

机械工人职业技能培训教材

高级

机修钳工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编



7

机械工业出版社

机械工人职业技能培训教材

高级机修钳工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编

blueboy

机械工业出版社

本书是根据原劳动部、机械工业部联合颁发的《职业技能鉴定规范》中的高级机修钳工内容编写的。主要内容有：精密量仪、精密平板平面度误差的测量与评定、精密导轨及修理、大型机床导轨的修理、精密组件及修理、机床液压系统的修理与故障排除、大型机床工件之间的联接、机床修理装配精度的检查、减少测量误差、精密机床修理、数控机床维修及机床改装。

图书在版编目 (CIP) 数据

高级机修钳工技术/机械工业职业技能鉴定指导中心编.
—北京:机械工业出版社,1999.11
机械工人职业技能培训教材
ISBN 7-111-07384-3

I. 高... II. 机... III. 机修钳工-技术培训-教材
IV. TG947

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 46639 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:朱 华 版式设计:张世琴 责任校对:李汝庚
封面设计:姚 毅 责任印制:路 琳
北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2001 年 6 月第 1 版第 3 次印刷
850mm×1168mm¹/₃₂·12.375 印张·324 千字
8501—12500 册
定价:21.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

机械工人职业技能培训教材与题库 编审委员会名单

(按姓氏笔画排列)

主任委员	邵奇惠			
副主任委员	史丽雯	李成云	苏泽民	陈瑞藻
	谷政协	张文利	郝广发	(常务)
委 员	于新民	田力飞	田永康	关连英
	刘亚琴	孙旭	李明全	李玲
	李超群	吴志清	张岚	张佩娟
	邵正元	杨国林	范申平	姜世勇
	赵惠敏	施斌	徐顺年	董无岸
技术顾问	杨溥泉			
本书主编	隋福海	吴全生	参编	李生宝 郭万春
				赵中文
本书主审	沈为兴			

前 言

这套教材及试题库是为了与原劳动部、机械工业部联合颁发的机械工业《职业技能鉴定规范》配套，为了提高广大机械工人的职业技能水平而编写的。

三百六十行，各行各业对从业人员都有自己特有的职业技能要求。从业人员必须熟练地掌握本行业、本岗位的职业技能，具备一定的包括职业技能在内的职业素质，才能胜任工作，把工作做好，为社会做出应有的贡献，实现自己的人生价值。

机械制造业是技术密集型的行业。这个行业对其职工职业素质的要求比较高。在科学技术迅速发展的今天，更是这样。机械行业职工队伍的一半以上是技术工人。他们是企业的主体，是振兴和发展我国机械工业极其重要的技术力量。技术工人队伍的素质如何，直接关系到行业、企业的生存和发展。在市场经济条件下，企业之间的竞争，归根结底是人才的竞争。优秀的技术工人是企业各类人才中重要的组成部分。企业必须有一支高素质的技术工人队伍，有一批技术过硬、技艺精湛的能工巧匠，才能保证产品质量，提高生产效率，降低物质消耗，使企业获得经济效益；才能支持企业不断推出新产品去占领市场，在激烈的市场竞争中立于不败之地。

机械行业历来高度重视技术工人的职业技能培训，重视工人培训教材等基础建设工作，并在几十年的实践中积累了丰富的经验。尤其是在“七五”和“八五”期间，先后组织编写出版了《机械工人技术理论培训教材》149种，《机械工人操作技能培训教材》85种，以及配套的习题集、试题库和各种辅助性教材共约700种，基本满足了机械行业工人职业培训的需要。上述各类教材以其行业针对性、实用性强，职业工种覆盖面广，层次齐备

和成龙配套等特点，受到全国机械行业工人培训、考核部门和广大机械工人的欢迎。

1994年以来，我国相继颁布了《劳动法》、《职业教育法》，逐步推行了职业技能鉴定和职业资格证书制度。我国的职业技能培训开始走上了法制化轨道。为适应新形势的要求，进一步提高机械行业技术工人队伍的素质，实现机械、汽车工业跨世纪的战略目标，我们在组织修改、修订《机械工人技术理论培训教材》，使其以新的面貌继续发挥在行业工人职业培训工作中的作用的同时，又组织编写了这套《机械工人职业技能培训教材》和《技能鉴定考核试题库》，共87种，以更好地满足行业和社会的需要。

《机械工人职业技能培训教材》是依据原机械工业部、劳动部联合颁发的机械工业《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》编写的，包括18个机械工业通用工种。各工种均按《职业技能鉴定规范》中初、中、高三级“知识要求”（主要是“专业知识”部分）和“技能要求”分三册编写，适合于不同等级工人职业培训、自学和参加鉴定考核使用；对多个工种有共同要求的“基本知识”如识图、制图知识等，另编写了公共教材，以利于单科培训和工人自学提高。试题库分别按工种和学科编写。

本套教材继续保持了行业针对性强和注重实用性的特点，采用了国家最新标准、法定计量单位和最新名词、术语；各工种教材则更加突出了理论和实践的结合，将“专业知识”和“操作技能”有机地融为一体，形成了本套教材的一个新的特色。

本套教材是由机械工业相对集中和发达的上海、天津、江苏、山东、四川、安徽、沈阳等地区机械行业管理部门和中国第一汽车集团公司等企业组织有关专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师编写的。在此，谨向为编写本套教材付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢！教材中难免存在不足和错误，诚恳希望专家和广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 精密量仪	1
第一节 声级计	1
第二节 测振仪	3
第三节 温度测量仪	7
第四节 经纬仪与平行光管	12
复习思考题	15
第二章 精密平板平面度误差的测量与评定	16
第一节 精密平板的技术要求	16
第二节 检验平板平面度误差的测量	22
第三节 检验平板平面度误差的评定	55
第四节 基面转换法	58
复习思考题	66
第三章 精密导轨及修理	68
第一节 滚动导轨	68
第二节 静压导轨	76
复习思考题	84
第四章 大型机床导轨的修理	85
第一节 大型机床地基基础及修理	85
第二节 大型机床直导轨的刮研及测量	88
第三节 大型机床环形导轨的刮研及测量	96
复习思考题	114
第五章 精密组件及修理	115
第一节 动静压混合轴承	115
第二节 滚珠丝杠螺母机构	129
第三节 分度蜗杆副	138
第四节 镗床主轴机构	150

复习思考题	158
第六章 机床液压系统的修理与故障排除	160
第一节 液压操纵箱、伺服阀、比例阀的维修	160
第二节 液压基本回路故障的排除	177
第三节 查找液压系统故障的方法	204
第四节 液压系统常见故障与排除	212
第五节 液压系统的清洗、安装与调试	225
复习思考题	227
第七章 大型机床工件之间的联接	229
第一节 双柱立式车床	229
第二节 龙门刨床	233
复习思考题	238
第八章 机床修理装配精度的检查	239
第一节 机床定位精度	239
第二节 机床重复定位精度	240
第三节 机床分度精度	243
第四节 机床传动链精度	249
复习思考题	254
第九章 减少测量误差	255
第一节 产生测量误差的原因	255
第二节 测量基准误差的消除	256
第三节 测量工具误差的消除	262
第四节 测量条件误差的消除	266
第五节 测量方法误差的消除	273
复习思考题	288
第十章 精密机床的修理	290
第一节 滚齿机	290
第二节 坐标镗床	311
复习思考题	319
第十一章 数控机床的维护与故障排除	320
第一节 数控机床的维护	320
第二节 数控车床机械故障的排除	322

Ⅷ

第三节 数控铣床机械故障的排除	336
第四节 数控加工中心机械故障的排除	339
复习思考题	349
第十二章 机床改装	350
第一节 概述	350
第二节 机床改装的基本思路及主要途径	357
复习思考题	384

blueboy

第一章 精密量仪

培训要求 了解各种量仪的分类、特点及原理。掌握各种量仪的选用，使用方法和注意事项。

第一节 声级计

声级计是用来测量噪声等级的仪器，它既可单独使用，又可与相应的仪器配套进行频谱分析、振动测量等。声级计测得的噪声是经仪器听感修正后的声压级。

一、声压级

振动产生的声波作用于物体上的压力称为声压。单位是 Pa。声压的大小是由声压级来表示的。其定义为

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

式中 L_p ——声压级单位是分贝 (dB)；

p ——声压 (Pa)；

p_0 ——参考声压 (Pa)。

由上式可见，声压每增大 10 倍，声压级仅增大 1 倍。这恰恰与人耳的响声特点相一致。这样，人耳能听到的声压级的范围是 0~120dB。0dB 称为参考声压级。120dB 称为最大声压级。

二、声压计的组成

声压计由传声器、放大器、衰减器、频率计权网络以及有效值指示表头等部分组成。

三、工作原理

声压信号经传声器转换为电压信号，通过放大器放大后，经计权网的处理，表头上可显示分贝值。声压计测得的噪声是经具有三种频率的计权网络处理后得到的。有三种声级即：A 声级、

B声级、C声级。因为A声级较接近人耳对声音的感觉，所以最常用。声级计的测量范围是40~120dB。

四、使用方法

声级计分快、慢两档。当噪声起伏大于4dB时用慢档，否则用快档。其读数为有效值。

例如：用ND10声级计（图1-1）测铣床噪声的使用过程如下：

（1）选用A声级（A、C声级是一个钮控制，不按下为A声级）。

（2）把声级计放在距铣床1m，高1.5m处。将传声器安装在声级计顶端。

（3）检查电源电压，先按一下电池按钮，再按一下通的按钮。若指针顺时针转到“电池检查”方框内，表示电压有效。否则，更换电池。

（4）测量时，选择钮从高往低依次选择。铣床噪声标准为84dB。所以先选90档。然后按一下“慢”和“通”钮。如表头指针未动，可再选80档，按“慢”、“通”钮，指针指到3，则铣床噪声为83dB。

五、使用注意事项

（1）一般应在距声源1m，高1.5m处安放仪器。若噪声大或设备危险，可取5~10m或更远处为测点。若机器很小，测点可选在距声源10~50cm处。

（2）记录时，一定标明测点、测量仪的型号和声源的工作状态。

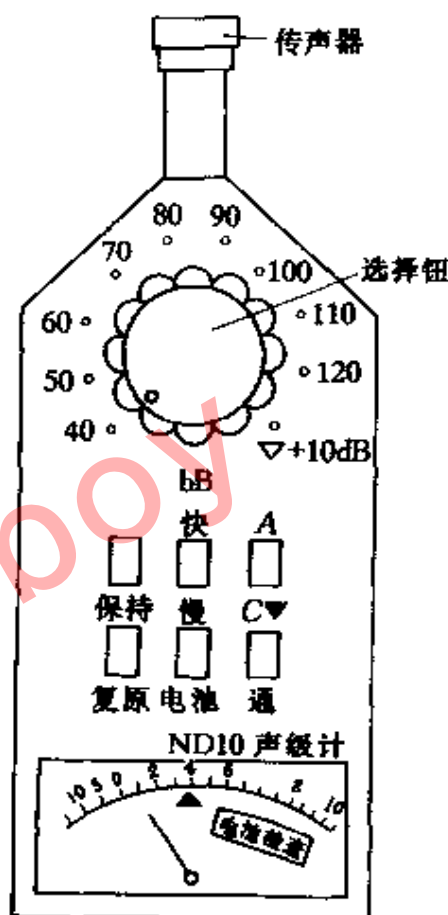


图 1-1 ND10 声级计

(3) 声的反射面在距声源 2~3m 以上。为避开反射面的影响,测点应远离反射面。此外,还要注意物理环境的影响。如电磁场、振动、温度、湿度及风向等。

第二节 测振仪

测振仪是用来测定振动幅度的仪器。它与速度传感器和加速度传感器联用,可测轴承振动;与位移传感器联用可测轴的振动。

一、旋转机械振动标准

评定旋转机械振动的方式有两种,即:用轴承振动或轴振动。而这两种振动的评定又各有其评定标准。

轴承振动评定标准有两种,即以振动位移双幅值来评定或以振动烈度来评定。

1. 以振动位移双幅值来评定 典型的通用旋转机械,如鼓风机、汽轮发电机等的评定已有部颁标准,是以振动位移双幅值表示的。其振幅的大小是按转速的高低进行规定的。转速低,选大振幅,转速高,选小振幅。这样可以避免高速旋转带来的危害。

2. 以振动烈度评定 振动烈度就是振动速度的有效值。

当轴心以圆周轨迹振动时,振动速度 (v) 等于圆周半径 (单幅值) r 乘上轴心角速度 (ω) 即

$$v = r\omega$$

式中 $\omega = 2\pi f = \frac{\pi n}{30}$;

n ——转速。

由于振动的波形为正弦波,所以振动速度的有效值即振动烈度为

$$v_l = \frac{\sqrt{2}v}{2}$$

因为

$$v = r\omega = \frac{1}{2} S\omega$$

所以

$$v_l = \frac{\sqrt{2}}{4} S\omega$$

式中 S ——双幅值 (mm)。

由上式可知, 振动烈度与线速度 v 无关, 而与角速度 ω 有关。可以反映出振动的能量。因此, 该标准较合理。

转速为 $600 \sim 1200 \text{r/min}$ 的旋转设备的振动烈度标准可分为四个品质段, 即: A 段 (优级), B 段 (良级), C 段 (有一定故障, 应检修), D 段 (停止运行段)。

v_f 的选取与设备规模有关 (表 1-1)。 v_f 选取值可随设备的规模增大而适当放大。此外, v_f 的选取还与支承类别有关。支承分为刚性支承和柔性支承。所谓刚性支承是指机械的主激振频率低于支承系统一阶固有频率的支承。余者为柔性支承其中固有频率是测得的, 而主激振频率就是转速频率。

表 1-1 振动烈度标准

振动烈度 v_f / (mm/s)	小型机械	中型机械	大型机械	
			刚性支承	柔性支承
0.45	A	A	A	A
0.71	B			
1.12		B	B	B
1.8				
2.8	C	C	C	
4.5	D			
7.1		D	D	D
11.2				
18.0	D	D	D	
28.0				
45.0	D	D	D	
71.0				

例 1 某旋转设备的工作转速为 1450r/min , 测得其支承系统固有频率为 20Hz 。判断其支承类别。

解 主激振频率 = $\frac{1450 \text{r/min}}{60 \text{s}} = 24 \text{Hz}$
 $24 \text{Hz} > 20 \text{Hz}$

所以该系统属柔性支承。

例2 某设备工作转速为 2400r/min，支承系统为柔性支承，达到 A 级， $v_{\text{tmin}} = 2.8\text{mm/s}$ ，求振动位移双幅值 S。

$$\text{解 } v_f = \frac{\sqrt{2}}{4} S\omega$$

$$\text{则 } S = \frac{4v_f}{\sqrt{2}\omega} = \frac{4v_{\text{tmin}}}{\sqrt{2} \frac{2400\pi}{30}} = \frac{4 \times 2.8\text{mm/s} \times 30}{\sqrt{2} \cdot 2400\pi} = 0.03125\text{mm}$$

二、工作原理

1. 与速度传感器、加速度传感器联用测轴承振动 传感器称为一次仪表，测振仪称为二次仪表。

(1) 与速度传感器联用测轴承振动。速度传感器又称拾振器。

磁电式速度传感器（图 1-2）是用铝架 4 把永久磁铁 2 固定在外壳 6 内。外壳与永久磁铁形成磁回路。工作线圈 7 在外壳和磁铁间的气隙的右边，阻尼环 3 在左边，它们通过心杆 5 联接起来，用两个弹簧片 1 和 8 支承在外壳上。

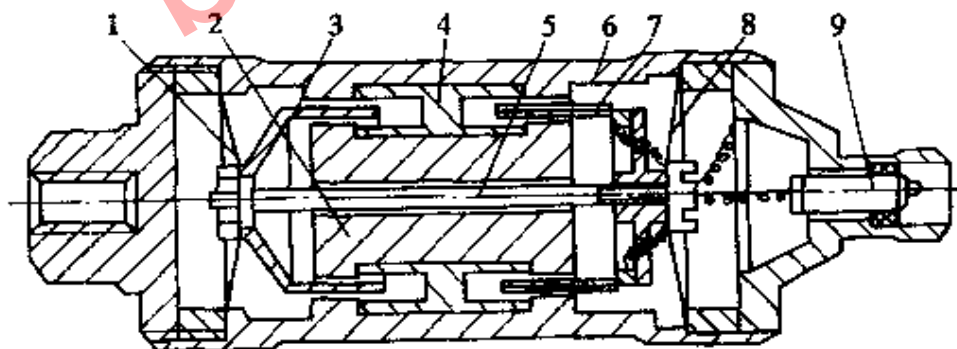


图 1-2 磁电式速度传感器

1—弹簧片 2—永久磁铁 3—阻尼环 4—铝架
5—心杆 6—外壳 7—工作线圈 8—弹簧片 9—接头

测量时，使传感器与轴承一起振动。由于弹簧片的作用，使线圈与外壳产生相对运动，从而使它在工作气隙中切割磁力线而

产生感应电动势。电动势的大小与切割速度成正比。电动势的信号由接头传给测振仪,经电路变换后,即可在测振仪面板上示出振动速度值。

(2) 与加速度传感器联用测轴承振动的加速度。

压电式加速度传感器(图 1-3)的压电晶体 3 装在质量块 2 和基座 4 之间,始终被弹簧 1 压紧。当传感器与轴承同振时,质量块 2 靠惯性作用在压电晶体上。压电效应在晶体表面产生电信号,该信号由输出接头送给测振仪,经电路放大和变化后,可得振动值。

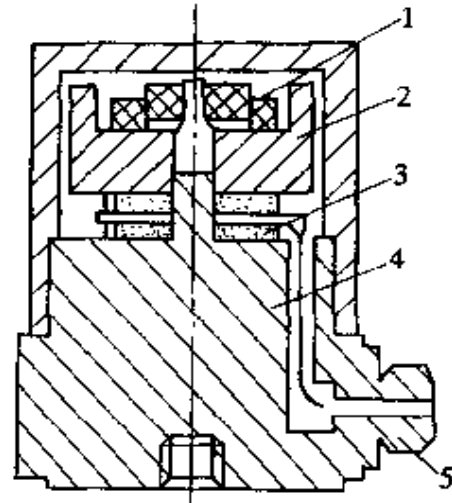


图 1-3 压电式加速度传感器
1—弹簧 2—质量块 3—压电晶体
4—基座 5—接头

2. 测量轴振动 利用位移传感器与测振仪联用来测量 涡流式位移传感器(图 1-4)的端部是一个电感线圈 1。测振仪输入的高频电流使线圈产生磁场,并在附近的轴表面 2 感应出涡电流(在轴的金属体内自成回路的电流)。线圈的电感值随之变化,引起线路的阻抗变化,输出电压就相应改变。测量时,被测轴的振动使传感器与轴之间的距离 δ 改变。而当被测轴的尺

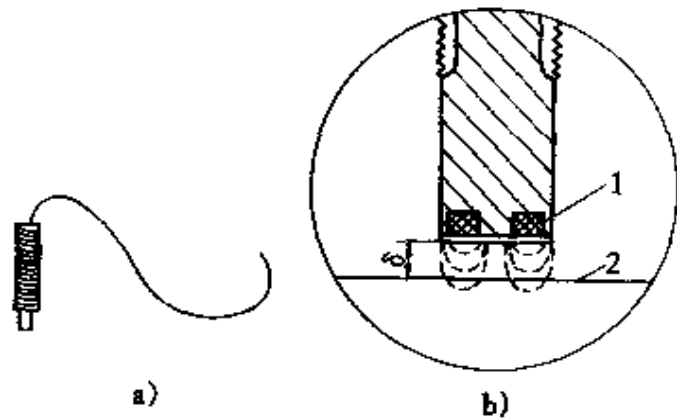


图 1-4 涡流式位移传感器
1—电感线圈 2—轴表面

寸、材料确定后,输出电压的变化只由 δ 而定。这样,轴的振动就以变化的电压形式输给测振仪。从而示出振动位移。

三、使用方法

1. 测量轴承振动

(1) 与速度传感器联用时，应把速度传感器放在轴承反应振动最直接、最灵敏的位置上。如测量垂直振动值时，应选在轴承宽度中间位置的正上方为测点。当测量水平振动时，应选轴承宽度中央的中分面为测点。测轴向振动值时，应选轴心线附近的端面为测点。这样安装后与测振仪联用进行测量。

(2) 与加速度传感器联用时，把加速度传感器用螺杆通过基座下的螺孔固定在轴承上；有时也用永久磁铁将传感器与轴承吸在一起。然后与测振仪联用进行测量。

2. 测量轴振动涡流式位移传感器测量轴振动时，测点在轴承的壳体上。测量轴向位移时，测点选在轴肩的两侧。但传感器与轴表面之间的距离通常为 $1\sim 1.5\text{mm}$ 。因为大了将超测量范围，小了易使传感器端部被碰坏。通过这样安装后，与测振仪联用，便可测量。

四、使用注意事项

(1) 要与速度传感器、加速度传感器、位移传感器等一次仪表联用，才能发挥其二次仪表的作用。

(2) 在与一次仪表联用时，一定要保证一次仪表的测点选择正确，否则将影响测量结果。

(3) 在与位移传感器联用时，轴的被测表面要有较高的几何精度、较小的表面粗糙度值和材料金相组织的均匀性。否则会产生机械或电气上的障碍，从而影响测量精度，甚至是无法实现测量。

第三节 温度测量仪

温度测量仪是用来监测温度的仪器。可对设备内部温度进行监测，如测循环水温；也可对表面温度进行监测，如轴承座外壁温度等。

一、分类及其工作原理

温度测量仪按接触与否可分为两大类，接触式温度测量仪和非接触式温度测量仪。

1. 接触式温度测量仪

(1) 工作原理 测温元件与被测物体必须接触可靠，通过传导和对流两种热传递方式实现热平衡，进而把该测量信息平稳输出（既可近距离输出，又可远距离输出）。

(2) 特点 使用较方便。但其精度受接触的程度控制。接触可靠，精度就高（表面测温时，可将感温元件嵌入或焊在被测物上）；而反应时间受传感器热容量控制，装置越大，反应越慢。

(3) 常用的接触式测温仪

1) 液体膨胀式温度计通常以水银和酒精作测温介质。根据介质随温度的变化而膨胀或收缩的原理工作。精度较高（0.5~2.5级），但易损。水银温度计测温范围 $-35^{\circ}\sim+350^{\circ}\text{C}$ 。而酒精等有机液体温度计测温最大范围可达 $-200^{\circ}\sim+200^{\circ}\text{C}$ 。此类温度计使用时，要避免温度的骤变。应注意避免断液、液中气泡和视差现象的发生。在精密测量时，要考虑其测量部分与露出部分的温差的影响。

2) 压力推动式温度计通常以液体、气体或低沸点液体的饱和蒸汽为测温介质。依据被封闭的介质受热后，体积膨胀或所受压力的变化来推动传动机构，实现温度值的输出。精度不高（1级、1.5级、2.5级），测温范围因介质而异。应注意的是，使用时要将温包全部没入被测介质中，以减少测温误差。小型压力推动式温度计，常用于内燃机和机械设备的冷却水、润滑油系统的测温。

3) 热电阻温度计它是用铂、铜、镍等金属导体或半导体制成的热敏电阻为测温介质。通过上述介质的电阻随温度的变化值，在测温回路的转换，来显示出被测的温度值。虽然金属热电阻的阻值随温度的变化呈较规则的直线性，而且重复使用时，一致性较好。但阻值变化与温度变化的同步性差。所以不能测点温

和进行动态测试。常制成部位监测计，如轴承测温计。其传感器输出为 $1\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ （灵敏度）。而依据半导体热电阻元件对热的敏感性，可将它制成小型、灵敏度高、可测点温的测温仪。但它的缺点是电阻的阻值随温度的变化是非线性的。而且重复使用的一致性较差。其传感器输出为 $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 。

4) 热电偶温度计是以铜/康铜，镍铬合金/镍铬合金等热电偶为测温介质的。通过热电偶的两种导体接触部位的温度差产生的热电势进行测温。电动势的大小与温度成正比。可用普通的电压表、电位差计测出电动势。灵敏度为 $40\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 。用于测量高温或应用于温度骤变的场合。

5) 示温片、示温漆、示温涂料是以视觉式测温材料制成的示温片、涂料为测温介质。粘贴或涂抹在被测物表面的上述介质，随物体表面温度的变化而发生变色，依据变色程度，便可知被测物表面温度。这种方法用于低精度的测量，也用于测定外形复杂或运动的物体的表面温度。这种测温方式较经济、便捷。示温片和示温涂料又分可逆和不可逆两种。不可逆示温片的示温范围在 $30\sim 600^{\circ}\text{C}$ ；可逆示温片示温范围在 $40\sim 70^{\circ}\text{C}$ ，误差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ；而不可逆示温涂料的示温范围可达 $40\sim 1350^{\circ}\text{C}$ ，误差是 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。示温片可贴于晶体管、变压器、电机、电缆上进行示温。为了进行温升比较，可在不同位置贴多枚。可逆性的示温片可对电器、机械设备作经常性测温。涂抹式示温材料适用于大而积、表面凹凸不平或形状复杂对象的示温。如交换器、锅炉、内燃机等。

2. 非接触式测温仪 这种测温仪是通过接收热辐射的能量来实现测温的。测温元器件与被测物不接触，故其温度可大大低于被测介质的温度。而且其动态特性较好。如可测运动、小目标、热容量小、温度变化快的对象表面温度及温度场的温度分布。不足之处是受物体的辐射率、环境状况的影响较大，故精度不高。根据测取温度的不同，辐射测温仪可分为亮度测温仪和比色测温仪两大类。亮度测温仪测取的是亮温；比色测温仪测取的是色温。

常用的非接触式测温仪有：

(1) 光学高温计 它属亮度测温仪，用加热的灯丝作测温元件。测温范围 $700\sim 3200^{\circ}\text{C}$ 。它利用物体表面颜色同仪器内加热的灯丝作亮度对比来测量温度，误差小于 2%。注意，仪器物镜与目标距离不得小于 700mm。只有在灯丝仅现下部时，仪表读数才是正确的。它适用于被测温度高于热电偶所测范围及热电偶难以装置的场所。

(2) 全辐射温度计 它属亮度测温仪，测温元件为热电元件或硫化铅元件。测温范围 $40\sim 4000^{\circ}\text{C}$ 。它是通过上述测温元件来测量发热物体表面温度。一般应在 $10\sim 80^{\circ}\text{C}$ 下固定使用。若在 80°C 以上的环境下，要进行水冷。而在空气中杂质较多的环境下，要进行通风。

(3) 比色测温仪 又称颜色高温计，包括双色测温仪和多色测温仪等。它依据辐射功率随光谱波长的变化规律来测量的，该温度为色温。它受发射率影响较小，还能克服恶劣环境的影响。其中应用较广的是双色测温仪。它是由两个窄波段处的目标辐射率产生的探测器信号，通过电路系统的比较处理，而实现测温的。

(4) 红外测温仪 其工作原理是被测物体发出的红外线，经透镜聚集后，射在红外探测器上而产生一个正比于辐射能量的电信号，该信号经放大、处理、变换而示温。它的优点是体积小、重量轻、携带方便、灵敏度高、响应快、操作简单。适用于现场热态监测和红外诊断。

二、主要技术指标和选用方式

1. 主要技术指标

(1) 精度 就是对国际通用温度标准值的不确定度或误差。也称作允许误差。它的三种表示方法及其运算公式如下

$$\text{绝对误差} = \text{实测值} - \text{标准值} \quad (1-1)$$

$$\text{相对误差} = (\text{绝对误差} / \text{实测值}) \times 100\% \quad (1-2)$$

$$\text{引用误差} = (\text{绝对误差} / \text{量程上限值}) \times 100\% \quad (1-3)$$

例如一测温仪的测温范围是 $800 \sim 1400^{\circ}\text{C}$

1) 若绝对误差 = $\pm 14^{\circ}\text{C}$

则 $-14^{\circ}\text{C} \leq \text{测量值误差} \leq 14^{\circ}\text{C}$

2) 若相对误差 = $\pm 1\%$ 测量值 (实测值) = 800°C

则根据式 1-2 得

$$\pm 1\% = (\text{绝对误差} / 800^{\circ}\text{C}) \times 100\%$$

$$\text{绝对误差} = 800^{\circ}\text{C} \times (\pm 1\%) = \pm 8^{\circ}\text{C}$$

即 $-8^{\circ}\text{C} \leq \text{测量值误差} \leq 8^{\circ}\text{C}$

3) 若引用误差 = $\pm 1\%$ 且量程上限值 = 1400°C

则根据式 1-3 得

$$\pm 1\% = (\text{绝对误差} / 1400^{\circ}\text{C}) \times 100\%$$

$$\text{绝对误差} = 1400^{\circ}\text{C} \times (\pm 1\%) = \pm 14^{\circ}\text{C}$$

即 $-14^{\circ}\text{C} \leq \text{测量值误差} \leq 14^{\circ}\text{C}$

(2) 稳定性 就是一定时间间隔内其示值的最大可能变化值。也称复现性。表示测温仪示值的可靠程度。稳定性分为短期 (时间间隔 24h, 一月等), 长期 (时间间隔半年、一年等)。

(3) 温度分辨率 表示其辨别被测温度变化的能力。它与测温仪的温度灵敏度、噪声电压和显示机构的误差有关。当了解被测温度的变化比了解其真实温度更重要时, 必须知道温度分辨率。

(4) 响应时间 是指被测温度从室温达到测温范围上限温度时, 统一模拟信号输出的时间。也可以是测温示值达到稳定值的某一百分数时, 所需的时间。如 1s (63%) 即达到稳定值的 63% 需 1s 的时间。而显示机构存在的响应时间的取舍, 视具体情况定。

(5) 距离系数 是指测温仪探头到被测目标的距离和垂直于探头光轴方向的投影圆面积的最小允许直径之比, 或者用视场表示。即探头中心对被测目标最小允许投影直径的张角。

2. 测温仪表的选用

(1) 接触式与非接触式测温方法的比较

1) 接触式测温要求有良好的热接触,且接触时,不破坏被测温度场;而非接触式测温要求知道物体的发射率且检测器要充分吸收物体的辐射能。

2) 接触式测温易破坏被测温度场,故小于限制值的物体不能测温,运动物体不能测温,因为响应慢不能进行瞬时测温。另外,检测器数随测量范围变宽而增多,而且也不能同时测量多个物体。而接触式测温的这些缺点,恰恰是非接触式测温极易实现的。

3) 接触式测温可测物体内部温度,而非接触式测温却无法实现测量。接触式测量过程简单,而非接触式测温过程要求严格。

(2) 选用程序 根据上述接触式测温仪和非接触式测温仪的比较,结合作业条件选择出是采用接触式的还是非接触式的,再根据测温范围、精度等级、分度值范围及主要技术指标来选择具体规格和型号。

第四节 经纬仪与平行光管

经纬仪常与平行光管组成一个光学测量系统。对坐标镗床的水平转台、万能转台等回转工作台的分度精度进行测量。平行光管的作用是设定一个测量的参考系。

一、分类

我国用于工程测量的经纬仪,用汉语拼音的第一个字母J表示经纬仪,用下角标的数字表示该级仪器所能达到的精度指标。国产经纬仪的系列见表1-2。

表 1-2 经纬仪系列

型 号	主 要 用 途	主要精度指标 (一测回水平方向中误差)
J0.7	精密工程测量	$\pm 0.8''$
J1	精密工程测量	$\pm 1''$
J2	大型机械的安装计算	$\pm 2''$

二、工作原理

经纬仪前方的平行光管提供的固定参考目标，经物镜和调焦透镜成像，落在角度分划板的分划面上。在角度分划板的后面设置了倒像镜，它将分划面上原本倒位的实像正过来。这个正过来的实像，再通过目镜放大，就成了目标的放大的虚像。这就是经纬仪与平行光管组成的光学系统正常工作的原理。

三、读数方法

经纬仪所示的角度数是上、下显示窗读数的和构成的（图 1-5）。上显示窗只显示“度”的整数值部分和“分”的十位数值；下显示窗显示的是“分”的个位数值和“秒”的数值。如图 1-5 上窗的“度”的读数是 235° ，且符号“∩”落在 4 上。（∩落在 0、1、2、3、4、5 的某个数字上，则“分”的十位数就是其中的一个数。若落在 0 上证明“分”的数值只有个位数）。则上窗的全部读数为 $235^\circ 40'$ 。下窗上面所示数字“9”为分的个位数值。“秒”的数值从下面的小格中读出。如果指示标记落在第 16 格和 17 格中间，则秒的值为 $16.5''$ 。下窗总读数为 $9'16.5''$ 。这样读数就是：

$$235^\circ 40' + 9'16.5'' = 235^\circ 49'16.5''$$

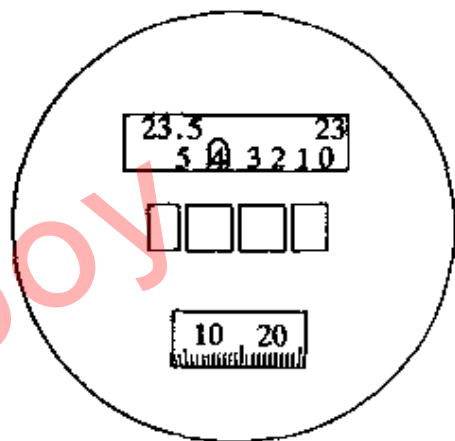


图 1-5 读数视场

四、检查精密转台误差

1. 调转台自身水平 把水平仪放在转台中央，每次调整都使转台转 360° 。直至水平仪的所示误差小于 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$ 为止。

2. 将经纬仪固定在转台的中央 经纬仪与转台的回转中心不重合度小于 0.01mm （图 1-6）。

3. 调水平 通过调整螺钉，调经纬仪自身水平。同时，将其镜管调成水平。

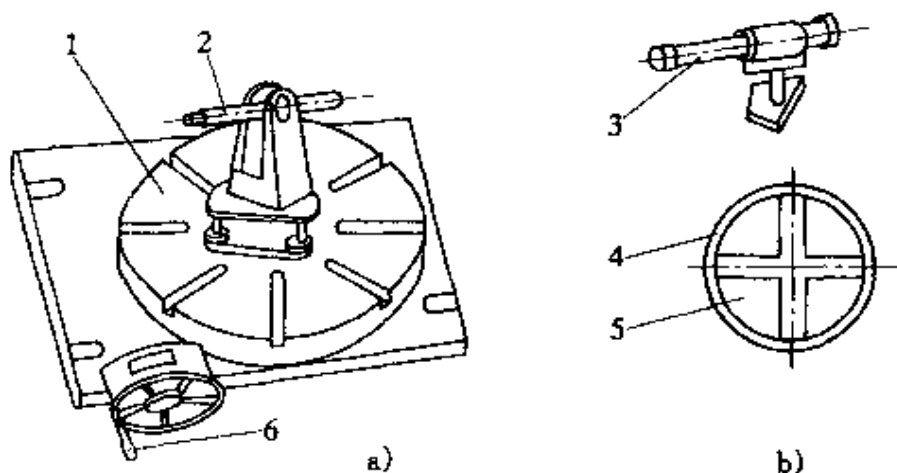


图 1-6 用经纬仪检查精密转台分度误差

1—被检查的精密转台 2—经纬仪 3—平行光管
4—平行光管十字架 5—经纬仪目镜 6—手轮

4. 调零位 将刻度盘和游标调至零位。

5. 调整平行光管 将平行光管放在距经纬仪 3m 处左右。接通平行光管灯光电源。以调整好的经纬仪为基准，调整平行光管，使其光轴与经纬仪望远镜管光轴同轴。把经纬仪目镜调到能看清分划板影像的程度。同时应在望远镜的分划板上可以见到平行光管中的十字线。并用微动手轮调整望远镜管，使平行光管十字线对准分划板。

6. 测量 测量时，使转台顺时针或逆时针等角度转动。以平行光管为参考目标。观察望远镜管，调整照准部件微动手轮，使分划板和十字线重新对准。这样就可读数了。例如，每隔 5° 进行测量，则顺时针测量时应按 0° 、 5° 、 10° …… 350° 、 355° 、 0° ，顺序测量。注意，转一周后，转台应回到或接近零位。否则说明测量误差大，应重新检查。

7. 求分度误差 检查 2~3 次。认真记录各次测得值。求正、反时针测量中各分度点的读数平均值。从中减去起始读数的平均值所得的差，即为各测点的误差值。其中绝对值最大的正负值之差，就是最大分度误差。

复习思考题

1. 举例说明声级计的使用方法。
2. 以测振仪与速度传感器联用测轴承振动为例，说明其工作原理。
3. 接触式测温仪有哪几种？非接触式测温仪有哪几种
4. 经纬仪与平行光管组成的光学系统的工作原理。

blueboy

第二章 精密平板平面度误差的测量与评定

培训要求 了解平板的分类和功用，掌握平板平面度误差的测量方法，能灵活运用平板平面度误差的评定方法和基本转换法。

第一节 精密平板的技术要求

精密平板按用途可分为检验平板和研磨平板两种。检验平板是理想平面的模拟体，通常把它作为测量的基准。研磨平板是超精密加工的工具。一方面通过在它表面进行干研磨（嵌砂）或湿研磨（敷砂），实现对工件锋利切削；另一方面，以它为基准，获得与之同精度的平面。

一、检验平板

1. 分类 检验平板的永久性，决定了它要耐磨损；高精密度决定了它要极不易变形；面可修缮性又决定了它的硬度、密度要均匀。而这些恰恰是对材质的要求。因此检验平板是按材质进行分类的。它分为：铸铁平板和岩石平板。

(1) 铸铁平板 由于铸铁本身是极其稳定的一种材料。因此选它作平板材料。铸铁平板材料的要求是：

1) 型号：优质细晶粒的灰口铸铁或合金铸铁。

2) 技术要求：铸件无砂眼、气孔、裂纹、夹渣及缩松等缺陷。直径小于 15mm 的缺陷，允许用相似硬度的同种材料填充。

3) 硬度 硬度为 180~220HBS。

4) 热处理 应力是使平板变形的根本原因。因此在制造过程中，必须消除平板的应力。为此有两种方法：一是天然时效；二是热处理。由于天然时效要用几年的时间，而且不够可靠。所以，不宜采用。利用热处理方法时，常用的时效处理的要求是：

保温时间 25h, 以便使残余应力即一次应力充分释放; 降温时间应多于 100h, 以便消除冷却温差较大产生的二次应力。

(2) 岩石平板 它虽不具备铸铁平板的易修复, 可着色检验等优点。又有检测物在其上相对运动不顺畅的缺点。但由于它的天然时效长带来的材质稳定、不变形以及耐酸, 耐碱, 耐腐蚀, 抗磁, 不生锈, 线膨胀系数小, 受碰及划伤后只产生凹坑而不影响测量精度的天然优势, 使它的应用越来越普遍。

对岩石平板材料的要求:

1) 型号: 细晶粒, 结构致密的辉长岩、辉绿岩及花岗岩等。

2) 矿物成分及物理性能: 黑云母的质量分数小于 5%; 弹性模量大于 $5.88 \times 10^8 \text{Pa}$; 肖氏硬度大于 70HS; 吸水率小于 0.15%。

3) 技术要求: 颜色一致, 无有害的纹理, 无裂纹。

2. 尺寸系列与精度等级 我国平板工作面尺寸系列采用 R5 优先数系 (公比 1.6)。为了解决 R5 数系矩形平板规格 1600mm × 1000mm 和 2500mm × 1600mm 之间面相差 2.5 倍之大的问题, 有些国家, 如英国、俄罗斯、日本及德国等国都在其间插入了 2000mm × 1000mm 这个属于 R10 优先数系 (公比 1.25) 的规格。

我国标准规定, 平板的精度等级划分为六级: 000、00、0、1、2、3 级, 其中 000—2 级为检验平板, 3 级为划线平板。000 级平板一般制成正方形或圆形。

平板的精度等级是按平面度误差的公差范围划分的。计算平面度公差 T 的公式为

$$T = K \left(1 + \frac{d}{1000} \right) \mu\text{m}$$

式中 d ——工作面对角线长度 (mm);

K ——系数, 其数值如表 2-1 所示。

平板尺寸系列和平面度公差值如表 2-2 所示。

各国平板的精度等级和平面度公差计算公式如表 2-3 所示。

我国标准没有把大于 1000mm 的平板列入 000 级的指标。这主要是因为受到检测手段的限制。

表 2-1 不同精度等级平板的 K 值

精度等级	000	00	0	1	2	3
系数 K	1	2	4	8	16	40

表 2-2 平板尺寸系列和平面度公差 (我国平板标准草案)

工作面尺寸 /mm	对角线长度 /mm	平 面 度 公 差/ μm					
		000 级	00 级	0 级	1 级	2 级	3 级
160×100	189	1.5	2.5	5.0	10	19	—
160×160	226	1.5	2.5	5.0	10	20	—
250×160	297	1.5	3.0	5.5	11	21	—
250×250	353	1.5	3.0	5.5	11	22	—
400×250	472	1.5	3.0	6.0	12	24	—
400×400	566	2.0	3.5	6.5	13	25	—
630×400	746	2.0	3.5	7.0	14	28	70
630×630	891	2.0	4.0	8.0	16	30	75
1000×630	1182	2.5	4.5	9.0	18	35	87
1000×1000	1414	2.5	5.0	10.0	20	39	96
1600×1000	1887	—	6.0	12.0	23	46	115
1600×1600	2262	—	6.5	13.0	26	52	130
2500×1600	2968	—	8.0	16.0	32	64	158
4000×2500	4717	—	11.5	23.0	46	92	228
局部直线度检具 示值允许变动量		2	4	8	16	32	80

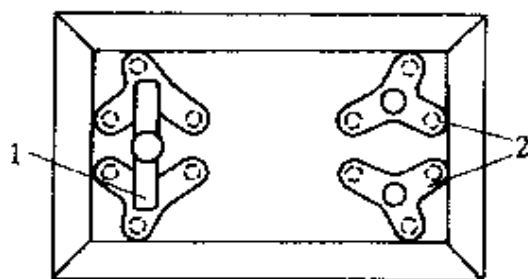
(1) 采用平衡杠杆来支承, 另一端用两个固定单支承。

表 2-3 各国平板的精度等级和平面度公差计算公式

国别	标准号	精度等级和平面度公差计算公式/ μm					
		AA	A	B			
美国	GGGP-463C 1973	$\left(1 + \frac{1.6d^2}{10^6}\right)$	$2\left(1 + \frac{1.6d^2}{10^6}\right)$	$4\left(1 + \frac{1.6d^2}{10^6}\right)$	—	—	—
英国	B817 1983	—	0	1	2	3	—
		—	$2.5\left(1 + \frac{d}{1000}\right)$	$5\left(1 + \frac{d}{1000}\right)$	$10\left(1 + \frac{d}{1000}\right)$	$20\left(1 + \frac{d}{1000}\right)$	—
法国	E11-101 1977	000	00	0	I	II	III
		$1.25\left(1 + \frac{a}{1000}\right)$	$2.5\left(1 + \frac{a}{1000}\right)$	$5\left(1 + \frac{a}{1000}\right)$	$10\left(1 + \frac{a}{1000}\right)$	$20\left(1 + \frac{a}{1000}\right)$	$40\left(1 + \frac{a}{1000}\right)$
日本	JISB7513 1978	—	0	1	2	—	—
		—	$\frac{0.5d}{100}$	$\frac{d}{100}$	$\frac{2d}{100}$	—	—
德国	DIN876 1972	—	00	0	1	2	3
		—	$2 + \frac{a}{500}$	$4 + \frac{a}{250}$	$10 + \frac{a}{100}$	$20 + \frac{a}{50}$	$40 + \frac{a}{25}$
原苏联	ГОСТ10905 1975	—	00	0	1	2	3
		—	$2\left(1 + \frac{a}{500}\right)$	$3.2\left(1 + \frac{a}{500}\right)$	$5\left(1 + \frac{a}{500}\right)$	$12\left(1 + \frac{a}{500}\right)$	$20\left(1 + \frac{a}{500}\right)$
中国	标准草案 1984	000	00	0	1	2	3
		$\left(1 + \frac{d}{1000}\right)$	$2\left(1 + \frac{d}{1000}\right)$	$4\left(1 + \frac{d}{1000}\right)$	$8\left(1 + \frac{d}{1000}\right)$	$16\left(1 + \frac{d}{1000}\right)$	$40\left(1 + \frac{d}{1000}\right)$

注: a 为平板工作面长边长度 (mm), d 为平板工作面面对角线长度 (mm)。

(2) 对于大型平板则应采取如图 2-1 所示的三爪支承。这样就可使支承自动调整受力点。由于受力点有 12 个，有效防止了弯曲变形。总体上看它仍是三点支承。工作台面距地面以 850mm 左右为宜。



平板安装水平误差的测量，将在平板平面度误差测量时叙述。

图 2-1 用三爪支承头和平衡杠杆支承平板

1—平衡杠杆

2—可微量摆动的三爪支承头 (4 个)

二、研磨平板

1. 分类 研磨平板分为开槽铸铁研磨平板和嵌砂铸铁研磨平板。

(1) 开槽铸铁研磨平板 该种平板用于湿研磨。为了刮去多余的研磨剂，使工件与平板接触均匀，提高加工工件的平面度要求，使研磨产生的热量易散去。该种平板工作面上开有十字相交的方形槽或 $60^\circ V$ 形槽，如图 2-2 所示。这种平板也由此得名，它适用于粗加工。工件表面粗糙度可达 $R_a 0.1 \mu\text{m}$ 。

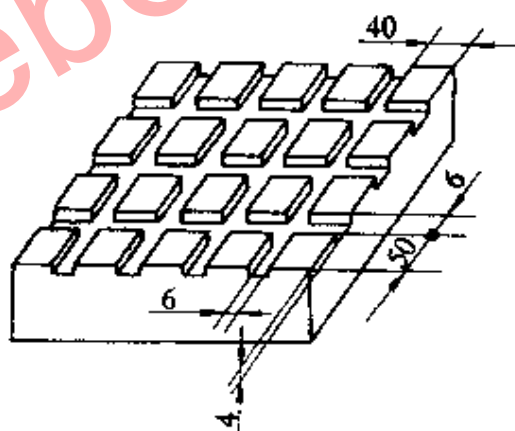


图 2-2 开槽铸铁研磨平板

(2) 嵌砂铸铁研磨平板 顾名思义，它是干研磨用的。它的研磨剂就是表面压层中的金刚砂，它适用于精研加工。工件表面粗糙度值可达 $R_a 0.025 \mu\text{m}$ ，最高可达 $R_a 0.010 \mu\text{m}$ 。它分为长方形 ($100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 或 $200\text{mm} \times 300\text{mm}$)；正方形 ($200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 或 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$)；圆形 ($\phi 200\text{mm} \sim \phi 500\text{mm}$)。

1) 研磨平板的材质要求：

① 能加工多种材料的工件。

- ② 适应于不同加工性质的研磨，具有良好的嵌砂性能
- ③ 具有良好的耐磨性。
- ④ 热处理简单，质量易控制。
- ⑤ 有良好的加工性能，便于制造、修理。

2) 常用的研具材料有铸铁、低碳钢、铜、巴氏合金、铅及玻璃等，而最适合研磨平板材质要求的是铸铁，但不是任何普通铸铁都可用的。在铸造工艺上要有如下要求：选择适当的熔炉吨位，炉料品级，加入元素，铁水温度。选用铁水中间段，适当的冷却时间和凝固条件。还要在炉外进行磷铜处理。研磨平板的适应化学成分和金相组织如表 2-4、表 2-5 所示。

表 2-4 优质研磨平板的化学成分

平板编号	$w_C\%$	$w_S\%$	$w_{Mn}\%$	$w_P\%$	$w_S\%$
I	3.32	2.62	0.54	0.353	0.111
II	3.88	2.12	0.66	0.25	0.09

表 2-5 优质研磨平板的金相组织

项 目		平 板 编 号	
		I	II
石 墨 状 况	形状分布	中细片及粗片，团状较多，中等旋涡状，呈不明显花瓣状分布	同左
	片 长 μm	大部分 125~250 少 量 250~500	同左
	质量分数 (%)	8~12	同左
基 体	基体组织	珠光体为中等片及薄细片，少量粗片，较少铁素体（分散小块），磷共晶呈分散分布，单个最大面积为 2000 ~ 10000 μm^2	珠光体为中等细片及薄细片，部分粗片及索氏体状珠光体，铁素体沿石墨分布，磷共晶状况同左
	珠光体质量分数 (%)	≥ 98	≥ 90
维 氏 硬 度		187HV	156HV

2. 嵌砂研磨平板的平面度要求 首先从研磨方法上看, 操作者通常把力不均匀地用在工件的边缘上, 而且手的热量传到工件的上表面, 使其边缘向下变形, 这两种情况都使工件的边缘被研掉较多的金属量。其次, 从研磨平板自身看, 它的中间部位使用机会比边缘多, 因而磨损较快, 影响了平板的使用寿命。

综上所述, 在平板的加工过程中 (三块相互交替研磨), 应把工作面加工成中凸的。这样既可提高工件的研磨精度, 又可延长平板的使用寿命。以 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 研磨平板为例, 其中凸量约为 $2 \sim 3\mu\text{m}$ 。

3. 嵌砂研磨平板的使用要求 作为一种超精密加工的切削工具, 研磨平板有如下使用性能的要求:

(1) 对表面粗糙度值的要求 量块在其表面研磨后, 表面粗糙度值应达到 $R_a 0.025\mu\text{m}$ 。

(2) 对切削能力的要求 量块在平板上研磨 40m 的行程时, 应切削掉 $7\mu\text{m}$ 左右为宜。

(3) 对使用寿命的要求 量块在平板的同一部位上往复研磨, 直到在 16m 行程时, 应切削 $0.5\mu\text{m}$ 时, 量块磨掉量应为 $4\mu\text{m}$ 左右。

4. 研磨平板的硬度要求 粗研磨平板的硬度以 $110 \sim 140\text{HBS}$ 为宜。因为这个硬度的材质可嵌入粒度较大的金刚砂。有利于大力切削。面精研磨平板硬度应为 $140 \sim 180\text{HBS}$ 。

硬度是由材料的金相组织决定的。珠光体含量多, 硬度就高。而碳的增加会使珠光体成分减少, 从而降低平板硬度。在铁水中加入适量的磷铜 (质量分数为 $0.5\% \sim 1.0\%$), 有利于获得以珠光体为基的组织, 从而使平板硬度不致于下降。

第二节 检验平板平面度误差的测量

检验平板平面度误差的测量, 应在如下条件下进行。

- 1) 平板不受负荷。
- 2) 安放或安装稳妥。

3) 环境要避风、避热、清洁。

4) 平板与测量仪必须与环境达到温度平衡，禁止温度变化。

平面度误差是检验平板的主要精度指标。其测量方法很多，本章仅介绍七种方法：比较测量法，节距测量法，水平面测量法，平尺测量法，跨步仪测量法，专用表桥测量法，液体联通器测量法。

一、比较测量法

比较测量法就是以面积更大、精度更高的平板为基准。通过三个千斤顶在基准平板上支承被测平板，利用其调平被测平板后，用千分表作比较，实现测量的方法。其优点是简捷、直观、适用于现场。不足之处是，只适用于小型平板。

1. 调平被测平板的方式

(1) 按对角线调平

1) 要求：将被测平板的两条对角线均调到平行于基准平板。

2) 优点：因为结果唯一，且接近最小条件，所以通常可直接作为评定平面度误差的依据。

3) 缺点：因为调平一根对角线后，再调另一条，会引起调平一根的变化。所以经验不足者调平困难。

(2) 按三角点调平

1) 要求：使任意三个角点对基准平板等高。

2) 优点：因为调平两点后，再调第三点时，前两个角点基本不变，所以易调平。

3) 缺点：由于四个角点任取三个有四种取法，所以测量结果也有四个。

(3) 按水平面调平

1) 要求：只要将被测平板中央纵横放置的两个水平仪的气泡都调到居中，就可以了。因为基准平板可视为“水平面”。

2) 优点：调平更方便。

3) 缺点：测量结果是无规则的。

2. 操作要点

(1) 测量前, 要对基准平板进行必要的校验。只有校验合格后, 才能进行下序操作。

(2) 三个支承点自身要灵活、可靠。三个支承的放置应使被测平板处于居中位置, 且挠度最小 (第一节已介绍)。

(3) 具体调平时, 三角点调平法和水平面调平法较简单。这里着重介绍一下对角线调平法的要领。

1) 首先, 可用水平调整法进行粗调。

2) 然后调整 A、C 等高, 如图 2-3 所示。

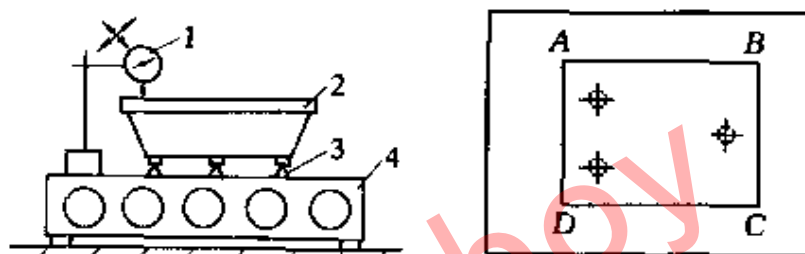


图 2-3 比较测量法

1—千分表 2—被测平板 3—千斤顶 4—基准平板

3) 再利用三角点法调整 B、D 与 A、C 等高。在这期间要保证 A、C 始终等高。

4) 把握住以 AC 为轴, 调 B、D 等高的原则, 这样就会使调平有条不紊地进行。

3. 操作步骤

(1) 选择基准平板。

(2) 把三个千斤顶, 按第一节介绍的分布形式放置在基准平板的居中位置, 以便使被测平板的重心和基准平板的重心基本重合, 且挠度最小。

(3) 将被测平板放在三个千斤顶上。

(4) 把两块水平仪纵横放置在被测平板上进行粗调, 至水平, 如图 2-4 所示 (若用水平法到此结束)。

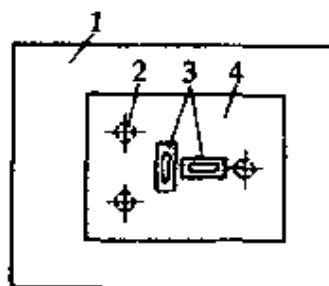


图 2-4 按水平面调平被测平板

1—基准平板
2—千斤顶 (3个)
3—水平仪 (2个)
4—被测平板

(5) 用千分表调两对角点等高。

(6) 调第三个角点与前两个角点等高（若用三角点法，到此结束）。

(7) 调整第四个角点与前三个角点等高。此时，通常会破坏前面的调整结果。但必须坚持前面操作要点中介绍的以一个对角线为轴，调另两个角点等高的原则。

(8) 调平四角点后，就可进行平面度误差评定了。

例 1 以精密镗床工作台下定位面为基准，用对角线调平法评定其上工作面的平面度误差。

操作步骤如下：

1) 选择一个 0 级 $2000\text{mm} \times 2000\text{mm}$ 的平板做基准平板。

2) 按第一节介绍的分布形式，将三个螺旋千斤顶放在基准平板上。

3) 用天车将精密镗床的工作台轻轻而准确地放在三个千斤顶上。

4) 用水平法粗调水平。

5) 由于工作台的四个角磨损较少，所以调整时，以四个角为基准即可。首先，用千分表调一组对角等高。

6) 微调千斤顶，始终保持调平的对角线处于水平位置（即对角点等高），直至调整到另两个对角与其等高。

7) 调平后（允许四个角的高度有微小差异），以该面为基准，就可用千分表测量其他各点的高度差了，从而评定出镗床工作面的平面度误差。

二、节距测量法

节距测量法又叫角差测量法，是以一条理想直线为基准，采用自准直仪或水平仪进行平面度误差测量的最主要的方法。

它的特点是：不借助于实物体现，不受附加设施的影响，精度高，但测量的原理、步骤和数据处理都比较复杂。这种方法不

仪重要，而且用途广泛。对其原理必须彻底弄清，否则易发生错误。

1. 原理 在节距测量法产生以前，对大尺寸平板平面度误差的测量是以平尺等实物为基准进行比较测量的。当被测平面较长时，这种方法就不便或难以实现了。节距测量法正是在这种情况下应运而生了。

它的原理是，在被测平板上选取若干个截线，并把每条截线分成等距的若干档。再用精密测角仪器（自准直仪或水平仪），分别测出各档相对于所选定的测量基准（仪器读数零位）的倾斜角 α_i ，如图 2-5 所示，并利用公式

$$\Delta h_i = (0.005/1000) \eta l \alpha_i$$

式中 Δh_i ——两测量点的高度差 (mm)；

η ——仪器分度值 (")；

l ——桥板跨距 (mm)；

α_i ——仪器读数 (格)。

其中 $(0.005/1000) \eta l$ 是一个常数，设它为 N 。则原式变为 $\Delta h_i = N \alpha_i$ 。这样，通过 N 就把角值 α_i 转化为线值 Δh_i 。 N 就是每格相当的高度，称它为“单位格高度”。

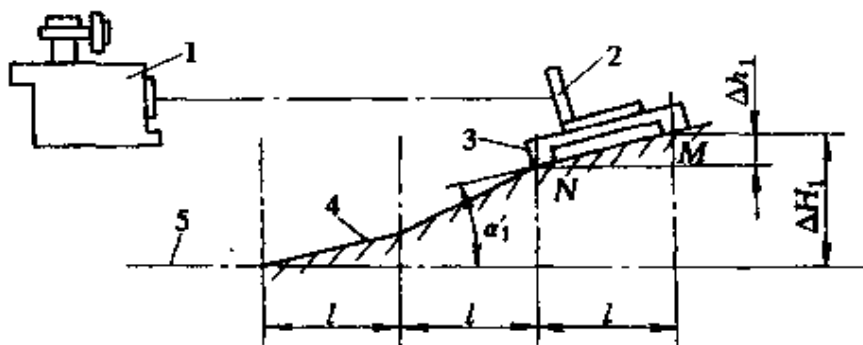


图 2-5 节距测量法原理

1—自准直仪 2—测量反射镜 3—桥板 4—被测截线 5—测量基准

各档高度差累计相加的和 ΔH_i ，高度是各测量点相对基准的高度。

$$\text{即} \quad \Delta H_i = \sum_{i=1}^i \Delta h_i = N \sum \alpha_i$$

另外，通过 $\Delta h_i = N\alpha_i$ 可绘出如图 2-6 所示的误差曲线。其横坐标是通过测量基准的理想直线。各测量档的端点顺次在横坐标上排布。纵坐标代表两相邻测量点相差的格数 α_i ，但此处的 α_i 已不能理解为角值。而应当理解为相邻测量点间的高度差有 α_i 个单位格高度，即有 α_i 个 N 值。此时 α_i 已被线性化。若评定时，基准为图中的 (P) 线，则误差曲线上各点到 (P) 线的坐标距离，就是被测截线上相应点的误差值。如图 2-6 中的 Δ_1 、 Δ_2 …… Δ_i 所示。

为什么要取坐标距离为误差值呢？从形状误差的定义看，似乎应取对 P 线的垂直距离作为误差值。即图 2-6 中 Δ_i 所示。但图中的横坐标（被测截线长）按比例缩小了许多倍，而纵坐标（误差值）却按比例放大了许多倍。这种情况必须按“计量方向不变”的原则来

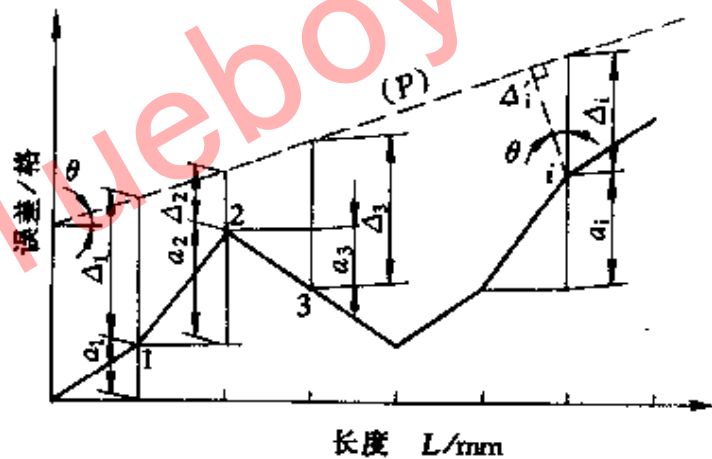


图 2-6 节距测量法误差曲线

读取数值。就是无论基准在哪里，计量方向应始终垂直于测量基准（此处就是横坐标）。所以只能按纵坐标方向读取数值。

综上所述，节距测量法属于离散型测量，只测出等距分布的若干点的误差。而要测点与测点之间的误差，则要用接触斑点法控制。

2. 平板安装水平误差的测量 大尺寸平板是在混凝土基座上作永久性安装的。安装时，水平的调整对以后的使用和修理都有很大影响。因此安装时水平误差的调整，既具有现实意义，更具有长远意义。而节距法的应用，恰恰使大尺寸平板的调整、安

装，更为准确、方便。

(1) 安装水平的调整 一般是调整纵横两个中心截面，如图 2-7 所示的 $x-x'$ 和 $y-y'$ 。由于利用左侧的支承点调整 $x-x'$ 截面时，对已调好的 $y-y'$ 截面影响很小，所以一般先调 $y-y'$ 截面，再调 $x-x'$ 截面。

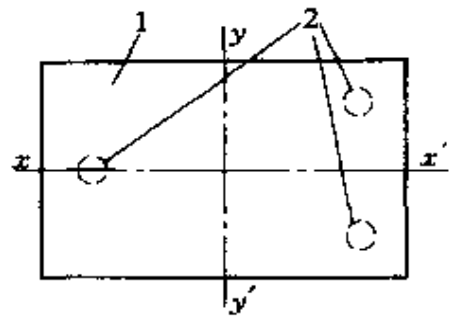


图 2-7 调整和检验
安装水平的截面
1—平板 2—主支承

(2) 安装水平误差的表示法 大尺寸平板的安装水平误差是以 $x-x'$ 和 $y-y'$ 两截面截线的包容线对水平面的倾斜度来表示的。并据此进行调整。具体就是用水平仪和桥板通过节距测量法进行测量，画出误差曲线及其包容线，即可得到包容线的倾斜度误差。

(3) 操作要点

1) 排除气泡长度变化的影响：

当温度不是 20℃ 时，气泡长度并不正好等于长刻度线间的距离。因此要消除它的影响。如图 2-8，取图中所示的水平仪移动的方向为正向。这样气泡左端示数为 -1，

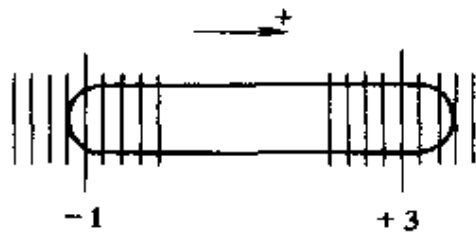


图 2-8 水平仪示值

右端示数为 +3。取其平均值， $\frac{-1+3}{2} = +1$ (格)。这就是气泡对居中位置的偏移格数。

2) 排除零位误差：水平仪放在桥板上后，可能产生零位误差，即气泡不居中。排除零位误差的方法有两种：

① 将桥板连同水平仪一起在任一档上原位转过 180°，转前和转后示值之差的一半，就是零位误差。然后，据此对一系列读数进行修正。

如原位转过 180° 后，水平仪示值由图 2-8 变为图 2-9 所示。前者读数为 +1。后者读数为 $\frac{0+4}{2} = +2$ 。则零位误差为

$\frac{(+1) - (+2)}{2} = -0.5$ (格)。一系列数据就可据此修正了。

那么所举的图 2-8 所示的档位读数应为 $(+1) - (-0.5) = +1.5$ (格)，这才是该档对水平面的倾斜度误差。

② 在测完各档位后，将桥板连同水平仪转过 180° 后，再对各档进行一次测量。取两次测量结果的平均值作为各档的读数。也可排除零位误差的影响。

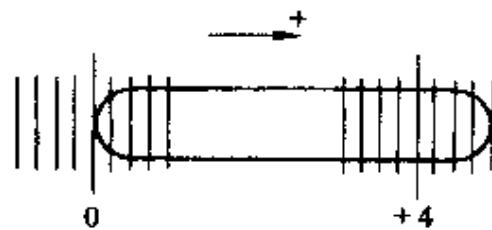


图 2-9 水平仪示值
(原位转过 180° 后)

(4) 操作步骤 在此举例说明。

例 2 确定图 2-10 所示平板在图示截面上的安装水平误差 (每档跨距长度为 300mm)。

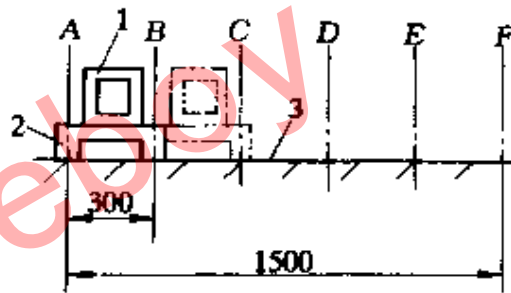


图 2-10 安装水平误差的测量
1—水平仪 2—桥板 3—测量截面

1) 按图 2-10 所示逐档进行测量后，各档读数为： $+1$ ， -2 ， $+1$ ， $+3$ ， -1.5 (格)。

2) 用操作要点中所示的方法，确定水平仪和桥板的零位误差为 -0.5 格。

3) 按零位误差修正各读数得：

$+1.5$ ， -1.5 ， $+1.5$ ， $+3.5$ ， -1 (格)

4) 据上述读数，作误差曲线，并画出其包容线，如图 2-11 所示。注意包容线是指能够包容误差曲线且其间的坐标距离为最小的两条平行线。

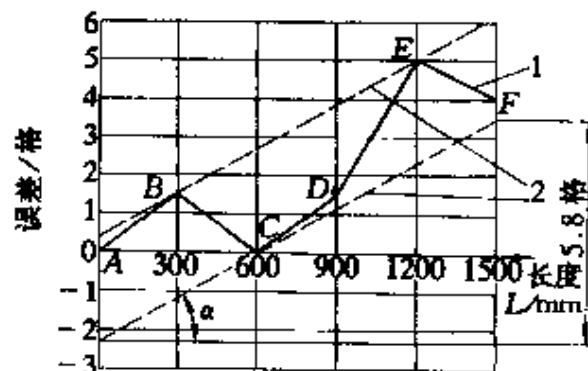


图 2-11 安装水平误差曲线
1—误差曲线 2—包容线

5) 图中的横坐标表示

的是水平面。包容线对其的倾斜度误差就是安装水平误差。图 2-11 中所示倾斜度误差在全长上为 5.8 格。若水平仪的分度值为 4"。则单位格高度

$$N = (0.005/1000) \times 4 \times 300\text{mm} = 0.006\text{mm}$$

$$\text{所以 } \tan\alpha = \frac{5.8 \times 0.006\text{mm}}{1500\text{mm}} = \frac{0.0232}{1000}$$

$$\text{所以 } \alpha = 4.5''$$

3. 用自准直仪按节距法测量平板平面度误差 用自准直仪测量平板平面度误差的方法是, 按节距法分别测量平板上若干截面, 然后进行数据处理, 综合为统一相对于对角线平面或三角点平面的高度。

(1) 操作要点

1) 测量截面和测量点的分布, 必须与评定平面度误差的原则相适应。

传统的评定平面度误差的原则是, 以最大直线度误差或按对角线平面来评定; 而现在是按最小条件来评定。因此, 测量截面通常按照以下三种情况分布, 即米字形; 等距的网格形; 四边线、对角线及沿平板长方向的若干条线组成的形状。

① 测量截面按米字形分布, 如图 2-12。其优点是每个截面都有一定代表性且截面数量少, 反映了平板总的弯曲态势。缺点是测量点分布不够合理, 测量较不方便。

② 测量截面按等距网格分布, 如图 2-13。其优点是测量点分布均匀, 可用同一桥板进行全面测量, 使测后的数据处理大为方便。缺点是计算过程较麻烦, 要进行基面转换, 测量次数较

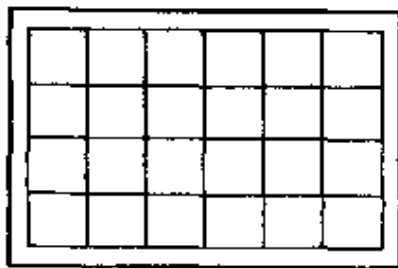
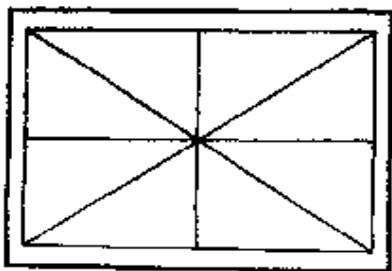


图 2-12 测量截面按米字形分布

图 2-13 测量截面按等距网格分布

多。

③ 测量截面按两个对角线、四个边线及沿平板长方向的若干截线分布，如图 2-14。其优点是综合了前两者的优势。既便于反映平板总的弯曲态势，又抓住了平板平面度误差评定的主要方向。从评定原则上讲，兼顾了传统的和现在的。缺点是若用同一桥板测量，对角线长可能不是桥板跨距的整数倍，而产生搭接误差。若用不同跨距的桥板，则既要有由此带来的误差，也要多一道测后对读数的换算程序。

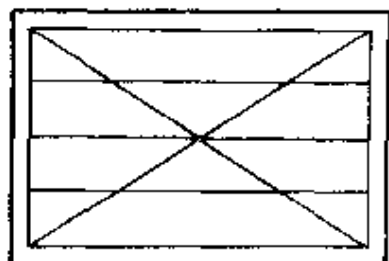


图 2-14 测量截面分布

- 2) 测量所有截面宜用同一桥板。
- 3) 测量时，仪器本体需固定在被测截面之外。
- 4) 防止仪器本体或测量反射镜发生任何移动。

用自准直仪按节距法测量平板平面度误差时，在测量多个截面后，还需通过数据处理和图解法，才能综合为相对于对角线平面或三角点平面的高度。

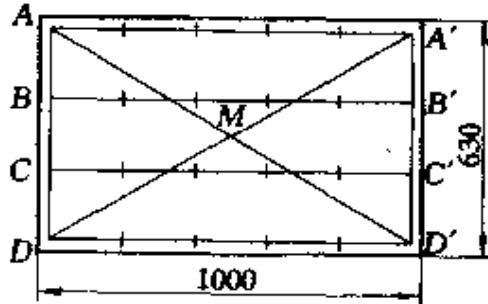
(2) 操作步骤（这里举例说明）

例 3 测定尺寸为 $1000\text{mm} \times 630\text{mm}$ 的平板的平面度误差。

- 1) 测量截面和测量点的分布，如图 2-15 所示。
- 2) 用分度值为 $1''$ ($0.005\text{mm}/1000\text{mm}$) 的自准直仪和跨距为 190mm 的同一桥板测量。

3) 测量如图 2-16 所示，将自准直仪和反射镜在平板上配置。这样可满足仪器本体应固定在被测截面之外的要点要求。

4) 用压板将自准直仪固定，用橡皮泥将反射镜固定。以防测量各档时，仪器和反射镜发生微小。



- 5) 测量结果如表 2-6 所示。

图 2-15 测量截面和测量点分布

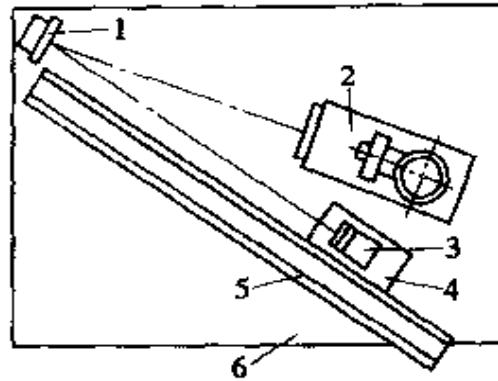


图 2-16 自准值仪和中间反射镜在平板上的配置

1—中间反射镜 2—自准值仪 3—测量反射镜
4—桥板 5—平尺 6 被测平板

表 2-6 平板平面度测量的原始记录

测量截面	原 始 读 数					
AD'	21	23	26	21	22	19
DA'	08	06	11	10	11	10
AD	40	43	46			
A'D'	33	37	38			
AA'	15	18	21	19	17	
BB'	50	49	53	52	47	
CC'	17	15	18	12	16	
DD'	29	28	27	24	25	

6) 将各测量截面的读数分别减去其第一档的读数 (基准读数), 即得相对读数, 如表 2-7 所示。

表 2-7 平板平面度测量的相对读数

测量截面	相 对 读 数 (格)					
AD'	0	+2	+5	0	+1	-2
DA'	0	-2	+3	+2	+3	+2
AD	0	+3	+6			
A'D'	0	+4	+5			
AA'	0	+3	+6	+4	+2	
BB'	0	-1	+3	+2	-3	
CC'	0	-2	+1	-5	-1	
DD'	0	-1	-2	-5	-4	

7) 根据相对读数分别画出各截面的误差曲线, 如图 2-17~图 2-24 所示。

8) 根据对角线平面法, 在图上直接综合为统一相对于对角线平面的高度。

对角线平面是通过平板的一根对角线, 且平行于另一根对角线的理解平面 (P)。本例中, 就是经过 $\overline{AD'}$, 平行于 $\overline{DA'}$ 的平面。

各测量截面的误差曲线, 综合为统一相对于 (P) 平面的步骤如下。

① 因为 P 过 $\overline{AD'}$, 故 (P) 相对于 AD' 误差曲线的位置, 就是 A、 D' 两点的连线。如图 2-17 中 (P) 线。中点 M 到 (P) 的距离, 就是平板中点高度 δ_M 即 $\delta_M = +4$, $\delta_A = \delta_{D'} = 0$ 。

② 平面 (P) 平行于 DA' , 所以 (P) 相对 DA' 误差曲线的位置。如图 2-18 所示, 应平行于 DA' 且距中点 M 的距离为 +4。这样 $\delta_D = +7$, $\delta_{A'} = +7$ 。

③ 因 $\delta_A = 0$, $\delta_D = +7$, 所以 (P) 相对于 AD 误差曲线的位置, 如图 2-19 所示。这样由图可知, $\delta_B = -1$, $\delta_C = +2$ (为了便于基面转换, 可四舍五入取整)。

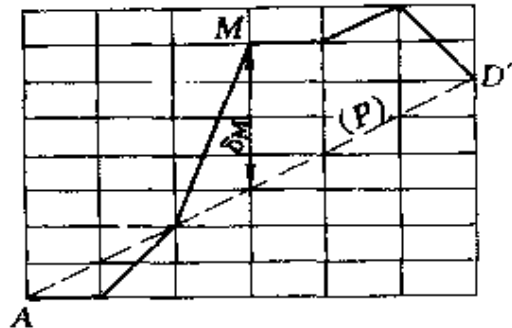


图 2-17 截面 AD' 的误差曲线

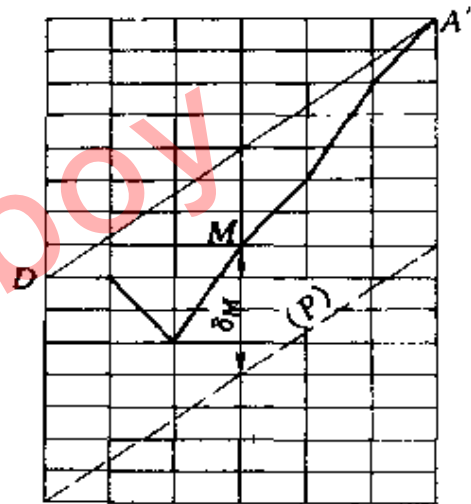


图 2-18 截面 DA' 的误差曲线

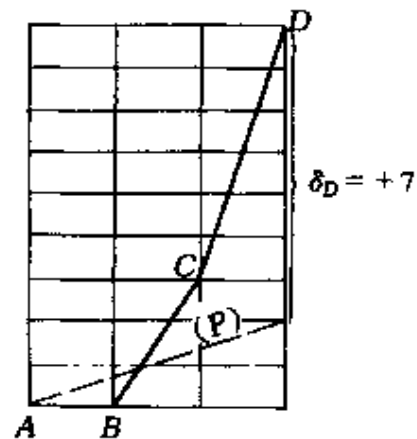


图 2-19 截面 AD 误差曲线

④ 因 $\delta_{A'} = +7$ $\delta_{D'} = 0$ ，所以 (P) 相对于 $A'D'$ 误差曲线的位置如图 2-20 所示。由图中可知： $\delta_{B'} = +1$ $\delta_{C'} = 0$

⑤ 因 $\delta_A = 0$ $\delta_{A'} = +7$ 。故 (P) 相对于 AA' 误差曲线的位置，如图 2-21 所示。由图中可知，曲线上各点到 (P) 的坐标距离，即平板上各点高度为：0，-2，0，+4，+7，+7。

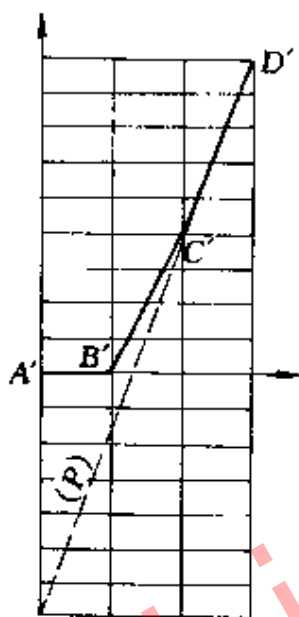


图 2-20 截面 $A'D'$ 误差曲线

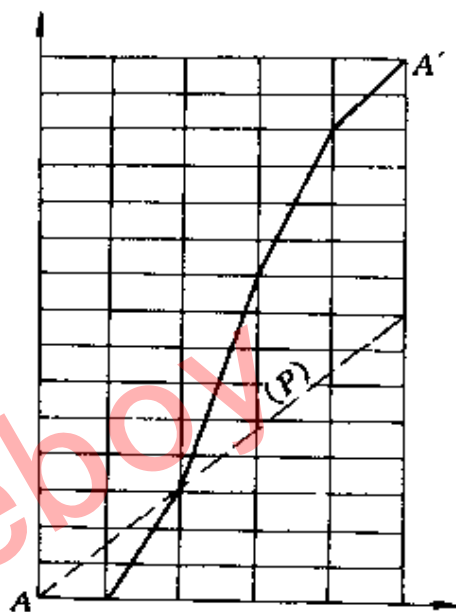


图 2-21 截面 AA' 误差曲线

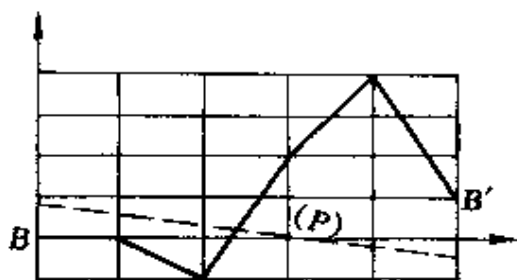


图 2-22 截面 BB' 误差曲线

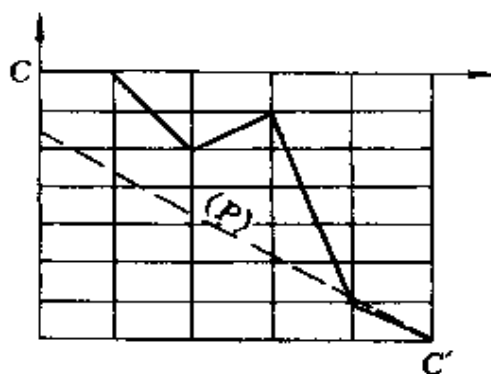


图 2-23 截面 CC' 误差曲线

⑥ 因 $\delta_B = -1$ $\delta_{B'} = +1$ ，同理可得 BB' 误差曲线上各点的相对高度为：

-1, 0, -1, +2, +4, +1

⑦ 因 $\delta_C = +2$, $\delta_{C'} = 0$, 所以 CC' 误差曲线上各点的相对高度为:

+2, +3, +2, +4, 0, 0

⑧ $\delta_D = +7$, $\delta_{D'} = 0$, 所以 DD' 误差曲线上各点的相对高度为:

+7, +8, +8, +7, +3, 0

这样, 全部 24 个测点相对于对角线平面 (P) 的高度如表 2-8 所示。

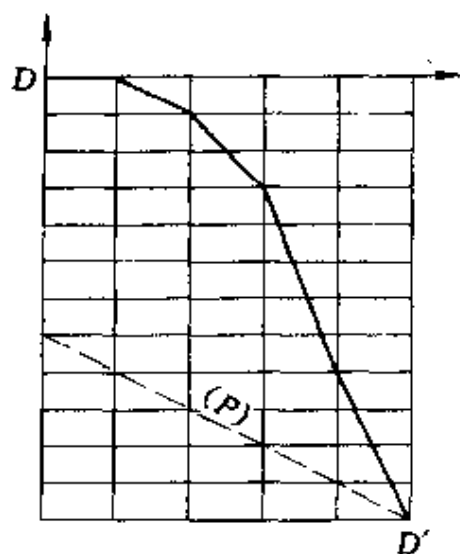


图 2-24 截面 DD' 误差曲线

表 2-8 格 ($0.95\mu\text{m}$)

0	-2	0	+4	+7	+7
-1	0	-1	+2	+4	+1
+2	+3	+2	+4	0	0
+7	+8	+8	+7	+3	0

因单位格高度 $N = (0.005/1000) \times 1 \times 190\text{mm} = 0.95\mu\text{m}$

表 2-8 中数据的最大差值: $8 - (-2) = 10$

所以 $\Delta_{\text{对}} = [8 - (-2)] \times 0.95\mu\text{m} = 9.5\mu\text{m}$

理想平面不必一定是对角线平面, 也可以是任意三个角点所

确定的平面。这样还可少测一个截面。下面举例说明。

例 4 测定尺寸为 $2000\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 的平板的平面度误差。

① 测量截面和测量点的分布, 如图 2-25 所示。

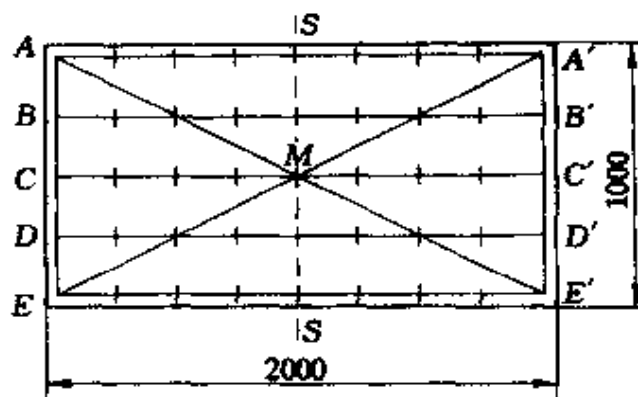


图 2-25 测量截面和测量点的分布

- ② 用分度值为 $1''$ 的自准直仪和跨距为 240mm 的桥板测量。
- ③ 测量时，自准直仪和反射镜在平板上的配置仍如图 2-16 所示。
- ④ 用压板将自准直仪固定，用橡皮泥将反射镜固定。
- ⑤ 测量结果如表 2-9 所示。

表 2-9 平板平面度误差测量的原始记录 (μm)

测量截面	原 始 读 数								
	AE'	54	51	49	50	52	52	51	45
EA'	86	93	87	86	82	82	89	95	94
AE	77	79	83	81					
A'E'	10	04	04	06					
AA'	05	10	03	01	05	00	14	02	
BB'	41	43	36	29	36	43	47	45	
CC'	22	25	29	30	30	19	29	26	
DD'	16	28	27	21	14	18	24	12	
EE'	20	16	16	20	20	20	13	13	

- ⑥ 将测量截面的读数分别减去其第一档的读数，即得相对读数。如表 2-10。

表 2-10 平板平面度测量的相对读数

测量截面	原 始 读 数 /格								
	AE'	0	-3	-5	-4	-2	-2	-3	-9
EA'	0	+7	+1	0	-4	-4	+3	+9	+8
AE	0	+2	+6	+4					
A'E'	0	-6	-6	-4					
AA'	0	+5	-2	-4	0	-5	+9	-3	
BB'	0	+2	-5	-12	-5	+2	+6	+4	
CC'	0	+3	+7	+8	+8	-3	+7	+4	
DD'	0	+12	+11	+5	-2	+2	+8	-4	
EE'	0	-4	-4	0	0	0	-7	-7	

- ⑦ 根据相对读数分别画出各截面的误差曲线。

在画误差曲线时，会发现有些截面误差曲线较陡，作图不

便。这时，可在该截面的读数上分别加上或减去同一数值后再作图。如本例中 AE' 、 CC' 、 DD' 面就是这样。按上述原则可作如下修正后，再作图。

AE' 面

原读数：0， -3， -5， -4， -2， -2， -3， -9， -6

各加 3 得：+3， 0， -2， -1， +1， +1， 0， -6， -3

CC' 面：

原读数：0， +3， +7， +8， +8， -3， +7， +4

各减 4， 得：-4， -1， +3， +4， +4， -7， +3， 0

DD' 面：

原读数：0， +12， +11， +5， -2， +2， +8， -4

各减 4， 得：-4， +8， +7， +1， -6， -2， +4， -8

各截面误差曲线如图 2-26~图 2-31 所示。

⑧ 根据三角点平面法，在误差曲线图上直接综合为统一相对于三角点平面 (Q) 的高度。

三角点平面 (Q) 可以通过任意三个角点的理想平面。本例中选取过 A、E、E' 三点的平面。这样就可不测 EA' 截面。

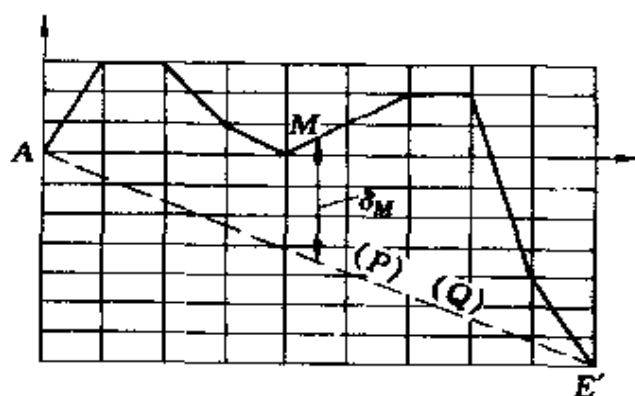


图 2-26 截面 AE' 的误差曲线

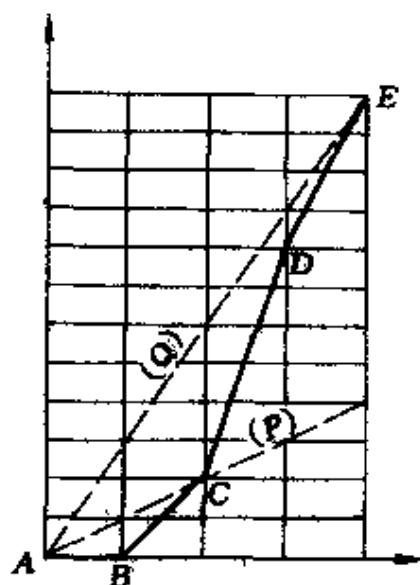


图 2-27 截面 AE 误差曲线

各测量截面的误差曲线，综合为统一相对于（Q）平面的步骤如下：

① 因（Q）平面过 A、E、E' 三点，所以 $\delta_A = \delta_E = \delta_{E'} = 0$ ，故（Q）线在 AE'、AE、EE' 误差曲线中，即为两端点连线。如图 2-26、图 2-27，图 2-28 所示。由图可知， $\delta_B = -3$ $\delta_C = -4$ $\delta_D = -1$ $\delta_M = +4$ 。

② 因 $\delta_C = -4$ $\delta_M = +4$ ，故（Q）线在 CC' 误差曲线上位置可确定。如图 2-29 所示，从图中可知 $\delta_{C'} = +10$ 。

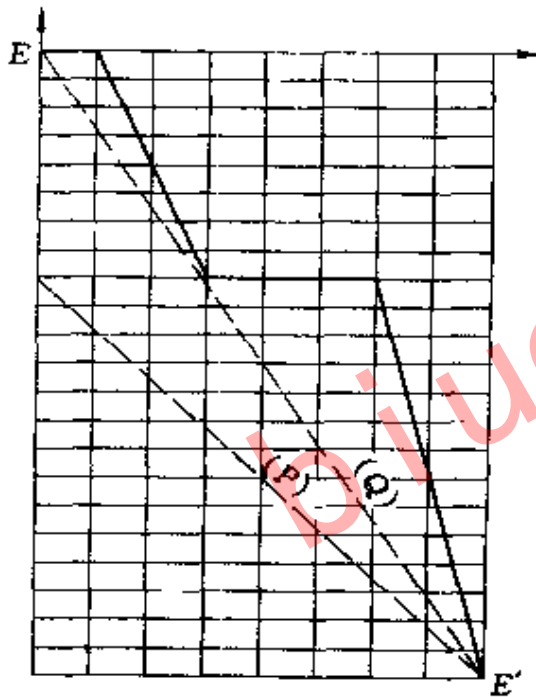


图 2-28 截面 EE' 误差曲线

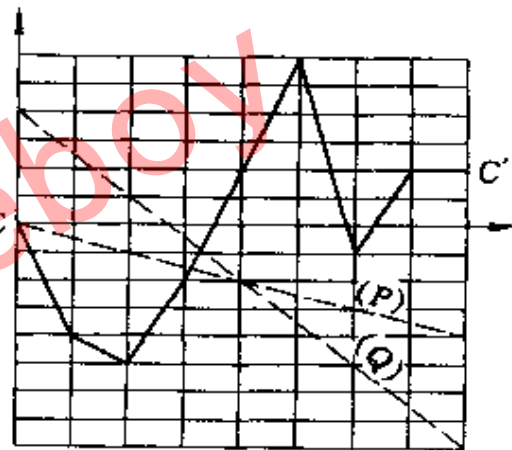


图 2-29 截面 CC' 误差曲线

③ 因 $\delta_{E'} = 0$ $\delta_{C'} = +10$ ，故曲线 A'E' 上的（Q）线可求。如图 2-30 所示，从而求出 $\delta_{A'} = +16$ $\delta_{B'} = +16$ $\delta_{D'} = +4$ 。

④ 以上已确定了各截面两端点的高度，所以在 AA'（图 2-31）、BB'（图 2-32）、DD'（图 2-33）截面误差曲线图上均可确定（Q）线位置。这样全部 45 个测点在三角点平面的相对高度均可求。见表 2-11。

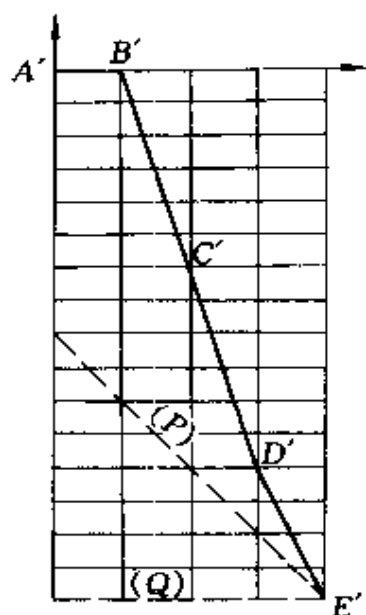


图 2-30 截面 A'E' 误差曲线

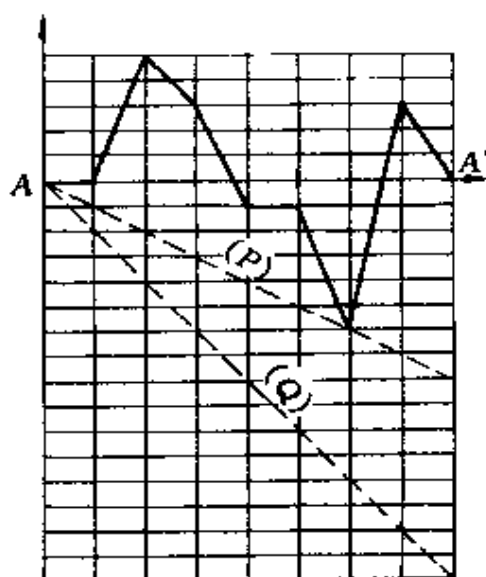


图 2-31 截面 AA' 误差曲线

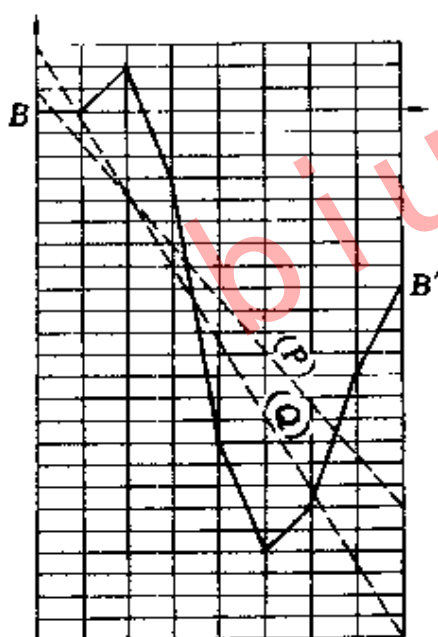


图 2-32 截面 BB' 误差曲线

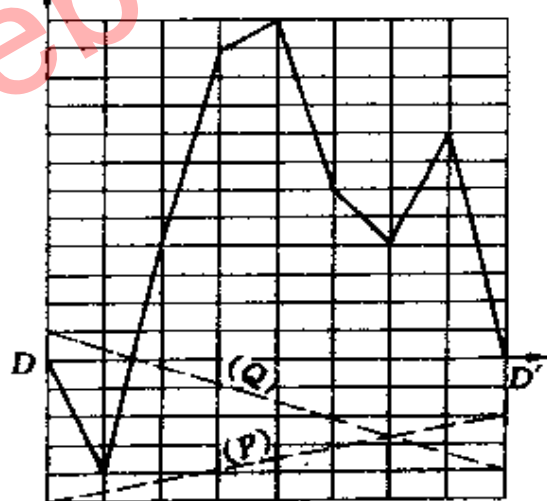


图 2-33 截面 DD' 误差曲线

表 2-11

格 (1.2 μm)

0	+2	+9	+9	+7	+9	+6	+17	+16
-3	0	+6	+4	-4	-6	-1	+9	+16
-4	-6	-6	-1	+4	+10	+4	+9	+10
-1	-4	+4	+12	+14	+8	+7	+12	+4
0	+3	+1	0	+3	+6	+8	+4	0

因 $N = (0.005\text{mm}/1000\text{mm}) \times 1 \times 240\text{mm} = 0.0012\text{mm} = 1.2\mu\text{m}$

所以: $\Delta_{\text{对}} = [17 - (-6)] \times 1.2\mu\text{m} = 27.6\mu\text{m}$

依据不同的理想平面 (P) 面或 (Q) 面, 平板上各点的相对高度就不同。但通过下面要介绍的“基面转换”处理后, 无论是哪一组数据, 都可获得同样的评定结果, 即符合最小条件的平面度误差值。因此, 测量数据的图解处理, 不必拘泥于一种方式。只要理解原理, 便可灵活运用。

4. 用水平仪按节距法测量平板平面度误差 用水平仪和自准直仪按节距法测量平板的平面度误差, 原理是相同的, 都是用桥板测若干个截面。差异是读数方法不同。

(1) 操作要点

1) 对水平仪进行读数时, 须遵循的规则

① 测量时, 可选用不同的测量基准: 截面任一端的第一档或水准管的长刻度线。

日常应用中的水平仪示值范围很小。若平板水平误差较大, 超过示值范围, 可在水平仪与桥板间垫薄纸或用可调的桥板。只要在测量过程中垫纸保持不动或可调桥板保持调后状态不变, 则对测量结果无影响。再有一点值得注意的是, 为了避免不必要的测量误差, 桥板移动必须严格沿一直线, 否则横向的水平误差将影响测量结果。

② 各档读数都是和所选定的测量基准比较而得, 而不是和前一档比较而得。

③ 规定气泡偏移方向与测量顺序方向一致时, 读数为正, 反之为负。

④ 可以只按气泡的任一端进行读数。

例如: 对图 2-34 的示值进行读数。

① 选 AB 档为测量基准, 即此时读数为“0”, 其他各档均与该档作比较而得读数:

AB → BC → CD → DE → FF

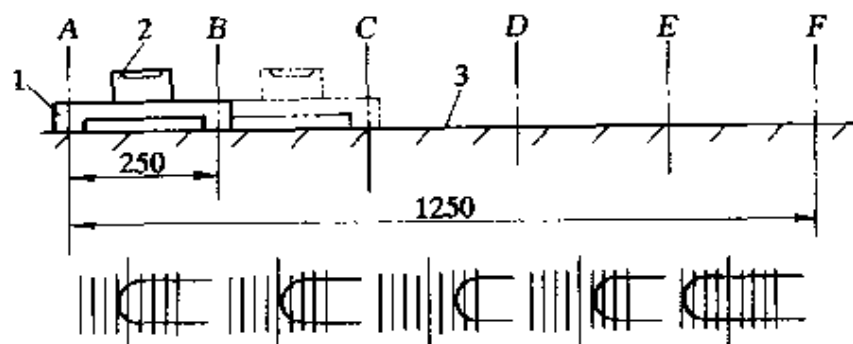


图 2-34 水平仪示值

1—桥板 2—0.02mm/1000mm 水平仪 3—测量截面

读数： $\vec{0}$, +1, +3, +2, -3 (格)

② 选 EF 档为测量基准，则

$AB \leftarrow BC \leftarrow CD \leftarrow DE \leftarrow EF$

-3, -4, -6, -5, $\vec{0}$ (格)

③ 选图 2-34 中长刻线为基准，测量顺序从左向右，则读数为

$\vec{-1}$, 0, +2, +1, -4 (格)

测量顺序从右向左时，读数为

+1, 0, -2, -1, $\vec{+4}$ (格)

2) 根据水平仪读数画误差曲线时，须遵循的规则：

① 作图的顺序和方向，须与测量的方向一致。

② 在前一档坐标点基础上，加本档读数，就得本档的坐标点。

③ 按读数的“格”画误差曲线。综合后，求平面度误差。再按桥板跨距换算为线值。

例如：根据上述规则画出上述四组读数的误差曲线。

① $\vec{0}$, +1, +3, +2, -3 (格) 见图 2-35。

② -3, -4, -6, -5, $\vec{0}$ ，见图 2-36。

③ $-1, 0, +2, +1,$
 -4 (格)

$+1, 0, -2, -1, +4$
 (格)

以水准管长刻线为基准时, 从左或从右开始测量, 误差曲线都相同, 如图 2-37 所示。

从以上三个图中不难看出, 测量基准不同, 误差曲线形状不一样。但曲线所反映各点的误差值是相同的, 如上面三图所示。各点相对于两端连线的凸量都是相应一致的。如 E 点的凸量均为 3.5 格。

因 $N = (0.02/1000) \times 250\text{mm} = 0.005\text{mm} = 5\mu\text{m}$

所以 E 点相对于两端连线的误差值为

$$\Delta_{\text{对}} = 3.5N = 3.5 \times 5\mu\text{m} = 17.5\mu\text{m}$$

(2) 操作步骤 (举例说明)

例 5 用水平仪按节距法测量 $1600\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 板的平面度误差。

1) 选用分度值为 $4''$ ($0.02\text{mm}/1000\text{mm}$) 的水平仪进行测量。

2) 测量截面和测量点如图 2-38 所示分布。

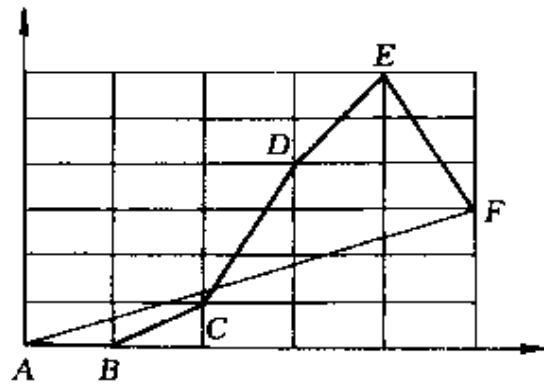


图 2-35 误差曲线 (一)

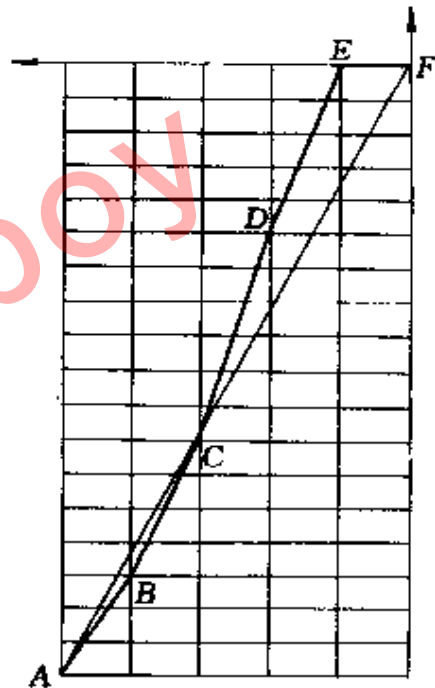


图 2-36 误差曲线 (二)

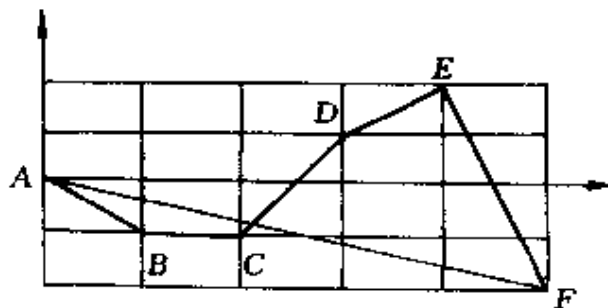


图 2-37 误差曲线 (三)

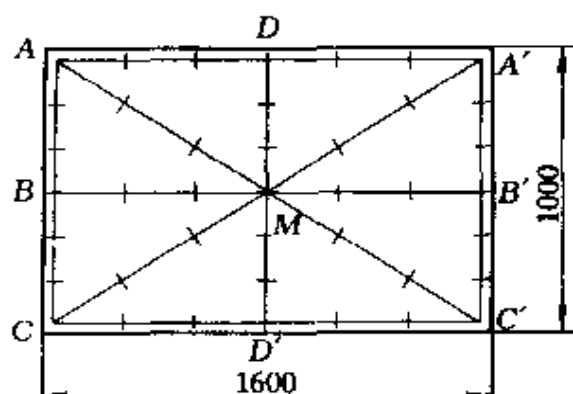


图 2-38 测量截面和测量点分布

3) 选用跨距为 240mm 的桥板测纵向各截面，即：AA'，BB'，CC'；用跨距为 150mm 的桥板测横向各截面，即 AC、DD'、A'C'；用跨距为 283mm 的桥板测对角线截面 AC'，CA'。

4) 测量记录如表 2-12 所示：

表 2-12 平板平面度测量原始记录

测量截面	桥板跨距/mm	原 始 读 数 /格					
AC'	283	0	-0.5	-1	+0.5	+0.5	+1
CA'	283	0	+1	+1	+0.5	0	-0.5
AC	150	0	-2	+1	+2	-1	-2
DD'	150	0	-1	-3	-2	-1	-2
A'C'	150	0	-1.5	-0.5	-2	-1	+2
AA'	240	0	+0.5	+1.5	+2	0	-1.5
BB'	240	0	+0.5	+0.5	+0.5	0	+1.5
CC'	240	0	-1.5	-0.5	0	+1	+1.5

5) 原始读数的“格”数反映的是各档的倾斜度误差。在画误差曲线时，“格”反映的是高度差有多少个“单位格高度”N。所以与桥板跨距有关。由于此例中用了三个桥板，因此，要统一换算为相对于同一个长度桥板的格数现以 150mm 桥板为准。为

此，应在 AC' 、 CA 和 AA' 、 BB' 、 CC' 的截面的读数上分别乘 $283/150$ 和 $240/150$ ，即得表 2-13 所列的换算后的读数。

表 2-13 平板平面度测量计算读数

测量截面	计算读数/格 (每格 = $3\mu\text{m}$)					
	0	-1	-2	+1	+1	+2
AC'	0	-1	-2	+1	+1	+2
CA'	0	+2	+2	+1	0	-1
AC	0	-2	+1	+2	-1	-2
DD'	0	-1	-3	-2	-1	-2
$A'C'$	0	-1.5	-0.5	-2	-1	+2
AA'	0	+1	+2	+3	0	-2
BB'	0	+1	+1	+1	0	+2
CC'	0	2	1	0	+1.5	+2

6) 根据表 2-13 的数据画出各曲线图，如图 2-39~图 2-46 所示。

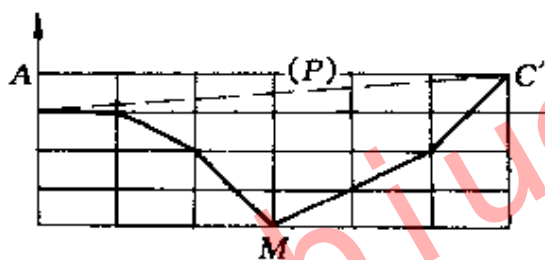


图 2-39 截面 AC' 误差曲线

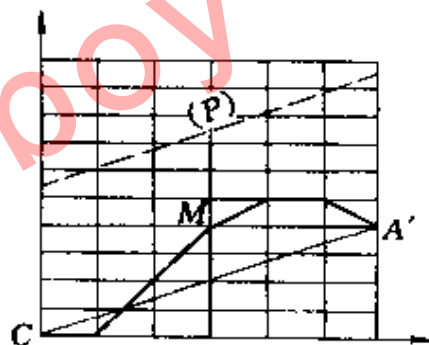


图 2-40 截面 CA 误差曲线

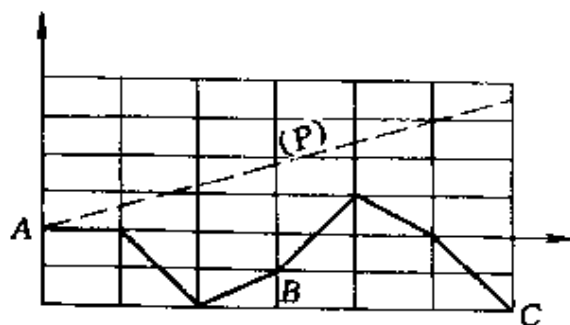


图 2-41 截面 AC 误差曲线

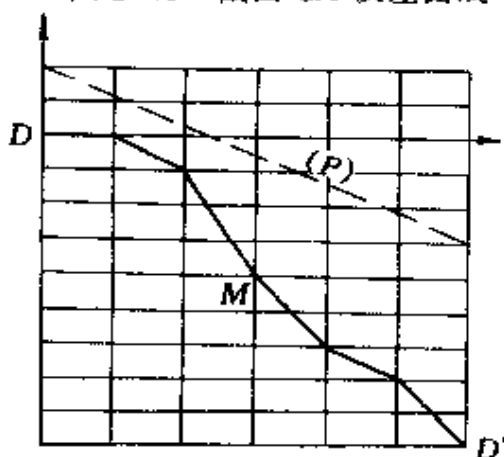


图 2-42 截面 DD' 误差曲线

若取 (P) 平面通过 $\overline{AC'}$ ，又平行于 $\overline{CA'}$ ，则经综合后即可得全部 41 个测量点相对于 (P) 的“格”高度表，见表 2-14。

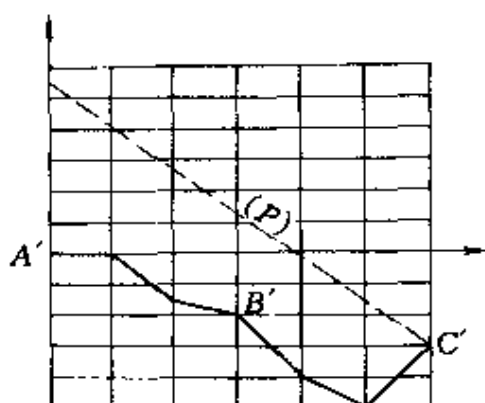


图 2-43 截面 A'C' 误差曲线

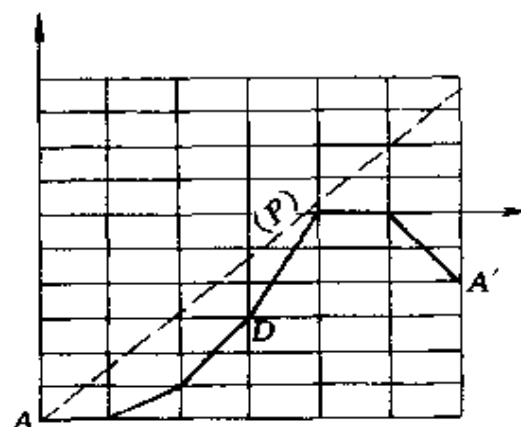


图 2-44 截面 AA' 误差曲线

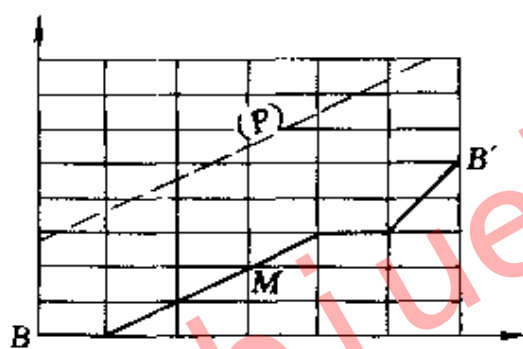


图 2-45 截面 BB' 误差曲线

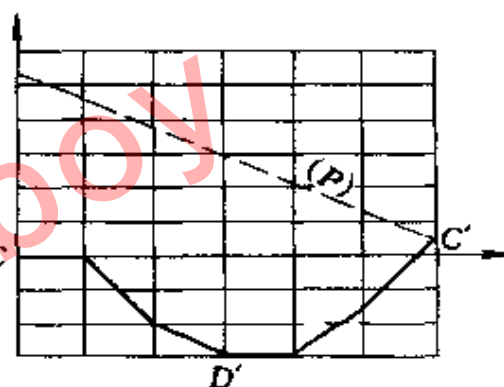


图 2-46 截面 CC' 误差曲线

表 2-14

格 (3 μm)

0	-1.5	-2	-2	-0.5	-2	-5.5
-0.5	0		-1		-4	-4
-3		-1.5	-1.5	-3		-4
-3	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-4.5	-3.5
-1.5		-5	-5	-3		-4
-3	-6		-5		-2	-3.5
-5.5	-4.5	-6	-6	-5	-3	0

单位格高度 $N = (0.02\text{mm}/1000\text{mm}) \times 150\text{mm} = 0.003\text{mm} = 3\mu\text{m}$

所以 $\Delta_{\text{对}} = [0 - (-6)] \times 3\text{mm} = 18\mu\text{m}$

5. 测量结果的检核 最简单的检核法是封闭式测量。即再测

一个截面。看相应点前后两组数据是否相一致，一致性应大于80%。

例如在图 2-25 中再加测一个截面 SS。

其测量读数为：20，35，38，22

相对读数为：0，+15，+18，+2

再各减 10 得：-10，+5，+8，-8

据上面读数，作误差曲线如图 2-47。

根据图中 (P) 线位置可得各点相对 (P) 线的高度：+3，-5，+2.5，+13，+7 (格)

而前面已求得各点的高度分别为：

+3，-6，+4，+16，+7 (格)

这两组数值基本一致。说明测量结果正确。

若测量截面是米字形分布的。则中心点 M 也可作为检核依据。即可看通过中心的其他截面的 M 点 (对角面以外的截面) 相对高度是否与对角线交点相一致。

三、水平面测量法

以水平面为基准，测出平板上各点相对于水平面的高度方法，就是水平面测量法。其特点是测量过程和数据处理大为简化，因而实用性强，用途较广泛。它与节距测量法的区别是，首先，读数基准不同，节距法在测各截面时，基准各自不同，而水平面法则统一以水平面为基准；其次，由于基准的不同，决定了节距法要直接或间接测对角面，而水平面法不必测对角面。

1. 操作要点

正确运用“闭合差”这个水平面测量法的优点。对平板进行粗调后，把水平仪放在桥板上，如图 2-48 所示，按以下顺序进行测量。

1) $a \rightarrow e \rightarrow i \rightarrow m \rightarrow n \rightarrow o \rightarrow p$ 。

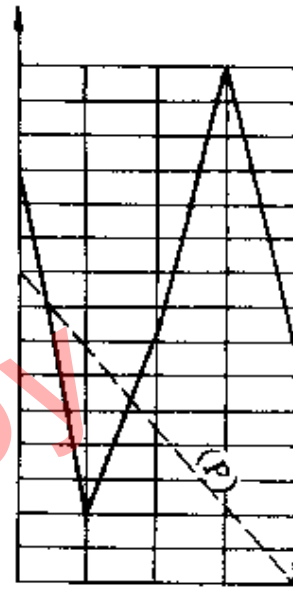


图 2-47 检核截面的误差曲线

- 2) $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow h \rightarrow l \rightarrow p$ 。
- 3) $b \rightarrow f \rightarrow j$ 。
- 4) $c \rightarrow g \rightarrow k$ 。

以 a 为基准进行测量，不难看出 p 点的高度可能有两个值，因为 lp 和 op 两环相交。这两个数值之差就是“闭合差”。

闭合差既可作为衡量测量精度好坏的尺度，又可用以检核测量和计算是否有误差。闭合差若不大， p 点高度可取两值的平均值；若较大，则应重测。

闭合差的闭合点应取在最长测量环的交点上。因为此点闭合差最大。因此 jn 、 ko 两档未测。

5) 注意水平仪的放置。当改变测量截面时，一定避免出现水平仪调转 180° 的情况。否则，水平仪和桥板综合后的零位误差将影响测量结果。为此，应使副水准管一侧始终在测量顺序方向的前方。如图 2-49 所示。

6) 测量基准不必一定选自然水平面。也可以水准管上任意一个基准刻度（长刻度线）作为读数的零位，读取气泡偏离基准的格数。例如，图 2-50 所示。左侧长刻度线为基准时，读数为 3，右侧长刻度线为基准时，读数为 1。

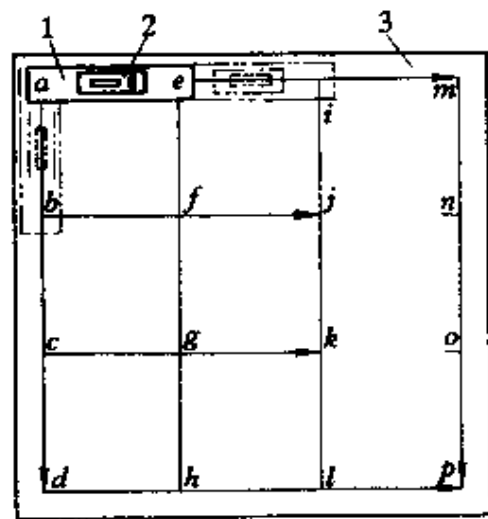


图 2-48 水平面测量法
1—桥板 2—水平仪 3—被测平板

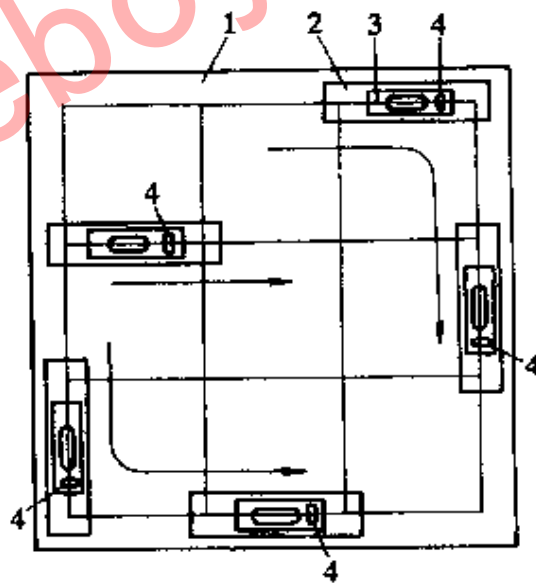


图 2-49 水平仪转向时的位置
1—被测平板 2—桥板
3—水平仪 4—副水准管

以哪个角点为累积相加的零点是无关紧要的，因为只是相当于基准平移了一个距离。

2. 操作步骤 (举例说明)

例 6 用水平面法评定平板 $630\text{mm} \times 630\text{mm}$ 的平面度误差。

(1) 选用刻度值为 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$ 的水平仪和跨距为 200mm 的桥板进行测量。

(2) 选择图 2-51 中的 a 点为测量基准，则闭合差产生在 p 点。

(3) 测量时，在转换截面时，应始终使副水准管一侧在测量顺序的前方。

(4) 各档测量值如图 2-51 所示。

(5) 数据处理时，取理想平面过点 a ，则 $\delta_a = 0$ ， ae 档示值表示 e 比 a 高 3 格，所以 $\delta_e = 0 + 3 = +3$ 格 ei 档示值表示 i 比 e 高 3 格，则 $\delta_i = +3 + 3 = +6$ 格。同理，依次可得各测点相对高度，见表 2-15。

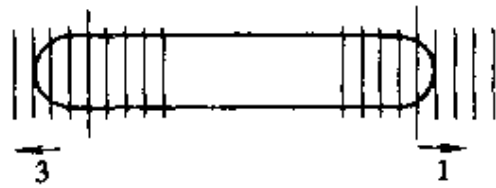


图 2-50 水平仪示值

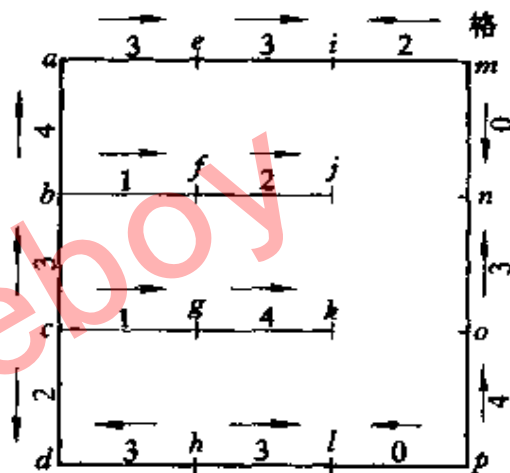


图 2-51 水平仪气泡偏移的方向与格数

表 2-15

		格 ($4\mu\text{m}$)	
0	+3	+5	+4
-4	-3	-1	+4
-7	-6	-2	+1
-5	-8	-5	-4

$$N = (0.02\text{mm}/1000\text{mm}) \times 200\text{mm} = 0.004\text{mm} = 4\mu\text{m}$$

$$\text{则 } \Delta_{\text{对}} = 4\mu\text{m} \times [6 - (-8)] = 56\mu\text{m}$$

注意闭合点 p 的值是平均值。

为了说明选哪个角点为基准，只是相当于基准平移一个距离。可作如下操作：

选取图 2-51 的 m 点为零点，则 d 点为闭合点。各测点相对高度见表 2-16。

-4	-1	+2	0
-8	-7	-5	0
-11	10	-6	-3
-8	-10	-7	-7

因为 $\delta_a = -4$ ，所以各高度差加 4 后，相当于零点移到了 a 点，见表 2-17。

0	+3	+6	+4
-4	-3	-1	+4
-7	-6	-2	+1
-4	-6	-3	-3

对照表 2-15 和表 2-17 可见，数值基本相同。这就说明基准可选任一角点。

四、平尺测量法

平尺测量法就是以宽面平尺为基准，分别测出各截面的直线度误差，然后再综合为平面度误差的方法。其优点是简单、直观，为现场所采用。通常采用的平尺有工形平尺和桥形平尺。

1. 操作要点

(1) 支承点的合理设置 在使用工形平尺时，两个支承点设置在距两端的距离为平尺全长的九分之二处。这样平尺挠度最小，为支承两端时的五分之一；用桥形平尺时，由于其刚性较好，可以支在两端。

(2) 注意千分表的读数 用工形平尺时，千分表的测头通常放在平尺的上表面，所以千分表的读数为正时，反映被测面凹

(千分表测头被压紧); 千分表的读数为负时, 反映被测面凸 (千分表测头被放松)。用桥形平尺时, 千分表的测头通常放在平尺下表面。所以千分表读数为正时, 反映被测面凸 (千分表测头被压紧); 当千分表读数为负时, 反映被测面凹 (千分表测头被放松)。

(3) 测量布点的要求 为了便于基面转换, 平尺测量法的测量布点应均匀分布。对于小平板可如图 2-52 所示进行布点。测 6 个截面, 9 个测量点。对于尺寸大于 600mm 的平板, 可测 8 个截面, 25 个测点, 如图 2-53 所示。

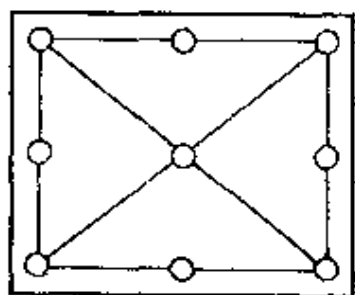


图 2-52 小平板的测量截面与测量点分布

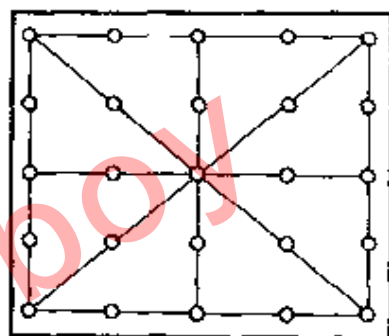


图 2-53 较大平板的测量截面和测量点的分布

2. 操作步骤

(1) 合理支承平尺。工形平尺如图 2-54 所示; 桥形平板如图 2-55 所示。

(2) 按大、小平板测量截面和测点分布的要求, 进行测量。

(3) 测量时, 若用工形平尺, 千分表测头顶在平尺上表面; 若用桥形平尺, 千分表测头顶在平尺下表面, 如图 2-54、图 2-55 所示。

(4) 记录测量点数据, 并根据工形平尺和桥形平尺示值的正负与被测面凹凸的关系, 划出误差曲线。用工形平尺时, 千分表测头顶在上表面, 正值表示被测面凹, 向下画, 负值向上画。如图 2-56 所示, 用桥形平尺时, 千分表测头顶在下表面, 正值表

示平面凸，向上画，负值向下画。如图 2-57 所示。

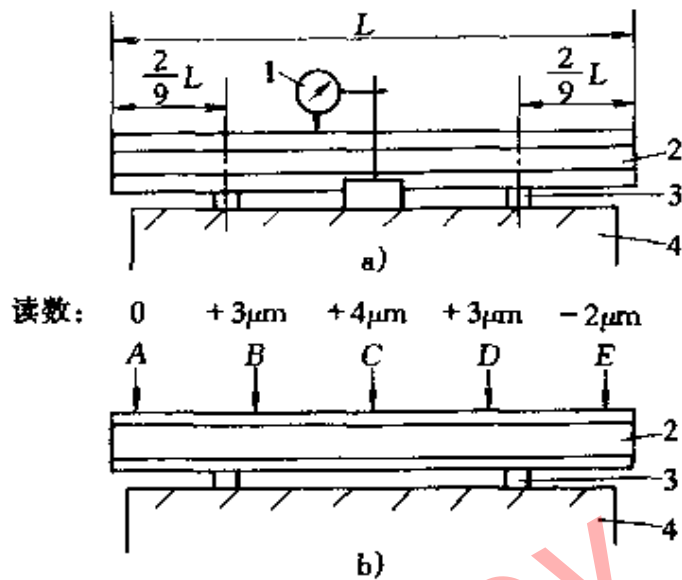


图 2-54 用工形平尺和千分表测量

1—千分表 2—工形平尺 3—等高量块 (2个) 4—测量截面

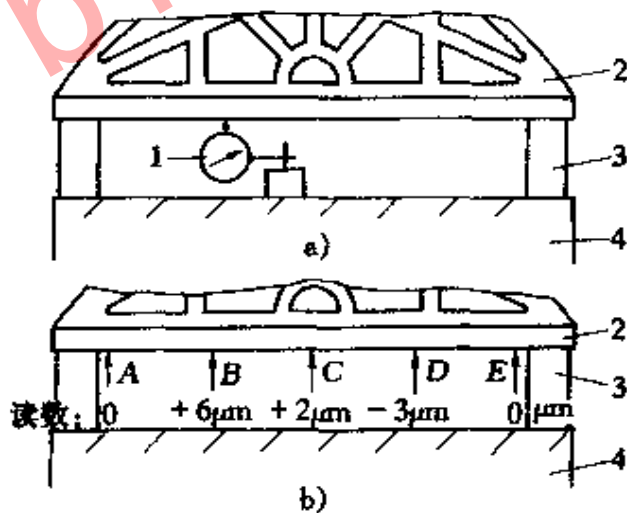


图 2-55 用桥形平尺和千分表测量

1—千分表 2—桥形平尺 3—等高量块 (2个) 4—测量截面

从测量精度方面看，图 2-55 比图 2-54 的配置好。因为，一

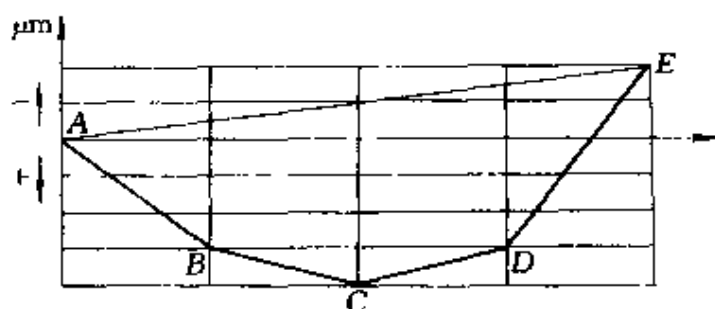


图 2-56 误差曲线 (四)

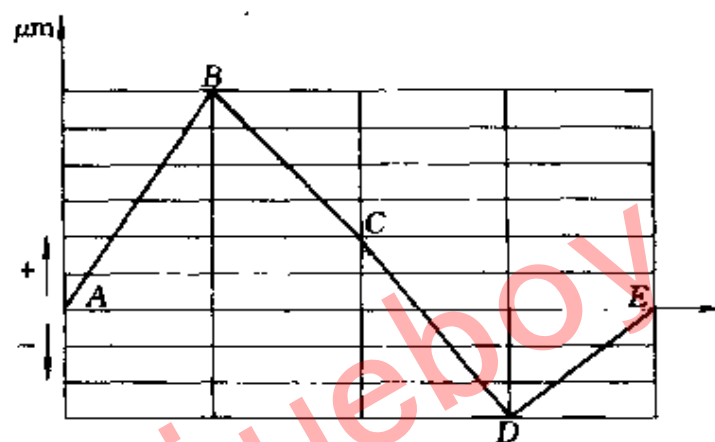


图 2-57 误差曲线 (五)

是前者刚性好，平面度误差极小，二是平尺面与平板截面间的距离小，阿贝误差就小。

五、跨步仪测量法

跨步仪测量法，就是利用千分表测头和两个支脚等距分布的千分表架进行测量。其特点是使用灵便，省去桥板等辅具，测点均布，用途广泛。

1. 操作要点

(1) 使用前，要在研磨平尺上，调整千分表指针对零。

(2) 每次测量移过的间距要相等即同为 l 。如图 2-58 所示。

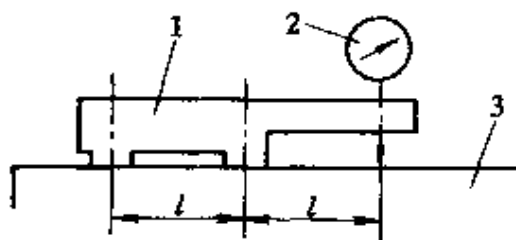


图 2-58 跨步仪

(3) 根据测量结果，画误差曲线

1—跨步仪 2—千分表 3—研磨平尺

差曲线。

2. 操作步骤

(1) 在研磨平尺上，调整千分表指针对零。

(2) 将跨步仪放在平板上，沿平板长方向，逐档测量，每次移动 l 长。可沿长方向选取若干个截面。如图 2-59 所示， $l = 150\text{mm}$ 。

(3) 根据读数画误差曲线，读数如图 2-59 所示。

作图步骤如下（以图 2-

59 为例）：

1) 以 \overline{AB} 延长线为基准，即以它为横坐标轴

2) C 点在 \overline{AB} 延长线之上方沿纵坐标方向 $20\mu\text{m}$

3) D 点在 \overline{BC} 延长线之上方沿纵坐标方向 $30\mu\text{m}$

4) E 点在 \overline{CD} 延长线之下方沿纵坐标方向 $25\mu\text{m}$

5) F 点在 \overline{DE} 延长线之下方沿纵坐标方向 $45\mu\text{m}$

6) G 点在 \overline{EF} 延长线之下方沿纵坐标方向 $25\mu\text{m}$

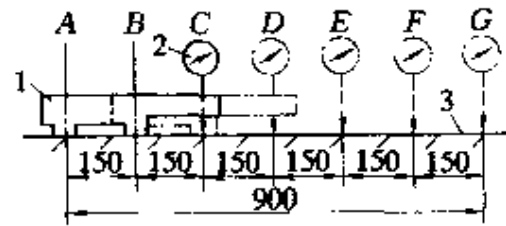
连接 A、B……G 各点即得如图 2-60 所示的误差曲线。

在各截面误差曲线画出后，综合为统一相对于对角线平面 (P) 高度的方法与节距法相同。

六、专用表桥测量法

利用图 2-61 所示的由工字形铝材制成上面装有若干个千分表的表桥进行测量，其方法就是表桥测量法。

它的特点是精确、快速、方便。由于采用三点支撑，状态稳定。支承点设置在距两端为全长的 $2/9$ 处，所以桥自身的挠度最



读数： $+20\mu\text{m}$ $+30\mu\text{m}$ $-25\mu\text{m}$ $-45\mu\text{m}$ $-25\mu\text{m}$

图 2-59 跨步仪测量法

1—跨步仪 2—千分表 3—测量截面

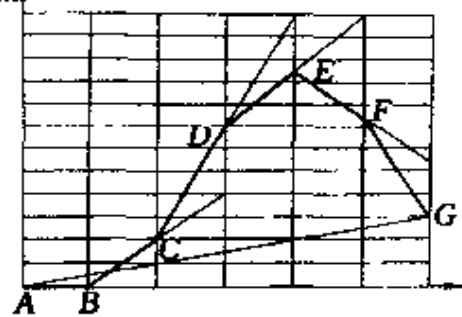


图 2-60 误差曲线 (六)

小。它主要用于频繁检测相同尺寸平板的场合。

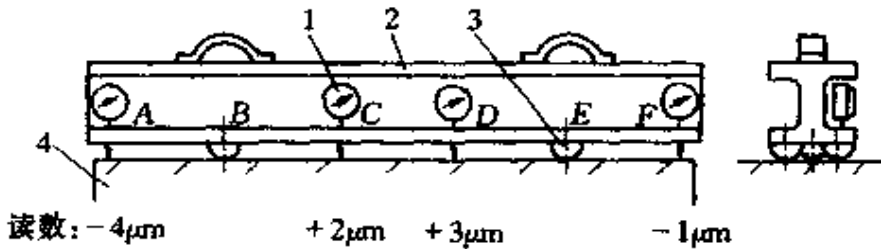


图 2-61 专用表桥

1—千分表 2—表桥 3—球头支承 (3个) 4—测量截面

1. 操作要点

- (1) 在研磨平尺上，使所有千分表对零。
- (2) 千分表的数量和分布，取决于测点的数量和分布。

2. 操作步骤

- (1) 在研磨平尺上，正确安装各千分表，且都调至零位。
- (2) 放在被测平板上进行测量。
- (3) 记录数据。
- (4) 根据数据画误差曲线。以图 2-61 所示为例。则误差曲线如图 2-62 所示。

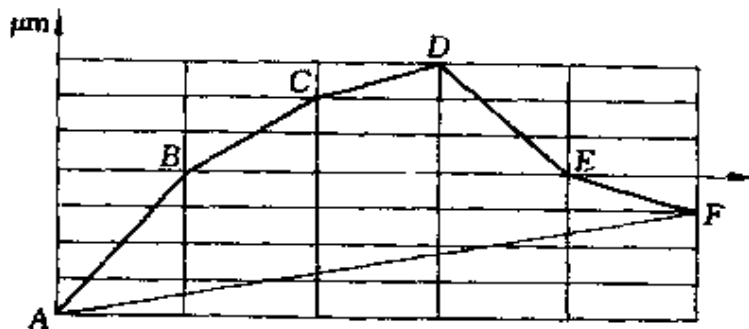


图 2-62 误差曲线 (七)

误差的综合方法与节距法相同。

七、液体联通器测量法

利用如图 2-63 所示的液体联通器进行平面度误差的测量方法，就是液体联通器测量法。其特点是，测量精度受检测手段控

制，测量精度也受振动、微风等环境因素影响。它用于特大型平板或数块拼装而成的平板的平面度测定。

1. 操作要点

- (1) 测量仪器要用测深千分尺，并换上尖测头。
- (2) 测量时，当尖测头刚接触液面时，液面出现一个凹坑，即读数。
- (3) 若想提高测量精度，可在水中加盐或采用电子检测手段。
- (4) 测量中，要排除环境的振动干扰。

2. 操作步骤

- (1) 在平板上安放五个相互联通的液体联通器，如图 2-64 所示。
- (2) 中间容量较大的固定不动。
- (3) 周围四个可在平板的四个角移动若干位置。
- (4) 周围的四个每移动一次，就进行一次读数。

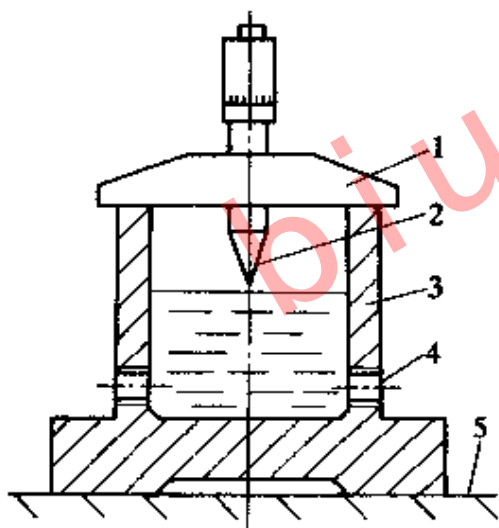


图 2-63 液体联通器

1—测深千分尺 2—尖测头
3—联通器 4—接管口 5—被测平板

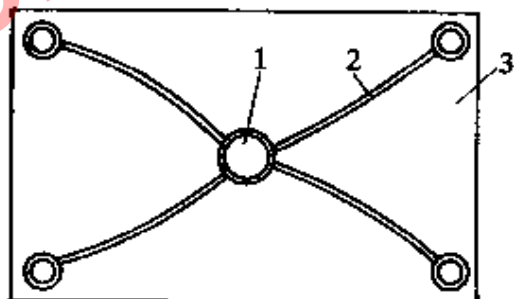


图 2-64 液体联通器测量法

1—液体联通器 (5 个)
2—软管 3—被测平板

(5) 数据处理时，周围联通器与中间联通器的读数之差，就反映了平板各部位相对中心水平面的高度。

第三节 检验平板平面度误差的评定

平板平面度误差是形状误差之一。形状误差的测量，是被测形状与理想形状相比较的结果。而理想形状所在位置直接影响着

误差的大小。所以 GB1182—1996 规定，“理想形状相对于实际形状的位置，应按最小条件来确定”。最小条件就是指：被测实际要素对其理想要素的最大变动量为最小。它就是评定形状误差（当然包括平面度误差）的基本原则。通常平面度误差评定方法归结为以下两大类：

一、根据被测平面的实际情况来确定评定基准的位置

1. 按最小条件评定

根据最小条件的定义可以知道。这种评定方式，就是使基准要素最大限度地接近实际要素，达到变动量为最小的目的。即选定的基准直线或平面对实际直线或平面的最大变动量为最小，如图 2-65 所示。

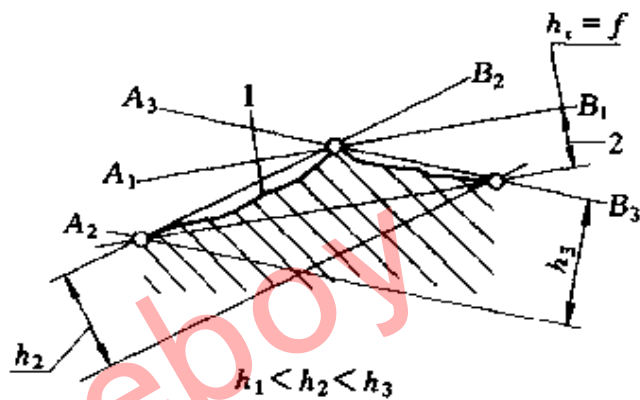


图 2-65 轮廓要素的最小区域

1—被测实际要素 2—最小区域

其中可选为基准要素的就是理想直线 A_1B_1 。

这种评定方法的优点是，最大限度地排除了基准要素带来的额外误差。应认为是更符合实际情况地反映了被测平面的形状误差；所评定的误差值为最小，有利于最大限度地保证产品合格；而且评定结果是唯一的，可避免发生争执。

2. 按最小二乘法评定 最小二乘法就是指被测实际要素对其理想要素变动量，其平方和为最小。其优点是，评定平面度误差更合理。难度在于二元线性回归的计算量相当大。不过，对于日益普及的微处理机来说，这种计算又是最方便的。所以按最小二乘法评定平面度误差将在现场广泛应用。

无论是按最小条件评定，还是按最小二乘法评定，其测量步骤都分为两步，一是测量，求出被测平面相对于某个理想平面的变动量；二是评定，以测量结果作原始数据，通过基而转换（作图法）或二元线性回归（计算法），找到符合上述两原则的评定

基准，从而确定平面度误差的数值。

二、预先规定评定基准的位置

这类评定方法，虽不符合国标定义，却很实用。因为它可使测量基准和评定基准重合，省去了测后的基面转换，使评定过程大为简化。

1. 按对角线平面评定。以过平板一根对角线且平行于另一根对角线的理想平面作评定基准的方法，就是对角线平面法。其优点是，评定的结果唯一，一般和最小条件的评定结果相接近。还可省去基面转换，实现快速评定。这种方法在生产中广为应用。因为其结果可反映平板是凸、是凹，还是扭曲，便于发现平板是否有变形或不均匀磨损。在平板修理中多用此法。在前面平面度误差测量中该方法已具体应用。

2. 按水平面评定 以水平面作为评定基准的方法就是水平面评定法。其特点是可以实现快速评定。主要用于大型平板的修理，通过这种方法逐次修理，不但不会破坏安装水平，反而会使之得以改善。这种方法在平面度误差测量中也已应用。

3. 按三角点平面评定 以平板的任意三个角点所组成的平面作评定基准的方法，就是三角点法。其优点是，调整方便，评定快捷；其缺点是，一个被测截面可能有四种不同的测量结果。这种方法广泛应用于机床行业。因为我国规定，机床工作台面的平面度误差按三角点平面评定。

同样的测量结果，若评定方法不同，平面度的误差值也不同。其中以按最小条件评定的结果为最小。当然有利于保证产品合格。但其他几种方法评定结果的大小，是无规律的。但只要评定结果在平面度公差范围内，就认为平面度合格。另外，在生产实践中，为求简便，在测定各截面后，不进行综合，而以测量中的最大直线度误差作为平板的平面度误差。不过，这样评定的结果不能作为平板定级的依据。除自修自用的低级平板，一般不宜采用此法评定。

第四节 基面转换法

一、基面转换法的功用

1. 用来找到符合最小条件理想平面的位置 基面转换法可以任意改变基准平面相对于被测平面的位置。因此,可以依据测量时所依据的理想平面——测量基准。利用基面转换法,去寻求最佳的评定平面度误差的理想平面——评定基准。当然不难找到符合最小条件的理想平面的位置。

2. 评定结果发生争执时,作为仲裁 基面转换法提出后,测量时,基准平面选在哪里就无关紧要了。这决定了它具有重要的实用价值。它已成为高精度平板定级不可缺少的一种手段。正是由于结果的唯一性和实际性,在运用最小条件法以外的其他方法评定发生争执时,就采用基面转换法按最小条件评定的结果作为仲裁。

二、基面转换法的原理

基面转换的原理,就是以原始测量数据数值的增减,来体现基准平面的平移或旋转。

基面转换法的提出,应建立以下两项假设:

1. 计量方向不变 在基面转换后,基准平面位置虽改变了,但被测平面上各点高度的计量方向仍垂直于测量基准。

2. 离散点测量 测出被测平面上按网格均布的若干点的高度后,通过基面转换,使这些点中最高点和最低点间的差值为最小,则此值就是符合最小条件的平面度误差值。

基面转换法的原理可按图 2-66 说明如下:

(1) 被测平面上 A、B 点相对于测量基准 2 的高度为 Δ''_A 和 Δ''_B 。

(2) 各点原始数据减去其中的最大正值,使最高点变为零。即理想平面由位置 2 平移到位置 3。使之与被测平面相切。此时 A、B 点高度分别为 Δ'_A 、 Δ'_B 。

(3) 理想平面绕 O 轴 (O 轴垂直于纸面) 由位置 3 转到位

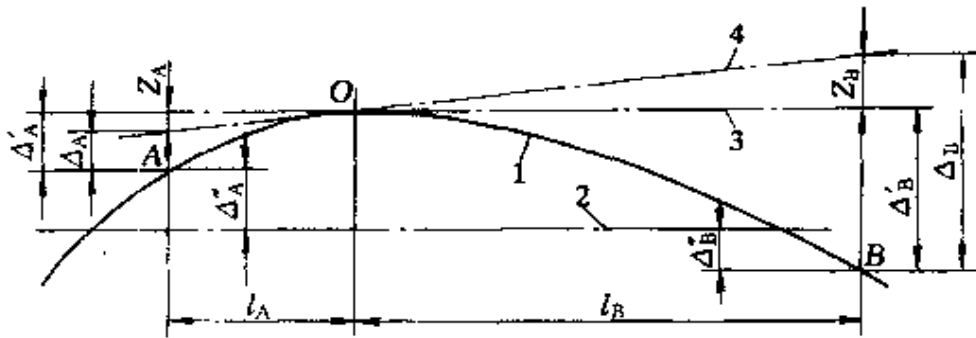


图 2-66 基面转换法原理

1—被测平面 2—测量基准 3—平移后的理想平面 4—旋转后的理想平面

置 4。A、B 点旋转量为 Z_A 和 Z_B 此时 A、B 点高度为

$$\Delta_A = \Delta'_A - Z_A$$

$$\Delta_B = \Delta'_B + Z_B$$

由相似三角形对应边成比例可知

$$|Z_A| : |Z_B| = l_A : l_B$$

由上述可知，在基面转换过程中，由于平面度误差值是由最高、最低点的差值决定的。因此，测量数据任意同加、减一个数对评定结果无影响；另外，由于计量方向始终垂直测量基准。所以基面转换后，在旋转轴两侧各点高度数值的变化量绝对值与各点到旋转轴的距离成正比（如上例中 $|Z_A| : |Z_B| = l_A : l_B$ ）。

三、最小条件判别准则

在基面转换过程中，为了判断变化着的基面是否已转换到符合最小条件的位置，即是否已获得唯一最小的平面度误差值，而提出了判别准则。判别准则就是指被测平面上，各点的高度在符合最小条件时可能出现的几种分布状态。

为了方便叙述，引入下列两组名词：

1. 峰和谷 峰和谷分别指被测平面上的高点和低点。峰、谷是相对的。在被测平面的任意四点中，如其中三点为谷，则另一点为峰；如果其中三点为峰，则另一点为谷；如果其中两点为峰，则另两点为谷。

2. 极峰和极谷 被测平面与上包容平面接触的点，称为极峰。与下包容面接触的点称为极谷。二者统称为极值点。

因为通过空间已知四点就可以确定唯一的一对平行平面的位置，所以包容平面的位置，将由被测平面上的四个极值点来决定。这四个极值点只要符合下述三大准则之一，包容平面的位置就符合最小条件，即最小条件判别准则：

(1) 交叉准则 两个极峰和两个极谷在基准面上的正投影的连线相交叉，如图 2-67a 所示。

(2) 三角准则

1) 极峰在基准面上的正投影位于三个极谷在基准面上的正投影中间，如图 2-67 所示。

2) 极谷在基准面上的正投影位于三个极峰在基准面上的正投影中间，如图 2-67 所示。

(3) 直线准则

1) 极峰在基准面上的正投影落在两个极谷在基准面上的正投影连线上。

2) 极谷在基准面上的正投影落在两个极峰在基准面上的正投影连线上。

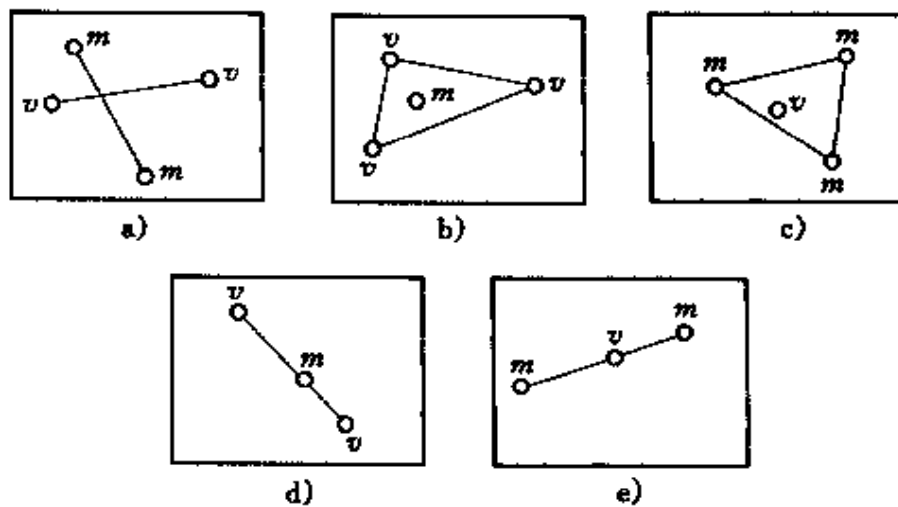


图 2-67 最小条件判别准则

a) 交叉准则 b、c) 三角准则 d、e) 直线准则 m —极峰 v —极谷

四、基面转换旋转法

基面转换通常有三种方法，即：基面转换旋转法，基面转换图解法，基面转换计算法。其中旋转法是最基本的一种数据处理方法。

1. 转换的要点

(1) 获取基面转换的原始数据 测量点要按网格分布。其纵、横向间可以不等距，测量方法和测量基准可以任意选择。测出各点相对于某一理想平面的高度就可作为原始数据。

(2) 进行基面平移 根据“理想要素位于实体之外”的原则。各测点的数值应变为同号。以上包容面为基面进行旋转时，原始数据上各减去最大正值，均变为负；若以下包容面为基面进行旋转时，数据上各加上最小负值的绝对值，均变为正。

(3) 进行基面旋转 用以改变各点高度值，以寻求最小条件。旋转轴的位置和旋转量的大小，按下列规则选择。

1) 旋转后，绝对值最大的数值要减小。

2) 旋转后，至少有一个点数值为零。这表明基面和被测平面未脱离。转轴至少要通过一个数值为零的点。

3) 旋转后，不允许出现异号数值，以免基面和被测平面相割。

基面旋转可能是一次，也可能是多次，才能符合上述判别准则之一。在进行基面转换前，不必要预测结果将符合哪个准则或估计极峰、极谷的位置。只要绝对值最大的数据在减小且不出现异号数值，则步骤就可行。即使不是最简捷的步骤，最后总能得到符合最小条件的平面度误差值。

2. 转换的步骤（举例说明）

已测得各测点相对于对角线平面的高度如下。（获得了转换的原始数据）。

格 (1.2 μm)

0	+1	+7	+6	+3	+4	0	+10	+8
-1	+1	+6	+3	-6	-9	-5	+4	+10
0	-3	-4	0	+4	+9	+2	+6	+6
+5	+1	+8	+15	+16	+9	+7	+11	+2
+8	+10	+7	+5	+7	+9	+10	+5	0

(1) 上表数据各减 16, 以上包容平面作基准 (基面平移)。
得下表。

-16	-15	-9	-10	-13	-12	-16	-6	-8	+8
-17	-15	-10	-13	-22	-25	-21	-12	-6	+4
-16	-19	-20	-16	-12	-7	-14	-10	-10	+2
-11	-15	-8	-1	0	-7	-9	-5	-14	0
-3	-6	-9	-11	-9	-7	-6	-11	-16	-2

(2) 以横向第四组数所在截线为轴, 旋转, 旋转后得下表:

格 (1.2 μm)								
-10	-9	-3	-4	-7	-6	-10	0	-2
-13	-11	-6	-9	-18	-21	-17	-8	-2
-14	-17	-18	-14	-10	-5	-12	-8	-8
-11	-15	-8	-1	0	-7	-9	-5	-14
-10	-8	-11	-13	-11	-9	-8	-13	-18

如上表所示, 现已接近交叉准则。但两极谷“-21”和“-18”还未相等。而两极谷离 0-0 轴不等距。所以不可盲目取平均值 -19.5 (格)。由于“-21”离 0-0 近, 所以旋转后减少较小, 而“-18”则减少较多。因而可把极谷估计为 -20 (格)。而 $N = 1.2\mu\text{m}$ 。所以符合最小条件的平面度误差 $\Delta_{\text{小}}$:

$$\Delta_{\text{小}} = [0 - (-20)] \times 1.2\mu\text{m} = 24\mu\text{m}$$

若要求精确的各点高度。可按下法进行:

如图 2-68, 以 0-0 为旋转轴。设单位旋转量为 Z , 则各点旋

转量如图所示。旋转目的是使“-21”、“-18”数值相等。所以：

$$-21 + Z = -18 - 5Z$$

$$Z = 0.5$$

把 Z 代入后，即得最后结果。如下表。

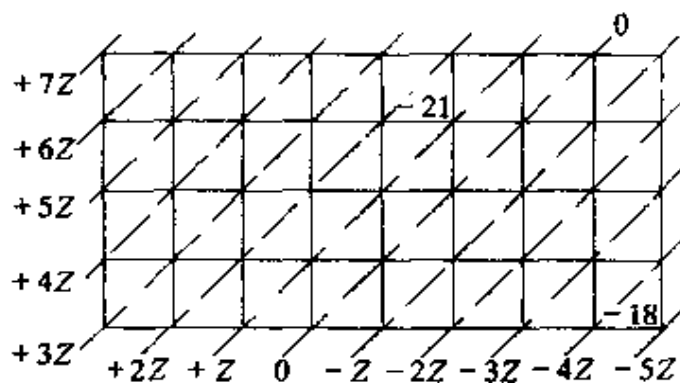


图 2-68 旋转量计算

故精确的 $\Delta_{小}$ ：

$$\Delta_{小} = [0 - (-20.5)] \times 1.2\mu\text{m} = 24.6\mu\text{m}$$

格 (1.2 μm)								
· 6.5	-6	-0.5	-2	-5.5	-5	-9.5	0	-2.5
-10	-8.5	-4	-7.5	-17	-20.5	-17	-8.5	-3
-11.5	-15	-16.5	-13	-9.5	-5	-12.5	-9	-9.5
-9	-13.5	-7	-0.5	0	-7.5	-10	-6.5	-16
-8.5	-7	-10.5	-13	-11.5	-10	-9.5	-15	-20.5

平板 2000mm×1000mm 属 R10 优先数系，我国平板草案中没有。但在修理中常遇到。若需定级，可根据前面介绍的平面度公差 T 的公式计算出 T 。如 1 级精度

$$T = K \left[1 + \frac{d}{1000} \right] = 8 \left[1 + \frac{2236}{1000} \right] = 25.9\mu\text{m}$$

按对角线评定的平面度误差 $\Delta_{对} = 30\mu\text{m}$ 。所以评定结果该平板为 2 级平板；而按最小条件评定的结果，该平板为 1 级精度。

另外，前面也求出了平板各测点相对于三角点平面的高度如下：

格 (1.2 μm)								
0	+2	+9	+9	+7	+9	+6	+17	+16
-3	0	+6	+4	-4	-6	-1	+9	+16
-4	-6	-6	-1	+4	+10	+4	+9	+10
-1	-4	+4	+12	+14	+8	+7	+12	+4
0	+3	+1	0	+3	+6	+8	+4	0

先各减 17 (平移), 再以纵向第八组数据为轴旋转。如下表:

-17	-15	-8	-8	-10	-8	-11	0	-1
-20	-17	-11	-13	-21	-23	-18	-8	-1
-21	-23	-23	-18	-13	-7	-13	-8	-7
-18	-21	-13	-5	-3	-9	-10	-5	-13
-17	-14	-16	-17	-14	-11	-9	-13	-17
+7	+6	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1

旋转后得:

格 (1.2 μm)								
-10	-9	-3	-4	-7	-6	-10	0	-2
-13	-11	-6	-9	-18	-21	-17	-8	-2
-14	-17	-18	-14	-10	-5	-12	-8	-8
-11	-15	-8	-1	0	-7	-9	-5	-14
-10	-8	-11	-13	-11	-9	-8	-13	-18

至此已得到和对角线平面法的数据旋转后相同的结果。这就证明了综合时选谁作基准面无关紧要。

例 7 假设测得平板上各测点高度如下:

格 (4.8 μm)								
0	+1	+2.5	+3	+4	+7	+9	+10.5	+11
+2	+3	+3	+3	+3	+3.5	+6	+6.5	+7
+5	+2	+1	-0.5	-2	-2.5	0	+0.5	+3
+6.5	+4	+2	+0.5	-1	-1.5	-1	-0.5	-0.5
+7	+7	+6.5	+6.5	+6.5	+3	+0.5	-2	-4.5

(1) 先各加 4.5 (平移) 再以横向最后一组数据为轴旋转:

4.5	5.5	7	7.5	8.5	11.5	13.5	15	15.5	-4
6.5	7.5	7.5	7.5	7.5	8	10.5	11	11.5	-3
9.5	6.5	5.5	4	2.5	2	4.5	5	7.5	-2
11	8.5	6.5	5	3.5	3	3.5	4	4	1
11.5	11.5	11	11	11	7.5	5	2.5	0	0

旋转后得以下结果：

									格 (4.8 μm)
0.5	1.5	3	3.5	4.5	7.5	9.5	11	11.5	
3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5	7.5	8	8.5	
7.5	4.5	3.5	2	0.5	0	2.5	3	5.5	
10	7.5	5.5	4	2.5	2	2.5	3	3	
11.5	11.5	11	11	11	7.5	5	2.5	0	

(2) 至此已基本符合直线准则。两极峰为 11.5，极谷为 0.5 (近似为 0)。若 $N=4.8\mu\text{m}$ ，则 $\Delta_{\text{小}}$ ：

$$\Delta_{\text{小}} = (11.5 - 0) \times 4.8 = 55.2\mu\text{m}$$

例 8 假设各测点高度如下表所示：

					格 (1.9 μm)
0	3	9	17	32	
2	11	19	28	39	
5	8	8	19	47	
10	17	26	35	52	

(1) 按下表所示旋转：

0	3	9	17	32
2	11	19	28	39
5	8	8	19	47
10	17	26	35	52
0	-3	-6	-9	-12

得下表结果后，再旋转：

0	0	3	8	20	0
2	8	13	19	27	-1
5	5	2	10	35	-2
10	14	20	26	40	-3

(2) 得以下结果后，再旋转：

0	0	3	8	20
1	7	12	18	26
3	3	0	8	33
7	11	17	23	37
+16	+8	0	-8	-16

(3) 得以下结果后，再旋转：

16	8	3	0	4	+4
17	15	12	10	10	+2
19	11	0	0	17	0
23	19	17	15	21	-2

(4) 旋转后得以下结果：

		格 (1.9 μm)						
20		12	7	4	8			
19		17	14	12	12			
19		11	0	0	17			
21	—	17	—	15	—	13	—	19

由上图可见，基本符合三角准则。极峰估计为 20 格。若 $N = 1.9\mu\text{m}$ ，则：

$$\Delta_{\text{小}} = (20 - 0) \times 1.9 = 38\mu\text{m}$$

复习思考题

1. 精密平板按用途分可分为哪两大类？各自的功用是什么？
2. 检验平板按材质可分为哪两大类？对材质有何要求？
3. 检验平板的精度分为哪几级？精度分级的依据是什么？

4. 研磨平板如何分类, 对材质有何要求?
5. 比较测量法的定义、特点和用途是什么?
6. 举例说明比较测量法的操作步骤。
7. 节距测量法的定义、特点、用途和原理是什么?
8. 简述安装水平误差测量的操作步骤。
9. 简述用自准直仪按节距法测量平板平面度误差的操作步骤。
10. 简述用水平仪与用自准直仪测量平面度误差的不同之处。举例说明用水平仪测量的操作步骤。
11. 在用节距法测量平面度误差时, 如何校验测量结果?
12. 水平面测量法的操作要点是什么?
13. 简述平尺测量法、跨步仪测量法, 专用表桥测量法、液体连通器测量法的定义和用途。
14. 根据被测平面的实际情况来确定评定基准的位置时, 应遵循的原则是什么? 这些原则的特点是什么?
15. 预先规定评定基准的位置时, 应遵循的原则是什么? 原则的特点各自是什么?
16. 基面转换法的功用是什么?
17. 基面转换法的原理是什么?
18. 最小条件判别准则有哪些? 简述其内容。
19. 包容平面的位置是怎样确定的? 它依据的原理是什么?
20. 旋转法转换的要点是什么?
21. 举例说明旋转法转换的步骤。
22. 在进行基面旋转时, 应遵循的原则是什么?

第三章 精密导轨及修理

培训要求 了解精密导轨的形式、特点，掌握精密导轨的修理与操作。

第一节 滚动导轨

滚动导轨是指在导轨间安放滚动体，两个导轨面都只同滚动体接触，而不直接接触的精密导轨。其根本特性就是导轨面的摩擦是滚动摩擦，因此其摩擦因数小，动、静摩擦因数很接近，从而使运动轻便灵活。运动所需功率小，摩擦发热少，磨损小，精度保持性好。低速运动无爬行现象，运动平稳、均匀。移动精度、定位精度都较高，可获得精确的微量位移。润滑简单，有时是脂润滑，高速运动时不会出现像滑动导轨那样的导轨浮起现象（动压效应）。但滚动导轨结构复杂，制造困难、成本比较高、抗振性差。另外，其对脏物较敏感，应有良好的防尘装置。它被广泛应用于各类精密机床上，例如：磨床砂轮架横向进给导轨，坐标镗床、数控机床、工具磨床及立式车床等机床上都有应用。

一、结构

滚动导轨可分为开式和闭式两种，其中闭式的可通过施加预加载荷来提高导轨的接触刚度和抗振性。按滚动体的类型，滚动导轨可分为滚珠、滚柱、滚针和滚动导轨支承等形式。

1. 滚珠导轨 滚珠导轨如图 3-1 所示。滚珠 4 用保持器 3 隔开(图 3-1)，在淬硬镶钢导轨中滚动。导轨 1、2 和 5、6 分别固定在工作台和床身上(图 3-1a)，它属 V-平组合的开式导轨。图 3-1b 所示的滚动导轨结构，可用调整螺钉 7 调节导轨的间隙或进行预紧，调后，用螺母 8 锁紧，图 3-1b 比图 3-1a 所示结构的刚度高。

(1) 适用范围 适用于运动部件重力不大于 2000N，切削力

和颠覆力矩都较小的机床。如工具磨工作台导轨（图 3-1a）；磨床砂轮修整器导轨（图 3-1b）等。

(2) 特点 结构紧凑、制造容易、成本低、刚度低及承载能力小。

2. 滚柱导轨

滚柱导轨的承载能力和刚度都比滚珠导轨大。但滚柱较滚珠对导轨平行度要求高，因为微小的平行度误差都会引起滚柱的偏移和侧向滑动，从而加剧导轨的磨损，降低了精度。因此滚柱应做成腰鼓形，即中间直径比两端大 0.02mm 左右。

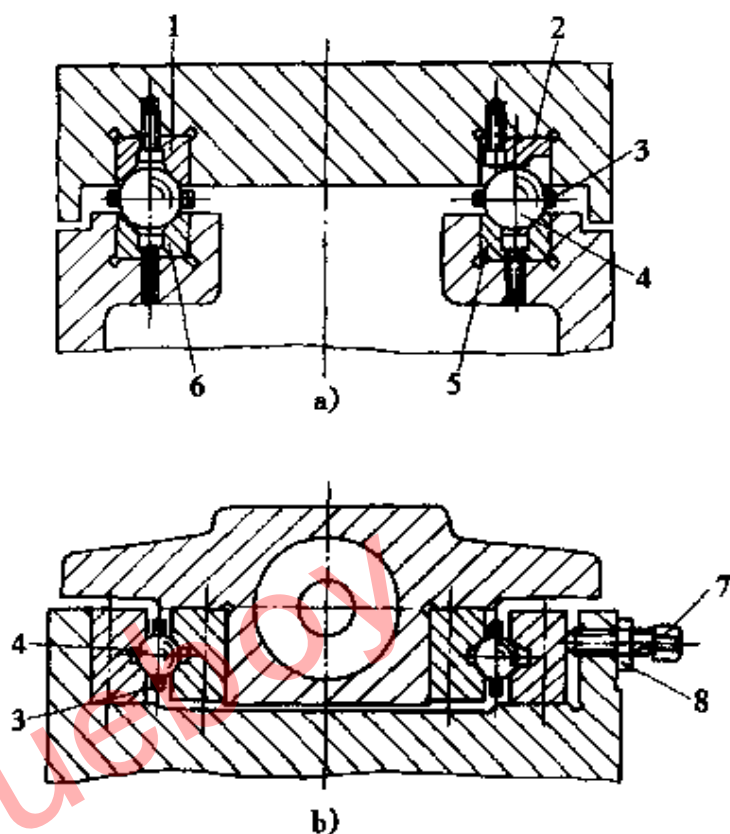


图 3-1 滚珠导轨

1、2、5、6—导轨 3—保持器 4—滚珠
7—调整螺钉 8—螺母

(1) 适用范围 适用于载荷较大的机床，是应用最为广泛的一种滚动导轨。

(2) 特点 有较大的承载能力和较高的刚度，但加工精度要求高。

(3) 种类

1) V-平组合的开式滚柱导轨如图 3-2a 所示。其结构简单，制造方便，应用较多，导轨面可配制或配磨。一般采用淬火钢镶装导轨。在无冲击载荷，运动不频繁，防护条件较好时，也可采用铸铁导轨。

2) 燕尾形滚柱导轨如图 3-2b 所示。其结构紧凑，调节方便。但其制造劳动量大，装配精度不便检查。适用于空间尺寸不

大，又承受颠覆力矩的机床部件上。

3) 十字交叉滚柱
 导轨的一对导轨间，是截面为正方形的空腔。滚柱装在空腔里，相邻滚柱的轴线交叉成 90° 。这样导轨在哪个方向上都有承载能力。为了减少端面摩擦，滚柱的长应略短于其直径（小 $0.15\sim 0.25\text{mm}$ ），滚柱由保持器隔开。其特点是，精度高、动作灵敏、刚度高及结构较紧凑（图 3-2c），但制造较困难。图示结构可用螺钉 2 预紧，为了增加滚柱数量，可不用保持架而紧密排列，从而提高刚度。除图示闭式结构外，交叉滚柱导轨也可是开式的，如坐标镗床导轨。此时采用铸铁导轨，滚动体为大直径的空心滚柱，这样既有较高的刚度又有缓冲功能。

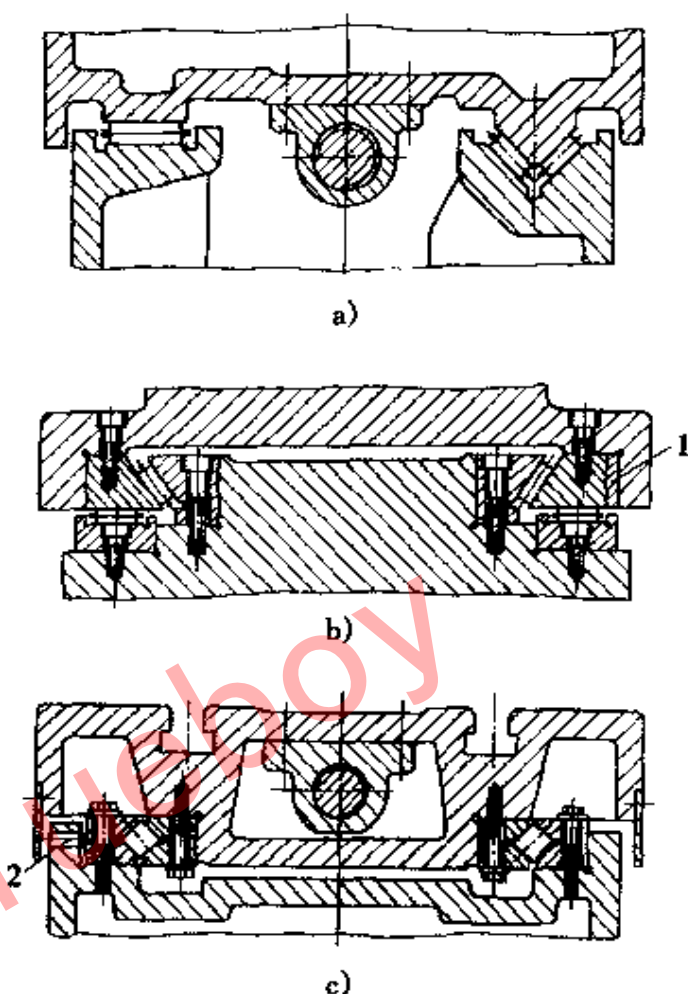


图 3-2 滚柱导轨

从而提高了刚度。除图示闭式结构外，交叉滚柱导轨也可是开式的，如坐标镗床导轨。此时采用铸铁导轨，滚动体为大直径的空心滚柱，这样既有较高的刚度又有缓冲功能。

3. 滚针导轨 滚针可按直径分组选择。中间的长略小于两端的，以便提高运动精度。

(1) 适用范围 用于尺寸受限制的地方和承载较大的场合。

(2) 特点 滚针比滚柱的长径比大，所以其尺寸小，结构紧凑。承载能力也较大，但摩擦因数也大些。

4. 滚动导轨支承 滚动导轨支承是一个独立的部件。其滚动体可以是滚珠的，也可以是滚柱的（图 3-3）。图 3-3 中，壳体

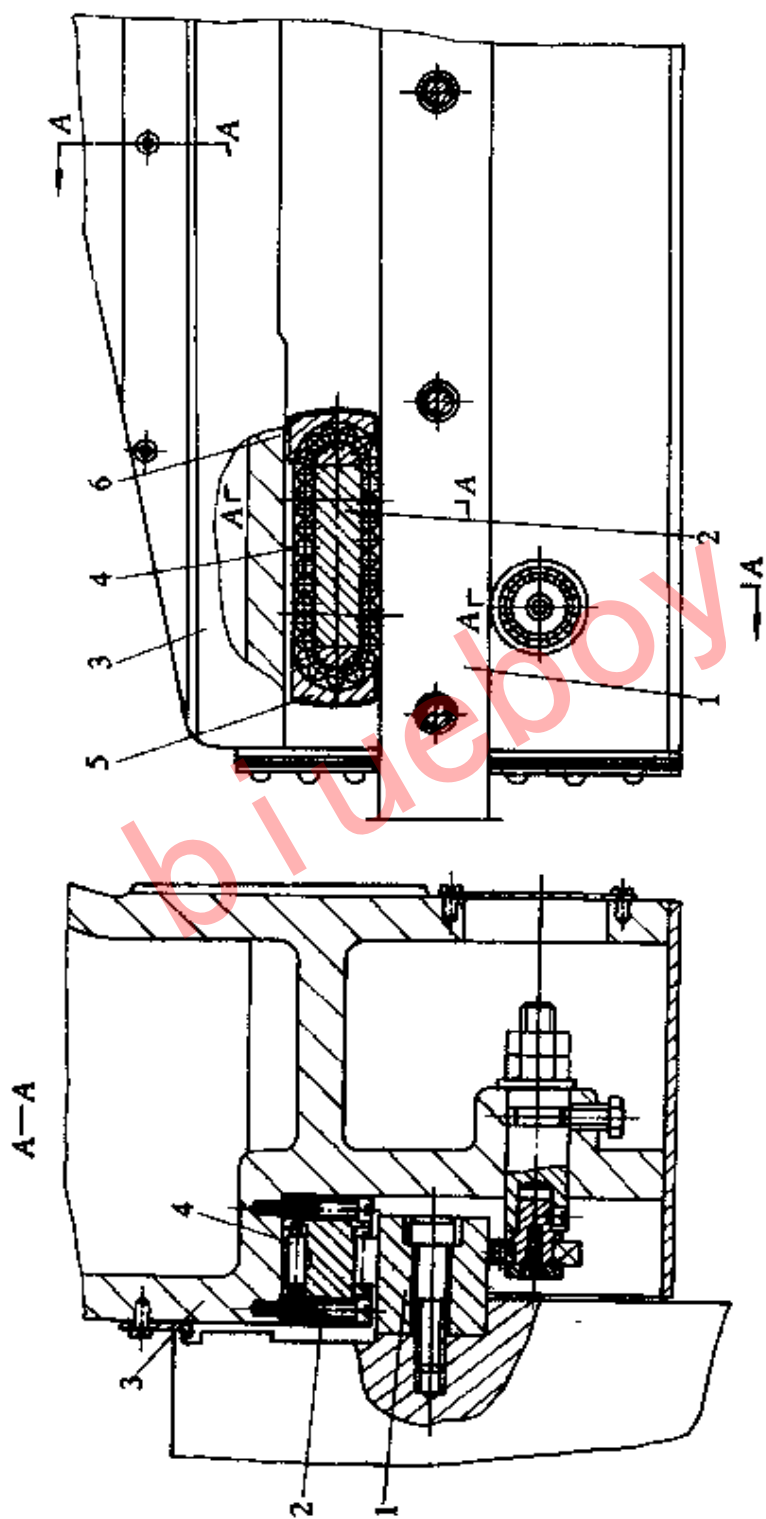


图 3-3 滚动导轨支承

2用螺钉固定在导轨3上。当导轨移动时，滚子4在支承导轨1上滚动，并通过滚动导轨支承两端的保持器5和6，使滚子4得以循环。

(1) 适用范围 用于各种直线运动导轨，一条导轨可装多个支承。装有滚动支承的动导轨可不受行程的限制。

(2) 特点 刚度高，承载能力大，便于装拆。

二、滚动体的尺寸与数目

滚动体的直径、长度和数目，可根据滚动导轨的结构选择，选择时应考虑下列因素：

(1) 滚动体的直径越大，滚动摩擦系数越小，滚动导轨的摩擦阻力越小，接触应力也越小。因此，在结构不受限制的情况下，滚柱导轨的滚柱直径是越大越好。最小直径不得小于6~8mm，滚针直径不得小于4mm。

(2) 滚动体承载能力不能满足要求时，可加大滚动体的直径或增加滚动体的数目。对于滚珠导轨，应先加大滚珠的直径；对于滚柱导轨，加大直径和增加滚动体数目是等效的。

(3) 滚动体的数目也应选择得适当。通常，每个导轨上每排滚子数最少为12~16个。具体的可用下式确定每一导轨上滚动体数目的最大值。即

$$z_{\text{柱}} \leq \frac{G}{4l}$$

$$z_{\text{珠}} \leq \frac{G}{9.5\sqrt{d}}$$

式中 $z_{\text{柱}}$ 和 $z_{\text{珠}}$ ——滚柱和滚珠的数目；

G ——每一导轨上所分担的运动部件的重量 (N)；

l ——滚柱长度 (mm)；

d ——滚珠直径 (mm)。

(4) 在滚柱导轨中，如果导轨是淬硬钢制造的，滚柱要短一些。长径比最好不超过1.5~2；长度不超过25~30mm。如果强度不够，可以增大滚子的直径或增加其数目。对于铸铁导轨，由

于可以刮研，加工误差较小，故滚柱的长径比可以大一些。

三、长度

(1) 如图 3-4a 所示结构，因滚动导轨中的滚动体和保持架随动导轨移动，为了提高滚动导轨的接触刚度，应使动导轨的全长始终与滚动体相接触，因此保持架长度 L_G 为

$$L_G = L_d + \frac{1}{2}l$$

式中 L_d ——动导轨长度
(mm)；

l ——动导轨行程
长度(mm)。

由于有 $\frac{1}{2}l$ 长的保持架中的滚子始终露在外面，所以必须加强导轨防护，为了保证动导轨移到两端时，滚动体刚好移到支承导轨的边缘，应使支承导轨的长度 $L = L_G + \frac{1}{2}l$ 。

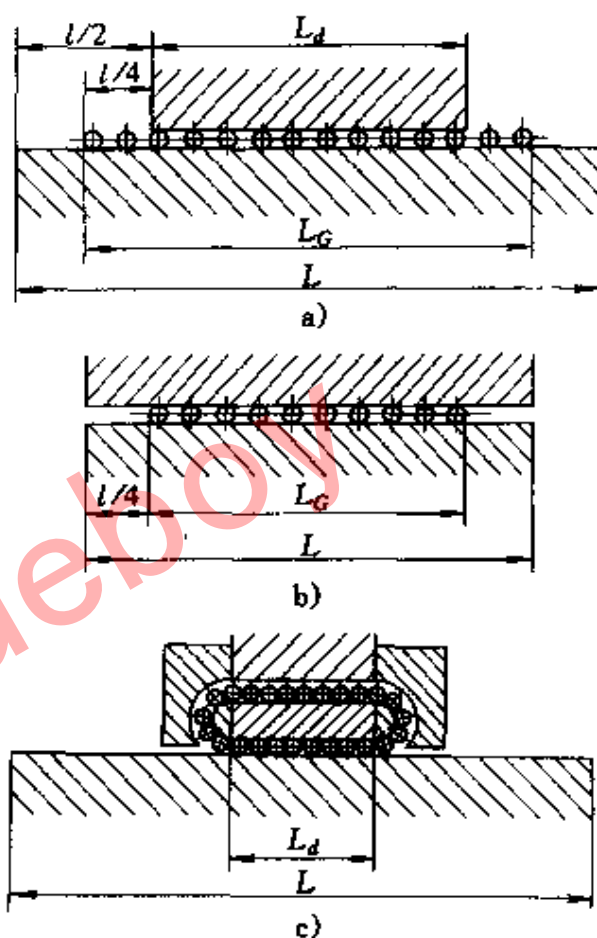


图 3-4 滚动导轨的长度

(2) 如图 3-4b 所示结构，只适用于载荷均布或集中于动导轨中部的场合。支承导轨长度为

$$L = L_d = L_G + \frac{1}{2}l$$

(3) 在滚动导轨支承中，动导轨的行程只受支承导轨长度的限制（图 3-4c）。

四、预紧

预紧可以提高滚动导轨的刚度。在有预紧的滚动导轨中，燕

尾形和矩形的滚柱导轨刚度最高，滚珠导轨最差。十字交叉滚柱导轨的刚度比滚珠导轨高些。

1. 有预紧滚动导轨的应用

(1) 当颠覆力矩较大时，为了防止滚动导轨的翻转，而采用。

(2) 在高精度机床上应用这种导轨，以便提高接触刚度和消除间隙。

(3) 应用在立式滚动导轨上，为了防止滚动体脱落和歪斜。

(4) 应用在重量较轻的部件（砂轮修整器等）的滚动导轨上。以便防止在外力的作用下，导轨面与滚动体脱开和获得必要的刚度及移动精度。

2. 选择预紧力的原则 预紧力应大于载荷，使与受力方向相反一侧的滚动体与导轨间不出现间隙；同时，预紧力与载荷之和不得超过受力一侧的滚动体许用承载力。

3. 预紧的办法

(1) 采用过盈配合 过盈量有个合理值，它既可使导轨的接触刚度较高，又使牵引力不太大，一般取过盈量 $\delta = 0.05 \sim 0.06\text{mm}$ 。中等尺寸的机床也可用测牵引力的办法来判断预紧是否合适。导轨上的牵引力，一般不超过 $30 \sim 50\text{N}$ 。滚动导轨支承用于数控机床时的过盈量，滚珠导轨支承可取 0.03mm ，滚柱导轨支承可取 0.02mm 。

(2) 采用调整元件 见图 3-2b 和 3-2c，它们分别采用调整斜镶条 1 和调节螺钉 2 的办法进行预紧。

五、修理

以螺纹磨床床身为例，说明滚动导轨的修理，如图 3-5 所示。

1. 技术要求

(1) V 形导轨角分线对平面导轨垂直线的平行度，不超过 $\pm 30'$ 。

(2) V 形导轨水平面内的直线度允差为 $0.015\text{mm}/1000\text{mm}$ 。

(3) V-平导轨的平行度允差为 $0.015\text{mm}/1000\text{mm}$ ，见图 3-6b。

(4) V-平导轨的刮研接触精度研点数为 $18\sim 20$ 点/ $25\text{mm}\times 25\text{mm}$ 。各导轨的表面粗糙度值小于 $R_a0.02\mu\text{m}$ 。

(5) 滚柱的圆度、圆柱度误差和一组滚柱的尺寸差不超过 0.002mm ，滚子表面有划痕、锈迹等应研磨。

(6) 工作台导轨与床身导轨 3、4 配刮后，接触精度研点数为 $18\sim 20$ 点/ $25\text{mm}\times 25\text{mm}$ 。

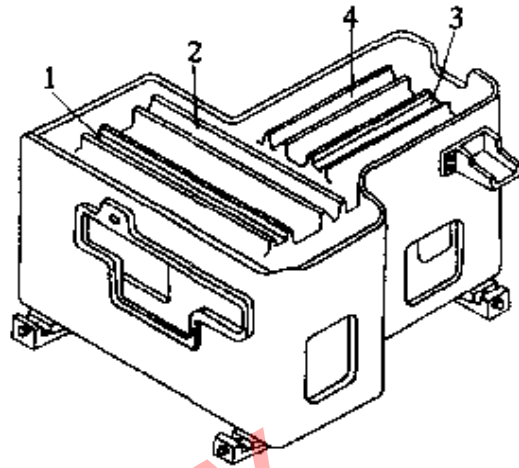


图 3-5 螺纹磨床床身

2. 修理要点及操作步骤

(1) 床身找正时，将床身放在楔形垫铁上，见图 3-5（垫铁应放在坚实的基础上，以免基础刚度影响测量精度）。用桥形板和水平仪找正导轨 1、2、3、4 至最小误差。

(2) 分别用 V 形角度直尺和标准平尺着色，拖研、刮削滚动导轨 3、4 至上述精度要求。

(3) 保证 V 形导轨角分线与平导轨垂线的平行度要求。从面确保导轨间垫入滚柱时按比值平行上移，否则将造成导轨面与滚柱成点接触。

(4) 滚动体表面若有锈蚀、划痕、磨损等缺陷，应进行研磨，当研磨无法消除缺陷时，应更换滚动体。

(5) 将一组滚柱置于导轨面上。放置时，应把尺寸大、小的滚子间隔开。V 形导轨的滚柱大端朝上为宜。平导轨滚柱大端向外为宜。然后在滚柱上放检验桥板，在全长上推动检查，结果应满足技术要求（在 a 、 b 两个方向上检查，见图 3-6b）。

(6) 将工作台导轨置于床身导轨 3、4 上着色、拖研、刮削，接触精度研点数为 $18\sim 20$ 点/ $25\text{mm}\times 25\text{mm}$ 。

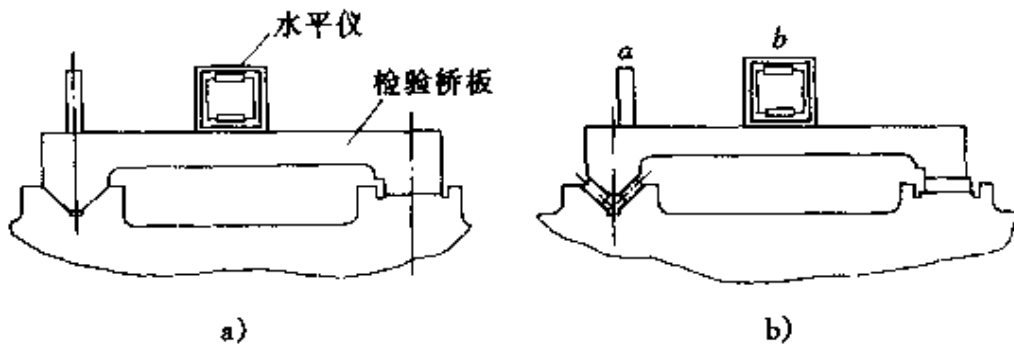


图 3-6 用检验桥板检查

- a) 用检验桥板检查 V 平导轨的平行度误差 b) 在滚柱上放置检验桥板
检查 V-平导轨的平行度误差

(7) 镶钢淬硬导轨的修复，只能用磨加工恢复其精度。若更换新导轨，导轨淬硬后，应时效处理。

第二节 静压导轨

将具有一定压力的润滑油，通过节流器输入两导轨面的油腔中，在导轨面间形成压力油膜，使动导轨微微浮起，导轨处于纯液体摩擦状态，这就是静压导轨。

一、特点

1. 优点

- (1) 导轨无磨损，精度保持性好。
- (2) 油膜厚度不随载荷或运动速度变化而变化，有均化误差的作用，可以提高精度。
- (3) 摩擦因数很小 (0.0001~0.0005)，大大降低传动功率，减少摩擦发热。

(4) 低速移动准确、均匀、无爬行，运动平稳性好。

(5) 油膜有吸振能力，抗振性好。

2. 缺点

- (1) 结构复杂
- (2) 增加了一套专门的供油系统
- (3) 调整比较麻烦。

(4) 对润滑油清洁度要求很高。

根据上述特点，静压导轨多用于高精度、高效率的大型机床上和低速运动的导轨上。

二、形式

静压导轨按结构形式分，有开式静压导轨和闭式静压导轨；按供油情况分，有定压式和定量式静压导轨。定压式静压导轨应用较多，常用的节流器有毛细管固定节流器和薄膜反馈可变节流器。

三、工作原理

静压导轨的工作原理与静压轴承相同，见图 3-7、3-8、3-9。图 3-7 是定压开式静压导轨，图 3-8 是定压闭式静压导轨，图 3-9

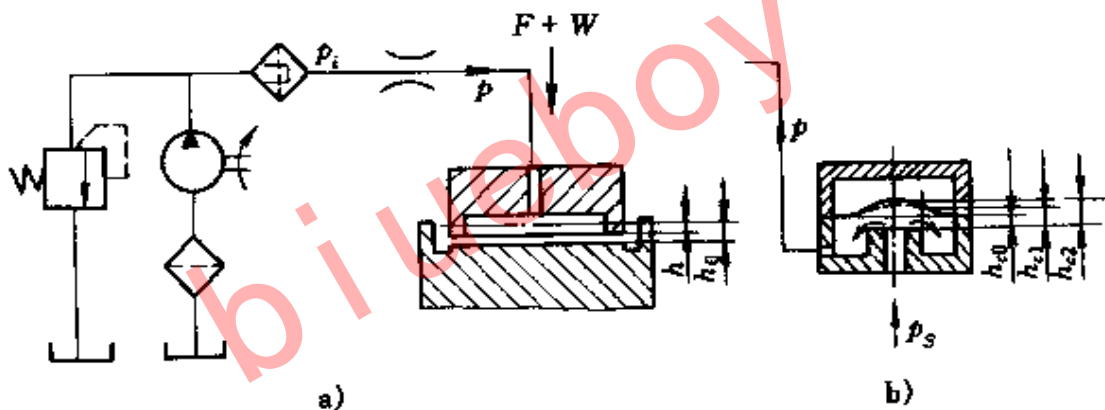


图 3-7 定压开式静压导轨

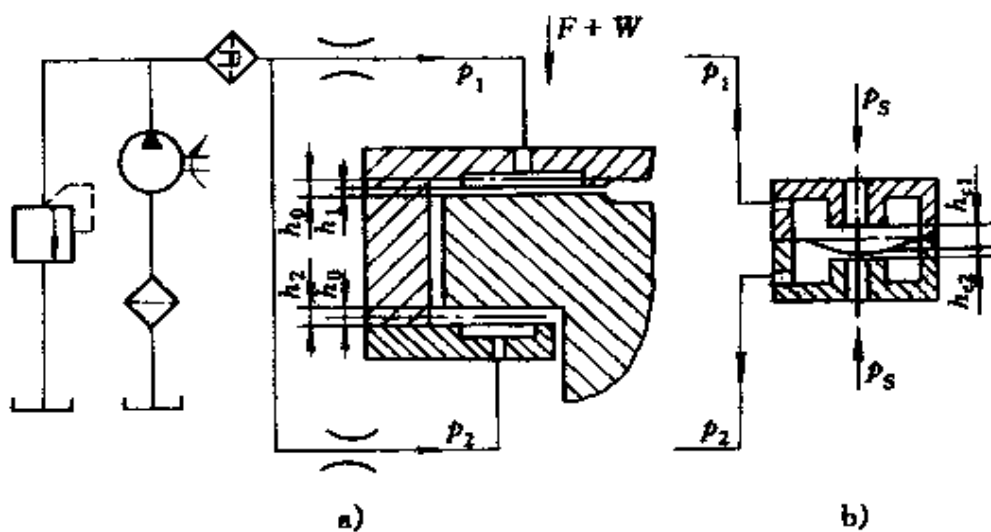


图 3-8 定压闭式静压导轨

是定量式静压导轨。可见,闭式静压导轨上下每一对油腔都相当于静压轴承的一对油囊,只是压板油腔要窄一些。开式静压导轨只有一面有油腔。图 3-7a 和图 3-8a 装有固定节流器。图 3-7b 和图 3-8b 装有薄膜反馈节流器。下面以装有固定节流器和薄膜反馈节流器的静压导轨为例,说明其工作原理。

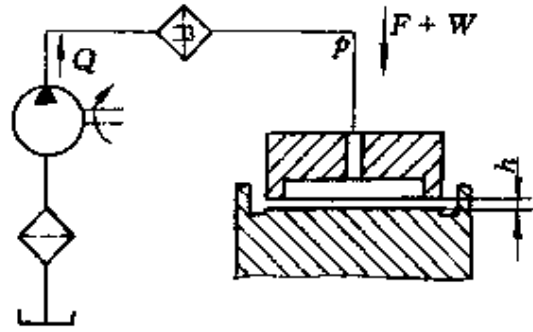


图 3-9 定量式静压导轨

1. 固定节流器 采用固定节流器的开式静压导轨的

工作原理见图 3-10。液压泵将压力为 p_B 的压力油送给系统。经节流器节流后,压力油压力变为 p_0 , 进入导轨的各个相应油腔。当 p_0 达到一定值后,上导轨面就浮起一定高度 h_0 , 建立起纯液体摩擦。这种液体摩擦是动态的。因为压力油不断地穿过各油腔的封油间隙后,流回油箱,故压力降为零,然后再由泵送给系统,周而复始。当工作台在外载 F 的作用下,向下产生一个微小位移时,导轨间的间隙变小,使油腔回油阻力增大,产生“憋油”现象,使压力 p_0 升高到 p_1 , 提高了工作台承载能力。该承载能力始终抵抗工作台沿外载 p 方向下沉,维持住导轨的纯液体摩擦状态。工作台只是向下有个微小的位移后,重新平衡下来。

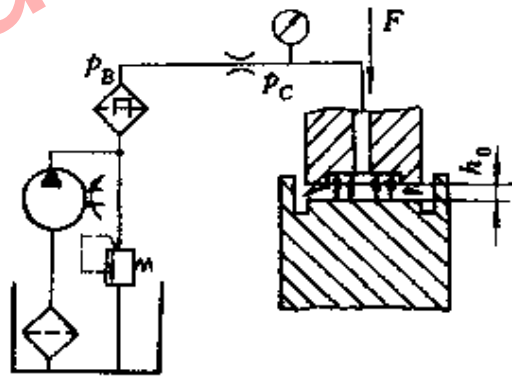


图 3-10 开式静压导轨

2. 单薄膜反馈节流器 单薄膜反馈开式静压导轨的工作原理见图 3-11。静压导轨的移动导轨上有若干个油腔(图 3-11a),其有效长度为 L , 油槽长为 l , 其宽度为 b , 用单独的节流阀调整流量,控制压力,将上导轨面浮起来。这里用工作台导轨面上

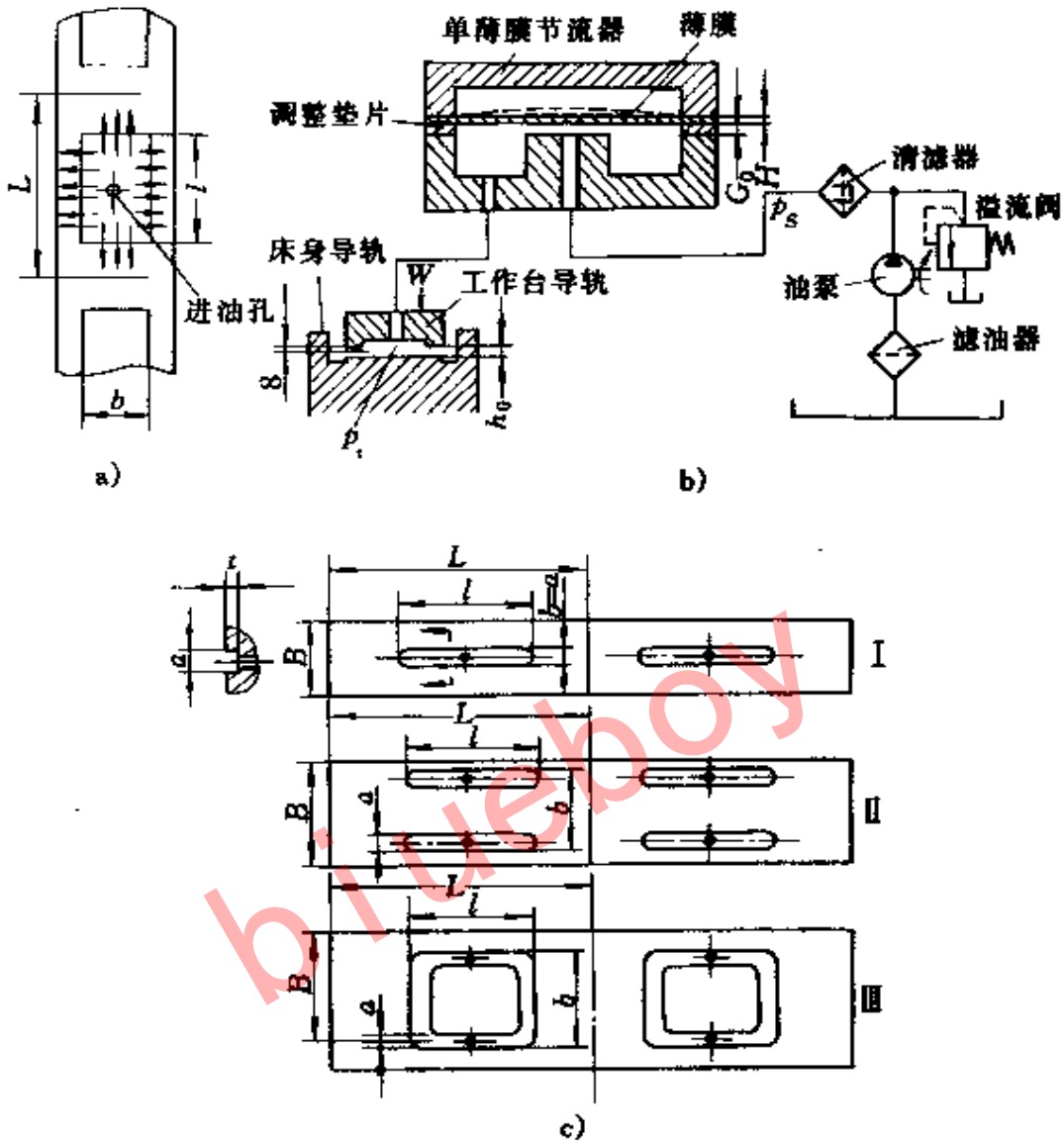


图 3-11 采用单面薄膜反馈式节流器的开式静压导轨示意图

的一个压力油腔说明静压导轨的基本原理。液压泵将压力为 p_s 的压力油经滤油器送入单薄膜节流阀，压力油经节流阀凸台平面与薄膜组成的缝隙 G_0 后，压力降为工作台油腔压力 p_i ，该压力使工作台浮起。产生油膜间隙 h_0 ，压力油经间隙 h_0 流出后，经床身导轨两边的回油槽流回油池。

这里附加介绍一下单面薄膜反馈式节流阀的原理。当工作台上的载荷 W 增加到 $W + \Delta W$ 时，导轨面间的间隙 h_0 减少为 $h_0 - \epsilon$ 。此时，工作台油腔溢油阻力增加，油腔压力 p_i 上升，使弹

簧片薄膜鼓起，节流缝隙 G_0 随之增大，节流阻力减小，使油腔内油液流量增加。导轨面间的间隙 h_0 恢复到调整值，起到反馈作用。可见，调整节流缝隙的垫片厚度 G_0 ，可以调节油腔压力 p_i 的大小，从而控制工作台的上浮量 h_0 。

四、导轨和油腔

1. 对导轨的技术要求 为了使静压导轨工作时，各处有均匀一致的间隙，对导轨的几何精度和接触精度有较高的要求。

(1) 移动导轨在其全长上的平面度误差，一般不超过 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ ，即不大于移动导轨的上浮量。否则将破坏导轨间的油膜。

(2) 高精度机床导轨的接触精度研点数为 20 点/ $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ ，精密机床导轨的接触精度研点数为 16 点/ $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ ，普通机床导轨的接触精度研点数不少于 12 点/ $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 。刮研深度，高精度和精密机床不超过 $0.003 \sim 0.005\text{mm}$ ，普通和大型机床不超过 $0.006 \sim 0.01\text{mm}$ 。

(3) 静压导轨的运动精度，一般为导轨本身精度的 $1/10$ 。若导轨自身精度为 0.01mm ，则其运动精度可达 0.001mm 。

(4) 导轨的形状应力求简单且有较好的加工工艺性。导轨及其支承件要有足够的刚度和可靠的防护。

(5) 开式静压导轨多用 V-平组合，闭式静压导轨多用双矩形的组合型式。

2. 油腔的结构与尺寸

(1) 油腔的结构，如图 3-12 所示。图中 II 型和 IV 型应用较多，I 型多用于窄导轨和闭式静压导轨中的压板导轨。III 型很少用，只在长度 l 和 b 的比值小于 4 时使用。

(2) 油腔的位置和数量

1) 作往复直线运动的静压导轨，油腔应开在动导轨上，以保证油腔不外露，并用伸缩套管将压力油引入工作台。

2) 圆周运动静压导轨的油腔开在支承导轨面上，这样便于供油。

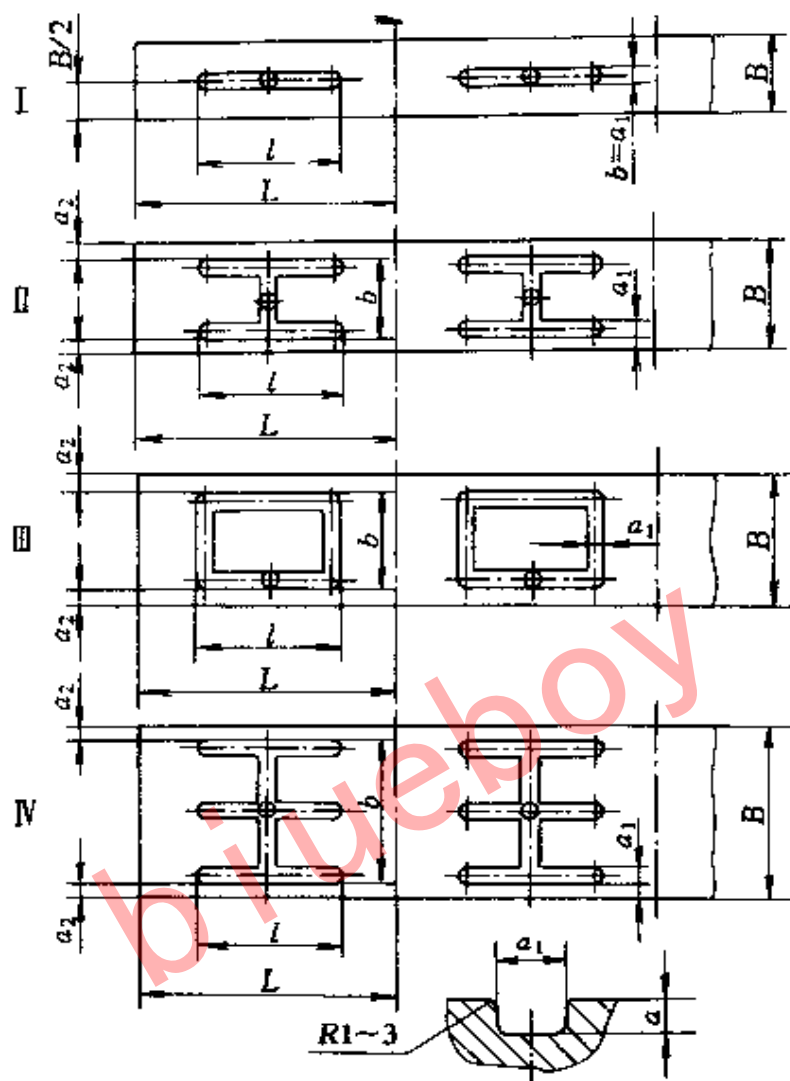


图 3-12 静压导轨的油腔

3) 导轨上的油腔数至少两个。动导轨长度小于 2m 时，开 2~4 个油腔；大于 2m 时，每 (0.5~2) m 开一油腔。当载荷均匀、机床刚度较高时，油腔数可少些，否则，应多些。

(3) 油腔的尺寸。油腔的尺寸按表 3-1 选用。

当尺寸 L 和 b 确定后，为了提高静压承载能力，可适当加长油沟长 L ，如图 3-13 所示。若 $l_1 < 2a_2$ ，则相邻油腔的中间必须开横向沟 E 。以便避免相邻油腔压力油相互影响。若 l_1 是 $2a_2$ 的较多倍，则不必开 E 沟。

表 3-1 静压导轨油腔的尺寸 (mm)

导轨宽度 B	l/b	a	a_1	a_2	油沟型式
40~50	—	4	8	—	I
60~70	>4	4	8	15	II
80~100	>4	5	10	20	II
	<4				III
110~140	>4	6	12	30	II
	<4				III
150~190	—	6	12	30	IV
≥ 200	—	6	15	40	IV

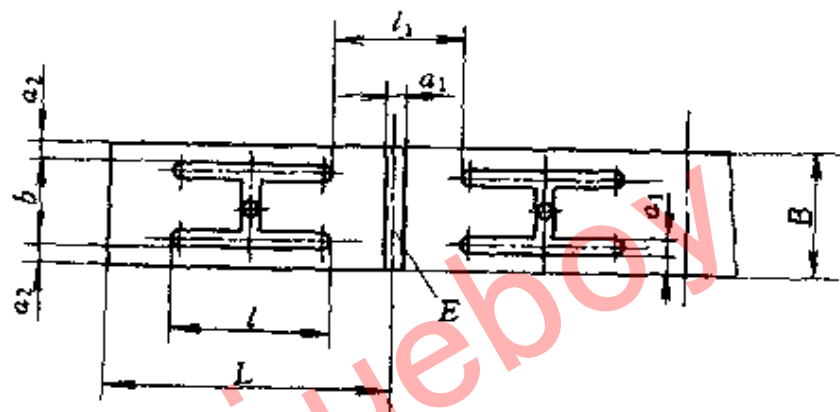


图 3-13 具有横向通沟的油腔

五、修理与调整

1. 技术要求

(1) 使用薄膜节流器节流时, 对于中小型机床, 油膜厚度一般为 $0.02 \sim 0.035\text{mm}$, 修刮的接触研点数应达到 $16 \sim 20$ 点/ $25\text{mm} \times 25\text{mm}$, 对于重型机床, 油膜厚度一般为 $0.04 \sim 0.06\text{mm}$, 修刮后接触精度研点数应达到 $12 \sim 16$ 点/ $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 。

(2) 导轨面的平面度误差、扭曲度和平行度误差值, 均为 h_0 值的 $1/3 \sim 1/4$ 。

(3) 要使油液的过滤精度达到 $0.003 \sim 0.01\text{mm}$ 。

2. 操作要点

(1) 保证静压导轨结合面的精度。

(2) 保证支承的结构刚度。

(3) 调整各支承，使上导轨面均匀浮起。

(4) 开动机床时，必须先起动静压导轨供油系统。当工作处于纯液体摩擦状态时，才能开动工作台；停机时，应最后停导轨供油系统。

(5) 供油系统必须保持较高的清洁度。

3. 操作步骤

(1) 修理

1) 将床身用调整垫铁垫实，并调整床身自身水平。

2) 修刮床身导轨至精度要求。

3) 以床身导轨为基准，修刮工作台导轨。

切实保证导轨副的结合精度，接触精度应达到上述的技术要求。刮削时，注意保持油腔的清洁，避免刮屑堵塞油孔。

4) 若是修理闭式静压导轨，则在修理导轨和副导轨的压板时，一定保证其刚度要求，和它与床身联接的强度。否则，会使导轨面间不能形成液体摩擦。

5) 若是双矩形导轨修理，待导轨间隙调好后要将楔铁锁紧。

(2) 调整

1) 根据要求值，供油压力 p_s 由液压系统中的溢流阀实现调整。

2) 对于毛细管式节流阀，其导轨油腔压力 p_i 可通过调整节流长度来实现，对薄膜反馈式节流阀，则由垫片厚度 G_0 来调整。

3) 调整油膜厚度 h_0 时在工作台四角处各放一只百分表。对于较长工作台，应在中间加放百分表。起动液压泵，使工作台上浮，建立纯液体摩擦。然后调整各油腔压力，使其上浮量相等。静压导轨调整关键是油膜刚度的调整。所谓油膜刚度是指在外载荷作用下，能保持给定的油膜厚度 h_0 不变的能力。它与油膜厚度成反比。若刚度不好，可适当减少供油压力 p_s 或改变油腔中的压力。

4) 供油系统必须保持清洁, 油液过滤精度一般为 $0.003 \sim 0.01\text{mm}$ 。若油中夹杂棉纱或杂质微粒, 便会堵塞节流缝隙。使导轨时起时落, 甚至被拉伤。

5) 开动机床时, 应先起动静压导轨供油系统, 当液体摩擦形成后, 再开动工作台, 停机时, 最后停止导轨供油系统。

复 习 思 考 题

1. 什么是滚动导轨? 其特性是什么?
2. 滚动导轨的形式有哪几种? 各自的特点是什么?
3. 有预紧的滚动导轨适合哪些情况下运用?
4. 什么是静压导轨? 其特点是什么?
5. 静压导轨修理与调整的操作步骤是什么?

blueboy

第四章 大型机床导轨的修理

培训要求 了解大型机床地基基础的要求及修理方法。掌握大型机床床身导轨的拼装要点及步骤、大型机床直导轨和圆环导轨的切线测量和桥板测量的操作、大型机床直导轨和圆环导轨的刮研修理工艺。

第一节 大型机床地基基础及修理

一、地基基础的要求

地基基础直接影响大型机床的床身、立柱等基础件的几何精度及稳定性。从而影响机床的工作精度、精度的保持性以及机床的技术寿命等。因此对大型机床的基础应作如下要求。

1. 基础必须具备的条件

(1) 具有足够的强度和刚度，避免自身的振动和不受其他振动的影响（即与周围振动绝缘）。

(2) 具有稳定性和耐久性，防止油水浸蚀，保证机床基础局部不下陷。

(3) 大型机床的基础，安装前要进行预压。预压重量为自重和最大载重总和的 1.25 倍。且预压物应均匀地压在地基基础上。压至地基不再下沉为止。

2. 对地基质量的要求 地基的质量是指它的强度、弹性和刚度的符合性。其中强度是较主要的因素。它与地基的结构及基础埋藏深度有关。若强度较差，引起地基发生局部下沉，则将对机床的工作精度有较大影响。所以一般地质强度要求以 $5t/m^2$ 以上为标准。如有不足，需用打桩等方法来加强。刚度、弹性也会通过床身间接影响刚性工件的加工精度。

3. 对基础材料的要求 对于 10t 以上大型机床基础的建造

材料,从节约费用的角度出发,在混凝土中允许加入质量分数为20%的200号块石。在高精度机床安装过程中,由于地基振动成了影响其精度的主要因素之一,所以必须安装在单独的块型混凝土基础上。并尽可能在四周设防振槽。防振层一般均填粗砂或掺以一定数量的炉渣。

4. 对基础的结构要求 虽然基础越厚越好,但考虑到经济效果,基础厚度以能满足防振和基础体变形的要求为原则。大型机床基础厚度一般在1000~2500mm之间。基础厚度可用下式计算

$$B = 0.3 \sim 0.6 \sqrt{L}$$

式中 B ——基础厚度 (mm);

L ——基础长度 (mm)。

12t以上大型机床,在基础表面30~40mm处,配置直径为 $\phi 6 \sim \phi 8$ mm的钢筋网,方格间距为100~150mm。特长的基础其底部也需配置钢筋网(图4-1)。

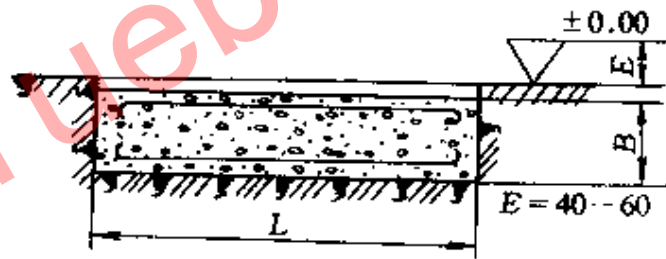


图4-1 基础布置钢筋

长导轨机床的地基结构,一般应沿长度方向做成中间厚两头薄的形状,以适应机床重量

的分布情况。对于像高精度龙门导轨磨床这样的大、精机床,基础下层还应填以0.5m细砂和卵石掺少量水泥,作为弹性缓冲层。

5. 对地基刚度的要求 基础的厚度对其刚性有决定性影响。为了减少基础本身的变形,对大型机床的基础变形量应作如下规定:即1000mm长的基础上,允许变形量为 $5\mu\text{m}$ 以下。基础刚度 s 至少约为 $40000\text{N}/\mu\text{m}$ 。刚度计算公式为:

$$s = 9800G/\delta$$

式中 s ——基础刚度 ($\text{N}/\mu\text{m}$);

G ——机床重量+工件重量+基础重量 (t);

δ ——基础变形量 (μm)。

对于大多数龙门式机床,只要求中段刚度为 $40000\text{N}/\mu\text{m}$,

即可保证机床的工作精度。而对于龙门式移动铣床等，其龙门是沿床身全长移动，所以要求地基基础在全部工作长度上，都具有此刚度值。

6. 对基础荷重及周围重物的要求 大型机床的基础周围，经常放置或运走大型工件及毛坯之类的重物，必然使基础受到局部影响而变形，引起机床精度的变化。为了解决这一问题，在进行基础结构设计时，应考虑基础荷重中这些因素的影响。另外新浇注的基础，混凝土强度变化大，性能不稳定，所以施工后一个月，最好不要安装机床。在安装后一年内，至少要每月调整一次精度。

7. 对基础抗振性的要求 机床的固有频率通常在 20~25Hz 左右，振幅在 0.2~1 μ m 范围内。当机床发生共振或受外界偶发性振源影响时，振幅可超过 20 μ m。所以应消除频率为 20~25Hz 左右的振源和外界偶发性振源的影响。在工厂里，由于天车通过时会引起梁柱的振动，为了减少梁柱这个振源的影响，精密机床应远离梁柱或采取隔振措施。

二、地基基础的修理

大型机床的床身，由于结构（多段拼接）和安装上的原因，常会产生渗油、漏油的弊病。使用多年后，基础表面被油浸泡而变得疏松。尤其是床身调整垫铁下的水泥疏松后，对机床导轨的修理精度乃至整个机床的安装精度、几何精度、动态精度都有很大的不良影响。为此，必须对地基基础进行修理。其步骤如下：

(1) 用木锯末将基础表面的油腻吸干并清理干净。

(2) 将表面的腐蚀层凿掉，直到白色坚硬无油质为止。尤其要把放调整垫铁处凿深一些。图 4-2、图 4-3 分别示出了修复前后的基础状况。

(3) 用热碱水刷净并擦干，重新浇灌水泥浆（图 4-3）。

(4) 水泥浆没完全干固时，放上调整垫铁，使垫铁底面与水泥全面接触。由钳工按如下要求找平调整垫铁。

1) 如图 4-4a，找每块调整垫铁的自身水平（即 *a-a*，*b-b* 两个方向）。其允差为 0.2mm/1000mm。

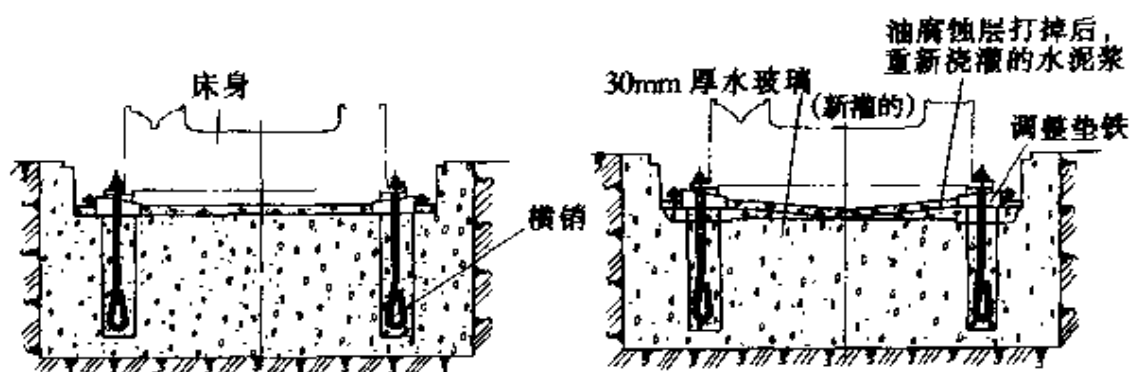


图 4-2 原床身横向剖面的基础图形 图 4-3 修复后的床身基础图形

2) 按图 4-4b, 找平同侧相邻和两对面对的调整垫铁的水平, 其允差为 $0.03\text{mm}/1000\text{mm}$ 。

3) 调整垫铁的上平面高度, 以使原地脚螺钉头露出至少 5mm 为宜。

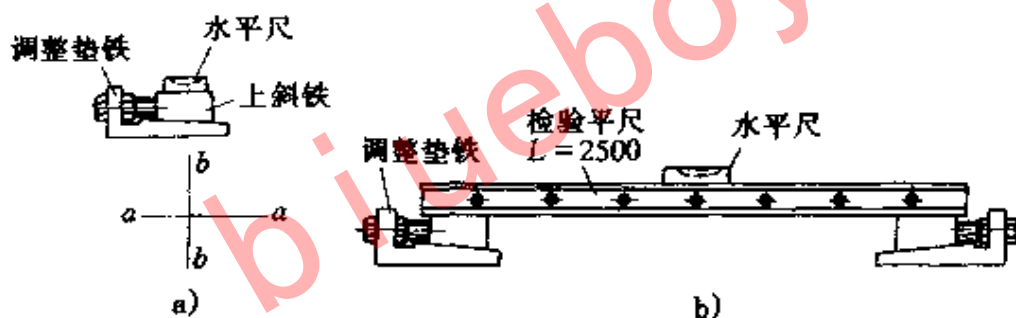


图 4-4 调整垫铁找平示意图

(5) 待水泥干固后, 可再浇一层水玻璃, 以保护水泥面不再受油浸蚀。

同时, 也治理漏油。例如, 两段床身接缝处漏油, 可拆开床身, 重刮该结合面到要求。在结合面上开槽镶入 $\phi 5\text{mm}$ 直径的耐油橡胶绳, 用以密封。

第二节 大型机床直导轨的刮研及测量

具有直导轨的大型机床有龙门刨床、龙门铣床、卧式车床、镗铣床、外圆磨床等。大型机床导轨有 V-平、V-V、平-V-平和开式三条矩形导轨的组合等规格 (图 4-5)。V-平组合具有润滑

条件好，移动速度快，导向性好的特点，用于精度较高的机床。V-V组合具有导向性好，磨损后能自动补偿等特点，适用于高精度机床；平-V-平组合具有导向性好，支承效果好等特点，适用于精度较高的大型设备；开式三条矩形导轨的组合，具有运行平稳，导向性较差等特点，适用于一般精度的机床。现以B228-14龙门刨床为例，讲述其修理方法及刮研工艺。

一、修理用的检验工辅具

修理用的检具有随机带的，也有自备的。但检验棒和检验平尺是必备的。在使用中检具的精度丧失或检具丢失，可按后面介绍的解决办法解决。

1. 平行度误差检具

B228-14龙门刨床身两导轨面间的平行度检具有检验棒、平行平尺、检验平尺，框式水平仪。其中检验棒、检验平尺是随机带的；平行平尺、框式水平仪是自备的（图4-6）。检具的技术要求可按机床导轨精度的要求确定。

2. 检验棒、检验平尺精度丧失 由于精度丧失而重做一套检验棒和检验平尺是不经济的。可通过修复而使之重新被利用。这一修复可采取如下两种方法。

(1) 先修磨好检验棒的外圆，然后确定检验平尺的修磨后的厚度 H （图4-7）。

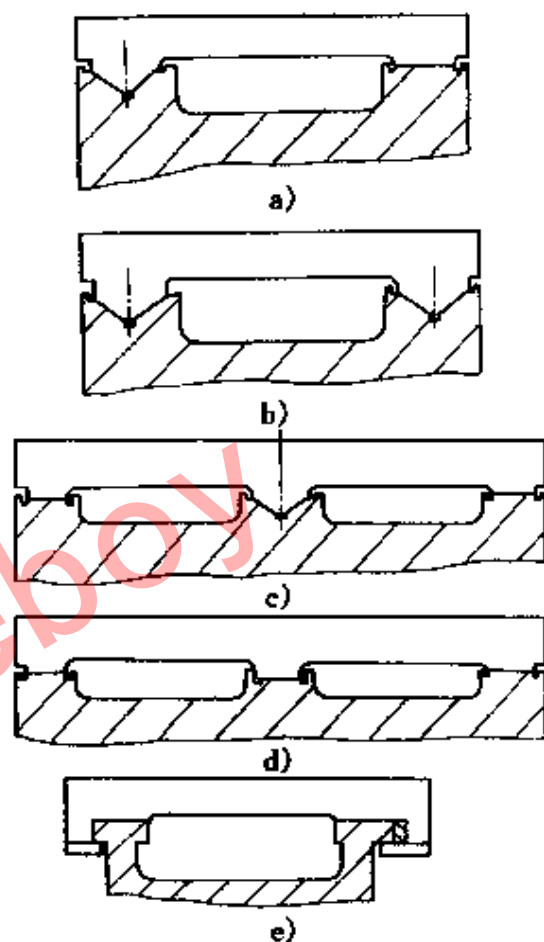


图 4-5 导轨截面图

- a) V-平导轨，开式 b) V-V 导轨，开式
c) 平-V-平导轨，开式 d) 三条矩形导轨，开式 e) 宽式矩形导轨，闭式

$$H_1 = H - 1.1104 (D - D_1)$$

式中 D ——随机床供给的检验棒外圆尺寸 (mm);

H ——随机床供给的检验平尺厚度尺寸 (mm);

D_1 ——修磨后的检验棒外圆尺寸 (mm);

B ——与 D_1 配对, 应磨去的原检验平尺厚度 (mm);

H_1 ——与 D_1 配对的修磨后的检验平尺的厚度 (mm)。

(2) 先修检验平尺, 后修检验棒, 其修后的外圆尺寸 D_1 按下式计算 (尺寸标注如图 4-7)

$$D_1 = 0.9006 (H_1 - H) + D$$

因为检验棒修磨好后, 检验平尺的尺寸在平磨上加工较好控制。所以通常采取第一种方案进行修复。

3. 检验棒、检验平尺丢失 检验棒、检验平尺丢失, 而又不知原始尺寸, 则用下面两种方法解决:

(1) 按图 4-8 所示方法, 找出检验棒和检验平尺的配对尺寸。根据床身 V 形导轨的大小, 适当选用一个检验棒, 此棒外圆

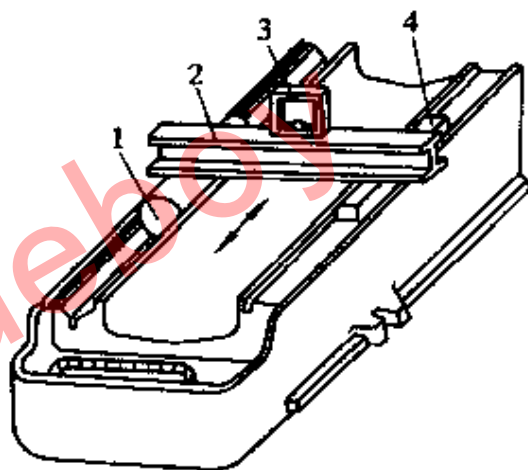


图 4-6 床身两导轨面间的平行度检验示意图

1—检验棒 2—平行平尺
3—框式水平仪 4—检验平尺

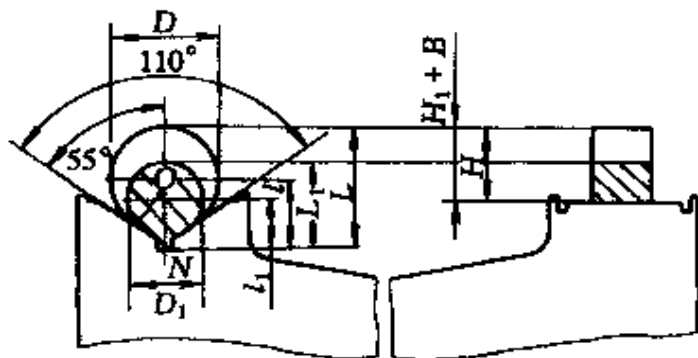


图 4-7 修复检验工具尺寸示意图

尺寸为 D ，平导轨上调整千分垫（千分垫下可置一个平行平铁）使直角尺内 90° 检验面各处间隙均小于 0.03mm （用塞尺检验），表面 7、8 都应检查。则 H 就是检验平尺的厚度。这样检验棒的直径 D 、检验平尺的厚度 H 就相应地确定了。

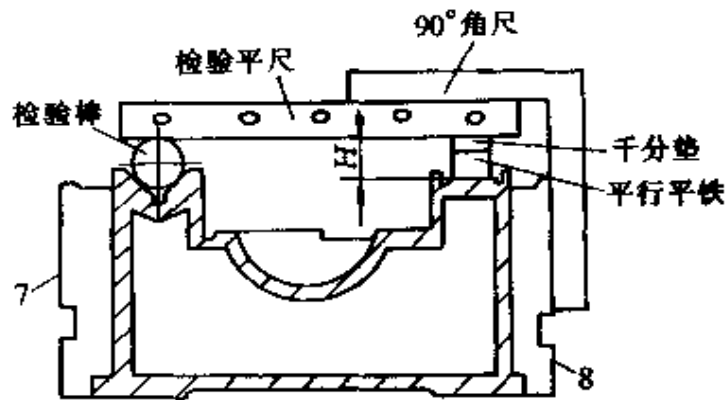


图 4-8 检验床身导轨平行度误差用的量具尺寸求法之一

(2) 按图 4-9 所示方法，此法不同于上述方法之处是以水平仪替代直角尺。调整千分垫，使水平仪 a 与表面 7、8 的水平仪 b 、 c 读数相同，则 H 即为检验平尺厚度。

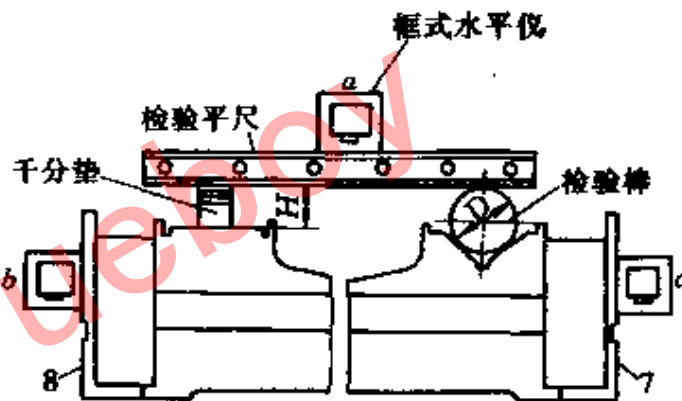


图 4-9 检验床身导轨平行度误差用的量具尺寸求法之二

二、床身直导轨的刮研工艺

B228-14 龙门刨床床身导轨的长 29m ，工作台长 14m 。可加工长 14m 、宽 2.8m 的零件。其床身由五段联接而成，有四个接合面。可先拼装，后刮研。如有必要拆开床身分段修理，则需重新刮研两段床身接合面，接触精度研点数要达到 $8\sim 10$ 点/ $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ ，与床身导轨的垂直度误差为 $0.03\text{mm}/1000\text{mm}$ 。

1. 床身的拼装

(1) 技术要求 拼装时，首先要严格保证各部件自身的几何精度，同时还必须选择好适宜的拼装基准面、确定误差补偿环节

及其补偿方法。不得有渗油现象发生及0.04mm塞尺可塞入夹缝的情况出现。

(2) 操作要点

1) 先在拼装面的防油槽内放耐油橡胶带或挤满液态密封胶,以防拼合面处漏油。耐油橡胶带直径为 $\phi 6 \sim \phi 8\text{mm}$ 。防油槽的截面是 $4\text{mm} \times 4\text{mm}$ 或 $6\text{mm} \times 6\text{mm}$ 的正方形($\phi 6\text{mm}$ 对应 $4\text{mm} \times 4\text{mm}$, $\phi 8\text{mm}$ 对应 $6\text{mm} \times 6\text{mm}$)。

2) 在拼装起吊时,床身落下后,两段床身接头处间隙较大,这时不许用联接螺钉直接拉紧,以免变形,而要用千斤顶在床身的另一端加力,使其逐渐拼合。还应在每段床身导轨的两端及中间,检查纵向、横向水平,使联接的床身导轨保持一致性,可用调整垫块进行调整。

3) 检查拼合面的平面度误差,调整或修刮到 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$ 的要求。然后钻、铰销孔,用涂色法检查销的接触率,应达到60%后方可锁紧定位。

(3) 操作步骤

1) 先将床身第3段吊装在调整垫块上,调整导轨的直线度误差和平行度误差。然后拧紧底脚螺钉。以它作为拼装基准(图4-10)。

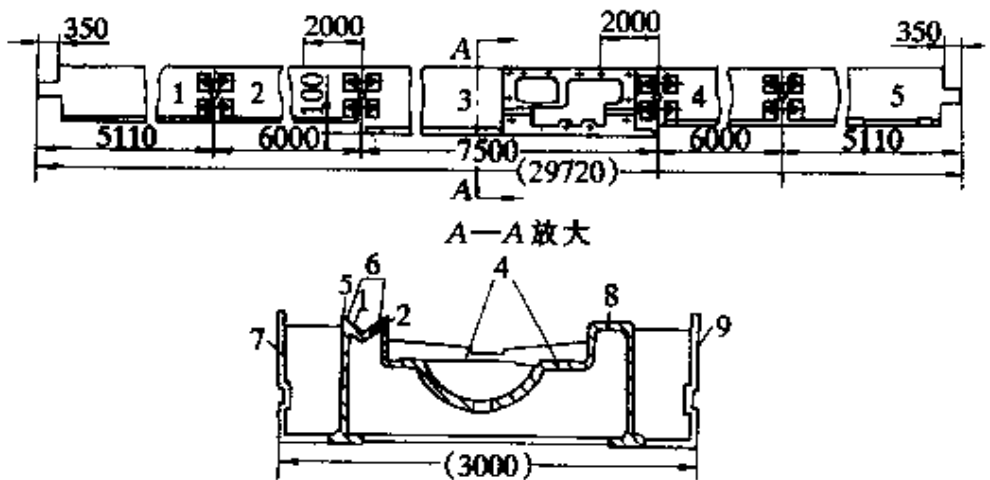


图 4-10 E228-14 龙门刨床床身

2) 依次拼装床身 2 段、4 段、1 段、5 段，均用千斤顶顶到位后，拧上螺钉（不拧紧）。

3) 用百分表找正接头处导轨面，拧紧联接螺钉。接合面用 0.03mm 塞尺不得插入，然后铰定位销孔并配上销子，并自然调平整个床身。

4) 全部松开接缝处的联接螺钉，目的在于消除由于床身调平时所产生的内应力。然后再拧紧全部联接螺钉。

2. 床身导轨的刮研及测量

(1) 精度要求

1) 刮研表面 A（图 4-11）时的精度要求：

- ① 对表面 1、2、3 的垂直度要求允差 $0.03\text{mm}/1000\text{mm}$ 。
- ② 接触精度研点数 4 点/ $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 。
- ③ 与相邻床身结合面的密合程度（联接螺钉紧固的状态下），0.04mm 塞尺不得塞入。

2) 刮研表面 1、2 时的精度要求（图 4-12）

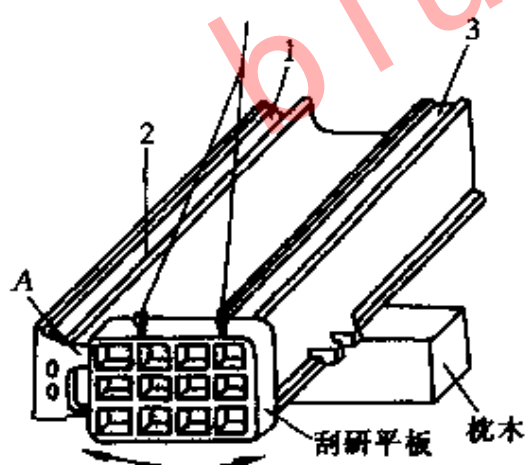


图 4-11 表面 A 刮研示意图

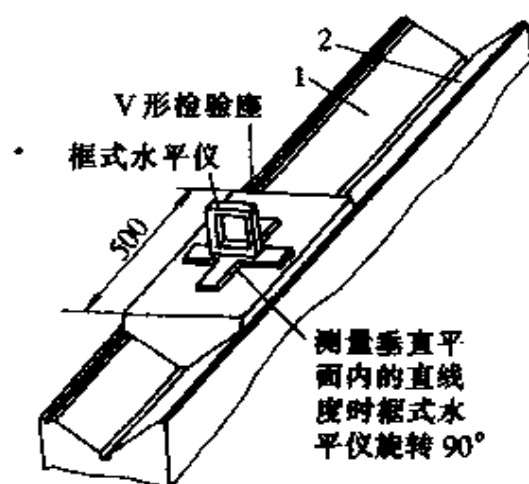


图 4-12 表面 1、2 在垂直平面内的
直线度及 V 形导轨扭曲测量示意图

① 在垂直平面内的直线度允差 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$ ， $0.15\text{mm}/\text{全长}$ 。

② 在水平平面内的直线度允差 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$ ，

0.15mm/全长。

③ 接触精度研点数 4 点/25mm×25mm。

④ V 形导轨的扭曲, 在全部长度的上均要求允差为 0.02mm/1000mm。

3) 刮研表面 3 的精度要求 (图 4-13)。

① 在垂直平面内的直线度允差 0.02mm/1000mm; 0.15mm/全长。

② 单导轨扭曲允差 0.02mm/1000mm。

③ 对表面 1、2 的平行度允差 0.02mm/1000mm; 0.04mm/全长。

④ 接触精度研点数 6 点/25mm×25mm。

4) 刮研表面 4 的精度要求 (图 4-14)

① 对表面 1、2、3 的平行度允差 0.1mm/全长。

② 接触精度研点数 4 点/25mm×25mm。

(2) 操作要点

1) 刮研表面 A 时的操作要点

① 如图 4-11, 将床身一端适当垫高, 以平板拖研表面 A, 刮研到要求。

② 若有地坑, 可将床身置于坑内, 使表面 A 向上平放, 便于刮削。

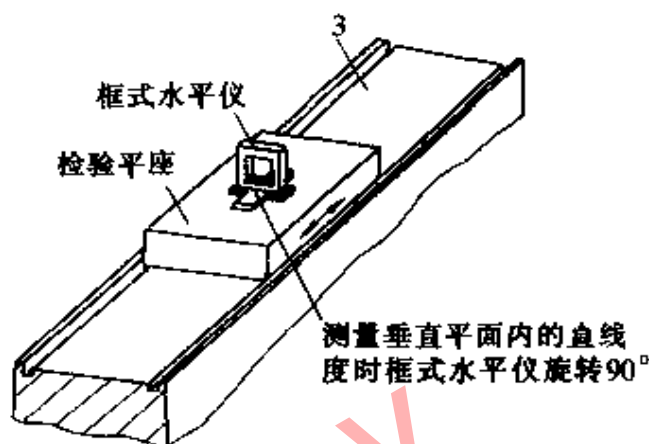


图 4-13 表面 3 在垂直平面内的直线度及单导轨扭曲示意图

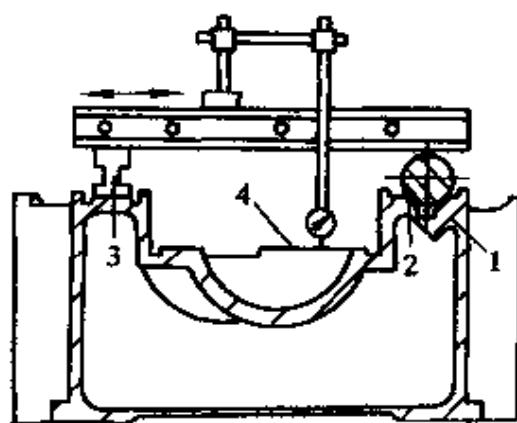


图 4-14 表面 4 对表面 1、2、3 的平行度误差示意图

③ 在刮研相结合的另一段床身的接合面时，垂直度允差 $0.03\text{mm}/1000\text{mm}$ 。但误差方向应相反。这样可使两段床身联接后，导轨趋向一致。

④ 按图 4-15 检验表面 A 对表面 1、2 和 3 的垂直度误差。

2) 刮研表面 1、2 时的操作要点

① 用外 110° 研具研点、刮削。

② 因导轨面长，又是以单个短研具研点。故在研刮过程中，应按图 4-12 所示，用框式水平仪测量。由导轨的一端到另一端，按移动座的长度，依次测量下去，同时要控制 V 形导轨的扭曲，在全长度上为 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$ ；这样便于达到精度要求。

③ 按图 4-16 所示检查导轨表面 1、2 在水平面内的直线度误差。

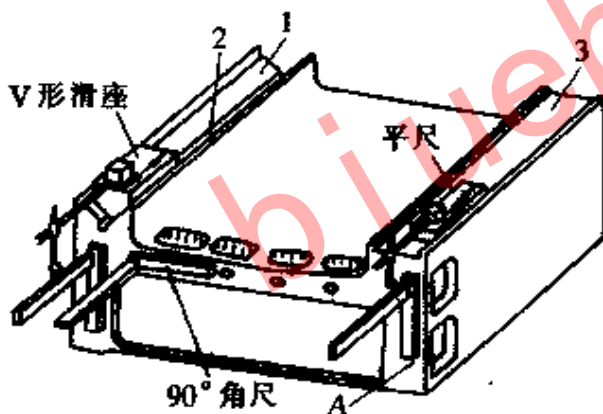


图 4-15 表面 A 对表面 1、2 及 3 的垂直度检查示意图

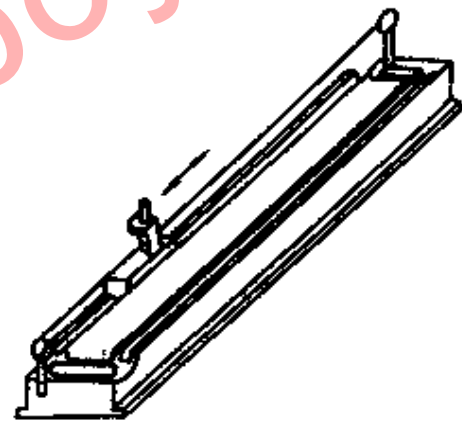


图 4-16 表面 1、2 在水平面内直线度检查示意图

④ 用准直仪检查 1、2 面在垂直、水平面内的直线度误差。

3) 刮研表面 3 时的操作要点

① 用 $l = 1600\text{mm}$ 长平面研具研点、刮削。

② 按图 4-13 检验表面 3 的单导轨扭曲及在垂直平面内的直线度误差。

③ 按图 4-6 检查表面 3 与表面 1、2 的平行度误差。

4) 刮研表面 4 时的操作要点，用平板研点、刮研表面 4 并

按图 4-14 所示的方法进行检查。

(3) 操作步骤

1) 按机床专业标准 JB2732—86 中的 G01、G02、G03 三项精度要求逐项检验，首先自由调平床身安装水平到最小值。

2) 在自由状态下粗刮及半精刮床身。

3) 均匀地紧固地脚螺钉，在调整后半精刮时的精度不应丧失。

4) 精刮床身。

3. 注意事项

(1) 大型机床床身导轨的刮削，应在原机床基础上进行。并保持立柱、横梁等不拆除的状态。这样可保持刮削后精度稳定。否则，刮完后再将它们装上，将因基础和床身受压变形；而使导轨精度遭到破坏。即使再强制调整床身垫铁，也往往不能获得要求的精度。

(2) 另外，长导轨刮削时，应考虑到季节气温的差异。导轨热胀冷缩后，直线度误差会发生变化。导轨热胀后，中部要凸起，若在夏季气温高的环境下，把导轨刮成中凹状态，则在秋冬季，导轨面势必变得更凹。可能超出精度范围。因此，在刮削时，应适当掌握凸凹程度，以便在气温变化时，精度仍不超出允许的范围。

第三节 大型机床环形导轨的刮研及测量

立式车床、立式滚齿机、插床及卧式镗床等回转运动的机床的床身均有环形导轨。机床的环形导轨有平导轨、锥导轨和 V 形导轨等。因为工作台在工作中是回转的，所以导轨磨损比较均匀。而床身导轨往往承受变方向的切削力或因床身安装不平，引起导轨磨损不均匀。所以修刮环形导轨，一般以工作台导轨为基准研点修刮床身导轨。环形导轨修理，一般是先通过测量作出实测曲线，对曲线进行分析，找出机床安装水平的偏差和不直的主要部位，然后，先设法进行调整，达到要求。若达不到要求，则

再测量、绘图，再考虑以工作台导轨为基准，对床身导轨刮研。

一、圆环平导轨

立式车床等回转机床采用环平导轨。

1. 切向测量法 由于水平仪是沿圆环平导轨的切向顺次测量的。因此称之为切向测量法。圆环平导轨的测量，可看作是围拢来的直平面测量。可按节距法沿圆周逐档测量圆环平导轨对水平面的倾斜度误差。而测量直平面时，水平仪是沿直线移动，安装水平误差对各档水平仪的示值的影响是一致的。因而可直接从误差曲线上求出测截面上各点相对于任何理想直线的高度。然而用同样方法测量圆环导轨时，水平仪是沿圆周移动，因而安装水平误差对各档水平仪示值的影响是不一致的。但因测量是以同一平面为基准的，所以将各档测量读数累计相加后，仍可获得环形平面上各测量点相对于某一理想平面的高度。

(1) 检验工具及技术要求 水平仪的读数精度为 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$ 垫铁，长度为 $l = R\theta$ (R ，圆环导轨的平均半径； θ 等分圆心角。 $\theta = 360^\circ/N$ ， N 为测量均分次数，一般取 12、16、24、32)。

(2) 理想圆环平导轨的切向测量及其图形特性，如图 4-17 所示。以 O 为圆环平导轨的圆心，以 AO 为圆环平导轨的平均半径 R ，把水平仪置于依此首尾相连的垫铁上。沿圆周切线方向

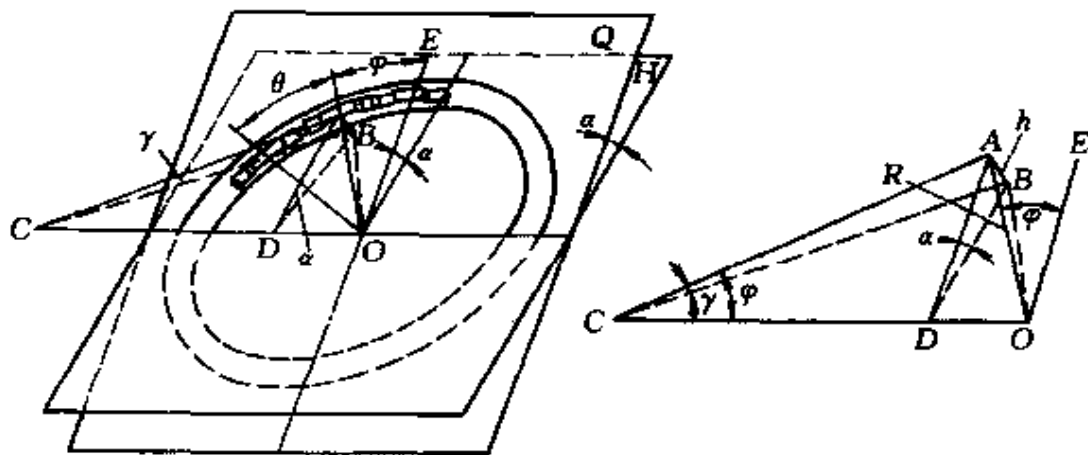


图 4-17 用水平仪切向测量理想环形平导轨

对导轨进行连续测量一周，每移动一次的等分圆周角为 $\theta = 360^\circ/N$ 。当从任意选定位置 A 点开始，沿圆周环绕导轨测量时，因导轨平面 θ 与物理水平面 H 存在着安装误差，所以水平仪气泡的变化是有一定规律的。气泡的移动格数可按下式计算

$$y = \sin \gamma = \sin \alpha \sin [\phi + (n-1)\theta]$$

式中 y ——水平仪测量平面与物理水平面 H 的夹角 ($^\circ$)；
 α ——导轨安装水平偏差角 ($^\circ$)；
 θ ——测量圆心夹角 ($^\circ$)；
 ϕ ——为起始测量点 A 与 α 角所在面间的相位角 ($^\circ$)；
 n ——测量顺序数；
 y ——气泡移动格数。

从上式不难看出：理想圆环导轨的图形变化规律是一条正弦曲线。

(3) 标准正弦曲线是按 $y = R \sin \theta$ 计算后绘制的。但还是按作图法绘制较方便。如图 4-18 所示作图法，可绘制一到两个周期的标准正弦曲线。

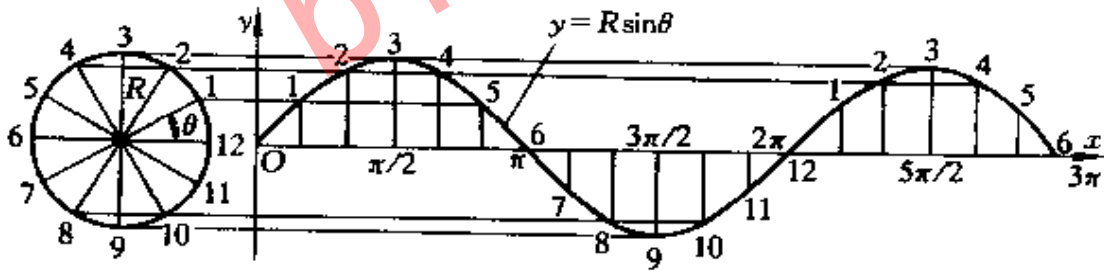


图 4-18 标准正弦曲线的绘制

根据图 4-19 的正弦曲线分析，曲线有下列特性：

1) 任一周期的正弦曲线，其首尾连线 O_1-x_1 必平行或重合于轴线 $O-x$ 。

2) 曲线距首尾连线 O_1-x_1 的最大正负坐标绝对值之和等于曲线距 $O-x$ 轴线的最大正负坐标绝对值之和

$$h_1 + h_2 = h'_1 + h'_2$$

3) 正弦曲线的波峰波谷必与 $O-x$ 轴线等距，即

$$h_{\text{cp}} = h_1 = h_2 = \frac{1}{2} (h'_1 + h'_2)$$

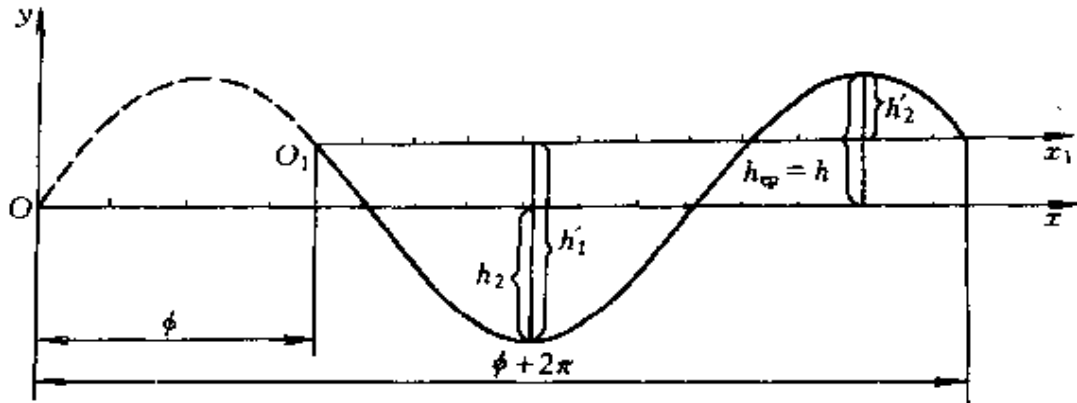


图 4-19 一个周期的正弦曲线

(4) 标准正弦曲线活动比较法的应用 采用水平仪切向测量法读得一组数据（格数），据此作出运动曲线。该曲线不同于直导轨曲线之处，在于该曲线包含有两种误差成分，即导轨直线度误差和安装水平偏差。运用正弦曲线活动比较法可排除后一种偏差。按一定的要求和步骤测量，绘出实测曲线，并调平其基线，再作出与之平行的平均轴线。将平均轴线与标准正弦曲线的轴线相重合，左右相对移动，使标准正弦曲线与实测曲线合理靠拢，从而求出最大凹凸值及其位置，进而确定出调整或刮研方案。

(5) 操作要点

1) 在测量过程中，水平仪及垫块不可调头，同时，在径向也用水平仪逐段测量，以了解导轨的扭曲。

2) 水平仪读数以气泡与测量垫块移动方向一致为正，反之为负。

3) 作图时，应规定出横、纵坐标的长度单位所代表的值。

4) 基线与轴线不重合时，可用作图法转移，使之与轴线重合。转移坐标点的方法：将各点与基线的垂直坐标移至轴线的垂直坐标位置。

5) 平均轴线的位置是由距轴线最大的波峰、波谷值和的一半数值确定的。

6) 将标准正弦曲线的轴线与实测曲线的平均轴线重合。左右移动, 使标准正弦曲线和实测曲线合理靠拢, 确定凹凸点位置, 进而确定调低或刮去的部位。

7) 最大凸凹数值, 可根据实测的格数, 用下式计算

$$\Delta h = 1000jhl \quad (4-1)$$

式中 j ——水平仪每格读数值 (mm);

h ——坐标上求得的水平仪凸起或凹下格数;

l ——水平仪垫铁的长度 (mm)。

8) 个别情况作出的实测曲线形状特殊, 不可能一次就使标准与实测的曲线合理靠拢。为此应多次选择最大振幅值 (h_{cp}), 最终实现合理靠拢。

9) 每米弧长上的误差, 也可通过活动比较法求得。

(6) 操作步骤 可以操作要点为主要依据, 具体举例说明如下:

有一立式车床, 最大加工直径 8m, 工作台直径 7.2m, 重 75t, 环形平面导轨中径 D 为 4850mm。

用精度为每格 0.02mm 的水平仪进行切向测量, 圆周均分 32 档 (n), 则圆心角为

$$\theta = \frac{360^\circ}{32} = 11.25^\circ$$

水平垫铁长度 $l = D\theta / 2 \approx 475\text{mm}$, 可圆整为 500mm, 以利计算。

1) 任选位置 A 开始测量 (图 4-20),

水平仪垫块按逆时针 (或顺时针) 方向依次首尾连接, 按等分标

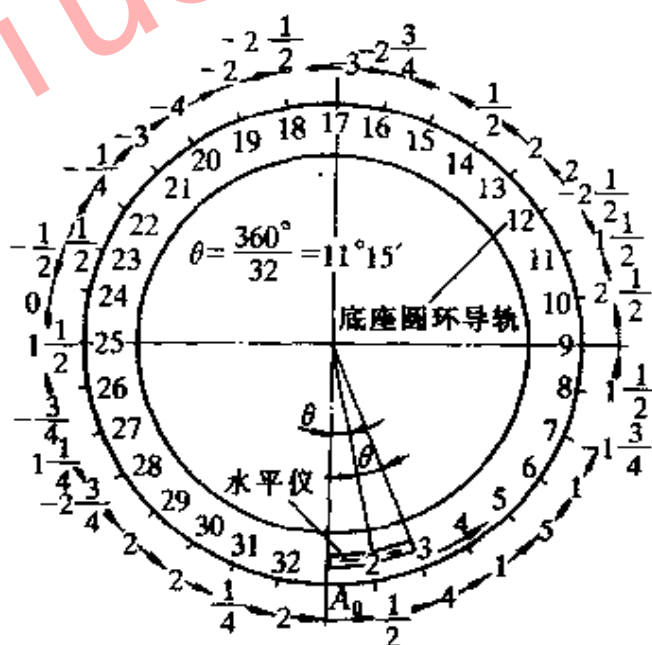


图 4-20 水平仪切向测量实测记录

志连续测量。水平仪读数如表 4-1 所示。

表 4-1 水平仪实测记录

测量位置	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9
读数/格	0	1/2	4	1	5	1	-1 ³ / ₄	1 ¹ / ₂
测量位置	9~10	10~11	11~12	12~13	13~14	14~15	15~16	16~17
读数/格	2 ¹ / ₂	1 ¹ / ₂	-2 ¹ / ₂	2	2	1/2	-2 ³ / ₄	-3
测量位置	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~24	24~25
读数/格	-2 ¹ / ₂	-2	-4	-3	-1/4	-1 ¹ / ₂	2	6
测量位置	25~26	26~27	27~28	28~29	29~30	30~31	31~32	32~1
读数/格	1 ¹ / ₂	-3/4	1 ¹ / ₄	2 ³ / ₄	2	2	1/4	2

2) 将读数按叠加法原则在坐标纸上作点, 再把各点顺次连接, 得曲线 1 (图 4-21)。图中 x 坐标每 10mm 代表水平仪垫铁长度 500mm; y 坐标每 4mm 代表水平仪读数一格。

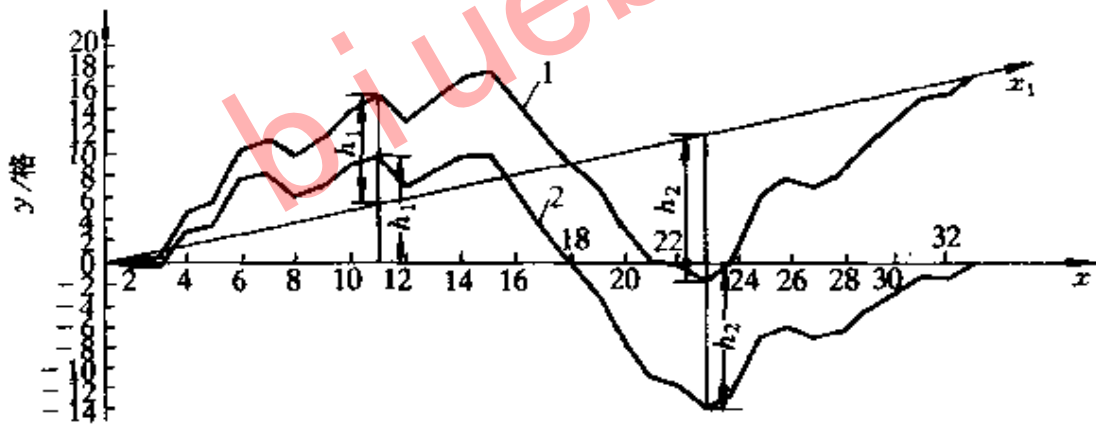


图 4-21 实测曲线

3) 将曲线的首尾连成 $O-x_1$ 的基线。利用操作要点使基线 $O-x_1$ 与 $O-x$ 轴线重合。曲线 2 就是由曲线 1 转移坐标位置后绘成的。从曲线中读取波峰波谷离轴线的最大坐标值 h_1 和 h_2 。计算距 $O-x$ 轴的平均值

$$h_{\text{cp}} = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

在距最高波峰和最低波谷为 h_{cp} 的位置上, 作平均轴线 O_2-

x_2 , 使之与 $O-x$ 平行。(图 4-22)

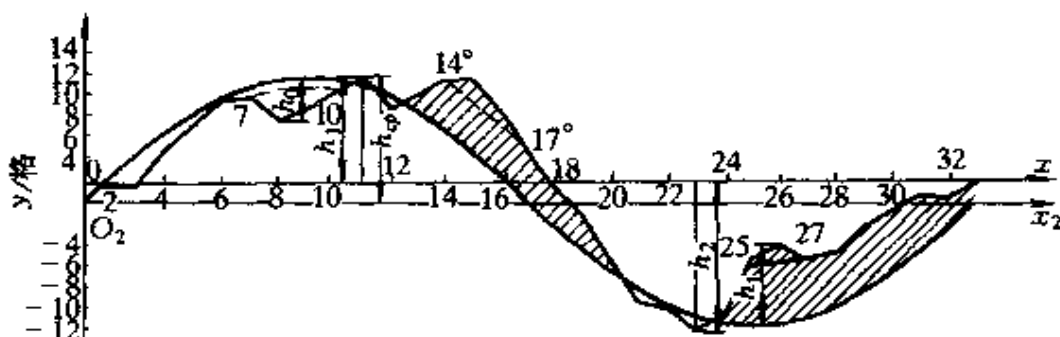


图 4-22 实测曲线与正弦曲线活动比较

4) 在透明纸上, 以 h_{cp} 为半径作圆, 均分圆周 32 份。横坐标 $O-x$ 也等分 32 份, 并作大于一个周期的曲线 (图 4-23), 也可视实测曲线图形趋势, 画最近似的一段正弦曲线 (大于一个周期)。

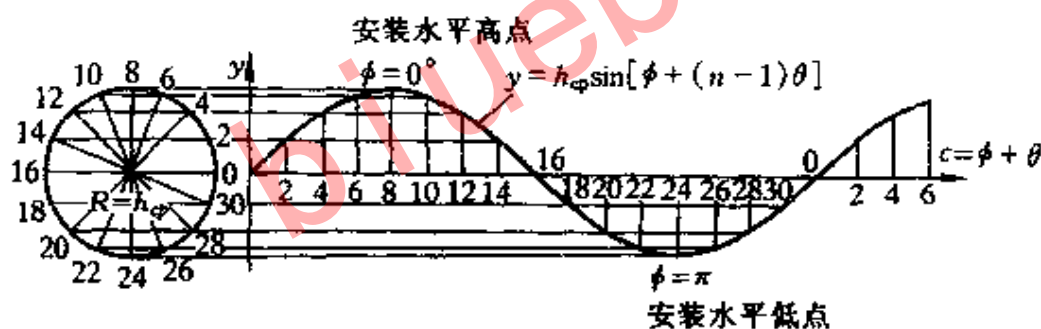


图 4-23 标准正弦曲线

5) 将透明纸上的标准曲线的 $O-x$ 轴线与实测曲线的平均轴线 O_2-x_2 重合。左右相对移动, 使两曲线合理靠拢。不重合处, 就是导轨表面的平面度误差。标准曲线上部的凸起部分为正值, 标准曲线下部低凹部分为负值。由图 4-22 中最大凸凹的数值可求得水平仪格数为

$$h_t = 7.5 \text{ 格} \quad h_0 = 4.25 \text{ 格}$$

根据操作要点中介绍的公式 4-1, 可求最大凸起量为

$$\Delta h_t = 1000 \times \frac{0.02}{1000} \times 7.5 \times 500 \text{ mm} = 75 \mu\text{m}$$

最大低凹量为

$$\Delta h_0 = 1000 \times \frac{0.02}{1000} \times 4.25 \times 500 \text{mm} = 42.5 \mu\text{m}$$

6) 由图 4-22 中可知, 最大凹洼处在测量位置 7~9 之间, 最大凸起点在 24~26 之间。图中阴影部分属应调低或刮去的部位。

7) 安装水平倾斜角及其倾斜方向, 可按图 4-24 的米字形测量法确定。

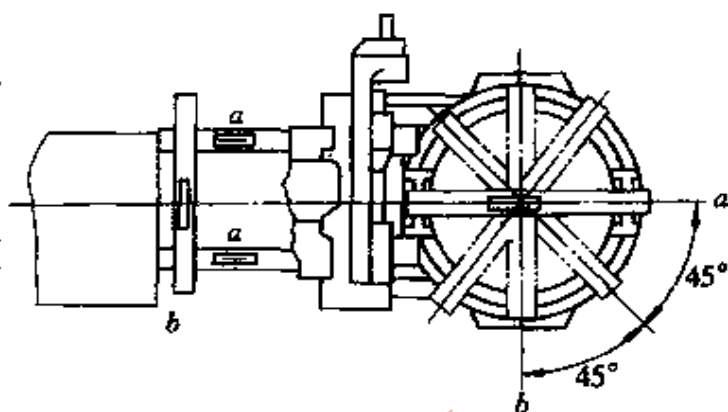


图 4-24 米字形测量法

8) 用 $y-O-x_1$ 的非直角坐标作正弦曲线, 进行活动比较, 其所得凹凸量的数值与直角坐标系下的完全一致 (图 4-25)。

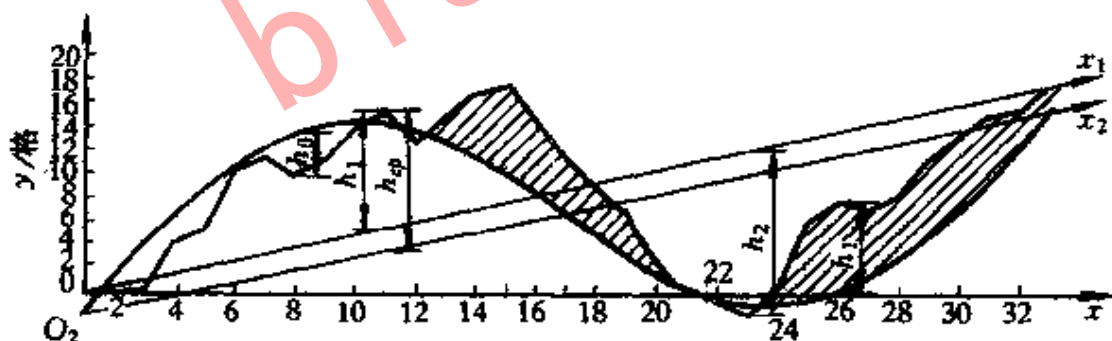


图 4-25 非直角坐标正弦曲线与实测线活动比较

9) 求每米弦长上的误差, 如图 4-22 所示。两曲线已合理靠拢, 左右不动, 仅在 $O-y$ 轴方向上下移动。当标准曲线与实测曲线的一个转折点重合时, 即可求得相当于 1m 弧长上的直线度误差。图 4-22 中, 25'~27' 为 1m 弧长上的直线度, 7'~10' 和 14'~17' 为 1.5m 弧长上的直线度误差。在修刮时应达到以下要求: $30 \mu\text{m}/1\text{m}$; $60 \mu\text{m}/\text{全周长}$ 。

2. 刮研修理工艺

(1) 把定心主轴的轴线用水平仪调整到垂直于物理水平面, 允差为 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$ 。

(2) 调整圆环平导轨的水平到要求。

(3) 利用切向测量法, 作出实测曲线。从而确定超差部位和超差量。

(4) 根据正弦曲线活动比较法提供的依据进行刮研。以平板为研具进行研点。先粗刮, 然后在未修刮处用水平仪切向测量修刮部分线段的变化情况。直到实测线与基准线相接近为止。然后进行精刮, 点子要大些, 研点应达到 $6\sim 8$ 个/ $25\text{mm}\times 25\text{mm}$ 。

(5) 在刮研时, 应对导轨面径向扭曲进行测量、修刮。一般圆环导轨的外圆部分应高些。水平仪气泡偏离中心要求在 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$ 到 $0.03\text{mm}/1000\text{mm}$ 范围内。

(6) 另外, 在刮研时, 要用百分表测量主轴或主轴孔与平导轨表面的垂直度误差。在 1m 圆弧上的读数代数差不得超过 $0.03\text{mm}/1000\text{mm}$ 。

(7) 对单面导轨刮研后 (一般是底座导轨), 以该导轨面为基准, 对导轨副另一部分进行刮研。一般对研 $2\sim 3$ 遍, 即可达到精度要求。大型机床台面可用吊车平衡地吊起放在底座的相对位置上, 用人工转动台面, 使台面在旋转时装入主轴孔。借助转动惯性使台面转过一个角度, 达到合研的目的。对特大型机床导轨副的合研, 可采用曲柄连杆机构, 通过减速由电动机拖动。

3. 底座水平的调整 它是利用切向测量法得出实测曲线, 通过正弦曲线活动比较法确定安装水平的误差和导轨直线度误差过大主要出现在哪里。导轨低洼部位的垫铁应调高, 凸起部分的垫铁应调低。同时要考虑导轨与主轴和立柱导轨的垂直度误差方向, 应有意识地使其他有关部件的几何精度和安装水平朝着有利的方向发展。一次调整后, 应全部复测一次, 以便进一步调整。经过几次调整、测量, 会取得较好的效果。

(1) 操作要点

1) 必须以正弦曲线活动比较法的结果为调整依据。

2) 进行调整时,应兼顾导轨与主轴轴线和立柱导轨等垂直度误差和导轨的扭曲变形。

3) 在调整过程中,务必在应调整部位的导轨表面以及附近位置,多放几块水平仪,以便于观察调整时气泡的变化情况。

4) 为了调整效果好,应反复几次进行调整。

(2) 操作步骤

1) 用切向测量法作出实测曲线,并进行正弦曲线活动比较法分析。求得安装水平偏差和导轨直线度误差的主要部位和数值。

2) 依据上述结果进行粗调整,导轨低洼处垫块调高,凸起处垫块调低。

3) 在应调整处的导轨表面及附近多放几块水平仪,综合观察后,进行精调。

4) 在调整过程中,应兼顾导轨与立柱和主轴轴线的垂直度误差和导轨的扭曲变形情况,有意识地向有利的方向调整。

5) 一次调整后,进行复测,找出哪些部位已调好,哪些部位尚需调整。

6) 反复重复以上步骤,直至导轨的直线度误差达到 $0.03\text{mm}/1000\text{mm}$ 弧长; $0.06\text{mm}/$ 全圆环长;导轨的扭曲(相当于直导轨的单导轨扭曲)达到 1m 弧长内,水平仪读数的代数差不超过 0.03mm ;而在整个圆周上不超过 0.06mm 时,才能结束调整。

二、圆环 V 形导轨

滚齿机等精度较高的机床具有圆环 V 形导轨。

1. 切向测量法 与圆环平导轨相同之处在于测量方法和直线度误差计算原则上无区别,但水平仪垫铁形状有了很大不同。

(1) 检验工具及其技术要求

水平仪,读数精度为 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$,垫铁形状如图 4-26。其技术要求在图中也给出。垫铁长度同于圆环平导轨的,即 $l = R\theta$ 。

(2) 操作要点 同与圆环平导轨切向测量法的要点。

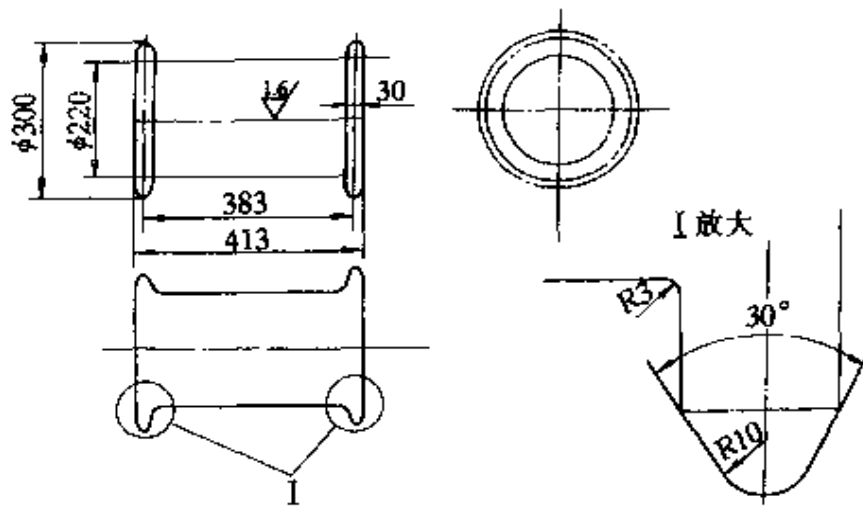


图 4-26 半圆水平仪垫铁

(3) 操作步骤 同于圆环平导轨的切向测量法。下面举一例子，简述如下：

例如，有一个 Y31500 滚齿机的圆环 V 形导轨，导轨中径为 2950mm。

1) 将圆周均分为 $n = 24$ 个测量位置，则其测量圆心角 $\theta = 360^\circ / 24 = 15^\circ$ ，因此，水平仪垫块长度应为 $l = R\theta = \frac{2950}{2} \times \frac{\pi}{180^\circ} \times 15^\circ \approx 378\text{mm}$ ，如图 4-27 所示。

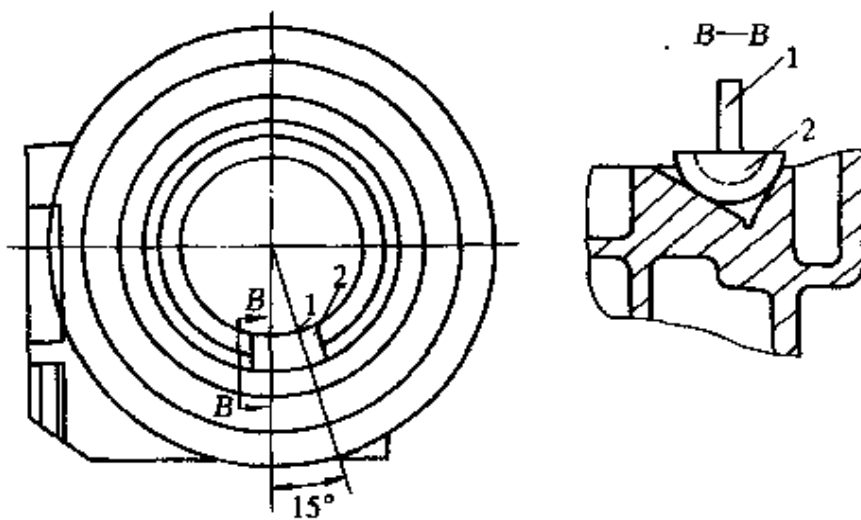


图 4-27 圆环 V 形导轨的切向测量法

1—水平仪 2—半圆水平仪垫铁

- 2) 将水平仪置于半圆垫块上, 垫块首尾相连依次顺序测量。
- 3) 根据读数绘出实测曲线, 然后绘出标准正弦曲线 (振幅是 h_{cp} , 参见圆环平导轨的切向测量法)。
- 4) 进而进行活动比较。最后求得导轨的直线度误差。

2. 水平仪径向桥板测量法 板式测量法和切向测量法都是测量环形圆导轨在垂直面内的直线度误差。区别在于, 一个是切向测量, 一个是法向测量。

(1) 检验工具及其技术要求

水平仪刻度值为 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$; 半圆垫铁 (图 4-26) 其长度为 378mm ; 平行平尺, 长度大于或等于 1500mm ; 定心装置 (图 4-28), 其定心钢球直径为 $20\sim 25\text{mm}$ 。

(2) 操作要点

1) 测量时, 先在任意选定的测量位置, 调整图 4-28 中的螺母 2 和 3, 使水平仪读数为零。

2) 每测量一次后, 沿圆周把垫铁移动一个垫铁长度。

3) 在记录时, 水平仪气泡离中心读作正, 向中心读为负。

4) 把测量起点设在安装水平误差的最高或最低点的位置上, 重新把水平仪调整, 再测量。

5) 以起始点与其关于回转中心的对称点的连线为 $O-x$ 轴, 以切于起始点并垂直于 $O-x$ 轴的直线为 $O-y$ 轴, 建立直角坐标系。圆周上各均分点投射到 $O-x$ 轴上, 作为分档数。

6) 在直角坐标系下对各测量结果作点时, 应在该测量点与其关于 $O-x$ 轴对称点的连线上按测量格数描点。最后将各点

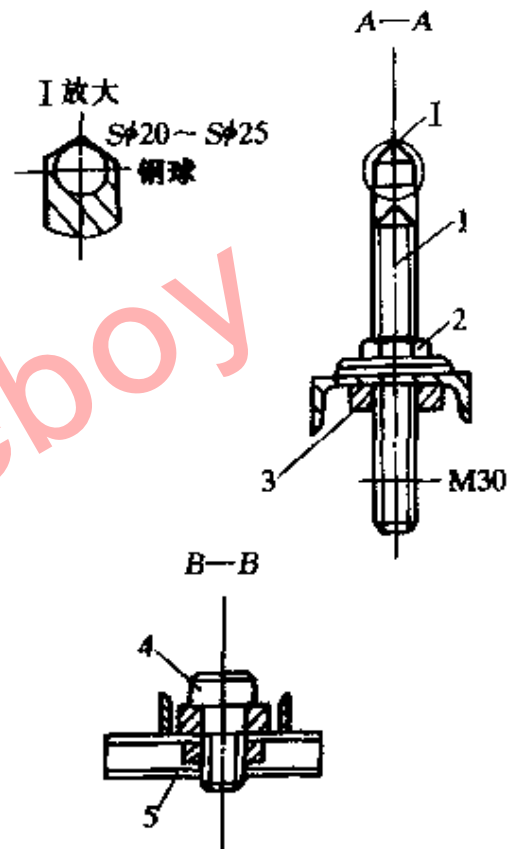


图 4-28 定心装置
1—螺杆 2、3—螺母

顺次连成一封闭曲线。

7) 连接起始点和它关于回转中心对称点坐标点的直线是基线。基线上部的曲线为导轨凸起部分，其以下部分为导轨凹洼部分。

8) 起点关于回转中心对称点的坐标值，是环形圆导轨安装偏差角值。

9) 刮研时，应刮去凸起部分的数值，可用下式计算

$$\Delta h = 1000jkR$$

式中 j ——水平仪刻度值 (mm)；

k ——导轨凸起部分代表的水平仪格数；

R ——导轨中径的半径 (mm)。

10) 若 V 形导轨两斜面不对称，刮削厚度就不一样，通常情况如图 4-29 所示。则表面 1 应刮去

$$S_1 = \Delta h \sin 30^\circ$$

表面 2 应刮去：

$$S_2 = \Delta h \sin 60^\circ$$

(3) 操作步骤 根据操作要点，其测量具体操作步骤，现举例说明如下：

1) 在 Y31500 滚齿机底座中心孔中 ($\phi 910\text{mm}$) 装卡一定心装置 (图 4-28)。将平尺 (长 $\geq 1500\text{mm}$) 1 放在定心装置的钢球和半圆垫铁 2 上，构成桥板。将水平仪 3 放在桥板中央，见图 4-30。

2) 任选测量位置，调整图 4-28 中的螺母 2、3，使水平仪读数为零。垫铁每次移动一个垫铁长 (378mm)，顺次进行测量，得 24 个读数，结果记录在图 4-31 上。

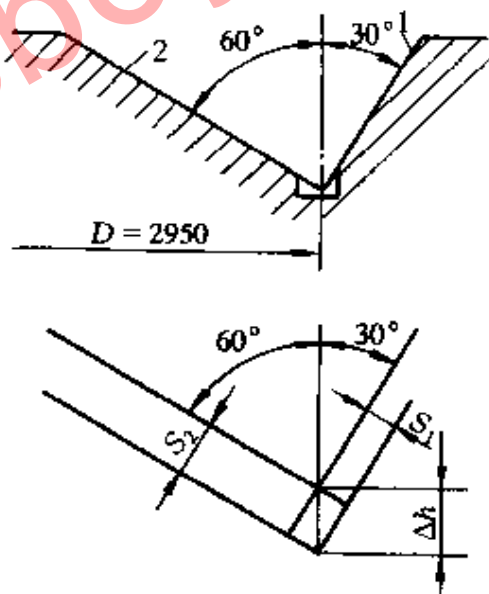


图 4-29 表面 1、2 上的刮削量计算

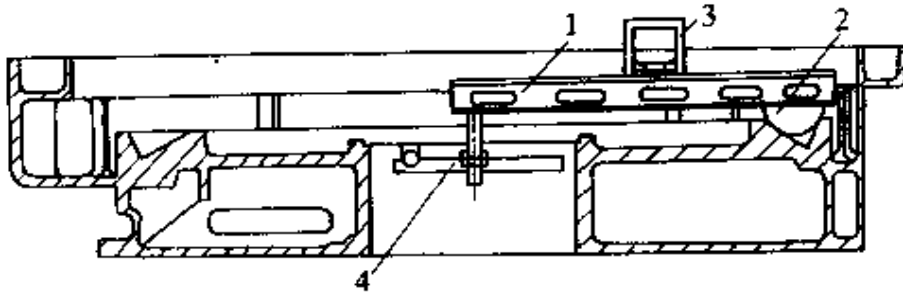


图 4-30 水平仪桥板测量

1—平行平尺 2—半圆垫铁 3—水平仪 4—定心装置

3) 求出 24 个读数中相对为 180° 的每对读数作差, 取其中最大差值的两个点的连线为 $O-x$ 轴, 按操作要点建立直角坐标系。本例中就是第 3 读数点和第 15 读数点, 见图 4-32。

4) 在直角坐标系中描点, 第 3 测量位置 (起始点) 读数为零, 即 $O-x$ 轴上的 O 点。测量位置 20 读数是 -2 格, 在 10—20 连线上, $O-x$ 轴

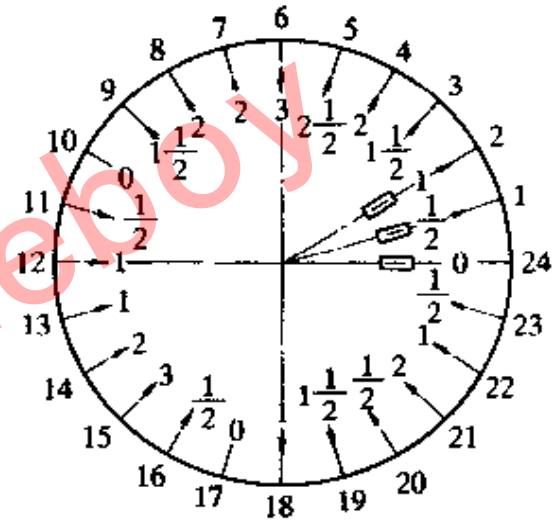


图 4-31 桥板测量实测记录

下方两个单位处描点。位置 15 的读数是 $-4 \frac{1}{2}$ 格, 在以 15 为切点的切线上, $O-x$ 轴下方 $4 \frac{1}{2}$ 个单位处描点…依次进行。最后得一封闭曲线 (图 4-32)。

5) 作出基线, 连接点 3 和点 15' 即得基线。由此便清晰可见导轨的凹凸趋势。点 15' 的坐标值就是导轨安装偏差角值 ($4 \frac{1}{2}$ 格), 15 处是最低位置。最大凸起部分为水平仪 3、4 格。应刮去量为

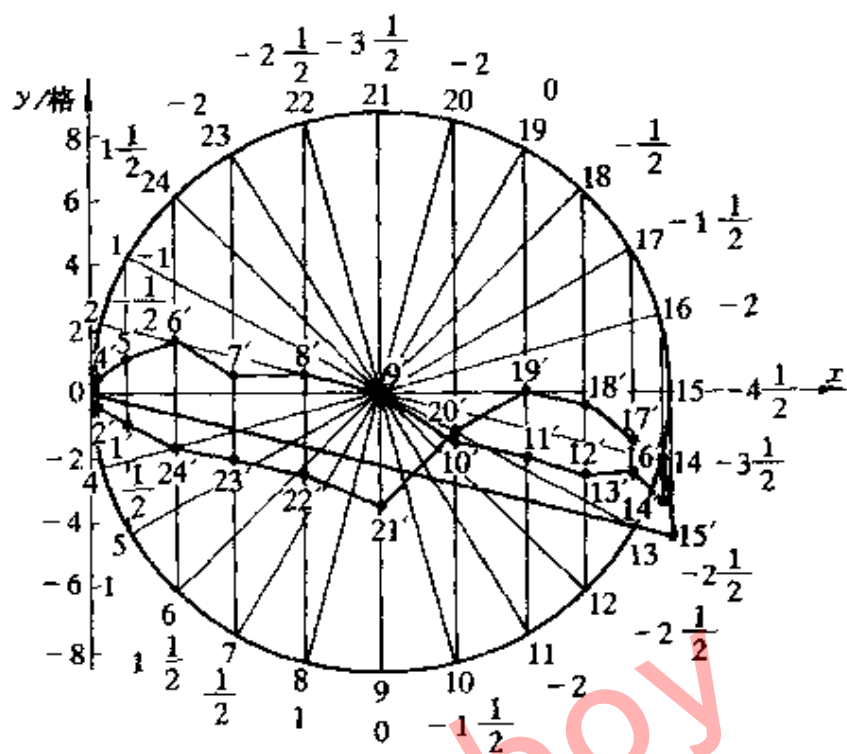


图 4-32 桥板测量圆环导轨直线度封闭曲线

$$\Delta h = 1000jkR = 1000 \times \frac{0.02}{1000} \times 3.4 \times 1475 \text{mm} \approx 100 \mu\text{m}$$

表面 1 应刮去

$$S_1 = \Delta h \sin 30^\circ = 100 \mu\text{m} \times 0.5 = 50 \mu\text{m}$$

表面 2 应刮去

$$S_2 = \Delta h \sin 60^\circ = 100 \mu\text{m} \times 0.866 = 86.6 \mu\text{m}$$

3. 刮研修理工艺

(1) 对底座圆环 V 形导轨进行安装水平调整。要求允差： $0.02 \text{mm}/1000 \text{mm}$ 弧长；全圆周上为 $0.05 \text{mm}/1000 \text{mm}$ 。

(2) 对圆环导轨作切向测量或桥板测量，并绘出曲线图。如超差，进行下步操作。

(3) 对工作台和底座导轨用涂色研点法检查其圆度误差。

将工作台和底座导轨清洗干净。轮换涂色合研，每次合研时旋转 $1/12$ 转 $\sim 1/8$ 转。合研一次以后，吊起工作台，找出导轨的接触部位，再错位 120° ，涂色合研，确定圆度误差的实际方向。

1) 若合研后, 两个导轨的 4 个表面上研点是软硬均匀的。则证明上下导轨的圆度误差都很小。之后则转入第 6 步, 进行精刮。

2) 若合研后, 两导轨的 4 个表面上研点呈现图 4-33 情况, 则证明工作台导轨的圆度误差小, 可转入第 4 步, 再从第 6 步向下进行。

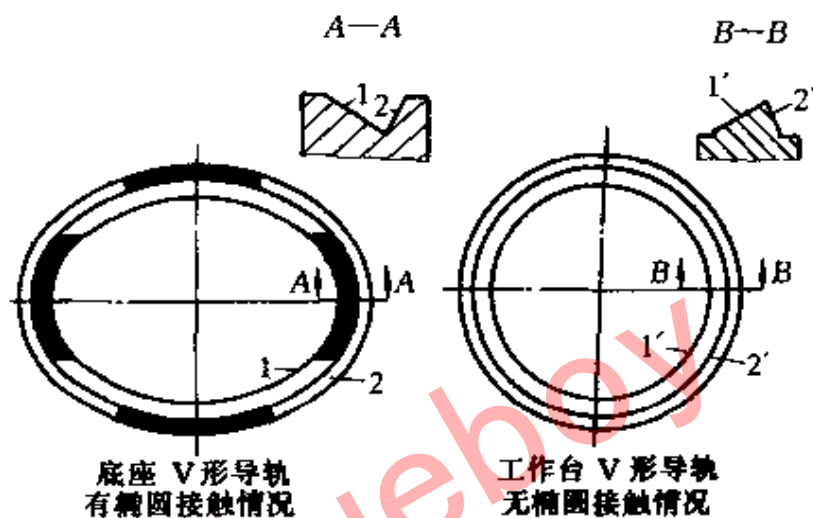


图 4-33 研点后底座导轨表面出现硬点

3) 若合研后, 两导轨的 4 个表面上研点呈现图 4-34 所示的情况, 则证明底座导轨的圆度误差较小。可转入第 5 步, 然后进行精刮。

4) 若合研后, 两导轨的 4 个表面上研点呈现图 4-35 的情况, 则证明工作台和底座导轨的圆度误差均较大。当然, 导轨在垂直平面内的直线度误差大时, 也会出现这种情况, 因此要结合切向测量法, 绘制曲线图后进行分析, 以排除直线度误差的影响。这时应从第 4 步开始, 由粗刮入手, 消除圆度误差。

(4) 以工作台导轨为基准, 粗刮底座导轨。接触精度研点数要求: 6~8 点/25mm×25mm。

(5) 以底座导轨 (粗刮后的) 为基准与工作台导轨合研并粗刮工作台导轨。接触精度研点数要求 6~8 点/25mm×25mm。

在工作台导轨上, 涂上一薄层红油。若上下导轨均有圆度误差时, 使两者的长轴方向处于垂直位置合研, 以便长短轴方向显

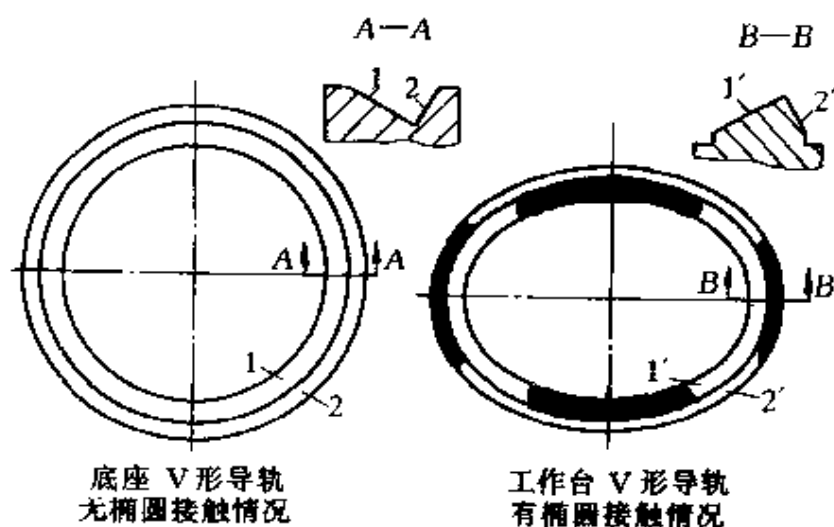


图 4-34 研点后工作台导轨表面出现硬点

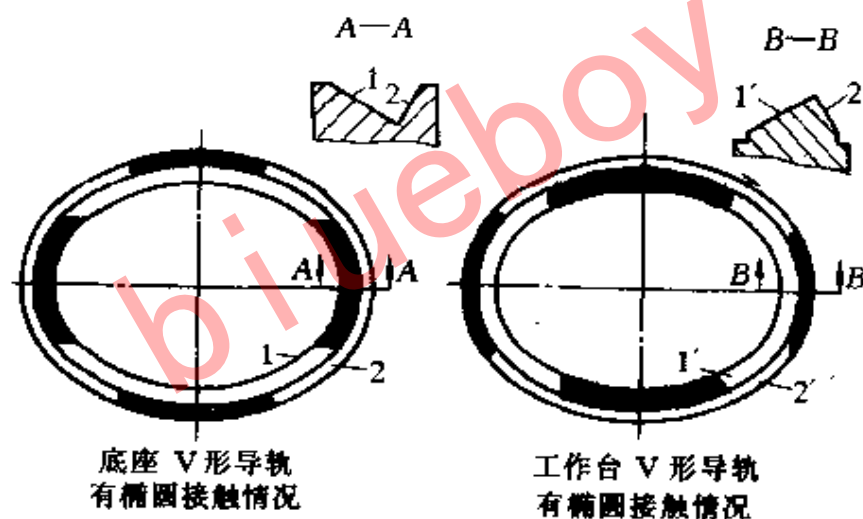


图 4-35 合研后导轨副表面均出现硬点

示的研点明显。在消除圆度误差的过程中，必须控制圆环 V 形导轨与工作台上的“检查带”表面 A 的端面跳动误差和“检查带”B 表面的径向圆跳动误差。这两项误差控制在 0.04mm 以内（图 4-36）。

(6) 以粗刮后的工作台导轨为基准，精刮底座导轨。接触精度研点数要求：12 点/25mm×25mm（并用水平仪作切向测量）。

(7) 以精刮后的底座导轨为基准，精刮工作台导轨。精度要求：接触精度研点数多于 12 点/25mm×25mm，检查带 A、B

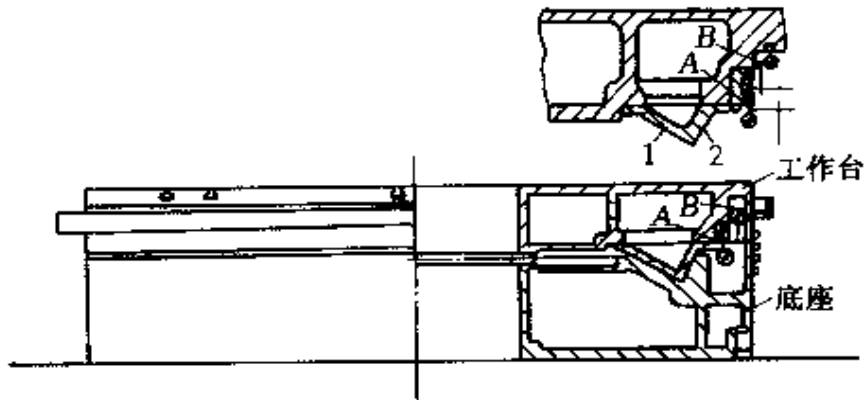


图 4-36 测量检查带 A、B 表面的振摆
表面的摆幅在 0.02mm 以内。

4. 圆环 V 形导轨底座水平的调整 安装或修刮圆环 V 形导轨底座之前, 要进行水平调整。测量方法有两种:

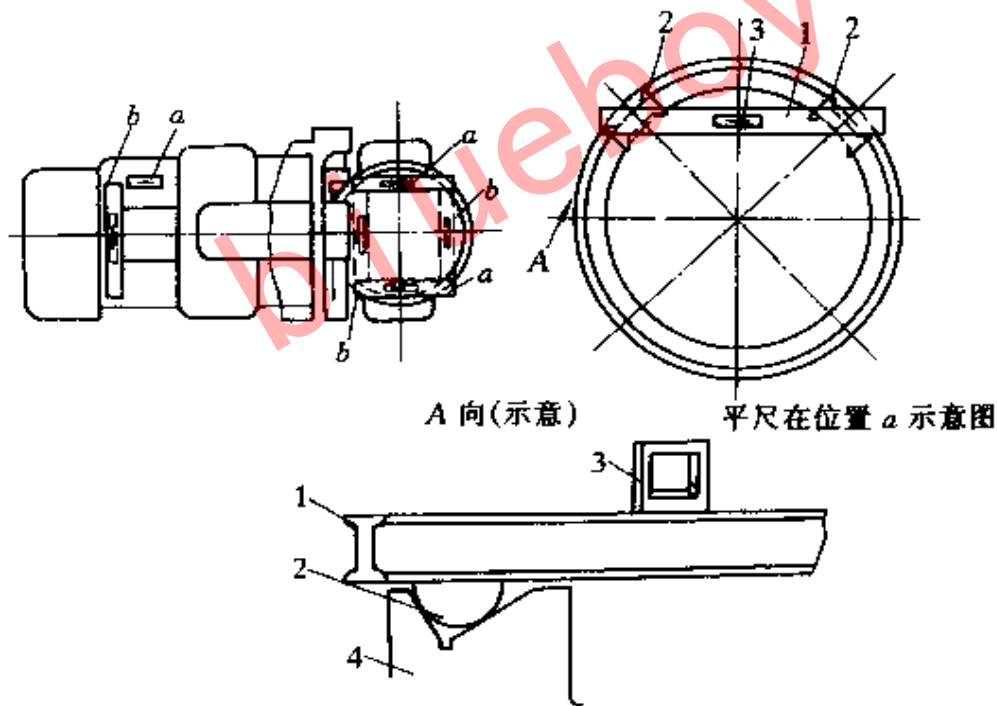


图 4-37 口字形测量法

1—平行平尺 2—等高半圆垫铁 3—水平仪 4—圆环 V 形导轨底座

(1) 用口字形测量法 (图 4-37), 将平尺 1 (长度 $\geq 2m$) 置于等高半圆垫块 2 上, 水平仪 3 置于平尺 1 的中部。在导轨切线 a 、 b 方向进行测量 (测量中, 在进行另一相对应的方向上测量

时,水平仪、平尺、等高半圆垫块均不能调头)。a、b 两项的精度要求: a 项允差: $0.03\text{mm}/1000\text{mm}$; b 项允差: $0.03\text{mm}/1000\text{mm}$ 。

(2) 用米字形测量法(图 4-24),将平尺(长度 $\geq 3\text{m}$)通过中心,放在等高半圆垫块上,水平仪放在平尺中部。每次测量后,将平尺旋转 45° 或 60° ,再进行测量。并与前次读数比较,如此相继进行。a、b 项允差均为: $0.03\text{mm}/1000\text{mm}$ 。

复 习 思 考 题

1. 大型机床地基基础必须具备的条件是什么?
2. 简述地基修理的基本步骤。
3. 简述直导轨的规格及各自的特点。
4. 简述床身拼装的操作要点。
5. 哪些机床的床身有环形导轨?
6. 标准正弦曲线活动比较法的操作要点是什么?
7. 圆环平导轨底座水平调整的操作要点是什么?
8. 简述水平仪切向测量法和径向桥板测量法的区别与联系。

第五章 精密组件及修理

培训要求 了解典型机床精密组件的结构与工作原理、故障形式与诊断，掌握精密组件的修理方法、装配方法与调整方法。

第一节 动静压混合轴承

各种机床主轴系统的结构和精度是保证机床性能的最基础因素。随着机床向高精度、高效率和自动化方向发展，对机床主轴支承系统的要求也越来越高。

当前，可供精密主轴轴系选用的轴承有：动压轴承、滚动轴承、静压轴承、气浮轴承和磁力轴承。动压轴承是精密机床使用最多的轴承，但因其调整困难、寿命低和故障率高等原因难于适应发展的要求。角接触球轴承随制造精度的提高应用逐渐增多，但终因超精加工困难、精度保持性差和使用寿命低而难于达到高精密机床的要求。气浮轴承因承载能力过低只限于载荷较轻的超精加工。磁力轴承因成本太高而只能用于极少的专用机床上。静压轴承由于其良好的阻尼特性和高精度寿命成为精密主轴支承可选用的轴承之一。而动静压轴承在总结和吸收国内外先进成果的基础上，综合了动压轴承承载能力强，静压轴承精度高、寿命长的特点，经历了深入的开发，发展成一种多油楔液体动静压混合轴承，并在旧设备的改造实践中取得了显著成果，预计在新产品制造中将会得到更多的应用，现以 WMB 型动静压混合轴承为例叙述。

一、工作原理及特点

1. 结构 图 5-1 所示为 WMB 型表面节流液体动静压混合轴承构造原理简图。图中的进油孔 1 均匀分布在居轴承宽中心的圆周上。轴承内表面由三部分组成：与油孔相连的深腔 5，按主轴

转向，与深腔相接的浅腔 2；深浅腔两端的轴向封油面 3 和深浅腔之间的周向封油面 4。轴承外圆的进油孔处有一环形槽，压力油通过环形槽联通各进油孔。

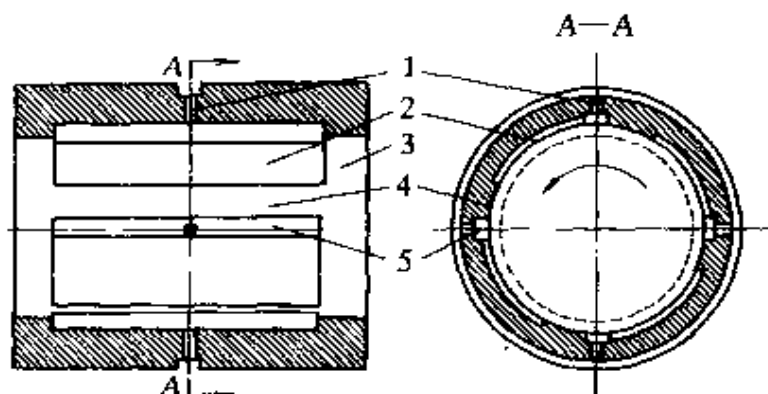


图 5-1 构造原理图

1—进油孔 2—浅腔 3—轴向封油面 4—周向密油面 5—深腔

2. 工作原理 动静压混合轴承的工作原理是动压轴承工作原理与静压轴承工作原理的叠加。它应用了孔式环面二次节流原理，采用孔式供油和不等宽阶梯封油边的浅腔结构，提高了轴承的静压承载能力。在供油集成体油泵起动后，供油压力可达 $98 \sim 147 \text{N/cm}^2$ ，静压油能使主轴在前后轴承内悬浮，在主轴旋转后油腔压力表压力可达 $196 \sim 245 \text{N/cm}^2$ ，承载能力和刚度比主轴旋转前增加四倍以上。此时磨头主轴与轴承之间的单面间隙为 $0.01 \sim 0.04 \text{mm}$ ，由于有一高压油膜支承，使主轴处于悬浮状态下工作。它既利用静压原理克服了动压轴承的主轴与轴瓦接触磨损现象，又利用动压原理克服了静压轴承的主轴漂移、油膜刚性不足的现象。

3. 特点 动静压混合轴承的主轴在工作时，因与轴承无接触磨损，故精度保持性好、承载能力较高、精度高、使用寿命长、维修简便。

二、几种典型结构

1. DYNASTAT 型轴承

(1) 结构 这种轴承的结构形式如图 5-2 所示。现用于

MB1632A 外圆磨床的砂轮主轴上。

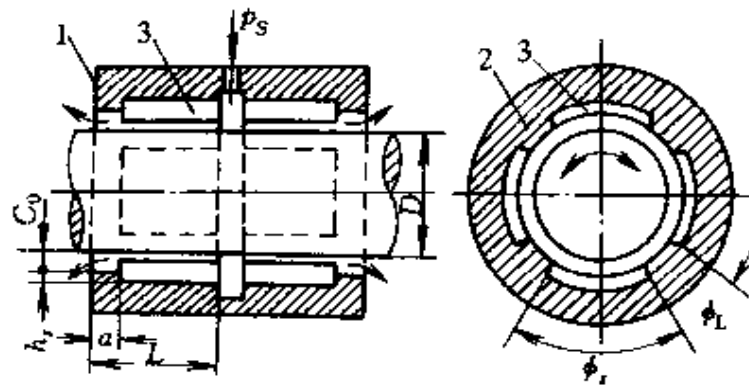


图 5-2 DYNASTAT 型轴承

1—封油面 2—周向封油面 3—浅油腔

(2) 特点 DYNASTAT 轴承 是以动压为主的动静压混合轴承。它具有高精度、使用寿命长、结构简单、刚性及稳定性好、液压泵功耗小及不受旋转方向限制等优点。缺点是静止时的承载能力低，不一定能克服主轴在起动前的承载力。因此，在卸荷下起动，影响轴承寿命。

2. 孔式环面节流浅腔动静压混合轴承

(1) 结构 其结构形式如图 5-3 所示。它采用了三垫式结构，每一个垫上有一个浅腔，起浅腔静压节流的作用，构成了阶梯动压轴承。按主轴转动方向，下游的封油面宽，上游的封油面窄。油孔直径 $\phi_1 \sim \phi_3\text{mm}$ 之间，油孔的位置居油腔中的上游。油孔与主轴表面形成了孔式环面节流。

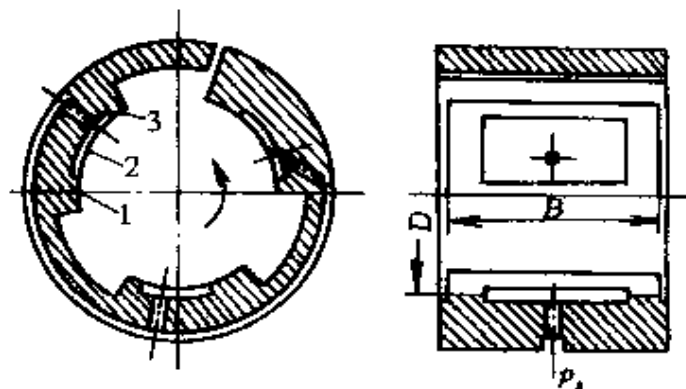


图 5-3 孔式环面节流浅腔动静压轴承

1—下游 2—浅腔 3—上游

(2) 特点 这种轴承由于同时采用浅

腔静压节流和孔式环面节流，它具有二次节流的作用，从而增加

了静压承载能力，克服了小孔节流易堵塞的缺点。

3. WMB型动静压混合轴承 这种轴承是在孔式环面节流浅腔液体动静压混合轴承科研成果基础上，总结和吸收国内外先进成果并结合生产实际，进行理论深化研究。通过二次开发，进行结构优化设计，经科学实验进行参数合理选择和生产实践的反复检验论证，而发展起来的一种多油楔液体动静压混合轴承。

(1) 结构 其结构形式如图 5-1 所示。

(2) 特点 这种轴承是针对磨床上用的三块瓦支承动压轴承的缺点，进行改型设计成三油垫式动静压轴承的。由于结构上改为多腔结构，提高了承载能力；在小孔处开了一个深度大于浅腔的轴向小槽，消除了微小杂质堆积的可能性，该轴承具有回转精度高、刚性好、性能稳定，适用于定向旋转及主轴转速变化小的精密主轴轴系。

4. 双列孔式浅腔动静压混合径向轴承

(1) 结构 其结构形式如图 5-4 所示。

(2) 特点

① 由单列孔式环面节流变成双列孔式环面节流，提高了环面节流的作用，使静压承载能力有所提高，增强了安全可靠。

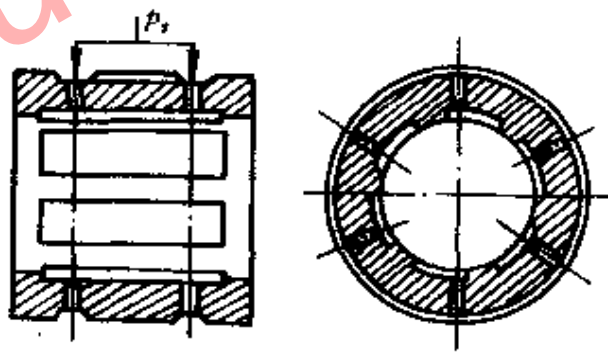


图 5-4 双列孔式浅腔动静压混合径向轴承

② 采用了六腔轴承结构，增加了轴承的承载面积，提高了承载能力，减少了轴承对加载方向的敏感性。使用时和孔式浅腔动静压混合止推轴承联合使用。

三、主轴部件

以 WMB 型表面节流液体动静压混合轴承的主轴部件为例，介绍其工作过程。以 MG1432A 动静压磨头为例介绍动静压轴承的修理。

1. 工作过程 工作过程是轴承通入压力油后产生静压力, 支承主轴及轴上全部零件重力和传动带张紧力。由于静止状态下各腔间的压力差较小, 总承载力有限, 主轴处于大偏心率工况状态。主轴起动后, 由于转动状态下轴承的承载能力很大, 对主轴及轴上全部零件重力和传动带张紧力而言, 只是个很小的力。这样, 主轴回到小偏心率工况状态。主轴进行粗加工时, 切削力很大, 主轴偏心率加大, 但即使按电动机满载工作, 偏心率加大量也是有限的。主轴进行精加工时, 切削力很小, 主轴偏心率减小。这就是主轴在轴承内的变化过程。

2. 修理

(1) 技术要点 动静压轴承的修理, 最重要的是保证油楔的深度均匀、二孔的同轴度误差和与主轴的间隙。另外, 油液的清洁度, 油箱及油管的清洁度也是修理工作中不可忽视的项目。

(2) 工艺

1) 当主轴的外圆出现轻微伤痕(深度在 $0.05\sim 0.10\text{mm}$ 之间)时, 可用外圆磨床磨去伤痕, 采用涂镀或镀铁等方法进行修复。修复后的外圆与轴承配磨 $0.02\sim 0.03\text{mm}$ 间隙。当主轴磨损的伤痕较深时, 只能报废, 重新制作主轴。

2) 轴承的修理

① 当动静压轴承发生抱轴, 轴承的伤痕很浅时, 可用金相砂纸轻擦, 直到去除痕迹, 然后冲洗轴承, 可继续使用。

② 如果抱轴严重, 伤痕较深, 则无法修复, 只能重新制作轴承。

③ 新配轴承时, 可先将拆除旧轴承后的砂轮架两轴承孔用研磨的方法研圆。再按 $0.002\sim 0.004\text{mm}$ 的过盈量配磨轴承的外圆。用温差法在保证轴承几何精度不变的条件下装入砂轮架壳体。装入轴承后, 测量每个油楔的深度, 保证其深度均匀。如发现不均匀, 可用刮削法将其修至均匀。最后, 将装入轴承的壳体的轴承孔中心呈垂直状摆放, 用经硫化处理过的橡胶研磨棒, 涂上氧化铬研磨膏, 进行研磨来保证两轴承孔的圆度和同轴度要求。

(3) 装配 MG1432A 动静压砂轮架主轴和轴承的装配过程如下：

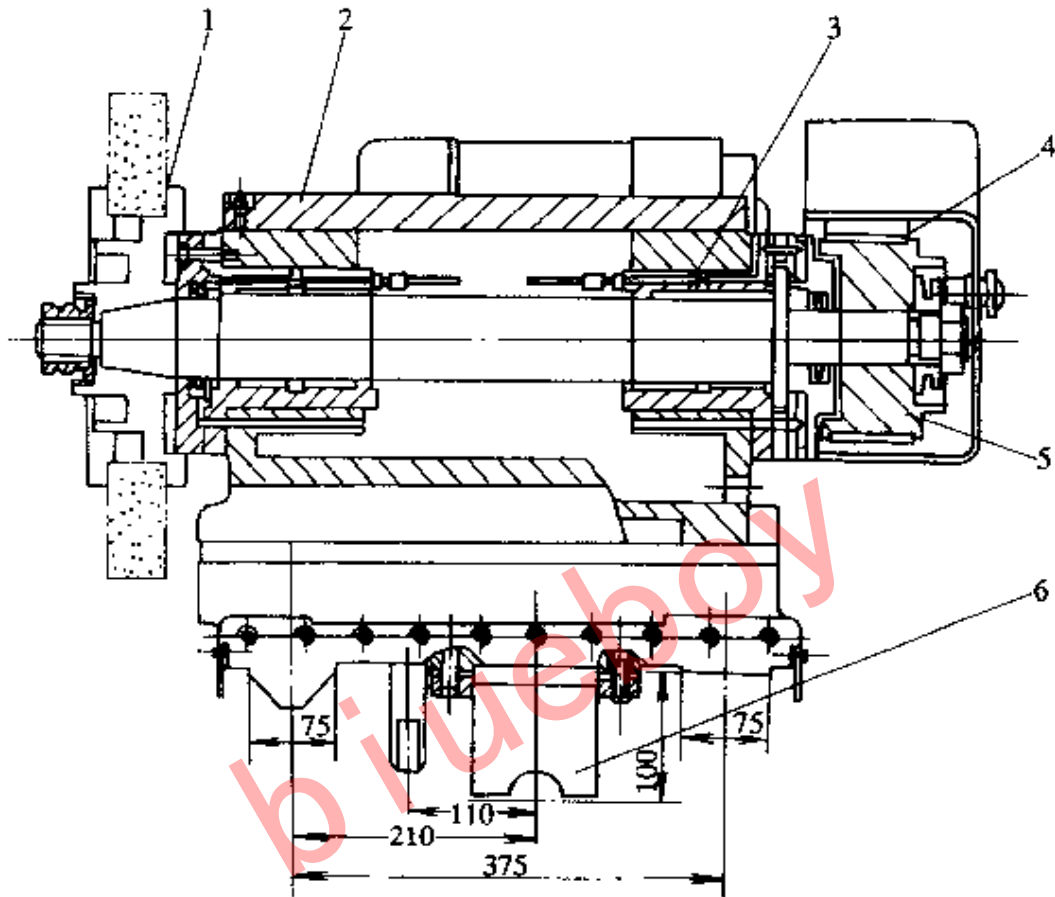


图 5-5 动静压轴承砂轮架结构图

1—主轴 2—前轴承 3—后轴承 4—联组 V 带 5—带轮 6—半螺母

- 1) 清洗所有装配件，并去除毛刺、倒角。
- 2) 装配端面法兰盖油封。
- 3) 装配电动机及垫板组件。
- 4) 预装砂轮主轴箱盖板。
- 5) 装配主轴箱轴承的油管。
- 6) 用三角油石推平轴承端面（轻轻推平）。
- 7) 接通主轴油箱，对轴承进行冲洗（半小时），注意节流小孔的油量。
- 8) 在冲洗时，用软刷刷净轴承四周微小杂物。

- 9) 拆洗主轴箱的过滤器，加入4号主轴油。
- 10) 测量主轴轴肩的厚度及止退垫片厚度。
- 11) 修磨止退垫片，保证垫片厚度比轴肩厚 $0.02 \sim 0.03\text{mm}$ ，并保证垫片的平行度误差为 $0.002 \sim 0.003\text{mm}$ 。
- 12) 再次冲洗轴承(5min)，注意节流小孔的流量。
- 13) 将清洗后的主轴用纱布或棉纸擦干净，轻轻地由后轴承处向前伸进，直到轴肩靠住后轴承的端面。
 - ① 轻轻用手转动，手感良好，且转动灵活。
 - ② 装正止退垫圈(注意对好油孔位置)。
 - ③ 装后法兰盖，注意油孔必须畅通。
 - ④ 用手轻轻转动主轴，应灵活无阻。
 - ⑤ 装前法兰盖，注意装上纸垫，再次用手轻转主轴。
- 14) 接通主轴油箱，通油后，用手轻转主轴，主轴的转动应很轻。
- 15) 装上电动机，将主轴带轮装于主轴上，并调整好传动带松紧，准备开机。
- 16) 接通电源，开车运转1h。
- 17) 抽出主轴，检查主轴轴径上的运动痕迹，应是用肉眼观察无明显的运动痕迹。
- 18) 再次按顺序装入主轴。
- 19) 在主轴前端装上砂轮，旋紧螺母，开机空运转2h，油温升不大于 20°C ，油箱供油压力为 $(0.686 \sim 0.882)\text{MPa}$ 。
- 20) 拆除砂轮，准备测量精度。
- 21) 测量主轴精度，径向跳动误差小于等于 0.002mm ，轴向窜动小于等于 0.002mm 。

3. 使用和维护

(1) 使用要点

1) 清洁是动静压混合轴承的关键。在装配、安装、使用、维护等各环节都要把油液中杂质粒度控制在轴承间隙的 $1/3 \sim 2/5$ 以下。

2) 只有产生压力才能使动静压混合轴承正常工作, 保证油源的正常供压至关重要。

3) 动静压轴承只有在供压状态下才有非常优越的性能, 因此一切工作, 如转动主轴, 装卸轴上零件等都必须是在供压状态下进行。

(2) 日常维护与保养

1) 操作者起动主轴电动机前, 应检查静止状态下的表压, 表压低于 0.6MPa 时, 不得起动。

2) 更换砂轮或传动带时, 必须在供油状态下操作。

3) 在没有供油压力的状态下, 不得转动主轴。

4) 定期更换供油装置的精滤芯。

5) 定期检查油液质量, 变质则必需更换。

6) 其他供油装置也应定期检查。

四、组件的应用

液体动静压混合轴承主轴部件, 目前已经标准系列化, 这些主轴部件的型号有: YW 型外磨组件、YP 型平磨组件、YN 型内磨组件、YZ 型轴承专用磨床组件、YB 型其他类型机床组件。这些组件分别适用于各种磨床。为旧机床改造和新机床制造进行配套。现将各型号的动静压混合轴承主轴系列部件介绍如下:

1. YW 型外磨组件 这种组件是采用 WMB 型表面节流液体动静压混合轴承设计而成, 适用于 (万能) 外圆磨床、无心磨床等的主轴功能的部件系列产品。用以提高砂轮主轴系统回转精度和承载能力, 从而提高原机床的加工精度和生产效率。

(1) 规格性能 这种型号组件的规格是按已有磨床型号的结构尺寸进行设计的。如用于 M1432 外磨的组件为 YWM1432; 用于 M131W 外磨的组件为 YWM131W/A; 用于 M120W 外磨的组件为 YWM120W/87 等。该系列组件具有主轴回转精度高、刚性好、磨削的表面质量好和使用寿命长的优点。使用时, 与 JY2 系列供油装置配套使用, 供油压力为 2MPa。通入压力油后, 主轴端部的径向圆跳动不大于 0.003mm, 轴向窜动不大于

0.002mm，主轴浮起量不小于 0.005mm，压力表指示不小于 0.6MPa，转动主轴手感轻松，一般都能形成自转。

(2) 结构 其结构简图如图 5-6 所示。前端采用 WMB 型径向止推静压轴承，后端采用 WMB 型径向动静压轴承。前后端一般采用间隙密封。这种结构既保证了外磨组件的支承性能要求，又具备结构简单、维修方便和安全可靠的特点。

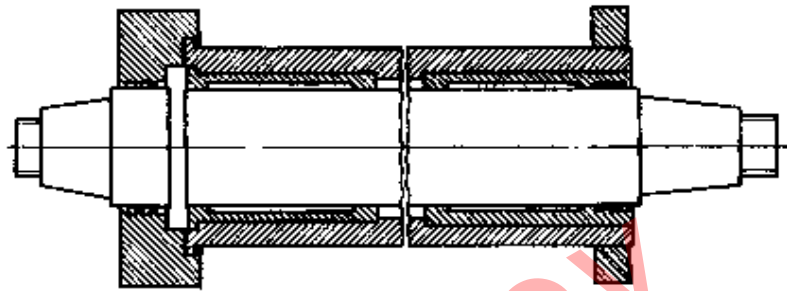


图 5-6 外磨组件结构简图

(3) 安装步骤及工艺要求

1) 分解原机床砂轮主轴，检查箱体孔和外磨组件外径尺寸，要求配合间隙为 0.008~0.015mm。当不能满足此要求时，要通过研磨箱体孔达到，检查轴向位置尺寸是否一致。当有差别时，要核实原电动机带轮与组件带轮能否对正，砂轮罩和带轮罩能否使用。

2) 按附图提供的数据，在箱体给定的位置上加工进油和测压孔。并将壳体放油孔扩大为 $3\text{in}/8$ ，用于装回油管。在砂轮罩和带轮罩上对应位置加工缺口，用以联接进油管。仔细核对各相对位置的变化，当发现不一致时，须按组件的相应位置在壳体上打孔。当某些机床的箱体孔径不能适应组件要求时，需将原孔镗大。

3) 清洗壳体内孔和组件外圆表面，取下测压孔和进油孔堵头，将组件推入壳体中。当配合较紧不能推入，可用铜棒轻轻敲入。仍装不进时，须检查尺寸，找出原因，排除后再装，不可强行打入。装入后，即刻将进油、测压管接头装入组件孔中。进油

孔要特别注意，不能将微粒杂质带入孔中，否则在压力油作用下挤入轴承中会造成主轴抱轴。用螺钉固定前法兰和清洗后装入组件套筒外圆的后套。

4) 将供油装置的电机电路接好。

5) 按 JYZ 供油装置说明书要求，检查油液过滤精度小于 0.005mm 和蓄能器、压力继电器等保护装置满足要求。然后接通供油电路，将供油系统的出油管插入回油管中，开泵检查转向正确，自冲洗油箱及管路 30min 以上，停泵后立即取出油管与组件的进油管接好，开泵使主轴部件通入高压油，压力调至 2MPa，让油自循环 1h 后，检查主轴运转灵活轻快并有自转，然后安装传动带，起动电动机运转 1h。再检查组件固定螺钉有无松动。

(4) 试运转

1) 检查砂轮主轴的静工作状态：

① 供油压力调至 2MPa，轴承的压力表指示不低于 0.6MPa。

② 油路畅通，主轴前后无漏油。

③ 主轴转动轻松，一般能自转，用手转动主轴，可自转达 60s 以上。

④ 检测主轴浮起量，轴头全跳动误差合格。

2) 检查主轴转动时的工况：

① 点动主轴电动机按钮，观察表压变化，表压应随转速升高而升高。当无异样响声，即可起动主轴电动机，此时表压应不低于 1.5MPa。

② 检查主轴电动机和液压泵电动机的互锁性能是否正确。

③ 调整油源压力继电器的工作压力：起动液压电动机，将供油压力调至 1.6MPa，松开压力继电器的调整螺钉，随松、随起动主轴电动机，直至主轴电动机不能起动为止。将供油压力调至 2MPa，起动主轴电动机。这时逐渐将供油压力慢慢减小，观察主轴电动机运转情况。当主轴电动机停止运转时，供油压力不低于 1.4MPa，调整完毕。

④ 跑合时启动主轴电动机，运转 1~2h，直至油箱油温平衡为止。检查表压不低于 1.5MPa，温升不高于 25℃，轴端无漏油现象，即可投入使用。

注意：装卸砂轮和传动带轮需在供油状态下进行。

2. YP 型平磨组件 YP 型液体动静压轴承平磨组件是采用 WMB 型表面节流液体动静压混合轴承设计而成的，适用于卧轴平面磨床主轴功能部件系列产品。它能提高平面磨床砂轮主轴的回转精度和承载力，从而提高原机床的加工精度和生产效率。

(1) 规格与性能 平磨组件的型号是应用原机床已有型号前加 YP 构成。如 MM7132 平磨的组件为 YPMM7132；套筒式的 M7120A 平磨的组件为 YPM7120A/120；天津产 M7120A 平磨的组件为 YPM7120A/95 等。该系列组件具有主轴回转精度高、刚性好、磨削表面粗糙度值小和使用寿命长等优点。适用于高效率和对表面质量要求高的平面加工。

(2) 结构 其结构形式如图 5-7 所示。其主轴位置与原结构不变，但长度较原主轴缩短（详细差别可见各平面磨床组件的安装图）。

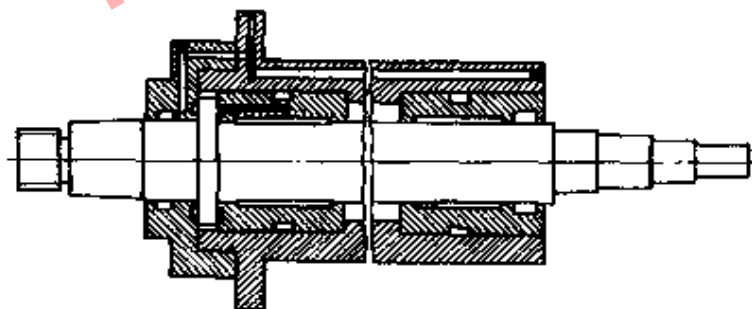


图 5-7 平面组件结构简图

(3) 安装步骤及工艺要求 YP 型组件与 YW 型组件的许多安装步骤基本一致，其区别点与重点简述如下：

1) 分解原机床砂轮主轴时，要特别注意将转子、风扇叶及锁紧螺母的相对位置作好标记，以便安装时仍保持这些零件的相对位置。

2) 检查箱体孔和平磨组件外径尺寸, 要求配合间隙为 $0.008\sim 0.015\text{mm}$, 当不能满足此要求时, 要通过研磨箱体孔来达到。检查转子、风扇叶内孔及键槽与平磨组件主轴处的配合尺寸, 要求满足规定的配合要求。检查轴向尺寸是否一致, 当有差别时要确定能否使用。

3) 按改装图提供的数据, 在箱体的给定位置上加工进油、回油和测压孔。

4) 将转子装入平磨组件的轴上。装入时, 须以主轴前端为支承点, 绝不能以组件的外壳为支承点。

5) 清洗磨床壳体内孔和平磨组件外圆表面, 取下测压孔和进油孔堵头, 将组件推入磨床的壳体中。当配合较紧不能推入或敲入时, 不可强行打入, 需找出原因, 排除后再装。装入后, 立即将进油、测压及回油管接头装入组件, 千万不要让微粒杂质进入油孔。

6) 按外磨组件安装第 4) 步要求配供油装置。运转 1h 且主轴转动灵活。用塞尺检查定子内孔与主轴同轴度误差, 要求不大于 0.05mm , 然后将组件和壳体用螺钉拧死, 把组件固定。

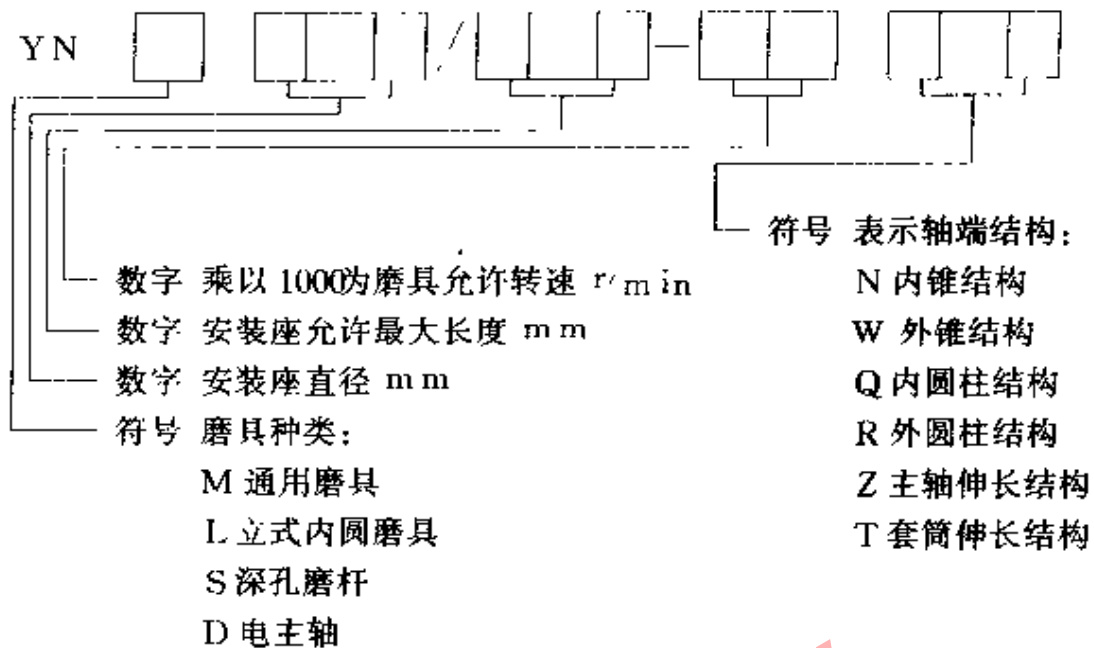
7) 在供油压力达到 2MPa 的条件下进行安装主轴电动机转子、风扇叶等零件。

(4) 试运转 试运转与外磨组件相同。但装卸砂轮及轴上零件必须在供油达到 2MPa 状态下进行。

3. YN 型内磨组件 YN 型内磨组件也是采用 WMB 型表面节流液体动静压混合轴承设计而成的适用内孔磨削的主轴功能部件系列产品。适用于在各种万能外圆磨床、内圆磨床和专用磨床上进行零件的内孔磨削加工, 是滚珠内圆磨具的换代产品。

(1) 规格性能

1) 规格: 该组件是根据我国现有万能外圆磨床、内圆磨床和专用磨床使用的内圆磨具安装尺寸进行设计的, 其型号由汉语拼音字母和数字组成:



例：YNM80/250-18N 表示安装座孔径 $\phi 80mm$ ，安装座最大长度不大于 $250mm$ ，允许转速 $18000r/min$ ，轴端为内锥结构的通用内圆磨具。

2) 性能：该组件回转精度高、刚性好、磨削表面粗糙度值小、使用寿命长、噪声小。适用于高精度、表面粗糙度值小的精密内孔加工。

(2) 结构 其结构形式如图 5-8 所示。

它的止推位于组件的前端，前后端采用间隙密封。压力油经进油接头通过壳体油路分别流入前、后和止推轴承，经封油面流到壳体内腔，汇集于回油管处。其具体结构尺寸见产品技术资料。

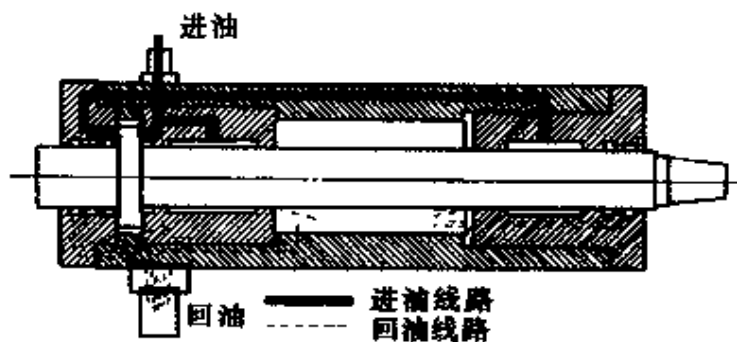


图 5-8 YNM 型内圆磨具结构简图

(3) 安装步骤及工艺要求 由于内圆磨具油路自成体系，与滚动内圆磨具的安装步骤一致。但必须注意以下几点：

1) 特别注意周围环境的清洁，严格清洗磨具及磨具座，旋

转顶丝撑大内孔将磨具装入磨具座中或对正联轴器将磨杆与动力头法兰联接。

2) 按说明书要求安装供油系统。

3) 通油后, 检查压力表值, 主轴浮起量, 通油运转 1h 后无问题, 方可安装传动带。要求传动带张紧力要适当, 手转主轴要灵活, 主轴在供压 2MPa 下沿传动带张紧方向浮起量大于 $4\mu\text{m}$ 。

4) 必须在供压 2MPa 下装卸砂轮杆、砂轮和传动带。

(4) 试运转 试运转与外磨组件相同。

4. YZ 型轴承专用磨床组件 YZ 型组件是采用 WMB 型表面节流液体动静压混合轴承, 根据轴承专用磨床的高效和直切特点设计, 适用于各类轴承套圈滚道磨床、圆锥、圆柱滚子磨床等的主轴功能部件系列产品。

(1) 规格性能 此组件的型号是应用原机床已有型号前加 YZ 构成。使用该部件改造的机床, 主要是提高产品的加工精度、精度稳定性和生产效率。

(2) 结构 该组件大多数构造与 YW 型外磨组件相同, 少数与 YNM 内磨组件相同, 它们取决于原机床的具体构造。

(3) 安装步骤及工艺要求 可依照类型参照 YW 外磨组件或 YN 内圆磨具的对应结构的安装步骤及工艺要求。

(4) 试运转 参照对应组件的具体要求。

5. YB 型其他类型机床组件 该组件还是采用 WMB 型表面节流液体动静压混合轴承, 为适用于包括开头为“5”的导轨磨床, 开头为“6”的刃具磨床, 开头为“8”的曲轴、凸轮、花键、轧辊磨床, 开头为“9”的工具磨床、开头为“S”的螺纹磨床和开头为“Y”的齿轮磨床等的主轴功能面设计的部件系列产品。

(1) 规格性能 该组件的规格是根据已有磨床的结构尺寸设计的, 其型号是应用原机床已有型号前加 YB 构成。其性能同 YW 外磨组件。

(2) 结构 此类组件一般与 YW 外磨组件相似, 其中, 花

键、齿弧和内螺纹磨床与 YN 内圆磨具类似。凸轮轴磨床主轴部件基本结构与外磨组件相同。

(3) 安装步骤及工艺要求 依据类型参照 YW 外磨组件或 YN 内圆磨具的对应结构和安装步骤及工艺要求。

(4) 试运转 参照同类型组件运转要求。

6. YT 型镗头组件 此种镗头组件也是采用 WMB 型表面节流液体动静压混合轴承设计而成的高精度卧轴镗床主轴功能部件系列产品。它保证镗床镗头主轴的高回转精度和大刚度。

(1) 规格性能 该组件是根据已有镗床型号和用户要求进行设计的。镗头的型号是由 YT 加后缀构成。后缀的内容有：主轴直径、壳体长度和转速及轴端结构。

(2) 结构 已设计的镗头组件有方形结构式和圆形结构式两种，详细结构尺寸这里不细叙述，可参阅组件资料。

(3) 安装步骤及工艺要求 许多步骤与内磨组件是基本一致的，简述如下：

1) 安装前，首先检查安装尺寸是否合适，如有出入需进行调整，但不能对镗头进行改造加工。

2) 检查安装面和镗头底面有无硬点并排除，安装时拧紧螺钉螺母不能过紧，以免镗头变形。

(4) 试运转 与外磨组件相同。

第二节 滚珠丝杠螺母机构

滚珠丝杠在丝杠与螺母之间装有钢球，因此，摩擦力小、传动效率高、易实现直线运动转换为旋转运动、磨损小、寿命长，可实现同步运动，但附加自锁机构或制动装置。

一、结构和分类

1. 按螺纹滚道型面分类

(1) 单圆弧形

1) 接触角多取 45° ，且随初始径向间隙和轴向力而变化。

2) r_0/R 值过高时，摩擦损失增加；过低时，承载能力降

低。

- 3) 效率、承载能力及轴向刚性不稳定。
- 4) 必须采用双螺母结构，且易脏物进入，见图 5-9。

(2) 双圆弧形

- 1) 接触角多取 45° ，但工作中接触角不变化。
- 2) r_0/R 比值高，摩擦损失增加；过低时，承载能力下降。
- 3) 承载能力及轴向刚度比较稳定。
- 4) 易实现无间隙或有预紧力的传动副。
- 5) 磨损比较小，见图 5-10。

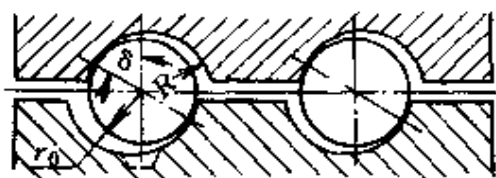


图 5-9 单圆弧形滚珠丝杠副



图 5-10 双圆弧形滚珠丝杠副

2. 按滚珠循环方式分

(1) 外循环 滚珠的循环在返回过程中与丝杠脱离接触的称为外循环。

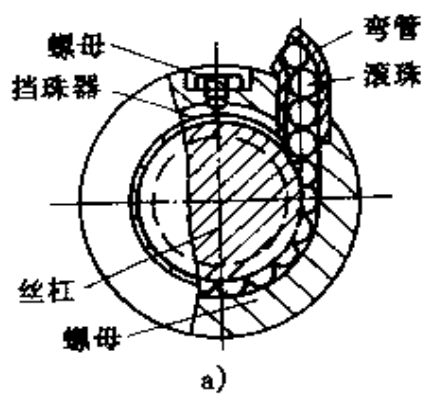
1) 插管式就是用弯管插入螺母的通孔代替螺旋回珠槽作为滚珠返回通道，这种方式工艺性好，但螺母径向外形尺寸较大，不易在设备上安装，见图 5-11。

2) 螺旋槽式的特点是径向尺寸较小，便于安装，加工工艺性好，挡珠器形状复杂易磨损，刚性差，见图 5-12。

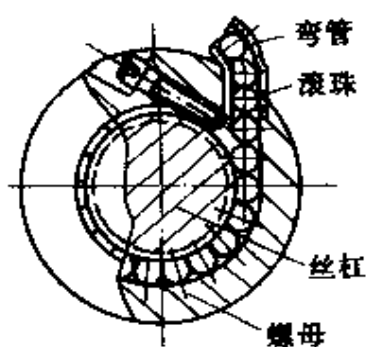
3) 端盖式的特点是结构紧凑，工艺性较好，但滚珠经过滚道短槽时，易发生卡珠现象，见图 5-13。

(2) 内循环

滚珠的循环在返回过程中与丝杠始终保持接触的称为内循环。内循环方式滚珠循环回路短，工作珠少，流畅性好，摩擦损失小，传动效率高，反向器结构复杂，制造比较困难，见图 5-14。

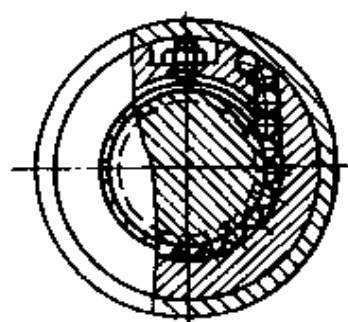


a)

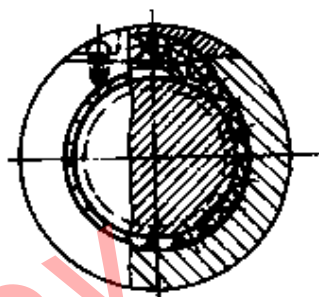


b)

图 5-11 插管式滚珠丝杠副 (外循环)



a)



b)

图 5-12 螺旋槽式滚珠丝杠副 (外循环)

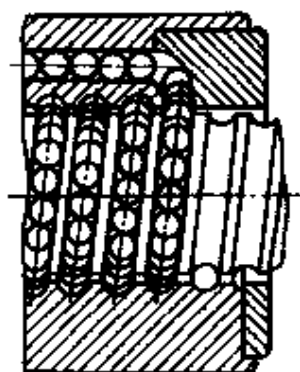
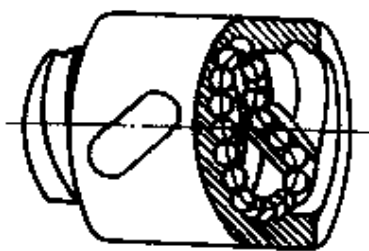
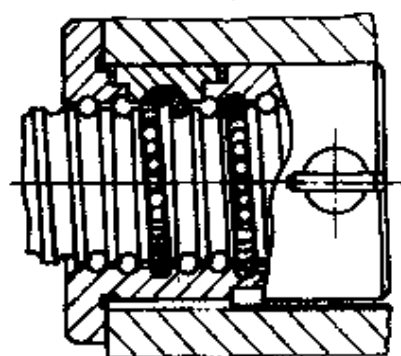


图 5-13 端盖式滚珠丝杠副 (外循环)



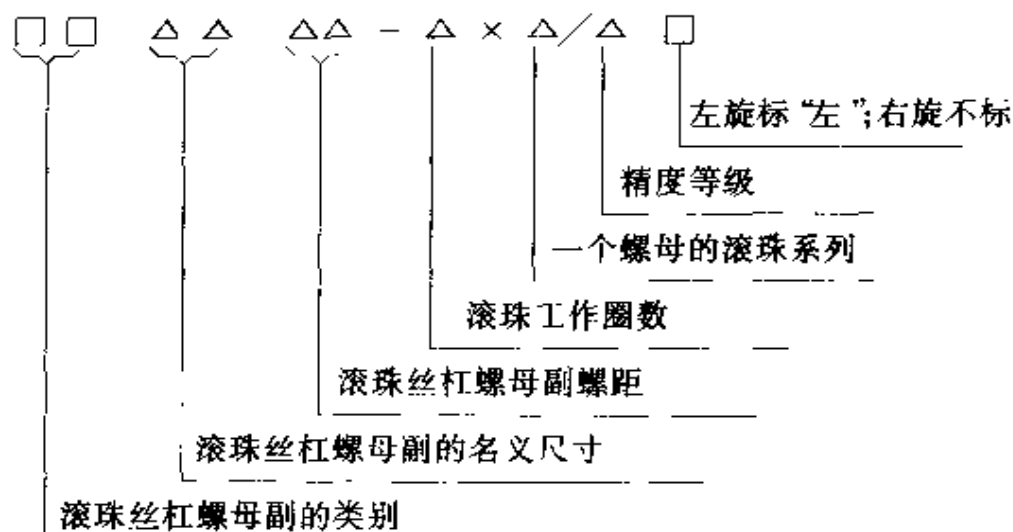
a)



b)

图 5-14 内循环式滚珠丝杠副

二、标记方法



标记示例：

WD3005 - 3.5 × 1/7 左

外循环垫片调隙式、双螺母名义直径 30mm，螺距 5mm，滚珠工作圈数 3.5，7 级精度，左旋滚珠丝杠螺母。

NCh5006 - 1 × 3/6

内循环齿差调隙式、双螺母、名义尺寸 50mm，螺距 6mm，每个螺母三列，6 级精度右旋的滚珠丝杠螺母。

表 5-1 各种代号的意义

序号	代号	意义
1	W	外循环单螺母滚珠丝杠副
2	W ₁	外循环不带衬套的单螺母滚珠丝杠副
3	C	外循环插管式的单螺母滚珠丝杠副
4	N	内循环单螺母滚珠丝杠副
5	WCh	外循环齿差调隙式的双螺母滚珠丝杠副
6	W ₁ Ch	外循环不带衬套齿差式调隙的双螺母滚珠丝杠副
7	WD	外循环垫片调隙式的双螺母滚珠丝杠副
8	W ₁ D	外循环不带衬套垫片调隙式的双螺母滚珠丝杠副
9	W ₁ L	外循环不带衬套螺纹调隙式的双螺母滚珠丝杠副
10	CCh	插管式齿差调隙式双螺母滚珠丝杠副
11	CD	插管形垫片调隙式的双螺母滚珠丝杠副
12	CL	插管形螺纹调隙式的双螺母滚珠丝杠副
13	NCh	内循环齿差式调隙的双螺母滚珠丝杠副
14	ND	内循环垫片式调隙双螺母滚珠丝杠副
15	NL	内循环螺纹调隙式的双螺母滚珠丝杠副

三、消除轴向间隙和预紧调整

通过预紧轴向力来消除滚珠丝杠副的轴向间隙并施加预紧力,达到无间隙传动并提高丝杠的轴向刚度,这是滚珠丝杠副的主要特点之一。对于新制的滚珠丝杠,专业制造厂在装配时已按用户要求进行了预紧,因此在安装时无须再进行预紧。但滚珠丝杠经较长时间的使用后,滚珠及滚道不可避免地要产生磨损,其结果是预紧力减小,甚至出现轴向间隙。在这样情况下,必须适时地进行预紧调整。这是滚珠丝杠副的主要维修工作之一。

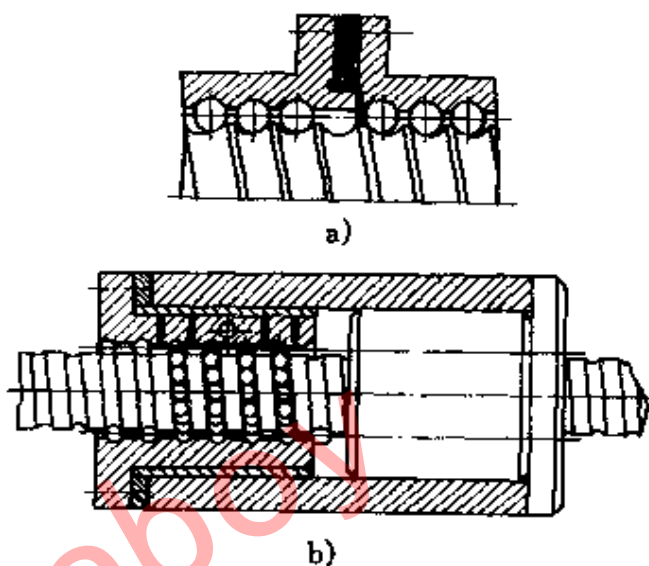


图 5-15 垫片式

1. 调整机构的形式

(1) 垫片式调整机构 这种结构形式如图 5-15 所示。它是通过改变垫片的厚度,以使螺母产生轴向位移来实现消除间隙和预紧的调整。这种调整机构的特点是结构简单、预紧可靠、拆装方便。但精度的调整比较困难,且在使用的过程中不便调整。

(2) 螺纹式调整机构 其形式如图 5-16 所示。调整时,带调

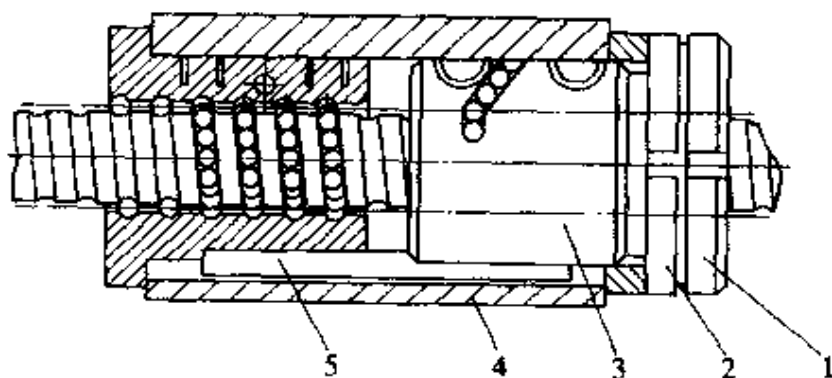


图 5-16 螺纹式

1—螺母 2—螺母座 3—螺母 4—螺母 5—长键

整螺纹的螺母 1 伸出螺母座 2 的外端,用两个螺母 3、4 调整轴向间隙,长键 5 的作用是限制两个螺母的相对转动。这种形式的特点是结构紧凑、可随时调整,但很难准确地获得需要的预紧力。

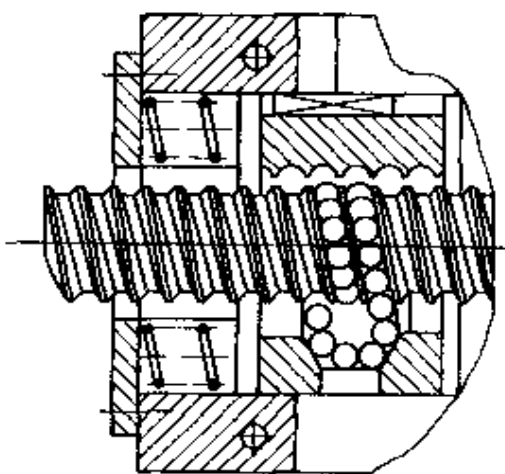


图 5-17 弹簧式

(3)弹簧式 其结构形式如图 5-17 所示。图中左边的螺母可以借助于弹簧在轴向上的压紧力而作轴向移动,从而达到调整的目的。这种形式显得结构复杂、刚性较低、但具有单向自锁作用。

(4)齿差式 其结构形式如图 5-18 所示。它是改变两个螺母上齿数差来调整螺母在角度上的相对位置,实现轴向位置的调整间隙和预紧。此方法调整简单,但不是非常精确。

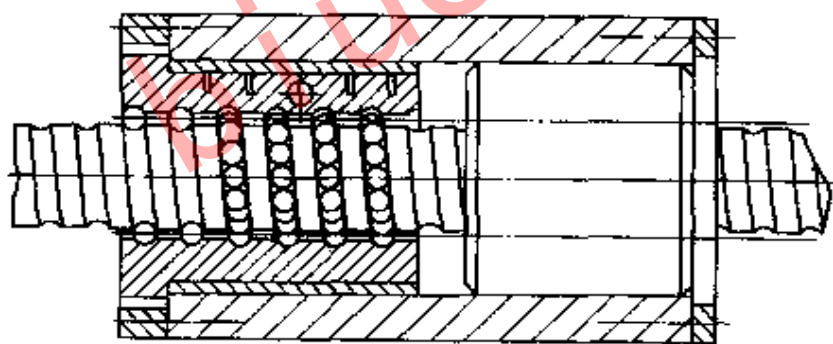


图 5-18 齿差式

(5)弹簧式 如图 5-19 所示。

这种弹簧式机构中,是在固定螺母和活动螺母之间,装有弹簧,使螺母作相对的扭转来消除轴向间隙,结构复杂、刚性低,具有单向自锁作用。

(6)随动式 其机构形式如图 5-20 所示。活动螺母 1 和固定螺母 2 之间有滚针轴承,工作中可相对扭转来消除间隙。这种结构的特点是结构复杂、接触刚度低、但具有双向自锁作用。

2. 预紧力的确定

滚珠丝杠副的预紧力过小,在载荷作用下,传动精度会因此出现间隙而降低;预紧力过大,传动效率和使用寿命又会降低,一般预紧力取最大轴向负荷的 $1/3$ 。

预紧力产生的接触变形量可用下式计算

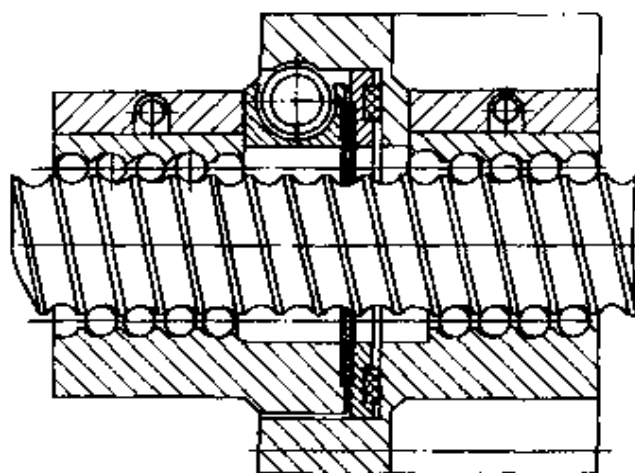


图 5-19 弹簧式

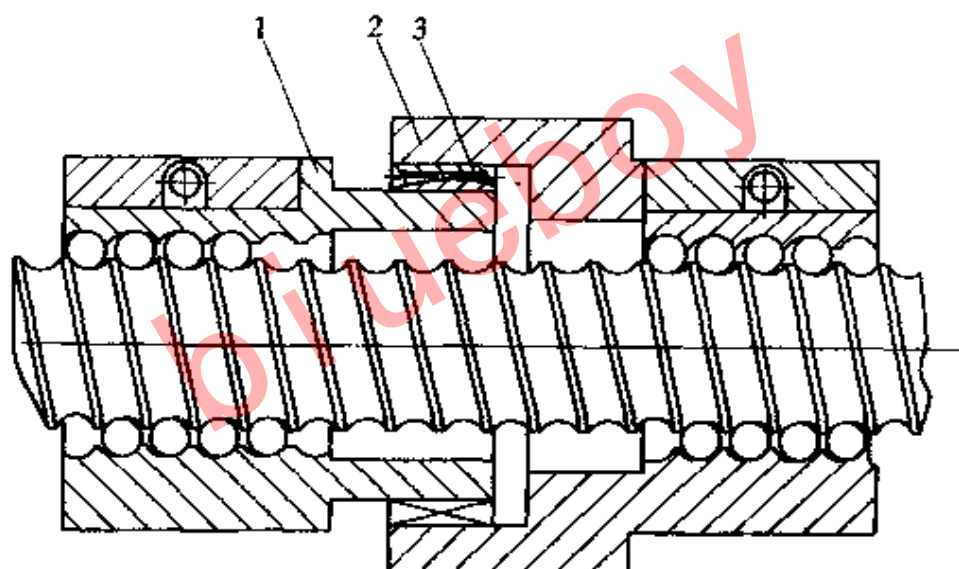


图 5-20 随动式

1—活动螺母 2—固定螺母 3—滚针轴承

$$\delta = 0.00028 \frac{F_a}{\sqrt[3]{d_0 F_y (z_\Sigma)^2}}$$

式中 δ ——预紧力产生的变形量(mm);

F_y ——轴向预紧力(N);

z_Σ ——滚珠数量($z_\Sigma = z_x$ 圈数 \times 列数);

z ——圈的滚珠数;

$$z = \frac{\pi D_0}{d_0} (\text{外循环}); z = \frac{\pi D_0}{d_0} - 3 (\text{内循环});$$

F_a ——轴向负荷(N);

d_0 ——滚珠直径(mm);

D_0 ——滚珠丝杠的公称直径(mm)。

3. 滚珠丝杠副磨损后预紧力的调整 以垫片式结构为例,当滚珠丝杠副经较长时间使用后,滚道及滚珠磨损,部分预紧力释放,已影响加工精度,需要进行调整,增加垫片的厚度来恢复预紧力。垫片厚度的增加量 δ ,新垫片厚度及装配可以用如下方法确定及操作:

(1) 制造厂在装配滚珠丝杠副预紧时,垫片的厚度按游隙和预紧变形量确定。垫片的预压变形量用下式计算

$$\Delta L = \frac{F_{\text{预}} L}{E A}$$

式中 $F_{\text{预}}$ ——滚珠丝杠的预紧力(从制造厂家查询)(N);

E ——垫片材料的弹性模数(从制造厂家查询)(N/mm);

L ——预紧前垫片的厚度(从制造厂家查询)(mm);

A ——垫片的横截面积(mm²);

ΔL ——垫片的预压变形量(mm)。

丝杠副磨损后,由于部分预紧力释放,垫片的变形量相应减小。设丝杠磨损后垫片的变形量为 $\Delta L'$,则垫片应增加的厚度为:

$$\delta = \Delta L - \Delta L'$$

(2) 把滚珠丝杠副保持装配状态整体拆下来。在拆卸松开螺母前,把电阻应变片沿轴向贴在垫片上,把应变片的两极接到静态应变仪上,然后松开螺母,使垫片完全放松。这时就可以从静态应变仪上读出应变值,此值即为 $\Delta L'$ 。由此就可求出 δ 值。

拆卸完螺母后,应校核垫片的实际厚度 L ,必要时按校核的 L 值修正 ΔL 。这样就可确定新垫片的厚度为 $L + \delta$ 。

(3) 按确定的厚度制造新垫片,并用新垫片重新装配滚珠丝

杠副，再装配到机床上去，就可以正常生产了。

四、修理

1. 滚珠丝杠副的常见故障 滚珠丝杠副在使用过程中常发生的故障是：丝杠、螺母的滚道和滚珠表面磨损、腐蚀和疲劳剥落。

(1) 表面磨损 在长时间使用过程中，滚珠丝杠、螺母的滚道和滚珠的表面总会逐渐磨损，且磨损往往是不均匀的。初期不易被发现，到了中后期，用肉眼可以明显地看出磨损的痕迹，甚至有擦伤现象。不均匀的磨损不但会使丝杠副的精度降低，还可能产生振动。

(2) 表面腐蚀 由于润滑油有水分、油的酸值过大，或外界环境的影响，可能使滚道和滚珠表面腐蚀。腐蚀会加大表面粗糙度值，加速表面的磨损和加剧振动。

(3) 表面疲劳 由于装配不当，承受交变载荷，超载运行，润滑不良等原因，长期使用后，滚珠丝杠副的滚道和滚珠表面会出现接触疲劳的麻点，以至表层金属的剥落，使丝杠副失效。

2. 滚珠丝杠副的故障诊断 滚珠丝杠副的转速一般在 $300\text{r}/\text{min}$ 以下，振动频率在 30kHz 以内。滚珠丝杠、螺母缺陷产生的频率大约分别为转速乘以滚珠数的 $40\% \sim 60\%$ 。这样，滚珠丝杠副早期的故障主要是由低振平引起，但诊断中常常被较高的振平所淹没。使早期故障不易被发现。较好的解决办法是定期使用动态信号分析仪进行监测。当故障的后期，滚珠表面出现擦伤时，振动较为容易在靠近螺母附近的支座外壳上测出。测量的方法最好是采用加速度计或速度传感器，振动变化的特征频率将随着滚道和滚珠表面擦伤缺陷的扩展，振动变成了无规则的噪声，频谱中将不出现尖峰。

检测滚珠丝杠副振动特征频率时，应注意以下几个问题：

(1) 因振动为低振平，易被其他较高振平淹没，所以，检测时，机床的其他运动应停止，单独开动此机构进行检测。

(2) 对于原始良好的滚珠丝杠副, 产生缺陷后, 用原始频谱进行比较就可以判断缺陷及其发展程度。

(3) 由于滚珠丝杠副在使用中不断磨损, 缺陷的发展使产生的振动变成杂乱无章的噪声, 记录的频谱尖峰将会降低, 或不出现尖峰。由于磨损或缺乏润滑而产生的振动也会出现这种情况。

(4) 在使用加速度计监测时, 由于振动信号非常敏感, 对特征频率范围之外大量的其他成分也由加速度计测出。如果使用动态信号分析仪来完成上述的测量和分析, 其测量结果显得不易理解。因此, 监测振平的变化最好选择速度传感器直接测量。

3. 滚珠丝杠副的修复方法

(1) 当出现滚珠不均匀磨损或少数滚珠的表面产生接触疲劳损伤时, 应更换掉全部滚珠。更换时, 要求购入 2~3 倍数量的精度等级的滚珠, 用测微计对全部滚珠进行测量, 并按测量结果分组, 然后选择尺寸和形状公差均在允许范围内的滚珠, 进行装配和预紧调整。

(2) 滚珠丝杠、螺母的螺旋滚道因磨损严重而丧失精度时, 通常需修磨滚道才能恢复精度。修复时, 丝杠和螺母应同时修磨, 修磨后, 更换全部滚珠, 装配后, 进行预紧调整。

(3) 对滚道表面有轻微疲劳点蚀或腐蚀的丝杠, 可考虑修磨滚道恢复精度, 对疲劳损伤严重的丝杠副必须更换。

第三节 分度蜗杆副

分度蜗杆副是滚齿机的关键部件, 在修理滚齿机时应予特别重视。分度蜗杆副的修理主要是恢复分度蜗杆、蜗轮的精度和恢复分度蜗杆的装配精度。

一、分度精度测量及误差计算

1. 静态综合测量法 是指蜗杆副装入机器后, 按规定的技术要求, 调整好各部分的间隙和径向圆跳动误差, 用测量仪器测

出蜗杆准确地回转一整圈（或 $1/z_1$ ）时，蜗轮实际所转过的角度对理论正确值的偏差。测量出蜗轮全部齿的偏差数值后，然后通过一定的计算得出蜗杆副的分度误差的一种测量方法。对蜗杆副传动精度和回转精度某一瞬间的综合值，对蜗杆副在修理前、中、后都可以检验。

（1）蜗轮转角测量法

蜗轮每次转角的准确性代表了分度蜗轮的精度，测量时，所用的方法和测量仪器不同，误差计算方法应按要求选用相应精度等级的测量仪器，现将常用的测量方法介绍如下：

1) 经纬仪和平行光管测量法，见图 5-21。

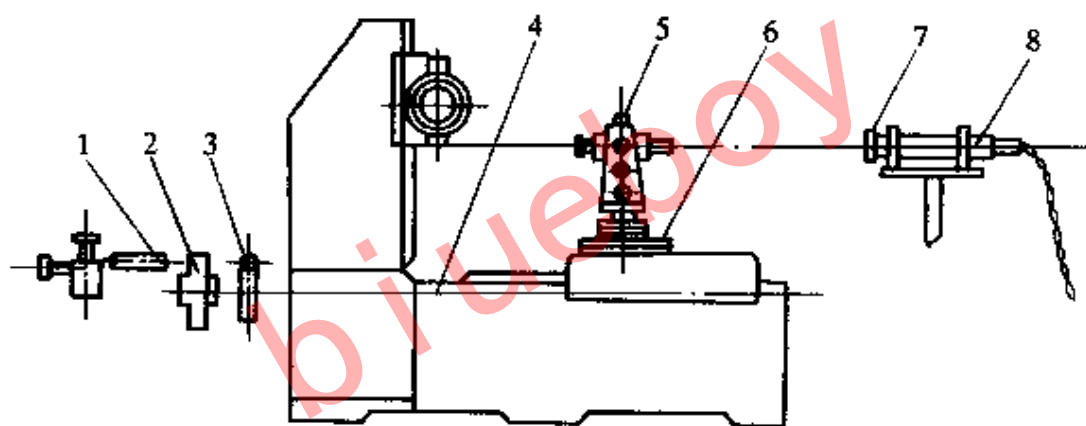


图 5-21 滚齿机工作台分度精度测量示意图

1—读数显微镜 2—高精度度盘 3—微调蜗杆 4—蜗杆中心线 5—经纬仪
6—工作台 7—平行光管 8—支架

操作步骤：

① 将经纬仪固定在蜗轮的回转中心线上（经纬仪回转层的中心线与蜗轮回转中心线同轴度允差在 $0.005 \sim 0.005\text{mm}$ ；其回转层的平面与蜗轮回转平面平行度允差 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$ ）。

② 调整平行光管的位置和经纬仪的焦距，使平行光管发出的十字线在经纬仪望远镜分划板上成像并对中。

③ 将经纬仪水平刻度盘对准零位。

④ 松开经纬仪垂直轴的锁紧机构手柄，转动经纬仪直至成

像近似重合时锁紧。

⑤ 调整微调手轮直至成像图完全成像对中。

⑥ 摇动经纬仪光学千分尺手轮，使正像与倒像刻度完全重合，在读数目镜中便可读出该位置的实际角度值。

⑦ 如此反复操作，记录全部实测角度值，测出的角度值与理论角度值之差，就是分度误差，故这种测量方法又称绝对测量法。

2) 比较仪测量法

这种测量法在一般工厂的修理车间都能实现，并能测得一定的精度，如图 5-22。

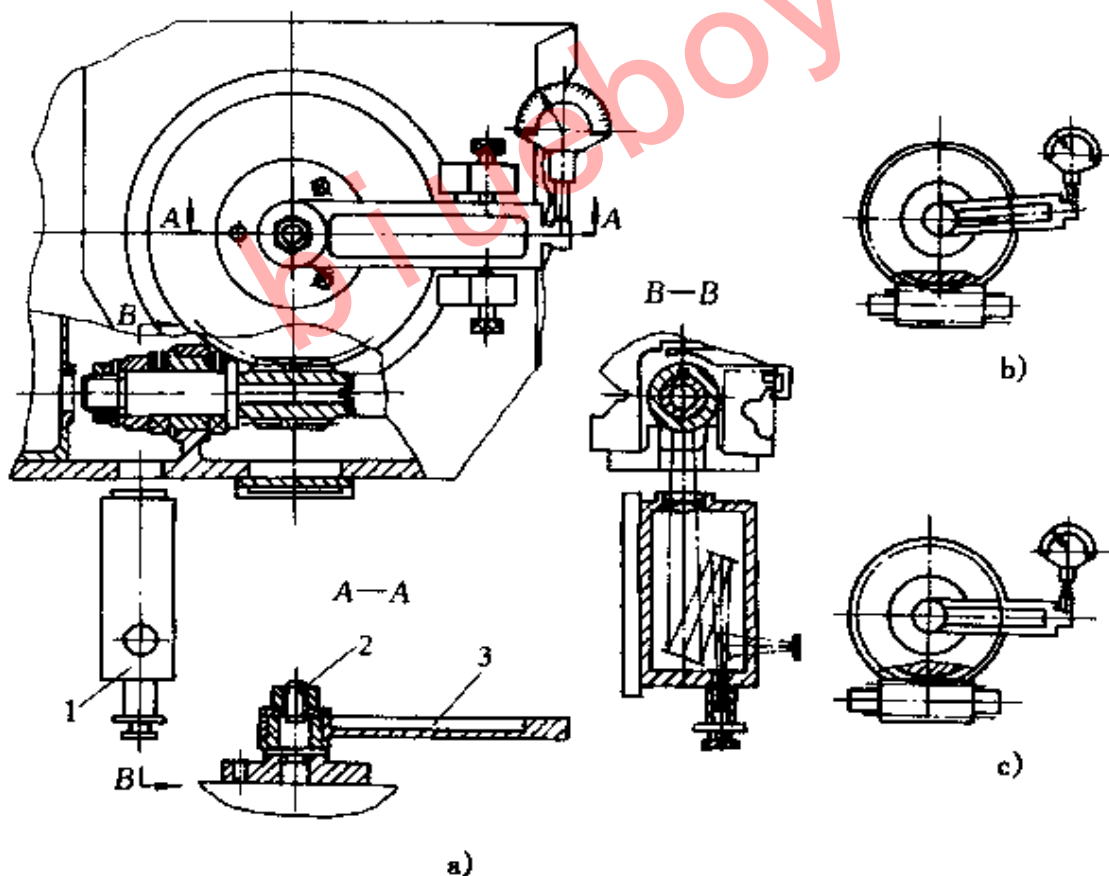


图 5-22 比较仪测量法

a) 比较仪测量 b) 调整位置 c) 测量示意

1—准直仪 2—心轴 3—测量杠杆

操作步骤:

① 对心轴 2 经过严格地找正后,使其中心线与回转工作台的中心线重合,测量杆 3 套在心轴 2 上,可绕轴线回转。

② 转动杠杆 3,使其与固定在工作台上的比较仪测头垂直,对到零位,拧紧螺母,将心轴 2、杠杆 3 紧固联接为一体。

③ 蜗杆转过 $1/z$ 转,以准直仪定位后,测量杠杆随工作台转过一个齿角。

④ 选用近似蜗轮弦齿厚的量块,塞入测量杠杆与比较仪测头之间,记下比较仪的读数值。

⑤ 下一次测量前,先松开测量杠杆 3,并反向转动,使测量杠杆与比较仪重新对准零位后,紧固测量杠杆 3,为下一次做准备。

⑥ 用上述方法,依次测量出蜗轮的全部齿,并分别记录下每次测得的记录。用这种方法测出的误差是相对误差。

⑦ 在比较测量中得到一组齿距偏差的相对误差值记录后,可采用列表法进行运算,以得到结果。

具体计算方法如下:把表 5-2 各 $\delta_{gt\text{相对}}$ 值相加(求代数和)得相对齿距累积误差(即表 5-2 中的 $\delta_{gt\Sigma\text{相对}}$ 一栏的数值),然后由各 $\delta_{gt\text{相对}}$ 值减去所有相对误差的平均值(即表 5-2 中的 $\frac{\delta_{gt\Sigma\text{相对}}}{z} = \frac{+84}{84} = 1$),则可得出各齿距偏差的绝对误差值 $\delta_{gt\text{绝对}}$ (即表 5-2 中 $\delta_{gt\text{绝对}}$ 一栏中的数值),由绝对误差 $\delta_{gt\text{绝对}}$ 值相加(求代数和),得齿距累积误差 $\delta_{gt\Sigma\text{绝对}}$ 值(即表 5-2 中 $\delta_{gt\Sigma\text{绝对}}$ 一栏的数值)。表 5-2 是分度蜗轮的实测数值及其计算结果举例(已经换算到蜗轮节径上的误差)。由表 5-2 中的数值可看出齿距偏差在 $\delta_{gt\text{相对}}$ 或 $\delta_{gt\text{绝对}}$ 栏中的第 55~56 齿号的齿距,其最大误差为 $\delta_{gt\text{max}} = |+4| + |-18| = |+3| + |-19| = 22\mu\text{m}$ 。齿距累积误差在 $\delta_{gt\Sigma\text{绝对}}$ 栏中的 20 与 58 齿号,其最大误差为 $\delta_{gt\Sigma} = |+6| + |-59| = 65\mu\text{m}$ 。

表 5-2 分度蜗轮的齿距偏差及齿距累积误差计算表 (μm)

齿距号	测得的圆周齿距 的相对偏差 $\delta_{\text{测}}^{\text{相对}}$	名义圆周齿距的 绝对偏差 $\delta_{\text{名}}^{\text{绝对}}$	名义圆周齿距的 累积误差 $\delta_{\text{名}}^{\text{绝对}}$	测得的圆周齿距 的相对偏差 的代数和 $\delta_{\text{测}}^{\text{相对}}$
1	0	-1	-1	0
2	+1	0	-1	+1
3	+3	+2	+1	+4
4	0	-1	0	+4
5	+2	+1	+1	+6
6	-1	-2	-1	+5
7	-2	-3	-4	+3
8	-2	-3	-7	+1
9	-2	-3	-10	-1
10	+5	+4	-6	+4
11	+4	+3	-3	+8
12	+3	+2	-1	+11
13	-2	-3	-4	+9
14	-2	-3	-7	+7
15	0	-1	-8	+7
16	+3	+2	-6	+10
17	+8	+7	+1	+18
18	+3	+2	+3	+21
19	+3	+2	+5	+24
20	+2	+1	+6	+26
21	-2	-3	+3	+24
22	-2	-3	0	+22
23	-5	-6	-6	+17
24	+2	+1	-5	+19
25	+7	+6	+1	+26
26	+4	+3	+4	+30
27	+1	0	+4	+31
28	-1	-2	+2	+30
29	-2	-3	-1	+28
30	-1	-2	-3	+27
31	0	-1	-4	+27
32	-2	-3	-7	+25
33	+4	+3	-4	+29
34	-5	-6	-10	+24

(续)

齿距号	测得的圆周齿距 的相对偏差 $\delta_{gr\text{相对}}$	名义圆周齿距的 绝对偏差 $\delta_{gr\text{绝对}}$	名义圆周齿距的 累积误差 $\delta_{gr\text{绝对}}$	测得的圆周齿距 的相对偏差 的代数和 $\delta_{gr\text{相对}}$
35	+2	+1	-9	+26
36	-4	-5	-14	+22
37	+1	0	-14	-23
38	4	5	-19	+19
39	+6	+5	-14	+25
40	+6	+5	-9	+31
41	+1	0	-9	+32
42	-11	-12	-21	+21
43	-2	-3	-24	+19
44	+4	+3	-21	+23
45	+3	+2	-19	+26
46	-2	-3	-22	+24
47	+2	+1	-21	+26
48	+1	0	-21	+27
49	-3	-4	-25	+24
50	-3	-4	-29	+21
51	-2	-3	-32	+19
52	-1	-2	-34	+18
53	+6	+5	-29	+24
54	+6	+5	24	+30
55	+4	+3	-21	+34
56	-18	-19	-40	+16
57	-12	-13	-53	+4
58	-5	-6	-59	-1
59	+5	+4	-55	+4
60	+8	+7	-48	+12
61	+3	+2	-46	+15
62	+7	+6	-40	+22
63	+1	0	-40	+23
64	-2	-3	-43	+21
65	+3	+2	-41	+24
66	+10	+9	-32	+34
67	+9	+8	-24	+43
68	+6	+5	-19	+49

(续)

齿距号	测得的圆周齿距 的相对偏差 δ_{gt} 相对	名义圆周齿距的 绝对偏差 δ_{gt} 绝对	名义圆周齿距的 累积误差 δ_{gt} 绝对	测得的圆周齿距 的相对偏差 的代数和 δ_{gt} 相对
69	-1	-2	-21	+48
70	-8	-9	-30	+40
71	+5	+4	-26	+45
72	+2	+1	-25	+47
73	+2	+1	-24	+49
74	+10	+9	-15	+59
75	+8	+7	-8	+67
76	-2	-3	-11	+65
77	+2	+1	-10	+67
78	+2	+1	-9	+69
79	+3	+2	-7	+72
80	+9	+8	+1	+81
81	+2	+1	+2	+83
82	+3	+2	+4	+86
83	0	-1	+3	+86
84	-2	-3	0	+84

(2) 蜗杆旋转定位测量法 静态测量法是分度轴每转 360° 即停止, 然后用测角仪测量分度蜗轮的一个齿距误差。蜗杆每次输入的转角必须准确并定位。目前常用的输入转角定位法有以下几种。

1) 刻度盘与读数显微镜定位法如图 5-23 所示。将刻度盘固定在分度蜗杆 3 上, 用读数显微镜 7 对准刻度盘 8 找正, 转动分度蜗杆 $3n$ 转的准确数值, 即可从显微镜中读出。其中, 微动蜗杆 1 可带动刻度盘 8 实现微调。

2) 光学准直仪与多面体定位测量法如图 5-24 所示。

① 测量时, 将多面体 2 固定在分度蜗杆 3 上, 在侧面距轴心约 1m 处安放准直仪。

② 转动分度蜗杆轴 3 并调整好准直仪的位置, 使准直仪发出的十字像准确地返回目镜。

③ 每当分度蜗杆转动 $360^\circ/n$ (n 为多面体的面数) 转时,

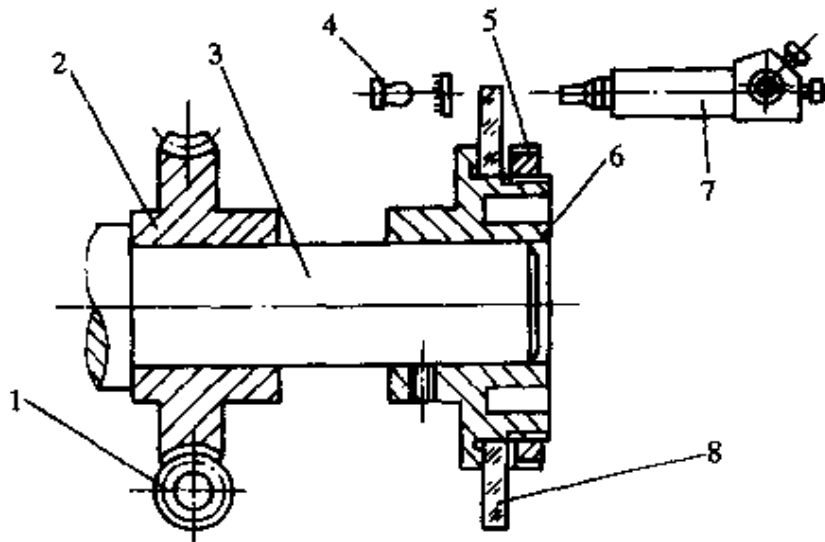


图 5-23 刻度盘与读数显微镜定位法

1—微动蜗杆 2—蜗轮 3—分度蜗杆轴 4—光源 5—螺母
6—刻度盘支架 7—读数显微镜 8—刻度盘

在准直仪目镜中十字像与目镜分划板刻线对中，以控制蜗杆每次转过的角一致。

2. 动态综合测量法 静态综合测量法不能真实地反映运动误差，而动态综合测量法能克服这个不足。蜗杆副的动态测量可在各种单面啮合检查仪上进行。一对相啮合的蜗杆副，在中心距一定的条件下进行单面啮合测量，是很接近使用情况的。因此能较真实地反映蜗杆副的运动误差、累积误差和周期误差三项综合指标。从而能准确地反映蜗杆副的制造精度。

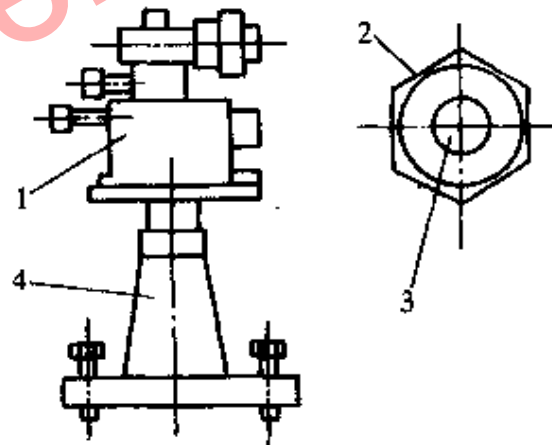


图 5-24 光学准直仪与多面体定位法

1—准直仪 2—多面体
3—分度蜗杆轴 4—支架

图 5-25 为动态测量蜗杆副误差的磁分度检查原理图。在蜗杆 3 上接入连续运动后，磁分度盘就能连续分度。因此，可在机

床转动过程中测量蜗杆副的运动误差。

其工作原理简述如下：在蜗杆轴 3 和工作台 2 上分别装上磁盘 1、5，令其电磁波数的比值等于其传动比。由于磁头 4、8 接收信号的相位差是不变的，运动中每一个不均匀的运动都能使两个磁盘的比值

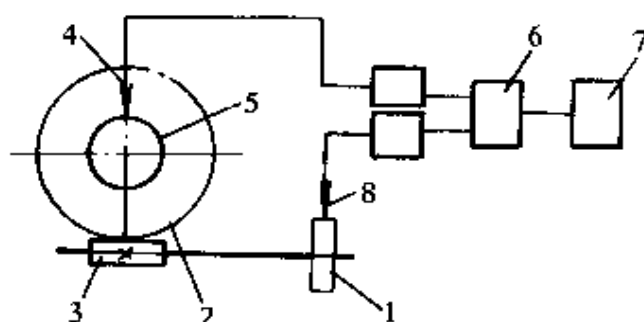


图 5-25 磁分度检查仪原理图

1、5—磁分度盘 2—蜗轮 3—蜗杆
4、8—磁头 6—比较仪 7—记录器

发生变化。通过磁头记录下来并改变信号的相位，经过比较仪 6 以后，相位差由记录器 7 记录，便可得到一个周期误差曲线。此方法优点是可在机床运动过程中测量误差，测量精度高，速度快。缺点是对周期误差反映不灵敏，测量范围小。

二、修理方法的选择

一般蜗杆副磨损有齿面的烧伤、粘结、点蚀、低速磨损和精度下降。其修复方法的选择按固定中心距和可调中心距两种情况处理。简述如下：

1. 固定中心距蜗杆副的修复 在这种中心距不变的情况下，无论采用精滚、剃齿、珩磨或刮研哪种方法加以修复蜗轮，如仍然使用原来蜗杆（假如蜗杆的精度合格），装配后的啮合侧隙将超过允差，因此必须配制新蜗杆以保证啮合侧隙。在精滚或剃齿时，除了必须严格控制加工时的中心距外，还必须严格控制刀具齿厚和轴向窜动量，并按照滚齿刀或剃齿刀的齿厚配制蜗杆。这样就需要一把特制的滚齿刀（或剃齿刀）和工作蜗杆是在机床一次调整中精磨出来的，从而保证了两者的相应齿面压力角完全一致。当采用珩磨法时，也应该按照上述工艺要求来安排加工和测量。

2. 可调中心距蜗杆副修理 对这类蜗杆副，可以缩小中心距，常采用径向负修正蜗轮。当采用精滚（或剃齿）法修复蜗轮

时，蜗杆两齿面的压力角也和滚刀完全一致，但可不必像固定中心距那样严格控制蜗杆的厚度。精滚（或剃齿）法修复蜗轮时，应在精密滚齿机上加工。蜗杆应在精密螺纹磨床或蜗杆磨床上加工。修理余量一般可采用下述推荐数值：滚齿时，蜗轮齿厚减薄量为0.25~0.5mm；剃齿时，蜗轮齿厚减薄量为0.1~0.2mm；磨削蜗杆齿厚减薄量为0.15~0.3mm；配磨蜗杆时，齿厚的修配量为0.1~0.15mm。

(1) 刮研修复 刮研前，将安装分度蜗轮的工作台或主轴的几何精度、回转精度、配合间隙修理调整合格，然后将蜗杆装入，调整到啮合位置对蜗轮进行刮研。

1) 刮研前的测量 先将蜗轮的每个齿按顺序做好标记，用静态综合测量方法，测出蜗杆每正转一转（或 $1/z_1$ 转）时蜗轮的分度误差，然后计算出每个齿面的刮研量（如果蜗轮的左右齿面都是工作面时，左右齿面均需计算）。对于直径尺寸大，无法进行单面啮合测量时，可测单个要素。

2) 刮研量的计算 先将测量所得的角度误差换成齿距误差；然后绘制齿距累积误差曲线图，计算累积误差值。在同名齿面中，选取一个基准齿面作为刮研其余齿面的基准，一般将齿距值最小的齿面作为基准，其余的齿面相对这个基准齿面就具有正值刮研量。

3) 刮研操作要求

- ① 初步估计每个齿的刮研次数。
- ② 刮研用力要均匀。
- ③ 以刮研着色法为准，并交叉刮研。
- ④ 刮研点控制在 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 内20个点。
- ⑤ 开孔刮研以保证刮研的质量。

(2) 珩磨修复法 珩磨蜗杆与蜗轮正常啮合，以珩磨蜗杆带动蜗轮回转，利用传动中齿面的相对运动使珩磨杆的磨料产生切削作用。这种分度蜗轮进行精加工的方法称为珩磨修复方法。珩磨修复方法有三种：自由珩磨法、强迫珩磨法、变制动力矩珩磨法。

三、啮合状态的检查与调整

分度蜗杆副啮合状态的检查与调整，其主要包括提高接触精度、侧隙检查和安装调整注意事项等几个问题。

1. 提高接触精度 蜗杆副接触率随着中心距变化而变化，精密蜗杆副必须在接触率合格的安装条件下测量和使用。

(1) 影响接触精度的因素：

1) 影响蜗杆接触带宽度均匀性、连续性的主要因素有蜗杆导程与加工蜗轮刀具导程的一致性、齿距、齿距累积误差和蜗杆螺纹的径向圆跳动误差。

2) 影响蜗轮齿高方向、接触线长短及连续性的主要因素有蜗杆齿形与刀具齿形的一致性、蜗轮齿距和轴线的倾斜度误差。

3) 影响蜗轮齿长方向接触线长短的主要因素有加工中心距与安装中心距的一致性；加工和安装时蜗轮中心平面偏移的不一致性和轴心线倾斜度误差。

(2) 提高蜗杆副接触精度的工艺方法 为提高蜗杆副的接触精度，可将蜗杆螺旋面制成与加工蜗轮的刀具一致，并用这样的刀具对蜗轮进行加工。保证蜗杆螺旋面与加工蜗轮刀具的一致性，目前常用的方法有两种：同磨法、修配法。

1) 同磨法是将刀具及蜗杆的螺旋面，在最后精加工时，放在同一台机床上，同一次调整，同一次修整砂轮等完全相同条件下加工。以保证两者的一致性，但由于刀具和蜗杆的很多条件不一样，有时不一定能达到预期效果。

2) 修配法

在机床上配接触区时，可根据蜗轮与蜗杆的实际接触情况，调整机床以达到要求的接触区（通常由磨蜗杆或滚蜗轮来保证）。

2. 侧隙的检查

(1) 直接测量法 直接测量法见图 5-26。将百分表 a 的测头直接接触及蜗杆表面，将百分表 c 触及固定在工作台上方铁的侧面。检查时，轻微转动蜗杆，在保证百分表 c 指针无变化的情况下，读出百分表 a、b 两次读数的代数差 c_a 、 c_b ，则侧隙为 $c = c_a$

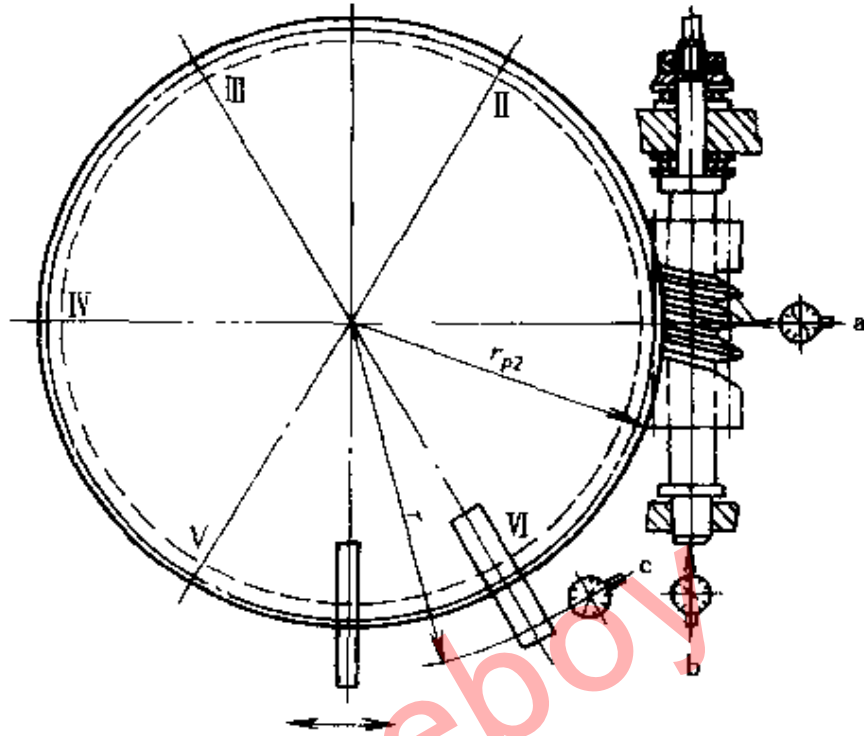
- c_{b0} 

图 5-26 侧隙测量法

(2) 间接测量法 百分表 b 测头仍触及蜗杆轴端，百分表 c 测头仍触及方铁侧面，用杠杆左右扳动工作台，在确保蜗杆不发生转动的情况下，读出百分表 b、c 两次读数的代数差 c_b 、 c_c ，则侧隙 $c = c_c - c_b$ ，此时， $r_{p2} = r$ 。如果 $r_{p2} \neq r$ ，则侧隙 $c = r / r_{p2} (c_c - c_b)$ 。测量侧隙时，应该考虑蜗杆、蜗轮精度的影响。因而蜗杆每转动 45° 后测量一次，在蜗轮全周内至少测量 6 次，各处的侧隙及侧隙的变动均应满足技术条件要求。

3. 安装调整注意事项 蜗杆副安装精度的好坏直接影响分度精度，应引起足够的重视，具体有如下几点：

(1) 注意负荷的影响，考虑到加上负荷后的变形及油膜对工作台浮起作用。蜗杆安装中应略高（或略低）于蜗轮中心平面，用以补偿变形及浮起量，一般在公差范围内浮起量大和变形大的可通过试验决定。

(2) 注意蜗杆副齿面的润滑，保证蜗杆副齿承载面容易导入

润滑油，以保证其寿命。为此，需要使蜗杆的螺纹开始滑入蜗轮齿沟的一侧，形成一个小的楔形。可依据蜗杆副的结构形式、蜗杆的螺旋线方向和回转方向来实现这一要求。具体可采用使安装中心距稍大于加工中心距，或将蜗杆中心安装成稍高或稍低于蜗轮中心平面等方法。

(3) 应将蜗轮进入啮合的齿端倒角，即将有效齿长的一端切去一部分，以利润滑油导入。此法适用于蜗轮模数较大，正反向回转的蜗杆副。

第四节 镗床主轴机构

镗床主轴结构的种类有单层的、两层的、三层的，层数越多，刚性越差。现以三层的 T68 镗床主轴结构为例叙述如下：

一、主轴机构的组成 (图 5-27)

1. 主轴结构 主轴由主轴 1、空心主轴 2、平旋盘轴 3 组成。

(1) 主轴

1) 主轴前后的支承轴承为两个钢套、支承主轴旋转及移动，保证了主轴的精度及刚性。

2) 主轴采用 38CrMoAl 钢经渗氮处理，是实心轴，上面有两个对称开通的键槽，空心主轴将旋转运动经滑键传给主轴。主轴前端有 5 号莫氏锥孔和两个横孔，用以装置锥柄刀具，主轴与滑座用推力轴承联接，以实现主轴的支承。

(2) 空心轴

1) 空心轴前后用两个精密级轴承支承，分别装和平旋盘轴前端的内孔中和主轴箱后边的箱壁孔中，起支承空心轴的作用。

2) 空心轴通过两个轴承支承在平旋盘轴内，其内部装有两个淬火钢套支承着主轴。这种结构形式，虽然万能性好些，但显得较为复杂，轴承用得更多，零件层次重叠，累积误差较大。同时，主轴部件的回转精度及支承刚度均受到影响。

(3) 平旋盘轴

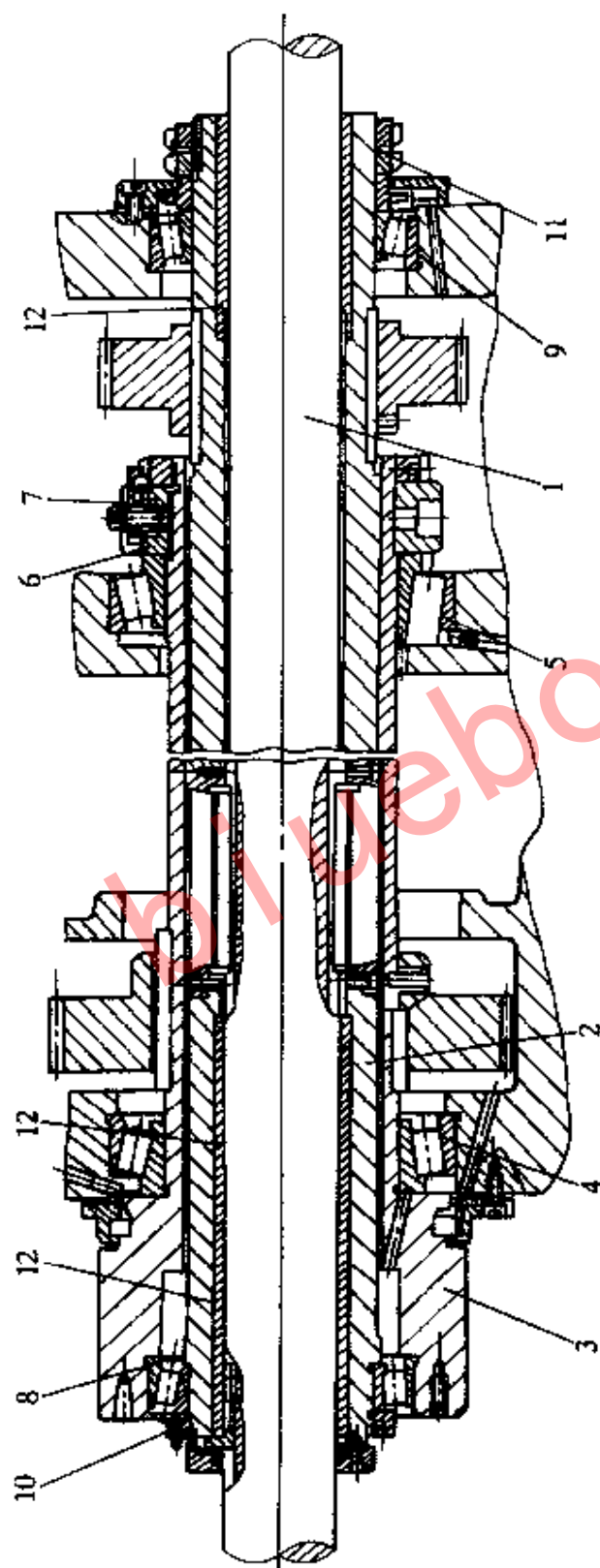


图 5-27 T68 镗床主轴结构图

1—主轴 2—空心主轴 3—平旋盘轴 4、5—圆锥滚子轴承 6、10—螺母 7—梳形定位器
8、9—轴承 11—调整锁紧螺母 12—钢套

1) 两个轴承均为 P5 级圆锥滚子轴承，以支承半旋盘轴旋转。

2) 旋盘轴在两个精密的圆锥滚子轴承上旋转。轴承外圈装在主轴箱两端和中间的壁孔中，靠轴承后端的螺母来调整间隙，并以梳形定位器定位，保证其已调好的回转精度。

二、零部件的修理

由于主轴各零件、轴承的磨损和变形以及失调，都将影响主轴结构的回转精度。影响主轴回转精度的主要因素有主轴、钢套、空心主轴、轴承、主轴箱体等的本身精度和装配精度。现将主要零件的检查、修理方法介绍如下。

1. 主轴和钢套 主轴和钢套的主要失效形式有磨损、变形、局部性损伤三种

(1) 检查方法

1) 主轴的检查方法 见图 5-28。主要检查磨损和弯曲程度。检查时，为了避免两条键槽对测量的影响，事先可做成两个支承套，要求它的内外同轴度和圆度误差均小于 0.005mm ，内

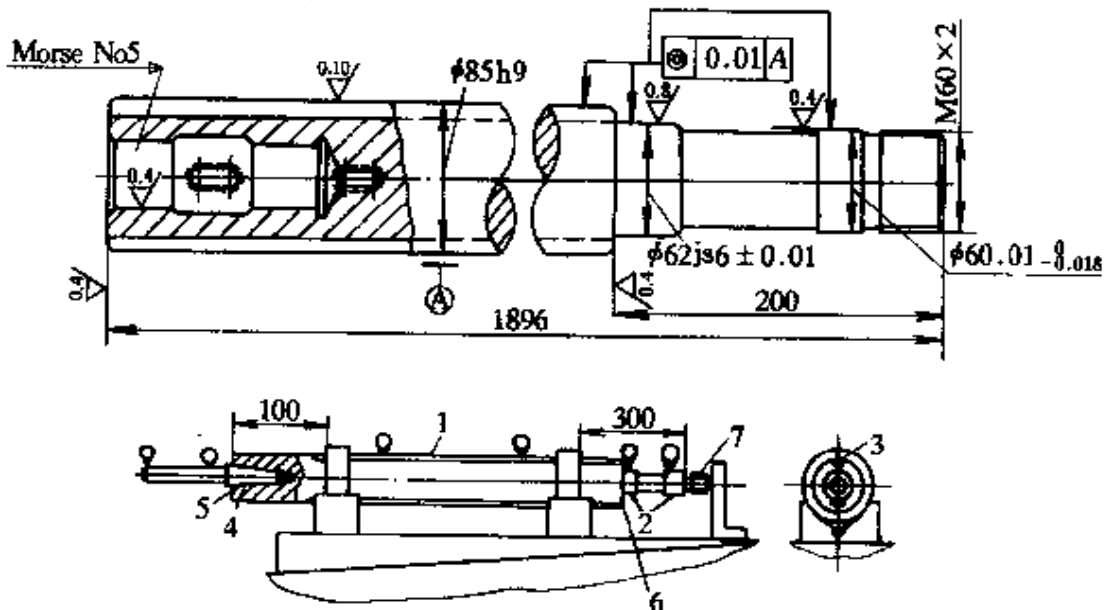


图 5-28 主轴检查图

孔按主轴外圆的实际尺寸配磨，配合为 $\frac{D_1}{P5}$ 。具体检查步骤如下：

① 检查主轴表面时，在主轴的 $\phi 85\text{mm}$ 外圆的两端装上支承套后，放入斜置平板上的两V形块中，并在主轴尾座的中心孔中放入 $\phi 6\text{mm}$ 钢珠，紧紧地顶在平台后端的角铁上，用手转动主轴。在主轴外圆上每隔 $250\sim 300\text{mm}$ 的长度上测量一次，记录下全长的弯曲值，找出最大弯曲处，其圆度误差小于 0.005mm 。

② 检查表面2与表面1的同轴度误差，第一种方法为，同轴度误差小于 0.01mm ，用千分尺和内径百分表检查表面2与轴承的配合间隙小于等于 0.02mm 。

③ 检查键槽3时，将主轴旋转使键槽面3成水平位置，用百分表进行检查，要求 $0.03\text{mm}/\text{m}$ 。

④ 检查锥孔表面4时，在主轴锥孔中插入检查心轴，在近主轴端的径向圆跳动误差小于等于 0.01mm ，在 300mm 处小于等于 0.02mm 。

⑤ 检查5、6端面时，对表面1的垂直度误差小于等于 0.005mm （可用千分表直接量取）。

⑥ 检查螺纹表面7时，将螺母端面修去毛刺后旋上表面7，用千分表触及螺母端面。测量螺母端面圆跳动误差来检查螺纹的歪斜量，测量螺母端面圆跳动误差小于等于 0.05mm 。

2) 钢套与主轴配合间隙可用内径百分表及外径千分表来检查确定，要求间隙在 $0.015\sim 0.02\text{mm}$ 之间。

(2) 修理方法见表5-3。若锥孔超差可在高精度万能磨床上直接进行磨削。

表 5-3 主轴、钢套修复方法汇总表

内容	变形和磨损情况	推荐修复方法	简要工艺	效 果	备 注
主 轴	主轴无变形 磨损不严重， 圆度小于 0.03mm	研磨主轴	在车床上 用研磨套加 $250^\circ\sim 600^\circ$ 研磨粉研磨， 抛光	时间短， 能恢复精 度	如果间隙 过松，研磨 主轴后，需 更换钢套

(续)

内容	变形和磨损情况	推荐修复方法	简要工艺	效果	备注
主 轴	磨损较大, 圆度在 0.03~0.15mm 内, 变形量小于 0.2mm	镀铬处理	主轴先经粗磨, 镀硬铬后, 镶键, 在外圆磨上精磨	镀后, 外圆硬度低于原件, 其余项目尚能达到要求	必须具备电镀条件, 镀层过厚以及镀后处理不当会产生镀层剥落造成咬轴
		重新渗氮	磨去变形和磨损层后, 重新渗氮处理, 经粗磨、精磨后抛光	恢复原精度	必须更换钢套
	磨损严重, 不易修复	更换新件	按工艺制造或外购	达到原精度	只适用主轴镀铬处理
钢 套	套孔磨损不大	珩孔	将套孔珩至要求, 间隙按主轴镀后尺寸配珩	时间较短	只适用于主轴镀铬后处理
	与主轴配合间隙大, 以及主轴重新渗氮处理后	更换新套	按工艺新制		需要热套和冷套条件

2. 空心主轴

(1) 检查方法见图 5-29、图 5-30。

具体检查步骤如下:

1) 检查表面 1、2, 用千分尺和内径百分表分别测量出表面 1、2 尺寸及轴承内孔尺寸, 若间隙保证 $j5$ 要求, 则合格, 否则镀铬后处理, 其圆度误差为 0.005mm。

2) 检查 (空心主轴内钢套) 表面 3 时, 将空心主轴放入斜置平台两个 V 形块中, 用手转动空心轴测量表面 3 的径向圆跳

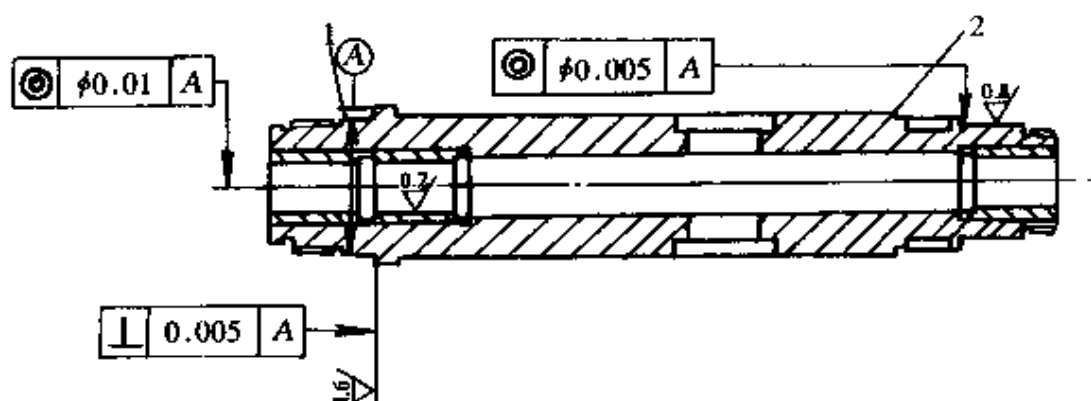


图 5-29 空心主轴

动误差，应小于等于 0.02mm；钢套与主轴的配合间隙可用千分尺和内径百分表测出，在 0.015 ~ 0.02mm 之间。

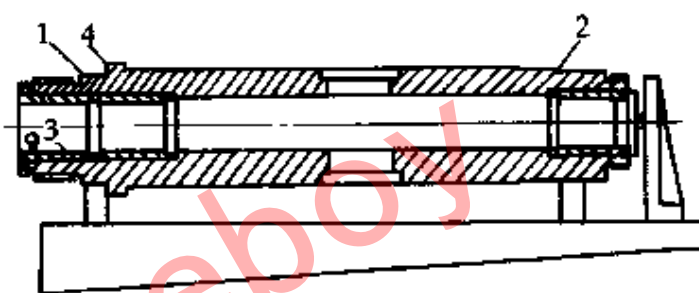


图 5-30 空心主轴检查图

3) 检查表面 4 时，直接用百分表测量表面 4 与表面 1、2 的垂直度误差，应小于等于 0.005mm。

(2) 修复方法

- 1) 表面 1、2 尺寸超差，可以镀铬修理后精磨至尺寸。
- 2) 表面 4 可以精磨至要求。
- 3) 表面粗糙度值达不到要求，应更换淬火钢套，然后修磨内孔。一般情况下，钢套的取出有以下三种方法。
 - ① 用内磨砂轮将钢套磨出一个轴向开口，撬开取出钢套。
 - ② 将空心轴置于车床上，一端卡住，一端架在中心架上，钢套内孔车去一层，去除过盈后，取出钢套。
 - ③ 利用专用拉套工具拉出，如图 5-31 所示。

安装新套时，可用热套式和冷套方法。热套时，将空心主轴镶套孔涨大 0.15~0.20mm；冷套时，使钢套冷缩 0.2mm 左右，钢套配进空心主轴内孔后，如空心主轴的两轴承安装后变形，应

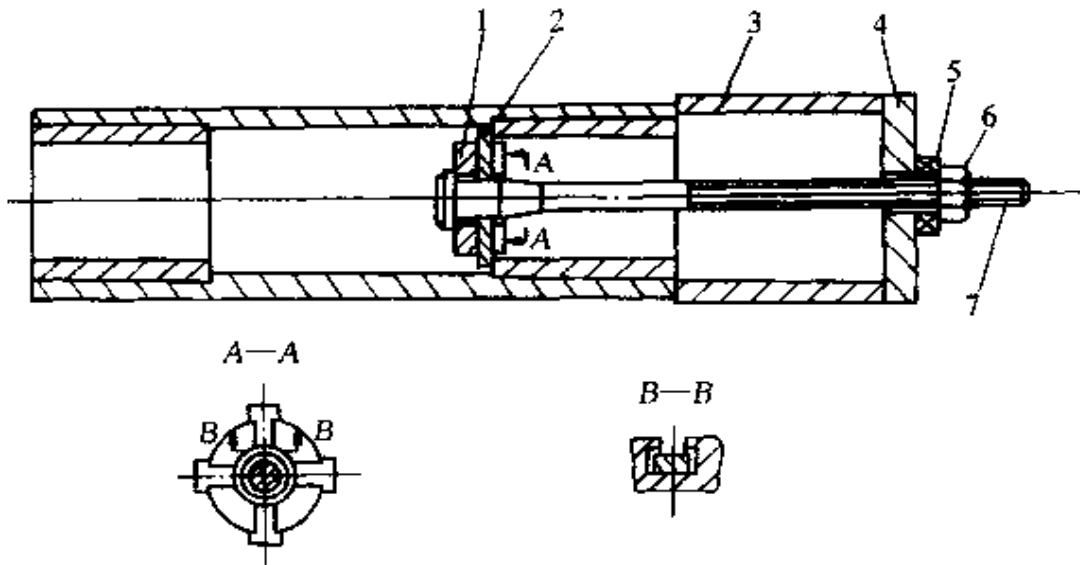


图 5-31 专用拉套工具

1—拉具体 2—滑动爪 3—支撑体 4—垫板
5—推力球轴承 6—螺母 7—拉杆

进行修整后再配磨内孔。

3. 平旋盘

(1) 检查方法见图 5-32，具体检查步骤如下：

1) 将花盘主轴放入斜置平台上的两个 V 形块中，后端孔中放入堵塞，堵端放入 $\phi 6\text{mm}$ 钢球，将主轴转动进行检查。

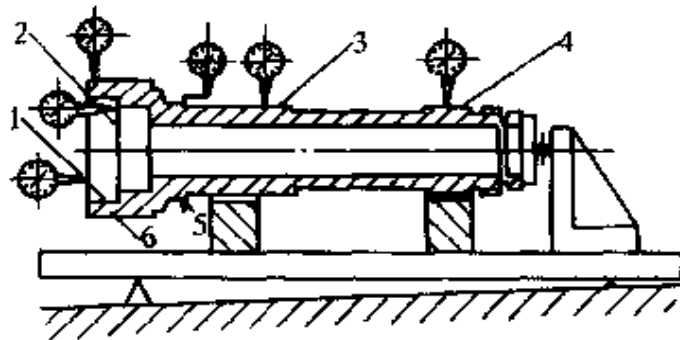


图 5-32 花盘主轴检测

2) 检查表面 1 对 3、4 面的径向圆

跳动误差应小于等于 0.01mm ；其圆度允差为 0.01mm 。

3) 检查表面 6 对 3、4 面径向圆跳动误差及其圆度误差应小于等于 0.01mm 。

4) 检查表面 5 对 3、4 面的径向圆跳动误差及其圆度误差应

小于等于 0.01mm。

5) 表面 4 对面 1 的垂直度误差小于等于 0.005mm。

(2) 平旋盘 (空心盘主轴) 若各表面超差, 可用镀铬后精磨的办法修复。

三、装配与调整

1. 主轴机构的装配 零件经过修理、制造总是不可避免地产生误差, 这些误差如果累积起来, 很可能使主轴机构装配后达不到精度要求。故应采取定向装配法, 以提高主轴的回转精度。

1) 将空心主轴轴承外环径向圆跳动误差最小处, 应和平旋盘轴孔的径向圆跳动误差的最大处相对应装配。

2) 将空心主轴的最小径向圆跳动误差处, 分别和两轴承内环最大径向圆跳动误差处相对应装配。

3) 如果主轴箱三孔存在微量同轴度误差, 也可将其按径向圆跳动误差实际误差的相位予以补偿。

4) 轴承采取热装配法, 先将轴承放入 80~100℃ 机油中浸 15min, 然后取出装配。

5) 将空心主轴的轴承装好后, 钢套内孔与镗杆应保持 0.01~0.015mm 的间隙。镗杆装配, 可在主轴箱装在立柱上后, 再装入空心主轴。由于镗杆和空心主轴接触面积大, 间隙小, 装配时, 可用粘度小的润滑油。尾部箱的导轨经磨损和修刮等, 使镗杆尾部固定的轴承孔与镗杆产生中心线偏移, 这个问题应在总装中解决。其补修办法一般有补偿法、镶装或胶接补偿垫等。最后将镗杆尾部各件配齐全、调整好间隙。

2. 主轴机构的调整与验收 主轴机构的旋转精度, 取决于轴承的制造精度、与主轴轴承相配合零件的制造精度、装配质量、轴承的间隙或过盈量等。其中, 起决定性作用的是轴承的精度。

(1) 调整

1) 滚动轴承应进行定向装配。

2) 调心滚子轴承及双向推力角接触球轴承应进行预加负荷。

3) 镗杆与衬套之间的实际配合间隙应选为:

$$\delta = K d \times 10^{-4} \mu\text{m}$$

式中 K ——系数, 为 $0.75 \sim 1.5$;

d ——主轴直径, 应换算成微米代入公式。

(2) 验收

1) 将镗杆伸出 300mm , 将千分表固定在机床上, 转动镗杆径向圆跳动误差应小于 $0.025\mu\text{m}$ 。

2) 将心轴插入镗杆中, 在近镗杆端为 0.02mm ; 在 300mm 处为 0.04mm 。

3) 在心轴前端中心孔处放置一钢球, 用黄油粘住, 转动镗杆, 窜动误差为 0.015mm 。

4) 平旋盘轴端面圆跳动误差和定位凸台径向圆跳动允差为 0.02mm 。

以上四项检测如有超差, 可能是滚动轴承间隙调整不当, 也可能是定向装配时把误差方向搞错。属于后者, 应当重新装配; 属于前者, 可通过主轴箱后端的带槽螺母来调整平旋盘轴的圆锥滚子轴承。

复 习 思 考 题

1. 动静压混合轴承的工作原理是什么?
2. 简述几种典型动静压混合轴承的特点。
3. 动静压混合轴承主轴部件修理的技术要点是什么?
4. 简述动静压混合轴承主轴部件中主轴和轴承的修理工艺过程。
5. 简述 MG1432A 动静压砂轮架主轴和轴承的装配过程。
6. 动静压混合轴承日常使用中应注意哪些事项?
7. 动静压混合轴承日常维护、保养应注意哪些事项?
8. YW 型液体动静压混合轴承外磨组件的应用原理是什么? 该组件有什么用途?
9. 简述 YW 型外磨组件的安装步骤及工艺要求。
10. YW 型外磨组件的试运转有什么要求?
11. 你对液体动静压混合轴承各类主轴部件的应用有什么看法?

12. 滚珠丝杠副的分类方式有哪些? 各类丝杠副的特点是什么?
13. 滚珠丝杠副消除间隙和预紧调整有哪几种结构形式?
14. 滚珠丝杠副的预紧力如何确定?
15. 滚珠丝杠副磨损后、预紧力如何进行调整?
16. 磨损后的滚珠丝杠副如何进行修理?
17. 分度蜗杆副精度测量方法有哪些?
18. 分度蜗轮修理方法有哪些?
19. 如何检查分度蜗杆副的啮合状态?
20. 分度蜗杆副如何调整啮合间隙?
21. 分度蜗杆副调整中应注意哪几个问题?
22. 镗床的镗杆组件有哪些? 各零件的作用是什么?
23. 镗床镗杆组件中每件应如何修理?
24. 镗床镗杆组件应如何装配、调整?

blueboy

第六章 机床液压系统的修理与故障排除

培训要求 了解液压操纵箱、伺服阀、比例阀的工作原理及修理技术；掌握液压基本回路与液压系统常见故障及排除方法；掌握液压系统的清洗、安装与调试。

第一节 液压操纵箱、伺服阀、比例阀的维修

一、液压操纵箱

液压操纵箱是若干个控制阀的组合物。它起着多种控制功能。分为时间控制式和行程控制式两大类。

1. 时间控制操纵箱

(1) 工作原理 工作原理如图 6-1 所示，工作台右移时，工作台上的挡铁拨动先导阀 a 左移。先导阀越过中位后，控制油路切换，由控制油路引入的压力油由通路 7→9→单向阀 I_2 →换向阀 b 右端。左端回油则经节流阀 L_1 →通路 8→10→油箱，使换向阀左移。在换向阀左移过程中，主油路回油通路 2→4 逐渐被换向阀阀心上的右端台肩锥面关小，使工作液压缸回油建立背压而进行制动。由于换向阀采用“H”型滑阀机能，在通路 2→4 逐渐关小的同时，1→3 也逐渐关小，通路 1→2 与 3→5 逐渐打开，直至液压缸左、右两腔与主油路的进、回路相通，活塞两边的作用力平衡，工作台即停止，这一过程是换向前的制动过程。换向阀在油液推动下继续左移时，液压缸的进、回油路开始交换，实现工作台换向，并逐渐加速，直至换向阀阀心移到最左端，工作台恢复正常工作速度，换向过程结束。

当节流阀 L_1 (或 L_2) 的开度调定，主换向阀阀心左(右)移，压出阀心左(右)端的油液体积是一定的，因此工作台制动的时间就被确定了。在油液粘度不变的情况下，不论工作台移动速度快慢

如何,这个时间是不变的,这种方式叫时间控制式制动。

(2) 主要零件的修理 在图 6-1 所示的时间控制操纵箱中,

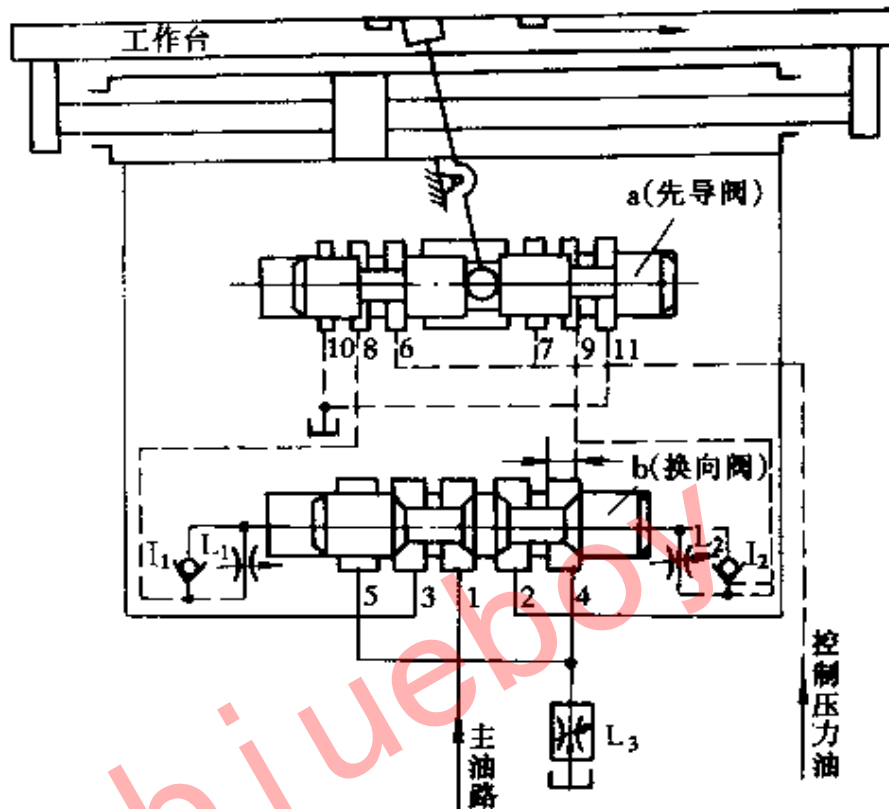


图 6-1 时间控制操纵箱的工作原理

其组成有先导阀 a、换向阀 b、单向阀 I_2 、节流阀 L_2 、单向阀 I_1 、节流阀 L_1 。它们的修理可参考各种单件阀的修理方法。

(3) 装配与调整 同样,时间控制操纵箱的具体装配内容与调整要求,可以参考换向阀、节流阀的装配与调整内容。

(4) 常见故障及排除方法 时间控制操纵箱的故障有先天性的及调整过程产生的。

1) 当节流阀 L_1 与 L_2 调定(图 6-1),即换向时间 t 调定,由 $v = \frac{s}{t}$,当工作台速度 v 低时,制动行程 s 就短,冲出量小;反之,则制动行程长,冲出量大。即异速换向点变动大、精度差。

2) 当工作台速度一定时,虽然 L_1 、 L_2 已调定,但由于通过节流阀的流量受油温变化、油中污物杂质堵塞的影响、换向阀阀

心移动时摩擦阻力的变化等，都会使阀心移动速度发生变化。因此制动时间有长有短，工作台各次换向点的位置也有差异，使同速换向精度也不高。

排除：必须控制油温变化，防止油液污染等措施。

3) 当工作台速度高、重量大时，可适当关小节流阀 L_1 、 L_2 ，使制动时间调得长些，以利于消除换向冲击。在相反的情况下则可以把它调得短一些，以利于提高效率。如果前者调节不当，即节流阀 L_1 、 L_2 调得过大，或 L_1 、 L_2 因磨损关闭不住节流口，就会产生液压换向冲击。

排除：使用中，要根据情况合适调整。

2. 行程控制操纵箱

(1) 工作原理 在图 6-2 的回路中，工作台的换向有以下三个过程：

1) 制动过程

① 预制动：当工作台行程挡铁碰拨杆，带动先导阀 a 右移，通过阀心上的制动锥体逐渐关闭主回油路的通路 $5 \rightarrow 6$ ，使工作台减速、缓冲，当先导阀移动一定距离 B_1 ，制动锥体 T 将回油通路 $5 \rightarrow 6$ 关小到剩下距离 $\Delta = 0.2 \sim 0.5 \text{mm}$ 时，工作台制动到某一固定的低速值。它与工作台制动前的速度无关，此制动过程为预制动。

② 终制动：制动过程的第二步，先导阀 a 移过 B_1 时，控制油路的通路 $8 \rightarrow 10$ 关闭， $10 \rightarrow 12$ 打开 $0.1 \sim 0.45 \text{mm}$ （此时控制油路的 $7 \rightarrow 9$ 也已打开， $9 \rightarrow 11$ 关闭）。换向阀右端油液从 $14 \rightarrow 10 \rightarrow 12$ 回油箱，换向阀阀心左端在来自 $7 \rightarrow 9$ 的控制油液推动下，快速右移至孔 14（快跳孔）被堵死为止，该动作为换向阀的第一次快跳。换向阀快跳至中位后，使液压缸两腔互通压力油，这时液压缸回油路 3 的压力显著增大，加剧了制动作用，直至工作台停止移动。至此制动结束，称终制动。因此，制动的第一步，是由先导阀上的制动锥体 T 移动一定行程，对液压缸回油施加背压力来获得行程制动的，目的是使预制动后的工作台速度为常数。制动的第二步，换向阀快跳至中位使油缸两腔互通，这样缩

短了工作台制动时间，提高了工作台换向精度。

2) 端点停留：换向阀 b 继续右移，回油经油路 20、节流阀 L_2 、油路 18→10→12 回油箱。只要调节 L_2 （反向时调 L_1 ），便可改变换向时的停留时间。停留时间从换向阀至中位后工作台停止时开始，到油路 2→4 打开，工作台反向起动为止。

3) 反向起动：换向阀继续右移，当油孔 16 与 14 通过换向阀阀心右端的环形槽将其接通时，则换向阀右端回油经 20→16→环形槽→14→10→12 回油箱。由于回流畅通，换向阀又一次快速右移，即第二次快跳。此时，换向阀迅速切换主油路，使工作台迅速起动。

行程控制操纵箱的特点是：无论工作台的运动速度如何变化，工作台的制动基本上是由工作台带动先导阀移动一定的行程 B_1 (B) 所决定。因此不受工作台工作速度的影响，换向精度高。它适合换精度要求高的内、外圆磨床。

(2) 主要零件的修理、装配和调整 行程控制操纵箱是由先导换向阀和换向阀等组成，因此，主要零件的修理、装配和调整都可以参考方向控制阀部分的内容。

(3) 常见故障与排除方法 以 GY24-25×50 型操纵箱的故障与排除为例。

1) 起动时冲出量大。

排除：如图 6-2 所示，将操纵箱上通进油和手摇机构的油管交换一下位置，改进前后下部开停节流阀的接管图，见图 6-2 中 a 和 b 所示。

改进开停节流阀，如图 6-3 所示。

2) 换向冲出量大，换向精度较差

排除：可在换向阀两端的壳体上增加快跳孔，使换向阀的移动速度加快，即可减少冲出量。但在短行程时会出现一端换向，另一端换向偶有停留或不换向。其原因是一端停留时，换向阀的辅助回油要经过开停节流阀回去，停留时间越长，换向阀移动速度越慢。换向阀还没移到头则由于工作台运动速度比换向阀移动

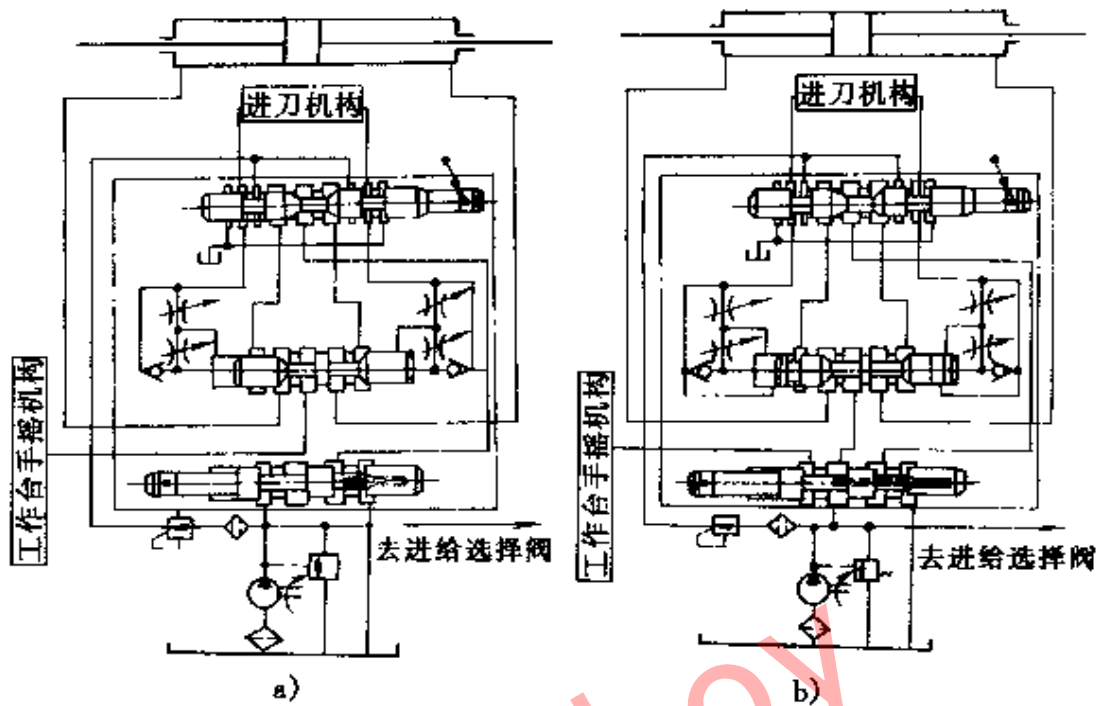


图 6-2 GY24-25 × 50 型操纵箱改进前后工作原理图

a) 改进前 b) 改进后

速度快得多，工作台已作再一次换向。当先导阀稍一移动，换向阀两端就接通辅助压力油，使另一端辅助回油的压力突然增加。这样，换向阀急速往反方向移动一下，形成液压缸两端通主压力油，致使工作台停顿或停死不换向。

对此，可增加换向阀移至停留位置后产生第二次快跳予以解决。

对于因先导阀尺寸不当产生的冲出量、倒回量太大，可重新

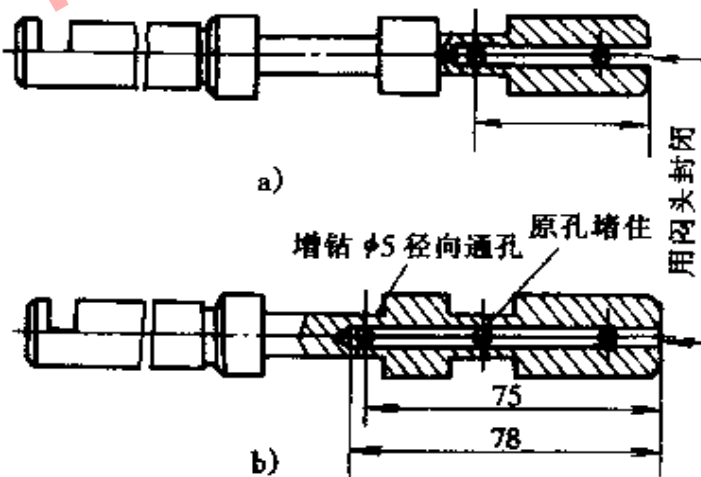


图 6-3 开停节流阀的改进前后

a) 改进前 b) 改进后

加工—先导阀阀心或对先导阀有关尺寸作一些修正。

3) 正常换向停留时间应不大于 0.5s, 但由于导向阀本身控制尺寸不够、油液粘度大、操纵箱至停留阀之间管路过长, 弯曲较多, 产生沿程损失和流量损失大等原因, 会出现无停留时间 1s 左右的现象。

排除: 可根据情况逐一排除。

4) 换向时出现死点。

① 操纵箱换向阀的两端节流阀调节不当, 回油阻尼太大或回油封闭。

排除: 适当旋松节流阀调节螺钉, 减少辅助回油阻尼。

② 换向阀阀心因拉毛或污物卡死在一端或中间位置。

排除: 清除污物, 去除毛刺。

③ 先导阀与阀孔的开闭尺寸选择不当。

排除: 做一新阀换上。

④ 异速精度差、停留时间长、换向迟缓、液压缸速度降低、不能短距离频繁换向。

排除: 上述故障在 GY24 型操纵箱中属先天性的, 当改用 HYY21/3P-25T 型操纵箱时, 可以弥补上述的不足。

二、液压伺服阀

伺服系统是一种控制系统。它可以自动地, 快速而准确地复现机械位移、速度、加速度或力等输入量的变化规律。而由液压拖动装置作动力元件所构成的伺服系统称液压伺服系统。液压伺服系可以从不同的角度分类。按控制元件的种类和驱动方式可分为: 节流式控制系统和容积式控制系统。即阀控制系统和泵控制系统。

液压伺服阀在液压系统中起信号转换及功率放大作用。无论是在节流伺服控制系统还是在容积伺服控制系统, 都要利用伺服阀的作用来进行控制。

1. 分类及工作原理

(1) 阀控缸式液压伺服系统中用阀

1) 滑阀式: 在图 6-4a 中, 控制系统中的滑阀有一个控制

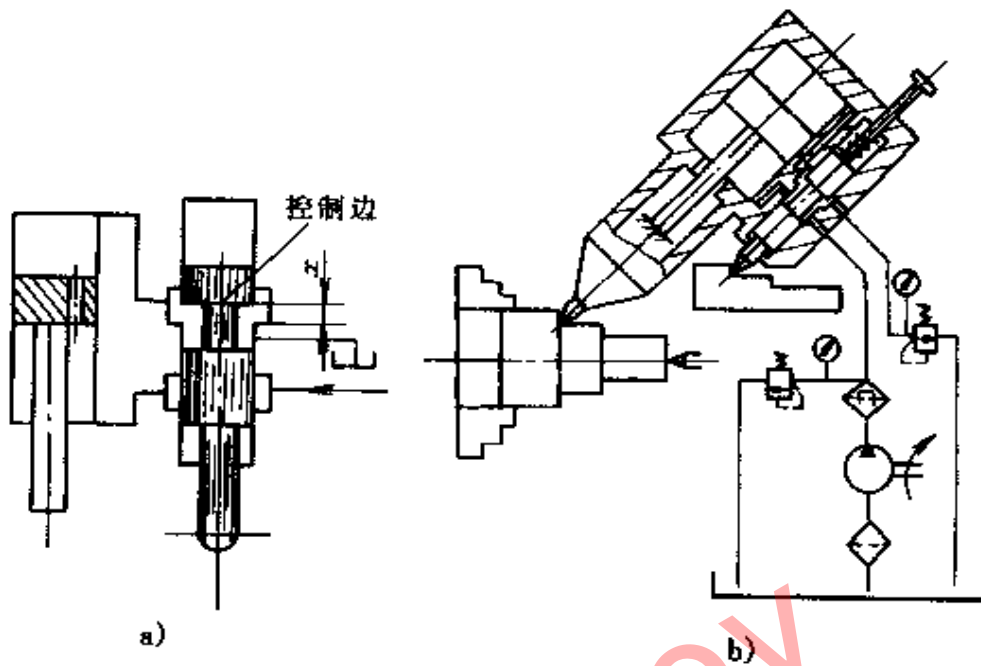


图 6-4 滑阀工作原理与应用

a) 单边滑阀控制式 b) 单边控制阀差动缸仿形车削

边, 当控制边的开口量 x 改变时, 流出液压缸的油液压力和流量都发生变化 (受到控制), 从而改变了液压缸的速度和方向。在仿形车削中的应用, 如图 6-4b 所示。

2) 射流管式: 如图 6-5 所示, 它由射流管 3、接受板 2 和液压缸 1 组成, 射流管可绕其中心 O 左右摆动一个不大的角度。接受板上有两个并列的接受孔道 a 和 b, 把射流管端部锥形喷嘴中射来的压力油, 分别通向液压缸左右两腔, 使之产生

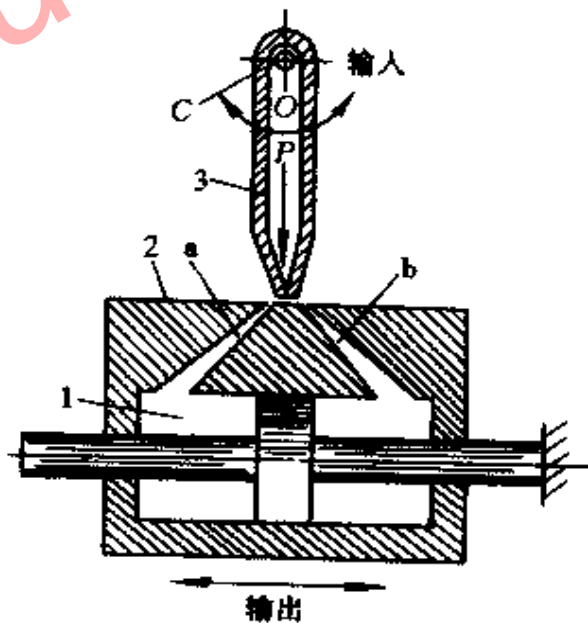


图 6-5 射流管式液压伺服系统原理图

1—液压缸 2—接受板 3—射流管

使之产生

向左或向右的运动。当射流管处于两个接受孔道的中间对称位置时,两个接受孔道内的油液压力相等,液压缸1不动;如果射流管绕轴线O顺时针方向摆动一个小角度 $\Delta\theta$,这时进入a孔道的油压大于b孔道,液压缸便在两端压力差作用下向左移动。由于接受板和液压缸刚性联接形成负反馈,当射流管恢复中间对称位置,活塞两端压力平衡时,液压缸又停止运动。

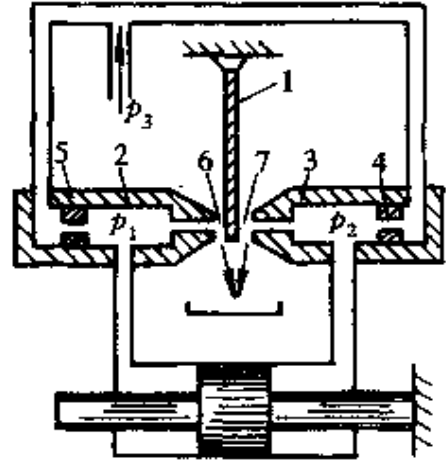


图 6-6 双喷嘴挡板式液压伺服系统原理图

3) 喷嘴—挡板式: 如图 6-6 所示, 它由挡板 1, 喷嘴 2 和 3, 固定节流小孔 4 和 5 等组成。挡板和两个喷嘴构成两个可变截面的节流孔道 6 和 7。当挡板 1 处在中间位置

1—挡板 2、3—喷嘴 4、5—节流小孔 6、7—节流孔道

时, 两喷嘴腔内的压力相等, $p_1 = p_2$, 液压缸不动, 压力油 p_s 经过两个固定节流小孔 4 与 5, 再经可变节流孔道 6 和 7, 流回油箱。当输入信号使挡板向左偏转时, 可变节流孔道 6 关小, 7 则开大, 于是通过两个喷嘴的流量发生变化, 使得 p_1 上升, p_2 下降, 液压缸便向左移动。

(2) 阀控马达式液压伺服系统中的转阀式阀 如图 6-7 所示, 转阀式伺服阀由十字形阀心 1 和阀套 2 等元件组成。阀心由步进电动机带动, 阀套与液压马达输出轴用联轴器联接。十字形阀心与阀套上对应的四孔形成 8 条控制边, 它的上半部或下半部都相当于一个四边控制式滑阀。当输入电信号输给步进电动机, 带动十字阀心旋转一个小角度 $\Delta\theta$ 时, 由于 $p_1 > p_2$, 液压油将按图示方向流入液压马达, 使液压马达也沿着顺时针方向转动。这时, 阀套与液压马达轴是机械联接, 从而也跟着旋转, 实现负反馈以消除误差 $\Delta\theta$, 使系统恢复平衡状态。阀心反转时, 液压马达也随着作反向旋转。

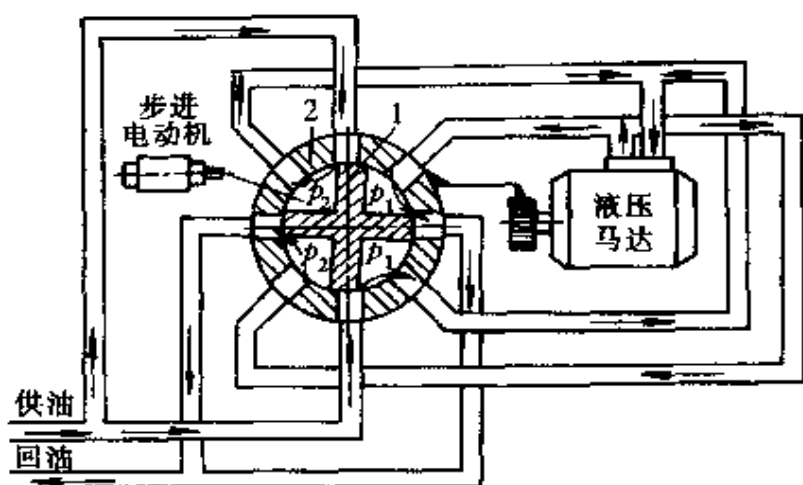


图 6-7 转阀式液压伺服系统原理图

1—十字形阀心 2—阀套

(3) 泵控马达式液压伺服系统中的滑阀式阀 如图 6-8 所

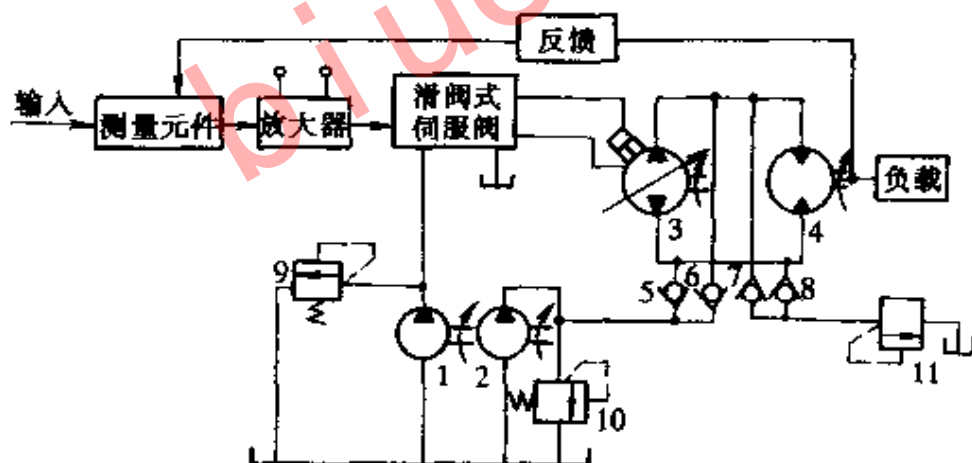


图 6-8 泵控式液压伺服系统

1、2—液压泵 3—主液压泵 4—液压马达 5、6、7、8—单向阀
9、10—溢流阀 11—安全阀

示，液压泵 1 和溢流阀 9 组成控制油路的液压源，通过伺服阀控制主液压泵 3 的变量机构；而液压泵 2、单向阀 5、6 和溢流阀 10 组成辅助供油油路；单向阀 7、8 和安全阀 11 则起安全保护

作用。

外来的输入信号和从负载反馈过来的反馈信号在测量元件内经过比较后，将误差信号输入到放大器中放大，放大后的信号输入伺服阀，使伺服阀阀心移动，打开阀口，液压泵 1 的压力油通过阀口进入主液压泵 3 的变量机构，控制了泵 3 的输油量。液压泵 3 的压力油使液压马达 4 带着负载转动，液压马达的转动又经过反馈机构发出反馈信号，输送回去和输入信号进行比较，液压马达的回转方向决定于输入信号的方向，转速大小决定于输入信号大小。本伺服系统仍然包含有阀控伺服系统，不过伺服阀控制的不是执行元件的液压缸，而是泵变量机构的液压缸。

2. 故障分析及排除
以下式力矩马达的双喷嘴一挡板式两级电液伺服阀为例。其结构如图 6-9 所示。

(1) 伺服阀不动作，导致执行元件不动作 具体产生的原因及排除方法如下：

1) 组成伺服阀的某些零部件破损。

排除：拆修伺服阀，修理或更换损坏件。

2) 滑阀式阀心因污物卡死在阀体内。

排除：拆检阀体 10 及

阀心 8，用煤油清洗，清除污物堵塞，如滤心破损，应更换滤心。

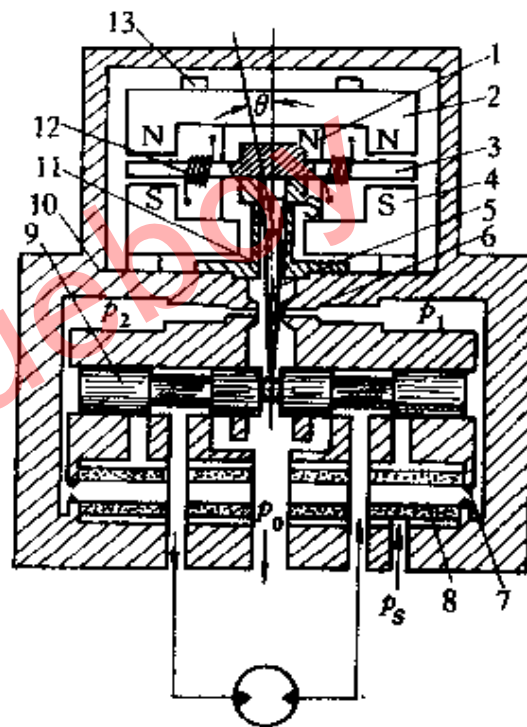


图 6-9 干式力矩马达的双喷嘴
一挡板式两级电液伺服阀

- 1—永久磁铁 2—导磁体 3—衔铁
4—导磁体 5—挡板（反馈杆） 6—喷嘴
7—固定节流孔 8—滤油器 9—滑阀
10—阀体 11—弹簧管 12—线圈
13—力矩马达螺钉

3) 喷嘴 6 被污物堵塞。

排除：清洗滤心堵头上节流孔 7（两端），清洗左右端盖上的通油孔。

4) 污物粘附在挡板 5 上，将挡板顶死。

排除：清洗喷嘴 6、挡板 5、阀心 9 及阀套、阀体 10 上各油路孔。装配时，注意阀心方向，阀心 9 放在中间位置，再装喷嘴挡板 5，其下端的小球插入阀心 9 的中间槽内应对中。

5) 滤心 8 被污物堵塞或破碎，引起节流孔、喷嘴或其他油路堵塞。

排除：拆卸清洗，更换滤心。

6) 线圈断线、插座接线柱脱焊、松脱短路。

排除：检查力矩马达线圈电阻，断线重接好，插头脱松应重新焊牢。

7) 供油压力太低，设调到 1MPa 以上。

排除：检查液压站油液压力，供油压力不得低于 1MPa。

8) 与伺服放大器的接线不对或不良。

排除：将接线接正确或焊牢。

9) 阀安装面的平面度超差。

排除：修平阀安装面，保证平面度公差。

10) 伺服阀进出油口装反了。

排除：检查伺服阀进出油口及管路，更正接错管口。

(2) 经常出现零位偏移 零位偏移或偏移量大产生的原因及排除方法有：

1) 伺服阀本身的原因有压合或焊接部位的衔铁组件松动，内装的滤油器被污物堵塞，压合的喷嘴松动，喷嘴被污物堵塞等。

排除：检查具体原因，采取相应对策。除此以外，还要将伺服阀重新调节对零。调节时，对于有阀套的伺服阀，可以松开端盖螺钉，调节阀套位置实现；对于无阀套的伺服阀，或者用上面办法调不过来的伺服阀，可以交换节流孔两边的位置或另换一组

节流孔来调节零偏；还可利用修研力矩马达气隙纠正零偏也是有效办法。

2) 油温变化引起的零位漂移。

排除：可在油路中加装冷却器和加热器，控制油温，防止油液粘度变化。

3) 油源压力大幅度变化导致零位大幅度变化。

排除：控制油源压力变化。伺服阀的供油压力 p_s 可按 $p_s = \frac{3}{2} (p_L + p_T)$ 选定 (p_L 为伺服阀的负载压降, $p_L = F_L/A$, F_L 为伺服阀受的力, A 为伺服阀受力面积, p_T 为伺服阀的背压值), 通常可在 1~7MPa 的范围内取一定值, 并在阀前加装蓄能器进行稳压。

4) 油液污染严重, 油中污物颗粒较多。

排除：清洗回路, 更换干净油液, 在阀前装设高压滤油器。

5) 在零位调节螺钉回转的范围内调不出零位。

排除：将供油压力 p_s 调到大于 1MPa 的压力值, 并清洗内装的滤油器及其两端的节流孔。

6) 伺服阀堵塞或喷嘴松退的影响。

排除：定期进行清洗, 或重新调试喷嘴。

7) 保证不了电气零位与机械零位重合。

排除：在装配中注意使滑阀在喷嘴不起作用、反馈杆不受力时处于零位, 即机械零位；在喷嘴投入工作时, 使滑阀在弹簧管不受力的情况下仍然处于零位, 即液压零位与机械零位重合；在装上力矩马达线圈和磁钢后使滑阀仍处于零位, 就是电气零位与机械零位重合。

同时, 选用弹性模量温度系数很小的材料, 也可直接减少弹性元件造成的温度零漂。

8) 机械对称性差

排除：提高零件加工的对称度要求及装配对称度, 选用线膨胀系数一致或接近的材料制造有关零件。

9) 液压对称性差。

排除：要求节流孔孔形误差合格、无毛刺、节流长度尽量短，喷嘴孔形好、端面环带尽量窄、无毛刺。节流孔和喷嘴基体具有足够的硬度，孔形和环带应进行磨加工，以保证液压放大器的液压对称度要求。

10) 阀心位移量不合适。

排除：适当加大滑阀位移量，以减少温度零漂影响。

11) 开环增益不够。

排除：提高磁钢的充磁水平，从而提高电磁耦合刚度；加大力矩马达的气隙长度，使电流力矩常数保持不变。可提高开环增益，减少温度零漂。

12) 伺服阀各级不同时都处于零位。

排除：在装配时，保证四个气隙相等；在试验台上，对伺服阀逐级调零。

(3) 伺服阀的输出流量少

1) 供油压力低。

排除：可适当提高供油压力。

2) 输入伺服阀流量不足。

排除：增加供油量，消除和减少泄漏量。

3) 伺服放大器输出功率不够。

排除：检查输入信号是否正确，检查伺服放大器本身是否有故障并加以排除。

4) 内装滤油器被污物堵塞。

排除：清洗液压回路及伺服阀，更换污染油液，保持油液清洁。

(4) 伺服阀的动态特性差 频率响应迟滞，系统过渡过程响应速度减低，超调量增大。

1) 供油压力低。

排除：适当提高供油压力，可提高速度放大系数，提高伺服阀的灵敏度，但压力超过某一界限，系统要发生振动（下述情况

也是如此)。

2) 油温、油液粘度的变化影响系统的动态性能。

排除：油粘度大，使系统的响应速度降低，应使用合适粘度的油液，并控制油温在一定的范围内。

3) 系统的背压适当增大，稳定性提高，但动态特性降低。

排除：系统应有适合的背压要求。

4) 输入信号的幅值影响动态特性。

排除：应将输入信号的幅值控制在一定的范围内。

5) 系统的响应灵敏度差。

排除：可适当增大伺服阀开口周边的宽度，可使流量放大系数增加，提高系统的响应灵敏度，否则对系统的稳定性又产生影响。

6) 机械反馈间隙的存在使超调量的调节时间增大。

排除：应尽量减少反馈间隙。

7) 伺服液压缸面积增大的不合适，动态特性变差。

排除：面积适度增大，要综合考虑。

8) 伺服液压缸及联接管路的含油总体积太大对系统的动态特性不利。

排除：使其含油总体积保持在最佳值状态。

9) 力矩马达的磁滞现象和伺服阀各构件的静摩擦力增大，引起动态性能变坏。

排除：提高零件的加工精度，减少各构件间的摩擦力，减少力矩马达的磁滞现象。

10) 伺服阀安装面的平面度误差大。

排除：修复安装表面，使其平面度误差达标，以消除导致安装变形等影响。

(5) 伺服阀的稳定性差 此故障的产生原因及排除方法如下：

1) 联接控制阀和伺服阀之间的管道弹性变形。

排除：提高系统中弹性环节的刚度。

2) 作用于伺服液压缸的负载力太大。

排除：适当减少执行机构和被调对象运动部件的质量，可使系统的稳定性变好。

3) 随动速度太大。

排除：适当降低被调对象的运动速度。

4) 外来干扰时，如载荷、速度、液压等的突变，会产生自振。

排除：在阀与缸之间或液压缸的两腔之间设置附加阻尼，可提高稳定性。

(6) 无信号输入 执行机构向一边移动。

排除：检查喷嘴与挡板间的距离是否相等，工作气隙是否不相等，是否单喷嘴堵塞，是否单喷嘴的节流通道被堵塞，是否主滑阀卡死在某一位置，形成单边开口等，并逐个排除。

(7) 静耗量增大 此时压力增益下降。

1) 因磨损，滑阀与套筒之间的配合间隙增大，导致系统供油不足，性能下降。

排除：严控滑阀与套筒之间的配合间隙、形位公差、表面粗糙度等，提高其间的耐磨性。

2) 窗口塌边。

排除：可用流量配磨法，严控窗口搭接量，保持窗口的锐边。

三、比例阀

比例阀是由比例电磁铁和液压控制阀组成。它相当于在普通液压控制阀上装上比例电磁铁以代替原有的手调控制部分。电磁铁接收输入的电信号，连续地或按比例地转换成力或位移。液压控制阀受电磁铁输出的力或位移控制，连续地或按比例地控制液流的压力和流量。

由于比例阀采用电信号控制液压系统的压力和流量，所以它兼有液压传动的功率大、反应快及电气设备的易操纵控制、电信号易放大、传递和检测方便的优点。它适用于遥控、自动化和程

序控制。

根据被控参数的不同，比例阀可分为比例压力阀、比例流量阀、比例方向阀和比例复合阀几种。

1. 分类及工作原理

(1) 比例压力阀 图 6-10 为比例压力阀结构简图。其左端

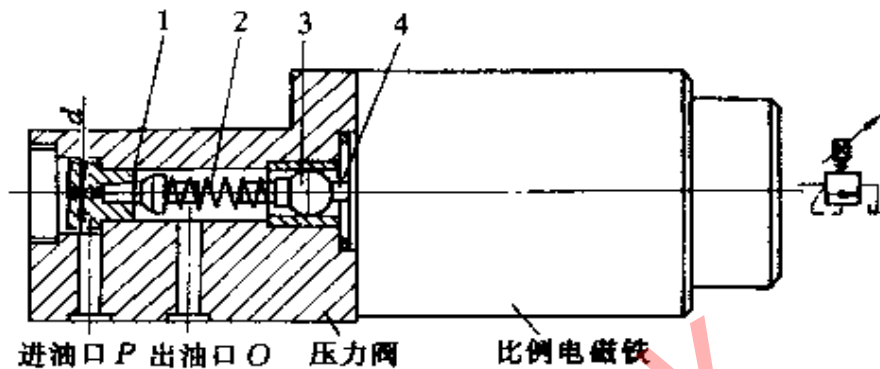


图 6-10 电液比例压力阀

1—锥阀 2—弹簧 3—钢球 4—推杆

为压力阀，右端为比例电磁铁。电液比例压力阀是依靠输入的电信号来控制系统的压力。当比例电磁铁线圈中通入电流时，推杆 4 向外移动，通过钢球 3、弹簧 2 把电磁推力传给锥阀 1，推力的大小与输入的电流成比例。当进口油压压力大于弹簧力时，锥阀打开，由出油口排油，从而使开启锥阀的进口油压压力受输入电磁铁的电流大小的控制。

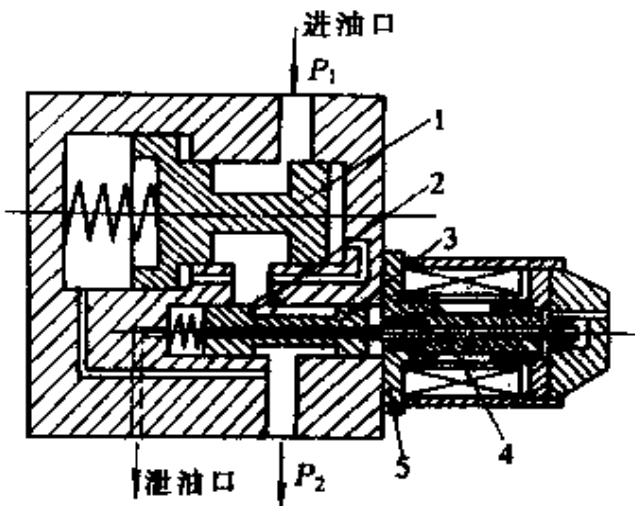


图 6-11 电液比例调速阀

1—减压阀心 2—节流阀开口 3—节流阀心
4—推杆 5—比例电磁铁

(2) 电液比例调速阀 图 6-11 为电液比例调速阀简图。图

中左端为调速阀,右端为比例电磁铁。电液比例调速阀是用输入相应的电信号去调节系统的流量来实现液压缸速度的变化。在图 6-11 中,液压阀部分的工作情况与一般调速阀完全相同,只是节流阀口的开度由输入电磁铁线圈中的信号电流来控制。当无电信号输入时,节流阀在弹簧作用下关闭,输出流量为零。当输入一信号电流时,电磁铁产生与电流大小成比例的电磁力,通过推杆 4 推动节流阀心 3 左移,直到电磁力与弹簧力平衡阀心才停止左移,节流阀达到一定的开口度,得到与信号电流成比例的流量。若输入信号是连续地或按一定程序变化,比例调速阀控制的流量也连续地或按同样程序变化。

(3) 比例方向阀 电液比例方向阀由两个比例电磁铁控制的双向减压阀作前置级,液动双向节流阀作放大级而构成。它不仅能改变液流的方向,也可以控制流量的大小。因为比例电磁铁的电流与节流阀的开度成比例,所以改变输入电信号的大小和方向可以控制通过电液比例换向阀和流量大小和方向。

2. 故障分析与排除 比例压力阀和比例流量阀与一般的压力阀和流量阀比较,仅仅是调节的方式与手段不同,其他的情况是完全一样,因此有关比例阀的故障和排除方法可参阅一般压力、流量阀进行。下面仅以比例溢流阀为例叙述。

(1) 压力调不上去 此故障产生的原因和排除方法除与一般的溢流阀有相同之处外,还有以下方面:

1) 比例电磁铁线圈断线或电磁铁引线脱焊,或接线插座接触不良。

排除:可用电压表检查,若电阻无限大,便可断定为断线或脱线,应重新焊接或插牢。

2) 比例放大器和电磁铁之间的连线断线或放大器接线端子接线脱开。

排除:更换断线,重新连接牢靠。

3) 放大器有故障。

排除:检查放大器电路及各元件,排除放大器故障,烧毁者

予以更换。

(2) 压力波动大 其电磁铁部分的产生原因是比例电磁铁的稳压电源不稳压,造成输出的比例电流信号的电流值波动变化较大。

排除:修理稳压器,排除电源电压不稳。

(3) 压力响应缓慢 电磁铁铁心上设置的作阻尼用的固定节流孔及主阀心节流孔被污物堵塞,电磁铁铁心及主阀心的运动受阻,动作不灵活,使压力响应缓慢。

排除:拆开清洗主阀和电磁铁,检查油污染度,必要时更换工作油液。

第二节 液压基本回路故障的排除

液压回路中,常见的基本回路有压力控制回路、方向控制回路、调速回路、快速运动回路、速度换接回路和多液压缸间配合的工作回路。这些回路在工作中常出现的故障及排除方法如下所述。

一、压力控制回路的故障分析与排除

压力控制回路,是利用压力控制阀来控制系统压力的回路。它可用来实现稳压、减压、增压和多级调压控制,以满足执行元件在力和转矩上的需求。

1. 调压回路 它可以控制整个系统或某局部的压力,使其与负载相适应,节省能耗,减少油液发热。定量泵通过溢流阀调节供油压力;变量泵用溢流阀限定系统的最高工作压力,系统中有两种或两种以上工作压力时,采用多级调压回路。调压回路易出现的故障与排除方法有:

(1) 二级调压回路中的压力冲击 在图 6-12 中,当 1YA 不通电,系统压力由溢流阀 2 调节,1YA 通电,由阀 3 调节,回路由阀 4 切换,压力由 p_1 切换到 p_2 时 ($p_1 > p_2$),因阀 4 与阀 3 间的油路内切换前没有压力,阀 4 切换 (1YA 通电) 时,溢流阀 2 遥控口处的瞬时压力由 p_1 下降到几乎为零后再回升到 p_2 ,

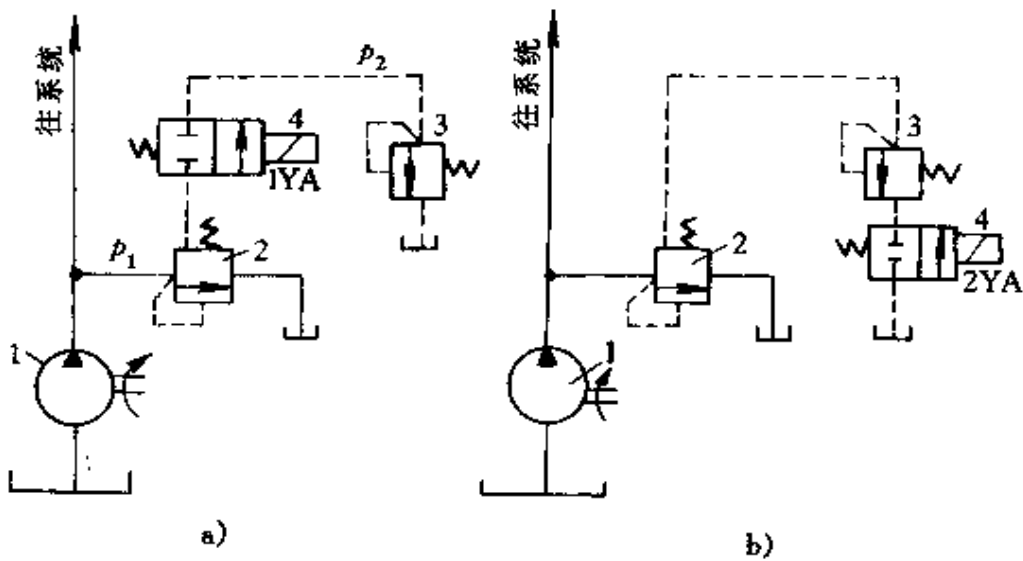


图 6-12 双溢流阀式二级调压回路

1—液压泵 2、3—溢流阀 4—电磁阀

系统产生较大的压力冲击。

排除：将阀 4 接在阀 3 的出油口处（即阀 4'）。这样，从阀 2 遥控口到阀 4' 的油路里经常充满压力油，阀 4' 切换时系统压力便不会产生过大的冲击。

(2) 二级调压回路中，调压时升压时间长

在图 6-13 中，当遥控管路较长，系统卸荷（阀 3 处于中位）状态升压时，由于遥控管通油池，压力油要先填充遥控管路后，才能升压，所以时间较长。

排除：尽量缩短遥控管路，在遥控管路回油处增设一背阀（或单

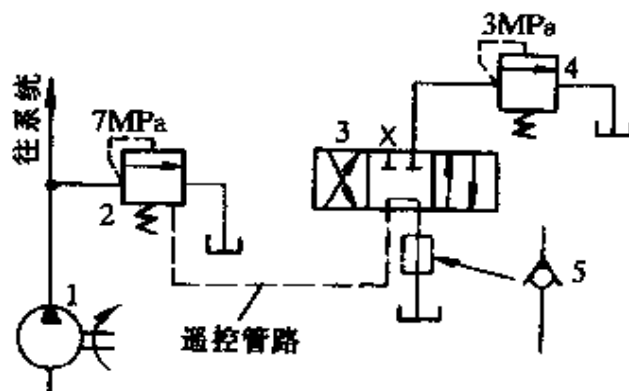


图 6-13 遥控管过长使升压时间长

1—液压泵 2、4—溢流阀

3—换向阀 5—单向阀

向阀) 5。

(3) 主溢流阀故障 在遥控调压回路中, 出现主溢流阀的最低调压值增高, 同时产生动作迟滞的故障。其产生原因是由于从主溢流阀到遥控先导溢流阀之间的配管过长, 遥控管内压力损失过大。

排除: 遥控管路应限制在 5m 以内。

(4) 遥控配管振动 在遥控调压回路中, 出现遥控配管振动及遥控先导溢流阀的振动。

排除: 可在遥控配管途中图 6-14a 处装入一小流量节流阀并进行适当调节。

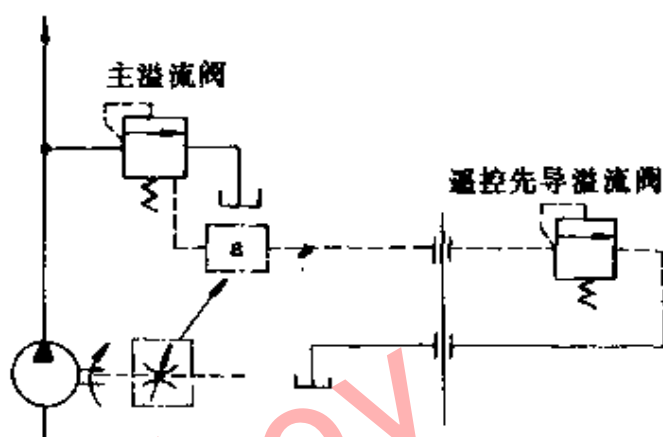


图 6-14 消除遥控调压回路中的振动

(5) 其他故障 由于调压回路中, 采用的是溢流阀, 因而调压回路中的其他各种故障可参阅溢流阀的有关故障排除内容。

2. 保压回路 保压回路应用在液压缸运动到工作行程终端要求在工作压力下停留保压某一段时间 (从几秒至几十分钟), 然后再返回的工作场合。保压回路常见的故障有:

(1) 不保压 在保压期间内压力严重下降, 具体产生“不保压”故障的原因和排除方法如下:

1) 液压缸的内外泄漏, 造成不保压。

排除: 提高液压缸缸孔、活塞、活塞杆的制造精度和配合精度, 有利于减小内外泄漏。

2) 各控制阀的泄漏, 特别是靠近液压缸的换向阀泄漏较大, 造成不保压。

排除: 保证阀心与阀孔的加工精度、配合精度及密合锥面的密合程度。

3) 回路泄漏点过多, 造成不保压。

排除: 回路设计要控制阀的数量, 尽量减少接管及接头数量, 以减少泄漏点。

4) 缺油

排除: 不断补偿系统的泄漏采用液压泵补油、采用蓄能器补油和应用小保压缸进行保压。

(2) 保压回程中出现冲击、振动和噪声 其原因是保压过程中, 油的压缩、管道的膨胀、机器的弹性变形储存有能量, 在保压终了返回过程中, 上腔压力及储存的能量未泄完, 液压缸下腔压力已升高。这样, 液控单向阀的卸荷阀和主阀心同时被顶开, 引起液压缸上腔突然放油, 大流量, 快泄压, 导致系统冲击、振动和噪声。

排除: 控制液控单向阀的液控流量, 以降低控制活塞的运动速度, 延长泄压时间。可在液控单向阀的液控油路上设置一单向节流阀, 如图 6-15, 使液控口的通过流量得以控制。

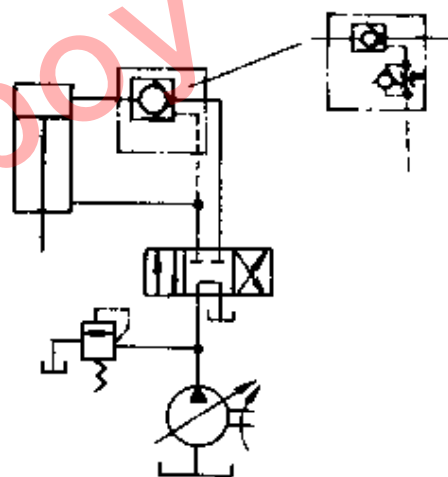


图 6-15 加装单向节流阀

3. 减压回路 用以降低某一支路油压的回路为减压回路。这种回路的故障有:

(1) 二次压力逐渐升高 在图 6-16 中, 当缸 2 停歇时间较长时, 减压后的二次压力会产生逐渐升高故障。这是因为缸 2 长时间停歇后, 有少量油液通过阀心间隙经先导阀排出, 保持该阀处于工作状态。当阀内泄漏较大时, 高压油自减压阀进油腔向主阀心上腔渗漏, 通过先导阀的流量加大, 使减压阀的二次压力(出口压力)增大。

排除: 可在减压回路中加接一安全阀, 图 6-16 中 b 处所示, 确保减压阀出口压力不超值。

(2) 减压回路中液压缸速度调节失灵 产生原因是图 6-16 中的减压阀 3 泄漏量大。

排除：将节流阀 4 从图中位置处改为串联在减压阀之后的 a 处，可避免减压阀泄漏对缸 2 速度的影响。

4. 增压回路

如图 6-17 所示是增压回路。它用来提高系统中某一支路的油压压力。回路常发生的故障有：

(1) 不增压或者达不到所调增压力

1) 当缸 8 的活塞卡死不能移动，或缸 8 的活塞密封严重破损，造成不增压。

排除：应进行拆修与更换密封。

2) 液控单向阀 4 卡死，导致增压时阀 4 不能关闭。

排除：拆修液控单向阀 4。

3) 缸 9 的活塞密封破损，使缸窜腔。

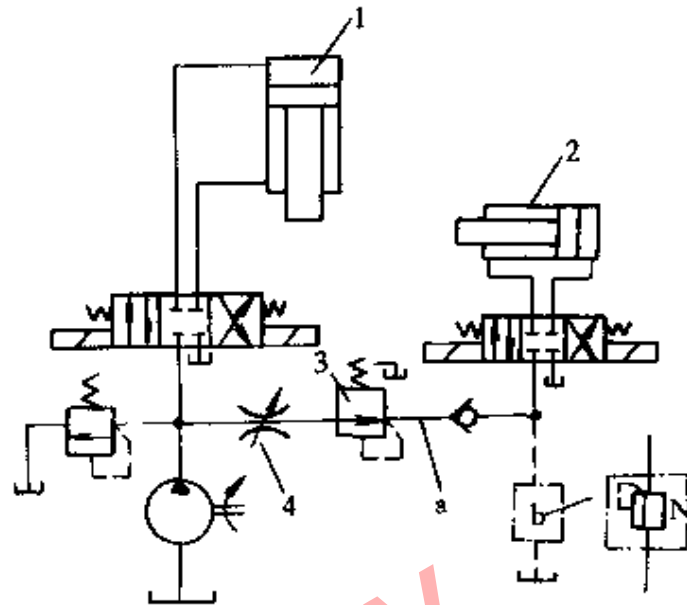


图 6-16 消除二次压力升高故障

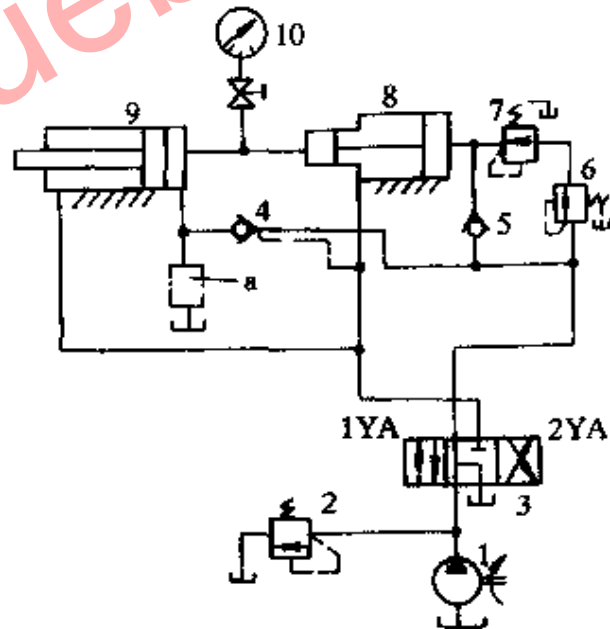


图 6-17 增压回路

1—液压泵 2、6—溢流阀

3—换向阀 4、5—单向阀

7—顺序阀 8、9—液压缸 10—压差计

排除：更换好密封。

4) 溢流阀无压力油进入系统。

排除：参阅溢流阀的有关故障排除。

(2) 不能调节增压压力的大小 排除方法参阅减压阀的有关故障排除。

(3) 增压后压力缓慢下降。

1) 阀 4 的阀心与阀座密合不良，密合面间有污物粘住。

排除：拆开清洗研合。

2) 缸 9、缸 8 活塞密封轻度破损。

排除：更换密封。

(4) 缸 9 无返回动作 排除方法是检查 2YA 是否断电；阀 4 的阀心是否卡死在关闭位置；是否增压后缸 9 右腔的压力未卸掉，阀 4 打不开；是否油源无压力油，根据具体情况，予以排除。

5. 卸荷回路 卸荷回路用在工作部件短时间停止工作时，液压系统泵输出的油液全部零压或很低压力下流回油箱的场合。这种回路易发生的故障有：

(1) 换向阀的卸荷回路不卸荷 其产生的原因，如图 6-18 所示，可能是二位二通电磁阀阀心卡死在通电位置，或者是弹簧力不够、折断、漏装，使阀不能复位。电磁铁断电也不能使阀心正常工作。

排除：分别根据具体情况予以处理。

(2) 采用换向阀的卸荷回路不能彻底卸荷 产生故障的原因是阀 2 规格过小，或阀 2 为手动时定位不准，换向不到位，使 P→O 的油液不能彻底畅通无阻，背压大。

排除：酌情处理。

(3) 采用换向阀的卸荷回路 需要卸荷时有压，需要有压时卸荷。其原因如图 6-18a、b 所示，a 中的阀 2 阀心装倒成 O 型，b 中的阀 2 阀心装反成 H 型。

排除：将阀 2 的阀心调头重新装配。

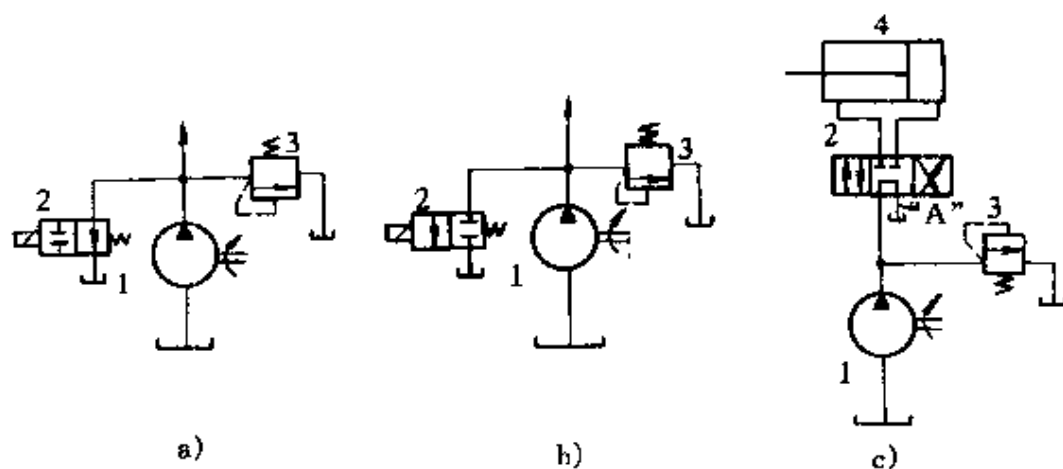


图 6-18 换向阀的卸荷回路

a) 电磁阀 (H型) 不通电时卸荷 b) 电磁阀 (O型) 通电时卸荷

c) 三位阀中位时卸荷 (M、K、H型等)

1—液压泵 2—电磁换向阀 3—卸荷阀 4—液压缸

(4) 换向阀的卸荷回路中有冲击。因图 6-18c 中的三位四通阀用在大流量、高压力系统中容易产生冲击。

排除：阀 2 应采用带阻尼的电液阀，调节阻尼减慢换向阀的换向速度，以减少冲击。

(5) 采用 M 型电液换向阀卸荷。在图 6-18c 中，采用 M 型电液换向阀，利用中间位置卸荷。由于中位时系统压力卸掉，再换向时，会因控制压力油压力不够而影响电液动换向阀 2 的换向可靠性。

排除：可在图 6-18c 中的“A”处加装一背压阀，以保证阀 2 的控制油压大小，使换向可靠。

(6) 用电磁溢流阀使液压泵卸荷的回路。在图 6-19 中，采用的是电磁溢流阀卸荷，二位二通电液换向阀 2 接在先导式溢流阀的遥控口上，而不是接在主油路上，其余情况与图 6-18 基本相似。其产生的故障与排除方法同上所述。

(7) 用蓄能器保压并用液压泵卸荷的回路。如图 6-20a 所示，存在卸荷不彻底，有功率损失的故障。产生的原因是压力升高时，卸荷阀 2 如同溢流阀一样仅部分地开启使泵 1 卸荷，造成功率损失。

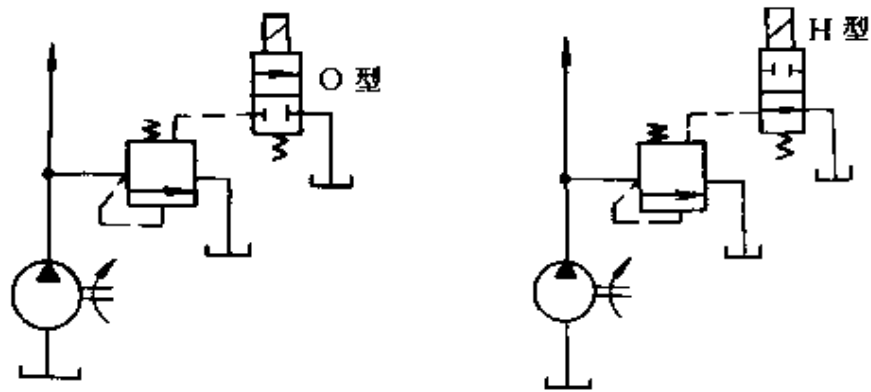


图 6-19 电磁溢流阀使液压泵卸荷

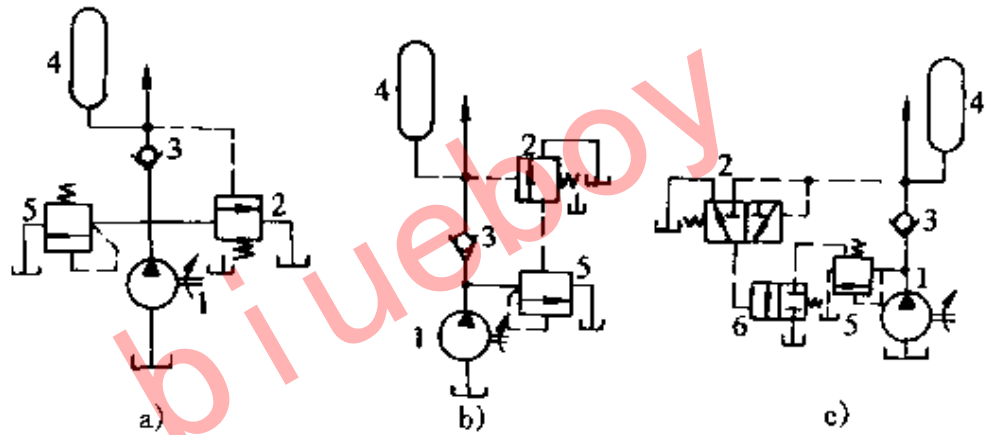


图 6-20 用蓄能器保压、液压泵卸荷的回路

- a) 1—液压泵 2—卸荷阀 3—单向阀 4—蓄能器 5—溢流阀
 b) 1—液压泵 2—液控顺序阀 3—单向阀 4—蓄能器 5—溢流阀
 c) 1—液压泵 2—二位三通换向阀 3—单向阀 4—蓄能器
 5—溢流阀 6—换向阀

排除:如图 6-20b 所示,利用小型液控顺序阀 2 作为先导阀控制主溢流阀 5 的开启,可保证阀 5 卸荷时的全开;采用图 6-20 中 c 所示的回路,蓄能器的压力先打开二位三通换向阀 2,然后完全开启换向阀 6,保证主溢流阀 5 的完全开启,使泵 1 充分卸荷。

(8) 蓄能器加压力继电器加电磁溢流阀构成卸荷回路 出现的主要故障是:工作中往往出现系统压力在压力继电器 3 的调定压力值附近波动,造成液压泵和阀的工作不稳现象,如图 6-21 所示。

排除:采用图 6-21b 所示的双压力继电器的差压控制可防止

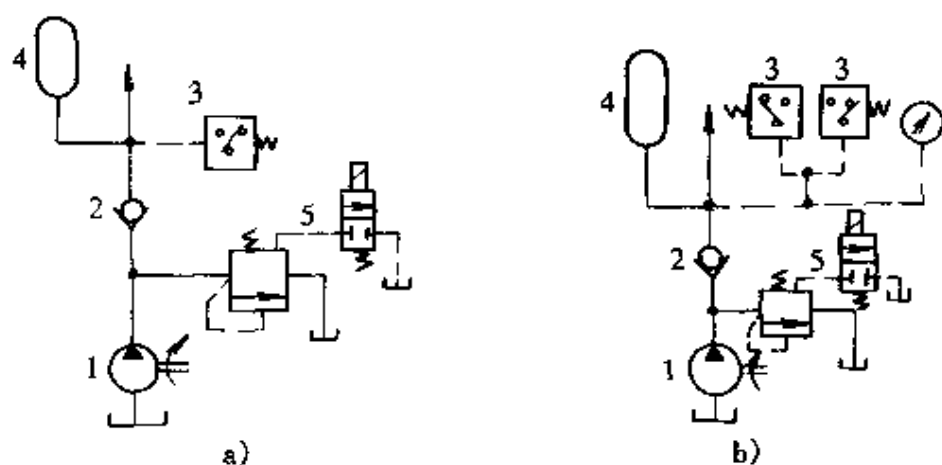


图 6-21 卸荷回路

1—液压泵 2—单向阀 3—压力继电器 4—蓄能器 5—溢流阀

频繁切换现象。

(9) 双泵供油时的卸荷回路发生电动机严重发热甚至烧坏的故障 其原因是在工作时,单向阀 3 (图 6-22 所示) 因各种原因卡能很好关闭,造成泵 1 出口高压油反灌到泵 2 出油口,导致泵 2 负载增大,加大了电动机功率。

排除:拆修单向阀 3,使之能可靠工作。

(10) 双泵供油时的卸荷回路系统压力不能上升到最高工作压力 上述电动机发热的原因是此故障的主要原因之一。此外,

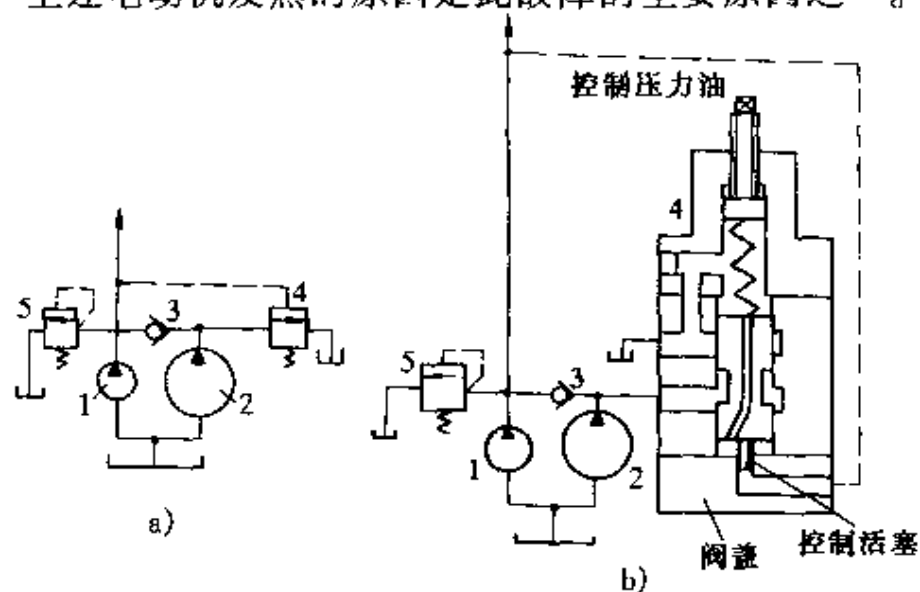


图 6-22 双泵供油卸荷回路

1、2—液压泵 3—单向阀 4—卸荷阀 5—溢流阀

卸荷阀 4 的控制活塞与阀盖相配孔因严重磨损或其他原因，导致配合间隙大，系统来的压力控制油通过此间隙漏往主阀心下端，再通过主阀心的阻尼孔、弹簧腔、回油泄往油箱，使系统局部卸压，压力升不到最高调的压力。

排除：更换控制活塞，保证配合间隙。

(11) 上述回路中的其他故障

1) 卸荷状态转为调压状态所经历的时间较长，压力回升滞后。

排除：影响压力回升滞后的因素较多，主要因素是压力阀阀心从卸荷位置位移到调压状态的时间。

2) 卸荷工作过程中产生不稳定现象。

排除：参考“调压回路”中有关内容。

6. 平衡回路 平衡回路是设置一个适当的阻力，使之产生一个背压，用以与自重相平衡。各种平衡回路的故障情况如下：

(1) 采用单向顺序阀的平衡回路的故障

1) 停位位置不准确，在图 6-23 中，换向阀处于中位时，液压缸 6 的活塞可在任意位置停留，但当限位开关或按钮发出停位信号后，缸 6 的活塞要下滑一段距离后才能停止。其产生原因是停位电信号在控制电路中传递的时间太长；液压缸下腔的油液在停位信号发出后还在继续回油。

排除：检查电器元件的动作灵敏度，将阀 4 换成交流电磁换向阀，缩短电信传递时间；在图 6-23 阀 5 的外泄油道 a 处增加

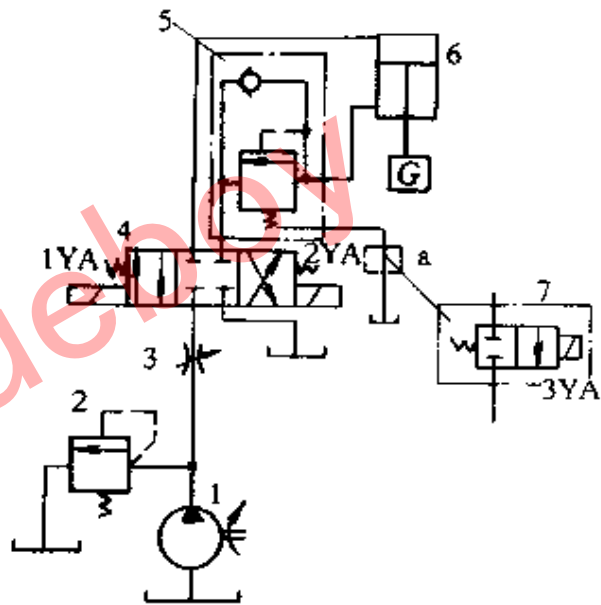


图 6-23 采用单向阀的平衡回路

1—液压泵 2—溢流阀

3—节流阀 4—二位三通换向阀

5—单向阀 6—液压缸 7—电磁阀

一个二位两通交流电磁阀 7，正常工作时，3YA 通电，停位时 3YA 断电，外部泄油通路堵死，保证缸 6 下腔回油无处可泄，使停位准确。

2) 缸停止（或停机）后缓慢下滑，其主要是液压缸活塞杆密封的外泄漏、单向顺序阀及换向阀的内泄漏较大所致。

排除：解决上述的泄漏可排除此故障。将图 6-23 中阀 5 改成液控单向阀，对防止缓慢下滑有益。

(2) 液控单向阀平衡回路的故障及排除

1) 液压缸在低负载下，下行平稳性差，如图 6-24 所示，当负载小时，缸 1 上腔压力达不到必要的控制压力值，阀 3 关闭，缸 1 停止运动。液压泵继续供油，缸 1 上腔压力又升高，阀 3 又打开，缸 1 向下运动。负载小又使缸 1 上腔压力降下来，阀 3 又关闭，缸 1 又停止运动。如此不断，缸 1 无法得到低负载下平稳运动。

排除：可在图 6-24 中阀 3 和阀 2 之间的管路上加接单向顺序阀来提高运动的平稳性。

2) 液压缸下腔产生增压事故 在图 6-24 所示的回路中，如果缸 1 上下腔的作用面积之比大于阀 3 的控制活塞作用面积与单向阀阀心上部作用面积之比，则液控单向阀将永远打不开，此时油缸 1 将如同一个增压器，下腔将严重增压，造成下腔增压事故。

排除：设计时，应合理选择上下腔的工作面积。

3) 液压缸下行过程中发生高频或低频振动，图 6-25a 为液控单向阀平衡回路。

在图 6-25b 中所示位置时，单向阀的控制压力上升，打开单

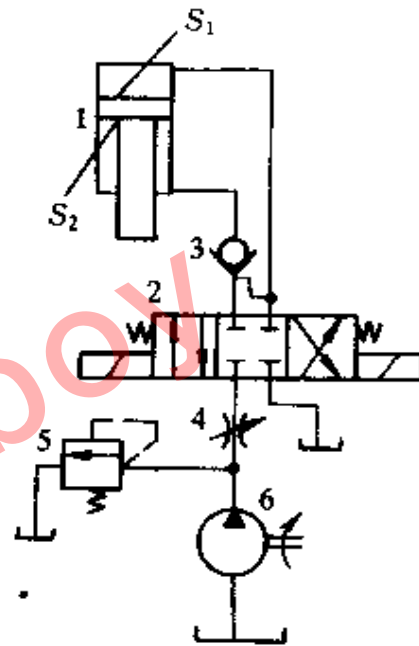


图 6-24 液控单向阀平衡回路

- 1—液压缸 2—电磁换向阀
3—单向阀 4—节流阀
5—溢流阀 6—液压泵

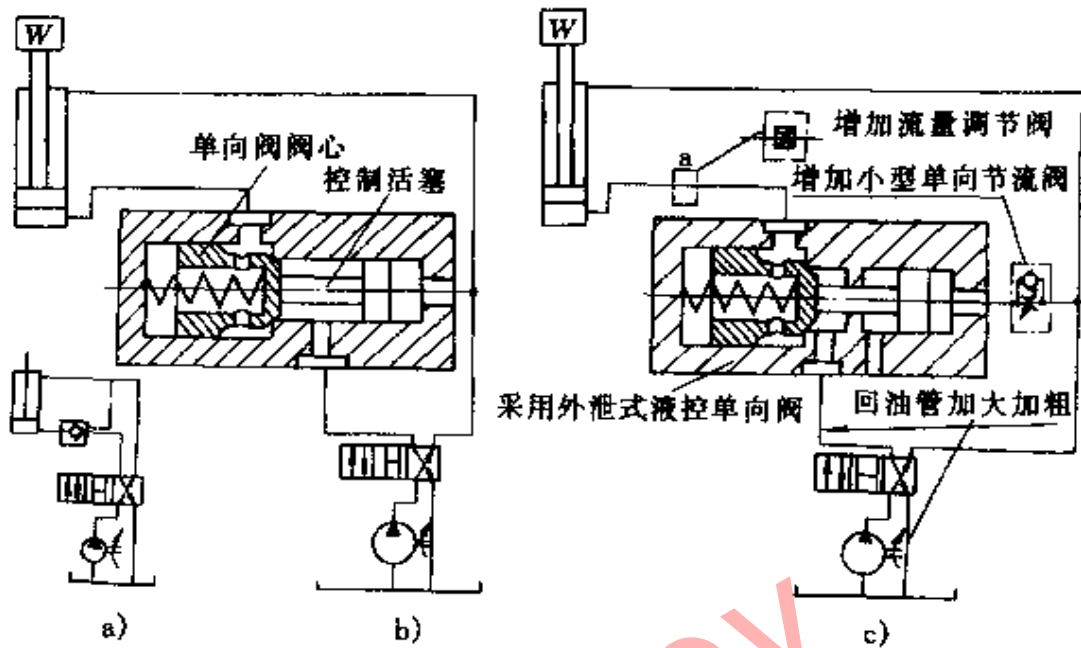


图 6-25 液控单向阀平衡回路

向阀，液压缸下腔回油，但此时因背压和冲击压力影响，单向阀的回油腔压力瞬时上升，又因单向阀为内泄式，当此压力比作用在控制活塞右端的压力大时，推回控制活塞，使单向阀关闭。单向阀一关闭，回油腔油流停止，压力下降，活塞又推开单向阀，这种频繁重复导致高频振动并伴有噪声。

当液压缸活塞下降时，单向阀全开，下腔没有背压，泵来不及填充液压缸上腔，单向阀因控制压力下降而关闭。单向阀关闭后，控制压力再一次上升、阀又被打开，液压缸活塞又开始下降。管路体积也参与影响，使液压缸低频振动。

排除：如图 6-25c 中所示：可将内泄式液控单向阀改为外泄式，加粗、减短回油配管，在液压缸和单向阀之间增设一流量调节阀，在单向阀的控制油管路上增设一单向节流阀。

二、方向控制回路的故障分析与排除

方向控制回路在液压系统中，可以控制执行元件的运动或停止状态及运动方向的改变。常见的方向控制回路有换向回路和锁紧回路。

1. 换向回路 通过换向阀来改变液压缸的运动状态与运动

方向的换向回路易出现的故障及排除方法如下：

(1) 液压缸不换向或换向不良 产生此故障有泵方面的原因，也有阀、液压缸及回路方面的原因。

排除：可参阅相关故障产生的详细原因和排除方法。

(2) 三位换向阀中位机能产生的故障 见表 6-1。

表 6-1 换向阀的中位机能及其特性

型 式	三位换向阀的中位机能		性 能 特 点									
	滑阀状态	职能符号		系统保压 (多缸系统不干涉)	系统卸荷	换向平稳性	换向精度	起动平稳性	油缸在任意位置可停性	油缸浮动的	可构成差动	换向冲油量
		四通	五通									
O				○		○	○	○				
H					○	○			△	○		大
Y				○		○	△			○		
J				○		○						
C						○	○					
P					○		○			○		存在

(续)

型 式	三位换向阀的中位机能		性能特点							
	滑阀状态	职能符号	系统保压 (多缸系统不干涉)	系统卸荷	换向平稳性	换向精度	起动平稳性	油缸在任意位置可停性	油缸浮动的 可构成差动	换向冲出量
		四通	五通							
K				○		△	△			
X					△	△				较大
M				○		○	○	○		
U				○		○	○		○	
N				○		○				

○好 △较好 空白:差

1) 系统的保压与不保压问题。当液压泵的P通口被O型中位机能断开时,系统保压;当P通口与回油箱的O通孔接通而又不太畅通时,如X型的中位机能阀,系统能维持某一较低的一定压力,供控制使用;当P与O畅通时,用H型和M型中位机能,则系统根本不保压。

排除:正确选用中位机能的换向阀。

2) 系统卸荷问题。换向阀选择中位机能为通口P与通口O

畅通的阀，如 H 型、M 型、K 型时，液压泵系统卸荷。

排除：正确选用中位职能的换向阀，避免造成液压缸不能动作的故障。

3) 换向平稳性和换向精度问题。当选用中位机能使通口 A 和 B 各自封闭的阀，液压缸换向时易产生液压冲击，换向平稳性差，但换向精度高。反之，当 A 与 B 都与 O 口接通时，换向过程中，液压缸不易迅速制动，换向精度低，但换向平稳性好，液压冲击小。

排除：根据需要选择正确中位职能的换向阀。

4) 起动平稳性问题。换向阀在中位时，液压缸某腔(或 A 腔或 B 腔)如接通油箱停机时间较长时，该腔油液流回油箱出现空腔，再起动时该腔内因无油液起缓冲作用而不能保证平稳的起动。

排除：使该腔内存有油液，就容易保证起动的平稳性。

5) 液压缸在任意位置的停止和“浮动”问题。当通口 A 和 B 接通时，卧式液压缸处于“浮动”状态，可以通过某些机械装置，改变工作台的位置；但立式油缸因自重却不能停在任意位置上。当通口 A 和 B 与通口 P 连接 (P 型) 时，液压缸可实现差动联接外，都能在任意位置停止。当选用 H 型时，如果换向阀的复位弹簧折断或漏装，此时虽然阀两端电磁铁断电，阀心因无弹簧力作用不能回复到中位，因此这种阀控制的液压缸不能在任意位置停住。

排除：注意中位机能的特性，正确使用换向阀。

(3) 液压缸返回行程时，噪声振动大，经常烧坏电磁铁 (交流) 如图 6-26 所示，产生的原因是电磁换向阀的规格太小；

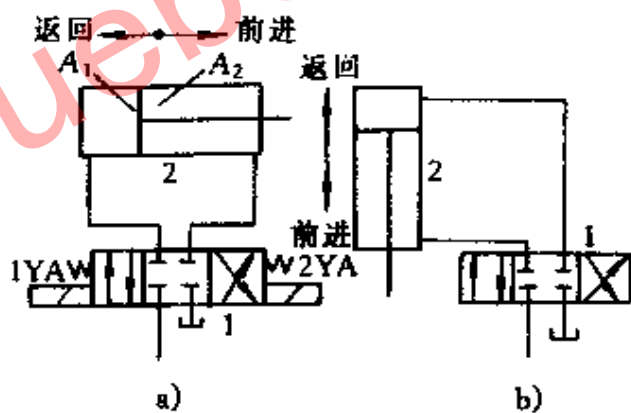


图 6-26 液压缸回程振动

1—换向阀 2—液压缸

连接阀 1 与缸 2 无杆腔的管路通畅较小。

排除：适当加大换向阀电磁铁的规格，适当加粗阀 1 与缸 2 无杆腔管路的通畅。

(4) 换向阀处于中间位置时，虽采用如 O 型机能之类的阀，液压缸仍然产生微动。产生微动的原因是液压缸本身的内、外泄漏量大；液压缸进出油口紧相接的阀内泄漏。

排除：消除液压缸本身的内泄漏；采用图 6-27 和图 6-28 所示的锁紧回路。

2. 锁紧回路 锁紧回路可以使工作部件在任意位置停留，并在停止工作时防止在受力情况下发生移动。

(1) 采用 O 型或 M 型阀 如图 6-26 所示，采用 O 型或 M 型阀时，阀心处于中位，液压缸的进出口都被封死，但液压缸仍不能可靠锁紧，产生的原因是滑阀式换向阀内泄量大，或阀心不能严守中位所致。

排除：减少内泄漏，也可在图 6-26a 处装设蓄能器补充油液。

(2) 图 6-27 所示的回路为阀座式液控单向阀锁紧回路，当缸内油液封闭，有异常突发性外力作用时，管路及缸内会产生异常高压，导致管路及缸损伤。

排除：可在图 6-28 中的 a、b 处各增加一安全阀。

(3) 换向阀的中位机能选用不对，液控单向阀不能迅速关闭，液压缸需经过一段时间后才能停住。在图 6-28 中，采用 O 型、M 型中位机能的阀，当换向阀处于中位时，由于液控单向阀的控制压力油被封死而不能使其立

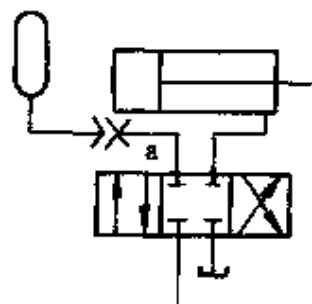


图 6-27 锁紧回路 (一)

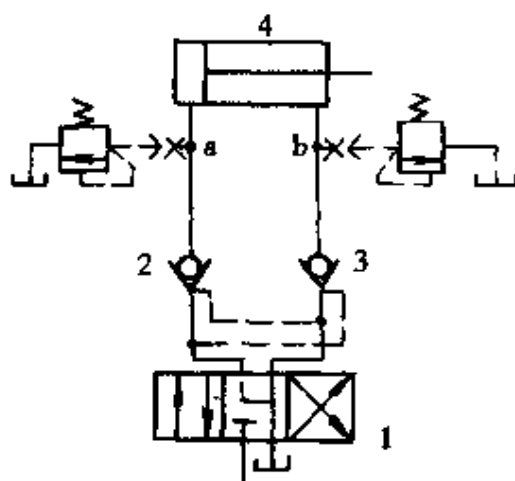


图 6-28 锁紧回路 (二)

1—换向阀 2、3—单向阀

4—液压缸

即关闭,直至由于换向阀的内泄漏使控制腔泄压后,单向阀才能关闭,这样,影响了锁紧精度。

排除:在双向锁紧回路中,三位换向阀的中位机能应选用H型、Y型为好。

三、调速回路的故障分析与排除

调速回路是用来调节执行元件工作速度的。一般由节流调速回路、容积调速回路和容积节流调速回路组成。

1. 节流调速回路 采用定量泵供油,由流量阀改变进入或流出执行元件的流量实现调速的回路,是节流调速回路。按流量阀在回路中安放的位置不同,它又有进口节流、出口节流和旁路节流三种形式。

(1) 三种节流调速回路固有特性产生的故障与排除方法如下:

1) 液压缸易发热,造成缸内泄漏增加。这是由于通过节流阀产生节流损失而发热的油直接进入液压缸造成的。

排除:尽量控制节流损失产生的热量。

2) 不能承受负值载荷(与活塞运动方向相同的负载),在负值负载下失控前冲,速度稳定性差。产生此故障的原因是进口节流和旁路节流调速回路的回油路上没有背压阀。

排除:在进口节流调速回路和旁路节流调速回路上加背压阀。但须相应调高溢流阀的调节能力。

3) 停机后工作部件再启动时冲击大。出口节流调速(旁路节流也同样)回路中,停机时液压缸回油腔内常因泄漏而形成空隙,再启动时泵瞬间的全部流量输入液压缸无杆工作腔,推动活塞快速前进,产生启动冲击,直至消除回油腔内的空隙建立起背压力后,才转入正常。

排除:启动时,不能直接让刀具加工工件,以免造成事故。另外,停机时,不使液压缸回油腔接通油池。

4) 压力继电器不能可靠发出信号或不能发出信号。出口节流调速回路中,压力继电器装在液压缸进油路中,不能发出信号,而进口或旁路节流调速回路中安装在液压缸进油路中,可以

发出信号。

排除：应保证压力继电器安装位置正确。

5) 密封容易损坏，出口节流密封损坏情况比进口节流和旁路节流要严重些。

排除：注意防范，采取措施降低密封摩擦力。

6) 难以实现更低的最低速度，调速范围窄，出口节流调速回路中，低速时通流面积要调的很小，节流阀口比较容易堵塞。

排除：进口节流调速回路的节流口在相同速度条件下可调得大些。

7) 速度高，负载大时刚性差。进口节流和出口节流在速度高、负载大时，刚性也差。旁路节流方式在速度高、负载大时，则刚性好些。

排除：可根据需要选定回路。

8) 系统功率损失大，容易发热。进口节流和出口节流存在着节流损失和溢流损失，功率损失大，发热也相对较大。旁路节流只有节流损失，无溢流损失，且工作压力与负载有一定的匹配关系，功率损失相对较小，发热也少些。

排除：可根据需要确定回路。

(2) 爬行 进口节流和旁路节流方式在某种低速区域内易产生爬行，而出口节流防爬性能好些。“进口节流+固定背压”方式在背压较小时，还有可能爬行，抗负值负载的能力也差。

排除：提高背压值，可减少爬行，但效率降低。可采用自调背压方式解决。

(3) 泵的起动冲击 三种节流调速方式在负载下起动及溢流阀动作不灵时，均产生泵的起动冲击。

排除：卸载起动及选用动作灵敏超调压力小的溢流阀可以防止起动冲击。

(4) 快转工进的冲击——前冲 即运动部件由高速突然转到低速，在惯性作用下，前冲一段距离后才稳定低速运动。产生的具体原因及排除方法有：

1) 流速变化太快, 流量突变引起泵的输出压力突然升高, 产生冲击。

排除: 采用正确的速度转换方法。其中, 电磁阀转换方式冲击较大, 转换精度较低、可靠性较差, 但控制灵活性较大。电液动换向阀使用带阻尼的电流阀通过调节阻尼大小, 使速度转换过程减慢, 可在一定程度上减少前冲。用行程阀转换, 冲击较小; 采用“电磁阀加电容器”, 使电磁铁缓慢断电, 此法简易可行。采用“电磁阀加蓄能器”回路, 利用蓄能器吸收冲击压力。

2) 速度突变引起压力突变造成冲击。

排除: 在双泵供油回路快进时, 用电磁阀使大流量泵提前卸荷, 减速后再转工进。

3) 进口节流时, 调速阀中的定压差减压阀来不及起到稳定节流阀前后压差的作用, 瞬时节流阀前后的压差大, 通过调速阀的流量大, 造成前冲。

排除: 在出口节流时, 提高调速阀中定压差减压阀的灵敏性, 或者拆修该阀并采取去毛刺清洗等措施, 使定压差减压阀运动灵活自如。

(5) 工进转快退的冲击 产生的原因有: 压力突减, 产生冲击; 采用 H 型换向阀或多个阀控制时, 动作时间不一致, 使前后腔能量释放不均衡或造成短时差动状态。

排除: 调节带阻尼的电液动换向阀的阻尼, 加快其换向速度; 不采用 H 型换向阀, 改用其他中位机能阀; 尽量用一个阀控制动作的转换。

(6) 快退转停止的冲击——后座冲击: 当行程终点的控制方式及换向阀主阀心的机能选用不当造成速度突减, 使缸后腔压力突升, 流量的突减使液压泵压力突升; 空气的进入, 均会造成后座冲击。

排除: 采用带阻尼可调慢换向速度的电液换向阀或采用“电磁阀加电容器”进行控制。采用动作灵活的溢流阀, 停止时马上能溢流。采用合适的换向阀中位机能。如 Y 型、J 型或 M 型。采取防止空气进入系统的措施。

2. 容积调速回路 容积调速回路是由泵与马达（或液压缸）组成的、且以调节泵的排量或马达的排量来改变马达输出转速（液压缸的往复速度）的回路。其主要故障及排除方法有：

(1) 液压马达产生超速运动 在图 6-29 中，由于受重物的负载、外界的干扰及换向冲击力等的影响，液压马达常产生超速（超限）转动的现象。

排除：可在图 6-29 回路的基础上，增设一平衡阀（液控顺序阀），如图 6-30 所示。当出现液压马达超速转动时，平衡阀的控制压力下降，平衡阀关小液压马达的回油，起出口节流作用，从而避免了液压马达的超速转动。

(2) 液压马达不能迅速停机 这是由于马达的回转件和负载的惯性所致。

排除：可在液压马达的回油路中安装一溢流阀，如图 6-31a 中阀 5、6-31b 中阀 6，使液压马达回油受到溢流阀所调节的背压力产生制动力而被迅速制动。

(3) 液压马达产生气穴 在图 6-31a 的回路中，当液压泵 7 停转，液压马达 6 因惯性继续回转，此时，液压马达起泵的作用。由于是闭回路，就会产生吸空现象而导致气穴。

排除：可设置单向阀 1 和 2，当液压马达起泵作用而管内油被吸空时，大气压可将油箱内油液通过单向阀 1 或 2 压入管内，作为双向补油之用，避免气穴产生。

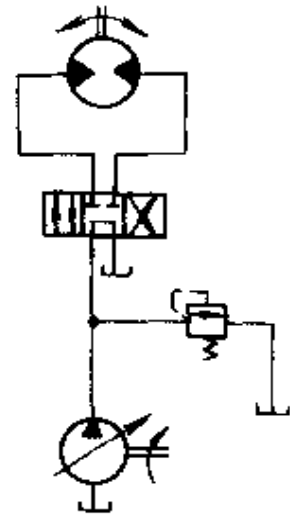


图 6-29 起重时易超速转动

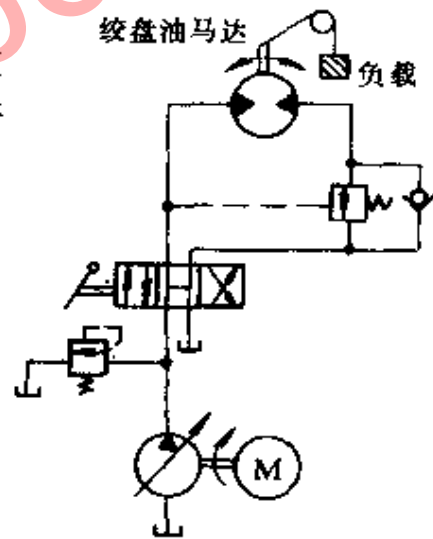


图 6-30 加装平衡阀回路

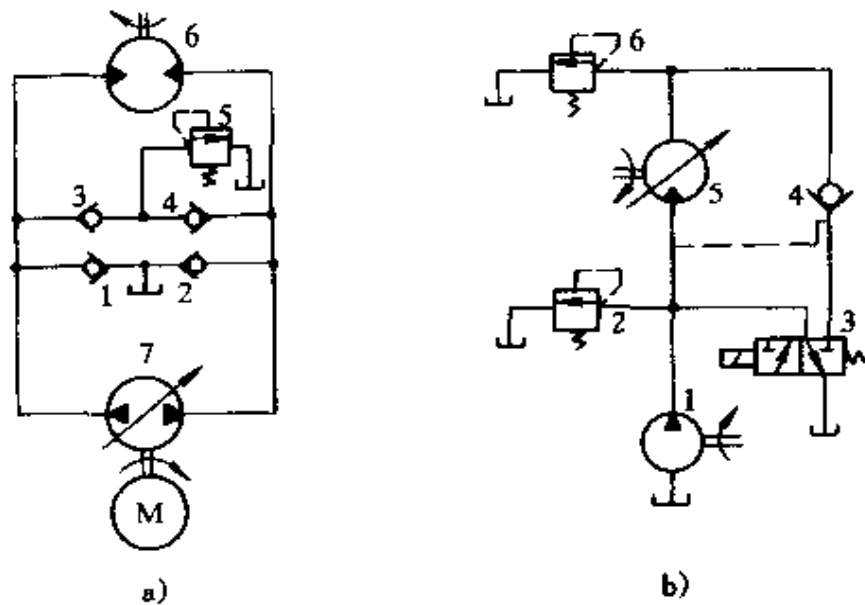


图 6-31 消除惯性产生的故障回路

- a) 变量泵油路: 1、2、3、4—单向阀 5—溢流阀 6—液压马达 7—液压泵
 b) 定量泵油路: 1—液压泵 2、6—溢流阀 3—电磁阀 4—单向阀 5—液压马达

(4) 液压马达转速下降, 输出扭矩减少, 这是由于长时间使用后, 泵与液压马达内部零件磨损造成输出流量不够和内泄漏增大所致。

排除: 参考泵与液压马达部分内容。

(5) 闭式容积调速回路的油液易老化变质 这是由于闭式回路中, 大部分油液很难与外界交换即被泵吸入送到液压马达再循环, 加之回路的散热条件差, 温度高, 油液易老化变质。

排除: 通过换向阀强制排油, 使回路内油液与敞开式油箱进行油液交换, 辅助泵仍然担负向闭式回路低压油管内补充油液, 通过阀排出的热油经油冷却器冷却, 可改善油的冷却条件。

3. 联合调速液压回路 联合调速液压回路是指调速方式由节流调速和容积调速结合的调速回路。

(1) 限压式变量泵加调速阀联合回路的故障及排除:

1) 液压缸活塞运动速度不稳定, 这是限压式变量泵的限压螺钉调节得不适合所致。

压缸工作面积的情况下，实现上述运动过程。可采用快速运动回路，而各种快速回路又因不同的结构而各具特点。

1. 双泵供油快速回路

如图 6-34 所示，系统中采用高压小流量泵和低压大流量泵双泵供油。快进时，泵 2 输出的油经单向阀 4 和泵 1 输出的油汇合共同向系统供油。工进时，系统压力增高，卸荷阀 5 打开，泵 2 卸荷，阀 4 关闭，系统由泵 1 单独供油。这种回路的故障与排除方法如下：

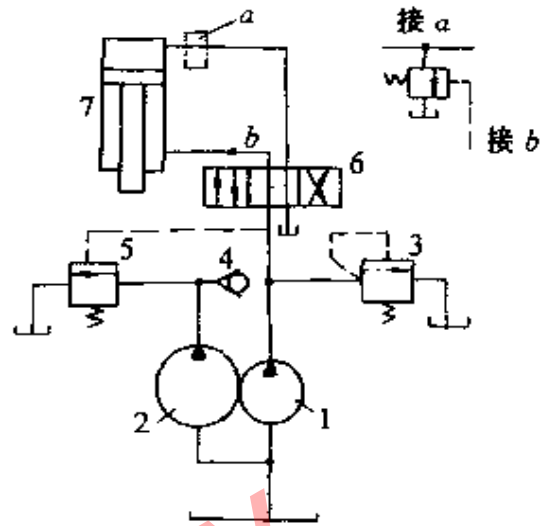


图 6-34 Y71-45 型塑料制品
液压机油路

1—高压小流量泵 2—低压大流量泵
3—溢流阀 4—单向阀 5—卸荷阀
6—换向阀 7—液压缸

(1) 电动机发热严重，甚至出现泵轴断裂。在图 6-34 中，单向阀 4 卡死在较大开度位置或阀 4 的阀心锥面磨损或有较深凹槽，使工进时泵 1 输出的高压油反灌到泵 2 的出油口，使大流量的泵 2 输出负载增大，导致电动机的输出功率大大增加而过载发热，有时烧坏电动机，甚至出现泵轴断裂现象。

排除：修复单向阀，使之运动灵活，阀心与阀座密合。

(2) 工作压力不能升到最高。可参考卸荷回路部分内容。

1) 溢流阀 3，卸荷阀 5 出现故障，可导致系统压力上不去。

排除：拆修溢流阀，卸荷阀，恢复其功能。

2) 泵 1 使用时间较长，内泄漏较大，容积效率严重下降。

排除：修复旧泵或更换成新泵。

3) 液压缸 7 的活塞密封破损，造成压力上不去。

排除：更换液压缸密封。

(3) 液压缸返回行程。此时系统发热、时常有噪声、振动发生。在图 6-34 中，阀 6 的型号虽然按高低压泵的总流量选择，

阀径较大。但回程（向下运动）时，回程腔作用面积（ A_2 ）小，工作压力高，一般情况是低压泵卸荷、仅高压泵工作，这时工作腔的回油流量 $Q_{回} = Q_1 \text{ 高压泵流量} \times \frac{A_1 \text{ 工作腔面积}}{A_2 \text{ 回油腔面积}} = Q_1 K$ ，如果 $Q_{回} \leq Q_1 \text{ 高压泵流量} + Q_2 \text{ 低压泵流量}$ ，则可通过换向阀顺利回油，但如 $Q_{回} > Q_1 + Q_2$ ，则回油背压高，造成系统发热、噪声和振动。

排除：可在图 6-34 中 a 处加装一小流量卸荷阀，其额定流量按 $Q_{回} - (Q_1 + Q_2)$ 选取。

(4) 低压大流量泵工作时不卸荷 溢流阀 3 的调节压力比卸荷阀 5 的调节压力低所致。

排除：溢流阀的压力至少要高于卸荷阀压力 0.5MPa 以上。

2. 差动连接快速回路 如图 6-35 所示，1YA、3YA 通电，缸 6 实现向右差动快进。工进时，3YA 断电，缸 6 快退时，仅 2YA 通电。

这种差动连接快速回路易产生的故障及排除方法如下：

(1) 液压缸不能差动快进

这是因为作用在活塞上的有效推力 F 较小所致。有效推力可按下式计算：

$$F = p_0(A_1 - A_2) - (\Delta p_1 A_1 + \Delta p_2 A_2) - \Delta F$$

式中 A_1 ——活塞缸侧液压缸面积；

A_2 ——活塞缸侧液压缸有效面积；

p_0 ——汇流点的压力；

Δp_1 ——由汇流点到无杆侧进口之间的压力损失；

Δp_2 ——由有杆侧进口到汇流点的压力损失；

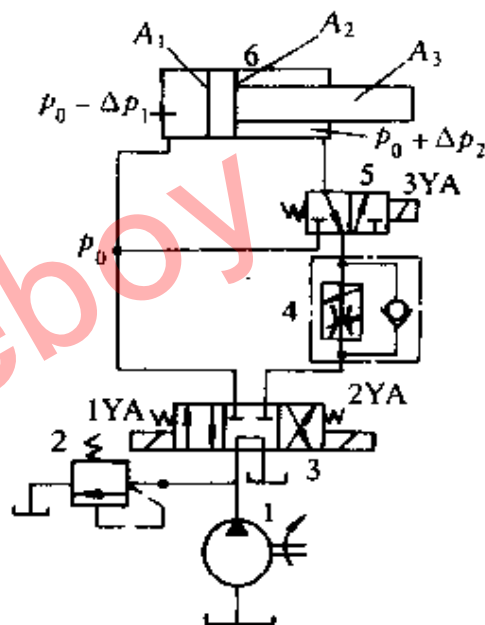


图 6-35 差动联接快速回路

1—液压泵 2—溢流阀

3—电磁换向阀 4—节流阀

5—换向阀 6—液压缸

ΔF ——液压缸本身的阻力损失；

F ——有效推力（差动快进时的外负载）。

排除：增大有效推力 F ，即设法减少上式右边的各种因素。

(2) 差动速度需调节回路 在出口节流控制中常常在液压缸右杆侧产生远大于泵压的高压。进口节流控制的油路，节流阀出口压力往往大于泵压而断流不能调速，如图 6-36 中 a、b 所示。

排除：可采用图 6-36 中 c 的回路使差动速度控制正常。

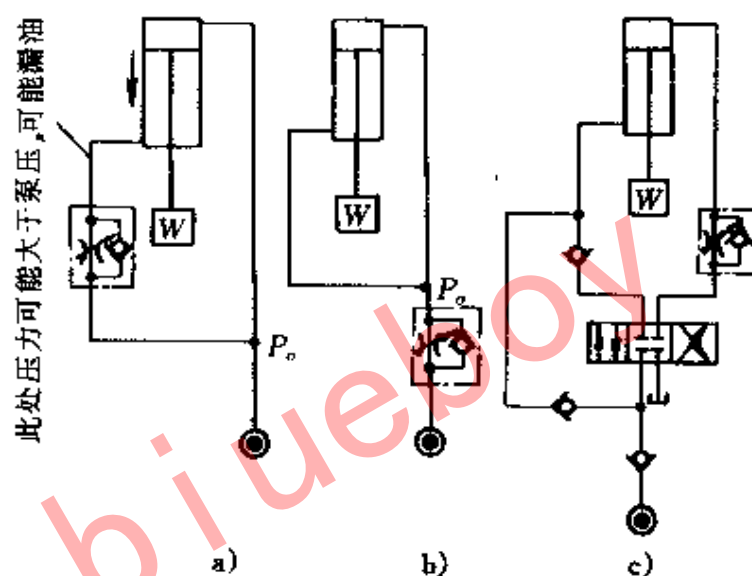


图 6-36 调节差动速度的回路

(3) 差动回路中，慢快转换不平稳，有冲击产生。

排除：参阅节流调速回路。

3. 靠滑块（活塞杆、活塞）自重下降的快速回路 如图 6-37 所示是靠滑块自重下降的快速回路，回路是靠悬挂的重量（滑块、活塞及活塞杆）克服摩擦力和回油背压，迅速将液压缸下腔的油经换向阀压回油箱，实现快速下降（空行程）的回路。

此种回路易产生的故障及排除方法如下：

(1) 无快速下降空行程或下降空程速度慢。具体产生原因及排除方法如下：

1) 活塞、活塞杆及滑块的重量轻。

排除：加大活塞、活塞杆及滑块重量。设计时就要定好。

2) 液压缸密封及滑块导轨的阻力太大；缸体内孔、活塞杆、活塞、缸盖孔拉毛或不同轴。

排除：检查滑块导轨是否别劲，活塞及活塞杆密封是否压缩量过大，活塞与活塞杆、缸孔及缸盖孔是否加工同轴与安装同轴，是否活塞与缸盖上的密封槽加工偏心装上密封后单边有很大偏心摩擦负载，是否有污物或毛刺卡住活塞与活塞杆（或柱塞）等，并根据检查的具体情况，予以处理。

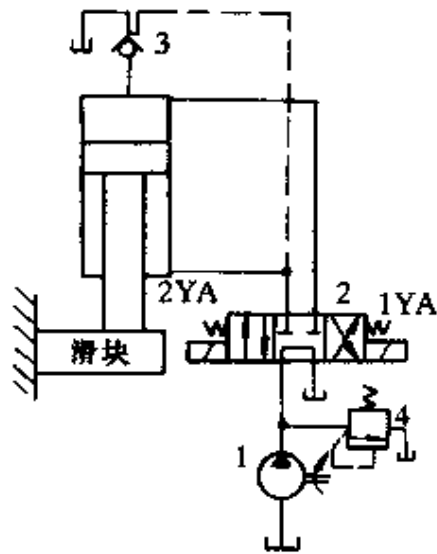


图 6-37 靠自重下降的快速回路

3) 液压缸下腔的回油背压阻力太大。

排除：可加大回油管径，减少弯曲部位，适当调大背压阀减小背压值等。

(2) 快进（空行程）转工进时速度换接时间长 具体产生的原因及排除方法如下：

1) 充液阀的通径太小。

排除：加大充液阀通径。

2) 充液阀的弹簧较硬。

排除：适当降低较硬弹簧的刚性。

3) 充液管道尺寸偏小。

排除：适当加粗充液管道的内径尺寸，疏通管道，推荐流速为 $3\sim 4\text{m/s}$ 。

4) 充液箱油面太低。

排除：充液油箱油面加至油标规定位置。

(3) 在快速下降过程中，不能停住，继续慢慢或仍以快速下降 慢速下降，往往是换向阀及液压缸泄漏较大造成。快速下降

是换向阀的故障：如换向不到位，控制电路或阀 2 两端的复位弹簧不能使换向阀 2 回到中位造成。

排除：修复或更换换向阀，也可在液压缸下腔的回油路上加设平衡锁紧回路，但要注意平衡回路工作中出现的不稳定的影响。

4. 用蓄能器的快速回路 如图 6-38 所示的回路是用蓄能器的快速回路。

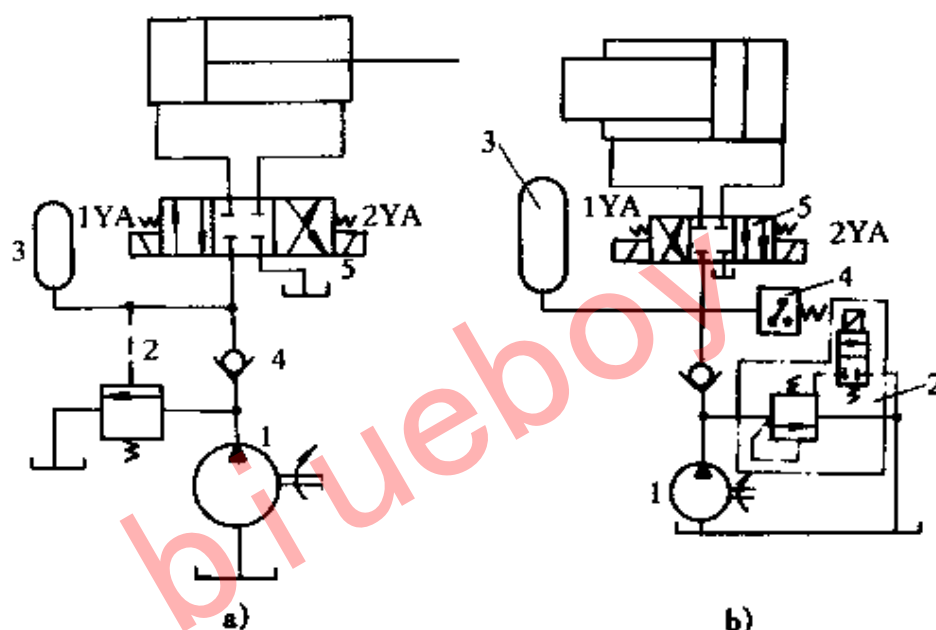


图 6-38 用蓄能器的回路

a) 1—液压泵 2—卸荷阀 3—蓄能器 4—单向阀 5—换向阀

b) 1—液压泵 2—溢流阀 3—蓄能器 4—压力继电器 5—换向阀

当系统短期需要大流量时，采用蓄能器和液压泵同时向系统供油，就可以用较小流量的泵获得快速运动。

这种回路的主要故障是蓄能器不能补油而造成没有快速运动。

(1) 蓄能器充油不充分 图 6-38 中，当换向阀 5 处于中间位置时，不停泵向蓄能器供油贮能，如果充油时间太短，蓄能器充油不充分，转入快进时所能提供的压力流量也就不充分。

排除：要确保足够的时间给蓄能器充液。

(2) 蓄能器不能充油 当卸荷阀 2 或电磁溢流阀 2 有故障时, 造成电磁换向阀中位时液压泵总是卸荷不能给蓄能器充液, 转入快进时也无油可释放。

排除: 修理或更换卸荷阀或溢流阀, 保证换向阀 5 处于中位时, 泵能充分使蓄能器充液。

第三节 查找液压系统故障的方法

为了保证液压元件和液压系统在出现故障后能尽快恢复正常运转, 正确而果断地判断故障的原因, 迅速而有效地排除故障是使用液压设备的重要环节。以下具体叙述一些通常查找液压故障的方法。

一、根据液压系统图查找

液压系统图是设备液压部分的工作原理图, 它表示了系统中各液压元件的动作原理和控制方法。

1. 方法 简言之, “抓两头, 连中间”。抓两头——即抓动力源(油泵)和执行元件(油缸), 然后是“连中间”, 即从动力源到执行元件之间经过的管件和控制元件。要对照实物, 逐个检查(特别注意诸如发讯元件不发讯、发讯不动作, 主油路与控制油路之间错接而干涉等问题), 找出原因, 着手排除。

2. 举例 以图6-39所示, 说明如何查找液压故障。

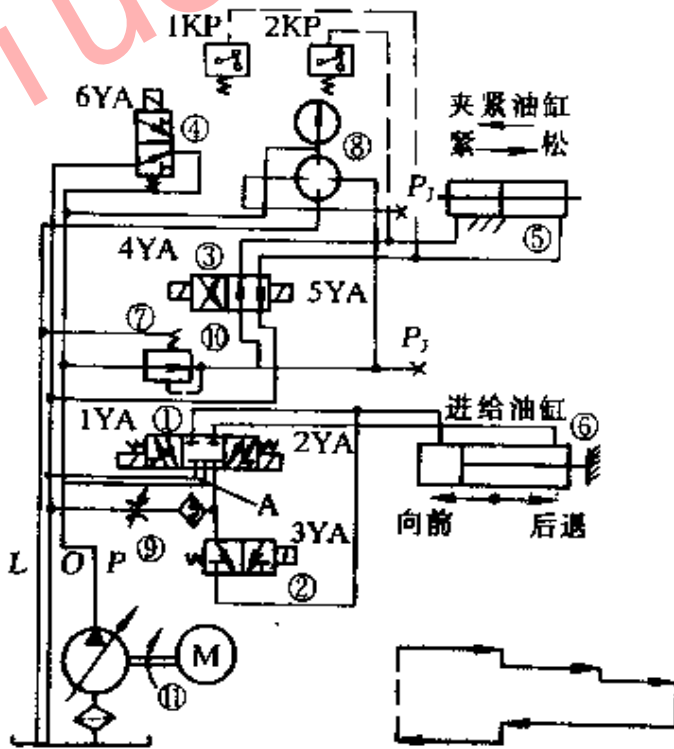



图 6-39 某组合机床液压系统图

假设故障为工件不

夹紧，即夹紧液压缸⑤不能向左运动。

查找时，对照液压系统图，先查动力源和执行元件，即查液压泵和液压缸⑤。检查液压泵是否因无油液输出和压力不够造成液压缸不动作，再检查夹紧液压缸本身是否因某些原因不动作。如果动力源和液压缸无不正常，接着查找液压系统中间环节，即减压阀⑦、单向阀⑩及电磁阀③。从电磁铁动作表中得知，4YA应该通电，电磁换向阀处于“”工作位置（左位），否则不能夹紧。此时要确认4YA是否通电，如不通电，则要检查电器故障。另外，油路如果虽导通，但进入夹紧缸⑤右腔的压力油压力不足，也可能使液压缸⑤不动作，则要检查减压阀是否卡死在小开度位置，引起压力不够。如果6YA不通电，液压泵来的油经电磁阀④流回油箱而卸荷，液压缸⑤也无夹紧动作。

这样，便利用液压系统图通过分析，找出无夹紧动作故障的原因。

二、利用动作循环表查找

1. 方法 通过将故障（现象）与动作循环表中有——对应关系的三部分（表6-2）。即表左边的动作循环过程内容、中间的循环过程中一个动作转到另一个动作的信号来源及表右边的各循环动作中，各液压元件应处的正常位置进行对照，其原因即刻查出。

2. 举例 以M8612A型花键轴磨床为例。表6-2为该机床的动作循环表。

假设花键磨床工作台停在分度位置，而头架不作分度动作。查找时，可在表的左边找到循环序号4为头架分度循环，其转换信号来源为二位四通阀6F，表的右边分别标明各相关件应处的正常位置，经——对照检查，即可查出故障原因。

三、利用因果图查找

1. 方法 将影响故障的各主要因素和次要因素编制成因果图，利用这种图进行逐件逐因素地深入分析排除，可查出故障原因。

表 6-2 动作循环表

循环序号	循环单元	引起循环单元转换的信号来源	有关液压控制元件的正常工作位置											
			开停阀 a	节流阀 b	导向阀 d	换向阀 c	分度开关 8F	联锁阀 7F	二位六通阀 10F	二位三通阀 9F	分度选择阀 1F	二位四通阀 6F	分度滑阀 2F	插销活塞 g
1	工作台左行	左端撞块	开	开	左	左	上	右	右	分度	左	右	右	右
2	工作台在分度位置停止	右端撞块	开	开	右	中	下	左	左	分度	右	右	右	右
3	插销拔出	二位四通阀 6F	开	开	右	中	下	左	左	分度	右	右	左	右
4	头架分度	二位四通阀 6F	开	开	右	中	下	左	左	分度	右	右	左	左
5	插销插入	分度滑阀 2F	开	开	右	中	下	左	左	分度	右	左	右	左
6	工作台右行	二位六通阀 10F	开	开	右	右	上	右	右	分度	左	右	右	左
7	工作台换向后重复循环	左端撞块	开	开	左	左	上	右	右	分度	左	右	右	右

2. 举例 图 6-40 为液压缸泄漏的因果图，编制出因果图后，根据图中所列的逐项，查找液压缸外泄漏的原因。

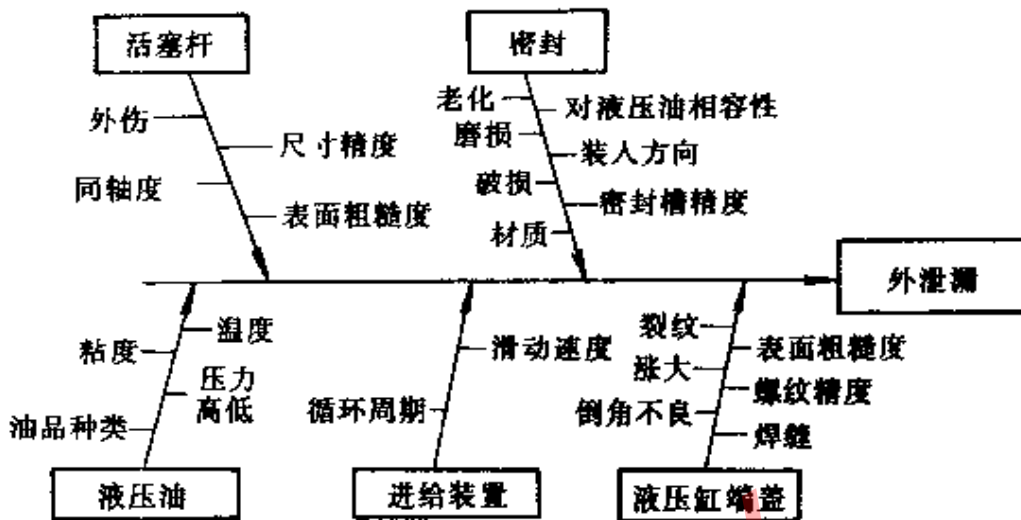


图 6-40 液压缸外泄漏因果图

四、通过滤油器查找

1. 方法 利用在拆洗滤油器时，对滤心表面上贴附的污物进行分析即可发现某些液压故障。

2. 举例 如在滤心表面发现铜屑粒，则可分析出液压系统的某些铜制的零件或液压元件有了严重的磨损和拉伤，进而可知道诸如柱塞泵的缸体、滑履这类用铜制造的零件发生了磨损。

五、实验查找

1. 方法 通过实验的方法来查找故障。具体的实验可根据故障的不同面进行，一般的实验方法有：隔离法、比较法和综合法。

(1) 隔离法 隔离法是将故障可能原因中的某一个或几个隔离开的实验方法。可能出现两种情况：一是隔离后故障随之消失，说明隔离的原因便是引起故障的真实原因；二是故障依然存在，说明隔离的原因不是该故障的真实原因，此时，继续隔离其他原因进行查找。

(2) 比较法 比较法是指对可能引起故障的某一原因的零部

件进行调整或更动的实验方法。情况有两个：一是对原故障现象无任何影响，说明该原因不是故障的真实原因；二是故障现象随之变化，则说明它就是故障的真正原因。为更能说明问题，一般按有利于故障消失的方向调整变动零件。

(3) 综合法 综合法是同时应用上述两种方法的实验方法，用于故障原因较复杂的系统。

2. 应遵循的原则

1) 实验时，不能进行有损液压设备的试验。

2) 实验前，先对液压设备的工作原理、传动系统、结构特征等方面综合分析产生故障的可能原因，再着手利用上述几种实验方法进行实验。

3) 实验应有明确的目的，并且对实验中可能出现的各种情况、原因、相应的措施都要有事先的充分估计和周密考虑。

4) 要科学合理地编排出实验顺序，原则上应“先易后难”，先“重要后次要”。

3. 举例 如 M7120A 型平面磨床出现“工作台撞动撞块再拨动先导换向阀后，偶然出现不换位冲出撞缸”的故障。其工作台换向油路，见图 6-41。

具体实验步骤如下

(1) 分析故障产生的原因 实验前，先对产生故障（即换向阀无动作或动作迟缓的可能原因分析如下：

1) 先导阀通向换向阀的辅助油路不畅通。

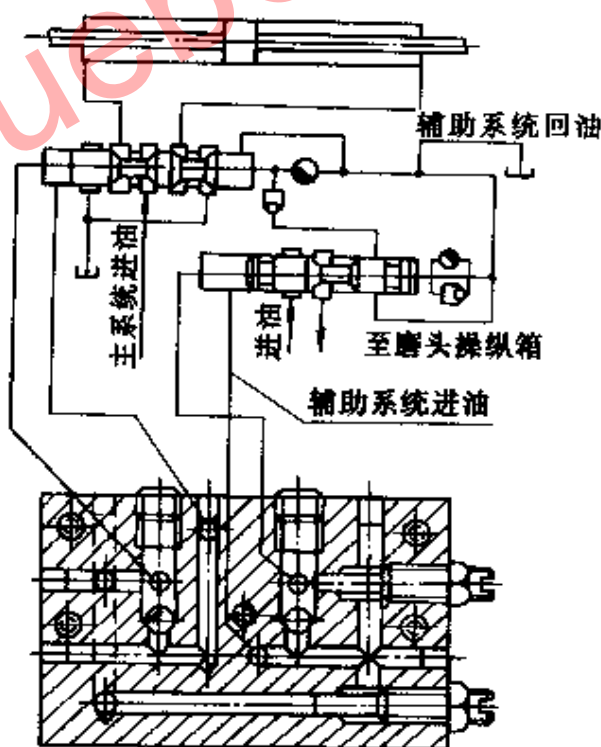


图 6-41 M7120A 型平面磨床
工作台换向油路

- 2) 换向阀间隙太小或划伤,或因污物卡住,动作有时不灵活。
- 3) 换向调节节流阀失去作用。

4) 换向阀两端进油,单向阀钢球在液流卷吸作用下贴住堵在进油口小孔上,使进油受阻。

(2) 编排实验顺序 按可能性大小确定实验顺序应为 4)、2)、3)、1),而按实验的难易程度确定实验的顺序则为:3)、4)、2)、1)。这样,选择 3)、4)、2)、1)的排列为实验的顺序。

(3) 进行实验 将原换向调节节流阀心取下,用一短螺钉拧入原螺孔,以封住该螺孔口。这样,相当于取消了节流阀。此时,机床工作故障仍无改变,即可排除原因。

另一个实验方法是,在单向阀中加装一适当长度的细弹簧,以改变辅助油通过单向阀将钢球托起时的力平衡关系。使钢球升起高度至换向阀端头进油小孔的距离足够大,摆脱液流的卷吸影响。此时,开动机床,长时间试车不再出现故障,而且,调节换向节流阀有明显的控制作用,说明故障由换向阀两端进油,单向阀钢球贴堵在进油口小孔上引起。

六、实用感官查找

1. 方法 此方法是通过人的感觉器官去检查、识别及判断设备工作中出现的故障,并且进行处理的一种方法。它可利用询问、眼睛看、耳朵听、鼻子闻、用手摸及第六感官的灵感与意念等方法简便快速地对设备进行诊断。

2. 举例 利用手指的触觉,检查是否发生振动,冲击及油温升等故障。用手触摸泵的壳体或液压油时,根据凉热程度判断是否液压系统有异常温升,并判明温升原因和升温部位。

七、应用铁谱技术查找

1. 方法 此方法是利用铁的磁性,将液体工作介质中各种磨损微粒和其他污染微粒分离和分析出来,再通过铁谱技术对微粒的相对数量、形态、尺寸大小和分布规律、颜色、成分以及组成元素等做出分析判断。再根据这些信息就可准确地得到液压设备液压系统的磨损部位、磨损形式、磨损程度甚至液压元件完全

失效的结论。从而为机械液压设备液压系统的状态监控和故障诊断提供科学的、可靠的依据。

2. 举例 如在斜盘式轴向柱塞泵的液压系统中，油样经铁谱分析发现铜磨粒时，可能是来自油泵铜滑套和铜缸体的磨损。当发现有大量非金属杂质纤维时，可能是过滤器有部分损伤。如发现其中有磨粒呈回火蓝色，知道柱塞泵中存有局部的摩擦高温，它可能来自液压泵的配流盘处。如在油样中发现有红色氧化铁磨粒，则可断定油液中混入了水分等。

八、区域分析与综合分析查找

1. 方法 区域分析是根据故障的现象和特征，对系统部分区域进行局部的分析，检测局部区域内元件的情况，查明原因采取对策。

综合分析是对系统故障作出全面的分析来查找原因，制定措施。

2. 举例 如活塞杆处漏油或泵轴油封漏油的故障。因为漏油部位已经确定在活塞杆或泵轴的局部区域，可用区域分析的方法，找出可能是活塞杆拉伤或泵轴拉伤磨损，也可能是该部的密封失效，可采取局部对策排除故障。

九、间接检测查找

1. 方法 故障不是直接检查，而是通过测量其他的项目，间接地推断出其发生的原因。

2. 举例 如液压泵的磨损程度可通过间接地检测振动来做出判断。

十、利用检测仪表查找

1. 方法 通过某些仪器、仪表及器具对液压系统的检测，从中进行观察和记录，从而对故障作出比较准确的定量分析。

2. 举例 如果能通过系统中的压力表和压力表开关，观察系统各部分的压力及压力变化状况，分析压力上不去下不来，压力脉动等故障的部位，进而查找原因。

十一、利用设备的自诊断功能查找

1. 方法 通过设备上的电子计算机的辅助功能 (M) 功能, 接口电路及传感技术, 可对液压机床的某些故障进行自诊断, 并在荧光屏上显示, 可根据显示的故障内容进行排除。

2. 举例 如某企业引进的 HR7A 型、HR5B 型等加工中心机床, 通过按 [PARAM] 键和 [N] 键, 可在荧光屏上显示 PC 参数, 每一个参数有 8 位数, 操作者可根据每一位显示的数据是“0”还是“1”判断出是否有故障。

十二、利用在线监测检修测试器查找

1. 方法 将一种检测时进入系统, 正常工作时返回以恢复原工况的测试器联接在液压系统相应的部位, 测得所需信息, 根据信息的处理、分析来查找故障原因。

2. 举例 在图 6-42b 所示的液压系统中, 当液压缸 18 出现双向

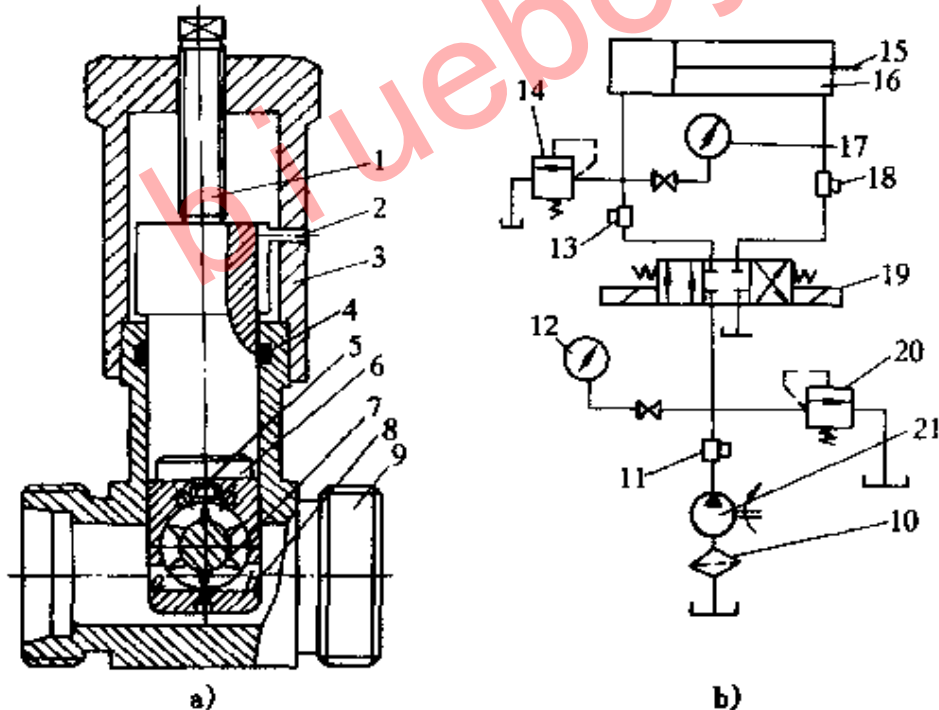


图 6-42 测试器及液压系统图

a) 测试器结构图 b) 液压系统图

- 1—螺栓 2—螺钉 3—顶盖 4—密封圈 5—磁敏电阻 6—侧板 7—叶轮
8—测试杆 9—测试座 10—过滤网 11、13、18—测试器 12、17—压力表
14、20—溢流阀 15—活塞杆 16—液压缸 19—方向阀 21—泵

无动作故障时,可在液压回路图 6-42b 中的 12、15、16 三个位置处,联接上如图 6-42a 所示的三个测试器,以对系统故障进行判断。

故障诊断的分析过程如图 6-43 所示。

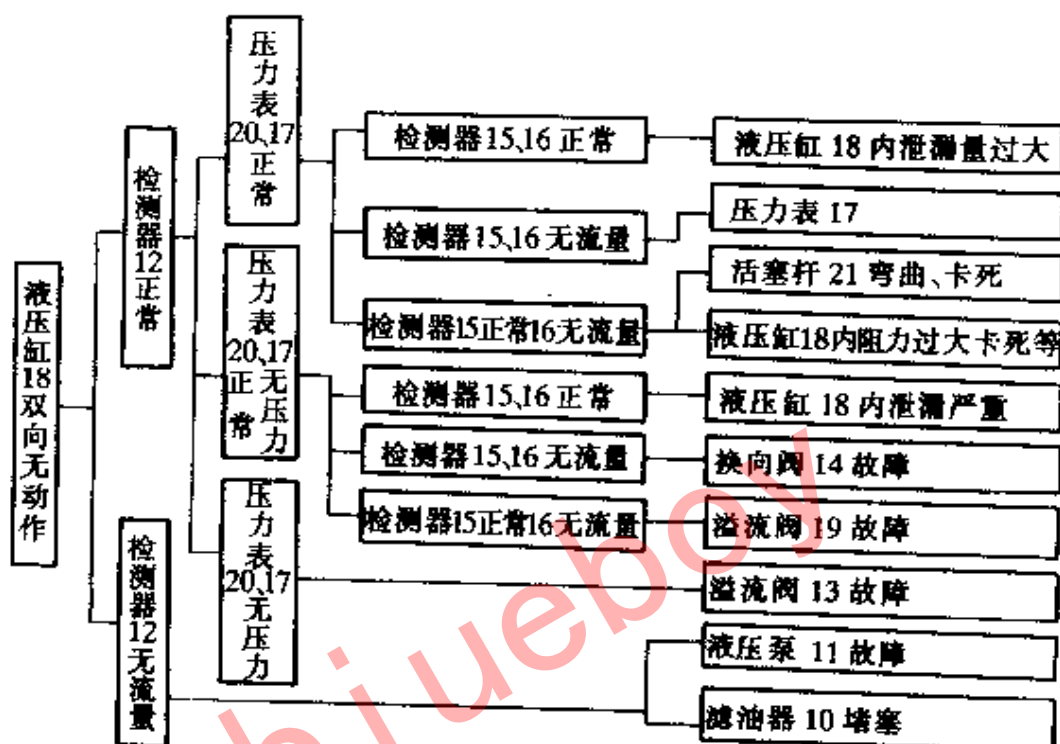


图 6-43 液压故障判别分析框图

第四节 液压系统常见故障与排除

一、系统的工作压力失常,压力上不去

液压系统的工作压力失常,将破坏系统的正常工作循环,使液压设备不能工作。并伴有系统的噪声,执行部件的运动速度降低及爬行等故障。其产生原因及排除方法如下:

1) 液压泵转向不对,造成系统压力失常。

排除:调换电动机接线。

2) 电动机转速过低,功率不足,或液压泵磨损,泄漏大,导致输出流量不够。

排除:更换功率匹配的电动机;修换磨损严重的液压泵。

3) 液压泵进出油口装反。当泵是不可反转泵时,不但不上油,还冲坏油封。

排除:纠正液压泵进出口方位,特别是对不可反转的泵更要注意安装方位。

4) 其他原因。如泵的吸油管较细,吸油管密封不好漏气,油液粘度太高、滤油器被杂质污物堵塞造成泵吸油阻力大,产生吸空现象等,使泵输出流量不够,系统压力上不去。

排除:适当加粗泵吸油管尺寸,加强吸油管路接头处密封,使用粘度适当的油液,清洗滤油器等。

5) 溢流阀等压力调节阀的故障。如溢流阀阀心卡死在大开口位置,使压力油与回油路短接;压力阀阻尼孔堵塞;调压弹簧折断;溢流阀阀心卡死在关闭位置,使系统压力下不来。

排除:参阅压力阀有关内容,进行排除。

6) 在工作过程中出现压力上不去或压力下不来,可能是换向阀失灵;或者阀心与阀体之间严重内泄漏;或卸荷阀卡死在卸荷位置。

排除:参阅方向阀、卸荷阀有关内容,予以排除。

7) 系统内外泄漏。

排除:查明泄漏位置,解决泄漏故障。

二、欠速

欠速故障影响生产效率。大负载时,常使设备不能正常工作。需要快速运动加工时,常因速度不够而影响磨削的表面粗糙度值。其产生的原因及排除如下:

1) 液压泵的输出流量不够,输出压力提不高,导致快速运动的速度不够。

排除:参阅液压泵有关内容,予以排除。

2) 溢流阀因弹簧永久变形或错装成弱弹簧、主阀心阻尼孔被局部堵塞、主阀心卡死在小开口的位置,造成液压泵输出的压力油部分溢回油箱,通入系统供给执行元件的有效流量大为减少,导致快速运动的速度不够。

排除：参阅溢流阀等压力阀有关故障的排除方法进行排除。

3) 系统的内外泄漏导致速度上不去。

排除：找出泄漏位置，消除内外泄漏。

4) 导轨润滑断油，镶条压板调得过紧，液压缸的安装精度和装配精度等原因，造成的快进时阻力大使速度上不去。

排除：查找具体原因，针对予以处理。

5) 系统在负载下，工作压力增高，泄漏增大，所调好的速度因泄漏的增大而减少。

排除：消除泄漏。

6) 系统油温增高、油液粘度降低，泄漏增加，有效流量减少。

排除：控制油温。

7) 油中混有杂质，堵塞流量调节阀节流口，造成工进速度降低，且时堵时通，使速度不稳。

排除：清洗流量调节阀，油液严重污染时，要及时换油。

8) 液压系统内进有空气。

排除：查明系统进气原因，排除液压系统内的空气。

三、振动和噪声

振动影响工件加工质量，影响设备工作效率，加剧磨损，使接头等元件松动，产生漏油，严重时能造成设备人身事故，而且噪声使环境污染。

1) 系统中的振动与噪声以液压泵、液压马达、液压缸、压力阀等最为严重，方向阀次之，流量阀较轻。有时产生于泵、阀及管路间的共振上。其产生的原因及排除方法，可参阅相关内容。

2) 电动机轴承磨损引起的振动。

排除：电动机的振动可平衡电动机转子，电动机底座下安装防振橡胶垫，轴承磨损更换。

3) 泵与电动机联轴器安装不同轴。

排除：调整其同轴度至允差之内（刚性联结同轴度小于等于0.05mm，挠性联结小于等于0.15mm）。

4) 外界振源的影响。

排除：可与外界振源隔离；消除外界振源；或增强与外负载联接件的刚性。

5) 油箱的强度刚度不好。

排除：对油箱装置采用防振措施。

6) 两个或两个以上阀的弹簧产生共振。

排除：可改变共振阀中一个阀的弹簧刚度，或者使其调节压力适当改变。

7) 阀弹簧与配管管路的共振。

排除：对于管路振动，可采用管夹适当改变管路长度及粗细或在管路中加入一段阻尼，予以消除。

8) 阀弹簧与空气的共振。

排除：彻底排除回路中的空气。

9) 液压缸内存在的空气产生活塞的振动。

排除：必须把回路中的空气彻底排出。

10) 回油管的振动及油的流动噪声。

排除：可将回油管的尺寸适当加粗或减短。

11) 双泵供油，泵出油口汇流区产生的振动和噪声。

排除：两泵出油口汇流处，多半为紊流，可使汇流处稍微拉开一段距离，并使两泵出油流向成一小于 90° 的夹角汇流。

12) 油箱的共鸣音。

排除：可加厚油箱顶板；补焊加强筋；或将电动机、液压泵装置与油箱分离；或在电动机、液压泵的底座加装一层硬橡胶垫板。

13) 阀换向引起的压力急剧变化和产生的液压冲击等产生管路的冲击噪声和振动。

排除：选用带阻尼的电液换向阀，并调节换向阀的换向速度。

14) 液控单向阀出口有背压时，往往有锤击声。

排除：可增高液控压力、减少出油口背压以及采用外泄式液

控单向阀等措施。

15) 在使用蓄能器保压压力继电器发出信号的卸荷回路中, 系统中的继电器、溢流阀、单向阀等, 会因压力频繁变化而引起振动和噪声。

排除: 可采用压力继电器与继电器互锁联动电路。

16) 液压系统中, 油液的压力脉冲。

排除: 采用消振器。

四、爬行

爬行会影响工件的表面加工质量和加工精度, 降低机床和刀具的使用寿命。产生爬行的具体原因及排除方法如下:

1) 导轨精度差, 压板、镶条调得过紧。

排除: 保证零件的制造精度及配合间隙。

2) 导轨面上有锈斑, 导轨刮研点子数不够, 且不均匀。

排除: 去除导轨的锈斑、毛刺, 刮研精度应达接触面积大于等于 75%。

3) 导轨上开设的油槽深度太浅, 运行时已磨掉, 油槽开的不均匀。

排除: 合理布置油槽, 保证油槽深度。

4) 液压缸轴心线与导轨平行度超差。

排除: 调整、修刮液压缸安装面, 保证平行度误差在 0.1mm 允差内。

5) 液压缸缸体孔、活塞杆及活塞精度差。

排除: 保证零件的制造精度, 不合格零件不投入装配。

6) 液压缸装配及安装精度差, 活塞、活塞杆、缸体孔及缸盖孔的同轴度超差。

排除: 液压缸活塞与活塞杆同轴度允差小于等于 $0.04/1000\text{mm}$, 密封在密封沟槽内不得出现四周压缩余量不等现象。

7) 液压缸活塞或缸盖密封过紧、阻滞或过松。

排除: 密封装配时, 不得过紧和过松。

8) 停机时间过长, 油中水分使部分导轨锈蚀; 导轨润滑节

流器堵塞，润滑断油。

排除：使用合适的导轨润滑油，如导轨油中含有极性添加剂，能使油分子紧附在导轨表面上，运动停止后油膜不会被挤破而保证流体润滑状态，使动、静摩擦因数之差极小；节流器堵塞要及时予以清洗疏通。

9) 液压系统中进入空气造成爬行。

排除：空气进入系统中的具体原因较多，要对各种产生进气的原因逐一采取措施，防止空气进入液压系统。

10) 各种液压元件及液压系统方面造成的爬行。

排除：可参阅液压元件及液压系统部分内容予以排除。

11) 液压油粘度及油温变化引起的爬行。

排除：保持油液的清洁度，使用合适粘度的油液，控制油温的变化，还可在油中加二甲基硅油抗泡剂破气泡。

12) 密封不好造成的爬行。

排除：参阅密封部分内容进行排除。

13) 其他原因，如电动机平衡不好，电动机转速不均，电流不稳，液压缸活塞杆及液压缸支座刚性差等。

排除：查明原因，对具体产生爬行的原因逐一针对处理。如增强各机械传动件刚度等。

五、液压油的污染

液压油的污染，将导致液压系统中各液压元件的各种各样的故障，从而使整个系统失常。

加工制造和装配过程中；仓储运输过程中；安装调试过程中及使用过程中都有可能造成液压油的污染。

排除：对于各种非正常性的污染，可通过加强管理，采取各种措施予以防止；对于使用中正常磨损造成的污染，要及时予以过滤处理；污染较严重时，要予以更换。

六、系统温升

油温的升高，会使油的粘度降低，导致泄漏增大；滑阀等移动部位的油膜变薄或被切破，摩擦阻力增大，磨损加剧；油温过

高，会使机械产生热变形，导致运动部件间隙变小而卡死；橡胶密封件变形、老化、失效；油液加速氧化变质；油中溶解空气逸出，产生气穴。油温升高产生的原因及排除方法如下：

1) 油箱容量设计太小，冷却散热面积不够，没有安装油冷却装置。

排除：按系统要求，合理布置油箱规格。

2) 选用的阀类元件规格过小，造成阀内流速过快而压力损失增大导致发热。

排除：正确选用元件规格，使负载流量与泵的流量匹配，以减少温升。

3) 按快进速度选择液压泵容量的定量泵供油系统，在工进时会有大部分多余的油在高压下从溢流阀流回油箱。

排除：可采用双泵双压供油回路，卸荷回路等。

4) 系统中没有卸荷回路，停止工作时液压泵不卸荷，泵的全部流量在高压下溢流，导致温升。

排除：可采用卸荷回路。

5) 系统管路太细太长，弯曲过多，局部压力损失和沿程压力损失大，系统效率低。

排除：尽量缩短管路长度，适当加大管径，减少管路口径的突变及弯头的数量，限制管路和通道的流速，减少压力损失，推荐采用集成块的方式及叠加阀的方式。

6) 元件加工精度及装配质量不好，使相对运动件的摩擦增大造成发热温升。

排除：提高各元件、零件的加工精度，严控相配件的配合间隙，改善润滑条件，采用摩擦因数小的密封材质，改进密封结构，确保导轨的平而度、平行度和接触精度，降低液压缸的起动力，减少不平衡力，以降低机械摩擦损失所产生的热量。

7) 相配件的配合间隙过大，或使用后磨损导致间隙过大，内外泄漏量增加，使容积损失增大，如泵的容积效率降低，温升快。

排除：调整相配件的间隙保持合理值；修复磨损件，恢复正常工作间隙；适当调整液压回路的某些性能参数，如泵的输出流量小些，输出压力低些，可调背压阀开起压力低些，以减少能量损失。

8) 液压系统工作压力因密封调整过紧，密封件损坏，泄漏增加，不得不调高压力才能工作。

排除：临时处理时，可根据不同加工要求及负载要求调节溢流阀压力，使之恰到好处。但正规排除是要查找故障原因，并针对性处理。

9) 周围环境温度高，切削热等原因使油温升高，同时工作时间过长。

排除：注意改善润滑条件，减少摩擦，降低发热，必要时，加装冷却装置。

10) 油液粘度选择不当，粘度大，粘性阻力大，粘度小，泄漏增加，均造成发热温升。

排除：合理选择液压油及其粘度。在可能的情况下，尽量用低一点的粘度以减少粘性摩擦损失。

七、空气进入和产生气穴

空气进入液压系统会严重加剧液压泵和管路的噪声及振动，加大压力波动，降低系统刚度增大元件动作误差，破坏工作平稳性及准确性，使油质劣化，润滑质量降低并产生气穴。气穴除产生上述危害外，还会在金属表面产生点状腐蚀性磨损，并加剧工作油的劣化。空气混入和气穴产生的具体原因及排除方法如下：

1) 油箱中油面过低或吸油管未埋入油面以下，造成吸油不畅而吸入空气。

排除：加足油液至油标线位置。

2) 滤油器被堵塞，或滤油器容量不够，网孔太密，吸油不畅形成局部吸空，吸入空气。

排除：定期清除滤网、滤心上的污物，使用合适的滤油器。

3) 吸油管与回油管距离太近，回油飞溅搅拌油液产生的气

泡，来不及消泡被吸入。

排除：保持进回油管之间有一定的距离。还可参照油箱部分内容，采取相应措施防止空气进入产生噪声。

4) 回油管在油面以上，停机时，空气从回油管逆径而入（缸内有负压时）。

排除：回油管应插入油箱最低油面以下 10cm 左右，回油管要有 0.3~0.5MPa 的背压。

5) 系统各油管接头，阀与安装板的接合面密封不严，或因振动松动等原因，空气乘隙而入。

排除：拧紧各管接头，注意密封面的情况。

6) 因密封破损、老化变质或密封质量差，密封槽加工不同轴，使有负压的位置密封失效，空气乘虚而入。

排除：治漏。各种液压元件漏油的地方也是系统进气的地方。

7) 空气进入油液的各种原因，也是可能产生气穴的原因，其排除方法相同。

8) 液压泵吸油口堵塞或容量选得过小造成的液压泵气穴。

排除：随时注意清洗滤网或滤心，容量过小的要适当增大。

9) 液压泵电动机转速过高。

排除：按泵使用说明书选择电动机转数。

10) 液压泵进油口高度距油面过高。

排除：应按泵的使用说明书推荐高度安装。一般泵的吸油口至油面的相对高度应尽可能低。

11) 吸油管通径过小，弯曲太多，油管过长，吸油管或滤油器浸入油内过浅。

排除：可适当加粗缩短进油管路，减少管路弯曲数，管内壁尽量光滑，管内流速控制在 1.5m/s 以内，吸油管口或滤油器要埋在油面以下，吸油管露在油面以上部分，要密封可靠。

12) 节流缝隙产生的气穴。

排除：可尽量减少节流口上下游压力之差；上下游压力差不

能减少时，可采用多级节流方法；尽量减少节流口的通过流量；节流口的形状宜为薄壁小孔，也可采用喷嘴节流形状。

13) 圆锥提动阀的出口背压过低。

排除：为防止圆锥提动阀的气穴，需建立一定的背压。它的最低极限值随进口压力和升程的不同而异。

14) 冬天开始启动时，油液粘度过大。

排除：油液的粘度不能太大，当环境温度较低时，需要更换粘度稍低的油液。

15) 气体在油液中的溶解量与压力成正比，当压力降低时，处于过饱和状态的空气就会逸出。

排除：避免因压力损失而造成压力下降后的压力，低于油液的空气分离压力。选用空气分离压力稍低的油液。

八、水分进入系统与系统内部的锈蚀

水分进入油中，会使液压油乳化，降低摩擦运动副的润滑性能，加剧磨损；会使系统内铁质金属生锈，导致液压元件的堵死或卡死；也会降低油液的抗乳化性及抗泡性，使油液劣化变质。此故障产生的原因及排除方法如下：

1) 油箱盖上因冷热变化而使空气中的水分凝结，变成水珠落入油中。

排除：油箱应严加密封，防止雨水、水珠进入油内。经常检查排除箱盖上的水分。

2) 回路中的水冷却器密封破坏或冷却管破裂，水漏入油中。

排除：拆卸修理或更换破损件。

3) 油桶中的水分、雨水、水冷却液及汗水的混入。

排除：液压油的运输、存放、加注要有防水进入的措施，油桶不要露天放置，油桶盖密封橡胶要可靠，装油容器应放在干燥避雨的地方。

九、炮鸣

炮鸣能产生强烈的振动和较大的声响，从而导致液压元件和管件的破裂、压力表的振坏、联接螺纹的松动及设备的严重漏

油。严重的炮鸣有可能使系统无法继续工作。产生这一故障的原因及排除方法如下：

大功率的液压机、矫直机、折弯机工作时，除推动液压缸活塞移动工作外，还使液压缸机架、液压缸本身、液压元件、管道、接头等产生不同程度的弹性变形，集蓄大量能量。工作结束，液压缸返程时，上腔积蓄的油液压缩，能和机架等各机件积蓄的弹性变形能突然释放出来，而且机架系统也迅速回弹，导致了强烈的振动和巨大的声响。降压过程中，油液内过饱和溶解的气体析出和破裂也加剧了这一作用。所以，油路没有合理有效的卸压措施是炮鸣的主要原因。

排除时，可在液压缸的上腔有控制地卸压，慢慢地释放积蓄的能量，卸压后再换向。具体的方法可采用小型电磁阀泄压、卸荷阀控制卸压、专用节流阀卸压、手动卸压换向阀泄压等多种方法卸压。

十、液压冲击

液压冲击是一种管路内部的油液，在快速换向及阀口的突然关闭时，形成很高压力峰值的现象。液压冲击的压力可达正常工作压力的3~4倍，它能使系统中的元件、管道、仪表等损坏，使压力继电器误发出信号，引起联结件松动，压力阀调节压力改变，流量阀调节流量改变，从而影响系统的正常工作。

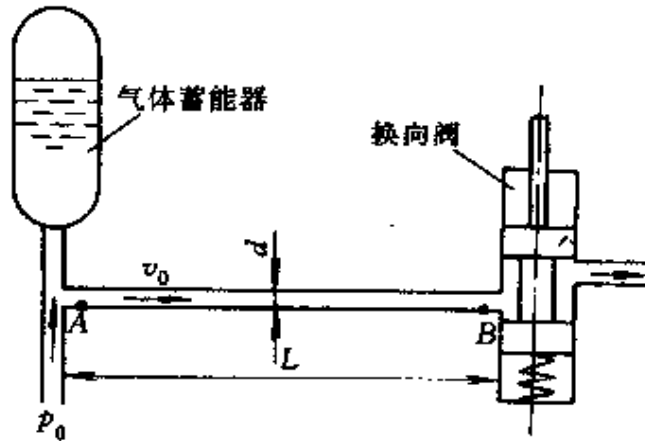


图 6-44 管路中的液压冲击

1. 阀口迅速关闭产生液压冲击 管路内阀

口迅速关闭时产生的液压冲击。如图 6-44 所示，管路的入口 A 端装有蓄能器，出口 B 端装有快速换向阀。当阀 2 处于打开位置时，管中的流速为 v_0 、压力为 p_0 。若阀口 B 突然关闭时，管

路就会产生液压冲击。

直接冲击时 ($t < T$)，最大冲击压力为：

$$\Delta p = \rho c \Delta v = \rho \frac{L}{t} v_0$$

间接冲击时 ($t > T$)，最大冲击压力为：

$$\Delta p = \rho c \frac{T}{t} \Delta v = \rho c (v_0 - v_1)$$

式中 Δp ——冲击压力最大升高值；

t ——换向时间；

T ——冲击波往返时间。管长为 L 时， $T = \frac{2L}{c}$ ；

ρ ——液体密度；

Δv ——阀口关闭前后，液流流速之差；

c ——管内冲击波在管中的传播速度，且 $c = \sqrt{\frac{E_0}{e}}$

$\sqrt{1 + \frac{E_0 d}{E \delta}}$ ，其中： E_0 表示液体的弹性模数、 E

表示管路的弹性模数、 d 表示管道内径、 δ 表示管道壁厚；

v_0 ——未完全关闭时的流速；

v_1 ——关闭后的流速。

排除：从以上公式中不难看出，可以采取如下措施：减慢换向阀的关闭速度，即增大换向时间 t_0 ；增大管径，减少流速 v_0 ，从而减少 Δv ，以减少冲击压力 Δp ；在滑阀完全关闭前减慢液体的流速。

2. 高速运动部件突然停止产生的压力冲击 其公式如下：

$$\Delta p = \frac{\Sigma m \Delta v}{A \Delta t}$$

式中 Δp ——压力冲击；

Σm ——运动部件的总质量；

A ——运动部件的有效端面积；

Δt ——制动时间；

Δv ——速度改变值。

排除：

- 1) 可在液压缸的入口及出口处设置小型安全阀。
- 2) 在液压缸的行程终点采用减速阀。
- 3) 在快进转为工进设置行程节流阀，并设置含两个角度的行程撞块，通过角度的合理设计，防止速度变换过快造成的压力冲击；或采用双速转换速度转换不至过快。
- 4) 在液压缸端部设置缓冲装置。
- 5) 在液压缸的回油路中设置平衡阀或背压阀。
- 6) 采用橡胶软管吸收液压冲击能量。
- 7) 设置蓄能器吸收冲击压力。
- 8) 采用带阻尼的液动换向阀，并调大阻尼。
- 9) 适当降低导轨的润滑压力。
- 10) 液压缸缸体孔配合间隙过大，或密封破损，而工作压力又调得很大时，易产生冲击，可重配活塞或更换活塞密封，并适当降低工作压力，可排除由此带来的冲击现象。

十一、液压卡紧和其他卡阀现象

轻度的液压卡紧，使系统内的相对移动件间摩擦阻力增大。严重的液压卡紧，能使系统内的相对移动件完全卡住，不能动作。液压卡紧产生的原因及排除方法如下：

1) 阀心外径、阀体孔有锥度，且大端朝着高压区，或阀心、阀孔圆度误差超差，装配时二者又不同轴导致工作时阀心顶死在阀体孔上。

排除：提高阀心与阀孔的加工精度，提高装配精度。

2) 阀心与阀孔因加工、装配或磨损产生误差，阀心倾斜在阀孔中。当压力油流过时，使阀心更倾斜，最后卡死在阀孔内。

排除：可在阀心表面开几条位置恰当的均压槽，均压槽与阀心外圆保证同轴。

3) 阀心上因碰伤有局部凸起或毛刺，产生一个使凸起部分

压向阀套的力矩，将阀心卡在阀孔中。

排除：仔细清除阀心凸肩及阀孔沉割槽尖边上的毛刺，防止磕碰弄伤阀心外圆和阀体内孔。

4) 阀心与阀孔配合间隙大，阀心与阀孔台肩尖边与沉角槽的锐边毛刺清理倒角的程度不一样，引起阀心与阀孔轴线不同轴，产生液压卡紧。

排除：采用锥形台肩，台肩小端朝着高压区，利于阀心在阀孔内径向对中。

5) 污染颗粒进入阀心与阀孔配合间隙，使阀心在阀孔内偏心放置，产生径向不平衡力导致液压卡紧。

排除：有条件者使阀心或阀孔作轴向或圆周方向的高频小幅振动，或拆洗阀。

6) 阀心与阀体孔配合间隙过小导致的阀心卡住。

排除：保证阀心与阀体孔之间合理的装配间隙。

7) 油温变化引起的阀孔变形。

排除：控制油温，避免过高温升。

8) 装配时，扭斜别劲，或安装紧固螺钉太紧，导致阀心或阀体变形。

排除：不可将元件扭斜别劲强行装配，紧固螺钉应按对角、均匀、渐次的方法进行拧紧，防止产生装配变形。

第五节 液压系统的清洗、安装与调试

一、清洗

为了使液压系统维持令人满意的工作性能，达到预期的使用寿命，在元件和系统安装前和调试运转前，必须对液压元件，辅助元件和液压系统进行仔细的清洗。清洗掉附在零部件、液压元件、液压辅助和管路元件表面上的切屑、磨粒、纱头、尘埃、油污、焊渣、锈片、油漆和镀料的剥落片、密封挤切下来的碎片及水分等其他污染物。具体的注意事项如下：

1) 工厂中的清洗一般使用煤油作清洗剂。

2) 采用酸性或碱性清洗剂清洗时, 洗后的散件要用温水冲洗干净, 液压元件不要用此类清洗剂清洗。

3) 软管的清洗可采用高速液流进行喷洗。硬管也可用同样的方法清洗。

4) 系统的清洗可根据情况, 采用适当的方法进行。

5) 清洗时, 可边清洗边用木锤敲击以加速污物的脱落。

6) 清洗后应及时进行装配, 避免重新落入灰尖。

二、安装

液压系统由各元件组成, 各液压元件靠油管接头有机地联接在一起, 成为一个完整的液压系统。因此, 液压系统的安装是否可靠、合理及整齐对液压系统的工作性能有一定的影响。

1. 压力管道的安装注意事项

1) 管道之间的距离应大于 10mm。

2) 管道安装应紧固, 振动大处可加橡胶垫等减少振动。

3) 对细长管道可用管夹排列固定。

4) 管路应尽量短, 直角应尽量少。

5) 对复杂的管路应涂色加以区别。

2. 进、出口管路的联接

1) 吸油高度应小于 500mm, 且与泵的接口密封严密。

2) 回油管口应在油面以下, 且与吸油管口不能相距太近。

3) 溢流阀回油管与泵的吸油管不能相距太近, 否则会增高油温。

3. 泵阀的安装要求

1) 进、回油口要准确。

2) 装前要检查泵阀的灵敏度。

3) 要保证泵阀的密封良好。

4) 应保证泵与电动机联轴器的同轴度不大于 0.1mm。

5) 各泵阀在安装前要清理干净, 安装时要定位、紧固。

三、调试

调试不仅使液压系统有可靠的工作循环, 更重要的是使工作

循环的各个动作的力、速度、加速度、行程的始点和终点、各动作时间有合理性和正确的数值。

1. 调试前的检查

- 1) 油液要符合设计要求。
- 2) 油量必须达到油标高度。
- 3) 各元件、管路安装是否可靠正确,泵的进出油口是否正确。
- 4) 各控制手柄是否在关闭或卸荷位置。

2. 空载试车 空载试车是全面检查液压系统各管路、元件工作是否正常,工作循环是否正确。其步骤如下:

1) 起动电动机,检查电动机的转向是否正确及系统有无噪声。

2) 液压系统在卸荷状态下,其压力是否在卸荷压力范围内。

3) 调整压力控制阀,直至压力至工作压力为止,并关闭压力表。

- 4) 有排气装置应打开放气。
- 5) 将开停阀由小到大调试,运转过程中排气。
- 6) 关闭气阀。
- 7) 检查系统是否泄漏。
- 8) 检查系统循环是否正确。
- 9) 空载运行 2h 以后,检查油温。

3. 负载试车 其目的是检查系统能否达到设计的承载能力。

- 1) 系统能否达到预定的承载要求。
- 2) 噪声及振动是否在允许的范围内。
- 3) 各液压管路,元件的泄漏情况。
- 4) 执行元件有无爬行、冲击现象。
- 5) 温升(油液)是否正常。

复 习 思 考 题

1. 行程控制操纵箱出现起动时冲出量大的排除方法如何?
2. 行程控制操纵箱出现换向冲出量大,换向精度差的故障,如何排除?

3. 行程控制操纵箱换向时出现死点, 如何解决?
4. 伺服阀不动作, 导致执行元件也不动作, 此故障产生的原因及排除方法如何?
5. 伺服阀经常出现零件偏移的原因是什么? 如何排除?
6. 伺服阀的动态特性差, 频率响应迟滞, 系统过渡过程响应速度减低, 超调量增大, 导致此故障的原因是什么? 如何排除?
7. 造成伺服阀稳定性差的原因是什么? 如何排除?
8. 比例溢流阀压力调不上去的原因是什么? 如何排除?
9. 比例溢流阀压力波动大的原因是什么?
10. 保压回路中, 在保压期间内压力严重下降的原因是什么? 如何排除?
11. 三位换向阀的中位机能及性能特点如何?
12. 出口节流调速回路中, 压力继电器装在油缸进油路中, 为什么不能发出讯号?
13. 快速进给转工速进给的调速回路中, 出现“前冲”的原因是什么? 如何排除?
14. 节流调速和容积调速结合的调速回路中, 出现“油液发热, 功率损失大”故障的原因是什么? 如何排除?
15. 快进转工进时, 出现速度换接时间长的原因是什么? 如何解决?
16. 举例说明如何利用液压系统图查找液压系统出现的故障。
17. 液压系统出现工作压力失常的原因有哪些? 如何排除?
18. 什么原因导致液压系统执行元件速度减慢? 排除的方法有哪些?
19. 液压系统产生振动和噪声的原因有哪些? 如何排除?
20. 液压缸产生爬行的原因是什么? 如何消除液压系统产生的爬行?
21. 导致液压系统温升的原因有哪些? 如何排除?
22. 空气进入液压系统会给液压系统带来什么危害? 哪些环节可产生空气进入系统?
23. 怎样防止水分进入液压系统?
24. 怎样排除系统中产生的炮鸣现象?
25. 怎样消除管路内部产生的液压冲击?
26. 如何排除液压卡紧造成的卡阀现象?
27. 液压辅助件、液压元件的清洗有哪些注意事项?
28. 液压系统的安装有哪些注意事项?
29. 液压系统的调试有哪些注意事项?

第七章 大型机床工件之间的联接

培训要求，掌握大型机床立柱与床身、横梁与顶梁间的联接技术与注意事项。

第一节 双柱立式车床

大型机床一般采用框架式的结构，零件庞大，安装困难，精度调整也有一定难度。因此，强调大型机床大件的联接要一次成功。根据这个要求，大件联接就必须格外注意联接方法的正确性和联接步骤的合理性。

一、立柱与床身的联接

1. 技术要求

1) 立柱与床身环形导轨面的垂直度误差：在纵横两个方向均应在 0.04mm/m 以内，其中，立柱表面 1 只许向后倾斜，如图 7-1 所示。

2) 立柱与床身结合面用 0.01mm 塞尺检查，不应插入。

3) 两立柱只许向同一侧倾斜。

4) 两立柱的 1 面应在同一平面内，允差在 0.04mm 之内。

5) 左、右立柱顶面的等高度，允差在 0.1mm 之内。

2. 操作要点

1) 必须先将底座环形圆导轨调至水平。

2) 联接件接合表面要除净硬点、毛刺。接合表面的接触要均匀可靠，接触面积达 75% 以上。

3) 必须重铰全部定位销孔。

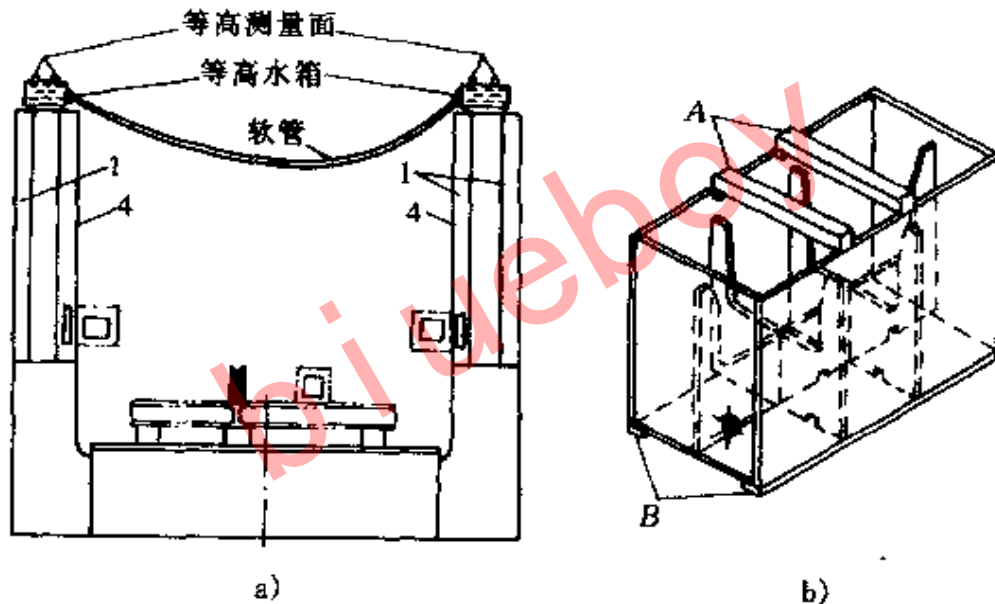
3. 操作步骤

1) 立柱安装前，需先对底座环形圆导轨进行水平调整，达至要求后，紧固好地脚螺栓。

2) 清除立柱、底座结合表面的硬点、毛刺及磕、碰、伤, 擦净结合表面。

3) 将左立柱靠拢底座, 以原定位销孔为定位基准, 轻轻打入一个销子, 装上联接螺钉, 并稍许带上一点定位力, 不要全部紧固。

4) 在左立柱底面的前、后、左侧三点垫可调平垫铁各一块。分别调整三块可调平垫铁, 并用水平仪在立柱导轨表面纵、横两个方向检查立柱对床身环形圆导轨的垂直度至允差要求, 如图 7-1 所示。



技术条件:

1. A、B 两面平面度允差 0.01
2. 两只等高水箱的尺寸等高允差 0.03
3. 水箱外形尺寸 $300 \times 150 \times 200$
4. 该箱焊接后应除应力处理

图 7-1 立柱安装图

5) 当左立柱位置调好后, 检查定位销孔无上下方向的错位, 即可紧固左立柱所有联接螺钉, 销子暂不装入。

6) 用同样方法, 安装右立柱。检查右立柱的倾斜时, 应保持右立柱的倾斜方向与左立柱相同。须注意的是右立柱调整时, 立柱的上顶面要以左立柱的上顶面为基准, 达到左、右立柱上顶面等高, 同时, 还要以左立柱表面 1 为基准, 达到

左、右立柱表面 1 在同一平面内。上顶面等高的检测方法，在图 7-1 中介绍了一种使用两个带软管联接的等高水箱检测方法。这种方法，需要制造两个符合技术条件中规定要求的水箱。左、右立柱表面 1 的平面度误差，检测时，可借助横梁相配合的表面，用塞尺检查配合表面的密合度来达到立柱表面 1 在同一平面内。

7) 当右立柱位置也调至允差范围内后，同样紧固右立柱所有联接螺钉。

8) 复校左、右立柱对工作台及本身的各项位置精度满足要求，重新扩铰定位销孔，并配销子，装入定位销孔。

左、右立柱与床身的联接至此完毕。

4. 注意事项

1) 立柱的搬运、吊装，应安全、稳妥。

2) 接合表面之间可适当涂少量的润滑机械油，以保护接合表面。

二、立柱与顶梁的联接

(1) 技术要求 顶梁与立柱联接后，定位应正确、可靠，结合面的接触率应在 75% 以上。

(2) 操作要点 应除净结合表面上的硬点、毛刺，联接要紧固、可靠。

(3) 操作步骤 顶梁的位置如图 7-2 所示。

1) 用油石或刮刀除净顶梁接合表面上的所有硬点、毛刺，擦净表面杂物。用油枪在结合表面加注少量润滑油。

2) 在立柱与床身底座联接合格的基础上，将顶梁稳落在左、右立柱的顶面上，以原定

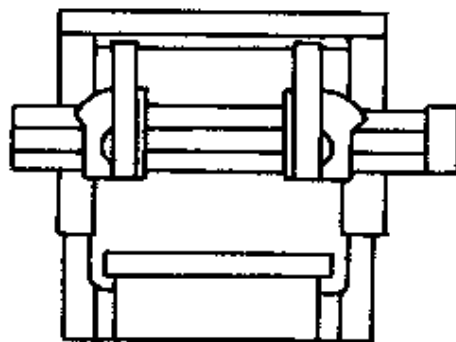


图 7-2 双柱立式车床
顶梁位置、横梁位置图

位销孔定位，轻轻插入定位销，装上联接螺钉，不必全部紧

固。

3) 用塞尺在结合表面检查密合程度满足安装要求 (若超差应用砂轮或刮刀修理顶梁表面至要求)。

4) 紧固全部连接螺钉, 扩铰定位销孔, 重装入定位销子。

4. 注意事项

1) 顶梁的吊装、起落要保证安全、稳妥。

2) 顶梁的定位销子不要强行打入原销孔, 以免影响立柱的找正精度。

三、立柱与横梁的联接

1. 技术要求

1) 横梁与立柱的接触应均匀, 接触率应在 75% 以上。

2) 横梁导轨上平面应平行于工作台台面, 允差为 $0.04\text{mm}/\text{m}$ 。

2. 操作要点

1) 结合表面应无硬点、毛刺及杂物。

2) 横梁位置精度调整应满足要求。

3. 操作步骤 横梁的位置如图 7-2 所示。

1) 用油石或刮刀除净横梁接合表面上的硬点及毛刺, 擦净表面杂质。用油枪在结合表面加注适量润滑油。

2) 在立柱与床身底座拼装合格的基础上, 将横梁部件靠拢立柱, 进行联接。并将全部相关零件装配到位, 如压板、镶条, 丝杠、丝母等。

3) 调整部件位置精度。此项工作可以通过修配相关零件尺寸解决。

4) 检查横梁联接精度。包括刀架水平移动对工作台的平行度要求, 刀架垂直移动对工作台的垂直度要求, 应使横梁处于几个不同位置上进行检测。

4. 注意事项 横梁联接后, 相关传动件的位置精度应以联接后的横梁、立柱等大件为基准, 进行修配调整, 来满足装配要求。

第二节 龙门刨床

龙门刨床的床身导轨是由一条平导轨和一条 V 形导轨组合而成。由于导轨比较长，采用若干小段组合成总体长度。这样，就为床身导轨的精度调整造成一定的困难，也给立柱的联接带来一些不方便。龙门铣床、龙门磨床的侧立柱与床身导轨的联接和龙门刨床规律基本相同，现以龙门刨床的大件联接为例。

一、立柱与床身的联接

1. 技术要求

1) 左、右立柱导轨表面应垂直于床身导轨组，允差为 0.04mm/m (只允许立柱向前偏)。

2) 左、右立柱导轨表面应相互平行，允差为 0.04mm/m (只允许两立柱的上端靠近)。

3) 立柱与床身接合面的密合程度，用 0.03mm 塞尺检查时，插入深度应 $\leq 25\text{mm}$ 。

4) 联接后的左、右立柱的前表面应在同一平面内，其等距度允差为 0.1mm 。

2. 操作要点

1) 立柱联接，精度调整必须满足要求。

2) 位置精度调整合格后，要重新配铰定位销孔，以保证联接位置正确。

3) 联接应紧固、可靠。

3. 操作步骤

1) 除净立柱结合表面的毛刺及杂物，在结合表面上加少量润滑油。

2) 将左、右立柱靠拢床身导轨两侧，装入联接螺栓，暂不装入定位销子。

3) 按图 7-3 所示方法，检测两立柱表面与床身导轨的垂直度误差；按图 7-4 所示的方法，测量两立柱表面与相互间平行度误差；按图 7-5 所示方法，测量左、右立柱导轨 7、8 与床身

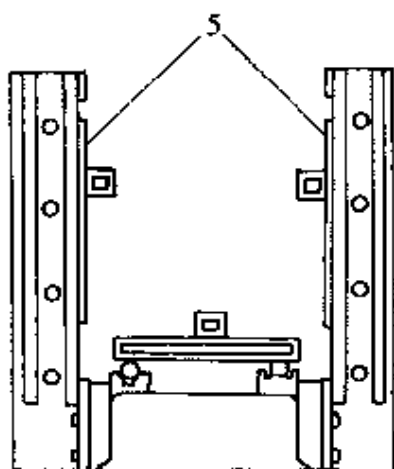


图 7-3 测量立柱表面 5 与床身导轨垂直度误差

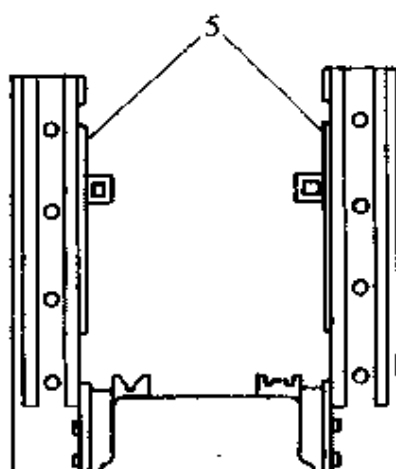


图 7-4 测量立柱表面 5 相互平行度误差

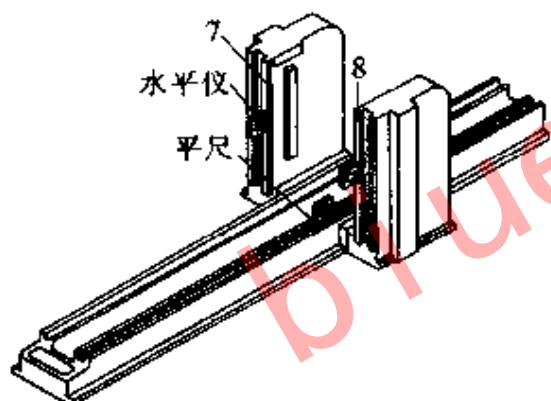


图 7-5 测量左、右立柱导轨 7、8 与床身导轨垂直度误差

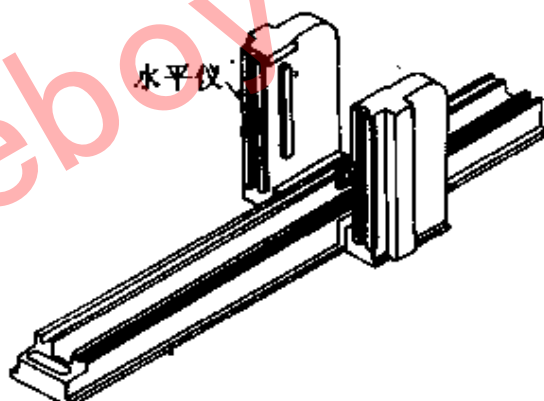


图 7-6 测量左、右立柱导轨 7、8 相互平行度误差

导轨的垂直度误差；按图 7-6 所示方法，测量左、右立柱导轨相互平行度误差；按图 7-7 所示方法，测量两立柱导轨表面的等距度（没有长平行平尺，可用横梁代替），并调整各项精度至允差要求。调整合格后，紧固所有联接螺钉，复校各项精度在技术要求之内。

4) 重新配铰所有定位销孔，配制所有销子，并装入定位销孔中。

4. 注意事项 左、右立柱初装调整时，立柱与床身间的联

接螺栓不必拧的过紧，要保证立柱还能调动，但又不可拧的过松，以防立柱松动移位。

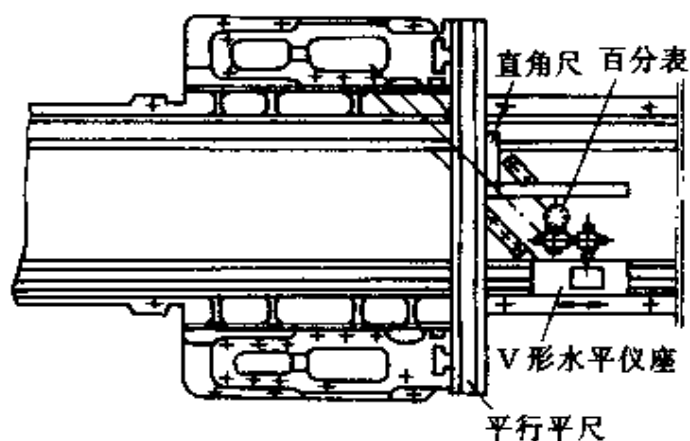


图 7-7 测量两立柱导轨表面等距及与床身导轨垂直度误差

二、立柱与联接梁、顶梁的联接

图 7-8 所示为龙门刨床的联接梁。

图 7-9 所示为龙门刨床的顶梁。

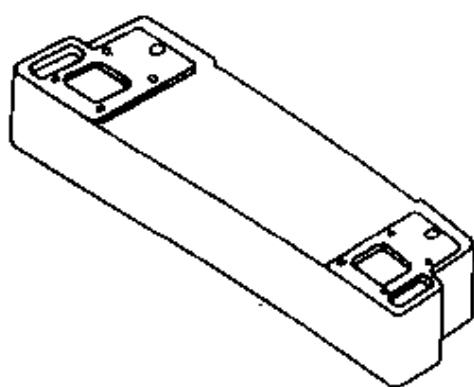
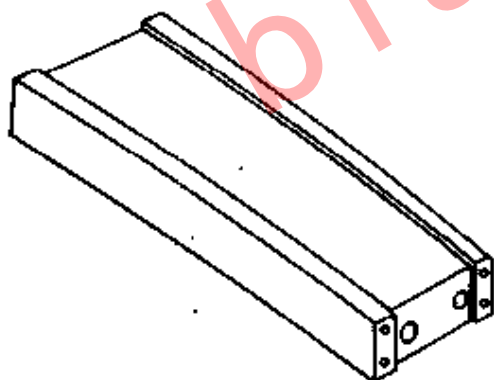


图 7-8 B220 龙门刨床联接梁

图 7-9 B220 龙门刨床龙门顶

1. 技术要求

1) 安装联接梁与顶梁时，要求保持立柱原安装的自然状态，不许改变左、右立柱位置。

2) 顶梁安装前，应将升降电动机、蜗轮箱等相关件预装至顶梁内，然后与顶梁一起吊装。

2. 操作要点

1) 准确测量联接梁长度与两立柱联接面间的距离, 根据测量间隙尺寸, 配磨调整垫片。

2) 顶梁的安装要保证升降丝杠位置正确。

3. 操作步骤

1) 用天车将联接梁吊牢, 一端与立柱接合面用螺钉紧固, 另一端的间隙用量块或塞尺测量, 得出调整垫片的准确实际尺寸。

2) 根据测得的间隙尺寸, 配磨调整垫片。

3) 将调整垫片装在立柱与联接梁之间, 用螺钉紧固。

4) 用0.03mm塞尺片检查结合面的密合程度, 应不能插入, 否则进行刮研修复。

5) 再用水平仪检查两立柱上、下两处的平行度误差应一致, 若精度不合格, 则应修正调整垫片至精度合格。

6) 因对立柱导轨表面及横梁导轨表面进行修复后, 使顶梁上原位置的升降丝杠和横梁上升降螺母中心的安装时, 要产生一定量的同轴度误差。为消除此项误差, 可修配升降丝母的安装定位表面, 恢复装配尺寸链; 也可改变升降丝杠中心位置来消除此项误差。在顶梁经拆卸, 重新联接的情况下, 还是以调整顶梁改变升降丝杠中心位置, 保证此项位置要求较为方便。这样, 顶梁联接前, 可先将顶梁上的升降电动机及蜗轮箱等零部件预装在顶梁内, 然后与顶梁一起吊装, 并按原定位销孔找正。将顶梁装于立柱顶面上, 不插销子, 仅装联接螺钉, 并轻轻带紧。

7) 检查顶梁与立柱接合表面的密合程度, 用0.03mm塞尺片应不能插入。若有接触不良, 应吊下顶梁, 并用平板拖研修刮立柱上顶面至合格。

4. 注意事项 顶梁在立柱上面没定位前, 应用螺栓适当压紧, 以防移位造成事故。

三、立柱与横梁的联接

图7-10为B220龙门刨床的横梁简图。

1. 技术要求

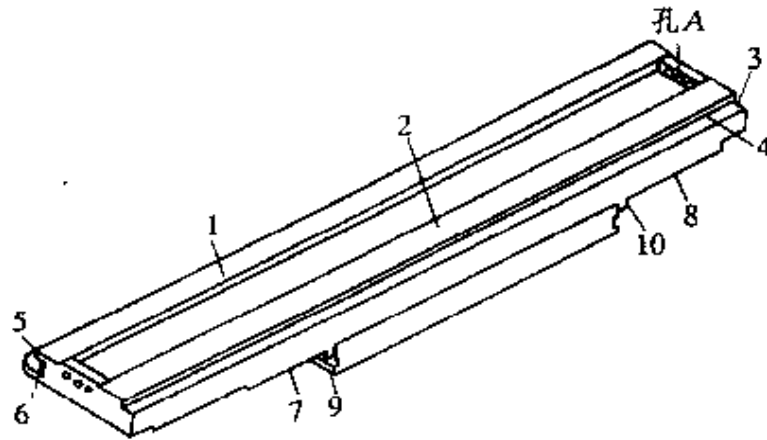


图 7-10 B220 龙门刨床横梁

1) 横梁与立柱结合面的贴合程度, 用 0.03mm 塞尺检查, 不得插入 25mm 。

2) 横梁导轨上表面平行于床身导轨, 允差 0.02mm/m 。

3) 横梁垂直移动时的倾斜, 允差 0.02mm/m 。

2. 操作要点

1) 横梁的联接应边装配边调整, 保证各项位置精度满足要求。

2) 横梁联接后, 应保证升降机构满足装配要求。

3. 操作步骤

1) 横梁联接前, 先将横梁升降丝母预装在横梁上, 再将横梁的结合导轨表面擦净, 涂以适量的润滑油。

2) 吊平横梁后, 稳妥、慢慢地使横梁靠拢左、右立柱的结合导轨表面。在横梁的下底面垫道木或千斤顶。调整横梁, 使其上导轨表面处于水平位置, 将侧导轨装好压板及镶条。

3) 拆下顶梁蜗轮传动箱的箱盖, 松开顶梁的联接螺钉, 穿上横梁升降丝杠, 找正升降丝杠中心轴线与升降螺母中心轴线的同轴度误差符合要求, 将丝杠旋入横梁上的升降螺母之中, 并将顶梁按确定位置重新拧紧连接螺钉固定。

4) 扩铰顶梁定位销孔 (如果原销孔错位较大或铰削困难, 可重新选位置钻铰新销孔)。配销子, 并装入销孔。

5) 装上顶梁蜗轮箱的箱盖, 及与横梁相关的零部件, 拆除横梁下底面的道木或千斤顶。

6) 按技术要求项目, 检查横梁的联接精度。

4. 注意事项

1) 检测横梁联接精度时, 应使横梁在上、中、下三个位置进行, 并将横梁上的刀架部件移置在对称平衡的地方。检测横梁对床身导轨的平行项目时, 应将横梁夹紧后再进行。

2) 在找正升降丝杠中心轴线与升降螺母中心轴线的同轴度误差时, 调整顶梁位置应稳妥、安全。要同步旋入左、右升降丝杠。

复习思考题

1. 大型设备安装的难点是什么?
2. 大型设备安装的特点是什么?
3. 双柱立车立柱与床身安装的方法是什么? 应注意哪些事项?
4. 双柱立车顶梁、横梁与立柱安装的方法是什么? 应注意哪些事项?
5. 龙门刨床床身与立柱安装的要求、方法是什么? 安装时应注意哪些事项?
6. 龙门刨床的顶梁、横梁与立柱安装的要求、方法是什么? 应注意哪些事项?

第八章 机床修理装配精度的检查

培训要求 了解机床定位精度、重复定位精度、分度精度及传动链精度的概念、精度标准、检查注意事项，掌握装配精度检查的操作要点和操作步骤。

第一节 机床定位精度

一、精度标准

坐标镗床工作台纵向移动的定位精度允差为 0.005mm 之内。

二、操作要点

- 1) 操作必须精神集中、认真，尽量消除人为误差。
- 2) 在读数时，工作台必须在夹紧状态。
- 3) 测量时，各移动部件均应夹紧后读数。

三、操作步骤

1) 如图 8-1 所示，在机床工作台中间，沿纵向移动方向放置一个精密的刻线尺（刻线尺的刻线精度应带误差检定表，检定精度在 0.005mm 以内），高度应在工作台面至垂直主轴端面最大距离的 $1/3 \sim 1/2$ 处。

2) 将读数显微镜（读数精度为 $0.001 \sim 0.002\text{mm}$ ）固定在主轴套筒上，使显微镜能清晰地观察到刻线尺的刻线。

3) 使工作台在规定长度上移动进行检查（一般规定每移动 10mm ，读数一次），读数时，夹紧工作台，任意两次定位时读

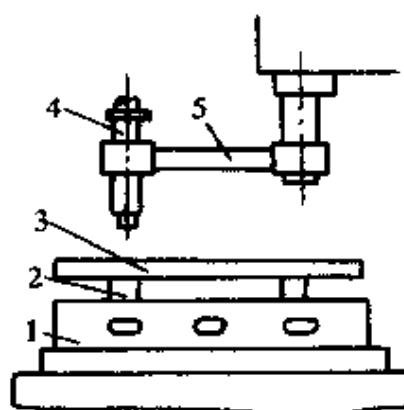


图 8-1 坐标镗床测量定位精度
1—平行平尺 2—等高垫 3—标准刻线尺 4—读数显微镜 5—专用卡箍

数的实际差值的最大代数差即为定位测量误差。

四、注意事项

- 1) 修理现场必须远离振源。
- 2) 回避阳光直线照射。
- 3) 保持 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的恒温和不少于 55% 的相对湿度。机床不得放在暖气、热风器、冷风器附近。

第二节 机床重复定位精度

重复定位精度是指机床运动部件多次运动到某同一位置的定位精度。此项误差值超差，机床将无法多次重复地加工出合格的零件，并大大地降低了机床的工作效率。严重时，可使机床损坏或降低机床的寿命。往复运动有重复定位精度要求的有组合机床（转位的）、数控设备、多轴转位立车等。

一、外圆磨床砂轮架快速进给机构重复定位精度的检查

1. 精度标准 重复定位精度标准允差 0.02mm 之内。

2. 操作要点

- 1) 砂轮架的起始位置、终止位置必须到极限。
- 2) 表头要与运动方向平行，而且不能振动。

3. 操作步骤

1) 如图 8-2 所示，调整好机床的液压系统，保证砂轮架的润滑良好。

2) 将测微仪固定在机床台面上，并使砂轮架处在进给位置，再把测微仪测头顶在砂轮架靠近砂轮处的轴线上。

3) 将砂轮架退回原始位置。

4) 开动砂轮架的液压手柄，使砂轮快速进给，观看测微仪读数。

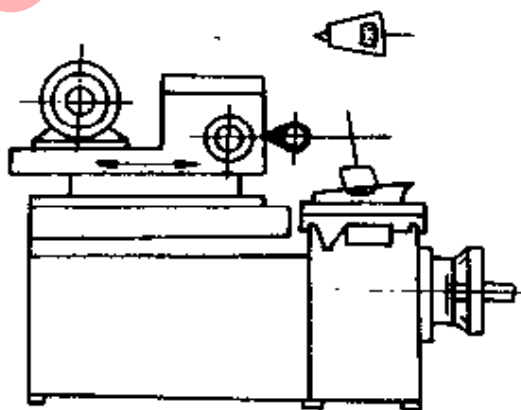


图 8-2 外圆磨床砂轮架快速进给重复定位精度的检验

5) 多次、连续开动砂轮架往复运动, 记下读数。多次读数中两个读数的最大差值即为重复定位精度。

4. 注意事项

- 1) 测微仪在机床上必须固定牢靠。
- 2) 机床不能有振动, 工作台也不能有丝毫移动。
- 3) 砂轮架必须到进给极限位置后方可读数, 并退回砂轮架。

二、转塔车床回转头重复定位精度的检验

1. 精度标准 重复定位精度允差 0.03mm。

2. 操作要点

- (1) 如图 8-3 所示, 在检验棒上测点必须相同。
- (2) 先将六角头退回后再转位、锁紧, 移至所测位置。

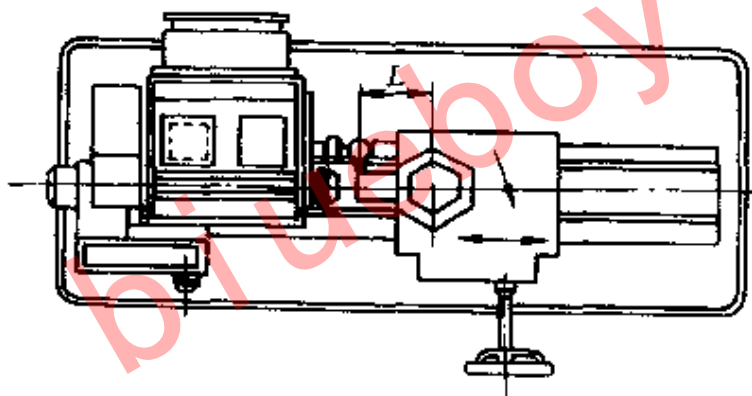


图 8-3 转塔车床回转头重复定位精度的检验

3. 操作步骤

- 1) 在回转头工具孔中紧密地插入一根检验棒。
- 2) 把千分表固定在机床上, 使千分表测头顶在检验棒表面上距回转头中心 L 处 (L 值由检验标准规定)。
- 3) 将回转头退回。
- 4) 使回转头转动 360° , 再机动至原位夹紧后测量。
- 5) 重复测量 5 次, 千分表连续 5 次测量中读数的最大差值, 就是该工具孔重复定位精度误差。
- 6) 换测另一个工具孔, 重复上述步骤直至所有工具孔全部检测完。

4. 注意事项

- 1) 机床不能有振动现象。
- 2) 千分表必须紧固牢靠。

三、铲齿车床刀架工作行程重复定位精度的检查

1. 精度标准 重复定位允差为 0.02mm。

2. 操作要点

- 1) 如图 8-4 所示，必须使刀架锁紧后读数。
- 2) 读数时，视线应垂直表盘。

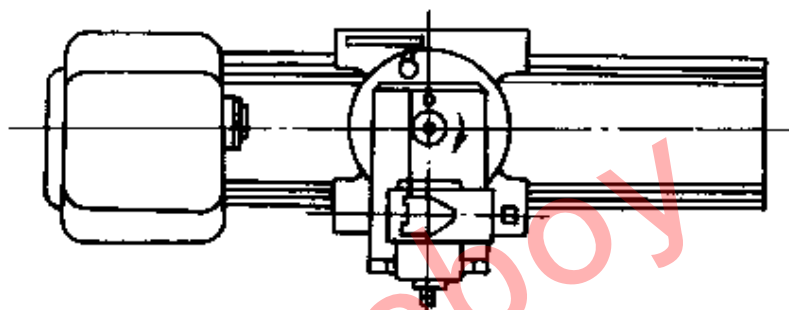


图 8-4 铲齿车床刀架工作行程重复定位精度的检验

3. 操作步骤

- 1) 将千分表固定在刀架后面的溜板上，并使表头顶在刀架的侧面上。
- 2) 用手转动传动轴，使刀架作往复运动进行检验。
- 3) 使刀架往复运动 10 次，千分表读数的最大差值就是重复定位误差。

4. 注意事项

- 1) 千分表必须固定好，夹紧。
- 2) 机床不能有振动。

四、自动碰撞重复定位精度的检查

其检测方法均与上述几种方法相似。即利用千分表固定在床身上，千分表的测头触及在运动部件的测面上，使部件自动碰撞停 5~10 次。千分表读数的最大差值就是自动碰撞重复定位误差。

第三节 机床分度精度

一、分度头分度精度的检查

1. 用标准分度盘检查 用标准分度盘检查分度精度如图 8-5 所示。

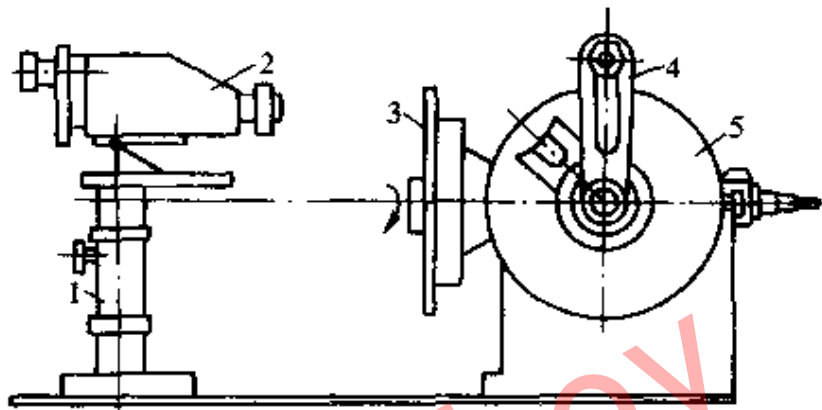


图 8-5 利用标准分度盘检查分度头分度精度

1—支架 2—读数显微镜 3—标准分度盘
4—分度头手柄 5—被检分度头

(1) 精度标准 取 0.01mm 之内。

(2) 操作要点

1) 标准分度盘内孔轴心线与被测分度头的主轴轴心线要保持同轴。

2) 使读数显微镜和分度盘对准零位。

(3) 操作步骤

1) 将标准分度盘固定在分度头的主轴上，并使两者的轴心线保持同轴，再把读数显微镜固定在平板的支架上。

2) 确定摇手柄的起始位置，使读数显微镜和分度盘对准零位。

3) 摇动手柄，带动被测分度头主轴旋转，进行相应地读数，并作好记录，作误差计算。具体按如下三步进行操作、计算及汇总：

① 不考虑分度盘和分度蜗杆误差时

第一：按顺时针摇动手柄，手柄每摇一转，定位后，进行一次读数，并作好记录，如此连续摇 n 转

$$n = \frac{z_2 \text{ (分度蜗轮的齿数)}}{z_1 \text{ (蜗杆的线数)}}$$

并相应地进行 n 次读数，作 n 次记录，即得到 n 个分度误差值。其中差值的最大代数差，就是分度头主轴转一转时的最大分度误差 s_1 。

第二：按逆时针摇动手柄，余下操作、计算同上，得到另一个最大分度误差 s_2 。

第三：求出分度头上轴转一转时的最大分度误差值即取 s_1 和 s_2 中数值最大的为分度误差值 s 。

② 考虑分度盘和分度蜗杆误差时

第一：按顺时针摇动手柄，使手柄转过 α 角（即 $1/z$ 周， z 取 8~12 的整数，按分度传动比及被检分度头原有分度盘的孔数所决定， $\alpha = \frac{360^\circ}{z}$ ），定位后，进行一次读数，并作好记录。如此连续摇手柄一周，并相应地进行 z 次读数，作 z 次记录，即得到 z 个蜗杆分度误差值。其中最大值和最小值的代数差，就是蜗杆在转过一周时的最大分度误差 Δ'_1 。

第二：按逆时针摇动手柄，余下操作、计算同上，得到另一个蜗杆在转过一周时的最大分度误差 Δ''_1 。

第三：求出蜗杆位于蜗轮圆周上第一个位置时，蜗杆转过一周时的最大分度误差值，即为 Δ'_1 和 Δ''_1 中数值最大的就是蜗杆在转过一圈时的最大分度误差 Δ_1 。

第四：使蜗杆位于蜗轮圆周上第二个、第三个位置（至少三个位置以上），再重复上述步骤“第一”、“第二”、“第三”，求出蜗杆转过一周时的最大分度误差平均值 Δ_2 和 Δ_3 。

第五：求出 Δ_1 、 Δ_2 与 Δ_3 的平均值，即最终的蜗杆转过一周时的最大分度误差值 $\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3}{3}$ 。

③ 汇总出分度头分度系统的综合误差值，将主轴转一转时的最大分度误差值与蜗杆转一转时的最大分度误差值相加即： $s + \Delta$ 。

(4) 注意事项

1) 读数显微镜支承底面、被测分度头支承底面及检验平板表面均要保持清洁。

2) 操作时，读数显微镜和被测分度头都不得移动。

3) 远离各种振源。

2. 用光学分度头检查 利用光学分度头检查分度头分度如图 8-6 所示。

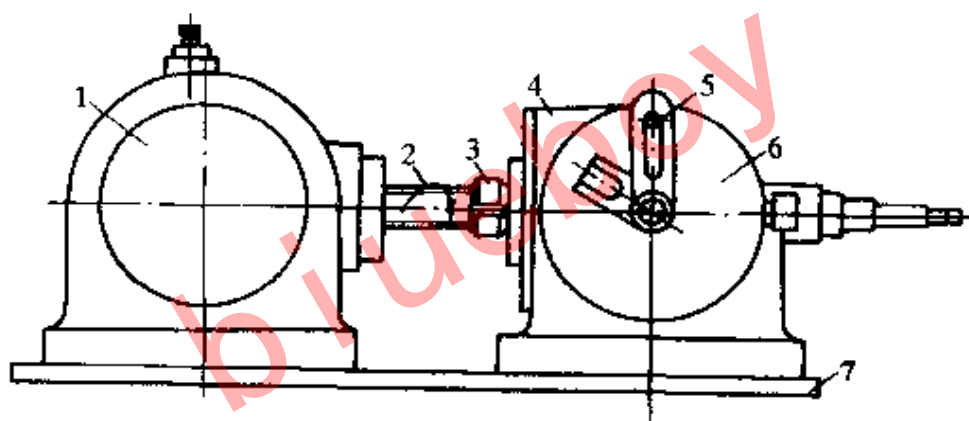


图 8-6 利用光学分度头检查分度头分度精度

1—光学分度头 2—两端带莫氏锥度检验棒 3—拆卸螺母 4—被检验的分度头
5—分度头手柄 6—分度盘 7—检验平板

(1) 精度标准 分度允差为 0.01mm。

(2) 操作要点

1) 两端带有莫氏锥度的检验棒与光学分度头主轴锥孔及被检分度头主轴锥孔均应紧密配合。

2) 必须保证光学分度头主轴中心与被测分度头主轴中心等高。

(3) 操作步骤

1) 用垫片将光学分度头主轴中心与被测分度头主轴中心调

整成等高。

2) 将一根两端带莫氏锥度检验棒的两端分别、紧密地插入光学分度头主轴锥孔和被测分度头主轴锥孔中,使两个分度头连成一体。

3) 脱开光学分度头的手摇分度机构,确定被检分度头的起始位置,同时相应地记下光学分度起始位置的读数值。

4) 转动被检分度头的手柄,使被检分度头转动,同时通过检验棒带动光学分度头转动,进行相应地读数,并作好记录,作误差计算。

二、回转工作台分度精度检查

一般回转工作台分度精度的检查方法有八方检具检查法、精密水平转台对比法、经纬仪检验法。

1. 用八方检具检查回转工作台的分度精度 如图 8-7 所示,这种方法检查比较简便,但这种检查方法只适用分度精度不高的情况下,测量误差在 $8' \sim 8''$ 的范围内。

(1) 精度的标准 分度误差为 $4' \sim 8''$ 。

(2) 操作要点

1) 确保工作台回转中心与八方检具外接圆中心重合。

2) 使千分表在 a 、 b 两点的读数相同后,方可进行测量。

3) 工作台旋转角度要准确。

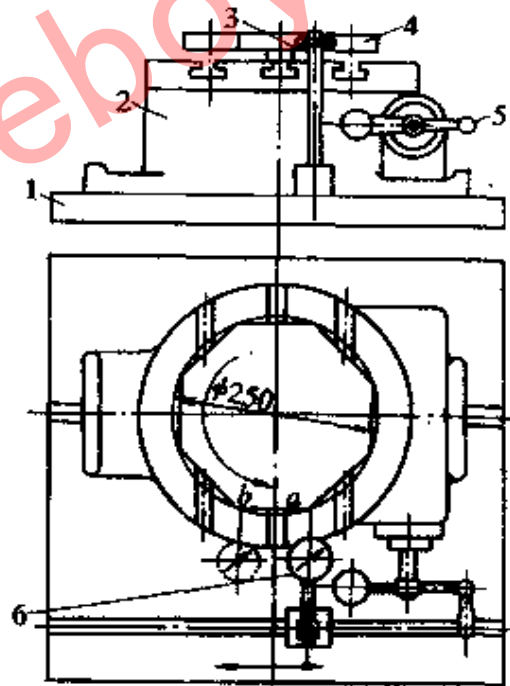


图 8-7 利用八方检具检查回转工作台的分度精度

1—检验平板 2—被检查的回转工作台
3—千分表架 4—八方多面体
5—手柄 6—千分表

(3) 操作步骤

1) 在工作台锥孔中紧密插入八方检具的定位心轴。

2) 将被检工作台固定于检验平台上，使千分表底座上的凸像靠紧在检验平台上导向槽的侧面(没有导槽的用平尺代替)。

3) 使千分表测头触及八方检具的一边上，沿导向槽移动千分表座，使千分表在 a 、 b 两处的读数相同(靠转蜗杆手柄来调整)。

4) 将工作台转过 45° ，千分表在另一边的全部长度上检验，依次检验各边。千分表在任一边两端读数的最大差值就是分度精度的误差。

(4) 注意事项

1) 检验平板、被检工作台、工作台锥孔及定位心轴等的支承平面均应保持清洁。

2) 千分表不许有松动现象。

3) 远离振源。

2. 用精密水平转台对比检验回转工作台分度精度
其检验方法如图 8-8 所示。

这种方法虽不及用经纬仪测量准确，却比用经纬仪方便，效率较高。

(1) 精度标准 分度允差 $\pm 2'$ 。

(2) 操作要点

1) 必须使两转台工作面处于平行状态。

2) 必须使两转台的定位孔回转中心线重合。

3) 必须使精密转台、被检转台游标刻线和千分表指针，三

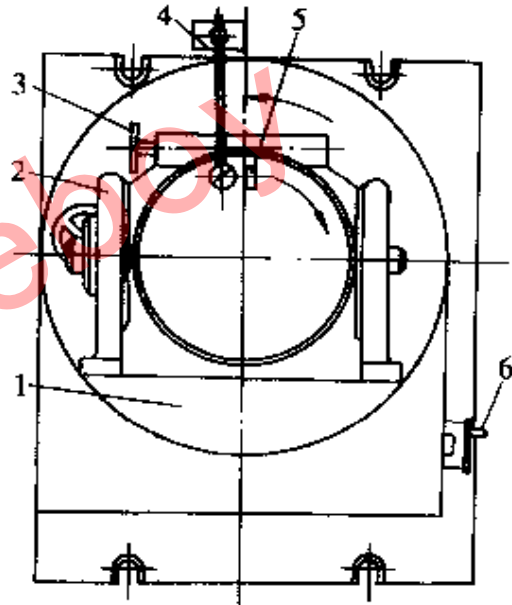


图 8-8 用精密水平转台对比检查
回转工作台分度精度

1—精密水平转台 2—被检查水平转台
3、6—手轮 4—千分表架 5—定位块

者处于零位。

(3) 操作步骤

1) 将精密转台置于平板上或机床工作台上，用水平仪检查，使精密转台处于水平状态。

2) 将被检回转工作台叠放在精密转台上，用千分表找正两台工作面的平行度的误差符合要求（不平行时设法垫平），并使两台定位孔回转中心线重合，用螺钉将两台固定在一起，使其成为一体。

3) 在被检的转台台面上固定一个定位块，将千分表固定在平板上（当在机床工作台上检查时，可将千分表固定在机床主轴上），使千分表测头触及在定位块侧面上。调整精密转台、被检转台的游标刻线和千分表的指针，使三者都处于零位上。

4) 转动被回转工作台手轮，使工作台顺时针旋转一定的整度数（通常为 10° 、 5° 或 1° ）。

5) 转动精密转台手轮，使被检工作台在精密转台上逆时针回转。当转至定位块侧面与千分表测头触及且千分表指针回至零位时（起始位置），工作台即停止转动。

6) 此时，记录两转台的刻线读数，两读数的差值即为被检回转台的分度误差。

(4) 注意事项

1) 平板或机床工作台面，精密转台支承表面及被检回转台的支承表面均应保持清洁。

2) 两台必须紧固好，不许产生相对移位。

3) 远离振源。

3. 用经纬仪检查精密回转工作台分度误差 用经纬仪检验精密转台分度误差如图 8-9 所示。

利用这个方法可以检查高精度的分度转台，如坐标镗床的精密水平分度台，滚齿机和齿轮磨床的工作台分度精度等。

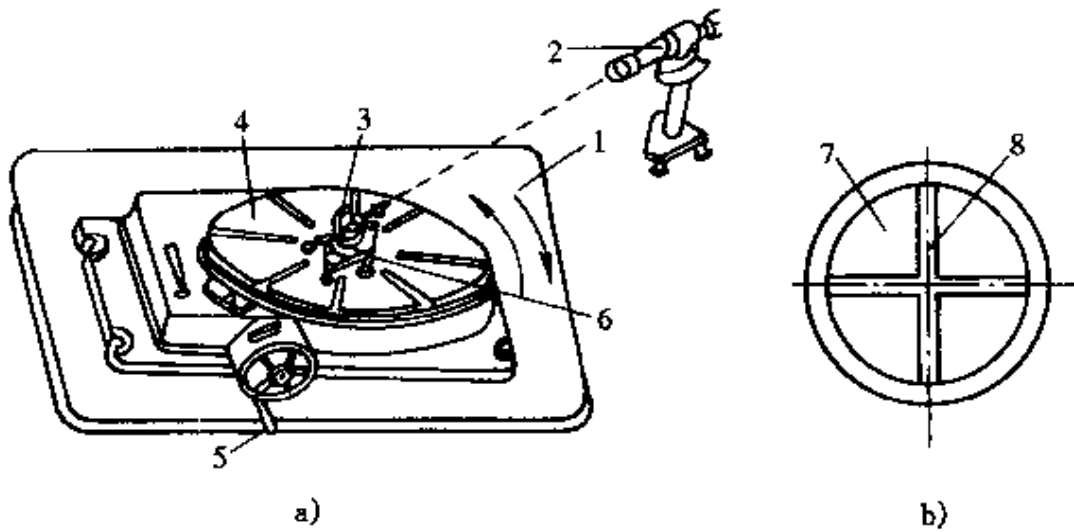


图 8-9 用经纬仪检验精密转台分度误差

1—检验用平板 2—平行光管 3—经纬仪 4—被检水平转台
5—手轮 6—经纬仪上体 7—经纬仪目镜 8—平行光管十字线

第四节 机床传动链精度

凡是由传动链的合成运动加工齿轮和螺纹的机床，为了能获得正确的齿形、螺距和分齿精度，必须保证其传动链有一定的精度。机床传动链精度的检验方法有间接法和直接法两种。

一、间接法

间接法是指按机床说明书规定，加工一个产品，如齿轮或丝杠，对工件进行测量。用检查工件质量的方法，以确定机床传动链的精度是否能加工所要求精度等级的工件。这个方法是反映施工工艺的综合误差，既包括有机床传动链误差，同时也包含着其他因素的误差。

二、直接法

直接法包括两种，静态测量法和动态测量法。对某一传动链的静态或动态下直接进行测量，判断其传动精度，适合于精度较高的传动链。

1. 静态测量法 即使合成运动相应地各走一步，然后停下

来，在静止状态测定各走的步子是否合拍。如果测量值与理论值一致或相差很少，说明传动链精度高。反之，则传动链精度差。用静态测量传动链精度方法，可以排除其他因素的误差，故较之间接测量法在了解机床传动链的精度上直接可靠。但测量手续麻烦，工效低，也易出差错，下面以滚齿机传动链精度测量为例，说明静态测量法的步骤等。

滚齿机传动链精度的静态检验方法 其检验方法如图 8-10 所示。

1) 精度标准：由于分度传动链的传动元件有不同形式的组合，精度标准可根据具体的传动零件确定。本例允差取 0.01mm。

2) 操作要点

① 使分度齿数等于分度蜗轮的齿数。

② 标准分度盘与滚刀主轴的回转中心线必须重合。

③ 经纬仪回转中心与工作台回转中心必须重合。

3) 操作步骤

① 配置分度挂轮，调整分度链，使工作台分度齿数等于工作台分度蜗轮齿数 z 。

② 在滚刀轴上装一个标准分度盘，在立柱上装一个显微镜，用来确定标准分度盘（即滚刀主轴）的旋转角度。（也可采用水平仪定位法，比较仪机械定位法及导轨平直仪定位法来确定）。

③ 在工作台上装一个经纬仪（或光学测角仪）。在机床外面支架上装一个平行光管，也可在远处悬挂一根定标发线，用来确

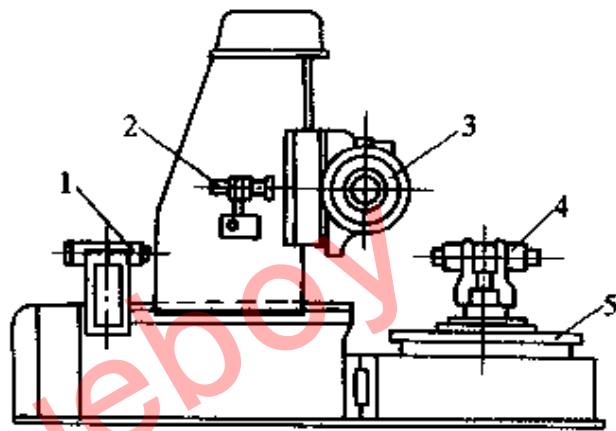


图 8-10 立式滚齿机分度链精度的静态测量

1—平行光管 2—读数显微镜
3—标准分度盘 4—经纬仪
5—工作台

定工作台的旋转角度。

④ 当滚刀转一转时，工作台分度蜗轮理论上应当转过 $360^\circ/z$ ，滚刀主轴每旋转一转，将经纬仪返回至原来位置，按照经纬仪的读数以确定工作台实际转过的角度。

⑤ 在工作台旋转一周中依次检验，测得一组误差数值，任何相邻的两个误差值中，取其中最大的代数差，就是滚刀（或蜗杆）每转时的误差。在一组误差值中，取其中最大绝对值之和，就是工作台转一转时的周期误差，即滚齿机分度链的分度误差，都用角度秒来表示。

⑥ 工作台正转和反转各检验一次。

4) 注意事项

① 显微镜、经纬仪、平行光管、工作台及座身导轨等的支承表面均应保持清洁。

② 经纬仪、平行光管、显微镜及工作台之间在测试中不得移动。

③ 机床不许有振动。

2. 动态测量法 在机床的运转过程中用动态测量仪进行的测量，称为动态测量。其特点是效率高，精度准确，能连续而直接地测量出机床的传动误差，且能将传动误差自动记录下来。这就便于分析误差的变化规律，找出误差发生的根源，从而采取提高精度的正确措施。

(1) 立式插齿机用滚动法检验分度精度，如图 8-11 所示。

1) 精度标准 分度链允差 0.01mm。

2) 操作要点

① a 、 b 圆盘的直径比应是交换齿轮表中的某一传动比。

② 调整机床分度链，使传动比等于圆盘 a 和 b 的直径比。

③ 使圆盘 a 和 b 紧密地相互接触，两者严格地按着直径比传动，相互间不应产生滑动。

3) 操作步骤

① 在装插齿刀的主轴上，装夹一个摩擦圆盘 a 。在工作台

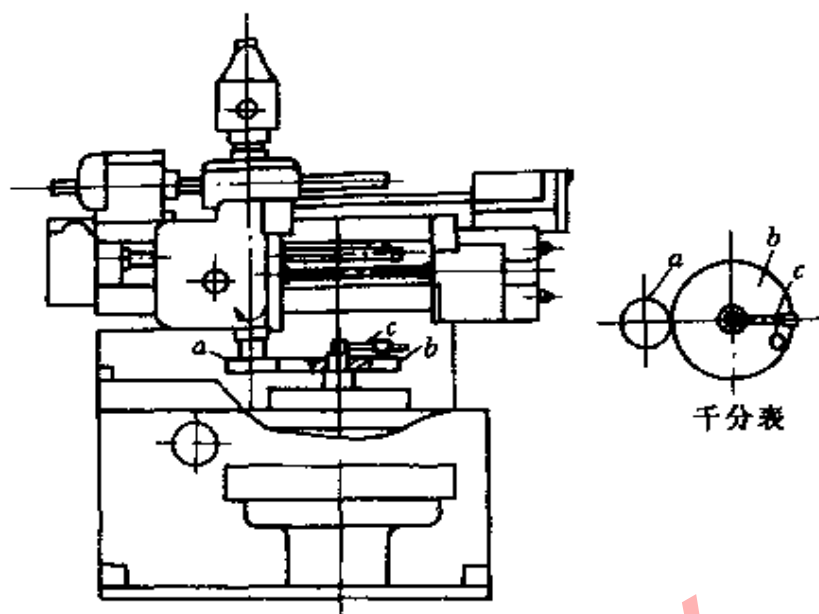


图 8-11 插齿机分度链精度的检验方法

的锥孔中紧密地插入一根心轴，轴上空套一个摩擦圆盘 b 。圆盘 a 和 b 的直径应该选用直径比在机床交换齿轮表中可以查到的传动比。

② 调整机床由主轴到工作台的分度链，通过交换齿轮，使传动比等于圆盘 a 和 b 的直径比。

③ 使圆盘 a 、 b 紧密地相互接触，当圆盘 a 旋转时，圆盘 b 应严格地按着直径比跟着转动，相互间不应产生滑动。

④ 在圆盘 b 上固定一百分表，使百分表的测头触及固定在工作台心轴上杠杆 c 的侧面上。

⑤ 旋转工作台和主轴，在工作台顺时针转一转上检验。百分表读数的最大差值就是机床分度链的误差。

⑥ 工作台逆时针方向再检验一次。

4) 注意事项

① 插齿刀主轴，工作台、圆盘 a 和 b 及心轴等相互配合表面均应保持清洁。

② 圆盘 a 、 b 的尺寸误差和形状误差必须最小。

③ 机床在测量中不许产生振动现象。

(2) 滚齿机传动链精度用滚切法检查, 如图 8-12 所示。

1) 精度标准 取允差 0.01mm。

2) 操作要点

① 滚刀轴与工作台轴线必须平行。

② 摩擦盘 3 和 1 的直径比等于滚刀与工作台之间的传动比。

3) 操作步骤

① 调整滚刀轴与工作台轴线平行。

② 在滚刀轴上装摩擦圆盘 1, 在工作台上同轴地装一个带有心轴的固定盘 5, 在心轴上空套一个摩擦圆盘 3。两个摩擦盘的直径比等于滚刀轴与工作台之间的传动比。

③ 当摩擦盘 1 转动时, 借摩擦力带动摩擦盘 3, 从而构成一个标准的比较机构。

④ 当滚刀轴至工作台传动链间没有产生误差时, 摩擦盘 3 和固定盘 5 会同步运转。

⑤ 当传动链间产生误差时, 摩擦盘 3 和固定盘 5 之间就会产生相对转动。这时, 装在摩擦盘 3、固定盘 5 之间的传感器就能将电信号输出、放大、整流和记录。

⑥ 根据记录出的曲线, 对传动链的误差可作定性和定量的分析, 以确定传动链的精度和误差的来源。

4) 注意事项

① 两摩擦盘的形状误差及尺寸误差必须小。另外, 与轴相配合的间隙要合理、适当。

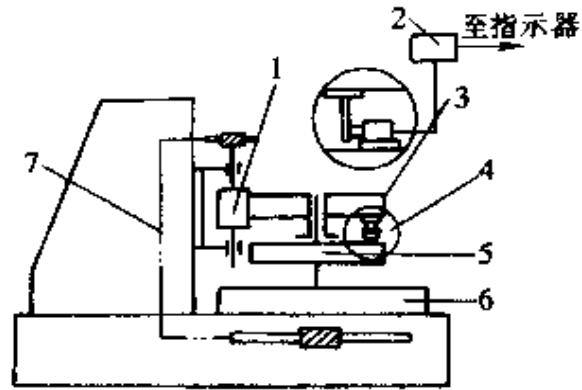


图 8-12 滚齿机“滚动—电转换系统”测量示意图

1、3—摩擦盘 2—载波放大器
4—电感测头 5—固定盘
6—工作台 7—传动链

- ② 机床不允许有振动。

复习思考题

1. 机床修理装配中包括哪些精度？
2. 机床定位精度的检验方法有哪些？各方法如何检查的？注意哪些事项？
3. 机床重复定位精度检验方法有哪些？各方法应如何检查？注意哪些事项？
4. 机床分度精度检验方法有哪些？各方法应如何检查？注意哪些事项？
5. 机床传动精度检验方法有哪些？各方法如何检查？应注意哪些事项？
6. 机床传动链精度检查方法中直接法包括哪些内容？
7. 静态测量法适用哪些场合？应如何检查？注意事项是什么？
8. 动态测量法适用哪些场合？如何操作？注意事项是什么？
9. 机床修理装配后精度检查应注意哪些事项？

第九章 减少测量误差

培训要求 了解测量误差产生的原因，掌握减少测量误差的方法和注意事项。

第一节 产生测量误差的原因

一、测量基准误差

测量基准就是测量过程中所依据的标准件或校对件。如量块、塞规、批量生产的专用检具等。测量基准误差就是由测量基准在制造和检定时不精确或使用方法不正确而产生的误差。

二、测量工具误差

测量工具包括：万能量具、机械式测微仪以及光学、电动、气动量仪。它们产生的误差有：原理误差（设计过程中采取了近似计算等）；制造误差（元件的制造精度差、装配间隙不当或静摩擦力造成的瞬间不动等）；使用方法误差（调整不到位，如不垂直、达不到水平等或手劲、视角的不合理）；磨损误差（量具使用后发生磨损产生的误差）。

三、测量条件误差

由于温度、湿度、振动等环境条件的变化，引起的测量基准、测量工具和被测物的变化而产生的误差就是条件误差。

四、测量方法误差

被测值是间接得出的或需采取一些近似的测量和计算而得到的，所产生的误差。由于操作者分辨能力所限或因偏视，疲劳、粗心引起的误读、误记而产生的误差；由于被测对象的安装、定位和瞄准方式的不正确而产生的误差等，均属测量方法误差。

第二节 测量基准误差的消除

一、量块

量块是分等和分级的。等是根据检定精度化分的，分为五等；级是根据制造精度化分的，也分五级。量块是按等、级使用的。

1. 正确组合量块 所谓正确组合量块，就是要求选择量块的块数尽量少。由量块等级误差的计算原理可知，无论是按级或等使用量块，减少量块组的块数，都可减少组合量块的极限误差。

常用的量块组有 83 块和 38 块两种。尺寸系列如表 9-1 所示。

表 9-1 常用的两种成组量块尺寸系列

总块数	级 别	名义尺寸系列/mm	尺寸间隔 /mm	块数	
83	0, 1, 2, 3	0.5	—	1	
		1	—	1	
		1.005	—	1	
		1.01; 1.02; ...	1.49	0.01	49
		1.5; 1.6; ...	1.9	0.1	5
		2.0; 2.5; ...	9.5	0.5	16
		10; 20; ...	100	10	10
38	1, 2, 3	1	—	1	
		1.005	—	1	
		1.01; 1.02; ...	1.09	0.01	9
		1.1; 1.2; ...	1.9	0.1	9
		2; 3; ...	9	1	8
		10; 20; ...	100	10	10

组合量块时的原则是，从量块尺寸的末位数开始，每选择一块量块，至少要消掉量块尺寸中的一位数字，另外，块数不超过 4 块。

例如：用 83 块编组的量块，组合 57.86mm 这个尺寸。

有两种方法：

1.06		
1.8		1.36
5		6.5
50	或	50
57.86		57.86

上例中，应采用第二种组合法为宜，因为量块数较少，决定了组合精度较高。

2. 正确选择量块的等级 量块等级选的过高会造成浪费；选的太低会影响测量精度。因此要按下述原则来选择：

1) 使用量块检验量具和仪器时，可按表 9-2 选择量块精度等级。

表 9-2 检定量具和仪器量块的精度等级

被 检 定 的 量 具 或 仪 器	量块精度	
	等	级
分度值 $i=0.002\text{mm}$ 的测微计、杠杆千分尺、杠杆卡规、千分表、外径千分尺和 0.01mm 的 0 级外径千分尺	4	1
$i=0.005\text{mm}$ 和 0.01mm 的测微计、杠杆卡规， $i=0.01\text{mm}$ 的 0 级百分表、1 级千分尺、内径千分尺；工具显微镜	5	2
$i=0.02\text{mm}$ 和 0.05mm 的游标卡尺、深度游标卡尺、高度游标卡尺； $i=0.01\text{mm}$ 的 2 级千分尺、2 级深度千分尺、2 级内径千分尺、1 级和 2 级百分表； $i=0.1\text{mm}$ 的游标卡尺，深度游标卡尺、高度游标卡尺		3

2) 使用量块检验工件时，应根据被检验工件的名义尺寸、精度等级和与量块联合使用的仪器（量具）的允许误差值，参照表 9-3 选择量块的精度等级。

例 1 检验分度值 $i=0.002\text{mm}$ 的千分表时，如何选用量块的等级？

由表 9-2 可查得，应选用 4 等 1 级的量块。

例 2 用示值误差为 0.002mm 的外径千分表与量块联用，检验一个尺寸为 $\phi 115\text{mm}$ ，公差等级为 IT5 的轴径，需选用什么等级的量块？

由表 9-3 可查得：应选用 5 等 2 级量块

表 9-3 检验工件用量块的精度等级

被检工件 名义尺寸 /mm	被检工件精度等级					和量块联合 使用的量具 仪器的示值 误差/mm	量块 精度	
	按国际 标准 (ISO)	按旧国标 GB159—59		相当于新国标 GB1800—79			等	级
		孔	轴	孔	轴			
≤30 >30~180 >180~500	5 级	—	1 级	—	IT5	0.001 0.002 0.003	5	2
≤6 >6~80 >80~260 >260~500	6~7 级	1 级 和 2 级	2 级 和 3 级	IT6~IT7	IT6~IT7	0.001 0.002 0.003 0.005		3
≤50 >50~120 >120~300 >300~500	8 级和 8 级以下	3 级和 3 级以下	4 级和 4 级以下	IT8 和更 低精度	IT8 和更 低精度	0.003 0.005 0.007 0.01		3

注意，表 9-2、9-3 中都有等一栏是空的现象，这表明只要满足相应级的量块即可选用。

二、标准件和校对件

除量块以外，在检验计量工作中还常用其他标准件和校对件。它们有的用来校对量具或仪器的零位，如千分尺的校对棒；有的直接用来同工件进行比较，如标准齿轮；有的用来测量工件的形状和位置误差，如标准圆柱。

1. 利用通用测量基准简化或代替标准件在检验计量工作中，通常采用量块、样板平尺、标准圆柱、直角尺等通用测量基准或它们的组合，来简化或代替标准件。

例 3 用样板平尺检查零件表面的直线度误差。

在检查过程中，可根据零件的透光量与“标准光隙”的比较来估计间隙的大小，即零件表面的直线度误差。要制造一个建立标准光隙的标准件是十分困难的，且精度要求高，很难实现。为了简化这一过程，我们可采用通用测量基准的组合来提供标准光隙。具体作法如图 9-1 所示。在平晶上研合几个量块组，两端的

两组量块尺寸相同，中间的几组量块略小，且各不相同。这样，光通过量块与样板平尺间的间隙后，就形成了一系列不等的标准光隙，从而为工件表面直线度误差的测量提供了对照标准。

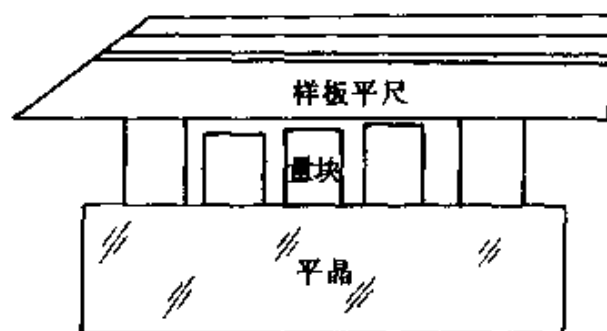


图 9-1 标准光隙

2. 利用几何关系简化标准件 在角度和垂直度测量中，利用一些简单的几何关系，简化甚至省略标准件，就可实现本身的检定即自检。这不仅可以免去或减少标准件的高成本，而且可获得较高的精确度（有理论作保证）。

例 4 利用自检法鉴定方箱垂直度误差。

从理论上讲应当用一个精度较高的 90° 标准件来检定方箱的四个直角，用 C 来确定测微仪 A、B 的零位，如图 9-2a 所示。然后分别检定方箱的四个直角： ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 、 ϕ_4 ，从而求出偏差 Δ_1 、 Δ_2 、 Δ_3 、 $\Delta\phi_4$ 。

但直角标准件制造困难，且它的误差会反映到测量误差上。

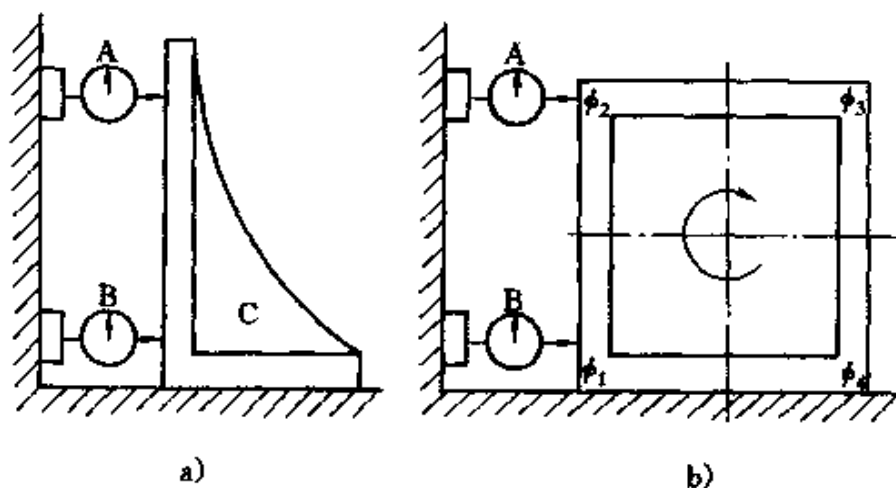


图 9-2 检查方箱的垂直度误差

a) 用标准件 C 对零 b) 测量

如果利用四边形内角和等于 360° 这个几何关系, 就可知

$$\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4 = 360^\circ \quad (9-1)$$

从而实现方箱直角垂直度检定的自检。

设方箱四个角的实际值和偏差分别为 ϕ_1 、 $\Delta\phi_1$; ϕ_2 、 $\Delta\phi_2$; ϕ_3 、 $\Delta\phi_3$; ϕ_4 、 $\Delta\phi_4$ 。则有

$$\left. \begin{aligned} \Delta\phi_1 &= \phi_1 - 90^\circ \\ \Delta\phi_2 &= \phi_2 - 90^\circ \\ \Delta\phi_3 &= \phi_3 - 90^\circ \\ \Delta\phi_4 &= \phi_4 - 90^\circ \end{aligned} \right\} \quad (9-2)$$

取 ϕ_1 为临时基准, 并以此确定测微仪 A、B 的零位 (如图 9-2b)。测出 ϕ_2 、 ϕ_3 、 ϕ_4 相对 ϕ_1 的偏差 $\Delta\phi'_2$ 、 $\Delta\phi'_3$ 、 $\Delta\phi'_4$ 。由此可知:

$$\left. \begin{aligned} \phi_1 &= \phi_1 \\ \phi_2 &= \phi_1 + \Delta\phi'_2 \\ \phi_3 &= \phi_1 + \Delta\phi'_3 \\ \phi_4 &= \phi_1 + \Delta\phi'_4 \end{aligned} \right\} \quad (9-3)$$

代入式 9-1 得

$$\begin{aligned} \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4 &= \\ 4\phi_1 + \Delta\phi'_2 + \Delta\phi'_3 + \Delta\phi'_4 &= 360^\circ \\ \phi_1 &= 90^\circ - \frac{\Delta\phi'_2 + \Delta\phi'_3 + \Delta\phi'_4}{4} \end{aligned} \quad (9-4a)$$

代入式 9-3 得

$$\phi_2 = 90^\circ + \Delta\phi'_2 - \frac{\Delta\phi'_2 + \Delta\phi'_3 + \Delta\phi'_4}{4} \quad (9-4b)$$

$$\phi_3 = 90^\circ + \Delta\phi'_3 - \frac{\Delta\phi'_2 + \Delta\phi'_3 + \Delta\phi'_4}{4} \quad (9-4c)$$

$$\phi_4 = 90^\circ + \Delta\phi'_4 - \frac{\Delta\phi'_2 + \Delta\phi'_3 + \Delta\phi'_4}{4} \quad (9-4d)$$

在多数情况下, 检定中只需求出角度偏差 $\Delta\phi_1$ 、 $\Delta\phi_2$ 、 $\Delta\phi_3$ 、 $\Delta\phi_4$ 即可。将 9-4 代入 9-2 得

$$\left. \begin{aligned} \Delta\phi_1 &= -\frac{\Delta\phi'_2 + \Delta\phi'_3 + \Delta\phi'_4}{4} \\ \Delta\phi_2 &= \Delta\phi'_2 - \frac{\Delta\phi'_2 + \Delta\phi'_3 + \Delta\phi'_4}{4} \\ \Delta\phi_3 &= \Delta\phi'_3 - \frac{\Delta\phi'_2 + \Delta\phi'_3 + \Delta\phi'_4}{4} \\ \Delta\phi_4 &= \Delta\phi'_4 - \frac{\Delta\phi'_2 + \Delta\phi'_3 + \Delta\phi'_4}{4} \end{aligned} \right\} \quad (9-5)$$

式中的 $\Delta\phi_1$ 、 $\Delta\phi_2$ 、 $\Delta\phi_3$ 、 $\Delta\phi_4$ 即为方箱垂直度误差的检定结果。

若测微仪 A、B 零位已定, 测出 ϕ_2 、 ϕ_3 、 ϕ_4 角读数如下:

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4
测微仪 A	0	-0.006	-0.008	0.002 (mm)
测微仪 B	0	0	0	0

则 $\Delta\phi'_2 = -0.006$; $\Delta\phi'_3 = -0.008$; $\Delta\phi'_4 = 0.002$

将 $\Delta\phi'_2$ 、 $\Delta\phi'_3$ 、 $\Delta\phi'_4$ 代入式 9-5 得:

$$\Delta\phi_1 = -\frac{\Delta\phi'_2 + \Delta\phi'_3 + \Delta\phi'_4}{4} = 0.003\text{mm}$$

$$\Delta\phi_2 = \Delta\phi'_2 - \frac{\Delta\phi'_2 + \Delta\phi'_3 + \Delta\phi'_4}{4} = -0.003\text{mm}$$

$$\Delta\phi_3 = \Delta\phi'_3 - \frac{\Delta\phi'_2 + \Delta\phi'_3 + \Delta\phi'_4}{4} = -0.005\text{mm}$$

$$\Delta\phi_4 = \Delta\phi'_4 - \frac{\Delta\phi'_2 + \Delta\phi'_3 + \Delta\phi'_4}{4} = 0.005\text{mm}$$

所以 $\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 + \Delta\phi_3 + \Delta\phi_4 = 0$

由式 9-5 可以得到:

$$\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 + \Delta\phi_3 + \Delta\phi_4 \equiv 0$$

这就是误差封闭条件。用它可检查测量和计算是否有误。上例中四个误差的和已为零, 证明测量和计算无误。

第三节 测量工具误差的消除

测量工具误差在测量总误差中占有很大比重。为了最大限度地减少测量工具误差，就要正确选择测量工具。在选择中一方面要了解量具、量仪的技术指标，另一方面要依据工件的公差要求，两者的匹配，才能提高测量的精确度。

一、量具量仪的技术指标

1. 刻度值（分度值） 刻线尺或刻度盘上最小一格所代表的被测尺寸值。通常应注明，如百分表的刻度值为0.01mm。

2. 刻度间隔 量具刻线尺或刻线盘上相邻两条刻线之间的距离就是刻度间隔，通常为0.8~2mm

3. 指示范围（示值范围） 量具刻线尺或刻度盘上全部刻度所代表的被测尺寸数值。如千分尺的指示范围为25mm。

4. 测量范围 量具所能测出被测尺寸的最大值与最小值。如千分尺的测量范围有0~25mm；25~50mm等多种，但示值范围都是25mm。

5. 放大倍数（灵敏度） 量仪指针端点的位移量与引起该位移量的被测尺寸变动量之比。在数值上应当等于量仪的刻度间隔与刻度值之比。

$$k = \frac{c}{i}$$

式中 k ——放大倍数；

c ——刻度间隔；

i ——刻度值。

若分度值 $i = 0.0005\text{mm}$ ，放大倍数 $k = 2000$

则 $c = ki = 2000 \times 0.0005\text{mm} = 1\text{mm}$

6. 测力 在测量过程中，量仪测头与工件表面间的作用力。

7. 示值变化（示值稳定性、示值变差、示值重复性） 在外界条件一定时，对同一被测值进行多次测量，量仪指示值的最大变动范围。它由量仪结构中的间隙、摩擦、变形等各种复杂因素引起。

代表量仪的偶然误差，一般不超过刻度值的 $1/5 \sim 1/2$ 倍。

8. 示值误差 示值误差是量仪指示值与被测尺寸的实际值之差。对于机械式量仪主要是指系统误差。不同计量器具规定示值误差的方法不同。游标卡尺、测微仪、比较仪、千分尺和杠杆千分尺规定了示值误差的上、下偏差 ($\pm \Delta$)；对于百分表、内径百分表、杠杆百分表和千分表规定了最大示值误差的数值 Δ 。

9. 回程误差 回程误差是指对同一尺寸进行正、反两个方向的测量时，在同一测量位置上，量仪正、反行程读数的最大差值。

10. 灵敏限 被测尺寸引起量仪产生示值的最小变动量为该量仪的灵敏限。如当被测尺寸变动量为 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 时，百分表的指针才开始转动，则该百分表的灵敏限为 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 。

二、误差的消除

误差的消除应从正确选择量具量仪，提高现有量具量仪的测量精度及正确使用量具量仪三方面入手。

1. 正确选择量具和量仪 量具量仪的技术指标是选择量具、量仪的依据。其测量范围或指示范围应满足被测工件尺寸或公差的要求。其测量误差应与工件的公差相匹配。还要考虑示值变化、灵敏限等技术要求。为此，要最大限度地减少测量误差，必须正确选择量具和量仪。

(1) 绝对测量时，要求量具、量仪的测量范围大于且接近于被测工件尺寸。若测量范围过大，既不经济也不准确。如在测量 250mm 的工件时，宜用测量范围为 $0 \sim 300\text{mm}$ ，刻度值为 0.02mm ，示值误差为 $\pm 0.02\text{mm}$ 的游标卡尺，而不宜用测量范围为 $0 \sim 500\text{mm}$ ，示值误差为 $\pm 0.04\text{mm}$ 的游标卡尺。

(2) 比较测量时，量具的指示范围一定要大于零件的公差。如零件公差为 $\pm 0.03\text{mm}$ ，就不能选择指示范围为 $\pm 0.03\text{mm}$ 的测微仪来测量。

(3) 测量工件的形状和位置误差时，当测量工件表面平面度误差或径向圆跳动误差时，由于测头经常往复运动，所以要考虑

回程误差的影响；当测量高精度零件时，应选择灵敏度好，回程误差小的量具，如扭簧比较仪等；当测量薄、软等易变形的零件时，应选用测力较小的量具，如杠杆千分表或非接触式测量仪——气动量仪、光学投影仪等。

2. 提高现有量具的测量精度

(1) 采取比较测量代替绝对测量 在我国一些广泛为生产车间采用万能量具的更新换代只能逐步进行。要想提高这一类量具的测量精度，应采取比较测量代替绝对测量。例如，当采用量块作标准件进行比较测量圆柱形零件时，千分尺的测量误差可下降 33%~40%；而采用标准圆柱作标准件时，测量误差可下降 58%~67%。从而提高了千分尺这种通用万能量具的可测精度。一般可提高 1~2 级。

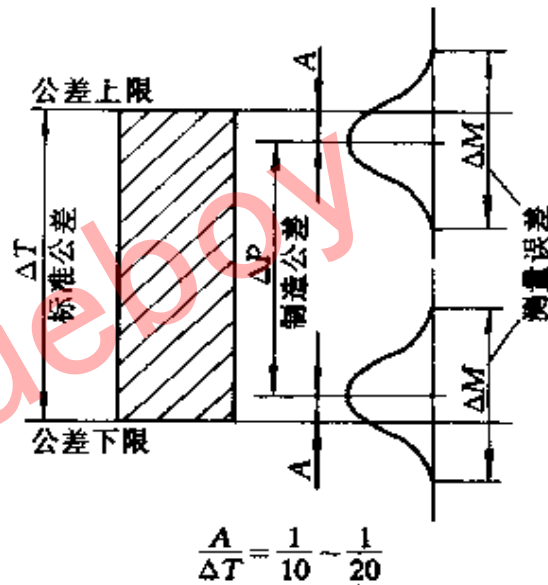


图 9-3 光滑工件的尺寸检验原则

(2) 压缩工件的制造公差 扩大安全裕度 A 在标准公差中所占的比例 (如图 9-3)，以扩大计量器具的使用范围。但这种方法只是一个过渡措施。扩大安全裕度 A 将压缩工件的加工公差，造成加工困难，并提高了废品率，造成经济损失。因此扩大后的安全裕度 A' 以不超过工件公差的 15% 为宜。

3. 正确使用量具和量仪 在实际工作中，不合理使用计量器具产生的误差常大于计量器具自身的不确定度。为了充分发挥计量器具的效能，必须熟悉量具、量仪的构造和使用方法。并且应特别注意量具与被测工件间的正确测量位置和量具装卡部分的刚性。

(1) 量具和被测工件的正确测量位置 正确的测量位置应使量具测头的移动方向与被测尺寸的方向一致。因此,在安放百分表、千分表和杠杆表等量具时,应使其测头运动方向垂直于被测表面,或位于被测表面的法线方向。只有这样才能测出被测尺寸的真实值。图 9-4a 所示的测量方法是错误的。测得值小于真实值;图 9-4b 的测量方法是正确的。若必须在前一种情况下进行测量,应将测得值乘以一个 $1/\cos\alpha$

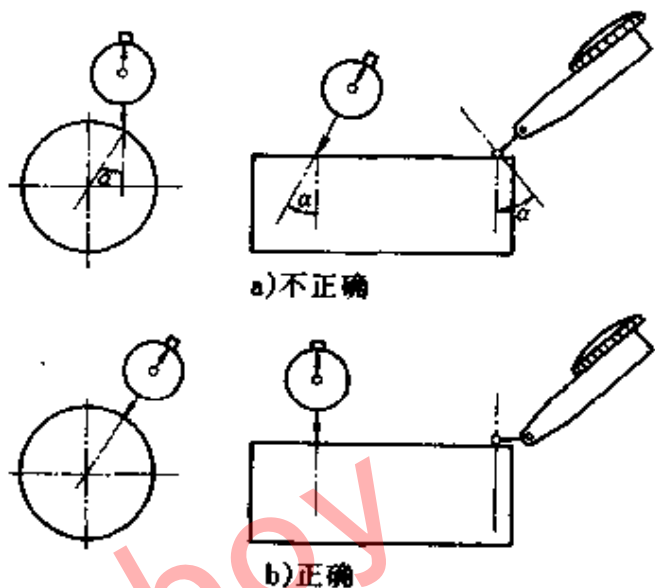


图 9-4 量具的正确安置

a) 不正确 $\alpha \neq 0$ b) 正确 $\alpha = 0$

即:
$$\Delta L = \frac{1}{\cos\alpha} \Delta l$$

式中 ΔL ——测得值;

Δl ——读数值;

α ——测头移动方向同工件被测表面法线间的夹角。

(2) 注意量具装卡部分的刚性 在生产现场,通常要在平台、夹具,甚至在机床上测量工件,所以应特别注意量具装夹部分的刚度,否则会产生较大测量误差。

如在百分表架上用百分表测量工件时(图 9-5),在测力 F 作用下,支柱产生变形 f 。随着 F 的变化 f 也发生变化,从而产生测量误差。其数值与支柱直径 d 、伸出长度 l_2 、支柱高 l_1 以及测力变化量 ΔF 有关。为了减少这一误差, ΔF 一般不超过 50~60g;支柱高度 l_1 和伸出长度 l_2 不应过长,对于百分表一般不应超过 150mm;对于千分表一般不应超过 100mm。支柱直径 d 应大于 10mm,小于 16mm。另外,在进行精密测量时,应采用刚性较好的测微表座。

(3) 通过调整减少计量器具的示值误差 计量器具的内在误

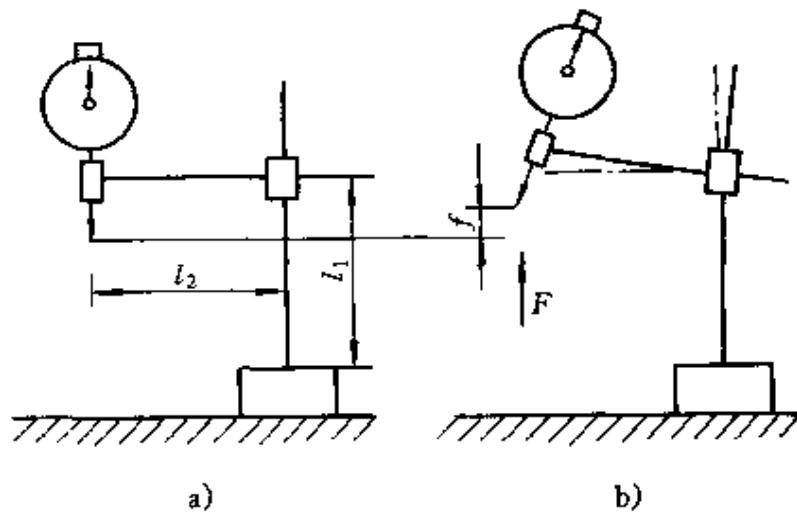


图 9-5 百分表架变形产生的测量误差

差决定了它的不确定度。在我国虽没有对这项精度进行规定，但示值误差与不确定度最为接近。因此通过调整减少计量器具的示值误差，对于提高测量精度有重要意义。

有调整机构的，可通过调整机构来减少示值误差；没有调整机构的，可通过补偿由元件制造、装配和使用中磨损而带来的误差，来减少示值误差。例如，在百分表、小尺寸内孔表等的装配过程中，通过正确选择各元件的装配位置，使它们的误差相互抵消。因为量具的示值误差是各元件单独产生的示值误差的代数和。若一个零件（如百分表的齿条）产生的示值误差为正，而另一个零件（如百分表的轴齿轮）产生的是负误差，那么这两个误差可以互相抵消。

第四节 测量条件误差的消除

在测量过程中，温度、测力、湿度、振动、灰尘对测量都有影响，其中温度、测力影响较大。

一、温度误差

由于多数物体具有热胀冷缩的特性，所以在不同温度下，尺寸也不同。为此，国际上规定以 20°C 为工业计量标准温度。

1. 温度对测量误差的影响

(1) 任何物体相对其在标准温度下的尺寸变化量 ΔL ，与物体的长度 L 及其温度 t 与标准温度的误差： $\Delta t = t - 20^\circ\text{C}$ 成正比，即

$$\Delta L = \alpha L \Delta t = \alpha L (t - 20^\circ\text{C})$$

式中 α ——线膨胀系数，是物体材料的一种属性。

表 9-4 列出了不同材料的线膨胀系数。其单位为 $1/^\circ\text{C}$ ，即单位长度上温度每变化 1°C 时的尺寸变化量。

表 9-4 不同材料的线膨胀系数 ($1/^\circ\text{C}$)

材 料	α	材 料	α
钢	11.5×10^{-6}	铬	8.4×10^{-6}
铸铁	10.4×10^{-6}	镍	13×10^{-6}
铝	24×10^{-6}	镍合金	15.2×10^{-6}
黄铜、青铜	18.5×10^{-6}	不锈钢	$(10 \sim 18) \times 10^{-6}$
纯铜	16.5×10^{-6}	硬质合金	5.5×10^{-6}
镁合金	27×10^{-6}	玻璃	$(6 \sim 9) \times 10^{-6}$
银	19.7×10^{-6}	石英	0.5×10^{-6}
金	14.3×10^{-6}		

如 100mm 长的金属材料在温度变化 1°C 时，引起的尺寸变化量为

$$\text{钢: } \Delta L = 11.5 \times 10^{-6} \times 100\text{mm} \times 1 \approx 0.001\text{mm}$$

$$\text{铝: } \Delta L = 24 \times 10^{-6} \times 100\text{mm} \times 1 \approx 0.0025\text{mm}$$

可见温度变化引起的尺寸变化对于高精度测量是不可忽视的。

(2) 工件与量具的材料、温度均不同时，产生的测量误差可用下式计算

$$\Delta L = L [\alpha_1 (t_1 - 20^\circ\text{C}) - \alpha_2 (t_2 - 20^\circ\text{C})]$$

式中 L ——被测工件长度 (mm)；

α_1 、 α_2 ——计量器具与工件的线膨胀系数 ($1/^\circ\text{C}$)；

t_1 和 t_2 ——计量器具和工件的温度 ($^\circ\text{C}$)。

例 5 用千分尺测量黄铜制件，工件尺寸 $L = 1200\text{mm}$ ，其温度 $t_2 = 25^\circ\text{C}$ ，千分尺温度 $t_1 = 18^\circ\text{C}$ ，求产生的测量误差

$$\begin{aligned}\Delta L &= L [\alpha_1 (t_1 - 20^\circ\text{C}) - \alpha_2 (t_2 - 20^\circ\text{C})] = \\ &= 1200\text{mm} [11.5 \times 10^{-6} (18 - 20^\circ\text{C}) - 18.5 \times \\ &= 10^{-6} (25 - 20^\circ\text{C})] = -0.1386\text{mm}\end{aligned}$$

由公式 $\Delta L = L [\alpha_1 (t_1 - 20^\circ\text{C}) - \alpha_2 (t_2 - 20^\circ\text{C})]$ 可见，当 L 一定时，随着 α_1 和 α_2 、 t_1 和 t_2 的差的增大，误差也增大；在 $\alpha_1 = \alpha_2$ 且温差相同的条件下， L 愈大，误差也越大。这说明在大尺寸测量中更应注意温度的影响。因此，各种量具都规定了使用温度的范围。量具精度越高，测量范围越大，要求其使用温度越接近 20°C 。表 9-5 列出了几种常用量具用绝对测量法测量工件或量规时，对 20°C 的允许偏差；表 9-6 列出了使用量块，用相对测量法测定工件或量规时，对 20°C 的允许偏差。

表 9-5 用绝对测量法在常用量具上测定
工件或量规时对 20°C 温度的允差

计量器具名称	被测工件尺寸/mm			
	1~18	>18~50	>50~120	>120~500
温度允许偏差 ($\pm^\circ\text{C}$)				
杠杆千分尺 杠杆式卡规 0级千分尺	8	6	4	2
1、2级千分尺 测深千分尺 游标卡尺	8	8	6	5

表 9-6 使用各等量块用相对测量法测定工件或量规
时对 20°C 温度的允差

使用量块的精度		被测工件尺寸/mm			
等	级	1~18	>18~50	>50~120	>120~500
		温度允许偏差 ($\pm^\circ\text{C}$)			
3	0	6	4	2	1
4	1	8	5	3	2
5	2	9	6	4	3

2. 误差的消除 为了减少温度引起的测量误差，除了在规定温度偏差范围内进行测量外，还应注意以下几个问题。

(1) 正确选择计量器具和标准件的材料。使其膨胀系数与被测零件一致或接近。机械零件的材料多为钢铁，若标准件的膨胀系数与被测零件相差太大，为了减少测量误差，应限制其测量范围或进行温度修正。如硬质合金量块虽耐磨性好、尺寸稳定，但其线膨胀系数仅为钢的一半，为了避免产生过大的测量误差，其中心长度要小于 10mm。

(2) 在测量前进行定温。若量具或标准件的膨胀系数 α_1 与被测件的 α_2 相同，则

$$\Delta L = L [\alpha_1 (t_1 - 20^\circ\text{C}) - \alpha_2 (t_2 - 20^\circ\text{C})]$$

就变成了

$$\Delta L = \alpha L (t_1 - t_2)$$

这说明，此时测量误差主要由温差决定。为了减少误差，可在测量前定温，即：使二者温度基本相同。定温一般在铸铁平板上进行。中小型件，放 1.5h 左右；大型件，需 3h 以上。对基体大、结构复杂的件，一般要连续定温 24h 以上。

(3) 在测量过程中，保持良好的恒温条件。在计量室里，恒温靠装置实现。在生产现场，则应采取相应措施。如测量工件时，戴上棉线手套；一些大尺寸量具或标准件，应装隔热片。在生产现场测量尺寸大于 500mm 的钢或铸铁件时，环境温度相对于标准温度的偏差应符合表 9-7 的规定。

(4) 在精密测量中进行温度修正。在精密测量中，可根据 $\Delta L = L [\alpha_1 (t_1 - 20^\circ\text{C}) - \alpha_2 (t_2 - 20^\circ\text{C})]$ 进行修正。

例 6 使用钢量块用比较法测硬质合金塞规。已知测量温度 25°C ，测量结果 $L = \phi 89.994\text{mm}$ ，求塞规实际尺寸

钢量块： $\alpha_1 = 11.5 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$

硬质合金 $\alpha_2 = 5.5 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$

$$\begin{aligned} \text{代入 } \Delta L &= L [\alpha_1 (t_1 - 20^\circ\text{C}) - \alpha_2 (t_2 - 20^\circ\text{C})] \approx \\ & 90\text{mm} \times [11.5 \times 10^{-6} (25 - 20^\circ\text{C}) - \\ & 5.5 \times 10^{-6} \times (25 - 20^\circ\text{C})] \approx 0.003\text{mm} \end{aligned}$$

所以塞规实际尺寸为：

$$L + \Delta L = \phi 89.997\text{mm}$$

二、测力误差

在接触式测量中，为了保证量具与工件间有良好的接触，需要有一定的测力，由于测力的作用，会使测头压迫工件表面，产生弹性变形，从而引起测量误差。

1. 测力对测量误差的影响 测力对测量误差影响，是以压陷变形量 f 表现出来的。面压陷变形量主要与下列因素有关。

(1) 测力 测力越大，压陷变形量就越大。所以，在高精度测量时，应选择较小的测力。表 9-8 给出了工件公差与测力的关系。

表 9-8 被测工件公差与测力大小的关系

被测工件公差/ μm	测力 F/N
< 2	≤ 2.5
$2 \sim 10$	≤ 4
> 10	≤ 10

(2) 接触方式 量具与被测工件间接触方式有三种，如图 9-6 所示。

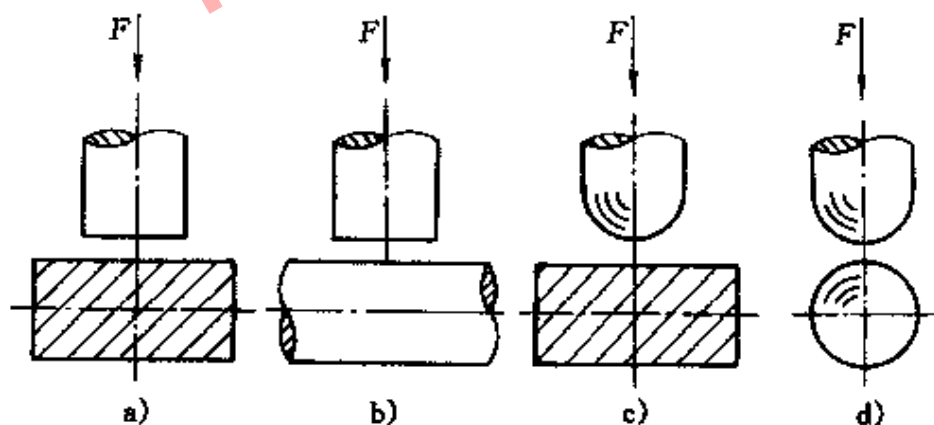


图 9-6 几种不同的接触方式

a) 面接触 b) 线接触 c)和 d) 点接触

1) 平面与平面接触（面接触），压陷变形量极小，可忽略不计。

2) 平面与直线接触 (线接触), 误差 f 较小。

3) 球面与平面或球面与球面接触 (点接触), 误差 f 较大。

(3) 测头和工件的材料 测头和工件的材料硬度越高, 误差 f 越小。所以, 测头常采用硬质合金或宝石等材料。

(4) 测头和工件接触表面的圆弧半径 圆弧半径越小, 误差 f 越大。所以使用尖测头或测小曲率半径的弧面时, 误差 f 较大。

2. 误差的消除

(1) 根据被测件的精度, 按表 9-8 的规定选择测力。

(2) 选择适当的接触方式, 尽量避免点接触。必须采用点接触时, 注意测头圆弧半径不要过小。如用接触式干涉仪检定量块时, 测头圆弧半径通常选 $R = 14\text{mm}$ 。

(3) 在比较测量中, 尽量选择与被测零件的形状和材料相同的标准件。此时测头和标准件上产生了相同的误差 f 。这样可最大限度地减少压陷引起的测量误差。此时应严格控制测力的变化。

(4) 在测量小球、细丝等零件的直径时, 若精度要求高, 可进行修正。如测量滚珠直径时, 可按表 9-9 的数值进行修正。又如在采用三针法测螺纹中径时, 量具与量针以及量针与螺纹间共有 9 处接触, 其中 6 处为点接触。因量针直径较小, 误差 f 较大, 测量结果偏小, 可按表 9-10 的数值来修正。表中的数值是按 10N 测力算出的。若 $F \neq 10\text{N}$ 可以乘以系数 $k = \sqrt[3]{F^2}$

表 9-9 在硬质合金平测头之间测量钢球直径时,

测量数值的修正量

(μm)

钢球直径 D mm	测力 F/N						
	0.5	1	2	5	10	20	50
10	3.8	3.1	2.4	1.8	1.5	1.1	0.8
7	3.0	2.4	1.9	1.4	1.1	0.9	0.6
4	2.1	1.7	1.3	1	0.8	0.6	0.5

表 9-10 三线法测螺纹中径压陷变形量的修正 ($F=10N$)

螺 纹 规 格/mm	修 正 量/ μm
M1×0.25~M1.4×0.3	4
M1.7×0.35~M4×0.7	3
M4.5×0.75~M20×2.5	2
M22×2.5~M149×6	1

第五节 测量方法误差的消除

不断改进测量方法，往往可以收到事半功倍的效果。为此，在这里对如何选择测量基准面、工件的定位方式、接触方式、测量点、测量次数以及测量方法等六方面进行介绍。以便最大限度地减少测量方法带来的误差。

一、合理选择测量基准面

1. 选择测量基面的原则 测量基面是检验计量过程中选定的基准表面。以它为基准进行尺寸、角度或相对位置的测量。它的选择遵循以下原则：

(1) 若设计图样上指定了测量基面，必须利用此基面。

(2) 基面统一的原则，即设计基面、工艺基面、装配基面和测量基面原则上都应选取零件的同一表面，以免产生定位误差。若难以统一，在工序检验时，测量基面与工艺基面一致，而在装配前的终检时，以装配基面作为测量基面。如图 9-7 所示的轴承

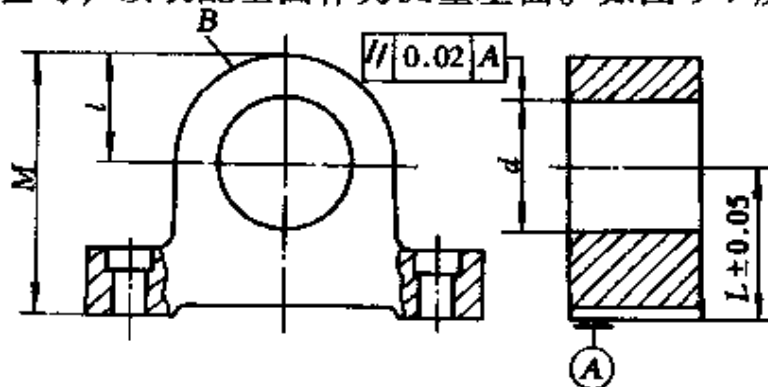


图 9-7 设计基面 A

座。设计基准是 A 面，为了保证孔 d 的尺寸和位置公差，在车床上镗孔时，工艺基准也应选 A（图 9-8a），检验时，测量基准也选 A（图 9-8b）。这样就不会因定位产生测量误差。但若以 B 为测量基准（图 9-7），则 A、B 间的误差就会影响测量误差。

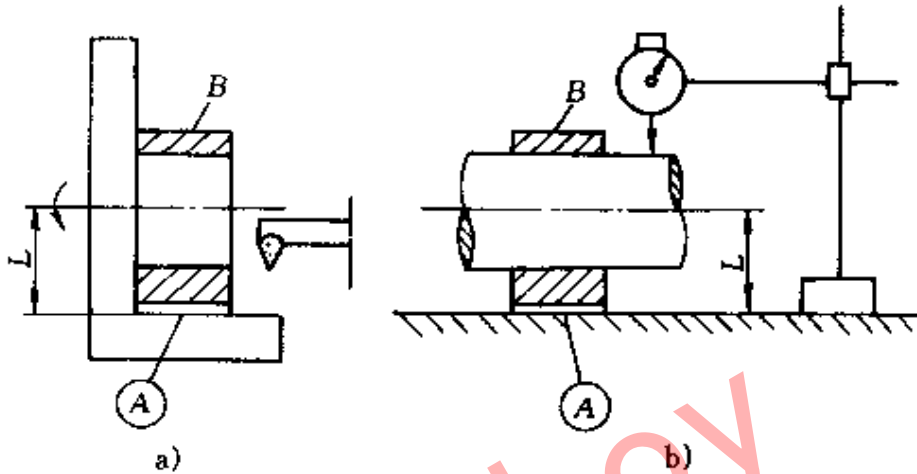


图 9-8 工艺基准和检验基准应与设计基准一致

a) 工艺基准 b) 检验基准

2. 辅助基面的选择 在选择测量基准时，由于条件所限，可能难以遵循基准统一原则。需要采取辅助基面。这时应注意以下几点：

1) 选择精度高的尺寸或尺寸组确定的表面作为辅助基面，以减少定位误差的影响。

2) 辅助基准的稳定性要好，以免因定位不准引起测量误差。

3) 在被测尺寸多的情况下，应选择与被测尺寸关系密切的面作为辅助基面，以免在测量各尺寸时，产生“更换基准”误差。

4) 在工件上无合适的辅助基面时，可加工一个辅助基面作测量表面。或者利用机床、夹具上的辅助表面进行测量。

二、合理选择被测零件的定位方式

1. 阿贝原则 被测件长度与标准量长度之间的比较就是长度测量。它可能是两点间的直线距离，或是点和线、两平行线或两平行面间的最短距离。这条直线的方向就是测量的方向。这条直线就是被测工件上的被测线和标准量上的基准线。为了使测量

误差最小，基准线和被测线间的排列应遵循阿贝原则（串联原则），即：为了获得精确的测量结果，被测线应与基准线重合，或位于基准线的延长线上。这是由于该原则所产生的测量误差是可忽略的二次误差。而另一种原则——并联原则，则使被测线与基准线间平行排列。在测量过程中产生的误差为一次误差，它对测量影响大，不可忽略。

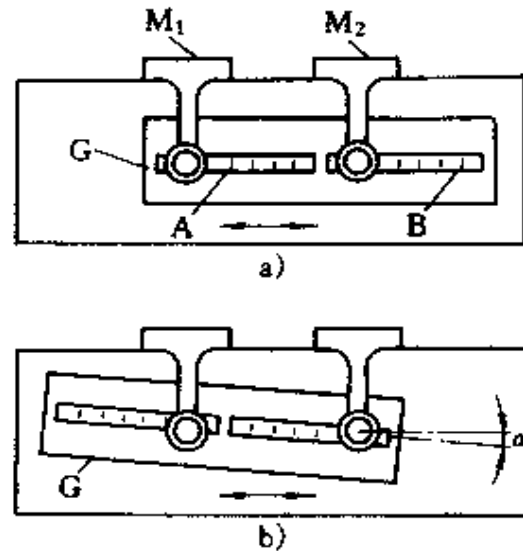


图 9-9 按照串联原则设计的比长仪

a) 零点位置 b) 测量位置

A—标准尺 B—被检尺

M₁, M₂—读数显微镜 G—工作台

例如，在比长仪上检定线纹尺，如图 9-9 所示的情况为按串联原则设计的方案。其产生的误差为（图 9-11a）

$$\Delta L = L (1 - \cos\alpha) \approx \frac{L}{2} \alpha^2$$

式中 ΔL ——测量误差；

L ——被测长度；

α ——在测量过程中被测线的偏转角。

可见其产生的是二次误差，可忽略不计。

而图 9-10 所示的情况是按并联原则设计的。当工作台 G 的运动方向偏斜时，产生的误差为：（图 9-11b）

$$\Delta L \approx s\alpha$$

式中 s ——被测线和基准线间的距离；

α ——测量过程中被测线的偏转角。

阿贝原则是长度计量的基本原则。在量仪设计和选择被测工件的定位方法时，应尽可能遵循它。如测长仪、千分尺等均符合该原则。但若测量长工件，遵循阿贝原则，会使仪器的制造、安

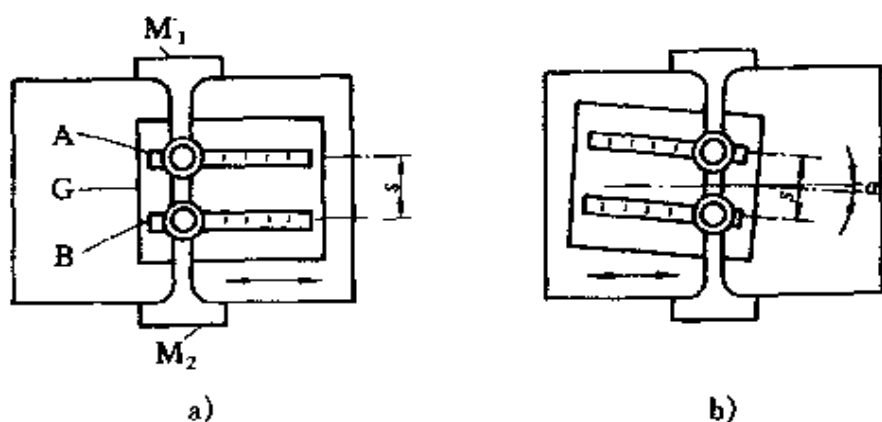


图 9-10 按照并联原则设计的比长仪

a) 零点位置 b) 测量位置

A—标准尺 B—被检尺 M_1, M_2 —读数显微镜 G—工作台

装很不利。而且在生产现场有许多情况下，采取阿贝原则测量会带来一些困难和不便。因此在测量低精度零件或一些特殊场合下，也不必一定遵守阿贝原则，游标卡尺的制造原理就是一个例子。

2. 定位方式的选择

零件的测量基面被正确地选择出来之后，被测线位置随之而定。下一步应考虑的是如何根据阿贝原则（或必要时采用并联原则）安装被测零件，不同形状的零件应当采用什么样的定位方式，以及如何减少由于安装定位引起的测量误差。

(1) 定位面的选择

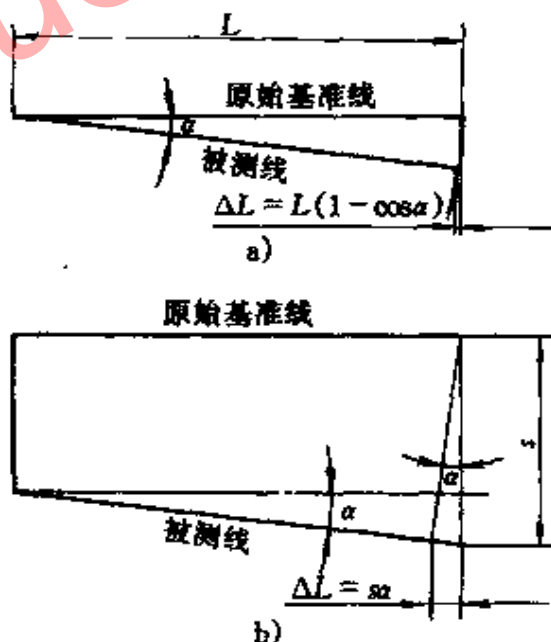


图 9-11 串联原则和并联原则的测量误差

a) 串联原则 b) 并联原则

定位基准（圆柱表面）不一致。所以，被测工件尺寸的变化与其中心线上的尺寸变化量不一致。工件中心上的尺寸变化量除与工件尺寸变化量有关外，还与V形块的半角有关。半角越小，二者差异越大；半角越大，二者差异越小。当半角是 90° 时（相当于一个半面），二者才一致。

另外，测微仪放在工件上面时，测得的工件中心上的误差对于工件的尺寸误差来说是放大的。若测微仪放在工件下面，则是缩小的。为了穷尽误差，多采用前一种方法。应注意的是，用V形块测量工件轴径，必须把测微仪的读数除以一个换算系数 k_1 （或 k_2 ），以便把中心上的误差转换为外径尺寸上的误差，如表9-11。

表 9-11 采用 V 形块测量尺寸时的换算系数

V形块半角 $\alpha / (^\circ)$	45	30	60	36	54
k_1	1.207	1.500	1.077	1.351	1.118
k_2	0.207	0.500	0.077	0.351	0.118

V形块除可测量直径尺寸外，还可测量圆柱体的圆度误差。将工件置于V形块上，旋转一周，从测微表上读出最大值（ S_{\max} ）和最小值（ S_{\min} ），则圆度误差为：

$$f = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{k}$$

式中 k ——换算系数（不仅与半角有关，还与圆形工件棱数有关）。若棱数未知，常采用三块不同角度的V形块来测量，取其最大值，但此法较麻烦。若是3、5、7、9棱的圆度误差， k 都可取2。值得注意的是，此时测微仪表头必须如图9-14所示角度放置。即： $2\alpha = 120^\circ$ 时， $\beta = 60^\circ$ ； $2\alpha = 60^\circ$ 时， $\beta = 30^\circ$ 。这样零件的圆度误差为

$$f = \frac{1}{2} (S_{\max} - S_{\min})$$

③ 内孔表面定位：内孔表面定位通常采取心轴。理论上心轴与内孔的配合要求无间隙。但实际上二者间无间隙是不可能

的，这样就产生了定位误差。为了减少这一误差可采取以下措施。

第一，检验单件产品时，可按内孔配制专用心轴。

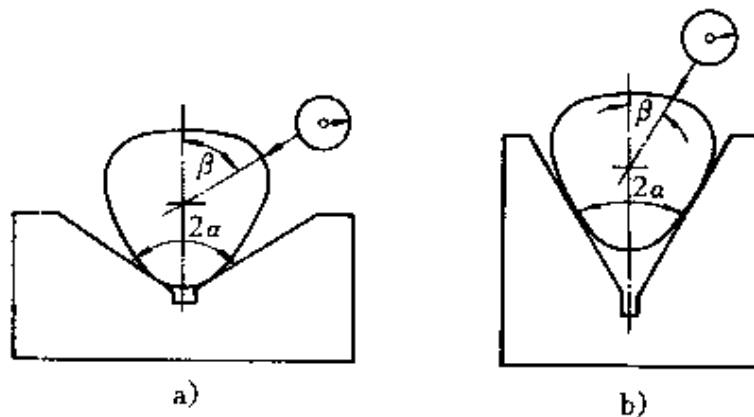


图 9-14 V形块测圆度

a) $\beta = 60^\circ$ b) $\beta = 30^\circ$

第二，根据内孔尺寸公差，做一组尺寸不等的心轴。

第三，利用阶梯心轴。

第四，采用锥度心轴。若工件精度不高，则采用大锥度心轴；若工件精度较高，宜采用锥度较小的心轴。心轴锥度一般为1:1000~1:10000。

(2) 支承的选择 为了减少细长工件的测量误差，应选择正确的支承方法。如图 9-15 所示，第一种情况， $L_0/L < 0.5$ ，支点相距太近；第二种情况 $L_0/L > 0.5774$ ，支点相距太远。这两种情况，变形量都较大。第三种情况支点位置较合理。

支点的选择是要依据工件的条件和测量的要求而定的。通常遵循下述原则：

1) 测量量块时，要求量块变形对两端面的平行度误差影响最小，此时伸出长度： $L_1 = 0.2113L$ 即选取“艾利点”作支承点。

2) 测量线纹尺长度时，要求变形对尺长影响最小，此时取“贝赛尔点”作支承点， $L_1 = 0.2203L$ 。

3) 在检定工件的直线度误差和平面度误差时, 要求变形对平面度误差影响最小, 此时,

$$L_1 = 0.2232L。$$

4) 在一般情况下, 取 $L_1 = \frac{2}{9}L。$

三、合理选择测量器具与被测工件的接触方式

计量器具与被测工件间的接触方式有: 点接触, 线接触和面接触。

1. 点接触 如球形测头与工件表面的接触。采用点接触时, 若工作台与测量轴线不垂直 (如图 9-16a), 它产生的

误差是影响不大的二次误差, 即, $\Delta L = L' - L \approx \frac{L}{2} \phi^2。$ 因此, 采用点接触接触精度较高, 但对量具和工件的位置关系要求严格。如用球测头测圆柱形工件直径时, 测头必须位于能够测出工件直径最大值的方向上 (图 9-17a)

2. 线接触和面接触 如平面形测头与圆柱体的接触, 平面形测头与平面形工

件的接触。在这两种情况下, 如果直线与平面或两个平面间不平行 (图 9-16b), 由此产生的误差属一次误差。对测量结果影响较大, $\Delta L \approx e\phi。$ 这两种接触方式, 对

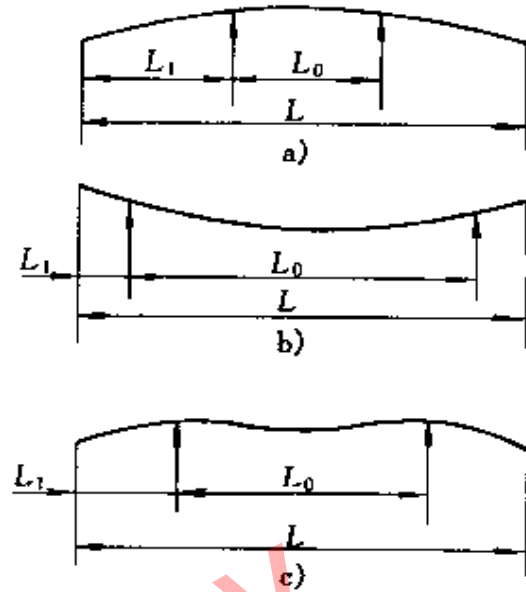


图 9-15 正确选择支点位置

a) L_0 太小 b) L_0 太大 c) L_0 适中

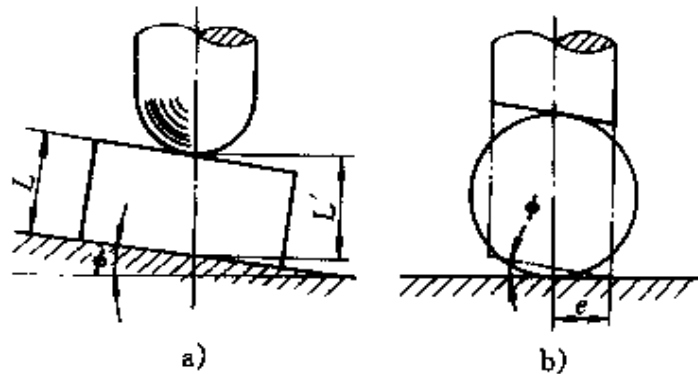


图 9-16 测头与工件的接触方式

a) 点接触 b) 线接触

量具与工件的相对位置要求不严格，测量效率远远高于点接触。然而，为了减少测量误差，宜在测量前调整好测头与平台的平行度误差。

四、合理选择测量点位置

在实际测量时，通常我们无法把一个工件的所有测点都测量一遍。这时就应选择有代表性的测点进行测量。测点的选择通常按照下述原理进行：

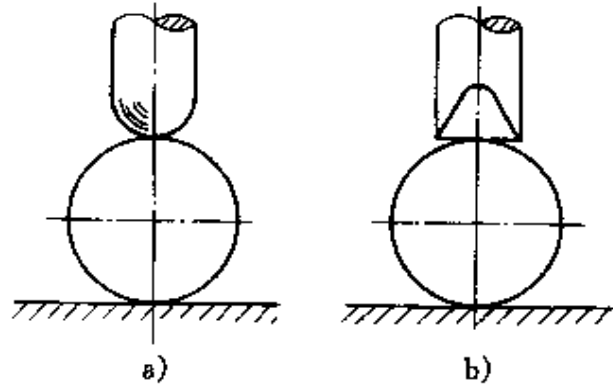


图 9-17 测量直径的两种方法

a) 圆测头 (点接触) b) 平测头 (线接触)

1. 中点最佳原理 在选择测点数为奇数时，中点总要被选上，其余测点对称分布在中点两侧。
2. 对称最佳原理 当选择偶数个测点时，中点虽未被选中，但测点总是对称分布在中点两侧。

测点的位置 $x_n = kL$

式中 k ——测点分布系数 (如表 9-12 所示)；

L ——工件长。

表 9-12 测量点位置的选择

测量次数 n	测量点位置 (设测量长度 $L=1$)
1	0.50
2	0.21; 0.79
3	0.15; 0.50; 0.85
4	0.10; 0.41; 0.59; 0.90
5	0.08; 0.31; 0.50; 0.69; 0.92
6	0.07; 0.29; 0.37; 0.63; 0.71; 0.93
7	0.06; 0.24; 0.34; 0.50; 0.66; 0.76; 0.94

五、测量次数的选择

对于同一被测值进行多次测量，若测量值分散，则说明测量结果中偶然误差大，测量精密度低。此时应增加测量次数 n ， n

的选取可用下述公式计算：

$$n \geq \left(\frac{\sigma}{\sigma_x} \right)^2$$

式中 σ ——单次测量标准误差；

σ_x ——算术平均值标准误差。

六、选择误差最小的测量方法

除仪器精密、工作细心外，测量方法的选择也有很重要的意义。若选择合理，可收到事半功倍的效果。

选择测量方法的一条基本原则是根据被测量的定义来确定测量方法。因为定义是体现被测量的特点的。但是，由于零件的形状特点和测量条件所限，不能按定义

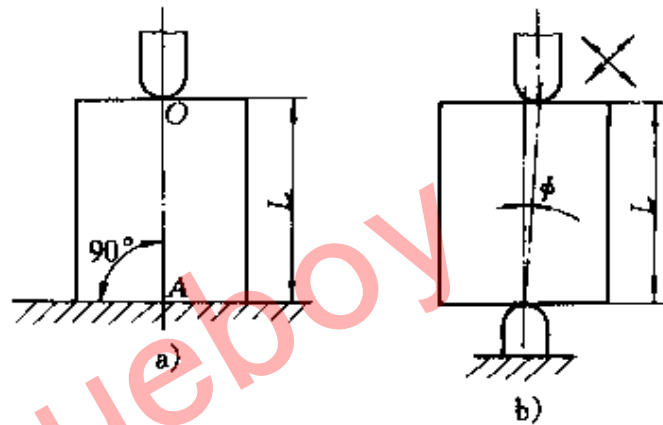


图 9-18 按照矩形零件长度的定义进行测量
a) 测头与平面的接触方式 b) 两个测头的接触方式

来测量，就要在几种可能的替代方案间进行选择，以便使误差最小。

1. 根据被测量的定义确定测量方法

(1) 矩形零件

1) 长度定义：两平行平面间的最短距离。

2) 测量方法：

① 测头与平面的测量方式。平面调至与测头运动方向垂直（图 9-18a）。

② 两个测头接触的方式。在相互垂直的两个方向移动测头。测出零件的最小尺寸（图 9-18b）。

(2) 圆柱形零件

1) 轴和孔的直径定义：在横截面内，圆周上具有最长距离的任意两点间的长度；在轴截面内，相对的两条母线上具有最短

距离的任意两点间的长度 (图 9-19)。

2) 测量方法: 用内径百分表 (外径千分尺) 测孔径 (测外径) 时, 应先在横截面内确定最大尺寸所在位置, 然后在轴截面内转动表杆 (外径千分尺), 测出最小尺寸, 即为该孔径 (轴径) 的准确值。

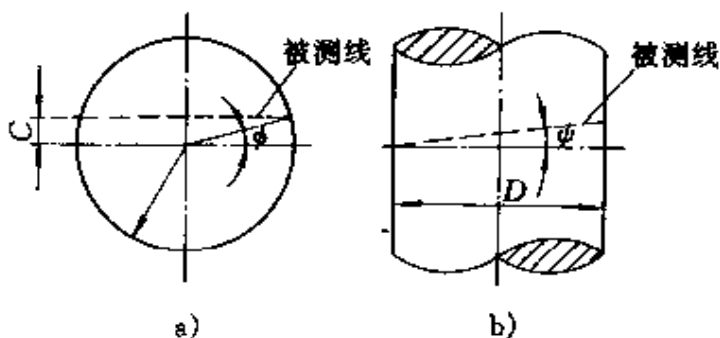


图 9-19 圆柱形零件直径的定义

a) 横向截面内最大值 b) 轴向截面内最小值

(3) 角度

1) 定义: 两个相交平面间夹角的最大值 (二面角)。

2) 测量方法: 在垂直于两平面交线的平面内进行测量 (图 9-20)。另外, 角度还常用弧长 S 与半径 R 的比值来确定 (弧度制)。

$$\phi = S/R$$

在测小角度时, 常用弦长 L 近似代替 S 即:

$$\phi \approx L/R$$

这时测出半径和弧长 (弦长) 就可以了。

(4) 相对位置 在测量零件上的相对位置尺寸时, 也应尽可能按照图上的定义 (测量方式与设计尺寸标注方式一致) 来测量。

如图 9-21 所示的两种孔中心距的不同标注法。为了满足测量方式与设计方式一致的原则, 应如下设计测量方式。

图 9-21a 是直角坐标的标注法。所以采取方箱和平台来测量。步骤如下:

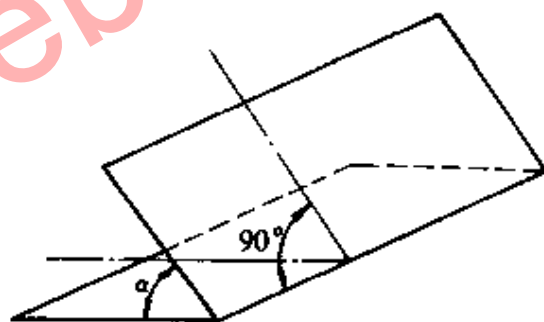


图 9-20 角度的定义

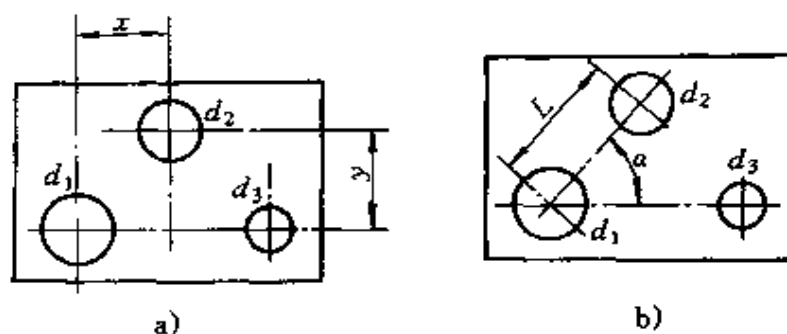


图 9-21 孔中心距的不同标注方法

a) 直角坐标法 b) 极坐标法

1) 首先测出三个孔的实际尺寸 d_1 、 d_2 、 d_3 ，配上相应的心轴，然后把工件放在方箱 2 上（图 9-22a），在孔内插上心轴，把尺寸为 $M = (d_1 - d_3) / 2$ 的量块 3 垫在孔 d_3 的心轴上，在量块 3 和孔 d_3 的心轴上放平尺 4，用百分表 5 将零件找平，然后用压板 6 固定零件。

2) 测图 9-22 中 y' 尺寸

$$y = y' + d_1/2 - d_2/2$$

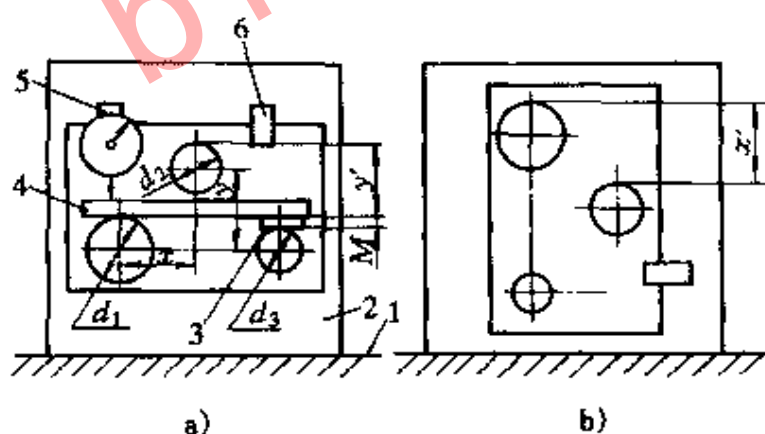


图 9-22 采用直角坐标法测量孔中心距

a) 在水平位置测 y' b) 在垂直位置测 x'

1—平台 2—方箱 3—量块 4—平尺 5—百分表 6—压板

3) 将方箱在平台上转 90° ，测 x'

$$x = x' + d_2/2 - d_1/2$$

图 9-22b 是极坐标的标注。这时要用正弦台来测量。步骤如

下:

1) 首先把零件放在方箱上, 利用心轴、量块、平尺和百分表把零件找平, 与图 9-22a 相同。

2) 把方箱放在正弦台上 (图 9-23), 以尺寸为 $M' = (d_1 - d_2) / 2$ 的量块垫在 d_2 的心轴上, 用平尺和百分表将 d_1 和 d_2 的轴线找平, 测出 α 角

$$\alpha = \arcsin l / a$$

式中 l ——量块组高度;

a ——正弦台中心距。

3) 孔中心距 L 用心轴测出。

2. 间接测量方法的选择

(1) 选择函数关

系中自变量数目少、函数关系简单、测量简便的测量方式。因为这样被测量少、运算精确、测量误差小。

(2) 当不同的函数关系式包含的被测值数相同, 应选取误差最小, 最易测量的方法。

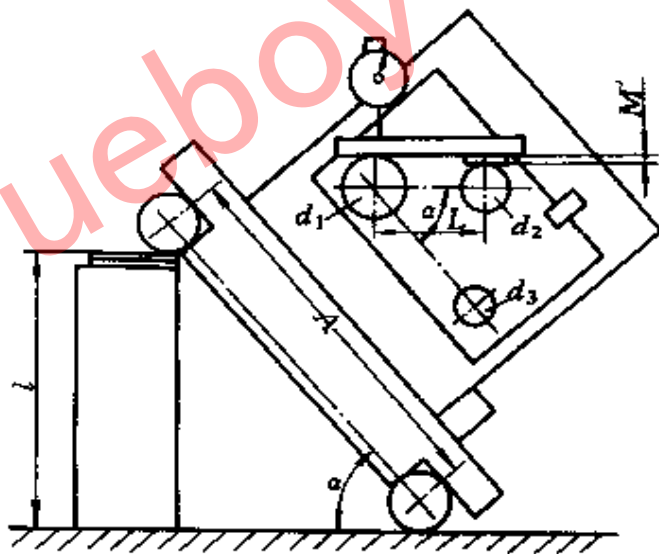


图 9-23 采用极坐标法测量孔中心距

(3) 内尺寸的测量误差一般大于外尺寸。所以, 应尽量选包含外尺寸的测量方法。

七、测量形状误差和位置误差要注意的问题

1. 严格按照定义进行测量和数据处理 在测量形状和位置误差时, 应严格按定义选择测量方法和进行数据处理。否则会产生大的测量误差, 甚至会产生错误和争执。因此在国标中除规定形状和位置误差定义和公差数值外, 还规定了相应的检测方法。

(GB1958—80)。

理想形状的位置决定了形状误差的大小。理想状态下应按最小条件确定理想形状位置。但这样做，其数据处理过程复杂。因此在生产中常用近似的方法。如在设备大修过程中，用平尺刮研导轨的平面；在平板上刮研镶条等。

在位置误差的测量中也会遇到类似的问题。例如测量托架的两个轴心线平行度误差时，用心轴来模拟基准轴线如被测轴线。将托架放在等高 V 形块上支承（图 9-24），用测微仪测出距离为 L_2 的两点的读数 M_1 、 M_2 ，按定义应折算到 L_1 长度上，才是所求平行度误差。

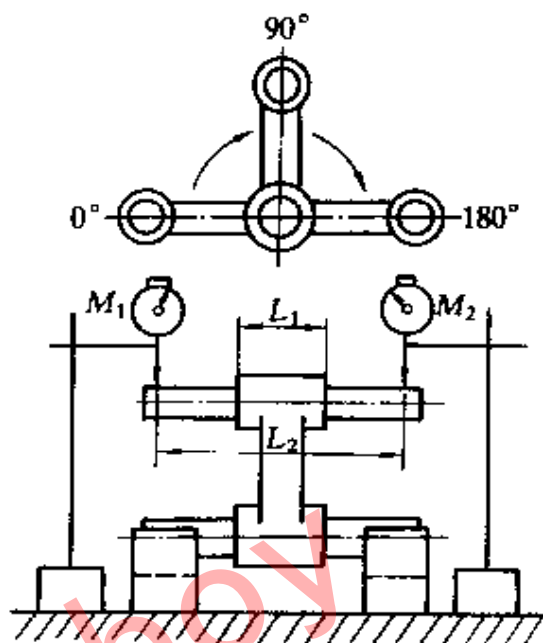


图 9-24 测量轴线平行度误差

测出距离为 L_2 的两点的读数 M_1 、 M_2 ，按定义应折算到 L_1 长度上，才是所求平行度误差。

$$\Delta = \frac{L_1}{L_2} |M_1 - M_2|$$

在设备大修过程中，在找车床主轴与尾座轴同轴度误差时，也是以心轴来模拟基准轴线和被测轴线的。

2. 采用组合测量法提高形状和位置误差的测量精度 组合测量是为了提高形状与位置误差的测量精度和解决基准量具缺少问题而采用的。例如测量三个直角弯板的垂直度误差时，可在平台上采用组合测量法进行：将三个弯板分成不同组合即 1、2；2、3；1、3。测出各自的误差： Δ_{12} 、 Δ_{23} 、 Δ_{13} 。因

$$\Delta_{12} = \Delta_1 + \Delta_2$$

$$\Delta_{23} = \Delta_2 + \Delta_3$$

$$\Delta_{13} = \Delta_1 + \Delta_3$$

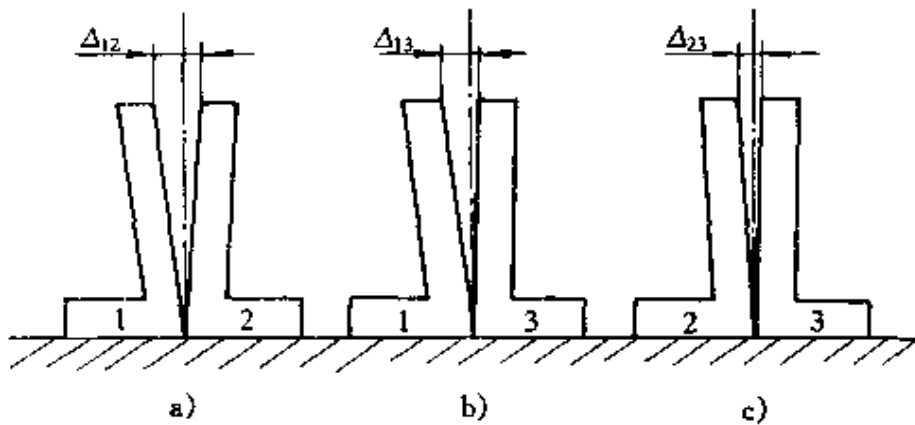


图 9-25 组合测量垂直度

a) 测量 1 和 2 b) 测量 1 和 3 c) 测量 2 和 3

所以：

$$\Delta_1 = \frac{\Delta_{12} + \Delta_{13} - \Delta_{23}}{2}$$

$$\Delta_2 = \frac{\Delta_{12} + \Delta_{23} - \Delta_{13}}{2}$$

$$\Delta_3 = \frac{\Delta_{13} + \Delta_{23} - \Delta_{12}}{2}$$

3. 采用对称观测法消除测量工具误差 对称观测法是为了消除测量中引入的标准件(平尺、心轴等)的自身误差而提出的。

如在大修生产中检查机床床身导轨运动行程的直线度误差时。为了消除平尺直线度误差的影响，可用下述方法。

(1) 将平尺放在平板上，两端点找平，测一次直线度误差(图 9-26a)，设测得结果为 Δ_1 ，它包括平尺的直线度误差 $\Delta_{\text{平尺}}$ 和导轨行程的直线度误差 $\Delta_{\text{导}}$ 。

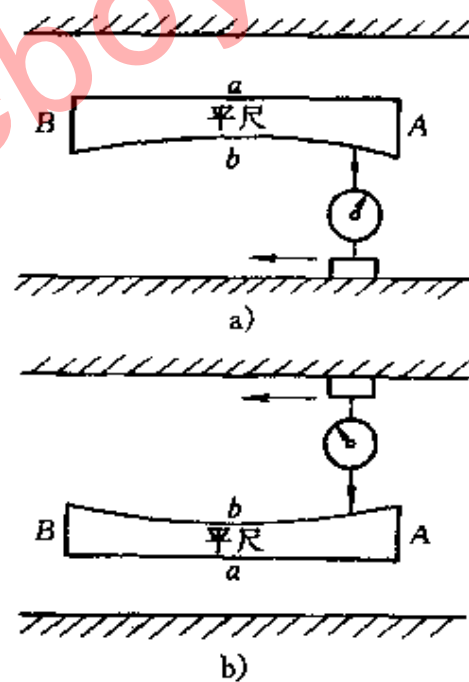


图 9-26 测量车床导轨的行程直线度

a) 第一次测量

b) 将平尺翻转 180° 后再次测量

$$\Delta_1 = \Delta_{\text{导}} + \Delta_{\text{平尺}}$$

(2) 将平尺以 AB 为轴转 180° (图 9-26b), 再测一次行程直线度误差, 测得结果为 Δ_2 , 则

$$\Delta_2 = \Delta_{\text{导}} - \Delta_{\text{平尺}}$$

则导轨的行程直线度误差为

$$\Delta_{\text{导}} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}$$

上述“对称观测法”可以消除计量工具的系统误差。在机床修理业中有着广泛应用。如图 9-27 所示的测量主轴锥孔中心线对导轨的平行度误差的情况。为了消除锥度心轴的误差, 可将心轴转 180° 进行两次测量, 取两次测量结果的平均值就可消除心轴的自身误差。

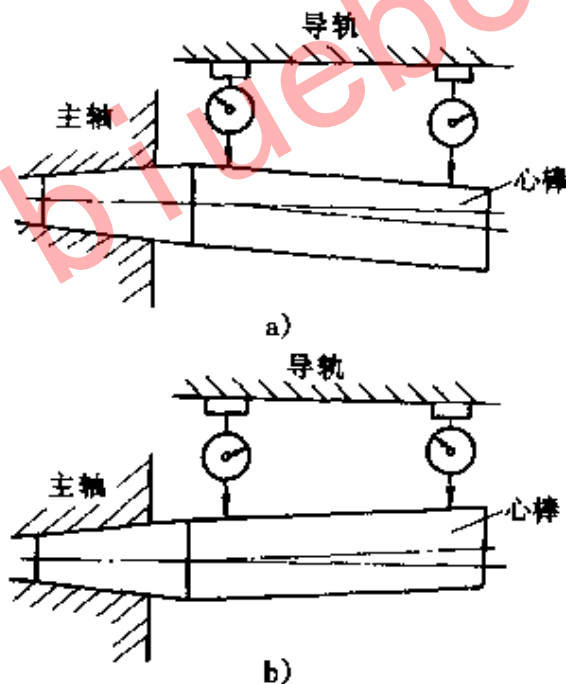


图 9-27 用对称观测法测量主轴锥孔相对导轨的平行度

a) 第一次测量 b) 将心棒旋转 180° 后再次测量

复习思考题

1. 测量误差产生的原因?

2. 测量基准误差是什么？
3. 如何正确组合量块？举例说明。
4. 量具、量仪的技术指标有哪些？
5. 影响测量的外部条件有哪些？举例说明温度的影响。
6. 测力对测量误差的影响是通过什么表现出来的？它与什么有关？
7. 选择测量基准面的原则是什么？
8. 辅助基面的选择应注意什么？
9. 什么是阿贝原则？
10. 选择支点应遵循的原则是什么？

blueboy

第十章 精密机床的修理

培训要求 掌握滚齿机和坐标镗床常见故障和排除方法。

第一节 滚齿机

一、滚齿机常见故障

经长时间使用，由于零部件的磨损，使被加工件的精度出现一些超差，其常见的问题有：

1. 加工齿轮的齿距累积误差超差

1) 工作台分度蜗杆副调整不当或磨损，使工件加工时运动精度超差，导致加工齿轮此项精度超差。

2) 滚刀主轴的径向圆跳动误差及轴向窜动量大，也能导致此项超差。

2. 加工齿轮的公法线长度变动量超差

1) 分度蜗杆副啮合间隙过大或安装误差造成的运转偏心。

2) 工作台定心锥形导轨副及下压板磨损，造成工作台与工作台滑鞍之间配合间隙过大，工作台运动时，漂移，定心不稳。

3) 滚刀架与立柱导轨的配合间隙过大，镶条与压板磨损后，使滚刀在进给时的运动精度超差，导致加工齿轮公法线长度变动量超差。

4) 滚刀主轴轴向定位垫圈磨损后，轴向窜动量超差也能产生此项误差。

3. 齿圈径向圆跳动超差

1) 后立柱导轨磨损或变形，使活动支架支承顶尖中心与工作台旋转中心偏移。

2) 工作台或锥孔拉毛、有凸点，造成工件安装偏移。

3) 顶尖磨损, 造成安装工件位置偏心。

4. 加工齿面出现直波纹齿面出现直波纹, 多数是由于机床、刀具、工件系统的刚性不好, 滚齿时, 产生一定频率的振动所造成。面机床方面的因素有:

1) 由于滚刀心轴的锥套支承磨损, 造成间隙过大, 使滚刀径向圆跳动误差超差。

2) 由于刀轴轴向抗磨垫圈磨损, 使刀轴轴向间隙过大, 导致刀轴轴向窜动过大。

5. 加工齿面出现横波纹

1) 刀架滑鞍镶条磨损后, 重新调整过紧。

2) 工作台锥导轨副磨损不均, 配合太紧。

3) 刀架垂直进给丝杠安装精度超差。

4) 刀架垂直进给丝杠及分度蜗杆推力轴承损伤。

5) 滚切斜齿轮时, 差动齿轮对啮合过紧, 或差动机构损伤。

6. 加工齿面有啃齿现象

1) 垂直进给丝杠上端液压缸密封损坏, 有渗油现象, 油压太低, 引起刀架垂直进给不稳定, 有爬行。

2) 油液不清洁或有污物, 将调压阀瞬时卡住, 引起油压不稳定, 造成啃齿。

3) 刀架立柱导轨塞铁调整不当。

4) 垂直进给丝杠推力轴承严重损坏, 或间隙过大。

5) 滚刀主轴两个推力轴承有毛刺凸边或咬坏或窜动量过大。

6) 滚刀主轴上斜齿轮时 (20/60) 和小斜齿轮轴上的锥齿轮对 (17/17) 啮合侧隙过大。

7) 分度蜗杆副啮合侧隙调整不当。

二、故障的排除

滚齿机的分度蜗轮副部件、工作台部件及滚刀刀架部件都是修理中的关键部件。它们对加工齿轮的齿距累积误差、公法线长度变动量误差、齿圈径向圆跳动误差的产生都有着直接的作用。

搞好这几个部件的修复是滚齿机修理工作中的关键环节。

1. 分度蜗杆副的修理

(1) 方案的确定 当分度蜗轮精度降低不能满足生产要求, 但蜗轮的齿面磨损量较小且无擦伤痕迹时, 可采用珩磨分度蜗轮, 配作新蜗杆的方案修理。当蜗轮精度降低, 且齿面不仅磨损还普遍存有擦伤痕迹, 磨损量和擦伤痕迹深大于 0.1mm 时, 则可采取精滚分度蜗轮, 或精滚后再珩磨, 并配磨新分度蜗杆的修理方案。当分度蜗轮齿面严重磨损和擦伤, 且蜗杆齿面也同时严重磨损, 甚至出现蜗杆齿面粘着蜗轮的金属材料时, 就应将分度蜗杆副换掉更新, 不必进行修复。

(2) 方法 分度蜗轮的修理方法包括: 刮削修复法、滚齿修复法、珩磨修复法。在大修中采用珩磨或精滚后珩磨、再配磨蜗杆的修理方法, 具体如下:

1) 制造必要的工艺装备, 这些工装辅具分列如下:

蜗杆座研磨心轴, 如图 10-1 所示。

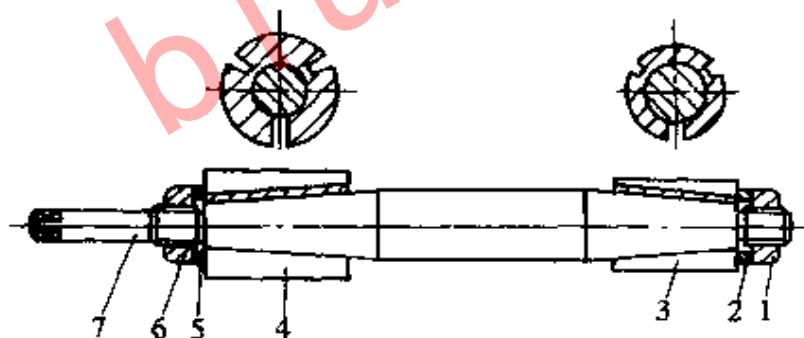


图 10-1 蜗杆座研磨心轴

1、6—螺母 2、5—垫圈 3、4—研磨套 7—研磨心轴

新标准锥销铰刀如图 10-2 所示。

专用圆锥销环规如图 10-3 所示。

蜗杆座测量心轴如图 10-4 所示。

测量蜗杆, 由测绘设计确定, 如图 10-5 所示。

珩磨蜗杆, 由测绘设计确定, 如图 10-6 所示。

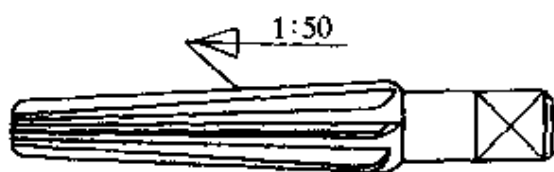


图 10-2 新标准锥销铰刀

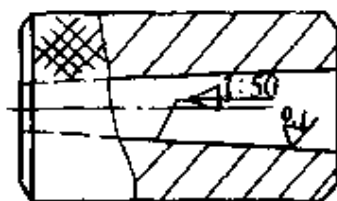


图 10-3 专用圆锥销环规

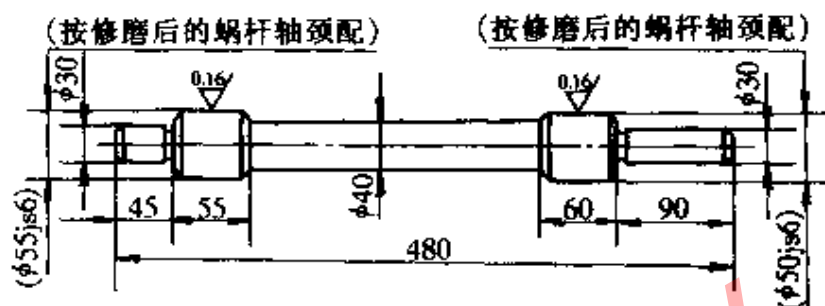


图 10-4 蜗杆座测量心轴

其中，珩磨蜗杆的制造工艺如下（可供制造测量蜗杆参考）：

- ① 车珩磨蜗杆总长至尺寸，外圆螺纹部分放长 3~4mm；车削各轴颈外圆留余量 0.4~0.5mm，有键槽及螺纹外圆部分放大 3~4mm；其余车削至尺寸。
- ② 渗碳 0.8~1.2mm。
- ③ 车削去轴颈有键槽和螺纹部分的渗碳层；轴颈外圆留余量 0.3~0.4mm。
- ④ 局部淬火硬度为 60~62HRC。
- ⑤ 磨削各轴颈外圆均放余量 0.2mm。
- ⑥ 铣削各键槽至尺寸。
- ⑦ 浇注（见浇注工艺）。
- ⑧ 磨珩磨蜗杆外圆至尺寸。
- ⑨ 螺纹磨床粗磨珩磨蜗杆螺纹，齿厚放量 0.3mm。
- ⑩ 研两端 60°中心孔。
- ⑪ 精磨轴颈配研磨后的蜗杆座孔。
- ⑫ 螺孔磨床精磨螺纹与测量蜗杆在同一台机床上磨出。

珩磨蜗杆的配方比及浇注工艺如下：

① 珩磨蜗杆的配方比（体积分数）

101 [#]	环氧树脂	10份	胶合作用
	多乙烯多胺	1份	固化作用
	二甲酸二丁脂	0.3份	增塑作用
Al ₂ O ₃	金刚砂 320 [#]	15.5份	研磨、抛光作用
Al ₂ O ₃	金刚砂 120 [#]	2.8份	增加切削作用

② 脱模剂的配方比

甲苯 10份 硅橡胶 1份

甲苯 + 硅橡胶 = 甲苯硅橡胶混合剂。

③ 珩磨蜗杆浇注工艺：

第一、车削图 10-7 所示的浇注外膜套。

第二、用丙酮或汽油将珩磨蜗杆清洗干净，并在浇注外膜套上涂抹脱膜剂。

第三、在常温下按配方比把各种成分称量好，先把环氧树脂与二丁脂混合调匀，再加入金刚砂搅拌，待充分吸湿后，再与多乙烯多胺充分搅拌并迅速注入图 10-8 所示的外膜套内。在室温 20~25℃ 条件下放置 24h 后，即可加工使用。

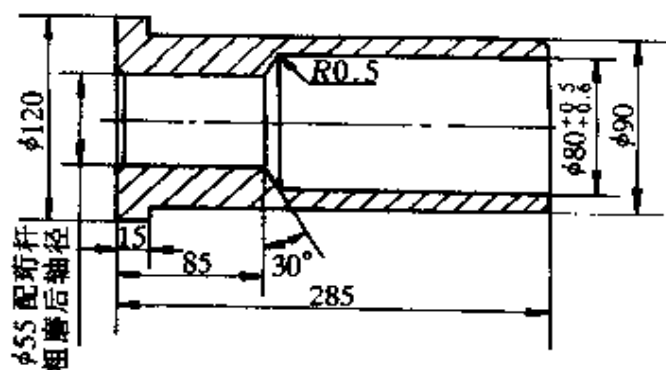


图 10-7 外膜套加工图

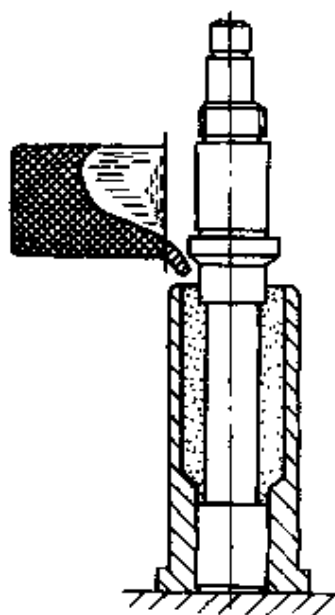


图 10-8 珩磨蜗杆的浇注

2) 测取分度蜗杆未磨损部分的参数, 包括齿形半角、齿厚、齿距以及啮合侧隙等。

3) 根据测绘参数, 设计制造珩磨蜗杆及测量蜗杆(珩磨蜗杆一般应做两件)珩磨蜗杆、测量蜗杆的制造精度, 应满足要求, 轴向窜动、径向圆跳动误差应小于等于 0.002mm 。

4) 研磨蜗杆座孔 F 和 G, 如图 10-9 所示。再以孔 F、孔 G 为基准刮研好蜗杆座安装结合面。将配磨好的珩磨蜗杆装入蜗杆座, 并配磨调整垫的厚度, 使其啮合侧隙符合要求后, 重铰锥销孔, 固定蜗杆座。

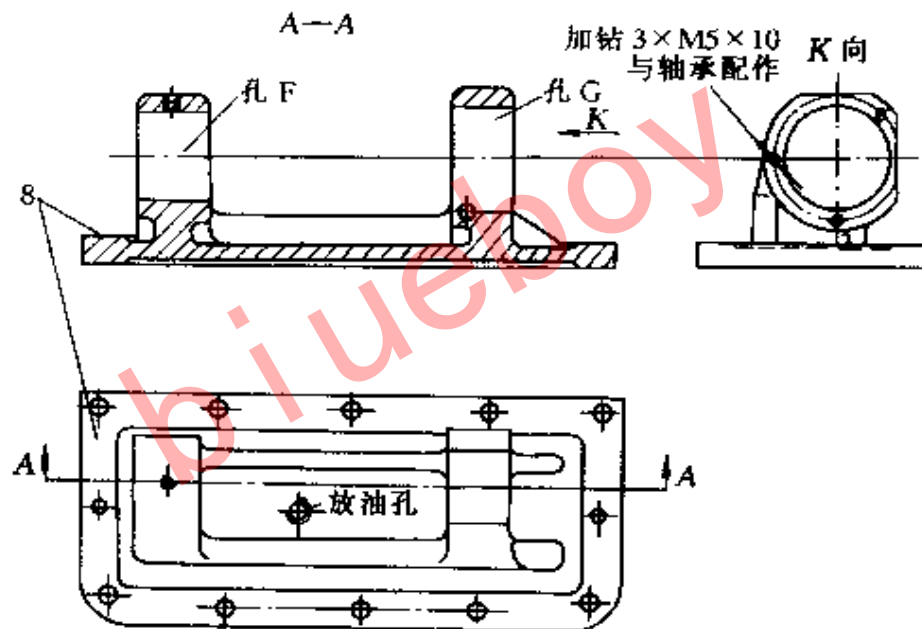


图 10-9 蜗杆托座示意图

蜗杆座一经找正固定后, 在以后的珩磨、测量及配磨工作蜗杆时不允许再作任何调整。所以要求定位销要与锥销环规、新标准铰刀锥度一致, 用专用圆锥销环规来选择圆锥销, 以保证锥销安装时接触良好, 拆装定位精度稳定。

5) 当配磨珩磨蜗杆时, 采用锥形砂轮对延长渐开线蜗杆进行磨削加工。因锥形砂轮的轴线平行于蜗杆齿纹的法线, 故工件齿纹是一个延长渐开线螺旋面与砂轮的旋转锥面接触, 这将导致

齿面的干涉。若把此蜗杆与蜗轮进行啮合，接触质量往往不高。用弯尺将干涉部分的砂轮修正，把锥形砂轮的母线修正到被磨蜗杆法向齿纹近似于直线的精度要求。这种修正砂轮，修磨蜗杆与蜗轮配接触的工艺过程叫做蜗杆配磨。

珩磨蜗杆与被珩磨的分度蜗轮配磨，除蜗杆齿厚精度要求低于工作蜗杆外，其他精度要求均与工作蜗杆相同。

珩磨蜗杆与要修理的分度蜗轮配啮合接触时，可按实际情况尽可能地调整到最佳接触位置。它们的啮合可通过珩磨最终使蜗轮的齿形将依照珩磨蜗杆的齿形而改变，并逐渐趋近于珩磨蜗杆的齿形。同时，要求测量蜗杆、工作蜗杆都应在同一台机床的同种工作状态下磨削至要求，以保证珩磨后的接触质量。

6) 珩磨蜗杆、测量蜗杆的装配精度达到要求。这些要求是：珩磨蜗杆装配后，端面圆跳动允差为 0.003mm ，轴向间隙 0.01mm ，径向间隙为 0.005mm 。蜗杆座与工作台壳体装配后，珩磨蜗杆与分度蜗轮的接触面积，在齿长方向为 60% ，在齿高方向为 50% （接触区应在齿面中部）。珩磨蜗杆与分度蜗轮的侧隙为 $0.03\sim 0.05\text{mm}$ ，定位锥销的接触面积大于等于 85% 。

在每次装配时，都必须注意严格的清洗，以免污物渗入而影响精度。

7) 珩磨蜗轮时，先不加制动力，进行自由珩磨，以消除齿面两侧面的毛刺为目的。珩好后，换上测量蜗杆对分度蜗轮进行测量。最后根据分度蜗轮测量的误差结果，采用变制动力矩分别按左右齿面的误差，进行珩磨修复蜗轮。

分度蜗轮变制动力矩珩磨装置与原理如图 10-10 所示。

I 为驱动装置，由电动机 1、减速器 2 组成，经 V 带轮 3 传至珩磨蜗杆。珩磨蜗杆的线速度以 $9\text{m}/\text{min}$ 为宜。左右齿面的珩磨由电动机的换向来实现。

II 为珩磨蜗杆装置，珩磨蜗杆装在蜗杆座 7 上，由滑动轴承 8 支承，轴向靠珩磨蜗杆 9 的轴肩及平面轴承 6 作轴向支承。因此装配结构及调整要求尽可能与测量蜗杆一致。

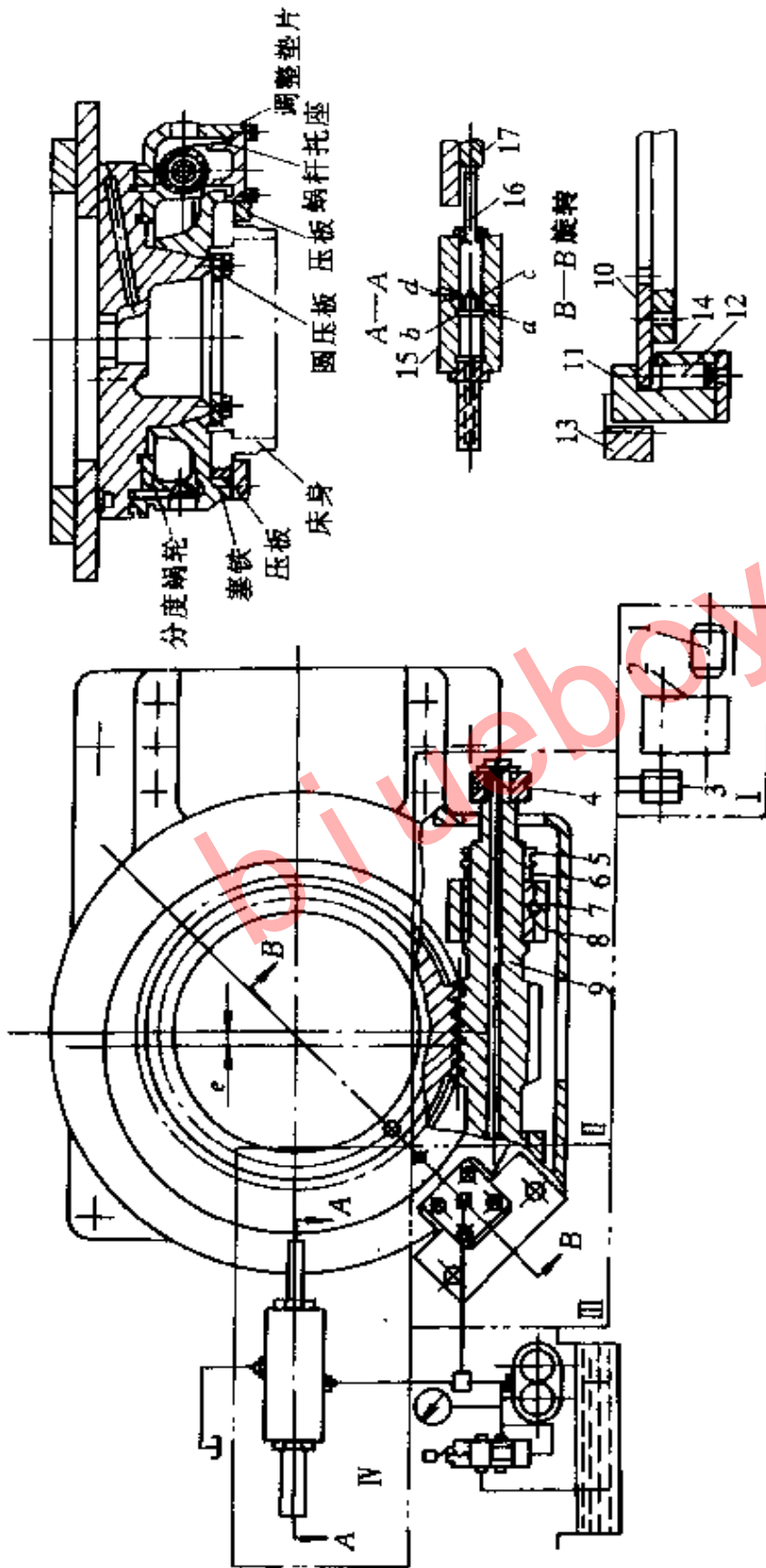


图 10-10 分度蜗轮变动力矩珩磨装置原理图

- 1—电动机 2—减速器 3、4—V带轮 5—盘形螺母 6—平面轴承 7—蜗杆托座 8—滑动轴承 9—珩磨蜗杆
10—磨擦盘 11—阻尼阀体 12—活塞 13—阻尼支座 14—摩擦铜块 15—节流阀体 16—节流阀 17—控制板

Ⅲ为阻尼装置，摩擦盘 10 用螺钉固定在工作台上，阻尼支座 13 固定在工作台壳体上。当活塞 12 下端受油压作用时，通过铜摩擦块 14，夹紧摩擦圆盘的上下平面。因为阻尼阀体 11 由静止固定支座 13 来限止位置，且上下可以滑动，所以夹紧力是上下平衡的。Ⅲ的固定位置可在摩擦盘 10 圆周的任意适当位置。作用在摩擦盘 10 上的摩擦阻力可通过控制油压的大小来改变阻尼力。

Ⅳ为阻尼控制装置，由液压泵供应压力油，由定压阀调整系统油压。阻尼座活塞 12 上端的压力，由节流阀控制。油液由节流阀 a 孔进入 b 环形槽，经节流阀 16 的三角槽通过 c 环形槽及 d 孔流回油池。这里，系统的油压随节流槽开口量的大小而变化，而节流阀 16 由控制板 17 的偏心距离来控制。控制板固定在工作台上，由于蜗轮的误差，一般按正弦曲线规律出现，因此控制板可以加工成圆盘形而将它与工作台回转中心调整一个偏心量 e ，即可达到修正的目的。偏心量 e 应是节流阀设计行程的一半。偏心的方向应选择在与珩磨蜗杆与蜗轮上最小齿距的一个齿间保持啮合时，控制板 17 偏向节流阀 16，并使节流阀调整处在最小开口量。所以，珩磨蜗杆与分度蜗轮在最小齿距的齿槽位置对正后，只要保持控制板 17 与节流阀 16 相对位置即可。而控制板 17 与节流阀 16 的安装位置，可以在摩擦盘 10 圆周的任意适当位置。这样阻尼力的变化是按正弦曲线规律的变化而变化，以达到连续地修正蜗轮的误差。

开动驱动装置 I，珩磨几小时，蜗轮的齿距便逐渐接近，蜗轮左右齿面的误差，分别按上述办法珩磨修。液压泵工作压力一般调至 $100 \sim 180 \text{N/cm}^2$ ，但也应看具体珩磨的情况而决定。

分度蜗轮经过珩磨后，用齿距比较法测量，测出的最小齿距误差可能不在原来调整的偏心位置。这样，如果重复上述步骤珩磨，则必须重新找正珩磨蜗杆与分度蜗轮最小齿距的位置，即重新调整偏心 e 的位置方向。使蜗轮珩磨到精度要求为止。

8) 测量分度蜗轮时，珩磨的分度蜗轮需要不断的进行误差

测量，以为珩磨提供依据。测量的方法很多，有磁分度仪、光栅等传动测量法，也有经纬仪、光学平直仪及机械式的齿距比较等静态测量法。采用机械式齿距比较法，简易、可行，并能测量到一定的精度。

9) 当配磨工作蜗杆时，工作台分度蜗轮经珩磨修复达到精度要求后，即可配磨工作蜗杆。一般是在螺纹磨床上进行加工分度蜗杆的螺旋表面，使蜗轮与蜗杆达到啮合要求和侧隙要求。

2. 工作台部件的修理 这里主要介绍工作台及工作台壳体的修理。

图 10-11 为工作台示意图。

图 10-12 为工作台壳体示意图。

图 10-13 为工作台部件与床身配合示意图。

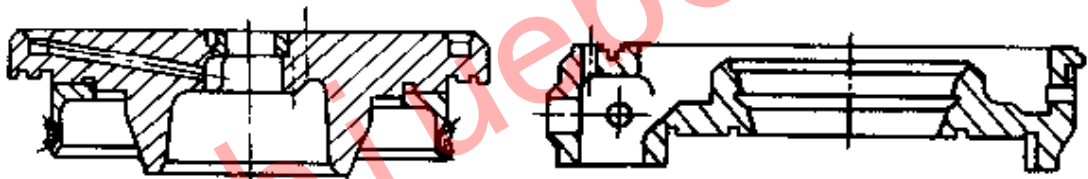


图 10-11 工作台示意图

图 10-12 工作台壳体示意图

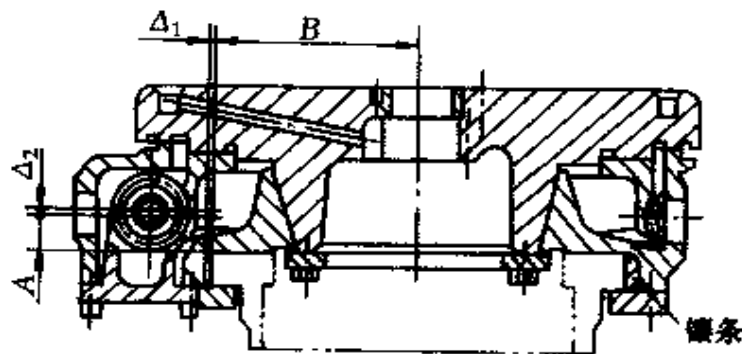


图 10-13 工作台部件与床身配合示意图

从图 10-13 中看出，与床身导轨相配合的工作台壳体是采用单向镶条来调整配合间隙的。这样，结合表面经刮削后，工作台的回转中心就要产生一个偏移量 Δ_1 ；同时，分度蜗杆在工作台

对刮中，分度蜗杆中心也会产生一个偏移量 Δ_2 。为了解决这一尺寸链的误差，减少装配调整环节，建议将工作台壳体表面 1、2 进行补偿修复。如图 10-14 所示。

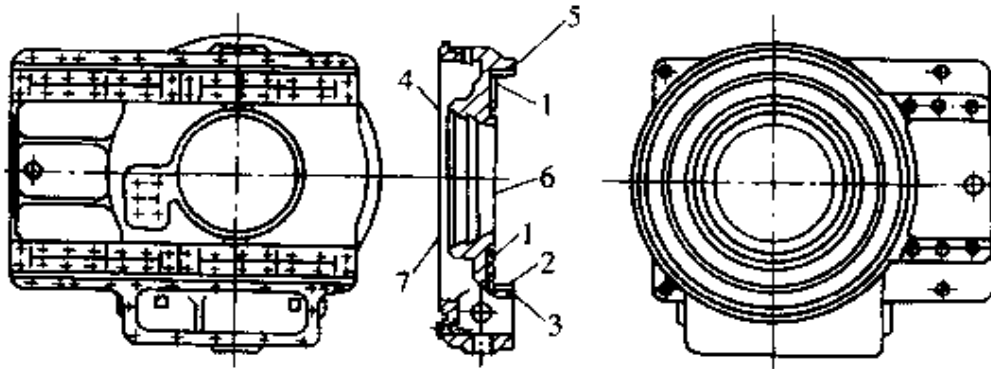


图 10-14 工作台壳体刮削表面示意图

(1) 工作台壳体的修理步骤

1) 刨表面 1、2 在图 10-14 中，以表面 4 为安装基准，校正表面 2 在 0.02mm 之内，分别将表面 1、2 刨掉 5mm ，并保持表面 1 在同一平面内。同时制作表面 1、2 的补偿垫板。

2) 钻削表面 1 及 2 上的压紧补偿垫板的螺孔表面 1 的螺孔与调整垫板一起配钻，表面 2 的螺孔由壳体侧面向内钻出，钻出后，堵塞工艺孔，表面 2 的补偿垫板按表面 2 的螺孔倒配光孔。螺孔钻好后，要攻螺纹，调整垫板的油槽处钻出通油孔。

3) 刮表面 1、2 先用平行平尺粗刮表面 1，后在修好的床身导轨上拖研，再用平行平尺拖研刮削表面 2，使表面 1 平行表面 4，允差 $0.02\text{mm}/\text{全长}$ ，表面 2 垂直表面 1，允差 $0.03\text{mm}/100\text{mm}$ ，表面 2 的直线度误差 $0.02\text{mm}/\text{m}$ ，接触点 $12\sim 14$ 点/ $25\text{mm}\times 25\text{mm}$ 。

4) 装补偿垫板时，将磨好的调整垫板紧固在表面 1、2 上，检查无毛刺及不平性，如有微量不平，应与床身导轨拖研刮削至要求。

5) 胶合时，在工作台、刀架立柱与床身拼装时，测量刀架回转中心线与工作台回转中心线的相交度的误差数值，和工作台

分度蜗杆轴孔中心线与分度轴中心线的同轴度误差数值，根据测得的数值配磨调整垫板至尺寸要求。然后，用汽油擦洗表面 1、2，待干燥后，涂上环氧树脂，调整垫板用沉头螺钉固紧，放置 24h。胶牢后，复校表面 1、2 满足要求（如果工作台壳体锥导轨磨损严重，需要经过车削加工，可以调整修理步骤的顺序）。

6) 刮研表面 6、3、5 刮研表面 6 使其平行表面 4，允差 0.02mm/全长。刮研表面 3，使其平行表面 4，允差 0.01mm/400mm。刮研表面 5，使其平行表面 1，允差 0.02mm/全长。接触点：表面 3 为 12~14 点/25mm×25mm，表面 6 为 10~12 点/25mm×25mm，表面 5 为 6~8 点/25mm×25mm。

(2) 工作台的修理步骤

1) 刮削表面 9、10 刮前，先压出工作台中套（见图 10-11）。若锥导轨表面 10 磨损严重，可采用车削后刮研修复。刮削时，以刮研好的工作台壳体对刮工作台导轨面 9 和 10，要求研点分布均匀，表面 9 比表面 10 略淡些，接触点为 16~20 点/25mm×25mm。

2) 检查锥导轨副表面和环形平导轨副表面的接触精度并进一步刮研 要求达到锥导轨表面圆度误差小于等于 0.013mm，锥导轨接触点 16~20 点/25mm×25mm，平导轨接触点为 12~14 点/25mm×25mm。

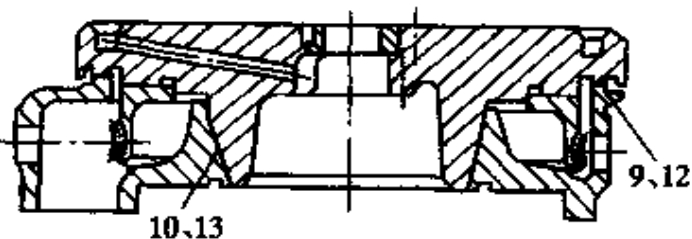


图 10-15 工作台导轨配合表面研磨示意图

3) 研锥导轨副表面 10、13 如图 10-15 所示。研磨时，在

工作台壳体锥导轨表面上均匀地涂上一层薄薄的 3000 号氧化铬，将工作台吊入下导轨，正反转对研十次左右（注意：不许用氧化铝系、碳化物系、金刚石系等研磨粉来研磨导轨副）。要求达到导轨副间转动轻而灵活。

4) 检查导轨表面 12 和 9 的接触精度并刮削修正 在图 10-

15 中，因锥导轨副经研磨后，环形平导轨副可能会显示出硬点，可用涂色法检查后，将硬点用精刮刀修刮 1~2 次，以达到表面光洁且显点比锥导轨副略淡的要求。

5) 刮削表面 5 刮研前，先将中心套配好，并拧好骑缝螺钉。参见图 10-16，图 10-17 及图 10-18。

在图 10-16 中，沿平行平尺的上检验面，移动百分表，由百分表的读数差值决定表面 5 的平面度误差。检验时，必须在 ab 、 ab_1 、 ab_2 、 ab_3 、 ab_4 及 ba 、 ba_1 、 ba_2 、 ba_3 、 ba_4 位置上测量。如图 10-17 所示。图 10-18 中，在工作台壳体上固定一百分表，使测头触及工作台端面的最外缘，转动工作台检查工作台的端面圆跳动误差。当上述各项超差时，用平板拖研表面 5，并刮削至要

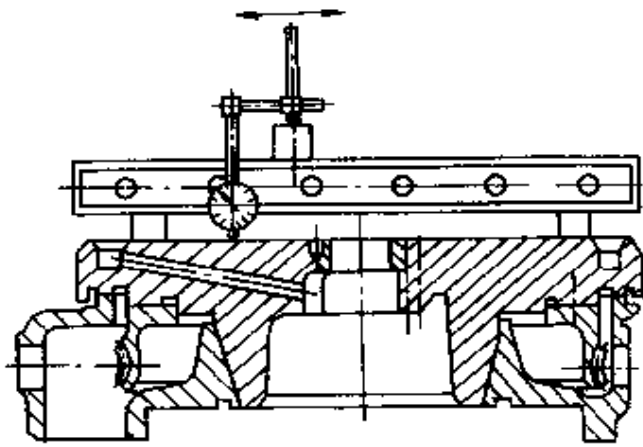


图 10-16 工作台平度测量示意图

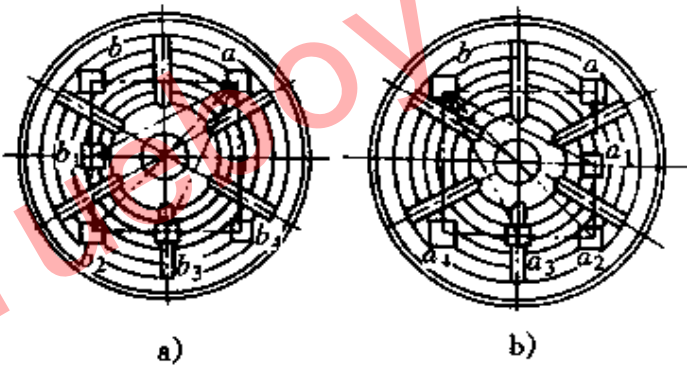


图 10-17 工作台平面度测量示意图

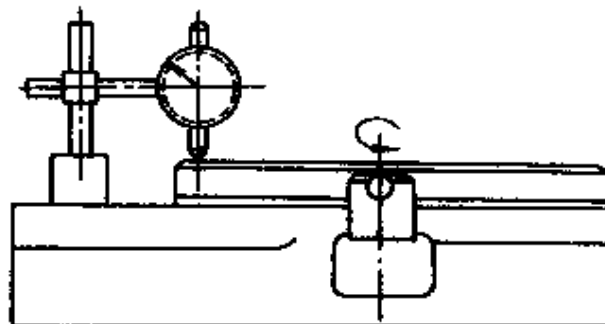


图 10-18 工作台端面跳动测量示意图

求。其中，平面度允差为 $0.025\text{mm}/800\text{mm}$ （只许中间凹），端面圆跳动允差 0.015mm ，接触点为 $8\sim 12$ 点/ $25\text{mm}\times 25\text{mm}$ 。

6) 刮工作台表面 11 以表面 9 为基准, 使表面 11 平行表面 9, 允差 0.01mm。同时, 测量出表面 11 比表面 14 高出的数值, 若高出较多, 可先车去后再刮研, 应刮至表面 11 平行于表面 14, 平行度误差在 0.02mm/320mm 之内, 且表面 11 高于表面 14 0.01~0.03mm, 当装上圆压板后, 用 0.03mm 塞尺检查密合程度, 不应插入。如果有超差, 则应分别修正表面 11 或表面 14 至要求。如图 10-19 所示。

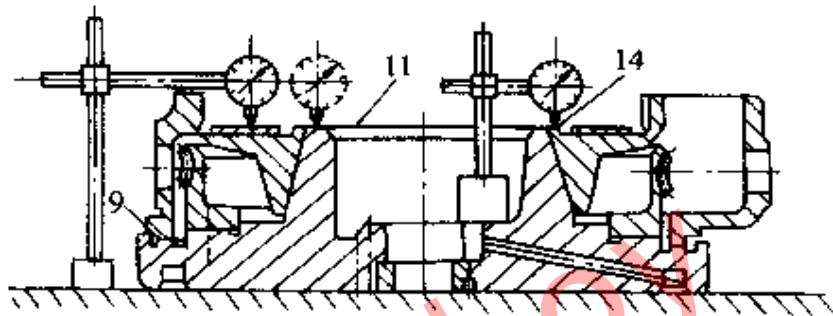


图 10-19 工作台、工作台壳体表面 11、14 的测量示意图

3. 刀架部件的修理 刀架部件是滚齿机的重要部件之一, 其部件内各零件修理后的精度必须满足要求。

(1) 滚刀主轴的检验 滚刀主轴无论是经过修复或是更新都必须按如下方法进行检验:

1) 先用细软洁净的纸把图 10-20 所示的滚刀主轴内锥孔和心轴外锥擦净, 并在外锥表面上涂薄而均匀的红印油。把锥体插入锥孔内, 作相对研合转动, 检查接触面积在 85% 以上。若达不到此要求, 应再上磨床修正莫氏锥孔。在精磨时, 加工和检验要密切配合。

2) 用汽油洗净内锥孔及外锥面, 把滚刀心轴插入主轴锥孔内, 使两锥体紧密配合, 按图 10-21 所示用千分表分别检查 *a*、*b* 处的径向圆跳动误差, 并把最大的径向跳动量用记号标在滚刀心轴上。

3) 用一个与拉紧螺栓相似的螺栓, 旋入滚刀心轴内螺纹孔中, 用铜棒轻轻将滚刀心轴敲出。将心轴旋转 180°, 按上述方

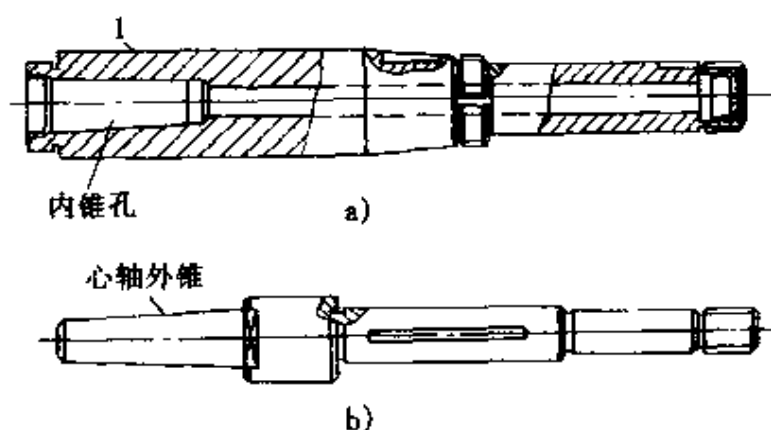


图 10-20 滚刀主轴及心轴

a) 滚刀主轴示意图 b) 滚刀心轴示意图

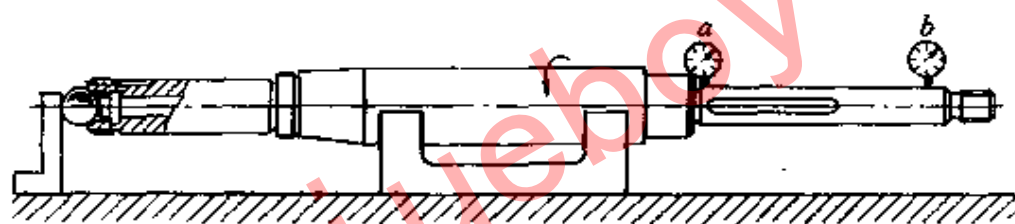


图 10-21 滚刀主轴精度检查示意图

法重新插入滚刀主轴锥孔，使两锥体啮紧，用上述方法再检验 a 、 b 处的径向圆跳动误差，并看第二次的跳动量与第一次读数是否一致，且误差位置是否一样。用这种方法检查滚刀主轴锥孔中心线的径向跳动误差，至少反复检查 3~4 次，直到千分表读数变化范围比较稳定为止。

4) 滚刀主轴及滚刀心轴的综合误差一般应控制在 a 处 $\leq 0.005\text{mm}$ ， b 处 $\leq 0.008\text{mm}$ ，条件是滚刀心轴要满足精度要求。

(2) 刀架的修理 修理的内容有：滚刀主轴前后轴承的刮研，刀架的装配，托架和刀架体的刮修。

1) 滚刀主轴前后轴承的刮研，可以用专用工具研点刮至要求，也可以用精加工合格的滚刀主轴装入前后轴承中进行研点刮至要求。刮研的要求是：主轴与前轴承的配合间隙为 $0.015 \sim$

0.02mm，与后轴承的配合间隙为 0.02~0.03mm，前后轴承的同轴度为 0.01mm，接触点为 10 点~14 点/25mm×25mm。刮研时应注意。

① 前轴承外锥面的接触必须合格。

② 粗刮前轴承时，锥体接触必须啮紧。

③ 粗刮好后，将前轴承适当调松，调好后，再精刮一二次，使刮研点达到要求后，调整前轴承至要求的径向间隙。

④ 前后轴承的刮点要光滑，分布要均匀。

2) 刀架装配 装配图及各装配零件的精度要求如图 10-22 所示。

装配时，清洗零件，涂好油后，再按下述步骤装配：

① 先装好Ⅶ轴，调整好径向、轴向间隙。

② 装好滚刀主轴及大斜齿轮，拧紧螺母，将爪形垫圈保险锁固。

③ 按要求调整好主轴的轴向间隙，保证用手转动主轴灵活无误。

④ 滚刀主轴内插入滚刀心轴（或标准测量心棒）。并用图 10-23 所示的方法检查径向圆跳动在允差范围之内：

用图 10-24 所示的方法检验主轴的轴向窜动在允差范围之内。

其中，装配后要求前轴承与主轴的配合间隙为 0.015~0.02mm，后轴承与主轴的间隙为 0.02~0.03mm，滚刀主轴中心线近主轴端径向圆跳动误差为 0.01mm，300mm 处为 0.015mm，滚刀主轴的端面圆跳动误差为 0.008mm，斜齿轮副的侧隙为 0.05~0.09mm，Ⅶ轴的径向圆跳动误差和端面圆跳动误差为 0.015mm。

3) 刮研托架表面 9 及刀架体表面 13、表面 12

托架如图 10-25 所示。

刀架体如图 10-26 所示。

① 表面 9 与表面 13 对研，且要求表面 13 平行于滚刀主轴轴线，允差为 0.01mm/全长。同时，表面 9 应平行于表面 10、

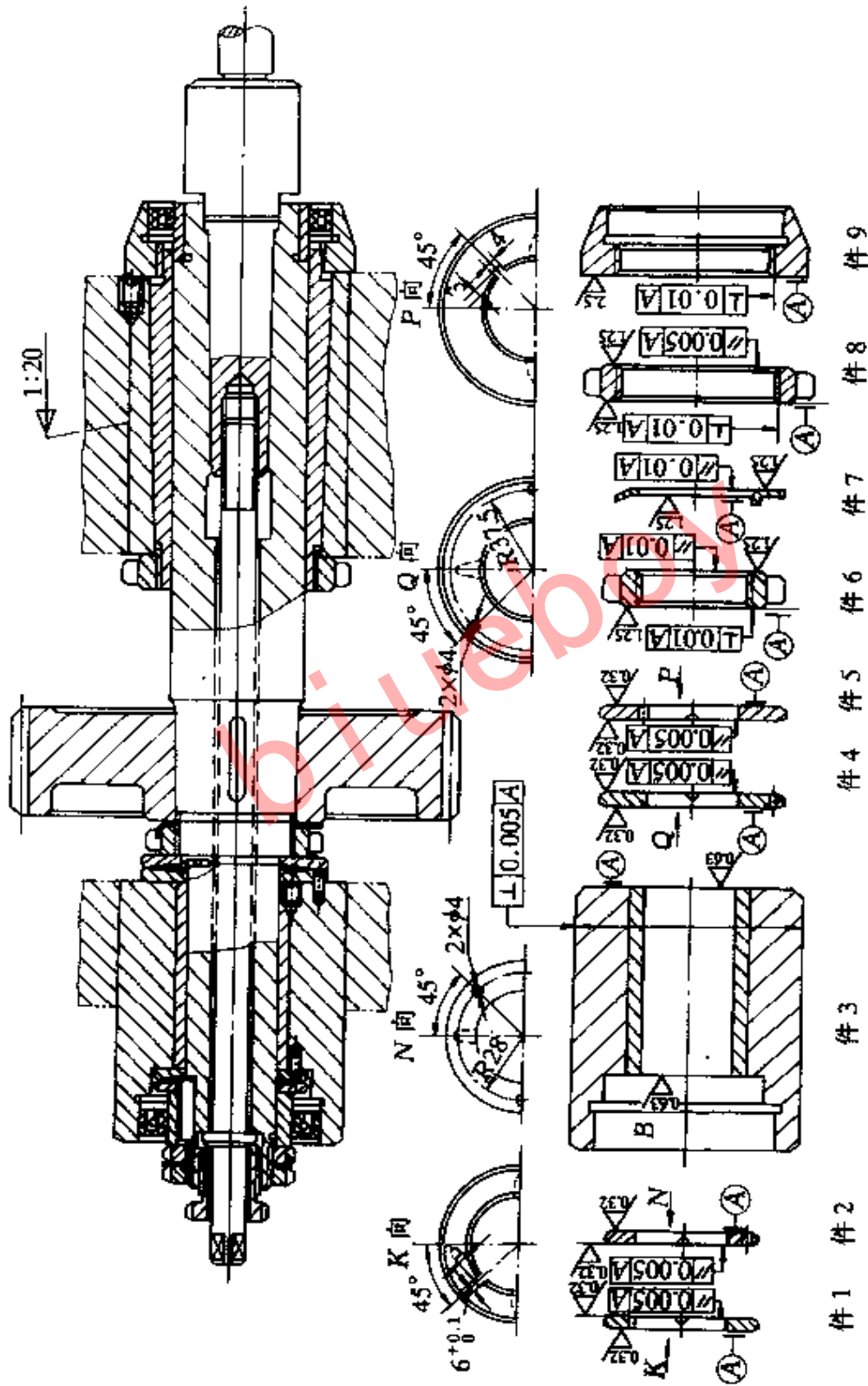


图 10-22 滚刀主轴装配及对各零件的精度要求

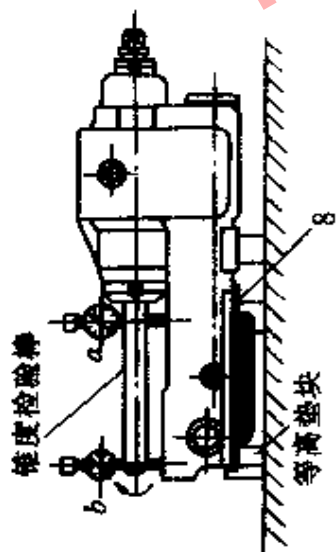


图 10-23 滚刀主轴锥孔中心线检验示意图

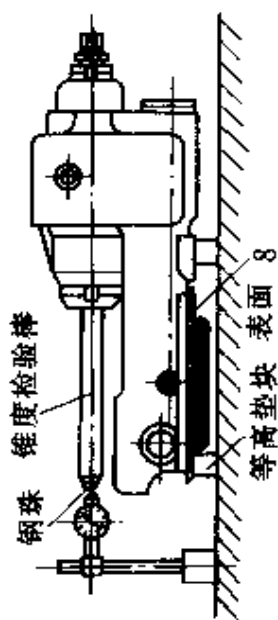


图 10-24 检验主轴轴向窜动示意图

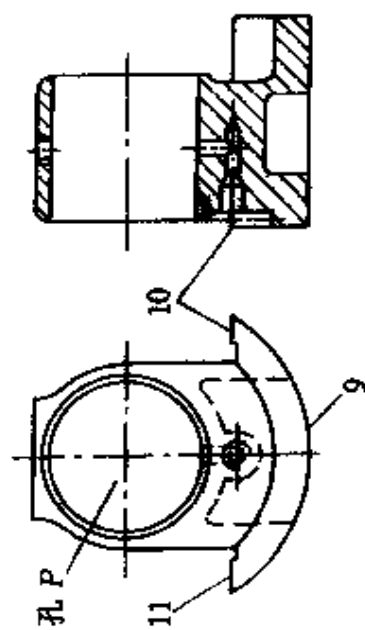


图 10-25 托架示意图

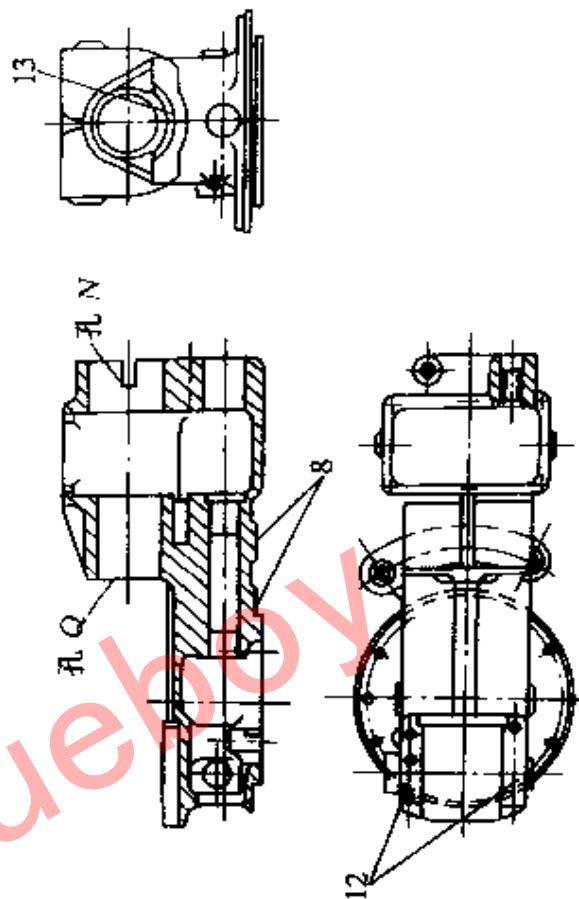


图 10-26 刀架体示意图

表面 11，其刮削时的检验方法如图 10-27 所示。

表面 9 与表面 13 的接触点应为 10 ~ 12 点/25mm × 25mm。表面 10、11 对表面 9 的平行度允差为 0.01mm/全长。

② 在滚刀主轴锥孔内插入滚刀心轴（或标准锥度检验棒），如图 10-28 所示，搭上压板，沿表面 13 移动滚刀心轴托座，检查表面 13 对滚刀主轴轴线的平行度，分别检查上母线 *a* 及侧母线 *b*。

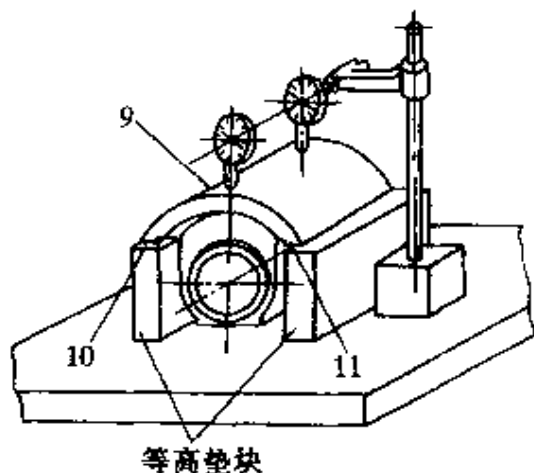


图 10-27 托架测量示意图

③ 用平板拖研表面 12，如图 10-29 所示，并刮削至要求。将压板搭好固紧，用涂色剂检查其平行度，允差 0.01mm/全长。

4) 修托架孔 P 如图 10-30 所示：

① 在滚刀主轴锥孔内插入滚刀心轴。

② 在表面 13 上固定滚刀心轴托座，使滚刀心轴尾端伸出托座外约 30mm。

③ 在外部静止部位固定一个百分表座，使百分表测头触及滚刀心轴伸出部分的外圆表面。

④ 在退出和塞紧内锥套的两种情况下，分别记录百分表读数，按前后两次读数差值，决定孔 P 对滚刀心轴中心线的同轴度误差。

⑤ 分别在上母线 *a* 和侧母线 *b* 两处进行测量。同轴度允差为 0.02mm。

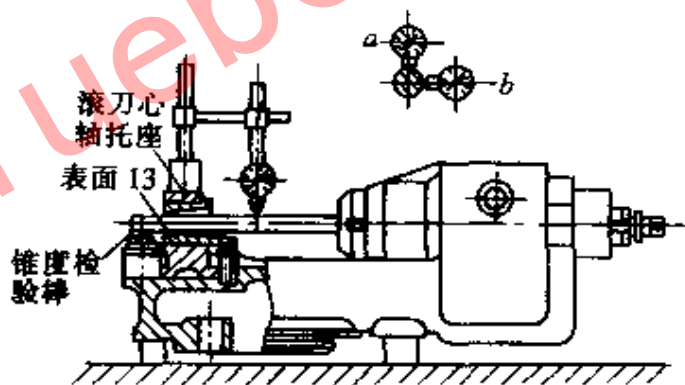


图 10-28 托架平行度误差测量示意图

⑥ 如果同轴度超差，将托架孔 P 车削或镗削至要求，同时修刮托架轴承内锥孔表面，使之达到要求。

5) 检查刀架体表面 8 本表面待刀架滑块表面 8 刮好后再进行拖研刮削至要求。

如图 10-23 所示，测量表面 8 对滚刀主轴中心线的平行度如果超

出允差，则修刮表面 8 至要求。要求表面 8 对滚刀主轴中心线的平行度允差为 $0.01\text{mm}/100\text{mm}$ ，接触点为 $6 \sim 8$ 点/ $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 。

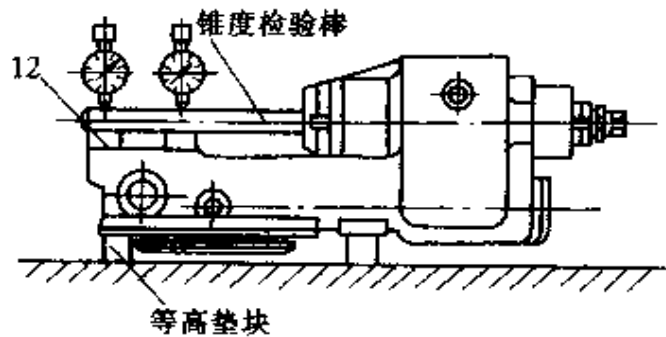


图 10-29 刀架表面 12 对主轴中心线平行度测量示意图

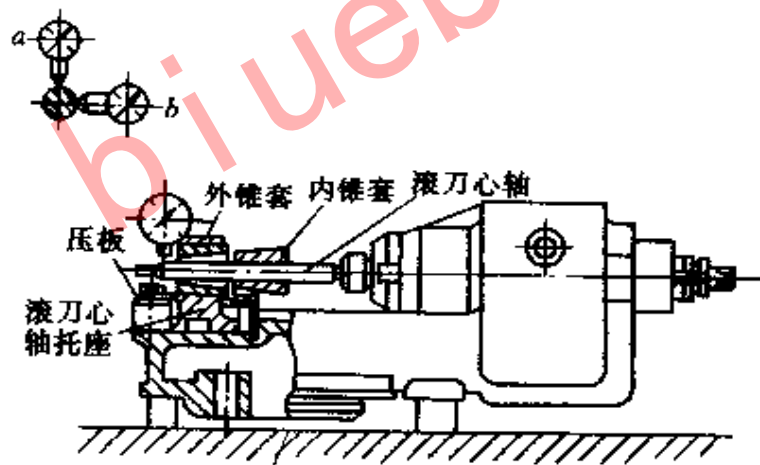


图 10-30 托架孔 P 同轴度测量示意图

第二节 坐标镗床

一、坐标镗床常见故障

1. 孔距误差超差

(1) 中心线产生偏斜 机床床身及滑板刚性不足，或工作台在滑板上往复移动时，工作台表面相对于主轴的中心线产生偏

斜。

解决办法：

- 1) 重新调整三个主要支承，使安装水平调到最小值。
- 2) 重新选配刻度尺，增大或减少刻线在全长刻线数值。

(2) 机床导轨直线度误差的影响 机床导轨的直线度误差对坐标定位精度影响也很大，其中横向坐标尤为显著。

解决办法：

重新局部修理有关导轨表面，特别是滑板导轨精度，应尽量提高。

(3) 机床 x 向与 y 向的垂直度超差 此项误差，因直接反映出坐标精度，故对孔距超差影响很大。

解决办法：

按精度检验卡重调或修刮 x 、 y 向的垂直度误差，直到达到要求为止。

(4) 光学装置的调整与定位不准 由于机床的定位精度直接取决于定位测量装置的精度，所以这项精度极为重要。

解决办法：

1) 重新调整与定位光学系统，重新检查刻线尺对有关导轨的平行度误差。

2) 在鉴定坐标精度时，请有经验的检验工作人员操作，签字读数，排除人为的影响。

(5) 滑板、工作台制动机构装配调整不当，当制动时，传动引起的坐标变动量，将反映出工件孔距加工精度。

解决办法：

检查制动机构中夹紧压板与钢片是否平行，间隙是否适当，钢片与制动固定面是否密合，直至调到合适为止。

(6) 温度超过要求的范围，使机床各件变形量过大。

解决办法：

应改变环境温度。

2. 各孔的同轴度、平行度误差及轴线对基面的垂直度误差

超差

(1) 机床坐标床面有关导轨的垂直度误差超差 其解决办法是根据部件的修理工艺, 局部修刮有关导轨表面, 保证垂直度要求。

(2) 主轴箱体壳导轨直线度误差超差 其解决办法采用重新修刮主轴箱体壳导轨, 保证直线度要求。

(3) 主轴轴线 (z 向) 对坐标床面 (x 向及 y 向) 的垂直度误差超差 其解决办法是调整主轴箱体壳导轨体, 重新铰销孔, 并重刮各垂直度至要求。

3. 孔的表面粗糙度值不符合要求

(1) 主轴轴向窜动超差

1) 选用推力球轴承时, 应选用 P4 精度。

2) 各平垫圈端面平行度误差应小于 0.002mm 。

3) 装配时应注意轴向接触面的清洁。

4) 将主轴末端的螺母加以拧紧, 至主轴转动灵活而轴向窜动又在规定范围之内为止。

(2) 主轴进给量不均匀 其解决办法是将主轴箱上盖打开, 在摩擦锥体内, 通过齿轮的洞孔便可看到一个螺母, 用一个较宽的特种扳手, 将螺母旋紧一些, 使主轴套筒进给时不致爬行, 但不要旋的太紧。

(3) 齿条与齿轮啮合不良 进给用的主轴套筒上, 齿条与齿轮啮合状况不良, 或者啮合过紧, 或有毛刺等物使主轴进给出现爬行现象。

解决办法:

修复齿轮、齿条, 使其啮合侧隙在 $0.05\sim 0.1\text{mm}$ 之间。

(4) 主轴套筒与主轴箱体孔间的配合间隙过大或不均匀 这样使主轴进给时出现突变或不规则的变化。

解决办法:

修复主轴套筒外圆, 其最大间隙配合不得超过 $0.007\sim 0.01\text{mm}$ 。

(5) 弹簧力不均 主轴套筒升降用的盘形弹簧, 因卷紧与放松的扭力不均匀, 而引起主轴进给量的不均匀。

解决办法:

最好将盘形弹簧改用链条连接并给以配重。

(6) 刀具角度、刀杆刚性不足及安装不正确。

解决办法可根据说明书及刀具设计原理, 设计安装刀具。

4. 工作台滑板进给失灵或有爬行现象

(1) 离合器磨损 工作台或滑板的纵横向移动, 是通过操纵箱内的片式摩擦离合器所输出的转矩, 由齿轮齿条副传动的, 由于长时间使用, 造成片式摩擦离合器磨损, 致使进给运动打滑或爬行。

解决办法:

可将操纵箱左边盖子拆开, 先拧开锁紧销子, 再将压紧的离合器片上的螺母适当地旋紧, 使输出转矩正常, 而不致于打滑为止。

(2) 镶条调整不当 对工作台或滑板纵横向移动的镶条调整不当, 也会引起进给中产生爬行现象。

解决办法:

重调或修刮镶条滑动表面, 直至达到要求为止。

(3) 齿轮副啮合不良 工作台沿 x 向移动时, 齿条、齿轮副啮合情况不良。

解决办法:

重修调整齿条、齿轮副的啮合间隙, 达到要求为止。

5. 主轴套筒垂直移动在热态时有卡紧现象

主轴轴承的预加负荷选择不当, 主轴在旋转中产生升温, 使主轴套筒外圆胀大。造成与主轴箱体孔的配合过紧, 从而使主轴套筒向上移动时, 出现卡紧现象。

解决办法:

重新调整主轴轴承的预加负荷, 使轴承温升稳定在 30°C 以内, 并更换润滑脂, 改善润滑条件。

6. 加工孔的直线度和圆度误差超差

1) 主轴箱体孔直线度误差超差

2) 主轴套筒外圆母线直线度误差超差，其解决办法是重修孔及套筒外圆表面至要求。

3) 进给用的主轴套筒上的齿条、齿轮啮合不良。其解决办法有重修齿条、齿轮副的啮合间隙在 $0.05 \sim 0.1\text{mm}$ 之间。以上三点是加工孔直线度误差超差的原因。

4) 主轴前后轴承内环外表面的几何精度及同轴度超差，其解决办法是重新选配轴承。

5) 主轴套筒上的滚柱轴承外环内表面的几何精度及同轴度误差超差。其解决办法是重新选配合格轴承。

6) 锁紧螺母的螺纹与工作端面的垂直度误差超差。其解决办法是可以先以主轴上滚柱轴承内环外表面为基准，修磨锁紧螺母的螺纹。将锁紧螺母旋上去，适度紧一些，再修磨其工作端面。

7) 刀具刚性不足及安装不正确，其解决办法是根据说明书及刀具设计原理，设计安装刀具。

8) 主轴前后轴承预加负荷太小，其解决办法是应加大预加负荷。

二、坐标镗床主要故障的排除

1. 修理顺序

1) 床身的修理。

2) 滚柱轴承副的修理。

3) 滑板的修理。

4) 滑板与床身的刮配。

5) 工作台的修理。

6) 滑板与床身配刮纵横向移动的垂直度误差。

7) 工作台面的修复。

8) 刻线尺定位修理。

9) 操纵箱以及移动的传动装置拼装定位。

- 10) 工作台滑板、床身拼装后检验精度。
- 11) 主轴箱壳体的修理。
- 12) 导轨壳体的修理。
- 13) 主轴套筒组件的修理。
- 14) 立柱总装。
- 15) 坐标床面部件总装。

为了缩短修理周期，可以合理组织修理力量，对顺序 1~10，顺序 11~12 及顺序 13，可同时或交叉进行修理。

2. 修理基准的选择 选择修理基准，应以修理工艺较复杂，修理面积较大、修理精度要求较高的零件表面作为选择原则。基准选择的正确，能保证机床修理的精度，而且省力、省时。否则，事倍功半。

坐标镗床的修理基准应选择床身作为基准件。床身上的导轨表面修理工作量最大，导轨本身精度、相互间的位置精度要求都比较高，所以，以床身导轨表面为修理基准比较合适。

3. 床身的修理 由于床身的受力情况比较复杂，床身各导轨表面及接合面的精度要求也较高，工作台直角坐标系中 x 向的移动精度，在很大程度上取决于床身导轨的修理质量。

按下面的顺序进行刮研，刮研前，导轨板不要拆除。

- 1) 刮研表面 1、2。
- 2) 刮研表面 3、4。
- 3) 刮研表面 5、6。
- 4) 刮研表面 7、8。

保证各面的直线度误差为 0.005mm/全长上；平行度误差为 0.006mm；各面有垂直度要求的为 0.02mm/全长。

4. 滑板的修理 滑板结构刚性较差，容易变形。因此，在刮研时，要注意支承点位置的合理分布，用三点支承。

- 1) 先刮表面 5，再调面刮表面 6
- 2) 刮其他表面

要求各导轨面的直线度误差 0.005mm/全长；各导轨间的相

互平行度误差 $0.005\text{mm}/\text{全长}$ 。(主要的精度要求)。若磨损严重,先精刨后刮研。

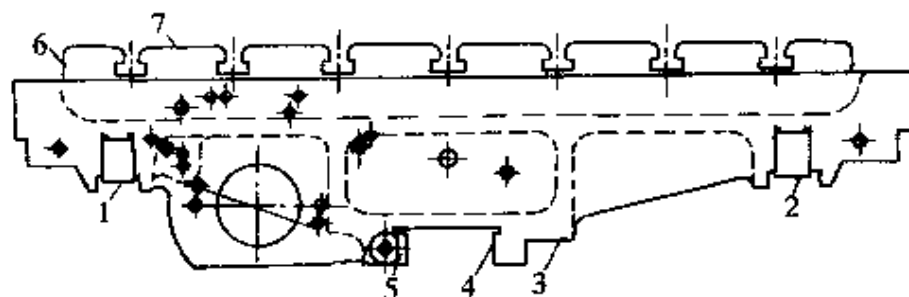


图 10-31 工作台导轨截面图

5. 工作台的修理 图 10-31 是工作台导轨截面图。若导轨的各项精度超差过多,可先采用机加工后再刮研,刮研时,最好不拆除导轨板,采用图 10-32 所示,用三点支承工作台进行刮研。

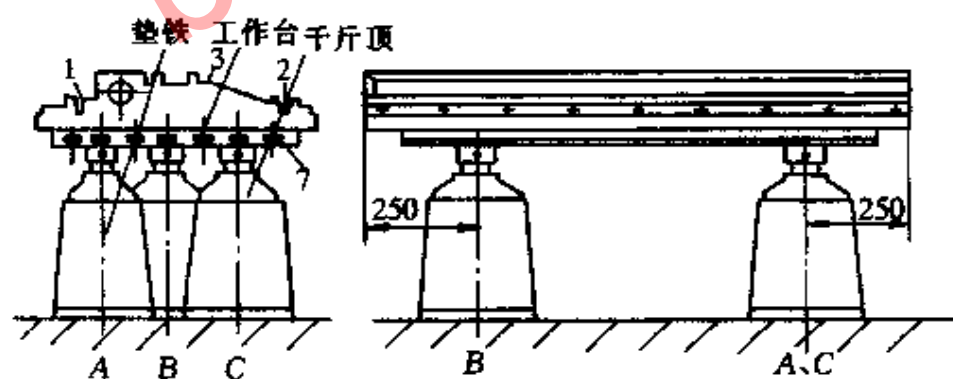


图 10-32 工作台刮研表面 1、2、3 支承示意图

(1) 研磨导轨板上表面 1 和 2 其方法见图 10-33。

1) 将工作台按图 10-32 方式呈水平位置,调整表面 1、2 至基准水平最小值。

2) 用平尺研磨表面 1、2, 使表面 1、2 在垂直面内的直线度误差为 $0.003\text{mm}/\text{全长}$; 两导轨在垂直面内的平行度误差为 $0.005\text{mm}/\text{全长}$

(2) 刮研表面 3 其见图 10-34。

1) 将工作台安放在支承位置上。

2) 用平尺拖研表面 3, 保证表面 3 对 1、2 面的平行度误差为 $0.05\text{mm}/\text{全长}$ 。

(3) 刮研表面 4 见图 10-35。

1) 在滑板上导轨面上, 放置修复合格后的滚柱轴承副, 并清洗干净, 涂敷润滑脂。

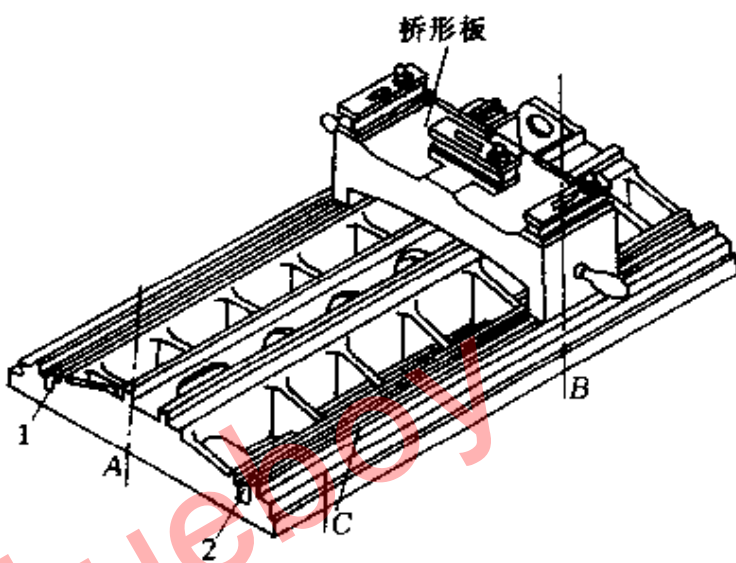


图 10-33 刮研表面 1、2 示意图

2) 将工作台吊放在滑板上, 呈工作状态。

3) 将工作台表面 4 对滑板表面 5 进行配刮, 此时, 必须照顾对工作台侧基准面 6 的平行度, 其测量检查方法见图 10-35。

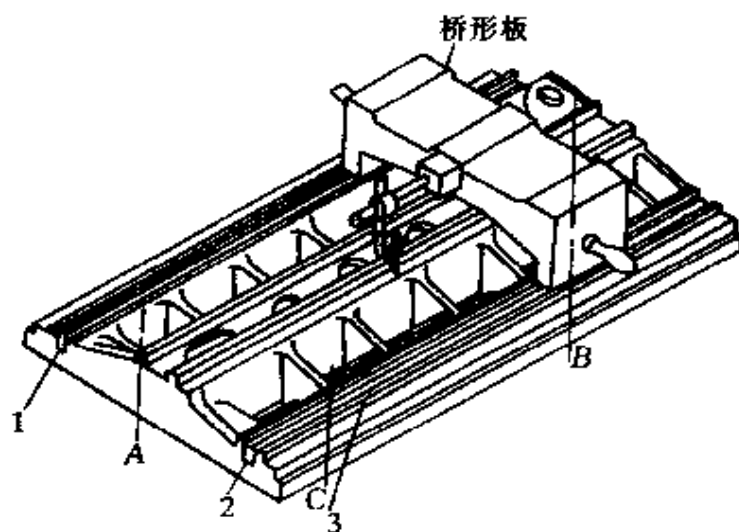


图 10-34 检验表面 3 示意图

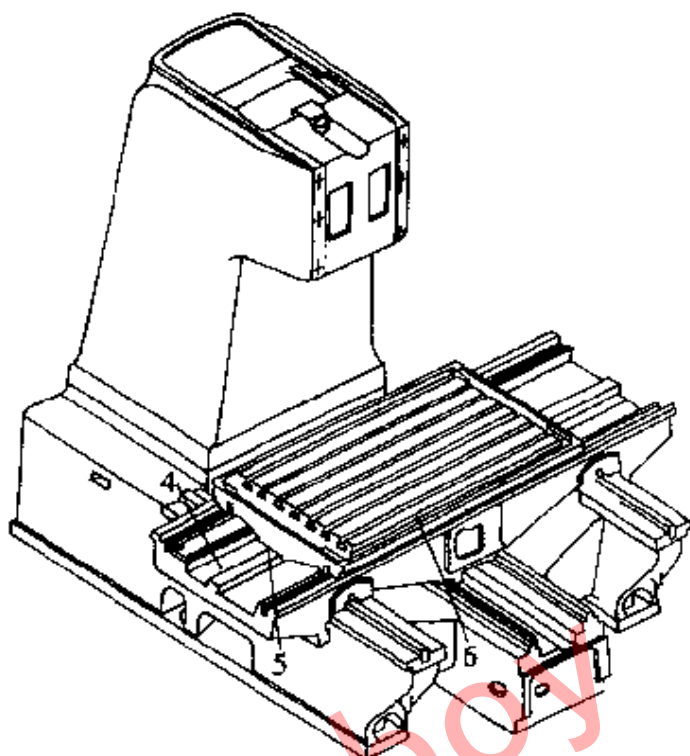


图 10-35 工作台与滑板配刮表面 4、5 示意图

复习思考题

1. 滚齿机修理中出现齿距累积误差超差的故障，有哪些原因？如何排除？
2. 产生滚齿机加工齿轮公法线长度变动量超差的原因是什么？如何解决？
3. 加工齿轮出现径向圆跳动超差，原因是什么？怎样解决？
4. 坐标镗床加工出现孔距误差超差，原因是什么？怎样排除？
5. 坐标镗床加工出现轴线对基面垂直度超差，原因是什么？怎样解决？
6. 工作台进给运动出现打滑或“爬行”的原因是什么？如何排除？

第十一章 数控机床的维护与故障排除

培训要求 掌握数控机床的维护知识及故障排除技能。

第一节 数控机床的维护

数控机床与普通机床一样使用寿命的长短和效率的高低，不仅取决于机床的精度和性能，很大程度上也取决于它的正确使用及维护。更何况数控机床是一种自动化程度高、结构复杂且又昂贵的先进加工设备。因此，对于数控机床来说，在正确使用的前提下，还应对其精心维护，以使其保持良好的技术状态，延缓劣化进程，及时发现和消灭隐患于未然，更充分发挥其效能。

除遵循普通、精密机床有关的维护要求外，数控机床的维护工作还有如下几点：

一、选择合适的使用环境

数控机床的使用环境（如温度、湿度、振动、电源电压、频率及干扰等）会影响数控机床的正常运转，故在安装数控机床时应严格做到机床说明书规定的安装条件和要求。在经济条件许可的情况下，最好将数控机床与普通机械加工设备隔离安装，以便于数控机床的保养和维修。

二、应为数控机床配备数控系统编程、操作和维修的专门人员

这些人员应熟悉所用数控机床的机械、数控系统、强电设备、液压、气压等部分及使用环境、加工条件等，并能按机床和系统使用说明书的要求正确使用数控机床。

三、纸带阅读装置的定期维护

纸带阅读装置的阅读带部分有污物时，会使读入信息出现错误。所以操作者应每天对阅读头表面、纸带压板及纸带通道表面

进行检查，用酒精纱布擦掉污物。对阅读装置的主动轮滚轴、导向滚轴、压紧滚轴等每周应定时清洗，对导向滚轴、张紧臂滚轴应每半年加注润滑油一次。

四、伺服电动机的保养

对数控机床、加工中心等机床的伺服电动机，要在10~12个月进行一次维护保养；加/减速度变化频繁的机床，要在两个月进行一次维护保养。维护保养的主要内容有：用干燥的压缩空气吹除电刷的粉尘；检查电刷的磨损情况，如需更换，要选用规格型号相同的电刷，更换后要空载运行一定时间，使其与换向器表面吻合；检查清扫电枢换向器以防止短路；如装有测速电动机和脉冲编码器时，也要进行检查和清扫。

清洗检查后，按原接线方法和顺序组装后进行试验检查。

五、空气过滤器的清扫

如数控柜后门底部的空气过滤器灰尘过多，会使柜内冷却空气通道不畅，引起柜内温度过高而使系统不能可靠工作。因此，应视周围环境状况，每半年或3个月检查清扫一次。可把过滤器卸下，用压缩空气由里向外吹或用中性清洁剂冲洗。

六、电气柜的清扫

电气柜内的电路板和元器件上有灰尘、油污时，很容易引起机床故障。因此机床的电气柜要根据使用环境定期清扫，一般情况下8~12个月清扫一次；如环境潮湿、灰尘较多，6个月必须清扫一次。

七、印制电路板的清扫方法

(1) 用毛刷清扫 适合于灰尘少的电路板，清扫时注意防止划伤印制电路板或碰坏元器件。

(2) 用吸尘器清扫 使用时要选用功率适当的吸尘器。

(3) 用干燥压缩空气清扫 适合于灰尘多、面积大的电路板及伺服单元。压缩空气的使用压力可在0.2~0.3MPa，并不宜直接对准元器件，要保持一定距离。

八、机床电缆线的检查

主要检查电缆线的移动接头、拐弯处是否出现接触不良、断线或短路等故障。

九、数控系统参数存储器电池的更换

有些数控系统的参数存储器，是采用 CMOS 元件，其存储内容在断电时靠电池供电保持。故一般应在一年中更换一次电池，并且一定要在数控系统通电状态下进行，否则可能会使存储参数丢失，使数控系统不能工作。

十、长期不用数控机床的保养

在数控机床闲置不用时，应经常给数控系统通电，在机床锁住情况下，使其空运行。在空气湿度较大的梅雨季节应该天天通电，利用电器元件本身发热驱走数控柜内的潮气，以保证电子部件的性能稳定可靠。

如果数控机床闲置半年以上不用，应将直流伺服电动机的电刷取下来，以免由于化学腐蚀作用使换向器表面腐蚀，换向性能变坏，甚至损坏整台电动机。

十一、对于已购置的备板，要定期装到系统上通电运行，以防损坏

第二节 数控车床机械故障的排除

一、CK3263 型车床的传动系统与主要结构

1. 传动系统 其传动系统如图 11-1 所示。

(1) 主传动系统 由交流或直流电动机驱动，具有无级调速和恒切削性能。电动机的运动经 V 带传至主轴箱中的轴 I。轴 I 的运动可分别通过两对齿轮副（齿轮 1 与齿轮 3 啮合或齿轮 2 与齿轮 4 啮合）传至轴 II，轴 II 的运动再经两对齿轮副（齿轮 5 与齿轮 7 的啮合或齿轮 6 与齿轮 8 的啮合）传至主轴。这样，通过轴 II 上的两个双联滑移齿轮的变换，可使主轴得到四档固定的变速范围。其机械传动比近似为： $\frac{1}{1.773}$ 、 $\frac{1}{3.296}$ 、 $\frac{1}{6.775}$ 、 $\frac{1}{12.597}$ 。再通过电动机调速，当电动机的转速为 252~2660r/min

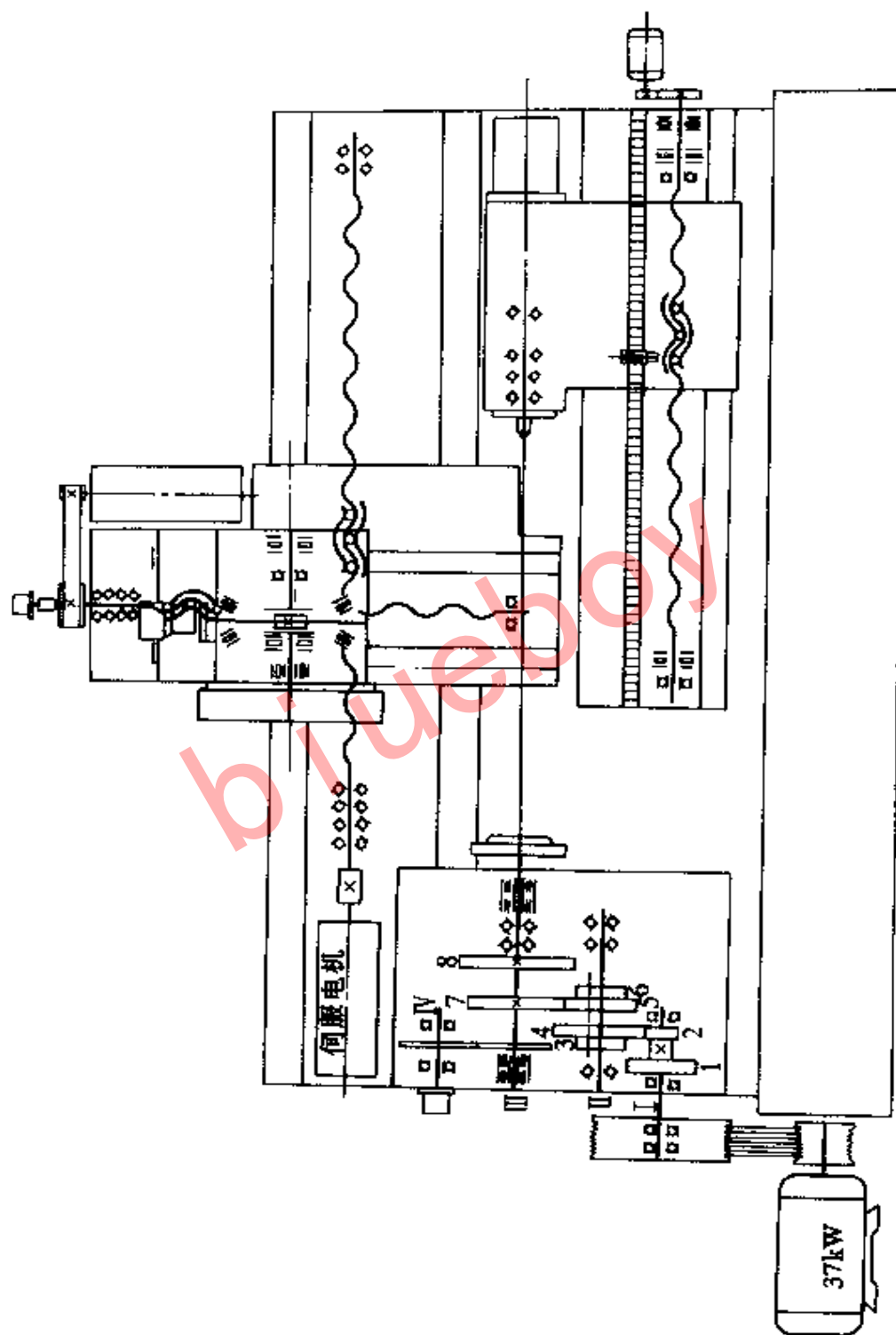


图 11-1 CK3263 型车床传动系统图

时, 可使主轴获得 $20 \sim 1500 \text{r/min}$ 的速度范围, 在这范围内可自动变换转速, 并在每档内可实现恒速切削。

(2) 进给系统 刀架、横滑板沿 x 轴方向的进给, 是由伺服电动机驱动的, 伺服电动机通过同步齿形带带动滚珠丝杠旋转, 从而带动滑板作横向移动。 z 轴方向进给由另一台伺服电动机驱动, 通过精密弹性膜片联轴器直接把运动传递给纵向进给滚珠丝杠, 实现滑板在 z 轴方向的进给。 x 轴及 z 轴方向的进给速度和位移量均取决于数控系统发来指令的频率和脉冲数。

(3) 螺纹加工传动系统 加工螺纹时, 主轴经一对速比为 1 的齿轮带动主轴脉冲发生器的轴旋转。这样, 主轴脉冲发生器发出与主轴转速同步的脉冲信号, 从而实现螺纹的加工。

2. 主要结构

(1) 主轴箱结构特点

1) 主轴箱 II 轴上两个双联滑移齿轮的移动是由液压缸操纵的。机械变档时, 为了使齿轮顺利啮合, 主电动机低速摇摆, 此时液压缸压力调整到规定值, 推动滑移齿轮移动, 齿轮啮合到位后, 压上行程开关, 命令电动机停止摇摆并起动运转。

2) 主轴反转是通过改变主电动机的旋转方向来实现。改变电动机转向时, 可以得到与正转相同的主轴反转速度范围。主轴制动直接由主电动机自行制动实现。

3) 主轴结构见图 11-2。采用图示结构可使装配调整简单、动刚度、精度稳定可靠。

(2) 回转刀架结构 如图 11-3 所示, 刀架的夹紧和转位均由液压缸驱动, 且刀架可以正反两个方向旋转, 并可自动选择最近的回转路线, 以缩短辅助时间。其工作原理如下:

接到转位信号后, 液压缸 1 后腔进油, 将中心轴 3 和刀盘抬起, 使端面齿盘 4、5 分离。然后, 液压马达驱动凸轮 2 旋转, 凸轮每转一周拨过一个柱销, 使刀盘转过一个工位, 同时, 固定在中心轴尾端的 12 面选位凸轮相应压合计数开关 ST1 一次。当刀盘转到新预选工位时, 液压马达制动, 然后液压缸 1 前腔进

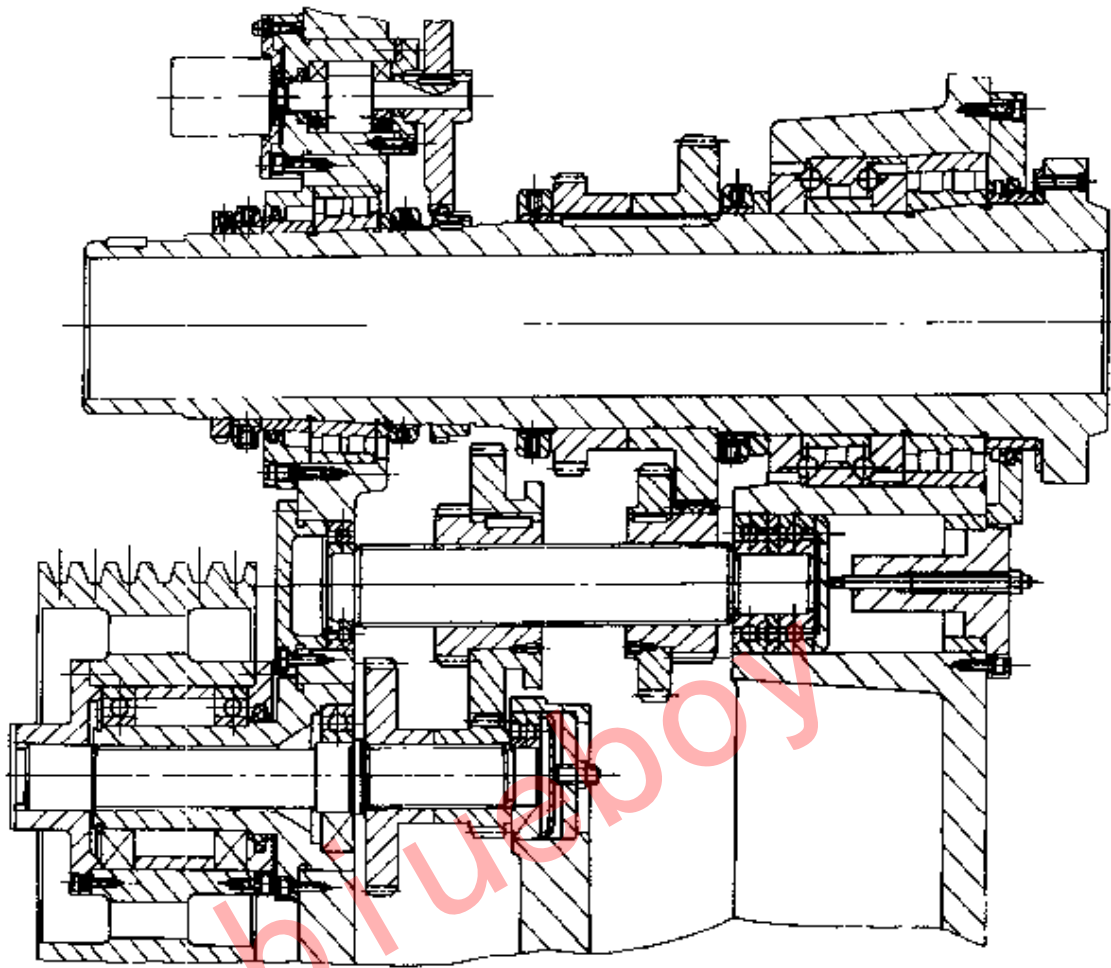


图 11-2 主轴箱展开图

油，将中心轴和刀盘拉下，使端面齿盘啮合夹紧。此时，中心轴尾部端面压下开关 ST2，发出转位结束信号。

(3) 刀架滑板结构 如图 11-4 所示， x 轴滚珠丝杠固定在两端支架上，螺钉 7 和紧定螺钉 8 用来调整同步齿形带的松紧程度，凸轮 9 和液压缸装置 10 是 x 轴制动机构。其工作原理及调整如下：

1) 由伺服电动机 1 通过锥形联接器 2、3，再通过同步齿形带 4 带动滚珠丝杠旋转，从而带动滑板作横向移动。

当机床断电时，刀架和滑板由于重力的作用有下坠的趋势，此时液压缸 10 前腔与回油路相通，活塞 11 在弹簧 12 的作用下带动柱销 13 向前伸出，卡住凸轮，从而消除刀架和滑板的下坠

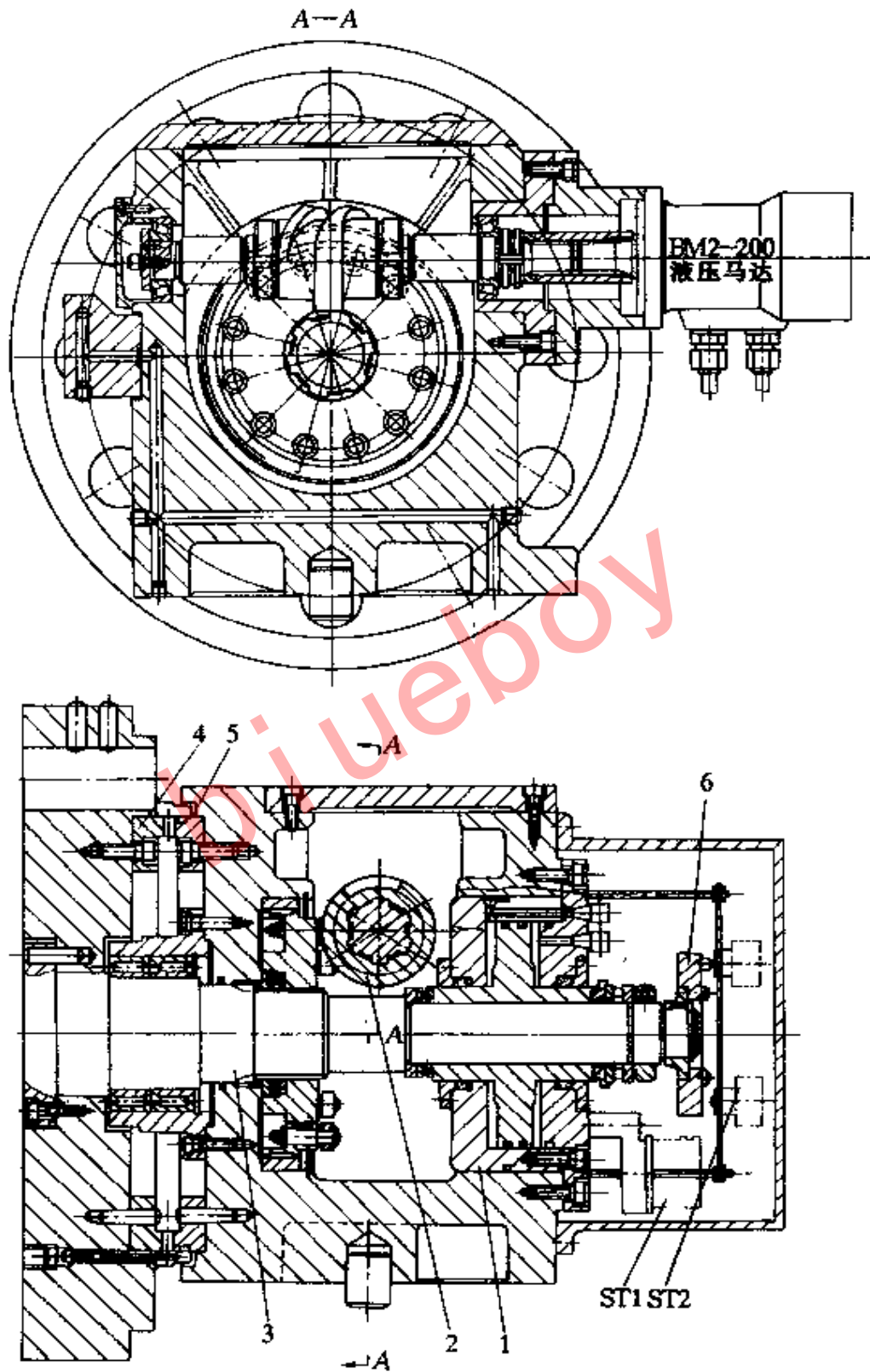


图 11-3 回转刀架结构

1—液压缸 2、6—凸轮 3—中心轴 4、5—端面齿盘

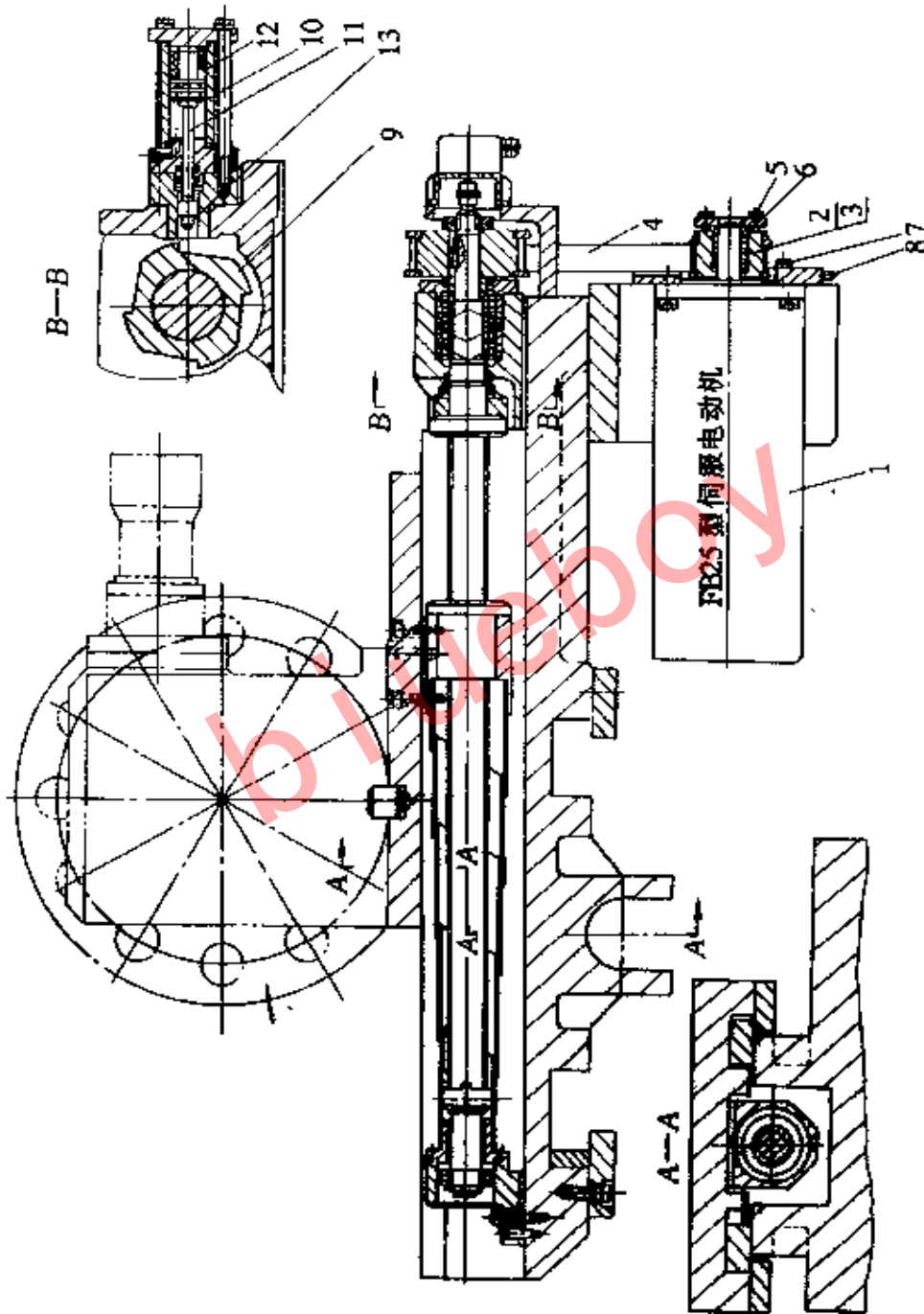


图 11-4 滑板结构图
 1—伺服电动机 2、3—锥形成套 4—同步齿形带 5—压盖 6、7、8—螺钉
 9—凸轮 10—液压缸 11—活塞 12—弹簧 13—柱销

现象。机床通电时，液压缸 10 前腔进油，在压力油的作用下，活塞 11 和柱销 13 被推回，制动过程结束。

2) 调整

① 失步调整：运动中如果出现失步，拧动压盖 5 上均布的 4 个螺钉 6 即可压紧锥形套 2 和 3，失步得以调整。

② 同步齿形带的松紧度调整：松开螺钉 7，再拧动紧定螺钉 8 即可调整齿形带的松紧度。

(4) z 轴丝杠的联接 如图 11-5 所示， z 轴滚珠丝杠固定在两个支架上，运动由伺服电动机 1 通过精密弹性膜片联轴器 3 传递。出现失步时，也需调紧锥形套。调整时拧动压盖 4 上均布的 4 个螺钉 2 即可压紧。

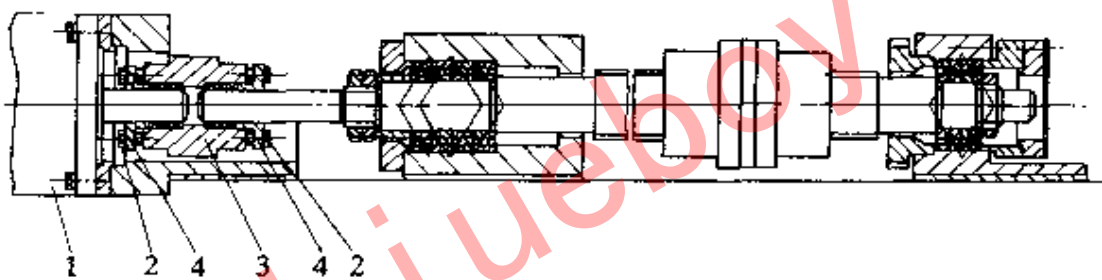


图 11-5 z 轴丝杠联接图

1—伺服电动机 2—螺钉 3—锥形套 4—压盖

(5) 工具系统 如图 11-6 所示，即由刀具、刀夹、回转刀盘组成。

刀具分为外圆加工刀具和孔加工刀具两组，都是精密刀具。外圆加工刀具的刀尖到其三个基面的尺寸以及孔加工刀具的刀尖到镗杆中心线的尺寸均按严格公差制造，允差在 $\pm 25\mu\text{m}$ 以内。在外圆刀具刀杆侧面和后面备有微调螺钉，可用来微调。

刀夹分为外圆加工刀具刀夹，端面加工刀具刀夹和孔加工刀具刀夹（图 11-7）。外圆刀夹、端面刀夹用于外圆车刀和端面车刀，孔加工刀具刀夹用于装夹各种孔加工刀具。外圆端面加工刀具和孔加工刀具也可以借助外圆加工刀具刀夹和孔加工刀具刀夹按加工零件工艺要求，适当地布置在回转刀盘上。

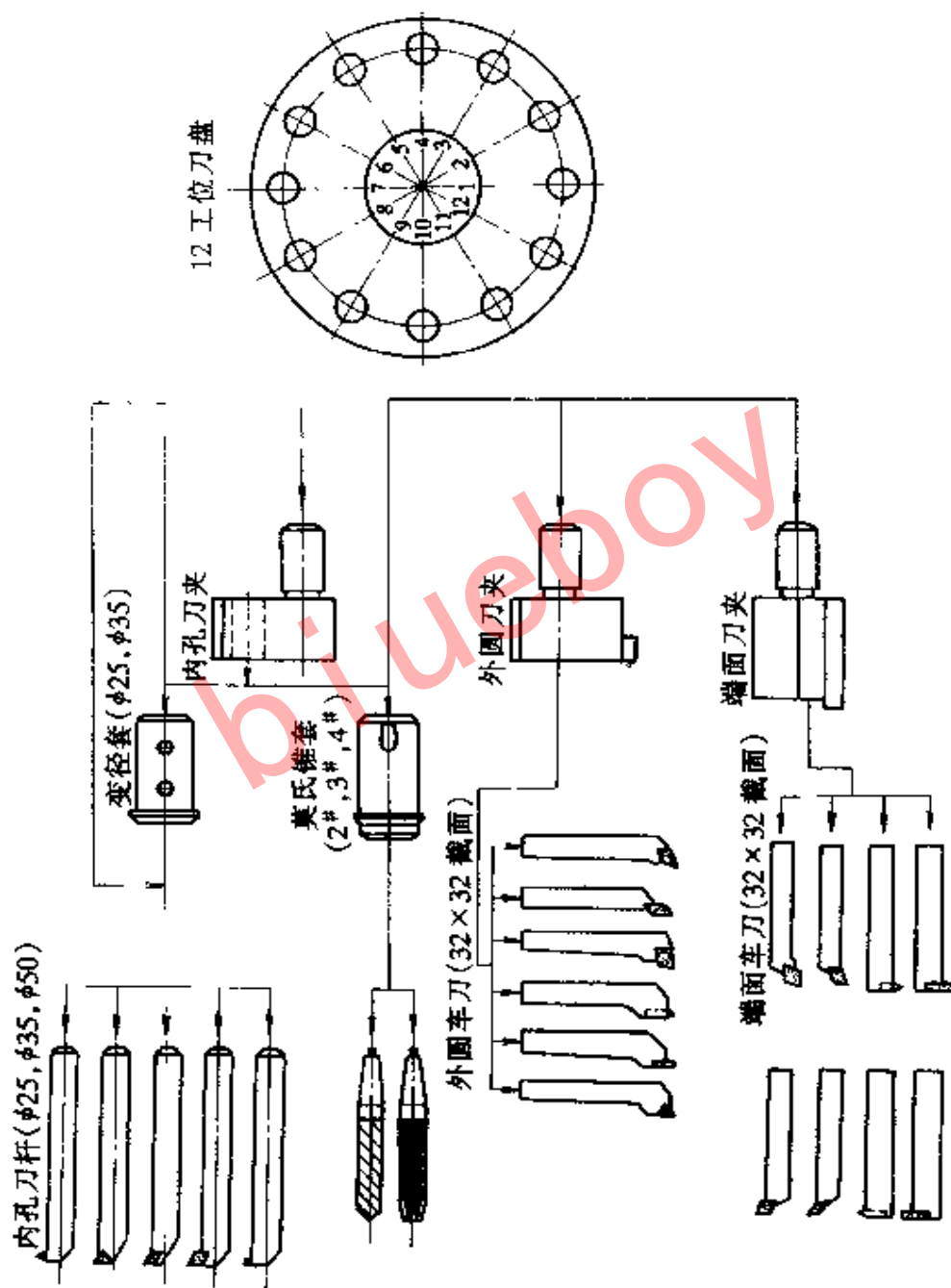


图 11-6 基本刀具和附件

二、数控车床机械故障的排除

数控车床是机、电、液、气一体化的机床。各部分执行功能共同完成机械的移动、转动、夹紧放松、变速和刀具转位等各种动作。当机床工作时，它们各项功能相结合，发生故障也混在一起，故给故障诊断和排除带来很大困难。

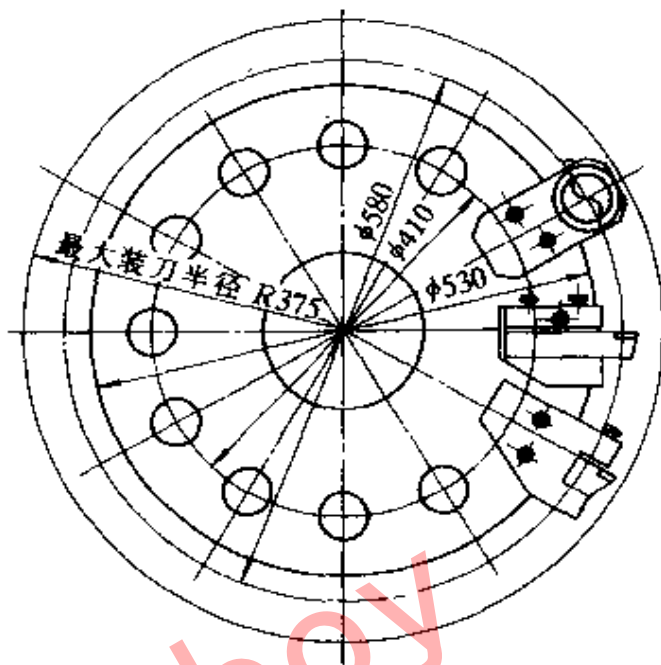


图 11-7 刀具布置图

1. 机械故障类型

(1) 功能性故障

主要指工件加工精度方

面的故障。表现为加工精度不稳定，加工误差大、运动反向误差大、工件表面质量差。

(2) 动作型故障 主要指机床各种动作故障。表现为主轴不转动，液压变速不灵活、工件夹不紧，转塔刀架定位精度低等。

(3) 结构型故障 主要指主轴发热、主轴箱噪声大、产生切削振动等。

(4) 使用型故障 主要指使用及操作不当引起的故障，如过载引起的机件损坏、撞车等。

2. 机械故障排除方法 各种机械故障可通过精心维护保养，精心调整，如调整配合间隙、供油、气压力、流量、轴承及滚珠丝杆的预紧力，维修泄漏来解决。

对于已磨损、损坏或者已失去功能的零部件，可通过修复或更换来排除故障。

但由于床身结构刚性差、切削振动大，制造质量差等原因产生的故障很难排除。

主轴箱部分、转塔部分及加工质量方面的主要机械故障及其排除方法简述如下：

(1) 主轴箱部分

1) 齿轮和轴承损坏

① 变档压力过大、齿轮受冲击产生破损。其排除方法按液压原理图，调整到适当压力和流量。

② 变档机构损坏或固定销脱落。其排除方法是修复或更换零件。

③ 轴承预紧力过大或无润滑。其排除方法是重新调整预紧力，并使之有充足润滑。

2) 主轴无变速

① 电器变档信号是否输出。其排除方法是电修人员检查处理。

② 压力是否足够。其排除方法是检测工作压力，若低于额定压力，应调整。

③ 变档液压缸研损或卡死。其排除方法是修去毛刺和研伤，清洗后重装。

④ 变档电磁阀卡死。其排除方法是检修电磁阀，并清洗。

⑤ 变档液压缸拨叉脱落。其排除方法是修复或更换。

⑥ 变档液压缸窜油或内泄。其排除方法是更换密封圈。

⑦ 变档复合开关失灵。其排除方法是更换新开关。

3) 主轴不转动

① 电气主轴转动指令是否有输出。其排除方法是电修人员检查处理。

② 保护开关没有压合或失灵，其排除方法是检修压合保护开关或更换。

③ 卡盘未夹紧工件，其排除方法是调整或修理卡盘。

④ 变档复合开关损坏。其排除方法是更换复合开关。

⑤ 变档电磁阀体内泄漏，其排除方法是更换电磁阀。

(2) 转塔部分

1) 转塔没有抬起动作

① 控制系统是否有 T 指令、输出信号，其排除方法是检查 T 指令抬起信号是否输出，如未能输出则请电修人员排除。

② 抬起电磁铁断线或抬起阀杆卡死。其排除方法是修理或清除污物，更换电磁阀。

③ 压力不够，其排除方法是检查油箱压力是否充足，并重新调整压力。

④ 抬起液压缸研损或密封圈损坏。其排除方法修复研损部分或更换密封圈。

⑤ 与转塔抬起联接的机械部分研损。其排除方法是修复研损部分或更换零件。

2) 转塔转位速度缓慢或转塔不转位

① 检查是否有转位信号输出。其排除方法是转位继电器是否吸合。

② 转位电磁阀断线或阀杆卡死。其排除方法是修理或更换。

③ 压力不够，其排除方法是检查是否液压有故障，调整压力到额定值。

④ 转位速度节流阀是否卡死。其排除方法是清洗节流阀或更换。

⑤ 液压马达研损卡死。其排除方法是检修液压马达或更换。

⑥ 凸轮轴压盖调节过紧。其排除方法是将调节螺钉退回一些。

⑦ 抬起液压缸体与转塔平面产生摩擦、研损。其排除方法是将转位联接盘松开再进行转位试验。将联接盘取下，把平面轴承下面的调整垫取出配磨，并使相对间隙保持 0.04mm 即可。

⑧ 安装附具不配套。其排除方法是重新调整附具安装，以免减少转位冲击。

3) 转塔落不到位和夹不紧

① 检查是否有落下信号输出。其排除方法是电修人员检查信号并修理。

② 落下电磁阀断线或卡死。其排除方法是修复或更换。

③ 压力不够。其排除方法是按液压故障部分方法排除，调整压力。

④ 转塔旋转滚针轴承脱落或转塔卡紧液压缸。其排除方法是修复或更换滚针。

⑤ 转塔选位开关松动，不正位落在齿顶上。其排除方法是转塔在正位时，重新调整选位开关并多次试验，一直到可靠为止。

4) 转塔转位时有机械干涉碰牙，其原因是抬起速度缓慢或抬起延时时间短。

排除方法是调整抬起延时参数，增加延时时间。

5) 转塔不正位

① 转塔转位盘上的撞块与选位开关松动，从而使转塔到位时，传输信号超前或滞后。其排除方法是将护罩拆下，使转塔处于正位状态。重新调整撞块与选位开关的位置，并紧固好，再做转塔转位动作。

② 转塔的机械联接部件如上下联接盘与中心轴花键间隙过大，产生位置偏差过大，落下时容易碰到牙顶面上，引起不正位。其排除方法是重新调整联接盘与中心轴的中间位置。间隙过大可更换零件。

③ 转位凸轮与转位盘间隙大。其排除方法是将两滚轮与凸轮用塞尺测试，把凸轮调到中间位置，转塔左右窜量保持在二牙齿中间位置，落下时确保顺利咬合。转塔抬起时用于摆动转塔，摆动量最好不超过二齿的 $1/3$ 。

④ 固定转位凸轮的螺母松动，使凸轮在轴上产生窜动。其排除方法是重新调整并紧固好螺母。

⑤ 转位凸轮轴的轴向预紧力过大，运动不灵活或有机械干涉，使转塔转不到位。其排除方法是重新调整预紧力，排除干涉。

6) 转塔转位不停

① 两个计数开关不同时计数或复置开关损坏。其排除方法是调整两个撞块的位置及两个计数开关的计数延时，修复复置开关。

② 转塔上的 24V 电源断线。其排除方法是将 24V 电源线接好。

(3) 加工质量方面

1) 加工件表面质量差

① 机床导轨没有足够的润滑油，使滑板产生爬行。其排除方法是加润滑油，排除润滑故障。

② x 轴、 z 轴滚珠丝杠有局部拉毛或研损。其排除方法是更换或修理丝杠。

③ 丝杠轴承损坏，运动不平稳。其排除方法是更换损坏的轴承。

④ 伺服电动机未调整好，增益过大。其排除方法是调整伺服电动机控制系统。

2) 反向误差大，加工精度不稳定

① x 轴、 z 轴联轴器锥套松动。其排除方法是重新紧固并用百分表测量试验，反复多做几次。

② x 轴、 z 轴滑板配合压板过紧或松动。其排除方法是重新调整或修刮，用 0.03mm 塞尺片塞不入。

③ x 轴、 z 轴滑板配合镶条调得过紧或过松。其排除方法是重新调整或修刮，使接触率达 70% 以上，用 0.03mm 塞尺片塞不入。

④ 滚珠丝杠预紧力过紧或过松。其方法是调整预紧力，检查轴向窜动值，误差不得大于 0.015mm。

⑤ 滚珠丝杠螺母端面与结合面不垂直结合过松。其排除方法是修调或加垫处理。

⑥ 丝杠支承座的轴承预紧力过紧或过松。其排除方法是修理调整。

⑦ 滚珠丝杠制造误差大或轴向窜动。其排除方法是间隙可

用控制系统自动补偿机能消除，调整丝杠窜动，打表测量。

⑧ 润滑油不足或没有。其排除方法是调节使各导轨面均有润滑油为止。

⑨ 其他机械干涉。其排除方法是排除干涉部位。

3) 滚珠丝杠在运转中扭矩过大

① 二滑板配合压板过紧或研损。其排除方法是重新调整修刮压板，0.04mm 塞尺片不入。

② 滚珠丝杠螺母反向器损坏丝杠卡死或轴端螺母预紧力过大。其排除方法是修复或更换丝杠并精心调整。

③ 丝杠研损。其排除方法是更换。

④ 伺服电动机与滚珠丝杠联接不同轴，其排除方法是调整二轴同轴度误差符合要求，并紧固联接座。

⑤ 无润滑油。其排除方法是调整润滑油路。

⑥ 因机床超程开关失灵造成机械故障。其排除方法是检查机械过紧部位并排除。

⑦ 伺服电动机过热报警。其排除方法是检查机械部位并排除。

4) 转塔刀架重复定位精度差

① 液压夹紧力不足。其排除方法是检查压力并调到额定值。

② 上下牙盘由于受冲击定位松动。其排除方法是重新调整固定。

③ 两牙盘间有污物或滚针脱落卡在牙盘中间。其排除方法是清除污物保持转塔清洁，检修、更换滚针。

④ 转塔落下夹紧时有其他机械干涉（如夹切屑等）。其排除方法是检查排除机械干涉。

⑤ 夹紧液压缸拉毛或研损。其排除方法是修理拉毛研损部分，更换密封圈。

⑥ 转塔座落在二层滑板之上，由于压板和镶条配合不牢产生运动偏大。其排除方法是修调压板和镶条，0.04mm 塞尺不能插入。

5) 刀补值不稳定, 加工精度差。

① 伺服电动机产生漂移, 使滚珠丝杠振动。其排除方法是电修人员维修排除。

② 机床各联接部件超差或配合过松过紧而引起的位置偏移。其排除方法是调整各运动部件并测试精度, 修理调整联接部位的间隙, 确保机床受负荷时不产生应变。

③ 主轴、 x 轴、 z 轴脉冲编码器松动或损坏。其排除方法是紧固脉冲编码器, 或修换。

④ 刀具不对切削轴线中心。其方法是确保刀具在中心上切削。

⑤ 主轴温升量产生的变化。其排除方法是用控制系统刀具补偿机能来修正。

6) 加工件有锥度

① 主轴中心与导轨平行度误差超差。其排除方法是调整主轴箱位置。

② 尾座中心和主轴中心同轴度误差超差。其排除方法是调整尾座或主轴箱。

7) 机床参考点位置不对

① 各方向行程开关及减速挡块位置不对或松动。其排除方法是重调位置, 紧固松动挡块或开关。

② 编码器产生偏差或丝杠联轴器锥套松动。其排除方法是调整紧固松动的锥套, 检查编码器或更换。

第三节 数控铣床机械故障的排除

现以 XK5040-1 型数控铣床为例。

XK5040-1 为三坐标控制, 且三根坐标轴可联动。它可完成直线铣削、组成各种往复循环和框式循环或按坐标加工孔及各种曲线轮廓的铣削。

一、机床的传动系统

1. 主传动系统 如图 11-8 所示, 运动由主电动机经 V 带传

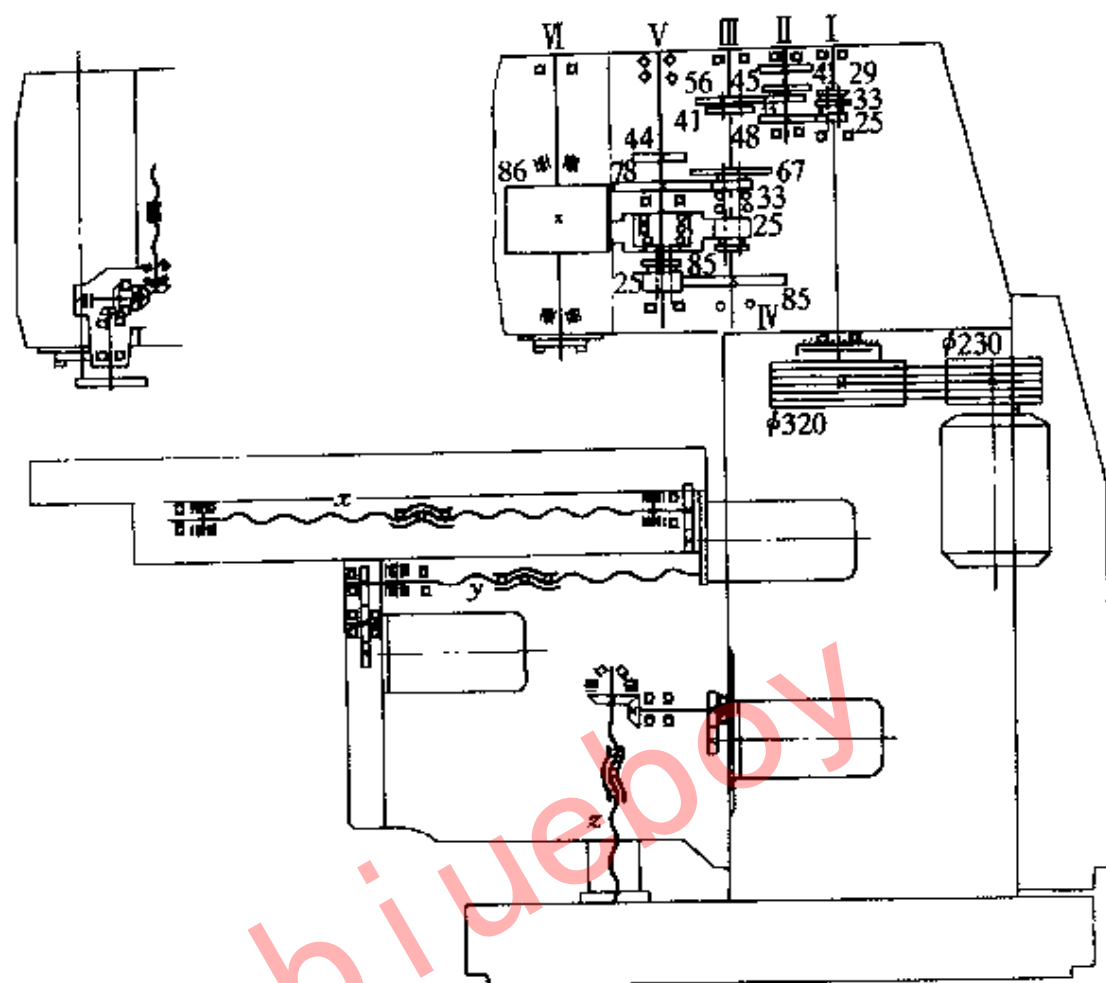


图 11-8 XK5040-1 型数控铣床传动系统图

至主轴变速箱里的 I 轴，再经变速箱里的 I、II、III、IV、V 轴上的传动齿轮传至主轴。由于 I、III、IV、V 轴上的滑移齿轮和 V 轴上的齿轮离合器的作用，组成不同的传动路线，使主轴获得 24 级转速。

主轴转速的变换是采用电液控制的变速操纵机构实现。

安装在 I 轴上的带轮和箱体之间的单片式电磁制动器，用于机床停止时实现主轴制动。

2. 进给传动系统 如图 11-8 所示，纵向 x 和横向 y 两个坐标方向上的伺服电动机，垂直方向 z 一个坐标方向的伺服电动机，是分别通过一对或两对配速齿轮传动滚珠丝杠，实现工作台的纵向、横向移动和升降台垂直方向的运动。

z 向的伺服电动机是带制动器的，当断电时将 z 向制动，以防升降台下滑。

二、数控铣床机械故障的排除

数控铣床的故障，主要是发生在数控系统方面，机械方面的故障较少，且只集中在少数几个部位上。

1. 主轴箱内拨叉磨损 造成液压变速时齿轮推不到位，致使两个本应啮合对齐的齿轮产生错位。

原因：主轴箱内所有传动轴都是垂直安装，变速用的滑移齿轮也是垂直向上下滑移的，当液压缸通过活塞杆上的拨叉推动齿轮滑移时，滑移齿轮与拨叉之间有相对旋转，并将齿轮的重力压向拨叉，因而造成拨叉较易磨损。

排除：采取以下措施：

- 1) 选用球墨铸铁作为拨叉的材料。
- 2) 每个垂直滑移齿轮的下方，都装有塔式弹簧，作为辅助的平衡装置，减轻对拨叉的压力。
- 3) 维修时要注意，活塞的行程要与滑移齿轮的定位相协调，即齿轮在花键轴上滑移后定位时，推动拨叉的那个活塞也要正好走到限位点，以避免液压通过拨叉压向齿轮的叉槽侧壁，增加磨损。

4) 如果拨叉磨损严重，则必须更换掉。

2. 升降台在切断电源后下滑 原因：有如下几点：

1) 机床电源切断后，升降台部件、夹具及工件等的自重致使其下滑。

2) 切断机床电源后，伺服电动机上附带制动器的动作时间滞后升降台下滑，造成制动器制动电动机轴之前的一瞬间，升降台已经下滑 0.2~0.5mm 的距离，致使重新接通电源继续加工时，同一批零件中前后尺寸不一样。

排除方法是在驱动垂直丝杠的水平轴上装置一个防止下滑又不影响垂直进给的超越离合器属性的单向自锁器（升降台向上移动时，它不起作用）。若发现有断电后下滑现象时，只要转动一

个螺母来调整碟形弹簧的压力即可。

3. 垂向伺服电动机发热 原因及其排除方法如下:

1) 电刷安装不良, 造成电刷与滑环接触状态不佳。其排除方法是检查并重新调整电刷的安装情况即可好转。

2) 升降台垂直导轨的镶条太紧, 造成较大的附加载荷。其排除方法是将镶条调松, 确保 0.04mm 的塞尺不得塞入。

3) 防滑自锁器调整得过紧, 增加较大的附加阻力。其排除方法是适当调松防滑自锁器。

4) 垂直丝杠轴线与垂直导轨不平行, 造成附加摩擦阻力。其排除方法是调整垂直丝杠轴线与垂直导轨平行。

5) 电动机容量选择偏小。其排除方法是改换较大容量的垂向伺服电动机。

第四节 数控加工中心机械故障的排除

现以 XHK716 立式加工中心为例。

XHK716 立式加工中心为工作台不升降, 十字滑座型立式加工中心。可实现纵向、横向和垂向三个坐标、直线或圆弧插补的连续控制运动。

该机床可进行铣削、钻削、镗削、铰削、攻螺纹等多种工序的加工, 适用于加工凸轮、箱体、支架、盖板、模具等各种复杂型面的零件。

一、机床的组成和传动系统

1. 组成 如图 11-9 所示, 即由基础部件 (底座、立柱、十字滑台、工作台)、主轴箱、进给系统、自动换刀装置、液压系统、气动系统等组成。

2. 传动系统

(1) 主传动系统 如图 11-10 所示, 由装于主轴顶部的宽调速直流电动机驱动, 通过 I、II、III、IV 轴传至主轴。I、II 轴间的传动和 II、III 轴间的传动均为齿轮定比传动。III 轴上装有一个双联滑移齿轮, 通过液压缸操纵, 可分别和 IV 轴上的两个固定

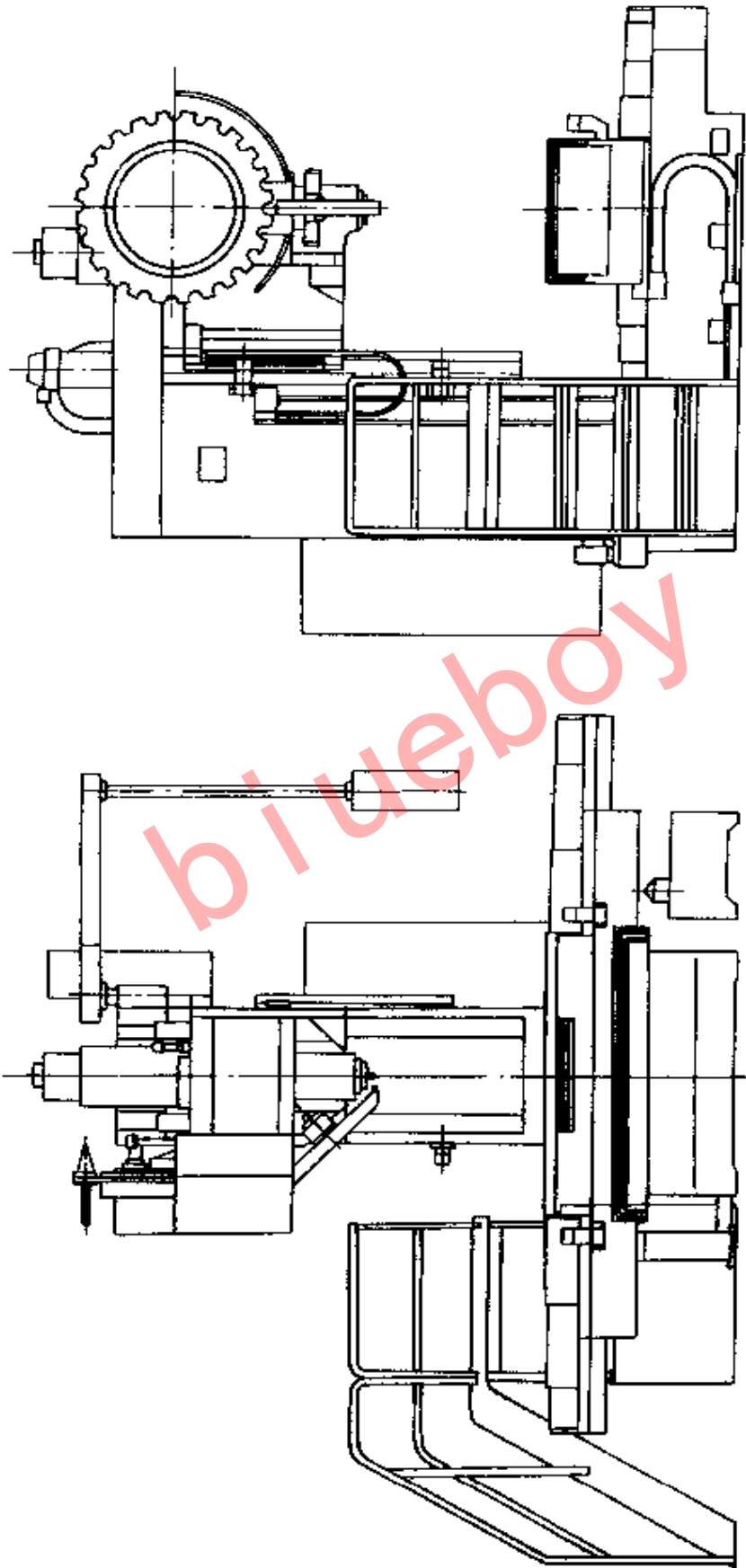


图 11-9 XHK716 立式加工中心外形图

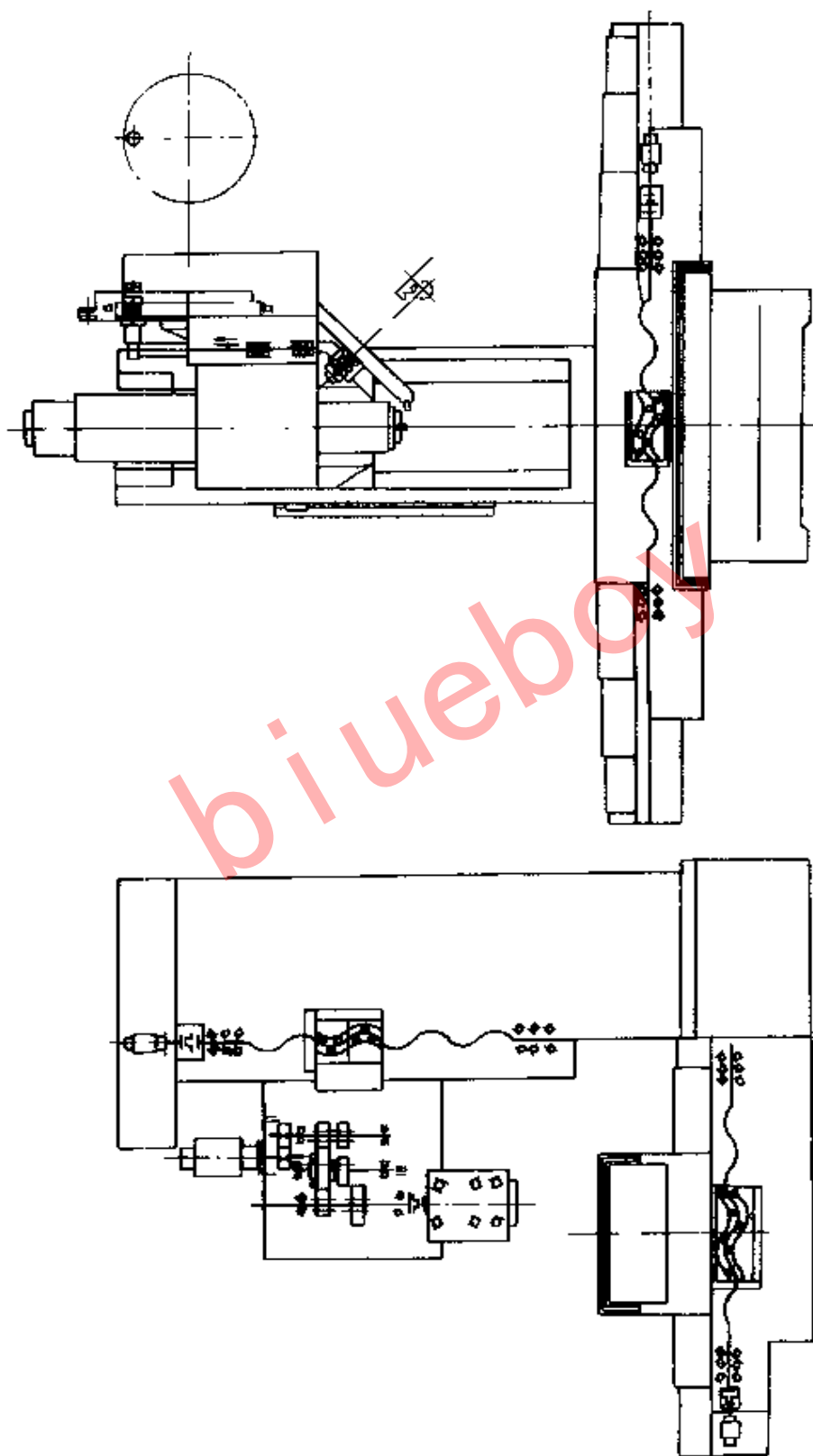


图 11-10 XHK716 立式加工中心传动系统图

齿轮啮合，从而使主轴获得两个固定的机械变速档。再通过电动机的调速，可使主轴得到 $25 \sim 2500 \text{r/min}$ 的变速范围。

(2) 进给传动系统 如图 11-10 所示，纵向、横向和垂向的进给运动均采用永磁式直流伺服电动机驱动，通过张紧环离合器将运动直接传给各进给滚珠丝杠，从而带动工作台、十字滑台、垂向滑座，实现三个方向的进给运动。

二、机床的自动换刀装置

自动换刀装置是一套独立、完整的部件，安装在主轴箱的左侧面，随同主轴一起运动。它由刀库、刀库底座、机械手组成。

1. 刀库 刀库可装 24 把刀，最大刀具直径 120mm 。相邻刀座不装刀时，最大刀具直径可为 200mm 。

(1) 刀库的回转 用液压马达通过齿轮、内齿圈带动装有刀具的刀盘旋转，刀盘支承在轴承上，而轴承固定在刀库底座上。

(2) 刀库的定位 如图 11-11 所示，由接近开关控制电磁阀使液动机停止转动，由双向液压缸带动定位销 5，插入刀盘 4 上的定位孔，实现精确定位。

(3) 刀具在刀库上的固定 如图 11-11 所示，即在刀盘 4 的每一个刀位上都装有如图所示的弹簧、导柱 2、键块 1 和销 6 所组成的刀具固定装置，

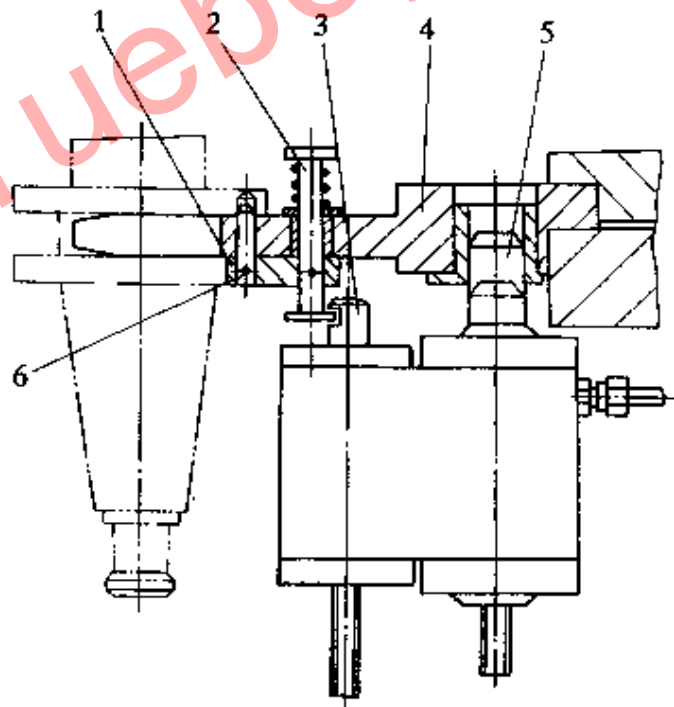


图 11-11 刀库定位及松、夹刀具的结构
1—键块 2—导柱 3—液压缸 4—刀盘
5—定位销 6—销

由此实现刀具在刀库上的固定。控制刀具固定装置的液压缸可有两个，一个和定位销在一起，另一个靠近立柱方向，用于刀库手

动装刀。

(4) 刀具的夹紧和松开 如图 11-11 所示为刀具夹紧状态。当液压缸 3 通油后, 将导柱拉下, 使销 6 退回, 此时刀具在刀盘上处于自由状态, 即刀具被松开。

(5) 刀具的选择方法 可任意选择, 通过可编程控制器 (PC), 记忆每把刀具在刀盘上的位置, 自动选取所需要的刀具。

2. 机械手

(1) 组成 如图 11-12 所示, 由机械手臂与 45° 的斜壳体组

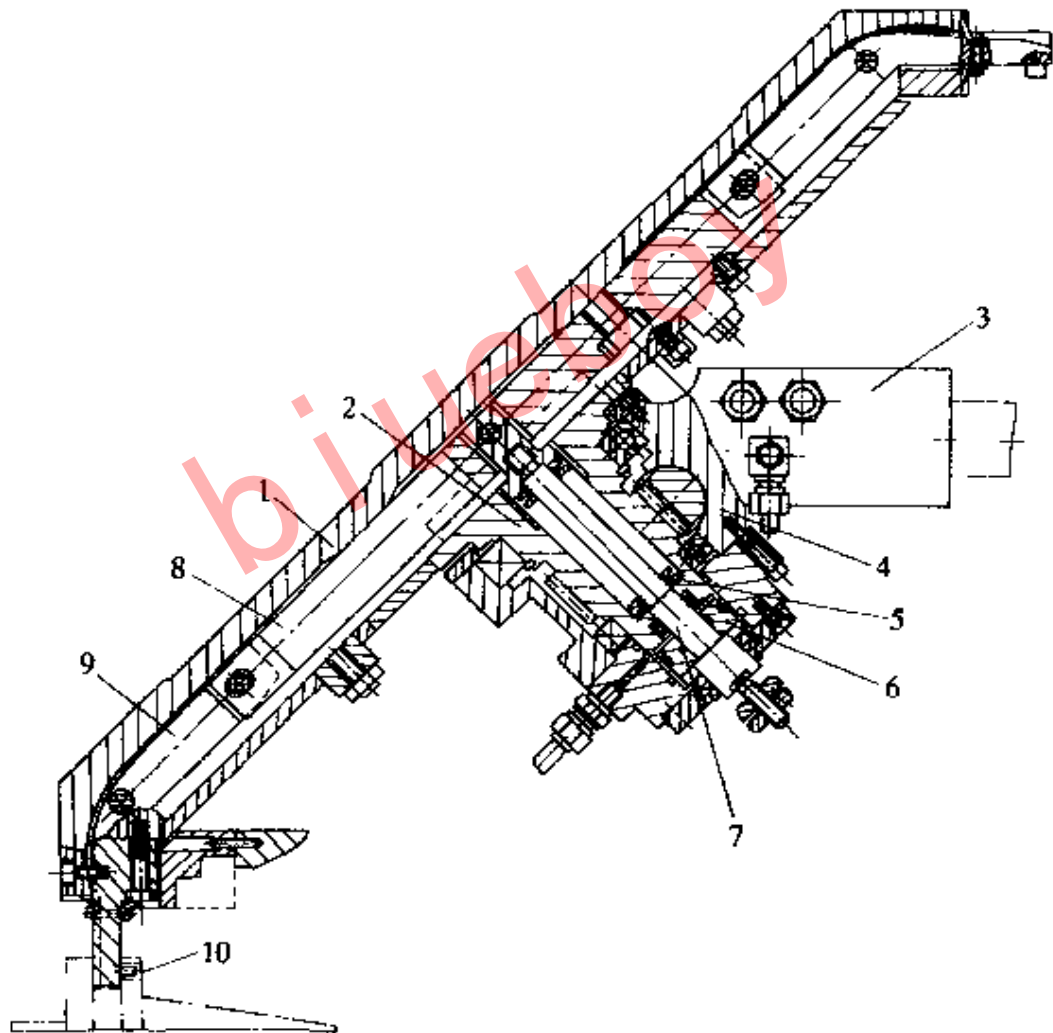


图 11-12 机械手结构图

1—机械手臂 2—轴 3—壳体 4、6—液压缸 5—碟形弹簧
7、8—拉杆 9—活动爪 10—销子

成。机械手臂 1 形状对称，固定在回转轴 2 上，回转轴与主轴成 45° 角，安装在壳体 3 上。

(2) 手臂旋转运动 液压缸 4 中的齿条通过齿轮带动回转轴 2 转动，以实现手臂正向和反向 180° 的旋转运动。

(3) 机械手对刀具的夹紧和松开 通过液压缸 6，碟形弹簧 5 及杠杆 8、拉杆 7，活动爪 9 来实现的。碟形弹簧实现夹紧，液压缸实现松开。在活动爪中有两个销子 10，在夹紧刀具时，插入刀柄凸缘的孔内，确保安全、可靠。

3. 自动换刀的工作过程 如图 11-13 所示，其换刀过程如下：

- 1) 主轴箱回到最高处 (z 坐标零点)，同时停止回转并定向。
- 2) 机械手抓住主轴和刀库上的刀具。
- 3) 把卡紧在主轴和刀库上的刀具松开 (图 11-13a)。
- 4) 从主轴和刀库上取出刀具 (图 11-13b)。
- 5) 机械手回转 180° ，换刀 (图 11-13c)。
- 6) 将更换后的刀具装入主轴和刀库 (图 11-13d)。
- 7) 分别夹紧主轴和刀库上的刀具。
- 8) 机械手松开主轴和刀库上的刀具。
- 9) 当机械手松开刀具后，限位开关发换刀完毕的信号，主轴自由，可以开始加工或其他程序动作。

在自动换刀的整个过程中，各项运动均由限位开关控制，只有前一个动作完成后，才能进行下一个动作，从而保证运动的可靠性。

三、加工中心机械故障的排除

加工中心机械故障从三方面来考虑：即机械方面故障、程序错误及零件加工精度不良。

1. 机械本体的故障排除 机械本体的故障多数原因是由于操作者的错误动作和程序错误而发生的。另外，机械本体构造复杂也是发生故障的原因。常发生典型故障及排除方法叙述如下：

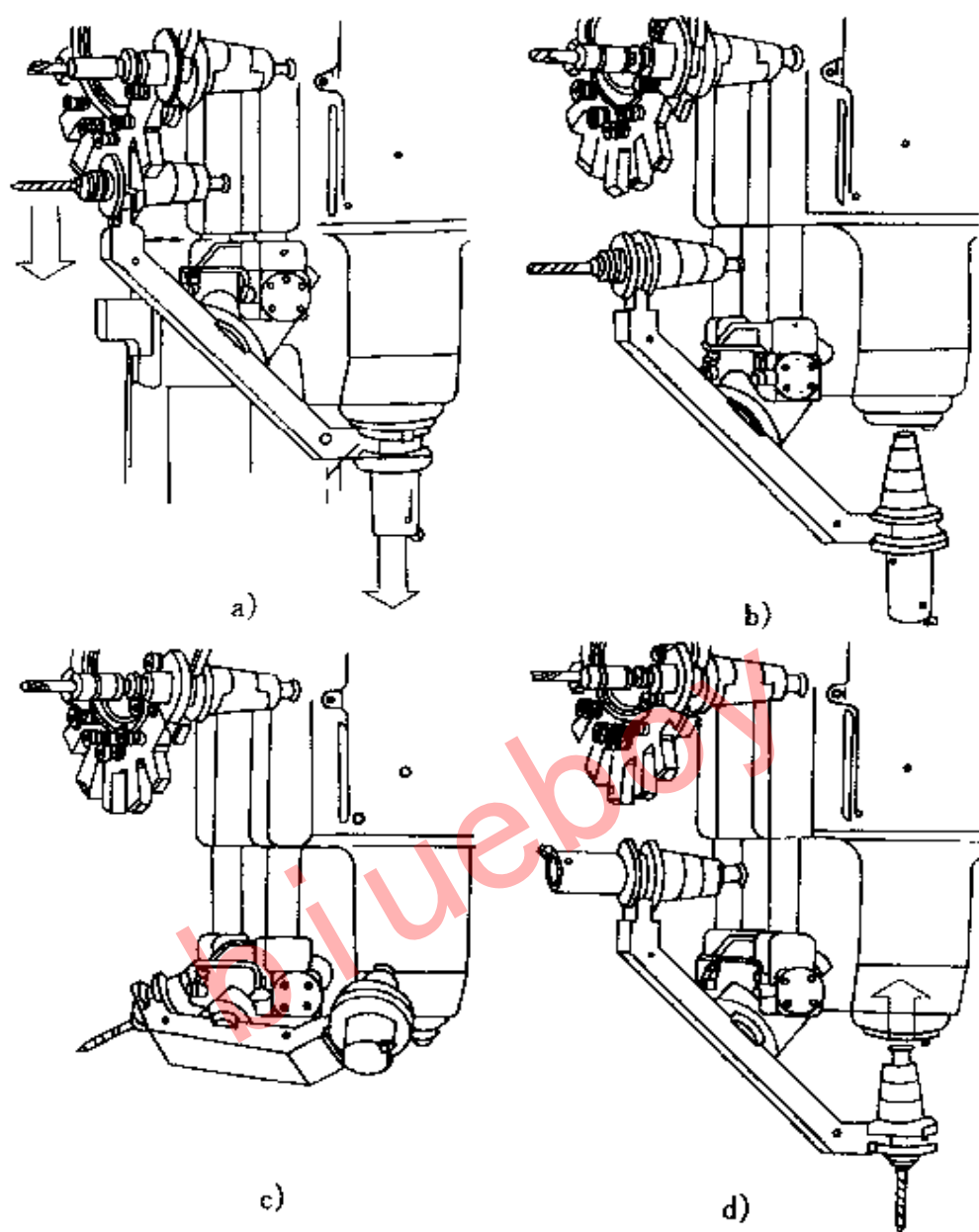


图 11-13 换刀过程图

(1) 主轴部件

1) 主轴运转发生异常的声音，声音越来越大造成机床运转停止。

原因：主轴轴承破损。

排除：停机，更换轴承。

2) 主轴箱不能够移动。

① 机床坐标轴上的联轴器松动，以致于松开。其排除方法

是拧紧联轴器上的螺钉。

② 压板研伤。其排除方法是调整压板与导轨间隙，确保间隙为 $0.02 \sim 0.03\text{mm}$ 。

③ 镶条过紧。其排除方法是松开镶条止退螺钉，用螺钉旋具顺时针旋转镶条螺栓，使坐标轴能灵活移动，塞尺不能塞入后，锁紧止退螺钉。

④ 导轨面研伤。其排除方法是用细砂布修磨导轨面的伤痕。

3) 主轴箱运转过程中有噪声。

① 润滑不好。其排除方法是改善润滑条件，使其润滑油量充足。

② 轴承端面未压紧。其排除方法是调整轴承后盖，使其压紧轴承端面，拧紧销紧螺母。

③ 主轴与电动机连接传动带过紧。其排除方法是移动电动机座使传动带松紧度合适。

④ 小带轮、大带轮平衡不好。其排除方法是重新做动平衡。

(2) 进给系统 进给传动链普遍采用滚珠丝杠，故障大部分是由运动质量下降，定位精度下降，反向间隙过大、机械爬行、轴承噪声大等原因造成的。

1) 滚珠丝杠润滑状况不良的原因是缺油。其排除方法是检查工作台 x 、 y 轴滑座，涂上润滑脂。

2) 工作台 x 、 y 向不能移动的原因是各坐标上的电动机与丝杠联轴器上的螺钉松动。其排除方法是拧紧联接螺钉。

② 导轨间隙不合适。其排除方法是调整工作台移动导轨的间隙，使各坐标轴能灵活移动。

③ 导轨面缺油研死。其排除方法是用砂布去掉导轨面上的伤痕，并充分供给润滑油的油量。

④ 滚珠丝杠间隙及预紧力不合适。其排除方法是调整滚珠丝杠间隙及预紧力，调整补偿精度。

3) x 、 y 坐标轴抖动现象

① 机械传动链及伺服电动机有问题。其排除方法是对 x 轴、

y 轴分别进行单轴试验，看有无抖动，以判断有无问题，并进行排除。

② 数控系统有问题。其排除方法是试看数控系统控制是否均匀，以判断有无问题，并进行排除。

③ x 轴控制电缆接触不良（当 x 轴的伺服电动机装在 y 轴的床鞍上时）。其排除方法是让 x 轴单轴往复运动，用手拖动 x 轴电动机控制电缆，看有无抖动现象，以判断有无问题，并进行排除。

④ 电缆插头长期油腐蚀，绝缘丧失、插头松动。其排除方法是更换电缆。

(3) 自动换刀装置

1) 刀具不能夹紧。

① 风泵气压低。其排除方法是调整风泵气压。

② 增压漏气。其排除方法是调整增压不漏气。

③ 刀具卡紧液压缸漏油。其排除方法是调整刀具卡紧液压缸不漏油。

④ 刀具松卡弹簧上的螺母松动。其排除方法是拧紧松卡弹簧上的螺母。

2) 刀具夹紧后不能松开的原因是松锁刀的弹簧压合过紧。其排除方法是旋转松锁刀弹簧上的螺母，使其最大载荷不得超过额定数值。

3) 刀库中的刀套不能夹紧刀具的原因是卡紧销松动。其排除方法是顺时针旋转刀套两边的调整螺母，压紧弹簧，顶紧卡紧销。

4) 刀套不能拆卸或停留一段才能拆卸。

① 操纵刀套 90° 拆卸的气阀不动作。其排除方法是调整上述气阀使其动作。

② 气压不足。其排除方法是升高气压。

③ 刀套的转动轴锈蚀。其排除方法是去锈蚀。

5) 刀具从机械手中脱落

① 刀具重量超重。其排除方法是想办法使刀具不超重。

② 机械手卡紧销损坏。其排除方法是修复或更换卡紧销。

6) 刀具交换时发生掉刀的原因是换刀时主轴箱没有到换刀位置或换刀点漂移, 机械手抓刀时, 没抓住。其排除方法是重新操作主轴箱, 使其回到换刀位置, 调整机械手手臂旋出 75° 气缸上的螺栓。

7) 机械手换刀速度过快或过慢的原因是气压太高或节流阀开口过大, 气压太低或节流阀开口过小。其排除方法是调整气压或旋转节流阀至换刀速度合适为止。

2. 程序错误的故障排除 若机床控制程序出现错误, 则会引起加工不良或发生冲撞。机床数控系统应有避免产生程序错误的功能, 使机械故障防范于未然。

首先程序组成的语言有错误要发生报警。发生程序错误时, 可对工件形状和刀具轨迹进行检验。工件形状检验可通过显示画面来确认, 刀具运动轨迹是用刀尖的动态运动轨迹表示。对切削量、进给速度、进给量等进行检验。

通过刀具形状的显示, 可确认刀具选定的错误。

3. 零件加工精度不良 随着数控机床的发展, 对机床的控制功能和加工精度的要求越来越高。为了保证工件的加工精度, 可测出刀具基准点和由于刀具磨损产生的误差。并根据测得的误差进行补偿。

在操作者操作过程中, 人为因素也会产生错误。如补偿输入错误和刀具选择和工件识别错误。通常采取如下措施:

1) 为了保持机床的定位精度, 操作者需随时注意机床的精度变化和补偿值的正负号, 补偿值的位数和数值大小, 并经常对补偿值进行检查, 以避免事故发生。

2) 必须做好刀具交换, 若装入的刀具把数少, 刀具交换次数多, 在刀具管理上要进行分色管理, 防止发生错误。

3) 使用多个滑板安装工件, 应定期检查工件在滑板上的安装情况, 做到滑板专用化。

4) 机修钳工可使用机床故障调查表(此表包括:故障发生的内容、修理的部位、修理原因,采取对策、如何处理等)。根据这个故障排除的调查文件,对于简单的修理项目采用这种方法可积累经验,防止再发生类似故障,可对故障预防起参考作用。

5) 操作者要作操作记录,与机修钳工一起进行定期检查和预防保养。

复 习 思 考 题

1. 试述 CK326 型数控转塔车床的传动系统及主要结构。
2. 数控车床机械故障有哪些类型?
3. 试述数控车床主轴箱部分的各种机械故障的排除方法。
4. 试述数控车床转塔部分的各种机械故障的排除方法。
5. 试述数控车床加工质量方面的机械故障的排除方法。
6. 试述 XK5040-1 型数控铣床的传动系统。
7. 试述 XK5040-1 型数控铣床的机械故障的排除方法。
8. 试述 XHK716 立式加工中心的组成及传动系统。
9. 试述 XHK716 数控加工中心的自动换刀装置的组成、工作原理及自动换刀的工作过程。
10. 试述数控加工中心机械本体的故障排除方法。
11. 试述数控加工中心程序错误的故障排除方法。
12. 试述数控加工中心零件加工精度不良挽救的方法及采取的措施。

第十二章 机床改装

培训要求 了解机床改装的内容、原则。掌握机床改装的基本思路和主要途径。

第一节 概 述

机床改装就是对机床现有的结构进行简单、合理、巧妙、经济、实用的改造。设备长期役龄中的自然磨损和无形磨损（技术老化），决定了改装机床是一种客观上的需要。改装不仅可以解决两种磨损问题，以便满足生产发展的需要，而且可以获得十分可观的经济效果。它的特点是：目的明确，针对生产中的实际问题；改装的布局形式灵活多样，可根据工件的情况，从工艺分析入手，分配机床部件的运动，选择传动方式，最后再确定各主要部件的相对位置和相对运动关系。能够充分利用原机床的结构，这样可使工作量大大减少，节省很多物质，制造成本低、见效快。能够兴废利旧，大多数改造是在废旧机床上进行的，在改装过程中，还常常使用一些机器上的废、旧零件，从而使这些旧设备、废零件重新利用起来。能够充分发挥职工的群体智慧，改造项目的提出，一是来自生产和工艺方面的需要，二是来自机床操作者或维修人员的建议和要求。因此，具有广泛的群众性，有利于发挥群体智慧。改造的缺点是：具有局限性，不是任何机床都可以改造的；为了利用机床的原有结构，有时新设计制造的零部件和选定的参数等不够理想，改装的对象是机床——刀具——夹具——工件这一工艺系统。

一、机床改装的内容

1. 提高机床精度和延长机床使用寿命的改装

1) 提高机床精度，并长期保持其精度。

2) 提高机床的耐久性。

2. 改进机床性能的改装

1) 充分利用现代化切削工具，提高切削速度，以缩短机加时间。

2) 集中操作或减少工件在机床上的传递，以缩短非机加时间。

3) 提高机床的机械化和自动化水平，缩短辅助时间。

4) 使旧型号机床达到新型号机床的性能指标或使旧机床专业化。

3. 改善机床的操作性能和劳动条件的改装

1) 治理机床漏油。

2) 改善劳动条件和保证劳动安全。

4. 扩大机床功能的改装

1) 提供采用成组加工技术的条件，适合组成生产流水线。

2) 扩大机床的工艺范围。

3) 改善或改变机床的基本工艺用途。

4) 使机床能够适应新工艺、新技术的要求。

二、机床改装的原则

1. 重视改装的可行性分析和效益分析 改装要以效益为指导思想，在改装前要充分进行可行性和经济效益的调查。

(1) 可行性调查的内容 待改设备在发挥经济效益中存在的问题，自身利于改装的条件，以及改装技术的成熟情况和在其他企业的使用情况。另外需注意的一点是：配套设备之间的匹配平衡关系。

(2) 效益分析内容 改造成本预测。作出与新购类似设备的价值、功能对比。从生产需要的迫切性方面，应了解产品的外协费用、生产周期、任务的饱满程度，改造后设备的利用率和可能带来的经济效益，以及改造后设备是否能达到优质、高效、低耗、改善劳动条件、防止环境污染、扩大新技术、新工艺、新结构及新材料的推广等目的。

2. 保证加工精度和表面粗糙度要求 评定改装结果好坏的主要标准就是机床的技术性能，而加工精度和表面粗糙度是其中两个重要指标。

(1) 机床的加工精度 是指被加工零件的尺寸、形状和相对位置等方面所能达到的准确程度。它主要靠机床本身精度来保证。影响加工精度的因素有机床的几何精度、传动精度、刚度、抗振性和热变形等。因此在改装时，一定根据具体情况，对其中的要害因素给予特殊保障，以满足改造的精度要求。

(2) 机床加工零件的表面粗糙度 主要与机床的平稳性、刚度和抗振性等有关。因此，在改装时，应根据加工件的表面粗糙度要求，对上述因素进行控制。

3. 具有一定范围的工艺可能性 机床的工艺可能性大致包括以下内容：

- 1) 在该机床上可以完成的工序种类。
- 2) 所加工零件的类型、材料和尺寸范围。
- 3) 机床的生产率和单件加工成本。
- 4) 毛坯种类。
- 5) 适用的生产规模（大量、批量、单件）。
- 6) 加工精度的表面粗糙度。

在把通用设备改为专用设备过程中，由于要拆除不必要的机构，增加必要的机构。因此一定要注意“一定范围的工艺可能性”这个问题，因为一旦产品换型，零件改进设计变动了一些尺寸或几何形状时；若无一定范围的工艺可能性，就会造成再一次改造机床的损失。因此，工艺可能性一定要根据生产的实际和生产的发展进行适当确定。

4. 先进性与实用性相结合 先进性是改装机床的基本原则之一。要有发展的眼光，多应用国内外的成熟的先进技术。对新技术：CNC、静压、光学、自动控制技术等应多提倡应用。但并不是越先进越好。因此，要树立适用的就是先进的主导思想，即先进性与实用性相结合。要符合最佳经济原则。要结合本企业实

际选用合适的先进技术。要重视推广成熟的新技术。成熟的新技术具有可靠性好和维修方便的特点。

5. 注意技术安全问题 因为改装机床常常是在废旧机床上进行的，所以技术安全是值得重视的。

(1) 改装前应检查被改机床的技术状态。

1) 检查传动系统是否完整可靠，传动件强度和刚度能否满足要求。

2) 检查操纵机构是否好用、准确、可靠。

(2) 根据检查结果采取措施 根据检查结果，决定修换件或应采取的技术措施。

(3) 加装防护装置 改装后，机床变为高速切削时，应加装防护装置，以免切屑高温飞溅。

6. 结合机床维修进行改装 维修与改装都是围绕机床这个中心进行的，将二者统筹安排合适。

1) 在维修中加强技术改造，促进维修体制改革。改装与维修相结合，可使设备落后部位与不合理部位得到改进，用先进技术改造设备，就可使维修体制更有活力，更加完善合理。

2) 改装机床结合机床大、中修理进行，可减少生产上停机时间。

3) 维修人员对机床结构比较熟悉，有利于提高改装的实用性和准确性。

4) 可以做到统筹安排物质供应。

5) 可以做到修理和改装统一规划，合理安排生产进度。

6) 便于实现专业化生产，以利提高劳动效率。

7) 便于机床改装资料的标准化和档案管理。

三、机床改装的依据

改装机床的依据是，被加工工件、机床的使用要求和制造条件等。

1. 工件 工件是机床改造后的加工对象，也是改装工作的主要依据之一。改装者必须从工艺的角度出发，分析工件的结构

特点、被加工表面的尺寸精度、相互位置精度、表面粗糙度以及对生产率的要求等。在寻求改装途径时，应运用以下几种方法：

(1) 根据工件结构特点，寻求改装的方法 因为工件的结构特点常常决定了改装的方法。如在车削细长丝杠时，增加支承，以克服刚度差易变形的结构弱点。

(2) 根据工件的技术要求，寻求改装的方法 通过分析工件的技术要求，可以启发人们从改造机床的结构、提高加工精度和给机床配备适宜的辅具等方面，寻求改装机床的方法。表 12-1 给出了活塞的裙部外圆部分的公差等级为 IT5~IT6，表面粗糙度值为 $R_a 0.8\mu\text{m}$ 。由于精度较高，表面粗糙度值较小，所以车削加工无法实现。面应采用磨削加工。这样才使机床的加工精度和技术要求相吻合。为了方便、经济，可将 C620 型车床进行改造：用 C620 型车床自身的水泵电动机驱动磨头砂轮旋转。将该组合磨具安装在方刀架上（图 12-1），可对活塞裙部进行磨削。此改装也适于大、中、小型零件的粗精磨削和易变形零件的精磨。磨削加工完毕后，拆下磨具，可恢复 C620 型车床原貌，这种改装是可逆的。

表 12-1 活塞裙部外圆的主要技术要求

主要表面	尺寸精度	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	几何形状精度	相互位置精度
裙部外圆	IT5~IT6	0.8	1. 要求圆度长短轴之差在 $0.29\text{mm} \pm 0.025\text{mm}$ 之内 2. 要求为锥体。大小头直径差为 $0.01 \sim 0.05\text{mm}$ ，大头在底部 3. 壁厚差不大于 0.05mm	1. 裙部外圆轴心线与销孔轴心线垂直并相交 2. 与环槽上下平面垂直，在环槽深度内允差为 0.018mm 3. 与头部外圆同轴（允差 0.01mm ） 4. 与止口端面垂直（允差 0.05mm ）

(3) 根据工件的加工批量寻求改装的方法 根据生产是大批量的还是小批的。为了保质保量完成生产、降低成本，可采取

许多好的改装方法，见表 12-2。

2. 机床的使用要求 满足使用要求既是机床改装的重要依据，又是衡量改装效果的重要标准。一般从以下两方面考虑：

(1) 一般使用要求 改装后，为了便于操作者卸装工件、调整刀具、观察加工

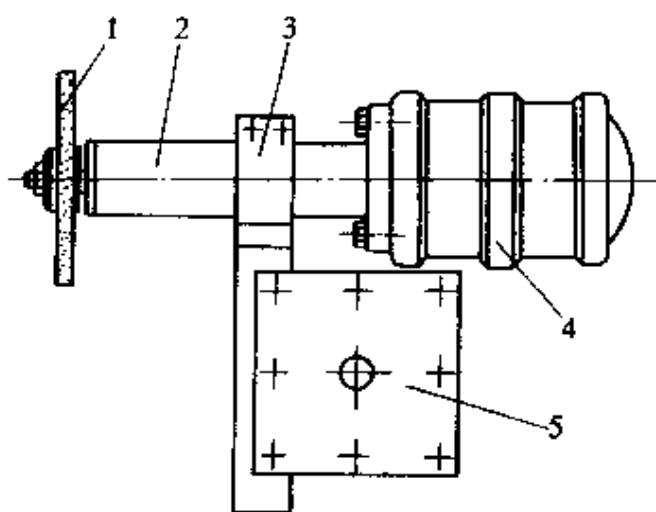
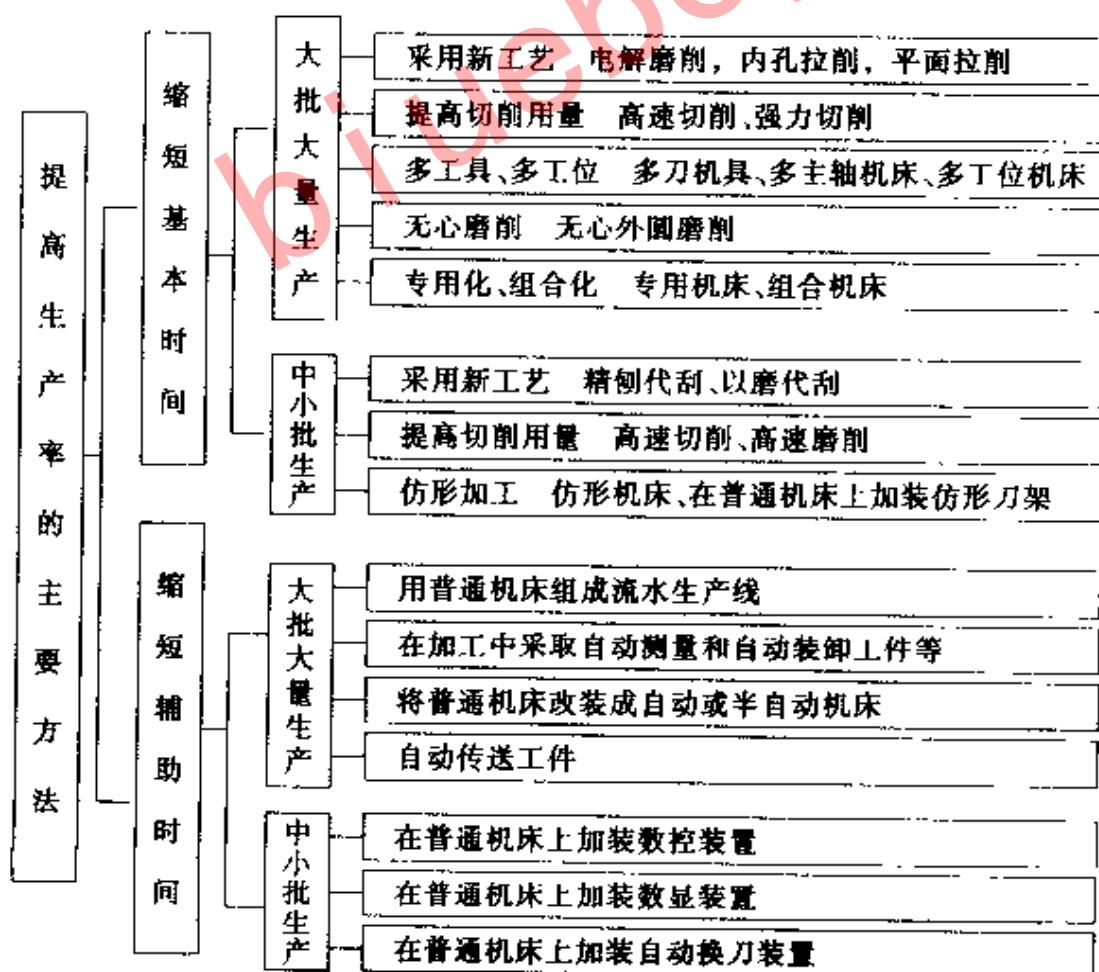


图 12-1 小型卧式磨具

情况和测量工件尺寸 1—砂轮 2—磨杆 3—卡箍 4—电动机 5—方刀架

表 12-2 提高生产率的主要方法



等，操作者与工件间要有合适的相对位置。图 12-2a 给出了视距 A 、视角 θ_1 、 θ_2 、主轴中心离地面高度 H 的合适值。图 12-2b 给出了水平面设置操纵手柄的一般范围和优先范围。而手柄离地面的高度以 600~1100mm 为宜。操纵力小时，采用大值，操纵力大时，采用小值。

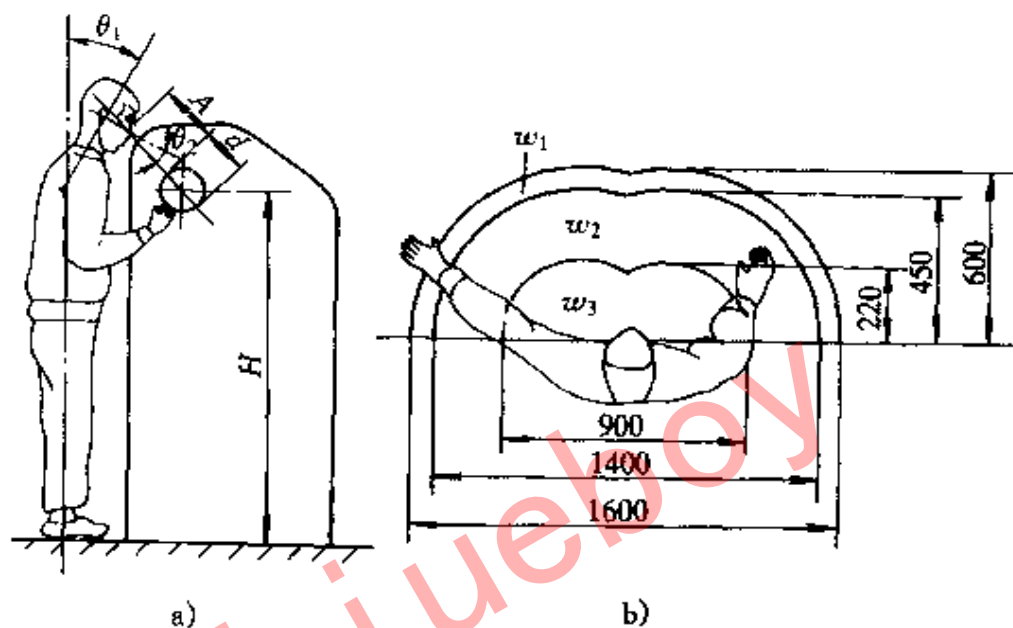


图 12-2 人体尺寸与操纵手柄位置的关系

A ($\approx 250 \sim 350\text{mm}$) — 视距 θ_1 ($\approx 30^\circ$)、 θ_2 ($\approx 10^\circ \sim 15^\circ$) — 视角

H ($= 1000 \sim 1200\text{mm}$) — 工件(或刀具)中心线离地面高度 d — 典型工件的直径

w_1 — 双手所及的极限范围 w_2 — 设备手柄的一般范围

w_3 — 设备手柄的优先范围 (水平面内)

满足一般使用要求，还应包括厂内的维修能力、刃磨能力、车间的环境、温度以及设备条件等。

另外，刀具的切削刃或被加工表面离地面过高时，可设置操作者站台，或将工件安于地坑内。对特大型机床，可设电视进行观察。

(2) 特殊使用要求 这是为了满足特殊需要而提出的。下面列举两种情况。

1) 改装后，列入自动线或流水线，即列入工序进行使用。

此应考虑装料高度、节拍、夹具和输送装置，要与全线吻合。

2) 当改装是临时进行批量生产用时，改装中应尽可能不破坏或少破坏原机床的结构，以利于恢复原貌，应有可逆性。

3. 制造条件 制造条件就是制造过程的工艺可行性。能厂内制造的，不厂外制造；能采取低成本加工的，不采取高成本加工。这就要求改装设计者应掌握厂内的生产能力和加工技术水平。只有考虑制造条件，才能使改装顺利地得以实施。制造条件包括：

(1) 机械加工能力 一般是指对难以加工的精密零件、大件、箱体等的加工能力和工艺水平。

(2) 热加工能力 通常指铸造、锻造、焊接及热处理的加工能力和工艺水平。

(3) 装配能力 指对产品的装配能力和技术水平。

(4) 材料及外协情况 指材料、通用零部件和液压、电气元件的供应及外协的可能性。

第二节 机床改装的基本思路及主要途径

改装是围绕机床——夹具——刀具——工件这个完整的工艺系统展开的。而这个系统的最终产物是尺寸、形状、位置精度及表面粗糙度都合格的工件。所以改装的思路应以如何制造出合格的工件为核心，从机床、夹具、刀具三方面入手而展开。

一、基本思路

1. 从机床本身考虑 机床本身就是通过改变机床的结构来实现预定的目的。为此必须了解机床的主要组成部分，并分析它们的功用及基本要求，为做好改装工作提供依据。

(1) 主轴部件 由主轴、主轴支承和安装在主轴上的传动件等组成的。

1) 它的功用

① 机床工作时，传递运动和动力。

② 支承工件或刀具，承受切削力，保证与其他部件的相对

位置精确。

③ 使工件或刀具获得正确的运动轨迹。

由此可见，主轴部件非常重要，因为加工零件质量的好坏，很大程度上由它来决定。所以对它的要求也高一些。

2) 基本要求

① 结构上的要求

第一、轴部件应有可靠的径向和轴向定位，保持良好的位置度。

第二、保证长期可靠的运转，为此应对有关零件的材料和热处理条件严加控制。还应合理选择前后轴承和支承结构。并设置轴承间隙调整装置。

第三、主轴端部的结构合理 应保证卡盘和顶尖定位可靠。

第四、工艺性要好，便于制造、装配、调整和维修。

② 工艺性能上的要求

第一、旋转精度是指机床空载低速旋转时，在主轴前端等部位的径向圆跳动误差、端面圆跳动误差和轴向窜动量的大小。它直接影响工件的加工精度和表面粗糙度。影响该项目精度的主要因素有：主轴及其轴承、支承座和轴上零件的制造、装配质量。

第二、刚度是指在外载作用下抵抗变形的能力。刚度越大，主轴端部变形越小。影响它的主要因素有：主轴的结构尺寸、轴承的类型、配置和间隙的大小、传动件的布置方式，主轴部件的制造与装配质量等。

第三、抗振性是指机床进行切削时，抵抗振动保持平稳运转的工作能力。它不仅影响工件的表面质量、刀具寿命和主轴部件的寿命，而且产生噪声。影响这一性能的主要因素有：主轴部件的阻尼、刚度和固有频率，主轴的传动方式、轴承类型、主轴部件的质量分布及齿轮与轴承等的制造、装配质量。

第四、耐磨性是指长期保持原始制造精度的能力。为此，主轴的端部和内锥孔必须有一定硬度。滑动和移动轴颈的表面必须耐磨。影响该性能的主要因素有：主轴、轴承的材料与热处理，

轴承（衬套）类型及润滑方式等。

(2) 常用的操纵机构 如图 12-3 所示，由图 12-3 中可知，

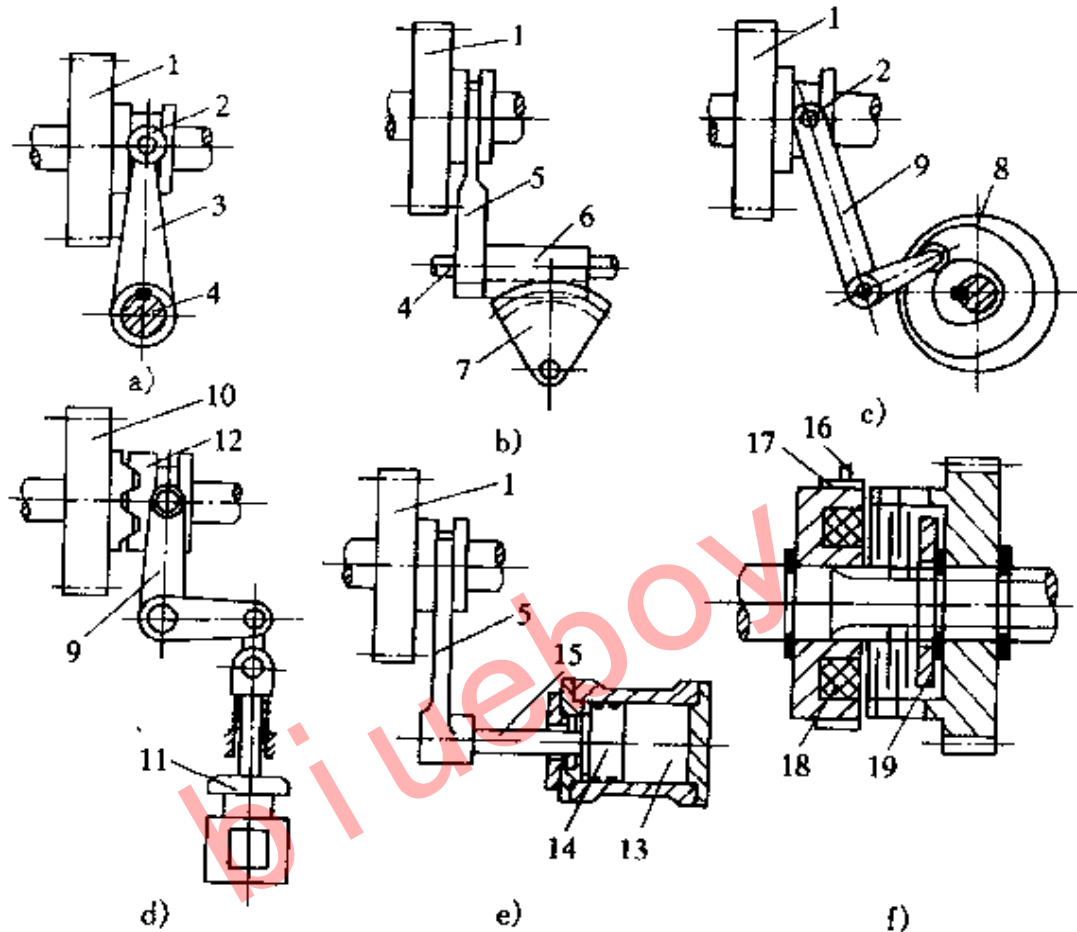


图 12-3 常用的几种操纵机构

1—转移齿轮 2—滑块 3—摆杆 4—轴 5—拨叉 6—轴套
7—齿扇 8—凸轮 9—杠杆 10—齿轮 11—电磁铁 12—离合器 13—液压缸
14—活塞 15—活塞杆 16—电刷 17—集电环 18—线圈 19—衔铁

操纵机构一般由四部分组成：操纵件（手柄、手把、按钮等）；传动装置（机械、液压、气动和电力等传动装置）；控制元件（孔盘、凸轮、液压预选阀等）；执行件（拨叉、拨块、滑块、卡块、顶杆、拉杆等）。它的功用是控制机床的基本运动和辅助运动。它不仅能影响机床的生产率、加工质量、使用寿命、执行件和传动件性能的发挥，更能影响操作者的劳动强度和工作安全。这就要求操纵机构要有良好的使用性能，这样就要满足下述基本要求：

1) 操纵安全

① 操作手柄或手轮应与机床壁保持一定距离，操纵手柄间也应保持一定距离，以免伤人或造成设备事故。

② 机床快速运动链接通时，应脱开其与手轮的联系。

③ 操纵机构定位必须可靠，不得自动松开。

④ 凡是机构中相互干涉的运动必须互锁。

⑤ 所有断开手柄必须安在非常便于操作的地方。以便发生意外需立即停车时，操作既准又快。

⑥ 应设有过载保险装置和极限行程安全装置。

2) 操纵方便

① 减少操纵机构数量，如采用单手柄集中操纵。

② 尽可能使操纵件与执行件的运动方向一致或符合操作习惯。图 12-4 所示两种情况就直观符合操作习惯，便于记忆，不易搞错。

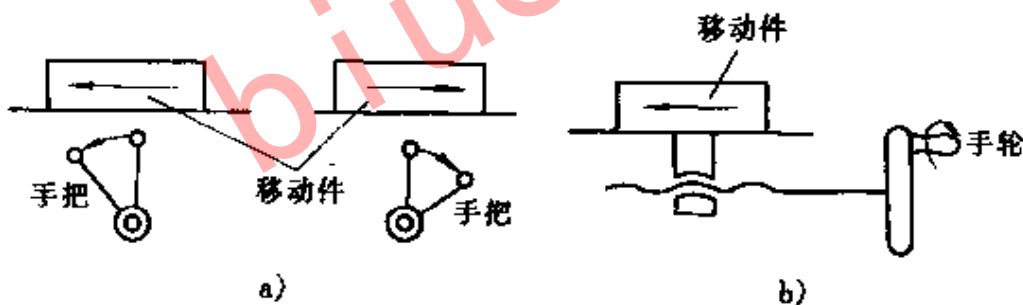


图 12-4 操作手柄与移动件运动方向之间的关系

③ 不同作用的手柄，尽量做成不同形状，不同大小或不同颜色的，便于区别。

3) 操纵迅速

① 合理选择操纵机构方案，以便减少操纵的辅助时间，提高生产率。

② 恰当安排手柄位置，合适选择操纵手柄的形式、用力程度和施力方式。

③ 直观、明显、合理地设置操纵标牌。尤其是表示转速和

进给量的标牌。

4) 操纵省力, 操纵手柄高度适当 (图 12-2a); 操纵力适宜 (见表 12-3), 若操纵频次高, 应将表中允许值减少 20%~40%。减轻操纵力, 还要采取下列措施:

表 12-3 通常允许的操纵力 (N)

操纵手柄距 地面的高度 /mm	操 纵 力 的 施 力 方 向					
	左 手 操 纵 时			右 手 操 纵 时		
	向侧面	向下面	向上面	向侧面	向下面	向上面
1400~1800	25	100	50	30	110	60
1050~1400	30	50	50	50	60	60
650~1050	30	80	80	50	100	100
300~650	25	50	100	30	60	110

① 合理选择操纵系统的传动比, 以减少操纵力, 如加大手轮直径等。

② 合理布置操纵手柄的位置。如放在右手一侧。

③ 采用液压驱动、电动或气动的控制方式。

5) 操纵准确, 为提高操纵的准确性, 可采用增大操纵机构的降速比的方法。如采用行星减速机构或蜗轮、蜗杆副降速; 还可采用提高传动精度的方法。如采用精密丝杠和大直径精密刻度盘等。

(3) 支承件 是指床身、立柱、横梁、底座等大件, 是机床的基础件。其结构和布局的合理性, 对于提高机床——夹具——刀具——工件这一工艺系统的刚度和长期持久地保持机床精度具有重大意义, 为此必须满足以下基本要求:

1) 足够的刚度。支承件在切削力、部件重量、工件重量和惯性等各种载荷作用下, 其自身及其接触面都会变形。为了保证各部件的位置精度, 其受力后的变形量必须限制在允许的范围内。这就要求支承件有足够的刚度。

2) 足够的抗振性。振动可以影响工件的加工质量、刀具的寿命和机床的工作。为了提高机床的抗振性, 可从以下两方面考

虑：

① 合理选择支承件的材料。无论是从理论上分析还是实践证明，铸铁都是最适用的材料，这是由于它良好的抗振性和耐磨性所决定的。

② 选择合理的支承件结构形式。这样既可增强支承件刚度，又可增加抗振能力。如支承件上有超过 $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ 的薄壁时，应增加肋板。

3) 较小的热变形。支承件受热变形，就会丧失原始的几何精度，从而造成位置精度的下降，影响机床的加工精度。所以要力求减少支承件的热变形。减少热变形的主要途径：减少发热量；加强散热；使热量少传给对加工精度影响较大的零部件；使机床各部温度平衡等。

4) 满足铸造、加工、装配的工艺要求，保证排屑顺畅、搬运安全。并尽可能采取节省材料的结构。

(4) 导轨 它的功用是支承、导向、承载。它的质量直接决定机床的加工精度、工作能力和使用寿命。因此导轨应满足下列要求：

1) 导向精度是指导轨运动轨迹的准确度，它是保证导轨工作质量的前提。其主要影响因素有：导轨的类型、组合形式与尺寸；导轨的几何精度和接触精度；导轨和基础件的刚度；导轨的油膜厚度与其刚度；导轨与基础件的热变形等。

2) 精度保持性。导轨的耐磨性是精度保持性的关键。而导轨的耐磨性与导轨的摩擦性质、材料、工艺方法及受力情况等有关。

3) 低速运动的平稳性。是指导轨在低速运动或微量位移时，出现爬行现象的程度。它与导轨的结构、润滑和动静摩擦因数的差值以及传动系统的刚度等条件有关。

4) 导轨的刚度。导轨的刚度若低，变形就大，不仅会破坏导向精度，而且会加剧导轨磨损。为了平衡或减轻外力的影响，应增强导轨的刚度。导轨的刚度主要取决于导轨的类型、型式、

尺寸、导轨与基础件的联接方式及受力情况等。

5) 结构的工艺性。是指从工艺上考虑容易制造、维修方便、刮研量小；若镶装导轨，应作到易于更换。

综上所述，我们得出以下结论：

机床的各组成部分均有其各自的功能，为了实现这些功能，又有一定的基本要求。所以在改装机床结构时，要把改装需要与原结构的功能和基本要求统筹考虑。

机床是使零件加工得以实现的物质保障。而机床结构则是使零件加工表面得以实现的成形方法的保证。改装结构是为成形方法服务的。因此，要千方百计使改装后的结构适应成形方法。

2. 从夹具来考虑 夹具是工艺装备的重要组成部分之一，与机床密切相关。而这种关系正是我们改装夹具的切入点。

(1) 夹具在切削加工中的作用 提高机床的性能，保证加工精度稳定；提高工作效率；实现在加工中对工件的测量；减轻劳动强度；创造新的夹具原理和夹具。

(2) 夹具与机床的关系

1) 夹具应与机床相适应，机床不同，所用的夹具也应有所差异。如铣床夹具，为适应铣削力大，加工中工件易变形的特点，所以夹紧机构要有足够的夹紧力，夹具体刚性要好。另外，夹具安装在机床上，所以要解决夹具在机床上的定位、安装、夹紧机构布置等问题。

2) 机床自动化对夹具的要求，机床的自动化分为两种，一种是提高机床生产能力的自动化；另一种是把手动变机动的自动化。对于提高生产能力的自动化来说，通常是几个夹具对工件同时夹紧，或顺次地对几处自动夹紧，也可以使夹具与加工循环对应地实行联动。对于手动变机动的自动化来说，可利用夹具把平时操作者人工监视、检查、手动作业等有效地转为机械化。如在钻孔加工中，装上送料器，使夹具自动进给、定位。可大大缩短辅助时间，提高生产率。

3) 阻碍夹具自动化的因素，从现今技术水平而论，什么自

动化都能实现。但从经济性角度考虑，确实有些困难因素要克服。

① 清除切屑，尤其是清除夹具定位面上的切屑。虽采取了特种装置或设置压缩空气喷嘴，清理切屑。但经济性都不好。

② 复杂形状工件的加工夹具经常只能半自动。要想全自动，就不得不提高设计和制造成本。

③ 由于对高精度定位夹具的可靠性进行重复检查很困难，所以大多数高精度加工的夹具是手动或半自动的。

综上所述，要改进夹具，必须从分析夹具在加工中的作用入手，然后研究怎样使机床与夹具相适应。再针对具体情况进行改进。这就是从夹具方面考虑改装工作的重要思路。

3. 从刀具来考虑 在切削加工时，刀具和工件以机床为载体并在其相应机构的带动下，按一定规律作相对运动，通过刀具的切削刃去掉毛坯上多余的金属，使零件的加工表面成形。因此，应从零件表面的形成原理来考虑刀具改装。而零件表面质量的好坏，很大程度上是由刀具决定的。所以从分析工件表面质量入手改装刀具是另一条重要思路。

(1) 从零件表面的形成来考虑刀具的改造

1) 零件表面的形成：零件上的每个表面都是母线沿导线运动而生成的轨迹。因此母线和导线又称为形成表面的生线。在切削加工过程中，这两条生线是以刀具的切削刃与工件的相对运动面体现的。如图 12-5 所示，轴的外圆柱面是由母线 1（直线）沿导线 2（圆）运动而形成的。可见，零件表面是由生线形成的。

2) 零件表面的形成方法及所需运动：成形表面是通过刀具切削刃和工件的相对运动得到它的两条生线，依据形成生线的方法不同，零件表面的形成方法可分为四种。

① 轨迹法：见图 12-6，刀具的切削刃为切削点 1，它按轨迹 3 运动，形成生线 2，这就是轨迹法。

② 成形法：见图 12-7，被加工工件的廓形 2 是用刀具的刃形 1 复印形成的。这就是成形法。

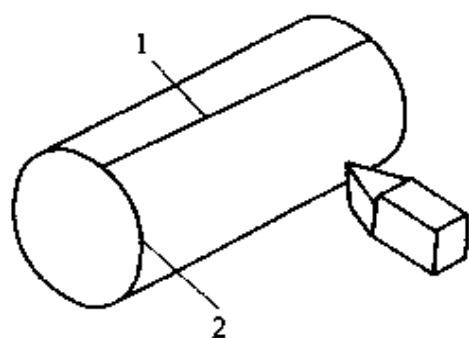


图 12-5 车削外圆柱面时的成形

1—直线 2—圆

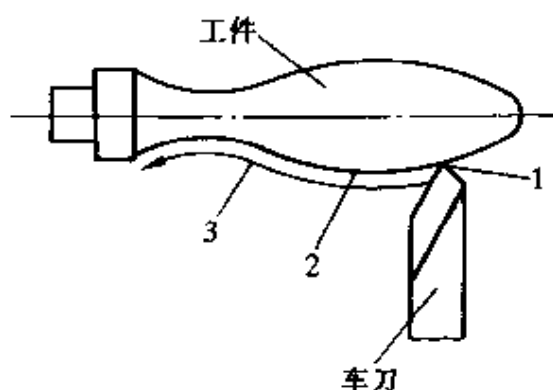


图 12-6 轨迹法

1—切削点 2—生线 3—轨迹运动

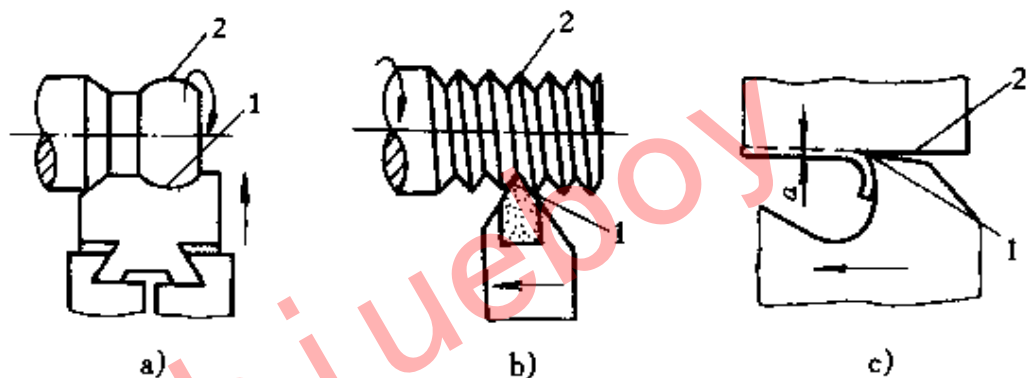


图 12-7 成形法

a) 成形车刀 b) 螺纹车刀 c) 拉刀

③ 相切法：见图 12-8，切削时，刀具的旋转中心按轨迹 3 运动，则切削点 1 运动轨迹的包络线就形成了生线 2，这就是相切法。

④ 范成法：见图 12-9，范成运动 3 使切削刃 1 与生线 2 相切，并逐点接触而形成与它共轭的生线 2，即生线 2 是切削线 1 的包络线，这就是范成法。

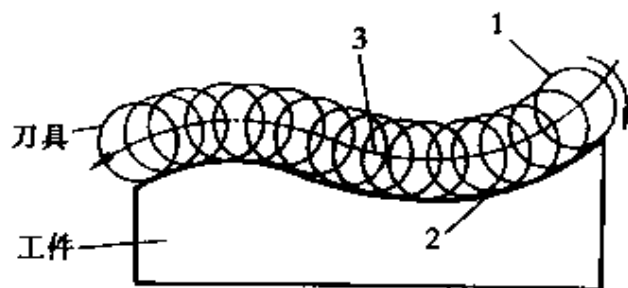


图 12-8 相切法

1—切削点 2—生线 3—轨迹运动

综上所述，刀具切削刃相对工件的运动过程就是零件表面的

形成过程。这个过程的两个要素是切削刃和运动。不同的刀具和不同的运动的组合即可形成各种零件表面。改造刀具就应以此为线索进行考虑。例如切断刀的改进，就是从切削刃上想的办法。切削时，切屑在长度上变短、在宽度上略变宽。这样切屑易挤在切口的两侧面上，引起打刀。因为打刀的原因是切屑变宽挤压侧面，所以，解决问题的关键是使切屑有横向收缩，变窄。因为切屑均有垂直于刃口流出的倾向，所以可把切断刀改成图 12-10 所示的尖顶宝剑式刃口。由于切屑的中间凸起，其宽度比切口略窄。因此切屑就不能挤压切口两侧，从而使切屑顺畅流出，避免了打刀现象的发生。

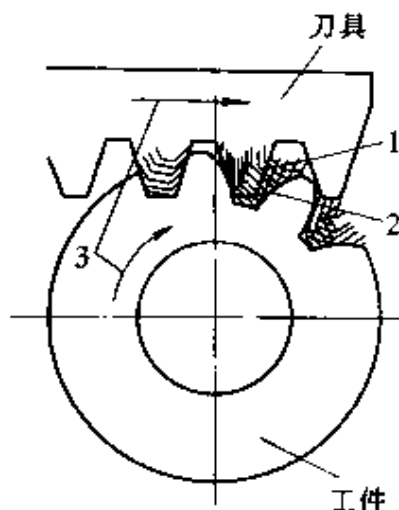


图 12-9 范成法

1—切削刃 2—生线
3—范成运动

(2) 从分析零件表面质量来考虑刀具改装 衡量已加工表面质量的重要指标是表面粗糙度和表面层的物理力学性能。现从表面粗糙度入手研究刀具改装。表面粗糙度由以下因素造成：

1) 残留面积：在车削外圆时，由于车刀的主偏角 κ 和副偏角 κ' 的存在，当车刀以进给量 f

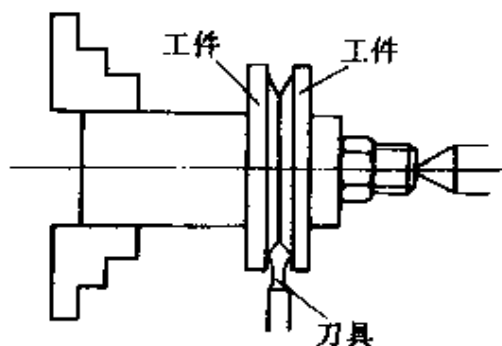


图 12-10 尖顶宝剑式切断刀切削两个并在一起的零件

进行切削时，必然会在工件表面上残留未切削的面积，如图 12-11a 中的 A_1OA ，从整个表面看相当于浅的螺距微小的螺纹。由图 12-11a 可知

$$\text{残留面积} \quad A_0 = \Delta A_1OA = \frac{1}{2} fH$$

$$f = A_1O_1 + O_1A = H (\cot \kappa' + \cot \kappa)$$

$$H = \frac{f}{\cot \kappa' + \cot \kappa}$$

$$A_0 = \frac{1}{2} \frac{f^2}{\cot \kappa' + \cot \kappa}$$

但事实上刀具的刀尖都有圆弧：其半径 r 越大， A_0 就越小，表面粗糙度值越小（图 12-11b）

$$H = CB - CA = r - \sqrt{r^2 - \frac{f^2}{4}}$$

$$(r - H)^2 = \left(\sqrt{r^2 - \frac{f^2}{4}} \right)^2$$

H 很小，所以 H^2 可省略，则有：

$$H = \frac{f^2}{8r}$$

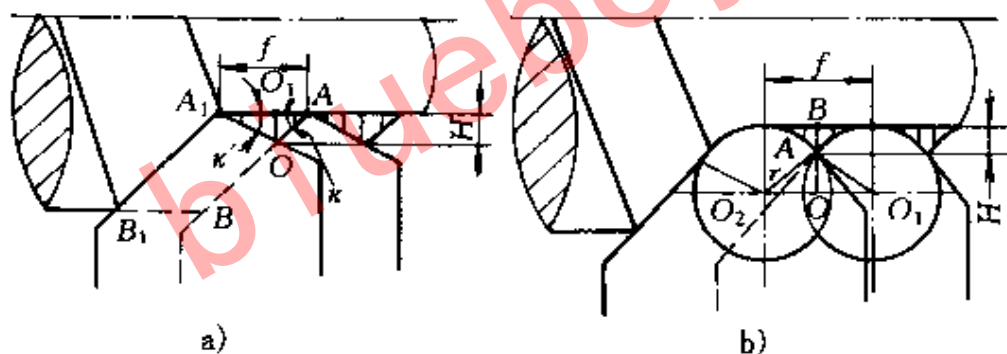


图 12-11 残留面积示意图

可见，若选用较小的 f 或较大的 r ，减小 κ 和 κ' 均可减小粗糙度值。但这样会降低生产率，并受到机床——刀具——夹具——工件这一工艺系统刚度的限制。

为了既降低表面粗糙度值又不影响生产率，可从刀具角度上想办法。改造刀具的几何形状，如图 12-12，就是采用了一个带有修光刃的强力切削刀具。修光刃的偏角 $\kappa_0' = 0$ ，长度 l 是进给量 f 的 1.2~1.8 倍。它在大进给量、高切削速度下，表面粗糙度值可达 $R_a 6.3 \sim R_a 0.8 \mu\text{m}$ 。

2) 刀瘤（积屑瘤）和鳞刺：积屑瘤通常在切削速度在 4~

80m/min 范围内时产生。而鳞刺是在拉削圆孔或用高速钢刀低速车削塑性大的工件时产生。这两种现象均使表面粗糙度值上升。消除它们的措施是：

① 合理选用刀具的切削角度。采用大前角刀具时，切屑变形小，切削温度低、切削力和外摩擦力都小，积屑瘤（刀瘤）不易形成。如用 YG8 硬质合金螺纹刀车 3Cr13 不锈钢时，前角为 0° 时，表面粗糙度值较大，当前角为 $18^\circ \sim 20^\circ$ 时（图 12-13），无刀瘤，切削平稳，生产率提高十几倍，表面粗糙度值减小为 $R_a 0.8\mu\text{m}$ 。

同样，加大刀具的前角和后角，使摩擦和塑性变形减小，可减少或避免鳞刺的产生。

② 合理选用切削用量。切削速度对积屑瘤影响明显。其关系，如图 12-14 所示， H_M 是积屑瘤高度。

加工时选用较低或较高的切削速度和较小的进给量，可避开积屑瘤的产生（4~80m/min 以外的切削速度为宜）。而增大切削速度，减少塑性

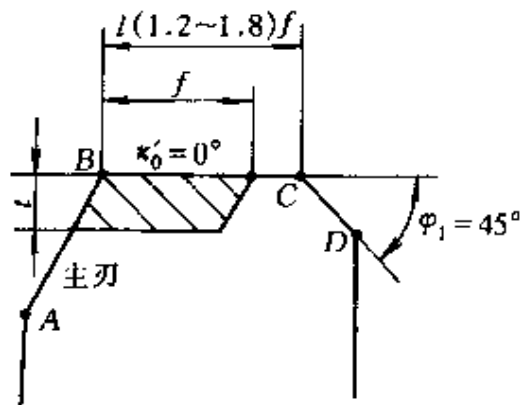


图 12-12 强力切削刀具的切削刃

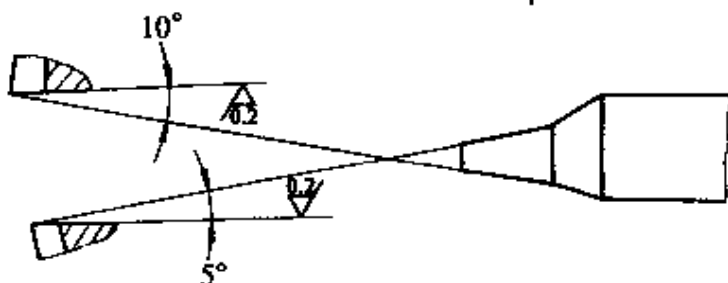
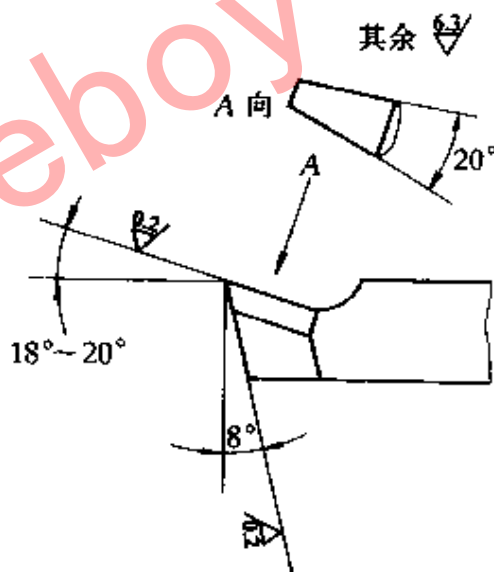


图 12-13 加工不锈钢的梯形螺纹精车刀

变形则可避免鳞刺的产生。

③ 改变工件的材料性能。对低碳钢、低合金钢进行正火处理；对中碳钢进行调质处理均可降低表面粗糙度值。

④ 冷却润滑。在切削中，进行有效的冷却润滑可减小表面粗糙度值。

3) 振动：径向切削力的变化，会引起机床——工件——刀具这一工艺系统的振动，使加工表面产生振纹，增大表面粗糙度值。因此必须采取适当的消振措施。

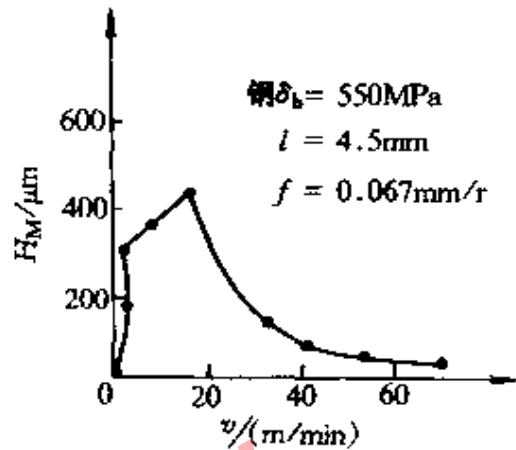


图 12-14 切削速度对积屑瘤的影响

综上所述，增加工艺系统的刚度、合理选择刀具的几何参数、恰当选用切削用量、进行有效冷却润滑、采取有力的消振措施和改善工件材料性能等，均可为我们研究刀具改造，提高工件表面质量，提供有益的线索。

4. 从整个工艺系统来考虑 机床——夹具——刀具——工件这个工艺系统，既为系统，那么各组成部分就是相互联系、相互制约的。所以在改装时，也要从整个系统考虑，以便采取综合的措施，取得全面良好的效果。

例如用大进给量反向切削法加工细长轴，满足精度和表面粗糙度要求。

细长杆的加工是车削加工的一大难点，即便采用了跟刀架并用小切削量，还是难以达到精度和表面质量的要求。解决这个难题，应按以下步骤进行：

(1) 进行系统分析 工件的特点是又细又长，刚度很差，在切削力作用下容易变形。变形后，在离心力作用下，又加剧了零件的变形，并提供了振动源；夹具，细长杆是夹在卡盘上，并用尾座顶尖顶死，其装夹段属于刚性的，这样由于切削热造成的工件伸长量无处释放，定会加剧细长杆的弯度。刀具方面，刀具的

进给力 F_f (图 12-15) 也会加剧工件的变形; 机床方面, 背向力 F_p 的作用会加剧工件弯曲并产生振动, 为了减小切削力, 必须减小切削用量, 所以机床的影响因素主要是切削用量。

根据上述对工艺系统各因素的分析, 可采取如下技术措施:

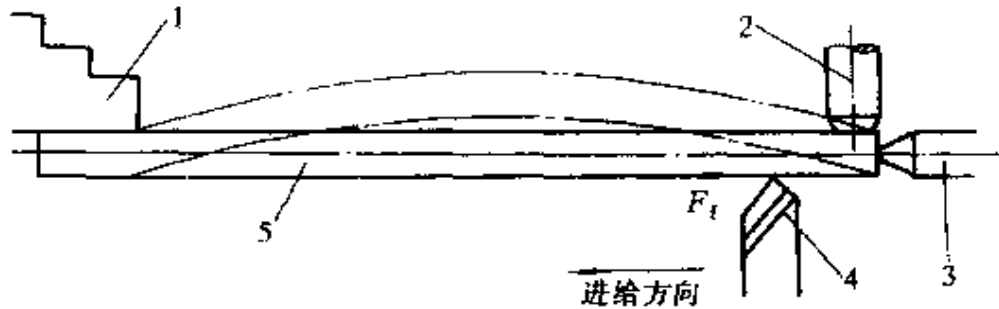


图 12-15 顺向进给车削时进给力 F_f 对工件起压缩作用

1—卡盘 2—跟刀架 3—死顶尖 4—车刀 5—工件

1) 采用跟刀架, 增强工件的刚性, 并用以平衡掉背向力 F_{p0} 。

2) 采用可伸缩的活顶尖并进行反向切削, 即按床头到床尾的方向进给。这样可使热伸长量和切削分力 F_f 得以释放, 如图 12-16 所示。

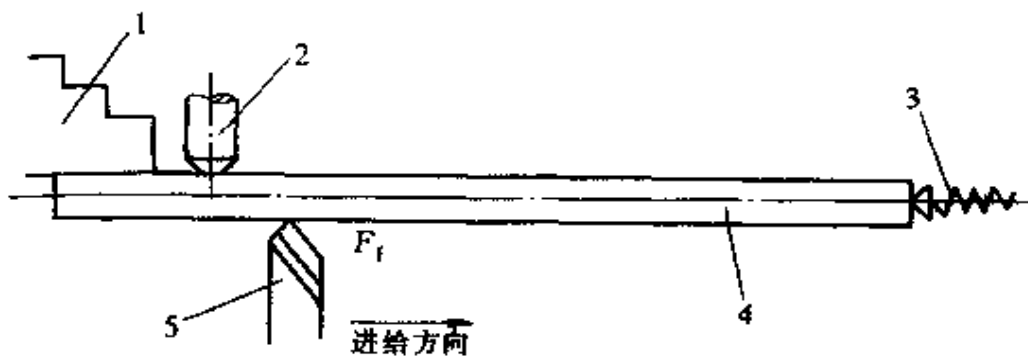


图 12-16 反向进给车削时 F_f 对轴起拉伸作用

1—卡盘 2—跟刀架 3—活顶尖 4—工件 5—车刀

3) 选用大切削进给量, 因为前两项措施已为加大进给量提供了工艺上的保障, 这样可提高生产率。

4) 从刀具上看, 可选用适于反向切削法的精车刀和粗车反

偏刀。

(2) 问题解决的原因和效果

1) 由于反向切削, 使 F_f 对工件的作用由压缩变为拉伸 (图 12-16), 加之采用了可伸缩式的活顶尖, 使切削点到尾座顶尖一段距离为柔性可调, 拉力和热胀产生的变形均可释放掉, 不至使工件变弯。

2) 由于采用了大进给量和较大的主偏角车刀, 增大了进给力 F_f , 工件在强力拉伸下消除了径向颤动, 使切削平稳, 同时提高了生产率。

3) 为了消除由于卡盘强制夹紧而使坯料自身的弯曲轴心线影响加工精度的危害, 在卡盘附近的一端将工件车出一缩颈 (图 2-17), 使它起万向接头的作用。

4) 先用粗车刀车出 50~80mm 长的跟刀架的架口, (图 12-18a)。跟刀架支承块装在刀尖后面 1~2mm 处, 用以增加刚性, 减轻振动。然后在全长上粗车。精车时, 跟刀架支承块装在刀尖前面 (图 12-18b), 用粗车后的表面作支承基面, 以免支承块在精车完的表面上划出伤痕。

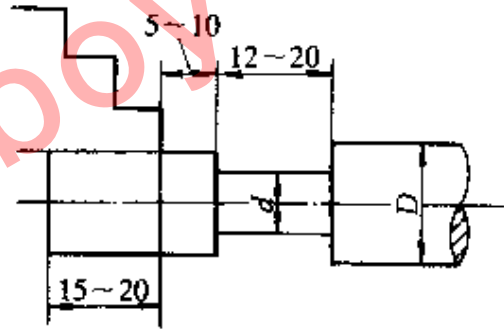


图 12-17 缩颈法

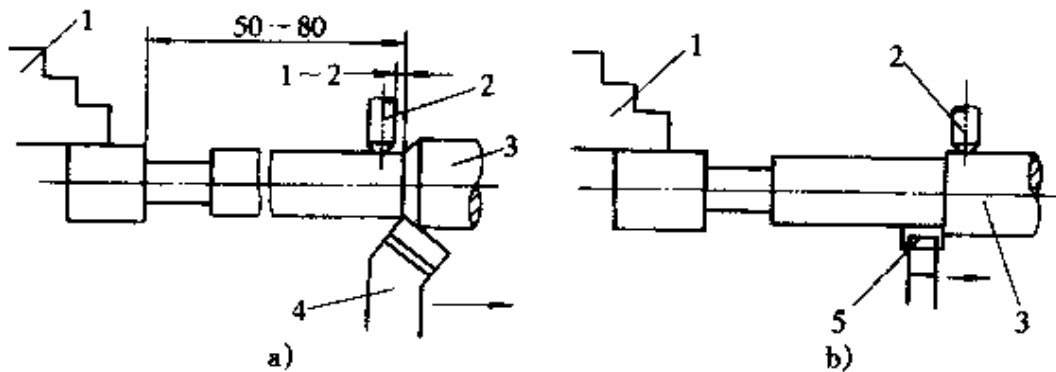


图 12-18 跟刀架的安装

1—卡盘 2—跟刀架 3—工件 4—粗车刀 5—精车刀

二、主要途径

1) 对整个工艺系统进行全面分析, 然后采取综合措施, 以达到预期的目标。

2) 改造机床结构, 如表 12-4 所示。

3) 改进机床的使用工艺及装备, 见表 12-5 所示。

表 12-4 改造机床结构

途 径	表 现 方 面
提高生产率	高速化、多刀化、工序重合、数控、数字显示、改变检测工件方法等
改变工艺范围	大型机床复合化、单工序机床专用化、改变基本工艺用途等
扩大工艺范围	增加辅具、一机多用等
提高加工精度	采用静压技术、增加辅助导轨、改变主轴支承结构等
提高自动化程度	变手动为机动、增加上下料装置等
改善工作条件	增设安全联锁装置、指示灯、限位制动器、防护罩等

表 12-5 改进机床的使用工艺及装备

途 径	表 现 方 面
采用适宜(或先进)的工艺	成组加工、多刀组合加工等
配备适宜(或先进)的附件	液压仿形刀架、对刀装置、辅具等
革新夹具	成组夹具、组合夹具、自动化夹具等
改革刀具	精密镗刀杆、组合刀具、机夹可转位刀具等
将机床群联成生产线	按工艺组成流水线、用输送装置将普通机床联成生产线、用机械手将机床联成可调自动线等

三、改装实例

1. 提高劳动生产率的改造

例 1 加工带四个环形槽的轴(图 12-19)。可用刀夹夹四把刀, 同时进行切削。这种刀排式切削比单刀加工, 直接工效提高到 4 倍。

例 2 用车床尾座和方刀架夹刀, 对工件外圆同时加工(图

12-20)。对批量生产，生产率可大大提高。

2. 扩大机床工艺范围的改装

例 3 把车床改为双面铣

图 12-21 是车床改装为双面铣的外观图。这种车代铣的改装，扩大了

车床的工艺范围。它适于小批生产，但加工尺寸不能太大。

(1) 改装方法

将方刀架、小滑板和转盘拆掉，夹具 9 用螺钉固定在中滑板 17 上，工件 7 装在 9 中。刀杆应根据实际设计制造，铣刀盘 10 装在铣刀杆 4 上，

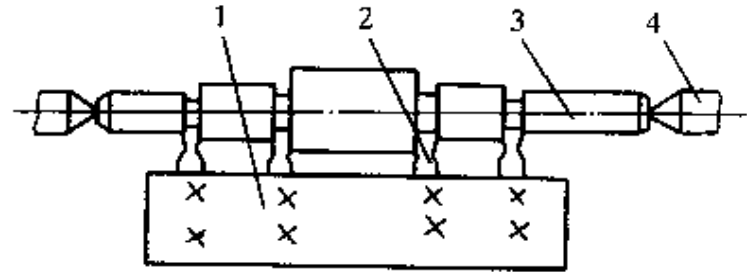


图 12-19 多刀加工环形槽

1—刀尖 2—刀 3—工件 4—顶尖

用隔套 8 分开，隔套 8 的长度是由被加工工件长度决定的。铣刀盘 10 以键 6 和刀杆 4 连接，刀块 5 装在刀盘 10 上。刀杆 4 的左端夹在卡盘上，右端由尾座顶尖顶住，车床主轴带动刀杆旋转。工件的进给由车床来实现，即由中滑板 17 带动。可手动也可自动。

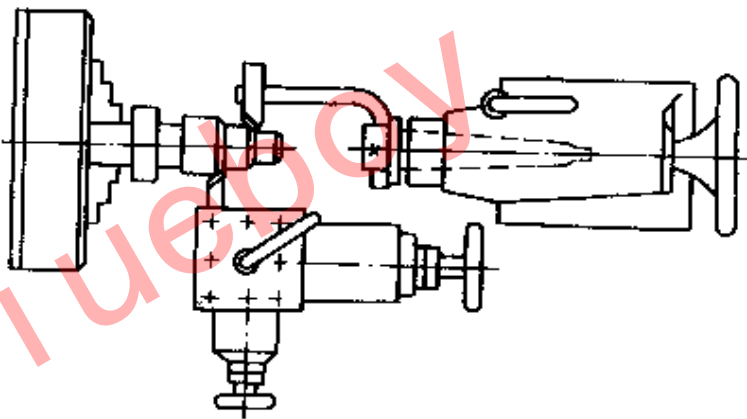


图 12-20 用方刀架和尾座同时切削外圆

(2) 注意事项 铣削时，床鞍的位置要固定死。否则，窜动将影响加工质量。

(3) 改装特点 结构简单、操作方便、适应面广、属于可逆性改装。

3. 改变机床工艺范围的改装

例 4 车床改装后，进行正多棱台、正多棱柱的侧面加工。

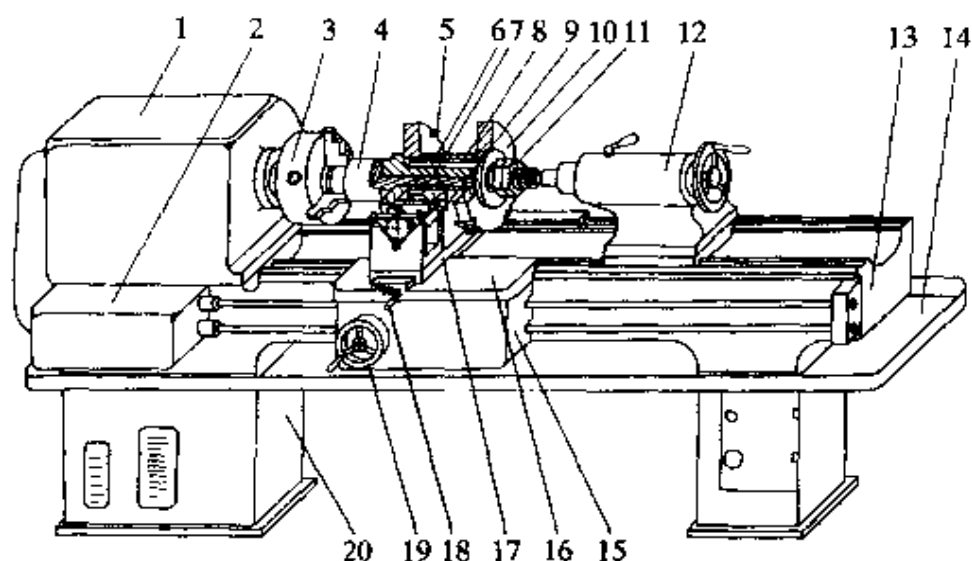


图 12-21 车床改装为双面铣

- 1—主轴箱 2—进给箱 3—卡盘 4—刀杆 5—铣刀块
 6—键 7—工件 8—隔套 9—夹具 10—铣刀盘 11—螺母 12—尾座
 13—床身 14—容屑槽 15—滴板箱 16—床鞍
 17—中滑板 18—横进给手把 19—纵向进给手柄 20—床腿

以正棱台为例：

车床进行改装后，可完成铣削加工，改变了其工艺范围，且提高了生产率。不足的是，车代铣加工，加工表面的平面度误差较大。

(1) 改装部分的组成 图 12-22 为车床改装后，切削正四棱

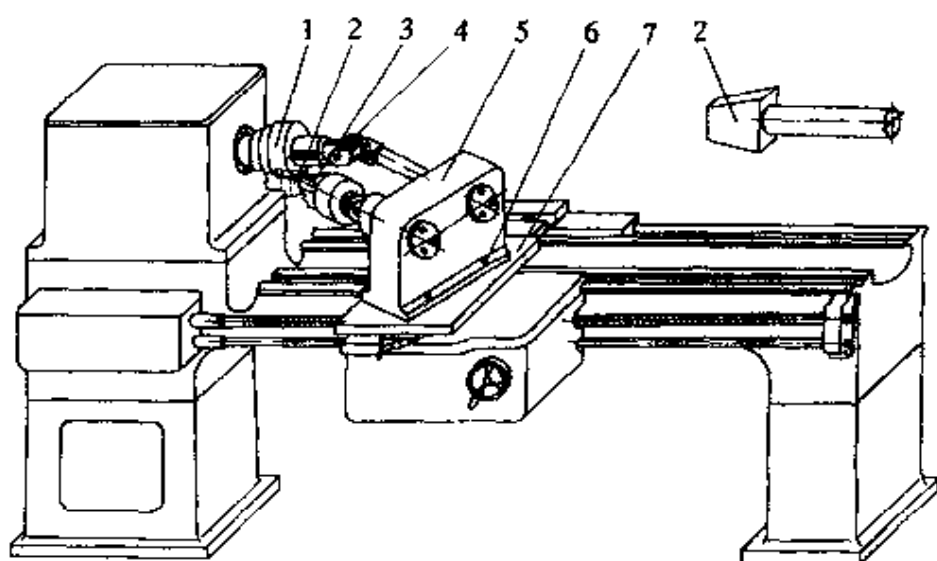


图 12-22 车床改装车正四棱台

台的外观图。改装时，将尾座拆下，再拆下方刀架、小滑板和转盘，然后，装上根据加工需要设计、制造的装置。改装装置的结构组成是：两把刀对称地装在刀盘 1 上，刀盘固定在车床主轴上，万向节 4 左端轴上有一条长键槽，与刀盘用滑键联接，这样使万向节左端轴既能传递转矩，又能在主轴轴心线方向上滑动（在一定范围内）。万向节 4 右端轴与变速箱 5 的第 I 轴铰接。使车床主轴与变速箱 5 的第 I 轴可以偏离一个角度。变速箱 5 用螺钉固定在底板 7 上。底板 7 又固定在中滑板上。使变速箱的 III 轴（与 I 轴平行）与车床主轴在水平面内的夹角 $\beta = \frac{1}{2}\alpha$ ，如图 12-23 所示。 α 角是正四棱台的锥顶角。因此，变速箱可随床鞍作纵向移动，随中滑板作横向移动。工件 2 由三爪自定心卡盘夹持，三爪自定心卡盘安装在变速箱的 III 轴上。

(2) 工作原理及操作 车床主轴通过刀盘 1 把运动传给万向节 4，并带动变速箱 I 轴转动（图 12-22），又经齿轮副 z_1 、 z_2 和 z_2 、 z_3 使 III 轴

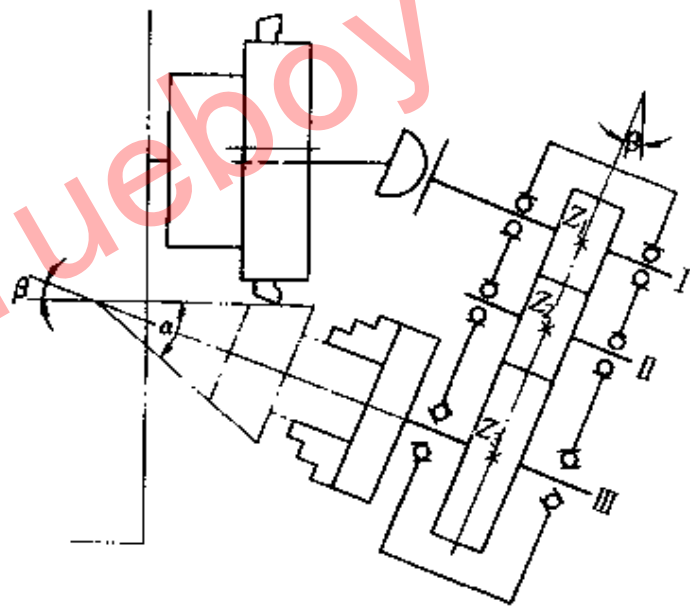


图 12-23 车床改车四棱台的原理图

旋转（图 12-23）。III 轴带动工件 2 转动。其旋转方向同刀盘。加工时，切削用量的选择和切削运动的实现，都是由车床上原来的相应机构实现的。

(3) 注意事项 变速箱中，齿轮 $z_1 = z_2 = 18$ ； $z_3 = 36$ ，所以，刀具转速等于 2 乘以工件转速。通常刀轴转速先为 300—500r/min。则

$$\text{工件转速} = 150 \sim 250 \text{r/min}$$

这样刀具转过 180° ，工件转过 90° ，两把刀转两圈，恰恰对四个面进行一次加工。

(4) 本改装的扩展用途 本改装还可用于正多棱台和正多棱柱的各侧面的加工。

1) 加工正多棱台各侧面时，机床和刀具的调整方法 首先，使变速箱的轴向方向与车床主轴轴向方向在水平面内的夹角 $\beta = \frac{1}{2}\alpha$ ， α 是正多棱台的锥顶角。其次确定刀盘应装的刀块数，可按下式计算

$$x_{(\text{装刀数})} = \frac{n (\text{正多棱台的侧面数})}{2}$$

若侧面数为奇数，则应从变速箱的变速比和装刀数两个方面进行综合考虑。若侧面数为偶数，则变速箱的减速比就保持 2:1，即可。

2) 加工正多棱柱各侧面时，机床及刀具的调整方法与正多棱台不同之处，应取 $\beta = 0^\circ$ ，即车床主轴轴向方向与变速箱的轴向平行。另外应根据工件的具体情况调整装刀的长度。刀数的选择和变速箱变速比的选定法同上。

4. 提高机床加工精度的改装

例 5 对 M131W 万能外圆磨床的主轴轴承进行静压轴承改造。

(1) 问题的存在 该机床原磨头主轴轴承采用“短三瓦”或“长三瓦”式液体动压滑动轴承，这轴承承载能力较低，用于调整间隙的螺钉易松动，从而使轴承间隙发生变化。这就决定了其精度保持性差。在精密加工中，需频繁调整间隙。

(2) 改造方案 将其主轴轴承改为静压轴承，采用可调式缝隙节流静压轴承。前后轴承的压力比可分别由两个调整环调整，其结构如图 12-24 所示。

(3) 主要参数 主轴转速 $n = 1670\text{r}/\text{min}$ ，轴承径向半径间隙 $h_0 = 0.016\text{mm}$ ，止推轴承单面间隙 $h_{0t} = 0.015\text{mm}$ ，节流缝隙

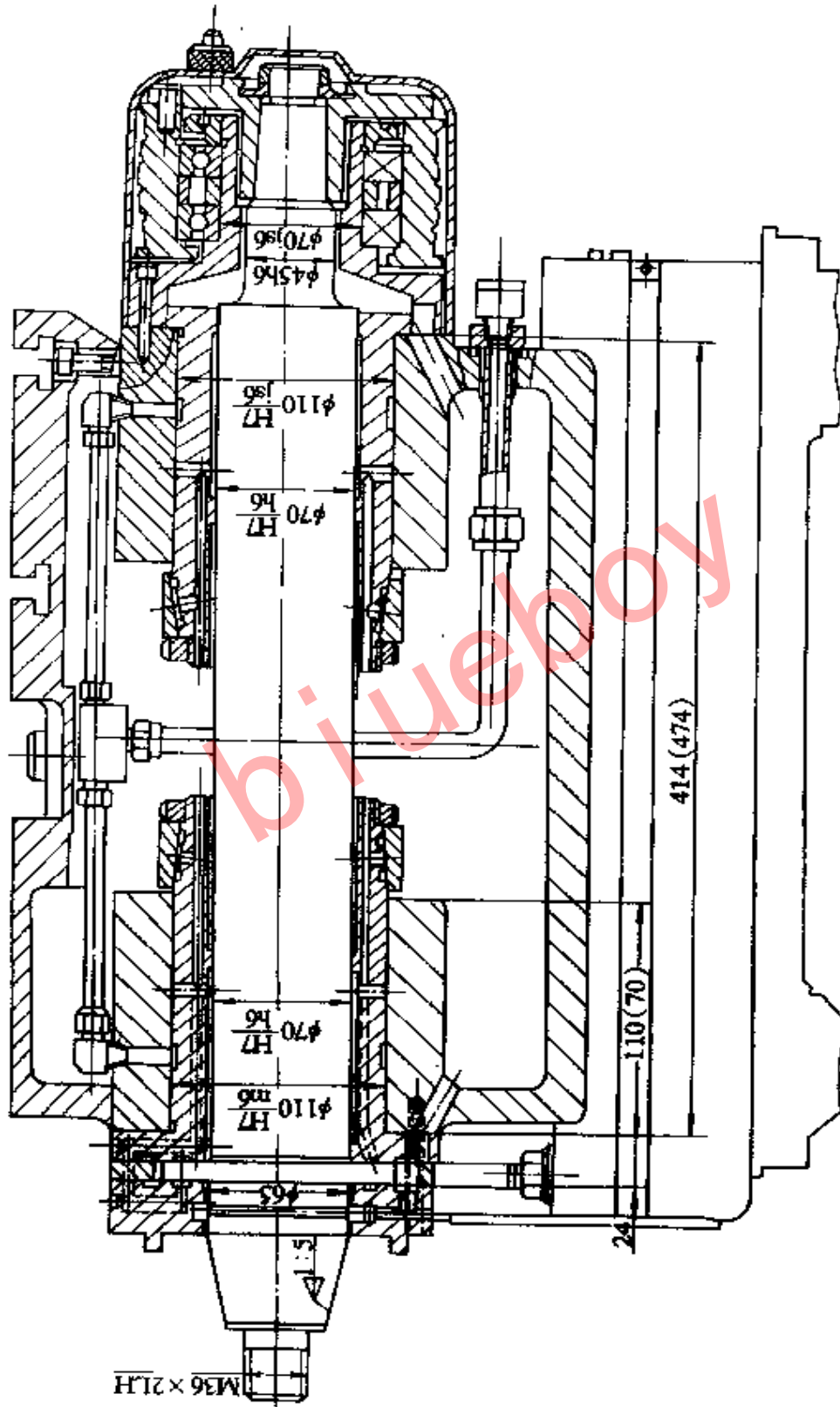


图 12-24 MI31W 外圆磨床主轴系统结构

$h_j = 0.05\text{mm}$, 径向轴承压力比 $\bar{p}_0 = 0.59 \sim 0.67$, 止推轴承压力比 $\bar{p}_{0r} = 0.67$, 供油压力 $p_s = 1.2 \sim 1.5\text{MPa}$, 采用粘度为 $3 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 的混合油, 流量 $Q = 3.4\text{L}/\text{min}$, 液压泵功率 $P = 0.6\text{kW}$ 。

(4) 使用效果 改装后进行磨削, 进给后无火花光磨 3~5 次, 所得工件精度与改装前的对比见表 12-6。

表 12-6 改装前后的加工精度对比

	改装前	改装后	改装前	改装后
工序	粗 磨		精 磨	
选 用 砂 轮	氧化铝 H46		PAH80	
工 件 名 称	心杆		心杆	
工件材料	T8A 淬硬至 58~62HRC			
背吃刀量/mm	0.08	0.15	0.002	0.002
工作台速度/(m/min)	1.7		1.0	
砂轮修整速度/(mm/min)	80		1.0	
表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	≤ 2.50	≤ 1.25	≤ 0.63	≤ 0.080
圆度误差/mm			0.002	0.0007

5. 提高机床自动化程度的改装

例 6 C620-1 型车床自动停机装置

(1) 存在问题和采取的措施 C620-1 车床在电动机启动后, 主轴的正反转和停车, 由操纵手柄控制传动机构。由于间断使用机床 (在机修车间较普遍), 所以操作者不习惯于关掉电动机, 而进行其他工作或离开机床。造成电动机长期空运转, 浪费能源。为了提高操作的自动化程度, 减少浪费, 可利用开关杆操纵机构。在机床电器箱内的立轴上配置凸轮和时间继电器。其安装位置见图 12-25。当操作者把开关杠放在停机位置时, 凸轮松开限位开关 S, 在延时后, 切断主电动机控制回路, 使电动机停转。其线路控制原理见图 12-26。

(2) 该装置凸轮零件图 如图 12-27, 其材料可选 45 号优质碳素钢或 40Cr 合金结构钢。

(3) 时间继电器的调整 可根据操作者的工件安装、测量等所需时间而调整。一般在 1 分钟左右。或太短，不够适当的辅助时间，则会造成电动机的频繁起动。

6. 改善工作条件的改造

例 7 X51 型铣床制动的改进

改进

(1) 存在的问题 X51 型铣床的制动过程如下：当主电

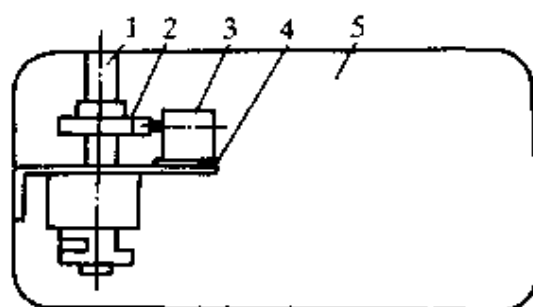


图 12-25 自动停机装置安装图

1—开关杠 2—凸轮 3—时间继电器

4—支座 5—电器箱

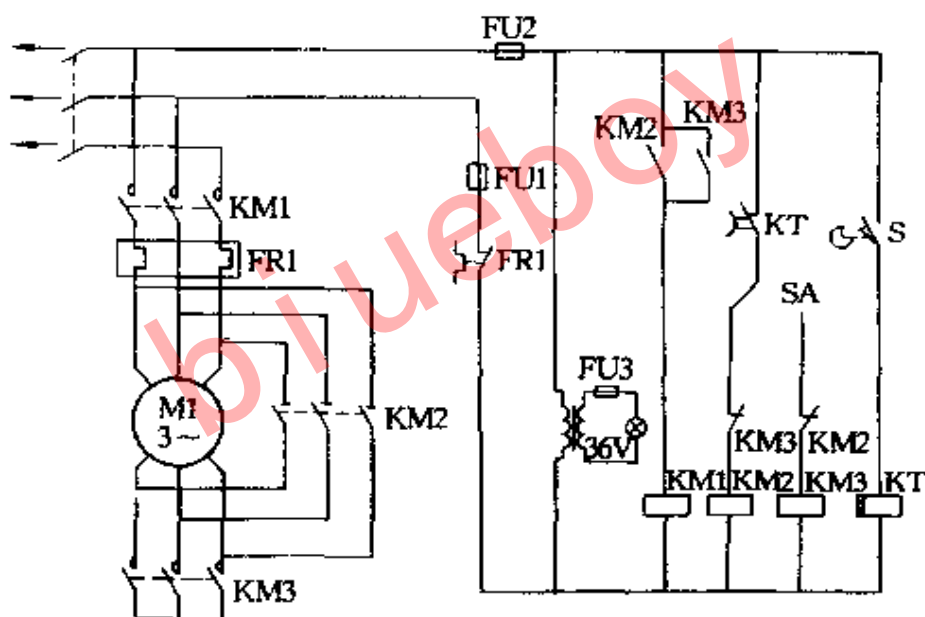


图 12-26 线路控制原理图

动机和牵引电磁铁 3 断电后，拉簧 1 拉动拉杆 2，收紧制动带 4，使主轴慢慢停止运转。制动效果较差，存在着安全隐患。另外，当主电动机和牵引电磁铁 3 通电，电磁铁 3 吸动拉杆 2，松开制动带 4，铣床主轴才可运转，见图 12-28。这样，牵引时间长将引起牵引电磁铁发热，甚至烧坏。

(2) 改装方案 1 将机床原有拉杆 2 头部的两个 $\phi 10\text{mm}$ 孔沿轴向平移到它的后端（图 12-29），在拉杆底部距头部中心线

55mm 处，加一个 M8×80mm 螺钉 6 (图 12-28)，作定位和制动间隙调整用，角度与拉杆中心线成 $70^\circ \sim 72^\circ$ 。

(3) 改进方案 2
将接在主轴电动机上的牵引电磁铁起动电源，改接到停机开关上，再增加一个接触器。

当主电动机运转时，牵引电磁铁不工作；停机时，按停机开关，主电动机断电停止转动。同时牵引

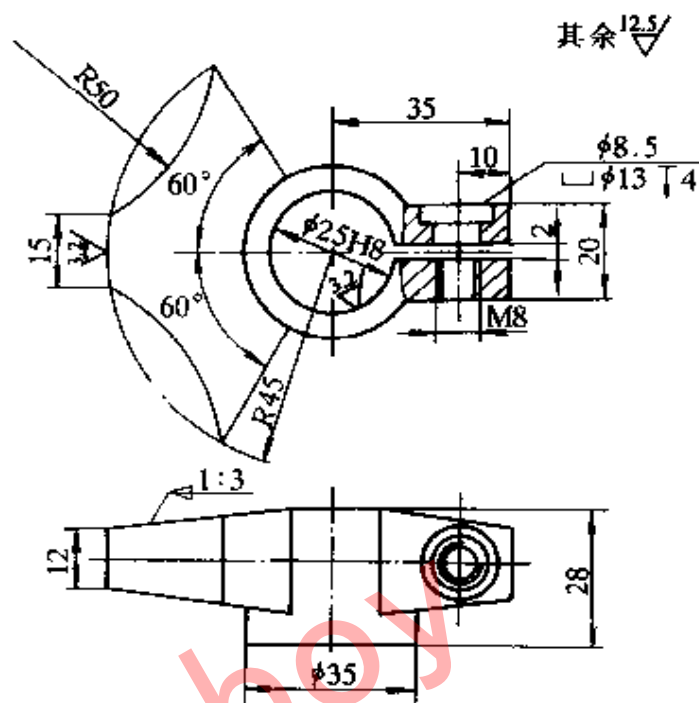


图 12-27 凸轮零件图

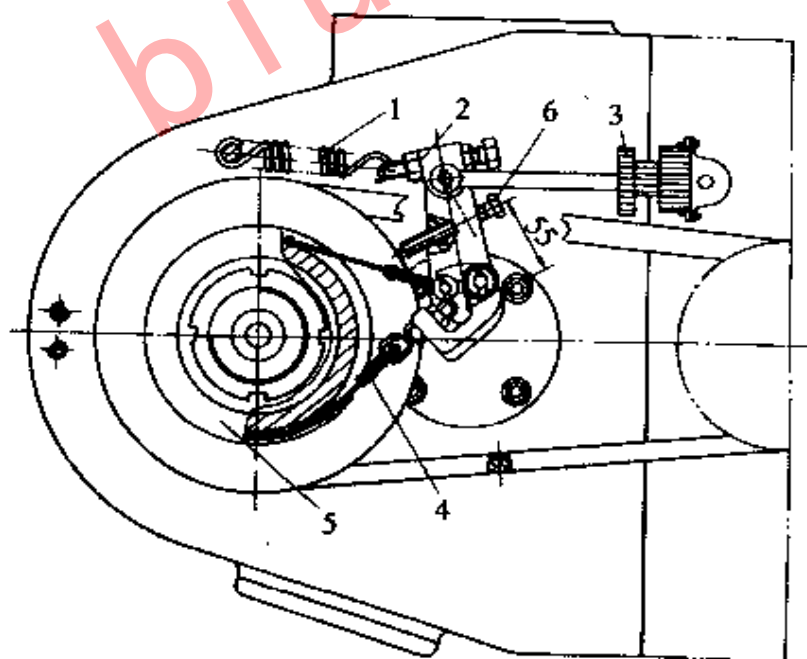


图 12-28 X51 铣床制动装置

- 1—拉簧 2—拉杆 3—牵引电磁铁 4—制动带
5—制动盘 6—定位调整螺钉 (改进后加的)

电磁铁 3 通电，吸动拉杆 2，使制动带 4 收紧制动盘 5，主轴制动。当松开停止开关时，牵引电磁铁断电，拉簧 1 拉回拉杆 2，制动带松开制动盘 5。

(4) 改进效果 制动效果明显，能在 1~2s 内迅速制动。同时提高了牵引电磁铁的使用寿命，降低了耗电量。

7. 采用适宜（或先进）的工艺方法

例 8 加工椭圆孔的方法

加工图 12-30 所示零件上的椭圆孔，在普通铣床上加工一般是难以实现的。但若采取以下工艺方法，就容易加工了。

1) 将工件安装在立铣的工作台上，使孔的轴心线与工作台面垂直。

2) 将镗杆安在立铣头锥孔里，并使刀尖的回转直径等于椭圆长轴 a 。

3) 将立铣头转过一个角度 α ，其轴心线与工件孔的轴心线成 α 角，如图 12-31 所示。 α 可用下式计算：

$$\cos\alpha = \frac{b}{a}$$

式中 a ——椭圆长轴长 (mm)；

b ——椭圆短轴长 (mm)。

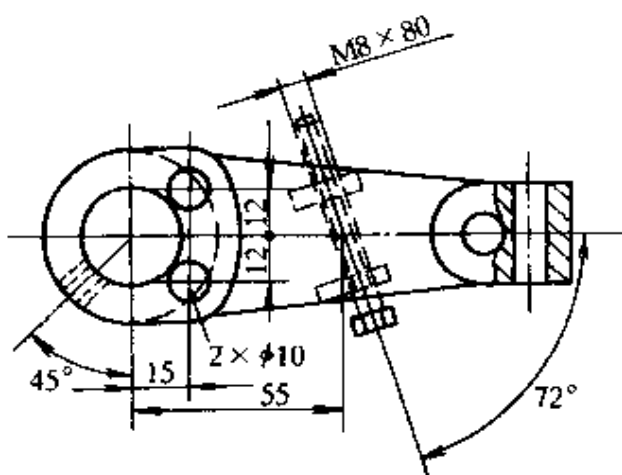


图 12-29 拉杆改进图

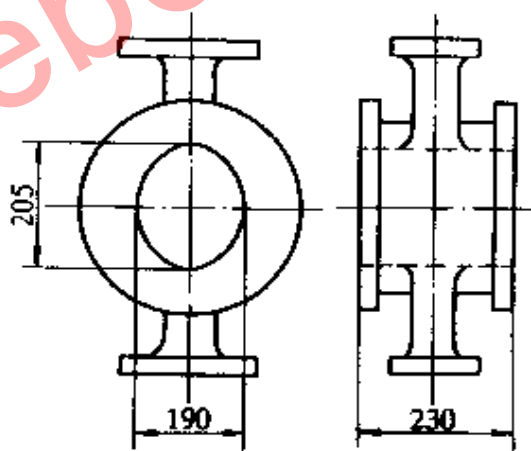


图 12-30 带椭圆孔的零件

图 12-30 的椭圆 $a = 205\text{mm}$ $b = 190\text{mm}$

$$\text{则} \quad \cos\alpha = \frac{190\text{mm}}{205\text{mm}} = 0.927$$

$\alpha = 21^\circ 58'$ 即立铣头转动 $21^\circ 58'$

4) 垂直进给进行镗削。

8. 给机床配备适宜 (或先进) 的附件

例 9 自动进给钻孔工具在车床上的应用。

为实现在车床上钻孔自动进给需设计一个钻头座, 其结构如图 12-32 所示。

钻头座由钻头座体 1、套筒 2、螺母 3 和键 4 所组成, 其中套筒 2 内孔的锥度与钻头柄相适应, 钻头就安装在套筒内。钻孔时, 钻头座装在方刀架上, 经调整使套筒 2 轴

心线与主轴轴心线重合。然后, 利用床鞍带动作自动进给。应注

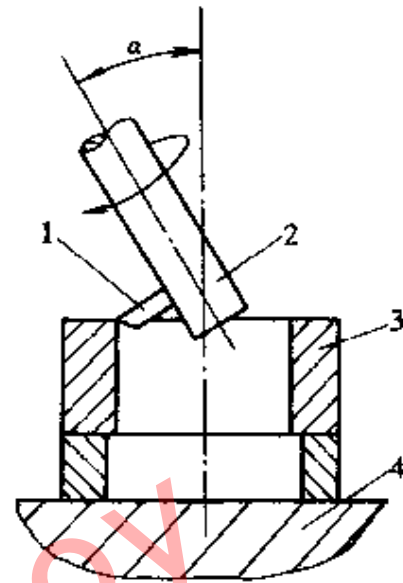


图 12-31 在立铣上加工椭圆孔

1—镗刀 2—镗刀杆
3—工件 4—工作台

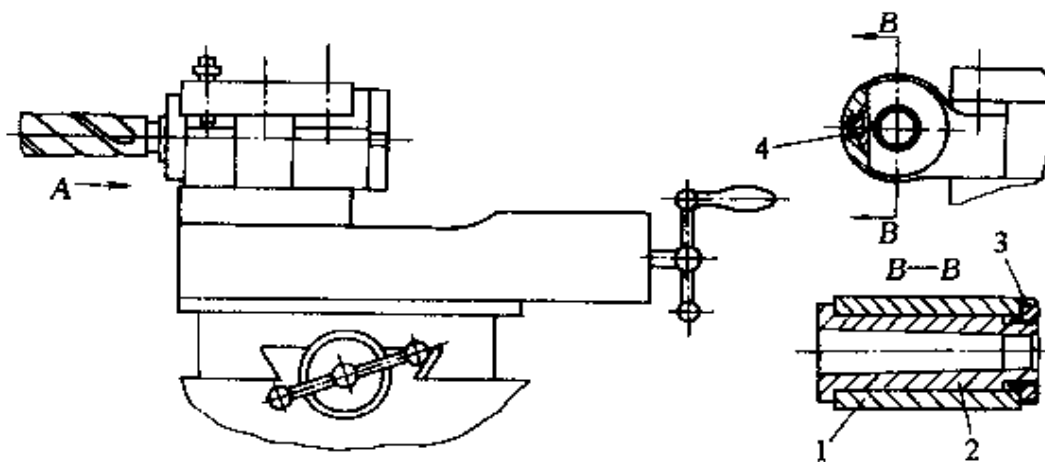


图 12-32 钻头座

1—钻头座体 2—套筒 3—螺母 4—键

意的是，由于进给机构的限制，进给量不宜选择过大。工件的孔径不宜太大。主轴转速可高一些。

9. 革新机床夹具，充分发挥机床的基本性能

例 10 回转式滑动镗套，其外形尺寸比较小，可用于较小孔径的多孔镗削加工中（图 12-33）。如果采用的滑动轴承设计良好，能长期地保持较高的回转精度。又由于滑动轴承减振性好，所以镗孔的表面粗糙度值也较小。应注意的是，这种镗套必须保证润滑良好，使之形成稳定的油膜，才能正常工作。由于采用了滑动镗套，镗模的精度才能保证。由于镗模的运用，也才使镗孔的精度不受机床精度的影响。

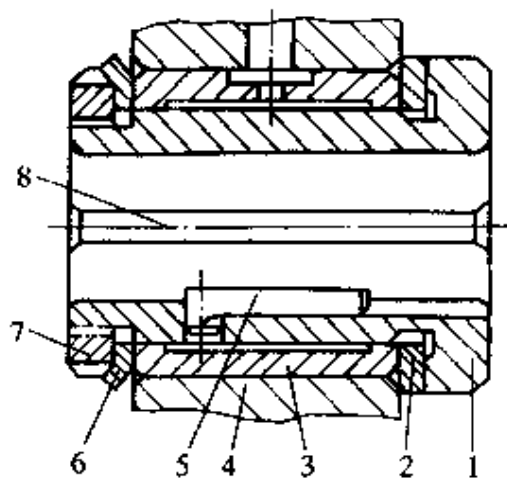


图 12-33 滑动镗套
1—镗套 2—垫片 3—滑动轴承
4—镗模支架 5—键 6—止退垫圈
7—圆螺母 8—让刀槽

10. 改革刀具
刀具越好用，机床的作用越能更好地发挥。而且，改革刀具成本低。所以刀具改革应作为机床——夹具——刀具——工件这个工艺系统改装的一个重要组成部分。

例 11 30°大刃倾角不重磨车刀

(1) 刀具特点
刀具角度如图 12-34

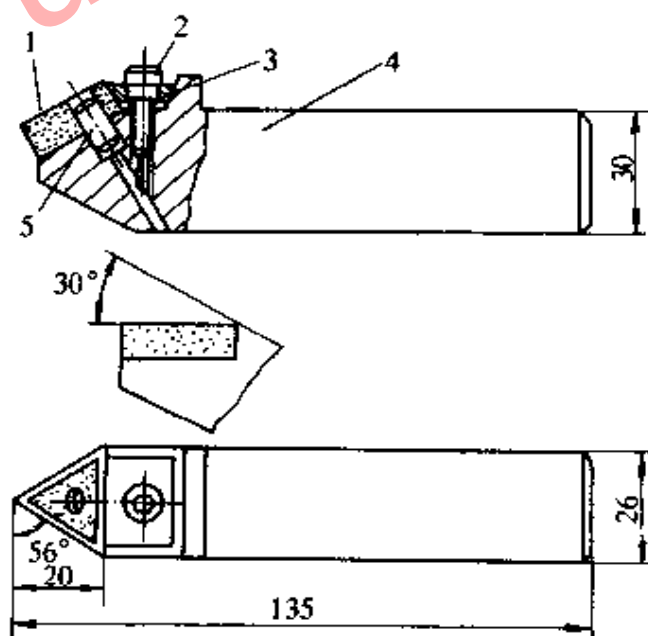


图 12-34 大刃倾角不重磨车刀
1—刀片 2—内六角螺钉
3—压紧块 4—刀体 5—定位销

所示。刃倾角为 30° 。由于刃倾角大，耐冲击，适于断续切削；结构简单、易于制造。

(2) 刀具材料 刀片的材料为 YT5；刀杆的材料为 45 号钢，热处理淬火硬度为 $40\sim 45\text{HRC}$ 。

(3) 使用条件 工件材料为 40Cr 锻件；切削用量：切削速度 $v=90\text{m/min}$ ；进给量 $f=0.21\text{mm}$ ，背吃刀量 $a_p=5\sim 6\text{mm}$ 。

(4) 使用效果 节省大量刀杆，减少换刀、刃磨等辅助时间。

复 习 思 考 题

1. 什么叫机床改装？为什么要进行机床改装？
2. 机床改装的对象是什么？
3. 机床改装的不利因素是什么？
4. 机床改装的内容有哪些？
5. 简述机床改装的原则？
6. 简述机床改装的依据是什么？
7. 简述机床改装的基本思路。
8. 简述机床改装的主要途径。
9. 以车床为例，试述机床工艺范围的改装实例。
10. 以 M131W 万能外圆磨床为例，试述怎样进行主轴静压轴承的改造。

所示。刃倾角为 30° 。由于刃倾角大，耐冲击，适于断续切削；结构简单、易于制造。

(2) 刀具材料 刀片的材料为 YTS；刀杆的材料为 45 号钢，热处理淬火硬度为 $40\sim 45\text{HRC}$ 。

(3) 使用条件 工件材料为 40Cr 锻件；切削用量：切削速度 $v=90\text{m/min}$ ；进给量 $f=0.21\text{mm}$ ，背吃刀量 $a_p=5\sim 6\text{mm}$ 。

(4) 使用效果 节省大量刀杆，减少换刀、刃磨等辅助时间。

复 习 思 考 题

1. 什么叫机床改装？为什么要进行机床改装？
2. 机床改装的对象是什么？
3. 机床改装的不利因素是什么？
4. 机床改装的内容有哪些？
5. 简述机床改装的原则？
6. 简述机床改装的依据是什么？
7. 简述机床改装的基本思路。
8. 简述机床改装的主要途径。
9. 以车床为例，试述机床工艺范围的改装实例。
10. 以 M131W 万能外圆磨床为例，试述怎样进行主轴静压轴承的改造。

所示。刃倾角为 30° 。由于刃倾角大，耐冲击，适于断续切削；结构简单、易于制造。

(2) 刀具材料 刀片的材料为 YT5；刀杆的材料为 45 号钢，热处理淬火硬度为 $40\sim 45\text{HRC}$ 。

(3) 使用条件 工件材料为 40Cr 锻件；切削用量：切削速度 $v=90\text{m/min}$ ；进给量 $f=0.21\text{mm}$ ，背吃刀量 $a_p=5\sim 6\text{mm}$ 。

(4) 使用效果 节省大量刀杆，减少换刀、刃磨等辅助时间。

复 习 思 考 题

1. 什么叫机床改装？为什么要进行机床改装？
2. 机床改装的对象是什么？
3. 机床改装的不利因素是什么？
4. 机床改装的内容有哪些？
5. 简述机床改装的原则？
6. 简述机床改装的依据是什么？
7. 简述机床改装的基本思路。
8. 简述机床改装的主要途径。
9. 以车床为例，试述机床工艺范围的改装实例。
10. 以 M131W 万能外圆磨床为例，试述怎样进行主轴静压轴承的改造。