

# 机械零件切削

## 加工工艺与技术标准

### 实用手册

◎ 主编：冯道



JIXIE LINGJIAN Q IEXIAO  
JIAGONG GONGYI YU JI  
SHU BIAO ZHUN  
SHIYONGSHOUCE

安徽文化音像出版社

# 机械零件切削加工工艺 与 技术标准实用手册

主 编：冯 道

中 卷





## 第二章 机械零件镗削加工工艺

### 第一节 镗削加工的基本方法

#### 一、镗削加工方法的种类与特点

##### (一) 镗削加工方法的种类与特点

镗削加工是机械加工中广泛采用的一种重要加工方法。它不仅可以镗削单孔,还可以镗削孔系、沟槽、平面等。由于工件的表面形状和外形尺寸各不相同,所以镗削时采用的加工方法也不尽相同。镗削加工的基本方法可分为下面几种:

按镗削支承情况来分,可分为悬伸镗削和支承镗削。

按机床类型来分,可分为立式镗削和卧式镗削。

按镗刀的主切削刃来分,可分为单刃镗削和双刃镗削。

按加工孔多少来分,可分为单孔镗削和孔系镗削。

按镗杆受力情况来分,可分为推式镗削和拉式镗削。

这里主要从镗杆的支承情况和进给方式来阐述悬伸镗削和支承镗削的特点和优缺点。

1. 悬伸镗削法 悬伸镗削法就是使用悬伸的镗杆对中等孔径和不穿通的同轴孔系进行镗削加工的方法。悬伸镗削法是镗床的主要加工方式,在短床身镗床、无后立柱镗床、数控镗床上镗削孔,基本上多是采用悬伸镗削法。

根据镗床进给方式的不同,悬伸镗削法又可分为主轴进给和工作台进给两种方式。

在主轴进给方式中,主轴在作旋转运动的同时还作轴向进给运动,见图 3-2-1。

图 3-2-1a 为用长镗杆镗削同轴孔。先镗削 A 孔,再镗削 B 孔。在加工过程中镗杆不调换。

图 3-2-1b 为先用短镗杆镗削 A 孔,再用长镗杆镗削 B 孔。在加工过程中调换镗杆。

图 3-2-1c 为先用短镗杆镗削 A 孔,再用长镗杆镗削 B 孔。在加工过程中不仅调换镗杆,为了提高长镗杆的刚性,还在已加工好的 A 孔中加镗杆引导套。

在工作台进给方式中,镗床主轴只作旋转运动,进给运动是由工作台来完成的。其加工形式也有图 3-2-1 所示的三种情况。图中虚线表示为工作台进给方向。

##### (1) 悬伸镗削法的优点

①可镗削单孔和孔轴线不太长的同轴孔。

②所使用的镗杆刚性大,切削速度比支承镗削高,生产率高。

③在悬伸镗杆上安装、调整单刃镗刀或镗刀块方便、省时。

④悬伸镗削入口宽敞,便于观察加工情况。可使用通用精密量具进行测量,容易保证工件

的加工质量,比其它镗削方式辅助时间短、生产率高。

⑤若采用工作台进给法加工,由于工作台导轨直线性好,镗削孔的直线度也较好。镗孔精度基本上取决于机床本身的精度,在半精镗和精镗孔时宜采用工作台进给法来加工。

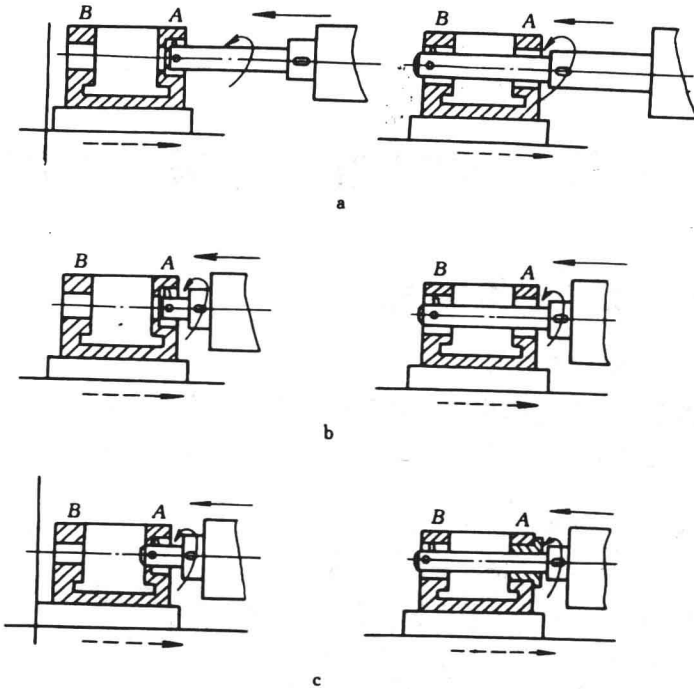


图 3-2-1 悬伸镗削法

(2)悬伸镗削法的缺点 在悬伸镗削法中,若采用主轴进给法加工,由于镗床主轴不断伸出,其刚性将逐渐下降,在切削力的影响下,主轴在不同的加工位置上所产生的变形各不相同,镗出的孔径亦不相同。另外,随着主轴悬伸量的增加,其自身重量所引起的弯曲也在变化,而使主轴轴线产生弯曲,镗出来的孔的轴线会随着主轴轴线弯曲而弯曲,影响孔的尺寸精度、形状精度,产生圆柱度误差。在镗削加工精度要求不高的孔时可采用主轴进给法加工。在半精镗、精镗孔时不宜采用主轴进给法加工。

2. 支承镗削法 当镗削箱体类工件的同轴孔系时,孔轴线较长,且又是贯通孔。这时如仍采用悬伸镗削法进行加工,由于镗杆悬伸量大,镗杆轴线产生的挠度值可能超过了工件的加工要求,镗削加工出来的孔将达不到图样规定的技术要求。在这种情况下,通常采用将镗杆头部伸入镗床尾座套筒内进行镗削加工,这种镗削加工方法通常称为支承镗削法。

支承镗削法和悬伸镗削法一样,也有三种类似的加工方式,见图 3-2-2。

图 3-2-2a 为镗杆做旋转运动,工作台作进给运动加工同轴孔系。主轴和镗杆的悬伸长度不变。由于两支承点间的距离很长,镗杆伸出的长度至少要超过被加工孔距长度的两倍以上。

图 3-2-2b 也是主轴做旋转运动,工作台作进给运动加工同轴孔系。加工时用一根不太长的镗杆,在镗杆前后两处开有与被加工孔距离相对应的装刀方槽。镗好一孔后将镗刀卸下,

再重新装入另一方槽内,调整好镗刀尺寸,镗削另一孔。镗杆伸出长度比图 3-2-2a 可大大缩短。

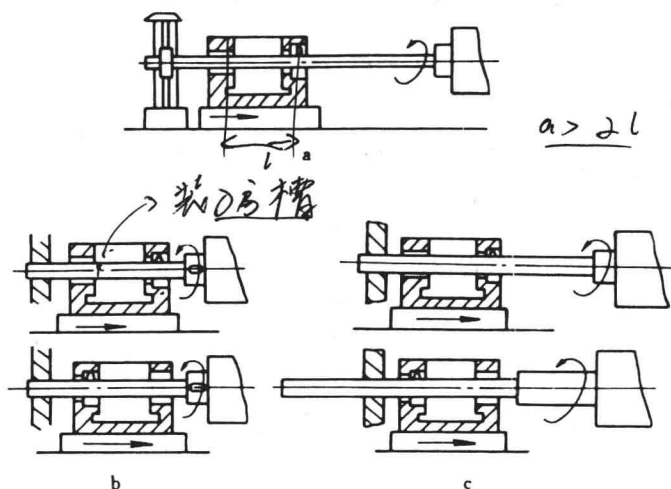


图 3-2-2 支承镗削法

图 3-2-2c 为主轴连同镗杆既做旋转运动又做进给运动加工同轴孔系。随着主轴伸出长度的增加而使镗杆的工作长度相对缩短。

#### (1) 支承镗削法的优点

①与悬伸镗削法相比,支承镗削法大大增强了镗杆的刚性。

②支承镗削法适于加工穿通的同轴孔系,能保证孔的尺寸精度和同一轴线上各孔的同轴度要求。

(2) 支承镗削法的缺点 在加工同轴孔系时,在同一镗杆上有时可能要安装多把尺寸不同的镗刀,装卸、调整镗刀较麻烦,费时。特别在加工箱体类工件内隔板上的孔时,加工情况不易观察,不能用通用量具来进行测量。

3. 悬伸镗削法与支承镗削法的比较 悬伸镗削法可以广泛用来加工箱体、壳体类工件上的浅孔,以及同轴孔系的端面孔。

在悬伸镗削法中,主轴旋转速度不受镗杆支架轴承的影响,比支承镗削法可提高镗削速度,生产率高。

悬伸镗削法大多用于加工工件上的端面孔,调整刀具较方便。试镗、测量直观、方便。

支承镗削法在加工较深较大的孔和孔间距离较大的同轴孔系中发挥着良好的作用。在配合间隙调整恰当的情况下,可获得较高的孔的同轴度要求。但装卸、调整镗刀较悬伸镗削法麻烦、费时。不能采用端镗工具和通用量具,加工过程中不便于观察,影响了加工范围的扩大,在工艺系统刚度足够的情况下,一般多采用悬伸镗削法来加工。

#### (二) 镗刀镗孔和浮动镗刀镗孔

在卧式镗床上加工孔的方法中以镗刀镗孔和以浮动镗刀镗孔最为普遍,现分别叙述如下:

1. 镗刀镗孔 用镗刀镗孔是孔的镗削加工方法中最主要的加工方法。并且加工范围很广,可以加工各种工件上不同尺寸的孔。可以进行粗加工,也可进行精加工,特别适合于单件、小批生产。用镗刀镗孔不仅能保证孔中心线的正确位置,修正毛坯或上道工序加工后所造成

的孔的中心线的歪曲和偏斜,而且还能保证孔与孔之间的坐标尺寸精度和相互位置精度。如果镗孔作为最后精加工工序,在精镗前必须进行半精镗,并在半精镗后留有适当的余量供最后精加工使用。

在精镗加工时,镗刀刀头要有足够的耐磨性。在孔的镗削加工中,刀头的磨损会引起切削力的增加,切削热的上升,以致造成孔的形状和孔的尺寸失去控制。使用硬质合金刀头的短镗杆,并用高的切削速度和小的进给量能获得良好的孔的形状精度和细的表面粗糙度。实践证明,精镗后的表面由于刀痕、振动等原因引起的波峰最高点和波谷最低点间的高度要比粗镗、铰削小,因而精镗比粗镗和铰孔的表面粗糙度要细。

在用镗刀镗孔时,背吃刀量不宜过小,一般不低于 $0.1\text{mm}$ 。进给量也不宜过小,一般不低于 $0.03\text{mm}/\text{r}$ 。如果背吃刀量和进给量过小的话,镗刀刀头的切削部分不是处于切削状态,而是处在摩擦状态,这样容易使刀头磨损,从而使镗削后孔的尺寸精度和表面粗糙度达不到图样规定的技术要求。

(1) 镗刀镗孔的优点

①加工工艺性好,适用范围广,不仅能加工通孔,还能加工不通孔、阶梯孔、交叉孔等。

②加工精度高,表面粗糙度细,能保证孔的形状精度和位置精度。在镗床精度良好的情况下,用镗刀镗孔时孔的尺寸精度可达  $\text{IT}7 \sim \text{IT}6$  公差等级,孔的同轴度可达  $\phi 0.01 \sim \phi 0.05\text{mm}$ ,孔的位置精度可达  $\pm 0.01 \sim \pm 0.05\text{mm}$ ,孔的表面粗糙度可达  $R_a 3.2 \sim 0.8\mu\text{m}$ 。

③如使用硬质合金刀片,可以进行高速镗削,生产率高。

由于镗刀镗孔具有上述优点,所以在生产中被广泛使用。

(2) 镗刀镗孔的缺点 用镗刀镗孔时,调整刀具和对刀所消耗的辅助时间比较多,影响生产率的进一步提高。

2. 浮动镗刀镗孔 浮动镗刀是一种尺寸可调节的镗刀块,图 3-2-3 是一种结构较典型的浮动镗刀。工作时它无须固定在镗刀杆上,镗刀块只是插在镗刀杆上的精密方孔槽内,并能沿径向自由滑动,由刀块上两条对称的切削刃产生的切削力自动平衡其位置,自动抵偿因刀具安装误差或由于镗刀杆的径向跳动而引起的加工误差。即在所加工孔中能自动定心、定位,可获得良好的孔的形状精度和较细的表面粗糙度。

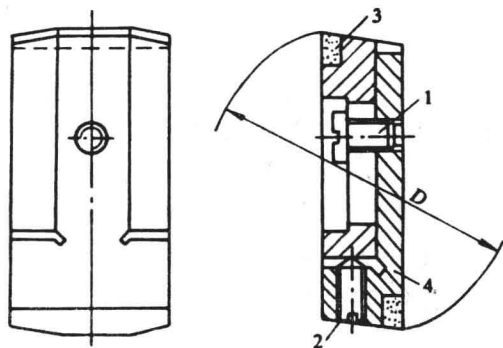


图 3-2-3 浮动镗刀

1、2—螺钉 3—刀块 4—刀体

浮动镗刀的直径尺寸  $D$  应预先按图样规定的尺寸要求调节好。浮动镗刀磨损后,可以调节刀块来进行补偿。调节时,先松开螺钉 1,然后旋转螺钉 2 来调节刀块 3 的径向尺寸。使用时一般用千分尺或标准样圈来检查预调尺寸的大小,调节到所需尺寸后再拧紧螺钉 1 固定刀块。

采用浮动镗刀镗孔,孔的尺寸精度一般可达  $\text{IT}7 \sim \text{IT}6$  公差等级,表面粗糙度可控制在  $R_a 1.6 \sim 0.8\mu\text{m}$ ,最细时可达  $R_a 0.4\mu\text{m}$ 。浮动镗刀镗孔时的背吃刀量(即精镗余量)一般为  $0.05 \sim 0.1\text{mm}$ 。

由于镗削过程中刀具几何角度变化等原因,浮动镗刀镗出孔的大小往往同刀块预调的尺

寸不一致。在工艺系统刚性良好的情况下,背吃刀量如选用 $0.05\text{mm}$ 时,孔径扩张量一般在 $0\sim 0.01\text{mm}$ 范围内。在正式进行镗削前,往往先要进行试镗,以检查镗出孔的大小是否合格。如不合格,就要重新调整刀块,直至试镗合格后,才能正式进行镗削加工。镗削时进给量一般取 $f=(0.3\sim 0.7)\text{mm/r}$ ,镗削速度一般采用 $(8\sim 12)\text{r/min}$ 。

浮动镗刀镗孔因其加工质量好,易于控制,所以广泛应用在生产上。但浮动镗刀镗孔亦受到一些限制,有一定的局限性。首先因其切削过程中镗刀是浮动的,所以它不能纠正原有孔的位置误差和形状误差,如孔轴线的偏移、扭曲、平行度、垂直度误差等等。这就要求待加工孔在使用浮动镗刀前应有足够的精度,孔的直线度要好,表面粗糙度要控制在 $R_a3.2\mu\text{m}$ 左右,并且孔壁上不允许有明显的切削波纹。其次是浮动镗刀在镗刀杆方孔槽内的配合要求较高,而且方孔轴线必须和镗刀杆轴线相垂直,这给镗刀杆制造提出了更高的要求。此外,浮动镗刀的刃磨必须保证两切削刃的对称,技术要求高。由于浮动镗刀是由两切削刃产生的切削力自动平衡的,所以对工件的材质、形状均有较高的要求。浮动镗刀只能镗削整圆的通孔。对不通孔、阶梯孔和不完整圆的孔是不能采用浮动镗刀来加工的。

## 二、工件的装夹

镗削时孔的精度  $\sqrt{.27}$  ↑

工件的装夹包括工件的定位和工件的夹紧两个方面。

### (一) 工件的定位

工件安装在机床上或夹具中,必须严格遵守六点定位的原则,使得工件相对于刀具或定位元件有一个符合图样规定要求的理想正确的位置。所以必须正确选择定位基准和定位方法。

1. 定位基准的选择 工件在加工过程中用作定位的基准称为定位基准。为了保证工件的加工质量,正确选择定位基准很重要。选择定位基准时,主要应从定位误差要小和有利于夹具结构简单两方面考虑。

定位基准根据工件表面状况可分为粗基准和精基准两种。以毛坯表面作为定位基准的称为粗基准。以已加工表面作为基准的称为精基准。

#### (1) 粗基准选择的原则

①若在毛坯加工成工件的过程中某一表面不需要加工,则应尽可能选用此毛坯表面作为粗基准。

②若毛坯的各个表面都需要加工,则应选加工余量最小的表面作为粗基准,避免因其它加工表面的余量不够而造成废品。

③作为粗基准的表面应尽可能平整光洁,面积要大,刚性要好。如毛坯为铸件时,粗基准不应有分型面痕迹,也不应有浇冒口残迹。若毛坯为锻件时,粗基准面上不应留有飞边。这样可减小定位误差,大大提高定位精度。

④粗基准原则上只能在第一道工序中使用一次。

⑤镗工在加工变速箱、进给箱、主轴箱等箱体类工件时,除了应遵守上述粗基准选择的原则外,还应注意:

A. 轴孔在箱体类工件加工中要求最高。在选择粗基准时,应保证各轴孔的加工余量均匀,以免因加工余量不均匀而在加工时引起振动和产生加工误差。

B. 保证加工表面相对于不加工表面有正确的相对位置,包括箱体内壁与将要装入的齿

轮、拨叉等工件之间有足够的空隙,箱体壁厚要适当,外壁凹凸均匀。

### (2)精基准选择的原则

①尽可能使定位基准与工序基准、设计基准、测量基准重合,避免产生基准不符误差,有利于保证工件的加工精度。

②工件定位基准本身的精度、形状和尺寸应选择合适的。应选择工件上面积最大的平面作为定位基准,使工件安装方便、稳定、可靠。

③应尽可能使工件在加工时因切削力和夹紧力而引起的变形量最小。为此所选的精基准应有足够的刚度,并且应尽量接近被加工表面。

④箱体类工件镗削加工孔如采用镗模或镗夹具时,所选精基准应使夹具制造简单、方便。

2. 工件的定位方法 在镗削加工过程中,工件的定位方法有划线找正定位法、利用定位元件定位法和利用夹具定位法等。

(1)划线找正定位法 划线找正定位法就是镗工在镗床上根据工件上所划的加工线进行找正定位。这是镗削加工中最常用的找正定位方法,镗工必须掌握该方法的操作技能,并能正确使用。

图 3-2-4 所示就是划线找正定位法的例子。首先在镗床主轴锥孔中装入镗刀杆,在镗刀杆上装一划针。轴向移动主轴使划针尖与工件上的 A 点对准,再移动工作台使划针尖向 B 点靠拢,若划针尖不与 B 点重合,可将工件向划针尖挪近两者距离的二分之一,再移动工作台重新检查 A 点,看划针尖是否与 A 点对准,若划针尖与 A 点仍有微小偏移,假定偏移量为 2mm,再敲动工件向划针尖移近 1mm,使划针尖与 A 点重合,再移动工作台检查 B 点,若仍有偏移,再重复上述过程,直至符合要求为止,即移动工作台时划针尖与 A、B 点分别重合。工件在找正定位前仅做了轻微紧固,待找正定位好后,应再次夹紧工件,防止工件在加工过程中因切削力的影响而发生走动,影响工件的定位精度。

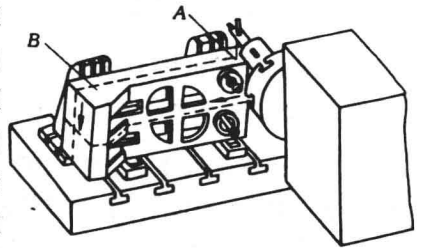


图 3-2-4 划线找正定位

### 划线找正定位法的特点

- ①不需要专用夹具和镗模,加工成本低。
- ②找正、对线直观,能保证工件各加工表面的余量均匀。适用于单件、小批生产。
- ③由于在找正定位前增加了划线工序,辅助时间长,影响生产率的提高。
- ④用划线找正定位法加工出来的工件,定位精度低,只适用于粗加工。对生产批量大、精度要求高的工件不宜采用划线找正定位法。

(2)利用定位元件定位 在镗削加工中,常利用 V 形块、楔块、等高垫块等简单的定位元件对工件进行定位。

图 3-2-5 就是利用 V 形块对圆柱形工件进行定位的例子。首先在镗床工作台上预先校正好 V 形定位块相对于镗床主轴的正确加工位置,然后将工件安放在 V 形定位块上,并夹紧工件。对首件进行试镗削,根据试镗情况调整 V 形块的位置,直至调整到满足加工精度要

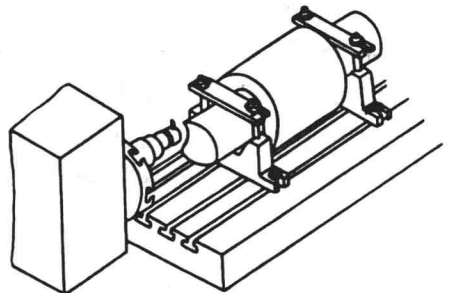


图 3-2-5 利用定位元件定位



求为止。再把 V 形定位块固定在镗床工作台上。以后只要把工件安装在 V 形定位块上即可进行镗削加工。

图 3-2-6 是利用等高垫块作为简单的定位元件来定位的例子。其应用十分普遍。特别是带燕尾形的滑座等工件的镗削加工,在没有专用镗模的情况下,几乎都是用等高垫块来定位安装的。首先在镗床工作台上安放好等高垫块,再将带燕尾形的滑座安放在两等高垫块上,然后在 A 孔内插入定位心轴进行找正定位(或找正定位工件上的一个侧面),使定位心轴轴线与镗床主轴轴线平行,再调整主轴高低,使主轴轴线到等高垫块的距离为  $H$ ,夹紧工件,再进行孔的镗削加工。

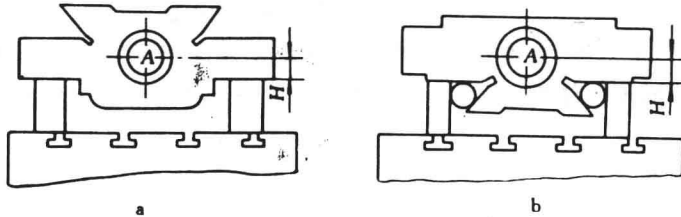


图 3-2-6 利用等高垫块定位

利用定位元件定位具有结构简单、定位稳定可靠、加工误差小、成本低等优点,所以在镗削加工中应用很广。特别适用于中、小型工件的单件、小批生产。

利用定位元件定位,工件的定位面必须是已加工过的表面。这是因为一般都把该表面作为定位基准中的精基准来使用。另外,同一批工件的已加工部分尺寸,要求均匀一致,有利于减少定位误差和加工误差。

(3)利用夹具定位 在机械加工过程中,用以装夹工件的装置统称为夹具。它通常由定位元件、夹紧元件和夹具体等主要部分组成。

图 3-2-7 是减速箱体在夹具中定位的简图。减速箱体各轴孔连线与箱体底面带有倾斜度。如果将减速箱体底面直接安装在镗床工作台上,各轴孔中心线与底面的距离各不相同,势必大大增加加工过程中的调整、对刀等辅助时间。镗削这类工件时,可利用带倾斜度的夹具来进行定位。夹具的倾斜度与减速箱体的分界面倾斜度一致,将减速箱体倾斜分界面安装成与工作台平行的水平位置上。这样,镗削加工时镗床主轴位置只要找正定位一次,加工其余各孔时就不需要再重新进行找正定位,大大减少了辅助时间,提高孔的加工位置精度,提高了劳动生产率。

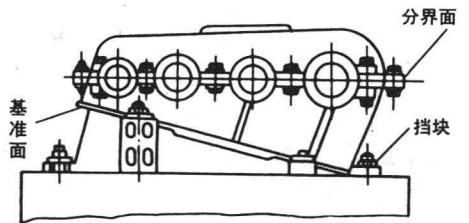


图 3-2-7 利用夹具定位

应该指出上述减速箱的加工工艺性比较差,现在这类减速箱的分界面几乎都设计成与底面平行的位置,大大提高了减速箱的加工工艺性。

利用夹具定位使工件定位迅速、正确,加工方便,夹紧可靠。但必须要设计、制造专用夹具,生产准备周期长,成本高,故一般用于大批大量生产中。

(4)利用其它方法定位 除了上面介绍的 3 种定位方法外,有时遇到外形结构特殊的工件时,镗工应根据工件的实际情况,灵活处理。例如可利用工件上的工艺搭子、已加工好的外圆表面等来定位。图 3-2-8 就是利用大型角铁的侧面来对形状奇特的工件进行定位的例子。

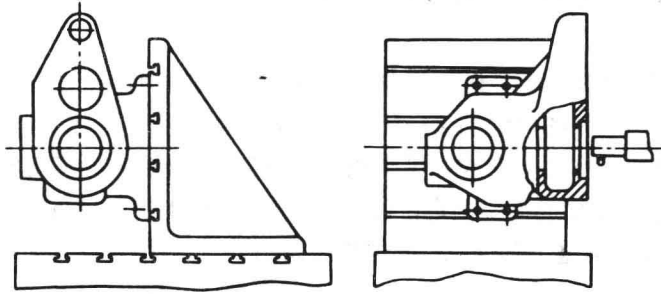


图 3-2-8 利用大型角铁定位

综上所述,对镗工来说,必须熟练掌握工件的定位原理和定位方法,正确选择粗、精基准,才能根据工件的不同形体结构、精度等级和工艺要求来选择正确的定位方法,从而保证工件的镗削加工质量。

## (二) 工件的夹紧

工件有了正确、稳定、可靠的定位后,在加工过程中还必须进行夹紧。因为在加工过程中工件受到切削力的作用,若不夹紧就会产生移动或振动,影响镗削加工质量。

1. 工件夹紧必须遵循的原则 夹紧工件时不应破坏工件在定位时所得到的正确位置。

夹紧应可靠、适当。夹紧力的大小既要使工件在加工过程中不产生移动或振动,又不使工件产生过大的变形和损伤。工件在夹紧后的变形和受压后工件表面可能引起的损伤,不应超过技术文件上的规定要求。

必须保证不出现因毛坯形状不规则而产生夹不紧的现象。

2. 夹紧力的确定 在夹紧工件之前,首先应合理确定夹紧力的三个要素,即夹紧力的方向、大小和作用点。

(1) 夹紧力方向的确定 在镗削加工过程中,切削力起着破坏工件的定位和夹紧的作用。但只要夹紧力的方向合理,即使切削力很大,用较小的夹紧力也可以使工件顺利进行镗削。如果夹紧力的方向不当,即使切削力很小,也有可能影响和破坏工件的定位,而无法进行顺利切削。正确的夹紧力的方向应正对着支承垫块,见图 3-2-9。支承垫块如在 B 位置,夹紧力的方向正对着支承垫块,夹紧稳定可靠。支承垫块如在 A 位置,夹紧力方向偏离了支承垫块,工件不仅夹不紧,反而会使工件产生一个颠复力矩,可能会使工件产生局部变形,严重时甚至压坏工件。

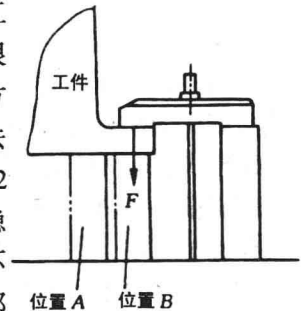


图 3-2-9 夹紧力方向的选择

尽管镗削加工时工件的装夹方式各不相同,但选择夹紧力方向都应遵循以下原则。

① 夹紧力方向应不破坏工件定位的准确性。在夹紧力的作用下,工件不应离开定位面,且最好使工件在各个定位面上都有一定的夹紧力。

② 夹紧力方向最好与工件的重力、切削力方向一致,因为这时所需的夹紧力最小。

③ 夹紧力方向应尽可能使工件产生的变形减小。

(2) 夹紧力大小的确定 夹紧力的大小应适当。夹紧力太小可能夹不紧工件,在切削力的

作用下会引起工件的移动和振动,影响工件的镗削加工质量。夹紧力太大可能会引起工件的变形,甚至把工件压坏。夹紧力大小一般采用估算法。镗工可根据工件在切削力、夹紧力(大型工件还应考虑重力,当工件运动速度较大时还应考虑惯性力)作用下处于平衡来进行估算。另外还应考虑工件加工余量的不均匀以及刀具锐钝等因素的影响,适当增大夹紧力。

夹紧力的大小不仅与切削力的大小有关,还与切削力对定位支承的作用方向有关。在实际生产中应尽量使夹紧力的方向与切削力的方向一致,使切削力由定位支承或其它辅助支承来承受,而不是由夹紧机构或摩擦力来承受。

(3)夹紧力作用点的确定 夹紧力作用点选择得是否合理,对镗削加工的质量影响很大,见图 3-2-10。

在图 3-2-10a 中,若夹紧力作用点选择在工件上端两凸肩处,这样不仅会使工件上两小孔产生夹紧变形,而且还会因夹紧螺栓太长而夹不紧工件,在加工时还容易引起振动。合理的选择应在靠近工件支承面的  $a$ 、 $b$  处。

图 3-2-10b 的壳体类工件,合理的夹紧点应选择在  $a$  处,这样夹紧力的方向正对着支承块,夹紧稳定可靠。若夹紧点选择在工件刚性差的  $b$  处,这时夹紧点远离支承点,容易造成工件的变形甚至断裂,夹紧不牢固。

对图 3-2-10c 的长方体工件,若采用螺栓、压板夹紧,两压板间的距离应尽量远一点,夹紧点应选择在  $a$ 、 $b$  位置,这样夹紧稳定可靠。若夹紧点选择在  $c$ 、 $d$  位置,两压板间的距离比较近,又远离镗孔部位,在切削力的作用下,可能会使工件产生颠复力矩而影响工件的正确定位。

对于箱体类工件,镗削加工时最常用的夹紧方法是采用压板夹紧。在夹紧时要特别注意压板的后支承要与工件受力面等高,压板与工件接触处应是一个小平面,而不应是一条线,否则夹紧力的水平分力会推动工件移动而影响工件的正确定位。压板的正确搭置方法见图 3-2-11。根据杠杆原理, $L_1$  越小,夹紧力越大。所以在夹紧时,夹紧螺栓在不影响工件的定位和装卸的前提下,应尽量靠近工件的夹紧点。为此,选择夹紧力的作用点应遵循以下基本原则。

①夹紧力的作用点应选在能使夹紧力均匀分布在工件的接触面上的地方,并能可靠地夹紧工件

②夹紧力的作用点应尽量靠近镗削加工部位,减少切削力对夹紧力作用点的力矩,减少振动,保证工件的镗削加工质量。

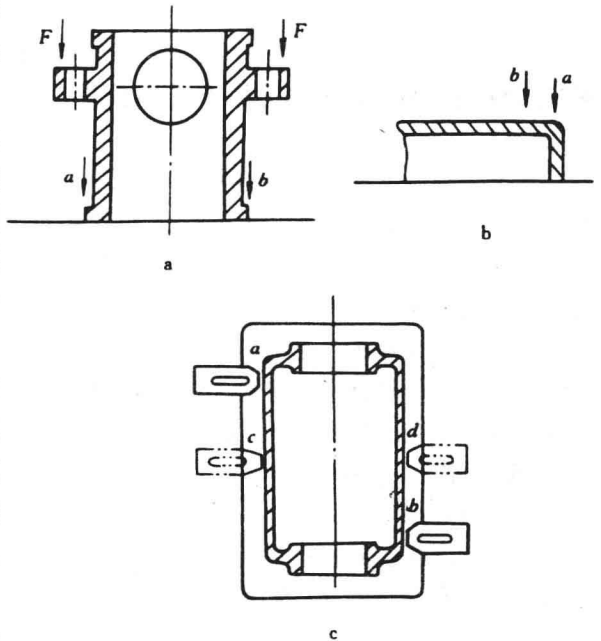


图 3-2-10 夹紧力作用点的选择

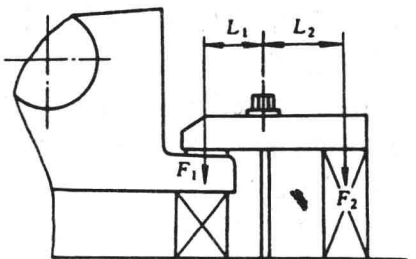


图 3-2-11 压板的正确搭置

③夹紧力的作用点应选在工件刚性大的位置上,夹紧力作用点应有较大的接触面,防止工件变形。

④夹紧力的作用点应尽量落在支承点(或支承面)处。

3. 夹紧方法 工件的夹紧方法主要根据工件的结构形状和质量大小来决定。在实际生产中主要有下面3种夹紧方法。

(1)压紧法 这种方法主要是通过螺栓和压板对工件直接进行压紧。图3-2-11就是压紧法的典型例子。压紧法在实际生产中应用最广。

(2)挤推法 在镗削加工中,经常遇到那些压紧部位狭小和表面较圆滑的工件,对这些工件常采用挤推法来进行夹紧,见图3-2-12。

挤推法与压紧法的主要区别在于,挤推法的夹紧力方向不完全垂直于主要定位面,而压紧法的夹紧力方向是垂直于主要定位面的。在实际生产中,挤推法可作为辅助夹紧与压紧法配合起来一起使用。

(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,如锅炉蒸汽包、圆形容器等。由于这类工件壁薄,受力点不集中,加上直径很大,所以用链、索拉紧能沿圆弧薄壁均匀分布夹紧,单位面积上承受的压力小而作用在工件上的总的夹紧力大。在实际生产中,配上一定的定位工具,如V形定位块等,能将工件拉得很紧,见图3-2-13。

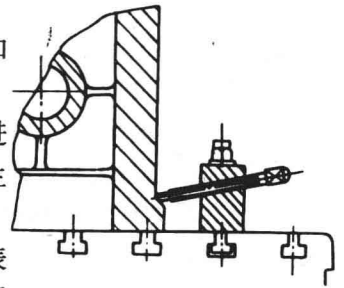


图3-2-12 挤推法夹紧工件

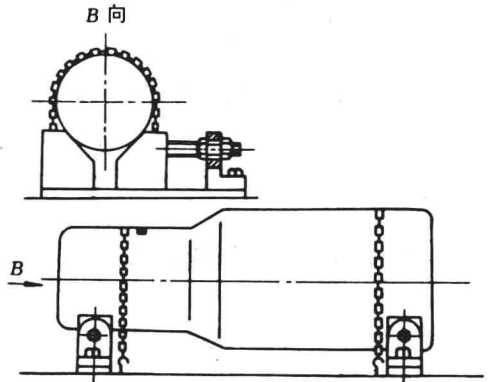


图3-2-13 链、索拉紧法

### 三、镗床主轴的找正定位方法

在镗削箱体类工件时,工件在正确安装在镗床工作台上之后,开始镗削加工之前,应首先确定第一加工孔(原始也)中心的坐标位置。如何正确确定镗床主轴中心线相对工件的坐标位置,是镗削加工中的一个关键问题。如果镗床主轴找正定位不正确,将会产生各种加工误差,影响孔的位置精度。为此,镗工应熟练掌握镗床主轴的各种找正定位方法。

镗床主轴的找正定位方法应根据工件的结构、形状来定,但找正定位的基本原理是相同的。常用的镗床主轴找正定位方法有如下几种:

#### (一)移动式或旋转式找正定位方法

在找正箱体类工件上的平面与镗床主轴轴线的垂直度时,通常采用图3-2-14所示的移动或旋转找正定位法。

图3-2-14a为移动式找正定位方法。在镗床主轴上

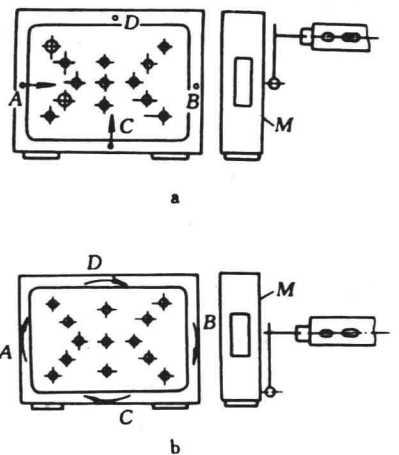


图3-2-14 移动或旋转找正定位法  
a. 移动式找正法 b. 旋转式找正法



装一百分表,表的触头轻轻压在工件端面  $M$  上,然后移动镗床工作台和主轴箱,使百分表在  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  各点的读数相同,便可以认为工件端面  $M$  与镗床主轴轴线垂直了。由于普通卧式镗床的主轴轴线对工作台导轨及前立柱导轨的垂直度误差较大,所以这种找正定位方法只适用于精度要求不高的工件。

图 3-2-14b 为旋转式找正定位方法。采用这种找正定位方法可大大减少因镗床本身精度不高所引起的加工误差。首先将百分表固定在镗床主轴端部,使表头轻轻压在工件端面  $M$  上,然后慢慢旋转镗床主轴,调整工件位置,使百分表在  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  各点的读数相同,这时便认为工件端面  $M$  与镗床主轴轴线垂直了,镗床主轴相对工件的位置也就找正定位好了。

### (二)利用孔分界面的找正定位方法

镗工在实际加工中,有时会碰到如轴承座、发动机连杆等可拆分的工件,要求镗孔中心线在所镗孔的分界面上。加工这类工件,可采用特殊的带有圆柱的直尺找正定位,也可用等高垫块及平行直尺来找正定位,见图 3-2-15。

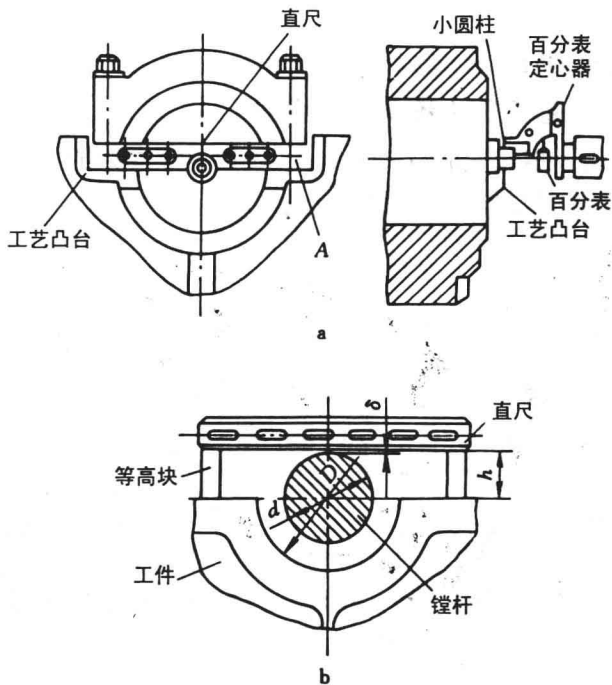


图 3-2-15 利用孔分界面找正定位

a. 用特殊的带小圆柱直尺找正定位 b. 用等高垫块及平行直尺找正定位

1. 用特殊的带有圆柱的直尺找正定位 图 3-2-15a 所示是采用特殊的带小圆柱的直尺来定垂直方向的主轴位置。小圆柱装在直尺上,小圆柱中心在直尺的下平面上。直尺可放在工件的分界面上,也可放在预先铸出的工艺凸台上。这种工艺凸台一般和工件一起铸出,并和孔的分界面一起精加工成同一平面,待加工完毕后,最后再把工艺凸台加工掉。首先用百分表定心器进行找正,使镗床主轴轴线与直尺上小圆柱的轴线重合,这样就保证了镗杆、主轴轴线与所镗孔的轴线的同轴度要求,保证了所镗孔的轴线在孔的分界面上。然后取下这些测量定坐标工具,紧固工件,装好上盖,装上镗刀,并将镗刀调整到规定的尺寸要求,即可进行孔的镗

削加工。对于具有对称剖分面的大型、单件工件来说,采用此法来找正定位主轴垂直坐标位置比较好。

2. 用等高块及平行直尺找正定位 由于所加工孔是对称分布在两个工件上,所以工件的分界面正好通过工件孔的轴心线。在镗床主轴找正定位时,先拆下工件上盖,并使工件分界面处于水平位置,在孔的分界面上分别放置两块精密的等高块,在等高块上面再放平行直尺,见图 3-2-15b 这样,镗床主轴的定位找正实质上就变成为如何使镗杆轴心线正确处于等高块  $h$  高度的下方水平线上(即工件的分界面及孔的中心线位置),使其满足下式要求

$$h = \frac{d}{2}$$

式中  $h$ ——精密等高块高度尺寸(mm);

$d$ ——镗杆直径尺寸(mm)。

调节镗杆在垂直方向的距离即可保证  $h$  尺寸,再用百分表调节镗杆的水平位置,从而使镗杆轴心线与孔中心线重合。

采用此法的缺点是辅助时间长,所以只适用于单件、小批生产。

### (三)利用百分表测量装置的找正定位方法

这是采用百分表及量块等组成的装置使镗床主轴得到定位的方法。在镗床主轴箱和工作台上,分别装有供百分表测量用的装置,见图 3-2-16。

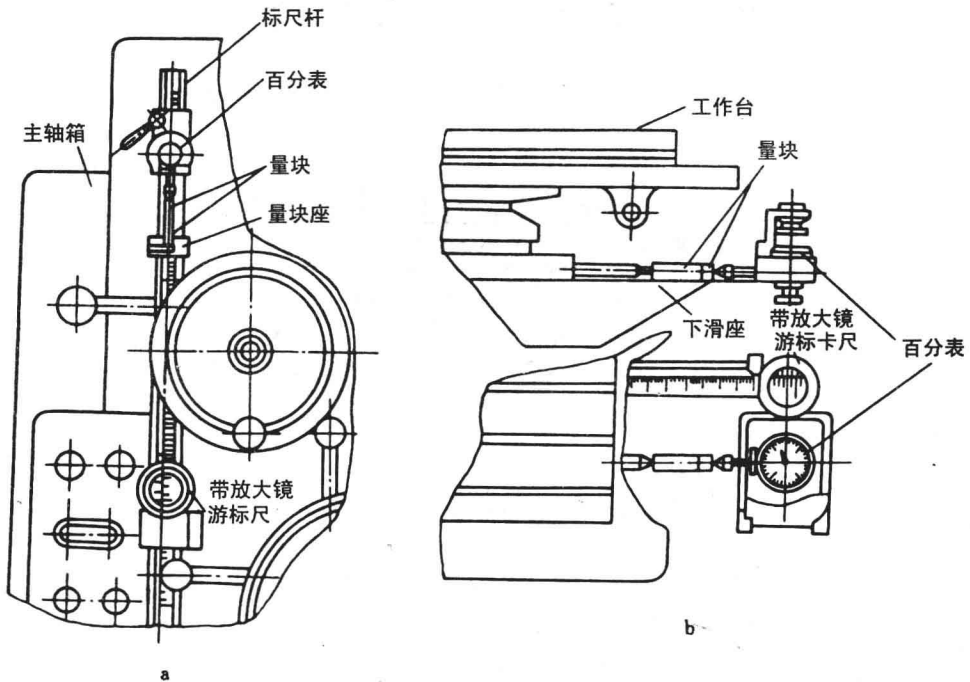


图 3-2-16 利用百分表测量装置找正定位

图 3-2-16a 所示的装置是用来测量主轴箱在前立柱导轨上的移动距离。百分表装在标尺杆上,并紧固在所需要的适当位置上。标尺杆连在床身和前立柱上,量块座通过标尺杆固定在主轴箱上。

图 3-2-16b 为工作台横向移动的百分表测量装置。它用来测量工作台横向上的移动精度。通常将百分表装在工作台的下滑座导轨上,并固定在所需要的位置上。

利用百分表测量装置来定镗床主轴的坐标位置时,必须先用百分表定心器或定位轴将工件上的基准孔坐标位置定出,然后根据基准孔来确定其它孔的坐标位置。使用百分表测量装置对镗床主轴找正定位,若镗床精度良好,镗削加工后孔距误差可控制在  $\pm 0.03\text{mm}/500\text{mm}$ 。

采用百分表测量装置对镗床主轴找正定位,镗工在操作时要细心,读数时要准确,避免产生测量误差和读数误差,影响工件的加工精度。

#### (四)利用检验棒找正定位方法

利用检验棒找正定位是检验镗床主轴轴线与所镗孔的轴线坐标是否重合的找正定位方法。首先将工件放在精密的检验平板上,通过套筒将检验棒安放在工件毛坯孔内,调节套筒上的三个顶紧螺钉,可以粗略校正钳工划出的孔加工底线的中心,见图 3-2-17。然后,将  $90^\circ$ 角尺紧贴在工件的基准面上,再以  $90^\circ$ 角尺为基准,按百分表的读数值将尺架分别安放在检验棒前后端的同一侧面,不断校正所加工的 A 孔的水平坐标位置,直至符合规定的技术要求为止。检验棒轴线在 A 孔内的垂直坐标位置是通过游标高度尺来校正的。A 孔校正好后,再以 A 孔为基准来校正 B 孔。B 孔的水平坐标位置可通过测量孔轴线中心距的百分表测量仪来校正。检验棒轴线在 B 孔内的垂直坐标位置是通过游标高度尺来校正的。

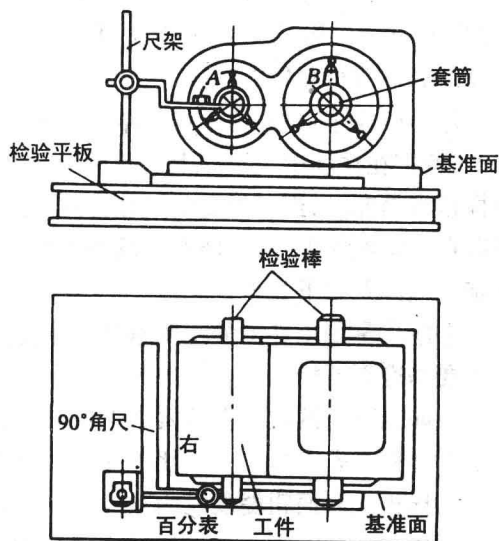


图 3-2-17 利用检验棒找正定位

检验棒坐标位置经过找正定位后,就可将工件从检验平板上吊装到镗床工作台上,再按前面调整检验棒坐标位置时所用的基准,找正工件在镗床上的位置。工件找正定位并夹紧后,把百分表定心器(或杠杆百分表)装在镗床主轴上,旋转镗床主轴,使百分表定心器也随之转动,移动镗床工作台或主轴,使百分表定心器的触头均匀地接触在检验棒圆柱面上,使镗床主轴轴线与工件孔轴线重合,这样就确定了镗床主轴的坐标位置。装上镗杆和镗刀,并将镗刀调整到合适的尺寸,开动机床,就可对工件进行孔的镗削加工。

利用检验棒找正定位方法主要适用于单件、小批生产,特别适用于数量少的大型工件上的大直径孔的加工,对于形状简单的同轴孔系也比较适用。但应该指出,这种找正定位方法精度较低,找正定位费工费时,生产率低。

#### (五)利用样板的找正定位方法

利用样板找正定位就是在工件待加工面上装上一块样板,见图 3-2-18。样板上按工件图样要求预先镗好孔。样板上各孔与工件待加工孔的位置一一对应。为使镗杆和镗刀能顺利穿过样板,样板上孔一般要比工件上的对应孔尺寸大  $5 \sim 10\text{mm}$ 。样板上孔的坐标位置尽量与工件上孔的坐标位置一致。一般来说样板上的坐标尺寸公差要比工件上的坐标尺寸公差要小。

挡块 1、2 是样板在工件上定位用的,工件上有相应的基准面与其配合,用夹紧螺钉 3 将样板夹住。镗床主轴位置根据样板孔的位置进行找正定位,从而保证镗床主轴轴线与被加工孔的轴线同轴。然后在镗床主轴上装上镗杆,在镗杆上装上镗刀,并将镗刀调整到所需要的合适尺寸,开动机床,就可进行孔的镗削加工。一个孔镗好后镗另一孔时,镗床主轴需按上述方法重新进行找正定位。

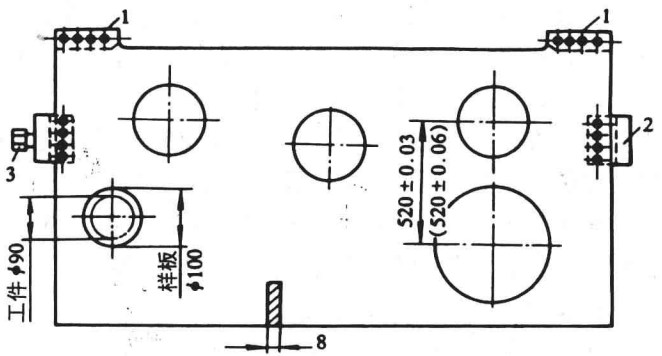


图 3-2-18 利用样板找正定位

用样板找正定位,由于样板结构简单,制造方便,加工成本低,适合于新产品试制及小批量生产,特别在镗削单一平面上的孔系时更显得灵活机动,可大大减少加工前复杂的调整手续。但样板容易变形,当工件上需要加工几个面上的孔系时,就需要几块样板,由于样板的安装找正存在一定的误差,故不能获得准确的位置精度。在成批生产中不宜采用此法。使用样板找正定位应注意以下几点:

①应尽量用工件上的主要基准面作为样板上的安装基准面,所镗孔的中心线坐标都要求从主要基准面开始。

②如工件的两端面上装两块样板进行镗孔时,两块样板必须使用工件上的同一基准面。

③样板上孔距公差应当比工件孔距公差小,一般为工件孔距公差的  $1/3 \sim 1/5$ 。

④样板上表面粗糙度应为  $R_a 1.6 \mu\text{m}$  以下。

⑤样板的基准面应经过热处理,其硬度一般为  $50 \sim 60\text{HRC}$ 。

镗床主轴的坐标位置确定有多种方法,本书仅介绍上述几种,镗工应根据不同工件的特征及所需要达到的精度要求,灵活采用不同的找正定位方法。

## 四、镗削加工原则

### (一) 镗削加工原则

镗削加工与其它机械加工方法一样,都必须以保证和提高产品质量,降低加工成本,提高劳动生产率为前提。镗工应根据被加工工件的材料、外部形状、加工精度和表面粗糙度要求等可以分别采用粗镗、半精镗和精镗等多种加工形式。

粗镗常作为镗削加工的预加工。粗镗前工件孔一般均为毛坯孔,加工余量大,并且单边余量不均匀,加工时容易引起振动,所以粗镗后的表面粗糙度比较粗,加工精度比较低。此时应采用先效率、后精度,即以提劳动生产率为主的加工原则。因此,在实际生产中,应首先加大背吃刀量,减少进给次数,其次加大进给量,最后选取与背吃刀量和进给量相适应的切削速度。应该指出的是,采用先效率、后精度的加工原则决不是不考虑精度。实际生产中,粗镗的加工质量好坏,将直接影响半精镗和精镗的加工质量。有时,由于粗镗时产生了较大的几何形状误差,而在精镗时无法纠正,造成工件报废。为此,镗工在粗镗时务必十分注意这些问题。对精度要求不高的孔,粗镗可以作为最终加工。对精度要求高的孔,粗镗可作为半精镗、精镗的预



加工,切去毛坯孔的大部分余量,提高孔的尺寸精度、降低表面粗糙度,为半精镗和精镗作好准备。

对一些加工要求高的孔,在粗镗后、精镗前、还应安排半精镗加工,进一步提高孔的尺寸精度,降低表面粗糙度,为精镗作好准备。对一些加工精度要求不是很高的孔,半精镗也可作为孔的最终加工。

精镗常作为镗削高精度要求孔的最终加工。在精镗加工之前,一般多已经过粗镗、半精镗的加工顺序,孔的尺寸精度、位置精度、形状精度和表面粗糙度较毛坯孔有了很大改善。这时,精镗主要是为了达到图样上规定的孔的各项技术要求。此时,应采用先精度、后效率,即以保证孔的尺寸精度、几何形状精度、相互位置精度和表面粗糙度要求为主的加工原则。这时,进给量不宜选得过大。为了保证孔的表面粗糙度要求和提高劳动生产率,应提高镗刀的切削速度。精镗的加工余量一般都比较小,背吃刀量受到加工余量的限制。因此,背吃刀量只能在加工余量的范围内选取。

## (二) 镗削要素与镗刀寿命等的关系

镗削要素主要是指切削速度、进给量和背吃刀量。

刀具寿命是指刀具由开始切削一直到磨损量达到磨钝标准为止的切削时间,即刀具两次刃磨之间的切削时间。寿命是按刀具磨钝标准选定的。如果增加切削速度、加大进给量和背吃刀量,就会加快镗刀的磨损,严重时打刀。实践证明,在镗削三要素中,切削速度起着主要的作用,对刀具寿命的影响最大。其次是进给量。再次之是背吃刀量,它的影响最小。因此,在镗削加工中应尽可能选用大的背吃刀量,然后根据加工条件和加工要求,选取允许的最大的进给量,最后在机床功率允许的情况下,选取最大的刀具寿命。

随着镗削速度的提高,镗刀的镗削作用随之加强,切屑变形加剧,切削热也急剧增加,镗刀切削部分的温度迅速上升,从而加速切削部分的磨损,引起工件、刀具的热变形,影响工件的加工精度和表面质量。相反,增加进给量和背吃刀量时,反而会减少镗刀切削刃参与切削工作的长度,改善了切削条件,有利于散热,使镗刀切削刃温升缓慢,磨损减小。

在镗削加工中,镗削要素除了与镗刀寿命有着密切的关系外,还与镗刀材料、工件材料和铸造缺陷等有着重要关系。

镗刀材料对镗削速度有很大影响。由于硬质合金镗刀的硬度、耐磨性、红硬性、强度和韧性方面都比高速钢镗刀要好。因此,用硬质合金镗刀镗削时,其切削速度可比用高速钢镗刀高。

工件材料对镗削速度也有很大影响。强度和硬度高的材料,在镗削加工中的切削抗力大,所以不宜选用太高的切削速度。反之,强度和硬度低的材料,镗削抗力较小,镗削温升较慢,则可采用较高的切削速度。

镗削铸铁工件时,由于铸件中有气孔、砂眼和夹杂物等铸造缺陷的存在,这些铸造缺陷对镗削加工将产生不利影响,造成镗刀损坏,引起镗削加工中刀具和工件的振动,影响切削速度的提高。为此,在镗削铸件时,切削速度一般应比镗削钢件时要低一些。

## 五、镗削加工方法对工件质量的影响

镗削加工方法对工件的加工质量有很大影响,特别从镗床的运动角度来分析,镗削加工方式对孔的加工精度影响特别大,本节就这一问题作简要的分析和阐述。