

## 第二章 机床夹具设计原理

### 一 机床夹具概述

#### 1、机床夹具及组成

夹具定义：在机床上用以装夹工件的一种装置。

夹具组成：

- 1) 定位元件或装置
- 2) 夹紧元件或装置
- 3) 刀具导向元件或装置
- 4) 夹具在机床上定位的元件
- 5) 夹具体
- 6) 其它元件或装置

#### 2、机床夹具的分类

按应用范围分：

- 1) 通用夹具（三爪、四爪卡盘 虎钳、回转工作台。。。)
- 2) 专用夹具（用于批量生产）
- 3) 通用可调整夹具和成组夹具。（针对一组零件的某个工，由基础部分和可调整部分组成，元件可更换或调整）

- 4) 组合夹具（用于单件小批）

由标准化的元件组合而成，具有以下特点：

灵活多变，万能性强；

可大大缩短生产准备周期；

可减少专用夹具设计、制造的工作量，并可减少材料消耗；

用于单件、小批量生产及新产品试制。

组合夹具的类型：槽系组合夹具（靠键和槽定位）和孔系组合夹具（通过孔与销来实现元件间的定位）。

- 5) 随行夹具（FMS、FMC 等）

是一种移动式夹具。工件安装在随行夹具上，由运输装置把随行夹具运送到各台机床上，并对随行夹具进行定位和夹紧。

按机床工种分：车床夹具、铣床夹具、钻床夹具、镗床夹具、磨床夹具、自动机床夹具、数控机床夹具等。

按其夹紧装置的动力源分类：手动夹具、气动夹具、液动夹具、电磁夹具、真空夹具。

#### 3、机床夹具的功用

- 1) 保证加工质量
- 2) 提高生产率
- 3) 扩大机床工艺范围

4) 减轻工人劳动强度, 保证生产安全。

## 二 工件在夹具上的定位

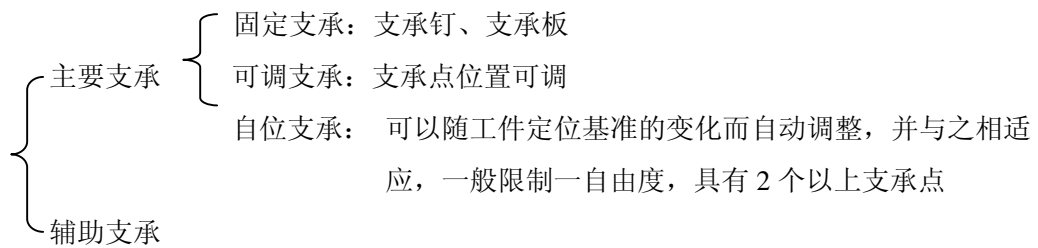
### 1、常用定位方法与定位元件

#### 1) 工件以平面定位

未经机械加工的平面定位 (支承钉...)

已经机械加工的平面定位 (支承钉、支承板...)

平面定位的主要形式是支承定位, 支承元件的结构形式有:



辅助支承: 定位后才参与支承, 不起定位作用, 增加刚度。

主要支承: 能限制工件自由度。

固定支承安装:

直接安装在夹具体的孔中, 与孔的配合为  $\frac{H7}{r6}$

夹具体上承托支承头的表面应凸起, 以便把各个凸出面一次加工成一个平面

夹具体采用通孔安装固定支承

平头支承采用安装后一次磨平的方法使支承钉定位平面在一个平面 (等高性)

注意点:

平面定位时一般夹具面小于工件平面;

支承板多用于精基准, 为保证等高性, 装配后进行磨削;

自位支承常用于毛坯平面、断续平面、阶梯平面定位;

辅助支承仅起增加刚度。

#### 2) 工件以孔定位

定心定位: 定位基准是孔的中心线, 常用的定位元件是各种心轴和定位销。

心轴 (限制四个自由度):

刚性心轴包括: 过盈配合心轴 (定心精度高, 装卸困难)、间隙配合心轴 (装夹方便, 有误差)、锥度心轴 (定心精度较高, 轴向位置变化大)。

除刚性心轴外, 还有弹性心轴、液塑心轴、自动定心心轴等, 同时定位和夹紧。

心轴一般具有很小的锥度  $K$ , 通常  $K=1:5000 \sim 1:1000$ 。对于磨床用的圆锥心轴, 其锥度可以更小, 如  $K=1:10000 \sim 1:5000$ 。采用圆锥心轴, 孔、轴间的间隙得以消除, 定心精度较高, 可达  $0.005, 0.01\text{mm}$ 。

定位销:

包括短圆柱定位销(限制 2 个自由度)、菱形销(限制 1 个自由度)、圆锥销(限制 3 个自由度)。

### 3) 工件以外圆柱面定位

工件以外圆柱面定位有两种形式,一种是定心定位,一种是支承定位。

支承定位常用的定位元件是 V 形块,其特点是:1、V 形块的夹角一般为 60、90、120 度,已标准化。2、对中性好,可用于非完整外圆的表面定位。3、长 v 形块限制 4 个自由度。4、短 v 形块限制 2 个自由度。5、有活动和固定之分

### 4) 工件以特殊表面定位(圆锥孔)

### 5) 工件以一组基准定位

## 2、定位误差计算

### 1) 定位误差定义

工序基准在工序尺寸方向上位置的最大变动量。(调整法)

### 2) 定位误差产生的原因

基准不重合误差  $\Delta_{bc}$ : 工序基准和定位基准不重合引起的误差。

基准位置误差  $\Delta_{jw}$ : 一批工件的定位基准在夹具 中位置的最大变动量(工件的定位基准误差,定位元件工作面误差)。

$$\Delta_{dw} = \Delta_{bc} \cos \beta \pm \Delta_{jw} \cos \gamma$$

$\Delta_{bc} \cos \beta$ :  $\Delta_{bc}$  在工序尺寸方向上的分量。 $\beta$ ——定位尺寸与工序尺寸方向间的夹角。

$\Delta_{jw} \cos \gamma$ :  $\Delta_{jw}$  在工序尺寸方向上的分量(投影)  $\gamma$  ——基准位移方向与工序尺寸方向间的夹角。

注意: 1、定位误差针对具体的工序尺寸,找工序基准、方向最重要。2、定位误差针对调整法加工一批工件,试切法不存在。3、定位误差与切削过程无关。

### 3) 如何计算定位误差?

1、几何法; 2、微分法; 3、合成法  $\Delta_{dw} = \Delta_{bc} \cos \beta \pm \Delta_{jw} \cos \gamma$ 。

几何法: a、画出工件定位简图 b、找出工件变动两个极限位置 c、找出工序基准 d、工序基准在工序尺寸方向上的最大变动量 ( $\Delta_{dw}$ )。

微分法:

$$a) \quad L = L(X_1, X_2, \dots, A, B, \dots)$$

L: 工序尺寸。  $X_1$ : 定位尺寸, 工序基准到定位基准间的尺寸。A, B: 固定尺寸, 如调刀尺寸、刀具尺寸

$$b) \quad \Delta_{dw} = \left| \frac{\partial L}{\partial X_1} \right| T_{x1} + \left| \frac{\partial L}{\partial X_2} \right| T_{x2} + \dots$$

基准位置误差计算

(1) 工件的定位基准面误差

(2) 定位元件工作面误差 放在一起考虑

1) 工件以平面定位的基准面误差主要是基准不重合误差, 对于精基准, 一般不考虑基准位置误差

2) 工件以内孔定位(过盈配合)  $\Delta_{jw}=0$

3) 工件以内孔定位(弹性芯轴、自定心心轴等)  $\Delta_{jw}=0$

(3) 工件以内孔定位(间隙配合), 按孔和芯轴(销)接触情况分:

1) 任意边接触 定位误差发生的方向为任意径向方向

2) 固定边接触 定位误差发生方向为孔/销中心线方向

### 三 工件在夹具中的夹紧

#### 1、对夹紧装置的要求

夹紧装置组成:

力源装置: 用于产生夹紧力(液压、气动....)

中间传力机构: 将力传给夹紧元件(杠杆、楔块、拉杆....)

夹紧元件: 最终执行元件

对夹紧装置基本要求:

1) 在夹紧过程中应能保持工件定位时所获得的正确位置。(夹得稳)

2) 夹紧应可靠和适当 自锁, 避免松动或振动; 避免变形和表面损伤。(夹得牢)

3) 夹紧装置应操作方便、省力、安全。(夹得快)

4) 夹紧装置的自动化与标准化

关键问题: 如何合理确定夹紧力的三要素??

#### 2、夹紧力的确定

三要素: 大小、方向、作用点

夹紧力方向的选择原则

1) 夹紧力的作用方向应使定位基面与定位元件紧密接触, 保证准确定位。一般要求主要夹紧力应垂直指向主要定位面。

2) 夹紧力方向作用于工件刚度最大的方向, 以减小工件变形。

3) 夹紧力的作用方向应尽可能与切削力、工件重力方向一致, 以减小所需夹紧力。

夹紧力作用点的选择原则:

确定与工件接触点的位置和数目

1) 夹紧力作用点应正对支承元件或位于支承元件所形成的支承面内, 避免产生翻转或回转力矩。

2) 夹紧力作用点应处在工件刚性较好的部位, 以减小工件的夹紧变形。

3) 夹紧力作用点应尽可能靠近被加工表面, 以减小切削力对工件造成的翻转力矩。

夹紧力大小的估算

夹紧力不足: 产生位移, 并容易引起振动;

夹紧力过大: 工件或夹具变形或表面损伤。

$$F_j = K \times F_p$$

K 为安全系数（粗：2.5~3，精：1.5~2）

将工件视为分离体，分析作用其上各种力；再根据力系平衡条件计算。

夹紧力不精确：①切削力大小的估算本身就是很粗略的；②摩擦系数的取值也是近似的。

夹紧力精确----通常要采用工艺实验的方法。

夹紧误差:工件在夹紧过程中,由于弹性变形、接触变形而造成工序基准的位移。

### 3、常用夹紧机构

#### （1）斜楔夹紧机构

利用斜面移动所产生的压力夹紧工件。夹紧力为：
$$F_j = \frac{F_s}{\tan \Phi_1 + \tan(\alpha + \Phi_2)}$$

斜楔的自锁条件为： $\alpha \leq \varphi_1 + \varphi_2$

斜楔夹紧特点：

结构简单；

增力比大； $i = F_j / F_s$

自锁性能好；

夹紧行程小；手动操作不方便，一般用于气动、液压夹紧中。

#### （2）螺旋夹紧机构（最常用）

可视为绕在圆柱体上的斜楔：

$$F_j = \frac{P \cdot L}{\frac{d_0}{2} \tan(\alpha + \varphi_2) + r' \tan \varphi_1}$$

螺旋夹紧机构特点：结构简单、易于操作、增力比大、自锁性能好（螺纹升角远小于摩擦角）、动作较慢

#### （3）偏心夹紧机构

是一种动作快速的夹紧机构，靠偏心轮回转时回转半径变大而产生夹紧作用。可视为一楔角变化的斜楔。

基本元件：偏心轮

可视为一楔角变化的斜楔

偏心夹紧的特点：结构简单，操作方便，动作迅速。缺点是：自锁性能较差，增力比较小，夹紧行程小，夹紧力不大。一般常用于切削平稳且切削力不大的场合。

#### （4）铰链夹紧机构

铰链夹紧机构主要特点：动作迅速、增力比大、易于改变力的作用方向、自锁性能差，多用于机动夹紧机构中

#### （5）定心夹紧机构

同时实现对工件定心定位和夹紧，分为两大类：

以等速移动原理工作的定心夹紧机构

以均匀弹性变形原理工作的定心夹紧机构

#### (6) 联动夹紧机构

一处施力，可同时在几处对一个工件上的几个点或对多个工件同时进行夹紧。

减少工件装夹时间，简化结构，一般设计成浮动环节。

一般应设计浮动环节,获得均匀一致的夹紧力。

### 4、夹紧机构的动力装置

气动、液压、电磁、电动、真空等装置，使用最广泛的是气动与液压动力装置。

#### (1) 气动夹紧装置

气动夹紧装置的工作介质是压缩空气。

气动传动系统中的气压传动装置是气缸，常用的气缸有两种形式，既活塞式气缸和薄膜式气缸。

#### (2) 液压夹紧装置

液压夹紧装置利用压力油为夹紧动力。与气动夹紧装置相比,液压夹紧装置有以下优点:

工作压力大,传动力大,可采用直接夹紧方式,结构尺寸小

油液不可压缩,故夹紧刚性大,工作平稳,可靠

噪声小

#### (3) 气、液增压夹紧装置

气、液增压夹紧装置以压缩空气为动力源,通过压力油来传力和增力。它集合了气动和液压传动两者的优点,可获得很大的传动力而结构尺寸又较小

### 四 各类机床夹具

#### 1、钻床夹具(钻模)

##### 1) 钻模类型:固定式钻模、回转式钻模、翻转式钻模、盖板式钻模、滑柱式钻模

固定式钻模:加工中钻模相对于工件的位置保持不变。

回转式钻模:具有分度装置

翻转式钻模:可翻转,在多个方向上钻孔,适用重量比较轻的中小件。

盖板式钻模:没有夹具体。结构简单,多用于加工大型工件上的小孔。

滑柱式钻模:是一种具有升降模板的通用可调整钻模,适用孔垂直度和孔心距要求不高的中小型工件。

手动滑柱式钻模结构:由钻模板、滑柱、夹具体、传动和锁紧机构组成,这些结构已标准化并形成系列。

##### 2) 钻模设计要点

###### (1) 钻套:

钻套是引导刀具的元件,用以保证孔的加工位置,并防止加工过程中刀具的偏斜。

钻套分类

固定钻套：直接压入，位置精度高

可换钻套：可换（大批量）

快换钻套：可换（多工步）

特殊钻套：斜面

钻套孔基本尺寸：刀具最大极限尺寸。

钻套孔与刀具配合：基轴制。

钻套高度：较大----导向性好，摩擦较大 过小----导向性能差。一般： $H=(1\sim2.5)d$

钻套与工件距离： $h=(0.5\sim0.7)d$ (铸铁)， $h=(0.7\sim1.5)d$ (钢)， $h=(0\sim0.2)d$ (斜面上钻孔)， $h=0$ (位置精度要求较高时)

#### (2) 钻模板（用于安装钻套）

钻模板与夹具体的联接方式：固定式、铰链式、分离式、悬挂式。

固定式钻模板：钻模板直接固定在夹具体上，结构简单，精度较高。

铰链式钻模板：钻模板通过铰链与夹具体相联接。铰链处存在间隙，因而精度不高。工件装卸方便。

分离式钻模板：钻模板可拆卸，方便工件装卸。

悬挂式钻模板：悬挂在主轴上，随主轴一起靠近或离开工件。它与夹具体的相对位置由滑柱来保证。多与组合机床的多轴头联用。

#### (3) 夹具体

一般不设定位或导向装置，可直接利用钻套找正并用压板压紧（或在夹具体上设置耳座用螺栓压紧）。

### 2、镗床夹具：(与钻床夹具相似)

#### 1) 镗模布置形式

单面前导向：镗杆与主轴刚性连接

单面后导向：通孔(<60mm)、盲孔，镗杆与主轴刚性连接

双面前后导向：镗杆与主轴浮动连接，镗孔精度由夹具（镗模保证，不受机床精度影响），装卸方便，大批量生产中

#### 2) 镗套类型

镗套用于引导镗杆。根据其在加工中是否运动可分为固定式镗套和回转式镗套两类。

#### 3) 镗模支架与夹具体

镗模支架不允许安装夹紧机构或承受夹紧力

### 3、铣床夹具

铣床夹具的类型：直线进给式、圆周进给式、仿形进给式。

#### 2) 铣床设计要点：夹具总体结构、对刀装置、夹具体

##### (1) 夹具总体结构

夹具的受力元件要有足够的强度和刚度；

夹紧力应足够大；

要求有较好的自锁性能；

多件加工，联动夹紧。

铣削加工的切削力较大，又是断续切削，加工中易引起振动。

## （2）对刀装置

主要由对刀块和塞尺构成,用以确定夹具与刀具的相对位置。常用的对刀块有：

高度对刀块：加工平面时对刀

直角对刀块：加工键槽或台阶面对刀

成形对刀块：加工成形表面时对刀

塞尺用于检查刀具与对刀块之间的间隙，以避免刀具与对刀块直接接触。

## （3）夹具体

铣床夹具的夹具体要承受较大的切削力，因此要有足够的强度、刚度和稳定性。

铣床夹具通常通过定位键与铣床工作台 T 形槽的配合来实现夹具在机床上的定位。

## 4、车床夹具

车床夹具主要用于加工零件的内外圆柱面、圆锥面、回转成形面、螺纹及端平面等。

### （1）车床夹具的类型

花盘式车床夹具（孔定位）

心轴类车床夹具（外圆定位）

卡盘类车床夹具（加工壳体、支座类零件）

角铁式车床夹具

### 2）车床夹具设计要点

车床夹具总体结构、夹具与机床主轴的联接

#### （1）车床夹具总体结构

结构要紧凑，尺寸小、轻，重心 通过轴线；

夹紧力足够,自锁；

应有平衡措施，消除回转引起的振动；

避免尖角、突出，加防护罩；

与主轴联接要可靠。

#### （2）夹具与机床主轴的联接

车床夹具与机床主轴的联接方式取决于机床主轴轴端的结构以及夹具精度和夹具体积。常见的联接方式有：

长锥柄+主轴锥孔：定位精度高，但刚性较差，用于小型车床和悬伸长度较短夹具。

端面圆孔+主轴轴颈：定位精度不很高

短锥面+主轴锥孔：定心精度高，刚性较好。

夹具通过过渡盘和主轴联接，优点：



有利于提高联接精度 (过渡转盘与夹具配合表面可在机床主轴上精加工)

改善了夹具的制造工艺性

有利于夹具标准化

## 五、成组夹具、组合夹具与随行夹具

### 1、成组夹具

#### 1) 成组夹具的概念与特点

概念：成组夹具是针对一组零件的某个工序而专门设计的夹具。

#### 2) 成组夹具的结构特点

成组夹具由基础部分和可调整部分组成。

基础部分：固定不变，通常包括夹具体、夹紧传动装置和操作机构等。

可调整部分：通常包括定位元件、夹紧元件和刀具引导元件等。

#### 3) 成组夹具的调整方式

更换式，调节式，综合式，组合式

##### (1) 更换式

更换组内不同零件的定位、夹紧、对刀或导向元件。

优点：适用范围广、使用方便可靠，且易于获得较高的精度。

缺点：所需更换元件数量较多，夹具制造费用增加，并给保管工作带来不便。

##### (2) 调节式

调节可调元件位置的方法来实现组内不同零件的装夹和导向。

优点：采用调节方法所需元件数量少，制造成本低。

缺点：需花费一定时间，且夹具精度受调整精度的影响。

调节法多用于加工精度要求不高和切削力较小的场合。

##### (3) 综合式

在实际中应用较多的是上述两种方法的综合，即在同一套成组夹具中，即采用更换元件的方法，又采用调节的方法。

##### (4) 组合式

将一组零件的有关定位或导向元件同时组合在一个夹具体上，以适应不同零件加工的需要。

组合式成组夹具：避免了元件的更换与调节，节省了夹具调整时间。

通常只适用于零件组内零件种数较少而数量又较大的情况。

### 4) 成组夹具设计

针对一组零件设计，注意可换件、可调件及相应的调整机构的设计。

### 2、组合夹具(由标准化的元件组合而成)

#### 1) 组合夹具的特点

灵活多变，万能性强。

可大大缩短生产准备周期。

可减少专用夹具设计、制造的工作量，并可减少材料消耗。

用于单件、小批量生产及新产品试制。

与专用夹具相比不足处：体积较大，显得笨重；储备一定亮的夹具元件，一次性投资较大。

## 2) 组合夹具的类型

由槽系组合夹具和孔系组合夹具组成。槽系组合夹具元件间靠键和槽（键槽和 T 形槽）定位；孔系组合夹具则通过孔与销来实现元件间的定位。

## 3) 组合夹具的组装

一般过程如下： 1.熟悉图纸与工艺。2.构思夹具结构方案。3.进行必要的组装计算。4.试装。5.组装。6.检验。

## 4) 组合夹具的精度与刚度

经过精心的组装与调整，组合夹具的组装精度完全可以达到专用夹具所能达到的精度。

大量实验表明：目前组合夹具的刚度主要取决于组合夹具元件本身的刚度，而与所用元件的数量关系不大。

## 3、随行夹具

随行夹具：一种移动式夹具。工件安装在随行夹具上，由运输装置把随行夹具运送到各台机床上，并由机床对随行夹具进行定位和夹紧。

### 1) 工件在随行夹具上的安装

定位：与一般夹具同。夹紧：考虑运输、提升、翻转、排屑和清洗中由振动引起的松动。能够自锁。没有手柄、杠杆等伸出的手动操作元件。采用机动扳手操作。

### 2) 随行夹具的运输及其在机床夹具上的安装

大都采用一面两销定位方式

(1) 基准统一

(2) 敞开性好

(3) 可防止切屑落入

## 六、机床夹具设计步骤与方法

### 1、专用夹具设计的基本要求

#### 1) 保证工件的加工精度

定位方案、夹紧方案、刀具导向方式，误差分析。

#### 2) 提高生产率，降低成本

应尽量采用各种快速、高效结构，如多件夹紧、联动夹紧等；尽量使夹具结构简单、容易制造、以降低夹具制造成本。

#### 3) 操作方便，工作安全，能减轻工人劳动强度

采用气动、液压等夹紧装置；夹具操作位置应符合操作工人的习惯，必要时应有安全保护装置。

#### 4) 便于排屑

排屑积集在夹具中,会影响正确的定位;切屑带来的大量热量会引起夹具和工件的热变形,影响加工质量;切屑的清扫又会增加辅助时间,降低工作效率。切屑积集严重时,还会损伤刀具或造成工伤事故。

#### 5) 有良好的结构工艺性

应便于制造、检验、装配、调整、维修等。

### 2、一般步骤

#### 1) 研究原始资料,明确设计要求

熟悉零件图和装配图、零件的工艺规程,充分了解本工序的加工内容、技术要求等;收集有关机床、刀具、夹具等方面的资料。

#### 2) 确定夹具方案, 绘制夹具结构草图

- (1) 根据定位基准和六点定位原理, 确定工件的定位方法并选择相应的定位元件;
- (2) 确定引导装置或对刀装置;
- (3) 确定工件的夹紧方法, 设计夹紧机构;
- (4) 确定其它元件或装置的结构形式
- (5) 确定夹具体结构形式
- (6) 确定夹具总体轮廓。

#### 3) 绘制夹具总图, 标注有关尺寸及技术要求

- (1) 确定视图关系, 应尽可能少。主视图应取操作者实际工作位置;
- (2) 比例尽量取 1:1, 有利于审图;
- (3) 用双点划线画工序图;
- (4) 依次画定位元件、对刀元件、夹紧元件、其他元件、夹具体;
- (5) 标上尺寸、技术要求。

#### 4) 绘制零件图

对夹具总图中的非标准件均应绘制零件图, 零件图视图的选择应尽可能与零件在总图上的工作位置相一致。

### 3、几个重要问题

#### 1) 夹具设计的经济性分析

除了从保证加工质量的角度考虑外, 还应作经济性分析, 以确保所设计的夹具在经济上合理。

#### 2) 成组设计思想的采用

#### 3) 夹具总图上尺寸及技术条件的标注

具体讲, 夹具总图上应标注以下内容:

夹具外形轮廓尺寸

与夹具定位元件、导向元件及夹具安装基准面有关的配合尺寸、位置尺寸及公差

夹具定位元件与工件的配合尺寸

夹具导向元件与刀具的配合尺寸

夹具与机床的联接尺寸及配合

其他重要尺寸

#### 4)夹具结构工艺性分析

在分析夹具工艺性时,应重点考虑以下问题:

夹具零件的结构工艺性

夹具最终精度保证方法

夹具的测量与检验

#### 5)夹具的精度分析

影响被加工零件位置精度的误差因素主要有三个方面:

定位误差

夹具制造与装夹误差

加工过程误差