

# 第 1 章 金属切削基本要素

## 习 题

1-1 用母线、导线概念，试述与车削端面相对应的平面成形原理和相应的机床加工方法。  
解：

成形原理：圆端面可视为母线  $A_1$  绕导线  $B_2$  旋转而成。如图 1 (a)

加工方法有两种：

- (1) 轨迹法：作轨迹运动形成母线  $A_1$ ， $A_1$  绕导线  $B_2$  运动形成 ( $A_1$ 、 $B_2$  为两个独立的运动)。如图 1 (b)
- (2) 成形法：采用宽刀刃，只需一个成形运动  $B_2$ 。如图 1 (c)

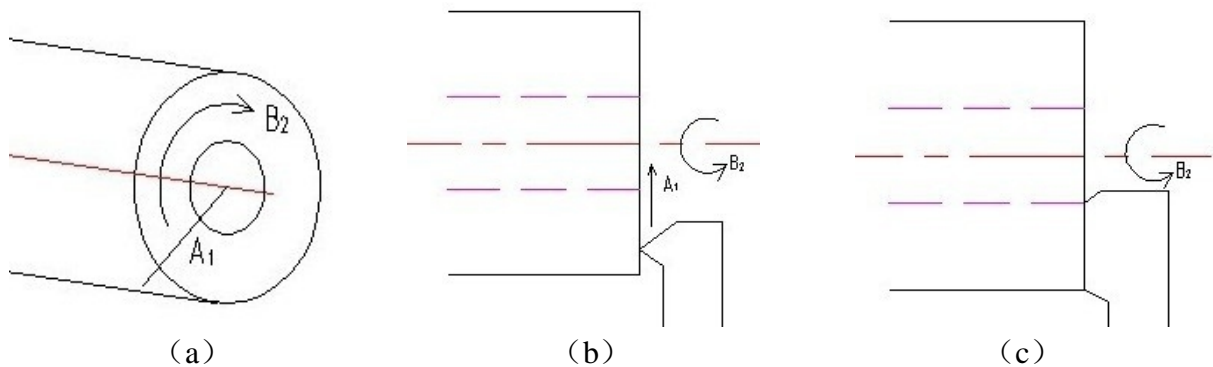


图 1-1 平面成形原理和相应的机床加工方法

1-3 用  $k_r = 45^\circ$  的车刀加工外圆柱面，加工前工件直径为  $\Phi 62$ ，加工后直径为  $\Phi 54$ ，主轴转速

$n = 240 \text{ r/min}$ ，刀具的进给速度  $v_f = 96 \text{ mm/min}$ ，试计算  $v_c$ 、 $f$ 、 $a_p$ 、 $h_D$ 、 $b_D$ 、 $A_D$ 。

解：

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} = \frac{3.14 \times 62 \times 240}{1000} = 46.72 (\text{m} / \text{min})$$

$$f = 96 / 240 = 0.4 (\text{mm} / \text{r})$$

$$a_p = (d_w - d_m) / 2 = 4 (\text{mm})$$

$$h_D = f \sin k_r = 0.4 \times \sin 45^\circ = 0.283 (\text{mm})$$

$$b_D = a_p / \sin k_r = 4 / \sin 45^\circ = 5.657 (\text{mm})$$

$$A_D = f \times a_p = 0.4 \times 4 = 1.6 (\text{mm}^2)$$

1-5 画出下列标注角度的车床切断刀的车刀图： $g_0 = 10^\circ$ ， $a_0 = 6^\circ$ ， $a_0' = 2^\circ$ ， $k_r = 90^\circ$ ， $k_r' = 2^\circ$ ， $l_s = 0^\circ$ 。

解：（参照教材 P113 页图 3-4，第二行，第二个图）

根据刀具几何参数定义，在切削刃上选定点 A，切削速度  $V_C$  矢量垂直于纸面，基面过 A 点平行于纸面为  $P_r$ 。切削平面过 A 点，垂直于纸面并与切削刃（粗线 P 分）相切为  $P_s$ ，按正交方法可得到主剖面  $P_0$ 。如图 1-5

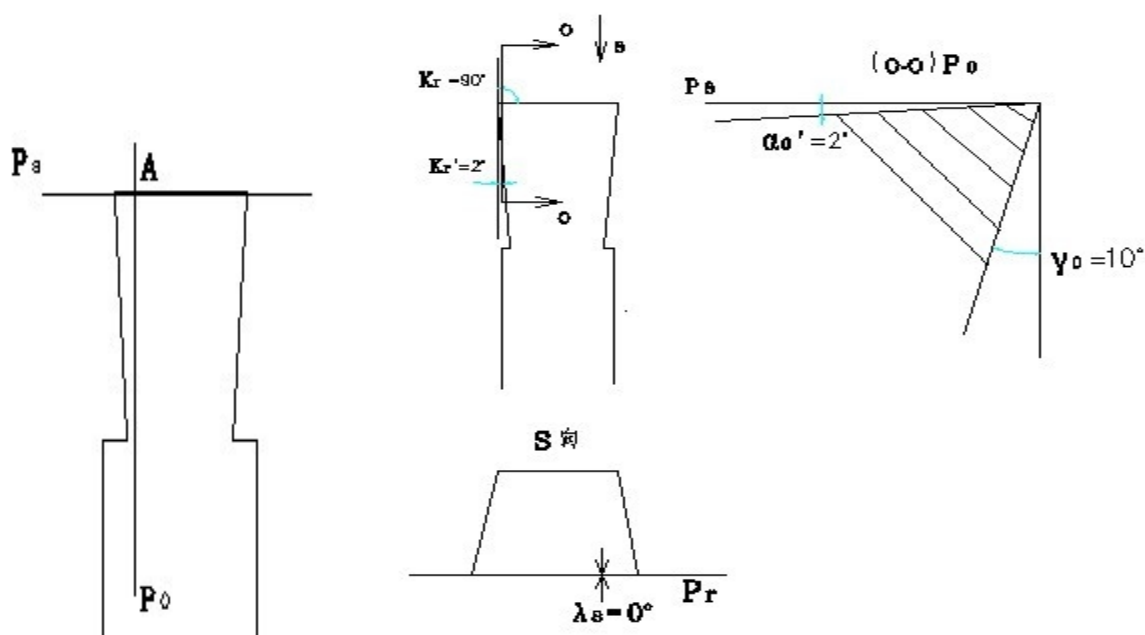


图 1-5

1-10 按照以下刀具材料、工件材料、加工条件进行相应刀具材料的合理选择

刀具材料：YG3X，YG8，YT5，YT30，W18Gr4V

工件材料及切削条件：①粗铣铸铁箱体平面；②精镗铸铁箱体孔；③齿轮加工的滚齿工序；④45 钢棒料的粗加工；⑤精车 40Cr 工件外圆。

解：

**YG3X YG8**

G 代表 Co 的含量，其含量越高，强度、韧性越好，耐冲击。

故 YG3X 用于 ②精镗铸铁箱体孔（镗孔为连续加工，力冲击小）

YG8 用于 ①粗铣铸铁箱体平面（铣削加工，力冲击略大）

**YT5 YT30**

T 代表 TiC 含量，其含量越高，硬度越高，但不耐冲击。

故 YT5 用于 ④45 钢棒料的粗加工（粗加工，力冲击略大）

YT30 用于 ⑤精车 40Cr 工件外圆（精加工，力冲击小，选 TiC 含量高材料，加工速度可高些）

W18Gr4V 属于高速钢，用于制造复杂刀具，齿轮滚刀属于复杂刀具，故而用于③齿轮加工的滚齿工序

## 第 2 章 金属切削过程及切削参数优化选择

### 习 题

2-1 试述金属切削 3 个变形区的变形特征。

解：

第 I 变形区：沿滑移线（等剪应力线）的剪切变形和随之产生的加工硬化现象。沿滑移线的剪切变形，从金属晶体结构的角度来看，就是晶粒中的原子沿着滑移面所进行的滑移。

第 II 变形区：当切削沿着前刀面流动时，由于切屑与前刀面接触处有相当大的摩擦力来阻止切屑的流动，因此，切屑底部的晶粒又进一步纤维化，其纤维化的方向与前刀面平行。

第 III 变形区：由于刀尖挤压已加工表面，而当刀具前移时，工件表面产生反弹，因此后刀面与已加工表面之间存在挤压和摩擦，其结果使已加工表面处也产生晶粒的纤维化合冷硬效果。

2-3 试述积屑瘤现象、形成原因、对切削过程的影响、影响积屑瘤的因素和积屑瘤的控制方法。

解：

积屑瘤现象：在金属切削过程中，常常有一些从切屑和工件上来的金属冷焊并层积在前刀面上，形成一个非常坚硬的金属堆积物，其硬度是工件材料硬度的 2~3.5 倍，能够代替刀刃进行切削，并且以一定频率生长和脱落。这种堆积物称为积屑瘤。

积屑瘤的形成原因：当切削钢、球墨铸铁、铝合金等塑性材料时，在切削速度不高，而又能形成带状切屑的情况下生成积屑瘤。

对切削过程的影响：（1）保护刀具（2）增大前角（3）增大切削厚度（4）增大已加工表面的粗糙度（5）加速刀具磨损

影响积屑瘤的因素：刀-屑界面处的摩擦系数、切削速度、是否添加切削液、前角的大小

积屑瘤的控制方法：控制积屑瘤的形成，实质上就是要控制刀-屑界面处的摩擦系数。改变切削速度是控制积屑瘤生长的最有效措施。此外，加注切削液和增大前角都可以抑制积屑瘤的形成。

2-16 切削液的主要作用有哪些？切削液有哪些种类？什么叫极压添加剂？其作用机理是什么？

解：

切削液的主要作用：在切削加工中，合理使用切削液可以改善切屑、工件与刀具之间的摩擦状况，降低切削力和切削温度，延长刀具的使用寿命，并能减小工件的热变形，控制积屑瘤和鳞刺的生长，从而提高加工精度和减小已加工表面的粗糙度。

切削液的种类：水溶液、乳化液、切削油

极压添加剂：在极压润滑状态下，切削液中必须添加的用来维持润滑膜强度的添加剂。

极压添加剂作用机理：常用的极压添加剂是含硫、磷、氯、碘等的有机化合物，这些化合物在高温下与金属表面起化学反应，生成化学吸附膜，它比物理吸附膜的熔点高得多，可防止极压润滑状态下金属摩擦界面直接接触，减小摩擦，保持润滑作用。

### 第3章 机床、刀具和加工方法

#### 习 题 3

3-1 试分析图 3-119 所示的几种车削加工螺纹的机床传动原理图各有何优缺点。

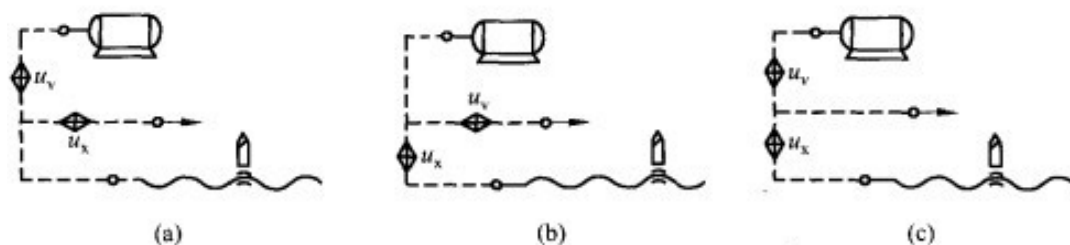


图 3-119 习题 3-1 附图

解:

图 (a) 换置机构  $u_x$  用作车削螺纹的内联系传动链。电机传递动力路线经由两个换置机构  $u_v$  和  $u_x$ ，这两个机构都串接与主传动路线，因此，两个换置机构中的齿轮传递力大，模数也大，由于进给系统传递功率不大，通常进给功率所占功率小于总功率的 5-10%，因而，这样配置时，换置机构  $u_x$  就比较浪费。此外，换置机构  $u_x$  长期工作于大功率（位于主轴传动路线中），齿轮磨损快，保精度寿命短。

图 (b) 两个换置机构  $u_v$ 、 $u_x$  串接用作内联系传动链，传动链路线长，运动联系精度差。（思考

$$A \longrightarrow (f1, f2 \dots) \longrightarrow \bar{A}$$

图 (c) 换置机构  $u_v$  和换置机构  $u_x$  分别用作外、内联系传动链，避免了前述缺点。

3-3 已知有如图 3-120 (b) 所示的普通车床的传动系统图。齿轮齿数、带轮直径以及布置情况如图所示。离合器  $M_1$  右侧的  $Z=40$  齿轮为反向齿轮，在本题中不考虑，齿轮 28 可与齿轮 56 啮合。主轴转速为标准的等比数列。

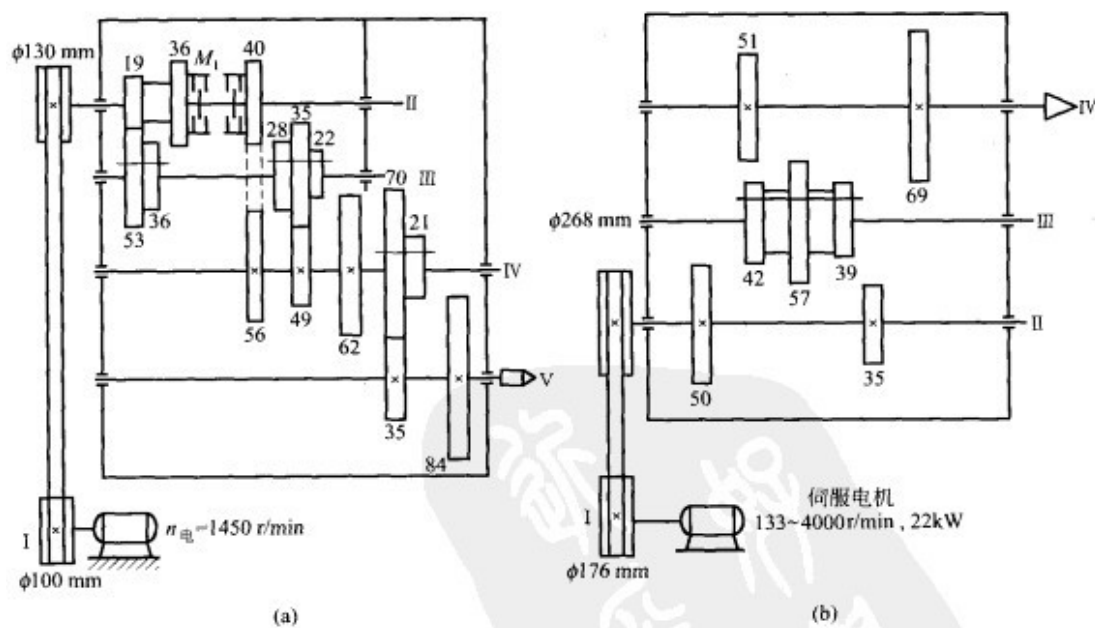


图 3-120 习题 3-3 附图

试完成以下内容：

- (1) 写出传动路线表达式。
- (2) 分析主轴的转速级数。
- (3) 计算主轴的最高、最低转速
- (4) 画出对应于该传动系统的转速图；标出相应的轴号、电动机转速、主轴各级转速及各齿轮齿数等。

解：

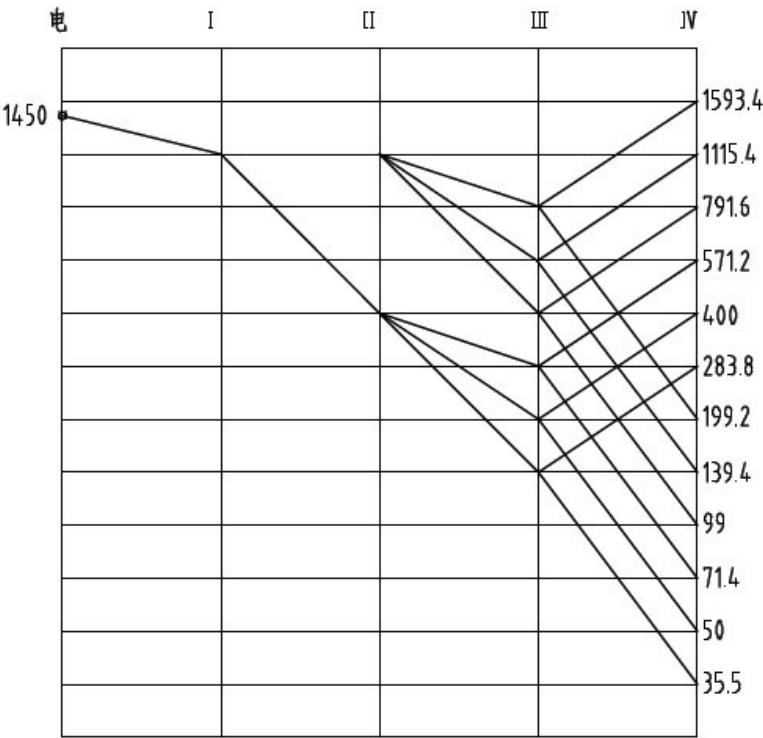
$$(1) \text{ 主动电机} \xrightarrow{\frac{f_{100\text{mm}}}{f_{130\text{mm}}}} \text{II} \xrightarrow{M_1(\text{左})} \left\{ \begin{array}{c} \frac{19}{53} \\ \frac{36}{36} \\ \frac{36}{36} \end{array} \right\} \text{III} \xrightarrow{\left\{ \begin{array}{c} \frac{28}{56} \\ \frac{35}{49} \\ \frac{22}{62} \end{array} \right\}} \text{IV} \xrightarrow{\left\{ \begin{array}{c} \frac{70}{35} \\ \frac{21}{84} \end{array} \right\}} \text{V (主轴)}$$

(2) 主轴的高速级有  $2 \times 3 = 6$  级，低速级有  $2 \times 3 = 6$  级，主轴共可获得 12 级转速。

$$(3) \text{ 主轴的最高转速: } n_{\max} = 1450 \times \frac{100}{130} \times \frac{36}{36} \times \frac{35}{49} \times \frac{70}{35} = 1593.4 \text{ r/min}$$

$$\text{主轴的最低转速: } n_{\min} = 1450 \times \frac{100}{130} \times \frac{19}{53} \times \frac{22}{62} \times \frac{21}{84} = 35.5 \text{ r/min}$$

(4)



3-9 什么是逆铣和顺铣？顺铣有哪些特点？对机床进给机构有什么要求？

解：如图 3-9

逆铣：铣刀刀齿切削速度  $v$  在进给方向上的速度分量与工件进给速度  $v_f$  方向相反时，称为逆铣。由于铣刀作用在工件上的水平切削力方向与工件进给运动方向相反，所以工作台丝杆与螺母能始终保持螺纹的一个侧面紧密贴合。

顺铣：铣刀刀齿切削速度  $v$  在进给方向上的速度分量与工件进给速度  $v_f$  方向相同时，称为顺铣。由于水平铣削力的方向与工件进给运动方向一致，当刀齿对工件的作用力较大时，由于工作台丝杆与螺母间间隙的存在，工作台会产生窜动，这样不仅破坏了切削过程的平稳性，影响工件的加工质量，而且严重时还会损坏刀具。

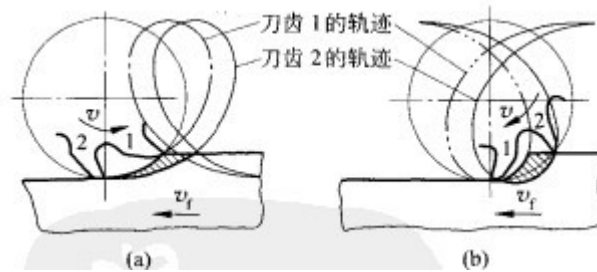


图 3-9 逆铣与顺铣  
(a) 逆铣；(b) 顺铣

采用顺铣时，要求机床具有间隙消除机构。

### 3-26 什么叫砂轮的硬度？如何选择砂轮的硬度？

解：

砂轮的硬度用来反映磨粒在磨削力的作用下，从砂轮表面上脱落的难易程度。砂轮硬，表示磨粒难以脱落；砂轮软，表示砂轮容易脱落。

选择砂轮的硬度时，可参照以下几条原则：

- (1) 工件硬度。工件材料越硬，砂轮硬度应选择得软些，使磨钝了的磨粒容易脱落，以便砂轮经常保持有锐利的磨粒在工作，从而避免工件因磨削温度过高而烧伤。工件材料越软，砂轮的硬度应选得硬些，使磨粒脱落得慢些，以便充分发挥磨粒的切削作用。
- (2) 加工接触面。砂轮与工件的接触面大时，应选用软砂轮，使磨粒脱落快些，以免工件因磨屑堵塞砂轮表面而引起表面烧伤。内圆磨削和端面平磨时，砂轮硬度应比外圆磨削的砂轮硬度低。磨削薄壁零件及导热性差的工件时，砂轮硬度也应选得低些。
- (3) 精磨和成形磨削。精磨和成形磨削时，应选用硬一些的砂轮，以保持砂轮必要的形状精度。
- (4) 砂轮粒度大小。砂轮的粒度号越大时，其硬度应选低一些的，以避免砂轮表面组织被磨屑堵塞。
- (5) 工件材料。磨削有色金属、橡胶、树脂等软材料时，应选用较软的砂轮，以免砂轮表面被磨屑堵塞。

## 第4章 工件的定位夹紧与夹具设计

### 习 题

4-1 分析图 4-56 所列定位方案。指出各定位元件所限制的自由度；判断有无欠定位或过定位；对不合理的定位方案提出改进意见。

图（a） 过三通管中心 O 打一孔，使孔轴线与管轴线  $O_x$ ， $O_z$  垂直相交，用 3 个短 V 形块定位；

图（b） 车外圆，保证外圆与内孔同轴；

图（c） 车阶梯轴外圆

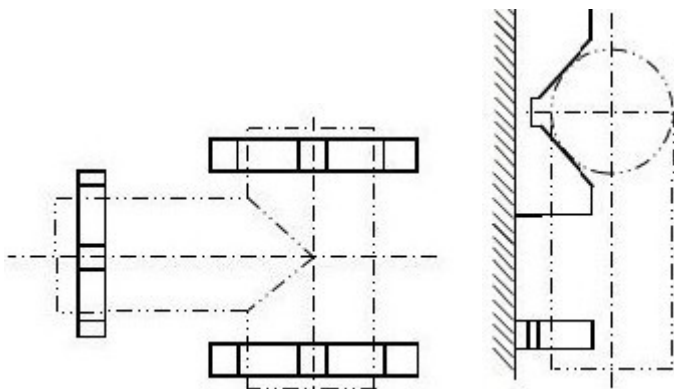
图（d） 在圆盘零件上钻孔，保证孔与外圆同轴；

图（e） 钻铰链杆零件小头孔，保证小头孔与大头孔的距离及两孔平行度；

图（f） 加工齿轮齿形，齿坯工件在心轴上定位。

解：

（a）

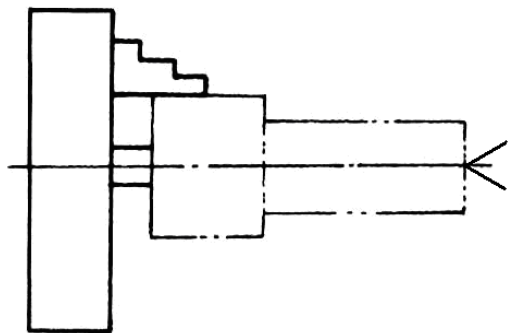


右边 1 对短 V，起 4 点定位作用，左边 V 形块限制 2 点，共 6 点，且没有重复，属完全定位。

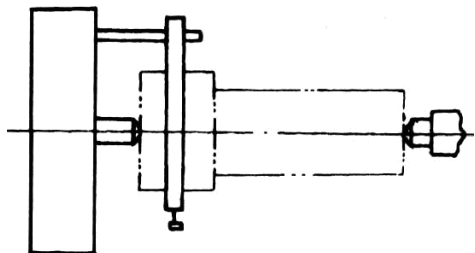
（b） 限制了 5 个自由度（长圆柱+小平面），分别为  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$ 、 $\bar{x}'$ 、 $\bar{y}'$  属于不完全定位， $\bar{z}'$  不用限制，不影响加工，定位合理。

（c） 前顶尖限制 3 点，3 爪卡盘限制 2 点（2 点均与前顶尖重复），尾顶尖限 2 点。释放前述 2 点重复，可采用下面两种方法





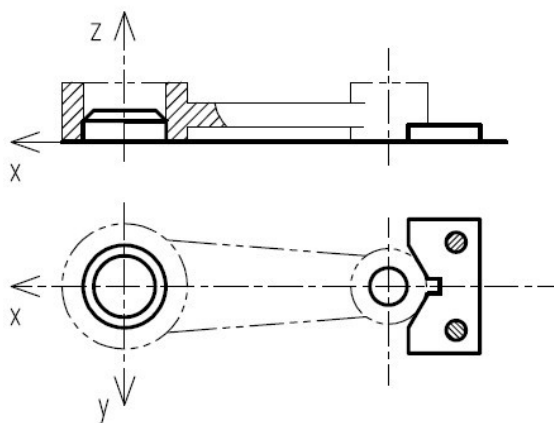
前顶尖改为定位钉（1 点，限轴向移动）或者



去除 3 爪，改用鸡心夹头驱动。

（d） 左边短 V 限制了  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ ，底面限制了  $\bar{z}$ 、 $\overset{\cdot}{x}$ 、 $\overset{\cdot}{y}$ ，右边可移动短 V 不限定任何自由度  
由于工件为圆柱，不用限制  $\overset{\cdot}{z}$ ，即可保证加工要求。

（e）

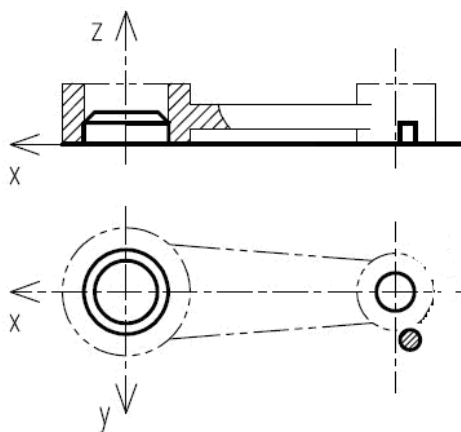


连杆底平面为 3 点定位，限制  $\bar{z}$ 、 $\overset{\cdot}{x}$ 、 $\overset{\cdot}{y}$ ，短圆柱销限制  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$  方向平动，右边 V 形块为 2 点

定位，限制  $\bar{x}$ 、及绕  $\overset{\cdot}{z}$  轴转动， $\bar{x}$  方向属于重复定位。

释放上述重复定位，可采用下面方法：

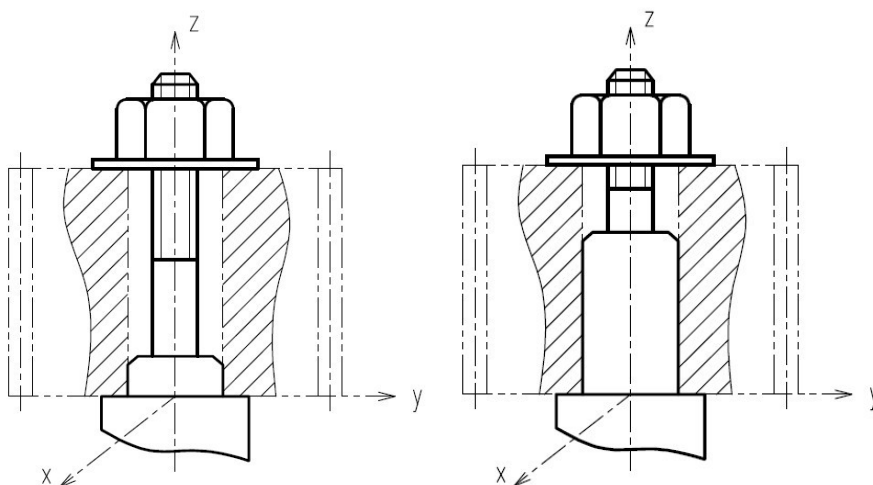
V 形块改为挡销 2，限制连杆转动，释放  $\bar{x}$  方向重复定位。



或者将连杆小头 v 型块去除，连杆小头内孔用菱形销（削扁销）定位

(f) 小平面限制  $\bar{z}$ 、短圆柱限制  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ ，其余  $\bar{x}'$ 、 $\bar{y}'$ 、 $\bar{z}'$  均没被限制，属于欠定位。

对于齿轮加工，须保证内孔与齿面的同轴度要求，故应限制  $\bar{x}'$ 、 $\bar{y}'$ ，采用加长短圆柱定位销来解决，见下图。



4-5 在图 4-60 (a) 所示零件上铣键槽，要求保证尺寸  $54_{-0.20}^0 \text{ mm}$  及对称度。现有 3 种定位方案，分别如图 4-60 (b)，(c) 和 (d) 所示。已知内、外圆同轴度误差为  $0.02 \text{ mm}$ ，其余参数见图示。试计算 3 种方案的定位误差，并从中选出最优方案。

解：

(b) 方案

设水平方向为  $x$ ，垂直方向为  $y$

采用 V 形块定位，同轴度设计基准为孔  $f32_{+0.03}^0 \text{ mm}$ ，大圆  $f60_{-0.01}^0 \text{ mm}$  用作定位，基准不重合，水平方向的定位误差为孔  $f32_{+0.03}^0 \text{ mm}$  中心沿水平方向由于同轴度误差引起的最大位移量

$$\therefore d_{Dx} = 0.02 \text{ (内、外同轴度误差)}$$

所要求尺寸  $54_{-0.20}^0 \text{ mm}$  的定位误差为： $f60_{-0.01}^0$  的公差  $T_d$  为  $0.01$

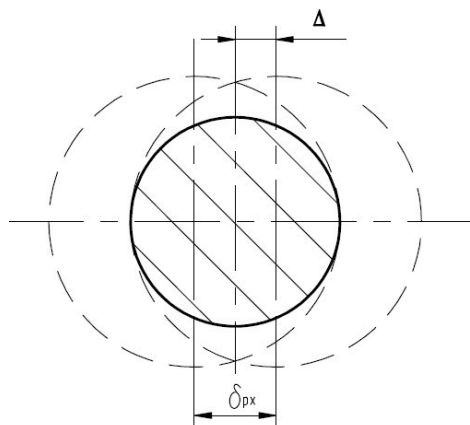
$$d_{DY} = \frac{T_D}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) = \frac{0.01}{2} \left( \frac{1}{\sin 45^\circ} - 1 \right) = 0.00207$$

(c) 水平方向定位误差计算

取定位销尺寸最小  $f32-0.03\text{ mm}$ ，零件尺寸最大  $f32+0.03\text{ mm}$ ，水平方向最大极限位置如下图

定位误差为  $2\Delta+0.02$ ，其中  $0.02$  为内、外同轴度误差（见方案（b））

$$d_{Dx} = 2\Delta + 0.02 = 2\left(\frac{32.03 - 31.97}{2}\right) + 0.02 = 0.08$$

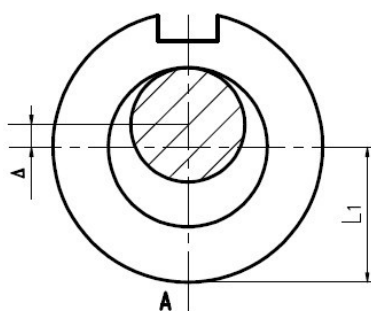


此值已大于对称度公差

垂直方向

取定位销尺寸最小  $f32-0.03=31.97\text{ mm}$ ，孔最大  $f32+0.03=32.03\text{ mm}$ ，工件外径最大  $f60$ ，此时 A 点处于最下端

$$L_{1\max} = \Delta + \frac{60}{2} = 30.03\text{ mm}$$



取定位销尺寸最大  $f32-0.01=31.99\text{ mm}$ ，孔最小  $f32$ ，工件外径最小  $f60-0.01=59.99$ ，此时 A 点处于最上端位置

$$L_{1\min} = \Delta^* + \frac{59.99}{2} = 30\text{ mm}$$

其中：  $\Delta^* = \frac{32}{2} - \frac{31.99}{2} = 0.005$ （最小间隙）

$$\therefore d_{Dy} = L_{1\max} - L_{1\min} = 0.03$$

(d) 垂直方向定位基准与设计基准重合，无定位误差

$$d_{DY} = 0$$

水平方向，由于外圆定位与工件孔（用作对称度基准）不重合，所以定位误差应为大圆半径误差加上（b）方案在水平方向的误差

$$\therefore d_{DX} = \frac{T_{D_1}}{2} + 0.02 = \frac{0.01}{2} + 0.02 = 0.025$$

三种定位方案分析

方案	定位误差 $d_{DX}$	定位误差 $d_{DY}$
b	0.02	0.00207
c	0.08	0.03
d	0.025	0

比较：综合（b）（d）较好，当都不满足加工要求（仍会出现废品，对称度超差），通常定位误差应 $\leq$ 要求的 1/3（要为对定（对刀，测量误差），及加工留 2/3）

4.7 工件定位如图 4-62 所示，欲钻孔 O 并且保证尺寸 A，试分析计算此种定位方案的定位误差。

解：

只需研究垂直方向，分析如下，大直径外圆用作定位，外圆直径误差会引起大圆中心变动，其误差计算见教材 p233，公式（4-4）；加工部位在小圆上，大小圆两不同直径通过中心关联，引起小圆在垂直方向的最大变动等于同轴度误差 2e；小圆外径自身的误差也将引起 C 点变动，其误差等于小圆公差的一半。

大直径外圆用作定位，与尺寸基准小圆 C 不重合，其不重合误差等于同轴度误差 2e；

大圆中心的定位误差为（两不同直径通过中心关联，教材公式（4-4））：

$$\frac{T_{d_1}}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{a}{2}} \right)$$

C 点由于直径  $d_2$  的变动量引起的误差为  $\frac{T_{d_2}}{2}$

定位误差为上述三项之和

$$\therefore d_D = \frac{T_{d_1}}{2 \sin \frac{a}{2}} + 2e + \frac{T_{d_2}}{2}$$

4-8 分析图 4-63 所示各夹紧方案，判断其合理性，说明理由并提出改进意见。

解：

- （a） 左边施力点悬空，右移至支承区域内
- （b） 施力点过于靠左，离加工点太远，移至加工区附近
- （c） 底面定位面积大，上方施力夹紧可靠；其次图中给出的施力（可作为辅助力）

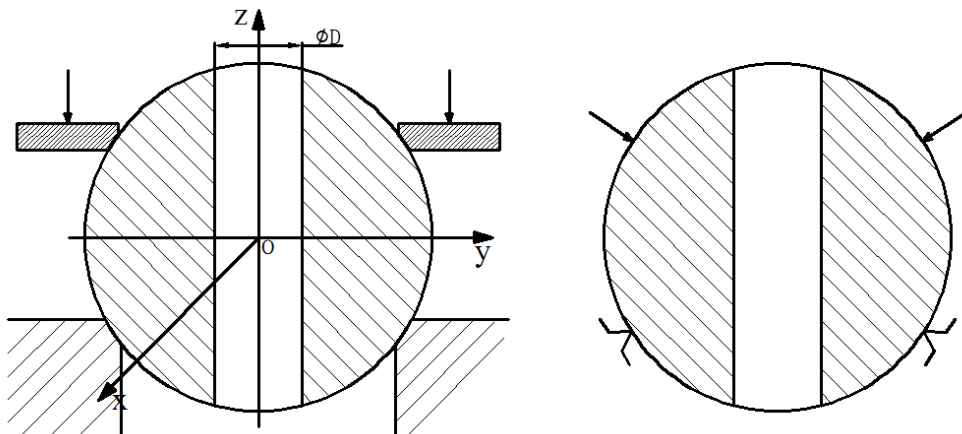
点没有作用于支承销钉，下移至对准销钉（可作为辅助力）

- (d) 工件易弯曲，改为两点施力，分别作用于 V 铁上方
- (e) 施力点离加工点太远，V 铁处施加辅助夹紧力，或去除原施力，直接作用于 V 铁上方
- (f) 工件易变形，采用端面夹紧
- (g) 同 (f)
- (h) 不稳定，向左下  $45^\circ$  方向施力
- (i) 不稳定，采用端面夹紧

## 第4章 机床夹具设计原理（补充答案）

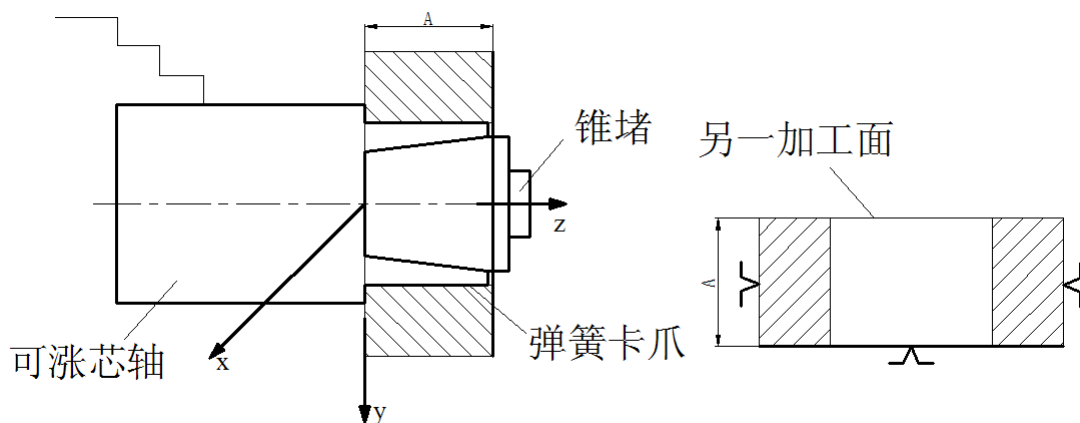
4-3 分析所列加工零件中心必须限制的自由度，选择定位基准和定位元件，并在图中示意画出，确定夹紧力作用点的位置和作用方向，并用规定的符号在图中标出。

- (a) 限制  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$ ，以球心为定位基准，用如图所示定位块定位，夹紧力的位置 and 方向如图所示。

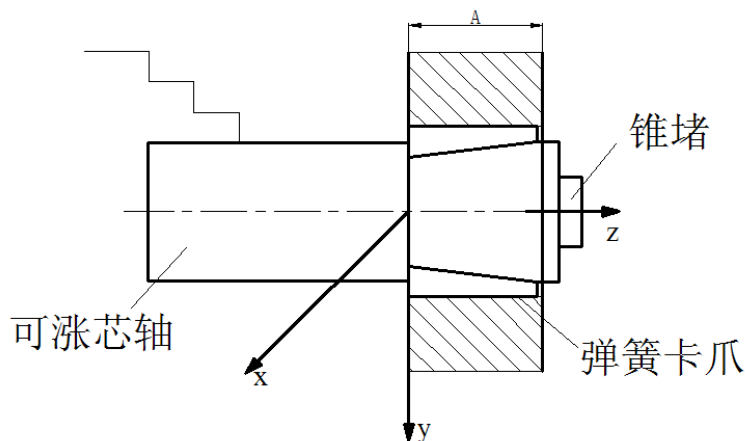


(b)

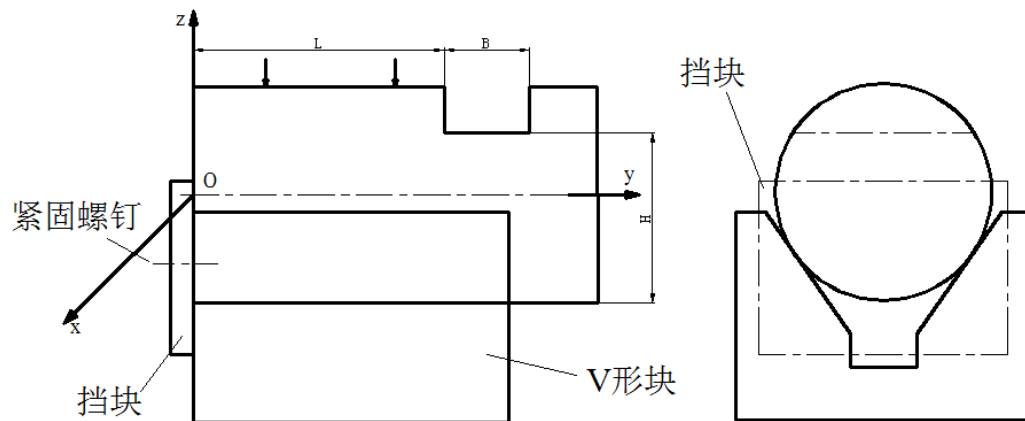
方法一：以齿轮坯内孔为定位面，用大端的可胀芯轴来定位，先车一个端面，另一个端面用刨或者磨来完成，完全定位示意图如图所示。



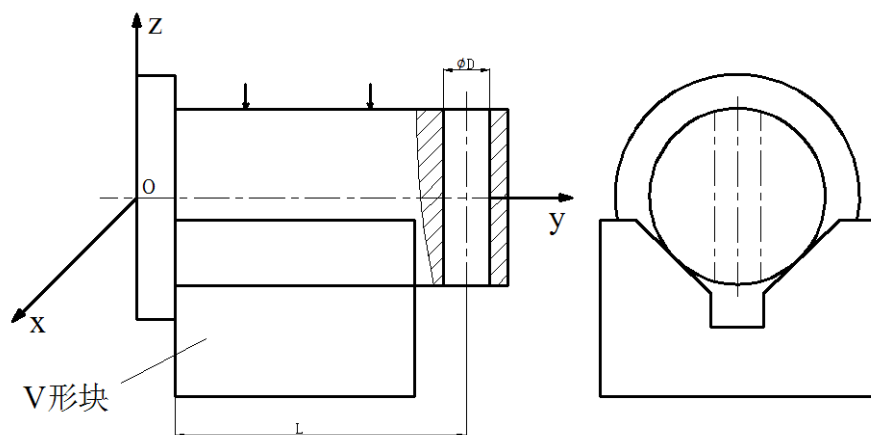
方法二：以齿轮坯内孔为定位面，用小端的可胀芯轴、弹簧卡爪和锥堵来进行完全定位，两个加工面一次车削完成。



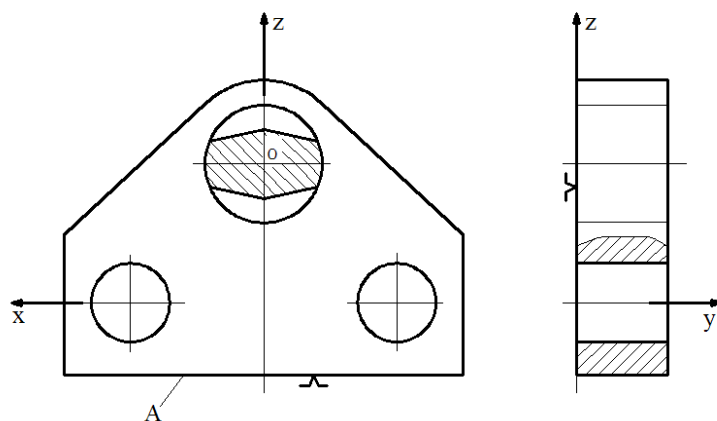
- (b) 用 V 型块和一块挡板限制  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$ ， $\hat{x}$ 、 $\hat{z}$ ，以工件的左端面和外圆柱表面为定位面，夹紧力的方向如图所示。



- (d) 短 V 型块紧贴阶梯轴的阶梯端面 (如图所示)，以该阶梯端面为定位基准，限制  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$ ， $\hat{x}$ 、 $\hat{z}$ 。



- (e) 以工作的大平面为第一定位基准，A 面为第二定位基准，已经孔 O 的中心线为第三定位基准，采用导向平面 (限制  $\bar{y}$ 、 $\hat{x}$  和  $\hat{z}$ )、支承板 (限制  $\hat{y}$  和  $\bar{z}$ ) 和削边销 (限制  $\bar{x}$ ) 为定位元件，进行完全定位，如图所示。



## 第 5 章 机械加工表面质量

### 习 题 5

5-1 高速精镗一钢件内孔时，车刀主偏角  $k_r = 45^\circ$ ，副偏角  $k'_r = 20^\circ$ ，当加工表面粗糙度要求为  $R_a 3.2 \sim R_a 6.3 \mu m$  时：

- (1) 当不考虑工件材料塑性变形对表面粗糙度的影响时，计算应采用的进给量  $f$  为多少？
- (2) 分析实际加工的表面粗糙度与计算求得的是否相同。为什么？
- (3) 是否进给量愈小，加工表面的粗糙度就愈低？

解：

- (1) 由  $f = R_z (\cot k_r + \cot k'_r)$

参阅互换性教材， $R_a$  与  $R_z$  换算表

表面粗糙度	R <sub>a</sub>	50	25	12.5	6.3	3.2	1.60	0.80
	R <sub>z</sub>	200	100	50	25	12.5	6.3	6.3
表面粗糙度	R <sub>a</sub>	0.40	0.20	0.100	0.050	0.025	0.012	-
	R <sub>z</sub>	3.2	1.60	0.80	0.40	0.20	0.100	0.050

当  $R_a = 3.2 \mu m$  时， $R_z = 12.5$

$$f = 12.5 \times (\cot 45^\circ + \cot 20^\circ) = 46.85 \mu m$$

当  $R_a = 6.3 \mu m$  时， $R_z = 25$

$$f = 6.3 \times (\cot 45^\circ + \cot 20^\circ) = 93.69 \mu m$$

所以粗糙度要求为  $R_a 3.2 \sim R_a 6.3 \mu m$  时，进给量  $f$  的取值范围为  $0.047 \sim 0.094 \text{ mm/r}$

- (2) 不相同。

因为切削加工时存在着与被加工材料的性质与切削机理有关的物理因素。如塑性变形，切削热，切削瘤及鳞刺等，在切削过程中振动会改变刀尖面积和残留的轮廓形状，刀具刃口圆角及刀具后刀面的挤压与摩擦使金属材料发生塑性变形，使刀具刃复映残留面积挤歪或沟纹加深，因而增加了表面粗糙度。

- (3) 不是。由公式  $R = \frac{f}{\cot k_r + \cot k'_r}$  可知进给量愈小，加工表面的粗糙度就愈

低，但在低切削速度下，加工塑性材料容易出现积屑瘤和鳞刺，从而使加工表面恶化。

5-2 外圆磨削影响磨削表面粗糙度的因素有哪些？试分析和说明下列加工结果产生的原因：

- (1) 当砂轮的线速度由  $30 \text{ m/s}$  提高到  $60 \text{ m/s}$  时，表面粗糙度  $R_a$  由  $1 \mu m$  降低到



0.2 $\mu\text{m}$ 。

- (2) 当工件线速度由 0.5m/s 提高到 1m/s 时，表面粗糙度  $R_a$  由 0.5 $\mu\text{m}$  上升到 1 $\mu\text{m}$ 。
- (3) 当轴向进给量  $f_a/B$  ( $B$  为砂轮宽度) 由 0.3 增至 0.6 时， $R_a$  由 0.3 $\mu\text{m}$  增至 0.6 $\mu\text{m}$ 。
- (4) 当磨削深度  $a_p$  由 0.01 $\mu\text{m}$  增至 0.03 $\mu\text{m}$  时， $R_a$  由 0.27 $\mu\text{m}$  增至 0.55 $\mu\text{m}$ 。
- (5) 用粒度号为 36 $\#$  砂轮磨削后  $R_a$  为 1.6 $\mu\text{m}$ ，改用粒度 60 $\#$  砂轮磨削，可使  $R_a$  降低为 0.2 $\mu\text{m}$ 。

答：

外圆磨削影响磨削表面粗糙度的因素有：

(a) 砂轮的粒度。砂轮的粒度愈细，则砂轮单位面积上的磨粒数愈多，在工件上的刻痕也愈密而细，所以粗糙度愈低。但是粗粒度砂轮如果经过细修整，在磨粒上形成微刃后也能加工出低粗糙度表面。

(b) 砂轮的修整。用金刚石笔修整砂轮相当于在砂轮上形成一道螺纹，修整导程和切深愈小，修出的砂轮就愈光滑，磨削刃的等高性也愈好，因而磨出的工件表面粗糙度也就愈低。修整用的金刚石笔是否锋利影响也很大。

(c) 砂轮速度。提高砂轮速度可以增加在工件单位面积上的刻痕，同时塑性变形造成的隆起量随着速度的增大而下降。

(d) 磨削切深与工件速度。增大磨削切深和工件速度将增加塑性变形的程度，从而增大粗糙度。

(1) 因为提高砂轮速度可以增加在工件单位面积上的刻痕，同时塑性变形造成的隆起量随着速度的增大而下降，由于高速度下塑性变形的传播速度小于磨削速度，材料来不及变形所致，粗糙度可以显著降低。

(2) 工件速度提高则减少了工件单位面积上的刻痕。同时塑性变形造成的隆起量随着速度的工件速度的增大而上升，从而粗糙度增大。

(3) 轴向进给量  $f_a/B$ ，砂轮在工件单位面积上停留时间缩短，故粗糙度增大。

(4) 磨削深度增大将增加塑性变形的程度，从而增大粗糙度。

(5) 砂轮的粒度愈细，则砂轮单位面积上的磨粒数愈多，在工件上的刻痕也愈密而细，所以粗糙度愈低。

5-5 在外圆磨床上磨削汽车转向节零件的大端直径、端面及圆角时（如图 5-30）所示，常采用砂轮轴旋转一个角度  $q$  的方式进行磨削，而不是采用砂轮轴与工件轴平行的方式进行磨削，说明原因。

解：

主要为避免磨削烧伤。两轴线平行时的工况砂轮端面与被加工轴端面呈面接触，发热大且冷却液不易进入；而图示工况砂轮磨削面与被加工轴端面呈凸面与平面接触，接触面变小，冷却液相对易于进入。

## 第6章 机械加工精度

### 习 题 6

6-2 在车床上用两顶尖装夹车削一批零件的外圆，工件直径为  $\phi 60\text{mm}$ ，长度 120mm，毛坯直径偏差  $\pm 1\text{mm}$ ，切削用量：切深  $a_p = 3\text{mm}$ ，切削速度  $v = 100\text{m/min}$ ，进给量  $f = 1\text{mm/r}$ ，横向切削力  $F_p = C_{Fp} a_p f^{0.84} = 1640 a_p f^{0.84}$ ，机床系统刚度为  $12000\text{ N/mm}$ ，问一次走刀后，零件圆度误差有多大？如分成两次走刀将如何？

解：毛坯直径偏差  $\pm 1\text{mm}$ ，在半径方向偏差为  $\pm 0.5\text{mm}$

$$F_{p1} = C_{Fp} a_{p1} f^{0.84} = 1640 \times (3 + 0.5) \times 1^{0.84} = 5740\text{N}$$

$$F_{p2} = C_{Fp} a_{p2} f^{0.84} = 1640 \times (3 - 0.5) \times 1^{0.84} = 4100\text{N}$$

一次走刀后，零件圆度误差

$$\Delta y = y_1 - y_2 = \frac{1}{K} (F_{p1} - F_{p2}) = \frac{1640}{12000} = 0.137\text{mm}$$

$$e = \frac{\Delta y}{\Delta m} = \frac{0.137}{1} = 0.137$$

分成两次走刀，则：

$$\Delta y = \Delta m \times e^2 = 0.0187\text{mm}$$

6-10 在卧式车床上加工一光轴，已知光轴长度  $L = 800\text{mm}$ ，加工直径  $D = 80_{-0.06}^0\text{mm}$ ，如图 6-51 所示，当该车床前后顶尖连心线相对于导轨在水平面内平行度为  $0.015\text{mm} / 1000\text{mm}$ ，在垂直面内的平行度为  $0.015\text{mm} / 1000\text{mm}$  时，试求所加工的工件几何形状的误差值，并绘出加工后光轴的形状。

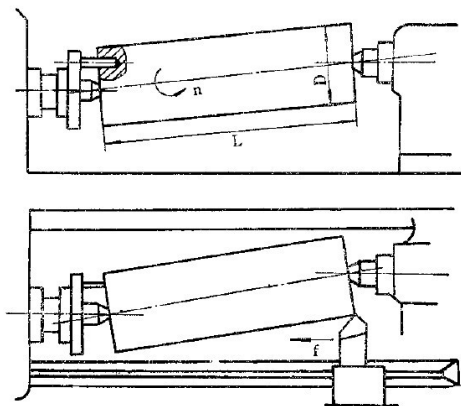


图 6-51 习题 6-10 附图

解:

工件轴向误差值  $\Delta D$  应考虑水平面不平行度  $\Delta y$  与垂直面不平行度  $\Delta z$  的综合影响, 应此

$$\Delta D = 2 \left[ \Delta y \cdot L + \frac{(\Delta z \cdot L)^2}{D} \right] = 2 \left[ 0.015 / 1000 \times 800 + \frac{(0.015 / 1000 \times 800)^2}{80} \right] = 0.024 \text{ mm}$$

计算结果表明, 床身导轨与前后顶尖在水平面的不平行度  $\Delta y$  对加工直径及轴向形状误差影响显著, 而在垂直面的不平行度  $\Delta z$  对其影响很小(可忽略而不计)因此加工后工件的形状近似为圆锥形。

6-13 在自动车床上加工一批小轴, 从中抽检 200 个, 若以 0.01mm 为组距将该批工件按尺寸大小分组, 所测数据列于表 6-14, 若图样的加工要求为  $\phi 15_{-0.04}^{+0.14} \text{ mm}$ , 试求:

- (1) 绘制工件实际尺寸的分布图
- (2) 计算合格率及废品率
- (3) 计算工艺能力系数。若该工序允许废品率为 3%, 问工序精度能否满足?
- (4) 分析出现废品的原因, 并提出改进办法

略:

6-16 在镗床上镗孔, 镗刀直径为  $d_L$ , 镗床主轴与工作台面有平行度误差  $a$  (见图 6-54), 问当工作台做进给运动时, 所加工的孔将产生何种误差? 其值为多大? 当主轴做进给运动时, 该孔将产生何种误差? 其值多大?

解:

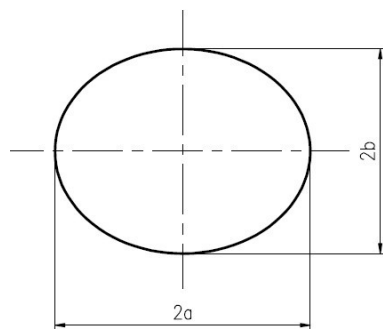
- (1) 当主轴做进给运动时 ( $f_{\text{刀}}$ ), 所加工的孔将产生轴线方向误差, 平行度误差。

其值为:

$$d = L \cdot \tan a$$

但孔的形状任为圆形, 没有误差

- (2) 当工作台做进给运动时 ( $f_{\text{工}}$ ), 该孔的形状将为一椭圆



其中  $2a = d_{\text{刀}}$  (刀具刀尖调整切削直径),  $2b = 2 \times \frac{d_{\text{刀}}}{2} \cos \alpha = d_{\text{刀}} \cdot \cos \alpha$

所以圆度误差为:

$$d = (a - b) = d_{\text{刀}} / 2 - d_{\text{刀}} \cos \alpha / 2 = d_{\text{刀}} / 2 (1 - \cos \alpha)$$

当  $\alpha$  很小时,  $\cos \alpha \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2!}$

$$d = (\alpha^2 / 4) d_{\text{刀}}$$

题 6-13

解:

设计数据 $15^{+0.12}_{-0.04}$
最大尺寸 15.12
最小尺寸 14.96
公差 $T=0.16$
中间尺寸 $m=15.04$

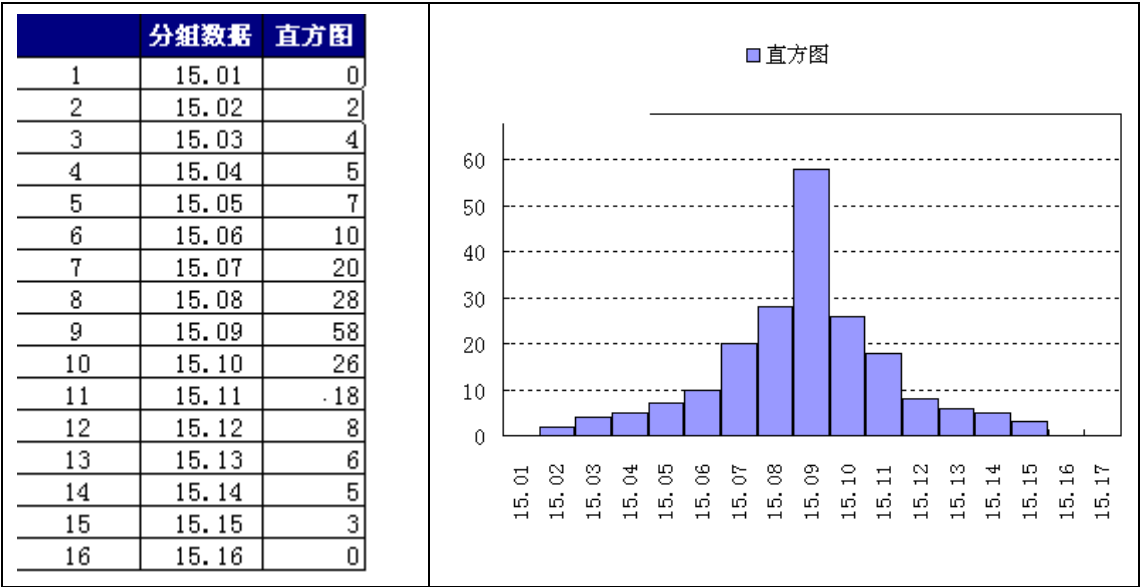
$\bar{x}$  及  $S$  计算(按分组相同尺寸个数  $j$  及组平均尺寸计算,例如第一组  $j=2$ ,组平均尺寸=15.015,

$m$  为组数, 显然  $\sum_{j=1}^m j = 200$  )

$\bar{x}$  计算,  $\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^m (j\bar{x}_j)}{\sum_{j=1}^m j}$

$S$  计算,  $S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m j^2 (x_j - \bar{x})^2}{\sum_{j=1}^m j}}$

(1) 实际尺寸分布如下图



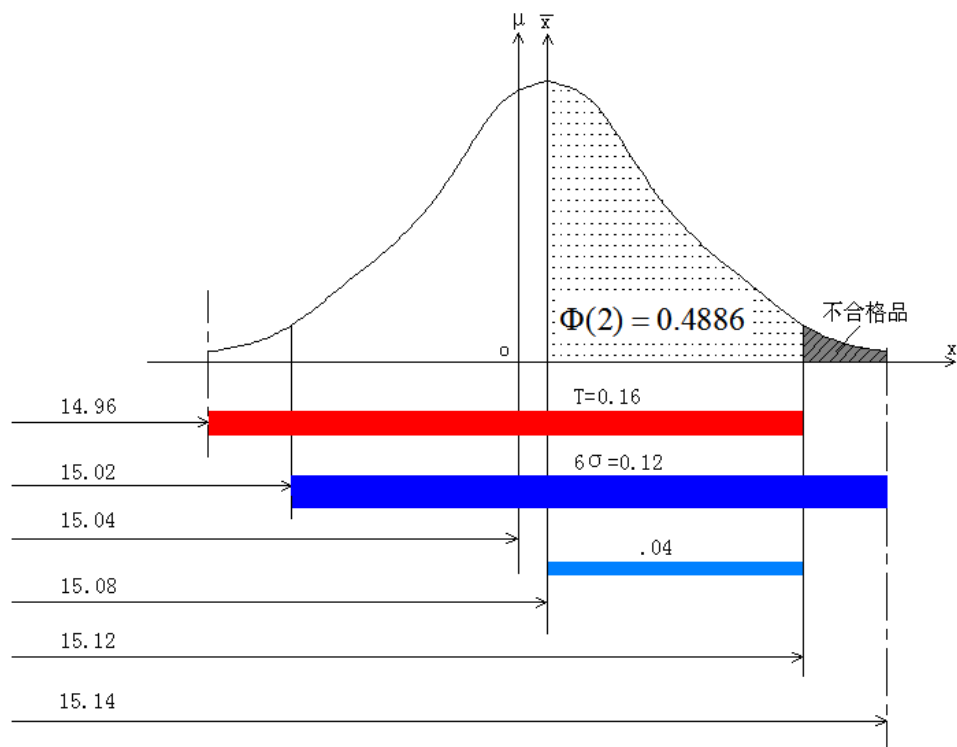
数据个数	n	200
平均值	$\bar{x}$	15.08
样本标准偏差	S	0.02
最小值	Xmin	15.01
最大值	Xmax	15.15
小数位数		2
区间个数		14
区间宽度		0.01

(2) 工艺能力计算

$$C_p = \frac{T}{6S} = \frac{0.16}{6 \times 0.02} = 1.33 \quad (\text{一级、二级之间加工精度})$$

(3) 合格率和废品率计算

由于  $\bar{x}=15.08$  与公差中心  $\mu=15.04$  不重合, 所以仍可能出现废品, 以下求解最好作图:



可以看出, 落在红色区域 (公差带内) 为合格品, 实际尺寸分布范围为蓝色区域, 右端 (阴影部分) 零件超差, 为废品。计算如下:

右边总面积为 0.5, 合格部分为打点部分, 先计算这部分面积

$$z = \frac{0.04}{S} = \frac{0.04}{0.02} = 2$$

查表  $\Phi(2) = 0.4886$ , 即合格率  $0.4886 + 0.5 = 0.9886$  (98.86%) (此处 0.5 为左面合格部分)

将出现 1.14% 的废品, 若该工序允许废品率为 3%, 则该工序的精度能满足。

(4) 减小废品办法

由于工艺能力系数为 1.33（加工能力系数（精度）足够），但实际加工误差均值（中心）与公差带中心不重合，需调整对刀尺寸，使其与公差带中心重合（ $\bar{x} = m$ ），便能避免不必要的加工废品。



## 第 7 章 机械加工工艺规程的制定

### 习 题

7-2 T 形螺杆如图 7-49 所示。其工艺过程如下：

- (1) 在锯床上切断下料  $f35\text{mm} \times 125\text{mm}$ ；(2) 在车床上夹左端车右端面，打顶尖孔；(3) 用尾架后顶尖顶住工件后，车  $f30\text{mm}$  外圆；(4) 调头，夹  $f30\text{mm}$  外圆，车  $f18\text{mm}$  外圆及端面；(5) 调头，夹  $f18\text{mm}$  外圆，并用尾架后顶尖顶住工件后车  $T20\text{mm}$  外圆（第一刀车至  $f24\text{mm}$ ，第二刀车至  $f20\text{mm}$ ），车螺纹，倒角；(6) 在卧式铣床上用两把铣刀同时铣  $f18\text{mm}$  圆柱上的宽  $f15\text{mm}$  的两个平面，将工件回转  $90^\circ$ （利用转台），铣两个面，这样做出四方头。

请分出工序、安装、工位、工步及走刀。

解：

工序 (1)；(2) + (3) + (4) + (5)；(6)

安装 (2)；(3)；(4)；(5)；(6)

工位 (6) 中分为 2 个工位，回转  $90^\circ$ （利用转台）

工步 (6) 两把铣刀同时铣为复合工步，其余 (2) 2 个工步 (3) 1 个工步 (4) 2 个工步 (5) 3 个工步

走刀 (5) 中分为 2 次走刀（第一刀……第二刀）

7-4 加工如图 7-51 所示零件，其粗基准、精基准应如何选择？（标有 符合的为加工面，其余为非加工面）。图 (a)，(b) 及 (c) 所示零件要求内外圆同轴，端面与孔中心线垂直，非加工面与加工面尽可能保持壁厚均匀；图 (d) 所示毛坯孔已铸出，要求孔加工余量尽可能均匀。

解：(a) 粗基准，外圆+任一大端平面

精基准，芯轴（设计工装）定位（4 点）基准为已加工内孔

(b) 粗基准，左边凸部，法兰左端平面

精基准，用右边已加工和大端平面做基准，加工  $6 \times f10$  孔时

(c) 粗基准，同 (b)

精基准，内孔参照 (a) 精基准部分+任一端面

- (d) 粗基准，尺寸  $H_2$  上表面兼顾两小孔，加工底面  
精基准，底平面

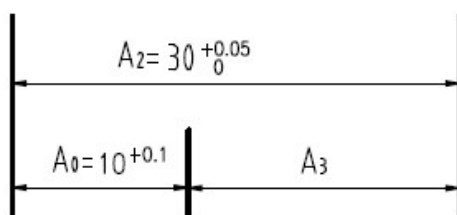
7-10 如图 7-55 所示套筒零件，加工表面 A 时要求保证尺寸  $10^{+0.1} \text{ mm}$ ，若在铣床上采用静调整法加工时以左端面定位，试标注此工序的工序尺寸。

解：

按加工顺序，已加工好尺寸  $A_1 = 60 \pm 0.05$ （总长）  $A_2 = 30^{+0.05}_0$ （孔深）

其次加工车工序，加工 A 面，设尺寸为  $A_3$ ，  $A_3$  加工完毕后，尺寸  $10^{+0.1}$  自然形成，为尺寸闭环  $A_0 = 10^{+0.1}$

尺寸链如图



注：  $A_1$  不参与计算在调整时用作参考

其中  $A_2$  为增环，  $A_3$  为减环，按尺寸链竖式解法

	基本尺寸	BS	BI
$A_2$ （增）	30	+0.05	0
$A_3$ （减）	-20	+0.05	0
$A_0$	10	+0.1	0

$$\therefore A_3 = 20^{+0.05}_0$$

验证  $T_0 = T_1 + T_2$

$$0.1 = 0.05 + 0.05 \quad \text{正确}$$

7-13

解：根据加工工艺，  $A_1 = f28.5^{+0.05}_{-0.1} / 2 = 14.25^{+0.05}_{-0.05} \text{ mm}$ ，

$$A_2 = H, A_3 = f28^{+0.024}_{+0.008} / 2 = 14^{+0.012}_{+0.004} \text{ mm}$$

键槽深度  $t = 4^{+0.16}_0 \text{ mm}$  为加工后自然形成，属间接保证尺寸，为封闭环，可以方便得到尺寸链图（略）。

尺寸  $A_1$  为减环，  $A_2$  和  $A_3$  为增环。

采用尺寸链竖式求解组成环 H（增环 A2）：

组成环	环 A	BS	BI
A1（减）	-14.25	+0.05	0
A2（增）	4.25	+0.098	-0.004
A3（增）	14	+0.012	+0.004
封闭环 A0	4	0.16	0

所以  $H=A2=4.25^{+0.098}_{-0.04}mm$

T2=0.102, 验算 0.16=0.05+0.102+0.008 正确