

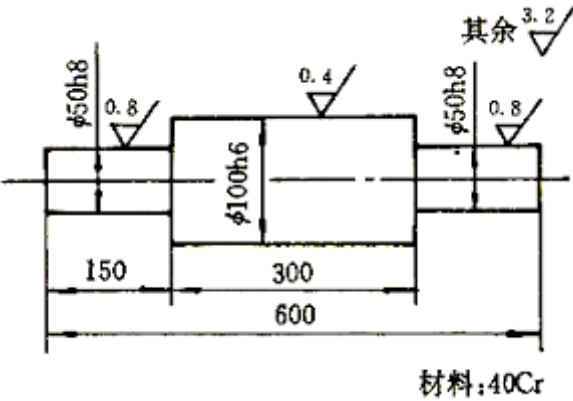
图3 轴

- 1、试确定在批量生产条件下，上图所示阶梯轴的加工工艺过程。材料为 45 钢,表面硬度要求 35-40HRC。请拟定工序，定位粗基准和精基准，工序内容，加工方法。（7 分）
- 2、根据所给条件可知，该轴为一般精度和表面粗糙度要求的普通轴，材料为 45 钢，表面硬度要求 35-40HRC，所以可通过调质处理达到（0.5 分）。因两端 $\phi 20$ 的轴颈要求同轴度 0.02，所以应该以轴线作为外圆车削加工的定位粗、精基准（0.5 分）。毛坯可采用热轧 45 钢棒料，尺寸为 $\phi 40 \times 100$ 经过锻造后形成（0.5 分）。基本工艺过程为锻造-调质处理-粗车-半精车（0.5 分）。其工序及相关内容如下表所示：批量生产 45 钢

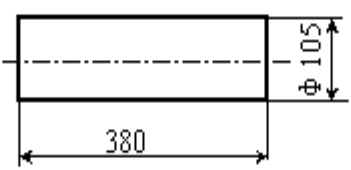
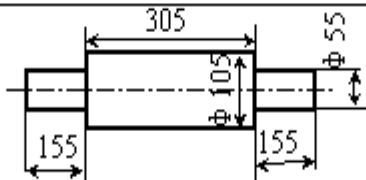
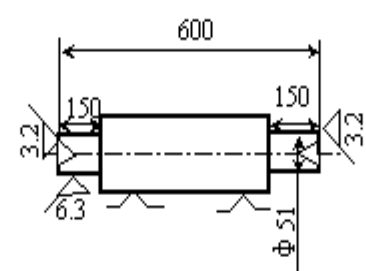
序号	工序内容	工序简图	定位基准	加工方法及设备
1	切割下料（0.5 分）			锯切，锯床
2	自由锻（0.5 分）			拔长，空气锤
3	调质处理（0.5 分）			高温箱式电阻炉
4	车两端面，打中心孔 其它尺寸不变（1 分）		中部外圆	专用车端面打中心孔车床
5	粗车外圆：分别将 $\phi 40$ 的外圆车到 $\phi 35$ ， $\phi 25$ 的外圆车到 $\phi 21$ 。表面粗糙度达到 $Ra6.3$ 。 其它尺寸不变。（1 分）		两中心孔	车外圆，卧式车床
6	半精车外圆，倒角： 将 $\phi 21$ 的外圆车到 $\phi 20$ 。表面粗糙度达到 $Ra3.2$ ，尺寸精度达到 $K8$ 。台阶处倒角为 $1 \times 45^\circ$ 。 其它尺寸不变。（1.5 分）		两中心孔	车外圆，卧式车床
7	清洗检验			

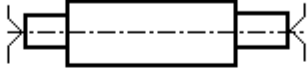
阶梯轴的加工工艺过程

2、试确定在单件小批量生产条件下，下图所示阶梯轴的加工工艺过程。材料为 40Cr,表面硬度要求 45-50HRC。请拟定工序，定位粗基准和精基准，工序内容，加工方法。（ 6 分



根据所给条件可知，该轴为具有较高精度和较低的表面粗糙度要求的精密轴，材料为 40Cr 钢,表面硬度要求 45-50HRC，所以需通过淬火加中温回火达到（ 0.5 分）。尽管两端 $\phi 50$ 的轴颈没有同轴度要求,但因轴的长度为 600，为便于加工和定位，应该以轴线和外圆作为外圆和端面车削加工的定位粗、精基准（ 0.5 分）。毛坯可采用热轧 40Cr 钢棒料，尺寸为 $\phi 105 \times 380$ 经过锻造后形成（ 0.5 分）。基本工艺过程为锻造-粗车-半精车-淬火+中温回火-粗磨-精磨（ 0.5 分）。其工序及相关内容如下表所示：单件小批量生产 40Cr 钢阶梯轴的加
工工艺过程

序号	工序内容	工序简图	定位基准	加工方法及设备
1	切割下料（0.5分）			锯切，锯床
2	自由锻（0.5分）			拔长，空气锤
3	车一端面，打中心孔，车台阶面，粗车一个小外圆；调头，车另一端面，打中心孔，车台阶面，粗车另一个小外圆。（0.5分）		中部外圆	车端面打中心孔，卧式车床。

4	粗车外圆：将$\phi 105$的外圆车到$\phi 101$，表面粗糙度达到$Ra6.3$。 半精车外圆：分别将$\phi 101$外圆车到$\phi 100.4$，将两$\phi 51$外圆车到$\phi 50.4$。 精车外圆：分别将$\phi 100.4$外圆车到$\phi 100.1$，将两$\phi 50.4$外圆车到$\phi 50.1$。 外圆表面粗糙度达到$Ra1.6$。(1分)		两中心孔	车外圆，卧式车床
5	淬火+中温回火：硬度达到 $45-50HRC$ 。(0.5分)			热处理炉
6	修整中心孔			钳工
7	粗磨和精磨外圆：分别使大外圆达到$\phi 100h8$，表面粗糙度为$Ra0.4$；小外圆达到$\phi 50h8$，表面粗糙度为$Ra0.8$。(1分)	图略	两中心孔	外圆磨床
8	清洗检验			

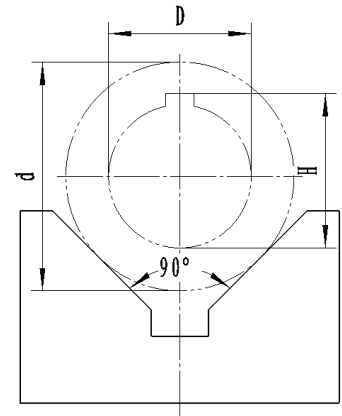
如上图所示，已知工件外径 $d=\phi 50_{-0.02}^0\text{mm}$ ，内孔直径 $D=\phi 25_{0}^{+0.025}\text{mm}$ ，用V形块定位在内孔上加工键槽，要求保证工序尺寸 $H=28.5_{0}^{+0.2}\text{mm}$ 。若不计内孔和外径的同轴度误差，求此工序的定位误差，并分析定位质量。

解：(1) 基准不重合误差 $\Delta_{jb} = \frac{T_D}{2} = 0.0125\text{mm}$

(2) 定位副制造不准确误差 $\Delta_{db} = \frac{T_d}{2\sin(\alpha/2)} = 0.01414\text{mm}$

(3) 定位误差 $\Delta_{dw} = \Delta_{jb} + \Delta_{db} = 0.0266 \approx 0.027\text{mm}$

(4) 定位质量 $\Delta_{dw} = 0.027\text{mm}$ ， $T=0.2\text{mm}$ ，由于 $\Delta_{dw} < \frac{1}{3}T$ 定位方案可行。

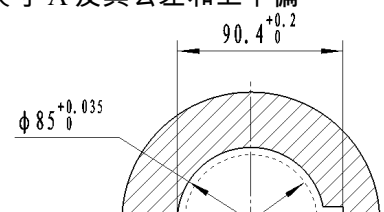


右图为一带键槽的内孔简图。孔径 $\phi 85_{0}^{+0.035}\text{mm}$ ，键槽深度尺寸 $90.4_{0}^{+0.2}\text{mm}$ 。其工艺过程为：

1) 精镗内孔至 $\phi 84.8_{0}^{+0.07}\text{mm}$ ；2) 插键槽至尺寸A

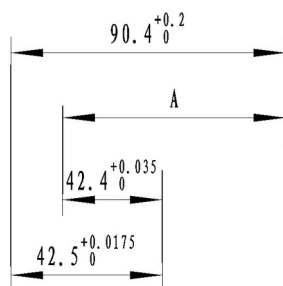
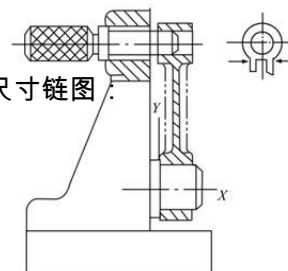
3) 热处理：淬火 4) 磨内孔至尺寸 $\phi 85_{0}^{+0.035}$ ，同时保证键槽深度 $90.4_{0}^{+0.2}\text{mm}$ 。

画出尺寸链图，指出尺寸链中的增环，减环和封闭环，并求工序尺寸A及其公差和上下偏



差。

解：(1) 求出直径尺寸 $\phi 84.8^{+0.07}_0$ 和 $\phi 85^{+0.035}_0$ 的半径值及其公差，画出尺寸链图：



(2) 尺寸 $90.4^{+0.2}_0$ mm 为封闭环，尺寸 A、 $42.5^{+0.0175}_0$ mm 为增环，尺寸 $42.4^{+0.035}_0$ mm

为减环。

(3) $A_0 = \sum A_{\text{增}} - \sum A_{\text{减}}$ ，则有 $90.4 = A + 42.5 - 42.4$

$ES_0 = \sum ES_{\text{增}} - \sum EI_{\text{减}}$ ，则有 $ES(90.4) = ES(A) + ES(42.5) - EI(42.4)$

$EI_0 = \sum EI_{\text{增}} - \sum ES_{\text{减}}$ ，则有 $EI(90.4) = EI(A) + EI(42.5) - ES(42.4)$

于是 $A = 90.4 + 42.4 - 42.5 = 90.3$ mm

$ES(A) = 0.2 + 0 - 0.0175 = 0.1825$ mm $EI(A) = 0 + 0.035 - 0 = 0.035$ mm

$T(A) = ES(A) - EI(A) = 0.1475 = 0.148$ mm

故： $A = 90.3^{+0.1825}_{+0.035}$ mm

(4) 按入体原则标注 $A = 90.335^{+0.1475}_0 = 90.335^{+0.148}_0$ mm

3. 分析如下图所示定位方案，回答如下问题：(1) 带肩心轴、手插圆柱销各限制工件的哪些自由度？

(2)该定位属于哪种定位类型？

(3)该定位是否合理，如不合理，请加以改正。

答案：

1) 带肩心轴限制 X 、 Y 、 Z 的直线移动和旋转运动四个自由度；手插圆柱销限制 Y 的直线移动， X 的旋转运动。

2) 属于自为基准定位方式：目的是使小孔获得较均匀的加工余量，以提高孔本身的加工精度。

3) 不合理。因为带肩心轴和手插圆柱销重复限制了沿两孔中心线方向的自由度，即都限制了 Y 的直线移动。

改进方法为将手插圆柱销改为削边销，削边销的长轴与图中 Y 轴相垂直，如图所示。

6.简述建立装配尺寸链的过程。为什么要对装配尺寸链进行简化？如何简化？

答：装配尺寸链是由各有关装配尺寸（零件尺寸和装配精度要求）组成的尺寸链。建立过程如下：首先明确封闭环：装配精度要求就是封闭环；再以封闭环两端的两个零件为起点沿封闭环的尺寸方向分别找出影响装配精度要求的相关零件，直到找到同一个基准零件或同一基准面为止。

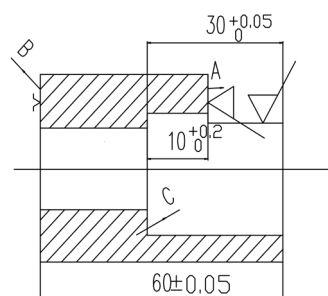
因为机械产品的结构通常比较复杂，影响某一装配精度的因素很多，在查找该装配尺寸链时，在保证装配精度的前提下，可以忽略那些影响较小的因素，使装配尺寸链适当简化。

在简化中遵循：装配尺寸链的组成环最少原则和装配尺寸链的方向性原则：在同一装配结构中，在不同的方向都装配精度要求时应按不同方向分别建立装配尺寸链。

六、分析计算题

1.如图所示工件成批加工时用端面用 B 定位加工表面 A (用调整法)，以保证尺寸 $10^{+0.20}_{-0} mm$ ，

试计算铣削表面 A 时的工序尺寸及上、下偏差。



$L_3 =$
?

$$L_0 = 10 + 0.2$$

$$L_1 = 30 + 0.05$$

$$L_2 = 60 \pm 0.05$$

答：尺寸链如图所示， L_0 间接获得为封闭环， L_3 为工序尺寸在加工过程要使用，需

要计算出来。经分析可知， L_1 ， L_3 为循环， L_2 为减环。依据公式：

$L_0=L_1+L_3-L_2$, 可以得出 $L_3=L_0+L_2-L_1=10+60-30=40\text{mm}$

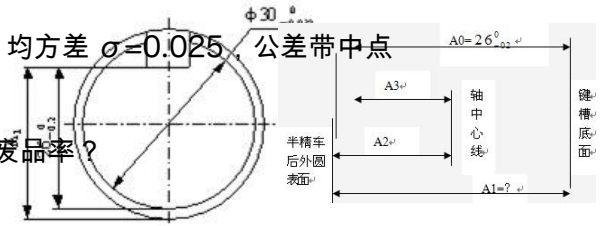
$ESL_0=ESL_1+ESL_3-EIL_2$, 可以得出 $ESL_3=ESL_0+EIL_2-ESL_1=0.2+0.05-0=0.25\text{mm}$

$EIL_0=EIL_1+EIL_3-ESL_2$, 可以得出 $EIL_3=EIL_0+ESL_2-EIL_1=0+0.05+0=0.05\text{mm}$

所以 $L_3=40_{-0.05}^{+0.25}\text{mm}$

2. 加工一批尺寸为 $\phi 20_{-0.1}^0$ 的小轴外圆, 若尺寸为正态分布, 均方差 $\sigma=0.025$, 公差带中点

小于尺寸分布中心 0.03mm 。试求: 这批零件的合格率及废品率?



解: 正态分布曲线如图所示, 依据分析计算如下:

$$Z_A=(0.5T+a)/\sigma=(0.05+a)/\sigma=0.08/0.025=3.2F(Z_A)=0.4993$$

$$Z_B=(0.5T-a)/\sigma=(0.05-a)/\sigma=(0.05-0.03)/0.025=0.8F(Z_B)=0.2881$$

$$\text{合格率}=F(Z_A)+F(Z_B)=78.74\%\text{不可修复废品率}=[0.5-F(Z_A)]\%=0.82\%$$

$$\text{可修复废品率}=[0.5-F(Z_B)]\%=15.87\%\text{总废品率}=100\%-\text{合格率}=21.26\%$$

3. 加工如图所示一轴及其键槽, 图纸要求轴径为 $\phi 30_{-0.032}^0$, 键槽深度尺寸为 $26_{-0.02}^0$, 有关的加工过程如下: 1) 半精车外圆至 $\phi 30.6_{-0.1}^0$; 2) 铣键槽至尺寸 A_1 ; 3) 热处理; 4) 磨外圆至 $\phi 30_{-0.032}^0$, 加工完毕。求工序尺寸 A_1 。

解: A_0 是要通过加工保证的尺寸, 是封闭环; A_1 是加工要使用的工序尺寸, 需要计算出

来, 且为增环; A_3 也为增环, A_2 为减环。

$$A_2=15.3_{-0.05}^0, A_3=15_{-0.016}^0, A_0=26_{-0.02}^0$$

$$A_0=A_1+A_3-A_2, A_1=A_0+A_2-A_3=26+15.3-15=26.3\text{mm}$$

$$ESA_0=ESA_1+ESA_3-EIA_2, ESA_1=ESA_0+EIA_2-ESA_3=0-0.05=-0.05\text{mm}$$

$$EIA_0=EIA_1+EIA_3-ESA_2, EIA_1=EIA_0+ESA_2-EIA_3=-0.02+0+0.016=-0.184\text{mm}$$

$$\text{所以 } A_1=26.3_{-0.184}^{-0.05}\text{mm}$$

4. 磨削一表面淬火后的外圆面, 磨后尺寸要求为 $\phi 60_{-0.03}^0\text{mm}$ 。为了保证磨后工件表面淬硬

层的厚度, 要求磨削的单边余量为 0.3 ± 0.05 , 若不考虑淬火时工件的变形, 求淬火前精

车的直径工序尺寸。

解：建立尺寸链如图所示，其中 $Z=0.3\pm0.05$ 是尺寸链的封闭环； $R_2=30^{0}_{-0.015}\text{mm}$ ，是尺寸链的减环； R_1 是尺寸的增环，待求。解此尺寸链可得到；

$$R_1=30.3^{+0.035}_{-0.05}\text{mm}$$

由此可求出淬火前精车的直径工序尺寸为；

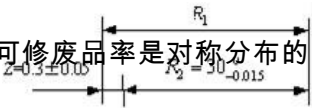
$$D_1=60.6^{+0.07}_{-0.1}\text{mm}$$

6. 用无心磨床磨削一批销轴的外圆，整批工件直径尺寸服从正态分布，其中不可修复废品率为 0.82%，实际尺寸大于允许尺寸而需修复加工的零件数占 15.87%，若销轴直径公差 $T=0.17\text{mm}$ ，试确定代表该加工方法的均方根偏差 σ 为多少？

z	1	2	2.2
F(z)	0.3413	0.4772	0.4861
	2.4	4	4.5
	0.4918	0.4999	0.4999
	8	68	99

$$F=\phi(z)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^ze^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}}dz$$

解：解：∵若正态分布曲线与公差中心点重合的话，则可修废品与不可修废品率是对称分布的，但本题不是对称分布，并且可修废品率高，据此可以知道



正态分布曲线顶峰偏离公差中心点且处于右端

∴设偏移量为 a

∴有下式： $Z_A=(0.5T+a)/\sigma=(0.05+a)/\sigma$

不可修复废品率= $[0.5- F(Z_A)]\%= 0.82\%\rightarrow F(Z_A)=0.4918\rightarrow Z_A=2.4$

$Z_B=(0.5T-a)/\sigma=(0.085-a)/\sigma$

可修复废品率= $[0.5- F(Z_B)]\%=15.87\%\rightarrow F(Z_B)=0.3413, Z_B=1$

所以： $\sigma=0.05\text{mm}, a=0.035\text{mm}$

7. 加工一批小轴外圆，若尺寸为正态分布，公差 $T=0.3\text{mm}$ 均方差 $\sigma=0.025$ ，公差带中点小于尺寸分布中心 0.05mm 。试求：这批零件的可修复废品率和不可修复废品率？

$$F=\phi(z)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^ze^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}}dz$$

z	1	2	2.2
F(z)	0.3413	0.4772	0.4861
	2.4	2.6	2.7
	0.4918	0.4953	0.4965

解:依题意,正态分布曲线如图所示:

$$Z_A=(0.5T+a)/\sigma=F(Z_A)=$$

$$Z_B=(0.5T-a)/\sigma=F(Z_B)=$$

$$\text{合格率}=F(Z_A)+F(Z_B)=$$

$$\text{不可修复废品率}=[0.5-F(Z_A)]\% =$$

$$\text{可修复废品率}=[0.5-F(Z_B)]\% =$$

8. 如图所示零件，A、B 两端面已加工完毕。在某工序中车削内孔和端面 C 时，图中

$A_0=30_{-0.20}^0\text{mm}$ ， $A_1=10_{-0.10}^0\text{mm}$ 。车削时以端面 B 定位，图样中标注的设计尺寸 A_0 不便直接测量，如以端面 A 为测量基准测量孔深尺寸 A_2 ，试求 A_2 的基本尺寸及其上下偏差。



解:尺寸链如图所示:在该尺寸链中, A_0 为封闭环, A_1 为减环, A_2 为增环,按尺寸链计算公式有:

$$\text{基本尺寸:}A_2=A_0+A_1=30+10=40\text{mm}$$

$$\text{上偏差:}ES_2=ES_0+EI_1=0-0.1=-0.1\text{mm}$$

$$\text{下偏差:}EI_2=EI_0+ES_1=-0.2-0=-0.2\text{mm}$$

$$\text{因此,所求尺寸为 }A_2=40_{-0.2}^{-0.1}\text{mm}$$

16. 机械加工中获得零件尺寸精度的方法有：（试切法）、定尺寸刀具法、调整法、自动控制法。

17. 机械装配的基本作业包括清洗、（联接）、平衡、校正及调整、验收试验等。

24.安排装配顺序的一般原则是（先下后上）、先内后外、先难后易、先精密后一般、先重大后轻小。

28.机器的装配精度一般包括零部件间的（位置精度）、配合精度、运动精度。

9. 互换装配法：零件按图纸公差加工，装配时不需要经过任何选择、修配和调节，就能达到规定的装配和技术要求，这种装配方法叫互换装配法。

10.组合机床：是选用预先设计制造好的标准化及通用化的零件部件组成的专用机床，可以同时从几个方向采用多把刀具对一个或几个零件进行切削，它是实现工序集中的最好途径，是提高生产率的有效设备。

14.工艺系统刚度：是以切削力和在该力方向上（误差敏感方向）引起的刀具和工件之间相对变形位移的比值。

21.刀具耐用度：耐用度是指刀具在两次刃磨之间，对工件进行切削的实际时间

22. 机械加工工艺过程：用机械加工的方法直接改变毛坯形状、尺寸和机械性能等，使之变为合格零件的过程，称为机械加工工艺过程，又称工艺路线或工艺流程。

23.零件的工艺过程：在生产过程中凡直接改变生产对象的尺寸、形状、性能(包括物理性能、化学性能、机械性能等)以及相对位置关系的过程，统称为工艺过程。

24.工序尺寸：是指工件在某工序加工后所应保证的尺寸。

25.系统性误差：相同工艺条件，当连续加工一批工件时，加工误差的大小与方向保持不变或按一定规律变化，称为系统性误差，前者叫常值性系统性误差，后这叫变值性系统性误差。

27.精基准：作为定位基准的表面如果是经过加工的表面则称为精基准。

29. 切削深度：通常说的是刀具在某个方向上切入工件表面的深度。对于车削过程，切削深度指的是刀具在工件半径方向的切入尺寸，即通常说的单边吃刀深度或厚度。对于铣刀来说，则是指的刀具在其轴线方向的切入深度，通常以 a_p 来表示。

30. 工艺能力：所谓工艺能力就是指生产工序在一定时间内处于稳定状态下的实际加工能力。它反映某一工艺在稳定状态下，所加工的产品质量特性值的总体离散程度。产品质量是工艺能力的综合反映。

31.机床工艺范围：是指机床上能够加工的工序种类、被加工工件的类型和尺寸、使用的刀具种类及材料等。

10.某工序的加工尺寸为正态分布，但分布中心与公差中点不重合，则可以认为：D

A、无随机误差 B、无常值系统误差

C、变值系统误差很大 D、同时存在常值系统误差和随机误差

14. 零件加工时，粗基准面一般为：A

A、工件未经加工的毛坯表面；B、工件的已加工表面；C、工件的待加工表面；D、工件的过渡表面；

15.工程上常讲的“一面两孔”定位，一般限制了工件的自由度个数是：C\D

A、3个 B、4个 C、5个 D、6个

18.一次性调整误差所引起的加工误差属于：B

A、随机误差 B、常值系统误差 C、变值系统误差 D、形位误差

19.装配的组织形式主要取决于：D

A、产品重量 B、产品质量 C、产品成本 D、生产纲领

22.原始误差是指产生加工误差的"源误差"，即：D

A 机床误差 B 夹具误差 C 刀具误差 D 工艺系统误差

30. 在大批量生产中，工件的装夹方法应采用(C)。

A.直接找正装夹 B.按画线找正装夹 C.专用夹具装夹 D.组合夹具装夹

1.叙述在机械加工过程中选择粗基准和精基准时各应遵循什么原则？

答案：粗基准选择原则：

1) 当必须保证不加工表面与加工表面之间相互位置关系时，应选择该不加工表面为粗基准。

2) 粗基准选择应保证合理分配个加工表面的余量要足够和均匀。

3) 选作粗基准的毛坯表面应尽可能光滑平整，不应该有浇口、冒口的残迹与飞边等缺陷。

4) 粗基准避免重复使用。

精基准选择原则：

1) 尽可能选用工序基准为精基准，减少因基准不重合引起的定位误差。

2) 尽可能在多数工序中采用同一基准做精基准，叫基准统一原则。

3) 在某种情况下可以选用加工表面自身作为精基准，叫自为基准。

4) 当需要或得均匀加工余量或较高的相互位置精度时可以遵循互为基准原则，反复加工。

5) 精基准选择应使定位准确、夹具结构简单、夹紧可靠。

2.何谓工件材料的切削加工性？工件材料的切削加工性衡量的指标通常有哪些？

答案：工件材料的切削加工性是指在一定的切削条件下，工件材料切削加工的难易程度。

衡量指标主要有：

1) 以刀具使用寿命来衡量，相同条件下刀具使用寿命长，工件材料的切削加工性好。

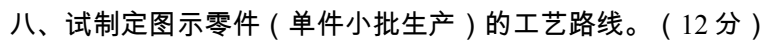
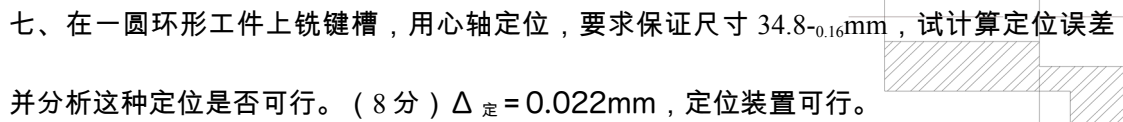
2) 以切削力和切削温度来衡量，相同条件下切削力大和切削温度高，工件材料的切削加工性差。

3) 以加工表面质量衡量：容易获得好的加工表面质量，工件材料切削加工性好。

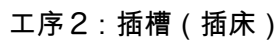
4) 以断屑性能来衡量：相同条件下形成切屑便于清除，工件材料切削加工性好。

六、加工下述零件，以B面定位，加工表面A，保证尺寸 $10^{+0.2}_{-0.1}$ mm，试画出尺寸链并求出

工序尺寸L及公差。(8分) $L = 22^{+0.2}_{-0.1} \text{mm}$



工序 1：粗车各外圆、端面、 $\Phi 60$ 圆孔；精车 $\Phi 200$ 外圆与端面，精镗 $\Phi 60$ 孔；精车 $\Phi 96$ 外圆、端面 B 与端面 C（车床）



工序3：钻6- $\Phi 20$ 孔（钻床）

工序4：去毛刺（钳工台）

加工下述零件，要求保证孔的尺寸 $B = 30^{+0.2}$ ，试画出尺寸链，并求工序尺寸 L 。 $L =$

制订下述零

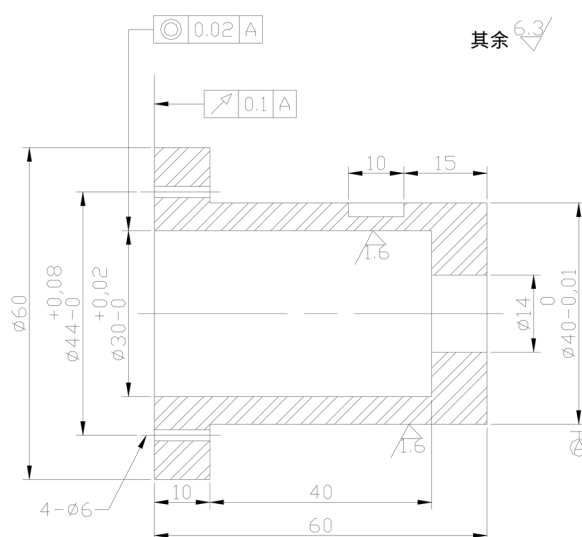
件的机械加工工艺过程，具体条件：45 钢，圆料 $\phi 70$ ，单件生产。（12 分）

工序 1：粗测各外圆、端面、钻 $\phi 14$ 孔，精车 $\phi 40$ 外圆及端面；以 $\phi 40$ 为基准面，精镗 $\phi 30$ 孔，精车 $\phi 60$ 及端面（车床）。

工序 2：铣键槽（铣床）

工序 3：钻 4 - $\phi 6$ 孔（钻床）

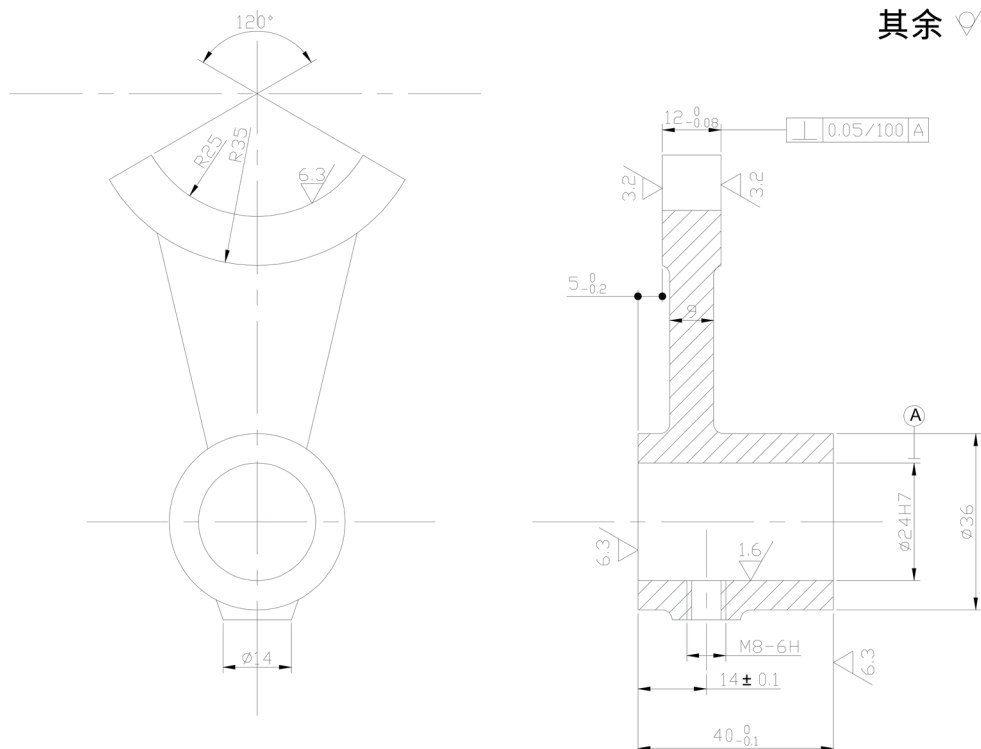
工序 4：去毛刺（钳工台）



四、九. 图示拨叉零件，材料 HT300，单件小批生产（12 分）

1. 对零件进行工艺分析。
2. 制订该零件的加工工艺过程。

其余 



工序 1：粗精铣尺寸 40 左右端面（铣床）

工序 2：钻绞 $\Phi 24$ 孔（车床）

工序 3：粗精铣尺寸 12 左右端面、R25 圆弧面（铣床）

工序 4：钻攻 M8 螺纹孔（钻床）

工序 5：去毛刺（钳工台）

根据所学知识，列出提高零件加工质量的措施。（10 分）

提高加工精度的措施：减少误差，误差补偿，误差分组，误差转移，就地加工，误差平均，误差控制。

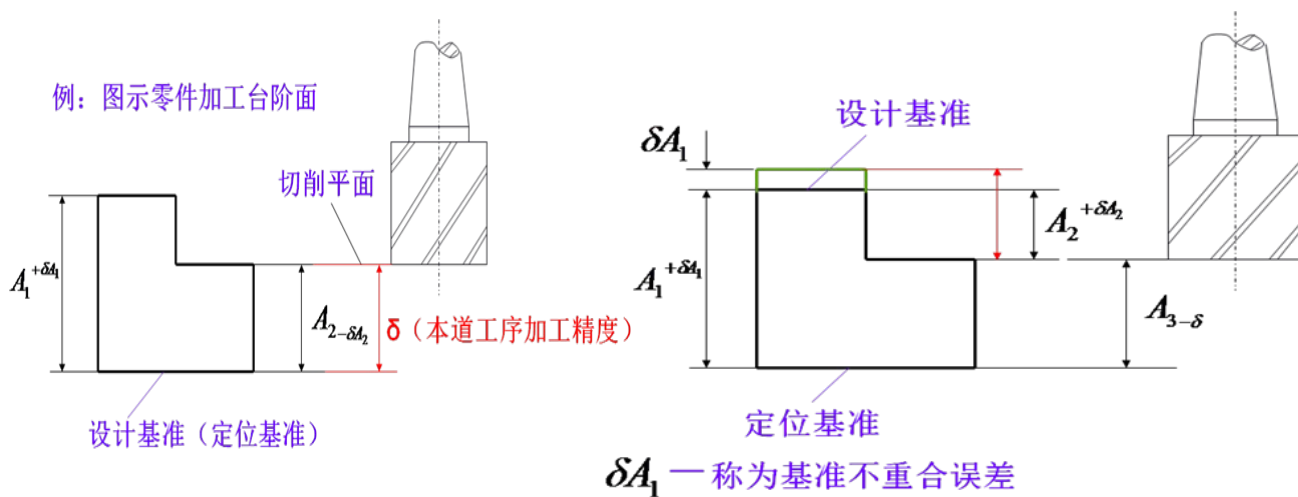
提高表面质量措施：采用合理的切削用量与刀具参数，采用冷压强化与光整工艺，采用良好的切削液，减少积屑瘤、鳞刺和震动。

六点定位——“完全定位” 多于六点定位——“过定位”或“重复定位”

少于六点定位——（1）允许的是“不完全定位” （2）不允许的是“欠定位”

1 基准不重合误差

由于定位基准与设计基准不重合引起的。



若本道工序的加工精度为 δ ，则只要 $\delta \leq \delta A_2$ ，即可满足加工要求。若要满足加工精度必须有： $\delta A_2 \geq \delta A_1 + \delta$

【例题 1】尺寸 不便测量，改测量孔深 A2，通过 A1 值

求工序尺寸 A2 及偏差。

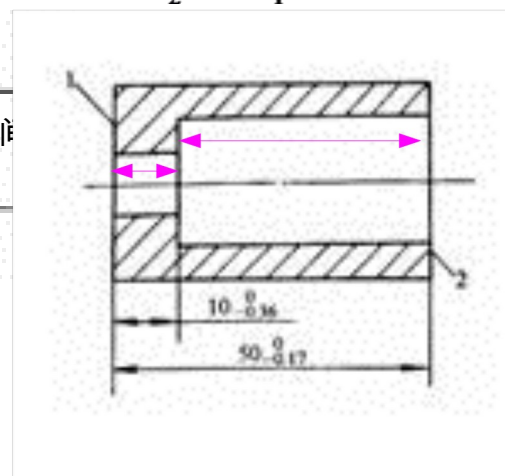
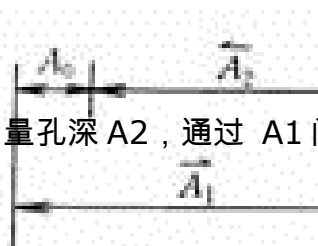
解析：1.画尺寸链

2. 封闭环 A_0 ，增环 A_1 ，减环 A_2

3. 计算封闭环基本尺寸： $10 = 50 - A_2 \therefore A_2 = 40$

封闭环上偏差： $0 = 0 - EI_2 \therefore EI_2 = 0$

封闭环下偏差： $0.36 = -0.17 - ES_2 \therefore ES_2 = 0.19$



如图所示套筒形零件，本工序为在车床上车削内孔及槽，设计尺寸 $A_0 = 10^{+0}_{-0.2}$

mm，在加工中尺寸 A_0 不好直接测量，所以采用深度尺测量尺寸 x 来间接检

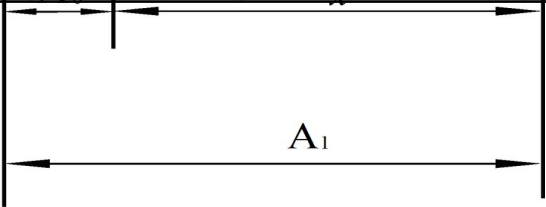
验 A_0 是否合格，已知尺寸 $A_1 = 50^{+0.1}_{-0.2}$ mm，计算 x 的值。

解析：1.画尺寸链,如图 b 所示

2.采用列表法计算

基本尺寸		上偏差	下偏差
增环	50	-0.1	-0.2
减环	?	?	?
封闭环	10	0	-0.2

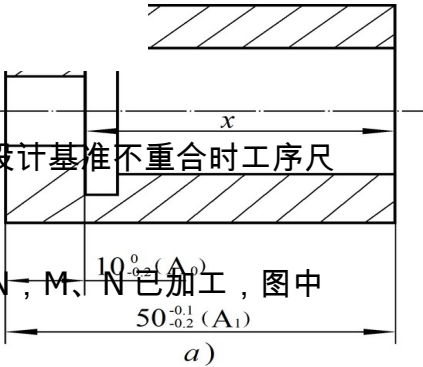
解得： $x = 40^{+0}_{-0.1}$



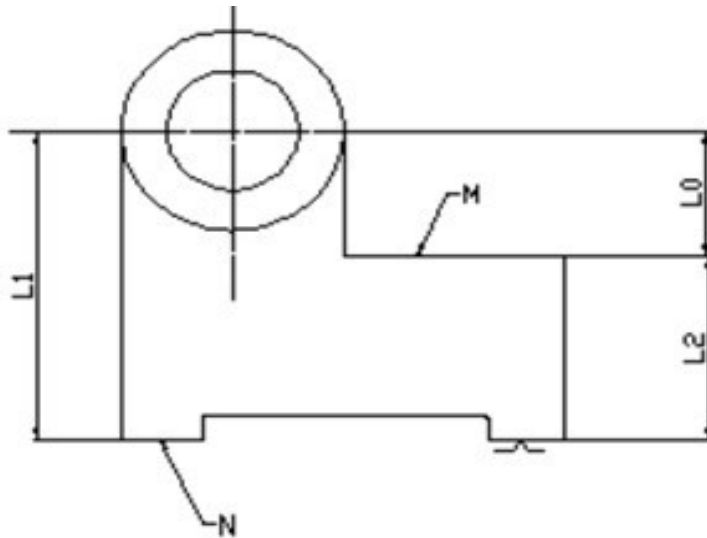
b)

【例题 3】加工如下图所示某零件，定位基准与设计基准不重合时工序尺寸

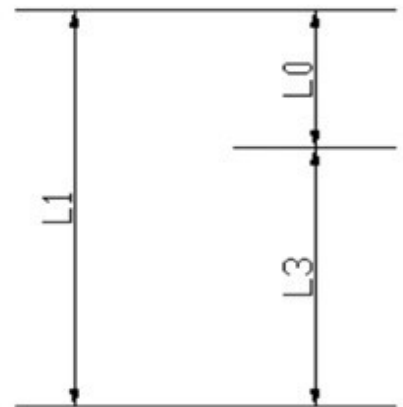
的计算。图中所示为镗孔工序图，定位基准面是 N，M、N 已加工，图中



L_0 的尺寸为 _____， L_2 为 _____，试求镗孔调整时的工序尺寸 L_1 。



【题解】：镗孔时要确定的工序尺寸 L_1 为轴线到定位基准的距离，由加工保证。图中孔线的设计基准是 M 面，其位置尺寸 L_0 通过工序尺寸 L_1 和已加工尺寸 L_2 简介获得。



画出尺寸链如图 从上分析知 L_0 为闭环 L_1 为增环， L_2 为减环。则进行计算得—

基本尺寸 $100 = L_1 - 200 \quad \therefore L_1 = 300$ 上偏差 $0.15 = ES(L_1) - 0$

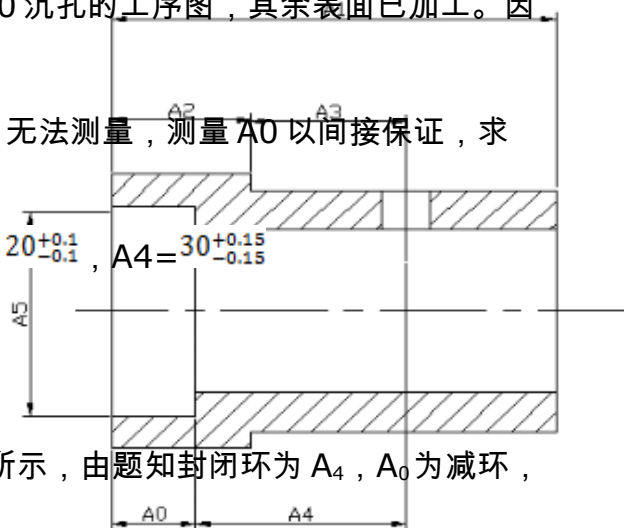
$\therefore ES(L_1) = 0.15$ 下偏差 $-0.15 = EI(L_1) - 0.1 \quad \therefore EI(L_1) = -0.05$

结果为 $L_1 = 300_{-0.05}^{+0.15}$

【例题 4】下图所示为轴套零件加工 $\phi 40$ 沉孔的工序图，其余表面已加工。因

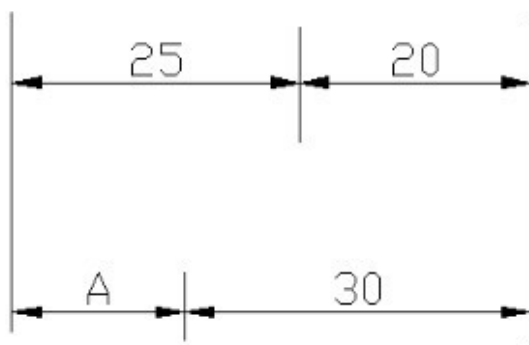
孔深的设计为横孔轴线，尺寸 $30^{+0.15}_{-0.15}$ mm 无法测量，测量 A_0 以间接保证，求

A_0 尺寸。 $A_1 = 70^{0}_{-0.2}$ ， $A_2 = 25^{0}_{-0.2}$ ， $A_3 = 20^{+0.1}_{-0.1}$ ， $A_4 = 30^{+0.15}_{-0.15}$



【题解】：画出尺寸链，如下图右所示，由题知封闭环为 A_4 ， A_0 为减环，

A_2 、 A_3 为增环，则——



基本尺寸——

$$30 = 25 + 20 - A_0 \quad \therefore A_0 = 15$$

上偏差——

$$0.15 = 0.1 + 0 - EI(A_0)$$

$$\therefore EI(A_0) = -0.05$$

下偏差——

$$-0.15 = -0.1 + (-0.05) - ES(A_0)$$

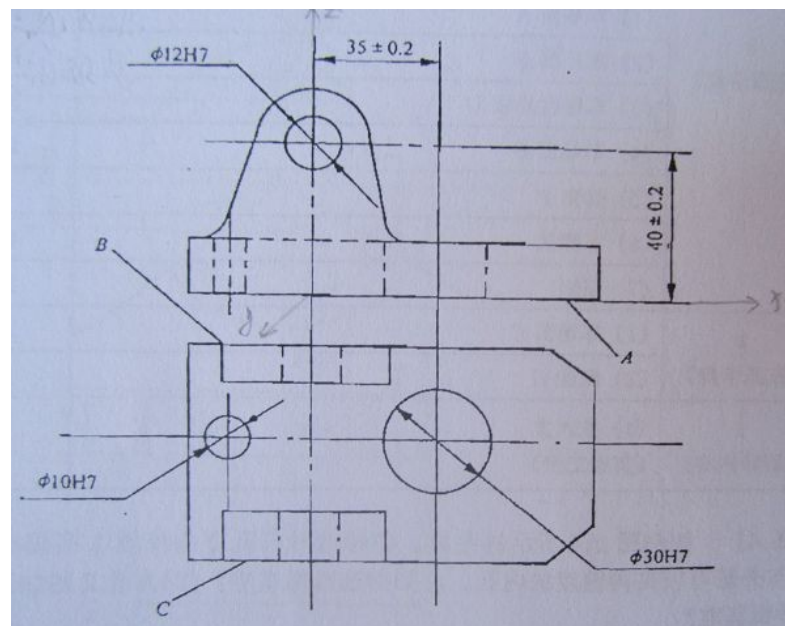
$$\therefore ES(A_0) = 0$$

$$15_{-0.05}^0$$

即 $A_0 =$

【例 1】如图所示零件的 A、B、C 面， $\phi 10H7$ mm 孔已加工。试分析加工

$\phi 12H7$ 孔时，选用哪些定位表面最合理？为什么？

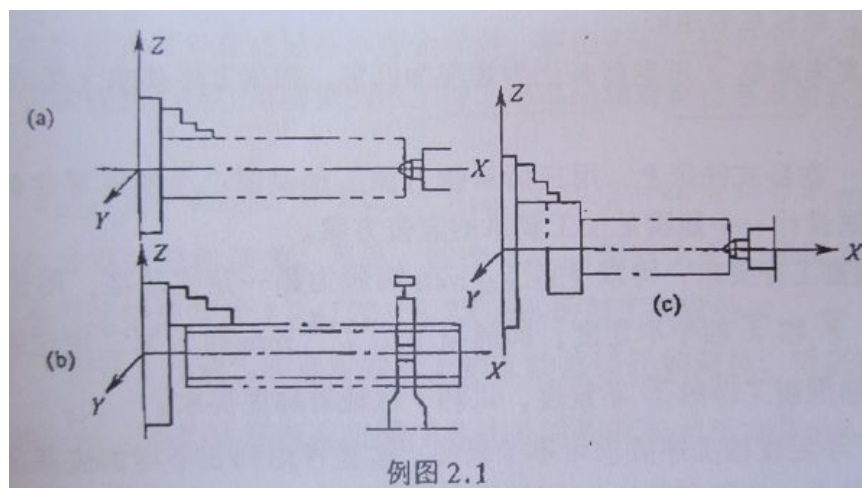


分析：此定位为典型的“一面两孔”，常用“一面两销”的定位方式。

【题解】：选 A 面（定位元件为支承板）、 $\phi 30H7$ 孔（定位元件为圆柱销）、 $\phi 10H7$ （定位元件为削边销）作为定位基准面。选 $\phi 30H7$ 孔和 A 面可以符合基准重合原则。

【例 2】如下图所示为轴类零件加工的几种装夹情况。试分析各属于何种定位？

都限制了工件哪些自由度？有无不合理之处？怎样改进？



例图 2.1

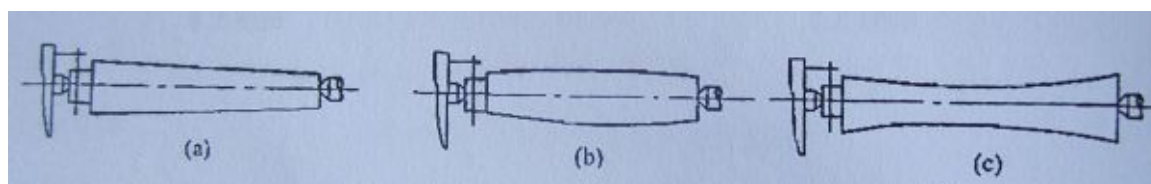
分析：考察定位限制自由度的知识。

【题解】：图 a 三抓卡盘限制工件的 x 、 y 、 z 的移动自由度， y 、 z 的转动自由度，而后顶尖单独限制 x 、 y 、 z 的移动自由度，与三抓卡盘配合后转化为 y 、 z 的移动自由度。属于过定位现象。应该将卡盘的夹持长度减少一些，去掉 y 、 z 的移动自由度的限制，而且将后顶尖改为可移动后顶尖去掉 x 移动自由度的重复定位，以避免重复定位造成的干涉。

图 b 卡盘限制了 y 、 z 的移动和转动自由度，中心架单独限制 y 、 z 的移动自由度，与卡盘配合则转化为 y 、 z 的转动自由度。属于过定位现象。应该将卡盘夹持长度减短一点。

图 c 卡盘限制工件的 y 、 z 的移动自由度，后顶尖单独限制 x 、 y 、 z 的移动自由度，与卡盘配合则转化为限制 y 、 z 的转动自由度和 x 的移动自由度。此定位是合理的。

【例 3】 在三台车床上各加工一批工件的外圆表面，加工后经度量发现有如图所示的形状误差：(a) 锥形；(b) 腰鼓形；(c) 鞍形。试分析产生上述各种形状误差的主要原因。



分析：加工误差因素是一个比较繁琐的地方，要分析加工误差的产生就要明白加工误差产生的来源，然后一步一步解答。

【题解】：对于 (a) ——

- 1) 导轨对主轴的回转轴线在水平面内的平行度误差 (由床头向后斜)；
- 2) 刀具磨损； 3) 误差复映。

对于图 (b) ——

1) 导轨在水平面内的直线度误差 (导轨前凸) 2) 工件的刚度差 ; 3) 误差

复映。

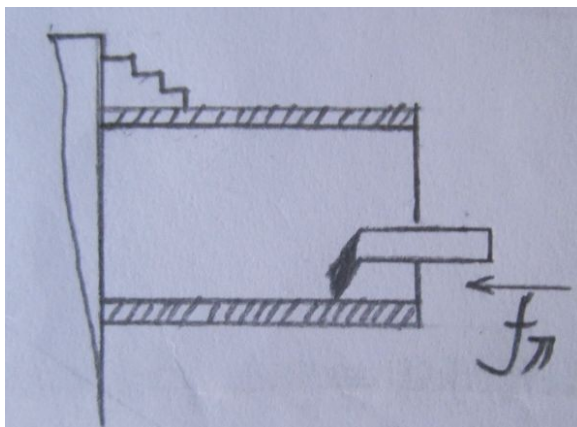
对于图 (c) ——

1) 导轨在水平面内的直线度误差 (导轨后凸) ; 2) 机床床头和尾座的刚度

较差 ; 3) 误差复映。

【例 4】 : 精车薄壁内孔 , 试分析加工后工件的尺寸、形状、位置误差的来

源有哪些 ?



分析 : 也是需要知道加工误差因素的来源 , 主要从原始误差进行分析。

【题解】 : (1) 产生孔径尺寸误差的主要原始误差项目有——

- 1) 车刀的尺寸调整误差 ;
- 2) 车刀与刀架的受力变形 ; (调整法加工一批工件时可不计此项)
- 3) 车刀的尺寸磨损 ; (单件小批加工小尺寸工件时可不计此项)
- 4) 工件的热变形 ;
- 5) 测量误差。

(2) 产生形状误差的主要原始误差项目有——

- 1) 工件的夹紧变形 ;
- 2) 工件的径向刚度不足受切削力作用变形 ;
- 3) 工件的热变形 ; (工件两端散热条件差异大时)

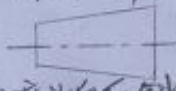
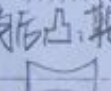
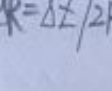
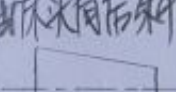
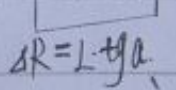
- 4) 加工前，内孔原有的圆度误差；
- 5) 机床主轴回转误差及机床导轨误差。

(3) 产生内孔与外圆同轴度误差的主要原始误差有——

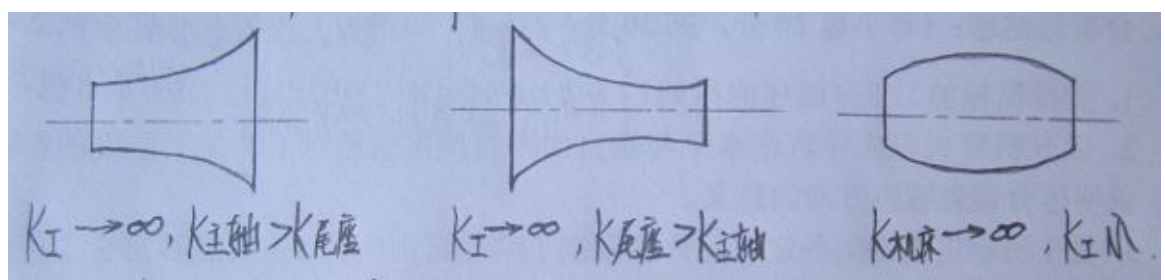
- 1) 三抓卡盘的制造与安装误差；
- 2) 加工前内孔与外圆的同轴度误差；
- 3) 机床主轴几何偏心；
- 4) 定位基准不重合误差。

【补充总结】：加工误差综合分析

(1) 机床导轨误差产生的加工误差——

机床	加工表面 或加工方式	导轨直线度误差		前后导轨的 平行度误差	导轨对主轴回转轴线误差	
		水平面内	垂直面内		水平面内	垂直面内
普通车床	纵车 内圆、 外圆	向前凸：鼓形 	双曲面体  (可忽略) $\Delta R = \Delta Z^2 / 2R$	双曲面体 $\Delta R = \frac{H}{b} \cdot \Delta Z$	箱体 由床头向前斜： 	双曲面体 (可忽略) $\Delta R = \sqrt{b^2 + \frac{x^2 b^2}{L^2}} \cdot r$
		向后凸：鞍形 	 $\Delta R = L \cdot \tan \alpha$		由床头向后斜： 	
		横车端面	平面度(中凹或中凸) 无	无	平面度(中凹或中凸)	端面与内/外圆不垂直

(2) 由工艺系统刚度引起的加工误差——

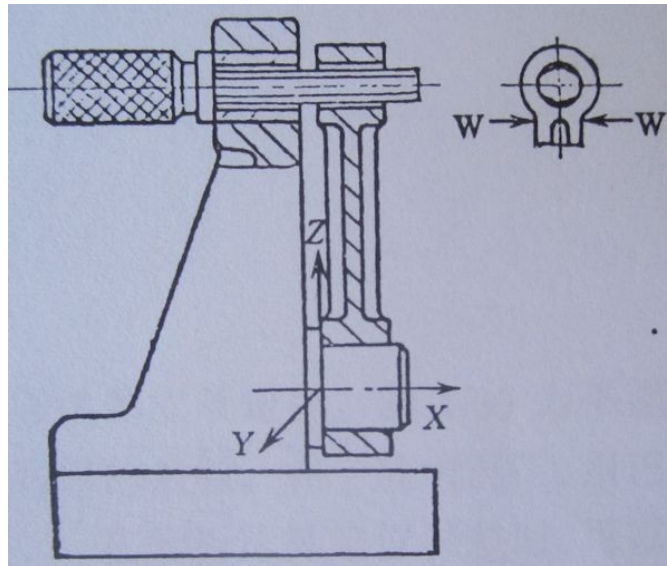


(3) 由工艺系统热变形引起的

(4) 刀具的磨损，万能的误差复映等。

说明：分析时一定要从原始误差影响因素开始的，这是主要，其次从别的方面再分析。

【例 5】：如图为连杆小端孔精镗工序的定位简图。选择大端孔及其端面和小端孔为定位基准，分别用带台肩定位销和可插拔的削边销定位。试分析各定位元件限制工件的自由度。



分析：由于是精镗小端孔，其位置精度由镗杆轴线保证，且小孔与大孔轴线的平行度较好。

【题解】：台肩定位销限制 x 、 y 、 z 的移动自由度和 y 、 z 的转动自由度，削边销配合限制 x 、 z 的转动自由度。由于镗小孔前，工件大小孔之间有很好的平行度，故不会由于表面上 y 转动自由度的过定位而产生干涉。

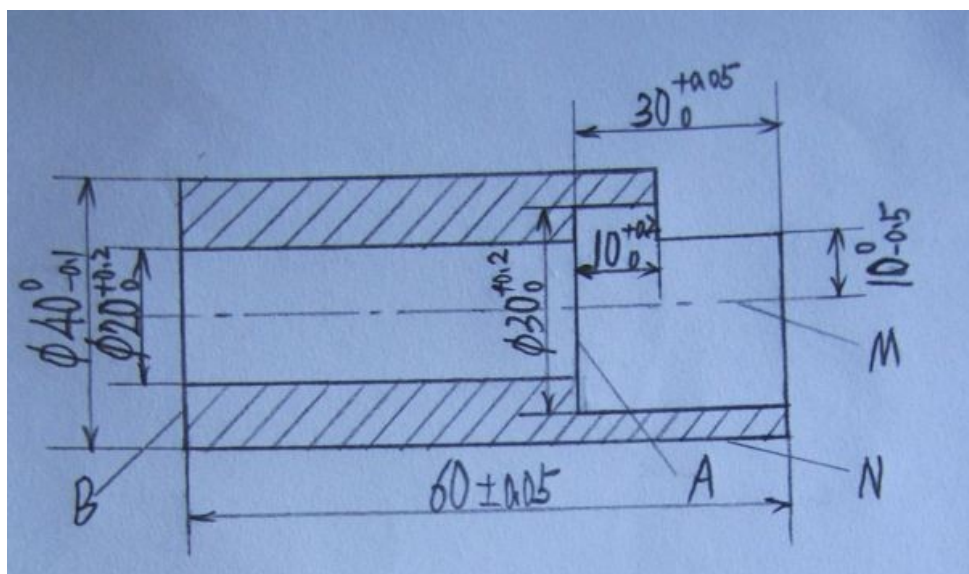
【例 6】：如图所示零件简图，其内、外圆均已加工完毕，外圆尺寸为 $90_{-0.1}^0$ mm，内孔尺寸为 $\phi 60_{+0.05}^0$ mm。现铣键槽，其深度要求为 $5_{+0.3}^0$ mm，该尺寸不便直接测量，为检验槽深是否合格，可直接测量哪些尺寸？试标出它们的尺寸及公差。

【题解】：可直接测量键槽底部至内孔上母线的尺寸。 设此尺寸为 L。则画出尺寸链如上图右，判断闭环、增环和减环如下——

闭环为 $5_{+0.3}^0$ ，增环为 $45_{-0.05}^0$ ，其余为减环。

具体解法略去。

【例 7】：如图所示的轴套类零件的外圆、内孔及端面均已加工，现铣缺口，求以 A 和 B 轴向定位基准，M 和 N 为径向定位基准时的工序尺寸。



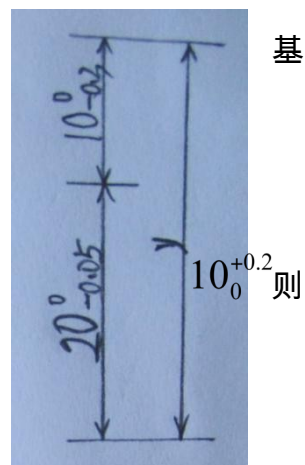
分析：要找出轴向和径向铣缺口时的设计基准，然后求解。

【题解】：根据加工要求及零件图知，轴向的设计

准是 A 面，而径向的设计基准是 M 轴线。

(1) 以 A 面定位时，定位基准与设计基准重合，

工序尺寸为 。



(2) 以 M 定位时，定位基准与设计基准重合，则工序尺寸为 $10^{+0.2}_{-0.5}$ 。

(3) 以 B 为轴向定位基准时，设工序尺寸为 x 做出尺寸链如下

闭环为 $10^{+0.2}_0$

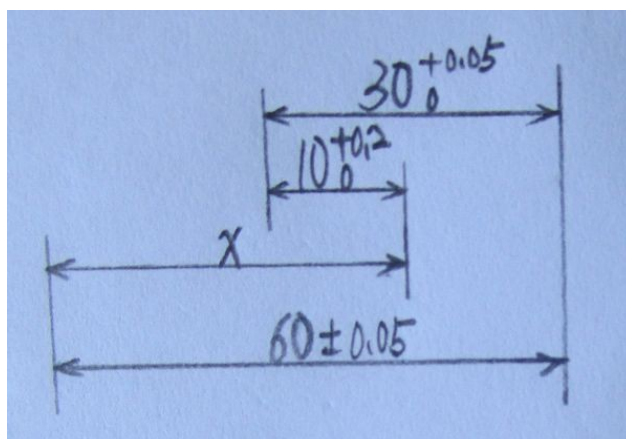
减环为 60 ± 0 其余为增环

(4) 以 N 为径向定位基准时，设工序尺寸为 y，做出尺寸链如下

闭环为 $10^{+0.2}_{-0.5}$

减环为 $20^{+0.05}_{-0.05}$

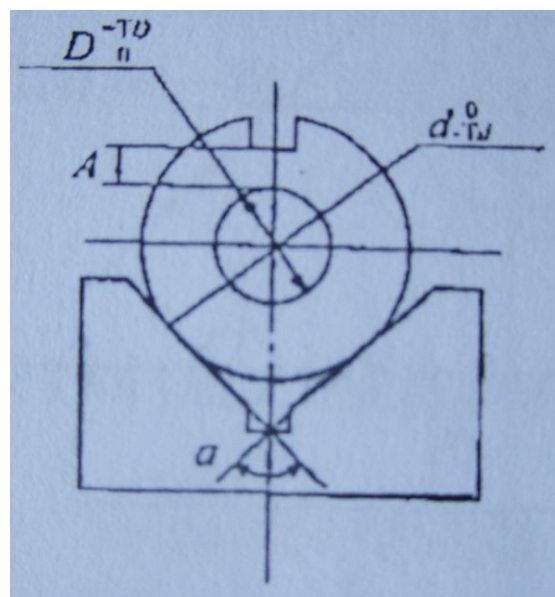
增环为 y



说明：此类型的题，当定位基准与设计基准不重合时，需用调整法加工，让设计基准与定位基准重合，确定工序尺寸。而在画出的尺寸链图中，以设计基准到加工面间的那个尺寸就是闭环。

【例 8】 工件定位如图所示。已知：工件外径为 D ，内孔直径为 d ，外径与内孔的同轴度为 $2e$ 。本工序加工键槽，要求保证尺寸 A 。试分析计算

(1) 该定位方案引起工序尺寸 A 的最大变化量是多少？(2) 采取什么定位方案可使工序尺寸 A 的变化量最小？



【题解】： 先计算定位误差

$$\frac{TD}{2} + 2e$$

$$\frac{Td}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

(1) $\Delta_{jb} =$ $\Delta_{jw} =$ 由于 Δ_{jb} 和 Δ_{jw} 无公共误差

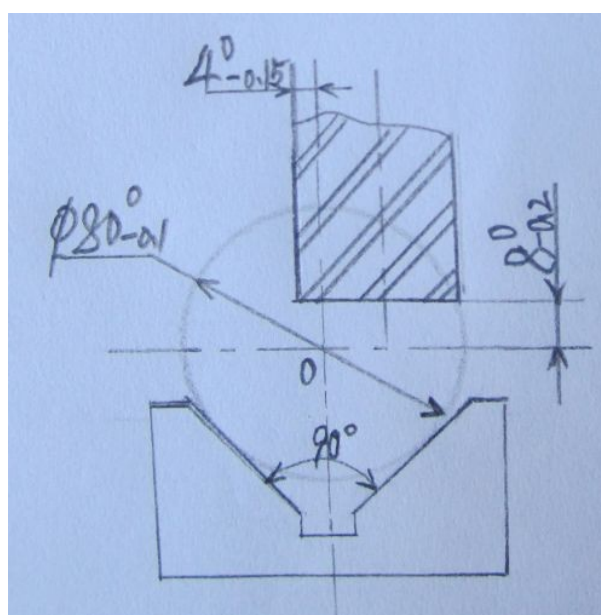
因素

$$\therefore \Delta_{dw} = \Delta_{jb} + \Delta_{jw}$$

(2) 若以 D 的上母线为定位基准，则定位基准与设计基准重合，此时 Δ_{jb} 为 0，所以可采取此方法。

说明：一般对于不满足加工精度的改进方法，都首先考虑将定位基准与设计基准重合。

【例 9】：在圆柱工件上铣缺口的定位如图所示，试分析该定位方案能否满足工序要求？若不能满足，提出改进方法。



【题解】：由图知径向设计基准为径向轴线，而定位基准为工件的轴线，

$$\frac{0.1}{2 \sin 45^\circ}$$

则——

$$\Delta j_b = 0 \quad \Delta j_w = \quad = 0.07$$

$$\therefore \Delta d_w = 0 + 0.07 = 0.07$$

$$\text{又} \because \quad 0.07 > \frac{1}{3} \times 0.2$$

$\therefore$ 该定位方案不满足定位要求

改进方法——可以增大 V 型块的顶角角度或者提高前加工工序的精度。

【例 10】：如图所示的套筒类工件以间隙配合心轴定位铣键槽时的简图。

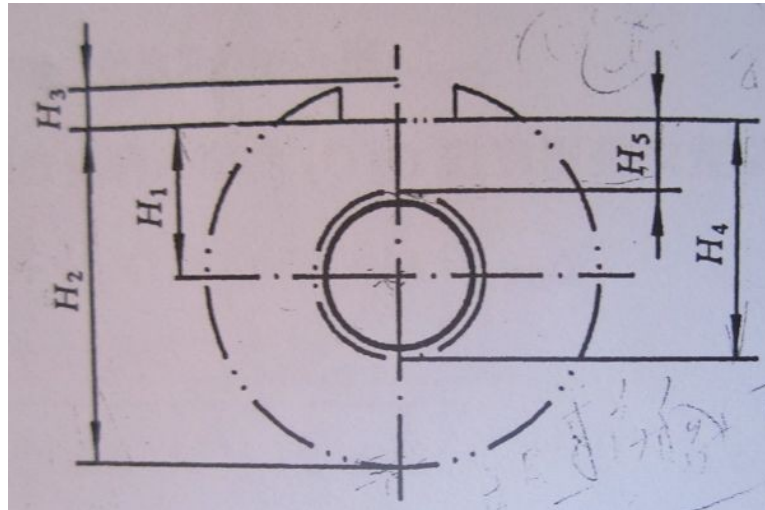
图中给出了键槽深度的五种标注方法。H₁的工序基准为工件内孔轴心线；H₂的

工序基准为工件外圆下母线；H₃的工序基准为工件外圆上母线；H₄的工序基准 $\frac{1}{2}(T_D + T_d)$

为工件内孔下母线；H₅的工序基准为工件上母线。此时，工件定位基准为内孔

轴心线，当心轴水平放置时，求这几种情况下的定位误差。已知心轴水平放置

时， $\Delta j_w =$



分析：工件以圆柱孔定位的误差计算分析。

【题解】：当心轴与内孔固定边接触——

$$\frac{1}{2}(T_D + T_d)$$

(1) 对工序尺寸 H_1 ，由于基准重合， Δ_{jb} 为零，所以 $\Delta_{dw_{H1}} = \Delta_{jw} =$

$$\frac{1}{2}T_{d1}$$

(2) 对工序尺寸 H_2 ， $\Delta_{jb} =$ ，由于在影响基准位移误差和基准不

重合误差的因素中，没有任何一个误差因素对两者同时产生影响， $\frac{1}{2}(T_D + T_d)$ 考虑到各误

$$\frac{1}{2}T_{d1}$$

差因素的独立变化，在计算定位误差是应将两者相加，即 $\Delta_{dw_{H2}} = \Delta_{jw} + \Delta_{jb} =$

(3) 对工序尺寸 H_3 ， $\Delta_{jb} =$ ，由于在影响基准位移误差和基准不

重合误差的因素中，也没有公共误差因素，因此在计算定位误差时，还应将两

$$\frac{1}{2}T_D$$

者相加，即 $\Delta_{dw_{H3}} = \Delta_{jw} + \Delta_{jb} =$

(4) 对工序 H_4 ， $\Delta_{jb} =$ ，由于误差因素 T_D 既影响基准位移误差

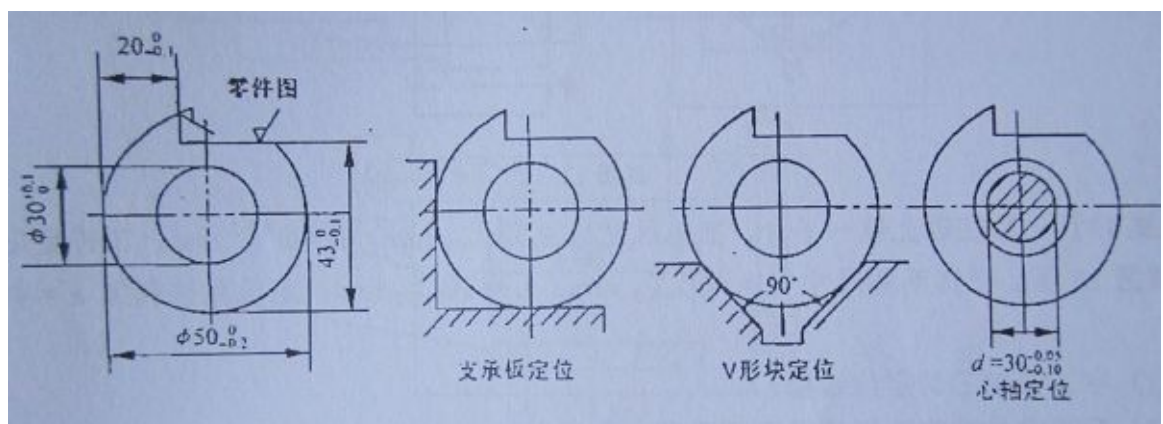
$$\frac{1}{2}(T_D + T_d) + \frac{1}{2}T_D$$

又影响基准不重合误差，在这种情况下应判定实际误差的作用方向。因为基准不重合误差和基准位移误差的变动引起工序尺寸在同方向变化，故定位误差为两项误差之和，即

$$\Delta dw_{H4} = \Delta jw + \Delta jb =$$

(5) 对于工序尺寸 H_5 ， $\Delta jb = \frac{1}{2}T_D$ ，内孔直径公差仍是影响基准位移误差和基准不重合误差的公共因素，由于基准位移误差与基准不重合误差引起工序尺寸做相反方向的变化，故定位误差为两项误差之差，即 $\Delta dw_{H5} = \Delta jw - \Delta jb =$

【例 11】：在如图所示的环形零件上铣一缺口，其尺寸要求见零件图。采用三种不同的定位方案。试分别计算它们的定位误差，并判断能否满足加工要求。



分析：考察平面，V 型块和心轴的定位误差计算。

【题解】：缺口在水平方向上的设计基准为外圆左边母线，垂直方向的设计基准为外圆下母线。

(1) 支承板定位——

$$43_{-0.1}^0$$

1) 对 $43_{-0.1}^0$ ，定位基准为外圆下母线，则

$$\Delta dw = \Delta jw + \Delta jb = 0 + 0 = 0$$

2) 对 $20_{-0.1}^0$ ，定位基准为外圆左边母线，则

$$\Delta dw = \Delta jw + \Delta jb = 0 + 0 = 0$$

(2) V 型块定位——

1) 对 $43_{-0.1}^0$ ，定位基准为内孔轴线，则

$$\Delta dw = \Delta jw - \Delta jb = \frac{0.2}{2 \sin 45^\circ} - \frac{0.2}{2} > \frac{1}{3} \times 0.1$$

2) 对 $20_{-0.1}^0$ ，定位基准为内孔轴线，则

$$\Delta dw = \Delta jw + \Delta jb = 0 + \frac{0.2}{2} = 0.1 > \frac{1}{3} \times 0.1$$

所以由上可知，当以此方式定位时，两个方向的精度都不能满足加工要求。

(3) 心轴定位——

$$43_{-0.1}^0$$

1) 心轴垂直放置任意边接触时, 对 $20_{-0.1}^0$ 和 $20_{-0.1}^0$, 定位基准为内孔轴线, 则

$$\Delta dw = \Delta jw + \Delta jb = (0.05 + 0.1 + 0.05) + \frac{1}{3} \times 0.1 = 0.3 > \frac{0.2}{2}$$

2) 心轴水平放置单边接触时, 两个方向定位基准都为内孔轴线, 则

$$\text{对 } 20_{-0.1}^0, \Delta dw = \Delta jw + \Delta jb = 0 + \frac{0.2}{2} = 0.1 > \frac{1}{3} \times 0.1$$

$$\text{对 } 43_{-0.1}^0, \Delta dw = \Delta jw + \Delta jb = \left(\frac{0.05}{2} + \frac{0.1}{2} \right) + \frac{0.2}{2} = 0.75 > \frac{1}{3} \times 0.1$$

所以由上可知, 当以此定位方式定位时, 两个方向的精度都不能满足加工要求。