

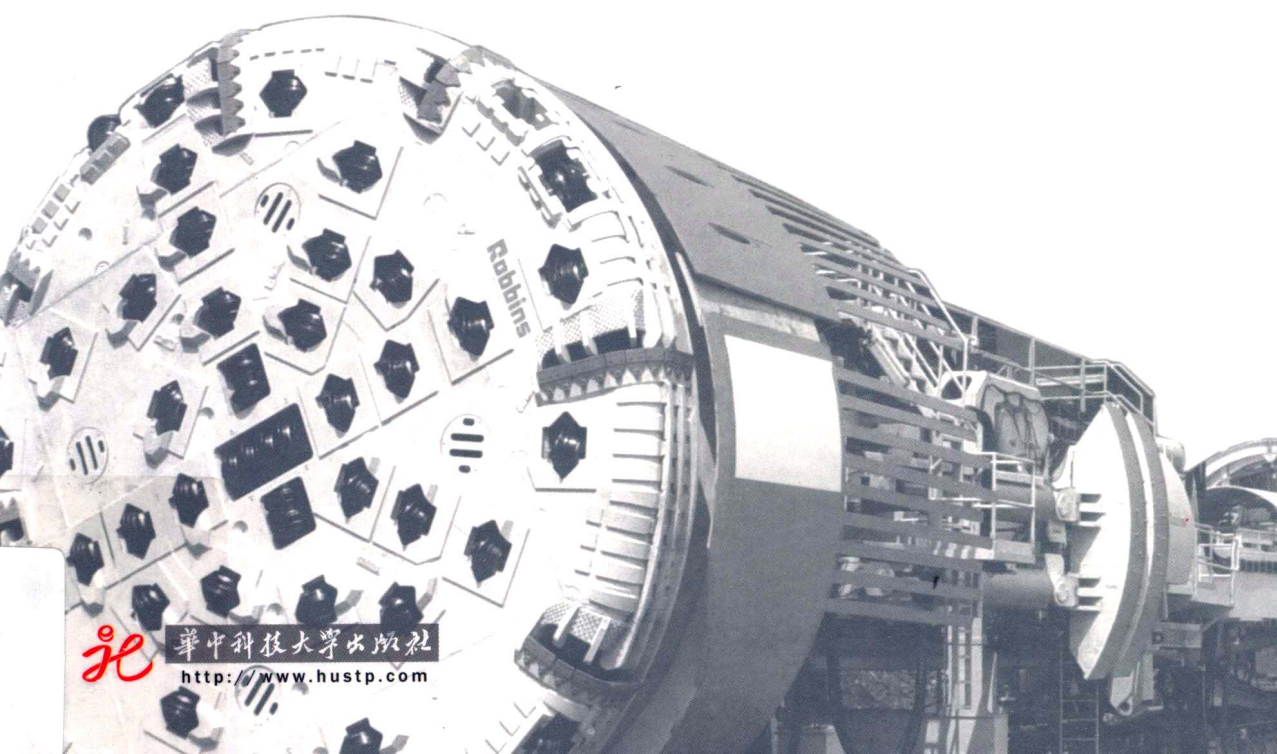
Full Face Hard Rock Tunnel Boring Machine—Monitoring and Maintenance

TBM

“十一五”国家重点图书出版规划项目

全断面岩石隧道掘进机 ——监测诊断与维护保养

■ 杜彦良 徐明新 智小慧 等 编著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

全断面岩石隧道掘进机 ——监测诊断与维护保养

Full Face Hard Rock Tunnel Boring Machine
— Monitoring and Maintenance

■ 杜彦良 徐明新 智小慧 等 编著

常州大学图书馆
藏书章



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 提 要

本书从实际施工的角度,对全断面岩石隧道掘进机(TBM)的维护保养和监测诊断进行了详细、系统的论述,包括 TBM 的刀盘监测诊断与维护保养、主轴承监测诊断与维护保养、液压驱动系统监测诊断与维护保养、电气控制系统监测诊断与维护保养、变速箱监测诊断与维护保养、后配套系统监测诊断与维护保养、刀具监测诊断与维护保养、TBM 维护保养规程、TBM 安装调试、拆卸与运输、TBM 工程故障典型案例等内容。本书包含作者多年来在 TBM 监测诊断和维护保养方面的研究和工程实践中所取得的部分成果,且其成果已在我国多项重大工程中得到应用。

本书可供 TBM 隧道工程的设计、施工、监理和 TBM 设计制造领域的技术人员,以及高等院校的师生和相关企业的技术、商务与管理人员阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

全断面岩石隧道掘进机——监测诊断与维护保养/杜彦良 徐明新 智小慧 等编著.
—武汉:华中科技大学出版社,2013.1
ISBN 978-7-5609-7522-1

I. 全… II. ①杜… ②徐… ③智… III. ①隧道工程-全断面掘进机-机械维修 ②隧道工程-全断面掘进机-保养 ③隧道工程-全断面掘进机-监测 IV. U455.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 245039 号

全断面岩石隧道掘进机 ——监测诊断与维护保养

杜彦良 徐明新 智小慧 等编著

策划编辑:王连弟

责任编辑:刘 飞

封面设计:范翠璇

责任校对:祝 菲

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:湖北新华印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:14.5

字 数:388 千字

版 次:2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:98.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

作者简介



杜彦良，教授，博士生导师，石家庄铁道大学副校长，石家庄铁道大学大型结构健康诊断与控制研究所所长、河北省大型结构健康诊断与控制重点实验室主任、国家级教学名师，国家杰出专业技术人才，享受国务院政府特殊津贴。杜彦良教授长期从事交通基础设施安全保障技术研究，在长期自动监测、健康诊断、安全评估，以及TBM选型设计、施工技术与故障诊断等方面进行了开创性的研究。共获省部级以上科技进步奖14项，其中国家科技进步一等奖1项、二等奖2项、省部级科技进步一等奖6项；获国家专利8项；发表论文170余篇，其中被SCI、EI等收录70余篇；出版专著、教材8部；获省部级以上教学成果奖6项，其中国家级教学成果一等奖1项、二等奖1项。



徐明新，教授，硕士生导师，任职于石家庄铁道大学机械学院，国家重大工程评估咨询专家，长期从事TBM及盾构领域科研和工程实践，同时兼任多家相关企业技术顾问和工程项目顾问，参与众多TBM招投标评审和设计联络，常驻TBM现场提供技术咨询服务，参与TBM隧道工程至今已有11项，参与掘进机设计、制造、监造、培训、组装、施工、维护、监测、诊断、翻新等多项科技攻关和技术支持，获得国家科技进步二等奖。



智小慧，副教授，硕士生导师，任职于石家庄铁道大学机械学院，从事TBM及盾构刀具和耐磨材料等领域的科研和工程实践。获国家发明专利2项；发表学术论文30余篇，其中被SCI、EI等收录20余篇；出版教材、专著3部。

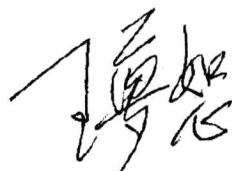
序

随着我国大规模基础设施项目的实施,未来五十年,铁路、公路、水利、水电、城市地铁、越江、海底隧道等大批不同断面、不同类型长大隧道需要建设,其中采用开敞式全断面岩石隧道掘进机(TBM)法隧道施工技术,可以创造很高的掘进记录,并且能够快速穿越不良地质段,具有很好的生态环境效益和社会效益,正成为我国今后长大隧道设计施工必选的施工方法。

我国目前拥有 TBM 法建设的巨大市场,而且正在从 TBM 设备和施工技术的引进国向自主研发和施工技术输出国迈进。这对 TBM 研发部门和设计制造企业及工程施工单位,都将是巨大的挑战。掌握 TBM 设计制造和施工技术,将使企业在隧道施工领域获得新的竞争力。《全断面岩石隧道掘进机——系统原理与集成设计》、《全断面岩石隧道掘进机——维护保养与监测诊断》、《全断面岩石隧道掘进机——施工管理与施工技术》的编写出版,无疑将为企业获得这一竞争力提供强有力的帮助和支持。

本书作者长期驻扎在 TBM 施工现场,参与了我国大量 TBM 工程项目的科技攻关和技术支持,理论与工程实践紧密结合,使得该书不仅具有很高的学术价值,而且具有很好的工程应用价值。该书论述深入浅出、内容新颖、视角独特,是从科研成果和工程实践经验中总结出来的精华。我相信,TBM 工程设计与施工、研发与设计制造等领域的相关技术人员都能从中获益,该书的出版将进一步推动我国 TBM 设计制造和施工技术的发展作出新的业绩和贡献。

中国工程院院士



2010 年 10 月

前 言

全断面岩石隧道掘进机(简称 TBM)是集机械、电子、液压、激光技术为一体的大型工厂化隧道施工作业系统。TBM 法具有掘进速度快、施工工期短、作业环境好、对生态环境友好、综合效益高等优点,是国内外隧道施工方法的重要选择。对于部分长大隧道,从线路、工期和生态环境等方面考虑,TBM 法已成为其必选的方法。

进入 21 世纪,随着我国大规模基础设施项目的实施,铁路、水利、水电、城市地铁、公路、石油燃气管道、越江和海底隧道等建设中大量长大隧道需要开挖。同时,西康铁路秦岭隧道、辽宁大伙房水库输水工程等多个重大工程采用 TBM 法施工取得成功,其示范作用使 TBM 施工技术在我国迅速得到大规模的推广应用,我国在 TBM 的研究开发和施工技术积累上也取得了显著进展。然而,我国掌握 TBM 施工技术的企业还很少,完全实现 TBM 的自主设计和制造尚有待进一步努力。而且,TBM 是非标定制产品和系统,每个 TBM 隧道工程有其不同的特点和条件,因此,不同工程 TBM 系统集成设计与施工技术方案,既要有个性的考虑,又需要做出共性的总结。为此,作者以多年 TBM 科研和工程实践的成果为核心,编写了《全断面岩石隧道掘进机》,以支持我国更多的施工企业在 TBM 大发展的前景下掌握 TBM 施工技术,更好地运用 TBM,推动我国 TBM 的自主研发。《全断面岩石隧道掘进机》由三部分组成,分别为《全断面岩石隧道掘进机——系统原理与集成设计》、《全断面岩石隧道掘进机——监测诊断与维护保养》、《全断面岩石隧道掘进机——施工管理与施工技术》。这三部分互为姊妹篇,涵盖了 TBM 工程的主要议题,被国家新闻出版总署评为“十一五”国家重点图书出版规划项目。

《全断面岩石隧道掘进机——监测诊断与维护保养》是作者长期驻扎工程现场,针对我国 TBM 重大工程进行科技攻关和技术支持,在理论研究和工程实践的基础上编写而成的,具有以下特点。

(1) 本书比较全面地论述了 TBM 的监测诊断与维护保养,介绍了 TBM 常见的监测、检测技术与一般维护保养规程,而且每章都有针对各个章节内容的应用实例,以便读者更好地阅读和学习。

(2) 本书比较详细地介绍了 TBM 刀盘、主轴承、主变速箱、电气控制系统、液压驱动系统和后配套系统等常见故障与常用监测方法,并针对故障易出部位和故障特点给出了相应的检测方法和维护方案。这些方法是科研成果和工程实践经验的总结。

(3) 本书理论与实践相结合,既有学术性,又有很好的工程应用价值,无论是从事 TBM 监测与维护、TBM 隧道工程设计与实施的技术人员还是进行 TBM 教学与培训的工作人员,都能从中获得较为全面、系统的知识和信息,以及从事相关工作所需的理论、技术和方法。

(4) 本书采用了大量来源于实际工程的图片进行详解,有助于读者对 TBM 监测诊断与维护保养的理解。

本书由杜彦良教授、徐明新教授和智小慧副教授代表课题组主笔,是在总结课题组多年科研、工程实践成果和参阅大量参考文献基础上编写的。在充分吸收沙明远、万治昌、杜立杰、贾良棉、郭京波、马怀祥、马立明、朱齐平等课题组成员研究成果的基础上,齐梦学、李宏亮、王亚凡、周雁领等与课题组合作的施工单位同仁们参加了本书的编写。同时,慕永涛、袁兴茂等同学在硕士研究生学习期间也参与了本书的部分编写工作。

笔者衷心感谢中水集团辽宁工程局有限公司、中铁十九局集团、中铁十八局集团、中铁隧道局集团、北京振冲工程股份有限公司、山西省水利建筑工程局、二滩公司锦屏建设管理局、新疆伊犁河流域建设管理局、辽宁润中供水有限公司、美国罗宾斯公司和德国海瑞克公司等单位和友人的多年合作与大力支持。

笔者衷心感谢王梦恕院士、钱七虎院士、刘春教授和易新乾教授等前辈多年来给予课题组的关心、帮助与支持;感谢华中科技大学出版社为此书出版所付出的辛苦劳动。

在编写过程中,书中参考了许多关于 TBM 监测诊断与维护保养等方面的文献,在此向这些文献的作者们表示衷心的感谢!

TBM 监测诊断与维护保养在我国仍处在积累和高速发展阶段,由于时间仓促和作者认识上的局限性,本书疏漏和不当之处在所难免,敬请广大读者不吝赐教。对本书的意见和建议请发送到邮箱 mkmk69@126.com。

作 者

2012 年 12 月

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 TBM 简介	(1)
1.2 TBM 检测、监测与故障诊断的主要方法和技术特点	(1)
1.2.1 监测诊断对象选择	(1)
1.2.2 TBM 主要监测内容	(3)
1.2.3 TBM 监测诊断常用技术	(4)
1.3 TBM 主要易损件维修的技术方法与性能指标	(10)
1.3.1 TBM 现场设备维修存在的问题	(10)
1.3.2 TBM 维修模式	(12)
1.3.3 设备故障维修流程	(15)
1.3.4 TBM 常用维修技术的特点及应用范围	(15)
1.3.5 维修工艺的性能指标	(18)
1.4 国内外 TBM 状态监测与故障诊断的发展现状	(19)
1.5 项目组近年来主要工作与取得成就	(20)
第 2 章 TBM 刀盘监测诊断与维护保养	(21)
2.1 刀盘结构特点	(21)
2.2 刀盘日常维护与检查	(24)
2.2.1 刀盘维护	(24)
2.2.2 刀盘检查	(24)
2.3 刀盘主要缺陷及修复改进	(25)
第 3 章 TBM 主轴承监测诊断与维护保养	(31)
3.1 主轴承结构特点	(31)
3.1.1 刀盘轴承及其润滑与密封	(31)
3.1.2 驱动组件和驱动方式	(35)
3.2 主轴承监测及诊断	(35)
3.2.1 刀盘轴承的主要故障特点	(35)
3.2.2 刀盘轴承的监测诊断重点	(37)
3.2.3 刀盘轴承的监测诊断内容和方案	(38)
3.2.4 刀盘轴承的监测诊断特点和难度	(42)
3.3 应用典型案例	(43)
第 4 章 TBM 液压驱动系统监测诊断与维护保养	(48)
4.1 液压驱动系统的主要结构特点	(48)
4.1.1 TBM 液压系统总体构成	(48)

4.1.2	TBM 液压系统的特点	(50)
4.1.3	TBM 液压件的寿命	(50)
4.2	TBM 液压系统监测及诊断	(51)
4.2.1	液压系统常见故障	(51)
4.2.2	液压系统监测诊断方案	(51)
4.2.3	液压系统监测诊断方法	(52)
4.3	TBM 液压驱动系统日常维护与检查	(53)
4.3.1	TBM 液压驱动系统检查内容	(53)
4.3.2	TBM 液压系统维护保养	(54)
4.4	TB880E 型 TBM 液压系统的维修	(58)
4.4.1	液压泵、马达维修	(59)
4.4.2	液压油缸维修	(59)
4.4.3	液压阀维修	(60)
4.4.4	液压油箱及油管清洗	(62)
第 5 章	TBM 电气控制系统监测诊断与维护保养	(64)
5.1	TBM 电气控制系统主要特点	(64)
5.1.1	TBM 的控制方式	(64)
5.1.2	TBM 的数据采集	(65)
5.2	电气控制系统日常维护与检查	(66)
5.2.1	电气部分定期维护	(66)
5.2.2	电气控制系统检查操作要点	(67)
5.3	TB880E 型 TBM 电气控制系统的修复与监测诊断	(69)
5.4	TBM 变频驱动系统的维护及维修	(77)
第 6 章	TBM 变速箱监测诊断与维护保养	(80)
6.1	TBM 主变速箱监测诊断	(80)
6.1.1	TBM 主变速箱监测诊断内容	(80)
6.1.2	TBM 主变速箱监测诊断技术	(81)
6.2	TBM 变速箱维修	(83)
6.3	应用典型案例	(84)
第 7 章	后配套系统监测诊断与维护保养	(87)
7.1	后配套系统主要结构特点	(87)
7.2	后配套系统的监测诊断与检测	(100)
7.2.1	油样分析内容	(100)
7.2.2	机况监测	(101)
7.2.3	后配套系统重点监测对象实施方案	(102)
7.3	后配套系统主要部件检查维修与日常保养	(103)
7.3.1	润滑脂加注	(103)
7.3.2	胶带输送机的保养	(104)
7.3.3	料车拖拉系统保养	(106)
7.3.4	卸渣机的保养	(107)

7.3.5	空气压缩机的保养	(107)
7.3.6	喷锚设备的保养	(109)
7.3.7	应急发电机的保养	(111)
7.3.8	空调系统的保养	(113)
7.3.9	翻车机的保养	(113)
7.4	应用典型案例	(114)
第8章	TBM 刀具监测诊断与维护保养	(116)
8.1	刀具的分类、安装及结构特点	(116)
8.1.1	中心刀	(117)
8.1.2	正滚刀与边刀	(118)
8.1.3	扩孔刀	(120)
8.2	盘形滚刀破岩与失效分析	(121)
8.2.1	盘形滚刀破岩机理	(121)
8.2.2	TBM 刀具失效分析	(124)
8.2.3	刀位磨损标准	(129)
8.3	刀具检查和维修	(130)
8.3.1	刀具检查	(131)
8.3.2	刀具的维修	(133)
8.4	刀圈	(138)
8.4.1	国内外刀圈的研制现状	(138)
8.4.2	刀圈失效形式	(141)
8.4.3	刀圈磨损	(143)
8.4.4	刀圈的更换限度	(148)
8.5	刀具的管理	(148)
8.5.1	刀具管理的重要意义和内容	(148)
8.5.2	刀具管理流程	(149)
第9章	TBM 维护保养规程	(152)
9.1	维护保养工作标准化作业要点	(152)
9.2	维护保养方法	(154)
9.3	维护保养的组织及其职责	(154)
9.4	维护保养内容	(156)
9.5	维护保养工艺	(160)
9.6	维护保养安全注意事项	(165)
第10章	TBM 安装调试、拆卸与运输	(166)
10.1	秦岭隧道 TBM 的整机安装	(166)
10.1.1	TBM 部件的现场摆放和组装场地布置	(169)
10.1.2	组装准备工作	(170)
10.1.3	TBM 组装基本技术要求及注意事项	(172)
10.2	新疆中天山窄小场地快速组装	(173)
10.2.1	TBM 正常组装场地技术要求	(173)

10.2.2	中天山隧道 TBM 组装机场地条件	(174)
10.2.3	狭小场地条件下快速组装调试技术	(174)
10.3	TBM 调试	(180)
10.4	TBM 洞内拆卸	(185)
10.4.1	拆卸前准备工作	(185)
10.4.2	拆卸的一般顺序	(185)
10.4.3	拆卸工具和设备	(185)
10.4.4	拆卸的一般原则	(186)
10.4.5	TBM 拆卸特别注意事项	(187)
10.4.6	TBM 拆卸前后保养	(188)
10.4.7	TBM 拆卸过程中的技术档案工作	(188)
10.4.8	拆修后零部件的存放	(189)
10.4.9	TB880E 型全端面隧道掘进机拆卸实例	(190)
10.5	TBM 的大件运输	(192)
10.5.1	TBM 大件运输组织机构	(192)
10.5.2	车辆配备	(193)
10.5.3	保障措施	(194)
第 11 章	TBM 工程故障典型案例	(195)
11.1	锦屏东引 3 号工程 TBM 掘进机润滑系统故障案例	(195)
11.1.1	异常的发现	(195)
11.1.2	主轴承润滑系统异常分析	(195)
11.1.3	污染成因分析和对策	(196)
11.1.4	改进后效果	(197)
11.2	辽宁大伙房工程 TB264-311 型掘进机故障案例	(197)
11.2.1	较大设备故障和对策	(197)
11.2.2	技术改造,增设防护装置	(202)
11.3	新疆中天山工程 TB880E 型隧道掘进机主轴承故障案例	(203)
11.3.1	主轴承洞内密封更换案例	(203)
11.3.2	主轴承内密封故障案例	(209)
11.4	辽宁大伙房工程 TBM2 标段主轴承故障	(214)
11.4.1	主轴承磨损原因	(214)
11.4.2	对策	(215)
主要参考文献		(216)

第 1 章 概 论

全断面岩石隧道掘进机(full face hard rock tunnel boring machine,简称 TBM)集大型化、自动化、高速化、流程化、精密化、计算机化于一体,将隧道施工的掘进、换步、支护、运输、保养、维修等多道工序放在同一时间内平行作业,各工序相互配套、相互影响,紧密衔接^[1]。TBM 运行状态是否正常,与保养维护工作的到位与否密切相关,善待设备,就像爱护自己的眼睛,辛勤努力的付出终会得到丰厚回报。任何疏忽大意和不负责任的行为,都将导致设备产生严重故障,耽误工程进度,降低 TBM 的工时利用率,影响 TBM 的运行寿命。

1.1 TBM 简介

广义上的掘进机包含全断面掘进机和部分断面掘进机,全断面掘进机包括了全断面岩石掘进机和盾构机(软土掘进机),但习惯上通常所说的掘进机专指全断面岩石掘进机,可分为敞开式、单护盾、双护盾三种主要形式^[2~18]。

TBM 是由几十个独立的子系统有机地连接成的一个完整的大系统,综合了钢结构、机械传动、起重、运输、液压、润滑、气动、水流、通风防尘、减振降温、控制噪声、电气、程序控制、监控、遥控、超前支护、喷射混凝土机械手、激光导向等多学科的技术。TBM 结构组成可分为主机和后配套两大部分。主机由刀盘、护盾、主轴承、支撑系统、推进系统、刀盘驱动系统等组成。后配套设备一般包括:① 主机配套设备,如液压泵站、润滑系统、给排水系统、变压器与配电柜、应急发电机等;② 主机辅助设备,如通风除尘系统、降温设备、初期支护系统(锚杆、喷射混凝土、挂网、钢拱架等)、仰拱块铺设或管片拼装设备等;③ 出渣、施工材料运输、隧道通风系统等。后配套、洞内辅助设施与主机协调匹配工作,方能顺利完成掘进施工的各道工序,任何一个环节的脱节都将影响施工全局^[19~22]。

1.2 TBM 检测、监测与故障诊断的主要方法和技术特点

1.2.1 监测诊断对象选择

TBM 为系统化的集成设备,任一环节的故障均会影响到 TBM 的正常掘进。关键部位的损坏会导致整台 TBM 处于停滞甚至瘫痪状态,从而影响整个工程的进展,同时也会大大增加工程成本。可能影响到正常开挖进行的主要故障相关设备包括机械、液压、电气、后配套系统、

TBM 皮带机、岩石支护设备、导向设备、水系统、润滑系统、除尘系统等。为了准确判断异常情况的发生时段或预测即将出现的故障,需对相关设备的相关参数进行不间断的监测^[23~41]。在进行状态监测时,根据设备的重要程度和系统故障对工程的影响程度,确定监测对象以 TBM 驱动系统为主,即 TBM 主轴承、减速箱、主电动机,辅之以液压系统(含各操作系统液压独立泵站)、皮带驱动机构(含连续皮带机驱动)及通风系统的监测。为了给监测诊断方式的选定提供依据,根据实际情况,对监测诊断受控设备实行 A、B、C 分级管理,A 级为关键设备,B 级为重要设备,C 级为一般设备。根据设备重要程度的不同,规定不同的监测诊断方式,见表 1-1^[42]。

表 1-1 设备监测诊断等级划分

等级划分	重要程度	测定方式	管 理 方 法
A 级	关键设备	在线连续监测	利用 TBM 本身配备的在线监测功能连续监测,出现异常,离线精密诊断
B 级	重要设备	离线精密诊断	离线定期监测,实行趋向管理,出现异常运动,实行精密诊断
C 级	一般设备	简易监测诊断	离线简易监测,出现异常状态,开始进行趋向管理

将 TBM 监测对象按监测等级分类,结合监测技术可以得到如表 1-2^[42]所示的 TBM 状态监控表。

表 1-2 TBM 状态监控表

TBM 监控对象	监测等级	监 测 技 术
主轴承	A	振动测试、油液分析、工业内窥镜、磁性过滤、轴向间隙
主电动机	A	振动测试、温度测试
主变速箱	A	振动测试、油液分析、温度测试
主机液压系统	A	油液分析、温度测试
主梁	A	应变测试
除尘通风系统	A	振动测试、温度测试、机械故障听诊器
皮带运输机	A	振动测试、油液分析、温度测试
仰拱吊机、材料吊机、混凝土输送泵及喷射机械手、拖拉系统、空压机、水泵电动机、牵引机车、翻渣台	B	油液分析、温度测试
其他设备	C	各种方法组合使用

以上监测方案只是针对 TBM 的原则性的诊断方案,当 TBM 选型确定后,针对具体型号的 TBM,还应研究制定具体的、具有针对性的监测方案。

1.2.2 TBM 主要监测内容

作为目前世界上先进的大型施工设备,TBM 本身具有在线监测功能和一套较完整的监测系统。该监测系统利用各种传感器(温度传感器、位移传感器、流量传感器等)或人体感官等对 TBM 的关键部位(件)或关键系统进行实时监测,这些检测信息(如刀盘扭矩、主机电电压、转速,电流,压力,推进油缸位移、各润滑系统油位、各液压系统压力、温度,流量等)被传至操纵室。根据操纵室内各种仪表和监视屏等显示元件提供的信息,TBM 主司机能准确地了解 TBM 的状态,从而采取相应的控制措施^[42,43]。但由于 TBM 的设备结构和系统非常庞大复杂,其本身具备的在线监测功能只能对各重点关键设备的部分参数进行监测,仅此也已占用了上千个点位的 PLC 接口,其他关键设备、重要设备参数需要配备专业检测技术人员进行离线监测^[2, 3]。

某型号 TBM 状态监测系统主要监测内容见表 1-3^[42,43]。

表 1-3 某型号 TBM 主要监测内容

监测部件(位)或系统名称	监 测 内 容	终 端 显 示
1~8 号液压动力站液压系统	油位、油温、泵的过滤器及回油过滤器	操纵室内发光按钮、按钮、数字仪表、Megelis 和 WDAS 终端显示
9~10 号液压动力站液压系统	油温、油位、回油过滤器	操纵室内数字仪表、Megelis 和 WDAS 终端显示
13 号、14 号液压动力站液压系统(1 号、2 号锚杆钻机)	油温油位、回油过滤器	操纵室内数字仪表、Megelis 和 WDAS 终端显示
刀盘	转速与掘进中的振动	操纵室内发光按钮
刀盘主驱动 8 个电动机	电流、温度	操 纵 室 内 仪 表、Megelis 和 WDAS 终端显示
8 个主离合器	压力	操纵室内数字仪表、Megelis 和 WDAS 终端显示
8 个制动器	压力	操纵室内发光二极管
主轴承油润滑系统	压力、温度、油位、过滤器	操纵室内仪表、数字仪表、发光按钮、Megelis 和 WDAS 终端显示
脂润滑系统	脉冲信号	操纵室内发光二极管、Megelis 和 WDAS 终端显示
水冷却系统、刀盘驱动	流量	操纵室内发光二极管、Megelis 和 WDAS 终端显示
刀盘护盾、夹紧缸	压力	操纵室内发光二极管、发光按钮
后支承各油缸	压力	操纵室内发光二极管
外机架 1、2 各油缸	压力	操纵室内发光二极管、数字仪表
仰拱块吊机	压力	操纵室内发光二极管

续表

监测部件(位)或系统名称	监 测 内 容	终 端 显 示
除尘系统	水泵、电动机	操纵室内发光按钮、Megelis 和 WDAS 终端显示
通风	电动机	操纵室内发光按钮、Megelis 和 WDAS 终端显示
1~3 号胶带输送机	状态	Megelis 和 WDAS 终端显示
视频监视系统	TBM 下方、装料区、卸料区、1 号与 2 号胶带机衔接处、2 号与 3 号胶带机衔接处、后配套系统后部	Megelis 和 WDAS 终端显示

注：Megelis 指视频监控系统，WDAS 指数据采集系统。

1.2.3 TBM 监测诊断常用技术

TBM 可供采用的监测诊断技术有运转参数(振动、噪声、温度、应力、压力、流量、转速、扭矩、速度等)诊断、几何参数(位移、间隙、变形、磨损量等)测量、无损检测、油液分析、超声检测、激光监测、声发射、红外分析、镜检技术等。

1. 振动监测技术

机械运转时都会产生振动,当机械状态完好时,其振动强度在一定范围内波动;当机械出现故障时,其振动强度必然增加。不同的零件发生故障,故障的性质不同,振动的形态也不同,据此可以对故障部位和故障性质做进一步诊断。利用振动信号对故障进行诊断是设备故障诊断中最有效、最常用的方法。设备系统在运行过程中的振动及其特征信息是反映系统状态及其变化规律的主要信号。应用振动测试仪拾取、记录和分析动态信号,通过对被检测设备的振动能量的测试和频谱图形的分析,实现对设备状态进行评估和故障诊断,算出故障特征频率,可确定故障产生的部位和原因^[42]。

根据单位的经济实力和 TBM 的基本配置,可以考虑使用相应的诊断仪器,对检测对象进行定期或指定部位的长期监测。如果检测要求不高,可以使用机械故障听诊器和简易振动测试仪,对机械部件旋转的摩擦副进行侦听,建立大量数据样本,进行回归分析,在设备运行正常区段,摸索正常工作的频谱,逐步建立判断域,当发现运行噪声明显或数值陡增时,往往能大致判断出故障发生的部位和损伤严重程度。例如,对掘进机连续皮带机驱动减速箱、皮带机驱动滚筒及能够监测的部位进行监测,监测效果和诊断效果都是非常好的。如图 1-1 所示为利用机械故障听诊器来判断运行故障。

振动监测技术主要适用于受振动干扰较强的设备系统,比如主变速箱、主驱动电动机、除尘风机。定期、定测点、定方向(水平、垂直、轴向)跟踪监测,并多方比较振动、噪声、温度等性能参数,绘制趋势图,及时做出超前预报^[43],这是进行系统状态监测和故障诊断的主要途径。

2. 油样分析技术

1) 润滑油理化性能分析

利用常规理化性能分析仪对润滑油进行测定,获得润滑油的主要理化指标。物理指标主



图 1-1 利用机械故障听诊器判断运行故障

要包括黏度、水分、闪点、凝点和倾点、机械杂质、不溶物、斑点测试、抗氧化性、抗乳化性、抗泡沫性、抗磨性、耐压性等；化学指标主要有总碱值、总酸值、防腐性、防锈性、氧化安定性和添加剂元素分析等。

常规理化性能检验是油液检测的基础内容，不仅可以反映润滑油本身的性能及其变化情况，而且还可以判断机械设备相应的技术状态。黏度、水分、总酸值、机械杂质等指标是衡量润滑油性能的最简便的参数^[43]。

2) 铁谱分析技术^[44,45]

铁谱分析技术(Ferrography)产生于 20 世纪 70 年代，是目前广泛使用的油液监控技术之一^[45]。油液的铁谱分析技术是利用高梯度强磁场将润滑油中所包含的磨粒按其粒度大小有序地沉积在透明载体上，然后借助光电计数、铁谱显微镜或扫描电子显微镜对磨粒进行定性和定量分析，从而形成直读铁谱、分析铁谱、旋转铁谱与在线铁谱等不同分析技术。

利用直读铁谱仪可以获得润滑油中铁磁性磨损微粒的基本参数，即大微粒读数 D_1 和小微粒读数 D_s ，进而计算出磨损总量 $Q = D_1 + D_s$ ，磨损严重度 $D = D_1 - D_s$ ，磨损严重程度指数 $I_s = QD$ ，累积磨损总量 $\sum D$ ，大微粒百分数 $GPP = D_1/Q$ ，小微粒百分数 $LPP = D_s/Q$ ，磨损相对严重度 $PLP = D/Q$ ，磨粒浓度 $WPC = Q/\text{样品量}$ 等指标，用以分析微粒总量，判断磨损程度。

铁谱分析测定的内容包括：

- ① 磨屑的浓度和颗粒大小 它们反映了磨损的严重程度；
- ② 磨屑的大小和外形 它反映了磨屑产生的原因；
- ③ 磨屑的成分 它反映了磨屑产生的部位。

分析式铁谱是利用谱片来研究机器的磨损情况。利用分析式铁谱仪做出谱片，通过在显微镜下研究谱片来判断磨损情况。

由此可见，铁谱分析技术是一种技术性较高、涉及面较广的磨损分析与状态监测技术。通过对沉积磨粒的分析，可以掌握设备运行时的实际磨损情况，判断磨损状态及失效机理。因此，铁谱分析的实质是根据润滑油中磨粒的形貌、尺寸、数量、成分等指标的分析，识别磨损零件、磨损的类型、磨损的程度及磨损机理。计算机技术的引入促进了铁谱分析技术的发展和應用，目前计算机技术应用于铁谱分析数据的存储与处理、磨损趋势判断及磨粒识别与图像处理

等各个方面,为铁谱分析技术实用化提供了强有力的手段。

3) 光谱分析技术^[44~46]

润滑油的光谱分析是指用光谱分析的方法,鉴别润滑油中污染物及添加剂元素的成分和数量,据此监测设备和润滑油的状态。油料光谱分析主要应用发射光谱分析法和红外光谱分析法。油料发射光谱仪是目前国内外广泛应用的润滑油光谱分析设备,其操作简便、分析速度快(30 s)、精度高(10^{-6} 级)、分析容量大(20余种元素)、适用的设备范围广,可根据油液中磨损、腐蚀等污染物及添加剂元素的种类、含量及其变化趋势,对机械设备的运行状态进行分析。其中来自曲轴、轴承、缸套活塞环等金属零件的磨损产物有 Fe、Ni、Al、Sn、Pb、Cu、Mo、Cr 等元素;来自空气或冷却水的污染元素主要有 Si、Ca、Na、Mg 等元素;润滑油的添加剂主要含有 P、Zn、Ca、Na、B、Ba 等元素。光谱分析技术已广泛应用于柴油机、涡轮机、轴承、液压传动系统,涉及舰船、飞机、机车、汽车、电站等各种机械设备,目前已经被中国船级社确定为船舶柴油机和艉轴状态监控的核心手段。近些年来,该方法已经多次成功预报 TBM 主轴承润滑系统、变速箱独立系统液压泵站等故障,避免了摩擦副进一步磨损造成的巨大损失,有效保护了设备的正常运行。

4) 颗粒计数分析技术

设备工作过程中产生的非金属和金属污染物颗粒会污染润滑油,另外由于周围环境(温度及湿度等)的影响会导致润滑油变质,这会使零件摩擦副表面的磨损加快,对设备、系统和零部件造成的危害很大,导致设备的性能下降及寿命缩短^[44]。为了检测油液的污染度,避免或减少因污染而导致的故障和失效,采用颗粒计数分析技术对柴油机的润滑油进行污染度评定^[44]。

颗粒计数器是一项评定油液内非金属和金属固体颗粒的重要技术。其特点是对油样的颗粒进行分组粒度测量,并按预选的粒度范围进行计数,通过测定单位容积油液中污染物的个数,来反映零件或系统设备所受污染物的严重程度^[44]。颗粒计数除了对油液中的各种非金属和金属污染物颗粒按尺寸分组计数以外,还可以进一步表征油液中颗粒的分布情况与变化趋势^[44]。

3. 工业内窥镜检测技术

作为设备的核心组件之一,TBM 主轴承设有以下多个工业内窥镜观察口^[42]:沿圆周方向均匀设置 ED1 观察口四个,可以从主轴承后排轴向推力双列滚柱后端对滚子和滚道进行观察;ED2 观察口四个,可以从主轴承径向单列滚柱后端对滚子、滚道以及保持架进行观察;ED3 观察口一个,可以从主轴承后排轴向推力双列滚柱前端对滚子和滚道进行观察;ED4 观察口一个,可以从主轴承前排轴向推力单列滚柱后端对滚子和滚道进行观察;ED5 观察口四个,可以从主轴承前排轴向推力单列滚柱前端对滚子和滚道进行观察。

在主变速箱便于观察到的位置也可设置工业内窥镜,以便对其设备部件进行检测。

4. 故障听诊仪检测技术

利用故障听诊仪可以对主驱动电动机和几乎所有的变速箱、液压马达等设备进行状态监测与故障诊断,要求检测技术人员具备一定的实际经验和故障判断能力,这类似于医生用听诊器给病人诊断,不再赘述^[42]。

5. 温度监测技术

温度是机械设备运转的重要参数之一,温度或温度场的变化能够反映机械设备的技术状态,据此可以诊断故障或通过发现故障征兆,从而预防故障。