

目 录

第一章	机械设备的使用维护	1
第一节	合理使用设备	1
第二节	设备维护保养的主要内容	12
第三节	设备的常用润滑	19
第二章	机械设备的拆卸	40
第一节	拆前准备	40
第二节	零件拆卸与清洗	50
第三节	零件的修换选择	56
第四节	磨损零件修复的一般技术规定	60
第三章	机械零件的修理技术	67
第一节	导轨磨损面的修复	67
第二节	零件表面损伤的修复	75
第三节	零件的断裂修复	85
第四节	零件的校直	90
第四章	典型零部件的装配	93
第一节	固定联接件的装配	94
第二节	滚动轴承的装配	99
第三节	滑动轴承的装配	104
第四节	齿轮的装配	109
第五节	联轴器的安装	113
第五章	机械设备的调整	118
第一节	设备精度的误差来源	118
第二节	设备精度调整的一般方法	121
第三节	设备性能状态的调整方法	131
第六章	公差配合在维修中的应用	145

第一节	零件尺寸公差与配合的合理选择·····	145
第二节	常见形位误差的测量方法·····	151
第三节	修理中的尺寸链问题·····	159
第七章	机械设备状态的简易监测 ·····	174
第一节	机械设备状态简易监测的作用和方法·····	174
第二节	滚动轴承工作状态的监测·····	180
第三节	齿轮传动状态的监测·····	183
第四节	由产品质量对设备状态进行监测·····	188
第八章	突发性机械故障的分析 ·····	196
第一节	运动障碍的分析方法·····	196
第二节	由断口宏观特征分析零件的断裂原因·····	210
第三节	常见漏油原因与治漏·····	222
参考文献	·····	234

第一章 机械设备的使用维护

第一节 合理使用设备

使用设备的正确方针是：在加强设备维护保养的基础上，要充分发挥设备的工作能力；在保持良好的技术状态下，能满负荷、高效率地进行工作。这就明确地提出了使用设备必须做到合理的问题。只有合理才能保证设备长期正常运转，减少停机时间，减少修理次数，充分发挥效益。

一、设备合理使用的前提条件

(1) 对于一般小型企业，尤其是乡镇企业，一定要根据设备条件承接生产合同，或者根据生产特点有选择地补充所需设备。必须禁止不顾条件地硬拼设备的现象，做到根据设备的性能特点合理承揽和安排生产任务，使设备能够不超规范加工，不超负荷运行。

(2) 要有适宜于设备正常工作的条件

1) 设备必须安装调整合适。水平要调整恰当，地脚螺栓要牢固可靠。精密设备必须远离振源，或者开凿防振沟。运动部件之间的间隙要调整适宜，使设备能灵活运转。

2) 使用设备的环境符合要求。例如，用一般机械油作润滑剂的设备，环境温度不能低于 10°C ，否则就会影响设备的正常运转，造成设备损坏。对金属切削机床的环境，还应注意防尘、防潮等问题。

3) 设备要处于完好状态，精度和性能均应能满足完好

标准的要求。

4) 能够安全生产。必须按照说明书的要求,采取必要的安全防护措施。尤其是冲压设备、木工机械等必须具有防护措施后,才能开动设备进行工作,不可马虎从事。

5) 定期更换合适的润滑油脂,用油要符合季节要求。尤其是室外工作的机械设备,润滑油质量必须合格,并符合不同季节的不同要求。

(3) 操作工人要做到熟悉设备的性能结构、工艺范围,具有熟练的操作技术和设备的维护保养知识及技能。

(4) 要建立健全设备的操作、使用、维护规程和岗位责任制。要建立严格的交接班制度,作好交接记录。

(5) 必须按照有关规定,加强对动力、起重、运输、压力容器等机械设备进行预防性试验和必要的检查监测。

二、合理使用设备必须做好群管群修

合理使用设备必须有群众基础。要坚持以群众性预防为主的方针,贯彻专业管理和群众管理相结合的原则,积极开展以“三好”、“四会”为主要内容的群管群修工作。通过群众性的评比竞赛活动,推动操作者搞好设备日常维护工作,做到合理使用设备。

1. 三好——管好、用好、修好

(1) 管好

1) 操作者应对设备负保管责任,不经领导同意,不准别人乱动。

2) 对设备及附件、仪器、仪表、冷却、安全防护装置等,应保持完整无损。

3) 设备开动后,不准擅离工作岗位,有事必须停车并切断电源。

4) 设备发生事故后,要立即停车,切断电源,保持现场,不隐瞒事故情节,及时报告设备员和组长。

(2) 用好

1) 严格执行操作规程,禁止超压,超负荷使用设备,特殊情况必须经车间主任和主管部门同意,方可使用。

2) 不准脚踏床面,不准用脚踢操纵把和电器开关,设备导轨面上不准放工具、工件等物品。

(3) 修好

1) 操作者应使设备的外观和操作手柄及传动部分,经常保持新安装时或者大修后的良好状态。

2) 应经常保持设备性能良好,处于正常工作状态。发现故障隐患,及时予以排除或者报告机修人员。按计划、按保养内容、按具体要求完成一级保养任务;参加二级保养并完成规定内容。

3) 应保持设备没有较大缺陷,仪器、仪表和润滑、冷却系统灵敏、可靠。

2. 四会——会使用、会保养、会检查、会排除一般故障

(1) 会使用

1) 操作者应严格遵守操作规程,变速、安装交换齿轮时必须停机。

2) 要熟悉设备各组成部分、设备性能、传动原理和加工范围(最大、最小尺寸),并能恰当选用转速。

(2) 会保养

1) 操作者应经常保持设备内外清洁,做到班前润滑,班中、班后及时清扫干净。

2) 应保持设备各滑动面无油垢,无碰伤,无锈蚀,无四漏(漏油、漏水、漏气、漏电)。

3) 应按设备润滑图表规定加油,做到四定(定质、定量、定时、定点),保证油路畅通。

(3) 会检查

1) 操作者必须在设备开动前,检查设备各操纵机构,挡铁、限位器等是否灵敏可靠,各运转滑动部位润滑是否良好,确认一切正常后再开动。

2) 在接班时,如果发现上一班造成的设备事故和部件故障,要立即报告设备员和组长作出鉴定,修好后才能开动。

3) 开动设备时,应随时观察各部位运转情况。注意观察设备是否有声响变化和振动加剧的现象发生。如有异常现象发生,应立即停机。查明原因,排除故障后,才能继续使用。

(4) 会排除一般故障

1) 操作者发现电器断路,例如熔断器熔体烧断、电线接地和接触不良等,应协助电工排除。

2) 发现油路系统出现故障时,应会排除。

3) 发现各部位紧固螺钉、销钉、斜镶条、离合器、传动带等松动时,应会排除。

4) 发现加工件出现非因设备重大原因造成锥度超差或者凸凹现象等一般故障时,应会排除。

3. 四项要求——整齐、清洁、润滑、安全

(1) 整齐:工具、工件、附件放置整齐、合理;配套装置齐全,各种线路、管道完整;设备零部件无缺损。

(2) 清洁:设备内外清洁,无灰尘、无黄袍、无黑污、无锈蚀;各滑动面、丝杠、齿条、齿轮等处无油垢;各部位不漏水、不漏油;切屑垃圾清扫干净。

(3) 润滑:按时加油、换油,油质符合要求;油壶、油

枪、油杯齐全，油毡、油线清洁，油标醒目，油路畅通。

(4) 安全：实行定人、定机和交接班制度；熟悉设备结构和遵守操作规程，精心维护、合理使用；各种安全防护装置齐全可靠，控制系统正常，接地良好，无事故隐患。

4. 五项纪律

(1) 凭操作证使用设备，遵守安全操作规程。

(2) 经常保持设备清洁，并按规定加油。

(3) 严格遵守交接班制度。

(4) 管好工具附件，不得遗失。

(5) 发现故障，立即停机，自己不能处理的问题应及时报告。

5. 交接班制度的一般规定

(1) 交接班时，必须查明设备各个部位是否存在故障和出现损伤。

(2) 检查设备所有开关、手柄，所有自动进给装置是否处于关闭状态。

(3) 检查传动带接头是否牢固，松紧程度是否合适。

(4) 检查设备摩擦部位，润滑情况是否良好；油杯、油孔是否被脏物堵塞。

(5) 检查设备防护装置是否安全可靠。

(6) 设备各部位，包括电动机必须做到清洁干净。

(7) 进行空转试机，检查设备运转是否正常。

(8) 发现设备出现故障、或者很脏，应拒绝接收，并将情况报告领导。

(9) 接班人未认真检查，如果发生事故，接班人应负全部责任。

(10) 交班人如果故意不向接班人介绍设备情况，发生

事故，若非明显由接班人造成，应由交班人负全部责任。

三、常见机械设备的安全生产制度

所有设备的操作者都必须遵守“三好”、“四会”、四项要求和五项纪律，还必须按照设备特点，遵守其具体的操作规程。

1. 卧式车床的安全操作规程

(1) 工作物件必须装夹结实牢固，采用角铁压活时，配重要平衡，转速要适当。

(2) 卡盘、花盘必须紧固在主轴上。装卸卡盘时，床面要垫木板，并且不能借助车床动力进行装卸。

(3) 加工棒料时，要事先截成需要的长度。一般料长不能超出主轴尾端 200mm。如果不能截短，应用护栏围起，避免长料甩弯伤人。

(4) 当测量工件、装夹刀具、变速、用油石刃磨刀具时，必须停机。

(5) 操作前扎好袖口，女工戴好工作帽，工作中不准戴手套。高速切削须加防护板，戴眼镜。

(6) 操作时，身体不得挨靠床身的任何部位，或脚踏油盘，不能离开工作位置。如果需要离开，必须做到先退刀，后停机，人离机停。

(7) 禁止用手做以下工作：

1) 用手帮助停机。

2) 不使用刷子或铁钩，直接用手清除切屑。

3) 用手试摸工件的粗糙情况和刀刃是否锋利。

4) 直接用手持砂布打磨旋转工件的内孔。如果要用砂布进行打磨，必须用木棒作支持物。

(8) 用锉刀打光工件，必须右手在前，左手在后，以免

绞住袖子或者凸出的旋转部位伤人。

(9) 机床运转时，不能跨越床身传递物件。

(10) 车工必须掌握砂轮机的安全操作规程。

2. 卧、立铣床的安全操作规程

(1) 铣削前必须检查工作物件与铣刀是否夹紧，工作台周围有无障碍物件。

(2) 装压铣刀轴的螺母时，不准借助铣床转动力去紧固，必须停机用扳手拧紧。

(3) 拆换工件时必须停机，并使工件与铣刀保持一定距离。装卸较大工件时必须使工作台降到最低位置。

(4) 利用自动进给，必须将手把与丝杠脱开，以免手把转动伤人。

(5) 铣削时，禁止测量工件或者用手去摸工件。

(6) 禁止直接用手或者用嘴吹的方式清除切屑，清除切屑要用刷子。

(7) 运转中，禁止身体扶靠床身。

(8) 操作前扎好袖口，女工戴好工作帽，工作中不准戴手套。高速切削须加防护板，戴眼镜。

(9) 变速必须停机。

(10) 使用分度头，应在齿轮传动部分设防护罩。

3. 牛头刨床的安全操作规程

(1) 工件和刀具要装夹牢固，装夹时要停机。刨刀杆露出部分不能超过刀杆厚度的两倍。

(2) 开机前将床面上一切不用的工具、物件清除干净。

(3) 操作前扎好袖口，女工戴好工作帽，工作中不准戴手套。刨削时不准将头或手伸入刀架行程范围之内。

(4) 工作时，人身不得站在刨刀往复的方向，只能站在

床身两旁。

(5) 刨削中不得直接用手去摸工件或清除切屑，清除切屑要用刷子。

(6) 测量工件、调整刀具时，必须停机。

(7) 刨工必须掌握砂轮机安全操作规程。

4. 磨床的安全操作规程

本规程适用于内外圆磨、平面磨、工具磨。

(1) 新砂轮必须经过平衡与破裂试验，带有试验合格证明的才允许安装使用。

(2) 安装前应检查砂轮有无裂纹痕迹（可用肉眼观察，并用木棒轻轻敲打，听其声音来区别有无裂缝）。直径大于300mm的砂轮必须检查其平衡情况。

(3) 砂轮的孔径要比轴大，严禁紧装。砂轮的夹板，其外径大小应大于砂轮外径的 $1/3$ ，夹板与砂轮之间须加有0.5~1mm厚的纸垫。在拧紧夹板螺母时，禁止用手锤敲打，紧松程度要适当。

(4) 操作前扎好袖口，女工戴好工作帽，工作中不准戴手套。操作中要正确使用防护罩。

(5) 装夹工件要稳固结实，防止从顶尖、主轴或磁盘中飞出。用磁铁吸盘时，要选择合适的垫铁，防止磨削时因吸力不够引起工件移动，挤裂砂轮。

(6) 开机后应先让砂轮空转2~3min，检查设备和砂轮有无不正常声音。

(7) 磨削时，禁止用手去摸工件和砂轮。

(8) 装卸工件和测量时，必须将砂轮退至安全距离或者停机后进行。

(9) 磨削时，要站在砂轮的侧面，不得面对砂轮旋转方

向。

(10) 进刀、进给量不得过大,以免挤破砂轮和损坏设备。

(11) 修整砂轮时,应采用专用工具进行,并必须将其紧固在托架或特制的装置上,不可用手握持进行修整,而且注意站立在回转线外。

(12) 使用切削液时,必须浇在工件上,以防砂轮潮湿时影响平衡。停止工作时,应先停切削液,并让砂轮空转 2~3min,使它干燥后,再停止转动。

(13) 用附有吸尘装置的磨床磨削时,必须正确使用吸尘通风装置。

5. 砂轮机的安全操作规程

(1) 必须指定专人负责维护检修,其他人员不准随意乱拆乱卸。

(2) 更换新砂轮时必须注意下列事项:

1) 砂轮是否符合规格尺寸,有无裂痕损伤。

2) 砂轮孔径要比轴径大,严禁紧装。

3) 砂轮的压板要符合安全规定,其外径应大于砂轮外径的 $1/3$ 。

4) 砂轮与压板之间应加 0.5~1mm 厚的纸垫。

5) 砂轮外缘与防护罩内缘间隙应有 15~40mm,侧面间隙应有 10~25mm。

6) 拧紧螺母,禁止用手锤敲打,必须用扳手,而且要松紧适宜。

7) 托架与砂轮外缘的间隙必须经常调整,保持 2~3mm,不得过大。

8) 新砂轮安装好后,须先空转 2~3min,正常后方允许使用。

9) 必须装上防护罩。

(3) 使用前先用手转动一、二转, 检查砂轮有无损伤及障碍。

(4) 工作前, 必须让砂轮空转 1~2min, 运转正常后再磨削。

(5) 磨削时, 应站在砂轮侧面, 不得站在正面, 用力不得过大。

(6) 禁止两人同在一个砂轮上工作。

(7) 磨削时, 禁止撞击砂轮和磨过大的工件。

(8) 禁止磨铝、铜、铅、木、橡胶、塑料及带油污的工件。

(9) 磨小的薄片工件时, 应防止挤入托架和砂轮罩内。

(10) 工作时要戴防护镜, 以免砂粒伤眼。

(11) 不可使用砂轮侧面进行磨削。

(12) 禁止在振动的砂轮机上工作, 避免因撞击引起砂轮崩碎, 发生事故。

(13) 砂轮磨损距夹板边缘 5mm 时应及时更换。

(14) 开关必须完好, 工作完毕应立即切断电源。

6. 钻床的安全操作规程

(1) 工件必须在钻床上装夹结实。钻小工件时必须用夹具夹住, 不得用手握持。钻薄片工件时, 要垫木板, 快钻透时要轻施压力。

(2) 装卸钻头时要使用钥匙和扳手。钻夹头不得夹持锥柄钻头。

(3) 操作前扎好袖口, 女工戴好工作帽, 工作中不准戴手套。装工件时必须停机。

(4) 工作中, 偶然停电或钻头被卡住时, 应立即切断电

源。

(5) 清除切屑时要使用刷子或铁钩。不得用手或手持破布清理旋转中的钻头。

(6) 磨钻头时，必须遵守砂轮机的安全操作规程。

7. 冲床的安全操作规程

(1) 操作者必须了解设备性能和结构，掌握操作方法。

(2) 工作前穿戴好个人防护用具，并检查转动部位与脚踏和手按开关是否灵活好用。发现有任何毛病时要及时报告，经检修后，才能操作，不得迁就使用。

(3) 装夹模具时应仔细检查上、下模的坚固情况，及冲程调整是否合适。

(4) 校正模具时必须停机，用手进行搬动调整。

(5) 不得使用有毛病和不符合规格的扳手、压板、螺钉等工具。

(6) 在设备运转过程中，禁止徒手伸入冲模取放零件和清除残料，必须使用专用工具，如镊子、钩子等。

(7) 在用脚踏开关操作时，手与脚的动作要协调，续料和取活时，脚应离开脚踏开关，以免发生危险。

(8) 工作台上不准摆放零件、工具和量具等物品。

(9) 工作时必须精力集中，不准和旁人说笑，不准抽烟。有事要离开设备，必须随时切断电源。

(10) 搬运笨重模具时，应使用起重设备。两人以上搬抬时，必须动作协调。

8. 混砂机的安全操作规程

(1) 指定专人使用管理。使用前要检查混砂机各部分是否有缺陷，转动滚子、刮板是否能正常工作，防护罩、接地线是否齐全。检查机内和周围有无障碍物。

(2) 使用时, 应先让设备空转几转, 看其是否能正常工作。混砂机停止时, 方可装料。

(3) 运转时, 禁止手与铲子等物伸入机内。无关人员不得靠近设备。

(4) 禁止金属块或其他杂物加入机内混合, 并禁止混合硬质材料。

(5) 混好的型砂, 由放砂口落入贮砂箱内, 剩下的砂子应利用长把铁铲扒出。

(6) 有人在混砂机内工作时, 设备的起动开关应挂上警告牌示: “有人在工作, 禁止合闸”, 或把起动开关锁住。

第二节 设备维护保养的主要内容

设备的维护保养, 对于普通机械可分为日常维护和一、二级保养。

一、日常维护的内容

日常维护由操作者进行。

(1) 开动设备前, 对设备进行清洁、润滑。

(2) 使用设备中, 要严格按照操作规程进行, 并且及时检查设备的运行情况, 发现故障及时排除。

(3) 使用设备后, 要将各滑动导轨面擦净、注油, 定期清洗各润滑系统及设备表面。

二、一级保养的内容

一级保养的周期, 金属切削设备一般运转 1200 ~ 1500h, 或两班制连续生产的设备运转 4~5 个月进行一次, 锻压、起重设备一般运转 900 ~ 1200h, 或两班制连续生产的设备运转 3~4 个月进行一次。保养时应在维修人员指导

配合下主要由操作者完成。其内容包括：

- (1) 清扫、检查、调节电器部分。
- (2) 清洗设备外表，检查、调节各传动、操作机构。
- (3) 清洗、疏通各润滑系统，检查冷却系统。
- (4) 检查并且排除一般性故障及隐患。
- (5) 检查并且调节安全防护措施、限位块及有关仪器、仪表等。

三、二级保养的内容

二级保养的周期，金属切削设备一般运转 3600～4500h，或两班制连续生产的设备运转 12～15 个月进行一次。锻压、起重设备一般运转 2700～3600h，或两班制连续生产的设备运转 9～12 个月进行一次。保养时应以维修人员为主，在操作者参加下共同进行。其内容主要包括：

- (1) 清扫、检查、调节电器部分。
- (2) 全面清洗润滑系统，并且进行换油。全面清洗冷却系统。
- (3) 检查设备的技术状况及安全设施，全面调整各处间隙，排除故障，清除隐患。
- (4) 修复和更换必要的磨损零件，或者刮研必要的磨损部位。
- (5) 全面清除设备的漏油、漏气、漏水现象。
- (6) 使设备能达到安全可靠、运行正常，符合设备完好标准。

四、保养举例

(1) 卧式车床的一级保养内容要求如表 1-1 所示，二级保养内容及要求如表 1-2 所示。

表 1-1 卧式车床一级保养内容及要求

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
外表保养	清洗设备外表, 使各罩盖内外清洁, 无黄袍, 无死角。清洗丝杠、光杠、操作杠等外露精密表面, 做到无毛刺, 无锈蚀。检查补齐外部缺件
传动装置	检查主轴圆螺母及紧固螺钉有无松动。调整摩擦片及制动器。检查清洗导轨面、修光毛刺, 清洗斜镶条。使毡垫清洁, 并与导轨接触良好。检查传动带松紧, 必要时可进行调整
溜板部分	拆洗大、中、小溜板的丝杠、螺母及压板, 调整斜镶条及丝杠、螺母, 使其能灵活运动
交换齿轮箱	拆洗齿轮、轴套并注入新油脂, 调整齿轮间隙, 使轴套无晃动现象
尾 座	拆洗尾座, 做到内外清洁, 调整顶尖同轴度
润滑系统	使油质、油量符合要求。做到油路畅通, 油窗醒目, 装置齐全, 清洁、好用。要清洗滤油器
冷却系统	清洗过滤网, 并使切削液池无沉淀、无杂物, 管道畅通、整齐、固定牢
附 件	要求清洁、整齐、防锈
电器系统	进行清扫、检查, 使电器装置固定、整齐、动作可靠、触点良好

表 1-2 卧式车床二级保养内容及要求

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
传动装置	检查各传动零件, 根据情况进行调整、修复或更换。检查修刮斜镶条及导轨
操纵装置	必须使其做到动作灵敏、定位可靠
尾 座	检查尾座, 并修复其套筒锥度
润滑系统	清洗油泵及油池, 更换润滑油
冷却系统	拆检阀门, 消除泄漏, 更换切削液

(续)

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
精 度	检查调整精度（必要时刮研）达到加工工艺要求
电器系统	进行系统检修。对电机换油，测量绝缘

(2) 卧、立铣床的一级保养内容及要求如表 1-3 所示，二级保养内容及要求如表 1-4 所示。

表 1-3 卧、立铣床一级保养内容及要求

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
外表保养	清洗外表，使各罩盖内外清洁，无黄袍，无死角。清洗修理外露精密表面，做到无毛刺、无锈蚀。检查补齐外部缺件
传动装置	检查清洗传动零件。调整丝杠、螺母、摩擦离合器及斜镶条，检查传动带松紧，必要时可进行调整
润滑系统	使油质、油量符合要求。做到油路畅通，油窗醒目，装置齐全、清洁、好用。手拉（压）液压泵内外清洁
冷却系统	清洗过滤网，并使切削液池无沉淀、无杂物，管道畅通、整齐、固定牢
附 件	要求清洁、整齐、防锈
电器系统	进行清扫、检查，使电器装置固定、整齐，触点良好，动作可靠，限位装置安全

表 1-4 卧、立铣床二级保养内容及要求

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
传动装置	检查各传动零件，根据情况进行调整、修复或更换。检查修刮斜镶条及导轨
操纵装置	使其做到动作灵敏、定位可靠
润滑系统	清洗换油

(续)

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
冷却系统	拆检阀门, 消除泄漏, 更换切削液
精 度	检查调整精度 (必要时刮研) 达到加工工艺要求
电器系统	进行系统检修。对电机换油、测量绝缘

(3) 牛头刨床的一级保养内容及要求如表 1-5 所示, 二级保养内容及要求如表 1-6 所示。

表 1-5 牛头刨床一级保养内容及要求

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
外表保养	清洗外表, 使各罩盖内外清洁, 无黄袍, 无死角。清洗修理外露精密表面, 做到无毛刺、无锈蚀。检查外部紧固零件, 补齐缺件
传动装置	清洗滑枕、丝杠、螺母、齿轮。拆洗刀架, 调整斜铁条及压板等。调整传动带松紧, 清洗导轨毡垫
液压润滑	检查调整液压系统, 清洗滤油器。使油质、油量符合要求, 做到润滑装置齐全、清洁、好用, 油路畅通, 油窗醒目
电器系统	进行检查、清扫, 使其装置固定、整齐, 动作可靠

表 1-6 牛头刨床二级保养内容及要求

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
传动装置	检查调整各传动零件, 必要时进行修复或更换。拆洗滑枕, 检查修刮压板及导轨等
操纵系统	使其做到动作灵敏、定位可靠
液压润滑	清洗换油。拆检液压泵、液压缸及活塞, 检查调整液压控制系统, 必要时可进行修复或换件
精 度	检查调整精度 (必要时刮研) 达到加工工艺要求
电器系统	进行系统检修。对电机换油、测量绝缘

(4) 平面磨床的一级保养内容及要求如表 1-7 所示, 二级保养内容及要求如表 1-8 所示。

表 1-7 平面磨床一级保养内容及要求

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
外表保养	清洗外表, 使各罩盖内外清洁, 无黄袍, 无死角。清洗修理外露精密表面, 做到无毛刺, 无锈蚀。检查外部紧固零件, 补齐缺件。拆下立柱导轨护板, 擦洗干净
磨 头	拆开砂轮架罩壳, 检查电机及紧固件, 擦洗干净
液压润滑	检查调整液压系统, 清洗过滤器。使油质、油量符合要求, 做到润滑装置齐全、清洁、好用, 油路畅通, 油窗醒目
冷却系统	清洗过滤网, 使切削液池无沉淀, 无杂物, 管道畅通、整齐、固定牢
附 件	要求清洁、整齐、防锈
电器系统	进行清扫、检查, 使电器装置固定、整齐, 触点良好, 动作可靠。电磁吸盘灵敏、安全

表 1-8 平面磨床二级保养内容及要求

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
主 轴	检查调整主轴轴瓦
工 作 台	拆卸工作台, 检查修刮导轨
液压润滑	检查调整、修复液压操纵装置及油泵、油缸、管路, 更换密封件及易损件, 消除泄漏, 清洗换油
冷却系统	清洗过滤网, 使切削液池无沉淀, 无杂物, 管道畅通、整齐、固定牢
精 度	检查调整精度 (必要时刮研) 达到加工工艺要求
电器系统	进行系统检修。对电机换油、测量绝缘

(5) 冲床的一级保养内容及要求如表 1-9 所示, 二级保养内容及要求如表 1-10 所示。

表 1-9 冲床一级保养内容及要求

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
外表保养	清洗外表, 使各罩盖内外清洁, 无黄袍, 无死角。检查紧固零件, 补齐外部缺件
传动装置	检查调整冲头、导轨压板、离合器、弹簧、传动带等件, 做到传动适宜、安全可靠
润滑系统	使油质、油量符合要求, 做到润滑装置齐全、清洁、好用, 油路畅通
电器系统	进行检查、清扫, 使其装置固定、整齐, 动作可靠。尤其注意检查安全限位装置

表 1-10 冲床二级保养内容及要求

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
传动装置	检查调整各传动零件, 必要时进行修复或更换。调整或更换摩擦片, 修复或更换曲轴瓦。调整修刮导轨与压板, 使其间隙合适
操纵系统	检查调整操纵机构, 以及各种保险与限位装置, 确保性能良好可靠
润滑系统	清洗换油, 检修油泵及管路
电器系统	进行系统检修。对电机换油、测量绝缘

(6) 混砂机的一级保养内容及要求如表 1-11 所示, 二级保养内容及要求如表 1-12 所示。

表 1-11 混砂机一级保养内容及要求

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
外表保养	打开盖板、护罩, 擦洗内外表面, 要求无黄袍, 无积砂。补齐外部缺件

(续)

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
传动装置	检查传动机构, 修复、更换缺损件, 调整传动带松紧。检查调整滚子, 刮板防护罩位置适当, 螺钉紧固
润滑系统	油杯、油标齐全清洁, 润滑合理
电器系统	电动机、开关箱清洁无灰尘, 线路整齐, 接触良好, 接地可靠

表 1-12 混砂机二级保养内容及要求

保养部位	保 养 内 容 及 要 求
传动装置	检查各传动轴承, 检修或更换磨损零件
润滑系统	补齐缺损油杯, 实现油路畅通。齿轮箱清洗换油
电器系统	进行系统检修。对电动机换油、测量绝缘

第三节 设备的常用润滑

润滑是利用油、脂或者其他流体材料等手段, 使运动物体之间的接触表面能分隔开来, 以求降低摩擦、减少磨损的一种重要措施。在设备的维护保养中起着控制摩擦, 减少磨损, 降低温度, 防止锈蚀, 阻尼振动的重要作用。

一、润滑的分类

一般按照状态来说, 润滑可以分成液体润滑、半液体润滑和边界润滑三种类型。

1. 液体润滑

液体润滑是在摩擦表面之间加入液体润滑剂后, 产生足够厚度 (一般在 $1.5 \sim 2\mu\text{m}$ 以上) 和强度的油层性液体油膜, 使两个摩擦表面完全分开, 由油膜的压力平衡外载荷, 运动时只是在油膜内部的油层分子间产生摩擦的一种润滑状

态。液体润滑摩擦阻力小，可以改善摩擦副的动态性能，有效地降低磨损。因此，设备润滑技术的主要要求是在可能条件下，最大限度地在摩擦表面形成液体润滑。常用液体润滑剂主要是各种润滑油。

液体润滑根据油压形成方法又可分为两种。一种是利用摩擦表面，在能产生油楔作用的条件下，使油自然产生压力，对抗外载以分离表面的状态被称为液体动压润滑。一种是用油泵将润滑油压入摩擦副内，使油在摩擦表面之间保持一定的抗压能力，硬把接触表面分开的状态被称为液体静压润滑。常见滑动轴承，以及在导轨接触面上开有带油角的油槽动压导轨等，都应用了液体动压润滑的原理。静压轴承、静压导轨等都应用了液体静压润滑的原理。

2. 边界润滑

边界润滑是在两个摩擦表面之间，仅存在着一层极薄的吸附性边界油膜，没有油层存在，运动时只是上下两层吸附着的油膜之间产生摩擦的状态。它是一种处于液体润滑和干摩擦之间的边界状态。当负荷加大或者改变运动速度时，边界润滑就会遭到破坏，引起干摩擦发生。

边界润滑主要出现在直线往复运动摩擦表面的两端部位，齿轮啮合传动之中，冲击力较大的摩擦部位以及处于高温、高负荷、低速度或者刚开车状态的摩擦表面之间。

3. 半液体润滑

半液体润滑是在摩擦表面之间加入液体润滑剂后，由于摩擦表面粗糙不平，或负荷较大，或运动速度变化较大，使部分油膜遭到破坏，出现局部性干摩擦或边界摩擦现象，而其余部位仍然是液体润滑的一种状态。

半液体润滑往往与液体润滑、边界润滑同存于导轨、齿

轮、轴承等摩擦副之中，并且三种润滑状态会随着油量的大小、油性的好坏、工作条件的变化而互相转换。

二、选择润滑剂的一般原则

(1) 首先要根据工作条件进行选择。摩擦表面之间的相对运动速度越高，形成油楔作用的能力就越强。因此，在高速运动的摩擦副内加入的润滑油应该粘度较低，润滑脂的工作锥入度应该较大。摩擦表面单位面积的负荷较大时，应选用粘度较大，油性较好的润滑油。使处于液体润滑状态的油膜具有较高的承载能力；使处于边界润滑状态的边界油膜具有良好的润滑性能。对于有冲击振动负荷及往复、间歇运动的摩擦副应选用粘度较大的润滑油或者锥入度较小的润滑脂。

(2) 要考虑使用润滑剂的周围环境。环境温度较高时，应采用粘度较大、闪点较高、油性较好、稳定性较强的润滑油或滴点较高的润滑脂。环境温度较低时，应选用粘度较小，凝点较低的润滑油，或者工作锥入度较大的润滑脂。若环境潮湿有水，应选用抗乳化性能、油性、防锈蚀性能均较好的润滑油或抗水性较好的钙基、锂基等润滑脂。在灰尘较多的环境，应尽量用脂润滑。

(3) 选择润滑材料不能忽视摩擦表面的具体特点。例如，摩擦表面之间的间隙越小，用油粘度应越低；表面越粗糙，用油粘度应越大，用脂工作锥入度应越小。对于润滑油容易流失的部位，应采用粘度较大的润滑油，或用脂润滑。

(4) 还要针对实际使用的润滑方法进行合理选择。例如用油绳、油垫润滑时，为了使油具有良好的流动性，应使用粘度较小的润滑油。用手工加油润滑时，为避免油过快流失，应使用粘度较大的润滑油。在压力循环润滑中，油温较

高，应使用粘度较大的润滑油。

三、常见润滑方法

1. 手工加油润滑

润滑油、脂通过人工使用油枪、油壶，经分散的油杯注入摩擦表面，或者直接将油加到摩擦表面的方法称为手工加油润滑法。这种方法常使用在轻负荷、低速度的摩擦部位，如开式齿轮、链条、钢丝绳等处，也用于一些普通车床、铣床、牛头刨床、卧镗等设备的导轨润滑。它具有方法简单的优点，但存在加油不及时，就容易造成设备零件磨损；润滑油、脂利用率较低，油的进给不均匀等弊病。使用这种润滑方法的部位，关键是要注意及时加油。

2. 滴油润滑

滴油润滑是通过针阀滴油油杯控制滴油量，使注入其中的润滑油，能利用自重一点一滴地向摩擦表面滴入。这种方法常使用在数量不多，而又容易靠近的摩擦部位，如滑动轴承、滚动轴承、链条、导轨等处。使用滴油润滑必须注意保持容器内的油位，不得低于最高油位的 $1/3$ 高度，定期清洗油杯，采用经过过滤的润滑油，防止针阀阻塞。

3. 飞溅润滑

这种方法通常是依靠旋转的机械零件，或者附加在轴上的甩油盘、甩油片，把油池中的油通过飞溅的形式，推到容器壁上，靠集油孔、槽的形式来润滑摩擦部位。它具有封闭润滑，防止沾污，循环润滑，省油防漏，作用可靠，维护简单的优点。常用在齿轮箱、蜗轮蜗杆机构、链条传动等处。使用这种方法进行润滑必须保证油池中规定的油位，并要定期换油。

4. 油环、油链及油轮润滑

这种润滑方法是把油环或者油链套在轴上自由旋转，或者将油轮固定在轴上随轴旋转，油环、油链、油轮部分浸泡在油池之中。当轴旋转时，它们就会将油带入摩擦表面，形成自动润滑。与飞溅润滑方法相类似，它具有循环润滑，作用可靠，维护简单的特点。当主轴密封圈保持紧密和弹性时，也不会产生漏油，或油受沾污的现象。使用中要注意，必须保证油池中的油位，并进行定期换油。显然，此种方法只适合对处于水平方向上的主轴轴承进行润滑。

5. 油绳、油垫润滑

当将油绳、毡垫或泡沫塑料等物的一部分浸在油内时，自身就会产生毛细管作用，出现虹吸现象，连续不断地向摩擦表面供油。这种润滑方式供油均匀，具有过滤作用，常用在低速、轻负荷的轴套和一般机械上。使用这种润滑方法要注意油绳、油垫一般不要和摩擦表面接触，以防被卷入摩擦副内。要定期清洗或者更换油绳、油垫，以免变脏被堵，丧失毛细管作用。要经常保持油位处于正常高度。更换油绳不能打结。

6. 强制送油润滑

这种润滑方法是利用装在设备内油池上的小型柱塞泵，通过机械传动装置的带动进行工作，把润滑油从油池送入摩擦部位。它具有维护简单，供油随设备的起闭而起闭，自动均匀的特点。常用在金属切削和锻压等设备上。对于这种润滑方法，要注意保持装置内的清洁，要按规定油位加油，润滑油应经过过滤，防止泵吸入油池中的沉淀物，堵塞油路。

7. 压力循环润滑

压力循环润滑通常是利用油泵，将循环系统的润滑油加压到一定的工作压力，然后输送到各润滑部位。使用过的油

经回油管送到油箱过滤后，又继续循环使用。一般由电机、油泵、油箱、滤油器、分油器、分油槽、油管及控制器件等组成。系统装置虽然比较复杂，但能均匀连续供油，油量充足，经久耐用。适于重负荷的主要摩擦表面的润滑。使用这种润滑方法，要求管道畅通，无泄漏，油箱要保持规定油位。

8. 集中润滑

集中润滑是用一个位于中心的油箱和油泵及一些分配阀，分送管道，每隔一定的时间，输送定量油、脂到各润滑点。它可以通过手工进行操作，也可以通过专用装置在调整好的时间内，自动配送油、脂。这种方法供油均匀，有周期性，可靠安全，但系统比较复杂，要求油路系统畅通，润滑油、脂清洁，保持规定油位。

此外，还有利用压缩空气通过喷嘴把润滑油喷出雾化，对摩擦副进行润滑的油雾润滑，和选用自身具有润滑作用的材料制作摩擦副零件的内在润滑等润滑方法，由于在普通设备中不常用，因此这里就不作过多介绍。

四、常见润滑油、脂的应用

1. 润滑油的应用

常用润滑油的主要性质和用途见表 1-13。

(1) 机械油的一般用途

1) L-AN5、L-AN7、L-AN10 粘度等级的机械油属于轻质润滑油，主要应用于高速轻负荷机械摩擦件的润滑。例如，L-AN5 粘度等级的机械油可用于转速达 12000r/min 以上的高速轻负荷机械设备的轴承、主轴处。L-AN7 粘度等级的机械油可用于转速达到 8000~12000r/min 的高速轻负荷机械设备的轴承、主轴处。L-AN10 粘度等级的机械油可

表 1-13 常用润滑油的主要性质和用途

名 称	代 号	运动粘度 (40℃) / (mm ² /s)	闪点 (开口) / (℃)	倾点 (不高于) / (℃)	主 要 用 途
L-AN 全损耗 系统用油 (GB443—89)	L-AN 5	4.14~5.06	80	-5	适用于对润滑油无特殊要求的全损耗润滑系统, 不适用于循环润滑系统。常用于对润滑油无特殊要求的锭子、轴承、齿轮和其他低负荷机械等部件的润滑
	L-AN 7	6.12~7.48	110		
	L-AN 10	9.00~11.00	130		
	L-AN 15	13.5~16.5	150		
	L-AN 22	19.8~24.2			
	L-AN 32	28.8~35.2			
	L-AN 46	41.4~50.6	160		
	L-AN 68	61.2~74.8			
	L-AN 100	90.0~110	180		
	L-AN 150	135~165			
L-HL 液压油 (GB1118—89)	L-HL 15	13.5~16.5	155	-9	适用于机床和其他设备的低压齿轮泵, 也可用于其他抗氧防锈型润滑油的机械设备, 如轴承和齿轮等
	L-HL 22	19.8~24.2	165	-6	
	L-HL 32	28.8~35.2	175		
	L-HL 46	41.4~50.6	185		
	L-HL 68	61.2~74.8	195		
	L-HL 100	90~110	205		
L-HM 液压油 (GB1119—89)	L-HM 22	19.8~24.2	165	-15	主要适用于钢-钢摩擦副的液压油泵, 如用于重负荷、中压、高压的叶片泵、柱塞泵和齿轮泵的液压系统
	L-HM 32	28.8~35.2	175		
	L-HM46	41.4~50.6	185	-9	
	L-HM 68	61.2~74.8	195		
工业齿轮油 (SY1172—80) ^①	50	45~55	170	-5	适用于工业设备齿轮的润滑
	70	65~75			
	90	80~100			
	120	110~130	190		
	150	140~160			
	200	180~220	200		
	250	230~270			
	300	280~320	220	0	
	350	330~370			

(续)

名 称	代 号	运动粘度 (40℃) / (mm ² /s)	闪点 (开口) / (℃)	倾点 (不高于) / (℃)	主 要 用 途
中负荷工 业齿轮油 (GB5903—86)	N68	61.2~74.8	180	-8	适用于煤炭、水泥 和冶金等工业部门的 大型封闭式齿轮传动 装置的润滑
	N100	90~100			
	N150	135~165	200		
	N220	198~242			
	N320	288~352			
	N460	414~506			
	N680	612~748	220	-5	
普通开式 齿轮油 (SY1232—85)②	68	60~75	200		主要适用于开式齿 轮、链条和钢丝绳的 润滑
	100	90~110			
	150	135~165			
	220	200~245	210		
	320	290~350			
主轴油 (SY1229—82)	N2	2.0~2.4	60	-15③	主要用于精密机床 主轴轴承的润滑及其 他以压力、油浴、油雾 润滑的滑动轴承或滚 动轴承的润滑。其中 L-AN5、L-AN7 号 也 用作纺织工业高速锭 子用油, L-AN10 号 也可用作普通仪表轴 承用油和缝纫机用 油, L-AN15 和 L- AN22 号 也可作中、 低压液压系统用油或 其他精密机械用油
	N3	2.9~3.5	70		
	N5	4.2~5.1	80		
	N7	6.2~7.5	90		
	N10	9.0~11.0	100		
	N15	13.5~16.5	110		
	N22	19.8~24.2	120		
仪表油 (GB487—84)		9~11	125	-60③	适用于各种仪表 (包括低温操作)的 润滑

① 该标准经 1988 年确认, 继续执行。标准中的运动粘度是 50℃ 时的运动粘度。

② 该标准中的运动粘度是 100℃ 时的运动粘度。

③ 数值为凝点。

用于转速在 $5000 \sim 8000 \text{r/min}$ 范围之内的高速轻负荷机械设备的轴承、主轴处。L-AN5、L-AN7、L-AN10 粘度等级的机械油还可作为调配其他油品的基础油。

2) L-AN15 粘度等级的机械油，主要适用于转速在 $1500 \sim 5000 \text{r/min}$ 范围之内，较轻负荷机械设备的轴承及主轴处的润滑。可作为系统压力较低的，中小型普通机械设备的液压系统冬季用油。

3) L-AN22 粘度等级的机械油，主要适用于转速在 $1200 \sim 1500 \text{r/min}$ 范围之内，较轻负荷机械设备的轴承及主轴处的润滑。可作为系统压力较低的普通机械设备的液压系统用油。

4) L-AN32 粘度等级的机械油，主要适用于转速在 $1000 \sim 1200 \text{r/min}$ 范围之内，轻中负荷机械设备的轴承、主轴、齿轮等处润滑。广泛作为普通机械设备的液压系统用油。例如，可作为小型车床、立钻、台钻、风动工具的齿轮箱及小型磨床、液压牛头刨床的液压箱用油。

5) L-AN46 粘度等级的机械油，主要适用于转速在 1000r/min 以下，中等速度、中等负荷机械设备的轴承、主轴、齿轮及其他摩擦件的润滑。其应用非常广泛。例如，C620 卧式车床、X62W 万能铣床、Z35 摇臂钻床等机械设备的各齿轮箱及各油孔注油处，都使用的是 L-AN46 粘度等级的机械油。

6) L-AN68 粘度等级的机械油，主要适用于速度较低，负荷较重的机械设备的润滑。例如，立式车床、大型铣床、龙门刨床的传动装置的润滑以及小型吨位的锻压设备、桥式吊车减速器、木工机械设备的润滑都应使用 L-AN68 粘度等级的机械油。

7) L-AN100、L-AN150 粘度等级的机械油，主要适用于速度低，负荷重的重型机械设备的传动部位及注油容易流失的摩擦件上的润滑。

(2) 机械油在普通机械设备上的应用举例：普通机械设备在常温环境下工作，不与水蒸气、腐蚀性气体接触，选用润滑油的主要技术指标是粘度。因此，一般都使用机械油进行润滑。

下面以常用的 C616、C620、C630、X51、X62W、B650、B690、M7120、M120W、Z35、G72 普通机床的各主要部件选用的用油粘度等级为例，来说明机械油在普通机械设备上的应用规律。以便于读者在实际工作中能迅速查阅，并且对其他设备进行类比选择，如表 1-14 所示。

由表 1-14 中可以看出：

1) 普通机械设备的主轴箱、进给箱、溜板箱、变速箱一般都采用了 L-AN46 粘度等级的机械油进行润滑。

2) 普通机械设备的导轨、丝杠及一般润滑点的润滑，大也都采用了 L-AN46 粘度等级的机械油。

3) 磨头主轴采用滑动轴承结构时，其润滑一般使用体积分数为 10% 的 L-AN15 粘度等级的机械油掺配体积分数为 90% 的煤油而成的机械油，或者 L-AN5、L-AN7 粘度等级的机械油。

(3) 典型部件用油润滑的特点

1) 在滚动轴承之中，既有滚动体在滚道内的滚动摩擦，也有滚动体和滚道之间、滚动体和保持架之间、保持架和内外圈之间的滑动摩擦。如果轴承润滑不良，在高速旋转的情况下，就会使轴承出现磨损、升温、烧伤，直至全部损坏等情况。如果用油选择不当，粘度选择过小，在轴承滚动体承

表 1-14 常用普通机床主要部件用油粘度等级选用表

设备类型 部件名称	C616 卧式车床	C620 卧式车床	C630 立式车床	X51 立式铣床	X62W 万能铣床	B650 牛头刨床	E690 液压刨床	M7120 平面磨床	M120W 万能磨床	Z35 摇臂钻床	G72 弓形锯床
主 轴 箱	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46			L-AN32	L-AN46	
进 给 箱	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46		L-AN46			L-AN46	
溜 板 箱	L-AN46	L-AN46	L-AN46								
变 速 箱	L-AN46					L-AN46					
尾 座	L-AN46	L-AN46	L-AN46						L-AN46		
导 轨	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN32	L-AN46	L-AN46	
托 架	L-AN46	L-AN46	L-AN46								
刀杆支架					L-AN46						
丝 杠	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN32	L-AN46	L-AN46	
磨头主轴								10%的 N15 混	L-AN7		
摇杆机构						L-AN46					
液压系统							L-AN32	L-AN32	L-AN32		L-AN32
一般润滑	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN46	L-AN32	L-AN46	L-AN46	L-AN46

注：体积分数为 10% 的 N15 混是指用体积分数为 10% 的 N15 粘度等级的机械油掺配体积分数为 90% 的煤油而成的机械油。

受的单位面积压力很大的时候，就容易造成润滑油膜断裂，产生磨损加剧的现象。润滑油粘度选择过大，轻则会增大轴承的摩擦阻力，使油温升高；重则会影响油向摩擦表面之间的流动，难以形成油膜，反而对轴承有害。因此，滚动轴承对润滑油的主要要求是，必须具有足够的粘度和较好的稳定性。

对于使用机械油的滚珠及圆柱滚子轴承，在中、低速及常温条件下，一般可以选用 L-AN22、L-AN32、L-AN46 粘度等级的油。转速高、内径大的轴承可以选用粘度略低一点的油。转速低、内径小的轴承可以选用粘度略高一点的油。

对于圆锥滚子轴承、调心滚子轴承和推力调心滚子轴承，由于同时要受到径向和轴向载荷，所以在同一温度条件下，这类轴承比滚珠和圆柱滚子轴承需要用较高粘度的油。在常速、常温条件下，圆锥滚子轴承和调心滚子轴承用油粘度最低限制为 L-AN32 粘度等级的机械油；推力调心滚子轴承用油粘度最低限制为 L-AN46 粘度等级的机械油。

滚针轴承由于具有较大的滑动摩擦，更需要有效地润滑，所以用油的粘度等级与同规格、同速度的滚珠轴承相比较，通常应适当低一点。

关于用油量问题，若用油箱润滑，对于转速在 1500r/min 以下的轴承，允许油位高达下面的一个滚动体的中心线。对于转速在 1500~3000r/min 的轴承，油位要明显低于最下面的一个滚动体中心线，但要接触到滚动体才行。若进行滴油润滑，在一般情况下，最低不能少于每分钟 3~4 滴。

2) 滑动轴承用油润滑时, 油的粘度等级选择与轴颈直径的大小, 轴的旋转速度以及轴承单位面积上载荷的大小有关。在常用普通机械设备上的滑动轴承中, 单位面积载荷在 0.49MPa 以下时, 可以采用 L-AN15, L-AN22, L-AN32 粘度等级的机械油进行润滑。单位面积载荷在 $0.49 \sim 6.37\text{MPa}$ 范围之内时, 可以采用 L-AN32、L-AN46、L-AN68 粘度等级的油进行润滑。转速高、轴颈直径大的轴承, 用油粘度需低一点。转速低, 轴颈直径小的轴承, 用油粘度适当高一点。

3) 齿轮传动的润滑, 主要应考虑轮齿间的正确润滑。至于齿轮箱中的其他件, 如轴承等, 一般都是和齿轮用同一种油进行润滑。

由于轮齿间的实际接触应力往往很高, 齿面上每一点的啮合时间又较短, 而且在啮合时滑动与滚动运动相间发生, 因此自动形成液体油膜的作用非常微弱。齿轮的润滑主要是依靠边界油膜实现。这样, 润滑齿轮的油必须具有较高的粘度和较好的油性。负荷越大, 选用油的粘度应越大; 速度越高, 选用油的粘度应越小; 工作环境的温度越高, 选用油的粘度应越大。除了要具有合适的粘度以外, 齿轮润滑油还应具有良好的稳定性, 良好的低温流动性, 良好的抗泡沫性, 良好的防锈性能和良好的抗负荷性能。

对于普通机械设备上的闭式齿轮, 常采用 L-AN46 粘度等级的机械油进行润滑, 就可以满足使用要求。对于难以获得油膜润滑的较大负荷的齿轮, 应采用粘度更大一些, 并且含有添加剂的齿轮油。例如, 在冲击负荷的齿轮上, 要用铅皂或者含硫添加剂的齿轮油。蜗轮传动装置要用含有动物油油性添加剂的齿轮油。开式齿轮要用易于粘附的高粘度含胶

质沥青的齿轮油。

4) 对机床导轨进行合理润滑, 可以长期稳定地保持导轨的几何精度, 延长导轨寿命, 提高机床的运动精度, 提高被加工零件的精度, 并且使被加工零件的表面粗糙度变细。

一般工作条件下的滑动导轨都是采用机械油进行润滑。用油粘度应按导轨的负荷大小, 速度高低, 是卧式还是立式, 环境温度偏低还是偏高等情况进行选择。表 1-15 中给出了普通机床和重型机床常见用油的粘度等级, 可参考使用。

表 1-15 机床滑动导轨常见用油粘度等级选用表

导轨型式	润滑方式	普通机床		重型机床	
		冬春季	夏秋季	冬春季	夏秋季
卧式导轨	手工加油	L-AN32	L-AN46	L-AN46	L-AN68
	压力循环	L-AN46	L-AN68	L-AN68	L-AN100
立式导轨	手工加油	L-AN46	L-AN68	L-AN68	L-AN100

在选择导轨用油时, 值得注意的一个问题是要有利于克服导轨在低速运动条件下产生的爬行现象。爬行现象产生的原因虽然很多, 但是导轨之间动摩擦系数和静摩擦系数之间的差值过大是一个重要因素。从润滑方面来说, 适当地加大用油粘度, 或者加入一些添加剂, 使润滑油具有良好的油性和吸附性, 提高油膜的强度, 可以明显减小动、静摩擦系数之间的差值, 提高导轨的抗爬行性能。常用防爬油是在 L-AN68 粘度等级的机械油中加入体积分数为 5% 的硫化棉子油, 或者加入体积分数为 5% 的硫化鲸鱼油, 或者加入体

积分数为 0.3% 的硬脂酸等油性添加剂，效果都比较好。

5) 链条润滑的特点是润滑点多，冲击载荷大，传动中若速度较高容易将油甩出，而且润滑油只能通过链片之间和链片与滚子端面之间的间隙进入销轴与滚子之间，增加了润滑的难度。因此，传动链条对油的要求是：必须具有较好的油性，较高的渗透性和抗氧化稳定性。这样，使油不但能渗透到各个摩擦表面，而且不被甩出、挤掉，在与空气接触的情况下能延缓氧化速度。

对于不同润滑方法的传动链条，在维护保养中应注意，手工加油润滑只适用于链速小于 4m/s 的不重要的传动之中，每隔 15~25h 就应用油壶或油刷加油一次。滴油润滑只适用于链速小于 10m/s 的传动之中，要求将滴油针阀位置调整准确，使油一定要滴到链片上。油浴润滑适用于链速在 $6\sim 12\text{m/s}$ 的传动之中，链条浸入油池的深度应不超过链片高度，或者链轮的齿高。

在选择用油时，应根据链条的传动速度，工作温度以及给油方法等情况综合确定。一般情况可参考表 1-16 确定用油粘度等级。

2. 润滑脂的主要应用

(1) 常用润滑脂的应用特点

1) 钙基润滑脂是以动植物脂肪钙皂稠化矿物油，以水作稳定剂而制得的润滑脂。主要特点是耐水性较强。耐温性较差。在高温和低温下都会使其润滑性能丧失。使用温度范围在 $-10\sim 60^\circ\text{C}$ ，潮湿或者有水环境，转速在 1500r/min 以下的，中等负荷的机械设备上。按工作锥入度的大小，钙基润滑脂共分为 1 号、2 号、3 号、4 号四个品种。

表 1-16 链条传动常见用油粘度等级

润滑方法	链条速度 (m/s)	环境温度 (℃)		
		<4	4-38	>38
人工加油	<1	L-AN46	L-AN68	L-AN68
	1~4	L-AN68	L-AN68	L-AN100
滴油润滑	<10	L-AN68	L-AN68	L-AN100
油浴润滑	<6	L-AN46	L-AN68	L-AN68
	6~12	L-AN68	L-AN68	L-AN100

2) 复合钙基润滑脂是以乙酸钙复合的脂肪酸钙皂稠化矿物油而制成的润滑脂。这种脂具有较好的机械安定性和胶体安定性,适用于较高温度及潮湿条件下工作的机械设备摩擦件的润滑。例如,在水泵、农机、汽车、锻压设备上应用比较广泛。按工作锥入度的大小,复合钙基脂共分为 1 号、2 号、3 号、4 号四个品种。1 号脂可在 150℃ 条件下工作,2 号脂可在 170℃ 条件下工作,3 号脂可在 190℃ 条件下工作,4 号脂可在 210℃ 条件下工作。

3) 钠基润滑脂是以动植物脂肪钠皂稠化矿物油而制得的润滑脂。主要特点是能耐较高温度,机械安定性良好,但是不耐水,遇水就会乳化,胶体安定性较差。这种脂广泛使用在高中负荷、低中转速、较高温度,环境干燥的机械设备上。按工作锥入度的大小钠基润滑脂共分为 2 号、3 号、4 号三个品种。2 号、3 号可在 110℃ 条件下工作,4 号脂可在 120℃ 条件下工作。

4) 钙钠基润滑脂是用钙、钠皂稠化矿物油而制得。其特点是耐水性能比钠基润滑脂强,但不如钙基润滑脂;耐温性能比钙基润滑脂强,但不如钠基润滑脂。适于工作温度在

80~100℃以下，中等负荷、中等转速、比较潮湿，但不与水直接接触的环境中工作的机械设备上使用。按工作锥入度的大小，钙钠基润滑脂分为1号、2号两个品种。

(2) 滚动轴承用脂润滑的特点：滚动轴承用脂润滑，虽然效果不如用油润滑好，但是具有维护保养简单，便于密封的特点。能适用于中等负荷、中低转速、环境恶劣的情况。因此，在普通机械设备中，应用比较广泛。轴承用脂润滑时，主要应考虑转速的快慢，工作温度的高低，工作环境的情况如何等因素。只有根据润滑脂的特点做到使用合理，才能保证轴承正常工作。

关于用脂量的多少，与轴承旋转速度的大小有着直接联系。转速在1500r/min以下时，用脂量可为2/3轴承腔。转速在1500~3000r/min时，用脂量可为1/2轴承腔。转速在3000r/min以上时，用脂量不能超过1/3轴承腔。如果用脂量过大，就会明显增大轴承运动阻力，造成轴承温度过高，影响轴承的工作能力。

滚动轴承的换脂周期一般都是和设备二级保养的周期相同。也允许根据轴承的实际运转情况决定，只要定期进行补充，直到拆修时进行换脂。补充新脂的周期与轴承的类型、大小，转速、工作条件有关，设备的使用说明书上都会有具体要求，这里就不再详述。

3. 常见特种润滑油的应用特点

(1) 冷冻机油的特点：冷冻机油的凝固点比较低，粘度比较小，具有良好的抗氧化安定性。按照40℃时的运动粘度分为L-AN15、L-AN22、L-AN32、L-AN46、L-AN68共五个等级。主要用于冷冻机的气缸、活塞等处的润滑。

1) L-AN15粘度等级的冷冻机油适用于以氨、二氧化

碳为冷冻剂的冷冻机润滑。

2) L-AN22 粘度等级的冷冻机油适用于以二氯二氟甲烷、氟里昂 12 为冷冻剂的冷冻机润滑。

3) L-AN32 粘度等级的冷冻机油适用以氟里昂 22 为冷冻剂的冷冻机润滑，或者要求粘度较高的氨冷冻机的润滑。

4) L-AN46、L-AN68 粘度等级的冷冻机油适用于排气温度在 145°C 左右，要求润滑粘度大、闪点高的大型冷冻机的润滑。

(2) 压缩机油的特点：压缩机油具有较高的稳定性，油不易氧化积炭、闪点高、粘度大、不易挥发的特点。按照 100°C 时的运动粘度分为 13 号油和 19 号油两个品种。

1) 13 号压缩机油主要用于卧式鼓风机和压力在 4MPa 以下的低中压压缩机的润滑。

2) 19 号压缩机油主要用于高压多级压缩机的润滑。

(3) 合成锭子油的特点：合成锭子油是一种凝点可达 -45°C ，具有良好的润滑性，氧化安定性和防腐性的高级润滑油。在 20°C 时的运动粘度不大于 $49\text{mm}^2/\text{s}$ ， 50°C 时的运动粘度为 $12\sim 14\text{mm}^2/\text{s}$ 。主要用作纺织机锭子润滑及普通机械设备液压传动系统的液压用油和以氨、二氧化碳为冷冻剂的冷冻机润滑。

五、润滑油、脂的简易鉴别

设备维修中，经常需要判断润滑油、脂的质量好坏，及其对设备运动情况、故障原因的影响。在没有条件分析化验时，采用一些简易鉴别方法，显然很有必要。

1. 润滑油的简易鉴别

(1) 粘度的检验：通常是把设备已经使用的润滑油和设备需要使用的标准粘度的润滑油，利用对比法进行检验，以

判定是否需要换油。

1) 在一块干净的玻璃片上，分别滴上一滴待检润滑油和标准润滑油。滴油时，要将玻璃片放平。滴好油后，再将玻璃片倾斜，注意比较两种油滴流下来的速度和流的距离。流速大、流的距离远的，相对而言油的粘度就比较小。如果流速大致相同，流的距离比较接近，则两种油的粘度等级就可能相同或者接近。

2) 使用两个直径和长度相同的玻璃试管，一个装入待检润滑油，另一个装入标准润滑油。要求两个试管内的油装成同样高度，且不得装满，留出一个气泡。然后用木塞堵住试管口，将两个试管联接在一起，同时迅速倒置 180° ，观察试管内气泡上升的速度。气泡上升速度快的试管内装入的润滑油，粘度就比较小；气泡上升速度慢的试管内装入的润滑油，粘度就比较大。

如果要判断待检油接近那一种牌号的油，可以用几种已知牌号的油分别与待检油进行对比。当两者气泡上升速度接近时，就可以从粘度上来说，两种油的质量接近。

(2) 水分的检验

1) 把待检油放入干燥的试管内，然后在试管底部加热至 $100\sim 120^\circ\text{C}$ 左右，边加热边观察。如果有水分存在于油液之中，就会发生声响，产生泡沫，或在管壁上出现凝结的水珠，以及油液变成混浊状态等。

2) 把待检油放入试管内，然后加入少量的白色粉末状的无水结晶硫酸铜。如果油液中有水，立即会变成兰色，并沉淀在试管底部。

3) 用干净、干燥的棉纱浸沾待检油后用火点燃。如果油中有水，就会发生爆炸声或闪光现象。

(3) 机械杂质的检验

1) 粘度小的油可直接注入试管，稍加温后静止观察。如果看到有沉淀或者悬浮物，说明油中有机械杂质。

2) 粘度较大的油可用干净的汽油稀释 5~10 倍，按上述方法进行观察。也可稀释后用滤纸进行过滤，若有机机械杂质，就会留存于滤纸上。

(4) 是否发生氧化变质的鉴别：润滑油经过长期使用，受到空气和其他介质的影响，会逐步发生氧化，出现变质现象，产生许多沥青质和胶质沉淀。当氧化变质到一定程度时，润滑油就不能继续使用，需要更换新油。

判断润滑油是否发生了严重的氧化变质情况，可以取油箱底部的沉淀油泥，放在食指和拇指之间相互摩擦，如果感觉到胶质多，粘附性强，则说明被检润滑油是发生了严重的氧化变质现象。如果只是油泥较多，却粘附性弱时，则说明油不干净。判断时，还应了解前次换油是否彻底清洗油箱，近期内设备是否发生爬行现象，手动操纵是否有沉重现象等情况。通过综合分析就可以比较准确地判断清楚被检油是否发生了严重的氧化变质现象。

2. 润滑脂的简易鉴别

设备维护保养过程中，对润滑脂的质量鉴别，主要是看有无性质变化，是否混有杂质。

(1) 润滑脂纤维网络结构是否发生破坏的鉴别：润滑脂纤维网络结构如果发生破坏现象就会失去附着性，使润滑性能降低。

鉴别时，可以将润滑脂涂在一块干净的铜片上，然后放入装有水的大口容器中进行转动。经过多次转动，如果水面上出现油珠，则说明被检脂的纤维网络结构已有所破坏。显

然这种方法只适于对耐水的润滑脂进行鉴别。

(2) 抗水性能鉴别：用脂时，如果不清楚抗水性能如何，可用手指取少量脂，滴上一点水，稍加捻压，如果被检脂迅速发生乳化现象，则可判断为是钠基润滑脂。如果没有发生乳化现象，则可判断为是钙基润滑脂或者是锂基润滑脂，或者是钡基润滑脂。如果乳化缓慢而不完全，则可判断为是钙钠基润滑脂。

(3) 有无杂质的鉴别

1) 用手指取少量脂进行捻压，通过感觉判断被检脂中是否混有硬颗粒。

2) 将润滑脂均匀地涂在干净的玻璃片上，涂层厚度刮薄在 0.5mm 左右，放在光亮处进行观察，判断被检脂中是否混有颗粒状杂质。

3) 取少量脂放入试管中，加入汽油进行溶解，观察有无沉淀物产生。

(4) 是否发生氧化变质的鉴别：发生氧化变质的润滑脂，从外观上就可看的很清楚。这时，脂的颜色变黑或者加深，并且表面会形成较硬的胶膜。

第二章 机械设备的拆卸

第一节 拆前准备

任何机械，修理前都不能急于拆卸。首先必须进行拆前静态与动态检查以及诊断运转工作，为故障分析提供尽可能多的资料。在故障分析的基础上，制定初步的修理项目和修理方案后，才能进行零件拆卸。否则，盲目进行拆卸，只会事倍功半，造成返修。甚至导致设备精度下降，或者损坏零部件，引起新的故障发生。

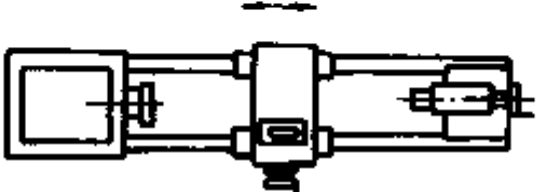
一、拆前检查

拆前检查主要是通过检查机械设备静态与动态下的状况，弄清设备的精度丧失程度和机能损坏程度。

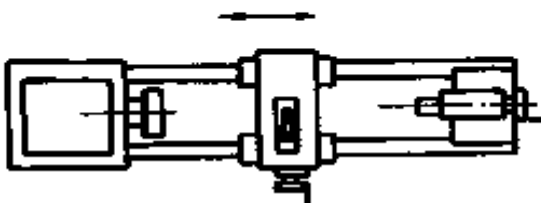
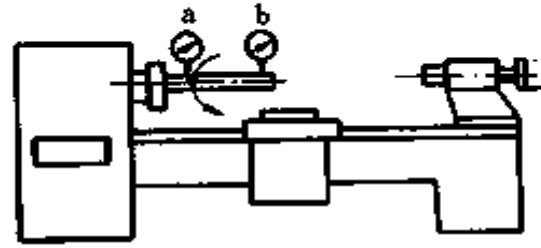
(1) 机械设备的精度状态主要是指设备运动部件主要几何精度的精确程度。对于金属切削机床来说，它反映了设备的加工性能。对于机械作业性质的设备主要反映了机件的磨损程度。

下面以中、小型卧式车床主要精度项目的检查方法为例，说明机械设备的精度检查方法。如表 2-1 所示。

表 2-1 中小型卧式车床主要精度项目检查方法

①溜板移动 在垂直平面内 的直线度误差		出厂允差
		全行程上误差不超过 0.02mm (导轨只许凸)

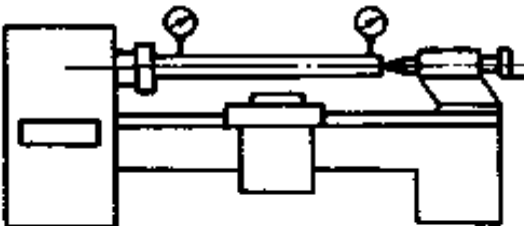
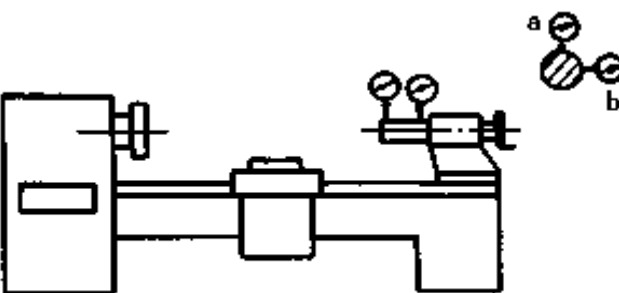
(续)

检查方法	<p>将刀架移到顶尖中心线附近。在溜板上靠近刀架的地方放一个与床身导轨平行的水平仪。移动溜板，每隔 500mm 或小于 500mm（但都须小于溜板长度）记录一次水平仪的读数。在溜板全部行程上至少记录三个读数后，按水平仪读数画出溜板的运动曲线，运动曲线和它两端点连线间的最大坐标值就是全部行程上的直线度误差</p>	<p>检查允差</p> <p>全行程上误差不超过 0.04mm（导轨允许凹）为完好</p>
②溜板移动时的倾斜度误差		<p>出厂允差</p> <p>全行程上误差不超过 0.02/1000</p>
检查方法	<p>将水平仪放在溜板上，方向和床身导轨垂直。移动溜板，每隔 500mm 或小于 500mm（但都须小于溜板长度）记录一次水平仪的读数。在溜板全部行程上至少记录三个读数。水平仪在全部行程上读数的最大代数差就是溜板移动时的倾斜度误差值</p>	<p>检查允差</p> <p>全行程上误差不超过 0.05/1000 为完好</p>
③主轴锥孔中心线的径向圆跳动		<p>出厂允差</p> <p>误差在 a 处不超过 0.01mm，在 b 处不超过 0.02mm</p>
检查方法	<p>在主轴锥孔中紧密地插上一根合适的检验棒，使千分表测头顶在检验棒的表面上。旋转主轴，分别在靠近主轴端部的 a 处和距离 a 处 300mm 的 b 处检验径向圆跳动。在测量处，千分表读数的最大差值就是该处径向圆跳动的数值</p>	<p>检查允差</p> <p>误差在 a 处不超过 0.01mm，在 b 处不超过 0.025mm 为完好</p>

(续)

④溜板移动对主轴中心线的平行度误差		<p>出厂允差</p> <p>300mm 长度上, 误差在 a 处不超过 +0.03mm (只许向上偏), 在 b 处不超过 +0.015mm (只许向前偏)</p>
检查方法	<p>在主轴锥孔中紧密地插上一根合适的检验棒。将千分表固定在溜板上, 使千分表头顶在检验棒的表面上。移动溜板, 分别在 a 上母线和 b 侧母线上检验。a、b 的测量结果分别以千分表读数的最大差值表示。然后, 将主轴旋转 180°, 再同样测量一次。a、b 的误差分别计算。两次测量结果的代数和的一半就是溜板移动对主轴中心线的平行度误差</p>	<p>检查允差</p> <p>300mm 长度上, 误差在 a 处不超过 ± 0.03 mm, 在 b 处不超过 ± 0.015 mm 为完好</p>
⑤主轴的轴向窜动		<p>出厂允差</p> <p>误差不超过 0.01mm</p>
检查方法	<p>在主轴锥孔中紧密地插入一根短检验棒。将千分表固定在机床上, 使千分表测头顶在放入检验棒顶尖孔的钢球表面上, 旋转主轴检验。千分表读数的最大差值就是轴向窜动的数值</p>	<p>检查允差</p> <p>误差不超过 0.01mm 为完好</p>
⑥主轴定心轴颈的径向圆跳动		<p>出厂允差</p> <p>误差不超过 0.01mm</p>

(续)

检查方法	将千分表固定在机床上, 使千分表测头顶在主轴定心轴颈的表面上, 旋转主轴检验。千分表读数的最大差值就是径向圆跳动的数值	检查允差 误差不超过 0.01mm 为完好
⑦ 主轴锥孔的中心线和尾座顶尖套锥孔中心线对床身导轨的等高度误差		出厂允差 误差不超过 + 0.06mm (只许尾座高)
检查方法	将顶尖套完全退入尾座内, 在两顶尖间顶紧一根长度大约等于最大顶尖距的 1/2 的检验棒, 将千分表固定在溜板上, 使千分表测头顶在检验棒的上母线上。移动溜板, 在检验棒的两端检验, 千分表在两端读数的差值就是等高度的误差值	检查允差 误差不超过 \pm 0.06mm 为完好
⑧ 溜板移动对尾座顶尖套伸出方向的平行度误差		出厂允差 50mm 长度上, 误差在 a 处不超过 + 0.008mm, (只许向上偏), 在 b 处不超过 + 0.005mm (只许向前偏)
检查方法	将尾座顶尖套伸出到最大伸出长度的一半固定住。将千分表固定在溜板上, 使千分表测头顶在顶尖套的表面上。移动溜板, 分别在 a 上母线和 b 侧母线上检验。a、b 的误差分别计算。千分表读数的最大差值就是平行度误差	检查允差 50mm 长度上, 误差在 a 处不超过 \pm 0.015mm, 在 b 处不超过 \pm 0.01mm 为完好

(续)

⑨机床工作精度检查	精车外圆的几何精度 出厂允差：锥度误差不超过 0.01/100，线轮廓度误差不超过 0.01mm 精车端面的几何精度 出厂允差：平面度误差不超过 0.02/300（只许凹）	精车外圆的几何精度 检查允差：锥度误差不超过 0.015/100，线轮廓度误差不超过 0.01mm 为完好 精车端面的几何精度 检查允差：平面度误差不超过 0.03/300（只许凹）为完好
-----------	---	---

从中、小型卧式车床主要精度项目的检查方法中可以看出：

1) 有滑动导轨的机械设备一般借助水平仪检查导轨的直线度误差，以确定导轨的磨损程度。各部件间的平行等高精度应借助检验棒和千分表来确定其误差值。

2) 作旋转运动的部件通过千分表与检验棒就可测量其径向圆跳动值和轴向窜动值，以确定旋转部件中轴承的磨损情况。

3) 对于金属切削机床来说，工件的加工几何误差是机床精度状态能否满足生产工艺要求的综合反映。在机床的拆前检查中应该重视工件加工误差的分析。

(2) 机械设备的机能状态，是指设备能完成各种功能动作的状态。它主要包括五项内容：

- 1) 传动系统是否运转正常，变速齐全。
- 2) 操作系统动作是否灵敏可靠。
- 3) 润滑系统是否装置齐全、管道完整、油路畅通。
- 4) 电气系统是否运行可靠、性能灵敏。
- 5) 滑动部位是否运转正常、各滑动部位有无严重的拉、研、碰伤及裂纹损坏。

在检查中，应确定机械设备的每项机能是受到严重损坏；

还是受到一般损坏；是否具有主要机能；还是设备机能能满足生产工艺要求；或者设备机能完全、可靠、能达到出厂水平。必须将具体存在的问题及潜在的问题都进行整理登记。

二、诊断运转

诊断运转主要是通过空载运转和负载运转，诊断机械设备在使用中存在的重点问题。在诊断中应该结合操作者提供的情况反映、日常操作记录、检修零件更换表，事故分析和日常维修档案重点进行故障诊断。

1. 空载运转诊断

主要是由人的感官通过听、视、嗅、触诊断设备故障。其主要内容如下所述。

(1) 对设备齿轮箱中，传动齿轮的异常噪声进行诊断。空载运转中应逐级变速进行判断。如果某一级速度的噪声异常，则可以初步认定与这一级速度有关的零件，如齿轮、轴、轴承、拨叉等可能有较严重的损坏或磨损。然后再打开齿轮箱盖，作进一步检查。查看轮齿的外观质量是否有失效现象，如断裂、变形、点蚀、磨损等情况发生。用千分表测量齿轮轴是否发生弯曲现象，检查轴承间隙是否过大等。

(2) 诊断轴承旋转部位或滑动部件间发热的原因。例如，滑动轴承发热，主要是由于轴瓦或轴颈磨损严重，表面粗糙度变粗，高速旋转时轴与轴瓦摩擦加大，并伴随冲击现象发生而引起。也可能是因为轴承间隙过小，或其他原因而引起。滚动轴承发热，主要是由于轴承间隙调节过小，润滑条件恶化而引起。若轴承体发热产生过高温度，就会出现退火变色现象。诊断中应贯彻先易后难的原则，先看润滑是否充分合乎要求，再查轴承间隙是否过小，通过放大间隙进行试探性诊断。最后再进行拆卸后诊断。

(3) 判断设备产生振动的主要原因。设备的故障性振动往往是由于旋转零件不平衡, 支承零件有磨损, 传动机构松动, 不对中或者不灵活, 移动件接触不良, 传动带质量不好等原因引起。查找振源时, 应从弄清故障性振动的频率入手。一般情况下, 测量出主频率的大小就可以根据传动关系找出产生故障性振动的部位。

(4) 查找润滑、液压系统的漏油情况。主要诊断设备在运转中漏油产生的部位, 分析漏油的原因。漏油有的是由于设备设计不合理, 密封件选用不合适而引起。有的是因为操作使用不当, 或者维修不合要求而造成。有的还由于设备出现裂纹、砂眼而引起。其中有许多原因只有通过设备空运转, 并且反复试验, 才能找出根源, 彻底治漏。

(5) 对机械构件产生运动障碍的原因进行判断。例如, 要判断机械作业性质的设备产生运动传递中断、动作不能到位, 功能错乱或功能不全等故障的原因时, 只有通过空运转设备, 才能看清运动中断的位置, 产生功能性故障的具体零件。

2. 负载运转诊断

(1) 通过加工工件判断机床的有关零件, 如导轨、轴承等件的磨损情况, 以及装配不当引起的精度性故障产生的原因。对于车床、铣床来说, 一般都选用铝材料作为试验件, 检验加工件的几何精度及表面粗糙度的变化情况。根据加工件出现的形状误差及表面波纹产生的情况, 进一步分析设备存在问题的症结。

(2) 使设备处于常用工作状态, 检查负载运转中故障的表现形式, 尤其是振动、温升、噪声、功能丧失的加剧程度。

3. 实验性运转诊断

诊断运转中，为了从故障产生的许多可能的估计中，准确判断故障产生的位置及主要原因，采用实验方法进行诊断具有简单易行的特点。工作实际中，常用的实验诊断方法有如下几种。

(1) 隔离法：首先，根据设备的工作原理及结构特点，估计出故障产生的几种可能的主要原因，然后把这几个原因发生的部位，分别隔离开来进行运转诊断。判断中，必须逐个排除非故障原因，找出对故障产生和消失有明显影响的部位。故障部位找准了，就可以进一步查找和分析故障产生的原因。例如，车床的主轴箱内齿轮发出异常声响，如果直接打开主轴箱，很难一下子就判断出是哪个齿轮产生噪声。这时，可以通过变速挂挡，对齿轮进行隔离判断。若有几个挡都发出异常声响，就可找出这几挡传递运动的共用齿轮进行检查。若只有一挡发生异常声响，就可以找出只有这一挡才使用的齿轮进行检查。

(2) 替换法：在推理分析故障的基础上，把可能引起故障的零件进行适当修理，或者用合格的备件进行替换，然后再观察对原故障现象有无明显影响，及其故障变化的趋势。若通过替换零件排除了故障，就可以对原零件和替换零件进行对比，诊断故障产生的原因。例如，车床溜板出现爬行现象，常见原因有三种。其一是溜板磨损严重出现凹型形状。其二是压板贴轨面磨损变毛。其三是光杠上的钩头位移键配合工作面磨损变毛。针对这三种原因，可以先用一个新钩头位移键代替旧键，进行试运转。观察爬行现象能否消除或减弱。若没有明显变化，可以再对压板贴轨面进行刮研，用新刮研面代替旧刮研面，并进行运转观察。若还不能明显解决问题，就应对溜板上的导轨面进行测量和刮研，直到找出真

正的原因消除爬行现象为止。

(3) 对比法：通过对比同型号设备的主轴、丝杠在用手转动时，产生阻力的大小，能初步判断待修设备在被查部位的轴承、丝杠、导轨或其他件是否存在问题。对比同型号设备滑动轴承的轴颈和轴瓦之间间隙的大小，就可判断是否因为主轴间隙小，引起轴承发热或抱轴现象。是否因为主轴间隙过大，引起工件表面出现波纹，造成表面粗糙度变粗。

(4) 试探法：当对故障原因不能准确判断时，在模糊估计的基础上，由可能性最大的部位开始，由大到小进行试探性调整。通过改变调整部位的工作条件，主要是间隙大小，观察对故障现象有无明显影响，以判断故障产生的根源。例如，车床在加工中出现让刀现象，虽然影响因素很多，但是最大可能性是中溜板与小溜板的间隙过大。常见可能性是使中溜板实现横向进给的丝杠、螺母之间的磨损严重或调整不当，引起间隙过大。一般可能性是大溜板与导轨因磨损严重引起配合不良，或者刀架定位机构失效等。这样，就应先调整中溜板与小溜板的斜镶条，减小溜板与导轨之间的间隙，后调整横向进给丝杠的双螺母，减小丝杠、螺母之间的间隙。若都不能解决问题，再检查刀架定位机构，以及提高大溜板与导轨的配合质量等。

(5) 测量法：下面以 C620—1 车床为例来说明此种方法。判断故障时，若需要考虑导轨配合间隙的因素，应使用塞尺进行检查。滑动导轨端面塞入 0.03mm 塞尺片时，插入深度应不超过 20mm。若超过太多，就可以认为导轨磨损严重，配合质量变劣。对于溜板上的手轮规定操纵力不应超过 78N。用弹簧秤测量后，若有超过现象，就可以判断出床身上的齿条与溜板箱上的小齿轮啮合过紧，或者大溜板上的压

板螺钉调的过紧。若出现移动溜板中，手轮有时重时轻现象，可能与导轨磨损不匀，或齿条磨损不匀有关系。主轴发热情况，可以用温度计进行测量。按规定使主轴在最高速度运转半小时后，再用温度计测量主轴滚动轴承处的温度升高情况，以不超过室温 40°C 为好。若有超过现象就可判断出轴承可能磨损严重，或者调整过紧。如果轴承间隙调整合适后，轴承仍然发热过高，就可判明为是轴承磨损严重，精度过低引起轴承发热故障。

(6) 综合法：对于影响因素比较复杂的故障，诊断中不能只采用一种方法。往往需要同时应用几种方法进行实验诊断。一般来说，应该先通过隔离，尽量缩小判断、研究问题的范围，再通过比较、试探确定发生问题的具体部位，最后才能通过测量和替换进行准确判断。坚持这样的思想方法有利于提高判断问题的准确性，有利于提高工作效率。关于具体举例，实际上在上述各种方法的判断事例中，都已经贯穿了综合法的思路。仔细分析起来，可以发现所列举的每一种故障，决不是单纯只用一种方法就能诊断清楚，而是以一种方法为主的综合判断的结果。

三、制定修理方案

(1) 根据故障诊断、故障分析及零部件的磨损情况，确定设备需要拆卸的部位及修理范围，确定设备需要更换的主要零部件，尤其铸件、外协件及外购件。

(2) 制定需要进行修理的主要零件修理工艺。要求根据现有的条件，或者委托修理的实际条件制定出切实可行的修理方案，提出需要使用的工具与设备，估计修理后能达到的修复精度。

(3) 制定零部件的装配与调整工艺方案及要求。

(4) 根据设备的现状与修理条件，确定设备修复的质量标准。

第二节 零件拆卸与清洗

一、零件拆卸

1. 设备零件拆卸的一般原则

(1) 首先必须熟悉设备的技术资料和图纸，看懂机械传动原理，掌握各个零部件的结构特点，装配关系以及定位销子、轴套、弹簧卡圈，锁紧螺母、锁紧螺钉与顶丝的位置和退出方向。

(2) 机械设备的拆卸程序要坚持与装配程序相反的原则。在切断电源后，先拆外部附件，再将整机拆成部件总成，最后全部拆成零件，按部件归并放置。

(3) 在拆卸轴孔装配件时，通常应该坚持用多大力装配，就应该基本上用多大力拆卸的原则。如果出现异常情况，就应该查找原因，防止在拆卸中将零件碰伤、拉毛、甚至损坏。热装零件要利用加热来拆卸。例如热装轴承可用热油加热轴承内圈进行拆卸。滑动部件拆卸时，要考虑到滑动面间油膜的吸力。一般情况下，在拆卸过程中不允许进行破坏性拆卸。

(4) 对于拆卸大型零件要坚持慎重、安全的原则。拆卸中要仔细检查锁紧螺钉及压板等零件是否拆开。吊挂时，必须粗估零件重心位置，合理选择直径适宜的吊挂绳索及吊挂受力点。注意受力平衡，防止零件摆晃，避免吊挂绳索脱开与折断等事故发生。

(5) 要坚持拆卸服务于装配的原则。如果被拆卸设备的技术资料不全，拆卸中必须对拆卸过程有必要的记录。以便

安装时遵照“先拆后装”的原则重新装配。在拆卸中，为防止搞乱关键件的装配关系和配合位置，避免重新装配时精度降低，应该在装配件上用划针做出明显标记。对于拆卸出来的轴类零件应该悬挂起来，防止弯曲变形。精密零件要单独存放，避免损坏。

2. 拆卸实例

(1) 设备主轴的拆卸：以使用最普遍的 C620-1 型车床的主轴箱主轴的拆卸为例。其主轴部件的结构由主轴、主轴支承和安装在主轴上的传动件等组成。如图 2-1 所示。

1) 由主轴结构可以看出，主轴的各部分结构由左向右直径变粗，成阶梯状。因此，决定主轴拆卸方向应由左向右打出。主轴的前轴承为内孔以 1:12 的锥度与轴颈相配合的调心滚子轴承，前轴承要和主轴先一起拆下，最后才从主轴上卸开。

2) 由于安装使用中轴承被预紧，使前、后轴承的内、外圈间和轴承座、主轴轴颈的配合都很紧密，给拆卸带来困难。因此，在卸掉前端盖和后罩盖等零件后，必须先拧松圆螺母 1、15，注意要松掉锁紧螺钉。然后将齿轮离合器 7 移至最左端，使其右端面上的缺口向上。回转主轴，使弹簧卡圈 8 的环首处于缺口中间，用弹簧卡钳松开弹簧卡圈 8 及 21。此后，才能用木棒边敲打主轴后端，边继续松开圆螺母，将主轴连同前轴承全部卸出。

3) 从主轴箱中拿出齿轮 19、17，拿出衬套 2、6、9、10 及推力轴承 5、16、20 等。然后，拆卸轴承座 4。最后，在主轴上的调心滚子轴承内圈端面上垫铜套将其敲出。

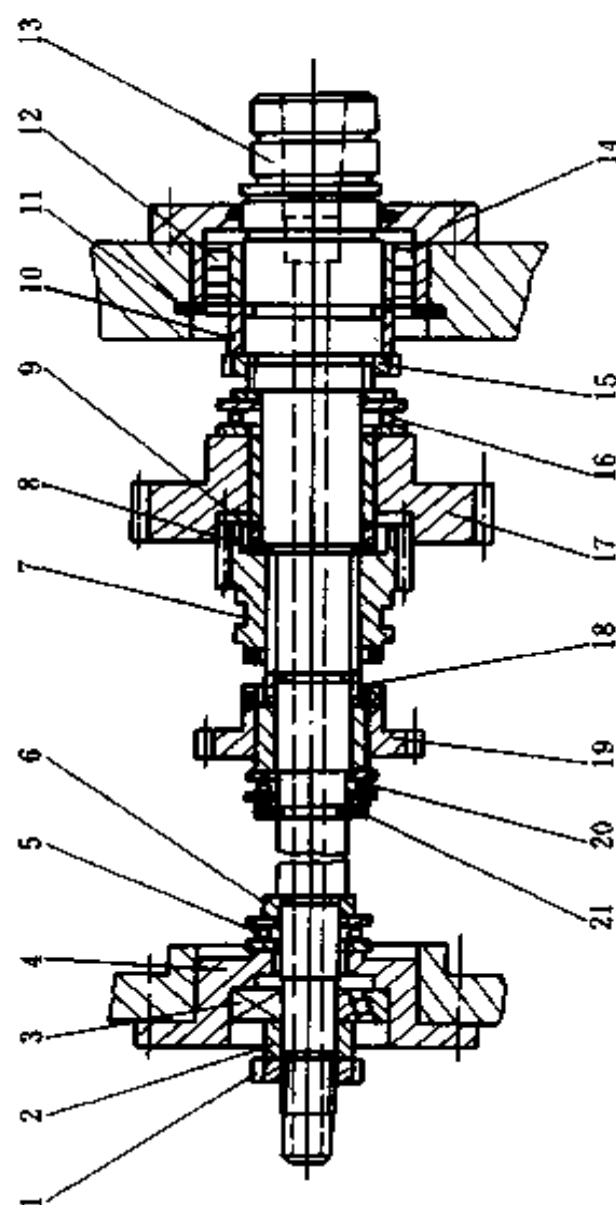


图 2-1 C620-1 车床主轴部件结构示意图

- 1—圆螺母 2—衬套 3—后轴承 4—轴承座 5—推力轴承 6—衬套 7—离合器 8—弹簧卡圈 9—衬套
10—衬套 11—弹簧卡圈 12—前轴承 13—主轴 14—端盖 15—圆螺母 16—推力轴承 17—齿轮 18—衬套
19—齿轮 20—推力轴承 21—弹簧卡圈

(2) 滚动轴承、斜键等静止联接件的拆卸：拆卸滚动轴承通常都要使用拆卸器。一般情况下，用一个环形件顶在轴承内圈上，拆卸器的卡爪作用于环形件，就可以将拉力传给轴承内圈，如图 2-2 所示。在拆卸轴承中，有时还会遇到轴承与相邻零件间的可利用空间较小的情况，这时必须将卡爪制成长而薄的特制形状才能使用。有时还需要临时自制拆卸工具，如图 2-3 所示。一对抱轴角钢焊上四根拉杆，用螺母和一块底板联接在一起，由液压千斤顶加力，来拆下难卸轴承。

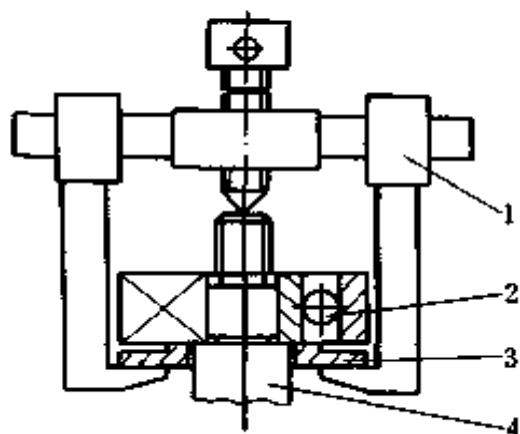


图 2-2 轴承拆卸方法一

1—拆卸器 2—轴承
3—环形件 4—轴

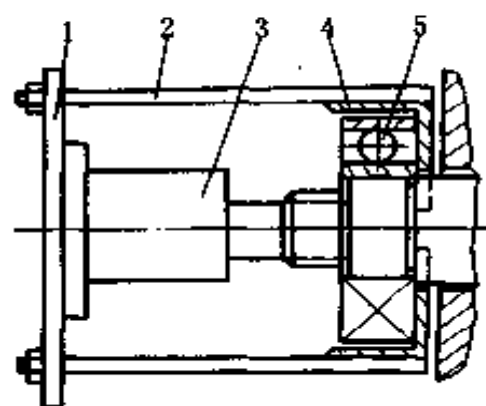


图 2-3 轴承拆卸方法二

1—底板 2—拉杆 3—液压千斤顶
4—角钢 5—轴承

如果轴承尺寸较大，往往还需要对轴承内圈用热油加热才能拆卸开来。在加热前用石棉把靠近轴承的那一部分轴隔离开来，用拆卸器卡爪钩住轴承内圈，然后迅速将加热到 100°C 左右的热油倒入轴承，使轴承加热。随之从轴上开始拆卸轴承。这样，在拆卸中能保护轴承和轴颈免遭损坏。

在拆斜键时，需要制作斜键专用拆卸钩，利用杠杆原理进行拆卸，其拆卸方法如图 2-4 所示。只要将工具向上转动，钩头处就会形成支撑点，产生很大的拉拔力将斜键拉出。

二、零件清洗

1. 清洗零件的要求

(1) 在清洗溶液中，对全部拆卸件都应进行清洗。彻底清除表面上的脏物，检查其磨损痕迹，表面裂纹和碰伤缺陷等。通过清洗，决定零件的再用或修换。

(2) 必须重视再用零件或新换件的清理，要清除由于零件在使用中或者加工中产生的毛刺。例如滑移齿轮的圆倒角部分，轴类零件的螺纹部分，孔轴滑动配合件的孔口部分

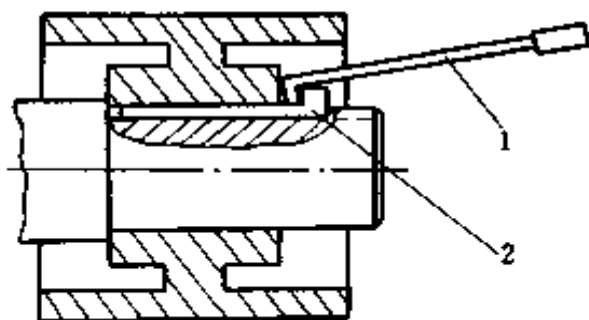


图 2-4 斜键的拆卸

1—拆卸钩 2—斜键

都必须清理掉零件上的毛刺、毛边。这样才有利于装配工作与零件功能的正常发挥。零件清理工作必须在清洗过程中进行。

(3) 零件清洗并且干燥后，必须涂上机油，防止零件生锈。若用化学碱性溶液清洗零件，洗涤后还必须用热水冲洗，防止零件表面腐蚀。精密零件和铝合金件不宜采用碱性溶液清洗。

(4) 清洗设备的各类箱体时，必须清除箱内残存磨屑、漆片、灰砂、油污等。要检查润滑过滤器是否有破损、漏洞，以便修补或更换。对于油标表面除清洗外，还要进行研磨抛光提高其透明度。

2. 清洗溶液的选择

(1) 煤油或轻柴油在清洗零件中应用较广泛，能清除一般油脂，无论铸件、钢件或有色金属件都可清洗。使用比较

安全，但挥发性较差。对于精密零件最好使用含有添加剂的专用汽油进行清洗。

(2) 目前，为了节省燃料，正在大力研究和推广清洗机械零件用的各种金属清洗剂。它具有良好的亲水、亲油性能，有极佳的乳化，扩散作用。市场价格便宜，有良好的使用前途，适用性也很好。

3. 清洗方法

(1) 人工进行清洗：对于小型零件可直接放入盛有清洗溶液的油盆之中，用毛刷仔细刷洗零件表面。对于油盆无法容纳的零件，例如床身等，应先用旧棉纱擦掉其上的油污，然后用棉纱蘸满清洗溶液反复进行擦洗。最后一道清洗，应使用干净棉纱蘸上干净的清洗溶液进行擦洗，这样，既有利于节约清洗溶液，又能保证清洗质量。

(2) 用清洗箱进行喷洗：清洗箱是一个由网眼架分成两层的箱体结构，一般长 1200mm，宽 600mm，高 500mm，由四个滚轮支承。箱体的上层可以适当大一些，用以盛放待洗的零件。箱体的下层用以贮放清洗溶液。箱体上层的侧面安放一个齿轮油泵，与箱体外面的电机相连。当通电时，电机带动油泵，就将溶液通过管路吸出，并经过一个前端表面布满小孔的球形喷头，喷洒到待洗零件上面。由于喷头安装在一根软管上可以来回移动，喷出的溶液具有一定的压力，而且进油管口安装一个过滤器，保证了溶液的干净程度，因此，清洗效果良好。由于清洗溶液可以循环使用，实现了节约用油。

在清洗中要注意，尽量先将待洗零件上的厚层油污擦掉，以延长清洗溶液的使用时间。要定期清洗过滤器，清除油箱中的沉淀污物。

清洗箱结构简单、效果良好，一般都可根据本厂情况自制。

第三节 零件的修换选择

一、决定设备零件是否需要修换的原则

设备拆卸以后，零件经过清洗，必须及时进行检查，以确定磨损零件是否需要修换，如果修换不当，不能继续使用的零件没有及时修换，就会影响机械设备使用功能及性能的正常发挥，并且要增加维修工作量。如果可用零件被提前修换，就会造成浪费，提高修理费用。

通常决定设备零件是否需修换的一般原则如下：

(1) 根据磨损零件对设备精度的影响情况决定零件是否修换。在设备的床身导轨、滑座导轨、主轴轴承等基础零件磨损严重，引起被加工的工件几何精度超差，以及相配合的基础零件间间隙增大，引起设备振动加剧，影响加工工件的表面粗糙度的情况出现时，应该对磨损的基础零件进行修换。对于影响设备精度的主要零件如主轴、箱体等，虽然已经磨损，但尚未超过公差规定，估计还能满足下一个修理周期使用的要求时，可以不进行修换。对于一般零件，无论是过盈配合零件，或者间隙配合零件，在对设备精度影响不大的前提下，由于拆卸或使用中磨损引起尺寸变化时，可以使配合关系适当改变。通常间隙配合的孔、轴公差等级都可以降一级。例如 $H8/h7$ 的配合关系可以适当改变为 $H9/h8$ 。过盈配合的孔、轴经拆卸后，一般过盈量都会明显减少。但是，如果还能保持原配合关系所需最小过盈量的 50% 左右，就基本上能满足下一个修理周期的使用要求。否则，就应该进行修换。

(2) 根据磨损零件对设备性能的影响情况决定零件是否修换。设备的性能是指设备对设计要求的满足程度。它所包含的内容主要是：①设备的生产性，即设备满足工作要求的能力。一般表现为设备生产率和对产品质量的满足程度。②设备的可靠性，即设备在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能而不发生机械失效的能力。③设备的节能性，即设备对能源的利用率和耗能情况。④设备的维修性，即设备易修程度。⑤设备的环保性，即设备产生的噪声和排放有害物质对环境的污染程度。⑥设备的耐用性，即设备在使用过程中的寿命期。⑦设备的配套性，对单机来说是指设备和各种随机工具、附件、部件要配套。⑧设备的灵活性，即设备在操作使用中方便、灵活、通用的程度。⑨设备的安全性，即设备具有安全防护措施，避免发生人、机事故的能力。

通常我们评价磨损零件对机械设备性能的影响，在综合考虑以上九个方面的基础上，主要考虑对设备的功能可靠性、生产性能及操作灵活等方面的影响。零件磨损会使设备不能完成预定的使用功能。例如离合器失去传递动力的作用；链传动中销轴与套筒的工作面间，因相对滑动而磨损，导致链节距伸长，发生脱链现象；液压机构不能达到预定的压力或压力分配要求；凸轮因磨损不能保持预定的运动规律。在这些情况下，零件都应该进行修换。当零件磨损，例如机床导轨磨损、间隙增加、配合表面研伤等，使设备不能满足产品质量要求，不能进行满负荷工作，增加工人的精力消耗和设备空行程时间。这样，就会降低设备的生产性能。这时，只有对磨损零件进行修理或更换，才能恢复生产对设备的使用要求。还有许多零件磨损后，虽然设备还能完成规定的使用功能，但会降低设备许多方面的性能。例如齿轮噪

声过大,既影响工人的工作情绪,又影响设备的使用寿命,还会降低传递效率,损坏工作平稳性,影响设备的生产性能。齿轮产生噪声增大的因素很多,只有查出根源,对有关零件进行修换,才能使噪声减小。

(3) 重要的受力零件在强度下降接近极限时应进行修换。

设备零件必须有足够的强度,才能保证其承载后不会发生断裂和产生残余变形超过容许限度的情况。尤其一些传递力的零件,当强度下降接近极限时,应及时进行修换。例如,低速蜗轮由于轮齿不断磨损,齿厚逐渐减薄,如果超过强度极限,就容易发生齿面剥蚀或齿牙断裂。对于锻压设备的曲轴、锤杆、起重设备的吊钩等发生表面裂纹时,如果不及时进行修换,在使用中就有可能迅速发生变化,引起严重事故。这些都是根据零件材料的强度极限决定零件的修换标准。

(4) 磨损零件的摩擦条件恶化时应进行修换。

在零件磨损量超过一定限度后,会使磨损速度迅速加剧,造成摩擦面间发热,摩擦条件恶化,出现摩擦面咬焊拉伤、零件毁坏等事故。例如,机械设备的导轨刮研面被磨光后,如果继续使用,在重压之下就容易破坏摩擦面间形成的油膜,造成导轨面咬焊拉伤。渗碳主轴的渗碳层在滑动轴承中被磨掉,渗氮齿面在传动中被磨掉,如果对这些摩擦条件恶化的零件继续使用,必将引起剧烈磨损。因此,对这些零件应根据磨损零件的摩擦条件状况,决定零件是否需要修换。

从以上讨论可以看出,前两个原则涉及到设备零件磨损对整个设备工作的正常影响。一般来说,这种影响是逐渐地发挥作用,有一个发展过程。后两个原则涉及到设备零件磨损对整个设备工作的特殊影响。这种影响的特点是具有突发

性和危害性。因此，后面这两个原则具有明显的预防性质。在使用这四条原则判断磨损零件是否应该修换时，只要符合其中一条原则，就应该下决心进行修换，否则就会危及整个设备作用的正常发挥，甚至发生难以预料的后果。

二、决定对磨损零件进行更换或者修复使用的选择界限

(1) 根据修换的经济性，决定对磨损零件用新件进行更换还是修复使用。

修理的经济性与更换的经济性不是单指零件的修理费用与制造费用。而是修理费用 $S_{\text{修}}$ 和修理后的使用时间 $T_{\text{修}}$ 的比值，与更换新零件所需费用 $S_{\text{更}}$ 和更换新零件后的使用时间 $T_{\text{更}}$ 的比值进行比较。比值越小者，则经济性越好。即有：

$$\frac{S_{\text{修}}}{T_{\text{修}}} < \frac{S_{\text{更}}}{T_{\text{更}}} \text{——可以进行修理；}$$

$$\frac{S_{\text{修}}}{T_{\text{修}}} > \frac{S_{\text{更}}}{T_{\text{更}}} \text{——应该更换新零件。}$$

在确定零件修理后的使用时间与更换新零件后的使用时间时，一般可以根据旧件的使用时间和磨损情况进行比照估计。

(2) 选择修复的磨损零件，必须修理后能保持或者恢复零件原有的技术要求。

零件的技术要求包括零件的尺寸误差，表面粗糙度、形位误差、表面硬度等内容。一般情况下，设备的基础零件，例如床身导轨、滑座导轨、立柱导轨等，经过修复以后都能达到零件原有的技术要求。但是，损坏或磨损严重的滚动轴承、轴套、齿轮等零件，经过修理后很难达到零件原有的技术要求。通常对这类磨损零件，在设备修理中都是更换新件。

(3) 选择修复的磨损零件修理后的强度和刚度要能满足使用要求。

轴类零件的螺纹部分损坏,若要重新进行加工,会使螺纹直径明显减小。这时要考虑螺纹处的强度能否满足使用要求。若能满足要求,才能在原螺纹位置处减小螺纹直径,重新进行加工。否则必须重新加工整个轴件,对旧轴进行更换。机械设备的导轨经过多次大修以后,导轨所处基础件的刚度要受到明显削弱,若不能满足使用要求,就必须进行更换。

(4) 选择修复的零件修理后应具有足够的寿命。

零件修理后的寿命至少应该能够维持一个修理间隔期。即二级保养范围的零件,修理后要能维持一个二级保养间隔期。属于大修范围的零件,修理后要能维持一个大修间隔期。

(5) 对磨损零件是否进行修复,还要考虑现有的修理条件对修理周期的影响等因素。

第四节 磨损零件修复的一般技术规定

一、设备主要铸件部分

(1) 床身导轨发生咬焊拉伤现象,可以采用锡铋低温合金补焊,或者用环氧树脂补修。导轨面磨损与变形在 0.3mm 以内时,可以用刮研修复。在 0.3~0.6mm 范围时,可以用导轨磨削修复。大于 0.6mm 时,可以刨削后刮研(或磨削)修复。原有基础是刮研面的,第一次大修时,仍应尽可能刮研修理。

(2) 箱体上安装滚动轴承的孔,拆后应作尺寸测量。安装 P4、P5 级轴承的孔,实际尺寸应严格控制在原公差带范围之内。安装 P6 级轴承的孔,实际尺寸允许超过原公差带大小的二分之一。安装 P0 级轴承的孔,尺寸精度可以根据

轴承的工作状况决定，以不造成运转振动及轴承外圈在孔内转动为宜。当轴承孔尺寸严重超差时，在孔壁尺寸允许的条件下，可以采用镶套法修复。若孔壁很薄，应进行涂镀修复。只有特殊急需的情况下，允许在轴承外圈上镀金属层或者用环氧树脂粘接剂进行修复。

箱体上有破损及漏油等缺陷，在不影响设备强度及刚度条件下允许修复，可用补焊、粘接、搭扣等方法修理。

(3) 工作台滑座及溜板上的导轨，一般都采用刮研修理。如果设备已经过多次修理，往往会造成安装尺寸链无调节余量的情况，这时应采用粘接尼龙板、聚四氟乙烯板或用耐磨涂层等方法进行修理，恢复设备尺寸链的设计要求，否则应进行更换。

二、主轴

(1) 主轴支承轴颈部位有下列情况时，均应进行修复。

- 1) 表面粗糙度比原设计粗一级或者 Ra 值大于 $1.6\mu\text{m}$ 。
- 2) 圆度误差及圆柱度误差超过原设计允差 50%。
- 3) 前、后支承轴颈处的径向圆跳动误差超过允许值。

主轴的修磨允许量可参照表 2-3 进行。

(2) 主轴的螺纹损坏，一般可修小外径，螺距不变。

(3) 锥孔磨损，可以修磨。修磨后端面位移量 a 值（如图 2-5 所示）不得超过下列数值，如表 2-2 所示。

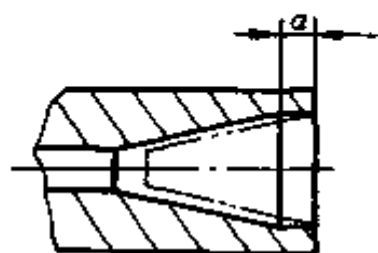


图 2-5 修磨锥孔

表 2-2 锥孔端面允许位移量

莫氏锥度	1#	2#	3#	4#	5#	6#
a/mm	1.5	2	3	4	5	6

(4) 主轴有严重伤痕、弯曲、裂纹或修理后不能满足精度要求时，必须更换新件。

三、轴类零件

(1) 一般小轴加工工作量大，磨损后应进行更换。

(2) 传动轴

1) 滑动轴承的轴颈处应修磨轴颈后配作轴套进行修复。其修磨量如表 2-3 所示。

表 2-3 滑动轴承轴颈允许修磨量

热处理情况	热处理层厚度 c	轴的用途	允许修磨量
调质处理	全 部	主轴	$<1\text{mm}$
		传动轴	$<\text{直径尺寸的 } 10\%$
表面淬火	$1.5 \sim 2\text{mm}$	主轴与传动轴	$<0.5c$
渗碳处理	$1.1 \sim 1.5\text{mm}$	主轴与传动轴	$<0.4c$
氮化处理	$0.45 \sim 0.6\text{mm}$	主轴与传动轴	$<0.4c$

2) 装配滚动轴承、齿轮或带轮处磨损，可修磨见光后涂镀。

3) 轴上键槽损坏，可根据磨损情况适当增大，最大可按标准尺寸增大一级。结构许可时，允许在距原键位置 60° 处另加工键槽。

4) 装有齿轮的轴弯曲度大于中心距允许误差时，不能用校直方法修复，必须更换新轴。一般细长轴允许校直，恢复精度。

(3) 花键轴符合下列情况可继续使用，否则应更换新件。

1) 定心轴颈的表面粗糙度 R_a 值不大于 $6.3\mu\text{m}$ ，间隙

配合的公差等级不超过次一级精度。

2) 键侧表面粗糙度 R_a 值不大于 $6.3\mu\text{m}$, 磨损量不大于键厚的 2%。

3) 键侧没有压痕及不能消除的擦伤, 倒棱未超过侧面高度的 30%。

(4) 曲轴的支承轴颈处表面粗糙度 R_a 值大于 $3.2\mu\text{m}$, 轴颈的几何精度超过其公差带大小的 60% 以上时应修复。修复后的轴颈尺寸, 最大允许减小名义尺寸的 3%。

(5) 丝杠符合下列情况时可继续使用:

1) 丝杠、螺母的轴向间隙不大于原螺纹厚度的 5%。

2) 一般传动丝杠螺纹表面粗糙度 R_a 值不大于 $6.3\mu\text{m}$, 精密丝杠螺纹表面粗糙度 R_a 值不大于 $3.2\mu\text{m}$ 。

修复丝杠时, 要求丝杠外径减小量不得超过原外径的 5%, 允许螺纹厚度减薄量不大于 10%。一般传动丝杠弯曲允许校直、精密丝杠弯曲必须进行修复。

四、齿轮

(1) 圆柱齿轮与圆锥齿轮

1) 齿面有严重疲劳点蚀现象, 约占齿长 30%, 高度 50% 以上, 或者齿面有严重明显的凹痕擦伤时, 应更换新件。

2) 倒角损伤, 在保证齿轮强度前提下, 允许重新倒角。

3) 接触偏斜, 接触面积低于装配要求时, 应换新件。

4) 在齿形磨损均匀的前提下, 弦齿厚的磨损量主传动齿轮允许 6%, 进给齿轮允许 8%。辅助传动齿轮允许 10%, 超过者应更换。

5) 齿部断裂、中小模数的齿轮应进行更换; 大模数 ($m > 6$) 齿轮损坏的齿数不超过两齿, 则允许镶齿; 补焊部分不超过齿牙长度的 50% 时, 允许补焊。

(2) 蜗轮、蜗杆

- 1) 齿表面粗糙度 R_a 值大于 $3.2\mu\text{m}$ 时应进行修复。
- 2) 齿面磨损经修复后, 齿厚减薄量不能超过原齿厚的 8%。
- 3) 齿的接触面积低于装配要求时, 应进行修理。

五、离合器

(1) 爪式离合器: 爪部有裂纹或端面磨损倒角大于齿高的 25% 时, 应更换新件。齿部允许修磨, 但齿厚减薄量不得大于齿厚的 5%。

(2) 片式离合器: 摩擦片平行度误差超过 0.2mm 或出现不均匀的光秃斑点时, 应更换新件。表面有伤痕, 修磨平面时, 厚度减薄量应不大于原厚度的 25%, 由厚度减薄而增加的片数应不超过两片。

(3) 锥体离合器: 锥体接触面积小于 70%, 锥体径向圆跳动大于 0.05mm 时, 应修磨锥面。无法修复时, 可更换其中一件。

六、轴承

(1) 主轴滑动轴承有调节余量时, 可进行修刮, 否则应更换。

(2) 滚动轴承的滚道或滚动体发生伤痕、裂纹、保持架损坏以及滚动体松动时应更换新件。

(3) 轴套发生磨损, 轴瓦发生裂纹、剥层时应进行更换。

七、带轮及飞轮

(1) 带轮

1) 轮缘及轮辐有损坏及断裂现象时应更换。在不影响精度要求时, 允许补焊。

2) 工作表面凹凸不平或者表面粗糙度 R_a 值大于

3.2 μm 时应加以修复。

3) 径向圆跳动及端面振摆超过 0.2mm 时, 应修复。

(2) 飞轮的径向圆跳动和轴向窜动超过表 2-4 所列标准时应修复。修理后的飞轮必须平衡, 符合设计要求。

表 2-4 飞轮旋转精度允许误差 (mm)

轮缘直径	允许径向圆跳动	允许轴向窜动
$\phi 400 \sim 800$	0.10	0.15
$\phi 800 \sim 1200$	0.15	0.20
$\phi 1200 \sim 2000$	0.20	0.30

八、制动装置

(1) 闸瓦摩擦衬垫厚度磨损达 50% 后应更换。

(2) 制动轮的工作面磨损超过 1.5~2mm 及表面划伤深度超过 0.5mm 时应进行修复, 修复后的制动轮壁厚不得小于原厚度的 50%。

(3) 轴磨损量超过原直径 5%, 圆度误差超过 0.5mm 以及有裂纹的拉杆, 应进行更换。

(4) 圆孔的磨损超过名义尺寸 5%, 应扩孔配新轴进行修理。

(5) 弹簧上有裂纹以及有永久变形时应更换新件。

九、起重设备

(1) 滑轮、滚筒

1) 工作面出现沟痕时应修复。修理后的壁厚不能小于原壁厚的 80%。否则应进行更换。

2) 滑轮、滚筒槽面磨损量 a 值超出新用钢丝绳直径 25%, 滚筒槽面壁厚 b 值磨损量超出原壁厚的 15%~20% 时应更换。如图 2-6 和图 2-7 所示。

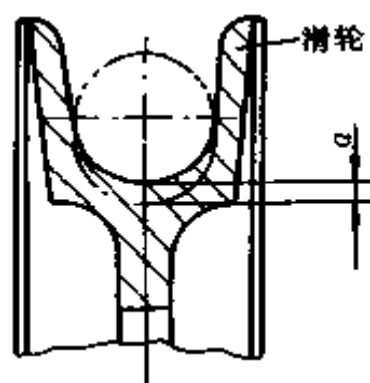


图 2-6 滑轮磨损量

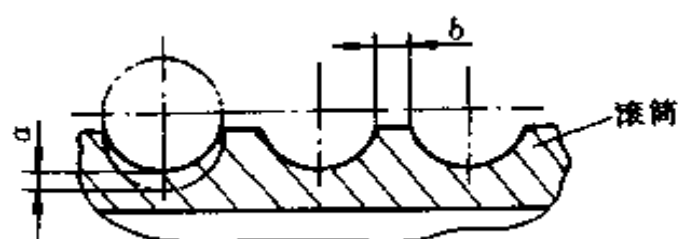


图 2-7 滚筒磨损量

3) 滑轮、滚筒发现裂纹时应进行更换。

(2) 吊钩出现下列情况应进行更换：

1) 用 10~20 倍的放大镜观察吊钩表面有裂纹出现。

2) 磨损沟痕深度超过吊钩危险断面高度的 10%。

3) 吊钩危险断面处或尾部产生残余变形。

4) 螺母、吊钩横梁出现裂纹和变形；钩尾部分退刀槽或过渡圆角附近处出现疲劳裂纹。

(3) 车轮

1) 轮缘磨损量超过原厚度的 40% 左右，或轮缘部分崩裂应更换。

2) 同一组主动车轮直径差大于名义直径的 0.1% 时应修复。

3) 滚动面出现凹凸不平时应修复。

第三章 机械零件的修理技术

第一节 导轨磨损面的修复

一、导轨的精度检查

要确定机械设备导轨面的磨损程度，必须对导轨面进行精度检查。

导轨的基本精度主要指垂直平面内的直线度误差，水平面内的直线度误差和垂直平面内的平行度误差三项内容。导轨在垂直平面内和水平面内的直线度误差，以及两条导轨在垂直平面内的平行度误差，都直接影响着被加工零件的几何精度。其中，导轨在垂直平面内的直线度误差是机械设备各项几何精度的基础，其误差值的大小决定了溜板在运动过程中的起伏状态以及溜板与导轨的接触情况。

1. 测量导轨直线度误差的基本原则

(1) 直线度误差的测量基准可以任意选择，而评定基准应符合最小条件的原则。这就是说，测量导轨精度时，必须用两条平行的理想直线包容住被测导轨的实际轮廓，并使此理想直线间的距离为最小。则这两条被称为导轨包容线的理想直线间的距离，就是被测导轨的直线度误差。

(2) 无论评定基准怎样转换而计量方向始终不变的原则。这个原则是指测量读数所反映的计量方向始终应垂直于测量基准，采用两包容线之间的坐标距离计量。不应因评定基准发生转换，造成评定基准与测量基准之间产生微小倾斜

而改变计量方向。

(3) 对导轨只做等节距有限点测量的原则。这个原则要求将被测导轨分成等距的若干档后,用水平仪或者其他精密测角仪器借助专用桥板,使其支承点首尾相接,沿测量方向移动,分别测量出各档相对于水平仪上,所选定的零位(测量基准,为水平线)的倾斜角。从而,就可换算成相邻间的高度差。各等距有限点间相对高度差值的综合结果就体现了被测导轨曲线的起伏变化状况。用水平仪进行等节距有限点测量导轨的方法如图 3-1 所示。

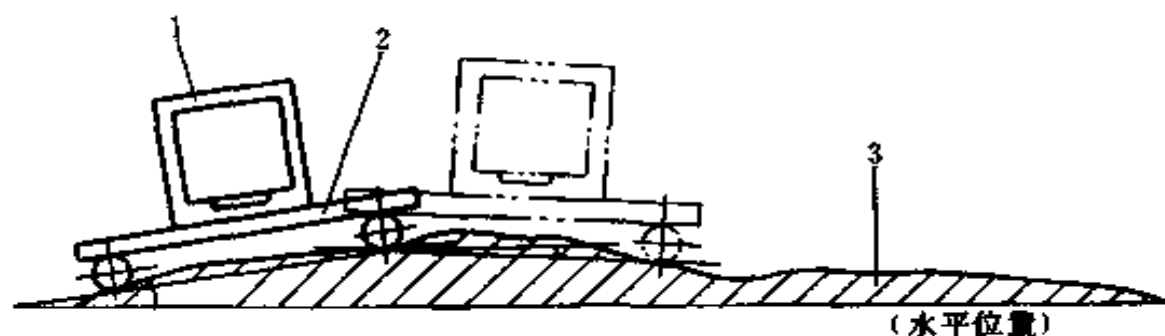


图 3-1 等节距有限点测量导轨

1—水平仪 2—桥板 3—导轨

2. 用水平仪测量导轨直线度误差

(1) 正确使用水平仪的方法。水平仪作为一种测角仪,种类很多。有框式水平仪,光学合象水平仪,电子水平仪等。其中,以框式水平仪应用最为广泛。框式水平仪分度值的大小有 $4''$ (即 $0.02/1000$)、 $6''$ (即 $0.03/1000$)、 $10''$ (即 $0.05/1000$) 之分。

1) 水平仪的读数方法:通常都是观察水泡的一端边缘,在测量中相对零位变化的格数进行读数。水平仪读数中的零位有两种选择方法。选择水平仪示值零位为读数零位的方法称为绝对读数法。这种方法是指水泡在水平仪的中间位置时读作“0”;相对水平仪示值的零位来说,若水泡移动方向与

测量位移方向相同，读为“+”值；若水泡移动方向与测量位移方向相反，读为“-”值。读数的大小是和水平仪的示值零位比较而得到，不是和前一档进行比较的结果。选择测量第一档时水泡所处的位置为读数零位（也可以选择其他档水泡所处的位置为读数零位）的方法称为相对读数法。这种方法是指读数零位不一定就和水平仪示值零位重合。测量中，水泡相对第一档位置（或者其他相对零位的位置）的移动方向与测量位移方向相同，读为“+”值。反之读为“-”值。读数的大小是和相对零位比较而得到。测量读数中，要注意第一档的读数“0”不能丢掉。

2) 用水平仪测量倾斜面两端差值的计算如图 3-2 所示。

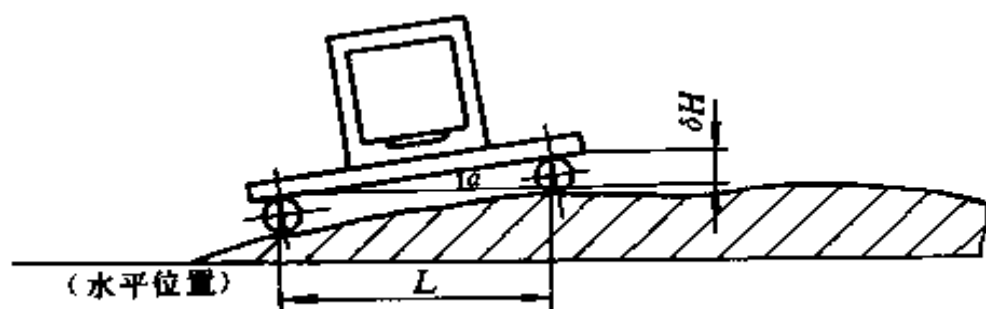


图 3-2 水平仪测量计算方法

根据图中的几何关系：

$$\tan \alpha = \frac{\delta H}{L}, \text{ 则有 } \delta H = L \tan \alpha$$

式中， δH 为倾斜面的两端差值； L 为测量点之间的跨距； α 为倾斜面的倾斜角度。

在导轨表面的倾斜角度很小的条件下，桥板的倾斜角度由水平仪测量时有如下关系： $\tan \alpha \approx \beta y$ 。

式中， β 为水平仪每格分度值的大小，单位为弧度； y 为水平仪水泡偏移格数。

这样，则有 $\delta H \approx L\beta y$ 。

3) 为了使水平仪使用方便，并且消除假象水平，通常应该将示值零位调整准确。当水平仪放在处于水平状态的基准面上时，水泡应在居中位置。实际上，一般应使水泡的零位对居中位置的偏移量，即水平仪的零位误差不超过分度值的 $1/4$ 格。其鉴定方法是先将水平仪安放在比较好的一段平导轨上，按水泡的一端读数。然后再将水平仪调头转过 180° ，准确安放在前一次读数的位置上，并且按前一次方位处的水泡端再读一次数。两次读数之差的一半就是水平仪的零位误差。零位误差过大时，可对水平仪的水准管的水平状态，按零位误差的大小进行调整。经过多次反复地调整，就可使水平仪的示值零位调整准确。

(2) 测量中应注意的问题

1) 测量前应将被测表面调到大致处于水平的位置。

2) 桥板的跨距和测量档数要选择合适。桥板的底面形状应和导轨表面形状相适应。测量平导轨时允许使用平垫铁，或者短平尺代替桥板。在检测机床精度中，往往直接用机床的溜板作为测量桥板也是可以的。选择桥板的跨距时，应保证被测导轨的长度是桥板跨距的整数倍 n ，一般取 $n = 4k$ ($k = 1, 2, 3 \dots$ 正整数)。选择测量档数 n 时，还应考虑测量的精度要求及被测件的形状等因素。

3) 测量中桥板移动时，要保证跨距与桥板长度相适应，并且使各测量点能够首尾相接，移动轨迹尽可能成为一条直线。在用机床溜板作为测量桥板时，每次测量移动的距离应尽量接近溜板长度。

4) 桥板及水平仪在测量过程中，无论处于那一档始终都不能调头使用。

(3) 用作图方法确定导轨直线度误差值。作图的方法如下：

1) 采用坐标纸作图，横坐标表示档数，以每一大格(50小格)表示一档，单位是“档”。纵坐标以每一中格(10小格)表示水平仪水泡移动了一格，单位是“格”。然后，按在水平仪上读出的格数，可以直接画出导轨的直线度误差曲线。作图时的顺序、方向应和测量方向一致。

2) 作图中，每一档折线的起坐标点都是前一档的终坐标点，本档的终坐标点都是在前一档的终坐标点的基础上加本档的读数。

3) 按误差曲线包容线间的纵坐标距离计算导轨的直线度误差 Δh 。这时，在图中得到的是导轨直线度误差的格数 Δy 。其结果已和测量中反映角度值的格数发生本质变化，通过作图求值已变成代表一定线性值的概念。在选用水平仪每格分度值大小为 β ，桥板的跨距为 L 时，则有： $\Delta h = \beta L \Delta y$ 。

例如，用分度值为 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$ 的水平仪，安放在跨距为 400mm 的桥板上测量一平导轨，共测五档的结果为： $0, +2, +1, -1, -1$ (格)。则该导轨的直线度误差通过作图所得到的结果如图 3-3 所示。

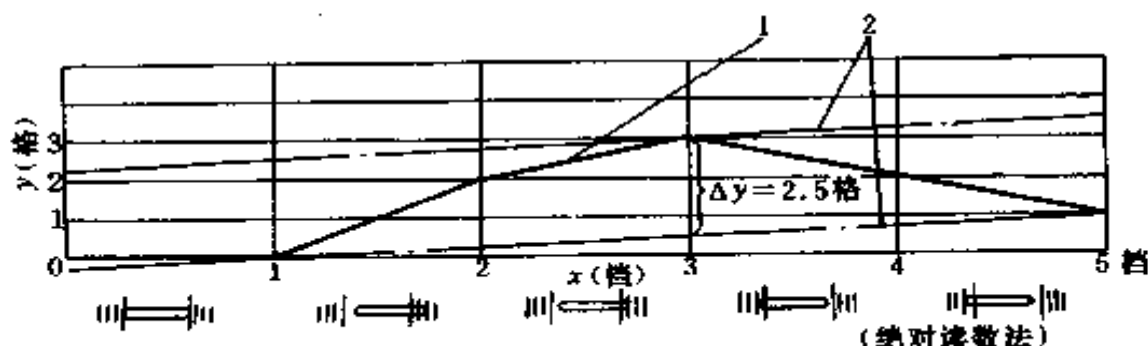


图 3-3 导轨直线度误差作图法

1—误差曲线 2—包容线

导轨的直线度误差由作图得 $\Delta y = 2.5$ 格, 则

$$\Delta h = \frac{0.02\text{mm}}{1000\text{mm}} \times 400\text{mm} \times 2.5 = 0.02\text{mm}$$

(4) 用基准转换计算法确定导轨的直线度误差值。导轨直线度误差基准转换计算法的几何概念, 是将测量基准通过平移或者旋转使其达到评定基准的位置。其步骤如下:

1) 确定导轨误差曲线上各档折线起点与终点的坐标值, 包括原点的零值。确定的方法是根据测量读数的大小, 按测量顺序依次进行累积。本档及前面各档测量值的代数和就是本档误差折线终点坐标值的大小。

2) 将测量基准平移, 使各点的坐标值全都成为同号值。这就是说, 当累积值中同时有正值和负值存在的情况下, 应同时减去最小值或者最大值的代数值, 使各点的坐标值全部成为正号或者全部成为负号。

3) 将测量基准绕坐标值为 0 的点进行旋转, 选择适当的旋转量, 以尽量减小最大绝对值的大小。但是, 在旋转中不允许各坐标点出现异号数值。

4) 确定最大绝对值为导轨的直线度误差。

例如, 用分度值为 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$ 的水平仪, 安放在跨距为 500mm 的桥板上测量一平导轨。共测四档, 其结果为 0, -1, +3, -1 (格)。则该导轨的直线度误差用基准转换计算法进行确定的方法如下:

①根据读数确定误差曲线, 各档折线的起点与终点的坐标值。

读数:

0	-1	+3	-1
---	----	----	----

 (格)

确定各点坐标值, 并补上原点坐标为第一坐标点:

0	0	-1	+2	+1
---	---	----	----	----

 (格)

②对测量基准进行平移,使各坐标点全部为“+”号。

+1	+1	0	+3	+2
----	----	---	----	----

 (格)

③对误差曲线绕第三坐标点进行旋转。首先根据尽量减小最大绝对值的大小的原则,可取单位旋转量为 $2/3$ 格,则各点的旋转量分别为:

$+\frac{4}{3}$	$+\frac{2}{3}$	0	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{4}{3}$
----------------	----------------	---	----------------	----------------

 (格)

这时,将各点旋转量加进其坐标值中,则有:

$+2\frac{1}{3}$	$+1\frac{2}{3}$	0	$+2\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$
-----------------	-----------------	---	-----------------	----------------

 (格)

④导轨的直线度误差值: $\Delta y = 2\frac{1}{3}$ 格。

即, $\Delta h = \frac{0.02\text{mm}}{1000\text{mm}} \times 500\text{mm} \times 2\frac{1}{3} = 0.023 \text{ (mm)}$

二、导轨面的刮研修复

1. 导轨修理基准的选择原则

(1) 按照基准唯一的原则,首先应考虑用具有高精度,没有磨损和变形,不需要修理的主要作用面,例如主轴孔、丝杠轴承孔、不磨损的固定结合面等为基准面,对导轨表面进行刮研。

(2) 如果基准不能唯一,需要进行基准转换时,必须考虑基准转换时所产生的误差。对第一基准与修理面之间的误差应根据修理的难易,合理分配到第一基准与转换基准之间和转换基准与修理面之间。第一基准面最好选在需要分别转换的几个次级基准的公共面上。

2. 刮研顺序选择的一般方法

(1) 有相对位置精度要求的导轨面，选择修理顺序时，首先要考虑保证导轨副之间平行度及垂直度的要求。在此基础上才考虑尽量减少修理工作量的问题。为此必须：

1) 先刮与传动部件有关联，技术要求高的导轨面；后刮与传动部件无关联，技术要求较低的导轨面。

2) 先刮形状复杂的导轨面；后刮形状简单的导轨面。

3) 先刮长而面积大的导轨面；后刮短而面积小的导轨面。

4) 先刮加工困难的导轨面，后刮加工容易的导轨面。

(2) 在两件配刮时，选择刮研顺序时应注意：

1) 先刮大工件，然后再配刮小工件。

2) 先刮刚性好的工件，再配刮刚性较差的工件。

3) 先刮长导轨面，后配刮短导轨面。

3. 用预选基准的方法提高刮研速度

用预选基准进行刮研的方法是：

(1) 首先，根据实测的导轨磨损曲线图确定导轨磨损的最低点，以此作为刮研的起点。

(2) 从刮研起点位置开始，每隔一固定距离作出标记；将等高垫铁放在标记处，安放上平行平尺。然后，借助框式水平仪测出每一标记处的垂直坐标值。标记点一般不少于 4 点，标记间的距离一般应是平尺全长的 $5/9$ 。

(3) 根据标记点的坐标值，在每个标记处进行刮研，使每个标记处的小刮研面都能处于同一水平直线上，并且保持正确的横向水平。标记处的刮研宽度一般选为 60~80mm 左右。

(4) 以标记处的刮研面为基础，通过平尺推研对导轨分

段进行粗刮。当导轨各段的刮研面与标记处的基准面同时与平尺面接触时，整个导轨面，就基本刮研平直。

(5) 对整个导轨面进行精刮。

用预选基准对导轨进行刮研的方法如图 3-4 所示。

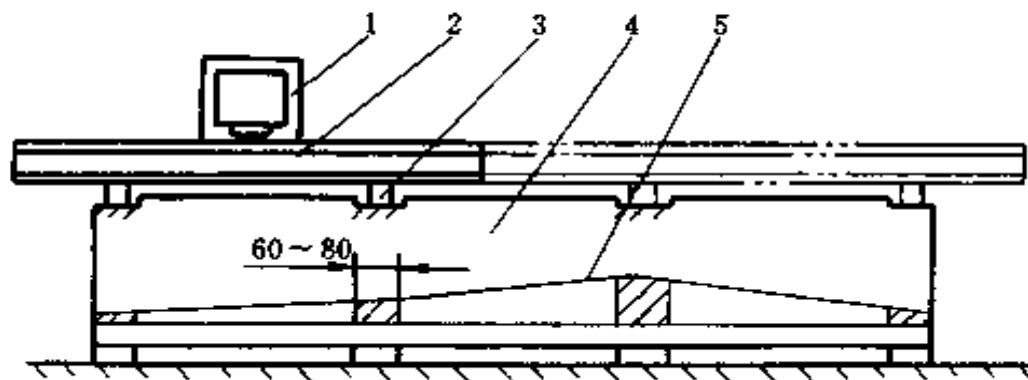


图 3-4 预选基准刮研导轨法

1—水平仪 2—平行平尺 3—等高垫铁 4—导轨 5—导轨误差曲线

第二节 零件表面损伤的修复

一、轴颈的研磨修复

轴颈磨损后，往往使径向尺寸减小，形状误差增大，表面粗糙度变粗。对于磨损不大的轴颈，最常用、最简单的修复方法是用可调研磨套进行研磨和用研磨板进行研磨。

1. 可调研磨套研磨法

用可调研磨套对轴颈进行研磨，可以明显提高轴颈的椭圆度、锥度等几何精度和细化表面粗糙度的要求。

(1) 可调研磨套的结构，通常是由具有螺旋形开口间隙的研磨套 1 和研磨套夹具 2 以及调节螺钉 3 组成。它利用自身弹性对研磨中的工具磨损进行补偿。其结构如图 3-5 所示。研磨套用铸铁制作。这样既能保证研磨剂的磨粒只嵌入工具表面，而不嵌入工件表面，又不使研磨套过早磨损，具

有适度的耐磨性。研磨套与轴颈配合的间隙，在研磨过程中，通过调整应始终保持在 $0.02 \sim 0.04\text{mm}$ 为宜。

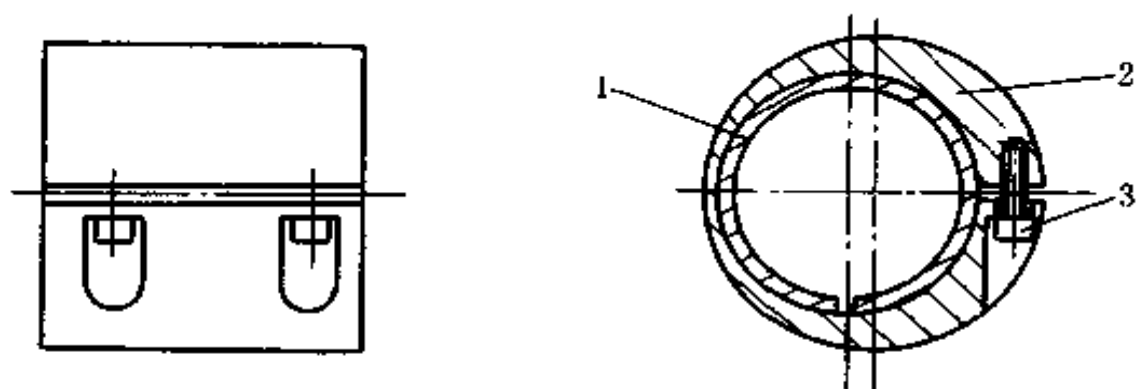


图 3-5 可调研磨套结构示意图

1—研磨套 2—研磨夹具 3—调节螺钉

(2) 粗研时，磨料可选用绿色碳化硅 (TL)。配方是质量分数为 $10\% \sim 15\%$ 的 TLW14 或 TLW10， $85\% \sim 90\%$ 的 L-AN15 \sim L-AN32 粘度等级的机械油。精研时，可以将绿色碳化硅 (TL) 与白刚玉 (GB) 合在一起用。配方是质量分数为 5% 的 TLW5， 5% 的 GBW5， 90% 的 L-AN15 \sim L-AN32 粘度等级的机械油。

(3) 研磨时，把轴颈工件装夹在车床上，将研磨套装在轴颈上，间隙调整合适。然后，再开动机床，保持轴颈表面旋转速度在 $15 \sim 20\text{m/min}$ 左右。操作者用手握住可调研磨套，一边添加研磨剂，一边沿轴向作往复运动，一边适当调整研磨套与轴颈的配合间隙。精磨时，应将粗磨时磨具上的磨料清洗干净。

2. 研磨板研磨法

用研磨板对轴颈进行研磨，可消除轴颈的母线直线度误差，使工件获得精确的尺寸和很细的表面粗糙度。但是，不能减小其已有的椭圆度误差，反而会有增大的趋势。

(1) 研磨板通常都是用 $200\text{mm} \times 100\text{mm} \times 25\text{mm}$ 的灰铸铁平板，在两端安装上把手制成。工作表面必须光滑、无缺陷、平面度好。

(2) 研磨剂配方与上述配方相同。

(3) 研磨时，将工件顶在车床上。在研磨板表面薄薄地涂上一层研磨剂后，开动机床，使轴颈表面旋转速度为 $20\text{m}/\text{min}$ 左右。操作者手持研磨板贴在轴颈加工表面作轴向往复运动，就实现了对工件的研磨加工。

二、滑动面拉伤的补焊

导轨滑动面拉伤后，工作表面会出现很深的沟槽。如果不进行补焊，会存入很多油污杂物，并使沟槽进一步发展。对滑动面拉伤处用锡铋合金进行补焊是目前比较成熟、比较方便的修复工艺。

锡铋合金钎焊条由锡、铋、银、锌四种元素组成。锡的熔点为 232°C ，具有常温不氧化，与许多化学物质不发生作用的防腐蚀优点。铋的熔点为 271°C ，具有流动性好，冷凝快和热缩冷胀与一般金属热胀冷缩相反的特性。银的熔点为 960°C ，锌的熔点为 419.4°C ，具有提高合金的流动性、填充性，使补焊质量更加稳定可靠的功能。

1. 准备工作

(1) 制作锡铋焊条

1) 配方按重量比例质量分数为 52% 的锡，25% 的铋，20% 的银，3% 的锌进行备料。将料放入小铁桶中后，用电炉（或者乙炔焰）进行熔化。在熔化过程中，可以用一根铁棍不断搅拌，使其配制均匀。

2) 把熔化好的合金熔液表面的渣滓除去，然后倒入一个倾角约为 20° 左右的角钢中，完全冷却后就制成了焊条。

在倒合金熔液时，一般尽量使焊条长度保持在 200~300mm 左右，厚度和宽度保持在 10mm 左右为宜。

(2) 制作焊剂可按重量比例，用 95% 的浓盐酸和 5% 的锌，在玻璃容器中配制。锌全部溶化在浓盐酸中后，就可作为焊剂使用。

(3) 工具及劳动保护用具

1) 熔焊工具为 500W 电烙铁，室温较高时也可用 300W 的电烙铁。

2) 清洗用汽油、丙酮、镊子、脱脂棉。

3) 操作者应准备好口罩、手套、工作服，以免补焊中有毒气体进入口腔、鼻腔以及酸液溅到手或者衣服上。

2. 工艺实施过程

(1) 焊前导轨拉伤面的处理工作

1) 用汽油粗洗拉伤表面处。

2) 用刮刀清理干净拉伤沟槽表面上的氧化物，露出金属光泽。

3) 用脱脂棉蘸丙酮清洗待焊面数次，直到脱脂棉上看不到黑污为止。

(2) 施行补焊

1) 在待焊面上涂抹焊剂，注意焊剂量不宜过多。否则会造成蒸发气体过多，容易在补焊处造成缩孔现象。

2) 用电烙铁将锡铋焊条烫化在沟槽内，并且保持一段时间，使熔化的合金液体能很好地填充进细微的沟槽之中。补焊时，烙铁温度不宜过高，以免烧坏锡铋合金。

3) 使补焊面上冷却后的合金焊料能高出沟槽面。

(3) 焊后整修

1) 用刮刀刮平补焊处，使其与导轨面相平。发现缺陷

应及时补焊。

2) 用细油石将补焊处打磨平光。

3. 注意事项

(1) 锡铋合金的硬度较铸铁要低。因此，只适用于补焊宽度不大，对导轨承载能力影响不明显的拉伤沟槽。

(2) 补焊处是否牢固，关键是拉伤沟槽处的清洗工作能否做好。因此，对沟槽处的清洗处理一定不可马虎从事。

三、粘贴修复

导轨表面经刨削及刮研以后，要破坏设备中原有的尺寸链关系，影响设备的正常运动。为了解决这个问题，采用粘贴塑料板带的方法，修复滑动导轨损伤及磨损严重的表面，并补偿尺寸损失是一种简单合理的工艺措施。

1. 工艺实施过程

常用的粘贴塑料板带有尼龙板、聚四氟乙烯薄带以及聚四氟乙烯基滑动导轨软带等。

(1) 粘贴前，首先应刨削及粗刮待粘贴的导轨表面，并且对导轨粗刮表面及塑料板要粘贴的表面分别进行研点检查，要求着色点均匀分布，接触面积全长上为 50%，全宽上为 30%。若达不到，必须进行刮修。通常薄带类材料如聚四氟乙烯薄带表面平整，薄厚均匀可以不进行研点检查。此后，不但要用汽油和丙酮对待粘贴的两个表面进行除油去污处理，对活性小、难粘贴的塑料表面还要进行活化处理。如聚四氟乙烯薄带及聚四氟乙烯基滑动导轨软带要在钠—苯—四氢呋喃溶液或钠—苯—乙二醇二甲醚溶液中，于室温下浸泡 3~5min，以提高其粘接性能。

粘接剂可使用 420 胶、聚氨酯胶或者 501 胶、502 胶等适于粘接金属与塑料的胶。要求粘接剂具有常温下能快速固

化, 固化后的胶层能耐油、有韧性等特点。

(2) 粘贴时, 应对塑料板带和铸铁导轨的胶合面, 分别涂刷胶液。控制胶层厚度为 $0.10 \sim 0.15\text{mm}$ 左右。然后就可以进行粘贴。

(3) 粘贴后, 应进行加压固化。对粘贴塑料板的车床溜板可以进行压板垫铁加压, 如图 3-6 所示。要求加压均匀, 压力达到 0.06MPa 左右即可。对粘贴聚四氟乙烯薄带的车床溜板等滑动导轨, 可以直接和床身导轨进行配压, 使压力达到要求值, 固化后也可以不再进行机械加工。只要除净多余胶质就可以使用, 一般都能达到接触精度要求。若出现达不到要求的现象, 可以适当进行刮研。对于粘贴塑料板的滑动导轨面, 固化后必须与已经刮研好的床身导轨配研, 刮修至符合接触精度要求。

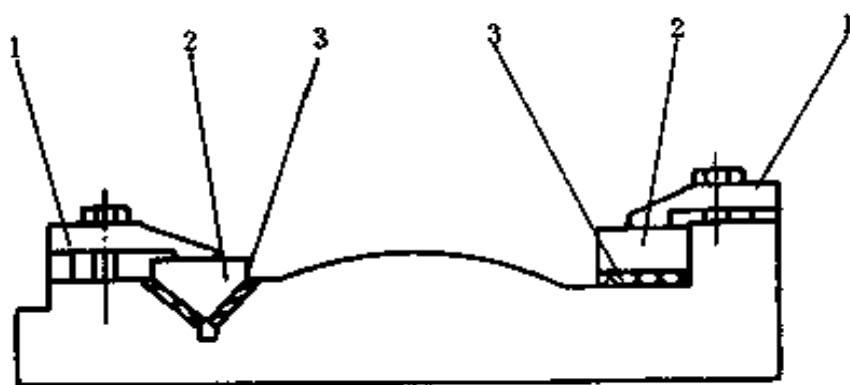


图 3-6 车床溜板粘贴塑料板的加压方法

1—压板 2—垫铁 3—塑料板

2. 注意事项

(1) 当溜板上同时有平、V 导轨时, 应注意它们之间在垂直导轨面的方向上, 存在一定的增厚不等的比例关系。例如 V 形导轨半角为 45° 时, 平、V 导轨的增厚比例应为 $1:0.707$ 。平导轨上粘贴 0.5mm 厚的薄带时, V 形导轨只能粘

贴0.35mm厚的薄带。如果要用同一厚度的薄带进行粘贴,那么刨削及粗刮导轨面时,在V形导轨面应注意补齐差值。如平、V导轨都要用0.5mm厚的薄带粘贴,就要使V形导轨面在垂直导轨面的方向多刨去0.15mm的厚度。

(2) 对于平、V导轨进行刨刮时,若V形导轨半角为 45° ,减薄比例也应为1:0.707。平导轨上刨刮去0.4mm,V形导轨在垂直导轨面的方向上只能刨刮去0.28mm的厚度。

(3) 涂胶时要注意涂得薄而均匀。分两次涂,第一次涂完后,放置3~5min,再涂第二次,放置10min左右,再把两个涂胶面胶接在一起。然后再用大直径轴承进行推压,使胶接面内的空气排除干净,才能进行加压或配压。加压固化时间,在室温下一般为48h。

(4) 为防止加压时垫铁与塑料板粘在一起,应在垫铁与塑料板之间加一层油封纸。为防止配压时塑料薄带与床身导轨粘在一起,配压前应在床身导轨上放油封纸。配压中要防止薄带滑位。

(5) 固化去压后,应严格检查胶接质量,若发现没有胶住的地方,必须重新进行粘贴,否则渗入润滑油、粘贴层很容易脱落。

(6) 刮四周渗出来的余胶,应小心仔细,不能破坏粘接质量。

四、根据特点合理选择特殊性修复方法

特殊性修复方法是指涂镀、喷镀、镀铬、镀铁、振动堆焊等需要专用设备,专门技术的修理工艺。一般情况下,小厂都不具备这些工艺条件。若要采用某种特殊性修复方法,可以通过委托进行外协修理。因此,对于小厂维修人员来说,关键是要根据特点合理选择这些特殊性修复方法。

1. 涂镀技术的应用特点

涂镀是以工件为负极，涂镀笔为正极，在工件表面局部进行快速沉积金属的电化学反应过程。操作时，是在涂镀笔的石墨极上包个棉套，蘸上快速沉积金属溶液，与工件接触，并且作相对运动，从而使溶液中的金属离子在电场作用下，沉积在工件表面上。而且，随着时间的延长，沉积层越来越厚，直至达到所要求的厚度。

选择涂镀工艺时，要注意如下特点：

(1) 适用于零件磨损产生尺寸变小的情况，合理的涂镀层厚度一般为 $0.2 \sim 0.5\text{mm}$ ，控制精度可达 0.01mm 。对于要求不高和不易加工的零件，涂镀后可以不再进行机械加工。

(2) 涂镀层与基体金属的结合强度高，对材料的适应性广。在铝、铜、铸铁、高合金钢以及淬火层，渗碳层和氮化层上，涂镀层也具有良好的结合强度。

(3) 合理选择涂镀层材料，可以提高零件表面的耐磨性和抗腐蚀性。

(4) 涂镀过程中，对工件加热小于 70°C ，不会引起变形和基体金属金相组织变化，修复零件后不需要进行后继热处理。

(5) 工艺灵活。可修复大型和精密零件的局部磨损，擦伤、凹坑、锈蚀等损伤。大型零件可不解体就地维修。

2. 选择喷镀工艺时应注意的问题

金属喷镀工艺的原理是利用金属喷镀枪，把用电弧或乙炔火焰高温熔化了了的金属，在 $0.6 \sim 0.7\text{MPa}$ 的压缩空气吹动下雾化，以 $100 \sim 300\text{m/s}$ 的速度连续喷到磨损或损伤的表面形成镀层，对零件进行补修。选择喷镀工艺时要注意如

下问题。

(1) 喷镀层的合理厚度一般为 $0.5 \sim 2\text{mm}$ 。喷镀后的零件表面不平整,需要进行机械加工,如车削、磨削等。

(2) 喷镀层与基体金属的结合强度比涂镀层、堆焊层与基体金属的结合要差一些。喷镀层的抗拉强度、疲劳强度也低,因此不适于受冲击零件的修理。

(3) 喷镀层是多孔组织,能存油,润滑性能好。但降低了抗腐蚀性。因而对在有腐蚀性介质条件下工作的零件不宜采用这种修理工艺。

(4) 喷镀时零件温度在 $70 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 左右,不会引起基体金属组织改变和零件变形。合理选择材料,可以使喷镀层的硬度提高,一般不再进行热处理。因为淬火时喷镀层容易破裂,因此喷镀后也不宜再进行热处理。

3. 镀铬工艺形成的镀层特点

镀铬工艺的原理,是在含铬的电解液中,通以直流电,使溶液电离,从而带正电的铬离子向带负电的被修零件表面移动,放电后沉积其上,也就获得了镀层。镀铬层的主要特点是:

(1) 适用于修复磨损量不大的零件,镀层的合理厚度为 $0.01 \sim 0.2\text{mm}$ 。镀层过厚,容易脱落。

(2) 镀铬层的主要优点是摩擦系数低、硬度高、抗腐蚀性强、抗磨性好、与基体金属结合强度高、对基体金属无热影响等。其硬度高于渗碳钢和氮化钢,其耐磨性可提高 $5 \sim 10$ 倍。

(3) 镀铬层的主要缺点是性脆,只能承受均布载荷,在冲击力作用下容易破裂,并且随着厚度的增加,强度反而降低。因此,对承载压强较大,受冲击负荷的零件,选择镀铬工艺修复时,要考虑到镀层厚度不宜大,只宜小,而且要尽

量选得小一些。

4. 镀铁工艺的合理应用

镀铁工艺成本较低，镀层合理厚度可达 $1\sim 2\text{mm}$ ，但镀层硬度和与基体金属结合的强度都不太高。因此，采用镀铁工艺时，应根据其特点合理使用。

(1) 适用于修复过盈不大的固定配合零件，以及表面硬度要求不高的零件。

(2) 修复摩擦表面，若要求镀层厚度大于 0.3mm ，不宜进行镀铬修复时，可以先通过镀铁工艺进行增厚，再在镀铁层的外面镀上一层铬。

(3) 修复受有冲击载荷的摩擦表面时，镀铁后必须进行热处理，如淬火、渗碳、氮化等，以提高镀层表面的硬度和耐磨性。

5. 振动堆焊的应用特点

振动堆焊修复零件磨损表面的基本原理，是通过焊丝振动与修理表面实现断续接触，形成脉冲放电过程，熔化焊丝，并使其堆焊在运动工件的表面上。

振动堆焊工艺的应用特点主要是：

(1) 堆焊层的一般厚度可选择在 $0.3\sim 3\text{mm}$ 之间。

(2) 堆焊层与基体金属结合强度好。表面硬度若有需要，可以达到 50HRC 以上，具有良好的耐磨性。堆焊过程中温度低，不会产生过热现象，热变形影响小。

(3) 适用于修理已磨损的主轴轴颈等滑动摩擦表面，常装卸的固定配合表面，被磨损的键槽与丝杠螺纹的工作表面，以及受有冲击载荷的摩擦表面。

(4) 振动堆焊的主要缺点，是形成的堆焊层内部组织不匀、硬度不匀、多孔，使被修零件的疲劳强度要降低 $20\sim$

30%。若有必要可进行堆焊表面的强化处理,通过滚压、喷丸等方法起到冷作硬化的作用,以提高其疲劳强度。

(5) 堆焊后,堆焊层一般都要进行机械加工。硬度较低的可粗车后精车;硬度较高的可粗磨后精磨。

第三节 零件的断裂修复

一、铸铁冷焊

机械设备中的壳体、机身等件通常材料都为灰口铸铁,强度较低,容易出现断裂现象。修理时,采用冷焊修复最为经济、易行。但是,由于铸铁组织疏松、含碳量高、性脆、偏析情况严重、可焊性差。如果工艺实施不当,就会出现质量问题,影响修复质量。

1. 铸铁冷焊中容易出现的问题

(1) 铸铁没有明显的屈服点,延伸率较低。焊接中焊缝收缩时,在温差应力的作用下容易出现裂缝。

(2) 由于铸铁成份中含量较高的碳、硅在施焊中烧损后,又迅速被冷却。因此,焊接的局部区域很容易使碳以渗碳铁状态存在,形成硬度很高的白口组织,影响焊后的使用性能和加工性能。

(3) 往往会出现连续密集的气孔。

2. 提高焊接质量的焊前准备措施

(1) 首先,沿着需要焊接修复的裂缝方向加工台阶形剖口,其形式如图 3-7 所示。这样,有利于熔合线成为曲线,使应力沿着曲线分散。

(2) 选择合适的焊条。一般选用铸 308 纯镍焊条。由于镍与碳不生成碳化物,并且具有促进石墨化的作用,就可排除在半熔化区产生白口组织的可能性。但是,有时候铸 308

焊条对有些材料会出现剥离现象。这时应用铸 116、铸 117 高钒铸铁焊条，采取点熄焊法，在剖口处增加过渡焊层。然后，再用铸 308 焊条进行焊接，就可避免剥离现象。

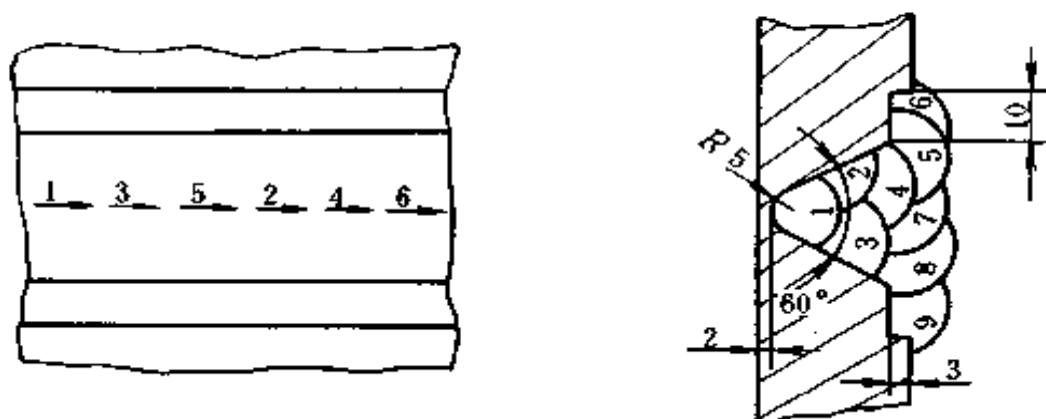


图 3-7 铸铁定向施焊法

(3) 对承受重载荷的铸件进行焊接前，应在剖口两侧等距离钻孔、攻螺纹，旋上螺钉。两侧螺钉要对称、相互焊牢，以增强铸件金属与焊缝金属的联接。加工的螺纹须深浅不一，使孔底交叉开。焊接时，不能使螺钉受损伤，但必须使螺钉熔于焊缝之中。

(4) 进行清污处理。在熔接区域里应清除油污，水分及其他脏物。用丙酮清洗焊接剖口处。

(5) 进行均温处理。在焊接剖口两侧用乙炔焰将工件加热到 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，宽度范围约 300mm 左右。当剖口处冷却到约 60°C 左右时就可以施焊。在焊接过程中，焊接区域内应始终保持这个温度，实现均温，并且注意焊接中不能使焊接面超过 120°C 。

3. 提高焊接质量的工艺实施措施

(1) 进行定向性规则施焊

1) 施焊方向应从内向外, 从强到弱。使焊缝尽可能朝一个最容易吸收和扩散应力的方向进行走向。

2) 在焊缝走向不变的前提下, 应采用阶梯形, 层、道排列。

3) 使每道焊缝重迭一半。定向性的施焊情况应如图 3-7 所示。这样, 有利于在焊接过程中实现均温和退火处理, 改善焊缝组织。

(2) 实行短、窄、厚、小、浅的焊接工艺

1) 焊程宜短不宜长, 焊一次最长不超过 35mm。

2) 焊缝宜窄不宜宽, 以减小熔融区和受热影响区。

3) 每次的焊缝宜厚不宜薄, 尽量减少层次。这样, 便于迭焊和对前道焊缝起退火作用。

4) 弧坑要小, 以避免弧坑裂缝。一般在熄弧前, 将焊条要向后退 5mm, 打个圈, 把弧柱压到最短, 使弧尾引向外侧, 争取尽快熄弧。并且争取在 3s 时间内能完成这几个动作。这样, 基本上就可以使焊道上没有弧坑。

5) 焊接穿透要浅。焊接时, 弧柱不能针对坡口接触面, 应将熔化的焊条借助熔滴“推贴”到剖口接触面上。尽量使穿透溶深保持在 0.1~0.3mm 为宜。这样, 以避免焊缝抗裂性能受到铸铁中析出的碳、硅、磷、硫等元素的破坏。以及熔合线上产生白口组织。

(3) 重视打底工作, 防止出现气孔。第一道焊完后, 应用凿子凿去所有气孔, 并保持五分之二的“焊肉”, 用尖口锤排击一遍, 以避免焊第二道时重复产生气孔。

4. 提高焊接质量的焊后措施

零件焊后要保温 2h 时间以上, 进行缓慢冷却, 以消除和减小焊缝处的内应力。

二、金属扣合

金属扣合是利用高强度的波浪键，将机件断裂的两边以机械方式扣合联接起来的修理方法。这种方法适用于强度要求一般，壁厚为 8~45mm 的机件修复，具有工艺简单、成本低廉、质量可靠等优点。

1. 波浪键的结构形成

波浪键一般采用奇数凸缘形结构，可以有 5 个、7 个或者 9 个凸缘。中间的一个凸缘应置于裂缝或断裂面上，以提高其牢度。键的凸缘选用 $\phi 8\text{mm}$ 形状、凸缘间距离为 10mm，键的厚度以 6~8mm 为宜（需要时可以多层安装）。每两个键槽的间距一般可选为 30~60mm。在裂纹末端应钻有止裂孔。波浪键的结构及其扣合如图 3-8 所示。

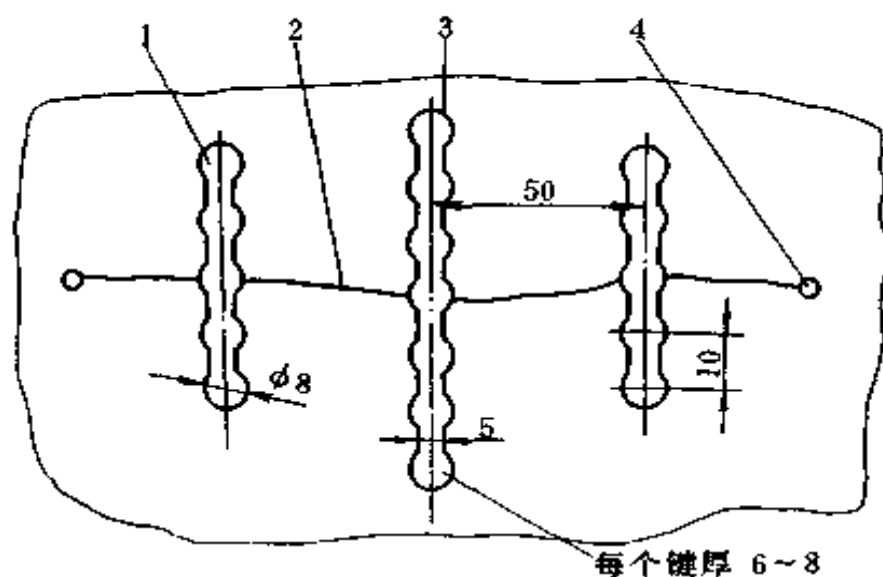


图 3-8 波浪键扣合修复法

1—波浪键 2—裂纹 3—环氧树脂粘接层 4—止裂孔

波浪键的材料可采用塑性和冷作硬化性好的低碳镍铬不锈钢 0Cr18Ni9, 1Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti 等材料。对于高温工作的机件，波浪键通常都选用 Ni36 或者 Ni42 等与铸铁膨

胀系数相近的材料。

2. 工艺实施方法

(1) 按波浪键的凸缘结构位置制造钻模。利用钻模在垂直于裂纹或断裂面的方向上依次钻孔。注意利用第一孔使钻模定位。

(2) 用凿子加工波形槽。加工中要注意，必须使槽与键的配合间隙在 0.1~0.2mm 以内。

(3) 在波浪键四周涂上环氧树脂粘接剂，并嵌入波形槽中。

(4) 铆击已嵌好的波浪键的凸缘处。铆击强度应由两端向中间凸缘依次减弱。在一个波形槽里需装入多层波浪键时，第一层键嵌平铆透后再装入第二、第三层键，并逐层清除残屑，逐层进行铆击。

三、粘接修复

粘接的方法一般用来修复设备机壳上的破孔以及承受载荷不大，不受冲击的断裂机件。

1. 修复处的结构处理

用粘接方法修复机件时，除在断裂面上涂抹粘接剂外，通常都在断裂处裹上两层浸透粘接剂的玻璃纤维布，以增强修补处的强度。如果对机壳上的破孔进行修复，除了粘上破块外，还应在破孔表面贴上两层浸透粘接剂的玻璃纤维布。若破孔处没有原来的破块时，可先用粘接剂贴好玻璃纤维布。待稍干后，在粘接剂中加上 50% 的铁粉或者水泥，填充破孔内部与壁厚抹平。

2. 粘接剂的配制

(1) 常用于修复机件的冷硬化粘接剂配方如下：

1) 101[#] 环氧树脂： 100 份 (粘料)

邻苯二甲酸二丁酯:	18 份	(增塑剂)
乙二胺:	8 份	(固化剂)
石墨粉:	20 份	(填充剂)
丙酮:	10 份	(稀释剂)
2) 628 [#] 环氧树脂:	100 份	(粘料)
邻苯二甲酸二丁酯:	18 份	(增塑剂)
乙二胺:	8 份	(固化剂)
铁粉:	50 份	(填充剂)

(2) 调制粘接剂的方法

- 1) 先将环氧树脂溶于稀释剂之中。
- 2) 加入增塑剂并且搅拌均匀。
- 3) 加入固化剂并且搅拌均匀。
- 4) 最后加入填充剂并且搅匀后即成粘接剂。

3. 粘接注意事项

(1) 粘接前必须对粘接表面用丙酮清洗干净。

(2) 调好的粘接剂应迅速涂在粘接面上, 并且施以适当压力, 保证粘接表面紧密接触。粘接表面间粘接层的厚度与粘接强度有关, 最有利的厚度为 0.1~0.2mm。

(3) 冷硬化粘接剂的固化时间是常温下保持 24h。

第四节 零件的校直

一、压力校直

(1) 用压力对零件进行校直必须矫枉过正。零件在压力下引起的变形, 包含弹性变形和塑性变形两部分。弹性变形会随着压力的消失而消失。这样, 零件的弯曲变形量只有在矫枉过正的条件下, 才能由校直中产生的塑性变形量进行抵消。一般的轴如凸轮轴或曲轴压校时, 所需的压弯量是弯曲

变形量的 10~12 倍。

(2) 零件校直压弯时, 应保持 2~3min, 并且用手锤对零件进行快速敲击, 提高零件的校直保持性。

(3) 零件校直后应立即进行定性处理。这样, 可以消除压校中在零件内部引起的内应力, 使材料塑性变形稳定, 提高校直保持性, 同时有利于提高零件的刚性。定性处理时, 对于调质的零件可加热到 450~500℃, 保温时间 2h 左右。对于表面淬硬的零件可加热到 200~250℃, 保温时间 6h 左右。

二、砸弯校直

(1) 砸弯校直原理, 是通过砸击零件上的弯曲低点部分, 引起金属材料延伸, 在零件弯曲低点的表面处产生伸展性塑性变形, 从而改变了零件弯曲部分的内应力分布状况, 使弯曲部位伸直。这样, 可以大大提高零件的校直保持性。

(2) 砸弯工艺实施前, 先要自制一个头部为凹圆形的扁平嘴铜棒, 与零件外形相适应。然后将零件的弯曲高点安放在硬质木头块上, 用铜棒顶在零件弯曲低点处。如果零件为丝杠, 应该顶在弯曲低点处的螺纹底径处。这样, 就可以用手锤敲击铜棒, 并在零件的弯曲低点处依次移动铜棒进行砸弯。砸弯的强度应以弯曲最低点处为最大, 两边次之, 逐步减弱。每砸完一遍后, 可用百分表测量一次零件弯曲值的变化情况, 直到使零件校直为止。

(3) 砸弯校直后, 对零件一般不用进行定性热处理。

三、火焰校直

(1) 火焰校直的原理是: 用气焊乙炔焰迅速加热零件的弯曲最高点时, 该处的表面层金属就会迅速膨胀, 使零件加深弯曲度。但在加热点周围和弯曲最低点处温度还很低的情

况下，冷金属部分会限制加热点金属的膨胀。于是，被加热的金属就会受到压力，在高温下产生塑性变形。这样，加热点处的金属实际上就缩小了。当加热点处迅速冷却后，必然造成零件的反向弯曲。

显然，用火焰校直法能适用校直形状复杂的大尺寸零件，并且具有校直保持性好，对疲劳强度影响较小的特点。

(2) 工艺实施特点

1) 加热点温度要迅速上升，乙炔焰的热量要大，加热点面积要小，加热后要在加热点处用水迅速冷却。否则，将会影响校直效果。

2) 对于变形较小的轴类零件，加热点可以是一点或者多点。多点加热常用梅花式。对于变形较大的轴类零件或者形状复杂的零件可采用线状加热。使火焰沿直线方向移动，或者在沿直线移动的同时，在宽度方向作横向摆动，形成带状加热。

3) 加热的温度一般在 $300\sim 700^{\circ}\text{C}$ 之间，不宜过高。若采用一点加热不能解决问题，必须采用多点加热。这时，每一点处的温度还可适当地再低一点。

4) 校直时，为了作到心中有数，可将百分表打在零件弯曲最高点附近（注意用乙炔焰加热时要保护百分表），以观察校直情况。当对弯曲最高点加热时，百分表的指针会迅速沿顺时针方向转动。当弯曲最高处被迅速冷却后，百分表的指针会迅速沿逆时针回转，并超过原始零位。则超过值的大小反映了弯曲件的校直情况。

第四章 典型零部件的装配

典型零部件的装配质量直接影响设备的使用性能及设备的精度。

对机械设备装配的一般要求如下：

(1) 装配零件要干净。对于质量合格的零件在装配开始时，首先要用汽油或煤油进行清洗。在装配的整个过程中要保持零件干净。凡是装配面一般都要用手在整个面上进行触抹，防止棉绒毛、铁屑、砂土等脏物进入装配面内，影响装配质量。

(2) 装配必须按照程序进行。在熟悉设备传动关系图及装配图样的基础上，应选择合理的装配程序。首先以典型零件为中心进行组件装配，然后组件又装配成部件，最后由部件装配成整台设备。装配的顺序必须是后拆卸的零件要先装配。

(3) 配合关系要适宜。间隙配合一般应具有较小的允许间隙，使零件间滑动灵活。相互配合的导轨刮研面间，要能贴实，用0.04mm的塞尺不得插进10mm深。过盈配合的零件，在装配前要进行实物测量计算，装配的过盈量一般可控制在允许过盈量的较大值范围。固定联接处不但要保证足够的强度和刚度，还要保证具有紧密性。

(4) 装配中力的作用点要正确，力的大小要合适，夹紧力要均匀。

第一节 固定联接件的装配

一、螺纹联接的装配

(1) 螺纹联接要保证有合适的拧紧力。承受动载荷的、较为重要的螺纹联接，一般都规定有预紧力要求。装配时必须按要求拧紧。对于没有预紧力要求的普通螺纹联接也应该有合适的拧紧力。螺纹拧紧力的大小与螺栓的强度有关。表 4-1 中按照螺纹的强度级别，分别列出了不同规格螺栓在一般情况下的拧紧力矩。强度级别由数字表示。小数点前面的数字为 $(\sigma_{bmin})/10$ ，小数点后面的数字为屈强比 $\sigma_{smin}/\sigma_{bmin}$ 。 σ_{bmin} 为抗拉强度， σ_{smin} 为屈服强度，单位为 kPa。

表 4-1 常用螺纹一般拧紧力矩 (N·m)

螺纹直径/mm	螺 栓 强 度 级 别			
	4.6	5.6	6.6	10.9
M6	3.43	4.51	5.10	11.37
M8	8.23	10.98	12.35	27.54
M10	16.37	12.05	24.5	54.9
M12	28.4	38.2	43.1	95.1
M14	45.1	60.8	68.6	147
M16	70.6	94.1	106.8	235
M18	98	130	146	323
M20	137	184	208	461
M22	186	251	284	627
M24	235	319	359	794
M30	470	637	715	1588

(续)

螺纹直径/mm	螺 栓 强 度 级 别			
	4.6	5.6	6.6	10.9
M36	833	1107	1245	2764

螺栓的强度级别是螺栓的材料及热处理状态的反映。4.6 级的螺栓材料是正火状态的 10、15 钢；5.6 级的螺栓材料是正火状态的 35 钢；6.6 级的螺栓材料是调质状态的 35、45 钢；10.9 级的螺栓材料是调质状态的 40Cr 钢。

(2) 成组螺纹联接的零件，拧紧螺栓必须按照一定的顺序进行，并做到分次逐步拧紧。这样，有利于保证螺纹间均匀接触，贴合良好，螺栓间承载一致。由图 4-1 所示可以看出：

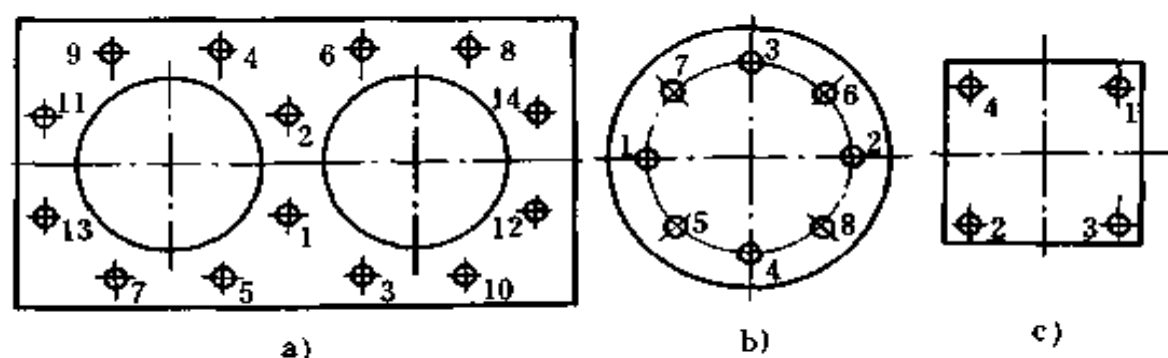


图 4-1 成组螺栓拧紧顺序

1) 长方形布置的成组螺栓，拧紧的顺序是先从中央开始，逐步向两边对称地扩展进行（图 4-1a）。

2) 圆形布置的成组螺栓，应按一字交叉方向拧紧（图 4-1b）。

3) 方形布置的成组螺栓必须对称地拧紧（图 4-1c）

(3) 为了防止螺栓受振松脱，螺纹联接必须有合适的锁

定措施。

1) 加弹簧垫圈。这种方法适宜于机械外部的螺纹防松。为保证弹簧垫圈有适度的弹力, 要求在自由状态下, 开口处相对面的位移量不小于垫圈厚度的 50%。

2) 用双螺母锁紧。锁紧螺母采用薄型螺母。在拧紧薄型螺母时, 必须用两只扳手将薄型螺母与原有螺母相对地拧紧。

3) 用止退垫圈锁定。这种方法适用于圆螺母防松。锁定时将垫圈的内爪嵌入外螺纹的槽中, 将垫圈的外爪弯曲压入圆形螺母的槽中。止退垫圈的结构如图 4-2 所示。

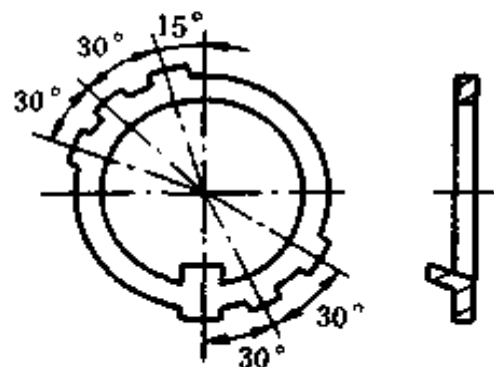


图 4-2 用止退垫圈锁定

4) 用钢丝绑紧。成对或成组的螺钉, 可以用钢丝穿过螺钉头互相绑住, 防止回松。用钢丝绑的时候, 钢丝绕转的方向必须与螺纹拧紧方向相同。如图 4-3 所示。

对于紧定螺钉必须在轴槽上绕一周钢丝, 使钢丝嵌入紧定螺钉的起子槽内绑紧。

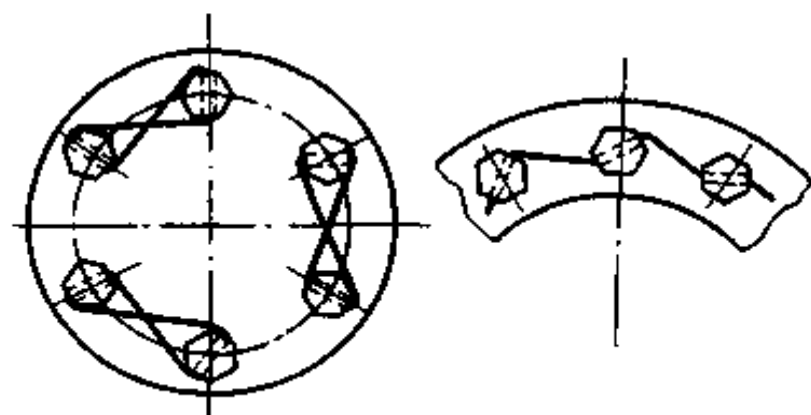


图 4-3 用钢丝绑紧

5) 用保险垫圈锁定。螺母拧紧以后, 将垫圈外爪分别上、下弯曲, 使向下弯曲的爪贴住工件, 向上弯曲的爪贴紧到螺母的六角对边上, 不能贴在角上。如图 4-4 所示。

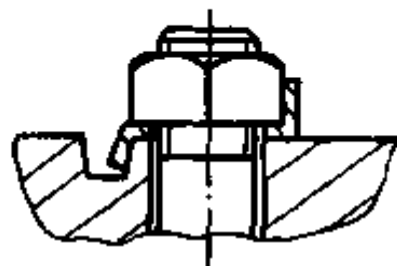


图 4-4 用保险垫圈锁定

6) 用开口销锁紧。螺母拧紧到规定的力矩范围以后, 使槽形螺母的端面槽对准销孔, 再将开口销插入, 分开销头紧贴到螺母的六角侧平面上。使用无槽螺母时, 应配作垫圈厚度, 使开口销插入销孔能恰好顶住螺母端面。

二、键销联接的装配

(1) 平键联结中, 键的工作面是两个侧面。一般机械中要求键在轴槽中固定, 在轮毂槽中滑动。在传递重载、冲击及双向转矩的机械传动中, 应使键在轴槽和轮毂槽中都固定。对于轮毂及键沿轴槽导向的机械, 必须使键在轮毂槽中固定, 在轴槽中滑动。修理装配中, 通常都是重新加工键, 用平磨单配键宽达要求。

(2) 斜键联结一般都应用于同轴度要求不高的联接件。它的工作面是上、下面, 有 1:100 的斜度。键打入时, 造成轴与轮毂间的压力而产生摩擦以传递转矩。因此, 它的上、下两面与键槽的上、下两面贴合要好, 一般要进行研磨。侧面与键槽间应有一定的间隙。

(3) 花键联结时, 花键轴、孔间的配合要求比较准确。装配时, 必须首先清理凸起处的毛刺和锐边, 防止产生拉毛和咬住现象。然后涂色检查孔、轴配合情况, 通过装配, 使花键孔在轴上能自由滑动。

(4) 锥销联接的锥销锥度为 1:50, 具有自锁作用, 可

保证联接件的定位精度。其定位精度主要取决于锥孔精度。用铰刀铰出的锥孔要求与锥销的接触面积大于 60%，并均匀分布。

(5) 圆柱销联接时，销孔间的配合要求过盈。经拆卸失去过盈时，必须重新钻铰尺寸大一级的销孔，安装新圆柱销。

三、过盈配合的装配

过盈配合主要适用于受冲击载荷零件的联接，以及拆卸较少的零件联接。装配方法主要是采用压力机压入装配和温差法装配。

(1) 根据零件的配合性质选择过盈配合的装配方法。以优先常用配合为例，按照 $H7/n6$ 、 $N7/h6$ 、 $H7/p6$ 、 $P7/h6$ 配合关系装配的零件。可以用压力机压入。按照 $H7/s6$ 、 $S7/h6$ 配合关系装配的零件，既可用压力机压入，也可用温差法进行装配。按照 $H7/u6$ 、 $U7/h6$ 配合关系装配的零件，通常都是用温差法进行装配。

(2) 压入装配的压入力的大小，与零件的尺寸变化、刚性强弱、过盈量多少有关。一般在修理装配过程中，是根据现有工具和压力机情况采用试验

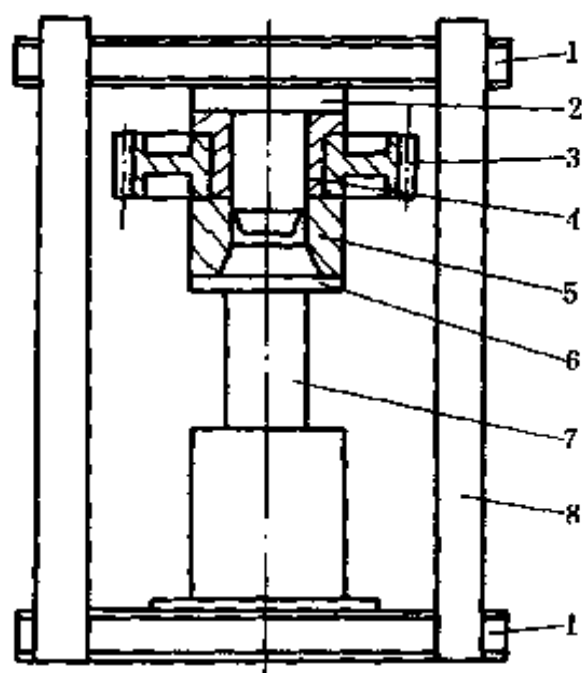


图 4-5 压入装配法

- 1—钢轨 2—压轴 3—齿轮
4—衬套 5—垫套 6—垫板
7—千斤顶 8—侧框

的方法进行。在小型工厂中可以用液压千斤顶借助钢轨框架

进行压入。如图 4-5 所示。在试验压入时，可根据零件压入所需压力，选择液压千斤顶的大小。压入时要保持零件干净，并在配合面上涂一层机油。安放零件要端正，以免压入时发生偏斜、拉毛，卡住等现象。

(3) 温差法装配，通常主要是加热包容件进行装配。加热的方法有：

1) 油中加热，可达 90°C 左右。

2) 水中加热，可达近 100°C 。

3) 电与电器加热。温度可控制在 $75\sim 200^{\circ}\text{C}$ 之间进行。主要方法有电炉加热、电阻法加热以及感应电流法加热等。

对于薄壁套筒类零件的联接，条件具备时常采用冷却轴的方法进行装配。常用冷却剂有：干冰、液态空气、液态氮、氨等。

(4) 过盈量较小的小直径零件，可用手锤借助铜棒或衬垫敲击压入件进行装配。

第二节 滚动轴承的装配

一、角接触球轴承在主轴上的配置与预紧

1. 角接触球轴承通常布置形式

角接触球轴承有三种布置形式，如图 4-6 所示。

(1) 背对背式布置，即宽边相对（图 4-6a）。

(2) 面对面式布置，即狭边相对（图 4-6b）。

(3) 同向成对背对背式布置，即并列成对后背对背（图 4-6c）。

其中，背对背式布置轴承的接触角线沿着回转轴线扩散。因此，增加了径向和轴向刚性，抗变形能力较大，是最常用的一种轴承布置形式。

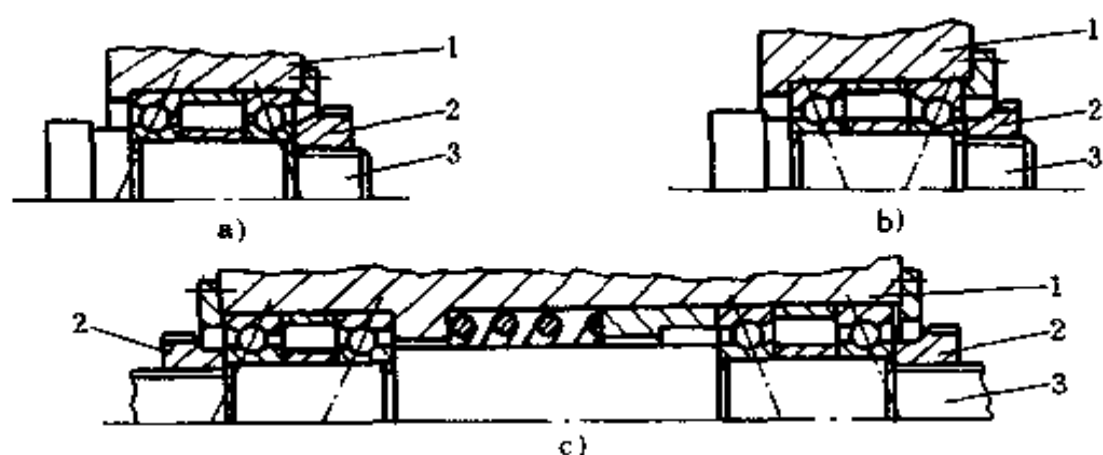


图 4-6 角接触球轴承常用布置形式

1—轴承座 2—螺母 3—主轴

2. 角接触球轴承的预紧

为了使配置角接触球轴承的主轴提高精度、增强刚性，必须给轴承预加负荷。预加负荷的大小要稍大于或者等于工作载荷。一般采用较多的是用轴承内、外圈间的衬套宽度差，在螺母的作用下，来对轴承预加载荷。对于普通设备来说，只要既能保证主轴灵活运转，温升较低，又能满足工作需要的刚性就为装配合适。修理中，通常都是以原有衬套的宽度差为基础适当进行调整。对于高精度旋转主轴来说，常用的方法是在轴承内、外圈间放进衬套，内衬套可以略斜出一点，然后以双手的大拇指及食指消除两只轴承的全部间隙，另以一只中指伸入轴承内孔，拨动原先放偏的内衬套，检查其阻力是否与外衬套相似。

二、圆锥滚子轴承在主轴上的配置与调整

1. 圆锥滚子轴承在主轴上常见布置形式

圆锥滚子轴承在主轴上通常有四种布置形式，如图 4-7 所示。

(1) 主轴前、后各放一个轴承的结构（图 4-7a）。

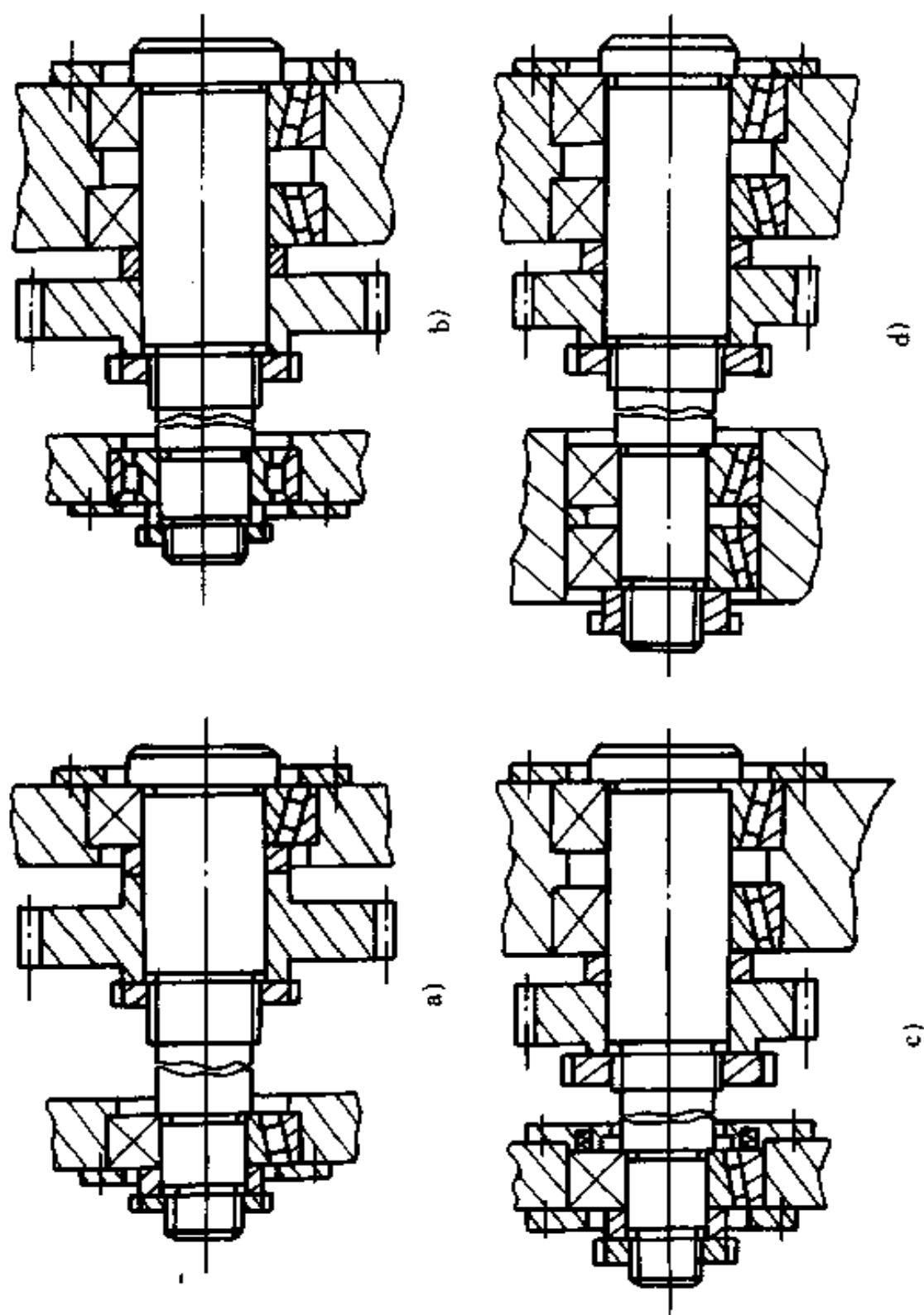


图 4-7 圆锥滚子轴承常用布置形式

(2) 主轴前端以背对背形式安装两个轴承。后端放一个圆柱滚子轴承 (图 4-7b)。

(3) 主轴前端以背对背形式安装两个轴承。后端安装一个轴承,并以几个弹簧压住其外圈以消除间隙(图 4-7c)。

(4) 主轴前端安装两个轴承,在轴向固定。后端安装两个轴承,其外圈允许轴向移动 (图 4-7d)。

2. 圆锥滚子轴承在装配中的调整

(1) 严格控制轴承内孔与轴的配合。必须使轴承内圈在轴颈处配合既不松,又能灵活地沿轴向移动。要求内、外圈装配时,在轴颈及轴承座孔处一般以双手的大拇指刚能推入的配合为适当。

(2) 调整螺母使轴承承受适当的预加载荷,具有能与主轴最大转速相应的间隙。调整时,可以一边拧紧螺母,一边转动主轴。使主轴转动时既有一点阻力,又不致卡得过紧为宜。最终还必须经过试运转,使主轴在工作中既能满足工作精度要求,轴承又不发热,长期运转不超过 70°C 就为合适。

(3) 对于一般轴上安装的圆锥滚子轴承间隙的调整,可通过轴承盖处的垫进行调整。如图 4-8 所示。调整时,轴承盖上先不加垫,直接用螺钉将轴承盖压上,使轴承中具有合适间隙,转动轴的手感阻力应很小为宜。然后用塞尺测量 A 处间隙 a ,并根据 a 值加垫。若垫的尺寸不合适,还可配磨轴承盖的 B 处。

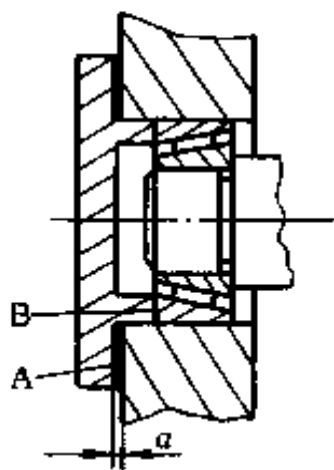


图 4-8 通过轴承盖处的垫调整圆锥滚子轴承间隙

三、其他类型轴承装配调整特点

(1) 深沟球轴承应用非常广泛，安装时应注意配合关系选择要合适。装配后轴承的滚珠与滚道间应无间隙或只产生少量的预加载荷为宜。

(2) 推力球轴承或双向推力球轴承安装时，要注意不能使轴对轴承座支承面有歪斜。推力球轴承通常成对布置，大都要有预加载荷。压紧力要大到出现最大轴向载荷时，使受载轴承的弹性变形，不影响另一个轴承的静圈在不受载荷的情况下跟着转动。安装中还应注意静圈和动圈不能装反。动圈内孔和轴之间为过渡配合，静圈内孔和轴之间有 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 的间隙。

(3) 圆锥孔调心滚子轴承在主轴上安装后，通过螺母使轴承内圈沿锥形轴颈作轴向移动，实现轴承的径向间隙调整。调整螺母应根据既满足主轴使用精度要求，又使轴承的温升不高的原则进行控制。否则应该检查主轴轴颈处的锥度误差或者更换新的轴承。

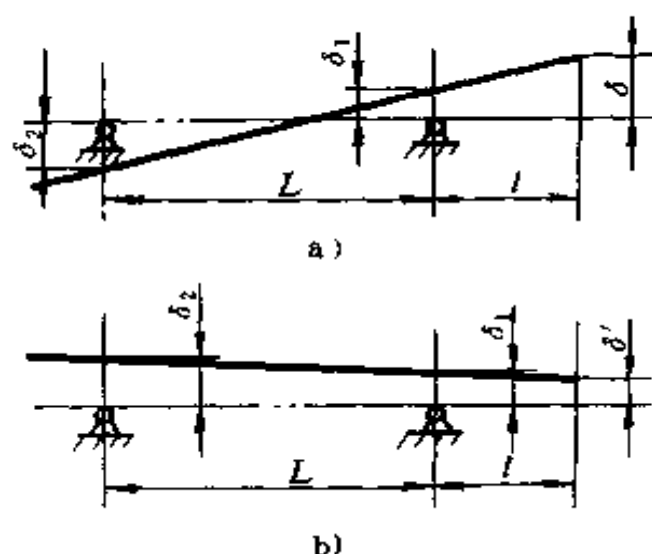


图 4-9 主轴前、后轴承的径向圆跳动对主轴端部径向圆跳动值的影响

四、前后轴承的安装情况对主轴精度的影响

安装在主轴上的前、后轴承的径向圆跳动 δ_1 、 δ_2 值对主轴端部径向圆跳动 δ 值的影响如图 4-9 所示。

在图 4-9a 中有：

$$\delta = \delta_1 \left(1 + \frac{l}{L} \right) + \delta_2 \frac{l}{L}$$

在图 4-9b 中有： $\delta' = \delta_1 \left(1 + \frac{l}{L} \right) - \delta_2 \frac{l}{L}$

由此可知：

(1) 当前、后轴承的最大径向圆跳动点处在同一轴向平面内，并且位于主轴轴线两侧时，前、后轴承的误差对主轴前端的径向圆跳动量，在前轴承误差的基础上产生叠加影响。当最大径向圆跳动点位于主轴轴线同侧时，若前轴承误差值小于后轴承，则前、后轴承的误差对主轴前端的径向圆跳动量在前轴承误差基础上产生减弱影响。因此，装配中一定要使前、后轴承的最大径向圆跳动点位于同一轴向平面内的轴线同侧。

(2) 前轴承比后轴承对主轴前端的径向圆跳动量影响要大。因此，前轴承的精度应比后轴承高，通常要高一级。

第三节 滑动轴承的装配

滑动轴承分为动压滑动轴承和静压滑动轴承两种形式。动压滑动轴承是通过主轴旋转将润滑油带入轴承的间隙中，建立起油膜压力。静压滑动轴承是通过外界供油系统供给一定压力油到轴承间隙中，建立起油膜压力。在一般机械中，动压滑动轴承应用要比静压滑动轴承广泛的多。

一、动压滑动轴承的结构特点

一般机械设备主轴上使用的动压滑动轴承，根据工作时形成的油楔情况被分为单油楔动压滑动轴承和多油楔动压滑动轴承。

1. 单油楔动压滑动轴承的结构

(1) 间隙无调轴承根据其结构特点可分为整体式轴承和自位式轴承两种形式。这类轴承无法调节轴承与轴颈间因磨损产生的间隙。整体式轴承如图 4-10 所示。其结构简单, 轴瓦和轴承座可用同种材料或者不同材料制造。通常用于低速、轻载、精度不高的机械上。自位式轴承如图 4-11 所示。它能自动适应轴线产生歪斜的情况, 适用于细长轴的支承。

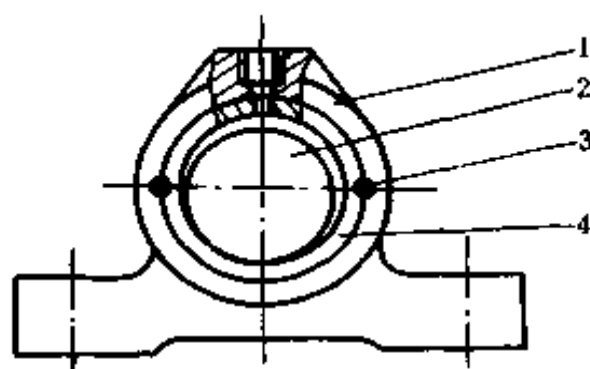


图 4-10 整体轴承结构示意图

1—轴承座 2—轴 3—定位螺钉
4—轴瓦

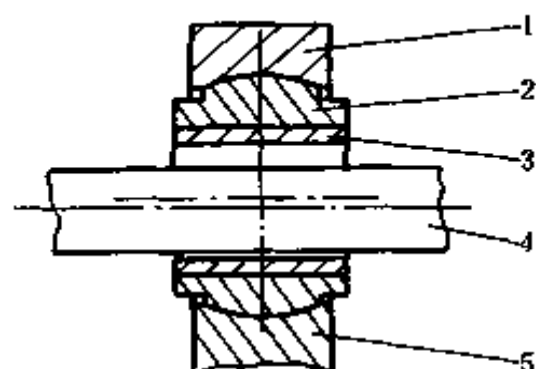


图 4-11 自位轴承结构示意图

1—轴承上壳体 2—自位调节座
3—轴瓦 4—轴 5—轴承下壳体

(2) 间隙可调轴承按其结构特点可分为对开调节式轴承和锥度调节式轴承。对开调节式轴承如图 4-12 所示。通过调整垫片的厚度, 并修刮上下轴瓦的接触面, 就可以调节轴承与轴颈间的间隙。具有装拆方便的特点, 应用比较广泛。

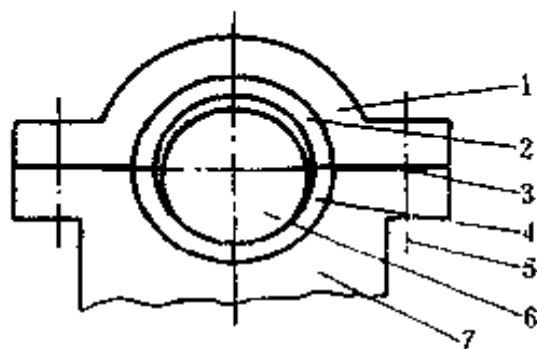


图 4-12 对开调节轴承结构示意图

1—轴承盖 2—上轴瓦 3—垫片
4—下轴瓦 5—螺栓 6—轴 7—轴承座

锥度调节式轴承可分为外锥圆筒式轴承和内锥圆筒式轴承。外锥圆筒式轴承如

图 4-13 所示。轴瓦外圆为锥形，并对称分布四条槽，其中一条为通槽。内圆为圆柱形。通过调节螺母使轴瓦在内锥形轴承座上移动，调节轴承与轴颈间的径向间隙。内锥圆筒式轴承的内孔为锥形，支承在主轴轴颈的锥体表面上。通过调节螺母使轴承产生轴向移动，而主轴不动；或者使主轴产生轴向移动，轴承不动。从而达到调节轴承与轴颈间间隙的目的，如图 4-14 所示。

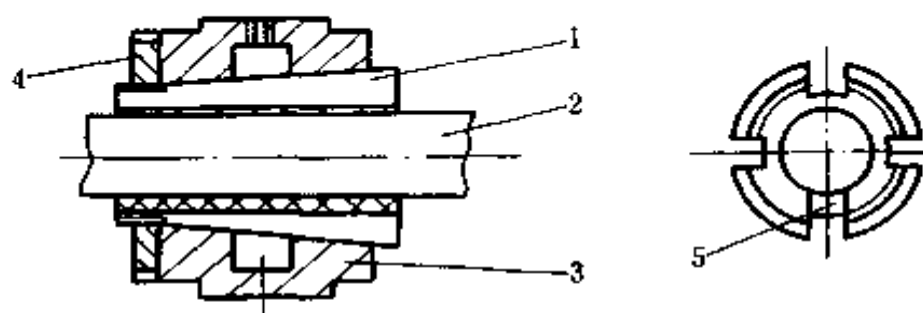


图 4-13 外锥圆筒式轴承结构示意图

1—轴瓦 2—主轴 3—轴承座 4—螺母 5—夹条

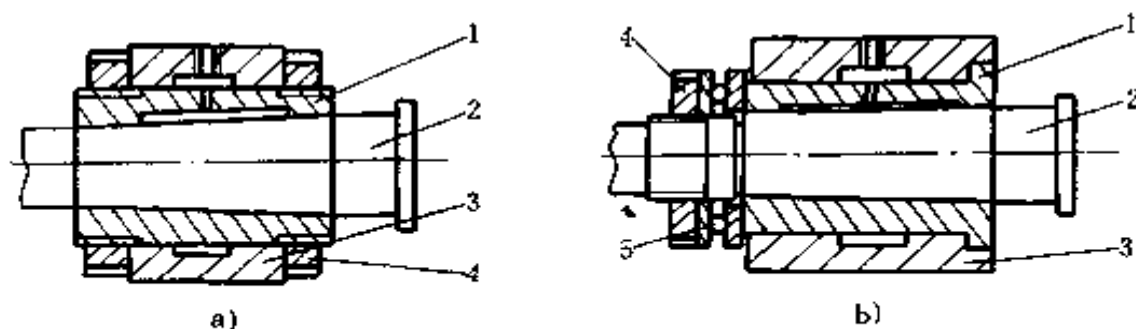


图 4-14 内锥圆筒式轴承结构示意图

1—轴瓦 2—主轴 3—轴承座 4—螺母 5—推力轴承

2. 多油楔动压滑动轴承的结构

多油楔动压滑动轴承以短三瓦调位轴承应用比较广泛，尤其磨床的砂轮主轴上使用比较多。它由三块包角为 60° 的轴瓦均布在主轴轴颈上。轴瓦背面支承在球头螺钉上，通过

拉紧螺钉、空心螺钉消除螺纹间隙，使球头螺钉锁紧。如图 4-15 所示。

二、动压滑动轴承的装配要求

(1) 轴颈在轴承中转动时，润滑油在轴颈和轴承的楔形间隙中必须形成承压油楔。油楔的承载能力是随着油楔厚度减小而增加。动压滑动轴承油膜承压能力的分布情况如图 4-16 所示。因此，轴承和轴颈之间必须有正确的配合关系，使其在承载条件下能形成合乎液体摩擦的间隙。

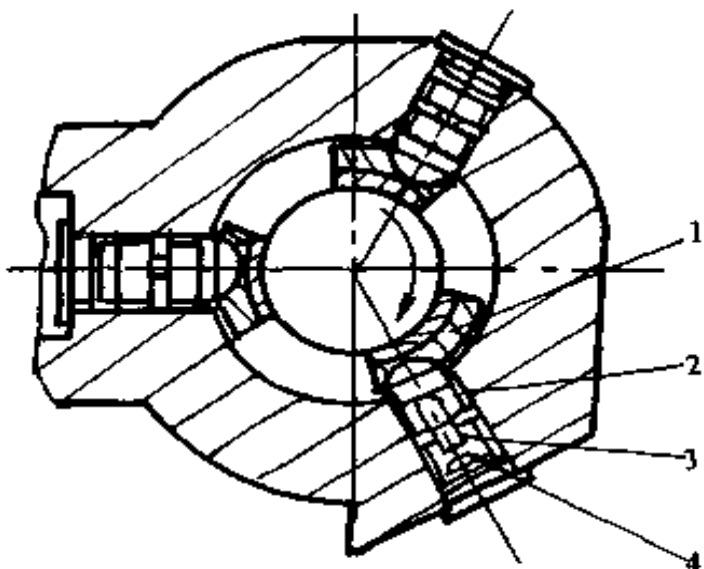


图 4-15 短三瓦调位轴承结构示意图
1—轴瓦 2—球头螺钉 3—空心螺钉
4—拉紧螺钉

一般机械的轴承和轴颈的配合可偏松一点，常选取 H8/f9 和 H8/e9 为宜。若要求精度较高，按具体情况可选取 H6/f6, H7/f7, H8/f8。对于要求特别精密的轴承，如分度头的主轴轴颈和轴承的配合宜选取 H6/g5。

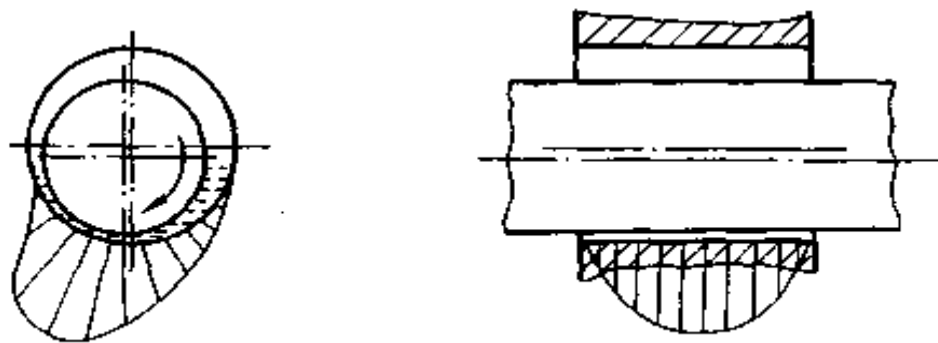


图 4-16 动压滑动轴承油膜承压能力分布图

机床主轴轴承要求比较精密，其轴颈与轴承的配合宜选取 H7/g6。高速、中载的轴颈和轴承的配合间隙宜大一些，可选取 H7/e8 以及 H7/d8。在高温下工作的轴颈和轴承的配合间隙要更大一些，常选取 H7/c8。

(2) 轴承必须通过装配保持良好的接触精度。装配时应配刮轴承，使刮研面和轴颈接触面积均匀，占到全轴承表面的 70%~80%，点子数每 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 面积达到 15~20 点。重负荷及高速运转的轴承应取上限，中等负荷及连续运转的轴承可取下限。为了防止滑动轴承工作一定时间后，在热态下出现抱轴现象，刮研的点子应在轴向中间比前、后软一点；对单油楔动压轴承来说，周向中间两侧的点子又应更软一点。这样，才能使轴承在热态下达到接触真正均匀的要求。

(3) 装配单油楔动压滑动轴承时，要注意使轴承表面的油槽处于油膜承受载荷最小的区域。这样，可以保证油膜承载的连续性；实现进油处间隙大于出油处间隙，增大油液在楔形间隙中的积聚趋势，提高轴承的承载能力。

(4) 滑动轴承要求润滑油必须供应充分。如果供油不足，油液不能形成积聚，就不能建立承载油膜。因此，装配后油孔不能堵塞，油路要保持畅通。油泵供油要充裕，润滑油要有合适的粘度。

三、装配动压滑动轴承应注意的事项

(1) 动压滑动轴承的外圆支承要接触严密。单油楔动压滑动轴承装入主轴箱壳体主轴孔内，必须检查其外壁与壳体接触是否严密，要求没有间隙。轴瓦的瓦背与轴承座的接触面积一般应达 50% 以上后，才能进行轴承内表面刮研。短三瓦调位轴承的轴瓦背面上的球形凹坑，与支承螺钉球形端

头经过配研，接触面积应达 80% 以上。并且经过安装调整，消除螺纹间隙，使轴瓦在有良好的接触刚度的前提下，能灵活地绕球形支承自由摆动，在工作中实现自动调整。只有这样，滑动轴承才能形成合适的楔形间隙，建立符合要求的承压油楔。

(2) 不允许因装配调整而破坏轴承工作面已刮研好的精度。例如，外锥圆筒轴承装配时，应先收缩轴承内孔，再刮研达尺寸要求。不允许刮研瓦面后，又收缩轴承内孔。这样，会因轴承的不均匀变形丧失刮研精度，尤其要增大圆度误差降低轴承的承载能力。

(3) 前、后轴承必须有良好的同轴度。前、后轴承的同轴度不好，承压油楔容易受到破坏，轴承运转中就容易出现轴承损坏及抱轴现象。装配中，从配刮开始起就要注意这个问题。尤其单油楔动压滑动轴承配刮时，如果后轴承是滚动轴承，一定要用一个工艺套代替后轴承控制主轴处于正常位置，才能进行配研和刮削。对短三瓦调位轴承应通过装配工装使主轴以主轴箱壳体止口处为基准放正，然后再以主轴轴颈为基准安装已配刮合适的瓦片，并调整间隙达要求。

第四节 齿轮的装配

一、圆柱齿轮的装配

(1) 齿轮装配顺序一般都是从最后一根被动轴开始装配起，逐级进行装配。通常齿轮机构都是减速装置，齿轮的尺寸，重量逐级增大。从最后一根被动轴装配起，有利于减少调整工作量，提高装配质量。

(2) 齿轮及轴都必须装正、到位，轴承间隙应调整合适。尤其使用圆锥滚子轴承的齿轮轴系，轴承间隙过大必然

引起轴倾斜。这样就要造成齿轮歪斜，影响齿轮的接触精度，增大齿轮噪声。如果滑移齿轮装配不正，在齿轮变速过程中，还会造成过大的滑移阻力及啮合阻力。装配轴承时，如果间隙调得过小，容易使轴受热后没有膨胀余地，造成齿轮轴弯曲变形，同样影响齿轮的正常啮合。齿轮装配不到位，会降低齿轮的承载能力，甚至引起齿轮损坏。

(3) 安装旧齿轮应按照原来磨服的痕迹进行装配。这样，就不会发生齿轮因啮合不服而产生接触精度降低，引起过大的齿轮振动和噪声的现象。

(4) 装配中若更换旧齿轮应成对进行更换。否则，新、旧齿轮搭配、既会加剧齿轮磨损，也会降低齿轮的接触精度，增大齿轮的振动和噪声。

(5) 齿轮的接触精度应通过涂抹红丹粉进行检查。装配中，必须边安装边检查，使齿面的接触面积达到装配等级的要求，以控制齿轮装配质量，如表 4-2 所示。

表 4-2 圆柱齿轮接触精度标准

精度等级		6	7	8	9	10
接触面积	按齿高不小于	50%	45%	40%	30%	25%
	按齿长不小于	70%	60%	50%	40%	30%

(6) 装配后要保证齿轮有合适的齿侧间隙。齿轮的侧隙过小，传动时会发生齿面拉毛，甚至齿轮卡住等现象。齿轮的侧隙过大，在高速或者变载传动时，会使被动齿轮产生冲击振动，影响传动精度并增大噪声。当齿轮副的中心距公差由精度等级确定以后，齿轮副的侧隙主要由齿厚偏差确定。装配中只有根据中心距的实际情况选取有合适齿厚的齿轮进

行装配,才能保证齿轮有合适的齿侧间隙。对于一般机械设备来说,齿轮最小法向极限侧隙,按齿轮在工作中与箱体的温差不同分为6种。如表4-3所示。

表 4-3 圆柱齿轮最小法向极限侧隙 (μm)

轮箱 温差	侧隙 种类	齿 轮 中 心 距 a/mm						
		≤ 80	80~125	125~180	180~250	250~315	315~400	400~500
0℃	h	0	0	0	0	0	0	0
6℃	e	30	35	40	46	52	57	63
10℃	d	46	54	63	72	81	89	97
16℃	c	74	87	100	115	130	140	155
25℃	b	120	140	160	185	210	230	250
40℃	a	190	220	250	290	320	360	400

齿轮侧隙可以通过塞尺塞入两齿之间检查,或者用压铅丝(也可用电灯熔断丝)方法进行检查。压铅丝时,齿轮侧隙值应等于齿面工作一侧对铅丝的压薄量,与非工作一侧对铅丝的压薄量的和。齿轮侧隙也可以用千分表进行检查。

二、锥齿轮的装配特点

(1) 要保证啮合齿有准确的位置。装配中必须使两啮合齿轮的中心轴线相交,并有正确的夹角,啮合齿的端面应齐平。

(2) 齿轮的啮合情况,可以通过固定一个齿轮,而将另一个齿轮顺轴向移动的方法进行调整。当达到准确啮合时,再将位置固定。

(3) 齿面接触精度用涂抹红丹粉方法进行检查。通过装配调整,使齿面接触面积应达到精度等级的要求,以保证装配质量,如表4-4所示。

表 4-4 锥齿轮接触精度标准

精度等级		6	7	8	9	10
接触面积	按齿高不小于	70%	60%	50%	40%	30%
	按齿长不小于	70%	60%	50%	40%	30%

(4) 锥齿轮装配对侧隙的要求可按照分度圆锥大端至锥顶的距离, 即锥顶距的不同值, 对照圆柱齿轮中心距所对应的最小法向极限侧隙值选取 (见表 4-3)。锥齿轮的齿侧间隙也可用塞尺、压铅丝或者用千分表进行检查。

三、蜗杆传动的装配要求

(1) 必须使蜗杆中心轴线处于蜗轮中心平面内。装配好的蜗轮中心平面和蜗杆与蜗轮轴心线的公法线间的距离应达精度要求。实际装配中, 以蜗轮两侧面为基准, 用千分表分别测量出蜗杆在啮合中心两侧的最高点处, 相对同侧基准的距离, 其差值的一半可以看作蜗轮中心平面, 相对蜗杆中心轴线的偏移误差, 如图 4-17 所示。图中: $\delta = \frac{1}{2} (a - b)$ 。

(2) 蜗轮和蜗杆轴心线间的中心距应安装准确。测量中心距必须以与蜗轮、蜗杆的轴心线都平行的平面为基准进行测量, 使其达到装配精度要求, 如图 4-18 所示。图中: $A = a - b - \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2}$ 。

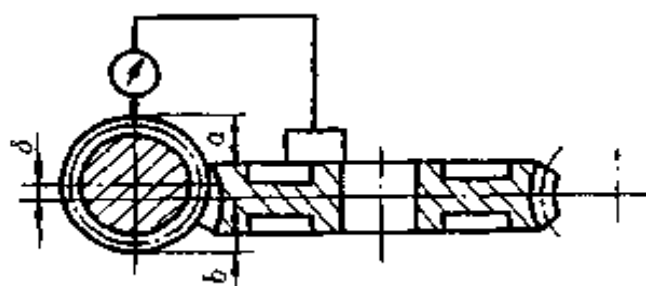


图 4-17 蜗杆中心轴线处于蜗轮中心平面内

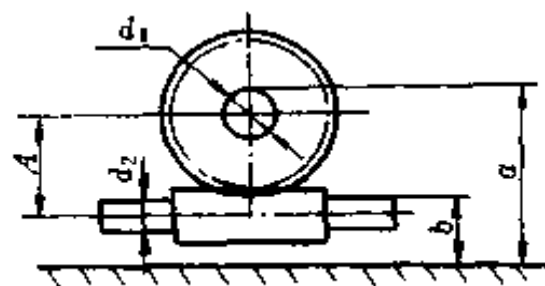


图 4-18 蜗轮和蜗杆轴心线间中心距应安装准确

(3) 蜗轮、蜗杆轴心线应垂直交叉成 90° ，轴心线歪斜度误差应符合精度要求。实际安装中，可以用蜗轮侧面为基准，由千分表测量蜗杆轴的两端对称位置最高点处，相对基准面距离的差值 δ ，通过两处间距离 l 和蜗轮宽度 B 值，就能折算为蜗轮宽度上的轴心线歪斜度误差值 δ_y 。即 $\delta_y = \frac{B\delta}{l}$ ，

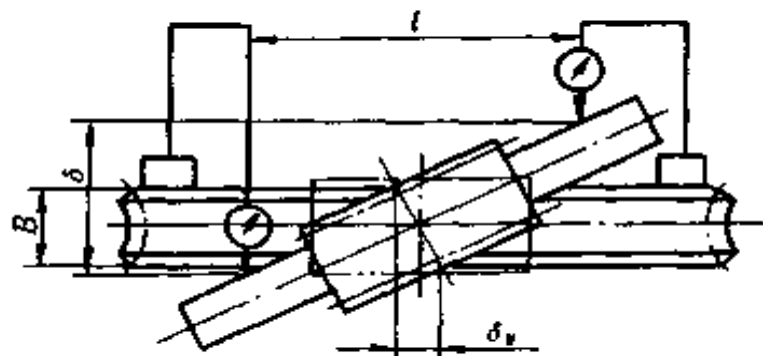


图 4-19 蜗轮、蜗杆轴心线应垂直交叉 90°

(4) 装配质量的综合检查，可在齿面上涂抹红丹粉进行检查。动力蜗杆传动副接触精度要求如表 4-5 所示。齿侧间隙也可以采用压铅丝，或用千分表进行测量。其最小间隙值可按照中心距的不同值，参照圆柱齿轮中心距所对应的最小法向极限侧隙值选取（见表 4-3）。总之，蜗杆传动副安装好后，必须使其运转轻便，没有噪声。

表 4-5 动力蜗杆传动接触标准

精度等级		7	8	9
接触面积	按齿高不小于	60%	50%	30%
	按齿长不小于	65%	50%	35%

第五节 联轴器的安装

一、联轴器的对中性要求

联轴器的作用是把两根轴联为一体，实现同轴回转。由

于两根转轴存在安装误差,必然出现中心线不同轴的情况。安装中,两根转轴可能出现的不对中情况,如图 4-20 所示。图 4-20a 两轴中心线不相交,沿径向产生平行位移。图 4-20b 两轴中心线相交于联轴器中心,相互之间发生角位移。图 4-20c 两轴中心线相交,但交点不在联轴器中心,相互之间即发生角位移,又存在径向位移。

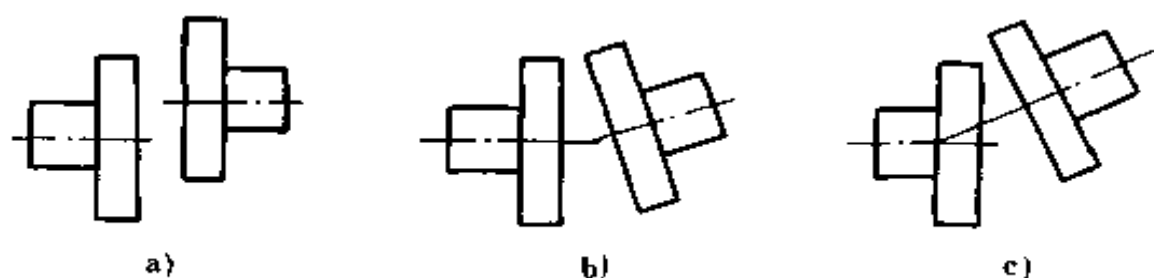


图 4-20 两根转轴安装的不对中情况

联轴器在不对中的情况下安装固定之后,轴系旋转时,由于两半联轴器要尽力维持初始状态,必然造成轴及其支承的周期性变形,出现轴系的不对中强迫振动,加剧支承轴承的磨损。因此,安装联轴器的首要问题是保证两根转轴的同轴度误差。对不同形式的联轴器,同轴度的允差值也不相同。对于一般机械设备上所使用的联轴器,安装对中的要求如表 4-6 所示。

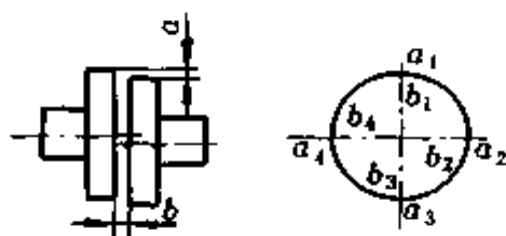
二、联轴器的安装找正

安装联轴器时,可以作一个简单的工装,用千分表进行测量找正,如图 4-21 所示。测量找正时,用螺栓将测量工具架固定在左半联轴器上。在未联接成一体的一半联轴器外圈,沿轴向划一直线,做上记号,并用径向千分表和端面千分表分别对好位置。径向千分表对准右半联轴器外圆记号处,端面千分表对准右半联轴器侧面记号处。将两半联轴器记号处于

垂直或水平位置做为零位。再依次同时转动两根转轴,回转 $0^{\circ}, 90^{\circ}, 180^{\circ}, 270^{\circ}$ 并始终保证两半联轴器记号对准。分别记下两个千分表在相应四个位置上指针相对零位处的变化值。从而就测出了径向圆跳动量 a_1, a_2, a_3, a_4 和端面圆跳动量 b_1, b_2, b_3, b_4 。根据这些值的情况就可判断Ⅱ轴相对Ⅰ轴的不对中情况,并且进行调整,直到 $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = 0, b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = 0$,就可以认为Ⅰ轴与Ⅱ轴对中找正了。

表 4-6 联轴器安装对中允差值 (mm)

联轴器 联接类别	允许误差	
	径向圆跳动量	端面圆跳动量
	最大值 (a)	最大值 (b)
刚性与刚性	0.04	0.03
刚性与半挠性	0.05	0.04
挠性与挠性	0.06	0.05
齿轮式	0.10	0.05
弹簧式	0.08	0.06



1. 两根转轴无轴向窜动
2. 两半联轴器同时旋转

在测量找正中要注意,上面这种方法只适用于两根转轴没有轴向窜动的情况。因此,在找正前应检查两根转轴的轴向窜动情况。

当两根转轴有轴向窜动时,测量端面圆跳动量首先必须在未联成一体的一半联轴器外圈,沿轴向划一直线做为零线后,再将要联接的

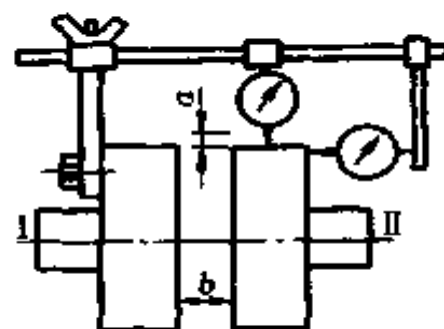


图 4-21 联轴器安装找正工装

Ⅱ轴上的右半联轴器外侧表面从零线开始起,分为4等分,

并标出 1、2、3、4 的记号,如图 4-22 所示。这样,就可把右半联轴器的 1 点对准左半联轴器零线,从垂直或者从水平零位开始两轴共同旋转。每转 90° 测量一次千分表相对零位处的端面圆跳动量,就有 b_1^1 、 b_2^1 、 b_3^1 、 b_4^1 , $b_1^1=0$ 。然后再分别以右半联轴器上已经标好 2、3、4 点的位置对准左半联轴器上的

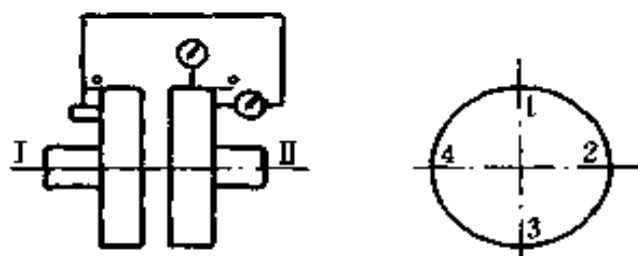


图 4-22 分成 4 等分示意图

零线。使两轴每次都同样旋转,每转 90° 测取一次千分表相对零位处的端面圆跳动量。注意有正、负值之分。在取得 b_1^1 、 b_2^1 、 b_3^1 、 b_4^1 , $b_1^1=0$; b_1^2 、 b_2^2 、 b_3^2 、 b_4^2 , $b_1^2=0$; b_1^3 、 b_2^3 、 b_3^3 、 b_4^3 , $b_1^3=0$; b_1^4 、 b_2^4 、 b_3^4 、 b_4^4 , $b_1^4=0$ 以后,再将两

端面内的各点数值取平均值,则有: $b_1 = \frac{b_1^1 + b_1^2 + b_1^3 + b_1^4}{4} = 0$,

$b_2 = \frac{b_2^1 + b_2^2 + b_2^3 + b_2^4}{4}$, $b_3 = \frac{b_3^1 + b_3^2 + b_3^3 + b_3^4}{4}$, $b_4 = \frac{b_4^1 + b_4^2 + b_4^3 + b_4^4}{4}$, 如图 4-23 所示。 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 就是转轴因

安装不对中引起的端面圆跳动量。显然,平均作用消除了轴向窜动对分析问题的影响。

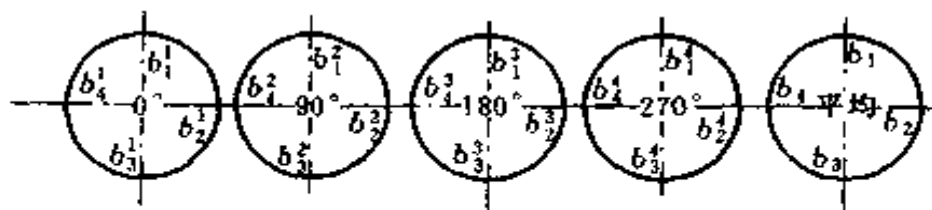


图 4-23 取平均值示意图

转轴的轴向窜动对联轴器径向圆跳动量影响很小。因此，测量径向圆跳动时，只要使未联成一体左、右半联轴器零线对齐，从零位开始，使两轴共同旋转。每转 90° 测一次千分表相对零位处的数值，就可有 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 。在此基础上，就可以根据 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 值的情况对 II 轴进行调整，使其与 I 轴对中。直到 $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = 0$ ， $b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = 0$ ，才能认为 I 轴与 II 轴实现了找正要求。

三、联轴器对中找正的注意事项

(1) 安装中，一般都是先将两半联轴器分别安装在所要联接的两轴上，然后将主机找正，再移动、调整、联接轴，以主机为基准，向主机旋转轴对中。通过测量两半联轴器在同时旋转中，径向和轴向相对位置的变化情况进行判定。

(2) 测量数值是否正确，可以用 $a_1 + a_3 = a_2 + a_4$ ， $b_1 + b_3 = b_2 + b_4$ 等式是否成立进行判定。若等式两边的差值大于 0.02mm ，则说明测量工具安装的紧固性、工具架的刚性或者千分表出现了问题。应查找消除后再进行测量。

(3) 实际测量中，因位置所限使下方数值 a_3 、 b_3 无法直接测量时，则可用下式求得： $a_3 = (a_2 + a_4) - a_1$ ； $b_3 = (b_2 + b_4) - b_1$ 。

第五章 机械设备的调整

机械设备的调整，主要是在零部件之间通过选择适宜的配合关系，使设备具有合理的工作精度和正常的工作机能。因此，从总体上来看，机械设备的调整不能只在零部件装配以后才着手进行。必须从分析设备故障并确定修理有关零件时，就开始考虑这个问题。

第一节 设备精度的误差来源

设备的精度，主要表现为主轴的回转精度、导轨的导向精度和传动链的传动精度。我们在讨论设备精度的误差来源时，也是从这三个方面进行分析。

一、主轴回转精度的主要误差源

主轴回转精度，是指主轴前端工作部件的径向圆跳动、端面圆跳动和轴向窜动的大小。主轴回转精度的主要误差源如下。

(1) 主轴的加工误差

- 1) 主轴上两个轴颈之间有同轴度误差。
- 2) 主轴锥孔相对轴颈有同轴度误差。
- 3) 轴颈有圆度误差。
- 4) 轴承的轴向定位面与主轴轴线有垂直度误差。

(2) 轴承的加工误差

- 1) 滚动轴承的滚动体之间有尺寸误差及圆度误差；内圈孔相对滚道有偏心；内圈滚道有圆度误差；前、后轴承之

间有同轴度误差等。

2) 滑动轴承有内、外圆的圆度误差和同轴度误差;前、后轴承之间有同轴度误差;轴承孔与轴颈之间有尺寸误差等。

(3) 相配零件的加工误差及其装配质量

1) 箱体上的轴承孔有圆度误差;与轴承外圈相配合时有尺寸误差;轴向定位端面与孔的中心轴线有垂直度误差。

2) 主轴上锁紧与调整轴承间隙的螺母有端面平面度误差;螺母端面与螺纹中心轴线之间有垂直度误差;螺纹之间存在联接误差等。

3) 轴承衬套隔圈两端面有平行度误差。

4) 装配中,轴承间隙调整是否合适,直接对主轴回转精度有明显影响。

二、导轨导向精度的主要误差源

导轨的导向精度,是指机械设备的运动部件沿导轨运动时,形成运动轨迹的准确性。影响导轨导向精度的因素,除了在设计中所选导轨的类型、组合形式与尺寸之外,设备维修中常见的主要因素有:

(1) 受导轨几何精度的影响。对于直线导轨来说,导向精度主要受导轨垂直方向与水平方向内的直线度误差影响。对于环形圆导轨来说,导向精度主要受导轨的平直度误差和导轨与主轴中心线的垂直度误差的影响。

经过长期使用的导轨,由于磨损的不均匀性,必将影响导轨几何形状的准确性。例如,车床导轨一般靠近主轴箱的部分磨损较大,靠近尾座部分的磨损较小。山形导轨表面比平导轨表面磨损要大。导轨表面的不均匀磨损必将造成刀架溜板沿导轨运动时相对主轴运动产生较大的误差,并反映到工件表面尺寸的加工成形上来。

(2) 受导轨间隙是否合适的影响。间隙不合适的导轨, 由于缺乏必要的约束, 或者约束过死, 会造成运动部件在导轨上的横向摆动或者爬行现象, 不能实现平稳、轻快地运动, 影响导轨的导向精度。

机械设备上, 一般都有导轨间隙调整机构。常见导轨间隙调整的方法有斜镶条调整法、压板移动调整法和磨刮压板接合面调整法等。

合理地利用调整机构调整间隙, 可以补偿因长期使用而产生磨损的导轨, 使其具有合理的间隙。但是, 当整个导轨磨损的不均匀性超过一定范围时, 必然产生无论怎样调整, 都不能得到合适间隙的状况。

(3) 受导轨自身刚度的影响。经过多次大修的设备, 要注意考虑这个因素。对于大型设备来说, 导轨的刚度受底座支承状况影响较大。通过调整不同支承点的高度, 可以改善导轨的精度状况。同样道理, 支承点状况的变化也必将造成导轨的精度误差。

三、传动链传动精度的主要误差源

传动精度, 是指传动链中, 各环节的精度对终端执行件运动的准确性和均匀性的影响程度。

一般机械设备中的传动链都是由齿轮与齿轮、齿轮与齿条、蜗轮与蜗杆、丝杠与螺母等传动副组成。在整个传动链中, 传动误差是由动力输入环节向终端执行件进行传递, 并且按照传动比进行累积。传动链的传动精度对车床加工螺纹和滚齿机滚切齿轮的加工误差都有明显的影响。

设备维修过程中, 传动精度常见的误差源是:

(1) 传动件的误差对设备传动精度有着主要的影响。传动件在制造中存在的加工误差和长期使用后产生的不均匀磨

损，以及装配质量都要直接反映到传动误差之中。

(2) 相配零件的误差及其装配质量对传动精度有明显影响。例如，轴承的几何精度，轴承间隙的调整，轴承孔座的尺寸误差、形状误差、位置误差、传动件与相配零件的装配质量等，都对设备传动精度有显著的影响。

(3) 传动件在工作中，由于受热、受力，不可避免地要引起变形，对传动链的传动精度也会有一定影响。

第二节 设备精度调整的一般方法

设备精度调整的常用方法有调整间隙法、误差补偿法、零件修换法和配加零件法共四种。

一、调整间隙法

在机械设备中，内部零件的相对运动普遍存在。有运动就有摩擦，有摩擦就要引起相关零件之间的尺寸、形状和表面质量的变化，产生磨损，增大相关零件之间的配合间隙。当间隙超过合理范围以后，只有通过调整间隙才能保证零件之间相对运动的准确性。因此，机械设备的运动部件之间，普遍设计有间隙调整机构。通过间隙调整机构，调整间隙的方法是保证设备精度稳定的最常用也是最简单的方法。

1. 主轴回转精度的调整

主轴的回转精度，在主轴本身的加工误差符合要求的前提下，一般来说，很大程度上是由轴承来决定。主轴回转精度的调整关键是要调轴承的间隙。保持合理的轴承间隙量，对主轴部件的工作性能和轴承寿命有着重要意义。对于滚动轴承来说，在有较大间隙的情况下工作，不但会使载荷集中作用在处于受力方向上的那个滚动体上面，而且在轴承内、外圈滚道接触处产生严重的应力集中现象，缩短轴承寿命，

还会使主轴中心线产生漂移现象，容易引起主轴部件的振动。因此，滚动轴承的调整必须预加载荷，使轴承内部产生一定的过盈量，造成滚动体和内、外圈滚道接触处出现一定的弹性变形量，以提高轴承的刚性。自然是物极必反，如果预加载荷过大，必将造成滚动轴承的磨损加剧，发生短时期内损坏的现象。各种轴承预加载荷的要求和方法在“滚动轴承的装配”一节中已经讲得比较具体，此处不再重复。下面主要是从主轴整体的调整上讨论问题。它与单个零件的调整，例如轴承间隙的调整有重要联系，但也有区别。区别就在于主轴回转精度是主轴部件综合调整的结果。

下面以 C620—1 车床主轴回转精度的调整过程为例来说明问题。C620—1 车床主轴部件结构简图见图 2-1。

(1) 拆卸主轴前端的端盖 14，松开圆螺母 15 上面的锁紧螺钉后，反转圆螺母，以放松前轴承 12 上带内锥的轴承内圈。

(2) 在主轴前端用铜棒轻击前轴承的内圈，使其稍微向后移动。然后，使主轴相对前轴承的内圈转动一定角度。通常是以主轴旋转时径向圆跳动的最高点处为基准，使主轴相对前轴承内圈转过 180° 左右，这种进行对角调整的方法可以消除一些相配件之间的综合误差。

(3) 拧紧圆螺母 15，使前轴承内圈与主轴实现紧密结合，并且通过颈锥的作用，使轴承内圈产生外胀，消除轴承间隙，提高轴承刚度。

(4) 用千分表和检验棒检查主轴的径向圆跳动量，要求应小于 0.01mm 。如果有超差现象，可继续按对角调整的方法重新对前轴承进行调整。

(5) 当对前轴承已经进行三次调整以后，主轴旋转时的

径向圆跳动量仍然达不到要求时，可对后轴承 3 按照调整前轴承的方法进行调整。

(6) 当主轴的轴向窜动量超过 0.01mm 时，应对推力轴承 5、轴承座 4 和衬套 6 进行检查，尤其要注意配合面间不能夹杂脏物。

(7) 安装端盖，进行试运转，检查主轴是否发生过热及振动情况。在最高速运转时，轴承温度升高数在半小时之内，不应超过 40°C 为宜。若主轴运转不正常，应根据实际情况继续进行调整。

通过以上调整，一般来说，只要主轴、轴承、箱体上的轴承孔、调整螺母、衬套隔圈的制造精度符合装配要求，主轴回转精度采用调整间隙法进行调整是可以达到要求的。因此，在采用调整间隙法进行精度调整之前，应对相配零件的质量根据使用和目测情况有一个基本估计。如果心中无数，必须进行检查。

2. 导轨导向精度的调整

对于普通机械设备来说，滑动导轨之间的间隙是否合适，通常用 0.03mm 或者 0.04mm 厚的塞尺在端面部位插入进行检查，要求其插入深度应小于 20mm 。如果导轨间隙不合适，必须及时进行调整。导轨间隙调整的常见方法如下所述。

(1) 用斜镶条调整导轨间隙的典型结构如图 5-1 所示。

斜镶条 1 在长度方向上一般都带有 $1:100$ 的斜度。通过调节螺钉 2 将镶条在长度方向上来回适当移动，就可以使导轨间得到合理间隙。显然，图 5-1a 中的结构调整起来方便简单，但精度稳定性要差一点。图 5-1b 中的结构调整起来麻烦一点，但精度稳定性要好得多。

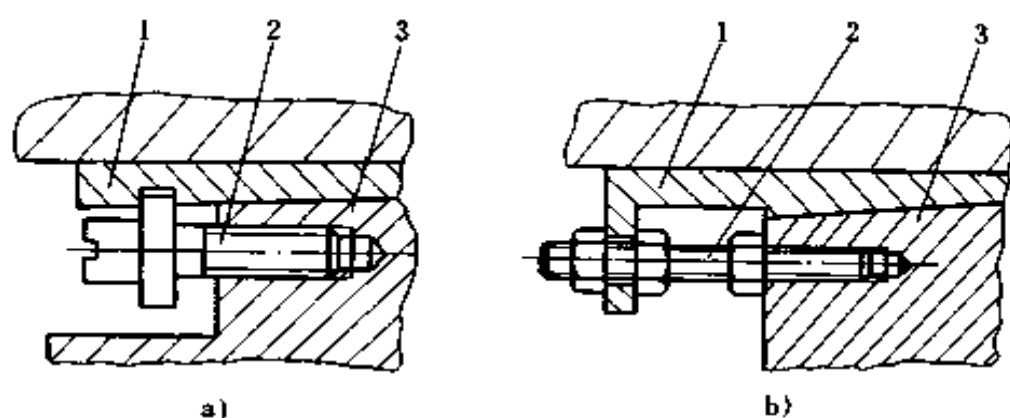


图 5-1 常见斜镶条调整间隙结构

1—斜镶条 2—调节螺钉 3—滑动导轨

(2) 通过移动压板调整导轨间隙的典型结构如图 5-2 所示。

调整时，先将紧固螺钉 4、锁紧螺母 2 拧松，再用调节螺钉 1 调整压板 3 向滑动导轨 5 方向移动，以保证导轨面间具有合理的间隙。调整中可以先将紧固螺钉略微拧紧，带一点劲，然后用调节螺钉一边顶压板，一边使滑动导轨面进行运动，一边逐渐拧紧紧固螺钉，直到导轨运动正常，导向精度符合要求为止。

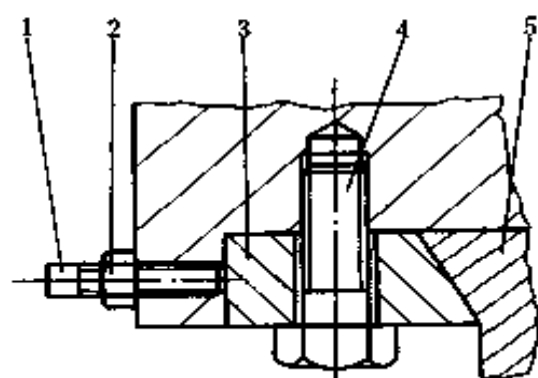


图 5-2 移动压板调整导轨间隙的结构

1—调节螺钉 2—锁紧螺母
3—压板 4—紧固螺钉
5—滑动导轨

(3) 需要磨刮压板结合面，以调整导轨间隙的常见结构如图 5-3 所示。

调整导轨间隙时，必须拧开紧固螺钉 2，卸下压板 3，在压板结合面 1 处，根据导轨面间间隙调整量的大小进行磨

刮，从而使导轨间隙得到调整。

3. 丝杠与螺母之间间隙的调整

丝杠螺母传动是实现直线运动的一种最常见的机构。丝杠与螺母的配合，很难做到没有间隙。特别是使用一个阶段以后，由于磨损，更会加大间隙，影响设备正常工作。因此，在设备维修过程中，注意消除丝杠与螺母之间的间隙是非常必要的。

在整体单螺母机构中，往往是利用螺母的弹性变形来调整间隙。图 5-4 所示就是一种典型结构。由图可见，这种结构通常是从螺母 2 中心线的侧面开一条通槽，使螺母下半部分具有一定弹性。当拧紧调节螺钉 1 时，螺母的内孔必然缩小，从而可以消除螺母和丝杠之间的间隙。这种结构一般用于载荷轻、传动要求不高的地方。

对于传动要求比较高，或者载荷比较重的丝杠螺母，都必须采用双螺母结构。使其中一个螺母的牙面与丝杠牙面的一侧相贴，而另一个螺母的牙面与丝杠牙面的另一侧相贴，从而就可以消除间隙。长期使用以后，可用改变两螺母的相对距离的方法进行调整，使丝杠两侧的牙面与双螺母的牙面重新分别相贴，以消除因磨损而增大的间隙。图 5-5 就是一种比较常见的双螺母调整间隙机构。

这种结构调整时，先将两个螺母上的螺钉拧松，然后用

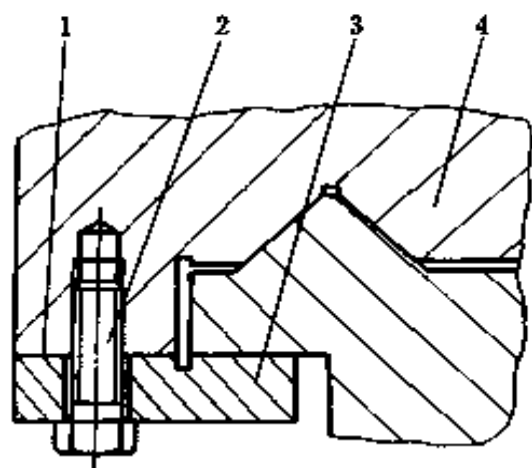


图 5-3 磨刮压板结合面调整导轨间隙的结构

1—结合面 2—紧固螺钉
3—压板 4—滑动导轨

中间的调节螺钉 3 把楔形块 2 向上拉，使左螺母 1 和右螺母 4 都产生轴向位移，以调整与丝杠之间的间隙。在丝杠、螺母有了合适间隙以后，再将两个螺母的螺钉拧紧。

用双螺母两部分之间产生轴向位移，来调整间隙的结构型式还有很多种。例如，有的采用了一个螺母相对另一个螺母在丝杠上旋转一定角度而产生轴向位移后，再在端面用螺钉将其固定在螺母座上的结构。有的采用了在一个螺母背面安装直键，并且加工出调节螺纹，使其通过旋转调节螺母，能沿螺母座上的直键槽移动，产生相对另一个固定螺母的轴向位移，以消除丝杠与螺母之间的间隙。有的还把一个螺母的背面加工成蜗轮型式，通过蜗轮、蜗杆机构旋转这个螺母，产生两螺母间的相对轴

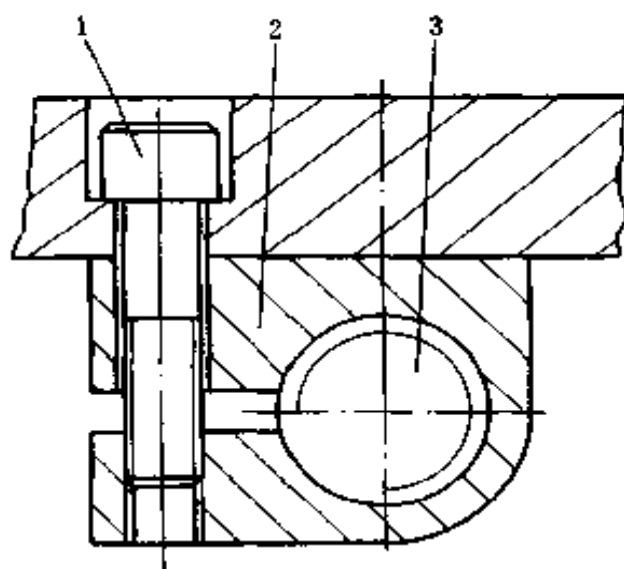


图 5-4 单螺母弹性变形调整间隙结构

1—调节螺钉 2—螺母 3—丝杠

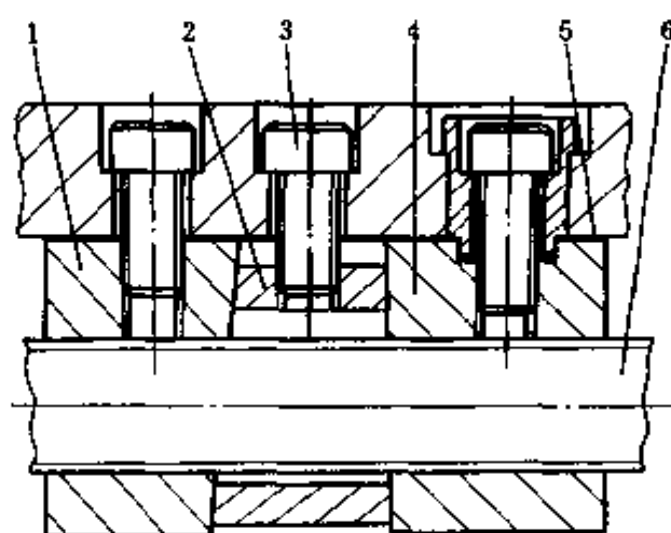


图 5-5 双螺母调整间隙机构

1—左螺母 2—楔形块 3—调节螺钉

4—右螺母 5—垫片 6—丝杠

向位移，以消除螺母与丝杠间的间隙。

二、误差补偿法

误差补偿是把零件自身误差通过恰当装配，产生一定程度的相互抵消现象，以保证设备运动轨迹准确性的一种调整方法。机械设备维修中，常用的误差补偿方法有移位补偿和综合补偿两种。

1. 移位补偿

移位补偿常用于单项精度的误差补偿。

(1) 径向圆跳动的补偿：对于轴上装配的零件，例如齿轮、蜗轮等件，应先测量出零件在外圆上和轴在零件装配处的径向圆跳动值，并分别确定出最高点处的位置。装配时，将两者径向圆跳动的最高点移动调整，使其处于相差 180° 的方向上，以相互抵消部分径向圆跳动误差。装配滚动轴承时，可以将轴颈径向圆跳动的最高点和滚动轴承内孔径向圆跳动的最低点装在同一位置处。为了降低主轴前端的径向圆跳动值，可以使前、后轴承处各自产生的最大径向圆跳动点位于同一轴向平面内的主轴中心线同侧，并且使前轴承的误差值小于后轴承的误差值。

(2) 轴向窜动的补偿：首先应测量出主轴上轴承定位端面与主轴中心线的垂直度误差及其方向位置；再测量出推力轴承的端面圆跳动误差及其最高点的位置；最后使轴承定位端面的最高点移位，以便和推力轴承端面圆跳动的最低点装配在一起，就可减小轴向窜动的误差量。

2. 综合补偿

综合补偿在普通加工机械中，常表现为用设备自身安装的刀具加工已经装配调整正确无误的工作台面，以消除各项精度误差的综合结果。下面以 B650 牛头刨床为例说明综合

补偿的方法及其应该注意的问题。

B650 牛头刨床的主要精度项目及允差是：

(1) 滑枕移动对上工作台面的平行度允差为 0.02mm 。

(2) 上工作台面对工作台水平移动的平行度允差为 0.02mm 。

(3) 工作台水平移动对侧工作台面的垂直度允差为 $0.03\text{mm}/300\text{mm}$ 。

(4) 侧工作台面对滑枕移动的平行度允差为 0.03mm 。

为了消除床身垂直导轨面的加工误差、横梁滑座导轨面的加工误差、横梁导轨面的加工误差、工作台溜板导轨面的加工误差以及工作台面的加工误差对上述精度的影响，通常都是在整台设备全部装配调整完毕，并试运转正常以后，用宽刨刀对上工作台面进行精刨。应注意精刨前，必须保证工作台水平移动对侧工作台面的垂直度误差达到 $0.03\text{mm}/300\text{mm}$ 以内。在这里采用综合补偿的方法，既避免了对相关零件加工精度作出过高要求，以提高工效、降低成本，又保证了滑枕移动对上工作台面的平行度和上工作台面对工作台水平移动的平行度，同时还满足了工作台水平移动对侧工作面的垂直度要求。

三、零件修换法

调整间隙法和误差补偿法，都属于范围有限的调整法。超过规范，就会不灵。这种情况下，只有对有关零件进行修理或者更换才能达到调整设备精度的目的。例如，可调节式滑动轴承、斜镶条就是这样。设备中还有许多机构，从设计上来说，就是要求通过换修有关零件以进行精度调整。例如，齿轮、无调节式单螺母丝杠机构、轴套等。

1. 滑动轴承的修理

(1) 对于如图 4-12 所示的大型对开调节式轴承, 如果轴瓦磨损严重, 已经不能采用减薄垫片, 修刮轴瓦接触面的方法来调节间隙时, 可以采用金属喷镀工艺进行修理。其具体修理过程如下所述。

1) 清洗轴瓦。用汽油或者煤油清洗轴瓦表面的油污及其他脏物。

2) 进行毛糙处理。处理方法一般是在轴瓦外表面加工数道沟槽, 以提高喷镀层与轴瓦基体材料的结合强度。

3) 进行变形处理。使轴瓦在机械压力作用下产生塑性变形, 以缩小内、外径尺寸。

4) 实施喷镀工艺。镀层材料可选青铜。

5) 进行镀后加工。喷镀后, 必须经过机械加工, 先恢复轴瓦外表面处以及轴承座上、下两体结合面处的尺寸, 达到装配要求。然后再根据经过修理研磨的轴颈尺寸, 车削轴瓦内孔, 并进行刮研以满足技术要求。

(2) 对于如图 4-13、图 4-14 所示的锥度调节式轴承, 在已经没有调节余量时, 允许使调节螺纹部分适当加长、以增加轴向调节余量。

(3) 对于铜套轴承, 间隙无法调整。若间隙在 $0.1 \sim 0.4\text{mm}$ 之间, 可利用其塑性变形好的特点, 将要修的铜套套在冷压模具上, 用压力机镦粗铜套, 使其受力内径缩小。镦粗后的铜套高度一般允许减小 $8\% \sim 15\%$ 。通常镦粗铜套时, 应在铜套外径上套一个以同样尺寸为内径的模套, 用来保证铜套只能内缩, 不能外胀。在冷压模具内还应有一个套内心轴, 其直径一般应比铜套要修复的内径小 0.1mm , 以便镦粗后的铜套还留有铰孔余量。

2. 斜镶条的修理

当导轨磨损过大，用斜镶条调整导轨间隙已经不起作用时，除更换新镶条外，还可以对镶条进行如下修理。

(1) 在原镶条的大端焊接一段扁平铁进行加长，并根据原镶条大端的结构特点进行适当加工，以满足调整需要。要注意使加长后的镶条能保持 15~20mm 的调整余量。

(2) 在斜镶条的非滑动面上，粘贴一层薄铜皮，或者一层薄尼龙板，或者一层薄夹布胶木板，以恢复其厚度尺寸。胶接前，两个粘合面应根据工艺要求进行表面处理，使其能有较好的粘接强度。

3. 丝杠螺母的修理

对于无调节式单螺母丝杠机构磨损以后，只能采用修理丝杠后配加工螺母的方法，以恢复螺母丝杠副的传动精度。

修理丝杠时，首先要检查是否有弯曲不直的现象。在对丝杠进行校直的基础上，才能对螺纹部分进行修理。配加工螺母中，应使车削好的螺母装在丝杠上用手旋动时，显得偏紧为好。然后，再在丝杠螺纹表面涂以研磨剂，进行研磨。研磨剂由质量分数 5~10% 的碳化硅 (TLW5) 与质量分数为 95%~90% 的 L-AN15~L-AN32 粘度等级的机械油调合而成。研具可以直接用新加工出来的螺母。研磨时，将丝杠顶在车床上进行低速旋转，用手抓住螺母，使螺母在整个丝杠上进行直线移动。要求一边移动螺母，一边适当地添加研磨剂。在手感螺母丝杠之间的传动阻力减小，并且各处都均匀后，就可以用煤油清洗丝杠和螺母，进行装配。研磨后的螺母丝杠副应能做到传动轻快，没有明显的轴向间隙。

对于滚动轴承、齿轮等，在不能满足传动关系中的精度要求时，一般都是进行更换。

四、配加零件法

(1) 箱体中的轴承孔由于拆卸轴承次数过多，孔径往往变大，或者受到其他损坏。若不能再使用时，可以将原轴承孔孔径镗大，镶套后，重新进行加工，以满足安装轴承的精度要求。镗孔时，既要考虑到使镶套的厚度不能太薄，以增强嵌镶的牢固度，又要考虑到对箱体的强度不能有过多的削弱。

(2) 精度调整中，有时在静止配合面之间可以加入适当厚度的垫片，以调整配合面之间的运动精度。例如，在推力轴承静圈与轴承座支承面之间，以及径向滚动轴承的外圈端面与轴承盖端面之间，增加垫片可以消除过大的轴向间隙。在蜗轮的定位端面增加垫片，或者在蜗杆轴承座底面下增加垫片，可以调整蜗杆副的啮合位置，提高蜗杆副的装配精度。在齿条背面可以通过增加垫片，减小齿条和齿轮之间的啮合间隙，提高装配质量，保证啮合精度的要求。

(3) 在已经弄清设备的传动关系、发生故障的原因和不影响零件强度的前提下，可以通过增加定位销、紧定螺钉、定位环等必要零件，提高装配部件的质量，保证设备精度的稳定性能。

第三节 设备性能状态的调整方法

一、主轴发热的一般原因和调整方法

主轴发热的实质是主轴上安装的滚动轴承，或者滑动轴承在速度较高的旋转中，发生了过热现象。主轴产生发热现象，轻则影响设备的工作精度，重则使轴承烧坏。

1. 轴承发热的常见原因

无论是滚动轴承，还是滑动轴承，从轴承装配原因来

说，滑动轴承的间隙调整过小，滚动轴承的预加负荷太大，就会加大轴承旋转中的阻力，造成轴承发热。从轴承内部原因来说，如果滑动轴承表面粗糙度粗、形状不正确、滚动轴承的制造精度低，使轴承在低精度、高转速情况下工作，也会增加旋转阻力，使轴承产生发热现象。从相配零件的影响来说，主要是因受外力的影响，造成主轴弯曲，箱体前、后轴承孔同轴度超差，或者主轴上的传动带调整过紧，或者主轴上安装的大重量旋转件制造不准确、受外力变形、内部组织不均匀的影响，出现重心与旋转轴线同轴度误差过大的情况，产生过大的离心作用力，也会使轴承受到很大的非正常作用力，引起轴承发热。

从工作环境来说，轴承发热的原因，其一是润滑条件不好。例如，润滑油供应不畅；加入的润滑脂量不够；润滑油、脂的使用牌号不对，不干净等。其二是防护措施不好，使工作环境中的脏物、灰尘进入轴承之中。

2. 轴承发热的一般排除方法

(1) 首先应检查轴承的润滑条件是否得到满足。

(2) 检查轴承是否受到过大的离心力。例如，对磨床来说，首先要检查砂轮是否已经平衡。对有带轮传动机构的主轴来说，必须检查传动带是否调得过紧。这样作的目的，是要首先排除容易调整的环节对轴承工作情况的影响。

(3) 检查轴承的间隙是否调得合适。可以先将轴承调松一点进行试验，看是否有明显效果；然后再逐步由松到紧进行调整，以求轴承间隙合适。

(4) 做了以上检查和调整以后，如果轴承还发热，才能考虑拆卸主轴，检查轴承内部的质量问题，并且进行修理和更新。

当设备受到非正常外力的作用，或者受到意外损坏时，还应考虑主轴及箱体轴承孔的变形情况。检查主轴是否弯曲，前、后轴承孔是否同轴。发现问题必须进行对症修理。

3. 磨床用滑动轴承调整实例

对发热的滑动轴承进行修理调整的目的，在于使其具有良好的接触精度和合理的间隙。

下面以磨床上常用的短三瓦调位轴承为例，说明滑动轴承间隙的调整方法。其结构型式如图 4-15 所示。

(1) 正确拆卸轴承。拆卸时，要对瓦片以及与其成对组合的球头螺钉，按各自在支承座的位置，分别作出标记，以免配研和装配时装错。

(2) 用涂色法检查瓦片与主轴轴颈、瓦片与球头螺钉的球面接触情况。要求它们的接触面积应达到 70% ~ 80% 以上，并且接触点分布均匀。若达不到要求，应对主轴进行研磨抛光，对轴瓦表面进行刮修或者更换新瓦，同时对瓦片与球头螺钉的球面进行配研。

(3) 清洗主轴、轴瓦及其球面螺钉等件一定要仔细认真。

(4) 对号装入各轴瓦组合件。应注意主轴对轴瓦的旋转方向要正确。使瓦片远离支承点的一端做为瓦尾，处于主轴旋转方向的后面。这样才能使轴颈与轴承的工作表面之间形成楔形间隙，并且楔尖指向主轴的旋转方向，实现进油口的间隙大于出油口的间隙，提高进出口的间隙比，增大油液在楔形间隙中的积聚趋势，升高轴承中的油膜压力。装配并调整瓦片与轴颈的间隙时，应在主轴体壳孔两头安装调试工装，支承主轴以保证主轴的轴心线与主轴体壳孔轴心线同轴。调试工装通常是两块外圆与体壳孔径相配，内孔与主轴

外径相配的支承板。一般来说，调整主轴轴颈与轴瓦的间隙应保持在 $0.008\sim 0.012\text{mm}$ 之间。为了正确地检查出瓦片与轴颈的接触精度，调整好轴承间隙以后，用手旋转主轴数圈，再将瓦片拆下，待检查其接触面积及点数正确无误时，才可重新装配调整至要求。

(5) 正确使用润滑油。短三瓦滑动轴承使用的润滑油配方是10%的L-AN15粘度等级的机械油配以90%的煤油即可。由10%的缝纫机油或者变压器油配以90%的煤油也可以使用。

(6) 进行试运转，检查轴承的温升情况。一般情况下，空运转的时间不应少于2h，轴承温升不超过室温 20°C 为合适。空运转时，还应检查主轴的径向圆跳动量和轴向窜动量。如果发现超差情况，就要对轴承重新进行调整。在精度合乎要求以后，必须再一次进行空运转，检查轴承温升情况。直到精度与温升情况都合乎要求，才算调整合适。

二、齿轮噪声增大的原因及判断方法

机械设备的齿轮噪声增大，是维修中常见的机械故障。要减小齿轮噪声，必须先准确判断齿轮噪声增大的起因，才能采取对症措施进行调整和修理。

1. 齿轮噪声的产生特点

(1) 在齿轮的噪声频率中，既有齿轮的啮合频率，也有其本身的固有频率。前者随传动轴转速的变化而成比例地产生相应的变化，后者则与转速无关。啮合频率是齿轮在回转中受到强制性连续冲击而产生的，是齿轮噪声的重要组成部分。齿轮的固有频率与其结构密切相关。

(2) 齿轮间连续产生冲击的原因，就齿轮本身而言，如果周节和齿面形状存在很大的误差值时，齿轮就不能均匀地

啮合回转，有时急剧加速，有时急剧减速，使齿与齿之间发生碰撞，轮齿受到很大的附加动态载荷。

对于压力角为 20° 的直齿轮来说，其啮合系数为 $1 \sim 2$ 。这样，齿轮啮合时，就会产生齿的弹性刚度交替变化的现象，使同时啮合的不同齿之间出现交替变化的弯曲差，从而引起轮齿之间冲击，产生噪声。

此外，还会发生由于外部其他原因，而引起齿与齿之间产生撞击的现象，例如，传动环节的负荷变动，驱动轴振摆回转，及其他环节固有频率共振等。

(3) 需要维修的齿轮噪声，一般来说，是在设备的总体结构以及齿轮、轴承、轴、箱体等零部件经过计算和实践的基础上，长期使用而产生的。因此，需要维修的齿轮噪声，是与设备出厂时所具有的噪声相比较而判断的。噪声增大的现象不难发现，难的是寻找噪声源。

2. 影响齿轮噪声增大的主要因素

(1) 齿轮旋转系统的旋转偏心现象增大。齿轮旋转系统在较长时间的运转中，会引起轴的弯曲变形，或者滑动齿轮与轴的配合间隙增大、花键定位精度降低，或者轴承间隙增大。尤其使用圆锥滚子轴承时，如果装配中没有给以预加负荷，造成内、外圈与圆锥滚子之间的间隙过大，都会使齿轮产生旋转偏心现象，引起齿与齿之间的啮合冲击。旋转系统的旋转偏心现象越严重，由偏心引起的啮合冲击的能量就越大。

(2) 齿面失效情况严重。齿轮精度中，周节和齿形形状所存在的误差对齿轮噪声的影响最大，而且两者间不是简单的正比关系。特别是噪声的大小不仅取决于周节和齿形所出现的误差值的大小，而且还要取决于齿形的形状如何。图

5-6 是齿形误差完全相等，而齿形形状不同的三种齿轮，与标准齿轮啮合时，产生噪声的对比。由图可知，齿面形状不同，噪声可相差 10dB 左右。

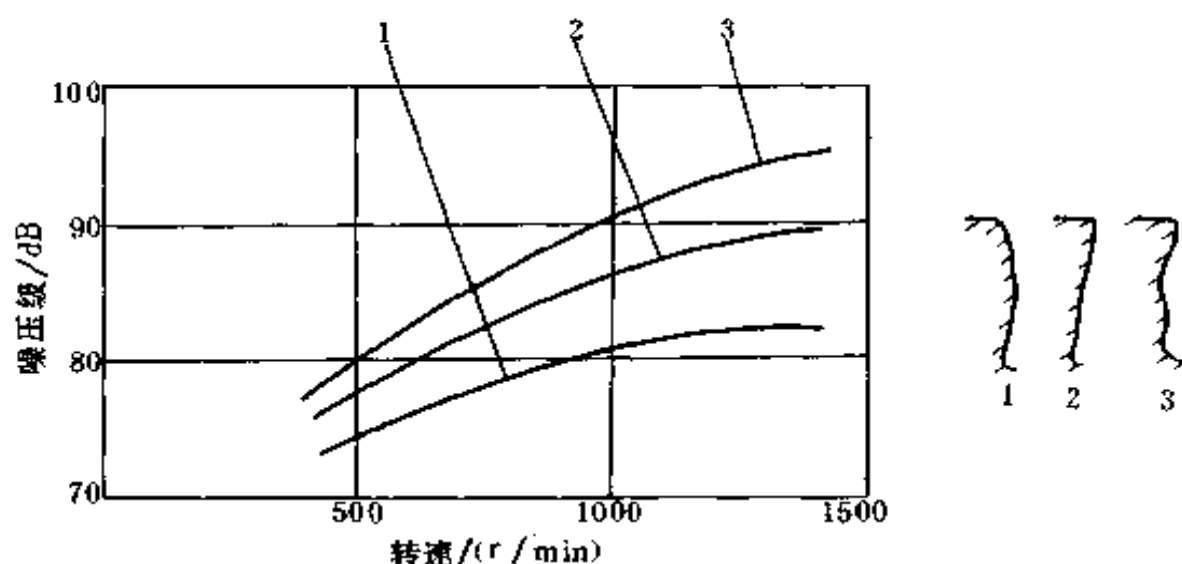


图 5-6 齿形形状对噪声的影响

经过长期使用的齿轮，齿距和齿形形状所存在的误差与齿面失效的程度状况密切相关。齿面失效的常见形态是：磨粒磨损、粘着撕裂、疲劳剥离、疲劳点蚀、齿面塑变、化学腐蚀、轮齿折断、轮齿碰伤等。这些情况都属于不均匀损坏，不仅会使周节和齿形形状所存在的误差值剧增，尤其会引起图 5-6 中的第三种齿形形状对噪声的影响。因此，齿面失效成为齿轮噪声增大的重要原因。

另外，齿轮配件工艺安排不当，也会引起齿面失效。齿轮的氮化工艺，一般情况下，允许作为最后一道工序。但是，对于齿轮的轮缘上带有工艺孔的齿轮，齿面氮化以后，必须安排精磨工序。否则，靠近工艺孔处的齿牙就会因氮化后，发生先于其他处齿牙的冷却，而产生齿牙变形，造成齿面失效。从而在使用过程中，产生固定位置的啮合撞击声。

(3) 存在外界振源的影响。电动机的振动, 主要是转子不平衡、轴承有问题等因素所造成。电机振动传到齿轮箱后, 会使啮合齿轮之间产生激振, 出现明显的齿轮敲击声。

传动带在机械传动中广泛地被用作缓冲装置, 以连接电机和齿轮箱。在整条传动带上, 其截面的几何形状制造误差, 尤其是当尺寸有明显增大时, 在传递运动中, 传动带的张力与摩擦力必将发生变化。从而, 会引起带轮所带动的转轴回转不均匀, 产生转轴抖动, 诱发齿轮及其整个传动链中的啮合副, 都在同一瞬间发生冲击声。

对于装有联轴器的设备, 联轴器的安装同轴度误差过大, 对齿轮箱噪声增大也会产生一定影响。

3. 判断齿轮噪声源的常用方法

(1) 涂红丹粉法进行判断。对怀疑由齿形误差较大、磨痕不服引起噪声增大的齿轮, 可用涂红丹粉判断接触精度的方法进行判断。采用涂色检查一般可分辨出 0.01mm 左右的误差。

(2) 打表测量法进行判断。对于由轴弯曲、轴承间隙过大以及电机振动等情况引起齿轮噪声增大的噪声源, 可以把千分表打在轴的径向或者轴向, 通过检测其圆跳动量的大小, 判断噪声增大的原因。一般轴的径向圆跳动量超过 0.02mm 就会使齿轮噪声明显增大。

(3) 用传动图进行分析。其一, 利用机械设备的传动关系图, 通过变档改变传动关系, 计算传动比的变化, 判断发生低频冲击噪声的齿轮究竟是处于齿轮箱的哪一档位置。其二, 先测量出齿轮冲击噪声的主频率, 然后再用传动图计算出各级齿轮的啮合频率, 择其相吻合的位置, 就判断出了噪声源。

(4) 由直觉观察进行分析判断。对齿轮的轴向窜动、驱动轴的振摆，往往可以直接用眼睛观察出来。传动带对齿轮噪声的影响，可以通过检查传动带的外观形状，并且更换截面几何尺寸一致的传动带进行试验性判断。如果齿轮噪声明显减小，就可以说是传动带质量问题引起齿轮噪声增大。至于轮齿的折断、齿面的损坏性失效，都可以通过直接观察发现问题症结。

噪声增大的原因找到了，就可以对有缺陷的齿轮，或者有关零件进行更换和修理，对装配有问题的部位重新进行调整，使设备能够恢复原有的噪声水平。

三、导轨面拉伤的常见原因及改善措施

下面以一台 T68 卧式镗床的前立柱导轨前侧轨面上，被拉出两条长 300mm、宽 2mm 多、深 0.4~0.5mm 的长槽，6 条短槽及一些细丝划伤的故障现象作为实例，来说明导轨损伤的常见原因、形成特点及其采取的改善措施。

1. 导轨面拉伤原因

在 T68 卧式镗床前立柱的两侧燕尾轨面上，分别支承着主轴箱的上、下两块导向压板。当把被拉伤的导轨面上的两块导向压板拆下检查时，发现下面的一块贴轨面没有拉伤。上面那块贴轨面出现严重拉伤情况，拉伤痕迹如图 5-7 所示。图中未打磨纹线处，表示这部分轨面上，原有的深痕存油磨纹已经被磨损掉，显得很光亮。

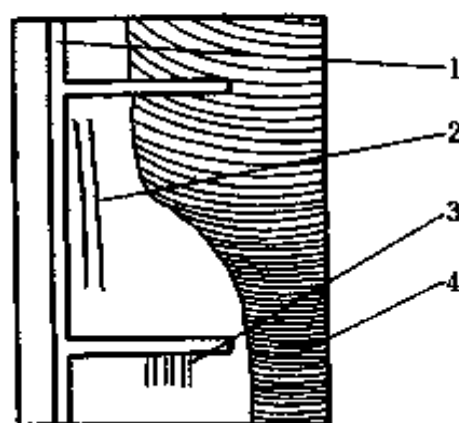


图 5-7 导向压板拉伤痕迹示意图

1—油槽 2—拉伤长槽
3—拉伤短槽 4—存油磨纹

由导向压板的拉伤位置和形状,可分析出拉伤的原因是:

(1) 发生拉伤的导向压板,是承载最大的主轴箱上端导向压板、压板贴轨面磨损不匀,说明压板受力不匀。在承载压强大的部位,如果润滑情况不好,就会加剧磨损。加剧磨损又反过来会影响存油磨纹的存油功能,使润滑情况更加恶劣。直到这部分的存油磨纹被磨损平光的时候,就更加影响了油膜的形成,甚至使个别地方油膜发生破坏现象。因此拉伤发生在这个部位是难免的。

(2) 导向压板贴轨面采用图中所示型式的油槽不合理。纵向油槽正处于受力最大的区域,容易破坏所在部位的油膜,并削弱油膜承载刚度。而且在立式导轨上采用纵向油槽,不但不能合理地送油,反而容易造成导轨面内润滑油的流失。由拉伤痕迹处于纵向和横向油槽附近,可知这样结构的油槽确实对油膜具有明显的破坏作用。

(3) 导向压板和立柱导轨面处的润滑方式是用油枪人工加油,不能保证随时补充油量而避免轨面间发生缺油现象。

(4) 导向压板经过机械加工成形,在两端面直角处都会形成具有一定半径的圆角。当加工铸铁工件时,若飞起的尘末钻到立柱轨面上,导向压板没有防护措施,就容易使尘末钻进导轨贴合面内,引起细丝划伤,损伤导轨的表面质量。

2. 导轨常见损伤的形成特点

导轨常见的损伤有细丝划伤和咬焊拉伤两种形式。这两种形式在导向压板的贴轨面上都表现得很明显。

(1) 细丝划伤是磨粒磨损的结果。当导轨摩擦面之间存在有硬性微粒杂质的时候,在压力作用下,这些硬粒就会对摩擦面产生断续的切削作用,并伴随着轻微的塑性变形,使导轨面产生划伤现象。这种硬性微粒可能来自外界,也可能

是导轨副磨损的产物，还可能是导轨自身组织中的硬点及带来的夹砂等。

(2) 咬焊拉伤是粘着磨损的结果。这种现象常发生在导轨摩擦面间接触压力过大和润滑条件变差的情况下。产生的一般过程是当导轨表面缺乏润滑油的时候，由于摩擦面之间不能完全被润滑油层分开，不平的金属表面在载荷下进行摩擦，高接触点就受压很大，会引起瞬时高温，使表层金属熔化焊合，造成接触点粘着。在相对运动和载荷作用下，重复产生粘着—剪断—再粘着的循环过程，就在导轨表面沿其运动方向形成了很深的沟槽。

显然，导轨这两种损伤形式既有区别，又有联系，不言而喻。

3. 改善措施

(1) 改导向压板贴轨面上的纵横型油槽为曲回式油槽，既避免了纵向油槽对油膜的破坏性，又可避免润滑油很快流失。

(2) 在导向压板贴轨面上刮出深坑油花，提高轨面的存油性能。并且要定期检查，发现油花磨光，就应重新刮削。

(3) 导向压板上端加工出 $\phi 18\text{mm}$ ，深 30mm 的贮油坑，放上油线和油槽连通。改变加油方式，使人工油枪往立柱导轨面上加油，改为往贮油坑灌油，通过油线滴油，以维持导轨贴合面上常有油供给。

(4) 导向压板两端装上羊毛毡垫，阻止加工铸铁工件时的尘末及其他脏物挤进导轨贴合面内。

(5) 调整导向压板处于正确位置。贴合面上的承载点子要均匀合适，避免出现承载压强过大的区域。

导向压板油槽润滑系统，改进后的设计如图 5-8 所示。

4. 导轨油槽推荐型式

机械设备中,由于导轨油槽设计不合理,使导轨润滑条件破坏,造成轨面被拉伤的情况常常可以看到。为此,应根据导轨的工作状况,对不合理油槽尽可能进行改造,采用推荐油槽。现将四种值得推荐的油槽介绍如下,如图 5-9 所示。

(1) 若能使润滑油送入每个横向油槽时,应该优先选用图 5-9a 型油槽,以提高动压效应,并能使导轨面间压力均匀。

(2) 若往每个横向油槽送油有困难时,可采用图 5-9b 型油槽。与图 5-9a 型油槽相比,其缺点是减少了形成动压效应的导轨宽度。导轨面为垂直或者倾斜时,纵向油槽应放在上部。由运动件供油时进油孔应正对纵向油槽。润滑油来自比它高的邻近导轨时可采用图 5-9d 型油槽。

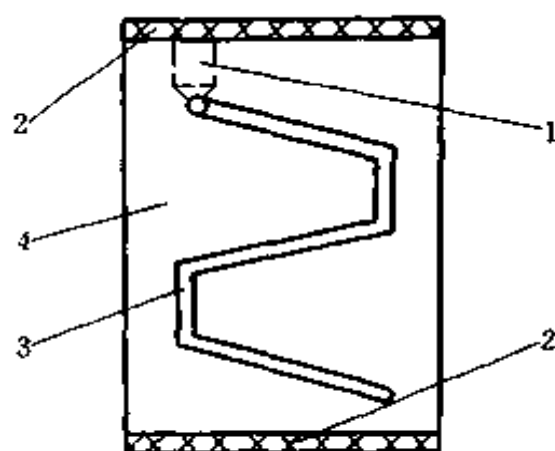


图 5-8 导向压板油槽
的改进设计

1—贮油坑 2—羊毛毡垫
3—油槽 4—整个轨面重刮油花

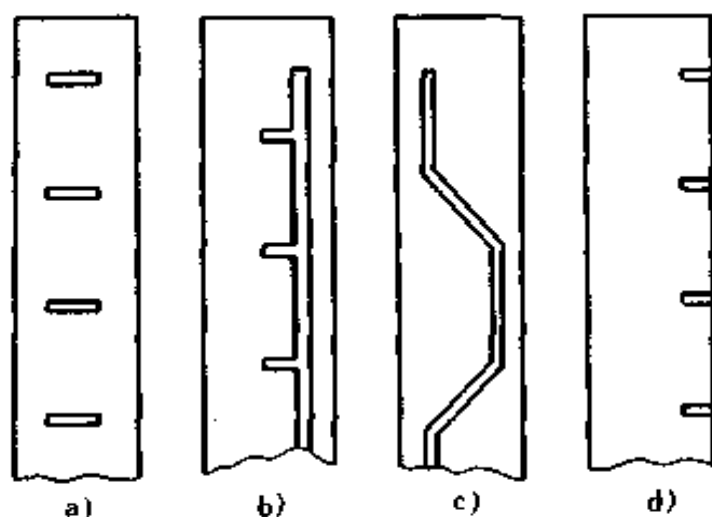


图 5-9 推荐油槽型式

(3) 对垂直运动件的导轨,为避免润滑油很快流失,应

采用图 5-9c 型曲回式油槽，将进油孔安排在上部油槽内。

(4) 为了增加导轨液体动压承载能力，不推荐在导轨中间采用纵向油槽或者对角线油槽。横向油槽也不宜过多，过多时承载能力也下降。运动件的导轨在行程末端伸出下导轨面时，在导轨的外露部分不应开油槽，以免油漏到床身外。但是为了减少两端导轨磨损，可以开有与润滑系统不相通的盛油槽。当导轨不外露时，可以在导轨面的油槽两端各开一条放气槽，使油槽与大气相通。这样，一方面能排除油槽内的空气，另一方面当润滑油压过高时可以泄压，以防止工作台漂浮起来。

四、机械运动中爬行现象的产生及其消除方法

机械设备中完成进给运动的溜板，在导轨上低速运动时，有时候会出现窜动式滑动，产生“停留—运动—停留”的间歇进给现象。我们称溜板的这种运动状况为爬行现象。一般用千分表就可测量出来，用手触摸也会有明显感觉。

1. 爬行现象的产生原因

溜板低速爬行是很多因素综合影响的结果。其主要根源是溜板与导轨材料间的动摩擦系数与静摩擦系数之间，存在有一定的差值，以及运动的传动系统之中存在有一定的弹性。

在运动开始传递时，溜板首先是通过齿轮、光杠等件组成的弹性系统受到驱动，由静止变为运动状态。这时候，摩擦力便从静摩擦力减小到动摩擦力。力的这种变化使溜板会产生一个加速度，消耗弹性传动系统在被驱动件静止时自身先受压缩而贮存的能量。使其压缩量减小，直到完全恢复无压缩状态。但是，溜板这时由于惯性作用，还会继续向前移动，从而使弹性传动系统由原来的受压缩状态转变为被溜板所拉伸的状态。在这种情况下，溜板在减速运动中将产生一

定的超前运动，直到运动停止。由于驱动件始终在作匀速运动，当驱动件在行程上追上并超过溜板以后，就又压缩弹性传动系统，使其贮存能量，待贮存到一定程度，又驱动溜板产生上述的“停留—运动—停留”的爬行现象。溜板爬行现象运动过程的分析如图 5-10 所示。

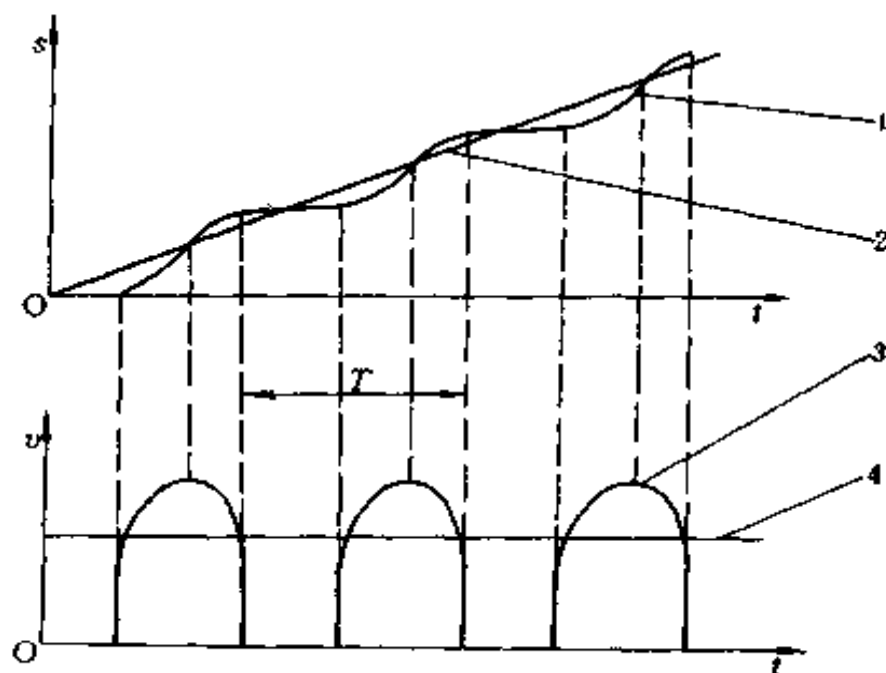


图 5-10 爬行现象运动过程分析

1—被驱动件的行程线 2—驱动件的行程线 3—被驱动件速度
4—驱动件速度

显然，当驱动件的运动速度和弹性传动系统的刚度都提高到一定程度时，就会出现溜板从静止到开始运动，来不及产生行程超前，就被驱动件驱动的情况。从而溜板在后面的行程中也就不再发生爬行现象。

2. 影响机械运动出现爬行的主要因素

(1) 溜板与导轨材料间的动摩擦系数越小于静摩擦系数，越容易产生爬行。

(2) 传动系统的刚性越差，越容易产生爬行。

(3) 溜板与导轨间阻尼越小, 越容易产生爬行。增大阻尼有利于减轻爬行。

(4) 溜板负载越大, 惯性越大, 越容易产生爬行。

3. 消除爬行现象的主要措施

(1) 提高传动系统的刚性。首先要检查使传动系统刚度下降的主要环节和原因。例如, 导轨磨损严重, 就会使其接触刚度下降, 引起爬行现象。因此, 应重新刮研导轨。特别是溜板导轨出现凹型形状时, 刮研后能明显提高接触刚度, 克服溜板的爬行现象。有时溜板上压板贴轨面磨损变毛; 光杠上的位移键配合面磨损变毛; 传动轴发生弯曲变形; 传动轴传动受阻也都会容易引起溜板爬行。传动系统刚度下降的环节找到以后, 就可以采取相应措施进行修理和调整。如刮研磨损严重的滑动面, 更换变毛的位移键, 校直变弯的轴, 排除轴的旋转阻力, 或者改进传动系统的设计等, 以提高薄弱环节的刚性, 消除引起溜板爬行的因素。

(2) 改善摩擦情况。

1) 采用粘度较高并加有油性添加剂的防爬油, 可以减少导轨间静、动摩擦系数的差值。

2) 重新进行装配, 选取合适的装配间隙, 减少运动部件之间的摩擦阻力。

3) 改进导轨材料, 在溜板导轨处粘贴经过表面化学活化处理的聚四氟乙烯薄带等静、动摩擦系数差值小的摩擦副材料, 以改善导轨间的摩擦情况。

第六章 公差配合在维修中的应用

第一节 零件尺寸公差与配合的合理选择

一、基孔制和基轴制的选择

基准制是选择孔轴间各种配合关系的前提，被分为基孔制和基轴制两种系列。

基孔制是基本偏差为一定的孔的公差带，与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度。基孔制的特点是孔为基准孔，其下偏差为零。

基轴制是基本偏差为一定的轴的公差带，与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度。基轴制的特点是轴为基准轴，其上偏差为零。

维修中基准制的选择原则是：

(1) 一般情况下，要优先选用基孔制。相对来说，加工孔要比加工轴困难。采用基孔制，通过改变轴的尺寸和基准孔相配，加工起来容易方便，工艺性好；又有利于减少加工同一公称尺寸而配合不同的孔，所需标准刀具和量具的总数，减少总的生产投入。例如，要做出基本尺寸相同、公差等级相同，而种类不同的三种孔轴配合。若加工孔时应选用尺寸固定的刀具和量具为拉刀、塞规和心轴等。那么，用基孔制配合时，进行这道工序只要用一种尺寸的刀具量具来加工测量就可以了。然而，用基轴制配合时，就要用三种尺寸的刀具量具才行。

(2) 修理中,若直接截取冷拉钢材做轴,外圆不再进行加工,可采用基轴制,在加工孔中实现配合要求。这种情况在农业机械和纺织机械的维修中是常有的事情。

(3) 与标准件配合的零件,基准制的选择应依照标准件来定。例如,与滚动轴承内圈配合的轴应按基孔制加工。安装滚动轴承外圈的箱体孔应采用基轴制进行加工。

(4) 修理件的基准制应根据相配件的具体情况进行选择。例如,经常需要更换的轴套,其外径应以箱体孔为基准孔,按基孔制进行加工,以轴配孔。其内径应以设备原有的轴为基准轴,按基轴制进行加工,以孔配轴。

(5) 由于结构原因必须采用多件配合时,应根据装配要求,具体分析情况,选用合适的基准制。例如,对于图 6-1 所示的一轴穿过两孔和一轴穿过三孔的组件,当要求件 1 和件 3 为过盈配合,件 2 和件 3 为间隙配合的时候,若采用基轴制,轴就可以做成无台阶的光滑轴,只要改变孔径尺寸就可以很容易地实现配合要求。若采用基孔制,就必须把轴加工成台阶轴。这样,装配起来既不方便,还会使轴的大端擦伤间隙配合孔的表面,影响装配质量,同时又削弱了轴的强度。

二、公差等级的选择

选择公差等级是为了解决零件使用要求和制造工艺、生产成本之间的矛盾。

(1) 选择公差等级首先要能满足使用要求。常用的配合尺寸一般采用的公差等级为 IT5~IT11;特别精密零件的配合尺寸一般采用的公差等级为 IT2~IT5;非配合尺寸制造时,一般采用的公差等级为 IT12~IT18。

(2) 选择公差等级要考虑工艺实现的可能性和经济性。

(续)

加 工 方 法	公 差 等 级														
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
镗															
铰															
刨 插															
钻 孔															

(3) 维修件选择公差等级还要考虑相配零件的精度及装配要求等。例如，与滚动轴承配合的轴颈和箱体轴承孔的精度，要根据滚动轴承的负荷类型、工作规范、轴承是外圈旋转还是内圈旋转、轴承的尺寸大小和精度等情况进行选择。齿轮孔与轴的配合精度要根据齿轮精度来选择。配修零件的精度要根据相配件的实际尺寸、装配精度要求情况和配合种类等进行选择。

三、配合的选择

1. 配合的一般选择

配合是指基本尺寸相同的，相互结合的孔和轴的公差带之间的关系。因此，配合性质主要由基本偏差的特点决定，同时也与公差等级有一定关系。一般采用基孔制时，选择配合主要是确定轴的基本偏差代号，同时确定孔、轴公差等级。对于间隙配合，基本偏差的绝对值等于最小间隙的绝对值，所以可按最小间隙确定其基本偏差代号。对于过盈配合，在确定基准件公差等级以后，要以此为基础，根据最小过盈确定基本偏差代号。孔、轴的公差等级应根据配合要求确定。

(1) 在基孔制的间隙配合中，轴的基本偏差具有如下所

述的配合特性。

1) a、b: 可得到特别大的间隙, 应用很少。

2) c: 可得到很大间隙, 一般用于缓慢、松弛的间隙配合处, 以及工作条件较差、受力变形较大, 或为了便于装配而必须有较大间隙的地方。

3) d: 适用于松的转动配合, 如密封盖、滑轮等与轴的配合。也适用于大直径滑动轴承以及重型机械滑动支承中的配合。公差等级常用 IT7~IT11 级。

4) e: 适用于要求有明显间隙, 易于转动的支承配合。高等级的 e 轴适用于高速、重载、大支承处。公差等级常用 IT7~9 级。

5) f: 广泛用于由普通润滑油、脂润滑的转轴与滑动支承的配合。公差等级多用 IT6~IT8 级。

6) g: 最适合于不回转的精密滑动配合, 例如精密连杆轴承、活塞及滑阀、连杆销等处的配合。公差等级多用 IT5~IT7 级。

7) h: 广泛用于无相对转动的零件, 作为一般的定位配合。公差等级多用 IT4~IT11 级。

(2) 在基孔制的过渡配合中, 轴的基本偏差具有如下所述的配合特性。

1) js: 平均起来为稍有间隙的配合。多用于略有过盈的定位配合, 如联轴器、齿圈与钢制轮毂的配合等。一般可用手或木锤装配。公差等级多用 IT4~IT7 级。

2) k: 平均起来为没有间隙的配合。主要用于稍有过盈的定位配合, 例如为了消除振动的定位配合。一般用木锤进行装配。公差等级多用 IT4~IT7 级。

3) m: 平均起来为过盈不大的配合。一般用于要求由

木锤装配的组件。公差等级多用 IT4~IT7 级。

4) n: 平均起来过盈稍大的配合。常用手锤或压力机装配的紧密配合的组件。公差等级多用 IT4~IT7 级。

(3) 在基孔制的过盈配合中, 轴的基本偏差具有如下所述的配合特性。

1) p: 与 H6 或 H7 的孔配合时是过盈配合, 与 H8 的孔配合时为过渡配合。对非铁类零件, 为较轻的压入配合; 对钢、铸铁或铜钢组件的装配是标准压入配合。

2) r: 对铁类零件为中等打入配合。对非铁类零件为轻的打入配合。与 H8 孔配合, 直径在 100mm 以上时为过盈配合, 直径较小时为过渡配合。

3) s: 用于钢和铸铁零件的永久性和半永久性装配, 过盈充分, 可产生相当大的结合力。常用温差法进行装配。

4) t、u、v、x、y、z: 过盈量依次增大。u 轴常见使用。需用温差法进行装配。

2. 配合的优先选择

选择配合首先要采用优先公差带及优先配合; 其次采用常用公差带及常用配合; 然后才采用一般用途的公差带及一般配合。

(1) 优先间隙配合:

1) 基孔制: H11/c11、H9/d9、H8/f7、H7/g6、H7/h6、H8/h7、H9/h9、H11/h11。

2) 基轴制: C11/h11、D9/h9、F8/h7、G7/h6、H7/h6、H8/h7、H9/h9、H11/h11。

(2) 优先过渡配合:

1) 基孔制: H7/k6、H7/n6。

2) 基轴制: K6/h6、N7/h6。

(3) 优先过盈配合:

- 1) 基孔制: $H7/p6$ 、 $H7/s6$ 、 $H7/u6$ 。
- 2) 基轴制: $P7/h6$ 、 $S7/h6$ 、 $U7/h6$ 。

第二节 常见形位误差的测量方法

一、导轨直线度误差的常用测量法

1. 平尺研点法

通常都是用精度不低于 2 级, 长度不短于被测导轨的标准平尺, 放在被涂以很薄的一层红丹粉的被测导轨面上进行研点。只要能达到每刮方 ($25\text{mm} \times 25\text{mm}$) 内所要求的点子数, 就可以说被测导轨的直线度误差为合格。一般导轨要求的研点数都在每刮方为 10~20 点之间。

2. 平尺拉表法

此法对于导轨在垂直平面内的直线度误差和水平面内的直线度误差可以分别进行测量。测量前, 把平尺安放在被测导轨附近, 工作表面要根据测量需要放置。然后把千分表固定在测量垫铁上, 使表头顶在平尺工作表面上。测量时, 首先调整平尺, 使千分表在平尺两端表面的读数要相同。接着, 每隔一定距离移动一次垫铁取一个读数。千分表读数的最大差值就是被测导轨的直线度误差值。测量中, 为排除平尺表面刮削深浅的影响, 在表头下可以垫一量块为好。

平尺拉表测量法如图 6-2 所示。其中, a 为导轨在垂直平面内直线度误差的测量法。 b 为导轨在水平面内直线度误差的测量法。

3. 塞尺测量法

这种方法可以测量平导轨的直线度误差。首先将标准平尺放在被测导轨面上, 然后在离平尺两端各为 $2/9L$ 距离

处，用两个等高垫铁支承在平尺下面。最后用塞尺垫上量块，测量导轨每隔一段距离处，相对平尺工作面的间隙变化，变化的最大差值就是被测导轨的直线度误差值。塞尺测量平导轨直线度误差的方法如图 6-3 所示。

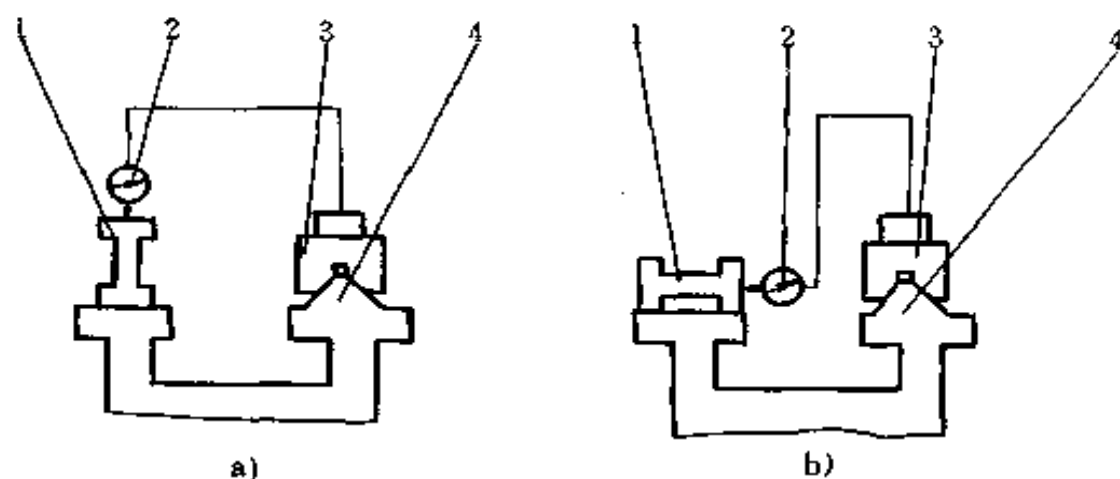


图 6-2 平尺拉表测量直线度误差

1—平尺 2—千分表 3—测量垫铁 4—被测导轨

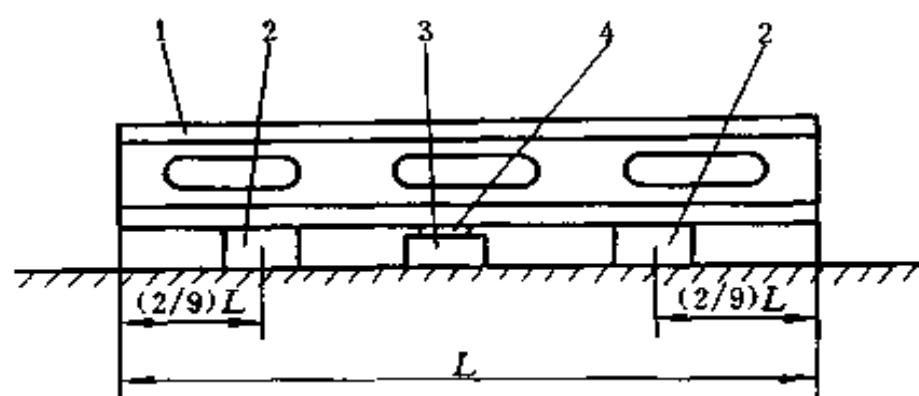


图 6-3 塞尺测量导轨直线度误差

1—平尺 2—等高垫铁 3—量块 4—塞尺

4. 水平仪测量法

可看第三章中“导轨磨损面的修复”一节。在这里，关于水平仪测量导轨直线度误差的叙述已经比较详尽。

二、导轨平行度误差的常用测量法

机械设备的基础零件如床身、滑座等，一般都是由两条以上的导轨表面组成。不仅要使每条导轨应该满足直线度要求，还应满足几条导轨之间的平行度要求。测量导轨间平行度误差的常用方法有如下三种。

1. 拉表测量法

如图 6-4 所示，就是借助专用垫铁由千分表来测量导轨间平行度误差的常用方法。在导轨全长上，千分表读数的最大差值就是被测导轨间的平行度误差。

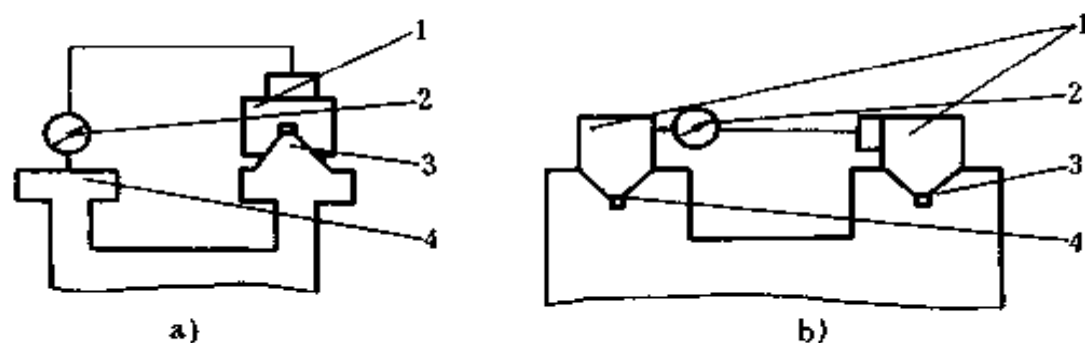


图 6-4 拉表测量导轨间平行度误差

1—专用垫铁 2—千分表 3—基准导轨 4—被测导轨

2. 千分尺测量法

如图 6-5 所示，就是在导轨刮研中使用较多的千分尺测量导轨平行度误差法。导轨两端读数的变化值就是被测导轨间的平行度误差。

3. 水平仪借助桥板测量法

图 6-6 中所示就是一种水平仪借助桥板测量导轨平行度误差的方法。通过桥板在导轨面上移动，每隔一定距离记录一次水平仪读数。全行程中，水平仪上读数的最大代数差就是被测导轨间在全行程上的平行度误差值。它是一个角值误差。测量中要注意使桥板与导轨的接触面尽量小，才能够使

其具有良好的灵敏性。使用水平仪时，要注意不能调头，以免引入水平仪自身误差，影响测量的准确性。

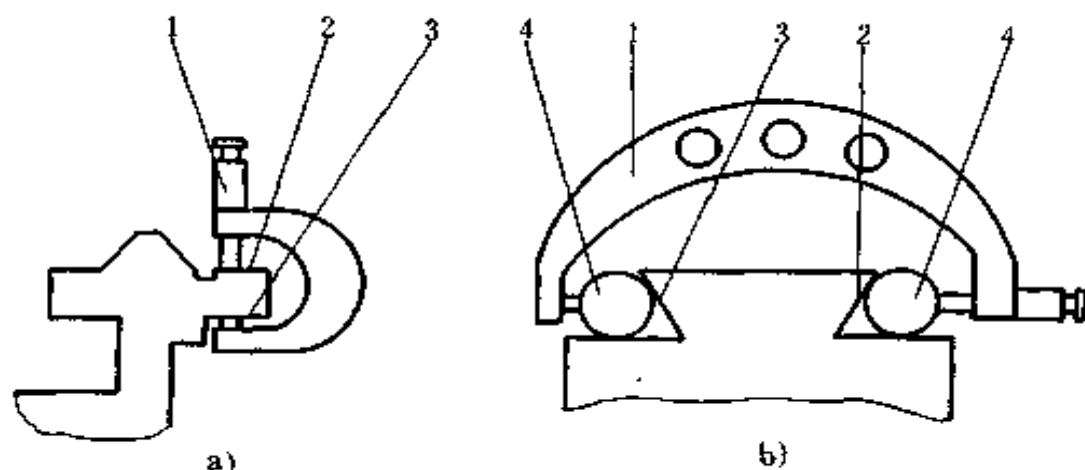


图 6-5 用千分尺测量导轨平行度误差

1—千分尺 2—被测导轨 3—基准导轨 4—检验棒

三、导轨间垂直度误差的常用测量法

1. 90° 角尺拉表测量法

溜板上部横向的燕尾导轨和下部的纵向导轨的垂直度误差，用 90° 角尺拉表测量的方法如图 6-7 所示。测量时，先用千分表保证 90° 角尺纵向工作表面，在溜板移动方向上的平行度要求。然后，在溜板的燕尾导轨上，移动安放有千分表的专用垫铁进行测量，并使千分表头顶在 90° 角尺的横向工作表面上。这时，千分表读数的最大差值，就是溜板燕尾导轨与下部

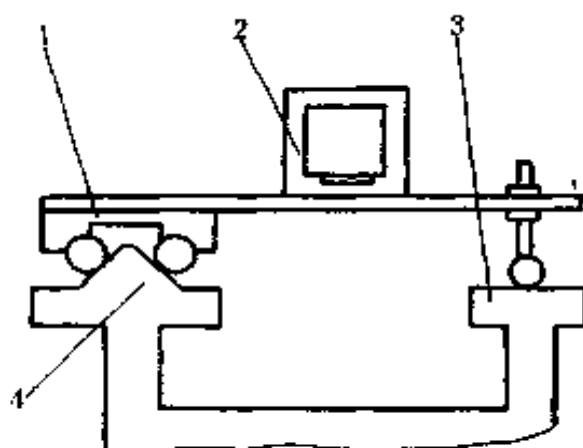


图 6-6 水平仪借助桥板测量导轨平行度误差

1—桥板 2—水平仪 3—被测导轨 4—基准导轨

纵向导轨的垂直度误差。

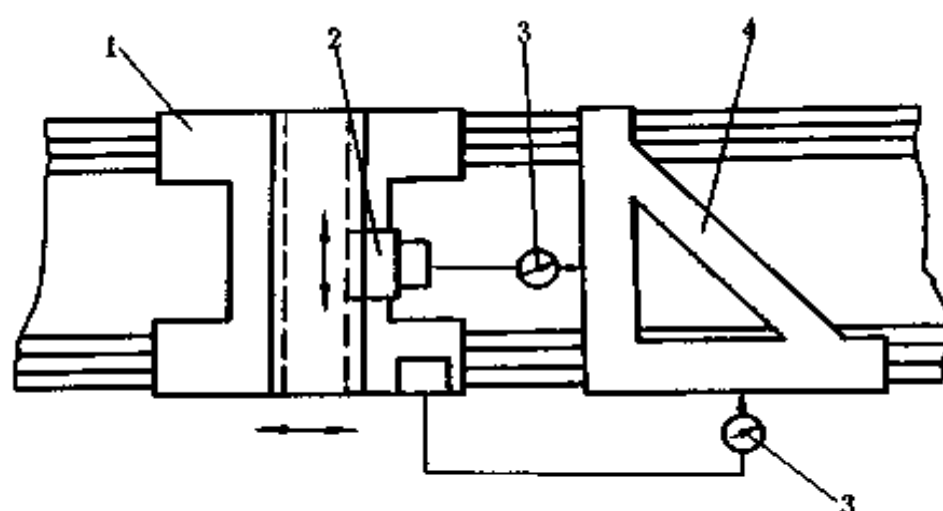


图 6-7 90°角尺拉表法测量导轨垂直度误差

1—溜板 2—专用垫铁 3—千分表 4—90°角尺

2. 框式水平仪测量法

框式水平仪相邻两边互相垂直，只要用其相邻的两边，分别贴在被测工作表面上，就可以测量出被测工作表面间的垂直度角值误差。如图 6-8 所示。

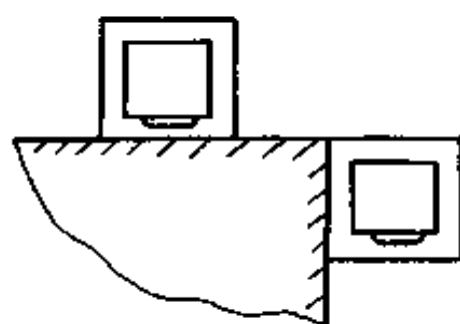


图 6-8 框式水平仪测量垂直度误差

四、工作台表面平面度误差的常用测量法

工作台表面平面度误差测量时，一般都规定为用工作台面的纵、横、对角或者辐射方向上的直线度误差中的最大值，近似代替平面度误差值。工作台平面度的常见测量位置如图 6-9 的点划线所示。

1. 塞尺测量法

只要按照图 6-9 中的点划线所示方向安放平尺，并垫上

等高垫铁，然后就可以用量块和塞尺测量工作台面，在应测方向上的直线度误差。取其中的最大值，就可作为被测工作台面的平面度误差。

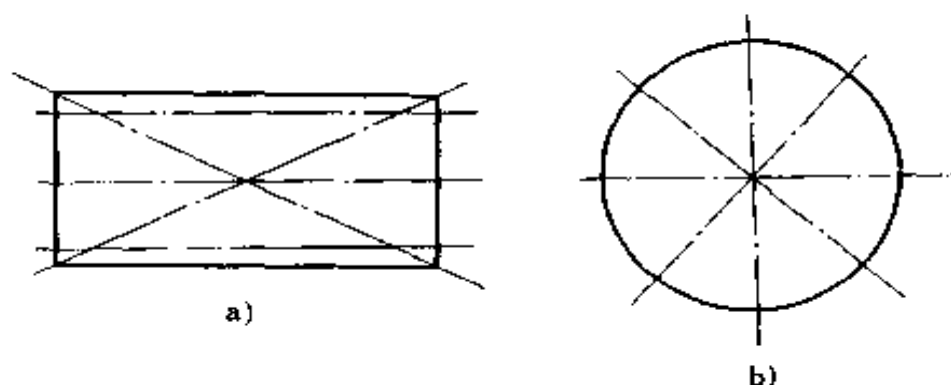


图 6-9 工作台平面度的常见测量位置

2. 平尺拉表法

如图 6-10 所示，把平尺按照要求测量的方向，安放在等高垫铁上。然后，就可以直接用千分表测量工作台面，在测量方向上相对平尺的直线度误差。最后，把其中的最大值可作为被测工作台面的平面度误差。测量中，若有必要也可以在千分表头下垫一块量块，以提高测量的准确性。

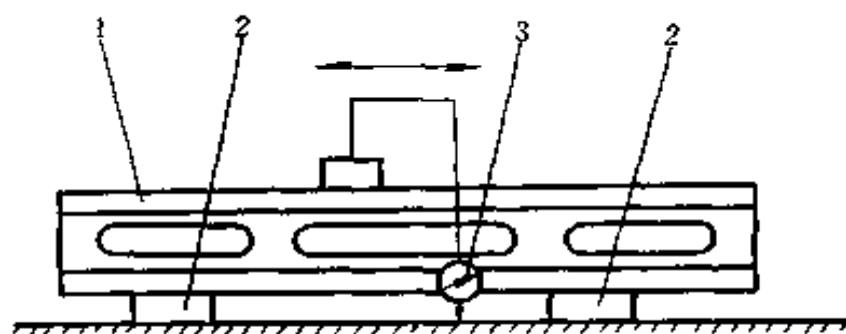


图 6-10 平尺拉表法测量工作台平面度误差

1—平尺 2—等高垫铁 3—千分表

五、设备主轴跳动误差常用测量方法

设备主轴在回转中的跳动误差除主要受自身的加工精度

影响外，还在一定程度上受轴承的精度影响。这样，对于由滚动轴承支承的主轴，测量其跳动误差时，主轴的转动圈数一般应不得少于 10 圈。这是因为轴承中的滚珠或滚柱的公转速度与主轴的转速不一致，主轴在前后的高点也不一致。在一、两转范围内，很难发现跳动的最大值。测量中，应取千分表在主轴转动 10 圈过程中的最大读数，与最小读数之差作为跳动的误差值。

1. 主轴锥孔中心线径向圆跳动的测量方法

测量主轴锥孔中心线的径向圆跳动，首先应在锥孔中紧密地插入合适的锥柄检验棒。然后，用千分表表头分别在靠近主轴端，和距离有 300mm 的位置处，测量主轴低速旋转时的径向圆跳动值。千分表在测量处读数的最大差值就是该处的径向圆跳动误差值。主轴锥孔中心线径向圆跳动的测量方法如图 6-11 所示。

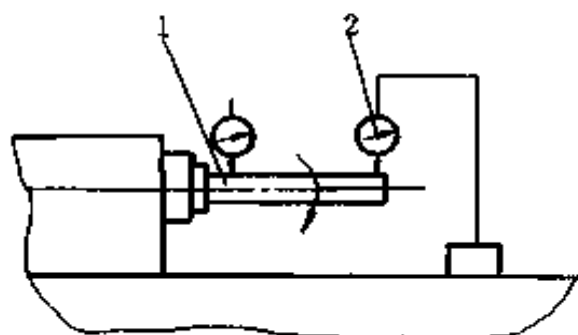


图 6-11 主轴锥孔中心线
径向圆跳动的测量方法
1—检验棒 2—千分表

测量中，为了避免检验棒配合不良的影响，测量出一个值以后，可将检验棒取出，转过 180° 后，再插入锥孔，复验一次。取两次测量的平均值来作为测量处的径向圆跳动误差值。

2. 主轴锥孔径向圆跳动的测量方法

如图 6-12 所示，将千分表头顶在主轴锥孔的内表面上，低速旋转主轴，千分表读数的最大差值就是主轴锥孔径向圆跳动误差值。测量时，要注意正确使用千分表，使其测量头的中心线和主轴中心线相交，与锥孔表面母线垂直。

3. 主轴定心轴颈径向圆跳动的测量方法

主轴定心轴颈的作用是保证主轴回转时，安装在其上的工件或者刀具能处于正确平稳的状态。测量定心轴颈径向圆跳动值时，应将千分表头正确地顶在其表面上，低速旋转主轴进行测量，如图 6-13 所示。

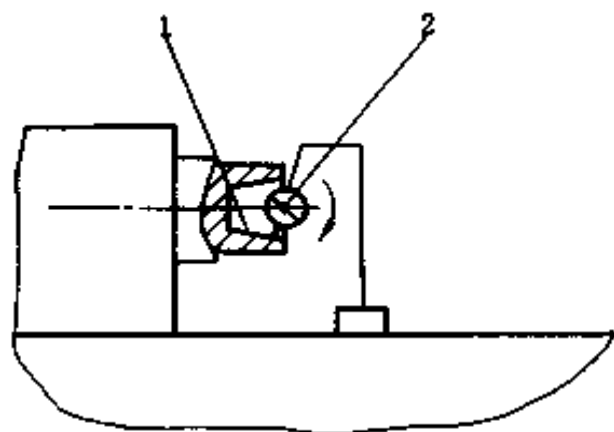


图 6-12 主轴锥孔径向圆跳动的测量方法

1—主轴锥孔 2—千分表

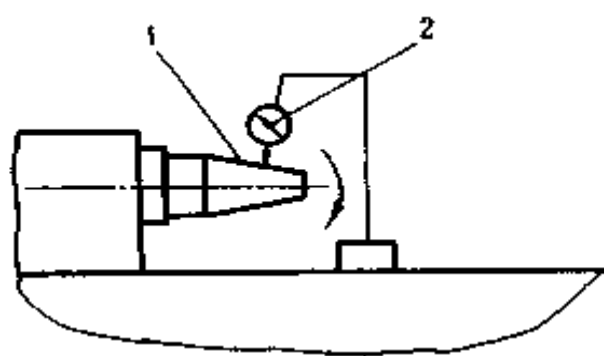


图 6-13 主轴定心轴颈径向圆跳动的测量方法

1—主轴定心轴颈 2—千分表

4. 主轴端面圆跳动和轴向窜动的测量方法

在图 6-14a 为主轴端面圆跳动的测量方法。测量时，应将千分表头顶在主轴轴肩支承面上靠近边缘的地方。千分表读数的最大差值就是主轴的端面圆跳动误差值。图 6-14b 为主轴轴向窜动的测量方法。测量时，应在主轴中心孔内放入一个钢球，并用干净的黄油粘住。然后，用千分表头顶在钢球上，低速旋转主轴进行测量。千分表读数的最大差值就是主轴的轴向窜动误差值。

显然，主轴的端面圆跳动与主轴轴向窜动，是两个不同的概念。它们之间既有联系，但又不相同。一般来说，主轴的端面圆跳动误差值要大于主轴轴向窜动误差值。

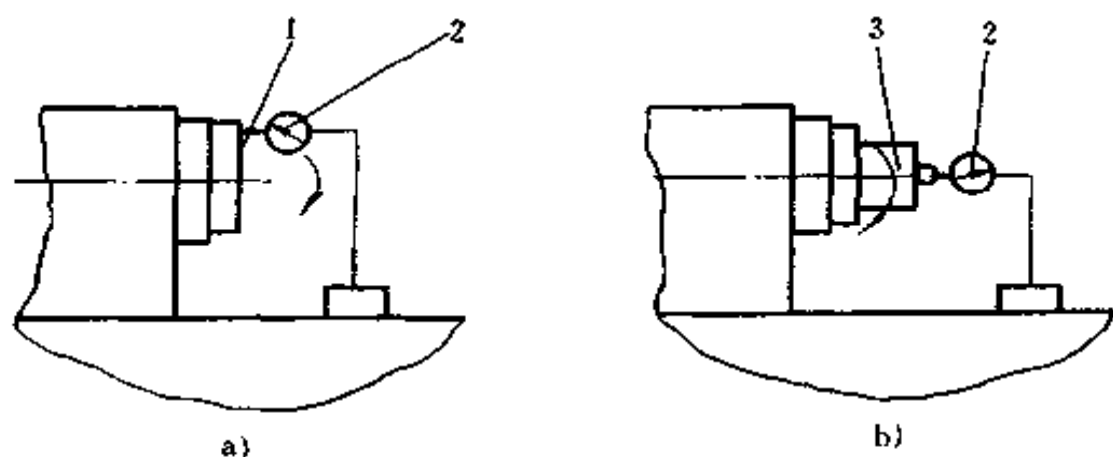


图 6-14 主轴端面跳动和轴向窜动的测量方法

1—主轴端面 2—千分表 3—检验棒

第三节 修理中的尺寸链问题

设备维修中，利用尺寸链原理分析问题，有利于解决相互关联的多表面间的位置尺寸精度和位置关系精度问题，有利于选择合适的修理方法。

一、尺寸链的基本概念

1. 尺寸链的定义

机械设备在装配或者零件加工过程中，零件表面或者轴线间的一组尺寸依次排列，构成封闭形式，其中某一尺寸的公差与极限偏差由其他尺寸的公差与极限偏差确定，这样的一组尺寸称为尺寸链。如果所有尺寸都在同一零件上，叫做零件尺寸链。如图 6-15a 所示。如果所有尺寸不在同一个零件上，是由部件中若干个零件的尺寸组成，叫做装配尺寸链。如图 6-15b 所示。图 6-15c、d 分别为它们的尺寸链图。

组成尺寸链的各个尺寸叫做环。可以独立存在的环叫组成环。受其他尺寸支配，在加工或者装配中最后自然形成的环叫终结环，或者叫封闭环。装配尺寸链终结环往往代表装

配精度要求的尺寸。零件尺寸链终结环为精度要求最低的，常常不作标注的尺寸。在图 6-15 中的 A_0 尺寸就是表示为封闭环。在组成环中，凡是自身尺寸增加，终结环也随之增大者叫做增环。而自身尺寸增大，封闭环反而随之减小者叫做减环。例如图 6-15 中的 A_1 、 B_1 为增环， A_2 、 A_3 、 B_2 都为减环。装配中，通过尺寸改变，以满足封闭环要求的组成环叫做补偿环。补偿环又有调整环和修配环之分。

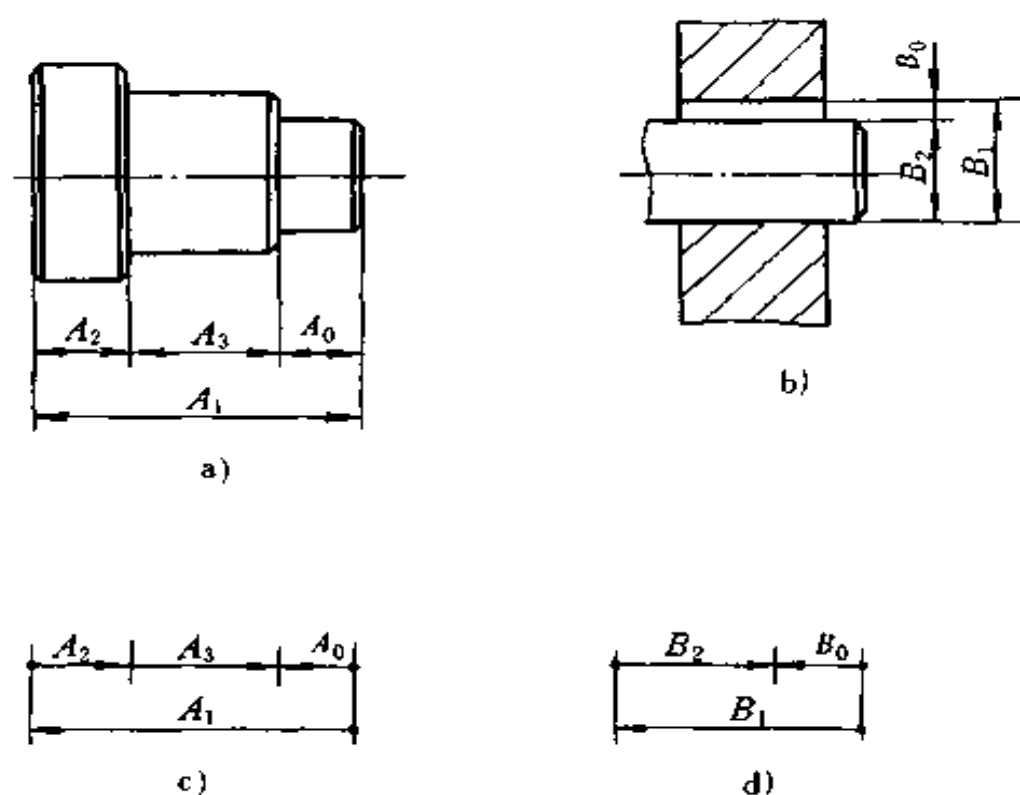


图 6-15 尺寸链

2. 尺寸链之间的联系形态

设备的零部件中，往往同时存在几个尺寸链，它们之间彼此相互联系在一起，形成三种类型的形态。

(1) 并联尺寸链：几个尺寸链，通过一个或者几个公共环互相联系起来的形态叫做并联尺寸链。如图 6-16 所示。

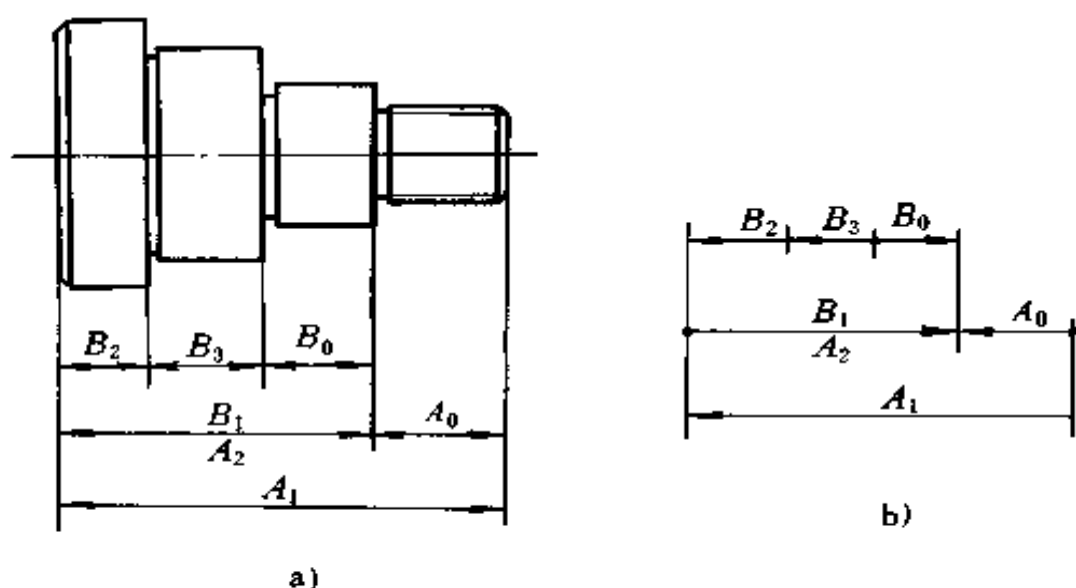


图 6-16 轴的并联尺寸链

图中的 A 尺寸链由 A_1 、 A_2 、 A_0 组成， A_0 为封闭环。 B 尺寸链由 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_0 组成， B_0 为封闭环。显然， A 和 B 两个尺寸链互相并联，它们具有的公共环为 A_2 、 B_1 ， $A_2 = B_1$ 。

(2) 串联尺寸链：串联尺寸链是每一个后继尺寸链，都以前一个尺寸链作为基面或者基线的联系形态。

如图 6-17 所示箱体的 A 、 B 、 C 三个尺寸链，就形成了串联尺寸链。 O_1O_1 为 B 尺寸链的基线， O_2O_2 为 C 尺寸链的基线。由图中可以看出，当 A 尺寸链中组成环 A_1 发生变化时， B 尺寸链的基线 O_1O_1 的位置就会发生变化。同样， B 尺寸链中的组成环 B_1 发生变化时，将引起 C 尺寸链的基线 O_2O_2 的位置变化。

3. 混联尺寸链：

混联尺寸链，是同时具有并联和串联两种联系形态的尺寸链。如图 6-18 所示零件中，就同时具有并联和串联两种尺寸链的特征。

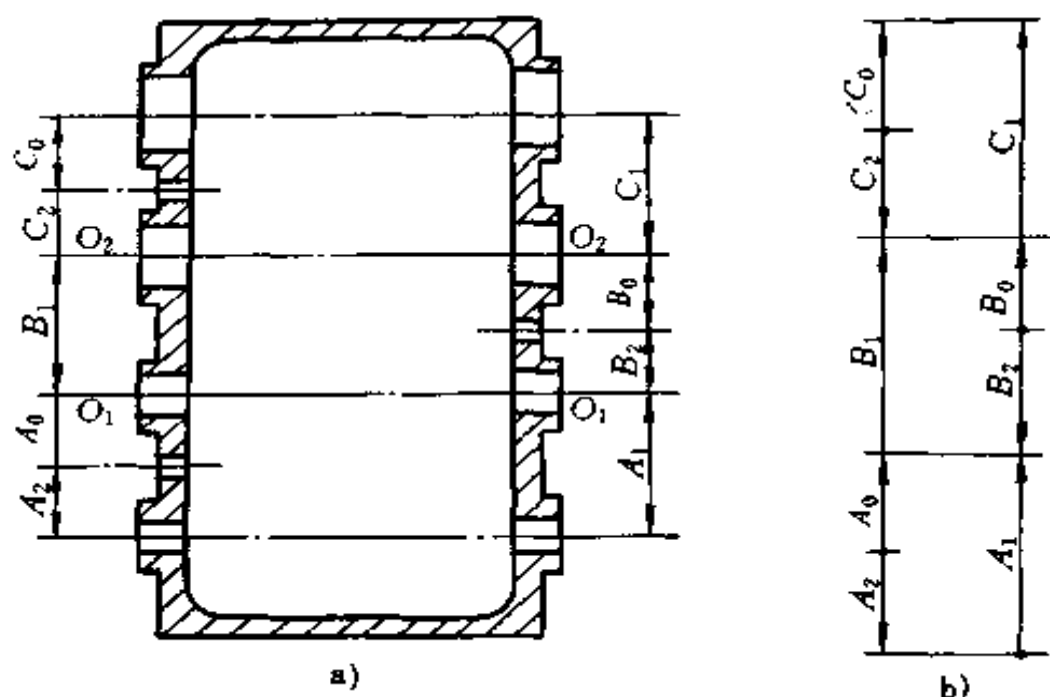


图 6-17 箱体的串联尺寸链

图 6-18 中, A 尺寸链由 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_0 组成, A_0 为封闭环。 B 尺寸链由 B_1 、 B_2 、 B_0 组成, B_0 为封闭环。 C 尺寸链由 C_1 、 C_2 、 C_0 组成, C_0 为封闭环。 A 尺寸链分别与 B 尺寸链和 C 尺寸链并联, 公共环分别为 A_2 、 B_1 和 A_3 、 C_1 , $A_2 = B_1$, $A_3 = C_1$ 。 B 尺寸链和 C 尺寸链串联, D 面为 C 尺寸链的基面。

二、常见尺寸链的计算

尺寸链的计算, 就是根据设备零部件在加工及装配过程中的精度要求, 来确定尺寸链各环的基本尺寸, 及其极限偏差。尺寸链的计算过程, 通常又被称为解尺寸链。

在解尺寸链时, 经常需要解决的问题是:

(1) 根据各组成环的基本尺寸, 极限偏差和公差, 计算终结环的基本尺寸, 极限偏差和公差。在尺寸链原理中被称为解正面问题。

(2) 根据终结环的基本尺寸, 极限偏差和公差, 计算各

组成环的基本尺寸，极限偏差和公差。在尺寸链原理中被称为解反面问题。

(3) 根据终结环和其他各组成环的基本尺寸，极限偏差和公差，计算某一组成环的基本尺寸，极限偏差和公差，在尺寸链原理中被称为解中间问题。

1. 正面问题计算法

以图 6-19 所示的孔轴装配尺寸链为例来说明问题。

图 6-19 中， A_1 、 A_2 、 A_0 组成一个尺寸链。孔尺寸 A_1 为增环，表示为 \vec{A}_1 。轴尺寸 A_2 为减环，表示为 \bar{A}_2 。 A_0 为封闭环。当考虑它们的极限偏差时， \vec{A}_{1x} 表示为 A_1 这个增环的最大极限尺寸。 $\vec{A}_{1小}$ 表示为 A_1 这个增环

的最小极限尺寸。 \bar{A}_{2x} 表示为 A_2 这个减环的最大极限尺寸。 $\bar{A}_{2小}$ 表示为 A_2 这个减环的最小极限尺寸。 A_{0max} 表示为封闭环的最大极限尺寸， A_{0min} 表示为封闭环的最小极限尺寸。 $\vec{A}_{1上}$ 为增环 A_1 的上偏差， $\vec{A}_{1下}$ 为增环 A_1 的下偏差。 $\bar{A}_{2上}$ 为减环 A_2 的上偏差， $\bar{A}_{2下}$ 为减环 A_2 的下偏差。

这样，根据各组成环与终结环的内部联系，则有如下关系。

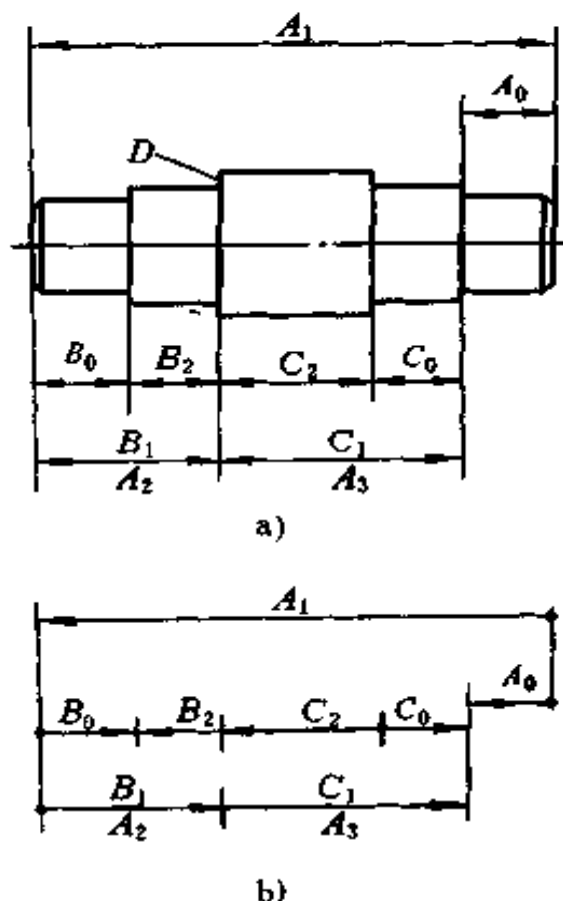


图 6-18 轴的混联尺寸链

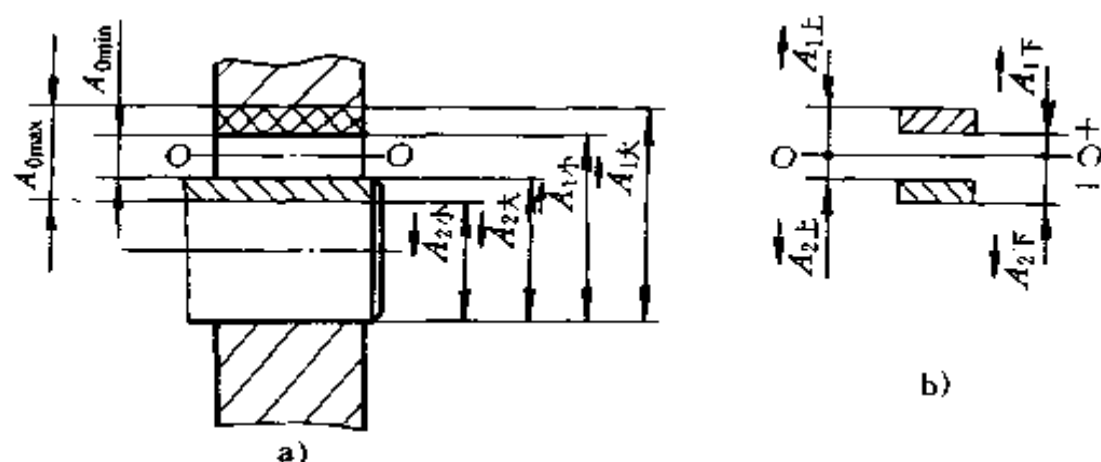


图 6-19 孔轴装配尺寸链计算图

(1) 封闭环的基本尺寸:

$$A_0 = \vec{A}_1 - \vec{A}_2$$

由此类推, 则有其普通公式:

封闭环的基本尺寸 = 所有增环基本尺寸之和 - 所有减环基本尺寸之和

$$\text{数学表达式为: } A_0 = \sum \vec{A} - \sum \vec{A} \quad (6-1)$$

(2) 封闭环的最大极限尺寸:

$$A_{0\max} = \vec{A}_{1\text{大}} - \vec{A}_{2\text{小}}$$

由此类推, 则有其普遍公式:

封闭环的最大极限尺寸 = 所有增环的最大极限尺寸之和 - 所有减环的最小极限尺寸之和

$$\text{数学表达式为: } A_{0\max} = \sum \vec{A}_{\text{大}} - \sum \vec{A}_{\text{小}} \quad (6-2)$$

(3) 封闭环的最小极限尺寸:

$$A_{0\min} = \vec{A}_{1\text{小}} - \vec{A}_{2\text{大}}$$

由此类推, 则有其普遍公式:

封闭环的最小极限尺寸 = 所有增环的最小极限尺寸之和 - 所有减环的最大极限尺寸之和

$$\text{数学表达式为: } A_{0\min} = \sum \vec{A}_{\text{小}} - \sum \vec{A}_{\text{大}} \quad (6-3)$$

(4) 封闭环的上偏差:

$$\begin{aligned} A_{0\text{上}} &= A_{0\max} - A_0 = \\ &(\vec{A}_{1\text{大}} - \vec{A}_{2\text{小}}) - (\vec{A}_1 - \vec{A}_2) = \\ &(\vec{A}_{1\text{大}} - \vec{A}_1) - (\vec{A}_{2\text{小}} - \vec{A}_2) = \\ &\vec{A}_{1\text{上}} - \vec{A}_{2\text{下}} \end{aligned}$$

由此类推, 则有其普遍公式:

封闭环的上偏差 = 所有增环的上偏差之和 - 所有减环的下偏差之和

$$\text{数学表达式为: } A_{0\text{上}} = \sum \vec{A}_{\text{上}} - \sum \vec{A}_{\text{下}} \quad (6-4)$$

(5) 封闭环的下偏差:

$$\begin{aligned} A_{0\text{下}} &= A_{0\min} - A_0 = \\ &(\vec{A}_{1\text{小}} - \vec{A}_{2\text{大}}) - (\vec{A}_1 - \vec{A}_2) = \\ &(\vec{A}_{1\text{小}} - \vec{A}_1) - (\vec{A}_{2\text{大}} - \vec{A}_2) = \\ &\vec{A}_{1\text{下}} - \vec{A}_{2\text{上}} \end{aligned}$$

由此类推, 则有其普遍公式:

封闭环的下偏差 = 所有增环的下偏差之和 - 所有减环的上偏差之和

$$\text{数学表达式为: } A_{0\text{下}} = \sum \vec{A}_{\text{下}} - \sum \vec{A}_{\text{上}} \quad (6-5)$$

(6) 封闭环的公差:

$$\begin{aligned} \delta A_0 &= A_{0\text{上}} - A_{0\text{下}} = \\ &(\vec{A}_{1\text{上}} - \vec{A}_{2\text{下}}) - (\vec{A}_{1\text{下}} - \vec{A}_{2\text{上}}) = \\ &(\vec{A}_{1\text{上}} - \vec{A}_{1\text{下}}) + (\vec{A}_{2\text{上}} - \vec{A}_{2\text{下}}) = \\ &\delta \vec{A}_1 + \delta \vec{A}_2 \end{aligned}$$

由此类推, 则有其普遍公式:

封闭环的公差 = 所有组成环的公差之和

$$\text{数学表达式为: } \delta A_0 = \sum \delta \vec{A} + \sum \delta \vec{A} \quad (6-6)$$

2. 反面问题计算法

在解反面问题中，主要是要考虑在已知封闭环的极限偏差和公差大小的情况下，应计算出各组成环的公差大小及其极限偏差。从实用的要求来看，采用等公差调整法和等精度试择法处理问题，比较简单易行。

(1) 等公差调整法

1) 先假设尺寸链中的各组成环的公差值的大小都相等。这样，当尺寸链中有 m 个组成环时，则可求出每个组成环的平均公差为 $(\delta A_0)/m$ 。

2) 根据各组成环的尺寸大小，加工难易程度，在满足公式 (6-6) 的条件下，对平均公差值进行调整。使各组成环实际得到的公差大小都比较容易达到。

3) 根据封闭环的上偏差和下偏差，以及分配到各组成环的公差值大小的情况，按公式 (6-4) 和 (6-5) 计算各组成环的极限偏差，然后再确定极限尺寸。使各组成环最终都要具有较好的工艺性能和经济性能。最后可以根据公式 (6-2)、(6-3) 进行验算。

(2) 等精度试择法：等精度试择法就是通过尝试选择，将尺寸链中各组成环均按同一公差等级或者接近同一公差等级的原则来计算出它们的公差。这样，可先根据各组成环的尺寸大小，试确定一个公差等级。查出各组成环的公差数值，看是否能满足公式 (6-6) 的要求。若不行，适当调整公差等级，再进行计算。在出现已经接近满足公式 (6-6) 的情况时，对个别环的公差可作适当增减，以完全满足公式 (6-6) 的要求。最后再进行各组成环的极限偏差和极限尺寸的计算，并进行验算。

机械维修中，更换齿轮、蜗轮、花键轴等零件，都是按

照原设计的尺寸公差进行加工制造，不进行修配，就能装配到设备的原尺寸链之中，满足使用要求。这个过程实际上就是利用尺寸链反面问题的计算方法，在封闭环的精度已经确定的情况下，考虑组成环的尺寸公差的正确选择。尺寸链的

这种解法 在机修中常被称为完全互换法 且修理面占上座

面 D , 端面 C 的设计基准为端面 B 。加工时, 从工艺上来看, 必须选择端面 D 为定位基准和原始基准。先加工出 D 面后, 再以 D 面为基准加工 C 面, 最后以 D 面为基准加工出 B 面。这样, 端面 B 的定位基准、原始基准和设计基准重合。端面 C 的定位基准与原始基准重合, 而设计基准与定位基准、原始基准不重合。于是, 在尺寸链图中会有 $\vec{A}_1 = 60_{-0.3}^0 \text{ mm}$, $A_0 = 40 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, A_0 为封闭环。

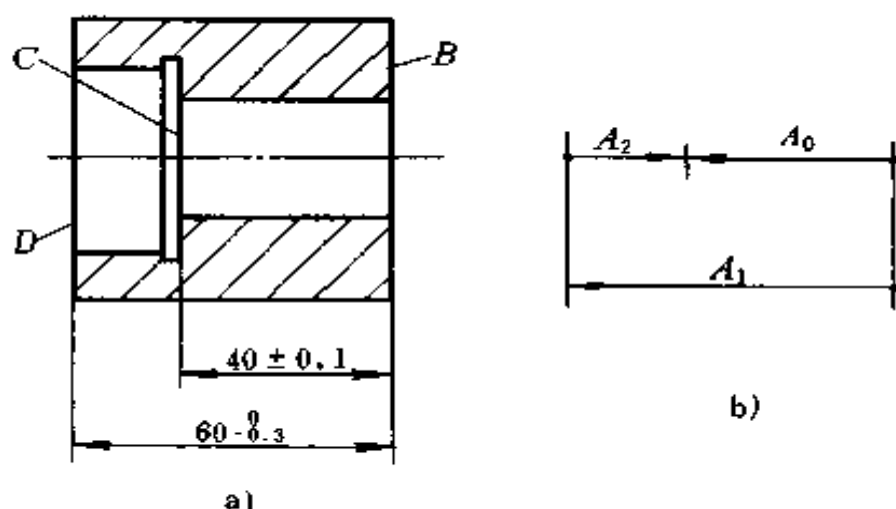


图 6-20 定位套零件的加工

从而, 为确保设计要求, 必须通过尺寸链计算来确定 \vec{A}_2 的基本尺寸与极限偏差, 才能实现基准的正确转换, 使加工出 \vec{A}_1 、 \vec{A}_2 尺寸达到公差要求后, 能自然符合 A_0 尺寸的公差要求。

因为在尺寸链图中有 $\vec{A}_{1\text{大}} = 60 \text{ mm}$, $\vec{A}_{1\text{小}} = 59.7 \text{ mm}$, $A_{0\text{max}} = 40.1 \text{ mm}$, $A_{0\text{min}} = 39.9 \text{ mm}$, $\delta\vec{A}_1 = 0.3 \text{ mm}$, $\delta A_0 = 0.2 \text{ mm}$, 那么就可进行如下计算。

由公式(6-1)有:

$$\vec{A}_2 = \vec{A}_1 - A_0 = 60 \text{ mm} - 40 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$

由公式(6-2)有:

$$\vec{A}_{2小} = \vec{A}_{1大} - A_{0max} = 60\text{mm} - 40.1\text{mm} = 19.9\text{mm}$$

由公式(6-3)有:

$$\vec{A}_{2大} = \vec{A}_{1小} - A_{0min} = 59.7\text{mm} - 39.9\text{mm} = 19.8\text{mm}$$

由这个计算结果来看, $\vec{A}_{2小}$ 大于 $\vec{A}_{2大}$, 显然是矛盾的。又由 $\delta\vec{A}_1 > \delta A_0$ 来看, 不符合公式(6-6)的要求。由此可见, 只有压缩尺寸 \vec{A}_1 的公差, 才能实现对 A_0 的公差要求。

根据 $\delta A_0 = 0.2\text{mm}$ 的情况, 则可采用等精度试择法分解 δN 。试选 \vec{A}_1 、 \vec{A}_2 的公差等级为 IT10, 然后再适当调整, 就有 $\delta\vec{A}_1 = 0.12\text{mm}$, $\delta\vec{A}_2 = 0.08\text{mm}$ 。从而可使 $\vec{A}_{1大} = 60\text{mm}$, $\vec{A}_{1小} = 59.88\text{mm}$ 。

那么就必有:

$$\vec{A}_{2小} = \vec{A}_{1大} - A_{0max} = 60\text{mm} - 40.1\text{mm} = 19.9\text{mm}$$

$$\vec{A}_{2大} = \vec{A}_{1小} - A_{0min} = 59.88\text{mm} - 39.9\text{mm} = 19.98\text{mm}$$

即在实际加工中, 必须使 \vec{A}_1 的尺寸公差为: $60_{-0.12}^0\text{mm}$; \vec{A}_2 的尺寸公差为: $20_{-0.1}^{0.02}\text{mm}$ 。

由公式(6-4)和(6-5)进行验算, 则有:

$$A_{0上} = \vec{A}_{1上} - \vec{A}_{2下} = 0 - (-0.1\text{mm}) = +0.1\text{mm}$$

$$A_{0下} = \vec{A}_{1下} - \vec{A}_{2上} = (-0.12\text{mm}) - (-0.02\text{mm}) = -0.1\text{mm}$$

验算结果符合设计要求, 因此可以说计算是正确无误的。

2. 修理件尺寸公差的计算

如图 6-21 所示的套轴结构中, 孔轴的基本尺寸为 $\phi 85\text{mm}$, 配合关系为 H8/f7。长期使用后, 套、轴均发生严重磨损。修复工艺采取轴径磨小后, 镀铬以提高轴的耐磨性, 重新配套并且维持原配合关系的方案。若修复后孔、轴的基本尺寸只能改变为 $\phi 84\text{mm}$ 。那么, 镀铬后的孔、轴配合就为 $\phi 84\text{H8/f7}$ 。当镀铬层厚度为 $0.02\text{mm} \pm 0.002\text{mm}$ 时, 要确定镀铬前轴的尺寸公差, 就应利用尺寸链原理进行计算。

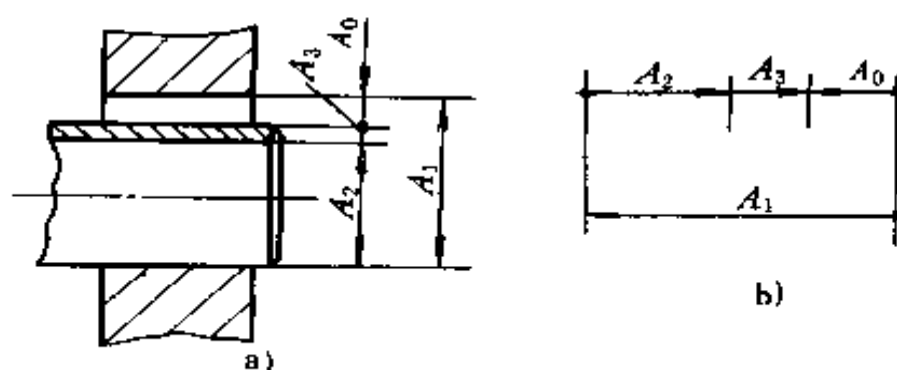


图 6-21 镀铬轴的尺寸确定

由公差配合可知: $\phi 84H8 = \phi 84^{+0.054}_0 \text{ mm}$, $\phi 84f7 = \phi 84^{-0.036}_{-0.071} \text{ mm}$ 。

这样,在尺寸链图中则有 $\vec{A}_1 = 84^{+0.054}_0 \text{ mm}$, $\vec{A}_2 + \vec{A}_3 = 84^{-0.036}_{-0.071} \text{ mm}$, $\vec{A}_3 = (0.02 \text{ mm} \pm 0.002 \text{ mm}) \times 2 = 0.04 \text{ mm} \pm 0.004 \text{ mm}$ 。

由公式(6-2)、(6-3)则有:

$$A_{0\max} = \vec{A}_{1\text{大}} - (\vec{A}_{2\text{小}} + \vec{A}_{3\text{小}}) = 84.054 \text{ mm} - 83.929 \text{ mm} = 0.125 \text{ mm}$$

$$A_{0\min} = \vec{A}_{1\text{小}} - (\vec{A}_{2\text{大}} + \vec{A}_{3\text{大}}) = 84 \text{ mm} - 83.964 \text{ mm} = 0.036 \text{ mm}$$

又由公式(6-2)、(6-3)移项后可得:

$$\vec{A}_{2\text{小}} = \vec{A}_{1\text{大}} - A_{0\max} - \vec{A}_{3\text{小}} = 84.054 \text{ mm} - 0.125 \text{ mm} - 0.036 \text{ mm} = 83.893 \text{ mm}$$

$$\vec{A}_{2\text{大}} = \vec{A}_{1\text{小}} - A_{0\min} - \vec{A}_{3\text{小}} = 84 \text{ mm} - 0.036 \text{ mm} - 0.044 \text{ mm} = 83.92 \text{ mm}$$

因此,镀铬前轴的尺寸应加工为: $84^{-0.08}_{-0.107} \text{ mm}$ 。

为了提高计算的准确性,应对上述计算进行验算。因为有:

$$\delta A_0 = A_{0\max} - A_{0\min} = 0.125 \text{ mm} - 0.036 \text{ mm} = 0.089 \text{ mm}$$

又根据公式(6-6)有:

$$\delta A_0 = \delta \vec{A}_1 + \delta \vec{A}_2 + \delta \vec{A}_3 = 0.054\text{mm} + \\ 0.027\text{mm} + 0.008\text{mm} = 0.089\text{mm}$$

这就证明计算正确。

3. 车床尾座的顶尖孔中心与主轴中心等高尺寸链的几种解法

在图 6-22 所示车床尾座的顶尖孔中心与主轴中心等高的尺寸链中, A_1 为尾座顶尖孔中心到底板上结合面的尺寸, A_2 为底板的上结合面到导轨基面的尺寸, A_3 为主轴中心到导轨基面的尺寸, N 为主轴中心与尾座顶尖孔中心的等高误差, 只允许尾座顶尖孔中心高。显然, A_1 、 A_2 为增环, A_3 为减环, A_0 为封闭环。对于 C620-1 车床、尾座顶尖孔中心与主轴中心的等高误差允许的最大值为 0.06mm, 最小值为 0, 则有 $\delta A_0 = 0.06\text{mm}$ 。于是, 确定 A_1 、 A_2 、 A_3 尺寸的加工误差时, 就可以根据等公差调整法来处理问题。

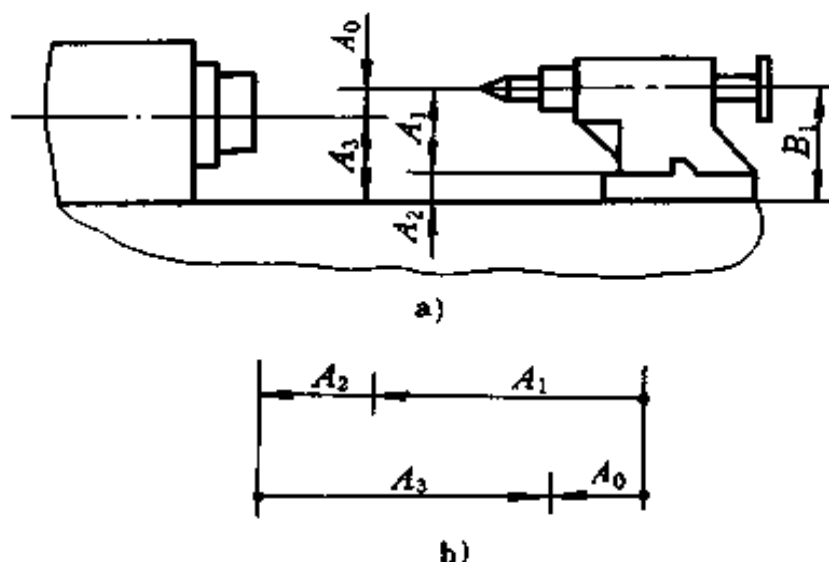


图 6-22 车床尾座顶尖孔中心与主轴中心等高的尺寸链

首先, 根据等公差算法, 在 $m = 3$ 时有:

$$\frac{\delta A_0}{m} = \frac{0.06\text{mm}}{3} = 0.02\text{mm}$$

然后,再根据 A_1 、 A_2 、 A_3 的尺寸大小进行公差调整。因为在 C620-1 车床中有 $A_3 = A_1 + A_2$, $A_1 = 3A_2$ 。则可确定各组成环的公差为:

$$\delta A_3 = \frac{\delta A_0}{2} = 0.03\text{mm}$$

$$\delta A_2 = \frac{\delta A_0}{2 \times (3 + 1)} = \frac{0.06\text{mm}}{8} = 0.0075\text{mm} \approx 0.01\text{mm}$$

$$\delta A_1 = \frac{\delta A_0}{2} - \delta A_2 = 0.03\text{mm} - 0.01\text{mm} = 0.02\text{mm}$$

从而可以看出,尾座底板尺寸的加工精度要求很严格。当尾座底板因磨损需要修换时,为了妥善处理这个问题, A_2 尺寸的常用解法有如下四种。

(1) 用完全互换法解 A_2 尺寸。这种解法是直接对尾座底板按 $\delta A_2 = 0.01\text{mm}$ 的公差要求进行加工后,以新加工的底板更换已经磨损的旧底板。用这种方法处理问题,尾座底板的加工精度很高,零部件之间也无相互补偿的余地,缺点比较突出。

在实际加工中,为了避免上述的缺点,是先把底板上结合面加工好,然后把原来的尾座上件和底板半成品联接在一起成为一个组件,以尾座顶尖孔中心线为基线,加工底板的底面从而使 A_1 、 A_2 两环尺寸合为一个组成环 B_1 进行加工。使尾座顶尖孔中心与主轴中心的装配尺寸链只包含两个组成环 B_1 、 A_3 , A_0 为封闭环。从而有 $\delta B_1 = \delta A_3 = (\delta A_0)/2 = 0.03\text{mm}$ 。尺寸 B_1 的公差等级比尺寸 A_2 的公差等级降了一级多,比较容易采用完全互换法来更换新的尾座底板。这种方法应该说是用完全互换法,由 B_1 尺寸间接解 A_2 尺寸。

(2) 用修配法解 A_2 尺寸。这是常用的一种解法。在尾座底板因磨损严重,使 A_2 减小时,如果把 A_2 尺寸的这种变

化看作极限尺寸 $A_{2大}$ 和 $A_{2小}$ 都发生了变小的情况,那么由公式(6-2)和(6-3)可以看出,要保证 $N_{大}$ 和 $N_{小}$ 的尺寸要求,只有使 A_3 的极限尺寸也作相应变化,并满足如下关系:

$$\vec{A}_{3大} = (\vec{A}_{1小} + \vec{A}_{2小}) - A_{0min}$$

$$\vec{A}_{3小} = (\vec{A}_{1大} + \vec{A}_{2大}) - A_{0max}$$

由此可见,应该先刮修底板的磨损面,并直接测量出修理后的 A_1 、 A_2 值。在我们认为 $A_{1小}$ 和 $A_{1大}$ 相等,都等于 A_1 的实测值, $A_{2小}$ 和 $A_{2大}$ 相等,都等于 A_2 的实测值时,则可有:

$$\delta A_3 = \vec{A}_{3大} - \vec{A}_{3小} = A_{0max} - A_{0min} = \delta A_0 = 0.06\text{mm}$$

于是,就可用 $\delta A_3 = 0.06\text{mm}$ 的精度要求刮修主轴箱底面,保证 $A_{3大}$ 和 $A_{3小}$, 满足配修的尺寸要求。从而,通过降低主轴中心的高度,实现了与尾座顶尖孔中心等高的要求。可见,刮修主轴箱底面时的精度要求,由于采用修配法被明显降低了。

(3) 用调整法解 A_2 尺寸。在尺寸链中,如果将底板改变为可以调节的环节,例如将底板设计成由两块具有相同斜度的上、下斜底板组合而成,那么在下斜底板被磨损超差以后,可以通过调节上、下斜底板的相对位置,使 A_2 尺寸得到补偿,保证精度要求。这种方法结构复杂了一些,但是具有使用精度高,加工工艺性能好的特点。

(4) 用镶板法解 A_2 尺寸。这个方法就是把底板被磨损的底面,用机械加工的方法再多去掉几个毫米以后,粘上相应厚度的尼龙板或者铸铁板,并对粘接牢固的底板底面,重新按完全互换法的要求进行加工,使其达到精度要求。在镶上的尼龙板或者铸铁板又被磨损以后,还可以重新换掉,粘上新的尼龙板或者铸铁板。这种方法的特点是利用了原来的尾座底板,节约了原材料,节省了工时,经济性能比较好。

第七章 机械设备状态的简易监测

状态监测就是对设备中的零件、部件或者整台设备的工作状态进行监测，并根据监测结果对其工作状态是正常还是异常进行判断的过程。国际上 60 年代以来，就开始应用现代的测试技术和手段，对设备进行状态监测和故障诊断，并逐步形成了设备诊断技术。我国 70 年代中期随着新技术的引进，也开始进行这方面的工作，在 80 年代就有了较快的发展。1987 年 7 月 28 日国家在《全民所有制工业交通企业设备管理条例》中明确提出了“企业应当积极采用先进的设备管理方法和维修技术，采用以设备状态监测为基础的设备维修方法，不断提高设备管理和维修技术现代化水平”。为状态监测技术的广泛应用建立了法律依据。

第一节 机械设备状态简易监测的作用和方法

一、设备状态监测在维修中的作用

(1) 以状态监测为基础有利于提高维修的科学性

1) 可以为预测设备故障提供可靠的依据。设备中的零部件在发生故障时，总是从状态异常开始，例如温度升高，振动加剧，噪声增大，磨损变快等。通过状态监测就可以及时发现这些信息的产生及其变化情况，帮助维修人员判断故障的性质。例如在振动虽然加剧，但仍没有超过允许标准，温度虽然升高，但还在许可范围时，维修人员就可以预测设备故障的部位、原因及其许可继续运行的时间。使设备在状

态监测下继续工作，同时可以充分进行修理准备。在条件具备时，适时安排检修，排除隐患。这样既避免了故障的恶化、扩大和突发，也缩短了停机时间。

2) 可以为确切分析设备故障提供必要的依据。当设备零部件拆开以后，可以根据状态监测收集的信息尽快找到故障位置，减少盲目拆装。同时还可以帮助分析故障原因，减少盲目修理和过剩修理，提高了维修的工作效率。

3) 可以为适当延长设备检修周期提供充分依据。根据监测收集的信息，就能分析判断设备在一段时间内的运行趋势。如果对温度、振动、精度、磨损等参数的监测无异常情况发生，即使设备的运行时间超过了规定的检修周期，都允许只对轴承等关键部位进行局部检查后，继续运行使用。从而提高了设备的使用寿命。

(2) 以状态监测为基础有利于建立合理的计划检修制度。长期以来，我国各类企业执行的计划检修，都是单纯以间隔时间定额为基础的定期维修制度。往往脱离设备的实际技术状态，尤其对普通机械设备来说，容易造成过剩修理或者失修现象。以状态监测为基础的现代计划检修制度，具有按照设备的实际技术状况和自身的实际磨损规律决定检修计划的特点。理论与实际相结合提高了计划检修制度的合理性。

以状态监测为基础的我国现代计划检修方式主要有以下三种。

1) 检查后，进行修理的方式，是以日常检查和定期检查的状态监测资料为基础，按设备的实际需要确定修理方式和内容，编制检修计划。

这种计划检修方式适于设备拥有量较少，基础管理工作薄弱的小厂，以及那些要求不高、利用率较低和技术状况不

易掌握的设备。

2) 定期进行修理的方式,是以设备在实际使用中产生的精度和机能劣化规律为基础,确定大致的检修类别、周期结构和间隔时间。然后根据设备状态监测的资料修正间隔时间,以确定实际执行的检修计划。

这种计划检修方式适合于使用正常、有一定精度要求的设备。

3) 严格按照标准进行修理的方式,是根据设备的磨损规律和零件的使用寿命为基础,明确规定检修的类别、周期结构、时间间隔和修理要求,强制性执行检修计划。

这种计划检修方式适合于连续运行、可靠性要求高的自动化流程设备,动能发生设备、受压容器和生产中特别重要的关键设备。它要求设备具有比较完善的状态监测手段,以便精确地掌握设备的磨损规律和零件的使用寿命。显然,普通机械设备不适合采用这种严格的标准型计划检修方式。

在这三种计划检修方式中,只有通过监测,对设备状态收集尽可能多的准确信息资料,才能使检修计划编制的更切合实际情况。

(3) 对普通机械设备进行简易状态监测有极其重要的现实意义。

简易状态监测就是借助简单仪器、常用量具和人的感官功能对设备的主要状态进行监测和判断的过程。在我国对现代监测技术应用还不普及,其开发和推广还需要一段较长时间,以及普通机械设备上应用过于复杂的高价值监测仪器很不合算的情况下,对普通机械设备进行简易监测是非常必要的。尤其人的感官监测诊断技术,即使将来科学技术高度发展了,也不可能由仪器设备监测诊断技术完全取代。因此,从实

际出发,在普通机械设备上推广应用简易状态监测技术是迅速提高企业设备管理和维修技术现代化水平的可行良策。

二、设备状态监测的基本原理

设备状态监测的基本原理,是利用设备在运行过程中,伴随而生的噪声、振动、温升、磨损磨粒和产品的质量状况等信息必然要受运行状态影响的效应现象,通过仪器和人的感官功能获取这些信息的变化情况,作为判断设备运行是否正常,预测故障是否可能发生的依据。

1. 噪声和振动信息的监测

首先是总的噪声和振动强度的测量,用以判断设备运行是否出现异常,然后才进行频谱测定用以分析故障发生的位置。最后如有必要,还可以采用特殊技术对关键的特定零件,如滚动轴承、齿轮等进行深入分析。

2. 温升信息的监测

主要是在规定运行的时间内,对滑动轴承、滚动轴承等处温度变化情况进行测量,通过发现热异常现象,判断设备的故障位置,及预防出现故障。

3. 磨损磨粒信息的监测

对普通机械设备在运行过程中,产生的铁类金属材料的磨损磨粒进行收集,并测量其直径大小和观察其形状特点,用以预报故障是否可能发生,以及故障产生的原因。

4. 产品质量状况信息的监测

通过分析产品质量出现的异常现象,如加工件的形状误差、表面粗糙度、加工纹理的不整齐情况,以及其他方面的特征,用以判断设备故障产生的部位及其可能的原因。

三、机械设备简易状态监测的常用方法

在普通机械设备上常用的简易状态监测方法主要有听诊

法、触测法和观察法等。

1. 听诊法

设备正常运行时，伴随发生的声响总是具有一定的音律和节奏。只要熟悉和掌握这些正常的音律和节奏，通过人的听觉功能就能对比出设备是否出现了重、杂、怪、乱的异常噪声，判断设备内部出现的松动、撞击、不平衡等隐患。用手锤敲打零件，听其是否发生破裂杂声，可判断有无裂纹产生。

电子听诊器是一种由振动加速度传感器，将设备振动状况转换成电信号，并进行放大，实现定性测量的高效简便监测仪器，用耳机监听运行设备的振动声响。通过测量同一位置点，不同时期，相同转速，相同工作状况下的信号，并进行对比，判断设备是否存在故障。当耳机里出现清脆尖细的噪声时，说明振动频率较高，一般是尺寸相对较小的，强度相对较高的零部件发生局部缺陷或较小裂纹。当耳机里传出混浊低沉的噪声时，说明振动频率较低，一般是尺寸相对较大的，强度相对较低的零部件发生较大的裂纹或缺陷。当耳机传出的噪声比平时增强时，说明故障正在发展，声音越大，故障越严重。当耳机里传出的噪声是杂乱无规律地间歇出现时，说明有零部件发生了松动。

2. 触测法

用人手的触觉可以监测设备的温升、振动及其间隙的变化情况。

人手上的神经纤维对温度比较敏感，可以比较准确地分辨出 80°C 以内温度。当机件温度在 0°C 左右时，手感冰凉，若触摸时间较长会产生刺痛感。 10°C 左右时，手感较凉，但一般能忍受。 20°C 左右时，手感稍凉，随着接触时间延

长，手感渐温。30℃左右时，手感微温，有舒适感。40℃左右时，手感较热，有微烫感觉。50℃左右时，手感较烫，若用掌心按的时间较长，会有汗感。60℃左右时，手感很烫，但一般可忍受 10s 长的时间。70℃左右时，手感烫的灼痛，一般只能忍受 3s 长的时间，并且手的触摸处会很快变红。触摸时，应试触后再细触，以估计机件温升情况。

用手晃动机件可以感觉出 0.1~0.3mm 的间隙大小。用手触摸机件可以感觉振动的强弱变化和是否产生冲击，以及溜板的爬行情况。

用配有表面热电偶探头的温度计测量滚动轴承、滑动轴承、齿轮箱、电机等机件的表面温度，则具有判断热异常位置迅速，得到数据准确，触测过程方便的特点。

3. 观察法

人的视觉可以观察设备上的机件有无松动、裂纹及其他损伤等。可以检查润滑是否正常，有无干摩擦和跑、冒、滴、漏现象。可以查看油箱沉积物中金属磨粒的多少、大小及特点，以判断相关零件的磨损情况。可以监测设备运动是否正常，有无异常现象发生。可以观看设备上安装的各种反映设备工作状态的仪表指示数据的变化情况。可以通过测量工具和直接观察表面状况，检测产品质量出现的，与设备工作状态有关的问题。把观察的各种信息进行综合分析，就能对设备是否存在故障，故障的部位、故障的程度及故障的原因作出判断。

特点，判断机械零件表面的磨损程度。用磁塞法可以观察出机械零件磨损后期出现的磨粒尺寸较大的情况。观察时，若发现小颗磨粒且数量较少，说明设备运转正常，若发现大颗磨粒，就要引起重视，严密注意设备运转状态，若多次连续发现大颗磨粒，便是即将出现故障的前兆，应立即停机检查，查找故障，进行排除。

磁塞主要由磁钢和非导磁材料制成的磁塞座、磁塞心以及更换磁塞时利用弹簧作用能堵住润滑油的自闭阀组成。其结构如图 7-1 所示。

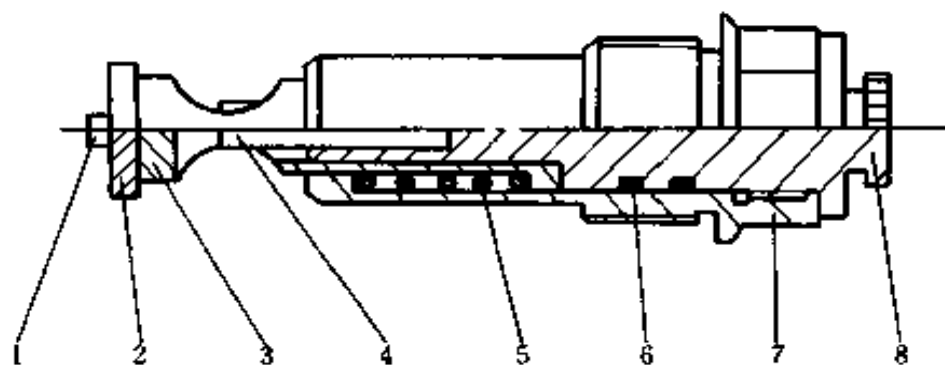


图 7-1 磁塞结构示意图

1—螺钉 2—挡圈 3—自闭阀 4—磁钢 5—弹簧 6—密封圈
7—磁塞座 8—磁塞心

第二节 滚动轴承工作状态的监测

一、用听诊法对滚动轴承进行监测

用听诊法对滚动轴承工作状态进行监测的常用工具是木柄长螺钉旋具，也可以使用外径为 $\phi 20\text{mm}$ 左右的硬塑料管。相对而言，使用电子听诊器进行监测，更有利于提高监测的可靠性。

1. 滚动轴承正常工作状态的声响特点

滚动轴承处于正常工作状态时，运转平稳、轻快、无停

滞现象，发出的声响和谐而无杂音，可听到均匀而连续的“哗哗”声，或者较低的“轰轰”声。噪声的强度不大。

2. 异常声响所反映的轴承故障

(1) 轴承发出均匀而连续的“嗡嗡”声。这种声音由滚动体在内外圈中旋转而产生，包含有与转速无关的不规则的金属振动声响。一般表现为轴承内加脂量不够，应进行补充。若设备停机时间过长，特别是在冬季的低温情况下，轴承运转中有时会发出“嗡嗡沙沙”的声音，这与轴承径向间隙变小，润滑脂工作锥入度变小有关。应适当调整轴承间隙，更换工作锥入度大一点的新润滑脂。

(2) 轴承在连续的“哗哗”声中发出均匀的周期性的“啮罗”声。这种声音是由于滚动体和内外圈滚道出现伤痕、沟槽、锈蚀斑而引起的。声响的周期与轴承的转速成正比。应对轴承进行更换。

(3) 轴承发出不连续的“梗梗”声。这种声音是由于保持架或者内外圈破裂而引起的。必须立即停机更换轴承。

(4) 轴承发出不规律、不均匀“噼噼”声。这种声音是由于轴承内落入铁屑、砂粒等杂质而引起的。声响强度较小，与转速没有联系。应对轴承进行清洗，重新加脂或换油。

(5) 轴承发出连续而不规则的“沙沙”声。这种声音一般与轴承的内圈与轴配合过松或者外圈与轴承孔配合过松有关系，声响强度较大。应对轴承的配合关系进行检查，发现问题及时修理。

(6) 轴承发出连续刺耳啸叫声。这种声音是由于轴承润滑不良，缺油造成了干摩擦，或者滚动体局部接触过紧，如内外圈滚道偏斜，轴承内外圈配合过紧等情况而引起的。应及时对轴承进行检查找出问题，对症处理。

3. 使用电子听诊器进行监测的要求

(1) 监听过程中, 尽可能选用同类监测点, 或者工作状态接近的监测点进行声响对比, 发现异常都应作为有缺陷看待, 必须进行深入检查。对于单台设备, 为了克服无可比性的缺点, 可以将监测点在正常状态下的声响录音, 作为以后监测的对比依据。

(2) 要正确选择监测点的部位, 待测的振动方向应与传感器的敏感方向一致, 使测量方向为振动强度最大的方向。传感器同被测面应成直角, 误差要求控制在 10° 以内。

(3) 测量面要求干净平整, 做到无锈迹、无油漆, 并应将下凹部分打磨平光。

(4) 压向探针的测量力以 $10 \sim 20\text{N}$ 为宜。

二、用磁塞法对滚动轴承进行监测

1. 使用磁塞对滚动轴承进行监测的要求

(1) 磁塞只适合于对用油润滑, 并且通过专用管道回油的关键性的主轴承进行监测。

(2) 磁塞要尽量安装在被监测的主轴承附近, 处于回油的主通道上, 中间没有过滤网、油泵及其他液压件的阻隔。

(3) 为了提高监测效率, 可以制作一个有回油进出口的回旋式贮油器。贮油器应作成倒圆锥台形, 将磁塞安装在贮油器的底部。贮油器的进油口要倾斜一定角度, 使润滑油能由切向进入其中。这样有利于磨损磨粒与回旋的润滑油分离, 并在底部沉淀, 通过小孔进入磁塞之中, 吸附在磁钢端头。

2. 正常情况下磨损磨粒的形态特征

滚动轴承在跑合期和正常运转期内, 所产生的磨粒碎片尺寸大小一般为 $0.01 \sim 0.015\text{mm}$, 并混有一些金属粉末。新轴承在跑合期内产生的磨粒碎片的数量较正常运转期要

多，进入正常运转期后磨粒碎片以及金属粉末的数量会显著减少。磨粒碎片在显微镜下呈现细而短的形状，有着不规则的断面。

3. 故障性磨损磨粒的形态特征

滚动轴承的主要失效形式是疲劳点蚀。滚动疲劳、剥落形成的磨粒碎片尺寸大小一般为 $0.025 \sim 0.05\text{mm}$ ，有时还有尺寸更大的碎片，并混有一些金属粉末。滚珠轴承的钢珠磨粒碎片通常呈现大致为圆形的、沿径向分开的玫瑰花瓣形式；滚道的磨粒碎片呈现大致为圆形的表面破碎的形式；滚子轴承的滚子磨粒碎片通常呈现长度等于 $2 \sim 3$ 倍宽度的卷曲的矩形形式；滚道的磨粒碎片一般呈现不规则的长方形。

三、用测温法对滚动轴承进行监测应注意的问题

通过测量轴承运转中的温升情况，一般很难监测滚动轴承所出现的疲劳剥落，裂纹或压痕等局部性损伤，特别是在损伤的初期阶段几乎不可能发现有什么问题。当轴承在长期正常运转以后，出现温度升高现象时，一般所反映的问题不但已经相当严重，而且会迅速发展，造成轴承损坏故障。这时候，间断性的监测往往会造成漏监情况。监测中若发现轴承的温度超过 $70 \sim 80^\circ\text{C}$ ，应立即停机检查。

对于新安装或者重调整的滚动轴承，通过测温法在规定时间内监测其温升情况，可以判断轴承的安装与调整质量，尤其间隙过紧时会出现温升过高的现象。发现问题及时调整，有利于延长滚动轴承的使用寿命。

第三节 齿轮传动状态的监测

一、用直接观察法对齿轮进行监测

1. 齿轮磨损状况的估计

通过测量间隔一段较长时间以后的齿侧隙游移量的增大情况，就可以确定被测齿轮的磨损程度。

如果设备的齿轮为开式齿轮，数量比较少，只有一、两对齿轮，可以直接用塞尺测量齿的侧隙值，并进行记录，以便与下一次测量值进行比较。如果设备的齿轮为闭式齿轮，数量又比较多，若直接用塞尺进行测量，花费的时间就比较多，而且还需要拆开齿轮箱盖，工作量比较大，显然是不合适的。这种情况下，可以将齿轮箱的输出轴固定，来回扳动带轮或输入轴，用千分表测量各级齿轮侧隙游移量的总和，也可以采用划线测量的方法进行确定。然后再按下面所述的方法估计齿轮的磨损状况。

当齿轮箱中有 m 级齿轮减速传递动力时，从输入轴到输出轴的各级齿轮，因磨损所产生的侧隙游移量，在被动齿轮固定，扳动主动齿轮的条件下，所产生的角度值，依次可设为 e_1, e_2, \dots, e_m 。

若各级齿轮的小齿轮转速与大齿轮的转速比依次为 i_1, i_2, \dots, i_m ，则各级齿轮因磨损产生的侧隙游移量反映在输入轴或带轮上的总量角度值为：

$$E = e_1 + e_2 i_1 + \dots + e_m \times (i_1 \times i_2 \times \dots \times i_{m-1})$$

由于轮齿的磨损量虽然与很多因素有关，但是啮合齿之间相对滑动速度比较小的齿面，所承受的载荷相对而言却比较大，这两者又都是影响轮齿磨损状况产生差异的主要因素。因此在齿轮结构、材料及热处理条件相同的情况下，为了便于处理问题，我们可以认为各级齿轮因磨损所产生的侧隙游移量角度值近似相同。即 $e_1 \approx e_2 \approx \dots \approx e_m$ 。用 e_m 值体现平均值概念。

这样则有：

$$E \approx e_m \times [1 + i_1 + i_1 \times i_2 + \cdots + (i_1 \times i_2 \cdots i_{m-1})]$$

因此就有：

$$e_m \approx \frac{E}{1 + i_1 + i_1 \times i_2 + \cdots + (i_1 \times i_2 \cdots i_{m-1})}$$

根据这个公式估计的齿轮磨损量角度值是一个平均值，与每个齿轮的实际情况相比，有时误差较大。但是，对于普通机械中的齿轮磨损状况，进行基本估计则具有简单可行、实用的特点。

从而，在估计齿轮的磨损状况时，就可以先将带轮或输入轴处测量的各级齿轮侧隙游移总量，相对初始状态时的变化值换算成角度值。再根据上式进行近似计算，求出各级齿轮因磨损所产生的侧隙游移量角度平均值，通过对比就可以判断出磨损的发展速度。为了估计磨损层厚度，还可以根据主动齿轮节圆直径的大小，将侧隙游移量角度平均值换算成线性值。这样就估计出了齿轮副的磨损层厚度，即相啮合的两个轮齿，各自的两个齿面磨损层的厚度之和。然后再根据速比情况，按比例进行分配，就可以近似估计出单个齿的磨损情况。

2. 轮齿表面的检查

检查轮齿表面可以及时发现各种不同的失效形式，并监测其发展情况，以便采取合适的措施，防止突发性事故发生。

轮齿表面主要失效形式的形态如图 7-2 所示。

(1) 疲劳点蚀的形态特点：疲劳点蚀是闭式齿轮最为常见的齿面失效形式，主要发生在靠近节线处齿根面的部位。它是由于齿面在交变接触应力的反复作用下，发生接触疲劳，造成表层金属一小片一小片地剥落，从外观看起来呈现

麻点状态。开始时麻点还比较少，也比较小，随着继续使用，在齿面的有效受力面积不断减小的情况下，会引起点蚀的进一步扩展，麻点增多，麻坑变大，直到使整个齿面破坏。其形态如图 7-2a 所示。

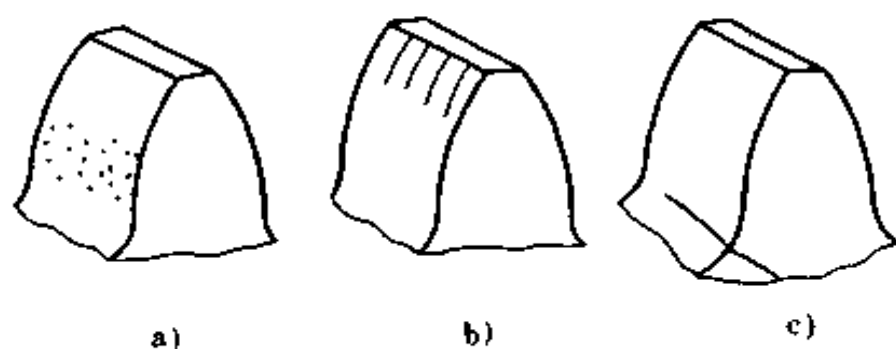


图 7-2 轮齿表面主要失效形式的形态

对于开式齿轮，由于润滑条件差一些，齿面磨损较快，往往齿面表层材料还未发生点蚀现象时，就被磨损掉了，因此几乎看不到点蚀这种失效形态。

(2) 齿面粘着的形态特点：齿面粘着主要发生在高速或重载齿轮传动之中。当轮齿在啮合处发生咬焊现象的时候，在齿面的相对滑动之中，沿滑动方向就形成了咬焊后撕裂划伤的沟槽。由于轮齿间的相对滑动速度越大，越容易发生粘着现象，所以这种失效形式通常都出现在靠近齿顶的齿面部位，其形态如图 7-2b 所示。

(3) 轮齿折断的形态特点：轮齿受载时，齿根处的弯曲应力最大，而且有应力集中。重复受载后，轮齿在齿根部位有时会产生疲劳裂纹，并逐步扩展使轮齿断裂，其裂纹的位置特点如图 7-2c 所示。监测观察中，若发现轮齿产生疲劳裂纹，应及时进行更换或者修理。此外，有时还会由于短期过载或受到过大的冲击载荷，轮齿突然发生断裂的现象。这

种情况发现容易，预测困难。

二、用磁塞法对齿轮进行监测的主要特点

(1) 齿轮在正常运行期间，所产生的磨粒碎片的形态大都呈现出不规则断面，细微如发丝状，很短，并混有一些金属粉末，表面组织粗糙，显深灰色。而且细如发丝的磨粒碎片往往会团在一起，吸附在磁钢端头上时，显现出较厚实的状态。

(2) 当轮齿表面出现故障性损伤时，磨粒碎片大都呈现片状不规则形状，表面由于轮齿之间的压擦研磨而带有压印刻痕，外表较轴承的磨粒碎片要粗糙一些，显暗灰色而带有亮点，有时还伴有热变色。

(3) 用磁塞法进行状态监测，显然只适用于那些用粘度较低的油润滑的闭式齿轮的监测。尤其适用于润滑油循环使用的齿轮箱中的齿轮的监测。这样，将磁塞安装在回油总出口附近，有利于尽量多地收集齿轮产生的磨损磨粒，提高监测的指示效率。

三、用听诊法对齿轮进行监测的主要特点

(1) 普通机械设备中正常运行的齿轮副一般在低速下无明显声响，随着转速增高而发出一定音频的轰鸣声，音色和谐纯正。由听诊法判断可以听到平稳的“哗哗”声，声响强度较低，没有异常噪声。

(2) 当轮齿严重均匀磨损时，轮齿的弯曲强度会明显下降，在相同工作情况下，必然使一对齿啮合与两对齿啮合之间的弯曲差增大，同时由于齿的弯曲增大，还会导致周节误差增大。这种情况下，齿轮的啮合频率及其谐波分量一般保持不变，但幅值都会程度不同地增大，尤其高次谐波幅值增大较多。这时如果通过听诊法进行监测，可以发现，虽然仍然是平稳的“哗哗”声，但是与未磨损时的状况相比，声响

强度增大，音色要清亮一些。

(3) 当轮齿出现疲劳点蚀，齿面粘着、轮齿折断等不均匀性缺陷时，齿轮产生的振动就会受到失效轮齿变形量发生变化的影响，而导致振幅变化，出现振幅调制现象。而且在产生调幅现象的同时，也会造成扭矩的波动，导致角速度的变化而引起频率调制。这样，由听诊法判断就可以明显听到在“哗哗”声中，带有时域振动波发生周期调制所引起的周期性“啮罗”声，或者“咯噔”声。

(4) 用听诊法监测齿轮状态的时候，为了提高监测的可靠程度，可以采用电子听诊器录音对比法进行监测。通过与齿轮正常工作状态下产生的声响强度和音色进行对比，以便发现经过长期运转的齿轮有无重、杂、怪、乱的异常声响发生，判断齿轮的工作状态是否正常。当然，在有条件时，对重要的齿轮，也可以将电子听诊器采集的振动信息输入到示波器等记录显示仪器之中进行对比判断。

第四节 由产品质量对设备状态进行监测

产品质量是机械设备工作状态的综合结果。机械加工设备的产品质量一般是指零件的加工精度、表面粗糙度及表面物理机械性能三个方面。其中零件的形状误差、位置误差、表面粗糙度和未作要求的纹理整齐度，对设备的精度状态以及机能状态反映非常敏感。通过测量工具和直接观察加工零件的表面状况，定期检测加工件的表面质量，找出其中的问题，并且研究这些问题与设备工作状态的联系，就可以实现由产品质量对设备状态进行监测，从而达到及时修理和预防维修的目的。

下面以卧式车床、外圆磨床和牛头刨床为例，来说明监

测的具体分析方法和应采取的预防维修措施

一、卧式车床加工件的表面质量问题与设备状态的联系

1. 加工件的形状误差所反映的设备问题及其预防维修

(1) 工件外圆产生锥度：从设备自身系统来说，当主轴中心线相对溜板移动的平行度误差超差时就会出现这种情况。发生这种质量缺陷的原因，主要是与主轴箱位置安装不正确有关。也可能是因为床身导轨产生不均匀磨损，越靠近主轴箱磨损越严重的状况引起。也可能是因为床身导轨安装精度发生变化而引起。另外，前、后顶尖的中心线不同轴，使工件轴心线与溜板移动方向不平行等原因也能造成工件外圆产生锥度误差。

针对这种情况，采取的预防维修措施应该是：首先应检查床身导轨的安装精度，并调整达到安装要求，检查床身导轨的磨损情况，并估计其对工件外圆产生锥度的影响程度。在此基础上，再对主轴箱安装精度进行调整。若有必要，才对床身导轨进行刮修。

(2) 工件外圆的圆度误差过大：这种质量缺陷一般反映出主轴轴承的间隙过大，以及主轴轴颈的圆度误差过大。另外，主轴滑动轴承套的外圆或者主轴箱轴承孔圆度误差过大，卡盘法兰的内孔配合过松也都会引起这种情况。

在采取预防维修措施时，如果是设备经过长期使用以后才出现的问题，首先应该正确调整轴承间隙，或者更换新轴承。若主轴支承为滑动轴承，也有可能是轴颈不均匀磨损所引起。当调整轴承间隙不见明显效果时，应重点检查主轴轴颈的圆度误差，并根据情况进行修磨。如果是另外原因必须检查确实后，才能进行对症修理。

(3) 工件端面的平面度误差过大：

当精车工件端面时,如果出现中凸现象,但是沿半径方向的直线度正确,则反映溜板上下导轨垂直度误差超差,上导轨的外端向偏离主轴箱的方位倾斜。如果出现中凹超差现象,并且沿半径方向呈现曲线状态,则反映溜板上燕尾导轨面磨损严重,出现直线度超差的情况。

在这种情况下,预防维修的措施只能是修刮溜板的上燕尾导轨面,保证其直线度要求以及与下导轨面的垂直度要求。

2. 加工件表面纹理的整齐度所反映的设备问题及其预防维修

加工件表面纹理整齐度直接与刀具进给量的均匀程度,以及主轴回转的跳动误差和速度的均匀程度有关。因此,通过分析加工件表面纹理所出现的缺陷,可以判断设备在这三个方面的工作状态及其存在的问题。下面主要分析加工工件外圆时,比较常出现的波纹、乱纹、外粗纹、间隔性异常纹等现象与设备状态的联系情况。这四种纹理的基本形态如图7-3所示。

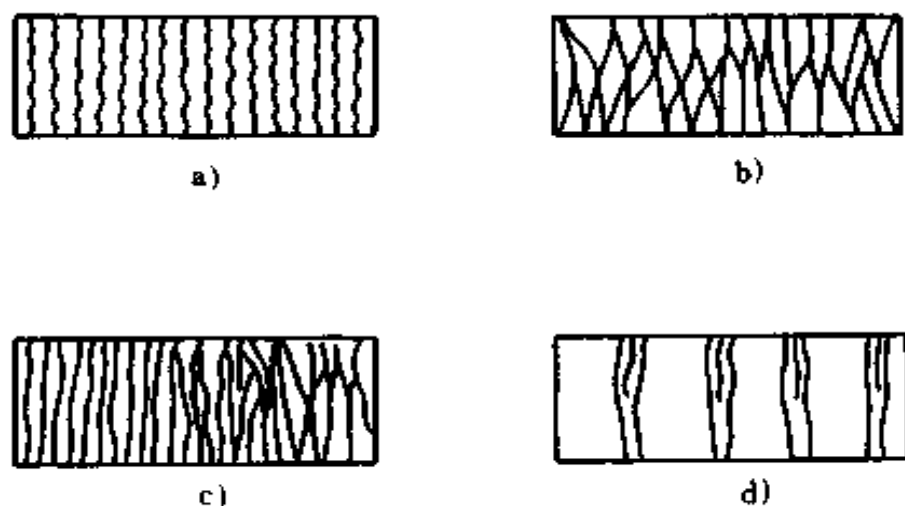


图 7-3 车床外圆表面常见缺陷性纹理的基本形态

(1) 表面出现波纹: 其外观形态特点是加工痕迹呈波纹

状，按一定规律均匀分布在整個加工表面上，微观波纹显现鱼鳞状或丘陵状，如图 7-3a 所示。

出现这种情况时，表明设备发生严重振动现象，使切削过程无法保持稳定，刀具切削刃和工件的相对运动受到明显影响。常见原因是由于电动机转子、带轮等高速旋转零件自身不平衡，或者装配精度不良，产生了很大的激振力，引起设备自身振动所致。有时，顶尖没有把工件顶紧，或者顶尖固定不牢，以及有强烈振动的设备靠近车床等原因，也会出现这种情况。

必须采取各种方法减小激振力的来源。对电动机转子、带轮等高速旋转零件要进行平衡校正，并检查其装配质量。对刀杆、刀架、工装夹具也都应进行检查，消除不牢靠因素。

(2) 表面出现乱纹：乱纹的外观形态特点是，加工痕迹排列混乱不齐，深深浅浅没有规律。一般越靠近工件外端表面，其形态特点越明显，有时也和波纹现象相伴而生，其形态如图 7-3b 所示。

这种纹理形态反映出切削过程中，工件同刀具切削刃之间有相对轴向游动现象产生。这种相对轴向游动现象，产生的常见原因是由于主轴的前、后轴承，特别是推力轴承的间隙调整过大，或者轴承滚道磨损严重而引起。有时也可能是由于工件夹持系统刚性不足而引起。因此，在采取预防维修措施时，首先必须正确调整推力轴承的间隙，或者更换已经磨损严重的轴承。如果还不能解决问题，再从工件夹持系统出现刚性薄弱环节，或者传动系统产生不平稳性入手进行检查和对症修理。

(3) 表面出现外粗纹：这种纹理的外观形态特点是，工

件远端处的加工痕迹呈现出粗糙的混乱不齐的乱纹状态，而靠近主轴近端处的加工痕迹明显好转。而且这种形态会随主轴转速增高而加剧，随改夹持加工为顶持加工而好转或消失，其形态如图 7-3c 所示。

工件表面产生外粗纹现象时，反映主轴在回转中，径向振摆过大，并出现了挠性回转的状态。常见原因是由于前轴承间隙调整过大，或者工件夹持系统刚性不足所造成。

采取的预防维修措施，首先应该是正确调整前轴承的间隙，然后才考虑检查工件夹持系统的刚性情况，修复或更换磨损的卡爪或卡盘法兰等。

(4) 表面出现间隔性异常纹：这种纹理的外观形态特点是，在加工表面的全长上，每隔一定距离，会重复出现一次混乱粗糙的加工痕迹，具有明显的周期性。

这种纹理形态反映出设备的进给系统产生了故障，导致溜板在纵向移动中产生定期的间歇性窜动、晃动或抖动现象，使工件表面出现了间隔性异常纹痕迹。进给系统常见的这种故障，若是溜板纵向进给小齿轮与齿条的啮合精度不良，则异常纹的间隔距离就与齿条的周节相符。若光杠弯曲或者同光杠保持 1:1 传动关系的零件出现损伤，则异常纹的间隔距离就与光杠每转动一圈溜板移动的距离相等。若溜板箱中其他零件出现损伤，则异常纹的间隔距离就会大于光杠每转动一圈溜板移动的距离。若进给箱中零件出现损伤，则异常纹的间隔距离就会小于光杠每转动一圈溜板移动的距离。

故障原因判断出来以后，就可以拆开有关部位作进一步检查，对症采取必要的预防维修措施。

二、外圆磨床加工件的表面质量问题与设备状态的联系

1. 加工件的形状误差所反映的设备问题

(1) 工件外圆产生锥度：这种情况主要反映设备的头架和尾架顶尖的中心线同轴度超差，产生一头高一头低的现象，或者由于头架、尾架安装不合适，使工件旋转轴线与工作台运动方向出现不平行现象，或者尾架顶尖套筒有松动现象等。因此，对于这种情况主要应从正确安装并调整头架和尾架的位置入手解决问题。

(2) 工件的圆度误差过大：常见原因是由于工件中心孔不准确、被碰伤、有杂物，或者头架、尾架的顶尖与套筒锥孔配合不紧密，或者装夹工件不合适，顶的松紧失度等。如果砂轮主轴轴承间隙过大，也会出现这种情况。因此，在采取预防维修措施时，主要应检查顶尖工件系统及主轴的轴承间隙是否合适，发现问题及时排除。

2. 加工件的表面缺陷所反映的设备问题，加工件常见表面缺陷的基本形态如图 7-4 所示。

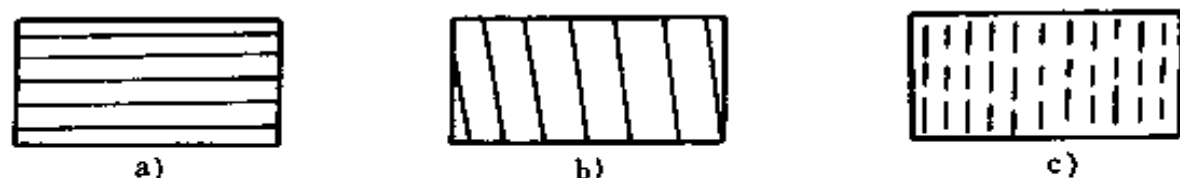


图 7-4 外圆磨床常见缺陷的基本形态

(1) 表面出现直波形振痕：这种缺陷的形态如图 7-4a 所示。其基本特点是分布在圆周表面上的振痕与工件的中心线相平行。

产生这种缺陷，主要反映出砂轮系统相对于顶尖工件系统产生了周期性振动故障。常见原因是砂轮不平衡以及砂轮主轴轴承间隙过大，使主轴漂移量增大，刚度降低，引起砂

轮振动振幅增大的缘故。另外，砂轮架电机振动，或者砂轮硬度过高，或者砂轮变钝也都会使砂轮相对工件的周期性振动增大，使工件表面出现直波形振痕。显然，预防维修的重点应该是砂轮系统。

(2) 表面出现螺旋线痕迹：这种缺陷的形态特点如图 7-4b 所示。

在工件表面产生这种缺陷时，主要反映出砂轮的母线直线性差，修整后表面有凹凸现象。磨削时，砂轮和工作表面仅有部分接触，当工件几次往复运动后，就容易出现螺旋线痕迹。此外，砂轮主轴有轴向窜动，或者工作台爬行，或者工作台导轨润滑油压力太高等原因，都会引起这种缺陷发生。在采取预防维修措施时，首先要消除砂轮修整不良的现象，然后再查找其他原因。

(3) 表面出现拉毛痕迹：这种缺陷的形态特点如图 7-4c 所示。

工件表面产生这种缺陷，主要反映砂轮太软，切削液混有磨粒，或者砂轮磨粒韧性和工件材料韧性配合不当等。一般来说，只要正确选择砂轮，使切削液做到清洁，就可以防止这种缺陷发生。

三、牛头刨床加工件的表面质量问题与设备状态的联系

(1) 加工件平面度误差过大的问题，主要反映压板与滑枕间隙过大，使滑枕移动至工作台前端，出现了与床身导轨接触不良现象；或者滑枕与床身导轨直线度误差过大；以及工作台溜板与横梁导轨接触不良；也可能是导轨直线度误差过大。但是，工件装夹不合适，如工件夹的过紧或过松，垫铁不平、不干净等也会出现这种质量问题。因此判断设备状态时，应注意排除装夹方面的影响。

(2) 加工表面粗糙度过粗的现象，主要反映刀具和工件之间的相对运动不稳定，不均匀。常见的原因有：大齿轮精度差、啮合不良。摇杆与滑块磨损严重。压板将滑枕压的过紧，使滑枕移动时产生振动。工作台溜板与横梁导轨接触刚度差，支承架对工作台支承不良。刀架部分有松动或接触精度差等。在采取预防维修措施时，应针对影响因素较多的特点，注意由易到难逐步进行检查。先查刀架是否松动，压板是否压的合适，支承架螺母是否紧固。然后再查有关部位的精度情况，发现问题对症修理，能刮修的尽量刮修，不能刮修的应更换新件。

第八章 突发性机械故障的分析

突发性故障是指那些发展速度快，带有突变性质的故障。它的特点是发生突然，没有明显的、长期的发展过程及其伴随而生的征兆，难以通过状态监测进行预报，无法用一定的规律描述或反映故障的发展过程。因此，故障发生以后往往是故障部位易发现，但故障原因不清楚，需要经过分析，才能进行判断。这一章主要是以常见的运动障碍、转轴断裂和漏油三种表现形态为例，来说明突发性故障的一般分析方法。其中，转轴断裂虽然往往由疲劳引起，有较长发展过程，但外观表现不明显。尤其对于普通机械 设备来说，疲劳裂纹难于监测，最后的断裂带有突发性，因此作为突发性故障分析比较合适。对于漏油来说，虽然产生的原因各种各样，但是由不漏到漏的外观特点往往带有突然性或突变性，因此也作为这一类故障进行分析。

第一节 运动障碍的分析方法

对运动障碍性故障进行分析的常用方法是，首先要查清故障产生的主要特征，尤其是故障发展过程中产生的各种痕迹，再由痕迹分析损伤零件的受力关系，找出产生异常力的原因，或者由故障特征联系相关部件的结构特点进行分析，就可以达到弄清故障根源的目的。下面以一个变速箱出现了变速齿轮的拨叉推不动，不能实现变速和一个剪板机方键离合器，出现闸刀斜面被方键凸头侧面迅速擦伤损坏的故障为

例，来具体介绍运动障碍性故障的推理分析方法。并且列出普通车床、铣床常见的运动障碍性故障的特征，产生原因及排除方法，以便于对照分析其他机械设备的同类故障。

一、根据研伤痕迹分析变速箱不能实现变速的故障

1. 故障痕迹的检查情况

变速箱的Ⅲ轴变速时，发现由油压活塞带动的拨叉推不动双联齿轮。其Ⅲ轴结构形式如图 8-1 所示。

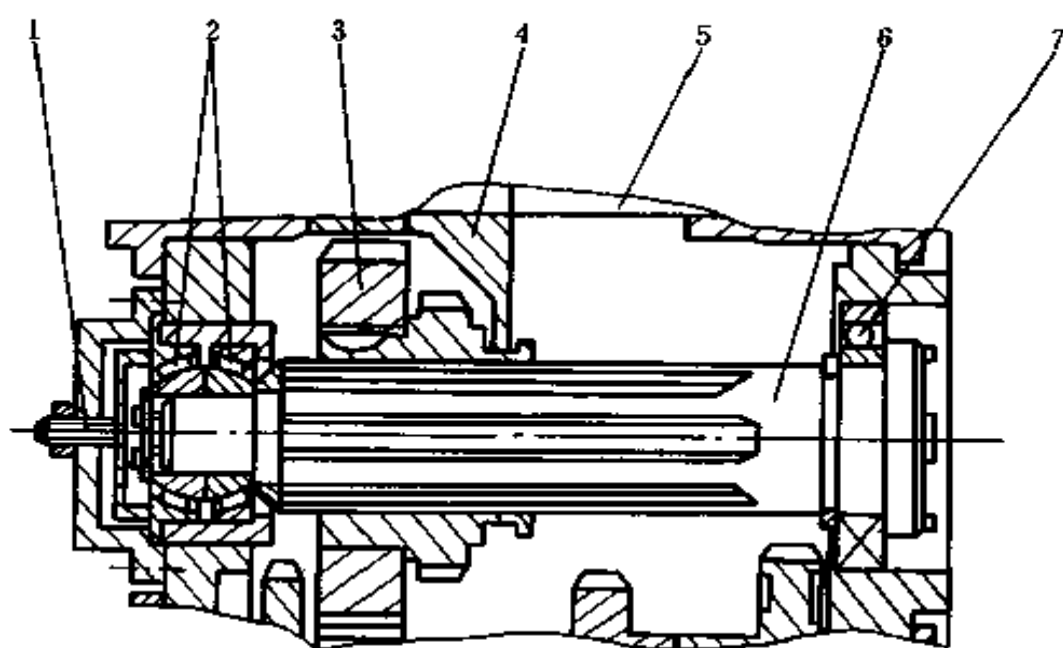


图 8-1 变速箱Ⅲ轴结构示意图

1—调节螺钉 2—圆锥滚子轴承 3—双联齿轮 4—拨叉 5—油压活塞
6—Ⅲ轴 7—深沟球轴承

拆卸后检查，看到双联齿轮的花键内孔在大头一端，从边缘开始有两处研伤，其花键结构及研伤位置如图 8-2 所示。花键结构为外径定心的矩形花键。在双联齿轮大头端面测量研伤部位，*e* 处研伤宽度为 10mm，长度为 40mm，约占双联齿轮总宽度的 1/3。*f* 处研伤宽度为 6mm，长度为 20mm，约占双联齿轮总宽度的 1/5。研伤痕迹比较均匀，

最重处发生在靠近花键凸齿的边缘处。 e 、 f 两处研伤位置间隔为 180° 。双联齿轮小头一端没有研伤现象。检查花键轴时发现，当双联齿轮小端一头处于啮合位置时，大端齿轮端面 and 轴相接触处的轴位上，有与双联齿轮 e 、 f 两处研伤宽度相应的毛刺，并且双联齿轮也在此位置卡住。

2. 故障原因分析

(1) 轴上与双联齿轮 e 、 f

两处相应的部位有毛刺，无疑是双联齿轮啃轴造成的。那么，为什么双联齿轮会啃轴呢？

正常情况下，油压活塞带动拨叉，外负载是双联齿轮在Ⅲ轴上的滑动摩擦阻力，为 $0.15Q$ 。 $Q = 186\text{N}$ 时此值很小。当双联齿轮卡在轴上不能移动时，其值为油压最大极限值 1040N 。从结构上分析，双联齿轮轴向阻力增大的原因只能是双联齿轮花键孔与花键轴的轴线不平行。从图 8-1 所示的Ⅲ轴结构中可以看出，Ⅲ轴右边的深沟球轴承外圈无安装定位基准，装配时容易造成轴左移过位，左边的调节螺钉又难以调节纠正。因此，左边轴承座中紧靠调节螺钉的圆锥滚子轴承虽然可以装配合适，而里边的另一个圆锥滚子轴承却会有很大间隙，并且不易发现。经过一段时间使用，在齿轮变速碰撞力的作用下，轴又会右移，使两个圆锥滚子轴承内、外圈间都产生一定的间隙，造成Ⅲ轴轴头活动，轴呈左低右高的倾斜。双联齿轮右移，使小齿轮与其相关齿轮啮合时，总要伴随着齿牙端面圆角的碰撞。在轴端存在径向间隙的情况下，碰撞力推动轴偏移，造成齿间较大间隙。在有间

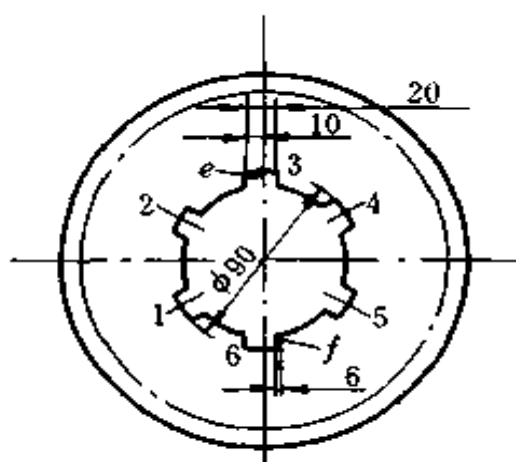


图 8-2 花键槽研伤位置图

隙的瞬间实现齿轮啮合，不会造成双联齿轮轴线与花键轴轴线不平行，因而双联齿轮在小端没有发现啃轴痕迹及花键内孔键槽研伤。但双联齿轮的小齿轮啮合后，由于其啮合齿轮在轴向处于水平位置，啮合齿位于轴侧，啮合时齿牙的楔入会产生一个力矩 M ，使双联齿轮在轴向有趋于水平的倾向。在双联齿轮花键内孔与花键轴存在间隙情况下，就造成了花键内孔与花键轴的不平行。

当 $\Delta/L > \delta/l$ 时，在 M 的作用下，双联齿轮会在 C 点与花键轴接触，在拨叉推力 P 作用下产生啃轴力 F'_C ，使轴受挤压而发生金属滑移现象。此时，双联齿轮的受力情况如图 8-3 所示。图 8-3 中 F_C 与啃轴力 F'_C 大小相等，方向相反。

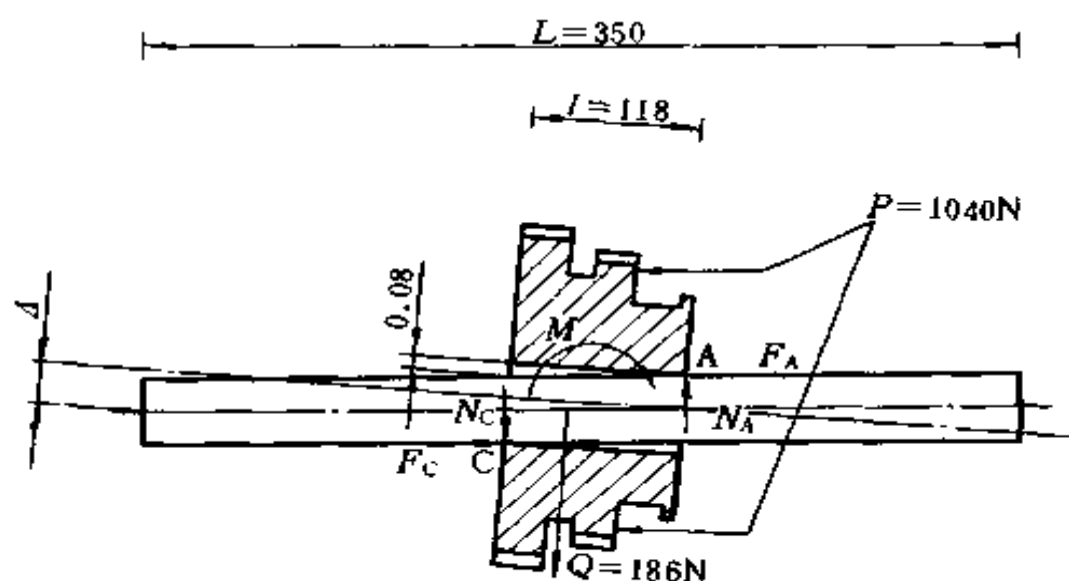


图 8-3 双联齿轮受力图

由图可知： $\Delta > (\delta L) / l$ ，即 $\Delta > (0.08 \times 350) / 118 \approx 0.24\text{mm}$ 时，会发生双联齿轮啃轴现象。

拆卸时，根据测量计算，装配间隙的实际尺寸 $\Delta \approx 1\text{mm}$ 。因此，双联齿轮在大端端面必然要发生啃轴现象。由图还可看出 $F_C \approx P$ 。

(2) 轴倾斜时双联齿轮左移所发生的啃轴现象, 对于花键轴的六个齿本应机会均等。然而, 实际情况是啃轴现象只发生在位置对称, 间隔为 180° 的两个花键齿上。为什么会发生这种情况?

根据几何原理, 两条弧段接触的最佳理论情况是: 使两条弧的弦长 c 和弦高 h 完全相等, 此时两条弧的位置重合。但是, 加工误差所产生的圆度误差往往破坏了这种理论情况。

当分别测量花键轴对称齿间的外表面距离时, 依图 8-4 所示位置测量, 则有如下结果。1、4 齿: $l_1 = 89.95\text{mm}$; 2、5 齿: $l_2 = 89.945\text{mm}$; 3、6 齿: $l_3 = 89.925\text{mm}$ 。花键孔槽的对称距离经测量均为 90mm 。

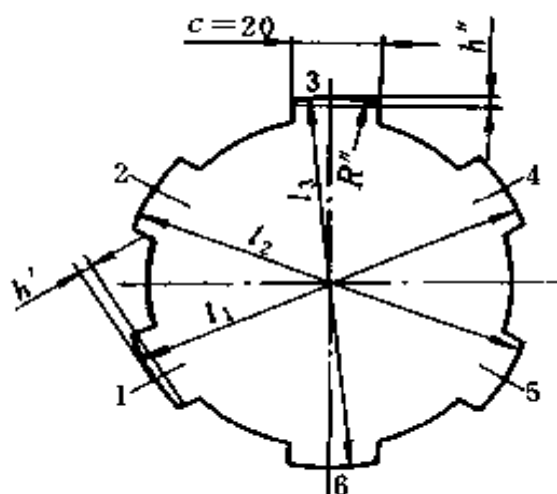


图 8-4 花键轴测量图

可见, 花键轴的截面弧段曲率并不一致。 l_1 、 l_2 非常接近, 因此花键齿 1、4、2、5 处的曲率半径可以认为相等, $R' = l_1/2 = l_2/2 = 44.975\text{mm}$ 。又弦长 $c = 20\text{mm}$, 则弦高 $h' = R' - (1/2) \cdot \sqrt{4R'^2 - c^2} = 1.126\text{mm}$ 。花键孔半径 $R = 45\text{mm}$, $c = 20\text{mm}$, 则有 $h = R - (1/2) \cdot \sqrt{4R^2 - c^2} = 1.125\text{mm}$ 。花键齿与槽相接触时, 两弧段间的弦高误差 $\Delta h_1 = h' - h = 0.001\text{mm}$ 。因材料有弹性变形, 故可以认为花键齿 1、4、2、5 处的弧段实现了全面接触。

对于 3、6 齿, $l_3 < l_1$, 即弧段在同样弦长情况下, 弦高要小于 1、4、2、5 齿处的弦高。其差为 $(l_1 - l_3)/2 = 0.0125\text{mm}$, 则 3、6 齿的弦高 $h'' = h' - (l_1 - l_3)/2 = 1.126 - 0.0125 =$

1.1135mm。3、6 齿处弧段的曲率半径 $R'' = (c^2 + 4h''^2)/8h'' = 45.46\text{mm}$, 其值大于花键孔的半径。花键齿与槽接触时, 两弧段的弦高误差 $\Delta h_2 = h - h'' = 0.012\text{mm}$, 其弧段几何相交情况如图 8-5 所示。

可见 3、6 齿处的弧段与花键孔槽的弧段接触比较差。由于啃轴现象恰好在 3、6 齿上, 可判定啃轴现象肯定与花键内孔键槽和花键轴齿的接触情况有密切关系。

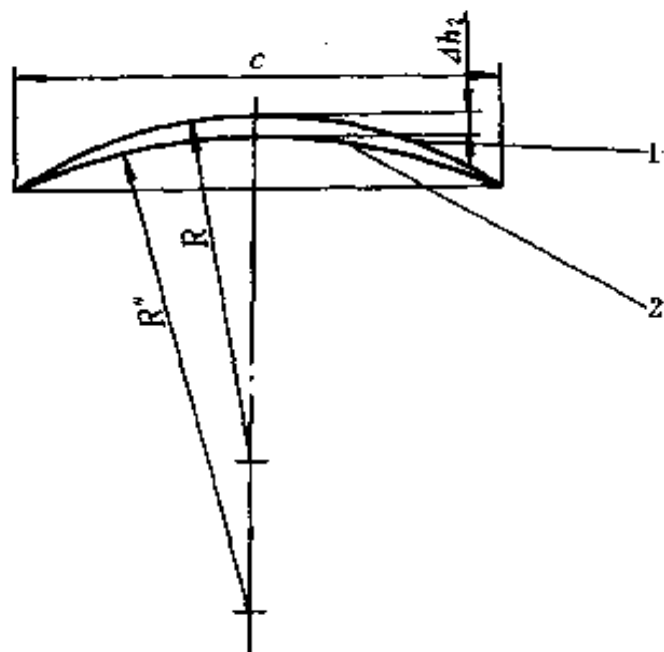


图 8-5 3、6 齿孔轴弧段相交情况

1—孔弧段 2—轴弧段

根据金属滑移理论可知:

1) 双联齿轮移动

时, 啃轴力 F'_c 会使齿轮内孔端面边缘挤压花键轴, 产生一层金属滑移。在 F'_c 作用下, 挤压层厚度与挤压层宽度成反比。可见花键孔槽与花键轴接触越差的地方, 轴上挤压层宽度越小, 挤压层厚度值越大。

2) 花键槽端面边缘挤压金属时, 都会形成圆角, 金属滑移中挤压层的断开一般都在圆弧的中点处。中点以下的挤压层被齿轮孔挤压过去, 过了挤压接触位置又可能有弹性恢复。在花键孔槽和花键轴接触差的 3、6 齿处, 挤压层厚度位于圆弧中点以上, 故齿轮就会在开始左移瞬间使大端花键槽边缘将轴啃出毛刺, 毛刺硬度很高 (HRC52), 齿轮移动时会将花键内孔键槽研伤。如挤压受阻, 就会发生双联齿轮推不动的现象; 而花键孔槽和花键轴全接触的 1、4、2、5 齿处, 挤压层厚

度位于圆弧中点以下,故该处轴未被啃出毛刺,齿轮花键内孔键槽也未被研伤。

3. 改善措施

通过以上分析可得出:为防止齿轮花键内孔键槽研伤,在维修装配过程中,必须限制花键轴两端轴承的实际装配间隙,使花键轴相对于水平轴线(即与其啮合的齿轮轴的轴线)的倾斜量 Δ 满足不等式 $\Delta/L \leq \delta/l$ (式中, L 为花键轴长度, δ 为花键孔轴间隙, l 为滑移齿轮宽度)。按此方法正确安装轴承以后,故障即被排除。若条件许可,也可在Ⅲ轴向心球轴承处设置定位基准,以便今后拆卸、安装时使Ⅲ轴始终能安装到位。

二、根据受力关系分析剪板机方键离合器损坏故障

以 Q11-3×1800 剪板机为例进行分析。

1. 故障现象

该剪板机采用方键离合器结构,使传动主轴与电动机传来的,经一对带轮和一对直齿轮减速的动力实现接通与断开,控制上刀架的上下运动进行剪切加工。剪板机经过长期使用,由于磨损及相关零件变形,往往会出现离合器的闸刀斜面,被方键凸头侧面擦伤严重的故障现象。尤其更换自制闸刀以后,情况更不好,只用几下,闸刀斜面就在与方键凸头接触时直冒烟,迅速使闸刀工作斜面损坏。造成了剪板机不能工作的情况。

2. 故障原因分析

剪板机离合器方键结构中的方键,在工作中主要承受大齿轮驱动力 P_1 ,传动主轴的工作反力 P_2 ,键的平衡力 P_3 ,闸刀拨键力 P_0 ,以及键在移动中产生的相应摩擦力 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_0 。方键的受力情况如图 8-6 所示。

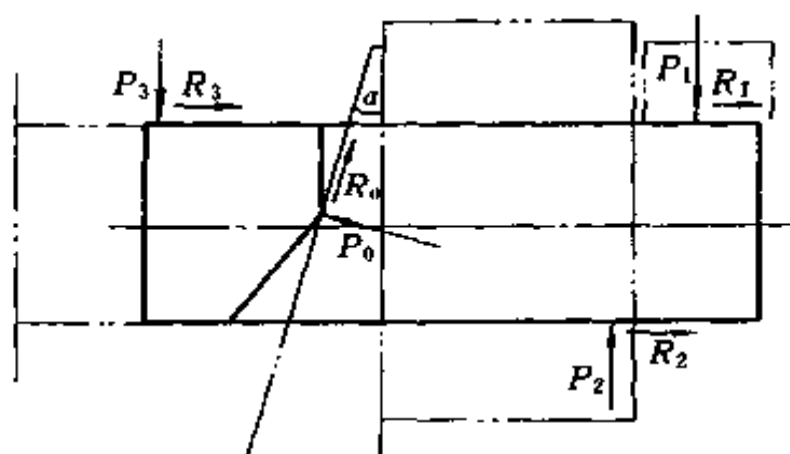


图 8-6 方键的受力情况分析

这样就有：

$$\begin{cases} P_0 = \frac{1}{\cos\alpha} (R_1 + R_2 + R_3 + R_0 \sin\alpha) \\ P_1 + P_3 = P_2 + P_0 \sin\alpha + R_0 \cos\alpha \\ R_1 = \mu P_1 \\ R_2 = \mu P_2 \\ R_3 = \mu P_3 \\ R_0 = \mu_0 P_0 \end{cases}$$

式中， μ 为方键离合时滑移面间摩擦系数； μ_0 为闸刀斜面与方键凸头侧面间摩擦系数。

从而

$$P_0 = \frac{2\mu P_2}{(1 - \mu\mu_0)\cos\alpha - (\mu + \mu_0)\sin\alpha}$$

则

$$R_0 = \frac{2\mu\mu_0 P_2}{(1 - \mu\mu_0)\cos\alpha - (\mu + \mu_0)\sin\alpha}$$

由此可见

(1) R_0 与 P_2 值的大小成正比。 R_0 的大小随 P_2 的增

长而增长。

(2) R_0 与 μ 及 μ_0 值的大小接近于正比关系。在 μ 值为定值时, μ_0 值的变化对 R_0 值有明显影响。

(3) 闸刀角度 α 值的变化, 在 α 值不大时, 对 R_0 值的影响接近于按其值的余弦倒数变化。按设计要求, α 值取为 15° 左右, 即使闸刀角度加工误差为 $\pm 1^\circ$, 对 R_0 值的影响也只有 $\pm 0.5\%$ 的变化。远比 P_2 值、 μ_0 值和 μ 值对 R_0 值的影响要小的多。

滑动摩擦系数 μ 值的大小与方键的热处理及相接触表面的粗糙度等情况有关。 μ_0 值与闸刀斜面和方键凸头侧面接触情况, 表面粗糙度及闸刀的热处理有关。传动主轴的工作反力 P_2 与上刀架等件的运动阻力的变化有关。这种变化直接与相关零件的磨损及变形情况相联系。在 P_2 值增大时, R_0 值就增大, 又由于方键凸头侧面与闸刀斜面接触面积很小, 理论上近似于线接触, 尤其自制闸刀受加工条件限制, 很难与原配闸刀复杂的几何形状相符合, 必然造成闸刀斜面与方键凸头侧面接触面积更小的情况。这样方键凸头侧面对闸刀斜面的接触应力会很大, 键的硬度又高, 相对运动速度又较大, 必然使闸刀斜面擦伤, 同时方键凸头侧面也相应地被磨出小平面。配合面间的毛糙, 使滑动摩擦系数 μ_0 大大提高, 这样会更明显地增大 R_0 值。出现恶性循环, 发生离合器方键装置迅速失效的故障。

三、排除故障的改进措施

由于相关零件很多, 其磨损和变形情况很难查清, 因而 P_2 值也就无法减小。这时只有对方键结构进行改进, 才是迅速排除故障的合适措施。

由 R_0 值公式可以看出, P_2 、 μ 经过一定努力以后都趋

向为定值， α 亦为定值。只有使 μ_0 值极大地减小，才可以使 R_0 值明显减小。显然，将方键中闸刀拨动的凸头结构改进为滚针式滚轮结构，就能实现 μ_0 值极大减小的愿望。其结构形式如图 8-7 所示。

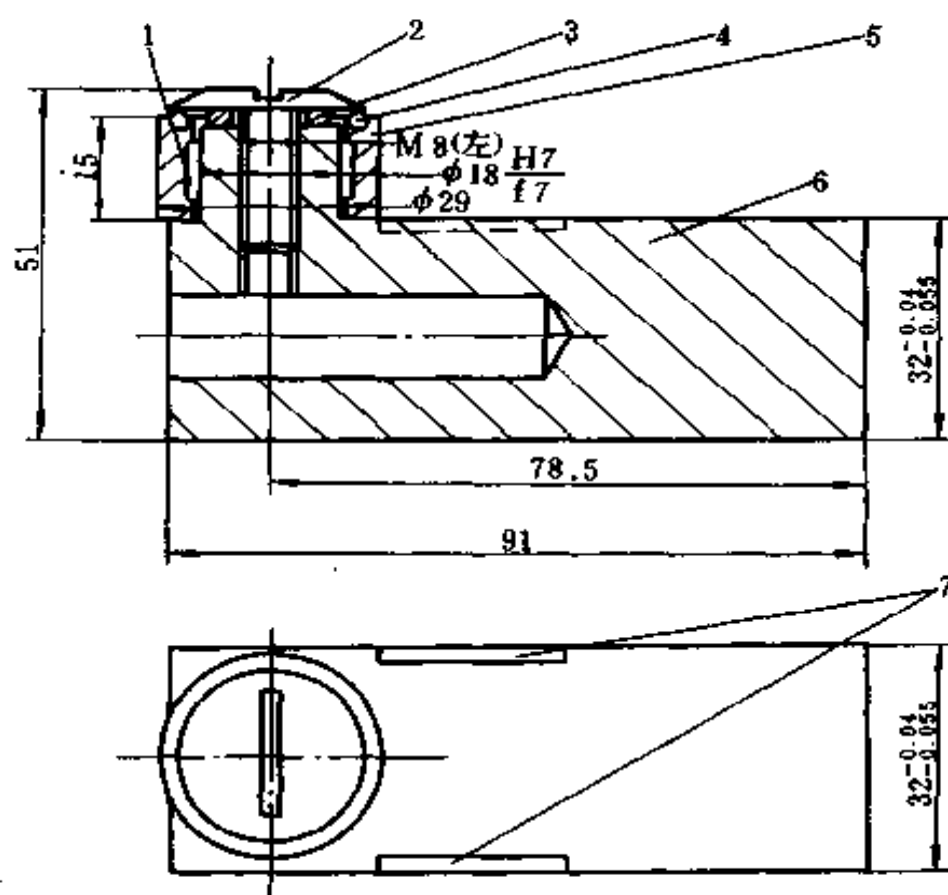


图 8-7 滚轮式方键结构图

1—球头滚针 ($\phi 2 \times 10$) 2—压盖螺钉 3—弹簧垫片 4—滚珠 ($\phi 2.5$)
5—滚轮 6—方键体 7—倒角

滚轮结构由一个滚轮，一排 $\phi 2\text{mm} \times 10\text{mm}$ 的球头滚针，一个压盖螺钉，一排直径为 $\phi 2.5\text{mm}$ 的滚珠及一个弹簧垫片组成。滚轮两端设计有滚针挡边，挡边的内径为 $\phi 18.5\text{mm}$ ，既可以封住滚针，又不影响滚针转动。摆放滚针时，槽内不能摆满，须留有三、四颗针的空隙，以便滚轮能灵活转动。在滚轮的上端面加工一环形圆弧凹槽，安放一

排 $\phi 2.5\text{mm}$ 的滚珠, 是为了减少滚轮上移时, 其端面与压盖螺钉间产生的摩擦阻力, 避免损坏压盖螺钉。安放滚珠时也要留有三、四颗滚珠的空隙, 使滚珠能灵活滚动。压盖螺钉的螺纹取为左旋, 是为了与滚轮的工作旋转方向相反, 防止滚轮旋转上升而引起压盖螺钉松动。

在方键的上平面与闸刀底面接触的地方, 有两个较大的倒角, 是为了避免闸刀底面与方键上平面碰撞时, 发生方键两侧面棱角处被碰胀变形, 增大方键的滑移阻力, 出现方键在槽中卡死的现象。

显然, 由于滚轮结构将方键凸头侧面与闸刀斜面的滑移运动改变为滚针与滚轮的滚动运动, 使 μ_0 值由滑动摩擦系数改变为滚动摩擦系数, 其值被极大地减小, 从而明显地降低了 R_0 值。同时, 滚轮的外表面与闸刀斜面不发生相对滑移运动, 避免了闸刀斜面的损坏与磨损。这样, 一个很麻烦的运动障碍性故障就得到了排除。

四、卧式车床、铣床常见运动障碍性故障的分析与排除

1. C620-1 卧式车床常见运动障碍性故障的产生原因及其排除方法

(1) 发生闷车现象。

1) 故障特征: 主轴在切削负荷较大时, 产生了转速明显地低于标牌转速, 或者自动停车现象。

2) 原因分析: 故障产生的常见原因是由于主轴箱中的片式摩擦离合器的摩擦片间隙调整过大, 或者摩擦片、摆杆、滑环等零件磨损严重。如果电动机的传动带调节过松也会出现这种情况。

3) 故障排除措施: 首先应检查并调整电动机传动带的松紧程度, 然后再调整摩擦离合器的摩擦片间隙。如果还不

能解决问题,应检查相关件的磨损情况,例如内、外摩擦片、摆杆、滑环等件的工作表面是否发生严重磨损现象。发现问题,应及时进行修理或更换。

(2) 发生不停车现象。

1) 故障特征: 停车后主轴仍然自转。

2) 原因分析: 主要是因为片式摩擦离合器调整过紧, 停车后摩擦片仍然没有完全脱开而造成。在片式摩擦离合器调整合适的情况下, 还发生停车后主轴不立即停转现象时, 说明制动器上的制动带调整过松, 或者相关零件发生损坏现象。

3) 故障排除措施: 首先应将片式摩擦离合器调整合适, 然后再将制动器调整合适。

(3) 发生切削自振现象。

1) 故障特征: 用切槽刀切槽时, 或者加工工件外圆切削负载较大时, 在切削过程中会发生刀具相对工件的振动。

2) 原因分析: 切削自振现象的产生及其振动的强弱与设备切削系统的动刚度、工件的切削刚度及切削条件有关。当切削条件改变以后, 切削自振现象仍然不能排除, 主要应检查设备切削系统动刚度的下降情况。尤其主轴前轴承的径向间隙过大, 溜板与床身导轨之间的接触面积过小等原因都容易产生这种现象。

3) 故障排除措施: 首先要将主轴前轴承安装正确、间隙调整合适, 使主轴锥孔中心线的径向圆跳动值符合要求。在此基础上, 再对溜板和床身导轨进行检查和刮修, 提高其接触刚度。若还不能解决问题, 应对切削系统相关零件的配合关系逐个进行检查, 发现影响动刚度的因素, 务必进行排除。

(4) 发生溜板的自动进给控制失灵现象

1) 故障特征:溜板的正常自动进给容易中断;或者溜板碰到定位档块及其机床进给负载过大时,还不能自动停止进给。

2) 原因分析:自动进给容易中断的主要原因是脱落蜗杆的压力弹簧调节过松,或者蜗杆托架上的控制板磨损过多,使蜗杆容易脱落。当进给过程超载时,溜板还不能自动停止进给的主要原因,是脱落蜗杆的压力弹簧调节过紧。

3) 故障排除措施:主要应正确调整脱落蜗杆上的压力弹簧,使脱落蜗杆装置的操纵手柄灵活可靠。达到溜板碰到定位挡铁后进给能自动停止,进给负荷不大时工作正常的要求。

2. X62W 型万能铣床常见运动障碍性故障的产生原因及其排除方法

(1) 工作台低速进给运动发生间歇性中断现象

1) 故障特征:工作台低速自动进给运动时有时无,尤其在切削过程中更为明显。

2) 原因分析:产生这种运动障碍现象的原因是因为在进给箱的传动系统中,钢球安全离合器传递力矩的能力减弱。减弱的原因可能是因为离合器内的部分弹簧发生损坏或者疲劳,也可能是因为弹簧调整过松,使钢球安全离合器产生打滑现象。

3) 故障排除措施:拆开钢球安全离合器,对弹簧逐个进行检查。发现有损坏或疲劳现象的弹簧应及时更换。如果弹簧没有问题,应调整压紧螺母,以增大弹簧压力,提高钢球安全离合器传递力矩的能力。

(2) 慢速进给时出现快速运动现象

1) 故障特征:只要使用自动进给,无论是否按动快速按钮,工作台都会出现快速运动。

2) 原因分析: 产生这种故障的主要原因是因为在进给箱的传动系统中, 片式摩擦离合器的摩擦片磨损严重, 表面过于光滑, 使内外摩擦片间气隙变小, 吸力增大, 出现快速进给停止以后, 摩擦片还粘在一起的情况。在慢速进给时, 若钢球安全离合器传递力矩的能力不足以克服内外摩擦片间的静摩擦力矩时, 就出现了钢球安全离合器打滑, 工作台仍然处于快速运动的状况。此外, 如果联系钢球安全离合器和牙嵌式离合器的楔牙磨损成圆角, 负荷稍大一点就要打滑, 使牙嵌式离合器突然移动, 压紧片式摩擦离合器的内外摩擦片, 产生突然快速运动现象。

3) 故障排除措施: 将摩擦片拆下, 进行表面喷砂、处理, 以提高表面粗糙度, 或者进行更换。在重新安装调整中, 应注意使摩擦片的总间隙, 在松开状态下保持在 $2 \sim 3\text{mm}$ 范围之内。若发现牙嵌式离合器的楔牙磨损严重, 应进行修磨或更换。

(3) 发生只有低速自动进给而无快速运动的现象。

1) 故障特征: 在低速自动进给运动正常的情况下, 按动快速按钮时, 进给箱的传动系统不能输出快速运动。

2) 原因分析: 产生这种情况的原因是片式摩擦离合器中的内外摩擦片间隙调整过大, 超过 $2 \sim 3\text{mm}$ 的范围, 也可能是因为内摩擦片上的花键孔与花键轴配合太紧, 使摩擦片难于压紧。

3) 故障排除措施: 排除故障时, 首先应检查内摩擦片上的花键孔与花键轴配合关系是否合适, 发现过紧情况时, 应对花键孔进行修整, 使其在花键轴上滑动灵活。然后再将摩擦片安装正确, 并且使内外摩擦片之间的松开间隙调整合适, 保持在 $2 \sim 3\text{mm}$ 范围之内。

(4) 出现主轴箱变速手柄过重现象

1) 故障特征：主轴箱的变速手柄扳动起来很重，或者根本就扳不动，

2) 原因分析：常见的主要原因，其一是转盘竖轴手柄与孔咬死；其二是扇形齿轮与齿条间的啮合间隙过小，发生卡住现象；其三是拨叉移动轴发生弯曲现象。

3) 故障排除措施：首先应检查竖轴手柄与孔的配合关系，发现问题进行修理，并加油润滑。然后再检查并调整扇形齿轮与齿条的啮合关系，使其啮合间隙能达到 $0.15 \sim 0.2\text{mm}$ 范围之内。最后还应检查并校直拨叉移动轴，以消除其产生的弯曲现象，不能校直时应进行更换。

第二节 由断口宏观特征分析零件的断裂原因

断口是指零件断裂后形成的自然表面。断口的宏观分析是指直接由人的视觉，或者借助放大镜观察零件断口的特征，根据这些特征，定性地判断零件发生断裂故障的原因，从而为排除故障进行的维修设计提供重要依据。

一、断口宏观分析的作用

(1) 区分零件的断裂是由于一次加载引起的，还是疲劳引起的。零件一次加载断裂是由于突然发生的冲击，或者静载荷突然增加而引起。疲劳断裂则是由于零件反复加载、损伤长期积累的结果。通过断口分析，首先能正确区分零件的断裂是由于一次加载原因而引起，还是由于疲劳而引起。通过断口宏观分析，若认定零件是由于受冲击过大引起断裂，在进行维修设计中，就应致力于提高零件的冲击韧性，而不是提高其强度。若认定零件是由于静载荷超载过大引起断裂，在维修设计中，就应根据主载荷的性质，提高零件相应

的静强度。若认定零件是由于疲劳引起断裂，维修设计时就应设法提高零件的疲劳强度，从材料的选择、表面强化处理工艺及其结构设计上采取必要的措施以求改善力学性能。

(2) 判断零件断裂的原因。零件断裂的原因非常复杂，往往与零件的设计尺寸、形状，材料的选择，冷热加工工艺，零件的受载状态，设备的安装和使用情况，以及其他相关零件发生故障等情况有关。通过断口宏观分析，可以判断零件的断裂是由哪一种应力造成的，断裂是从什么地方起源的。这样就可以为从设计、工艺、材料、加工、使用上寻找原因提供必要的分析根据。

对于已经经过较长时间使用的设备来说，零件一次加载断裂的断口，若显现出是由于受冲击过大而产生断裂故障的特征，那么就可以进一步分析产生冲击载荷的原因，并且进行排除。断口若显现出是由于静载荷超载过大而产生断裂故障的特征，那么就要和零件正常工作条件下承受的载荷相比较，寻找载荷突增的原因，采取必要的措施，减少零件承受的异常载荷。若零件的断口显现出疲劳断裂的特征，一般应主要从材料的选择、热处理工艺、零件的设计形状容易产生应力集中等方面寻找原因。

(3) 估计断裂零件的超载程度。尤其对于疲劳断裂零件来说，通过估计超载程度的大小，有利于在维修设计中采取合适的改进措施。超载较小的零件，改进就容易的多，一般只要从材料的选择以及热处理工艺上进行改进就可以了。超载较大的零件，必须重新选择合适的材料，改善其结构形状避免应力集中，降低零件加工表面的粗糙度值和采取各种表面强化的方法如喷丸处理、表面冷轧、渗碳处理、氮化处理、表面淬火等，通过综合措施进行改进。

二、零件一次加载断裂的断口特征

零件一次加载断裂是指零件在缓慢递增的或恒定的载荷作用下,或者在一次冲击能量作用下发生断裂的现象。包括静拉伸,静压缩,静弯曲,静扭转,静剪切,高温蠕变和一次冲击断裂等。最常见的零件静扭转断裂是转轴的静扭转断裂。

1. 零件一次加载断裂的形式

在零件承受不同形式的静载荷时,产生的断裂形式及应力方向如图 8-8 所示。

加载方式		断裂形式		应力方向	
		正断	切断	σ_{\max}	T_{\max}
静拉伸					
静压缩					
静剪切					
静扭转					
静弯曲					

图 8-8 零件一次加载断裂的形式及应力方向

由图可知,在静拉伸的情况下,若断口裂纹垂直于零件中心线,则说明是由正应力引起断裂。最大正应力平行于零件的中心轴线。若断口裂纹与零件中心线成 45° 角,则说明是由剪应力引起断裂。最大剪应力与零件的中心轴线成 45° 角,与断口面平行。在静压缩情况下,若断口裂纹与零件中心线平行,则说明是由正应力引起断裂。最大正应力垂直于零件的中心轴线。若断口裂纹与零件中心线成 45° 角,则说明是由剪应力引起断裂。最大剪应力与零件的中心轴线成 45° 角,与断口面平行。在静剪切的情况下,若断口裂纹与零件中心线成 45° 角,则说明是由正应力引起断裂。最大正应力与零件的中心轴线成 45° 角,垂直于断口裂纹。若断口裂纹与零件中心线平行,则说明是由剪应力引起断裂。最大剪应力与零件的中心轴线平行。在静扭转情况下,若断口裂纹与转轴中心线成 45° 角呈螺旋状,则说明是由正应力引起断裂。最大正应力与转轴的中心线成 45° 角,垂直于断口裂纹。若断口裂纹垂直于转轴中心线或平行于转轴中心线,则说明是由剪应力引起断裂,断口上有塑性滑动的痕迹,有时呈旋涡状。最大剪应力与断口面平行。在静弯曲情况下,若断口裂纹垂直于零件的中性层,则说明是由正应力引起断裂,最大正应力垂直于断口裂纹。若断口裂纹与零件中性层成 45° 角,则说明是由剪应力引起断裂,最大剪应力平行于断口裂纹。

2. 断口的区域性特征

零件一次加载断裂的断口与疲劳断裂的断口相比较,具有明显粗糙的特点,并且可以划分为三个区域。第一个区域称为纤维状区,是破坏的起点。第二个区域称为辐射状区,是裂纹迅速扩展的部位。第三个区域称为切变唇区,是零件最后发生剪断的部位。纤维状区和切变唇区属于韧性断裂,

辐射状区属于脆性断裂。零件一次加载断裂的断口区域性特征如图 8-9 所示。其中图 8-9a 为拉伸断口，图 8-9b 为冲击断口。

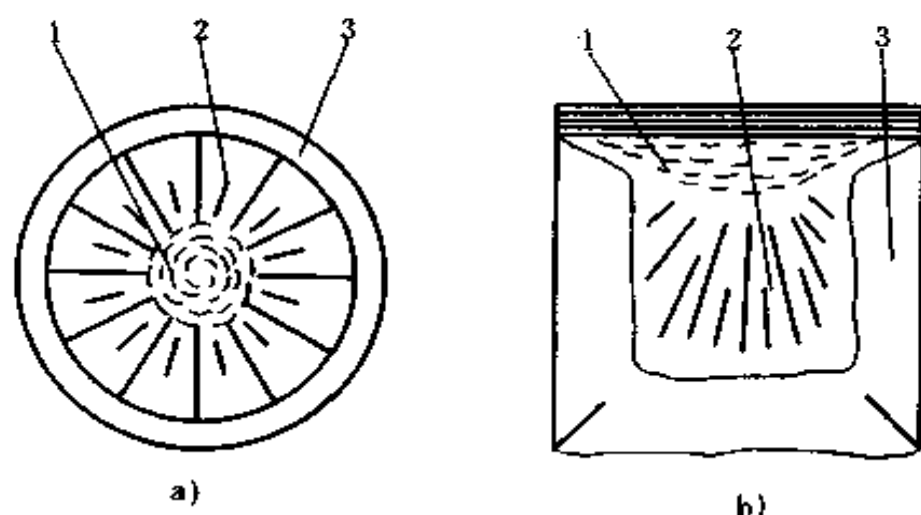


图 8-9 零件一次加载断裂的断口区域特征
1—纤维状区 2—辐射状区 3—切变唇区

在常温下，断口的三区域比例受零件的材料、加载速度以及形状等因素影响。

当零件材料的脆性比较大时，则辐射状区的面积就比较大。当零件材料的韧性比较大时，则纤维状区和切变唇口区的面积就比较大。当加载速度增大时，辐射状区的面积就会扩大。因此，对于加载速度很大的冲击断口，常常可以看到以辐射状区为主的人字形花纹。当零件的外周有缺口存在时，破坏则从外周开始，断口的外周产生纤维状区，并向内侧放射，形成辐射状区，最后破坏区是在零件的中心部位。这时不形成切变唇口区。

三、轴的旋转弯曲疲劳断裂的断口特征

旋转弯曲疲劳断裂是转轴最常见的破坏形式。

1. 无应力集中轴的旋转弯曲疲劳断口的特征

(1) 在转轴的外表面处，常见有一个疲劳源。无应力集中的轴，在旋转中受到弯曲疲劳载荷作用时，产生的疲劳裂纹常见起源于转轴外表面的某一点，然后在循环应力的作用下逐步向内部发展。但是在超载较大的情况下，在一个断口上有时也可以看到有两个或者几个疲劳源，其二次疲劳区出现在原始疲劳区的对面。

(2) 疲劳区呈现月牙形。当转轴的弯曲疲劳裂纹由疲劳源开始，发展到一定程度，就会突然发生最后破断。由于转轴的旋转运动，使疲劳区呈现出比较光滑的月牙形状，而比较粗糙的最后破断区则位于疲劳源的对面，并略有偏转，偏转的方向与轴的旋转方向相反，如图 8-10 所示。其中图 8-10a 为名义应力较小时的情况，图 8-10b 为名义应力较大时的情况。

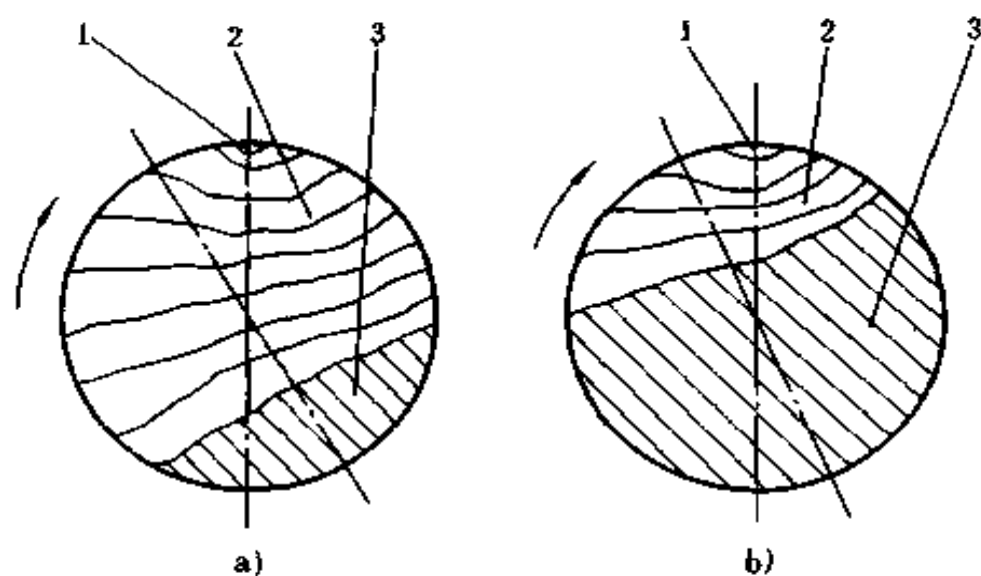


图 8-10 无应力集中的轴的旋转弯曲疲劳断口特征

1—疲劳源 2—疲劳区 3—最后破断区

(3) 疲劳表面显现出贝壳状花纹。无应力集中轴的旋转弯曲疲劳断口表面上，在疲劳区由于载荷的变化形成了贝壳

状花纹。这种花纹越是精细，说明裂纹的发展期越长，转轴的超载程度越不严重。花纹若呈凹形由疲劳源向前发展，说明转轴材料的缺口敏感性较大，使裂纹沿着外周的发展速度比向内部的发展速度要快。花纹若呈凸形由疲劳源向前发展，说明转轴材料的缺口敏感性较小，使裂纹沿外周的发展速度与向内部的发展速度差别不大。需要说明的是这种贝壳状花纹虽然不是无应力集中轴的旋转弯曲疲劳断口所特有，但是具有在实际使用的转轴断口上较为多见，比较典型的特征。

2. 有应力集中轴的旋转弯曲疲劳断口的特征

(1) 在转轴的外表面处同时产生多个疲劳源。在转轴上存在各种缺口，如肩台、油孔、螺纹、花键等的情况下，转轴受到较大弯曲疲劳载荷作用时，产生的有应力集中轴的旋转弯曲疲劳断口上，可以看到外表面处同时产生了多个疲劳源。并同时从各疲劳源开始，裂纹逐步向材料内部发展。

(2) 最后破断区为同心圆形或偏心椭圆形。由于受应力集中的影响，在有多个疲劳源的情况下，裂纹的发展会使最后破断区被包围在截面的内部，形成封闭的同心圆形或偏心椭圆形的静断面。最后破断区的位置与超载程度明显有关。其偏心越大，说明转轴的超载程度越小；其偏心越小，说明转轴的超载程度越大。最后破断区的位置与应力集中程度也有一定关系。应力集中越严重，则最后破断区的偏心程度越小；应力集中越轻微，则最后破断区的偏心程度越大。

(3) 疲劳表面显现出径向花纹。在有应力集中，并且名义应力较大的情况下，从多个疲劳源同时开始扩大的疲劳裂纹，由于各自在不完全重合的平面上发展，相交时就会形成沿径向成辐射状的一棱一棱的棱台，显现出径向花纹的状态。

在常见的有轻度应力集中的情况下，转轴的旋转弯曲疲劳断口的特征如图 8-11 所示，这时，轴的肩台处有较大的过渡圆角。其中，图 8-11a 为名义应力较小时的特征，图 8-11b 为名义应力较大时的特征。

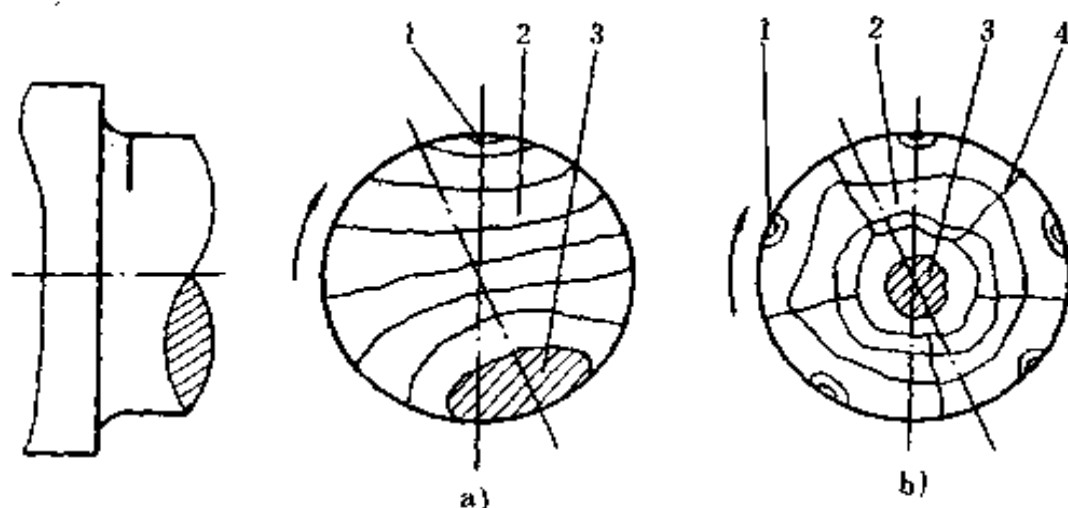


图 8-11 有轻度应力集中的轴的旋转弯曲疲劳断口特征

1—疲劳源 2—疲劳区 3—最后破断区 4—径向花纹

四、轴的扭转疲劳断裂的断口特征

实际使用中，转轴的扭转疲劳断裂也是比较多见。

1. 轴的扭转疲劳断裂的基本形式

转轴的扭转疲劳，如同大多数常见的疲劳断裂断口表面一样，具有两个不同的区域，一个是长期扩展形成的光滑的疲劳区，一个是粗糙的最后破断区。但是形成断口的断裂形式则具有自己的特点。

由于扭转载荷在垂直于转轴中心线及平行于转轴中心线的两个方向上产生最大剪应力，在与转轴中心线成 45° 的方向上产生最大正应力，最大正应力与最大剪应力大小相等。因此，在扭转疲劳载荷的作用下，可能产生的裂纹并形成断

口的断裂基本形式如图 8-12 所示。


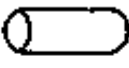
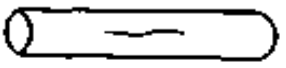


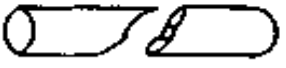
破坏形式	基 本 特 征		
	1	2	3
正断型			
切断型			
复合型			

图 8-12 扭转疲劳断裂的基本形式

图 8-12 中，正断型扭转疲劳断裂，形成由正应力引起的与转轴中心线成 45° 角的裂纹，从而使疲劳断口具有螺旋形特征。对于抗拉强度低于抗剪强度的铸铁轴，其破坏形式就是典型的正断型。由于应力集中的存在，会改变转轴上的剪应力与正应力的分布，例如对抗拉强度大于抗剪强度的钢轴来说，若轴上有横孔，就会使孔附近的正应力增大，而剪应力实际上不变，因此这时的转轴的疲劳断裂形式往往是正断型。另外，转轴上若有几何形状的不连续与材料有内部缺陷也会出现类似情形。切断型扭转疲劳断裂形成垂直于转轴中心线，或平行于转轴中心线，或两种情况同在的裂纹。具体产生那一种形式，则取决于转轴的结构形状、表面加工刀痕、内部组织情况等条件对那一种裂纹的产生更为有利而定。由于钢轴的抗剪强度大约是抗拉强度的一半，在无应力集中的情况下，剪应力与正应力相等，因此发生的扭转疲劳

断裂形式具有切断型特征。复合型扭转疲劳断裂常可以看到起源于剪切应力作用下形成的横向或纵向的疲劳裂纹，然后这些裂纹在拉应力作用下发展成与转轴中心线成 45° 角的螺旋形裂纹。当扭转载荷方向反复变化时，在交变应力的作用下，裂纹可能从两个 45° 角的方向都有发展，形成 X 型裂纹。然而，在静扭转一次加载断裂中，却不会出现这种复合型断口特征。

2. 应力集中对轴的扭转疲劳断口特征的影响

在应力集中较严重的情况下，转轴上的扭转疲劳起源处往往会有多个。这样，在交变扭转载荷的作用下，从各个疲劳处开始扩展的裂纹就会各自以 45° 的倾角向两个方向发展。当邻近的裂纹汇合在一起时，便形成了锯齿形裂纹。锯齿形裂纹形成过程的基本特点如图 8-13 所示。

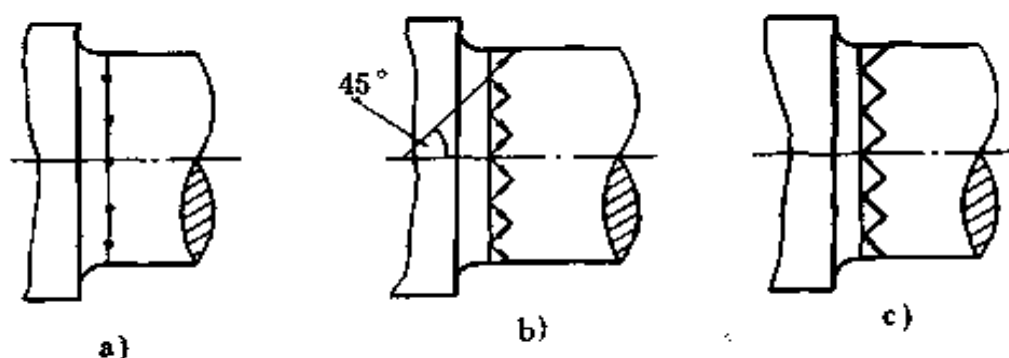


图 8-13 锯齿形裂纹形成过程的基本特点

其中图 8-13a 为疲劳源的分布特点，图 8-13b 为裂纹发展的特点，图 8-13c 为形成的裂纹特点。

当交变扭转载荷作用在有键槽的转轴上时，产生扭转疲劳断裂的主要形式是出现纵向裂纹。是出现一条裂纹，还是出现两条裂纹与加工键槽时留下的尖角情况有关。当键与键槽的配合过松时，有时还会出现剥皮型裂纹。有键槽的转轴

产生扭转疲劳裂纹的主要形式如图 8-14 所示。其中，图 8-14a 为双纹型疲劳裂纹，图 8-15b 为剥皮型裂纹。

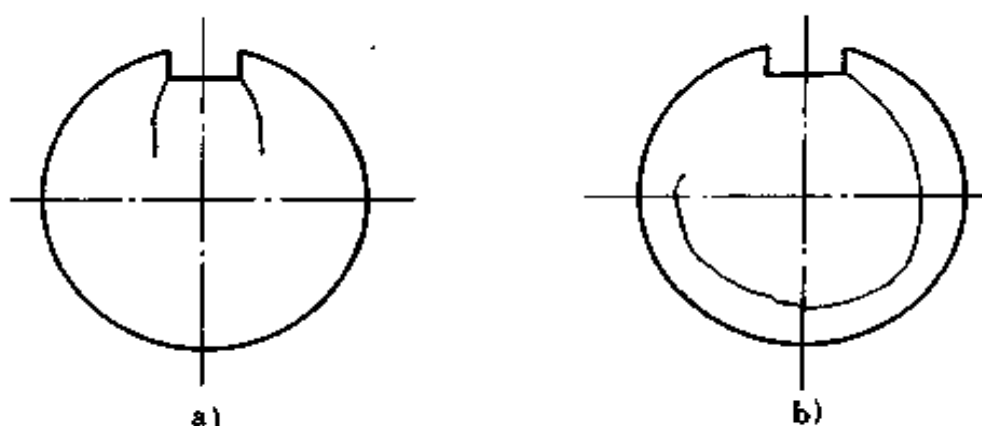


图 8-14 有键槽的转轴产生扭转疲劳裂纹的主要形式

五、区别轴的一次加载断裂与疲劳断裂的方法

当转轴发生断裂破坏故障时，区别是由一次加载过大引起断裂，还是由疲劳引起断裂的方法，主要应从三个方面入手进行判断。首先要弄清转轴断裂前的载荷经历；然后再根据转轴的断口特征进行分析；最后还应结合断口附近的变形情况进行综合判断。

(1) 由转轴断裂前的载荷经历进行判断。当转轴是经过长时间使用，经历了多次反复的循环载荷作用后发生断裂，并且没有发生载荷突增和异常冲击以及其他不正常现象时，一般来说，转轴的断裂是由疲劳原因引起。

当转轴是新件，刚开始使用时发生了断裂，往往是一次加载断裂。断裂的原因一般与相关零件装配不合适，或转轴的结构设计、加工制造与实际负载情况不适应，出现严重超载情况有关。

有时转轴经过长期使用以后，由于相关零件出现磨损、

变形、损坏等情形，发生运动障碍故障，从而会在转轴上产生过大冲击载荷，或者载荷突增、超载严重的现象，这时也可能出现转轴的一次加载断裂。

值得注意的是，在设备的正常运转中，转轴发生断裂的大多数都是疲劳断裂。并且通常将一次加载断裂误认为疲劳断裂的情况较少，而将疲劳断裂误认为一次加载断裂的可能性比较大。这时应特别仔细分析断口的特征。

(2) 由转轴的断口特征进行判断。疲劳断口一般都有两个明显不同的区域，比较光滑的疲劳区和比较粗糙的最后破断区。出现这种特征的原因，是由于在疲劳裂纹发生和发展的区域，由于循环载荷的作用，多次发生撞击和研磨现象，使疲劳区形成光滑的外观，并且应力循环的次数越多，疲劳区越光滑。在最后破断区，由于是突然性破坏，呈现的是静断裂或一次冲击断裂的外观。若材料韧性较大，则最后破断区具有纤维状特点；若材料脆性较大，则最后破断区具有结晶状特点。

一次加载断裂的断口，虽然可以划分为三个区域，但总的特点是表面粗糙，没有光滑的区域，特别是不出现两种不同区域的外观。

疲劳断口的疲劳区内可以找到一个或多个疲劳源。疲劳裂纹总是起源于强度最低和应力最高的地方。当转轴承受弯曲或扭转疲劳载荷时，疲劳裂纹常起源于转轴的表面处。若转轴表面经过渗碳、渗氮、表面淬火、喷丸或其他表面硬化处理，则疲劳源往往会移至皮下；若转轴存在冶金缺陷，如白点、缩松、夹渣等问题时，疲劳裂纹则往往是起源于截面的内部缺陷处。

一次加载断裂的起源处的特征则不同，往往是显现出一

个纤维状的区域。

(3) 由转轴断口附近的变形情况进行判断。疲劳断裂往往是在没有明显塑性变形的情况下发生的，因此没有塑性变形作为断裂前的预兆，断口上没有明显的塑性变形特点。即使由韧性很好的低碳钢制造的转轴，在发生疲劳断裂时，断口也常常没有明显的塑性变形。但是，一次加载断裂的转轴，若由韧性材料制造，例如调质钢转轴，在断裂过程中一般都伴随着明显的塑性变形，形成的断口有些发暗。

然而，对于脆性材料制造的转轴来说，无论是疲劳断裂还是一次加载断裂，都不会发生明显的塑性变形。对于由韧性材料制造的转轴，若存在严重的应力集中情形，发生一次加载断裂时，也可能没有明显的塑性变形。这种情况下应注意从多方面进行分析判断。

第三节 常见漏油原因与治漏

通常将漏油划分为渗油、滴油和流油三种形态。一般规定，静结合面部位，每半个小时滴一滴油为渗油；动结合面部位，每六分钟滴一滴油为渗油。无论是动结合面还是静结合面，每二至三分钟滴一滴油时，就认为是在滴油；每分钟滴五滴油时，就认为是在流油。

在排除设备漏油故障中，使设备达到治漏目的的一般要求是，设备外部静结合面处不得有渗油现象，动结合面处允许有轻微渗油，但不允许流到地面上；设备内部允许有些渗油，但不得渗入电气箱和传动带上，不得滴落到地面，并能引回到润滑油箱内。

一、设备漏油的常见原因

1. 由设计不合理引起的漏油

(1) 没有合理的回油通路,使回油不畅造成设备漏油。

例如,轴承处回油不畅,就容易在轴承盖处出现积油,或者形成一定压力,使轴承盖处出现漏油现象。有的设备回油孔位置不对,容易发生被污物堵塞,回油不畅出现漏油的现象,有的设备回油槽容量过小,容易造成回油从回油槽溢出现象。有的设备在工作台旋转时,容易将油甩出,而又没有设计适用的回收装置,就会造成润滑油漏到地面的现象。

(2) 密封件与使用条件不相适应,造成设备漏油现象。

在机械设备中最常用的密封件是 O 型橡胶密封圈,选用时必须根据设备的使用条件和工作状态进行选择。在用油润滑条件下,当密封压力小于 2.9MPa 时,可选用低硬度耐油橡胶 O 型密封圈。当密封压力达到 2.9~4.9MPa 时,应选用中硬度耐油橡胶 O 型密封圈。当密封压力达到 4.9~7.8MPa 时,应选用高硬度耐油橡胶 O 型密封圈。若用油润滑选择了普通橡胶 O 型密封圈;或者虽然选用了耐油橡胶 O 型密封圈,但应用压力范围低于设备密封压力,就会造成设备漏油故障。

(3) 该密封的没有设计密封,或者密封尺寸不当,与密封件相配的结构不合理造成设备出现漏油现象。

例如箱体上的螺钉孔设计成通孔,又没有密封措施;箱体盖处没有设计密封垫;转轴与箱体孔的配合间隙过大;密封圈与轴配合的过盈量不合要求;密封槽设计不合理等情况都可能使设备中的润滑油从没有实现密封的环节中漏出。

2. 由缺陷和损坏引起的漏油

(1) 铸造箱体时,质量不合要求,出现砂眼、气孔、裂纹、组织疏松等缺陷,而又未及时发现,在设备使用过程中

中, 这些缺陷往往就是设备漏油产生的根源。

(2) 油管选用塑料管, 管接头选用塑料接头时, 经过长期使用以后, 会出现材料老化问题, 造成油管和管接头破裂, 引起漏油故障。

(3) 密封圈长期使用以后, 摩擦磨损会使其丧失密封性能, 或者橡胶等材料老化使密封圈完全损坏, 以及转轴与套之间由于磨损, 使孔轴间间隙增大, 从而引起漏油现象。

(4) 由于箱体和箱盖的结合面加工时, 平面度严重超差以及表面粗糙度太粗, 或者残余内应力过大引起变形, 使结合面贴合不严密, 或者紧固件发生损坏松动现象, 往往都会引起漏油现象。

3. 由于维修不当而引起的漏油

(1) 相关件装配不合适引起漏油的情况比较常见。例如箱体和箱体盖之间结合面处有油漆、毛刺或碰伤, 使结合面出现贴合不严的现象; 未加盖板密封纸垫或者盖板的密封纸垫被损坏; 密封圈在拆卸安装中受到划伤损坏或者装配不当; 螺钉螺母拧的过松等原因都会使装配不合适的部位产生漏油现象。

(2) 换油不合要求, 往往也会引起设备漏油。换油中出现的问题主要表现为三个方面, 其一是对于采用高粘度润滑油进行润滑的零部件, 换油时随意改用低粘度润滑油, 就会使设备中相应箱体的密封性能受到一定影响。其二是换油时, 不清洗油箱, 油箱中的污物就有可能进入润滑系统, 堵塞油路, 造成漏油。其三是换油时加油过多, 在旋转零件的搅动下, 容易出现溢油现象。造成漏油。

(3) 对润滑系统选用和调节不合适而引起漏油。例如维修选用油泵时, 选用了压力过高或者输油量过大的油泵, 或

者调节润滑系统时使油压过高，油量过大，与回油系统以及密封系统不能相适应，就造成了漏油现象。

二、漏油检查的一般方法

1. 机械系统的漏油检查

(1) 按部件进行普查。一般设备都包括主轴箱、进给箱、床身部件、工作台部件等几大部分。检查设备的漏油情况时，应一个部件检查完后，再检查另一个部件。先将要检查的部件外表用棉纱擦干净，再进行观察，看从什么部位出现润滑油渗漏现象，并测定其渗漏程度。检查时要注意那些动密封部位，例如转轴的孔轴配合处，由于间隙的存在容易出现漏油现象，旋转工作台若回油不畅容易将油甩出、溢出，通过观察都能很容易地发现问题。对于静密封处应检查的主要部位是箱体盖缝、油标、油管、管接头等处。

(2) 对重点部件要进行细查。由于箱体大多储存大量的润滑油，又有旋转零件的作用及受负荷后的变形，从而使箱体成为最容易漏油的部件，因此治漏时要作为重点进行细查。

当箱体的底部漏油时，可将白纸塞入怀疑部位，五分钟后抽出，观察纸片上的滴油情况，进行判断。若能进行拆卸检查，可以将箱体内部擦干净，然后对怀疑是由于裂纹、疏松引起漏油的部位涂上煤油。过一段时间再将煤油擦净，并敷上白粉，用小锤连续敲击，从而渗在金属裂缝中的煤油，就会透过白粉显出裂纹、疏松的轮廓。缺陷位置找到以后，就可以进行对症修理。

(3) 重视设备使用过程的日常观察工作。要求设备操作者在日常维护中，重视设备表面及润滑系统各部位的清洁工作。通过这项工作可以观察设备各部位的渗漏情况，弄清渗

漏部位，以便为治漏中查清漏因提供依据。对于有些设备的箱体由于开敞性很差，漏油原因隐蔽，漏油部位一时很难查清时，就需要采用试堵漏后，再观察的方法进行反复检查，才能逐步弄清漏油的真正原因。

2. 液压润滑系统的漏油检查

(1) 按顺序进行普查。液压润滑系统主要由油泵、滤油器、液压控制元件、油管、管接头以及油缸等部分组成。检查其漏油情况时，应从油泵开始，按照进油的顺序进行普遍检查。检查时，必须将各液压元件及管路各处擦干净后，在正常供油情况下进行检查。对于重点怀疑的部位可以缠上白吸油纸，观察是否因吸有渗漏出的油滴而变黄，就能将问题判断清楚。

(2) 通过增压试验进行细查。为了检查出可能漏油的薄弱环节，可以进行增压试验，将液压润滑系统的压力调高，使其比正常工作压力高出 25~30%，然后检查油路各部分的渗漏情况。增压试验检查法具有发现问题迅速，不会留有隐患的特点。

(3) 由日常液压动作进行观察。对于液压系统来说，不但要考虑其向部件外部漏油的问题，还要防止从部件的一个腔流到另一个腔的内部漏油问题。例如液压油缸活塞处就可能发生内部漏油，同时也造成了机械系统工作效率的下降，甚至会发生液压动作失调的现象。对于液压系统的内漏问题，一般应重视日常液压动作的观察，看是否有动作失调、开关失灵、效率下降的现象发生。发现问题后，可以由维修人员进行拆卸检查。

三、常见漏油故障的治理

1. 治理漏油的一般方法

治理设备漏油的常用方法有调整法、紧固法、疏通法、封涂法、堵漏法、修理法、换件法、改造法等。

(1) 调整法：通过调整液压润滑系统的油压，减少系统压力，调整滑动轴承，减小轴承孔与轴颈之间的间隙，以减少设备各处由于溢流过大而引起的渗漏。调整刮油装置，例如毛毡的松、紧、高、低，用以克服因刮油装置失效而引起的漏油问题。在治漏过程中，首先应考虑通过调整来进行治漏，只有在相关零件配合关系正确的基础上，再采取其他方法治理才为最合理。

(2) 紧固法：通过紧固渗漏部位的螺钉、螺母、管接头等处，可以消除因联接部位松动而引起的漏油现象。一般在治漏过程中，应注意检查各联接部位的紧固情况。日常维护保养中，操作者也必须注意这个问题，要求做到发现松动部位，立即进行紧固，以避免发生漏油现象，或发生其他意外故障与事故。

(3) 疏通法：保证回油畅通是治理漏油的重要措施。在回油通道上，如果回油孔过小、结构不合理、被污物堵住，应及时将回油孔扩大，排除污物，进行疏通，或者增加新的回油孔槽管路。油路畅通了，就减少了润滑油渗漏的机会。

(4) 封涂法：对于管接头，箱体接缝处可以涂抹封口胶进行密封紧固，以消除渗漏现象。用封涂法进行治漏具有方法简单、效果明显、成本低廉、适应性广的特点。一般工厂有 70~80% 的设备都可不同程度地采用封涂法进行治漏。

(5) 堵漏法：尤其对于存在砂眼、透孔的铸件可以采用堵的方法进行治漏，例如用环氧树脂堵塞箱体砂眼或者被打透的螺钉孔效果还比较好。另外堵漏时还可以采用铅块等物进行堵塞。

(6) 修理法：例如，箱盖结合面不严密的应进行刮研修理。由于油管喇叭口不合适而造成管接头处漏油的时候，应对油管喇叭进行修理。液压润滑控制系统元件有时因为出现毛刺、拉伤、变形时，或造成外部漏油，或造成内部漏油现象。一般问题不大时，也可以通过修理法排除这种情况下造成的漏油故障。

(7) 换件法：当设备漏油是因密封件磨损、相关件损坏而又不能修复时，应进行更换。换件时应注意新换件与相配件要保持合适的配合关系。避免原有的漏油问题解决了，新的漏油问题又出现。

(8) 改造法：在治漏过程中，有时还需要通过改善密封材料，改变紧固方法，改换润滑介质，改革回油位置，改进防漏措施等，才能消除设备存在的渗漏现象。用改造法进行治漏方法很多，一般应注意不要影响设备的正常运转，不能破坏设备原有的强度和刚度，尤其采用增加回油槽，扩大螺钉孔、加置接油盘等措施时，要注意这个问题。

2. 转轴部位漏油治理实例

(1) 用增加回油孔槽的方法实现治漏。如图 8-15 所示转轴结构，其中图 8-15a 为治理前的结构形式，采用了毡垫结构进行密封防漏。但是当轴承润滑比较充分时，往往会有润滑油沿转轴渗出，尤其毡垫使用较长时间以后情况更加严重。图 8-15b 为改进后形式，去掉毡垫，把毡垫槽作为回油槽，再在轴承座处打一个回油孔，并将带轮凸缘外圆处加工成锯齿状圆槽。这样有利于将沿转轴流出的润滑油甩进回油槽，使油流回油箱，起到治漏作用。

(2) 使回油孔畅通实现治漏。在如图 8-16 所示转轴结构中，图 8-16a 为治理前的结构形式，由于回油孔处于水平

状态，回油时的畅通性比较差，容易产生积油现象，往往会使润滑油沿轴向外渗出。图 8-16b 为改进后结构，使回油孔倾斜较大角度，并增大孔径，以便加速回油速度，实现回油畅通，避免积油，从而排除渗油故障。

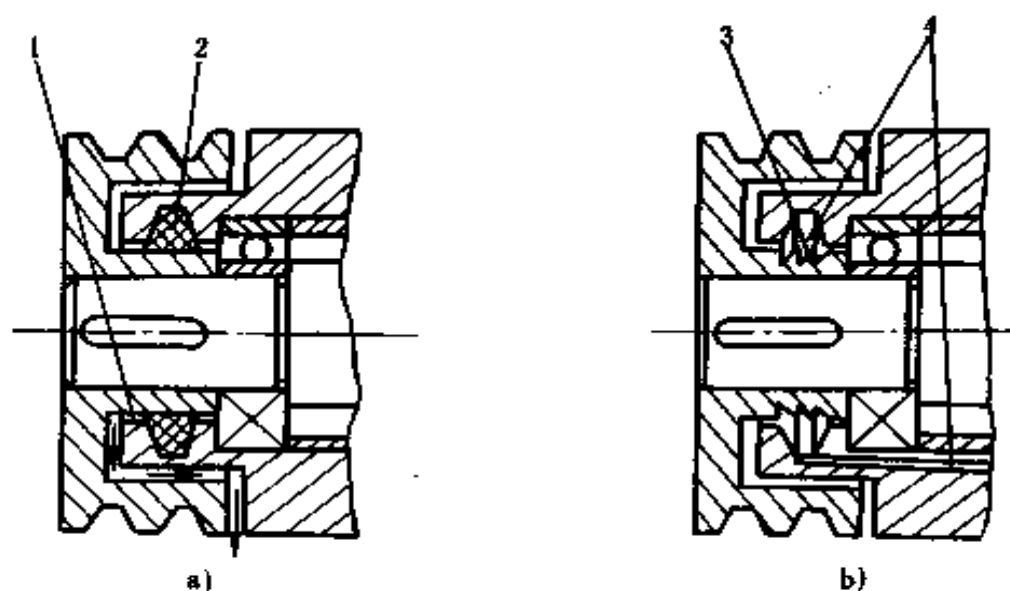


图 8-15 用增加回油孔槽的方法治漏
1—漏油处 2—毡垫 3—锯齿状结构 4—回油孔槽

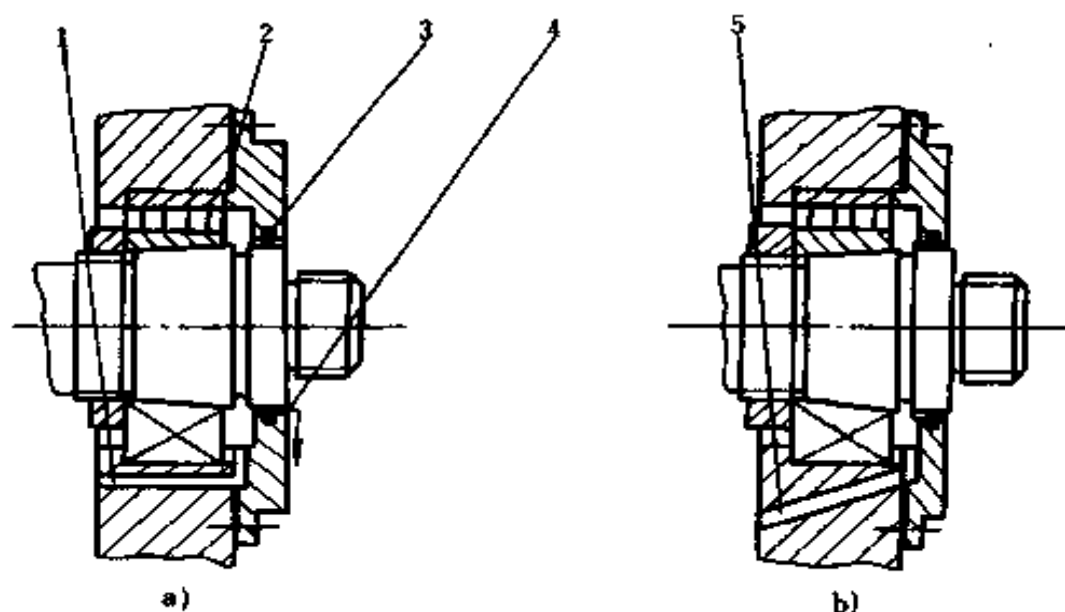


图 8-16 使回油孔畅通实现治漏
1—平回油孔 2—密封垫 3—毡垫 4—漏油处 5—斜回油孔

(3) 增加密封圈实现治漏。如图 8-17 所示手柄转轴结构中, 图 8-17a 为治理前的结构形式, 由于手柄轴与套之间存在有较大间隙, 从而造成了润滑油沿轴渗出的现象。图 8-17b 为改进后结构, 在手柄转轴上分别切出两个环形槽, 并加上 O 形密封圈, 以防止润滑油渗出。

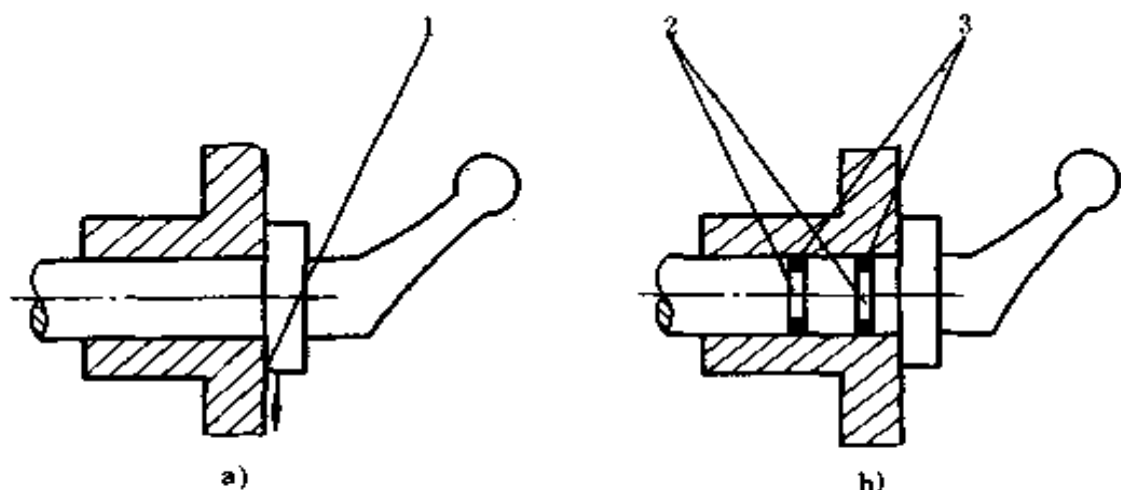


图 8-17 增加密封圈实现治漏
1—漏油处 2—环形槽 3—密封圈

(4) 用堵头进行堵漏。如图 8-18 所示转轴结构中, 图 8-18a 为治理前的结构形式, 由于转轴与轴套之间是间隙配合, 并且随使用时间的增长而磨损加剧, 会增大孔轴间间隙, 从而造成润滑油从孔轴间隙中渗出的现象。图 8-18b 为改进后结构, 根据转轴与轴套的结构特点, 将轴头截去 10~15mm, 然后在轴套端头压入一个过盈配合的堵头。这样就避免了孔轴间的磨损对漏油情况的影响。

(5) 油改脂润滑实现治漏。如图 8-19 所示转轴结构中, 图 8-19a 为治理前的结构形式, 由于用油润滑滚动轴承, 在毡垫磨损以后, 往往会使润滑油沿轴渗出。图 8-19b 为改进后结构, 仍然保持毡垫和密封垫结构形式, 但是润滑方式改

为用脂润滑。在这种情况下，密封措施主要是起到防灰尘作用。由于不采用润滑油进行润滑，就从根本上消除了漏油的可能性，具有治漏效果明显的特点。

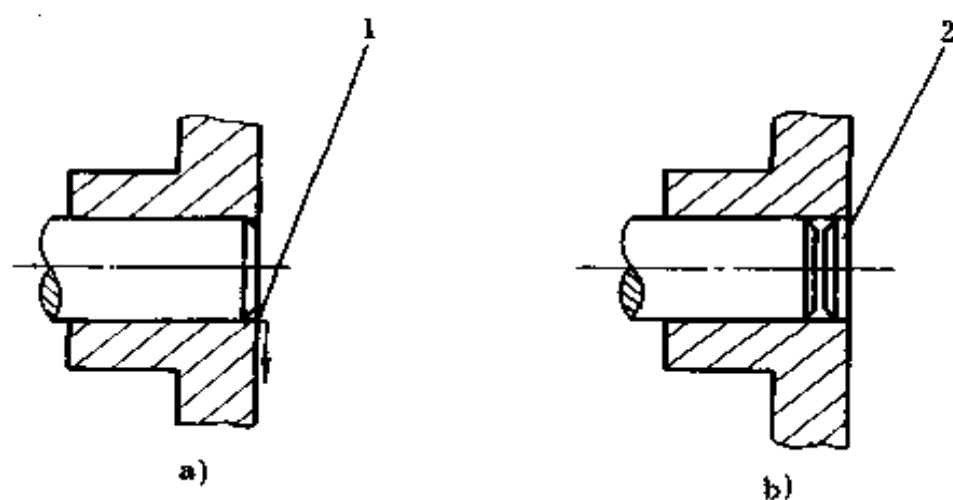


图 8-18 用堵头进行堵漏

1—漏油处 2—堵头

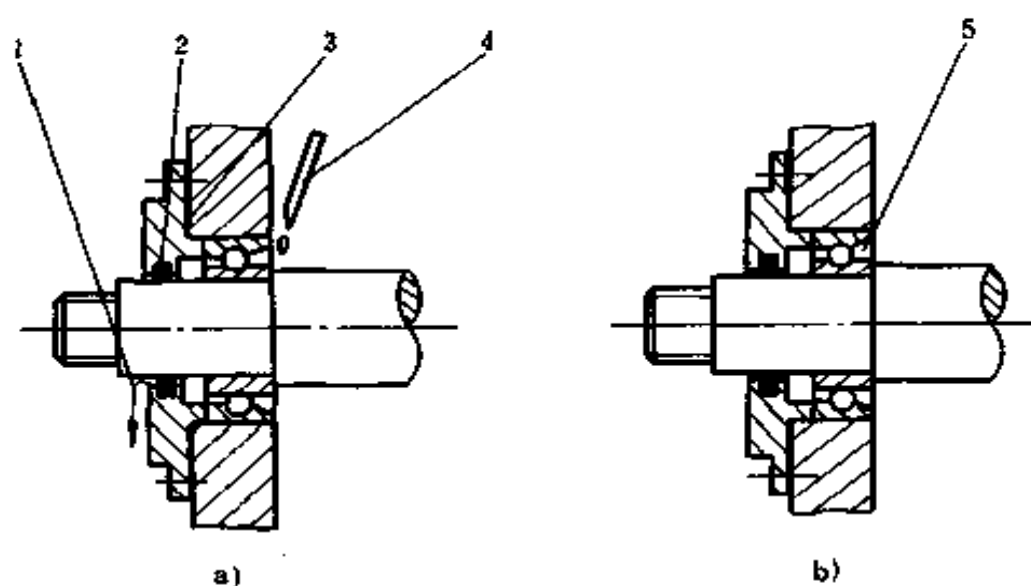


图 8-19 油改脂润滑实现治漏

1—漏油处 2—毡垫 3—密封垫 4—润滑油管 5—用脂润滑

3. 箱体部位漏油的治理实例

(1) 通过堵砂眼，气孔等缺陷实现治漏的方法：发生漏

油的箱体多数是因为铸造时产生了砂眼、气孔等缺陷所造成。对于开敞性比较好，缺陷又很明显的漏油箱体，可以采用环氧树脂粘接剂进行涂补。粘接剂的配方和调制方法可参考第三章中关于粘接修复的有关内容，其中配方里边所选用的填充剂可以改为水泥，并可以适当多放一点。对于开敞性比较差，缺陷又很不明显，例如出现裂纹、疏松的箱体，可以采用水玻璃填充法进行修复。其配方为：水玻璃 70%，加水 30%。使用前，先用四氯化碳或者丙酮将箱体内部清洗干净，再将配好的水玻璃溶液，倒入箱内，存放 24~32h，以保证水玻璃能充分填充缺陷之中。然后把箱内的水玻璃溶液倒出，用煤油洗净箱体，就可进行使用。在使用中还应注意观察治理部位是否正确，发现问题重新补治。

(2) 对结合面之间不平的缺陷实现治漏的方法：箱体结合面之间不平的缺陷主要是因为加工表面粗糙度太粗，或者加工后由于还存在较大的残余内应力，使箱体在使用中发生变形而引起。进行治理的常用措施随结合面的拆卸性质不同而不同。

对箱体上不经常拆卸的结合面处产生漏油现象时，一般可采用刮平结合面后，用虫胶漆酒精溶液或者清漆涂抹纸垫两面，然后再压紧的方法进行治理。这种方法一般适用于结合面之间存在 0.03mm 以下间隙的情况。对于结合面之间存在 0.3mm 以下间隙情况时，可以使用赛璐珞溶液涂抹纸垫两面后再在结合面处压紧的方法进行治理。赛璐珞溶液的配方为：赛璐珞质量分数为 15% 左右，加丙酮质量分数为 85%，并配以少量滑石粉。配制时将赛璐珞碎块按比例加入丙酮之中，密封放置；待全部溶解后即可使用。使用前，才在配制好的赛璐珞溶液中加入滑石粉，一般可在十份溶液中

加入一份滑石粉为宜。要求边加滑石粉边搅拌，直到均匀后才能使用。使用时，将配好的涂剂用刷子直接涂抹在用丙酮已经擦洗干净的纸垫两面，在将结合面用丙酮擦干净以后，把纸垫放置合适，并在涂剂干燥以前，使箱体结合面实现结合。对于结合面之间存在 0.5mm 以下间隙情况时，可以采用封口胶进行治疗。在用封涂法治理漏油时，应注意涂剂都具有固化快的特点。因此，对于面积较大的结合面处应多人同时涂抹涂剂，以便固化前实现加盖密封。

对箱体上经常拆卸的结合面处产生的漏油现象治理时，一般常采用的方法是刮平结合面，尤其对于小型箱体的结合面应该如此。对于较大型箱体的结合面，一般都采用在结合面四周开槽加耐油橡胶密封线的方法进行治漏。有时，也可以根据箱体结构和漏油原因，在其内表面增加一个内挡板，或者在结合面四周增开回油槽与回油孔，或者采取其他更适宜的措施实现治漏。

参 考 文 献

- 1 沈鸿等. 机械工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1982. 3
- 2 中国机械工程学会. 机修手册. 北京: 机械工业出版社, 1978. 1
- 3 陈国健等. 工程机械修理手册. 北京: 中国铁道出版社, 1981. 6
- 4 刘忠懋等. 热力设备安装与检修. 北京: 电力出版社, 1982. 1
- 5 查志文等. 设备和动能管理, (内部出版), 1987. 10
- 6 陈惠林等. 金属切削机床. 北京: 机械工业出版社, 1979. 10
- 7 张泰昌等. 直线度与平面度误差值的评定. 北京: 计量出版社, 1981. 4
- 8 庞树生. 金属切削机床维修. 呼和浩特: 内蒙人民出版社, 1977. 6
- 9 崔宝栋. 锡铋银锌合金焊条补机床导轨. 设备维修, 1980(3)
- 10 徐焕泉. 断裂铸铁件冷焊中的通病及预防. 机械制造, 1982(5)
- 11 嘉玉林. 机件修补新工艺—金属扣合法. 机械制造, 1981(8)
- 12 林春华等. 金属涂镀技术及其在设备维修中的应用. 设备维修, 1981(3)
- 13 任杰. F4J1 滑动导轨软带在普通车床上的应用. 机床, 1982(8)
- 14 张策. 机床噪声原理及控制. 天津: 天津科学技术出版社, 1984. 3
- 15 成都工学院. 机械制造工艺. (内部出版), 1976. 5
- 16 屈梁生等. 机械故障诊断学. 上海: 上海科学技术出版社, 1986. 12

- 17 柯拉科特.机械故障的诊断与情况监测.北京:机械工业出版社,1983.5
- 18 王学文.设备运行状态的感官监测.设备管理,1986(6)
- 19 杨家诚.简便易行的机器状态监测工具.设备维修,1985(6)
- 20 张耀轩等.207 电子听诊器应用征文.设备维修,1988(1)
- 21 邱洪森.用感官诊断分析电动机故障.设备维修,1988(2)
- 22 王中林.感官诊断技术浅论.设备维修,1987(2)
- 23 谢相臣.车床车削加工表面产生波纹的分析.设备维修,1985(1)
- 24 陶乾.金属切削原理.北京:高等教育出版社,1956.3
- 25 陈强业.断口的宏观分析.工程机械,1976(2、3、4)
- 26 张学正.机床堵漏油的方法.机床,1982.4
- 27 廖明福等.润滑技术的应用.西安:陕西科学技术出版社,1985,8