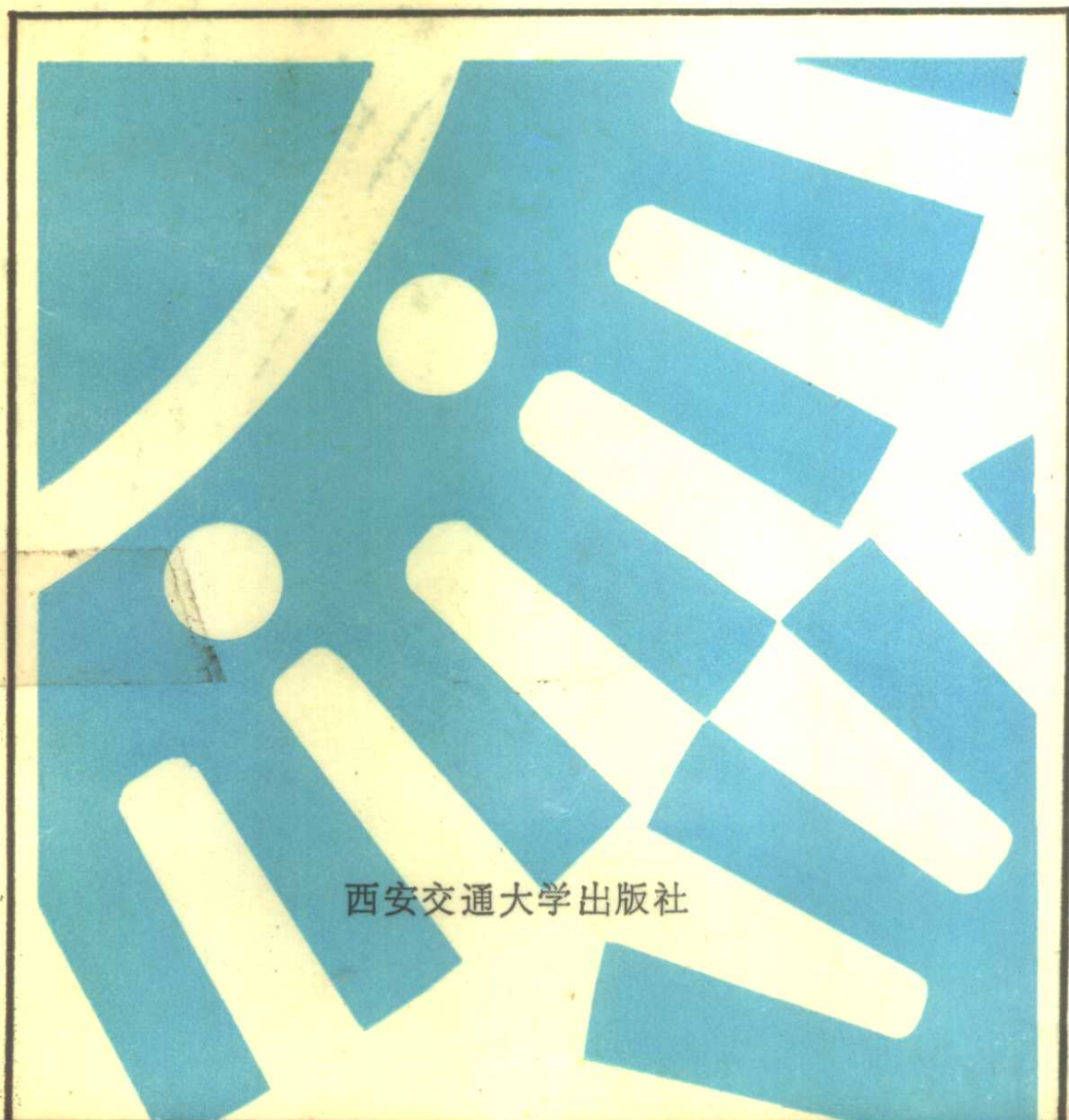




机械故障诊断丛书

机械故障诊断基础知识

雷继尧 何世德



西安交通大学出版社

1

机械故障诊断丛书之一

机械故障诊断基础知识

雷继尧·何世德 编著

西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书内容分为机械故障诊断技术概述和技术基础两大部分，系统介绍了这一学科所涉及的知识领域和构成它的各种现代科学技术，适合作为工厂企业一切从事机械产品设计、制造、使用、维修、管理及生产自动化工作的工程技术人员的参考用书；亦可作为高等学校各类机械专业本科生和研究生的教学参考书。

机械故障诊断基础知识

雷继尧 何世德 编著
责任编辑 叶超

西安交通大学出版社出版

(西安市咸宁路28号)

西安交通大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/32 印张 4 字数：80 千字

1989年5月第1版 1989年5月第1次印刷

印数：1—5000册

ISBN7-5605-0210-5/TH·9 定价：1.55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。它的推广和应用，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，机械设备的运行维护，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、模糊数学一类新兴学科也在机械故障诊断技术中找到了用武之地。

近年来，在国家经委、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我国各行业中的推广和应用正在方兴未艾。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。本丛书的出版就是为适应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。

我们在编写这套丛书时。既注意了它的科学性，又注意了它的实用性。丛书保持了一定的理论深度，力求阐明机械故障诊断技术的理论基础，但又使之能为广大实际工作者所接受。对高等学校的师生和研究人员也有参考价值。为了尽量节约读者的精力和时间。丛书删繁就简，每本就是一个专题编写，字数限制在5—8万字之间。这样使读者能看懂、能使用。

由于各类产业机械在运行中既有各自的特点，又有某些共同点，同时机械故障诊断技术本身又正处于迅速发展的阶段。因此，本丛书在编写中既注意它的广泛性，即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，又注意在内容上具有开拓性，尽量向读者介绍和展示一些诊断方面的新技术、新动向。丛书中有着相当的比重是编写者多年来自己从事实际工作的总结，加以汇编成册。希望能在我国的生产中进一步得到应用和推广。

丛书本身是作者、编者和读者间的桥梁。当它和广大读者见面之后，作为编者和作者，能得到来自广大读者的反馈信息，使之不断得到改进和提高，是我们衷心的希望。

《机械故障诊断丛书》编辑委员会

1988年2月

前 言

机械故障诊断技术是以设备及其群体为对象，建立在检测技术、信号处理、识别理论、预报决策及计算机技术等多种现代科学成就基础上的一门崭新的综合性横断科学。近年来，机械故障诊断技术在设备的合理使用、安全运行、恰当维修及性能评价等多方面获得了广泛的应用。

本书从机械故障诊断技术的概念和基本原理出发，系统介绍了它所涉及的知识领域和构成它的基础技术。书中对基本理论和技术的描述，力求做到科学性和实用性相结合，既完整反映目前机械故障诊断这一学科的基础知识，又充分体现这一技术的最新发展。书中介绍的许多诊断方法和手段是编著者多年来从事科研工作及国内外专家学者研究工作的总结，书末附有大量的参考文献目录。

编著者感谢重庆大学测试中心全体同志的支持，特别感谢多年来为开展机械故障诊断工作而共同付出辛勤劳动的同志们和研究生们；也感谢和重庆大学测试中心建立科研协作关系的广大院校、工厂、研究单位的工程技术人员对这一新兴学科的支持。

书中引用了国内外有关专家学者的研究资料，在此一并致谢。

书中不免有所疏漏，敬请读者指正。

编 著 者

1988年6月于重庆大学测试中心

《机械故障诊断丛书》编辑委员会

主 编: 屈梁生

常务编辑: 叶尚思 潘瑞麟

委 员: (以姓氏笔划为序)

叶尚思	西安交通大学出版社	编 审
刘仲川	机械电子部郑州机械研究所	工 程 师
朱继洲	西安交通大学核反应堆教研室	副 教 授
何正嘉	西安交通大学机械监测与诊断研究室	副 教 授
周庆泽	中国建筑工业装备公司	高 工
杨叔子	华中理工大学机械一系	教 授
屈梁生	西安交通大学机械监测与诊断研究室	教 授
周勤之	上海机床厂	高 工
胡荣晋	国家计量局测试技术研究院	高 工
俞培松	镇海石油化工总厂	高 工
施维新	能源部热工研究所	工 程 师
高金吉	辽阳石油化工公司	高 工
黄 仁	东南大学机械系	教 授
谢华锬	成都工具研究所	工 程 师
黄昭毅	中国设备管理协会	高 工
雷继尧	重庆大学测试中心	教 授
潘瑞麟	西安交通大学出版社	副 教 授

目 录

第一章 概 述

- 一、设备状态监视及故障诊断的任务和目的…(1)
- 二、故障的定义和形成发展过程分析……………(2)
- 三、设备状态监视及故障诊断技术的基本内容(3)
- 四、设备诊断技术的简单分类……………(8)
 - 1. 按诊断对象的类别来分……………(8)
 - 2. 按所利用的状态信号的物理特征来分…(8)
 - 3. 按诊断的目的和要求不同来分……………(9)
 - 4. 按诊断方法的完善程度来分……………(11)
- 五、发展设备状态监视及故障诊断技术的重要
意义及视情维修体制……………(13)

第二章 技术基础

- 一、文档建立部分……………(18)
 - 1. 建立诊断文档的必要性……………(18)
 - 2. 建立诊断文档时应注意的几个问题……(19)
- 二、诊断实施部分……………(25)
 - 1. 设备诊断实施中所涉及的几个主要知识
领域……………(25)
 - (甲) 检测方法……………(25)
 - 1) 检测对象……………(26)
 - 2) 检测系统……………(27)
 - 3) 测量方式……………(28)
 - 4) 采样方法……………(31)

5)	测试内容·····	(36)
6)	信号记录·····	(37)
(乙)	信号处理·····	(38)
1)	信号处理的方法和内容·····	(38)
2)	信号处理中几个值得注意的 问题·····	(38)
3)	在信号处理中提高状态信号信噪 比的一些具体方法·····	(40)
(丙)	识别理论·····	(59)
1)	主成分分析法·····	(59)
2)	因子分析法·····	(59)
3)	聚类分析·····	(59)
4)	模式识别·····	(61)
5)	系统辨识·····	(68)
(丁)	预测技术·····	(69)
1)	预测的基本原理·····	(70)
2)	预测的分类·····	(75)
3)	预测的特点·····	(76)
4)	预测的步骤·····	(77)
5)	设备状态监视及故障诊断中常用 的几种预测技术·····	(82)
(戊)	计算机技术·····	(94)
(己)	与诊断对象有关的专业知识·····	(94)
2.	诊断系统的关键组成·····	(94)
1)	硬件部分·····	(94)
2)	软件部分·····	(96)

3.	诊断系统的设计思想要点	(97)
1)	迅速吸收利用新技术新成果 的能力	(97)
2)	充分保证诊断结果的准确性 及可靠性	(98)
3)	具有完善的为实现诊断而必须的 各种功能	(99)
4)	操作使用尽可能简单方便	(101)
5)	合理的性能价格比	(102)
4.	在诊断系统中常用的一些判决方法	(102)
(甲)	对比判决法	(103)
1)	幅值判决方式	(103)
2)	带限判决方式	(103)
3)	模型特性判决方式	(106)
4)	得分法判决方式	(108)
(乙)	函数判决法	(108)
(丙)	逻辑判决法	(108)
1)	物理逻辑判决法	(108)
2)	数理逻辑判决法	(111)
(丁)	统计判决法	(111)
(戊)	模糊判决法	(111)
1)	模糊集合和隶属度	(112)
2)	模糊诊断	(113)
3)	模糊综合评判	(114)
(己)	排除判决法	(116)
	参考文献	(117)

第一章 概 述

一、设备状态监视及故障诊断的任务和目的

各学科相互渗透、相互交叉、相互促进是当代科学技术发展的重要趋势。医学诊断学中的基本思想推广到机械工程中来，就形成设备状态监视及故障诊断这一大有作为的新兴学科——机械故障诊断学。设备和由设备群体组成的系统是本学科的工作对象。设备状态监视的任务是弄清设备所处的客观状态，包括采用各种测量、分析和判别方法，结合设备的历史状况和运行条件，为设备的性能评价、合理使用、安全运行及故障诊断打好基础；设备故障诊断则需要进一步确定故障的性质、程度、类别、部位、原因、乃至说明故障发展的趋势及影响等等，为预报、控制、调整、维修、治理提供依据，是诊断技术的关键。总之，设备状态监视及故障诊断是通过掌握设备过去和现在在运行中或基本不拆卸情况下的状态量，判明其质量优劣、利用程度、是否安全、有关异常或故障的原因及预测对将来的影响，从而找出必要对策的技术。十分明显，设备状态监视及故障诊断技术的目的应是“保证设计、制造出符合用户要求的设备并保证可靠有效地发挥设备的功能”。这里包含了四个重要的方面：一是通过性能评价为优化设计、正确制造提供数据和信息；二是保证设备无

故障、安全可靠运行；三是保证设备发挥其最大设计能力、物尽其用；四是能及时正确地对各种异常或故障作出诊断，指导必要的干预（包括控制、调整、维修、治理及继续监视）。所以，设备状态监视又是一门将设备从设计、制造、使用、维修通盘联系起来，统一加以考虑，建立在实践基础之上并融合多种学科的新兴综合性科学。

二、故障的定义和形成发展过程分析

在故障诊断学中，设备的状态系指设备的工况，通常设备的基本状态有故障状态，异常状态和正常状态三种，可见故障只是设备的一种状态。

我们把故障定义为：一台装置(或设备)，其功能指标低于正常时的最低极限值。这样的故障范畴可包括如下内容：

1. 引起系统立即丧失功能的破坏性故障；
2. 与降低设备性能相关联的性能上的故障；
3. 即使设备当时正在生产规定的产品，而当操作者误操作或蓄意使设备脱离运转所造成的状况（即所谓的操作事故及人为破坏）。

设备故障往往是由于某种缺陷不断扩大经由异常然后再进一步发展而形成的。

通常说设备或零件正常是指它没有任何缺陷，或者虽有缺陷但也在允许的限度之内。异常是缺陷已有一定程度的扩展使设备状态信号发生变化，设备性能劣化但仍能维持工作，故障则是由于设备性能指标严重降低，已无法维持正常工作。

设备的故障（亦可称为病症）有多种，不同的故障，对

应着状态信号中的一系列特征信息（通常又称为症状）。这是设备状态或故障能被认识和诊断的客观基础。

值得指出的是：机械故障诊断学的重点虽不在于研究故障的本身，而在于研究状态识别（即诊断）的方法。然而，故障本身的类型与性质是极为重要的，不同的故障往往决定了不同的诊断方法，正如不同的疾病往往决定了不同的诊断方法一样。如果对故障的情况毫无所知，则诊断是难于甚至无法进行的。可见，对故障必须加以分类。按故障形式，大体可分为结构型故障（如裂纹、磨损、腐蚀、不平衡、不对中等）与参数型故障（如流体涡动、共振、配合松紧不当、过热等）。按故障的性质，则可从多方面分类。例如，按危险的程度分，有危险性的与非危险性的；按发生的快慢分，有突发性的与渐发性的；按影响的程度分，有全局性的与局部性的；按持续的时间分，有持续性的与临时性的；按产生的原因分，有先天性的、劣化性的与滥用性的等等。显然，人们所注意的是危险性的、突发性的、全局性的、持续性的故障，因为它们往往造成灾难性的损失，比较难于防范，故早期诊断尤为必要。

三、设备状态监视及故障诊断技术的基本内容

一般设备状态监视及故障诊断模型如图 1 所示。图中 $M(f)$ 是故障机理传递函数， $H(f)$ 为异常模型向量 $E(f)$ 和设备状态向量 $X(f)$ 之间的传递函数（或剩余结构传递函数）， $S_t(f)$ 为载荷或应力向量。图 1 告诉我们：机器或设备在正常时（即 $M(f)=1$ ）其状态向量 $X(f)$ 是由外因 $S_t(f)$ 、内因

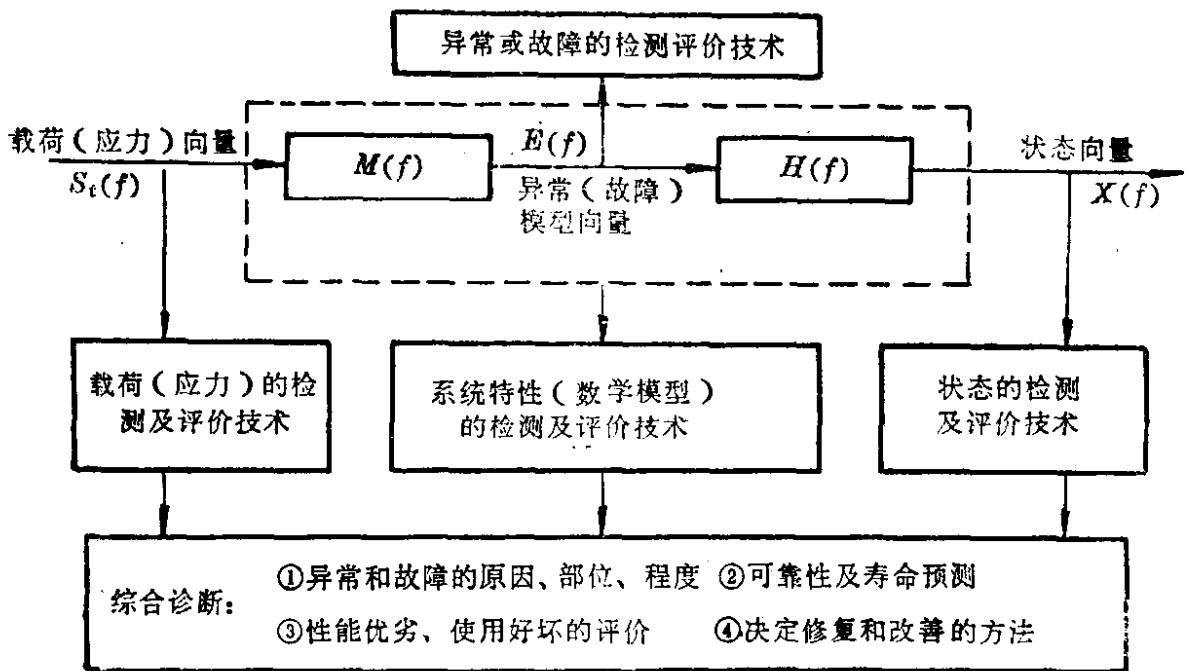


图 1 设备状态监视及故障诊断模型

$H(f)$ 共同决定的,而当出现异常或故障(即 $M(f) \neq 1$ 或 $S_t(f)$ 超过正常值。前者称为结构出现异常,后者称为操作偏离规范)之后, $X(f)$ 除与外因 $S_t(f)$ 和内因 $H(f)$ 有关外,还与载荷超差及故障机理传递函数 $M(f)$ 有关。在设备状态监视和故障诊断中,设备的状态向量是设备异常或故障信息的重要载体,是对设备运行工况监视的客观依据,所以及时而正确地掌握状态向量是进行诊断的先决条件,为此就要用传感器或其他检测手段进行状态信号的监测(因为状态信号是由载荷和系统特性确定的,所以对状态信号的监测也可分别通过对载荷及系统特性的监测来实现。特别是在需要判明异常是来自内因(结构)或外因(运行条件)的情况下,状态信号、载荷信号和系统特性往往还必须同时进行测量)。图1还告诉我们,决定状态向量的因素并不只是载荷超差及故障机理

传递函数这两个。在这种情况下如果我们把与故障无关的因素称为噪声,则故障信息将混杂在大量的背景噪声当中,为提高诊断的灵敏度及可靠性,必须采用信号处理技术,在状态信号中排除噪声、干扰的影响,提取有用的故障信息,以突出故障特征。由图 1 还可看出,异常模型向量是通过故障(或症状)来建立的,状态向量中的故障特征信息(或症状)取决于异常模型向量(它决定于载荷超差部分及故障机理传递函数),而设备的一定状态则与一定的特征信息相对应,为区分不同异常或故障,确定异常、故障在状态(诊断)信号中的反映——即确定故障特征信息,除必须掌握载荷(应力)检测及评价技术之外还应掌握异常或故障的检测及评价技术。或者换句话说,我们是通过设备的状态特征信息(症状)来识别或估计设备所处的状态(症状)的,所以建立设备各类状态特征信息和状态间对应关系的工作十分重要。由于故障类型的多样性,特征信息的模式也种类繁多,所谓建立故障特征信息模式,即建立各类故障的样板模式——习惯上将这一工作叫做建立诊断对象的故障档案。而所谓诊断或状态识别,系指将待检模式与已知样板模式对比,将其归属到某一已知样板模式中去的过程(可见,设备状态监视及故障诊断技术是一门综合性的应用科学,其任务是识别机器或设备的运行状态,研究机器或设备运行状态的变化在诊断信息中的反映,诊断实际上就是根据对潜在噪声数据的分析和其含义的明确,对一个系统查错的过程,严格说来它也是一种分类问题)。认识的目的在于改造,通过上述各个步骤弄清设备的状态之后,就可转入决策规划,采取相应的措施以控制故障的进一步发展或加以彻底的治理修复。

根据以上分析，不难总结出具体诊断实施步骤如下：

1. 信号检测：按不同诊断目的选择最能表征工作状态的信号。一般我们将这种工作状态信号称为初始模式。

2. 特征提取（或称信号处理）：将初始模式向量进行维数压缩，形式变换，去掉冗余信息，提取故障特征，形成待检模式。

3. 状态识别：将待检模式与样板模式（故障档案）对比，进行状态分类。为此要建立判别函数，规定判别准则并力争使误判率最小。

4. 诊断决策：根据判别结果采取相应对策。对设备及其工作进行必要的预测及干预。所谓预测就是能对被诊断出来的故障，在不采取任何措施的情况下，估计继续运行下去会产生什么样的后果，以及还可以继续运行多长时间。

干预技术应当包括临时护理方案，加强监视方案，以及通过大修彻底治理的措施。

以上四个步骤是一个循环，一个复杂的故障不是通过一个循环就能正确找到症结的，往往需要多次诊断反复循环，逐步加深认识的深度。

综上所述，整个诊断技术的内容，可用图 2 来表示。它包括诊断文档建立和诊断实施两大部分，而诊断实施部分则是一个典型的去伪存真、去粗取精、由此及彼、由表及里、由近及远的模式识别的过程。信号检测前选择适当的状态信号，就是去伪存真；由初始模式获得待检模式，就是去粗取精；识别过程各环节之间必须依序进行，互为依存，就是由此及彼；而由待检模式和样板模式获知状态模式，就是由表及里；至于由状态模式的时间历程了解模式趋势，就是由近

及远了。

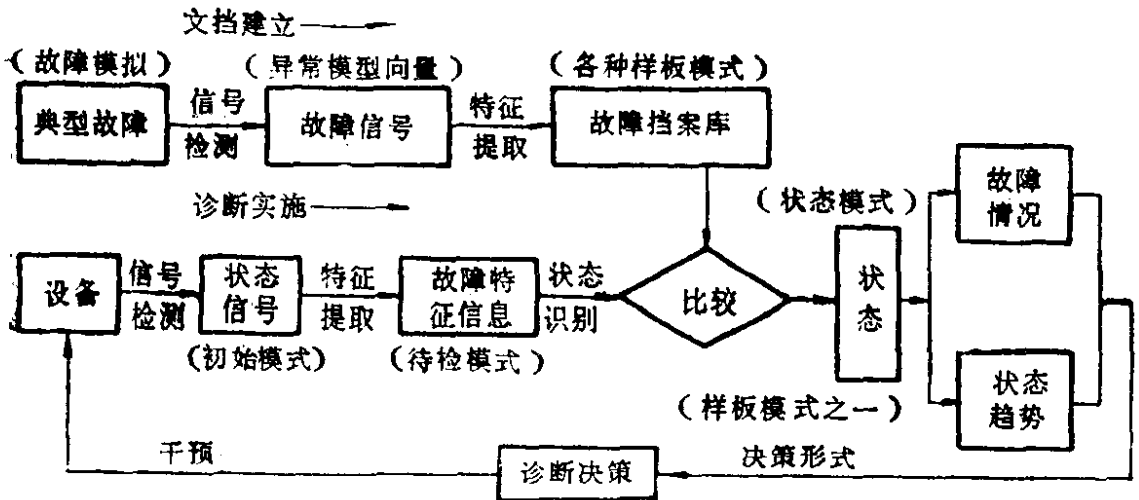


图 2 设备诊断技术的内容

值得进一步指出的是，状态识别部分系由如图 3 所示的

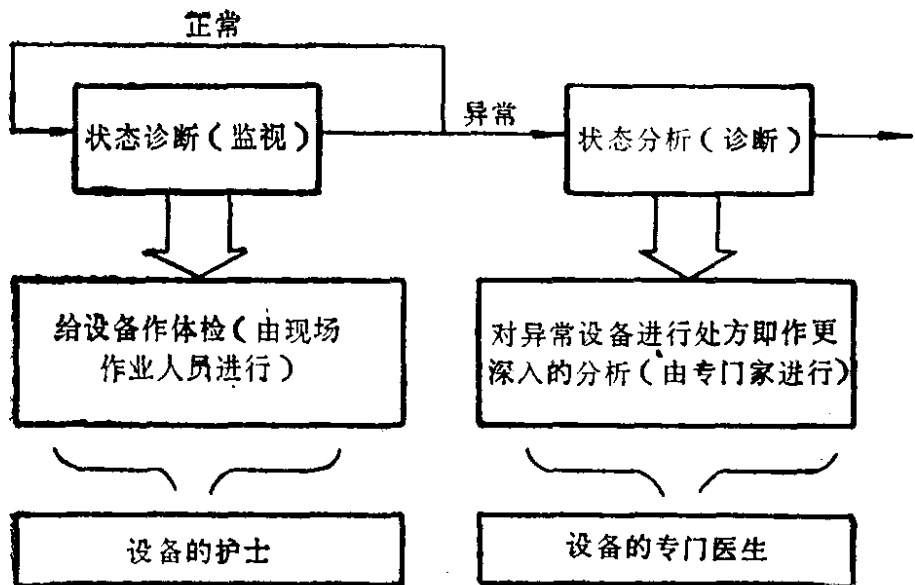


图 3 诊断实施中的两个阶段