



现代学徒制企业自编教材

机械设备维护技术

主编:何先刚

主审:李玉德



前 言

《机械设备维护技术》是结合我校“校企合一”的教学方针。本人凭多年修理经验和教学经验，本着让学生听懂、学会机械设备修理，对本教材进行组合。力求使教材具有鲜明的特色：

1. 本教材具有实用性切实体现了“校企结合”的特色。首先从岗位需求的分析入手，制定科学合理的教学目标，体现以学生就业为导向、以企业用人需求为依据的原则，突出以操作工艺和技能为核心的知识体系。

2. 本教材具有易用性，能够准确把握现阶段职业技术学生的认知水平，力求知识结构合理。

在选编过程我参考了多种相关书籍、资料，在此，我对各相关书籍及资料的作者表示由衷的感谢。

本教材在选编过程中也得到了华森公司总经理、华森学校校长李玉德指导和帮助。在第一稿的基础上进行了改编，形成了现在这部《机械设备维护技术》。在此也衷心表示感谢！

由于水平有限，书中不妥在所难免，希望领导和广大师生给予批评指正，以便我及时改正。

何先刚

2018-12-30

目 录

绪论.....	5
第一章 机械设备维修制度.....	9
第一节 维护与保养工作的考核标准.....	9
第二节 机电设备交接班制度.....	10
第三节 设备维修制度.....	13
第四节 机械设备的巡回检查计划修理.....	14
第五节 机械设备的点检定修制.....	21
第六节 设备故障管理.....	27
第七节 实验实训课题.....	35
第二章 机械设备维修的基本概念.....	36
第一节 机械零件的失效.....	36
第二节 零件的磨损.....	45
第三章 机械设备的润滑.....	50
第一节 润滑原理及润滑材料.....	51
第二节 润滑的方法和装置.....	70
第三节 典型零部件的润滑.....	78
第四节 滚动轴承的润滑.....	82
第四章 机械设备的修复.....	89
第一节 设备的维护.....	89
第二节 故障诊断技术.....	100

第三节	零件的修复技术.....	113
第四节	热喷涂（熔）修复法.....	125
第五节	电镀修复法.....	125
第六节	胶接修复法.....	128
第七节	其他修复方法简介.....	131
第五章	典型设备的维护与检修.....	134
第一节	机械设备的大修理.....	134
第二节	维修前的准备作	135
第三节	水泵的维修.....	139
第四节	摆线针轮减速的维修.....	146
第六章	机械的装配.....	155
第一节	概述.....	155
第二节	过盈配合的装配方法.....	158
第三节	齿轮、联轴节的装配.....	161
第四节	滚动轴承的装配.....	169
第五节	密封装置的装配	179
	参考文献.....	184

绪 论

一、修理技术在国民经济中的地位

机械设备在使用的过程中，零部件的破坏往往自表面开始，表面的局部损坏又往往造成整个零件失效，最终导致机械设备的损坏和停产。机械零部件的失效形式主要为变形、断裂、磨损和腐蚀。

零部件的变形（特别是基础零部件变形），使零部件之间相互位置精度遭到破坏，影响了各组成零部件的相互关系。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。有人估算变形对寿命的影响在30%左右，对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。

绝大多数的机械零件的磨损全部发生在表面，据我国冶金、矿山、农机、煤炭、电力和建材等部门的统计，每年仅因磨料磨损引起的损失就需补充100万吨钢材。目前，我国进口机电设备磨损的零部件，每年需花数亿美元外汇去购买补充。

机械零部件与腐蚀介质接触和反应会出现表面腐蚀，其种类很多。据美国、德国等国公布的一些腐蚀损失资料，腐蚀造成的直接经济损失约占国民经济总产值的1%~4%。因腐蚀造成的停产、效率降低、成本增高、产品污染和人身事故等间接损失更为惊人。目前世界钢铁年产量约7亿吨，其中1.4亿吨因腐蚀而消耗。

机械设备修理技术在修复关键零部件、替代进口配件、提高设备维修质量、扩大维修范围、节约能源和材料等方面发挥了重要作用。比如，重载车辆的轴承磨损失效后，其内外圈配合面采用刷镀技术修复，相对耐磨性比原用新件高6.5倍。变速箱的输出法兰盘采用超音速火焰喷涂修复后，其使用寿命是原用新件的2.26倍。醋酸泵的密封环和轴套采用等离子喷涂氧化铬涂层技术进行修复，使用寿命提高10倍以上。

由此可见，修理技术能直接对许多完全失效或局部失效的零部件进行修复强化，以达到重新恢复其使用价值或延长其使用寿命的目的。若再考虑在能源、原材料和停机等方面节约的费用，其经济效益和社会效益是难以估量的。修理技术

在国民经济中发挥了重要作用，已成为国民经济中最重要的技术支柱之一。

二、设备维修体系的三大侧面

随着设备技术的飞速发展，先进的设备需要先进的维修技术，更需要先进的管理模式。当代设备维修涉及工种广泛，设备管理成为一门边缘的、综合的、系统的学科。按照设备综合工程学的观点，设备维修具有三大侧面，既技术侧面、经济侧面和经营侧面。技术侧面包括日常保养技术(润滑、清洁、紧固和调整)、设备诊断技术、修理技术以及设备的更新与改造等；经济侧面包括维修的经济性评价、维修费用和劣化损失、固定资产的转移和折旧等；经营侧面包括维修的方针和目标、维修组织和人员、维修管理体系等。

设备维修的三个侧面之间有着密切的关系，技术侧面是以设备硬件为对象，从“物”的角度控制维修活动；经济侧面是对设备进行的经济价值的考核，是从“钱”的角度控制维修活动；经营侧面是从经营管理等软件的措施方面控制维修活动，即从“人”的角度控制维修活动。三大侧面构成了一个完整的设备维修体系，缺一不可。

三、设备维修技术的发展概况和发展趋势

我国设备维修工作是在新中国成立后迅速建立、发展起来的。党和国家对设备维修与改造工作很重视。20 世纪 50 年代开始尝试推行“计划预修制”。随着国民经济第一个五年计划的执行，各企业陆续建立了设备管理组织机构，1954 年全面推行设备管理周期结构和修理间隔期、修理复杂系数等一套定额标准。1961 年国务院颁布《国营工业企业工作条例(试行)》(即工业七十条)，逐步建立了以岗位责任制为中心的包括设备维修保养制度在内的各项管理制度。1963 年机械工业出版社开始组织编写资料性、实用性很强的《机修手册》，使设备维修技术向标准化、规范化方向迈进了一大步。

在设备维修实践中，“计划预修制”不断有所改革，如按照设备的实际运转台数和实际的磨损情况编制预修计划；不拘束于大修、项修、小修的典型工作内容，针对设备存在的问题，采取针对性修理。一些企业还结合修理对设备进行改装，提高设备的精度、效率、可靠性、维修性等。这些已经冲破了原有“计划预修制”的束缚。与此同时，相继成立了中国机械工程学会及各级学术组织，开展了

多方面的学术和技术交流活动，推动了我国设备维修与改造工作。群众性的技术革新活动，也给设备维修与改造增添了异彩。这一时期，我国工业企业的设备修理结构有两种形式：一是专业厂维修；二是企业自修。

20 世纪 70 年代末，实行改革开放，加强了国际交往，国际交流不断，取得了可喜的成绩。采取走出去、请进来等方法，学习、借鉴英国的“设备综合工程学”和日本的“全员生产维修(TPM)”，揭开了多向综合引进国外先进技术的序幕，并恢复全国设备维修学会活动，创办《设备维修》杂志，原国家经委增设设备管理办公室，1982 年成立中国设备管理协会，1984 年在西北工业大学筹建中国设备管理培训中心。1987 年国务院颁布《全民所有制工业交通企业设备管理条例》。国内企业普遍实行“三保大修制”，一些企业结合自己的情况学习和试行“全员生产维修”，初步形成一个适合我国国情的设备管理与维修体制——设备综合管理体制，使我国设备维修工作进一步完善并走向正轨。

20 世纪 90 年代，随着微电子技术、机电一体化等技术的不断成熟，特别是我国工业化水平的迅速提高，以技术改造和修理相结合的设备维修工作迅速发展。这一时期，在设备维修制度上，普遍推行状态维修、定期维修和事后维修等 3 种维修方式，以定期维修为主、向定期维修和状态维修并重的方向发展(事后维修仍然存在)。在修理类别上，大修、项修、小修 3 种类别已具有一定的代表性和普及性。

进入 21 世纪后，随着改革开放的不断深入，我国的社会主义市场经济不断完善，国外制造企业不断迁入我国，计算机技术、信号处理技术、测试技术、表面工程技术等不断应用于设备维修技术，改善性维修、无维修设计等得到迅猛发展。

随着设备的技术进步，企业的设备操作人员不断减少，而维修人员则不断增加(图 1-2)。另一方面，操作的技术含量不断降低，而维修的技术含量却在逐年上(图 1-3)。现今的维修人员遇到的多是机电一体化，集光电技术、气动技术、激光技术和计算机技术为一体的复杂设备。当代的设备维修已经不是传统意义上的维修工所能胜任的工作。当前，我们面临的任务是大力抓好人才的开发和培养，尽快造就成一批具有现代维修管理知识和技术的维修专业人员。

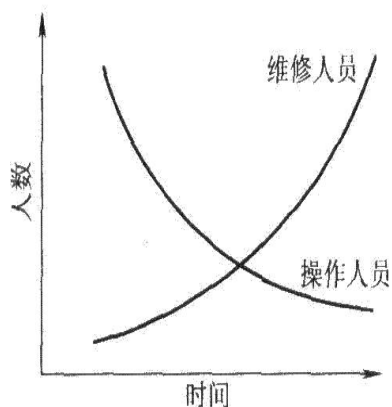


图 1—2 设备操作人员与维修
人员的比例关系

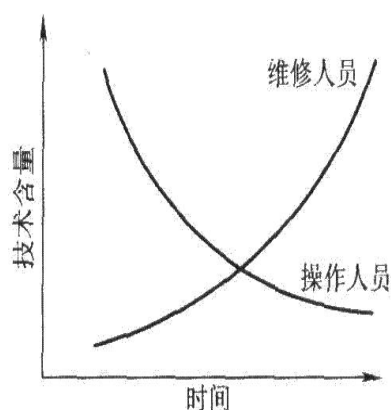


图 1—3 设备维修人员和操作
人员与技术含量的关系

四、机电设备维修课程的性质和任务

机电设备维修课程既是机电一体化专业的主要专业课程之一，又是机电工程类专业的重要专业课程之一。

通过本课程的学习，应使学生达到以下基本要求：

- 1) 掌握机电设备维修的基础理论与基本知识。
- 2) 熟悉机电设备的解体，设备零件的拆卸、清洗、技术鉴定方法；掌握轴与轴承、齿轮、蜗轮蜗杆以及过盈配合件的装配方法。
- 3) 熟悉机械零件各种修复技术；具有分析、选择和应用机械零件复技术的基本能力。
- 4) 熟悉常用研、检具和维修工工具的选用；掌握机电设备几何精度的检验方法、装配质量的检验和机床试验方法、机床大修质量检验通用技术要求。
- 5) 掌握螺纹联接件、轴与轴承、丝杠螺母副、壳体零件、曲轴连杆机构、分度蜗轮副、齿轮、过盈配合件等典型零部件的修理、装配和调试方法。
- 6) 熟悉机电一体化设备等典型机电设备的修理技术，常见故障分析及其排除方法。

第一章 机械设备维修制度

第一节 维护与保养工作的考核标准

对机器进行精心的维护与保养，可以使机器经常保持良好的工作状态和足够的工作能力，延长机器的使用寿命。机器设备的维护与保养是机器操作者与机修工作者的共同职责。

机器设备维护与保养工作的考核标准是设备完好率。设备完好率是完好设备台数与生产设备总台数之比（生产设备台数指在用的生产设备台数）。完好设备必须符合完好标准，设备的工艺、结构特点不同，完好标准也不完全相同。以金属切削机床为例，应达到如下基本要求：

- (1) 精度、性能满足生产工艺要求，精密、稀有设备的主要精度、性能达到出厂标准。
- (2) 各传动系统运转正常，变速齐全。
- (3) 各操作系统动作灵敏、可靠。
- (4) 润滑系统装置齐全，管道完整、油路畅通、油标醒目。
- (5) 电气系统装置齐全，管线完整、性能灵敏、运行可靠。
- (6) 滑动部位运转正常，各滑动部位及零件无严重拉伤、研伤、碰伤。
- (7) 设备内外清洁，无油垢、无锈蚀，润滑油的油质符合要求。
- (8) 基本无漏油、漏水、漏气现象。
- (9) 零部件完整，随机附件基本齐全，保管妥善。
- (10) 安全、防护装置方便可靠。



上述完好标准都是定性的规定，要求比较笼统，为了便于检查并衡量得更准确，各企业还规定了实施细则，把每条标准具体化、定量化。例如，上述第6条规定的拉伤、研伤、碰伤，还应进一步规定伤痕在长、宽、深多少毫米以上算

严重拉伤、研伤、碰伤。

设备完好率表示企业或生产单位设备技术状态的好坏，是设备管理与维护水平的一个重要标志。

第二节 机电设备交接班制度

一、目的

为严格交接班过程管理，明确交接班双方的权利和义务，避免推诿、扯皮现象，保证公司生产的安全稳定运行，制定本制度。

二、适用范围

本制度适用于公司各部门、车间的交接班管理。

三、职责与分工

主管部门：生产技术科。负责监督本制度的执行。

相关部门：各部门、车间。负责在日常工作中认真执行本制度。

四、内容与要求

1. 交班值班长应在下班前 1 小时，将所属的设备、管线阀门、仪表等进行全面检查，发现问题及时解决，不得拖延给下一班。
2. 交班前三十分钟，由操作工擦拭好本岗位的机器、电器仪表。整理好记录，清扫工作现场、检查工具、仪器、防护用品、消防器材等，做好岗位交班前的准备工作。
3. 交班前，当班者应向接班者详细交待本班情况，做到十交，即：
 - ①本班生产情况；
 - ②工艺指标的执行情况和存在问题；
 - ③事故原因和处理情况及处理结果；
 - ④设备运转和维护保养情况；
 - ⑤仪器、仪表、工具的保管和使用情况；
 - ⑥记录表的填写保护情况；

- ⑦室内外及设备卫生;
- ⑧跑、冒、滴、漏及机械用油情况;
- ⑨安全生产情况;
- ⑩领导的指示。

六不交，即

- ①工艺指标不符合条件不交;
- ②设备保养不好不交;
- ③事故原因查不清不交;
- ④工具不全不交;
- ⑤记录表不齐全不整洁不交;
- ⑥设备及环境卫生不清洁不交。

五. 接班

1. 接班人员必须提前十分钟到岗位，认真听取上班值班长对生产情况的介绍和本班值班长对生产工作的布置。
2. 接班者必须对工作认真负责，听取交班者介绍情况进行全面检查。
3. 检查要点：十交六不交是否做到，设备运行阀门开关，仪表使用、油、水、电是否正常，各控制点温度、压力、液位、流量等是否符合工艺条件。
4. 要做到五不接：
 - ①交班项目交待不清不接;
 - ②存在不安全生产因素不接;
 - ③事故原因不清，处理不完不接;
 - ④设备运转异常不接;
 - ⑤工具不全、设备、现场不清不接。
5. 交接班必须在现场进行，交接班时必须按照操作规程规定的内容和巡回检查制度所规定的检查路线，进行检查交接。
6. 交接班必须把当班设备运行和检修情况，向接班人详细交待清楚并填写记录。在接班人认为情况属实后，双方签字，交班人方可离开现场。
7. 交接班时如双方之一发生争执，应及时报告值班人员进行协商解决。在此期间由交班者正常操作直到问题解决，交接班期间发生事故由交班者负责，接班后发

生事故由接班人者负责。

实例 《交接班记录》

天车维护交接班记录 年 月 日											
时间		班次		时间		班次		时间		班次	
交班人		接班人		交班人		接班人		交班人		接班人	
上班人员				上班人员				上班人员			
异常		安全		异常		安全		异常		安全	
本班行车运行状况：				本班行车运行状况：				本班行车运行状况：			
本班主要工作：				本班主要工作：				本班主要工作：			
工作交接：				工作交接：				工作交接：			
说明：1、【判定符号】良好○、异常×、处置完 ⊕								2. 此表格为日常工作记录与交接所用，请认真详细填写；			

第三节 设备维修制度

设备维修制度，是指对设备进行维护、检查和修理所规定的制度，其内容是随生产和技术的发展而不断更新。

一、计划预修制

计划预修制，又称计划修理制。是我国企业从 20 世纪 50 年代开始由前苏联引进并普遍推行的一种制度。这种维修是进行有计划的维护、检查和修理，以保证设备经常处于完好状态。其特点在于预防性与计划性，即在设备未曾发生故障时就有计划地进行预防性的维修。这种按事先规定计划进行的设备维修是一种比较科学的设备维修制度，有利于事先安排维修力量，有利于同生产进度安排相衔接，减少了生产的意外中断和停工损失运用这和维修制度，要求了解和掌握设备的故障理论和规律，充分掌握企业设备及其组成部分的磨损与破坏的各种具体资料与数据。在设备众多、资料有限的情况下，可以在重点设备以及设备的关键部件上应用。计划预修制的内容主要有日常维护、定期检、清洗换油和计划修理。

二、计划保修制

计划保修制是 60 年代在总结计划预修制的基础上，建立的一种设备维修制度，它的主要内容是三级保养和计划大修。这是一种有计划地进行保养和大修的制度和办法。它体现了我国设备维修管理的重心由修理向保养的转变，反映了我国设备维修管理的进步和以预防为主的维修管理方针。三级保养是以操作者为主对设备进行以保为主、保修并重的强制性维修制度，依据工作量大小和难易程度，分为日常保养、一级保养和二级保养。

1. 日常保养

日常保养是操作工人每班必须进行的设备保养工作，其主要内容是：进行清洁、加油、调整、更换个别零件、检查润滑、异音、漏油、安全以及损伤等情况。日常保养配合日常点检进行，是一种不单独占据工时的设备保养方式。

一级保养是以定期检查为主，辅以维护性检修的一种间接预防性维修形式。其主要工作内容是检查、清扫、调整各操作、传动机构的零部件；检查油泵、疏通油路，检查油箱油质、油量；清洗或更换渍毡、油线，清除各活动面毛刺；检查、调节各指示仪表与安全防护装置；发现故障隐患和异常要予以排除，并排除

泄漏现象。设备经一级保养后要求达到外观清洁、明亮；油路畅通、油窗明、净、亮；操作灵活，运转正常；安全防护、指示仪表齐全、可靠。保养人员应将保养的主要内容、保养过程中发现和排除的隐患、异常、试运转结果、试生产件精度、运行性能等，以及存在的问题做好记录。一级保养以操作工为主，专业维修人员（钳工、电工、润滑工）配合并指导。

二级保养是以维持设备的技术状况为主的检修形式。二级保养的工作有大修理和小修理的部分工作，又要完成中修理工作的一部分，主要针对设备易损零部件的磨损与损坏进行修复或更换。二级保养要完成一级保养的全部工作，还要求润滑位全部清洗，结合换油周期检查润滑油质，进行清洗换油。检查设备的动态技术状况（噪音、振动、温升、油压等）与主要精度，调整安装水平，更换或修复零部件，刮研磨损的活动导轨面，修复调整精度已劣化部位，校验机装仪表，修复安全装置，清洗或更换电机轴承，测量绝缘电阻等。经二级保养后要求精度和性能达到工艺要求，无漏油、漏气、漏电现象，声响、振动、压力、温升等符合标准。二级保养前后应对设备进行动、静技术状况测定，并认真做好保养记录。二级保养从专业维修人员（钳工、电工、润滑工）为主。

第四节 机械设备的巡回检查计划修理

一、设备检查制度

设备检查包括日常检查、定期检查和专项检查。

1. 日常检查

日常检查的内容有振动、异音、松动、温升、压力、流量、腐蚀、泄露等可以从设备的外表进行监测的现象，主要凭感官进行，对于设备的重要部位，也可以使用简单的仪器，如测振仪、测温计等。日常检查主要由操作工人负责，使用检查仪器时则需由专业人员进行，所以也称在线检查。对一些可靠性要求很高自动化设备，如流程设备、自动化生产线等，需要用精密仪器和计算机进行连续监测和预报的作业方法，称为状态监测。每种机型设备都要根据结构特点制订日常检查标准，包括检查项目、方法、判断标准等，并将检查结果填入记录表中。经验

证明，只要把设备的日常检查做好了，80%以上的隐患是可以早期察觉、排除的。

表 某机床设备日常检查内容

序号	名 称	执行人	检查对象	检 查 内 容 或 依 据
1	每班检查	操作工	所有开动设备	1. 开车前检查 (1) 检查操作手柄，变速手柄位置是否正确 (2) 检查刀具、卡具、模具等位置有无变动及固定情况 (3) 检查油标油位，并按各润滑点加油 (4) 检查安全、防护装置是否完好、可靠 (5) 开空车检查自动润滑来油情况，运转声音，液压、气压系统的动作、压力是否正常 (6) 检查各指示灯，信号是否正常 (7) 确认一切正常后，方可开始工作。 2. 开车中检查 (1) 夹紧部分是否否正常 (2) 有无异声、温升、振动 (3) 润滑是否正常，导轨及滑动面是否来油 (4) 安全限位开关是否正常 3. 停车后检查 (1) 电源是否切断 (2) 各手柄、开关是否置于空位 (3) 铁屑是否清除，设备是否清扫干净(4)导轨、台面是否涂油 (5) 工作地面是否清理
2	巡回检查	维修钳工 维修电工 润 滑 工	维护区内分管的设备	1. 听取操作工人对设备问题的反映， 复查后及时排除缺陷。 2. 通过五官感觉及便携式仪器对重要部位进行监视。 3. 查看油位，补充油量，检查油质。 4. 监督正确使用设备
3	重点设备点检	操作工 维修工	重点设备 质控点设备 特殊安全要求设备	依据设备动力部门编制的设备日常点检卡进行周期控制点检

2. 定期检查

设备运转一段时间后（一般为三个月到一年左右），应对设备定期检查，并结合检查周期制订计划。计划预修制的检查周期是计算出来的，而预防维修则分三步拟定，首先根据说明书和各方面意见暂定检查周期，再依据使用半年到一年的维修记录分析情况，参考外厂经验修订，最后从经济技术指标全面考虑，确定检查周期。现在的计划预修制为了弥补计算与实际情况的差异，强调了实际运转台时和某些项目的监测。这些情况均可参考，有些单位还以测定精度指数来评定。

定期检查除用眼睛看、耳朵听、手摸等方法外，还要进行部分拆卸、清洗其

主要内容如下：

(1) 对部分部件进行拆卸清洗。彻底擦拭表面及死角，清除滑动面毛刺，并应检查紧固件和操纵机构，做到完整无缺、安全可靠。

(2) 对主要部件进行清洗或调整（如主轴箱）；调整部分传动系统的主要零件（如轮副）；调整皮带、链条等传动件，使其松紧合适，并更换已损坏的传动件。

(3) 清洗与调整液压、润滑及冷却系统，例如清洗滤油器、分油器、管路等，保持油路通畅，检查油、液质量，清洗油箱、换油等。

(4) 机械电气配合检查。在电工配合下检查电器接触状况，保证接触良好，不漏电。

(5) 复校安装水平，检查基础及安装水平的变化及地脚螺栓紧固情况。

定期检查是一次比较彻底的维护与保养工作。定期检查中，机器设备一般需要经一定的试验与检验，满足合理的工艺要求。

(6) 精度检查与调整。为了保证产品零件的精度和质量，对设备应定期进行精度检查和调整，特别是精密机床和大型稀有机床更应该定期或不定期（根据产品质量情况）进行精度检查与调整。有关精度检查和调整方法将在后续有关章节中介绍。

定期检查要认真做好记录，对查出的问题不能马上解决的，要安排预修计划，进行修理。

3. 专项检查

设备专项检查包括设备精度检查和可靠性验。

设备定精检查是针对设备的几何精度、运转精度进行检查，同时根据定期检查标准的规定和生产、质量的需要，对设备的安装精度进行检查和调整，作好记录并计算设备的精度指数，以了解设备精度的劣速度，掌握设备在运动状态下某些精度、性能变化的规律。



机床的精度指数是反映机床精度高低的参数值，对精密机床每年至少要进行一次测定，以了解其精度变化情况，在检查机床精度时，主要是与机床出厂时的检验精度值进行比较和计算精度指数 T, 确定其变化，以便对机床进行调整和检修。在进行精度检查确定检测项目时要根据其加工产品特点和机床的动、静态状态来衡量，从而选定主要精度项目进行查验。

设备精度指数的计算式如下在在在：

$$T = \{[\sum (T_p/T_s)^2] \div n\}^{0.5}$$

T——设备精度指数；

T_s——精度项目允差值；

T_p——精度项目实测误差值；

n——精度项目数；

综合精度指数反映了设备对加工质量和生产效率的影响，也为判别这种影响的程度能否继续使用该设备或对之该作何种处理提供一个概要的依据，其大致判别依据如下：T≤0.5 为新机床验收条件之一；T≤1 为大修理后机床验收条件之一；1<T<2 仍可继续使用，但需注意调整；2<T≤3 设备需进行重点修理；T>3 设备需进行大修理或更新。

企业可根据本身的生产特点、设备构成、技术性能及质状况，结合生产实际的需要，合理地制订各种设备的 T 值，作为评定设备综合精度的标准。

精度指数质只是反映机床技术状态的条件之一，不能全面反映其性能劣化程度，因此，在应用时还需与其他指标相结合应用。

可靠性试验是对特种设备如起重设备、动力设备、高压容器、动能发生设备及高压电器等有特殊要求的设备，进行定期的预防性安全可靠性试验，由指定的检查试验人员和持证检验人员负责执行，并作好检查鉴定记录。

设备定期检查的对象、目的及内容如表：

设备定期检查的对象、目的及内容

序号	名称	执行人	检查对象	主要检查内容和目的	检查时间
1	性能检查	维修工、设备检查员与操作员参加	主要生产设备（包括重点设备及质控点设备）	掌握设备的故障征兆及缺陷，消除在一般维修中可以解决的问题，保持设备正常性能并提供为下次计划修理的准备工作意见	按定检计划规定时间
2	精度检查	专职设备检查员，维修工人	精密机床、大型、重型稀有及关键设备	按照设备精度要求，检测设备全部精度项目或有关的主要精度项目，检查安装水平精度，据以调整设备精度和安装水平精度或安排计划修理	每6~12月进行一次
3	可靠性试验	指定试验检查人员，持证检验人员	起重设备、动能动力设备、高压容器、高压电器等特殊试验要求的设备	按安全规程要求进行负荷试验，耐压试验、绝缘试验等，以确保安全运行	以安全要求为准

二、计划修理制度

计划预修既可做到防患于未然，又可节省维修时间，有利于提高机械的利用率和经济效率。但是，它的优越程度与其修理时机的选择有很大关系，比较传统的选择原则是以机械的有效使用时间作为指标，当机械达到规定的使用期限时，即对其进行预防维修。因此，确定修理周期成为首要问题。

1. 确定修理周期

（1）修理工作的种类。根据设备的使周寿命、修复工作量和工期，传统的分类

方法将修理分为小修、项修（中修）、大修、定期精度调整。

① 小修 机械设备的小修是工作量最小的一种计划修理。对于实行状态（监测）维修的机械设备，小修的工作内容点要针对日常抽检和定期检查发现的问题，拆卸有关的零部件，进行检查、调整、更换或修复，以恢复机械设备的正常功能。对于实行定期维修的机械设备，小修的工作内容主要是根据掌握的磨损规律，更换或修复在修理间隔期内失效或即将失效的零件，并须调整，以保证设备的正常工作能力。

② 项修（中修） 项修是项目维修的简称。它是根据设备的实际情况，对状态劣化已难以达到生产工艺要求的部件进行针对性维修。项修时，一般要进行部分拆卸、检查、更换或修复失效的零件，必要时对基准件进行局部维修和调整精度，从而恢复所修部分的精度和性能。项修的工作量视实际情况而定。项修具有安排灵活，针对性强，停机时间短，维修费用低，能及时配合生产需要，避免过剩维修等特点。对于大型设备，组合机床，流水线或单一关键设备，可根据日常检查、监测中发现的问题，利用生产间隙时间（节假）安排项修，从而保证生产的正常进行。目前中国许多企业已较广泛地开展了项修工作，并取得了良好的效益。

项修是中国设备维修实践中，不断总结完善的一种维修类别。

② 大修 机械设备的大修是工作量最大的一种计划修理。大修包括对机械设备的全部或大部分部件解体；修复基准件；更换或修复全部不合格的零件；修理、调整机械设备的电气系统；修复机械设备的附件以及翻修外观等。大修的目的是全面消除修前存在的缺陷，恢复机械设备的规定精度和性能。

（2）定期精度调整 定期精度调整是指对精、大、稀机床的几何精度定期进行调整，使其达到（或接近）规定标准；精度调整的周一般为一至二年。调整时间最好安排在气温变化较小的季节。如在我国北方，以每年五六月份或九十月份为宜。实行定期精度调整，有利于保持机床精度的稳定性，保证产品质量。

2. 排除故障修理

机械设备运行一段时间后，由于某种机理障碍（主要由物理、化学等内在原因或操作失误、维护不良等外在原因引起）而使机械设备出现不正常情况或丧失局部功能的状态，称为“故障”。这种不正常情况及局部功能的丧失通常是可以修复的，我们把这种排故障、恢复机械设备功能的工作称为排除故障修理。

三、机械零件的修理方案

机械零件损坏失效后，多数可采用各种各样的方法修复后重新使用。常用的修理方法有：

- (1) 调整法 一般利用调整螺栓紧度或调整垫片厚度来恢复配合件原有的配合关系，修理时不用对配合件进行加工(或只进行刮研)，而只用增加垫片或调整垫片厚度的方法使其恢复到原始配合间隙。
- (2) 换位法 由于各种原因，设备的磨损往往是不均匀的。设备零件的某部分可能磨损较严重，而其他部分却几乎没有磨损。这时，只要适当调换这个零件的位置，就能使设备达到正常工作状态。如齿轮液压泵的壳体内表面，吸油腔为易磨损部位，简单而经济的修理方法是将泵体绕本身轴线旋转180°，使结构相同且磨损不大的压油腔转换为吸油腔，就能使泵体正常运行，重新得到利用。
- (3) 维修尺寸法 配对零件磨损后，将其中一个成本相对较高的零件进行再加工，使其具有正确的几何形状，根据加工后零件的尺寸更换另一个零件，恢复配合件的工作能力。例如，C615 车床主轴轴颈磨损后，重新磨削至预定的尺寸，按此尺寸更换轴承。这种方法能节省材料，修复质量高而且简便，因此在修理工作中常被采用。
- (4) 附加零件法 当配合件损时，分别进行机械加工，恢复为正确的几何形状，然后在配合孔中压入一个附加零件，以达到原配合要求。例如，C615 车床主轴箱的主轴孔圆度误差大，则将孔扩大后压入铜套，并将铜套的内孔扩至配合要求。该方法适合于磨损严重的主轴箱等设备的修复。
- (5) 局部更换法 将零件损坏的部分切除掉，再镶上一部分使零件复原。如车床齿轮组中某一齿轮遭到不正常磨损，可将磨损部分退火后切去，再镶上一新齿圈，铣齿后再淬火，使零件复原。
- (6) 恢复尺寸法 使磨损的零件恢复原来的形状尺寸和精度的方法称恢复尺寸法。根据增补层与基体结合的方法可分为：
 - ① 机械结合法，如金属喷镀、嵌丝补裂纹等。
 - ② 电沉积结合法，在电场作用下，镀液中的金属离子在金属表面上还原而形成金属沉积层，如槽镀和近几年采用的快速电镀新方法，广泛用于零

件的修复。

- ③ 熔接法，如气焊、电焊、锻接等。
- ④ 粘接法，采用 101 胶和 618 环氧树脂等粘接剂来修复导轨、轴颈的磨损面，也可直接粘接受力不大的零件。
- ⑤ 挤压法，用历加工的方法，把零件上备用的一部分金属挤压到磨损的工后面上去，以增补磨损掉的金属。
- ⑥ 更换新零件法 损坏严重、无法修复或不值得修复的零件，可以更换新的零件。可以修复的零件，有时也用新零件更换，将换下的零件集中起来成批进行修复。

第五节 机械设备的点检定修制

设备点检定修制就是以设备点检为核心的设备维修管理体制，是实现设备可靠性、维护性、经济性，并使上述三方面达到最佳化管理的体制。点检定修制从过去传统的以“修”为主的管理思路转变到以“管”为主的思路上来，变过去设备坏了再修或周期到了才修为设备的预知检修，通过点检基础上的定修（即根据设备状态安排检修），有效防止设备过维修和欠维修，从而保证设备的正常运行，提高设备利用率。

这种体制，点检人员既负责设备点检，又负责设备管理。点检、运行、检修三方之间，点检人员处于核心地位，是设备维修的责任者、组织者和管理者。点检人员是其所管辖设备的责任主体，严格按标准进行点检，并承担制定和修改维修标准、编制和修订点检计划、编制检修计划、做好检修工程管理、编制材料计划及维修费用预算等工作。这种体制的最终目标以最低的费用实现设备的预防维修。

这种体制提出了对设备进行动态管理的要求，要求运行方、检修方和管理方都要参与围绕设备的 PDCA（计划、执行、检查、行动）管理，使设备的各项技术标准日趋完善，设备的寿命周期不断延长，达到故障为零、设备受控的目的。

这种体制强调从人为本的理念，通过员工发挥主观能动性的自主管理活动，

极大地调动了员工的积极性。这是设备持续改进、管理日趋完善的内在动力。

一、点检的概念

所谓点检，即指预防性检查。它是利用人的“五感”（视、听、嗅、味、触）和简单的工具仪器，按照预先设定的方法标准，定点周期地对制定部位进行检查，找出设备的隐患和潜在缺陷，掌握故障的初期信息及时采取对策将故障消灭于萌芽状态的一种设备检查方法。点检的目的就是防事故于未然，保持设备性能的高度稳定，延长设备使用寿命提高设备效率。

二、点检制

全称为设备点检管理制度，是设备管理工作中的一项基本责任制度。通过点检人员对设备进行点检（预防性检查）准确把握设备技术状况，实行有效的计划维修，维持和改善设备工作性能，预防发生事故，延长机件寿命，减少停机时间，提高设备工作效率，保障正常生产，降低维修费用。

在该体制下，点检、运行、维修三方按照分工协议共同对设备的正常使用负责，但在点检、运行、维修三者之间，点检制明确点检员处于核心地位，是设备维修的责任者、组织者和管理者。负有设备点检和设备管理职能。点检员应对辖区内的设备负有全权责任。

点检制推行操作者日常点检、专业点检员的定期点检和专业技术人员的精密点检，三者对同一台设备进行维护、诊断、修理“三位一体”的点检制度。

设备点检是一种科学的管理方法，是引进日本“全员生产维修”（TPM）设备维修制度的基础上按照中国国情建立的一套行之有效的设备管理制度。设备的基础源于点检，点检是预防维修的基础，是现代化设备管理体制的核心。

三、点检的内容、种类、周期

（1）传统设备的检查形式

- ① 事后检查。设备突发故障后为恢复设备性能，以及为了确定修复方案所采取的对应性检查，无固定的检查周期、检查内容、检查人员。
- ② 巡回检查按照预先设定的部位、主要内容进行的设备检查，以保证设备正常运转，消除运行中的缺陷和隐患，适合设备分散布置。
- ③ 计划检查。有预先设定的检查周期和项目，广泛应用于设备检修，一般有技术人员提出计划，检修人员实施，它包括事前检查和部件的解体检查。

④ 特殊检查。指对于有特殊要求的设备进行的检查，如设备精度的定期检查，液压油的品质检查等。

⑤ 法定检查。以国家法规规定的检查。

四、点检与传统设备检查的区别

区别在于设备点检是一种管理方法，而传统的设备检查只是一种检查方法。具体区别如下：

1) 定人。点检作业的核心是，事先划分点检作业区且确定专职员对点检作业区内的设备进行点检。即定区定人定设备，同时保持人员的相对固定。一般在一个点检作业区安排 2~4 人，实行常白班工作制。专职点检员纳入岗位编制，对于人员的素质要求既不同于检修人员也

不同于设备技术人员，其具体要求如下

①具备一定的设备管理知识，有实践经验，会使用简易诊断仪器；

②有必要的办公条件和通信交通工具；

③点检作业和管理、协调业务相结合；

④具有一定的维修技术、组织协调和管理技能。



图 点检员协助维修人员找中心

2) 定点。明确点检部位。

3) 定量。在点检中把设备故障诊断和倾向性管理结合起来，将能够量化的设备运行数据进行劣化倾向的定量化管理，为设备预知维修提供依据。

4) 定周期。对于点检部位预先设定点检周期，在点检员经验积累的基础上不断修改完善补充，以寻求最佳点检项目及点检周期。

5) 定标准。衡量和判断点检部位是否正常的依据。也是判断点检部位是否劣化的尺度。

6) 定点检计划表。

7) 定记录。包括作业记录、异常记录、故障记录及倾向记录，都有固定的格式。为点检业务的信息传递提供原始数据。

8) 定点检业务流程。点检作业和点检结果的处理对策称为点检业务流程。它明确规定点检结果的处理程序。急需处理的故障隐患由点检员通知检修人员进场立

即处理，不需紧急处理的隐患作好记录并纳入计划检修在定修中加以解决。它简化了设备维修管理的持续，作到了应急反应快，计划项目落实早。

五、检的 12 个环节

(1)定点：科学的确定设备的维护点的数量。一般包括六个部位：滑动，转动，传动，与原材料接触部位，负荷支撑部位，易腐蚀部位。有计划的对每个维护点进行点检可以及时发现故障。

(2)定标：针对每个维护点制定点检标准，尽可能采用量化标准，如间隙，温度，压力，流量等。

(3)定期：确定检查周期。指多长时间检查一次。

(4)定项：明确维护点的检查项目。

(5)定人：明确运行方、点检方点检部位。

(6)定法：明确检查方法。如人工观察还是用工具测量。

(7)检查：指检查环境。明确点检时是否停机检查，是否解体检查。

(8)记录：按照规定格式详细记录，包括检查数据、判定印象处理意见、签名及检查时间。(9)处理：分为及时处理或调整和延期处理。

(10)分析：定期对检查记录、处理记录进行系统分析针对故障率高的维护点提出处理意见。

(11)改进：根据分析结果及处理意见修订点检标准。

(12)评价：根据设备管理指标的变化趋势判定点检绩效。

六、点检的六点要求

点检在担负检查设备的同时还承担了设备管理的管理职能，其工作态度责任心规范化程度直接影响了设备的运行质量，因此，有必要对点检工作提出明确要求。

1. 要定点记录：重要性在于数据积累和发现规律性的系统性的故障。

2. 要定标处理：对维护点要按照标准进行维护，达不到标准的维护点要注出明显记号并加以重点关注。

3. 要定期分析：点检记录要逐月分析，重点设备每一个定修周期分析一次。每季对检查和处理结果汇总整理以备查。每年要系统的总结分析依次找出规律性、系统性故障，分析其原因提出技改计划。同时根据维护点年发生故障频率修订点检

以提高工作效率。

4. 要定项设计：系统性因素导致的故障不是简单修理能够避免的。需要通过技术改造予以排除。推出课题集思广益发动全体职工积极参与。

(5)要定人改进：从课题推出直至评价和再改进的全过程要有专人负责，保证工作的连续性和系统性。要系统总结：系统的总结上一阶段的点检工作，找出经验和不足以利于下一阶段的工作展开。

5、检的种类

(1)按目的分：倾向点检（包括劣化倾向、突发故障、更换周期）和劣化点检（包括劣化程度、性能降低和修理判断）。

(2)按是否解体分：解体点检和非解体点检。

(3)按周期和业务范围分：日常点检、定期点检和精密点检。日常点检在设备运行中由运行方完成，定期点检和精密点检有专职点检员完成。三者 in 维护保养和点检内容上的分工应按照事先制定的协议执行以消除盲区。

6. 点检周期

点检项目周期的确定由操作和点检两方面根据经验及故障发生状况来适当调整检查周期和时间。并需适时修改。

点检定修制

五. 点检定修制

1. 点检定修制概念

点检定修制是一套以预防为主的设备维修管理方式，即全员参与的生产维修制度。所谓点检定修制就是一套加以制度化的比较完善的科学管理方法，它的实质是以预防维修为基础，以点检为核心的全员维修制，其以追求设备的综合效率最高为目标。其定义为：点检定修制是实现设备可靠性维修性经济性并使“三性”达到最佳化，实行全员设备管理（T P M）的一种综合性设备管理制度。

2. 点检定修制的特点

（1）产工人负责日常设备管理

生产操作工人参与日常点检是点检定修制的特征，这对于生产操作工人的技能素质提出了更高的要求。具体要求和内容如下：

提高素质，标准化操作，做到三好四会六不准。

三好：用好设备，管好设备，修好设备。

四会：会使用，会维护，会点检，会紧急处理设备故障。

六不准：不准拼设备，严禁设备超压、超速、超载、超温等超负荷运行；

不准乱开、乱拆、乱割、乱焊设备；

不准随意改动整定值，严禁取消安全装置； 不准在无润滑状态下操作；

不准考试不合格人员上岗操作及独立从事维护工作； 不准无证上岗操作及检修设备；

2) 照维修分工协议作好日常点检工作。如清扫，给油脂。

3) 时生产人员担负清扫和确认工作。(4)接受点检员业务指导并且主动提供运行信息。

(2) 备管理职能重心下移到点检员

点检员是管理者也是点检活动的主体。点检制的核心是把对设备管理的全部职能按照区域分工的原则落实到专职点检员，实行“七事一贯制”管理。

点检工作的七项一贯制：

1) 检实施

2) 设备状况情报收集整理及问题分析；

3) 日、定修计划编制；

4) 件、资材计划制定、准备

5) 日、定修工程委托及管理；

6) 工程验收、试运转；

7) 点检、日、定修数据汇总、实绩分析。

(3) 一套科学的点检标准和业务流程，相应的权责关系和组织体系。

点检管理是一项系统工程，日常点检活动的依据建立在一系列技术标准和管理标准体系的基础之上。

(4) 完善的检测手段和维修设施

点检制把传统的静态管理方法和设备故障的现场维修有机的结合。通过日常的点检活动，辅之以有效的管理措施，配备有一套完善的检测手段和维修设施及建立一支快速应变的专业检修队伍，把检查和修理有机的结合起来。适应了大生产的节奏，解决了生产和检修之间的矛盾，避免了大中小修的盲目性，又能满足

了现场抢修的需求。

第六节 设备故障管理

设备故障管理的重要组成部分，如何充分利用设备在运行中出现的故障信息，从不同角度进行数理分析和故障预测，并采取积极措施，降低设备故障损失，对设备管理工作具有重要意义。

一、设备故障的概念及分类

1. 在《设备管理维修术语》一书中，将故障定义为“设备丧失规定的功能”。这一概念可包括如下内容。

① 引起系统立即丧失其功能的破坏性故障。

② 与设备性能降低有关的性能上的故障。

③ 即使设备当时正在生产规定的产品，而当操作者无意或蓄意使设备脱离正常的运转时。显然，这里故障不仅仅是一个状态的问题，而且直接与我们的认识方法有关。一个确实处于故障状态的设备，但如果它不是处于工作状态或未经检测，故障就仍然可以潜伏下来，从而，也就不可能被人们发现。

故障这一术语，在实际使用时常常与异常、事故等词语混淆。所谓异常，意思是指设备处于不正常状态，那么，正常状态又是一种什么状态呢？如果连判断正常的标准都没有，那么就不能给异常下定义。对故障来说，必须明确对象设备应该保持的规定性能是什么，以及规定的性能现在达到什么程度，否则，同样不能明确故障的具体内容。假如某对象设备的状态和所规定的性能范围不相同，则要

认为该设备的异常即为故障。反之，假如对象设备的状态，在规定性能的许可水平以内，此时，即使出现异常现象，也还不能算作是故障。总之，设备管理人员必须把设备的正常状态、规定性能范围，明确地制订出来。只有这样，才能明确

异常和故障现象之间的相互关系，从而，明确什么是异常，什么是故障。如果不这样做就不能免除混乱。

事故也是一种故障，是侧重安全与费用上的考虑而建立的术语，通常是指设备失去了安全的状态或设备受到非正常损坏等。

二、设备故障的分类

设备故障按技术性原因，可分为四大类：即磨损性故障、腐蚀性故障、断裂性故障及老化性故障。

(1) 磨损性故障

由于运动部件磨损，在某一时刻超过极限值所引起的故障。所谓磨损是指机械在工作过程中，互相接触做相互运动的对偶表面，在摩擦作用下发生尺寸、形状和表面质量变化的现象。按其形成机理又分为粘附磨损、表面疲劳磨损、腐蚀磨损、微振磨损等四种类型。

(2) 腐蚀性故障

按腐蚀机理不同又可分化学腐蚀、电化学腐蚀和物理腐蚀三类。

① 化学腐蚀：金属和周围介质直接发生化学反应所造成的腐蚀。反应过程中没有电流产生。

② 电化学腐蚀：金属与电介质溶液发生电化学反应所造成的腐蚀。反应过程中有电流产生。

③ 物理腐蚀：金属与熔融盐、熔碱、液态金属相接触，使金属某一区域不断熔解，另一区域不断形成的物质转移现象，即物理腐蚀。

在实际生产中，常以金属腐蚀不同形式来分类。常见的有八种腐蚀形式，即：均匀腐蚀、电偶腐蚀、缝隙腐蚀、小孔腐蚀、晶间腐蚀、选择性腐蚀、磨损性腐蚀、应力腐蚀。

(3) 断裂性故障

可分脆性断裂、疲劳断裂、应力腐蚀断裂、塑性断裂等。

① 脆性断裂：可由于材料性质不均匀引起；或由于加工工艺处理不当所引起（如在锻、铸、焊、磨、热处理等工艺过程中处理不当，就容易产生脆性断裂）；也可由于恶劣环境所引起；如温度过低，使材料的机械性能降低，主要是指冲击韧性降低，因此低温容器（-20℃以下）必须选用冲击值大于一定值的材料。再如放射线辐射也能引起材料脆化，从而引起脆性断裂。

② 疲劳断裂：由于热疲劳（如高温疲劳等）、机械疲劳（又分为弯曲疲劳、扭转疲劳、接触疲劳、复合载荷疲劳等）以及复杂环境下的疲劳等各种综合因素共同作用所引起的断裂。

③ 应力腐蚀断裂：一个有热应力、焊接应力、残余应力或其他外加拉应力的设备，如果同时存在与金属材料相匹配的腐蚀介质，则将使材料产生裂纹，并以显著速度发展的一种开裂。如不锈钢在氯化物介质中的开裂，黄铜在含氨介质中的开裂，都是应力腐蚀断裂。又如所谓氢脆和碱脆现象造成的破坏，也是应力腐蚀断裂。

④ 塑性断裂：塑性断裂是由过载断裂和撞击断裂所引起。

(4) 老化性故障。上述综合因素作用于设备，使其性能老化所引起的故障。

三、设备故障分析与管理

在故障管理工作中，不但要对每一项具体的设备故障进行分析，查明发生的原因和机理，采取预防措施，防止故障重复出现。同时，还必须对本系统、企业全部设备的故障基本状况、主要问题、发展趋势等有全面的了解，找出管理中的薄弱环节，并从本企业设备着眼，采取针对性措施，预防或减少故障，改善技术状态。因此，对故障的统计分析是故障管理中必不可少的内容，是制定管理目标的主要依据。

1. 故障信息数据收集与统计

(1) 故障信息的主要内容

①故障对象的有关数据有系统、设备的种类、编号、生产厂家、使用经历等；

②故障识别数据有故障类型、故障现场的形态表述、故障时间等；

③故障鉴定数据有故障现象、故障原因、测试数据等；

④有关故障设备的历史资料。

(2) 故障信息的来源

①故障现场调查资料；

②故障专题分析报告；

③故障修理单；

④设备使用情况报告（运行日志）；

⑤定期检查记录；

⑥状态监测和故障诊断记录；

⑦产品说明书，出厂检验、试验数据；

⑧设备安装、调试记录；

⑨修理检验记录。

2. 故障分析内容

故障原因分类

开展故障原因分析时，对故障原因种类的划分应有统一的原则。因此，首先应将本企业的故障原因种类规范化，明确每种故障所包含的内容。划分故障原因种类时，要结合本企业拥有的设备种类和故障管理的实际需要。其准则应是根据划分的故障原因种类，容易看出每种故障的主要原因或存在的问题。当设备发生故障后进行鉴定时，要按同一规定确定故障的原因（种类）。当每种故障所包含的内容已有明确规定时，便不难根据故障原因的统计资料发现本企业产生设备故障的主要原因或问题。

表为某厂故障原因的分类。

序 号	原 因 类 别	包 含 的 主 要 内 容
1	设计问题	原设计结构、尺寸、配合、材料选择不合理等。
2	制造问题	原制造的机加工、铸锻、热处理、装配、标准元器件等存在问题。
3	安装问题	基础、垫铁、地脚螺栓、水平度、防振等问题。
4	操作保养不良	不清洁，调整不当，未及时清洗换油，操作不当等。
5	超负荷，使用不合理	加工件超规格，加工件不符合要求，超切削规范，加工件超重，设备超负荷等。
6	润滑不良	不及时润滑，油质不合格，油量不足或超量，油的牌号种类错误。加油点堵塞，自动润滑系统工作不正常等。
7	修理质量问题	修理、调整、装配不合格，备件、配件不合格，局部改进不合理等
8	自然磨损劣化	正常磨损，老化等
9	自然灾害	由雷击、洪水、暴雨、塌方、地震等引起的故障
10	操作者马虎大意	由于操作者工作时精神不集中引起的故障
11	操作者技术不熟练	由于操作者工作时精神不集中引起的故障
12	违章操作	一般指刚开始操作一种新设备，或工人的技术等级偏低 有意不按规章操作

3. 典型故障分析

在原因分类分析时，由于各种原因造成的故障后果不同，所以，通过这种分析方法来改善管理与提高经济性的效果并不明显。

典型故障分析则从故障造成的后果出发，抓住影响经济效果的主要因素进行分析，并采取针对性的措施，有重点地改进管理，以求取得较好的经济效果。这样不断循环，效果就更显著。

影响经济性的三个主要因素是：故障频率、故障停机时间和修理费用。故障频率是指某一系统或单台设备在统计期内（如一年）发生故障的次数；故障停机时间是指每次故障发生后系统或单机停止生产运行的时间（如小时）。以上两个因素都直接影响产品输出，降低经济效益。修理费用是指修复故障的直接费用损失，包括工时费和材料费。

典型故障分析就是将一个时期内（如一年）企业（或车间）所发生的故障情况，根据上述三个因素的记录数据进行排列，提出三组最高数据，每一组的数量可以根据企业的管理力量和发生故障的实际情况来定，如定 10 个数，则分别将三个因素中最高的 10 个数据的原始凭证提取出来，根据记录的情况进一步分析和提出改进措施。

四、设备故障管理的程序

建立企业设备故障管理的程序是企业建立事故预警机制的第一步，正确的制定设备故障管理的程序意义重大。要做好设备故障管理，必须认真掌握发生故障的原因，积累常发故障和典型故障资料和数据，开展故障分析，重视故障规律和故障机理的研究，加强日常维护、检查和预修。

设备故障管理的目的是在故障发生前通过设备状态的监测与诊断，掌握设备有无劣化情况，以期发现故障的征兆和隐患，及时进行预防维修，以控制故障的发生；在故障发生后，及时分析原因，研究对策，采取措施排除故障或改善设备，以防止故障的再发生。

要做好设备故障管理，必须认真掌握发生故障的原因，积累常发故障和典型故障资料和数据，开展故障分析，重视故障规律和故障机理的研究，加强日常维护、检查和预修。这样就可避免突发性故障和控制渐发性故障。

设备故障管理的程序如下：

① 做好宣传教育工作，使操作工人和维修工人自觉地遵守有关操作、维护、检

查等规章制度，正确使用和精心维护设备，对设备故障进行认真地记录、统计、分析。

② 结合本企业生产实际和设备状况及特点，确定设备故障管理的重点。

③ 采用监测仪器和诊断技术对重点设备进行有计划的监测，及时发现故障的征兆和劣化的信息。一般设备可通过人的感官及一般检测工具进行日常点检、巡回检查、定期检查（包括精度检查）、完好状态检查等，着重掌握容易引起故障的部位、机构及零件的技术状态和异常现象的信息。同时要建立检查标准，确定设备正常、异常、故障的界限。

④ 为了迅速查找故障的部位和原因，除了通过培训使维修、操作工人掌握一定的电气、液压技术知识外，还应把设备常见的故障现象、分析步骤、排除方法汇编成故障查找逻辑程序图表，以便在故障发生后能迅速找出故障部位与原因，及时进行故障排除和修复。

⑤ 完善故障记录制度。故障记录是实现故障管理的基础资料，又是进行故障分析、处理的原始依据。记录必须完整正确。维修工人在现场检查和故障修理后，应按照“设备故障修理单”的内容认真填写，车间机械员（技师）与动力员按月统计分析报送设备动力管理部门。

⑥ 及时进行故障的统计与分析。车间设备机械员（技师）、动力员除日常掌握故障情况外，应按月汇集“故障修理单”和维修记录。通过对故障数据的统计、整理、分析，计算出各类设备的故障频率、平均故障间隔期，分析单台设备的故障动态和重点故障原因，找出故障的发生规律，以便突出重点采取对策，将故障信息整理分析资料反馈到计划部门，以便安排预防修理或改善措施计划，还可以作为修改定期检查间隔期、检查内容和标准的依据。根据统计整理的资料，可以绘出统计分析图表，例如单台设备故障动态统计分析表是维修班组对故障及其他进行目视管理的有效方法，既便于管理人员和维修工人及时掌握各类型设备发生故障的情况，又能在确定维修对策时有明确目标。

⑦ 针对故障原因、故障类型及设备特点的不同采取不同的对策。对新设置的设备应加强使用初期管理，注意观察、掌握设备的精度、性能与缺陷，做好原始记录。在使用中加强日常维护、巡回检查与定期检查，及时发现异常征兆，采取调整与排除措施。重点设备进行状态监测与诊断。建立灵活机动的具有较高技术水

平的维修组织，采用分部修复、成组更换的快速修理技术与方法。及时供应合格备件。利用生产间隙整修设备。对已掌握磨损规律的零部件采用改装更换等措施。

⑧ 做好控制故障的日常维修工作。通过区域维修工人的日常巡回检查和按计划进行的设备状态检查所取得的状态信息和故障征兆，以及有关记录、分析资料，由车间设备机械员（技师）或修理组长针对各类型设备的特点和已发现的一般缺陷，及时安排日常维修，便于利用生产空隙时间或周末，做到预防在前，以控制和减少故障发生。对某些故障征兆、隐患，日常维修无力承担的，则反馈给计划部门另行安排计划修理。

⑨ 建立故障信息管理流程图。

五、设备事故的分析及处理

1. 设备事故分析

设备发生事故后，要立即切断电源，保持现场，采取应急措施，防止损失扩大。按设备分级管理的有关规定上报，并及时组织有关人员根据“三不放过”的原则（设备事故原因分析不清不放过、设备事故责任者与群众未受到教育不放过、没有防范措施不放过），进行调查分析，严肃处理，从中吸取经验教训。一般设备事故由设备事故单位负责人组织有关人员，在设备管理部门参加下分析事故原因。如设备事故性质具有典型教育意义，由设备管理部门组织全厂设备人员、安全员和有关人员参加的现场会共同分析，使大家都受教育。重大及特大设备事故由企业主管设备副厂长（总工程师）主持，组织设备、安全、技术部门和事故有关人员进行分析。必要时还可组织设备事故调查组，吸收相近专业的技术人员参加，分析设备事故原因，制定防范措施，提出处理意见。

2. 设备事故分析的基本要求

①要重视并及时进行分析。分析工作进行得越早、原始数据越多，分析设备事故原因和提出防范措施的根据就越充分，要保存好分析的原始数据。

②不要破坏发生设备事故的现场，不移动或接触事故部位的表面，以免发生其他情况。

③要严格查看设备事故现场，进行详细记录和照相。

④如需拆卸发生设备事故部件时，要避免使零件再产生新的伤痕或变形等。

⑤分析设备事故时，除注意发生事故部位外，还要详细了解周围环境，多走访有

关人员，以便掌握真实情况。

⑥分析设备事故不能凭主观臆测做出结论，要根据调查情况与测定数据进行仔细分析、判断。

3. 认真做好设备事故的抢修工作，把损失控制在最小程度

① 在分析出设备事故原因的前提下，积极组织抢修，减少换件，尽可能的减少修复费用。

② 设备事故抢修需外车间协作加工的，必须优先安排，不得拖延修期，物资部门应优先供应检修事故用料。尽可能的减少停修天数。

4. 做好设备事故的上报工作

① 发生设备事故单位，应在事故发生后 3 天内认真填写设备事故报告单，报送设备管理部门。一般设备事故报告单由设备管理部门签署处理意见，重大设备事故及特大设备事故由厂主管领导批示后报上级主管部门。

② 设备事故经过分析、处理并将设备修复后，应按规定填写维修记录，由车间设备技师（机械员）负责计算实际损失填入设备事故报告损失栏内，报送设备管理部门。

③ 企业发生的各种设备事故，设备管理部门每季应统计上报。重大、特大事故应在季报表内附上事故概况与处理结果。

5. 认真做好设备事故的原始记录

设备事故报告记录应包括以下内容。

① 设备编号、名称、型号、规格及设备事故概况。

② 设备事故发生的前后经过及责任者。

③ 设备损坏情况及发生原因，分析处理结果。重大、特大事故应有现场照片。

④ 发生事故的设备进行修复前后，均应对其主要精度、性能进行测试；设备事故的一切原始记录和有关资料，均应存入设备档案。凡属设备设计、制造质量的事故，应将出现的问题反馈到原设计、制造单位。

6. 设备事故处理

国务院发布的《全民所有制工业交通企业设备管理条例》第三十八条规定“对玩忽职守，违章指挥，违反设备操作、使用、维护、检修规程，造成设备事故和经济损失的职工，由其所在单位根据情节轻重，分别追究经济责任和行政责任；构

成犯罪的，由司法机关依法追究刑事责任”。

设备事故发生后，必须遵循“四不放过”原则进行处理，任何设备事故都要查清原因和责任，对事故责任者按情节轻重、责任大小、认错态度分别给予批评教育、行政处分或经济处罚，触犯刑律的要依法制裁，并制订防范措施。

对设备事故隐瞒不报或弄虚作假的单位和个人，应加重处罚，并追究领导责任。

对于设备和动能供应过程中发生的未遂事故应同样给予高度重视，本着“三不放过”的原则，分析原因和危害，从中吸取教训，采取必要措施，防止类似事故的发生。

第七节 实验实训课题

卧式车床点检卡的制定

1. 实训目的

通过卧式车床点检卡的设计，进一步理解掌握点检的概念。

2. 实训条件

卧式车床一台，设备说明书及相关技术资料。

3. 实训要求

- (1) 点检卡应反应点检的内涵
- (2) 点检记检卡要反应设备各部分的性能状态。

4. 点检卡包括内容

(1) 设备

名称、型号、设备编号、使用车间、点检操作者。

(2) 点检部位和内容

运动及传动部分、床身及导轨部分、操纵部分、润滑和冷却部分、照明和电气控制部分、附件部分。

(3) 点检日期及结果记录

记录结果分为完好（√）、异常（△）、已修好（○）、待修（×）四种。

思考题：

1. 设备的三级保养的内容是什么?
2. 传统的分类方法将修理分为哪三种?
3. 什么是修理周期、修理间隔期、修理周期结构?
4. 点检定修制概念的定义是什么?
5. 设障与事故的概念是什么?
6. 设备按其发生的性质可分为哪三类?

第二章 机械设备维修的基本概念

第一节 机械零件的失效

一、零件的变形

一个结构或零件，特别是基础零件在外加载荷的作用下发生变形，将导致零部件之间相互位置精度遭到破坏，影响各组成零件的相互关系。据估算，变形对零部件寿命的影响在 30% 左右。对于金属切削机床类设备，由于精度要求较高，变形的影响就更加突出。在修理实践中发现，修理质量低、大修周期短的重要原因就是零部件的变形。

1. 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强度，则产生塑性变形，应力消除后变形不能完全恢复，被保留下来的部分变形就是塑性变形。机械零件的变形有以下四个方面的原因：

(1) 毛坯制造 铸造、锻造、焊接等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（构件在制造过程中，将受到来自各种工艺

等因素的作用与影响；当这些因素消失之后，若构件所受到的上述作用与影响不能随之而完全消失，仍有部分作用与影响残留在构件内，则这种残留的作用与影响称为残留应力或残余应力。），尤其是铸造毛坯，形状复杂，厚薄不均，在浇铸后的冷却过程中，形成拉伸、压缩等不同的应力状态，可能发生变形或断裂。经热处理的零件也存在内应力。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，零件会产生变形。

(2) 机械加工 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（所谓内应力，是指当外部载荷去掉以后，仍残存在物体内部的应力。它是由于材料内部宏观或微观的组织发生了不均匀的体积变化而产生的。），引起变形。如果毛坯是在有内应力的状态下进行切削加工，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。对毛坯虽然安排了消除内应力的工序，在切削加工中也达到了精度要求，然而制成后的零件经过一段时间，在残余应力的长期作用下，会发生内应力松弛而变形（就是弹性极限降低，且产生减少内应力的塑性变形）。特别是箱体类零件和长而大的基础零件，因厚薄过渡很多，极易产生残余应力，而发生内应力松弛的变形。

(3) 操作使用 工程机械、矿山机械、冶金设备、锻压设备及其他热加工机械设备等，在较恶劣的工况下工作，其个别零部件在极限载荷或超载荷的情况下运行，高温导致零部件屈服强度降低，从而使零附件产生变形。由于操作不当使设备过载或产生高温，从而使零部件变形，直至因变形过大而使零部件失效。

(4) 修理质量 在设备修理过程中，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（磨削导轨），制定修复工艺、确定定位基准和安装夹紧零件时，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。特别是采用焊接、热处理、塑性变形等修复工艺方法修复零件时，没有考虑热应力、相变应力（相变应力是由于某些合金在凝固后冷却过程中产生相变，随之带来体积尺寸变化，或热处理过程中因工件不同部位组织转变不同步而产生的内应力，不同部位在不同时间内发生相变所致。）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。

2. 减轻零件变形危害的措施

零件变形是不可避免的，我们只能根据其规律，采取相应的措施，减轻其危害。

1) 在机械设计中不仅要考虑零件的强度，还要考虑零件的刚度（刚度是指材料在受力时抵抗弹性变形的能力。是材料弹性变形难易程度的一个象征。）和制造、装配、使用、拆卸修理等有关问题。合理选择零件的结构尺寸，改善零件的受力状况，使零件的壁厚尽量均匀，以减少毛坯制造时的变形和残余应力。同时在没设计中还应注意应用新技术、新工艺和新材料。

2) 在机械加工中要采取一系列工艺措施防止和减小变形，对毛坯要进行时效处理以消除其残余内应力。时效处理可从进行自然时效处理（在自然条件下，把毛坯在露天存放 1~2 年，内应力逐渐消失）也可以进行人工时效处理（将毛坯高温退火、保温缓冷而消除内应力），还可以利用振动的作用消除内应力。在制定零件机械加工工艺规程或在机械加工过程中，均要在工序和工步安排上、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。在切削加工中和修理中减少基准的转换，保留切削加工基准留给修理时使用，如保留轴类零件的中心孔等。

3) 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。

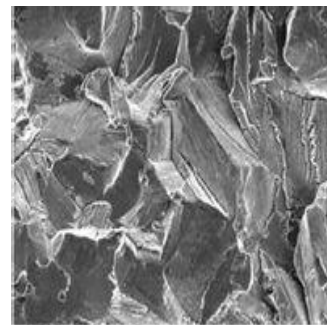
4) 在设备修理中，不仅要恢复零件的尺寸、配合精度、表面质量等，还要检查和修复主要零件的形状和位置误差，制定出与变形有关的标准和修理规范。尤其是要注意铸件的修理，进行必要的时效处理以消除其残余内应力，防止变形。机械加工修复零件时，注意定位基准表面本身的精度，并要注意切削加工时和装夹的变形。采用热加工和压力加工工艺修复零件时，要采取相应措施来减小应力和变形，如施焊时，尽量减小热影响区，非施焊表面采取降温措施等。

二. 零件的断裂

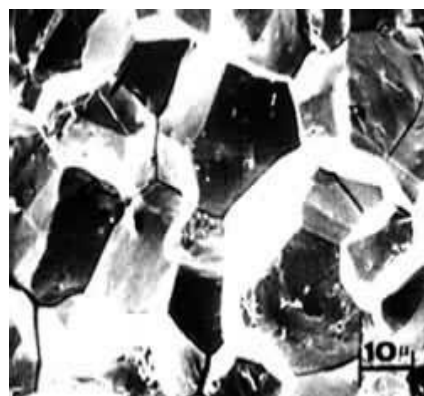
断裂是指在外力的作用下发生的几个原子间距的正向分离与切向分离，断裂是材料或零件的一种复杂现象，在不同的力学、物理和化学环境下会有不同的断裂形式。例如，机械零件在循环应力作用下会发生疲劳断裂，在高温持久应力作

用下会发生蠕变断裂，在腐蚀环境下会发生应力腐蚀或腐蚀疲劳。在实际工程应用上常根据工程构件或机械零件的断口的宏观形态特征将断裂分为韧性断裂和脆性断裂，或按载荷性质分为一次加载断裂和疲劳断裂。

1) 韧性断裂是超过强度极限前发生韧性变形（韧性变形是指物体经明显的应变（大于 5%~10%）才发生破裂的变形。在构造地质学中也用韧性变形表述岩石的流动变形现象，其具体变形机制包括碎裂流动、塑性流动和滑移流动等）。后而发生断裂多数为穿晶断裂，即裂缝是割断晶粒



而穿过，一般是在切应力（物体由于外因(受力、湿度变化等)而变形时，在物体内各部分之间产生相互作用的内在所考察的截面某一点单位面积上的内力称为应力。同截面相切的称为剪应力或力，以抵抗这种外因的作用，并力图使物体从变形后的位置恢复到变形前的位置。称为切应力）。作用发生，又称为切变断裂。

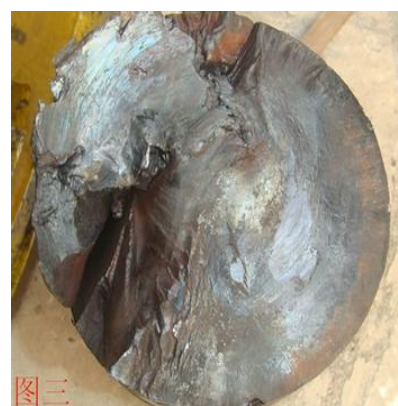


2) 脆性断裂一般发生在应力达到条件屈服强度前，没有或只有少量的塑性变形，多为沿晶界扩展而突然发生。又称晶界断裂，断口呈结晶状，平滑而光亮，称为解理面，因此这种断裂也称为解理断裂。低温、高应变速率、应力集中、晶粒粗大和脆性材料均有利于解理，由于裂纹扩展速率快，往往造成严重的破坏事故。

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。

3) 一次加载断裂是零件在一次静拉伸、静压缩、静扭转、静弯曲或一次冲击下的断裂。

4) 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。据估计机械零件的断裂失效中疲劳断裂失效占 80%左右。



1. 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 3—1 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

从晶界与麦面相交处开始。材料表面层有夹杂物、零件表面加工痕迹，表面划伤及其他缺陷也可认为是一些微观裂纹。微观裂纹形成后，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。很多裂纹的深度增加，

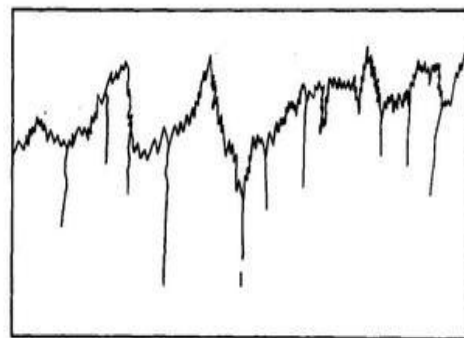


图 3-1 在滑移带中产生的缺口峰

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，可以定量判别哪些裂纹会发展，哪些裂纹不会发展，已经有裂纹的零件还能安全工作多少时间。

几乎所有的零件，由于冶金、机械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。断由裂发展而来，断裂事故的后果是严重的，所以目前修理中对发现裂纹的零件都要加以修复或更换，重要零件一旦发现裂纹则立即报废。

2. 减轻断裂危害的措施

影响断裂的因素是多方面的，要减轻断裂的危害，只有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) 在机械设计中要尽量减少应力集中 如焊缝通常是疲劳断裂失效的起源区域，对 T 形焊接接头，采取适当的几何形状，焊后打磨圆角或钻孔，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采用单一半径圆角能成倍增加疲劳寿命。选择适当的材料也十分重要，应全面考虑材料的力学性能，尤其是设计重截荷结构或零件时，往往倾向于选择高强度材料，材料屈服强度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”，如计金属结构时采用组合肋板。

(2) 在机械制造工艺方面 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力学性能的差别提高疲劳寿命，如锻造螺柱的疲劳寿命是机械加螺柱的疲劳寿命的三倍，滚压螺纹

的疲劳寿命也可延长很多。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，也能延长其疲劳寿命。

(3) 机械设备在使用中的注意事项 要注意及时发现零件裂纹，定期进行无损探伤；尽量减轻零件的腐蚀损伤，因为腐蚀会增加裂纹扩展的速率；尽可能减少设备运行中各部分的温差，如发动机起动时各部分温差很大，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加速有关零件疲劳损坏；设备使用中还要严格避免设备超载并尽量减少冲击。

(4) 机械设备在修理中注意事项 要注意以下几点：

1) 注意对断裂零件进行断口分析，以确定零件断裂的形式、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。分析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，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。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。

2) 裂纹和断裂零件的修复方法有很多，如焊接、粘接、铆接等。对一般零件上的裂纹，可以钻止裂孔以防止或延缓其扩展，也可以采用裂纹防止结构，如附上加强件；或者采用局部更换法，去除疲劳部分，再在去除部分处焊一块金属或进行堆焊；也可只去除疲劳裂纹部分，如疲劳裂纹往往发生在紧固件周围，可对紧固孔进行切削加工去除所有裂纹部分，并换用较大的紧固件，但只有全部去除裂纹部分才有效，该方法也称“去皮修理”。

3) 注意修理操作对零件断裂的影响。如修理中对零件进行拆装、存放、机械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质量。对螺纹固定联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。螺柱与螺钉对装配表面的相互位置精度也十分重要，螺柱斜度大不仅将造成应力集中，还将造成附加弯曲力矩，其寿命全大大降低。

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值，尤其是过渡圆角部分的表面粗糙度值要小，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) 对容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。

四、零件的蚀损

零件的蚀损形式有腐蚀和气蚀。腐蚀是在周围介质作用下，零件表面发生的以化学或电化学反应为主的磨损。它与其他形式的磨损相伴发生、相互影响和相互促进，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。而气蚀是一种比较复杂的破坏现象，它不仅是机械作用，还有化学反应、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、船舶螺旋桨等部位。

1. 腐蚀

腐蚀的机理是化学反应或电化学作用。金属与气体（特别是高温气体）是非导电液体介接触，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原电池，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



蒸气的凝结水，加上溶解其中的各种气体和污染物形成电解液。不同的金属零件接触金属组成“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，腐蚀磨损分为以下两个方面：

(1) 氧化磨损 金属与空气中的氧作用形成氧化磨损是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，因而氧化膜起了保护作用。

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要轻微很多。

(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。

1) 不同的合金元素抵抗特殊介质腐蚀的差别很大，如镍、铬容易生成化学结合力较高的致密钝化膜（钝化是使金属表面转化为不易被氧化的状态，而延缓金属的腐蚀速度的方法。另外，一种活性金属或合金，其中化学活性大大降低，而成为贵金属状态的现象，也叫钝化。），且不容易再腐蚀，可制成“不锈钢”；钨、钼抗高温腐蚀；碳化钨、碳化钛组成的硬质合金，都具有高抗腐蚀能力。含铅、锡的滑动轴承材料容易被润滑油的酸性物质腐蚀剥落；含银、铜的轴承材料容易受高温腐蚀磨损。

金属腐蚀是一个具有普遍性的严重问题，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课题。其主要措施有：

1) 根据工作环境条件选择合适的耐

蚀材料，尽量以塑料代替金属；进行合理的结构设计，零件外形要简化，表面粗糙度值的大小要合适，避免形成原电池的条件。

2) 覆盖金属保护层如镍、铬、锌等，覆盖方法有电镀、喷涂、化学镀等；非金保护层如涂装、塑料、橡胶、搪瓷等；化学保护层如磷化、钝化、氧化等；表面合金化如渗氮、渗铬、渗铝等。

3) 进行电化学保护，用比零件材料化学性能更活泼的金属铆接在零件上，人为形成原电池，零件成为阴极受到保护，从而不会发生电化学腐蚀。

进行介质处理，将有机缓蚀剂或无机缓蚀剂（缓蚀剂以适当的浓度和形式存在于环境（介质）中时，可以防止或减缓材料腐蚀的化学物质或复合物，因此缓蚀剂也可以称为腐蚀抑制剂。它的用量很小（0.1%~1%），但效果显著。这种保护

金属的方法称缓蚀剂保护。缓蚀剂用于中性介质（锅炉用水、循环冷却水）、酸性介质（除锅垢的盐酸，电镀前镀件除锈用的酸浸溶液）和气体介质（气相缓蚀剂）。加入相应介质，减弱零件的腐蚀。

2. 气蚀

气蚀的机理是当零件与液体接触并相对运动，接触处局部压力低于液体蒸发压力时，液体形成气泡，溶解的气体也会析出形成气泡，这些气泡运行到高压区，气泡被迫溃灭的瞬间，产生极大的冲击力和高温，这种现象称为水击现象。气泡形成与溃灭的反复作用，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，直到穿透零件或使零件产生裂纹而损坏，因此又称为穴蚀。

气蚀破坏是近年来才发现的突出问题，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，有时缸套的磨损仅有 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由于外壁穴蚀。

减轻穴蚀危害的措施有：

- 1) 减小零件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，如铸铁成分中最容易穴蚀的是片状石墨，而球状或团状石墨耐穴蚀性好，珠光体比铁素体耐穴蚀。此外，不锈钢、尼龙也耐穴蚀。
- 3) 零件表面涂防穴蚀材料，如塑料、陶瓷、表面镀铬等，减小表面粗糙值也有利于减轻穴蚀。
- 4) 改进零件结构，减少液体流动时产生涡流的现象。

介质中添加乳化油，可减小气泡爆破时的冲击力，以减轻穴蚀。

第二节 零件的磨损

磨损是工作表面在摩擦时沿其表面发生的微观或宏观变化过程的结果。随着这个过程进行,可能产生表面材料的位移或脱离而使材料数量减少或表面层性质改变等。一切有滑动或滚动接触的机械零件都会受到一定程度的磨损,如轴承、齿轮、密封圈、导轨、活塞环、齿条、制动器和凸轮等。这些零件的磨损范围包括了轻度的氧化磨损及严重的快速磨损并使表面粗化,这些磨损是否构成零件的失效,必须看其是否危及零件的实际工作能力。如一个液压阀的精密配合阀柱,即使出现了轻微的抛光型磨损,也能导致严重的泄漏而失效;但如岩石破碎机的锤头,尽管有严重的压凹、碰伤仍能正常地工作。因此进行磨损失效分析时必须进行科学的分析和判断,同时在磨损失效分析时除了机械磨损因素外,还应考虑化学腐蚀所引起的磨损因素,以及温度和应力的范围。

一、 磨损的类型

磨损分类的方法很多,按表面接触性质或磨损机理可分为从以下几种:

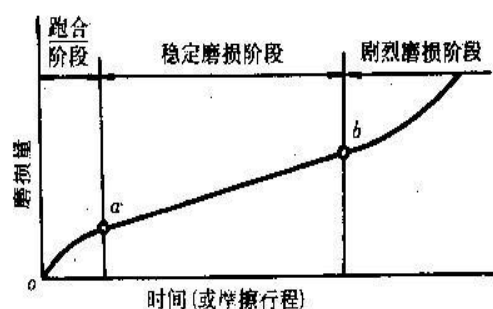
- (1) 按接触表面的性质分类 固体表面接触时,有磨粒磨损、固体磨损、液体磨损和气体磨损。
- (2) 按磨损机理分类 有磨粒磨损、粘着磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损、微动磨损、气蚀磨损与冲蚀磨损。

二、 磨损的一般规律

由于磨损现象的错综复杂,影响磨损的因素很多,磨损是一个随机变量,虽然人们在探讨磨损的规律方面作过许多深入的试验研究,但是仍没有形成统一的理论,已有的某些理论也还不够完善。目前比较成熟的磨损规律是磨损与时间的关系、磨损与压强的关系和磨损与相对滑动速度的关系。

机械设备在稳定的外部工况条件下,其零部件的磨损规律,如图所示。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) 初期磨损阶段(又称跑合阶段) 新的摩擦副表面都具有一定的表面粗糙度值,实际接触面积较小,单位接触面积的实际载荷较大。因此,在运转初期,机械摩擦



磨损及其产生的微粒造成的磨料磨损，使磨损速度较快。但随着跑合的进展，表面凸起逐渐磨平，表面粗糙度值减小，实际接触面积不断增大，单位面积压力减小，磨损速度逐渐平缓，正常工作条件逐渐形成，进入稳定磨损期。

(2) 稳定磨损阶段（又称工作磨损阶段） 零件经过短期跑合之后，即进入稳定磨损阶段，在此阶段，工作时间最长，磨损速度较小。如图中的曲线线段的斜率就是磨损速率，横坐标时间就是零件的耐磨寿命，磨损量与时间成正比，这就是零件的耐磨寿命，磨损量与时间成正比，这就是零件的正常使用期限。

(3) 急剧磨损阶段（又称强烈磨损阶段） 经过较长时间的稳定磨损以后，摩擦表面之间的间隙和表面形态改变，表面质量变坏，迫使其摩擦副表面间的工作状况发生剧烈的变化，以金属的直接接触代替原来的液体摩擦或边界摩擦，因而导致强烈的磨损。机器运转时出现附加的冲击载荷、振动和噪声，温度升高，机器在这一阶段的磨损容易发生零件完全失效，最终导致故障和事故。

三、减少磨损的途径

根据磨损的理论研究，结合生产实践经验，可采取以下的措施来减少磨损：

1) 正确选择材料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，钢中有害的杂质比例低。采用抗疲劳磨损的合金材料，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) 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) 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) 合理进行摩擦副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保证有利表面保护膜的形成、压力均匀分布、容易散热、容易排出磨屑、防止外界磨粒进入等，如滑动轴承的油沟不应设计在油膜承载区内。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，这是由于活塞环成本较低，更换也容易；转移原理也是为了保护重要零件，如软金属合金衬套与曲轴，衬套磨损自身保护了曲轴。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，由于衬套材料熔点很低，可使轴颈在短期内避免损伤。

5) 设备的使用和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，科学地维护和理，严格遵守操作规程等可以大大提高设备的使用寿命。

实例 水泵轴类零件的修复技术

磨损的零件，大部分可以用各种各样的方法修复后重新使用。修复方法应概括为“十二字”作业法：即焊、补、喷、镀、铆、银、配、改、校、涨、缩、粘等。这些方法一般要有较高的技术和一定的经验，有专门技工来修复零件。修复时要考虑保证修复的零件有足够的强度与刚度，恢复原有的尺寸公差、形位公差、表面粗糙度以及硬度，修理成本要低于制造成本，零件有一定耐用度等。

对轴本身的缺陷进行修理，更换轴上所装的零件；恢复轴上零件和轴之间的配合；改变轴在空间或机座上的位置等，都是对轴进行的检修。这里只讨论轴本身的检修。

一、轴的拆卸

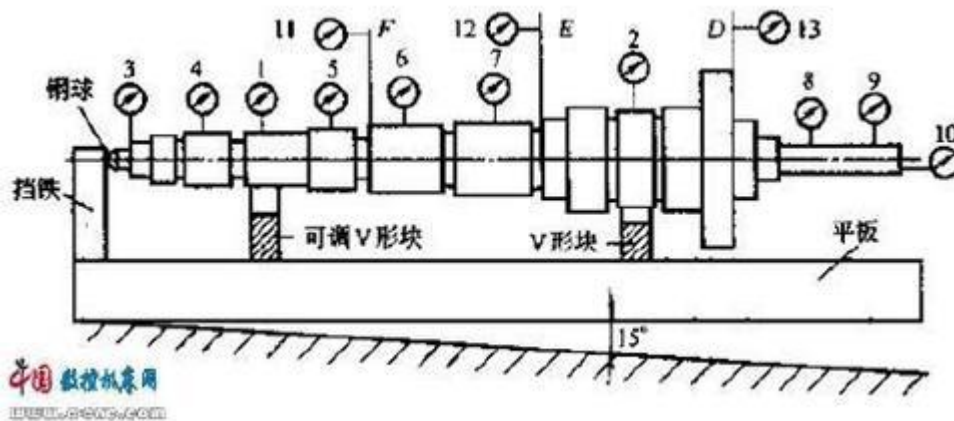
按轴承座的不同构造，轴的拆卸程序分为两种：一是先把轴部件作为一个整体从机座上或机体中拆出，再拆卸成零件；二是要把个别零件从轴上拆下或将众多零件从轴上拆下后，其余部分才能作为一个整体从机械中拆出。拆卸轴时必须注意以下几个问题：

1. 哪些要先拆下一个零件或一些零件后才能把轴(部件)作为一整体拆下的情况，若忽视这一点，只按整体拆比的办法去做，容易损坏零件或机体。
2. 用滚动轴承支在机体不剖分的座孔中的轴，在拆卸时一定要向轴承外径大的一端抽出。在这种条件下，大端轴承外圈一定有挡盖或孔用挡圈定位。拆卸时可能忽视了挡圈，在拆轴前没有把它取出。

二、轴的检查

拆卸的轴要马上进行清洗和检查，并做好有关记录，以供下一步修理和装配时参考。

1. 磨损检查:是检查轴的磨损和缺陷情况。轴的磨损主要是轴颈磨损后的椭圆度、圆锥度及轴颈的表面情况。这些用一般工具、仪器(卡钳、卡尺、千分尺、千分表)等测量都能达到要求的检查精度。
2. 缺陷的检查:轴的缺陷主要是轴的弯曲变形、扭转变形、较大伤痕以及不明显的微小裂纹轴的弯曲挠度(图1)检查的简单方法是在车床上用千分表测量，或在轴的两端用滚动轴承作托架托起轴，用手动或机动旋转测量。测量点要选3-5处(两端、中间)，再综合分析确定其挠度直。千分表的触头要设置在未磨损处，防止轴的挠度和轴的磨损出现混淆。



对裂缝的检查要用仪器进行，在无仪器的条件下用简单的方法也可观察出来。比较有效的办法是在怀疑的部位用汽油擦干净，马上用粉笔涂上，若有裂纹，并有明显的黑线。对重要部位的主轴，在裂纹深度超过直径的5%，或扭转变形超过3°时，要进行更换。在特殊条件下，裂缝深度要控制在10%以内，扭角可控制在7°以内。对次要的轴，裂纹深度能达直径的15%左右，扭角达10°左右。

三、轴的修理

1. 轴颈磨损的修理

对直径250mm以下的轴颈磨损后，其椭圆度与圆锥度在0.1mm以下时，可用手工适当修复。最大也在0.2mm以下；而在条件困难的条件下，对次要轴要用手工加工方法修理。对重要轴及轴颈有较大磨损时，要用机床进行修整。不太重要部

位的轴,其许可磨损量能控制在直径的5%左右。在轴颈磨损数值超过允许数值或椭圆度超过允许范围时,对于两端支承的静定轴,都能在采用焊补增粗后,再加工进行修复,有条件的要采用振动堆焊、金属喷镀和电镀修复。

2. 轴的弯曲变形的修理

轴的弯曲变形的修理方法较多,在检修中,一般采用冷正直法和热正直法。

冷正直法:适用于直径100mm以下的轴,操作方法是把轴的两端垫好支点,再找平,在弯曲最大处的相反方向加垂直压力。

热正直法:采用的是在弯度最大的凸处局部进行加热,温度控制在600℃以下;再找平轴的两端支点,并在下边放承托垫板,保持轴线水平度,再在弯曲最大处加压力。温度慢慢上升,但不可过快。加热面积与压力大小要按具体情况确定。

3. 裂缝的修理

轴应使用电焊进行裂纹补焊。再轴的材料为低碳钢时,用低于轴本身含碳量的低碳钢焊条进行焊补。如轴为中碳钢材料,即使使用低于轴本身含碳量的焊条进行焊接,有时效果也不好。对于负荷重或冲击负荷较大的轴,效果会更差。其主要原因是焊接后增碳,应力集中,疲劳强度下降。但在焊接过程中要采取技术措施,如在焊接前,把破口预先做好,把轴缓慢加热到300℃左右再进行焊接,焊接后按要求进行热处理,效果就更好。

4. 断轴的修理

一是把焊接轴的端面车平并车成45°坡口,注意轴向长度尺寸不能变动。二是固定好要求焊接部分轴的位置,并再次测量轴向和径向尺寸是否合乎要求,用点焊法治圆周均分4-6点暂时焊住。三是用焦炭炉均匀加热,在温度缓慢上升到400℃左右时,马上进行焊接。此法适用于静载荷和承受转矩较小的断轴。轴不可有裂纹、严重腐蚀和损伤。轴与轴孔的配合要满足设计要求,超过规定时,允许采用涂镀、电镀或喷涂工艺进行修复,在强度许可条件下也可采用镶套处理。轴颈磨损后,加工修正量不可超过设计直径的5%。轴颈的圆度和圆柱度,一定要满足规定要求。

三章 机械设备的润滑

现代机械设备日益向大型化、高速化、连续化、自动化方向发展。为了延长机器寿命，合理地进行润滑，对于减少机件的摩擦和磨损起重要的作用。

润滑，就是在机械相对运动的接触面间加入润滑介质，使接触面间形成一层润滑膜，从而把两摩擦面分开，减小摩擦，降低磨损，延长机械设备的使用寿命。合理的润滑必须根据摩擦机件构造的特点及其工作条件，周密考虑和正确选择所需的润滑材料、润滑方法、润滑的装置和系统，严格监督按照规程所规定的润滑部位、周期、润滑材料的质量和数量进行润滑，妥善保管润滑材料以便使用时保证其质量。

机器的润滑有下列的主要作用和目的：

1、减少摩擦和磨损

在机器或机构的摩擦表面之间加入润滑剂，使相对运动的机件磨擦表面不发生或尽量少直接接触，从而降低摩擦系数，减少磨损。这是机器润滑最主要的目的。

2、冷却作用

机器在运转中，因摩擦而消耗的功全部转化为热量，引起摩擦部件温度的升高。当采用润滑油进行润滑时，不断从摩擦表面吸取热量加以散发，或供给一定的油量将热量带走，使摩擦表面的温度降低。

3. 防止锈蚀

摩擦表面的润滑油层使金属表面和空气隔开，保护金属不产生锈蚀。

4. 冲洗作用

润滑油的流动油膜，将金属表面由于摩擦或氧化而形成的碎屑和其他杂质冲洗掉，以保证摩擦表面的清洁。

此外，润滑油还有密封、减少振动和噪声的效能。

第一节 润滑原理及润滑材料

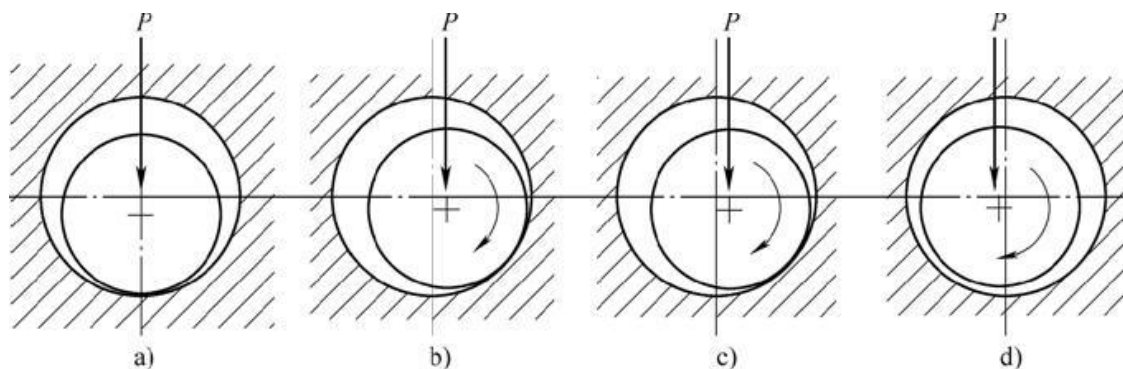
一. 润滑原理

磨擦副在全膜润滑状态下运行,这是一种理想的状况。但是,如何创造条件,采取措施来形成和满足全膜润滑状态则是比较复杂的工作。人们长期生产实践中不断对润滑原理进行了探索和研究,有的比较成熟,有的还正在研究。

1. 流体动压润滑原理

(1) 曲面接触。如图 2-1 所示为滑动轴承摩擦副建立流体动压润滑的过程。如图 2-1(a) 所示是轴承静止状态时轴承的接触状态。在轴的下部正中与轴承接触,轴的两侧形成了楔形间隙。开始启动时,轴滚向一侧如图 2-1(b) 所示,具有一定黏度的润滑油钻附在轴颈表面,随着轴的转动被不断带入楔形间隙,油在楔形间隙中只能沿轴向溢出,但轴颈有一定长度,而油的黏度使其沿轴向的流动受到阻力而流动不畅,这样,油就聚积在楔形间隙的尖端互相挤压,从而使油的压力升高,随着轴的转速不断上升,楔形间隙尖端处的油压也愈升愈高,形成一个压力油楔逐渐把轴抬起,如图 2-1(c) 所示。

图 2-1 滑动轴承动压油膜建立过程



a) 静止状态 b) 开始转动 c) 不稳定状态 d) 平衡状态

但此时轴处于一种不稳定状态,轴心位置随着轴被抬起的过程而逐渐向轴承中心另一侧移动,当达到一定转速后轴就趋于稳定状态,如图 2-1(d) 所示。此时油楔作用于轴上的压力总和与轴上负载(包括轴的自重)相平衡,轴与轴承的表面完全被一层油膜隔开,实现了液体润滑。这就是动压液体润滑的油楔效应。由于动压流体润滑的油膜是借助于轴的运动而建立的,一旦轴的速度降低(如启动和制动的过程中)油膜就不足以把轴和轴承隔开。而且,可以看出,如载荷过重或轴

的转速低都有可能建立不起足够厚度的油膜，从而不能实现动压润滑。如图 2—1 滑动轴承动压油膜建立过程。

通过轴承副轴颈的旋转将润滑油带入摩擦表面，由于润滑油的钻性和油在轴承副中的楔形间隙形成的流体动力作用而产生油压，即形成承载油膜，称为流体动压润滑。

动压流体润滑轴承径向及轴向的油膜压力分布如图 2-2(a)、(b)、(c) 所示

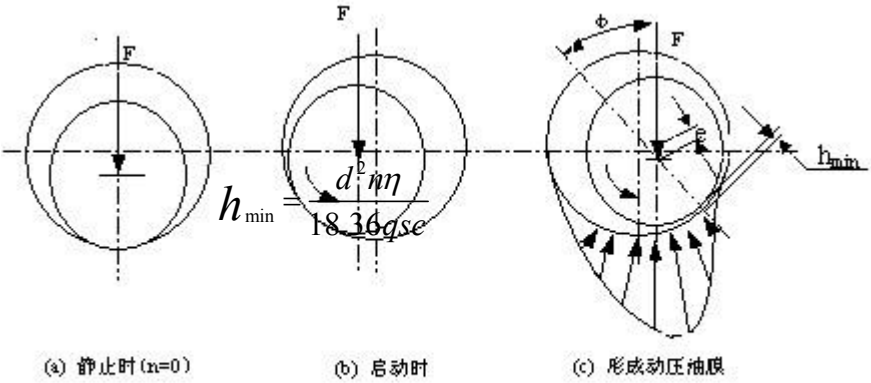


图 8-1 液体动压润滑油膜形成过程及油膜压力分布

2—2 滑动轴承动压流体润滑油膜压力分布

如图 2-2(a) 所示，在楔形间隙出口处油膜厚度最小。根据雷诺方程经一定简化导出流体动压润滑径向轴承的最小油膜厚度公式：

$$h_{\min} = \frac{d^2 n \eta}{18.36 q s c}$$

式中， η —润滑油的运动黏度 (Pa · S)

n —轴的转速 (r/min) ；

d —轴的名义直径 (m) ；

q —轴承在与载荷垂直的投影面积上的单位载荷 (Pa) ；

s —轴承的顶间隙 (m) ；

c —考虑轴颈长度对漏油的影响系数，

l —轴颈的有效长度 (m)。

实现动压润滑的条件是动压油膜必须将两摩擦表面可靠地隔开：

$$h_{\min} > \delta_1 + \delta_2$$

式中 δ_1 、 δ_2 —轴颈与轴承表面的最大粗糙度 (m)。

流体动压润滑理论的假设条件是润滑剂的黏性(即润滑油的黏度)在一定的温度下,不随压力的变化而改变;其次是假定发生相对摩擦运动的表面是刚性的,即在受载及油膜压力作用下,不考虑其弹性变形。在上述假定条件下,对一般非重载(接触压力在 15MPa)的滑动轴承,这种假设条件接近实际情况。但是,在滚动轴承和齿轮表面接触压力增大至 400~1500MPa 时,上述假定条件就与实际情况不同了。这时摩擦表面的变形可达油膜厚度的数倍,而且润滑油的黏度也会成几何倍数增加。因此在流体动压润滑理论的基础上,应考虑由压力引起的金属摩擦表面的弹性变形和润滑油黏度随压力改变这两个因素,来研究和计算油膜形成的规律及厚度、油膜截面形状和油膜内的压力分布更为切合实际,这种润滑就称为弹性流体动压润滑。

(2)平面接触。在两块平行平板 I 与 II 之间充满润滑油,如图 2-3(a)所示,若平板 II 固定不动,平板 I 以速度 v 作平行移动,在未受载时,由于平板间的润滑油具有一定的黏度和油性,与平板 II 接触的油层能较牢固地吸附在平板 II 的表面,所以随着平板 II 一起的这层油层的流速为零;与平板 I 接触的油层流速和平板 I 的速度相等,即流速为 v 。而在油膜中各油层的流速,随着与平板 I 距离的增加而逐渐递减,呈线性规律分布。如图 2-3(b)所示为不考虑相对运动时,在载荷 P 作用下油从两平面间被挤出的流动速度分布。如图 2-3(c)所示是图 2-3(a)和图 2-3(b)叠加后在出口和入口处油液流速分布。如用单位时间的流量来代替流速,则可以看出对于平面来说,在载荷和相对运动的联合作用下,单位时间流入平面间的流量低于流出的流量。根据前面分析的曲面接触动压润滑的原理可知,这种情况下不可能出现油楔效应,也就不可能实现流体动压润滑。

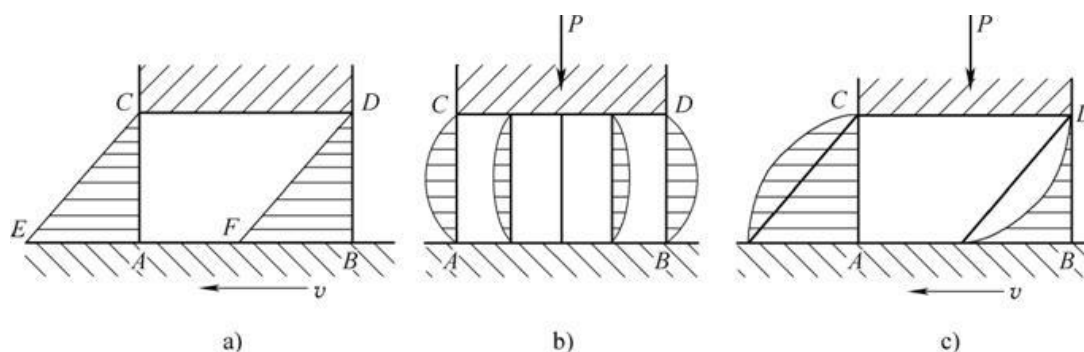


图 2-3 两平行平面间油液的流动情况

由上面有分析可知,实现流体动压润滑必须具备以下条件:

- ① 两相对运动的摩擦表面，必须沿运动的方向形成收敛一楔形间隙；
- ② 两摩擦面应具有足够的相对速度。相对运动速度愈高带入油楔的油量愈多，因而油膜压力、油膜厚度以及承载能力也都相应增加。
- ③ 润滑油具有适当的黏度，并且供油充足。黏度增加，润滑油端泄阻力就提高，因而油膜压力和油膜厚度就增加，有利于造成液体润滑。但是过高的黏度使得油膜内部分子间的摩擦阻力增加，消耗过大的摩擦功率和增加热量。过低的黏度则不易形成油楔压力和达不到足够的油膜厚度。
- ④ 外载荷必须小于油膜所能承受的最大载荷极限值，否则将把油膜压破，仍不能形成液体润滑。
- ⑤ 摩擦表面的加工精度应较高，使表面具有较小的粗糙度，这样可以在较小的油膜厚度下实现流体动压润滑。

还应注意，进油口不能开在油膜的高压区，否则进油压力低于油膜压力，油就不能连续供入，会破坏油膜的连续性。

2. 流体静压润滑的原理

通过一套高压的液压供油系统，将具有一定压力的润滑油经过节流阻尼器，强行供到运动副摩擦表面的间隙中(如在静压滑动轴承的间隙中、平面静压滑动导轨的间隙中、静压丝杆的间隙中等)。摩擦表面在尚未开始运动之前，就被高压油分隔开，强制形成油膜，从而保证了运动副能在承受一定工作载荷条件下，完全处于液体润滑状态，这种润滑称为液体静压润滑。

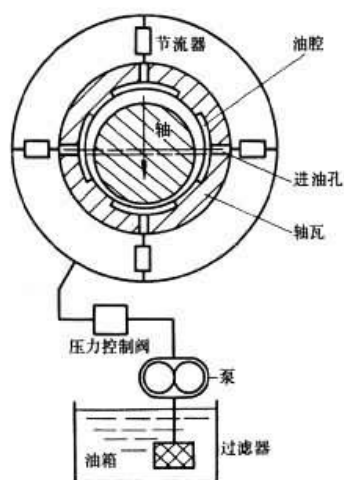


图2 供油压力恒定系统的液体静压轴承

作用原理 图2 [供油压力恒定系统的液体静压轴承]为供油压力恒定系统的液体静压轴承和轴瓦的构造。外部供给的压力油通过补偿元件后从供油压力降至油腔压力，再通过封油面与轴颈间的间隙从油腔压力降至环境压力。多数轴承在轴不受外力时，轴颈与轴承孔同心，各油腔的间隙、流量、压力均相等，这称为设计状态。当轴受外力时轴颈位移，各油腔的平均间隙、流量、压力均发生变化，这时轴承外力与各油腔油膜力的向量和相平衡。补偿元

件起自动调节油腔压力和补偿流量的作用，其补偿性能会影响轴承的承载能力、油膜刚度等。供油压力恒定系统中的补偿元件称为节流器，常见的有毛细管节流器、小孔节流器、滑阀节流器、薄膜节流器等多种。

由上述可知，静压轴承是靠高压油液经节流阻尼器输入到油腔的油压力(静压力)来承受载荷的，其工作注意点是必须有足够的流量和压力供油系统。轴承要有微小的封油间隙，使油腔内可能形成油液的压力。油腔必须与起调压作用的节流阻尼器连接。当轴受载后，在载荷上下方向油腔出现压力差来抵抗所承受的载荷，使轴颈能悬浮在油液中保持平衡，以形成液体静压润滑。

静压润滑油膜形成的特点与动压润滑不同。静压轴承的承载能力与供油压力大小有关，而与轴的转速、间隙、载荷大小关系不大。

3. 流体动、静压润滑原理

流体静压润滑的优点很多，但是油泵长期工作要耗费大量能源，流体动压润滑在启动、制动过程中，由于速度低不能形成足够厚度的流体动压油膜，使轴承的磨损增大，严重地影响动压轴承的使用寿命。如果采用液体动、静压联合轴承，则可充分发挥液体动压轴承和液体静压轴承两者的优点，克服两者的不足。主要工作原理是当轴承副在启动或制动过程中，采用静压液体润滑的办法，将高压润滑油压入轴承承载区，把轴颈浮起，保证了液体润滑条件，从而避免了在启动或制动过程中因速度变化不能形成动压油膜而使金属摩擦表面(轴颈表面与轴瓦表面)直接接触产生的摩擦与磨损。当轴承副进入全速稳定运转时，可将静压供油系统停止，利用动压润滑供油形成动压油膜，仍能保持住轴颈在轴承中的液体润滑条件。

这样的方法从理论上来讲，在轴承副启动、运转、制动、正反转的整个过程中，完全避免了半液体润滑和边界润滑，成为液体润滑。因此，摩擦系数很低，只要克服润滑油的钻性所具有的液体内部分子间的摩擦阻力即可。此外，摩擦表面完全被静压油膜和动压油膜分隔开，若情况正常，则几乎没有磨损产生，从而大大地延长了轴承的工作寿命，减少了动能消耗。

4. 边界润滑原理

除了干摩擦和流体润滑外，几乎各种摩擦副在相对运动时都存在着边界润滑状态边界润滑是从摩擦面间的润滑剂分子与分子间的内摩擦(即液体润滑)过渡

到摩擦表面直接接触之前的临界状态。这时摩擦界面上存在着一层吸附的薄膜，厚度通常为 $0.1\ \mu\text{m}$ 左右，具有一定的润滑性能，我们称这层薄膜为边界膜。

在边界润滑状态下，如果温度过高、负载过大、受到振动冲击，或者润滑剂选用不当、加入量不足、润滑剂失效等原因，均会使边界润滑膜遭到破坏，导致磨损加剧，使机械寿命大大缩短，甚至马上导致设备损坏。良好的边界润滑虽然比不上流体润滑，但是比干摩擦的摩擦系数低得多，相对来说可以有效地降低机械的磨损，使机械的寿命大大提高。一般地说，机械的许多故障多是由于边界润滑解决不当引起的。

在润滑油中，某些有机物的分子在分子引力和静电引力作用下能够牢固地附着在摩擦副的金属表面，这种现象称为润滑油的油性。边界润滑的油膜，就是由这种牢固地吸附在摩擦副表面的有机物分子构成的。边界膜的润滑性能主要取决于摩擦表面的性质，取决于润滑剂中的油性添加剂、极压添加剂对金属摩擦表面形成的边界膜的结构形式，而与润滑油品的黏度关系不大。

一般动物脂肪的油性最好，植物油次之，矿物油最差。所以，矿物油用于边界润滑是不好的，必须加入油性添加剂以改善其油性。

靠油性起润滑作用的边界油膜只能在摩擦副处于较低或中等温度以下的载荷时才能保持。在温度较高时，润滑油中的油性分子在金属表面附着的牢度下降，油膜容易破裂，称为脱附现象；另一种情况是在低速重载或有冲击载荷的条件下，摩擦副中的边界油膜不能承受这样高的压力，油膜易被压破而产生瞬时局部高温。上述这种高温、低速重载或有冲击振动的恶劣工作条件，称为极压状态。在极压状态下，靠润滑油的油性已不能维持正常的边界润滑。但是，对含硫、磷、氯等元素的添加剂的润滑油，进入到摩擦副之间，能与金属摩擦表面起化学反应生成一层边界膜，称为化学反应膜(或极压润滑膜)，这层膜具有较低的摩擦系数和较高的抗压性能。如果在过高的载荷下局部反应膜被压破，又能立即再生成新的反应膜，因而能在极压状态下有效地防止摩擦副的金属直接接触。

改善边界润滑的措施是：

① 减小表面粗糙度。金属表面各处边界膜承受有真实压强的大小与金属表面状态有关。摩擦副表面粗糙度越大，则真实接触面积越小，同样的载荷作用下，接触处的压强就越大，边界膜易被压破。减小粗糙度可以增大真实接触面积，降低

负载对油膜的压强，使边界膜不易被压破。

② 合理选用润滑剂。根据边界膜工作温度高低、负载大小以及是否工作在极压状态，应选择合适的润滑油品种和添加剂，以改善边界膜的润滑特性。

③ 改用固体润滑材料等新型润滑材料，改变润滑方式。如对某些冲击振动大有重载荷的摩擦副，可考虑采用添加固体润滑剂的新型半流体润滑脂进行干油喷溅润滑。

5. 固体润滑原理

在摩擦面之间放入固体粉状物质的润滑剂，同样也能起到良好的润滑效果。由于在两摩擦面之间加入了固体润滑剂，它的剪切阻力很小，稍有外力，分子间就会产生滑移，从而把两摩擦面之间的外摩擦转变为固体润滑剂分子间的内摩擦。固体润滑有两个必要条件：首先是固体润滑剂分子间应具有低的剪切强度，很容易滑移面产生滑移；其次是固体润滑剂要能与摩擦面有较强的亲和力，在摩擦过程中，总是使摩擦面上始终保持着一层固体润滑剂，而且这一层固体润滑剂不腐蚀摩擦表面。一般在金属表面上是机械附着，但也有形成化学结合的。具有上述性质的固体物质很多，例如石墨、二硫化铝、滑石粉等。

6. 自润滑原理

前面的几种润滑，在摩擦运动过程中，都需要向摩擦表面间加入润滑剂。而自润滑则是将具有润滑性能的固体润滑剂粉末与其他固体材料相混合并经压制、烧结成材，或是在多孔性材料中浸入固体润滑剂；或是用固体润滑剂直接压制成材，作为摩擦表面。这样在整个摩擦过程中，不需要再加入润滑剂，仍能具有良好的润滑作用。自润滑的机理包括固体润滑、边界润滑，或两者皆有的情况。如用聚四氟乙烯制品做成的压缩机活塞环、轴瓦、轴套等都属于自润滑，因此在这类零件的工作过程中，不需要再加任何润滑剂也能保持良好的润滑作用。

二、润滑材料

凡是能够在作相对运动的摩擦表面间起到抑制摩擦、减少磨损的物质，都可称为润滑材料。润滑材料通常可划分为四类：

① **液体润滑材料** 主要是矿物油和各种植物油、乳化液和水等。近年来性能优异的合成润滑油发展很快，得到广泛的应用，如聚醚、二烷基苯、硅油、聚全氟烷基醚等。

② **塑性体及半流体润滑材料** 这类材料主要是由矿物油及合成润滑油通过稠化而成的各种润滑脂和动物脂，以及近年来试制的半流体润滑脂等。

③ **固体润滑材料** 如石墨、二硫化铝、聚四氟乙烯等。

④ **气体润滑材料** 如气体轴承中使用的空气、氮气和二氧化碳等气体。

气体润滑材料目前主要用于航空、航大及某些精密仪表的气体静压轴承。矿物油和由矿物油稠化而得的润滑脂是目前使用最广泛、使用量最大的两类润滑材料，主要是因为来源稳定且价格相对低廉。动、植物油脂主要用作润滑油脂的添加剂和某些有特殊要求的润滑部位。乳化液主要用作机械加工和冷轧带钢时的冷却润滑液。而水只用于某些塑料轴瓦(如胶木)的冷却润滑。固体润滑材料是一种新型的很有发展前途的润滑材料，可以单独使用或作润滑油脂的添加剂。

1. 润滑油

矿物润滑油是目前最重要的一种润滑材料，占润滑剂总量的 90%以上。它是利用从原油提炼过程中蒸馏出来的高沸点物质再经过精制而成的石油产品矿物润滑油往往作为基础油，通过加入添加剂而成为我们常用的润滑剂，按所有润滑剂的质量平均计算，基础油占润滑剂配方的 95%以上。

除矿物润滑油以外，还有以软蜡、石蜡等为原料用人工方法生产的合成润滑油。植物油和蓖麻子油用于制取某些特种用途的高级润滑油。

近年来我国的石油工业迅速发展，润滑油的质量不断提高，品种亦不断打一大，达 200 种以上在一般工矿企业中所采用的润滑油，根据不同的使用要求，有以下几种类别：

机械油—如高速机械油、机械油、轧钢机油，称为通用机械油，主要用于各种机械设备及其轴承的润滑。近年发展的精密机床润滑油，如主轴油、导轨油等，主要用于各种精密机床。

齿轮油—具有抗磨、抗氧化、抗腐蚀、抗泡等性能，主要用于齿轮传动装置。

汽轮机油(透平油)—具有良好的抗氧化稳定性、抗乳化性和防锈性，主要用于汽轮机轴承、透平泵、透平鼓风机、透平压缩机等的润滑，也可用作风动工具油。

蒸汽机油—具有高的抗乳化性、黏度和闪点，在高温和高压蒸汽下能保持足够的油膜强度，分为汽缸油、过热汽缸油和合成汽缸油三种。

内燃机油—具有高的抗氧化、抗腐蚀性能和一定的低温流动性，分为汽油机油和

柴油机油两种。

压缩机油—具有良好的抗氧化稳定性和油性，高的黏度和闪点，主要用于空气压缩机、鼓风机的气缸、阀和活塞杆的润滑。

电器用油—具有高的抗氧化稳定性和绝缘性能，低的凝固点，要求油中的胶质、沥青质、酸性氧化物、机械杂质和水分的含量少，有变压器油、电器开关油、电缆油等。

除了上述各种润滑油类外，尚有防锈油、工艺油、仪表油以及其他用途的润滑油。

(1) 润滑油的主要质量指标。

① **黏度** 黏度是润滑油的一项重要质量指标，在选择润滑油时，通常以黏度为主要依据。

黏度通常按动力黏度、运动黏度和相对黏度三种方法表示。

动力黏度（使面积各为 1 平方厘米相距 1 厘米的两层液体，以厘米每秒的速度作相对运行时，液体质点内部所产生的阻力即为动力黏度）。实质上反映了流体内摩擦力的大小，是指面积为 1cm^2 和相距 1cm 的两层平行液体，当其中一层液体以 1cm/s 的速度和另一层液体作相对运动时，产生的阻力为 1 达因即为动力黏度，其单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ （帕·秒）。

运动黏度（由于速度梯度的存在，流动较慢的液层阻滞较快液层的流动，因此液体产生运动阻力）为使液层维持一定的速度梯度运动，必须对液层施加一个与阻力相反的反向力·工程实用单位为 mm^2/s , $1\text{mm}^2/\text{s}=10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ 。过去规定测定运动黏度的标准温度是 50°C 和 100°C ，现在采用 ISO 标准，规定为 40°C 。运动黏度的测定按国家标准 GB/T 265-1988，用毛细管黏度计在恒温浴中，测量油样在毛细管中的流动时间再乘以毛细管的校正值。通常用运动黏度表示润滑油的牌号。

相对粘度也称为条件黏度。各国采用的测定相对黏度的黏度计不同，因而相对黏度有恩氏、赛氏和雷氏黏度等几种。我国采用恩氏黏度，代表符号为 $^\circ\text{E}$ ，测定方法按照 GB/T266-1988。

$$^\circ\text{E} = t_1 / t_2$$

式中 t_1 —200mL 蒸馏水在 20°C 时从恩氏粘度计流出所需要的时间，s，一般为 51s；

t_2 —200mL、实验油在规定的温度下从恩氏粘度计流出所需要的时间，s。

赛氏的代表符号为 S. U. S 或者 SSU 雷氏的代表符号为 “R”。在商业上世界各国采用的相对黏度不完全相同,但现在世界各国都统一用运动黏度来标注润滑油的牌号,以表示其黏度范围。各种黏度之间的数值可以互换,最简单的方法就是查表,也可以用表 2-1 中的公式换算。

黏度名称		符号	单位	采用国家	
绝对黏度	动力黏度	η	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	苏	$\eta = \nu \cdot \rho$
	运动黏度	ν	mm^2 / s	中、苏、美、日	$\nu = \mu / \rho$
相对黏度	恩氏黏度	$^{\circ}\text{E}$	$(^{\circ})$	中、欧洲	$\nu = 7.31^{\circ}\text{E} - 6.31/^{\circ}\text{E}$
	赛氏黏度	SSU	s	美、日	$\nu = 0.22(\text{SSU}) - 180 / \text{SSU}$
	雷氏黏度	" R	s	英	$\nu = 0.26" \text{ R} - 172 / " \text{ R}$
	巴氏度	$^{\circ}\text{B}$	$(^{\circ})$	法	$\nu = 4580 / ^{\circ}\text{B}$

润滑油对温度的变化是很敏感的,当温度升高时,黏度就减小。但是机器的润滑要求黏度随温度的变化不要太大。润滑油的黏度随温度而变化的特性称为黏温特性。润滑油的黏温特性常用黏度比或黏度指数来表示。

黏度比是润滑油在 50℃和 100℃时黏度的比值,黏度比越小,黏温特性越好。黏度指数表示该润滑油的黏度随温度变化的程度同标准油黏度随温度变化程度比较的相对值。黏度指数大,表示黏温曲线平缓,黏温特性较好。

② 凝固点(凝点) 润滑油失去流动性变为可塑性时的温度称为凝点。凝点决定润滑油在低温条件下工作的适应性。在寒冷季节,机器在开动前或停车时,因温度降低会使润滑油凝固失去流动性,当再开动机器时,即失去润滑作用,使摩擦表面处于干摩擦状态,增加机器的磨损和动力消耗。或润滑系统的输送管道由于润滑油凝固而使润滑中断发生设备事故。应该根据最低环境温度适当选择润滑油的凝点。

③ 闪点 润滑油加热至一定温度即蒸发产生油蒸气,当油蒸气和空气形成的混合气体和火焰接触时,即发生闪光现象,这时润滑油的温度称为闪点。如果闪光时间长达 5s,则这个温度称为燃点。闪点的高低表示润滑油在高温下的安定性。一般润滑油的闪点在 130℃~325℃之间,在高温下工作所采用的润滑油应该选

取较高的闪点，并且闪点要比最高工作温度大 20 °C~30 °C。

④ **抗乳化性** 润滑油和水混合时呈现一种乳化状态，在一定温度下静止后，使润滑油和水完全分离所需的时间(min)，称为抗乳化度。在工作环境潮湿，与水或水蒸气接触的润滑部位，应该注意润滑油的抗乳化性能。

此外还有抗氧化安定性、抗磨性、酸值、机械杂质、残炭、灰粉、水分等多项性能指标。

(2) 常用润滑油的性能和用途

过去国产的润滑油均按 50°C 和 100°C 时的运动粘度划分油的标号，现在采用 ISO 标准，一律按 40°C 时的运动黏度划分油的标号。标号的数值就是润滑油在 40°C 时的运动黏度的中心值。例如新标号 N32 在 40°C 时的运动黏度中心值就是 $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ ，其误差范围为 $\pm 10\%$ 即 $28.8 \sim 35.2 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。为了与旧标号相区别，新标号前都加“N”作为一种过渡。

1) **机械油** 机械油广泛用于各种机械传动的润滑。在冶金机械中，大量采用的是机械油和轧钢机油，并用于一般闭式齿轮传动装置的润滑，称为非极压性的工业齿轮油。机械油共有 7 个牌号，高温抗氧化的工作性能较差，负载能力亦较小，只适用于轻负荷和无冲击的机械设备的润滑。28 号轧钢机油具有较好的氧化安定性和一定的抗磨性能，常用于重负荷减速机和轧钢机支承辊的油膜轴承，亦用于稀油循环润滑系统。机械油和轧钢机油为通用机械油，此外尚有专用的机械油，有精密机床主轴油、精密机床导轨油等，因为加入了各种添加剂，使性能提高。精密机床主轴油适用于精密机床的轴承和主轴箱等的润滑，精密机床导轨油适用于各种精密机床导轨、冲击振动或高负荷摩擦点的润滑。

2) 齿轮润滑油

齿轮油分为两大类，即闭式齿轮润滑油和开式齿轮润滑油。

① 闭式齿轮油 其黏度等级按 GB/T3141~1994 分级，质量分级如下：

CKB 齿轮油：是精制矿油，加有抗氧防腐和抗泡添加剂，用于轻负荷运转的齿轮。

CKC 齿轮油：是在 CKB 油中加有极压抗磨添加剂，用于保持在正常或中等恒定油温和重负荷下运转的齿轮。

CKT 齿轮油：是在 CKC 油中加有提高热氧化安定性的添加剂，用于较高的温度和重负荷下运转的齿轮。

CKE 齿轮油:是具有低摩擦系数的,用于蜗轮蜗杆传动的润滑油。

CKS 齿轮油:是用在极低和极高温条件下并有抗氧防腐、抗磨性能的齿轮油,用于更低的或者更高温度下轻负荷运转的齿轮。

CKT 齿轮油:是在 CKS 油中加有极压添加剂,用于更低的或更高的温度下重负荷运转的齿轮。

CKG 齿轮润滑剂:是具有极压抗磨性能的半液体润滑脂。

② **开式齿轮油** 我国制定出行业标准 3H/T 0363-92 普通开式齿轮油,它是由矿物油馏分油为基础油,加有防锈剂及适量的沥青制成的非稀释型开式齿轮油。这种油也可以用于链条、钢丝绳及联轴节,其具体的质量分级如下:

CKH 齿轮油:含有沥青的抗腐蚀性产品,用于中等环境温度和轻负荷下运转的齿轮。

CKJ 齿轮油:是在 CKH 油中加有极压抗磨剂,用于重负荷下运转的齿轮。

CKL 齿轮润滑剂:是具有极压抗磨、抗腐并且耐温性好的润滑脂,用于更高环境温度和重负荷下运转的齿轮。

CKM 齿轮润滑剂:是加有改善抗擦伤性的添加剂,允许在极压条件下使用,用于特殊重负荷下运转的齿轮,间断涂抹。

CKE 蜗轮蜗杆油 CKE 蜗轮蜗杆油是一种特殊的齿轮油,它不同一般工业齿轮油。因为蜗杆摩擦副是全滑动摩擦,没有滚动,摩擦条件很苛刻,又不利于油膜的楔入形成,蜗轮的材质是铜质有色金属,油中加入活性太大的添加剂,容易引起腐蚀,加速蜗轮的磨损。因此,只能加入油性添加剂以改善摩擦副的摩擦条件,降低摩擦系数,这是蜗轮蜗杆油的特点。

③ **轮机油** 油又叫透平油,主要用于透平机的轴承润滑系统,它是用高精制的矿物作基础油,添加抗氧防锈剂调配而成,我国已制定出国家标准 GB11120~1989, TSA 汽轮机油,共有 4 个牌号,常用的有 32 号及 46 号两种。68 号及 46 号汽轮机油常用高速线材机的油膜轴承。46 号常用于大型电机轴承。因为加入了抗氧化、抗泡沫、防锈等添加剂,具有良好抗乳化吐、防锈性和氧化安定性。除用于蒸气和燃气轮机外,常用于电机轴承,亦用于各种液压系统。

④ **气绝缘油电气绝缘油用于变压器、电容器及断路器** 油品粘度较低,40℃时为 110~130 mm²/s,断路器油的黏度最低,40℃时只有 50 mm²/s,这类油品的

绝缘性能最好，该油外观接近于无色，有荧光反应。变压器油是以石油馏分为原料，经精制，加入抗氧剂而制成，具有良好的绝缘性、氧化安定性和冷却性。变压器油是以凝固点作牌号，而不是黏度为牌号。

⑤**液压油** 设备在钢铁企业中得到了广泛应用。随着液压技术的不断发展，要求具有不同性能的液压油来满足各种液压系统在不同操作条件下的使用要求。

HH:精制矿油，无(或加有少量)工作压力较低，黏度等级从 15~150。

HL:精制矿油，加有抗氧防锈剂，抗氧剂，适用对润滑无特殊要求的一般液压系统，用于一般低压液压系统，有较长的使用寿命，黏度等级从 15 到 100。

HM 中加有抗磨添加剂，是一种抗磨液压油。液压系统的工作压力在 14 MPa 以上时，必须使用 HM 油。特别是叶片泵系统，如果不使用 HM 油，油泵寿命大为减短。HM 油对抗磨性能有一定的要求，都要通过叶片泵试验，要求叶片和定子环的总磨损量不超过规定值黏度等级从 15~150。

HR:在 HL 中加黏度指数改善剂，用于环境温度变化较大的轻负荷液压系统，工作压力较低，以及含有银的元件液压系统。黏度等级只有 15, 32, 46 三种。

HA 和 HV:是液力传动液，主要用于汽车的自动变速和液力联轴器，国外叫 ATF 油(汽车自动传动液)。这种油的主要特点是馏分窄，抗氧化安定性好，凝固点低，黏度指数高，还加有摩擦缓和剂等多种添加剂。用质量较好的油可使摩擦动力损失减少 1%左右。

液压油除上述品种外，还有 HS, HG, HFAE, HFAS, HFB, HFC, HFDR 等品种，参见我国国家标准 GB/T 7631.2-1987 和国际标准 ISO6743/4-7982。

三、润滑脂

润滑脂俗称黄油或干油，是在润滑油(基础油)里加入起稠化作用的稠化剂，把润滑油稠化成具有塑性膏状的润滑剂。

基础油通常采用矿物润滑油，例如 30 号或 40 号机械油、11 号或 24 号汽缸油等，也有采用合成油的，例如合成烃油、硅油、酯类油等。为了改善润滑脂的性能，亦可加入抗氧化、极压抗磨、防锈等添加剂。

稠化剂分为皂基和非皂基两种。由天然脂肪酸(动物脂或植物油)或合成脂肪酸和碱土金属进行中和(皂化)反应生成的脂肪酸金属盐即为皂，用皂稠化的润滑脂称为皂基润滑脂。由非皂物质(石蜡、地蜡、膨润土、二硫化钼、碳黑等)稠化的润

滑脂称为非皂基润滑脂。

用一种皂作为稠化剂制成的润滑脂称为单皂基脂，如以钙皂(脂肪酸钙)作为稠化剂制成的润滑脂称为钙基润滑脂。同样用其他皂的有钠基润滑脂、锂基润滑脂、铝基润滑脂、钡基润滑脂等。用两种皂作为稠化剂以提高性能所制成的润滑脂称为混合皂基脂，如以钙皂和钠皂稠化制成的润滑脂称为钙钠基润滑脂，用其他混合皂基的有钙铝基润滑脂、铝钡基润滑脂等。除用皂外再加入复合剂以提高性能经稠化制成的润滑脂称为复合皂基脂，如以醋酸为复合剂和钙皂稠化制成的润滑脂称为复合钙基润滑脂，以苯甲酸和铝皂稠化制成的润滑脂称为复合铝基润滑脂。用非金属作为稠化剂的润滑脂，称为非皂基润滑脂，例如用石蜡和地蜡为主稠化剂制成的凡士林，用无机化合物为稠化剂制成的二硫化钼脂、碳黑脂、膨润土脂，也有用有机化合物为稠化剂制成的阴丹士林蓝脂等。

润滑脂的主要理化性能：

① **滴点**。国家标准 GB/T4929 是测量滴点的标准，即润滑脂在测定器中受热后，滴下第一滴时的温度，单位为℃。滴点越高，耐温性越好。通常选用润滑脂时，滴点应该比工作温度高 20℃~30℃。

② **针入度**。表示润滑脂的软硬程度。用重量为 150g 的标准圆锥体，从锥入度计上释放，在 5s 内插入到温度为 25℃ 润滑脂试样的深度(以 0.1mm 为单位)称为针入度。针入度越大，表示润滑脂的稠度越小，压送性越好，但在重负荷下容易从摩擦表面间被挤出来。应该根据摩擦机件的工作条件选择针入度，而润滑脂针入度的数值，是选用润滑脂的一项重要质量指标。

③ **水分**。润滑脂中水的含量。润滑脂中游离水的含量过多时，会降低润滑脂的工作性和加大金属表面的腐蚀。但是润滑脂含有的结合水，可以作为较好的结构改善剂，如钙基脂、钙钠基脂。

④ **氧化安定性**。指润滑脂抗空气氧化的能力。氧化安定性差的润滑脂，易于和空气氧化生成各种有机酸，腐蚀金属表面或使润滑脂变质。

此外，反映润滑脂理化性能的还有机械杂质、含皂量、灰分、游离酸和碱、胶体安定性等多项指标。

(2) 机械设备常用润滑脂的性能和用途(见表 2-2)。

表 2—2 常用润滑脂的性能和用途

润滑脂种类	外 观	主 要 性 能	用 途
钙基润滑脂	淡黄色到暗褐色的均匀无块状油膏	不易溶于水，抗水性强，在高温时使水分蒸发，在高速时受离心力作用将水分离出去，使结构破坏	常用于潮湿环境和工作温度较低（温度不高于55~60℃）的轻、中负荷低、中速机械的摩擦部件；不适用于高温和高速机械的润滑。
石墨钙基润滑脂	黑色均匀非纤维状油膏	不耐温，容易甩失	适用于开式齿轮、汽车弹簧钢板、钢绳以及其他粗糙的重负荷摩擦部件的润滑。
合成钙基润滑脂	深黄到暗褐色均匀油膏	具有良好的润滑性能和抗水性，但是氧化安定性和低温性能较差，对温度的变化较敏感，使用温度不高于60℃。	适用于潮湿环境、低温、中等速度和中等负荷的轴承和机构。
钠基润滑脂	深黄色到暗褐色均匀油膏	亲水性很强，耐高温下工作	适用于温度不高于120~135℃摩擦部件的润滑，但是不能用于潮湿和有水的环境。
合成钠基润滑脂	暗褐色均匀无块状油膏	能耐较高的温度和具有耐振的性能，抗水性较差	不适用于潮湿环境；适用于工作温度不高于100℃摩擦部件的润滑。
锂基润滑脂	淡黄色到暗褐色的均匀油膏	具有滴点高、抗水性和抗压性，低温性能好，为多效长寿润滑脂	适用于潮湿环境、低高温（-20℃~+120℃）、高速、高负荷摩擦部件的润滑。
合成锂基润滑脂	浅褐色到暗褐色的均匀软膏	具有一定的抗水性和耐温性	适用于-20℃~+120℃范围内各种机械设备的滚动和滑动摩擦部件的润滑、
钡基润滑脂	黄褐色到暗褐色均质软膏	具有耐水、耐温和耐商高压性能	适用于潮湿环境和有水的摩擦部件的润滑

润滑脂种类	外 观	主 要 性 能	用 途
钙钠基润滑脂（轴承润滑脂）	黄色到深棕色的软膏	性能介于钙基和钠基润滑脂之间，抗水性比钠基润滑脂存，在干燥环境下耐热性比钙基润滑脂好，并有一定的耐压和耐高速性能	适用于工作温度不高于 90℃～100℃ 环境不太潮湿的滚动轴承润滑
压延机润滑脂	黄色到深棕色的均匀软膏	具有良好的耐压性，能承受较大的负荷，在外界温度波动范围较大时，有良好的输送性	适用于轧钢机械轴承的润滑、干油集中润滑系统
钡铅基润滑脂	浅黄色到深棕色的软膏	具有良好的耐寒性、抗水性和抗极压性，工作温度可在 - 60℃～ + 80℃之间	适用于低温、潮湿环境和较高负荷等条件下工作的摩擦机件的润滑
复合钙基润滑脂	浅黄色到深棕色，均匀无块状油膏	具有耐热性和一定抗水性。机械安定性和氧化安定性较好，工作温度不高于 120℃，短时工作温度可达 150℃	适用潮湿环境、高温、较高速度等条件工作的滚动轴承和摩擦部件的润滑
合成复合钙基润滑脂	深褐色的均匀软膏	具有耐温和一定的抗水性能，机械安定性亦较好	适用于潮湿环境和较高的工作温度（不高于 120℃）条件下摩擦部件的润滑
合成复合铝基润滑脂	浅褐色到暗褐色的均匀软膏	具有耐温和良好的抗水性能，机械安定性亦较好	适用于潮湿条件下和较高温度（不高于 120℃）的和摩擦部件的润滑；可以用于干油集中润滑系统
二硫化钼润滑脂		具有耐温（80℃～180℃）、抗水和抗极压性能	用于高温和高负荷的滚动轴承和摩擦部件的润滑
膨润土润滑脂		具有耐高温（达 200℃）、抗水、抗极压、热稳定良好等特点	用于高温、环境潮湿、温度和速度变化较大的大、中、小负荷以及工作条件较恶劣的机械

四、固体润滑材料

两个具有负载作用的相互滑动表面间,采用粉末状或薄膜状固体材料作为润滑剂,用以减小摩擦、降低磨损,这种润滑材料称为固体润滑材料。

固体润滑材料的优点是可以在高负荷和低速度下工作;使用温度范围较广,能够用于低温和高温下的润滑;可以在无封闭有尘土的环境中使用;可以简化润滑系统和润滑设备,使维护工作简单;和环境介质不起反应。缺点是摩擦系数稍高,不易散热,在防锈、排除磨屑等方面不如润滑油、脂润滑。

固体润滑材料的种类很多,但是理想而又优良的并不多。我国常用的有:无机物质(石墨、氮化硼、玻璃粉)、金属硫化物(二硫化钼 MoS_2 、二硫化钨 WS_2 、有机物质(酚醛、尼龙、聚四氟乙烯)等。

1. 常用固体润滑材料的性能和用途

① **二硫化钼 (MoS_2)**。二硫化钼是辉钼矿提炼获得的蓝灰色至黑色的固体粉末,有滑腻感,具有良好的粘附性、抗性能和减磨性能。摩擦系数为 $0.03\sim 0.15$,能在高温(350°C)和低温(-180°C 或更低)进行使用,对酸、碱、石油和水等不溶解,与金属表面不产生化学反应,也不侵蚀橡胶料,为良好的固体润滑材料。用于国防和轻重工业的各种润滑方面,成功地解决了许多润滑难题,特别是对于重载、高温、高速的冶金、矿山机械设备的润滑也取得了很好的效果。

② **石墨**。石墨为呈黑色鳞片状晶体物质,有脂肪质滑腻感,在常压、高温(达 400°C)下可长期使用,是一种较好的固体润滑材料。石墨在干燥时摩擦系数较大,当吸收一定量的潮湿气($7\%\sim 13\%$),摩擦系数就显著降低($0.05\sim 0.19$),石墨在真空中的润滑性极低,这与真空中水汽的蒸发消失有关。

③ **聚四氟乙烯**。聚四氟乙烯是一种工程塑料,也是氟化乙烯的聚合物,它本身具有自润滑性,誉为“塑料之王”,耐温性能(可达 250°C)和自润滑性能在目前一般塑料中是最好的一种。因此可以代替金属制成某些机械零件或作为密封材料,也可以用各种金属或金属的氧化物或硫化物等作为填料掺入到聚四氟乙烯中,用以改善其机械性能、导热率和线膨胀系数等指标。

④ **氮化硼**。氮化硼是新型润滑材料之一,有自石墨之称。氮化硼是有良好的绝缘体,可用在 $^\circ\text{C}$ 左右的高温,它在一般温度条件下使用时不与任何金属反应,具有良好的加工性、耐腐蚀性、良好的热传导性和自润滑性等。高温时氮化硼仍能

保持良好的润滑性能，因此被认为是唯一耐高温的润滑材料。

2. 固体润滑材料的使用方法

① 固体粉末润滑剂 这种方法是固体润滑材料简单的直接应用，可以将粉末用涂擦或机械加压等方法固定在摩擦表面上，或将粉末和挥发性溶剂混合后，喷在摩擦表面上。也可以在机器运转中将粉末随气体输送到摩擦表面上进行润滑。如果将粉剂和润滑油配成油剂，例如石墨油剂、二硫化钼油剂或与润滑脂配成脂剂，如二硫化钼润滑脂、二硫化钼油膏等，都可用于机械设备的稀油和干油润滑。

② 钻结固体润滑膜 由于无钻结剂的固体粉末润滑膜的耐磨寿命不能完全满足润滑的要求，因此发展了有钻结剂的固体润滑膜。常用的钻结剂有环氧树脂、酚醛树脂、硅酸钠等。钻结固体润滑膜的成膜配方工艺很多，主要根据具体条件和试验的总结选择确定。其中以环氧—酚醛树脂和淡金水膜在使用中比较能够耐高温、耐高负荷以及在高速下有较好的润滑性能。涂膜工艺主要包括零件处理，成膜喷涂、保膜等。

③ 自润滑复合材料 由两种或多种物质形成的复合材料所制成的具有自润滑作用的机件，在没有外部润滑剂供给下，具有低的摩擦和磨损的性能。这种自润滑复合材料有金属基、石墨基和塑料基三类，例如由粉末冶金制成的铁铜石墨复合材料轴承，有较高的抗磨性能。聚四氟乙烯是已应用的塑料自润滑材料中摩擦性能最好的一种，只是它的机械性能太差，限制了它的应用。近年来采用加入适量的填充剂(石墨、二硫化钼、石英砂、青铜粉等)，以改善其性能。

五、润滑材料的选用

1. 润滑材料的选用

润滑材料种类的选择。在各种润滑材料中，由于润滑油内摩擦较小，形成油膜均匀，兼有冷却和冲洗作用。清洗、换油和补充加油都比较方便，所以除了部分滚动轴承、由于机器的结构特点和特殊工作条件要求必须采用润滑脂外，一般多采用润滑油。

对长期工作而又不宜经常换油、加油的部位或不易密封的部位，应尽可能优先选用润滑脂。摩擦面处于垂直或非水平方向要选用高黏度润滑油或润滑脂；摩擦表面粗糙，特别是冶金和矿山的开式齿轮传动应先选用润滑脂。

对不适于采用润脂的地方，如负荷过重或有剧烈的冲击、振动，工作温度范

围较宽或极高、极低，相对运动速度低而又需要减少爬行现象，真空或有强烈辐射等这些极端、苛刻的条件下，最适合采用固体润滑材料。近年来的经验证明，在许多设备上都可以采用固体润滑材料来代替润滑油而取得更好的润滑效果。

2. 润滑材料选择的一般原则

① 负荷大小。各种润滑材料都具有一定的承载能力，负荷较小，可以选取黏度小的润滑油；负荷越大，润滑油的黏度也应该越大；重负荷的条件下，应该考虑润滑油的极压性能；如果在重负荷下润滑油膜不易形成，则选用针入度（**针入度**标准圆锥体（一般共载重 150 克，也有规定 100 克的）在 5 秒钟内沉入保温在 25℃时的润滑脂试样中的深度。单位是 1/10 毫米。针入度愈大表示润滑脂愈软，即稠度愈小；反之则表示润滑脂愈硬，即稠度愈大。沥青的针入度测定，不用标准圆锥体而用载重共 100 克的标准尖针。测定的条件与润滑脂相同。）小的润滑脂。

② 运动速度。机构转动或滑动的速度较高的时候，应该选用黏度较小的润滑油或针入度较大的润滑脂；在低速时，应该选用黏度较大的润滑油或针入度较小的润滑脂。

③ 运动状态。当承受冲击负荷、交变负荷、振动、往复和间歇运动时，不利于油膜的形成，应该采用黏度较大的润滑油；有时也可以采用润滑脂或固体润滑材料。

④ 工作温度。工作温度较高时，应该选用黏度较大、闪点较高、油性和氧化安定性较好的润滑油，或选用滴点较高的润滑脂；工作温度较低时，则采用粘度较小和凝点低的润滑油，要使油的凝点低于工作温度 10℃左右，或选用针入度较大润滑脂；当温度的变化较大时，则采用黏温性能较好的润滑油。

⑤ 摩擦部件的间隙、加工精度和润滑装置的特点。摩擦部件的间隙越小，选用润滑油的黏度越低；摩擦表面的精度越高，选用润滑油的黏度应越低；粗糙表面应该采用黏度较大的润滑油；循环润滑系统要求采用精制、杂质少和具有良好氧化安定性的润滑油；在飞溅和油雾润滑中多选用有抗氧化添加剂的润滑油；在干油集中润滑系统中，要求采用机械安定性和输送性好的润滑脂；对垂直润滑面导轨、丝杠、开式齿轮、钢丝绳等不易密封的表面，应该采用黏度较大的润滑油或润滑脂，从而减少流失，保证润滑。

⑥ 环境条件。在潮湿环境下，应该采用抗乳化和防锈性能良好的润滑油，或采用抗水性较好的润滑脂；在尘土较多和密封困难时，多采用润滑脂润滑；对有腐蚀气体时，应该选用非皂基润滑脂；环境温度很高时，则要考虑选择耐高温的润滑脂。

3. 润滑油的代用原则

在某种油品供应偶尔短缺而又必须保证生产正常进行的情况下才临时采用代用油，同时应尽快恢复原来的油品。润滑油的代用原则如下：

- ① 代用油的黏度应与原用油的黏度相等或稍高；
- ② 代用油的性能应与原用油的性能相近。

高温代用油要求有足够高的闪点、良好的氧化安定性与油性；低温代用油应有足够低的凝点；宽温度范围代用油应有良好的黏温性能；含有动植物油油的复合油不允许用在循环系统或有显著氧化倾向的地方；对极压润滑油的摩擦副，代用油应具有相同或更高的极压性能。

4. 润滑脂的代用原则

通常，代用润滑脂主要考虑针入度和滴点，应使代用脂的针入度与原用脂相等或稍小，滴点更高；对潮湿的环境，应考虑代用脂的抗水性；代用脂最好是性能更好的润滑脂，如用铈基脂代替钙基脂和钠基脂，用加入了极压添加剂的脂代替未加极压添加剂的脂，而不宜反过来代用。如果原来的脂具有抗极压性而又暂时找不到这样的润滑脂，可考虑在低性能的脂中加入极压添加剂。

第二节 润滑的方法和装置

各种机器和机构中摩擦部件的润滑，都是依靠专门的润滑装置来完成的。凡实现润滑材料的进给、分配和引向润滑点的机械和装置都称为润滑装置。

润滑装置根据润滑材料的分类，通常有两种形式，一种是向摩擦副供给润滑油的稀油装置，另一种是供给润滑脂的干油装置。根据将润滑材料送入机器中润滑点的方式，可以分为单独润滑和集中润滑两种，如果在润滑点附近设置独立的润滑装置对临近的摩擦副进行润滑，称为单独润滑，由一个润滑装置同时供给几个或许多润滑点进行润滑，称为集中润滑。

根据对摩擦副供油的不同，可分为无压润滑和压力润滑、间歇润滑和连续润滑以及流出润滑和循环润滑等方式。无压润滑时，油的进给是靠润滑油自身的重力或毛细管的作用来实现，而压力润滑则利用压注或油泵实现油的进给。在经过一定的间隔时间才进行一次润滑称为间歇润滑；当机器在整个工作期间连续供油，称为连续润滑。如果供给的润滑材料进行润滑后即排出消耗，称为流出润滑；当供给的润滑油经过润滑后又能不断送到摩擦表面重复循环使用时，称为循环润滑。

一、润滑油润滑装置

1. 流出润滑

流出润滑有旋套注油杯润滑、球阀注油杯润滑、油芯润滑（油芯油杯和填料油杯）、滴油润滑（针阀油杯）等，常用油杯如图 2-6 所示。旋套和球阀油杯属于单独式间歇无压润滑，油芯润滑和滴油润滑为单独式无压连续润滑，主要应用于不重要的摩擦部件。

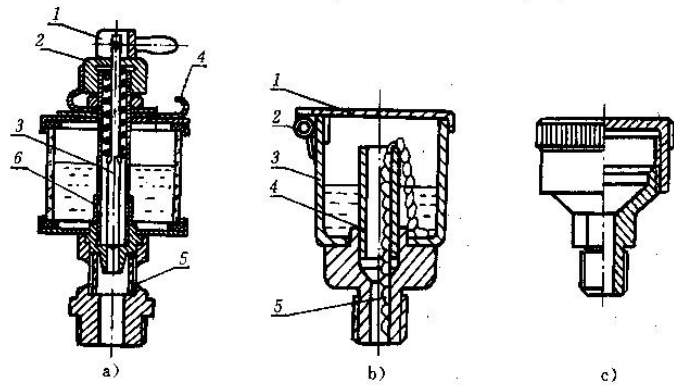
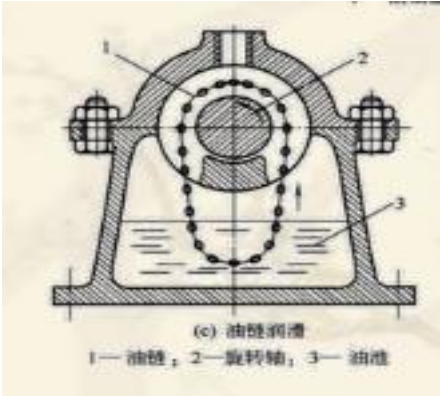


图 15-12 润滑装置

2-6 油杯

2. 循环润滑

包括油环、油链和油轮润滑、油池润滑（浴油润滑和飞溅润滑）和压力循环润滑。在图 2-7 中，图(a)为油环润滑，图(b)为油轮润滑，图(c)为油链润滑。油环润滑是靠油环随轴转动把润滑油带到轴上，并被导入轴承中。这种装置适用于直径为 $\phi 25 \sim \phi 50\text{mm}$ 的轴，转速不超过 3000 r/min ；对直径超过 50mm 的轴，转速应更低，但不得低于 50r/min ，因为油环的圆周速度过高会因离心力而使油淌不到



轴上，而圆周速度过低又可能带不起油来。油链的作用原理与油环相同，由于链的结构特点，带起的油比油环多。油链只能用于低速轴，否则由于离心力和搅拌作用可能造成摩擦副断油。油轮是前两种方式的结合，油轮固定在轴上与轴一起转动，由刮板将油刮下并导入轴承中。油池润滑是由装置在密闭箱体中的机械零件（齿轮传动、轴承等）浸入油池中进行润滑，属于单独式循环润滑。

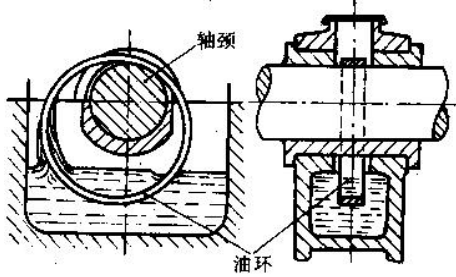
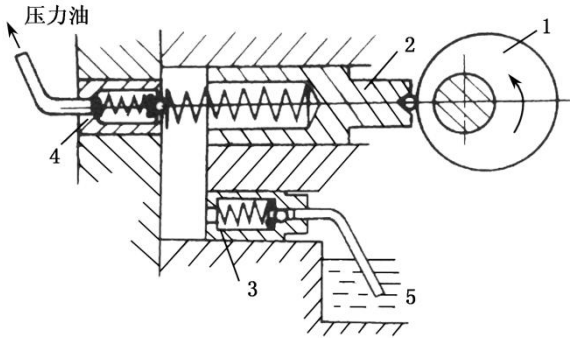


图 15-13 油环润滑

压力循环润滑是一种比较完善和可靠的润滑，它可以润滑具有多摩擦部件的复杂机械，或集中润滑具有大量润滑点的多台机器和机组。润滑系统是一个闭合的回路，润滑油沿着回路输送至各摩擦部件进行润滑，并且进行冲洗和冷却。在不断循环的过程中，润滑油经过沉淀、过滤和冷却，使润滑油很大程度上恢复原来的润滑性能。

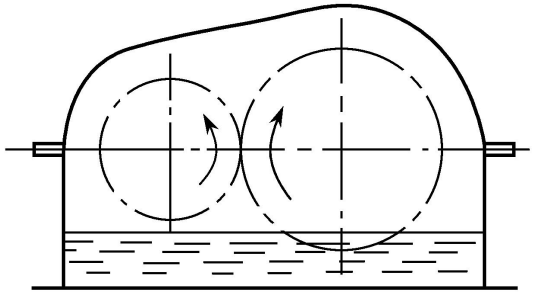
压力循环润滑分为下列三种类型：

(1) 导入式循环润滑系统。润滑油引入机构的摩擦部件是由于油箱和摩擦部件位置差别所产生的压力，润滑油由油箱直接导入润滑点，然后流回机构底部的贮油槽中，经过沉淀，再用油泵将润滑油压送高置的油箱中，循环进行润滑。



(如图所示)。

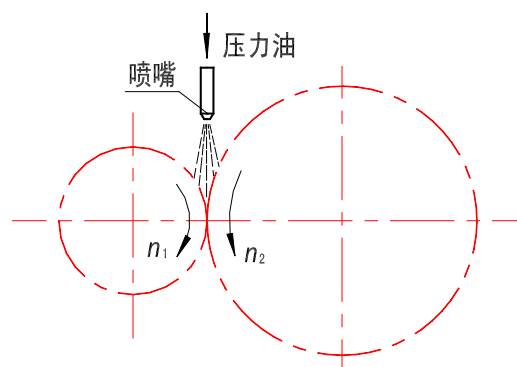
(2) 流油式循环润滑系统。摩擦部件的润滑采用油池润滑，压油管（进油管）和压力循环润滑系统相连接，使油池中的润滑油不断地得到更新和排散热量。为保证油池润滑，回油管（排油管）的位置必须保持一定的油位，或采用绕行管，排污油管排污时将截止阀打开。



(如图所示)

(3) 喷油式循环润滑系统。喷油润滑利用油泵产生的压力，保证不断将所需的、

净化过的润滑油输送到摩擦表面上，向润滑点供油采用强制喷油的方法，并不断地将由于摩擦损失发生的热量随同润滑油一起带走如图所示，由压油管引入传动装置的壳体中连接喷油器，引入处并装有压力表和截止阀，喷油器用管子制成，上面有一排小孔。要求润滑油量大时，可以采用喷嘴，喷嘴的构造形状是出口压扁的无缝钢管。



喷油压力润滑的优点是简单可靠，润滑油的使用期较长，缺点是在喷油中可能使润滑油汽化和产生凝结水。当采用油池润滑而速度过大时，由于离心力的作用，油就要从轮齿的表面甩出，不能保证轮齿表面形成油膜，所以必须以喷油润滑代替油池润滑。

二、润滑脂润滑装置

在工程习惯上，通常称润滑脂润滑为干油润滑。干油润滑密封简单，不易泄漏和流失，在稀油容易泄漏和不宜稀油润滑的地方，特别具有优越性。金属压力加工机械设备许多摩擦副中采用干油润滑。干油润滑的润滑装置均属流出润滑，润滑脂在润滑摩擦表面之后就流出消耗，一般润滑脂在使用熔化后即失去其基本性能，所以目前还不能在润滑脂润滑系统中使润滑脂连续的循环使用。按润滑方式干油润滑可分为分散润滑和集中润滑。

1. 分散润滑

将润滑脂压注到摩擦表面上，采用压力脂杯或罩形脂杯，均属单独间歇压力润滑，常用于润滑点很少的机构中，或用于移动和旋转零件上的不重要的润滑点。填充润滑是将润滑脂填充于机壳中而实现，适用于不经常工作的开式齿轮和齿条传动装置、闭式低速齿轮和蜗杆传动装置、开式滑动平面等。密封的滚动轴承转速不超过 3000r/min 时，广泛采用润滑脂填充润滑，属于单独连续无压润滑。

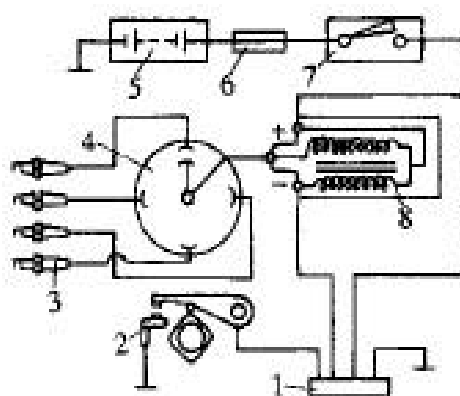
2. 集中润滑

干油集中润滑系统就是以润滑脂作为摩擦副的润滑介质，通过干油站向润滑点输送润滑脂的一套设备。这种润滑系统是比较完善的润滑装置，主要的优点是从润滑站一次可以供应数量较多的、分布较广的润滑点，保证每隔预定的时间向

许多摩擦表面供给一定分量的润滑脂。特别是可以润滑采用人工难以润滑的点，同时，因为润滑脂由润滑站输向润滑点的过程都在密闭的条件下进行，从而能可靠地保护润滑脂不被机械杂质所污染。

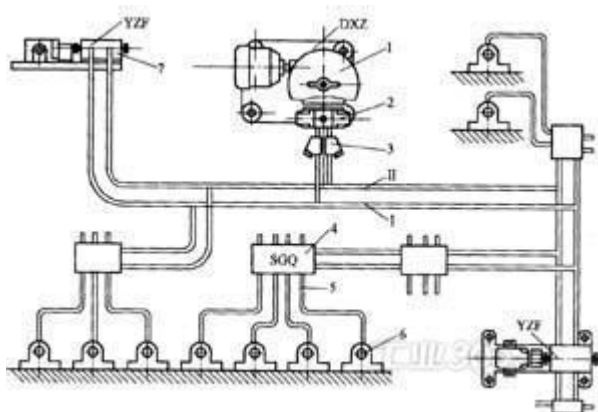
干油集中润滑系统按管路的分布和给油器的结构特点可以分为下列两种类型：

(1) 环式干油集中润滑系统，如图所示。该系统由带液压换向阀的电动干油站、输脂主管及给油器等组成。工作时，润滑脂通过液压换向阀压入主油管工，通过主油管工向给油器压送润滑脂，供给各润滑点，当沿主油管工的各给油器都动作完毕后，压力升高并传至换向阀处，使换向阀换向，润滑脂即沿另一主油管通过给油器向润滑点供给润滑脂。



各给油器又动作完毕，保证全部润滑点的润滑，压力升高，又使换向阀换向，并使油泵电机断电。经一定间隔时间后，下一个供给润滑脂的周期同样按上述顺序工作。

(2) 流出式干油集中润滑系统，如图所示。采用与双线环式干油集中润滑系统同样的给油器，只是管路的布置不同。系统工作时，润滑站通过换向阀将润滑脂从一条给油主管压送到各给油器，在管路内的润滑脂压力作用下，给油器开始动作，将一定分量的润滑脂供给各润滑点。当所有给油器都动作完毕，位于管路最远支管末端的



压力操纵阀内的压力升高，达到一定数值时，压力操纵阀触杆即触动行程开关，使换向阀换向。这时润滑站压送的润滑脂沿另一条给油主管通过给油器向各润滑点供给润滑脂，各给油器动作完毕，保证全部润滑点的润滑。当压力操纵阀内的压力又升高到一定数值时，换向阀又换向，同时润滑站的电机切断，油泵停止工作。经过一定间隔时间后，润滑站又按上述顺序工作。

3. 油雾润滑和油气润滑

油雾润滑是近年来新发展的一种润滑方式,分为油雾润滑装置和干油喷雾润滑装置两类。油雾润滑适用于封闭的齿轮、蜗轮、链轮、滑板、导轨以及各种轴承的润滑。目前在冶金企业中,油雾润滑装置大多用于大型、高速、重载的滚动轴承等的润滑。

油雾润滑的优点是:

- ①油雾能弥散到所有需要润滑的部位,可以获得良好而均匀的润滑效果。
- ②压缩空气质量热容小、流速高,很容易带走摩擦产生的热量,对摩擦副的散热效果好,因而可以提高高速滚动轴承的极限转速,延长其使用寿命。
- ③大幅度降低润滑油的消耗。
- ④由于油雾具有一定的压力,对摩擦副起到良好的密封作用,避免了外界杂质、水分的侵入。
- ⑤较稀油集中润滑系统结构简单,动力消耗少,维护管理方便,易于实现自动控制。

油雾润滑的缺点是:

- ① 在排出的压缩空气中,含有少量的悬浮油粒,污染环境,对操作人员健康不利,所以需增设抽风排雾装置。
- ② 不宜用在电动机轴承上。因为油雾侵入电动绕组将会降低绝缘性能,缩短电机使用寿命。
- ③ 油雾的输送距离不宜太长,一般在 30m 以内为可靠,最长不得超过 80m。
- ④ 必须具有一套压缩空气系统。

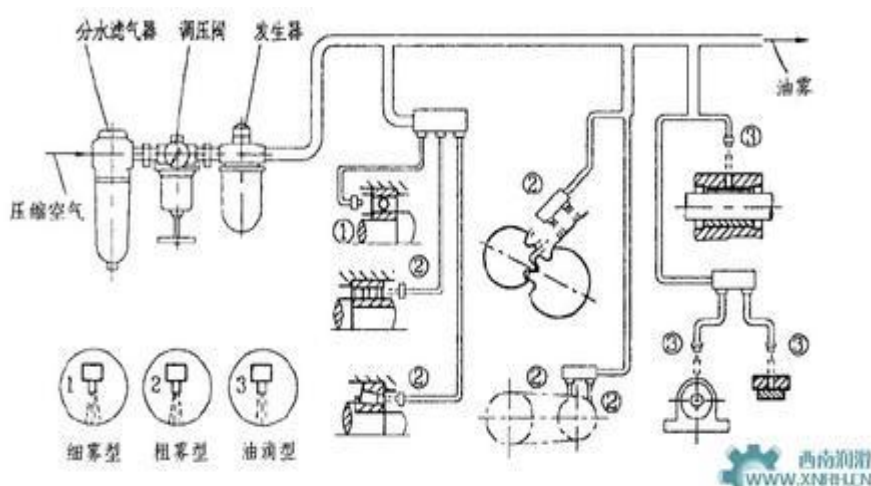
由于油雾润滑的上述缺点,在一定程度上限制了它的使用范围。但它的独特优点,则是其他润滑方式所无法比拟的,所以在金属压力加工设备上,将会获得越来越广泛的应用。

(1) 油雾润滑装置

油雾润滑装置

油雾润滑的工作原理和结构组成。稀油油雾润滑是把压缩空气接入油雾发生器,将润滑油雾化成为粒度十分细小雾状的干燥油雾,并通过管路输送至摩擦部件上进行润滑。

如图所示，
一个完整的油
雾润滑系统应
包括分水滤气
器、电磁阀，调
压阀，油雾发
生器、油雾输
送管道、凝缩
嘴以及控制检
测仪表



等。分水滤气器是为了过滤压缩空气中的杂质和排除空气中的水分，使能得到纯净和干燥的压缩空气。电磁阀用以控制输送压缩空气的管路的接通和断开，而调压阀则使压缩空气保持恒定的压力，并根据需要可以进行调节。

(2) 干油喷雾润滑装置

干油油雾润滑于 60 年代问世，具有润滑均匀、耗油量少和易于形成油膜等优点。是目前较为理想的一种干油润滑方式，成功地用于冶金、矿山和重型机械设备的大型开式齿轮传动润滑中。

干油油雾润滑的工作原理是由手动干油润滑站供给的干油，利用压缩空气通过喷嘴将干油雾化，定时、定量地喷射到承载轮齿表面上，形成细致而均匀的干油层，保证齿轮啮合面可靠的润滑。

(3) 油气润滑装置

油气润滑与油雾润滑相似，都是以压缩空气为动力将稀油输送到润滑点，与油雾润滑不同的是它利用压缩空气把油直接压送到润滑点，不需要凝缩，凡是能流动的液体都可以输送，不受黏度的限制。空气输送的压力较高，在 0.3MPa 左右。适用于润滑滚动轴承，尤其是重负荷的轧机轧辊轴承。

油气润滑具有如下优点：

- ① 不产生油雾，不污染周围环境。
- ② 计量精确。油和空气可分别精确计量，按照不同的需要输送到每一个润滑点，因而非常经济。
- ③ 与油的黏度无关。凡是能流动的油都可以输送，不存在高黏度油雾化困难的

问题。

④ 可以监控。系统的工作状况很容易实现电子监控。

⑤ 特别适用于滚动轴承，尤其是重负荷的轧机轧辊轴承，气冷效果好，可降低轴承的运行温度，从而延长轴承的使用寿命。

⑥ 耗油量微小。

油气润滑的工作原理

压缩空气由进气管，润滑油由进油管同时进入油气混合器，将润滑油吹成油滴，附着在管壁上形成油膜，油膜随着气流的方向沿管壁流动，在流动过程中油膜层的厚度逐渐减薄，并不凝聚，进入特波油路分配阀，将油气混合体分配到几个输出管道，并通过管道输送至润滑点。压缩空气以恒定的压力(约 0.3~0.4MPa)连续不断地供给，而润滑油则是根据各个不同润滑点的消耗量由供油系统定量供给，供油是间断的，间隔时间和每次的给油量都可以根据实际消耗的需要量进行调节。

第三节 典型零部件的润滑

一、滑动轴承的润滑

滑动轴承的润滑，主要是正确选择轴承的润滑方式、润滑材料、耗油量及润滑周期等。

1. 润滑方式

润滑轴承的润滑方式与轴承的载荷、速度、温度、轴承的间隙及结构有关。

2. 滑动轴承用润滑油的选择

一般滑动轴承，虽然设计时也考虑了动压润滑原理，但是，由于转速较低、载荷较大、轴承加工精度低，通常都处于边界润滑或半液体润滑状态。特别是在启动、制动、正反转、停车等过程中，完全处于边界润滑状态。所以，在选择润滑油时，除了选择合适的黏度外，还应特别注意油性和抗极压性这两项指标。

由于液体摩擦轴承对润滑油的抗氧化及热氧化安定性、油的抗腐蚀及黏温性能要求高，故应采用专用的油膜轴承油。油的牌号及黏度应根据设备说明书的规定选用。润滑油的黏度高低是影响滑动轴承工作性能的重要因素之一。因此，选择润滑油是要确定润滑油的黏度，根据黏度选用合适的润滑油。

(1) 滑动轴承润滑油的选用

- ① 主轴的转速 主轴转速越高，润滑油的黏度应越小。
- ② 主轴与轴瓦（套）间的间隙 间隙越大，则选用润滑油的黏度也越大。其原因是：因间隙大容易将润滑油从摩擦面间挤出来，如果润滑油的黏度相应加大，润滑油质点间彼此的联结力也越大，从摩擦面间挤出的阻力就越大。
- ③ 负荷 负荷越大，润滑油的黏度也应增大。一般来说，润滑油的黏度越大，产生的油膜极压性能越好，因而能承受更大的负荷压力。
- ④ 轴径 旋转轴轴径越大，它的旋转圆周线速度也越大，选用润滑油的黏度应越小。

按轴颈的线速度及轴颈载荷压强选用润滑油见表。

滑动轴承润滑油的选用

轴承轴颈的 线速度 / (m / s)	工 作 温 度 (10~60℃)		
	轻 至 中 载 荷 时 轴 颈 压 强 小 于 3MPa		
	润滑方式	适用黏度 (50℃) / (mm ² / s)	适用油的名称牌号
>9	强制、油浴	4—15	5 号、10 号、15 号轴承油
9—5	强制、油、油枪	10—20	15 号、32 号轴承油、32 号汽轮机油
	滴 油	25—30	32 号、46 号轴承油，32 号、46 号汽轮机油
5—2.5	强制、油浴、油杯	25—35	32 号、46 号轴承油，46 号汽轮机油
	滴 油	30—35	46 号轴承油，46 号汽轮机油
2.5—1.0	强制、油浴、油杯	25—40	46 号、68 号轴承油，46 号汽轮机油
	滴油、手浇	25—45	46 号、68 号轴承油，46 号汽轮机油
1.0—0.3	强制、油浴、油杯	30—45	46 号、68 号、100 号轴承油，46 号汽轮机油
	滴油、手浇	35—45	68 号、100 号轴承油
0.3—0.1	循环、油浴、油杯	40—70	68 号、100 号、150 号轴承油
	滴油、手浇	40—75	
<0.1	循环、油浴、油杯	50—90	100 号、150 号轴承油
	油 链	8—10 (100℃)	
	滴油、手浇	65—100	150 号轴承油
		10—12 (100℃)	100 号、150 号轴承油

例 转速 750r/min，载荷 2MPa，工作温度 55℃，由图上 750r/min 处作垂线与 2MPa 的载荷曲线的交点作水平线，再从工作温度 55℃处作垂线，垂线与水平线的交点正好落在 35mm²/s 这条黏温曲线附近，因此所选的润滑油黏度(37.8℃)由图 3—44 查出适用黏度后，就可以按黏度选择润滑油的牌号。建议对低、中载荷的滑动轴承采用油性较好的通用性机床工业用润滑油代替普通机械油，对中、

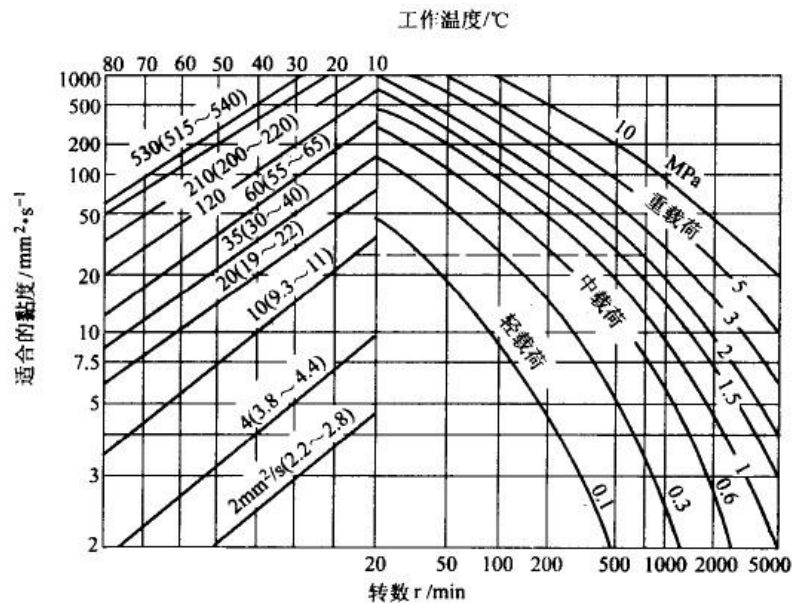


图 3-44 径向轴承适用润滑油的黏度选择

(图中左边一组黏温曲线上标的黏度值为 37.8℃(100°F)时的黏度值)

重载荷的滑动轴承采用中极压工业齿轮油，对低速重载的滑动轴承采用高黏度极压工业齿轮油、合成 28 号轧钢机油、多级普通车辆齿轮油等油品。

二、滑动轴承润滑油的消耗量

滑动轴承润滑油的消耗量与轴承的供油系统结构、压力、轴承长度以及润滑油的黏度有关。用手工加油时，加入轴承的润滑油应能保证轴承 2~3h 内正常工作；以后运转中就必须补充一些新的润滑油；油池润滑的加油量不低于油标的 $1/2 \sim 1/3$ ，小于这个范围时应及时补充新油。

三、滑动轴承用润滑脂的选用

1. 滑动轴承对润滑脂的要求

- 1) 轴承的负荷大、转速低时，润滑脂的针入度应该小些。
- 2) 润滑脂的滴点一般应高于轴承工作温度 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 。
- 3) 滑动轴承在水淋或潮湿环境中工作时，应选用钙基脂或锂基脂。在环境温度较高的条件下工作时，应选用钙—钠基润滑脂。
- 4) 具有良好的黏附性能。

滑动轴承润滑脂的选用

单位载荷 / MPa	圆周速度 / (m / s)	最高工作 温度 / °C	选用润滑脂 的名称牌号	备 注
≤1	≤1	75	3 号钙基脂	1. 潮湿环境, 工作温度在 75—120°C 的条件下, 应考虑用钙—钠基脂 2. 有水或潮湿, 工作温度在 75°C 的条件下, 可用铝基脂 3. 工作温度在 110—120°C 可用锂基脂 4. 集中润滑系统给脂时, 应选用针入度较大的润滑脂 5. 压延机脂冬夏规格可通用
1—6.5	0.5—5	55	2 号钙基脂	
≥6.5	≤0.5	75	3 号、4 号钙基脂	
1—6.5	0.5—5	120	1 号、2 号钠基脂	
≥6.5	≤0.5	110	1 号钙—钠基脂	
1—6.5	≤1	50—100	2 号锂基脂	
≥6.5	约 0.5	60	2 号压延机脂	

润滑脂润滑轴承主要采用旋盖式油杯和加压式给油器, 用这种方法可控制加入轴承的轴承的润滑脂消耗量。

四、滑动轴承的润滑制度

根据轴承的工作条件和润滑方式来确定滑动轴承的润滑制度, 可参考表选定。液体润轴承的润滑制度应根据液体摩擦轴承所在的机组的生产工艺要求, 在设计集中循环润滑系统时按具体情况确定。

滑动轴承润滑制度表

润滑方法或装置	工件条件	润滑制度
滴油或线芯润滑	连续工作 40°C 以上	2h 1 次
	连续工作 20~25°C	8h 2~3 次
	间歇工作	8h 1 次
油环润滑	正常工作条件下	5 天 1 次, 全部换油 3 个月
	繁重工作条件下	2~3 天 1 次, 全换油 1~2 个月

滑动轴承干油润滑制度

润滑方式或装置	工件条件	润滑制度
旋盖干油杯压力球 阀油杯集中润滑系 统	重载荷、间歇工作	8h 给脂 1 次
	正常温度、经常运转	8h 给脂 1~2 次
	重载荷、高温下经常运转	8h 给脂 2~3 次
	小载荷、间歇工作	1~2 天给脂 1 次
	偶尔运转不经常工作	4~6 天给脂 1 次

第四节 滚动轴承的润滑

滚动轴承是使用十分广泛的一种重要的支承部件，属于高副接触。由于滚动轴承中的滚动体与外滚道间的接触面积十分狭小，接触区的内压力很高，因而对油膜的抗压强度要求很高。在滚动轴承的损坏形式中，往往由于润滑不良而引起轴承发热、异常的噪声，滚道烧伤及保持架损坏等。因此，必须十分注意选择滚动轴承的润滑方式和润滑剂。

一、滚动轴承的润滑方式及选择

(1) 润滑方式

滚动轴承的润滑方式有灌注式润滑、集中加脂润滑、油雾、油气润滑等。灌注式润滑又分为稀油润滑、脂润滑、空毂润滑等。

(2) 润滑方式的选择

选择滚动轴承的润滑方式与轴承的类型、尺寸和运转条件有关。一般滚动轴承的润滑既可采用润滑油也可采用润滑脂，在某些特殊情况下还可采用固体润滑剂。从润滑的作用来看，油具有很多优点，在高速下使用非常好。但从使用的角度，脂具有使用方便、不易泄漏、有阻止外来杂质进入摩擦副的作用等优点。目前，在滚动轴承中有 80% 是采用润滑脂来润滑的。而且，随着润滑脂和轴承的改进，特别是一批高性能的合成润滑脂及其他新品种润滑脂的问世，滚动轴承使用润滑脂润滑的比例还会上升。当然，近年来油雾润滑、油气润滑等新的润滑方式

的发展，使润滑油润滑产生了新的前景。

一般来说，润滑点分散、运行速度较低时应用灌注式润滑；润滑点较多，加脂周期短，难以用手工加脂的部位，采用集中加脂润滑；滚动轴承高速、重载时宜选用油雾或油气润滑。图表对润滑油和润滑脂用于滚动轴承润滑的性能做了比较。

表 润滑油与润滑脂使用性能的比较

特 性	润滑油	润滑脂
转 速	各种转速都适用	只适用于低中转速
润滑性能	良 好	良 好
密 封	要求严格	简 单
冷却性能	良 好	差
更 换	容 易	比较麻烦

二、滚动轴承用润滑油、润滑脂的选择

滚动轴承用润滑油，不但要求有合适的黏度，而且要有良好的氧安定性和热氧化安定性，不含机械杂质和水分；滚动轴承用润滑脂的选择主要是确定针入度、稠化剂和添加剂的类型选择滚动轴承用润滑油、脂的一般原则可参考表 2-15。

表选择滚动轴承用润滑油、脂的一般原则

影响选择的因素	润 滑 油	润 滑 脂
温 度	当油池温度超过 90℃或轴承温度超过 200℃时，可采用特殊的润滑油	当油池温度超过 120℃时，要用特殊的润滑脂。 当温度升高到 200℃～220℃时，润滑的时间间隔要缩短

影响选择的因素	润 滑 油	润 滑 脂
速度因数 ^① ($d \eta$ 质)	$d \eta$ 值 $< 450000 \sim 500000$	$d \eta$ 值 $< 300000 \sim 350000$
载荷	各种载荷值到最大	低到中等
轴承类型	各种轴承	不能用于不对称的球面滚子止推轴承
壳体设计	需要较复杂的密封和供油装置	较简单
长时间不维修	不可以用	可用。根据操作条件，特别要考虑温度
集中供给（同时供给其他零部件）	可用	选用泵送性能好的润滑脂，但不能有效地传热，也不能作为液压介质
最低的扭矩损失	为了获得低功率损失，应采用有清洗泵或油雾装置的循环系统	如填装适当，比采用油的损失还要低
污染条件	可用，但要采用有过滤装置的循环系统	可用，正确设计，防止污染物的侵入
注：① $d \eta$ 值 = 轴承内径 (mm) $\times$ 转速 (r / min)，对于大轴承（直径大于 65mm）用 $\eta \cdot d_m$ 值 (d_m = 内外径的平均值)		

1. 滚动轴承用润滑油的选择

根据速度因数、工作温度、工作条件可以查表选用润滑油。

滚动轴承用润滑油选用表

轴承工作温度 / $^{\circ}\text{C}$	速度因数 ($d \times \eta$) / ($\text{mm}^2 / \text{r} / \text{min}$)	工作条件			
		普通负荷		重负荷或冲击负荷	
		适用黏度 / (mm^2 / S)	适用油的名称 牌号	适用黏度 / (mm^2 / S)	适用油的名称 牌号
- 30 ~ 0	—	12 ~ 20 (50 $^{\circ}\text{C}$)	32 号轴承油	12 ~ 25 (50 $^{\circ}\text{C}$)	32 号抗磨 液压油

轴承工作 温度 / °C	速度因数 ($d \times n$) / ($\text{mm}^2 / \text{r} / \text{min}$)	工作条件			
		普通负荷		重负荷或冲击负荷	
		适用黏度 / (mm^2 / s)	适用油 的名称 牌号	适用黏度 / (mm^2 / s)	适用油的 名称牌号
0~60	15000 以下	24~40 (50°C)	46 号轴 承油、46 号汽轮 机油	40~95 (50°C)	46 号抗磨 液压油
	15000~75000	12~20 (50°C)	32 号轴 承油、32 号汽轮 机油	25~50 (50°C)	32 号 HM 油
	75000~150000	12~20 (50°C)	32 号轴 承油、32 号汽轮 机油	20~25 (50°C)	32 号 HM 油
	150000~300000	5~9 (50°C)	7~9 号 轴承油	12~20 (50°C)	10 号轴承 油
60~100	15000 以下	60~95 (50°C)	100 号 轴承油	100~150 (50°C) 15~24 (100°C)	100 号齿 轮油
	75000~150000	30~50 (50°C)	46 号轴 承油	40~65 (50°C)	46 号~68 号齿轮油
	150000~300000	20~40 (50°C)	32 号轴 承油、 22、30 号汽轮 机油	30~50 (50°C)	46 号齿 轮油
100~150	—	13~16 (100°C)	150 号 轴承油	15~25 (100°C)	220 号齿 轮油

在重负荷和高温(或因重负荷而形成高温)条件下工作的滚动轴承, 为保证良好的润滑, 常采用有极压添加剂的高黏度耐高温润滑油。因油在高温下的蒸发, 不宜采用两种不同黏度掺和的润滑油。掺和油在高温时将析出其中的轻馏分使残留部分变稠, 这样影响润滑效果。某些特重负荷的机械, 如轧钢机上的滚动轴承, 在使用高黏度的润滑油时, 还应加入极压添加剂, 用以增加油膜强度, 提高耐极压性能。

二、滚动轴承润滑油的用量

在采用油浴润滑时，必须注意油面的高度。对于转速在 1500r/min 以上的轴承，只需要滚动体接触到润滑油；低于 1500r/min 的滚动轴承，要求油面达到最下面的滚动体的中心线。

三、滚动轴承润滑脂的选用

1. 滚动轴承对润滑脂的要求

要求减少摩擦和磨损、防止腐蚀、具有良好的密封性能（用于潮湿环境的润滑脂）及抗水性。因此选用润滑脂时要注意其滴点、针入度和机械安定性等指标。

2. 滚动轴承润滑脂的选择

主要按工作温度来选用润滑脂，但在极高或极低温条件下工作，则需合成油稠化的润滑脂。

- 1) 在工作温度不高于 70°C 的潮湿环境中工作的轴承，应选用耐水性较好的钙基脂。
- 2) 在 $30\sim 90^{\circ}\text{C}$ 一般温度下工作的滚动轴承，低速的采用钠基脂或钙钠基脂；中速的采用钙基脂，但限于低于 70°C 的工作温度；高速工作条件采用锂基脂或主轴脂。
- 3) 在 $-50\sim -70^{\circ}\text{C}$ 极低温下工作的滚动轴承采用双酯、硅油等合成润滑油稠化的润滑脂。
- 4) 在 150°C 以内的高温下工作的滚动轴承可采用高黏度矿物油稠化的润滑脂，而且添加润滑脂的次数也应有所增加。
- 5) 高于 150°C 的高温下工作可采用硅油稠化的润滑脂，特别是硅油稠化的锂基脂。
- 6) 在高速、重载条件下工作的滚动轴承，如果没有集中自动供脂系统，可选用泵送性能良好的压延机脂或复合锂基脂等。
- 7) 高速滚动轴承可按其速度因素选用润滑脂，速度因素为 $150000\sim 200000\text{mm}\cdot\text{r}/\text{min}$ 的滚动轴承采用 3 号或 4 号的一般润滑脂；而速度因素为 $400000\sim 500000\text{mm}\cdot\text{r}/\text{min}$ 的滚动轴承则采用 2 号主轴脂或锂基脂。

表 根据速度因数、工作温度和环境条件选用润滑脂

轴承工作温度 / °C	速度因数 ($d \times n$) / (mm · r · min)	干燥环境	潮湿环境
0~40	80000 以下	2 号、3 号钠基润滑脂、2 号、3 号钙基润滑脂	2 号、3 号钙基润滑脂
	80000 以上	1 号、2 号钠基润滑脂、1 号、2 号钙基润滑脂	1 号、2 号钙基润滑脂
40~80	80000 以下	3 号钠基润滑脂	3 号钠基润滑脂、钼基润滑脂
	80000 以上	2 号钠基润滑脂	2 号合成复合铝基润滑脂
80 以上 0 以下	—	锂基润滑脂，合成锂基润滑脂	锂基润滑脂，合成锂基润滑脂

3.滚动轴承用润滑油的消耗量及工作制度

对于钙、钠基等低性能的润滑脂，根据经验，滚动轴承内润滑脂的填充量为：

对于转速在 1500r/min 以上的滚动轴承，润滑脂的装入量为其空间的 30%~50%；

对于转速在 1500r/min 以下的滚动轴承，润滑脂的装入量为其空间的 60%~70%；

对于易污染的环境中工作的低速轴承，可以把轴承座内的空间全部填满，以使污染介质不易进入轴承内。

实践证明，由于润滑脂新品种的研制和推广应用，延长了加脂周期，同时又大大减小了装入量。现在有一种装填润滑脂的新方法叫做空毂润滑，即只将滚动轴承内的空间填满润滑脂，而滚动轴承两边端盖内则不填充润滑脂。这种方法被证明是可行的，节约了大量润滑脂。但是注意，采用空毂润滑时，要求用机械安定性和胶体安定性都好的高性能润滑脂，否则运转中脂易流失，难以保证良好的润滑。

滚动轴承的润滑制度主要是轴承的加脂周期和换脂周期，即清除轴承内残存的旧脂，清洗后重新加脂。

实验实训项目

一、基本实训

1. 滚动轴承的润滑
2. 常用单体润滑装置的使用

二、选做实训

1. 小型稀油集中润滑系统的操作
2. 手动干油集中润滑装置的操作

思 考 题

1. 什么叫润滑，常用的润滑材料有哪几类，分别用在什么场合？
2. 润滑的主要作用有哪些？
3. 简述静压润滑、动压润滑、动静压润滑、固体润滑。
4. 润滑油、脂添加剂有哪几种？
5. 有哪些常用固体润滑材料？
6. 润滑材料种类的选择要考虑哪些因素？

第四章 机械设备的修复

维修是判定和评价机器的实际状态以及保护和恢复其原始状态而采取的全部必要步骤的总称。所有的维修都包括三个方面的工作：

1. 保养是保护机器或设备原始状态所需的一切措施。包括诸如清洁、润滑、补给、交换和日常护理等工作；
2. 检查是判定和评价机器、组件或零件的实际状态所需的一切手段。检查纯粹是一种获取信息的方法，其中包括测量、试验、收集和外观观察等工作；
3. 修理是恢复原始状态所需的一切手段，包括更换、重制和调整等。

机器在使用过程中，其性能总是要不断劣化的，只有通过系统的维修，才能实现保护及恢复其原始性能、避免不可预见的停机及生产损失、改进安全、保护环境、提高产品质量和创造效益的目的。

第一节 设备的维护

设备的维护是操作工人为了保持设备的正常技术状态，延长使用寿命所必须进行的日常工作，也是操作工人的主要责任之一。正确合理地进行设备维护，可减少设备故障发生，提高使用效率，降低设备检修的费用，提高企业经济效益。

一、设备的维护保养

1.设备维护保养

通过擦拭、清扫、润滑、调整等一般方法对设备进行护理，以保持设备的性能和技术状况，称为设备维护保养。设备维护保养的要求主要有四项：

- (1) 清洁。设备内外整洁，各滑动面、丝杠、齿条、齿轮箱、油孔等处无油污，各部位不漏油、不漏气，设备周围的切屑、杂物、脏物要清扫干净；
- (2) 整齐。工具、附件、工件要放置整齐，管道、线路要有条理；
- (3) 润滑良好。按时加油或换油，油压正常，油标明亮，油路畅通，油质符合要求，油枪、油杯、油毡清洁；
- (4) 安全。遵守安全操作规程，不超负荷使用设备，设备的安全防护装置齐全可靠，及时消除不安全因素。

设备的维护保养内容一般包括日常维护、定期维护、定期检查和精度检查，设备润滑和冷却系统维护也是设备维护保养的一个重要内容。

设备的日常维护保养是设备维护的基础工作，必须做到制度化和规范化。对设备的定期维护保养工作要制定工作定额和物资消耗定额，并按定额进行考核，设备定期维护保养工作应纳入车间承包责任制的考核内容。设备定期检查是一种有计划的预防性检查，检查的手段除人的感官以外，还需要用一定的检查工具和仪器，按定期检查卡规定的项目进行检查。对机械设备还应进行精度检查，以确定设备实际精度的优劣程度。

二、设备维护规程

设备维护应按维护规程进行。设备维护规程是对设备日常维护方面的要求和规定，其主要内容应包括：

- (1) 设备要达到整齐、清洁、坚固、润滑、防腐、安全等的作业内容、作业方法、使用的工器具及材料、达到的标准及注意事项；
- (2) 日常检查维护及定期检查的部位、方法和标准；
- (3) 检查和评定操作工人维护设备程度的内容和方法等。

1.设备的日常维护保养

设备的日常维护保养，一般有日保养和周保养，又称日例保和周例保。

(1) 日例保

日例保由设备操作工人当班进行，要认真做到班前四件事、班中五注意和班后四件事。

① 班前四件事

消化图样资料，检查交接班记录；擦拭设备，按规定润滑加油；检查手柄位置和手动运转部位是否正确、灵活，安全装置是否可靠；低速运转检查传动是否正常，润滑、冷却是否畅通。

② 班中五注意

注意设备运转的声音、温度、压力、仪表信号、安全保险等是否正常。

③ 班后四件事

关闭开关，所有手柄置零位；擦净设备各部分，并加油；清扫工作场地，整理附件、工具；填写交接班记录，办理交接班手续。

(2) 周例保

周例保由设备操作者在周末进行，保养时间一般设备约 1~2h，精、大、稀设备约 4h 左右，主要完成下述工作内容：

① 外观

擦净设备导轨、各传动部位及外露部分，清扫工作场地。达到内洁外净无死角、无锈蚀，周围环境整洁。

② 操纵传动

检查各部位的技术状况，紧固松动部位，调整配合间隙。检查互锁、保险装置。达到工作声音正常、安全可靠。

③ 液压润滑

清洁检查润滑装置，油箱加油或换油。检查液压系统，达到油质清洁，油路畅通，无渗漏。

④ 电气系统

擦拭电动机，检查各电器绝缘、接地，达到完整、清洁、可靠。

三、精、大、稀设备的使用维护要求

1. 四定工作

(1) 定使用人员

按定人定机制度，精、大、稀设备操作工人应选择本工种中责任心强、技术水平高和实践经验丰富者，并尽可能保持较长时间的相对稳定。

(2) 定检修人员

精、大、稀设备较多的企业，根据本企业条件，可组织精、大、稀设备专业维修组，专门负责对精、大、稀设备的检查、精度调整、维护、修理。

(3) 定操作规程

精、大、稀设备应分机型逐台编制操作规程，并严格执行。

(4) 定备品配件

根据各种精、大、稀设备在企业生产中的作用及备件来源情况，确定储备定额，并优先解决。

2. 精密设备使用维护要求

(1) 必须严格按说明书规定安装设备。

- (2) 对环境有特殊要求的设备（恒温、恒湿、防震、防尘），企业应采取相应措施，确保设备精度性能。
- (3) 设备在日常维护保养中，不许拆卸零部件，发现异常立即停车，不允许带“病”运车令。
- (4) 严格执行设备说明书规定的切削规范，只允许按直接用途进行零件精加工。加工余量应尽可能小。加工铸件时，毛坯面应预先喷砂或涂漆。
- (5) 非工作时间应加护罩，长时间停歇，应定期进行擦拭，润滑、空运转。
- (6) 附件和专用工具应有专用框架搁置，保持清洁，防止研伤，不得外借。

3.设备的区域维护

设备的区域维护又称维修工包机制。维修工人承担一定生产区域内的设备维修工作，与生产操作工人共同做好日常维护、巡回检查、定期维护、计划修理及故障排除等工作，并负责完成管区内的设备完好率、故障停机率等考核指标。设备专业维护主要组织形式是区域维护组。区域维护组全面负责生产区域的设备维护保养和应急修理工作，它的工作任务是：

- ① 负责本区域内设备的维护修理工作，确保完成设备完好率、故障停机率等指标。
- ② 认真执行设备定期点检和区域巡回检查制，指导和督促操作工人做好日常维护和定期维护工作。
- ③ 在车间机械员指导下参加设备状况普查、精度检查、调整、治漏，开展故障分析和状态监测等工作。

设备区域维护组织形式的优点是在完成应急修理时有高度机动性，从而可使设备修理停歇时间最短，而且值班钳工在无人召请时，可以完成各项预防作业和参与计划修理。

设备维护区域划分应考虑生产设备分布、设备状况、技术复杂程度、生产需要和修理钳工的技术水平等因素。可以根据上述因素将车间设备划分成若干区域，也可以按设备类型划分区域维护组。流水生产线的设备应按线划分维护区域。

区域维护组要编制定期检查和精度检查计划，并规定出每班对设备进行常规检查时间。为了使这些工作不影响生产，设备的计划检查要安排在工厂的非工作日进行，而每班的常规检查要安排在生产工人的午休时间进行。

提高设备维护水平的措施。

为提高设备维护水平应使维护工作基本做到三化，即规范化、工艺化、制度化。

规范化就是使维护内容统一，哪些部位该清洗、哪些零件该调整、哪些装置该检查，要根据各企业情况按客观规律加以统一考虑和规定。

工艺化是指根据不同设备制订相应的维护工艺规程，按规程进行维护。
制度化是根据不同设备、不同工作条件，规定不同维护周期和维护时间并严格执行。

设备维护工作应结合企业生产经营目标进行考核。同时，企业还应发动群众开展专群结合的设备维护工作，进行自检、互检，开展设备大检查。

实例 减速机的检修与维护

一、减速机的维修知识：

减速机是冶金设备中的重要部件，它应用广，耗量大。对已经发生故障的减速机不及时修理，会严重影响生产而对损坏的减速机，不修复使用也是很经济的。在冶金企业使用最多的是各种开线圆柱齿轮减速机，现对其检修介绍如下。

1.减速机检修的一般原则：

- 1) 对大型减速机必须制定和严格执行减速机机修规程。
- 2) 要定期检查修理。检查主要是五官检查，不要轻易大拆大卸，安排专人检修，要制定严格的检修制度和手续，做好检修记录。
- 3) 要严格保证润滑油的各种性能及指标和特殊要求，检查时应化验，过滤，分析，评定润滑油的性能。
- 4) 要换配件时，应对配件进行检查，确认合格后再按原装配要求进行装配。
- 5) 在检修装配时，要按原有的标记装配和安装，并保证零部件间，原来的相互位置关系和要求的精度，如齿轮的接触面，减速机纵横和水平度，联轴器的同轴度等。

2.减速机的故障，减速在经过一段时间的使用后，常出现以下故障：

- 1) 主要零件损坏，既齿轮、轴等重要零件的损坏。
- 2) 噪音 有经验检修人员，可以凭减速机发的不同音，音量以及不同长短，不

同规律的声音，判断故障的部位，故障类型及严重程度。

3) 减速机的振动 生产振动的原因很多，主要原因是减速机安装中与相连轴之间的同轴度误差，减速机的刚性不好，以及地脚螺栓松动等有关，引起振动。齿轮的制造精度和装配精度质量好坏与振动有密切相关。

4) 减速机发热 轴承损坏；轴承、齿轮、轴等零件装配不当；更换件不合格；润滑油不合格；减速机承载能力不足等均会收起发热。

5) 漏油 齿轮传动中摩擦生热，油温上升，箱内油压增大，油液变稀容易渗漏；密封不好、箱体产生变形结构和设计不当等均会导致漏油。

二、减速机的解体检查：

1.齿轮的检修：

(1)齿轮的损坏形式：

A、断齿：这主要是由于操作不当引起撞击，产生沉重荷载而造成的；材料淬火和疲劳引起微小裂纹而逐渐扩大也是断齿的原因。

B、齿面接触不良：既齿轮在啮合过程中，齿面不能沿齿长和齿高方向达到规定的良好接触。这种现象将使齿面局部加速磨损或造成事故性破坏。产生原因是两齿轮啮合中心距或两轴平行度超差，以及齿轮制造误差大。

C、齿面磨损：一种是指长期正常磨损而超过一定限量，另一种是指非正常磨损造成的损坏，包括粘附磨损，磨料磨损和腐蚀磨损。产生原因是齿部硬度不合要求，负荷过大及润滑油不合要求。

D、齿面点蚀：既齿面出现点蚀材料疲劳，齿面粗糙，润滑油不清等引起的。

E、齿面塑性变形：齿面淬火硬度不均匀（或未进行淬火）是软体面部位发生永久变形，形成凹凸不平的齿面或造成齿形歪斜。

2.齿轮检修方法：

齿轮在使用中产生的各种损坏现象应如何处理需根据具体情况而定，常见的有如下一些办法：

大多数齿轮损坏，以后都不采用修理的办法来修复而是控制一定的极度标准，超过标准则更换新齿轮。对于未超过报废标准的齿轮，可以用刮刀或油石清除齿面的毛刺，重新换用新润滑油等以达到减缓操作的目的。更换的标准按减速机的用途技术标准确定对损坏的小齿轮都是进行更换，对于四周速度超过 8 米/秒和

斜齿轮磨损的均应成对更换。对于大模板，大型齿轮应修换结合，大模板齿轮的局部断齿，可用气焊进行堆焊，然后经回火再加工准确的齿形。大型齿轮磨损后，采用变位法修理效果很好。既在修复时采取高变位，将大齿轮外圆车去一层，再重新加工新的齿形。齿轮的齿部损坏，除采用变位法修复可以长期使用外，其它的修方法只能是种应付的措施，并在使用的头几天要特加观察。应尽快准备备件，做好更换的准备。

3.滚动轴承的检修：

在减速机中，主要采用滚动轴承，轴承工作状态的好坏，直接影响到减速机的性能，寿命以及动力的消耗。滚动轴承在运行中的故障现象：温度过高。轴承的正常工作温度不高于周围环境温度 20°C ，最高温度一般不允许超过环境温度 35°C （环境温度定为 40°C ）。当轴承外壳已烫手，说明温度超标，应拆开检查。引起发热时原因是轴承内不清洁，缺油，油质不合规定，装配不当，超载，轴承损坏等。

杂音 杂音可以通过听诊法检查，润滑不良，轴承局部损坏会产生杂音。

4.滚动轴承的损坏：

滚动轴承的损坏有疲劳剥落，磨损，烧伤，腐蚀和破裂。产生的原因是：润滑油脂不合规定；肮脏和缺油；间隙不适当；配合过紧或过松；轴承规格选择不当或载荷过大。

5.检修工作的内容：

滚动轴承的检修工作，主要检查，调整和更换。滚动轴承更换标准：轴承是否需要更换，首先要弄清故障原因，损坏程度，对使用的影响，再根据具体情况确定处理措施。对于轴承升温过高，杂音大时应及时停机检查处理。发现轴承破坏，严重烧伤变色，内外圈有裂纹等必须更换。对于一般要求的设备，轴承虽有伤损，但不影响运行要求的情况下可断续使用。对于大、中型减速机，检修拆装一次很不容易，因此，在它们检修时遇有明显损伤，曾可换可不换者，应以更换为好。

6.滚动轴承的调整：

滚动轴承的滚动体和内外圈之间有一定的间隙，间隙过大容易产生振动和噪音，但间隙过小又容易引起剧烈发热和磨损。两者都将使轴承的寿命缩短。滚动轴承的间隙分为可调不可调两种。间隙不可调整的轴承（如向心球轴承），它

的间隙已在制造时给予保证。但因使用条件不同，轴受热膨胀，产生轴向移动，使轴承间隙减小，甚至将滚动体卡死。所以，此类轴承在装配时，一个轴承固定，轴另一端的轴承与端盖间留有轴向间隙，其值一般在 0.25-0.5 毫米之间（高温环境除外）。间隙可调整的轴承（如圆锥滚子轴承）在装配时，不允许在外圆端面留间隙，将保证轴正常运转所需要的间隙调整到位然后加以固定。在检修中调整这类轴承，就能补偿因磨损所引起的间隙，增大使轴承间隙保持正常的需用值，由于此类轴承的轴向间隙与径向间隙，存在着正比关系，所以调整时只调整它们的轴向间隙。好通过调整轴承内圈的相对位置，来达到间隙调整的目的，间隙的数值可查阅有关资料。调整间隙的方法，根据调整的结构不同面不同，常见的有垫片调整法，螺钉调整法，内外套调整法。

以垫片调整法为例，说明调整的过程，既先在不加垫片的情况下，拧紧轴承端盖与轴承座间的距离，此距离值加上间隙值既为所需垫片的厚度，也就是装配加入此组厚度的垫片，轴承便得到所需的轴向间隙。

7.轴的修理：

轴的损坏形势有轴径磨损，轴变形弯曲和裂纹。主要的损坏形式是轴径磨损。当轴径的磨损量小于 0.2 毫米时,可用镀铬修复,镀铬后经磨削加工至需要尺寸,也可以用喷涂法修复,若轴径磨损严重可在磨损表面堆焊一层金属后,再按图纸要求进行加工.轴上若发现裂纹应及时更换。

8.减速机漏油的修理：

减速机漏油是一个比较普遍的故障现象，它影响设备的正常润滑，污染环境影响安全而且是一大浪费，解决减速机漏油的原则是均压，畅流和堵漏。

均压和畅流

减速机内在运行中发热升温，使箱内压力增高，箱内外形成压力差，使飞溅的油液更容易从密封不严处漏它，所以在减速机盖的最高处没有通气孔，使箱内外压力一致。

畅流是指飞溅在箱壳内壁上的油液要顺畅，尽快流回油池，不要在密封处存留，以防渗漏流它。解决办法是加工回油槽。均压和畅流都是在设计有缺陷时采用时改进措施。

堵漏：这是检修中处理漏油的主要工作，它包括，箱体接合面漏油处理。轴端漏

油处理，重新更换密封件，使用毛毡周边要均，整齐，且以比槽高它 2 毫米为宜，毛毡要在机油中先浸泡 24 小时后再用。壳体若发现裂纹，应更换。

三、减速机检修后的验收：

经检查认定装配工作符合要求安全可靠之后，进行运转试验，一般空负荷试验，1000 转/分的转速空运转，正反两个方向转各不得少于 10 分钟，在试验中，除应达到所要求的接触面积时，还应达到下列开动电机时，没有跳动，撞击。剧烈或断续的噪音，响声应均匀，没有漏油现象，紧固连接处无松动，润滑油升温不应超过规定值，经跑合试验合格后，开机放油，对全部零件重新清洗检查，无超标缺陷。既为合格，另加新油，方可交付使用。

四、常见故障及排除方法

减速机常见故障与原因及排除方法

故 障 内 容	故障原因	排 除 方 法
齿轮有异响和振动过大	1. 齿轮装配啮合间隙超限或点蚀剥落严重 2. 轴向窜量过大 3. 各轴水平度及平行度偏差太大 4. 轴瓦间隙过大 5. 键松动 6. 齿轮磨损过大	1. 调整齿轮啮合间隙，限定负荷，更换润滑油 2. 调整窜量 3. 重新调整各轴的水平度及平行度 4. 调整轴瓦间隙或更换 5. 紧固键或更换键 6. 进行修理或更换齿轮
齿轮磨损过快	1. 装配不好，齿轮啮合不好 2. 润滑不良或油有杂质 3. 加工精度不符合要求 4. 负荷过大或材质不佳 5. 疲劳	1. 调整装配 2. 加润滑油 3. 适当检修处理 4. 调整负荷或更换齿轮 5. 修理换更换
齿轮打牙断齿	1. 间隙掉入金属异物 2. 突然重载荷冲击或反复重复载荷冲击 3. 材质不佳或疲劳	1. 检查取出，更换齿轮 2. 采取相应措施，杜绝超负荷运转 3. 更换齿轮
齿轮裂纹	制造原因和使用原因引起的应力集中	将裂纹处打磨光滑使其周围圆滑过渡防止裂纹扩散

断齿	过载、应力集中、交变负荷	更换
齿面损伤（点蚀、剥落）	齿轮的材料、加工、承受的交变负载	将点蚀坑边沿打磨光滑、更换极压齿轮油
齿面磨损	齿面上没有油膜、硬质颗粒啮合区、齿轮加工误差造成啮合不正常	采用极压齿轮油、保证润滑油清洁监视磨损发展情况
齿面胶合	缺乏润滑油、负载过重、局部过热	将损伤处打磨光滑、采用极压齿轮油润滑冷却
传动轴弯曲或折断	1. 材质不佳或疲劳 2. 断齿进入另一齿轮间空隙，齿顶顶撞 3. 间隙掉入金属硬物，轴受弯曲应力过大 4. 加工质量不符合要求，使轴产生大的集中应力	1. 改进材质 2. 发现断齿及时停车，及早处理断齿 3. 杜绝异物掉入 4. 改进加工方法，保证加工质量

蜗轮减速机一般故障原因及排除方法

故障类型	故障原因	排除方法
减速机过热	超负荷运载 润滑油过少或过多 润滑油不良或不适当 油封过度摩擦 出力轴与传动装置连接不当	调整至适当负荷或选大机型 依指示加入适当润滑油 油排出后加入适当润滑油 在油封处滴数滴润滑油 调整至适当位置
减速机杂音	蜗轮、蜗杆啮合不良 轴承损伤或间隙过大 润滑油不足 异物侵入	修整齿接触面 更换轴承 依指示加入适量润滑油 去除异物并更换润滑油
不正常振动	传动装置固定不良 蜗轮磨损或损伤 轴承磨损或损伤 螺栓松脱 异物侵入	固定传动装置 更换蜗轮 更换轴承 拧紧螺栓 去除异物并更换润滑油
漏油	油封损伤 密封垫破损	更换油封 更换密封垫

	油量过多 油塞松脱 油标破损	加入适量润滑油 拧紧油塞 更换油标
入力或出力轴不转	蜗轮蜗杆过热 轴承损坏 异物侵入 蜗轮、蜗杆过度磨损	更换或维修 更换轴承 去除异物并更换润滑油 更换蜗轮或蜗杆
蜗轮过度磨损	超负荷运转 润滑油不良或不适当 润滑油不足 轴承磨损 运转温度过高	调整至适当负荷 更换适当润滑油 依指示加入适当润滑油 更换轴承 改善通风环境

斜齿轮减速电机一般故障原因及排除方法

故障	可能原因	处理方法
减速机过热	1) 超负荷 2) 润滑油不足或过多	1) 检查实际负荷，调整到规定值上或更换较大功率的减速机 2) 按规定用油量用油
异常的稳定的运转噪声	1) 转动/研磨噪声，轴承损坏 2) 敲击噪声，啮合不规则	1) 检查油 2) 与用户服务机构联系
异常的不稳定的运转噪声	油污染或油量不足	换油或加油至规定值
通气器漏油	1) 油量太多 2) 通气器安装不正确	1) 修正油位 2) 正确安装通气器
漏油	密封损坏	与用户服务机构联系
电动机转动时输出轴不转	减速机键联接破坏	送去检修

第二节 故障诊断技术

机械设备的状态监测与故障诊断是指利用现代科学技术和仪器,根据机械设备(系统、结构)外部信息参数的变化来判断机器内部的工作状态或机械结构的损伤状况,确定故障的性质、程度、类别和部位、预报其发展趋势,并研究故障产生的机理。它所包含的内容比较广泛,诸如机械状态量(力、位移、振动、噪声、温度、压力和流量等)的监测,状态特征参数变化的辨识,机械产生振动和损伤时的原因分析、振源判断、故障预防,机械零部件使用期间的可靠性分析和剩余寿命估计等。机械设备状态监测与故障诊断技术是保障设备安全运行的基本措施之一。

机械故障诊断的基本原理、基本方法和环节

一、1.基本原理

机械故障诊断就是在动态情况下,利用机械设备劣化进程中产生的信息(即振动、噪声、压力、温度、流量、润滑状态及其指标等)来进行状态分析和故障诊断,故障诊断的基本过程和原理如图 3-1 所示。

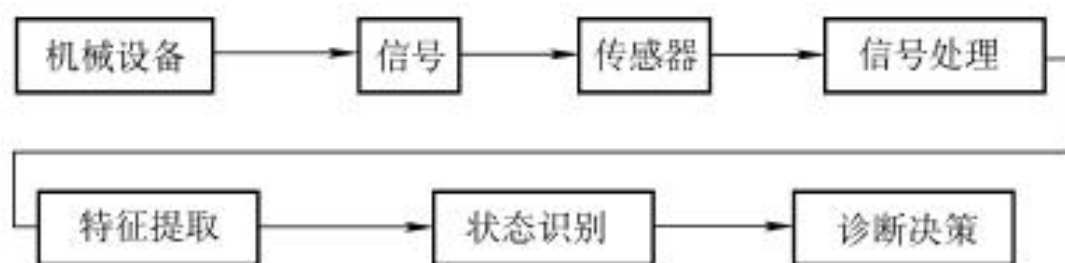


图 机械故障诊断的基本过程和原理

2.基本方法

机械故障诊断目前流行的分类方法有两种,一是按诊断方法的难易程度分类,可分为简易诊断法和精密诊断法;二是按诊断的测试手段来分类,主要分为直接观察法、振动噪声测定法、无损检验法、磨损残余物测定法和机器性能参数测定法等。

(1) 简易诊断法简易诊断法是指主要采用便携式的简易诊断仪器,如测振仪、声级计、工业内窥镜、红外点温仪对设备进行人工巡回监测,根据设定的标准或人的经验分析,了解设备是否处于正常状态。简易诊断法主要解决的是状态监测和

一般的趋势预报问题。

(2) 精密诊断法 精密诊断法是指对已产生异常状态的原因采用精密诊断仪器和各种分析手段(包括计算机辅助分析方法、诊断专家系统等)进行综合分析,以期了解故障的类型、程度、部位和产生的原因以及故障发展的趋势等问题。精密诊断法主要解决的问题是分析故障原因和较准确地确定发展趋势。

(3) 直接观察法 传统的直接观察法如“听、摸、看、闻”在一些情况下仍然十分有效。但因其主要依靠人的感觉和经验,有较大的局限性。目前出现的光纤内窥镜、电子听诊仪、红外热像仪、激光全息摄影等现代手段,大大延长了人的感官器官,使这种传统方法又恢复了青春活力,成为一种有效的诊断方法。

振动噪声测定法 机械设备动态下的振动和噪声的强弱及其包含的主要频率成分与故障的类型、程度、部位和原因等有着密切的联系。因此利用这种信息进行故障诊断是比较有效的方法。其中特别是振动法,信号处理比较容易,因此应用更加普遍。

(5) 无损检验法 无损检验法是一种从材料和产品的无损检验技术中发展起来的方法,已是在不破坏材料表面及其内部结构的情况下,检验机械零部件缺陷的方法。它使用的手段包括超声波、红外线、X射线、Y射线、声发射、渗透染色等。这一套方法目前已发展成一个独立的分支,在检验裂纹、砂眼、缩孔等缺陷造成的设备故障时比较有效。其局限性主要是它的某些方法如超声波、射线检验等有时不便于在动态下进行。

(6) 磨损残余物测定法 机器的润滑系统或液压系统的循环油路中携带着大量的磨损残余物(磨粒),它们的数量、大小、几何形状及成分反映了机器的磨损部位、程度和性质,根据这些信息可以有效地诊断设备的磨损状态。目前磨损残余物测定方法在工程机械及汽车、飞机发动机监测方面已取得良好的效果。

(7) 机器性能参数测定法 显示机器主要功能的机器性能参数,一般可以直接从机器的仪表上读出,由这些数据可判定机器的运行状态是否离开正常范围。机器性能参数测定方法主要用于状态监测或作为故障诊断的辅助手段。

二、诊断技术方法

1.凭五官进行外观检查

利用人体的感官,听其音、嗅其味、观其行、感其温,从而直接观察到故障

信号，并以丰富的经验和维修技术判定故障可能出现的部位与原因，达到预测预报的目的。这些经验与技术对于小厂和普通机械设备是非常重要的，即使将来科学技术高度发展，也不可能完全由仪器设备监测诊断技术取代。

2.振动测量

振动是一切作回转或往复运动的机械设备最普遍的现象，状态特征凝结在振动信号中。振动的增强无一不是由故障引起的。振动测量就是利用机械设备运动时产生的信号，根据测得的幅值（位移、速度、加速度）、频率和相位等振动参数，对其进行分析处理，做出诊断。

产生振动的根本原因是机械设备本身及其周围环境介质受振源的激振。激振来源于两类因素。

一是回转件或往复件的失衡，主要包括回转件相对于回转轴线的质量分布不均，在运转时产生惯性力；制造质量不高，特别是零件或构件的形状位置精度不高造成质量失衡；另外回转体上的零件松动增加了质量分布不均、轴与孔的间隙因磨损加大也增加了失衡；转子弯曲变形和零件失落，造成质量分布不均等。

二是机械设备的结构因素，主要包括往复件的冲击，如以平面连杆机构原理作运动的机械设备，连杆往复运动产生的惯性力，其方向作周期性改变，形成了冲击作用，这在结构上很难避免；齿轮由于制造误差大，导致齿轮啮合不好，齿轮间的作用力在大小、方向上发生周期性变化，随着齿轮在运转中的磨损和点蚀等现象日益严重，这种周期性的激振也日趋恶化；联轴器和离合器的结构不合理带来失衡和冲击；滑动轴承的油膜涡动和振荡；滚动轴承中滚动体不平衡及径向间隙；基座扭曲；电源激励；压力脉动等。

此外，机械设备的拖动对象不稳定，使负载不平稳，若是周期性的也能成为振源。

振动测量与分析系统由四个基本部分组成，即传感器、测量仪器、分析仪器 and 记录仪器。典型的振动测量系统，如图所示，该系统实际由传感器和测量仪器两部分组成。传感器的种类，常用的有三种：位移传感器、速度传感器、加速度传感器。目前应用最广的是压电式加速度传感器，其作用是将机械能信号(位移、速度、加速度、动力等) 转换成电信号。



图 典型的振动测量系统

工厂现场推行振动监测诊断技术的注意事项：

(1) 选择诊断对象 在工厂里，如果将全部设备都列为诊断对象，那显然是不切实际的。此外，技术上也不可能这样做。为此，必须经过充分研究来选定作为诊断对象的设备。

1) 一般地说，列为诊断对象的重点应是：

① 流程生产设备。其中任意环节发生问题都会影响全局，如石油、化工、钢铁、有色、电力工业等中的设备。

② 六大设备。直接生产中的重点设备(包括设有备用台套的大型机组)、虽是附属设备但对全局影响大停机后可能产生很大损失的关键设备、发生故障后会带来二次公害的要害设备、维修困难且维修费用高的复杂设备、固定资产价值高(包括设有备品备件或备品备件价值昂贵)的贵重设备和不能接近或不能解体检查的特殊设备。

(2) 测点选择 对于一般旋转机械，其振动测点的位置选择主要有两种方式，即测轴承振动或测轴振动，所谓测轴承振动，系指测量机组轴承座上典型测点的绝对振动，所谓测轴振动，系指测量轴颈相对于轴承座的相对振动。前者能监测整机状态，后者重点监测转子状态。在选择测点时，还应考虑人能否够得着、测量时是否发生人身安全等问题。

(3) 测量参数选择 一般来说，振动参数有量标（振动位移，振动速度、振动加速度）和量值（幅值、频率、相位）两种。振动参数的意义在于，它们被用来检测和描述机器的有害运动，每个参数都告诉我们有关振动的某些重要信息，因此，这些参数可以认为是用于诊断机器低效运行或将要发生故障的症状。

① 量标选择的原则是在对变形、精度、位置进行评定时宜选用振动位移作为评价指标；在对强度、疲劳、可靠性进行评定时宜选用振动速度作为评价指标；在对冲击、力、随机振动、舒适性进行评定时宜选用振动加速度作为评价指标。

② 量值的选择原则是：振动幅值是评价设备运行工况好坏的重要指标。它既可

用有效值也可以用峰值的形式来加以表示。有效值反映振动能量的大小，并兼顾了振动时间历程的全过程，故最适宜作为机器振动量级（劣度）的评价。峰值只反映了振动某瞬时的变化范围，故只反映了振动某瞬时的变化范围，故只能用于振动的极限评定；振动频率是识别机器哪个部件出了故障，以及是什么性质的故障的依据；振动相是区分同频振动，确定故障部位的重要手段。

通常在简易诊断中以监测振动幅值为主，而在精密诊断中则主张利用振动的幅值、频率、相位等全部信息。

(4) 测量方向选择 对于确定性为主的振动，因其是一矢量，不同方向的振动包含着不同的故障信息。例如不平衡在水平方向上、不同轴在轴向上、基座松动在垂直方向上容易发生振动，所以振动应尽量在三个方向上都进行测量。只有随机振动，因其是一标量，才允许只在某方向上进行监测。

(5) 作好测点标记 机组上不同测点，在同一时刻的振动量值也是不相同的，所以测点一经确定之后，必须作上标记，以后的监测应该在同一点上进行。

(6) 选定测量工况 定期点检时，测得的总体振动值或频谱的任何变化，都指示出机器状态的改变。这就要求每次测量都在可重现的统一工况下进行。

(7) 进行测量系统校准标定 测量系统的特性会随时间而改变，为了保证测试结果能反映机器的真实状态，首先必须保证测量系统能保持精确的量值传递。这就要求定期或在每次重要测试之前对测量系统进行校准或标定。

(8) 传感器附着方式的选择 常用的传感器附着方式有三种，附着方式不同时，可检测的上限频率也不一样。因此必须根据检测要求确定适当的附着方式。以压电振动加速度测量为例，其传感器附着方式对可测频带的影响为，手持探针式，可测频率 $<1000\text{Hz}$ ；磁座吸附式，可测频率 $<3000\text{Hz}$ ；螺栓紧固式，可测频率 $<10000\text{Hz}$ 。

必须强调，诊断是一种相对比较，而在振动测量中要使比较结果具有意义，必须作到测点、参数、方向、工况、基准（指标定）和频带（指传感器附着方式）6个相同。

(9) 的测量周期的确定 在确定测量周期时，最重要之点是对劣化速度进行充分的研究。希望作到既不会漏掉一个可能发生的故障，又不致带来过多的工作量。

(10) 测量标准的确定 常用的判别设备正常、异常的标准有三种，即绝对标

准, 相对标准和类比标准。一般情况下, 在现场最便于使用的是绝对标准, 因它是以典型通用机械为对象制定的如有的设备不适用这种标准, 就必须利用相对标准或类比标准。

① 绝对标准 绝对判别标准是在规定了正确的测定方法之后制定的标准。所以, 必须掌握标准的适用频率范围和测定方法等, 才能加以选用。它们常以国际标准、国家标准、部颁标准、企业标准等形式出现。如 ISG2372 和 JB 4057-1985 等。

② 相对标准 相对判别标准是对同一部位定期进行测定, 并按时间先后进行纵向比较, 以正常情况下的值为原始值, 根据实测值与该值的倍数比来进行判断的方法。实用于某种设备在该企业中只有一台时的情况。

通常多将标准定为对于低频振动, 实测值达到原始值的 1.5~2 倍时为注意区, 约 4 倍时为异常区; 对于高频振动, 将原始值的 3 倍定为注意区, 6 倍定为异常区。

③ 类比标准 所谓类比判别标准, 是指数台同样规格的设备在相同条件下运行时通过对各台设备的同一部位进行测定和横向相互比较, 来掌握异常程度的方法。适用于企业具有多台同类设备的场合。

一般规定以测得的最低值为正常值, 当某值超过正常值 1 倍时为注意区, 超过 2 倍时进入异常区。

(11) 记录参数的设置 记录参数包括通道分配、通道增益、采样频率、记录长度(或段效)等, 为保证测量有效, 这些参数必须根据分析处理的目的事先进行设置。

(12) 测量顺序和路线的拟定 测量顺序和路线最好结合机器简图明确的标示出来。

(13) 数据库的建立 为了在作机器评价和诊断时方便地存取每台机器各次测量所得的数据, 必须按某一格式和顺序将其存入数据库中。

3. 噪声测量

噪声也是机械设备故障的主要信息来源之一, 还是减少和控制环境污染的重要内容。测声法是利用机械设备运转时发出的声音进行诊断。

机械设备噪声的声源主要有两类: 一类是运动的零部件, 如电动机、油泵、齿轮、轴、轴承等, 其噪声频率与它们的运动频率或固有频率有关; 另一类是不动的零部件, 如箱体、盖板、机架等, 其噪声是由于受其他声源或振源的诱发而

产生共鸣引起的。

噪声测量主要是测量声压级。声级计是噪声测量中最常用、最简单的测试仪器，声级计由传感器、放大器、衰减器计权网络、均方根检波电路和电表组成。如图；所示为其工作原理方框图。声压信号输入传声器后，被转换为电信号。当信号微小时，经过放大器放大；若信号较大时，则对信号加以衰减。输出衰减器和输出放大器的作用与输入衰减器和输入放大器相同，都是将信号衰减或放大。为提高信噪比，保持小的失真度和大的动态范围，将衰减器和放大器分成两组，输入（出）衰减器和输入（出）放大器，并将输出衰减器再分成两部分，以便匹配。为使所接受的声音按不同频率分别有不同程度的衰减，在声级计中相应设置了 3 个计权网络。通过计权网络可直接读出声级数值。经最后的输出放大器放大的信号输入到检波器中检波，并由表头以分贝指示出有效值。

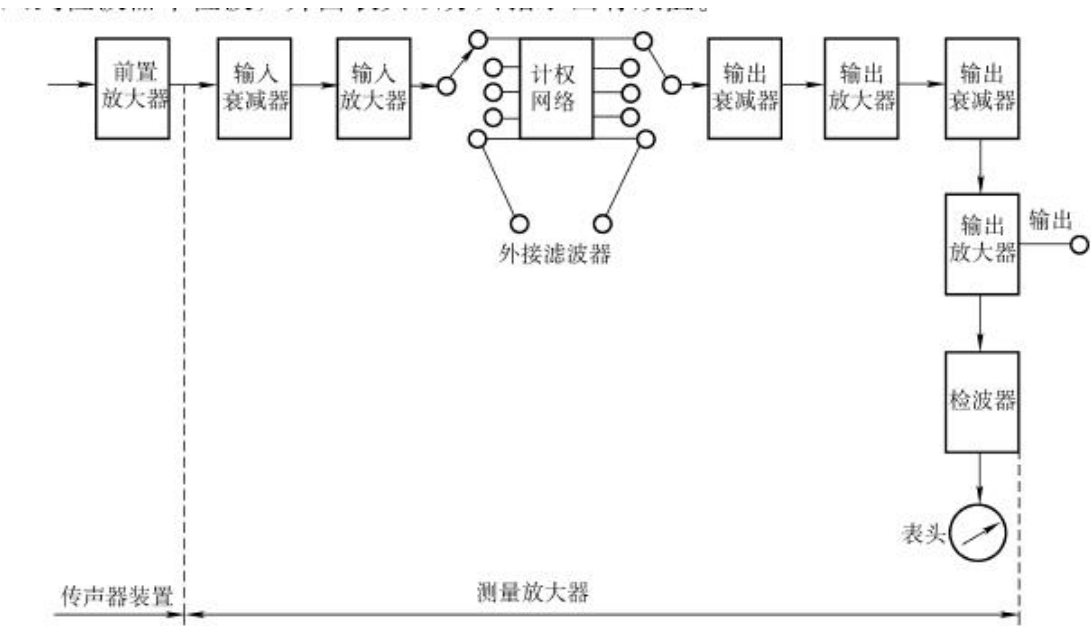


图 声级计工作原理

4.温度测量

温度是一种表象，它的升降状态反映了机械设备的热力过程，异常的温升或温降说明产生了热故障。例如，内燃机、加热炉燃烧不正常，温度分布不均匀；轴承损坏，发热量增加；冷却系统发生故障，零件表面温度上升等。凡利用热能或用热能与机械能之间的转换进行工作的机械设备，进行温度测量十分重要。

测量温度的方法很多，可利用直接接触或非接触式的传感器，以及一些物质材料在不同温度下的不同反应来进行温度测量。

(1) 接触式传感器 通过与被测对象的接触，由传感器感温元件的温度反映出测温对象的温度。如液体膨胀式传感器利用水银或酒精在不同温度下胀缩的现象来显示温度；双金属传感器和热电偶传感器依靠不同金属在受热时表现出不同的膨胀率和热电势，利用这种差别来测量温度；电阻传感器则是根据不同温度下电阻元件的电阻值发生变化的原理来工作。

(2) 非接触式传感器 这类仪器是利用热辐射与绝对温度的关系来显示温度。如光学高温计、辐射高温计、红外测量仪、红外热像仪等。用红外热像仪测温是 20 世纪 60 年代新兴的技术，它具有快速、灵敏直观、定量无损等特点，特别适用于高温、高压、带电、高速运转的目标测试，对故障诊断和预测维修非常有效。由红外热像仪形成的一幅简单的热图像提供的热信息相当于 3 万个热电耦同时测定的结果。这种仪器的测量范围一般为几十度到上千度，分辨率为 0.1°C ，测试任何大小目标只需几秒钟，除在现场可实时观察外，还能用磁带录像机将热图像记录下来，由计算机标准软件进行热信息的分析和处理。整套仪器做成便携式，现场使用非常方便。

温度指示漆、粉笔、带和片。它们的工作原理是从漆、粉笔、带和片的颜色变化来反映温度变化。当然这种测温方法精度不高（因为颜色变化的程度还附加加入的感官判别问题），但相当方便。

5.油样分析

在机械设备的运转过程中，润滑油必不可少。由于在油中带有大量的零部件磨损状况的信息，所以通过对油样的分析可间接监测磨损的类型和程度，判断磨损的部位，找出磨损的原因，进而预测寿命，为维修提供依据。例如，在活塞式发动机中，当油液中锡的含量增高时，可能表明轴承处于磨损的早期阶段；铝的含量增高则表明活塞磨损。油样分析所能起到的作用，如同医学上的验血。

油样分析包括采样、检测、诊断、预测和处理等步骤。

常用的油样分析方法主要有如下三种：

(1) 磁塞分析法 磁塞分析法是最早的油样分析法，将磁塞插入被检测油路中，收集分离出的铁磁性磨粒，然后将磁塞芯子取下洗去油液，置于读数显微镜下进行观察，若发现小颗粒且数量较少，说明机器处于正常磨损阶段。一旦发现大颗粒，便须引起重视，首先要缩短监督周期，并严密注视机器运转情况。若多次连

续发现大颗粒，便是即将出现故障的前兆，要立即采取维护措施。

磁塞分析具有设备简单、成本低廉、分析技术简便，一般维修人员都能很快掌握，能比较准确获得零件严重磨损和即将发生故障的信息等优点，因此它是一种简便而行之有效的方法。但是它只适用于对带磁性的材料进行分析，其残渣尺寸大于 $50\text{ }\mu\text{m}$ 。

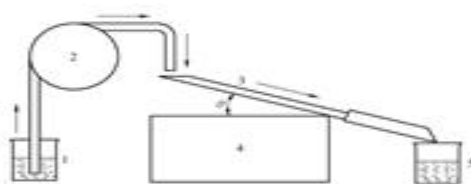
(2)铁谱分析法。这种方法是近年来发展起来的一种磨损分析法。它从润滑油试样中分离和分析磨损微粒或碎片，借助于各种光学或电子显微镜等检测和分析，方便地确定磨损微粒或碎片的形状、尺寸、数量以及材料成分，从而判别磨损类型和程度。

铁谱分析法的程序如下：

① 分离磨损微粒制成铁谱片 采用铁谱仪分离磨损微粒制成铁谱片。它由三部分组成：抽取样油的泵，使磨损微粒磁化沉积的强磁铁，形成铁谱的透明底片。其装置如图所示。

样油由泵 2 抽出送到透明显微镜底片 3 上，底片下装有强磁铁 4，底片安装成与水平面有一倾斜角度，使出口端的磁场比入口端强。样油沿倾斜底片向下流动时，受磁场力作用，磨损微粒被磁化，最后使微粒按照其大小，全部均匀地沉积在底片上，用清洗液冲洗底片上残余油液，用固定液使微粒牢固贴附在底片上，从而制成铁谱片。

图3-4 铁谱仪装置



1-样油容器;2-泵;3-底片;4-强磁铁;5-废油容器

[返回](#)

② 检测和分析铁谱片 检测和分析铁谱片的方法很多，有各种光学或电子显微镜、有化学或物理方法。目前一般使用的有：用铁谱光密度计（或称铁谱片读

数仪)来测量铁谱片上不同位置上微粒沉积物的光密度,从而求得磨损微粒的尺寸、大小分布及总量;用铁谱显微镜(又称双色显微镜)研究微粒、鉴别材料成分、确定磨粒来源、判断磨损部位、研究磨损机理;用扫描电镜观察磨损微粒形态和构造特征,确定磨损类型;对铁谱片进行加热处理,根据其回火颜色,鉴别各种磨粒的材料和成分。

铁谱技术的缺点在于对润滑油中非铁系颗粒的检测能力较低,例如在对含有多种材质摩擦副的机器(例如发动机)进行监测诊断时,往往感到不力;分析结果较多依赖操作人员的经验;不能理想地适应大规模设备群的故障诊断。

(3) 光谱分析法 光谱分析法是测定物质化学成分的基本方法,它能检测出铅、铁、铬、银、铜、锡、镁、铝和镍等金属元素,定量地判断磨损程度。在实际运用中分原子发射光谱分析和原子吸收光谱分析两种方法。

① 原子发射光谱分析法 油样在高温状态下用带电粒子撞击(一般用电火花),使之发射出代表各元素特征的各种波长的辐射线,并用一个适当的分光仪分离出所要求的辐射线,通过把所测的辐射线与事先准备的校准器相比较来确定磨损碎屑的材料种类和含量。

② 原子吸收光谱分析法 是利用处于基态的原子可以吸收相同原子发射的相同波长的光子能量的原理。采用具有波长连续分布的光透过油中的磨损磨粒,某些波长的光被磨粒吸收而形成吸收光谱。在通常情况下,物质吸收光谱的波长与该物质发射光谱波长相等,同样可确定金属的种类和含量。发射光谱一般必须在高温下获得,而高温下的分子或晶体往往易于分解,因此原子吸收光谱还适宜于研究金属的结构。

目前,油样光谱分析技术已被广泛而有效地应用于监测设备零部件磨损趋势、机械设备的故障诊断,以及大型重要设备的随机监测方面。

6.声发射检测

各种材料由于外加应力作用,在内部结构发生变化时都会以弹性应力波的方式释放应变能量,这种现象称声发射。如木材的断裂、金属材料内部晶格错位、晶界滑移或微观裂纹的出现和打一展等都会产生声发射。弹性波有的能被人耳感知,但多数金属,尤其是钢铁,其弹性应力波的释放是人耳不能感知的,属于超声范围。通过接受弹性应力波,用仪器检测、分析声发射信号和利用信号推断声

发射源的技术称声发射技术。

(1) 声发射检测的特点：

(2) ①需对构件外加应力；

② 它提供的是加载状态下缺陷活动的信息，是一种动态监测。而常规的无损检测是静态监测。声发射检测可客观地评价运行中机械设备的安全性和可靠性；

③灵敏度高、检查覆盖面积大、不会漏检，可远距离检测。

声发射检测现在已广泛用来监测机械设备和机件的裂纹和锈蚀情况。

(2) 声发射的测量仪器主要有：

① 单通道声发射仪，它只有一个通道，包括信号接收、信号处理、测量和显示。一般用于实验室。

② 多通道声发射仪，它有两个以上通道，常需配置计算机，一般应用在现场评价大型构件。

7.无损检测

零件无损检测是利用声、光、电、热、磁、射线等与被测零件的相互作用，在不损伤内外部结构和实用性能的情况下，探测、确定零件内部缺陷的位置、大小、形状和种类的方法。

零件无损探伤以经济、安全、可靠而被越来越多地应用到生产实际中。无损检测的常用方法有超声波检测、射线检测、涡流探伤、磁粉探伤等几种。

(1) 超声波检测 频率大于 20kHz 的声波叫超声波。用于无损检测的超声波频率多为 1~5MHz。高频超声波的波长短，不易产生绕射，碰到杂质或分界面就会产生明显的反射，而且方向性好，在液体和固体中衰减小，穿透本领大，因此超声波探伤成为无损检测的重要手段。

超声波探伤方法多种多样，最常用的是脉冲反射法。而脉冲反射法根据波形不同又可分为纵波探伤法、横波探伤法以及表面波探伤法。

① 纵波探伤法 测试前，先将探头插入探伤仪的连接插座上。探伤仪面板上有一个荧光屏，通过荧光屏可知工件中是否存在缺陷，以及缺陷的大小和位置。检测时探头放于被测工件上，并在工件上来回移动。探头发出的超声波脉冲，射入被检工件内，如工件中没有缺陷，则超声波传到工件底部时产生反射，在荧光屏上只出现始脉冲和底脉冲。如工件某部位存在缺陷，一部分声脉冲碰到缺陷后

立即产生反射，另一部分继续传播到工件底面产生反射，在荧光屏上除出现始脉冲和底脉冲外，还出现缺陷脉冲。通过缺陷脉冲在荧光屏上的位置可确定缺陷在工件中的位置。亦可通过缺陷脉冲幅度的高低来判别缺陷当量的大小。如缺陷面积大，则缺陷脉冲的幅度就高，通过移动探头还可确定缺陷大致长度。

② 横波探伤法 用斜探头进行探伤的方法称横波探伤法。超声波的一个显著特点是超声波波束中心线与缺陷截面积垂直时，探测灵敏度最高，但如遇到斜向缺陷时，用直探头探测虽然可探测出缺陷存在，但并不能真实反映缺陷大小。如用斜探头探测，则探伤效果更好。因此在实际应用中，应根据不同的缺陷性质、取向，采用不同的探头进行探伤。有些工件的缺陷性质、取向事先不能确定，为了保证探伤质量，应采用几种不同探头进行多次探测。

③ 表面波探伤法 表面波探伤主要是检测工件表面附近是否存在缺陷。当超声波的人射角超过一定值后，折射角几乎达到 90° ，这时固体表面受到超声波能量引起的交替变化的表面张力作用，质点在介质表面的平衡位置附近作椭圆轨迹振动，这种振动称为表面波。当工件表面存在缺陷时，表面波被反射回探头，可以在荧光屏上显示出来。

超声波探伤主要用于检测板材、管材、锻件、铸件和焊缝等材料中的缺陷(如裂缝、气孔、夹渣、热裂纹、冷裂纹、缩孔、未焊透、未熔合等)、测定材料的厚度、检测材料的晶粒、对材料使用寿命评价提供相关技术数据等。超声波探伤因具有检测灵敏度高、速度快、成本低等优点，因而得到普遍的重视，并在生产实践中得到广泛的应用。

超声波探伤不适用于探测奥氏体钢等粗晶材料及形状复杂或表面粗糙的工件。

(2) 射线检测 射线检测是利用射线对各种物质的穿透能力来检测物质内部缺陷的一种方法。其实质是根据被检零件与内部缺陷介质对射线能量衰减程度的不同，而引起射线透过工件后的强度差异，在感光材料上获得缺陷投影所产生的潜影，经过处理后获得缺陷的图像，从而对照标准来评定零件的内部质量。

射线检测适用于探测体积型缺陷，如气孔、夹渣、缩孔、疏松等。一般能确定缺陷平面投影的位置、大小和种类。如发现焊缝中的未焊透、气孔、夹渣等缺陷；发现铸件中的缩孔、夹渣、气孔、疏松、热裂纹等缺陷。

射线检测不适用于检测锻件和型材中的缺陷。

(3) 涡流探伤 导体的涡流与被测对象材料的导电、导磁性能有关，如电导率、磁导率，也就是和被测对象的温度、硬度、材质、裂纹或其他缺陷等有关。因此可以根据检测到的涡流，得到工件有无缺陷和缺陷尺寸的信息，从而反映出工件的缺陷情况。

涡流探伤适用于探测导电材料，能发现裂纹、折叠、凹坑、夹杂物、疏松等表面和近表面缺陷。通常能确定缺陷的位置和相对尺寸，但难以判断缺陷的种类。

涡流探伤不适用于探测非导电材料的缺陷。

(4) 磁粉探伤 把铁磁性材料磁化后，利用缺陷部位产生的漏磁场吸附磁粉的现象进行探伤。磁粉探伤是一种较为原始的无损检测方法，适用于探测铁磁性材料的缺陷，包括锻件、焊缝、型材、铸件等，能发现表面和近表面的裂纹、折叠、夹层、夹杂物、气孔等缺陷。一般能确定缺陷的位置、大小和形状，但难以确定缺陷的深度。

磁粉探伤不适用于探测非铁磁性材料，如奥氏体钢、铜、铝等的缺陷。

(5) 渗透探伤 渗透探伤是利用液体对材料表面的渗透特性，用黄绿色的荧光渗透液或红色的着色渗透液，对材料表面的缺陷进行良好的渗透。当显像液涂洒在工件表面上时，残留在缺陷内的渗透液又会被吸出来，形成放大的缺陷图像痕迹，从而用肉眼检查出工件表面的开口缺陷。渗透探伤与其他无损检测方法相比，具有设备和探伤材料简单的优点。在机械修理中，用这种方法检测零件表面裂纹由来已久，至今仍不失为一种通用的方法。

渗透探伤适用于探测金属材料和致密性非金属材料的缺陷。能发现表面开口的裂纹、折叠、疏松、针孔等。通常能确定缺陷的位置、大小和形状，但难以确定缺陷的深度。

渗透探伤不适用于探测疏松的多孔性材料的缺陷。

无损检测的应用比较广泛，可用于测定表面层的厚度、进行质量评定和寿命评定、材料和机器的定量检测、组合件内部结构和组成情况的检查等多个方面。

第三节 零件的修复技术

机械设备中的零件经过一定时间的运转,难免会因磨损、腐蚀、氧化、刮伤、变形等原因而失效,为节约资金减少材料消耗,采用合理的、先进的工艺对零件进行修复是十分必要的。许多情况下,修复后的零件质量和性能可以达到新零件的水平,有的甚至可以超过新零件,如采用埋弧堆焊修复的轧辊寿命可以超过新辊,采用堆焊修复的发动机阀门,寿命可达新品的两倍。目前比较常用的修复方法很多,可分为钳工修复法、机械修复法、焊修法、电镀法、喷涂法、粘修法、熔敷法、其他修复法。在实际修复中可在经济允许、条件具备、尽可能满足零件尺寸及性能的情况下,合理选用修复方法及工艺。

一、钳工修复与机械修复

钳工和机械修复是零件修复过程中最主要、最基本、最广泛应用的工艺方法。它既可以作为一种单独的手段直接修复零件,也可以是其他修复方法如焊、镀、涂等工艺的准备最后加工必不可少的工序。

1. 钳工修复

钳工修复包括绞孔、研磨、刮研、钳工修补(如修补键槽、螺纹孔、铸件裂纹等)。

(1) 绞孔 绞孔是利用绞刀进行精密孔加工和修整性加工的过程,它能提高零件的尺寸精度和减小表面粗糙度值,主要用来修复各种配合的孔,修复后其公差等级可达 IT7~IT9,表面粗糙度值可达 $Ra3.2\sim0.8\mu m$ 。

(2) 研磨 用研磨工具和研磨剂,在工件上研掉一层极薄表面层的精加工方法叫研磨。研磨可使工件表面得到较小的表面粗糙度值、较高的尺寸精度和形位精度。

研磨加工可用于各种硬度的钢材、硬质合金、铸铁及有色金属,还可以用来研磨水晶、天然宝石及玻璃等非金属材料经研磨加工的表面尺寸误差可控制在 $0.001\sim0.005mm$ 范围内。一般情况下表面粗糙度可达 $Ra0.8\sim0.5\mu m$,最高可达 $Ra0.006\mu m$,而形位误差可小于 $0.005mm$ 。

(3) 刮研 用刮刀从工件表面刮去较高点,再用标准检具(或与之相配的件)涂色检验的反复加工过程称为刮研。刮研用来提高工件表面的形位精度、尺寸精度、

接触精度、传动精度和减小表面粗糙度值,使工件表面组织致密,并能形成比较均匀的微浅凹坑,创造良好的存油条件。

刮研是一种间断切削的手工操作,它不仅具有切削量小、切削力小、产生热量小、夹装变形小的特点,而且由于不存在机械加工中不可避免的振动、热变形等因素,所以能获得很高的精度和很小的表面粗糙度值。可以根据实际要求把工件表面刮成中凹或中凸等特殊形状,这是机械加工不容易解决的问题;刮研是手工操作,不受工件位置和工件大小的限制。

(3) 钳工修补

① 键槽 当轴或轮毂上的键槽只磨损或损坏其一时,可把磨损或损坏的键槽加宽,然后配置阶梯键。当轴或轮毂上的键槽全部损坏时,允许将键槽扩大10%~15%,然后配制大尺寸键。当键槽磨损大于15%时,可按原键槽位置将轴在圆周上旋转60°或90°,按标准重新加工键槽。加工前需把旧键槽用气、电焊填满并修整。

② 螺纹孔 当螺纹孔产生滑牙或螺纹剥落时,可先把螺孔钻去,然后攻出新螺纹。

二、机械修复

利用机械连接,如螺纹连接、键、铆接、过盈连接等使磨损、断裂、缺损的零件得以修复的方法称为机械修复法。包括局部更换法、换位法、镶补法、金属扣合法、修理尺寸法、塑性变形法等,这些方法可利用现有的简单设备与技术,进行多种损坏形式的修复。其优点是不会产生热变形;缺点是受零件结构、强度、刚度的限制,难以加工硬度高的材料,难以保证较高精度。

1. 镶补法

镶补法就是在零件磨损或断裂处补以加强板或镶装套等,使其恢复功能。一般中小型零件断裂后,可在其裂纹处镶加补强板,用螺钉或铆钉等将补强板与零件连接起来;对于脆性材料,应在裂纹端头钻止裂孔。此法操作简单,适用面广,如图3-5所示。

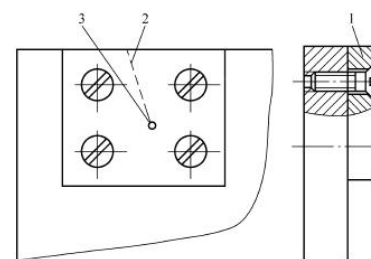


图 3-5 补强板

1-补强板; 2-裂纹; 3-止裂孔

对齿类零件，尤其对精度不高的大中型齿轮，若出现一个或几个齿轮损坏或断裂，可先将坏齿切割掉，然后在原处用机加工或钳工方法加工出燕尾槽并镶配新的齿轮，端面用紧定螺钉或点焊固定，如图 3-6 所示。

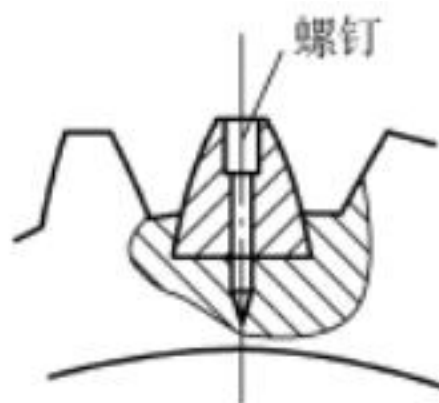


图 3-6 镶齿

对损坏的圆孔、圆锥孔，可采取打一孔镶套的方法，即将损坏的孔锁大后镶套，套与孔可采用过盈配合。所锁孔的尺寸应保证套有足够的刚度。套内径可预先按配合要求加工好，也可镶入后再加工至配合精度。

如损坏的螺孔不允许加大时，也可采用此法修复。即将损坏的螺孔打一孔后，镶入螺塞，然后在螺塞上加工出螺孔（螺孔也可在螺塞上预先加工）。

(4) 金属扣合法 金属扣合法修复技术是借助高强度合金材料制成的扣合连接件（波形键），在槽内产生塑性变形来完成扣合作用，以使裂纹或断裂部位重新连接成一个整体。该法适于不易焊补的钢件和不允许有较大变形的铸件，以及有色金属件，尤其对大型铸件的裂纹或折断面的修复效果更为突出。

金属扣合法的特点是修复后的零件具有足够的强度和良好的密封性;修复的整个过程在常温下进行，不会产生热变形;波形槽分散排列，波形键分层装入，逐片锤击，不产生应力集中，操作简便，使用的设备和工具简单，便于就地修理。该方法的局限性是不适于修复厚度 8 mm 以下的铸件及振动剧烈的工件，此外，修复效率低。

按扣合的性质及特点，金属扣合可分为强固扣合、强密扣合、优级扣合和热扣合四种。

① 强固扣合法 该方法是先在垂直于裂纹方向或折断面的方向上，按要求加工出具有一定形状和尺寸的波形槽，然后将用高强度合金材料制成的其形状、尺寸与波形槽相吻合的波形键嵌入槽中，并在常温下锤击使之产生塑性变形而充满整个槽腔，这样，由于波形键的凸缘与槽的凹洼相互紧密的扣合，将开裂的两部

分牢固地连接成一体，如图 3-7 所示。此法适用于修复壁厚 8~40mm 的一般强度要求的机件。波形键的形状如图 3-8 所示。

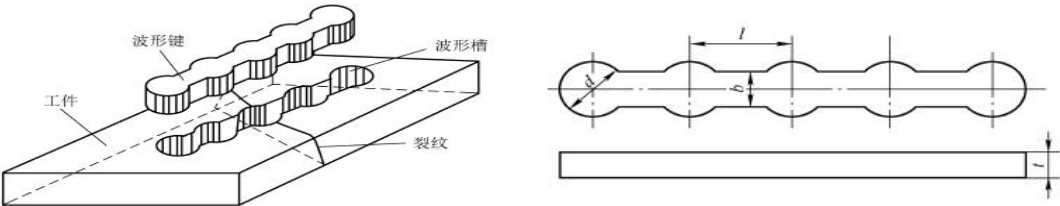


图 3-7 强固扣合法图

3-8 波形键

其中颈宽一般取 $b=3\sim6\text{mm}$ 其他尺寸可按经验公式求得：

$$d = (1.2 \sim 1.6)b$$

$$l = (2 \sim 2.2)b$$

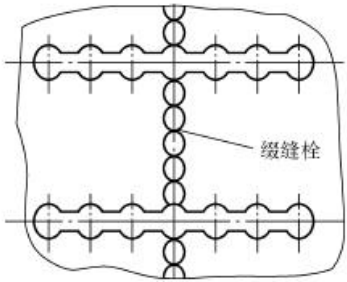
$$t < b$$

d -凸缘的直径； b -颈宽； t -厚度； l -间距

波形键凸缘个数常取 5、7、9。如果条件允许，尽量选取较多的凸缘个数，以使最大应力远离开裂处。但凸缘过多会增加波形键修整及嵌配工作难度。

波形键的材料应具有足够的强度和良好的韧性，经热处理后质软，适于锤击；加工硬化性好，且不发脆，使锤击后抗拉强度有较大提高；用于高温工作条件下的波形键。还应考虑选用的材料是否与机件热膨胀系数一致，否则工作时出现脱落或胀裂机体现象。波形键料有 1Cr18V9Ti，1Cr18Vi9。与铸铁膨胀系数相近的有 Ni36 等高镍合金。

为使最大应力分布在较大范围内，以改善工件受力情况，各波形槽可布置成一前一后或一长一短的方式如图 3-9，波形槽应尽可能垂直于裂纹，并在裂纹两端各打一个止裂孔，以防止裂纹发展。



3-9 波形槽

波形键的锤击。首先清理波形槽，之后用手锤或小型锤钉枪对波形键进行锤击。其顺序为先锤波形键两端的凸缘，然后对称交错向中间锤击，最后锤击裂纹上的凸缘。锤击力量按顺序由强到弱。凸缘部分锤紧后锤颈部，并要在第一层锤紧后再锤第二层、第三层……

为了使波形键得到充分的冷加工硬化，提高抗拉强度，每个部位开始先用凸圆冲头锤击其中心，然后用平底冲头锤击边缘，直至锤紧。但要注意不可锤得过紧，以免将裂纹再撑开，一般以每层波形键锤低 0.5mm 为宜。

② 强密扣合法 对有密封要求的修复件，如高压汽缸和高压容器等防泄漏零件，应采用强密扣合法进行修复。这种方法是先用强固扣合法将产生裂纹或折断面的零件连接成一个牢固的整体，然后按一定的顺序在断裂线的全长上加工出缀缝栓孔。注意应使相邻的两缀缝件相割，即后一个缀缝栓孔应略切入上一个已装好的波形键或缀缝栓。以保证裂纹全部由缀缝栓填允，以形成一条密封的金属隔离带，起到防泄漏作用，如图 3-10 所示。

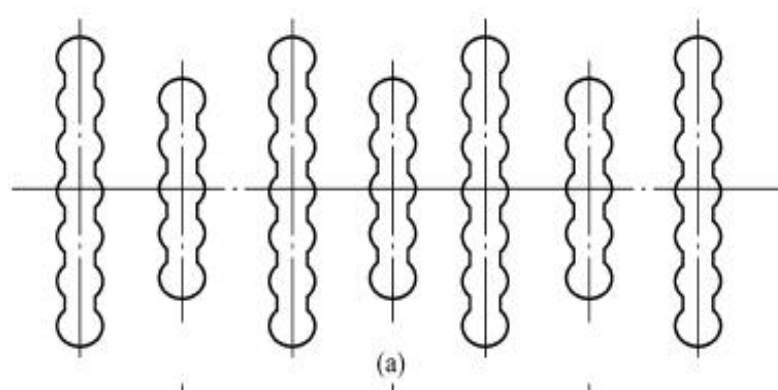


图 3-10 强密扣合法

对于承受较低压力的断裂件，采用螺栓形缀缝栓，其直径可参照波形键凸缘尺寸 d 选取为 M3~M8，旋入深度为波形槽深度。旋入前将螺栓涂以环氧树脂或无机胶粘剂，逐渐旋入并拧紧，之后将凸出部分铲掉打平。

对于承受较高压力，密封性要求较高的机件，采用圆柱形缀缝栓，其直径参照凸缘尺寸 d 选取为 3~8mm，其厚度为波形键厚度。与机件的连接和波形键相同，分片装入，逐片锤紧。

缀缝栓直径和个数选取时要考虑两波形键之间的距离，以保证缀缝栓能密布于裂纹全长上，且各缀缝栓之间要彼此重叠 0.5~1.5mm。

缀缝栓的材料与波形键相同。对要求不高的工件可用标准螺钉、低碳钢、纯铜等代替。

③ 优级扣合法 优级扣合法，也称加强扣合法。对承受高载荷的机件，只采用波形键扣合而其修复质量得不到保证时，需采用加强扣合法。其方法是在垂直于裂纹或折断面的修复区上加工出一定形状的空穴，然后将形状尺寸与之相同的

加强件嵌入其中。在机件与加强件的结合线上拧入缀缝栓使加强件与机件得以牢固连接，以使载荷分布到更大的面积上。此方法适用于承受高载荷且壁厚大于40mm的机件。缀缝栓中心布置在结合线上，使缀缝栓一半嵌入加强件，另一半嵌入机件，相邻两缀缝栓彼此重叠0.5~1.5mm，如图3-11所示。

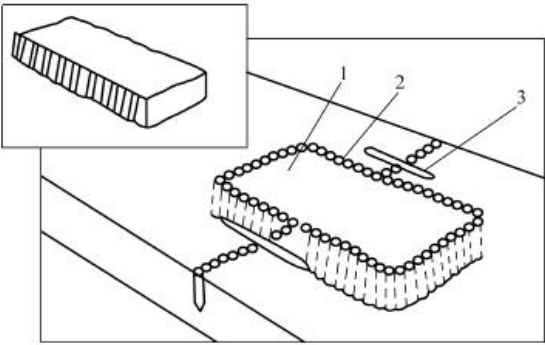


图 3-11 1-加强件；2-缀缝栓；3-波形键

加强件形状可根据载荷性质、大小、方向设计成不同形式，如图3-12所示。如图3-12(a)所示为修复钢件便于张紧的加强件。如图3-12(b)所示为用于承受冲击载荷的加强件，紧靠裂纹处不加缀缝栓固定，以保持一定的弹性。如图3-12(c)所示为X形加强件，它有利于扣合时拉紧裂纹。如图3-12(d)所示为十字形加强件，它用于承受多方面载荷。

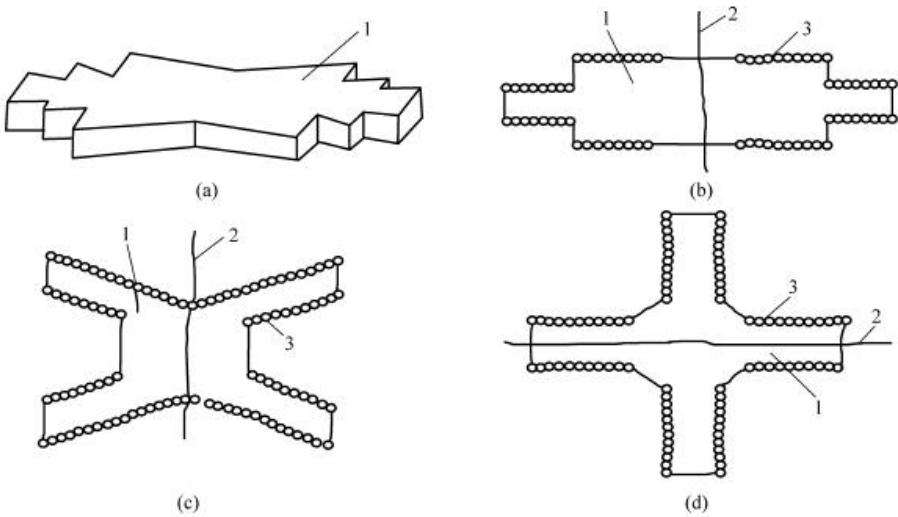


图 3-12 加强件 1-加强件;2-裂纹;3-缀缝栓

2.塑性变形法

塑性变形法是利用外力的作用使金属产生塑性变形，恢复零件的几何形状，

或使零件非工作部分的金属向磨损部分移动,以补偿磨损掉的金属,恢复零件工作表面原来的尺寸精度和形状精度。分冷塑性变形和热塑性变形两种,常用的方法有镦粗、扩径、压挤、延伸、滚压、校正等。

塑性变形法主要用于修复对内外部尺寸无严格要求的零件或整修零件的形状等。

三、焊接修复

对失效的零件应用焊接的方法进行修复称之为焊接修复,它是金属压力加工机械设备修理中常见和不可缺少的工艺手段之一。焊接工艺具有较广的适应性,能用以修复多种材料和多种缺陷的零件,如常用金属材料制成的大部分零件的磨损、破损、断裂、裂纹、凹坑等,且不受工件尺寸、形状和工作场地的限制。同时,修复的产品具有很高的结合强度,并有设备简单、生产率高和成本低等优点。

它的主要缺点是由于焊接温度很高而引起金属组织的变化和产生热应力以及容易出现焊接裂纹和气孔等。

根据提供的热源不同焊接分为电弧焊、气焊等;根据焊接工艺的不同分为焊补、堆焊、钎焊等。

1.焊补

(1) 铸铁件的焊补 铸铁零件多数为重要的基础件。由于铸铁件大多体积大、结构复杂、制造周期长,有较高精度要求,一般无备件,一旦损坏很难更换,所以,焊接是铸件修复的主要方法之一。由于铸铁焊接性较差,在焊接过程中可能产生热裂纹、气孔、白口组织及变形等缺陷。对铸铁件进行焊补时,应采取一些必要的技术措施保证焊接质量,如选择性能好的铸铁焊条、做好焊前准备工作(如清洗、预热等)、焊后要缓冷等。

铸铁件的焊补,主要应用于裂纹、破断、磨损、气孔、熔渣杂质等缺陷的修复。焊补的铸件要是灰铸铁,白口铸铁则很少应用。

(2) 有色金属件的焊补 金属压力加工机械设备中常用的有色金属有铜及铜合金、铝及铝合金等。因它们的导热性好、膨胀系数大、熔点低、高温状态下脆性较大及强度低,很容易氧化,所以可焊性差,焊补比较复杂和困难。

① 铜及铜合金件的焊补 在焊补过程中,铜易氧化,生成氧化亚铜,使焊缝的塑性降低,促使产生裂纹;其导热性,比钢大 5~8 倍,焊补时必须用高而集中的

热源;热胀冷缩量大,焊件易变形,内应力增大,合金元素的氧化、蒸发和烧损可改变合金成分,引起焊缝力学性能降低,产生热裂纹、气孔、夹渣;铜在液态时能溶解大量氢气,冷却时过剩的氢气来不及析出,而在焊缝熔合区形成气孔,这是铜及铜合金焊补后常见的缺陷之一。

焊补时必须要做好焊前准备,对焊丝和焊件进行表面清理,开 $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 的V形坡口;施焊时要注意预热,一般温度为 $300^{\circ}\text{C}\sim 700^{\circ}\text{C}$,注意焊补速度,遵守焊补规范并锤击焊缝;气焊时选择合适的火焰,一般为中性焰;电弧焊则要考虑焊法,焊后要进行热处理。

② 铝及铝合金件的焊补 铝的氧化比铜容易,它生成致密难熔的氧化铝薄膜,熔点很高,焊补时很难熔化,阻碍基体金属熔合,易造成焊缝金属夹渣,降低力学性能及耐蚀性;铝的吸气性大,液态铝能溶解大量氢气,快速冷却及凝固时,氢气来不及析出,易产生气孔;铝的导热性好,需要高而集中的热源;热胀冷缩严重,易产生变形;由于铝在固液态转变时,无明显的颜色变化,焊补时不易据颜色变化来判断熔池的温度;铝合金在高温下强度很低,焊补时易引起塌落和焊穿。

(3) 钢件的焊补 对钢件进行焊补主要是为修复裂纹和补偿磨损尺寸。由于钢的种类繁多,所含各种元素在焊补时都会产生一定的影响,因此可焊性差别很大,其中以碳含量的变化最为显著。低碳钢和低碳合金钢在焊补时发生淬硬的倾向较小,有良好的焊接性;随着碳含量的增加,焊接性降低;高碳钢和高碳合金钢在焊补后因温度降低,易发生淬硬倾向,并由于焊区氢气的渗入,使马氏体脆化,易形成裂纹。焊补前的热处理状态对焊补质量也有影响,含碳或合金元素很高的材料都需经热处理后才能使用,损坏后如不经退火就直接焊补比较困难,易产生裂纹。

2.堆焊

堆焊是焊接工艺方法的一种特殊应用。它的目的不是为了连接机件,而是借用焊接手段改变金属材料厚度和表面的材质,即在零件上堆敷一层或几层所希望的性能的材料。这些材料可以是合金,也可以是金属陶瓷。如普通碳钢零件,通过堆焊一层合金,可使其性能得到明显改善或提高。在修复零件的过程中,许多表面缺陷都可以通过堆焊消除。

(1) 堆焊的主要工艺特点。堆焊层金属与基体金属有很好的结合强度,堆焊层金

属具有很好的耐磨性和耐腐蚀性;堆焊形状复杂的零件时,对基体金属的热影响较小,可防止焊件变形和产生其他缺陷,可以快速得到大厚度的堆焊层,生产率高。

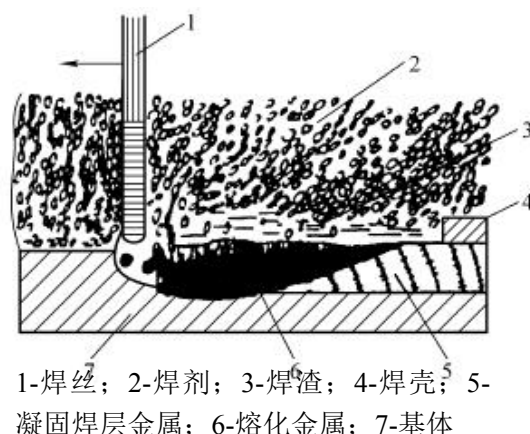
(2) 堆焊方法及原理 堆焊分手工堆焊和自动堆焊,自动堆焊又有埋弧自动堆焊、振动电弧堆焊、气体保护堆焊、电渣堆焊等多种形式,其中埋弧自动堆焊应用最广。

手工堆焊是利用电弧或氧乙炔火焰产生的热量熔化基体金属和焊条,采用手工操作进行堆焊的方法。它适用于工件数量少,没有其他堆焊设备的条件下,或工件外形不规则、不利于机械化、自动化堆焊的场合。这种方法不需要特殊设备,工艺简单,应用普遍,但合金元素烧损很多,劳动强度大,生产率低。

自动堆焊与手工堆焊的主要区别是引燃电弧、焊丝送进、焊炬和工件的相对移动等全部由机械自动进行,克服了手工堆焊生产率低、劳动强度大等主要缺点。

埋弧自动堆焊又称焊剂层下自动堆焊,其焊剂对电弧空间有可靠的保护作用,可以减少空气对焊层的不良影响。熔渣的保温作用使熔池内的冶金作用比较完全,因而焊层的化学成分和性能比较均匀,焊层表面也光洁平直,焊层与基体金属结合强度高,能根据需要选用不同焊丝和焊剂以获得希望的堆焊层适于堆焊修补面较大、形状不复杂的工件。

埋弧自动堆焊原理如图 3-13 所示。电弧在焊剂下形成。由于电弧的高温放热,熔化的金属与焊剂蒸发形成金属蒸气与焊剂蒸气,在焊剂层下造成一密闭的空腔,电弧就在此空腔内燃烧。空腔的上面覆盖着熔化的焊剂层,隔绝了大气对焊缝的影响。



由于气体的热膨胀作用,空腔内的蒸气压略大于大气压力。此压力与电弧的吹力共同把熔化金属挤向后方,加大了基体金属的熔深。与金属一同挤向熔池较冷部分的熔渣相对密度较小,在流动过程中渐渐与金属分离而上浮,最后浮于金属熔池的上部。其熔点较低,凝固较晚,故减慢了焊缝金属的冷却速度,使液态时间延长,有利于熔渣、金属及气体之间的反应,可更好地清除熔池中的非金属

质点、熔渣和气体，可以得到化学成分相近的金属焊层。

(3) 堆焊工艺 一般堆焊工艺是工件的准备→工件预热→堆焊→冷却与消除内应力→表面加工。下面以轧辊堆焊为例进行简单介绍。

轧制过程中的轧辊是在复杂的应力状态下工作的。各个部位承受着不同的交变应力的作用这些应力包括残余应力、轧辊表面的接触应力、轧辊横向压缩引起的应力、热应力以及弯矩、扭矩作用所引起的应力等。轧制过程中产生的辊面缺陷主要有不均匀磨损、裂纹、掉皮、压痕、凹坑等，这些缺陷会直接影响到产品质量、增加辊耗。当缺陷程度轻微时，经过磨削后即可再用，当缺陷程度严重如裂纹较深、掉皮严重时，经车削再磨削后如果其工作直径能满足使用要求也可再用。当其工作直径过小时，只能报废。轧辊报废的原因还有轧制力过大或制造工艺不完善造成的断辊，疲劳裂纹引起的断辊，扭矩过大损坏辊颈等。目前，国内每年轧辊消耗量极大，据统计国内生产 1t 钢的轧辊消耗为 7.5 kg，而国外的轧辊消耗为 1.8 kg/t。降低轧辊消耗的途径除合理使用轧辊外，就是采用堆焊方法修复报废的轧辊，可节约大量资金，降低生产总成本。

① 轧辊的准备 轧辊堆焊前必须用车削加工除去其表面的全部缺陷，保证有一个致密的金属表面，采用超声波探伤检查。对大型旧轧辊堆焊前，要进行 550℃~650℃退火以消除其疲劳应力。

② 轧辊预热 由于轧辊的材质和表面堆焊用的材料均是含碳量和合金元素比较高的材料，加之轧辊直径比较大，为了预防裂纹和气孔，并改善开始堆焊时焊层与母材的熔合，减少焊不透的缺陷，必须在堆焊前对轧辊预热。预热温度应在 Ms 点(马氏体开始转变温度)以上。因为堆焊轧辊表面时，第一层焊完后，温度下降到 Ms 点以下，就变成马氏体组织。再堆焊第二层时，焊接热量就会加热已堆焊好的第一层金属，使其回火软化。所以从开始堆焊到堆焊完毕，层间温度不得低于预热温度的 50℃。

③ 堆焊 对于辊芯含碳量高的轧辊堆焊，必须采用过渡层材料，这是为了避免从辊芯向堆焊金属过渡层形成裂纹。焊接参数在施焊中不要随意变动，焊接时要防止焊剂的流失，要确保焊剂的有效供应。

④ 冷却与消除内应力 堆焊完后，最好把轧辊均匀加热到焊前的预热温度。如果轧辊表面比内部冷得快，会引起收缩而造成应力集中，形成表面裂纹。因此，

需要缓慢地冷却。热处理规范根据不同堆焊材质制定。焊后最好立即进行 150℃~200℃的回火处理,可减少应力,避免裂纹产生。然后粗磨,再经磁力探伤检查。

⑤ 表面加工 表面硬度不高时可用硬质合金刀具车削,硬度高则用磨削加工,合格后送精磨。

⑥ 焊丝的选择 焊丝是直接影响堆焊层金属质量的一个最主要因素。堆焊的目的不仅是修复轧辊尺寸,重要的是提高其耐热耐磨性能,故要选择优于母材材质的焊丝。焊丝材料有:

低合金高强度钢。牌号 3CrMnSi,其堆焊金属硬度不高,只有 35~40HRC,只能起恢复轧辊尺寸作用,不能提高轧辊的使用寿命,但价钱便宜。

热作模具钢。牌号 3Cr2W8V,其堆焊和消除应力退火后硬度可达 40~50HRC,需用硬质合金刀具切削,其寿命比原轧辊可提高 1~5 倍。用于堆焊初轧机、型钢轧机、管带轧机的轧辊。

马氏体不锈钢。牌号 CrB、2CrB、3CrB,其堆焊硬度 45~50HRC。用于堆焊开坯轧辊、型钢轧辊。

高合金高碳工具钢。瑞典牌号 Tobrod15.82 (80Cr4M08W2VMn2Si)。这种焊丝由于含碳和合金元素较高,容易出现裂纹,要求有高的预热温度和层间温度。堆焊后硬度高达 50~60HRC,用于精轧机成品轧机工作辊。

⑦ 焊剂的选择 焊剂的作用是使熔融金属的熔池与空气隔开,并使熔融焊剂的液态金属在电弧热的作用下,起化学作用调节成分。常用的有熔炼焊剂和非熔炼焊剂。

熔炼焊剂又分为酸性熔炼焊剂和碱性熔炼焊剂,酸性熔炼焊剂工艺性能好,价格便宜,但氧化性强,使焊丝中的 C、Cr 元素大量烧损,而 Si、Mn 元素大量过渡到堆焊金属中。碱性熔炼焊剂,氧化性弱,对堆焊金属成分影响不大,但易吸潮,使用时先要焙烤,工程中常用碱性熔炼焊剂。

常用的非熔炼焊剂是陶质焊剂,它是由各种原料的粉末用水玻璃粘结而成的小颗粒,其中可以加入所需要的任何物质,陶质焊剂与熔炼焊剂相比,其优点是陶质焊剂堆焊的焊缝成形美观、平整,质量好,热脱渣性好(温度达 500℃时仍能自动脱渣,渣壳成形),而熔炼焊剂是做不到的。其次,采用熔炼焊剂,金属化学成分中的 C、Cr、V 等有效元素大量烧损,而 P、S 等有害元素都有所增加。

因而降低了堆焊金属的耐磨性能，提高了焊缝金属的裂纹倾向。采用陶质焊剂，不但可以减少易烧损的有用元素，而且还可以过渡来一些有用的元素。

另外，通过回火硬度和高温硬度比较，可以看出同样的焊丝采用陶质焊剂时硬度都大大提高。特别是 3Cr2W8 最为明显。陶质焊剂与熔炼焊剂的回火硬度和高温硬度相比如图 3-13 所示，图中的实线代表陶质焊剂，虚线代表熔炼焊剂。

从图中可以看出，采用陶质焊剂后，堆焊金属的硬度性能大幅度提高，从而提高了轧辊的耐磨能力。

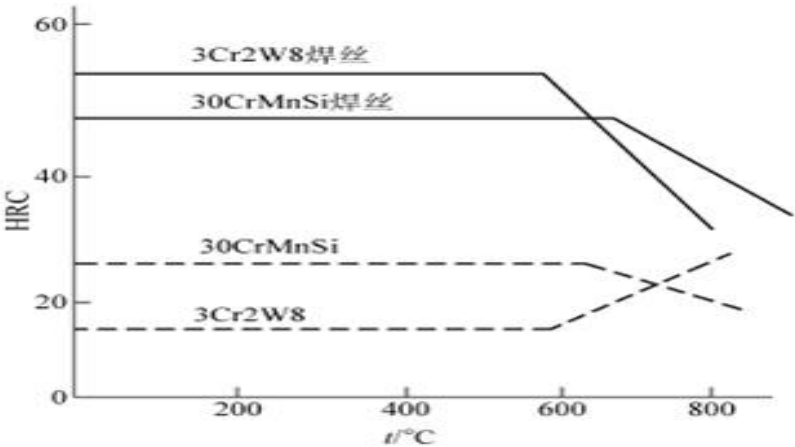


图 3-13 回火硬度比较

3. 钎焊

钎焊就是采用比基体金属熔点低的金属材料作钎料，将焊件和钎料加热到高于钎料熔点、低于基体金属熔化温度，利用液态钎料润湿基体金属，填充接头间隙并与基体金属相互扩散实现连接的一种焊接方法。

钎焊根据钎料熔化温度的不同分为两类，软钎焊是用熔点低于 450℃ 的钎料进的钎焊，也称低温钎焊，常用的钎料是锡铅焊料;硬钎焊是用熔点高于 450℃ 的钎料进行的钎焊，常用的钎料有铜锌、铜磷、银基焊料、铝基焊料等。

钎焊具有温度低，对焊接件组织和力学性能影响小，接头光滑平整，工艺简单，操作方便等优点。但是又有接头强度低，熔剂有腐蚀作用等缺点。

钎焊适用于对强度要求不高的零件产生裂纹或断裂的修复，尤其适用于低速运动零件的研伤、划伤等局部缺陷的修复。

第四节 热喷涂（熔）修复法

一、概述

热喷涂是利用热源将喷涂材料加热至熔融状态，通过气流吹动使其雾化并高速喷射到零件表面，以形成喷涂层的表面加工技术。喷涂层与基体之间，以及喷涂层中颗粒之间主要是通过镶嵌、咬合、填塞等机械形式连接，其次是微区冶金结合以及化学键结合。在自熔性合金粉末，尤其是放热性自粘结复合粉末问世以后，出现了喷涂层与基体之间以及喷涂层颗粒之间的微区冶金结合的组织，使结合强度明显提高。

喷涂材料需要热源加热，喷涂层与零件基材之间主要是机械结合，这是热喷涂技术最基本的特征。常用的热喷涂方法有火焰粉末喷涂、等离子粉末喷涂、爆炸喷涂、电弧喷涂、高频喷涂等。

热喷涂技术取材范围广，几乎所有的金属、合金、陶瓷都可以作为喷涂材料，塑料、尼龙等有机材料也可以作为喷涂材料；可用于各种基体，金属、陶瓷器具、玻璃、石膏、木材、布、纸等几乎所有固体材料都可以进行喷涂；可使基体保持较低温度，一般温度可控制在 $30^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 之间，从而保证基体不变形、不弱化；工效高，同样厚度的膜层，时间要比电镀短得多；被喷涂工件的大小一般不受限制；涂层厚度较易控制，薄者可为几十微米，厚者可为几毫米。

热喷涂工艺

热喷涂的基本工艺流程包括：表面净化、表面预加工、表面粗化、喷涂结合底层、喷涂工作层、喷后机械加工、喷后质量检查等。

第五节 电镀修复法

电镀修复法是用电化学方法在镀件表面上沉积所需形态的金属覆盖层，从而修复零件的尺寸精度或改善零件表面性能。目前常用的电镀方法有镀铬、低温镀铁和电刷镀技术等，电刷镀技术在设备维修中得到广泛应用。

1. 镀铬

镀铬是用电解法修复零件的最有效方法之一。它不仅可修复磨损表面的尺寸，而且能改善零件的表面性能，特别是提高表面耐磨性。其特点是镀铬层的化学稳定性好，摩擦系数小，硬度高，有较好的耐磨性；镀层与基体金属结合强度高，甚至高于它自身晶格间的结合强度；镀铬层有较好的耐热性，能在较高温度下工作；抗腐蚀能力强，铬层与有机酸、硫、硫化物、稀硫酸、硝酸、碳酸盐或碱等均不起作用。但镀铬层性脆，不宜承受分布不均匀的载荷，不能抗冲击，当镀层厚度超过 0.5mm 时，结合强度和疲劳强度降低，不宜修复磨损量较大的零件；沉积效率低，润滑性能不好，工艺较复杂，成本高，一般不重要的零件不宜采用。一般镀铬工艺是：

- (1) 镀前准备 进行机械加工;绝缘处理,采用护屏;脱脂和除去氧化皮;进行刻蚀处理。
- (2) 电镀 装挂具吊入镀槽进行电镀，根据镀铬层要求选定镀铬规范，按时间控制镀层厚度。
- (3) 镀后加工及处理 镀后首先检查镀层质量，测量镀后尺寸。不合格时，用酸洗或反极退镀，重新电镀。通常镀后要进行磨削加工。镀层薄时，可直接镀到尺寸要求。对镀层厚度超过 0.1mm 的重要零件应进行热处理，以提高镀层韧性和结合强度。

镀铬的一般工艺虽得到了广泛应用，但因电流效率低、沉积速度慢、工作稳定性差、生产周期长、经常分析和校正电解液等缺点，所以产生了许多新的镀铬工艺，如快速镀铬、无槽镀铬、喷流镀铬、三价铬镀铬、快速自调镀铬等。

2. 镀铁

镀铁又称镀钢。按电解液的温度不同分为高温镀铁和低温镀铁。当电解液的温度在 90℃~100℃，所采用的电源为直流电源时，称为高温镀铁。这种方法获得的镀层硬度不高，且与基体结合不可靠。当电解液的温度在 40℃~50℃，所采用的电源为不对称交流直流电源时，称为低温镀铁。这种方法获得的镀层力学性能较好，工艺简单，操作方便，在修复和强化机械零件方面可取代高温镀铁，并已得到广泛应用。

镀铁工艺为：

- (1) 镀前预处理 镀前首先对工件进行脱脂除锈，之后再进行阳极刻蚀。

阳极刻蚀是将工件放入 25℃~30℃ 的 H₂SO₄ 电解液中，以工件为阳极、铅板为阴极，通以直流电，使工件表面的氧化膜层去除，粗化表面以提高镀层的结合力。

(2) 侵蚀 把经过预处理的工件放入镀铁液中，先不通电，静放 0.5~5min 使工件预热，溶解掉钝化膜。

(3) 电镀 按镀铁工艺规范立刻进行起镀和过渡镀，然后进行直流镀。

(4) 镀后处理 包括清水冲洗、在碱液里中和、除氢处理、冲洗、拆挂具、清除绝缘涂料和机械加工等。

3. 电刷镀

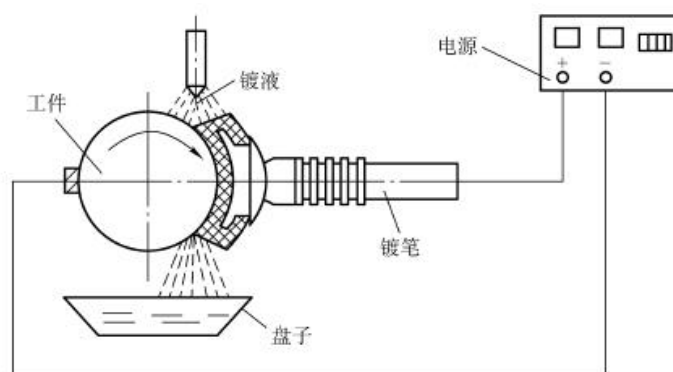
电刷镀技术是电镀技术的新发展，它的显著特点是设备轻便、工艺灵活、沉积速度快、镀层种类多、镀层结合强度高、适应范围广、对环境污染小、省水省电等，是机械零件修复和强化的有力手段，尤其适用于大型机械零件的不解体现场修理或野外抢修。

电刷镀的基本原理如图 3-16 所示，电刷镀技术采用一专用的直流电源设备，电源的正极接镀笔，作为电刷镀时的阳极，电源的负极接工件，作为电刷镀时的阴极。镀笔通常采用高纯细石墨块作阳极材料，石墨块外面包裹上棉花和耐磨的涤棉套。电刷镀时使蘸满镀液的镀笔以一定的相对运动速度在工件表面上移动，并保持适当的压力。在镀笔与工件接触的部位，镀液中的金属离子在电场力的作用下扩散到工件表面，在工件表面的金属离子获得电子被还原成金属原子，这些金属原子在工件表面沉积结晶，形成镀层。随着电刷镀时间的增长，镀层逐渐增厚。

电刷镀技术的整个工艺过程包括镀前表面预加工、脱脂除锈、电净处理、活化处理、镀底层、镀工作层和镀后防锈处理等。

(1) 表面预加工 去除表面上的毛刺、疲劳层，修整

平面、圆柱面、圆锥面达到精度要求，表面粗糙度值 $Ra < 2.5 \mu m$ 。对深的划伤和腐蚀斑坑要用锉刀、磨条、油石等修整露出基体金属。



(2) 清洗、脱脂、防锈。锈蚀严重的可用喷砂、砂布打磨，油污用汽油、丙酮或水基清洗剂清洗。

(3) 电净处理 大多数金属都需用电净液对工件表面进行电净处理，以进一步除去微观上的油污。被镀表面的相邻部位也要认真清洗。

(4) 活化处理 活化处理用来除去工件表面的氧化膜、钝化膜或析出的碳元素微粒黑膜。

(5) 镀底层 为了提高工作镀层与基体金属的结合强度，工件表面经仔细电净处理、活化处理后，需先用特殊镍、碱铜或低氢脆性镉镀液预镀一薄层底层，其中特殊镍作底层，适用于不锈钢，铬、镍材料和高熔点金属；碱铜作底层，适用于难镀的金属如铝、锌或铸铁等；低氢脆性镉作底层，适用于对氢特别敏感的超高强度钢。

(6) 镀工作层 根据工件的使用要求，选择合适的金属镀液刷镀工作层。为了保证镀层质量，合理地进行镀层设计很有必要。由于每种镀液的安全厚度不大，当镀层较厚时，往往选用两种或两种以上镀液，分层交替刷镀，得到复合镀层。这样既可迅速增补尺寸，又可减少镀层内应力，也保证了镀层的质量。

(7) 镀后清洗 用自来水彻底清洗冲刷已镀表面和邻近部位，用压缩空气吹干或用理发吹风机吹干，并涂上防锈油或防锈液。

第六节 胶接修复法

一、概述

胶接就是通过胶粘剂将两个或两个以上同质或不同质的物体连接在一起。胶接是通过胶粘剂与被胶接物体表面之间物理的或化学的作用而实现的。由于实用可靠，已经逐步取代了传统的机械连接方法。

1. 胶接工艺的特点

(1) 优点 胶接力较强，可胶接各种金属或非金属材料，目前钢铁的最高胶接强度可达 75MPa；胶接中无须高温，不会有变形、退火和氧化的问题；工艺简便，成本低，修理迅速，适于现场施工；粘缝有良好的化学稳定性和绝缘性，不产生腐蚀。

(2) 缺点 不耐高温，有机胶粘剂一般只能在 150℃ 下长期工作，无机胶粘剂可

在 700℃下工作;抗冲击性能差;长期与空气、水和光接触,胶层容易老化变质。

2.胶粘剂的分类及常用胶粘剂

胶粘剂的分类方法很多,按基本成分可分为有机类胶粘剂和无机类胶粘剂。有机类胶粘剂为大然胶和合成胶。大然胶有动物胶、植物胶;合成胶有树脂型、橡胶型和混合型。修复中常用的合成胶是环氧树脂、酚醛树脂、丙烯酸树脂、聚氨醋、有机硅树脂和橡胶胶粘剂。无机胶有硅酸盐、硼酸盐、磷酸盐等,修复中使用的无机胶粘剂主要是磷酸一氧化铜胶粘剂。

二、胶接

1. 胶接工艺 为了保证胶接质量,胶接时必须严格按照胶接工艺规范进行。一般的胶粘接工艺流程是:零件的清洗检查→机械处理→除油→化学处理→胶粘剂调制→胶接→固化→检查。

(1) 清洗检查 将待修复的零件用柴油、汽油或煤油洗净并检查破损部位,作好标记。

(2) 机械处理 用钢丝刷或砂纸清除铁锈,直至露出金属光泽。

(3) 除油 当胶接表面有油时,一方面影响胶粘剂对胶接件的浸润,另一方面油层内聚强度极低,零件受力时,整个胶接接头就会遭受破坏。一般常用丙酮、酒精、乙醚等除油。

(4) 化学处理 对于要求结合强度较高的金属零件应进行化学处理,使之能显露出纯净的金属表面或在表面形成极性化合物,如酸蚀处理或表面氧化处理。由酸蚀处理得到的纯净表面可以直接与胶粘剂接触。各种胶接作用力都可能提高,而由表面氧化处理形成的高极性氧化物,则可能增强化学键力和静电引力,从而达到提高胶接强合的目的。

(5) 胶粘剂的调制 市场上买来的胶粘剂,应按技术条件或产品说明书使用。自行配制的胶粘剂,应按规定的比例和顺序要求加入。特别是使用快速固化剂时,固化剂应在最后加入。各种成分加入后必须搅拌均匀。

调制胶粘剂的容器及搅拌工具要有很高的化学稳定性,常用容器为陶瓷制品,搅拌工具常用玻璃棒或竹片。应在临用前调配,一次调配量不宜过多,操作要迅速,涂胶要快,以防过早固化。

(6) 胶接 首先对相互胶接的表面涂抹胶粘剂,涂层要完满、均匀,厚度以

0.1~0.2mm 为宜。为了提高胶粘剂与表面的结合强度，可将工件进行适当加热。

涂好胶粘剂后，胶合时间根据胶粘剂的种类不同而有所不同。对于快干的胶粘剂，应尽快进行胶合和固定；对含有较多溶剂和稀释剂的，宜放置一段时间，使溶剂基本挥发完再进行胶合。

(7) 固化 在胶接工艺中固化是决定胶接质量的重要环节。固化在一定压力、温度、时间等条件下进行。各种胶粘剂都有不同要求。固化时，应根据产品使用说明或经验确定。固化后需要机械加工时，吃刀量不宜太大，速度不可太高。此外，不要冲击和敲打刚胶接好的零件。

(8) 检查 查看胶层表面有无翘起和剥离的现象，有无气孔和夹空，若有就不合格。用苯、丙酮等溶剂溶在胶层表面上，检查固化情况，浸泡 1~2min，无溶解粘手现象，则表明完全固化，不允许作破坏性(如锤击、摔打、刮削和剥皮等)试验。

2. 胶接接头的形式

胶接接头设计的基本出发点是要确保接头的强度，接头的基本形式及改进形式如图 3-17 所示，显然，改进后胶接强度大大提高。

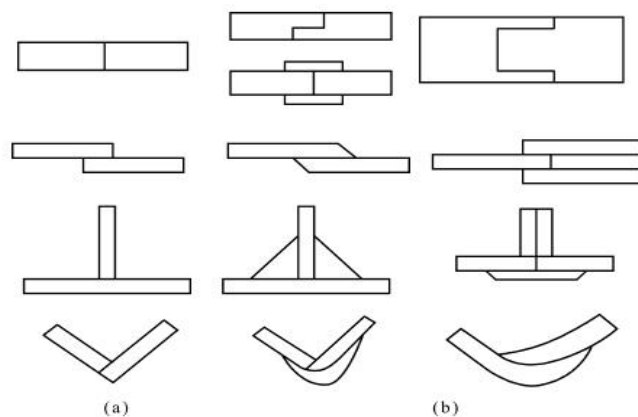


图 3-17 胶接接头的基本形式和改进形式

(a) 基本形式；(b)改进形式

第七节 其他修复方法简介

一、电接触焊

用电接触焊可修复各种轴类零件的轴颈其工作原理在旋转零件和铜质滚子电极之间，供给金属粉末。并且滚子又可通过加力缸向零件施加一定作用力，滚子和零件的挤压过程中，由于局部接触部位有很大的电阻，使粉末加热至 $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，粉末粒子之间以及粉末与零件表面可烧结成一体。

焊层质量与零件和滚子的尺寸、滚子的压力、粉末化学成分以及零件圆周速度有关。当修复直径为 $30\sim 100\text{mm}$ 的零件时，修复层厚度可达 $0.3\sim 1.5\text{mm}$ 。

这种修复方法生产率高，对基体的热影响深度小，焊层耐磨性好，缺点是焊层厚度有限，设备复杂。

二、电脉冲接触焊

电脉冲接触焊与电接触焊不同的是向零件与滚子之间供送钢带，并用短脉冲电流使之焊在磨损的零件表面。电脉冲瞬间电流达 $15\sim 18\text{ kA}$ ，时间 $0.01\sim 0.001\text{s}$ ，钢带以点焊在零件表面。

为了提高焊接钢带的硬度和耐磨性，焊后用水冷却。用这种方法焊接的高碳钢带硬度达 $60\sim 65\text{HRC}$ 。用硬质合金钢带可以成倍地提高零件的耐磨性。该方法可以修复各种轴的轴颈，壳体的轴承座孔。只是钢带厚度有一定限制，设备比较复杂。

三、铝热焊

铝热焊是利用铝和氧化铁的氧化还原反应所放出的热来熔化金属，使金属间连接或堆焊具有耐磨性。

目前普遍用于铁轨的连接，也可用于断轴和各种支架的连接等。

四、复合电镀

在电镀溶液中加入适量的金属或非金属化合物的细颗粒，并使之与镀层一起均匀地沉积，称为复合电镀。

复合电镀层具有优良的耐磨性，因此应用很广泛。加有减摩性微粒的复合层具有良好的减摩性，摩擦系数低，已用于修复和强化设备零件上。例如，修复发动机气门、活塞等零件的磨损表面。

五、爆炸法粉末涂层

爆炸法粉末涂层是利用可燃气体爆炸的能量。金属的或金属化的粉末借助氧、乙炔混合气爆炸得到 800~900m/s 的高速而涂到零件表面上。用氮气流将粉末送入专用容器,并在其内形成可燃气体与粉末的混合而引起爆炸,使粉末颗粒与母材以微型焊接方式牢固结合在一起。

在爆炸时待涂零件作直线或旋转运动。粉末材料有碳化钨、碳化钽、氧化铝、氧化铬;金属粉有铬、钴、钽、钨。每次爆炸时间持续约 0.23s,可形成 0.007mm 厚的涂层。多次重复涂层具有很高的硬度和耐磨性。

这种方法最大的优点是被涂零件表面加热温度不高于 250℃,适用于直径达 1000mm 的外圆柱表面和直径大于 15mm 的内圆柱表面以及形状复杂的平面,特别适用于在高压、高温、磨损及腐蚀介质中工作的零件涂层。

六、强化加工

为了提高被修复零件表面的寿命可进行强化加工。强化加工的方法很多,如激光强化加工、电火花表面强化、喷丸处理、爆炸波强化等。

(1) 激光强化 激光强化过程,首先在需要修复的表面预先涂覆合金涂层(通常采用自熔性合金,其熔点远低于基体),激光使其在极短时间内熔融涂层并与基体金属扩散互熔,冷凝后在修复表面形成具有耐磨、耐腐蚀、耐高温的合金涂层。若是在零件表面焊接某种金属或合金,只用激光将其烧熔,使它们粘合在一起即可,所用的激光能量密度可适当小些。激光熔化后的强层较密,厚度 0.5~1.5mm,硬度高。

激光强化加工对于那些因耐磨性及疲劳强度而限制其使用寿命的零件,特别是外形复杂的零件或因瓢曲严重而不能使用其他方法强化的零件是很有发展前途的。

激光表面强化具有下列特点:能对被加工表面的磨损处进行局部强化(在深度及面积上);可对难以接触到而光线可达到的零件空腔或深处部位进行强化;在零件足够大的面积上得到斑点状强化表面;能在强化表面上得到需要的粗糙度;被加工零件不会因局部热处理产生变形,可完全不必再进行磨削;由于激光加热是非接触性的,因而易于实现加热自动化。

(2) 电火花表面强化 电火花表面强化是通过电火花放电的作用把一种导电

材料涂敷熔渗到另一种导电材料的表面,从而改变后者表面物理和化学等性能的工艺方法。在机械修理中,电火花加工主要用在硬质合金堆焊后粗加工、强化和修复磨损的零件表面。

电火花加工修复层的厚度可达 0.5mm。修复铸铁壳体上的轴承座孔时,阳极用铜质材料。强化磨损轴颈时,阳极为切削工具,用铬铁合金、石墨和 T15K6 硬质合金等材料制作。

(3) 喷丸处理 这种方法对在交变载荷作用下工作的特型零件有效。疲劳强度可提高至原来的 1.5 倍以上。表层显微硬度略有提高(30%左右),但表面粗糙度基本不变。

(4) 爆炸波强化 爆炸波强化是利用烈性炸药爆炸时释放的巨大能量来完成的。强化时,爆炸速度高达 7000m/s,作用在表面上的压力达 $1.5 \times 10^4 \text{MPa}$,这种加工可显著提高零件寿命。

爆炸波强化法用于磨损严重的零件。其强化效果是一般强化方法达不到的。

除了以上介绍的零件修复、强化方法,还有很多有前途的零件修复、强化工艺。

思 考 题

1. 设备维护保养的要求有哪些?
2. 什么是设备的三级保养?
3. 设备的四定工作是什么?
4. 故障诊断的基本方法有哪些?
5. 机械修复法有哪些?
6. 说明超声波探伤的原理与方法。
9. 简述金属扣合法的分类及其应用的范围。
10. 焊接技术在机械设备修理中有何用途?它们的特点如何?

第五章 典型设备的维护与检修

第一节 机械设备的大修理

概述

一、设备大修的定义

在设备预防性计划修理类别中，设备大修是工作量最大、修理时间较长的一类修理。设备大修就是将设备全部或大部分解体，修复基础件，更换或修复机械零件、电器零件，调整修理电气系统，整机装配和调试，以达到全面清除大修理前存在的缺陷，恢复规定的性能与精度。

对设备大修，不但要达到预定的技术要求，而且要力求提高经济效益。因此，在修前应切实掌握设备的技术状况，制订切实可行的修理方案，充分做好技术和生产准备工作；在施工中要积极采用新技术、新材料、新工艺和现代管理方法，做好技术、经济和组织管理工作，以保证修理质量，缩短停修时间，降低修理费用。

在设备大修中，要对设备使用中出现的原设计制造缺陷，如局部设计结构不合理、零件材料设计使用不当、整机维修性差、拆装困难等，可应用新技术、新材料、新工艺去针对性地改进，以期提高设备的可靠性。也就是说，通过“修中有改、改修结合”来提高设备的技术素质。

二、设备大修的内容和技术要求

1. 设备大修的内容。设备大修一般包括以下内容：

- ① 对设备的全部或大部分部件解体检查；
- ② 编制大修理技术文件，并作好备件、材料，工具、技术资料等各方面准备；
- ③ 修复基础件；
- ④ 更换或修复零件；
- ⑤ 修理电气系统；
- ⑥ 更换或修复附件；
- ⑦ 整机装配，并调试达到大修理质量标准；
- ⑧ 翻新外观；
- ⑨ 整机验收。

除上述内容外，还应考虑以下内容：对多发性故障部位，可改进设计来提高其可靠性；对落后的局部结构设计、不当的材料使用、落后的控制方式等，视情进行改造；按照产品工艺要求，在不改变整机的结构状况下，局部提高个别主要零件的精度。

2. 设备大修的技术要求

对设备大修的技术要求，尽管各类机电设备具体的大修技术要求不同，但总的要求应是：

- ① 全面清除修理前存在的缺陷；
- ② 大修后应达到设备出厂的性能和精度标准。在实际工作中，应从企业生产需要出发，根据产品工艺的要求，制订设备大修质量标准并在大修后达到该标准。

第二节 维修前的准备工作

修前准备工作完善与否，将直接影响到设备的修理质量、停机时间和经济效益。设备管理部门应认真做好修前准备工作的计划、组织、指挥、协调和控制工作，定期检查有关人员所负责的准备工作完成情况，发现问题应及时研究并采取措施解决，保证满足修理计划的要求。

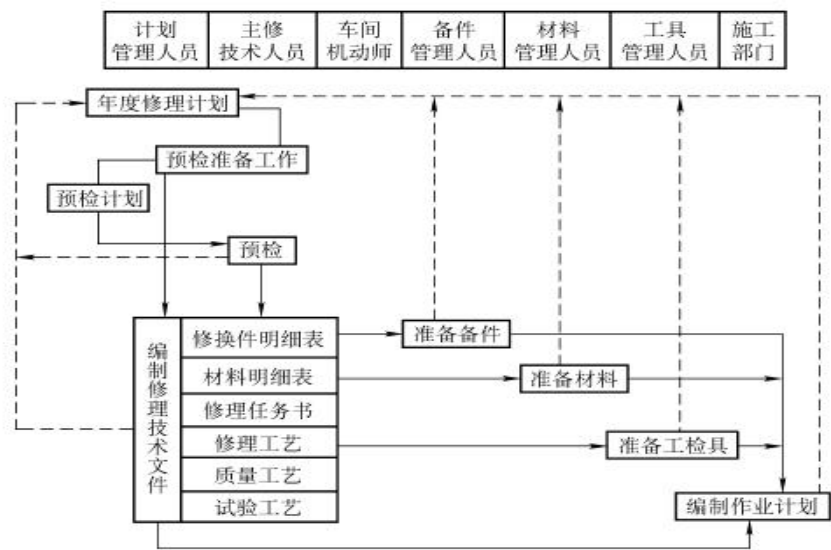


图 3-19 修前准备工作的程序
注:实线为程序传递路线,虚线为信息反馈路线

如图 3-19 所示为修前准备工作程序。它包括修前技术准备和生产准备两方面的内容。

一、修前技术准备

设备修理计划制定后，主修技术人员应抓紧做好修前技术准备工作。对实行状态监测维修的设备，可分析过去的故障修理记录、定期维护、定期检查和技术状态诊断记录，从而确定修理内容和编制修理技术文件。定期维修的设备，应先调查修前技术状态，然后分析确定修理内容和编制修理技术文件。对精、大、稀设备的大修理方案，必要时应从技术和经济方面做可行性分析。设备修前技术准备的及时性和正确性是保证修理质量、降低修理费用和缩短停机时间的重要因素。

修前技术准备工作内容主要有修前预检、修前资料准备和修前工艺准备。

1. 修前预检

修前预检是对设备进行检查，它是修前准备工作的关键。其目的是要掌握修理设备的技术状态（如精度、性能、缺损件等），查出有毛病的部位，以便制定经济合理的修理计划，并做好各项修前准备工作。预检的时间不宜过早，否则将使查得的更换件不准确、不全面，造成修理工艺编制得不准确。预检过晚，将使更换件的生产准备周期不够。因此须根据设备的复杂程度来确定预检的时间。一般设备宜在修前三个月左右进行。对精、大、稀以及需结合改造的设备宜在修前六个月左右进行。通过预检，首先必须准确而全面地提出更换件和修复件明细表，其提出的齐全率要在 80% 以上。特别是铸锻件、加工周期长的零件以及需要外协的零件不应漏提。其次对更换件和修复件的测绘要仔细，要准确而齐全地提供其各部分尺寸、公差配合、形位公差、材料、热处理要求以及其他技术条件，从而保证提供可靠的配件制造图样。

预检可按如下步骤进行：

- ① 主修技术员首先要阅读设备说明书和装配图，熟悉设备的结构、性能和精度要求。其次是查看设备档案，从而了解设备的历史故障和修理情况；
- ② 由操作工人介绍设备目前的技术状态，由维修工人介绍设备现有的主要缺陷；
- ③ 进行外观检查，如导轨面的磨损、碰伤等情况，外露零部件的油漆及缺损情况等；
- ④ 进行运转检查。先开动设备，听运转的声音是否正常，详细检查不正常的地

方。打开盖板等检查看得见的零部件。对看不见怀有疑问的零部件则必须拆开检查。拆前要做记录，以便解体时检查及装配复原之用。必要时尚需进行负荷试车及工作精度检验；

⑤ 按部件解体检查。将有疑问的部件拆开细看是否有问题。如有损坏的，则由设计人员按照备件图提出备件清单。没有备件图的，就须拆下测绘成草图。尽可能不大拆，因预检后还需要装上交付生产；

⑥ 预检完毕后，将记录进行整理，编制修理工艺准备资料；如：修前存在问题记录表、磨损件修理及更换明细表等。

2. 修前资料准备

预检结束后，主修技术员须准备更换零部件图样，结构装配图，传动系统图，液压、电器、润滑系统图，外购件和标准件明细表以及其他技术文件等。

3. 修前工艺准备

资料准备工作完成后，就需着手编制零件制造和设备修理的工艺规程，并设计必要的工艺装备等。

二、修前生产准备

修前生产准备包括：材料及备件准备；专用工、检具的准备以及修理作业计划的编制。充分而及时地做好修前生产准备工作，是保证设备修理工作顺利进行的物质基础。

1. 材料及备件的准备

根据年度修理计划，企业设备管理部门编制年度材料计划，提交企业材料供应部门采购。主修技术人员编的“设备修理材料明细表”是领用材料的依据，库存材料不足时应临时采购。

外购件通常是指滚动轴承、标准件、胶带、密封件、电器元件、液压件等。我国多数大、中型机器制造企业将上述外购件纳入备件库的管理范围，有利于维修工作进行，不足的外购件再临时采购。

备件管理人员按更换件明细表核对库存后，不足部分组织临时采购和安排配件加工。铸、锻件毛坯是配件生产的关键，因其生产周期长，故必须重点抓好，列入生产计划，保证按期完成。

2. 专用工、检具的准备。专用工、检具的生产必须列入生产计划，根据修理日期

分别组织生产，验收合格入库编号后进行管理。通常工、检具应以外购为主。

3. 设备停修前的准备工作。以上生产准备工作基本就绪后，要具体落实停修日期。修前对设备主要精度项目进行必要的检查和记录，以确定主要基础件（如导轨、立柱、主轴等）的修理方案。

切断电源及其他动力管线，放出切削液和润滑油，清理作业现场，办理交接手续。

四、修理作业计划的编制

修理作业计划是主持修理施工作业的具体行动计划，其目标是以最经济的人力和时间，在保证质量的前提下力求缩短停歇大数，达到按期或提前完成修理任务的目的。

修理作业计划由修理单位的计划员负责编制，并组织主修机械和电气的技术人员、修理工(组)长讨论审定。对一般中、小型设备的大修，可采用“横道图”或作业计划加上必要的文字说明；对于结构复杂的高精度、大型、关键设备的大修，应采用网络计划。

编制修理作业计划的主要依据是：

- ① 各种修理技术文件规定的修理内容、工艺、技术要求及质量标准；
- ② 修理计划规定的时间定额及停歇大数；
- ③ 修理单位有关工种的能力和技术水平以及装备条件；
- ④ 可能提供的作业场地、起重运输、能源等条件。

修理作业计划的主要内容是：作业程序：分阶段、分部作业所需的工人数、工时数及作业大数；对分部作业之间相互衔接的要求；需要委托外单位劳务协作的事项及时间要求；对用户配合协作的要求等。

第三节 水泵的维修

一、检修水泵前的准备工作

1. 检修施工项目内容的审定

(1) 检修水泵前的准备工作应落实水泵的位号和检修类别,即明确设备位置及该设备属于大修、中修、小修中的哪一类,或者是非计划检修,以及非计划检修的原因。

(2) 查阅设备档案的检修记录,了解设备前次检修的情况,对水泵的历史和现状进行分析综合,做到心中有数。

2. 检修方案和开停车方案的落实

根据上述内容制定本本次检修的程序、检修的主要内容和部位及采取的具体方法。

由于石油化工生产的连续性,因此,设备检修一般采用两种方法:一种方法是局部交出,即启动备用设备,将应检修的设备切出运行系统;另一种方法是装置全部停车进行检修。但无论哪一种方法,由于石油化工生产的特点,必须严格制定设备交出手续。例如,与生产系统切断联系,设备内残存的易燃易爆、有毒、有害物质的处理,电源的切断,设备内残压的处理,现场检修环境的制造,都必须严格的办理手续。任何一种检修都包含停车、处理交出、试车、开车的过程,都必须制定详尽的方案,逐步落实方能保证设备的顺利检修。

二、离心泵检修与质量标准

1. 拆卸前准备

- 1) 掌握泵的运转情况,并备齐必要的图纸和资料。
- 2) 备齐检修工具、量具、起重机具、配件及材料。
- 3) 切断电源及设备与系统的联系,放净泵内介质,达到设备安全与检修条件。

2. 拆卸与检查

- 1) 拆卸附属管线,并检查清扫。
- 2) 拆卸联轴器安全罩,检查联轴器对中,设定联轴器的定位标记。
- 3) 测量转子的轴向窜动量,拆卸检查轴承。
- 4) 拆卸密封并进行检查。

- 5) 测量转子各部圆跳动和间隙。
 - 6) 拆卸转子，测量主轴的径向圆跳动。
 - 7) 检查各零部件，必要时进行探伤检查。
 - 8) 检查通流部分是否有汽蚀冲刷、磨损、腐蚀结垢等情况。
3. 检修标准按设备制造厂要求执行，无要求的按本标准执行。

1. 联轴器

- 1) 半联轴器与轴配合为H7/js6。
- 2) 联轴器两端面轴向间隙一般为2~6mm。
- 3) 安装齿式联轴器应保证外齿在内齿宽的中间部位。
- 4) 安装弹性圈柱销联轴器时，其弹性圈与柱销应为过盈配合，并有一定紧力。
弹性圈与联轴器销孔的直径间隙为0.6~1.2mm。
- 5) 联轴器的对中要求值应符合表2要求。

表 2 联轴器对中要求表 mm

联轴器形式	径 向 允 差	端 面 允 差
刚性	0.06	0.04
弹性圈柱销式	0.08	0.06
齿式		
叠片式	0.15	0.08

- 6) 联轴器对中检查时，调整垫片每组不得超过4块。
- 7) 热油泵预热升温正常后，应校核联轴器对中。
- 8) 叠片联轴器做宏观检查。

4. 轴承

1) 滑动轴承

a. 轴承与轴承压盖的过盈量为0~0.04mm(轴承衬为球面的除外)，下轴承衬与轴承座接触应均匀，接触面积达60%以上，轴承衬不许加垫片。

b. 更换轴承时，轴颈与下轴承接触角为60°~90°，接触面积应均匀，接触点不少于2~3点/cm²。

c. 轴承合金层与轴承衬应结合牢固，合金层表面不得有气孔、夹渣、裂纹、剥离等缺陷。

d. 轴承顶部间隙值应符合表3要求。

e. 轴承侧间隙在水平中分面上的数值为顶部间隙的一半。

2) 滚动轴承

- a. 承受轴向和径向载荷的滚动轴承与轴配合为H7/js6。
- b. 仅承受径向载荷的滚动轴承与轴配合为H7/k6。

表 3 轴承顶部间隙表 mm

轴 径	间 隙	轴 径	间 隙
18 ~ 30	0.07 ~ 0.12	> 80 ~ 120	0.14 ~ 0.22
> 30 ~ 50	0.08 ~ 0.15	> 120 ~ 180	0.16 ~ 0.26
> 50 ~ 80	0.10 ~ 0.18		

- c. 滚动轴承外圈与轴承箱内壁配合为Js7/h6。
- d. 凡轴向止推采用滚动轴承的泵，其滚动轴承外圈的轴向间隙应留有0.02~0.06mm。
- e. 滚动轴承拆装时，采用热装的温度不超过120℃，严禁直接用火焰加热，推荐采用高频感应加热器。
- f. 滚动轴承的滚动体与滚道表面应无腐蚀、坑疤与斑点，接触平滑无杂音，保持架完好。

5. 密封

1) 机械密封

- a. 压盖与轴套的直径间隙为0.75~1.00mm，压盖与密封腔间的垫片厚度为1~2mm。
- b. 密封压盖与静环密封圈接触部位的粗糙度为R_a3.2。
- c. 安装机械密封部位的轴或轴套，表面不得有锈斑、裂纹等缺陷，粗糙度R_a1.6。
- d. 静环尾部的防转槽根部与防转销顶部应保持1~2mm的轴向间隙。
- e. 弹簧压缩后的工作长度应符合设计要求。
- f. 机械密封并圈弹簧的旋向应与泵轴的旋转方向相反。
- g. 压盖螺栓应均匀上紧，防止压盖端面偏斜。
- h. 静环装入压盖后，应检查确认静环无偏斜。

2) 填料密封

- a. 间隔环与轴套的直径间隙一般为1.00~1.50mm。
- b. 间隔环与填料箱的直径间隙为0.15~0.20mm。

- c. 填料压盖与轴套的直径间隙为0.75~1.00mm。
- d. 填料压盖与填料箱的直径间隙为0.10~0.30mm。
- e. 填料底套与轴套的直径间隙为0.50~1.00mm。
- f. 填料环的外径应小于填料函孔径0.30~0.50mm，内径大于轴径0.10~0.20mm。切口角度一般与轴向成45°。
- g. 安装时，相邻两道填料的切口至少应错开90°。
- h. 填料均匀压入，至少每二圈压紧一次，填料压盖压入深度一般为一圈盘根高度，但不得小于5mm。

6. 转子

- 1) 转子的跳动
 - a. 单级离心泵转子跳动应符合表4要求。
 - b. 多级离心泵转子跳动应符合表5要求。
- 2) 轴套与轴配合为H7/h6，表面粗糙度 $R_a1.6$ 。
- 3) 平衡盘与轴配合为H7/js6。
- 4) 根据运行情况，必要时转子应进行动平衡校验，其要求应符合相关技术要求。一般情况下动平衡精度要达到6.3级。
- 5) 对于多级泵，转子组装时其轴套、叶轮、平衡盘端面跳动须达到表5的技术要求，必要时研磨修刮配合端面。组装后各部件之间的相对位置须做好标记，然后进行动平衡校验，校验合格后转子解体。各部件按标记进行回装。

表4 单级离心泵转子跳动表 mm

测量部位直径	径向圆跳动		叶轮端面跳动
	叶轮密封环	轴套	
≤50	0.05	0.04	0.20
>50~120	0.06	0.05	
>120~260	0.07	0.06	
>260	0.08	0.07	

表5 多级离心泵转子跳动表 mm

测量部位直径	径向圆跳动		端面圆跳动	
	叶轮密封环	轴套	叶轮端面	平衡盘

≤50	0.06	0.03	0.20	0.04
>50~120	0.08	0.04		
>120~260	0.10	0.05		
>260	0.12	0.06		

7. 叶轮

a. 叶轮与轴的配合为H7/js6。

b. 更换的叶轮应做静平衡，工作转速在3000r/min的叶轮，外径上允许剩余不平衡量不得大于表6的要求。必要时组装后转子做动平衡校验，一般情况下，动平衡精度要达到6.3级。

c. 平衡校验，一般情况在叶轮上去重，但切去厚度不得大于叶轮壁厚的1/3。

表六 叶轮静平衡允许剩余不平衡量表

叶轮外径/mm	≤200	>200~300	>300~400	>400~500
不平衡重/g	3	5	8	10

d. 对于热油泵，叶轮与轴装配时，键顶部应留有0.10~0.40mm间隙，叶轮与前后隔板的轴向间隙不小于1~2mm。

8. 主轴

a. 主轴颈圆柱度为轴径的0.25%，最大值不超过0.025mm，且表面应无伤痕，表面粗糙度 R_a 1.6。

b. 以两轴颈为基准，找联轴节和轴中断的径向圆跳动公差值为0.04mm。

c. 键与键槽应配合紧密，不允许加垫片，键与轴键槽的过盈量应符合表7要求。

表7 键与轴键槽的过盈量表

mm

轴 径	40 ~ 70	> 70 ~ 100	> 100 ~ 230
过 盈 量	0.009 ~ 0.012	0.011 ~ 0.015	0.012 ~ 0.017

9. 壳体口环与叶轮口环、中间托瓦与中间轴套的直径间隙值应符合表8要求。

表8 口环、托瓦、轴套配合间隙表

mm

泵类	口环直径	壳体口环与叶轮口环间隙	中间托瓦与中间轴套间隙
冷油泵	< 100	0.40 ~ 0.60	0.30 ~ 0.40
	≥ 100	0.60 ~ 0.70	0.40 ~ 0.50
热油泵	< 100	0.60 ~ 0.80	0.40 ~ 0.60
	≥ 100	0.80 ~ 1.00	0.60 ~ 0.70

10. 转子与泵体组装后，测定转子总轴向窜量，转子定中心时应取总窜量的一半；对于两端支承的热油泵，入口的轴向间隙应比出口的轴向间隙大0.5～1.00mm。

三、备件和其他辅助材料的落实

1. 备件的准备

根据对各种水泵产品的全面了解，判断有可能更换的零配件，备件必须事先落实，从备件管理处领出，并进行必要的检查。备件必须要有质量合格证，更不能错领。

2. 其他辅助材料的准备

检修过程中必须使用的其他辅助材料，如垫片、润滑油、紧固件、管阀件、擦机布、棉纱等，名称、规格、质量必须准确无误。

3. 检修工器具和机具的落实

(1) 检修设备必备的一般工器具的准备

知活扳手、开口扳手、梅花扳手、改锥、夹把改锥、手工剪刀、平刮刀、电工刀、油刮刀、扁铲等，规格种类要齐全。

(2) 专用工器具的准备

如拉力盘或拉手爪、顶尖孔垫块、吊装架、加护套的吊钩以及其他自制的专用工器具。

(2) 检修所需的各种机具的准备

如电焊机、打压泵、手砂轮等，这些机具必须事先认查，确实安全可靠，避免影响检修工作的顺利进行。

(4) 起重器具的准备

如吊链、千斤顶、垫木、钢丝绳等。

(5) 必要的量具、刃具的准备

如千分尺、游标卡尺、百分表、钢板尺、丝锥、扳手等，规格、精度要符合检修的需要。

4. 检修操作中的安全

(1) 劳动保护用品，如工作服、帽子（单工作帽或安全帽）、手套、劳保鞋等，要穿戴整齐，符合要求。

(2) 持手锤或使用手持电动工具时不准戴手套，但持扁铲的手要戴手套。

(3) 使用手锤前要仔细检查锤头安装是否牢固可靠,打锤时要注意前后是否有人。

(4) 使用扳手时要卡牢螺母,不要用猛力,以防滑脱,发生磕碰伤害事故。

(5) 吊装零部件时,绳扣、绳套一定要结实可靠,吊物要系牢。掌握好重心平衡,调整重心时,一定要放下吊物后进行。

(6) 吊物下严禁站人,起吊、放落、移动时速度不得过快,要有专人指挥。

(7) 两人以上搬扛零部件时,要协调动作,相互打好招呼,防止发生意外。

(8) 操作时不得打闹、嬉笑或聊天,一定要专心致志,集中精力。

5. 做好检修记录表的填写

实验实训课题

一、实验实训项目

①钳工绞孔;

②钳工修补键槽、螺纹孔;

③简单钢件的焊接;

④钢件的胶接;

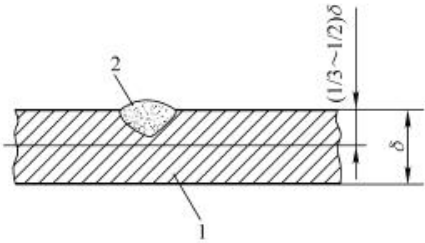
二、实训修复示例

在现有的修复工艺中,任何一种方法都不能完全适应各种材料,不能完全适应同一种材料制成的各种零部件,实际的机械修复往往是多种修复工艺的综合运用。在选择零件修复工艺时要考虑修复工艺对材质的适应情况、各种修复工艺所能达到的修补层厚度、零件修补后的强度、零件的结构对修复工艺的影响、修复的经济性等多种因素。下面以实例进行简要说明。

1. 裂纹胶接修复

裂纹常见于铸铁件中。用胶接方法进行修复时,先钻止裂孔和开坡口,再用丙酮或香蕉水等进行去脂处理,必要时还要进行活化处理,胶粘剂一般根据工件的工作温度选用,在常温下工作的工件可采用有机胶粘剂,在高温下工作的工件

宜采用无机胶粘剂。胶接时尽可能将工件加热到 100℃左右，然后灌注调好的胶粘剂，使胶粘剂填满坡口并略高出工件表面，如图 3-20(a)所示。为了提高裂纹

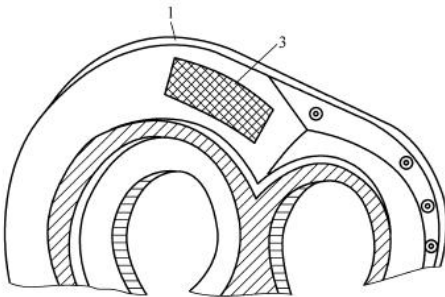


(a)

(a)裂纹的断面；1-机体；2-填满胶粘剂的坡口；3-加盖玻

图 3-20(a)

的胶接强度，可在裂纹表面加粘一层或数层玻璃布，如图 3-20(b)所示。



(b)

(b) 加盖玻璃布 1-机体；2-填满胶粘剂的坡口；3-加盖

图3-20(b)

第四节 摆线针轮减速的维修

一、总则

本规程适用于摆线针轮减速机（以下简称减速机）的维护和检修；摆线针轮减速器的维护检修亦可参照执行。

1. 检修间隔期

1) 检修类别

检修类别根据榨季一个生产小期或一个榨季分小修和大修俩类。

2) 检修间隔期

检修间隔期见表1

表1

检修类别	小修	大修
检修间隔期	45天	180天

2. 检维修前进行危险、有害因素识别

3. 检修前的准备

1) 技术准备

- ① 使用说明书、图样及有关标准等技术资料。
- ② 运行、修理、缺陷、隐患、故障、功能失常等记录。
- ③ 减速机温升、噪声、振动、功率（通过测量工作电压及电流计算）

技术性能预检，并记录。

二、制定大修方案

1. 物资准备

- ① 需要更换的常用备件：转臂轴承、摆线齿轮、针齿套、针齿销、柱销套、浸清衬垫纸垫、骨架橡胶油封、O型密封环及其它需要更换件。
- ② 清洗用油，油盘及需加注润滑油（脂）。
- ③ 检测工具、量具和拆卸工具。

2. 安全技术准备

- ① 切断电源，标志《禁止开启》警示牌。
- ② 易燃、易爆岗位有关措施。

3. 检修内容

小修

- ① 清洗机体内部油垢及杂物，更换润滑油或润滑脂。
- ② 检查，紧固各部位螺栓。
- ③ 检查、消除各结合面及密封处渗漏油情况。

大修

- ① 包括小修内容
- ② 解体检查，清洗全部机件，冲洗机体油垢及杂物。

- ③ 拆检润滑油及疏通油路。
- ④ 检查，更换各部轴承（尤其是转臂轴承）及骨架式橡胶油封。
- ⑤ 检查，更换浸渍衬垫纸垫、耐油橡胶垫及 O 型密封环。
- ⑥ 检查，更换针齿套、针齿销、输出轴之销轴及销轴套。
- ⑦ 找正联轴节，确保减速机轴与被驱动装置轴的同轴度。
- ⑧ 检查，修复或更换摆线齿轮、针齿壳、输出轴及转臂（偏心套）等关键件。
- ⑨ 检查，修复或更换机座、紧固环、隔离环及凸轮等件。

4. 检修前的准备

1) 技术准备

- ① 使用说明书、图样及有关标准等技术资料。
- ② 运行、修理、缺陷、隐患、故障、功能失常等记录。
- ③ 减速机温升、噪声、振动、功率（通过测量工作电压及电流计算）及渗漏等技术性能预检，并记录。

2) 物资准备

- ① 需要更换的常用备件：转臂轴承、摆线齿轮、针齿套、针齿销、柱销套、浸渍衬垫纸垫、骨架橡胶油封、O 型密封环及其它需要更换件。
- ② 清洗用油，油盘及需加注润滑油（脂）。
- ③ 检测工具、量具和拆卸工具。

3) 安全技术准备

- ① 切断电源，标志《禁止开启》警示牌。
- ② 易燃、易爆岗位有关措施。

三、检修方法

1. 拆卸

1) 程序

- ① 拆下润滑油泵（仅立式减速机）。
- ② 拧开机座底部油塞，放净润滑油。
- ③ 松开紧固螺栓，分开机座部分与针齿轮部分。
- ④ 取出轴销套。
- ⑤ 拆下转臂前端的挡垫，取出摆线齿轮 II。

- ⑥ 取出转臂及其轴承组合件。
- ⑦ 取出隔离环和摆线齿轮 I。
- ⑧ 拆卸摆线齿轮时，切记其断面标记字头的位置。

2. 针齿壳、针齿销

针齿壳销孔与针齿销配合，如过松或产程裂纹，需要更换针齿壳。

3. 隔离环

隔离环如发生磨损（表面有磨伤），需经研磨或磨削方法修复，严重磨损需更换。

4. 转臂轴承

转臂轴承如发现有损坏或轴承支撑架损坏则需更换，更换转臂轴承必须采用专用拆卸工具拆卸轴承。

5. 销套

对个别磨损严重的销套，可采用磨削外圆（磨削尺寸消除原磨损痕迹为准）的方法修复。

6. 漏油

漏油缺陷要求更换密封圈来修复。

7. 装配

- ① 装配前，清洗箱体内腔和各零件，对滚动轴承涂以润滑脂。
- ② 装配按拆卸的相反程序进行。
- ③ 装配时切记两个摆线齿轮的标记字头（互成180° 对成或上下重合）。

四、检修质量标准

1. 摆线齿轮

1) 更换的齿轮材料应符合下列要求：

- a. 针齿中心圆直径 $D_e \leq 270\text{mm}$ 为 GCr15 轴承钢, $D_e > 330\text{mm}$ 为 GCr15SiMn 轴承钢，不允许用低于 GCr15 轴承钢的其他材料代用；
- b. 硬度为 HRC58~62
- c. 金相组织为隐晶马氏体+结晶马氏体+细小均匀渗碳体（马氏体 ≤ 3 级）。

2) 摆线齿轮柱销孔相邻孔距的公差 δt_2 ，应符合表2的规定。

表2

mm

D_2	150	180	220	270	330	390
δt_2	0.042		0.050		0.060	

3) 摆线齿轮与轴承配合的尺寸精度和表面粗造度应符合表3规定。

部位	尺寸精度	Ra 值 μm
与轴承配合孔	H_6	≤ 0.8

4) 齿面不得有毛刺、裂纹、胶合伤痕及点蚀伤痕。

5) 如转臂轴承的滚动轴承用2000型(GB288)滚动轴承代用时必须保证摆线齿轮的轴承配合孔同转臂轴承的配合间隙符合:

a. 孔径 $D_0 \leq 60mm$ 时, 间隙 $\leq 0.05mm$, 配合间隙允许极限 $0.10mm$ 。

b. $D_0 > 60mm$ 时, 间隙为 $0.05 \sim 0.08mm$, 配合间隙允许极限 $0.13mm$ 。

2. 针齿壳

1) 更换的针刺壳的材料为不低于 HT_{200} 灰铸铁, 并进行人工时效处理。

2) 针齿销孔相邻孔距的公差 δt_1 , 应符合表4规定。

表4

D_2	150	180	220	270	330	390
δt_2	0.04		0.05		0.06	0.07

3) 主要尺寸精度和表面粗造度应符合表5规定。

表5

部位	尺寸精度	Ra 值 μm
针齿销孔	H_7	≤ 1.6
与端盖配合的孔		≤ 3.2
与机座相配合的止口外圆	H_6	

4) 针齿销孔磨损后孔的容许上偏差值见表6。

表6

针齿销孔直径	容许上偏差
≤ 10	0.030
> 10	0.037

3. 输出轴

- 1) 更换的输出轴的材料为45#钢, 并经调质处理, 硬度为HB187~229。
- 2) 轴与轴颈不得有裂纹, 毛刺、划痕等缺陷。
- 3) 尺寸精度和表面粗造度应符合表7规定。

表7

部位	尺寸精度	Ra 值 μm
与轴承配合的轴颈	$K_6 (D_2 \leq 450\text{mm})$ $js_6 (D_2 \geq 550\text{mm})$	≤ 1.60
轴承孔	G7	≤ 3.2
销孔	R7	

4. 转臂（偏心套）

- 1) 更换的偏心套的材料为45#钢, 并经调质处理或正火处理, 硬度为 HB170~217。
- 2) 偏心距的极限偏差应不超过 $\pm 0.02\text{mm}$ 。
- 3) 形位公差应符合表8规定值。

表8

部位及形位公差名称	精度等级不低于
两外圆的圆度	6级 (GB1184—80)
内孔的圆度	7级 (GB1184—80)

5. 机座

- 1) 更换的机座的材料为 HT₂₀₀ 灰铸铁, 应进行人工时效处理。
- 2) 机座不得有裂纹、砂眼、同针齿壳结合面应平整光滑, 保证装配严密。

6. 针齿套与针齿销

- 1) 更换的针齿套与针齿销的材料为 GCr15 轴承钢, 经淬火并回火硬度为 HRC58~62。
- 2) 表面粗造度: 外圆, Ra 值不大于 $0.80 \mu\text{m}$; 内圆, Ra 值不大于 $1.6 \mu\text{m}$ 。
- 3) 表面不得有毛刺、裂纹、划痕及胶合伤痕等缺陷。
- 4) 针齿套与针齿销的配合间隙应符合表9规定。

表9 mm

针齿套外径	针刺销直径	间隙标准	使用极限
≤ 14	≤ 10	0.083	0.13

14~35	10~24	0.100	0.15
>35	>35	0.119	0.17

7. 柱销套（输出轴销套）与柱销（输出轴销）。

- 1) 更换的柱销、柱销套的材料为 GCr15 轴承钢。淬火并回火后硬度 HRC58~62。
- 2) 表面粗糙度：外圆，Ra 值不大于 $0.80\ \mu\text{m}$ ；内圆，Ra 值不大于 $1.6\ \mu\text{m}$ 。
- 3) 表面不得有毛刺、裂纹、划痕及胶合伤痕等缺陷。

8. 骨架式橡胶油封

- 1) 输入轴选用 PG 型或 SG 型高速骨架式橡胶油封；输出轴选用 PD 型或 SD 型低速骨架式橡胶油封。
- 2) 更换的油封材质应具有良好的耐油性，油封的边唇应锐利而平滑，张开后有足够向径力，腰部要柔软而富有弹性，弹簧要拉力适度。
- 3) 油封不允许有老化、皱纹、裂纹等缺陷。

9. 装配前应检查 O 型密封圈表面光滑和直径尺寸均匀度合格，表面无划伤、裂纹。

10. 密封衬垫

- 1) 各结合面所用的密封垫圈、浸渍衬垫纸或耐油橡胶垫，要求耐油性好，表面光滑。
- 2) 浸渍衬垫纸板自由状态厚度为 0.8mm ，压缩后的厚度应为 0.5mm ，并表面平整，无飞边及毛刺。

11. 主要零件的配合

主要零件的配合，符合表10要求

表10

相配合零件名称	配合级别
针齿壳与针齿销	H7/h6
针齿条与针齿销	D8/h6
针齿壳与端盖和机座	H7/h6
柱销与柱销套	R7/h6
输出轴与紧固环	H7/r6

五、试车与验收

1. 试车前的准备

- 1) 按下列要求做好润滑工作：
 - a. 润滑油（脂）质、油量符合说明书要求；
 - b. 润滑的关键部位是转臂轴承。
- 2) 检查零、部件完整，各连接螺栓紧固。
- 3) 手动盘车无异常。

2. 试车

1) 空载试车

- ① 空载试车时间不少于4小时。
- ② 试车须符合下列要求：
 - a. 各连接件、紧固件不得有松动现象；
 - b. 各密封处，结合处不得有渗油及漏油现象；
 - c. 减速机运转平稳正常、无冲击、振动及不正常声响，机体振幅小于0.03mm。
 - d. 油泵工作正常，示油器显示油流清晰，油路畅通。

2) 负载试车

- ① 分别按额定载荷的50%、75%及100%三个阶段逐步加载，三个加载阶段均不少于2小时，每段温升应稳定。
- ② 负载试车总时间不少于24小时。
- ③ 负载试车应符合下列要求
 - a. 在额定转速及额定载荷下，最高油温不得超过80℃，电流不得超过电动机规定的额定电流；
 - b. 减速机运转应平稳正常，不得有冲击、振动和不正常声响，机体振幅应小于0.08mm。

3. 验收

- 1) 检修记录、试车记录完全、正确。
- 2) 机器外观及检修质量合格。
3.) 试车符合验收。

六、维护及常见故障处理

1. 维护要点

1) 本机应工作在环境温度为 $-25^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 内,若环境温度较高,应采取通风措施或用石棉板隔热。

2) 润滑

① 重点做好处于高速重载下工作的转臂轴承的润滑,应定期加油,检查油位,严禁无油运转。

② 推荐用50号机油或与其性能相近的其他润滑油,对于18.5KW以上的减速机,可选用极压工业齿轮油;

③ 切忌有腐蚀性或不洁物混入油中;

④ 换油周期:最初运转200小时进行的一次换油,每天工作10~24小时的3月换一次油,每天工作不足10小时的6月换一次油,采用润滑脂的,每6个月换一次油;工作环境超过 35°C 及高湿度或周围有活动性气体的,换油周期缩短一半。

3) 检查各部位温度、振动和密封,若发现异常,则应停车处理。

4) 检查示油器油流情况,判断油泵工作状态。

5) 经常倾听机器声响,若有异常应及时处理。

6) 工作电流不能超过电动机规定的满载电流。

7) 检查、紧固各部位螺栓。

8) 保持设备整洁及周围环境卫生。

思 考 题

1. 什么是设备的大修理?

2. 设备大修理的内容一般有哪些?

第六章 机械的装配

第一节 概 述

一、机械装配的概念

一部复杂的机械设备都是由许多零件和部件所组成。按照规定的技术要求，由若干个零件组合成组件，由若干个组件和零件组合成部件，最后由所有的部件和零件组合成整台机械设备的过程，称为机械装配。

机械装配是机器制造和修理的重要环节。机械装配的质量对于机械设备的正常运转、使用性能和使用寿命都有较大的影响。若装配工艺不当，即使有高质量的零件，机械设备的性能也很难达到要求，严重时还可造成机械设备破坏或人身事故。因此，机械装配必须根据机械设备的性能指标，严肃认真地按照技术规范进行。

机械装配是一项非常重要而又十分细致的工作。

二、机械装配的工艺流程

机械装配的工艺流程一般包括:机械装配前的准备工作、装配、检验和调整。

1.机械装配前的准备工作

熟悉机械设备及各部件总成装配图和用有关技术文件，了解各零部件的结构特点、作用、相互连接关系及连接方式。

根据零、部件的结构特点和技术要求，制订合适的装配工艺规程、选择装配方法、确定装配顺序;准备装配时所用的工具、夹具、量具和材料。

按清单检测各备装零件的尺寸精度，核查技术要求，凡有不合格者一律不得装配。

零件装配前须进行清洗。对于经过钻孔、铰削、锁削等机械加工的零件，要将其表面的金属屑末清除干净;润滑油道要用高压空气或高压油吹洗干净;有相对运动的配合表面更要保持清洁，以免因脏物或尘粒等混杂其间而加速配合件表面的磨损。

2.装配

装配要按照工艺过程认真、细致地进行。装配的一般步骤是:先将零件装成组件,再将零件、组件装成部件,最后将零件、组件和部件总装成机器。装配应从里到外,从上到下,以不影响下道工序的原则进行。

每装配完一个部件,应严格仔细地检查和清理,防止有遗漏或错装的零件,严防将工具、多余零件及杂物留存在箱体之中。

3.检验和调整

机械设备装配后需对设备进行检验和调整。检查零、部件的装配工艺是否正确,装配是否符合设计图样的规定。凡检查不符合规定的部位,都需要进行调整,以保证设备达到规定的技术要求和使用性能。

三、保证装配精度的工艺方法

机器的性能和精度是在机械零件质量合格的基础上,通过良好的装配工艺来实现的。如果装配不正确,即使零件的加工质量很高,机器也达不到设计的使用要求。因此,保证装配精度是机械装配工作的根本任务。装配精度包括配合精度和尺寸链精度两种。

1.配合精度

在机械装配过程中大部分工作是保证零、部件之间的正常配合。目前常采用的保证配合精度的装配方法有以下几种:

(1) 完全互换法 就是机器在装配过程中每个待装配零件不需要挑选、修配和调整,装配后就能达到装配精度。它是通过控制零件加工误差来保证装配精度的一种方法,该方法操作简单、方便,装配生产率高,便于组织流水线及自动化装配,但对零件的加工精度要求较高。适用于配合零件数较少、批量较大的场合。

(2) 分组选配法 这种方法是将被加工零件的制造公差放宽若干倍,对加工后的零件进行测量分组,并按对应组进行装配,同组零件可以互换。这种方法,零件可按经济加工精度制造而能获得很高的装配精度,但增加了测量分组工作。适用于成批或大量生产、装配精度较高的场合。

(3) 调整法 此方法是选定配合副中的一个零件制造成多种尺寸作为调整件,装配时通过更换不同尺寸的调整件或改变调整件的位置来保证装配精度。零件按经济加工精度制造而能获得较高的装配精度。但装配质量在一定程度上依赖操作者的技术水平。

(4) 修配法 在装配副中某零件预留修配量，装配时通过手工锉、刮、磨修配，以达到要求的配合精度。这种方法，零件按经济加工精度加工而能获得较高的装配精度。但修配劳动量较大，且装配质量很大程度上依赖工人的技术水平。适用于单件小批量生产的场合。

2.尺寸链精度

机械设备或部件在装配过程中，零件或部件间有关尺寸构成了互相有联系的封闭尺寸组合称为装配尺寸链。这些尺寸关联在一起，就会相互影响并产生累积误差。机械装配过程中，有时虽然各配合件的配合精度满足了要求，但是累积误差所造成的尺寸链误差可能超出设计范围，影响机器的使用性能，因此，装配后必须对尺寸链中的重要尺寸进行检验。

如图 6-1 为某装配尺寸链，四个尺寸 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_0 构成了装配尺寸链。其中为装配过程中最后形成的环，是尺寸链的封闭环，当 A_1 为最大， A_2 、 A_3 为最小时， A_0 最大；反之当 A_1 为最小时， A_2 、 A_3 为最小时， A_0 最小。 A_0 值可能超出设计要求范围，因此在装配后进行检验，使 A_0 符合规定。

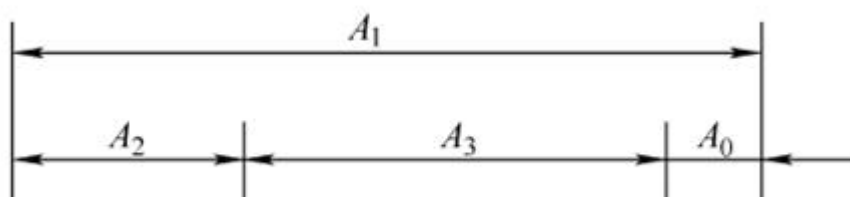


图 6-1 装配尺寸链

四、装配的一般工艺原则

装配时要根据零部件的结构特点，采用合适的工具或设备，严格仔细按顺序装配，注意零部件之间的方位和配合精度要求。

(1) 对于过渡配合和过盈配合零件的装配，如滚动轴承的内、外圈等，必须采用相应的铜棒、铜套等专门工具和工艺措施进行手工装配，或按技术条件借助设备进行加温、加压装配。如果遇到装配困难，应先分析原因，排除故障，提出有效的改进方法，再继续装配，千万不可乱敲乱打、鲁莽行事。

(2) 运动零件的摩擦表面，装配前均应涂上适量的润滑油，如轴颈、轴承、轴套、活塞、活塞销和缸壁等。油脂的盛装必须清洁加盖，不使尘沙进入，盛具应定期清洗。

- (3) 对于配合件装配时，也应先涂润滑油脂，以利于装配和减少配合表面的初磨损。
- (4) 装配时应核对零件的各种安装记号，防止装错。
- (5) 对某些装配技术要求，如装配间隙、过盈量、啮合印痕等，应边安装边检查，并随时进行调整，以避免装配后返工。
- (6) 每一部件装配完毕，必须严格仔细地检查和清理，防止有遗漏或错装的零件，防止将工具、多余零件及杂物留存在箱体之中造成事故。

第二节 过盈配合的装配方法

一、压装法

根据施力的方式不同，压装法分为锤击法和压入法两种。锤击法主要用于配合面要求较低、长度较短，采用过渡配合的连接件；压入法使用压力机压入，装配加力均匀、生产效率高，主要用于过盈配合。总的来说压装法操作简单，动作迅速，是最为常用的一种装配方法，尤其是过盈量较小的场合。

压装法的装配工艺为验收装配件、计算压入力、装入。

1.验收装配件

装配件的验收主要应注意其尺寸和几何形状偏差、表面粗糙度、倒角和圆角是否符合图样的要求，是否刮掉了毛刺等。

如果尺寸和几何形状偏差超出了允许的范围，可能造成机件胀裂、配合松动等后果。表面粗糙度不符合要求会影响配合质量。倒角不符合要求没光掉毛刺，装配时不易导正、可能损伤配合表面。

装配件尺寸和几何形状的检查，一般用千分尺或游标卡尺，其他内容一般采用检视法，即靠样板和目视进行检查。

在验收的同时，也得到了配合机件实际的过盈数据，它是计算压入力、选择装配方法等的主要依据。

2.计算压入力

装时压入力必须克服压入时的摩擦力，其大小与轴的直径、有效压入长度和零件

表曲粗糙度等因素有关。在实际装配中，压入力常采用经验公式来计算，即

$$P = \frac{a \bullet \left(\frac{D}{d} + 0.3 \right) \bullet i \bullet l}{\frac{D}{d} + 6.35}$$

式中 a—系数，当孔、轴件均为钢时，a=73.5，当轴件为钢、孔件为铸铁时，a=42；

P —压入力(kV) ；

D —孔件内径(mm)；

i —实际过盈量(mm) ；

l —配合面的长度(mm)；

d —轴件外径(mm)。

可根据上式计算出压入力，再增加 20%~30%来选用压力机为宜。

3.装入

为了减少装入时的阻力和防止装配过程中损伤配合面，应使装配表面保持清洁，并涂上润滑脂；另外应注意加力要均匀，并注意控制压入的速度，压入速度一般为 2~4mm/s，不宜超过 10mm/s,否则不易顺利装入，而且可能损伤配合表面。用锤击法压入时，不允许使用铁锤直接敲击零部件，以防损坏零部件。

二、热装法

若过盈量较大，可利用热胀冷缩的原理来装配。即对孔件进行加热，使其膨胀后，再将与之配合的轴件装入包容件中。其装配工艺如下。

1.验收装配件

热装时装配件的验收与压入法相同。

2.确定加热温度

热装时孔件的加热温度用下式计算：

$$t = \frac{(2 \sim 3)i}{k_a \bullet d} + t_0$$

式中 t—加热温度(℃)；

t₀—室温(℃)；

i—实测过盈量(mm);

ka—孔件材料的线膨胀系数($^{\circ}\text{C}^{-1}$);

d—孔的公称直径(mm)。

3.选择加热方法

常用的加热方法有以下几种。

(1) 热浸加热法 将机油放在铁盒内加热，再将需加热的零件放入油内。这种方法加热均匀、操作方便，常用于尺寸及过盈量较小的连接件。

(2) 氧乙炔焰加热法 这种加热方法操作简单，但易于过烧，因此要求具有熟练的操作技术，常用于较小零件的加热。

(3) 电阻加热法 用镍铬电阻丝绕在耐热瓷管上，放入被加热零件的孔里，将电阻丝通电便可加热。这种方法适用于精密设备或有易爆易燃的场合。

(4) 电磁感应加热法 利用交变电流通过铁芯（被加热零件可视为铁芯）外的线圈，使铁芯产生交变磁场，在铁芯内与磁力线垂直方向产生感应电动势，此感应电动势以铁芯为导体产生电流，在铁芯内电能转化为热能，使铁芯变热。这种加热方法操作简单，加热均匀，也无炉灰，无火灾危险，适用于装有数精密设备或有易燃易爆的场所，以用特大零件的加热。

4.测定加热温度

在加热过程中，可采用半导体点接触测温计测温。在现场常用油类或有色金属作为测温材料。如机油的闪点是 $200^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，锡的熔点是 232°C ，纯铅的熔点是 327°C 。也可以用测温蜡笔及用测温纸片测量。

由于测温材料的局限性，一般很难测准加热温度，故现场常用样杆进行检测，如图 6-2 所示。样杆尺寸按实际过盈量的 3 倍制作，当样杆刚能放入孔时，则加热温度正合适。

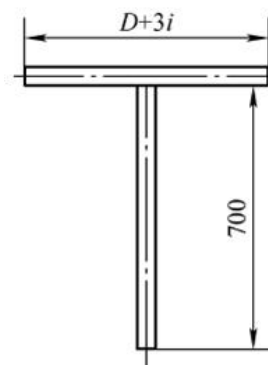


图 6-2 样杆

5.装入

装入时应去掉孔表面的灰尘、污物；必须将零件装到预定位置，并将装入件压装在轴肩上，直到机件完全冷却为止。不允许用水冷却机件，避免造成内应力，

降低机件的强度。

三、冷装法

当孔件较大而压入的零件较小时，采用热装法既不方便又不经济，甚至无法加热，这种情况可采用冷装法。即采用干冰、液氮和液氧等介质将轴件进行低温冷却，缩小尺寸，然后迅速将其装入到孔件中去。冷装时零件的冷却温度用下。

$$t = \frac{(2 \sim 3)i}{k_a \cdot d} - t_0$$

式中 t —加热温度(°C)；

t_0 —室温(°C)；

i —实测过盈量(mm)；

k_a —被冷却件材料的线膨胀系数(°C-1)；

d —孔的公称直径(mm)。

常用冷却剂及冷却温度：

固体二氧化碳加酒精或丙酮— -75°C

液氨— -120°C

液氧— -180°C

液氮— -190°C

冷却装配要特别注意操作安全，以防冻伤操作者。

第三节 齿轮、联轴节的装配

一、齿轮的装配

齿轮传动是机械设备中应用最广的一种传动装置，它主要用来传递动力和改变速度。常用的齿轮传动装置有圆柱齿轮、圆锥齿轮和蜗杆传动等三种。

齿轮装配的内容包括将齿轮装配和固定在传动轴上，再将传动轴装进齿轮箱

体。齿轮装配后的基本要求是保证两啮合齿轮具有准确的相对位置，以达到规定的运动精度和接触精度，齿轮副齿轮之间的啮合侧隙，以及保证轮齿的工作面能良好的接触。装配正确的齿轮传动装置在运转时，应该是速度均匀、没有振动和噪声。

三种齿轮传动装置的装配方法和步骤基本相同，只是装配质量要求各异。下面仅就最常见的圆柱齿轮的装配工艺作简单介绍。

圆柱齿轮传动的装配过程，一般是先将齿轮装在轴上，再把齿轮轴组件装入齿轮箱，然后检查齿轮的接触质量。

1. 齿轮与轴的装配

齿轮与轴的配合面在压入前应涂润滑油。齿轮与轴的配合多为过渡配合，过盈量不大的齿轮与轴在装配时，可用锤子敲击装入;当过盈量较大时可用热装或专用工具进行压装。在装配过程中，要尽量避免齿轮出现偏心、歪斜和齿轮端面未贴紧轴肩等情况。

对于精度要求较高的齿轮传动机构，装配好后的齿轮轴应检查齿轮齿圈的径向跳动和端面跳动。

2. 齿轮轴组件装入箱体

齿轮轴组件装入箱体是保证齿轮啮合质量的关键工序。因此在齿轮轴装入齿轮箱之前，应对箱体的相关表面和尺寸进行检查，主要检查各轴线的平行度、中心距偏差是否在公差范围之内。

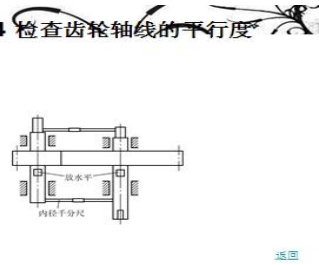
齿轮箱轴承座孔的中心距的检查，可在齿轮轴未装入齿轮箱以前，用特制游标卡尺来测量。也可利用内径千分尺和检验心轴进行测量如图 6-3 所示。

轴线平行度的检查方法如图6-4所示。检查前先将齿轮轴或检验心轴放置在齿轮箱的轴承座孔内，然后分别内径千分尺和水平仪来测量两个方向上的轴线的平行度

图6-3 测量齿轮箱轴承座孔的中心距



图6-4 检查齿轮轴线的平行度



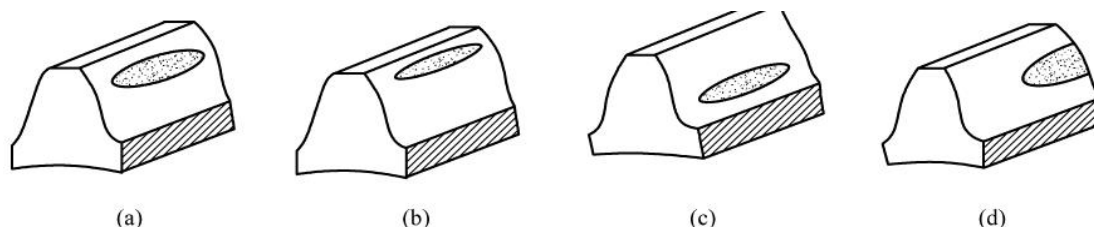
3. 装配质量的检查

齿轮组件装入箱体后，应对齿面啮合情况和齿侧间隙进行检查。

(1) 齿面啮合检查 齿面啮合情况常用涂色法检查。将主动齿轮侧面涂上一薄层红丹粉，使齿轮按工作方向转动齿轮 2~3 转，则在从动轮轮侧面上会留下色迹。根据色迹可以判定齿轮啮合接触面是否正确。

正确的齿轮啮合接触面应该均匀分布在节线附近，接触面积应符合表 6-1 的要求。装配后齿轮啮合接触面常有如图 6-5 所示的几种情况。

精度等级	7	8	9
接触斑点没齿高不少于	45	40	30
接触斑点没齿长不少于	60	50	40



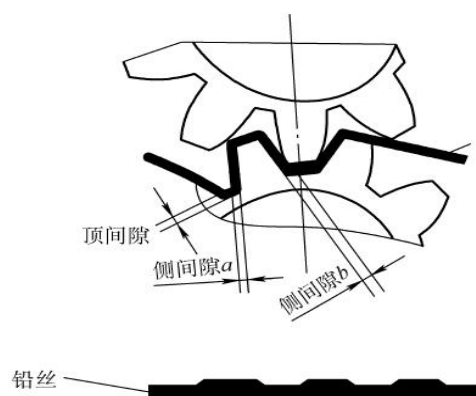
(a)正确；(b)中心距太大；(c)中心距太小；(d)轴线不平行

为了纠正不正确的啮合接触，可采用改变齿轮中心线的位置、研刮轴瓦或加工齿形等方法来修正。

(2) 齿侧间隙检查 齿侧间隙的功用是储存润滑油、补偿齿轮尺寸的加工误差，以及补偿齿轮和齿轮箱在工作时的热变形。它是指相互啮合的一对齿轮在非工作面之间沿法线方向的距离。齿轮副的最小法向侧隙可查相关手册。

齿侧间隙的检查，可用塞尺、百分表或压铅丝等方法来实现。

① 压铅法 如图 6-6 所示，在小齿轮齿宽方向上，放置两根以上的铅丝，并用油钻在轮齿上，铅丝的长度以能压上三个齿为宜。齿轮啮合滚压后，压扁后铅丝的厚度，就相当于顶隙和侧隙的数值，其值可以用千分尺或游标卡尺测量。



在每条铅丝的压痕中，厚度小的是工作侧隙，厚度较大的是非工作侧隙，而最厚的是齿顶间隙。这种方法操作简单，测量较为准确，应用较广。

② 千分表法 这种方法用于较精确的测量。如图 6-7 所示，将千分表安放在平板或箱体上，把检验杆 2 装在轴 1 上，千分表触头 3 顶住检验杆。将下齿轮固定，然后转动上齿轮，记下千分表指针的变化值，则齿侧间隙 可用下式计算，即：

$$\delta_0 = \delta \times \frac{r}{L}$$

式 一千分表上的读数值；

R—转动齿轮节圆半径(mm) ；

L—两齿轮中心线到千分表触测头间距离(mm)。

当测量的齿侧间隙超出规定值时，可通过改变齿轮轴位置和修配齿轮面来调整。

二、联轴节的装配

联轴节是用于连接主动轴和从动轴，实现运动和动力传递的一种特殊装置。联轴器分为固定式联轴器和可移式联轴器两大类。

固定式联轴器所连接的两根轴的轴线应严格同轴。所以联轴器在安装时必须很精确的找正对中，否则将会产生附加载荷，引起机器产生振动，并将严重影响轴、轴承和轴上其他零件的正常工作。

可移式联轴器则允许两轴的轴线有一定程度的偏移和偏斜，其安装则要容易得多。

联轴节装配的内容主要包括：轮毂在轴上的装配，以及联轴节的找正和调整。轮毂与轴的配合大多为过盈配合，装配方法有压入法、热装法和冷装法等，相关这些装配工艺在前面已作介绍，因此下面仅对联轴节的找正和调整进行讨论。

1.联轴节在装配中偏差情况的分析

在找正联轴器时一般可能遇到如图 6-8 所示的四种情况。

(1) 两半联轴节既平行又同心 如图 6-8(a)所示，这时 $S_1=S_3, a_1=a_3$, 此处 S_1 、 S_3 和 a_1 、 a_3 表示联轴节上、下两个位置上的轴向和径向间隙。

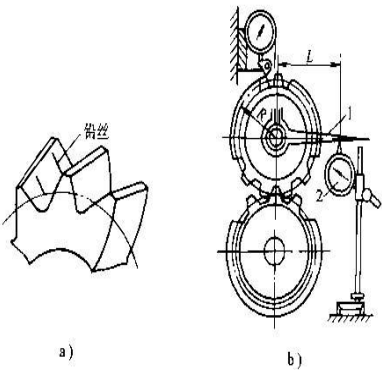


图 S9-5 侧隙检查方法
a) 铅丝检查侧隙 b) 用百分表检查侧隙
1—夹紧杆 2—百分表

- (2) 两半联轴节平行但不同心 如图 6-8(b)所示, 这时 $S_1=S_3, a_1 \neq a_3$, 即两轴中心线之间有平行的径向偏移。
- (3) 两半联轴节同心但不平行 如图 6-8(c)所示, 这时 $S_1 \neq S_3, a_1=a_3$, 即两轴中心线之间有角位移 α 。
- (4) 两联轴节既不同心也不平行 如图 6-8(d)所示, 这时 $S_1 \neq S_3, a_1 \neq a_3$, 即两轴中心线之间既有径向偏移也有角偏移。

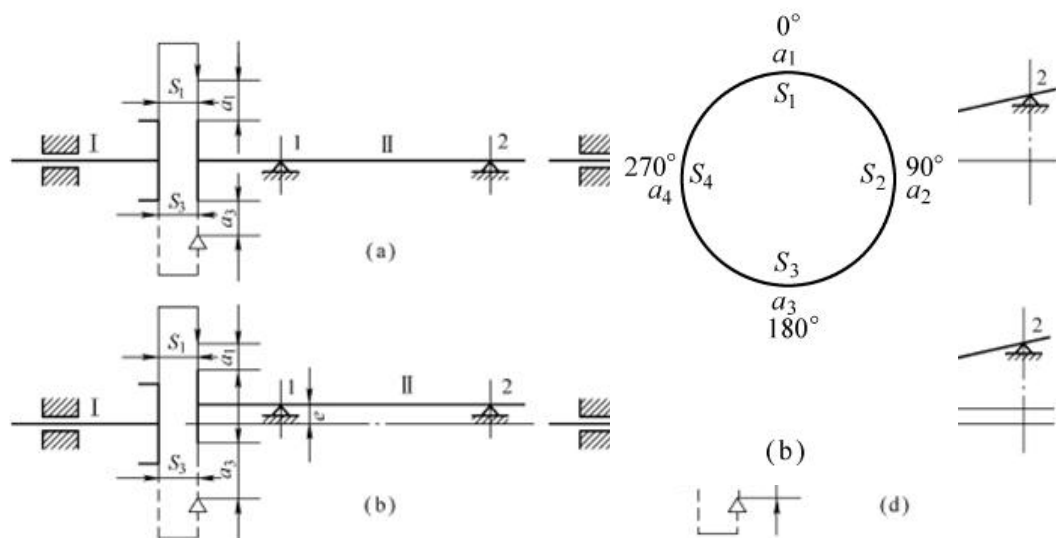


图 6-8 联轴节找正时可能遇到的四种情况。

联轴器处于后三种情况都是不正确的, 均需要进行找正和调整, 直到获得第一种正确的情况为止。一般在安装机器时, 首先把从动机安装好, 使其轴处于水平, 然后安装主动轴, 所以, 找正时只需调整主动机, 即在主动机的支脚下面用加减垫片的方法进行调整。

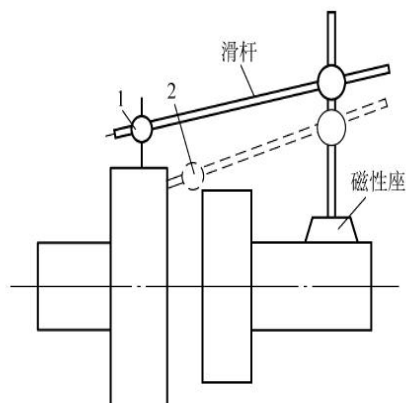
2. 联轴节的找正时的测量方法

常用联轴节找正时的测量方法主要有以下几种。

- (1) 直尺塞规法 直尺塞规法是利用角尺和塞尺测量联轴器外圆各方位上的径向偏差, 用塞尺测量两半联轴器端面间的轴向间隙偏差。这种测量方法操作简单, 但误差较大, 一般只能用于精度要求不高的低速机器。
- (2) 千分表测量法 把专用的夹具或磁力表座装在作基准的 (常是装在主机转轴上的) 半联轴器上, 用千分表测量联轴器的径向间隙和轴向间隙。因为用了精度较高的千分表来测量, 故此法的测量精度较高, 且操作方便, 应用极广。

利用千分表来测量时, 常用一点法来测量, 如图 6-9(a)所示。一点法是指在测量一个位置上的径向间隙时, 同时测量同一个位置上的轴向间隙。两个千分表

分别装在同一磁性座中的两根滑杆上，千分表 1 测出的是径向间隙 a ，千分表 2 测出的是轴向间隙 S ，磁性座装在基准轴(从动轴)上。测量时，连上联轴节螺栓，先测出上方(0°)的 a_1 、 S_1 ，然后将两半联轴节向同一方向一起转动，顺次转到 90° 、 180° 、 270° 三个位置上，分别测出 a_2 、 S_2 、 a_3 、 S_3 、 a_4 、 S_4 。将测得的数值记录在图中，如图 6-9(b)所示。



(a)

图 6-9 千分表找正

将联轴节重新转到 0° 位置，再次测量其径向间隙和轴向间隙，核对测量数值有无变动。如果有变动，则必须检查其产生原因，并予以纠正，然后继续测量，直到测量的数据正确为止。在偏移不大的情况下，最后所测得的数据应该符合下列条件：

$$a_1 + a_3 = a_2 + a_4$$

$$S_1 + S_3 = S_2 + S_4$$

然后，比较对称点的两个径向间隙和轴向间隙的数值(如 a_1 和 a_3 ， S_1 和 S_3 ，如果对称点的数值相差不超过规定值时，则认为符合要求，否则就需要进行调整。对于精度不高或小型机器，可以逐次试加或试减垫片，以及左右敲打移动主轴机的方法进行调整，对于精密或大型机器，则应通过计算来确定增减垫片的厚度和沿水平方向的移动量。

3.联轴节找正时的调整

联轴器的径向间隙和轴向间隙测量完毕后，就可根据偏移情况进行调整。在调整时，一般先调整轴向间隙，使两半联轴节平行，然后再调整径向间隙，使两

半联轴节同轴。

在安装机械设备时，一般先装好从动轴，再装主动轴，这样只需调整主动轴即可。现以两半联轴节既有径向偏移也有角偏移的情况为例，说明联轴节找正时的计算和调整方法。

如图 6-10 所示，I 为从动轴，II 为主动轴。根据找正测量的结果， $a_1 > a_3$, $S_1 > S_3$ 。

(1) 先使两半联轴节平行 由图 6-10(a)可知，欲使两半联轴节平行，应在主动机轴的支点 2 下增加厚度为 $x(\text{mm})$ 的垫片， x 值可利用图中画有剖面线的两个相似三角形的比例关系算出，即

$$x = \frac{b}{D} \times L$$

式中 D —联轴节的计算直径(mm)；

L —主动机轴两支点的距离(mm)；

b —在 0° 和 180° 两个位置上测得的轴向间隙之差($b=S_1-S_3$) (mm)。

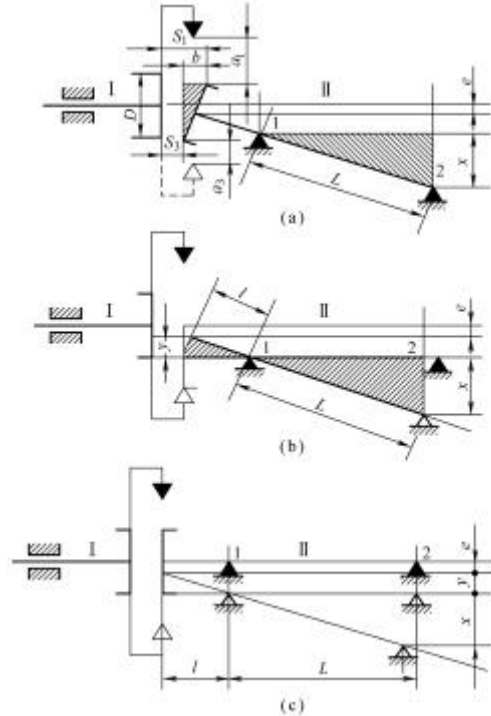
由于支点 2 垫高了，因此轴 II 将以支点 I 为支点而转动，这时两半联轴节的端面虽然平行了，但轴 II 的半联轴节的中心却下降了 y (mm)，如图 6-10(b)所示。 y 值同样可以利用画有剖面线的两个相似三角形的比例关系算出，即

$$y = \frac{x \cdot l}{L} = \frac{b \cdot l}{D}$$

式中 l —支点 1 到联轴节测量平面的距离 (mm)。

再将两半联轴节同轴 由于 $a_1 > a_3$ ，原有径向位移量 $e=(a_1-a_3)/2$ ，两半联轴节的全部位移量为 $e+y$ 。为了使两半联轴节同心，应在轴 II 的支点 1 和支点 2 下面同时增加厚度为 $e+y$ 的垫片。

由此可见，为了使轴 I、轴 II 支点 1 下面加厚度为 $e+y$ 的垫片，在支点 2 下面加厚度为 $x+e+y$ 的垫片，如图 6-10(c)所示。



在水平方向找正的计算、调整与垂直方向相同。将联轴节在垂直方向和水平方向调整完毕后，其径向偏移和角位移应在规定的偏差范围内。

4.联轴节找正计算实例

如图 6-11(a)所示，主动机纵向两支脚之间的距离 $L=3000\text{ mm}$ ，支脚 1 到联轴器测量平面之间的距离 $l=500\text{mm}$ ，联轴器的计算直径 $D=400\text{mm}$ ，找正时所测得的径向间隙和轴向间隙数值如图 6-11 (b)所示。试求支脚 1 和支脚 2 底下应加或应减的垫片厚度。

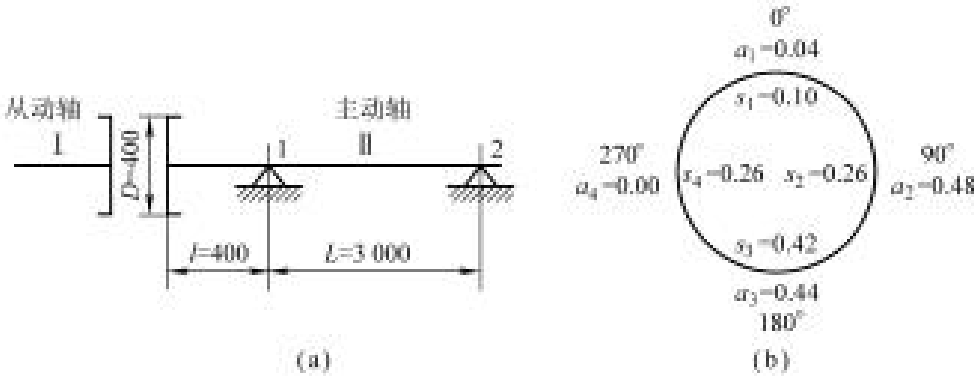
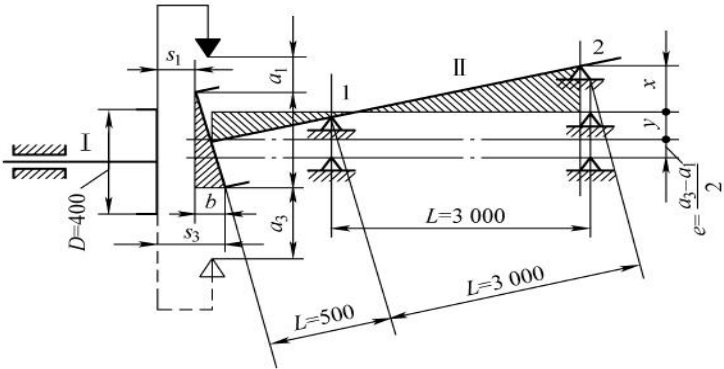


图 6-11 联轴节找正计算加减垫片实例

由图 6-11 可知，联轴器在 0° 与 180° 两个位置上的轴向间隙 $S_1 < S_3$ ，径向间隙 $a_1 < a_3$ 这表示两个半联轴器既有径向位移又有角位移。根据这些条件可作出联轴器偏移情况的示意图，如图 6-12 所示。



(1) 先使两半联轴器平行 由于 $S_1 < S_3$ ，故 $b = S_3 - S_1 = 0.42 - 0.10 = 0.32\text{ mm}$ 。所以，为了要使两半联轴器平行必须从主动机的支脚 2 下减去厚度为 $x(\text{mm})$ 的垫片，二值可同下式计算。

但是，这时主动机轴上的半联轴器中心却被抬高了 $y(\text{mm})$ ； y 值可由下式计算。

(2)再使两半联轴器同轴。由于 $a_1 < a_3$ ，故原有的径向位移量为

所以，为了要使两个半联轴器同轴，必须从支脚 1 和支脚 2 同时减去厚度为

$$x = \frac{b}{d} L = \frac{0.32}{400} \times 3000 = 2.4 \text{ mm}$$

$(y+e)=0.4+0.2=0.6\text{mm}$ 的垫片。

$$y = \frac{a_3 - a_1}{2} = \frac{0.44 - 0.04}{2} = 0.2 \text{ m}$$

由此可见，为了要使两半联轴器，则必须在主动机的支脚 1 下减去厚度为

$$e = \frac{a_3 - a_1}{2} = \frac{0.44 - 0.04}{2} = 0.2 \text{ m}$$

$y+e=0.6\text{mm}$ 的垫片，在支脚 2 下减去厚度为 $x+y+e=2.4+0.4+0.2=3.0\text{mm}$ 的垫片。

垂直方向调整完毕后，再调整水平方向的偏差。以同样方法计算出主动机在水平方向上的偏移量。然后，用手锤敲击的方法或者用千斤顶推的方法来进行调整。

第四节 滚动轴承的装配

一、滚动轴承的装配

滚动轴承在各种机械中使用非常广泛，它一般由内圈、外圈、滚动体和保持架组成。滚动轴承的种类很多，在装配过程中应根据轴承的类型和配合确定装配方法和装配顺序。

滚动轴承的装配工艺包括装配前的准备、装配和间隙调整等。

1. 装配前的准备

滚动轴承装配前的准备包括装配工具的准备、零件的清洗和检查。

(1) 装配工具的准备 按照所装配的轴承准备好所需的量具及工具，同时准备好拆卸下具，以便在装配不当时能及时拆卸，重新装配。

(2) 检查 检查轴承是否转动灵活、有无卡住的现象，轴承内外圈、滚动体和保持架是否有锈蚀、毛刺、碰伤和裂纹，与轴承相配合的表面是否有凹陷、毛刺和锈蚀等。

(3) 清洗 对于用防锈油封存的新轴承，可用汽油或煤油清洗;对于用防锈脂封存的新轴承，应先将轴承中的油脂挖出，然后将轴承放入热机油中使残脂融化，将轴承从油中取出冷却后，再用汽油或煤油洗净，并用干净的自布擦干；对于维修时拆下的可用旧轴承，可用碱水和清水清洗；装配前的清洗最好采用金属清洗剂;两面带防尘盖或密封圈的轴承，在轴承出厂前已涂加了润滑脂，装配时不需要再清洗；涂有防锈润滑两用油脂的轴承，在装配时不需要清洗。

轴承清洗后应立即添加润滑剂。涂油时应使轴承缓慢转动，使油脂进入滚动体和滚道之间。

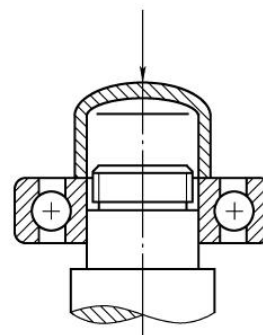
另外，还应清洗与轴承配合的零件，如轴、轴承座、端盖、衬套和密封圈等。

二、典型滚动轴承的装配

滚动轴承装配注意事项：

- (1) 套装前，要仔细检查轴颈、轴承、轴承座之间的配合公差，以及配合表面的光洁度；
- (2) 套装前，应在轴承及与轴承相配合的零件表面薄薄涂上一层机械油，以利于装配；
- (3) 装配轴承时，无论采用什么方法，压力只能施加在过盈配合的套圈上，不允许通过滚动体传递压力，否则会引起滚道损伤，从而影响轴承的正常运转；
- (4) 装配轴承时，应将轴承上带有标记的一端朝外，以方便检修和更换。

若轴承内圈与轴为紧配合，外圈与轴承座孔为较松配合，可先将轴承压装在轴上，然后将轴连同轴承一起装入轴承座孔中。压装时应在轴承端面垫一个装配套管，装配套管的内径应比轴颈直径大，外径应小于轴承内圈的挡边直径，以免压在保持架上，如图 6-13 所示。

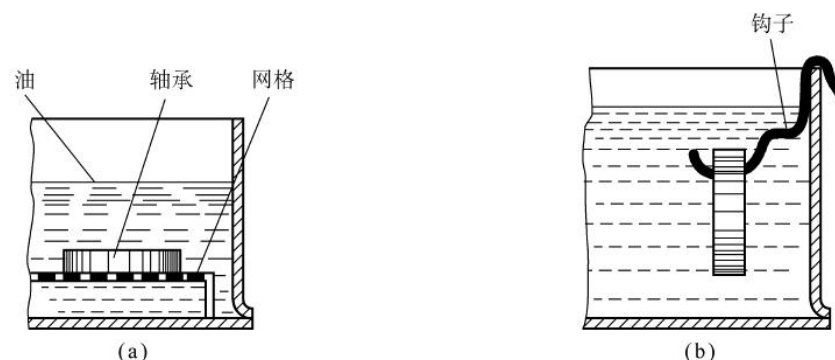


若轴承外圈与轴承座孔为紧配合，内圈与轴为较松配合，可先将轴承先压入轴承

座孔，然后再装轴。轴承压装时采用的套筒的外径应略小于轴承座孔直径，如图 6-14 所示。

对于配合过盈量较大的轴承或大型轴承可采用温差法装配，即热装法或冷装法。采用温差法安装时，轴承的加热温度为 $80\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；冷却温度不得低于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，以免材料冷脆。

其中热装轴承的方法最为普遍。轴承的加热的方法有多种，通常采用油槽加热，如图 6-15 所示。将轴承放在油槽的网架上，小型轴承可悬挂在吊钩上在油中加热，不得使轴承接触油槽底板，以免发生过热现象。当轴承加热取出时，应立即用干净的布擦去附在轴承表面的油渍和附着物，一次推到顶住轴肩的位置。在冷却过程中应始终顶紧，或用小锤通过装配套管轻敲轴承，使轴承紧靠轴肩。为了防止安装倾斜或卡死，安装时应略微转动轴承。



滚动轴承采用冷装法装配时，先将轴颈放在冷却装置中，用干冰或液氮冷却到一定温度，迅速取出，插装在轴承内座圈中。

对于内部允满润滑脂的带防尘盖或密封圈的轴承，不得采用温差法安装。

三、滚动轴承游隙的调整

轴承游隙是指将内圈或外圈中的一个固定，使另一个套圈在径向或轴向方向的移动量。根据移动方向，可分为径向游隙和轴向游隙。轴承运转时工作游隙的大小对机械运转精度、轴承寿命、摩擦阻力、温升、振动与噪声等都有很大的影响。

按轴承结构和游隙调整方式的不同，轴承可分为非调整式和可调整式两类。向心轴承（深沟球轴承、圆柱滚子轴承、调心轴承）属于非调整式轴承，这一类轴承在制造时已按不同组级留出有规定范围的径向游隙，可根据使用条件选用，装配时一般不再调整。圆锥滚子轴承、角接触球轴承和推力轴承等则属于可调整式轴承，在装配中需根据工作情况对其轴向游隙进行调整。

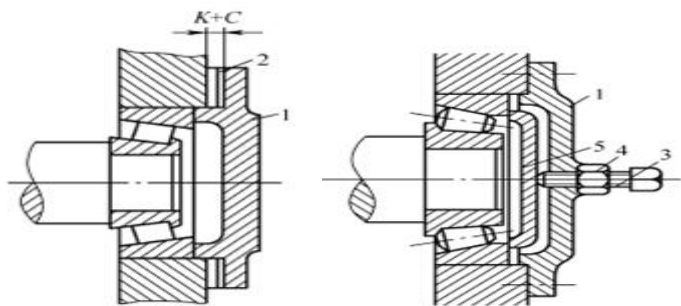
(1) 可调整式滚动轴承 由于滚动轴承的径向游隙和轴向游隙存在着正比的关系，所以调整时只需调整其轴向间隙就可以了。各种需调整的轴承的轴向间隙见表 6-2。

表 6-2 可调整式滚动轴承的轴向间隙 mm

轴承内径	轴承系列	轴向间隙			
		角接触球轴承	单例圆锥滚子轴承	双例圆锥滚子轴承	推力轴承
≤30	轻 型	0.02~0.06	0.03~0.10	0.03~0.08	0.03~0.08
	轻宽和中宽型		0.04~0.11		
	中型和重型	0.03~0.09	0.04~0.11	0.05~0.11	0.05~0.11
30~50	轻 型	0.03~0.09	0.04~0.11	0.04~0.10	0.04~0.12
	轻宽和中宽型		0.05~0.13		
	中型和重型	0.04~0.10	0.05~0.13	0.06~0.12	0.06~0.12
50~80	轻 型	0.04~0.10	0.05~0.13	0.05~0.12	0.05~0.12
	轻宽和中宽型		0.06~0.15		
	中型和重型	0.05~0.12	0.06~0.15	0.07~0.14	0.07~0.14
80~120	轻 型	0.05~0.12	0.06~0.15	0.08~0.15	0.06~0.15
	轻宽和中宽型		0.07~0.18		
	中型和重型	0.06~0.15	0.07~0.18	0.10~0.18	0.10~0.18

轴承间隙确定后，即可进行调整。下面以圆锥滚子轴承为例，介绍轴承游隙的调整方法。

① 片调整法 6-16 所示，是靠增减端盖 1 与箱体结合面间垫片 2 的厚度进行调整。调整时，首先把轴承压盖原有的垫片全部拆去，然后慢慢地拧紧轴承压盖上的螺栓，同时使轴缓慢地转动，当轴不能转动时，表明轴承内已无间隙，用塞尺测量轴承压盖与箱体端面间的间隙 K，将所有测得的间隙 K 再加上所要求的轴向游隙 C， K+C 即是所应垫的垫片厚度。



6-16 片调整法

6-17 螺钉调整法

一套垫片应由多种不同厚度的垫片组成，垫片应平滑光洁，其内外边缘不得有毛刺。间隙测量除用塞尽法外，也可用压铅法和千分表法。

② 钉调整法 6-17 所示，是利用端盖 1 上的螺钉 3 控制轴承外圈可调压盖的位置来实现调整。首先把调整螺钉上的锁紧螺母松开，然后拧紧调整螺钉，使可调压盖压向轴承外圈，直到轴不能转动时为止。最后根据轴向游隙的大小将调整螺钉倒转一定的角度调整完毕，拧紧锁紧螺母 4 防松。

调整螺钉倒转的角度 可按下式计算，即

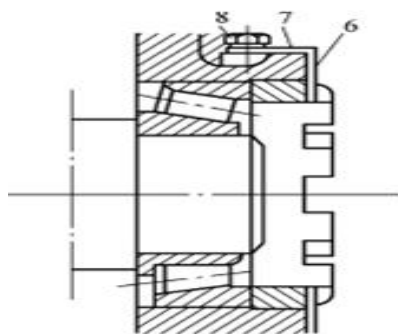
$$\alpha = \frac{c}{p} \times 360^\circ$$

式中 c ——规定的轴向游隙；

p ——螺栓的螺距。

③ 推环调整法 6-18 所示，它是把具有外螺纹的止推环拧紧，直到轴不能转动是为止，然后根据游隙的数值，将止推环倒转一定的角度，最后用止动垫片 7 予以固定。

④ 内外套调整法。当轴承成对安装时，两轴承间多利用隔套隔开，并利用两轴承之间的内套 1 和外套 2 的长度来调整轴承间隙，

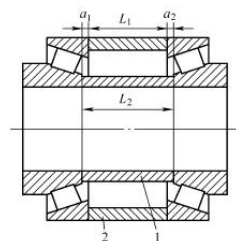


如图 6-18 内外套调整法

图 6-19 所示。内外套的长度关系是根据轴承的轴向间隙确定的，具体算法如下。

图 6-19 内外套调整法

当两个轴承的轴向间隙为零时，如图 6-19 所示，内外套



长度差为

$$\Delta L = L_1 - L_2 = (a_1 + a_2)$$

若两个轴承的轴向间隙分别为 c ，则内外套的长度差为

$$\Delta L = L_2 - L_1 = (a_1 + a_2) + 2c$$

式中 L_1 —外套的长度(mm)；

L_2 —内套的长度(mm)；

a_1, a_2 —轴承内外圈的轴向位移值(mm)。

(2) 不可调整式滚动轴承 游隙不可调整的滚动轴承，在运转时受热膨胀的影响，轴承的内外圈发生轴向移动，会使轴承的径向游隙减小。为避免这种现象，在装配两端固定式的滚动轴承时，应将其中一个轴承和其端盖间留出一轴向间隙 ΔL ，如图 6-20 所示。 ΔL 值可按下式计算，即

$$\Delta L = L \cdot k \cdot \Delta t$$

式中 ΔL —轴承与端盖之间的间隙(mm)；

L —两轴承的中心距(mm)；

k_a —轴材料的线膨胀系数($^{\circ}\text{C}^{-1}$)；

Δt —轴的温度变化值 ($^{\circ}\text{C}$)。

在一般情况下，轴向间隙 ΔL 常在 0.25 ~ 0.50mm 范围内选取。

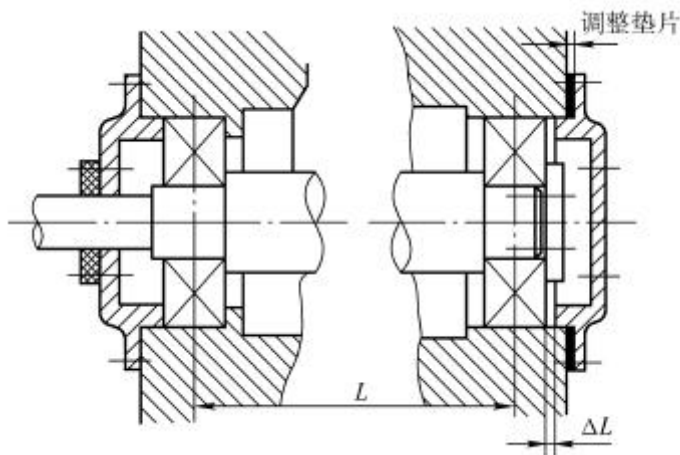


图6-20

四、滑动轴承的装配

滑动轴承的类型很多，常见的主要有剖分式径向滑动轴承、整体式径向滑动轴承。

1. 剖分式滑动轴承的装配

剖分式滑动轴承的装配过程是清洗、检查、刮研、装配和间隙的调整等。

(1) 轴瓦的清洗与检查 先用煤油、汽油或其他清洗剂将轴瓦清洗干净。然后检查轴瓦有无裂纹、砂眼及孔洞等缺陷。检查方法可用小铜锤沿轴瓦表面顺次轻轻地敲打，若发出清脆的叮当声音，则表示轴瓦衬里与底瓦钻合较好，轴瓦质量好；若发出浊音或哑音，则表示轴瓦质量不好。若发现缺陷，应采取补焊的方法消除或更换新轴瓦。

(2) 轴瓦瓦背的刮研 为将轴上的载荷均匀地传给轴承座，要求轴瓦背与轴承座内孔应有良好接触，配合紧密。下轴瓦与轴承座的接触面积不得小于 60%，上轴瓦与轴承盖的接触面积不得小于 50%。装配过程中可用涂色法检查，如达不到上述要求，应用刮削轴承座与轴承盖的内表面或用细锉锉削瓦背进行修研，直到达到要求为止。

(3) 轴瓦的装配 装配轴瓦时，可在轴瓦的接合面上垫以软垫（木板或铅板），用手锤将它轻轻地打入轴承座或轴承盖内，然后用螺钉或销钉固定。

装配轴瓦时，必须注意两个问题，轴瓦与轴颈间的接触角和接触点。

轴瓦与轴颈之间的接触表面所对的圆心角称为接触角，此角度过大，不利润滑油膜的形成，影响润滑效果；若此角度过小，会增加轴瓦的压力，也会加剧轴瓦的磨损。故一般接触角应在 $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间。当载荷大、转速低时，取较大的角；当载荷小、转速高时，取较小的角。在刮研轴瓦时应将大于接触角的轴瓦部分刮去，使其不与轴接触。

轴瓦和轴颈之间的接触点与机器的特点有关：

低速及间歇运行的机器— $1\sim 1.5$ 点/ cm^2 。

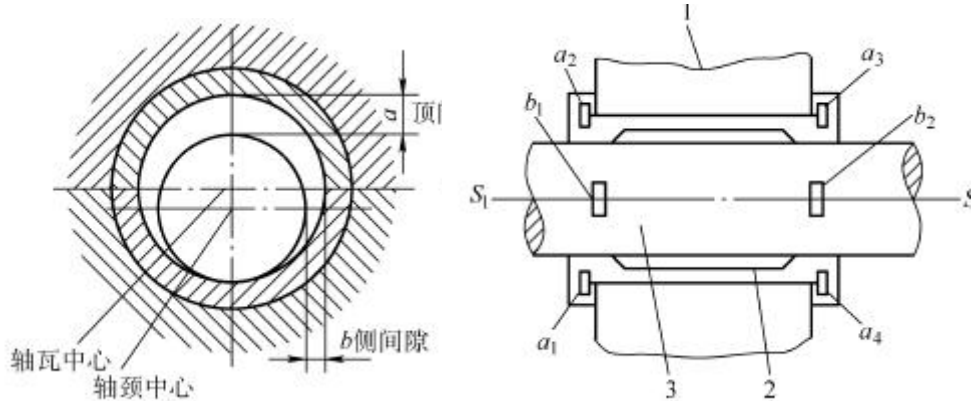
中等负荷及连续运转的机器— $2\sim 3$ 点/ cm^2 。

重负荷及高速运行的机器— $3\sim 4$ 点/ cm^2 。

用涂色法检查轴颈与轴瓦的接触，应注意将轴上的所有零件都装上。首先在轴颈上涂一层红铅油，然后使轴在轴瓦内正、反方向各转一周，在轴瓦面较高的地方则会呈现出色斑，用刮刀刮去色斑。刮研时，每刮一遍应改变一次刮研方向，继续刮研数次，使色斑分布均匀，直到接触角和接触点符合要求为止。

(4) 轴承间隙的调整 轴瓦与轴颈的配合间隙有径向间隙和轴向间隙两种，径

向间隙包括顶间隙和侧间隙,如图 6-21



所示。

图 6-21 滑动轴承的配合间隙

顶间隙的主要作用是保持液体摩擦,以利形成油膜。侧间隙的主要作用是为了积聚和冷却润滑油,以利形成油楔。在侧间隙处开油沟或冷却带,可增加油的效果,并保证连续地将

润滑油吸到轴承的受载部分。

顶间隙可通过计算确定,也可根据经验确定。对采用润滑油润滑的轴承,顶间隙为轴颈直径的 0.01%~0.15%;对于采用润滑脂润滑的轴承,顶间隙为轴颈直径的 0.15%~0.20%。

在调整间隙之前,应先检查和测量间隙。一般采用压铅测量法和塞尺测量法。

① 压铅测量法 测量时,先将轴承盖打开,用直径为顶间隙 1.5~3 倍、长度为 10~40mm 的软铅丝或软铅条,分别放在轴颈上和轴瓦的接合面上。因轴颈表面光滑,为了防止滑落,可用润滑脂钻住。然后放上轴承盖,对称而均匀地拧紧连接螺栓,再用塞尺检查轴瓦剖分面间的间隙是否均匀相等。最后打开轴承盖,用千分尺测量被压扁的软铅丝的厚度,如图 6-22 所示,并按下列公式计算顶间隙,

即

$$S_1 = b_1 - \frac{a_1 + a_2}{2}$$

$$S_2 = b_2 - \frac{a_3 + a_4}{2}$$

式中 S1——一端顶间隙(mm) ;

S2——另一端顶间隙(mm) ;

b1, b2——轴颈上各段铅丝压扁后的厚度(mm);

a1, a2, a3, a4 ——轴瓦接合面上各铅丝压扁后的厚度(mm)。

按上述方法测得的顶间隙值如小于规定数值时，应在上下瓦接合面间加垫片来重新调整。如大于规定数值时，则应减去垫片或刮削轴瓦拼命面来调整。

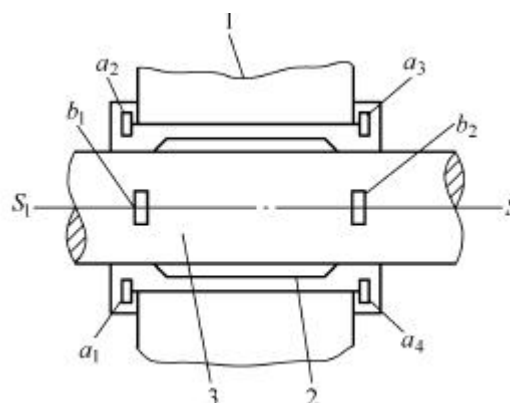


图 6-22 压铅法测量轴承顶间隙 1-轴承座；2-轴瓦；3-轴

轴瓦和轴颈之间的侧间隙不能用压铅法来进行测量时，通常是采用塞尺来测量。

② 塞尺测量法 对于轴径较大的轴承间隙，可用宽度较窄的塞尺直接塞入间隙内，测出轴承顶间隙和侧间隙。对于轴径较小的轴承，因间隙小，测量的相对误差大，故不宜采用。

对于受轴向负荷的轴承还应检查和调整轴向间隙。测量轴向间隙时，可将轴推移至轴承一端的极限位置，然后用塞尺或千分表测量。轴向间隙值 c 一般要求为 $0.1 \sim 0.8\text{mm}$ 。当轴向间隙不符合要求时，可以通过刮削轴瓦端面或调整止推螺钉来调整。

2. 整体式滑动轴承的装配

整体式滑动轴承主要由整体式轴承座和整体式轴瓦组成。这种轴承与机壳连为一体或用螺栓固定在机架上，轴套一般由铸造青铜等材料制成。为了防止轴套的转动，通常设有止动螺钉。整体式滑动轴承结构简单，成本低，但轴套磨损后，轴颈与轴套之间的间隙无法调整。另外，轴颈只能从轴套端装入，装拆不方便。因而整体式滑动轴承只适用于低速、轻载而且装拆场所允许的机械。

整体式滑动轴承的装配过程主要包括轴套与轴承孔的清洗、检查、轴套安装等。

(1) 轴套与轴承孔的清洗检查 轴套与轴承孔用煤油或清洗剂清洗干净后，应检查轴套与轴承孔的表面情况以及配合过盈量是否符合要求。

(2) 轴套安装 轴套的安装可根据轴套与轴承孔的尺寸以及过盈量的大小选用

压入法或温差法。

压入法一般是用压力机压装或用人工压装。为了减少摩擦阻力，使装配方便，在轴套表面应涂上一层薄的润滑油。用人工安装时，必须防止轴套损坏。不得用用锤头直接敲打轴套，应在轴套上端面垫上软质金属垫 2，并使用导向轴 5 或导向套 4，如图 6-23 所示。

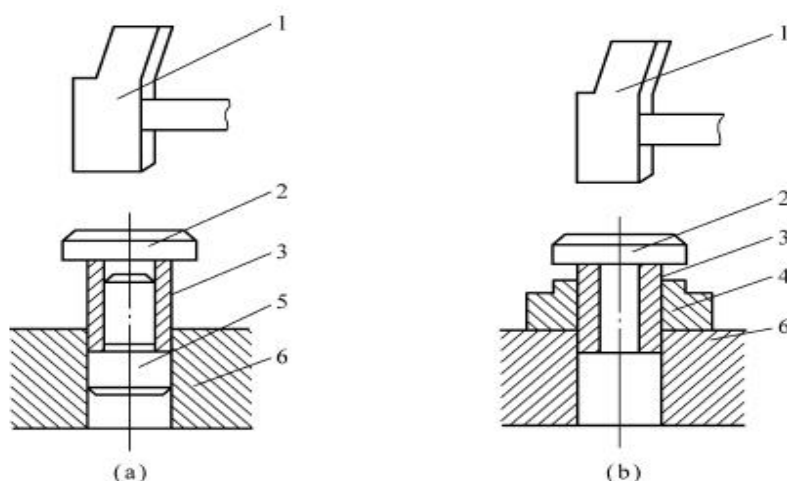


图 6-23 轴套的装配方法

(a)-利用导向轴装配；(b)-利用导向套装配

1-手锤；2-软垫；3-轴套；4-导向套；5-导向轴；6-轴承孔

对于较薄且长的轴套，不宜采用压入法装配，而应采用温差法装配，这样可以避免轴套损坏。

由于轴套与轴承座孔是过盈配合，所以轴套装入后其内径或能会减小，因此在未装轴颈之前，应对轴颈与轴套的配合尺寸进行测量。通常在离轴套端部 10~20mm 和中间三处按互相垂直的方向用千分尺测量，检查其圆度、圆柱度和间隙。如轴套内径减小，可用刮研的方法进行修正。

第五节 密封装置的装配

一、固定连接密封

1. 密封胶密封

为保证机件正确配合，在结合面处不允许有间隙时，一般不允许只加衬垫，这时一般用密封胶进行密封。密封胶密封具有成本低、操作简便、耐温、耐压等优点，因此应用广泛。

密封胶的装配工艺如下。

- (1) 密封面的处理 各密封面上的油污、水分、铁锈及其他污物应清理干净，并保证其应有的光洁度，以便达到紧密封结合的目的。
- (2) 涂敷 一般用毛刷涂敷密封胶。若粘度太大时，可用溶剂稀释，涂敷要均匀，厚度要合适。
- (3) 干燥 涂敷后要进行一定时间的干燥，干燥时间可按照密封胶的说明进行，一般为3~7min。
- (4) 连接 紧固时施力要均匀。由于胶膜越薄，凝附力越大，密封性能越好，所以紧固后间隙为0.06~0.1mm比较适宜。

2. 密合密封

由于配合的要求，在结合面之间不允许加垫料或密封胶时，常依靠提高结合面的加工精度和降低表面粗糙度进行密封。结合面除了需要在磨床上精密加工外，还要进行研磨或刮研使其达到密合，其技术要求是有良好的接触精度和做不泄漏试验。在装配时注意不要损伤其配合表面。

3. 衬垫密封

承受较大工作负荷的螺纹连接零件，为了保证连接的紧密性，一般要在结合面之间加刚性较小的垫片，如纸垫、橡胶垫、石棉橡胶垫、紫铜垫等。垫片的材料根据密封介质和工作条件选择。衬垫装配时，要注意密封面的平整和清洁，装配位置要正确，应进行正确的预紧。维修时，拆开后如发现垫片失去了弹性或已破裂，应及时更换。

二、活动连接密封

1. 填料密封

如图 6-24 所示，填料密封是通过预紧作用使填料与转动件及固定件之间产生压紧力的动密封装置。常用的填料材料有石棉织物、碳纤维、橡胶、柔性石墨和工程塑料等。

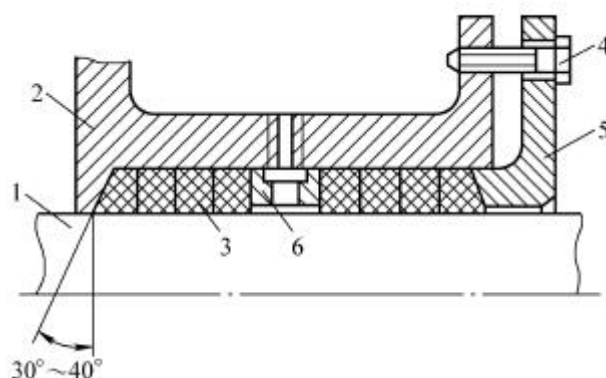


图 6-24 填料密封

1-主轴；2-壳体；3-填料；4-螺钉；5-床盖；6-孔环

填料密封的装配工艺要点如下。

- (1) 软填料可以是一圈圈分开的多环结构，安装时相邻两圈的切口应错开 180° 。软填料有做成整条的，在轴上缠绕成螺旋形的多层结构。
- (2) 当壳体为整体圆筒时，可用专用工具把软填料推入孔内。
- (3) 软填料由压盖 5 压紧。为了使压力沿轴向分布均匀，装配时，应由左到右逐步压紧。
- (4) 压盖螺钉 4 至少要有两只，必须轮流逐步拧紧，以保证圆周力均匀。同时用手转动主轴，检查其接触的松紧程度，要避免压紧后再行松出。软填料密封在负荷运转时，允许有少量泄漏。运转后继续观察，如泄漏增加，应再缓慢均匀拧紧压盖螺钉。但不应为争取完全不漏而压得太紧，以免摩擦功率消耗太大或发热烧坏。

2. 油封密封

油封是广泛用于旋转轴上的一种密封装置，如图 6-25 所示其装配要点如下。

- (1) 检查油封孔、壳体孔和轴的尺寸，壳体孔和轴的表面粗糙度是否符合要求，密封唇部是否损伤，并在唇部各主轴上涂以润滑油脂。

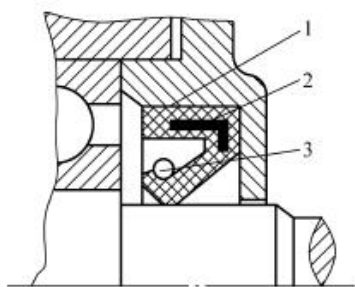


图 6-25 油封密封

1-油封体；2-金属骨架；3-压紧弹簧

(2) 压入油封要以壳体孔为准，不可偏斜，并应采用专门工具压入，绝对禁止棒打锤敲等做法。油封外圈及壳体孔内涂以少量润滑油脂。

(3) 油封装配方向，应该使介质工作压力把密封唇部紧压在主轴上，而不可装反。如用作防尘时，则应使唇部背向轴承如需同进解决防漏和防尘，应采用双面油封。

3. 密封圈密封

密封元件中最常用的就是密封圈，密封圈的断面形状有圆形(O型)和唇形。

O型密封圈的截面为圆形，其结构简单、安装尺寸小，价格低廉、使用方便，应用十分广泛。

唇形密封圈工作时唇口对着有压力的一边，当工作介质压力等于零或很低时，靠预压缩密封，压力高时由介质压力的作用将唇边紧贴在密封面密封。按其断面形状不同，又分为V型、Y型、U型、I型等多种。如图6-26所示为V型密封圈，它是唇形密封圈中应用最广泛的一种。它是由压环3、密封环2和支承环1组成，其中密封环起密封作用，而压环和支承环只起支承作用。

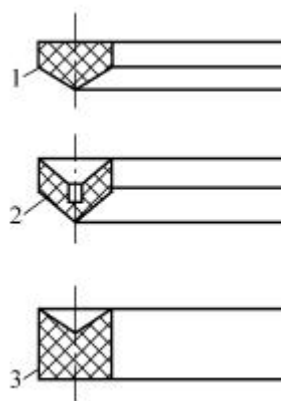


图 6-26 V型密封圈

(1) O型密封圈的装配。

① 为了减小装配阻力，O型密封圈装配时应注意以下几点。在装配前应将密封圈装配部位涂润滑油。

② 当工作压力超过一定值(一般10MPa)时，应安放挡圈，需特别注意挡圈的安

装方向，单边受压，装于反侧。

③ 装配时不得过分拉伸 O 型圈，也不得使密封圈产生扭曲。

④ 为防止报废 O 型圈的误用，装配时换下来的或装配过程中弄废的密封圈，一定立即剪断收回。

(2) 唇形密封圈及装配。唇形密封圈的装配应按下列要求进行。

① 唇形圈在装配前，首先要仔细检查密封圈是否符合质量要求，特别是唇口处不应有损伤、缺陷等。

② 为减小装配阻力，在装配时，应将唇形圈与装入部位涂敷润滑脂。

③ 在装配中，应尽量避免使其有过大的拉伸，以免引起塑性变形。当装配现场温度较低时，为便于装配，可将唇形圈放入 60℃ 左右的热油中加热后装配。注意不可超过唇形圈的使用温度。

④ 当工作压力超过 20MPa 时，除复合唇形圈外，均须加挡圈，以防唇形圈挤出。挡圈均应装在唇形圈的根部一侧，当其随同唇形圈向缸筒里装入进，为防止挡圈斜切口被切断，放入槽沟后，用润滑脂将斜切口粘接固定，再行装入。

⑤ 在装配唇形圈时，如需通过螺纹表面或退刀槽，必须在通过部位套上专用套筒，或在设计时，使螺纹和退刀槽的直径小于唇形圈内径。反之，在装配时如需通过内螺纹表面和孔口时，必须使通过部位的内径大于唇形圈的外径或加工出倒角。

实验实训课题

一、离泵与电机的联轴器的装配

1. **实训要求：**完成联轴器的安装，并进行找正和调整。

2. **实训目的：**掌握联轴器在找正时的测量和调整方法。

二、滚动轴承的装配

1. **实训要求：**列出装配工艺和工具，独立进行安装和拆卸。

2. **实训目的：**掌握滚动轴承的拆装和间隙调整的方法。

思考题

1. 简述保证配合精度的装配方法及其适用场合。
2. 过盈配合的装配方法有哪些？各适用于哪些场合？
3. 保证齿轮传动装正常工作的条件是什么？影响齿轮传动装置工作质量的因素有哪些？
4. 圆柱齿轮副的啮合间隙和啮合接触斑点如何检查测量？
5. 联轴找正时为何要先找平行后找同心？
6. 轴套、轴瓦装配时为什么要刮研？如何刮研？其质量指标是什么？

参 考 文 献

- | | | | |
|-------------|-----------|-----|----|
| 机电设备安装与维护 | 北京理工大学出版社 | 袁晓东 | 主编 |
| 机械设备修理工艺第二版 | 机械工业出版社 | 晏初宏 | 主编 |
| 机修钳工（中级） | 机械工业出版社 | 吴全生 | 主编 |
| 机械设备维修工艺 | 大连理工大学出版社 | 王洪志 | 主编 |

