

# 设备振动简易诊断技术

王宜 编著



机械工业出版社

# 设备振动简易诊断技术

王 宜 编著



机械工业出版社

# 设备振动简易诊断技术

王 宜 编著

责任编辑：丁凤英 封面设计：王晓青

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街1号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京龙华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本787×1092 1/32 印张 3 3/4 字数 84千字  
1990年8月北京第一版·1990年8月北京第一次印刷

印数：0,001—12,000·定价：2.30元

ISBN7-111 02445-1/TB·112

## 前 言

利用状态监测手段采集反映机器状态的数据或信号，据此对设备故障作出诊断，使设备维修的安排从以运行时间为基础转为以实际状态为基础，克服定期维修中“维修过剩”或“维修不足”的缺陷，是当代设备维修体制改革的一种趋向，也是我国设备管理现代化的一项重要内容。

设备诊断技术在我国工交企业中的应用起步于1983年。该年元月，原国家经委颁发的《国营工业交通企业设备管理试行条例》中明确提出：根据生产需要，逐步采用现代化故障诊断和状态监测技术，发展以状态监测为基础的预防维修体制。3月28日中国机械工程学会设备维修学会在南京召开了首届设备诊断技术专题座谈会，分析了我国设备的现状及开展设备诊断的必要性，并通过《设备管理与维修》杂志向全国发出了“积极开发和应用设备诊断技术，为四化服务”的十条建议。其中，强调了方法研究、仪器制造和实际应用是开发、推广设备诊断技术的三个重要方面，它们之间存在着相辅相成、相互依赖和相互促进的关系，而监测和诊断仪器的制造和提供，则是推广应用中的重要环节。

1986年，中国设备管理协会召开了诊断技术应用推广大会，在工交企业，尤其是流程工业中的应用得到迅速发展。1989年12月上旬，在北京召开的中国设备管理协会第三次年会上，总结了推广应用设备诊断技术所取得的效果，进一步提出了继续推广这项技术的要求。

近几年来，宝应振动仪器厂在一些高等院校和科研部门的支持下，消化吸收引进技术，生产了207电子听诊器、206便携式振动测量仪、208泄漏检测仪、217机器故障检查仪、288振动信号电脑记录仪、213轴承故障检查仪、SGZ-1工业振动检测仪、200智能型机器故障分析仪等振动监测和诊断仪器，对推广应用设备诊断技术，提高我国振动仪器自给率作出了贡献。1989年，宝应振动仪器厂被机电工业部批准为国家二级企业。

宝应振动仪器厂王宜厂长编写的这本《设备振动简易诊断技术》，围绕设备简易诊断中的振动测试技术，具体介绍了设备振动测试的基本概念；振动监测的具体步骤；设备诊断的具体方法；故障信号的识别与评价；振动测试仪器和设备诊断仪器的选择和系统配置；并列举了不同行业的应用实例，具有较强的实用性。从某种意义上说，本书出版是振动诊断技术在方法研究、仪器制造和推广应用三个环节结合上所作的初步尝试。对工矿企业开展设备状态维修，培训设备诊断技术人员，是一本十分有益的培训教材和参考书。

机械电子工业部生产司总工程师

郑国伟

中国机械工程学会设备维修学会理事长

1990. 1.

本书较为系统地介绍了振动测试技术在设备简易诊断中的应用。具体介绍了设备振动测试的基本概念、振动监测的具体步骤、设备诊断的具体方法、故障信号的识别与评价、振动测试仪器和设备诊断仪器的选择及系统配置，并列出了不同行业的应用实例。

全书深入浅出、资料丰富、实用性强，可作为工矿企业推广设备诊断技术的培训教材，同时也适于各类工厂从事设备维修的人员阅读，也可供大中专院校有关专业的师生参考。

# 目 录

前言	( I )
第一章 振动测试是设备诊断的重要手段	( 1 )
一 推广设备诊断技术有巨大的社会效益	( 1 )
二 机器运行过程中的噪声和振动是故障诊断的重要信息	( 4 )
三 建立“状态维修”体制是设备管理现代化的必然途径	( 5 )
第二章 振动测试的基本概念	( 9 )
一 振动的分类	( 9 )
二 频率	( 10 )
三 幅值	( 10 )
四 相位	( 12 )
五 有效值及波峰因数	( 12 )
六 频谱分析	( 14 )
第三章 机器振动状态检测的基本内容	( 17 )
一 确定诊断对象	( 17 )
二 选择测量点	( 17 )
三 确定测量周期	( 19 )
四 确定测量参数	( 20 )
五 振动传感器的特点及选择	( 22 )
六 传感器的安装与使用	( 27 )
七 测试系统的定期标定	( 29 )

八	振动检测的总体考虑	(30)
第四章	故障信号的识别与评价	(33)
一	建立设备诊断档案	(33)
二	收集和制定判断标准	(36)
三	机器故障的评价方法	(42)
四	常见故障信号的特征	(53)
第五章	仪器的选择和系统配置	(62)
一	振动测试系统	(62)
二	设备振动检测和故障诊断仪器	(67)
三	合理配置用于状态监测的测振仪器	(75)
四	建立我国特色的设备诊断系统	(75)
第六章	应用实例	(79)
一	振动测试技术实例	(79)
二	207电子听诊器的应用实例	(103)
	参考文献	(109)
	后记	(110)



# 第一章 振动测试是设备诊断的 重要手段

## 一、推广设备诊断技术有巨大的社会效益

设备是经济发展最重要的物质技术基础。随着经济建设的发展,整个社会所拥有的机械设备越来越多。很多生产领域使用了大型、复杂、精密、高速、连续运行和机电仪一体化的机械设备,自动化程度越来越高。社会化的大生产以及生产的现代化程度在某种意义上取决于机械设备的现代化程度。设备管理对于提高劳动生产力,保证产品质量,促进文明生产,提高经济效益具有重要作用,已经得到各级经济部门的高度重视。

现代化的机械设备必须采用现代化的设备管理制度。我国过去沿用的设备维修制度主要是以时间为基础的预防性定期检修和运转至损坏再维修。前者往往造成维修过剩、盲目维修或维修不足;后者则是被迫停机,导致生产中断,除了给连续生产的企业带来很大经济损失外,还潜伏着造成突发性重大设备事故的可能性。这类事例,国内外都有很多,例如:

1984年12月印度博帕尔市的美国联合碳化物公司经办的农药厂,发生异氰酸甲酯毒气泄漏事故,造成2000多人死亡,20多万人受害,成为世界工业史上最大的恶性事故。

1986年1月28日,美国挑战者号航天飞机由于固体燃料助推火箭密封泄漏,缺少检测诊断装置引起燃料箱爆炸, 7

名宇航员全部死亡，损失12亿美元，成为举世瞩目的惨案。

1986年4月27日苏联切尔诺贝利核电站四号发电机剧烈振动，造成反应堆厂房结构的破坏，引起反应堆放射性物质泄漏，2000余人死亡，几万居民撤离，损失30亿美元，污染还波及了邻国，成为一起重大事故。

我国工业生产部门由于机械设备发生故障引起的损失，也十分惊人。某厂20万kW发电机组运转中突然严重损坏；海上石油钻井平台突然倒塌沉没；进口的大型万吨货轮航行中主机突然损坏，遇风暴而沉入海底。国内外这种事例很多，不胜枚举。

根据美国国家统计局提供的资料表明，1980年美国工业设备维修花掉2460亿美元巨资，而这一年美国全国的税收总额只不过7500亿美元。据美国设备维修专家分析，有将近1/3的维修费用（750亿美元）是由于缺乏正确的状态监测和诊断技术而造成的浪费。

预防性定期检修的间隔周期是根据统计结果确定的。在这个周期内预计仅有2%的设备可能出现故障，而98%的设备都有剩余的运行寿命。这种谨慎的定期大修反而增加了停机率。美国航空公司对235套设备普查的结果说明，有66%的设备由于人的干预破坏了原来的良好配合，降低了可靠度，造成高的故障率。因此，将预防性定期检修逐步过渡到“状态维修”，已经成为提高生产率的一条重要途径。

80年代以来，由于电子技术、传感技术、集成电路技术、计算机技术的飞跃发展，现代科技已经能够提供多种现场测试仪器。因此，以设备诊断技术为核心内容的“状态维修”制度近几年来在国内外迅速建立起来。它的重大意义和十分显著的社会效益已经引起广泛的重视。

设备诊断技术——机械故障诊断学是一门涉及到数学、物理、化学、力学、声学、机械、电子技术、传感技术、计算机技术以及信号处理技术等多学科的综合性科学。它依靠先进的传感技术与在线检测技术，采集设备的各种具有某些特征的动态信息，并对这些信息进行各种分析和处理，区分、识别并确认其异常表现，预期其发展趋势，查明其产生原因、发生部位和严重程度，提出针对性地维护措施和处理方法，它构成了现代设备管理制度——按状态维修的技术基础。

随着设备技术复杂性的增加，机械设备的零部件数目正以等比级数递增，多数复杂设备零件数已达 $10^3 \sim 10^4$ 件。各种零部件受力状态和运动状态不同，由于变形、疲劳、冲击、腐蚀、磨损和蠕变等因素以及它们之间的相互作用，各个零部件具有不同的失效原因和失效周期。设备的故障过程实际上是零部件的失效过程。机械故障诊断实质上就是利用机器运行过程中各个零部件的二次效应，由现象判断本质，由局部推测整体，由当前预示未来。它是以机械为对象的行为科学，它的最终目的在于力图发挥设备寿命周期的最大效益。目前，国内外应用于机械设备故障诊断技术方面的检测、分析和诊断的主要方法有：

1. 振动噪声诊断法；
2. 磨损残留物、泄漏物诊断法；
3. 温度、压力、流量和功率变化诊断法；
4. 应变、裂纹及声发射诊断法……

实行按状态维修必须根据不同机器的特点选择恰当的诊断方法。一般来说，应以一种方法为主，逐步积累原始数据和实践经验。从国内外大量应用实例来看，应用最广泛的是振动噪声诊断法。

## 二、机器运行过程中的噪声和振动是故障诊断的重要信息

在各种诊断方法中，利用机器运行时不可避免的噪声和振动信号进行故障识别与判断，应用十分广泛。其主要原因是：

### 1. 广泛性

任何机器运行时都有振动，振动反应了机器状态。无论是高精度的磨床、镗床、线切割机床；还是大功率的电机、风机和汽轮机。无论是旋转机械、往复式机械、轴承、转轴、齿轮箱等零部件；还是汽车、飞机、船舶等交通工具，甚至包括港口、铁路、桥梁、高压线塔等建筑物，时刻都伴随着振动，由于振动所产生的机械故障率高达60%以上。振动本身的普遍性、破坏性决定了采用振动诊断法的广泛性。

### 2. 多维性

与其它几种检测方法不同，反映振动的量值是多维的。不同频率不同相位的位移、速度、加速度响应构成了一个多维函数和响应谱。振动信号的多维性使信号处理方法十分丰富。其量值的变化，从极低频的0.01Hz到10kHz或更高，加速度从 $10^{-1} \text{m/s}^2$ 到几百几千个 $10 \text{m/s}^2$ ，变化范围较大，便于人们识别不同类型的故障。

### 3. 遥感性

振动的传递性强。用耳朵靠近钢轨，可以听到几千米远的火车行驶声。这种特点有利于采用间接测量的方法，获取携带了故障信息的振动冲击信号。传感器可以感受到较大范围和距离内存在的故障。轴承座上测量的振动参数，必然包含了轴承内外圈、保持架、滚动体以及转轴的大量信息。

### 4. 实用性

振动诊断完全可以在机器工作状态下进行(在线测量)。传感器可以安装在结构深处或人不宜接近的部位。不同的故障总有不同的振动模态。振动信号不论有什么样的外界干扰,丝毫不改变自己的固有模态,总是顽强地存在和表现着。因此,可以方便的获取和识别振动信号,有利于早期发现故障。随着现代传感技术、电子技术、信号处理技术的发展和渗透,国内外已制造出各种专门的振动诊断仪器系列,可以方便地对机器状态进行检测和监控,在设备状态监测中发挥了主导作用。

综上所述,振动监测与诊断,就是通过机器表面部件的振动测量与分析来监视机器内部的运转状况并预测与判断机器设备的健康状态。这是一门识别机器运行状态的科学。正由于振动的广泛性、参数的多维性、测振技术的遥感性和实用性,决定了人们将振动监测与诊断列为设备诊断技术的最重要的手段。它的方便性、在线性和无损性使它的应用越来越广泛,几乎涉及到国民经济各个领域。

### 三、建立“状态维修”体制是设备管理现代化的必然途径

“状态维修”又称预测性维修(PMP),就是按照各个不同机械设备的特点,确定监测周期和检测点;采用先进的设备诊断技术与手段积累机器设备运行时的动态信息,预估设备故障,预测剩余寿命,预报设备劣化趋势,根据具体情况制定不同机器的维修措施,将设备维修工作建立在制度化、规范化、现代化的基点上。

按设备的实际状态维修是设备维修体制的一次飞跃,是历史发展的必然,是实事求是,具体情况具体分析等辩证唯物主义基本理论在设备管理工程中的具体应用。一些先进的

工业国70年代以来竞相采用，我国近几年也正在大力推广现代故障诊断技术和状态监测技术，发展“状态维修”为基础的预防维修体制。国内外大量实例充分证明，按状态维修具有极其显著的社会效益，无怪乎被人们称为“无形的财富”和“被忽略的利润”。

采用状态维修将大幅度降低生产费用和维修费用，从而提高企业的经济效益。挪威某化工厂每年按计划要大修200台泵，通常还会有30台由于大修质量问题造成事故停车，再加上17台由于其它原因造成的突然停车，这样每年就有247台大修任务。实行状态维修后，只有当测量结果表明泵需要检修时才进行修理，这样他们每年只需要大修14台泵。而且因为出现故障的时间是预知的，检修前都能作好充分的准备，有计划的进行。设备维护人员认真进行定期的状态检测，也能集中时间对停下来的设备进行更彻底的大修和试验，以使这些设备能够运行更长的时间，避免了大量临时性抢修任务，提高了设备利用率，减少了不必要的停产损失。

“状态维修”具有明显的经济效益，而所需要的仪器投资却是十分有限的。国外的统计资料表明，状态监测仪器的投资与其产生的效益之比为1：17。

“状态维修”的积极意义具体表现在：

(1) 按机器的实际状态延长了大修周期，减少了不必要的维修量，既节约了维修费用，又提高了设备利用率。

(2) 可早期发现故障征兆，有效地避免了突发性的意外事故，保证了安全生产。

(3) 设备的正常运转使产品质量得到了保证，提高了设备利用率。

(4) 避免了维修过剩和维修不足，消除了续发损坏(有

时一个轴承损坏能导致整个齿轮箱的损坏)一切以数据为准,避免了人为臆测等不必要纠纷。

(5) 采用预测技术可使维修工作提前作好准备,进行针对性的维修,减少维修时间,避免了盲目更换零部件,节约了维修费用。

实行状态维修,建立PMP预测性维修体制是一项具有战略意义的系统工程,至少包括下列内容:

(1) 培养一支懂得动态测试技术,热心设备管理维修的专业队伍;

(2) 采用先进的动态测试和设备故障诊断技术;

(3) 推广现代化的设备诊断仪器,首先应普及简易诊断仪器;

(4) 建立以巡回点检为主要内容的跟踪点检制度,根据设备的重要性确定点检方法和点检周期;

(5) 建立设备动态数据中心库和诊断档案,收集不同设备的原始谱、正常谱、故障谱,制订并完善各种设备的故障分类标准。逐步建立以微机分析系统、专家诊断系统为核心的设备管理网络。

近几年来,我国的设备管理和维修工作正在稳步前进。1981年国家经委发出了《关于加强设备管理工作的通知》;1982年召开了第一次全国设备管理工作座谈会;1983年公布了《国营工业交通企业设备管理试行条例》;1986年召开了第二次全国设备管理维修工作座谈会;1987年国务院发布了《全民所有制工业交通企业设备管理条例》。1982年中国设备管理协会成立,继之中国机械工程学会设备维修学会以及各省的分会相继成立。中国振动工程学会故障诊断学会也开展了多次学术交流活动,在推广设备诊断技术,开展设备管

理现代化等方面做了大量工作。很多大中型工厂在设备诊断技术方面已经有了一定的规模和基础，相当一部分企业已经起步，设备诊断技术有着十分广阔的应用前景。

对于一个在“状态维修”方面刚起步的企业而言，首先应掌握简易诊断技术，而振动检测是简易诊断中应用得最广泛，也是最重要的方法。

本书仅就设备简易诊断中的振动测试技术作一些初浅的探讨，力求深入浅出，通俗易懂，使广大设备维修人员能在刚接触这项新的诊断技术时，少走弯路，较快地取得效益。



## 第二章 振动测试的基本概念

### 一、振动的分类

振动是一种极其普遍的物理现象。物体围绕平衡位置作往复运动就称为振动。

在工程建设、日常生活的各个领域存在着各种振动现象。按不同的分类方法，振动现象可以分为很多种。

从研究对象上分有机械振动、土木结构振动、地震和大地脉动、汽车飞机航天器等运输机械的振动、武器及爆炸引起的冲击振动等。

从振动的频率范围分，有低频振动、高频振动和超低频振动。一般把10Hz以下称为超低频，1kHz以下称为低频，10kHz以上称为高频。

从振动信号的统计特征可将振动分为确定性振动与随机振动两大类。

确定性振动又分为周期性振动和非周期性振动。

周期性振动是指经过相同的时间间隔其振动量重复出现的振动。它包括简谐振动和复杂周期振动。复杂周期振动是由一些不同频率的简谐分量合成的振动。我们把一个大型设备的振动看成若干不同频率的简谐振动叠加合成的复杂周期振动。据此即可进行测量、分析，作出正确的诊断。

冲击与瞬时振动是最常见的非周期振动，它的时间函数是一个衰减函数。

随机振动是一种非确定性振动，其运动周期是不规则的，