

机械工程手册

第 50 篇 机械装配

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会



机械工业出版社

H-62
50

机械工程手册

第50篇 机械装配

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会

82.6/5



机械工业出版社

(四) 参加这两部手册编写工作的, 有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员, 更为广泛。许多地区的科技交流部门, 为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中, 广泛征求广大机电工人的意见, 坚持实行工人、技术人员和领导干部三结合的原则, 发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面, 广泛征求意见, 先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验, 试用本在内容和形式方面, 一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证, 提出批评和建议, 以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本书是《机械工程手册》第50篇, 由上海市机电设计院主编, 参加编写的有上海机械学院、上海机床厂、上海柴油机厂、上海汽轮机厂、同济大学等单位。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助, 在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会编辑组

编辑说明

(一) 我国自建国以来，特别是无产阶级文化大革命以来，机械工业在伟大的领袖和导师毛泽东主席的无产阶级革命路线指引下，坚持政治挂帅，以阶级斗争为纲，贯彻“**独立自主、自力更生**”的方针，取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学技术方面的经验，加强机械工业科学技术的基础建设，适应实现“四个现代化”的需要，我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》，使出版工作更好地为无产阶级政治服务，为工农兵服务，为社会主义服务。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用，也可供教学及其他有关人员参考。《手册》在内容和表达方式上，力求做到深入浅出，简明扼要，直观易懂，归类便查，以便广大机电工人使用，有利于工人阶级技术队伍的发展和壮大。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书，着重介绍各专业的理论基础，常用计算公式、数据、资料，关键问题以及发展趋向。在编写中，力求做到立足全局，勾划概貌，反映共性，突出重点。读者在综合研究和处理技术问题时，《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成，构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分，共七十九篇；《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分，共五十篇。

目 录

编辑说明

第1章 机械装配工艺概述

- 1 装配工艺方案的选择.....50-1
- 2 装配工艺准备工作.....50-2
- 3 装配工作注意要点.....50-3

第2章 装配工作法

- 1 清洗.....50-3
 - 1.1 清洗方法.....50-3
 - 1.2 清洗液.....50-4
 - 1.3 超声波清洗.....50-7
 - 1.4 清洗装置.....50-8
- 2 刮削.....50-9
 - 2.1 平面刮削.....50-9
 - 2.2 曲面刮削.....50-11
 - 2.3 刮削精度补偿.....50-12
- 3 平衡.....50-13
 - 3.1 静平衡.....50-13
 - 3.2 动平衡.....50-14
 - 3.3 挠性旋转体平衡.....50-17
- 4 螺纹联接.....50-18
 - 4.1 螺纹联接装配方法.....50-19
 - 4.2 光孔上丝.....50-20
 - 4.3 螺纹联接装配工具.....50-20
- 5 过盈联接.....50-21
 - 5.1 过盈联接装配方法选择.....50-22
 - 5.2 压入配合法.....50-23
 - 5.3 热胀配合法.....50-23
 - 5.4 冷缩配合法.....50-23
 - 5.5 液压套合法.....50-24
- 6 校正.....50-25
 - 6.1 机器装配中校正的程序与内容.....50-25
 - 6.2 平尺、角尺校正.....50-27
 - 6.3 水平仪校正.....50-27
 - 6.4 拉钢丝校正.....50-28
 - 6.5 校具校正.....50-32

- 6.6 光学校正.....50-32
- 6.7 激光校正.....50-34
- 6.8 联轴器校正.....50-35

第3章 典型部件装配

- 1 滑动轴承部件装配.....50-38
 - 1.1 剖分式轴承装配.....50-38
 - 1.2 整体圆轴承装配.....50-39
 - 1.3 整体锥轴承装配.....50-39
 - 1.4 扇形瓦轴承装配.....50-41
 - 1.5 推力滑动轴承装配.....50-41
 - 1.6 静压轴承装配.....50-42
 - 2 滚动轴承部件装配.....50-45
 - 2.1 滚动轴承的安装与拆卸.....50-45
 - 2.2 滚动轴承的预紧.....50-48
 - 2.3 精密机床主轴部件装配.....50-49
 - 3 齿轮及蜗杆传动部件装配.....50-52
 - 3.1 圆柱齿轮及圆锥齿轮传动部件装配.....50-52
 - 3.2 蜗杆传动部件装配.....50-56
 - 3.3 行星齿轮传动部件装配.....50-59
 - 4 丝杠螺母副装配.....50-61
 - 4.1 丝杠螺母副配合间隙的测量和调整.....50-61
 - 4.2 校正丝杠螺母副不同轴度及其中心线与基准面的不平行度.....50-62
 - 4.3 丝杠螺母副转动灵活度的调整.....50-63
 - 4.4 丝杠回转精度的调整.....50-64
 - 5 接长丝杠和床身接长导轨.....50-65
 - 5.1 接长丝杠.....50-65
 - 5.2 接长导轨.....50-69
 - 6 管接头及密封件装配.....50-72
 - 6.1 管接头装配.....50-72
 - 6.2 密封胶.....50-74
 - 6.3 填料密封装配.....50-74
 - 6.4 油封装配.....50-75
 - 6.5 密封圈装配.....50-76
 - 6.6 机械密封(端面密封)装配.....50-77
- 参考文献.....50-79

第1章 机械装配工艺概述

装配工艺是决定机械产品质量和产量的重要环节。产品设计的技术要求包括机器性能、尺寸精度、形位精度和外观等，均需在零件加工合格的基础上，通过良好的装配工艺才能达到。

装配工艺主要包括：清洗、刮削、平衡以及各种方式的联接。机器在装配尤其是总装配过程中，还需通过校正来保证各零部件间的相对位置，使之符合装配精度要求。总装后的检验、试运转、油漆、包装等一般也属于装配工作。由于各种机器的性能和结构各不相同，其具体装配工艺也各有特点。但装配的基本工作方法是大体相同的，某些典型部件的装配也有一些共同特点。本篇不是按产品来介绍装配工艺，而是着重叙述装配工作法和典型部件装配工艺要点，在进行各种机械产品的具体装配工作时，可结合具体情况，分析比较，参照选

用。

1 装配工艺方案的选择

首先应根据生产规模以及产品结构、尺寸大小、加工精度等因素，决定装配的组织形式、配合方法，制定装配工艺过程，选定工具设备等。

装配组织形式一般分为固定和移动两种。固定装配可直接在地面上或在装配台架上进行，单件、小批生产和大型、重型产品大多采用这种形式。移动装配又分连续移动和间歇移动，可在车上或输送带上进行。批量较大的定型产品，可组织自动装配线（或机）进行装配。

配合方法的确定往往是制订装配工艺过程、选定工具设备等的先决条件，有时还与装配的组织形式有关。目前采用的几种配合方法见表50·1-1。

表50·1-1 装配工艺的配合方法比较

配 方 法	工 艺 内 容	工 艺 特 点	适 用 范 围	应 用 实 例	注 意 事 项
完全互换法	配合零件公差之和小于或等于规定的装配公差，零件完全互换。装配时对零件不须选择、修配或调整就能达到装配精度要求	1. 装配操作简单，易于掌握，生产率高 2. 便于组织流水作业 3. 零件加工精度要求较高	适用于零件数较少、批量很大、零件可用经济加工精度制造时	汽车、拖拉机、中小型柴油机、缝纫机及小型电机的部分零部件	需及时抽检，剔除不合格零件
不完全互换法	配合零件公差平方和的平方根小于或等于规定的装配公差。可不加选择进行装配，零件可互换	具有上述1、2条的特点，但零件加工公差较完全互换法放宽。较为经济合理，但可能有极少数超差产品	适用于零件略多、批量大、零件加工精度需适当放宽时	汽车、拖拉机、中小型柴油机、缝纫机及小型电机的部分零部件	装配时要注意检查，对个别不合格的成品须退修或更换能补偿偏差的零件
分组选配法	配合副中各零件的加工公差按装配精度要求的公差放大若干倍，对加工好的零件逐件测量，按尺寸分为若干组，对应的组进行装配。同组内的零件可以互换	1. 配合精度很高，零件加工公差放大数倍，能按经济加工精度制造 2. 增加了对零件的测量分组工作，并需加强对零件储存和运输的管理 3. 各组配合零件数不可能相同，为避免库存积压，应在加工时采取适当的调整措施	成批或大量生产中，装配精度较高、零件数很少、又不便于采用调整装置时	中小型柴油机的活塞与缸套、活塞与活塞销、滚动轴承的内外圈及滚子	1. 各零件的公差应相等，放大方向应相同 2. 分组数即为公差放大的倍数。一般情况下，分组数不宜太多，以2~4组为宜 3. 应严格组织对零件的精密测量、分组、识别、储存和运输工作

(续)

配方法	工艺内容	工艺特点	适用范围	应用实例	注意事项
调整法	<p>1. 选用一个合适的定尺寸调整件, 如垫片、垫圈、套筒等</p> <p>2. 采用可调调整件, 在装配时移动调整件, 利用其斜面、锥面、螺纹等改变有关零件的相对位置</p> <p>3. 用改变零件之间的相互位置, 使各零件在装配中相互抵消其加工误差所产生的影响, 以获得最小的装配累积误差, 又称误差抵消法</p>	<p>1. 零件可按经济精度确定加工公差, 能获得较高或很高的装配精度</p> <p>2. 采用定尺寸调整件时, 操作较方便, 可在流水作业中应用</p> <p>3. 增加调整件或调整机构, 且易使配合副的刚性受到一定影响</p> <p>4. 装配质量在一定程度上依赖工人技术水平, 尤其是误差抵消法</p>	除必须采用分组选配法的精密配件外, 调整法可用于各种装配场合	<p>1. 滚动轴承调整间隙的间隔套、垫圈、锥齿轮调整啮合间隙的垫片</p> <p>2. 机床导轨的楔形镶条, 内燃机汽门间隙的调节螺钉</p> <p>3. 机床主轴的径向跳动和齿轮副的齿距累积误差的调整</p>	<p>1. 定尺寸调整件制造公差需用尺寸链计算, 应具备几组不同的规格, 分组数视精度要求而定</p> <p>2. 采用可调调整件应考虑防松措施</p> <p>3. 用误差抵消法调整时, 须先测出各零件的误差相位, 使处于最有利的相对相角</p>
修配法	<p>1. 在修配件上预留修配量, 在装配过程中修去该件的多余部分</p> <p>2. 将装配尺寸链较长和精度要求较高的配合副, 在组装后作为一个整体, 再进行一次精加工, 综合消除其累积误差</p>	<p>1. 零件按经济精度加工, 通过修配可获得很高的装配精度</p> <p>2. 增加装配过程中的手工修配或机械加工, 工时不易预定, 不便于组织流水作业</p> <p>3. 手工装配质量在很大程度上依赖工人技术水平</p> <p>4. 用综合消除法时, 不论在装配中, 将配合副进行一次精加工, 或在总装配后, 利用本身机构进行精加工, 都容易保证质量</p>	单件小批生产中, 装配精度要求高的场合下采用	<p>1. 车床尾架垫板, 汽轮机叶轮装上主轴时用的调节环</p> <p>2. 分度蜗轮与工作台装配后精加工齿形</p> <p>3. 六角车床主轴对刀架刀具孔进行“自镗”, 平面磨床砂轮架对工作台面进行“自磨”</p>	<p>1. 一般应选择易于拆装且修配面较小的零件作为修配件</p> <p>2. 应运用尺寸链计算修配件的公称尺寸及公差带, 使修配量大小适宜, 减少修配工作量</p> <p>3. 尽量利用精车、精磨、精刨等机械加工方法代替手工操作</p>

2 装配工艺准备工作

1) 研究产品图纸和装配时应满足的技术要求。

2) 分析产品结构和与装配精度有关的装配尺寸链, 合理分配各环节的精度。

3) 将产品分解为各个可以独立进行装配的部件, 便于组织装配工作的平行或流水作业。

4) 根据工厂条件, 制定合理的装配程序, 选定装配基准件或部件, 以保证装配质量, 并避免不必要的重复拆装。

5) 选择合适的装配工艺。如过盈联接采用压

入配合法还是热胀(或冷缩)配合法; 校正时采用哪种找准方法、如何调整等。

6) 编制装配工艺卡片, 说明工艺技术要求。并根据需要绘制装配示意图或装配工艺系统图。

7) 设计制造专用工、夹、量具, 规划吊装运输方法, 安排工作场地、劳动组织及安全措施。

8) 对于特殊产品, 要考虑特殊措施。如装配精密仪器仪表及高精度机床时, 工作场地应离开切削加工机床, 并按实际需要, 准备恒温、恒湿、隔振、防尘等措施; 对于重型机床要准备合适的地基; 对于有很高就位精度要求的重大机件, 需要具备超慢速装置的吊装设备等。

3 装配工作注意要点

- 1) 一切零件必须在加工后检验合格, 才能进入装配。过盈配合或单配, 选配的零件, 在装配前对有关尺寸应严格进行复检, 并打好配套标记。
- 2) 注意倒角, 清除毛刺, 防止表面受到损伤。
- 3) 选好清洗液及清洗方法, 将零件清洗洁净, 精密零件尤应彻底清洗, 并注意干燥和防锈。
- 4) 注意机座的就位水平及刚度, 只能调平不能强压, 防止因重力或紧固变形而影响总装精度。
- 5) 零部件装配的程序, 在处理好装配基准件后, 一般是先下后上, 先内后外, 先难后易, 先重大后轻小, 先精密后一般, 视具体情况考虑先后次序, 使有利于保证装配精度, 装配及校正工作能顺利进行。
- 6) 注意运动部分的接触情况, 如机床导轨要配刮好。变速和变向机构要操纵灵活, 旋转运动配合面, 尤其是大型旋转机械须有合适的配合间隙, 防止运转时特别是热态工作时咬死。
- 7) 选定合适的调整环节, 以便调整修配达到

较好的精度。

8) 应争取最大的精度储备, 以延长机器的使用寿命。

9) 重而庞大的产品, 往往是在制造厂预先总装, 试验和试运转合格后再拆成部件运出厂, 然后在使用场地安装成为整机。为保证现场装配的顺利进行, 对部件装配的质量要求、检验项目及精度标准等应予严格控制。

10) 其他注意事项: 如旋转体经平衡使运转平稳; 装好密封, 防止漏气、漏水、漏油; 紧固件联接牢固; 运动件的接触面加润滑油脂, 为产品试验准备好条件。

随着社会主义建设发展的需要, 装配工艺应努力提高质量和效率。首先产品设计应根据不同的生产批量, 考虑到装配时的工艺性(见第25篇)。在装配工作中, 尽量采用新工艺新技术, 如加工与装配结合的新工艺, 胶接技术, 液压、气动技术以及新型测试技术在装配工作中的应用等; 采用高效率的工、夹、量具, 上下料装置和机械手等, 以提高装配工作的机械化自动化程度(见第63篇)。

第2章 装配工作法

1 清洗

机器装配过程中的清洗对提高产品装配质量、延长产品使用寿命均有重要意义。特别对于轴承、精密偶件、密封件以及有特殊清洗要求的工件等, 更为重要。

清洗工艺包括清洗液、清洗方法及其工艺参

数, 需根据工件清洗要求, 生产批量, 工件材料, 表面油脂、污物和机械杂质的性质及其粘附状况等因素确定。同时, 所选清洗液要与清洗方法相适应。还应注意工件经清洗后应具有一定的中间防锈能力。

1.1 清洗方法 (表50·2-1)

表50·2-1 常用清洗方法的特点及适用范围

清洗方法	清洗液	特点	适用范围
擦洗	汽油、煤油、轻柴油、乙醇和化学清洗液	操作简易, 清洗装备简单, 生产率低	单件、小批生产的中小型工件和大件的局部清洗
浸洗	常用的各种清洗液均适用	操作简易; 清洗时间较长, 一般约2~20分钟。通常采用多步清洗	批量较大、形状较复杂的工件。清洗轻度粘附的油垢

(续)

清洗方法	清洗液	特点	适用范围
喷洗	汽油、煤油、轻柴油、化学清洗液、三氯乙烯和碱液	清洗效果好, 生产率高, 劳动条件较好; 装备较复杂	中批、大批生产的工件, 形状复杂不宜采用。清洗粘附较严重的污垢和半固体油垢
气相清洗	三氯乙烯蒸汽	清洗效果好; 装备较复杂, 劳动保护要求高	中小型工件。清洗中等粘附程度的油垢, 去污效果好
超声波清洗	汽油、煤油、轻柴油、化学清洗液和三氯乙烯	清洗效果好, 生产率高; 装备维护管理较复杂	清洗要求高的中小型工件, 往往用于工件的最后清洗
浸-喷联合清洗	汽油、煤油、轻柴油、化学清洗液、三氯乙烯和碱液	清洗效果好, 生产率高; 清洗设备占地面积大, 维护管理较复杂	成批生产、形状复杂、清洗要求高的工件。清洗油垢和半固体油垢
气-浸联合、 气-喷联合或气- 浸-喷联合清洗	三氯乙烯溶液与三氯乙烯蒸汽	同上, 但生产率稍低	适宜于气相清洗、尺寸不大和清洗要求高的工件。能清洗油垢, 特别是气-浸-喷型, 能清洗粘附严重的污垢, 去污效果好

1.2 清洗液

1.2.1 石油溶剂

石油溶剂易于贮存和配制防锈剂, 是一种传统沿用的清洗液。采用这类清洗液必须考虑防火、通风等安全措施。

常用的石油溶剂主要有汽油、煤油和轻柴油。有特殊要求时还用性质相近的有机溶剂, 如乙醇、丙酮等。

工业汽油 (SYB1024-62) 和直馏汽油 (GB444-64) 主要用于清洗油脂、污垢和一般粘附的机械杂质, 适用于钢铁和有色金属的工件。航空汽油用于清洗质量要求高的工件。

灯用煤油 (GB253-64) 和轻柴油 (GB252-64) 的应用与汽油相同, 但清洗能力不及汽油。清洗后干得较慢, 但比汽油安全。

为避免工件锈蚀, 可在石油溶剂中加入少量 (如 1~3%) 置换型防锈油或防锈添加剂。置换型防锈油有 201、FY-3、661 等。防锈汽油亦可自行配制, 配方见表 50·2-2。这种防锈汽油清洗能力强, 对手汗、无机盐、油脂等均能清洗干净, 且对钢铁、铜合金等工件具有中间防锈作用。同时, 操作者手部应涂敷“液体手套”, 以防手汗锈蚀工件, 也可避免汽油、煤油、柴油等对手部皮肤的刺

激, 具体配方见表 50·2-3。

石油溶剂一般均在常温下使用。如需加热使用时, 灯用煤油不应大于 40°C, 溶剂煤油不应大于 65°C, 并不得用火焰直接对容器加热。对机械油、汽轮机油、变压器油, 油温不应大于 120°C。

表50·2-2 防锈汽油配方

成分	重量百分比 %
石油磺酸钠	1
司本-80	1
十二烷基醇酰胺	1
1%苯骈三氮唑酒精溶液	1
蒸馏水	2
200号汽油	94

表50·2-3 液体手套配方

成分	1号配方	2号配方
干酪素	100 g	100 g
蒸馏水	250~260 ml	240 ml
无水碳酸钠	8~10 g	
甘油	40 ml	35 ml
磷苯二甲酸二丁酯	70 g	
酒精	250~260 ml	240 ml
乳酸酸	8~10 g	
碳酸钠		8~10 g

1.2.2 碱液

表50·2-4 常用碱液配方、工艺参数及适用性

成分	g/l	主要工艺参数	适用性	成分	g/l	主要工艺参数	适用性
氢氧化钠	50~55	清洗温度 90~95℃	钢铁工件， 粘附较严重油 垢或有少量难 溶性油垢和杂 质	氢氧化钠	5~10	清洗温度 80~90℃	铜及铜合金 工件
磷酸钠	25~30	浸洗或喷洗		磷酸钠	50~70	浸洗或喷洗	
碳酸钠	25~30	清洗时间 10min		碳酸钠	20~30	清洗时间 5~8min	
硅酸钠	10~15			硅酸钠	10~15		
氢氧化钠	70~100	清洗温度 90~95℃	镍铬合金钢 工件	氢氧化钠	5~10	清洗温度 60~70℃	铝及铝合金 工件
碳酸钠	20~30	浸洗或喷洗		磷酸钠	≈50	浸洗或喷洗	
磷酸钠	20~30	清洗时间 7~10min		硅酸钠	≈30	清洗时间 ≈5min	
硅酸钠	10~50						

配制碱液时，亦可加入少量表面活性清洗剂6503、TX-10等，以增强清洗能力。

用碱液清洗时，应注意：1) 油垢过厚时应先擦除；2) 材料性质不同的工件，不宜放在一起清洗；3) 工件清洗后，应用水冲洗或漂洗洁净，并使之干燥。

1.2.3 化学清洗液

化学清洗液含有表面活性剂，又称乳化剂清洗液，对油脂、水溶性污垢具有良好的清洗能力。这种清洗液配制简便，稳定耐用，无毒，不易燃，使用安全，成本便宜。有些化学清洗液还具有一定的中间防锈能力，所以很适用于装配过程中中间工序的清洗。

表50·2-5 常用化学清洗液配方、工艺参数及适用性

成分	%	主要工艺参数	适用性
105清洗剂	0.5	清洗温度 85℃	钢铁工件。主要清洗以机油为主的油垢和机械杂质
6501清洗剂	0.5	喷洗压力 1.5kgf/cm ²	
水	余量	清洗时间 1min	
664清洗剂	2~3	清洗温度 75℃	钢铁工件，不适于清洗铜、锌等有色金属工件。主要清洗硬脂酸、石蜡、凡士林等
水	余量	浸洗，上下窜动	
		清洗时间 3~4min	
6501清洗剂	0.2	清洗温度 35~45℃	精密加工的钢铁工件。清洗矿物油和含氧化铬等物的研磨膏残留物
6503清洗剂	0.2	超声波清洗	
油酸三乙醇胺①	0.2	(工作频率17~21kHz)	
水	余量	清洗次数 4~5次为宜	
6503清洗剂	0.5	清洗温度 35~45℃	精密加工的钢铁工件。主要清洗油脂
TX-10清洗剂	0.3	超声波清洗	
聚乙二醇(分子量约400)①	0.2	(工作频率17~21kHz)	
邻苯二甲酸二丁酯②	0.2	清洗时间 4min	
磷酸三钠④	1.5~2.5		
水	余量		
664清洗剂	0.5	清洗温度 75~80℃	精密加工的钢铁工件。清洗油脂能力很强
平平加清洗剂	0.3	浸洗，上下窜动	
三乙醇胺①③	1.0	清洗时间 1min	
油酸③	0.5		
聚乙二醇(分子量约400)①	0.2		
水	余量		

(续)

成 分	%	主 要 工 艺 参 数	适 用 性
664清洗剂	2	清洗温度 85~90℃	精密加工的钢铁工件。清洗油脂和抛光膏效果良好
105清洗剂	1	浸洗, 上下窜动	
羧甲基纤维素④	0.05	清洗时间 2~3min	
水	余量		
105清洗剂	0.25	清洗温度 90℃	铁铝合金和钢铁工件。用于清洗轴承润滑油积炭等
6503清洗剂	0.13	喷洗压力 3.5~4.0kgf/cm ²	
TX-10清洗剂	0.13	清洗时间 4~6min	
水	余量		
平平加清洗剂	1.0~1.5	清洗温度 60~80℃	铝、铜及其合金, 镀锌的钢工件。清洗一般油脂
水	余量	浸洗, 上下窜动	
		清洗时间 5 min	
6503清洗剂	0.4	清洗温度 35~45℃	钢铁工件。去除粘附的铁屑或机械杂质、氧化皮等
亚硝酸钠①	0.4	超声波清洗	
灯用煤油②	2~3	(工作频率17~21kHz)	
石油磺酸钡①	0.1~0.2	清洗时间 4 min	
水	余量		
664清洗剂	0.8	室温浸洗, 亦可在35~45℃下浸洗, 浸洗时上下窜动	钢铁工件。清洗油脂、钙皂、钡皂有良好效果, 并有较好的中间防锈作用
平平加清洗剂	0.6		
油酸③	1.6		
三乙醇胺①③	0.8		
亚硝酸钠①	0.6		
水	余量		
平平加清洗剂	0.6	室温浸洗, 亦可在35~45℃下浸洗, 浸洗时上下窜动	钢铁工件。清洗油脂、钙皂、钡皂有良好效果, 并有较好的中间防锈作用
聚乙二醇①	0.3		
油酸③	0.4		
三乙醇胺①③	1.0		
亚硝酸钠①	0.3		
水	余量		
664清洗剂	1	清洗温度 80~90℃	钢铁工件。适用于清洗油垢
105清洗剂	1	浸洗, 上下窜动	
6503清洗剂	1.5	清洗时间 2 min	
水	余量		
664清洗剂	0.3~0.5	清洗温度 50~60℃	有色金属和钢铁工件, 尤其适用于精密工件。清洗后具有中间防锈作用
平平加清洗剂	0.3	浸洗, 上下窜动	
三乙醇胺①③	0.3	清洗时间 1~2min	
乳化油③	0.01		
水	余量		

①②③④为添加剂, 它们的作用分别为: ①缓蚀; ②减少泡沫; ③稳定; ④助溶和其他。

1.2.4 三氯乙烯

三氯乙烯具有除油效率高, 清洗效果好, 且有不燃性等优点。加入适当稳定剂可清洗铝、镁合金

等有色金属工件。但其清洗装置较复杂, 要求有良好的通风系统及清洗液回收系统, 同时还应注意工件和清洗槽的防腐蚀问题。

三氯乙烯是强溶剂, 沸点较低, 易于汽化及冷

凝, 蒸汽密度大, 且不易扩散, 故适宜于气相清洗。亦可用于浸洗、喷洗或三种清洗型式联合使用。用于超声波清洗时, 特别适用于清洗质量要求很高的仪表零件、光学元件、电子元件等。

清洗温度须控制适当。用于气相清洗时, 温度过高易造成三氯乙烯分解, 失去清洗能力; 太低, 则汽化不良。清洗温度还与粘附油脂多少有关, 一般宜控制为 $87\sim 92^{\circ}\text{C}$ 。清洗槽内气相清洗区的蒸发面积应大于工件总清洗面积的2倍, 槽壁与工件的距离一般不宜小于工件横截面尺寸的一半。喷洗时, 喷洗压力宜为 $0.5\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。

三氯乙烯在光、热、氧和水作用下, 易分解成光气和盐酸, 对工件和设备易产生腐蚀, 故须添加稳定剂。常用稳定剂为有机物, 但成本高, 使用赤芍也可获得较好稳定效果。为防止清洗槽内壁被腐蚀, 对普通碳钢的清洗槽内壁, 可涂敷无机富锌漆。

三氯乙烯清洗装置见图 50·2-4。

1.3 超声波清洗

1.3.1 超声波清洗机理及其适用性

在清洗液内引入超声波振动, 使清洗液中出现大量空化气泡, 并逐渐长大, 然后突然闭合。闭合时会产生自中心向外的微激波, 压力可达几百甚至几千大气压, 促使工件上所粘附的油垢剥落。同时空化气泡的强烈振荡, 加强和加速了清洗液对油垢的乳化作用和增溶作用, 提高了清洗能力。

超声波清洗主要用于清洗要求较高的工件, 尤其是经精密加工、几何形状较复杂的工件, 如柴油机射油泵中的柱塞与套筒偶件, 光学零件, 精密传动的零部件, 微型轴承, 精密轴承等。对工件上的小孔、深孔、盲孔、凹槽等, 也能获得较好的清洗效果。

采用合适的工艺, 还可以清除工件表面很薄的氧化层。用 150kW 超声波清洗机清洗管件的表面的鳞皮、轻度锈蚀, 可以代替喷砂。

1.3.2 清洗液选择

选择清洗液除考虑工件材料、油垢和机械杂质等性质外, 还要求清洗液粘度小, 以利空化。常用清洗液有: 汽油、乙醇、化学清洗液、三氯乙烯、水等。

1.3.3 清洗方式选择

对于中、小型工件, 粘附油垢严重时, 应先浸洗或喷洗。为提高清洗质量、缩短清洗时间, 常采用几种不同的清洗液, 分槽依次进行, 每槽清洗油垢的作用各有侧重。

尺寸和重量较大的工件, 多为局部清洗, 即将工件局部浸入超声波清洗槽中进行清洗; 也可根据大型工件形状或局部清洗部位的要求, 将换能器制成特殊结构(如密封型、变幅杆型等), 以实现局部清洗。

工件形状过分复杂或具有大小不等的孔、凹槽时, 可用不同振动频率的超声波清洗。

1.3.4 工艺参数选择

表50·2-6 超声波清洗工艺参数选择

参数名称	选用范围	说明
振动频率	常用 $\approx 20\text{kHz}$ 高频 $300\sim 800\text{kHz}$	工件表面光洁度较高或具有小孔、狭深凹槽时, 建议采用高频。但高频振动衰减较快, 作用范围较小, 空化作用较弱, 故清洗效率较低
功率密度	$0.5\sim 2.0\text{W}/\text{cm}^2$	工件形状复杂或具有深孔、盲孔, 或油垢较多, 清洗液粘度较大, 或选用高频振动时, 功率密度可较大。对铝及其合金或用乙醇、水为清洗液时, 则可取小些
清洗时间	$1.5\sim 5.0\text{min}$	工件形状复杂时取上限, 表面光洁度高则取下限, 还应根据油垢严重程度而变化
清洗温度	化学清洗液: $35\sim 50^{\circ}\text{C}$ 三氯乙烯: $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ 汽油或乙醚: 室温	一般经试验确定合适的温度

1.3.5 工艺要点

1) 工件放置在清洗槽中时, 应完全浸没在清洗液内, 不应直接压在槽底超声辐射面上, 重点清洗部位应对准超声源。重量较大的工件在槽内安放位置尤需注意。

2) 清洗盲孔时, 应先在孔内充满清洗液, 对准超声源, 清洗下来的污物要便于排出。清洗小孔时也要注意这点。

3) 采用清洗液循环装置和连续补充新液时, 进液速度不宜太快, 以免由于新液含气较多减弱空化作用。

4) 要求空化作用很强时, 须经常调节发生器的频率, 使其输出频率与换能器的固有共振频率一

致, 以提高转换效率。此时在透明的清洗液中, 可以看到很多白色聚流, 以手试探, 有如针刺感觉。

超声波清洗装置见图 50·2-5、6。

1.4 清洗装置

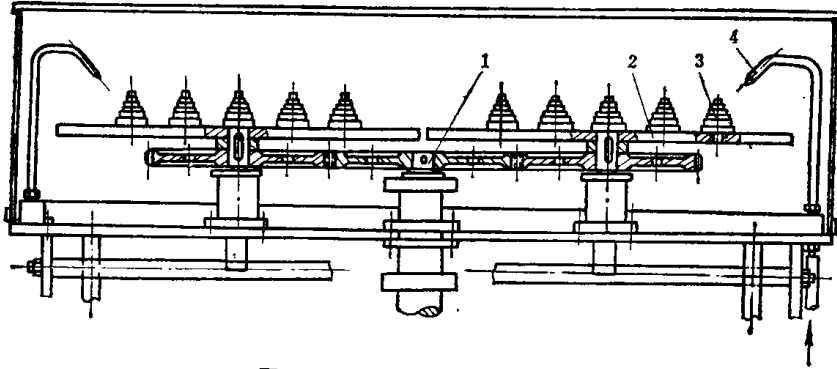


图50-2-1 固定式喷嘴清洗装置

1—传动主轴 2—转盘 3—工件 4—喷嘴
多工位式, 适用于小型工件的连续清洗。

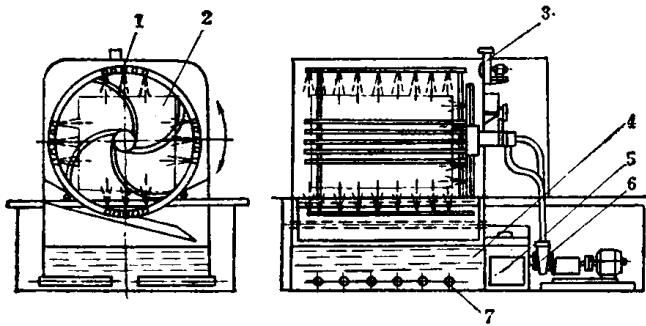


图50-2-2 旋转式喷嘴清洗装置

1—喷嘴管(旋转式框架) 2—工件 3—通风机组
4—清洗槽 5—清洗液过滤器 6—清洗液泵机组
7—加热器

工件静止不动, 喷嘴管在一定角度范围内绕其回转。适用于较大尺寸的工件。

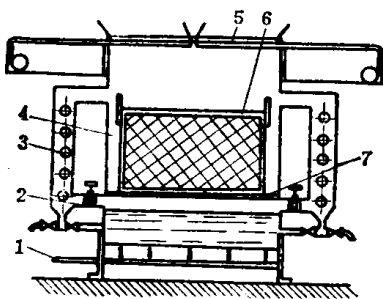


图50-2-3 气相清洗装置

1—加热器 2—阀 3—冷凝管 4—清洗槽
5—槽盖板 6—工件盛具 7—栅板

清洗剂加热汽化后, 在工件表面上冷凝时溶解粘附的油垢。2用以调节有效的气相清洗区域。

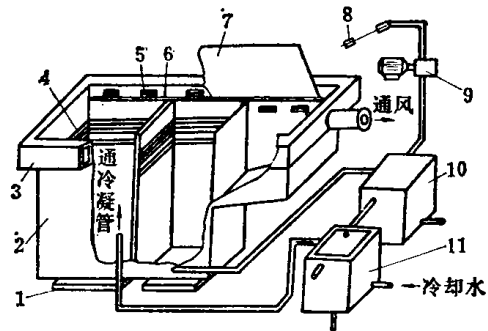


图50-2-4 三氯乙烯清洗装置示意图

1—加热器 2—清洗槽 3—风道 4—冷凝管
5—通风口 6—隔热夹壁 7—槽盖 8—喷嘴
9—输液泵 10—储液箱 11—热交换器

清洗装置上部应作成负压区, 以防三氯乙烯蒸汽外逸。

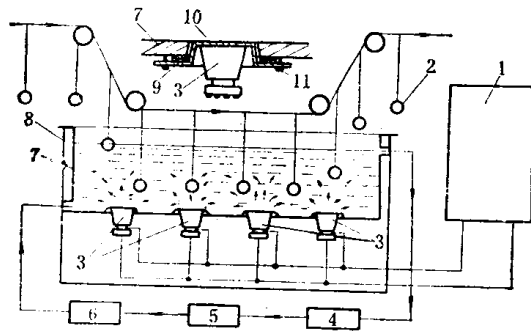


图50-2-5 超声波清洗装置示意图

1—超声波发生器 2—工件 3—换能器 4—过滤器
5—泵 6—加热器 7—清洗槽 8—外缸 9—密封圈
10—辐射板 11—紧固装置

图示为压电式换能器, 常用的还有磁致伸缩式换能器。换能器也可直接联接在清洗槽底部, 将清洗槽底作为超声波振动的辐射板。

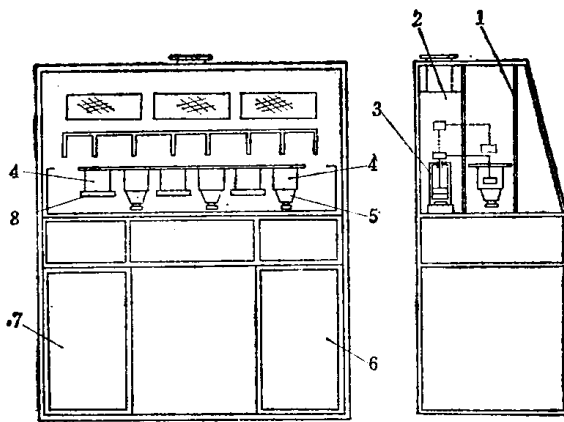


图50-2-6 直线步进式多工位超声波清洗装置示意图

- 1—密封柜 2—排风管 3—液压步进系统
- 4—清洗槽 5—换能器 6—超声波发生器
- 7—电器控制箱 8—加热器

根据需要也可以布置成回转式的。

2 刮 削

具有切削量小、切削力小、产生热量小、装夹变形小等特点，通过刮削能提高工件的尺寸精度、形位精度、接触精度、传动精度及表面光洁度；刮削装饰性刀花能增加表面美观。目前，用机械加工代替刮削的工艺已普遍采用。但刮削还具有用具简单，不受工件形状和位置及设备条件的限制，并能获得极高的精度，故在机械制造、修理中，仍是一种重要的工艺方法。

在不淬硬的工件上，一般均可进行刮削，适用范围见表 50·2-7。

表50-2-7 刮削面种类

种 类	示 例
平 面	单个平面 平板、平尺、工作台面
	组合平面 V型导轨面、燕尾槽面
曲 面	圆柱面、圆锥面 圆孔、锥孔滑动轴承、圆柱导轨、锥形圆环导轨
	球 面 自位球面轴承、配合球面
面	成型面 齿条、蜗轮的齿面

2.1 平面刮削

2.1.1 平面刮削方法及质量要求

平面刮削是刮削的基础，分粗刮、细刮和精刮。粗刮要求基本上消除刮面误差，使整个刮面上

研点分布大致均匀。细刮应全部消除刮面误差，研点增多分布更均匀。精刮后，刮面应光洁，有整齐的刀花，研点数及形位精度均符合规定。

对刮削面的质量要求一般包括：尺寸精度、接触精度及密合程度、形状和位置精度、光洁度。刮面的接触精度是在刮面上涂厚 0.003mm 的显示剂，研点后检查。两相配件刮削后，其密合程度一般需用一定厚度的塞尺检查，对于承受压力的气缸、阀体等，还需进行液压或气压试验。各类刮面的接触精度参考表 50·2-8。

表50-2-8 刮面接触精度要求

表面类型	每25×25 mm ² 内的研点数	刮削前工件表面光洁度	应用 举 例
超精密面	>25	▽6	0级平板、高精度机床导轨、精密量具
精密面	20~25	▽6	1级平板、精密量具
	16~20	▽5	精密机床导轨、精密滑动轴承
一般面	12~16	▽5	机床导轨及导向面、工具基准面
	8~12	▽5	一般基准面、机床导向面、密封结合面
	5~8	▽5	一般结合面
	2~5	▽5	较粗糙机件的固定结合面

研点用的显示剂，要求粒度细腻，显示研点真实而清楚，对工件无腐蚀作用，对操作者健康无害。可参考表 50·2-9 选用。

表50-2-9 显示剂

种类	成 分	特 点	应用 场 合
红丹 粉油	氧化铁粉加入机油或柴油或煤油	呈红褐色，研点清楚，无腐蚀性，价格低，对操作者无害，但粒度较粗	广泛用于铸铁和钢件的刮削
铅丹 粉油	氧化铅粉加入机油或柴油或煤油	呈桔黄色，粒度细腻，研点真实，无腐蚀性，但颜色较淡，有反光刺激，有毒	用于一般工件和精密工件的刮削
普鲁士蓝 油	普鲁士蓝粉混和适量机油和蓖麻油	呈深蓝色，研点小而清楚	用于精密工件和有色金属的刮削
印 红 油	碱性品红溶解在乙醇中，加入甘油配制而成	呈鲜红色，有反光刺激，研点较膜糊	用于检查刮面的接触面积
烟 墨 油	烟墨与机油混合	呈黑色，研点小而清楚	用于表面呈银白色金属的刮削，较少采用
松节油或酒精	松节油或酒精	研点发光亮，比较精细和真实，对工件有腐蚀性，有反光刺激	用于精密工件的刮削，较少采用

刮削选用的研具精度应高于刮面的精度要求，面积应大于刮面的3/4，如研具不能满足上述要求，刮面除检查研点外，还需用工、量具进行测量。

为保证刮削质量，减少刮削工作量，工件在刮削前的加工精度，建议不低于形位公差（GB1184-75）中规定的9级精度。

2.1.2 刮削基面的选择和刮削顺序

当工件有两个以上刮面或有多项精度要求时，需正确选择刮削基面，一般应符合下列条件：1) 同时是装配基面的刮面；2) 与已经精加工好的面有直接精度关系的刮面；3) 与几个刮面都有精度关系的刮面；4) 相互有精度关系的几个刮面中，精度要求最高或工作量最大的刮面。

安排其他刮面的刮削顺序时应考虑：1) 与基面有直接精度关系的面先刮；2) 较大、较长的面先刮；3) 形状复杂、测量困难的面先刮；4) 刚性较好、精度不易变化的面先刮。此外，还应考虑工件刮削时支承的方便和合理性、起吊与翻身的次数等因素。

2.1.3 工件的支承方式

刮削及研点时工件应保持自由状态，不应由于支承而受到附加应力。图50·2-7~10为几种典型工件刮削时的支承方式。

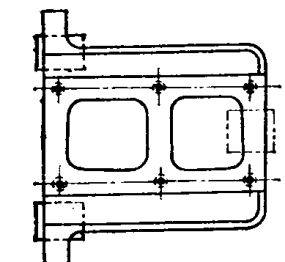
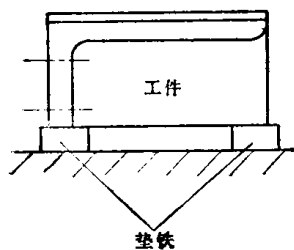


图50-2-7 用三点支承
适用刚性好的工件。为防止刮削时工件翻倒，可适当加木块垫实。

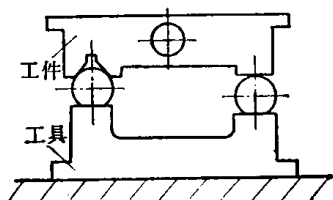


图50-2-8 用工具支承
用工件上已精加工的面作支承面。支承工具的精度应与工件支承面精度一致。

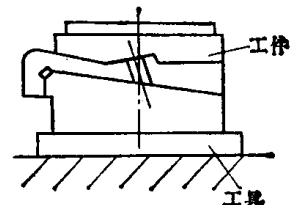


图50-2-9 用工件装配基面支承
工件具有精度较高的装配基面。可以用工具支承，也可将工件安装在装配面上。

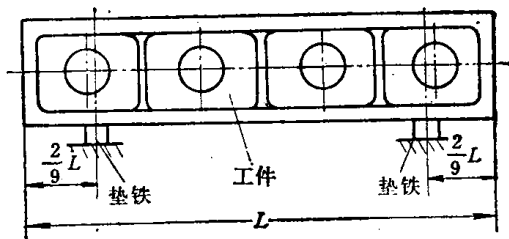


图50-2-10 用两点支承

对细长易变形的工件，应在距工件两端 $2/9L$ 处作支承。

大型工件，如机床床身导轨，刮削时的支承应尽可能与装配时的支承一致；也可根据其重心均匀分布支承垫铁。工件刚性较好，垫铁间距为800~1000mm，刚性较差或小型床身，间距为500mm左右。在刚性较差或局部负荷较大处，应适当增加辅助垫铁。全部支承垫铁应受力均匀，以保证工件处于自由状态。

2.1.4 平面刮削注意事项

1) 研点时，应使研具自由移动，不可在研具上施加压力。研具移动时伸出刮面的长度应小于研具长度的1/5。

2) 对面积大、刚性差的工件，研具重量应尽可能减轻，必要时将研具卸荷（图50·2-11）。

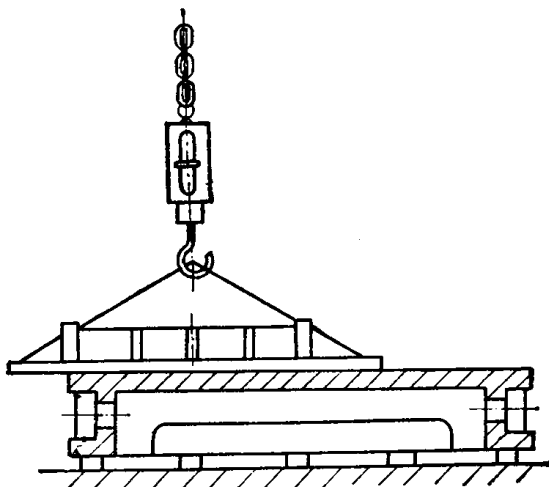


图50-2-11 研具的卸荷

3) 可根据刮削工件的需要和操作习惯选择相应型式的刮刀。刀头硬度为HRC58~62，磨成一定的几何形状，并保持刀刃的光洁和锋利。刮削硬度较高的工件，可用硬质合金刀头。

4) 刮面上有孔或螺孔时，应控制刮刀不要直

接用力在孔口上刮过，以免将孔口局部刮低，刮面上螺孔周围的研点应较硬。

5) 刮面上有狭窄边框时，应掌握刮刀的刮削方向与窄边所成的角度小于 30° ，以防将窄边刮低。这对于有密封要求的结合面，如静压导轨面等尤为重要。

6) 大型或精密工件的精度受温度的影响比较显著，要求刮削场所温度的变化要小而缓慢。

7) 刮削两相配平面时，必须先用研具刮准一面，然后才进行配刮，不可直接进行配刮。否则刮出来的结合面既不能互换，接触刚性也较差。

由于操作不当所造成的刮面缺陷见表50·2-10。

表50·2-10 刮面缺陷及产生原因

缺陷	特 征	产 生 原 因
凹坑	刮面局部研点稀少	粗刮时用力不均或多次刀迹重叠
滑边	刮面边缘研点少或出现锯齿形波纹	刮削时刮刀没有控制好，滑出刮面边缘
撕痕	刮面上有条状刮痕，较正常刀迹深	刀刃不光洁和不锋利，刀刃和刮面接触不好
振痕	刮面上出现有规则的波纹	多次同方向刮削，刀迹没有交叉
划道	刮面上划出深浅不一的直线	研点时夹有砂粒、铁屑等杂质，或显示剂不洁净

2·2 曲面刮削

2·2·1 内孔刮削

内孔刮削时用相配轴或工艺轴为研具，研点时最好使孔的中心线处于竖直位置，显示剂通常涂在轴面上。粗刮时可涂得厚些，研具转动的角度也可较大。细刮和精刮时应涂得薄而均匀，研具转角一般不应超过 60° ，以防出现假研点。刮削时，刀迹与孔中心线成 45° ，且每遍刀迹应垂直交叉，使研点清楚不成条状，并应控制刮刀和孔面的接触位置及刮削压力，以防产生撕痕。

滑动轴承孔的刮削，除应保证孔和轴颈的接触点外，还应校正前后轴承孔的不同轴度、轴颈与孔的配合间隙、孔与其端面的不垂直度等。刮削时应注意下列要求：

1) 孔面研点要清楚，不得有凹坑、撕痕、振痕等缺陷。

2) 孔面研点分布如无特殊要求，一般应两端稍硬。如有油槽，应将油槽两边研点刮软，以便建立油膜，但油槽两端的研点应分布均匀，以防漏油。一般刮削低速轴承，研点应清楚，刀迹可较深，以便存油。高速轴承，研点应细密而均匀，刀迹要浅，以便建立油膜。各种滑动轴承的研点要求参考表50·2-11。

表50·2-11 滑动轴承的研点要求

轴 承 直 径 D mm	机床或精密机械主轴轴承			锻压设备、通用机械的轴承		动力机械、冶金设备的轴承	
	高 精 度	精 密	普 通	重 要	一 般	重 要	一 般
	每 $25 \times 25 \text{mm}^2$ 内的研点数						
≤ 120	25	20	16	12	8	8	5
> 120		16	10	8	6	6	2

3) 为保证轴承孔的刮削精度，其外径与壳体孔应紧密配合，接触面积要求为：剖分式轴瓦大于50%；外锥内圆孔轴承大于65%；精密机床主轴轴承的要求可参见本篇第3章第1节。

4) 校正前后轴承孔不同轴度时，应以相配主轴或工艺轴与前后轴承孔同时研点后再刮削。如后

轴承为滚动轴承，应在后轴承孔内装上定心工艺套，再刮削前轴承。

5) 刮削与轴承孔有不垂直度要求的端面，应在前后轴承孔的接触精度和不同轴度均符合要求后再进行。研具见图50·2-12。

端面也可用平板研点后刮削，但必须用测量工

具才能保证端面与轴承孔中心线的不垂直度要求。

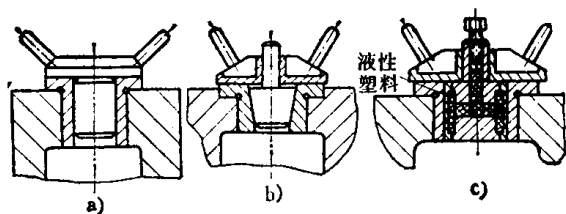


图50-2-12 轴承孔垂直端面的研具
a—轴承孔径尺寸固定 b—锥孔轴承
c—轴承孔径尺寸有较小的变化

2.2.2 成型面刮削

a. 提高齿面接触精度 刮削时以齿轮或蜗杆为配刮基准, 经配刮件啮合转动显示接触情况后, 将齿面上的凸点、接触区反复修刮, 使齿面接触区由中间向四周逐渐扩大, 直到符合规定的接触精度。传动副配刮可以在装配状况进行, 也可把传动副分别装在专用工具上进行。

b. 提高分度蜗轮分度精度 刮削前, 先将蜗轮轮齿依次编号, 测出各齿的齿距误差和齿距累积误差。经反复测量后即可确定齿距误差和齿距累积误差超差的齿号。校正齿距误差时, 应刮削误差正值较大的一齿面, 但应照顾左右相邻齿距误差都不得超差。校正齿距累积误差时, 应选取齿距累积误差负值最大的一个齿面为“零位齿”, 使其余各齿面都有刮削余量。实际上, 可能只需修刮几个超差的齿, 就能使分度蜗轮的齿距和齿距累积误差达到要求。如超差齿数较多, 可按齿面刮削余量的多少进行编组。先刮余量最大的一组, 当其误差接近第二组时, 可将一、二组合并成一组继续刮削。以此类推, 直到全部刮好为止。如蜗轮两侧均有精度要求, 应先测量和刮削一侧工作面, 合格后再刮削另一工作面。

用刮削方法提高分度蜗轮精度, 适用于模数较大、齿数较少的精密分度蜗轮。此法要求测量正确, 工作环境温度恒定, 操作技术熟练。

2.3 刮削精度补偿

刮削时应考虑机器总装后各种变化因素, 如温度、负荷、磨损等对精度的影响。合理确定刮削精度偏差及其方向, 以进行精度补偿。

2.3.1 补偿温度变化的影响

气温变化会使工件表面与其内部产生温差, 引起精度变化, 这对大型或精密工件尤为明显。例如, 机床床身导轨的刮削, 设床身为结构均匀的长方体, 当温差为 Δt ($^{\circ}\text{C}$) 时, 其导轨在垂直面内的不直度变化值 δ 为:

$$\delta = \frac{L^2}{8H} \Delta t \alpha \quad \text{mm}$$

式中 L ——床身长度 mm; H ——床身高度 mm; α ——线胀系数 $1/^{\circ}\text{C}$ 。

当气温升高时, 导轨在垂直面内凸起, 反之下凹。刮削时应根据气温变化规律控制其精度误差。

机器工作时产生热量, 也会引起精度变化。如立式车床、立式滚齿机回转工作台的V型圆环导轨, 工作时, 床身与工作热的热变形程度不同, 容易使导轨面“咬死”。刮削时应留适当间隙给予补偿(图50-2-13)。

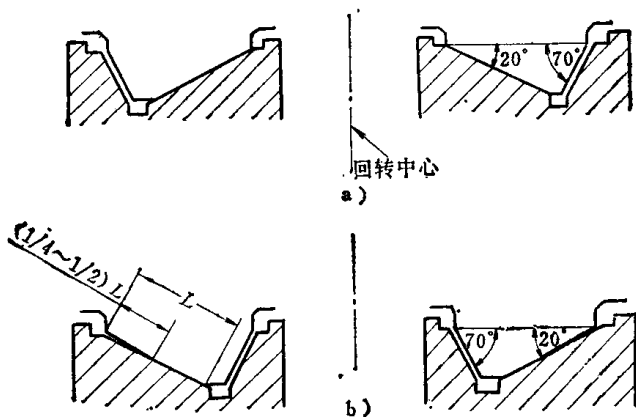


图50-2-13 V型圆导轨接触面的补偿

图a补偿间隙留在 70° 陡面处; 图b补偿间隙留在 20° 斜面的 $(1/4 \sim 1/2)L$ 处, 70° 陡面处的间隙是为使工作时两面的油膜厚度相等。

万能外圆磨床头架运转后产生的热量使其主轴中心向上偏移。如规定头架主轴中心与内圆磨具中心的不等高为 $\pm 0.02\text{mm}$, 刮削时应控制头架主轴中心比其低 $0 \sim 0.02\text{mm}$ 。

2.3.2 补偿局部负荷的影响

a. 采用配置 工件装配后局部承受较大的负荷, 该处的精度容易产生变化, 刮削时可采用配重法补偿(图50-2-14)。配重的大小和位置应与安装的部件一致。