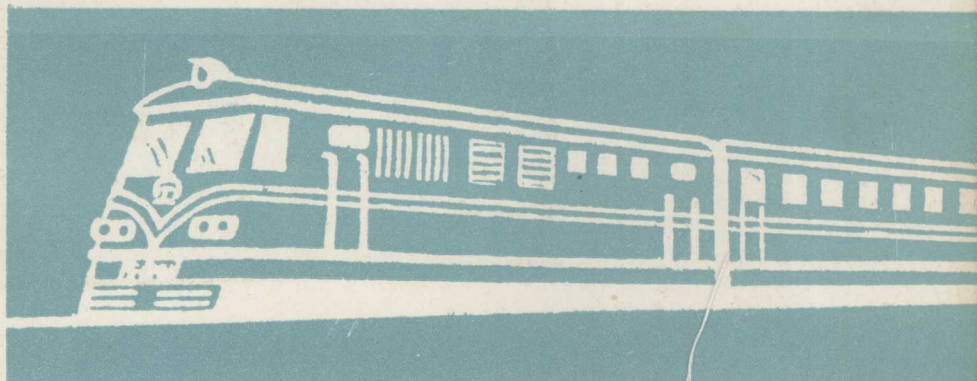
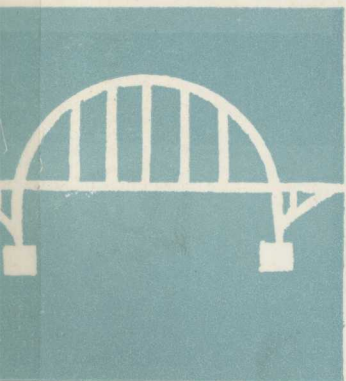
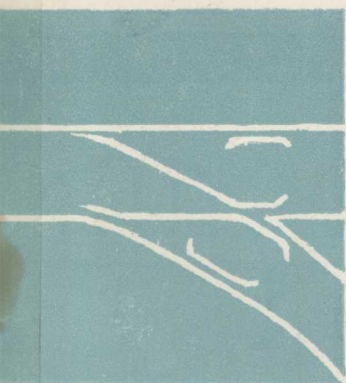


中等专业学校试用教材



机械设备修理学

沈阳铁路机械学校 高来阳 主编



中国铁道出版社

内 容 简 介

本书内容包括机械零件的失效与对策,设备的润滑与泄漏的治理技术,机械的拆卸、清洗与装配,尺寸链原理及应用,失效零件的测绘与修复技术,典型设备与典型零部件的修理工艺,机械修理中常用的精度检查方法以及设备的技术改造等设备维修实用技术。

本书为中等专业学校机械设备专业的教材,也可供有关专业和从事设备管理与维修的工程技术人员、技师和技术工人参考,也可做为技术培训教材。

中等专业学校试用教材

机械设备修理学

沈阳铁路机械学校 高来刚主编

中国铁道出版社出版

(北京市东单三条14号)

责任编辑 方 军 封面设计 翟 达

中国铁道出版社发行 各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092mm 1/16 印张: 15 字数: 371 千

1990年11月第1版 第1次印刷

印数: 1—6000册

ISBN7-113-00879-8/TH·29 定价: 2.70元

前 言

机械设备是我们进行社会主义现代化建设的重要物质技术基础。管好、用好、修好机械设备，不仅是保持简单再生产必不可少的一个条件，而且对提高企业效益，保持国民经济持续、稳定、协调发展有极为重要的意义。

机械设备在使用过程中，会逐渐产生有形老化。由于零件逐渐失效，加之不正确的使用和维护，使机械设备出现故障，乃至出现事故，从而影响生产或中断生产。为了保持和恢复机械设备的使用性能，就要对设备进行修理，修理是补偿设备有形老化的重要技术手段。

随着我国现代化建设的进程、科学技术的不断进步、国外先进技术的引进，机械设备越来越先进。在设备维修界，新技术、新工艺、新材料的应用和推广已取得显著成效。形势要求我们必须不断提高检修人员的素质。一方面要培养本专业的新型专业人才，另一方面还要抓在职人员的技术培训，抓继续教育，使设备维修人员具备精湛的修理技术，才能不断地缩短停修时间，提高修理质量，以满足生产发展的需要。

还要树立依靠技术进步的新观念，修理要和改造、更新相结合。利用检修的机会，采用新技术对设备进行改进和改造，使检修不仅是为了维持简单再生产，维持和恢复原有生产能力，而且使设备的技术水平有所提高，促进装备的技术进步。

《机械设备修理学》教材是根据1988年铁道部教育局批准的《机械设备修理学》教学大纲编写，适用机械设备专业，也可作为其他有关专业的教学参考书和作为设备维修技术培训的教材及设备管理与维修的工程技术人员和技术工人的参考书，需98学时。

本书在编写中，注重设备修理技术的基本理论和应用最普遍的实用修理技术。在取材上，由于设备维修涉及的技术知识太广，本书只着重设备修理技术的几个最主要的问题，如零件失效的基本理论、修理尺寸链的应用、失效零件的测绘及其修复技术、典型设备的修理工艺、机床精度检验、设备技术改造等，并注意了三新技术的应用。但涉及的知识面仍然较广，实践性很强。因此，在教学中，应紧密配合现场教学、实验、生产实习及其他实践性教学环节，以利于培养应用型的中等专业人才。

本书由沈阳铁路机械学校高来阳主编，济南铁路机械学校吴鸣春担任主审。编写分工：第二章由邱景山编写；第三章由魏民编写；其余各章由高来阳编写。

在本书编写过程中，承蒙中国设备维修学会副理事长高克绩高级工程师的指导。中国设备维修学会秘书处、辽宁省设备工程学会、铁道部物资局设备办公室等提供了宝贵资料。济南、太原、株洲、昆明等铁路机械学校，武汉铁路运输学校、株洲铁路电机学校等在编写工作中给予了极大的支持，谨此致谢。

编 者

一九八九、五

目 录

第一章 机械零件的失效与对策	1
第一节 零件的磨损.....	2
第二节 零件的变形.....	6
第三节 零件的断裂.....	8
第四节 蚀 损.....	11
第五节 设备零件修理更换的原则.....	12
第六节 设备润滑技术.....	14
第七节 设备泄漏的治理.....	28
第二章 机械的拆卸与装配	40
第一节 机械的拆卸.....	40
第二节 零件的清洗和检验.....	44
第三节 机械的装配.....	48
第四节 尺寸链原理在修理装配中的应用.....	56
第三章 机修中的零件测绘	66
第一节 测绘工作的注意事项.....	66
第二节 圆柱齿轮的测绘.....	68
第三节 直齿圆锥齿轮的测绘.....	83
第四节 蜗轮蜗杆的测绘.....	94
第五节 凸轮的测绘.....	98
第四章 设备零件的修复技术	105
第一节 概 述	105
第二节 零件的修复工艺	110
第五章 典型设备修理工艺	127
第一节 普通车床的修理	127
第二节 牛头刨床的修理	153
第三节 空气锤的修理	162
第四节 桥式起重机的修理	165

第五节 其他典型零部件的修理	170
第六章 机修中常用的精度检查方法	178
第一节 机床精度检验的一般问题	178
第二节 精密水平仪的工作原理及应用	183
第三节 自准直仪的工作原理及应用	188
第四节 几何精度检查方法	193
第五节 机床的特殊检验简介	207
第七章 设备的技术改造	211
第一节 设备技术改造概述	211
第二节 机床的技术改造	216
附录 普通车床精度	229

第一章 机械零件的失效与对策

设备在使用过程中，其技术状态会逐渐变坏，这一过程是设备劣化的过程，一般称为有形老化或有形磨损，即设备实体的损坏，这是其组成的有关零件失效所致。在劣化过程中，会因为设备出现故障而影响生产或中断生产，劣化严重而不能继续使用，导致设备报废。

研究设备性能劣化的规律和机理是寻求延长设备寿命和改善设备可靠性的基本途径。因此，故障理论是修理学的主要理论基础，是维修战略（维修方式、策略、改造、更新等）的决策依据。并且对维修技术的应用和发展也有重要的影响。它是综合性理论，主要应用了可靠性理论、维修性理论、摩擦、磨损和润滑学，工程诊断学，金属物理，断裂力学等学科的理论，以及先进的测试技术和手段。它是在同维修实践相结合的过程中发展起来的。通过故障理论的研究来掌握其一般规律，揭示故障的发生和发展过程。通过故障机理和故障模式的研究，使故障的外部特征和内在联系统一起来。这种理论目前已发展成一门学科，叫故障物理学。它是追寻部件或零件故障的起因，即追寻故障机理工作的总称。为了查明故障机理，要进行故障分析、调查现象、建立故障发生过程的模型等工作，然后根据故障再现实验的证明，确定防止故障和劣化的方法。

故障机理是指引起故障的物理的、化学的、机械的、电气的、人的原因及其因果关系、原理等。以人的疾病作比喻，故障机理相当于病理，故障模式相当于基本的症状，即使机理不明，但模式总可以观测。不同的应力会分别或同时产生某些不同的故障机理。同样，由某一机理也可生出另一机理，并随时间的变化，最后可以显示出若干种故障模式。故障模式根据故障形式来分类，例如裂纹、断裂、泄漏、磨损、变形、熔化、蒸发、腐蚀等。引起的原因即各种工作应力和自然应力，如磨损、腐蚀、冲击、疲劳、受热、氧化等。

机械设备在使用过程中，失去正常工作能力谓之故障。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，如机床达不到规定的加工精度，发动机功率下降，燃油及润滑油耗量增加，以及发生不正常的声响等。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，一般可分为事故性故障和自然故障两大类。

事故性故障一般是由于使用了不合格的材料或质量不合格的零件、不正确的装配和调整、使用中维护保养不当或违反操作规程等，使机件加速磨损或改变其工作性能而引起的。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。自然故障一般是不可避免的。

机械零件在使用过程中，丧失其规定功能的现象，称为失效。主要表现为磨损、变形、断裂、蚀损等形式。由此造成设备的故障虽然不可避免，但随着科学技术的发展，设计、制造水平的提高，新技术、新工艺、新材料的不断出现，零件的寿命会不断延长，从而使故障延迟发生，或在故障发生前及时采取修换措施而预防故障的发生。由于现代设备向高参数发展，零件失效的问题又愈来愈突出。研究零件失效的形式、机理及对策是故障物理学的重要

内容之一，也是制定科学的维修策略的基础。

第一节 零件的磨损

阻止两物体接触表面作相对切向运动的现象叫摩擦。固体摩擦表面上物质不断损耗的过程叫磨损，表现为物体尺寸和（或）形状的改变，一般还伴随着表面质量的变化。磨损是伴随摩擦而产生的必然结果，是诸多因素相互影响的复杂过程。目前研究摩擦、磨损和润滑及其应用已形成一门新的学科——摩擦学，开始对磨损进行较为深入的研究，但关于磨损的机理目前还研究的不够深透。

研究摩擦与磨损有着重大的意义。有人估计，消耗在磨损上的能源约占世界能源消耗量的三分之一，大约有80%的损坏零件是由于磨损造成的。磨损不仅是材料消耗的主要原因，也是设备技术状态变坏和影响设备寿命的重要因素。尤其是现代设备对生产和企业经营效果的影响日益扩大，因此，对磨损的研究引起了人们的极大注意。据资料介绍，英国工业界由于推广应用摩擦学成果，每年可节约五亿英镑以上。

一、摩擦机理

摩擦现象的机理尚未形成统一的理论。目前几种主要理论是：

1. 机械理论 摩擦过程中，由于表面存在一定的粗糙度，凹凸不平处互相产生啮合力。
2. 分子理论 当分子间接近到一定距离时，会产生吸引力。所以，在表面粗糙时，随着表面粗糙度下降，摩擦减小；而表面粗糙度很小时，摩擦反而加大。这一点机械理论解释不了。
3. 粘着理论 接触表面在载荷作用下，某些接触点会产生很大的单位压力和局部高温，从而发生粘着，运动中又被剪断（撕开）而产生运动的阻力。
4. 能量理论 大部分摩擦能量消耗于表面的弹性和塑性变形、凸峰的断裂、粘着与撕开，大部分表现为热能，其次是发光、辐射、振动、噪音及化学反应等一系列能量消耗现象。能量平衡理论是从综合的观点，从摩擦学系统的概念出发来分析摩擦过程。影响能量平衡的因素有材料、载荷、工作介质的物理和化学性质，以及摩擦路程等。

影响摩擦的因素主要有材料、载荷、速度、温度、表面粗糙度、表面膜（氧化膜、气体或液体吸附膜等）等。

由于设备高参数化，逐渐引起人们对特殊工况下摩擦副的研究兴趣。摩擦副处于高温、低温、高速、真空等特殊条件下工作，其摩擦就具有某些特殊性。

二、磨损的一般规律

试验结果表明，机械零件的正常磨损过程大致可分为三个阶段，如图1—1所示。图中的曲线称为磨损特性曲线，表示磨损量随着时间的增长而变化的规律。

1. 磨合磨损阶段（又称跑合阶段）

零件加工后的表面较粗糙，使用初期，由于机械摩擦磨损及其产生的微粒造成的磨料磨

损,而使磨损十分迅速,表面粗糙度减小,实际接触面积不断增加,单位面积压力减小,达到A点时,正常工作条件已经形成。这一阶段应注意磨合规范,选择合适的负荷、转速、润滑剂,经数小时,以最小的磨损量即可完成跑合而达到A点。否则要数十小时或更长的时间。跑合完成后,应当清洗换油。

2. 正常磨损阶段(又称稳定磨损阶段,工作磨损阶段)

图中的AB段基本呈一直线,一般情况下其斜率不大。这是因为在前一阶段的基础上,建立了弹性接触的条件,这时磨损已经稳定下来,磨损量与时间成正比增加,磨损速度较小,持续时间较长,是零件的正常使用期限。为减小磨损,延长零件使用寿命,这期间要做到合理使用和正确地维护保养,尤其是合理地润滑。建立、健全和严格遵守设备的操作规程。这一阶段的后期磨损进程相对加快。

3. 急剧磨损阶段(又称强烈磨损阶段)

当磨损阶段达到B点以后,磨损的速度开始变大,因为此时零件的几何形状改变,表面质量变坏,间隙增大,零件润滑条件随之变坏,运转时出现附加的冲击载荷、振动和噪音,温度升高,与前面变坏了的条件形成恶性循环,这一阶段容易发生故障和事故,最后导致零件完全失效。因此这一阶段要及时控制,采取合理的修理措施和监测手段,防止设备精度和效率有显著地下降,注意由于磨损条件恶化而破坏贵重复杂的重要零部件。

研究零件的磨损规律,掌握各种零部件磨损的特点,以制定合理的维修策略和修理计划。

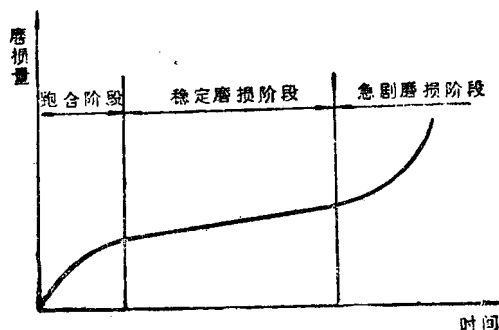


图 1-1 典型磨损过程

三、磨损的主要型式、机理及其对策

磨损的主要类型有：机械摩擦磨损、磨料磨损、粘着磨损、疲劳磨损、微动磨损和腐蚀磨损等。

1. 机械摩擦磨损 磨损是机械摩擦的结果,由于表面微观不平,峰谷啮合而刮平,或峰顶塑性变形而碾平。表现为尺寸、形状、体积的变化。

减少这种磨损的主要措施是摩擦表面要有合适的表面粗糙度,合理的配合间隙,表面间要合理润滑。

2. 磨料磨损 又称磨粒磨损或硬粒磨损。由质硬物体或硬质颗粒的切削或刮擦作用引起材料表面破坏,分离出磨屑或形成划伤的磨损。尤其是农业机械、矿山机械、起重运输机械、建筑机械、工程机械等,它们的工作条件恶劣,许多零件直接与泥砂、矿石、灰渣等发生摩擦,粉尘也进入机构内部,发生不同形式的磨料磨损。

磨料磨损的机理属于磨料颗粒的机械作用。其一是磨粒沿金属表面进行微量切削的过程;其二是磨粒使金属表面层受交变接触应力作用,使表面层产生不断变化的密集压痕,最后由于表面疲劳而剥蚀。切屑和剥落物又成为新的磨粒,参与磨料磨损。

磨料磨损的危害性很大,它约占整个工业磨损损失的50%。它是造成机械早期损坏的重要原因之一。应采取积极措施来减少磨料磨损。

磨粒的来源有外界砂尘、切屑侵入、流体带入、表面磨损产物、材料组织的表面硬点及夹杂物等。减少磨料磨损一般从两方面来采取措施，一是防止和减少磨粒进入摩擦表面间；二是增强零件的抗磨性能。如配备完善的空气、油料的滤清装置，并要经常地维护和清洗；配备完善的密封装置；科学严格的清洗换油制度；配备完善的润滑装置，保持润滑油道的畅通和正常循环，在润滑系统中装入磁铁、积屑器，并对润滑油进行污染监测；实行科学的预防维修等。提高零件的表面质量，选择耐磨料磨损的零件材料配伍，如钢轴对巴氏合金轴瓦可提高耐磨性。

3. 粘着磨损 又称粘附磨损。两个固体表面接触时，由于分子力作用而引起局部粘附（固相焊合），相对运动中使材料由一表面转移至另一表面所造成的磨损，称粘着磨损。

在摩擦表面接触时，由于表面微观不平而发生点接触，或在重载条件下使单位压力过大，润滑不良，速度过高，使零件表面产生大量的热而来不及散掉，表面产生极高的温度，有时局部可达1500℃，因而材料表面强度降低，表面金属层软化或熔化，使接触点产生粘着。然后出现粘着一剪断一再粘着一再剪断的循环过程，形成材料的转移。从微观角度解释其机理，则是高的接触应力，使其表面相互嵌入，破坏了表面膜，使纯洁金属接触部分造成了分子相互吸引的条件——粘结，运动中再撕开，从而产生了一部分分子的转移。

粘着磨损的种类按其由轻微到破坏性顺序可分为：

（1）轻微磨损 发生在摩擦初期的洁净金属表面间，由于跑合初期，注意跑合规范，磨损不致发展为擦伤。

（2）涂抹 很薄的金属层堆积另一表面上，如蜗轮表面的铜涂抹在钢制蜗杆的表面上；

（3）擦伤 即沿滑动方向摩擦表面产生细小抓痕的现象；

（4）划伤（刮伤、研伤、拉伤） 即局部产生固相焊合，沿滑动方向产生较严重的抓痕的现象；

（5）胶合 由于局部焊合而破坏，但尚未出现局部熔焊现象；

（6）咬死 由于表面严重焊合而使相对运动停止的现象，是胶合的严重表现形式。

（3）和（4）还可因磨料磨损而引起。

研究易产生粘着磨损的条件，采取相应对策以减少粘着磨损。表面纯洁无表面膜易粘着（如塑性强、高温等容易破坏表面膜）；摩擦表面的实际接触面积大，性质相近或同名材料易粘着；温度高、压力大、滑动速度大、表面粗糙度适当时容易产生粘着；结晶形式和表面形貌对粘着影响也很大。因此，在设计与维修中要注意选用合适的材料、速度、压力、表面粗糙度、配合间隙等参数。如钢对钢，改成其一进行镀铜和镀钢的表面处理，或改成钢对铸铁、铜合金、巴氏合金等；采用合理的磨合规范；注意润滑系统的设计和维修，正确选择润滑材料等。

4. 疲劳磨损 摩擦表面材料微体积受循环接触应力作用，产生重复变形，导致裂纹和分离出微片或颗粒的磨损。常见的疲劳磨损有点蚀和剥落两种。点蚀是摩擦表面由于材料在疲劳磨损中脱落而形成麻点（痘斑）的现象，应称为疲劳点蚀（点蚀还可因局部粘着、界面间局部放电而形成）。剥落指疲劳磨损中材料成片脱落的现象，其破坏落脱的局部范围通常比点蚀大。

疲劳磨损多产生于润滑良好、闭式传动的齿轮、滚动轴承、凸轮副，也出现于钢轨和轮箍。疲劳磨损的机理尚无定论，简单地说，点或线接触的表面承受载荷时，会产生很大的接

触应力和局部变形, 载荷又是周期性变化的, 使材料表层出现疲劳裂纹, 疲劳裂纹不断扩展, 最终导致金属表层的点状剥落或片状剥落。润滑油进入微裂纹, 受到挤压后, 产生楔裂作用加速了裂纹的扩展。由于产生痘斑状凹坑并不断增多, 承压面积减小, 传动的动载荷急剧增加, 不仅使疲劳磨损进一步发展, 而且有发生疲劳断裂的危险(如断齿)。

影响齿轮疲劳点蚀的因素主要有材料、负荷、润滑等。负荷在某一临界值以上时, 点蚀随负荷循环次数增加而急剧增加, 成为进展性点蚀; 负荷在临界值以下则不易发生点蚀或点蚀发展速度缓慢, 一般为非进展性点蚀。韧性材料不易发生疲劳点蚀, 脆性材料出现点蚀则很快发展而形成较严重的点蚀。润滑油粘度小、温度高, 容易发生点蚀。

5. 微动磨损 两个表面间由于振幅很小的振动式的相对运动而产生的磨损现象称为微动磨损。这是一种复合式磨损, 一般是粘着磨损、磨料磨损、腐蚀磨损同时存在, 但起主要作用的是表面间粘结点处因外界振动而引起的氧化过程。

通常在过盈连接的接触表面, 片式摩擦离合器的摩擦片表面, 链传动的链节, 成组板弹簧的弹簧板接触面, 以及一些受振动影响的联接件如花键、销、螺钉、螺母的接合面等, 都可能出现微动磨损。

微动磨损形成的机理是: 相互接触表面之间有一定压力使表面凸峰粘着, 在粘着处因为外界小振幅振动而不断地剪切脱落, 露出基体金属表面而被氧化, 氧化物在摩擦表面间起磨料磨损作用, 如此循环使磨损区不断扩大, 最后引起接触表面完全破坏。

避免产生微动磨损的主要途径是设法使接触面不产生相对滑动和不产生氧化物。如对静连接来说, 选择抗粘着材料配对, 提高接触表面的表面硬度。对有可能产生相对切向滑动的连接主要采用润滑剂, 如接触表面涂二硫化钼, 尤其采用极压添加剂, 或固体润滑剂与极压添加剂混合使用, 都有利于减少微动磨损。

在磨损类型中还有腐蚀磨损, 这将在蚀损中介绍。

四、减少磨损的途径

根据磨损的理论研究, 结合生产实践经验, 可采取以下五个方面的措施来减少磨损。

1. 正确选择材料 这是提高耐磨性的关键。例如对于抗疲劳磨损, 则要求钢材质量好, 控制钢中有害杂质。采用抗疲劳的合金材料, 如采用铜铬钼合金铸铁做气门挺杆, 采用球墨铸铁做凸轮等, 可使其寿命大大延长。

2. 表面处理 为了改善零件表面的耐磨性可采用多种表面处理方法, 如采用滚压加工表面强化处理, 各种化学表面处理, 塑性涂层、耐磨涂层, 喷钼、镀铬、等离子喷涂等。

3. 合理润滑 尽量保证液体润滑, 采用合适的润滑材料和正确的润滑方法, 采用润滑添加剂, 注意密封等。

4. 结构设计 摩擦副正确的结构设计是提高耐磨性减少磨损的重要条件。合理的结构设计应该是有利于表面保护膜的形成、压力均匀分布, 易散热、易排出磨屑、防止外界磨粒进入等。如滑动轴承的油沟不应开在油膜承载区内。设计中可应用置换原理和转移原理。置换原理是允许系统中一个零件磨损以保护重要的配对件, 如活塞环与气缸套, 允许铸铁的活塞环较快磨损, 以保护气缸套, 使其磨损较小, 活塞环更换也容易。转移原理也是为了保护贵重零件, 如软金属合金衬套对曲轴, 衬套磨损快保护了曲轴, 衬套易于变形, 可以使轴挠曲和不对中所引起的局部高载荷重新分布, 衬套又能嵌附磨料微粒, 甚至在极端工况下, 如

一时无润滑油时,衬套材料熔点很低,从而使轴颈在短期内避免损伤。

5. 正确的使用和维护 设备的使用与维护正确与否对设备的寿命影响极大。正确的使用和维护与不正确的使用和维护其寿命往往可相差几倍。如设备使用初期正确地跑合、实行状态监测和技术诊断,科学地维护和修理,严格遵守操作规程等。

第二节 零件的变形

多年的修理实践发现,虽然将机械设备的磨损零件加以修复,恢复了原来的尺寸、形状和配合质量,但装配后却达不到预期的效果,投产后,寿命也往往缩短了很多。进一步研究发现,这种现象大部分是由于零件变形,特别是基础零件变形,使零部件之间相互位置精度遭到破坏,影响了各组成零件的相互关系的结果。国内、外汽车行业对发动机缸体,包括使用和长期存放的备用缸体测试的结果表明,几乎全部缸体均有不同程度的变形,80%以上的缸体变形超出其规定的标准。所以,装配后使传动件如齿轮、轴承等过早失效。有人估算变形对寿命的影响在30%左右。至于金属切削机床类的设备,由于精度要求较高,变形的影响就更加突出。但是,由于设备的基础零件一般形状比较复杂,变形的测量和修复目前还没有简单易行的好方法,加之变形对设备的技术状态和寿命的影响不容易直接看出,所以变形的问题还没有引起修理工作者的足够重视。在设备向高参数化迅速发展的今天,变形问题将愈来愈突出。变形问题已经成为修理质量低、大修周期短的一个重要的原因。

一、零件变形的原因

材料的变形可分为弹性变形和塑性变形。弹性变形是可以恢复的变形,应力消除后,变形消失;应力超过材料的屈服极限,则产生塑性变形,应力消除后,变形不能完全恢复,被保留下来的部分就是塑性变形。机械零件变形的原因可以从毛坯制造、机械加工、修理质量和使用情况等几方面进行分析。

1. 毛坯制造方面 铸造、锻造、焊接的毛坯都具有很大的内应力,经热处理的零件也存在内应力。尤其是铸造毛坯,形状复杂,厚薄不均,在浇铸后冷却的过程中,形成拉伸、压缩等不同的应力状态。如发动机缸体铸造后内应力竟达 $1.28 \times 10^5 \text{ kPa}$,内应力可引起变形和断裂。热加工零件由于温度差异、冷却和组织转变的先后不一都会形成残余的内应力。

毛坯的内应力是不稳定的,通常在12~20个月的时间内逐步消失。但随着应力的重新分布,零件产生变形。

2. 机械加工方面 如果毛坯是在有内应力的状态下就进行加工,切除一部分表面层后,破坏了内应力的平衡,由于内应力重新分布,零件将发生变形。在切削加工过程中,由于装夹、切削力、切削热的作用,零件表层会发生塑性变形和冷作硬化,因而产生内应力,也会引起变形。

对毛坯虽然安排了消除内应力的工序,在加工中也达到了精度要求,然而制成后经过一段时间,在残余应力长期作用下,使弹性极限降低,并且产生减少内应力的塑性变形,称为内应力松弛。尤其是箱体类零件和长大基础件,厚薄过渡很多,为残余应力的产生创造了条件,所以由于内应力松弛而变形的问题也就更为突出。

3. 使用方面 各种机械设备在使用过程中,尤其是工程机械、矿山机械、冶金设备、锻压设备及其他热加工设备等,在较恶劣的工况下工作,机械或个别零部件在极限载荷或超载情况下工作,温度有时很高使屈服极限降低,均会使零件产生变形。由于操作不当使设备过载和产生高温,从而使零部件变形。直至因变形过大而使零件失效。

4. 修理质量方面 修理中,如果不考虑被修零件已经变形,常常会造成零件更大的变形或增加变形的危害。例如用机械加工方法修复零件(如搪缸、磨削导轨等),制定修复工艺、定位基准或装夹零件时,不考虑零件原来变形的情况,或修理操作不当,均会引起零件形位误差加大。尤其采用焊接、热处理、塑性变形法等修复工艺方法来修复零件时,没有考虑热应力、相变应力的作用,压力加工没有考虑弹性后效(应变逐渐恢复而落后于应力的现象),以及内应力松弛等,都将会产生应力和变形。

二、减轻变形危害的措施

变形是不可避免的,我们只能根据它的规律,从上述几个方面采取相应的对策,减轻它的危害。

1. 设计方面 设计中不仅要考虑零件的强度,还要考虑零件的刚度和制造、装配、使用、拆卸修理等有关问题。合理布置零件和选择零件的结构尺寸,改善零件的受力状况,零件的壁厚应尽量均匀,以减少毛坯制造时的变形和残余应力。在设计中注意应用新技术、新工艺和新材料。

2. 加工方面 在加工中采取一系列工艺措施来防止和减小变形。对毛坯要进行时效以消除其残余内应力。利用内应力在12~20个月逐渐消失的特点,进行自然时效,即把毛坯在露天存放1~2年。在自然条件作用下内应力消失效果最佳,缺点是周期太长。一般铸件均进行人工时效,毛坯受到高温退火、保温缓冷(俗称焖火)而消除内应力。还可以利用振动的作用来消除内应力。复杂零件和精密零件在粗加工后还要进行人工时效。高精度零件在精加工过程中还要安排人工时效,如精密丝杠在精加工过程中,要安排数次时效处理。

在制定零件机械加工工艺规程或机械加工过程中,均要在工序、工步安排上、工艺装备和操作上采取减少变形的工艺措施,如采用粗精加工分开的原则等。在加工中和修理中减少基准的转换,保留加工基准留给修理时使用(如轴类零件的顶尖孔)。

3. 修理方面 在修理中,不能满足于恢复零件的尺寸、配合精度、表面质量等,还要检查和修复主要零件的形状和位置误差,制定出与变形有关的标准和修理规范。尤其是注意铸件在12~20个月内的修理。第一次大修理对变形的检查和修复尤为重要,如对箱体主要轴承孔的搪削和电镀,修复到精度要求,可以大大减轻变形的危害。机械加工修复零件时,注意定位基准表面本身的精度,并要注意切削加工时和装夹的变形。采用热加工和压力加工工艺修复零件时,要采取相应措施来减小应力和变形,如施焊时,尽量减小热影响区,非施焊表面采取降温措施等。

针对零件变形编制合理易行的检查方法和修理工艺,设计简单可靠、好用的专用量具和工夹具。在修理中,大力推广三新技术,尤其是新的修复工艺方法,如刷镀、粘接等代替传统的焊接。

4. 使用方面 加强生产技术管理,制定并严格执行操作规程,不超负荷运行,避免局部超载和过热,加强设备的检查和维护。

第三节 零件的断裂

断裂也是零件失效的重要原因之一，虽然与磨损和变形相比占失效的百分比要小一些，但随着设备的高参数化，断裂这种失效形式的几率有所提高，尤其是断裂往往造成严重的事故、产生严重的后果。研究断裂成了日益紧迫的课题。材料力学很早就研究了过载断裂的力学原理。但是，由于设备日益向着大功率、超高速、超高压、超高温、超低温、低自重、超小型等方向发展，特殊工况下的断裂远远超出了材料力学研究的范围，形成了一个新的力学分支——断裂力学。近年来，零件断裂有增多的趋势，还与新材料的应用、设计安全系数变小、处理技术和计算技术的发展等因素有关，如齿轮零件的失效，因磨损和疲劳点蚀失效的形式有所减少，而断齿增加。因此，在设备维修中要加强对断裂的研究。

一、断裂的分类

1. 按断口的宏观形态特征分韧性断裂和脆性断裂。韧性断裂为超过强度极限前发生韧性变形而后发生断裂，多数为穿晶断裂，即裂缝是割断晶粒而穿过，一般是在剪应力作用下发生，又称切变断裂。脆性断裂一般发生在应力达到屈服极限前，没有或只有少量的塑性变形，多为沿晶界扩展而突然发生，又称晶界断裂，断口呈结晶状，平滑而光亮，称为解理面，因此这种断裂也称为解理断裂。低温、高应变速率、应力集中、晶粒粗大和脆性材料均有利于解理，由于裂纹扩展速率快，往往造成严重的破坏事故。

2. 按载荷性质分为一次加载断裂和疲劳断裂。零件在一次静拉伸、静压缩、静扭转、静弯曲或一次冲击下的断裂称为一次加载断裂。疲劳断裂为反复加载断裂，即经历反复多次的应力作用或能量负荷循环后才发生断裂的现象，疲劳断裂占断裂现象的80~90%。下面将重点讨论零件疲劳断裂的有关问题。

二、零件疲劳断裂的基本原理

零件承受循环载荷时，在局部将出现很大的塑性变形，表面将出现一些滑移线或滑移带，滑移带中产生一些缺口峰，如图1—2所示。峰底处将产生高度应力集中，在持续反复载荷作用下，经过一定周期，发展成微观裂纹，称为疲劳核心，一般由晶界与表面相交处开始。尤其是材料表面层有夹杂物、表面加工痕迹、表面划伤及其他缺陷也可认为是一些微观裂纹。形成微型裂纹后，进一步加强了滑移带的应力集中，在循环负荷作用下，裂纹将继续向内部发展。在通常情况下，裂纹的扩展占据了大部分的疲劳寿命，这一阶段叫疲劳裂纹的亚临界扩展。众多的裂纹深度增加，连接成为一个主导裂纹，当其达到临界长度后，发生突然断裂，称为疲劳裂纹的临界扩展。根据疲劳裂纹扩展的规律，应用断裂力学的原理计算，可以定量地判别什么样的裂纹会发展，什么样的裂纹不会发展，已经有裂纹的零件还能安全

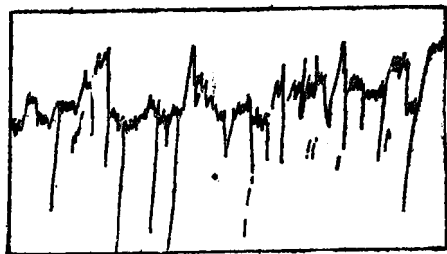


图1—2 在滑移带中产生的缺口峰

工作多少时间,当然这要请专家来进行。

几乎所有的零件,由于冶金、加工和使用等种种原因,均有宏观或微观裂纹,只是裂纹的大小不同而已,同时受到检测条件的限制。有裂必断的概念是错误的。由于断由裂发展而来,断裂事故后果严重,所以,目前修理中发现裂纹都要加以修复或更换,重要零件一旦发现裂纹则立即报废。因裂纹而报废的零件数量是很可观的。有裂纹的零件不一定立即就断,都有一段亚临界扩展时间,一定条件下,裂还可以不发展,就是说有裂纹的零件也可以不断。国外某些航空发动机,对于一些重要零件都有明确规定的允许使用的裂纹长度、必须修理的裂纹长度和必须报废的裂纹长度,既保证了安全使用,又节约了大量的材料。当知道零件现有裂纹尺寸后,计算亚临界扩展的速率,可以推断出零件达到使用期限前的剩余寿命。例如英国50万kW发电机转子,运行3500h后,发现其惯性槽底普遍存在深达200mm左右的裂纹,按断裂力学方法进行疲劳剩余寿命估算,按最保守估计还可安全运行7000h,实践已证明该电机在转子严重带伤条件下可继续使用。又如我国刘家峡化肥厂一个高压桶,发现一处严重裂纹,当时没有备用高压桶,通过断裂力学分析,确认可安全使用六个月,在此期间买到了此部件,把停产损失减到了最小程度。

三、减轻断裂危害的措施

影响断裂的因素是多方面的,减轻断裂危害是设计、工艺、使用和维修各方人员的共同职责。同时也只有在深入研究断裂的机理,充分认识断裂的规律之后,才能提出减轻断裂危害的有效措施。

1. 设计方面 尽量减少应力集中。如焊缝通常是疲劳断裂失效的起源区域,对“T型焊接接头,取适当的几何形状,焊后打圆角或钻孔,均能减轻应力集中的程度。零件截面改变处采用组合圆角比单一半径圆角的疲劳寿命能成倍增加,如图1—3所示。选择适当的材料也十分重要,应全面考虑材料的机械性能,尤其是设计重载荷结构或零件时,往往倾向于选择高强度材料,材料屈服极限提高会大幅度降低材料对脆性断裂的抗力,因此不应片面追求强度储备。为防止裂纹的发生和扩展进而防止断裂失效,设计时可以采用“裂纹防止结构”,如设计金属结构时采用组合筋板。

2. 工艺方面 延长零件疲劳寿命的最有效途径是引入残余压应力,如喷丸强化处理、冷滚压加工等。利用金属纤维在不同方向上机械性能的差别提高疲劳寿命,如锻造螺栓是机械加工螺栓的疲劳寿命的三倍,滚压螺纹的寿命也可延长很多。对零件进行表面热处理和化学处理,提高零件表层的强度和硬度,能延长其疲劳寿命。

3. 使用方面 注意早期发现裂纹,定期进行无损探伤,尽量减轻零件的腐蚀损伤,腐蚀会增加裂纹成长的速率;尽量减少设备运行中各部分的温差,如发动机启动时各部温差很大,如果立即高速大负荷运转,会加大温差,由热应力引起应力集中能加速有关零件疲劳损坏,使用中应加以避免;使用中要严格避免设备超载和减少冲击。

4. 修理方面

(1) 注意断裂件的断口分析,以区别零件断裂的形式、原因、起源和超载程度等。断口分析以宏观分析为主,还可利用光学显微镜和电子显微镜进行微观分析。事前要注意断口的保护,对断口要进行清洗和防锈,避免损伤。疲劳断口一般都有两个明显的区域,如图1—4所示,比较光滑的区域和比较粗糙的区域。疲劳裂纹发生、发展中,在循环载荷作用

下多次发生撞击和研磨，形成外表光滑的疲劳区。最后断裂区表面粗糙，韧性材料呈纤维状，脆性材料呈结晶状。一次加载断裂则没有光滑区。从疲劳源——应力集中较大点找出原因，如整架飞机可以毁于螺旋桨上一个检验标记，减少局部应力集中（如材料缺陷、加工痕迹、表面粗糙、圆角过小、碰伤等）往往是防止疲劳断裂的有效措施。断口光滑程度大，说明载荷不大，正常工作时间长。瞬间断裂区偏心小说明疲劳源多、载荷大。

通过分析加以改进，有利于避免断裂重演。

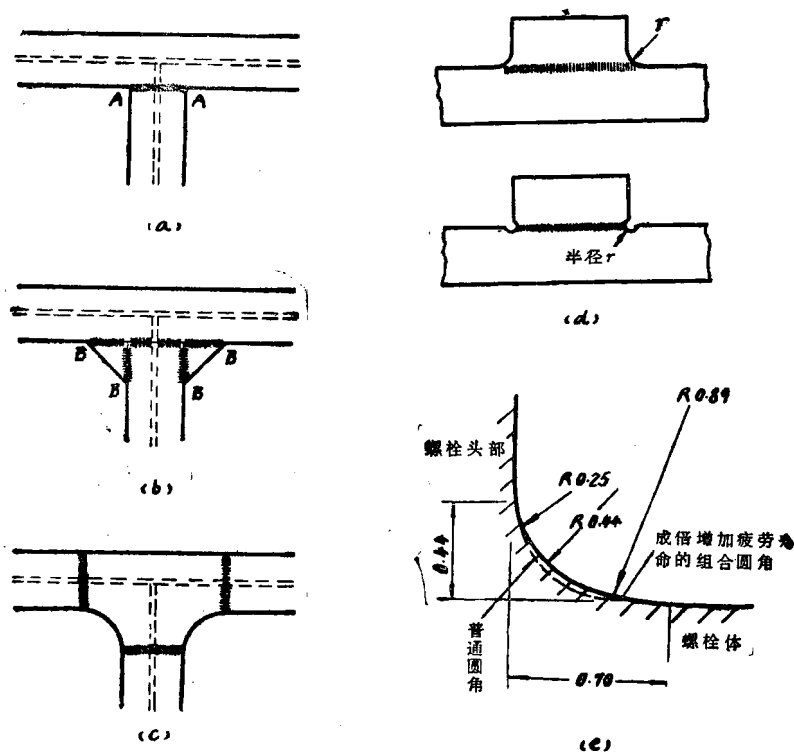


图 1—8 焊接结构及零件截面几何形状和改进

- (a) ——设计不当的直角结构，拐角A处有严重的应力集中；
- (b) ——增加三角板，得到较小改进，拐角B处仍有较严重的应力集中；
- (c) ——改进的设计，使应力集中减轻，并使焊缝离开应力集中处；
- (d) ——接头拐角处制成圆角；
- (e) ——用组合圆角代替普通圆角。

(2) 裂纹和断裂零件要修复，如焊接、粘接、铆接等方法。对不重要零件上的裂纹，可以钻止裂孔以防止或延缓其扩展。采用裂纹防止结构，如附上加强件。去除疲劳部分——局部更换法，在去除部分再焊一块金属或进行堆焊。也可单纯去除疲劳裂纹部分，如疲劳裂纹往往发生在紧固件周围，可将紧固孔铰削去除所有裂纹部分，换用较大的紧固件，但只有全部除去裂纹部分才有效，此法也称“去皮修理”。

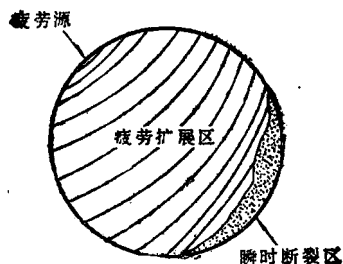


图 1—4 疲劳断口的宏观形象

(3) 注意修理操作对零件断裂的影响。如修理中对零件的拆装、存放、加工时均要力

求避免零件表面的损伤，并保证达到零件表面要求的表面粗糙度。对螺纹固定连接的旋紧力矩要适当，过大的旋紧力矩和过小的旋紧力矩均会降低零件的寿命。螺栓与螺钉对装配表面的相互位置精度也十分重要，螺栓斜度大不仅造成应力集中，还造成附加弯曲力矩，其寿命会大大降低。

(4) 采用延长零件寿命的修复方法。如表面去皮修理，将螺旋桨、发动机涡轮叶片等零件定期去除一薄层金属可以大大延长其使用寿命。修磨阶梯轴、曲轴等注意减小表面粗糙度，尤其是过渡圆角部分的粗糙度，并采用组合圆角。在产生疲劳裂纹前，用热处理方法恢复零件性能。在零件发生疲劳损伤前，采用表面喷丸强化处理，可延长其使用寿命。

(5) 对易产生断裂的重要零件实行状态监测，如定期进行无损检测，利用闪频仪在零件运转中监测等，

第四节 蚀 损

一、腐 蚀

在周围介质作用下，零件表面发生的以化学或电化学反应为主的磨损叫腐蚀磨损。它与其他形式的磨损相伴发生、相互影响和扩大作用，可产生严重的后果，特别是在高温和潮湿的环境中尤为严重。

腐蚀的机理是化学反应或电化作用。

金属与气体（特别是高温气体）和非导电液体介质接触，则发生化学腐蚀。金属与电解液（酸、盐类水溶液）相接触，则发生电化学腐蚀。电化学腐蚀的原理是形成伏特电池，产生电流，零件作为低电位的一极而不断被腐蚀。雨水、空气中水蒸汽的凝聚水，加上溶解其中的各种气体和污染物形成电解液。不同金属零件接触，形成不同极板。同一零件的不同合金成分也形成不同的极。金属表面的钝化膜与孔隙中的金属组成“膜孔电池”（如纯铝在中性水中的腐蚀）；腐蚀介质的浓度差形成“浓差电池”（如装水铁桶的腐蚀）。这些微电池的形成产生的电解作用使金属表面被腐蚀而脱离本体，因此也称为腐蚀磨损。

腐蚀磨损出现的状态因介质和摩擦材料性质的不同而不同，腐蚀磨损分为：

1. 氧化磨损 与空气中的氧作用形成氧化磨损是最常见的一种腐蚀磨损形式，其特征是摩擦表面沿滑动方向呈匀细磨痕。纯净金属表面会很快形成氧化膜，其厚度增长速度随时间成指数规律减小。脆性氧化膜如氧化铁，磨损速度大于氧化速度，因此容易磨损。韧性氧化膜如氧化铝，与基体结合牢固并形成钝态，磨损速度小于氧化速度，磨损率小，因为氧化膜起保护作用。

影响氧化磨损的因素有滑动速度、接触载荷、氧化膜的强度、介质的含氧量、温度、润滑条件及材料性能等因素。一般来说，氧化磨损比其他磨损轻微得多。

2. 特殊介质腐蚀磨损 摩擦副与酸、碱、盐等特殊介质作用发生化学反应而形成腐蚀磨损，其机理与氧化磨损相似，在摩擦表面上沿滑动方向也有腐蚀磨损的痕迹，但磨损速度较快。

不同的合金元素抗特殊介质的腐蚀的差别很大，如镍、铬易生成化学结合力较高的致密

钝化膜，且不易再腐蚀，可制成“不锈钢”；钨、钼同理抗高温腐蚀；碳化钨、碳化钛组成硬质合金，都具有高抗腐蚀能力。含铅、锡的滑动轴承材料易被润滑油的酸性物质腐蚀剥落；含银、铜的轴承材料易受高温腐蚀磨损。

金属腐蚀是一个带普遍性的严重问题，全世界因腐蚀而损失的金属重量约占年产量的 $1/4 \sim 1/3$ ，所以如何减轻腐蚀的危害是一个重要的课题。主要措施有：

1. 进行合理设计 根据使用环境条件选择合适的耐蚀材料，尽量以塑料代替金属，合理的结构设计，零件外形要简化，表面粗糙度要合适，避免形成腐蚀电池的条件。
2. 覆盖保护层 金属保护层如镍、铬、锌等，覆盖方法有电镀、喷涂、化学镀等；非金属保护层如油漆、塑料、橡胶、搪瓷等；化学保护层如磷化、发蓝、钝化、氧化等；表面合金化如氮化、渗铬、渗铝等。
3. 电化学保护 用比零件材料化学性能更活泼的金属铆接在零件上，人为形成腐蚀电池，零件成为阴极，从而不会发生电化学腐蚀。
4. 介质处理 使用有机缓蚀剂或无机缓蚀剂加入相应介质、减弱零件的腐蚀。

二、气 蚀

当零件与液体接触并有相对运动时，接触处局部压力低于液体蒸发压力时，形成气泡，溶解的气体也会析出形成气泡，这些气泡运动到高压区，气泡被迫溃灭的瞬间，产生极大的冲击力和高温，称为水击现象。气泡形成与破灭的反复作用，使零件表面材料产生疲劳而逐渐脱落，呈麻点状，逐渐扩展成泡沫海绵状，这种现象称为气蚀。气蚀严重时，可扩展为深度20mm的孔穴，直到穿透或裂纹而破坏，因此又称为穴蚀。气蚀是一种比较复杂的破坏现象，它不单是机械作用，还有化学、电化学作用，液体中含有磨料时会加剧这一破坏过程。气蚀现象经常发生在柴油机气缸套外壁、水泵零件、水轮机叶片、船舶螺旋桨等。

气蚀破坏是近年来才突出的问题，由于设备向高参数化发展，如发动机有效压力和转速不断提高，结构日益紧凑，缸套壁厚减薄，耐磨性提高，有时磨损仅有0.01~0.03mm，而穴蚀已经很深，甚至超过壁厚的一半。因此，更换缸套常常不是由于内壁磨损而是外壁穴蚀。

减轻穴蚀的措施有：

- (1) 减小与液体接触表面的振动，以减少水击现象的发生。如增强刚性、改善支承、采取吸振措施等。
- (2) 选用耐穴蚀的材料，如铸铁最容易穴蚀的是片状石墨，球状或团状石墨耐穴蚀性好，珠光体比铁素体耐穴蚀。不锈钢、尼龙耐穴蚀。
- (3) 零件表面涂防穴蚀材料，如塑料、陶瓷、表面镀铬，减小表面粗糙度也有利于减轻穴蚀。
- (4) 改进零件结构，减少液体流动时产生涡流的现象。
- (5) 水中添加乳化油，可减小气泡爆破时的冲击力，以减轻穴蚀。

第五节 设备零件修理更换的原则

在设备修理工作中，经常遇到确定零件是否更换还是修复的问题。如果确定不当，不该