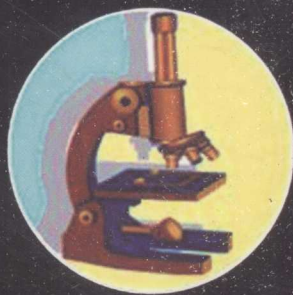


通用装备 机械性损伤及其修复技术

谭延平 田留宗 编著

Tongyong Zhuangbei Jixiexing Sunshang Jiqi Xiufu Jishu



國防工業出版社

National Defense Industry Press



NUAA2010072507

TH17
1065-3

通用装备机械性损伤 及其修复技术

谭延平 田留宗 编著
曹小平 焦建民 审阅



国防工业出版社

· 北京 ·

2010072507

内 容 简 介

本书在全面探讨装备机械性损伤的常见形式及其机理的基础上,分析了其致伤因素,研究了相应的检验方法、诊断技术和修复技术,并介绍了典型装备零部件机械性损伤的具体实例。本书以通用机型为主,兼顾了一些应用面广的进口类施工装备;此外,对一些应用面虽不太广但造价昂贵、配件供货困难的大型进口设备的应急损伤的修复工艺及实践,也进行了例举性介绍。从宏观技术方案选择到具体工艺方法的应用,逐步推进,环环相扣。内容既涉及发动机,也涉及底盘、工作装置及液压系统;既有理论又有实践。内容翔实丰富,系统全面,工艺方法新颖实用,是一部关于通用装备机械性损伤及其修复工艺的专业性和系统性论著。

本书可供各大专院校、高职高专、继续教育院校机械类装备维修专业师生作为教材或教学参考书,对于从事通用装备研究、使用、管理及损伤修复的工程技术人员,也具有重要的参考价值和实践指导意义。

图书在版编目(CIP)数据

通用装备机械性损伤及其修复技术/谭延平,田留宗
编著. —北京:国防工业出版社,2006.6
ISBN 7-118-04539-X

I. 通... II. ①谭...②田... III. 机械设备—机械
性损伤—维修 IV. TH17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 052076 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 23 $\frac{3}{4}$ 字数 551 千字

2006 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 39.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

5010035201

前 言

各种性能先进的通用装备,包括各种军用或民用的汽车、工程机械以及其它类型的机械设备等,在国防施工、战备训练、城市建设、交通运输、工业生产、能源开发以及农田修整等方面,一直发挥着十分重要的作用。特别是近年来,随着我国经济实力和科技水平的提高以及机械工业持续稳定的发展,通用装备门类日趋齐全,系列品种不断增加,军内外许多行业和部门也相继引进了不少造价昂贵的大型施工机械或新机具,使得现代社会对各种通用装备的依赖程度越来越大。与此相应,品种型号如此众多、应用领域如此广泛的通用机械装备的损伤修复,也就成为装备管理与维修人员必须面对的问题。

众所周知,由于各种自然或非自然因素的影响与侵蚀,任何一种机械设备,在使用过程中都难免或轻或重地出现磨损、变形、断裂或腐蚀等机械性损伤,也就必然离不开修复技术。此外,从修复技术与工艺的发展来看,由于新型通用装备的机电液一体化程度越来越高、性能越来越先进、价格越来越昂贵,使得其损伤修复过程也变得越来越复杂,无论是对基本修复技术的合理选择和修复方案的准确制定,还是对修复工艺和方法的具体应用,都从经济性、可行性和可靠性等方面提出了越来越高的要求。所以弄清机械装备的损伤形式和机理,探讨装备损伤的各种影响因素,运用有效的损伤检测手段,选择正确的修理技术,制定经济合理的修复工艺,使损伤装备在最短时间内恢复到良好的技术水平和运行状态,便是装备使用与维修人员必须从实践上高度关注、从理论上深入探讨的重要课题。

而当前,军内外较系统地论述通用装备机械性损伤修复技术及其工艺的书籍还比较缺乏,所以,我们本着系统性、综合性、实用性和时代性的原则编著出版了本书。这不仅对大量军民通用装备机械性损伤的修复实践具有重要的现实指导意义,而且对加快高等院校、高职高专学校以及在职的机械装备修复人才的培养也具有积极的促进作用。

在编写中,本书坚持以理论与实践的结合为基本原则,坚持以培养军地两用人才的综合素质为根本宗旨,同时坚持以提高装备修复人才的技术应用水平和工艺实践能力为重点。本书第一章全面探讨了通用装备机械性损伤的常见形式和机理;第二章则对通用装备的常见致伤因素进行了概要性分析;第三章详细介绍了通用装备机械性损伤的检验方法和诊断技术;第四章系统阐述了不同损伤形式可能选用的各种基本修复技术;第五章重点对大量典型装备零部件机械性损伤的具体修复工艺及实践过程进行了广泛的研究、探讨和归纳总结,以期起到抛砖引玉和举一反三的作用。

在对有关典型装备机械性损伤修复工艺及实践的分析研究中,本书着重以目前军内外大量使用的通用机型为主,同时兼顾介绍了一些应用面广的进口类施工装备。另外,对一些应用面虽不太广但造价昂贵、配件供货困难的大型进口装备也进行了例举性介绍,以期对类似重要进口设备的典型损伤修复起到借鉴作用。书中既有发动机典型零部件的损

伤修复工艺与实践的分析介绍,也有底盘、工作装置及液压系统典型零部件的损伤修复工艺与实践的研究讨论。全书从损伤形式研究到损伤机理探讨,从致伤因素分析归纳到损伤诊断方法介绍,从宏观技术方案选择到具体工艺方法的应用,逐步推进,环环相扣。既有理论又有实践,内容翔实丰富,工艺方法新颖实用,是一部关于通用装备机械性损伤及其修复工艺问题的专业性和系统性论著。

本书可供军地各大专院校机械类装备维修专业的师生作为教材或教学参考书,也可供各高职高专、继续教育院校和各军兵种部队装备维修机构作为维修专业教材。此外,本书对于从事通用装备使用管理及损伤修复的专业人员 also 具有重要的参考作用或实践指导意义。

本书由谭延平、田留宗编著。二炮装备部司令部曹小平高工和二炮 96151 部队装备部焦建明部长对全书进行了审阅。谭喜文和潘宇航完成了部分文字校对工作。在编著本书过程中还得到解放军理工大学工程兵工程学院训练部高亚明副部长的有力帮助;二炮 96514 部队装备处李开辉处长提供了宝贵素材和资料;二炮工程学院王汉功教授、二炮某部张新泉高工对本书稿的编写提出了修改意见,在此一并表示衷心的感谢!

鉴于作者的水平有限,书中缺点错误在所难免,恳请广大读者批评指正并提出宝贵意见。

作者
2006 年 5 月 20 日

目 录

第一章 通用装备机械性损伤的形式及损伤机理	1
第一节 概述	1
一、装备机械性损伤及其修复技术的概念	1
二、装备机械性损伤修复的意义和要求	4
三、装备机械性损伤修复的任务和目标	5
四、装备机械性损伤修复研究内容及修复水平衡量标准	5
第二节 平时自然运行条件下装备的机械性损伤	7
一、机械性损伤的常见形式	7
二、常见机械性损伤的机理分析	9
第三节 战时装备机械性损伤的特点	66
一、战时装备机械性损伤的特殊性	67
二、战时装备机械性损伤的主要类型	68
三、战时装备机械性损伤的主要表现形式	69
第二章 通用装备的致伤因素	71
第一节 设计论证缺陷所致的装备机械性损伤	71
一、选材论证缺陷所致机械性损伤	71
二、结构设计缺陷所致机械性损伤	71
第二节 制造加工缺陷所致的装备机械性损伤	72
一、铸造加工缺陷所致机械性损伤	72
二、塑性加工缺陷所致机械性损伤	74
三、焊接加工缺陷所致机械性损伤	76
四、机加工缺陷所致机械性损伤	84
五、表面处理缺陷所致机械性损伤	86
六、热处理缺陷所致机械性损伤	87
第三节 组合装配缺陷所致的装备机械性损伤	88
一、锥齿轮副组装时啮合状态缺陷所致机械性损伤	88
二、车辆转向桥组装缺陷所致机械性损伤	92
三、曲轴飞轮组装缺陷所致机械性损伤	94
四、轮毂轴承轴端紧固螺母锁紧缺陷所致机械性损伤	95
五、传动轴装配缺陷所致机械性损伤	96
六、内燃机活塞连杆组装配缺陷所致机械性损伤	98
第四节 储存运输缺陷所致的装备机械性损伤	99

一、储存缺陷所致机械性损伤	99
二、运输缺陷所致机械性损伤	103
第五节 使用操作缺陷所致的装备机械性损伤	104
一、非正常使用情况下的装备机械性损伤	104
二、正常使用情况下的装备机械性损伤	109
第六节 维护修理缺陷所致的装备机械性损伤	110
一、维修方案设计不当所致机械性损伤	110
二、维修操作方法不当所致机械性损伤	112
第七节 战时火力打击所致的装备机械性损伤	113
一、轻武器直瞄打击所致机械性损伤	113
二、重型常规武器间接打击所致机械性损伤	114
三、核武器打击所致机械性损伤	114
第三章 通用装备机械性损伤的检验与诊断技术	120
第一节 概述	120
一、机械性损伤检验的目的和内容	120
二、通过检验划分损伤零件的依据	121
第二节 机械性损伤的感觉检验法	122
一、视觉检验法	123
二、听觉检验法	123
三、触觉检验法	123
四、嗅觉检验法	123
第三节 机械性损伤的仪器检验鉴定法	124
一、对尺寸及几何形状的检验	124
二、弹力及扭矩的检验	124
三、平衡惯量的测定	124
四、密封性试验	125
第四节 机械性损伤的物理检验法	125
一、磁粉探伤技术	125
二、渗透探伤技术	129
三、超声波探伤技术	131
四、射线探伤技术	136
五、其他检验方法	136
第四章 装备机械性损伤的基本修复技术	137
第一节 零件表面摩擦损伤的修复技术	137
一、电刷镀修复技术	137
二、热喷涂修复技术	149
三、表面损伤的堆焊修复技术	187
四、表面损伤的粘涂修复技术	212
五、表面磨损的其他修复新技术	230

第二节 零件变形损伤的基本修复技术	233
一、弯扭变形的冷矫正修复技术	233
二、扭曲变形的热矫正修复技术	247
第三节 零件断裂损伤的基本修复技术	250
一、零件断裂的焊接修复技术	250
二、零件断裂的胶接修复技术	257
三、零件断裂的铆接修复技术	266
第四节 零件腐蚀损伤的基本修复技术	270
一、零件腐蚀损伤修复技术的选择	270
二、零件腐蚀损伤修复技术的原理与应用	272
第五章 装备机械性损伤的修复工艺及实践	273
第一节 常见摩擦损伤零件的修复工艺及实践	273
一、装备车辆内燃机典型摩擦损伤件的修复工艺及实践	273
二、装备车辆底盘典型摩擦损伤件的修复工艺及实践	281
三、装备车辆液压系统典型摩擦损伤件的修复工艺及实践	290
四、装备车辆工作装置典型摩擦损伤件的修复工艺及实践	295
五、其他设备典型摩擦损伤件的修复工艺及实践	300
第二节 通用装备典型变形损伤零件的修复工艺及实践	313
一、通用装备内燃机典型变形损伤零件的修复工艺及实践	313
二、通用装备底盘典型变形损伤零件的修复工艺及实践	319
三、其他设备典型变形损伤件的修复工艺及实践	326
第三节 通用装备典型断裂损伤零件的修复工艺及实践	335
一、通用装备内燃机典型断裂损伤件的修复工艺及实践	335
二、通用装备底盘典型断裂损伤件的修复工艺及实践	344
三、通用装备液压系统典型断裂损伤件的修复工艺及实践	352
四、通用装备工作装置典型断裂损伤件的修复工艺及实践	356
五、其他机械设备典型断裂损伤件的修复工艺及实践	357
第四节 通用装备典型腐蚀损伤零件的修复工艺及实践	361
一、机械车辆腐蚀损伤零件的修复工艺及实践	361
二、其他机械设备典型腐蚀损伤件的修复工艺及实践	365
参考文献	372

第一章 通用装备机械性损伤的形式及损伤机理

第一节 概 述

随着科学技术的迅速发展,各行业、各领域内的新型装备不断增多。实际上,不管是民间还是军事领域,人们都早已深刻认识到装备数量的多寡以及性能优劣,很大程度上决定着生产力和战斗力水平的高低,所以,努力推出新装备、最大限度地运用新装备,已成为人们当今不懈追求的目标。但是,由于装备运行环境的千变万化以及影响因素的错综复杂,不管是军用装备还是民用装备,也不管它们的性能如何先进或者造价如何昂贵,在使用过程中都不可避免地遇到这样或那样的损伤问题。因此,对于许多重要或昂贵的装备来讲,通过有效的技术手段和工艺措施使其损伤得以修复、使其生产力或战斗力得以重生,便具有非常重要的现实经济意义或军事价值。本节就将讨论通用装备损伤修复的有关问题。

一、装备机械性损伤及其修复技术的概念

(一) 装备机械性损伤的概念

装备在运输、保管以及运行过程中,受到有关物理能量、化学能量以及静止的或运动的机械力的直接作用,其组成单元(机械零部件或总成)将发生一系列复杂的物理、化学或力学变化,导致机械零部件发生诸如摩擦损伤、变形损伤、腐蚀损伤、断裂损伤等破坏现象,使装备偏离其正常运行状态和使用性能的现象和结果通称为装备的机械性损伤。

机械性损伤一般发生于装备的各种金属或非金属零部件上,既可以导致零部件的结构性破坏,又可以导致零部件的功能性障碍和完全失效。相比而言,非机械性损伤一般只导致装备上计算机软件系统或一些光、电、磁等敏感元件的功能性失效,并不导致其硬件系统或构成元件宏观组织的结构性破坏。

在此首次明确提出并运用“机械性损伤”的概念,是为了对本书关于损伤修复的研究方向和范围加以界定。

(二) 装备机械性损伤的分类

1. 自然性损伤和非自然性损伤

根据装备损伤发生的具体背景和过程不同,可将其损伤分为自然性损伤和非自然性损伤两大类。

① 自然性损伤。自然性损伤是指由自然因素(如风吹雨淋日晒等)渐进性冲蚀或突发性危害所造成的装备零部件损坏现象,它既有正常的自然性损伤,又有非自然的自然性损伤。如装备上橡胶件或塑料件在风吹日晒中的逐渐老化现象,就是一种自然的自然性损伤。而装备车辆长途野外行驶中突遇恶劣冰雹天气打破挡风玻璃,就属于一种非正常

的自然性损伤。

② 非自然性损伤。非自然性损伤通常是指除自然因素之外的人为外力或能量所造成的硬性性毁伤或意外事故所造成的突发性损坏。一般来看,平时的装备损伤多为自然性损伤,而战时的装备损伤多为非自然性损伤。而且,装备的非自然性损伤一般都属于非正常损伤的类型。

2. 硬性损伤和非硬性损伤

根据导致装备零部件损伤的能量作用方式及损坏效果不同,可以将损伤分为硬性损伤和非硬性损伤两大类。

① 硬性损伤。硬性损伤一般导致零部件结构表面、外部形状或内部组织的直接破坏,而且这种破坏往往是肉眼可见的,是宏观的。破坏的能量一般是机械能、化学能等。硬性损伤既可导致装备硬件的破坏,又可导致软件失去硬体依托而失效。本书所讨论的机械性损伤,通常属于硬性损伤的范畴。

② 非硬性损伤。非硬性损伤一般不导致零部件结构表面、外部形状的直接破坏,甚至也不导致零件金属或非金属材料内部组织的直接破坏,因此就零件或材料本身来讲,这种损伤形式往往是肉眼不可见的,是很微观的。例如我们平时所说的软性损伤就是非硬性损伤的主要类型,它可导致装备计算机软件系统、数字信息的失效或者敏感电子元件的微观破坏,但不导致装备硬件的宏观破坏。如强大的电磁脉冲所导致的装备电子元件失效,网络黑客攻击导致装备通信系统及网络数据破坏、计算机病毒导致的装备控制系统崩溃等损伤,就是典型的非硬性损伤。

需要说明的是,强电磁脉冲或激光等攻击手段,视攻击能量大小强弱不同,既可以造成光电设备及其电子设备的硬性损伤,也可造成非硬性损伤。例如当激光足够强时,可以直接摧毁飞机和导弹,这时的损伤就属于硬性损伤。当激光能量密度比较低时,不会造成装备主体硬件如机械设备、塑料制件等的损伤,只会造成装备上某些敏感电子元件的非硬性损伤。据估算,当激光能量密度约为 $1\text{J}/\text{cm}^2$ 时,就可以造成装备上光敏元件如机载摄像机的光电探测器——电荷耦合器件(CCD)的损伤失效。由于这种损伤的局限性和特殊性无法运用一般的机械性手段修复,所以也往往把这种损伤称作非硬性损伤。若能量密度继续增大,就可进一步导致其他零部件的硬性损伤。硬性损伤一般可采用机械的或理化的技术手段,如电氧焊、机加工、电刷镀、热喷涂等,进行修复。而对于非硬性损伤尤其是软性损伤的修复,运用这些机械性技术手段往往是无效的,因此不在本书讨论之列。

3. 正常性损伤和非正常性损伤

根据装备损伤性质与原设计特性要求(或使用要求)的矛盾程度以及可预防程度,可将损伤分为正常性损伤和非正常性损伤两大类。

① 正常性损伤。正常性损伤指的是装备在原设计特性许可的正常使用条件下必然逐步发生的或不可避免的一类损伤。如装备上橡胶、塑料元器件在使用过程中的自然老化性损伤、运动副摩擦表面的渐进性摩擦损伤等,就属于正常性损伤。这种损伤是原设计特性所容许的,与设计特性的要求不冲突、不矛盾。

② 非正常性损伤。非正常性损伤是指超出装备原设计特性所许可和所预计的正常限度的损伤,或者正常使用条件下本可以避免但却没能避免的一类损伤,以及正常使用条件下本不会出现但却超前超常出现的一类损伤。

平时自然运行条件下的装备损伤既有正常性损伤又有非正常性损伤,而且正常性损伤与非正常性损伤往往是相对而言的。例如,运动零件工作面的机械摩擦损伤是一种不可避免的损伤,并且在正常使用条件下这种磨损过程是渐进而缓慢的,因而被认为是正常性损伤;相反,若由于人为原因使润滑油中混进很多不该有的硬性杂质而产生快速磨损或者灾难性磨损时,这种摩擦损伤就属于非正常性损伤。对军用装备而言,在战时受到敌火力打击所造成的硬性损伤,如装备被炮火击毁,当然也属于典型的非正常性损伤。

对于非正常性损伤,应采用各种措施消除其根源和发生的条件;对于正常性损伤,则应设法降低其发生概率或减缓其产生和发展的过程速率。

4. 机械性损伤和非机械性损伤

根据装备损伤的机械(或力学)属性与其他属性(如光电磁属性以及信息属性等)的不同,可将其分为机械性损伤和非机械性损伤两类。

① 机械性损伤。简单地说,机械性损伤就是指装备车辆的机械零部件以磨损、断裂、变形及腐蚀等破坏形式表现出来的损伤类型。机械性损伤是机械化时代装备车辆零部件最普遍最常见的损伤形式。这种损伤形式之所以普遍和常见,与装备上各种机械构件的广泛应用并占有压倒性比例密切相关。装备上所有金属、塑料、陶瓷以及复合材料等结构件的断裂、变形、磨损及腐蚀等损坏形式,不仅其破坏机理通常是机械性的,而且其损伤也往往必须采用机械化的技术手段和工程措施进行修复,所以都可以归为机械性损伤的范畴。

由于装备机械性损伤将是本书的重点研究内容,所以,关于其概念、形式、机理等内容将在后续内容中详细讨论。

② 非机械性损伤。非机械性损伤概念的提出是与信息化时代的到来以及装备由机械化向信息化快速发展的趋势密切相关的。

在远古的年代,如冷兵器时代,装备非常简单原始和落后,装备损伤的形式及其修复技术十分简陋、原始和单一。到了机械化时代,不管是民用工业设备还是军用武器装备,都有了突飞猛进的发展,装备的损伤形式趋于多样化,损伤机理趋于复杂化,其修复技术和工艺手段也相应有了很大的丰富和发展,但从本质上看,这些损伤形式及其相应的修复技术,都打有机械化时代的烙印,而且绝大多数仍属于纯机械性的。人们似乎并没有感到对装备损伤进行所谓机械性和非机械性区分的必要。

但随着科技的进步和电子计算机的发展,装备上以微电脑为代表的信息技术含量越来越高,装备的构成属性由机械化时代的“纯机械属性”转变为“机械属性和电子信息属性的逐步融合”,其突出变化是电器元件越来越多,数字信息系统也越来越复杂。特别是对于军用装备,其零部件可能面临的损伤状况将更趋复杂化,而且已出现了许多前所未有的新样式,诸如强电磁脉冲导致的电子器件(如集成电路中的半导体)功能失效,网络黑客攻击导致的系统破坏、计算机病毒导致的装备控制系统崩溃等等,这些损伤从形成机理到表现样式,再到相应的修复技术和手段,都已经超出传统的机械性损伤的范畴,所以本书在此将所谓的装备电磁性损伤、光电性损伤以及装备计算机病毒性损伤等新的损伤形式定义为“非机械属性的损伤”,简称非机械性损伤。非机械性损伤通常属于非硬性损伤。

由于目前我军装备的信息化程度并不高,因此这类非机械性损伤与装备零件的机械性损伤现象相比,在整个装备损伤案例中所占的比例还很低,而且鉴于篇幅所限,对于非机械性损伤及其修复技术,本书将不予以涉及。

需要说明的是,从以上各种分类的关联角度来看,本书所要重点讨论的机械性损伤中既有正常性损伤,又有非正常性损伤;既有自然性损伤,也有非自然性损伤。特别地,机械性损伤通常都是硬性损伤,一般不包括装备上电、信、磁等系统的软性损伤。

(三) 装备机械性损伤修复技术的概念

装备损伤修复是指针对具体的装备损伤而实施的旨在恢复装备规定功能或性能,以期延长其使用寿命的各种技术活动及工艺过程。

装备机械性损伤修复技术是指针对装备特定的机械性损伤特征和状况而采取的旨在保持装备规定功能、恢复装备原有性能,以期延长其使用寿命的所有工程措施的总称。

二、装备机械性损伤修复的意义和要求

(一) 装备机械性损伤修复的意义

众所周知,无论多么先进的装备,其寿命也不可能是无限的。一台装备经过一定时间的使用或运行,其中有相当数量的零件难免会因磨损、腐蚀、氧化、刮伤、变形或开裂等原因而失效。一旦这种情况出现,一般只有两种方案或对策可以选择:

第一种方案是报废损伤的机械零件并更换新件。这种处理方法虽然最简单,但却不是最佳选择,因为它无疑会造成材料和资金的过多消耗和浪费,更何况许多进口装备的零部件,一旦损坏很难及时购买到合适的配件,甚至不得不使整机或整条生产线停工。

第二种方案是采取有效措施对损伤的机械零件进行修复。实际上有许多失效的、甚至报废的金属零部件是可以采用传统的或现代的技术和工艺加以修复的,许多情况下,修复后的机件质量和性能可以达到甚至超过新件。例如采用等离子堆焊修复后的柴油机进排气门,以及进排气门推杆,其寿命完全可达到新品的两倍以上;采用低真空熔敷技术修复的内燃机排气门,寿命更可高达新品的3倍~5倍之多;采用埋弧堆焊修复的轧辊寿命也远超过新辊等,这样的事例几乎不胜枚举。实践证明,采取有效措施对出现机械性损伤的装备及其机械零件进行修复,不仅技术上是可行的,而且效益上是可观的。一般来讲,采用合理的、先进的技术和工艺对废旧机件进行修复会有许多好处:

首先,可以减少原材料及新备件的消耗,不仅使用单位能取得直接的节约效果,而且也间接减少了配件再制造及运输的总成本,间接降低了社会能源的总消耗以及制造过程中的总污染,符合绿色再制造的环保理念和社会总需要。

其次,可以解决备件缺乏问题,特别是对于昂贵的进口装备来讲,可以大大减少其整个使用寿命周期内的维修成本,同时也往往可以避免因买不到配件而导致整机甚至整条生产线停工,大大降低生产损失。

其三,从军事应用角度来看,不仅可以大大减缓战时装备及其配件供应的压力,而且可以有效地争取战争时间,甚至为战役全局赢得宝贵的战机,因而具有非常重要的军事意义。

(二) 装备机械性损伤修复的要求

装备机械性损伤修复不仅从修复对象的损伤形式上涉及到摩擦、变形、断裂以及腐蚀等多种复杂表现样式,需要修复工作者去认识和熟悉;而且从修复技术上也涉及到摩擦学、材料学、应用力学、焊接学、胶接学、电化学、腐蚀学以及机械制造工艺学等众多学科的基础理论,需要修复工作者去研究和掌握。除了要求掌握必要的技术理论基础外,装备机

械性损伤修复还要求相关技术人员具备很强的实践动手能力,因为其实践环节涉及相当繁多的工艺内容,包括清洗工艺、检验工艺、焊接工艺、胶接工艺、电刷镀工艺、喷涂工艺、机加工工艺及多种表面覆层覆膜工艺等等。此外,还需要具备多种技术和工艺的综合运用能力,因为实践中不存在一种万能技术或工艺可以对各种零件进行修复。对于一个具体的修复件,往往要把几种技术复合应用,才能取得良好的效果。

在满足上述各种基本要求的同时,修复工作者还需要针对某个具体损伤案例的修复可行性做出明智的抉择,因为并非所有的损伤零件都适合于修复。一般来说,在决定一个损伤零件修复与否时,应根据具体情况不同,考虑满足以下不同的原则和要求。

① 经济性原则和要求。损伤零件的修复成本明显低于新件的制造成本或采购价是基本的经济性原则和要求。那些成本很低、很容易采购的损伤配件,若损伤严重,其修复成本往往会明显高于新件的制造成本或采购价,因此这种情况往往是不值得修复的。

② 应急性原则和要求。对有些装备,包括一些配件稀缺的特大型设备,或者一些买不到配件的进口设备,以及配件供货周期特别长的生产线设备,为解决眼下应急所需,通常可以不把配件本身的经济成本放在首位考虑。对于军事领域的装备战场抢修问题,也可以考虑类似的原则和要求。在配件供应中断或者严重延缓的情况下,为了争取时间和赢得有利战机,为了解决战场应急所需,也往往可以不把经济成本甚至零件寿命考虑在内。

③ 适用性原则和要求。对于修复后的零部件,从功能看应该满足最基本的使用要求,从使用寿命看至少能维持生产中允许的一个最小修理时间间隔。在军事应用领域,如在装备战场抢修的特殊条件下,修复后的装备零部件,至少应能满足装备车辆驶离危险地带或开回修理场站的基本需要。

④ 可靠性原则和要求。除非在一些应急场合,任何装备损伤零部件的修复过程,都必须遵循严格的技术规范。其修复效果,必须满足使用可靠性的各种原则和要求。即修复件必须能达到或超过原件的尺寸精度、粗糙度、硬度、强度、刚度、可靠性等技术条件以及满足规定的使用功能要求,确保装备运行的可靠性。

三、装备机械性损伤修复的任务和目标

装备机械性损伤修复的任务是:在装备投入使用到退出现役的全过程中,及时准确有效地对装备的机械性损伤进行监测、定位和定性,并通过有效的工程技术措施对所出现的机械性损伤进行及时修复,最大限度地维持、恢复和提高装备运行的可靠性,确保最大数量的装备处于良好技术状态。

装备机械性损伤修复的目标是:在装备机械性损伤得以及时发现和定性的基础上,努力寻求最佳的技术方案和方便可行的工艺过程,以最快的修复速度和最低的修复成本,获得最佳的修复效果,从而使装备的运行隐患得以消除,有效性得以保持,可靠性得以恢复和改善,最终确保装备使用运行中的安全、有效和稳定。

四、装备机械性损伤修复研究内容及修复水平衡量标准

(一) 装备机械性损伤修复的主要研究内容

① 研究装备机械性损伤的形式和机理。不了解装备损伤的基本形式及其形成机理,

就无法针对这种损伤选择恰当的诊断检测方法与合理的修复技术,就无法制定最佳的工艺步骤,所进行的修复也必然具有很大的盲目性,因此,研究、分析和了解装备损伤的形式和机理,是从事装备损伤修复工作的重要基础。

② 研究装备不同条件下的致伤因素。研究总结装备不同条件下的致伤因素,不仅有利于损伤起因的快速查找、损伤性质的准确判断,也有利于装备损伤的积极预防,因此无论是平时还是战时,都具有非常重要的意义。

③ 研究装备机械性损伤的检测技术。修复人员不懂或不了解基本的损伤检测技术,就不能很好地达到损伤判断的快速性、准确性和有效性,因而也就会影响到装备损伤修复的快速性、科学性和可靠性。所以,掌握科学的损伤检测技术与方法,对提高装备损伤修复的速度和效果有着非常重要的影响。

④ 研究装备机械性损伤的基本修复技术。当弄清了装备损伤的基本形式和机理、熟悉了装备的常见致伤因素并运用恰当的诊断技术查明了损伤部位和性质之后,就是采取何种技术对上述损伤进行修复。对于同一损伤,往往可以采用多种不同的技术手段进行修复,但采用哪种技术修复成本最低、速度最快、效果最佳,需要依赖修复技术方案制定人员的明智判断;或者,针对具体的损伤状况和修复要求,如何在成本、速度、效果之间做出权衡取舍,也同样需要依赖修复技术方案制定人员的明智抉择。而这些明智判断和抉择,往往是需要建立在修复方案制定人员对各种修复技术的原理、特点、应用范围、现实可行性以及设备投入等问题的深入了解和准确把握的基础之上。所以说,要研究装备损伤修复,就必须重点对各种常用修复技术进行研究,并力争全面了解和掌握它们。

⑤ 研究装备机械性损伤修复的工艺方法和步骤。掌握了装备机械性损伤修复技术的基本概念和原理,是作好装备损伤修复的重要基础,但并不是全部。只懂得修复技术的基本理论显然是不够的,在此基础上还要认真研究不同条件下每种修复技术实施的具体工艺方法和步骤,这是从理论到实践的重要跨越和升华。因此,认真研究和借鉴好的修复工艺方法,是装备损伤修复工作中极为关键和重要的内容。

(二) 装备机械性损伤修复水平的基本衡量标准

装备损伤修复实际上是一个比较复杂的系统工程,要追求好的修复效果,就必须努力提高装备修复水平,而修复水平又取决于多方面的制约因素,包括人员、设备、技术、工艺、手段等多方面的因素。一般地,可以通过如下几个方面衡量或评价修复水平的高低。

① 损伤诊断的准确性。能否对装备损伤的类型、部位、性质等进行准确的诊断,是损伤修复工作实施的基本前提。快速准确的损伤诊断,能极大缩短损伤修复的进程。

② 修复设备的先进性。常言讲:“工欲善其事,必先利其器”。装备损伤的快速定性定位、修复过程的快速实施以及修复效果的快速检测检验等,都离不开先进修复设备的有力支持。在高技术条件下,许多修复工作已经无法仅靠传统经验或手工操作来完成,因此是否拥有先进的修复设备,已经成为衡量其修复水平的重要标志之一。

③ 修复技术的全面性。随着科学技术的不断进步,各种装备的技术含量越来越高,其损伤修复中所面临的技术问题也越来越复杂。因此,能否拥有全面的装备损伤修复技术,能否掌握综合性的装备损伤修复手段,已经成为装备损伤能否成功修复的关键,同时也从根本上决定着修复水平的高低。

④ 修复工艺的科学性。先进的修复设备及全面的修复技术对确保修复质量是必需

的,但并不等于事情的全部,还必须能够依据具体的损伤形式、可运用的修复设备以及所拥有的具体技术手段,研究和制定出一套相应的科学修复工艺,才能确保修复质量和可靠性。装备机械性损伤的基本类型相同,但具体的修复工艺可能完全不同,修复效果也会存在很大差异。因此可以说,修复工艺是否科学合理,能够直接反映出修复水平的高低。

⑤ 修复过程的快速性。修复过程的快速性,直接决定着修复成本,对军用装备而言,更直接决定着军事经济效益,甚至决定着战役战斗的胜负。因此谋求修复过程的快速性,具有重要的军事经济意义,也是提高修复水平的一个重要努力方向。

⑥ 修复成果的可靠性。无论完成一个什么样的修复,都期望它能最大限度地满足所规定的使用可靠性。所以,不管是全面修复后的一整套装备还是局部修复过的一个具体零件,作为一个修复后的成品,能否在规定的使用期限内可靠地完成所赋予的预定功能,无疑就成为最后衡量其修复效果好坏或修复水平高低的一项重要标准。

第二节 平时自然运行条件下装备的机械性损伤

一、机械性损伤的常见形式

熟悉装备车辆在各种条件下的损伤形式和规律,对于快速诊断损伤的原因,制定正确的修复方案,实施快速的修理,是非常重要的。它直接影响着机械零部件的修理质量和装备器材的保障效益。

装备在平时自然条件下的运行、使用或存放过程中,由于各种人为的使用操作不当、维护保养不力或非人为的各种自然因素的冲蚀等原因,往往会产生各种各样的机械性损伤。这些机械性损伤大体上可以归纳为表面磨损、弯扭变形、撕裂断裂、腐蚀锈蚀这四种常见形式。这些不同形式的机械性损伤均会导致装备车辆机械零件功能不同程度的失效,因此是机械性损伤修复工作的重点研究内容。

(一) 摩擦损伤

在平时自然运行条件下,摩擦损伤是各种损伤形式中最常见的一种。它实质上是指零件表面在互相接触运动的状态下,因摩擦等因素引起金属小颗粒逐渐从表面脱落并造成零件表面材料不断流失,从而导致其失去正常效能的一种破坏现象。

依据磨擦损伤的具体状况和现象,又可将其分为粘着磨损、磨料磨损、接触疲劳磨损、腐蚀磨损、微动磨损、高温氧化磨损以及冲蚀磨损等形式。其中,磨料磨损、粘着磨损是两种最常见的零件表面摩擦损伤失效形式。

据统计,在工业领域,由于磨料磨损导致的零件失效约占整个磨损失效的 50%,由此可见其造成的影响之大。磨料磨损可以是一个带微凸起的硬表面和另一个表面接触时所造成的擦划损伤,也可能是由于零件接触面之间夹杂着其他硬质点粒子而引起的摩擦损伤。如挖掘机斗齿、履带板以及水轮机叶片等,都常常会因磨料磨损而失效。

粘着磨损与磨料磨损有明显的区别,其发生与发展过程是这样的:在很大的局部压力下,零件接触面在摩擦过程中首先发生局部的粘着(焊合),随后,由于摩擦运动的继续,粘着处(焊合点)又被撕裂或断开,导致材料迁移。这样的过程不断继续,导致金属小颗粒不断从接触面上脱落流失,从而引起零件的最终失效。

与粘着磨损、磨料磨损相比,接触疲劳磨损的机理完全不同,它是零件表面在交变接触应力下产生表面疲劳剥落而引起的一种功能失效形式。如滚动轴承、齿轮等零件表面常产生麻点和脱落现象,这就是接触疲劳磨损的典型失效形式。

腐蚀磨损是由于环境的化学或电化学腐蚀与磨损交互或联合作用而引起的一种复杂失效形式。环境的腐蚀作用能使磨损速率大大增加;反过来,摩擦作用又加速腐蚀层的脱落和新层的继续腐蚀,所以两者之间起到相互加强的作用。

腐蚀磨损、接触疲劳磨损在机械零件的损伤失效案例中也比较常见。

此外,零件在变化的温度场中使用时,因交变热应力的作用也会产生热疲劳,热疲劳的结果是在零件表面产生裂纹(龟裂),因而也是一种表面损伤。像热锻模、铸铁闸轮、柴油机汽缸套等,常因热疲劳失效。

关于上述几种摩擦损伤的概念以及发生机理等,将在后续内容中详细讨论。

(二) 变形损伤

变形损伤是指装备车辆在内部或外界(如战时的炮弹爆炸力和冲击力)有害能量的作用下导致自身机械零件偏离正常的设计尺寸、轮廓形状或者装配位置而导致功能失效的一种机械性损伤。

机械零件在使用过程中,由于内外因素的综合作用,经常会出现变形损伤。变形损伤有过量弹性变形损伤和过量塑性变形损伤两大类。它们主要包括诸如凹陷或瘪坑损伤、弯曲或扭曲损伤、翘曲损伤、膨胀和凸起损伤等常见形式。

引起装备零部件变形的因素很多,最常见的因素主要包括:内部残余应力、外部过量载荷、材料本身缺陷以及过高工作温度等。如有的零件变形是由于生产制造过程中,内部产生并保留了过多的残余应力;有的变形是零件本身刚度不够;有的是由于结构布置不合理所引起的;也有的是由于零件材料内部存在杂质、缺陷等;还有的是长期工作在高温环境中导致变形。此外,对于军用装备来说,战时的火力打击往往是零件变形损伤的直接因素。对各种装备车辆来讲,意外交通事故也往往是零部件变形的直接成因。

装备零部件变形后,轻者会降低机构运动的灵活性和准确性,或者降低行驶或运行的稳定性和安全性以及拆装的便捷性等,最终降低生产或作业效率,增加运行成本;重者将导致装备局部机构不能动作或者整台装备都无法运行,最终失去生产作业能力或战斗效能。因此装备零部件出现损伤后必须采取有效的技术手段和工艺措施进行修复。

(三) 断裂损伤

断裂损伤是指装备零件在外部有害能量的猛烈或持续作用下,出现裂纹、裂缝乃至完全断裂为两部分或多部分的失效现象。装备零件断裂后,不仅完全丧失工作能力,而且可能造成严重事故,因此断裂是装备零件最具危险性的一种损伤失效模式。

引起断裂的原因很多,其中主要原因是零件的受力方式。如在交变载荷的作用下,零件发生的断裂称为疲劳断裂,如挖掘机挖斗与小臂的连接销在工作过程中的断裂一般都属于疲劳断裂。零件在静载荷作用下引起的断裂称为静载断裂,当静载荷增大到超过材料的相应抗力时,就会在机件的危险截面中发生材料从有限的几何表面断开的现象。静载断裂包括静拉伸、静弯曲、静压缩、静扭转和静剪切断裂等。此外,机械零件在腐蚀环境中工作时,由于腐蚀作用造成材料表面或裂纹处强度降低而引起的断裂称为环境腐蚀断裂。

零件的断裂往往都是从微小的裂纹开始的。微小的裂纹可以发展为较大的裂缝,也可导致金属零件的突然断裂,视外部载荷的大小及作用方式而定。所谓金属裂缝是指完整的金属在应力、温度、时间等因素共同作用下产生的局部破裂。由于机械零件都是通过各种机械加工得来的,所以每个零件都必然带有从原子位错到肉眼可见的不同大小、不同性质的缺陷,这些缺陷往往构成最初期的裂纹,像铸造裂纹、锻造裂纹、焊接裂纹、热处理裂纹、磨削裂纹。零件经过长期的使用,裂纹也在不断地发生和发展,最后形成肉眼可见的裂纹。裂纹的存在不仅直接破坏了金属的连续性,而且由于多数裂纹尾端都很尖锐,所以极易引起应力集中,加速裂纹扩展,促使零件在低应力下提前破坏,甚至造成事故。因此裂纹也是危险性最大的一种损伤模式。凡是经评估后确认对装备功能有潜在威胁的裂纹,都应及时修复。

(四) 腐蚀损伤

腐蚀损伤是指装备零部件表面在周围有害介质作用下发生物理溶解以及化学或电化学变化等而逐步导致表面材料变化和流失的一种破坏现象。物理溶解亦称物理腐蚀,如金属在高温熔盐、熔碱及液态金属中被冲蚀就是物理溶解。

腐蚀损伤若不能被及早发现并得到有效的控制和修复,将最终导致零件的腐蚀失效,甚至导致严重而可怕的事故。腐蚀分全面腐蚀和局部腐蚀两种类型,全面腐蚀一般均匀地发生在整个金属零件的内、外表面,由于腐蚀使零件的有效截面不断减小从而导致零件失效;局部腐蚀主要集中于金属表面某一区域,而其他部位几乎不发生破坏。晶间腐蚀、点腐蚀、应力腐蚀等都属于局部腐蚀。由于这几种局部腐蚀通常并不引起零件外形的任何变化,但却使其力学性能急剧降低,所以它们导致的破坏往往具有突发性。这类失效也往往归在应力腐蚀断裂这一类。

当机械零件所处的环境中既有腐蚀又有摩擦作用存在时,则把这种联合作用称作机械零件的腐蚀磨损。腐蚀和磨损二者之间往往相互加强,由此导致零件更快更严重的腐蚀损伤。

二、常见机械性损伤的机理分析

(一) 机械零件表面摩擦损伤的机理分析

1. 表面摩擦损伤概述

1) 表面摩擦损伤的概念

人们将由表面摩擦所致的机械零件的表面磨损失效称为表面磨损。组合零件的动配合副(或称为摩擦副),其相互配合的工作表面,由于相互接触面之间的摩擦作用,配合零件的工作表面将逐渐损耗,其尺寸及几何形状将随着损耗逐渐变化,变化量增大到一定程度时,配合副的工作就会出现异常,装备将无法正常工作,这就是装备零件已经磨损的具体表现。比如,汽缸与活塞产生磨损后,它们的工作表面都会出现尺寸和几何形状变化,即缸孔与活塞之间的间隙增大,并沿径向有椭圆度,沿轴向有不柱度,因而使缸壁与活塞产生敲击响声,并增加冲击和振动。综上所述,可以给出有关磨损和表面磨损失效的概念。

① 磨损的概念。物体之间存在相对接触运动时,由于接触表面之间存在的摩擦作用,零件表面上材料不断流失并形成表面永久残余变形的现象称为磨损。磨损与摩擦的状态性质密切相关,其最终结果是表面磨损失效。