

机床夹具设计

【本章导读】

机床夹具是机械制造过程中连接机床、刀具和工件的重要工艺装备，通过定位和夹紧工件，确保加工过程的稳定性与精度。从简单的手动夹具到自动化生产线中的智能夹具，其设计质量直接影响产品的加工精度、生产效率和制造成本。本章将系统阐述夹具的定义、作用与组成，深入解析六点定位原则及工件定位与夹紧的原理，介绍常用夹紧机构和典型夹具的设计要点，并通过实例说明夹具设计的基本步骤，为高效、精准的夹具设计提供理论支持和实践指导。

【本章目标】

- (1) 掌握机床夹具的定义、作用及基本组成，明确定位元件、夹紧装置、导向元件等核心部件的功能。
- (2) 理解工件在夹具中定位的原理，掌握六点定位原则及常见定位方式，能分析定位误差的产生原因。
- (3) 熟悉工件夹紧的基本要求，掌握斜楔、螺旋、偏心等常用夹紧机构的结构特点和适用场景。
- (4) 了解车床、铣床、钻床等典型夹具的设计要点，能根据加工需求选择或设计简单夹具。
- (5) 掌握夹具设计的基本步骤，能结合实例完成简单夹具的方案设计和结构分析。

【案例导入】

某汽车零部件厂在加工发动机缸体的螺栓孔时，采用传统台钻手工钻孔，出现了一系列问题：孔位偏差超过 0.5mm，远超图样要求的 $\pm 0.1\text{mm}$ ；由于人工装夹不稳定，钻孔时工件易晃动，孔壁粗糙度 Ra 值高达 $12.5\mu\text{m}$ ；每小时仅能加工 30 件，效率低下。技术人员通过分析发现，问题的核心在于缺乏专用夹具：工件未精确定位，导致孔位偏差；手工夹紧力度不均，引起加工过程中的振动；无导向装置，钻头易偏斜。

为解决这些问题，技术人员设计一套钻床专用夹具：通过一面两销（定位销+支承板）实现缸体的完全定位，采用螺旋压板机构夹紧工件，加装钻套作为刀具导向元件。改进后，孔位偏差控制在 $\pm 0.05\text{mm}$ 以内，表面粗糙度 Ra 值降至 $3.2\mu\text{m}$ ，加工效率提升至每小时 120 件。此案例充分体现出机床夹具在保证加工精度、提高加工效率方面的关键作用，也引出本章将要探讨的夹具设计相关知识。

3.1 夹具的作用与组成

3.1.1 夹具的作用

机床夹具（简称为夹具）是一种安装在机床上，对工件实施装夹（或安装），使工件相对于刀具或机床占据正确位置，并在加工过程中保持该位置不变的常用工艺装备。夹具在机械加工中具有重要作用，直接影响机械加工质量、工人劳动强度、生产效率和生产成本等。因此，夹具设计是机械加工工艺准备中的重要工作。

（1）减少加工误差，提高加工精度。利用夹具装夹工件，能准确确定工件相对于刀具与机床的位置关系，从而减少加工误差，提高加工精度。

（2）提高生产效率。夹具能快速地将工件定位和夹紧，可以减少辅助时间，提高生产效率。

（3）减轻劳动强度。夹具采用机械、气动和液动等夹紧装置，可以减轻工人劳动强度。

（4）扩大机床的工艺范围。利用夹具能扩大机床的加工范围。例如，在车床或钻床上使用镗模可以代替镗床镗孔，使其具有镗床的功能。

3.1.2 夹具的组成

夹具一般由下列元件或装置组成。

（1）定位元件。定位元件是用来确定工件正确位置的元件。被加工工件的定位基面与夹具定位元件直接接触或相配合实现定位。

（2）夹紧装置。夹紧装置是使工件在外力作用下仍能保持其正确定位位置的装置。

（3）导向元件（对刀元件）。导向元件（对刀元件）是指夹具中用于确定（或引导）刀具相对于夹具定位元件具有正确位置关系的元件。

（4）连接元件。连接元件是指用于确定夹具在机床上具有正确位置并与机床相连接的元件，例如安装在铣床夹具底面上的定位键等。

（5）其他元件及装置。根据加工要求，有些夹具还需设置分度转位装置、靠模装置、工件抬起装置和辅助支承等装置。

（6）夹具体。夹具体是用于连接夹具元件和有关装置使之成为一个整体的基础件。夹具通过夹具体与机床连接。

在上述各组成部分中，定位元件、夹紧装置和夹具体是夹具的基本组成部分。

3.2 工件的定位原理

3.2.1 工件的六点定位原理

在夹具设计中，定位方案不合理，工件的加工精度就无法保证。

1. 六点定位原理

任何一个位置尚未确定的工件，在空间直角坐标系中均具有六个自由度，即沿空间三个直角坐标轴 x 、 y 、 z 方向的移动自由度 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$ 和绕这三个坐标轴的转动自由度 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 、 $\hat{z}$ ，如图 3-1 所示。

要使工件在机床或夹具上正确定位，就必须限制或约束工件的这些自由度。如图 3-2 所示，采用空间适当分布的六个定位支承点，分别与工件的定位基面接触，每一个支承点可限制工件的一个自由度，便可将工件六个自由度完全限制，从而使工件在空间的位置唯一确定。这就是通常所说的六点定位原理。如图 3-2 所示，支承点 1、2、3 与工件底面接触，可限制工件 $\bar{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 三个自由度；支承点 4、5 与工件左侧面接触，可限制工件 $\bar{x}$ 、 $\hat{z}$ 两个自由度；支承点 6 与工件后侧面接触，可限制工件 $\bar{y}$ 自由度。

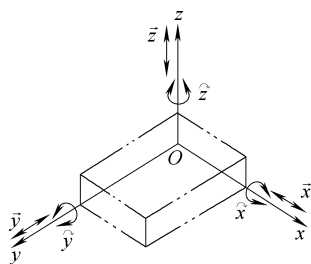


图 3-1 工件的六个自由度图

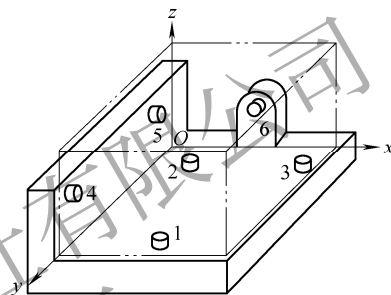


图 3-2 六点定位简图

应用六点定位原理需要注意以下几个问题。

(1) 定位支承点限制工件自由度的作用，应理解为定位支承点与工件定位基准面始终保持紧贴接触。若两者脱离，意味着失去定位作用。

(2) 六个支承点的位置必须合理分布，否则不能有效地限制工件的六个自由度。如图 3-3 所示， xoy 平面的三个支承点应呈三角形分布，且三角形面积越大，定位越稳定； $yozy$ 平面上的两个支承点的连线应尽量长，且不能与 xoy 平面垂直，否则不能限制 $\hat{z}$ 自由度。

(3) 机械加工中关于自由度的概念与物理学中自由度的概念不完全相同。机械加工中的自由度实际上是指工件在空间位置的不确定性。工件的某一自由度被限制，是指工件在这一方向上有确定的位置，并非指工件在受到使其脱离定位支承点的外力时不能运动，欲使其在外力作用下不能运动，则是夹紧的任务。因此，分析定位支承点的定位作用时，不考虑力的影响，特别要注意将定位与夹紧的概念区分开。工件一经夹紧，其空间位置就不能再改变，但这并不意味着其空间位置是确定的。例如，图 3-3 中板状工件安放在平面磨床的磁性工作台上，扳动磁性开关后，工件即被夹紧固定。但工件放在工作台何位置上并不确定，既可以放在位置 1（图中实线所示），也可以放在位置 2（图中虚线所示），即工件的 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$ 三个自由度并未被限制。

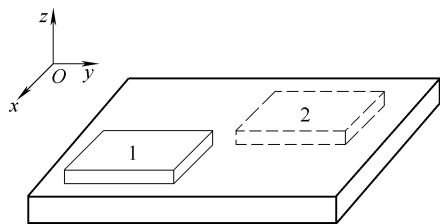


图 3-3 工件在磁性工作台上的定位

(4) 六点定位原理中“点”的含义是限制自由度，不能机械地理解成接触点。例如，图 3-3 中板状工件安放在磁性工作台上后限制三个自由度，是三点定位。但实际上，工件与工作面接触点可能有多个。

(5) 定位支承点是由定位元件抽象而来的。在夹具中，定位支承点均通过具体的定位元件体现。至于具体

的定位元件应转化为几个定位支承点,需结合其结构进行分析。需注意的是,一种定位元件转化成的支承点数目是一定的,但具体限制的自由度与支承点的布置有关。

2. 工件限制的自由度数目与加工要求的关系

工件在夹具中定位时,并不需要将六个自由度全部限制完,具体限制自由度数目的多少、限制哪些自由度取决于工件在本工序中的加工要求。因此,所谓工件的正确定位,就是根据工件加工要求来进行工件实际自由度个数和方向的限制,以达到加工要求的目的。

工件在夹具或机床中的定位方式有以下四种。

(1) 完全定位。在工件的实际装夹中,六个自由度被六个支承点完全限制的定位方式即为完全定位。图 3-4 所示为连杆钻孔定位方案,夹具支承面 1 相当于三个支承点,限制工件 $\bar{z}$ 、 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 三个自由度;短圆柱销 2 相当于两个支承点,限制工件 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 两个自由度;侧挡销 3 相当于一个支承点,限制工件 $\bar{z}$ 自由度。故工件在夹具中六个自由度已完全被限制,属完全定位。

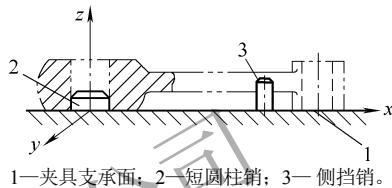


图 3-4 连杆钻孔定位方案

(2) 不完全定位。不完全定位也称为部分定位。在加工中,有的自由度不需要限制,所以夹具的支承点也相应减少,这就是不完全定位。仍以图 3-4 所示连杆钻孔定位方案为例,若该工序不是钻连杆小头孔,而是粗磨或精磨连杆的上端面,此时只需要限制 $\bar{z}$ 、 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 三个自由度。若支承面 1 为磁性工作台平面,短圆柱销 2 及侧挡销 3 均被取消,此时夹具支承面 1 限制连杆的 $\bar{z}$ 、 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 三个自由度,已满足加工要求,故这种定位方式是可行的,称为不完全定位或准定位方式。

(3) 欠定位。由于工艺设计或者夹具设计上的疏忽,造成必须限制的自由度未得到限制,影响加工,难以保证加工精度,这样的定位结果称为欠定位。如图 3-4 所示,在钻连杆小头孔的定位方案中,若去掉侧挡销 3,工件绕 z 轴的转动自由度就没有得到限制,即形成欠定位,工件的加工要求就得不到保证。所以,欠定位在任何情况下都是不允许的。

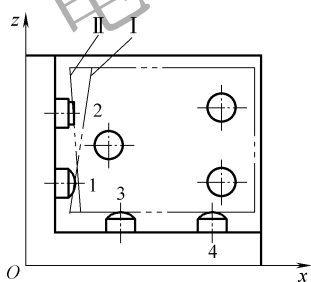


图 3-5 过定位示意图

(4) 过定位。过定位也称为超定位或重复定位,即工件同一个自由度被几个定位支承点同时限制。理论上认为,过定位会造成工件定位的不确定性,使工件相对于夹具不能占据一个正确的位置。如图 3-5 所示,某箱体两侧面均用两销共四个点来完成三个自由度的定位,因而多出一个点,这就产生工件 $\bar{y}$ 自由度的过定位。由于箱体两侧面不可能绝对垂直,工件安装时会出现两种可能的情况:位置 I 为工件与销 1、3、4 接触;位置 II 为工件与销 2、3、4 接触。因此,一批工件在夹具中占据的位置不是唯一的,故使工件的被加工孔产生位置误差。

3.2.2 常见的定位方式和定位元件

工件的定位表面有各种形式,如平面、外圆、内孔等。对于这些表面,总采用一定结构的定位元件,以保证定位元件的定位面和工件定位基准面相接触或配合,实现工件的定位。一般来说,定位元件的设计应满足下列要求。

- (1) 要有与工件相适应的精度。
- (2) 要有足够的刚度,不允许受力后发生变形。

(3) 要有耐磨性,以便在使用中保持精度。一般多采用低碳钢渗碳淬火或中碳钢淬火,硬度为 58~62HRC。

下面首先分析各种典型表面的定位方法和相应的定位元件。

1. 工件以平面定位

在切削加工中,利用工件上的一个或几个平面作为定位基面来定位工件的方式,称为平面定位。如箱体、机座、支架、板盘类零件等,多以平面为定位基准。所用的定位元件称为基本支承,包括固定支承、可调支承和自位支承。

(1) 固定支承。它是指高度尺寸固定但不能调整的支承,包括固定支承钉和固定支承板两类。固定支承钉用于较小平面的支承,固定支承板用于较大平面的支承。图 3-6 表示四种固定支承钉。图 3-6 (a) 所示为平头支承钉,用于已加工平面;图 3-6 (b) 所示为球头支承钉,用于未加工平面,以便保证良好的接触;图 3-6 (c) 所示为网纹头支承钉,用于未加工平面,可减小实际接触面积,增大摩擦,使定位稳定可靠,但由于纹槽中易积屑,故多用于侧面定位;图 3-6 (d) 所示为带套筒的支承钉,用于大批大量生产,便于磨损后更换。

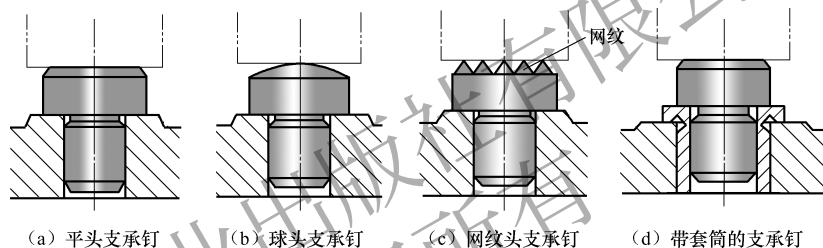


图 3-6 四种固定支承钉

固定支承板多用于工件上已加工表面的定位,有时可用一块支承板代替两个支承钉。图 3-7 所示是固定支承板的结构图。图中, A 型支承板结构简单,但埋头螺钉处易堆积切屑,故用于工件侧面或顶面定位; B 型支承板可克服这一缺点,主要用于工件的底面定位。

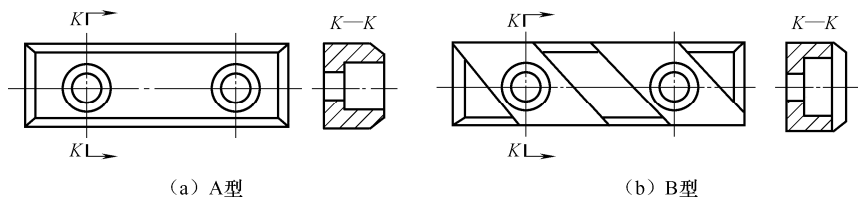


图 3-7 固定支承板的结构图

固定支承钉与夹具体一般采用 H7/n6 或 H7/m6 配合,带套筒的支承钉与套筒孔一般采用 H7/js6 配合。小型支承钉(直径 $d \leq 12\text{mm}$)或支承板采用 T7A 钢,大型支承钉($d > 12\text{mm}$)或支承板采用 20 钢。前者经淬火处理,后者经渗碳淬火处理,渗碳深度为 0.8~1.2mm,硬度为 60~64HRC。两个以上支承钉或支承板同时使用时,为保证工作面在同一平面上,装配后应将其顶面进行一次终磨。

(2) 可调支承。它是指顶端位置可在一定高度范围内调整的支承。可调支承多用于未加工平面的定位,以调节和补偿各批毛坯尺寸的误差,一般每批毛坯调整一次。图 3-8 表示可调支承的两种基本形式,均由螺钉及螺母组成。支承高度调整后,用螺母锁紧工件,以保持调整位置。

(3) 自位支承。它是指支承本身的位置在定位过程中,能自动适应工件定位基准面位置变化

的一类支承。自位支承能增加与工件定位面的接触点数目，使单位面积压力减小，故多用于刚度不足的毛坯表面或不连续平面的定位。此时，虽增加接触点的数目，但未发生过定位。图 3-9 所示为几种自位支承的结构形式，其中图 3-9 (a) 和图 3-9 (b) 所示为双接触点，图 3-9 (c) 所示为三接触点。无论哪一种，都只相当于一个定位支承点，限制工件的一个自由度。

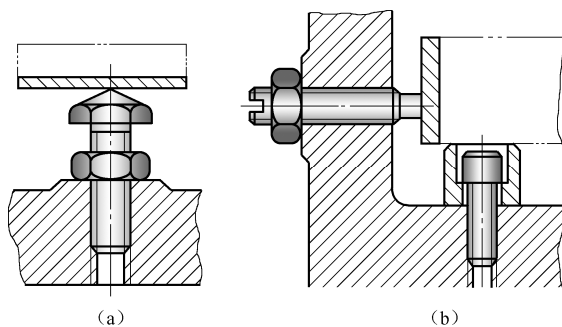


图 3-8 可调支承的两种基本形式

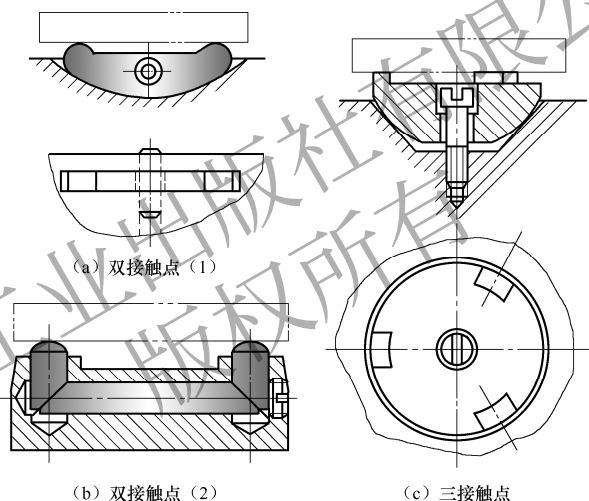


图 3-9 几种自位支承的结构形式

(4) 辅助支承。在生产中，有时为了提高工件的刚度和定位稳定性，常采用辅助支承。如图 3-10 所示的阶梯零件，当用平面定位铣平面时，在工件右部底面增设辅助支承，可避免加工过程中工件的变形。

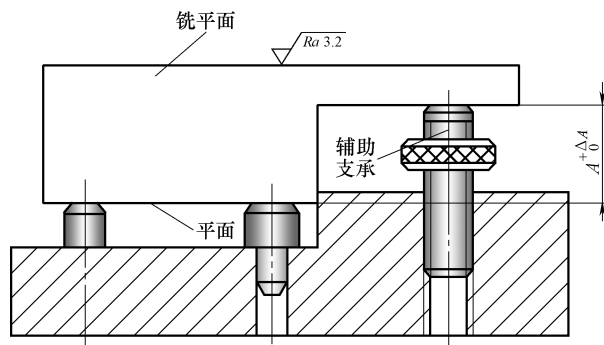


图 3-10 辅助支承的作用

2. 工件以圆孔定位

有些工件（如套筒、法兰盘、拨叉等）以孔作为定位基准，此时采用的定位元件有定位销、圆锥销、定位心轴等。

（1）定位销。定位销的结构如图 3-11 所示。其中，图 3-11（a）～（c）是将定位销以 H7/r6 或 H7/n6 配合，直接压入夹具体孔中；图 3-11（d）是用螺栓经中间套以 H7/n6 与夹具体配合，以便于更换。定位销头部应做出 15° 的倒角或圆角，以便于装入工件定位孔。定位销工作部分直径可按 h5、h6、g5、g6、f6、f7 制造。定位销主要用于直径小于 50mm 的中小孔定位。

直径小于 16mm 的定位销，用 T7A 材料，淬火至 53～58HRC；直径大于 16mm 的定位销，用 20 钢，渗碳淬火至 53～58HRC。

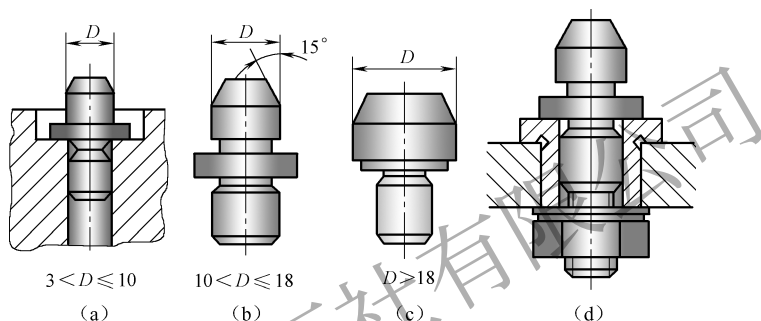


图 3-11 定位销的结构

（2）圆锥销。圆锥销常用于工件孔端的定位，其结构如图 3-12 所示。图 3-12（a）用于精基准，图 3-12（b）用于粗基准，可限制工件三个自由度。

（3）定位心轴。定位心轴公称尺寸按 e8 制造（见图 3-13），长度约为工件孔长度的 1/2。工作部分的直径以定位孔上极限尺寸为公称尺寸，按 r6 制造。这类心轴定心精度高，但装卸费时，有时易损伤工件孔，多用于定心精度要求高的情况；图 3-13（c）为小锥度心轴，锥度为 $1/(500 \sim 100)$ 。定位时，工件楔紧在心轴上，定心精度很高（可达 $0.005 \sim 0.01\text{mm}$ ），多用于车削或磨削同轴度要求高的盘类零件，可获得较高的定位精度。

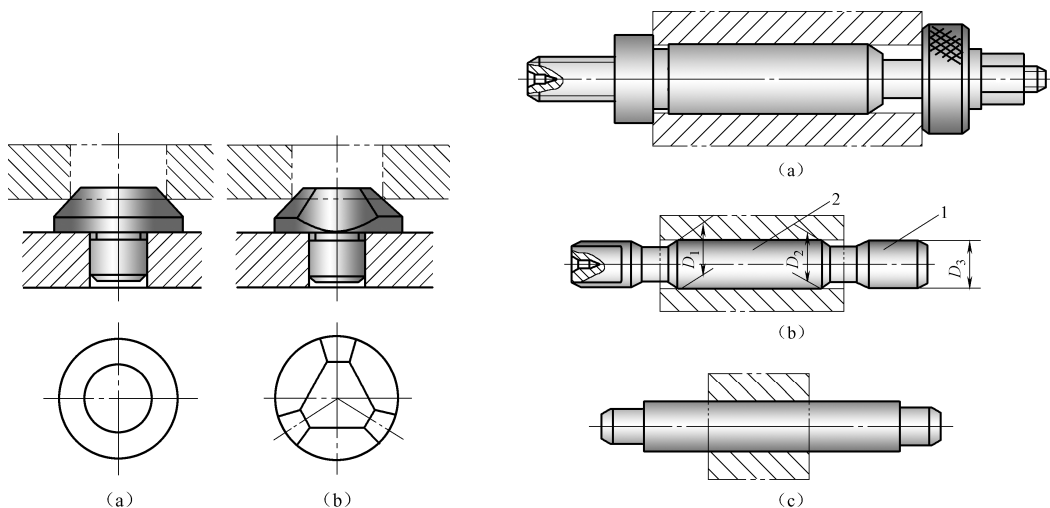


图 3-12 圆锥销结构

图 3-13 定位心轴

3. 工件以外圆柱面定位

工件以外圆柱面定位在生产中是常见的,如轴套类零件等。常用的定位元件有V形块、定位套、半圆定位座等。

(1) V形块。V形块是使用最广泛的外圆表面定位元件。典型的V形块结构如图3-14所示。其中,图3-14(b)、(c)所示为长V形块,用于定位基准面较长或分为两段时的情况。

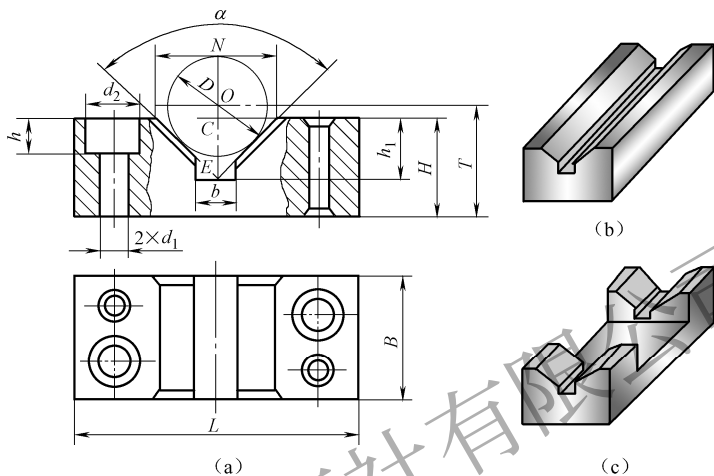


图3-14 典型的V形块结构

(2) 定位套筒。定位套筒的结构形式如图3-15所示。它装在夹具体上,用以支承外圆表面,起定位作用。采用这种定位方法,定位元件结构简单,但定心精度不高;当工件外圆与定位孔配合较松时,还易使工件偏斜。因此,常采用套筒内孔与端面组合定位,以减少偏斜。若工件端面较大,为避免过定位,定位孔应做短一些。

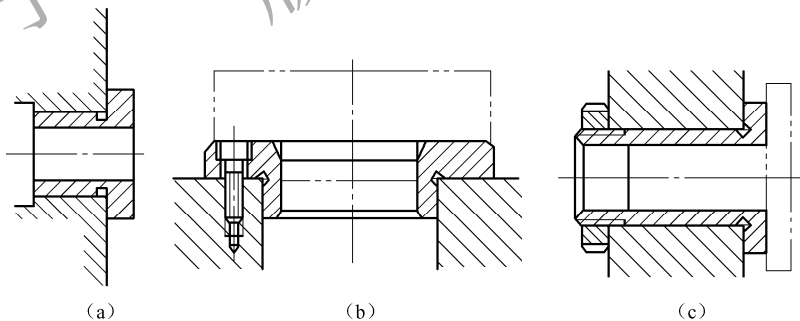


图3-15 定位套筒的结构形式

(3) 半圆孔定位座。将定位元件做成两半圆,下半圆部分装在夹具体上,起定位作用;上半圆部分装在可卸式或铰链式盖上,起夹紧作用,如图3-16所示。工作表面是用耐磨材料制成的两个半圆衬套,并镶在基体上,以便于更换。半圆孔定位座适用于大型轴类工件的定位。

(4) 外圆定心夹紧机构。在实现定心的同时能将工件夹紧的机构,称为定心夹紧机构,如自定心卡盘、弹簧夹头等。图3-17所示是几种弹簧夹头的结构示意图,图3-17(a)所示是拉式弹簧夹头,图3-17(b)所示是推式弹簧夹头,图3-17(c)所示是不动式弹簧夹头。不动式弹簧夹头的优点是:夹紧工件时工件不会发生轴向移动,但结构稍复杂。

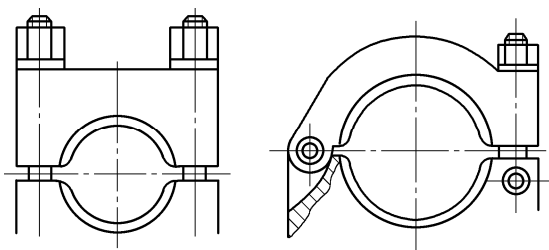


图 3-16 半圆孔定位座

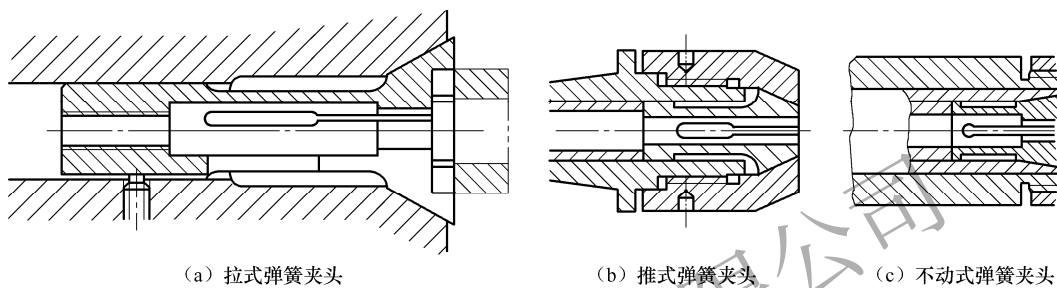


图 3-17 几种弹簧夹头的结构示意图

4. 组合定位分析

实际生产中工件的形状千变万化，往往不能用单一定位元件定位单个表面来解决定位问题，而需用几个定位元件组合起来同时定位工件的几个定位面。复杂的机器零件都是由一些典型的几何表面（如平面、圆柱面、圆锥面等）组合而形成的。因此，一个工件在夹具中的定位，实质上就是把各种定位元件进行不同组合来定位工件相应的几个定位面，以满足定位要求，这种定位分析称为组合定位分析。

1) 组合定位分析要点

(1) 几个定位元件组合起来定位一个工件相应的几个定位面时，该组合所能限制工件的自由度总数等于各定位元件单独定位时所能限制自由度的数目之和，不会因组合而发生改变，但具体限制哪些方向的自由度会随不同组合情况而改变。

(2) 组合定位中，定位元件在单独定位某定位面时原来起限制工件移动自由度的作用，可能会转化成起限制工件转动自由度的作用。一旦转化后，该定位元件就不再起原来限制工件移动自由度的作用。

(3) 单个表面的定位是组合定位分析的基本单元。例如，图 3-18 所示的三个支承钉组合定位某一平面时，就以平面定位作为定位分析的基本单元，限制 $\bar{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 三个方向自由度，而不再进一步探讨这三个方向的自由度分别由哪个支承钉限制。否则易引起混乱，对定位分析毫无帮助。

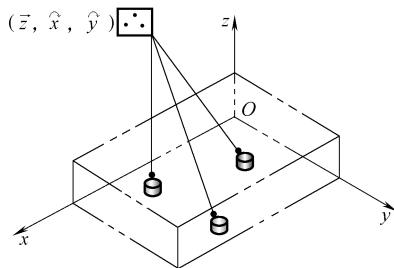


图 3-18 三个支承钉组合定位某一平面

例 3-1: 分析图 3-19 所示定位方案。各定位元件限制几个方向的自由度? 按图示坐标系限制哪几个方向的自由度? 有无重复定位现象?

解: 一个固定短 V 形块能限制工件两个自由度, 三个短 V 形块组合起来可限制工件六个 ($2+2+2$) 自由度, 不会因定位元件的组合而发生数量上的增减。按图示坐标系, 短 V 形块 1 限制 $\bar{x}$ 、 $\bar{z}$ 自由度, 短 V 形块 2 与之组合起限制 $\hat{x}$ 、 $\hat{z}$ 自由度的作用, 即短 V 形块 2 由单独定位时限制两个移动自由度转化成限制工件两个转动自由度。也可以把固定短 V 形块 1、2 组合起来视为一个长 V 形块, 共限制 $\bar{x}$ 、 $\bar{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{z}$ 四个自由度, 两种分析结果是相同的。固定短 V 形块 3 限制 $\bar{y}$ 、 $\hat{y}$ 两个自由度, 其单独定位时限制 $\bar{z}$ 自由度的作用在组合定位时转化成限制 $\hat{y}$ 自由度的作用。这是一个完全定位且无重复定位现象。

2) “一面两孔”定位

在众多的组合表面定位方式中, 最常见的是一面两孔定位方式。例如, 加工箱体、杠杆、盖板等工件时常采用一面两孔定位。这种定位方式易于做到工艺过程中的基准统一, 保证工件的位置精度, 减少夹具设计、制造的工作量。

箱体类工件常以工件上的一面两孔作为定位基准, 即以工件上的一个大平面及该平面上轴线与之垂直的两个孔进行定位。为使定位可靠性较高, 要求此两孔的孔距尽可能大。若该平面上没有合适的孔, 可采用孔口已加工的螺纹孔, 或者专门加工出两个工艺孔作为定位孔。

工件上用一面两孔定位, 对夹具而言即是采用一面两销定位, 如图 3-20 所示。为避免两个短圆柱销产生过定位, 通常将其中一个销做成削边销 (也称菱形销), 只保留很短的两段圆弧与工件内孔表面接触。这两段短圆弧的安装位置是: 其对称中心线与两销的中心连线垂直, 这样菱形销只限制一个绕圆柱销中心转动的 $\hat{z}$ 自由度, 再加上大平面限制 $\bar{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 三个自由度与短圆柱销限制 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 两个自由度, 共六个自由度。可见, 一面两销的定位方式是完全定位。

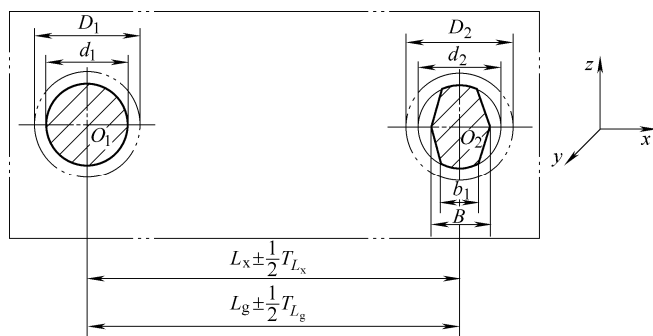


图 3-20 一面两销定位

在夹具设计时, 一面两销定位的设计可按下述步骤进行。一般已知条件为工件上两圆柱孔的尺寸及中心距, 即 D_1 、 D_2 、 L_g 及其公差, 如图 3-20 所示。

(1) 确定夹具中两定位销的中心距 L_x 。把工件两定位孔中心距的公差化为对称公差, 即化为

$$L_g \pm \frac{1}{2} T_{L_g}$$

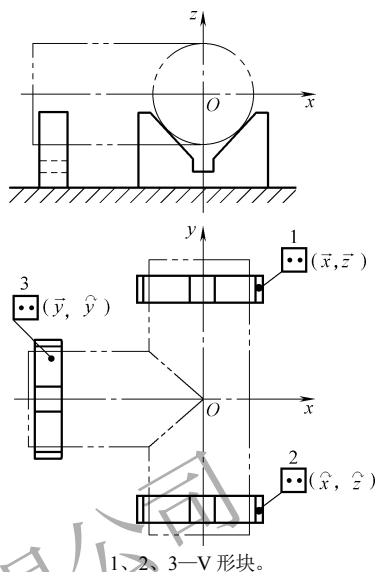


图 3-19 组合定位分析实例

式中 T_{L_g} ——工件上两定位孔中心距的公差。

夹具两定位销中心距公称尺寸取 $L_x = L_g$ ，两销中心距公差为工件孔中心距公差的 1/5~1/3，即 $T_{L_x} = (1/5 \sim 1/3)T_{L_g}$ 。销中心距及公差也化成对称形式，即

$$L_x \pm \frac{1}{2}T_{L_x}$$

(2) 确定圆柱销直径 d_1 及其公差。一般圆柱销与定位孔为基孔制间隙配合，销的公称尺寸等于孔的公称尺寸，配合一般选为 H7/g6 或 H7/f6。一般定位销的公差比定位孔高一个等级。

(3) 确定菱形销的直径 d_2 、宽度 b_1 及公差。可先查表 3-1 选定 D_2 与 b_1 ，按式 (3-1) 计算出菱形销与孔配合的最小间隙 X_{2min} ，再计算菱形销的直径。

表 3-1 菱形销尺寸

D_2	3~6	>6~8	>8~20	>20~25	>25~32	>32~40	>40~50
b_1	2	3	4	5	5	6	8
B	$D_2-0.5$	D_2-1	D_2-2	D_2-3	D_2-4	D_2-5	D_2-5

$$X_{2min} = \frac{b_1(T_{L_x} + T_{L_g})}{D_2} \tag{3-1}$$

其中

$$d_2 \leq D_2 - X_{2min}$$

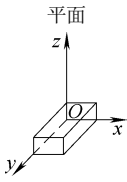
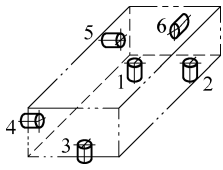
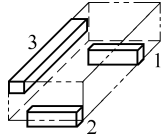
式中 b_1 ——菱形销宽度，mm；
 D_2 ——工件上菱形销定位孔直径，mm；
 X_{2min} ——菱形销定位时销、孔最小配合间隙，mm；
 T_{L_x} ——夹具上两定位销中心距公差，mm；
 T_{L_g} ——工件上两定位孔中心距公差，mm；
 d_2 ——菱形销公称尺寸，mm。

菱形销的尺寸公差等级可按 IT6 级或 IT7 级制造。

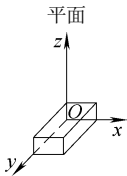
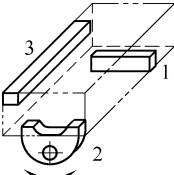
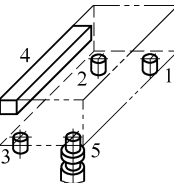
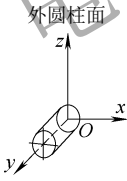
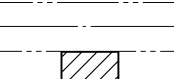
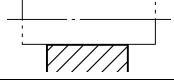
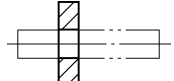
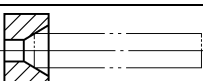
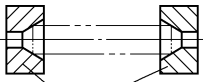
除以上的典型定位方式之外，工件以某些特殊的表面定位也较常见，如以工件的 V 形导轨面、燕尾形导轨面、齿形表面、花键表面、螺纹表面等定位。这些表面作为定位基准，其定位精度也较高。

常用定位元件及其组合所能限制的自由度如表 3-2 所示。

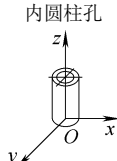
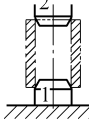
表 3-2 常用定位元件及其组合所能限制的自由度

工件定位基准面	定位元件	定位方式简图	定位元件特点	限制的自由度
	支承钉			1、2、3: $\bar{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 4、5: $\hat{x}$ 、 $\hat{z}$ 6: $\bar{y}$
	支承板		每个支承板可以设计为两个或两个以上小支承板	1、2: $\bar{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 3: $\bar{x}$ 、 $\hat{z}$

续表

工件定位基准面	定位元件	定位方式简图	定位元件特点	限制的自由度
 平面	固定支承与自位支承		1、3: 固定支承 2: 自位支承	1、2: $\bar{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 3: $\bar{x}$ 、 $\hat{z}$
	固定支承与辅助支承		1、2、3、4: 固定支承 5: 辅助支承	1、2、3: $\bar{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 4: $\bar{x}$ 、 $\hat{z}$ 5: 增加刚度, 不限制自由度
 外圆柱面	支承板或支承钉		短支承板或支承钉	$\bar{z}$
			长支承板或两个支承钉	$\bar{z}$ 、 $\hat{x}$
	V形块		窄V形块	$\bar{z}$ 、 $\bar{x}$
			宽V形块或两个窄V形块	$\bar{z}$ 、 $\bar{x}$ 、 $\hat{z}$ 、 $\hat{x}$
			垂直运动的窄活动V形块	$\bar{x}$
	定位套		短套	$\bar{z}$ 、 $\bar{x}$
			长套	$\bar{z}$ 、 $\bar{x}$ 、 $\hat{z}$ 、 $\hat{x}$
	半圆孔		短半圆孔	$\bar{z}$ 、 $\bar{x}$
			长短半圆孔	$\bar{z}$ 、 $\bar{x}$ 、 $\hat{z}$ 、 $\hat{x}$
	锥套		单锥套	$\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$
			1: 固定锥套 2: 活动锥套	$\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{z}$

续表

工件定位基准面	定位元件	定位方式简图	定位元件特点	限制的自由度
	定位销		短销（短心轴）	$\bar{x}, \bar{y}$
			长销（长心轴）	$\bar{x}, \bar{y}, \hat{x}, \hat{y}$
	锥销		单锥销	$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$
			1: 固定销 2: 活动销	$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \hat{x}, \hat{y}$

3.3 定位误差的计算

如前所述，夹具的首要作用是保证工件的加工精度。因此，在夹具设计过程中确定工件定位方案时，除根据定位原理选用相应的定位元件外，还必须对所选定的工件定位方案能否满足工序加工精度要求作出判断。为此，需要对可能产生的定位误差进行分析和计算。

3.3.1 定位误差的概念及产生的原因

1. 定位误差的概念

定位误差是由于工件在夹具上（或机床上）定位不准确而产生的工序尺寸的加工误差。工件在夹具中的位置是由定位元件确定的，工件上的定位表面一旦与夹具上的定位元件相接触或相配合，工件的位置也就相应确定。在用调整法加工一批工件时，由于各个工件的有关表面之间存在尺寸及位置上的差异（在公差范围内），并且夹具定位元件本身和各定位元件之间具有一定的尺寸公差和位置公差。因此，工件虽已定位，但在某些表面上都会产生位置变动量，从而造成工件工序尺寸的加工误差。

如图 3-21（a）所示，在轴上铣键槽时，要求保证槽底至轴心的距离 H 。若工件采用 V 形块定位，键槽铣刀按规定尺寸 H 调整到图 3-21（a）所示的位置。在实际加工中，由于一批工件的外圆直径尺寸存在差异（在公差范围内变动），在用 V 形块定位时，工件外圆中心的位置将发生变化。若不考虑加工过程中产生的其他加工误差，仅由于工件外圆中心位置的变化使工序尺寸 H 发生变化。此变化量（即加工误差）是由于定位因素而引起的，故称为定位误差。

2. 定位误差产生的原因

造成定位误差 Δ_d 的原因可根据性质的不同分为两部分：一是由于基准不重合而产生的误差，称为基准不重合误差 Δ_{jb} ；二是由于定位副的制造误差而引起定位基准的位移误差，称为基准位移误差 Δ_{jy} 。当定位误差 $\Delta_d \leq 1/(3T)$ （ T 为本工序要求保证的工序尺寸公差）时，一般认为选定的定位方案可行。

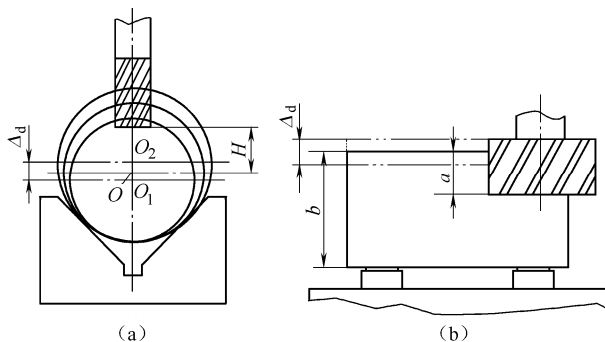


图 3-21 定位误差

(1) 基准位移误差 Δ_{jy} 。由于工件的定位表面或夹具上的定位元件制造不准确引起的定位误差，通常称为基准位移误差。例如图 3-21 (a) 所示例子，其定位误差就是由于工件定位面（外圆表面）尺寸不准确而引起的。

(2) 基准不重合误差 Δ_{jb} 。由于工件的工序基准与定位基准不重合，从而造成工序基准相对于定位基准在工序尺寸方向上的最大可能变化量而引起的定位误差，通常称为基准不重合误差。例如图 3-21 (b) 所示例子，工件被加工表面（台阶面）的设计基准为顶面，要求保证的工序尺寸为 $a \pm \Delta a$ ，现工件以底面定位加工台阶面，工序基准为工件顶面，定位基准为工件底面，即基准不重合。在对工件台阶面进行加工时，由于采用调整法加工，即在加工一批工件时，刀具根据事先已调整好的位置进行加工。这时，上工序尺寸 b 的误差 Δ_b 会使工件顶面位置发生变化，从而使工序尺寸 a 产生相应的加工误差，而该误差是由基准不重合带来的，故称为基准不重合误差。

3. 定位误差产生的规律

由上述分析和介绍可知，定位误差产生的一般规律如下。

(1) 定位误差只产生在采用调整法加工一批工件的场合，如一批工件逐个按试切法加工，则不产生定位误差。

(2) 定位误差 Δ_d 可分为两部分：一是定位基准与工序基准不重合时的基准不重合误差 Δ_{jb} ；二是定位基准（基面）与定位元件本身存在的制造误差和最小配合间隙，使定位基准偏离其理想位置而产生的基准位移误差 Δ_{jy} 。

(3) 并不是在任何情况下的定位误差都包含基准不重合误差和基准位移误差两部分。实际上，当定位基准与工序基准重合时， $\Delta_{jb} = 0$ ；当工序基准无位移变化时， $\Delta_{jy} = 0$ 。即总的定位误差为

$$\Delta_d = \Delta_{jb} + \Delta_{jy} \quad (3-2)$$

由此可知，要提高工件定位精度，除了应使定位基准与工序基准重合外，还应尽量提高定位基准（基面）和定位元件的制造精度。

3.3.2 定位误差的分析与计算

已经确定的定位系统，如何分析并计算它的定位误差呢？下面以不同类型的定位方案为例，介绍定位误差的分析与计算方法。

由前面的分析可知，只要出现定位误差，就会使工序基准在工序尺寸方向上发生位置偏移。因此，分析计算定位误差，实际上就是找出一批工件的工序基准位置沿工序尺寸方向上可能发生的最大偏移量。

1. 工件以平面定位时的定位误差

当工件以平面为定位基准时,平面与定位元件直接接触(见图 3-22),且该定位平面又是工序基准时,则基准重合,即 $\Delta_{jb} = 0$,故无基准不重合误差,只有基准位移误差。此时的基准位移误差有以下两种情况。

(1) 定位平面是未加工的毛坯平面。这种情况一般用三点支承方式,定位元件为球头支承钉,如图 3-23 (a) 所示。此时,由于毛坯面存在制造误差,使工件定位基准在 ΔH 范围内变化,故 $\Delta_{jy} = \Delta H$ 。

(2) 定位平面是已加工表面。这种情况一般多用支承板或支承钉进行工件的支承定位,如图 3-22 (b) 所示。此时,由于工件定位基准平面已经加工,因此可以认为定位基准(工序基准)没有位移变化,故 $\Delta_{jy} = 0$ 。

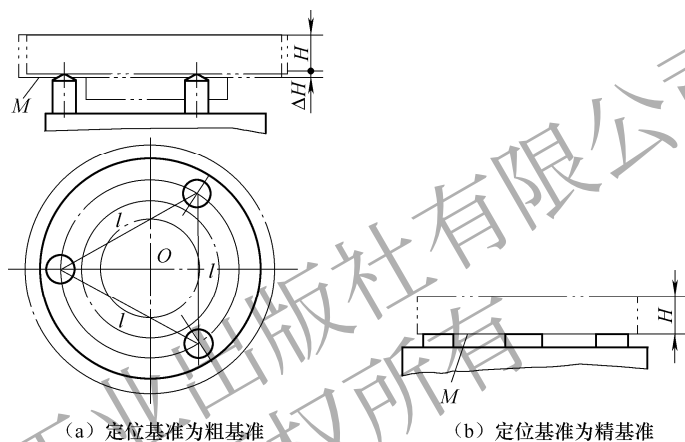


图 3-22 平面定位误差

例 3-2: 如图 3-23 所示,工件以 A 面定位加工 $\phi 20H8$ 孔,求工序尺寸 (20 ± 0.1) mm 的定位误差。

解: 定位基准面为平面,故 $\Delta_{jy} = 0$ 。由于工序尺寸 (20 ± 0.1) mm 的工序基准 B 与工件在工序尺寸方向的定位基准 A 不重合,因此产生的基准不重合误差为

$$\Delta_{jb} = \Sigma T = 0.05\text{mm} + 0.1\text{mm} = 0.15\text{mm}$$

$$\Delta_d = \Delta_{jb} + \Delta_{jy} = 0.15\text{mm} + 0\text{mm} = 0.15\text{mm}$$

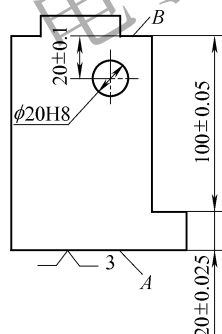


图 3-23 平面上加工孔

2. 工件以圆孔定位时的定位误差

工件以圆孔在不同的定位元件上定位时,所产生的定位误差是随工件定位孔与心轴(销)的不同配合而变化的。因此,以工件圆孔在间隙配合心轴(或定位销)上定位,其心轴(或定位销)的两种放置方位为例,进行定位误差的分析与计算。

(1) 心轴(定位销)垂直放置。如图 3-24 (a) 所示,工件以圆孔在间隙配合心轴上定位,现要求在工件上加工一侧平面,并保证加工尺寸 L 。由于尺寸 L 的工序基准与定位基准都是定位孔的中心线,故基准是重合的,基准不重合误差为零。又由于工件定位孔和心轴存在制造误差和最小间隙,如果心轴垂直放置[见图 3-24 (b)],工件定位孔与心轴母线的接触可以是任意方向的,此时工件工序基准 O 的变化范围为 O_1O_2 ,这就是基准位移误差,即工序尺寸 L 的定位误差为

$$\Delta_{d(L)} = L' - L'' = O_1O_2 = OO_1 + OO_2 = (D_{\max} - d_{\min}) = X_{\max}$$

(2) 心轴（定位销）水平放置。如图 3-26 (a) 所示，工件以 ϕD 圆孔在水平放置的心轴 ϕd 上定位，现要在工件上钻一小孔 ϕD_1 ，要求保证孔 ϕD_1 的位置尺寸为 h 。由于心轴（定位销）水平放置，当工件装在心轴（定位销）上时，因其自重会下降，使圆孔下母线与心轴上母线接触，引起定位基准（工序基准）发生偏移。如图 3-25 (b) 所示，由 O 点移至 O_1 点，工序基准的变动范围为 OO_1 ，即工序尺寸 h 的定位误差为

$$\Delta_{d(h)} = h' - h'' = OO_1 = \frac{1}{2}(D_{\max} - d_{\min}) = \frac{1}{2}X_{\max}$$

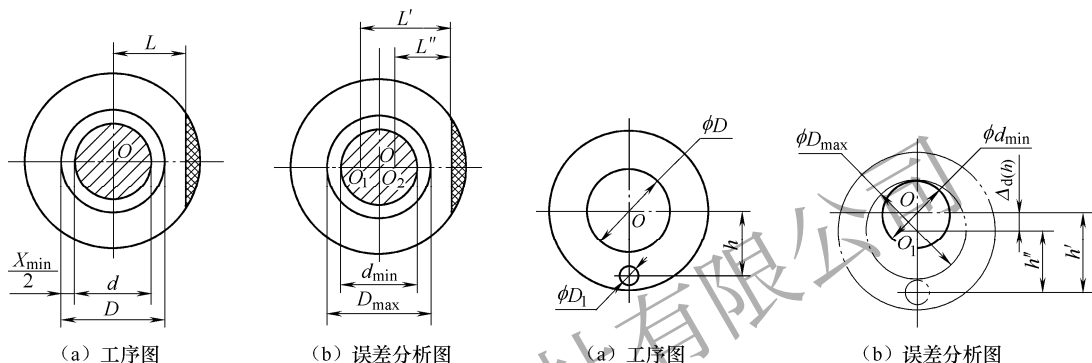


图 3-24 心轴（定位销）垂直放置的定位误差

图 3-25 心轴（定位销）水平放置的定位误差

3. 工件以外圆柱面定位时的定位误差

工件用外圆柱面定位时，常用的定位元件有 V 形块、定位套、半圆套、圆锥套等。采用定位套、半圆套、圆锥套定位时，定位误差的计算可参照前述平面和圆孔定位的情况。下面主要分析工件以外圆柱面在 V 形块上定位时的定位误差。

在外圆尺寸为 $\phi d_{-T_d}^0$ 的圆柱上铣一个键槽，圆柱放在 V 形块上定位，当键槽深度尺寸（工序尺寸 h ）的标注方法不同（工序基准不同）时，会出现图 3-26 所示的三种情况。

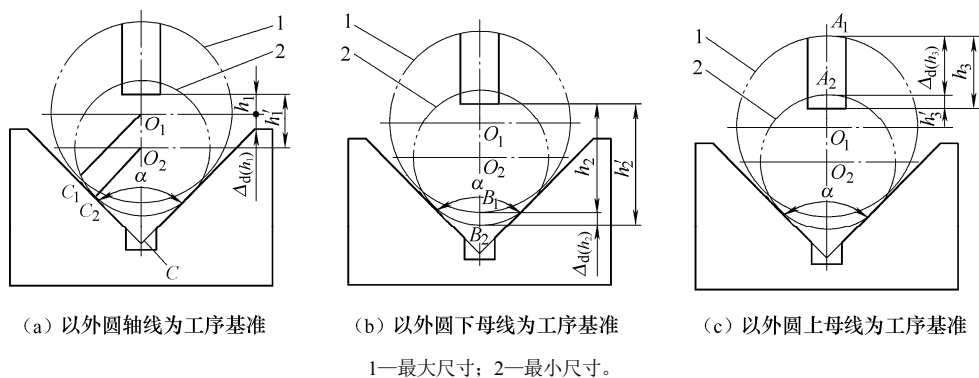


图 3-26 圆柱在 V 形块上定位时的定位误差

(1) 以外圆轴线为工序基准。如图 3-26 (a) 所示，工序尺寸 h_1 的工序基准为工件轴线 O （理论上的轴线，图中未示出），而工件的定位基准也为工件轴线 O ，两者重合，故不存在基准不重合误差。但是，由于一批工件的定位基准面——外圆柱面有制造误差，使工件与 V 形块接触时，将在最大尺寸和最小尺寸之间变动，从而引起工序基准 O 在 V 形块对称平面内发生偏移，变化的区

间是 O_1O_2 ，且 O_1O_2 的方向与工序尺寸一致， O_1O_2 的长度就是工序尺寸 h_1 的基准位移量，即工序尺寸 h_1 的定位误差可表示为

$$\begin{aligned}\Delta_{d(h_1)} &= h'_1 - h_1 = O_1O_2 = O_1C - O_2C \\ &= \frac{O_1C_1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{O_2C_2}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{d}{2\sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{d - T_d}{2\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{T_d}{2\sin \frac{\alpha}{2}}\end{aligned}$$

(2) 以外圆下母线为工序基准。如图 3-26 (b) 所示，工序尺寸 h_2 以外圆下母线 B 为工序基准。这时，由于工序基准（下母线）与定位基准（轴线）不重合，存在基准不重合误差，但基准不重合误差与基准位移误差方向相反，两者部分抵消。由图 3-26 (b) 可知，定位误差为

$$\begin{aligned}\Delta_{d(h_2)} &= h'_2 - h_2 = B_1B_2 = O_1O_2 + O_2B_2 - O_1B_1 \\ &= \frac{T_d}{2\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{d - T_d}{2} - \frac{d}{2} = \frac{T_d}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)\end{aligned}$$

(3) 以外圆上母线为工序基准。如图 3-26 (c) 所示，工序尺寸 h_3 以外圆上母线 A 为工序基准。这时，由于工序基准（上母线）与定位基准（轴线）不重合，基准不重合误差与基准位移误差同向叠加。由图 3-26 (c) 可知，定位误差为

$$\begin{aligned}\Delta_{d(h_3)} &= h_3 - h'_3 = A_1A_2 = O_1A_1 + O_1O_2 - O_2A_2 \\ &= \frac{d}{2} + \frac{T_d}{2\sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{d - T_d}{2} = \frac{T_d}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right)\end{aligned}$$

由上述分析可知，外圆在 V 形块上定位铣键槽时，键槽深度的工序基准不同，其定位误差也是不同的，即 $\Delta_{d(h_3)} < \Delta_{d(h_2)} < \Delta_{d(h_1)}$ 。从减少定位误差来考虑，标注尺寸 h_2 最佳。定位误差的大小还与定位基准面的尺寸公差和 V 形块的夹角 α 有关。 α 角越大，定位误差越小。但随着 α 角的增大，其稳定性也将降低。当 α 角增大到平角时，就变成平面定位的情况，从而失去对中定位的作用。

例 3-3：如图 3-27 所示，工件以外圆柱面在 V 形块上定位加工键槽， $\alpha=90^\circ$ ，保证键槽深度 $34.8_{-0.17}^0 \text{ mm}$ 。试计算其定位误差。

解：因为定位基准与设计基准不重合，有 $\Delta_{jb} \neq 0$ ；另外，由于一批工件的定位基准面有制造误差 $\phi d_{-0.025}^0$ ，其基准位移误差 $\Delta_{jy} \neq 0$ 。因此有

$$\begin{aligned}\Delta_d &= \Delta_{jb} + \Delta_{jy} \\ \Delta_d &= \frac{T_d}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) = \frac{0.025 \text{ mm}}{2} \times \left(\frac{1}{\sin \frac{90^\circ}{2}} - 1 \right) = 0.0052 \text{ mm}\end{aligned}$$

例 3-4：如图 3-28 所示，工件以 ϕd_1 外圆定位，钻 $\phi 10\text{H}8$ 孔，已知 $\phi d_1 = \phi 30_{-0.1}^0 \text{ mm}$ ， $\phi d_2 = \phi 55 \text{ mm} \pm 0.023 \text{ mm}$ ， $H = 40 \text{ mm} \pm 0.15 \text{ mm}$ ， $t = 0.03 \text{ mm}$ 。求工序尺寸 $40 \text{ mm} \pm 0.15 \text{ mm}$ 的定位误差。

解：如图 3-28 所示，工件的定位基准是 ϕd_1 的中心线 A ，工序基准是 ϕd_2 的外圆母线 B ，该工序存在基准不重合误差。工件在 V 形块上定位时又存在基准位移误差，故有

$$\Delta_{jb} = \frac{T_{d2}}{2} + t = \frac{0.046 \text{ mm}}{2} + 0.03 \text{ mm} = 0.053 \text{ mm}$$

$$\Delta_{jy} = \frac{T_{d_1}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{0.1 \text{ mm}}{2 \sin \frac{90^\circ}{2}} = 0.0707 \text{ mm}$$

$$\Delta_d = \Delta_{jb} + \Delta_{jy} = 0.053 \text{ mm} + 0.0707 \text{ mm} = 0.1237 \text{ mm}$$

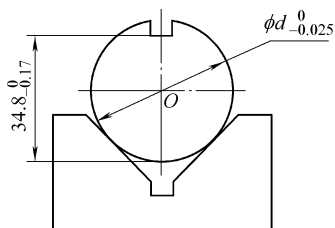


图 3-27 外圆柱面上加工键槽

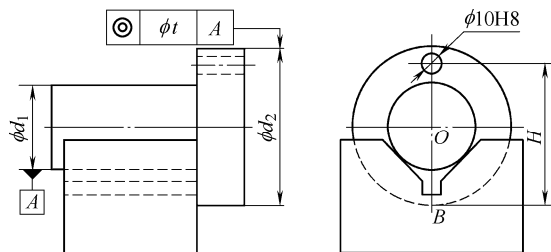


图 3-28 阶梯轴上钻孔

4. 工件以组合表面定位时的定位误差

工件以组合表面定位的情况非常多，其定位误差的分析与计算也较为复杂。然而，只要画出工件工序基准的两个极限位置，通过几何关系的分析也是不难计算的。下面以生产中最常用的一面两孔定位为例，说明组合定位时定位误差的分析与计算方法。

工件采用一面两孔组合定位时，其定位误差的分析与计算同样应分别从各定位表面是否存在基准不重合误差和基准位移误差两个方面来进行。若所选择的定位基准存在基准不重合，则基准不重合误差的分析与计算可参见前述，此处不再赘述。在此，主要对一面两孔定位方式下存在的基准位移误差进行分析和计算。

例如，当一批箱体工件在夹具中定位时 [销孔的配合及配合间隙如图 3-29 (a) 所示]，工件上作为第一定位基准的底面无基准位移误差（该面通常已精加工）。由于底面与两定孔通常在一次装夹中加工，保证底面与孔轴线的垂直度，因此内孔与底面垂直度误差而引起的内孔中心线基准位移误差也可忽略不计。但作为第二、第三定位基准的 O_1 、 O_2 ，由于与定位销的配合间隙及两孔、两销中心距误差引起的基准位移误差，需要重点考虑并进行计算。

如图 3-29 (b) 所示，设工件上定位孔 O_1 与圆柱销的最大配合间隙为 $X_{1\max}$ ，孔 O_2 与菱形销的最大配合间隙为 $X_{2\max}$ ，由此产生的基准位置（位移和转角）误差分析如下。

(1) 孔 1 中心 O_1 的基准位移误差：孔 1 中心 O_1 的基准位移误差在任何方向上均为

$$\Delta_{jy(O_1)} = X_{1\max} = T_{D_1} + T_{d_1}$$

(2) 孔 2 中心 O_2 的基准位移误差：孔 2 在两孔连线 x 方向上不起定位作用，所以在该方向上基准位移误差不计。在垂直于两孔连线

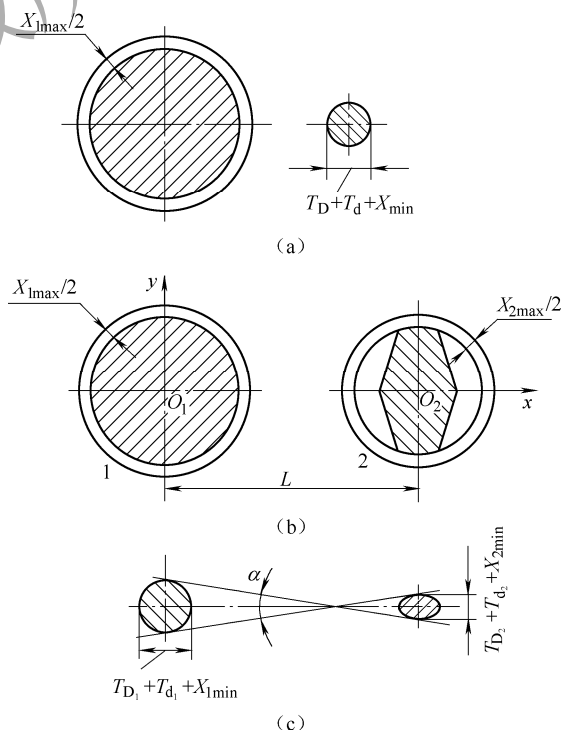


图 3-29 两销定位的定位误差

的 y 方向上, 存在最大配合间隙 $X_{2\max}$, 产生的基准位移误差为

$$\Delta_{jy(O_2)} = X_{2\max} = T_{D_2} + T_{d_2} + X_{2\min}$$

(3) 转角误差: 由于 $X_{1\max}$ 和 $X_{2\max}$ 的存在, 在水平面内两孔连线 O_1O_2 产生的基准转角误差为

$$\Delta\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \tan \frac{X_{1\max} + X_{2\max}}{2L} = \frac{X_{1\max} + X_{2\max}}{2L} = \frac{T_{D_1} + T_{d_1} + X_{1\min} + T_{D_2} + T_{d_2} + X_{2\min}}{2L}$$

(4) 定位误差计算: 定位误差计算时, 将基准位移和基准转角误差按最不利的情况反映到工序尺寸方向上, 即为基准位置误差引起工序尺寸的定位误差, 下面举例说明。

例 3-5: 如图 3-30 所示, 工件以一面两孔在夹具中定位加工孔 O_3 , 求工序尺寸 A 和 B 的定位误差。

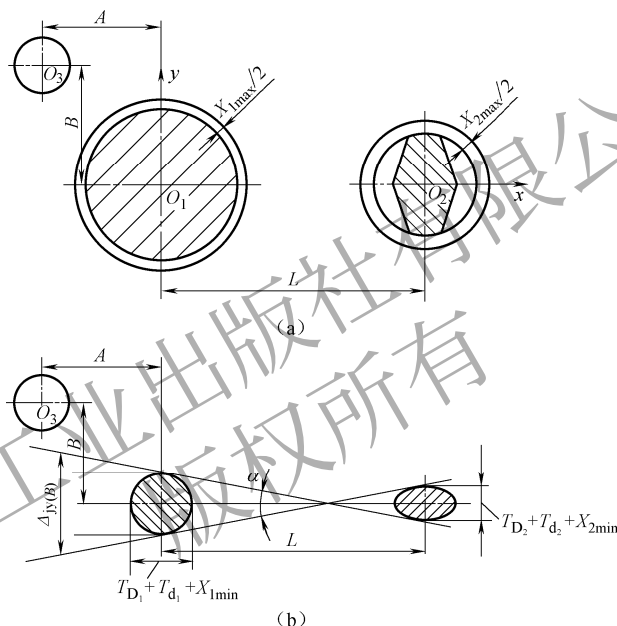


图 3-30 加工孔位于两定位孔左侧

解: 加工前, 刀具相对夹具的加工位置一经调定, 刀具的位置不再发生变动。

(1) 对工序尺寸 A 而言, 其工序基准和定位基准是孔 O_1 的中心线, 所以 $\Delta_{jb} = 0$; 但由于工件定位孔 O_1 与夹具定位销存在配合间隙, 因此对于工序尺寸 A , 其基准位移误差为 $\Delta_{jy}(A) = T_{D_1} + T_{d_1} + X_{1\max}$ 。

(2) 对工序尺寸 B 而言, 其工序基准和定位基准是孔 O_1 和孔 O_2 的连线, 所以 $\Delta_{jb} = 0$; 但由于 $X_{1\max}$ 和 $X_{2\max}$ 的存在, 在水平面内, 两孔连线 O_1O_2 会产生基准转角误差 α , 最坏情况如图 3-31 (b) 所示。此时, 转角误差为

$$\begin{aligned} \Delta\left(\frac{\alpha}{2}\right) &= \tan \frac{X_{1\max} + X_{2\max}}{2L} = \frac{X_{1\max} + X_{2\max}}{2L} \\ &= \frac{T_{D_1} + T_{d_1} + X_{1\min} + T_{D_2} + T_{d_2} + X_{2\min}}{2L} \end{aligned}$$

因此, 尺寸 B 的基准位移误差为

$$\Delta_{jy(B)} = X_{1\max} + 2A \tan \Delta\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

例 3-6: 如图 3-31 所示, 工件以一面两孔在夹具中定位加工孔 O_4 , 求工序尺寸 E 和 F 的定位误差。

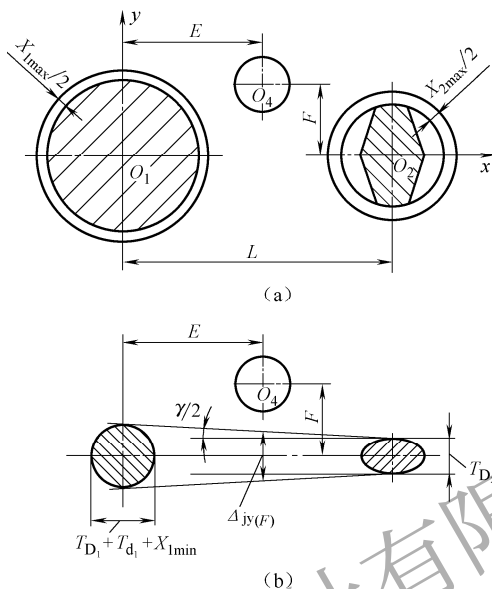


图 3-31 加工孔位于两定位孔之间

解: (1) 工序尺寸 E 的工序基准和定位基准仍然是孔 O_1 的中心线 (见图 3-31), 所以 $\Delta_{jb} = 0$ 。因此, 工序尺寸 E 的基准位移误差为

$$\Delta_{jy(E)} = X_{1\max}$$

(2) 工序尺寸 F 的工序基准和定位基准是孔 O_1 和孔 O_2 的连线, 所以 $\Delta_{jb} = 0$; 但由于 $X_{1\max}$ 和 $X_{2\max}$ 的存在, 在水平面内, 两孔连线 O_1O_2 会产生基准转角误差, 最坏情况如图 3-31 (b) 所示。此时, 转角误差为

$$\begin{aligned} \Delta_{\left(\frac{\gamma}{2}\right)} &= \tan \frac{X_{1\max} - X_{2\max}}{2L} = \frac{X_{1\max} - X_{2\max}}{2L} \\ &= \frac{T_{D1} + T_{d1} + X_{1\min} - (T_{D2} + T_{d2} + X_{2\min})}{2L} \end{aligned}$$

因此, 工序尺寸 F 的基准位置误差为

$$\Delta_{jy(F)} = X_{2\max} + 2(L - E) \tan \Delta_{\left(\frac{\gamma}{2}\right)}$$

从上述分析可知, 若想减小工件一面两销定位的定位误差, 可以采取以下方法。

- (1) 提高定位孔、定位销本身的尺寸精度, 以减小配合间隙。
- (2) 增大两孔的中心距。因此, 在选择零件上的两定位孔时, 应尽量选择位置距离远的孔。

3.3.3 加工误差 inequality

机械加工中, 产生加工误差的因素很多, 但只要最终的加工误差在允许的公差范围内, 工件就是合格的。加工过程中产生加工误差的主要原因有以下几个方面。

- (1) 定位误差 Δ_d : 工件在夹具中定位时, 由工件定位所产生的误差即为定位误差。
- (2) 对刀误差 Δ_{dd} : 调整刀具与对刀基准时产生的误差称为对刀误差, 它包括人为因素的影

响、夹具导向元件与定位元件间的误差等。

(3) 安装误差 Δ_a ：夹具安装在机床上时，由于安装不准确而引起的误差称为安装误差。

(4) 其他误差 Δ_q ：加工中除上述三项外的原因引起的加工误差，如机床误差、刀具误差及加工中的热变形和弹性变形引起的误差。

为了保证工件的加工要求，上述四项加工误差总和不应超过工件设计要求的公差 T ，即应满足不等式

$$\Delta_d + \Delta_{dd} + \Delta_a + \Delta_q \leq T$$

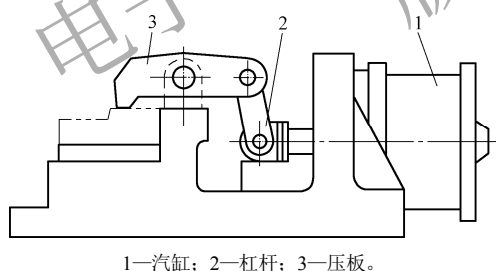
在夹具设计时，可将工件公差进行预分配，将加工公差大体分成三等分：定位误差 Δ_d 占 1/3，对刀误差 Δ_{dd} 和安装误差 Δ_a 占 1/3，其他误差 Δ_q 占 1/3。因此，一般在对具体定位方案进行定位误差计算时，所求得的定位误差不超过工件相应公差的 1/3，即可认为该定位方案是可行的。上述公差的预分配仅作为误差估算时的初步方案，设计夹具时若有特殊要求，应根据具体情况进行必要的调整。

3.4 工件在夹具中的夹紧

工件在定位元件上定位后，必须采用一定的装置将工件压紧夹牢，使其在加工过程中不会因受切削力、惯性力或离心力等作用而发生振动或位移，从而保证加工质量和生产安全，这种装置称为夹紧装置。机械加工中所使用的夹具一般都必须有夹紧装置，在大型工件上钻小孔时，若切削力较小且工件自重足以保持稳定，可不单独设计夹紧装置。

3.4.1 夹紧装置的组成与基本要求

图 3-32 所示为夹紧装置组成示意图，它主要由以下三部分组成。



1—汽缸；2—杠杆；3—压板。

图 3-32 夹紧装置组成示意图

(1) 力源装置：产生夹紧作用力的装置。所产生的力称为原始力，如气动、液动、电动等，图中的力源装置是汽缸。对于手动夹紧来说，力来自人力。

(2) 中间传力机构：介于力源和夹紧元件之间传递力的机构，如图中的杠杆。在传递力的过程中，它能起到如下作用：①改变作用力的方向；②改变作用力的大小，通常起增力作用；③使夹紧实现自锁，保证力源提供的原始力消失后，仍能可靠地夹紧工件，这对手动夹紧尤为重要。

(3) 夹紧元件：夹紧装置的最终执行元件，与工件直接接触完成夹紧作用，如图中的压板。

必须指出，夹紧装置的具体组成并非一成不变，须根据工件的加工要求、安装方法和生产规模等条件来确定。但无论其具体组成如何，都必须满足如下基本要求。

(1) 夹紧时不能破坏工件定位后获得的正确位置。

(2) 夹紧力大小要合适，既要保证工件在加工过程中不移动、不转动、不振动，又不能使工件产生变形或损伤工件表面。

(3) 夹紧动作要迅速、可靠，且操作要方便、省力、安全。

(4) 结构紧凑，易于制造与维修。

(5) 其自动化程度及复杂程度应与工件的生产纲领相适应。

3.4.2 夹紧力的确定

设计夹紧机构, 必须首先合理确定夹紧力的三要素: 方向、作用点、大小。

1. 夹紧力方向的确定

确定夹紧力作用方向时, 应与工件定位基准的配置及所受外力的作用方向等结合起来考虑, 其确定原则如下。

(1) 夹紧力的作用方向应垂直于主要定位基准面。图 3-33 所示工件是以 A 、 B 面作为定位基准镗孔 C , 要求保证孔 C 轴线垂直于 A 面。因此, 应选择 A 面为主要定位基准, 夹紧力 F_Q 作用方向应垂直于 A 面。这样, 无论 A 面与 B 面有多大的垂直度误差, 都能保证孔 C 轴线与 A 面垂直。否则, 如图示夹紧力方向垂直于 B 面, 则因 A 、 B 面间有垂直度误差, 使镗出的孔 C 轴线不垂直于 A 面, 产生垂直度误差。

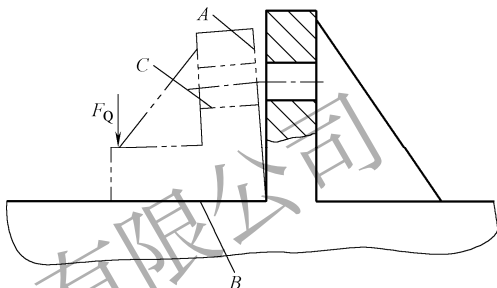


图 3-33 夹紧力作用方向不垂直于主要定位基准面

(2) 夹紧力作用方向应使所需夹紧力最小。这样可使机构轻便、紧凑, 工件变形小, 对手动夹紧可减轻工人劳动强度。图 3-34 表示出夹紧力 F_Q 与切削力 F_p 、工件重力 W 之间三种不同方向的关系, 其中图 3-34 (a) 所需夹紧力最小, 较为理想; 图 3-34 (b) 所需夹紧力 $F_Q \geq F_p + W$, 要比图 3-34 (a) 大得多; 图 3-34 (c) 完全靠摩擦力克服切削力和重力, 故所需夹紧力 $F_Q \geq \frac{F_p + W}{\mu}$ (μ 为工件与定位元件间的摩擦系数), 所需夹紧力最大。所以, 最理想的夹紧力的作用方向是与重力、切削力方向一致。

(3) 夹紧力作用方向应使工件变形尽可能小。由于工件不同方向上的刚度是不一致的, 不同的受力面也会因其面积不同而变形各异, 夹紧薄壁工件时尤其注意这种情况。如图 3-35 所示套筒夹紧, 用自定心卡盘夹紧外圆显然要比用特制螺母从轴向夹紧工件产生的变形要大得多。

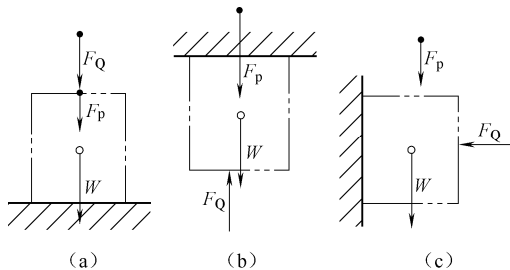


图 3-34 夹紧力方向与夹紧力大小的关系

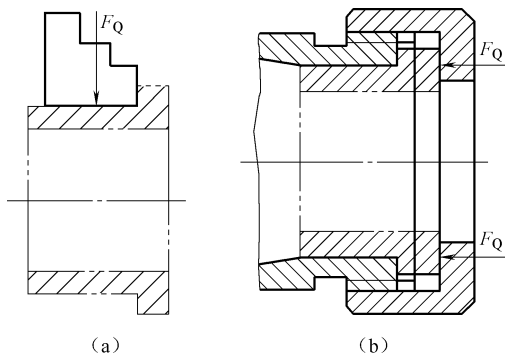


图 3-35 套筒夹紧

2. 夹紧力作用点的确定

夹紧力作用点对工件的可靠定位、夹紧后的稳定和变形有显著影响, 选择时应依据以下原则。

(1) 夹紧力作用点应落在支承元件或几个支承元件形成的稳定受力区域内。图 3-36 (a) 中, 夹紧力作用在支承面范围之外, 工件发生倾斜, 因而不合理, 而图 3-36 (b) 则是合理的。

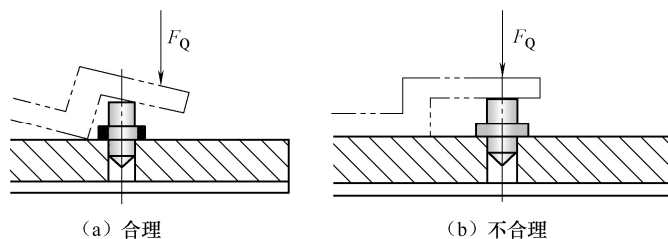


图 3-36 夹紧力作用点应落在稳定受力区域内

(2) 夹紧力作用点应落在工件刚性好的部位。如图 3-37 所示, 将作用在壳体中部的单点夹紧改为在工件外缘处的两点夹紧, 工件的变形大大改善, 夹紧也更可靠。此项原则对刚性差的工件尤为重要。

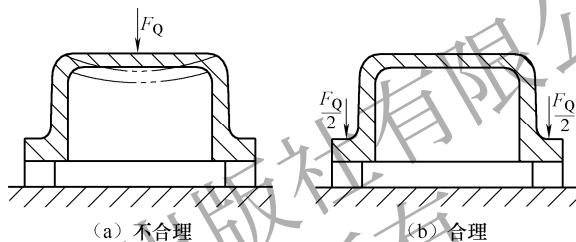


图 3-37 夹紧力作用点应落在工件刚性好的部位

(3) 夹紧力作用点应尽可能靠近加工面。这可减小切削力对夹紧点的力矩, 从而减轻工件振动。图 3-38 (a) 中, 若压板直径过小, 则对滚齿时的防振不利。图 3-39 (b) 中工件形状特殊, 加工面距夹紧力 F_{Q1} 作用点甚远, 这时应增设辅助支承, 并附加夹紧力 F_{Q2} , 以提高工件夹紧后的刚度。

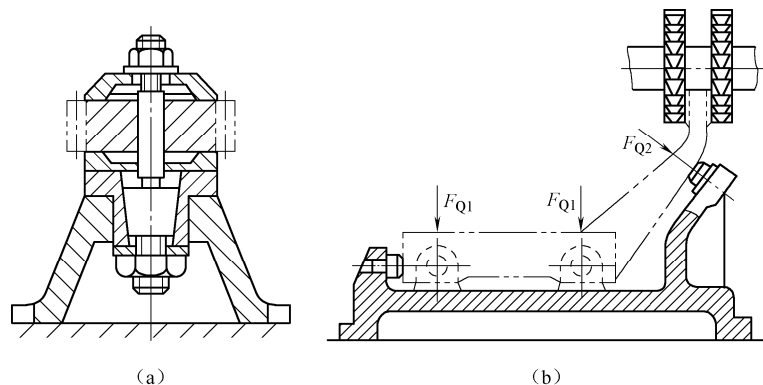


图 3-38 夹紧力作用点应尽可能靠近加工面

3. 夹紧力的大小

夹紧力的大小可根据切削力与工件重力的大小、方向和相互位置关系具体计算。为安全起见, 计算出的夹紧力应乘以安全系数 K , 故实际夹紧力一般比理论计算值大 2~3 倍。

进行夹紧力计算时, 通常将夹具和工件看作一个刚性系统, 以简化计算。根据工件在切削力、

夹紧力（重型工件要考虑重力，高速时要考虑惯性力）作用下处于静力平衡，列出静力平衡方程式，即可算出理论夹紧力。

一般来说，手动夹紧时不必算出夹紧力的确切值；只有机动夹紧时，才进行夹紧力计算，以便决定动力部件（如汽缸、液压缸直径等）的尺寸。

3.4.3 典型夹紧机构

夹紧机构是夹紧装置的重要组成部分，因为无论采用何种动力源装置，都必须通过夹紧机构将原始力转化为夹紧力。各类夹具应用的夹紧机构多种多样，以下介绍几种利用机械摩擦实现夹紧并可自锁的典型夹紧机构。

1. 斜楔夹紧

图 3-39 (a) 所示为斜楔夹紧的钻模，以原始作用力 F_p 将斜楔推入工件和夹具之间实现夹紧。取斜楔为研究对象，其受力如图 3-39 (b) 所示：工件对它的反作用力为 F_Q （等于夹紧力，但方向相反），由 F_Q 引起的摩擦力为 F_1 ，它们的合力 $F_{Q1}=F_Q+F_1$ ；夹具体对它的反作用力为 F_R ，由 F_R 引起的摩擦力为 F_2 ，它们的合力 $F_{R1}=F_R+F_2$ 。图中 ϕ_1 和 ϕ_2 为摩擦角，分别是 F_{Q1} 与 F_Q 和 F_{R1} 与 F_R 的夹角。

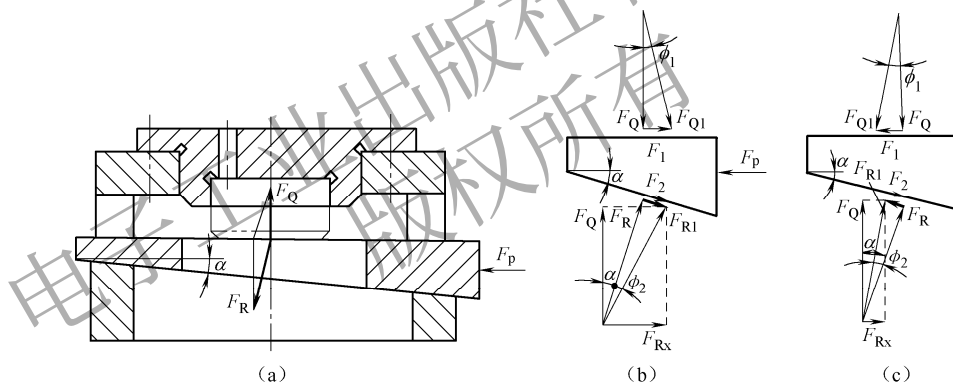


图 3-39 斜楔夹紧原理及受力分析

夹紧时， F_p 、 F_Q 、 F_R 三力平衡，有

$$F_p = F_Q \tan \phi_1 + F_Q \tan(\alpha + \phi_2)$$

故夹紧力为

$$F_Q = \frac{F_p}{\tan \phi_1 + \tan(\alpha + \phi_2)} \quad (3-3)$$

工件夹紧后 F_p 力消失，则斜楔应能自锁。如图 3-39 (c) 所示，这时斜楔受到合力 F_{Q1} 和 F_{R1} 作用，其中 F_{R1} 的水平分力 F_{Rx} 有使斜楔松开的趋势，欲阻止其松开而自锁，须使摩擦力 $F_{R1} \geq F_{Rx}$ ，亦即

$$F_Q \tan \phi_1 \geq F_Q \tan(\alpha - \phi_2)$$

由于两处摩擦角很小，故有 $\tan \phi_1 \approx \phi_1$ ， $\tan(\alpha - \phi_2) \approx (\alpha - \phi_2)$ 。则上式可写作 $\phi_1 > \alpha - \phi_2$ 或写出斜楔夹角的自锁条件，即

$$\alpha < \phi_1 + \phi_2 \quad (3-4)$$

一般钢与铁的摩擦系数 $\mu=0.1\sim0.15$, 则 $\phi_1=\phi_2=\phi=5^\circ\sim7^\circ$, 故当 $\alpha\leq 10^\circ\sim14^\circ$ 时, 即可实现自锁。通常为安全起见, 取 $\alpha=5^\circ\sim7^\circ$ 。

斜楔夹紧的特点如下。

(1) 有增力作用。若定义扩力比, 则根据夹紧力计算式 (3-3), $i_p\approx 3$, 且 α 越小则增力作用越大。

(2) 夹紧行程小。设当斜楔水平移动距离为 s 时, 其垂直方向的夹紧行程为 h 。因 $h/s=\tan\alpha$ 及 $\tan\alpha\leq 1$, 故 $h\leq s$ 且 α 越小, 其夹紧行程也越小。

(3) 结构简单, 但操作不方便。

根据以上特点, 斜楔夹紧很少用于手动夹紧, 而主要用于机动夹紧且毛坯质量较高的场合。有时, 为解决增力和夹紧行程间的矛盾, 可在动力源不间断情况下, 增大 α 为 $15^\circ\sim30^\circ$, 或可采用双升角形式 (大升角用于夹紧前的快速行程, 小升角用于夹紧中的增力和自锁)。

2. 螺旋夹紧

螺旋夹紧结构简单、夹紧可靠, 所以在夹具中得到广泛应用。图 3-40 所示是最简单的单螺旋夹紧机构。夹具体上装有螺母, 转动螺杆, 通过压块将工件夹紧。螺母为可换式, 螺钉用于防止其转动。压块可避免螺杆头部与工件直接接触, 从而避免造成压痕。螺旋夹紧的扩力比远比斜楔夹紧力大。同时螺旋夹紧行程不受限制, 所以在手动夹紧中应用极广。但螺旋夹紧动作慢、辅助时间长、效率低, 因此出现许多快速螺旋夹紧机构。在实际生产中, 螺旋-压板组合夹紧比单螺旋夹紧用得更为普遍。

3. 偏心夹紧

偏心夹紧机构以偏心件作为夹紧元件, 直接夹紧或与其他元件组合实现对工件的夹紧。常用的偏心件有圆偏心和偏心轴偏心两种。图 3-41 所示是一种常见的偏心轮-压板夹紧机构。当顺时针转动手柄使偏心轮绕轴转动时, 偏心轮的圆柱面紧压在垫板上。由于垫板的反作用力, 使偏心轮上移, 同时抬起压板右端, 而压板左端下压夹紧工件。由于圆偏心夹紧时的夹紧力小, 自锁性能不是很好, 且夹紧行程小, 故多用于切削力小、无振动、工件尺寸公差不大的场合。但是, 圆偏心夹紧机构是一种快速夹紧机构。

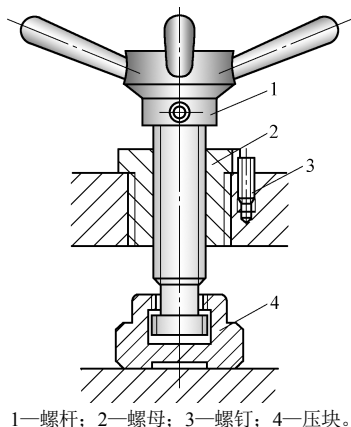


图 3-40 单螺旋夹紧机构

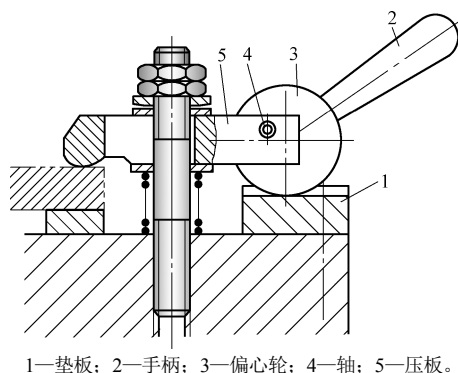


图 3-41 偏心轮-压板夹紧机构

3.4.4 夹紧动力源装置

现代高效率的夹具多采用机动夹紧方式,因此在夹紧装置中,一般都设有产生机动夹紧力的动力源装置,如气动、液压、电磁、真空等。其中以气动夹紧应用最为普遍,液压夹紧应用也较广泛。

1. 气动夹紧

典型的气压传动系统如图 3-42 所示。气源产生的压缩空气经车间总管路送来,先经油雾器,使其中的润滑油雾化并随之进入送气系统,以对其中的运动部件进行充分润滑,再经减压阀,使压缩空气压力减至稳定的工作压力(一般为 $0.4 \sim 0.6 \text{ MPa}$),又经单向阀,防止压缩空气回流,导致夹紧装置松开。换向阀控制压缩空气进入汽缸的前腔或后腔,实现夹紧或松开。调速阀可调节进入汽缸的空气流量,以控制活塞的移动速度。

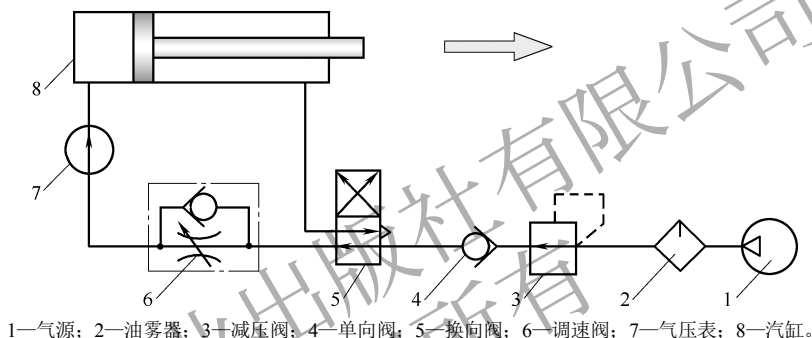


图 3-42 典型的气压传动系统

2. 液压夹紧

液压夹紧用高压油产生动力,其工作原理、结构与气动夹紧相似。两者的共同优点是:操作简单,动作迅速,辅助时间短。液压夹紧相比气动夹紧有以下优点。

(1) 工作压力高(可达 $5 \sim 6.5 \text{ MPa}$),比气压高出十余倍,故液压缸尺寸比汽缸小得多。因传动力大,通常不需增力机构,使夹具结构简单、紧凑。

(2) 油液不可压缩,因此夹紧刚度大,工作平稳,夹紧可靠。

(3) 噪声小,劳动条件好。

液压夹紧特别适用于重力切削或加工大型工件时的多处夹紧。但如果机床本身没有液压系统,需设置专用的夹紧液压系统,导致夹具成本提高。

3. 气-液压组合夹紧

气-液压组合夹紧的动力源仍为压缩空气,但要使用特殊的增压器,故结构复杂。然而,由于其综合气动夹紧、液压夹紧的优点,又部分克服它们的缺点,所以得到发展。

气-液压组合夹紧的工作原理如图 3-43 所示,压缩空气进入汽缸的右腔,推动增压器活塞杆左移,并将活塞杆推入增压缸内。由于活塞杆的作用面积小,故使增压缸和工作缸内的油液大大增加,并推动工作缸中的活塞上抬,将工件夹紧。

设汽缸活塞的直径为 $D_{\text{气}}$,增压缸柱塞的直径为 $D_{\text{油}}$,则由于 $D_{\text{气}} < D_{\text{油}}$,故增压器输出的油压比输入的气压增大 $(D_{\text{气}}/D_{\text{油}})^2 \eta$ 倍 (η 为总效率,一般取 $0.80 \sim 0.85$),这是它的主要优点;其缺

点是行程小。由于油液容积不变,故活塞的行程 $L_{\text{工}}$ 和活塞杆的行程 $L_{\text{气}}$ 与相应的活塞、活塞杆面积成反比,即 $L_{\text{工}}/L_{\text{气}}=(D_{\text{油}}/D_{\text{气}})^2$ 。

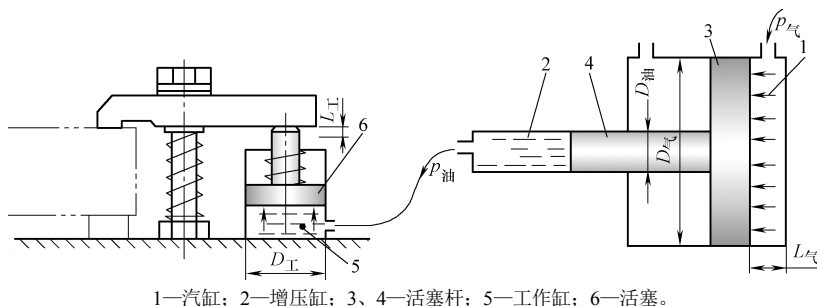


图 3-43 气-液压组合夹紧的工作原理

除上述动力源外,还有利用切削力或主轴回转时的离心力作为力源的自夹紧装置,以及利用电磁吸力、大气压力(真空夹具)和电动机驱动的各种动力源。

3.5 夹具设计的基本步骤与实例

下面就专用夹具的设计方法、步骤和内容进行介绍,以便为今后的夹具设计打下理论基础。夹具设计时,首先应对被加工工件进行深入细致的分析,了解它们的尺寸、形状、结构特征以及待加工表面的精度和表面粗糙度要求,掌握这些信息作为夹具设计的基本依据;然后运用前面学过的知识,提出可行的定位和夹紧方案,并仔细地分析对比,择优选用,由此确定出夹具的总体方案;最后对夹具的具体结构进行构思,并绘制成装配图、零件图,完成整个夹具的设计。

3.5.1 夹具的设计要求

(1) 保证工件加工的各项技术要求。要求正确确定定位方案、夹紧方案,正确确定刀具的导向方式,合理制定夹具的技术要求,必要时进行误差分析与计算。

(2) 具有较高的生产效率和较低的制造成本。为提高生产效率,应尽量采用多件夹紧、联动夹紧等高效夹具,但结构应尽量简单,以降低制造成本。

(3) 尽量选用标准化零部件。尽量选用标准夹具元件和标准件,这样可以缩短夹具的设计制造周期,提高夹具设计质量和降低夹具制造成本。

(4) 夹具操作方便安全、省力。为便于操作,操纵夹紧件的手柄或扳手一般应放在操作者的右侧或前方;为便于夹紧工件,夹紧件的手柄或扳手在操作范围内应有足够的活动空间;为减轻工人劳动强度,在条件允许的情况下,应尽量采用气动、液压等机械化夹紧装置。

(5) 夹具应具有良好的结构工艺性。所设计的夹具应便于制造、检验、装配、调整和维修。

3.5.2 夹具的设计内容与步骤

1. 明确设计要求,收集和研究有关资料

在接到夹具设计任务书后,首先仔细阅读加工件的零件图和与之有关的部件装配图,了解零

部件的作用、结构特点和技术要求；其次认真研究加工件的工艺规程，充分了解本工序的加工内容和加工要求，了解本工序使用的机床和刀具，研究分析夹具设计任务书上所规定的定位基面和工序尺寸。

2. 确定夹具的结构方案

- (1) 确定定位方案，选择定位元件，计算定位误差。
- (2) 确定对刀或导向方式，选择对刀块或导向元件。
- (3) 确定夹紧方案，选择夹紧机构。
- (4) 确定夹具其他组成部分的结构形式，例如分度装置、夹具和机床的连接方式等。
- (5) 确定夹具体的形式和夹具的总体结构。

在确定夹具结构方案的过程中，应提出几种不同的方案进行比较分析，选取其中最为合理的结构方案。

3. 绘制夹具的装配草图和装配图

夹具总图绘制比例除特殊情况外，一般均应按 1:1 绘制，以使所设计夹具有良好的直观性。总图上的主视图，应尽量选取与操作者正对的位置。

绘制夹具装配图可按如下顺序进行：①用双点画线画出工件的外形轮廓和定位基面、加工面；②画出定位元件和导向元件；③按夹紧状态画出来紧装置；④画出其他元件或机构；⑤画出夹具体，将上述各组成部分连接成一体，形成完整的夹具。在夹具装配图中，被加工件视为透明体。

4. 确定并标注有关尺寸、配合及技术要求

1) 夹具总装配图上应标注的尺寸

- (1) 工件与定位元件间的联系尺寸，例如工件基准孔与夹具定位销的配合尺寸。
- (2) 夹具与刀具的联系尺寸，例如对刀块与定位元件之间的位置尺寸及公差，钻套、镗套与定位元件之间的位置尺寸及公差。
- (3) 夹具与机床连接部分的尺寸，对于铣床夹具是指定位键与铣床工作台 T 形槽的配合尺寸及公差，对于车、磨床夹具是指夹具连接到机床主轴端的连接尺寸及公差。
- (4) 夹具内部的联系尺寸及关键件配合尺寸，例如定位元件间的位置尺寸、定位元件与夹具体的配合尺寸等。
- (5) 夹具外形轮廓尺寸。

2) 确定夹具技术条件

在装配图上需要标出与工序尺寸精度直接有关的下列各有关夹具元件之间的相互位置精度要求。

- (1) 定位元件之间的相互位置要求。
- (2) 定位元件与连接元件（夹具以连接元件与机床相连）或找正基面间的相互位置精度要求。
- (3) 导向元件与连接元件（或找正基面）间的相互位置精度要求。
- (4) 定位元件与导向元件的位置精度要求。

5. 绘制夹具零件图

绘制装配图中非标准零件的零件图，其视图应尽可能与装配图上的位置一致。

6. 编写夹具设计说明书

夹具设计说明书主要包含：零件与工艺分析，明确加工要求与难点；定位方案设计，确定基准、元件并计算定位误差；夹紧方案设计，确定夹紧力与机构；对刀/导向及总体结构设计，明确夹具与机床、刀具的连接；精度验算，保证加工精度；说明装配、零件要求并总结夹具特点与优势。

3.5.3 夹具设计实例

图 3-44 所示为杠杆小头孔加工工序图，工件材料为 45 钢。该工件的生产批量为小批。在本工序之前，该工件的大头孔及大小头孔端面均已加工。本工序的加工要求为：加工小头孔，其尺寸及精度要求为 $\phi 18H7$ ；小头孔中心线与大头孔中心线距离尺寸及精度要求为 $120\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ ；小头孔中心线与大头孔圆柱面平行，其平行度误差不超过 $\phi 0.05\text{mm}/100\text{mm}$ 。该工序加工要求除小头孔尺寸精度可通过刀具直接保证外，其余各项精度要求均需靠加工时的定位来保证。本工序在 Z535 型立式钻床上加工。

1. 定位基准的确定

定位基准的正确选择对保证加工精度和夹具结构的复杂程度均有很大的影响。在考虑定位方案时，应根据工件的精度要求、工序内容等来决定应限制的工件自由度数目和方向，进而选择好定位基准，并考虑所需的定位元件。一般情况下，定位基准在制定工艺规程时已由工艺人员确定。因此，在夹具设计时只需分析定位基准选择的正确性。如果选择不当，应与有关人员协商修改。

定位基准确定后，可根据定位基准及加工要求，选择定位方案、定位元件，计算定位误差，以确定方案是否可用。如图 3-44 所示，根据杠杆小头孔的加工精度要求，理论上沿小头孔轴线的移动自由度可以不加限制，但为了调刀和承受切削力，仍然需要对该自由度进行限制。因此该工件需完全定位，限制 6 个自由度。为此，可采用图 3-45 所示的定位基准和定位元件，即以工件大头孔为主定位面，插入长心轴用以限制工件的 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 共 4 个自由度，并使大头孔端面与心轴台肩端面接触，限制工件沿大头孔轴线方向移动的 $\bar{z}$ 自由度，以及用活动 V 形块与小头孔外圆接触，以限制工件绕大头孔轴线转动的 $\hat{z}$ 自由度。这样，工件的 6 个自由度均被限制，满足工件的定位要求。

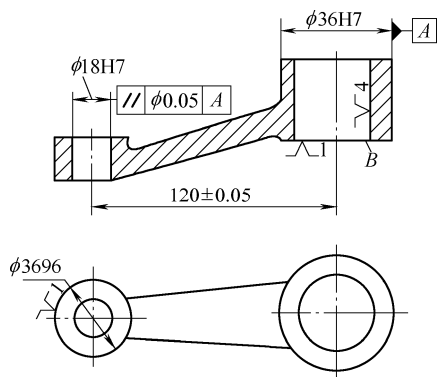


图 3-44 杠杆小头孔加工工序图

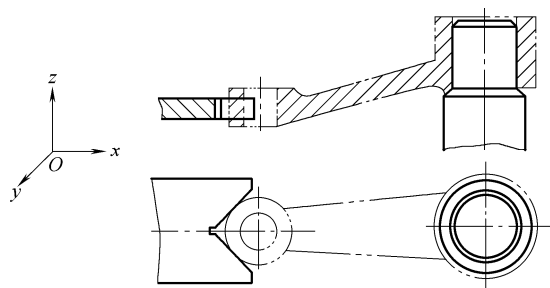


图 3-45 杠杆上加工小头孔的定位基准和定位元件

由于在此定位方案中，所采用的定位基准（大头孔圆柱面）与设计基准（大头孔圆柱面）重合，因此不存在基准不重合的定位误差。

2. 定位方案的确定

前面进行了定位元件的选择和布置,这只是考虑了工件定位的可行性和方便性,所选择的定位方案是否可行,应根据方案的定位误差是否在规定范围内来确定。

根据前面的分析可知,本工序加工时与定位基准有关的精度有两项,即中心距 $120\text{mm}\pm 0.05\text{mm}$ 和两孔平行度公差,而所采用的定位方案无基准不重合误差,故只需对该定位方案所产生的基准位移误差进行验算。

1) 中心距 $120\text{mm}\pm 0.05\text{mm}$ 的验算

影响此项精度的基准位移误差因素如下。

(1) 工件定位孔 $\phi 36\text{H}7$ 与定位销 $\phi 36\text{g}6$ 的配合间隙而产生的基准位移误差,即 $\Delta_{\text{ji}}(\text{孔销})=0.05\text{mm}$ 。

(2) 钻模板衬套中心与定位销中心距误差为 $120\text{mm}\pm 0.01\text{mm}$,其公差值是根据工序图中大小两孔中心距公差为 $\pm 0.05\text{mm}$,从中取其 $1/5$ 所得。因此,可知该项误差为 $\Delta_{\text{ji}}(\text{中心距})=0.02\text{mm}$ 。

(3) 钻套与衬套的配合间隙而产生的基准位移误差。由 $\phi 28\text{H}6/\text{g}5$ 可知,该项基准位移误差为 $\Delta_{\text{ji}}(\text{钻套、衬套})=0.029\text{mm}$ 。

(4) 钻套内孔与外圆的同轴度误差可忽略(因为标准钻套的精度较高)。

(5) 钻头与钻套的间隙会引偏刀具,产生中心距误差 e ,如图 3-46 所示。该误差可由下式求出,即

$$e = \left(\frac{H}{2} + h + B \right) \frac{X_{\max}}{H} \quad (3-5)$$

式中 e ——刀具引偏量, mm;

H ——钻套导向高度, mm;

h ——排屑空间(即钻套下端与工件间的空间高度), mm;

B ——钻孔深度, mm;

$X_{\max}$ ——刀具与钻套的最大间隙, mm。

本例中,假设刀具与钻套配合为 $\phi 18\text{H}6/\text{g}5$,可知 $X_{\max}=0.025\text{mm}$ 。将 $H=30\text{mm}$ 、 $h=12\text{mm}$ 、 $B=18\text{mm}$ 代入式(3-5)中,可求出 $e=0.038\text{mm}$ 。

由于上述各项都是按最大误差计算,实际上各项误差不可能同时出现最大值,各误差方向也不可能一致,故其综合误差可按概率法求得

$$\Delta_{\text{ji}} = \sqrt{(0.05\text{mm})^2 + (0.02\text{mm})^2 + (0.029\text{mm})^2 + (0.038\text{mm})^2} = 0.07\text{mm}$$

根据该项误差值 0.07mm 略大于中心距公差 0.1mm 的 $2/3$,故其定位方案勉强可用。为更好地保证加工精度,在实际应用时应减小定位和导向的配合间隙,以减小定位误差。

2) 两孔平行度的验算

工件要求 $\phi 18\text{H}7$ 孔全长上平行度公差为 0.05mm 。导致产生两孔平行度误差的因素如下。

(1) 工件定位孔 $\phi 36\text{H}7$ 与定位销 $\phi 36\text{g}6$ 的配合间隙产生的定位基准偏移误差分量为

$$\alpha_1 = \frac{X_{1\max}}{H_1} B$$

式中 $X_{1\max}$ —— $\phi 36\text{H}7/\text{g}6$ 处最大间隙, mm;

B ——钻孔深度, 假设为 18mm ;

H_1 ——定位销轴定位面长度, mm。

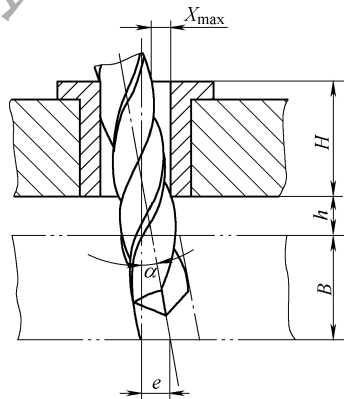


图 3-46 刀具引偏量计算

由于 H_1 尺寸在图 3-45 中未标注, 因此此处假设该值为 40mm, 并根据 $\phi 36H7/g6$ 配合后的最大间隙值 0.05mm, 得 $\alpha_1=0.0225\text{mm}$ 。

(2) 定位销轴中心线对夹具体底平面的垂直度 α_2 , 可根据夹具设计手册中的技术条件进行具体选择。假设此处选该值为 0.02mm。

(3) 钻套孔中心与定位销轴的平行度 α_3 , 可根据工序图上所标加工精度要求的 1/2 左右进行选取。图 3-44 中平行度公差要求为 0.05mm, 这里取 $\alpha_3=0.01\text{mm}$ 。

(4) 刀具引偏量 e 产生的偏斜为

$$\alpha_4 = \frac{X_{\max}}{H} B$$

该误差值各计算参数如图 3-44 所示, 代入相关数值即可得到该项误差为

$$\alpha_4 = 0.015\text{mm}$$

因此, 总误差为

$$\alpha_{\Sigma} = \sqrt{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + \alpha_4^2} = 0.035\text{mm}$$

由计算结果可知, 因为 $\alpha_{\Sigma}(=0.035\text{mm}) > (2/3)\alpha(=0.033\text{mm})$, 该方案勉强可行。

由上述两项定位误差的分析结果可知, 该定位方案勉强可用。

3. 对刀元件或导向元件的选择和确定

设计机床夹具的目的, 就是要保证工件加工精度, 并实现工件快速定位与刀具准确对刀。因此, 在工件通过定位元件实现快速定位的基础上, 还需要设置刀具导向元件, 以便实现刀具的快速引导。刀具的导向元件的结构选择是否合理、位置是否准确, 将影响加工表面的位置, 从而产生导向误差, 导致加工尺寸超差。

根据前述可知, 在 Z535 型立式钻床上加工杠杆工件的 $\phi 18H7$ 小头孔, 故使钻头快速、准确定位的元件为钻套。由于本工序需依次完成对 $\phi 18H7$ 孔的钻、扩、铰三个工步, 需更换不同孔径的钻套, 因此选择快换钻套。为保证所加工 $\phi 18H7$ 孔中心与定位大头孔中心的中心距 $120\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$, 将钻套中心与定位销中心的距离尺寸定为 $120\text{mm} \pm 0.01\text{mm}$, 如图 3-47 所示。

4. 夹紧方案的确定

当夹具上的定位元件和导向元件确定以后, 下一步的工作就是要确定对工件实施夹紧任务的夹紧方案。如前所述, 夹紧方案的设计涉及夹紧力的作用点、方向和大小, 以及动力源和传力机构的设计等方面的内容。夹紧机构设计的依据是加工工件的生产类型、工件结构和所选择的定位、导向方案等。图 3-48 所示为加工杠杆小头孔的夹紧方案。由于该工件的生产类型为小批生产, 故选择手动螺旋夹紧机构, 夹紧部位为大头孔端面, 夹紧力方向垂直向下, 夹紧元件采用开口垫圈, 便于工件的装卸。

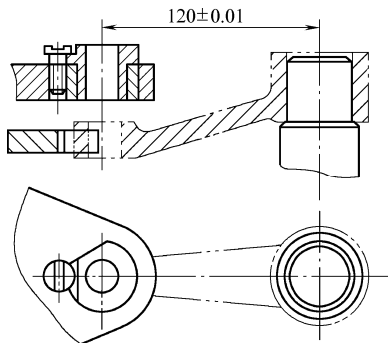


图 3-47 加工杠杆小头孔所用的导向元件及其位置尺寸

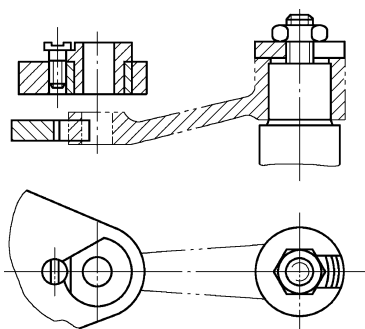


图 3-48 加工杠杆小头孔的夹紧方案

5. 夹具总图的绘制

上述设计完成以后, 下一步的工作就是绘制夹具总图。为了使夹具总图具有良好的直观性, 一般绘图比例取 1:1。如果工件尺寸过大, 夹具总图可按 1:2 或 1:5 的比例绘制; 如果工件尺寸过小, 夹具总图可按 2:1 或 5:1 的比例绘制。主视图方向选取以操作者面向夹具的方向。为了清楚地表示夹具的结构、各装置或元件的位置关系, 应合理选择视图及剖视图数目, 并遵循一般机械装配图的绘图原则。夹具总图的绘制可按下述步骤进行。

(1) 根据图样幅面, 大致确定所要绘制的视图布局。

(2) 用细双点画线绘制工件轮廓外形、定位基准和加工表面, 加工表面用粗实线或网格线表示, 如图 3-50 所示。

(3) 按照工件的定位位置依次绘出定位元件、导向元件(或对刀元件)、夹紧装置, 如图 3-46、图 3-48、图 3-49 所示。此外, 对于夹具活动件, 如夹紧装置、翻转式钻模板等, 应根据它们的活动范围, 用细双点画线画出活动件的极限位置, 注意防止各元件之间以及各元件与机床、刀具发生干涉。绘图时, 应视工件为透明体。

(4) 绘制其他元件或机构及夹具体。如图 3-49 所示, 首先在已绘制的定位元件、导向元件基础上绘制夹具体, 然后根据加工时的具体情况, 进行某些辅助结构的设计。例如由于小头孔加工时处于悬空状态, 为提高工件加工过程中的刚性和稳定性, 在小头孔下面可增设一个辅助支承套, 以减少工件加工时的变形, 从而提高工件的加工精度。

(5) 在夹具总图上标出夹具名称、零件编号, 填写零件明细栏, 完成夹具总图的绘制。

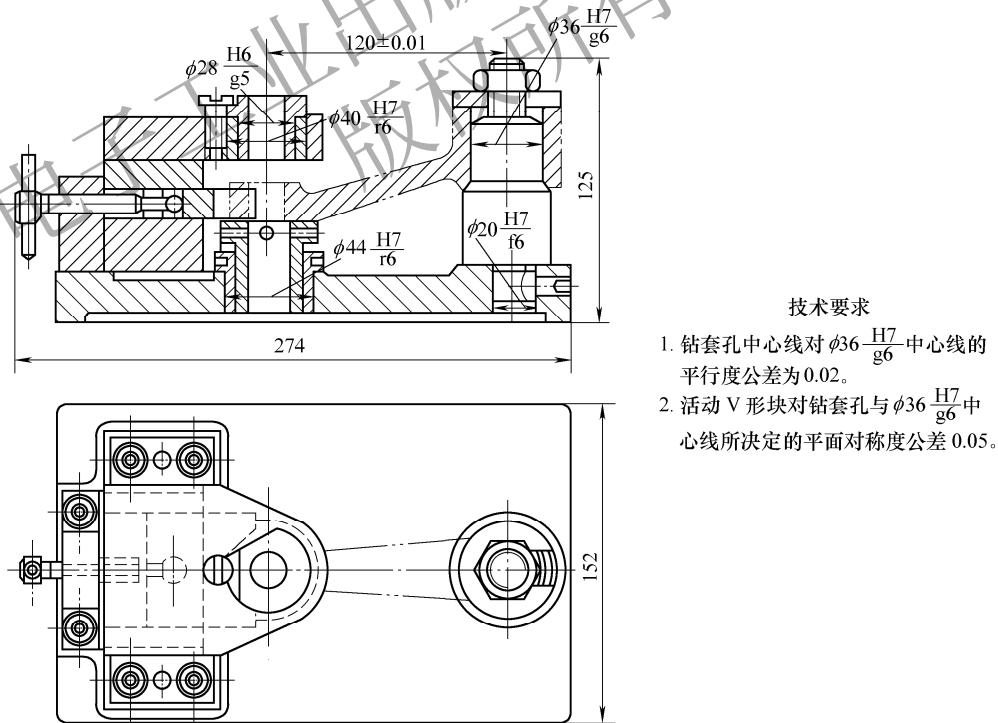


图 3-49 夹具总图

6. 夹具有关尺寸和技术要求的标注

在夹具总图上应标注出夹具的轮廓尺寸、必要的装配尺寸、检验尺寸及偏差, 以及主要元件

之间的位置公差等技术要求。

1) 标注尺寸

(1) 夹具的轮廓尺寸。夹具总图上应标注出夹具的长、宽、高三个轮廓尺寸。其作用是校核夹具的活动范围,判断其是否会与机床、刀具发生干涉,以及夹具在机床上安装的可能性。对于升降式夹具,要标注出升降的最大行程;对于回转式夹具,要标注出回转半径或直径。

(2) 工件与定位元件的联系尺寸。夹具总图上应标注出定位元件与工件定位基面配合的尺寸及其极限偏差,如图 3-49 中定位销与工件定位孔的配合尺寸 $\phi 36H7/g6$ 。

(3) 夹具与刀具的联系尺寸。夹具与刀具的联系尺寸是指确定夹具上导向元件(或对刀元件)位置的尺寸。对于铣床、刨床夹具,主要是指对刀元件与定位元件的位置尺寸;对于钻床、镗床夹具,主要是指钻套、镗套与定位元件间的位置尺寸。图 3-49 中钻套中心与定位销中心距尺寸及极限偏差 120 ± 0.01 即为此类尺寸。

(4) 夹具与机床的联系尺寸。夹具与机床的联系尺寸是用于确定夹具在机床上正确位置的尺寸。对于车床、磨床夹具,主要是指夹具与主轴端的连接尺寸;对于铣床、刨床夹具,主要是指夹具上的定向键与机床工作台 T 形槽的配合尺寸。标注尺寸时,还常以夹具上的定位元件作为位置尺寸的基准。

(5) 夹具各组成元件间的其他配合尺寸。这类尺寸是除上述几类主要尺寸以外的其他尺寸,是为保证夹具使用性能而标注的,如定位元件等夹具元件与夹具体配合及偏差等。图 3-50 中钻套与衬套和衬套与钻模板之间的配合尺寸、辅助支承的衬套与夹具体之间的配合尺寸、定位销与夹具体之间的配合尺寸等属于这类配合尺寸。

上述尺寸公差的确定可分为以下两种情况。

(1) 夹具上定位元件之间,对刀、导向元件之间的尺寸公差,会直接影响工件上相应的加工尺寸,因而根据工件相应尺寸的公差确定,一般取工件相应尺寸公差的 $1/5\sim 1/2$ 。

(2) 定位元件与夹具体的配合尺寸公差、夹紧装置各组成零件间的配合尺寸公差等,应根据其功用和装配要求,按极限与配合原则确定。

2) 标注技术要求

在夹具装配图上,应标注的技术条件和位置精度要求有如下几方面。

(1) 定位元件之间或定位元件与夹具体底面间的位置要求。其作用是保证加工面与定位基面间的位置精度,如图 3-49 中的技术要求 2。

(2) 定位元件与连接元件或找正基面间的位置要求。例如用镗模加工主轴箱上的孔系时,要求镗模上的导向元件与镗模底座上的找正基面保持平行,因为镗套中心线应与找正基面保持平行,否则便无法保证所加工的孔系中心线与机床导轨面的平行度要求。

(3) 对刀元件与连接元件或找正基面间的位置要求。

(4) 定位元件与导向元件的位置要求,如图 3-50 中的技术要求 1。

3.6 应用案例

根据本章所学知识,分析以下三个案例,并回答思考题。

案例一：定位元件加工。

图 3-50 (a) 所示为连杆盖上 $4\times\phi 3\text{mm}$ 定位销孔的钻孔工序图。其定位方案如图 3-50 (b) 所

示, 工件以平面 A 及直径为 $\phi 12^{+0.027}_0$ mm 的两个螺栓孔定位, 即夹具采用一面两销的定位方案。现需设计两销中心距及其极限偏差、两销的公称尺寸及其极限偏差。

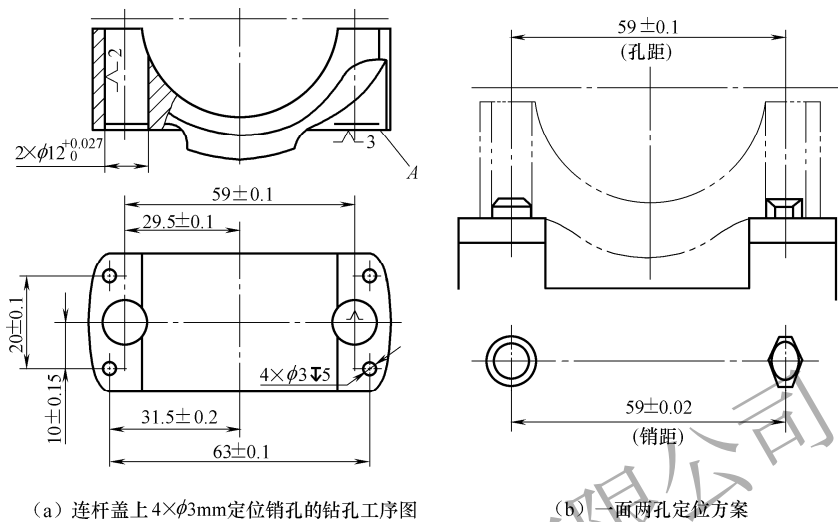


图 3-50 连杆盖钻孔工序图及定位方案

解: (1) 确定两定位销的中心距。两定位销中心距的公称尺寸应等于工件两定位孔中心距的平均尺寸, 其公差一般取 $T_{L_x} = (1/5 \sim 1/3) T_{L_g}$ 。

因为

$$L_g = 59 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$$

取

$$L_x = 59 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$$

(2) 确定圆柱销直径。圆柱销直径的公称尺寸取与之配合的工件孔的下极限尺寸, 其公差一般取 g6 或 h7。因连杆盖定位孔的直径为 $\phi 12^{+0.027}_0$, 取圆柱销的直径为 $\phi 12 \text{ g6}$, 即 $d_1 = 12^{+0.006}_{-0.017}$ 。

(3) 确定菱形销的宽度 b_1 。查表 3-1, $b_1 = 4 \text{ mm}$ 。

(4) 计算菱形销的最小间隙。因为 $b_1 = 4 \text{ mm}$, $D_{2\min} = 12 \text{ mm}$, $T_{L_g} = 0.20 \text{ mm}$, $T_{L_x} = 0.04 \text{ mm}$, 所以有

$$\begin{aligned} X_{2\min} &= \frac{b_1(T_{L_x} + T_{L_g})}{D_{2\min}} \\ &= \frac{4 \text{ mm} \times (0.20 \text{ mm} + 0.04 \text{ mm})}{12 \text{ mm}} \\ &= 0.08 \text{ mm} \end{aligned}$$

(5) 确定菱形销的公称尺寸 d_2 及其公差。

① 按计算式 $d_{2\max} = D_{2\min} - X_{2\min}$ 算出菱形销的最大直径, 即

$$d_{2\max} = 12 \text{ mm} - 0.08 \text{ mm} = 11.92 \text{ mm}$$

② 确定菱形销的尺寸公差等级, 一般取 IT6 或 IT7。

③ 因为 $\text{IT6} = 0.011 \text{ mm}$, 所以 $d_2 = 12 \text{ mm}$ 。

案例二: 工件钻孔加工。

如图 3-51 所示, 根据工件钻孔工序的要求, 试确定: ①定位方法和定位元件; ②分析各定位元件限制的自由度; ③计算其定位误差; ④标注钻套中心的位置尺寸和公差。

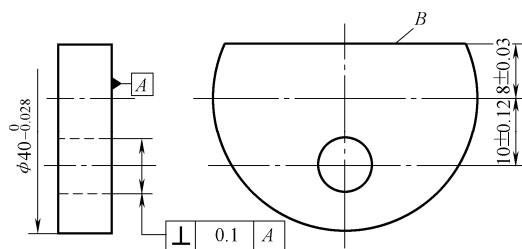


图 3-51 工件钻孔工序简图

解：(1) 由于 A 面较大，应作为主要定位基准，可用支承板定位；工件圆柱面作为第二定位基准，可以短 V 形块定位；平面 B 作为第三定位基准，可用两点接触的浮动支承滑块定位。定位元件和工件定位方案简图如图 3-52 所示。

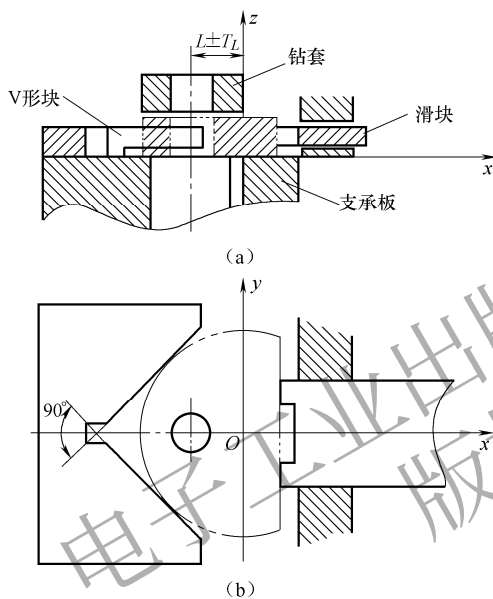


图 3-52 定位元件和工件定位方案简图

(2) 支承板限制 $\bar{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 三个自由度，短 V 形块限制 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 两个自由度，滑块限制 $\bar{z}$ 一个自由度。

(3) 对工序尺寸 $10\text{mm} \pm 0.12\text{mm}$ 来说，定位基准与工序基准重合（定位基准可看作工件圆心），故基准不重合误差 $\Delta_{jb} = 0$ ；由于工件直径公差 T_d 的存在，

产生基准位移误差 $\Delta_{jy} = \frac{T_d}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$ ，所以有

$$\Delta_d = \Delta_{jy} = \frac{T_d}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{0.028\text{mm}}{2 \times \sin 45^\circ} = 0.020\text{mm}$$

(4) 因工序尺寸的公差较大，为提高加工精度，钻套的中心与短 V 形块中心的距离 L 的公差 $2T_L$ 可取工序尺寸公差的 $1/5$ ，即

$$2T_L = \frac{2 \times 0.12\text{mm}}{5} = 0.048\text{mm}$$

所以尺寸 $L \pm T_L$ 为 $10\text{mm} \pm 0.024\text{mm}$ 。

案例三：铣削平面加工。

图 3-53 所示圆柱形工件，现欲在其上铣削平面 A 和 B ，其位置尺寸如图所示。图上所标注尺寸分别为 $10_{-0.3}^0$ 、 $30_{-0.2}^0$ 、 $\phi 40 \pm 0.05$ 。计算该定位方案的定位误差是多少，是否满足要求？

解：(1) 尺寸 $10_{-0.3}^0$

$$\Delta_{jy} = \frac{T_d}{2 \sin 60^\circ} = 0.058\text{mm}$$

$$\Delta_{jb} = \frac{T_d}{2} = 0.05\text{mm}$$

$$\Delta_d = \Delta_{jy} + \Delta_{jb} = 0.108\text{mm}$$

由于 $\Delta_d > \frac{0.3}{3}\text{mm}$ ，故不满足要求。

(2) 尺寸 $30_{-0.2}^0$

$$\Delta_{jy} = 0\text{mm}$$

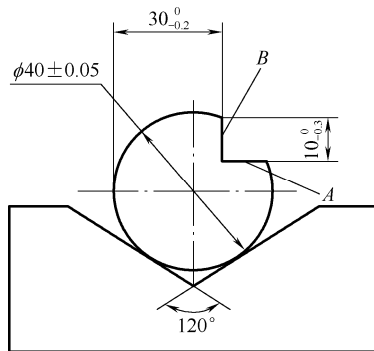


图 3-53 铣削平面工序简图

$$\Delta_{jb} = \frac{T_d}{2} = 0.05\text{mm}$$

$$\Delta_d = \Delta_{jy} + \Delta_{jb} = 0.05\text{mm}$$

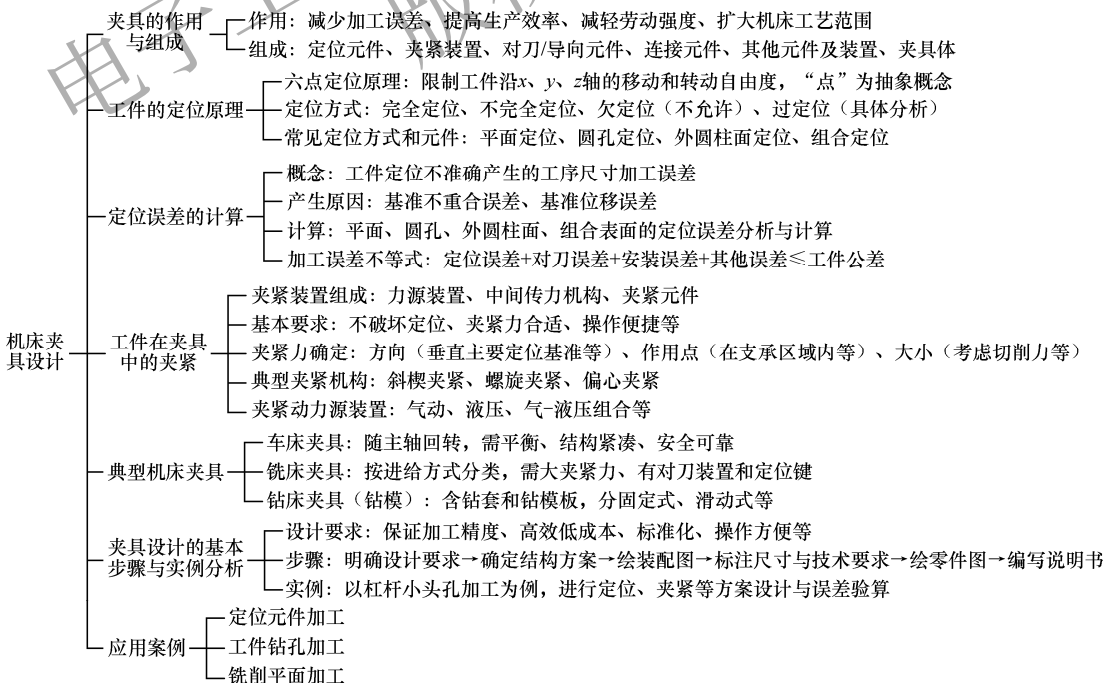
由于 $\Delta_d < \frac{0.2}{3}\text{mm}$ ，故满足要求。

案例总结：上述三个案例围绕夹具设计中的定位方案展开，展示了不同加工场景下定位元件的设计、自由度限制、定位误差计算等关键内容。案例一聚焦定位元件加工中两销中心距及尺寸公差确定，案例二针对工件钻孔加工的定位方法、自由度限制等进行分析，案例三涉及铣削平面加工的定位误差计算及是否满足要求的判断。这些案例表明，在夹具设计过程中，需结合工件结构特点、加工质量要求和生产效率目标，通过合理选择定位方案、确定相关参数等，实现加工过程的高效、稳定与精密。

思考题

1. 案例一中两定位销中心距的公差为何取工件两定位孔中心距公差的 $1/5 \sim 1/3$?
2. 案例一中圆柱销直径的公称尺寸为何取与之配合的工件孔的下极限尺寸?
3. 案例二中为何选择 A 面作为主要定位基准?
4. 案例二中短 V 形块为何只限制 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 两个自由度?
5. 案例三中对尺寸 $10_{-0.3}^0$ 的定位误差时为何会有基准不重合误差?
6. 案例三中尺寸 $30_{-0.2}^0$ 的定位误差为何小于尺寸公差的 $1/3$ 就满足要求?

本章思维导图



本章习题

一、填空题

1. 机床夹具一般由定位元件、夹紧装置、对刀元件（导向元件）、连接元件、其他元件及装置和夹具体组成，其中_____、_____和_____是夹具的基本组成部分。
2. 任何一个未确定位置的工件，在空间直角坐标系中都具有_____个自由度，即沿 x 、 y 、 z 轴的_____自由度和绕 x 、 y 、 z 轴的_____自由度。
3. 工件的定位方式有完全定位、_____、_____和过定位，其中_____在任何情况下都是不允许的。
4. 定位误差产生的原因包括_____和_____。当定位基准与工序基准重合时，_____为零。
5. 夹紧装置由_____、_____和_____三部分组成，其中中间传力机构的作用包括改变作用力_____、_____和_____。

二、选择题

1. 下列关于夹具作用的说法，错误的是（ ）。
 - A. 减小加工误差，提高加工精度
 - B. 降低生产效率
 - C. 减轻劳动强度
 - D. 扩大机床的工艺范围
2. 六点定位原理中，“点”的含义是（ ）。
 - A. 实际接触点
 - B. 限制自由度
 - C. 几何点
 - D. 支承点
3. 工件以平面定位时，常用的定位元件不包括（ ）。
 - A. 支承钉
 - B. 支承板
 - C. 定位销
 - D. 自位支承
4. 下列属于过定位的情况是（ ）。
 - A. 用三个支承钉定位平面，限制三个自由度
 - B. 用长 V 形块定位外圆，限制四个自由度
 - C. 用两个短圆柱销定位一面两孔，未采用削边销
 - D. 用短圆柱销和侧挡销定位，限制三个自由度
5. 斜楔夹紧机构的自锁条件是（ ）。
 - A. 斜楔夹角 α 大于两摩擦角之和
 - B. 斜楔夹角 α 等于两摩擦角之和
 - C. 斜楔夹角 α 小于两摩擦角之和
 - D. 与摩擦角无关

三、判断题

1. 定位和夹紧的任务不同，定位是保证工件在加工过程中不移动，夹紧是保证工件有确定的位置。（ ）
2. 不完全定位是指没有限制全部六个自由度，这种定位方式在加工中是不允许的。（ ）
3. 基准位移误差是由于工件定位表面和夹具定位元件的制造误差引起的。（ ）
4. 螺旋夹紧机构结构简单、夹紧可靠，适用于手动夹紧，但动作较慢。（ ）
5. 钻床夹具（钻模）的主要特点是有钻套和钻模板，用于引导刀具。（ ）

四、简答题

1. 简述六点定位原理的内容。
2. 什么是基准不重合误差？举例说明。
3. 夹紧力的确定包括哪三个要素？各有什么原则？
4. 简述车床夹具的设计特点。
5. 夹具设计的基本步骤是什么？

五、计算题

1. 在轴上铣一键槽，工件的定位方案如图 3-54 所示，试求尺寸 A 的定位误差。
2. 如图 3-55 所示，以外圆柱面在 V 形块上定位，在插床上插内键槽，已知外径 $A=\phi 500_{-0.03}^0\text{mm}$ ，内径 $A=\phi 300_{+0.05}^0\text{mm}$ ，外径 A 对内径 d 的同轴度允差为 $\phi 0.02\text{mm}$ ，试计算加工尺寸 H 的定位误差。

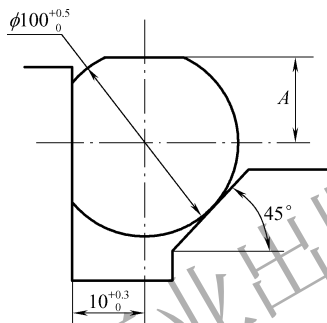


图 3-54 计算题 1

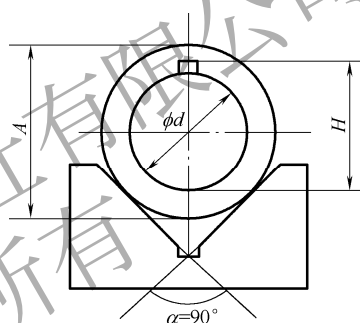


图 3-55 计算题 2