局、核工业部天津理化工程研究院、上海交通大学、华中理工大学等单位以及为本书出版付出辛勤劳动的西安交通大学出版

社表示衷心的感谢。由于编者水平有限，涉面不宽，书中不妥之处敬请直言指正。

编者

1990年7月

目 录

I 齿轮箱和轴承

- 1-1 大型水泥磨齿轮箱的故障诊断 (1)
- 1-2 炼油厂主风机增速箱振动诊断 (5)
- 1-3 齿轮箱噪声诊断 (7)
- 1-4 同步卫星跟踪雷达精密传动链分析 (13)
- 1-5 螺距误差超差根源的诊断 (18)
- 1-6 大型滚齿机分度误差主源的诊断 (23)
- 1-7 诊断信号时域平均的应用 (28)
- 1-8 录音机芯动态特性谱分析诊断 (32)
- 1-9 东风 4 型机车启动变速箱
故障诊断与排除 (39)
- 1-10 行星针轮摆线减速机早期
严重磨损的诊断 (44)
- 1-11 螺杆式压缩机滚动轴承故障诊断 (48)
- 1-12 滑动轴承故障诊断 (53)
- 1-13 高压锅炉给水泵烧瓦事故的消除 (57)
- 1-14 铁路车辆轮对及滚动轴承的故障诊断 (60)

II 旋转机械

- 2-1 锅炉引风机振动超限故障诊断 (67)
- 2-2 空气压缩机组不对中故障诊断 (70)

2- 3	岐化循环气压缩机振动 越限故障的诊断	(74)
2- 4	再生过程压缩机状态监测	(78)
2- 5	压缩机高压缸转子低于 工频振动特性分析	(81)
2- 6	二氧化碳压缩机一次停车原因分析	(85)
2- 7	循环氢压缩机组振动谎报分析	(89)
2- 8	轴位移输出信号的频率识别	(93)
2- 9	压缩机大周期波动的原因判断	(98)
2-10	除尘风机的现场平衡工作	(101)
2-11	高压氨泵驱动透平振动故障诊断	(106)
2-12	旋转机械叶片断裂故障的诊断	(109)
2-13	大型旋转机械摩擦故障的诊断	(113)
2-14	循环氢压缩机组摩擦故障的诊断	(118)
2-15	液态烃富气压缩机停电损坏的分析	(122)
2-16	地脚螺栓松动故障的诊断	(125)
2-17	机组基础安装不善的诊断和分析	(129)
2-18	旋转机械涡流传感器失效分析	(133)
2-19	离心压缩机油膜振荡故障诊断	(136)
2-20	双水内冷发电机转子水路局部 堵塞引起振动的诊断及处理	(141)
2-21	汽轮机转子中心孔进油 引起振动的诊断及处理	(145)
2-22	汽轮机裂纹转子振动监测	(150)
2-23	离心空压机组拍振故障诊断与排除	(156)
2-24	红外测温检测离心式压缩机故障	(161)

III 发动机

- 3- 1 汽车发动机磨损状态的铁谱监测 (165)
- 3- 2 汽车发动机改型样机磨损
状态的监测和诊断 (169)
- 3- 3 海军某气垫艇发动机的振动监测和诊断 ... (174)
- 3- 4 AN-24 航空发动机振动监测与诊断 (178)

IV 液压设备

- 4- 1 生产现场液压故障的分析 (183)
- 4- 2 运用剔除法诊断液压系统故障 (186)
- 4- 3 双级叶片泵磨损故障的诊断 (190)

V 其它

- 5- 1 换热器泄漏的红外测温诊断 (196)
- 5- 2 红外测温在送电线路诊断中的应用 (200)
- 5- 3 钢丝绳断丝的在线定量检测 (205)
- 5- 4 球罐焊缝微裂纹的检测 (209)
- 5- 5 声发射在线监测热裂化反应塔 (213)

I 齿轮箱和轴承

1-1 大型水泥磨齿轮箱的故障诊断

一、诊断目的和对象

目前，我国水泥年产量居世界第一位，在建材行业中大型齿轮箱的用量很大，这些齿轮箱传动功率大，工作环境恶劣，结构复杂，处于水泥生产流程中的关键部位，一旦发生故障，损失是严重的。齿轮箱在运行中的缺陷问题在国产和引进设备中不同程度地存在，开展监测与诊断工作的效益是非常显著的。

郑州铝厂水泥分厂生产线上有四台 1 000kW 的磨机齿轮箱在运行，均为波兰 20 世纪 60 年代产品。这四台齿轮箱从 1976 年投产以来，1984、1985 年曾发生过两次齿轮齿圈断裂事故，造成严重的停产损失。由于齿轮箱分别与电机及原料磨或水泥磨连接，磨机重 178t（内装钢球 80t），运行中的振动现象可反映齿轮箱的运行状态，故采用振动信号进行分析 and 诊断。

二、诊断方法及分析

1987 年在现场用振动计和磁带记录仪测试记录了齿轮箱每根传动轴轴承座上的振动信号，表 1-1-1 列出三台齿轮箱振动速度均方根值，测试时水泥磨 1[#] 齿轮箱检修没有

列入。

表 1-1-1 齿轮箱振动速度均方根值(单位: mm / s)

齿轮箱编号	方向	1 轴	2 轴	3 轴	4 轴
水泥磨 2 [#] 齿轮箱	垂直	5	5	2	2
	水平	6	4	3	3
	轴向	16	6	4	2
原料磨 2 [#] 齿轮箱	垂直	10	13	7	4
	水平	14	5	3	2
	轴向	21	13	4	3
原料磨 1 [#] 齿轮箱	垂直	11	6	2	2
	水平	14	8	2	2
	轴向	9	2	4	2

将记录下来的齿轮箱振动信号进行 FFT(快速傅里叶变换)分析处理。图 1-1-1 是水泥磨 2[#] 齿轮箱振动功率谱; 图

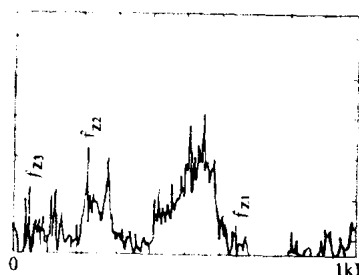


图 1-1-1 水泥磨 2[#] 齿轮箱
振动功率谱

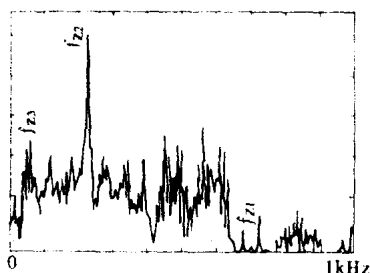


图 1-1-2 原料磨 2[#] 齿轮箱
振动功率谱

1-1-2 是原料磨 2[#] 齿轮箱振动功率谱; 图 1-1-3 是原料磨

1[#] 齿轮箱振动功率谱，其中 f_{z1} 、 f_{z2} 、 f_{z3} 分别是齿轮箱第一、二、三级传动的啮合频率。在每个齿轮箱的功率谱上都可以发现第二级齿轮传动的啮合频率是这些齿轮箱的主要振源，其中以原料磨 2[#] 的 f_{z2} 最为突出，图 1-1-5 是这三台齿轮箱的三个啮合频率的幅值比。

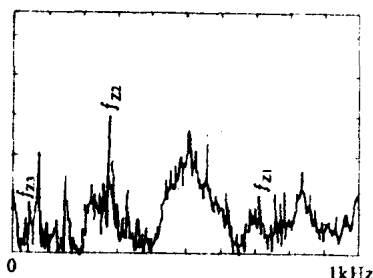


图 1-1-3 原料磨 1[#] 内齿轮箱
振动功率谱

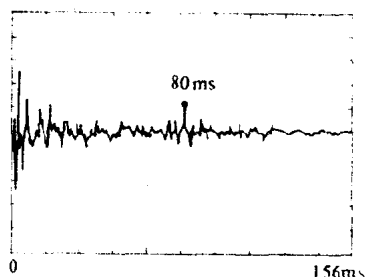


图 1-1-4 原料磨 1[#] 齿轮箱
振动倒频谱

根据以上的测试分析，认为：

1. 在三级传动的齿轮装置中，输入与输出两级的啮合作用力都要由中间级来承担，所以啮合振动最为强烈。啮合振动的幅值远高于其它两级。第二级是设计、制造中应加强的薄弱环节。但由于没有给予足够的重视，在长期运行中振动过大，使齿圈产生疲劳断裂，这是前几年发生事故的原因所在。从目前运行的情况看来，原料磨 2[#] 齿轮箱的第二级齿轮传动状况不佳，应加强监测，准备必要的备件。

2. 从综合评定的角度看，原料磨 2[#] 齿轮箱振动值高于水泥磨 2[#] 和原料磨 1[#] 的齿轮箱振动。用 ISO 大型机器

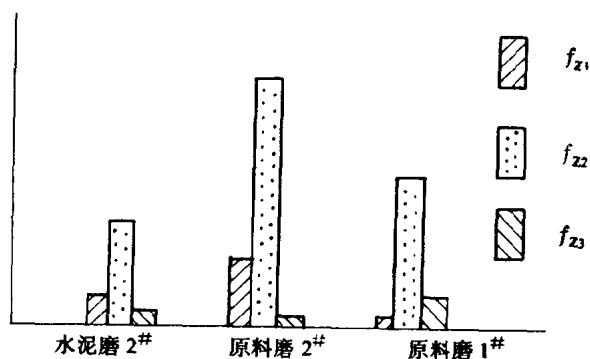


图 14-1-5 三台齿轮箱主要啮合频率的幅值比较

振动强度评价标准衡量，已超过允许值 11.2mm/s ，且原料磨 2# 齿轮箱箱体温度高于其它齿轮箱 10°C 左右，应及早进行检修。

3. 原料磨 1# 齿轮箱在运转中存在着调制现象，图 1-1-4 是振动信号的倒频谱，峰值出现在倒频率 80ms 处，调制频率 $f_M = 1000 / 80 = 12.5\text{Hz}$ ，恰等于驱动电机的旋转频率，也等于齿轮箱第一传动轴的旋转频率，应检查第一传动轴的零部件的磨损、松动、偏心等状况，也应检测电机的运行振动状况，这些工作有待今后进一步测试分析。其它两台齿轮箱振动中没有发现调制现象。

三、诊断结论

1. 齿轮箱运行状态监测与故障诊断采用 FFT 谱分析和倒频谱分析是有效的。

2. 三级传动的齿轮箱装置中，应提高第二级传动件的设计和制造要求，以避免过大的二级传动啮合频率振动。

本例摘自《第二届全国机械设备故障诊断学术会议论文集》“大型齿轮装置的故障诊断”，作者：刘仲川（机电委郑州机械研究所）、郭纯朴（有色金属总公司郑州铝厂）等。参加本例工作的还有张志伟和吴桂梅。

1-2 炼油厂主风机增速箱振动诊断

一、诊断对象

南京炼油厂催化裂化装置 1 号主风机增速箱，传递功率 1 000kW，输出转速 4 050r/min，齿轮齿数分别为 95 和 61。1986 年 8 月，催化裂化装置在满负荷运行过程中，1 号主风机的增速箱振动强烈，噪声很大，严重影响生产的正常进行。

二、诊断方法及分析

在现场用 Bently 公司的磁电式振动速度传感器，通过 TK-20 转换成位移信号后录入磁带记录仪，然后回放至频谱分析仪进行分析。图 1-2-1 是增速箱输出轴轴承处 y 方向振动频谱，振动位移 $32\mu\text{m}$ 。图中最高谱峰是小齿轮高速轴工频，为 67.5Hz。在测试分析中发现无论在该齿轮增速箱的哪个测点上测试，其振动频谱中的高次谐波峰值均系该箱小齿轮高速轴工频的各次谐波，而大齿轮低速轴工频的各次谐波几乎没有在谱图上出现较为突出的峰值。由此可基本上确认该增速箱中的高速小齿轮有问题。厂机动科同志指出，高速小齿轮曾有两个齿已崩掉 20mm 长的一块，位置正好在啮合线附近，因无备件而在继续使用，证实了小齿轮的确有故障。

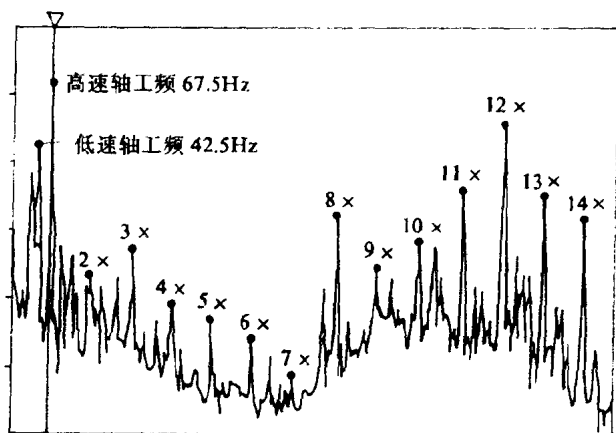


图 1-2-1 增速箱输出轴轴承 y 方向振动频谱

由于 Bently 磁电式振动速度传感器的频响范围有限，频谱上 1.7kHz 以上的频率分量没显示出来，故进行第二次测试分析。用 B&K 加速度传感器与电荷放大器，对设备与工况完全相同的 1 号和 2 号机组同时采用现场实时分析和离线测试与分析，以便进行对比。对比后看到：1. 在啮合频率上 1 号风机增速箱输出轴轴承上的能量比 2 号风机增速箱相同部位的要高 14.7dB，而在输入轴轴承上的振动能量两台增速箱基本相同（仅差 1dB）；2. 在工频上，1 号风机各测点一般都比 2 号风机高 6-8dB；3. 在 800-900Hz 范围内有一高峰，是风机工频的 13 阶高次谐波，而风机入口恰有 13 只短叶片和 13 只长叶片。可认为该频率是由风机叶片受气体

的冲击而激励出来的，该频率分量对机器的安全运行无影响。

综上所述，1号风机增速箱小齿轮有问题而导致该增速箱振动增大，进而使齿轮的啮合情况劣化。由于仅有该机的故障谱，而无故障发生前的正常谱，故不能判断故障发展的速度如何。若加强监测，在故障现象没有显著发展的情况下，可以坚持到两个月后的大修。结果该机一直运行到大修，避免了一次非计划性停车和液化气产量大幅度下降的损失。

该机检修时，更换了小齿轮，可看到齿面上大约有1/3齿长的啮合面上有严重的点蚀和剥落。

三、诊断结论

齿轮齿面发生严重的点蚀、剥落、崩裂等缺陷时，啮合过程中将产生大量的与该齿轮转速频率相同的脉冲，使齿轮箱运行时振动加剧，并在频谱中出现故障齿轮工频及其各次谐波分量，借此可识别齿轮的故障。

本例由南京栖霞山化肥厂设备检测中心陈国远供稿，有删改

1-3 齿轮箱噪声诊断

一、诊断目的和对象

目前，对齿轮箱噪声控制的要求不断提高，不仅要求控制噪声级的分贝数，而且要求声音悦耳。即尽量减少不均匀的、令人不愉快的杂音或撞击声。国内外不少企业把杂音如