

工程 机械 系列 教材

内 燃 机 修 理

王新晴 主编

NEIRANJI XIULI



國防工業出版社

National Defense Industry Press

内 容 简 介

本书共 11 章,介绍了内燃机修理的工艺、技术、手段和方法。其中,第 1 章介绍了内燃机故障的概念与原因、维修类型和维修资源等;第 2 章介绍了内燃机的拆卸、清洗、修复、装配等关键技术、技能、方法及其适用性;第 3 章~第 10 章分别介绍了气缸体和曲柄连杆机构、缸盖与配气机构、柴油机燃料系、电控喷射系统、增压器、冷却系、润滑系等系统和总成的修理以及柴油机燃料系试验台调试;第 11 章和附录介绍了内燃机的总装、验收与故障排除、数据资料与索引等。

本书可供大专院校机械专业或与内燃机使用维修相关的工程专业的本科生、专科生作为教材使用,也可供从事内燃机研究、使用、维修等工作的科技人员、管理人员和具体操作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

内燃机修理 / 王新晴主编. —北京:国防工业出版社,
2008.5

(工程机械系列教材)

ISBN 978-7-118-05165-0

I. 内... II. 王... III. 内燃机-维修-高等学校-教材
IV. TK407

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 068777 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 16 $\frac{3}{4}$ 字数 386 千字

2008 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 36.00 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

《工程机械系列教材》 编写委员会成员

主任委员 王耀华 龚烈航

副主任委员 高亚明 苏凡圀 周建钊

委员 (按姓氏笔划为序)

王占录 王 强 王新晴 李 钧

陈六海 陈明宏 宋胜利 张梅军

赵建民 姬慧勇 鲁冬林 储伟俊

程建辉

前 言

本教材是为了适应工程机械内燃机结构和维修技术的发展而编写的。

由于内燃机修理涉及的范围和内容相当广泛,维修工艺技术不断革新,各种型号的内燃机层出不穷,针对每种型号、每个总成部件的维修数据瀚如烟海,如何在有限的时间内使读者能够把握内燃机维修的全局、掌握技术和技能的关键,并能够举一反三、触类旁通,是值得大家共同探讨的。

本教材在编写过程中重点突出以下几个方面:在内燃机结构方面,力求筛选具有典型意义的工程机械中出现的内燃机系统和总成部件,如在燃油系统中选取了以直立喷油泵为特征的普通柴油机燃油系统、以 PT 燃油泵为特征的 PT 燃油系统、电控共轨喷射燃油系统、汽油机电控喷射燃油系统等;在维修工艺技术方面,重点阐述了具有共性的技术和技能,如维修的基本过程、基本工艺技术方法及其适用范围、系统或总成的故障分析、典型零件的失效分析与修复、零件检查检测办法、处理技术手段、装配的关键技术等;在维修数据方面重点提供了典型结构系统的维修数据,以及维修中应掌握的通用性数据范围,供类推和举一反三之用;附录中提供了数据的索取途径。对于发展趋势的内容,如电控共轨喷射燃油系统的维修等内容,限于篇幅,本书只提供入门的知识,书后提供其它相关技术资料供参考。

本书可供大专院校机械专业或与内燃机使用维修相关的工程专业的本科生、专科生作为教材使用,也可供从事内燃机研究、使用、维修等工作的科技人员、管理人员和具体操作人员参考。

全书共 11 章,由解放军理工大学工程兵工程学院王新晴教授、姬慧勇副教授负责总体纲目的制定,陈六海副教授编写第 2 章,董德才讲师编写第 3 章,钱淑华工程师编写电控传感器和附录部分,其余均由王新晴教授编写,王洋、张向前、陈雄、陆炜等参与了部分编写,姬慧勇、谭业发、谭华、解放军理工大学 2004 土木专业学生参加了校对工作。在编写过程中,参阅了丁加军、甄凯玉、罗明权等很多老师的相关著作,在此深表感谢。

由于水平有限,不妥或错误之处敬请批评指正。

编 者

目 录

第1章 概述	1
1.1 故障的概念与分类	1
1.2 故障产生的原因——零件的失效	3
1.3 维修类型及其作用	14
1.4 维修性的定性要求	16
1.5 维修资源及其选配	18
第2章 维修过程与修复技术	22
2.1 拆卸的一般规则和方法	22
2.2 零件的清洗	25
2.3 修复方法与修复技术的分类及选择	29
2.4 零件的修复工艺	34
2.5 零件的检验方法与分类	52
2.6 典型零件的检验与修理方法	56
2.7 装配的一般要求与精度保障	66
第3章 气缸体和曲柄连杆机构修理	68
3.1 气缸体的损伤及其原因	68
3.2 气缸体与缸套的维修	70
3.3 活塞连杆组的修理	79
3.4 曲轴飞轮组的维修	88
第4章 缸盖与配气机构维修	96
4.1 气缸盖的维修	96
4.2 配气机构的维修	99
第5章 柴油机燃料系的维修	108
5.1 PT 燃油泵的维修	108
5.2 PT 燃油泵的装配	122
5.3 PT 喷油器的维修	131
5.4 PT 燃油泵就车调试	137
5.5 PT 喷油器和气门间隙就车调试	139
5.6 直立喷油泵的维修	151
5.7 普通喷油器及输油泵的维修	156
第6章 柴油机燃料系试验台与调试	159
6.1 PT 燃油泵试验台与实验数据	159

6.2	PT(G) VS AFC 典型 PT 燃油泵调试	163
6.3	PT 喷油器试验台与操作	165
6.4	直立喷油泵试验台与调试	168
第 7 章	电控喷射系统及其检修	175
7.1	电控柴油喷射系统的组成与工作过程	175
7.2	电控柴油喷射系统维修介绍	180
7.3	汽油机电控喷射系统及其自诊断	185
7.4	汽油电控喷射系统检修	196
第 8 章	增压器与进气装置维修	212
8.1	进气装置的维修	212
8.2	废气涡轮增压器的维修	214
第 9 章	冷却系的修理	221
9.1	散热器的修理	221
9.2	水泵的修理	223
9.3	风扇的修理	224
9.4	节温器的检验	225
9.5	水温表的检验与修理	226
第 10 章	润滑系的修理	227
10.1	机油泵的修理	227
10.2	机油滤清器的修理	232
第 11 章	内燃机的总装、验收与故障排除	236
11.1	内燃机的装前准备及装配工艺原则	236
11.2	内燃机的装配	238
11.3	内燃机的验收检验	242
11.4	内燃机的技术保养	243
11.5	PT 燃料系统故障排除	247
附录		255
附录 1	Cummins Celect 系统维修资料查询	255
附录 2	PT 燃油系维修专用设备和工、量具	256
附录 3	Delphi 公司柴油机维修资料查询	257
附录 4	主要维修数据参考表	257

第1章 概述

随着我国现代化建设的发展,内燃机的数量越来越多,应用更加广泛,使用要求也不断提高。由于内燃机在使用中,受到结构工艺因素(结构形式、所用材料和加工方式等)、运行因素(载荷重量、行驶速度、道路和土壤条件、气候温度、燃料、润滑材料的质量、操作方法和技术保养等)及人为因素的影响,其零部件必然会产生不同程度的磨损、老化、松动和损坏等,使内燃机的技术性能下降或丧失工作能力,从而影响内燃机的使用。这些都必须进行及时的维修,才能恢复其使用功能。

1.1 故障的概念与分类

1.1.1 故障的概念

1. 故障的定义

工程机械中,故障是指整机、总成或零部件丧失规定的功能。

确定故障时,首先要明确“规定功能”的含义。有时规定功能是很明确的,不会引起不同的认识,如发动机缸体损坏、高压油泵柱塞卡死等。有时规定的功能却难以确定,特别是故障的形式是由于功能逐渐降低的这种情况。例如,发动机气缸磨损超过一定的限度,将会加剧磨损,引起功率降低,燃油消耗增加,出现这种情况就可以算作故障。然而磨损的限度,使用中难以确定。如果减小负荷,增加润滑,有一定磨损的发动机仍然是可以继续使用的,也可以不算作故障。这就需要对功能作具体规定,确定故障标准,例如,对发动机功率和耗油量作具体规定,当达到某一值时即可认为发动机出现了故障。

其次确定是否是故障,还要分析故障的后果,主要看故障是否影响机械的使用,造成设备及人身安全事故。除了以技术参数中的任一项不符合规定的允许极限作为故障判断的准则外,还要考虑若在这种状态下继续工作,是否会发生不允许的故障后果来判别。如:液压设备渗漏,在短时间内不影响使用,但时间长了,导致液压油减少而影响使用。

因此,在判断机械故障时,不仅取决于其“规定功能”,而且还要考虑故障的后果。一般情况下,机械故障判别的标准是:

- (1) 在规定的条件下,不能完成其规定的功能;
- (2) 机械在规定的条件下,一个或几个性能参数不能保持在规定的上、下限值;
- (3) 机械在规定的应力范围内工作时,导致机械零件或元件出现各种裂纹、渗漏、磨损、锈蚀、损坏等状态。

不同的机械有不同的故障判别标准,并且研究工作的出发点不同,所定义的故障也不同,难以做到统一。但是在同一使用部门之内,则应该有统一的标准。一般情况下,故障判别标准应根据可接受的性能指标进行衡量。

2. 故障模式

故障模式是指故障的表现形式。它是通过人的感觉或测量仪器得到的,如发动机怠速不稳定、冷却水温度过高等故障表现形式,这是人们能观察到或测量出来的。故障模式主要涉及机械为何种故障,而不涉及为什么产生这种故障,相当于医学上的“病症”,一般能被医生直接或间隔观察到。

为什么要研究故障模式?因为一般研究机械的故障时,往往从机械的故障现象入手,进而通过现象找出故障的原因。同时,故障模式也是其它故障分析方法的基础。因此,有必要弄清机械在各功能级上的故障模式。由于系统的故障往往由零部件的故障所引起,因此,确定零部件的故障模式是研究整机故障的基础。

一般情况下,要尽量以零部件的故障模式来描述整机或系统的故障,只有在难以用零、部件的故障模式描述或无法确认是某一零、部件发生故障时,则可用总成、子系统或整机故障模式来描述,如零部件故障模式有断裂、磨损、腐蚀、弯曲、失调、泄漏、松动等;总成级故障模式有离合器打滑、转向沉重、变矩器温度过高、异响等;整机性能方面的故障模式有性能下降、油耗过高等。总之,确定故障模式,要有利于故障的排除和修复。

1. 1. 2 故障分类

故障分类方法多种多样,随研究的目的不同而异,机械故障可从以下几方面分类。

1. 按故障的性质分

1) 突发性故障

突发性故障是指机件在损坏前没有可以觉察到的征兆,故障是瞬时出现的。如润滑油中断而使零件产生热变形裂纹;因使用不当或突然超载而引起的故障;油路堵塞等。

突发性故障产生的原因是各种不利因素以及偶然的外界影响共同作用的结果,这种作用已经超出了机件或系统所能承受的限度。

突发性故障的特征是:

- (1) 具有偶然性。这类故障在什么时候发生事先是不知道的。
- (2) 无法预测。这类故障在机械使用过程中是很难通过测试或监控的方法预料和防备的。
- (3) 在机件正常使用期的某一段时间内,发生故障的概率与其使用时间无关,即不受机械使用时间的影响而随机发生。

2) 渐进性故障

渐进性故障是由于零部件的磨损、老化、疲劳、腐蚀等,使其性能参数逐渐恶化,超出其允许范围而引起的故障。如气缸的磨损导致发动机性能恶化,轴的疲劳断裂等。机械中绝大部分故障都属于这类故障。

渐进性故障的特点是:

- (1) 出现故障的时间是在机件中有效寿命的后期,即耗损故障期。
- (2) 可以预防,故障不是突然发生的,可以事先通过诊断或监测仪器进行测试或监控,预防故障的发生。
- (3) 故障发生的概率与机械运转的时间有关。机械使用时间愈长,发生故障的概率就愈高。

2. 按故障的表现形式分

1) 功能故障

功能故障是指导致机械丧失功能或造成功能下降的故障。如油泵不供油、油缸不动作、发动机动力下降等。功能故障通常是由于机械中个别零部件损坏或失调而造成的,需要经过修理才能恢复机械的功能。

2) 潜在故障

潜在故障是指机械中零部件内部虽已出现损伤,但尚未形成故障,例如零部件内部出现的裂纹、润滑不良以及配合松动等。潜在故障通常是以其损伤程度临近允许极限的程度来判断的,一般应在预防维修中加以消除,以防止其进一步发展成功能故障。

3. 按故障发生的原因分

1) 自然故障

自然故障是由于受到机械内部或外部各种环境应力作用而引起的故障。如磨损、疲劳断裂、剥落等。

2) 人为故障

人为故障是由于各种人为因素而引起的机械故障。如使用不当、保养不当、修理不符合技术要求等。分析人为故障是为了制定合理的使用维修方法,提高修理质量。

4. 按故障的程度分

1) 完全故障

完全故障是指导致机械丧失主要功能,无法继续使用的故障。如发动机气门断裂、工作油缸大量泄漏等。

2) 局部故障

局部故障是指导致机械部分功能丧失的故障,如履带板局部损坏、化油器加速性能恶化等。

在实际维修工作中,根据故障分析的目的不同,可以采用不同的故障分类法,以便迅速查找和排除故障。

1.2 故障产生的原因——零件的失效

零件的失效是导致机械故障的主要原因。因此,研究零件的失效规律,找出其失效原因和采取改善措施,对减少机械故障的发生和延长机械的使用寿命,有着重要意义。

零件失效的基本形式有磨损、腐蚀、疲劳断裂、变形、穴蚀等。

机械零件失效的主要表现形式,是零件工作配合面的磨损,它占零件损坏的比例最大。材料的腐蚀、老化等,是零件工作中不可避免的另一类失效形式,但其比例一般要小得多。这两种形式的失效,基本上概括了正常使用条件下机械零件的主要失效形式。其它形式的失效,如零件疲劳断裂、变形、穴蚀等虽然实际中也经常发生,但多属于制造、设计方面的缺点,或者是对机械维护、使用不当而造成的。

1.2.1 磨损

组合件的动配合副(或称为摩擦副),其工作表面,由于相互接触面之间的摩擦作用,

零件工作表面逐渐磨耗,其尺寸及几何形状逐渐变化,变化量增长到配合副的工作出现异常现象,这就是零件已经磨损的具体表现。比如,气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声。

1. 磨损的过程

1) 摩擦表面相互作用

加工后的零件表面不可能绝对平整光滑,两零件的工作面互相接触时,微观凸凹不平的地方,如图 1-1 所示,必然产生相互啮合(嵌入)的现象。在接触紧密的地方,其接触压强非常大(如滑动轴承的工作表面的计算压强一般为 3MPa,实际接触点的压强可达到 300MPa),接触距离非常小(几乎等于晶格原子之间的距离),因而产生分子相互吸引的作用。

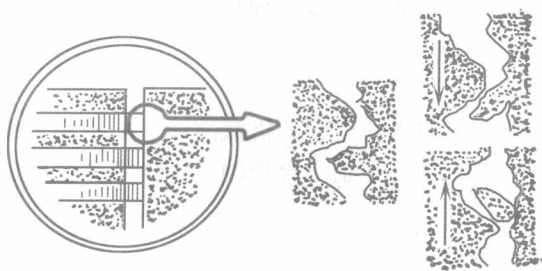


图 1-1 摩擦表面凸出尖点的脱落

由于接触面之间啮合和吸引的两种物理现象,使摩擦表面在相对运动时产生一定的阻力,即所谓摩擦力。

2) 摩擦表面产生变化

摩擦副工作表面作相对运动时,其相互接触之处,由于压强大,工作温度高(特别在转速高和润滑不良的情况下),产生一定程度的弹性与塑性变形——金属的相变与软化等,因而在变化区层形成脆性氧化物。

3) 摩擦表面出现破坏

摩擦表面在变化过程中,如承受交变载荷或循环载荷,处于变化区层的金属由于内应力或疲劳的影响,导致破坏。在局部高温点($450^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$),产生熔接粘附以致撕破。

2. 磨损的种类

磨损的 3 个过程,可以说明摩擦表面磨损的基本情况。从磨损的实际现象来看,又可以划分为如下 4 类形式。

1) 粘附与熔着磨损

相互摩擦表面的金属,从强度较弱的表面转移粘附或熔接在强度较大的表面上,如图 1-2 所示为金属微观接触点进行粘附或熔着磨损过程的示意图。

粘附磨损和熔着磨损的变化过程与实质基本相同,其不同点如下。

(1) 粘附磨损。主要由于摩擦表面的固态塑性变形所引起。当摩擦表面的相对运动速度较小,而实际接触部位的压强超过金属屈服点时,使接触部位产生塑性变形,其接触距离很小,分子之间的吸引作用将强度较小的金属表面挖走,或被塑性变形所强化的金属

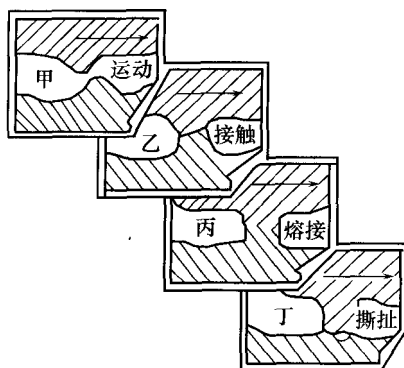


图 1-2 粘附磨损示意图

甲—运动；乙—接触；丙—熔接；丁—撕扯。

表面擦伤。

(2) 熔着磨损。主要由于摩擦表面的熔态金属熔接所引起。当摩擦表面的相对运动速度较高和接触压强很大(特别在润滑不良条件)时,摩擦表面由于塑性流动,温度急剧增高(可达 1500°C),因而引起表层金属产生回火、软化直至熔化,致使耐热性弱的表层熔接在耐热性强的表面,并将熔接的金属撕裂,因此金属的耐热性对零件耐磨损具有重要作用。

粘附与熔着磨损常常出现在曲轴轴颈、凸轮轴凸轮、气缸和齿轮等的摩擦表面,特别在内燃机处于高速、高温和润滑不良条件下,最容易出现这类磨损,如呈现“咬死”、“抱抽”等现象。

2) 化学蚀损

摩擦表面之间的氧和酸类物质,在摩擦过程中对金属起着一定的化学变化,形成一种腐蚀膜层,受切向力(如滑动摩擦)或正压力(如滚动摩擦)的作用,呈颗粒状而脱落成硬质微粒(如同磨料)。这种蚀损可分为以下 3 种情况。

(1) 氧化磨损。由于摩擦表面产生塑性变形,在变形层的滑移面处,形成氧的固熔体薄膜,受摩擦力作用而剥割成微粒。当氧继续向变形层深处扩散,便生成脆硬的金属氧化物(FeO 、 Fe_3O_4 、 Fe_2O_3),这些脆弱的氧化物是周期性生成和压溃。因此氧化的磨损量大,凡零件摩擦表面塑性变形容易,抗氧化能力差,根据其工作条件(如负荷、温度、润滑等),都易产生不同程度的氧化磨损。

(2) 腐蚀磨损。由于燃油、混合气、废气中所含酸类物质(如氮、氢、氧、硫等)与蒸气或冷凝水作用形成有机酸和无机酸,使摩擦表面产生腐蚀的脆弱膜层,此膜层易受外力作用而剥落成微粒。

以上两种蚀损现象,常常明显地产生在气门头和气缸壁接近上止点处。

以上两种化学蚀损,都不是单纯的腐蚀,必须与机械作用相结合。这两种蚀损是由于摩擦力来剥落腐蚀层,腐蚀与剥落是逐步深入的。

(3) 磨料磨损。摩擦表面之间生成和进入的磨料,起着研磨切削作用,使摩擦表面受到机械性的磨损,其磨料来源于以下两方面:

① 剥落的机械杂质。由于前面所述各种磨损所剥落下来的氧化物和强化物,它们都

是硬质微粒,具有强烈的研磨作用,甚至嵌入到较软的金属表层,如图 1-3 所示。比如曲轴的轴瓦合金层,由于炭积磨料过多,因而失去原有光彩,应进行更换。

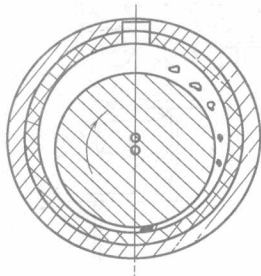


图 1-3 磨料嵌入轴承后的情况

② 外来的磨料。如尘砂、炭渣、滑油内的杂质和机械加工表面所残留的切屑与磨屑等。内燃机零件受磨料磨损的很多,最常见的如气缸、活塞环、活塞及轴颈与轴承。

3) 麻点磨损

麻点磨损一般产生在零件的滚动摩擦表面,如滚动轴承的滚道与滚子、齿轮的齿面等,其接触部位的实际承压面很小,压强很大,当接触压力超过表面金属的屈服点时,则在接触的表层金属产生显微塑性变形,从而形成表面强化(冷作硬化),应力集中,在循环负荷下,产生疲劳的微观裂纹中的滑油起着油楔作用,使裂纹不断扩展成网状,被强大的接触压力压溃成鳞片脱落,其磨损面呈麻点状。

在麻点磨损过程中,同时具有氧化磨损的条件(如显微塑性变形),即麻点磨损与氧化磨损往往在同一表面同时存在。

上述 3 种磨损形式,都足以说明零件摩擦表面的磨损是符合磨损过程理论的,其中最基本论点是摩擦表面的金属塑性变形,从而产生金属强化、氧化、应力集中和疲劳,甚至发生高热,导致金属表层被破坏、剥落和转移。同时剥落的机械杂质,又形成磨料磨损。属于酸类蚀损的零件为数不多,如气缸及气门等。

3. 影响磨损的外在因素

以上所述零件磨损情况,其最基本的因素是零件本身存在不同程度的物理、机械和化学综合作用的结果。尽管零件材料和工艺性质不同,这些基本作用仍然存在,不过作用程度有所不同。这种基本作用,可认为是零件磨损的内因。

零件磨损的快慢,主要取决于外因,但必须通过内因而起作用。因此要减轻磨损,应充分重视以下外因因素。

1) 摩擦副之间的介质

减摩介质,一般是应用各种润滑油,使滑油摩擦面之间形成一层油膜或油楔,以减少两接触面之间的固体与固体直接接触。而用油层的液体摩擦代替固体摩擦,因而大大降低摩擦阻力和磨损。

(1) 油膜与油楔。润滑油能以油膜形式吸附在任何形状的摩擦表面上,并能渗透到摩擦表面的显微孔隙中储存,因此油膜能承受很大的工作压力(约 100MPa)而不破坏,这种支承能力称作油膜强度。

圆柱形的摩擦表面所吸附的油层在运动中呈楔形,所以称之为“油楔”。例如滑动轴

承与轴颈,如图 1-4 所示,由于其内外直径之差,在摩擦表面之间形成楔形间隙,当轴颈(或轴承)转动时,因滑油吸附作用,油层在轴颈面上,其圆周速度与轴颈相等,而在轴承面上的几乎等于零。滑油沿着断面逐渐缩小的楔形间隙流动,其通过的断面越来越小,而滑油的压缩性很小,一部分滑油沿轴颈轴向挤出,另一部分由于吸附和表面阻力的作用,仍保留油楔。油楔的流体动压力,随着轴承间隙缩小、轴颈转速升高而增大。当油楔动压力达到一定值时,能将轴颈浮起来,使轴颈与轴承表面分离,并形成一定厚度(h)的油膜,这种情况称为理想的液体摩擦。

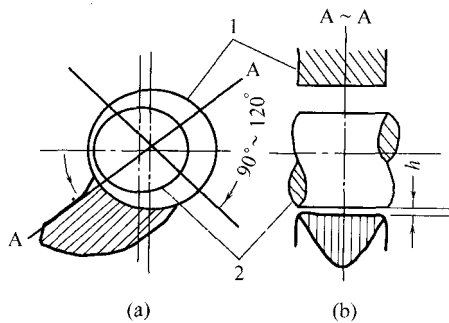


图 1-4 油楔压力分布

1—轴承; 2—轴颈。

(a) 沿径向压力; (b) 沿轴向压力。

(2) 油膜厚度与间隙关系。根据流体力学的润滑理论计算分析,认为轴承间隙越大,油膜厚度越薄,轴颈与轴承磨损增大;相反,轴承间隙越小,油膜厚度大,有利于润滑。但间隙过小,滑油流量及冷却作用下降,滑油的温度升高,黏度降低,因而油膜的厚度反而薄弱。试验证明,合理的轴承间隙为理想油膜的 4 倍,这由设计制造厂考虑,在修理中应保证其应有的间隙要求。

此外,轴承与轴颈表面微观凸起之和及滑油中的机械杂质的尺寸都应小于规定的轴承间隙。因此轴颈和轴承加工的表面几何形状及粗糙度应符合技术条件的要求,并做好机件清洗和机油滤清工作。

(3) 摩擦种类。油膜的厚薄与强弱,除滑油本身质量条件,应按规定加注滑油外,随摩擦面之间的工作温度、压力、间隙和转速而变化。因此摩擦副之间的油膜变化状态,决定着摩擦表面相接触的不同程度,完全不接触时,称为液体摩擦(湿摩擦);完全接触时,称为干摩擦;在摩擦面之间只有一层很薄($0.1\mu\text{m}$ 以下)的油膜,称为边界摩擦;在液体摩擦与边界之间的摩擦,称为半液体摩擦;在干摩擦与边界摩擦之间的摩擦称为半干摩擦。

润滑油的主要作用是减摩、散热和清洗磨料,是摩擦副中不可缺少的介质。但当摩擦表面具有显微裂纹时,在润滑油的极性分子的活性作用下,力图向裂纹内渗透扩散产生很大楔形压力,使裂纹扩展,加剧零件的破损。因此零件表面的细微裂纹,容易导致断裂,除了由于裂纹加剧应力集中的因素外,滑油也助长了破坏作用。

2) 摩擦副运动的形式、速度和压力

摩擦表面的相对运动有两种,一种是以滚动面相接触为主(如滚动轴承和齿轮齿面),其摩擦阻力小,接触压力大,散热能力强,因此磨损慢,而以麻点磨损为主;另一种是

以滑动面相接触(如滑动轴承、活塞与气缸配合副等),其情况与前者相反。滑动摩擦面的磨损种类,需由其工作条件决定。

摩擦表面的温度随相对运动速度的增大而提高。当温度到达 $150^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 时,滑油的黏度大大降低,吸附能力大大削弱,油膜遭破坏,摩擦性质改变,如边界摩擦变为干摩擦。当速度一定,如果接触压力增加,油膜被挤破,磨损也随着增加。

3) 摩擦副的材料和表面性质

(1) 材料塑性变形的影响。摩擦表面各种形式的磨损,主要由于相接触金属表层产生塑性变形而引起强化、发热、相变、熔化等破坏作用。因此在一定载荷下材料的屈服极限大,表面硬度高,热稳定性好,其耐磨性得到提高。此外还随含碳量提高而提高。

高转速的摩擦副,为了提高其磨合性与耐磨性,使摩擦表面的宏观与微观几何形状能迅速相适应,有的两摩擦表面采用不同性质的金属和硬度相配合(如钢质活塞销与铜质衬套相配合,曲轴轴颈与轴承合金相配合)。这种情况是提高摩擦副的磨合性与耐磨性的另一个方面。

(2) 摩擦表面粗糙度的影响。粗糙的摩擦表面,其凸起点互相啮合和挤压,是增加零件磨损的重要因素之一。因此降低摩擦表面粗糙度,可以大大降低磨损。但粗糙度过低,润滑油对零件表面的适油性(油膜的吸附与储存作用)降低,油膜不易保存,磨损反而增加。从润滑条件来看,应根据润滑方式采用适当的表面粗糙度。比如气缸壁为飞溅润滑,其粗糙度一般为 $6.3\mu\text{m} \sim 3.2\mu\text{m}$ 。配合副表面粗糙,不仅要加剧磨损,还会在静配合中,使不平表面的凸起受挤压剪切后,改变了表面几何形状和尺寸,破坏了过盈,导致在使用中容易松动。此外,粗糙表面容易引起应力集中和腐蚀,降低零件疲劳程度。

4. 零件磨损的特性

机械零件所处的工作条件不同,引起磨损的主要原因也不完全一样,但从许多实践中证明,其磨损增长的规律却是相似的,即具有共同的磨损特性。从实验得出的零件磨损特性曲线如图 1-5 所示。按照磨损增长的速度不同,大体上可分为以下 3 个阶段。

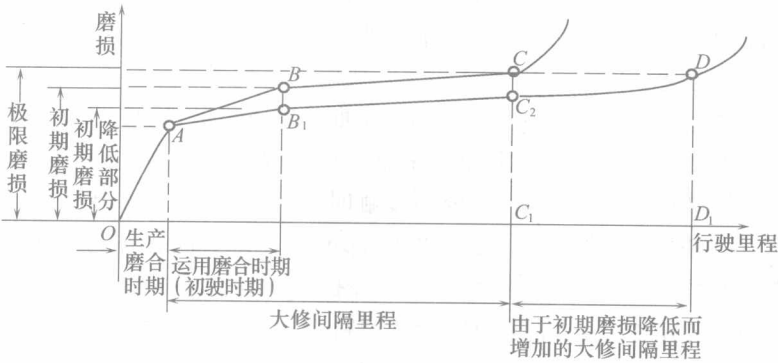


图 1-5 零件的磨损曲线图

1) 磨合阶段(曲线 OB 段)

包括生产磨合和运用磨合(初驶磨合)两个阶段。磨合阶段曲线上升得较快,表示磨损增长得较快。这是因为新车(大修车)零件表面比较粗糙,加工后的几何形状和装配位置存在一定的偏差,致使相配零件接触面积减小,单位面积的负荷增加,润滑油易被挤出

而产生干摩擦或半干摩擦;同时,新装配的零件表面凹凸部分嵌合紧密,在摩擦作用下,将有大量的金属屑被磨落进入润滑油中,使磨损加剧;并且,随着摩擦作用的加剧,零件表面还将产生较多的热量,这样润滑油的黏度就会降低,润滑情况恶化。因此,相配零件的磨损,在磨合阶段比较严重。

2) 正常工作阶段(曲线 BC 段)

由于零件已经磨合,其工作表面凸出的金属尖点部分已经被磨掉,凹入部分由于塑性变形而填平,零件的工作表面已达到相当的粗糙度,润滑条件已有相当的改善,因此,磨损比较缓慢。

3) 加速磨损阶段

曲线从 C 向右开始剧烈地上升,这是由于相配零件间隙已达到最大允许限度,间隙过大,冲击负荷增大,润滑油膜已不能保持,零件磨损急剧增加。这时如不进行调整、修理,则将由自然磨损转变为事故磨损,将会造成零件的迅速损坏。

机械零件在使用过程中,必然会发生磨损以至损坏,这是事物发展的客观规律。然而只要了解和掌握这个客观规律,采取必要的措施就能减轻其磨损,延长其使用寿命。如零件的磨损曲线图所示的下一条曲线,由于新的或大修后的机械在磨合时期严格了操作规程,加强了紧定和保养、润滑等措施,使运用磨合时期零件的磨损量减轻,从而增长了正常工作时间,增加了大修间隔期。因此,必须针对机械的磨损规律,合理地使用机械,适当地进行调整、保养和紧定工作;在修理中加强技术鉴定,严格技术标准,确保修理质量。只有这样,才能最大限度地发挥机械在施工中的作用。

1.2.2 腐蚀

机械中常见的腐蚀现象有:机械零件存放中生锈,零件受有机物、水、燃料及润滑油中酸或碱类的腐蚀,在高温条件下工作的零件受到氧化等。腐蚀可分为下列几种形式。

1. 化学腐蚀

化学腐蚀是金属和外部介质直接起化学作用,腐蚀产物直接生成于发生腐蚀的部位。金属表面只要存在腐蚀介质,就有可能遭到腐蚀。例如机油中含有酸性杂质或在工作中机油被氧化而产生有机酸。这些有机酸对铜铅合金轴承的腐蚀力特别强烈,往往将铅腐蚀掉;石油中含硫量有时高达 5%~6%,对钢铁有很强的腐蚀作用。

金属表面的腐蚀,不仅使材料性质变坏,还常导致更严重的损坏。如有机酸把铜铅合金轴承中起减摩作用的铅组分腐蚀掉之后,不仅增加合金层的负荷应力及摩擦系数,从而增加磨损,并常常引起合金层脱落,使配合件抱死。

2. 电化学腐蚀

电化学腐蚀对机械设备所造成的危害,远比化学腐蚀广泛而严重。这是由于机械设备大部分零件材料的表面状态及环境,给产生电化学腐蚀提供了必需的条件。产生电化学腐蚀的条件是:

(1) 存在腐蚀介质——水中溶入电解质。

(2) 存在电位差——在电解液中,金属表面有成分或组织相的不同或应力分布不均匀,都呈现电位差。

然而,现今机械设备上绝大多数零件皆由含有多种元素的钢铁材料制成,各种元素各

具不同的电极电位,同时加工工艺也都使零件表层残存着以各种形式分布的残余应力。特别是存在着某些缺陷的表面(如表面划痕、碰伤、压痕、磨削烧伤等),沿缺陷的边缘将形成结构和应力分布的不均匀现象。不难看出,出现以上所列举的成分的、结构的、应力的、不均匀势态的几率比较普遍。从环境条件讲,暴露在大气中的零件,当大气的相对湿度超过某一临界值时,存在于表面上的某些吸湿性物质(或是腐蚀过程中形成的吸湿性产物),就从大气中吸收水分,使零件表面湿润。空气中的有害成分如 CO_2 、 SO_2 等溶入其中,就成了腐蚀电解液,给电化学腐蚀创造了条件。也就是说,无任何保护而直接暴露在大气中的零件,将不可避免地要遭受不同程度的电化学腐蚀。

如图 1-6 所示,是铁表面散落有碳或 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 SO_2 颗粒时,在不同 SO_2 含量的空气中腐蚀试验的情况。从图中可以看出,空气中含有各种杂质成分时,腐蚀速度能增加 10 倍~30 倍(腐蚀后表面生成氧化物,使试件重量增加,图中的腐蚀速度以增加的重量表示)。灰尘对生锈的影响是严重的,因为它吸湿性很强,如含碳的物质,能吸收酸性的含硫气体,急剧地加速了腐蚀。有时灰尘本身就具有腐蚀性。在严重工业污染的环境中,常常会遇到这种情况,暴露在大气中的机具,其不淋雨的部位锈蚀得更严重。这是由于淋雨部位上的尘埃与腐蚀电解质,常常被雨水所洗刷冲淡。由此可见,经常擦拭机具对减轻腐蚀有一定作用。

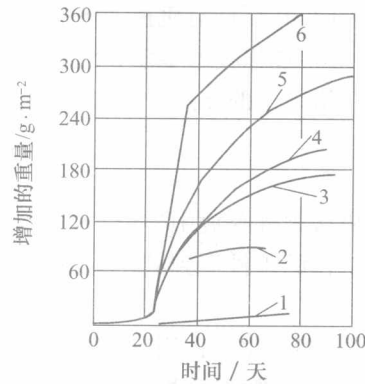


图 1-6 铁在空气中与各种物质接触时的腐蚀速度

1—空气与碳; 2—空气与 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 3—空气与 SO_2 ; 4—空气 + SO_2 与 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$;
5—空气 + SO_2 与 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 6—空气 + SO_2 与碳。

金属的防护,在一般情况下常常采用保护性覆盖层。这种保护性覆盖层,可以是一种较为耐腐蚀的金属层(如铬层),或者是阳极性覆盖层(如镀锌铁皮,锌受到阳极腐蚀,而钢铁则得到阴极保护),或者是某种有机涂层(如漆层)或无机涂层(如搪瓷等)。

大面积的防腐保护,一般采用油漆。漆涂层除能起到通常所认为的隔离水和氧对金属表面的直接接触外,其中的金属颜料组分(如防锈漆中的铅丹),还能起到阻蚀剂作用(能降低透过漆膜的水分的腐蚀性),并且在某些情况下,能起到一定的保护性阳极的作用。对于那些经常裸露的金属表面(如斗齿、行走系统零件等),虽然磨粒磨损是主要的,但停歇时的腐蚀损失也相当可观。

3. 氧化

大多数金属与空气中氧化剂起作用,会在表面形成氧化膜,这种作用与化学、电化学

作用不同,它无需表面存在腐蚀介质。在低温情况下,这层氧化膜形成后,一般对金属基层保护作用,能阻止金属继续氧化。然而在高温的情况下,膜层将出现裂缝和孔隙,覆盖作用变差,这时氧化将以等速度不断继续下去。

长期在高温条件下工作的铸铁零件,金相组织结构中的碳化铁将碳不断以片状石墨的形态析出,并呈连续分布使铸铁件结构松散,并出现缝隙,为炽热气体侵入提供通道,因而氧化深入到结构内部。由于高温状态下不断石墨化及氧化的结果,材料外表虽维持完整,但内部却失去了原有的机械性能。典型例子是缸盖气门口及燃烧室附近组织的烧损。

4. 腐蚀的控制

1) 合理选材和设计

(1) 合理选材。即根据使用环境要求,选择合适的材料。如选用含有镍、铬、铝、硅、钛等元素的合金钢,或在条件许可的情况下,尽量选用尼龙、塑料、陶瓷等材料。

(2) 合理设计。通用的设计规范是避免不均匀和多相性,即力求避免形成腐蚀的条件。不同的金属、气相空间、热和应力分布不均匀以及体系中各部位间其它差别,都会引起腐蚀破坏。因此,设计时应努力使整个体系的所有条件尽可能地均匀一致。

2) 覆盖保护层

这种方法是表面薄膜的形式附加不同的材料,改变零件的表面结构,使金属与介质隔离开来,以防止腐蚀。这是工程机械中经常使用的防腐措施。

(1) 金属保护层。采用电镀、喷镀、熔镀、气相镀、化学镀等方法,在金属表面覆盖一层如镍、铬、铜、锡、锌等金属或合金作为保护层。

(2) 非金属保护层。常用的有油漆、塑料、橡胶等,临时性防腐可涂油或油脂。

(3) 化学保护层。用化学或电化学方法在金属表面覆盖一层化合物薄膜,如磷化、发蓝、钝化、氧化等。

(4) 表面合金化。如氮化、渗铬、渗铝等。

3) 阳极保护和阴极保护

(1) 阳极保护。指用阳极极化的方法使金属钝化,并用微弱的电流维持钝化状态,从而使金属得到保护。

(2) 阴极保护。用牺牲阳极或通过外加电流的方法将金属阴极极化,使金属的电极电位向负的方向移动,从而减少金属的电化学腐蚀速度。

上述两种保护方法在工程机械中应用不多,而广泛用于船舶、石油、化工等领域。

4) 改变环境

(1) 通风、除湿。采用通风、除湿等措施降低大气或其它腐蚀介质的腐蚀性。对常用金属材料来说,把相对湿度控制在临界湿度(50% ~ 70%)以下,可显著减缓大气腐蚀。

(2) 缓蚀剂。在腐蚀性介质中加入少量降低腐蚀速度的缓蚀剂,可减轻金属的腐蚀。缓蚀剂有无机和有机两种。无机缓蚀剂常用的有重铬酸钾、硝酸钠和亚硫酸钠等,它们在一定的腐蚀介质中,可减缓金属的腐蚀。有机缓蚀剂又可分为液相和气相缓蚀剂两类。它们一般都是有机化合物,如胺盐、琼脂、糊精等。它们可以吸附在金属表面上,使金属溶解和还原反应都受抑制,从而减轻金属的腐蚀。