

244114

高等学校试用教材

78.17
2QR 2
和

工程机械修理学

上册

(工程机械专业用)

西安公路学院

张庆荣 李太杰 主编



人民交通出版社

高等学校试用教材

工程机械修理学

上册

(工程机械专业用)

西安公路学院

张庆荣 李太杰 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书分上、下两册出版。上册包括零件的失效分析、机械修理过程的主要工艺和修理组织、零件修复工艺等三篇，下册包括发动机修理、底盘和工作装置修理等两篇。

本书为高等院校工程机械专业修理课教材，也可供从事工程机械设计、制造、修理和运用的技术人员和驾驶员参考。

高等学校试用教材

工程机械修理学

上 册

(工程机械专业用)

西安公路学院

张庆荣 李太杰 主编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{4}$ 印张：14.25 字数：346千

1979年7月 第1版

1979年7月 第1版 第1次印刷

印数：0001—11,800册 定价：1.50元

前 言

工程机械在使用过程中，由于自然故障或事故性故障等原因，其各部零件会出现变形、磨损、断裂、蚀损等损坏，因而必须临时地或定期地进行检修，以使工程机械经常地处于完好状态。

这部《工程机械修理学》是作为高等院校试用教材而编写的。全书共五篇，分上下两册出版。上册包括零件的失效分析、机械修理过程的主要工艺和修理组织、零件修复工艺等三篇；下册包括发动机修理、底盘和工作装置修理等二篇。

本书由西安公路学院、东北林学院、西安冶金建筑学院、西南交通大学、长沙铁道学院、华北水利水电学院、铁道兵工程学院等七所高等院校共同编写。其编审分工情况如下：

主编——西安公路学院张庆荣，李太杰。主审——东北林学院廉昭，白旭东，戚贵伦，王德丰。

本书第一篇由易新乾、李富祥、刘淑香编写；第二篇由戴羽绵编写；第三篇由沈传浙，杨嘉祯，李国枢、何德高编写。

本书编写过程中，许多兄弟院校、科研院所、生产厂矿提供了宝贵的资料；西安公路学院、西南交通大学对本书的编写工作也给予了极大的支持，谨此致谢。

目 录

第一篇 零件的失效分析

第一章 零件的磨损	1
第一节 摩擦与磨损	1
一、摩擦的实质	1
二、摩擦的分类	2
三、磨损的分类	4
四、零件的磨损特性	5
第二节 磨料磨损	6
一、磨料磨损机理	7
二、磨料磨损的分类	7
三、影响磨料磨损的因素	8
四、减轻磨料磨损的措施	9
第三节 影响磨损的因素	10
一、零件运动速度及单位压力	10
二、润滑情况	10
三、温度对磨损的影响	10
四、零件材料对磨损的影响	10
五、零件表面加工质量的影响	11
六、零件的配合间隙	12
第四节 典型零件的磨损举例	12
一、气缸磨损的特点	12
二、气缸磨损的原因	13
第五节 研究磨损的方法	15
一、研究磨损的方法	15
二、确定磨损量的方法	17
第二章 变形	17
第一节 研究变形的必要性	17
第二节 金属变形的基本原理	18
一、金属的弹性变形	18
二、金属的塑性变形	20
三、零件冷却过程中的应力和变形	23
第三节 零件在使用中变形的原因	24
一、毛坯制造方面	24

二、机械加工方面	25
三、修理质量方面	25
四、使用方面	25
第四节 减轻变形危害的措施	25
一、设计方面	25
二、制造方面	26
三、修理方面	26
四、使用方面	26
第三章 断裂	26
第一节 概述	26
一、研究断裂的意义	26
二、断裂的分类	27
第二节 断裂的基本原理	29
一、一次加载断裂的基本原理	29
二、疲劳断裂的基本原理	30
第三节 断口分析	34
一、断口分析的目的和种类	34
二、断口的保护和清洗	34
三、一次加载断裂断口与疲劳断口的鉴别	35
四、疲劳断裂断口的分析	36
第四节 减轻断裂危害的措施	38
一、设计方面	38
二、工艺方面	40
三、使用方面	40
四、修理方面	40
第四章 蚀损	42
第一节 疲劳点蚀	42
一、概述	42
二、齿轮的疲劳点蚀	43
三、滚动轴承的疲劳点蚀	43
第二节 腐蚀	44
一、机理	44
二、影响腐蚀的因素	45
三、减轻腐蚀危害的措施	45
四、工程机械零件的腐蚀破坏	46
第三节 穴蚀	47
一、概述	47
二、机理	48
三、湿式缸套及气缸体与水接触表面的穴蚀破坏	48
四、柴油机燃油系的穴蚀破坏	49

第二篇 机械修理过程的主要工艺和修理组织

第一章 机械的拆卸和装配	50
第一节 机械的拆卸	50
一、拆卸的原则	50
二、典型零部件联接的拆卸	51
第二节 机械的装配	53
一、装配中的共同性问题	53
二、典型零件的装配	55
三、装配后的试验	58
第二章 清洗	59
第一节 除油	59
一、碱溶液除油	59
二、有机溶剂除油	61
三、金属清洗剂清洗	62
第二节 除锈	62
一、机械法除锈	63
二、化学除锈	63
三、电化学除锈	63
四、有色金属的除锈	64
第三节 积炭的清除	64
第四节 水垢的清除	66
第三章 检验	67
第一节 零件检验的依据	67
一、检验工作应遵循的原则	67
二、零件磨损极限的确定	68
第二节 零件的检验方法	70
一、零件的感觉检验法	70
二、零件的机械仪器检验法	71
三、零件的物理检验法	72
四、超声波探伤	74
第三节 几种检验设备在机械检修中的应用	78
一、无负荷测功仪	78
二、曲轴箱窜气流量计	80
三、发动机异响听诊器	80
四、烟度测量仪	81
第四章 检修制度及修理组织	82
第一节 检修制度	82
一、计划预期检修制度	82

二、机械送修制度.....	84
第二节 工程机械修理组织.....	85
一、工程机械的修理体制.....	85
二、机械修理的工艺组织.....	86

第三篇 零件修复工艺

第一章 零件修复中的机械加工.....	88
第一节 旧件加工的特点.....	88
一、加工精度与定位基准.....	88
二、修复表面的光洁度.....	89
三、轴类零件的圆角.....	90
四、零件的平衡.....	90
第二节 基础件的整形.....	91
一、加工余量.....	91
二、定位基准.....	91
第三节 零件修复的修理尺寸法.....	92
一、修理尺寸的确定.....	92
二、修理尺寸法的优缺点.....	94
第四节 零件的镶套修复法.....	94
第五节 零件部分更换或换位修理法.....	96
第二章 焊修.....	97
第一节 钢零件的焊修.....	98
一、低碳钢零件的焊修.....	98
二、中碳钢零件的焊修.....	99
三、高碳钢零件的焊修.....	100
第二节 铸铁的补焊.....	101
一、铸铁的焊接特点.....	101
二、铸铁补焊方法的选择和焊接材料.....	103
三、灰口铸铁气焊焊补工艺.....	104
四、灰口铸铁电焊焊补工艺.....	107
五、球墨铸铁焊补工艺.....	108
六、铸铁钎焊焊补工艺.....	109
第三节 铝合金的焊补.....	110
一、铝合金的焊接特点.....	110
二、铝合金零件的气焊焊补.....	111
三、铝合金零件的氩弧焊焊补.....	112
第四节 堆焊.....	113
一、手工堆焊.....	113
二、埋弧堆焊.....	118

三、振动堆焊	120
四、火焰喷焊	127
五、等离子弧喷焊	129
第三章 喷涂	136
第一节 金属电喷涂	137
一、喷涂层的形成	137
二、电喷涂设备	138
三、金属喷涂修复工艺	140
四、喷涂层的机械性质	144
五、金属喷涂的安全技术	145
第二节 特殊喷涂技术	145
一、等离子电弧喷涂	145
二、塑料喷涂	147
第四章 电镀	148
第一节 一般知识	149
一、电解液和电解	149
二、电解液的导电率	149
三、电解定律（法拉第定律）	149
四、电极电位	151
五、水的电离及溶液的 PH 值	154
六、电镀的结晶过程	154
七、均镀能力和深镀能力	155
八、金属的阳极钝化	156
第二节 镀铬	156
一、镀铬层的性质	156
二、镀铬过程和影响因素	157
三、镀铬层的种类及规范	159
四、镀铬设备	161
五、镀铬工艺	164
六、镀铬新工艺	166
七、镀铬车间的环境保护	168
第三节 镀铁	170
一、镀铁设备	171
二、电解液	173
三、镀铁工艺	176
四、镀铁层的结构及其机械性能	181
第四节 镀铜	184
一、镀铜在修理中的应用	184
二、无氰镀铜	184
第五章 粘接	187

第一节 粘接的特点	187
一、粘接工艺的特点	187
二、粘接的基本原理	188
三、粘接剂的分类	189
第二节 有机粘接剂	190
一、组成	190
二、合成粘接剂的品种, 用途及产地介绍	193
第三节 无机粘接剂	195
一、一般性能及特点	195
二、无机粘接剂的组成及配制	195
第四节 粘接工艺	197
一、粘接工艺	197
二、粘接在工程机械修理中的应用	201
第六章 零件修复的其它方法	203
第一节 电泳	203
一、电泳过程及应用	203
二、电泳设备及电泳液	204
三、电泳工艺过程	204
第二节 电火花加工	205
一、电火花加工的一般原理	205
二、电火花加工的生产率和加工精度	207
三、电火花加工装置	208
四、电火花加工修复法	209
第四节 超声技术在修理上的应用	212
一、超声波的性质	212
二、超声波的发生	213
三、超声波在修理上的应用	215

第一篇 零件的失效分析

工程机械在使用过程中失去正常的工作能力谓之故障。机械发生故障后，其技术经济指标就会显著改变而达不到规定的要求，如发动机功率下降，工作装置的工作能力降低，燃油及润滑油耗量增加，以及机械发出不正常的响声等。机械故障的表现形式多种多样，发生故障的原因也各不相同，按其原因或性质不同可分为事故性故障和自然故障两大类。

事故性故障是由于维护和调整不当，违反操作规程或使用了质量不合格的零件和材料等，使各部机件加速磨损或改变其机械工作性能而引起的。事故性故障是人为的，也是可以避免的。

自然故障是机械在使用过程中，因各部机件的自然磨损或物理化学变化造成零件的变形、断裂、蚀损等使零件失效所引起的。自然故障虽是不可避免的，但是随着机械设计、制造、使用和修理水平的提高，可使机械有效工作时间大大延长，而使故障较迟发生。

本篇着重讨论零件的失效，即磨损、变形、断裂和蚀损等。

第一章 零件的磨损

机械工作过程中，相对运动零件的表面、发生尺寸、形状和表面质量变化的现象称为磨损。

一台大修的发动机，拆开检查时可以发现，绝大多数相互摩擦的零件（如缸套、活塞、活塞环、曲轴、主轴承、连杆轴承等）失效形式大都是磨损。发动机工作时间越长，由于磨损造成的故障越多，所以磨损是机械故障的主要原因。

磨损的速度直接影响到机械的寿命，例如，正常工作情况下的缸套可以工作几千小时；若制造、修理质量不高，保养不良，燃料、可燃混合气或润滑油不清洁时，缸套有时只能工作几十小时。

严重磨损的零件必须进行修复或更换。零件磨损过快将增加修理或制造的工作量，增加材料的消耗，降低机械利用率。因此，研究磨损规律，寻求减少磨损的措施是修理技术人员的重要职责。

第一节 摩擦与磨损

一、摩擦的实质

相接触的物体相互移动时，发生阻力的现象叫摩擦。这种阻力通常叫做摩擦力。摩擦与磨损是相伴发生的，在人们日常生活中与生产实践中随时都能遇到。随着科学技术的发展和机械运转速度的不断提高，摩擦与磨损日益成为重要的研究课题。加强摩擦与磨损的研究，对延长机械和零件的寿命以及提高其工作可靠性，将发生重要的作用。在国际上，摩擦、磨损和润滑技术已形成一门新的基础学科，称为摩擦学。

关于摩擦的实质的探索已经有几百年的历史，现在得到人们普遍承认的是机械—分子学说。这种学说认为：摩擦力是由机械阻力与分子引力构成的。

任何表面都存在着不平度。经过磨光的表面，不平度仍有4~5微米，即使抛光很好的光洁表面，其不平度也不小于1/1000微米。当两个表面接触时，这两表面的凸凹互相咬合，要想使它滑动，必须顺着其凸部反复地抬起来，或者使凸部发生变形与破坏，产生机械阻力。

任何两个物体之间都存在着分子引力，当两个表面越接近时，引力越大。由于表面存在不平度，因此，两个相接触的摩擦表面只有在凸出点上相接触，实际接触面积只占总面积的极小部分（约 $\frac{1}{100} \sim \frac{1}{10,000}$ ），结果在不大的载荷作用下，接触点的单位压力已经很大（每平方厘米可达几百公斤至几万公斤），凸出点相互压平。在相互压合的表面上，将产生足够的分子引力。

当表面比较粗糙时，摩擦力以机械阻力为主；当表面光洁度相当高时，以分子引力为主。

二、摩擦的分类

(一)按摩擦零件运动的特点分：

按照摩擦零件运动的特点，摩擦可分为滑动摩擦，滚动摩擦和混合摩擦。齿轮的啮合表面同时存在滑动摩擦与滚动摩擦，因而属于混合摩擦。

(二)按润滑情况分：

按润滑情况的不同，摩擦可分为：干摩擦、液体摩擦、边界摩擦、半干摩擦和半液体摩擦。

1.干摩擦

在摩擦表面之间，完全没有润滑油和其他杂质时所发生的摩擦叫做干摩擦。如离合器摩擦片与飞轮和压板间的摩擦，制动蹄衬片与制动鼓的摩擦等。在机械中，除了某些专门要求有较大摩擦力的机构外，是不希望出现干摩擦现象的。

干摩擦状态下摩擦力的大小由下式确定：

(1)干滑动摩擦

干滑动摩擦的摩擦力 F 可用库伦二项式表示：

$$F = fN + A$$

式中： f ——干滑动摩擦系数；

N ——正压力；

A ——与正压力无关而仅与接触面大小有关的系数。

由于 A 比 fN 小的多，且不好确定，故实际采用：

$$F = fN$$

(2)干滚动摩擦

滚动摩擦是一个物体沿另一个物体表面滚动时对滚动物体产生的阻碍现象，其性质与滑动不同，滚动摩擦现象比较复杂，目前对它的研究还很不够。在生产实践中人们认识到：滚动摩擦是以阻力矩的形式起作用的，摩擦力的大小与接触面间的变形有关：变形大，摩擦力

大；变形小，摩擦力小。其摩擦力 F 可用下式确定：

$$F = \lambda \frac{N}{R}$$

式中： R ——滚子半径（厘米）；

N ——正压力（公斤）；

λ ——滚动摩擦系数（厘米）。

λ 与 N 、 R 及滚动速度无关，而仅与材料表面状态有关。

相对滚动的物体为铸铁与铸铁时， $\lambda = 0.5$ 厘米；相对滚动的物体为软钢与钢时， $\lambda = 0.05$ 厘米；相对滚动的物体为钢质车轮与钢轨时， $\lambda = 0.5$ 厘米；

由于摩擦面间存在着分子的相互作用力，所以不能单纯的用提高表面光洁度的方法来减少摩擦力。通过在摩擦面间引入润滑油的方法，可以避免摩擦面直接接触，从而减少由分子引力产生的摩擦力。

2. 液体摩擦

摩擦表面被润滑油隔开，零件表面不发生直接接触的摩擦叫液体摩擦。如图 1-1-1 所示。

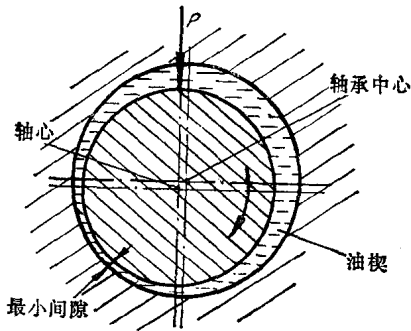


图1-1-1 转轴处于浮动状态的油楔

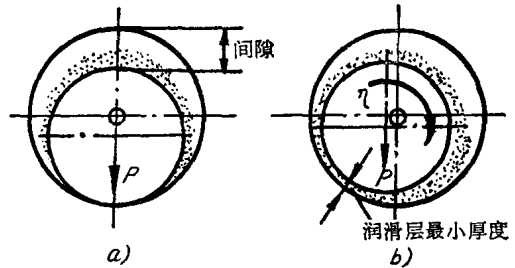


图1-1-2 液体摩擦时轴在轴承中的位置

由于这种摩擦大部分是发生在润滑油内部，所以产生的磨损是很小的。例如，发动机在稳定运转时的曲轴轴颈与轴承之间的摩擦就是这样。

流体动力学的润滑理论告诉我们，将几何形状正确的轴，以一定间隙装在同样具有正确几何形状的轴承中，当间隙、润滑油粘度、载荷及组合件的结构尺寸保持不变时，则轴在轴承中的位置，将仅与轴的转速有关。如图 1-1-2 a 为静止状态时，轴颈处于最低位置。当轴转动时，随着转速的增加，润滑油也具有一定的流动速度，开始把轴挤向左边，而润滑油则流入轴颈低部，并抬高轴颈。当转速继续增高时，就使轴向左上方移动，如图 1-1-2 b 的情况。在转速升高到一定数值时，则轴颈的中心线与轴承的中心线便趋于重合。所以当发动机从启动到进入正常运转，其曲轴轴颈的中心线是沿着近似半圆的轨迹移动，使轴颈从位于轴承最低位置到最后浮起来。

相对运动的两零件表面之间充满润滑油时，润滑油各层具有不同的速度，使各层间产生相对移动，由此发生了液体摩擦，其摩擦力可用下面公式表示：

$$F = \eta \frac{SV}{h}$$

式中： F ——摩擦力（公斤）；

- η ——润滑油的绝对粘度 (公斤·秒/米²);
- S ——摩擦表面面积 (米²);
- V ——轴颈相对轴承的圆周速度 (米/秒);
- h ——润滑油层厚度 (米)。

根据上式和试验资料, 可以确定轴“浮起”条件的公式:

$$h_{\min} = \frac{\eta n d^2}{18.36 P \delta} \cdot \frac{L}{d+L}$$

$$\left(C = \frac{d+L}{L} \text{ 为轴承载荷校正系数} \right)$$

式中: h_{\min} ——润滑油层最薄处油层厚度 (毫米);

η ——润滑油的绝对粘度 (公斤·秒/米²);

n ——轴转速 (转/分);

d ——轴颈直径 (毫米);

P ——轴上单位载荷 (公斤/米²);

δ ——轴与轴承静止状态下的最大间隙 (毫米);

L ——轴颈与轴承配合长度 (毫米)。

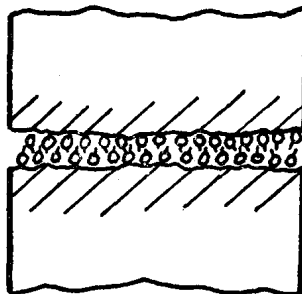


图1-1-3 边界摩擦开始时的表面状态

若以 $\delta_{\text{轴}}$ 、 $\delta_{\text{轴承}}$ 分别表示轴和轴承的微观不平度, 则液体摩擦必须满足下式:

$$h_{\min} > \delta_{\text{轴}} + \delta_{\text{轴承}}$$

3. 边界摩擦

摩擦表面只有一层很薄 (0.1微米以下) 的油膜时, 所产生的摩擦称为边界摩擦, 如图1-1-3所示。由于润滑油的油性 (吸附能力) 所形成的油膜有很高的强度, 能承受很高的压力, 可防止两摩擦面直接接触, 隔断了分子引力, 使摩擦力大为减少。

4. 半液体摩擦

当加在两零件上的大部分载荷由液体层所承受, 而小部分载荷由零件接触表面所承受时, 所产生的摩擦为半液体摩擦。其性质即由液体摩擦与边界摩擦所占的百分比而定, 而介于液体摩擦和边界摩擦之间, 但趋向于液体摩擦。

5. 半干摩擦

边界摩擦和干摩擦同时存在的混合摩擦叫半干摩擦。此时两零件间大部分载荷是由零件接触表面所承受, 而部分载荷是由油膜所承受。其性质也由边界摩擦和干摩擦所占的百分比而定, 但趋于干摩擦。

上述各种摩擦中, 干摩擦将产生较大的摩擦力, 使零件的磨损增大。液体摩擦产生的摩擦力很小, 零件的磨损也较小, 但必须保证一定的条件, 在实际使用中往往没有可靠的保证。因而边界摩擦、半干摩擦、半液体摩擦在机械中极为普遍, 它们之间以一定的外界条件互相转化。如发动机曲轴主轴轴承和连杆轴承正常运转时, 在液体摩擦条件下工作, 但在转速急剧下降时即出现半液体摩擦, 而在启动时是边界摩擦。活塞组在工作过程中, 随行程的改变, 速度和润滑油粘度都不同, 可能造成半液体摩擦、边界摩擦、甚至是半干摩擦。

三、磨损的分类

(一) 磨料磨损:

当有硬质微粒 (尘埃、砂粒等) 进入摩擦表面间时, 由于它们在表面上的刮伤作用而引

起的磨损叫磨料磨损。

(二)机械摩擦磨损

由于摩擦表面的微观不平而在表面上发生的磨损为机械摩擦磨损，它的实质是由于不平表面的峰谷啮合而刮平，或峰顶的塑性变形而碾平的结果。磨损中只有尺寸、形状、体积等的变化，而无大的物理化学变化，也就是磨损几乎是机械摩擦的结果。

(三)粘着磨损

摩擦表面间，在重载荷的工作条件下，由于润滑不良，单位压力过大，加之以高的滑动速度，使零件表面产生大量的热而来不及散掉或导入内部深处，表面产生极高的温度，有时可达1500°C。在高温下使表面材料强度降低，同时，使局部材料熔化并粘在另一个零件表面上，在继续相对运动中被撕裂下来。这种磨损叫粘着磨损，汽车发动机的拉缸现象就是这种磨损。

粘着磨损的产生，取决于材料的塑性大小，工作条件（如工作温度、压力、摩擦速度、润滑条件等）和配合件的表面光洁度。

条件不同，产生粘着磨损的情况也不同。例如，在重载荷作用下，由于润滑不良，单位压力过大，即使在低速运转的轴承和轴，有时也会粘着而造成磨损。这是因为金属在极高的单位压力下，造成实际接触部位的压应力超过了材料的屈服极限，表面极薄的金属表层产生塑性变形。由于接触点的互相嵌入，破坏了该处的油膜和氧化膜，从而显露出纯洁的金属，给金属表面层相距较近的部分造成了分子相互吸引的条件，从而产生粘结（其现象很象金属的冷焊）。粘结部分在相对运动中被撕裂下来。从而使部分金属从一个零件表面移到另一个零件表面上。例如发动机超载时，由于润滑条件不良，曲轴轴颈在低速时会造成“抱轴”现象。

产生粘着磨损的条件可归纳如下：

- 1.表面纯洁，无吸附膜。金属表面实际上经常存在着吸附膜。常温下只有在塑性变形之后，金属滑移，吸附膜破坏，才能露出纯洁的金属表面。再就是温度升高，能使膜层破坏。一般认为温度达100~200°C时吸附膜就会破坏，而易产生粘着磨损。
- 2.接触面愈近，愈易产生粘着。接触点愈密，实际接触面愈大，原子晶格距离愈近，愈易产生粘着。
- 3.原子点阵晶格中的能量要超过一定的数值，才能引起粘着，这个数值叫粘着限。零件的弹性变形、塑性变形、温度升高都会使原子能量增加，活动能力增强，而容易产生粘着。
- 4.同名金属易粘着。同名金属原子晶格距离相等，亲合力强，在其它条件相同时，比异名金属易产生粘着。

(四)其它磨损

其它磨损形式还有点蚀磨损，腐蚀磨损等，将在其它章节阐述。

四、零件的磨损特性

上面讨论了各种摩擦与磨损的情况，从讨论可知，各种条件下零件磨损的原因是不同的，但是零件在这些条件下的磨损增长过程十分近似，并带有共同性。图1-1-4为零件磨损量随着时间的增长而变化的曲线—磨损特性曲线。

从图中可以看出，曲线可分为三个阶段：

(一)磨合阶段OA

图中 OA 表示磨合磨损阶段。由于零件加工后表面比较粗糙，因此零件的磨损十分迅速，此时的磨损是由机械摩擦磨损和由机械摩擦磨损下来的微粒所造成的磨料磨损。随着磨合的不断进行，表面不平度不断降低，实际接触面不断增加，同时也由于不平度的峰顶发生塑性变形而产生冷作硬化，所以磨损速度由开始的最大值而逐渐降低，在达到 A 点时，正常工作条件已经形成。应该指出：理想的 A 点最好靠近 O 点，也就是说在短的时间内以最低的磨损量达到良好的磨合要求。如果遵守合理的磨合规范，正确地选择磨合负荷、转速、时间和润滑剂等参数，经数小时即可达到 A 点。倘若不遵守正确的磨合规范，可能要数十小时甚至更长。

(二) 工作磨损阶段 AB

图中 AB 表示工作磨损阶段，或称正常磨损阶段，它的特征是磨损进程十分平缓稳定。它的时间表示零件修理前的使用期限，这一段的中后期磨损进程相对加快，但仍可继续工作。当磨损量增至相当 B 点的磨损值时，磨损就进入新的阶段。

(三) 强烈磨损阶段 BC

这一段的特性是磨损进程十分迅速，这是由于配合零件的工作条件恶化，零件几何形状改变，间隙大大增加，所以零件润滑条件变坏，并受着附加的冲击作用。在这种情况下，配合件的工作随着配合间隙的不断增大而恶化，零件容易发生破坏事故，故这一段又称事故磨损阶段。

综合配合件中每个零件的磨损特性，便可得出配合件在磨损过程中配合关系的磨损特性，如图 1-1-5 所示。当研究配合件的质量时，往往用这种特性曲线。

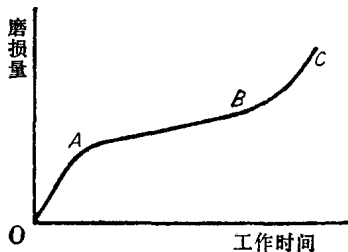


图1-1-4 磨损特性曲线

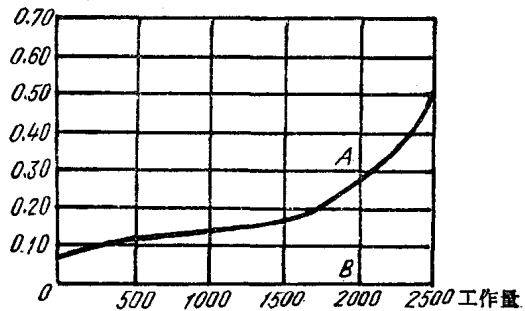


图1-1-5 在磨损过程中配合件的配合关系磨损特性

第二节 磨料磨损

什么叫磨料呢？金属零件可能同成分均匀的固体（如矿石）、硬粒物质（砂粒）的固体群、成分不均匀的硬杂质（坚石等）以及尘埃等发生摩擦，它们将在金属表面留下压痕或切出擦痕，加速了机械的磨损。这些矿石、砂粒、坚石，尘埃等在摩擦过程中均叫做磨料。

工程机械的工作环境十分恶劣，大多工作在山区或砂石飞扬的野外。空气中的含砂量非常大，有时可达 $1.5 \sim 2$ 克/米³；工作对象是坚硬的岩石、泥土、砂砾、矿石等。其载荷条件也复杂多变，经常有冲击和振动。因此，工程机械的工作装置、行走机构以及滤清效果不良的发动机中的大部分零件在磨料磨损的条件下工作，所以磨料磨损造成零件寿命大大缩短的现象甚多。例如：青藏线某工地施工机械中，有一台刚刚大修后的推土机，仅仅工作了几十小时，发动机就不能工作了。拆开，测量缸套，其磨损量已超过了大修标准，同时发现润

滑油很脏，进气管口处布满了砂粒。查其原因，发现进气胶皮管接头处卡子损坏，不能夹紧，使空气未经滤清而进入缸中，形成严重的磨料磨损，造成了零件的早期损坏。因此，在工程机械中，磨料磨损问题应该引起足够的重视。

一、磨料磨损机理

磨料同零件相对运动时，作用到磨料上的力可以分解为垂直表面的分力和平行表面的分力。磨料颗粒和表面相对位置决定了分力的大小，因此，磨料对表面的主要磨损形式也就大不相同。

垂直表面的分力使磨料颗粒刺入表面，对于塑性材料表面很象打硬度一样，磨料使材料表面产生塑性变形，磨料产生大量而密集的压痕，使位移材料前后移动，最后由于疲劳而破坏。对于脆性材料表面几乎不发生塑性变形，而表面材料产生脆性破坏。

平行表面的分力，使磨料颗粒和表面间产生相对切向运动。这就导致表面切削，“犁皱”和切削表面留下细槽。颗粒和表面间的相互作用，很象机械加工的切削工具和工件的相互作用。对塑性材料，每一个切削硬粒从表面上切下一个连续的屑。而对脆性材料，一个磨料碰一次表面切下许多断屑。

在不同形式的磨料磨损中，磨料对表面的作用方式也不同。在高硬度碾碎磨料磨损中，垂直表面的作用力将使磨料碾碎。

二、磨料磨损的分类

(一)有人按磨料与零件的相对运动关系将磨料磨损分为三类：

1.磨料是可以流动的群体，金属在磨料中运动。例如，挖掘机铲斗的工作情况就是如此。

2.磨料夹在液流或气流中间，并随液流和气流与零件产生相对运动。例如，燃油中夹有杂质，对喷油咀喷孔的磨损。

3.磨料夹在金属之间，当零件相对运动时，磨料对零件产生磨损。例如，滤清器效果不好，尘埃、砂粒进入气缸中，造成活塞环与气缸的磨料磨损。

(二)也有人按磨料磨损条件分为下列三类：

1.凿削磨料磨损（通常带有冲击）

在凿削磨料磨损中，岩石或其他粗大磨料以很大的力切入零件表面，并切下较大的金属颗粒。挖掘机斗齿、井下粗矿石装载机的刀刃、隧道装渣机的斗齿、破碎机的衬板等等，都承受这类磨损。有时凿削力的作用速度较缓慢，有时则甚高。因此，难以加工或不能加工的材料则具有良好的抗凿削性能。

凿削磨料磨损往往受严重的冲击引起。因此常选取那些耐磨性能并非最佳，但有足够的冲击强度的材料。奥氏体锰钢就是凿削式磨料磨损中应用最广的材料。

2.高应力或研磨磨料磨损

当两个磨损零件表面夹着磨料，在很大的力的作用下相互摩擦，这时能将两表面间的磨料粉碎。由于磨料能嵌入和刮伤表面，因此在工作表面上接触点处作用有集中的高应力，引起金属的塑性流动和疲劳以及破裂。例如，石英颗粒可嵌入最硬的钢中，这种应力可达2100000千帕（210公斤/毫米²）。这样高的应力能引起显微刮伤，或使耐磨合金组织中的脆性的粗大的碳化物剥落。