



设备诊断现场实用技术丛书

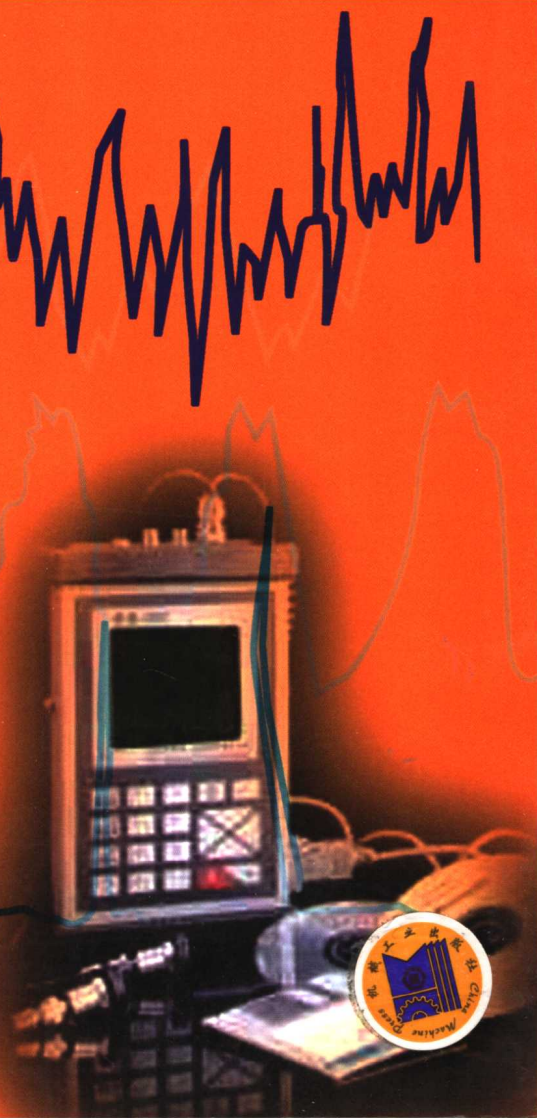
简易振动诊断

现场实用技术

易良渠 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



设备诊断现场实用技术丛书

简易振动诊断现场 实用技术

易良桀 编著



机械工业出版社

本书比较全面地介绍了实施现场简易振动诊断的基本知识,其中包括:振动基础知识,诊断实施步骤,常见故障的类型、特征及其诊断方法,仪器的选择与使用,振动标准介绍等;还比较详细地阐述了设备状态的简易识别方法,以及提高设备诊断效率、防范误诊的途径与措施;结合书中内容精选了来自15个不同性质的企业、涉及24种设备类型的50多个各类典型故障诊断实例。

本书语言通俗,内容实用,资料丰富,经验性强,适用于各个不同行业从事现场设备诊断工作的技术员、工程师及其他设备维修管理人员参考使用,也可以作为现场设备诊断技术培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

简易振动诊断现场实用技术/易良渠编著. —北京:机械工业出版社, 2003.4

(设备诊断现场实用技术丛书)

ISBN 7-111-11898-7

I. 简… II. 易… III. 机械振动-故障诊断 IV. TH113.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 022866 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:李万宇 版式设计:霍永明 责任校对:韩晶

封面设计:陈沛 责任印制:闫焱

北京交通印务实业公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·8.125 印张·315 千字

0001—4000 册

定价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

序

随着现代化生产的高速发展，设备不仅是作为重要的物质基础，而且还在其中起着越来越重要的作用，诸如生产的提高、质量的改善、成本的降低、资源的节约、环境的保护以及效益的增长等，都无一不和它有着密切的关系。然而当这些现代化设备一旦发生了故障，所带来的严重后果也非过去可比，有的还会成为人类历史的悲剧。过去的一个世纪里，曾在世界范围内发生的重大设备事故，是很值得我们予以充分重视的。

在 20 世纪 80 年代初，世界上一些发达国家在总结经验教训的基础上，开发和创立了一种叫作“设备诊断技术”的高新技术，它能在设备运行中或基本不拆卸全部设备的情况下，掌握设备运行状态，判定产生故障的部位和原因，并预测预报未来的技术状态；从而可在早期有效地发现，以及在后期及时地抑制故障，保障生产的可持续发展。1983 年 1 月国家经委采纳了各方建议，及时地在国营工业交通企业设备管理试行条例中作了明确规定，强调采用这项技术，发展以状态监测为基础的预防维修体制。

十八年来，在国家倡导、企业重视以及各级有关管理部门、大专院校、科研单位和群众团体的大力支持、共同努力下，设备诊断技术已经兴旺发达，得到了广泛共识，取得了众多效益，不仅在理论研究、科研试验、产品开发及工程应用上达到了较高水平，而且在保证设备安全、防止突发事件，保障设备精度，提高产品质量、节约维修费用以及防止环境污染上，也都体现出重要的地位与作用。

为了把这项先进技术成果充分肯定，努力推向未来并与世界接轨，国内的设备工程界人士，特别是在现场从事设备诊断的广大技术人员，长期以来盼望能有一套诊断丛书是由我们自己的现场人员，在消化吸收国外经验，并经过充分生产考核认定的基础上写作出来，它们应当有别于当前一些教科书、专著，具备为现场维修服务的明确观点，能够采用通俗易懂的语言和图表，总结介绍丰富的现场经验与工作案例，以求达到更好地适合企业技术人员学习和使用的目的。

在机械工业出版社的大力支持下，经过了充分蕴酿和多方论证，进行了必要性与可行性研究，终于在 1999 年秋于北京筹组了一个七人的小型编委会，以负责确定丛书的题目，提出编写内容及特点要求，以落实各分册作者的任务，与此同时还多方面地收集了丛书的编写意见，从而为这一工作的良好进展提供了条件。

编委会成立后，首先明确了书的名称为《设备诊断现场实用技术丛书》，按

照诊断技术及对象设备的综合分类,初步定为十个分册,每册30万字左右,分期发行;其次明确了读者对象为在现场从事设备诊断技术应用的初、中级技术人员(包括技术员、技师和工程师),大中专院校有关专业的教师和学生以及有关管理人员;再次明确了编写人员的要求,主要邀请有十年以上现场经验、并具有一定理论基础、善于总结和有写作能力的工程师们参加,但也要吸收那些理论联系实际较好,并有一定现场体会的教授们,以及仪器公司和生产厂家中从事技术开发及咨询服务的工程师们。

为了统一编写,编委会还制定了“通用写作导则”以及“分类编写参考意见”,其中对写作特点强调了要以现场性、实用性和系列性为主,既不同于学报,也有别于教科书。现在丛书的编写进展顺利,作者们都把此书作为自己一生经验的总结,广泛收集资料,认真比较分析,以此作为对伟大的社会主义建设的积极贡献,读者们不难从书中内容有所理解。

此套丛书共分为十个分册,分别为《简易振动诊断现场实用技术》;《精密振动诊断现场实用技术》;《油液监测分析现场实用技术》;《红外诊断现场实用技术》;《无损检测诊断现场实用技术》;《电气设备诊断现场实用技术》;《往复机械诊断现场实用技术》;《大型回转机械诊断现场实用技术》;《滚动轴承诊断现场实用技术》;《齿轮和齿轮箱诊断现场实用技术》。

这套丛书的创式有别过去,尚少经验可供借鉴,更限于作者的时间和水平,不足之处在所难免,欢迎读者批评指正。

《设备诊断现场实用技术丛书》编委会

前 言

《简易振动诊断现场实用技术》一书，是《设备诊断现场实用技术丛书》第一分册。为了体现丛书的编辑方针，突出“现场实用”之特点，作者在编写过程中着重考虑了以下几个方面：

1. 本书是为现场诊断工作服务的普及性技术读物，其读者对象主要是企业中从事现场设备维修管理和故障诊断的有关人员，因此行文力求通俗易懂，阐述尽量明晰简洁。书中没有罗列公式推导，也没有堆砌艰涩难懂的理论分析。语言简明，解说深入浅出。讲方法，谈操作，论经验，内容全面具体，凡具有初中文化程度，又有一定设备维修管理经验的人都可以看懂，并能作到学以致用。

2. 为了满足现场设备诊断人员的迫切需求，书中提供了大量的现场实用资料。其中包括：主要计算公式、各种诊断标准、典型振动频谱、各类振动波形、设备状态判别的方法，以及提高诊断效率、防范故障误诊的措施，仪器的选择与使用，等等。书中内容凝结着作者多年来从事现场诊断工作的实践经验，同时广泛吸收了国内外文献中有价值的参考资料。

3. 本书特别重视典型案例分析，精选了来自 15 个不同企业、24 种设备类型的各类有代表性的诊断案例 50 多个。为了提高案例的参考使用价值，在筛选案例时严格遵循下列十六字原则：“故障典型，思路清晰，过程完整，成效显著”。凡有悖于此者，一般不予入选。

案例中还选用了少量反面案例（即误诊案例），分析了之所以造成误诊的原因及其防范措施。实践表明，在大量的现场诊断工作中，发生个别误诊是难免的。当遇到这种情况时，必须认真对待，进行科学地分析总结，找出误诊原因，引以为戒，那么，它给人的启发更大，印象更深刻。

4. 20 多年来，设备诊断技术获得了迅速发展，诊断仪器不断更新换代，特别是自 20 世纪 90 年代初以来，具有多种现场分析功能的便携式数据采集器广泛运用于简易振动诊断，因而深刻地改变了人们对诊断领域中某些传统观念的认识，这是诊断技术发展的必然结果。本书在这方面力图有所反映。

本书的第 1 章、2.3.2 节、3.2 节、5.3 节、6.5 节、8.1 节、8.4 节由黄昭毅编写，其余部分由易良渠编写。在本书编写过程中，得到了丛书编委会诸同志的多方帮助指导，谨表示衷心感谢。

作者在编写时，参考了国内外有关文献资料，其中主要篇目均列于书末“参

考文献”中，在此，谨向这些著作、论文的作者致以深忱的谢意。

由于作者水平有限，书中不妥、错误或疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编著者

2002年8月8日

《设备诊断现场实用技术丛书》编辑委员会

主编 黄昭毅

编委 袁宏义 邢开明 杨其明

叶晓明 莽克伦 吴柏青

目 录

序

前言

第1章 设备诊断技术概述	1
1.1 设备诊断技术的含义和应用目的	1
1.2 设备诊断技术的产生及其技术基础	1
1.3 设备诊断技术的工作原理和工作手段	2
1.4 设备诊断技术的基本层次和具体内容	4
1.5 简易诊断技术的构成、功能及要点	6
第2章 简易振动诊断基本知识	8
2.1 引言	8
2.2 振动基础知识	9
2.2.1 振动的种类及其特点	9
2.2.2 振动三要素及其在振动诊断中的应用	10
2.3 振动信号处理	13
2.3.1 振动信号处理的目的是意义	13
2.3.2 时间领域内的信号处理	14
2.3.3 频率领域内的信号处理	23
第3章 现场简易振动诊断的实施步骤	30
3.1 实施现场简易振动诊断的6个步骤	30
3.1.1 了解诊断对象	30
3.1.2 确定诊断方案	32
3.1.3 进行振动测量与信号分析	36
3.1.4 实施状态判别	38
3.1.5 作出诊断决策	38
3.1.6 检查验证	38
3.2 诊断效果的评估与维修整治	38
3.2.1 开展设备诊断效果评估的必要性	38
3.2.2 国内外设备诊断效果评估的多样性及其焦点	38
3.2.3 国内外的几个典型算法案例	40
3.2.4 当前设备诊断效益计算难点及其解决方法	43
3.2.5 设备简易诊断效益计算方法	43

第4章 常用简易诊断方法在机械故障振动诊断上的应用	46
4.1 概述	46
4.2 旋转机械故障的振动特征及诊断实例	47
4.2.1 旋转机械故障诊断的特点	47
4.2.2 旋转机械常见故障的振动诊断及实例	48
4.3 滚动轴承故障的振动特征及诊断实例	66
4.3.1 振动分析是诊断滚动轴承最有效的方法	66
4.3.2 滚动轴承振动诊断及实例	67
4.3.3 采用冲击脉冲法诊断滚动轴承故障	73
4.4 齿轮机构故障的振动特征及诊断实例	78
4.4.1 齿轮诊断的特点	78
4.4.2 齿轮振动信号的频率结构	79
4.4.3 齿轮诊断中几种常用的频谱分析方法	80
4.4.4 齿轮振动诊断及实例	81
4.5 往复式空压机简易振动诊断及实例	87
4.5.1 往复式空压机振动诊断的特点	87
4.5.2 往复式空压机常见的故障类型及其振动特征	88
4.5.3 往复式空压机振动诊断实施要点及诊断实例	89
4.6 金属切削机床简易振动诊断及实例	95
4.6.1 概述	95
4.6.2 金属切削机床振动诊断的特点	95
4.6.3 金属切削机床现场简易振动诊断及诊断实例	97
第5章 设备状态的简易识别与劣化趋势分析	102
5.1 概述	102
5.1.1 简易诊断的深化与设备状态的简易识别	102
5.1.2 设备简易诊断状态识别应注意的问题	102
5.2 简易振动诊断状态识别方法	104
5.2.1 设备有无异常的识别(即设备总体状态的识别)	104
5.2.2 故障类型识别	105
5.2.3 故障部位识别	115
5.2.4 故障程度识别	122
5.2.5 设备状态发展趋势识别	123
5.2.6 对不明真相的(或不易辨识的)频率识别	125
5.3 设备劣化趋势分析的方法与应用	127
5.3.1 设备劣化趋势分析的目的	127
5.3.2 趋势管理的分类	127
5.3.3 趋势管理图的绘制方法	130
5.3.4 趋势管理图的阅读方法	132

5.3.5 趋势管理图的应用例	133
5.3.6 预测设备状态到达危险极值时间	134
第6章 提高设备诊断效率与误诊防范	140
6.1 概述	140
6.2 提高设备诊断效率的途径	141
6.2.1 提高设备诊断效率是一项系统工程	141
6.2.2 提高设备诊断效率与实施设备综合诊断	142
6.2.3 提高设备诊断效率的其他可行途径	153
6.2.4 重视典型案例分析, 不断积累诊断经验	163
6.3 设备故障误诊原因及其防范	165
6.3.1 熟悉诊断对象是防止误诊的前提	166
6.3.2 真实充分地获取足够数量的诊断信息是防止误诊的关键	171
6.3.3 准确识别机械图像, 正确应用标准, 是防止误诊的重要环节	182
6.3.4 防止采用单一方法判断造成误诊	190
6.4 人员素质是提高诊断效率、防范误诊的决定因素	195
6.5 特征数(无量纲)诊断的特点及其应用	196
6.5.1 概述	196
6.5.2 常用的特征数征兆参数	197
6.5.3 特征数诊断的主要理论基础	198
6.5.4 国内特征数诊断的发展过程	199
6.5.5 特征数诊断的应用案例	200
6.5.6 推荐采用特征数诊断技术的8项建议	201
6.5.7 特征数的性质及其用途	202
第7章 简易振动诊断仪器	203
7.1 振动传感器的种类、原理和应用特点	203
7.2 常用振动测量分析仪器的分类	209
7.3 现场诊断仪器配置的基本原则	211
7.4 选择现场简易诊断仪器的基本要求	211
7.5 诊断仪器使用注意事项及标定	213
7.6 常用简易振动诊断仪器简介	213
7.6.1 早期简易振动诊断仪器的特点及典型仪器介绍	213
7.6.2 20世纪90年代后简易振动诊断仪器的进展及典型仪器介绍	216
第8章 振动诊断标准	222
8.1 振动诊断标准的用途及制订方法	222
8.1.1 振动诊断标准的用途及分类	222
8.1.2 振动诊断标准的制订方法	226
8.2 振动诊断标准的使用方法	227
8.2.1 认识诊断标准的科学性与相对性	227

8.2.2 明确标准所适用的诊断对象和应用范围	228
8.2.3 标准的综合应用	228
8.3 常用振动标准	229
8.3.1 标准分类	229
8.3.2 振动标准介绍	230
8.4 振动诊断标准进展	242
参考文献	245

第 1 章 设备诊断技术概述

1.1 设备诊断技术的含义和应用目的

1. 设备诊断技术的含义

设备诊断技术是当前在国内外发展迅速、用途广泛、效果良好的一项重要的设备工程新技术。其起源和命名与仿生学有关。

所谓设备诊断技术，就是“在设备运行中或基本不拆卸全部设备的情况下，掌握设备运行状态，判定产生故障的部位和原因，并预测预报未来状态的技术”。因此，它是防止事故的有效措施，也是设备维修的重要依据。以上定义是 1983 年中国机械工程学会设备维修分会根据国外经验和国内现状提出的。

任何一个运行的设备系统，都会产生机械的、温度的、电磁的种种信号，通过这些信号可以识别设备的技术状况，而当其超过常规范围，即被认为存在异常或故障。设备只有在运行中才可能产生这些信号，这就是为什么要强调在动态下进行诊断的重要原因。

2. 应用设备诊断技术的目的

采用设备诊断技术，至少可以达到以下目的：

- 1) 保障设备安全，防止突发故障；
- 2) 保障设备精度，提高产品质量；
- 3) 实施状态维修，节约维修费用；
- 4) 避免设备事故造成的环境污染；
- 5) 给企业带来大的经济效益。

在我国推广设备诊断技术的积极意义，是有利实行现代设备管理，进行维修体制改革，克服“过剩维修”及“维修不足”，从而达到设备寿命周期费用最经济和综合效率最高的目标。

1.2 设备诊断技术的产生及其技术基础

1. 设备诊断技术的产生

设备诊断技术源于军事需要，逐步开发了一些检测方法和监测手段，后来随同可靠性技术、电子光学技术以及计算机数据处理技术的发展，使得状态监测和故障诊断技术更加完善。

设备诊断技术从军用移植到民用并取得更大发展,主要是由于工业现代化的结果。机械设备的大型化、连续化、高速化和自动化带来生产率的提高、成本的降低,以及能源和人力的节约,然而一旦发生故障,就会造成远非过去可比的经济损失。因此工业部门普遍要求能减少故障,并采取预测预报的有效措施。

2. 设备诊断技术的技术基础

可以用于设备诊断的技术有很多种,但基本技术主要是以下4种:

(1) 检测技术 根据不同的诊断目的,选择适用的检查测量技术手段,以及对诊断对象最便于诊断的状态信号,进行检测采集的一项基本技术。由于设备状态信号是设备异常或故障信息的载体,因此能否真实、充分地检测到反映设备情况的状态信号,是这项技术的重要关键。

(2) 信号处理技术 从伴有环境噪声和其他干扰的综合信号中,把能反映设备状态的特征信号提取出来的一项基本技术。为此需要排除或削弱噪声干扰,保留或增强有用信号,进行维式压缩和形式变换,以精化故障特征信息,达到提高诊断灵敏度和可靠性的目的。

(3) 模式识别技术 对经过处理的状态信号的特征进行识别和判断,据以对是否存在故障,以及其部位、原因和严重程度予以确定的一项基本技术。设备状态的识别实际是一个分类问题。它是从不相干的背景下提取输入信号的有意义的特征,并将其变为可辨识的类别,以进行聚类工作。

(4) 预测技术 对未发生或目前还不够明确的设备状态进行预估和推测,据以判断故障可能的发展过程,以及何时将进入危险范围的一项基本技术。在设备诊断中,预测技术除主要用于分析故障的传播和发展外,还要对设备的劣化趋势及剩余寿命做出预报。

此外,尚有3项主要技术也必须予以重视:①对故障机理的研究。它是弄清故障的形成发展过程,了解故障的形态学特征,进一步掌握故障信号,提取故障特征和建立故障档案的基础。②计算机技术的应用。设备诊断的大部分工作,都可以依靠计算机的记忆、储存和科学运算功能去实现,特别是精密诊断和专家系统,没有计算机技术的支持就难以完成。③控制和校正技术。它是对容易产生故障的过程以及已经存在的异常所采取的一种有效措施,例如采用数值控制建立起运动条件自动识别及自动控制联锁报警功能、软件上的错点处理和信号源故障的自动识别,以及机组转子现场动平衡等。

1.3 设备诊断技术的工作原理和工作手段

1. 设备诊断技术的基本工作原理

设备诊断技术的基本原理及工作程序如图 1-1 所示,它包括信息库和知识库

的建立，以及信号检测、特征提取、状态识别和预报决策等 4 个工作程序。

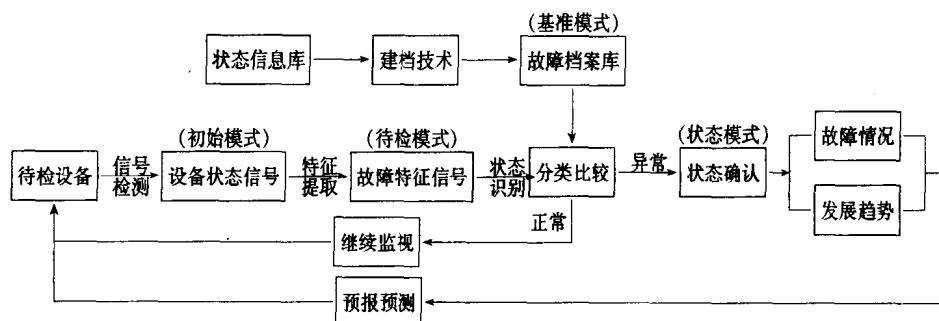


图 1-1 设备诊断技术的基本原理及工作程序图

(1) 信号检测 按照不同诊断目的和对象，选择最便于诊断的状态信号，使用传感器、数据采集器等技术手段，加以监测与采集。由此建立起来的是状态信号的数据库，属于初始模式。

(2) 特征提取 将初始模式的状态信号通过信号处理，进行放大或压缩、形式变换、去除噪声干扰，以提取故障特征，形成待检模式。

(3) 状态识别 根据理论分析结合故障案例，并采用数据库技术所建立起来的故障档案库为基准模式。把待检模式与基准模式进行比较和分类，即可区别设备的正常与异常。

(4) 预报决策 经过判别，对属于正常状态的可继续监视，重复以上程序；对属于异常状态的，则要查明故障情况，做出趋势分析，估计今后发展和可继续运行的时间，以及根据问题所在提出控制措施和维修决策。

2. 设备诊断技术的主要工作手段

按照状态信号的物理特征，工作手段可分为 10 种，见表 1-1。

表 1-1

序号	物理特征	检测目标	适用范围
1	振动	稳态振动、瞬态振动模态参数等	旋转机械、往复机械、流体机械、转轴、轴承、齿轮等
2	温度	温度、温差、温度场及热图像等	热工设备、工业炉窑、电动机、电器、电子设备等
3	油液	油品的理化性能、磨粒的铁谱分析及油液的光谱分析	设备润滑系统、有摩擦副的传动系统、电力变压器等

(续)

序号	物理特征	检测目标	适用范围
4	声学	噪声、声阻、超声波、声发射等	压力容器及管道、流体机械、工业阀门、断路开关等
5	强度	载荷、扭矩、应力、应变等	起重运输设备、锻压设备、各种工程结构等
6	压力	压力、压差、压力联动等	液压系统、流体机械、内燃机、液力耦合器等
7	电气参数	电流、电压、电阻、功率、电磁特性、绝缘性能等	电动机、电器、输变电设备、微电子设备、电工仪表等
8	表面状态	裂纹、变形、点蚀、剥脱腐蚀、变色等	设备及零件的表面损伤、换热器及管道内孔的照相检查等
9	无损检测	射线、超声、磁粉场、渗透、涡流探伤指标等	压延、铸锻件及焊缝缺陷检查、表面镀层及管壁厚度测定等
10	工况指标	设备运行中的工况和各项主要性能指标等	流程工业或生产线上的主要生产设备等

选用上述主要工作手段要根据对象不同而有所区别，其中以振动、温度、油液及声学的诊断方法应用最多。

1.4 设备诊断技术的基本层次和具体内容

设备诊断技术的实施一般可分为两个层次，即简易诊断和精密诊断。工厂的设备故障大多数可以通过简易诊断予以确定，因此它是诊断工作的基础，只有当简易诊断难以确诊时，才选用精密诊断。

状态监测与故障诊断是诊断技术的两个组成部分，有联系但又不相同。状态监测主要是对设备的技术状态进行初步识别，故障诊断则是对该状态的进一步分析识别和判断。

1. 简易诊断技术的定义及其适用范围

简易诊断技术是使用简单的方法，对设备技术状态快速作出概括性评价的技术。一般包括以下几个特点：

- 1) 使用各种较简单、易于携带和便于在现场使用的诊断仪器及检测仪表；
- 2) 由设备维护检修人员在生产现场进行；
- 3) 仅对设备有无故障、严重程度及其发展趋势做出定性初判；
- 4) 涉及的技术知识和经验比较简单，易于学习和掌握；
- 5) 需要把采集的故障信号储存建档。

设备的状态监测包括定期的或在线的，都属于简易诊断技术的范围。它可对