

HANDBOOK OF CONSTRUCTION MACHINERY

# 工程机械手册

维修  
与  
再  
制  
造

MAINTENANCE

AND REMANUFACTURING

## 维修与再制造

主编 易新乾

副主编 史佩京 秦倩云 郭文武 魏世丞



国家出版基金项目

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是《工程机械手册》系列工具书中的一个分册,由业内 80 余位资深专家历时近 4 年精心编写而成。内容涉及维修与再制造理论、管理、技术和生产实践。

本书可供从事工程机械设计、制造、管理、销售、使用、维修、再制造的专业人士检索、自学;也可作为相关专业大学和培训学校的参考资料。

版权所有,侵权必究。举报: 010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程机械手册·维修与再制造/易新乾主编. —北京: 清华大学出版社, 2022. 10  
ISBN 978-7-302-60392-4

I. ①工… II. ①易… III. ①工程机械—技术手册 ②工程机械—机械维修—技术手册  
IV. ①TH2-62 ②TU607-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 047611 号

责任编辑: 王 欣

封面设计: 傅瑞学

责任校对: 赵丽敏

责任印制: 沈 露

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-83470000 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 三河市东方印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 50 插 页: 4 字 数: 1252 千字

版 次: 2022 年 10 月第 1 版 印 次: 2022 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 298.00 元

---

产品编号: 084726-01

## 《工程机械手册》编写委员会名单

主 编 石来德 周贤彪

副主编 (按姓氏笔画排序)

丁玉兰 马培忠 卞永明 刘子金 刘自明

杨安国 张兆国 张声军 易新乾 黄兴华

葛世荣 覃为刚

编 委 (按姓氏笔画排序)

卜王辉 王国利 王勇鼎 王 锐 王 衡

毛伟琦 孔凡华 史佩京 付 玲 成 彬

毕 胜 刘广军 李 刚 李 青 张 珂

张丕界 孟令鹏 周治民 周 崎 赵红学

郝尚清 胡国庆 秦倩云 徐志强 徐克生

郭文武 黄海波 曹映辉 盛金良 舒文华

傅炳煌 程海鹰 谢正元 鲍久圣 薛 白

魏世丞

清华大学出版社

# 《工程机械手册——维修与再制造》编委会

## 顾 问

徐滨士 中国工程院  
杜彦良 中国工程院  
陈 建 中铁隧道局集团有限公司  
李建斌 中国中铁股份有限公司

## 主 任

孙兆宏 中国工程机械学会维修与再制造分会

## 副主任

马世宁 中国工程机械学会  
易新乾 石家庄铁道大学  
朱 胜 再制造技术国家重点实验室  
谭顺辉 中铁高新工业股份有限公司  
史佩京 京津冀再制造产业技术研究院  
秦倩云 中铁高新工业股份有限公司  
郭文武 石家庄铁道大学  
魏世丞 陆军装甲兵学院

## 委 员 (按姓氏笔画排序)

王玉江 陆军装甲兵学院  
王江卡 中铁(广州)投资发展有限公司  
叶京生 柚可信息科技有限公司  
牟 松 中铁工程服务有限公司  
闵玉春 安徽博一流体传动股份有限公司  
沙明元 中国铁建股份有限公司  
陈 馨 盾构及掘进技术国家重点实验室  
杨慧杰 湖南维尔力德科技有限公司  
杨其明 中国铁路北京局集团有限公司科研所  
赵新合 中铁工程装备集团技术服务有限公司  
姚爱民 蚌埠市行星工程机械有限公司  
姚巨坤 陆军装甲兵学院  
高 衡 天津工程机械研究院  
蒙先君 中铁隧道局集团有限公司设备分公司  
**编写办公室**  
王丽华 辛利超 王锦花 陈 玲 晏永宏

清华大学出版社

# 《工程机械手册——维修与再制造》编写人员

概论 易新乾 王 龙

## 第1篇 故障的形成、检测、监测与诊断

第1章 王森辉 葛学元

第2章 姚巨坤 杨其明 马怀祥 董丽虹 吉 喆 段文军 刘绥美

## 第2篇 维修与再制造理论和管理

第3章 易新乾

第4章 易新乾

第5章 姚巨坤

第6章 周 颖 叶京生 薛小平 苏 宇

第7章 杨学强

第8章 李葆文

第9章 李开富

第10章 郭 平

第11章 姚巨坤 叶京生 崔培枝 秦倩云 潘海生

第12章 叶京生 赵利祥 蒙先君 王春晓 秦倩云

## 第3篇 维修与再制造技术

第13章 姚巨坤

第14章 宋守许 黄海鸿

第15章 于鹤龙 吉小超 宋占永 周新远 汪 勇

第16章 史佩京 姚巨坤 王红美 柳 建 魏 敏 齐海波 董世运

梁 欣 宋启良

第17章 孙晓峰 宋 巍 巴德玛 李占明 史玉鹏 邱 曥

第18章 朱永超 李代勇 杨顺东 夏 刚 段文军 姚巨坤 崔培枝

第19章 杨其明

第 20 章 李开富 贺卫国 潘海生 赵军军  
第 21 章 李代勇

#### 第 4 篇 维修与再制造案例

第 22 章 蒙先君 李 怀 孙海波 贺卫国 潘海生 赵军军  
第 23 章 杨慧杰  
第 24 章 滕台凡亮  
第 25 章 杨 安 任 健 赵明辉 杨一男  
第 26 章 周 琳  
第 27 章 闵玉春  
第 28 章 姚爱民  
第 29 章 刘 欢  
第 30 章 邱祎源

附录 A 阳建新

附录 B 陈 月



本书各章作者名录

# 总序

## PREFACE

根据国家标准,我国的工程机械分为 20 个大类。工程机械在我国基础设施建设及城乡工业与民用建筑工程中发挥了很大作用,而且出口至全球 200 多个国家和地区。作为中国工程机械行业中的学术组织,中国工程机械学会组织相关高校、研究单位和工程机械企业的专家、学者和技术人员,共同编写了《工程机械手册》。首期 10 卷分别为《挖掘机械》《铲土运输机械》《工程起重机械》《混凝土机械与砂浆机械》《桩工机械》《路面与压实机械》《隧道机械》《环卫与环保机械》《港口机械》《基础件》。除港口机械外,已涵盖了标准中的 12 个大类,其中“气动工具”“掘进机械”和“凿岩机械”合在《隧道机械》内,“压实机械”和“路面施工与养护机械”合在《路面与压实机械》内。在清华大学出版社出版后,获得用户广泛欢迎,斯普林格出版社购买了英文版权。

为了完整体现工程机械的全貌,经与出版社协商,决定继续根据工程机械型谱出齐其他机械对应的各卷,包括:《工业车辆》《混凝土制品机械》《钢筋及预应力机械》《电梯、自动扶梯和自动人行道》。在市政工程中,尚有不少小型机具,故此将“高空作业机械”和“装修机械”与之合并,同时考虑到我国各大中城市游乐设施亦很普遍,故也将其归并其中,出一卷《市政机械与游乐设施》。我国幅员辽阔,江河众多,改革开放后,在各大江大河及山间峡谷之上建设了很多大桥;与此同时,在建设了很多高速公路之外,还建设了很多高速铁路。不论是大桥还是高速铁路,都已经成为我国交通建设的

名片,在我国实施“一带一路”倡议及支持亚非拉建设中均有一定的地位,在这些建设中,出现了自有的独特专用装备,因此,专门列出《桥梁施工机械》《铁路机械》及相关的《重大工程施工技术与装备》。我国矿藏很多,东北、西北、沿海地区有大量石油天然气,山西、陕西、贵州有大量煤矿,铁矿和有色金属矿藏也不少,勘探、开采及输送均需发展矿山机械,其中不少是通用机械,在专用机械如矿井下作业面的开采机械、矿井支护、井下的输送设备及竖井提升设备等方面均有较大成就,故列出《矿山机械》一卷。农林机械在结构、组成、布局、运行等方面与工程机械均有相似之处,仅作业对象不一样,因此,在常用工程机械手册出版之后,再出一卷《农林牧渔机械》。工程机械使用环境恶劣,极易出现故障,维修工作较为突出;大型工程机械如盾构机,价格较贵,在一次地下工程完成后,需要转场,在新的施工现场重新装配建造,对重要的零部件也将实施再制造,因此专列一卷《维修与再制造》。一门以人为本的新兴交叉学科——人机工程学正在不断向工程机械领域渗透,因此增列一卷《人机工程学》。

上述各卷涉及面很广,虽撰写者均为相关领域的专家,但其撰写风格各异,有待出版后,在读者品读并提出意见的基础上,逐步完善。

石来德

2022 年 3 月

清华大学出版社

# 序

## PREFACE

机械设备维修与再制造是一项节约能源、节约资源、减少环境污染、提升生产力水平、增加就业、扩大内需的利国利民的事业，是机械装备制造企业和使用企业都不可或缺的制造业延伸服务行业。但是，机械设备维修与再制造专业的发展并不是一帆风顺的。20世纪50—60年代，不少重点大学设置维修专业，但逐渐与机械设计专业合并了；90年代，在一批学者的反复论证和呼吁下，原国家教委批准在几所院校设置设备工程专业，后来又被机械设计与自动化专业整合了。当前，设备工程教育在企业领导与技术人员中普及程度还不高。20世纪80年代以前，大型施工企业和大型制造企业都有自己的大型、先进的设备维修工厂或车间，承担本企业设备的维修。进入21世纪，随着经济结构调整，这些自我服务的企业迫于经济效益的压力，转型为设备制造企业或是自生自灭；而市场上的第三方维修企业又很难胜任大型复杂设备维修工作。

中国工程机械学会组织编写的《工程机械手册——维修与再制造》可为设备维修技术人员提供重要的参考资料，对促进设备维修市场发展具有重要意义。

我于1954年从哈尔滨工业大学毕业后，被

分配到中国人民解放军军事工程学院装甲兵工程系担任坦克维修专业教师，从此开始了我从事维修与再制造专业教学、研究的一生。我的朋友易新乾教授是维修与再制造领域的资深专家，他小我几岁，我们是共同推动工程机械维修与再制造发展的重要伙伴。1979年，我们共同创建机械维修工程学科，后来我倡议建立表面工程与再制造工程学科时，他也是积极的支持者和参与者之一。这次我们共同组织编写《工程机械手册——维修与再制造》，有80多位业内专家、学者和企业家积极参与其中，我相信一定能够总结我们40多年来共同推动工程机械维修与再制造的成果和最新研究进展，编成一本高水平且实用的手册，为工程机械维修与再制造事业的发展贡献绵薄之力。

徐佳喜

中国工程院院士  
波兰科学院外籍院士

2019年6月

清华大学出版社

# 前言

## FOREWORD

### 1. 缘起

《工程机械手册——维修与再制造》是中国工程机械学会主持编写的丛书《工程机械手册》中的一个分册,第一期10个分册已经出版,入选“十二五”国家重点图书出版规划项目并获得国家出版基金资助。第二期自2018年9月启动。本分册由中国工程机械学会维修与再制造分会、再制造技术国家重点实验室、石家庄铁道大学共同组织编写。

### 2. 本书的目的

维修与再制造是节约资源、节约能源、减少对环境的危害、扩大就业与应对地球环境危机的有力途径,是国家循环经济、绿色发展战略的组成部分。中国工程机械学会维修与再制造分会自1979年创建以来一直致力于推动机械维修学术体系的完善和维修技术的发展。把中国工程机械学会维修与再制造分会40多年来在维修与再制造领域的创新成果总结出来,用以指导施工企业和工程服务企业的生产与管理,是编写本书的背景和目的之一。

近年来,在国家创新发展政策的推动下,维修与再制造技术的研发和应用,诸如增材制造技术、激光技术、3D打印技术、互联网+的研究和应用都有重大发展,把这些新成果加以整理、推广,推动维修与再制造领域的快速发展,是编写本书的又一个目的。

近20年,由于国家教育制度的改革,高等学校撤销了20世纪90年代开始设立的设备工程专业,高等学校不再教授设备管理、设备维修课程。现在施工企业以及与设备相关的服务企业在职的管理人员与技术人员中,没有人

接受过系统的设备工程教育,他们只是在工作中逐渐积累了一些设备管理、设备维修等维修、诊断技术的知识,这些知识不系统、不全面,也不完全正确。本书既可为他们提供一本继续学习的自学教材,又可为他们提供一个带着问题检索、参考的知识库。

### 3. 本书的定位

本书是《工程机械手册》的一个分册,所以它首先应该是一本手册,供工程机械设备用户使用。

当有一台设备、一个部件或零件需要修理时,可以从本书查找适合的修复技术,也可以查找适合的修理服务企业。

当企业计划自行组织工程机械或零部件维修与再制造时,应该首先通过本书明确维修与再制造的概念、理论和先进的管理知识,查找相应的标准,学习成功的经验。

基于工程机械从业人员缺乏维修与再制造专业训练的现状,本书应该同时是一本系统的工程机械维修与再制造基本知识与基本技术自学教材。

本书根据维修与再制造学科体系编写,内容包括维修与再制造的基本理论、工程机械管理的基本理论和方法,以及设备管理和维修与再制造企业管理成功经验。施工企业的设备管理人员、维修与再制造企业的管理人员可以借此提升自己的工作能力。

### 4. 本书的架构

以中国工程机械学会维修与再制造分会(以下简称维修分会)40多年来研究提出的机械维修学术体系为纲目,以最新专家学者研究成果为内容构成本书架构。基于以上思想,本

书由概论、4篇正文和附录组成。4篇正文分别是故障的形成、检测、监测与诊断，维修与再制造理论和管理，维修与再制造技术，维修与再制造案例。

(1) 本书把故障的形成、检测、监测与诊断作为基础

“故障的形成”是研究机械及其零部件失效的机理、规律和维修与再制造中的应对措施的，相当于医学中的病理学，即不懂病理学就不可能进行诊断和治疗，不知道感冒是由病毒引起的，盲目使用抗生素，不仅不能治病，还可能把人治死。机械设备也是如此。但是，失效理论涉及一群庞大的基础学科，磨损、变形、断裂等都涉及庞大、严密的学科体系，都有大批学者的论著。本书不详细介绍这些基础学科，把篇幅严格控制在与机械维修相关的范围。

“故障的检测、监测与诊断”是判断设备故障原因、故障部位、故障预警的各种先进技术，是状态维修的基础，是维修与再制造的保障。油液光谱、铁谱监测、振动诊断都曾经在工程机械维修中发挥过重要作用，近年来在盾构施工安全保障中更是不可或缺。当前，盾构在线油液监测、盾构主轴承在线振动监测技术研究都有进展，本书将向同行推介这些技术。

(2) 本书把维修与再制造理论和管理作为指导

只有掌握了科学的“理论”才能有卓越的实践；“管理”是对人、财、物进行最科学合理的组合，以取得投入最小、产出最大的结果的理论与技术。所以本书第2篇是维修与再制造理论和管理。

可靠性理论、维修性理论等都是第二次世界大战以后逐渐发展起来的，20世纪80年代引入维修领域；维修经济学、再制造工程也是在20世纪80年代以后引入维修领域的。这些理论的引入指导“维修”从一门手艺发展成为一门应用技术学科。

全寿命管理又常被称为全生命周期管理，其目标是追求全生命周期费用最低。20世纪80年代，铁道兵为进口一批装载机，在卡特彼

勒与小松两个机型的议标时，依据全寿命管理理论，按全寿命周期费用最低进行比选，取得了良好的效果。随着再制造的推进，有人提出“多寿命管理”的概念。

同样是从20世纪80年代开始，各大型施工企业逐步用“状态维修”取代施行了30余年的“计划修理”；时至今日，状态管理已经成为设备管理的常态。随着人工智能技术的发展，有人提出了“智能维修”的概念。

合理的生产过程管理是提高生产效率、降低生产成本、确保产品质量的重要手段。

(3) 本书把维修与再制造技术列为重点，安排了最多的篇幅

“维修与再制造技术”是维修与再制造全过程都要考虑、选择、掌握和应用的内容，是保证维修与再制造质量和效率的手段，同时维修与再制造技术发展迅速、内容丰富，所以被本书列为重点。

20世纪80年代开始，维修分会与中国铁道出版社、中国建筑工业出版社、天津科技出版社、辽宁科技出版社分别组织编写出版了4套“机械维修丛书”，系统介绍了拆卸与装配、清洗技术、发动机修理技术等。几十年过去了，这些技术不断发展，再制造国家重点实验室和多所院校的大批学者也对此进行了广泛的研究。本书编委会邀请各领域内进行过专门研究的专家学者分头编写相关内容，以确保本书的先进性。

清洗是保证维修与再制造质量的重要工艺，在维修与再制造全过程中合理地安排几次清洗工艺是十分必要的。维修分会曾经反复宣讲汽、柴油清洗的危害，原铁道部基建总局曾经发文在材料供应项目中取消了清洗用油。维修分会还大力推广超声波清洗和高压水清洗，近年来又出现了火焰清洗、激光清洗与诸多物理清洗，这些高效、环保的清洗工艺应该得到推广。

激光作为热源具有能量集中、热影响小的优点，在20世纪80年代就成为用户向往的先进技术，但由于设备价格昂贵，大能量激光器制作困难，其发展受到了限制。近年来，由于

激光技术研究的深入和大功率激光器的发展,激光技术得到广泛应用。3D 打印用于制作稀缺零件,激光熔覆用于修复磨损零件和制造对表面具有特殊要求的贵重零件,以及为了优化环境,用快速激光熔覆取代广泛应用的镀铬,这些都具有重要意义,为此本书用较大篇幅介绍激光技术。

应急抢修在军事领域是战争胜利的重要保障,在民用领域能够保障工期。第四次中东战争中,以色列的应急抢修是战胜对手的因素之一。马世宁教授和他的团队潜心研究多年,开发了多种应急抢修技术,在工程应用中往往能够产生奇效。

智能化、信息化技术与互联网+模式为生产与生活的各个领域插上了翅膀,工程机械领域亦然。施工企业设备管理系统、施工过程安全交付系统、工程机械与盾构远程监测系统、盾构租赁平台、工程机械零部件交易平台被各机构陆续开发利用,可视化远程服务支援技术也日渐成熟,为工程机械与工程施工领域的快速发展做好了准备;而这些先进技术的推广应用,以及把一个个信息孤岛融合成一个全行业的系统还有待业内同仁的艰苦努力。这就是本书以较大篇幅推介相关智能化技术的目的。

随着工程机械智能化的发展,软件在工程机械中的重要性日益提高,但由于发展时间还短,软件维护还没有得到重视,目前也没有成熟的维护管理方法和技术,本书只是提醒同仁注意。

(4) 本书的第 4 篇是维修与再制造的典型案例,可供读者参考

扶持典型、宣传典型、示范和推广是发展的必由之路,许多企业应用维修理论和先进管理方法,选择合理的技术创造了工程机械或零部件维修与再制造的成功案例,本书选择其中相对成熟的案例加以整理推广。但是这些案例也并不是最科学、最先进的,本书介绍这些案例是为了业内交流。

(5) 可能给需要者提供帮助的附录

本书附录收录了工程机械维修与再制造

标准、盾构机运输技术等信息,供读者检索和参考。

## 5. 本书的特点

(1) 用医学“治未病”的理念指导维修管理

先秦学者扁鹊讲过一个故事。魏文王问名医扁鹊说:“你们家兄弟三人,都精于医术,到底哪一位最好呢?”扁鹊答说:“长兄最好,二哥次之,我最差。”魏文王又问:“那么,为什么是你最出名呢?”扁鹊答说:“我长兄治病,是治病于病情发作之前。由于一般人不知道他事先能铲除病因,所以他的名气无法传出去,只有我们家的人才知道。我二哥治病,是治病于病情初起之时。一般人以为他只能治轻微的小病,所以他的名气只及于本乡里。而我扁鹊治病,是治病于病情严重之时。一般人都看到我在经脉上穿针管来放血、在皮肤上敷药等大手术,所以以为我的医术高明,名气因此响遍全国。”

“治未病”理念在设备维修领域就是认真维护设备、加强状态监测,让设备少发生故障或者提早发现故障隐患,治设备于“未病”。认真研究本书第 1 篇故障的形成、检测、监测与诊断和第 20 章设备维护技术、第 21 章软件运行维护可以治设备于“未病”。

(2) 积极创新,推动维修与再制造快速发展

实施创新驱动发展战略是国家的基本国策,本书力求创新。

维修与再制造是生产活动,理所当然应该在经济学规律指导下运作,但是经济学领域并没有维修经济的位置。为此,维修分会在 20 世纪 80 年代就组织、撰写了有关维修经济的论文。本书邀请石家庄铁道大学的经济学博士编写了第 10 章维修经济,尽管还没有能够提出维修经济的理论基础和体系,但对于倡导经济学家和一线管理人员来共同创建维修经济学具有重要意义。

智能化是现代人类文明发展的趋势,是制造业、建筑业的发展前沿,当然也是维修与再制造的创新领域。本书第 9 章维修制度的作者在论述传统按期维修、按需维修后提出了智能

维修的概念。尽管在第9章里没有详细介绍智能维修制度的具体内容,但是本书介绍的在线状态监测为智能维修提供了技术基础。本书第19章的作者第一次提出微观再制造与维修技术,这项技术也可以被看作在微观领域的智能维修。至于零部件的智能维修,仍有待于业内同仁的共同努力。

设备维护能够保持设备经常处于良好状态,能够延长设备使用寿命、保障施工,设备维修管理人员都对其非常重视。但他们重视的只是硬件的维护,操作规范中列出的也只有硬件维护;通常不重视软件的维护,甚至不少人认为软件是不需要维护的。其实软件也会因为设计缺陷而需要补丁和升级,否则,系统可能会因为承载它的硬件的失效或黑客的攻击而崩溃。同时软件的故障往往是突发的,一旦爆发后果严重。为此,本书第21章列入软件运行维护。

此外,第4篇维修与再制造案例中,第16章修复技术、第17章应急维修技术、第18章智能维修与再制造技术都有许多创新内容,欢迎

读者参阅。

### (3) 尝试利用数字化技术拓展阅读

本书将部分拓展内容以二维码形式安排在适当位置,读者可以通过手机扫描二维码进一步了解相关内容。每一个二维码均由出版社特邀一位作者长期维护与更新。

本书各章作者名录二维码列出了各章作者的邮箱。各章作者在本章所述领域都有较深的造诣,读者可以通过邮箱与作者取得联系。

### 6. 让我们共同推动维修与再制造不断发展

由于主编知识水平和社会资源的限制,本书的理论和技术不能说是最先进、最前沿的;由于生产的发展和完善都需要一个相当长的过程,本书介绍的案例距离“示范”还有一定距离。本书的疏漏和不足在所难免,欢迎指正。

易新乾

2019年9月



维修与再制造分会简介

# 目 录

## CONTENTS

概论 .....	1	1.4 腐蚀 .....	29
1 故障的概念 .....	1	1.4.1 腐蚀的分类 .....	29
2 维修与再制造的概念 .....	1	1.4.2 腐蚀失效的诊断 .....	30
3 维修与再制造的发展 .....	2	1.4.3 腐蚀失效的防护 .....	30
4 机械维修的技术体系 .....	3	1.5 穴蚀 .....	32
5 再制造工程的技术体系 .....	4	1.5.1 穴蚀的表现形式 .....	32
6 推动再制造健康发展的组织和技术 措施 .....	7	1.5.2 穴蚀失效的诊断 .....	33
7 维修与再制造的展望 .....	11	1.5.3 穴蚀失效的防护 .....	33
参考文献 .....	12	1.6 机械设备的老化 .....	35
		1.6.1 机械设备老化的分类 .....	35
		1.6.2 机械设备老化的判据 .....	35
		1.7 机械设备的失效抗力 .....	36
		1.7.1 失效抗力的概念 .....	36
		1.7.2 失效抗力的工程应用 .....	37
		参考文献 .....	38
<b>第 1 篇 故障的形成、检测、 监测与诊断</b>			
第 1 章 故障的形成 .....	15	第 2 章 故障的检测、监测与诊断 .....	40
1.1 磨损 .....	15	2.1 几何参数与理化性能检测技术 .....	40
1.1.1 磨损的形式 .....	15	2.1.1 检测要求及作用 .....	40
1.1.2 磨损失效的诊断 .....	17	2.1.2 检测内容 .....	41
1.1.3 磨损失效的防护 .....	20	2.1.3 常用检测方法 .....	41
1.2 变形 .....	21	2.1.4 零件几何参数检测技术与 方法 .....	42
1.2.1 变形的分类 .....	22	2.1.5 零件机械性能检测 .....	44
1.2.2 变形失效的诊断 .....	22	2.1.6 无损检测技术 .....	45
1.2.3 变形失效的防护 .....	23	2.2 油液监测技术 .....	47
1.2.4 关注基础零件因残余应力 引起的变形 .....	23	2.2.1 背景 .....	47
1.3 断裂 .....	24	2.2.2 油液监测技术基本内容 .....	48
1.3.1 断裂机理及分类 .....	24	2.2.3 油液监测技术与设备维修 .....	54
1.3.2 断裂失效的诊断 .....	25	2.2.4 油液监测技术与设备 再制造 .....	56
1.3.3 断裂失效的防护 .....	28	2.3 振动诊断技术 .....	57

2.3.1 概述 .....	57	2.7 基于虚拟仪器的工程机械	
2.3.2 测振系统的组成与功用 .....	59	检测车 .....	120
2.3.3 振动信号分析处理系统 .....	63	2.7.1 工程机械检测车总体	
2.3.4 振动诊断的一般步骤 .....	64	介绍 .....	120
2.3.5 转轴组件的故障诊断 .....	70	2.7.2 工程机械检测车计算机诊断	
2.3.6 齿轮的故障诊断 .....	72	系统软件设计 .....	121
2.3.7 轴承的故障诊断 .....	76	参考文献 .....	122
2.3.8 基于虚拟仪器的振动			
诊断系统 .....	83		
2.4 再制造损伤评价技术 .....	89		
2.4.1 再制造毛坯损伤评价的			
特点 .....	89	3.1 概述 .....	127
2.4.2 再制造涂覆层损伤特征 .....	89	3.1.1 基本概念 .....	127
2.4.3 再制造毛坯隐性损伤		3.1.2 可靠性技术的发展 .....	127
评价技术及应用 .....	90	3.2 可靠性的数量指标 .....	128
2.4.4 再制造模式与零件损伤		3.2.1 可靠度 .....	128
评价要求 .....	91	3.2.2 不可靠度 .....	128
2.4.5 再制造零件宏观损伤评价		3.2.3 故障率 .....	128
技术及应用 .....	92	3.2.4 故障间隔平均时间 .....	129
2.5 温度监测与温度诊断 .....	100	3.3 系统的可靠性 .....	129
2.5.1 温度测量的基本概念 .....	100	3.3.1 概念 .....	129
2.5.2 温度测量的主要方法 .....	100	3.3.2 串联系统的可靠性 .....	129
2.5.3 分立式温度传感测量		3.3.3 并联系统的可靠性 .....	129
方法 .....	101	3.3.4 提高系统可靠性的途径 .....	130
2.5.4 模拟集成温度传感器测量		3.4 广义可靠性的概念 .....	130
方法 .....	104	3.5 可靠性理论的工程应用 .....	130
2.5.5 红外测温技术 .....	105	3.5.1 可靠性设计 .....	130
2.5.6 分布式光纤测温技术 .....	108	3.5.2 关于“以可靠性为中心的	
2.5.7 光纤光栅测温技术 .....	108	维修” .....	131
2.5.8 声波测温技术 .....	109	3.5.3 可靠性原理在机械维修和	
2.5.9 工程机械温度监测案例 .....	109	再制造阶段的应用 .....	132
2.6 盾构状态监测 .....	113	参考文献 .....	132
2.6.1 掘进参数实时监测 .....	114		
2.6.2 盾构姿态监测 .....	116		
2.6.3 电力、耗材监测 .....	116		
2.6.4 施工风险源实时监测 .....	117		
2.6.5 主轴承监测 .....	117		
2.6.6 油液监测 .....	119		
2.6.7 盾尾变形监测 .....	120		
2.6.8 螺旋输送机在线监测 .....	120		

## 第2篇 维修与再制造理论和管理

第3章 可靠性理论及其工程应用 .....	127		
3.1 概述 .....	127		
3.1.1 基本概念 .....	127		
3.1.2 可靠性技术的发展 .....	127		
3.2 可靠性的数量指标 .....	128		
3.2.1 可靠度 .....	128		
3.2.2 不可靠度 .....	128		
3.2.3 故障率 .....	128		
3.2.4 故障间隔平均时间 .....	129		
3.3 系统的可靠性 .....	129		
3.3.1 概念 .....	129		
3.3.2 串联系统的可靠性 .....	129		
3.3.3 并联系统的可靠性 .....	129		
3.3.4 提高系统可靠性的途径 .....	130		
3.4 广义可靠性的概念 .....	130		
3.5 可靠性理论的工程应用 .....	130		
3.5.1 可靠性设计 .....	130		
3.5.2 关于“以可靠性为中心的			
维修” .....	131		
3.5.3 可靠性原理在机械维修和			
再制造阶段的应用 .....	132		
参考文献 .....	132		
第4章 维修性理论及其工程应用 .....	133		
4.1 维修性的概念 .....	133		
4.2 维修性的意义 .....	133		
4.3 维修性的度量指标 .....	133		
4.4 改善维修性的途径 .....	133		
4.4.1 把维修性设计纳入设计			
规范 .....	133		

4.4.2 改善性修理和性能提升型 再制造 ..... 134	6.3 大力推动生产性服务业快速 发展 ..... 150
参考文献 ..... 134	参考文献 ..... 151
<b>第5章 再制造性与再制造性设计 ..... 135</b>	<b>第7章 全寿命周期管理与多寿命 周期管理 ..... 152</b>
5.1 概念 ..... 135	7.1 全寿命周期管理 ..... 152
5.2 再制造性设计准则 ..... 135	7.1.1 全寿命周期的概念 ..... 152
5.3 再制造性的定性指标 ..... 135	7.1.2 全寿命周期阶段划分 ..... 153
5.3.1 易于运输性 ..... 135	7.2 全寿命周期费用管理 ..... 153
5.3.2 易于拆解性 ..... 135	7.2.1 全寿命周期费用的概念 ..... 153
5.3.3 易于分类性 ..... 136	7.2.2 全寿命周期费用估算 程序 ..... 154
5.3.4 易于清洗性 ..... 136	7.2.3 全寿命周期费用估算 方法 ..... 155
5.3.5 易于修复和升级改造性 ..... 136	7.3 多寿命周期管理 ..... 156
5.3.6 易于装配性 ..... 136	7.3.1 多寿命周期的概念 ..... 156
5.3.7 提高标准化、互换性、通用化 和模块化程度 ..... 136	7.3.2 多寿命周期具体内容 ..... 156
5.3.8 提高可测试性 ..... 136	参考文献 ..... 156
5.4 再制造性的研究与发展 ..... 136	
5.4.1 再制造性定量指标的 研究 ..... 136	
5.4.2 产品再制造性的合理 分配 ..... 136	
5.4.3 关于再制造建模 ..... 136	
5.4.4 关于再制造预计、再制造 试验与评定 ..... 137	
参考文献 ..... 137	
<b>第6章 服务经济理论与工程机械 服务市场 ..... 138</b>	<b>第8章 全面规范化生产维护 —TnPM ..... 157</b>
6.1 服务经济理论 ..... 138	8.1 企业的人机系统 ..... 157
6.1.1 服务的概念 ..... 138	8.1.1 6S活动 ..... 157
6.1.2 服务业 ..... 139	8.1.2 6H活动(清除“六源”) ..... 157
6.1.3 服务经济 ..... 141	8.1.3 定置化管理 ..... 159
6.2 我国服务经济的实践 ..... 142	8.1.4 可视化管理 ..... 160
6.2.1 制造企业案例 ..... 142	8.2 构建科学完备的检维修 防护体系 ..... 161
6.2.2 铁道部改革案例 ..... 143	8.3 营造活跃的现场持续改善 文化 ..... 166
6.2.3 房地产生产案例 ..... 143	8.3.1 改善影响生产效率和 设备效率的环节 ..... 166
6.2.4 工程机械租赁业的发展 ..... 144	8.3.2 改善影响产品质量和 服务质量的细微之处 ..... 166
6.2.5 服务外包 ..... 145	8.3.3 改善影响制造成本之处 ..... 166
6.2.6 工程机械的零配件市场 ..... 147	8.3.4 改善员工疲劳状况 ..... 167
6.2.7 工程机械的二手机市场 ..... 148	8.3.5 改善安全与环境 ..... 167
	8.3.6 六项改善与人机系统的 交互关系 ..... 167
	8.3.7 有氧活动 ..... 167

8.4 TnPM .....	168	11.2.1 概述 .....	214
8.4.1 TnPM 的八要素 .....	169	11.2.2 再制造产品质量管理	
8.4.2 五个六架构 .....	169	方法 .....	215
8.4.3 SOON 体系 .....	170	11.2.3 再制造产品质量管理	
8.4.4 五阶六维评价体系 .....	170	技术 .....	215
8.5 TnPM+ .....	171	11.3 维修与再制造企业的零件	
参考文献 .....	173	库存管理 .....	215
<b>第 9 章 维修制度 .....</b>	<b>174</b>	11.3.1 零件库存管理的原理及	
9.1 维修制度的分类 .....	174	重要性 .....	216
9.2 状态维修 .....	175	11.3.2 库存订单的预测和	
9.2.1 状态维修的概念、工作		数据挖掘 .....	217
原理和特点 .....	175	11.3.3 库存数据的评估与分析 .....	219
9.2.2 状态维修的实施 .....	176	11.4 成组生产管理 .....	222
9.3 智能维修与维修中的智能 .....	178	11.4.1 基本概念 .....	222
9.4 盾构维修制度 .....	178	11.4.2 成组再制造管理 .....	222
9.4.1 盾构的状态维修 .....	178	11.4.3 成组技术在再制造	
9.4.2 维修分级 .....	179	生产中的应用 .....	223
9.4.3 盾构各级维修的重点 .....	179	11.5 绿色供应链管理 .....	224
参考文献 .....	180	11.5.1 概念 .....	224
<b>第 10 章 维修经济 .....</b>	<b>181</b>	11.5.2 绿色供应链产生的背景 .....	225
10.1 维修经济概论 .....	181	11.5.3 绿色供应链管理 .....	225
10.1.1 概述 .....	181	11.5.4 绿色供应链信息系统 .....	226
10.1.2 维修经济的基本理论和		11.5.5 工程机械/盾构制造与	
指标体系 .....	181	再制造企业供应链建设 .....	226
10.1.3 维修经济评价的基本		11.5.6 几家工程机械/盾构企业	
方法 .....	189	绿色供应链建设进展 .....	227
10.2 维修经济分析 .....	194	11.6 盾构再制造工时和人工成本 .....	229
10.2.1 设备寿命周期费用分析 .....	194	11.6.1 一家上市企业的工时和	
10.2.2 再制造投资决策 .....	202	人工成本 .....	229
10.2.3 设备更新决策 .....	205	11.6.2 一家国有企业的工时和	
参考文献 .....	210	人工成本 .....	230
<b>第 11 章 维修与再制造生产管理 .....</b>	<b>211</b>	参考文献 .....	233
11.1 生产规划管理 .....	211	<b>第 12 章 大型施工企业的维修与</b>	
11.1.1 生产规划管理的要求 .....	211	<b>再制造管理 .....</b>	234
11.1.2 生产规划管理的特点 .....	211	12.1 概述 .....	234
11.1.3 再制造生产计划管理 .....	213	12.2 盾构机/TBM 再制造管理	
11.1.4 再制造生产过程管理 .....	214	体系 .....	234
11.2 生产质量管理 .....	214	12.2.1 建立盾构机/TBM 再制造	
		组织体系, 实行项目化	
		管理 .....	234

12.2.2 建立盾构机/TBM 再制造 内控管理流程 ..... 235	13.2.1 维修与再制造技术重点 发展内容 ..... 253
12.2.3 盾构机/TBM 再制造质量 管控 ..... 235	13.2.2 维修与再制造技术发展 趋势 ..... 253
12.3 盾构机/TBM“再制造八步法” 标准工作模式 ..... 237	参考文献 ..... 254
12.3.1 评估策划 ..... 237	<b>第 14 章 拆卸与装配技术 ..... 255</b>
12.3.2 返厂回收 ..... 238	14.1 概述 ..... 255
12.3.3 拆解 ..... 238	14.1.1 拆卸与装配的意义 ..... 255
12.3.4 清洗 ..... 238	14.1.2 拆卸与装配技术现状 ..... 255
12.3.5 检测与剩余寿命评估 ..... 238	14.1.3 拆卸与装配的发展 ..... 255
12.3.6 再制造 ..... 239	14.2 拆卸工艺及装备 ..... 256
12.3.7 组装、调试及验收 ..... 239	14.2.1 拆卸方法 ..... 256
12.3.8 售后服务 ..... 241	14.2.2 拆卸工具 ..... 256
12.4 盾构机/TBM 再制造第三方 专业检测与监理机制 ..... 242	14.2.3 拆卸质量保障 ..... 257
12.4.1 成立盾构机/TBM 再制造 专业检测与评估机构 ..... 242	14.2.4 主动拆卸技术 ..... 259
12.4.2 成立盾构机/TBM 再制造 专业设备监理机构 ..... 244	14.3 装配技术 ..... 261
12.5 盾构机/TBM 再制造管理的 问题与思考 ..... 245	14.3.1 再制造装配的特点 ..... 261
12.5.1 市场认可方面 ..... 245	14.3.2 再制造配合副的几种 方案 ..... 262
12.5.2 再制造技术方面 ..... 245	14.4 再制造装配装备 ..... 262
12.5.3 盾构机/TBM 尺寸方面 ..... 245	14.5 再制造装配质量控制 ..... 264
12.5.4 再制造市场资格准入 方面 ..... 246	参考文献 ..... 264
12.5.5 配套产业链方面 ..... 246	<b>第 15 章 清洗技术 ..... 265</b>
参考文献 ..... 246	15.1 概述 ..... 265
<b>第 3 篇 维修与再制造技术</b>	15.1.1 维修与再制造清洗技术 基础 ..... 265
<b>第 13 章 维修与再制造技术概述 ..... 249</b>	15.1.2 清洗技术应用与发展 现状 ..... 266
13.1 维修与再制造技术体系 ..... 249	15.1.3 维修与再制造清洗技术 的发展趋势 ..... 267
13.1.1 维修与再制造工艺流程 ..... 249	15.2 维修与再制造清洗内容与 质量评价 ..... 268
13.1.2 维修与再制造技术体系 ..... 249	15.2.1 维修与再制造清洗对象 ..... 268
13.1.3 维修与再制造技术特点 ..... 250	15.2.2 表面污染物的构成及 分类 ..... 270
13.1.4 维修与再制造技术的 作用 ..... 251	15.2.3 清洗效果评价与质量 管理 ..... 271
13.2 维修与再制造技术发展 ..... 253	15.3 维修与再制造清洗技术与 应用 ..... 273

15.3.1 化学清洗 .....	273	16.5.1 堆焊技术原理 .....	339
15.3.2 物理清洗 .....	274	16.5.2 堆焊技术特点及其分类 .....	340
15.3.3 维修与再制造清洗新技术 .....	282	16.5.3 堆焊材料及其特点 .....	344
15.3.4 工程机械维修与再制造清洗技术应用 .....	286	16.5.4 堆焊工艺流程 .....	347
参考文献 .....	291	16.5.5 典型堆焊维修与再制造工程应用 .....	348
<b>第 16 章 修复技术 .....</b>	<b>292</b>	<b>16.6 热喷涂技术 .....</b>	<b>351</b>
16.1 修复技术总论 .....	292	16.6.1 概述 .....	351
16.1.1 概述 .....	292	16.6.2 热喷涂涂层的形成机理 .....	352
16.1.2 修复层与基体的结合 .....	292	16.6.3 热喷涂工艺方法 .....	354
16.1.3 修复采用的能源 .....	294	16.6.4 热喷涂材料 .....	363
16.1.4 修复工艺 .....	296	16.6.5 热喷涂工艺过程 .....	367
16.1.5 修复后的性能 .....	296	<b>16.7 激光修复技术 .....</b>	<b>373</b>
16.1.6 修复工艺对基体的影响 .....	298	16.7.1 激光原理及产生历程 .....	373
16.1.7 改善修复层性能的工艺措施 .....	299	16.7.2 常见激光器 .....	374
16.1.8 修复零件检测技术 .....	300	16.7.3 激光表面强化技术 .....	378
16.1.9 修复工艺技术选用原则 .....	310	16.7.4 激光熔覆修复技术 .....	385
16.2 机械加工修理与再制造技术 .....	312	16.7.5 激光清洗技术 .....	401
16.2.1 失效件机械加工修理与再制造特点 .....	312	16.7.6 激光焊接 .....	417
16.2.2 常用机械加工修理与再制造方法 .....	312	16.7.7 3D 打印技术 .....	427
16.2.3 零件表面维修与再制造涂层的机械加工技术 .....	316	<b>16.8 维修与再制造装备 .....</b>	<b>429</b>
16.3 电镀技术 .....	320	16.8.1 超音速冷喷涂设备 .....	429
16.3.1 电镀技术原理 .....	320	16.8.2 多功能喷涂、超音速喷砂设备 .....	431
16.3.2 电镀技术分类及其特点 .....	321	16.8.3 逆变电刷镀机 .....	432
16.3.3 电镀溶液设计及其制备 .....	324	16.8.4 多功能金属表面强化冷补设备 .....	432
16.3.4 电镀工艺流程 .....	325	16.8.5 类激光高能脉冲精密冷补设备 .....	433
16.3.5 典型应用 .....	326	16.8.6 铸造缺陷熔融填充修补机 .....	434
16.4 电刷镀技术 .....	327	16.8.7 微脉冲修补机 .....	435
16.4.1 电刷镀基本原理 .....	327	参考文献 .....	435
16.4.2 电刷镀系统 .....	327	<b>第 17 章 应急维修技术 .....</b>	<b>438</b>
16.4.3 电刷镀技术特点 .....	328	17.1 概述 .....	438
16.4.4 电刷镀溶液 .....	329	17.1.1 应急维修技术内涵 .....	438
16.4.5 电刷镀工艺 .....	332	17.1.2 应急维修技术体系 .....	438
16.4.6 纳米复合电刷镀技术 .....	333	17.1.3 应急维修技术分类 .....	438
16.5 堆焊技术 .....	339	17.2 快速拆装与现场加工技术 .....	439
		17.2.1 常规拆装技术 .....	439

17.2.2 快速拆装技术 ..... 440 17.2.3 现场机械加工技术 ..... 443 17.2.4 快速切割技术 ..... 445 17.3 快速粘接堵漏技术 ..... 447 17.3.1 粘接技术基础 ..... 448 17.3.2 带压粘接堵漏技术 ..... 452 17.3.3 复合贴片快速修复技术 ..... 455 17.3.4 胶黏剂快速固化技术 ..... 458 17.4 快速焊接修复技术 ..... 461 17.4.1 无电焊接技术 ..... 461 17.4.2 水蒸气等离子焊接技术 ..... 469 17.5 快速成形技术 ..... 474 17.5.1 快速成形基本原理 ..... 474 17.5.2 快速成形的技术种类 ..... 475 17.5.3 快速成形应用 ..... 476 17.6 快速维护保养技术 ..... 478 17.6.1 电子设备快速清洗技术 ..... 478 17.6.2 快速贴体封存技术 ..... 481 17.6.3 电磁感应高效除漆技术 ..... 483 参考文献 ..... 485	支援系统硬件 ..... 534 18.3.4 虚拟维修与可视化远程支援系统关键技术 ..... 535 18.3.5 虚拟维修与可视化远程支援系统在盾构及盾构施工领域的应用 ..... 536 18.3.6 虚拟维修与可视化远程支援系统服务效益分析 ..... 536 18.4 盾构信息技术的应用 ..... 536 18.4.1 盾构远程监控系统平台 ..... 536 18.4.2 基于虚拟现实技术盾构培训应用 ..... 538 18.4.3 基于增强现实远程专家协助系统 ..... 538 18.4.4 盾构模拟操作系统 ..... 538 18.4.5 盾构租赁平台 ..... 539 18.4.6 盾构交易平台 ..... 539 参考文献 ..... 540
第18章 智能维修与再制造技术 ..... 487	
18.1 综述 ..... 487 18.1.1 智能制造国内外现状 ..... 487 18.1.2 智能再制造的概念及体系 ..... 490 18.1.3 我国智能再制造发展展望 ..... 498 18.2 智能运维中的远程监测技术 ..... 500 18.2.1 盾构远程监测技术的发展与现状 ..... 500 18.2.2 盾构远程监测技术 ..... 500 18.2.3 盾构远程监测技术在盾构运维中的应用案例 ..... 510 18.2.4 盾构远程监测技术发展展望 ..... 524 18.3 智能维修中的虚拟技术 ..... 525 18.3.1 概述 ..... 525 18.3.2 虚拟维修与可视化远程支援系统 ..... 529 18.3.3 虚拟维修与可视化远程	第19章 微观再制造与维修技术 ..... 541 19.1 背景 ..... 541 19.1.1 微观再制造技术发展回顾 ..... 541 19.1.2 微观再制造机理与特点 ..... 541 19.2 技术基础 ..... 542 19.2.1 功能材料的基本特性 ..... 542 19.2.2 摩擦学试验检测评估 ..... 543 19.3 微观再制造技术的工程应用 ..... 543 19.3.1 微观再制造技术的产品 ..... 543 19.3.2 微观再制造实施工艺编制的必选项 ..... 543 19.4 工程机械——盾构主轴承齿轮微观再制造案例 ..... 545 19.4.1 案例简介 ..... 545 19.4.2 数据分析 ..... 545 19.5 动力机械——内燃机车柴油发动机微观再制造案例 ..... 546 19.5.1 案例简介 ..... 546 19.5.2 数据分析 ..... 546

19.6 热电设备——发电厂空冷岛	547	21.7 信息安全保障	608
齿轮箱微观再制造案例	547	21.7.1 确定信息安全需求	608
19.6.1 案例简介	547	21.7.2 设计并实施信息安全	608
19.6.2 数据分析	547	21.7.3 信息系统等级保护评测和	
19.7 轨道交通——铁路机车轮缘		持续改进	608
微观再制造案例	548	21.7.4 持续监测	608
参考文献	549	21.8 专业运行维护	608
<b>第 20 章 工程机械设备维护技术</b>	<b>550</b>	参考文献	609
20.1 设备维护	550		
20.1.1 概述	550		
20.1.2 维护制式	550		
20.1.3 设备保养制度化	551		
20.1.4 设备保养的发展	552		
20.1.5 盾构保养规定	552		
20.2 设备的油水管理	552		
20.2.1 油料的合理选用	552		
20.2.2 油液污染与污染控制	556		
20.2.3 油料变质与变质油料的			
更换	558		
20.2.4 盾构机油水管理	562		
20.3 盾构保养指南	564		
20.3.1 施工保养	564		
20.3.2 仓储保养	587		
参考文献	597		
<b>第 21 章 软件运行维护</b>	<b>598</b>		
21.1 概述	598		
21.1.1 软件的定义	598		
21.1.2 软件的特点	599		
21.1.3 软件故障的成因	599		
21.2 软件维护	599		
21.2.1 软件维护分类	599		
21.2.2 软件维护难易程度	600		
21.2.3 运行维护的必要性	600		
21.3 案例与反思	601		
21.4 一般性运行维护	601		
21.4.1 运行维护服务的对象	601		
21.4.2 日常巡检工作	602		
21.5 软件变更管理	607		
21.6 信息系统灾难恢复	608		
<b>第 22 章 盾构机、TBM 维修与再制造</b>	<b>613</b>		
22.1 盾构机再制造	613		
22.1.1 盾构机原型机基本情况	613		
22.1.2 新项目工程概况	614		
22.1.3 盾构机再制造设计	614		
22.1.4 盾构机再制造实施过程	618		
22.1.5 盾构机再制造售后服务	630		
22.1.6 再制造盾构机产品认定	630		
22.1.7 盾构机再制造项目法			
管理	631		
22.2 盾构维修	632		
22.2.1 盾构维修流程	632		
22.2.2 盾构维修验收	633		
22.2.3 盾构维修案例	633		
22.3 TBM 再制造案例	638		
22.3.1 TBM 原型机基本情况	638		
22.3.2 新项目工程概况	639		
22.3.3 TBM 再制造设计	640		
22.3.4 TBM 再制造实施过程	641		
22.3.5 TBM 再制造售后服务	657		
22.3.6 TBM 再制造项目法			
管理	657		
参考文献	658		
<b>第 23 章 工程起重机维修与再制造</b>	<b>659</b>		
23.1 工程起重机的分类及其			
特点	659		
23.1.1 轮式起重机的分类与			
特点	659		

23.1.2 履带起重机的分类与特点 ..... 660	24.2.1 半导体直接输出液压支架激光再制造装备 ..... 673
23.1.3 随车起重机的分类与特点 ..... 660	24.2.2 光纤耦合输出液压支架激光再制造装备 ..... 673
23.2 工程起重机概念与标准 ..... 660	24.3 液压支架激光再制造材料 ..... 674
23.2.1 起重机再制造的概念 ..... 660	24.4 液压支架激光再制造工艺 ..... 674
23.2.2 起重机制造的分类 ..... 661	24.5 液压支架激光再制造性能检测及评价 ..... 675
23.2.3 起重机制造的标准 ..... 661	24.5.1 液压支架激光再制造宏微观质量评判依据 ..... 675
23.2.4 起重机验收的标准 ..... 661	24.5.2 激光熔覆材料的若干问题研究 ..... 676
23.3 工程起重机维修与再制造工艺及技术 ..... 663	24.5.3 激光熔覆层裂纹的形成机理及控制措施 ..... 677
23.3.1 工程起重机维修与再制造工艺流程 ..... 663	参考文献 ..... 677
23.3.2 工程起重机电气系统再制造 ..... 664	<b>第 25 章 沥青摊铺机再制造 ..... 678</b>
23.3.3 履带起重机桅杆再制造 ... 664	25.1 摊铺机再制造背景 ..... 678
23.3.4 工程起重机泵类元件再制造 ..... 664	25.2 摊铺机再制造的意义 ..... 678
23.4 工程起重机再制造的质量管理体系 ..... 665	25.3 摊铺机再制造的目标 ..... 679
23.4.1 起重机再制造质量管理 ... 665	25.4 摊铺机升级再制造方案 ..... 679
23.4.2 起重机再制造质量体系 ... 666	25.4.1 机架再制造 ..... 680
23.4.3 生产过程质量控制 ..... 668	25.4.2 台车架再制造 ..... 681
23.5 工程起重机逆向物流体系 ..... 669	25.4.3 前推辊总成再制造 ..... 681
23.5.1 建立逆向物流体系 ..... 669	25.4.4 动力系统、液压系统、传动系统、电控系统和外观升级 ..... 682
23.5.2 稳定再制造起重机整机来源 ..... 669	25.4.5 熨平装置机架再制造 ..... 682
23.5.3 多渠道获取再制造起重部件 ..... 669	25.5 摊铺机再制造效益分析 ..... 682
23.5.4 再制造起重机销售管理 ... 669	25.5.1 摊铺机再制造经济效益分析 ..... 682
参考文献 ..... 669	25.5.2 摊铺机再制造社会效益分析 ..... 683
<b>第 24 章 煤矿液压支架使用激光熔覆再制造 ..... 671</b>	25.6 摊铺机再制造的注意事项 ..... 683
24.1 液压支架工作原理、失效形式与激光熔覆修复 ..... 671	参考文献 ..... 683
24.1.1 液压支架 ..... 671	<b>第 26 章 盾构主轴承使用尺寸修理法再制造 ..... 684</b>
24.1.2 液压支架的失效形式 ..... 671	26.1 概述 ..... 684
24.1.3 激光熔覆修复 ..... 672	26.2 盾构主轴承主要失效形式及存在的问题 ..... 684
24.1.4 推广激光熔覆取代镀铬对煤炭生产的价值 ..... 672	
24.2 液压支架激光再制造装备 ..... 673	

26.3 盾构主轴承的检测 .....	686	27.3.2 液压阀故障分析与维修 ...	706
26.3.1 旋转精度的检测 .....	687	27.3.3 液压阀失效模式分析 ...	707
26.3.2 轴承游隙的检测 .....	687	27.3.4 多路阀再制造技术及 工艺 .....	707
26.3.3 工作表面缺陷的显微 观察及尺寸检测 .....	687	27.4 液压油缸维修与制造 .....	710
26.3.4 工作表面硬度及硬化层 深度的检测 .....	688	27.4.1 概述 .....	710
26.3.5 裂纹缺陷无损检测 .....	688	27.4.2 液压油缸故障分析与 维修 .....	710
26.3.6 滚子直径相互差及凸度的 检测 .....	688	27.4.3 液压油缸失效模式分析 ...	712
26.3.7 齿轮磨损量的检测 .....	688	27.4.4 活塞缸再制造技术及 工艺 .....	712
26.3.8 需更换件的检测 .....	689	参考文献 .....	714
26.3.9 零件尺寸及形位公差的 检测 .....	689	<b>第 28 章 行星减速机维修与再制造</b> .....	716
26.4 盾构主轴承的修复 .....	689	28.1 概述 .....	716
26.4.1 盾构主轴承修复流程 .....	689	28.2 行星减速机的维修 .....	716
26.4.2 盾构主轴承修复方案 设计 .....	689	28.2.1 渗、漏油 .....	716
26.4.3 盾构主轴承修复工艺 .....	690	28.2.2 异响 .....	717
26.5 盾构主轴承修复案例 .....	690	28.2.3 制动器失灵 .....	717
26.5.1 检测案例 .....	690	28.2.4 温升异常 .....	717
26.5.2 盾构主轴承修复案例 .....	692	28.2.5 磨损 .....	717
参考文献 .....	694	28.3 行星减速机的再制造 .....	719
<b>第 27 章 液压件维修与再制造</b> .....	695	28.3.1 再制造流程 .....	719
27.1 概述 .....	695	28.3.2 行星减速机的零部件 再制造 .....	721
27.1.1 液压件再制造工艺 流程图 .....	695	28.3.3 再制造产品的质量控制 ...	721
27.1.2 液压件再制造质量控制 流程图 .....	696	28.4 典型零部件的维修和再制造 ...	721
27.2 液压泵、马达维修与再制造 .....	696	28.4.1 行星架的维修和再制造 ...	721
27.2.1 概述 .....	696	28.4.2 立轴的维修和再制造 ...	722
27.2.2 液压泵、马达故障分析与 维修 .....	698	28.4.3 壳体、连接盘的维修和 再制造 .....	722
27.2.3 液压泵、马达失效模式 分析 .....	698	28.4.4 齿轮的修复和再制造 ...	722
27.2.4 柱塞泵、马达再制造技术 及工艺 .....	701	参考文献 .....	722
27.3 液压阀维修与再制造 .....	706	<b>第 29 章 发动机再制造</b> .....	723
27.3.1 概述 .....	706	29.1 旧发动机的拆解 .....	723
		29.2 再制造清洗工艺与技术 .....	724
		29.2.1 再制造清洗的基本概念 ...	724
		29.2.2 再制造清洗的基本要素 ...	725
		29.2.3 再制造清洗的实用方法 ...	726

29.3 再制造毛坯的性能和质量	
检测 .....	727
29.3.1 超声检测技术 .....	727
29.3.2 涡流无损检测技术 .....	727
29.3.3 金属磁记忆检测技术 .....	728
29.4 发动机再制造修复技术 .....	728
29.5 装配 .....	730
29.6 测试与包装 .....	730
参考文献 .....	730
<b>第30章 工程机械柴油机的排放控制</b> .....	731
30.1 概述 .....	731
30.1.1 柴油机燃烧过程的排放物 .....	731
30.1.2 国内工程机械柴油机排放的现状 .....	732
30.2 工程机械柴油机排放标准 .....	732
30.2.1 国外标准 .....	732
30.2.2 国内标准 .....	736
30.2.3 国内标准与欧美相关标准的差异 .....	739
30.3 工程机械柴油机排放检测技术 .....	740
30.3.1 工程机械柴油机排放检测的一般规定 .....	740
30.3.2 工程机械柴油机排放检测的项目和程序 .....	740
30.3.3 测试仪器介绍 .....	741
30.4 在役工程机械柴油机排放改造 .....	742
30.4.1 在役工程机械柴油机排放改造技术 .....	742
30.4.2 在役工程机械柴油机排放改造的几个说明 .....	743
参考文献 .....	745
<b>附录A 工程机械维修与再制造标准</b> .....	746
<b>附录B 盾构机运输技术</b> .....	756
<b>后记</b> .....	770

清化X

清华大学出版社

# 概 论

劣化后,恢复其良好状态的一系列技术活动的总称。

## 2) 再制造的概念

再制造是徐滨士院士于 20 世纪 90 年代在国内首先提出的一个概念。

从学科意义上讲,再制造工程是以设备全寿命周期设计和管理为指导,以实现废旧设备性能跨越式提升为目标,以优质、高效、节能、节材、环保为准则,以先进技术和产业化生产为手段,对废旧设备进行修复和改造的一系列技术措施或工程活动的总称。

从实际生产角度上讲,再制造是指对全寿命周期内回收的废旧设备进行拆解和清洗,对失效零部件进行专业化修复(或替换),通过再装配,使再制造产品达到与原型新品相同质量和性能的再循环过程。

2012 年,我国发布了《再制造 术语》(GB/T 28619—2012),对“再制造”的定义如下:对再制造毛坯进行专业化修复或升级改造,使其质量特性不低于原型新品水平的过程。其中质量特性包括产品功能、技术性能、绿色性、经济性等。再制造过程一般包括再制造毛坯的回收、检测、拆解、清洗、分类、评估、修复加工、再装配、检测、标识及包装等。因此,我们可以理解为,质量特性还应该包括产品的耐用性,也就是产品的使用寿命。

2012 年,英国发布的《制造、装配、拆解和报废的设计制造过程规范》(BS 8887-211:

## 1 故障的概念

机械设备在使用和存放过程中,由于内部零件的相互作用,以及外部环境的影响,内部零件会发生磨损、变形、腐蚀、穴蚀、断裂等现象,机械设备的液压、润滑介质会劣化。这些零部件的劣化会使机械设备的性能异常,作业质量降低,设备振动、噪声、排放等对环境的污染增加,视为设备发生了故障。

机械设备设计和制造中的缺陷会造成系统的故障,而使用、操作不当会加重故障的影响。

及时发现故障、排除故障及预防故障是维修与再制造的任务,因此本书的编写目的是研究故障的机理与规律,掌握故障的检测与诊断、维修技术。

## 2 维修与再制造的概念

本书中的两个关键词是“维修”与“再制造”,其中“维修”包含了“维护”与“修理”。因此,本书应该是三个关键词,即“维护”“修理”“再制造”。

### 1) 维修的概念

维修包含维护与修理。其中,维护也可称为保养,它是维持设备经常处于良好状态的一系列技术活动的总称;修理是设备损伤、性能

2012)中对“再制造”的定义如下：将使用过的产品的外观和功能恢复到至少其原始制造状态(remanufacturing: process that brings a previously used product back to at least its original manufactured state, in an “as-new” condition both cosmetically and functionally)。

2017年,美国发布的《再制造过程技术规范》(RIC 001.1-2016)中对“再制造”的定义如下：通过严格的质量控制,将出售、租赁、使用、磨损或者非功能性的产品或部件恢复到质量和性能不低于原型新品的生产过程,具有质量和性能可控、可重复和可持续等特征(remanufacturing: a comprehensive and rigorous industrial process by which a previously sold, leased, used, worn, or non-functional product or part is returned to a “like-new” or “better-than-new” condition, from both a quality and performance perspective, through a controlled, reproducible and sustainable process)。

不论是是我国的再制造标准还是国外的再制造标准,均强调再制造产品的性能和质量不低于原型新品,这是再制造区别于大修、翻新的主要特征。

再制造工程包括再制造加工与过时产品的性能升级两个主要部分。

#### (1) 再制造加工

再制造加工主要针对达到物理寿命和经济寿命而报废的产品,在失效分析和寿命评估的基础上,把具有使用价值,却由于功能性损坏或技术性淘汰等原因不再使用的产品作为再制造毛坯,采用表面工程等先进技术进行加工,使其性能和尺寸迅速恢复,甚至超过新品。

#### (2) 过时产品的性能升级

过时产品的性能升级主要针对已达到技术寿命的产品,或是不符合可持续发展要求的产品,通过技术改造、更新,特别是通过使用新材料、新技术、新工艺等,改善产品的技术性能,延长产品的使用寿命,减少环境污染。性能过时的机电产品往往是几项关键指标落后,不等于所有的零部件都不能再使用,采用新技术镶嵌的方式进行局部改造,就可以使原产品

跟上时代的性能要求。

#### 3) 修理与再制造的关系

修理与再制造都是把损坏和劣化的设备恢复到良好的状态,它们应该属于同一个范畴,所以有人把再制造称为修理的高级阶段。修理与再制造都能够节约资源,节约能源,减少对环境的危害,扩大就业,其不仅是应对地球环境危机的有效途径,还属于国家绿色发展的领域。

国内外的再制造标准都强调“再制造产品的性能和质量不低于原型新品”,而修理只要求恢复设备的工作能力,即使是大修或翻新也没有要求修复的设备“达到或超过原型新品的性能和质量”。改善性修理是指采用某一项改进后的软件或部件修复设备,并没有对整机的性能和质量提出要求。而再制造是更严格的、更全面的、更彻底的修理,能够在节能、减排、环保方面作出更多的贡献,因此国家十几个部委均出台扶持再制造的政策。

部分工程机械企业没有正确地理解再制造的概念,或者出于其他目的,往往把修理、大修,甚至把维护的二手机都算作再制造。部分学者提出“完成一个标段任务的盾构,经过维修,能够胜任下一个标段的施工就是再制造”的观点;也有学者提出“准再制造”的概念。这些做法和说法都是有害的。工业和信息化部主管再制造的同志提出“要真的做再制造,要做真的再制造”,这是十分必要的。

## 3 维修与再制造的发展

维修是伴随着人类使用工具开始的,人类使用工具多少年,维修也就诞生了多少年。古代的工具都很简单,维修也就只是一门简单的手艺,如修犁、补锅、锔碗。

第一次工业革命进入蒸汽机时代,工具(设备)已经变得很复杂,维修工程应运而生。20世纪50年代以后,设备大量使用机、电、液、气、数字技术,维修工程也相应充实了可靠性工程、维修性工程、故障物理学、故障诊断学、服务经济理论、管理工程、维修经济学等学科,