

目 录

第一章 镗床	1
第一节 镗床的用途和种类	1
第二节 T68卧式镗床	15
第三节 镗床的维护保养与安全技术	37
第二章 镗削知识	41
第一节 刀具切削部分的材料及其性能	41
第二节 刀具切削部分的形状、角度和选择	46
第三节 镗床常用刀具	53
第四节 刀具的刃磨	67
第五节 切削过程	71
第六节 切削用量及其选择	74
第七节 切削力和切削热	79
第八节 装夹刀具的工具	83
第三章 工件的装夹	100
第一节 工件装夹前的工艺要求	100
第二节 通用装夹工具	101
第三节 工件的定位	110
第四节 基准及其选择	114
第五节 工件的安装	118
第六节 工件的夹紧	126
第七节 孔坐标位置的确定	131
第四章 同心孔系的加工	138
第一节 钻孔	138
第二节 铰孔	142
第三节 悬伸镗削	149
第四节 支承镗削	164
第五节 调头镗削	195
第六节 在镗铣床上窜位镗削	207

第五章 平行孔系与角度孔系的加工	210
第一节 概述	210
第二节 平行孔系的坐标镗孔法	219
第三节 平行孔系的其他加工方法	239
第四节 垂直孔系的加工	246
第五节 任意角度孔系的加工	251
第六章 孔系加工中的测量与质量分析	260
第一节 孔系的测量	260
第二节 孔系加工的质量分析	275
第三节 克服加工过程中的振动	287
第七章 特形孔的加工	296
第一节 中心孔的加工	296
第二节 缺圆孔的加工	302
第三节 圆锥孔的加工	306
第四节 内球面的加工	312
第五节 螺纹的加工	315
第八章 孔端面、环槽与外圆的加工	332
第一节 孔端面的加工	332
第二节 环槽的加工	344
第三节 外圆的加工	354
第九章 铣削加工	357
第一节 铣刀的使用	357
第二节 铣削的基本知识	366
第三节 平面的铣削	371
第四节 槽的铣削	383
第五节 镗铣床附件的使用	394
第十章 提高生产率与扩大镗床的使用	405
第一节 提高生产率的一般措施	405
第二节 扩大镗床的使用	413

第一章 镗 床

第一节 镗床的用途和种类

一、镗床的用途

镗床是一种具有综合加工性能的金属切削机床，是精加工设备之一。它主要是用镗刀来镗削工件上的精密圆柱孔。此外还可用来钻孔、扩孔和铰孔，以及车削外圆和一些铣削加工。

对于形体复杂、尺寸较大的基础零件（如箱体、机座、壳体等），往往需要在其上面加工若干个不同尺寸的孔，而且这些孔的轴心线要求严格平行或垂直，相互位置距离也要求精确，从工艺的合理性来看，必须在镗床上用镗削加工来实现，所以镗削工艺是机械制造工艺中的一个重要组成部分，也是机械制造工艺中难度较大、操作技术水平要求较高的关键工艺之一。

镗床的主运动类似于钻床，即刀具旋转切削，但进给运动可以是刀具也可以是工件。在铣削时，进给方向可沿轴线进行，也可垂直于轴线方向进行。

二、镗床的种类

根据用途来分，镗床可分以下几种：

卧式镗床（即万能镗床）、立式镗床、坐标镗床、金刚镗床、深孔镗床及专用镗床。

前三种镗床万能性好，应用范围较广，适用于单件和批

量生产。而后三种镗床，尤其专用镗床，都是为某零件的某工序而设计的，因此，它们只适用于大批量生产。

下面主要介绍卧式镗床的基本类型与变型品种。

卧式镗床的主要特征是主轴轴线与工作台面平行，即呈水平状态。

卧式镗床的用途很广（图1-1），除具有上述镗床作用外，还可车削螺纹。若利用特殊辅具和夹具，能使加工范围进一步扩大，如镗削圆锥孔与成型孔等。装上万向铣头后，能在不同的方向上对工件进行钻孔、镗孔和铣削加工。有的工件在镗床上只需更换刀具即能完成大部分的表面加工，甚至可以完成全部的加工任务，而不需再移动到别的机床上去，这对于重型工件或巨型工件的加工有特别重要的意义。因为卧式镗床可减少装夹搬运等辅助时间，并能提高加工精度，所以这种镗床是镗床中应用最广的一种。

我国卧式镗床的基本型式根据JB1838-76中的规定如下：

如图1-2所示，主轴水平装在主轴箱中可沿立柱作垂直移动，主轴在具有径向刀架的平旋盘内作轴向移动；工作台在床身上作横向和纵向移动，且能回转；用来支撑镗杆的后立柱可沿床身作纵向移动。

卧式镗床的主要参数是主轴直径。

卧式镗床在基本系列的基础上通过各种组合的方法（如改变某项参数或有关结构等）逐渐发展成各种各样的变型品种。它们的特点是与基本系列型式有较高的通用性，而且还能合理地满足特定行业的需要。

卧式镗床的变型品种很多，综合国内外情况，归纳起来主要有以下几种：

1. 提高精度卧式镗床

提高精度卧式镗床是在基本系列的基础上适当地提高了各项机构的制造精度，并增设精密的坐标测量系统，其读数精度不低于0.01毫米，定位精度不低于0.02毫米，工作台的回转定位精度在4秒左右。该机床的坐标定位精度较高，适用于单件、小批量生产中精密箱体孔的加工，也可用于夹具、模具的加工等，生产效率高，可以代替部分坐标镗床的使用，因此，能够减少贵重的坐标镗床的工作量。T649卧式镗铣床就是属于这类机床。

2. 加大横向行程卧式镗床

这种镗床是将基本系列卧式镗床的上滑座加长，床身两侧增设辅助支承(辅助支承可分整体或分离式)变型而成。机床横向行程与主轴直径之比一般在16倍左右，由于该机床有较大的横向行程，可以克服基本系列卧式镗床横向行程小、工作台容易产生变形的缺点，以适应在普通卧式镗床上加工长形工件的需要。图1-3为分离式辅助支承加大横向行程的卧式镗床。

3. 刨台卧式镗床

刨台卧式镗床是将基本系列卧式镗床的床身、后立柱及回转工作台等部件取消，增设立柱纵向移动和工作台横向移动变型而成。机床立柱纵向行程与主轴直径之比在10倍左右；工作台横向行程与主轴直径之比为20倍左右。该机床具有带后立柱和不带后立柱的两种型式，还有将后立柱改为装有主辅箱的双立柱式的，这样可以同时从两侧对工件进行加工。

由于该机床具有更大的横向行程，所以特别适用于造船、工程机械等行业加工长而大的零件。刨台卧式镗床如图1-4所示。

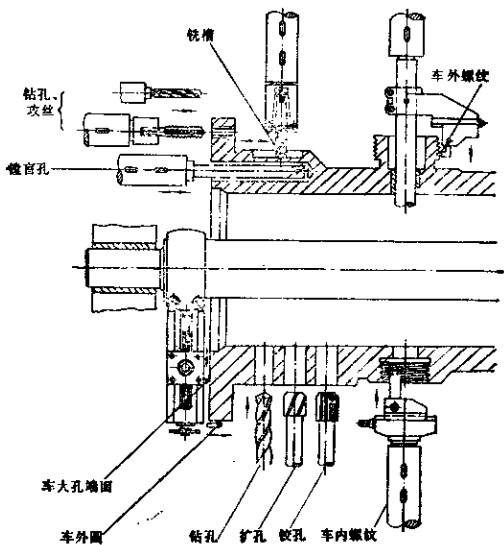
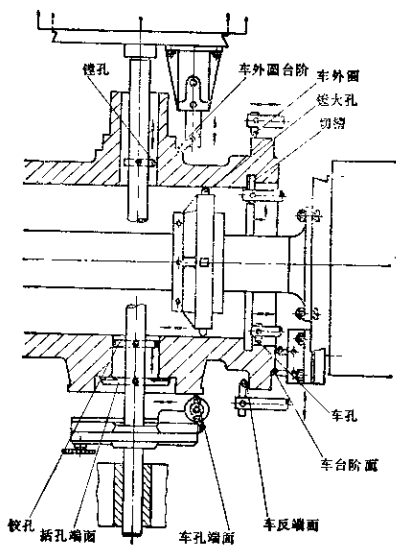


图1-1 卧式镗



床工作示意图

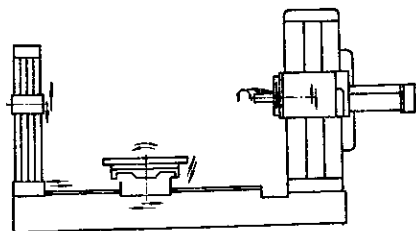


图1-2 卧式镗床基本型式

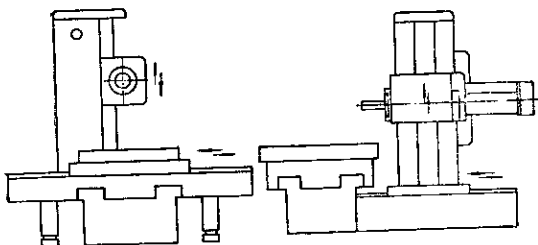


图1-3 加大横向行程卧式镗床

图1-4 刨台卧式镗床

4. 落地卧式镗床

落地卧式镗床是将基本系列卧式镗床的床身和回转工作台等部件取消，增加前立柱横向移动变型而成（见图1-5）。该机床属于重型机床，主轴直径一般在125毫米以上。后立柱根据用户订货提供，可独立安装在其导轨上。被加工零件安装在固定不变的落地平台上，当加工中、小零件及多面加工时，可将零件安装在可用移的回转工作台上（图1-6）。

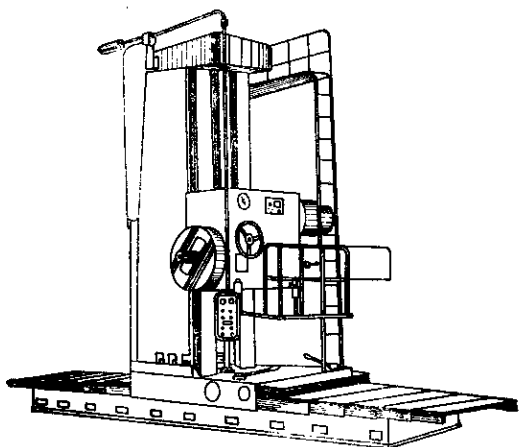


图1-5 落地式车床

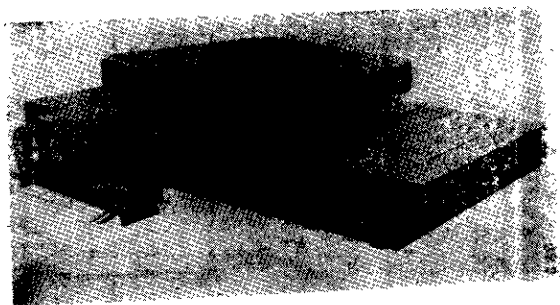


图1-6 回转工作台

落地卧式镗床种类很多，但它们都具有以下几个共同特点：

(1) 远距离集中操纵：由于机床比较高，各部件的位置相距较远，所以各部件的开动、定程和停止、主运动和进给运动的换向与变速等都集中在一个悬挂的按钮盒上操纵，以便于工人在任何位置上加工工件。

(2) 直流电机及多电机驱动：由于远距离集中操纵，这就要求主运动及进给变速采用直流电机驱动，因为直流电机可以实现无级调速。另外也要求机床上尽量少采用机械手柄而多采用各种电机代替手动，所以有利于远距离集中操纵。

(3) 卸荷装置与静压导轨：由于机床各部件的重量都相当大，使运动部件导轨面接触压力也很大，这不仅影响到移动的灵敏性和增加动能的消耗，而且导轨面容易磨损，为此，一般多采用导轨卸荷装置或静压导轨。T615K落地式卧式镗床采用弹簧小车来抗衡立柱对床身导轨的大部分压力，使纯滑动摩擦转为滚动摩擦和部分的滑动摩擦。这种弹簧小车即是卸荷装置的一种。

目前大型落地式卧式镗床采用的导轨大多是静压导轨，如图1-7所示。从油泵1中打出的压力油，经床身6内的节流阀2流入导轨的油腔3中。由于油压的作用，使导轨面间的油膜压力达

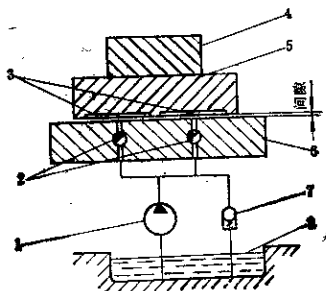


图1-7 静压导轨

到足以平衡工作台 5 重量、工件 4 重量、切削力三者总和的程度，从而使导轨面保持完全的液体润滑，摩擦力很小，机床移动非常灵敏。多余的压力油经溢油阀 7 流回油池 8。

(4) 数字显示测量装置：大型工件坐标位置的确定及尺寸的测量是一件困难而又费力的工作，因此，一些大型落地式卧式镗床上均装有数字显示测量装置。

(5) 万能性强、一机多用：加工大而重的工件，搬运、装夹、找正、测量都颇费力，因此，一般都备有多种附件，以适应多工序加工的特点。

落地式卧式镗床属于重型机床，其主轴直径最大可达 320 毫米。

这类机床特别适用于矿山、冶金、化工和发电设备等工业部门加工大型工件。

5. 卧式镗铣床

卧式镗铣床是将基本系列卧式镗床的主轴部件增设铣轴及其他部件变型而成。它的主轴为两层主轴结构，即主轴外圆上的轴为铣轴。

镗铣床有两种形式：一是将基本系列卧式镗床上的固定平旋盘取消，代之以可拆式平旋盘，因此，主轴箱的端面上可以装上铣头等附件（图 1-8），并从铣轴中获得切削动力，工作台下滑座沿床身导轨纵向移动，使刀具便于接近零件的加工部位。

另一种形式是在落地卧式镗床上，主轴部件安置在一个能轴向移动和进给的支承体内，这个支承体叫滑枕。滑枕的结构形式多样，其断面有矩形、菱形、八边形与圆形等几何形状。在这个滑枕端面上可安装各种附件（包括平旋盘）以适应不同的切削加工状况。加工时移动滑枕使刀具接近安装

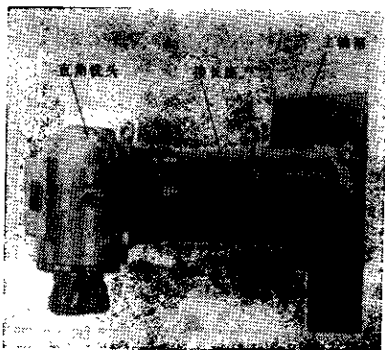


图1-3 在主轴箱端面安装直角铣头

在落地平台上零件的加工部位。滑枕断面形状采用最多的是矩形，因为其刚度、使用性能、安装附件的能力和工艺性都比较理想。

图1-9为落地式镗铣床外形图。

在落地式镗铣床上加工重量重和尺寸大、形状复杂、加工工序多、精度要求高的工件时，能在减少搬运工件次数的情况下，一次安装找正后，可完成较多的工序，从而提高了生产效率和加工质量，这是落地卧式镗床所不能适应的。落地镗铣床主轴直径一般在160毫米以上，在标注主要参数时多了一个铣轴直径。

6. 数控卧式镗床

数控卧式镗床是将刨台卧式镗床有关结构作适当的改动，增设数控装置变型而成。该机床自动化程度较高，适合单件或小批量的生产。

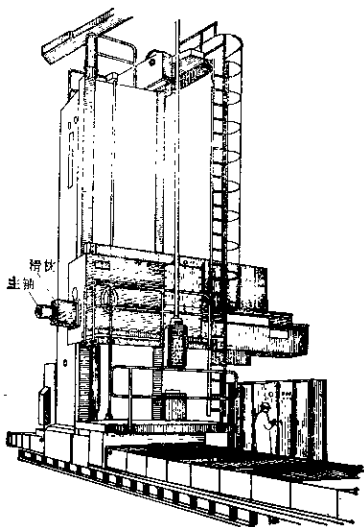


图1-9 落地式镗铣床外形图

7. 自动换刀数控卧式镗铣床

自动换刀数控卧式镗铣床亦称“卧镗加工中心”机床，它是在数控卧式镗床的基础上，增加刀具储存装置和自动换刀装置而成。机床的自动化程度很高，适用于小批量复杂工件连续工序的加工。

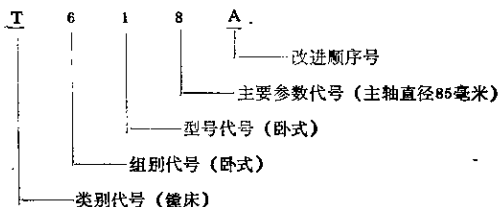
总之，卧式镗床的变型产品很多。从操作方面来讲，有右手操作式的，也有左手操作式的。机床的前立柱和主轴箱

放在床身的右边,则为右手操作式的。反之,则为左手操作式的。一般以右手操作式的居多。

通常将卧式镗床分为两大类,即台式镗床和柱式镗床。台式镗床包括床身导轨上有工作台的中小型镗床;而柱式镗床指的是落地式镗床。

三、镗床的型号

机床型号不仅是一个代号,而且完整地表示出机床的名称、主要规格、性能和结构特征,能使大家一看到型号,就对机床有个明晰的概念。现以T618A卧式镗床为例说明如下:



镗床类所用代号如表1-1所列。

表1-1 镗床型号中组别划分表

名称	组别	型号	机床名称
深孔镗床	2	1	深孔钻镗床
		2	深孔镗床
坐标镗床	4	1	单柱坐标镗床
		2	双柱坐标镗床
		6	卧式坐标镗床

(续)

名 称	组 别	型 号	机 床 名 称
立式镗床	5	1	立式镗床
		3	转塔式钻镗床
		4	坐标立式钻镗铣床
		5	转塔式镗铣床
卧式镗床	6	1	卧式镗床
		2	落地镗床
		3	卧式镗铣床
		4	卧式坐标镗铣床
		5	刨台式卧式镗铣床
		6	移动式卧式镗床
		7	加大工作台横向行程卧式镗床
		8	转塔卧式镗铣床
		9	落地镗铣床
金刚镗床	7	0	单面金刚镗床
		1	双面金刚镗床
		2	立式金刚镗床
汽车、拖 拉机修理 用 镗 床	8	0	镗缸机
		1	主轴瓦镗缸机
		2	连杆瓦镗缸机
		3	镗制动鼓机

机床编号中的代号分以下几个内容解释：

(1) 第一字母表示机床类，是采用汉语拼音的 第一个

字母大写表示。如镗床的镗((Tang)用“T”表示。

(2) 跟在字母后面的两个数字, 分别表示机床的组别和型别。如T6112中的61, 6——表示卧式镗床组别, 1——表示卧式镗床的型别。

(3) 代号中的第二位数字以后的数字则表示机床的基本参数的 $\frac{1}{10}$ 或 $\frac{1}{100}$ (小数点后的数字不计)。如T6112中的12则表示镗床主轴直径为120毫米。镗床型号中采用的基本参数如表1-2。

表1-2 镗床型号中采用的基本参数及其表示方法

镗床名称	深孔镗床	坐标镗床	卧式镗床	金刚镗床		汽车、拖拉机修理用镗床
				立式	卧式	
基本参数	最大镗孔深度	工作台最大宽度	主轴直径	最大镗孔直径	工作台最大宽度	最大镗孔直径
表示方法	基本参数的 $\frac{1}{100}$ 表示	基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示	基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示	基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示	基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示	基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示

(4) 有的机床如具有某种特性, 可在型号后面加注字母表示。如精密的为“M”; 简式的为“J”; 轻型的为“Q”; 高精度为“G”; 数字显示为“X”; 数控为“K”; 自动换刀为“HK”等。此外还有机床改进顺序号放在型号最后部分, 通常用A、B、C……表示。例如T618A和T618B分别为T618两次改进后的新型号。

上面所讲的型号是在1959年以后经几次修改后公布的, 在这之前公布的型号没有型别, 所以主轴直径同样为85毫米的卧式镗床, 有的型号为T68, 也有的为T618, 这是因为T68

型号是在1959年修改公布前的定型产品，至今一直沿用，而T618是在修改公布后的定型产品。

第二节 T68卧式镗床

T68卧式镗床是目前我国机械工厂中使用最为普遍的一种卧式镗床，它广泛用于机修、工具和单体或小批量生产的车间中。因此，本节着重介绍它的结构、性能、传动系统及典型机构。

一、机床的主要结构及运动

T68卧式镗床（图1-10）由床身、前立柱、主轴箱、工作台和后立柱等部件组成。

床身：床身1是整个机床的基座，也是各大部件的安装基准，用来固定和支承镗床上所有部件。供工作台4下滑座滑动的两条纵向导轨是经过精密加工的，它具有足够的刚性、抗振性和耐磨性，前而导轨（靠操作者一边）有防护装置，借以延长导轨的使用寿命。

前立柱：前立柱2固定在床身的右端，主轴箱3可沿垂直导轨作上下滑动。顶端有平衡主轴箱上下移动的差动滑轮装置，其平衡锤悬置于立柱内。立柱内壁俱用筋条连接，以增强其刚性和减少振动。

主轴箱：主轴箱3除装有主轴部件外，还装有主体运动、进给运动的传动装置及操纵机构。加工用的刀具，根据工件加工性质的不同，可装在主轴的锥孔中，或装在平旋盘上及平旋盘的滑板上。加工时，主轴作旋转运动，并可沿其轴线方向移动，完成轴向进给；平旋盘只能作旋转主体运动。装在平旋盘燕尾导轨中的径向滑板，除了跟平旋盘一起转动外，还可沿着导轨作径向进给运动。



图 1-10 T68 卧式车床

工作台：安装工件的工作台4装在床身的中部，它由下滑座、上滑座和回转工作台组成。下滑座可沿床身导轨作平行于主轴轴线方向的纵向快速或慢速进给运动；上滑座可沿下滑座顶面上的横向导轨作垂直于主轴轴线方向的横向进给和快速移动；回转工作台可绕垂直轴线在上滑座的环形导轨上转动，以便能在工件一次安装下，对轴线相互垂直或成一定角度的各孔进行加工。工作台下面有四个可调整的定位块，能准确而简便地确定转90°的位置。工作台上七条T形槽，槽宽为22毫米，中央一条配合精度为22H8，可供某些夹具或附件安装定位键用。

后立柱：后立柱5装在床身的左端，可以沿床身导轨移动。镗杆支承座装在后立柱导轨上，通过丝杠可与主轴箱同步升降。支承座是用于支承镗杆的，以增强切削中的刚性，其上的孔由机床自身镗出，因此，它对于主轴中心线误差很小。

由上述可知，该机床的运动环节较多，为了保证正常工作和加工精度，各运动部件都设有夹紧机构，加工时凡不需要运动的部件原则上均应将其夹紧。

该机床有如下几种工作运动：

主运动有：主轴的旋转运动（转/分）

平旋盘的旋转运动（转/分）

进给运动有：主轴的轴向进给运动（毫米/转）

平旋盘滑板的径向进给运动（毫米/转）

主轴箱的垂直进给运动（毫米/转）

工作台的横向进给运动（毫米/转）

工作台的纵向进给运动（毫米/转）

上述各向进给运动，除了可快速或慢速机动进给外，还可进行手动调节。此外，还有后立柱的纵向移动、镗杆支承

座的垂直移动和回转工作台的回转等辅助运动。

二、机床的工作精度

对该机床进行工作精度检验时，用硬度为HB150~180的铸铁作试件，其加工精度应符合下列要求：

1) 在刀杆上装刀，用主轴进给镗两个 $d_2=100$ 毫米的孔，再用工作台进给镗两个 $d_1=100$ 毫米的孔（图1-11）。镗后检验：a) 孔的圆度不大于0.02毫米；b) 孔的圆柱度在200毫米测量长度上不大于0.02毫米；c) 孔 d_1 和 d_2 的平行度在300毫米测量长度上为0.03毫米。

2) 用精铣刀以工作台和主轴箱进给精铣两条宽60毫米的槽，槽对孔 d_2 和 d_1 的垂直度，在300毫米测量长度上不大于0.03毫米。

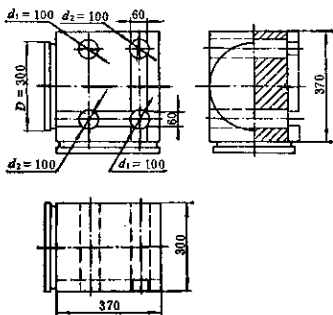


图1-11 T68镗床工作精度检验

3) 在平旋盘滑板上装镗刀，用工作台进给精车 $D=300$ 毫米外圆，其圆度不大于0.025毫米。

4) 在平旋盘滑板上装镗刀，用径向进给精车端面，在直径 $D=300$ 毫米上的平面度不大于0.02毫米。

三、机床的操纵

正确地操纵机床是用好机床的关键之一，首先必须认真了解各手柄、开关的作用，然后逐步进行操纵。T68镗床的操纵部件如下（见图1-10）：

6为电源开关和操纵按钮站，上面两个按钮是正转和反转；下面两个则是正、反车点动按钮；中间是停止按钮。

7是所有进给部件的进给和快速操纵手柄，手柄在中间位置压向下，即进给接通，由中间位置向里推或向外拉，即为两个相反方向上的快速移动。这种装置防止了工作进给与快速移动同时进行所造成操纵上的紊乱，有利于安全生产。

8是平旋盘接通和断开手柄，图上位置是平旋盘断开。

9是微动调整移动手轮，摇动手轮能使进给部件缓慢地移动。当机动进给和快速移动时手轮自动脱开。

10为主运动变速手柄。当变换转速时，拉开手柄，转到垂直于指示牌 180° ，电动机即自动停车。转速可依指示牌上的数字绕水平转动手柄选定。手柄顺、逆时针均可转动。转速选定后，推回手柄至原位，在推回手柄遇有障碍时（齿轮啮合不上），内部的突动机构自动冲击电器开关，使电机转动，以消除障碍，随后将手柄缓缓地推回到位置上。变速时无须停车。

11为主轴进给手柄，用以变换主轴的机动进给或手动进给。中间位置可手动进给。将手柄里推或外推时，滑板机动进给外移或内移。

12为进给变速手柄，变换方法与主运动变速时相同，但较其轻快。

13为平旋盘滑板进给手柄，操作方法同手柄11。

14为主轴箱夹紧手柄。

15为主轴锁紧手柄。

16为主轴箱上下升降摇把。

17为主轴箱、工作台（纵、横向）进给控制手柄，该手柄左、中、右转动或前、中、后推拉，由于位置不同，可决定工作台纵、横向往进给方向的正或反，主轴箱进给的上或下以及停止进给。

18为工作台上滑座横向手动摇把。

19为工作台纵向手动摇把。

20为工作台纵向锁紧手把。

21为镗杆支承座上下调整手把。

22为镗杆支承座夹紧螺帽。

23为后主柱移动摇把。

四、机床的传动系统

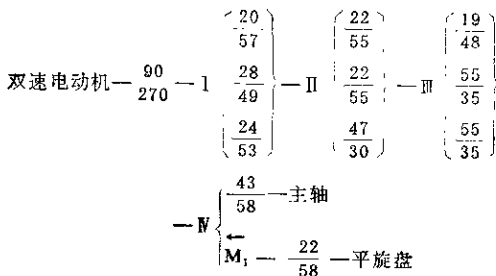
图1-12是T68卧式镗床的传动系统图。

机床的传动系统图用来说明机床内部运动的传递情况，在一定程度上还反映了各传动部件的相对位置。它是根据机床的总装配图绘制出来的，并将各传动部分展开，用符号画在同一平面上，尽量保持各机件在机床内的大体位置，不过有时根据情况也作一些改动，如图上Ⅳ轴 $z=35$ 的齿轮，实际上与Ⅵ轴上 $z=56$ 的齿轮啮合，但画成展开图后，两者就分开了，因此，用大括号线将它们连接起来。

该机床各部件的工作运动（包括主运动和进给运动）集中由一个双速电动机驱动，此外，还有一个快速电动机，用以实现工作台、主轴箱、主轴及平旋盘滑板的快速移动。各移动部件均有手动机构。

1. 主传动系统

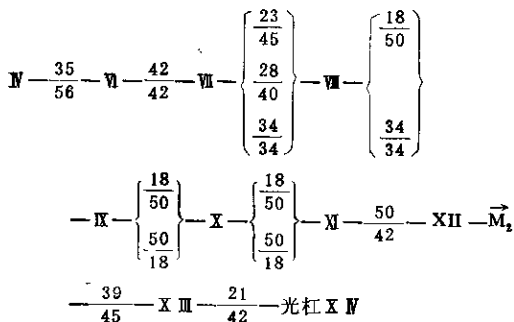
主轴和平旋盘由双速电动机（ $N=5.2/7$ 千瓦， $n=1500/3000$ 转/分）上的带轮 D_1 经三角带带动轴Ⅰ上的带轮 D_2 ，经变速机构传动至主轴或平旋盘，其传动结构式如下：



改变电动机转速和变速箱滑移齿轮位置，使主轴和平旋盘各可获得18级转速，但对于平旋盘来说，最高的四级转速过高，不合实用，故实际能使用转速仅为14级。脱开离合器 M_1 ，平旋盘停转。

2. 进给传动系统

进给传动系统的运动由轴IV上的齿轮 $z=35$ 传入，其传动结构式如下：



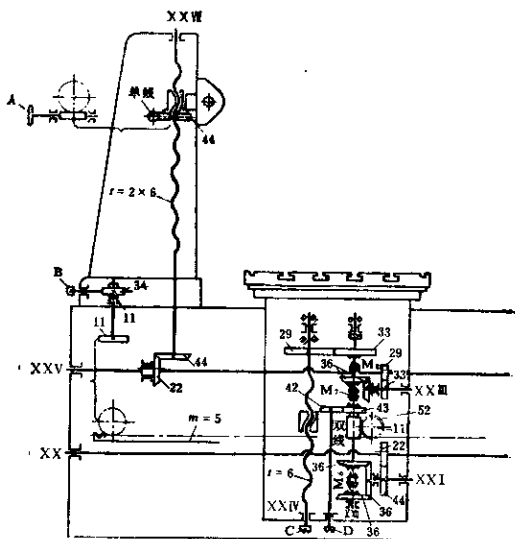
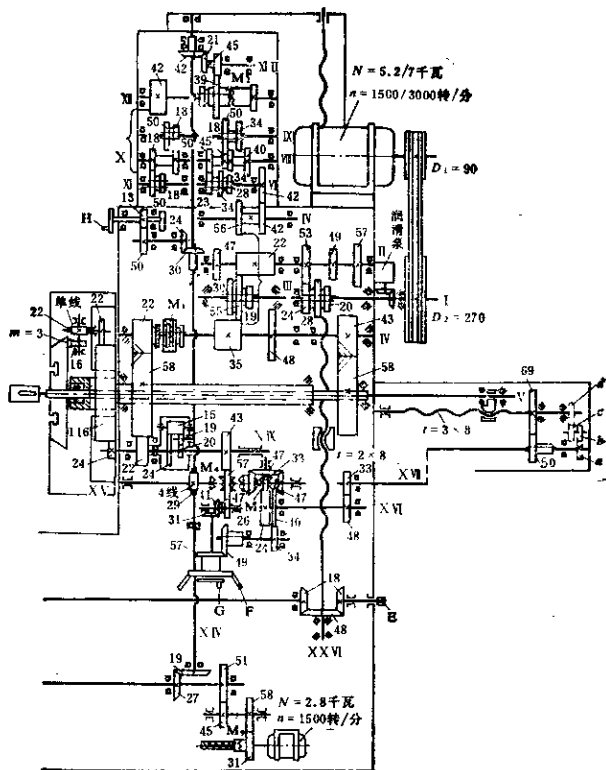


图1-12 T68卧式



镗床传动系统图

利用进给变速箱的一个三联滑移齿轮和三个双联滑移齿轮啮合变速，按理可以变换24级进给量，但由于其中有六种是重复的，故实际只能获得18级。

运动从进给箱传至光杠XIV后，按下列路线分别传至各进给机构：

(1) 主轴的轴向进给

$$\begin{array}{c} \text{XIV} \xrightarrow{\frac{4}{29}} \text{XV} \xrightarrow{\left\{ \begin{array}{l} (\overrightarrow{M_0}) \\ (\overleftarrow{M_0}) \end{array} \right\}} \left\{ \begin{array}{l} \frac{47}{47} \leftarrow \\ \frac{47}{47} \leftarrow \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} 33 \\ 24 \end{array} \right. \\ \text{--- XVI} \xrightarrow{\frac{48}{33}} \text{XVII} \xrightarrow{\frac{50}{69}} \text{XVIII} \end{array}$$

(丝杠)—丝杠螺母—主轴

丝杠螺母通过主轴支架带动主轴作轴向进给。牙嵌式离合器 M_0 用以接通或断开轴向进给运动和改变进给方向。

主轴轴向进给量 f_1 计算公式如下：

$$\begin{aligned} f_1 = & 1_{\text{主轴}} \times \frac{58}{43} \times i_{\text{进给}} \times \frac{4}{29} \times \frac{33}{24} \times \frac{48}{33} \\ & \times \frac{50}{69} \times 3 \times 8 \text{ 毫米/转} \end{aligned} \quad (3-1)$$

式中 $i_{\text{进给}}$ ——轴IV到光杠XIV这一段传动链的可变传动比，共18级。

当车削螺纹时，须将轴XVII—XVIII间的齿轮副 $\frac{50}{69}$ 脱开，并在挂轮架上装上配换齿轮 $\frac{a}{b} \times \frac{c}{d}$ ，同时按机床说明书规定，将进给变速齿轮调整到一定位置上。

(2) 工作台纵向和横向进给

$$\begin{array}{l}
 \text{XIV} \rightarrow \frac{19}{27} \rightarrow \text{XX} \rightarrow \frac{22}{44} \rightarrow \text{XII} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} (M_6 \uparrow) \rightarrow \frac{36}{36} \\ (M_6 \downarrow) \rightarrow \frac{36}{36} \end{array} \right\} \\
 \\
 \text{--- XII ---} \left\{ \begin{array}{l} (M_7 \downarrow) \rightarrow \frac{2}{52} \rightarrow 11 \text{--- 齿条 } (m=5) \\ (M_8 \uparrow) \rightarrow \frac{33}{29} \rightarrow \text{丝杠 XIV --- 螺母} \end{array} \right.
 \end{array}$$

齿条 ($m=5$) 固定在床身上, 小齿轮 $z=11$ 沿着它滚动时, 便带动工作台纵向进给。当主轴 1 转时, 纵向进给量 f_s 计算公式为:

$$\begin{aligned}
 f_s &= 1_{\text{主轴}} \times \frac{58}{43} \times i_{\text{进给}} \times \frac{19}{27} \\
 &\quad \times \frac{22}{44} \times \frac{36}{36} \times \frac{2}{52} \\
 &\quad \times 11 \times 5 \times \pi \text{毫米/转} \quad (3-2)
 \end{aligned}$$

当主轴 1 转时, 横向进给量 f_s 计算公式为:

$$\begin{aligned}
 f_s &= 1_{\text{主轴}} \times \frac{58}{43} \times i_{\text{进给}} \times \frac{19}{27} \times \frac{22}{44} \times \frac{36}{36} \\
 &\quad \times \frac{33}{29} \times 6 \text{毫米/转} \quad (3-3)
 \end{aligned}$$

将式(3-2)、(3-3)中的 $\frac{58}{43}$ 换以 $\frac{58}{22}$, 即可得平旋盘 1 转时, 工作台纵向和横向进给量计算公式。

离合器 M_6 用以改变工作台进给方向, M_7 和 M_8 分别用以接通、断开纵向和横向进给。

(3) 主轴箱的垂直进给

$$\begin{aligned}
 & \text{XIV} - \frac{19}{27} - \text{XX} - \frac{22}{44} - \text{XXI} - \left\{ \begin{array}{l} (M_6 \uparrow) - \frac{36}{36} \\ (M_6 \downarrow) - \frac{36}{36} \end{array} \right\} \\
 & - \text{XXII} - M_7 \uparrow - \frac{36}{36} - \text{XXIII} - \frac{33}{29} - \\
 & - \frac{18}{48} - \text{丝杠XXVI} - \text{螺母} - \text{主轴箱垂直进给}
 \end{aligned}$$

主轴箱垂直进给时，后立柱上的铰杆支承座以相同速度垂直移动。利用手轮A经蜗杆蜗轮付 $\frac{1}{44}$ ，传动螺母在丝杠XXVI上转动并垂直移动时，可调整支承座的上下位置，使其上的支承孔与主轴准确同心。

主轴箱进给运动的接通、断开和变向，分别由离合器M₇和M₆控制。

(4) 平旋盘刀具滑板径向进给

T68平旋盘差动机构示意图(图1-13)。刀具滑板的径向

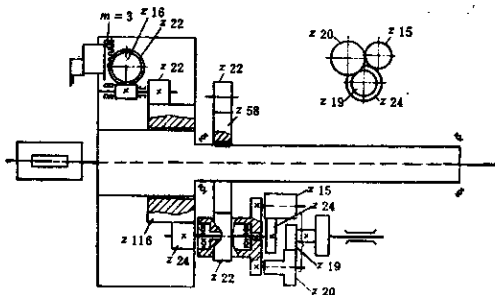


图1-13 T68平旋盘差动机构示意图

进给运动由空套在平旋盘上的齿轮 $z=116$ 传入。为使刀具滑板作进给运动, 齿轮 $z=116$ 须与平旋盘保持一定转速差(这一点在以后介绍平旋盘结构时讲到), 若欲使其停止进给, 则两者必须同步旋转。为了能方便地按需要随时接通与断开进给运动, 改变进给量大小和方向, 该机床采用由两条运动链传入运动, 经行星齿轮机构合成后再传动刀具滑板。其中一条运动链由平旋盘主轴经齿轮副 $\frac{58}{22}$ 传至行星机构的转臂。另一条由平旋盘主轴经齿轮副 $\frac{58}{22}$ 和 M_1 至轴IV, 再经进给变速箱至轴XIV, 然后按如下路线传至行星机构右中心齿轮 $z=20$,

$$\text{XIV} \rightarrow \frac{4}{29} \rightarrow \overleftarrow{M_4} \rightarrow \frac{57}{43} \left(\text{或} \frac{47}{47} \rightarrow \frac{47}{47} \rightarrow \overrightarrow{M_4} \rightarrow \frac{57}{43} \right) \rightarrow \text{XIX} \rightarrow z=20$$

两条运动链传入的运动由行星机构合成后从左中心齿轮 $z=24$ 传出, 然后经 $\frac{24}{116} \rightarrow \frac{116}{22} \rightarrow \frac{1}{22} \rightarrow 16$ -齿条($m=3$)传动刀具滑板。

设行星齿轮机构转臂的转速为 n_0 , 右中心齿轮 $z=20$ 的转速为 n_1 , 左中心齿轮 $z=24$ 的转速为 n_2 , 则根据行星轮系传动比公式, 可得

$$\begin{aligned} \frac{n_2 - n_0}{n_1 - n_0} &= (-1)^2 \times \frac{20}{19} \times \frac{19}{15} \times \frac{15}{24} \\ &= -\frac{5}{6} \quad (\text{负号即转动方向相反}) \\ n_2 &= \frac{11n_0 - 5n_1}{6} \end{aligned}$$

$$n_0 = n_{\text{平旋盘}} \times \frac{58}{22}$$

$$\therefore n_4 = \frac{29n_{\text{平旋盘}} - 5n_1}{6} \quad (3-4)$$

$$\text{又因} \quad n_{116} = n_4 \times \frac{24}{116}$$

$$\begin{aligned} \therefore n_{116} &= \frac{29n_{\text{平旋盘}} - 5n_1}{6} \times \frac{24}{116} \\ &= n_{\text{平旋盘}} - \frac{5}{29}n_1 \end{aligned} \quad (3-5)$$

当 $n_1 = 0$ 时, 则

$$n_{116} = n_{\text{平旋盘}}$$

由上述公式可知, 由平旋盘主轴经行星机构转臂这一运动链传入的运动, 使齿轮 $z=116$ 与平旋盘保持同步旋转。因此如将离合器 M_4 扳至中间位置, 即断开由平旋盘主轴至行星机构右中心齿轮这一运动链——径向进给运动链, 刀具滑板停止进给。而当接通径向进给运动链时, 由行星机构右中心轮 $z=20$ 传入的运动(n_1), 使齿轮 $z=116$ 获得一个附加的转速($-\frac{5}{6}n_1$), 此附加的转速亦即为齿轮 $z=116$ 与平旋盘间的转速差, 从而使刀具滑板作径向进给运动。进给量的大小与方向则决定于 n_1 的大小与方向, 而这是由进给变速箱和离合器 M_4 控制的。由此可见, 刀具滑板径向进给运动的接通与断开, 进给量大小与方向的改变, 完全由径向进给运动链决定。

平旋盘1转时, 刀具滑板的进给量 f_4 计算公式为:

$$\begin{aligned} f_4 &= 1_{\text{平旋盘}} \times \frac{58}{22} \times i_{\text{进给}} \times \frac{4}{29} \times \frac{57}{43} \times i_{\text{行星}} \times \frac{24}{116} \\ &\quad \times \frac{116}{22} \times \frac{1}{22} \times 16 \times 3 \times \pi \text{毫米/转} \end{aligned} \quad (3-6)$$

$$\text{式中} \quad i_{\text{行星}} = \frac{n_4}{n_1} = -\frac{5}{6}$$

3. 快速移动

主轴箱、工作台、主轴和平旋盘刀具滑板的快速移动，均由快速电动机($N=2.8$ 千瓦， $n=1500$ 转/分)传动。运动经安全离合器 M_2 和齿轮副 $\frac{31}{58}$ 、 $\frac{45}{51}$ 、 $\frac{27}{19}$ 传至轴 XIV ，然后再按工作进给路线，分配至各个进给机构。

快速电动机的开关和接通工作进给的离合器 M_2 ，是用同一个手把操纵的，它保证在开动快速电动机之前 M_2 脱开，以避免发生矛盾。

4. 手动调整移动

机床的各个移动部件，除工作进给和快速移动外，还可用相应手把进行手动调整移动(图1-12中的A、B、C、D、E、F、G、H为各移动部件的手把)。也可通过一个微调手柄(图1-10中的11)进行微动调整移动。

5. 进给安全离合器

进给传动系统中的离合器 M_2 不仅供接通或断开进给运动之用，同时起安全保护作用，以免机床因过载或意外事故而引起损坏。图1-14为该离合器的结构。进给运动由齿轮3经键传至轴4，再经横向镶嵌在轴4长槽中的传动杆7、滚子9、离合器套筒6和齿轮5上的齿爪，由齿轮5传出。当进给抗力超过规定数值，或由于机床移动部件遇到障碍时，滚子9和离合器套筒6端面上的V形斜槽接触点处因传递扭矩而产生的轴向分力急剧增大，于是离合器套筒便经矩形杆10压缩弹簧2(弹簧2的变位压力大于弹簧8)，并和齿轮5一起向左移动，滚子便从V形槽中滑出，齿轮和离合器套筒停止转动，而滚子由轴4带动继续旋转，当其相对套筒转过 180° ，滚子与套筒上V形槽又相遇时，弹簧2通过矩形杆10将套筒

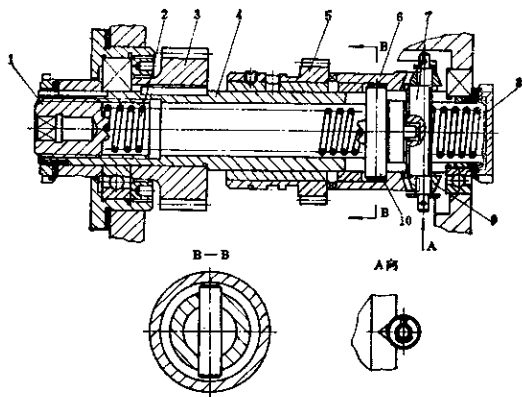


图1-14 进给安全离合器

向右推动，使之与滚子重新结合，但因齿轮5未移动，故它们的齿爪便相互脱开，工作进给运动链便随之断开。机床超负荷因素消除后，须用操纵手把将齿轮5向右扳动，使之与离合器套筒重新结合，以便恢复工作进给。离合器所能承受的进给抗力，可用内六角螺钉1压缩弹簧2来进行调整。

当用操纵手柄启动快速电动机，机床移动部件接通快速运动时，同时将齿轮5向左扳动，与离合器套筒6脱开，从而避免运动发生矛盾。

五、主轴与平旋盘结构

T68镗床的主轴部件比较复杂，也是镗床上非常重要的部件，因为在加工过程中需要通过主轴以不同的悬伸量来完成极为重要的主运动任务，同时还要通过主轴部件装夹各种各样的刀具与包括平旋盘在内的附件等来完成如镗、铣、钻、

扩、铰及车削等工作，因此，主轴受力情况比较复杂，所以它的部件结构也就复杂，而且在精度、刚度和抗震性方面也有很高的要求。这些要求对工件的加工质量有着密切的关系。

图1-15所示为T68镗床主轴部件结构图。图中7为主轴，6为主轴套筒，5为平旋盘主轴，1为平旋盘，22为刀具径向滑板。平旋盘主轴、主轴套筒和主轴层层套装。

平旋盘主轴由安装在主轴箱左壁和中间壁孔中的两个精密级圆锥滚子轴承支承，轴承间隙可用螺母8调整，而由螺母9防松。在主轴前端装着平旋盘1，它的旋转运动由齿轮4经双键传入。

主轴套筒6同样用前后两个精密级圆锥滚子轴承支承。其前轴承装和平旋盘主轴前端的孔中，后轴承则直接装在主轴箱体右壁的孔中，轴承间隙可用螺母11调整。以上四个圆锥滚子轴承，都是由主轴箱中的润滑泵集中供油，进行循环润滑。这里需要指出的是，主轴套筒前轴承的润滑条件很差，而且对主轴部件刚度十分重要的主轴套筒前轴承，是装和平旋盘主轴内，而不是直接装在主轴箱体上，削弱了主轴套筒的支承刚度，这是此种结构形式主轴部件存在的弱点之一。

主轴套筒两端压入精密的衬套15、14和12，用来支承主轴7。主轴前端有莫氏5号锥孔，供安装刀具之用。主轴的旋转运动由齿轮10传入，经双键传动主轴套筒6，套筒上装有两个导向键13，与主轴上两条对称的长键槽配合，因而主轴既能由套筒带动旋转，又能在套筒内的衬套中轴向移动。主轴后端通过推力球轴承和圆锥滚子轴承与支承座26连接，支承座安装在后尾筒的水平导轨上。支承座上固定着螺母27，当与其配合的丝杠28由进给系统传动旋转时，便带动主轴作轴向进给运动。由于进给抗力通常是向右的，故支承座

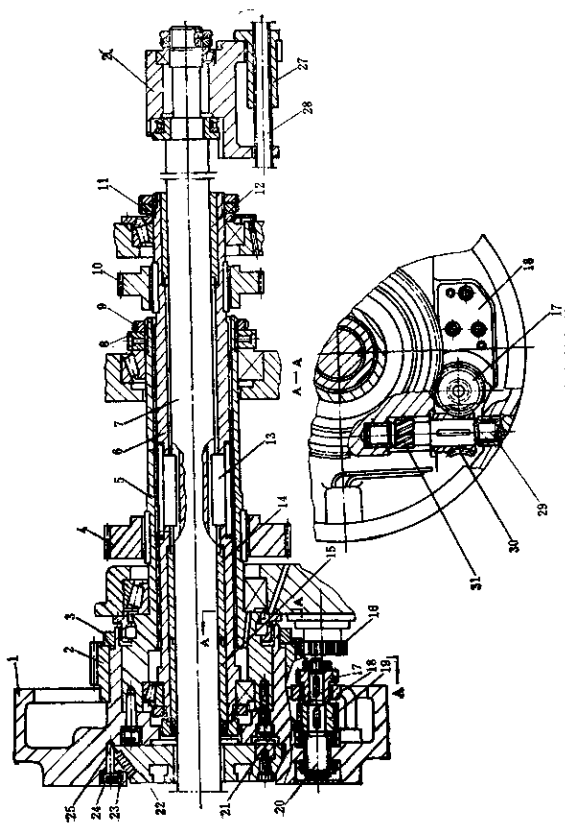


图1-15 T68卧式车床主轴部件

左边装上一个推力球轴承；右边的圆锥滚子轴承，则既用于承受向左的轴向力，又用于在径向支承主轴，以免主轴后端因悬伸而下垂。

主轴用38CrMoAlA材料制成，经氮化处理淬火硬度达HRC62~65，因此具有很高的耐磨性；与其配合的三个衬套用GCr15轴承钢材料，也经淬硬；主轴与衬套配合很精密（间隙为0.01毫米），前后衬套间距较远，这样可提高和长期保持主轴的导向精度。又因配合间隙较小，而衬套相对来说比较长，主轴与主轴套筒可近似地看作一个整体，因而主轴系统刚度得到加强。

平旋盘1以圆柱孔与平旋盘主轴5前端轴颈配合，用六个螺钉紧固在主轴端面上，再用一锥销定位。平旋盘的左端面上铣有四条径向T形槽，供紧固刀架之用，在它的燕尾形导轨内，装有径向刀具滑板22。滑板正面上铣有两条T形槽，背面的矩形槽中固定着齿条21，由与其啮合的齿轮31传动，使刀具滑板获得径向进给运动。燕尾导轨的间隙可用镶条23调整，当刀具装在滑板上镗大孔时，由于它不需移动，为提高刚度起见，可用螺塞24经销子25将其锁紧。

平旋盘上还装有刀具滑板的进给传动机构，它包括齿轮2($z=116$)、17($z=22$)和31($z=16$)，蜗杆19(单线)和蜗轮30($z=22$)，轴20和29以及齿条21等。图1-16为其传动简图。由图1-15可看到，齿轮2为空套在平旋盘的轮毂上，由挡圈3限制它的轴向移动，轴20和29的轴承都装在平旋盘上的孔内（其中轴20的右轴承装在固定于平旋盘右侧凸台面上的支承座18的孔中），因而工作时这些轴及其上的齿轮等都随平旋盘一起绕后者的轴线公转运动。齿轮2由伸出主箱体齿轮16传动旋转。当它的转速转向和平旋盘相同时，

因齿轮 2 和 17 间无相对位移，轴 20、29 及其上的齿轮，都只是跟着平旋盘作公转运动，而无绕自身轴线转动的自转运动，故刀具滑板不作进给运动。如果齿轮 2 与平旋盘的转速不相等，则齿轮 17 将沿着齿转 2 滚动，产生自转运动。因此轴 20、29 及其上齿轮等除作公转外，都还作自转运动，于是传动刀具滑板进给。由此可知，当平旋盘旋转时，不管刀具滑板进给与否，齿轮 2 都需按一定运动关系转动，即刀具滑板不作进给时，齿轮 2 必须

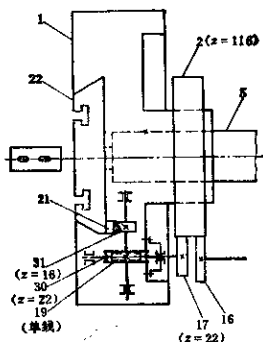


图1-16 刀具滑板传动简图

与平旋盘同步旋转，而当进给时，两者须保持一定转速差。

六、主运动变速操纵机构

从机床传动系图可以看出，主运动的传动变速是靠两个三联滑移齿轮的移动与相应齿轮啮合来实现的。那么靠什么方法来操纵呢？通常可以用两个手柄分别操纵它们，但这种方法操纵起来很不方便。在这台机床上采用的是单手柄集中操纵，它的优点是操作方便准确可靠，但结构复杂一些。

图1-17所示为这种操纵结构的示意图。左上面的三联滑移齿轮 9 俗称大三道轮，右下面的三联滑移齿轮 15 俗称小三道轮。它们分别通过拨叉 8 和 14 的拨动，可在花键轴 10 和 16 上移动位置，于是得到九种速度，其位置变换过程大致如

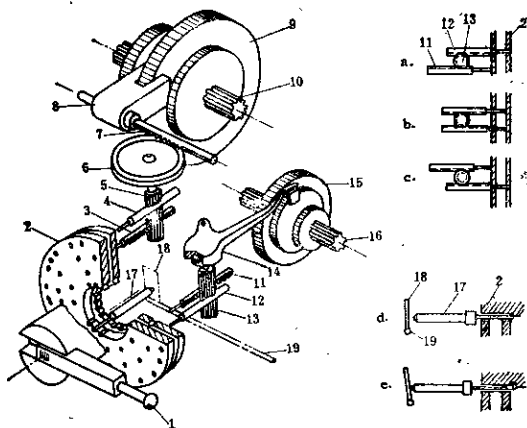


图1-17 T68镗床主变速操纵机构示意图

下：

由于主电动机是双速电动机，机械结构可省去一半，因此，齿轮只要有九种不同的啮合状态就可以了。

机床的速度指示牌上的十八级转速，实际上是按速度高低的顺序平均分成三大组，每一组中又分为高速档和低速档，高速档时电动机转速为3000转/分，低速档时则为1500转/分。从低速至高速按顺序分在第一组中的20、25和32为低速档，40、50和64为高速档，在这一组中小三道轮两次与三个相应的齿轮（Ⅱ轴上的 $z=53$ 、 $z=49$ 、 $z=57$ ）啮合，大三道轮只有一个齿轮与相应的齿轮啮合。在低速档时推杆17

在图中 *d* 的位置上，它能穿透双层孔盘 2 的两层孔，触头不触及电器控制板 18，此时电动机以低速转动。

当手柄转到高速档时，推杆 17 在图示 *e* 的位置，它只能穿透双层孔盘 2 的一层小孔，因而推杆向左推移电器控制板 18，以固定位置连在一起的杆 19 使安装在箱体外面的电器开关接通电动机的高速档运转，所以在这一组中有六种转速。

在第二组中大三道轮变换一种位置，小三道轮重复变换上述两次三种位置，所以又得到六种转速在第三组中，仍然是大三道轮再变换一种位置，小三道轮仍然重复以前变换位置，故总共可得十八种转速。

拨叉 8 和 14 的位移拨动，是当手柄 1 拉出旋转双层孔盘 2，使其上精确布置的小孔来控制两对齿条 3 和 4、11 和 12 的三种位置，如图中 *a*、*b*、*c* 所示，从而相应地改变齿轮轴 5、齿轮 6 和齿轮轴 13 的角度位置，最后由齿条 7 带动拨叉 8、齿轮轴 13 与拨叉 14 内齿轮啮合，分别拨动大三道轮和小三道轮。

七、机床的润滑

机床凡有相互摩擦运动的工作表面，都要进行润滑。润滑的目的是减少摩擦阻力和减少机件磨损和动能无为的消耗，同时也起散热和清洗的作用，如导轨面、各传动轴的轴承、齿轮、凸块和滑块等部位都要进行润滑。

机床的润滑方式，有人工润滑和自动润滑。人工润滑即周期性的对油杯、油孔、导轨及丝杠等部位注入润滑油，使其自行流淌润滑。有的机床可进行人工强制润滑，如 T611、T612 镗床工作台部分采用手压泵对内部各润滑点进行强制注油润滑。机床的主轴箱部分是自动润滑的。当机床启动时，

油泵就开始工作，油泵是否正常工作可观察油窗孔内是否有油滴下。主轴箱内应有足够的润滑油，一般油量要加到油标窗口的一半处或刻线处。主轴箱内的润滑油要按规定时间进行更换，换油时应将箱体内沉淀的杂质除净，并用煤油清洗后再重新注入新油。

T68镗床是采用固体3号工业润滑脂（黄油）和液体的20号及40号机油润滑的，具体润滑周期及润滑点详见机床上的润滑图表。

第三节 镗床的维护保养与安全技术

一、镗床的维护保养

镗床必须保持长期处于良好、清洁、完整的工作状态，它的工作状态是否良好，会直接影响到产品零件加工质量的好坏和生产率的高低。机床的好坏不仅在于机床出厂时的质量，更重要的是在于平时对它的正确使用、调整、维护和保养工作。

镗床的维护保养工作主要是注意清洁、润滑及合理地操作，一般可分为以下三个阶段谈谈必须遵守的规程：

1. 工作开始前

1) 首先检查机床各部分机构是否完好，手柄位置是否正常。然后开车低速空运转一定时间，看有无异常现象。

2) 将机床上的灰尘、污物等揩擦干净，并按机床润滑图表中的规定，对润滑点逐一加油润滑，通过油标、油窗孔观察油量是否充足和油路是否畅通。

3) 检查各导轨面是否清洁，有无研伤和磕碰。

2. 工作时间内

1) 不得将工具等物品放在工作台上, 以免将工作台面碰伤。

2) 主轴必须经常保持清洁, 装卸刀杆、刀架时应将主轴锥孔擦干净, 通过锁紧销锁紧, 锁紧销不能凸出主轴外缘。不得用钢锤拆卸刀杆, 以免损伤主轴, 应用紫铜锤或专用工具退出工具。找正工件时不得用主轴抵靠和移动工件。

3) 不使用精密机床粗加工零件。不使机床在超负荷或超重状态下工作。禁止热加工后尚未冷却的工件安装到工作台上加工。一般情况下, 机床不允许连续三班生产。

4) 禁止擅自拆卸机床移动部件上的安全行程开关(或挡块)使工件在机床超限的情况下工作。同时也禁止用脚踢操纵机床。

5) 工作中机床不移动的部件应予以夹紧, 工作完毕后松开。

6) 铣削平面时, 应采用多刀切削, 以避免单刀间断切削使机床丝杠及其他部件过早磨损。

7) 粗加工时应选用扭矩大的低转速切削。刀具用钝后应及时刃磨, 以免增加机床负荷。

8) 工作中发现机床有任何异常现象(如响声、电流表的指针超位及警报器鸣叫等)应立即停车检查, 并请维修人员来解决。

3. 工作结束后

1) 清擦机床各部, 清扫工作场地。

2) 将机床主轴箱移至下部位置, 工作台移至床身中间位置, 关闭电门。

3) 认真做好交接班工作, 尽量从多方面为下一班作好准备工作。

机床的维护和修理工作是保证机床正常运转的不可缺少的环节，它不仅是维修人员的事情，也是操作者的工作。开展群众性的“三好”（用好、管好、修好）、“四会”（会使用、会保养、会检查、会排除故障）活动，把专业性和群众性的维修工作结合起来，是保证机床正常运转的有力措施。

机床的精度要定期检查和调整，定期检查时应清洗机床，更换润滑油。定期检查通常每隔3~6个月进行一次。

二、安全技术

安全技术包括以下内容：

- 1) 新工人应及时接受三级安全教育。
- 2) 配戴好劳动防护用品，如工作服、帽、鞋、眼镜等，不允许戴手套进行加工操作。
- 3) 手和身体不能接触正在旋转的机件。工作时精神要集中，不应与他人说话，严禁嬉闹。
- 4) 工件、刀具应装夹牢固。
- 5) 切削中不能度量工件，也不能用手去抚摸切削部位；清除切屑要停车。
- 6) 工作中不得离开机床。
- 7) 当工件重量超过20公斤时，应用起重设备装卸。
- 8) 平旋盘不准超规定使用高速档切削，注意楔铁螺钉和滑板限位螺钉的状况，避免楔铁甩出伤人。
- 9) 工作场地要保持畅通和整洁。
- 10) 不能任意拆装电器设备。
- 11) 工作中一旦发生意外事故，必须立即报告车闸领导，不得擅自处理。

12) 要注意车间内的通风、采光、温度、灰尘及振动条件等对安全生产的影响。

13) 要防止机床漏油和冷却润滑液渗入地面，否则油迹不仅腐蚀机床基础，使之变质疏坍，轻则破坏机床精度，重则使机床主体断裂，而且长时间后地面中的油迹会挥发出有害的气体，影响人的健康。

第二章 镗削知识

第一节 刀具切削部分的材料及其性能

在镗床上进行切削加工时，直接担负着切削工作的是刀头部分，由于它和工件直接接触，因此受到很大的挤压和摩擦，使之产生很高的温度与振动，所以刀具材料必须具备以下三种基本性能：

① 冷硬性——在常温下所具有的硬度，也就是耐磨性。

② 热硬性——在高温下仍然能保持切削所需要的硬度，也就是“红硬性”。

③ 坚韧性——能承受振动和冲击的性能。

以上三种性能并不是孤立的，而是相互依存又相互制约的，如韧性好的材料，其冷硬性和热硬性相对来说就比较差。在实际工作中，可根据工件材料的性能和切削要求来选择符合主要加工要求性能的刀具材料。

刀具的材料较多，有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金、金刚石和陶瓷等，但目前使用最多的是高速钢和硬质合金两种。

一、高速钢

高速钢是使用历史较长的一种刀具材料，它的成分的主要特征是钨和铬的含量特别高。

常用高速钢有 W18Cr4V 和 W9Cr4V2 两种牌号，与硬质合金比较，高速钢易于加工和刃磨，强度和韧性较好，能

承受较大的冲击力。但热硬性差，只能在500~600℃的温度下保持硬度，所以不适于高速切削。它的淬火后的硬度为HRC62~65。

虽然目前硬质合金刀具的使用日益普遍，但高速钢仍是不可缺少的，用它能制成形状复杂的特殊刀具，也是制造铣刀和钻头般一般刀具的好材料。常用高速钢的牌号及其化学成分见表2-1。

表2-1 常用高速钢牌号及其化学成分

牌 号	化 学 成 分 (%)					
	C	W	Cr	V	S	P
W18Cr4V	0.7~0.8	17.5~19.5	3.8~4.6	1.1~1.4	≤0.03	≤0.03
W9Cr4V2	0.85~0.95	8.5~10	3.8~4.6	2.0~2.6	≤0.045	≤0.04

二、硬质合金

硬质合金是用硬度和熔点很高的碳化物（碳化钨、碳化钛）和胶合剂（钴类）在高温高压下制成的。

硬质合金的硬度很高，其常温硬度为HRA89~93（相当于HRC74~81），耐磨性较好，尤其可贵的是它的热硬性较高，能耐800~1000℃的高温。因此能采用比高速钢高几倍甚至十几倍的切削速度，并能切削高速钢刀具无法加工的材料。但是也有缺点，它的抗弯强度和冲击韧性较高速钢低得多，刃口不易磨得象高速钢那样锋利。因此，高速钢与硬质合金是目前制造刀具的相辅相成的两种最常用的材料。

硬质合金可通过合理的刃磨改变刀具角度来弥补它的缺陷。

硬质合金在使用时将制成的刀片焊接在刀体上，或者用

机械夹固的方式同刀体连接。

目前我国生产的硬质合金按其化学成分和使用特性主要分为钨钴类和钨钴钛类，此外还有添加稀有金属碳化物的硬质合金。

1. 钨钴类 (YG)

钨钴类由碳化钨和钴组成。它与钨钴钛类比较，坚韧性好，能承受较大的冲击力，但热硬性较差（800~900℃）。常用来加工脆性材料（如铸铁和有色金属）或冲击负荷下的钢件。

钨钴类硬质合金牌号有YG3、YG6、YG8、YG11、YG15等，牌号中的数字表示含钴量的多少。数字越大，则含钴量越多，其抗冲击性能越好，所以YG8以上牌号用来粗加工。而含钴量少的则碳化钨相应增多，热硬性好，所以YG6、YG3常用来精加工。

2. 钨钴钛类 (YT)

钨钴钛类由碳化钛和碳化钨及钴组成，它有很好的热硬性（900~1000℃），常温下硬度很高，在高温条件下比钨钴类耐磨，但性脆怕冲击，所以它适用于加工钢件和塑性大、强度高的合金材料。

钨钴钛类硬质合金牌号有YT5、YT14、YT15、YT30、YT60等。牌号中的数字表示含碳化钛量，数字越大，则碳化钛含量越多，热硬性越好，而含钴量相应减少，韧性越差。所以，YT15、YT30常用于精加工，而YT15多用于粗加工。

常用的硬质合金的牌号、化学成分及物理机械性能见表2-2。

从表中可以看出，YG类的密度大于13.6，YT类则小于13.6，而当两类刀片混合在一起分不清的时候，可将混合刀

表2-2 常用硬质合金化学成分及物理、机械性能

类别	新、旧牌号对照		化学成分(%)			物理、机械性能		
	新牌号	旧牌号	WC	Co	TiC	抗弯强度 (牛/毫米 ²)	密度 (千克/分米 ³)	硬度 (HRA)
钨 钴 类	YG8	BK8	92	8	—	1500	14.4~14.8	89
	YG6	BK6	94	6	—	1400	14.6~15.0	89.5
	YG3	BK3	97	3	—	1050	14.9~15.3	91
钨 钴 钛 类	YT5	T5K10	85	9	8	1300	12.5~13.2	89.5
	YT15	T15K6	79	6	15	1150	11.0~11.7	91

片放置在水银之中，根据刀片的沉浮即可判断出来。

原则上来说，YG类适合加工脆性材料，YT类适合加工塑性材料，但是在加工中出现的情况是复杂的，应根据具体情况作出恰当的选择。如加工有较大冲击负荷的钢件时，可常用YG8刀具加工，以克服YT类刀具的脆性、韧性差的缺点。同理，用偏刀刮削钢件的孔端面时，因YT类抗震性差、容易崩刃，故宜用YG类刀具来加工。

有些时候选用刀具也要根据当时刀具的供应情况来决定。如果没有自己所选用牌号的刀具，就必须适当选取其他牌号来替代。卧式镗床对于刀具性能的主要要求是韧性好、抗震动和耐冲击，因此，常选取含钴量多一些的牌号，如YG8和YT5。

3. 钨钴铌类 (YA6)

这类硬质合金是一种含有少量碳化铌的细颗粒钨钴类硬质合金，它的耐磨性很强，适合加工奥氏体不锈钢、耐热钢、特硬铸铁等材料，比使用其他的硬质合金能成倍地提高工效。其代号以YA6表示。

4. 钨钴钛铌类 (YW)

这类合金由钨钴钛类硬质合金中加入碳化铌而组成，具有较高的耐磨性和热硬性，能提高抗氧化性。在适当成分组成下，兼具钨钴类硬质合金的韧性和比钨钴钛类优越的抗剥落性，适用于加工各种特殊铸铁和特殊合金钢材。这类合金有通用硬质合金之称，其代号以YW表示，现有牌号为YW₁和YW₂。

表2-3列有常用硬质合金的性能及用途，供大家在选用时参考。

硬质合金除了上述类型以外，随着科学技术的进步，将有更新型材料出现，使其性能逐步完善和提高。

表2-3 常用硬质合金性能及用途

类 别	牌 号	使 用 性 能	主 要 用 途
钨 钴 类	YG6	耐磨性较高，较之YG3为低，抗冲击和振动性能一般，切削速度较YG8高	适用于铸铁，有色金属的半精加工及精加工
	YG8	使用强度较高，抗冲击、抗振动性能较YG6好，耐磨性和切削速度较低	适用于铸铁和有色金属的粗加工
	YA6	属于细颗粒碳化钨硬质合金，加入了少量的碳化铌，耐磨性和使用强度均有提高	适用于冷硬铸铁、有色金属的半精加工，也适用于高锰钢、淬火钢、合金钢的半精加工及精加工
钨 钴 钛 类	YT5	在钨钴钛类中，强度最高，抗冲击和抗振动性能最好，不易崩刃，耐磨性较差	适用于碳素钢与合金钢的粗加工
	TY15	耐磨性较YT5好，但抗冲击和韧性较差	适用于碳素钢与合金钢的半精加工及精加工
	YW1	红硬性较好，能承受一定的冲击负荷，是一种通用性较好的硬质合金	适用于不锈钢，耐热钢等难加工的钢材

第二节 刀具切削部分的形状、角度和选择

一、刀具切削部分的形状

切削金属材料的刀具统称切刀，它的种类很多。图 2-1 所示是一种简单而基本的切刀。它由下面几个要素组成：

前刀面——切屑沿着它排出的刀面。

主后刀面——切削时与工件加工表面相对的刀面。

副后刀面——与工件已加工表面相对的刀面。

主刀刃——前刀面与主后刀面的交线。它担负着主要的切削工作。

副刀刃——前刀面与副后刀面的交线，有时起修光作用。

二、辅助平面

为了便于确定和测量切刀的几何角度，人为地假想了几个平面，如图 2-2 所示。

切削平面——与切削表面相切并通过主刀刃的平面。

基面——通过主刀刃上一点 P 并垂直于切削平面的表面。

主截面——与主刀刃在基面上的投影相垂直的一个平面（图 2-2 a 和图 2-2 b 上的 N 面）。

副截面——与副刀刃在基面上的投影相垂直的一个平面（图 2-2 a 和图 2-2 b 上的 N_1 面）。

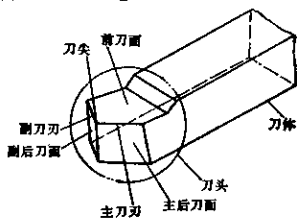


图 2-1 切刀的主要组成部分

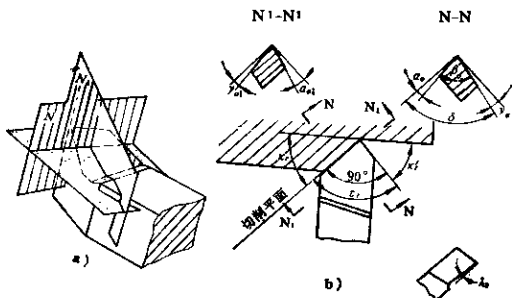


图2-2 切刀的辅助平面与切削角度

三、切刀在静止状态的几何角度

所谓静止状态时的几何角度，是指刀具没有进行切削时的角度。

1. 在主截面内测量的角度

前角 γ_0 ——前刀面与基面的夹角。

后角 α_0 ——主后刀面与切削平面之间的夹角。

楔角 β_0 ——前刀面与主后刀面之间的夹角。

切削角 δ ——前刀面与切削平面之间的夹角。

以上这些夹角的关系是

$$\gamma_0 + \alpha_0 + \beta_0 = 90^\circ$$

$$\alpha_0 + \beta_0 = \delta$$

2. 在副截面测量的角度

副前角 γ_{01} ——前刀面与基面之间的夹角。

副后角 α_{01} ——副后面与通过副刀刃垂直于基面的平面之间的夹角。

3. 在基面上的投影测量出的角度

主偏角 κ_r ——主刀刃与进给方向在基面上投影所夹的角度。

副偏角 κ'_r ——副刀刃与走刀方向在基面上投影所夹的角度。

刀尖角 ϵ ——主刀刃与副刀刃之间夹角在基面上投影的角度。

刃倾角 λ_s ——在切削平面中，主刀刃与基面之间的夹角。当刀尖是主刀刃的最低点时，刃倾角是负值；刀尖是主切削刃的最高点时，刃倾角是正值；当刀刃和基面平行时，刃倾角等于零。

在上面所介绍的刀具角度中，最常用的是前角 γ_0 和后角 α_0 、副后角 α_{01} 和主偏角 κ_r 及刃倾角 λ_s 。

四、刀具切削角度的作用及其合理选择

要懂得刀具切削角度的基本知识是比较容易的，但重要的是运用这些知识去能动地指导生产实践。对切削条件、加工要求、材料机械性能等各不相同的工件，应采取不同的刀具切削角度，以充分发挥刀具的最大潜力，达到优质高产的目的。

1. 前角 γ_0 ：前角是切削部分的主要角度之一，刀具是否锋利主要取决于前角的大小，前角大可减少切屑变形以及切屑与刀具前刀面的摩擦，使切削轻快。

选择前角主要根据以下几点原则：

(1) 加工塑性材料时，应选择较大的前角；加工脆性材料时，可以相应取得小一些。

在加工塑性材料时，由于这类材料的切屑成带状，切削力集中在离主切削刃较远的前面上，刀刃不容易撞坏，同时

塑性材料的切屑变形大，所以应选择较大的前角，以减少切屑变形，改善切削情况。加工钢件的硬质合金刀具的前角一般在 $\pm 30^\circ$ 之间变化。

在加工脆性材料时，由于工件表面硬度较高，而且这类材料通常含有砂眼、气孔和杂质等缺陷，对切削不利。同时崩碎切屑在刀刃附近集中了一个冲击力，因此，为了保护刀具，前角应取小一些。若前角过小，则切削力会显著增加，对刀具的耐用度也会缩短。

(2) 粗加工应取较小前角，精加工应取较大前角。

在粗加工时，吃刀深，进给(走刀)快，切削时冲击力大，工件表皮的硬度较高且不均匀，为了保证刀具有足够的强度，一般应取小前角。

在精加工时，因为工件表面质量要求高，加大前角能改善切屑变形，减小切削力，降低工件表面粗糙度，所以要取较大前角。

(3) 硬质合金刀具因材料脆，抗弯强度低，应取较小前角。高速钢刀具抗弯强度好，为使切削轻快，相应来说可选取较大前角。

(4) 机床刚性差、主轴悬伸长、工件结构比较薄弱时，前角应取大一些，这样由于切削力的减小，相应也会降低加工过程中的振动。

虽然在粗加工时为了保护刀具的强度而采用较小的前角，但从减少切屑变形、减少切削力等方面考虑，也可选用较大的前角，此时为了提高刀具的耐用度，可以沿靠近刀刃的前面磨出一条棱边。该棱边的前角 $\gamma_{\text{棱}}$ 一般可取 $+5^\circ \sim -5^\circ$ ，棱边的宽度 f 取 $0.8 \sim 1.7$ 走刀量。由于这条棱边很窄，所以刀具仍具有较大前角的优点，同时刀具的强度也提

高不少，随之散热条件也得到改善，因此刀具的耐用度有显著的提高。有的沿棱边附近磨出一个圆弧槽，以便切屑容易卷曲排出。

2. 后角 α_0 ：后角的作用主要是减少刀具的主后刀面与工件加工表面的摩擦，使刀刃锋利，切削起来轻快，它还影响到工件表面粗糙度和切削过程的振动。

选择后角的原理是：

主要是根据切屑厚度，其次是材料性质及加工状态等来选择。

粗加工时，为了保证切削刃的强度，应取较小的后角；精加工时，切屑厚度小，为了使刀具锋利和降低表面粗糙度，所以要选取较大后角（ $10^\circ \sim 12^\circ$ ）。

工件材料较硬，后角应取小值；工件材料软，则后角取大值。

高速切削时应选较小的后角，以增加刀具的强度。

当主轴悬伸较长时，刚性差，容易引起震动，因此后角应取小值。尤其在刮削孔端面时因切削面大，极易引起振动，所以通常取 $3^\circ \sim 5^\circ$ 的后角，在一定程度上，后刀面可以压住刀具减小震动。镗床加工对后角考虑比较多的原因是震动问题。

3. 主偏角 κ_r ：主偏角的大小影响着刀具的耐用度，改变着主刀刃参加切削的长度及刀具的散热情况，也改变着径向切削力与轴向切削力大小的比例。

选择主偏角的原理是：当工件、刀具、机床及夹具的刚性较差时，主偏角应选较大值；反之则选取较小值。

工件的材料越硬，主偏角相应取得小一些。主偏角的选择还受到工件加工部位形状的限制，如内孔有台阶等情况则

必须取主偏角为 90° 的刀具加工。

同样，镗床考虑比较多的因素还是振动问题和刀具耐用度。在相同的进给量和切削深度情况下，减小主偏角可使刀刃参加切削的长度增加（图2-3），刀刃散热面积加大，而且径向切削力也较大（图2-4），如此它能压住刀杆而使切削过程平稳，从而提高了刀具的耐用度。

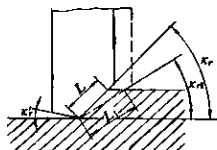


图2-3 主偏角不同时
刀刃工作长度的变化

4. 副偏角 κ_r ：主要是减少副刀刃与工件已加工表面之间的摩擦，还影响到工件表面粗糙度和刀具的耐用度。

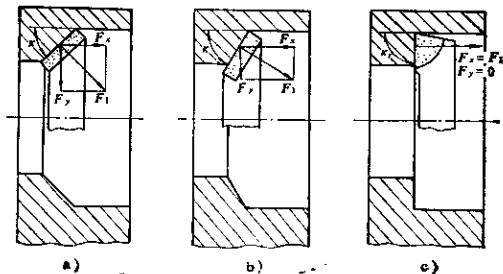


图2-4 主偏角的变化对轴向力和径向力的影响

选择副偏角的原则是根据工件表面粗糙度的要求，其次是耐用度。工件表面粗糙度要求低时，为减少残留面积，应取较小的副偏角（图2-5 a）。副偏角的大小对表面粗糙度的影响见图2-5。由图2-5 b可见，当取较大的副偏角时，其残

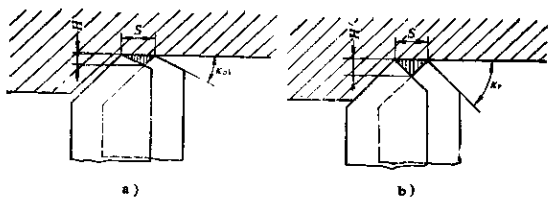


图2-5 副偏角对加工表面质量的影响

留面积 ($S \times H'$) 大于图 2-5 a 的残留面积 ($S \times H$)。

5. 刃倾角 λ_s : 刃倾角能改变切屑流出的方向。在粗加工时, 尤其是断续切削, 应取正的刃倾角, 可保护刀尖, 因为刀具的中部最先与工件接触受力, 待缓冲之后刀尖再进入金属层切削。若采用负刃倾角, 刀尖首先与工件接触受力, 因而最易损坏 (图2-6)。

6. 刀尖圆弧半径 r_s : 又称过渡刃, 它有直线和圆弧两

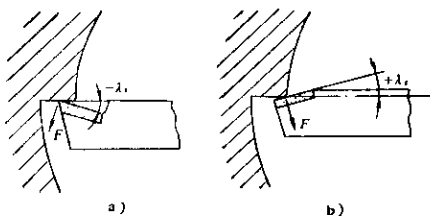


图2-6 正、负刃倾角刚切入工件时受力状况
a) 负刃倾角 b) 正刃倾角

种形式,主要增强刀尖的强度和改善散热条件。在粗加工时,刀尖圆弧半径可取大值,以改善散热条件和增加耐用度;在精加工时,为防止振动和降低加工质量,故刀尖半径应取小值。

第三节 镗床常用刀具

加工一件与轴的直径、长短、精度要求及加工余量均相同的孔时,所化的时间比轴要多1~2倍,所用的刀具和工具一般也要多几倍,因此镗削工作是一项困难而复杂的切削工作,加上镗床的工艺范围广泛,故使用的刀具种类繁多。

镗床常用刀具根据加工性质,可分为孔加工刀具和铣削刀具两大类。下面分别介绍这两大类刀具中几种较典型的结构。

一、孔加工刀具

孔加工刀具主要有钻头、扩孔钻、镗刀及铰刀等。

1. 钻头:钻头有麻花钻、扁钻、枪钻和套料钻等,其中以麻花钻使用为最多。

一般机械工厂里最大直径的麻花钻为60毫米,在重型机械工厂中最大有80~100毫米。麻花钻由柄部和工作部分组成,工作部分由高速钢制成,而柄部则由碳素钢与工作部分焊接而成,柄部是钻头的夹持部分,它有锥柄和直柄两种形式。工作部分又分为切削部分和导向部分,切削部分包括两个主刀刃和横刃,担负着主要的切削任务(图2-7)。导向部分有两条对称的螺旋槽,用来形成切削刃和前角,起着排屑和输送冷却液的作用,为了减少与孔壁的摩擦,还有两条窄的刃带并在全长直径略带倒锥,其锥度比为0.05~0.1/100毫米,导向部分在钻孔过程中起着导向和修光孔壁的作用,

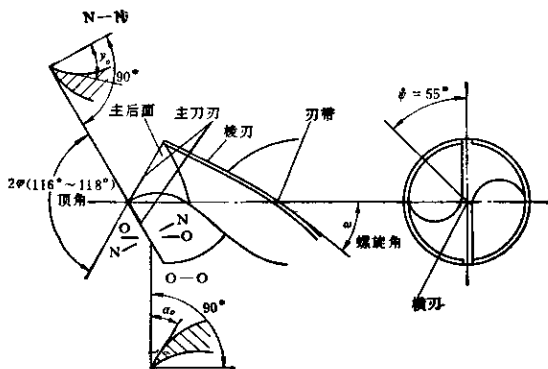


图2-7 麻花钻头的工作部分与切削角度

麻花钻螺旋槽的表面称为前刀面；它的反面即为主后刀面；两个主后刀面的交线为横刃，横刃越长，切削阻力越大，因此，刃磨时便将其磨短。

顶角 2φ 为两个主刀刃之间的夹角，顶角小，钻削时轴向力小，但钻尖强度差。加工不同的材料时，顶角应取不同的数值：对于硬金属，顶角要大些，对于软金属，顶角则取小一些。前角 γ_0 在主刀刃上各点都不一样，越趋向于中心则越小，不经磨削，自然状态呈负的前角。而后角 α_0 则于前角 γ_0 相反，越趋向于中心越大。

直柄钻头制造方便，但所传递的扭矩较小，一般用在直径小于13毫米的钻头，因而可用钻夹头来装卡。夹头装在莫氏锥柄上，使用时将带有小伞齿轮的钥匙与卡头带有齿轮的

外套啮合。旋转钥匙即可松开或夹紧钻头，但不得用楔形器具代替钥匙进行敲打，以免伤害钻夹头内部结构或过早损坏。钻夹头将钻头夹紧后钻孔时一般是不会打滑的，如果打滑那是因为进刀太快或钻头磨得不锋利；要么是横刃长的关系。

对于一些非标准较大直径的加长钻头，可用弹簧夹头夹持（图2-8）。它的夹紧力大，刚性好，精度高。

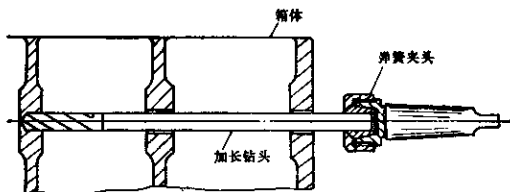


图2-8 用弹簧夹头夹持加长钻头

锥柄麻花钻头可以直接插入主轴锥孔中使用，或者用梢套（又叫变径套、过渡套）过渡插入主轴锥孔。麻花钻头锥柄一般按莫氏圆锥做成0至6共7个号码。如果钻头锥柄莫氏号码与主轴锥孔号码相同，可以直接插入使用，如果号码不同，则须用梢套。梢套的外锥与内锥的号数一般相差一号，也有相差几号的。应尽量使用号数相差多的梢套，这不仅方便，刚性好，而且减少了由于使用多个梢套所产生的累积径向跳动误差。

在使用梢套前，其内外锥面都要擦净，磕碰伤痕要去掉。安装在主轴锥孔中时，应对正尾扁用力推进。

2. 扩孔钻：它用来扩大钻出的孔，作为半精加工的工

具。加工精度低的孔时，也可用它作为终加工的工具，其精度可达6~5级，表面粗糙度为 $R_{a}6.3\sim 1.6$ ($\nabla 4\sim 6$)。

扩孔钻的切削刃比钻头多，在孔内起较好的导向作用，其切削力比钻头要小得多。它的结构形式主要有两种：一种是整体式的(图2-9 a)，它与麻花钻很相似，有三个切削刃，其直径一般在12~35毫米范围内。由于是整体式结构，所以刚性好，尺寸稳定。另一种是套装式的扩孔钻(图2-9b)，它有四个切削刃，直径一般在24~100毫米范围内。它可通过

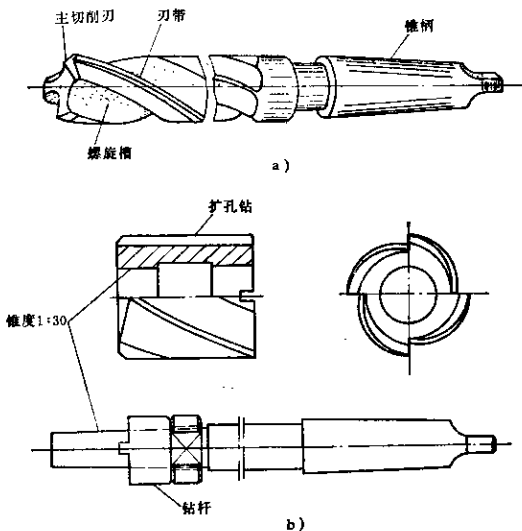


图2-9 扩孔钻

a) 整套式扩孔钻 b) 套装式扩孔钻与钻杆

锥度装在钻杆上使用，这种结构的扩孔钻制造方便，钻杆可适用在一定尺寸范围内的扩孔钻，装卸方便。

同一尺寸的扩孔钻，根据偏差不同分为1号和2号两种。1号扩孔钻用于铰孔前的扩孔，留有铰孔余量；2号扩孔钻用于6~5级精度孔的最后加工。选用扩孔钻时要注意刀体上打印的号码或实际尺寸，以免弄错。扩孔钻的直径偏差见表2-4。

表2-4 扩孔钻直径的偏差 (微米)

公称直径 (毫米)	1号扩孔钻		2号扩孔钻	
	上限	下限	上限	下限
<18	-150	-200	+60	+20
18~30	-200	-250	+70	+20
30~50	-240	-300	+90	+30
>50	-290	-360	+105	+30

扩孔也叫铰孔，适用于大批量生产中较短孔的加工。它可以控制精加工余量均匀一致。但在单件和小批量生产中使用较少。这是因为采用扩孔钻钻孔以后，孔的中心位置不一定正确，必须通过铰削以后才能校正的缘故。

3. 铰削刀具：铰削刀具按工作刀刃的数量可分为单刃铰刀和双刃铰刀。

(1) 单刃铰刀：单刃铰刀是刀刃在单方向进行切削的铰刀，调节其在刀杆方孔中的伸出量来控制被加工孔的尺寸，因此要求操作者技术水平较高。

图2-10 a所示的单刃铰刀头实际上是车刀，但根据孔径尺寸的大小可做成长短不同的尺寸，以便安装在刀杆的方孔

中使用。这种镗刀头用途广泛，是镗床上的基本刀具。主偏角 κ_r 为 90° 的镗刀可用来镗通孔、阶梯孔和刮削孔端面，装平旋盘刀杆座上可车削外圆等工作。主偏角 κ_r 为 45° 的镗刀，可用于镗通孔、倒角和车削孔端面等。用这两把刀配合使用，可解决卧镗加工中大部分的切削任务。

图2-10 b所示的镗刀装在可径向微调的镗头中或万能镗刀架上使用，适于加工中小直径的孔。它们的切削部分磨成一定的形状可用来加工螺纹和内孔环槽等。

图2-11 a~b所示为单刃镗刀片，其上的 45° 斜面用锥销将其固定在刀杆上使用。图2-11 a所示用来镗孔和倒角；图2-11 b所示用来镗孔和刮孔端面，其上的调节螺钉可控制

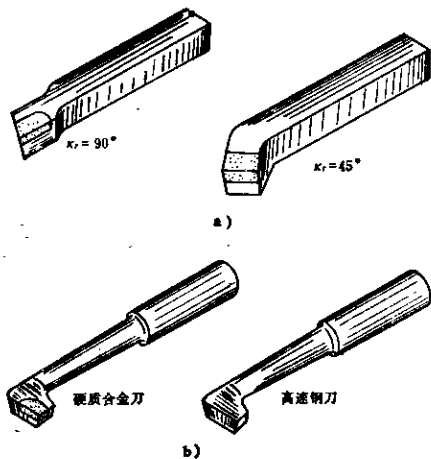


图2-10 镗刀头和镗刀

刀片伸出量。

图2-11 c 所示为具有机夹可转位刀片的镗刀片，硬质合

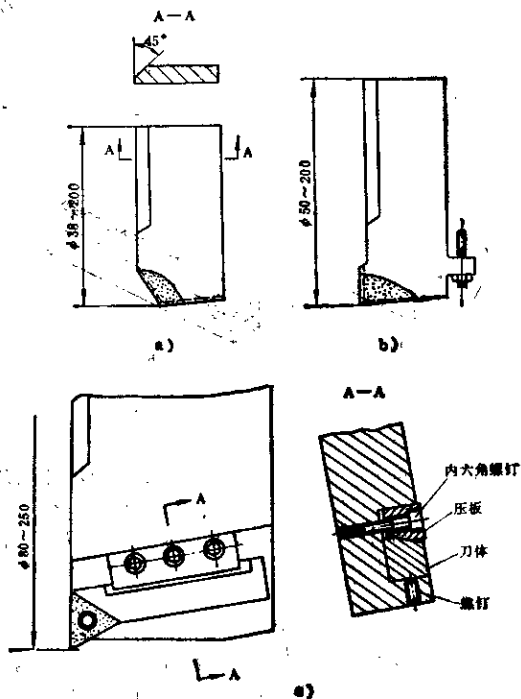


图2-11 镗刀片

注：a~b) 单刃镗刀片，c) 具有机夹可转位刀片的镗刀片。

壁工 三三

金刀头装在刀体上，刀体通过内六角螺钉用压板将其压紧。该钎刀片比普通钎刀片可获得较大的经济效益。由于缩短了刀具重磨时间和调整时间，使劳动生产率平均提高5~7%，同时也减少了刀具库存量和刀具周转，减少钎刀片的运输和保管，并便于硬质合金废料的回收和上交，最终促使各工序成本的下降。在有条件的情况下，应尽量使用这种钎刀片。

图2-12所示为精钎孔用宽刃刀。

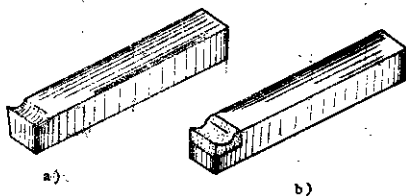


图2-12 精钎孔用宽刃刀（单刃光孔刀）

图2-13 a 所示为刮削孔端面刀，由高速钢磨成，长长的刃口平直而光洁，仅作精加工用，加工范围一般不大于 $\phi 200$ 毫米。用它刮出的孔端面粗糙度低，但由于刀体长而且截面积小，加上单向切削，因此产生“弹让”现象，往往造成中心凹陷。

图2-13 b 所示为机械夹固式刮削孔端面刀，刀片底部有齿槽，嵌合于刀体上的齿槽中，其上部用压板和螺钉压紧。此刀片更换方便，但长度较短，只能作孔端面的粗加工或较窄孔端面的精加工。

单刃刀切削中受单向切削力作用，易引起振动，当刀杆

直径小时，径向切削分力使其产生挠度，不仅生产效率低，而且精度差。但在单件和小批量的万能加工中，刀具规格要求繁多，不可能一应俱全，因此多使用单刃刀加工，不仅方便灵活，成本低，而且能大大减轻工具供应中的困难。

(2) 双刃镗刀：在两个对称方向都具有刀刃的称双刃镗刀，其主要优点是由于两把刀同时工作可消除径向切削分力对刀杆的作用而造成的孔的加工误差，同时可提高切削用量，从而大大提高生产

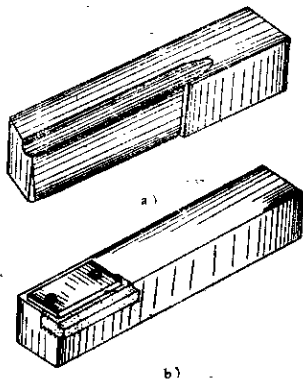


图2-13 端面刀

a) 刮削孔端面刀 b) 机械套圈式刮削孔端面刀

效率。孔径尺寸一般由镗刀来保证，所以孔的尺寸精度较好。一把镗刀由于只能加工相应尺寸的孔，所以必须备有各种规格和尺寸的双刃镗刀方能加工零件，另外刃磨比较困难，因此，双刃镗刀大多在大批量生产条件下使用。

图2-14所示为双刃镗刀片。图2-14 a所示的镗刀片中间具有 90° 缺口，利用锥销将其夹紧在刀杆中。图2-14 b所示的镗刀片用螺钉夹紧刀体中间V形缺口，使其固定在刀杆上。

图2-15所示为可调式双刃镗刀块。它的直径尺寸可用螺

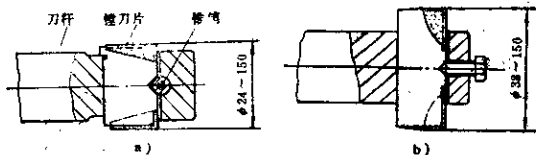


图2-14 双刃镗刀片及其安装

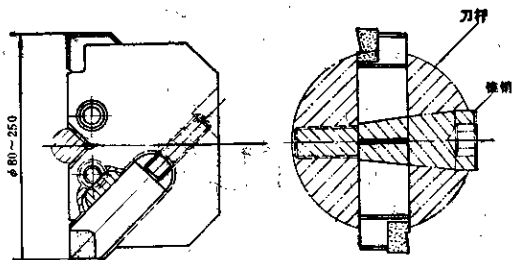


图2-15 可调式双刃镗刀块

可在一定范围内调节。若超过范围可更换较长一些的刀头，刀头和镗刀块体是由燕尾配合。这种镗刀块使用灵活方便，用几种规格的镗刀块体通过更换刀头可加工在较大范围内的各种尺寸的孔。

4. 铰刀：铰刀是精加工孔的刀具。常用铰刀主要有三类：第一类是整体圆柱铰刀，第二类是套装式铰刀，第三类是浮动铰刀。

整体式铰刀可分为手铰刀（图2-16a）和机铰刀（图2-16b），图2-16c为直柄机铰刀。铰刀主要由工作部分和柄

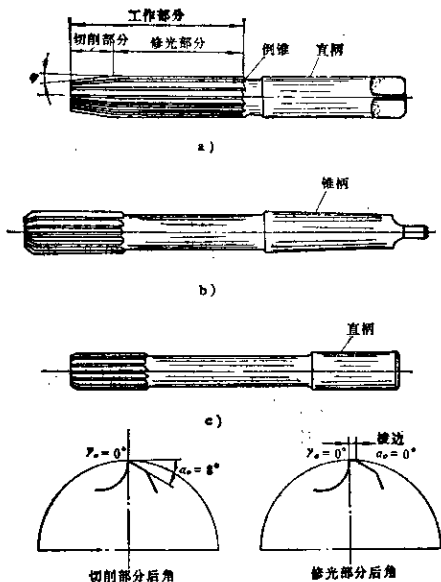


图2-16 整体式铰刀

a) 手铰刀 b) 机铰刀 c) 直柄机铰刀

部组成，工作部分又由切削部分和修光部分组成。切削部分呈锥形，担负着主要的切削工作，锥角 2φ 的大小影响着被加工孔的粗糙度、尺寸精度和切削时轴向力的大小。锥角 2φ 大了会使切削部分太短，铰刀在工作时定位精度低，轴向力增大，反之，会使切削宽度增大，切屑厚度薄，在切削韧性

材料时会产生较大的变形，同时给排屑工作带来困难。机铰刀锥角较大，当加工钢件时， $\varphi = 15^\circ$ ，加工铸铁时， $\varphi = 3^\circ \sim 5^\circ$ 。

前角 γ_0 一般为零度，这是因为加工余量小，它对切削变形影响不大的关系。后角 α_0 一般为 $5^\circ \sim 8^\circ$ ，以保证刀齿的强度，避免崩裂。

修光部分刀刃上留有柱形狭边，它起着修光和导向的作用，并可作切削部分的备磨，其宽度一般为 $0.05 \sim 0.3$ 毫米。在工作部分的后部有倒锥，其作用是减少铰刀与孔壁的摩擦痕迹和避免孔径扩大。

套装式铰刀的结构和扩孔钻相似，使用时将铰刀装在铰刀杆的锥柄（锥度 $1:30$ ）上。刀杆的通用性良好，所以套装式铰刀比整体式铰刀价格便宜。

图2-17所示为浮动铰刀，主要用于铰削H7级精度的通孔。它装在刀杆上以后，不用任何方式夹紧，可以在径向滑动，因此在加工前尽可能使两端的刀头伸出长度相等，但也不必过分考虑，因为刀刃部分有一导向切削刃，可以自动对

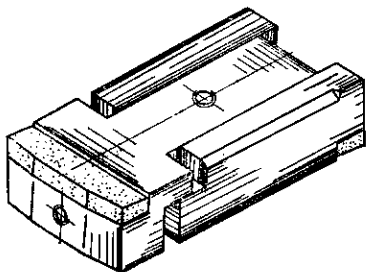


图2-17 浮动铰刀

准中心,所以对工人操作水平要求不高。由于它是可调整的,在一定直径范围内只用一把刀,可减少铰刀规格和使用数量,降低工件的加工成本。当刀杆轴线与被加工孔轴线重合精度低或机床主轴径向跳动大时,用它加工孔可保证孔的精度。浮动铰刀结构简单,容易制造,生产效率高,使用寿命长,因此应用很普遍。

图2-18所示为机夹可转位浮动铰刀。硬质合金可转位刀片1的刃口伸缩,通过调整调节螺帽4进行。调整前需先将紧固螺丝2松开,调整后,再拧紧该螺丝,使之压紧导向键3。此铰刀的优点是,刀刃用钝后,可将刀片转一个角度,重新夹紧后可继续使用。所有刀刃用钝后,换一块新刀片装上即可,不需要更换刀杆。

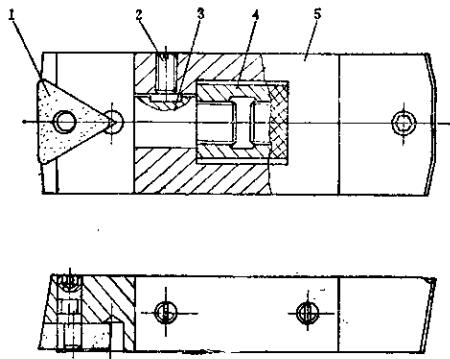


图2-18 机夹可转位浮动铰刀

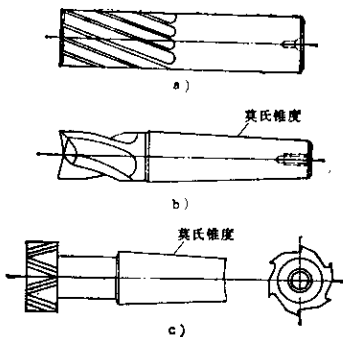


图2-19 常用铣削工具

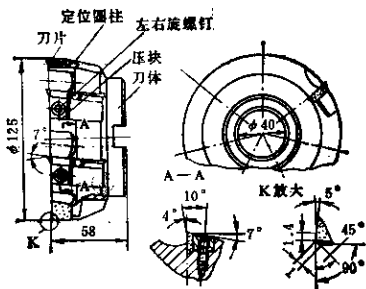


图2-20 可转位端铣刀

二、铣削刀具

卧式镗床除了镗削加工以外，随着机床主轴结构的变化和附件的增加，因而也频繁地进行铣削加工。镗床常用的铣削刀具具有：

立铣刀（图 2-19 a）：用于铣削平面和沟槽等工作。柄部有圆柱柄和圆锥柄两种。

键槽铣刀（图 2-19 b）用于键槽的粗加工或半精加工。

T 型槽铣刀（图 2-19 c）：专用于加工 T 形槽的刀具。

端铣刀：用于铣削平面用。图 2-20 为可转位端铣刀。硬质合金刀片坏了后可退出压块将其更换，装夹牢固，更换方便。它由于刀头数量多，铣削时进给量大，故生产效率高。

第四节 刀具的刃磨

刀具的刃磨有手工刃磨和机械刃磨两种方法，在大批量生产条件下，如镗刀片和镗刀块等均采用机械刃磨，并由专人负责，刃磨出的几何角度比较准确。而在一般中、小型工厂中或单件、小批量生产条件下的万能加工所使用的刀具，普遍由操作者用手工刃磨。

在刀具用手工刃磨之前，首先要正确地选择砂轮。通常车间里砂轮机上装有两种砂轮：一种是白色的氧化铝砂轮（也有褐色的），适用刃磨高速钢刀具；另一种是浅绿色的碳化硅砂轮，是用来刃磨硬质合金刀具的。使用中一定要根据砂轮的材质来刃磨刀具。粗磨刀具应使用直径大而颗粒粗的砂轮，精磨应使用颗粒细直径小的砂轮。

由于镗工所使用的刀具对刃磨要求较高，如刮削孔端面刀刃口须平直，而且使用频繁，所以镗工小组一般都配备有供精细刃磨的小砂轮机。

磨刀的步骤是：一般先磨前面，然后再磨主后面，其次是副后面，最后磨排屑槽及倒棱等。刀具在砂轮机上磨好后，再使用相应的油石略沾机油在刀具的前面、主后刀面、副后刀面及刀尖处贴平进行研磨，磨到看不见砂轮刃磨痕迹时为止，这样可以提高刀具的耐用度，使切削刃锋利，被加工的表面粗糙度较小。

磨刀时应注意下列事项：

(1) 砂轮机应有防护罩，砂轮应保持锋利。

(2) 磨刀姿势要正确，精神要集中，手必须拿稳刀具并且依附在砂轮机的托架上，刀具触及砂轮的力不宜过大和过猛，以免打滑发生意外。人要站在砂轮的侧面，以避免砂轮碎裂伤人或砂粒飞入眼中，因此，要戴好防护眼镜。

(3) 磨刀时，刀具不要停留在砂轮的某一处不动，这样会使砂轮表面产生凹陷，而要将刀具贴在砂轮表面左右往复移动。

(4) 一般情况下，不要使用砂轮侧面刃磨，因为容易使砂轮碎裂。

(5) 刃磨高速钢刀具时要及时冷却，以免退火；刃磨硬质合金刀具时，不宜冷却，以免碎裂。

(6) 刃磨较小的刀具时，由于散热条件差，极易烫手，可将刀具放在一个专用夹具里来刃磨，切不可用棉纱包裹，以防发生事故。

(7) 磨刀用的砂轮不能刃磨其他物品。

在对孔的粗加工中常用到麻花钻头，而麻花钻头的刃磨则完全是操作者的事。下面简单介绍一下麻花钻（图 2-21）的刃磨方法：

(1) 将主刀刃摆平，磨削点大致在砂轮的 水平中心

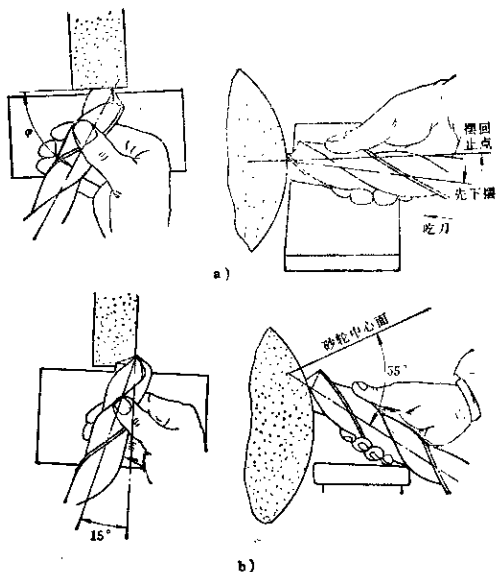


图2-21 麻花钻刃磨

a) 磨主后刀面和主刀刃 b) 修磨横刃

面上。

(2) 钻头轴线与砂轮圆柱母线在水平面内的夹角应等于顶角的一半。

(3) 右手握住钻头近头部处，左手握钻头柄部处；并使主刀刃接触砂轮，这时一边吃刀，一边略转动钻头，并使钻柄上下摆动，这样就能磨出主后刀面和主刀刃(图2-21 a)。

砂轮表面必须平直，否则砂轮圆柱表面的凹凸不平将反映在主刀刃上。钻柄上下摆动时，要由刃口磨向主后面，并注意防止刃口退火。

(4) 最后修磨横刃(图2-21 b)。修磨横刃可减小轴向切削力，横刃磨短后，钻头易于定心。当磨到钻心时动作要轻，防止刃口退火和钻心过薄。

刃磨后的刀具装在刀杆的刀方孔中时，它的切削角度会发生变化，如图2-22 a 所示。刀杆上的刀方孔是居刀杆截面的正中位置，在刀具装入后，它的前角和后角均发生了变化，即前角减小后角增大。因此在刀具刃磨时要将这一安装后的角度变化考虑进去，否则在切削加工中难以达到预期的效果。

此外，进给运动对角度也有影响，如在利用平旋盘滑板径向进给车削孔端面时，刀具行走的轨迹为阿基米德螺旋线(图2-22 b)，刀具越接近中心或进给量增大时，螺旋线越倾

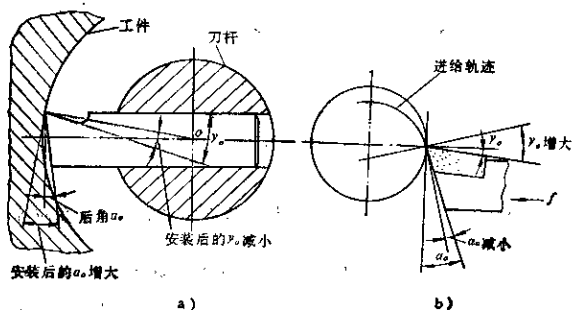


图2-22 刀具在使用中角度的变化

斜，从而使刀具的后角逐渐减小，而前角逐渐增大，有时发展到刀具的走后刀面和已加工面相互顶住，甚至阻止进给，故在刀具刃磨时也要考虑这一因素，让后角磨大些。

第五节 切削过程

一、切削过程

切削过程的含义包括以下两个方面：一是从工件表面切去一层金属（变为切屑），另一方面是在工件上形成一定形状和尺寸并符合一定质量要求的表面。

金属的切削加工都是用切削工具进行的。刀具在工件表面上切去一层金属的过程，是这一层金属受到刀具压力的影响，材料经过变形破坏而形成切屑的过程。现以塑性材料为例将这一过程分瞬息阶段来分析，如图2-23所示。

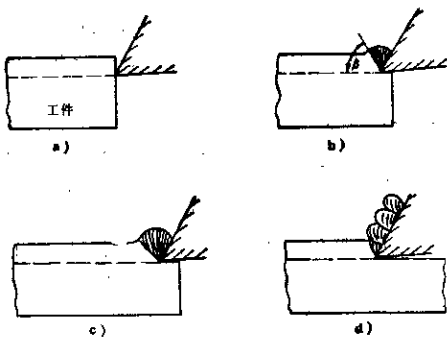


图2-23 切削塑性材料的四个阶段

a) 挤压 b) 滑移 c) 挤裂 d) 切离

1. 当刀具刚与工件接触时，在接触处工件受到挤压，若工件的弹性变形极限小于刀具压力时，则此时刀具克服了工件弹性极限而使工件产生弹性变形，这叫挤压阶段。

2. 若刀具继续前进，则工件内部应力和变形不断增加，这时产生了塑性变形，金属内部的晶格就沿着滑移角 β_1 方向产生滑移，这叫滑移阶段。

3. 刀具再前进，工件材料内部应力和变形继续增加，当达到材料断裂点时，被切金属层与工件产生裂隙，而形成切屑单体，这叫挤裂阶段。

4. 刀具再继续前进，切屑单体与工件分离并沿着刀具的前面滑出，这样连续下去，一个个切屑单体就连续被挤压出去了，这叫切离阶段。

从宏观看，可认为金属切屑是由锋利刃口的刀具切削下来的，而微观上述切削过程，便知道金属切屑是被挤压下来的。但并不是每种金属材料都经过切屑形成的四个阶段，如加工脆性材料时，由于塑性差，往往只经过挤压、挤裂和切离三个阶段就形成了切屑。

二、切屑形状

由于工件材料的性质、切削刀具的几何形状及切削用量的不同，切屑的形状也不同，大致有以下三种形状(图2-24)：

1. 崩碎切屑：这种切屑单体呈大小形状不均匀的颗粒状或粉末，互不联系。它在加工脆性材料时得到，因工件塑性小，与刀具接触产生弹性变形后，由于剪应力或张应力达到断裂强度突然崩断而形成。

2. 挤裂切屑：这种切屑基本上也是连续成一段一段的。靠刀具前面的一面是光滑的，而另一面则有明显的裂纹，呈锯齿状。这种切屑是在较低切削速度、较大的切削深度和



图2-24 切屑形状

进给量、前角较小及工件中等硬度时产生的。

3. 带状切屑：这种切屑为连绵不断地成带状或螺旋状。如果刀具的前角较大，加工塑性较好的材料，进给量小而且切屑较薄时就可以得到这种切屑。切屑靠刀具前面的那个面很光滑，另一面由于轻微压缩而成毛茸状。这种切屑危及人身安全，且清理麻烦，应采取断屑措施，并及时清理。

以上三种切屑的形成基本上是由材料塑性大小和变形程度决定的，即使是同一种材料在不同的条件下也会形成不同的切屑。

三、切削过程的运动

为了进行对工件的切削加工，必须使工件和刀具作相对运动。这相对运动根据在切削过程中所起的作用不同，可以分为主运动和辅助运动。

主运动——也称切削运动，是将切屑切下来的最基本的运动，切削时消耗着机床的主要动力。具体到镗床上来说，就是主轴或平旋盘的旋转运动为主运动。

辅助运动——使刀具重新进入切削层的运动，即走刀运动或称进给和进刀运动。

四、切削时的几个面

被加工工件在进行切削时，形成了几个表面。

待加工面——是工件上即将切去切屑的表面。

已加工面——是在工件上已切去切屑的表面。

切削表面——这是刀具主切削刃在被加工工件上直接形成的表面，也就是已加工表面和待加工表面之间的过渡表面。

第六节 切削用量及其选择

切削用量包括切削速度 v 、进给量（走刀量） f 和切削深度（吃刀深度） t 三个要素。这三要素选用是否合理，直接关系到刀具的耐用度和机床性能的发挥及生产率的提高。镗孔时切削用量三要素见图2-25。

一、切削速度 v

这里指的是工件和刀具主切削刃在一分钟内相对运动的圆周线速度，即米/分，而不是机床标牌上的转数（转/分）。

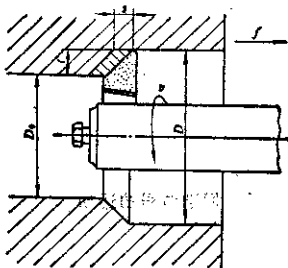


图2-25 镗孔时切削用量三要素

切削速度可用下面公式来计算：

$$v = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \text{ (米/分)}$$

式中 D ——已加工表面的直径（毫米）；

n ——主轴每分钟转数（转/分）。

计算切削速度时，孔是按最大直径计算的，因为从刀具

方面来考虑，速度越大的地方发热越多，刀具越易磨损。

【例】 镗一直径为120毫米的孔，主轴每分钟转250转，问这时的切削速度是多少？

【解】

$$v = \frac{3.14 \times 120 \times 250}{1000} = 94.2 \text{ (米/分)}$$

如果用平旋铣刀架车削端面时，无论是从里向外车，还是从外向里车，假定转速一定，则切削速度是变化的。车的圆越大，切削速度也越大，反之，切削速度越小。在中心点切削速度等于零。

二、进给量 f

进给量是主轴每转一转，刀具主切削刃在工件上移动的距离（毫米/转）。

近年来国产有些卧式镗铣床的进给量是以每分钟刀具在工件上移动的距离来计算的，单位是毫米/分。这叫分进给量，主要适用于铣削，它与转进给量的关系如下。

$$f_{分} = f_{转} \times n \text{ (毫米/分)}$$

式中 $f_{分}$ ——每分钟进给量（毫米/分）；

$f_{转}$ ——每转进给量（毫米/转）；

n ——每分钟转数（转/分）。

三、切削深度 t

工件上已加工面与待加工面之间的垂直距离叫切削深度（毫米）。

镗孔时，切削深度 t 可用下式计算：

$$t = \frac{D - D_0}{2} \text{ (毫米)}$$

式中 D ——已加工表面直径（毫米）；

D_0 ——待加工表面直径 (毫米)。

四、机动时间

通过自动进给, 刀具在工件上实际切削的时间。机动时间可由下式计算:

$$T_{机} = \frac{L}{f \times n} i \text{ (分钟)}$$

式中 $T_{机}$ ——机动时间 (分钟);

L ——刀具与工件在进给方向上相对移动的距离 (毫米);

f ——进给量 (毫米/转);

n ——主轴转速 (转/分);

i ——进给次数。

五、切削用量的选择

在切削过程中, 始终存在着切削速度、切削深度和进给量三个要素, 不论缺少哪一个要素都不能进行切削。每增加一个要素的量都能达到提高生产效率的目的, 但主要受到刀具耐用度和系统刚性与工件夹紧状况的限制。

所谓刀具耐用度就是当使用一把新磨好的刀具, 从开始切削到完全磨损为止, 其实际工作的时间。切削用量三要素对刀具的耐用度影响程度是不同的, 影响最大的是切削速度, 其次是进给量, 影响最小的是切削深度。因而, 选择切削用量时最先考虑的是选取最大的切削深度, 其次是合适的进给量, 最后是恰当的切削速度。

1. 切削深度的选择

切削深度最经济的选择当然是将加工余量在一次进给中切除掉为好, 但是在实践中是不可能的, 这是因为切削深度受到以下几个因素的限制:

1) 刀具的性能和机床的功率。

2) 工件装夹的牢固性和工件——机床——刀具系统的刚度。

3) 孔的尺寸精度、位置精度和表面粗糙度。

所以原则上在粗加工中尽量取大的切削深度，使加工余量在一至两次进给中切除。在加工铸、锻件时，其表面较硬或粘附有型砂与杂质等，采用大的切削深度使刀具的刀尖部分扎在金属的里层切削，从而保护了刀具，使其锐利，可减少磨刀次数，缩短辅助时间。

2. 进给量的选择

切削深度确定之后，进给量应当选得大一些。粗加工时限制进给量的是切削力，精加工时则是表面粗糙度。进给量在粗加工时过大往往会发生“闷车”现象和打坏刀具。当用宽刃刀精镗孔若有振动时，增加进给量可使振动减缓。

3. 切削速度的选择

合理的切削速度既能充分发挥刀具的切削性能，又能充分发挥机床的效率，并能保证预定的加工质量。切削速度太高或太低都会降低生产率，增加产品的成本。倘若盲目地、片面地去追求切削速度，而使刀具磨损加剧，耐用度将显著下降，增加换刀（或磨刀）次数，必然会降低生产率，另一方面刀具材料消耗增加，因此在全面考虑提高生产率的同时，经济性是不可忽视的一个重要方面。

在一般情况下，使用高速钢刀具和硬质合金刀具切削时的切削用量可参照表2-5和表2-6进行。

切削用量三要素有着一定的互相制约的内在关系，即增加其中一个或两个因素的作用量，就必须相应地减少其余两个或一个因素的作用量。在实际工作中，切削用量的选择

表2-5 镗削切削用量表 (高速钢刀具)

加工精度	工件材料 切削用量 刀具类型	铸 铁		合金钢(铸钢)		铝、铜及其合金	
		v (米/分)	f (毫米/转)	v (米/分)	f (毫米/转)	v (米/分)	f (毫米/分)
粗 镗	单刃刀	20~35	0.3~1	20~40	0.3~1	100~150	0.4~1.5
	双刃刀	25~40	0.3~0.8	—	—	120~200	0.4~1.5
半精镗	单刃刀	25~40	0.2~0.8	30~50	0.2~0.8	150~200	0.2~1
	双刃刀	30~45	0.2~0.6	—	—	150~200	0.2~1
精 镗	单刃刀	15~30	0.15~0.6	20~35	0.1~0.6	150~200	0.2~1
	双刃刀	8~15	1~4	6~12	1~4	10~20	~4

注： v 值：当用铰模时由于考虑到刀杆和导向套的润滑情况，故选取小值。
 f 值：主轴悬伸较长时，取小值；在精镗时要注意不因 f 过小而引起振动。

表2-6 镗削切削用量表 (硬质合金刀具)

加工精度	工件材料 切削用量 刀具类型	铸 铁		合金钢(铸钢)		铝铜及其合金	
		v (米/分)	f (毫米/转)	v (米/分)	f (毫米/分)	v (米/分)	f (毫米/分)
粗 镗	单刃刀	40~80	0.3~1	40~50	0.3~1	200~250	0.4~1.5
	双刃刀	35~60	0.3~0.8	—	—	200~250	0.4~1.5
半精镗	单刃刀	60~100	0.2~0.8	80~120	0.2~0.8	250~300	0.2~0.8
	双刃刀	50~80	0.2~0.6	—	—	250~300	0.2~0.8
精 镗	单刃刀	50~80	0.15~0.6	70~100	0.15~0.6	200~250	0.15~0.8
	双刃刀	20~40	1~4	8~15	1~4	12~20	1~4

注： v 值：当用铰模时，由于考虑到刀杆和导向套的润滑情况，故选取较小值。
 f 值：主轴悬伸较长时取小值，在精镗时要注意不因 f 值过小而引起振动。

通常是根据操作者的实践经验来确定，不能机械地参照切削用量表的数据去操作。因为在切削加工过程中遇到的各种情况是相当复杂的，必须具体情况具体对待，灵活而合理地选择切削用量。

第七节 切削力和切削热

切削时要切下切屑，就必须克服被加工材料的阻力，这个力称为切削力。有了切削力，必然伴随着产生切削热。

一、切削力

切削力是由多方面因素构成的，首先是在刀具的作用下，工件表层金属将发生弹性变形和塑性变形，刀具的后面和已加工表面之间发生摩擦，刀具前面和切屑之间发生摩擦，因此，机床的动力大部分都要消耗在这些变形和摩擦之中，这些变形和摩擦所需要的力，统称为切削力，以 P 表示。

实际上切削力是一个很复杂的力，是由很多分力所组成的一个空间力。为了便于分析和理解，可以把这个力 (F) 分解成为三个分力 (图2-26)。

垂直切削分力 F_z ，这是切削中的主要分力，它使刀具向下压，也就是压向旋转相反的方向。

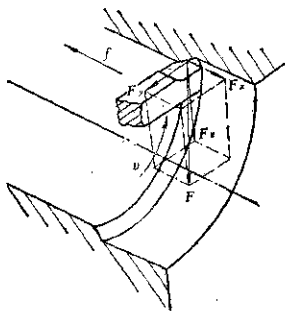


图2-26 镗孔时切削力的分解图

轴向切削分力 F_x ：这个力平行于轴线并与进给方向相反。

径向切削分力 F_y ：这个力垂直于轴线和进给方向，它使刀具压向轴心。

在这三个分力当中， F_x 的大小占总切削力的90%左右。通常所说的切削力主要是指这个力。

切削力的大小与工件材料性能、切削用量、刀具角度及冷却润滑液的使用有关，将分别讨论如下：

(1) 工件材料性能的影响：工件材料的不同，切削力也不同。如材料愈硬，机械性能愈高，加工时切削力则愈大。脆性材料因为结构疏松，被切层不作塑性变形就形成切屑，所以切削力需要的小。

(2) 切削用量的影响：在切削用量三要素中，当进给量和切削深度增加时，使切削层面积增大，直接影响到切削力的增大，但切削深度对切削力的影响比进给量大。

切削速度对切削力的影响是复杂的，由于切削速度增加，刀尖上易形成积屑瘤，且逐渐增加，使前角不断增加，从而减少了切削力。但是速度高了也会加剧刀具磨损或崩刃，这样一来反而使切削力增加。所以在粗略计算切削力时，切削速度可以不考虑。

(3) 刀具角度的影响：影响最大的是前角，因为增大前角可以减小被切金属层和切屑的变形，以及刀具和切屑、工件之间的摩擦，从而使切削力减少。但前角也不能过大，否则会严重削弱刀具强度和产生“扎刀”现象而损坏。

(4) 冷却润滑液的影响：采用冷却润滑液可减少切屑与工件对刀具的摩擦，特别是含有化学活性的冷却润滑液，能渗透到切屑分离处的细小裂隙中，更有利于切屑分离工件金属母体，使切削力降低。

在一般情况下,切削力可以用下面的公式粗略计算,

$$\text{切削钢料时 } F_x = 200 \times t \times f \text{ 公斤}$$

$$\text{切削铸铁时 } F_x = 100 \times t \times f \text{ 公斤}$$

$$\text{而 } F_z = 0.25 F_x$$

$$F_y = 0.4 F_x$$

【例】 在切削深度 $t=5$ 毫米,进给量 $f=0.26$ 毫米/转的情况下,镗削一钢质工件的孔,问这时的切削力大致是多少公斤?

$$\text{【解】 } F_x = 200 \times 5 \times 0.26 = 260 \text{ 公斤}$$

$$F_z = 0.25 \times 260 = 65 \text{ 公斤}$$

$$F_y = 0.4 \times 260 = 104 \text{ 公斤}$$

二、切削热

在实际切削过程中,测定切削力的大小要用专用工具(测力夹头),而切削热则是能够直接感觉到的,并常以切屑温度的高低来判别切削力的大小。当然,切削热是切削力做功时产生的,没有切削力也谈不上有切削热。

切削塑性材料时,在切削速度不高的情况下,切削热主要是切屑塑性变形所消耗的功转换成热能的。切削速度高时,切削热的主要来源为摩擦消耗之功,因为切削速度高时,切屑塑性变形过程非常迅速,有的切屑来不及变形就被挤走了,而热量没有等到传给工件和刀具也就被切屑带走了,所以一般高速切削变形产生的热量较小。

切削脆性材料时,切削热的主要来源为摩擦消耗之功,而以刀具后刀面与已加工面摩擦居多。一般情况下切削塑性材料比脆性材料产生的热量要多。

切削热直接影响到刀具的耐用度,当热量超过一定限度时,刀具的切削部分就开始软化,并且迅速磨损。

切削热是切削过程中客观存在的一种有害的物理现象。为了减少切削热对切削过程的影响，可以减小切削力和采用其他措施把切削热控制在一定的范围之内。

常采用的措施是切削中加以冷却润滑液，这样可将大量的切削热带走，从而可以减少由于温度升高使工件产生的变形的误差，同时使刀具保持一定的锋利程度，切削轻快，减少动能消耗，提高刀具使用寿命，相应地也提高了生产效率。由于润滑液可以渗入金属表层的微孔中，减少金属分子间的结合力，切屑容易被切下来，并能提高表面质量。

采用冷却润滑液要具备以下性能：

- (1) 良好的冷却性能和润滑性能。
 - (2) 防腐和清洗性能。
 - (3) 经济耐久、不变质和无害人体健康。
- 车床常用的冷却润滑液见表2-7。

表2-7 常用冷却润滑液选用表

种类	散热性	润滑性	用途
乳化液	好	差	适用于各种钢材及有色金属的粗、半精加工
机油	差	好	适用于各种钢材的精加工
煤油	较好	较好	适用于各种有色金属和铸铁的精加工
豆油	差	好	适用于各种钢材表面粗糙度要求高的加工

因为卧镗加工中一般情况下切削速度都不太高，所以除了极少数进口卧镗外，绝大多数卧镗都没有冷却润滑装置，因而也就不能连续冷却。另外卧镗上加工的零件多为铸铁件，而铸铁加工习惯上是很少使用冷却液的，因为铸铁切屑混

在冷却液中，对于机床和工件都不易清理干净。同时切屑中含有石墨，使冷却液很快变得又黑又脏，故只在个别情况下当精加工时用毛刷蘸点煤油之类作润滑用。

第八节 装夹刀具的工具

装夹刀具的工具主要有刀杆、平旋盘刀杆座、加长钻杆等。

一、刀杆

根据孔的结构和大小的不同，刀杆可做成各种形状，以满足加工要求，万能加工中常用的刀杆有如下几种，它们都是用于悬伸镗削。

1. 圆柱形刀杆

圆柱形刀杆是镗刀杆的基本型式(图 2-27 a)，既适用于通孔和台阶孔的加工，也可用来刮削孔端面、倒角等工作。头部方孔供装夹刀具用，刀具可用一只螺钉轴向夹紧，也可用两只螺钉在径向和轴向夹紧，这要根据具体情况选用，多数情况下用一只螺钉夹紧，因为加工中调节方便。刀杆材料多用 45Cr 和 45 钢，有时也用 20 钢和 20Cr，个别情况下也采用 T8 和 T10A 材料，一般热处理淬火硬度为 HRC40~45 (低碳钢须经渗碳)。刀杆的长度不超过其直径的 8 倍，它的圆柱部分对锥柄的同轴度误差应在 0.02~0.04 毫米，刀方孔对轴心线的垂直度误差为 0.02~0.1/100 毫米。

2. 圆锥形刀杆

圆锥形刀杆是在圆柱形刀杆的基础上改进而成的，即将圆柱形刀杆杆身部分改为圆锥形，一般适合较长的刀杆 ($L > 200$ 毫米)。它有以下优点：

1) 由于刀杆从柄部向方孔处逐渐退拔，所以头部重量

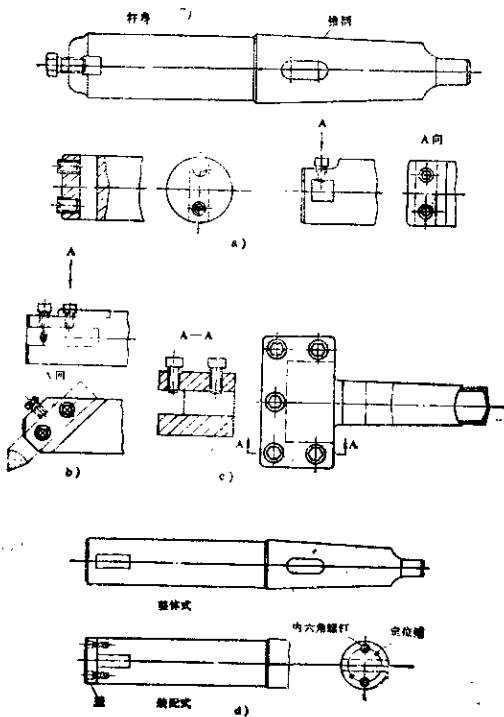


图2-27 刀杆

a) 圆柱形刀杆 b) 斜口刀杆 c) 开口刀杆 d) 浮动镗刀杆

轻，由此而产生的挠曲变形量小，它与同样长度的圆柱形刀杆相比较，其切削速度可相应提高20%。

2) 加工工件上具有毛坯孔时，使用圆柱形相应直径的刀杆头部进不去，只得先用小直径刀杆先铤一刀再换粗刀杆。若用圆锥形刀杆，由于头部小一开始便可加工，这样省去了换刀杆的时间。

3) 由于刀杆头部直径小，便于加工时观察。在制造刀杆时，只有在方孔加工完毕之后才能加工锥面，否则，方孔很难加工。

3. 斜口刀杆

如图2-27 b所示的斜口刀杆主要适用于盲孔的加工，也可以用来铣削较窄的不在工件表面位置上的窄面。由于刀头在刀杆内有较大的安装长度，并具有足够的位置安放压紧螺钉或调节螺钉，所以它又适合装微调镗刀的结构。

4. 开口刀杆

开口刀杆(图2-27 c)主要适用于盲孔及盲孔端面的加工，也适用装夹在平旋盘的刀杆座中车削及铣削窄面。它的前端装刀部分是敞开的，侧面开口同样可以装刀，故用途多。根据刀杆杆身的长短，分长开口刀杆和短刀杆(如图2-26 c所示)。

5. 浮动镗刀杆

浮动镗刀杆(图2-27 d)是专门用来安装浮动镗刀的，由于是精加工刀杆，所以装刀孔的制造精度要求高(图2-28)，尤其是整体式浮动镗刀杆的矩形孔加工困难，也可以做成装配式的，如图2-27 d所示。浮动镗刀杆是对号专用的，尽管矩形孔尺寸相同，但应根据刀体长度刀杆直径也要加大，否则使用时容易发生振动。

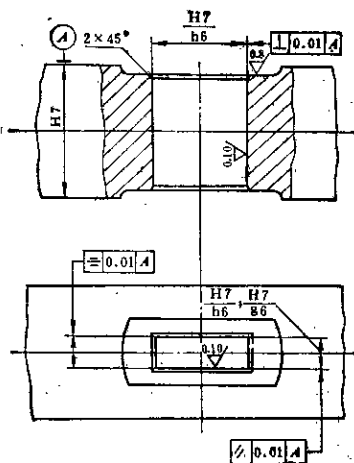


图2-28 装刀孔的精度要求

6. 大孔镗削头

图2-29所示是同时用两把刀具镗削大孔用大孔镗削头，靠其锥柄装于机床主轴中使用。

图2-30所示为安装在镗铣床铣轴中镗削大孔的工具。它用六只螺钉安装在铣轴端面上，靠滑枕进出走刀切削。下部刀头随意伸缩，调节范围大，用于第一刀切削，上部刀头用于精加工，即第二刀切削，其上有微调机构，所以能精密控制孔径尺寸。

除上述之外，还有同时能装三把刀的大孔镗削头。

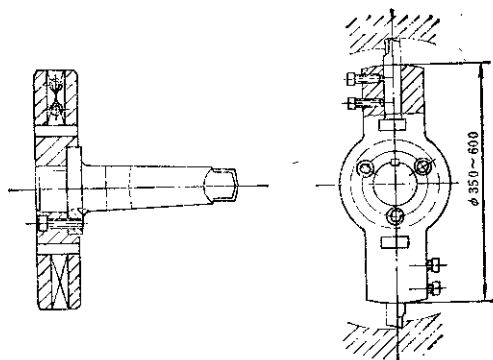


图2-29 大孔镗削头

7. 微调刀杆

能使刀具在径向作微量调整进给的刀杆称微调刀杆。它的特点是通过刻度螺帽上的刻度可使刀具根据需耍准确地进给，从而节省了通常多次用敲刀头进刀和试镗的时间，能大大提高生产效率。但结构较一般刀杆复杂，制造精度高。微调刀杆通常精加工时用。

图2-31 a所示为机夹可转位刀具的微调刀杆，刀头1是圆柱形，依靠导向键5在斜孔中定向移动，径向进给是靠旋转刻度螺帽2带动圆柱面的螺纹前进，定好尺寸后用拉紧螺钉3通过垫圈4将刀头紧固。

图2-31 b所示为差动微调刀头，结构简单，易于制造，刻度精密。刀头与刀杆孔为滑配合，其尾端有M6×1螺纹孔，与其配合的调整螺钉另一端为M8×1.05非标准螺纹，套

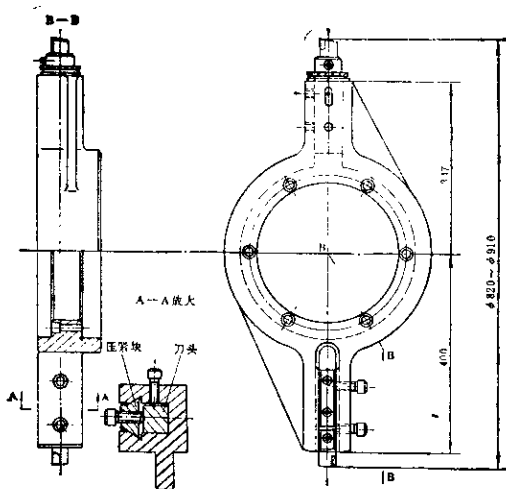


图2-30 安装在铣轴上的大孔镗削头

拧在非标准螺钉上。套1与刀杆孔为过渡配合，并在端面上刻有长短线各五条。当调整螺钉2在套上转一周时，螺钉向前进一个螺距（1.05毫米），同时进入镗刀内一毫米。实质上当螺钉旋转一周时，螺钉向前移动1.05毫米，而同时镗刀后退一毫米，故镗刀实际伸出量为0.05毫米。由套上的刻度可知，当调整螺钉转一大格时，镗刀前进（或后退）0.31毫米，每转一小格时则为0.005毫米。刀头与套用紧固螺钉3固定。

图2-31所示为大孔镗削头上的微调机构，刀具用夹刀螺

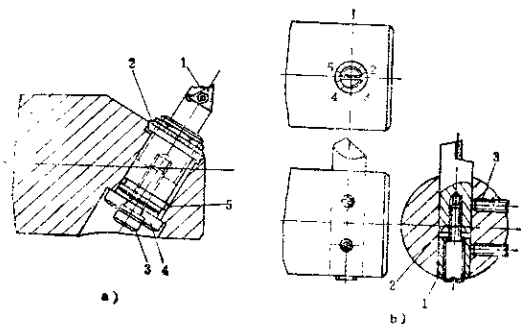


图2-31 微调刀杆
 a) 微调刀杆 b) 差动微调镗刀

钉1紧固在滑动套4上。若进给时，转动刻度螺母2带动滑动套使其沿轴线移动，并用螺钉3夹紧。键5在滑动套内起导向作用。

这种精密进刀机构可适用于各种大孔镗削工具上，因此使用比较普遍。

图2-33中所示的结构，单凭着调节螺钉的螺距和它转动的角度来判断刀具的伸出量。

图2-34所示为微调量在1毫米以内的微调镗刀杆，仅适用于孔的精加工，偏心套外圈上有精密刻度，每刻度为0.01毫米，故能准确地控制孔径尺寸。刀头装在刀体套中，刀体套在刀杆相应孔中滑配，由键定向，偏心套内两孔偏心量为 e ，由此偏心带动刀体套径向进给。

此外还有图2-35所示的镜头都能径向微调。图2-35 a所示的微调镜头，其最大加工孔径为 $\phi 55$ 左右，切削抗力比较

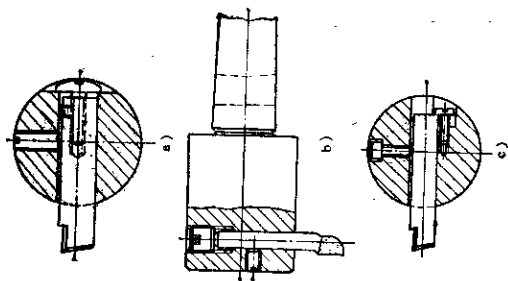


图2-33 无刻度微调刀杆

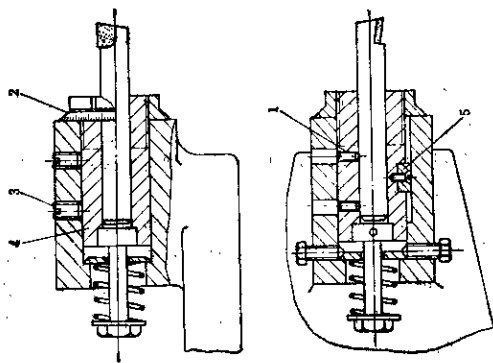


图2-32 大孔锥削头上的微动机构

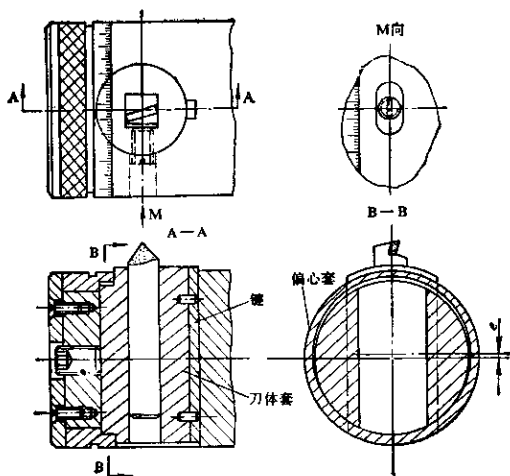


图2-34 微调镗刀杆

小，不能吃大力。当镗直径较大的孔时，可用图2-35 b所示的镗头、刀具装夹在左侧开口的活动刀夹槽中，通过拧动微调蜗杆端的内六方孔带动蜗轮，蜗轮转动可使活动刀夹靠固定其上的螺杆径向移动，精度也在0.01毫米。它可做成各种规格，故可加工 $\phi 235 \sim \phi 620$ 毫米范围内的孔。微调刀杆的种类很多、都不外乎用螺丝副来实现微量调节，也有采用蜗轮副的。

8. 多孔刀杆

图2-36 a 所示为多孔刀杆，特点是能同时装两把或几把

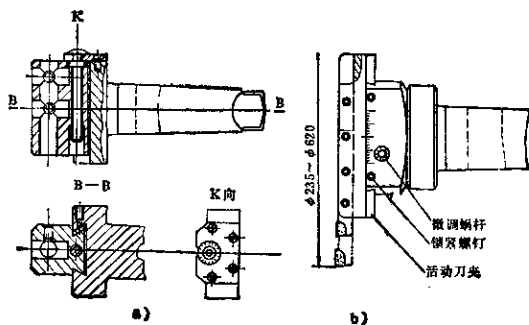


图2-35 微调镗头

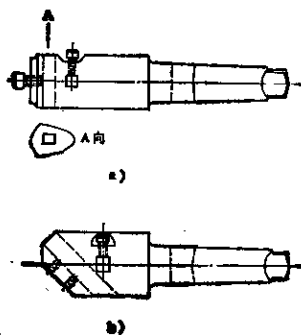


图2-36 多孔刀杆和复合刀杆

刀切削，以提高生产效率。图2-36 b所示为斜口刀杆和圆柱刀杆合于一体的复合刀杆。

二、平旋盘刀杆座

平旋盘刀杆座是安装在平旋盘滑板上装刀杆进行镗大孔、切槽、车削外圆、车削或铣削孔端面的工具，如图2-37所示。图2-37 a是用于装锥柄刀杆的，其内孔锥度与刀杆柄部锥度相配合，因此，这种刀杆座通用性好。只要锥度相同，什么样刀杆都可以使用。图2-37 b所示刀杆座适用于装夹直柄刀杆，利用两只螺钉夹紧，使用中比较牢固，但通用性差，必须另外配备各种尺寸的专用刀杆以适应生产中的需要，对于镗床数量较少的小组这将是不经济的，因此，图2-37 a所示的刀杆座与图2-37 b所示刀杆座相比较，前者使用较普遍，后者多用于柱式镗床。

刀杆座底面上四个孔利用螺钉紧固在平旋盘的滑板上，同时用其上的凸键定位。

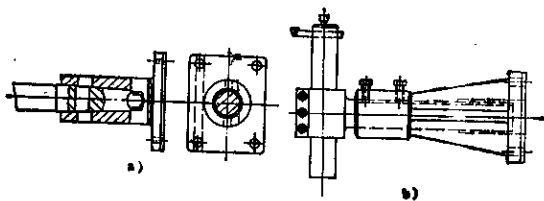


图2-37 平旋盘刀杆座

a) 用于装锥柄刀杆 b) 用于装直柄刀杆

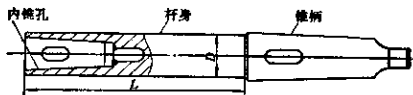
三、加长钻杆

加长钻杆又称接杆、接长钻杆或接长器，它由内锥孔和

外锥柄及杆身组成(参见表2-8插图), 可根据需要做成直径大小和长短不等的尺寸。常用的加长钻杆主要尺寸参数如表2-8所列。

加长钻杆的锥孔中插入钻头, 可以进行深孔或离工件表面较远的孔的钻削工作, 插上刀杆可以镗孔, 插上铰刀可以

表2-8 加长杆主要尺寸参数



(毫米)

项目	直径 D																
	14	18	22	24	25	28	30	35	38	40	45	50	60	70	80	90	100
外锥号数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	6	80	80	120
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	80	80	100	120	160	200
内锥号数	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6
				3	3	3	4	4	4	4	5	5	6	6	6	6	80
长度 L	120	120	120	100	150	200	230	250	250	250	300						
	180	180	180	200	250	280	350	350	400	400	450						
	220	250	250	300	350	360	450	450	550	600	600						
	—	300	300	400	420	450	550	550	700	800	800						
	—	—	350	480	500	600	650	700	800	—	—						

- 注: 1. 加长钻杆直径 D 按基轴制 $h7$ 制造 R_a 1.6 ($\nabla 6$) 以下。
 2. 锥号数莫氏按 1、2……6 号, 公制按 80、100……200 号。
 3. 热处理硬度 $HRC_{40\sim 45}$ 。

铰孔。还可以当作变径套使用，大直径的主轴通过加长杆可使用直径和锥柄小的工具。因为加长钻杆退出孔与主轴锁紧孔重合，所以退出工具时不必将刀杆从主轴孔中退出。

四、刀杆在主轴锥孔中的拉紧与退出工具

刀杆在主轴锥孔中主要是依靠锥面及尾扁来传递扭矩的，但是由于制造上的误差以及安装方面的原因，锥面的配合往往不可能很紧密，加上切削过程中的振动，刀杆很容易从锥孔中松动脱出，轻者产生打刀和将工件已加工面造成缺疵，重者会将主轴弯曲变形。为防止刀杆松脱，可采用以下几种拉紧和退出工具（图2-38）。

1. 楔铁锁紧和梢铁退出

如图2-38a所示，在主轴3的锁紧孔中装入两个楔铁2，并相互敲紧，使刀杆向锥孔里推入，楔铁斜度一般在 6° 左右。要注意楔铁头部不能高出外圆，否则容易造成人身和设备事故。这种楔铁往往做成各种大小不同的尺寸，放在专用盒子里，便于使用中选配。

刀杆退出时，先退出楔铁，在主轴退出孔中用梢铁5（或退刀杆）挤出刀杆。梢铁尺寸不标准时，尤其角度不对，退出刀杆很费力敲得主轴猛烈振动，为此，一定要使用标准梢铁，其斜度为 8° 。这种工具均适用于台式镗床和柱式镗床。

2. 斜垫锁紧

图2-38b所示的工具是用内六角螺钉4和垫圈3压紧两个斜垫5，以防刀杆1松脱。斜垫的斜度小，刀杆在装入主轴2的锥孔时，只要对正用力，即可送入或辅以轻往的轴向力。刀杆退出时，可用梢铁。

3. 用螺钉调节滑块锁紧

图2-38c所示的工具是用扳手2旋紧或旋松内六角螺钉3

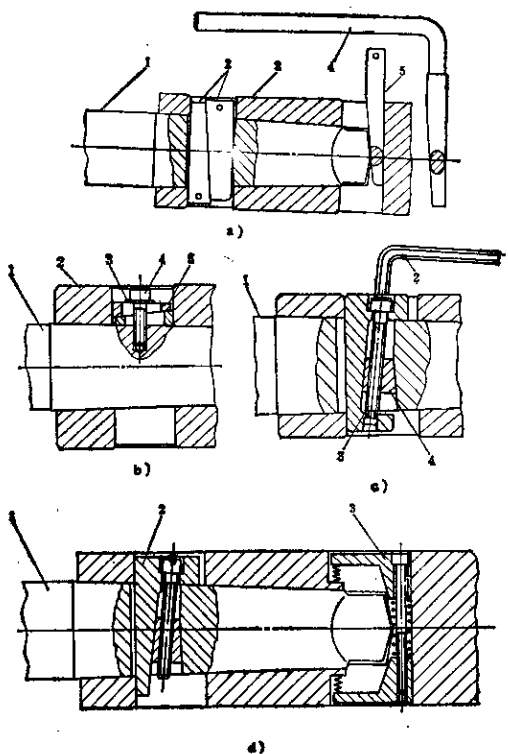


图2-38 刀杆拉紧和退出工具

- a) 用楔铁锁紧和稍铁退出 b) 用斜垫锁紧 c) 用螺钉调节滑块锁紧 d) 另一种刀杆拉紧与退出装置

调节锁紧滑块 4 来锁紧刀杆 1 的。图 2-38 d 是另一种刀杆拉紧和退出装置。这种装置由利用内六角螺钉调节锁紧滑块的拉紧装置 2 和由弹簧支撑的锁紧块来推出刀杆 1 的退出装置 3 组成。用扳手 2 旋紧或旋松内六角螺钉 3 调节锁紧滑块 4 来锁紧刀杆 1 的。

上述刀具拉紧与退出装置均适用于莫氏和公制锥度的配合，这些工具的锥度都比较小，自锁能力强，退出虽较为费力，但操作很方便。由于它们接触长度长和配合比较紧密，所以在使用时，其刚性和稳定性都好。

4. 大锥度刀杆的拉紧和退出工具

在现代化的卧式镗床的设计中，从实现机床自动化和延长主轴寿命方面考虑，促进了工具自动装卸装置的发展，因此，目前一些大型和重型卧式镗床、数控和自动换刀数控镗床均采用了大锥度的主轴锥孔，因为锥度大，定心好，自锁能力低，便于机动迅速装卸。但另一方面由于锥面接触长度短，对使用较长刀杆加工时刚性和稳定性较差。

目前大锥度的主轴锥孔均用国际标准 (ISO)，采用 7:24 的锥度。为了传递扭矩，主轴设置了端键。

在大锥度刀杆的拉紧和退出工具中，绝大多数大锥度工具均采用机动装卸刀杆。

现举图 2-39 所示的碟形弹簧拉紧、液压松开的机动装卸刀杆为例来加以说明。

图 2-39 所示的刀杆处于拉紧状态。刀杆 1 依靠碟形弹簧 4 将拉杆 5 后推，拉杆左端开口凸缘卡住刀杆尾端的螺杆，将刀杆拉紧；当卸开刀杆时，启动液压开关，压力油由箭刀所示方向进入油缸 7，使活塞杆 6 向左推动拉杆，并使碟形弹簧受到压缩，从而将刀杆 1 退出。用螺钉固定在水轴 3 的

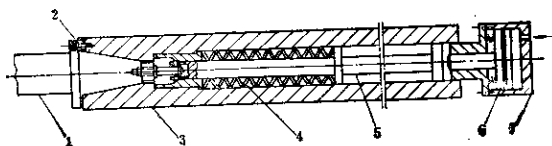


图2-39 机动装卸刀具

端面上的拉键 2 用来防止刀杆转动。这种装置装卸刀杆迅速方便，拉紧力比较大，且结构紧凑，故广泛用于大型柱式镗床和自动换刀数控镗床上。

手动拉紧与退出大锥度工具由于装卸刀具的效率较低，故应用得较少。

今将常用的手动装卸刀杆的结构简述如下：利用内六角扳手转动带左、右螺纹的双向螺丝来带动两个锁紧块作相对移动，借助于锁紧块的锁紧面将刀杆拉紧。退出刀杆，按拉紧方向相反的方向旋转双向螺丝，使锁紧块同时向外扩张，即可将刀杆退出。

此外，还有用电动机带动穿越主轴内孔中的螺纹拉杆拉紧和退出工具的结构。

五、关于装刀孔的分析

刀杆装刀孔基本上有两种：一种是圆柱形装刀孔，另一种是矩形（正方形或长方形）装刀孔（图2-40）。

圆柱形装刀孔与刀具配合精度要求高，制造较困难，更重要的是刀具在夹紧时的支承面积小，这与配合间隙有关，但无论多大间隙，其支承面积都要小于同截面矩形装刀孔的支承面积。再者这种装刀孔给刀具在制造时以及工作时的重新刃磨、掌握刀具角度带来困难，而且装夹中定向能力低，

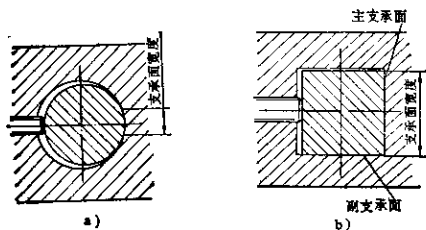


图2-40 刀杆装刀孔
a) 圆柱形装刀孔 b) 矩形装刀孔

故在加工中容易改变刀具的几何角度，影响加工件的尺寸精度。

矩形装刀孔安装刀具方便，定向好，支承面积比圆柱形装刀孔的支承面积要大得多，所以装夹牢固。除浮动镗刀杆装刀孔以外，矩形装刀孔制作简便，精度要求低。

上述两种装刀孔，在生产中用得最多的是矩形装刀孔。

第三章 工件的装夹

在工件进行加工之前，必须将工件按工艺加工要求安置在工作台的某一正确位置上，这就是定位。工件定位后，为了防止在切削过程中移动，必须使用夹紧工具将它夹紧，从定位到夹紧的这一过程称为装夹，或叫安装。

工件的装夹在卧镗加工中是特别重要的一环。因为卧镗加工工艺性广泛，在单件或小批量生产中，常常会遇到各种形体复杂且不规则的工件，所以我们必须学会对各类工件的装夹方法。

工件装夹得好坏，不仅直接影响到工件的加工质量，而且对于缩短辅助时间和提高生产率、延长机床使用寿命、减少工具消耗、降低生产成本以及安全生产等都有着密切的关系。

第一节 工件装夹前的工艺要求

工件未加工之前，在工艺文件——工序卡里一般都明确规定了加工前必须准备的工作。

铸造的箱体件，在加工之前须经过清理，如将毛边、浇口、冒口和粘附在其上的型砂等清除掉。一般浇口和冒口都是设置在加工面上，且有一定的要求，以免增加不经济的切削时间。当浇口和冒口位置不在加工表面时，其剩余高度不应大于5毫米。

焊接的箱体件，由于焊接时内应力变形很大，因此，焊

后须经过正火处理，以消除内应力，减小变形。

精密零件的毛坯要经过时效处理，在送交机加工前，要求所有非加工表面都要涂以防锈油漆。

绝大多数机体件的安装基准面先由刨床或铣床加工出，有精确要求的基准平面应当由钳工刮研或磨床磨出。

单件小批量生产中，应有划线工序将加工部位的线划出。划线时要照顾全面并能发现毛坯的缺陷，其中包括余量、相互位置等，钳工序多数情况是以划线为加工依据的。

第二节 通用装夹工具

镗床上所使用的装夹工具种类繁多，以适应对各种形状工件的夹持。

在单件和小批量生产中，应尽量使用通用装夹工具，并保证必需的品种和数量。如果对夹紧工具没有充分的选择，那么用于零件夹紧的时间就要多些。因此，装夹工具尽量要标准化，并且备有充足的数量，以缩短辅助时间和提高工效。对夹紧工具的基本要求是：结构合理、制造质量高和使用方便。

卧式镗床通用装夹工具有：

(1) 螺栓、T形螺母座、螺帽及垫圈。

常用的双头螺栓比普通螺栓的螺纹长，约为直径的2~4倍，它是用来夹紧工件的，在必要时几根螺栓通过高螺帽接长使用。与螺栓一起配合使用的还有T形螺母座、螺帽和垫圈（图3-1）。T形螺母在工作台T形槽中安放，移动应灵活，两肩与螺纹中心要垂直。螺帽比普通螺帽要长1~2倍，便于两根螺栓连接时有足够的拉力。

(2) 压板：图3-2所示为三种常用的压板。图3-2a为

开口压板；图3-2 b 为封口压板；图 3-2c 为长压板。压板应使用45钢制造，并经淬火处理。

(3) 垫铁：垫铁是用以支承压板的，应有成套的尺寸和足够的数量。不得随意使用其他物件代替，以防影响工件装夹的牢固性。

常用的垫铁有两种型式：一种是阶梯形的矩形块，如图 3-3 所示。I 型多用于台式镗床，II 型尺寸较大，多用于柱式镗床，它的底部接触面较大，在使用中很稳当。I 型多用钢质材料制造，II 型多用铸铁制造。

另一种是可调整的圆柱形的垫铁（图3-4 a），可根据需要的高度通过螺纹来调整。也可以重叠在一起使用。

若在夹紧工作中需要很高的垫铁时，则可采用图 3-4 b

所示的可调垫铁。本体用工字钢和钢板焊接而成，齿条焊在本体上，支承块用两条夹板和小轴与卡爪连接。当须调节支承块的高度时，可将卡爪脱离本体，调整卡爪的齿牙在适当位置上与齿条相啮合。这种垫铁的优点是调整迅速，占地面积小。其调整范围可由600毫米到1600毫米之间。

(4) 定位挡块：图3-5所示的挡块为固定式挡块，凸键嵌在工作台的T形槽内，并用螺栓压紧。它主要用作工件的

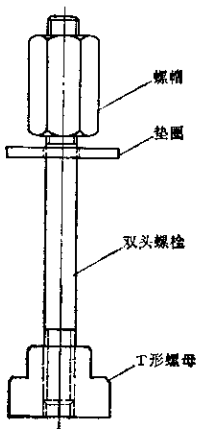


图3-1 装夹用螺栓、螺帽、T形螺母和垫圈

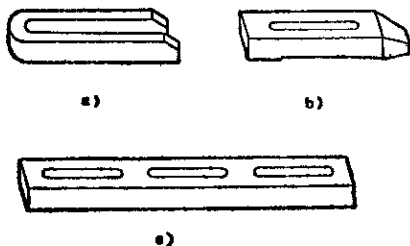


图3-2 压板

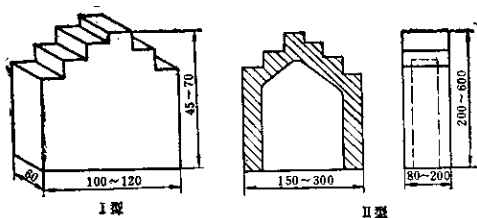


图3-3 阶梯形垫铁

侧面定位。

图3-6所示为可调挡块，不仅可用来在水平面内协助找正零件，还可用来夹紧零件，主要是通过螺钉来调节。图3-6 a所示的可用来找正10吨到40吨重的重型零件；图3-6 b所示的主要用在台式镗床上找正并夹持零件；图3-6 c所示的用于柱式镗床，将它插入工作台上的圆孔内，既可以纵向使用，也可以横向使用。

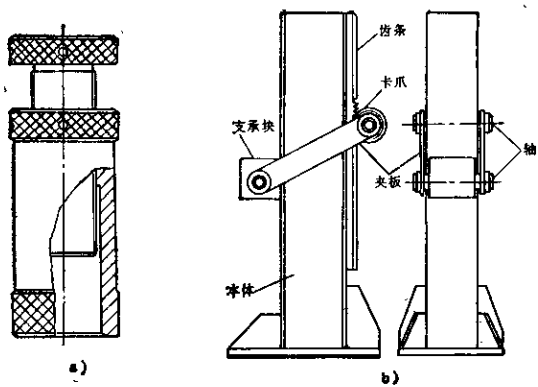


图3-4 可调垫铁

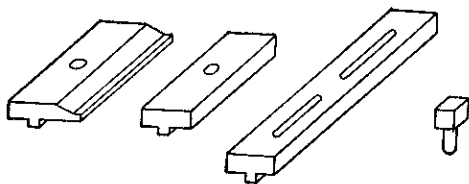


图3-5 固定挡块

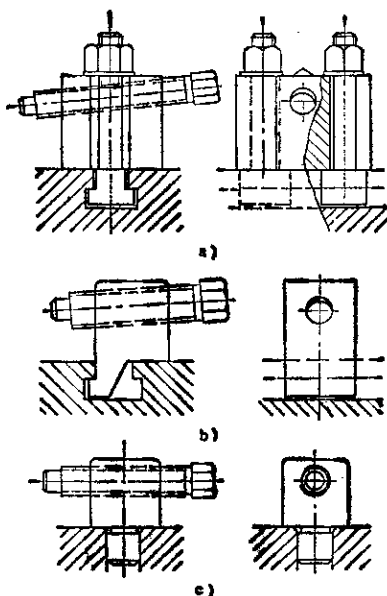


图3-6 可调挡块

图3-7所示为楔式挡块。图3-7 a可装在工作台上顺T形槽纵向夹紧或调整零件；图3-7 b则横向用来夹紧和调整零件。它主要由本体和钩块两部分组成。钩块横向装在工作台的T形槽内，用双头螺栓压紧本体向左移动或压紧工件。在本体的A孔内，装上可换的销子和球面支承，用以夹紧表面不平的零件。

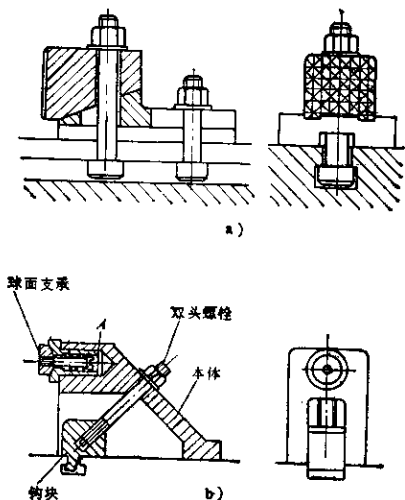


图3-7 楔式挡块

(5) 平行垫块：平行垫块是用来支承工件的。它有各种规格，而且同一规格各部尺寸要求严格一致。每一种规格至少有四块，最多时竟有20余块。常用垫块型式如图3-8所示。这三种型式的垫块均适用于各类镗床。

除了上述垫块以外，在柱式镗床上当安装大型工件时，还使用垫台。垫台支承工件的面积为长1000~3000毫米，宽300~700毫米。垫台高度为300~1300毫米。

(6) 弯板(角铁)：它主要用于安装孔中心线与安装基面成垂直的工件，也可以部分地代替特殊的夹具。它一般由

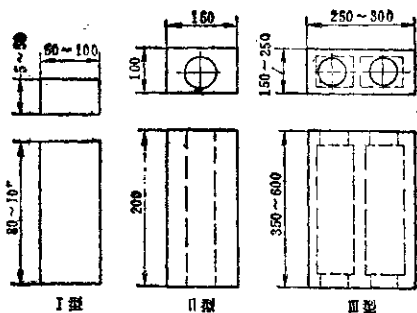


图3-8 安装零件用常用垫块型式

铸铁制成，为了增加弯板的刚度，在它的里侧铸有1~3条筋。在两个相互成直角的经过精加工的表面（顶面和侧面）上，制有长T形槽，供安装时穿螺栓夹压工件（参见图3-21）。

此外，装夹工件用的还有方箱，它的六个面相互垂直，其中在两个平面上刨有T形槽，均能装夹工件。此方箱有几组成对的也可作垫台用。

(7) 千斤顶：一些用毛坯面作为安装基准的工件，往往须用千斤顶来支承。常用千斤顶的结构如图3-9所示。图3-9a所示千斤顶用于调整工件；图3-9b和图3-9c所示千斤顶用于安装毛坯基准的工件；图3-9c所示千斤顶的顶面上有球面垫圈，可自行调整与毛坯面的接触；图3-9d为楔式千斤顶，通常在必须找正得比较精确时才用，可将工件调到0.01毫米的精度，但总的调整量较小。

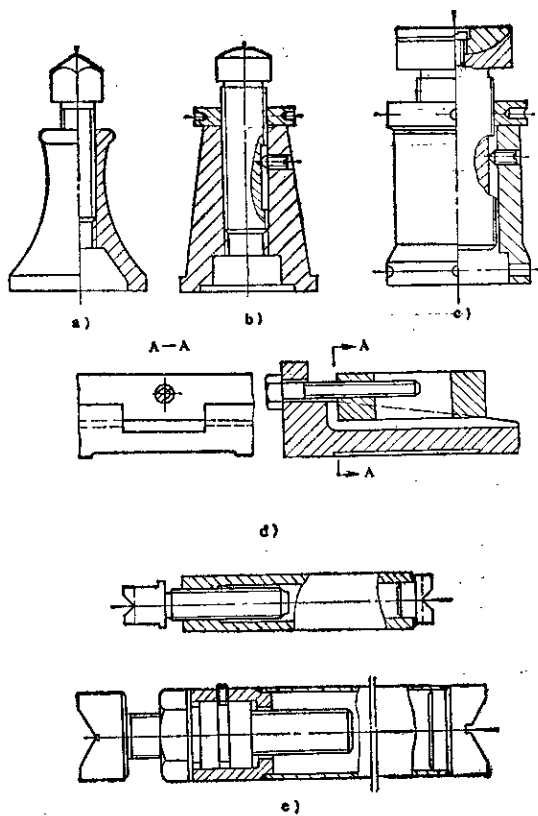


图3-0 用于安装和找正工件用的千斤顶

图3-9 e 所示为双头千斤顶，用以辅助支承与夹紧工件。上图所示的可在 50~400 毫米范围内调整，下图所示的可在 400~2600 毫米范围内调整使用，其主体由管子制造。使用千斤顶时一定要根据零件的重量来选择千斤顶螺纹直径的大小。

(8) V形铁：V形铁主要用于安装圆形工件。常用的V形铁如图3-10所示。图3-10 a~c 三种V形铁适用于中小件的安装；图d所示的V形铁适用于大型零件；图3-10 e 所示的为垂直方向可调整的V形铁；水平方向可调整的V形铁（参见图3-19）它的两块活动块通过螺钉可在燕尾形导轨上移动调整。

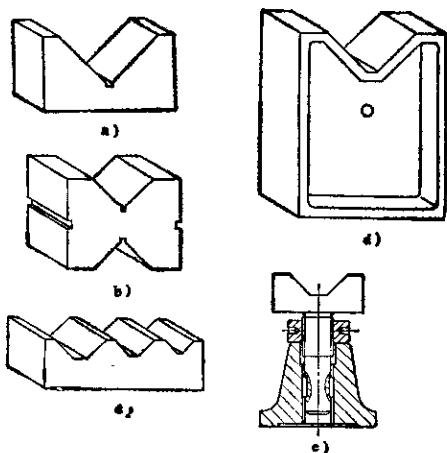


图3-10 常用V形铁

以上是卧式镗床上一些基本的安装工具，实际上各工厂根据工作性质的不同，安装工具也不尽相同。

第三节 工件的定位

一、工件定位的六点规则

工件在空间的位置，可以沿上下、左右、前后三个相互垂直的方向移动，也可以在水平、纵向、横向三个互相垂直的平面上转动（即沿空间坐标轴 x 、 y 、 z 三个方向的移动和绕此三轴的转动）。工件在每一个方向上移动或转动的可能性，就叫做工件的一个自由度。因此，工件在空间共有六个自由度，如图3-11 a 所示。为使工件具有完全确定的位置，就必须设法消除这六个自由度。

大家知道，三个点可以决定一个平面，把工件放在机床工作台或夹具的水平面上时，就相当于在水平面上有三个点支承着，这就消除了工件上下移动和绕 ox 轴、 oy 轴转动的可能性，换句话说就是消除了三个自由度（参见图3-11 b）。如果在工件的侧面上增加两个点支承工件，则可消除工件左右

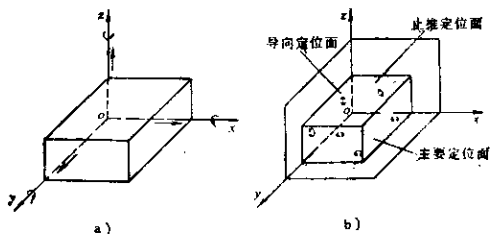


图3-11 工件的自由度和定位规则

a) 工件的六个自由度 b) 六点定位规则

移动和绕 oz 轴转动的可能性，即又消除了两个自由度。最后只剩下工件前后移动的可能性，这可以在后端面上增加一个支承点即消除了。故而工件的六个自由度可以用六个支承点来消除，这就是工件的定位六点规则。

具有三个支承点的 xoy 平面称为主要定位面。在这个平面上若用三个以上的支承点来支承工件，由于它们不可能绝对在同一个平面上，工件也就不会同时着落在所有支承点上，倘若如此，夹紧后工件极易变形。事实证明，由于工件的自重作用，主要定位面上的三个支承点越远，则工件的稳定性越好。所以，要选择工件上最大的表面作为主要定位面。

具有两个支承点的 yoz 平面称为导向定位面。这两个支承点的距离越远，定位精度就越高，因此，要选择比较长的侧面作为导向定位面。

具有一个支承点的 zox 平面称为止推定位面，一般以尺寸较小的端面作为止推定位面。

二、定位方法

所谓定位就是将工件安置在工作台的某一正确位置上，也就是工件与刀具构成一定的角度（垂直、平行或任意角度）。通常用找正的方法来确定定位的准确性。卧镗找正的方法很多，这要根据工件的结构形状、加工精度等来选择，一般分粗找正与精找正两种方法。

1. 粗找正方法

粗找正方法适用于在镗床上为第一道工序或加工部位的精度要求不高的工件，也可作为精找正的预找正工作。

(1) 依据工作台上的刻线：有经验的镗工为了自己操作过程中粗找正方便迅速，便在一开始使用机床时在工作台上刻下坐标线。图3-12所示为T68机床工作台面刻线的尺寸

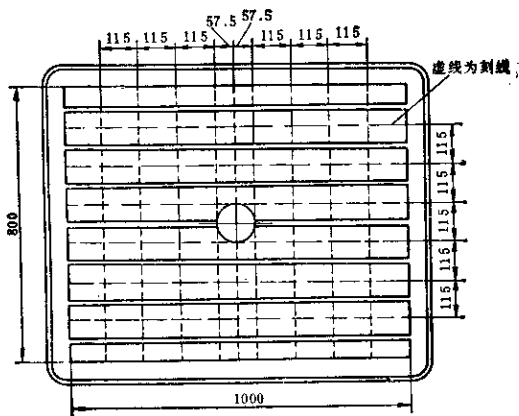


图3-12 T68机床工作台面刻线尺寸图

(为避免线条紊乱, 故刻线画成虚线), 刻线宽应在 0.3 毫米以内。

柱式镗床工作台也可刻线, 此刻线工作应在刨床上进行。

工作台面有了刻线, 工件的边沿可通过与其重合或等距离来达到粗找正的目的。

(2) 用刻线尺测量: 如果工件安装基准面的侧边是已加工过的, 那么就可以用刻线尺 (钢板尺、高度尺或深度尺) 依据工作台边缘测量, 使工件上的侧边与工作台边缘尺寸相等即可。

(3) 按刻线找正: 这是粗找正常用的方法。通常使用刻线盘和划针按刻线找正。按刻线找正主要是找正零件上的

十字中心线，如图3-13所示的轧钢机机架，首先用划针盘依据工作台面找正水平中心线1，然后将划针装于主轴上的刀杆中，移动工作台横向找正垂直平面内的中心线2。

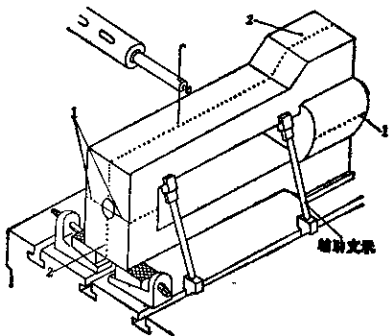


图3-13 找正划线方法

(4) 定位板找正：根据工作台T形槽的实际宽度，制成与其配合得较精密的若干对定位板，插入槽子里，如图3-14 a所示，将工件侧边与定位板靠齐，则工件就自然找正了。有的机床工作台侧面装有定位板，是专门用来定位的(图3-14 b)，这种方法适用于生产批量较大的情况。定位板除有定位作用以外，还防止了工件在加工过程中可能因切削力过大而产生的水平移动。

2. 精找正方法

在工件的定位精度要求很高的情况下，基本上都要使用百分表来找正有关已加工表面。若使用夹具或胎具装夹工件，那么胎具或夹具在工件装夹之前就要找正好。

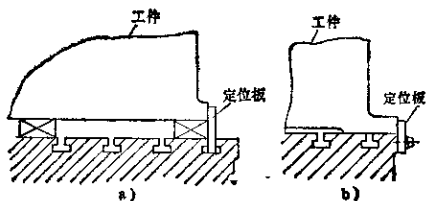


图3-14 定位板定位找正

第四节 基准及其选择

“基准”就是“根据”的意思。在零件图上，工艺文件或实际的零件，必须根据一些指定的点、线、面来确定另一些点、线、面的位置，这些作为根据的点、线、面，就称为基准。

在实际工作中，例如安装工件时，选择哪个表面作为定位表面，测量时又要根据哪些表面作为测量基准，这都涉及到基准的问题。

一、基准的种类

基准可分为设计基准和制造基准两大类。

1. 设计基准

设计基准是指零件图上作为确定其他点、线、面位置所依据的点、线、面。

设计基准是根据零件的使用要求，在零件图上找出一些点、线、面用一定的尺寸或相互关系（同轴度、平行度、垂直度）来表示零件各表面之间的相互位置。如图3-15所示的箱体零件，顶面A和孔1的上下位置都是根据底面B来决定

的，所以底面 B 是顶面 A 和孔 1 的设计基准。孔 2 和孔 3 及螺纹孔 4 的中心位置又是根据孔 1 中心决定的，所以孔 1 又是孔 2、孔 3 和螺纹孔 4 的设计基准。

2. 制造基准

制造基准又称工艺基准。它是指零件上一些点、线、面，在制造过程中根据它们来加工、测量其他表面的基准。制造基准又分为定位基准、度量基准和装配基准等。

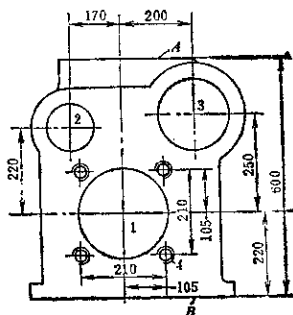


图3-16 零件图上的设计基准

(1) 定位基准：工件在加工时定位所用的基准称为定位基准。如图 3-15 箱体上孔 1、2、3、4 在加工时都是用底面 B 安装在机床工作台面或夹具的支承面上的，所以底面 B 是孔 1、2、3、4 的定位基准。

定位基准根据其表面状况又可分为粗基准和精基准两种，以毛坯表面作为定位基准称为粗基准；以已加工表面作为定位基准称为精基准。

(2) 度量基准：测量工件时所用的基准称为度量基准。如图 3-16 a 所示轴的中心线为轴的两轴颈同轴度的度量基准，同时，中心线也是设计基准。因此一般常以设计基准作为度量基准。

图 3-16 b 中所示的零件 A 面是 B 面的度量基准。

(3) 装配基准：在装配时用来决定零件或部件在产品

中的相互位置的表面，称为装配基准。如图3-17所示的车床尾座上的A、B面为装配基准。

二、定位基准的选择

定位基准的确定在加工中是很重要的，因为零件上各加工表面相互位置的精度的保证与定位基准的选择有着密切的关系，尤其是镗床上加工零件的各加工部位相互位置多数都有着严格的要求。定位基准一旦选错，轻则影响加工质量，延长加工时间，重则往往会造成废品。选择定位基准应从保证加工精度、装夹次数最少、加工方便和定位夹紧可靠为出发点来考虑。

零件的定位基准是随着其形状、尺寸大小、加工表面的位置、装夹方法及加工方法的不同而不同，但总的要遵循以下几点基本原则。

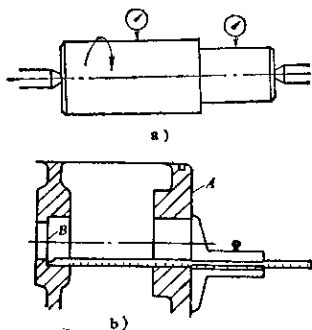


图3-16 度量基准

a) 轴的中心线 b) A面是B面的度量基准

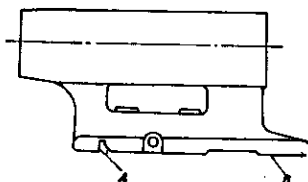


图3-17 尾座的A、B面为装配基准

1. 粗基准的选择

选择粗基准即毛基准之前，必须了解零件的作用和毛坯制造的情况，如毛坯的尺寸和形状、铸件的分模面位置等。再根据零件的结构特点和技术要求，作出粗基准的选择：

1) 首先要求减少加工面对其他不加工面的偏差，保证加工面有比较均匀的加工余量。

2) 粗基准应选择形状简单、表面光洁平整、面积较大、刚性较足的地方，以便定位准确，夹紧可靠而又不致变形。

3) 由于粗基准本身精度低，定位误差大，不能保证工件两次装夹中保持同样的位置，因此，粗基准只能使用一次。第二次装夹的定位基准面应当是头次装夹的加工面。

2. 精基准的选择

精基准即光基准。精基准选择的原则应当是：

(1) 尽可能选用设计基准或装配基准重合的表面作为定位基准，也尽可能使定位基准与度量基准重合。因为如此不仅有利于保证各加工部位之间的相互位置精度，而且有利于提高产品或部件的装配质量。如图3-18所示的减速器，A面不仅是设计基准，而且也是度量基准，加工时更是理想的定位基准，这就是基准重合。

(2) 定位基准的精度、形状和尺寸应能保证工件在定位时有良好的稳定性和

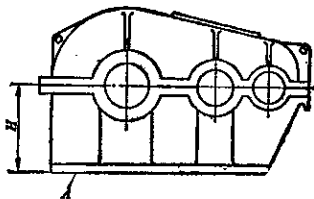


图3-18 设计、度量和定位基准重合

安装的方便性。

(3) 加工时尽可能符合基准不变的原则，使所有表面在一次安装中加工完，或在几次安装中均使用同一基准，以减少定位的积累误差，达到高的加工质量。

(4) 应选较大的表面作定位来加工较小的表面，使工件装夹可靠。同时，所选基准应能使夹紧中心接近或通过基准面，夹紧力接近加工面，这样不致因切削力和夹紧力的作用而产生位移和变形。

(5) 所选基准面应使夹具设计、制造简单和操作方便。

(6) 所选基准面精度越高越好。

第五节 工件的安装

在铣床加工中，会遇到各种形体复杂的零件，对于这些零件的安装定位工作，归纳起来可分为以下几种类型：

一、直接在工作台上安装

对于正形体类零件，凡是主要定位面是已加工过的，基本上都是直接或通过平行垫铁安装在工作台面上，因为这类零件上的孔与主要定位面（安装基准面）之间都有着精密的位置关系和尺寸精度要求，只有如此安装才能保证加工精度。

在工作台上直接安装工件首先要便于加工，使主轴悬伸越短越好，其次是工件一次安装中工作台回转到任何位置都使主轴保持一定范围的悬伸量，以便于对所有加工面进行加工。以图3-19所示的三种箱体加工为例来说明中小零件因加工部位的不同在工作台上安装位置的情况。

图3-19 a 为加工两垂直孔及端面（粗黑线所示），为使工作台不论转到哪一个面加工，主轴悬伸都最短，可将工件

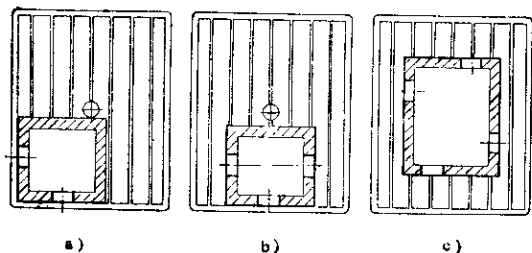


图3-19 正形体零件在工作台上的安装位置

靠工作面一角安装。图3-19 b 将孔中心线长的两孔及端面放在工作台横向，另一孔则放在纵向的一侧加工，这样主轴悬伸也较短。图3-19 c 所示为加工四个孔及端面，可将孔中心线长的纵向放在工作台上，短的横向放在工作台上，使加工中主轴悬伸长度都相差不多。

将工件直接安装在工作台上时，必须注意检查两平面的接触情况。如发现一个角悬空或翘起，为防止加工出的零件发生变形，则应让钳工刮研或采取其他措施加以修理。

二、在 V 形铁上安装

在 V 形铁上安装，主要适用于圆注形零件，如图 3-20 a 所示。V 形铁底部有键，因键与 V 形面的相对位置在制造时已保证了严格的位置精度，所以键在卡进工作台的槽内时，V 形面与槽子必然平行，加工精度不太高的工件时，毋须再找正。

圆柱形零件在 V 形铁上安装有两种情况：一是支承处直径相等，即可用成对的 V 形铁安装，很是方便。另一种情况是支承处直径不相等或未经加工，可用可调 V 形铁来安装，

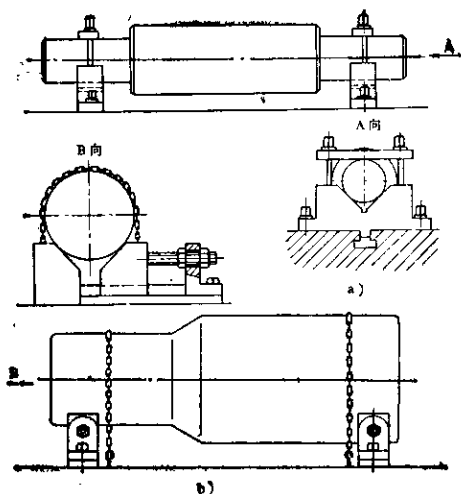


图3-20 在V形铁上安装零件

如图3-20 b所示。

用V形铁安装圆柱形零件时，可消除它的四个自由度，使安装稳固，这叫“双导向定位”主要定位面就不存在了，止推定位面要视生产批量和加工情况来确定选用。

三、在弯板或方箱上安装

当遇到加工部位与主要定位面成一定角度的零件时，就必须利用弯板或方箱来安装零件。如图3-21所示的箱体，除了将零件夹紧在弯板上以外，由于零件长，加工中容易引起振动，因此必须在前端悬空处加以辅助支承，但不应破坏以

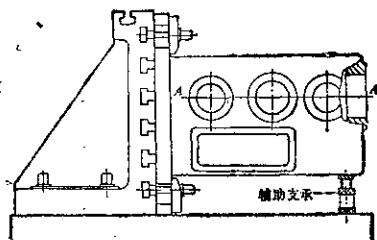


图3-21 在弯板上安装零件

主要定位面已确定好的位置。可用划针盘找A-A预先划出的水平中心线，使各加工孔中心线至工作台面保持一致的高度。

利用弯板或方箱安装零件是常用的方法之一。为便于将弯板安放在工作台上，并保证的正确位置，既省时又方便，建议使用底面带有键的弯板。使用不带键的弯板时，为了在两个方向上的找正方便，通常用十字找正法和矩形找正法(图3-22)，用百分表找正。

四、在千斤顶上的安装

对于形体不规则或利用粗基准作主要定位面安装零件时，首先要结合图样仔细地观察分析零件的结构形状，在可能的情况下，最好得到技术部门的允许，在零件的适当位置上加工出一个工艺安装基准面。若条件不允许，可选择面

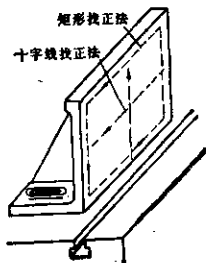


图3-22 弯板的找正法

积较大、重心较低的一面，使用千斤顶来支承安装零件，如图3-23所示。千斤顶要支承在零件的厚实处，避免顶在薄壁的地方。

用千斤顶支承零件时，应采用球面头的千斤顶或在尖顶上加上一个垫圈来支承，以增加支承面积。同时要注意的是根据六点定位规则指出的

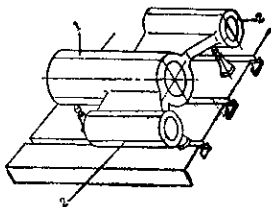


图3-23 用千斤顶安装零件

主要定位面应为三个支承点的原则，使用千斤顶的数量不能多于三个。

该零件找正时，首先用划针盘以工作台面为基准找正水平中心线2，然后用夹于刀杆上面装于主轴中的划针移动机床主轴箱和工作台找正垂直面内的中心线1，使之与主轴轴线平行。若不平行，可转动工作台调整。

五、利用工艺支承安装

对于那些表面既不规则又圆滑的工件，在安装时常采用焊接工艺支承的办法，加工后再去掉工艺支承。

六、在专用胎具或夹具上安装

对于相互位置有精度要求而又不能在一次安装中全部加工完毕或不便安装的零件，经常利用胎具安装；而对于批量较大的零件分工步加工时也采用这种方法。因为采用胎具安装能保证加工质量，装卸方便，可节省大量的辅助时间。

1. 利用已加工平面定位安装

如图3-24 a所示的减速器，它的可分拆面与已加工底面构成了一个角度。加工时为了保证四孔中心线与可分拆面重

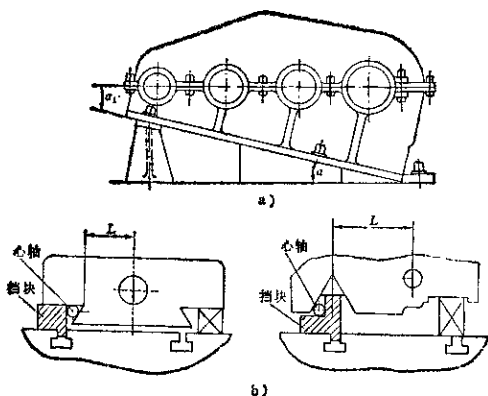


图3-24 利用已加工平面定位安装

a) 在胎具上安装 b) 在燕尾平面上定位

合，可将它安装在图中所示的简单胎具上。胎具相对零件底面的孔眼位置钻攻有螺孔，因此可用螺钉将它们连接压紧，右端用压板止推。胎具的斜角 α 正好等于可分拆面与底面构成的夹角 α_1 。加工时，镗床移动横向坐标，就能方便地加工出四个孔。若不用胎具，仅以零件底面直接安装在工作台面上安装，加工时利用移动机床的两项坐标走三角形路线使孔中心线与可分拆面重合，不仅费时，而且保证不了精确地重合。

又如图3-24 b所示的是两个带凸燕尾的工件，其上的平面已经刨出，在镗床上镗孔，而孔的水平坐标的起始点分别在燕尾的尖角和燕尾的中心，一般要求比较精确，故在装夹

时，必须用心轴卡在燕尾面并紧靠住挡块，通过计算保证 L 尺寸。

2. 利用已加工外圆安装

外圆已车过的薄壁工件，在镗床上加工内孔时，因其孔壁较薄，如用 V 形铁安装，则内孔易产生多边形缺陷。这时可用两个废轴承座，将其内孔镗出与工件外圆重合间隙很小的孔。利用这样的孔来安装工件，由于接触面积较大，工件不仅装夹得牢固，而且加工出的内孔不易变形。

3. 利用已加工外圆和端面安装

图3-25所示的零件，它的轴颈 $\phi 80f7$ 及螺纹和端面已在车床上加工好，要求在镗床上加工 $\phi 160H7$ 孔，为了保证 120 ± 0.02 毫米的距离尺寸，较理想的办法是在类似弯板的胎具上镗出一个与

$\phi 80f7$ 配合的孔，并将孔端面车（铣）一刀。然后旋转工作台 90° ，确定好主轴中心至孔端面的距离为 120 ± 0.02 毫米，再将零件的轴颈穿入胎具孔中，并利用螺纹夹紧工件。这种安

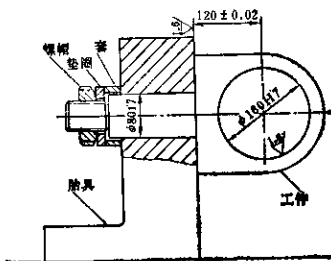


图3-25 利用已加工外圆和端面安装零件

方法加工既便于控制 120 ± 0.02 的尺寸，也能保证两孔轴线的垂直度的精度要求。

4. 利用已加工孔和端面安装

如图3-26所示的零件上的 $\phi 92H7$ 孔和两端面均已车加工

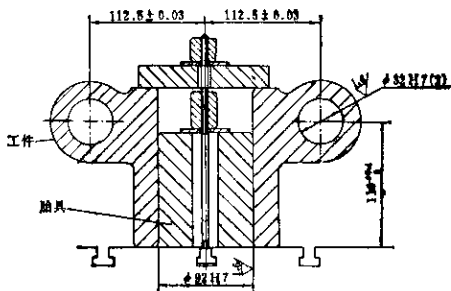


图3-20 利用已加工孔和端面安装定位

好，要在铣床上加工两边的 $\phi 32H7$ 孔，孔中心的垂直距离为 $110^{+0.01}$ 毫米，水平距离(至 $\phi 20H7$ 中心)为 112.5 ± 0.03 毫米。为了保证这个位置精度，可用其他一些方法加工，但不如用胎具定位安装更简便和更能保证质量。

将车好的与 $\phi 22H7$ 孔相配合的轴垂直压在工作台面上，并使主轴与胎具轴中心线一致，然后水平移动 112.5 ± 0.03 毫米，再确定垂直高度 $110^{+0.1}$ ，最后套入工件，并在胎具压紧螺帽上接一根短螺栓，用圆压板压紧工件。

5. 在夹具上安装定位

在大批量生产中，工件都是在专用的夹具中安装和定位的，这种专用夹具称镗模。用这种镗模安装零件，装卸方便迅速，保证加工质量，降低生产成本，但设计、制造周期长，且要一定的投资。

在专用夹具中零件不须经过校正就能保证它同机床和刀具之间一定的相对位置，但新的夹具必须经过试切校正后才

能投入使用。

所选用的夹具应当满足以下要求，

- 1) 夹紧简单、牢靠、动作迅速。
- 2) 刚性好，在切削力的作用下和振动时，夹具不会自行松动。
- 3) 夹具的强度好，特别是在夹具的固定部分应能承受切削中产生的切削力而不致发生变形。
- 4) 夹具在机床上固定时，安放工件的支承应该接近着切削力的方向。
- 5) 夹紧时不应使零件产生变形。

第六节 工件的夹紧

将零件安装和定位及找正以后，下一步就是要将零件夹紧。零件的夹紧对加工质量至关重要，因此要遵循以下原则进行：

- 1) 夹紧时不应破坏工件定位时所处的位置。
- 2) 夹紧力的大小能保证加工过程中工件位置不发生变化。
- 3) 零件在夹紧后的变形和受压力表面的损伤，不应超过技术文件上的规定要求。
- 4) 必须保证不出现因毛坯形状不规则而产生夹不紧的状况。

一、夹紧方向和受力点的选择

要保证在夹紧时不破坏工件在定位时的位置，并且保证在加工时的位置不致因夹紧力和切削力而发生变化，就必须正确选择夹紧力的方向和作用点。

1. 夹紧方向

大家知道，切削过程中的切削力起着破坏工件定位的作用和夹紧作用，但只要夹紧方向合理，即使切削力很大，用较小的夹紧力也可以进行切削并且可靠。如果夹紧方向不当，即使一个非常小的切削力也无法进行切削。如图 3-27a 所示，夹紧方向是正对着支承垫铁（位置 B），才能夹得牢固，如果夹紧方向是落在支承垫铁的外边（位置 A），这不仅夹不紧，而且会使工件产生局部变形。又如图 3-27b 的长方体工件，若用两只螺丝夹紧，a、b 两点之间的距离不能太近。设若在 c、d 两点夹紧，则牢固性远不如 a、b 两点夹紧的好。

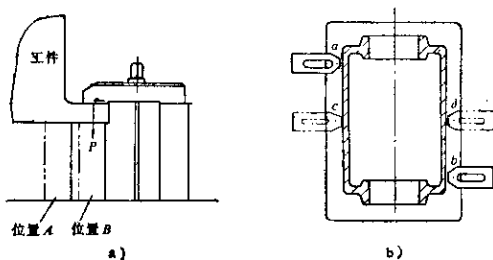


图3-27 夹紧方向的比较

因此，合适的夹紧力方向应满足以下条件：

(1) 夹紧力方向应当向较大的定位表面，以减少单位面积压力和工件变形。

(2) 夹紧方向最好与工件重量、切削力方向相同，以便使定位方便、夹紧力最小。

2. 夹紧力作用点的选择

选择夹紧力作用点应当满足的条件是：

1) 夹紧力能均匀分布在工件的接触面上, 可靠的夹紧工件。

2) 夹紧力作用点应靠近加工处, 减少切削力对作用点的力矩, 使振动减轻。

3) 夹紧力作用点应当是工件上刚性大的地方, 作用点也应有较大的接触面, 以免工件变形。

4) 夹紧力作用点应当尽量靠近支承点(或面)处, 尽量避免远离支承点(或面)。

图3-28是选择夹紧力作用点的例子。如图3-28a所示, 如果作用点在上面两“耳朵”处, 势必使两小孔产生变形, 并且夹紧螺栓太长, 也夹不牢, 加工中容易引起振动。因此, 应选择在 a 、 b 两点。如图3-28b所示, 作用点在 a 处时, 作用力与支承点重合, 比较可靠; 如果在 P 处, 作用点远离支承点, 则工件容易碎裂或者变形, 也不可能夹压牢靠。

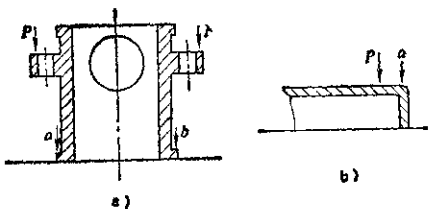


图3-28 工件夹紧力作用点的选择

在夹紧中压板的搭置问题也影响到夹紧的牢固性。压板后支承与工件受力面不等高, 作用力接触处是一条线而不是面, 这样容易推动工件的定位和使工件表面压痕太深; 如压

板放置倾斜，也影响到夹紧的牢固。压板的正确搭置如图3-29所示。 L_1 距离越短，夹紧力越大。根据杠杆原理可知： $L_1 \times P_1 = L_2 \times P_2$ 。如 $L_1 < L_2$ ，则 $P_1 > P_2$ ，所以压紧螺栓应靠近夹紧力作用点。

二、夹紧方法

工件的夹紧方法主要根据它的形状、结构和重量大小来决定。实际工作中基本上都是采用压板直接压，此外，还有用挤推法和链、索拉紧法夹紧工件。

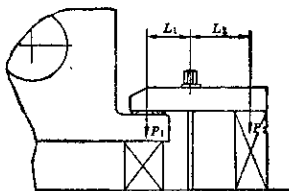


图3-29 压板的正确搭置

1. 压紧法：主要是通过螺丝和压板直接将工件压紧，这是大家所熟悉的，不再赘述。

2. 挤推法：这和刨床上挤压工件的原理相似。在镗床上对于那些夹压部位狭小和表面圆滑的工件，常采用挤推法挤住工件。挤推法与压紧法的主要区别是受力点不完全垂直于主要定位面。并与压紧法配合一起使用，作为辅助夹紧。如在钻孔时，主要是轴向力大，容易推动工件平行于工作台移动，因此可在钻削相对方向的工作台T形槽中装置螺丝挡块，用以挤推工件防止移动，如图3-30所示。

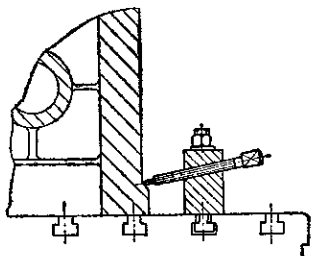


图3-30 挤推工件

一些重型工件，当加工中的切削力不大时，一般也多采用固定挡块和螺丝挡块挤压工件。

3. 链、索拉紧法：这种方法主要用于夹紧外形大而刚性差的薄壁圆形工件，如锅炉汽包、圆形容器之类，因它们的壁薄，受力点不能集中，加上直径很大，所以常用链、索拉紧工件。链条能在圆形工件上半部接近 180° 的范围内较为均匀分布着若干个夹紧力，单位压力小而总的压力大，配合一定的定位工具，因而能将工件勒得很紧(见图3.20b)。

三、压紧螺栓受T形槽位置限制时的安置

在日常工作中，由于镗床不配套，有时小镗床干大件，虽然工件重量不超限，但面积超过了。在这种情况下，首先要看工件的具体尺寸和形状，分析考虑如何安置压紧螺栓和夹紧方法。有时会遇到T形螺母座受T形槽位置的局限而无法安置的情况，这就需要想方设法，在可能的情况下把工件加工出来。

图3-31a所示的工件，安装面稍大于工作台的面积。如果横向安装，则两端伸出工作台较多，加工时产生振动，因

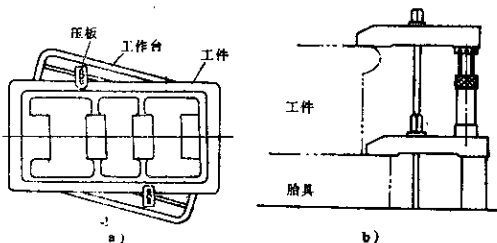


图3-31 安置螺栓示例

此，可将工件与工作台相对错开一个角度，以露出T形槽来为原则，这样便可方便地安置螺栓夹压工件。又如图3-31b所示的工件，由于胎具的夹紧占用了就近的T形槽位置，无法再安置螺栓夹压工件，这时可在夹压胎具的长螺帽上接长一根螺栓。

如果工件轮廓盖住了T形槽，可利用在压板上安置T形螺母座和螺栓来夹压工件。如果工件离最近的T形槽位置较远，也可以在压板上安置螺栓夹压工件。

总之，在装夹工件时，经常遇到安置螺栓的困难，除上述介绍的方法之外，还可以利用工件上的方孔、圆孔和凹槽等处所露出的工作台T形槽来安置螺栓。倘若工件上实在没有上述条件，也可以在得到技术部门的允许后，在安装面上的适当位置钻出工艺孔用来夹压。

第七节 孔坐标位置的确定

工件准确安装之后，即可对孔进行加工。首先确定第一孔（原始孔）中心的坐标位置。确定坐标的方法很多，主要根据尺寸精度来选用。

一、使用顶尖按划线确定

使用顶尖确定孔中心坐标是常用的方法之一，一般适用于精度要求不高或粗确定工作。

一般顶尖都有一个与主轴锥孔相配合的锥柄，使用时，将顶尖的锥柄插入主轴锥孔中，进退主轴和调整机床使顶尖的尖头对准工件上所划的孔中心线或十字线与圆线上的交点。也可以配合钢板尺一起使用，如图3-32所示。钢板尺放在孔线的直径最大处，使顶尖的尖端对准孔中心，在垂直方向也必须对准一次。

使用菌状顶尖时，主要利用锥面对准原来已加工的孔确定坐标，工作情形如图3-33所示，用它定主轴中心精度比较高，误差在 0.1 毫米左右。

二、用游标尺来确定

用深度尺、卡尺或高度尺来确定孔中心位置，适用于精度要求在 0.1 毫米左右的工件，使用它们确定尺寸直观，便于调整。

图3-34所示工件孔的水平坐标为 l ，垂直坐标为 h ，可将主轴伸出到孔端附近，用深度尺测量水平坐标为 $l - r$ 即可；用高度尺测量垂直坐标为 $h + r$ 即可。若垂直坐标的基准面为工件的顶平面时，同样可用深度尺从工件顶面往下测量。

当采用以上两种方法确定孔中心坐标后，为了慎重起见，在孔试镗以后，根据孔径的实际尺寸，用卡尺或高度尺测量孔壁至基准面间的尺寸，看看是否符合图样要求。如不

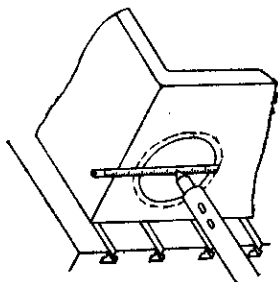


图3-32 使用钢板尺及线确定孔中心坐标

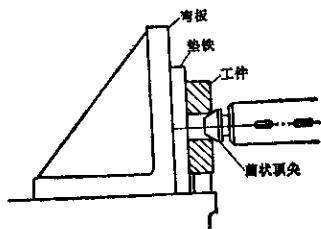


图3-33 菌状顶尖工作示意图

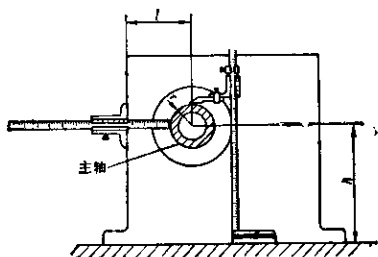


图3-34 使用游标尺确定孔中心坐标

相符，可移动机床进行调整。

三、使用量块和百分表确定

目前多数工厂中都是采用塞量块的方法来确定精密孔中心坐标位置。

首先是确定垂直坐标，因为沉重的镗床主轴箱无论其滑动导轨上的镶条调整得如何适当，都仍有间隙，夹紧与松开位置不一样，松开时主轴箱不仅向下垂，而且也偏离导轨。如果先确定垂直坐标，然后再确定水平坐标时，主轴箱处在夹紧位置，不影响到水平坐标确定的误差，因此，这个顺序不能弄反。

图3-35 a 所示为垂直坐标的确定，用等于 H 减去主轴半径的高度组成的量块组塞入主轴下母线至工作台面的距离，使手感觉到轻轻接触为止，该量块组的尺寸即为垂直坐标的距离。

图3-35 b 所示为水平坐标的确定，先用任意一量块塞得主轴侧母线与工件侧平面之间的距离，然后取长度 L 等于 A

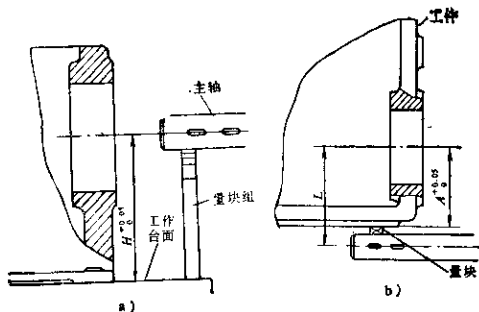


图3-35 用量块确定坐标

a) 确定垂直坐标 (侧视图) b) 确定水平坐标 (俯视图)

加上主轴半径再加上量块厚度的另一组量块，利用机床水平分距离百分表装置，横向移动工作台，使其距离等于长度 L 。如此主轴中心便对准了孔中心，即确定了水平坐标的距离。应注意，当一个方向用量块塞好后，应当将主轴旋转 180° 再塞一次，如果两次感觉相似就可以了，否则须将偏摆误差计算进去。

用量块塞的方法确定孔中心坐标，一般精度可达 ± 0.03 毫米。

四、R表法和O-O表法确定

这是坐标镗床加工中确定孔坐标位置的常用方法，卧镗加工中也完全可以利用。

用R表法，即是利用百分表来确定主轴中心与某一基准面之间的相对坐标位置。如图3-36a所示工件中心孔O的水平坐标和垂直坐标分别为 $A \pm 0.08$ 和 $B \pm 0.08$ ，此时若需确定主轴

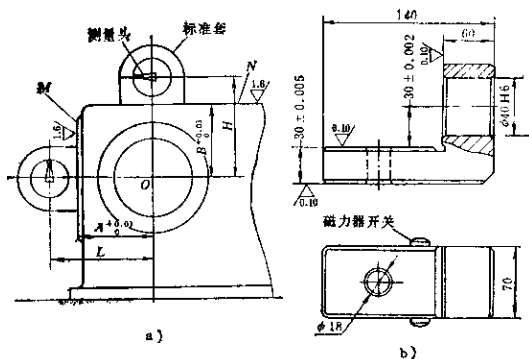


图3-36 用标准套确定主轴中心

中心坐标与O点重合，可在其M面上放置一标准套（图3-36 b），用杠杆表找圆套上的孔，然后水平过L尺寸即可垂直坐标同样用此方法。标准套的制造精度很高，它可利用其上装有的磁力器吸附在工件的某一位置上，使用极其方便。由于标准套精度高，这比用块规塞确定主轴中心的方法精度要进一步提高（一般为 ± 0.015 毫米），完全能满足卧镗加工的要求。为了操作上的方便和通用，多使用百分表中心测定器（图3-37），其测量头1装在杠杆2上，而杠杆靠弹簧复位及用定位螺钉3定位。当使用时，锥柄6直接插入主轴锥孔中，杠杆一端推动百分表8指针，使之显示出数值。移动活动导轨5在燕尾导轨7上的位置便可调整测量直径的大小。其活动导轨和杠杆等均用铝合金材料制成。

上述是用标准套确定R值的方法，此外还有用量块来确

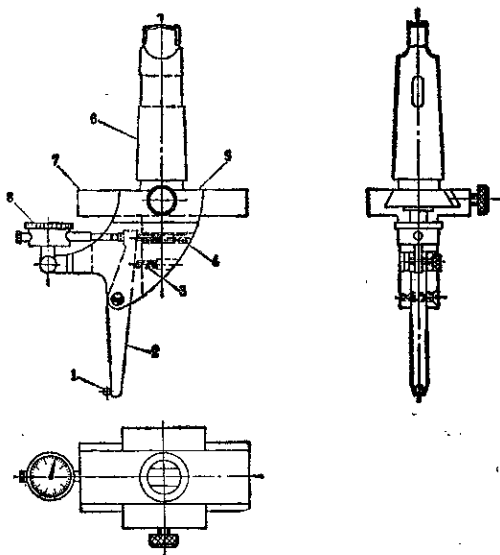


图3-37 中心测定器

定 R 值的, 如图3-38所示。图3-38 a 为内 R 确定法, 用一整数量块贴在工件平面上, 中心测定器的百分表数值转动一周在工件平面和挡块两点相等即可确定 R 值。图3-38 b 为外 R 确定法 这种方法较简便, 因为量块是散开式的, 所以只须调整一个方向的坐标即可。这两种方法缺点是扶持量块麻烦。

所谓 $O-O$ 表法是通过百分表反映出主轴中心与工件基准面重合, 即百分表正反 180° 时表值相等, 如图3-39所示。如

此即可根据零件图上所要求的坐标尺寸移动机床的运动部件，使主轴对准被加工的孔中心。

R表法和O-O表法使用准确，误差小，为保证孔坐标位置的精度提供了良好的基础。

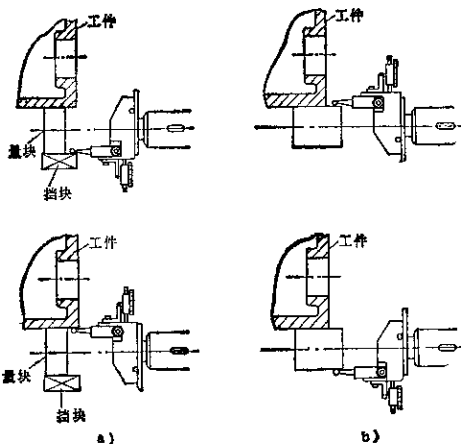


图3-38 确定R值的方法

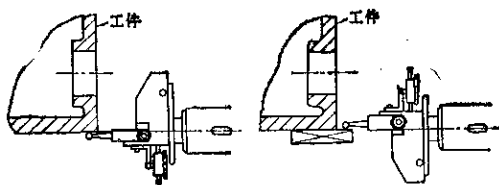


图3-39 O-O表法

第四章 同心孔系的加工

镗孔是卧式镗床的主要工艺。镗削工作多用来加工各种工件上要求很高的孔，包括以下两个方面：

(1) 孔本身的精度要求——孔的尺寸精度、形状公差(如圆度、圆柱度等)及表面粗糙度。

(2) 相互位置精度要求——包括同心孔的同轴度、孔与孔之间及孔与其他平面之间的位置公差如平行度、垂直度等。

通常把工件上一系列有相互位置精度要求的孔称为“孔系”。保证孔系的加工精度是工件加工的关键。根据生产批量、生产条件以及孔系的精度要求不同，可采用不同的加工方法。

本章主要讨论同心孔系的加工方法：孔的预加工、悬伸镗削、支承镗削、调头镗削及用镗铣床窜位镗削等。

第一节 钻 孔

卧式镗床加工实体部位上的孔时，第一工步就是钻孔。开始钻孔时，钻孔中心线应在指定的中心线上。如果表面凹凸不平或者是斜面，可先铣出一块平面或用中心钻打一中心孔，然后再钻孔。

如果较大的孔(大于30毫米)，应分两次钻削，因为直径大的钻头钻心大，不能磨得太薄，主刀刃上内外两点的切削速度差别很大，所以切削力相差也很大。若分两次钻孔，

第一个钻头直径较小，阻力小；第二个钻头由于横刃不参加工作，故可采用较大进给量切削。分两次钻孔，能适当提高孔加工精度。第二个钻头的直径应比第一个钻头直径大 0.5~0.6 倍。

钻头将要孔钻穿时，因为横刃不参加工作，轴向力减小，所以进给要慢，否则，钻头的主刀刃将卡在剩余的待切削层中，使钻头从主轴锥孔中滑出，或者使主刀刃崩碎。

钻孔所能达到的精度较低（七级）和表面粗糙度较差 $R_{a12.5} (\nabla 3)$ ，位置精度也较差，还经常出现下列问题：

① 钻孔中心线与指定中心线的偏差

如果在钻孔后孔中心线发生了位置偏移，就会给以后的镗削工作带来很大的麻烦，必须依靠多次走刀才能消除，至于小孔，因刀杆刚性差，要完全消除这些误差甚至是不可能的。发生中心偏离的首要原因是孔端面不平或倾斜，其次是工件材料有缩孔或夹渣，再就是钻头旋转摆差大。

孔端面的不平或倾斜，对于箱体件几层隔墙上的小孔加工特别危险，所以一般在钻孔前都要打中心孔。

在钻孔过程中遇到缩孔或夹渣而导致孔中心位置偏离时，应立即停止钻孔，用镗刀将孔扩大，再打中心孔并用小直径的钻头钻削。有经验的镗工能凭钻削时因中心偏离面发出的非正常声音和手动进刀时的手感来判断，并及早停止钻孔，采取措施。

钻头旋转中心的偏摆，主要是梢套表面磨损或结合表面之间有伤痕和污垢。其次是纵向弯曲，在开始钻孔时就没有对正中心，越钻越斜。钻头长度增加时，它的纵向弯曲量也随之增加。例如直径 20 毫米的钻头，长度由 200 毫米增加到 400 毫米时，其他条件不变，则纵向弯曲量不是增加一倍，而

是增加三倍。

② 钻孔直径的扩大

钻孔直径往往大于钻头直径较多，这主要是钻头两主刃刃长度不等，也就是不对称，加上钻头中心线不可避免地有些偏摆，故钻出孔径总是比钻头直径大，有时能大几毫米。

钻头在使用中经常容易损坏，其主要原因有如下几点：

① 刃磨钻头时刃口退火，越用越钝，必须磨去退火部分后才能继续使用。

② 由于钻头横刃不锋利，钻削时发热量大，加上导热，冷却润滑不及时，刀刃很容易磨损。

③ 钻削过程中排屑不及时，往往使钻头被挤住而扭断。

④ 进刀速度快或者太猛，都易使钻头折断。

⑤ 钻头从梢套中退出时，由于受到锤敲梢铁的振动而产生共振使钻头折断，这多发生在加长钻头退出时，因此应将钻头头部捏住再退出梢套就不会折断了。

深孔的钻削是钻孔中难度较大的工作，因为钻头本身刚性差，排屑困难，更不可能观察，冷却润滑液注不进去，以致钻头折断。

所谓深孔即孔长大于其直径的五倍的孔。当然孔长大于孔径五倍至十倍的深孔还算比较好加工。当大于十倍时，困难将大大增加。一般在钻深孔之前，要打中心孔，然后用等于孔径的普通麻花钻头钻出一段引导孔，再使用加长钻头钻。

加长钻头就是钻身为其直径几倍乃至几十倍的麻花钻头。这种钻头排屑螺旋槽的螺旋角很大，故排屑较好。使用前，刃口要精心刃磨，务求两切削刃对称，盾角要小，防止钻削过程中的振动和提高主切削刃的耐用度。工件上的一些通油、通气用的小直径深孔，一般没有尺寸精度要求，钻单

即可。这类孔钻削时切削速度要高，进刀要慢，切不可用机动进刀，应完全靠手摇缓慢送进。每进5~15毫米时，要排屑一次。

当没有合适直径的钻头钻孔时，可自制加长钻头，将普通麻花钻钻尾车出一段台阶塞入直径略小的钻杆孔中，打入销钉，并在接头处施加铜焊，最后磨平。也可以用502粘合剂的胶液直接粘住。这种加长钻头比加长麻花钻头刚性好，但排屑槽短，故排屑性能差。

对于直径在30毫米以上的透孔，而且孔两端都是敞开的，可从两头钻孔，这样钻削效率高，但一定要保证孔中心位置的准确性。

对于大直径的深孔钻孔，为排屑方便，一般分段钻削，如图4-1所示，先用不同直径的钻头钻孔（图4-1 a、b），然后分别将这两根钻头装在加长钻杆上再分别进行深钻（图4-1 c、d），倘若直接用加长钻头钻孔，往往由于切屑将加长钻杆研住，分段扩大钻孔能保证钻削过程中的安全。

当孔径大于100毫米时，可用套料钻头钻孔。如没有标准套料钻头，可设法自制。

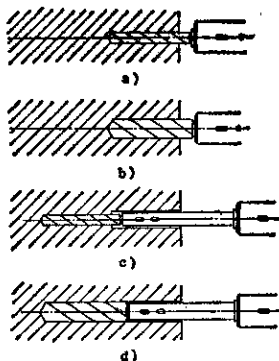


图4-1 分段钻深孔

凡钻削塑性材料的孔时,一定要给予充分的冷却润滑液。

第二节 铰 孔

工件在经钻孔、扩孔和半精镗之后, $\phi 100$ 毫米以下的孔一般精加工可采用铰孔。铰孔精度达2~4级,表面粗糙度为 $R_{a} 3.2 \sim 0.8$ ($\nabla 5 \sim 7$)。用铰刀终加工生产率高,尺寸一致,成本降低。铰孔与精镗孔相比,是一种高效率的加工方法。当孔径超过100毫米时,除使用浮动铰刀外,圆柱铰刀显得笨重,制造也困难,故多用精镗孔代替铰孔。以下主要介绍圆柱铰刀的尺寸公差、研磨及安装使用方面的知识。

一、铰刀的直径与公差

铰刀的直径指的是圆柱修光部分的刀齿直径,它对加工孔的尺寸精度有重要的影响。为了适应各种不同精度的孔,工具厂生产了三种不同号数的标准铰刀。不同号数的铰刀在颈部都刻有标记,它的实际尺寸和制造公差都不相同。未经研磨铰刀的公差如表4-1所列。

表4-1 未经研磨铰刀公差 (微米)

公称直径 (毫米)	一号铰刀			二号铰刀			三号铰刀		
	上偏差 (+)	下偏差 (+)	公差	上偏差 (+)	下偏差 (+)	公差	上偏差 (+)	下偏差 (+)	公差
3~6	17	9	8	30	22	8	38	26	12
6~10	20	11	9	35	26	9	46	31	15
10~18	23	12	11	40	29	11	53	35	18
18~30	30	17	13	45	32	13	59	38	21
30~50	33	17	16	50	34	16	68	43	25
50~80	40	20	20	55	35	20	75	45	30
未经研磨 用于配合	H8, H9			H10			H11		
经研磨 用于配合	N7, M7, K7, J7			H7			H8, H9		

对于H8、H9和H10精度的孔，可直接用一号、二号新铰刀加工。若用新铰刀加工二级精度的孔，必须先经过研磨后才能使用。

二、铰刀的研磨

铰刀通过研磨不仅符合了尺寸精度要求，而且降低了加工表面的粗糙度和提高了铰刀的使用寿命。

铰刀研磨的方法如图4-2所示，用铸铁研磨圈沿修光部分柱形狭边进行。研磨圈用三个调节螺钉支撑在外套的孔中，调整螺钉可使开口的研磨圈胀缩，以便铰刀与研磨圈孔保持适当的间隙。研磨时，铰刀要与切削刃相反的方向旋转，在研磨处加入少量的200~500号金刚砂粉末和煤油调拌成膏状的研磨剂。研磨圈用手作均匀的轴向往返移动。

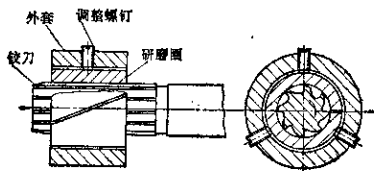


图4-2 研磨铰刀的方法

铰刀经研磨后，柱形狭边的表面粗糙度可达 $R_a 0.20 \sim 0.10$ ($\nabla 9 \sim 10$)。此外还须用三角细油石刃磨铰刀的前面，以降低刀面的粗糙度，使刃口锋利。

三、铰刀的安装

直柄铰刀可直接装夹在钻夹头中，而不必象夹钻头那样紧，因为铰削力远比钻削力要小，否则，将因钻夹头的摆差而使孔较大。

锥柄铰刀可使用梢套过渡插入主轴锥孔中铰削。

实践证明，直接使用梢套装夹铰刀铰孔往往达不到预期的效果。因为各结合部分相互振摆误差加在一起都反映在铰刀上，所以铰出来的孔不是尺寸大就是形成了喇叭口。为了解决这个问题，通常在细长的加长钻杆上插入铰刀铰孔（图4-3）。

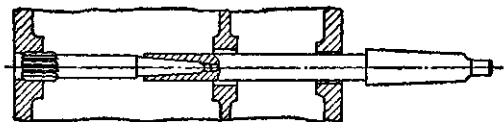


图4-3 用加长钻杆安装铰刀

用加长钻杆装铰刀还适用于孔不在零件表面位置上，或者孔深超过铰刀全长的情况下。

当被铰孔在工件表面位置时，通常可用图4-4所示的三种浮动夹头装夹铰刀，它们的共同特点是均能自动地调整铰刀中心线与被铰孔中心线重合。

图4-4 a所示的浮动夹头用于安装套装式铰刀。夹头的锥柄6和铰刀杆1之间装着止推滚珠轴承3，用来承受轴向压力。用球形六角头7传递扭矩，它有两个球形的六方头，而且相互错开30°。弹簧4用来防止六角头从六角盲孔中脱出。夹头的全部零件都与罩子5连结在一起，并用锁紧螺帽2固定住。这种夹头轻便灵活，使用前须经过仔细调整，除去间隙。如果调节得不好，或磨损过甚将达不到预期的效果。

图4-4b和图4-4c所示的浮动夹头主要用于安装锥柄铰刀。其特点是结构简单，制造方便，加工效果好，使用普

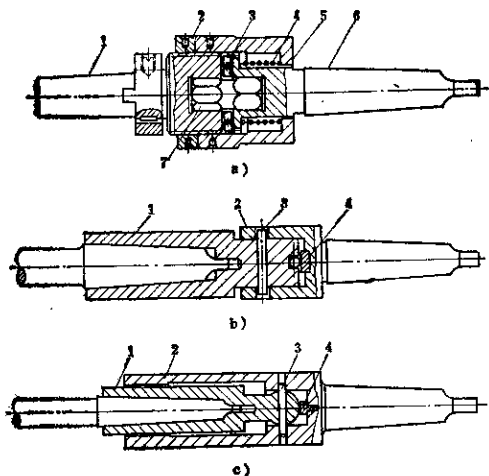


图4-4 浮动夹头

遍。主要是依靠球形头（或钢珠）及浮动套筒1与套筒2的间隙来实现调整铰刀的浮动中心。浮动套筒通过销钉3与套筒联结。球形头（或钢珠）表面与支承钉4相接触。

四、铰孔余量

铰孔余量的大小，直接影响着铰孔效果。余量大了，不但孔铰不光，而且铰刀还容易磨损，铰削过程中轴向力过大，必然使得修光部分径向偏摆，加上积屑多，发热及刀具本身胀大，致使铰出的孔大，甚至超差。余量小了，不能去掉上道工序留下的刀痕，从而达不到表面粗糙度要求，所以

合理地选择铰孔余量是铰孔中重要的一环。

3级精度以下的孔，铰一次即能达到要求，2级精度的孔一般需要铰两次，先用小于尺寸 $0.05\sim 0.02$ 毫米的铰刀粗铰，再用符合孔径公差的铰刀精铰。1级精度的孔往往需要铰三次。

表4-2列出了基孔制2级精度的孔铰（或扩）、粗铰、精铰工序的加工余量。

表4-2 基孔制2级精度的孔铰（或扩）、
铰孔工序间加工余量表（毫米）

加工 孔径	直 径			加工 孔径	直 径		
	铰(扩)后	粗铰后	精铰后		铰(扩)后	粗铰后	精铰后
8	—	7.96	8	28	27.8	27.94	28
10	—	9.96	10	30	29.8	29.94	30
12	11.85	11.95	12	32	31.75	31.94	32
13	12.85	12.95	13	35	34.75	34.94	35
14	13.85	13.95	14	38	37.75	37.93	38
15	14.85	14.95	15	40	39.75	39.93	40
16	15.85	15.95	16	42	41.75	41.93	42
18	17.85	17.95	18	45	44.75	44.93	45
20	18.3	19.94	20	48	47.75	47.93	48
22	21.8	21.94	22	50	49.75	49.93	50
24	23.8	23.94	24	60	59.5	59.9	60
25	24.8	24.94	25	70	69.5	69.9	70
26	25.8	25.94	26	80	79.5	79.9	80

五、铰孔操作

为了保护铰刀和延长使用寿命，铰孔前都必须将孔两端毛坯硬皮用倒角的方式去掉。

铰孔时，为了降低表面粗糙度，避免产生刀瘤，应采用较小的切削速度。用高速钢铰刀铰削钢件时，粗铰切削速度为4~10米/分，精铰为1.5~5米/分。铰削铸铁时，切削速度应取2~4米/分。当安装铰刀的工具长度和重量增加时，切削速度必须降低。

铰削铸铁时，孔壁可先用毛刷刷上一层煤油，等煤油渗入铰削层时，再开始铰削。这样可防止切削的细屑粘附在刀具的切削刃上，从而减少修光刃对孔壁的摩擦，避免了孔表面上形成微细的伤痕和沟纹。铰削钢件时，要加充分的冷却润滑液（机油等）。铰孔时加冷却润滑液，无论什么材料，对孔的扩大量都有影响，即加冷却润滑液使孔受热后的扩大量减少，一般为0.007~0.01毫米。反之，孔受热后的扩大量会增加至0.01~0.03毫米。对于尺寸精度要求高的孔，最好加冷却液铰。不加冷却液铰时，材料受热膨胀冷却后孔径收缩，尺寸不易掌握。

铰削塑性材料如A3的孔时，一般比较困难，常发生啃刀现象，甚至崩刃以致铰刀锥柄扁尾折断等，这主要是由于铰刀不锋利、前角小或铰孔余量大所致，此外A3材料切削性能差，所以要选用5°~10°前角的铰刀铰削，并控制铰削余量。

孔铰毕退出时，绝不允许反转，否则会因孔壁与刃带间夹有的切屑拉伤孔壁，更为严重的是可能引起崩刃或卡死以致铰刀折断。一般情况下应停车退出。对于要求很高的通孔，例如油缸、汽缸和液压阀体孔，铰刀应从孔的另一端退

出, 以免铰刀退出时在孔壁上留有沟痕, 倘若这些微小的沟痕在以后的研磨中除不掉时, 将影响这些部件将来的工作状态。

铰孔中常见的毛病及解决措施参见表4-3。

表4-3 铰孔中常见毛病及解决措施

常见毛病	产生原因	解决措施
孔径扩大	铰刀与孔中心线不重合	采用柔性或浮动夹头
	修光刃带部分或切削刃口径向 振摆大	重新刃磨刃口或研磨圆柱刃带 部分
	铰刀尺寸大于要求尺寸	研磨铰刀或调换铰刀
	切削速度高、铰刀温度上升	降低转速, 加足冷却润滑油
	铰削余量大和进给量大	减少铰削余量或分多次铰, 减 少进给量
表面粗糙 度达不到 要求	切削刃与修光刃部分粗糙	光洁度不足的部分加以研磨
	剃刀齿不锋利及刀齿上有崩 口、毛刺	刃磨铰刀或更换新的
	刃口上有强固的积屑瘤	用油石轻轻清除
	切削刃与修光刃过渡处有尖棱	用油石将尖棱磨成小圆弧
	铰刀安装总的摆差大, 切削不 均匀摆动	采用柔性或浮动夹头
	因材料关系, 不适用前角 $\gamma \leq 0$ 的铰刀	更换前角 $\gamma = 5^\circ \sim 10^\circ$ 的铰刀
孔呈 多角形	余量过大或过小, 冷却不均匀	控制适当铰孔余量, 均匀冷却 润滑
	铰削余量大、摆动	控制适当铰孔余量, 或增加铰 削次数
铰刀柄 折断	铰前前的孔不圆	铰前粗铰一次或精铰
	铰刀齿过密	选用稀齿铰刀, 或将刀齿间隔 磨去一齿
	铰孔余量大, 材料软, 走刀快	减少铰孔余量, 更换有一定前 角的铰刀

第三节 悬伸镗削

悬伸镗削是镗床的主要加工方式。随着镗床制造水平的提高，无后立柱和短床身镗床以及刨台式镗床日趋增多，还有发展中的数控与自动换刀数控镗床等，它们的加工方式几乎都是悬伸镗削。为此，必须掌握悬伸镗削的方法，其中包括单孔和多孔的加工，同时，为确保产品质量，对于主轴悬伸所产生的挠度的计算和补偿原理也应清楚地了解。

悬伸镗削就是在刀杆没有任何支承的情况下进行镗削工作，主要适用于单孔和孔中心线不太长的同心孔的加工。

悬伸镗削的特点是使用短而刚硬的刀杆，宜于高速切削，由于入口宽敞，调整刀具方便，便于观察，可使用各种精密量具测量，保证质量，生产效率高，比使用其他镗削方式加工能节约大量的辅助时间。

一、几种典型单孔的加工

1. 短孔的加工

轴承座孔是结构最简单的短孔。它应装夹在高主轴箱最近的工作台边沿上，使加工时主轴悬伸最短。悬伸镗削轴承座短孔如图4-5所示。确定孔的坐标位置后，要检查预先划好的孔线及端面线等是否符合图样的加工要求。

单孔加工条件最好，直径小于60毫米而长度不超过100毫米时用镗头加工最为理想，因为可依靠精密刻度径向进给。

精加工孔时，小孔可

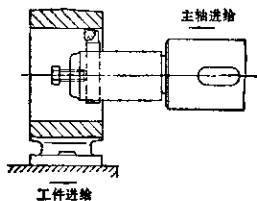


图4-5 悬伸镗削短孔

用圆柱铰刀铰削，稍大的孔（100毫米左右）可用浮动铰刀加工，但在下列情况下不宜使用：

1) 由两半（盖与座）装配而成的分析孔。这种孔在结合面处有间隙，一旦刀刃卡在间隙处将发生刀坏孔废的现象。

2) 带槽（包括轴向和径向槽）的孔。

3) 有缩孔、夹渣等缺陷的孔。

4) 缺圆孔。

5) 盲孔或台阶孔。盲孔底部首先撞上刀杆，而台阶孔用一般浮动铰刀清不了根。

浮动铰刀由于切削层薄，故前角一般为零度，但在加工塑性材料时，尤其是低碳钢，容易产生啃刀，使孔壁粗糙度很差，因此，一定要加大前角。

孔径为100毫米以上时的精加工，大多用单刃尖刀高速镗削，高速镗削由于切削速度高，切屑截面积小，进给量也比较小，因而可获得较高的加工精度和较好的表面质量。目前高速镗削普遍采用硬质合金单刃刀镗削，主偏角较大（ $\kappa_r = 45^\circ \sim 90^\circ$ ）和较小的刀尖圆弧半径（ $R = 0.1 \sim 1$ 毫米），所以径向切削力也较小，从而减少刀杆变形，降低振动。如果切削刃经过仔细研磨，还可以提高孔面粗糙度。高速镗削能很好地校正孔中心的位置，一般须二次进给：第一次进给切削深度一般为0.2~0.6毫米，第二次进给的切削深度为0.15毫米以内。进给量一般为0.1~0.2毫米/转，切削速度一般为100米/分以上（在加工有色金属时还可提高）。当然，这也要结合着工件—工具—机床系统的刚度来选用。高速精镗时，不使用冷却润滑液。总之，采用高速镗削是提高孔加工质量和生产效率的有效措施之一，所以使用普遍，尤其在大孔的粗、精加工中更加普遍。

凡是孔端面有硬皮的零件，在精加工之前要把硬皮去掉，以使精加工刀具始终保持锋利的刃口，减少重磨次数，节省辅助时间。

在台式镗床上镗削大孔时，往往都是用装在平旋盘上的刀杆，利用滑板径向上刀加工，但对于平旋盘旋转中心与主轴旋转中心的误差要胸中有数。若该误差相差太大，则会影响孔位置精度。

对于短孔加工来说，进给方式可为主轴，也可为工作台。

2. 盲孔的加工

盲孔加工的工艺性很差，主要是因为不便观察和不便清除切屑，只能从一端上刀，加注冷却液困难。

镗削盲孔时不能使用普通刀杆，必须使用斜口刀杆、开口刀杆及端镗刀具加工如图 4-6 所示。盲孔的底部加工比较困难，直径不大时可用平头钻头钻削，然后镗削。当孔径在

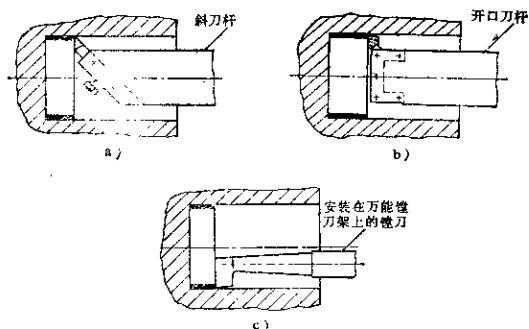


图4-6 镗盲孔用的刀具

200 毫米左右时, 孔底部可用万能镗刀架装上端镗刀车削底平面。当孔径大于 200 毫米时, 其底平面完全可以用平旋盘刀杆座装上开口刀杆车削 (图 4-7 a)。车削时应用 90° 偏刀, 其角度如图 4-7 b 所示, 刀具原副刀刃此时变为主刀刃, 并在前刀面磨出一排屑槽, 使刀具前角 γ 增大, 以便切削轻快。

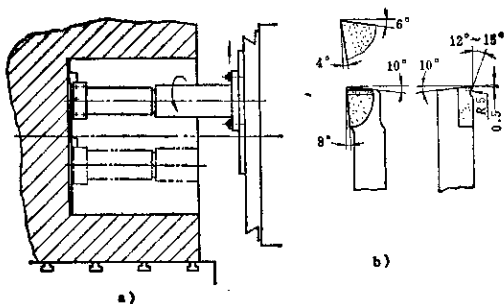


图4-7 用平旋盘车削盲孔底平面

a) 车削底平面 b) 刀具角度

盲孔由于不便观察和排屑, 给控制深度带来一定困难。小直径盲孔排屑可用皮老虎强制吹出, 以便于准确测量。

盲孔的精加工不宜使用各种铰刀 (因铰刀不能清根), 一般多用单刃尖刀镗削。为了走刀过程中的安全, 可从里端向外走。盲孔的加工效率较低, 加工中必须做到耐心、细致和谨慎。

3. 深孔的加工

深孔在钻削完之后, 孔中心位置一般都必须镗削校正。当孔径小时, 由于刀杆细、刚性差, 校正很困难, 只得减小切

削深度，多次进给，有时因排屑不好，挤在孔里下母线一侧的切屑往往将刀杆抬起，这种状况非但不能校正孔位置，反而会扩大位置误差。为防止和避免这一现象，可采取拉镗法加工，即在孔后端面装刀。孔位置一旦校正正确，当刀杆刚性差时，就不要再用它半精镗（因为消耗时间），而用扩孔钻和双刃刀来加工，最后用铰刀终加工。

当没有条件使用铰刀时，在刀杆和主轴悬伸较长，又不能使用高速镗削的情况下，可用单刃宽刀精加工，这时不可避免地要产生振动，降低了孔面的粗糙度。遇到这种场合，可采用抑制振动的刀具（图4-8）切削。

图4-8 a 为有圆弧支撑的刀具。若刀具宽度为 b ，切削刃宽度约为 $\frac{b}{5}$ ；修光刃宽度约为 $\frac{2}{5}b$ ，其前后角见 A-A 剖视；在剩下的 $\frac{2}{5}b$ 宽度上将修光刃口磨去，连同这部分的后刀面磨成圆弧形，其半径尺寸较之修光刃处小 0.02~0.05 毫米。当然，这种刃磨很难控制尺寸，实际上主要凭磨好试镗来掌握，也可用灯光照缝隙判断，切削中以既能抑制振动，又不致破坏加工表面粗糙度为原则。这种刀具使用效果好，应用普遍。

图4-8 b 所示刀具的刃口是倾斜的，与支承面呈 60° 角，其修光刃口有一定的弧度。切削时，它的刃口水平宽度为 B ，而垂直宽度为 A ，实际上刃口呈螺旋形，这就将切削时的纯径向力转变为一部分轴向力，整个刃口既起切削又起支承作用，从而能大大减少振动。倾斜角 60° 不是固定的，这要视刀具的宽度和主轴的悬伸量以及刀杆直径而定，也可以磨成 45° 角，这时 $B = A$ ，径向切削力等于轴向切削力。 60° 角度刀具调换安装，即成 30° 。究竟用多大角度适合，这

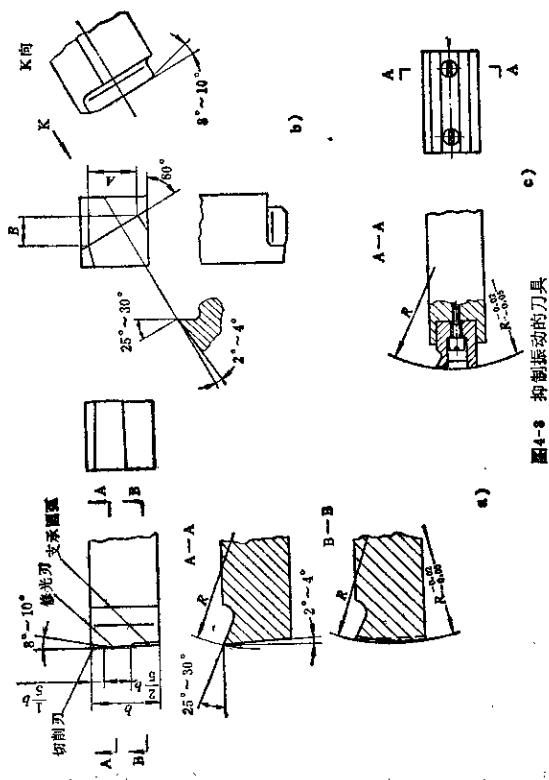


图4-3 抑制振动的刀具

也得在试切时不断修磨确定。一般可在 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 范围之内变化。

图4-8c为刀头镶嵌在刀体上的刀具。它有一个切削刃在上部位置，下面为起支承和导向作用的圆弧切口。刀头用螺钉拧在刀体的槽中。这种刀具一般由专业人员刃磨。

以上三种刀具不仅适用于深孔加工，同样也适用于孔中心线较长的同心孔系中各孔的加工。图4-8a、b所示的刀具只要刃磨得当，会得到理想的效果。

直径10毫米以下的深孔精加工用镗削很困难，一般采用精孔钻头钻削，加工精度达3级，表面粗糙度为 $Ra3.2\sim 1.2$ ($\nabla 5\sim 6$)。如果孔的精度要求更高时，可用枪钻加工。不过使用枪钻时，其供油系统的附属装置繁杂，回转部分的密封也是个难题。

二、多孔加工

所谓多孔就是指同心孔系上有两个以上的孔。

因为在实际工作中所遇到的同一中心线上的几个孔径不一定相等，所以给镗削控制孔径尺寸带来困难。虽然可用铰刀控制一部分孔径尺寸，但在没有合适的铰刀或不便使用铰刀的情况下怎么办？下面讨论一下两种结构的多孔用单刀加工的方法。

如图4-9a所示的工件，前端孔径大，后端孔径小，无论什么情况前端孔加工是很方便的，可是后面的孔无论是观察、试镗上刀、测量都比前孔困难，尤其当孔在箱体的两隔墙上，而且两端之间距离又短，或孔离箱体的敞开部位较远时加工后孔更显得困难了。因此，通常将前孔当作后孔的试镗孔（如果毛坯余量够的话）。也就是在前孔上刀试镗紧接着加工后孔，直至镗到尺寸，这样能大大节省镗后孔的试镗

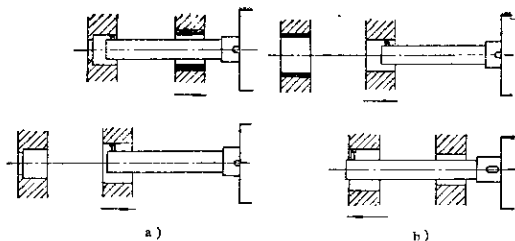


图4-9 直径不相等的同心孔的加工

上刀和测量的时间。这一工作循环比镗前孔要多上一倍至几倍的时间。最后将前孔镗至图样尺寸。如果前孔毛坯大于后孔直径，在必要的情况下，可先将前孔镗圆，放入一个套，将套作为后孔的试镗孔。

若后孔比前孔直径大时，加工则比较困难。如果后孔后端面是敞开的，可从该处上刀反镗（图4-9 b），这比在两隔墙之间上刀试镗操作方便些。在操作加工后孔时比加工前孔要费劲得多。

在对多孔悬伸镗削时，有时需要更换刀杆加工远近不等的孔。下面试分析一下这些刀杆和主轴刚性的变化、以及进给部件的不同对加工质量的影响（此时诸如刀具磨损、工件材料的缺陷、孔余量的分布情况等因素都不考虑）。

（1）刀杆和主轴悬伸不变，工件进给

工件进给方向与孔中心线一致，只有当工作台导轨非常平直时，孔中心线才是直的。

主轴和刀杆因本身重量而产生的挠度改变了刀头的位置，从而也改变了孔中心线的位置，即低于指定中心线，但

孔中心线是直的。

使用这种方式镗同心孔最多，适用于台式镗床上或孔中心线的长度与直径之比小的情况下。

(2) 刀杆长度不变，用主轴进给

用主轴进给，刀杆长度不变时，主轴的刚度是随悬伸长度而改变，在切削力的影响下，主轴在不同的位置上挠度不同，因此，孔径随长度而改变，同时，孔中心线也是弯曲的。如孔径小于主轴直径，则工件不得不装在离主轴箱较远的位置上，这就大大降低了主轴的刚度，使主轴悬伸量增加，加工条件变坏。

这种加工方式主要用在柱式镗床上。

如果所镗孔的直径比主轴直径大时，工件可靠近主轴箱端装夹，使用刚度好的短刀杆加工（图4-10），这就比上一种情况切削条件好多了。

(3) 主轴悬伸量一定，换刀杆加工两孔，采用工件进给。

如图4-11（按箭头 $f_{工}$ 运动）所示，因镗第二个孔时，换了长刀杆，虽然主轴悬伸量一定，但刀杆因本身重量而产生

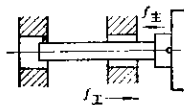
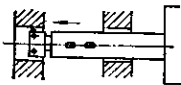
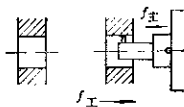
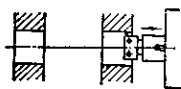


图4-10 用短刀杆镗大孔直径

图4-11 换刀杆镗削

的挠度比镗第一个孔时大，使两孔不同轴度增加误差。第一孔因使用了刚度大的短刀杆加工，所以生产率比第二孔高。

(4) 用主轴进给，换刀杆加工两孔。

如图4-11（按箭头 f_x 运动）所示，和以前一样，这种方式用在工作台不能平行移动的镗床上，其特点是工具的刚度好，虽然主轴悬伸量随每个孔长而有变化，但对孔的精度影响很小，比不换刀杆加工要好得多。

上述几种主要的悬伸镗孔方式，按照一定的生产条件和同心孔的分布情况，可用来镗削同一中心线上的各种位置的孔。所有这些加工方式，如何达到加工精度和生产率的关键问题是如何减少刀杆和主轴因本身重量及切削力所产生的挠度。尤其加工大型工件时，这种挠度是引起同心孔系各孔位置误差的一个主要原因，应引起足够重视。

三、悬伸镗削中产生的挠度及其克服与补偿措施

悬伸镗削中，主轴和刀杆所产生的挠度，与悬伸长度及悬伸部分的重量成正比。这种挠度是镗削加工中影响精度的重要因素之一，所以必须掌握计算挠度的方法，同时在实际工作中采取相应的措施去克服，至少要做到心中有数。在现代机床上都装有补偿挠度的装置。

1. 挠度的计算

悬伸主轴和刀杆等可以看作是一端固定梁，其所产生的挠度 f 可根据下式来计算：

$$f = \frac{PL^3}{8EI} \quad (\text{毫米})$$

式中 P ——悬伸长度部分的重力（牛）；

L ——悬伸部分的长度（毫米）；

E ——刀杆（或主轴）材料的弹性模数（牛/厘米²）；

I ——刀杆（或主轴）横截面的惯性矩（毫米⁴）。

因为刀杆和主轴的材料均为合金钢，所以它们的弹性模数可取 21×10^6 牛/厘米²；横截面的惯性矩为 $\frac{\pi D^4}{64}$ ，其中 D 为横截面直径（毫米）。

常用刀杆因本身重量而产生的挠度和它直径及长度的关系如表 4-4 所示。

2. 克服挠度对加工影响的措施

使用重工具加工或主轴进给时，都可能产生较大的挠度，不仅孔中心线偏离正确位置，而且孔中心线发生弯曲。尤其是柱式镗床和大型镗铣床，它们基本上都是采用主轴或滑枕进给加工，有的挠度在新机床时竟然达到 0.2 毫米，这还不包括工具在内。如在加工中不采取适当的措施，则加工出的零件可能是废品。

通常采取的措施有如下几点：

(1) 当孔中心线与水平基面有平行要求时，在柱式镗床上一般用主轴伸缩来找正安装平面（垫铁或工作台平面），主轴伸出长度应等于实际工作时的悬伸长度，也就是说它们的挠度值一样，加工出的工件孔中心线会与安装基准面平行。

(2) 若安装面用水平仪找正时，找正水平后，须算出加工中主轴悬伸最大长度时的挠度值 Δf ，安装工件时，就在靠近主轴箱的一侧的工件底面上垫一厚度等于挠度值的薄铜皮，这样加工出的孔中心线将会与工件底面平行。

(3) 当用工作台进给，主轴悬伸不变方式镗同心孔时，会因主轴挠度影响孔中心垂直坐标的精度（下垂），因此，通常可以提高主轴中心坐标位置使其等于挠度值的办法来补偿。

表4-4 悬伸刀杆因本身重力而产生的挠度

刀杆直径 (毫米)	l (毫米 ²)	刀杆为 l 时的重力 P (牛)					长度为 l 时的挠度 (毫米)				
		100	150	300	500	1000	100	150	300	500	1000
25	19175	3.85	5.78	11.16	19.27	38.53	0	0.001	0.01	0.08	1.19
30	39761	5.55	8.32	16.65	27.75	55.49	0	0	0.008	0.05	0.9
40	125664	9.81	14.8	29.6	49.33	98.65	0	0	0.004	0.03	0.5
50	308796	15.41	23.12	46.24	77.07	154.13	0	0	0.003	0.02	0.3
60	636172	—	—	86.66	110.98	221.95	—	—	0.002	0.01	0.19
80	2010819	—	—	—	187.29	394.58	—	—	—	0.008	0.13
100	4908738	—	—	—	308.27	616.54	—	—	—	0.005	0.07
120	10173600	—	—	—	—	887.81	—	—	—	—	0.05

(4) 在可能的情况下, 尽量采用其他办法加工, 不使用悬伸镗削。

(5) 当孔中心线与安装基准面有严格的尺寸精度与平行度要求, 而与其他部位没有严格的精度要求时, 可将工件安装在平行于主轴中心线的弯板上镗孔。

(6) 孔精度要求很高, 在普通镗床上加上达不到要求时, 可放在有挠度补偿装置的机床上加工。

3. 镗床自动补偿挠度的原理

随着产品精度要求的不断提高, 促进了机床加工精度的提高, 在现代大型卧式镗床上逐步装有主轴挠曲变形的补偿装置。下面简要介绍几种主轴挠曲变形补偿装置的原理:

(1) 用移动轴承位置的办法来补偿

如图4-12所示, 在主轴箱内, 有若干对支承主轴用的间隔为 l 的静压轴承, 各对轴承通过转换装置和油压源相联。

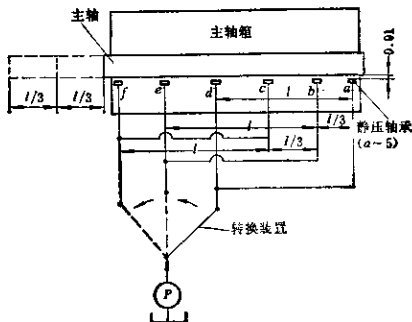


图4-12 用移动轴承位置来补偿主轴挠度示意图

在图上实线位置时，主轴由 a 、 d 来支承，这时主轴头部的挠曲误差为零。在图示的情况下，由于各轴承的间隔为 $\frac{l}{3}$ ，所以如果主轴每伸出 $\frac{l}{3}$ 的长度，通过转换装置，换为下一对轴承来支承主轴时，主轴头部的挠曲量仍然保持零，因此起着补偿作用。各轴承工作时油压使主轴浮起 0.01 毫米左右，以支承主轴。

(2) 在主轴的适当部位顶压来补偿

如图4-13所示，主轴2由主轴箱1中的两个轴承 a 、 b 支承，由于顶压主轴的 c 部，而使主轴头部挠曲误差为零。在 c 处设有一个通过油缸活塞来实现顶压的轴承。压力油由油泵6通过单向阀5进入油缸3。油缸压力由调压阀7进行调压，其读数可由压力表4读出。主轴进给时，主轴后部下方的齿条10带动齿轮9旋转，再通过联轴节8使调压阀7的压力逐渐升高（或降低），使 c 处的顶压力也随之增大（或

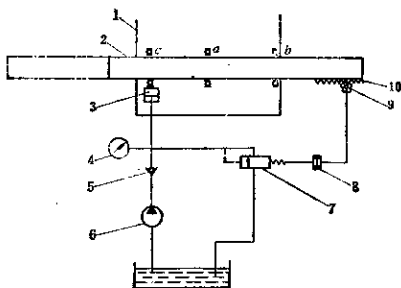


图4-13 在主轴某一部分进行顶压来补偿
主轴挠曲示意图

减小), 矫正了主轴的挠曲变形, 可使主轴端部的中心位置保持不变。也可采用预先算好升程量的凸轮来代替齿轮和齿条, 对调压阀进行调压。

(3) 大型镗铣床滑枕的补偿

大型镗铣床的滑枕端面尺寸一般都是比较大的(在700×600毫米以上), 如此之大的方滑枕工作时要伸出1500毫米左右, 再加上铣头或附件的重量, 它的挠曲变形量是很大的。若不对滑枕采用补偿措施实际上是不能使用的, 因此, 一般从以下三个方面对滑枕进行补偿:

① 滑枕本身的弹性变形的补偿: 在滑枕内部上方装有液压油缸, 在压力作用下活塞杆的拉力克服了其弹性变形所产生的挠度。

② 主轴箱的滑枕支承部位弹性变形的补偿: 滑枕在主轴箱内的方孔中轴向移动, 会引起主轴箱前方孔和后方孔产生弹性变形, 故在滑枕两侧主轴箱前后两端的上面装有油缸, 并用拉杆连接底部, 并用同一个节流阀来自动调节前后油缸的压力。当滑枕前伸时, 前油缸压力增大, 后油缸压力减小, 即前滑枕支依靠油缸压力便提升拉紧, 后部支承松弛。

③ 主轴箱因滑枕位置变动而使重心变化: 为克服这一重心的变化, 主轴箱平衡锤内有一液压油缸与链条相连, 以改变链条的张力来进行补偿。

以上三种补偿装置前两个共用一个油压系统, 后一种单独使用一个油压系统, 这两个系统都能随滑枕的前后移动而自动调节。

当滑枕端部装上附件加工时, 上述两套油压系统都可以根据附件重量而用手预先调节, 以补偿因附件重量而产生的挠曲变形。

第四节 支承镗削

当主轴悬伸的长度大于六倍主轴直径时，加上工具的重量，镗刀杆所产生的挠度值往往要超过一般工件的要求，同时生产效率低，加工条件差，因此就要采用支承镗削加工。所谓支承镗削，即将刀杆支承起来进行镗削的加工方式。

支承镗削的方式很多，如用导向套支承、利用工艺孔支承、安装附加支承以及利用机床后立柱支承镗削等。

按支承数量分，有一端支承和两端支承。上述几种方式多为一端支承，两端支承多用在镗模上。

支承镗削的特点是使刀杆增强了刚性，从而提高了工作效率，更主要的是保证零件加工质量，同时对中心线比较长的若干个同心孔的加工比较方便。

一、利用导向支承套镗孔

如图4-14所示，在镗同一中心线上的几个孔时，首先用悬伸镗孔法将第一层墙上的孔镗好，然后在该孔装上一个与刀杆外径相配合的导向套以支承刀杆继续向前镗出第二个孔。当第二个孔镗好后又可装上导向套再继续镗第三个孔……，以此可逐渐将该轴线上的几个同心孔全部镗出。这种加工方式称“步进式支承镗孔法”。

导向套主要是以已加工好的孔作为导向基准。如果导向基准孔较短，则会影响到下一个孔的加工精

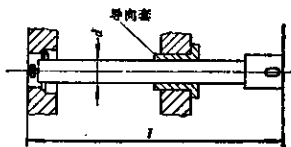


图4-14 支承镗孔

度，因此导向套必须增加导向基准。即做成如图4-14所示的导向支承套。基准孔端面必须事先镗出一个与导向套阶台相配合的平面，其直径略大于导向套端面的直径。如基准孔较长，则导向套不必制出阶台。

如果所加工的零件有一定的批量，导向套应为淬火钢制成，单件或小批量生产情况下，可用铸铁或铜质材料。导向套外圆与导向孔的配合一般选用 $\frac{H7}{k6}$ 配合，要求能推移而不能转动。

导向套孔与刀杆外圆的配合一般选用 $\frac{H7}{h6}$ 或 $\frac{H6}{h6}$ ，

实际配合间隙大多控制在0.015~0.03毫米之间。在加工过程中刀杆与导向套之间应有充分地润滑。

同心孔的加工中，应视孔直径的大小、孔间距的长短灵活运用导向支承套，如图4-15a所示的同心孔在T68机床上加工，导向套支承位置的不同可以有几种加工方案。虽然第一孔与第二孔相距350毫米，但由于第一孔直径大于 $\phi 85$ 毫米，所以主轴可伸进第一孔中用短刀杆镗削第二个孔，也可以用稍长一些刀杆加工第三个孔。加工这个同心孔系上各孔较为合理的方案有以下两个：

第一方案 (图4-15b)：用同一根刀杆和不变的主轴悬伸量，采用工作台进给加工好第一孔和第二孔，然后在第二孔中安装支承套用长刀杆加工第三孔和第四孔。在加工第四孔时因刀杆刚性差，效率较低。

第二方案 (图4-15c)：先粗加工第一孔和第二孔，并用稍长刀杆将第三孔镗到预定尺寸，然后在第三孔中安装支承套用长刀杆加工其余三个孔至尺寸。这个方案加工的同轴度比较好，但给加工中的测量带来困难。

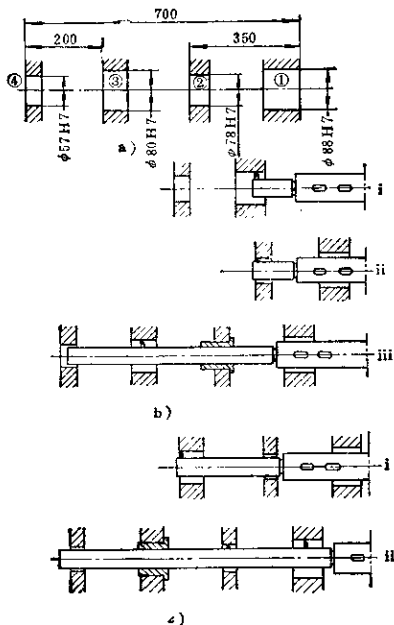


图4-15 使用不同支承部位的镗孔方案

除上述两种方案以外,还可以用步进式支承镗削法加工。

用导向支承套镗孔,若被加工孔比较长时,由于切削力和刀杆刚度的关系,被加工孔径会随刀杆逐渐伸长而越来越小,这种拔梢有时很难用单刃刀消除(图4-16a),只好使用扩孔钻、镗刀块等多刃工具加工。因此,在这种情况下,将支

承套尽量做得长一些，或者同时用两个支承套支承（图4-16b）能大大减小退拔现象。

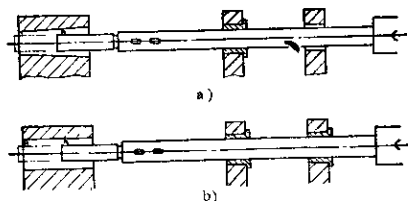


图4-16 使用一个支承套与两个支承套镗孔比较

导向支承套与导向基准孔及刀杆的配合间隙的大小也直接关系到孔的精度。如果配合间隙大，刀杆因自重下垂，所以间隙都出现在孔的上部，在这种状况下镗后一个孔时其中心线必然要低于导向基准孔的中心线，那么依次加工几个孔后，结果会使同心孔的中心线倾斜。这不仅影响同心孔系的同轴度误差，而且也影响到位置精度。

二、利用工艺孔为导向支承镗孔

当导向支承孔径比较小时，若再使用导向套势必限制了刀杆直径的尺寸，从而会大大降低切削时的刚度。在这种情况下，一般多采用工艺孔为直接支承刀杆镗孔，也就是将作为导向基准用的孔径加工到与刀杆外径相配合的尺寸，刀杆架设在其中支承镗下一个孔。这样加工比用导向套所选用的刀杆直径要大一些，同时减少了使用导向套的间隙所造成的镗孔误差。另外，在单件生产中导向套都是临时车制的，用毕即弃，所以用工艺支承镗削比较经济省事。工艺孔用完后镗至图样尺寸。在利用工艺孔支承镗削中要注意以下几个问题：

(1) 工艺孔的表面粗糙度须在 $R_a 1.6(\nabla 6)$ 以下,否则孔径会因相对运动很快磨损变大,增加了与刀杆的配合间隙。

(2) 孔两端要进行倒角。因为孔端面上有硬层,它的硬度有时比刀杆高,于是就象一把刀具切削旋转中的刀杆,因此使刀杆往往“研住”在孔中。

(3) 要注意充分及时地润滑,润滑过程中要防止孔端面上的脏物随润滑油流进孔中,因此,先要将孔端面上部的脏物清除干净,以避免刀杆研伤。

(4) 使用加长钻杆接刀杆支承镗孔时,钻杆上的退出孔处往往有毛刺或直径胀大,孔内的脏物都可能使刀杆“研住”,因此使用时须切实加以注意。

刀杆“研住”时强大的摩擦力使刀杆很难从孔中抽出,有时刀杆会弯曲,甚至将工件的定位破坏,必须重新找正才能继续加工。

用工艺孔支承镗削,先从前端往后端逐个加工支承孔,待刀杆穿入后,精镗时从最后一个孔开始逐个往前面进行,将支承孔镗至图纸尺寸。例如箱体上有三个同心孔,其孔径为 $\phi 42H6$ 、 $\phi 46H6$ 和 $\phi 50H6$ 。镗孔时,使用 $\phi 40$ 的加长钻杆,先将第一个孔镗至 $\phi 40H6$,以它为支承钻、镗第二个孔至 $\phi 40H6$,然后换加长钻杆加工第三个孔至 $\phi 42H6$,最后再换刀杆加工第二个孔至 $\phi 46H6$ 和第一个孔至 $\phi 50H6$ 。

三、安装附加支承镗孔

当同心孔相互间隔较远时,必须在中间安装附加支承才能进行。附加支承的安装形式多种多样,主要是根据零件的结构形状来选定。下面介绍几种典型的安装形式:

(1) 如图4-17a所示的床身为1970毫米,因为孔小不便使用镗杆和后立柱支承加工,可利用床身上与孔中心线平

行的导轨面作安装附加支承的基准面。

加工时先将附加支承放在前端，用悬伸镗削法镗好支承孔(图4-17a)，然后将其沿导轨的定位基准面推移至中间适当位置，将长刀杆架设在附加支承孔中镗削后面的两个孔(图4-17b)。

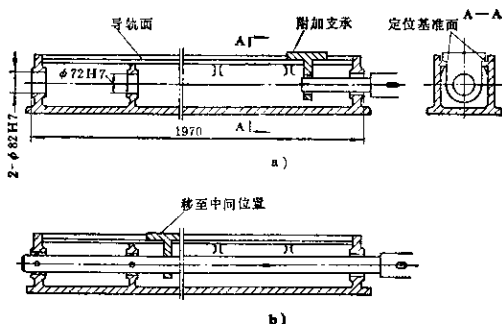


图4-17 在导轨上安装附加支承镗孔

(2) 如工件上的平面有螺孔时，附加支承可通过螺钉安装在该平面上，并在安装后镗出支承孔用以支承。

当工件平面没有螺孔时，可用压板将附加支承固定在平面的适当位置上。

(3) 用镗杆和后立柱镗中心线比较长的同心孔时，往往因镗杆刚性不足，影响到加工效果，此时也用到附加支承。

如图4-18a所示为可调活动附加支承，它适用范围广，其形状和结构类似于后立柱，只不过体积小些。它的支承孔座体可以在立柱上下调整，立柱底面为安装平面，图中所示为安装在机体底面有框形缺口所露出的工作台面上。使用时，

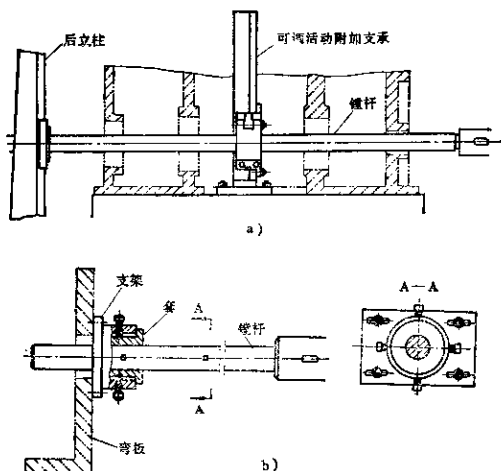


图4-18 可调支承

須用百分表仔细校正镗杆与两端支承的同轴状况。更换支承套可适用于直径不同的镗杆。

图4-18b所示也是一种常用的可调附加支承，与镗杆配合的套用八只螺钉顶在支架的孔中，而支架根据镗杆的大致位置固定在弯板上，支承套与主轴的同轴度依靠螺钉调节。这种可调支承灵活性大，通用性好。

当镗削五个同心孔时，因为镗杆很长，中间挠度大，所以可在中间孔中安装一个附加支承(图4-19)。镗杆与两端支承处的同心，可用调整螺钉调整。为了安装工作的方便，该

支承套可做成两半圆形状，使用时用螺钉把合起来。

四、利用后立柱支承镗孔

当同心孔中心线比较长且孔的直径较大时，一般用悬伸镗削很困难，用支承镗削所使用的支承套体积比较大，装卸困难也不经济，因此，多用镗杆架设在孔床后立柱支承孔中镗削。

用镗杆镗削比悬伸镗削的刚度要提高很多，加工出的同心孔系的同轴度精度高。目前这种方法多用在柱式镗床上，虽然台式镗床也有后立柱，但使用得较少，尤其现代台式镗床的测量装置日趋精密，基本上都是采用调头镗削。

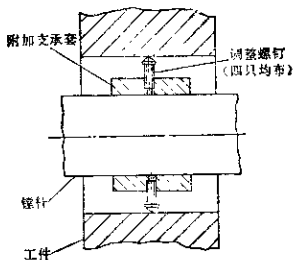


图4-19 安装在孔中的附加支承套

基本上都是采用调头镗削。

用镗杆镗孔的主要问题不是加工的本身，而是镗杆架设时的校正和加工过程中的测量。

1. 镗杆及刀架

镗杆也称穿长镗杆和镗棒。图4-20a所示为标准镗杆，其锥柄装在主轴锥孔中使用，在沿镗杆轴线方向上分布着间隔适当的装刀孔。直径100毫米以上的镗杆还有用来装浮动铰刀或镗刀块的长方形装刀孔。

如果镗工小组具有多种型号的镗床，为了减少镗杆的品种和数量、做到相互通用，镗杆的两端可做成各种尺寸不同的锥柄（图4-20b）。常用镗杆主要尺寸见表4-5。

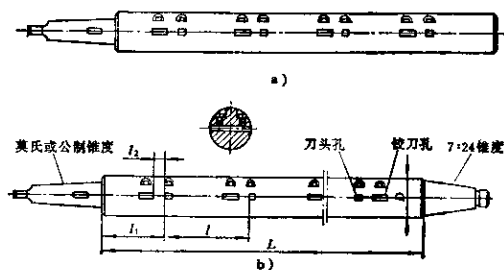


图4-20 镗杆

镗直径较小的孔时，刀具可直接装在刀方孔中使用。孔径较大时必须安装大孔镗削刀架在镗杆上，常用镗杆上的大孔镗削刀架有下列几种：

图4-21所示为能进行微调的刀夹，微调利用差动原理控制孔径精确尺寸。这种刀夹的结构简单、安装方便迅速，所以使用普遍。其主要尺寸见表4-6所列。

图4-22所示为可拆卸镗大孔刀夹之一，由两半圆组成，可在任意位置夹紧使用，与镗杆上装刀孔位置无关。它由于可装两把刀切削，故切削用量能大大提高。也可以在一根镗杆上同时安装几个这样的刀夹加工几个同心孔。镗削孔径范围从145毫米至400毫米。其主要尺寸见表4-7。

图4-23所示是加工孔径在400毫米以上的刀夹。刀夹用螺钉通过滑块将刀头调节到所需的尺寸。螺钉端面上有刻度，可以微调准确上刀。

2. 镗杆位置的通用找正法

表4-5 常用鑽杆主要尺寸表 (参见图4-20) (毫米)

种类	鑽杆 号数	D	L			刀具截面尺寸		l	l ₁	l ₂	
			1200	1500	2000	刀头	浮动铰刀				
类	5	40	1000	1260	1500	2000	12×12	12×30	100	250	25
	5	50	1000	1200	1500	2000	16×16	16×40	100	220	35
	5、6	60	1000	1500	2000	2500	16×16	16×40	100	240	35
	5、6	70	1500	2000	2500	3000	20×20	22×50	150	260	40
	5、6	80	1500	2000	2500	3000	25×25	22×50	150	280	50
	6、公制80	100	2000	2500	3000	3500	25×25	22×50	150	300	50
公	6、公制80	120	2500	3000	3500	4000	30×30	—	150	350	—
	80、100	150	2500	3000	4000	4500	30×30	—	200	330	—
	100、120	175	—	3000	4000	4500	40×40	—	200	400	—
制	100、120	200	—	—	4000	5000	40×40	—	200	400	—

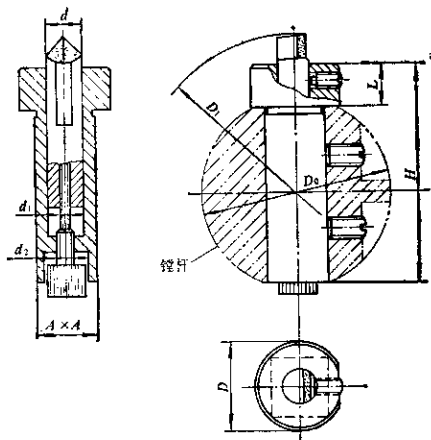


图4-21 微调刀夹

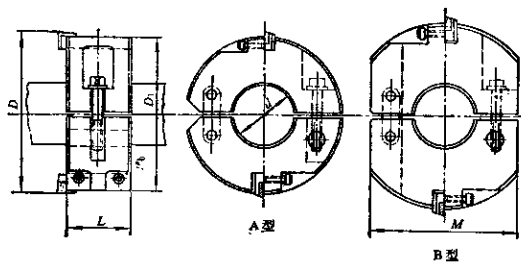


图4-22 可拆卸镗大孔刀夹之一

表4-6 微测刀夹主要尺寸表 (参见图4-21) (毫米)

键孔范围D ₁	键杆直径D ₀	刀夹 体边宽 A	H	L	D	d	螺 纹	
							d ₁	d ₂
100~125	70	20	80	18	28	12	M5×0.8	M8×1
125~150	70	20	115	20	28	12	M5×0.8	M8×1
150~200	70	20	140	25	28	12	M5×0.8	M8×1
110~140	80	25	100	20	32	16	M5×0.8	M8×1
140~200	80~100	25	130	25	32	16	M5×0.8	M8×1
200~280	80~100	25	180	30	32	18	M5×0.8	M8×1
150~190	120	30	140	20	42	20	M12×1.25	M20×1.5
190~260	120~150	30	170	30	42	20	M12×1.25	M20×1.5
260~340	120~150	30	280	50	42	20	M12×1.25	M20×1.5
210~260	175	40	200	20	52	25	M12×1.25	M20×1.5
260~320	175~200	40	250	30	52	25	M12×1.25	M20×1.5
320~420	175~200	40	300	50	52	25	M12×1.25	M20×1.5

表4-7 可拆卸镗大孔刀夹之一主要尺寸
(参见图4-22)

(毫米)

镗孔直径		镗杆 直径	类 型	D ₁	L	M
最小	最大					
145	180	70	A	140	70	—
170	210			160	70	—
200	240			190	70	—
230	270		B	220	70	200
210	240	100	A	200	70	—
240	280			230	70	—
270	310		B	260	70	210
300	340			290	70	210
240	280	120	A	230	85	—
270	310			260	85	—
300	340		B	290	85	230
330	370			320	85	220
360	400			350	85	240

镗杆位置的找正指的是找正镗杆在加工中的正确位置，使镗杆旋转中心线与后立柱支承孔中心线一致。这种一致性须在水平面和垂直平面内找正得到。

在台式镗床上找正比较方便，因为后立柱底座精确地安装在床身导轨上，并可在导轨上作纵向移动，而导轨与主轴中心线平行，所以底座无论移到什么位置上，它的支承孔中心线都是与主轴中心线平行的。

在柱式镗床上找正是件既困难又费时的的工作。绝大多数

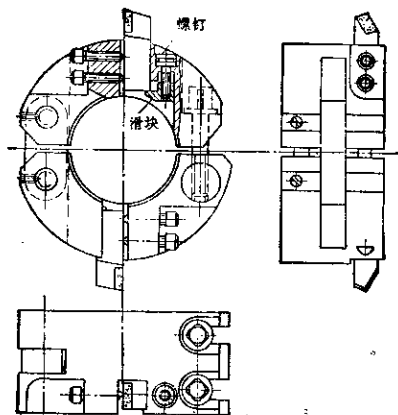


图4-23 可拆卸镗大孔刀夹之二

后立柱都安装在水平导轨上、而水平导轨则安装在工作平台上。使用前要将水平导轨尽量靠近主轴箱安装、以缩短镗杆的跨距。

水平导轨应与床身导轨平行（两个方向上）。在垂直平面内粗找正主要依据工作台上的T形槽或其上的刻线，精找正可用夹在主轴刀杆上的百分表找正水平导轨的侧面。当然这种找正方法应在工件装夹之前进行。

在工件装夹之后也可以利用工件上已加工的两平行面找正，如图4-24所示。机床沿床身导轨移动找正工件前平面，而后立柱在水平导轨上藉以机动找正工件后平面。若工件两侧面平行，则可以后面为基准调整水平导轨垂直平面内的

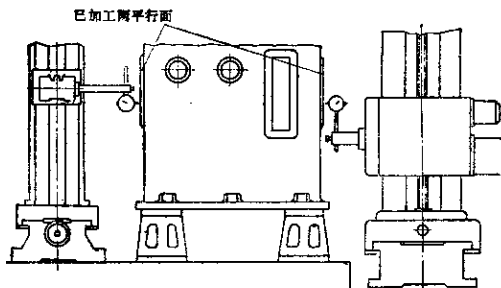


图4-24 利用工件上已加工两平行面找正后立柱导轨位置。

在水平平面内可用水平仪放在水平导轨上校正调整。

用上述方法将后立柱水平导轨与床身导轨在两个方向上找平行之后，再用下述几种通用的方法找正主轴与后立柱支承孔的同心度。

(1) 用百分表直接找正

如果镗杆使用跨度较短（2000~2500毫米），可用镗床主轴插上刀杆和百分表直接找正后立柱支承孔。用这种方法可以找到精确的数值，但因主轴悬伸很长，它的挠度使镗杆在垂直平面内位置精度降低，因此，须将挠度值考虑进去。

(2) 用专用工具找正

图4-25所示为找正用的专用工具，适用于直径较小的镗杆的找正。该工具用支架6通过紧固螺钉5装夹在主轴1上，调节杆3可在固定杆2的孔中伸缩移动，将夹在调节杆上的百分表触及镗杆4，主轴作缓慢旋转，如果主轴与

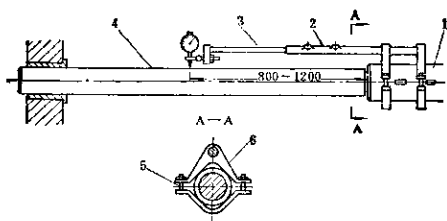


图4-25 用专用工具找正镗杆

后立柱支承孔不同心时，镗杆被迫弯曲，此时百分表当转到上下左右四个位置时的数值不一致。只有将后立柱支承孔的位置正确调整后，那四个位置的表数值才会一致。

(3) 用水平仪和塞尺找正

后立柱的支承孔用粗找正的方法将它找正与主轴大致同心后，可安装上镗杆。因为支承孔短，而镗杆长，即使不同心镗杆也能穿得进，只是稍有蹩劲。此时可用水平仪放在镗杆上母线上找正。如果水平，则可认为主轴中心和后立柱支承孔中心等高。

在垂直平面内可用0.02毫米厚度的塞尺检验镗杆在后立柱支承孔内两端处的间隙，如果蹩劲，间隙则存在一端的一侧，只有调整到两端四处的间隙相等时，则认为两中心重合。

(4) 根据工件上基准面找正

镗杆水平面位置比较容易找正，除用水平仪以外，还可以工作台面为基准用高度尺、百分表找正。在垂直平面内找正颇费功夫，一般可根据零件的具体几何形状和已加工平面的位置为基准，或建立辅助基准找正。

若工件上有与待加工孔中心线平行的侧平面，那么在工件安装时先用百分表（采用主轴伸缩）找正，使其与侧平面平行，然后架设镗杆。找正镗杆时，用百分表放在紧靠侧平面的检验平尺上，以其为基准找正A、B两点（图4-26），再根据表的差值调整后立柱的位置。

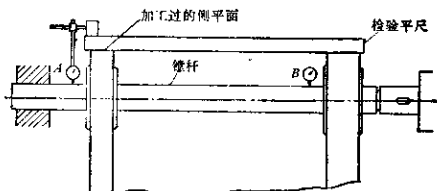


图4-26 以侧平面为基准找正镗杆垂直平面的位置

如果工件上无加工的侧平面，而有加工过的顶平面时，可将检验平尺放在顶平面上，并用主轴找正该尺与主轴轴线平行（图4-27），最好将平尺固定住，然后用带肩的磁力表座放在检验平尺上找正镗杆A、B两点。调整后立柱，使表值相等为止。

也可以用建立辅助基准的办法来找正：在工件附近安装一块弯板，先用主轴和百分表找直其上的检验平尺，然后同样用带肩的表座放在平尺上找正镗杆侧母钱上的A、B两点。

上述镗杆的通用找正方法多用在加工零件上第一条孔，当加工以后各条平行孔时可以已镗好的孔来找正镗杆位置。现代大型镗床的后立柱都配备有精密的测量装置，它可以根据各孔坐标位置精确地移动距离。

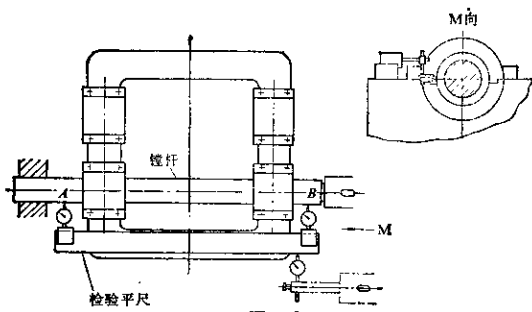


图4-27 以检验平尺找正镗杆垂直平面的位置

3. 用光学仪器找正

这种光学仪器通常叫对中望远镜，用它找正方便准确，具有极高的精度。无论主轴端面距离后立柱支承座孔多少距离，即使10米，其误差也不超过0.02毫米。

这里介绍TOPCON CT-2型对中望远镜的简单结构原理与使用方法。

对中望远镜由望远镜和视靶两部分组成。望远镜锥柄插入后立柱望远镜座体孔内（图4-28），也有插入支承镗杆的孔内。而望远镜座体专供安装望远镜用，一旦用毕，该孔座即旋到上面固定住，以便通过镗杆。

视靶2插入主轴3的锥孔内。视靶安装得是否水平，用水平仪4检查。望远镜1与视靶2的使用状况如图4-29所示。

校准和检查轴线对准的操作原理是：从望远镜瞄准视靶以校准和检查两根轴线的同轴度；用投影和反射装在望远镜

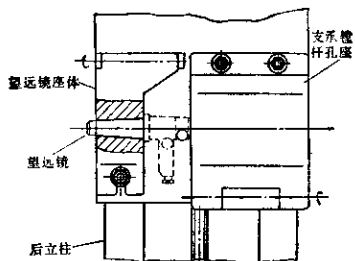


图4-28 带有望远镜座体的后立柱

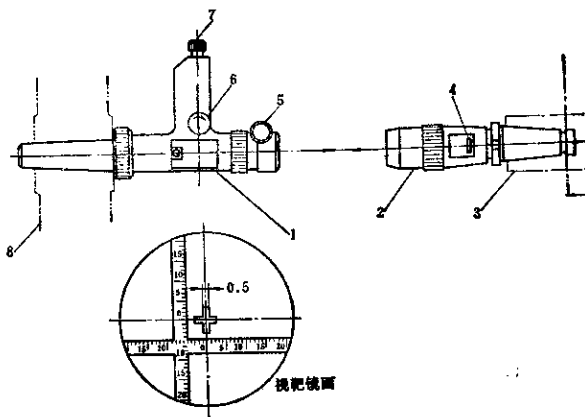


图4-29 望远镜和视靶的使用状况

上的自动反射靶的方法校准和检查两根轴线的平行度。移动调整后立柱8，使这些误差消失，此轴线的对准工作即告完成。

轴线平行度误差，用望远镜自动反射靶上的刻线来阅读。至于轴线同轴度的误差，可将读数千分尺5装在望远镜上，先读数一次，再将读数千分尺旋转 90° ，再读一次。图上的件6和件7分别为物镜调焦旋钮和目镜调焦圈。

结构原理：望远镜是内部调焦式的，现出正像。它的光学系统图如图4-30a所示，物镜2处装有自动反射靶3，物镜调焦范围从物镜前130毫米至无穷远，可用物镜调焦旋钮聚焦。瞄准部分6同望远镜管体直角连接，内装有照明灯7，供检查轴线的平行度之用。目镜处装有十字线5，可用目镜调焦圈聚焦。

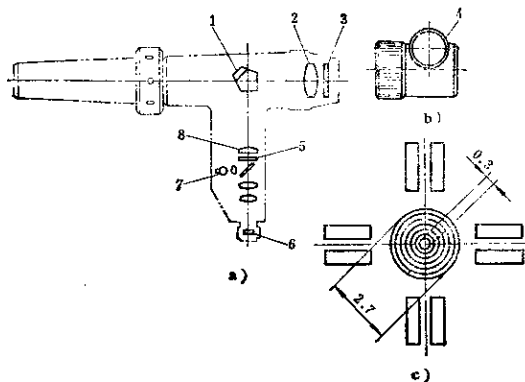


图4-30 望远镜光学系统及读数千分尺

a) 光学系统图 b) 读数千分尺 c) 自动反射靶图案

望远镜的光轴与其锥柄轴线平行且同轴。

自动反射靶的图案如图4-30c所示，中央直径为0.3毫米的圈，环绕它有六个同心圈，直径相差均为0.4毫米，最外圈为2.7毫米。

读数千分尺(图4-30b)是用以检查同轴度的。使用时，将它拧在望远镜的前端，可绕望远镜光轴旋转。每转 90° 有一个定位点，一圈共四个，因此，可以在两个坐标上进行坐标测量。测量时，将它放在定位点上。它的主要零件是一块斜装的两边平行的平面玻璃。旋转游标度盘4，可以平行地移动望远镜的光轴，也就是移动“十”字靶。当靶标恰好移到望远镜十字线中间时，游标度盘上的读数就是同轴度的值。

读数千分尺可用可不用。

视靶有一块玻璃反射镜面(图4-29)，中间有一个清晰透明的十字靶标，这个靶标用于检查两根轴线的同轴度。视靶内装有照明灯，灯亮后靶标呈现亮晶晶的“十”字，以使用望远镜瞄视。

视靶的反射镜面用于检查两轴线的平行度，因此，反射镜面同其外部安装用的锥柄中心准确垂直，十字靶标与锥柄中心精密重合。

视靶中间外缘上有一个水平仪(参见图4-29)，供检查视靶安装是否正确，使用时气泡要准确地处在中央。

两轴线平行度的检查：

主轴与后立柱轴线平行度测量原理如图4-31所示。

把望远镜聚焦在距离 $2L$ 处(图4-31a)，观察者可看到自动反射靶3的中心同十字线重合。此时说明视靶反射镜面4同望远镜光轴垂直，换句话说，也就是两轴线平行。其原理是光线透射过望远镜前端的靶，使靶呈现亮晶晶的黄色，这个灿

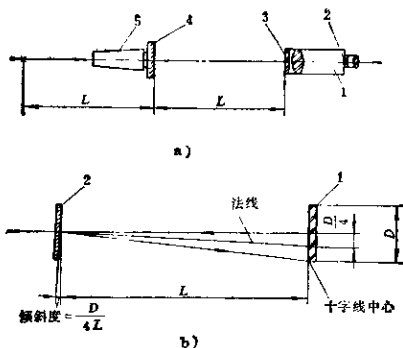


图4-31 主轴与后立柱轴线平行度测量原理

烂黄色的自动反射靶3的图案从视靶4上的反射镜面反射回来，又可在望远镜中看到。如果视靶反射镜面不同光轴垂直，如图4-31b所示，十字线的中心处在自动反射靶1的最大直径 D 上，也就是与靶中心偏离 $\frac{D}{2}$ ，瞄准线的倾斜度比反射镜2的实际斜度大一倍，法线偏离值是 $\frac{D}{4}$ 。反射镜的倾斜度是同自动反射靶的直径 D 成正比，而同两镜面之间的距离成反比的。其反射镜倾斜度为 $\frac{D}{4L}$ 。

【例】十字线中心在自动反射靶标的直径0.3毫米以内，自动反射靶到反射镜的距离是1500毫米，试求反射镜与光轴的倾斜度。

$$\text{【解】 } \frac{D}{4L} = \frac{0.3}{4 \times 1500} = \frac{0.05}{1000} \text{ (毫米)}$$

这就是说反射镜与光轴的倾斜度为在一米长度上为0.05

毫米。

两轴线同轴度的检查：

旋转已插入后立柱中的望远镜上的物镜调焦旋钮，对十字靶标聚焦。如果在视场中看不到十字靶标，这说明两轴线偏离太多，需要进一步粗校后立柱。待望远镜中看到十字靶标后，再进行细调校，使十字线准确地处在视靶中央透明发亮的十字靶标为止。

如果要使用读数千分尺，把望远镜的物镜罩壳拆下，装上它，并转到它的定位点，把游标度盘旋转指向“0”，这时从望远镜中看着十字线，旋转游标度盘，以使十字线准确地处在十字靶标之中，游标度盘上的读数，就是两轴线的偏移值。这只是一个方向的偏移值，欲知另一个方向上的偏移值时，可将读数千分尺转到 90° 上的定位点，将游标度盘指向“0”，再按照前述方法取得读数。

使用读数千分尺能进行0.01毫米的精密测量。

这种对中望远镜的结构比其他对中望远镜要简单，使用方便，测量精密，操作容易掌握。视靶和望远镜的内部均装有新型的镍镉电池，充一次电能用六个小时。

因为上述仪器是一种精密的仪器，所以使用中要小心谨慎，防止剧烈振动或冲击，用毕要妥善保管。




4. 用镗杆镗孔的主要进给方式

用镗杆镗孔最常用的进给方式可分为两大类：一是工件进给；二是刀具进给。

同悬伸镗削一样，工件进给可在工作台有轴向移动的镗床上完成，刀具进给可在所有镗床上进行。现作比较如下：

单刀头削时主要进给方式的情况比较，详见表4-8所列。在实际工作中，可根据具体情况灵活选用最佳加工方式。

表4-8 用镗杆镗孔主要进给方式情况比较

图 形	进给方式	刀具数量	镗杆支承之间距离	孔中心线的直线度	孔径变化	切削效率	刀具系统刚度	适用于
	工件	单刀	是孔中心线长度的2倍以上, 长度不变	孔中心线的直线度好	孔径一致	由于要增加走刀次数, 因此切削效率较低	刚度小, 振动大, 挠度也大	孔中心线的直线度要求很高的同心孔
	工件	间隔单刀	稍大于各孔长度的总和, 长度不变	刀具各点上的挠度不同, 因此孔中心线可能有些弯曲	各孔径大小, 视上刀情况	切削效率高	刚度比上增加	镗杆短时使用
	主轴	单刀	镗杆工作长度是改变的, 主轴悬伸增加	刀头运动速度随曲线形状, 孔中心线的弯曲度	靠近支承处直径大, 刀头在两支中间处直径最小	切削效率高	刚度比前两种大, 振动小	孔中心线短的孔, 或柱式镗床加工

用镗杆镗孔，粗镗时多用可拆卸的刀架，同时装两把刀加工，因为粗加工余量大，径向切削分力也大，用两把刀加工可以克服因切削力使镗杆产生较大的挠度，同时也能提高切削效率。但是使用两把刀切削会引起切削力的增加。如镗杆刚性不足或支点间跨距大，用平常的推镗法加工会使镗杆发生弯曲变形和剧烈地振动，此时不得不减少切削用量和同时加工的孔数。故粗镗箱体孔时用“拉镗”法镗削就能部分地克服这些缺点(图32a)。

为了进一步地校正孔的位置，半精镗同心孔时往往采用 90° 偏刀对每个孔分别进行(图4-32b)。精镗是用带微调的单刃刀(或浮动铰刀)来完成，这样便于精确地控制尺寸(图4-32c)。

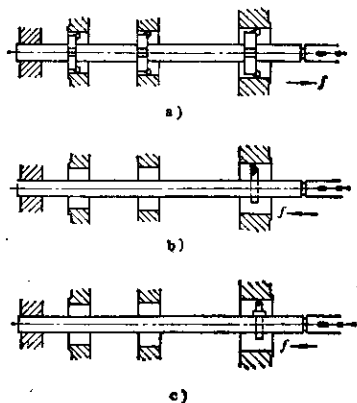


图4-32 用镗杆和后立柱加工三个同心孔的方法
a) 粗镗 b) 半精镗 c) 精镗

由于镗杆在整个镗孔过程中都堵塞在孔中，这就给精密测量孔的工作带来困难，不得不多次上刀、试镗和测量，这要损失相当多的时间。因此，可采用各种结构的量规和对刀工具，将刀头方便迅速地调准到所需要的位置。

通常安装调整刀头所用的几种量规如下：

(1) 固定量规

图4-33a所示为环形量规，使用时须在镗杆安装之前套在镗杆上，其内孔直径应等于镗杆半径加上所镗孔半径。这种环形对刀量规由于受到安装时的限制，故一般可做成半圆形的(图4-33b)，两边共有四个尺寸：即一边为粗镗、半精镗，另一边为两个极限尺寸。如果加工有一定批量的零件时，采用这种量规对刀能促进生产率的提高。它可用低碳钢经渗碳淬火到HRC58~60使用。

图4-33c为可调量规，两边也共有四个尺寸，根据需要通

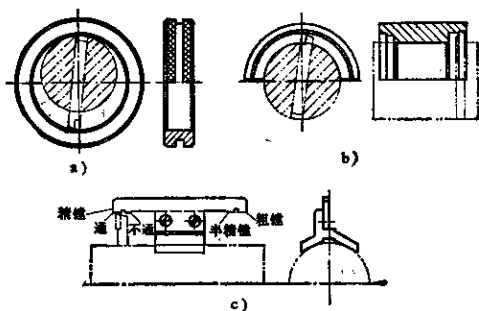


图4-33 在镗杆上对刀的量规

a) 环形量规 b) 半圆形量规 c) 可调量规

过紧固螺钉调整。它以V形铁在镗杆上定位。

(2) 百分表对刀仪

百分表对刀仪也称机外调刀工具，它可将刀头调准到0.01毫米精度，不仅卧式镗床，即使自动换刀数控镗床也是必不可少的附件之一，因为自动换刀的刀具尺寸是事先靠它预调好的。

百分表对刀仪的结构如图4-34所示，经淬过火的V形铁上有一根支柱，将夹有百分表的表夹装在支柱的槽中，即可滑动调节尺寸，百分表测头是平的。

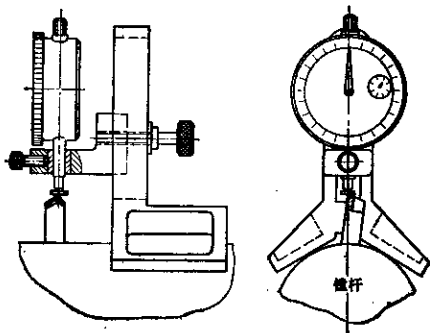


图4-34 百分表对刀仪

使用时先量出第一次进给后的孔径，并计算出刀头需要的伸出量，然后将百分表测头接触刀尖，同时根据百分表指针控制刀头伸出量。

目前新型百分表对刀仪的V形铁是用磁力吸在镗杆上的，操作安全简便。对刀仪同样适用于普通刀杆。

5. 用镗杆和附加支承镗孔

用镗杆镗孔刚性不足时，如镗杆较细或支承点间跨距大，切削力引起镗杆的挠度增加，这不仅影响孔的精度和表面质量，而且也降低生产效率，因此，可根据工件的具体结构和孔径的大小用增加支承点的办法来克服。

例如一同心孔中心线总长为4210毫米，分布着五个同心孔，其孔径分别为350H7、400H7、420H7、400H7和380H7。因孔径较大，所用的镗杆长，因此，可在中间 $\phi 420\text{H}7$ 孔内安装一个铸铁外壳内浇有轴承合金的可调支承（见图4-19），镗出两边的四个孔。然后装上支承，并在两边 $\phi 400\text{H}7$ 孔中装上两个支承套作为第二次附加支承，最后镗出中间的 $\phi 420\text{H}7$ 孔。

6. 镗杆镗孔过程中的测量

用镗杆镗孔时，孔径的测量工作是件困难的事，因为镗杆堵塞在孔中，不能用各种万能量具测量，因此，影响了孔径测量的精确性。在长期的生产实践中，人们想出了很多的测量方法和制出能精确测量孔径的工具，主要有以下几种：

（1）百分表内卡钳测量

目前大多数镗工都是用内卡钳测量孔径，但对于个人技术要求很高，一般人单凭卡钳的测量感觉很难断定孔的精确尺寸。

图4-35a所示的百分表内卡钳能精确测量孔径。使用时，要用外径百分尺校对。校对时，转动活动脚1到孔的基本尺寸，将螺帽2锁紧，同时将百分表对到零位。测量时，测量脚5被复位用的弹簧拉3紧外张。当在孔中摆动的最大点时百分表指针与零位的差值即是实际误差。两定位钉4使测量脚限位。

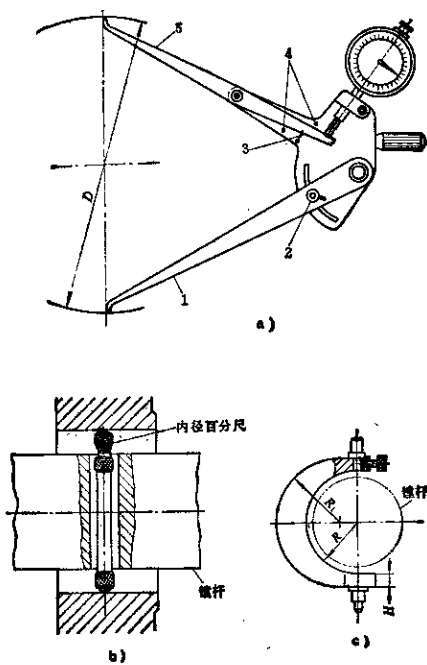


图4-35 孔径的测量

a) 用百分表内卡钳 b) 用内径百分尺 c) 用量规

(2) 内径百分尺测量

内径百分尺放入镗杆装刀孔中进行测量是常用的方法之一，如图4-35b所示。

(3) 用配件测量

在修配镗孔时，有时将环形配件预先套在镗杆上，边镗边试配，待配合合适为止。

有时也专车制一个环形套用作测量。

(4) 量规测量

图4-35c所示是测量孔用的量规，适用于一定批量的工件。这种量规可用外径百分尺预先调整到孔的极限尺寸，并拧紧螺钉。为了防止使用和拿取过程中的碰撞松动，一般在测量前仍需用外径百分尺校对。这种量规的主要尺寸见表4-9所列。

表4-9 用镗杆镗孔时量规的主要尺寸

(参见图4-35c)

(毫米)

镗杆直径	主要尺寸			测量范围					
	R ₁	R	H	固定量规		百分尺量规			
				最尺	小寸	最尺	大寸	最尺	小寸
70	36	52	16	110	310	175	375		
80	41	59	18	125	325	190	390		
100	52	72	20	160	350	200	400		
120	62	84	22	170	370	230	430		
150	77	102	25	205	415	270	470		
200	102	132	30	265	465	325	525		
250	128	163	35	330	530	370	570		

还有一种百分尺量规，其结构大体上和上述固定量规相同，只是在支脚的孔中换上标准内径百分尺测头。它能测量出孔的精密尺寸。

(5) 弓形内孔百分表

图4-36a所示是弓形内孔百分表。表身为弓形，能躲过

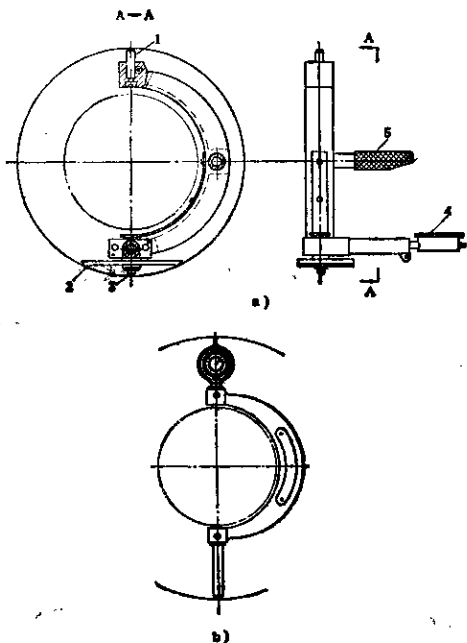


图4-36 弓形内孔百分表

镗杆进行量孔，其余结构和内径百分表相似。在它的另一端装上可换测头1，另一端装上百分表的测量装置，它包括定心板2，测头3以及百分表4，手柄5供测量时提拿用。

图4-36b所示是另一种结构简单的弓形内孔百分表，在弓形表身一端装有百分表，另一端装有可换测头。百分表装在表座中，表座可在尺身的孔中作小范围的伸缩调整。该量具特别适用于大孔的测量，制作简便。使用时也必须用外径百分尺认真校对。

第五节 调头镗削

当同心孔的轴线比较长时，可先镗好一端上的孔，然后将工件旋转 180° ，再镗另一端的孔，用这种方法镗削同心孔叫调头镗削。

调头镗削中，工件旋转 180° 有两种情况，一是转动工作台，另一种是将工件调头重新装夹。这两种情况在台式镗床和柱式镗床都适用。

调头镗削的优点是：因为不需要用长镗杆加工时占用很多的安装镗杆、调整工具等辅助时间，同时因可用短粗的刀杆加工，加上测量方便，能用较高的切削速度切削，因此它能获得较高的生产率。调头镗削不仅能镗孔，而且孔端面上的其它加工处（环槽、外圆和端面），都能一并加工出来。

调头镗削的缺点是在主轴悬伸长时或调头后的找正误差会引起两孔的平行度和同轴度误差，尤其工件两次安装调头镗削必然要降低加工精度。当孔中心线较短、孔长与孔径之比 $B/D > 1.5$ 时或内装四列滚动轴承时，由于产生的误差引起较大的影响，所以不适宜采取调头镗削。

精密调头镗削主要是依赖于坐标测量系统和工作台回转

90°的定位系统的精度。精密调头镗削具有很大的经济性和较高的质量，所以它是台式镗床使用最多的加工方法，不仅如此，数控镗床或自动换刀数控镗床几乎全部采用调头镗削加工长同心孔。

一、精密调头镗削中保证孔位置精度的措施

调头镗削的主要问题是孔位置精度，它主要包括两孔平行和同轴。上面讲到了精密调头镗削主要是依赖于机床的坐标测量系统和工作台90°回转定位精度，这首先就要求在先镗出一端孔时就要确定好坐标原点。

1. 定好坐标原点

因为主轴箱的垂直高度是一定的，所以调头镗削时只要确定镗孔中心到回转工作台的距离就可以了。其误差应为0.01毫米左右。

目前镗床上用得最多的检测元件是精密刻线尺——光学读数头，它的精确度为0.01毫米，所以能满足上述要求。

通常确定坐标原点的方法如图4-37所示，将百分表固定在工作台上，使表头与主轴接触对零位（此时主轴箱、工作台均锁紧），然后松开工作台并回转180°再夹紧，使表头与主轴另一侧接触，根据百分表反映的误差值调整工作台在水平方向上的位置，使百分表在主轴两侧接触时

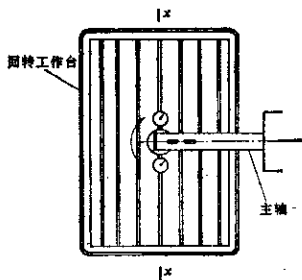


图4-37 确定坐标原点

的读数一致为止。此时主轴与工作台回转中心重合，即坐标为原点坐标，具体数值可从精密刻线尺上看出，并记录下数字，以便与孔中心位置比较，这样才可知道孔中心位置与坐标原点的水平距离，同时也要记住方向。

有的机床设有专门确定坐标原点的装置，一般在机床出厂前就调整好的，如图4-38a所示，固定在上滑座1的垂直端面上的定位杆2端面与固定在下滑座3侧面上的固定块5端面相平齐时，主轴中心即与回转工作台中心一致，精密刻线尺上的数值即为坐标原点。

定位杆2与固定块5端面相平齐一致，是靠专用的表架4检验的。如图4-38b所示，表架3上的A面是精密刮研过的而且相当平直，检验前先将A面扣在一块精密的平板上，将

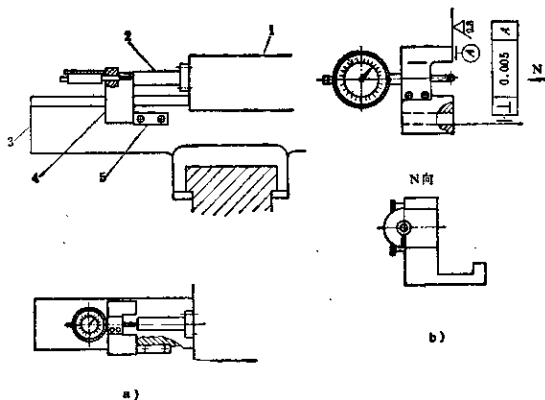


图4-38 确定坐标原点的方法
a) 用百分表确定 b) 用专用表架确定

装在其上的百分表指针调整到零位。然后将表架4放置在滑座1的导轨上,使A面与固定块端面靠紧,再调整移动滑座使定位杆端面与百分表接触到零位为止,说明此时工作台位置就是坐标原点。

2. 调整工作台回转定位机构,使工作台回转 180° 的定位误差小于 $0.02/100$ 毫米。

调整并检验工作台回转定位精度,是为了保证调头镗孔的孔中心线平行的重要措施。调整方法如图4-39所示,在工作台上放一标准平尺,首先用百分表校正C面使其与 x 轴移动方向平行。工作台回转 180° 再测量C面,使其误差小于 $0.02/1000$ 毫米,这可调整工作台定位机构来达到。也可以每转 90° 测量一次,转一周测量四次。

工作台的回转定位机构多采用光学瞄准器,它在机床出厂前已调整好,定位精度一般在 $0.02/1000$ 毫米以内(即4秒)其结构如图4-40所示,由标靶和瞄准器两大部分组成。标靶由螺钉固定在工作台转动部分的外缘上,标靶中间刻有 0.06 毫米宽度细线,平行于工作台

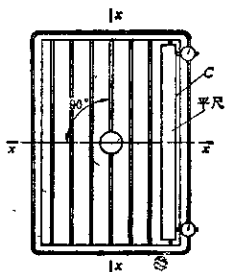


图4-39 检验工作台回转定位精度

转轴。瞄准器由一套光学放大镜头和光屏以及与其垂直的电源组成。光学放大镜头对准标靶上的刻线,在电光源的透射下将刻线的像放大并反射到光屏上。光屏上有两条刻线。当标靶上的刻线清晰地映在两刻线之间时,则说明工作台回转位置。

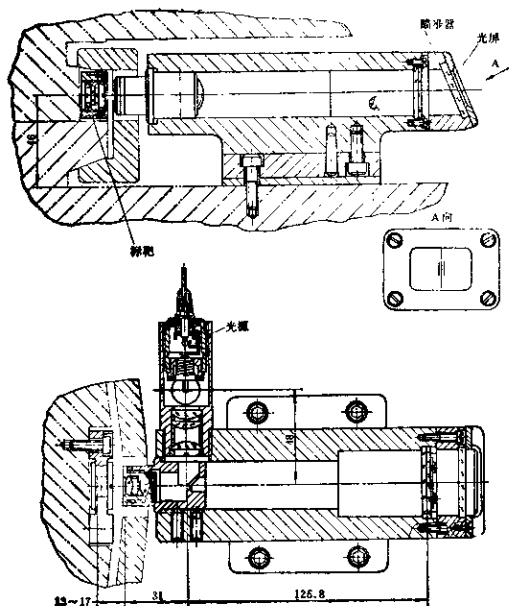


图4-40 回转工作台90°定位光学瞄准器

这种装置操纵方便，图象清晰，定位精度高，能完全满足调头镗削的精度要求。对于新机床需用检验平尺进行检验。若标靶位置不准时，可松开螺钉进行调整。

在老式镗床上工作台回转定位机构多采用挡块装置，结构简单，定位精度低，如T68镗床出厂时精度为0.04/1000毫

米，相当于8秒。每次回转定位须凭经验来保证挡块接触松紧一致，否则不能保证调头的定位精度。为了进一步提高回转精度，可将挡块改装成如图4-41所示的用百分表定位。固定在回转工作台1下面的四个定位块3触头每转 90° 均与触杆左端面接触，只有当固定在座上的百分表数值相同时，说明回转定位准确。触杆4在座5的孔中滑动，依靠弹簧6右推测量，座固定在上滑座2上。用此法可使工作台回转精度提高至 $0.01/1000$ 毫米，而且改装成本低，简洁方便，工作可靠。

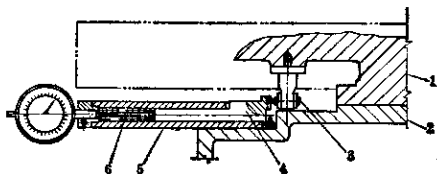


图4-41 工作台回转用百分表定位

...孔的水平坐标在调头前后误差要小于 0.01 毫米，其数值相对坐标原点的大小相等而方向相反。

在实际操作中，如能切实保证上述三点要求，便可保证调头镗削孔的质量，这一点可用下列分析来证明。坐标原点误差和回转误差引起的同轴度误差如图4-42所示。

图4-42a所示为回转误差。假定坐标原点误差为零，工作台回转误差为 $0.02/1000$ 毫米，调头前镗孔中心线2，与调头后镗孔中心线1，因回转误差形成交角 $0.01/500$ 毫米，两孔同心度为 0.01 毫米。

图4-42b所示为坐标原点误差。假定工作台回转 180° 后

误差为零，若坐标原点误差为0.01毫米，则中心线1和3为孔的实际中心线相对于理想中心线2的误差为0.02/1000毫米。

图4-42c所示为综合上述两种误差。回转前后两孔的同轴度由两孔中心线2和3与理想中心线之间误差确定。若理想中心线为1，坐标原点误差为0.01毫米，在图上由表示为中心线1与3 c回转后3线为3'线)的同轴度误差，工作台回转误差表示为中心线2与3（或3'）之间的误差，也为0.01/500毫米，故综合误差为0.02毫米。

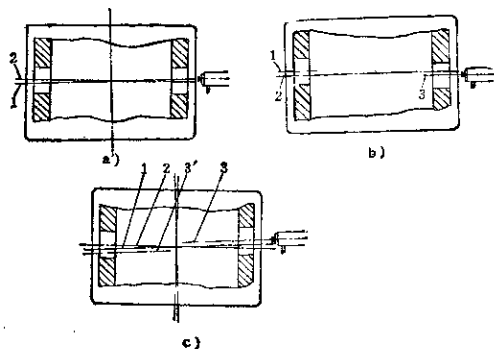


图4-42 坐标原点误差和回转误差引起的同轴度误差
a) 回转误差 b) 坐标原点误差 c) 坐标原点和回转综合误差

一般来说在垂直平面内也会造成调头镗削同轴度的误差，这是因为：

- (1) 工作台上平面对其面环形底的平行度；
- (2) 上滑座上环面对其底导轨面的平行度；

(3) 工作台上平面的平面度。

对于那些失去精度或精度较低的机床加工时一定要先测量一下垂直平面内可能产生同轴度的原因,以提高加工质量。

二、简易调头镗削

不是依赖于机床精密测量系统来保证调头镗削精度以及将工件重新安装的调头镗削都属于简易调头镗削。简易调头镗削对于孔的位置精度的保证,主要取决于操作者的个人技术和工艺水平如何。

简易调头镗削为保证孔的同轴度精度的方法很多。现举例说明如下:

1. 利用机床后立柱支承孔找正

如图4-43所示,首先要调整好立柱支承孔与主轴的同轴度,误差要尽量控制在0.01毫米左右。利用台式镗床主轴箱和后立柱升降的一致性,在后立柱支承孔中装上检验棒,调头后移动工作台。当检验棒上的套对准调头前镗好的孔时,主轴就对准了该孔的中心位置。对于不同的孔径要换相应

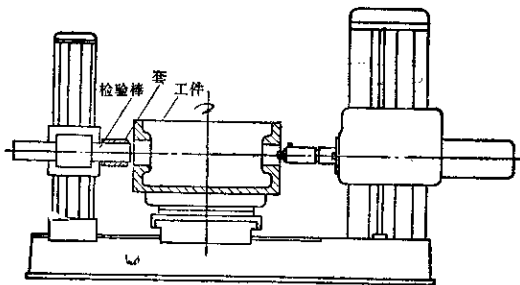


图4-43 利用机床后立柱支承孔中检棒与套找正

尺寸的套,也可以在检验棒上装一百分表,找正调头前镗好的孔。这种找正的方法减少了孔径尺寸误差对定位精度的影响。

2. 用百分表直接找正

工件上已镗好的大孔,可用夹在刀杆上的百分表直接找正,但要考虑到主轴和刀杆自重所产生的挠度值的影响。

如果已镗好的孔径较小时,或者两孔间隔较长,可在已镗好的孔中插入心棒,并用刀杆上的百分表找正心棒。

3. 以工艺孔找正

在柱式镗床上加工直径大于600毫米的孔时,工件内部结构简单,可在内腔中焊接一块钢板,在加工第一孔时,顺便将钢板也镗出一个直径约为200毫米的孔作工艺用,在工件调头后,用主轴上安装的百分表来找正该孔。

4. 以工件侧平面为基准定中心坐标

如果工件侧面(垂直平面)是已加工面,调头镗削时以它为基准,并保证两端孔中心线与它距离相等,则两孔同轴。

图4-44所示的工件,镗孔前先用百分表找正 $R_{1.6}(\nabla 6)$ 侧平面,使其与主轴中心线平行,然后确定孔中心线与该侧面的水平距离。先镗好一端孔后调头,使另一端孔中心的水平距离和另一端的相等,相等的程度越精确,则同轴度越好。

如果在台式镗床上转工作台,其回转定位精度高,侧平面在工件调头后可不用再找正;倘若定位精度低,仍要用百分表再找正侧平面,以免两端孔中心线平行度相差太多。

有的工件(钢件)侧面无基准平面,在有关技术部门的允许下,可在工件侧面焊接上几个工艺基准块,并加工一刀作为调头镗削的找正与定尺寸的基准,用毕后,用扁铲剔除掉。也可在侧平面上铣出一定宽度的平面作为工艺基准。

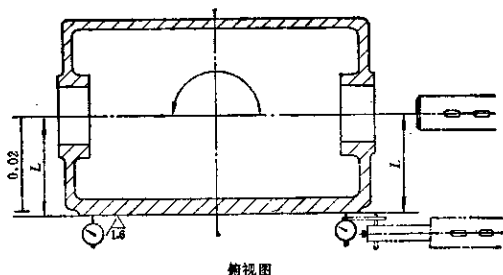


图4-44 以工件侧平面为基准定主轴中心

如果不允许加工出工艺基准时，可在工件的侧面附近安装一根检验平尺，先用百分表找正平尺，工件调头后仍以该平尺为基准，保证两端的尺寸相等即能保证两孔同轴。此方法不适用重新装夹的调头镗削。

5. 用胎具定位调头镗削

如图4-45a所示的工件，两同心孔的直径分别为 $\phi 30 H7$ ，两孔的同轴度要求不大于0.05。孔的两端长度为362毫米，端部有外圆和端面要求加工。该工件虽然在一次装夹中能将两同心孔加工出来，但由于刀杆细长，因此效率低，同时只能加工出一端上的外圆和端面；如果转动工作台加工，而每一端面距离工作台边缘都很远，工具悬伸较长，加工同样效率低和不方便。因此，可将工件分二次装夹调头镗削。

将工件装夹在工作台一侧边缘的适当位置上，先加工一端的全部内孔、外圆和端面，这样可用短刀杆等刚性好的工具进行高速切削。然后拆掉工件，主轴箱垂直距离不动，并在工作台适当位置压紧一块铸铁座体，随后在其上镗出一个

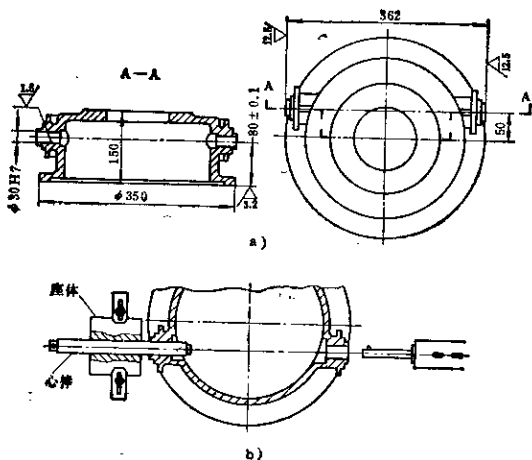


图4-45 用胎具定位调头镗削

$\phi 30H7$ 孔,接着将工件已加工好的孔用锥度为 $0.05/1000$ 毫米的心棒穿在座体孔中(图4-45b),使之配合紧密,并夹压好工件,加工另一端的孔、外圆及其端面。

三、调头镗削与镗杆支承镗削的复合加工

在对同心孔的加工中,用调头镗削的同时也采用镗杆加工的方法称复合加工。

图4-46所示为平锻机机架,轴线I-I为传动轴孔,轴线II-II为曲轴支承孔。现介绍在柱式镗床上用调头镗削并使用镗杆的复合加工的步骤:

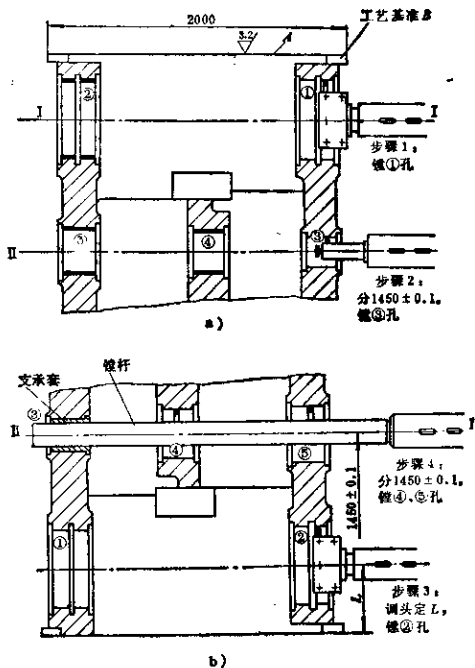


图4-46 调头镗削中使用镗杆的复合加工

该工件调头镗削的测量基准是侧平面A和工艺基准B，根据这些基准确定I-I轴线的坐标位置并镗①孔，并记下尺寸L（图4-46a步骤1），然后分过 1450 ± 0.1 毫米，加工I-I轴线上的③孔（图4-46a步骤2），同样要记下孔距的实

实际尺寸。

工件调头重新装夹，并按 *A* 和 *B* 找正，然后根据 *L* 的实际尺寸重新确定 I-I 轴线的水平坐标尺寸，加工②孔（图 4-46b 步骤 3）。

最后按加工前一侧面 1450 ± 0.1 毫米的实际尺寸分距离到 I-I 轴线位置，将镗杆架设在③孔的支承套中，镗削④⑤孔至尺寸（图 4-46b 步骤 4）。

这种调头镗削与镗杆支承镗削的复合加工方法，有省去架设后立柱的优点，并能消除部分因调头镗削而造成的误差。因此，这种复合加工方法在柱式镗床上使用得比较多。

第六节 在镗铣床上窜位镗削

上面谈到的同心孔系的各种加工方法是传统的方法，其共同特点是平行于主轴轴线加工，而目前在镗铣床上利用直角铣头垂直于主轴轴线进行镗孔是一种新的加工同心孔的方式，如图 4-47 所示。这种加工同心孔的方式特别适用于加工中心线很长而孔短且孔径大的间断孔，例如万吨轮船柴油机体上的曲轴支承孔等（镗孔时盖子装上一起加工，图中拆掉盖子，孔 1 已镗好）。

用这种方法加工同心孔生产效率高，并可节省大量辅助时间，由于使用方滑枕 3 装直角铣头 2 镗削，也就不存在诸如支承套的间隙问题和主轴的挠度问题等，所以加工后的精度高，测量、观察和操作都方便。但也有一定的局限性，它受到工件结构形状和孔间距大小的限制。

工件安装时被加工孔中心线与主轴中心线应成水平垂直状态，即与床身导轨平行。

加工时，在方滑枕端面上装上直角铣头，在直角铣头的

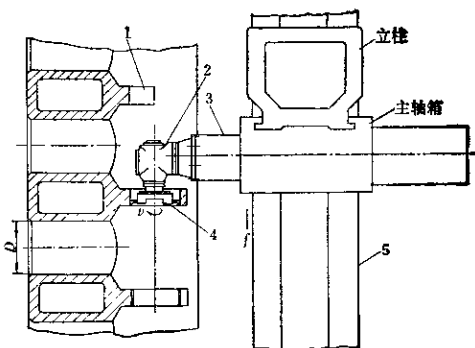


图4-47 在镗铣床上窜位加工同心孔

铣轴端面装夹上镗孔刀架4。该刀架可根据孔的长度来选择长短，同时也要考虑孔间的宽窄，以便于铣头能伸进孔间空档中去。但这要分两种情况来讨论。

镗好第一孔时，可拆去孔的盖子（曲轴孔都是可分拆孔），移动机床立柱窜位加工第二孔。在这种情况下，刀架的长度加上直角铣头的轮廓宽度可大于孔间距，在实际工作中多采用这种方法加工，虽然拆盖子费事，但镗出孔的同轴度精度高。

另一种情况是机床有精确数字显示装置时，一般可不拆盖子，即在加工好第一孔后，从数字显示上记住滑枕位置，将滑枕从加工位置退回来，再移动立柱使直角铣头进入第二孔与第一孔之间，从数字显示上观察使滑枕复位到先前位置。这样就要求刀架长度加上直角铣头轮廓宽度必须小于两

孔之间的距离。因此这种方法多用在有数字显示的机床上，避免了窜位时要拆去盖子，节省了辅助时间，但是机床的重复定位精度不好时，容易增加同轴度误差。对于不可分拆的孔加工时只有使用这种方法。

镗孔中的进给运动是依靠立柱在床身导轨 5 上的运动实现的。

这种窜位加工同心孔的方法，可以加工孔中心线长度接近机床纵向行程的长度，比起用其他机床加工来条件要优越得多。由于台式镗铣床工作台横向行程短，故一般不用此种方法加工同心孔。

为了保证如柴油机几个主要加工部位的精度（曲轴支承孔与汽缸孔 D 的垂直度），在镗完曲轴支承孔后，可在这一次安装中用主轴直接能镗汽缸孔 D 。

第五章 平行孔系与角度孔系的加工

平行孔系由若干条孔中心线相互平行的同心孔系组成，而角度孔系由孔中心线相互成一定角度的若干条同心孔系组成。角度孔系又分为垂直孔系和任意角度孔系两种。

本章主要介绍这些孔系加工中坐标位置的确定方法、手段以及必要的辅助计算等。

第一节 概 述

平行孔系和角度孔系基本上都是集中地反映在箱体类零件上，如床头箱、变速箱、减速器等。这些箱体类零件是机器或部件装配时的基础零件，用以将机器或部件中的有关零件连接成一个整体，并保持正确的相互位置关系，使彼此能协调地运动。因此，箱体零件上各类孔系的加工精度，在很大程度上决定了该部件装配后的精度，所以保证箱体上各孔系的加工精度是箱体类零件加工的关键。箱体类零件上多隔墙，结构复杂，上刀、观察与测量都不方便，给加工带来很大困难，因此，在加工中必须根据生产规模、生产条件以及精度要求的不同而采用不同的加工方法。

平行孔系加工中的主要问题是如何保证孔坐标位置的精度。在大批量生产的条件下，多采用镗模加工；在单件和小批量生产条件下，普遍采用坐标法加工；在设备条件好的情况下，精度要求高的中小批量的零件可用数控卧式镗床或自

动换刀数控镗床加工,以便获得最大的经济效果和加工质量。

目前工厂中采用较多的是坐标法和镗模加工法。用镗模加工零件的孔距精度完全依赖于镗模质量,而坐标法加工的质量则取决于机床坐标测量系统的精度和操作者个人的技术水平。

下面介绍坐标法镗孔中的几个有关问题

一、原始孔(第一个同心孔系)的确定和镗孔顺序的选择

采用坐标法加工平行孔系时,各同心孔系间的距离是依靠坐标尺寸保证的,因此,坐标尺寸的累积误差必然影响孔距精度,而原始孔的确定和以后镗孔顺序的合理选择又可影响到这一累积误差,所以必须正确地选择原始孔和镗孔顺序。

现以C620-1B主轴箱为例进行分析:图5-1为该主轴箱的端面图,加工时可将该面朝着镗床的主轴箱装夹,也就是从这一端开始对各串同心孔逐一加工。Ⅶ孔为主轴支承孔,它的中心位置不仅与Ⅷ孔和Ⅴ(Ⅲ)孔有精确的尺寸要求,而且与左侧平面和底平面分别有 142 ± 0.26 和 $202^{+0.1}$ 毫米的公差要求,因此应选择该孔为原始加工孔,然后再按Ⅶ→Ⅷ→Ⅴ(Ⅲ)→Ⅳ孔的顺序加工。这样加工的特点是:

(1) 把有齿轮啮合关系的相邻两孔的加工顺序紧紧连在一起,以减少坐标尺寸的累积误差。如Ⅶ孔与Ⅷ孔中心距有公差要求,当加工完Ⅶ孔后,紧接着加工Ⅷ孔,直接由坐标尺寸119.288和50.91毫米来保证孔距 $129.48^{+0.17}$ 毫米的要求。

(2) 选择主轴孔为原始孔,然后加工其他各孔,有利于保证主轴的传动精度。又因为主轴孔在箱体的一侧(左侧),当镗完该孔后,依次加工右侧其余各孔时,移动工作台调整尺寸是朝着一个方向进行的,从而避免了工作台因往返调整

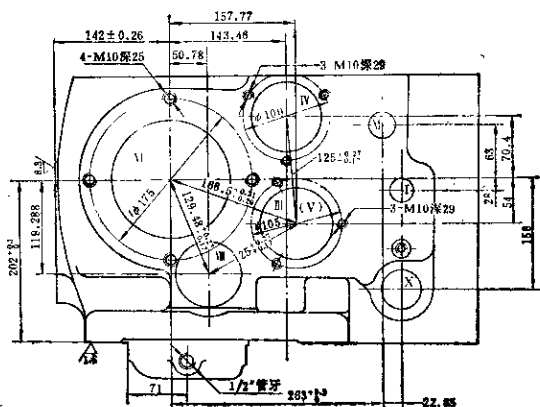


图5-1 C620-1B主轴箱端面图

所造成的误差，有利于保证孔距精度。但从V(Ⅲ)孔到IV孔时，工作台是往回移动的，因为这两孔是齿轮啮合关系，只要保证孔中心距 125 ± 0.17 毫米就可以了。当最后一个加工IV孔时，可以VI孔重新找圆，分过坐标距离或用试镗→测量→调整机床位置→再试镗的办法来保证孔距公差。

原始孔的形状公差、尺寸精度和表面粗糙度要求都比较高，加工中一旦有必要时，可以它作根据重新校验机床主轴中心所在的坐标位置，防止出差错。

综上所述，原始孔的选择原则是该孔既与相关基准面有位置公差要求，又与相邻孔有位置公差要求，其本身的形状公差和尺寸精度及表面粗糙度要求都比较高。

钻孔顺序的选择主要考虑有位置公差要求的两孔要顺序连续加工。

二、有关必要的辅助计算

用坐标法加工平行孔系时，因为零件图纸上所标注的尺寸多为孔中心距和一个坐标尺寸，不能满足加工所需的所有坐标尺寸，因此须把孔距尺寸换算成为两个坐标尺寸，以便移动机床的主轴箱和工作台。

在直角坐标系中用 x 轴和 y 轴分别表示水平方向和垂直方向的坐标轴，而这两个坐标轴须与工件上基准平面平行或者重合。

(1) 应用勾股定理计算

C620-1B 主轴箱上的 II 孔与 III 孔中心距为 $81^{+0.26}_{-0.16}$ 毫米，水平距离 x 为 62.768 毫米 (图 5-2)，求垂直距离 y (公差暂不考虑)。

II-III 孔中心连线与两个相互垂直坐标构成了一个直角三角形 O_2CO_3 ，由于 $L = 81$ 毫米， $x = 62.768$ ，可用勾股定理求出垂直坐标 y ，

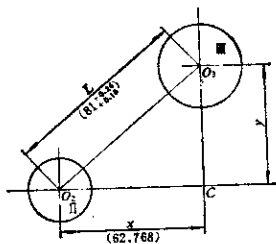
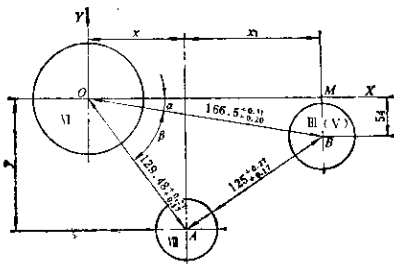


图 5-2 II-III 孔坐标尺寸的计算

$$y = \sqrt{L^2 - x^2} = \sqrt{81^2 - 62.768^2} \approx 51.197 (\text{毫米})$$

(2) 应用三角函数和解任意三角形的方法计算

以图 5-1 主轴箱上的 VI、VII、III (V) 三孔为例分析，并计算出各坐标尺寸 (图 5-3)。假设图中只给出三个孔中心距

图5-3 X、X₁、Y尺寸的计算

和一个垂直坐标尺寸54, 无论以何孔为原始孔加工, 都应先算出各孔的坐标尺寸。在 $\triangle BMO$ 中, 已知 $BM=54$, $BO=166.5$,

$$\text{则 } MO = \sqrt{BO^2 - BM^2} = \sqrt{166.5^2 - 54^2} = 157.5$$

$$\alpha = \arcsin \frac{BM}{BO} = \arcsin \frac{54}{166.5} \approx 18.92^\circ$$

在任意 $\triangle ABO$ 中, 已知三条边的尺寸, 可应用余弦定理求出 β 角度:

$$\begin{aligned} \cos \beta &= \frac{OA^2 + OB^2 - AB^2}{2 \times OB \times OA} \\ &= \frac{129.48^2 + 166.5^2 - 125^2}{2 \times 166.5 \times 129.48} \approx 0.6693 \end{aligned}$$

那么 $\beta \approx 47.98^\circ$

这时可根据 α 和 β 角度及129.48计算出 x 和 y 尺寸:

$$\begin{aligned} x &= OA \times \cos(\alpha + \beta) = 129.48 \times \cos 67^\circ \\ &\approx 50.799 \text{ (毫米)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= OA \times \sin(\alpha + \beta) = 129.48 \times \sin 67^\circ \\ &\approx 119.098 \text{ (毫米)} \end{aligned}$$

则 $x_1 = MO - x = 157.5 - 50.799 = 106.701$ (毫米)

由于卧式镗床的精密测量系统的最小值一般为 0.01 毫米, 所以要计算到千分位, 尔后四舍五入到百分位。

三、孔坐标尺寸公差的确 定

孔坐标尺寸通过计算确定以后, 为了保证孔中心距的公差, 还必须给出坐标尺寸的公差, 这样, 计算才是完整的。

孔中心距的公差应等于或大于两项坐标公差的几何和, 即

$$(\Delta L)^2 \geq (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2$$

式中 ΔL ——两孔中心距的公差;

Δx —— x 轴的尺寸公差;

Δy —— y 轴的尺寸公差。

由图 5-4 可知, Δx 平行于 x , Δy 平行于 y , 两孔的坐标尺寸公差所组成的两个直角三角形相似, 所以

$$\frac{\Delta L}{\Delta x} = \frac{L}{x}$$

$$\frac{\Delta L}{\Delta y} = \frac{L}{y}$$

如果 ΔL 为给定

则
$$\Delta x = \frac{\Delta L \times x}{L}$$

$$\Delta y = \frac{\Delta L \times y}{L}$$

如果孔中心距的公差是单向的, 那么坐标公差与其同向; 如果是双向的 ($\pm \Delta L$), 那么坐标公差

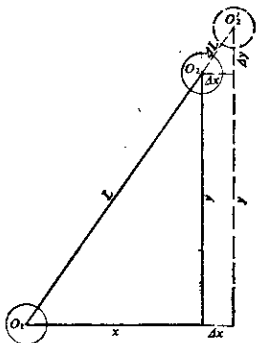


图5-4 已知孔中心距公差
计算坐标尺寸公差

也是双向的。

在计算中，坐标公差的上偏差和下偏差应分别计算，同时在算得的偏差前面冠以相应的方向号。

如图5-2中 $L=81$ ， $\Delta L=0.1$

$$\text{那么 } \Delta x_{\text{上偏}} = \frac{\Delta L_{\text{上偏}} \cdot x}{L} = \frac{0.26 \times 62.768}{81} \approx +0.2$$

$$\Delta x_{\text{下偏}} = \frac{\Delta L_{\text{下偏}} \cdot x}{L} = \frac{0.16 \times 62.768}{81} \approx +0.12$$

同理：

$$\Delta y_{\text{上偏}} = \frac{\Delta L_{\text{上偏}} \cdot y}{L} = \frac{0.26 \times 51.209}{81} \approx +0.16$$

$$\Delta y_{\text{下偏}} = \frac{\Delta L_{\text{下偏}} \cdot y}{L} = \frac{0.16 \times 51.209}{81} \approx +0.1$$

也就是水平坐标及公差为 $62.768^{+0.2}_{+0.12}$ 毫米，垂直坐标及公差为 $51.209^{+0.16}_{+0.1}$ 毫米。

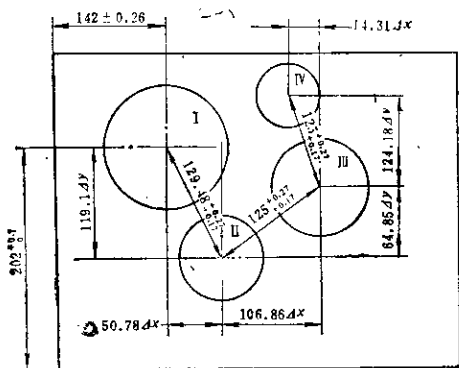


图5-5 车床主轴箱坐标镗孔图

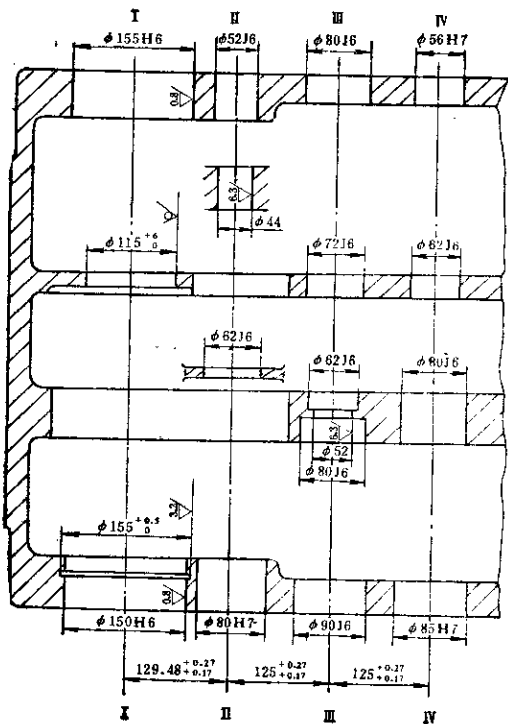
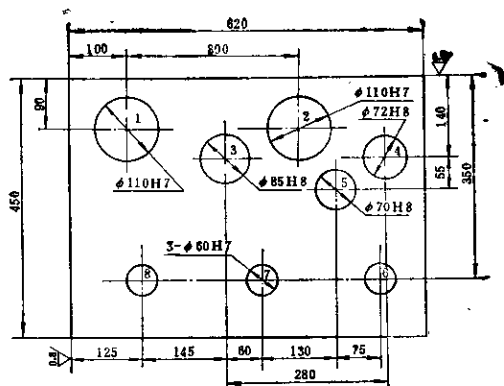


图5-6 车床主轴箱剖面展开图



孔 号	孔 径 ϕ	水平坐标 x	垂直坐标 y
1	110H7	100	90
2	110H7	300	0
3	85H8	-130	50
4	72H8	280	0
5	70H8	-90	55
6	60H7	75	165
7	60H7	-205	0
8	60H7	-205	0

图5-7 坐标钻孔图表

四、编列坐标镗孔图或镗孔表

图样上与加工无关的其他线条及字符等对于看镗工序加工部位起着干扰作用,边操作边看图,或只凭记忆操作都容易产生精神疲劳,更重要的是会产生差错。为了避免这一点,在加工之前可将所要加工的部位编绘出一份坐标镗孔图(图5-5),其内容包括镗孔顺序、坐标尺寸及其公差等。还可根据已确的加工顺序画出剖面展开图(图5-6),使加工时看起来一目了然,这对于加工长轴线的多同心孔特别重要。这个工作有的工厂由工艺人员编绘。

或根据拟定好的加工方案,编制一份坐标镗孔图表。如图5-7所示,这是在一板件上要加工八个孔,按照编号1~8的加工顺序,将所有的坐标尺寸和孔径尺寸都填入图下的表中,这样移动坐标镗孔非常方便,避免紊乱。

编列坐标镗孔表或编绘坐标镗孔图,无论对于有经验的镗工,还是初学者都是必要的。

第二节 平行孔系的坐标镗孔法

因为坐标镗孔法主要依赖坐标测量系统的精度,所以下面主要介绍这方面的装置及其使用。

近年来卧式镗床上的测量系统的装置发展很快,种类较多,精度越来越高,有力地促进了平行孔系加工质量的提高。归纳起来有如下几种测量装置:

- ① 刻线尺—放大镜;
- ② 量块—百分表;
- ③ 精密刻线尺—光学读数头;
- ④ 位移数字显示;
- ⑤ 自整角机。

一、刻线尺—放大镜测量装置

在老式卧式镗床上都装有普通金属刻线尺和游标尺，并借助于放大率为3~5倍的放大镜观察，它的测量精度为0.1~0.3毫米。这种刻

线尺的优点是成本低廉，游标尺的端刻线与主标尺的整数线在一定范围内可调整对齐，以便于计算。但由于两尺面间在全部测量范围内间隙不等，以致增加视角误差。利用这种刻线尺加工平行孔须配合试镗，如图5-8 a所示的工件，先根据划线找正加工好孔 d ，然后利用刻线尺分过 A_1 的距离镗第二个孔，使其孔径为 D_1 （试镗孔径应小于预定直径），并量出两孔之间的距离 L_1 ，则两孔中心距为

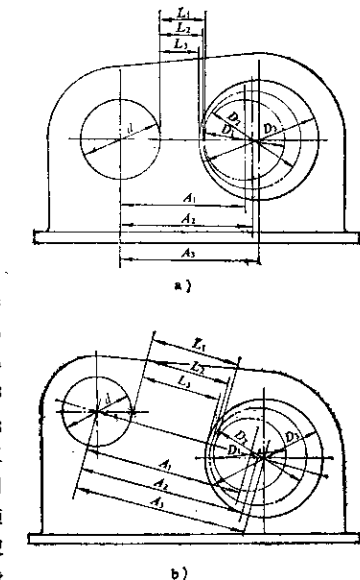


图5-8 用刻线尺配合试镗加工平行孔

$$A_1 = \frac{d}{2} + \frac{D_1}{2} + L_1$$

再根据 L_1 的实际尺寸和图样所要求的尺寸作比较，若

误差大于公差，就须重新调整机床主轴所在的位置，并镗出 D_2 ，用同样的方法检测孔中心距 A_2 ，这样经过几次试镗和调整孔中心距 A_0 才能符合图样要求。

图 5-8 b 所示为移动两项坐标加工平行孔的例子，方法与上述相同，但要费时很多。

用刻线尺和放大镜测量装置加工平行孔系只适用于精度要求不高的单件生产。

据统计一般箱体类零件孔距精度要求在百分之一毫米公差范围的约占 25%，用普通刻线尺来控制是远远满足不了要求的，因此须采用以下一些精密测量装置加工。

二、量块—百分表测量装置

国内生产的卧式镗床多有量块—百分表测量装置，其测量精度一般为 0.02 毫米。凡机床移动部件均可应用这种测量装置，如主轴箱和后立柱支承座的垂直移动；工作台纵向和横向的移动；柱式镗床立柱在床身上的移动等。这种装置结构简单、经济，可与普通刻线尺配合使用。

图 5-9 所示为垂直坐标测量装置，使用时先根据主轴箱的移动量组合相应尺寸的量块组 3。上升时，将量块组 3 放在固定于主轴箱上托架 4 的平面上，百分表座紧固在下部固定于机床床身的标尺杆 5 上，使表测头与量块组接触约 0.5 毫米左右，表针拨至零位。然后松开主轴箱的夹紧机构并取下量块组，上升主轴箱，使托架平面与百分表 2 测头接触到零位，最后夹紧主轴箱。件 6 为放大镜。

如主轴箱向下移动，则先将百分表 2 测头与托架 4 平面接触，对好零位，下降主轴箱，再放上量块组 3 使表对零即可。

当垂直坐标分过以后，百分表座应上升到标尺杆 5 上端

或取下来，以免在移动主轴箱上升时，托架4与表座的撞击使标尺杆与床身的联接座拉断，这种现象经常而且普遍发生。为此，必须要养成用毕随时上升或取下表座的习惯。但也可以采用图5-10所示

的安全表座，它的结构主要是在表座孔与标尺杆5之间加一个开口锥套2。当固定表座1时连同开口锥套2一起夹紧，如表座1一旦和托架4相撞时，开口锥套2下端面首先与托架4接触，并被从表座1的锥孔中顶出，从而保护了标尺杆5下端固定座不致被拉断。

图5-11所示为T68机床横向坐标移动测量装置。

工作台1上滑座7

里侧外端面上装有固定杆6，其端面粗糙度和垂直度精度的要求都很高，专供测量用。装在表座里的百分表4测头在使用时与量块2接触对零位，则可以移动上滑座至所需距离。图中件号3、5分别表示放大镜与刻度尺。

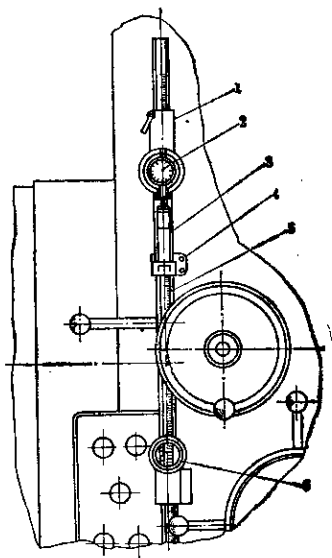


图5-9 垂直坐标测量装置

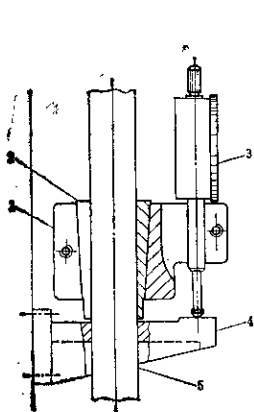


图5-10 安全表座

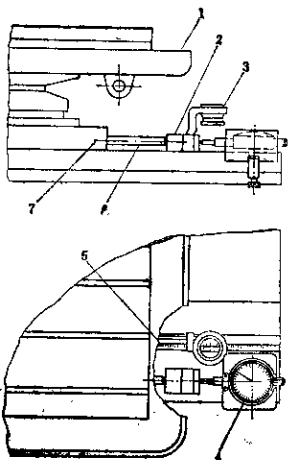


图5-11 横向坐标测量装置

其他卧式镗床也有相应的横向坐标测量装置。

上述两项坐标移动主要是依靠量块作为度量基准，有时也用专用测量杆或内径百分杆作度量基准。

量块也称块规或千分垫，由优质合金钢制造，经严格的稳定处理（热处理和冷处理），其线胀系数极小。绝大多数量块为矩形，但也有圆柱形的。

量块是机器制造业中用来控制长度尺寸的基准，作为标准长度到零件之间尺寸传递的媒介。它是一种价格昂贵的精密量具。在使用时要注意以下几点：

(1) 清洗与保管：量块使用前，应用高标号汽油或甲

苯清洗干净油污纤维等，并用麂皮或绸布措擦，使两平面在组合尺寸时能够充分地贴合。量块用毕后，工作面应及时洗净擦干，涂上凡士林，准确地放入量块盒子的格子里，避免再使用时拿错。

(2) 使用保护块：在量块的盒子里，一般都有保护块。它的尺寸有 1、1.5 和 2 毫米三种，每套量块都有两对四块保护块。当用量块与工件平面直接测量时，一定要使用保护块，将它们放在组合量块的两端，让摩擦受损集中在保护块上。保护块一般放在最长量块附近明显的位置上。

(3) 防止撞挤：当用量块塞入主轴与工件平面的距离时，调整机床须将量块拿开，以防止主轴撞挤量块，使其变形和断裂。

(4) 严禁非合理的使用：因量块是精密量具，严禁非合理的使用，如用来塞键槽的宽度等，凡与量块接触的工件表面粗糙度应在 $R_{a}1.6(\nabla 6)$ 以下。

(5) 及时检定：量块规由专人保管，按时送交计量室检定。车间里使用的量块检定周期一般为三个月，即使三个月之内没有使用也要送检，因为气温的变化与它本身的变形都会影响精度。

量块尺寸的组合方法：

当需用某一尺寸的量块时，实际上是由若干块量块利用它的研合特性组合而成的。组合成同一尺寸所需量块的数量，根据每套件数不同，组成这一尺寸的量块数量也不一样，但要遵循着这样一个原则：组合成某一尺寸所需的块数越少越好，因为这样可以减少累积误差，易于研合。组合时先选择最小位数的量块，⁴⁹ 逐渐往大数选择。兹举例（以 87 块一套为例）如下：

组合尺寸为	48.945毫米
第一块尺寸	1.005毫米
剩下	47.94毫米
第二块尺寸	1.44毫米
剩下	46.5毫米
第三块尺寸	6.5毫米
剩下	40毫米
第四块尺寸	40毫米

这样的组合方法共计需要四块量块，为最佳组合方案，否则，无论如何也得用四块以上才能组合成。

组合完之后，不能马上使用，因为每块量块都有修正误差，必须查看一下检定表中写明每块量块的修正误差并累积起来，如果总的误差 -0.005 毫米，那么就需更换第一块 1.005 毫米为 1.01 毫米，再看一下新换上来的块规误差，务使总的累积误差最小方能使用。或者在使用中将实际误差一并考虑进去。若用保护块时，则在总的尺寸中减去两块保护块的尺寸。

三、精密刻线尺—光学读数头测量装置

精密刻线尺—光学读数头测量装置，国外在卧式镗床上使用极为普遍，国内卧式镗床也逐渐安装使用。由于精密刻线尺长度有限，故多用在台式镗床上。它的优点是安装方便，体积小，工作稳定可靠，精度高（测量精度为 0.01 毫米），在使用中没有因机械磨损而造成的误差，故可长期保持精度。

它由精密刻线尺和光学读数头两部分组成，精密刻线尺固定在标尺杆上和工作台下滑座上，光学读数头则固定在主轴箱和工作台上滑座上。精密刻线尺的尺面上刻有间距为 1 毫米的细线（线宽 $a = 0.06^{+0.01}$ 毫米），任意两刻线间的累

积误差不大于 $\left(5 + \frac{L}{200}\right)$ 微米， L 为刻线尺长度。尺面的粗糙度在 $R_a 0.1$ ($\nabla 10$) 以下，可增强反光性能。

光学读数头的外形如图 5-12 所示，它的显象原理如下(图 5-13)：

光源 1 经聚光镜 2 射出平行光束，由反射镜 3 偏转 90° 后，经物镜组 4 会聚到刻线尺 5 上。刻线尺上被照亮的线条通过物镜组 4、棱镜 6、反光镜 7、8、9 成像于毛玻璃分划板 10 上，人眼可从主光窗中通过放大镜 12 观察到。物镜组的放大率为 7 倍，放大镜的放大率为 1.2 倍，因此读数头总的放大率约为 8 倍，即刻线尺上间距 1 毫米的刻线在放大镜中观察到的是间距 8 毫米的影象。图中 13 为保护玻璃，12 为透镜，11 为带有 100 格圆周分度刻度的度盘。光源通过另一个反射镜使其上一扇形区域得到照明，此扇形区域内的刻线经放大镜放大 1.2 倍后，显现在与主光窗并列且带有一条指示线的小光窗中(图 5-12)。

转动上滚花帽，使小光窗中度盘示值由“0”变到“100”，通过与上滚花帽连接在一起的径向内凸轮，推动带游动瞄准片的滑座，使瞄准片相对于刻线尺刻线影象平行移动 7 毫米。因此，当度盘转动一格时，游动瞄准片相对刻线尺的移动量相当于 $\frac{7}{100} \times \frac{1}{7} = 0.01$ 毫米。这样读数头就准确地将刻线尺上的 1 毫米间隔细分为 100 等分了，即其读数精度为 0.01 毫米。

读数头还备有光学调零装置，转动下滚花帽，其上的端面凸轮通过杠杆使棱镜 6 作微小偏转，于是刻线尺的刻线影象便平行移动，直至其夹在瞄准片狭缝正中时，即可达到调零目的。

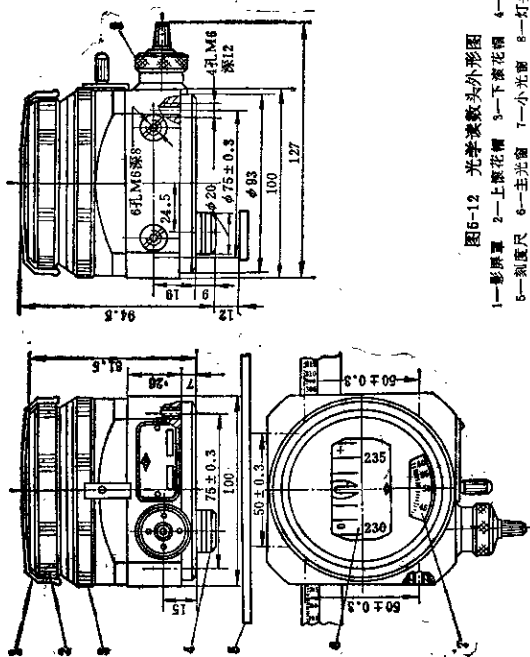


图5-12 光学读数头外形图

1—影屏罩 2—上刻度窗 3—下刻度窗 4—调整螺钉
5—刻度尺 6—主光窗 7—小光窗 8—灯头套

下面举例说明读数定位方法。设工件两孔中心距为151.34毫米，镗完第一孔时读数头示值如图5-14 a所示。当加工第二孔时可按下述步骤调整工作台（或主轴箱）坐标位置，先转动上滚花帽，使小光窗中示值为“0”（图5-14 b），再转动下滚花帽，使主光窗中刻线尺刻线影象夹在瞄准片狭缝正中（图5-14 c），然后再转动上滚花帽，使小光窗中示值为“34”（图5-14 d），接下去便可移动工作台（或主轴箱），直到 $185+151=336$ 这条刻线处在瞄准片狭缝正中时为止（图5-14 e）。

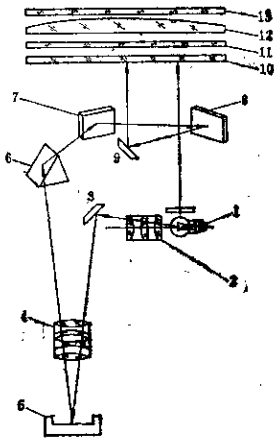


图5-13 光学读数头的光学系统原理图

四、位移数字显示测量装置

采用数字显示测量装置，可以大大缩短测量时间，减轻工人的劳动强度，也可降低操作者对技术熟练程度的依赖，从而提高了生产效率。

数字显示测量装置是通过显示器上的数字和一些符号，使操作者能及时准确地知道机床移动部件所处的位置。它读数直观鲜明，调节方便，坐标原点可以浮动，并能任意置数。加工箱体或其他具有孔系零件时能简化尺寸链的计算，还可以

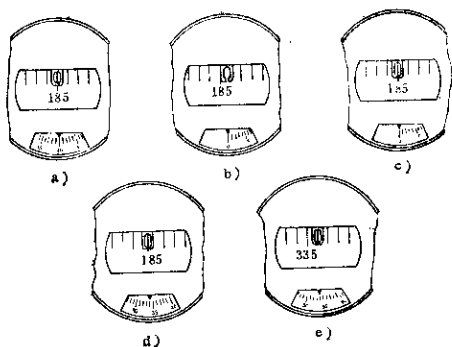


图5-14 坐标读数定位方法

作动态测量，故目前不少老式机床逐渐安装上这种数字显示测量装置。

数字显示测量装置主要由数字显示器和检测元件组成，其中检测元件包括读数头。

数字显示器：

它一般装在机床的主轴箱上，使操作者易于观察和操作。为了把人们习用的十进制数字直观地显示出来，就需要数字显示灯。例如一列七位数的显示灯需要七只数字管，在每只管中重叠装有十个十进制数码（0、1、2、……8、9）的字型图案，每个数码图案相当于一个小霓虹灯，通电时则显示出带颜色的数字来。这种数字管叫液晶放电显示管。

目前日趋渐多的显示管叫液晶显示管，俗称七段管，它的字型图案如“日”。是一种新颖的显示器件，它体积小，寿命长，可靠性高，也被广泛用在电子计算器上。

图5-16所示为两坐标数字显示器外形图。正面左侧有两列数字显示灯，能分别显示出两坐标（X、Y）上的数值及与原点坐标的方向（+、-），每列显示灯由七只数字管组成，能显示出七位以内的数字。显示器设有小数点显示，它处于倒数第二位和第三位数字之间。显示器设有自动置零和外部置零按钮3，可使机床移动部件在任意位置上为零点。有的显示器能直接进行公英制换算，按下公英制换算按钮4立刻显示。正面右上的拨轮5是预置数的，根据需要拨动拨轮及方向号，然后按下“置数”按钮2，显示灯上即显示出所置的数。当移动机床时，显示灯可按预置的数字自动停下来。件号1为预报和置零按钮。

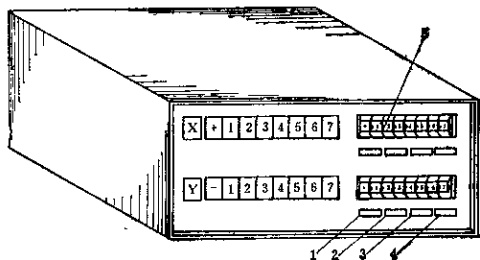


图5-15 两坐标数字显示器

下面简要介绍几种常用的检测元件或读数头的结构原理。

1. 感应同步器；它是应用最为普遍的一种检测元件，由定尺和滑尺组成。定尺和滑尺都是平面形绕组，定尺上是一个连续绕组，滑尺上是个分段绕组，也叫激磁绕组（一个正

弦绕组，另一个为余弦绕组)。定尺和滑尺对面平行安装，中间空隙为 0.25 ± 0.05 毫米(图5-16)。当滑尺激磁后，则由于电磁感应，在定尺绕组上产生感应电压，正是通过这种电磁耦合的改变而发出相应位移的电信号来进行测量的。

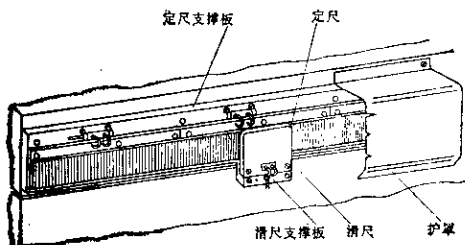


图5-16 感应同步器在镗床横向坐标上的应用

感应同步器有以下特点：

(1) 制造容易。它是用照相和腐蚀的方法印制在有绝缘层的钢箔上，在大量生产条件下成本较低。

(2) 安装和接长方便，用示波器观察输出波形的正确性或用一般精密测长工具就可以进行。

(3) 环境适应性强，不怕灰尘污染。

(4) 可得到较强的读数信号，可靠性好。

(5) 精度能达到一米长度内误差不大于0.01毫米。完全能满足卧式镗床的加工精度要求。

但是它对于电源电压波动量要求不超过 $\pm 10\%$ ，而且在加工中遇到较大的振动会影响数显管数字的稳定。例如在吃大刀时，百分之一毫米位置上的数显管数字不断在左右数字间跳动，待精加工时才恢复到原来数字。

感应同步器近年来在镗床上安装得比较多，其安装方法如图5-17所示。图5-17 a 为工作台横向坐标上的安装，定尺3通过定尺座4固定在下滑座上，滑尺2通过滑尺座1固定在上滑座上；图5-17 b 为垂直坐标上的安装，定尺3通过定尺座4固定在立柱上，滑尺2通过滑尺座1装在主轴箱上。

2. 光栅尺：光栅尺是一种结构比较先进的检测元件，其优点是检测元件与读数头之间无接触，也就不存在着磨损问题，所以能长时期保持精度。缺点是易受干扰，怕振和怕油。

光栅尺有两种迥然不同的结构，一种是细光栅，也称透射光栅；另一种是粗光栅，也叫反射光栅。透射光栅尺由于长度短，一般应用在台式镗床上，反射光栅接长方便，多用在柱式镗床上。

透射光栅尺由主光栅尺(又称标尺光栅)和副光栅尺(又称指示光栅)及光电读数头组成(图5-18)。这种光栅尺由玻璃制造，尺面上每一毫米长度内刻有很密的条纹，一般为50~200条。刻线的精密度在一米长度内误差只有几微米甚至更小。主光栅尺3安装在机床的移动部件上。

副光栅尺9的长度短，其上刻线的密度与主光栅尺3相同，它安装时与主光栅尺平行并有0.1~0.5毫米的间隙，而且相互倾斜一个很小的角度 θ (图5-19)。当光线透过相交的刻线就形成了几条较粗的明暗相间的条纹，该条纹称莫尔条纹4。莫尔条纹的方向与光栅尺刻线近似垂直。

光电读数头由光源1、光学镜头2、遮光板6、光敏半导体7等组成。它们分别置于光栅尺3与9的两侧，能将光的信号转换成电的信号，并输往数字显示器8。

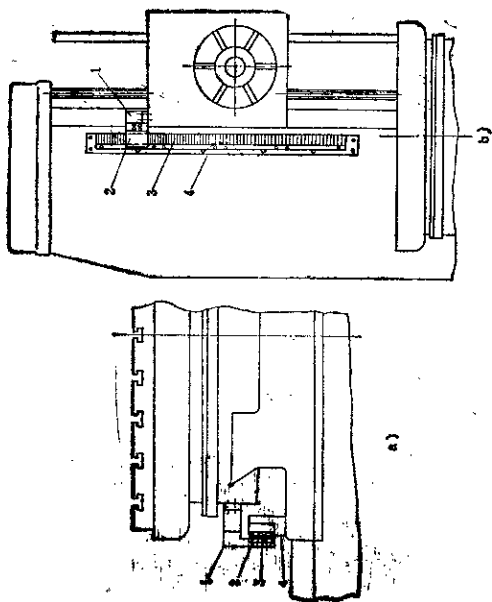


图5-17 感应同步器在T68机床上的安装
 a) X坐标轴上的安装 b) Y坐标轴上的安装

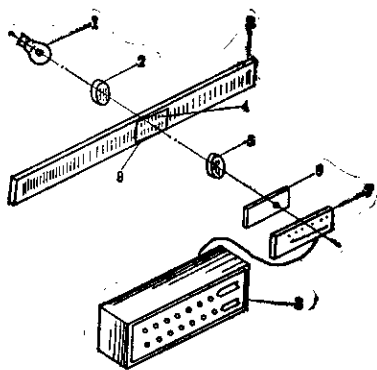


图5-18 细光栅尺工作原理图

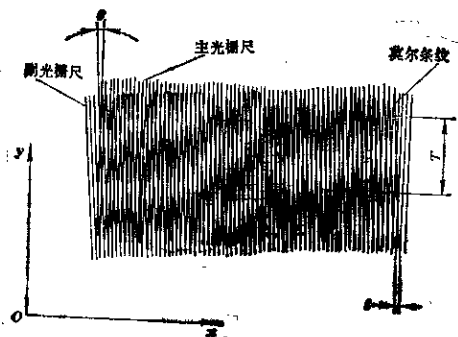


图5-19 莫尔条纹形成

当主光栅尺沿 x 轴自左向右移动时，莫尔条纹就沿着 y 轴向下移动(图 5-19)。每当主光栅尺位移一条刻线的距离时(栅距为 t)，莫尔条纹也正好移动一条条纹的距离(节距为 T)。莫尔条纹由光栅的大量刻线共同形成，对光栅刻线的刻度误差有平均作用，从而在很大程度上消除了短周期误差的影响。由于莫尔条纹之间的节距要比光栅的栅距大得多($T > t$)，因此，光敏半导体就能区别出莫尔条纹的明条和暗条的交替变化，并转换成电的信号，经计数后由数字显示器以数字的形式反映出机床移动部件的位移量。

透射光栅由于刻线密集，故制造费事。

反射光栅是在金属的尺基上刻有间距为 0.635 毫米的刻线，单就这一点则比透射光栅尺制造容易得多。虽然刻线间距为 0.635 毫米[⊖]，但经电路细分后，分辨率可达 0.001 毫米。该光栅尺安装的位置正好与射透光栅尺相反，即固定在机床的固定部件上，读数头(无副光栅尺)则安装在机床的移动部件上。这种光栅尺的工作原理与透射光栅完全不一样，性能也比透射光栅尺优越。

它的特点是：

- (1) 刻线粗而测量精度高。
- (2) 采用动态光学扫描，稳定性好。
- (3) 读数头与光栅尺之间安装距离较宽，且允许误差较大。
- (4) 对周围环境条件不敏感，并有报警装置(到极限位置)。
- (5) 尺面如沾上油污则影响使用效果。

该光栅尺的工作原理如图 5-20 所示。当光源的光束通过

⊖ 以荷兰菲利普出产的粗光栅为例。

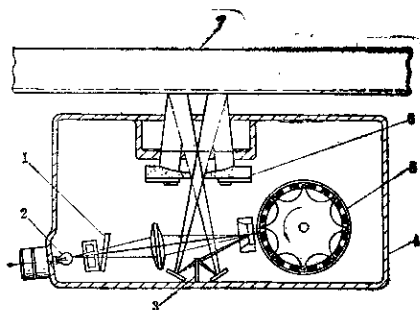


图5-20 反射光栅尺工作原理图

- 1—扫描光栅 2—光源 3—半透镜 4—读数头
5—多面反射镜 6—光电池 7—线纹标尺

扫描光栅投射到多面反射镜5时，而多面反射镜共有262个面，并以375转/分的转速按箭头所示的方向恒速旋转，从多面反射镜反射出来的光束，通过一个50%透射率的反射镜，把光束分为两路。扫描方向相反的两路扫描光路将扫描光照射到光栅尺上，由于线纹标尺(粗光栅尺)7上反射和不反射的条纹是相间的，所以从该标尺上反射出来的像也是明暗相间的。光电池6把接收到的光信号转变为一个交流正弦电压。

当机床的移动部件不动时，两个光电池的输出电压(U_1 和 U_2)幅值相等，频率相等。频率取决于多面镜的面数和转速。

当机床的移动部件移动时，由于两条扫描光栅相对于测量光栅尺的速度是一个增加一个减少；故两个光电池6的输出电压信号是一个频率增加，一个频率减少(如机床的移动

部件向右移动时，则在左面光电池输出电压频率增加，而右面光电池输出电压频率减少)。

把 V_1 和 V_2 这两个信号送到一个比较电路，可得到脉冲输出。输出脉冲的频率与机床运转的速度有关，而脉冲数与机床的进给位移有关。每移动 $\frac{1}{2}$ 刻线周期就发出一个脉冲，经电路细分可得到0.001~0.01毫米的分辨率。

光栅测量系统的输出脉冲数反映了机床的位移量，而输出脉冲的频率则反映机床的运动速度。这些脉冲信号可通过计数器由数字显示出来。

3. 磁栅尺：磁栅尺也是一种新型检测元件，由磁栅尺(也称磁性尺)和磁头组成。

磁栅尺具有制造容易，精度高，安装使用方便，对环境条件要求低和稳定可靠等优点。但由于磁头与磁栅尺为接触式相对运动，有摩擦损耗，故使用寿命受到一定限制，一般只能使用五年左右，涂上保护层以后寿命则可延长。

磁栅尺是在非导磁材料基体(一般用玻璃或不锈钢)的表面上，镀上一层导磁材料，如镍、钴、磷等，然后再以激光波长为基准，使用激光干涉仪进行录磁，称为磁尺。在磁尺的表面，记录的磁通极性不断变换，并近似为正弦波分布，常用节距为0.05毫米与0.2毫米两种。磁尺安装于机床的移动部件上。

磁头是磁尺信号的读取装置。常用的磁头是磁通响应式的。它将从磁尺上读取的信号以感应交流电压输出经电气处理后由数字显示器显示出来。

五、自整角机测量装置

苏联及一些东欧国家生产的大型落地镗床多采用自整角

机测量装置。自整角机实际上是一种控制用微型电机。在同步传动系统中，为了使两个或两个以上相距较远而在机械上又无联系的转轴进行同步角位移或同步旋转，常采用电气上相互联系并有整步能力的异步电动机来进行控制和调节，这种电机称为自整角机。它广泛用于军事、工程机械及重型机械的测量、计数和协调工作。它应用于大型机床的测量定位精度一般在 $0.01\sim 0.05$ 毫米之间。

自整角机的使用原理：在机床相对移动的固定部件上安装有精密窄型齿条，而装于机床移动部件上的发送机转子轴上的齿轮与其啮合。另一接收机则装在悬挂按钮盒上。它的转子轴端上的齿轮与一套减速齿轮啮合，这一套减速齿轮犹如钟表上的计数机构，在各轴端装有计数指针(图5-21)。根据

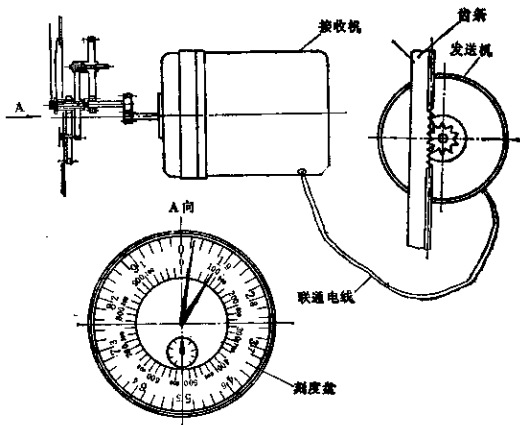


图5-21 自整角机应用于测量工作的原理

各指针在刻度盘上的位置可看出发送机与齿条相对移动的直线距离，也就是机床移动部件所移动的距离。

工作时装在机床移动部件上的发送机和装在控制按钮盒上的接收机的激磁绕组都通电，当机床移动部件移动时，发送机转子轴上的齿轮沿齿条（装在机床的固定部件上）旋转移动，使三相同步绕组产生感应电势，因为发送机和接收机的同步绕组相连通，所以感应电势驱使接收机转子转动，从而带动指针转动，并反映出发送机相对移动的距离。

自整角机在使用一定时期后精度下降，主要原因是齿条和齿轮磨损造成间隙大。

第三节 平行孔系的其他加工方法

除坐标镗孔法加工平行孔系以外，在大批量生产中都采用镗模加工；中小批量的大型工件可采用模板加工；成对的工件可采用配镗；极坐标制的平行孔系可采用定位法加工；要求高的中小批量的工件，有条件时可用数控卧式镗床或自动换刀数控卧式镗床加工。

一、利用镗模加工

在机床、汽车及拖拉机行业，箱体件上平行孔系的加工绝大部分是采用组合机床及其他专用设备，除此之外，也有在万能镗床上用镗模加工，而各孔坐标位置精度完全依赖镗模保证。

采用镗模加工的优点是：能保证孔系的加工质量，进而保证了产品零件的互换性；确定各孔坐标位置的工作大大简化，提高了工效；对操作者的技术熟练程度要求不高；能降低生产成本。但镗模设计和制造周期长，费用高，不利于产品及时而频繁的换型，尤其生产批量不大时，镗模的制造成本

并不一定能从所增加的生产率中得到补偿。

镗模分两种，一种是整体式的（图5-22），坚固耐用，精度好，适用于结构整齐的中小零件的加工。另一种是拼装式的（图5-23），适用于工件上有安装基准面和形体复杂的工件加工，与整体式的相比，其精度稍低，但制造方便且周期短，能用在中小型机床上加工大工件。

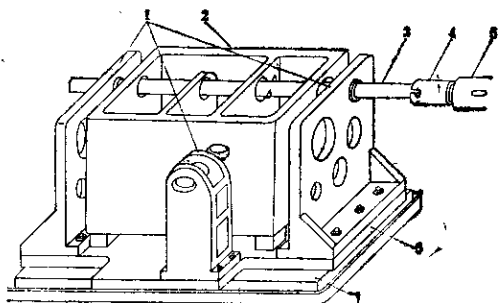


图5-22 用整体式镗模加工箱体零件

1—镗模 2—箱体 3—镗杆 4—浮动接杆
5—主轴 6—底座 7—工作台

因为箱体上各孔坐标位置的精度全靠镗模的制造精度来保证，所以镗模的孔坐标位置的公差一般在给定公差的 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$ 之间。如工件上两孔中心距公差要求为 ± 0.03 毫米，则镗模上相应两孔距离公差为 $\pm 0.01 \sim 0.015$ 毫米。

由于同心孔系上各孔的直径不一定相等，同时考虑到孔端面的加工不受妨碍，因此镗模上的孔径应比工件上的孔径

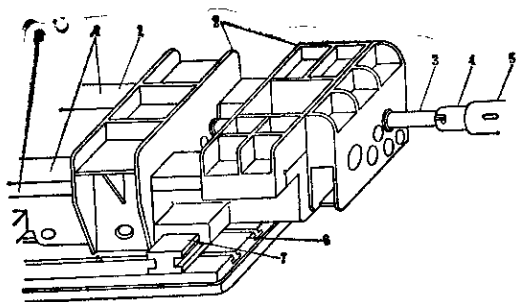


图5-23 用拼装式镗模加工

1—工件 2—镗模 3—镗杆 4—浮动接杆 5—主轴
6—工作台 7—定位垫块

大，用镗杆加工时加以支承套，故支承孔的表面粗糙度要求较小，支承套与支承孔的配合性质与第四章中介绍的相同。

镗模上导向支承套的型式多为前后两端支承，这样便于使用插入主轴锥孔中的浮动接杆(图5-24)带动直柄刀杆进行切削加工，用浮动接杆连接刀杆对于确定孔中心坐标很方便，仅仅按基本尺寸分过距离就可以加工，因为浮动接杆孔与刀

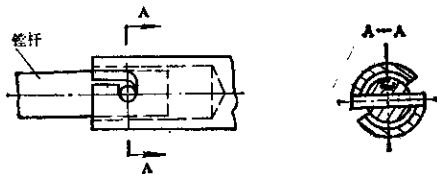


图5-24 浮动接杆

杆柄的间隙很大，一般为2~5毫米，机床只起着动力头的作用，所以即使使用失去精度的机床也能加工出合格的零件。

当孔中心线短或同心孔系的中间有小孔或被无孔隔墙所堵时，镗模上只有一端支承孔，加工前须用百分表找圆后，该支承孔方能加工。

使用拼装式镗模时，要求工件上必须有安装基准面。图5-23中的A、B平面为已加工的导轨面，因此镗模以这两平面作为安装基准。拼装式镗模要求拆装方便，定位基准可靠，便于观察和换刀，镗模拆下时不致变形。

除了上述镗模外，还有一种简易镗模，通常称为模板或样板（图5-25），图中为加工五个同心孔系组成的平行孔系的模板。它由两个M和一个N块在工件的相应平面上定位，水平方向可用螺钉夹紧使用，垂直方向可利用它自身的重量。平行孔系的同心孔系若调头镗削，则工件两端须用两块模板。模板只能供作确定孔中心坐标位置之用，使用时用百分表找圆模板上相应的孔，而该孔不能作为支承孔用。

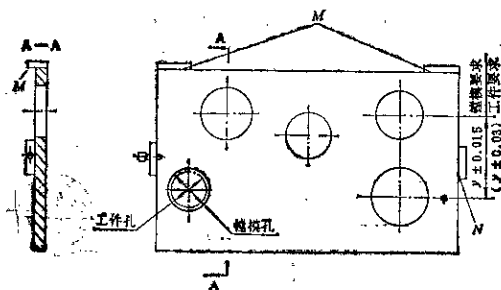


图5-25 模板

模板结构简单，制造方便，成本低廉，使用灵活。柱式镗床常用它加工中小批量的大型零件。

二、利用配镗加工

配镗也叫合镗，是常用于保证平行孔系孔距精度的方法之一。在一台产品上，若有两件或两件以上的孔距尺寸相同，且精度要求较高的板型零件当用坐标法加工保证不了时，可将几件夹压在一起。进行合镗加工，因为这不仅保证了装配和使用精度，而且节省了一次以上确定孔坐标位置和装夹工件的时间，还可节省装卸刀杆、试切、测量的时间，从而大大提高工效。

图5-26 a、b所示的上盖和下座两个零件是一台产品上的，虽然轮廓形状不一样，但四个孔的孔距尺寸与精度完全相同。如将两件合在一起加工（图5-26 c）则两件四个孔中心位置完全一致，误差极小。孔距公差一般可不受图纸给定公差的约束。若用坐标法两件单独加工，无论如何精确，其孔距误差远远大于合镗加工的误差。

合镗加工时，应注意以下几个问题：

（1）装夹时一定要注意两件在装配时的方向；尽可能使已加工面贴合在一起。

（2）孔径大的工件放在前面加工；有止口的一侧可放在前后两面，一次装夹中加工如有困难可拆开单独进行。

（3）两件孔中心坐标位置应对正，可按划线找齐。

（4）两件装夹时夹紧力要适当，着力点不应在两件贴合处有空隙的地方，防止工件变形。

（5）加工时注意两件材质是否一样，避免孔径尺寸变化太大。

尽管在合镗时装夹找正稍费时间，但比起单独加工要省

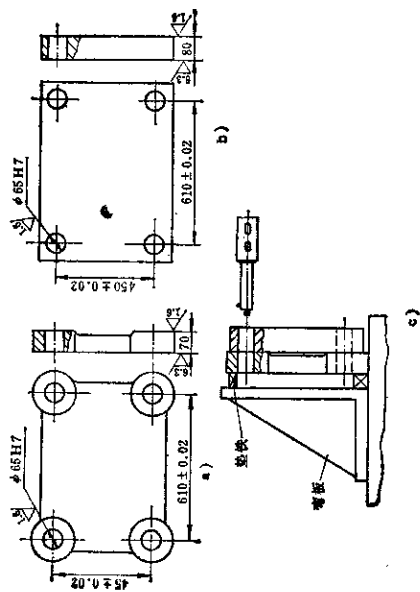


图5-26 两工件合盖加工平行孔系
a) 上盖 b) 下盖 c) 合盖加工

去大量的辅助时间。

三、用定位法加工

平均分布在一定直径上的若干个中心线平行的孔，称圆周上等分孔(图5-27 a)。加工圆周上的等分孔时，为了保证六个 $\phi 48H7$ 孔的相邻误差不大于0.1毫米，若工件是单件，可用坐标法加工，但比较费事。如先将极坐标换算成直角坐标，机床按直角坐标移动加工，则误差较大。若批量在两件以上时，可采用定位法加工(极坐标法)，不仅保证质量，而且方便迅速。

在加工前可在弯板上镗一与台阶轴相配合的孔(图5-27 b)，并将台阶轴放入孔中用螺栓在弯板的反面拧紧，随后工作台横向移动 165 ± 0.025 毫米，并在此处的弯板上镗出一个与 $\phi 48$ 的心棒配合间隙很小的孔，然后将工件装夹在台阶轴上(见A-A剖视)并用压板压紧。

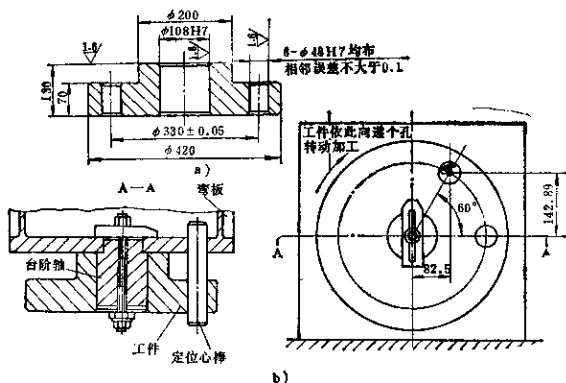


图5-27 用定位法加工平行孔

接着加工工件上第一个 $\phi 48 H7$ 孔，并用心棒将其与弯板上的 $\phi 48$ 孔穿在一起，这样工件的位置就进一步固定了。随后将主轴坐标位置按直角坐标制换算并移动到相邻近孔的中心位置上，并严格控制两项坐标的公差，接着加工该孔。

待第二个孔镗好后，抽出心棒，松开工件转动一下（顺时针方向），将第二个孔用心棒穿上定位，加工第三个孔……。

用此种方法加工，可省去安装其他附件的时间，定位简单可靠，保证等分质量，批量多则生产率高。但是孔公差应控制在一定的范围内，相差太多则会影响孔的等分性。

在弯板上镗孔会影响以后的使用，不过镗工小组应有几块作为消耗用的弯板。

圆周上等分孔除用定位法加工外，还可用分度转盘加工，但这仅适用于中小型零件。

第四节 垂直孔系的加工

垂直孔系中有垂直相交和垂直交叉两种状态。如交角为 90° 的直齿锥齿轮箱体上的两孔中心线为垂直相交，蜗轮减速器箱体上安装蜗杆和蜗轮的两孔中心线为垂直交叉。

垂直孔系加工中的主要问题是保证垂直度的精度和确定孔坐标位置的方法。垂直孔系中两孔中心线对于基准平面（安装基准）有两种情况：一是两孔中心线均平行于基准面；另一种是一条孔中心线平行而另一条则垂直于基准面。以下分别讨论它们的加工方法：

两孔中心线都平行于基准面的工件，在有回转工作台的机床上加工比较方便，利用回转工作台 90° 定位机构，在一次安装中两条相互垂直的孔均可加工出来。两孔中心线的垂

直精度基本上取决于回转工作台的旋转定位精度，若用光学瞄准装置或百分表定位装置，工件的垂直精度会更高。即使使用挡块定位，只要操作者每次使挡块接触松紧程度一致，也能满足一般工件加工精度要求。对于失去回转定位精度的工作台或垂直精度要求很高的工件，可在工作台回转后用百分表找正第一次加工的孔端面（图5-28）或其他基准面。

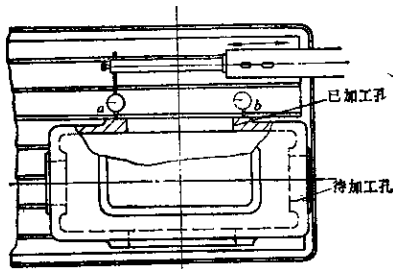


图5-28 找正已加工孔的端面

倘若在无回转工作台的机床上加工，工件则要分两次安装。一般在镗好一个孔后，往往同时要加工孔端面；或其他可供第二次安装找正用的平面，如果没有可借找正用的平面，在征得工艺人员的允许下，在工件的适当位置上铣出一条窄的工艺基准面。也可用图5-29 a 所示的方法找正，在已镗好的孔中穿入检验棒，将主轴从待加工孔中穿进百分表找正 a、b 两点，待表上示值相等时即可加工。

用镗杆加工垂直孔系时，可用如图5-29 b 所示的方法找正，在已加工好的孔中插入百分表找正镗杆上 a、b 两点。

一孔中心线平行而另一孔中心垂直基准面时，加工比较

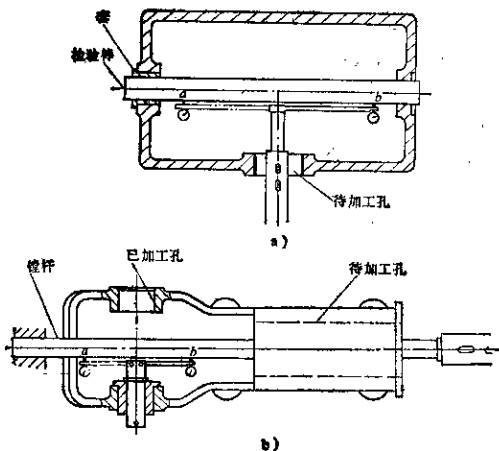


图5-29 加工垂直孔的找正方法

a) 用检验棒找正 b) 找正控杆位置

费事，倘若工件较小，可在回转工作台上装夹一块弯板，将工件的基准面夹压在弯板上（图 5-30），使垂直孔系中心线都平行于工作台面，同样利用回转工作台保证垂直度精度。图上零件不仅有垂直孔，而且还有平行孔，可先加工Ⅳ、Ⅲ、Ⅱ孔，转 90° 后再加工Ⅰ孔，也可先加工Ⅰ孔，转 90° 再加工Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ孔。

当工件较大不能使用回转工作台加工时，不得不分两次装夹，如图 5-31 a 所示的蜗轮减速器，Ⅰ孔是在第一次装夹中加工好的，第二次装夹要加工Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ孔，关键问题是如何

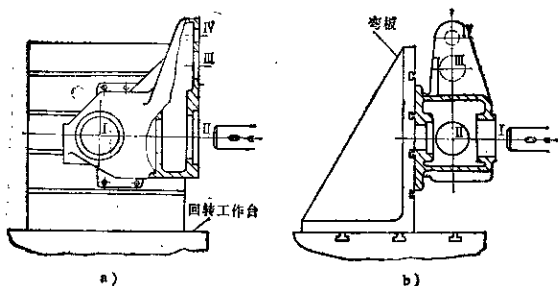


图5-30 利用弯板及回转台加工垂直孔

a) 加工IV、III、I孔 b) 转90°加工I孔

确定孔II相对孔I的坐标距离A，一般可用图上检具确定。检具上的心棒紧靠在I孔壁，控制主轴中心到心棒侧面的距离B便可确定I孔与II孔的中心距A。

对于较小的垂直交叉孔，可直接插入心棒于加工好的孔中（图5-31b），图中孔M是车床加工好的，若控制待加工孔中心与M孔中心距离，可在M孔中插入心棒，测量主轴与心棒之间的距离便可机床坐标移动距离 $B = (D + d/2) - A$ 。

垂直孔系中已加工孔端面至待加工孔中心距离一般都是有公差要求的，倘若公差在0.1毫米以上，可用深度尺、卡尺以及试镗的办法测量确定。若公差在0.1毫米以内，可用如图5-32所示的方法控制。

图5-32a所示用量块塞入主轴与孔端面，塞好后机床移动 A_1 距离即可。 A_1 可用下式计算：

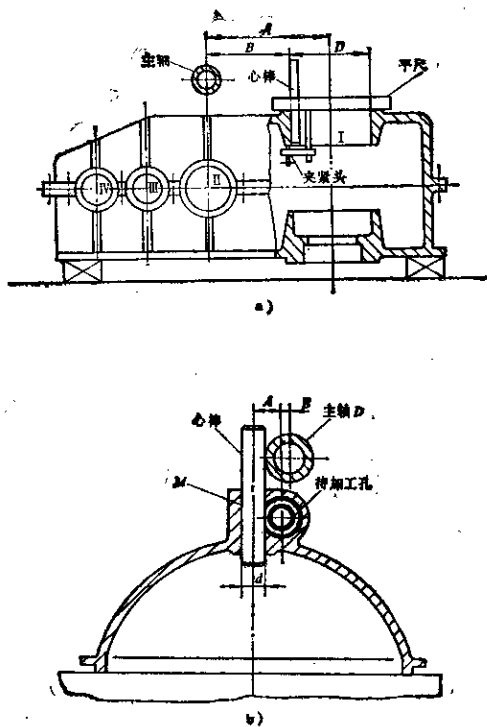


图6-31 确定垂直孔中心距的方法

a) 用检具(平尺、心棒、夹紧头) b) 用心棒插入已加工孔

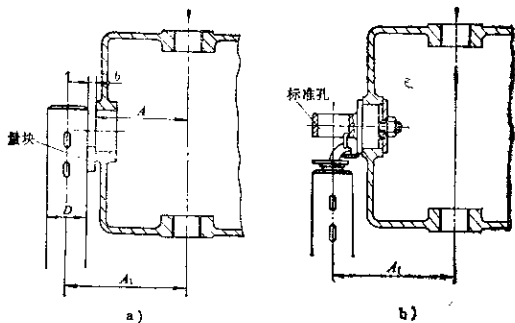


图5-32 孔端面至孔中心线距离的确定方法

$$A_1 = A + b + \frac{D}{2}$$

式中 A ——孔端面至孔中心线的距离(毫米);

b ——量块厚度(毫米);

D ——主轴直径(毫米)。

当侧面孔和端面加工好后,也可用镗有标准孔的专用工具(图5-32 b)确定待加工孔中心位置。专用工具右端为圆柱体,塞入孔中,并用螺丝和压板紧固。圆柱体的台阶紧靠孔端面。而台阶面至标准孔中心距是一个已知定数。当中心测定器找圆标准孔后,工作台移动一个已知定数加上 A 尺寸,此时机床主轴中心即移到了待加工孔中心。该专用工具适用于小批量生产,分过距离的精度显然比图5-28 b的方法要高。

第五节 任意角度孔系的加工

任意角度孔系加工中主要问题是如何保证角度公差和孔

坐标位置的确定。

一、保证角度公差的方法

如果任意角度孔系中两孔中心线都平行于同一个基准面,可将工件安装在回转工作台上进行转角度加工。T68机床回转工作台刻度最小值为 $30'$, T612机床回转工作台刻度最小值(通过微分度盘)为 $10''$,因此,角度公差要求不甚太严的中小工件完全可以放在这类机床上加工。

如果两孔中心线构成的平面垂直于基准面时,工件可安装在工作台上的弯板上(图5-30)。在工件安装之前,将工作台 90° 定好位,并在适当位置上固定好弯板,使其与主轴中心线平行,夹上工件后干第一个孔(图5-33 a),然后转工作台加工第二个孔(图5-33 b)。

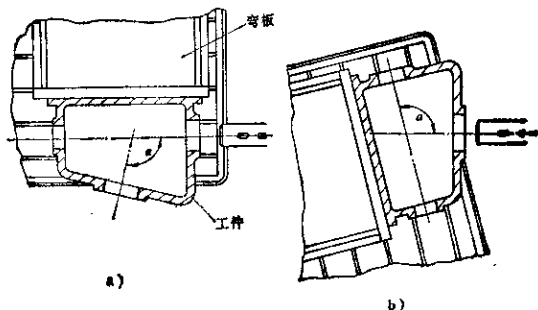


图5-33 在弯板上安装工件加工任意角度孔

在无回转工作台机床上加工大型工件时,可用角度尺放在已加工好的孔端面上(图5-34 a),用百分表找正 a 、 b 两点即可加工另一孔。这样的找正法角度精度可控制在 $10' \sim$

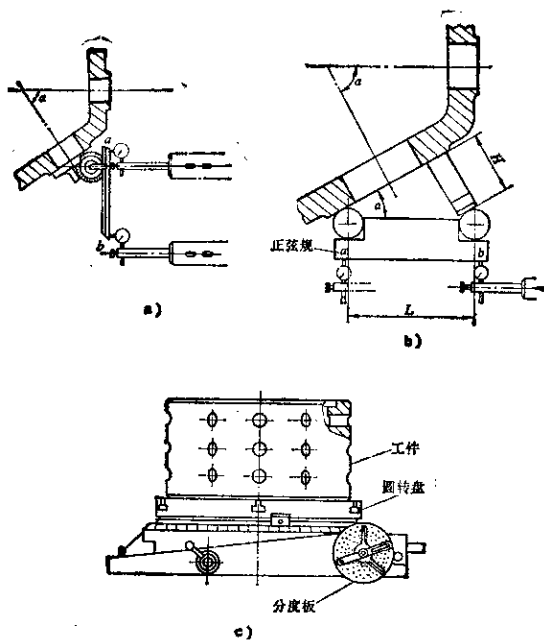


图5-34 保证角度公差的方法

a) 用角度尺找正 b) 用正弦规找正 c) 在圆盘上装分度板找正

20' 之间。

角度公差要求在 10' 以内时，大型工件上的精密角度孔可用正弦规找正工件来控制，如图5-34 b所示，正弦规上圆柱体及垫的块规所贴的平面是已加工好的且与孔垂直的孔端

面，只要用夹在主轴上的百分表找正正弦规工作面 a 、 b 两点数值相同，即可认为保证了 α 角的公差。块规组的尺寸 H 可用下式计算：

$$H = L \sin \alpha$$

式中 α ——工件加工面与主轴线的夹角；

L ——正弦两圆棒的中心距离。

对于较小的工件，如图5-34 c 上的工件，其圆周上分布着有角度要求的若干个孔，为了保证其角度公差，可放在圆转盘上加工，而圆转盘的最小刻度为 $2'$ ，为更精确地分度，可在圆转盘手摇柄处安装上分度板，用定位销插入孔眼中分度定位，这种方法比较可靠简单，生产效率高。

二、孔坐标位置的确定

任意角度孔系中两孔中心线的交点基本上都在空间，要精密地控制这一点到其他部位的尺寸一般很困难，必须采取一些辅助措施。

1. 作辅助基准点

如图5-35 a 所示为 T 68 机床工作台的锁紧支架；从两孔中心线的交点到 $\phi 36 H 8$ 孔端面的距离为 $27^{+0.2}$ 毫米，无法直接测量，就必须建立辅助基准点来测量。如图5-35 b 所示，在 $\phi 36 H 8$ 孔的延长线上安置插有心棒的座体于工作台上，这根心棒就是辅助基准。

加工的程序如下：

(1) 将工件装夹在弯板上，也同时夹压好座体于工作台面并使其一侧紧靠弯板工作面，其上插心棒孔预先铰好。

(2) 镗加工 $\phi 36 H 8$ 孔和 $R.1.6 (\nabla 6)$ 端面，务使孔中心线和插心棒孔中心重合。

(3) 插入心棒，并测出 L 的实际尺寸。

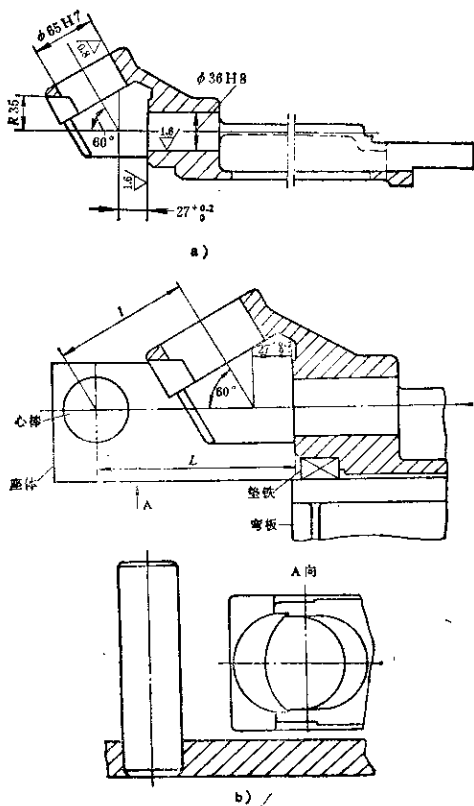


图5-35 建立辅助基准点控制空间坐标点

(4) 工作台回转 60° ，使 $\phi 65H7$ 孔中心朝向主轴，并测量出 l 的距离（即主轴中心至心棒中心）。

l 的尺寸可由下式计算出：

$$l = (L - 27) \sin 60^\circ$$

如此利用辅助基准即能保证图中的空间座标点至 $\phi 36H7$ 孔端面 $27^{+0.2}$ 毫米的要求。

又如图5-36 a所示的工件，它的基准点不在两孔中心线的交点，而是在一孔中心线的延长线上，一般可用下面两种方法确定这一空间坐标尺寸，

一种方法是在基准点位置安装一个垂直于 $\phi 52H7$ 孔中心线的心棒，在心棒安装时要保证 95 ± 0.02 毫米的距离(图5-36b)，加工 $\phi 52H7$ 孔之前找正心棒使其与主轴中心线重合相交，当加工完 $\phi 52H7$ 孔后，工件转过 $30^\circ \pm 10'$ 的角度，并以心棒分过

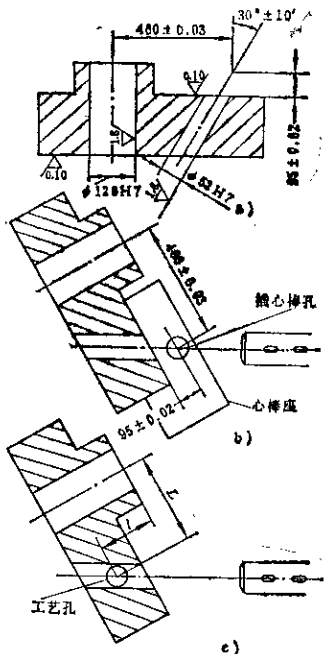


图5-36 建立辅助基准点确定孔中心坐标

460±0.08毫米的距离即可加工 $\phi 120\text{H}7$ 孔。

另一种方法是在工件垂直于 $\phi 52\text{H}7$ 孔中心线的位置上镗出一个工艺孔（得到允许情况下），然后装夹工件于弯板上，在工艺孔中插入心棒，用百分表找正心棒使主轴中心与其重合后镗 $\phi 52\text{H}7$ 孔（图5-36 c），最后转角加工 $\phi 120\text{H}7$ 孔。这是通过控制L的尺寸来控制图样上给定的空间坐标。L的尺寸计算如下：

$$L = 460 - (95 + l) \operatorname{tg} 30^\circ$$

2. 扩大基准点

为了测量的方便，可将无穷小而又无形的基准点扩大成有形的球状体，如图5-35 a所示的工件 $\phi 36\text{H}8$ 孔中放置一个球形检具（图5-37），当工件转角后可用夹在主轴上的杠杆表找正圆球最大直径处，即可控制两孔交点至 $\phi 36\text{H}8$ 孔端面的 $27^{+0.2}$ 毫米的坐标尺寸。这种球形检具制作困难，适用于有一定批量工件的加工。

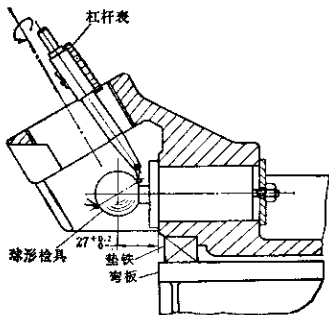


图5-37 用球形检具控制空间坐标尺寸

3. 用胎具加工

如图5-38所示的为汽车刹车蹄铆接铆钉用的油缸体，在镗床上加工 $\phi 24^{+0.020}$ 和 $\phi 18^{+0.019}$ 毫米孔共四个，其两孔中心线相交为 13° 角，交点至 $\phi 75^{+0.08}$ 毫米油缸中心距离为 203 ± 0.1

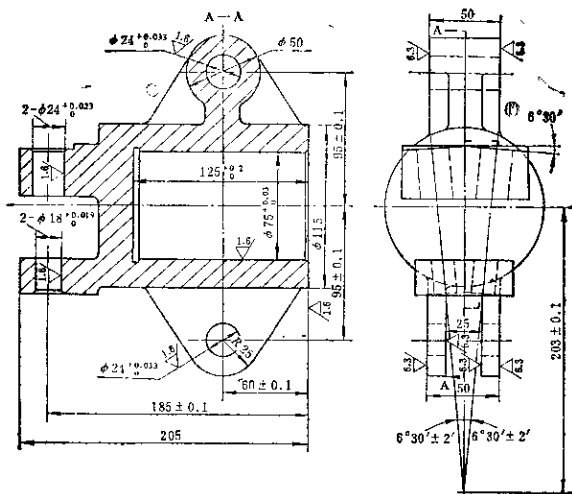


图5-38 铆接夹具油缸体

毫米。

为精确控制 203 ± 0.1 毫米这一空间坐标，可作图5-39 a 所示的胎具，在40毫米厚两边磨过的钢板上镗出两个孔，中心距为 203 ± 0.05 毫米，将相应的两个轴套压入孔中。件1外圆与圆转盘中间孔配合，件2的外圆与车床加工过的油缸孔配合。胎具的一侧边应与两孔中心连线平行，以便于找正。

为精确控制角度精度，由于工件体积不大，所以可放在圆转盘上加工。装夹时如图5-39 b 所示。为使主轴中心与胎具两孔连线平行，可用百分表找正胎具的一侧基准面，按划

线找正工件位置。然后将圆转盘转过 $6^{\circ}30'$ ，同时确定好 60 ± 0.1 毫米的垂直坐标，即可对 $\phi 24^{+0.028}$ 和 $\phi 18^{+0.010}$ 毫米的孔进行加工。

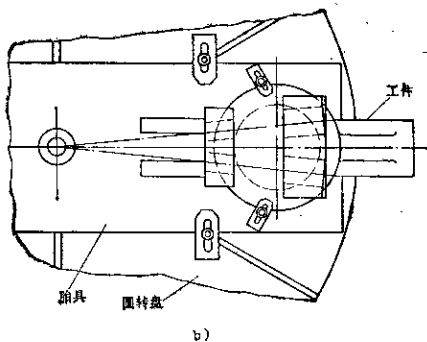
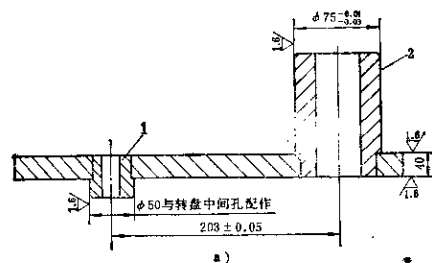


图5-39 在圆转盘上用胎具装夹加工

第六章 孔系加工中的 测量与质量分析

孔系加工中质量的好坏虽然取决于机床精度和加工方法，但测量工作也是保证孔系加工质量的重要措施。

由于各种原因，任何一种加工方法无论多么精密，都不可能把孔加工得绝对精确，总会产生一些偏差。各种误差产生的原因和如何测量出来，以及镗床加工中的振动问题，都是本章中要讨论的内容。

第一节 孔系的测量

孔系的测量主要包括孔的尺寸精度、几何精度、表面粗糙度和形状位置精度等。所使用的测量工具和测量方法主要取决于工件的批量、孔的结构形状、尺寸大小和精度要求。掌握对孔系的正确测量将有助于对孔系的精确加工。

一、孔的尺寸精度的测量

1. 内卡钳

内卡钳是镗工普遍使用的一种简单的比较量具。目前在一些工业技术先进的国家里也仍然在继续使用着，因为它具有以下优点：

(1) 结构简单、价格低廉、制作方便、调整和使用灵活。

(2) 使用它测量可减少孔加工中的试切长度。

(3) 能测量由于工件形状特殊而限制了使用其他精密

量具的孔径，如图6-1所示。

(4) 能部分地代替精密量具。如在外径百分尺的配合下，能准确地进行测量，精度可达0.02毫米。

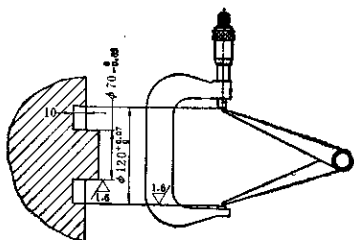


图6-1 用内卡钳测量环槽孔径

用内卡钳测量时，应使两个钳脚的测量面的连线正好垂直于内孔的轴心线，即钳脚的两个测量面张开量应是被测孔径的最大处。使用时，一般将一个钳脚停在孔壁上，另一钳脚由孔口略往里面一些，沿孔壁作弧线摆动试探。当摆动距离最小时，则表示钳脚已处于内孔直径最大处了。

一般在使用前，先将外径百分尺定到被测孔径的最小极限尺寸，张开钳脚与尺校对，然后用它去比较孔径的大小。如果孔径大于最小极限尺寸时，可用外径百分尺对到最大极限尺寸，再比较测量。

也可以根据内卡钳在最小极限尺寸对得的张度，对被测孔中的摆动大小去判定孔径的实际尺寸，如图6-2所示。

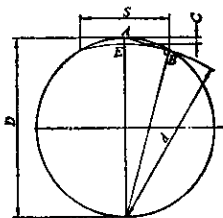


图6-2 内卡钳摆动距离

内卡钳在孔中最大摆动量可用下式计算：

$$S = \sqrt{8dC}$$

式中 S ——内卡钳摆动距离(毫米)；

d ——孔径最小极限尺寸(毫米)；

C ——最大间隙量(毫米)。

【例】 镗一直径为 $\phi 100^{+0.1}$ 毫米的孔，求用内卡钳测量时最大摆动量是多少？

【解】 $S = \sqrt{8 \times 100 \times 0.1} = 8.94$ (毫米)

表6-1中列出了在一定直径(10~500毫米)及精度等级(H8)范围内，内卡钳摆动量在1~11毫米的实际公差值。

在用长镗杆加工或刀杆不从孔中退出进行测量时，直钳脚内卡钳使用不太方便，因此可做成圆弧钳脚(图6-3)，其圆弧应大于镗杆或刀杆的半径。测量面应呈圆球形，可使测量准确。大的卡钳因较重，故大于500毫米的孔不宜采用。使用内卡钳进行测量适用于单件和小批量生产，其缺点是对于孔的锥度和圆度测量困难。

2. 内径百分表

内径百分表是常用来测量圆柱孔的精密量具。它的优点是反映灵敏，读数直观，并能准确地测出孔的几何精度。

内径百分表在使用中须用外径百分尺校对，使百分表的指针对零位，要注意百分表长针所压的圈数，也可从小针的移动格数记取。也要记住长针复位后所指向的表盘刻度，以便在使用中表盘发生转动后能及时察觉。

使用中可将活动测头由孔口向里侧摆动，百分表上反映的最小数值就是孔的实际尺寸，不过这只是一个方向上的尺寸，必须多量几点才能完整地反映孔的实际尺寸。为定心准确且迅速起见，选择内径百分表时，要选用定心护桥长一些

的。测头部分要求具有光滑的弧面，如弧面磨损，应送交修理。当被测孔的表面粗糙度很大及工件尚热时，都不宜用内径百分表测量。

3. 内径百分尺

内径百分尺亦称内径千分杆，是测量大孔用的精密量具，其读数方法和外径百分尺相同。最短的内径百分尺测量范围为50~63毫米（图6-4a），为了扩大测量范围，可接长若干根接长杆（图6-4b），接头靠螺纹拧紧。最大测量范围可达4000毫米。

内径百分尺没有外径百分尺那种测力机构，测量力的大小完全凭手的感觉，因此，在使用中测头与孔壁的接触要松紧适度，径向摆动测量在孔的最大尺寸处，轴向摆动测量在孔的最小处，直至与孔壁轻轻接触为止。

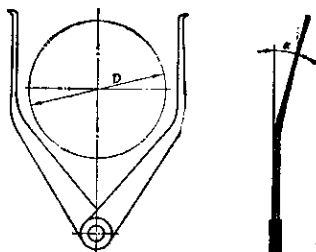


图6-3 弧形钳脚

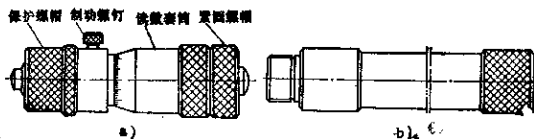


图6-4 内径百分尺

a) 测微头 b) 接长杆

内径百分尺的示值误差较大，500毫米以内允差一般为 ± 0.01 毫米，500~4000毫米允差为 ± 0.05 毫米。在有条件的情况下，应使用外径百分尺进行校对。

4. 塞规

塞规是一种按公称尺寸和公差界限制成的标准量具，可测量比较精密的孔径。它只能判断孔径是否合格，即是否在公差之内，不能量出孔的实际尺寸。常用塞规如图6-5所示，其过端表示孔的最小极限尺寸，止端表示孔的最大极限尺寸。测量尺寸很大的孔径时，可根据加工件的结构和尺寸大小做成各种样棒（图6-6），这种样棒结构简单，制作方便。

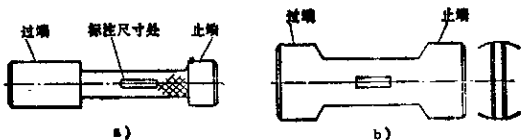


图6-5 常用塞规

a) 一般孔塞规 b) 较大孔塞规

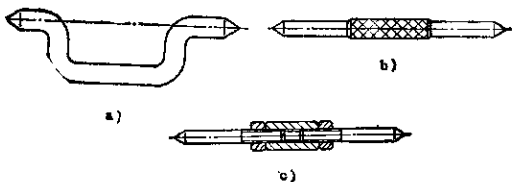


图6-6 测大孔样棒

塞规适用于大批量生产中的测量，而样棒则适用于大工件的小批量生产。

塞规使用时一定要摆正，否则很可能产生错觉，更不能塞不进硬塞或用锤子敲击，以防止塞规变形和工件移动。

使用内径百分表测量孔的几何精度误差最为准确，用其他量具测量反映迟钝。

孔的表面粗糙度的测定基本上靠肉眼观察判断，或用手指抚摸，或用指甲在表面轻轻划动的感觉来判断其大小。在不能确定或有争议的情况下，可用粗糙度样板来比较评定。

二、孔系位置精度的测量

孔系位置精度的测量项目，主要包括同轴度、垂直度、孔的坐标位置等。

1. 同轴度的测量

(1) 在镗床上用主轴测量

在台式镗床上加工同心孔系时，最常用的检查同轴度的方法是在机床上直接测量，不改变工件的装夹，但要减弱夹紧力，在刀杆上夹一百分表，分别沿各孔表面转动，其脉动量差值的一半即为同轴度。如图6-7a所示，测量时主轴悬伸量不变，仅使工作台纵向移动。

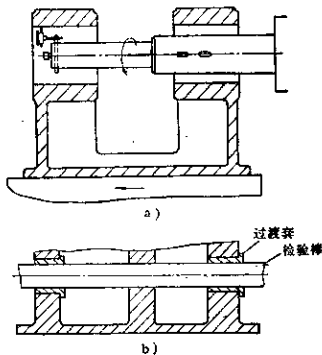


图6-7 测量孔的同轴度

用主轴测量 b) 用检验棒测量

如图6-7a所示，测量时主轴悬伸量不变，仅使工作台纵向移动。

在柱式镗床上测量时，如无可移动的工作台，则用主轴进出，这时要将因主轴悬伸量改变所产生的挠度计算进去。

(2) 用检验棒测量

在大批量生产条件下，中小件箱体孔都是采用检验棒穿入同心孔中测量的。这是一种模拟装配测量，凡测量合格的同心孔，在装配时一定是顺利的，因为它不仅测量了几个孔的同轴度误差，同时也测量了孔径尺寸。同心孔直径不相等时，可加设过渡套（图6-7b）并穿入检验棒测量。

测量直径大的同心孔时，可采用如图6-8所示的通用检具。铝质支承环的四脚内装有可调螺钉，用以将检具支承在孔壁上。环形百分表架沿检验棒窜至两端找正孔面，使检验棒与支承孔同心，然后将表架窜至其他同心孔处测量同轴度误差。这种测量方法比较经济，适用范围大，使用轻便灵活。

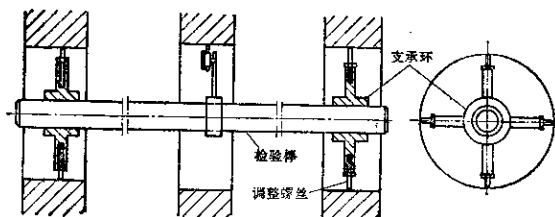


图6-8 测量大孔同轴度的通用检具

2. 孔坐标位置的测量

(1) 孔中心线垂直距离

孔中心线至安装基准面之间的距离称垂直距离，测量时通常将基准面放在机床工作台上或检验平台上，也可用垫铁

垫起来，并用检验棒、游标高度尺、量块等量具测量。图6-9a所示为用百分表测量检验棒的上母线来检查孔中心线与底平面的平行度误差的方法。为了更精确地测出孔中心线至底平面的高度，可用量块进行比较，或用量块塞入检验棒下母线至底平面的高度来检查。也可用百分表或杠杆表伸入孔中测量孔的下母线与量块高度进行比较（图6-9b）。

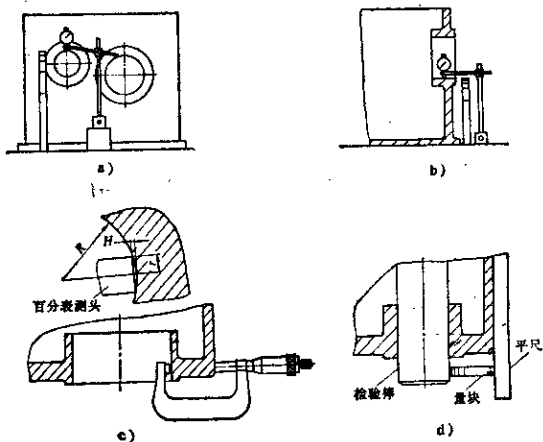


图6-9 孔坐标的测量

a~b) 孔中心线垂直坐标 c~d) 孔中心线水平坐标

(2) 孔中心线水平距离

孔中心线至工件侧平面的水平距离测量比较费事，但测量方法同样是很的。如果尺寸小，可用外径百分尺如图6-9c所示的方法进行测量，测得数值要减去一个弦高 H 。百分

尺测头直径不同及孔径不同所形成的弦高也不相同。弦高 H 可用下式计算：

$$H = R - \sqrt{R^2 - r^2}$$

式中 R —— 被测孔半径(毫米)；

r —— 百分尺测头半径(毫米)。

常用外径百分尺测头直径为6.5、7及8毫米，它们相对应于不同孔径的弦高可从表6-2中查出。用这种方法测量方便准确，减少使用沉重的辅助检具，也不用搬动工件，尤其对于大型工件更是便利。但在使用中要注意合金测头的磨损情况。

表6-2 外径百分尺对应孔径弦高表 (毫米)

孔 径	外 径 百 分 尺 测 头 直 径		
	$\phi 6.5$	$\phi 7$	$\phi 8$
$\phi 50$	0.212	0.246	0.322
$\phi 53$	0.200	0.232	0.303
$\phi 55$	0.194	0.222	0.292
$\phi 58$	0.184	0.212	0.271
$\phi 60$	0.177	0.205	0.268
$\phi 63$	0.168	0.192	0.255
$\phi 65$	0.163	0.189	0.247
$\phi 68$	0.156	0.181	0.236
$\phi 70$	0.154	0.175	0.229
$\phi 73$	0.151	0.168	0.220
$\phi 75$	0.146	0.160	0.213
$\phi 78$	0.141	0.157	0.206

(续)

孔 径	外 径 百 分 尺 测 头 直 径		
	$\phi 6.5$	$\phi 7$	$\phi 8$
$\phi 80$	0.131	0.153	0.200
$\phi 85$	0.127	0.144	0.189
$\phi 90$	0.123	0.136	0.178
$\phi 95$	0.121	0.128	0.168
$\phi 100$	0.115	0.122	0.160
$\phi 105$	0.111	0.117	0.150
$\phi 110$	0.095	0.115	0.145
$\phi 115$	0.092	0.106	0.139
$\phi 120$	0.088	0.105	0.133
$\phi 125$	0.084	0.102	0.128
$\phi 130$	0.081	0.094	0.123
$\phi 135$	0.077	0.087	0.118
$\phi 140$	0.074	0.084	0.114
$\phi 145$	0.072	0.081	0.111
$\phi 150$	0.071	0.08	0.107
$\phi 155$	0.069	0.08	0.104
$\phi 160$	0.086	0.077	0.100
$\phi 165$	0.084	0.074	0.097
$\phi 170$	0.08	0.072	0.094
$\phi 175$	0.060	0.07	0.091
$\phi 180$	0.059	0.068	0.089

(续)

孔 径	外 径 百 分 尺 测 头 直 径		
	φ6.5	φ7	φ8
φ185	0.058	0.066	0.087
φ190	0.056	0.064	0.084
φ195	0.053	0.061	0.082
φ200	0.052	0.061	0.080
φ250	0.040	0.05	0.060
φ350	0.030	0.03	0.040
φ400	0.020	0.02	0.030
φ450	0.010	0.02	0.030
φ500	0.010	0.02	0.030

对于可穿入检验棒的中小工件，可在其侧平面上夹持一块平尺，用量块塞(或用外径百分尺)测量出检验棒侧母线至平尺的距离。

也可以先将工件的侧平面放在千斤顶上用杠杆表找平该平面，再利用上述测量垂直坐标的方法进行测量。

(3) 两孔中心距离

两平行孔中心线间的距离称“孔距”。此孔距一般在加工时就要尽量控制好，以防造成差错而无法弥补。有经验的镗工在分过距离以后，先试镗一刀并进行孔距的测量检验，以便互相印证，防患于未然。

对于加工好的孔距常用如下方法测量：

① 穿检验棒用外径百分尺测量

如图6-10所示孔距 $L = M - \frac{1}{2}(D + d)$ 。用外径百分

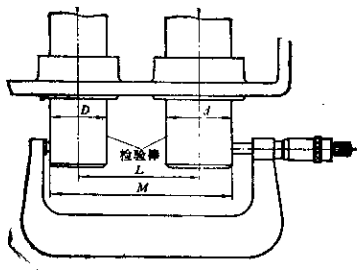


图6-10 用外径百分尺测量孔距

尺测量比较准确，简单省事，不受测量力的影响。有人用量块塞入检验棒之间的距离来测量，因为检验棒可能将孔的间隙推向一侧而影响测量的准确性，因此不宜采用此法测量。

② 孔距测量仪测量

图6-11a所示为带有百分尺的孔距测量仪。这种测量仪靠元宝铁2在检验棒1上定位。元宝铁2与轴套4滑配。轴套的左端装有带螺纹的套管3与内径百分尺7相接触，另一端装有弹簧5。元宝铁的轴向位置可用螺帽6进行调节。

图6-11b所示为带有百分表的测量仪，也是靠元宝铁2在检验棒1上定位的。它可随孔距的长短调节装在支杆5上的元宝铁支座3的位置，并用螺钉4紧固。左端的测头安装有百分表6，用螺钉7紧固。通过百分表来反映与检验棒接触的多少。百分表装在测头座9上。测头座通过弯头8与支杆联接。这种测量仪必须事先用外径百分尺进行校对才能使用。它不但可测出孔距的精密尺寸，而且能测出两孔的平行度误差。

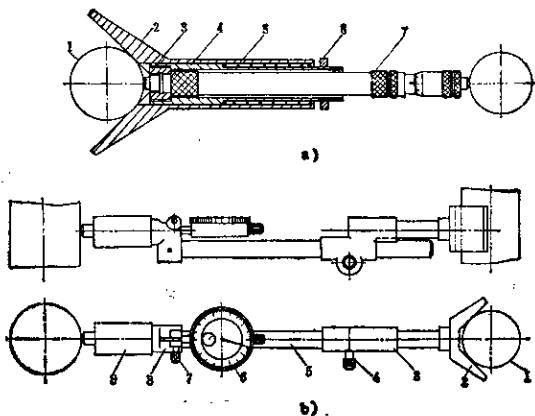


图6-11 孔距测量仪
a) 带百分尺的 b) 带百分表的

图6-12所示的孔距测量仪测量范围比较大，结构简单，制作方便。它由平直的尺身6和可调整的测头4及活动测头1与百分表组成，使用时根据孔距的大小调整测头4在尺身6的槽中滑动，先用量块校正两测头间的距离，并用螺帽5锁紧可调测头4，百分表对零位。测量时按下杠杆3使两测头放入孔中，并微动调整尺身，使两测头间的距离为最短，其时百分表上指针位置与零位的差数即为孔距的实际误差。

③ 用外径百分尺测量

如图6-13所示，如果两孔间壁厚较薄时，可用外径百分尺直接测量出 M 值，求得 M 值后，便可算出孔距 L 。必须注意，量得的 M 值要减去两个弦高 H_1 和 H_2 ，其弦高的计算如前所述。

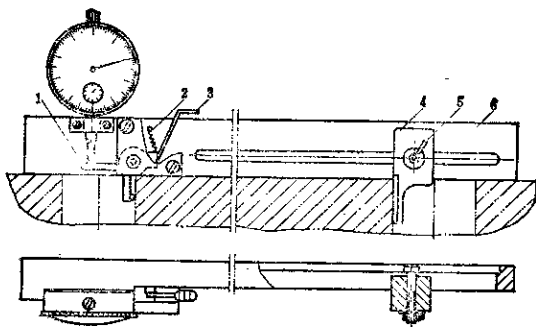


图6-12 孔距测量仪

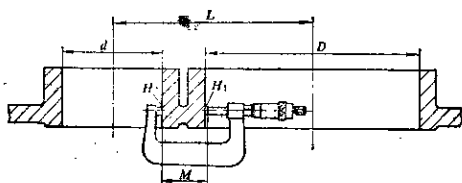


图6-13 用外径百分尺测量孔距

3. 两孔中心线垂直度的测量

测量两孔中心线垂直度误差通常是在孔内分别插入检验棒（图6-14a），先用百分表找平水平位置检验棒1，然后将直角尺靠住垂直位置检验棒2，用厚薄规测量其间隙即可确定在检验棒长度内两孔的垂直度误差。也可以在检验棒2上装

上百分表旋转 180° 测量另一检验棒1在 L 长度上的垂直度误差。图6-14b为检验尺寸较小的工件，图6-14c为检验尺寸较大的工件。

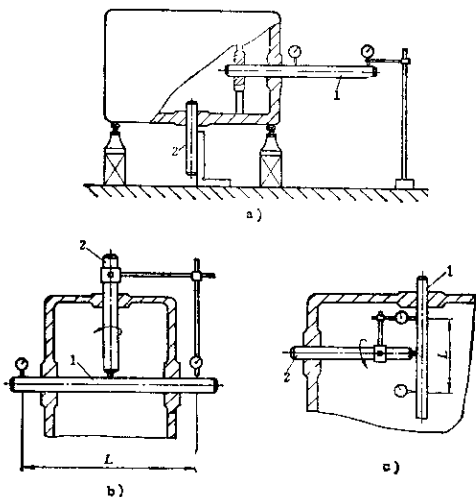


图6-14 两孔垂直度的测量

第二节 孔系加工的质量分析

一切箱体零件的孔及孔系加工质量，对保证产品精度起着重要的作用。实际生产中，这方面的劳动量很大，也易于出现问题。在不采用专用工艺装备的单件小批量生产中，精镗孔是孔加工的最后工序，所以镗孔的质量往往成为生产上

的技术关键之一，因此，应对镗孔加工的质量进行分析，找出影响质量的种种因素，以便采取一定的工艺措施，确保加工质量。

一、主轴—工具系统刚性的影响

镗床主轴加上切削用的工具（包括刀杆和刀具）是影响孔系加工质量的主要因素之一。随着镗孔方式的不同，其受力变形情况也不一样，其中以悬伸镗削变形最为严重。

1. 由切削力 F 所产生的挠曲变形

作用在主轴—工具系统上(以下简称“系统”)的切削力 F ，随着系统的旋转，不断改变方向，因此切削力 F 使系统所产生的挠曲变形(即“让刀”) f_r 也不断地改变方向，如图6-15所示，所镗孔的中心线也偏离了原来的中心。当切削力不变时，刀尖运动的轨迹仍然呈圆形，不过所镗孔的尺寸比刀具调整的尺寸减少了 $2f_r$ 。 f_r 的大小与切削力 F 和系统悬伸的长度有关， F 愈大或系统伸出愈长，则系统的挠曲变形 f_r 就愈大。更重要的是，事实上由于加工余量或材质不均，切

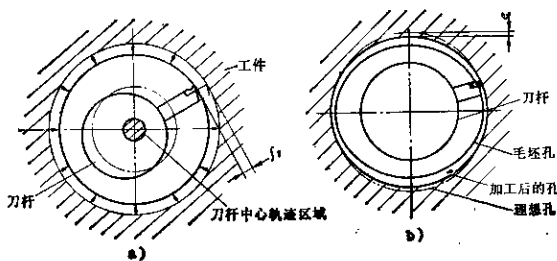


图6-15 切削力的影响

a) 出现挠曲变形 f_r b) 出现毛坏形状的复映误差 y

削力是变化的，因此，刀尖运动的轨迹不可能是正圆，使加工的孔出现圆度，保留了与毛坯表面相似的形状和位置误差，这种误差叫做复映误差（图6-15b），其复映的程度大小取决于系统的刚度和悬伸长度以及进给次数。

总之，由于切削力所产生的挠曲变形，使同心孔会出现同轴度误差，对相邻孔会出现孔距误差和平行度误差。

2. 系统的自重及所产生的挠曲变形

系统的自重 Q 在镗孔过程中，其大小和方向不变，因此而产生的挠曲变形 f_0 的方向也不变。但在高速镗孔时，由于离心力的关系，系统有陀螺反映，自重所产生的挠曲变形很小。低速镗孔时，自重对系统的作用就相当于均布载荷作用在系统上（悬臂梁），使系统回转中心始终低于名义中心一个 f_0 ，如图6-16所示。 f_0 的大小与系统自重 Q 和悬伸长度有关， Q 愈大和系统悬伸愈长，则 f_0 愈大。

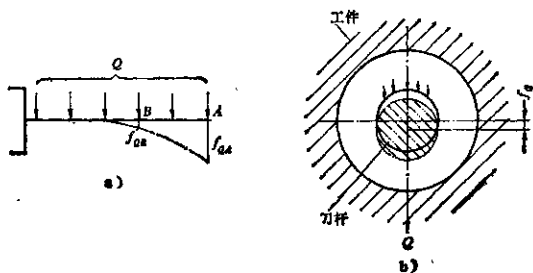


图6-16 系统在自重作用下的挠曲变形

3. 系统在自重 Q 和切削力 F 作用下的挠曲变形

系统在瞬间所产生的挠曲变形，是切削力 F 和自重 Q 所

产生的挠曲变形的合成，其大小和方向也不断变化。图6-17所示为刀具在不同转角时所产生的挠曲变形情况。从图中可以看出，系统脱离原回转轴线而产生大小和方向不同的偏离，使刀尖运动轨迹为非正圆。同时由于材质、加工余量不均、切削用量不一和切削力的变化会使刀尖运动轨迹更为复杂，这不仅使被加工孔产生圆度，而且在轴向剖面内使孔出现圆柱度，并影响到孔系的相互位置精度。

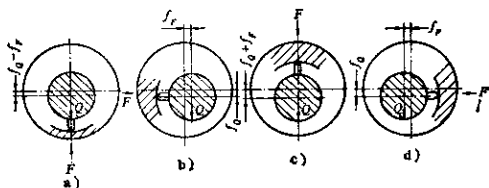


图6-17 系统在自重 Q 和切削力 P 作用下的挠曲变形

当镗孔时用主轴送进，随悬伸长度的变化，被加工的孔径也随之变化，这一点在第四章中已阐明。

从以上分析可知，系统在自重 Q 和切削力 P 作用下的挠曲变形，对孔系的加工质量无论从孔的几何形状精度和相互位置精度都有显著的影响。因此，必须注意提高系统的刚度，一般可采取以下措施：

- ① 尽量缩短主轴悬伸量，选用刚性好的刀杆。
- ② 改变加工工艺，有条件时采用导向支承镗削。
- ③ 悬伸镗削尽量采用工作台进给。
- ④ 合理选择定位基准，使加工余量均匀；采用合理的切削用量，以减少切削力。

二、支承镗削中导向套的配合间隙及自身几何精度的影响

在镗孔时采用导向套支承，刀杆与导向套的配合间隙及自身的几何精度，将对孔系加工精度产生一定的影响。

在导向套支承镗削过程中，刀杆所受重力 Q 方向不变，而切削力 F 却随刀具的旋转而不断改变方向。刀杆与导向套配合存在着一定的间隙，所产生的影响有两种情况：

当 $F > Q$ 时，刀具在任何位置切削，切削力都可以推动刀杆紧靠导向套内与切削位置相反的表面转动，也就是说刀杆表面以某一固定素线与导套内圆整个圆周接触，形成刀杆在沿导套内表面滑动，如图6-18所示。因此，被

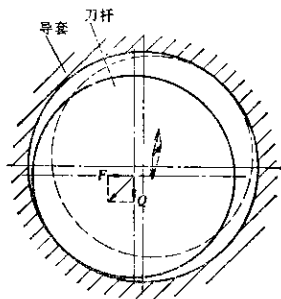


图6-18 当 $F > Q$ 时刀杆沿导套表面滑动

加工孔的圆度主要取决于导向套孔的圆度。

当 $F < Q$ 时，这一般在精镗时产生，由于切削力较小，刀杆只能在沿着导向套内圆下方摆动（图6-19）。刀杆轴颈以不同部位与导向套内下方接触，所以刀杆的圆度将反映在被镗孔的圆度。当刀杆在导向套内下方摆动时，刀尖运动的轨迹为一个低于导向套中心的非正圆，结果使被加工孔产生圆度误差。刀杆与导向套配合的间隙愈大，刀杆的摆动就愈大，被加工孔的圆度误差也就愈大。另一方面，当切削余量及材质不均匀时，切削力的不断变化影响刀杆在导向套下方

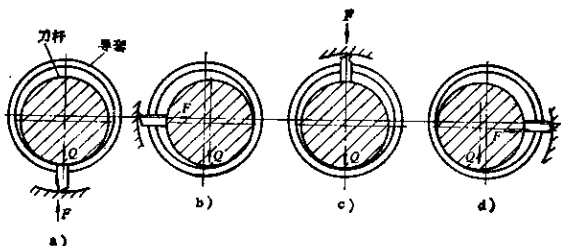


图6-19 $F < Q$ 时刀杆在导套下方摆动

的摆幅也不断变化，从而造成被加工孔的圆度和圆柱度误差。

进一步分析还可看出，出于刀杆与导向套配合间隙的存在以及切削力的变化，还会影响孔系位置的精度。比如在镗某孔时，切削力较大，使刀杆在导向套内的摆幅比较大，刀杆的中心偏上，被镗孔的中心也偏上。而镗另一孔时（同心孔），若切削力较小，则刀杆的中心偏下，被镗孔的中心也偏下。结果对同心孔系来说可能产生同轴度误差，对相邻孔或基准面来说可能产生平行度误差。

所以在用导向套支承镗孔时，刀杆和导向套自身的几何精度都影响能镗孔的精度。而刀杆与导向套的配合间隙不仅能影响被加工孔的几何精度，而且也能影响孔系的位置精度。为了克服上述缺点，可采取以下措施：

- ① 合理选择刀杆与导向套的配合间隙。
- ② 提高刀杆和导向套本身的几何精度，并具有一定的硬度和耐磨性。
- ③ 应合理地选择定位基准，使孔系加工余量均匀，各

孔的切削用量也应基本一致，以减少镗孔过程中切削力的变化，使刀杆在导向套下方摆动基本相似。

三、机床精度及操作方式的影响

用主轴镗孔时，机床精度直接影响到孔系加工的精度

1. 主轴旋转精度的影响

镗床主轴的旋转精度会影响孔的圆度，因为在用主轴加工时，作用在回转主轴上的力及方向时刻改变着，主轴轴颈上滚锥轴承的内环以固定的表面通过外环与轴承孔表面上每一部分接触，因而轴承孔的圆度将反映到被加工孔内。

2. 机床导轨的直线度与主轴轴线平行度的影响

用工作台进给镗孔时，床身导轨的直线度使被加工孔产生圆柱度误差。加工同心孔系时则产生同轴度误差。当床身导轨与主轴轴线不平行时，被加工孔将产生圆度误差，如图6-20所示，在垂直于刀杆旋转截面（A-A剖视）内，被加工孔是正圆的，而在垂直于进给方向的截面内（B-B剖视）孔是椭圆形的。

倘若用主轴进刀，加工出的孔不仅是椭圆，而且孔中心线与安装基准面不平行。

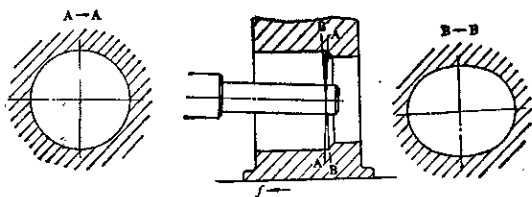


图6-20 机床导轨与主轴中心线不平行对孔的影响

3. 下滑座与导轨之间存在间隙的影响

机床下滑座与导轨之间侧面存有一定的间隙，当工作台作纵向正、反移动时，通常下滑座导轨是以不同部位与床身导轨接触的，因而造成工作台正、反方向运动时发生偏摆，其偏摆量的大小与间隙大小和工件重量有关。间隙愈大、工件愈重，其偏摆量愈大，结果造成孔的圆度误差以及平行孔系的孔距误差。为使镗孔时工作台进给方向应保持一致，要调整好床身导轨银条的间隙。

4. 热变形影响主轴中心的坐标位置

有的大型镗床在使用说明书中就明确指出：“机床在运转两小时后方能进行高精度加工……”，这是因为机床运动系统内部的机电能量所转化的热量引起机床热变形，在两小时运转后达到热平衡(稳定的程度)状态。有人曾作试验：主轴直径为200毫米的卧式镗床，在运转两小时内主轴中心偏离原确定的中心0.02毫米，同时主轴也相应地微量伸长。也就是说热变形严重地影响着孔中心坐标位置精度，因此，这一热变形现象在精加工时不能忽视。

四、工件受力变形和热变形的影响

1. 切削力的影响

有些箱体类零件壁厚相差悬殊，镗孔中切削力较大时，薄壁处容易因弹性变形而产生“弹让”，使切削量减少，而壁厚处弹性变形小，切削量相对多一些。加工后工件因弹性恢复，使薄壁处的孔径减小，产生了圆度误差。为了减少工件受切削力弹性变形的影响，可减少吃刀深度，增加进给次数。

2. 切削热的影响

粗加工时，工件的加工部位会产生大量的切削热，在不同的壁厚处有不同的温升，薄壁处金属少，温度升得

快，厚壁处温度升得慢。如果不等工件冷却下来就进行精镗，那么薄壁处温度高热变形量最大。而厚壁处热变形小，在薄壁处实际所切去的加工余量比厚壁处少。如果加工时的孔成正圆，则冷却后就变成椭圆。壁薄处冷却后其直径将减小，即产生圆度误差。即使壁厚均匀的工件，也会产生热胀冷缩，因此，为了克服这一缺点，实际工作中往往将粗加工与精加工分开来进行。

切削热对刀具也有影响，如高速镗孔时，切削速度高，切削热不断增加，热量传到刀具上使其热胀，使镗出的孔愈来愈大，即产生倒锥。当孔精加工出现这一现象时，可能使工件报废。当半精加工出现这一现象时，精加工余量太少，会影响到孔面的粗糙度。

3. 夹紧力的影响

夹紧力对孔系质量的影响是重要因素之一，加工中若夹紧力过大或着力点不当，很容易产生夹紧变形。

比如在夹紧力的作用下，工件上的孔形成微量椭圆，加工后成了正圆，当松开夹紧力后，孔由于工件的弹性变形消失而成为长轴在垂直方向上的椭圆。不仅如此，还将影响到孔系的相互位置精度，因此，一般在精镗时夹紧力要适当减小。

4. 工件本身变形的影响

图6-21所示的可分拆孔在加工后很容易产生椭圆。未加工之前两边结合面宽度为 H ，此时两只螺钉的夹紧力与盖子的张力相等。当孔加工切去 H_1 厚度的余量时，盖子圆弧上的

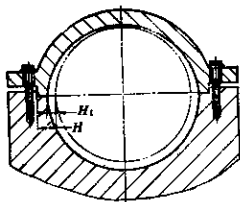


图6-21 可分拆孔加工后的变形

张力就减小，内应力重新分布，因此盖子有伸平的趋势，使得在垂直方向上的孔径尺寸缩小。为克服这一变形，一般也将粗、精加工分开进行，尽量减少其椭圆度误差。

五、刀具安装误差与磨损的影响

刀具安装误差也影响着孔加工的精度，如6-22a所示的浮动镗刀杆中心线与刀方孔不垂直，刀片装进后倾斜，使孔径扩大 ($D_1 > D$)。图6-22b为刀方孔与刀杆中心线不对称，使刀片偏于一面，同样孔径变大。图6-22c为刀方孔与刀杆中心线不平行，刀片装进后形成一个 ψ 角，故孔径也大于刀具尺寸。

加工直径大而且长的孔时，刀具磨损是个突出的矛盾，不得不中途换刀，甚至要换几次刀。例如加工直径为1085毫

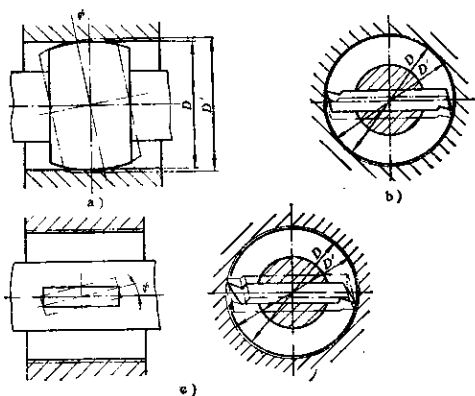


图6-22 镗刀片安装误差对孔径的影响

米，长2000毫米的大型油缸内孔时，使用超硬质合金刀具须换3次刀。为了避免换刀时产生的痕迹和提高生产效率，可采用陶瓷刀具，而且切削速度还可以提高。

综上所述可知，影响孔系加工质量的因素很多，在各种不同的镗孔方式和工艺特征下，它们对孔系加工质量的影响也是不同的。表6-3综合列出了卧式镗床在单件和小批量生产中常见的质量问题及其产生的原因与解决措施。在实际生产中，分析孔系加工质量问题时，具体情况要具体分析，因为情况是复杂的，但一定要找出影响孔系加工质量的主要因素。

表6-3 镗孔中常见的质量问题及解决措施

误差种类	影响因素	解决措施	
尺寸	大于公差	操作问题、测量不准、铰刀摆差大	提高上刀技术，校准量具，减小铰刀摆差，保守加工
	小于公差	热胀冷缩或测量不准	粗、精加工分开，掌握收缩量，校准量具
精度	前大后小	前面试镗对刀次数多	减少试镗长度和次数，或从两端试镗对刀
		铰刀摆差大、刀具磨损	换用浮动接杆，提高刀具的耐用度
		工件材料有硬点、夹砂	用风动砂轮或扁铲清除硬点和夹砂
		主轴进给悬伸太长	采用镗刀块或浮动铰刀
后大前小	刀具热胀伸长	减少刀头伸出长度，降低切削速度	
	刀尖处有积屑瘤	合理选用切削角度，进行冷却	
	刀体未靠紧装刀孔支撑面	刀体靠紧支撑面	

(续)

误差种类	影响因素	解决措施
前后大中小	两端材料表面硬	合理安排热处理工序
	中间部分冷却液少	使冷却均匀
表面 粗糙度	刀具不锋利	进行刃磨
	工具—工件—机床系统刚性差	提高系统刚性, 采取减振措施
	刀尖圆弧半径小, 进给量大	修磨刀尖半径、降低进给量
	精加工余量少	控制好精加工余量
	切削速度低	提高切削速度
	工件材料有杂质	清除杂质、调换相应的刀具切削
	冷却润滑液不充分	充分润滑, 必要时可连续润滑
圆度	主轴旋转精度低	正确维护、调整机床
	工作台与主轴轴线不平行	同上
	支承套精度低及配合间隙大	换用精度高的导向支承套, 控制配合间隙
	加工余量不均匀	适当增加进给次数, 使用尖刀切削
	材质不均匀	合理安排热处理工序, 精加工采用铰刀
	极薄切屑时, 多次走刀形成“溜刀”	控制精加工余量和进给次数, 采用锋利刀具
	夹紧变形	正确选择夹紧点、夹紧方向, 稍微减小夹紧力
	热变形	粗、精加工分开, 注意冷却

(续)

误差种类	影响因素	解决措施
同轴度	主轴及刀杆的挠曲变形	减少主轴和刀杆的悬伸长度, 尽可能采用工作台进给或采用其他方法加工。
	床身导轨不平直	正确维修机床
	床身导轨与工作台下滑座间隙大	恰当调整镶条间隙, 进给采用同一方向
	加工余量不均匀, 切削用量不均衡	尽量使各孔余量一致, 切削用量不变, 增强系统刚性, 增加进给次数
	支承套间隙大	控制配合间隙
平行度	主轴及刀杆挠曲变形	采用工作台进给, 增强刀杆刚性, 减少悬伸量
	工作台与床身导轨不平行	正确修理机床

第三节 克服加工过程中的振动

切削过程中的振动在镗床上反映最为突出, 比其他任何金属切削机床都严重, 这是由于镗床加工特点所决定的。它影响着加工质量的提高, 使工效降低。

振动使机床零部件磨损加剧, 从而使机床各部的配合间隙加大, 破坏机床原有的精度; 振动会降低刀具的使用寿命, 因为它破坏了正常的切削状态, 使刀具磨损加快甚至刃口崩裂; 振动所发生的噪声恶化环境, 使工人容易疲劳和焦躁; 当振动较大时不得不降低切削用量甚至停止工作。

在镗削和铣削过程中, 振动的发生决定于工艺系统的刚性(机床—工件—刀具系统)和切除切屑时总切削力的周期变化。由于振动是切削加工中的“大敌”, 必须引起足够的重

视和认真对待，首先要弄清引起振动的主要原因，即工艺系统中的薄弱环节，然后针对具体原因采取防范和对抗抑制措施。

一、引起振动的主要原因

引起切削加工过程中的振动来自两个方面：强迫振动和自激振动。

1. 强迫振动

由于存在某些振源，它们产生周期性的干扰力作用在机床上，引起振动，这叫强迫振动。引起强迫振动的原因主要有以下几个方面：

① 切削力的变化：如断续切削加工时，当刀头切入或切出时而使切削力不均，或者材质软硬不均都能使刀杆在切削时发生周期的变化，从而引起强迫振动。

② 机床旋转部件或工具的不平衡：如电动机旋转偏心、主轴箱内齿轮有缺陷或带轮偏心、平旋盘滑板偏位以及工具振摆大等所引起的强迫振动。

③ 机床外部的干扰力经过车间的地基而传到机床上引起振动。如天车、锻压设备、大型龙门刨床等。

2. 自激振动

自激振动也叫自发振动，它是由于切削过程在一定的条件下，失去了运动的稳定性而引起的。在切削过程中，切削力近似地与切削面积成正比。当刀具与工件之间一旦产生振动时，刀具切入工件的切深就周期性地发生变化，从而影响到切削面积的变化，于是切削力就发生周期性的变化，而这个切削力的变化又进一步使刀具与工件之间发生振动。在一定条件下，这种相互影响会发生恶性循环，使切削过程不稳定，产生自发振动，同时振幅也愈来愈大。但实际上存在着

阻尼等因素的影响，振幅大到一定值时就不再继续增大了。

影响到镗床加工的自激振动的主要原因还是工艺系统的刚度问题。

安装在坚固基础上的镗床出现的振动有两种型式：

① 在切削面留下的振迹的振距（也叫波距）大为特征的振动，经常有冲击而低沉的噪声，在这种情况下加工表面的振距约为3~10毫米，此状态一般发生在切削速度为30~50米/分的情况下。

② 以留在切削面上振迹的振距小为特征的振动，它产生很急促并伴随高音类似吹哨的尖叫声，此时振距约在0.5~1.5毫米，这种振动的产生一般在高速切削时（超过100米/分）。

二、降低振动的措施

由上述可见，实际上强迫振动是难以在加工中克服，一部分是“先天”的，这应由设计和工艺部门预先采取措施，如靠近有较大振动振源的机床，其四周要在基础施工时设置防振沟用以防振，也有的机床在底部垫以较厚的弹性橡胶衬垫。从工艺系统方面考虑可适当采取一些措施用以减少振动。

而自激振动是镗床加工产生振动的主要原因，对于加工者来说，可以通过主观努力去克服和减缓，一般采取的措施包括以下几个方面：

提高工艺系统的刚度：

(1) 主轴箱、工作台等滑动部位的导轨间隙都要调整到最小，但不能咬住，正确调整导轨间隙，使进给过程中切削平稳。

(2) 消除机床各高速旋转有缺陷的零部件，如将主轴

驱动齿轮更换成平稳性良好的齿轮，是一个有效措施，但最好是缩小齿轮间隙误差和齿形误差，并使同时咬合的齿数达到两个以上。

(3) 根据主轴轴承所承受的力，将其间隙调节到适当程度，直径间隙的平均值通常不应超过0.02~0.04毫米的范围。间隙的大小与主轴直径有关：精镗时间隙可调到0.01毫米；重铣时，间隙要调得大一些。但过大的间隙及轴承太紧往往都会引起相当大的振动。对于磨损的镗床轴承间隙的调整比新镗床更为重要。

(4) 机床工作时，对于不进给运动的部件都要夹紧。

(5) 装入主轴锥孔中的工具锥柄一定要与锥孔配合紧密，平均接触面积必须为75%以上，同时，主轴锥孔的大端处更要坚固。钻孔时，尽量少使用过渡套筒。刀杆及工具的振摆不应超过0.04毫米。

(6) 尽量使用刀体截面积大的刀具，刀具在刀杆中的伸出量要短，一般不允许大于刀具直径的四倍。尽量采用方刀体。

(7) 使用刚度大的刀杆；悬伸镗削困难可用其它方法加工。

(8) 不允许镗杆、导向套等相对回转的部位有较大的间隙。

(9) 在铣削时尽量将端铣刀装在主轴外圆或平旋盘上，避免装在主轴锥孔中。若加工中主轴悬伸较长，则可用附加支承以增强刚度。

(10) 安装工件时，尽可能接近主轴箱；要在工件加工过程中承受切削力最大的地方夹持工件。

(11) 薄壁型工件的加工除有基本夹持特点外，必要时还

要增加辅助支承和夹持点。

合理地选用刀具的几何角度：

(1) 减小主偏角就会使切屑截面的宽度增大，因而振动则有规律地增强。主偏角在 $45^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 范围内比较好，再大时则振动加剧。

(2) 任何情况下减少前角都会增加振动。

(3) 在粗镗和半精镗时，减小后角可减轻振动；在用硬质合金尖刀高速镗孔时由于后面上产生的摩擦作用而激起振动，故要增加后角，但用宽刃刀精镗孔时后角大了反而增加振动。

(4) 刀具的磨损使切削力明显增加，会加剧振动；表面粗糙度小的刀具要比粗糙度大的抗振性好。

(5) 用多刀镗削时，安装在不同的方向可相互产生阻尼。用多刀铣削时，为使切削平稳，不同角度的刀具比单纯一种角度的刀具更为有效。

(6) 用圆柱立铣刀铣削时，要有能保证铣削均匀的升角，铣削宽度必须接近轴节（铣刀齿的轴向间距）的整数倍数。用几把圆柱铣刀铣削时，要用螺旋齿向不同的铣刀组。

合理地选择切削用量：

切削速度：切削速度增加时，振动也增加，多数情况下这种关系成正比，因此说切削速度对振动的影响最大。

切削深度：粗镗和半精镗时切削深度较大，故振动较大，但精镗中切削深度极小时也会使刀具产生高频振动。

进给量：进给量小时一般易振动，当用宽刃刀精加工加大进给量会减轻振动。

利用减少切削深度而增加进给量是常用降低振动的方

法，如将一次切削的深度分为两次进给，并相应地增加进给量。

进给方向一般应使刀杆受拉伸状况，特别当刀杆直径较小时，振动有明显下降，这是因为轴向弯曲减少的缘故。

采用吸收振动的装置：

上述各种措施虽然是积极预防加工中的振动，但有时仍然避免不了，甚至不得不在有明显振动的状态下工作。因此，可采取一些消极的办法去抑制，如应用振动吸收装置等。常用的吸收振动的装置有如下几种：

(1) 弹性振动吸收器：如图6-23所示，两半合成的套管内切有几条环槽，槽内装着海棉橡皮环，套管与刀杆轴颈径向有1毫米间隙，此种弹性振动吸收器可以在很广的频率范围内吸收振动，并不用作精密的频率调整，其缺点是切屑容易堵住其中间隙。

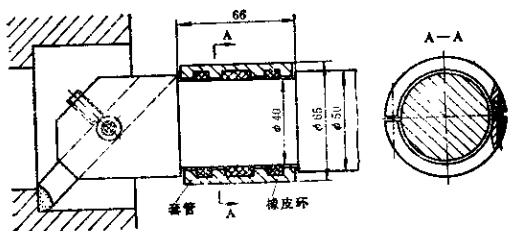


图6-23 弹性振动吸收器之一

图6-24所示为用长镗杆镗孔发生振动时所用的弹性振动吸收器。支承体7上有三个支承脚，其内夹布胶木块9用弹簧8顶住与工件2的孔壁接触。镗杆1旋转时刀架4随之旋转，并

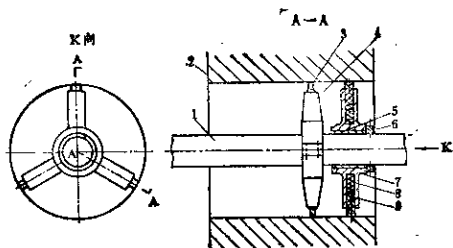


图6-24 弹性振动吸收器之二

带动刀头3进行镗孔。滑套5在支承体7内转动，靠固定在镗杆上的定位环6带动沿轴向移动。当镗杆从平稳中开始振动时，它的振动能量便被支承体上三个弹簧所吸收，使切削趋于平稳。从某种意义上说这种弹性振动吸收器也就是辅助支承。

图6-25所示是通用性较强的一种弹性振动吸收器，可装于镗杆上，也可以用于其他切削加工机床。使用时将六角螺钉1拧入刀杆相应的螺孔中，并将冲击轴套2与滚花外套4的螺纹松脱，此时彼此依靠弹簧3撑开。当刀杆振动发生时，冲击轴套即随时冲击消振。由于刀杆上有一安装孔，故它的质量须相应增大，以保持刀杆旋转时的平衡。

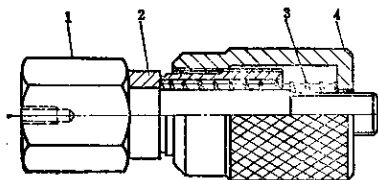


图6-25 弹性振动吸收器之三

(2) 撞击振动吸收器

撞击振动吸收器主要是依靠内部的撞块撞击来消耗振动能量，以期达到降低和减缓振动的目的。如图6-26所示的结构，在刀杆1前端孔中放入圆柱形重块2，其在孔内的间隙为0.05~0.1毫米，

适用于频率在100~1000赫兹左右，高频间隙可小一些，低频则稍大一点。为了保证使振动吸收器的作用可靠，必须尽可能减少重块2在孔内的摩擦。重块的材料一般应用淬硬钢，其大小应当是构造上所容

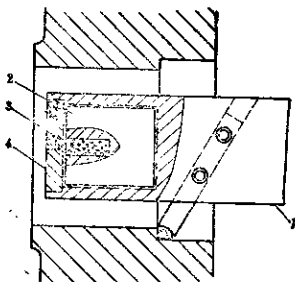


图6-26 撞击振动吸收器

许的最大值，为增加其质量和多消耗振动能，故在刀杆1端面的孔内灌以铅合金2，外面用螺塞4拧紧。

图6-27为可调撞击振动吸收器，锥环1与刀杆的锥体2有一定的配合间隙，其间隙的大小靠偏心圈3调整，这些间隙均依据振动频率来调节。间隙调好后，用螺钉4固定。

当加工较小的孔时，用振动吸收器几乎是不可能的，因此有使用超硬合金镗刀杆的，以增强刚性，但重量较大。目前又有采用铁钛合金刀杆的，可使重量减轻，并能有效地防止高频振动，但因造价高，推广普及还存在一定的困难。一般来说使用振动吸收器的刀杆多数不能通用。只适用于加工条件固定，使用方法专一的情况。目前国内外在刀杆防振方面，都有一定程度的研究，做了大量的工作，其中削扁刀杆普遍

进行了研究，所谓削扁刀杆，就是与刀具成一定角度的位置上，刀杆铣扁（两侧对称），可以起到控制高频振动的效果，但是，其稳定区域狭窄，需作微量调整。

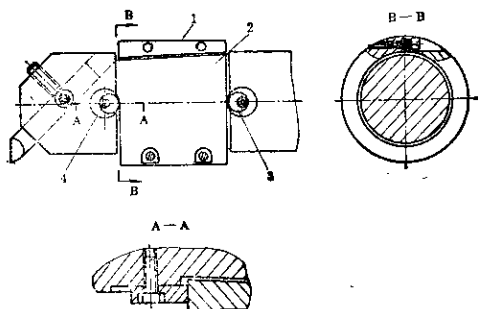


图6-27 可调撞击振动吸收器

第七章 特形孔的加工

卧式镗床除了能加工圆柱孔以外，还可以加工中心孔、缺圆孔、螺纹孔、锥孔及球面等特殊型面的孔。

第一节 中心孔的加工

卧式镗床在下列情况下须进行中心孔的加工：

- (1) 大型轴类和曲轴。
- (2) 在斜面上镗孔。
- (3) 位置精度要求较严且直径较小的孔。
- (4) 不在工件表面位置上且端面不平整的孔。

对于大型轴类和曲轴类的中心孔，一般都要在卧式镗床上加工。以中心孔作为这些零件的安装基准，可使零件的安装定位既准确，又简便迅速。中心孔的加工质量直接影响到基准的稳定性和正确性，从而影响到零件质量的优劣。

对于箱体上一些直径较小孔的钻孔，由于其位置精度的要求，一般先打中心孔，使钻孔位置正确，否则将会给镗孔带来极大的麻烦。若孔钻偏时，在镗孔时不得不多次进给校正位置，特别是小孔，即使多次进给，也难以完全纠偏，甚至可能产生废品。

作为定向用的中心孔的形状、精度都无要求，而作为安装基准用的中心孔则应按标准进行加工。

中心孔的标准按角度分为 60° 、 75° 和 90° 三种，而以 60° 的使用最多，只有重型机械行业常用到 75° 和 90° 。图7-1a为

国家标准 (GB145—59) 中规定的 60° 中心孔的结构。图7-1 b、c 为重型机械行业标准 (Q/2B133—73) 中规定的 75° 和 90° 中心孔的结构。

按中心孔的结构分也各有三种型式：**A型**、**B型**和**C型**（或**D型**）。**A型**由圆锥和圆柱两部分组成，圆锥部分起支承工件和定中心的作用，圆柱部分能容纳润滑油，使锥面获得润滑。此类中心孔用于粗加工和不需要保留的零件及小型零件。

B型是在**A型**的基础上增加一个起保护作用的 120° 圆锥，一般用于须保留中心孔的零件。

C型是在**B型**的基础上将圆柱孔变为螺纹孔，这一般用于设计上的特殊需要，如联接相关件或拔取、吊挂等。

D型是在**B型**的基础上往深加工，以便在以后的工序中去掉多余的端面余量。

中心孔在图纸上的标注尺寸是以圆柱部分的直径为主要参数。其直径的大小是根据工件原直径来决定的。标注示例： $d=12$ 毫米， 60° **A型**中心孔为：中心孔 $60^\circ A12$ 。

需打中心孔的轴类零件的安装已在第三章谈到，基本上都是用**V形铁**。而打中心孔是轴类零件的第一道工序，故为毛坯件。因此在加工之前，一定要按划线找正水平中心线和垂直中心线，可用薄铁皮在**V形铁**上进行调整。对于曲轴的安装，除用**V形铁**外，在曲拐处须用千斤顶作辅助支承（图7-2），使主中心孔和偏中心孔的连线成水平状态。如在任意位置上安装，则加工中心孔时要移动机床的两项坐标。这样势必增加两端中心孔偏心距的误差。

加工方法：

(1) 加工端面：工件安装好之后，用装于主轴上的顶

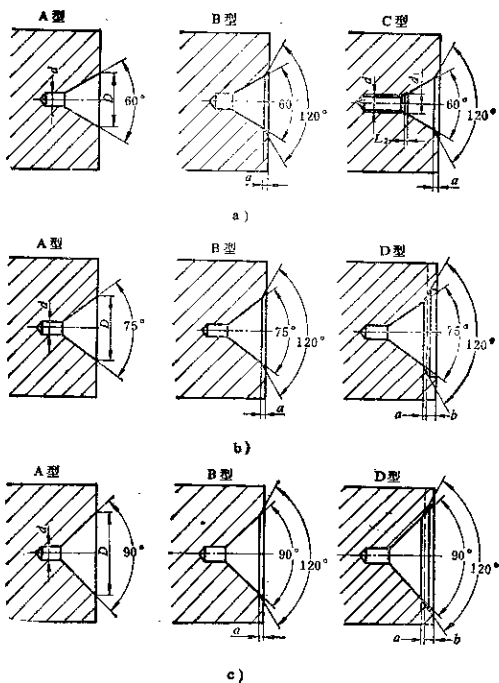


图7-1 中心孔的种类

a) 60°中心孔 b) 75°中心孔 c) 90°中心孔

尖对准中心孔十字线的中心点，并检查中心点与毛坯外圆的偏移程度，一定要保证圆周上的加工余量相等。然后记录下机床此时的坐标位置。

毛坯轴端大多凸凹不平，尤其是锻件，因此必须先将该轴端的端面铣平，这不仅有利于将中心孔打正，同时也为下道工序创造方便。铣削端面可根据工艺要求控制总长度，铣毕将机床坐标回到先前记录的位置。

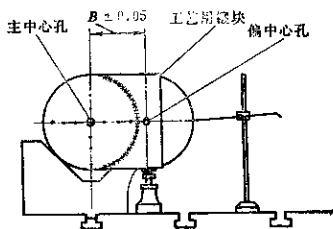


图7-2 单拐曲轴打中心孔时的安装

(2) 选用刀具：直径较小的中心孔可用中心钻(图7-3)钻出。常用的中心钻是用高速钢制成的。A型和B型中心钻都装夹在钻夹头里使用，大直径的中心钻可用弹簧夹头夹

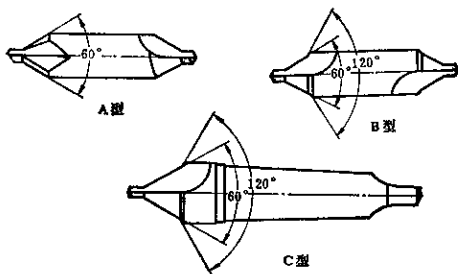


图7-3 中心钻

持。带锥柄的C型中心钻适用于较大尺寸中心孔的加工。加长锥柄的中心钻主要用于箱体上不在表面位置处的中心孔的加工。

尺寸较大的中心孔一般先用直径等于圆柱部分 d 的钻头钻一个深度等于中心孔全深的孔(图7-4a)，然后用相应的镗钻加工圆锥面(图7-4b)。若无镗钻，可用高速钢磨制的角度刀镗削(图7-4c)，刀具在安装时必须进行角度校对，使其符合加工要求。中心孔上的保护锥面也可用同样的方法加工。

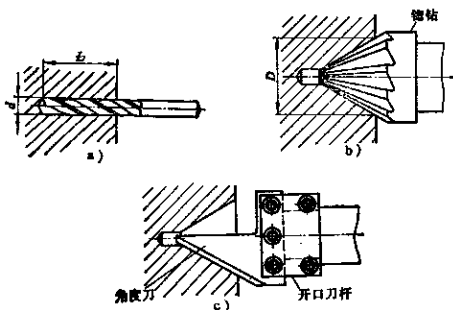


图7-4 大直径中心孔的加工方法

(3) 加工时的切削用量：用中心钻打中心孔时，因其切削部分的直径不相等，所以切削速度也不相等。当中心钻的圆柱部分切削时速度要高，待圆锥部分进入后，要降低切削速度。中心钻进到深度时不要立即退出，让其在原位旋转几秒钟，使中心孔圆整光洁后再退出。锥面的表面粗糙度根据使用性质决定，用于粗加工可为 $R_a 6.3 \sim 3.2 (\nabla 4 \sim 5)$ ，用于精加工不大于 $R_a 1.6 (\nabla 6)$ ，精密加工为 $R_a 0.8 (\nabla 7)$ 以下。

打中心孔时用手动进刀，并注意经常退出排屑，同时要注意充分冷却润滑。

中心钻在使用中很容易折断，主要原因是切削用量不当，首先是进刀快，排屑不好，其次是切削速度低。若中心钻装夹振摆大和工件材料有杂质和气孔等缺陷也会引起折断。

质量分析：

轴类中心孔加工中最重要的一环是要保证两端中心孔的平行和同心，否则将会影响到以后工序加工的质量。

加工中心孔常出现的问题如图7-5所示。图7-5 a 为正确的中心孔；图7-5b是没有圆柱部分的中心孔，使车削时安装困难，容易发热；图7-5c和图7-5d所示为圆锥部分角度不正确，使顶尖与其接触是一条窄边，容易磨损松动，将影响到安装的稳固性，也易引起车削时的跳动；图7-5 e 所示为两端中心孔平行而不同心，会使外圆切削余量不均，安装时费劲；图7-5 f 所示为两端中心孔不平行，使安装时顶尖与中心孔只有两点接触，使中心孔很快磨损，也影响到车削时的平稳性。

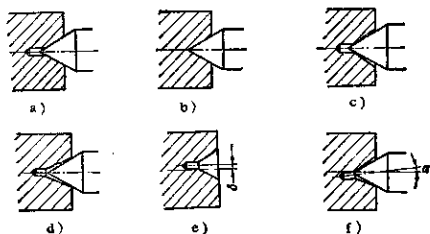


图7-5 中心孔加工中典型误差

作为钻孔定向用的中心孔，只要坐标位置正确，就能使钻头沿着正确位置钻削。

第二节 缺圆孔的加工

非整圆的孔称为缺圆孔。加工缺圆孔的主要困难是测量问题。当加工小于半圆的缺圆孔时，这种困难尤其突出。由于加工缺圆孔是断续切削，进口和出口处不可避免地产生“让刀”，这会影响到孔的圆度误差，使刀具耐用度降低，为此，缺圆孔常采用以下方法加工：

一、直接测量加工

对于大于半圆的缺圆孔可以直接测量加工。如缺 $\frac{1}{4}$ 圆，可用各种精密量具测量；如缺 $\frac{1}{3}$ 圆以上，用精密量具测量不准，可用内孔百分尺和内卡钳测量。

二、多件合镗

对于数量较多的缺圆孔工件，为了便于测量和加工，可多件装夹在一起，使各件的圆弧拼成一近似整圆。如图7-6a所示的拨叉，它的 $\phi 145H8$ 孔小于半圆，可将两件相对装夹在弯板上合镗，这就相当于整圆的加工。这类零件往往通过改变工艺来解决装夹和测量问题，如将两件铸造在一起，待孔加工完之后切开。

又如冲床曲轴上的离合销缺圆孔（图7-6b），它虽然大于半圆，加工时能单独测量加工，但是与其配合的传动套孔内的缺圆孔却小于半圆，单独加工很困难。再者这两件缺圆孔的钻削工作若单独进行更是困难，因此，可将两相关件装在一起加工，不仅有利于钻孔和镗孔，而且可保证质量，大大提高工效。

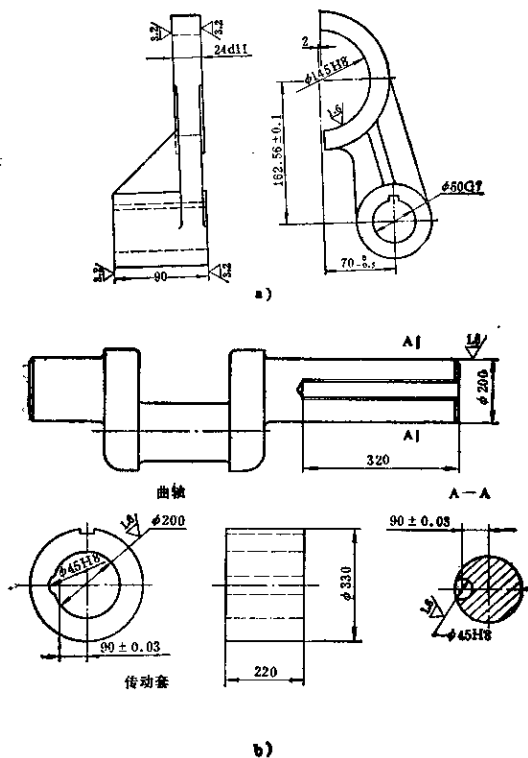


图7-6 两件缺圆孔合键的示例

三、利用辅助块量加工

这种方法一般只适用于单件生产，如图7-7 a 所示的拨叉，当修理或单件加工 $\phi 145H8$ 孔时，可在它的相对位置上装夹一件辅助块，如图 7-7 a 所示，这样大大方便测量和加工。辅助块的材料应与工件基本相同。

图7-7b所示为车床尾座上的两孔相交成两个缺圆孔，测量并不是突出的矛盾，问题是精加工时不能使用铰刀，因为铰刀遇到缺口会“让刀”，使孔产生圆柱度误差，严重的会使刀齿卡住，不仅毁坏铰刀，而且将孔啃坏。由于 $\phi 70$ 孔是一级精度的孔，同时比较长，用单刃刀加工很难达到尺寸精度和表面粗糙度要求，因此必须用铰刀精加工，为解决这一矛盾，通常将该孔补圆镗削。

首先可加工 $\phi 25H8$ 孔，因为此时 $\phi 70$ 孔未加工有切削余

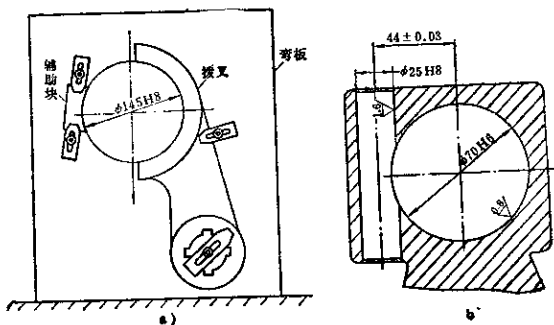


图7-7 利用辅助块加工实例

a) 加工小于半圆的孔 b) 加工两孔相交成缺圆的孔

量，两孔相交所缺部分不多，加上孔短，故加工比较方便。然后可在此孔中加入一个堵，使 $\phi 70$ 孔构成整圆，为使用铰刀创造了条件。

四、利用测量工具加工

图7-8 a 所示的工件上要加工 $R150^{+0.1}$ 毫米的圆弧，加工前先定好主轴上母线至工作台的高度 H ，并计算出加工后圆弧下母线至工作台的高度 h ($h = H - D/2 - R$)，通过高度尺不断测量来控制 $R150^{+0.1}$ 毫米尺寸。

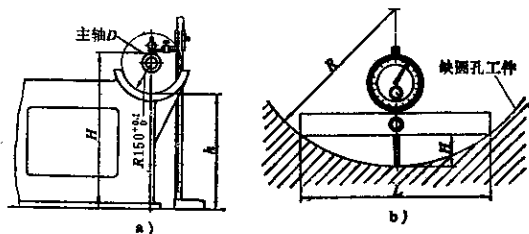


图7-8 用测量法控制 $R150^{+0.1}$ 尺寸

$$h = H - \frac{D}{2} - R$$

机体件上一些需要通过轴、齿轮的部位，为了用作避让往往要加工成圆弧，而这些圆弧一般都是在定好主轴中心后利用同一基准来测量控制圆弧半径的。

对于一些精密的尺寸较大的圆弧可利用图7-8b所示的测量弦高的方法加工。先将定位块中间的百分表在高度为 H 的量块上对零位，然后放到工件上进行比较测量，如图所示。

H 数值可用下式计算：

$$H = R - 0.5\sqrt{4R^2 - L^2}$$

式中 R ——缺圆孔半径(毫米);

L ——定位块长度(毫米)。

缺圆孔由于是断续切削,会产生“让刀”,故在加工中要选择直径粗、刚性好的刀杆,采用尖刃刀切削,增加走刀次数并减少吃刀深度。为提高刀具的耐用度和避免打刀,刀具的主偏角应在 $45^\circ \sim 75^\circ$ 之间选取。

第三节 圆锥孔的加工

在一般机械结构上采用圆锥作为配合表面的地方很多。因为圆锥面配合密切,并能完全消除配合间隙,能准确地保持定心作用,拆装方便,因此,圆锥孔得到广泛采用。

箱体等机件上的圆锥孔须在镗床上加工,但镗床本身结构和工艺性能没有为加工圆锥孔创造条件,所以小尺寸的圆锥孔可用铰刀加工,大尺寸的则要用特殊附件镗削。

下面分别介绍圆锥孔的加工和工具:

一、用铰刀加工圆锥孔

对于直径较小的圆锥孔,基本上都是用铰刀加工,例如定位销孔、牛头刨床刀架舌块与刀箱的圆锥孔、汽车桥壳上拉杆的定位圆锥孔等都是用铰刀加工的。

除锥度小、余量少的圆锥孔用铰刀一次铰出外,一般都要先钻成阶梯孔或用锥孔钻头加工出锥形,再使用铰刀铰。钻阶梯孔时,必须根据锥孔的锥度和钻头直径计算出应钻孔深度,如此逐渐加大钻头。钻出的阶梯越多,铰孔就越轻松。钻阶梯孔时决不能超深,否则孔有铰不出的危险。

锥孔钻头和麻花钻头基本相似,它的头部有一段为圆柱形的,其余工作部分为圆锥形的,其刃带上有很多用来断屑

的横槽，彼此相错，使切削轻快。锥孔钻主要用于粗加工，也可用来作要求不高的圆锥孔精加工。铰孔时，进给不宜机动，因为铰刀同时参加工作的刀齿多而长，切削力比较大，用手摇进刀便于控制。

当遇到一些非标准的圆锥孔加工而没有锥形铰刀时，可用旧铣刀磨制，也可用高速钢制作成如图7-9所示的成型刀加工。

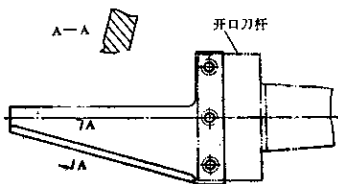


图7-9 镗削锥孔用的成型刀

二、用专用工具加工圆锥孔

加工圆锥孔用的专用工具根据加工方式分有悬伸镗削的，有用在镗模上的，还有装在镗杆上使用的。镗削锥度有固定的和可调节的两种。

1. 悬伸镗削圆锥孔工具

图7-10所示为可调节悬伸镗削圆锥孔工具，安装在平旋盘滑板上使用。它包括支架2，其上的轴3上装有本体4，并用螺栓9将本体固定在支架2上。在本体的孔内用键固定着刀杆6，刀杆外端装有刀头，另一端的内螺纹通过丝杠5与齿轮1和7、拨轮8相联。拨轮每转一周即与拨杆10相摘转动一个角度，使刀杆形成进给运动。根据支架平面A上的刻度和本体上的刻线来调准所需要的镗孔锥度。锥孔直径的大小依靠平旋盘滑板径向调整控制。

这种工具可以镗出直径尺寸范围较大的各种锥度的圆锥孔，通用性好。所镗圆锥孔的长度与丝杠及刀杆的刚度有

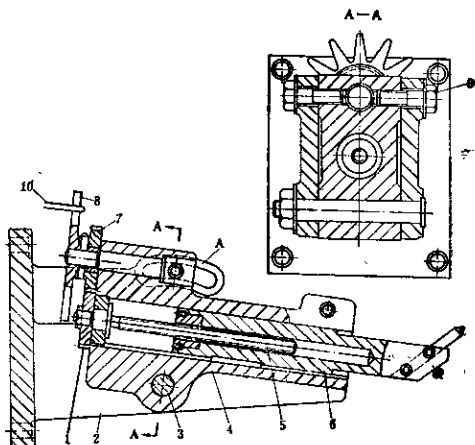


图7-10 悬伸镗削圆锥孔工具

- 1—齿轮 2—支架 3—轴 4—本体 5—丝杠 6—刀杆
7—齿轮 8—拨轮 9—螺钉 10—拨杆

关。除此之外，还有的镗锥孔工具的进给运动是依靠主轴进给来实现的。镗削正锥或反锥可改变装刀方向来得到。

还可利用万能镗刀架（图8-3）的自动径向进给和主轴进给的合成进给加工圆锥孔。

2. 镗模上圆锥孔镗削工具

图7-11所示为镗模上锥孔镗削工具，由于是两点支承，所以切削条件好。图7-11 a所示主要是依靠在刀夹6上的滚轮12沿着刀杆3内的斜槽移动来实现锥孔的镗削，斜槽的斜度是根据锥孔要求的角度制造的。空心套2的旋转运动和轴

向进给运动使刀夹 6 带动刀杆 3 旋转，并沿斜槽作合成进给运动。刀夹 6 靠弹簧复位。

刀杆上斜槽的长度决定了锥孔的长度，而这个斜槽的长度又受到斜度与刀杆直径的限制，因此，这种结构只能加工短锥孔。为了保证加工精度，刀杆上的斜槽与滚子及空心套与刀杆等各部配合间隙都要小。

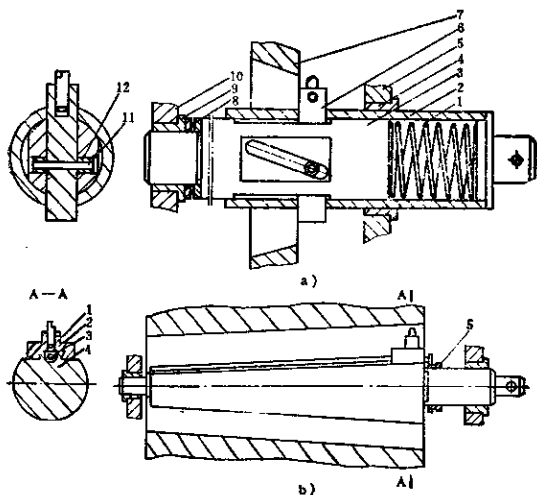


图7-11 镗模上锥孔镗削工具

a) 用于镗削短锥孔 b) 用于镗削长锥孔

- | | | | | | | |
|------|-------|------|-------|------|--------|------|
| 1—弹簧 | 2—空心套 | 3—刀杆 | 4—套 | 1—刀具 | 2—刀夹 | 3—丝杠 |
| 5—模板 | 6—刀夹 | 7—工件 | 8—轴承 | 4—刀杆 | 5—差动机构 | |
| 9—套 | 10—模板 | 11—销 | 12—滚轮 | | | |

图7-11 b为加工长锥孔用的工具。刀杆4上的燕尾斜面是镗锥孔的基准，刀夹2与刀杆4为滑动配合，其走刀运动是依靠大端处的差动机构5来实现。

以上两种工具其加工的角度是固定的，没有通用性。

3. 装在镗杆上的圆锥孔镗削工具

当用镗杆⑭加工锥孔时，可采用如图7-12所示的工具。它包括用定位销⑬和螺钉⑪装在镗杆上的本体⑨，本体上有

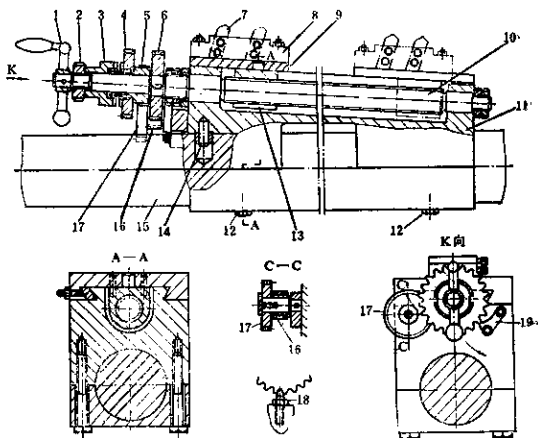


图7-12 装在镗杆上的圆锥孔镗削工具

- 1—手柄 2—螺帽 3—离合器 4—蜗轮 5—齿轮 6—齿轮
7—刀夹 8—滑块 9—本体 10—丝杠 11—本体 12—螺钉
13—螺母 14—定位销 15—镗杆 16—齿轮 17—齿轮
18—拨杆 19—杠杆

一条燕尾形导轨（参见A-A），导轨与镗杆中心线构成的角度等于所镗锥孔的斜度。在导轨上装着滑块8和可换刀夹7（件7表示刀具），利用丝杠10通过螺母②使滑块和刀夹获得进给运动。用手摇动手柄1可使刀夹沿着本体导轨进刀，也可以自动进刀，星轮4可作两种自动进刀：精镗时从星轮经过两对齿轮副5和17、6和16产生小进给量进刀（离合器3与星轮不接合）。粗镗时照箭头方向旋转杠杆19，齿轮6和16即同齿轮5和17脱开，再拧紧螺帽2使离合器和星轮结合，装在机床某一位置上的拨杆18在镗杆每转一转时，使星轮获得周期性的旋转运动。

使用这种工具加工可以保证锥孔的精度高，也能保证和其他同心孔的同轴度要求。调换刀夹8可加工直径不同的锥孔。

三、圆锥孔的检验

圆锥孔一般都是用塞规来检验与其表面接触面积的大小来判定。如果是用标准塞规检验，其上大端刻有两条刻线或有一个缺口，被检验锥孔端面正好处于两条刻线之间或缺口中间，就说明锥孔直径尺寸合格。至于锥角是否合格这要用涂色法检验，即在塞规的表面上涂一层薄薄红丹粉，其厚度约为15微米，然后用它研合锥孔。若要均匀地在塞规上涂一层红丹粉一般是不容易的，而且它有一定厚度，故检验误差在 $24''$ 左右。为了更准确地检验，可在塞规表面沿轴线方向用铅笔划三条或四条直线，以代替颜色，研合后观察铅笔线条是否被均匀磨去。研合时只能靠手腕动作，来回旋动几下，一般不超过 90° 范围，接触面积应在75%左右，接触点应分布在两端或在大端和中间比较理想。

一些非标准的锥孔可用专用塞规或者配件来检验。要求

高的锥孔所使用的专用塞规应在正弦规上检查。

第四节 内球面的加工

在镗床上加工内球面同加工圆锥孔一样，只有采用专用工具。工件上的内球面指的是截球面，而不是整球面。

一、悬伸镗削内球面

图7-13所示是装和平旋盘上的加工内球面工具，用于加工较大的直径。其本体6上用截开的圆环9和螺钉10夹持着转体11，转体11可自由地绕轴套12转动。轴套用垫圈7和螺帽8阻止其脱落。刀架2用螺钉联接在转体上，和转体一起转动。

刀架2上有两条分叉的杠杆，一条用以装夹刀具，其伸缩尺寸由螺钉3调节。另一条杠杆通过滑块5连在拨叉4上。滑块4嵌入拨叉的槽内，螺钉13和螺母座14将拨叉连接在平旋盘的滑板15上。

工作时，在刀架上装上刀具1，用调节螺钉3调整到被加工内球面的直径。平旋盘旋转时，整个工具一起旋转，因此，刀头的切削刃就形成了一个圆周轨迹，为了使刀尖沿着球面运动，必须使它在旋转运动之外，还应使它绕轴套中心转动，这个转动就由装和平旋盘滑板上的拨叉及滑块带动刀架按一定速率推动刀尖作球面轨迹切削，因而就形成了内球面。

二、支承镗削内球面

图7-14 a所示是装在镗杆上加工内球面的工具。镗杆上开了一条安装带有刀架的扇形蜗轮的槽，并在镗杆的一侧装一根与蜗轮啮合的蜗杆轴，轴的一端装有星形拨轮。

工作时，镗杆旋转带动刀架作圆周切削运动，星形拨轮

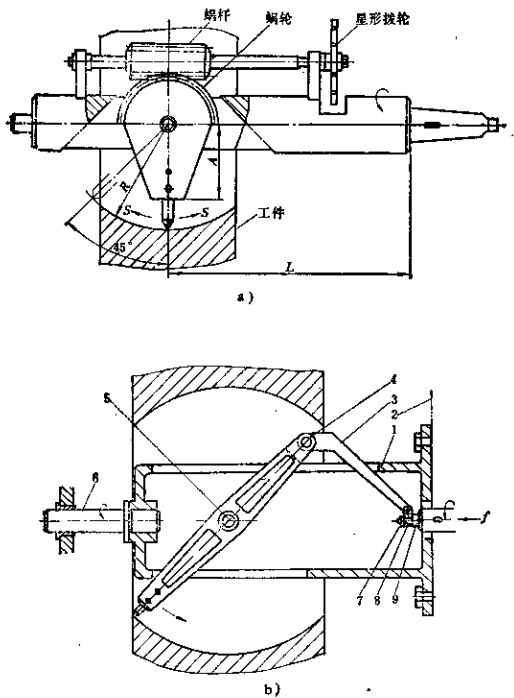


图7-14 装在镗杆上的内球面加工工具

a) 工具装在镗杆上 b) 工具装在平旋盘上

刀杆 4 用销轴 5 与本体连接，并可绕销轴转动。刀杆一端装有刀头，另一端的槽内装有杠杆 3，杠杆的另一端与插入主轴中的轴 9 的接头 8 连接，并用螺帽 7 防止脱落。

工作时，本体由平旋盘带动旋转，刀具作圆周切削运动，进给运动由主轴轴向进给带动杠杆 3、刀杆 4 来实现。

该工具结构简单，制作方便，只要各部分配合间隙适当，就能保证加工精度。

第五节 螺纹的加工

大型零件的内外螺纹往往在镗床上加工。绝大多数镗床都具有加工螺纹的性能，以适应在万能加工中遇到的螺纹加工。

螺纹由牙型、外径、中径、内径、螺距、精度等级等要素组成。螺纹的种类很多，其中以普通螺纹用得最多。图 7-15 为螺纹轴向剖面牙型图。标准螺纹各要素可用字母、数字

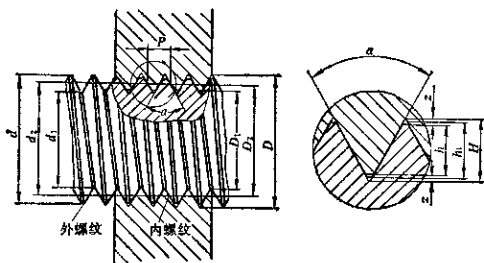


图 7-15 螺纹轴向剖面牙型图

d, d_2, d_1 —外螺纹的外径(大径)、中径、内径(小径) d', d_2', d_1' —内螺纹的外径(大径)、中径、内径(小径) t —螺距 α —牙型角
 Z —间隙 H, h, h_1 —螺纹的理论高度、工作高度、牙型高度

等按规定顺序排列作为螺纹标记:

牙型、外径×螺距(牙数或导程/头数)、精度等级、旋向。

表7-1为标准螺纹标记示例。

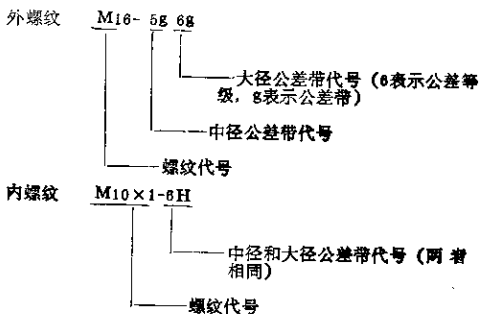
表7-1 标准螺纹标记示例

螺纹类别		牙型代号	螺纹代号	说 明
普通螺纹	粗 牙	M	M12-2	粗牙普通螺纹、大径12毫米, 二级精度, 右旋
	细 牙	M	M14×1.5-2	细牙普通螺纹、大径14毫米, 螺距1.5毫米, 二级精度, 右旋
英制螺纹			3/16"	英制螺纹 ($\alpha=55^\circ$, 大径3/16"英寸, 右旋)
管 螺 纹	圆 柱 形	G	G 3/4"	圆柱管螺纹, 管子孔径3/4英寸, 右旋
	55°圆锥	KG	KG2"	55°圆锥管螺纹, 管子孔径2英寸, 右旋
	60°圆锥	K	K 3/4"	60°圆锥管螺纹, 管子孔径3/4英寸, 右旋
梯形螺纹		T	T30×10/2-2左	梯形螺纹, 外径30毫米, 导程10毫米, 头数2, 精度2级, 左旋
锯齿形螺纹		S	S160×8-2左	锯齿形螺纹, 外径160毫米, 螺距8毫米, 精度2级, 左旋

注: 普通粗牙不标注螺距, 3级精度允许不标出。

从1983年开始, 普通螺纹已实施了新国标 (GB 192~197-81和GB 2515~2516-81)。新国标对旧国标 (GB192~197-63) 普通螺纹的名称和代号作了一些变动: 外螺纹的大径、中径、小径仍用 d 、 d_2 、 d_1 表示, 但内螺纹的大径 d' 、中径 d_2 、小径 d_1' 改用 D 、 D_2 、 D_1 表示。螺距代号 t 用 P 表示。新标准中规定的螺纹标记一般由螺纹代号、螺纹公差

带组成，必要时还要标出旋入长度。今举两例说明如下：



一、卧式镗床切削螺纹的机构

目前国内外的卧式镗床虽然绝大多数都具有切削螺纹的功能,但在实际工作中,除了机修、试制和工具车间以外,一般都很少有机会用到它。而一旦需要切削螺纹,别的机床又不能代替时,就不得不用镗床加工了,所以,镗床设置有切削螺纹的机构。

卧式镗床切削螺纹的原理和车床一样,即当主轴旋转一周时,进给部件沿轴向相对移动一个螺距的距离。使进给部件的进给量符合螺距有两种方法:一种是挂轮法,另一种是机床的进给量设计成符合常用的螺距。

挂轮法:

在镗床上切削螺纹时,当进给量不符螺距的进给量的情况下,一般进行挂轮,使进给传动链经过挂轮机构后的进给量符合螺距要求。挂轮机构多设在主轴箱后尾筒的末端,也有的设置在主轴箱前端平旋盘上方或主轴箱的前侧。挂轮法

能满足各种公英制的标准螺距螺纹的加工，但结构上增加了一套挂轮机构，其中交换齿轮等附件一般制造厂只作特殊订货才提供。T68机床就是采用挂轮法切削螺纹的。

利用符合螺距的进给量切削螺纹：切削螺纹时无须挂轮，可直接选用符合螺距的进给量。当然，无论什么型号的镗床，其进给量都不可能完全满足标准螺距的需要。如南京机床厂出产的T6110机床的进给量基本上符合标准螺距的要求，高速组18级进给量中，仅缺少四种标准螺距的进给量。

切削螺纹的进给部件：切削螺纹的进给部件可分主轴、工作台进给和主轴、工作台均可进给三种。进给运动为分进给形式的，为了切削螺纹而需增加传动链，使结构复杂了。用工作台进给可切削高精度螺纹，但须专门配备一根高精度丝杠。

T68机床是用主轴进给切削螺纹的。

二、切削内螺纹时的刀具角度

切削内螺纹的刀具正面形状和螺纹轴向截面形状相似。当刀具沿着圆柱体表面作螺旋运动时，其前角和后角发生了变化，这种变化随螺距的增大而增大。

1. 前角的变化

由于螺旋运动的关系，前角在静止时若为零度，在切螺纹时（右旋），左侧前角变大（图7-16a），实际上等于 $0^\circ +$ 螺旋升角 ψ 。右侧前角减小，等于 $0^\circ -$ 螺旋升角 ψ 。这时两侧刀刃上的前角差距很大，左侧刀刃的楔角较小，切削锋利，但刃口强度降低。右侧前角实际上为负值，刃口在工件上刮削，切削困难。这种状态不仅影响螺纹两侧的表面粗糙度，更重要的是假如刀杆强度不好，刀刃势必向左侧扎去，可能产生崩刃，改变螺纹截面形状，作用在两侧刀刃上的切

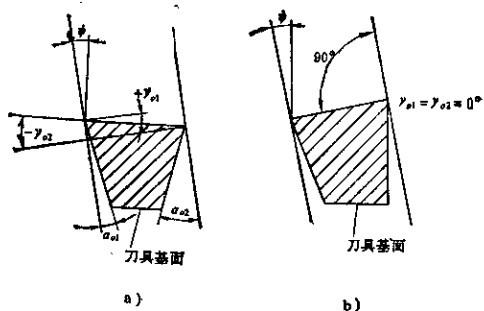


图7-16 切削螺纹时刀具前角与后角的变化

a) 工作时前角不等 b) 工作时前角相等

削力也不相等，磨损情况也不一致，因此，降低了刀具的使用寿命。

为了平衡两侧刀刃的负荷，改善切削条件，根据螺旋升角 ψ 的大小，将刀具两侧工作时的前角磨成相等(图7-16b)，即 $\gamma_1 = \gamma_2 = 0^\circ$ ，不过这样会影响到牙型角和螺纹精度，在粗加工时可以这样使用，精加工时仍须采用图7-16a所示的角度。

2. 后角的变化

同样道理，如图7-16a所示，左侧前角增大，后角必然减小；右侧前角减小，后角也必然增大。后角大了，易引起切削时的振动，反之，则后刀面会与螺纹表面产生摩擦，因此，在刃磨时应把两侧后角增加和减小一个螺旋升角 ψ 值。

3. 径向前角与受力情况

有径向正前角的刀具切削轻快，一般在 $8^\circ \sim 15^\circ$ 之间选

取。图7-17 a所示的正前角的径向分力 P_r 是向着工件的，促进刀具拉向工件，有利于刚性差的刀杆，同时减少了切削阻力，容易进刀，切屑对刀具前刀面的摩擦面产生的切削热也显著降低，使排屑顺利，适用于加工机械强度较低的材料。

图7-17 b所示为负的径向前角的刀具，其径向切削分力 P_r 是背向工件的，促使刀具后退（离开工件），切削阻力大，切削热显著增加，但是能减少切削过程中的振动，有利于提高螺纹表面的粗糙度，延长刀具使用寿命。它适用于间断切屑，如螺孔中有键槽、气孔等凹陷时，也特别适用于高硬度（HRC45~50）的材料。但负的径向前角使刀具后退，会影响到牙型角的正确性，也影响到径向进刀工具的使用寿命。

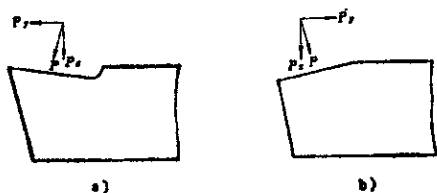


图7-17 径向前角受力情况比较

a) 正径向前角 b) 负径向前角

三、内螺纹的加工方法与步骤

1. 加工内螺纹用的刀具

根据内螺纹的结构可选用不同的刀具加工，图7-18所示为常用内螺纹镗刀，它们安装在镗头或万能镗刀架上使用。图7-18 a、b所示为整体式螺纹镗刀，主要用于直径较小和不通孔螺纹的加工；图7-18 c、d所示为装夹式螺纹镗刀，刀头装夹、刃磨和调整方便，可镗直径较大的螺纹。

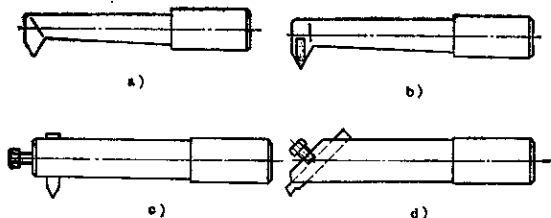


图7-18 内螺纹铰刀

- a) 高速钢刀 b) 硬质合金刀 c) 直接式螺纹铰刀
d) 斜装式螺纹铰刀

2. 内螺纹内径的简便计算方法

加工内螺纹首先要加工内径，而内径在图纸上并不标注出来，因此必须要事先进行计算或查表。

普通螺纹内径简便计算方法如下：

$$\text{内径} = d - 1.0826P \quad (\text{毫米})$$

式中 d —— 螺纹公称直径(毫米)；

P —— 螺距(毫米)。

为了计算方便并考虑到内螺纹内径可略大一些，内径又可用 $d - 1.05P$ 来计算。

英制螺纹内径可用下面简单公式计算：

$$\text{内径} = 25 \left(d - \frac{1}{n} \right) \quad (\text{毫米})$$

式中 d —— 螺纹公称直径(吋)；

n —— 每英寸牙数。

管螺纹的公称直径指的是管子内孔直径，其外径等于管

子孔径加上两个管壁厚，这一点不能产生错觉。管螺纹的内径可从有关手册中查出。

3. 对刀方法

螺纹镗刀在安装好之后，必须用样板进行校正，这叫对刀。对刀的目的是为了保证牙型角的正确性。如不对刀进行盲目加工，则牙型角可能歪斜。等螺纹塞规检验拧入螺纹孔后，实际上尺寸已经大了，这不仅使螺纹接触面积小，还将影响到使用寿命。因此对刀是螺纹加工中重要的一环。

利用孔为基准对刀：

当螺纹孔端面为毛坯时，可利用已镗螺纹底孔进行对刀，如图7-19所示，将角度样板靠在孔的下母线上，并平行于轴线移动，使样板上的角度与刀刃相吻合。若两者不相吻合，则要重新刃磨刀具或调整装夹。

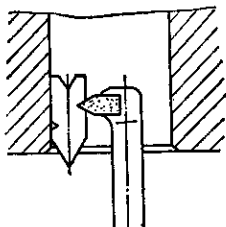


图7-19 镗内螺纹时的对刀法

利用孔端面为基准对刀：

当孔径较小时，可将角度样板靠在已加工过的孔端面上，移动刀具与样板吻合。

对刀时要注意刀尖与安装基面的相对位置，否则会严重影响切削效果。图7-20 a 所示刀尖高于中心，它的径向后角增大，径向前角减小，切入工件困难，易产生振动，使螺纹表面有波纹。图7-20 b 所示为刀尖低于中心，径向后角减小，径向前角增大，后刀面会与工件相碰，切入工件也较困难。图7-20 c 为刀尖通过中心。这些位置正确与否都与安装定位面有关，所以刀具在刃磨时要以该面为基准检查，不能顾此

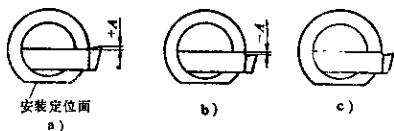


图7-20 刀尖与安装定位面的位置关系

a) 高于中心 b) 低于中心 c) 通过中心

失彼。

4. 加工步骤

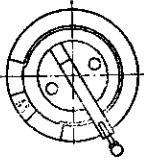
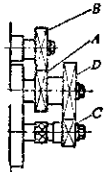
首先要看清图纸上对螺纹的具体要求，并根据工件材料、螺孔结构等准备工具和刀具，调整机床。

可按一般镗孔方法将螺纹底孔加工到预定尺寸，然后在孔端进行倒角，使刀具切入工件时平缓。如果螺孔是台阶孔或盲孔，须在螺纹终止位置挖退刀槽，以便退刀时方便轻快，保护刀具。

使用主轴进给切削螺纹时，为便于观察和测量，工件与主轴箱端面应保持一定的距离。

现以 T68 机床为例，简单介绍一下切削螺纹时机床的调整：先将工作台前下方的换向手柄放在中间位置；主轴进给量应指向 2.9 毫米/转位置上；快速及进给操纵手柄应在进给位置按下，要注意：此手柄在螺纹切削过程中不能抬起，否则会产生“乱扣”现象。最后根据螺距或牙数/时按照挂轮表 7-2 进行挂轮。挂轮时先将 C 齿轮同轴上的滚花套筒向里推进，使轴 XⅦ 与轴 XⅧ 啮合的齿轮脱开（参看图 1-12），此时传动链便经由 C → D → A → B 齿轮传至轴 V。

表7-2 T68卧式镗床切削螺纹挂轮表

调换齿轮计算公式 公制螺纹用 $P = 4 \frac{AC}{BD}$		
英制螺纹用 $P = 400 \frac{D}{21} \frac{B}{CA}$		

调 换 齿 轮 的 挂 轮 表

公 制 螺 纹					英 制 螺 纹						
P	A	B	C	D	P	A	B	C	D		
螺 距 (毫 米)	1	18	30	20	48	每 英 寸 牙 数	20	18	27	20	42
	1.25	20	48	27	36		19	20	57	40	42
	1.5	20	40	36	48		18	20	27	20	42
	2	18	27	36	48		16	20	24	20	42
	2.5	20	24	36	48		14	20	21	20	42
	3	20	40	36	24		12	30	27	20	42
	3.5	42	36	30	40		11	20	33	40	42
	4	24	18	36	48		10	20	30	40	42
	4.5	27	18	36	48		9	20	27	40	42
	5	40	24	36	48		8	20	24	40	42
	5.5	33	18	36	48		7	20	21	40	42
	6	40	20	36	48		6	30	27	40	42
	7	30	36	42	20		5	24	18	40	42
	8	40	30	42	28		4	30	18	40	42
9	36	24	42	28							
10	40	24	42	28							

挂轮的啮合情况对螺纹加工会产生一定的影响，因此必须注意这一点。调整的方法是变动挂轮在挂轮架上的位置及挂轮架本身的位置，使各齿轮的啮合间隙保持在 $0.1\sim 0.15$ 毫米，使齿轮转动起来既不发出噪声，也不过紧。

至于其他机床切削螺纹时的调整，要视其结构而定，如T612机床，由于进给操纵是由电磁离合器将机械部分传动链接通的，为使在螺纹切削过程中始终保持接通状态而不致“乱扣”，故在挂轮箱里有一开关，拨动切削螺纹的手柄便使开关将电磁离合器接通。

开始切削螺纹时，将刀尖与内孔表面轻轻接触上，开车旋转后在孔表面形成一条螺旋线，此时在径向进刀工具的刻度盘上用粉笔作出明显的记号，作为起始点。然后退回刀具，用钢尺或螺纹卡规检查螺距是否正确。若螺距和旋向都正确，就可以采用较大的吃刀深度切削，铸铁材料开始吃刀深度可为 $0.4\sim 0.5$ 毫米，钢件可为 $0.2\sim 0.3$ 毫米，这也要视刀杆刚性和螺距大小而定。以后每次吃刀深度可依次递减。

切削速度不宜太高，尤其是台阶孔和盲孔，为防止刀具旋转惯性成到头时相撞，因而在快到底时便停车改用点车前进，并在刀杆上作出孔深度标记，使刀具停在空刀槽的位置上。

切削螺纹过程中绝不能开反车迫停，因为这样容易将螺纹挤坏成反螺纹。只有将刀具径向退回到始点以外，方可开反车从孔中退出。当每次退出后应停在离孔端面有一定距离的地方，以便重新切入工件前主轴能空转几个牙的行程，以消除丝杠及齿轮的间隙。

切削螺纹时的进刀方法有两种，一是直接进刀法，另一种是左右进刀法。

(1) 直接进刀法：切削螺纹时，刀具两侧刃都参加切削。直接进刀法能保证螺纹牙型角清晰正确，而且因刀具两侧刃所受的轴向切削分力相等，部分地克服了因切削时轴向分力影响而导致刀具偏歪的现象，可减少牙形误差。但因两侧刃都参加工作，故排屑较困难，刀具所受的总切削力有所增加，故刀具容易磨损。当进刀量过大时，可能会产生“扎刀”现象，将刀具弄坏，或者刀杆产生“让刀”，使径向进刀工具受损加剧。

这种进刀法适用于加工脆性材料和小螺距螺纹以及开始吃刀和最后精加工螺纹时。

(2) 左右进刀法：刀具两侧刃只有一侧切削刃进行切削，每次加深切削时，将工作台向左或向右移动一小段距离，使两侧刀刃轮流参加切削。采用此种方法加工排屑比较顺利，刀尖受力受热情况有所改善，还可适当提高切削用量，并容易切出光洁的螺纹。但它不如前种方法操作简单和使牙形清晰，由于刀刃受单向轴向切削分力的影响，将会增加牙形误差。这种方法适用加工塑性材料和大螺距螺纹以及加深切削时。

可将上述两种方法结合起来使用。粗加工用左右进刀法，可提高生产效率。精加工用直接进刀法，可提高牙型质量。

5. 旋风切削内螺纹

当螺纹直径较大时，切削力也比较大，一刀一刀地进刀缓慢吃力，操作麻烦，生产效率低，径向进刀工具受扭矩也比较大，容易损坏，因此，在工件有一定批量时，可采用旋风切削的方法加工。

所谓旋风切削就是用高速铣削的方法加工螺纹，一般适

用于3~4级精度。

图7-21所示是安装在镗铣床方滑枕上使用的旋风切削内螺纹的工具。工具本体2由六只螺钉安装在方滑枕7的端面上，当切削螺纹时，启动其上的电动机6，从而使刀杆高速转动。根据螺纹直径的大小通过窗口5内的机构来调节偏心轴套4在旋转轴1内的位置，也就是调节刀尖至旋转轴中心的距离。

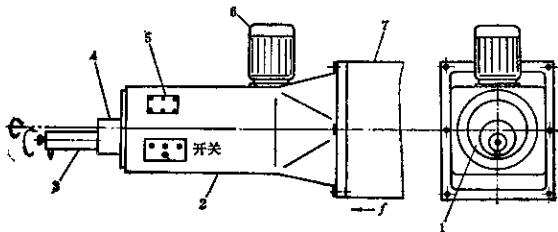


图7-21 旋风切削内螺纹的工具

旋转轴与机床铣轴相连。当铣轴旋转时，带动旋转轴转动，刀杆3除自转外，还随着公转。根据螺纹螺距的大小，方滑枕作直线运动，也就是旋转轴转一周时，滑枕前进一个等于螺距的距离。

刀杆上除了装单刀铣削外还可装上铣刀铣削内螺纹。

6. 切削内螺纹的自动退刀

在加工台阶孔和盲孔螺纹时，前面曾讲过，刀具的准停工作是非常重要的，这对操作者的技术要求比较高，同时精神须高度集中，劳动强度比较大。为此，一些革新者在实践中制作出多种自动退刀工具，解决了这一问题，这不仅提高

了生产效率，而且保证了加工中的安全与质量问题。

图7-22所示是一种结构简便的自动退刀工具，实际上它是经过改革后的镜头。锥柄1装于主轴锥孔中使用。其右端有燕尾板，用来安装槽板5。刻度盘2用销子3和方头螺杆4连为一体，用来控制吃刀深度。槽板右端装有带燕尾的刀杆10，它可在槽板燕尾导轨中滑动。

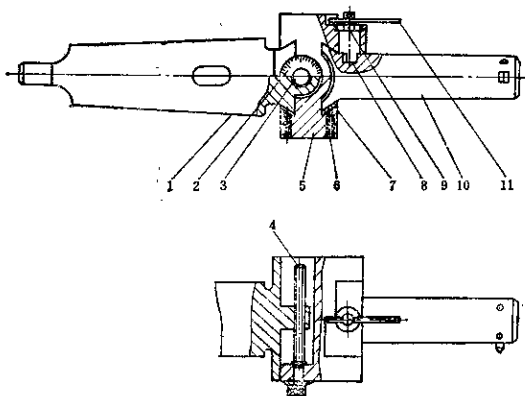


图7-22 自动退刀工具

斜铁7用来压住刀杆10，通过螺钉8压紧。偏心轴8供自动退刀用，螺帽9将其限制在槽板上防止脱落。刀杆右端装有刀头，供切螺纹用。11为退刀棒。

使用时在工作台上装一根圆棒，当螺纹镗到深度时，退刀棒11就和圆棒相碰，退刀棒和镜头一起旋转，从而使偏心轴8旋转一个角度，使刀杆从切削位置迅速退回，即刀头与

螺孔脱离，虽刀杆继续前进也安然无事，但加工不通孔时，要立即开反车退出。

7. 用丝锥切削内螺纹

直径较小的内螺纹、锥管螺纹都是采用丝锥攻削加工，有些直径较大的内螺纹，先挂轮用刀具挑扣至一定深度，然后用丝锥过一下，这样既减轻了攻丝时的劳动强度，又使螺纹尺寸符合标准。

丝锥按使用方式分为机用和手用两种。机用丝锥牙形经过磨削，手用丝锥由滚压制成。丝锥由若干根组成一套来使用，机用丝锥一般一套为一根。

用手攻丝时，可在主轴锥孔中装上顶尖，将尖端顶住丝锥的中心孔，防止攻歪。如果工件材料较硬，切削阻力大，可攻一攻再倒一下，如此反复进退，并加以润滑油，同时要注意排屑工作。

机攻时应使用机用丝锥，将它装在图7-23所示的攻丝工具内使用。当丝锥进入螺孔时，其本体6能沿着锥柄8上的圆柱体前进，其长度由导向螺钉7控制。使用时本体内的弹簧5顶着摩擦杆2与调节块4的锥面接触，并产生摩擦力带

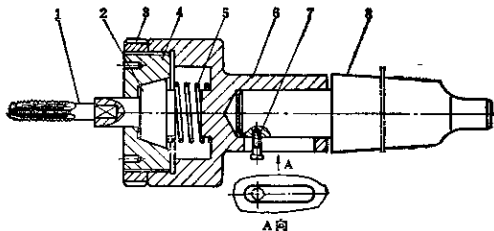


图7-23 机用攻丝工具

动丝锥切削，而当丝锥攻到深度顶死或切削力过大时，摩擦杆即在调节块内打滑转动，丝锥可开反车退出。攻丝时，切削速度的选择为：钢件在2~8米/分内选取，铸铁可在4~12米/分内选取。弹簧5的压力可由螺帽3加以调节。

四、外螺纹的加工

卧铣除了内螺纹加工以外，有时也遇到外螺纹的加工，和车外圆一样，外螺纹周围必须有足够的工具旋转空间。一般因径向刀架较重，采用悬伸加工会影响到螺纹中心的位置。当用主轴进给时，可用图7-24所示的工具加工外螺纹。用工作台进给时，径向刀架可安装在平旋盘上使用。

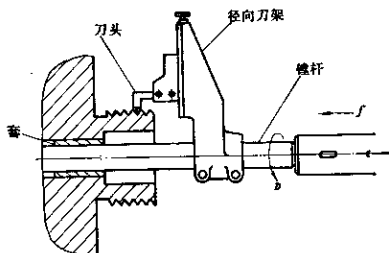


图7-24 外螺纹的加工

五、内螺纹的测量

内螺纹的测量比较麻烦而且粗略，不如外螺纹测量方便和精密。内螺纹常用塞规测量，这是综合测量法，包括直径、螺距、牙型角等一并进行。标准螺纹塞规也有止端和过端，适用于一定批量的加工。在单件生产中一般按螺纹要求车制一个临时塞规，或将配件相配，配合间隙轴向要小，径向稍松是允许的。

在一些重型工厂里，加工直径很大的内螺纹用沉重的配件相配时并非容易，制作专用塞规更是不经济。因此，可用内径百分尺改制成的内螺纹百分尺（图7-25）测量，这样既方便又准确，也可以接长使用。它主要是测量螺纹中径。应根据螺纹螺距的不同调换测头。

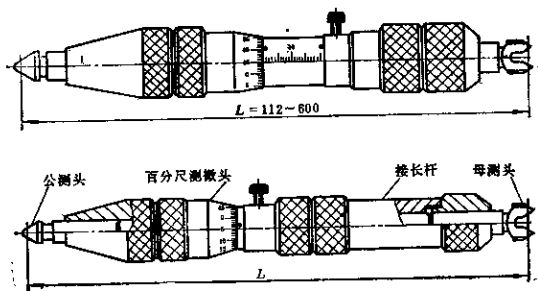


图7-25 内螺纹百分尺

第八章 孔端面、环槽 与外圆的加工

前几章中讨论了各类孔型的加工，但在实际工作中，在孔加工的同时也伴随着对孔端面、环槽与外圆的加工。由于它们有着不同的结构和在机械传动中起着不同的作用，加上加工方法和使用的工具多种多样，所以单独在本章中加以讨论。

第一节 孔端面的加工

孔端面的作用主要有三种：工艺用、定位用和密封用。加工中可根据其作用的不同和所处的位置采用不同的加工方法。

孔端面的加工方法通常有车削、刮削和铣削等。

一、车削孔端面

直径较大和要求较高的孔端面适用车削加工，一般用平旋盘滑板的径向进给车削，车削的质量比较好，如平面度和对孔中心线的垂直度等。操作方便，可不必移动精密确定的孔中心坐标位置，这对于加工平行孔系更有特别的意义，还可在一定的长度范围内车削同心孔系上的所有孔端面，如图8-1所示。但使用平旋盘车削孔端面，也存在缺点：当平旋盘滑板偏心太多时，会由于工具偏重而引起加工中的振动；对于可拆卸式平旋盘安装很费时，特别是重型镗床的可拆卸式平旋盘。

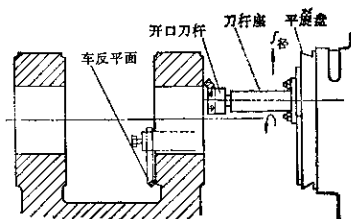


图8-1 使用平旋盘车削孔端面

在车削同心孔系的前孔端面时,尽量使用刀架加工,因为刀架短而刚度好,可提高工效。当车削其他孔端面时,由于受孔径的限制,不得不使用刀杆座和刀杆加工。选择刀杆时,首先要考虑长度,其次是孔端面切削宽度加上刀杆座的直径一定要小于刀杆座穿透该孔的直径,以保证车削端面时刀具在极限位置上刀杆或刀杆座不与孔壁摩擦,否则会破坏已加工孔的表面质量,而且容易使工件移动位置。

在车削孔端面的过程中,往往会发生刺耳的尖叫声,并在已加工表面上留下波纹,这主要是振动引起的,可从以下几个方面去查找振动原因,并采取相应的措施加以克服:

1) 检查平旋盘刀杆座与滑板的连接螺丝数量是否符合设计数量。一般为四只螺丝连接,如图省事仅用对角两只螺丝,就会造成底座与滑板接触面积小,产生间隙而振动。

2) 刀杆粗细、长短不相适应,刀杆与刀杆座结合不密切。若采用通用锥柄刀杆,则一定要用销子锁紧;若采用直柄刀杆,那么柄部配合间隙要小,螺钉要拧紧。

3) 粗加工时切削速度不宜过高,适当加大进给量可降

低振动。精加工余量不宜太少，一般为0.2~0.5毫米，否则余量太少压不住刀，工具旋转起来成漂浮状态，极易引起振动。

4) 在进给方向上，由里向外车时易振动，故一般由外向里车。加工反平面时比正平面振动小。

5) 滑板的锁紧螺钉在进给时不能压得太紧或太松。太紧了使进刀产生爬行，同时也易损坏传动机构；太松了因传动机构的间隙在刀具转到上面和下面时切屑厚度不一，当转到上面时切屑薄，转到下面时切屑厚。有时还产生跳跃式的进给，不仅影响表面粗糙度，而且在粗车时容易打坏刀具。

6) 在安装和调整平旋盘滑板上的刀架或刀杆座位置时，一定要注意平旋盘旋转时的平衡问题。因为进刀时不断偏心，行程越大，不平衡状态越增加，加上刀具重量，所以在每一象限里旋转速度是不相等的，有时可凭视觉观察出来。若刀具正向旋转切削，进给由里向外（图8-2），当从第三象限转向第二象限时，其速度是逐渐减慢的，这是要克服重力的缘故。当从第一象限转向第四象限时，也由于重力促使速度加快，因此在第四象限上产生明显的波纹。要克服这一弊病，就要尽量减少平旋盘滑板的偏重，使刀具切削在最大直径时的偏重较小。

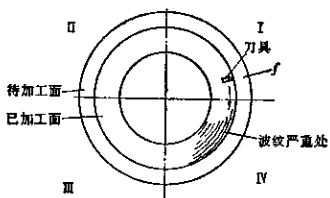


图8-2 平旋盘滑板的偏重而产生波纹

直径较小且要求较高的孔端面可用万能镗刀架车削。

万能镗刀架俗称万能镗头，是一种精密的工具，最早是

用在坐标镗床上，后来铣床及卧式镗床都已普遍使用，它不仅可以用来镗孔，更重要的是由于它能径向自动进给，所以特别适用于车削孔端面和孔内环槽的加工。它在自动进给时遇到限位挡块可自动停止。其规格有大有小，操纵方便。图8-3所示为F214型万能镗刀架的形状和结构。

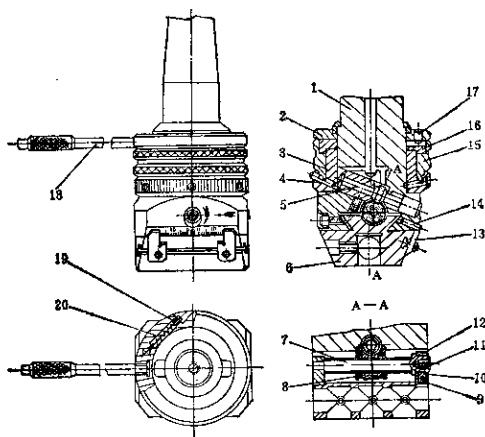


图8-3 F214型万能镗刀架

自动进给传动原理：

当需自动进给时，小的万能镗刀架可用手捏住拨环2外缘滚花处，大规格的可把住手柄18即可实现。

由锥头销17和拨销座9固连在一起的定位挡圈16的V形槽将拨环2与拨环座3连为一体。拨环座装在外环15内。当主体1随机床主轴回转的同时，蜗杆5头部的五星瓣碰到拨

销座上的六个拨销 4 时，蜗杆 5 自转，并带动螺母蜗轮 8 转动，螺母蜗轮的内螺纹带动丝杠 7 及刀架滑块 6 沿燕尾导轨移动，从而实现自动进给。

行程挡块 13 随刀架滑块一起移动，当行程挡块与装在主体上的定位销 10 相碰时，定位挡圈 16 上的 V 形槽与锥头销 17 之间的作用力增大，致使锥头销 17 顶出，使拨环 2 与拨销座 3 的连接脱开，拨销座 3 与主体一起回转，进给停止。锥头销 17 拔出时，力的大小可通过调整拨环 2 上的螺钉 19 用改变弹簧 20 压力来实现。

拨销座 3 上共有六个拨销 4，因而自动进给为间歇进给。拨销 4 可用手按入和靠凸轮退出，按入时起进给作用，退出时与螺杆 5 头部五星瓣不碰，不起进给作用，因而主转每转的自动进给量可通过按入拨销 4 的数量来改变。按入一个拨销主轴每转自动进给量 0.03 毫米，按入两个拨销进给量为 0.06 毫米……。为使间歇进给对称，按入的拨销应为均布的一个、二个、三个和六个，即主轴每转的自动进给量为 0.03、0.06、0.09 和 0.18 毫米。

手动进给分微动进给和快速进给两种，以下分别介绍。

微动进给：

用六角头扳手插入蜗杆 5 头部内六方孔中，转动蜗杆，带动螺母蜗轮 8 转动，使丝杠 7 和刀架滑块 6 移动，实现手动进给，蜗杆头刻度盘为圆周 30 格，蜗杆为单头，蜗轮齿数 20，丝杠螺距 3 毫米，因此蜗杆每转一格，进给量为 0.005 毫米，直径上为 0.01 毫米。

快速进给：

用扳手插入丝杠 7 头部内六方孔中，扳手插入时的径向分力通过钢球 15，定位销套 10、压缩弹簧 9，使定位销套 10

的顶面退出前支承座12与丝杆头配合的孔外，扳手即可转动丝杆直接带动滑块6移动，实现手动快速进给。丝杆每转进给3毫米，扳手抽出后，弹簧9将定位销套10压入丝杆头的锁紧槽内，使丝杆7与前支承座12连结在一起，防止丝杆转动，起锁紧作用。

利用长镗杆镗孔时，也可以利用装置其上的工具车削孔端面。图8-4所示为两半合装起来的大孔端面车削工具，加工范围在 $\phi 500 \sim \phi 1500$ 毫米之间。其上装有两个刀架4，每个刀架都装在燕尾形导轨3上。该导轨也是保证孔端面平直度的基准。刀架借丝杠2的作用沿其上滑动。丝杠端部装有星形拨轮5。当刀架4被镗杆1带动旋转一周时，固定在某一位置（工作台面）上的拨杆6拨动星形拨轮上的一个齿，并使丝杠回转带动刀架作间歇进给。

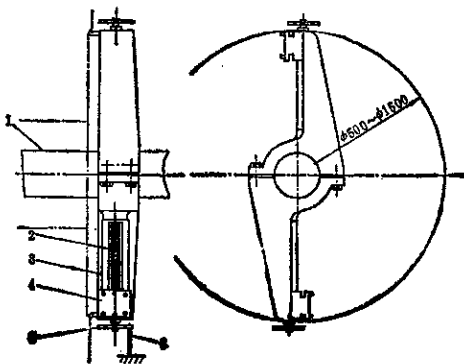


图8-4 装在镗杆上的大孔端面车削工具

图 8-5 所示也是装在镗杆上的孔端面车削工具，与前一种工具的主要区别是采用差动进给。它适用于加工直径为 1000~2000 毫米的孔端面。

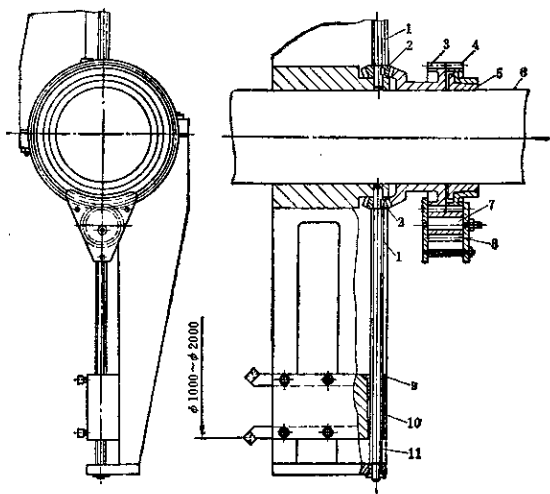


图8-5 装在镗杆上的差动车削孔端面工具

主体11也是由两件合装在镗杆上，差动部分是单独的，其锥套5将齿轮4固定在镗杆6的任意位置上。当镗杆带动齿轮4旋转时，经齿轮8传至齿轮3，齿轮3和齿轮4相差1~2个齿，故形成差动作用。齿轮3另一端的伞齿轮将带动伞齿轮2和丝杠1，由螺母9带动刀架10作径向进给。齿轮8装在偏心量大于它的齿全高的偏心轴上，转动偏心轴

7 时, 可脱开齿轮 8 与齿轮 3 和 4 的啮合而停止径向进给运动。

二、刮削孔端面

刮削孔端面是最常用的方法, 主要适用于直径不大的孔端面的加工。刮削方法省去了如车削、铣削时安装辅具的大量辅助时间, 且操作简便、生产效率高, 可在孔加工前后进行, 不用移动主轴中心位置。但一般质量较差, 尤其是孔端面的平面度和孔中心线的垂直度不如用车削和铣削加工的质量好, 特别是当刀杆细刮削面宽时更难达到上述要求。

刮削孔端面时, 用双刃刀加工比较平稳且效率高, 但一般没有这个条件, 只有在一定批量的生产中可能配备有这种刀具, 但多数工厂里均用单刃刀加工。

在孔端面进行粗加工 (图 8-6) 时, 一般都是采用硬质

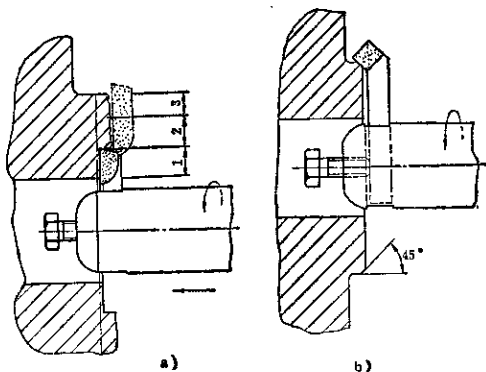


图8-6 孔端面的粗加工

a) 分段切削 b) 倒角

合金偏刀分段切除余量，将表面的硬皮、型砂之类清除掉。如果孔端面是凸起的，最大外圆处仍有黑皮，当用高速钢刀精刮时刃口一接触到此处立即磨损变钝，影响刀具的继续使用，对于锋利而平直的长刃口精刮刀的重新刃磨很困难，因此，在精加工之前，先用主偏角 45° 的硬质合金刀副刀刃将凸台外缘倒以 45° 角，这样不仅保护了精刮刀，而且除去了尖棱，使工件美观。

精加工时，最好采用双刃刀具刮削，但多数采用单刃刀。在加工之前，须检查一下刀具装夹在刀杆中的位置是否正确，主要是刃口对刀杆中心线的垂直度，可用直角尺紧贴在孔的表面上检查所装刀具的切削刃是否与尺面贴合。

由于切削刃长，切削扭矩大，所以在精刮孔端面时切削速度一定要低，有的机床最低转速还偏高，可用点车的办法来解决。为了防止积屑瘤和提高表面光洁度，要及时进行冷却润滑。

单刃刀刮削容易产生凹心及波纹，主要原因是刀杆刚性差、切削面长、刀方尺寸小和刀具后角大等所致。在选用刀杆时，应尽量选短而粗、且刚性好的刀杆。对于那些因孔小限制了刀杆直径的孔端面加工，可将孔预先加工到与刀杆滑配的尺寸，利用该孔支承刮削，然后再将孔加工至图纸尺寸，也可在已加工好的孔中装入支承套支承刀杆刮削（图8-7a）。如孔端面由于外壳遮挡，不便装刀，则可采用铰平面的刀具加工（图8-7b）。

当孔端面过宽时，可以分段刮削，但接刀处要注意平滑。

精刮刀的刀方尺寸应选大的，使其刚性好。尽管如此，由于切削刃长，刀具离中心越远的部分不可避免地发生“弹让”，切下的切屑就没有靠近中心部分的多。要克服这一毛

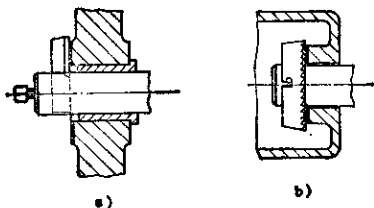


图8-7 小孔端面刮削的几种方法

病一般采用矫枉过正的办法装刀，即在对刀时在刀杆方孔中垫以铜皮等，有意让刀具刃口往加工面一侧倾斜，以便在加工中抵消“弹让”。

精刮刀的后角尽可能小，一般在 $4^{\circ}\sim 8^{\circ}$ 之间选取。

三、铣削孔端面

当孔端面外露工件表面、平行孔系各孔端面在一个平面上以及孔端面不呈圆形状态时，一般采用铣削方法加工较为方便，铣削孔端面不仅质量好，而且效率高。

当孔端面面积不大时，可用端铣刀具加工。若各孔端面在同一平面上且面积较大时，可用平旋盘上装刀架铣削。为保证车床主轴箱孔端面与中心线的垂直，往往在镗孔之后再已加工面轻轻铣削一刀（可用工作台横向进给或平旋盘滑板刀架旋转铣削）。

当同心孔系上孔径较小、长度较长，无法用刮削方法加工孔端面时，可用图8-8所示的在刀杆上装刀铣削。刀杆必须装夹牢固，并用销子锁紧，进给运动可利用主轴箱上下。采用这种方法，工件在一次装夹中可将四个孔端面加工出来。

孔端面的检验,

要求精密的孔端面可用刀口尺放在其上透光检验,也可用厚薄规测量间隙大小。要求不高的孔端面,可用钢尺窄边紧靠端面检验,只要平直,一般垂直度也就对了。

孔端面与孔相交处的有关加工:

孔端面与孔圆柱面相交处一般都不是尖棱尖角的,而是根据作用的不同

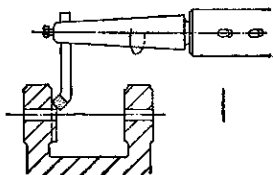


图8-8 用刀杆装刀铣削小孔端面

加工成不同的形状进行过渡,如倒角、圆弧和空刀槽等。

1. 倒角:倒角的作用主要是导向,使装配方便,同时也防止尖棱伤人。倒角多为 45° 角,也有 15° 、 30° 和 60° 等指定角度,例如油缸孔口常倒以 15° 或 30° ,便于活塞顺利装入。

加工倒角时,应按图样标注尺寸进行倒角。对于图样上未明确标注倒角的地方,多数工厂中都规定要倒 $0.5 \times 45^\circ$ 角。图样上明确指出不允许倒角的地方,千万不能倒角!如液压阀体内某些部位是严禁倒角的,否则会影响到产品预定动作的准确性或效率。

倒角一般采用主偏角 45° 刀加工,硬质合金刀不易磨得锋利,故倒出的角质量差,多采用高速钢刀具加工。

2. 圆弧:圆弧的作用主要是增强零件结构的强度,多用在应力集中的地方,因此,圆弧常见于孔内端面与圆柱面的交界处。外端面也有采用圆弧过渡的,主要起导向作用。

圆弧一般用成型刀加工。成型刀也是由操作者自己刃磨,刃磨时可用R规检验R处是否正确。

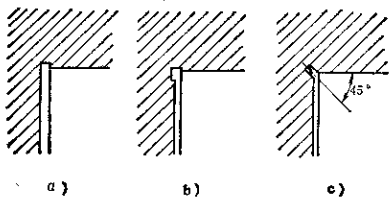
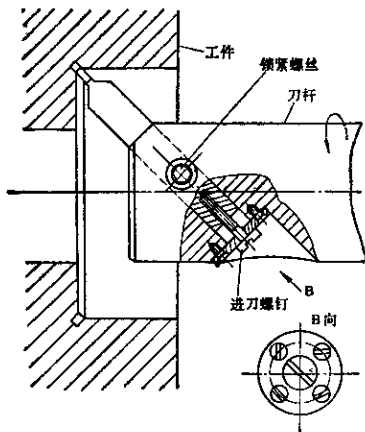


图8-9 空刀槽常见的结构形式

图8-10 45° 空刀槽的加工

3. 空刀槽：空刀槽常见的结构形式如图8-9所示，它们都是在孔内端面与孔圆柱面的交界处。空刀槽的作用使孔加工简便，容易达到预定要求，使装配可靠，有时作为退刀用，如螺纹孔内的空刀槽（也称为退刀槽），使挑扣易于退刀，保护了刀具。空刀槽应在孔和端面精加工之前进行加工。

空刀槽的加工比较困难，因为不便观察。一般使用镗头、万能镗刀架、径向刀架或平旋盘等工具加工。具有 45° 斜空刀槽的加工更为困难，必须用专用刀杆加工，如图8-10所示的刀杆，进刀时可调节进给螺钉，每调节一次必须停车进行。

第二节 环槽的加工

在内孔、外圆或端面上的封闭式的圆形沟槽为环槽。实际加工中以内孔环槽居多，图8-11所示为常见孔内环槽的主要结构形式。

一、加工工具

环槽一般都应使用能够径向进刀的工具加工，但根据环槽的作用不同有时也采用其他方法。如图8-11 a所示的环槽为减少孔与轴的接触面积的工艺槽，精度要求低，槽深度较浅，而且较长，使用径向进刀工具加工势必因刀杆长而受到损坏，因此可用偏心上刀法或其他专用工具加工。

1. 偏心上刀法加工

偏心上刀法就是将主轴水平（或垂直）坐标移动一个等于槽深 e 的距离（一般 $e < 3$ 毫米），并在移动相对位置上（半径最大处），将刀尖对至孔壁并夹紧，如图8-12 a所示，旋转切削不停，这时再将主轴中心慢慢移回原来坐标位置（图8-12 b），接着轴向进给即可。这种方法简单易行，特别适

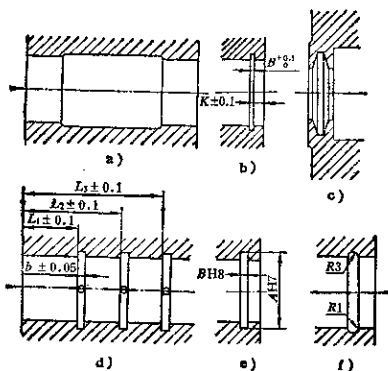


图8-11 孔内环槽的主要结构形式

- a) 空刀槽 b) 卡环槽 c) 密封槽 d) 阀体槽
e) 压力密封槽 f) 油槽

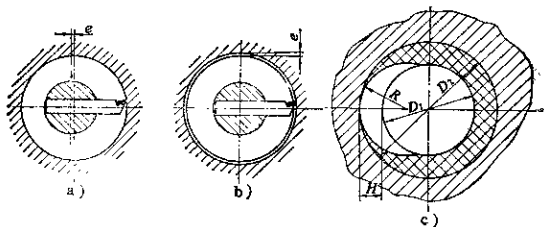


图8-12 环槽的加工

- a) 用偏心上刀法 b) 移中心切半径上刀法

用于加工脆性材料，所使用的刀具应为主偏角 $=45^\circ$ 的尖刀。倘若 e 的尺寸大时，可分段往里切深。这种方法的缺点是在上刀处的对面有一条切深痕迹，其深度等于 e ，影响加工的美观。若分段往里切深，以后刀尖可在此处上刀，减少切深痕迹。

若槽深较深，可用图8-12 c 所示的方法加工，首先以半径 R 向孔的一侧进刀至接近槽深 H ，然后主轴回至原来中心位置。每次可在已切的 R 处上刀，逐渐切至槽深 H ，即直径等于 D_2 。

2. 专用工具加工

当深孔内环槽距两孔端面较远，且孔径较小，无法使用径向进刀工具时，可用如图8-13所示的专用工具加工。

刀具装入主轴9的锥孔内，刀片1用可拆卸的销子装在刀杆6的槽子中，当旋转螺帽8向右移动时，销子7带动拉杆4，连杆2使刀片1向右转动，此时刀片切削的直径越来越大，直至将工件3的环槽切到深度。当螺帽向左推动销子至极限位置时，刀片将完全埋入刀杆的槽子中，以便刀杆从孔中进出。刀杆用支承套5在孔端支承，以增强其切削刚性。刀片切槽直径的控制可预先在螺帽处调整好并记下刻度。

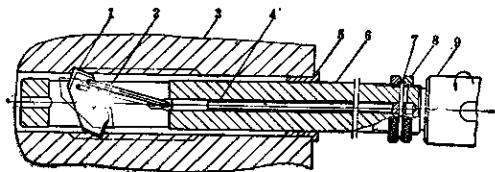


图8-13 深孔中环槽加工工具

这种工具的双刃均参加切削，切削较平稳。如在刀杆左端再设支承点，则效果会更好。刀片可随槽直径尺寸不同而更换。

图8-14是一种精密切槽工具，径向进刀主要依靠进刀轴上的斜键带动与其相吻合的切槽刀沿刀方孔作精密径向进给。当旋转螺旋套筒1时，推杆2在刀杆4的孔中也相应旋转并轴向移动，进刀轴3左端的突缘嵌在推杆2的右端T形槽中，因此，进刀轴也随着推杆2作轴向移动，其上的斜凸键带动刀具5作径向进出。

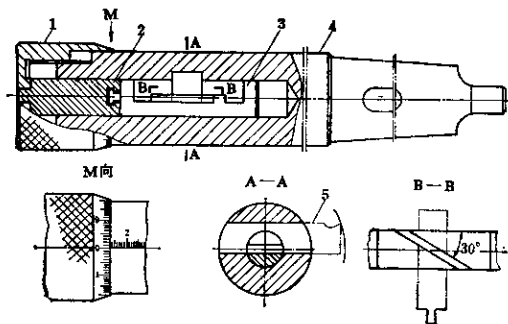


图8-14 左手进刀式精密切槽工具

进给量的控制可从套筒外圆上的刻度看出，这与百分尺的原理相似。

这类切槽工具只要各部件制造精度高，被切槽直径的公差可控制在0.03毫米以内。利用它也可以精密镗孔，但要加刀具锁紧机构。其缺点是刀具底面上必须具有与斜键配合适当的槽子，这给制造带来麻烦，而且不同的孔径须有不

同长度的刀具来配合使用，因为它调节量小。

图8-15所示为装于镗杆上的切槽工具。刀杆套3用两只螺钉固定在镗杆4的方孔内，刀头1装在刀杆2中。当径向进刀时，可用扳手拧动右端的四方头根据刻度盘5实现。

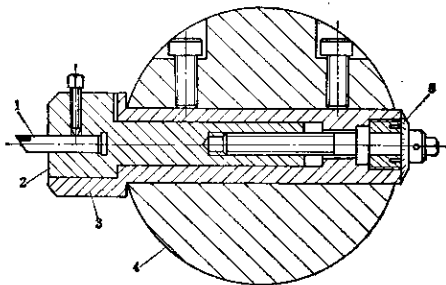


图8-15 装在镗杆上的切槽工具

二、加工方法

工艺用的空刀槽因无精度要求，容易加工。而定位用的卡环槽由于槽宽尺寸小，所以切槽刀形状基本上要和槽的截面形状相似，基本上要一刀切成，因刀头切削刃比较窄，有崩碎的危险，故副刀刃不宜过长，一般为槽深的1.5倍。为了减少副刀刃及副后面与槽壁的摩擦，两个副偏角应为 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ ，副后角应为 $0.5^{\circ}\sim 1^{\circ}$ （图8-16a）。为了提高刀头的强度，它的厚度尽可能厚一些。主后面可磨成两个平面，以避免与已加工面摩擦。主刀刃宽度磨到槽宽的中间公差。

此类槽至孔端面尺寸公差有两种方法控制：如图8-16b所示，先将刀刃左侧靠齐孔端面，并记下主轴进给手柄的刻

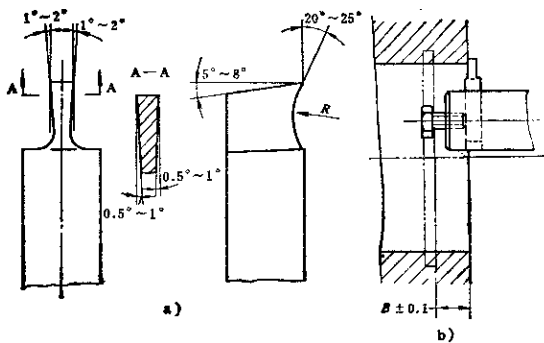


图8-16 卡环槽的加工

a) 刀具角度 b) 控制尺寸B的方法

度，退回刀具，然后将主轴摇进至槽深的位置，其进去尺寸应为 B 加上刀头宽度。

或者用深度尺测量刀头右侧刀刃至端面的尺寸。

图8-11 c 所示的密封用环槽，一般分两次加工：先切直槽，然后用与梯形槽刀（图8-17）加工。刀具的两条副刀刃要平直对称，刀头尺寸可磨得小一些，加工时两边分别切削达到槽宽。在加工塑性材料时，刀具的副切削刃上的前角应为 $20^\circ \sim 25^\circ$ ，并磨出排屑用的弧面，使切削轻快。

当加工阀体槽时（图8-11 d），关键问题是槽距尺寸公差的控制，一般是依靠机床轴向移动部件的精度来保证。为了加工方便起见，可将槽距尺寸抄录在一张纸上，看起来简单明了，可避免出差错。

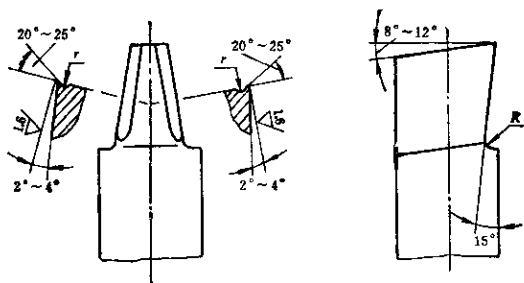


图8-17 梯形槽刀

机床部件（主轴或工作台）轴向移动时，必须朝一个方向移动，以免机床间隙增加槽距误差。若移动工作台，可用百分表和量块控制槽距。

图8-11 e 所示的压力密封槽内放置橡胶或塑料制成的“O”形密封圈，防止相当压力的油、气的泄漏，所以它的精度要求比较高。为控制槽直径的公差应用万能镗刀架加工，因为其上有自动停止进刀机构，故在槽加工之前将主刀刃接触孔壁，然后将等于槽深尺寸的量块组置于镗刀架上（图8-18），将定位销与行程挡块之间的距离定好，然后取下量块组，打开自动进刀机构进行切削，当切至槽深时自动进刀立即自行停止。

图8-11 f 所示的油槽加工比较简单，为使润滑油沿孔壁顺利流淌，因此油槽刀应磨成图8-19所示的形状，除主刀刃是圆弧状以外，两侧还有小圆弧刃口，使加工出的油槽与孔壁交界处为圆滑过渡。

对于孔内的轴向油槽，镗床上绝对禁止拉（或推）削，

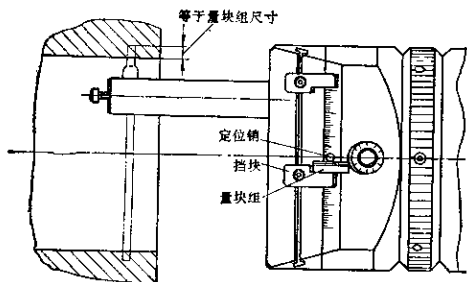


图8-18 用量块定好槽的深度

因为静止的径向力很大，易损坏主轴精度和传动机构。

在以上各种槽的加工中有以下几个共同性的问题集中说明一下：

① 由于切槽刀具都比较小，加上加工过程中不可避免地产生振动，因此刀具材料基本上都要选用高速钢。

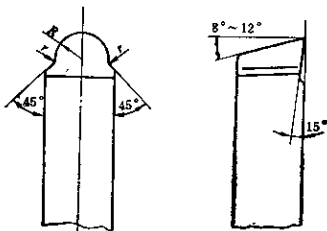


图8-19 油槽刀

② 由于刀头小，切削热难以散发，加之切削刀口宽，所以切削速度要低。

③ 由于刀头小，装入刀杆方孔中要注意间隙不能太大，否则刀具的切削角度改变太多，会影响切削效果。

三、环槽的测量

1. 环槽直径的测量

① 用带销钉的内卡钳测量:如图8-20 a 所示,先用两卡脚上装有销钉的内卡钳放入槽内量好直径,然后用外卡钳量出两销钉之间的距离,再取出内卡钳依照外卡钳重新校对到原来的张度,并用外径百分尺校对便知道具体数据了。这种两次比较法测量误差较大,一般在0.1毫米左右。

• • •

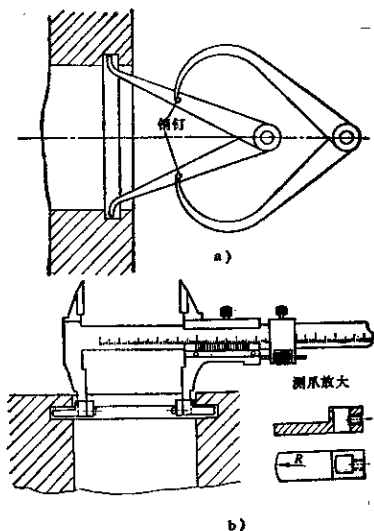


图8-20 测量环槽直径

a) 用带销钉的内卡钳 b) 用装有长测爪的卡钳

② 用弹簧内卡钳测量：用弹簧内卡钳测量的精度取决于从孔中取出后的复位精度，测量误差一般在0.1毫米以内。

③ 用装有长测爪的卡尺测量：如果槽较深，卡钳脚不够长时，可在卡尺脚上装上特制的加长测爪测量（图8-20 b）。测爪用细牙螺钉固在卡尺的量脚上，测量时看准卡尺上的刻度值，然后取出卡尺并重新恢复到原来位置，用外径百分尺校对可知环槽直径的大小。也可以直接看卡尺上的刻线尺寸，不过事先要校对好测爪。测爪可根据环槽的宽窄和深浅做成各种形状使用。用这种方法测量的精度在0.05毫米以内（精度为 $\frac{2}{100}$ 的卡尺）。

④ 用卡钳式内径量表测量：当环槽直径公差要求很精确时，为了测量准确，可使用如图8-21所示的卡钳式内径量表来测量，其原理和弹簧卡钳相似，也须外径百分尺配合使用，测量精度可达0.01毫米。用它测量很方便，读数直观。

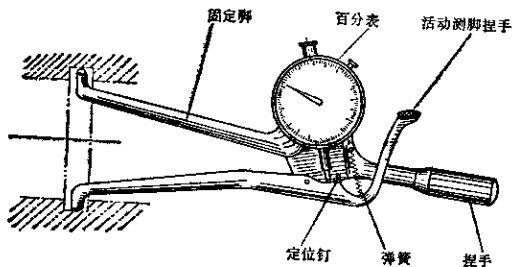


图8-21 卡钳式内径量表

⑤ 垫钢丝测量:有些圆弧槽和矩形槽既窄又浅,无论什
么量具也不便测量,可用相应的钢丝对称放入槽内,用卡尺
便可量得环槽直径。

2. 槽宽与槽距的测量

槽宽可用方塞规、圆塞规、样板及卡尺等方法测量。

槽与槽之间或槽到基准面之间的距离若要求精密,可用
带钩的深度尺来测量,如图8-22所示,这种深度尺头部钩形
为一整数尺寸(一般为五毫米),所以它的两个平面都可
用来测量,使用很方便,槽宽也可用它来测出。

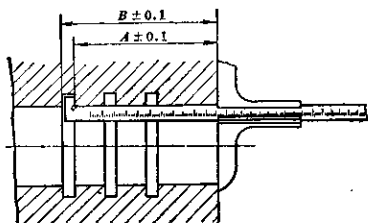


图8-22 用带钩的深度尺测量槽距

第三节 外圆的加工

一、外圆的种类和作用

镗床加工中所遇到的外圆分两类:一类是定位用外圆,
其长度一般较短,如图8-23 a所示外圆为定位用的止口,加
工较方便。

另一类是支承用外圆,如图8-23 b所示 ϕB 外圆,其上
安装着镶在皮带轮里的两只向心滚珠轴承。它不仅起着支承

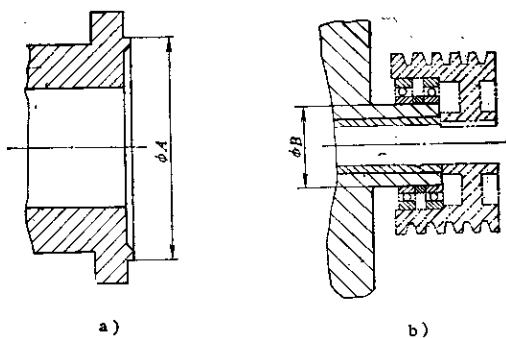


图8-23 镗床加工外圆的种类

a) 定位用外圆 b) 支承用外圆

作用，而且能减少传动轴上的径向负荷，使皮带轮传动平稳。这类外圆较长，尺寸精度要求较高，加工比较困难。

二、加工方法

在镗床上加工外圆要比加工孔困难，因为整个工具系统围绕着被加工外圆旋转切削，所以被加工外圆周围必须有足够的空间，因此在装夹工件时必须考虑到这一点，采取将工件垫高、伸出等措施。又因为工具系统旋转直径大，故不能采用高速切削。

车外圆时所使用的工具和车孔端面时差不多，主要是用平旋盘刀杆座及刀杆上装刀车削。图8-24所示为车削外圆时所使用的几种刀杆和刀具的装夹方法。

若工件外圆上有台阶时，车削必须由大往小依次进行。

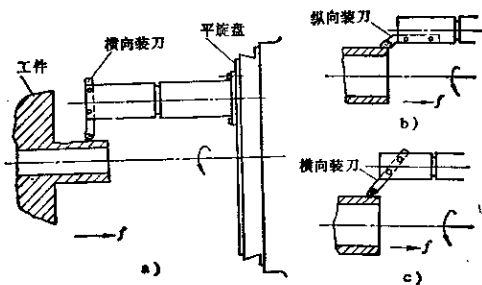


图8-24 车外圆时刀具的装夹

每进刀一次，平旋盘滑板都要将锁紧螺丝锁紧，也不要使滑板偏重太多，目的是防止外圆产生椭圆。

由于平旋盘旋转中心和主轴旋转中心有一定的误差，以及平旋盘滑板偏重等原因，所以车削出的外圆与内孔很可能不同心，在这种情况下可以用主轴精加工来弥补，如图8-25所示，焊制一把刀体成 90° 的刀具装夹在刀杆上车削外圆。

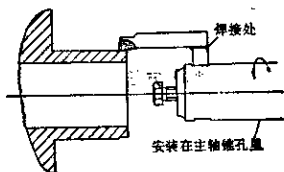


图8-25 用主轴精加工消除内外圆同轴度误差

车外圆时，外圆与内孔的同轴是关键技术的一项。其检验方法最简便的是用外径百分尺测量各个方向上的壁厚，最大与最小差值的一半就是同轴度的实际值。外径百分尺最好使用圆头的。

第九章 铣削加工

卧式镗床除了能加工各种孔、端面、槽及其他型面以外，还可加工超过普通铣床加工范围的（超重与超行程）工件，或者在同一工件上既有镗削加工又有铣削加工部位，且相互位置有一定精度要求的工作。

镗床上用铣削加工的方法常有铣平面、键槽、T形槽、台阶等。本章就铣削刀具的装夹、铣削的基本知识、典型形面的加工等方面分别进行讨论，还就镗铣床附件的使用作概括介绍。

第一节 铣刀的使用

一、铣刀的装夹

镗床上常用的铣刀是立铣刀和端面铣刀，圆柱铣刀一般用得较少。

在镗床上铣削加工比较费事，其主要原因是刀具装夹方面的困难，因为主轴长而且是实心的，不能像铣床上那样可用长螺栓从主轴孔中穿透并拉紧刀具，所以，经常由于铣削时的振动和水平分力使刀具从主轴锥孔中拔出而打坏，同时也因此破坏了已加工表面，很容易产生废品。

但是，通过多年来的生产实践，革新者革新了不少装夹铣刀的工具和方法，加上新式镗床的主轴结构也不断地改进，出现了能夹紧工具的机构，给在镗床上的铣削加工创造了良好的条件，加上镗铣床的出现，这不仅使镗床能进行铣

削加工，而且铣削的范围也越来越广泛。

1. 立铣刀的装夹

(1) 圆柱柄立铣刀的装夹：如图9-1所示，一般用弹簧夹头装夹。使用时，根据铣刀圆柱柄直径的大小，选择弹簧套用螺帽夹紧在夹头体上，而将夹头体插入主轴锥孔中，并用扁销锁紧。这种工具可以装夹柄部直径在5~25毫米范围的立铣刀。它的优点是装夹牢固，换刀方便迅速，所以应用普遍。

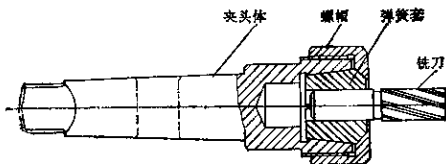


图9-1 用弹簧夹头装夹圆柱柄立铣刀

也有的工厂使用车床用的小型三爪夹盘来装夹立铣刀，但因夹持部分接触面积小，显得笨重，而且铣削部位要有足够的空间能让夹盘旋转得开。

(2) 圆锥柄立铣刀的装夹：图9-2 a所示是将圆锥柄立铣刀1装于7:24过渡套2的内锥孔中，并用螺钉从尾部将铣刀1拉紧，而过渡套用螺钉拧紧在本体3的端面上。这样装夹比较牢固，但装卸铣刀麻烦，常用于切削力较大情况下。过渡套2与本体3端面可采用键传递扭矩。本体3装在镗床主轴5内，并用斜楔4锁紧。

图9-2 b所示是用螺帽1拧紧7:24过渡套2的工具，如果铣刀锥柄尺寸小，可加用莫氏过渡套在中间过渡，或者更换

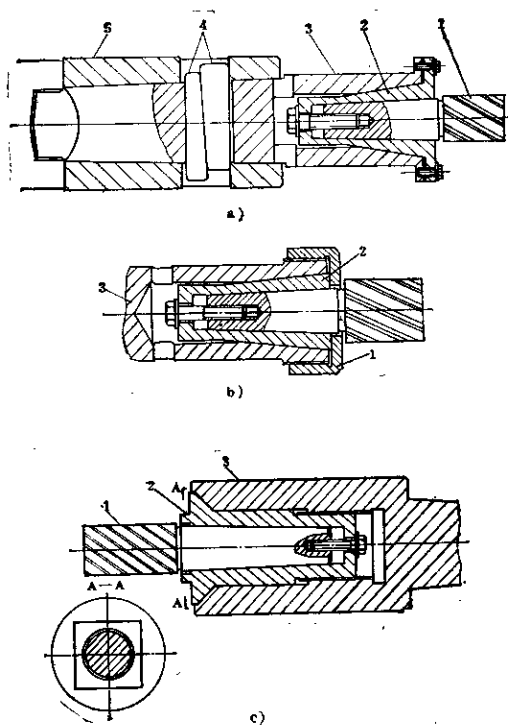


图9-2 装夹圆锥柄立铣刀工具

内孔为不同锥度的7:24过渡套。7:24过渡套由于锥角大，自锁能力低，所以很容易从本体3的孔中退出。

图9-2 c所示为立铣刀1用螺钉拧紧在过渡套2的锥孔中，而过渡套用螺纹与本体3连接，并以过渡套的外圆及锥面与本体的孔进行定位。过渡套的拧紧和退出可用扳手在它端部的方头进行。

2. 端铣刀的装夹

直径较小的高速钢端铣刀可装在刀杆上并用螺钉锁紧，用键传递扭矩（图9-3）。刀杆的锥柄直接插入主轴锥孔中。

直径较大的端铣刀可用螺钉及传动键1安装在镗铣床的主轴2上，也可以装在端面上具有螺孔和键的主轴上，如图9-4 a所示。铣刀体1还可以通过锥形开口套筒2用螺帽3直接紧固在主轴1的外圆上使用（图9-4 b）。

3. 圆柱铣刀的装夹

镗床上由于装夹及支承方面的困难，一般很少使用圆柱铣刀，但薄型的如三面刃铣刀及圆锯片铣刀用得较多一些。

三面刃铣刀多用来铣槽及入口处较狭窄的箱体工件里平面的加工。它的安装如图9-5所

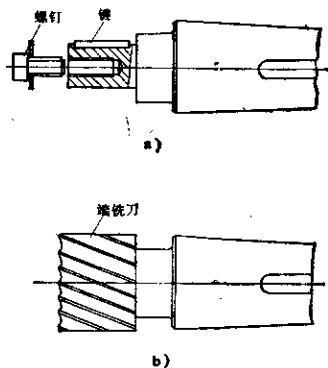
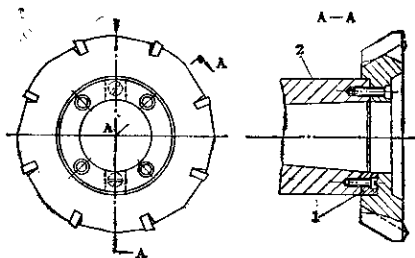
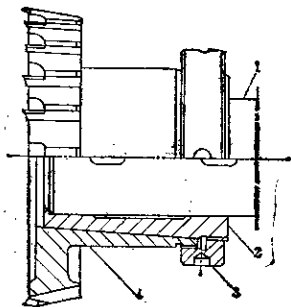


图9-3 高速钢端铣刀的安装
a) 刀杆的结构 b) 端铣刀安装图



a)



b)

图9-4 端铣刀在主轴上的安装

示，图 9-5 a 为镶齿三面刃铣刀的安装，它主要是依靠孔和端面定位，薄头螺钉夹紧，键传递扭矩。图 9-5 b 为锯片铣刀的安装，其上虽有键，但一般考虑到切削负荷增大时容易打坏刀片，对操作者也是威胁，故多数情况不用键，以便在负荷增大时，刀片在刀杆上打滑转动，不会碎裂。

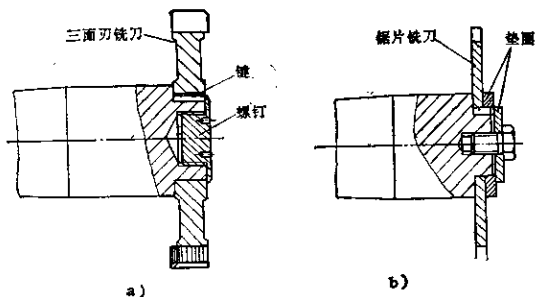


图9-5 圆柱铣刀的安装
a) 三面刃铣刀的安装 b) 锯片铣刀的安装

二、铣刀在使用中应注意的事项

铣刀容易磨损，也容易打碎。在安装和使用过程中必须细心操作，以免损坏。铣刀的轻度损坏会影响加工质量，严重损坏会报废。为了减少可以避免的损失，在安装和使用中应注意以下几点：

(1) 铣刀的孔、端面、柄部或刀杆等，在安装之前要检查各部表面是否光滑，有无切屑、伤痕、毛刺等缺陷。若有上述缺陷，必须加以消除，以免增加刀具的安装摆差。

(2) 刀杆及其他安装工具尽可能采用粗而短的，以增

强其刚性。

(3) 选用锋利的铣刀加工，以提高切削效率。

(4) 加工中尽量使用冷却润滑液。

(5) 刀具要轻拿轻放，安装时应用布包裹着刀刃。用毕涂上一层防锈油，并放入专门刀具盒内，不得与其他工具相互叠放在一起。

三、铣刀在切削过程中碎裂和掉齿的原因

1. 操作不合理

(1) 铣刀与安装工具、安装工具与主轴（或铣轴）没有很好地装紧，或者没有采取保险措施（如打销子），结果在切削力和铣削过程中产生振动的情况下，导致刀具松脱，使刀齿突然嵌入工件加工面而挤碎。

(2) 对刀时不正确。正确对刀应该首先停止刀具转动。当刀具接近被加工面时，再开车让刀具转动，然后手动进给，使刀具接触被加工面。实际工作中有不少铣刀损坏的原因，大多是因快速移动趋近过头造成铣刀与工件相撞造成的。

(3) 主轴悬伸过长，切削时振动过大。

(4) 精神不集中，或因按错电钮。

2. 切削用量选择不当

由于铣刀是一种多齿刀具，齿与齿之间的容屑槽有一定大小。如果选择大的进给量 f 和铣削深度 t ，使切屑截面积增加，容屑槽容纳不下过多的切屑，结果会将刀齿挤掉。

切削速度也必须选用合理，一般铣刀多用高速钢制造，而高速钢的热硬性在 600°C 。如果切削速度过高而又得不到及时冷却时，会使切削温度急剧增加，导致铣刀因退火而失去硬度。

3. 铣刀选择不当

粗加工要选用直径大而齿数少的，精加工选用直径小而齿数多的铣刀加工。铣槽应先用键槽铣刀粗加工，然后再用立铣刀精加工。有硬皮的工件可用硬质合金铣刀粗加工，最后用高速钢刀精加工。铣刀角度选用不当也易损坏刀具，如镶齿端铣刀的前角和后角的大小不合理，会严重地影响铣刀的使用寿命。

4. 工件材料有缺陷

工件上如有砂眼、气孔、硬皮、夹渣和白口铁等缺陷，加工时会使铣刀急剧磨损，切削力也急剧增加，从而使刀具损坏。

5. 更换刀具不及时

对已磨损的铣刀如不及时更换，会使刀具加剧损坏。

在实际工作中，造成铣刀碎裂和掉齿的原因很多，对每一个操作者来说都应及时地总结经验教训，找出原因，尽量避免不应有的损失。

四、机夹可转位铣刀及其使用

随着刀具制造工艺的不断发展，目前硬质合金可转位刀片已适用于绝大部分刀具。图 9-6 为三种用于铣削加工的机夹可转位铣刀。图 9-6 a 为单排立铣刀，图 9-6 b 为 T 形槽铣刀，图 9-6 c 为多排立铣刀。刀片装配在刀杆上的夹紧结构形式很多，常用的有偏心式、上压式、侧压式、拉压式等。图 9-6 a 所示铣刀的夹紧机构为偏心式，刀片 1 置于刀垫 2 上，以偏心销 3 上的定位圆柱定位。旋转偏心销，即可利用偏心的夹紧力夹紧刀片。图 9-6 b 所示铣刀的夹紧结构为上压式，以刀片两侧面和底面作为定位面。刀垫 3 紧固在刀杆上。先将刀片推向定位支承面，再拧紧螺钉 1，使压板 2 压

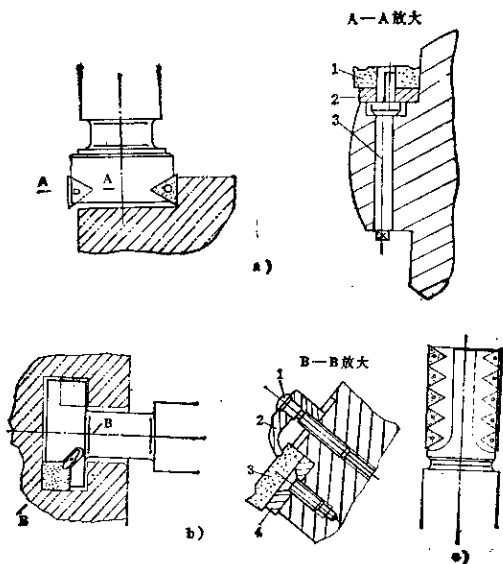


图9-6 机夹可转位铣刀

紧刀片3。应用这种刀具代替高速钢刀具，切削用量可大大提高。当刀片的一个刀刃用钝后，只需将夹紧元件松开，换一新刃口，重新夹紧，即可继续使用，且更换刀片方便，因此可促进生产率的提高。

机夹可转位铣刀在使用中应注意下列几点：

1. 所选用刀片应保证刀刃锋利、无缺陷。夹紧刀片时，刀片各定位面必须平整、光滑。要正确使用夹紧元件，夹紧

力不宜过大。

2. 发现刀片磨损时，应使用400粒度的绿色碳化硅或碳化硼油石修磨，保持主刀刃倒棱面应有的宽度，并减少后刀面被磨损的高度。

3. 不同材料牌号、刀片类型的刀片应分别存放，不许互相撞碰，以防损坏刀刃。

4. 用过的刀片应妥善保存，以便回收。

第二节 铣削的基本知识

一、铣削运动与铣削要素

铣削是多刃刀具旋转进行切削工件的加工方法。在铣削过程中铣刀的每一个刀齿都可以看作为沿轴线旋转的切刀轮流切削工件。切削过程中切削用量三要素和切削层的断面尺寸，基本上和第二章讲到的相同，下面仅就不同的地方补充说明一下。

进给量 f ：除了转进给量 $f_{\text{转}}$ 外，还有每齿进给量 f_z 。当铣刀每转一个齿间角时，工件相对铣刀位移为 f_z/z ，这就是每齿进给量。 z 为铣刀齿数。

铣削深度 t ：在一次切削中，垂直于铣刀轴心线的方向上量取的被切金属层的尺寸。

铣削宽度 B ：沿铣刀轴心线测量出的被切金属层的尺寸。

切削厚度 a ：切削厚度是垂直于铣刀主刀刃（并垂直于切削表面）测量的，从图 9-7 可知，铣刀每齿切削厚度是随刀齿转动位置而变化的，刀齿从 C 点切入， C 点的切削厚度最小，当刀齿达到 B 点时，其厚度最大。

切削宽度 b ：切削宽度等于铣刀主刀刃的工作长度。用直齿圆柱铣刀铣削时，铣削过程中切削宽度不变；当用斜齿

圆柱铣刀铣削时，切削宽度是变化的，如图9-8所示，齿Ⅰ有一部分已离开工件，其宽度为 AB ，齿Ⅱ全部工作，其宽度为 CD ，齿Ⅲ尚未全部切入，其切削宽度为 EF 。

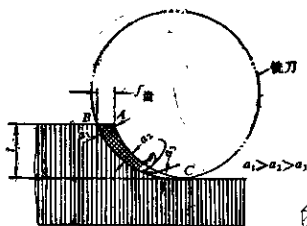


图9-7 切削厚度随刀齿转动而变化

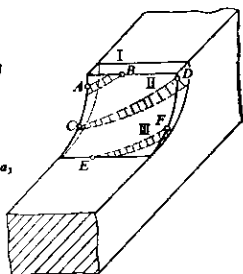


图9-8 斜齿圆柱铣刀切削宽度的变化

切削面积：已知切削宽度和切削厚度以后，切削面积就等于这两者之积。

二、铣削受力分析

铣削受力情况，在某些地方和镗孔是相似的，都可以把一个总的切削力分解为作用在铣刀上的轴向、径向和切向上的三个分力。但是，铣削力有它自己的特点，那就是铣削力不稳定、变化大，这就给铣削加工带来了一系列的困难。产生切削力不稳定、变化大的原因归纳起来有如下两点：

1. 铣削力大小的变化

(1) 切削厚度 a 是随着每一个刀齿转动位置变化而变化的，所以每个刀齿受力忽大忽小。

(2) 同时工作的刀齿数目有变化，特别是直齿铣刀进行铣削时，当每一个刀齿切离工件时的瞬间，切削受力突然降低。

2. 铣削力方向的变化

因为无论何种铣削，作用在铣刀上的力都可以分为切向力、径向力和轴向力。当有三个刀齿同时切削时（图9-9），合力的作用点在A点，此时合力 P_r 的方向如图9-9a。当刀齿1切离工件时，只有两个刀齿在切削，合力的作用点就移到B点，这时它的方向就变成图9-9b所示的位置。

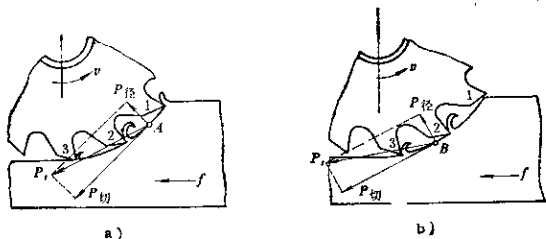


图9-9 铣削受力方向的变化

三、关于顺铣和逆铣

在铣削过程中，因铣刀的旋转方向和走刀进给方向的关系，产生了顺铣和逆铣两种方法。顺铣和逆铣在实际工作中运用的好坏直接关系到加工质量、刀具和机床的使用寿命，以致安全生产。

1. 逆铣

铣刀的旋转方向与走刀方向相反时为逆铣。逆铣时刀齿是由A点（图9-10a）接触工件而到B点离开的，当刀齿接

触A点时不能马上切入工件，而是在已加工表面上滑动一小段距离才能真正切入，切屑是由薄逐渐变厚的。

2. 顺铣

铣刀的旋转方向与走刀方向相同时为顺铣。顺铣时刀齿是由B点（图9-10 b）切入工件到A点离开，刀齿一开始就在较厚的地方切入，所以切屑是由厚逐渐变薄的被切削下来。

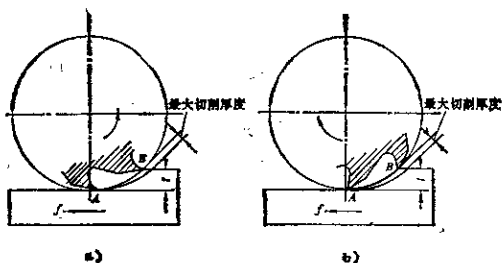


图9-10 逆铣和顺铣

a) 逆铣 b) 顺铣

逆铣和顺铣都各有其特点，可从以下几个方面来进行分析比较：

① 刀具的使用寿命

逆铣时在刀齿切入工件之前的滑动过程中，由于强烈的摩擦，而使切削温度升高，出现了刀刃被磨钝和已加工表面粗糙度受损伤等不良现象。顺铣时刀齿切入工件之前没有滑动现象，切削面上没有前一刀齿切削时因摩擦面造成的硬化层，所以容易切入，减少了机床的动能消耗，提高了铣刀的

使用寿命和降低了表面粗糙度。如果工件表面是毛坯时，则情况正好相反，刀齿在切入工件之前先与表面硬皮接触，使刀齿急速磨钝，以致很快不能使用，结果反而没有逆铣时刀具的使用寿命长。

② 垂直切削分力的影响

从图9-11 a 可以看出，逆铣时作用在工件上的垂直分力 $F_{\text{垂}}$ 的方向是向上的，也就是与工件的夹紧方向相反，所以它有将工件从夹紧位置上拔出来的趋势，同时由于铣刀的每一个刀齿呈现断续切削运动，所以 $F_{\text{垂}}$ 还会引起机床的振动，对于加工薄而长的工件是不适合的。而顺铣（图9-11 b）时垂直分力的方向与逆铣相反，切削时工件是被压向夹紧方向的，所以工作时比较平稳，适于加工薄而长的工件。

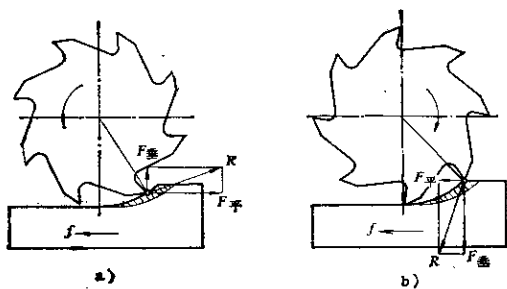


图9-11 顺铣与逆铣时垂直分力和水平分力大小比较

a) 逆铣 b) 顺铣

③ 水平切削分力的影响

逆铣时水平切削分力 $F_{\text{平}}$ 总是与走刀方向相反，将工件

连同工作台一起向后推，使丝杠紧贴在螺母的一个侧面上，所以逆铣时使切削平稳，丝杠与螺母之间的间隙不会对工作台（或主轴箱）产生有害的影响。

顺铣时当水平切削分力 F_x 大于工作台和工件的静摩擦力时，因丝杠与螺母之间有间隙存在，有可能使工作台（或主轴箱）发生窜动，铣刀刀齿会由于受到冲击而损坏，或发生质量问题，因此丝杠与螺母间隙较大的机床不宜进行切削力较大的顺铣。当切削力较小、工件重量大时机床不会发生窜动。

第三节 平面的铣削

平面是构成零件的基本表面之一。绝大部分平面是在刨床、铣床等设备加工的，但用这些设备不便加工的平面或与孔有位置精度要求的平面，多用镗床来加工。在第八章中已谈到了孔端面的加工方法，而在本节中主要叙述用立铣刀和端铣刀以及用镗铣床加工平面的方法。

一、用立铣刀铣削平面

对于窄而长的平面，可用立铣刀铣削加工，这些平面有的平行于主轴中心线，也有的垂直于主轴中心线；有高于工件表面的，也有低于工件表面的。用立铣刀主要用于铣削平行于主轴的平面。

1. 选择铣刀

粗加工应选择直径大而齿数少的立铣刀，最好用玉米铣刀。直径大而齿数少的铣刀，容屑槽深，铣削深度可大一些，这样可减少走刀次数，缩短粗加工时间。玉米铣刀刃口上有交错凹槽，断屑好，减少切削扭矩，从而降低了铣削过程的振动。但是铣刀直径大了，刀齿全部切入工件之前的预

备行程就长，也影响生产效率的提高。如果平面的端头为非敞开式的（图9-12），这就限制了铣刀直径的加大，因为平面铣不到头就碰到另一侧壁。

精加工时，因加工余量少，主要控制尺寸精度和表面粗糙度，应选用刀齿多而直径小的铣刀，同时要检查一下刀具的圆度，以避免铣出的平面是斜面。刀齿上的任何缺口都影响着平面的平直度。

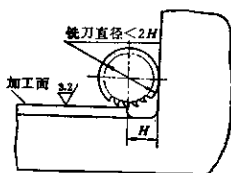


图9-12 铣刀直径受到
H尺寸的限制

2. 铣削操作

铣刀的长度必须大于被加工平面的宽度。刀具在装夹牢固后，上刀进行加工，粗铣时铣削速度不宜太高，否则会因刀具发热而使耐用度降低。为了减少走刀次数，吃刀深度应取大一些，这样也避免了工件表层的硬皮对刀具的磨损。为了获得低的表面粗糙度和较高的生产效率，精加工时可增加切削速度和减少进给量。铣削过程中尽量加注冷却液。加工面上如有夹渣、型砂，应用扁铲剔除干净，以免伤害铣刀。

在机动进给之前，应先用手动进给试切，然后再机动进给，这样可避免由于切削力的突然变化而打坏刀具，同样，在切削凹凸不平的表面或槽孔位置时，也要手动进给。

如果加工余量大，切削宽度大时，为了节省贵重的铣刀，可用镗削的办法挨排镗去大的加工余量（图9-13），然后再用铣刀作精加工。这样不仅减少铣刀的消耗，而且缩短了粗加工时间。对于要求不高的平面也可以用这种方法作终加工。也可以用机夹可转位立铣刀（图9-6c）粗加工。

在机动进给中，一般在非必要时不宜停止进给而让铣刀

空转，否则容易造成“深啃”现象。这是因为铣削过程中的径向力使铣刀和主轴上抬“让刀”，一旦进给停止，铣削力突然减少，原位切削，“让刀”减小，在加工面上形成明显的弧形凹坑，影响加工面的质量。

二、用端铣刀铣削平面

端铣刀主要用来铣削垂直于主轴中心线的平面，但将它安装在镗铣床上

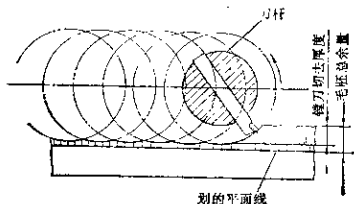


图9-13 粗加工的方法

上可以铣削平行于主轴中心线和成任意角度的平面。

端铣刀与立铣刀比较，端铣刀的切屑厚度变化小，同时参加切削的刀齿较多，因此切削比较稳定，并且端铣刀的柱面刃担负着主要切削任务，端面刃起着刮削作用，所以表面粗糙度比较低，加工出的平面的平直度也比立铣刀好得多，由于具有这些优点，端铣刀常用来高速铣削。

端铣刀有整体式和镶齿式两种。前者直径一般小于80毫米，后者直径都大于80毫米，而且基本上都采用硬质合金刀头。端铣刀的刀刃长度较短，镶装硬质合金刀头既方便又经济，所以它被广泛应用着。刀头在铣刀盘上的固定形式与调整方法有如下几种（图9-14）：

① 图9-14 a 所示刀头 2 用螺钉 3 固定。刀头能在刀盘 1 的槽子里作径向和轴向调整。

② 图9-14 b 所示刀头 1 用楔块 3 固定。刀头的伸出量由螺钉 2 调整。这种固定方法要求楔块与槽配合的角度应一致。

③ 图9-14c所示刀头是用锯齿槽3、楔块4与螺钉1将刀头固定在刀盘2上的。这种方法固定刀头比较牢固，调整方便，但制造麻烦。

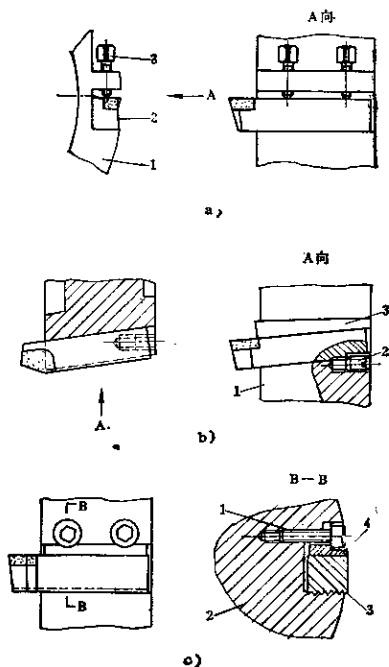


图9-14 铣刀头在刀盘上的固定方法

近年来机夹可转位端铣刀发展迅速，它是高效率的切削刀具，硬质合金刀片的刃口用钝后，只需将刀片转位或更换刀片即可继续使用。这种铣刀它具有一般机夹可转位车刀所具有的效率、寿命长、调换方便和加工质量稳定等优点。图9-15所示为机夹可转位宽刃端铣刀是作精加工平面用的，一般铣出的表面粗糙度 R_a 值不大于1.6，只要机床—工具—工件的系统刚性好，有时能达 $R_a 0.4$ ($\nabla 8$) 左右，是一种新型精加工端铣刀具。刀片在刀盘上由两个定位块定位，用螺钉紧固在刀盘上。它的刃口宽度达15毫米，四块刀片刃口的端面摆差为0.02毫米。

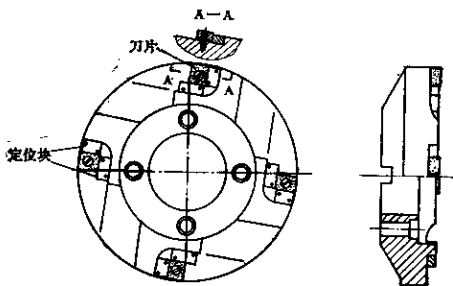


图9-15 机夹可转位宽刃端铣刀

端铣刀在一定直径上的刀片数量的多少对生产率有着直接的影响。为了减少端铣刀的规格，国际标准 (ISO) 推荐的直径 D 、铣刀宽度 B 的尺寸系列和三种不同的齿距如图9-16所示。

用端铣刀铣削时，因铣刀与被加工平面的位置关系，可分为对称铣削和不对称铣削。

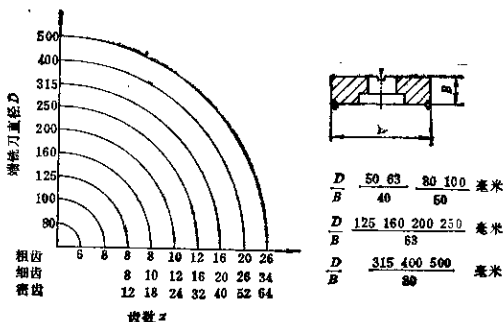


图9-16 端铣刀直径 D 、厚度 B 的尺寸系列和三种不同齿距

(1) 对称铣削：铣刀中心与工件平面宽度中心一致的情况下铣削，称对称铣削（图9-17 a）。对称铣削时垂直分力 P_{\perp} 比较大，所以切削中的振动也较大，适用于加工短而宽或较厚的工件。

(2) 不对称铣削：铣刀中心偏在工件平面宽度中心一边进行铣削时，称为不对称铣削，如图9-17 b所示，这时

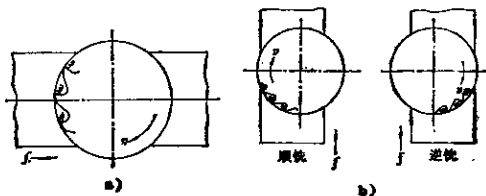


图9-17 对称铣削和不对称铣削

也同样有顺铣和逆铣之分。逆铣时，刀齿切入没有滑动，因此也就没有用立铣刀进行逆铣时所产生的各种不良现象。顺铣时会同样拉动工作台（或主轴箱）而使铣刀和工件损坏，所以用端铣刀加工平面时，都应该采用逆铣的方法。

当主轴悬伸较长铣削平面时，由于垂直分力较大而使主轴产生“弹让”，这不仅有损于主轴精度，而且同时发生振动使刀片振碎，故不得不降低切削用量，妨碍了生产率的提高，所以在这种情况下，可安装上一个主轴悬伸支承（图9-18a），以增强铣削时的主轴刚度。它是用螺钉连接在平旋盘上，支承部位的套为铜质材料。实践证明，使用主轴悬伸支承以后可使主轴铣削时的刚度提高 $\frac{2}{3}$ 左右。

主轴悬伸支承的种类很多，图9-18b所示为夹紧式悬伸支承，它仅适用平旋盘与主轴同步旋转的机床上，而且内孔表面粗糙度要求较小。

图9-18c所示是用螺帽夹紧橡胶圈以调整与主轴的配合间隙的主轴悬伸支承，用螺钉将其安装在镗铣床的铣轴上。

还有的支承部位是用圆锥滚珠轴承支承并调整配合间隙的主轴悬伸支承，这主要用于主轴悬伸支承与主轴不同步旋转的机床上。

以上所介绍的主轴悬伸支承同样适用于主轴悬伸较长时的镗孔。

三、在刀杆上装刀铣削

图9-19a所示的工件，加工 $\phi 85H7$ 孔和内腔中80毫米宽的 R_0 为 $(\nabla 6)$ 的平面时，可将工件装夹在弯板上（图9-19b），孔先加工或后加工都关系不大，主要是平面加工的问题。平面若用端铣刀铣削，主轴进不去，因为入口处只有80毫米

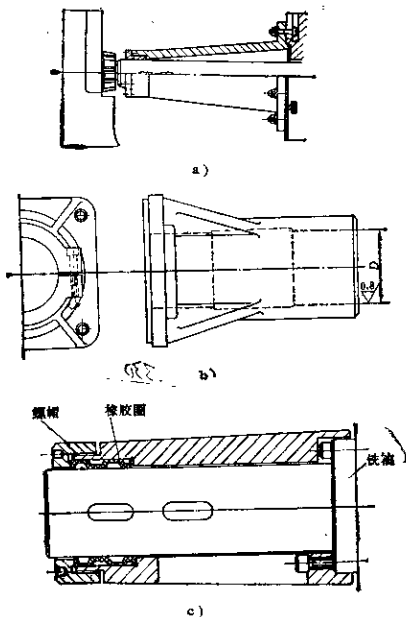


图9-18 各种主轴悬伸支承

- a) 主轴悬伸支承 b) 夹紧式主轴悬伸支承
 c) 镗铣床主轴悬伸支承

宽。若将端铣刀装在加长接杆上使用，由于端铣刀同时参加切削的刀齿多，垂直切削分力大，故使加长接杆产生振动，生产效率低，且难以达到 $R_{a}1.6$ 表面粗糙度。因此，可选用长短粗细相宜的刀杆，装上专门焊接成 90° 刀体的刀具进行铣

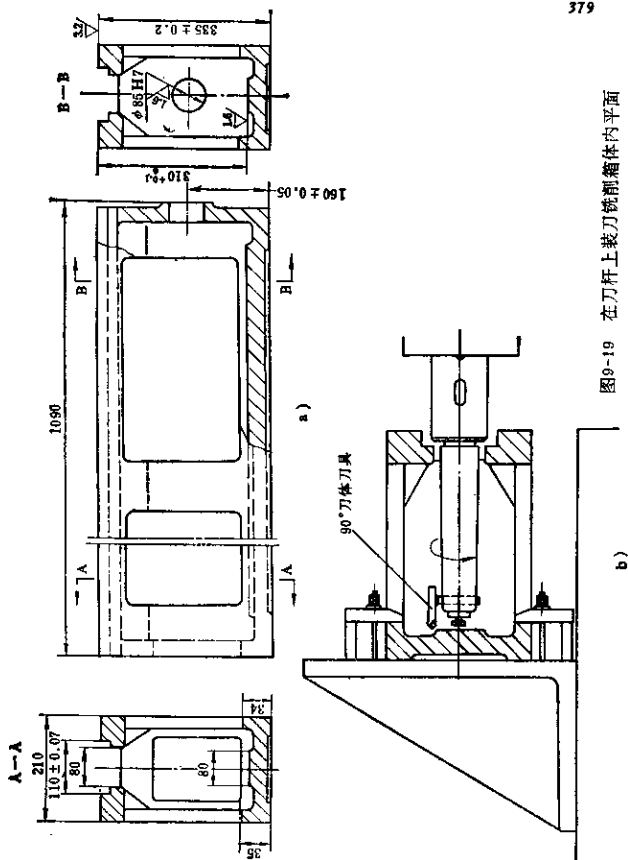


图9-19 在刀杆上装刀铰削箱体内部

削,能方便而顺利地完成该 1.6 表面的加工。这种单刀铣削由于切削力小,振动也小,比用其他方法加工效率高。在刀杆上装刀铣削常用于工件内框中的平面加工。

四、 x 、 y 两坐标联合进给铣削平面

在一般镗床上铣削大平面时,因为进给只能在一个坐标方向上进行,如垂直方向或水平方向。因此不得不反复扳动换向手柄改变进给方向使其连续铣削,使操作者很疲劳,而且接刀处明显。为解决这一问题,近年来一些镗铣床上为了适应这一工艺需要,而作了相应的改革,如 x 和 y 方向改为独立的进给电机传动,使 x 和 y 两坐标方向能同时进给,不仅能作任意斜向铣削,还可作圆周铣削,图9-20所示为铣削巨型工件上的 $1/4$

圆平面。装上立铣刀还可粗铣该工件上的外圆。这种任意方向铣削功能是由一个方向控制钮来控制的(图9-21 a)。方向控制钮装在镗铣床的主悬挂操纵盒上,铣削时,同时按下 x 、 y 两项坐标的进给按钮后即可进行加工。旋转方向控制钮控制联合进给的方向。如图中黑色

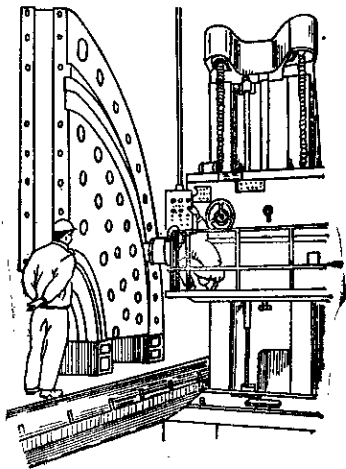


图9-20 铣削巨型工件上 $1/4$ 圆平面

箭头指向 45° 不动时，则铣刀始终朝这个方向上进给铣削。倘能手均匀地控制方向控制钮作圆周匀速转动，则能铣出一个圆周平面来，也就是说控制得越均匀，铣出的圆越精确

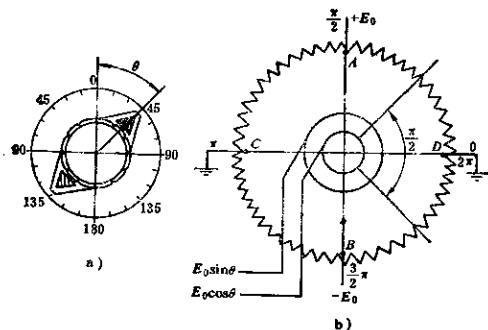


图9-21 方向控制原理

a) 方向控制钮 b) 正弦余弦电位计的连接

方向控制钮里面是一个正弦余弦电位计(图9-21b),它把与方向控制钮所指示的 θ 角成函数关系的进给速度信号供给每一个进给电机时(立柱和主轴箱),不论进给方向如何,两个电机进给的合成速度始终保持一个常速:

$$\sqrt{A^2 \sin^2 \theta + A^2 \cos^2 \theta} = A$$

式中 A ——合成速度;

θ ——指控制按钮箭头相对于 O 点的夹角。

因此,当 x 和 y 两坐标联合进给时,刀具进给方向能在与主轴垂直的平面内改变由 $0^\circ \sim 360^\circ$ 角。

T612 机床由于 x 、 y 两项坐标进给手柄是独立的，且不互锁，所以在每个象限内均能作 45° 方向上的联合进给。

五、斜面的铣削

斜面，是指零件上与设计基准面成一定角度的平面。斜面的铣削主要是工件装夹的问题。在镗床上铣削斜面的方法通常是转动工件或工作台以及采用角度铣刀等。

1. 把工件转动成所需的角度装夹

如果工件是直接装夹在工作平台上，那么可转动工件使被加工面垂直于主轴中心线，使用划针按预先划好斜面线找正并夹紧工件，用端铣刀铣削。这种方法多用在无回转工作台的机床上，移动工件找正较困难，特别是大型工件，辅助时间长，生产效率低。

2. 转动回转工作台

利用回转工作台装夹找正铣斜面很方便，图9-22a所示的大油缸的外圆上有三个平面要加工，它们相互成一定角度，加工时可先以一个平面与主轴中心线垂直找正，并先加工此面，然后根据角度要求回转工作台的刻度，依次加工其他两个面。

3. 定位加工斜面

如果加工的零件有一定的批量，单个装夹找正显然费时，那么可采取定位加工。图9-22b所示的零件利用弯板定位装夹。弯板可事先找正与主轴垂直，然后转工作台 30° 即可。在无回转工作台机床上可用其他方法将弯板定位。

4. 采用角度铣刀

采用角度铣刀加工斜面是成型铣削，但因刀具刃口长度有限，所以只适用于加工窄的斜面，如图9-22c所示。

角度铣刀的特点是它的主刀刃分布在圆周上，一般刀齿

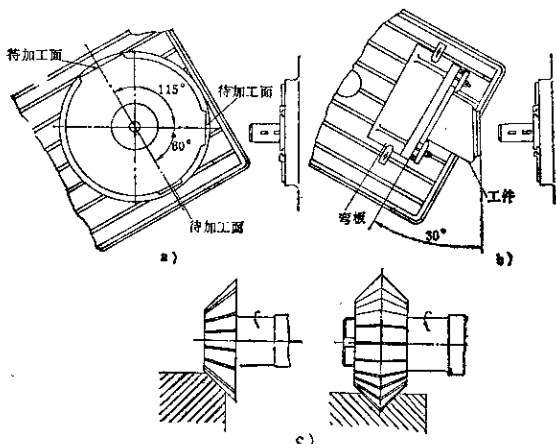


图9-22 斜面的铣削加工

a) 转动工作台 b) 利用弯板定位 c) 用角度铣刀

较密，排屑困难，齿尖强度低，容易磨损和折断，加工时进给量和转速都应该小，同时要求刀杆有一定的刚度，主轴悬伸不能太长，否则会产生“让刀”，使加工后的斜面角度不准。

平面与斜面除利用上述各种方法加工以外，还可利用镗铣床的各种铣头来加工，这将在第五节中详细介绍。

第四节 槽的铣削

槽可以看作是两边封闭的台阶。成直角形的叫直角槽，成特殊形状的叫特形槽。

直角槽主要有键槽，键槽又分为敞开式（即槽的一端或

两端是通的)和封闭式的两种。特形槽有T形槽等。

一、键槽的加工

键槽在零件上运用很广,一般用于定位和传递扭矩。这里主要讨论轴上键槽的加工。

在镗床上加工键槽,多是由于在铣床上加工超限。键槽是轴上的精密部位,尤其是槽的宽度、与轴中心线的对称性(俗称对中)很重要,这些精度的好坏与装夹、加工和测量密切相关。

1. 轴的定位与装夹

轴类零件的装夹在第三章中已讲过了,主要是利用V形铁。

利用轴的直径相等部位作支承点,使用一对等高V形铁便可装夹。如果是精加工过的轴,应在支承点与着力点处加垫薄铜皮,避免破坏已加工过的表面质量。若支承点处直径不相等,应使用可调节的V形铁装夹,并用百分表找平最长直径处的上母线,以保证轴中心线与待加工的键槽中心线平行。轴上键槽位置 and 找正用的十字线均应预先划出,以保证键槽与轴上相关部位的位置要求。水平十字线的找正可用划针在最大直径处找,因直径越大越准确。轴的转动调整可用链子钳在非精密轴颈处进行。

水平位置校正以后,再用百分表找正直径相等两轴颈的侧母线,使其与主轴中心线垂直,可保证键槽深度一致。如果V形铁底面有定位键在工作台上定位,那就更加方便。

2. 选择铣刀

粗加工应选用键槽铣刀,其直径应比槽宽略小。键槽铣刀因只有两个刀齿,故强度高及耐用度好。精度低的键槽可以用它作精加工。但多数精度要求高的键槽的精加工都是采

用多齿立铣刀，不过在使用前都要仔细检查它的尺寸有无圆锥。

3. 对中心

键槽上最严格的要求是槽与轴中心线的平行重合，如果两者偏离，将会给装配工作带来困难，对使用来讲将加速损坏轴键。这个对中心的工作在实际生产中，一般根据精度要求的不同常采用以下几种方法：

(1) 游标高度尺测量：首先用游标高度尺测量出轴的上母线至工作台面的高度，并量出该处轴颈直径，确定出轴中心高，然后根据主轴直径再量出主轴上母线的高度。这种方法对中心精度低，误差在0.1毫米左右，但方便迅速。

(2) 用量块分距离：首先将主轴下降到轴的上母线附近（图9-23），使其间隙 δ 等于一定数值的量块，量出工件和主轴的直径 D 和 d ，然后按公式 $H = \frac{D}{2} + \frac{d}{2} + \delta$ 计算主轴箱应下降的数值，定好垂直测量装置的百分表，取数值等

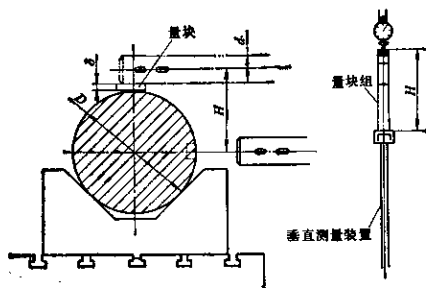


图9-23 用量块和百分表对中心

于 H 的量块组，使主轴箱下降即可。用这种方法对中心误差在0.02毫米左右。

因为在加工中铣刀直径不可能符合图样尺寸，即使有偶然巧合，切削中刀具还会出现偏摆，也就是说槽宽不能用铣刀一次完成，要用铣刀上下借移的方法达到预定尺寸要求。这个上下借移的窜动量要用百分表加以控制，所以对中心之后，百分表就要一直定好。

4. 加工方法

中心对准后，在主轴锥孔中装上顶尖对一下预先划出的键槽中心线，用以检查发现对中心时发生的差错，然后检查槽长及与其它部位尺寸要求是否正确。

为了便于铣刀切深，通常先用钻头在键槽两端钻孔，同时为了键槽对中心和加工方便，往往用镗头将所钻出的孔镗至键槽宽度，待窜动铣削时，铣刀与孔的上下母线相切即可。

键槽铣刀齿端强度好，对于较浅的键槽可用铣刀缓缓进刀切深，可不用先钻孔。

加工轴的同一直心线上几个键槽时，如果机床横向行程不够，可采取轴向窜位加工，如图9-24所示的轴第一次加工1、2键槽、窜位后加工键槽3。窜位加工中最大的问题是要保证窜位过程中工件不转动，这也就保证了几条键槽中心线一致。因此，可采用图9-25所示的三种V形铁装夹工件。当工件窜位时，连同V形铁一起窜动，工件就不会发生转动，因为轴是夹紧在V形铁上的。图9-25c所示的V形铁适用于铣通长键槽。窜位加工时，V形铁支承在轴的位置要预先考虑周到，否则会出现V形铁窜到工作台极限位置时而加工部位尚未完全进入工作台行程之内的情况。

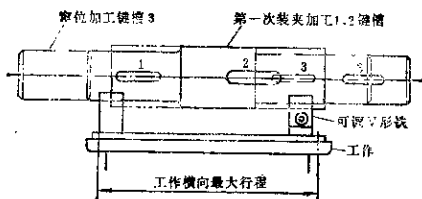


图9-24 窄位加工键槽

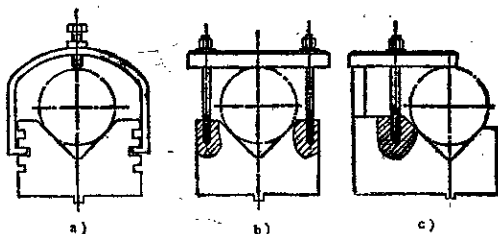


图9-25 窄位用V形铁

a) 夹箍夹紧 b) 双螺丝夹紧 c) 单螺丝夹紧

为了防止在窄位时轴的转动，还可在轴上装夹一个检具，如图9-26所示。在窄位之前，检具夹在适当的位置上，并用百分表在a、b两点找到零，当窄位后再用百分表检验。

利用这种检具还可以保证加工轴上相互位置成一定角度的双键，如互成 90° 或 180° 等。该检具轻便准确、制作方便。

轴上键槽一般都是采用水平铣削，但有时也采用垂直铣削，所使用的铣刀是三面刃，如图9-27所示，将其装夹在专

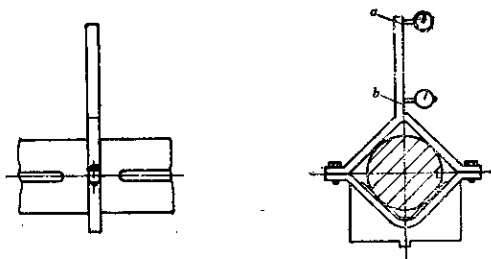


图9-26 找正用检具

用工具上使用，而专用工具装在平旋盘端面上。也有使用主轴上装刀的，因为主轴无论如何精密，其轴向总是有间隙的，所以影响槽宽

公差的控制，为了消除加工中的间隙，常采用主轴夹紧附件将主轴夹紧，它的结构形式很多，图9-28所示是其中的一种，主要是通过调紧螺母

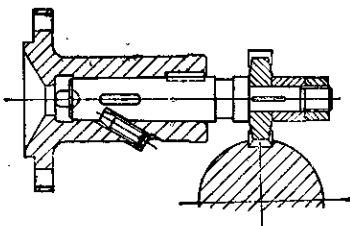


图9-27 垂直铣键槽

将开口锥形套压向主轴，使主轴的径向和轴向间隙都限制在最小状态，从而保证了使用。这种附件也常用于主轴用端铣刀加工平面的情况下。

上面谈的是轴类键槽的加工，而内孔上的键槽多用插床加工（通槽），倘若内孔有封闭式键槽加工插床则无能为力了。当孔径在 $\phi 150$ 毫米以上且工件较大时，可做一专用铣头

在镗床上加工（图9-29）。

图示铣头结构和使用方法简介如下：

铣头体2由四个T型槽用螺钉与支座1结合在一起，并将其固定在镗床平旋盘上（平旋盘设法固定）。梢套10中插入接轴3并一起装进主轴锥孔中，利用十字接头4将接轴3

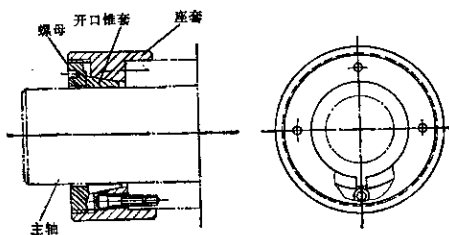


图9-28 主轴夹紧附件

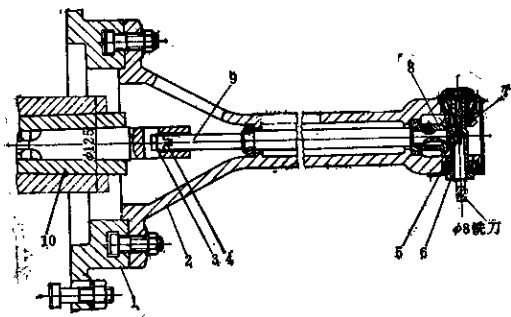


图9-29 加工孔内封闭键槽的铣头

和轴 9 连接，铣轴 6 安装在铣头体中，动力通过一对伞齿轮 8 与 7 传递，专用铣刀则装在铣轴 6 的锥孔中。铣刀轴用螺钉 5 紧固。

铣轴转速与镗床主轴转速相同。

铣槽时先用钻头钻孔，再换刀进行铣削，该铣头所使用的钻头和铣刀是专门制作的，安装时必须用螺钉 5 将其拉紧。

这种铣头结构小巧灵活，能解决内孔封闭槽和径向孔的加工。铣削表面粗糙度可达 $Ra3.2(\nabla 5)$ 以下，操作方便，一定要与纵向能进给的回转工作台配合使用。在更换梢套和支座后，还可与其他型号的镗床配合使用。

5. 键槽的测量

键槽宽度的测量一般用方塞规，这种塞规相邻两对边的尺寸不一样，加上另一端两个对边尺寸，共有四个尺寸，无论多大公差都能适应，每个尺寸都用电笔在其上写上数字。槽宽超过 40 毫米时，一般用内径百分尺（形同外径百分尺并有卡尺式两爪）测量。

在槽的加工过程中要想准确测量键槽比较困难，一般用游标卡尺测量，因此，可采用如图 9-30 a 所示变量塞规塞。它由两块表面粗糙度在 $<R_a0.4(\nabla 8)$ 的楔形块组成，其楔角为 6° ，合在一起后两测量面平行度允差为 0.005 毫米。根据自锁原理，两滑动面相对滑动，使其尺寸在一定范围内变化，所测尺寸的大小用外径百分尺测量即知。使用这种变量塞规可随时检测加工中的槽宽尺寸，以便上刀和控制公差。

键槽深度尺寸一般要求不严，可用游标类量具测量。键槽对中心的测量比较费事，通常用图 9-30 b 所示的方法，将方塞规塞入槽内，用百分表找平塞规平面，并记下找平时的表的示值。然后将轴转动 180° ，用同样方法找平塞规，两表

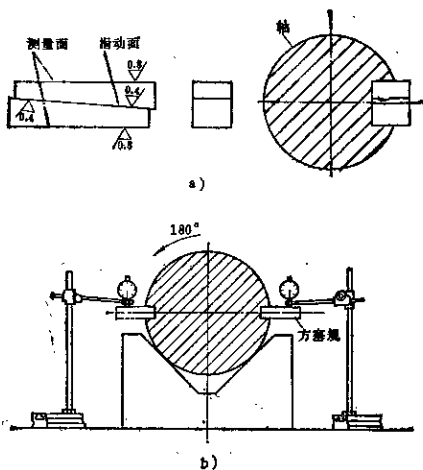


图9-30 测量键槽

- a) 用变量塞规测量两测面的槽宽 b) 用方塞规与百分表
测量键槽与轴线的对称度

相差数值的一半即为键槽中心偏离轴中心的误差。

二、T形槽的加工

T形槽是特形槽的一种，它主要用来安放T形螺母座作连接固定用。T形槽多在刨床与铣床上加工，只有封闭或半封闭的较大工件上的T形槽在镗床上加工。T形槽实际上是由两条相互垂直的直角槽构成，所以在加工时可先加工直槽，然后再加工横槽，具体步骤如下：

- 1) 如属封闭式槽，应首先将槽端孔干出，该孔有两个

作用，一是便于进退 T 形铣刀，二是便于使用时放置 T 形螺母座。槽端孔的深度应比 T 形槽略深一些（图 9-31 a）。

2) 如属敞开式 T 形槽，可直接先铣直槽（图 9-31 b）。如工件为铸铁材料，则可用硬质合金立铣刀（图 9-31 c）或机夹可换位立铣刀高速铣削粗加工，这样可以大大提高工效。工件若是钢质材料，则铣槽不仅费时，也费刀具。此时一般多按所划线用钻头依次相交钻孔进行粗加工。钻孔时要注意相邻两孔中心距不宜太近，两孔缺圆部分弧长应小于 $\frac{1}{4}$ 圆周长，以免将钻头憋断。同时注意钻孔深度。事实证明，用钻削方法拉荒能大大提高工效，也减少较贵重立铣刀的消耗。粗加工之后再立铣刀将槽宽精加工到尺寸。

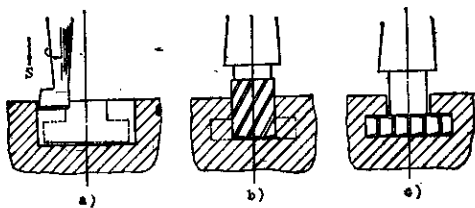


图 9-31 T 形槽的加工步骤

a) 钻槽端孔 b) 铣直槽 c) 铣 T 形槽

3) 铣 T 型槽：首先根据 T 形槽的尺寸选用相应的 T 形槽刀，若铣刀直径小，先将一边加工到尺寸，然后窜位加工另一边。若铣刀厚度不够时可分两次走刀铣削。

T 形槽刀在工作时条件很恶劣，因为三面切削刃都参加工作（图 9-31 c），摩擦力很大，同时排屑也很困难，所以

切削速度应该低一些，进给量也要适当减小，设法随时清除切屑。当T形槽尺寸较大一次切削有困难时，可分两次加工。先用尺寸较小的T形槽刀铣一次，或用机夹可转位T形槽铣刀铣削（图9-6b），以大大提高切削速度。

工件在装夹时，尽可能采用主轴箱进给铣削，而且从下往上进给，这样切屑可自动落下来，使加工轻松，切削热可随切屑带走。

加工钢件时要注意充分地冷却润滑。在退刀时一般不宜用快速，防止刀具蹩坏。最后根据图纸要求，选用锥形镗钻或在小刀杆上装上 $\varphi = 45^\circ$ 的刀头将槽口倒角。

三、切割

镗床在必要时也对薄板材料作切断工作。当工件毛坯量过长时，如采用铣削，不但振动大，而且一刀一刀地进会浪费时间，一般采用锯片刀进行切割。

1. 选择铣刀

首先是选择铣刀的厚度要适当，其次根据工件厚度选择直径与齿数。

铣刀太厚，切削口大，切削力就大，切削困难；太薄容易打刀，因此，应根据机床主轴及刀杆的刚性，工件材料及切口长度合理选择。

铣刀直径太大，会增加刀具摆差，降低生产率；太小又切不透工件，这要根据切口截面形状选择，以能切透工件为宜。

铣刀齿数以少一些为好，因齿少容屑槽深，排屑容易切削轻快。

2. 板料的切断

比较宽的板料装夹时，为防止中间部位压板压不上而产

生振动，应压一块厚实的长垫块。工件切口应在机床工作台 T 形槽处。铣刀在刀杆上安装一般不宜用键，预防切割中一旦发生意外，刀具可在刀杆上打滑，不致刀碎伤人。

切割时转速要低，一般手摇进给，以防意外。切割一定长度后，为减少切口对刀片两侧的摩擦与挤压，应在切口之间塞上楔形块。在工件行将全部切断时，应注意托住料头，防止打刀。

切割时应采用顺铣加工。

第五节 镗铣床附件的使用

随着各工业部门的发展，被加工零件的重量和尺寸日益增大，形状复杂，加工工序多，精度要求高，故在柱式镗床中有 60~70% 为铣削工作量，尤其在大直径的镗铣床上。要完成这些铣削加工，除了机床结构与之相适应以外，更重要的一个方面是依赖于大量的铣削附件。

铣削附件的种类很多，常用的有直角铣头、万向铣头、偏心铣头、沟槽铣头等（图 9-32），以下简要介绍它们的结构和使用。

一、直角铣头

直角铣头又称角铣头，它有多种结构，其基本型式如图 9-32 a 所示，主要由铣头和支座组成。使用时，支座右边矩形面通过螺钉与镗铣床的方滑枕端面（图 9-33）连接，并由机床铣轴 2 的同心凸缘 1 及其定位键 4 定向定位。刀具（钻头、铣刀、刀杆等）安装在铣头的铣轴 2 中，并用拉紧螺杆 3 拉紧。铣轴 2 上有一直齿锥齿轮与支承上的直齿锥齿轮啮合，支座中直齿锥齿轮的传动轴的另一端通过端键与机床铣轴相连，并由此获得动力。

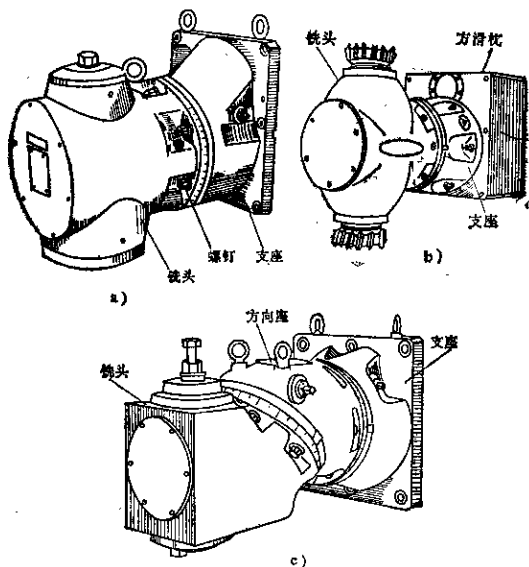


图9-32 常用铣削附件

a) 直角铣头 b) 双刀直角铣头 c) 万能铣头

铣头用螺钉与支座连接，并可沿支座中的环形T形槽 360° 转动。铣头与支座连接处的外缘上刻有读数，可根据加工需要将铣头搬度并固定在某一位置上。当铣轴装刀无论使用机床的某项进给（滑枕进出、主轴箱上下，立柱前后）均可加工出与机床主轴中心线平行的平面。当使用刀杆镗孔时所镗出孔的中心线均垂直于主轴中心线。

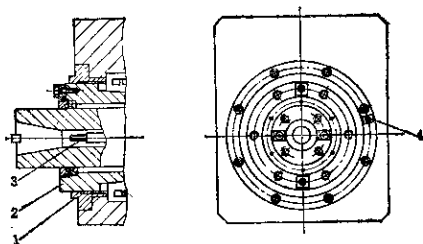


图9-33 方滑枕端面图

以上介绍的是单铣刀直角铣头，除此之外，还有双刀直角铣头（图9-32 b）和三刀直角铣头。双刀直角铣头的铣轴两端均能安装端铣刀盘，可方便地加工相互平行的两平面，也能装上刀杆进行镗孔工作。

在台式镗铣床上，当加工离工件端面较远部位的平面时，直角铣头铣轴中心至机床主轴箱端面的距离受到限制时，可以加接长座以延长这段距离。接长座两端严格平行，中间设有传递动力的传动轴，足以圆满地解决这一困难。

直角铣头属镗铣床最基本的附件，实际工作中还可以根据加工需要设计其他形式不同的结构。

二、万向铣头

1. 结构简介

万向铣头也称万能角铣头，同样是镗铣床基本附件之一。它比直角铣头增加了一个转角机构，因此，其功能比直角铣头扩大很多。它主要由铣头、万向座及支座构成（图9-32 c），铣头由螺钉与万向座上的环形T形槽连接，可作 360° 回转。万向座与支座的连接也是同样结构，支座与镗铣

床方滑枕端面连接方法与直角铣头相同。

由于铣头和万向座对于支座能在两处作 360° 回转的特点(可回转的外圆上均有 360° 刻度),因此,在矩形零件上可以铣出如图9-34所示的八个斜向平面。刻度盘游标读数均为 $2'$ 。

万向铣头在使用中扳度是个重要的问题,很容易产生混淆与紊乱,因此,这里必须着重介绍一下扳度公式,以便在实际工作中方便使用。

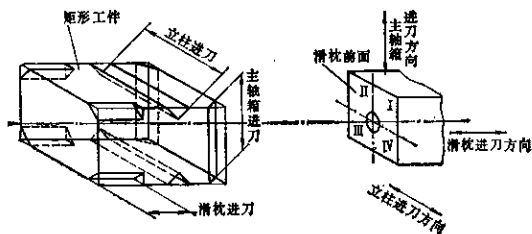


图9-34 在矩形工件上能铣出八个斜向平面

2. 万能铣头应用时的扳度

万能铣头在使用过程中主要问题是斜刻度盘和后刻度盘对加工平面的扳度。对于走刀运动来说,有立柱横向(x)走刀和主轴箱垂直走刀(y)两组扳度方法。

1) 立柱横向(x)走刀时的扳度

由图9-35可知,工件上 θ 角是给定的,若使万能铣头的铣轴垂直于工件上待加工面,可用下式计算(工件上 θ 的+、-方向以及刻度盘的+、-方向图上已标出)出 α 和 β 角:

$$\cos \alpha = 2 \cos \theta - 1$$

$$\operatorname{ctg}\beta = \sqrt{\frac{1}{2}(\sec\theta - 1)}$$

$$\text{因 } \sec\theta = \frac{1}{\cos\theta}, \text{ 所以 } \operatorname{ctg}\beta = \sqrt{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\cos\theta} - 1\right)}$$

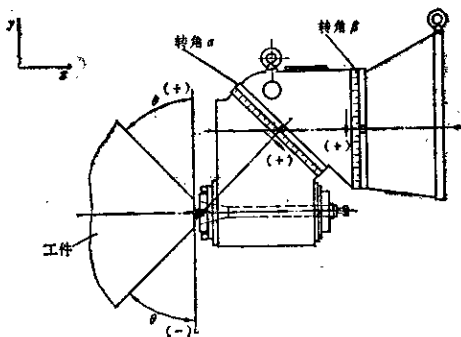


图9-35 立柱横向进给(x轴)

符号表示如下：

θ	α	β
+	+	+
-	-	-

【例】已知 $\theta = -30^\circ$ ，求 α 和 β 。

【解】将 θ 值代入上面计算公式，求出：

$$\alpha = \arccos(2\cos 30^\circ - 1) = -42^\circ 56'$$

$$\beta = \operatorname{arccotg} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\cos 30^\circ} - 1 \right)} = -74^\circ 27'$$

在实际生产中，已知 θ 值，可直接从表 9-1 中查出 α 和 β 角进行扳度。

表9-1 立柱横向进给时的扳度表

θ	α	β	θ	α	β
1	1.25	89.30	27	38.33	76.07
2	2.50	89.00	28	40.01	75.34
3	4.15	88.30	29	41.29	75.01
4	5.39	88.00	30	42.56	74.27
5	7.04	87.30	31	44.25	73.54
6	8.29	87.00	32	45.53	73.20
7	9.54	86.30	33	47.22	72.46
8	11.19	85.59	34	48.51	72.12
9	12.44	85.29	35	50.20	71.37
10	14.10	84.59	36	51.50	71.02
11	15.35	84.28	37	53.20	70.27
12	17.00	83.58	38	54.50	69.52
13	18.25	83.27	39	56.20	69.16
14	19.51	82.57	40	57.51	68.39
15	21.16	82.26	41	59.22	68.03
16	22.42	81.56	42	60.54	67.26
17	24.08	81.24	43	62.26	66.48
18	25.34	80.53	44	63.59	66.10
19	27.00	80.22	45	65.32	65.32
20	28.26	79.51	46	67.05	64.53
21	29.52	79.19	47	68.39	64.14
22	31.19	78.47	48	70.14	63.34
23	32.45	78.16	49	71.49	62.53
24	34.12	77.44	50	73.24	62.12
25	35.39	77.11	51	75.01	61.31
26	37.06	76.39	52	76.38	60.49

(续)

θ	α	β	θ	α	β
53	78.15	60.06	72	112.27	43.24
54	79.53	59.22	73	114.32	42.16
55	81.32	58.38	74	116.40	41.06
56	83.12	57.53	75	118.50	39.93
57	84.53	57.07	76	121.04	38.37
58	86.34	56.20	77	123.22	37.18
59	88.17	55.33	78	125.45	35.56
60	90.00	54.44	79	128.12	34.29
61	91.44	53.55	80	130.45	32.57
62	93.30	53.04	81	133.24	31.21
63	95.17	52.12	82	136.11	29.37
64	97.05	51.20	83	139.08	27.47
65	98.54	50.28	84	142.16	25.47
66	100.45	49.30	85	145.40	23.36
67	102.37	48.33	86	149.22	21.10
68	104.31	47.35	87	153.33	18.23
69	106.27	46.35	88	158.28	15.03
70	108.25	45.33	89	164.49	10.40
71	110.25	44.30	90	180.00	0

注：表中数字小数点后面的数为分，如42.56即为42°56'

2) 主轴箱垂直(γ)走刀时扳度

当主轴箱垂直走刀时(参见图9-36),斜刻度盘和后刻度盘的扳度可由下式算:

$$\cos \alpha = 2 \cos \delta - 1$$

$$\operatorname{tg} \beta = \sqrt{\frac{1}{2}(\sec \delta - 1)}$$

【例】已知 $\delta = 30^\circ$, 求 α 和 β 。

【解】将 δ 值代入上面计算公式, 求出,

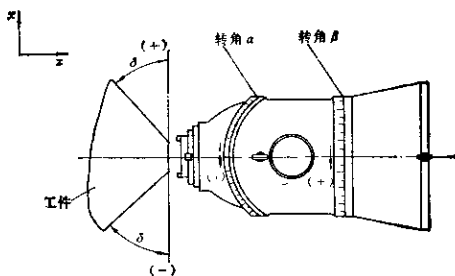


图9-36 主轴箱垂直进给(y轴)

符号表示如下,

δ	α	β
+	+	-
-	-	+

$$\alpha = \arccos(2\cos 30^\circ - 1) = 42^\circ 56'$$

$$\beta = \arctg \sqrt{\frac{1}{2}(\sec 30^\circ - 1)} = -15^\circ 33'$$

在实际生产中, 已知 δ 角, 可直接从表 9-2 中查出 α 和 β 角进行扳度。

表9-2 主轴箱垂直进给时的扳度表

δ	α	β	δ	α	β
1	1.25	0.30	8	11.19	4.01
2	2.50	1.00	9	12.44	4.31
3	4.15	1.30	10	14.10	5.01
4	5.39	2.00	11	15.35	5.32
5	7.04	2.30	12	17.00	6.02
6	8.29	3.00	13	18.25	6.33
7	9.54	3.30	14	19.51	7.03

(续)

δ	α	β	δ	α	β
15	21.18	7.34	47	68.39	25.46
16	22.42	8.05	48	70.14	26.26
17	24.08	8.36	49	71.49	27.07
18	25.34	9.07	50	73.24	27.48
19	27.00	9.38	51	75.01	28.29
20	28.26	10.09	52	76.38	29.11
21	29.52	10.41	53	78.15	29.54
22	31.19	11.13	54	79.53	30.38
23	32.45	11.44	55	81.32	31.22
24	34.12	12.16	56	83.12	32.07
25	35.39	12.49	57	84.53	32.53
26	37.06	13.21	58	86.34	33.40
27	38.33	13.53	59	88.17	34.27
28	40.01	14.26	60	90.00	35.16
29	41.29	14.59	61	91.44	36.05
30	42.56	15.33	62	93.30	36.56
31	44.25	16.06	63	95.17	37.48
32	45.53	16.40	64	97.05	38.40
33	47.22	17.14	65	98.54	39.34
34	48.51	17.48	66	100.45	40.30
35	50.20	18.23	67	102.37	41.27
36	51.50	18.58	68	104.31	42.25
37	53.20	19.33	69	106.27	43.25
38	54.50	20.08	70	108.25	44.27
39	56.20	20.44	71	110.25	45.30
40	57.51	21.21	72	112.27	46.36
41	59.22	21.57	73	114.32	47.44
42	60.54	22.34	74	116.40	48.54
43	62.26	23.12	75	118.50	50.07
44	63.59	23.50	76	121.04	51.23
45	65.32	24.28	77	123.22	52.42
46	67.05	25.07	78	125.45	54.04

(续)

d	α	β	d	α	β
79	128.12	55.31	85	145.40	66.24
80	130.45	57.03	86	149.22	68.50
81	133.24	58.39	87	153.33	71.37
82	136.11	60.23	88	158.28	74.57
83	139.08	62.13	89	164.49	79.20
84	142.16	64.13	90	180.00	90.00

注：表中小数点后的数字为分，如42.56即为42.56'。

三、偏心铣头

偏心铣头实际上是直角铣头的一种特殊形式，也是用户应该备置的附件。

偏心铣头如图9-37所示，它有两根铣轴，轴 I 与机床主轴同心，其端面 2 可装铣刀。轴 I 在偏心铣头的壳体内装有直齿锥齿轮，并与轴 II 上的直齿锥齿轮啮合并同步旋转。轴

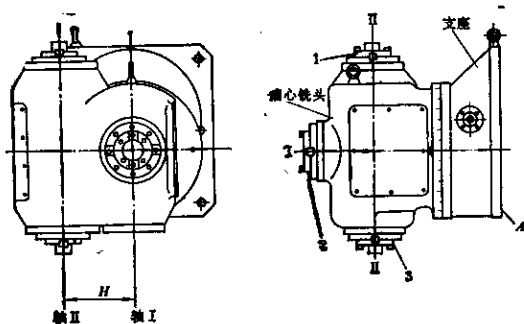


图9-37 偏心铣头

Ⅱ两端1、3处均可装刀加工，因此，该铣头实际上是三刀直角铣头。

偏心铣头最突出的特点是由于轴Ⅱ与轴Ⅰ偏心一个 H 尺寸，所以利用它可以加工大型工件偏于一侧的内框平面，而不受偏心铣头壳体尺寸的限制，换句话说，也就是相当于扩大了铣刀的铣削直径。

偏心铣头还可以装上立铣刀加工内框平面的清根处。

四、沟槽铣头

沟槽铣头是专供装夹锯片铣刀、三面刃铣刀加工工件上的沟槽以及切割工作。它的特点是装夹牢固，切削平稳，加工大型工件的沟槽生产效率高。

第十章 提高生产率与扩大镗床的使用

不仅在大批量生产条件下，而且在单件和小批量生产情况下，要提高镗床加工的劳动生产率仍有潜力可挖。比如，按工件类型采用通用的工夹具，采用多刀多刃切削，分工步流水作业，改进设备、以及从装夹上缩短零件的加工时间和辅助时间，这些都是提高劳动生产率的重要措施和途径。

积极而广泛地使用机床附件，充分发挥机床的工艺性能，使用一些简易而有效的辅助工具，使一般镗床起到大型车床、铣床及磨床等多种机床的作用，以实现“一机多用”。这不仅克服了由于设备条件限制所不能解决的加工困难，而且减少了国家投资，对于加速实现我国四个现代化的建设，具有重要的意义。

第一节 提高生产率的一般措施

提高镗床加工的生产率，概括起来一句话：就是要缩短每个零件的加工时间。加工时间中包括机动时间(切削时间)和辅助时间。尤其在单件和小批量生产的情况下，辅助时间占去相当一部分的加工时间，甚至在个别的情况下要占去全部加工时间的70%。因此，提高生产率的关键在于设法缩短辅助时间。

缩短零件加工时间的措施，归纳起来分为两大类：一是技术性措施，二是组织性措施。技术性措施包括改进工艺、改进装夹、改革工具、提高切削用量和改造机床等。组织措

施主要指合理地组织工作场地、统筹安排等。

一、装夹工件方面

装夹工作是镗床加工中一项技术性很强的工作。如果装夹不合理，不仅影响加工时间，也影响到加工的质量。例如单件生产一个较为复杂的工件，能够一次装夹完成全部的加工部位，就比由于考虑不周而多次装夹进行加工要节省不少辅助时间。

在小批量生产时，对于几个工件的同一工步能够合并一次加工的就尽量合并。如图10-1 a 所示的支架体，在刀杆长度允许的条件下，工件可纵向排列装夹，对 $\phi 80H7$ 孔多件一次加工，不仅减少了试切对刀、引进退出时间，而且使孔

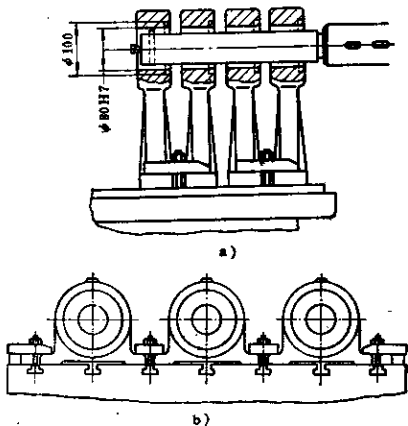


图10-1 合并加工工件
a) 纵向多夹工件 b) 横向多夹工件

径尺寸一致，孔的中心高一致。然后从前至后地逐个加工 $\phi 100$ 止口。

又如图10-1b所示的轴承座，由于两孔直径相差太多，且孔端面要加工，故几件横向排列装夹，首先铣削孔端面，减少单个零件加工时装卸刀具的辅助时间。在孔中心高不变的情况再逐个进行镗孔。

对于有批量的工件，为装夹迅速，保证规格一致，尽量使用专用或通用夹具，如用定位块定位等。

在重型机器厂的镗工段里，尤其是在柱式镗床小组里，都备有几块大型工作台即可换工作台（图10-2），供装夹工件时用。工作台上下平面相互平行，刚性好。当某一台机床上的工件加工完毕之后，可立即将可换工作台上已安装好的

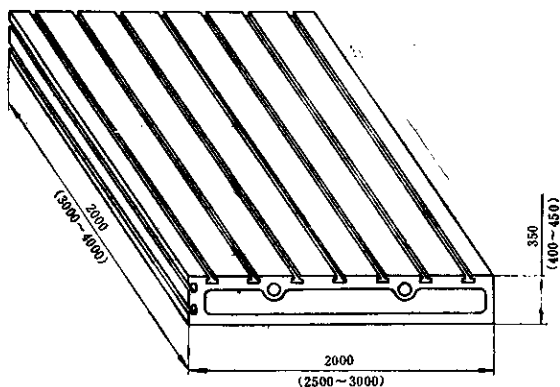


图10-2 可换工作台

工件连同工作台一起吊运到机床的工作台上，略予找正便可迅速投入加工。因此，该工件的装夹时间和前一工件的加工时间重合，不仅减少了机床的停机时间，而且对于需要转动装夹的工件只需要吊起可换工作台就可以了，从而大大的节省了重新安装的辅助时间，有利于保证加工精度。可换工作台对于柱式镗床的加工有着特别的意义，不仅如此，在现代数控镗床和自动换刀数控镗床上均广泛地采用了可换工作台装夹工件，该工作台并不是吊运，而是沿特定的轨道循环滚动。

二、切削加工方面

在铣削平面时，应尽量采用多刀切削，它不仅使切削平稳，更主要的是由于多刀切削时，在转进给量不变的情况下，每个刀齿进给量比单刀切削的齿进给量少，因此，在机床功率允许的情况下可加大切削深度和转进给量，以减少走刀次数。

在镗削时，也同样可以采取多刀切削，由于刀具伸出长度不相等，也就是说将孔的余量分布在多把刀具上切除。在小批量生产条件下，可减少若干次装卸刀杆和对刀试切时间。如图10-3所示为多刀镗孔示例，孔在粗镗之后，采用在一根刀杆上装三把刀加工成形，第一把刀半精镗，第二把刀精镗至尺寸，第三把刀挖止口和倒角。也可以采用多刀杆定位加

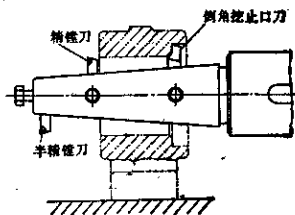


图10-3 多刀镗孔

工，就是钻孔、扩孔、半精镗、精镗（或铰）及挖止口和倒角等工步都分设在每一把刀杆上定好刀具尺寸，使用中依次更换切削。这样可减少对刀试切时间，保证质量，但频繁更换刀杆会增加劳动强度。

在保证质量的前提下，工件的加工余量在一次进给中以全部切除为最好，但事实上由于各种原因不可能做到这一点，所以，为了尽量减少进给次数，每上一次刀都要恰当地控制下次进给的余量。

有条件的情况下，尽量使用镗刀块镗孔，精镗也尽可能使用铰刀，以减少单刀镗削时调刀与试镗时间。当加工大孔不能使用铰刀时，可采用微调刀具上刀和采用刀具预调仪。

尽量采用硬质合金刀具高速切削，少使用宽刃高速钢单刀精镗孔。要逐渐推广机夹可转位刀具在镗床上的使用，这方面国外应用在镗床上的普及率达60%。因为使用机夹可转位刀具换刀方便，不用刃磨，从而节省了辅助时间。

加工直径大或长孔时，尽量使用支承镗削，以增加切削用量达到提高生产效率的目的。

镗床加工是一项复杂的工艺性很强的工序，必须具备各种各样的工具，俗话说“三分手艺，七分工具”，意思是讲工具的重要性。北京某厂一个具有七台镗床的小组，各种各样的刀杆共有400余根，加上其他各种工具共有一千余件，只有这样，生产中才能满足各种形状尺寸的复杂零件的加工，大大减少了加工中临时准备工具的时间。

三、改进工艺方面

减少铸、锻件及焊接件的加工余量，以缩短加工时间，这主要从工艺上给以保证。此外，铸件的清理工作十分重要，因为清理干净的工作加工时大大节省了刀具因型砂磨损

而多次磨刀的时间，特别是铸钢件尤其严重。

对于数量多的薄板工件，可以叠合起来加工，这样不仅减少装夹次数，而且便于加工，大大减少装夹找正、测量和等候吊车的时间，并能使工件尺寸一致。

工艺的改进对提高生产效率十分重要，作为操作者要从这方面积极主动地提出改进措施，协助工艺制定人员把工艺文件制定得更趋合理。

四、多机床加工和改造机床

在小批量生产中，如果工件上加工部位比较多，需要几次装夹，那么可以在几台机床上分别定位加工不同的部位，这叫流水作业。流水作业中每一个操作者只需熟悉和掌握自己所担负的工步内容。从整个工件加工来讲，缩短了熟悉全部工步内容的时间。实践证明，这种方法比将零件分配到各部机床上单独完成全部工步要节省很多时间。尤其对于批量生产且任务紧急的零件的加工特别有意义。

在一些重型机械工厂中镗床集中的地方，从工厂设计和安装机床时就考虑到了机群式加工的方案，所谓机群式加工就是几台机床同时加工同一个零件，如图10-4所示。这两台机床成垂直安装，也有的相对平行安装。这种加工方式不仅减少了零件的安装次数，而且两部机床加工的时间重叠，缩短了该零件在镗床上总的加工时间。如果这个工件在其他部位还要加工，那么可将可移式

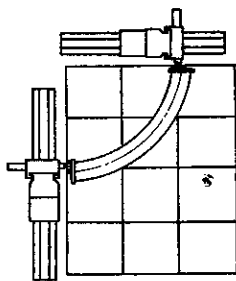


图10-4 两台镗床同时加工一个零件

镗床、万向钻床或刨床等吊到工作台上对工件同时加工。

为了缩短大型零件的生产周期，提高加工质量和工效，柱式镗床往往配以回转工作台，回转工作台与工作平台的安装位置一般结合着本单位的生产性质和条件来布置，如图10-5所示。图10-

5a,b是没有回转工作台仅有工作平台的布置方案，图10-

5 a所示的适用于加工长形工件；图10-5 b所示的适用于加工方形巨大工件；图10-5 c为

一个回转工作台和平台组成，适用于一般行业；图10-5 d

为两个回转工作台组成，适用于精密箱体类的加工；图10-5 e

为有三台柱式镗床和一个回转台及平台组成的机群式布置，适用高效满负荷加工的生产条件，它可以同时三台机床对装夹在平台上的工件加

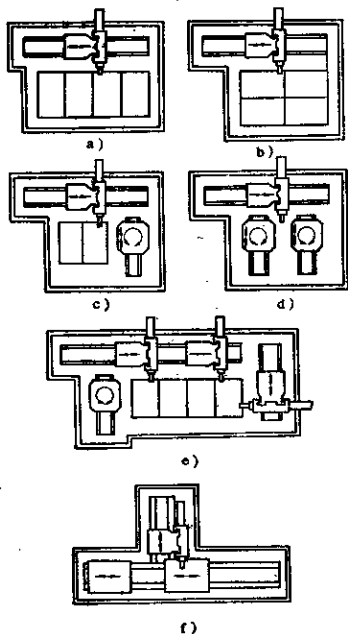


图10-5 回转工作台与平台相对机床安装位置示意图

工，也可以分别对装夹在回转工作台和平台上的两个工件同时加工；图10-5 f 所示为在一条导轨上有两个横向可移的工作台，能充分地利用机床的机动时间。

因为大型镗床的折旧费用和维修费用都是很可观的，所以要充分发挥它的作用，即以增加机动时间，努力减少辅助时间为目标，积极地做些切实可行的工作。降低生产成本，缩短生产周期与上述措施都有着密切的关系。

现代电子技术和光学技术的不断发展有力地促进了机床设备的改革，如镗床上精密坐标测量系统目前在老式机床上的应用越来越多，数字显示—感应同步器就是突出的例子，在中小型机床上多采用精密刻线尺和光学读数头装置有力地促进了加工中坐标位置的确定，大大提高了生产效率和产品质量。因此，各工厂在有条件时都要积极推广和使用新技术，逐步改造老机床。

五、合理组织工作场地

组织工作场地即方便而合理的工具位置，可以使劳动力和时间消耗最少，避免多余的和不方便的重重复动作，做到工人和设备能正常而安全地进行生产，是获得高生产率的必需条件。

工作位置上必须有工具箱，以及存放工位器具的架子，常用轻便的工、夹、量具应摆放在工具箱内高低适宜便于拿取的位置上，不常用的应放在较高或较低、较远或较偏僻的地方。工具箱内可用木料做成若干格子，将工具定位摆放，这不仅方便取放，而且整齐美观易于发现短少，也促进了文明生产。有条不紊地进行生产，可大大减轻工人的疲劳，促进生产率的提高。

第二节 扩大镗床的使用

镗床的工艺性虽然很强，但通过技术革新和技术改造，仍能扩大其使用范围。如充分利用机床附件、仿形加工、超长工件的加工、滚压、珩磨和磨削等。

一、充分利用机床附件

机床附件一般分为标准附件和特殊附件两大类。扩大镗床使用主要是依赖于特殊附件，如立铣头、磨削头、万能镗刀架等。国内生产的镗床附件较少，多数是根据生产需要自己动手制作。国外某些机床公司生产的镗床附件很多，有的竟达125种之多。当然，在实际工作中，并非所有附件都能使用得上，因为大多数附件所具备的功能可由其他专门机床替代，但对于设备不配套的车间会有着一定的意义。下面介绍几种附件的使用。

1. 钻削头

图10-6所示的钻削头主要适用于柱式镗床钻削大型工件法兰盘圆周孔。因为大型工件上这些孔使用其他设备加工很困难时，往往由镗床来完成，此类孔中心坐标都是以极坐标制标注，故孔中心与法兰盘中心是等距离的，用钻削头加工可适应这种坐标制确定孔中心尺寸，比起用直角坐标制分距离的方法加工要方便得多，而且误差小。另外柱式镗床最高转速比较低，一般为400转/分左右，远远不能满足钻小孔时的切削速度的需要，故用钻削头可以通过两对伞齿轮增速，便能解决这个问题。

钻削头的主轴2与装置在其中的钻头的旋转运动是靠装于机床主轴上的伞齿轮6、7及3、1而获得的。支架4安装在平旋盘的滑板上，另一支架5安装在平旋盘的端面上。当要

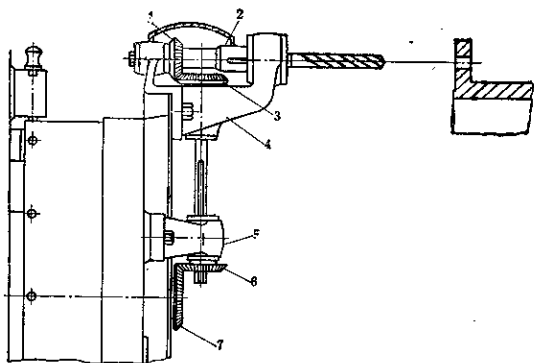


图10-6 钻削头

调节钻孔中心至法兰中心尺寸时,移动平旋盘滑板就可以了。

法兰盘上孔的等分一般为四、六、八等分,所以在平旋盘上有相应等分的销孔,供插定位销用。若法兰盘上的孔超过这个数字,可将平旋盘拨到最慢转速,点车转动平旋盘按预先划线钻孔。

2. 磨削头

图10-7所示的磨削头装置可用来磨削内孔、外圆和端面。

在磨轮轴1的一端装有砂轮,此轴自机床的主轴经过装于其上的伞齿轮4与5、8与10及带轮9和3而获得旋转运动,支架7安装在平旋盘的滑板上,磨轮轴支架2也安装在其上,支架6则安装在平旋盘的端面。

使用时调节平旋盘的滑板就可以调整磨轮轴绕镗床主轴中心线旋转时的旋转直径。当磨削外圆和端面时,可调换砂轮。

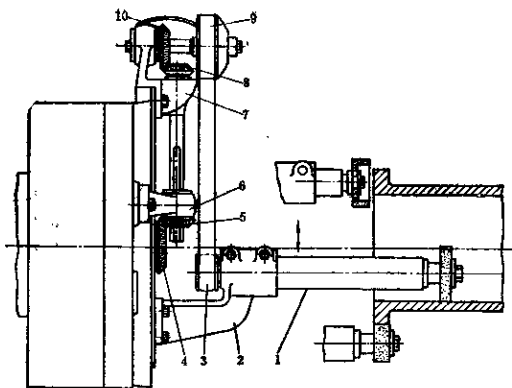


图10-7 磨削头

在使用磨削头时，首先要做好防护工作，因为砂粒粉尘到处飞扬，倘若溅落在机床相互运动的部位（如导轨上），则会有研伤的可能。

3. 立铣头在普通镗床上的使用

在镗铣床上使用立铣头和万能铣头是正常的工作，但镗铣床发展较晚。目前各工厂所拥有的绝大部分都是普通镗床。至于如何在普通镗床上使用立铣头来扩大机床的使用呢？在这方面，各地工厂都有不少宝贵的经验。下面介绍几种常用的结构：

普通柱式镗床的主轴箱端面上都有一个大平面，其上有若干条T形槽，用于安装机床附件，主要用来安装主轴悬伸支承套。常见的主轴箱端面结构如图10-8所示，图10-8 a上

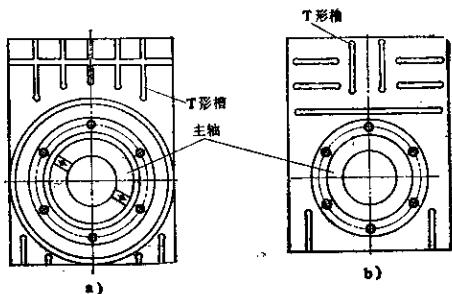


图10-8 两种柱式镗床主轴箱端面的结构图

有若干条T形槽，其中一条为圆形槽。图10-8 b所示的端面上有9条T形槽，最好利用这些槽来安装立铣头等。

图10-9所示是安装使用立铣头的示意图。座体1用螺钉固定在主轴箱8的端面的T形槽中，为了便于立铣头能围绕主轴轴线360°回转，所以铣头本体3又用螺钉固定在座体上的T形环槽中。因为是普通镗床所以没有铣轴，故在主轴上插一结合子2，通过它将机床动力传至一对伞齿轮4和5到立铣头的主轴7，驱使铣刀盘6旋转切削。

这种结构的立铣头特别适用加工内框里的平面，如轧钢机机架内框等。缺点是铣头刀具旋转中心至机床主轴端面距离是固定的，也就是轴向不能走动，因此，使用时必须配合回转工作台（能纵向移动的）一起使用。铣头主轴通过中心拉杆可以装夹立铣刀进行沟槽的铣削，在其端面上装上刀架，可以在两个相互垂直的方向上（ x 、 y ）镗孔。

主轴箱端面上装上万能铣头还能扩大工艺范围。

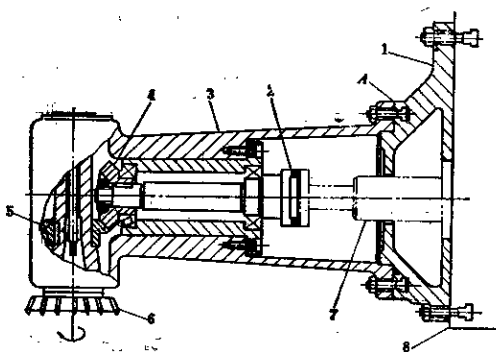


图10-9 立铣的安装使用

其他具有平旋盘的台式或柱式镗床，只要能将平旋盘固定不动，也都可以安装结构比较轻的立铣头，以用来解决其他通用的加工方法所不能加工或者质量达不到要求的工件。

如果主轴箱端面上部有平面的话，可使用图10-10所示的方法安装立铣头。立铣头借支架固定于轴杆上，轴杆用螺钉固定在镗床的主轴箱上平面。使用中根据加工部位可使支架在轴杆上移动调节并固定住，立铣头主轴与装于其中的铣刀经过壳体中的伞齿轮副自机床的主轴获得旋转运动。壳体能绕其轴线回转 360° 。

这种立铣头同样能作工件的顶面、侧面的多种铣削工作，也适用任何倾斜面上的铣削。由于支承刚性差，故不能承受大的切削扭矩，同时壳体和支架最好能采用轻金属制造。

二、车铣大外圆

在具有滑枕的大型镗铣床上，可在其上装夹刀具车削大直径工件的外圆，如图10-11所示。工件2安装在具有几种回转

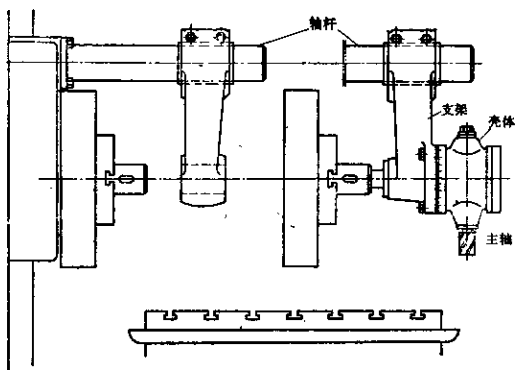


图10-10 立铣头的安装使用

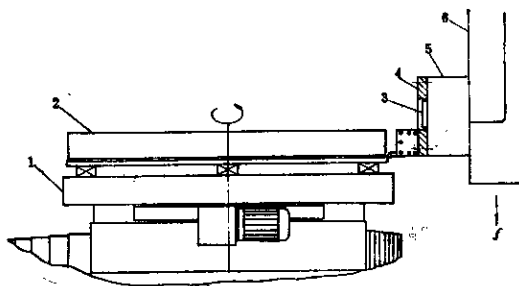


图10-11 在滑枕端面装刀架车削大直径工件外圆

速度的回转工作台1上，在方滑枕5的端面装上刀架4，开动回转工作台使其连续回转，配合主轴箱6上下进给车削工件外圆，以解决本单位没有大型立车加工的困难。当然，这比不得立车的切削条件好。吃刀深度是依靠方滑枕5进出控制，在选择切削用量时，尤其是吃刀深度和进给量时，一定要考虑回转工作台1驱动回转的电动机功率能否克服最大切削用量时的切削扭矩。一般来讲，尽量减少切削用量，以保护机床，延长机床使用寿命。

工件2在旋转切削时的方向也要注意，应使切削力压向立柱正面导轨，决不能离开导轨，否则，容易损坏机床。当工件毛坯余量不均或间断切削产生冲击负荷时，多采用铣削的办法进行粗加工，因为铣削可以减少总的切削力，生产效率高。铣削时，大直径端铣刀盘装夹在机床的铣轴3上，同样利用滑枕控制吃刀深度对装夹在回转工作台上的工件进行铣削。也可以单纯用铣削的方式加工外圆，但精度不如车削的高。

三、超长工件的加工

在镗床工作中，特别是设备条件较差的中、小工厂，经常会遇到工件超长的问题。一般纵向超长基本上都是同心孔加工，这可以用差动镗杆或联合进给的方法解决。

差动镗杆有立式和卧式两种，立式安放比卧式安放加工精度高。卧式安放适用于加工大直径的且中心线较长的孔，最大加工长度可达5~10米。图10-12所示为安装在机床上的差动镗杆结构示意图。镗杆具有足够的刚性，其直径约为镗孔直径的50~60%。为了减轻重量，镗杆多做成中空的。镗杆的母线直线性决定镗孔的直线性，故镗杆的制造精度要高。

镗杆7用螺钉10安装在机床平旋盘11上，由平旋盘带动

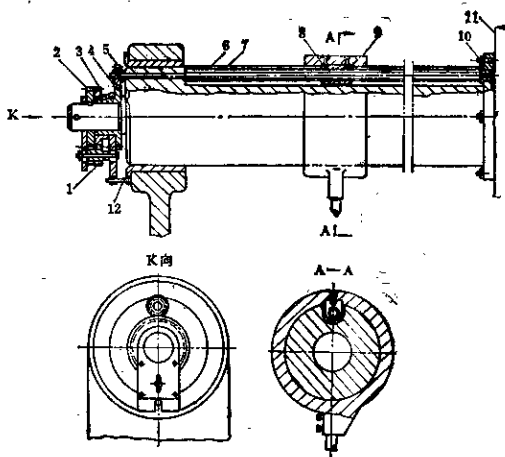


图10-12 差动镗杆

作旋转运动，刀架 9 通过装于其上的螺母 8 由丝杠 6 带动沿镗杆外圆作进给运动，刀架的宽度应为镗杆直径的 0.6~1.5 倍，而刀架与镗杆的配合为 $\frac{H_9}{f_9}$ 。

齿轮 2 和 3 经修正后，其齿数相差 1~2 齿，分别固定在镗杆 7 和齿轮 4 上，它们均与在支架上的齿轮 1 啮合。齿轮 4 装在镗杆 7 上，且和齿轮 5 啮合。当镗杆 7 旋转时由于齿轮 2 和 3 的齿数差，使齿轮 3 和 4 的转速与镗杆转速不一致，产生差动，传动齿轮 5 使丝杠 6 转动，从而使刀架 9 获得进给运动。杆 12 是防止齿轮 1 绕镗杆转动的。

图10-13所示为差动镗杆立式镗削示意图。零件3用定位夹具2固定在驱动机构1的壳体上，差动镗杆4的下端靠定位直径固定在驱动机构1上，上端靠支承套7和支架5支承在零件3上，由驱动机构带动作回转运动和通过差动机构8，实现刀架6的进给运动，其返回行程由快速电动机带动。更换定位夹具2，支架5和差动镗杆4，可镗削规格不同的零件。

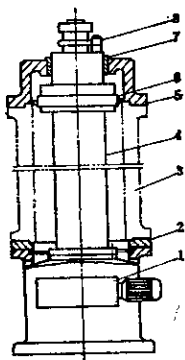


图10-13 差动镗杆立式镗削

倘若工件孔径较小但长度超出工作台纵向行程的情况下，可放在主轴和工作台均能纵向进给的镗床上加工。如工件长1800毫米，孔径为130毫米的孔放在T612机床上加工时，可用镗杆支承镗削。因为工作台纵向行程为1600毫米，加工时可用主轴和工作台纵向同时进给（进给方向相对）的方法镗削，这样就能顺利地解决超长200毫米的加工困难，并且没有明显接刀痕迹。

如果机床精度好，可以在同时只能一项进给的镗床上加工，即当工作台纵向行程完毕后马上采用主轴进给完成剩余长度的加工，在精加工之前要进行试切削，以观察接刀情况。

工件横向超长，多为加工平行孔系的情况。下面介绍速

杆孔距超长的加工方法。

图10-14 a所示的连杆，需加工两边的 $\phi 65H7$ 和 $\phi 95^{+0.1}$ 孔，两条孔中心距为 975 ± 0.05 毫米。若在T68机床上加工，则工作台横向行程短了。用其他方法加工很难保证孔距精度和平行性，当又没有其他大规格的镗床时，可采用图10-14 b所示的专用夹具加工。

使用夹具时，底座4偏于工作台中心安装，转台3用两根销子2将底座4穿在一起，并用内六角螺钉7固紧。工件1对称地装夹在转台3上。转台3底面中间有轴套5与底座的孔有很小间隙的配合，并用推力球轴承6减少转动时的摩擦。在工件安装之前，将检验棒插入轴套5的孔中，使用外径百分尺等方法确定主轴中心到轴套中心的距离为 487.5 ± 0.025 毫米。然后夹上工件。先镗好一边的 $\phi 65H7$ 孔，继而拔出销子2及松掉并取出螺钉7，将转台3转 180° ，并插入销子和拧紧螺钉7，这样待加工的孔就正对着主轴中心，接着加工这个孔至尺寸。利用这种对称原理还可以加工再长一些的工件，在有一定批量的情况下，更能突出它的经济性。该专用夹具应在坐标镗床上加工。

又如图10-15 a所示为另一种结构的连杆，两 $\phi 70H7$ 孔中心距大大超出T68机床的横向行程，若在该机床上加工，必须先加工好中间孔，然后才能利用它的对称原理加工两个 $\phi 70H7$ 孔。

使用中先在弯板上镗出A孔，其直径一般与被镗孔直径相等。再将工作台横向移动 500 ± 0.025 毫米，镗出定位轴孔。然后工作台横向继续移过 500 ± 0.025 毫米，此时机床的主轴箱和工作台均要夹紧。在定位孔中装夹住定位轴，并将工件夹上加工出第一个 $\phi 70H7$ 孔，转动工件 180° ，在A孔处用定位

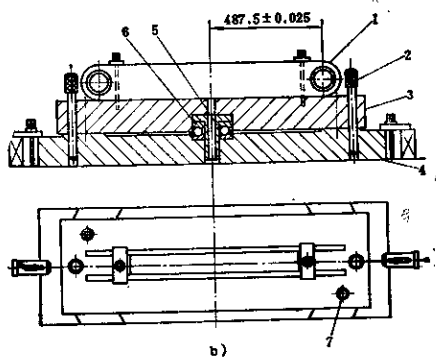
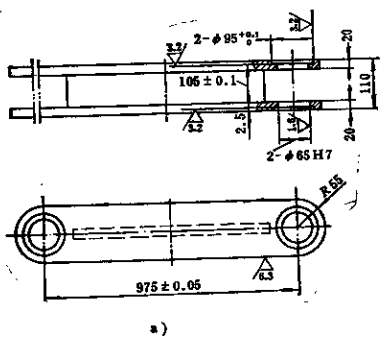


图10-14 横向超长工件的加工之一
a) 工件 b) 专用夹具加工工件

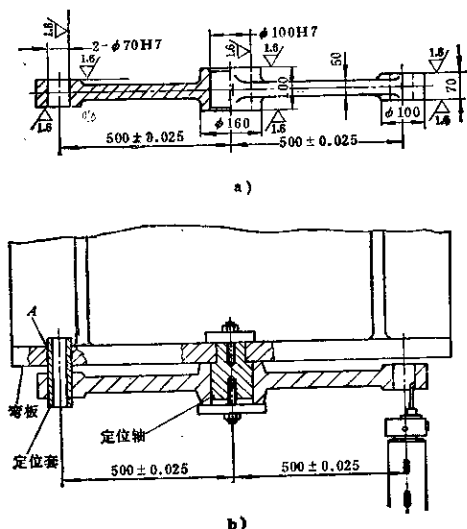


图10-15 横向超长工件的加工之二

套穿上定位，其目的是为了保证工件上三孔中心在一条直线上。最后镗出第二个孔(图10-15 b)。

四、滚压在镗床上的应用

在镗床上加工内孔，采用滚压的办法可使表面粗糙度达 $R_{a}0.8(\nabla 7)$ 以下，有时也作为表面粗糙度不够的补救措施。但滚压加工不适于孔壁有缺陷的零件。

滚压系无屑光整加工，它不仅能降低零件表面粗糙度，而且使被加工表面产生冷作硬化层，从而提高了零件的耐磨

性及疲劳强度，如油缸孔多采用滚压加工就是这个道理。

滚压的加工过程，以滚珠滚压为例，在滚压后，零件被滚压的表面上将产生永久变形，变形量等于实际压入量减去回弹量。滚压将零件表面微观的不平度波峰压平，被滚压下去的部分形成了组织密集的硬层，能提高零件的使用寿命。

滚压工具主要为滚压器，滚压器的种类很多，一般分刚性滚压器和弹性滚压器。图10-16 a 所示为两珠刚性滚压器，两滚珠间的最大尺寸可通过锥面滚珠轴承用螺帽调节。该滚压器适用于加工直径在150毫米以上的孔。

图10-16b所示为多珠刚性滚压器，适用于直径在80~160毫米的孔，可通过调整两端的螺帽使滚珠沿锥面移动调节尺寸的大小。

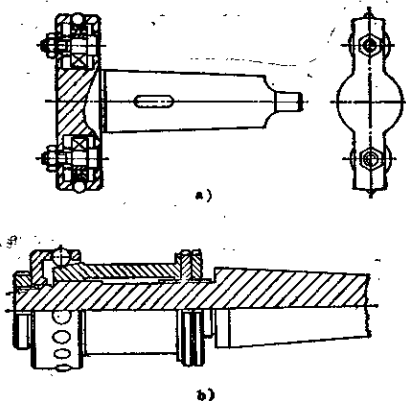


图10-16 刚性滚压器

上面两个滚压器的滚压元件都是滚珠，其优点是接触面积小，所需压力小，对于安装时歪斜关系不大。此外，也有采用滚柱和滚轮的。滚柱所需压力较大，但可采用较大的进给量滚压。滚轮较滚珠接触面大，安装位置不正会形成一点接触，影响表面粗糙度的降低。滚珠和滚柱可使用标准的，但滚轮可用9SiCr15制造，热处理后硬度为HRC60~64，也可用硬质合金材料。

图10-17所示为两滚轮弹性滚压器，滚轮2由硬质合金磨成。两滚轮间的尺寸靠浮锥3调节，面浮锥靠螺钉1来调整与弹簧4的平衡来达到，弹簧压力可以更换垫圈5来调节。

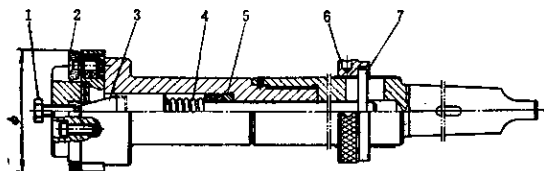


图10-17 两滚轮弹性滚压器

滚压时，滚轮始终平衡地与孔表面接触滚压，不会偏离中心，因为浮锥在顶杆左端槽中可以浮动。当加工完毕退刀时，可调节螺钉1顶动浮锥3或旋动调节螺母6推动杆7来实现。

图10-18所示为浮动可调滚压器，其结构和浮动铰刀相似，只是在淬火的套中装入滚珠而成。两滚珠间的尺寸调节很方便。滚压器装在浮动铰刀杆中就可以使用，不过刀杆的刚性必须好，以免滚压力比较大时产生扭曲。

单珠滚压元件的滚压器最好不要使用，因为很大的径向

压力会损坏主轴的精度。

滚压时滚压力是一个重要的工艺参数，在实际操作过程中一般依靠操作者的经验与试滚确定，如试滚的表面粗糙度和尺寸精度能达到图纸要求时，可以认为所采用的滚压力是适合的。用滚珠滚压钢件时的滚压力可用下式计算：

$$P = \left[\frac{Dq}{0.054E \left(\frac{D}{d} - 1 \right)} \right]^2 q$$

式中 P ——滚压力（牛）；

D ——被滚压的孔径

（毫米）；

d ——滚珠直径（毫米）；

E ——被滚压材料的弹性模量（牛/毫米²）；

q ——最大单位接触压力（牛/毫米²），可近似的取被加工材料屈服极限的1.8~2.1倍，即 $q \approx (1.8 \sim 2.1)\sigma_s$ 。

滚压时的过盈量与滚压弹回量和尺寸精度的控制有直接关系。随直径大小而不同，一般最少要在0.05~0.3毫米以上，这也要看滚压工具的结构间隙如何而定。

在进给量方面，其大小与滚压元件的圆弧半径及数量有关，圆弧半径大及元件数量多，进给量可以大些，反之则小些。用圆弧型面滚压器滚压时，进给量的选择如表10-1所列。

滚压速度对滚压质量影响不大，一般可根据孔径大小、机床的刚性及装夹情况在8~100米/分内选取。

采用多珠滚压时，一般以滚压一次为宜，两珠滚压时两

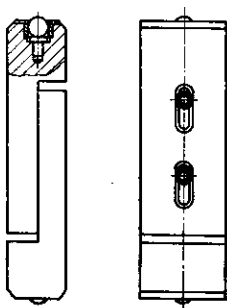


图10-18 浮动可调滚压器

表10-1 用圆弧型面滚压器滚压时的进给量

表面粗糙度 (R _a)		滚压器的滚珠 (轮)数	滚珠(轮)型面半径 (毫米)								
滚前	滚后		6	10	16	20	25	30	40	50	
进给量 (毫米/转)											
6.3	1.6	1, 2, 3	0.09	0.15	0.23	0.29	0.37	0.47	0.58	0.74	
3.2	0.8	1	0.18	0.29	0.47	0.58	0.83	0.94	1.12	1.24	
1.6	0.8	1, 2, 3	0.36	0.58	0.72	0.8	0.88	1.00	1.12	1.24	

- 注 1. 滚压前表面粗糙度为R_a6.3(▽4), 滚珠数为1个时, 滚压3次; 2个时滚压2次; 3个时滚压一次, 其余各栏为滚一次。
2. 滚压前表面粗糙度为R_a3.2~1.6(▽5~6)时, 孔径大于φ1000毫米的只能滚达R_a1.6(▽6), 孔径φ500毫米左右的深孔可以滚达R_a1.6~0.8(▽6~7)
3. 原始表面粗糙度稍差时, 应当降低进给量。

次, 一般不超过三次。滚压次数过多, 对表面粗糙度的降低并不显著, 容易产生疲劳而脱皮。

滚压时要注意充分的冷却润滑, 工件为钢件时, 可用机油, 或机油加煤油; 工件为铸铁时, 可用煤油或柴油。

滚压后的表面粗糙度平均可以降低二级, 孔径扩大量为0.01~0.06毫米之间。

五、珩磨在镗床上的应用

珩磨是利用圆周上装着若干磨条的珩磨头进行微量磨削的一种光整加工方式, 表面粗糙度最低可达R_a0.05(▽11), 它不仅如此, 而且能少量扩大孔径尺寸及减少锥度和圆度。

珩磨工具主要是珩磨头, 珩磨头的结构有多种多样。下面简要介绍两种常用的结构。

图10-19所示为小孔径的珩磨头, 适用于直径φ30毫米以上的孔。它装卸方便, 使用灵活。本体6上有四条直槽, 夹

爪 3 嵌在槽子里，并将磨条 2 通过弹簧 5 和本体 6 连接在一起。锥体 4 的右端装有两个销子 8，与本体右端螺纹配合的螺帽 7 卡入其中。当旋动螺帽时，销子 8 带动锥体 4 在本体的槽子中移动，从而使磨条张开或收缩即改变磨条构成直径的大小。螺塞 1 防止脏物进入锥体。使用时，磨头通过螺纹拧入刀杆 9 中即可。

图10-20所示也是一种结构简单的珩磨头，可根据被珩磨孔径的大小而更换套筒 2 和油石 1 来调节珩磨范围，适用

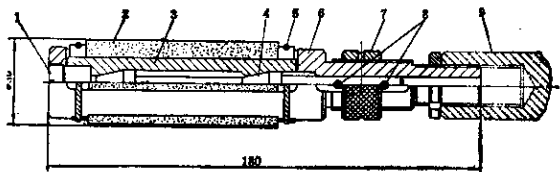


图10-19 小孔珩磨头

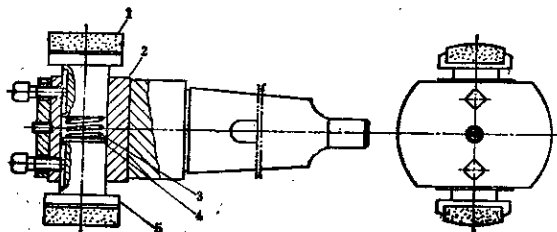


图10-20 双磨头

于直径为120~250毫米的孔。油石1嵌入油石夹5内。弹簧3的张力大小可更换可换垫4进行调节。此外，还有装在铰杆上的珩磨头。

磨条的材料是根据工件的材料来选取的，加工铸铁、铝、青铜和黄铜用碳化硅材料；加工钢件则用氧化铝（刚玉）材料。

磨条的粒度主要是根据加工余量的大小和表面粗糙度的大小来选取。加工余量大，磨条的粒度号应当越低；表面粗糙度要求越小，加工余量少，粒度号应越高。珩磨用的磨条粒度号为120、150、180、240、280及W40、W28、W20。

孔表面粗糙度要求 $<R_a0.4$ ($\nabla 8$)时，采用120~280粒度号，当表面粗糙度要求 $R_a0.1$ 、 0.05 ($\nabla 10$ 、 $\nabla 11$)时，应当分粗精珩磨两道工序，粗珩磨用120~280粒度号，精珩磨用280~W20粒度号。

磨条的硬度应根据被加工材料的硬度来决定与选取，零件越硬，磨条应当越软，淬火钢用的磨条采用 $R_2 \sim ZR_1$ ；不淬火钢和铸铁用 $ZR_2 \sim Z_2$ ；珩磨铝用 $R_3 \sim ZR_2$ 。

珩磨时的切削速度：钢用45~60米/分，铸铁用60~70米/分，铝、黄铜、青铜用70~90米/分。

往复轴线运动速度一般为2~8米/分。经验证明，珩磨头的轴线移动较慢，可以获得较小的表面粗糙度。

磨条对被加工表面的压力应为30~50帕。

珩磨前对被加工孔表面的要求：一般要求孔预先加工到 $R_a3.2 \sim 1.6$ ($\nabla 5 \sim 6$)， $\phi 80 \sim \phi 130$ 毫米的孔留出0.03~0.04毫米的余量。余量越大，珩磨的时间越长。每一次往复行程大约可以去掉0.7~5微米的金属层。

珩磨余量可按下表选择：

表10-2 珩磨余量表

(毫米)

孔 径	直 径 余 量	
	钢	铸 铁
25~150	0.01~0.04	0.03~0.10
150~300	0.025~0.05	0.08~0.15
300~500	0.04~0.06	0.12~0.20

孔径珩磨后,表面粗糙度能提高2~3级,还可以少许提高一些孔的几何精度。

六、仿形加工

仿形加工就是靠模加工,它能加工一些曲率半径较大的结构简单的曲面,但加工精度和仿形能力都比较低,尽管如此,在生产中确实解决了大型工件上的加工难题,不过须按加工要求制作一套靠模。目前不少工厂中仍使用这种方法加工,待以后数控镗床普及时将会完全代替这种传统的靠模。以下介绍两种靠模加工法,即径向靠模和轴向靠模。

图10-21所示为径向靠模示意图。其座体1安装在机床工作台上,用浮动接头将主轴与转轴5连接,带动滑块6上

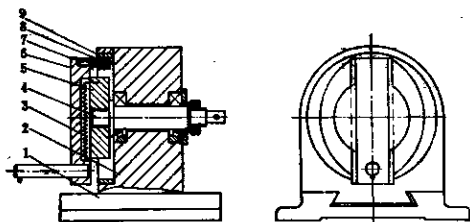


图10-21 径向靠模示意图

的刀杆旋转切削。转轴5与滑块6用燕尾形导轨配合。凸轮9（仿形基准）的内环是一封闭曲线靠模。滚子8靠弹簧3的拉力压紧在靠模上。当机床主轴带动转轴5转动时，滚子8带动滑块6和刀杆按靠模9的曲线作径向移动。这种工具可镗削4级精度以下的曲线型内孔和外圆，表面粗糙度达 $R_{a}6.3\sim 3.2$ ($\nabla 4\sim 5$)。

工件上两孔垂直相交所形成的带尖棱尖角的相贯线往往需要倒角，尤其对于具有往复运动的缸体孔或泵体孔更有必要，这不仅能延长机件的使用寿命，而且使流体介质更加流畅，从而能提高机械效率。这种倒角采用一般的锉、刮等方法均较困难。为此采用如图10-22所示的相贯线倒角工具。

这种工具实际上是以凸轮4作为轴向靠模，它用键和螺

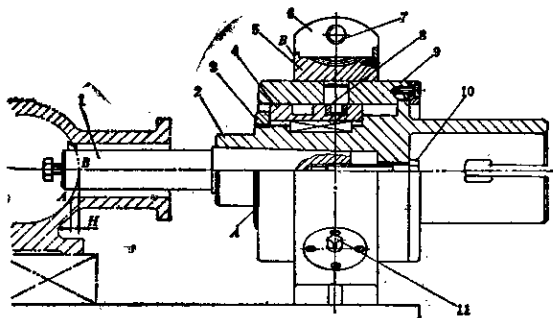


图10-22 相贯线倒角工具

帽3与转体2联接在一起，固定在套9上的销子将滚轮8置于凸轮槽中。当转体旋转 360° 时，滚轮8沿凸轮槽相对滚动并带动转体2和刀杆1作轴向前后运动。凸轮4以工件上两孔相交所形成的相贯线尺寸和形状放大（或缩小）做成。

使用时将工件和工具均安装在机床工作台上，找正并使其等高和同轴。转体2右端与机床主轴以浮动接头联接。刀杆1装在转体2左端锥孔中并用螺钉10拉紧。为了使刀具运动的轨迹与相贯线交角相互对应，可点车旋转刀杆，用百分表测量螺帽A端面，并通过转动蜗杆11上的方头轴柄调整蜗轮5来实现，蜗轮5右端面B处一周刻有 360° 刻线，供调整蜗轮5时参考。调整后可用螺钉7将上部开口的本体6拧紧。蜗轮5用键与套9联接。当蜗轮5转动时，套9上的销子带动滚轮8沿凸轮槽滚动至所需位置。

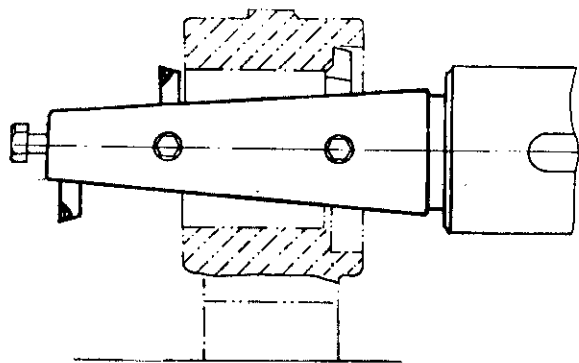
凸轮4直径与被加工孔径的大小没有关系。凸轮直径越大，其加工精度越高。一种凸轮槽只适用于一种特定的相贯曲线。图中所示的凸轮较宽，其上有两种曲线的凸轮槽。更换凸轮还可加工孔内其他封闭曲线（如油槽等）。

刀具的楔角要小，因为在相贯线的每一处，前角和后角都是变化着的，所以刀具的前角和后角都要适当增大，并视相贯线的具体曲线形状来确定，如图10-22所示的H值越大，则刀具在A、B两点时的角度变化也越大。

上面所述均为机械仿形加工，除此之外，镗床上还可以进行电气仿形加工，它的仿形能力比上述强，而且灵活性大，对于复杂的成形表面，例如船上的螺旋桨叶片、水力透平机的叶片等都可机械化连续加工。

镗工技术

罗其昌 编著



机械工业出版社

本书内容主要介绍在单件或小批量生产情况下的卧式镗床加工工艺及其有关的基础知识,其中包括镗床结构、镗削知识和工件的装夹,着重叙述各种孔系的加工方法。对于特形孔的加工、镗削加工以及扩大镗床的使用等也都作了简要说明。

本书是作者多年从事卧式镗床加工的实际经验的归纳和总结。

本书可供在机修、试制和工具车间从事万能加工的镗工学习使用。对其他与镗床加工有关人员也都有参考价值。

镗工技术

罗其昌 编著

责任编辑:应华炎

封面设计:刘代

机械工业出版社出版(北京西城门外百万庄大街一号)

(北京市书刊出版业营业登记出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

开本 787×1092¹/₃₂·印张 13³/₄·字数 301千字

1987年9月北京第一版·1987年9月北京第一次印刷

印数 0,001—5,900·定价:2.85元

统一书号:15033·5533