

中等专业学校教学用书

机械维护与修理

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

机械维护与修理

北京钢铁学校 庄春沼 主编

冶金工业出版社出版

(北京市市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 12 1/4 字数289千字

1982年7月第一版 1982年7月第一次印刷

印数00,001~15,000册

统一书号: 15062·3843 定价1.00元

前 言

本教材是根据1978年冶金工业部中等专业学校教材会议制订的矿山机械、冶金机械专业教学计划和《机械维护与修理》课程教学大纲编写的，除供中等专业学校教学使用外，亦可供从事矿山机械、冶金机械和其他机械设备工作的厂、矿技术人员、工人参考。

《机械维护与修理》课程与钳工工艺有紧密的联系，但又应加以区别。它以钳工工艺有关的感性知识为基础，系统地阐述机械维护与修理的基本理论知识。

现代的机器设备种类繁多，但都是由基本零件装配而成。它们的使用、维修有其共同的规律。限于篇幅，本教材仅编入机器的磨损、机器的润滑、机器的装配和机器的安装等四章。

本教材由北京钢铁学校庄春沼主编。参加编写的有山东冶金工业学校苏逢荃、沈阳有色冶金工业学校张舒迟。

由于本教材的编写时间仓促，加之编者水平有限，错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1979年9月

目 录

绪言	1
第一章 机器的磨损	4
第一节 概述	4
第二节 机械磨损的理论及其类型	4
第三节 机械磨损发展的一般规律	7
第四节 机械磨损的影响因素	8
第五节 典型零件的磨损	10
第二章 机器的润滑	13
第一节 润滑原理	13
第二节 润滑材料	21
第三节 润滑方式及润滑装置	53
第四节 润滑系统的设计计算	81
第三章 机器的装配	91
第一节 概述	91
第二节 过盈连接的装配	92
第三节 键连接的装配	101
第四节 滚动轴承的装配	107
第五节 滑动轴承的装配	118
第六节 齿轮传动的装配	128
第七节 螺纹连接的装配	146
第八节 密封装置的装配	156
第九节 联轴节的装配	162
第十节 转子的静平衡与动平衡	165
第四章 机器设备的安装	175
第一节 概述	175
第二节 机器设备安装位置的检测与调整	178
第三节 机器设备安装后的试运转	181
第四节 机器基础的设计与施工	183

绪 言

发展工业生产有两个主要途径，一是有计划地建设一批新的企业；二是对现有企业进行挖潜、革新和改造。从长远看，为了尽快地实现四个现代化，根据需求和可能，有计划地建设一批新的企业是完全必要的，但是，发展工业生产更重要的则应该建立在对现有企业挖潜、革新和改造，充分发挥现有企业效能的基础上，如果不注意充分发挥现有企业的效能，一味追求新建企业，而新企业建成后仍不能充分发挥其效能，岂不是很大的浪费。能使老企业进一步增产节约，新投产的企业尽快地达到和超过设计的生产能力是当务之急。

机械设备是进行工业生产的基础，是工业生产力的要素。我国劳动人民自古以来就有“工欲善其事，必先利其器”的谚语，说的是要想使工作有成效，首先必须有得力的工具。现代化大型、高速、连续、自动化的大生产，在很大程度上更是取决于机械设备的工作质量。

工业企业机械设备工作属于机械设备使用的范畴，它的内容主要有两个方面：

一方面是机械设备的维护与修理。它的任务是保证机械设备经常处于良好的技术状态和保持应有的工作性能，延长其使用寿命和避免不应发生的事故损坏，以充分发挥其效能。它的内容包括正确地操作和维护保养，及时、快速和高质量地检修。机器设备是按一定的工作条件进行设计，并有其各自的运行规律，因此，我们必须按照设计规定的工作条件及其运行规律正确地使用、操作和维护保养，才能保证机器设备经常处于良好的技术状态。例如：应经常保持机器设备零部件的完整和齐全，并使它们经常得到必要的和正确的紧固和调整；做好机器设备的清洁、润滑、密封和防腐等工作；按照机器设计规定的工作载荷、速度、压力、温度和操作程序等进行使用和操作，并使机器设备的技术资料和使用记录资料齐全和准确等。尽管如此，机器设备在使用过程中受到载荷、摩擦、高温和湿气等的作用，仍不可避免地造成零部件的磨损、配合失调、技术状态逐渐恶化、作业性能下降，必须进行有计划的、及时的修理；而且，由于我们在设计、制造和使用中存在的缺点、错误，还会造成机器设备的事故磨损和损坏，需要进行事故修理。通过及时的、迅速的和高质量的修理，才能很快恢复机器设备的正常工作条件、应有的技术状态和工作能力，机器设备的效能才能得到充分的发挥。

另一方面是机器设备的革新和改造。机器设备的维护、修理是机器设备的使用，机器设备的革新和改造也是使用，而且是积极的使用，同时又是积极的维修。机器设备的设计根据来自生产实践，但任何一个设计只反映人们一定阶段的认识，而且这一认识还可能存在一些缺点和错误，而生产实践在前进、技术在发展，人们的认识也在不断地发展和深化。在机器设备的使用、维修的实践过程中，必然会发现机器设备不适应生产发展的问題，需要通过机器设备的革新和改造来解决。通过机器设备的革新和改造，可以消除机器设备零部件之间的薄弱环节、机器设备之间的薄弱环节，使操作机械化、自动化程度不断提高，使机器设备的负荷能力、工作质量和使用性能不断提高，有力地推动生产的发展。

当前，提高机械维护与修理水平，主要应做好以下几项工作。

1. 加强机械维护、修理的组织与管理

首先要加强机械维护、修理的集中统一领导，集中有效地运用我国机械维护、修理有限的人力和物力；建立精悍的、高效率的各级机械维护、修理组织系统；建立和健全机械维护、修理的各项规章制度。

特别是要做好机械维护、修理的经济分析工作。例如对机器设备大、中、小修间隔期和工期，机器设备计划维修停工率，机器设备事故停工率，单位产品机器维修成本，备件储备率，机器设备革新、改造投资回收期等的分析。

2. 总结、交流和推广我国工业企业、工人、技术人员和管理人员机械维护、修理的先进经验

多年来，我国工业企业、工人、技术人员和管理人员积累了不少机械维护、修理经验。例如：有的企业机械设备的年日历作业率达到80~90%以上，大修周期较一般企业延长三倍以上，检修工期缩短一半以上；有的企业十几年来对90%的机器设备进行了不同程度的改革；有的企业每年为国家积累的资金达到车间总投资的一倍以上；有的企业投产当年就收回全部投资，第二年就突破了设计产量；许多企业的产量大大超过了原设计能力，有的达到设计能力的一倍以上；有的企业增产不增人，劳动生产率较过去提高了好几倍，等等。我们应该很好地总结、交流和推广他们的这些经验，推动工业生产的发展。

3. 积极采用国内外一切先进的机械维护、修理方法

随着现代工业生产的大型、高速、连续、自动化的发展，机械维护、修理方法也有所发展，出现一些新的方法。应根据我们的情况，通过试验，积极采用新方法。

(1) 修理站修理法 将损坏的机器设备送到修理站或修理站派出修理人员带着需要更换的备件和修理工具等到车间修理。这种方法的优点是工业企业的专业化，机械维修企业能够充分利用机械维修的人力、技术和设备，修理工作效率和质量比较高，成本低。这种专业化协作的方法，不仅适用于大修，也适用于中修和小修。

(2) 完全互换性修理法 在修理机器设备时，无需对备件进行选择、修配、甚至调整，完全依靠设计和机械加工得到的机器零件应有的尺寸和形位精度来保证机器设备的技术状态，用机械加工代替钳工修配的手工操作。过去认为一般机器维修多为单件或小批量生产，考虑到经济加工，较多地采用钳工修理、调整装配法。随着机械加工设备和技术的发展，获得较高的加工精度已不困难；同时，完全互换性修理法在缩短修理工期、提高修理质量、节约劳动等方面的经济效果显著，因此，这种方法已日益广泛地被采用。

(3) 部件修理法 事先准备好质量良好的各种部件，修理时，只需将设备上已经损坏的部件拆掉，换上准备好的同类部件，然后将换下来的部件送修理站进行修复，以备下次再用。这种方法的优点是：可以节省部件拆卸和装配的时间，缩短修理停工时间，提高修理质量，并改善劳动条件。但是，由于采用这种方法需要一定数量的部件做周转，需占用一定的流动资金，所以，这种方法适用于那些具有较多相同类型的机器设备和不能停工修理的关键设备的修理。

(4) 分部修理法 按照机器设备各个独立部分，分别顺序进行修理，每次只修理它的一部分。这种方法的优点是，可以利用假日或非生产时间进行修理，以增加机器设备的生产时间，提高设备利用率。这种方法对那些担负生产任务比较繁重的关键设备和修理时间比较长的机器设备很有意义。

(5) 对机器设备进行自动监护 对现代化、大型和重要机器设备的操作和运转进行

自动监护,包括自动检测、指示、警报和连锁控制等,用这些来代替过去主要依靠经验进行的人工监护;同时,还应用各种检测仪表对机器设备的技术性能和技术状态进行测试分析。这样可以大大提高机器设备运转的可靠性。虽然这需要增加一部分费用,但是,如果我们计算一下它可能避免机器设备发生事故所造成的损失,以及提高机器设备的工作质量和延长使用寿命所带来的经济效果,就可以看到它是合理的。

“机械维护与修理”是研究机械维护与修理工艺的课程。它的任务是探讨维护与修理工艺的科学方法,提高机械维护与修理工作质量,与机械设备的各种类型的磨损作斗争,保证机械设备在不断提高生产能力的条件下安全连续运转,延长其使用寿命。由于机械维护、修理技术水平的提高,将延长机器设备的检修周期、缩短检修工期,防止或减少事故停工,提高设备作业率,提高劳动生产率,保证机器的精度和工作质量,降低机器维护、修理成本,推动生产的发展。

本教材讲述的内容主要有:

(1) 机器的磨损,机械磨损过程的理论,机械磨损的类型,机械磨损发展的一般规律和影响因素,典型零部件的磨损过程和延长使用寿命的措施。通过这一内容的学习,主要是为了掌握机械磨损类型、原因的分析方法和提出延长使用寿命、增强可靠性的措施。

(2) 机器润滑的基本原理,润滑方式和润滑材料的选择,润滑设备的构造原理,润滑系统的设计与计算,典型零部件的润滑。由于现代化生产向大型、连续、高速、自动化方向发展,机器润滑就具有特别重要的意义,对它的要求也愈来愈高。为此,维护修理工艺必须考虑润滑这一重要因素。

(3) 机器修理(装配与安装)的技术要求和实现技术要求的基本方法。修理技术要求的制订是个重要的问题。既不能要求过高,又不能要求过低。如果脱离备件加工质量、修理工人的技术水平和机器工作环境等现实条件,提出过高的要求,不仅造成人力和时间的浪费,而且还会造成设备事故。相反,如果要求过低,或过于保守,则严重影响机器的使用寿命。通过这一内容的学习,除了掌握机器修理技术要求的制订方法外,还要了解达到技术要求的基本方法,了解修理技术的新发展。公差配合的知识则是修理技术的基础。

本课程实践性较强,在学习过程中,既要加强基本理论知识,又要紧密联系生产实际,注意研究机械维护、修理实践中的实际问题。

第一章 机器的磨损

第一节 概 述

随着矿山、冶金生产的发展,要求机械设备在不断提高生产能力的情况下,安全连续运转。然而,机器设备在使用中,受到载荷、摩擦、高温、介质等的作用,将产生不可避免的磨损,结果机器零件的几何形状和金属表层性质(化学成份、组织、机械性能)逐渐发生变化,使机件丧失应有的精度和功能。

机器磨损的发展将导致机器的故障。所谓机器的故障,是指机器丧失了应有的工作能力(低于设计的工作能力)。机器的工作能力是用机器的工作性能来表示的,例如对工作机来说,是能承受的工作载荷和运转速度;对传动机来说,是机械效率;对原动机来说,是输出的功率、压力和流量等。

机器故障最显著的特征是构成机器的各个组合机件或部件间配合的破坏,如活动连接的间隙、固定连接的过盈等的破坏。这些破坏主要是由于机件过早磨损的结果。因此,研究机器故障应首先研究典型零件及其组合的磨损。

机件的磨损是多种多样的。但是,为了便于研究,按其发生和发展的共同性,可分为自然磨损和事故磨损。

自然磨损是机件在正常的工作条件下,其配合表面不断受到摩擦力的作用,有时由于受周围环境温度或介质的作用,使机件的金属表面逐渐增长的磨损,而这种自然磨损是不可避免的 normal 现象。机件由于有不同的结构、操作条件、维护修理质量等而产生不同程度的磨损。

事故磨损是由于机器设计和制造中的缺陷,以及不正确的使用、操作和维护、修理等人为的原因,而造成过早的,有时甚至是突然发生的剧烈磨损。

机器维护与修理的任务,就是与机械磨损进行斗争,消除或避免产生事故磨损的条件和因素,防止机器设备的事故磨损,并创造条件、采取措施,减少运动机件的正常磨损,延长机器的工作寿命,充分发挥机器设备的效能。

第二节 机械磨损的理论及其类型

两相互接触产生相对运动的摩擦表面之间的摩擦将产生阻止机件运动的摩擦阻力;引起机械能量的消耗并转化和放出热量,使机件产生磨损。

关于机件在摩擦情况下,磨损过程的本质问题,至今尚在探讨中。对摩擦、磨损曾有诸种学说,下面仅介绍目前常用的干摩擦“粘着理论”和“分子-机械理论”。



图 1-1 摩擦表面凹凸不平及其接触情况

一、摩擦、磨损起因的两种理论学说

1. 粘着理论和分子-机械理论的一些假设

(1) 两个物体相对运动的接触表面(即摩擦表面)的精度和光洁度,无论怎样精密细致的加工、研磨、抛光,总是存在凸凹不平,如图1-1所示。不同加工方法时表面的最大粗糙高度如表1-1所示。

表 1-1 不同加工方法时表面的最大粗糙高度

加 工 种 类	最大粗糙高度 (微米)
精车和精镗, 中等精度的磨光, 刮 (0.5~3点/厘米 ²)	6~16
用硬质合金刀精车和精镗, 精磨, 刮 (3~5点/厘米 ²)	2.5~6
用金刚石刀车光和镗光, 超精磨	1~2.5
抛光、研磨、光磨	~1

(2) 由于零件表面存在着不平度, 因此当两表面接触时, 接触区就不是一个理想的平面, 而是在某些个别点 (微小面积) 上发生接触。真实接触面积 a (即在接触区域内, 接触各点实际微小面积的总和, 即 $\sum a_i = a$), 远比接触区域或名义接触面积 A 小得多, 即 $a \ll A$ 。其比值, 因接触材料的机械性能、接触表面的光洁度和接触时垂直载荷的大小等情况的不同而不相同, 其变动约在下式范围内

$$\frac{\sum a_i}{A} = \frac{a}{A} = \left(\frac{1}{10} \sim \frac{1}{10^5} \right) \quad (1-1)$$

(3) 真实接触面很小, 即使垂直载荷 N 很小的时候, 在真实接触面积上, 也将受到很大的压强。

2. 粘着理论

基于上述假设, 当在很大的单位压力 (压强) 下, 即使硬和韧的金属也将发生塑性变形, 塑性变形接触点的应力, 等于金属的压缩屈服极限强度。这时, 金属开始塑性变形, 如同开始流动一样, 所以又将这时的压强称为流动压强, 用 σ_s 表示。真实接触面积 a 等于垂直载荷与流动压强之比, 即

$$a = \frac{N}{\sigma_s} \quad (1-2)$$

有摩擦时, 在接触点产生瞬时高温 (达 1000°C 以上, 且可持续千分之几秒的时间), 引起两种金属发生“粘着” (冷焊)。当机件间有相对移动时, 粘着点将被剪掉, 使两金属产生“滑溜”。摩擦的产生, 就是由于粘着与滑溜交替进行的结果。这种过程使运动受到阻力, 其值等于各接触点被切断的阻力的总和, 即 $\sum F_i = F$ 。它是构成摩擦阻力的主要原因, 被称为摩擦力的剪切项, 其值等于剪切面积 (真实接触面积) 与材料剪切强度 (τ_m) 的乘积, 即

$$F = a \cdot \tau_m \quad (1-3)$$

此外, 该理论还认为, 当摩擦副表面较粗糙时, 且两摩擦表面的硬度不同, 则硬的突点可嵌入软的表面, 在相对运动时, 部分表面金属也将被剪掉, 这是产生摩擦力的另一个原因, 称为摩擦力的粗糙项 (或刨削项), 用 $\tau_{\text{粗}}$ 表示。当表面不太粗糙时, 粗糙项可忽略不计。这时摩擦系数

$$f = \frac{F}{N} = \frac{a\tau_m}{a\sigma_s} = \frac{\tau_m}{\sigma_s} \quad (1-4)$$

即摩擦系数 f 等于剪切强度 τ_m 与屈服极限强度 σ_s 之比。

每当摩擦时, 接触点形成的粘着与滑溜不断地相互交替的结果, 造成表面的损伤, 这就是磨损。

3. 分子-机械理论

该理论认为, 摩擦副接触既是弹性的又是塑性的混合状态, 摩擦表面的真实接触部分在较大的压强作用下, 表面凸峰相互啮合, 同时相互接触的表面分子也有吸引力。在相对运动时, 摩擦过程一方面要克服表面凸峰的相互机械啮合作用, 另一方面还要克服分子引力的作用。而摩擦力就是在接触点上由于机械啮合作用所产生的阻力与由分子引力所产生的阻力的总和。

因此, 分子-机械理论所定义的摩擦系数 (f') 就是摩擦力 F 与垂直载荷 N 及分子间引力 N_0 之和的比值。即

$$f' = \frac{F}{N + N_0} \quad (1-5)$$

或写成

$$F = f'(N + N_0)$$

称为摩擦二项式定律。摩擦时, 表面的相互机械啮合与分子之间引力的形成和破坏, 不断交替的结果就造成了磨损。

二、磨损的类型

近代研究的结果表明, 机械磨损是一种复杂的过程和现象, 由多种多样的因素所决定的, 包括各种物理现象和化学现象。在各种不同的情况下: 对于某一形式的机械磨损, 可能某一现象和过程是主要的, 其它过程和现象是次要的。现介绍几种常见的机械磨损类型。

1. 跑合磨损

跑合磨损是机件在标准载荷、速度、润滑条件下的正常磨损。这时, 磨损发展很慢, 机件尺寸均匀而缓慢的改变, 表面发亮在工作期间并不影响零件的使用, 这样的正常磨损是设计所允许的。

2. 氧化状磨损

因大气中含有氧, 所以氧化磨损是经常遇到的。大多数金属表面都被氧化膜覆盖着。纯净金属表面, 在瞬间立即与空气中的氧起反应, 生成一层膜, 膜的增长速度随时间按指数规律而减小。随外界条件的变化, 钢铁机件的表面可能生成 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 FeO 。若生成的膜是脆性的, 它与底材金属结合的抗剪性能差, 则氧化膜极易被磨损; 反之若氧化膜韧性好, 它与底材金属结合的抗剪性能好, 氧化膜起着保护摩擦表面的作用, 因此磨损小。润滑油脂易与氧起反应, 生成酸性氧化物, 对摩擦面起腐蚀作用, 也将加速磨损。

氧化状磨损的磨损速度与摩擦副的滑动速度、接触载荷、介质中的含氧量、润滑条件及材料性能等因素有关。一般认为氧化磨损比其它磨损轻微的多。

3. 磨粒状磨损

磨粒状磨损是开式传动中常见的磨损形式。这种磨损是由两机件表面在相对运动过程中, 其间存在有固体磨粒, 磨粒时而在两摩擦面间滚动, 时而嵌入一摩擦表面对另一摩擦表面起切削或磨削作用, 并伴有轻微的塑性变形。

磨损磨粒的产生, 可能是机件表面金属组织磨损产生的金属磨粒; 也可能是外界落入的磨粒 (铁屑、杂质、灰尘等); 这两种情况的磨粒, 引起磨损的本质相同, 都是机械切削或磨削作用, 使表面先发生塑性变形, 继之被剪切、剥落而损伤表面。磨粒状磨损是逐渐产生的, 使机件的寿命不同程度的缩短。

4. 接触疲劳磨损

接触疲劳磨损是滚动摩擦的主要磨损形式，如滚动轴承和齿轮传动的磨损，表现为运转时出现不均匀的响声，表面出现麻点，数目不断增多，面积不断扩大。其磨损过程是在滚动摩擦中，金属表面层的显微塑性变形引起金属的强化，在重复交变载荷的作用下，局部应力如超过材料的强度极限，表面将产生显微裂纹，并继续扩展，形成一个个甚至一群群的斑点状凹坑，一般发生在10~25微米的金属表层。此外，接触疲劳磨损的发展，常与随同发生的氧化状磨损有关。在封闭良好的封闭式齿轮传动中，润滑油的尖劈作用，将促进凹坑的形成和裂纹的发展。

接触疲劳磨损的发展，主要与单位压力的大小、载荷的循环特性、机件的形状尺寸和材料的机械性能等因素有关。塑性变形层的深度，决定裂纹的分布和凹坑的深度，塑性变形的强度决定接触疲劳磨损的速度。

5. 热状磨损

热状磨损是由于机件在摩擦过程中，产生了热量，使金属表面形成热区和高的温度。根据受热的速度、达到的温度、冷却条件、表面材料等的不同，引起机件表面金属不同的热过程，使金属摩擦表面以及内部基体金属，引起不同程度的回火、淬火、软化、接触凝固、折皱、灼化等现象。

这种磨损通常产生在速度和压强大时的滑动摩擦。所以往往用两者的乘积表示摩擦副的热负荷。热负荷高的摩擦副较多的发生热状磨损。

应当指出，热状磨损的破坏比较突然和强烈，往往带有事故磨损的性质，是机件工作中一种较严重的磨损现象。

6. 流体动力磨损

流体动力磨损是指流体束冲击机件表面所造成的磨损。包括颗粒流冲蚀、流体冲蚀等。如高炉料钟、放散阀和烧结机的吸风机叶轮等零件的磨损。随着现代机械向高速化发展，这种磨损的研究已受到普遍重视。

第三节 机械磨损发展的一般规律

为了使机器能够经常保持正常的工作状态，防止机器发生故障并延长其使用寿命，就必须研究机器中各机件逐渐增长的磨损情况。

机器在工作中各机件磨损发展的情况并不相同，随工作条件而异，但所有机件磨损的发展，却有着共同的规律。图1-2所示是反映摩擦副机件磨损发展一般规律的典型曲线称为磨损曲线。它表示了机件在设计制造合理，且工作在正常条件下，逐渐增长的磨损情况。

曲线是由实验得出的。图上横坐标是摩擦副机件的工作时间（以小时为单位），纵坐标表示摩擦副机件的磨损程度，即当时达到的间隙（以微米为单位）。

这个曲线明显的分为三个部分，分别表示三个不同的工作阶段： O_1A 为初期磨损阶

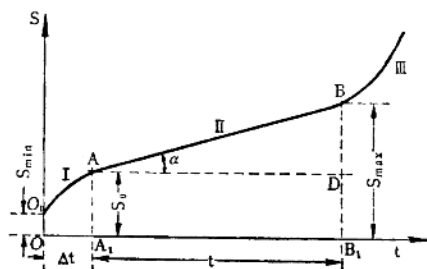


图 1-2 机械磨损发展的规律

段,即新摩擦副的试运转跑合过程,在这个阶段内曲线急剧上升,表示机件在工作初期具有较大的磨损,机件在加工时所得到的最初不平度受到破坏、擦伤或磨平而形成新的不平度,间隙由 S_{min} 逐渐增大到 S_0 ,但曲线趋近A点时,曲线逐渐变得平缓,磨损速度逐渐降低。AB为正常磨损阶段(或称稳定磨损阶段),摩擦副机件的磨损以直线形式均匀上升,与水平成 α 角。当机件工作 t 小时达到B点时,间隙增大到 S_{max} 。B点后,磨损随时间增加又急剧增长,为事故磨损阶段。这时间隙超过最大的允许极限间隙 S_{max} ,过大的间隙,增加了冲击,润滑油膜易被破坏,磨损强烈,如机器继续工作,机器可能发生意外的故障。

从磨损曲线可以看出,机件一般工作在正常磨损阶段(AB段),机件在试运转终了时,即为正常工作的开始,而正常工作终了时,即达到极限允许磨损,转入事故磨损阶段,机件必须进行修复或更换。

机件在两次修理中间的正常工作时间 t 可由下列公式求出:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{BD}{AD} = \frac{S_{max} - S_0}{t} \\ t &= \frac{S_{max} - S_0}{\operatorname{tg} \alpha} \end{aligned} \quad (1-6)$$

式中 $\operatorname{tg} \alpha$ ——磨损强度。其大小由机器的结构特点,操作条件,修理、装配和维护工作质量等多方面因素所决定。

第四节 机械磨损的影响因素

影响磨损的因素很多,这里讲机件主要内部影响因素和机件工作时的外界影响因素。

1. 材料对磨损的影响

机件材料的耐磨性能,对磨损有直接的和主要的影响。材料的耐磨性主要决定于它的硬度和韧性。材料的硬度决定其表面抵抗变形的能力,但过高的硬度易使脆性增加,使材料表面产生磨粒状剥落,材料的韧性则可防止磨粒的产生,提高其耐磨性能。另外,金属表面有膜(如氧化物膜),可以得到适当保护,减少磨损。

对于铸铁材料,当内部组织石墨化愈多,则愈不耐磨。而欲提高铸铁的耐磨性能有许多办法和途径,可在铸铁中加入适量的合金元素(镍、铬、钼等),阻止碳的石墨化,改变内部组织,成为细致的珠光体和细小的石墨分布而改善机械性能,提高耐磨性。在铸铁中加入能使石墨变为细晶粒的加入剂进行变质处理,可提高耐磨性能,如以硅铁铜镁、硅铁镁、铝镁和纯硅铁混合物作为加入剂,在变质处理中有索氏体组织,使石墨球化,成为球墨铸铁,既提高了机械性能又提高耐磨性,可代替铸钢使用。还可以将铸铁在金属模中浇铸并进行表面处理,使其表面形成白口铸铁,内部保持为灰口铸铁,仍具有一定的韧性,这种冷硬铸铁具有很高的耐磨性。

对于钢来说,加入合金元素对其耐磨性有重要的影响。钢的含碳量高,能使珠光体增加,硬度和强度增大,因而提高了耐磨性。铬能溶于铁素体中形成坚硬的碳化物,提高其硬度和耐磨性;锰在钢中随含量的增加,能使钢的硬度和耐磨性显著提高,高锰钢是高度耐磨材料;锰结合铬加入钢中的铬锰钢是贵重的镍铬钢的代用品,亦具有高的耐磨性;钼能使钢中晶粒稳定,并形成细晶粒的结构,在加热过程中能减缓晶粒的长大,随含量的增加能提高硬度和耐磨性,并能承受冲击载荷。

钢的热处理及化学热处理,可使钢获得新的优良性质,钢经淬火可使其硬度、强度和耐磨性提高。为使机件在提高耐磨性的同时具有较好的韧性,可采用火焰表面淬火、高频表面淬火、渗碳、渗氮和氮化的方法。

在摩擦副的机件中,对较复杂、昂贵的机件一般应选用优质和耐磨的材料制造,对与其相配合的机件应选用软质材料即减摩材料制造。如以轴与轴承衬来说,轴要传递扭矩,结构复杂,较贵重,制造加工比轴承衬困难,要求有一定的强度、刚度、因此选择较硬的材料;而轴承衬,仅起支承作用,结构简单,易制,因此选用材质较软的巴氏合金或铜合金等材料。

2. 表面加工质量对磨损的影响

对于理想的绝对光滑而又平直的表面,目前用机械加工的办法是作不到的。实际上机械加工的表面,由于加工时机床的振动,加工用刀具的刀痕,总会使机件表面形成凹谷与凸峰状的不平度。这种不平度有的是宏观的,用手可以感觉到;而有的是微观的,要在放大装置下,才能显示出来。

实验证明,并不是最光洁的表面可以决定机件的最好耐磨性能。图 1-3 的横坐标为机件表面的不平度 H_{CK} , 纵坐标为磨损量 Q , 由两条曲线可以看出机件的最小磨损量,并不是在最光洁的表面情况下得到的,而是根据该机件所受的载荷性质、速度特性、工作温度范围、润滑条件的不同,而有一个与其相适应的有利的不平度 H_1 和 H_2 时,才能得到最小的磨损量。

3. 机件工作条件对磨损的影响

(1) 机件工作载荷的影响 一般单位载荷 P (公斤/厘米²) 愈大,机件磨损强度也愈大,但在不同的润滑条件下有所不同。根据研究,在摩擦表面润滑不良的情况下,磨损强度 I 与单位载荷有如下关系

$$I = c p^m \quad (1-7)$$

式中 c ——常数,决定于摩擦条件;

m ——材料的性质系数,由 1 (软质材料如巴氏合金) 到 2 (硬质材料如生铁)。

在半液体摩擦时 (即部分载荷由油膜所承受), 磨损强度是另一种关系

$$I = c p \left(1 - M \frac{\eta v L}{h^2 p} \right) = c p (1 - K) \quad (1-8)$$

式中 K ——考虑由润滑油膜承受载荷的系数;

M ——油膜中液体动压力形成的系数;

η ——润滑油的粘度;

v ——摩擦表面滑动速度;

L ——摩擦表面的长度;

h ——油膜的最小厚度。

除了载荷大小之外,载荷特性对磨损有直接影响。如静载荷还是变载荷,有无冲击载荷,是短期还是长期载荷等。

(2) 机件速度的影响 机件相对运动速度对磨损有不同程度的影响,比较复杂。一

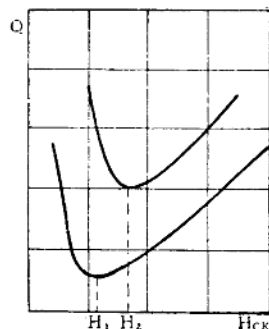


图 1-3 有利不平度

般速度高时,磨损大,机器开动和停止的时候,对磨损影响也较大。实验表明,机器停止次数愈多,机件的耐磨性愈降低。

(3) 温度及周围环境的影响 机件的工作温度及其变化,周围环境有无潮气和其它有害气体、液体等腐蚀介质,对磨损都有一定影响。

4. 机件本身结构特点及相对运动性质对磨损的影响

以轴和轴承为例如图1-4所示。由于所受载荷 P 的方向不同,着力点的不同,轴和轴承的运动性质不同,则在轴或轴承上所引起的磨损也不同,有的为均匀磨损,有的为局部磨损。

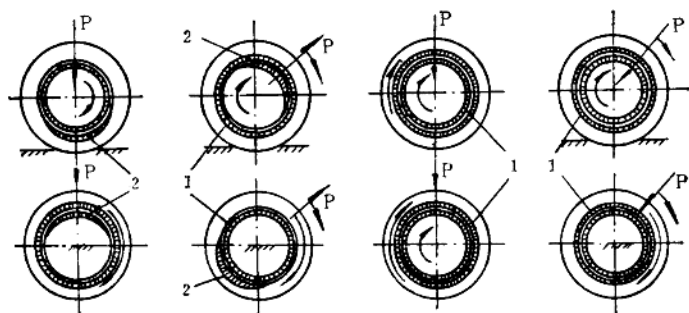


图 1-4 轴和轴承在不同运动性质和载荷作用方向时磨损的分布

1—均匀磨损; 2—局部磨损

5. 装配和安装质量对磨损的影响

机器中各机件的装配直到整机安装在生产作业线上的位置正确与否,对机器的正常运转、各机件的寿命均有影响。装配和安装的不正确,将会引起载荷分布的不均匀或产生附加载荷使机器运转不灵活、产生噪音和发热,造成机件过早的磨损,甚至导致事故。

6. 润滑对磨损的影响

在摩擦表面间,加入润滑介质(如润滑油或润滑脂等),形成油膜,使原来直接接触的摩擦表面在某种程度上分隔开,从而降低摩擦系数,减少磨损。但是,在机件实际工作运转中,要实现并保持良好的润滑,并不是一件容易的事。如载荷变化、温度升高(油的粘度降低),运动性质(如起动、制动、逆转)等变化,将使油膜厚度迅速减小甚至破坏,而使磨损加剧。

第五节 典型零件的磨损

一、滚动轴承

在正常负荷、速度及润滑条件下,滚动轴承的报废,主要由于接触应力的循环变化而引起表层疲劳剥落造成的。一般轴承在完成规定的使用周期之后,滚道表面出现暗灰色斑点、麻皮、溃伤,逐渐向深广发展,致使滚动体不能获得平稳的滚动,出现振动和噪音以致报废。

当轴承缺油,用油不当或装配不良时将引起过热现象,使滚道表层回火,出现蓝色,降低其机械性能,甚至可能发生咬住现象或引起金属熔化立即造成事故。

在一些密封较差的轴承上(或加入的润滑油不够清洁),侵入轴承的灰砂划伤滚动体

和滚道，出现划痕，影响轴承的精度，应及时清洗换油，更换密封圈或改进密封装置，严重时必须更换轴承。

轴承在遭受水湿、化学气体或油中残酸的侵袭时，将受到腐蚀，出现锈斑。应检查润滑油的质量以及密封的可靠性并采取措施。

轴承的工作情况不仅可以用手去触摸，而且可以通过声音来判断。轴承正常工作时应无杂音，或仅能听到轻微的谐波；哨音说明轴承缺油或装配过盈过大，滚体被卡得过死。从杂音的调子可以辨认出是否由于有灰砂进入轴承，而引起研磨。

轴承的温升不得超过 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，温度过高时，应核算负荷及速度是否超过允许值；检查轴承过盈是否太大，有无灰砂严重磨损滚道和滚动物，润滑油是否足够，以及间隙调整是否正确等。

轴承杂音显著加大时，可能由于滚动道与滚动体严重磨损，而轴承发生沉重冲击声音时，必然有某一个配合环节过于松动了，需迅速采取有效措施。

二、滑动轴承

除正常的磨损外，由于装配、调整、润滑、密封等工作缺点，滑动轴承常出现不同程度的研伤、划道、咬焊、锈蚀等现象。严重时甚至发生咬住、轴瓦熔化，立即发生事故。

润滑油不清洁或外界落入尘屑时，轴与轴瓦将产生磨粒状磨损，且使用寿命缩短。有时尘屑还会使轴与轴瓦严重划伤，不得不进行修理。

润滑不良，如润滑因故中断，润滑油选择不当，尘屑嵌入轴承合金引起嵌入点周围的轴承合金突起而破坏了油膜等；装配、安装不良如轴承间隙过小，联轴节不同心等；过负荷运转（超过轴承能够承受的热负荷）时，都将使滑动轴承产生热状磨损，轴承过热引起轴瓦产生淬火、软化、接触凝固、咬住、甚至熔化等各种热过程，往往立即造成事故。这对滑动轴承的安全连续运转造成的威胁最大，原因又是多方面的，必须认真加以防止。

轴承合金在过载荷运行后，将引起表层的疲劳，以致出现龟裂和脱落，留下一片麻点和溃伤，加速轴承的报废。采用高粘度高油性的润滑油，可以推迟疲劳剥落的时间。

轴承合金与座体结合不牢时，合金也易龟裂脱落。

轴承合金锈蚀产生凹坑，减少了轴承的支承面积，并妨碍油膜的形成。应检查锈蚀的来源而采取防治措施。

三、齿轮与蜗轮

在开式齿轮与蜗轮传动中，尘屑比较严重，润滑比较困难，磨粒状磨损为主要报废原因。这时，保持机器清洁与采用粘度较高的润滑油，可延长其使用寿命。

在高速转动，采用低精度齿轮时，将出现与传动系统自振频率同步的冲击振动，招致过早的磨损和破坏。高粘度的润滑油对减振具有较好的效果。

闭式齿轮传动应通过一段磨合期，消除加工表面不平度及装配造成的误差，以增大其接触面积。磨合可以采用粘度高的润滑油，加入研磨膏，并在较高的速度下进行。经过磨合的齿面能较长时间地保持平滑、光洁，可延长使用寿命。磨合后的齿轮正常磨损应为均匀的，其表面能经常保持着平滑光泽。一般磨损到齿厚太薄，不能维持传递力矩或由于两齿间隙太大出现过大的振动时，才需加以更换。

与滚动轴承相同，齿轮的循环接触应力，也必然引起齿面的疲劳剥落，而此种剥落限制在 $15\sim 25$ 微米的极薄表层上，并与材料的疲劳强度、润滑油的油性、粘度、齿面的光洁

度及其滚动与滑动的速度和方向有密切的关系。开式齿轮装置由于其它的磨损形式而较早的报废，看不出疲劳剥落现象。

齿轮疲劳剥落有局部性和发展性两种。粘性材料的齿轮从节圆附近开始出现表面层的疲劳剥落现象，逐渐向深广发展，使齿根工作表面造成剧烈的损坏。此种发展性疲劳剥落，使齿面形成凹凸不平，齿面磨损迅速增加，而终于报废。

局部性的疲劳剥落限于承受重载荷的齿轮表面，加工时遗留的个别齿面突出高点及装配时造成局部接触的位置，均承受极大的接触应力，有局部性疲劳剥落的倾向，但此种局部剥落进行至高点消除，或通过磨合，达到大面积接触时，即告终止。

淬火齿轮的坚硬表面，可以避免局部性的疲劳剥落。消除发展性疲劳剥落的方法，是正确选择齿轮材料及热处理方法，最好能采用修正齿形。

重载荷的齿轮，如果缺少润滑，将造成咬住的危险。在重载高速的齿轮上，咬住为其主要的磨损形式。齿轮在出现咬住后常常迅速发展成为犬牙交错的坑疤而报废，带有事故性。防止齿面咬住的办法是提高齿轮的硬度，在低速传动齿轮上采用较高粘度的润滑油，而在高速传动的齿轮上采用带有极压添加剂的润滑油和采用修正齿。

第二章 机器的润滑

所谓润滑，广义地讲，就是在两机件相对运动的摩擦表面之间，加入某种润滑介质（如润滑油、脂，固体润滑剂等），从而在某种程度上把原来直接接触的干摩擦表面分隔开来，中间形成具有一定厚度的润滑膜以减少机器的摩擦与磨损。

一般而言，润滑的作用有：减少摩擦，减少磨损，冲洗，冷却，阻尼振动，防锈，密封（如润滑脂）等。润滑的这些作用是彼此依存、互相影响的。如果不能有效地减少摩擦与磨损，就会产生大量的摩擦热，迅速破坏摩擦表面及润滑介质本身。

润滑工作主要是根据工作条件选择润滑材料、润滑方式、润滑系统和装置，进行润滑系统的设计和计算等，这一切都以润滑原理为指导。

现代机器设备具有大型、高速、连续、自动化的特点，润滑系统被称为机器的血脉，润滑工作的质量不仅影响机器设备的寿命，而且关系到机器设备的安全连续运转。

第一节 润滑原理

一、概述

根据两机件相对运动的摩擦表面之间的润滑情况，润滑状态分为无润滑、液体润滑、边界润滑、半液体润滑和半干润滑等，它们的摩擦机理不同，摩擦、磨损的大小和速度也不相同。

1. 无润滑（干摩擦）

摩擦表面之间没有任何润滑介质，称为无润滑，即两机件相对运动表面直接接触，处于干摩擦状态，其摩擦机理如第一章所述。其摩擦力的大小根据库仑定律用摩擦系数 f 表示，即

$$f = \frac{F}{N} \quad (2-1)$$

式中 f ——摩擦系数；

F ——摩擦力；

N ——作用在摩擦表面之间的正压力。

干摩擦系数的值一般在0.1~0.5之间或更高，它的磨损也比较强烈。在相对运动机件间除需要制动外，是不允许没有润滑的，但由于润滑系统的故障，润滑油、脂的失效，可能会出现这种情况。

2. 液体润滑（液体摩擦）

在摩擦表面间形成足够厚度和强度的润滑膜，这层润滑膜将摩擦表面凹凸不平的峰谷完全淹没，相对运动的摩擦表面被完全分隔开来，使原来两摩擦表面之间的“外摩擦”转变为润滑膜内部液体分子之间的“内摩擦”，而完全改变了摩擦的性质，称为液体润滑。

液体润滑时，摩擦力的大小可按彼得洛夫公式计算，即

$$F = \frac{\eta A v}{h} \quad (2-2)$$