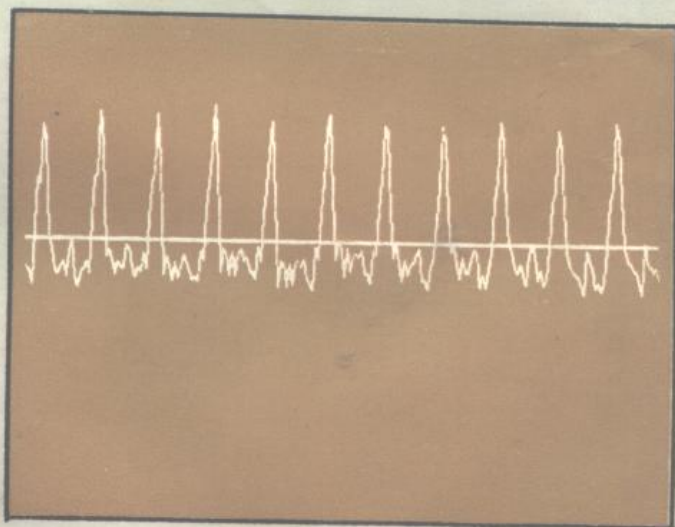




机械故障诊断丛书

转子监测和诊断系统

刘 雄 赵振毅 屈梁生



13

西安交通大学出版社

DV05/08
内 容 提 要

本书全面而实用地介绍了转子运行状态监测和故障诊断及其在微型计算机上的实现。主要内容包括计算机辅助转子运行状态监测和故障诊断的软、硬件组成；转子常用振动诊断方法的实现和在实际中的应用；转子故障信息搜集、原因分析、对策与措施；计算机辅助转子运行状态管理；转子运行状态监测和分析所需硬件的选择、安装和调试；最后一章介绍了一套已投入现场实际应用的转子计算机辅助监测与故障诊断系统。

本书不仅可供大专院校及科研机构从事转子运行状态分析和故障诊断的研究人员参考，亦适于工厂从事转动设备管理、维护和操作的技术人员阅读。

转子监测和诊断系统

刘 璋、束 德 毅 等 编 著

责任编辑 孙文彦

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 5.75 插页 1 字数:116 千字

1991 年 7 月第 1 版 1991 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1 — 5000

ISBN7-5605-0419-1/TH·20 定价:3.40 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，每本就是一个专题编写，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

近十年来微型计算机发展迅速，在工厂企业获得了广泛应用，对提高生产的技术水平和管理水平起到了巨大作用。以微机为基础，建立转子的监测和诊断系统，对转子机器实施运行状态监测、故障诊断和预防，是微机应用中的一个热点，并已取得了很好的应用效果。

本书将介绍转子监测和诊断系统的特点、结构和建立方法，以期在不太长的篇幅里使读者对转子监测和诊断系统有一个全面的了解，并可以利用书中的内容着手建立满足自己实际需要的转子监测和诊断系统。书中内容力求既通俗易懂，又能反映该项技术目前的发展水平。本书适合于广大工厂企业从事转子机器使用、维护和管理的工人、工程技术人员和领导干部阅读，还适合于高等院校有关专业的师生参考。

本书在写作过程中，注重于实际应用，介绍分析方法时并不重点介绍其数学原理，而是着重讲述如何利用这种分析方法获得所需要的图象或数据，从中找到有用的信息，并有效地分析转子的运行状态，准确地诊断转子的故障原因，每种分析方法都附有应用实例，这些实例来自国内的工厂和作者所参加的研究工作。

此外，书中介绍了常用仪器设备的性能和选择，建立监测诊断系统时经常遇到的各种问题的解决方法。一些内容是作者多年从事有关研究和开发工作的经验总结。本书虽然以

转子为对象，但一些基本方法、基本技能和基本知识对于其他机器设备的监测和诊断工作的开展也不无帮助。

书中所述的软件内容都编有相应的程序，这些程序已在一些工厂发挥作用。

在本书的写作过程中，得到研究室老师和研究生的支持和帮助，一些工厂提供了大量的现场数据，在此一并表示感谢。

由于转子监测和诊断是一个新的研究领域，加之作者的水平 and 经验有限，书中不免有缺点和不足之处，恳请读者指正，以便再版时修改。如果本书能对读者从事的工作有所帮助的话，我们将感到十分欣慰。

作者于西安交通大学机械监测和诊断研究室

1989 年 11 月

目 录

总前言

前 言

第1章 绪 论

- 1.1 转子监测和诊断的背景和内容 (1)
- 1.2 用微机实现转子监测和诊断的特点 (3)
- 1.3 转子监测和诊断系统概述 (4)
- 1.4 本书内容安排 (7)

第2章 转子监测和诊断系统的分析软件

- 2.1 波形分析方法 (9)
 - 2.1.1 转子振动波形的基本特征 (10)
 - 2.1.2 波形的叠加合成 (12)
 - 2.1.3 波形分析方法 (16)
 - 2.1.4 振动波形的计算机绘图 (18)
- 2.2 振动信号频谱分析 (20)
 - 2.2.1 频谱分析的特点 (20)
 - 2.2.2 幅值谱分析方法 (23)
- 2.3 转子轴心轨迹和轴心位置分析 (28)
 - 2.3.1 转子轴心轨迹 (28)
 - 2.3.2 轴心位置和偏位角的确定 (37)
- 2.4 振动信号相位分析 (40)
 - 2.4.1 转子相位信号的获得 (40)
 - 2.4.2 几种相位关系 (42)
- 2.5 启停过程分析 (49)
 - 2.5.1 奈魁斯特图和波德图 (50)
 - 2.5.2 瀑布图 (52)

2.6 全息谱分析	(54)
2.6.1 二维全息谱分析	(54)
2.6.2 三维全息谱分析	(56)
2.6.3 全息瀑布图分析	(57)
第3章 转子状态分析和故障诊断方法	
3.1 转子故障信息的来源	(61)
3.1.1 机器现场情况	(62)
3.1.2 振动信号的测试与分析	(64)
3.1.3 其它故障信息来源	(68)
3.2 转子故障的分析与诊断	(70)
3.3 诊断实例	(75)
第4章 转子运行状态数据库管理	
4.1 dBASEⅢ 及与其它计算机 语言之间的数据交换	(92)
4.2 转子运行状态的数据库管理	(96)
4.2.1 特征选择, 数据的压缩和存储	(96)
4.2.2 转子运行状态数据库的建立	(101)
4.3 转子运行状态数据库的应用	(104)
第5章 转子监测系统的硬件	
5.1 转子监测系统的硬件组成	(109)
5.2 振动传感器的选择和安装	(114)
5.2.1 压电式加速度传感器和电荷放大器	(114)
5.2.2 加速度传感器的安装	(118)
5.2.3 内装集成阻抗变换器的加速度传感器 ...	(120)
5.2.4 电涡流位移传感器	(121)
5.3 多微机在线监测与诊断系统	(126)

5.3.1 多微机在线监测与诊断系统 的结构特点	(126)
5.3.2 多微机在线监测与诊断系统 的性能特点	(129)
第 6 章 A / D 接口与数据采集	
6.1 A / D 接口板的技术参数及选择	(131)
6.1.1 A / D 板的技术参数	(131)
6.1.2 A / D 板的选择	(133)
6.1.3 例	(134)
6.2 采样参数选择	(136)
6.3 A / D 采样软件	(137)
6.4 采样方式的设置	(143)
6.4.1 相位信号的采集	(144)
6.4.2 在线监测时的数据采集	(145)
6.4.3 数据文件名的设置和数据进制的转换 ...	(150)
第 7 章 转子监测与诊断系统 —— RMDS	
7.1 概述	(153)
7.2 系统硬件组成	(155)
7.3 系统软件组成及功能	(158)
7.4 系统在工厂中的应用和效益	(165)

参考文献

第1章 绪 论

1.1 转子监测和诊断的背景和内容

转子机器，如涡轮机、离心压缩机、电动机和泵等，是工矿企业中很普通、很关键的一类机械。这些机器的特点是，工作时都有转子在高速运转，转子的价格占整台机器费用中相当大的比例，由转子故障造成的损失也在机器故障的总损失中占有很大的份额。70年代以来，我国相继引进、设计、制造了许多大型成套设备和装置，转子机器在其中更是占有举足轻重的地位，一旦发生事故，将危及整个生产过程的正常运行，造成惨重的经济损失。某化肥厂进口离心式压缩机的一次大事故，就造成上千万元的经济损失；某国产20万kW发电机组的转子故障，使得大面积地区突然停电，直接和间接的经济损失难以计数，严重的教训迫使人们配置相应的监测和诊断系统，开展和加强对转子运行状态的监测和故障诊断，以完成以下的功能：

- (1) 及时发现转子故障的早期征兆，以便采取相应措施，将故障消灭在萌芽状态，减少或避免重大事故的发生；
- (2) 一旦发生故障，自动记录下故障过程的完整数据资料，以便事后的故障原因分析，避免再发生同类故障；
- (3) 记录下转子运行全过程的状态变化情况，反映出

转子系统各部分的劣化程度和原因，为确定维修时间，制订维修计划提供依据；

(4) 取得机器寿命周期的大量数据，可充分了解机器性能，便于设计和制造技术的改进和提高；

(5) 随时掌握转子机器性能的发展变化情况，为逐步实现定期强迫维修制度向预知维修*制度的过渡提供条件。

目前，国外大多数工厂企业都为大型转子配置了监测和诊断系统，由此带来的经济利益十分可观。一些公司专门从事监测和诊断仪器及系统的开发和生产。我国个别大型企业也引进了一些仪器和系统，对促进转子监测和诊断工作的开展起到了一定的作用，开阔了大家的眼界。进口的监测诊断仪器和系统的突出缺点是价格昂贵，维护、改进和更新都很困难，国外有些最新型的产品还限制向我出口，因此，不可能在我国推广普及。最经济、见效并且现实的办法是在企业建立起一支从事转子监测和诊断工作的班子，结合生产实际情况，利用现已广为普及的微型计算机来完成转子运行状态的管理、监测和故障诊断等工作。

近年来，微型计算机迅速发展，性能不断提高。以IBM-PC系列微机为例，内存贮量和外存贮量不断扩大，中心处理器的更新和协处理器的应用，使运算速度大大加快；输入输出接口和设备的灵活配置使得以微机为基础的系统建立变得越来越容易；丰富的支持软件使得用户的各种要求得到更好的满足。这就从硬件上保证了用微机实现转子

* 根据设备运行状态监测结果，制定维修计划

监测和诊断的可行性。另外，由于微型计算机优越的性能价格比，使其在工厂企业得到了广泛的应用，越来越多的人接受并熟悉了这一新的有力工具，从而保证了用微机实现转子监测和诊断工作得以顺利进行。

1.2 用微机实现转子监测和诊断的特点

利用微机实现转子的监测和诊断与使用专用仪器相比，有一些独特的优点：

(1) 易于在工厂展开。现在，一般工厂企业都有微机相应的外部设备和熟练的操作人员，只要再购置上 A/D 转换板，将转子振动传感器的信号连入计算机，即具备了转子监测和诊断系统的硬件条件。所需的硬件设备都是标准产品，可以在市场上购买。这样，一旦将所需的软件移植进计算机，就可以开始对转子进行监测和诊断了。

(2) 功能强，灵活性大。不仅可以通过开发软件实现一般专用分析诊断仪器的基本功能，还可以利用软件易于修改、易于实现的特点，经常更新、扩展系统的功能。另外，可以根据工厂的习惯和要求设计系统结构、操作方式和输出格式等等。

(3) 可以实现转子运行状态数据库的计算机管理，记录、打印输出有关转子状态的各种报表，将以微机为基础的转子监测和诊断工作与工厂原来的监控工作密切结合起来。

(4) 操作与维护方便。因为工作方式根据工厂实际设计，操作非常方便。系统所需的硬件都是通用的，易购易修；软件由自己掌握，维护不成问题。

(5) 成本低，微机及其外部设备的价格近十年来大幅度下降，现在仍保持着这个势头。软件的价格和开发费用与国外相比更是低廉。这是国内监测和诊断系统与国外同类系统相比最大的优势，具有很强的竞争力。

(6) 由于工厂、院校和科研机构广大专家和学者的不懈努力，转子监测和诊断技术已取得了长足的进展，日趋成熟。我国的软件开发水平已不低于国外，可以满足工厂企业的实际需要。

1.3 转子监测和诊断系统概述

在以计算机为中心的转子监测和诊断系统出现以前，一些工厂对重要的转子机器已经配置了监测手段。许多转子都安装了测量径向振动和轴向振动的探头，通过二次仪表显示振幅，并由操作人员每隔一段时间记录一次。同时，设置连锁停车装置使在振幅超限时能自动停车，其过程如图 1-1 中虚线部分所示。这样虽然能在一定范围内避免恶性事故的发生，但是也有一些难以克服的缺点。

(1) 转子振幅增大时，大家都很紧张，却无从分析其原因，估计不出振动发展趋势，也就无法制订恰当的对策。

(2) 转子发生故障或停车以后，由于没有故障过程的动态记录，不能准确、迅速地做出事后分析，难以迅速恢复生产，也不利于积累运行经验，以避免同类事故的发生。

(3) 因为对转子运行状态和性能变化知之不多，维修计划的制订就带有较大的盲目性。维修费用大，时间长，却难以完全达到维修目的。

(4) 振幅对某些转子振动分量的变化并不敏感, 监测振幅也不容易早期发现故障征兆, 以便预防故障的发生。

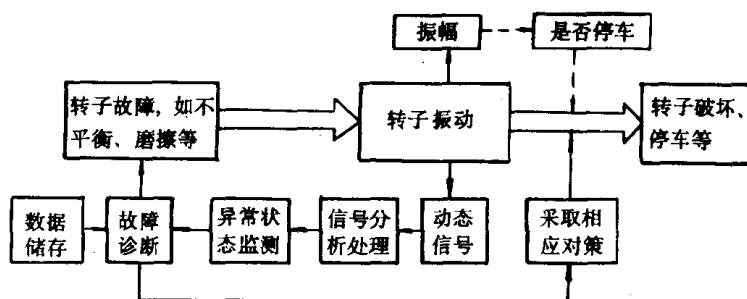


图 1-1 计算机辅助转子监测和诊断系统工作程序

成振幅监测的工作，而且通过对信号的处理，可以大大丰富对转子运行状态和故障过程的了解。在当今计算机辅助监测、控制、管理、设计等方法进入工业生产各个部门的过程中，以微机为基础的转子监测和诊断系统将逐步取代传统的振幅监测方法，成为先进生产水平和管理水平的一个标志。尚未开展振幅监测的重要转子机器，可以越过振幅监测阶段，直接引入转子监测和诊断系统，已经具有振幅监测手段的转子机器，建立转子监测和诊断系统并不会造成浪费，因为原有的振动探头和线路可以不加更动地并入系统，减少了新的投资。根据国内外一些工厂实际应用的结果，很短的时间里即可收回建立系统所作的投资，有时避免一次事故、或

维修时间缩短一天，其经济收益就远远大于建立监测和诊断系统的费用。

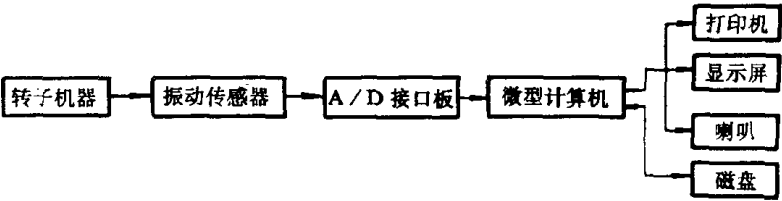


图 1-2 转子监测和诊断系统的硬件组成

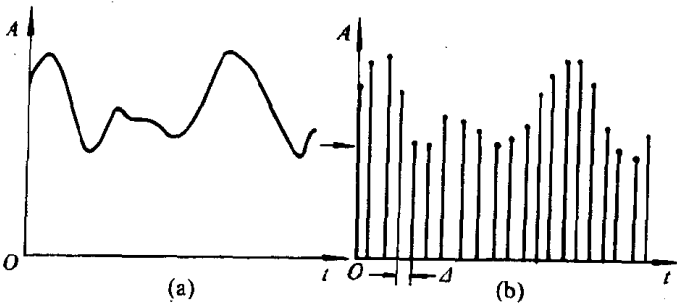


图 1-3 模拟量与数字量的转换

图 1-2 转子监测和诊断系统的硬件组成示意图。用振动传感器测取转子运行中所产生的振动信号，如径向振动、轴向振动等。通过振动传感器，将机械振动的位移量或加速度量转换为连续变化的电压信号。为了使微型计算机能够接收和处理这些信号，必须用 A/D 接口板将连续变化的电压信号变为离散的数据信号（如图 1-3 所示），这叫做采样过程。单位时间内采集的点数叫采样频率，可以看出，它与

每次采样的时间间隔 Δ 成倒数关系，用计算机对采样得到的数据信号进行运算和处理，结果由打印机或显示屏输出，喇叭可发生报警或提示声音。计算机还可以通过磁盘读取或储存各种数据信息。图 1-2 中 A/D 接口板及其后的打印机、显示屏、喇叭和磁盘都叫做计算机的外部设备，容易配置。振动传感器与 A/D 接口板可直接用信号线联连，也可以用信号记录仪器先将传感器信号记下，再送到 A/D 接口板采样。只是后一种方法所需时间较长，不能满足某些转子在线监测和诊断的要求，因此大多用于离线监测和诊断。

转子监测和诊断系统的各硬件组成部分都是通用的产品，购置维修十分方便。在监测诊断工作不太紧的场合，这些硬件同时还可以移作他用。所以说，系统是不会闲置浪费的。

1.4 本书内容安排

本书全面系统地讲述了转子监测和诊断系统的建立和使用方法。讲述方法力求通俗易懂，自成体系，并不要求读者具有某方面高深的基础知识。同时，本书又特别注重实用，所选的内容都与监测和诊断系统的建立和使用密切相关，一些内容是开发监测和诊断系统过程中的经验所得。相信读者通读了本书之后，即能对转子监测和诊断系统有个清晰完整的印象，并能开始着手建立自己的监测诊断系统。

全书分五章讲述组成转子监测和诊断系统的五个方面。第 2 章介绍转子振动信号的处理和振动特征的获取方法；第

3 章讲怎样用这些振动特征诊断转子故障；第 4 章说明如何利用数据库来管理振动特征和其他数据。这三章的内容是监测诊断系统主要的软件部分。第 5 章是监测诊断系统硬件部分的基本组成及其性能和选择；第 6 章叙述转子振动信号与计算机的连接。至此，已经形成了完整的转子监测和诊断系统。第 7 章通过实例介绍一个现有系统，以期加深读者的认识。

写作上，各章的内容相对独立。阅读时不一定按照书上的排列顺序。例如，读者完全可以先读第 5 章和第 6 章，然后再返回来看软件部分。即使是跳过某些章节，也不至于影响对书中其他内容的理解。