

赵炯 周奇才 熊肖磊 周杰 编著

设备故障诊断 及远程维护技术

- 专注于远程状态监测与诊断技术
- 详述 OSA-CBM 理论与体系架构
- 结合实例介绍系统设计与实现过程
- 详细描述故障诊断的分类和评估算法



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

设备故障诊断及远程维护技术

赵 炯 周奇才 熊肖磊 周 杰 编著



机械工业出版社

本书是关于大型设备状态监测、故障诊断和远程维护的著作。书中围绕基于状态维护（Condition-Based Maintenance, CBM）的先进技术和方法，全面介绍了大型复杂设备状态监测、故障诊断、运行寿命预测和远程维护等方面所使用的完整理论和技术，同时给出了开发大型设备监测诊断与维护系统的实用技术。本书描述的是对某个大型设备进行故障诊断和维护的完整系统的设计和开发实现过程。为了理论联系实际进行说明，书中以地铁隧道掘进大型设备盾构机为例，参考 OSA-CBM、ISO 13374 等国际标准，描述了系统软硬件设计和开发的全过程。书中所述内容适用于所有类型设备，并不限于地铁或盾构机。

与国内外已出版的同类书籍相比，本书不仅介绍和研究设备状态监测、故障诊断及远程维护等技术的理论方法，还将理论与实际相结合，系统地阐述了其在工程化应用方面的实现过程。本书可供设备监测诊断与维护方面的工程技术人员和科研设计人员阅读，也可作为高等院校相关专业本科生和研究生的教材。

图书在版编目（CIP）数据

设备故障诊断及远程维护技术 / 赵炯等编著. —北京：机械工业出版社，2014.11

ISBN 978-7-111-47917-8

I. ①设… II. ①赵… III. ①机械设备—故障诊断②机械设备—维修 IV. ①TH17

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 209198 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：车 忱 责任校对：张艳霞

责任印制：乔 宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2014 年 10 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·18.5 印张·457 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-47917-8

定价：55.00 元



凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

机械设备是现代企业的主要生产工具，也是企业现代化水平的重要标志。本书详细而全面地描述了大型复杂设备在监测、诊断、寿命预测和维护等方面所使用的完整理论和技术，同时给出了开发大型设备监测诊断与维护系统的实用技术。使用这种技术，可实现大型设备的实时状态监测、故障智能诊断及远程维护，从而降低设备故障率，提高设备的总体可用性，节省设备维护费用。

1. 本书的学术价值及应用价值

机械设备的维护方式经历了 3 个阶段：1) 事后维护方式 (Corrective Maintenance); 2) 定期预防维护方式 (Preventive Maintenance); 3) 基于状态的维护方式 (Condition-Based Maintenance, CBM)。基于状态的维护是一种全新的设备维护模式，它是以设备实际运行状态为维护基础的预防性维修方式，其核心思想是在有证据表明（即监测和分析预测结果）故障将要发生时才对设备进行维护，即这种维护方式是根据状态监测和诊断分析的结果，并结合设备运行的实际状况来确定检修时间。相对于前两种方式，这种方式可以节省人力、物力和财力，减少不必要的消耗，延长设备运行周期、提高生产率。该方式在发达国家企业中已获得广泛的应用，我国企业也在逐步向这方面过渡。本书以盾构机设备为研究对象，并将基于状态维护方式运用到盾构机的在线监测、故障诊断与远程维护中，介绍了该系统的完整设计概念、开发过程和实际应用，实现了设备故障诊断与远程维护技术。由于现代设备向着大型化、自动化、高精度和机电液一体化等方向发展，其性能与复杂程度不断提高，因此对大型设备的故障诊断与远程维护技术具有较大的社会需求。另一方面，针对大型设备开发符合国际标准的故障诊断与远程维护系统具有较高的参考和借鉴意义，并且对国内设备实现基于状态维护技术有积极的推动作用，具有较高的理论学习和实用参考价值。

2. 本书特点

本书全面介绍大型设备状态监测、故障智能诊断、寿命预测以及远程维护所使用的完整理论和技术，同时给出了设备监测诊断与维护系统的设计与开发流程。本书以盾构机为例，参考 OSA-CBM、ISO13374 等设备基于状态维护和机械状态监测与诊断的国际标准，参照 CBM 系统的体系结构与框架，设计和开发了实际的应用系统软件，并实现了工程化应用。全书结构清楚、条理清晰、叙述简练完整。与国内外已出版的同类书籍相比，本书不仅介绍大型设备状态监测、故障诊断及远程维护等技术的理论方法研究，还将理论与实际相结合，系统地阐述了其工程化应用的实现过程，为从事相关工作的专业人员、工程技术人员提供了参考。

3. 本书读者对象

本书是关于大型设备在线监测、故障诊断与远程维护的专著，可供设备监测诊断与维护

的工程技术人员和科研设计人员阅读，也可用作相关专业本科生和研究生教材。

4. 本书内容

本书主要针对实现大型设备的状态监测、故障诊断与远程维护技术而编写，重点介绍了参照 CBM 系统体系结构，并在其他相关国际标准下，进行设计、开发和实现设备监测诊断与维护系统的整个过程。书中还介绍了设备状态监测、故障诊断、寿命预测以及远程维护采用的相关理论研究与技术，使本书的应用内容具有扎实的理论和技术支持。全书共分为 15 章，主要内容如下：

第 1 章绪论，介绍了课题研究背景，对大型设备状态监测、故障诊断与远程维护的国内外研究现状进行了详细阐述。第 2 章介绍了大型设备监测诊断系统的组成与功能，并对参考的 CBM 国际标准进行了详细的介绍。第 3 章对监测设备盾构机的工作机理进行了剖析。第 4 章介绍了监测诊断系统的体系结构设计。第 5 章介绍了硬件系统环境与数据采集。第 6 章介绍了监测诊断系统软件开发工具与环境。第 7 章介绍了监测诊断系统数据库设计与实现。从第 8 章到第 12 章分别介绍了监测诊断系统数据采集功能模块、状态监测功能模块、健康评估功能模块、预测评估功能模块以及建议生成功能模块的设计与实现。第 13 章介绍了设备远程维护技术。第 14 章介绍了系统硬件需求和安装。第 15 章是对该研究的总结和展望。

全书由同济大学赵炯统稿，第 1、6、7、13 章由赵炯编写，第 2、3、4、9 章由周奇才编写，第 5、8、10、14 章由熊肖磊编写，第 11、12、15 章和附录由周杰编写。另外还要感谢潘舒眉、屈剑平、盛凡、刘思江等人在本书编写过程中做了大量的文字校对和制图等工作。

鉴于作者水平有限，书中难免有欠缺、疏漏之处，恳请广大读者批评指正！

作 者

目 录

前言

第 1 章	绪论	1
1.1	研究背景	1
1.2	大型设备状态监测与故障诊断研究现状	2
1.3	大型设备远程维护研究现状	4
1.4	盾构机故障诊断研究现状	5
第 2 章	监测诊断系统组成与功能介绍	9
2.1	概述	9
2.2	大型复杂机电设备的基本组成结构与特点	9
2.3	监测诊断系统的功能需求	11
2.4	监测诊断系统组成	12
2.4.1	下位机系统	12
2.4.2	上位机系统	12
2.4.3	通信网络	12
2.5	监测诊断系统主要功能介绍	13
2.5.1	数据采集与传输	13
2.5.2	数据存储与分析	13
2.5.3	智能诊断与远程维护	14
2.6	CBM 介绍	15
2.6.1	CBM 概念	15
2.6.2	CBM 相关技术标准及 OSA-CBM	16
2.6.3	CBM 系统体系结构	18
2.6.4	CBM 系统开发框架	19
第 3 章	监测设备工作机理剖析	21
3.1	概述	21
3.2	土压平衡式盾构机及工作原理简介	21
3.3	盾构机基本构造及主要子系统结构和功能介绍	22
3.3.1	盾构主体	22
3.3.2	刀盘系统	25
3.3.3	排土装置	27
3.3.4	铰接装置	28
3.3.5	管片拼装系统	29
3.3.6	后配套设备	31
3.3.7	电气与控制系统	32

3.3.8 辅助设备	32
3.4 盾构机掘进工作流程	32
第4章 监测诊断系统体系结构设计与研究	34
4.1 概述	34
4.2 监测对象选择与确定	34
4.3 系统体系结构设计	36
4.3.1 机载监控系统	38
4.3.2 远程监控中心	39
4.4 系统逻辑结构	40
第5章 硬件系统环境与数据采集	42
5.1 概述	42
5.2 数据采集系统的分类	43
5.2.1 一般数据采集系统 (DAS)	43
5.2.2 直接数字控制型数据采集系统 (DDC)	44
5.2.3 集散型数据采集系统 (DCS)	45
5.3 其他数据采集技术	50
5.4 小结	51
第6章 系统软件开发工具与环境	52
6.1 概述	52
6.2 软件开发工具与环境简介	52
6.3 监测诊断系统开发工具选择	54
6.4 软件开发框架	56
6.4.1 XAF 简介	57
6.4.2 XAF 框架	57
6.4.3 XAF 功能描述	61
6.4.4 创建和运行一个新的解决方案	65
6.5 对象关系映射工具	67
6.5.1 XPO 简介	67
6.5.2 XPO 主要特性	68
6.5.3 XPO 简单示例	68
第7章 系统数据库设计	75
7.1 概述	75
7.2 数据库设计简介	75
7.2.1 数据库设计方法简述	75
7.2.2 数据库设计步骤	76
7.2.3 数据库管理系统介绍	78
7.3 需求分析	79
7.3.1 需求分析内容	79
7.3.2 需求分析方法	80

7.4	数据库概念模型设计	82
7.4.1	数据库概念设计方法	82
7.4.2	数据库概念设计实现	83
7.5	数据库逻辑模型设计	86
7.5.1	概念模型到逻辑模型的转换方法	86
7.5.2	规范化处理	87
7.6	数据库物理设计	87
7.6.1	设计准备	88
7.6.2	物理结构确定	88
7.6.3	物理结构评价	90
7.7	数据库的实现	90
7.7.1	命名规范	91
7.7.2	数据表的详细设计	92
7.7.3	数据表关系	96
7.7.4	组织数据入库	97
7.7.5	数据库的访问	98
7.7.6	数据库的运行和维护	99
7.8	实例	100
7.9	小结	101
第 8 章	数据采集	103
8.1	概述	103
8.2	SCADA 系统简介	103
8.3	数据采集硬件环境	104
8.3.1	传感器介绍	104
8.3.2	PLC 介绍	106
8.4	数据采集设计	109
8.4.1	UDP 通信	109
8.4.2	数据采集结构	111
8.5	数据采集实现	112
8.5.1	模拟发送	112
8.5.2	数据接收	116
8.5.3	数据解析处理	118
8.5.4	数据存储	120
8.5.5	UI 设计	122
8.6	小结	124
第 9 章	状态监测	125
9.1	概述	125
9.2	盾构机状态监测	125
9.3	盾构机状态监测对象选择与重要性划分	126

9.3.1	盾构机状态监测对象选择	126
9.3.2	零部件的关键性等级划分	126
9.4	盾构机状态监测方法	128
9.4.1	设备状态监测一般标准	128
9.4.2	幅值分析法	129
9.4.3	上下限分析法	132
9.5	状态监测实现	134
9.5.1	监测对象的组织分类	134
9.5.2	状态监测的方法	140
9.5.3	UI 设计	144
9.6	小结	147
第 10 章	健康评估	148
10.1	概述	148
10.2	机械故障诊断技术与方法	148
10.2.1	传统机械故障诊断技术	148
10.2.2	基于知识的智能机械故障诊断技术	149
10.3	基于专家系统的盾构机故障诊断	149
10.3.1	盾构机故障诊断方法的确定	150
10.3.2	专家系统的研究概况与典型结构	150
10.4	盾构机故障诊断专家系统结构设计开发	152
10.5	知识库中知识的获取和表示方法	153
10.5.1	知识的获取	154
10.5.2	故障树知识表达形式	155
10.5.3	故障树分析法	156
10.5.4	故障树的建立	156
10.6	实时快速的故障诊断	171
10.7	基于贝叶斯方法的概率诊断	171
10.8	时域统计分析	172
10.8.1	有量纲参数指标	173
10.8.2	无量纲参数指标	174
10.8.3	概率密度函数	175
10.9	健康评估实现	175
10.9.1	知识库的建立	176
10.9.2	故障诊断的流程	179
10.9.3	故障树分析法	180
10.9.4	快速故障诊断	182
10.9.5	贝叶斯故障诊断	187
10.9.6	综合诊断	188
10.9.7	UI 设计	190

10.10 小结	194
第 11 章 预测评估	195
11.1 概述	195
11.2 故障预测方法介绍	195
11.2.1 定性分析方法	196
11.2.2 定量分析方法	196
11.2.3 组合预测	198
11.3 盾构机故障预测方法选择	199
11.3.1 线性回归	199
11.3.2 三次指数平滑预测	200
11.3.3 灰色预测	202
11.3.4 组合方法预测	206
11.4 预测评估实现	207
11.4.1 线性回归预测法	207
11.4.2 灰色模型预测	209
11.4.3 UI 设计	215
11.5 小结	217
第 12 章 建议生成	218
12.1 概述	218
12.2 盾构故障解决方案整理	218
12.3 工作流程的确定	220
12.4 建议报表格式设计	221
12.5 建议生成实现	227
12.5.1 生成建议报表	227
12.5.2 UI 设计	229
12.6 小结	231
第 13 章 远程维护技术	232
13.1 概述	232
13.2 远程维护技术简介	232
13.3 远程维护的通信方式选择	233
13.3.1 有线通信方式	233
13.3.2 无线通信方式	237
13.3.3 远程通信方式的选择	239
13.4 远程维护的体系结构选择	240
13.4.1 C/S 体系结构	240
13.4.2 B/S 体系结构	241
13.4.3 三层 C/S 体系结构	242
13.4.4 系统体系结构的比较与区别	243
13.4.5 本系统采用的体系结构	244

13.5 远程数据访问技术选择244

13.5.1 Web Service.....245

13.5.2 Windows Communication Foundation247

13.5.3 基于 TCP/IP 的远程通信248

13.6 远程维护总体结构设计252

13.7 远程通信技术与实现253

13.7.1 Socket 套接字简介.....253

13.7.2 远程通信的实现254

13.7.3 远程维护系统 UI 设计263

13.8 小结.....264

第 14 章 硬件需求和安装265

14.1 概述.....265

14.2 硬件需求.....265

14.3 硬件功能说明.....265

14.4 硬件安装位置.....266

14.5 小结.....271

第 15 章 总结与展望.....272

15.1 总结.....272

15.2 展望.....273

附录275

附录 A 盾构机零部件关键性等级划分275

附录 B 盾构机部分零部件性能指标280

参考文献.....282

第1章 绪 论

1.1 研究背景

设备是现代企业的主要生产工具，也是企业现代化水平的重要标志。对于一个国家而言，设备既是发展国民经济的物质技术基础，又是衡量社会发展水平与物质文明程度的重要尺度。随着工业生产的发展，设备现代化水平的提高，设备在现代生产中的作用与影响日益扩大。提高企业机械设备的维护管理水平，以获得良好的维修效果，是保证企业生产正常运行的基础。因此，设备维护管理得到了相应的重视、充实和发展。

设备的维护是指维持产品的使用及操作状态，或者是为了消除故障和缺陷等而采取的措施和活动。设备的维护发展历程大致可以分为以下三个阶段。

(1) 事后维护方式 (Corrective Maintenance) 指设备发生故障后，或者设备的精度、性能降低到合格水平以下时进行的非计划性修理。事后维护方式是企业普遍采用的维护方式，但也是一种被动的维护方式，适宜于一些发生故障后对正常生产影响小、能及时提供备件并且修理技术不复杂、利用率不高的设备。这显然是一种不足的维护方式。

(2) 定期预防维护方式 (Preventive Maintenance) 分为小、中、大修，是一种预防维护方式。由于周期性维护是被动、计划性的维护方式，因而它只适用于那些已掌握磨损规律的设备。

(3) 基于状态的维护 (Condition-Based Maintenance, CBM) 是一种全新的设备维护方式，它是以设备实际状态为基础的预防性维修方式。根据设备当前运行状态确定是否进行检修，是一种主动、积极的维护方式，比定期预防维护和事后维护更合理，对一些利用率高、发生故障后对生产影响较大的关键设备，或配件供应困难、精度高的大型设备可实行基于状态的维护。

基于状态的维护的核心思想是在有证据表明故障将要发生时才对设备进行维护。这种维护方式根据状态监测、故障诊断分析的结果，并结合设备运行的实际状况，确定检修时间，再安排停机检修。这样做可以节省人力、物力和财力，减少不必要的消耗，是延长设备运行周期、提高生产率和增加企业经济效益的有效途径。该方式在发达国家企业中已获得广泛的应用，我国企业也正逐步向这方面过渡。

由于高科技技术的应用，现代设备朝着大型化、自动化、高精度、高效率以及机电液一体化等方向发展，其性能与复杂程度不断提高，因而在工作中经常会产生各种故障。设备相应出现突发性故障率高、可靠性低、维修费用高、维修周期长、停机损失大甚至导致机毁人亡等一系列问题。如 1992 年德国威尔默斯多夫 (Wilmersdorf) 电厂一台 83.6MW 的发电机发生事故，并引起氢气爆炸造成火灾，直接经济损失 2 千万马克；1998 年我国某钢厂一台大功率高炉鼓风机数级叶片折断，致使该高炉停产，直接经济损失数千万元；而印度博帕尔化工厂和前苏联切尔诺贝利核电站的事故对社会环境造成的巨大灾难和生命财产损失则是空前的。

目前，依靠现场值班员的定时巡检或事后维护等方式已经无法满足当下设备维护管理的发展要求，而设备状态监测和故障诊断技术能通过对设备各关键部件的温度、振动和噪声等各种参数的监测，分析设备运行的好坏，及早发现故障苗头，从而采取相应的预防措施，避免因突发性设备故障造成的经济损失，确保生产施工的顺利进行。由此可见，采用状态监测与故障诊断技术可以尽快改变我国长期以来凭个人局部经验去寻找故障的落后局面，对提高设备维护管理水平至关重要。

实施状态监测与故障诊断技术的经济效益是明显的。据日本有关部门统计，采用状态监测与故障诊断技术后事故率降低了 75%，维修费用降低了 25%~50%。法国 Gra-Velines 电厂在两年内由于采用了设备状态监测与故障诊断技术进行设备维护，实际节约了 540 多万法郎；国内如辽化、大庆石化等一些开展状态监测与诊断较好的单位，也产生了显著的经济效益。此外，在减少事故中人员伤亡和提高设备维护管理水平方面，该技术也体现了巨大的社会效益。由此可见，对设备进行状态监测及故障诊断技术研究具有现实必要性。

本书以盾构机为研究对象，引入一种全新的设备维护方式——基于状态的维护，参考 OSA-CBM、ISO 13374 等设备基于状态维护和机械状态监测与诊断的国际标准，参照 CBM 系统的体系结构与框架，研究了大型设备的状态监测、故障诊断、寿命预测以及远程维护等几个关键技术，开发设备的监测诊断与维护系统，从而实现设备基于状态的维护，该研究对保障大型设备的安全运行，提高设备使用率和寿命，降低大型设备运行风险都具有重要意义。

1.2 大型设备状态监测与故障诊断研究现状

设备状态监测与故障诊断技术是一种了解和掌握设备在使用过程中的状态，判断其整体或局部是否正常，及早发现故障及其原因，并能预测故障发展趋势的技术。设备状态监测与故障诊断技术包括设备状态监测、故障诊断和预测发展趋势等几个方面。具体过程分为信号采集、信号处理、故障识别、决策支持等环节，设备状态监测与故障诊断如图 1-1 所示。

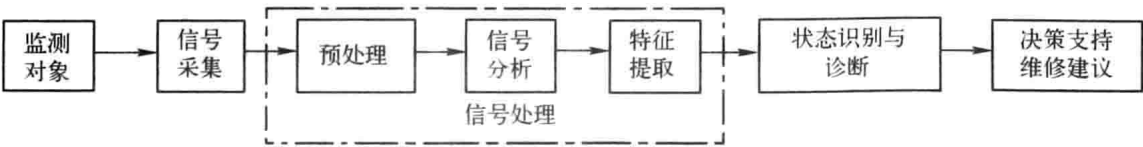


图 1-1 设备状态监测与故障诊断技术流程

这一技术的基本内容可以归纳为以下 4 个方面。

- 1) 信号采集。设备在运行过程中必然会有力、热、振动及能量等各种量的变化，由此会产生各种信息。根据不同的诊断需要，选择能表征设备工作状态的不同信号，如振动、压力和温度等是十分必要的。这些信号一般是用不同的传感器来拾取的。
- 2) 信号处理。这是将采集到的信号进行分类处理、加工，获得能表征机器特征的过程，也称特征提取过程，如对振动信号从时域变换到频域进行频谱分析即是这个过程。
- 3) 状态识别。将经过信号处理后获得的设备特征参数与规定的允许参数或判别参数进行比较以确定设备所处的状态，即是否存在故障及故障的类型和性质等。为此应正确制定相应的判别准则和诊断策略。
- 4) 诊断决策。根据对设备状态的判断，决定应采取的对策和措施，同时应根据当前信号

预测设备状态可能发展的趋势,进行趋势分析,估计今后的发展趋势和可继续运行的时间。

国外状态监测与故障诊断技术的研究应用已有 40 多年的历史。美国是最早开展状态监测与故障诊断技术研究的国家。目前,美国已有多家公司从事电站状态监测与故障诊断系统研究工作,其中最知名的有西屋公司(WHEC),Bently 公司和 IRI 公司。在欧洲也有不少公司从事状态监测与故障诊断技术的研究、产品的开发及应用。如瑞士 ABB 公司目前正在大力发展振动观察系统(Vibro-View),并用诊断软件精确诊断机器故障。法国电气研究与发展部近年来开发了监测与诊断辅助站的 PSAD 系统,用于大型电站机组监测与诊断。英国在 20 世纪 60 年代末,由 Collacott 的机械状态监测中心首先开始故障监测诊断技术的研究,目前已有多家机构从事此项研究。

我国故障监测诊断技术起步较晚,然而得益于国家政府部门的重视和广大相关学者的努力,得到了快速的发展。目前在理论研究方面,我国形成了特有的故障监测诊断理论,出版了许多相关的论著,研制出了一系列与国际接轨的大型设备状态监测与故障诊断系统。与国外相比,我国虽然在故障监测诊断技术的理论研究上已接近世界水平,但在应用技术方面仍有一定差距。

近年来,设备状态监测与故障诊断技术得到了前所未有的发展。在诊断方法和理论方面,人们不断吸收人工智能、信息工程和系统控制等方面的成果,用于改善和提升它的精度和可靠性;在诊断仪器和手段方面,监测手段的在线式、智能型和数字化等特征日趋明显;在应用方面,监测系统的集成化、分布式和网络型等特点尤为突出。

由 1.1 节可知基于状态维护的关键是状态监测与故障诊断技术,维护人员根据诊断结果制定诊断决策,对设备及其工作进行必要的预测及干预。由于状态监测技术的发展,设备基于状态维护技术得到了飞速发展,其在机械(飞机、潜艇、盾构机)、能源(汽轮发电机组、风能涡轮机组)等领域获得了广泛的应用,产生了巨大的经济效益。在吸收计算机技术、通信技术先进技术等后,基于状态维护的发展趋势是从单机现场维护向多机组网和远程故障诊断维护等方式转变。

在设备的状态监测和故障诊断领域,李江林设计了一套电厂电气设备故障诊断专家系统,用于徐州垞城电厂电气设备的状态监测与故障诊断;蒋东翔等采用模糊数学、模糊模式识别、模糊人工智能和基于规则的专家系统等混合智能诊断方法,应用于大型汽轮发电机组和电力热力系统的设备的故障诊断。桂中华等人设计了一套水轮机组状态监测与故障诊断的专家系统,用于丹江口水电厂水轮机组的状态监测与故障诊断;史定国等人在上海宝钢热电厂高炉风站为 48000kW 同步电动机拖动的全静翼可调的轴流大型风机设计了状态监测与故障诊断系统;Peng Yongsheng 等人提出采用经典分析方法(Classical Analysis Method)和高级时频分析方法(Advanced Time-Frequency Analysis Method)分别处理稳态信号和非稳态信号,建立基于互联网的集中式泵站状态监测和故障诊断系统;Gu S. 等人建立了一套多轴钻机状态监测和故障诊断系统,用振动和力传感器检测设备状态,采用递归优化双线性判别函数(Recursion Optimization Bilinear Discriminant Function, ROBDF)进行信号提取和故障诊断;Twiddle 等人提出基于模糊模型的状态监测和故障诊断系统,并应用于柴油机冷却系统;Zhang Xi 等人为基站信号控制设备的故障诊断开发了一套基于人工智能和专家系统的状态监测与故障诊断系统,系统结构由知识获取、设备状态监控数据输入、知识库、机器推理、综合数据库和人机界面等部分组成;Zhao Xiukuan 等人针对复杂设备难以建立数学模型的情

况,提出基于多级半监督学习的支持矢量机方式实现设备智能状态检测;Marzi Hosein 针对高速、高精度机械设备需要持续在线监控这一问题,提出基于神经网络自适应模块的状态监控和故障诊断系统。

1.3 大型设备远程维护研究现状

远程维护技术通过设备的状态监测技术、故障诊断技术和计算机网络技术相结合,用若干台中心计算机作为服务器,在大企业的重要关键设备上建立监测点,采集设备的状态数据,建立设备状态的网络分析中心,对地域分布广泛的大型设备进行远程的状态监测、状态征兆匹配及诊断,从而达到高效维护的目的。远程维护包括大型设备运行状态的远程综合评价和维护,设备故障的在线诊断、远程诊断和远程会诊,以及设备研发人员与维护人员的网络论坛等。

远程维护技术是从远程协作诊断技术发展而来的,其最早应用于医学领域。1988 年开放式远程医疗系统的概念在美国提出,1995 年 1 月远程医疗诊断系统正式在美国的俄克拉荷马州投入使用,远程医疗系统以计算机和网络通信为基础,实现对医学资料和远距离会诊视频与音频信息的传输、存储和查询比较以及显示,从此拉开了远程医疗诊断的序幕。设备的故障诊断与人类的疾病诊断是类似的,从技术上来说能实现远程医疗诊断也就能实现远程设备诊断。1997 年 1 月,麻省理工学院和斯坦福大学联合主办了首届基于互联网的工业远程诊断研讨会,并在同年的 10 月建立了一个基于互联网的远程故障诊断测试平台,提供了基于模型的远程诊断展示。从此,远程故障诊断技术的应用和研究越来越受到国内外研究者的重视。

随着计算机网络技术和通信技术特别是互联网的发展,多机与多专家的联合诊断技术得以实现。网络化远程诊断系统中存储了多种设备的故障诊断知识和经验,可响应不同监测现场用户的使用要求。此外,远程诊断专家系统知识库中知识丰富、来源广泛,并可以得到不断充实,因此其诊断能力较强。

从国内外研究来看,远程维护技术已经成功地运用到医疗以及各种工业领域,国内外有许多科研机构、企业以及大学都在积极地进行该领域的研究。美国德克萨斯的 Monico 公司开发了发动机的远程监控和互联网信息服务系统;美国霍尼韦尔公司(Honeywell)为纸浆和造纸公司提供 Honeywell 质量控制系统(QCS)远程监控功能,实施可靠的远程故障诊断,确保质控设备顺利运行。清华大学以大型电站设备为对象,开展了远程在线监测和诊断研究;同济大学在中德合作项目的资助下,开展了制造企业远程服务系统的研究;西安交通大学自动控制系以电厂汽轮机组为对象,通过综合采用虚拟专用网(VPN)的隧道和加密等安全技术,结合远程控制软件,实现安全地经 Internet 对其进行及时的远程诊断和维护;富尔达开发出国内第一个无线远程监控系统,通过 GSM 短信息,对机组实施远程测控,直接观察用户的操作情况,测控分析机组的运行状态;He Yongyong 等为 300MW 的蒸汽轮机开发了一套基于 Internet/Intranet 的远程状态监测与故障诊断系统,采用 Client/Server 结构和 Web/Server 模型方案,实现有效远程诊断功能;Ting-Ting He 等为大型电力变压器设计状态监测和故障诊断系统,监测输入信号包括变压器振动、电压、电流和温度等,系统包括两部分,前者为前端计算机子系统,负责数据采集和处理,后者为后端总控制室,用于分析监控变压器的运行状态,两者通过 Ethernet 通信。陈培林等针对大型机电设备在结构与功能上具有分布性与层次性,诊

断任务可按结构、时间和空间进行分解,利用分布式人工智能,提出基于知识的合作策略,解决分布式故障诊断专家系统的求解策略;熊良才等针对宝钢集团 2050 热轧生产线中 F2 精轧机的状态监测与故障诊断,采用互联网技术,设计了基于客户机/服务器模式的状态监测程序、数据库服务程序和数据库管理系统,实现轧机分布式的状态监测与故障诊断。

故障诊断是远程维护的关键技术,这些系统都是针对不同的对象和目的建立的,它包括对设备的实时状态监测、故障智能诊断、运行寿命预测以及远程维护等技术。综上所述,远程维护技术已经相继应用于大型设备,并带来了巨大的经济效益与社会效益。

1.4 盾构机故障诊断研究现状

隧道掘进机(Tunnel Boring Machine, TBM)是一种综合机械制造、新材料、新工艺、电子信息和自动化等高新技术在内的,专用于地下隧道工程开挖的大型高科技施工设备。它具有开挖速度快、质量高、人员劳动强度小、安全性高、对地表沉降和环境影响小等优点,比传统的钻爆法隧道施工具有明显的优势,有着良好的综合效益。目前,TBM 正朝着液压和电气自动控制、智能化和多功能化的方向发展,盾构掘进机(Shield Machine)是其中的先进代表,其外观如图 1-2 所示。

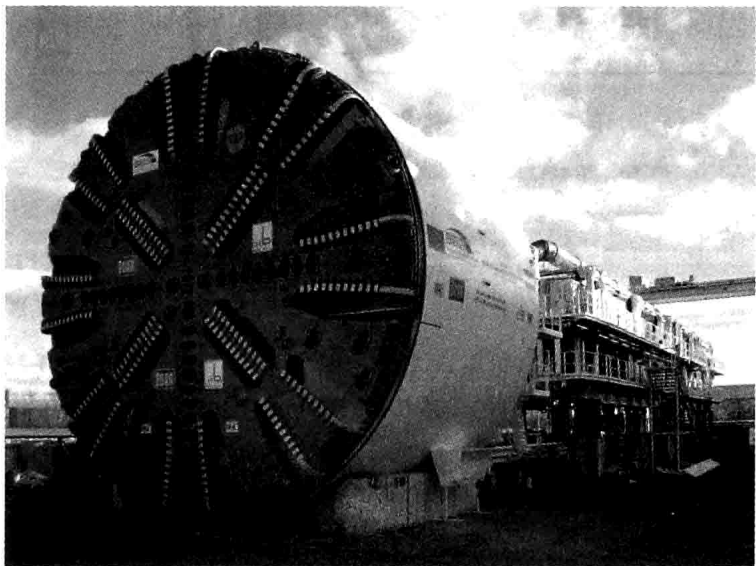


图 1-2 盾构掘进机

盾构隧道掘进机,简称为盾构机,是一种隧道掘进的专用工程机械。1818 年,法国工程师布鲁诺尔(Marc Isambard Brunel)在伦敦受到蛀虫钻孔的启示,最早提出了用于地下隧道施工的掘进机雏形及施工方法,并经过多次改进,终于在 1843 年完成了全长 458 米的第一条盾构法隧道。

现代盾构机集光、机、电、液、传感和信息技术于一体,具有开挖切削土体、输送土渣、拼装隧道衬砌和测量导向纠偏等功能,涉及地质、土木、机械、力学、液压、电气、控制以及测量等多门学科技术,而且要按照不同的地质状况进行“量体裁衣”式的设计制造,可靠性要求极高。盾构机已广泛用于地铁、铁路、公路、市政以及水电等隧道工程。到目前为止,全世界共生产各种类型的隧道掘进机约 8000 余台,并为适应不同的工程需要而具备多种形式。

按其断面形式的不同可分为圆形、矩形、双圆、三圆、球型盾构机以及子母盾构机等。比较著名的有日本三菱重工（Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.）的软、硬土隧道掘进机、土压平衡式盾构机，美国罗宾斯公司（ROBBINS）的隧道掘进机（Tunnel Boring Machine, TBM），德国维尔特（Wirth）的 NFM 和球形刀盘盾构机、矩形刀盘盾构机，以及德国海瑞克（Herrenknecht AG）生产的尺寸齐全、能适用于各种地质状况的 TBM 等。

盾构技术的基本方法简单介绍如下，图 1-3 为一盾构机在地下的工作示意图，在隧道的一端建造竖井，以供盾构机安装就位，盾构机从竖井的墙壁开孔处出发，在地层中沿着设计轴线向另一竖井推进，其在土层中的掘进示意图如图 1-4 所示。盾构机推进过程中所受到的地层阻力通过液压缸传到盾构机尾部的隧道衬砌（管片）结构。盾构机每推进一个工作行程，就在盾尾支护下拼装一段衬砌，并及时地向靠近盾尾后面的地层与衬砌环外周之间的空隙中压注水泥浆液，以防止隧道及地面下沉，同时不断从开挖面排出土方，通过螺旋输送机和皮带输送机将土方送到后面的土箱中，并由土箱经提升器运送至地面。图 1-5 为盾构机掘进过程的剖面图。

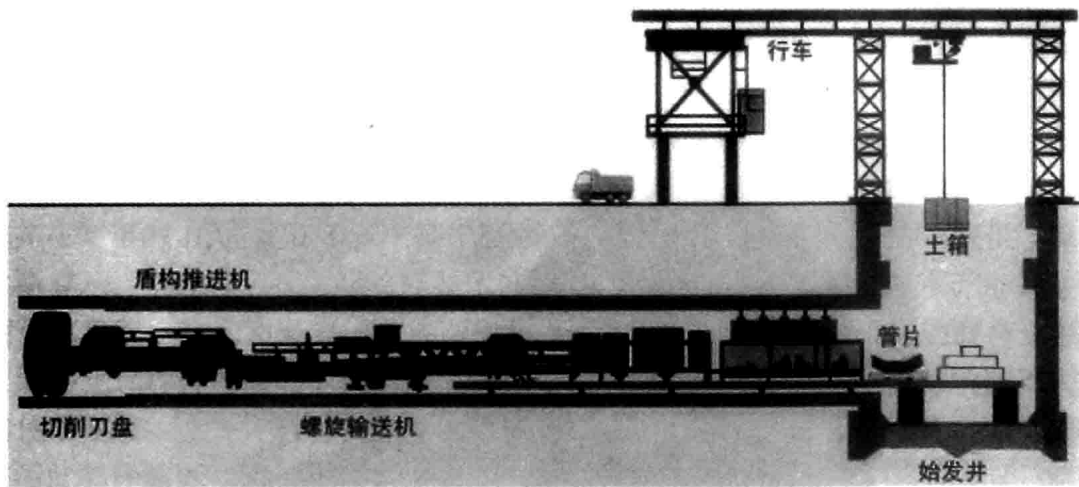


图 1-3 盾构机工作示意图

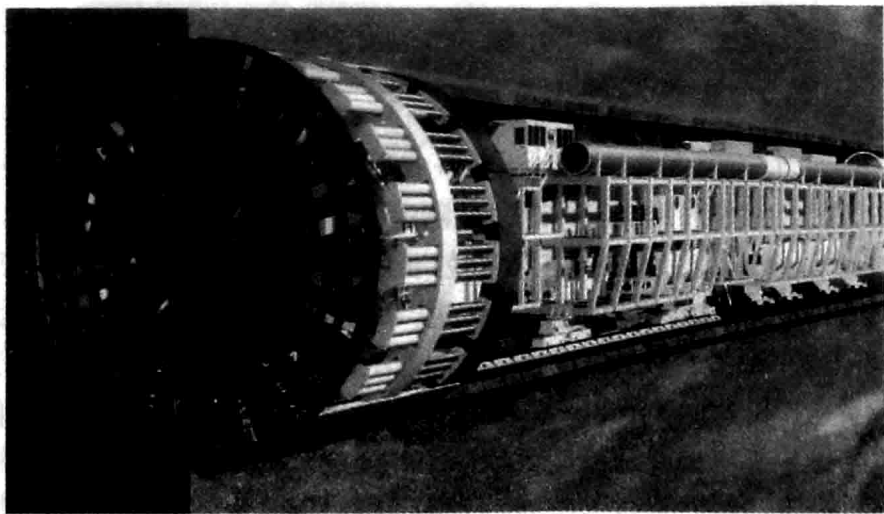


图 1-4 盾构机掘进示意图