

典型习题和解答

第一章 机械加工工艺规程的制定

例 1.1 图 1-1 所示为定位螺钉的零件图, 毛坯为 $\phi 30\text{mm}$ 的 45 钢棒料, 其小批生产的工艺过程见表 1-1。试在表中简要说明划分工序、安装、工步、工位、走刀的理由。

表 1-1 定位螺钉的工艺过程

工序号	工序内容, 安装, 工位, 工步	所用设备	划分的理由
1	下料	锯床	
2	车 (安装一次) (1) 车小端端面 (2) 车 $\phi 25.4$ 外圆 (3) 车小端外圆 $\phi 18 \times 49.8$ (4) 车 M12 外圆。保持长度 38 (5) 车外圆 $\phi 16_{-0.027}^{+0.027} \times 12$ (包括两次走刀) (6) 倒角 $1 \times 45^\circ$ (7) 车螺纹 M12—6g (8) 切断	普通车床	设备改变 加工面或刀具改变 其中 n、f 不变
3	车 (调头安装一次) (1) 车大端端面 (2) 倒角 30°	在同一台车床上	相同的设备, 但整批零件不连续加工。
4	铣六角头 (安装一次) (用两把铣刀和分度头分三个工位进行加工)	卧式铣床	每次加工两对边后, 工件需转过 60°
5	钳工去毛刺	钳台	工作地点改变
6	发黑	热处理	
7	检验		

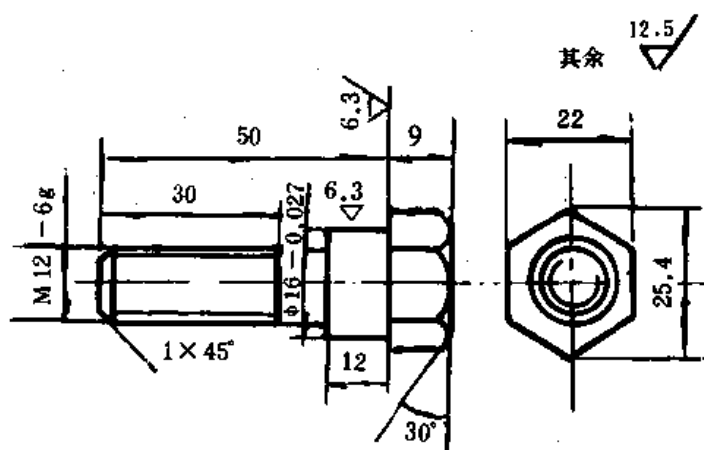


图 1-1

例 1.2 在成批生产条件下，加工图 1-2 所示之齿轮，毛坯为 45 钢模锻件，试按表 1-2 的加工顺序用数码区分工序（1、2、3、……），安装（一、二），工位（I、II），及工步（（1）、（2）、（3）、……）。

表 1-2		齿轮的加工顺序			
顺 序	加 工 内 容	工 序	安 装	工 位	工 步
1	在立钻上钻 $\phi 19.2$ 孔（即 $\phi 20$ 处）	1	—		（1）
2	在同一立钻上铣端面 A				（2）
3	在同一立钻上倒角 $2 \times 45^\circ$				（3）
4	调头，在同一立钻上倒角 $2 \times 45^\circ$		二		
5	在拉床上拉 $\phi 20^{+0.022}_0$ 孔	2			
6	在插床上插一键槽	3		I	
7	在同一插床上插另一键槽（夹具回转 120° ）			II	
8	在多刀车床上粗车外圆，台肩，端面 B	4			复合
9	在普通车床上精车 $\phi 84_{-0.14}^0$	5			（1）
10	在同一车床上精车端面 B				（2）
11	在滚齿机上滚齿 （1） $v=25\text{m/min}$ $a_p=4.5\text{mm}$ ， $f=1.0\text{mm/r}$ （2） $v=35\text{m/min}$ ， $a_p=2.2\text{mm}$ ， $f=0.5\text{mm/r}$	6			（1）
					（2）
12	在钳工台上去毛刺	7			
13	检验	8			

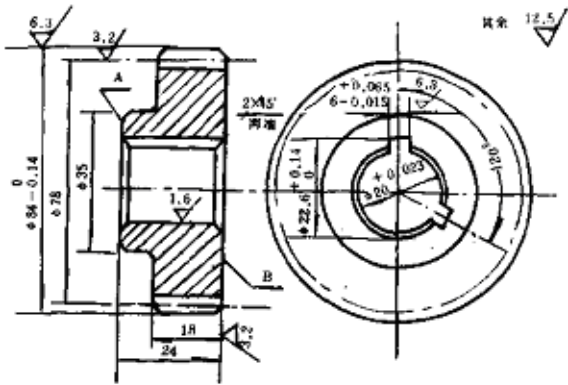


图 1-2

〔例 1.3〕试举例说明下列各组的概念、特点以及它们之间的区别：(1)零件尺寸链、工艺过程尺寸链，工艺系统尺寸链，装配尺寸链；(2)封闭环，组成环，增环，减环。

〔解〕(1) 零件尺寸链：由单个零件上的若干尺寸联系构成的封闭尺寸组合，称为“零件尺寸链”。零件设计时往往选最不重要的环作为封闭环。

工艺过程尺寸链：零件按一定顺序安排下的各个加工工序（包括检验工序）中，先后获得的各工序尺寸所构成的封闭尺寸组合，称为“工艺过程尺寸链”。其封闭环往往是零件设计

图上某一设计尺寸。

工艺系统尺寸链：在零件生产过程中某工序的工艺系统内，由工件、刀具、夹具、机床及加工误差等有关尺寸所形成的封闭尺寸组合，称为“工艺系统尺寸链”。其封闭环一般是工件的工序加工要求。

装配尺寸链：在机器设计或装配过程中，由机器或部件内若干相关零件构成相互联系的封闭尺寸组合，称为“装配尺寸链”。其封闭环往往是装配的技术要求。

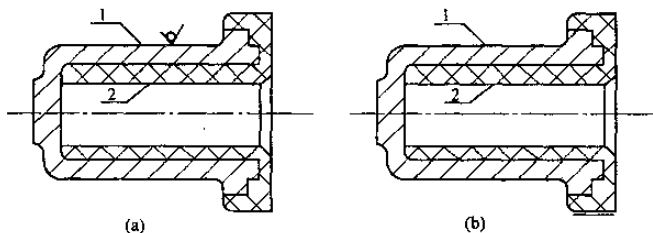
(2) 封闭环：在零件加工或机器装配过程中，最后自然形成（即间接获得或间接保证）的尺寸。因此，一个尺寸链中只有一个封闭环。

组成环：一个尺寸链中，除了封闭环以外的其他各环，都是“组成环”。它们是在加工或装配过程中直接得到的尺寸。

增环：在尺寸链中，当其余组成环不变的情况下，将某一组成环增大，封闭环也随之增大，该组成环即称为“增环”。

减环：在尺寸链中，当其余组成环不变的情况下，将某一组成环增大，封闭环却随之减小，该组成环即称为“减环”。

【例 1.4】 如例图 1.4 所示的毛坯，在铸造时内孔 2 与外圆 1 有偏心。如果要求获得：(1) 与外圆有较高同轴度的内孔，应如何选择粗基准？(2) 内孔 2 的加工余量均匀，应如何选择粗基准？

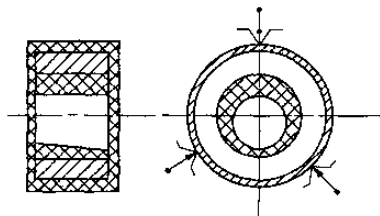


例图 1.4

【解】 (1) 用不需加工的外圆 1 作粗基准(用三爪卡盘夹持外圆 1)加工内孔 2，此时虽然加工余量不均匀，但内孔与外圆同轴度较高，壁厚均匀、与外形对称(见例图(a))。

(2) 如果要求内孔的加工余量均匀，可用四爪卡盘夹住外圆 1，然后按内孔 2 找正。此时，加工余量均匀，但加工后的内孔与外圆不同轴，壁厚不均匀(见例图(b))。

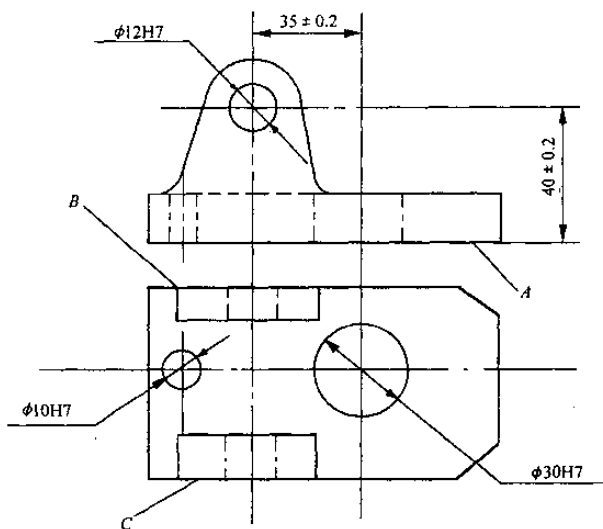
【例 1.5】 例图 1.5 所示为一锻造或铸造的轴套，通常是孔的加工余量较大，外圆的加工余量较小。试选择粗、精基准。



例图 1.5

孔为精基准加工外圆，保证工件表面不会在加工过程中留下毛坯表面而造成废品。

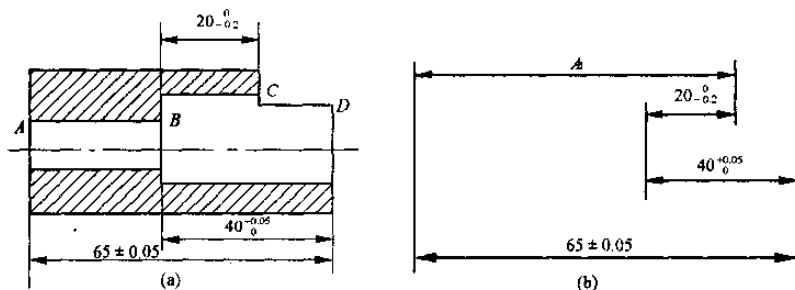
【例 1.6】 例图 1.6 所示零件的 A、B、C 面， $\phi 10H7$ mm 及 $\phi 30H7$ mm 孔均已加工。试分析加工 $\phi 10H7$ mm 孔时，选用哪些表面定位最合理？为什么？



例图 1.6

【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。选 $\phi 30H7$ 孔和 A 面可以符合基准重合原则。

【例 1.7】 例图 1.7 所示轴套工件，在车床上已加工好外圆、内孔及各表面，现需在铣床上以端面 A 定位铣出表面 C，保证尺寸 $20_{-0.2}^0$ mm，试计算铣此缺口时的工序尺寸。



例图 1.7

【解】 表面 C 的位置尺寸是由表面 B 标注的。表面 B 为表面 C 的设计基准。铣缺口的定位基准为 A 面，故设计基准与定位基准不重合，需进行工艺尺寸换算。工序尺寸应由 A 面标出。由有关尺寸所组成的尺寸链如例图 1.7 (b)所示。

在加工中尺寸 $20_{-0.2}^0$ 是间接得到的，故为封闭环。 A_1 、 $40_{-0.05}^{+0.05}$ 为增环， 65 ± 0.05 为减环。 A_1 可以通过下列步骤求出

$$20 = A_1 + 40 - 65$$

$$A_1 = 45$$

$$0 = ES_1 + 0.05 - (-0.05)$$

$$ES_1 = -0.1$$

$$-0.2 = EI_1 + 0 - 0.05$$

$$EI_1 \approx -0.15$$

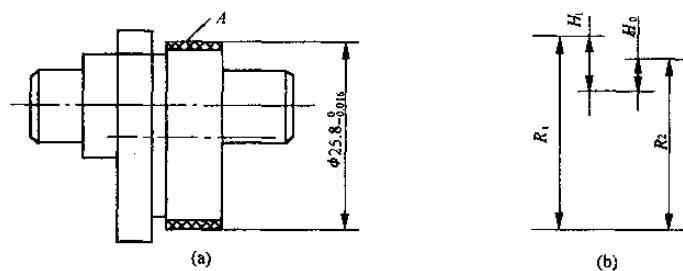
校核： $0.2 = 0.05 + 0.05 + 0.1$ ，封闭环公差等于组成环公差之和。

工序尺寸

$$A_1 = 44.9_{-0.05}^0 \text{ mm}$$

【例 1.8】 在例图 1.8 (a) 中所示的偏心零件中, 表面 A 要求渗碳处理, 渗碳层深度规定为 $0.5 \sim 0.8 \text{ mm}$, 零件上与此有关的加工过程如下:

- (1) 精车 A 面, 保证尺寸 $\phi 26.2_{-0.1}^0 \text{ mm}$;
 - (2) 渗碳处理, 控制渗碳层深度为 H_1 ;
 - (3) 精磨 A 面, 保证尺寸 $\phi 25.8_{-0.015}^0 \text{ mm}$; 同时保证渗碳层深度达到规定的要求。
- 试确定 H_1 的数值。



例图 1.8

【解】 根据工艺过程, 可以建立与加工过程有关的尺寸链如例图 1.8 (b) 所示。在尺寸链中, $R_1 = 13.1_{-0.05}^0 \text{ mm}$, $R_2 = 12.9_{-0.008}^0 \text{ mm}$, $H_0 = 0.5_{+0}^{+0.3} \text{ mm}$ 。其中 H_0 为经过磨削加工后, 零件上渗碳层的深度, 是间接获得的尺寸, 因而是尺寸链的封闭环。根据尺寸链计算公式有

$$H_0 = R_2 + H_1 - R_1$$

将数值代入, 得

$$H_1 = 0.7$$

$$0.3 = 0 + ESH_1 - (-0.05)$$

$$ESH_1 = 0.25$$

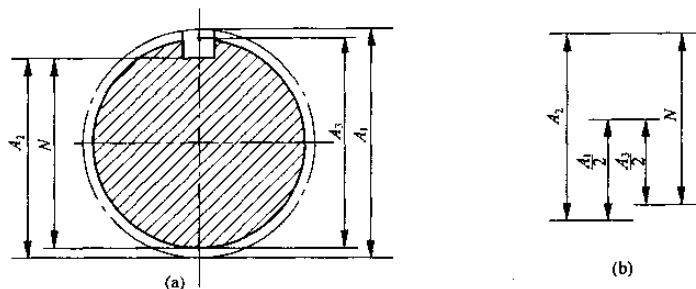
$$0 = -0.008 + EIH_1 - 0$$

$$EIH_1 = 0.008$$

$$H_1 = 0.7_{+0.008}^{+0.25} \text{ mm}$$

【例 1.9】 要求在轴上铣一个键槽, 如例图 1.9 所示。加工顺序为车削外圆 $A_1 = \phi 70.5_{-0.1}^0 \text{ mm}$; 铣键槽尺寸为 A_2 ; 磨外圆 $A_3 = \phi 70_{-0.06}^0 \text{ mm}$, 要求磨外圆后保证键槽尺寸为 $N = 62_{-0.3}^0 \text{ mm}$, 求键槽尺寸 A_2 。

【解】 首先画出尺寸链如例图 1.9 (b) 所示。在加工过程中, 键槽尺寸 N 为封闭环,



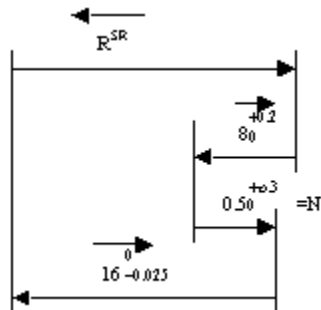
例图 1.9

A_2 和 $\frac{A_3}{2}$ 为增环, $\frac{A_1}{2}$ 为减环。由计算可得

$$A_2 = 62.25_{-0.27}^{+0.05} \text{ mm} = 62.5_{-0.52}^{+0.3} \text{ mm}$$

〔例 1.10〕设某一零件图上规定的外圆直径为 $\Phi 32_{-0.05}^0$ mm，渗碳深度为 0.5~0.8 mm。现为了使此零件可和另一种零件同炉进行渗碳，限定其工艺渗碳层深度为 0.8~1.0 mm。试计算渗碳前车削工序的直径尺寸及其上、下偏差？

〔解〕渗碳深度是间接保证的尺寸，应为封闭环。并作出尺寸链计算图。



车削外圆的半径及公差 $R^{\delta R}$ 为组成环之一。

求 $R^{\delta R}$: $0.8 = 1 + 16 - R_{\min}$, $R_{\min} = 16.2\text{mm}$

$0.5 = 0.8 + 15.975 - R_{\max}$, $R_{\max} = 16.275\text{mm}$

故车削工序的直径尺寸及公差应标注为 $\Phi 32.55_{-0.15}^0$ mm。

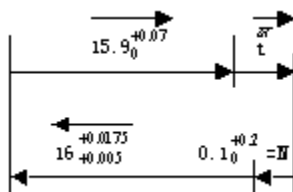
〔例 1.11〕设一零件，材料为 2Cr13，其内孔的加工顺序如下：

(1) 车内孔 $\Phi 31.8_{+0}^{+0.14}$ (2) 氰化，要求工艺氧化层深度为磨内孔 $\Phi 32_{+0.010}^{+0.035}$ ，要求

保证氧化层深度为 0.1~0.3mm, 试求氰化工序的工艺氧化层深度 $t^{\delta T}$ ？

〔解〕按加工顺序画出形成氰化层深度 0.1~0.3mm 的尺寸链计算图。

图中 0.1~0.3 mm 是最后形成的尺寸应为封闭环。



计算 $t^{\delta T}$: $0.3 = t_{\max} + 15.97 - 16.005$

$\begin{cases} 0.1 = t_{\min} + 15.9 - 16.0175 \end{cases}$

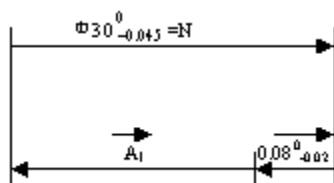
得 $\begin{cases} t_{\max} = 0.335\text{mm} \\ t_{\min} = 0.2175\text{mm} \end{cases}$

故氰化工序的工艺氰化层深度 $t^{\delta T} = 0.2175_{+0}^{+0.1175}$ mm。

〔例 1.12〕某小轴系成批生产，工艺过程为车、粗磨、精磨、镀铬。所得尺寸应为 $\Phi 30$

$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.045 \end{smallmatrix}$ mm，镀层厚度为 0.03~0.04mm。试求镀铬前精磨小轴的外径尺寸及公差。

[解] 列尺寸链如图示，镀铬后外径尺寸 $\Phi 30 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.045 \end{smallmatrix}$ mm 为封闭环

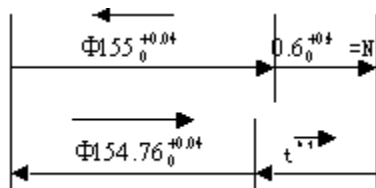


$$\begin{cases} 30 = A_{1\max} + 0.08 \\ 30 - 0.045 = A_{1\min} + 0.08 - 0.02 \end{cases} \quad \text{得} \quad \begin{cases} A_{1\max} = 29.92 \text{ mm} \\ A_{1\min} = 28.895 \text{ mm} \end{cases}$$

所以镀铬前精磨小轴的外径尺寸及公差大小为 $A_1 = \Phi 29.92 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.025 \end{smallmatrix}$ mm

(例 1.13) 某轴套的部分工艺过程为：粗磨内孔到 $\Phi 154.76 \begin{smallmatrix} +0.04 \\ 0 \end{smallmatrix}$ mm，再渗氮，最后精磨内孔至 $\Phi 155 \begin{smallmatrix} +0.04 \\ 0 \end{smallmatrix}$ mm，单边渗氮层深度要求为 0.3~0.5mm，试计算渗氮工序的渗入深度。

[解] 列尺寸链如图，应保证的渗碳层深度为封闭环 0.6—1.0mm（双边）。



解尺寸链

$$\begin{cases} 1.0 = 154.76 + 0.04 + t_{\max} - 155 \\ 0.6 = 154.76 + t_{\min} - (155 + 0.04) \end{cases}$$

得

$$\begin{cases} t_{\max} = 1.2 \text{ mm} \\ t_{\min} = 0.88 \text{ mm} \end{cases}$$

所以渗碳工序的渗入深度 $\frac{t}{2} = 0.44 \text{—} 0.6 \text{ mm}$ 。

(例 1.14) 选择题

1. 在机械加工中直接改变工件的形状，尺寸和表面性能使之变成所需零件的过程称为 (D) 。

A 生产过程；B 工艺过程；C 工艺规程；D 机械加工工艺过程。

2. 编制零件机械加工工艺规程，编制生产计划和进行成本核算最基本的单元是 (C) 。

A 工步；B 工位；C 工序；D 安装

3. 工艺规程对指导生产，组织生产的作用很大。工艺文件的形式主要决定于生产类型，试指出下列各种生产类型大多采用哪种形式的工艺文件

(1) 单件小批生产 (A)；(2) 成批生产 (C)；(3) 大批大量生产 (B)

A 工艺过程卡；B 机械加工工序卡；C 机械加工工艺卡。

4. 确定毛坯种类及制造方法时，应综合考虑各种因素的影响，合理选用时主要应使 (D)。

A 毛坯的形状与尺寸尽可能接近成品的形状与尺寸，因而减少加工工时，减少材料损耗并节省加工成本；B 毛坯制造方便，以节省毛坯成本；C 加工后零件的物理机械性能好；D 零件的总成本低，且物理机械性能好。

5. 为改善机器和零件的结构工艺性，应在满足机器工作性能的前提下能采用优质、高产低成本的方法制造，因此综合评定工艺性的要求是 (C, D)

A 便于达到零件图上规定的加工要求；B 有利于减少加工、装配的劳动量；C 注意使机器和零件的结构与生产规模、生产条件相适应；D 注意全面评价毛坯、加工、装配和维修的整个工艺过程。

6. 零件在加工过程中使用的基准叫做 (B, D)

A 设计基准；B 工艺基准；C 装配基准；D 定位基准。

7. 自为基准是以加工面本身为精基准，多用于精加工或光整加工工序，这是由于 (C)

A 符合基准重合原则；B 符合基准统一原则；C 保证加工面的余量小而均匀；D 保证加工面的形状和位置精度。

8. 轴类零件定位用的顶尖孔是属于 (A, C)：

A 精基准；B 粗基准；C 辅助基准；D 自为基准。

第2章 机械加工质量

1. 一批工件加工误差的性质分为哪几类?试举例说明它们的概念以及它们之间的区别?

〔解〕加工一批工件时,根据误差出现的规律,加工误差的性质可分为两大类:

(1) 系统性误差:依次加工一批工件时,加工误差的大小和方向基本上保持不变或误差随着加工时间,按一定的规律变化的。前者称常值系统性误差,后者称变值系统性误差。

(2) 随机性误差:误差出现的大小或方向作不规则地变化的。

例如机床、刀具未达热平衡时的热变形是随加工时间有规律地变化的,故属于变值系统性误差。工艺系统达热平衡后的热变形所引起的加工误差,一般可看作常值系统性误差,但由于加工余量、材料性质等因素使实际上输入的热量和散热条件都有微小的波动,当加工精度要求很高时,这种波动是不能忽略的,其影响常有随机性。

2. 何谓误差敏感方向与误差不敏感方向?试举例说明不同方向的原始误差对加工误差影响程度有何不同?

〔解〕对加工精度影响最大的方向(即通过刀刃的加工表面的法向)称为误差的敏感方向。对加工精度影响最小的方向(即通过刀刃的加工表面的切向)称为误差的不敏感方向。教材中以车削为例分析了由于各种原始误差的影响产生刀尖位移,从而引起加工后工件半径的误差 $\Delta R \approx \delta \cos \varphi + \frac{\delta^2}{2R_0}$ 。式中 δ 为原始误差; φ 为原始误差与加工表面法向的夹角。

3. 在外圆磨床上加工(图 3-1),当 $n_1 = 2n_2$, 或 $n_1 = n_2$ 时,若只考虑主轴回转误差的影响,试分析在图中给定的两种情况下,磨削后工件的外圆应是什么形状?为什么?

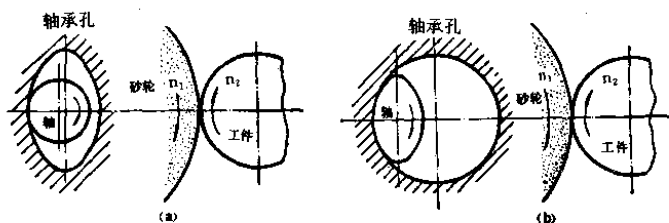


图 3-1

〔解〕图 3-1 (a), 由于主轴(砂轮轴)轴颈是圆的,加工后的工件形状必然也是圆的。

磨外圆时,工件对砂轮的径向压力方向是一定的,总是把砂轮轴颈推向主轴轴承固定的承载区上。主轴运转中是轴颈圆周上的各点与轴承上的固定承载区连续接触。因此,主轴的径向跳动只取决于轴颈的圆度,与轴承的圆度无关。

图 3-1 (b), 由于砂轮轴颈不圆,必然引起主轴的径向跳动,加工后的工件产生圆度误差,其形状与主轴相对于工件的转速有关。

当 $n_1 = 2n_2$ 时,由于砂轮主轴转速快,主轴径跳的频率高,且直接反映到被加工工件的外圆,加工后的工件形状为多角形(图 3-1-1)。

若 $n_1 = n_2$ 时,加工后工件的形状类似主轴颈的椭圆形。

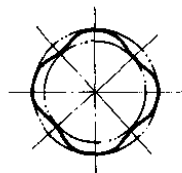
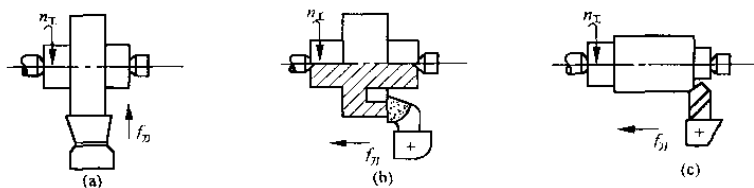


图 3-1-1

4. 假设工件的刚度极大,且车床头、尾座刚度 $K_A > K_B$, 试分析如例图 3.4 所示的三种加工情况,加工后工件表面会产生何种形状误差?

〔解〕由于工件刚度很大,故工艺系统的变形主要由头架、尾座和刀架刚度引起。

例图(a)中, $K_A > K_B$, 故加工表面呈左小右大的锥形,存在圆柱度误差;



例图 3.4

例图(b)中, 工件端面的形状根据工件在切削力作用下的偏转和刀架偏转的相对角度变化而不同, 或形成内凹端面, 或形成外凸端面, 亦或没有平面度误差;

例图(c)情况下, 工件的偏转角随刀具所在位置不同而不同, 由此造成工件加工后的圆柱度误差, 形成鞍形。

5. 在车床上加工园盘件的端面时, 有时会出现圆锥面(中凸或中凹)或端面凸轮似的形状(如螺旋面), 试从机床几何误差的影响分析造成图 3—2 所示的端面几何形状误差的原因是什么?

〔解〕产生图 3-2 (a), 端面中凸或中凹的主要原因是横进给刀架导轨与主轴回转轴线不垂直, 或横导轨在水平面的不直度引起的。

产生图 3-2 (b), 端面凸轮状的主要原因是主轴的轴向窜动, 或横导轨在水平面的不直度。

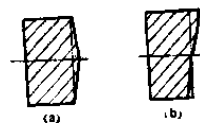


图 3-2

6. 何谓加工原理误差?由于近似加工方法都将产生加工原理误差, 因而都不是完善的加工方法, 这种说法对吗?

〔解〕在某些情况下, 采用近似加工方法(近似的传动方式或近似形状的刀具), 可使机床结构简化, 刀具数量减少, 加工简便且易实现, 对保证零件的加工质量, 提高劳动生产率, 降低零件的加工成本是有利的。若采用理论上要求的精确的加工原理, 需要设计结构复杂的机床和刀具。由于传动链的累积误差及复杂刀具的制造误差, 可能反而比近似加工的原理误差更大。因此不能认为, 一旦有原理误差就不是一种完善的加工方法, 而要看其对加工精度实际影响的程度, 当包含原理误差在内的总加工误差在规定的公差范围内就可以了。

7. 为什么机床部件的加载和卸载过程的静刚度曲线既不重合, 又不封闭. 且机床部件的刚度值远比其按实体估计的要小得多?

〔解〕(1) 图中的刚度特性是曲线而不是直线, 说明变形不单纯是弹性变形, 卸载曲线不回原点(不封闭)说明有剩余变形。

加载、卸载过程的变形都要消耗摩擦功, 因此加载、卸载曲线不重合, 两者所包围的面积为消耗的摩擦功和塑性变形所消耗的能量。

(2) 机床部件(如刀架)的刚度若按实体外形尺寸来估计一般是很大的, 实际上部件是由许多零件组成, 部件受力后零件间首先要消除间隙, 然后零件结合面间要产生接触变形, 部件中间刚度最薄弱的零件本身也产生较大的变形。以上三种变形都叠加反映到部件变形上, 部件变形显得较大, 因而部件刚度就比我们想象的要小得多了。

8. 镗孔公差为 0.1mm , 该工序精度的均方差 $\sigma = 0.025\text{mm}$. 已知不能修复的废品率为 0.5% , 试求产品的合格率为多少?

〔解〕已知大于孔的最大尺寸（不可修复）的废品率为 0.5%。（图 3-0-10）

则 $Q_1 = 0.5 - 0.5\% = 49.5\%$ ，查表可知 $Z_1 = 2.6$ 。

求中心偏移值 Δ_0 。 $\therefore Z_1 = \frac{T/2 + \Delta_0}{\sigma}$

$\therefore \Delta_0 = Z_1 \sigma - \frac{T}{2} = 2.6 \times 0.026 - \frac{0.1}{2} = 0.015 \text{ (mm)}$

又 $\therefore Z_2 = \frac{T/2 - \Delta_0}{\sigma} = \frac{0.1/2 - 0.015}{0.025} = 1.4$ 。查表 Q_2 (1.4) = 0.4192；

产品合格率为 $Q_1 + Q_2 = 49.5\% + 41.92\% = 91.42\%$

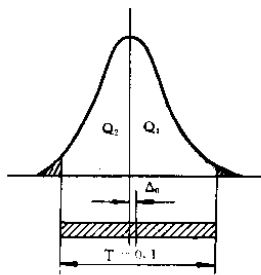


图 3—0—10

9. 为什么机器上许多静止连接的接触表面（如车床床头箱与床身接合面，过盈配合的轴与孔表面等），往往都要求较小的表面粗糙度，而有相对运动的表面又不能对粗糙度要求过小（ $0.1 \sim 0.012$ ）？

〔解〕由于静止连接的接触表面的粗糙度影响接触刚度及配合性质，因此接触表面要求有较小的表面粗糙度。

对有相对运动的表面，当表面很光滑时，由于润滑油被挤出，表面间分子亲和力大，产生“咬焊”作用。表面间产生相对运动会加剧磨损，所以磨损不但有机械作用，而且有分子作用。因此有相对运动的表面对粗糙度不能要求过小。因而零件表面粗糙度存在一个最佳范围，它取决于使用要求，工作条件及零件材料等。

10. 为什么有色金属用磨削加工得不到小粗糙度？通常为获得小粗糙度的加工表面应采用哪些加工方法？若需要磨削有色金属，为减小表面粗糙度应采取什么措施？

〔解〕由于有色金属材料塑性大，导热好，故磨削时工件表面层的塑性变形大，温升高，且磨屑易堵塞砂轮，因此加工表面经常磨不光。

通常采用高速精车或金钢镗的方法来加工小粗糙度的有色金属零件。

若需要磨削有色金属，可利用合金元素使有色金属的韧性下降，以减小磨削表面的粗糙度。

11. 在两台相同的自动车床上加工一批小轴的外圆，要求保证直径 $\phi 11 \pm 0.02 \text{ mm}$ 。第一台加工 1000 件，其直径尺寸按正态分布，平均值 $\bar{x}_1 = 11.005 \text{ mm}$ ，均方差 $\sigma_1 = 0.004 \text{ mm}$ 。第二台加工 500 件，其直径尺寸也按正态分布，且 $\bar{x}_2 = 11.015 \text{ mm}$ ， $\sigma_2 = 0.0025 \text{ mm}$ 。试求：

（1）在同一图上画出两台机床加工的两批工件的尺寸分布图，并指出哪台机床的精度高？

（2）计算并比较哪台机床的废品率高，并分析其产生的原因及提出改进的办法。

〔解〕 两台机床加工的两批小轴，其加工直径的分布曲线如例图 3.8 所示。

（1）第一台机床的精度

$$6\sigma_1 = 6 \times 0.004 = 0.024 \text{ mm}$$

第二台机床的精度

$$6\sigma_2 = 6 \times 0.0025 = 0.015 \text{ mm}$$

所以， $6\sigma_2 < 6\sigma_1$ ，故第二台机床的精度高。

（2）第一台机床加工的小轴，其直径全部落在公差带内，故无废品。

第二台机床加工的小轴，有部分小轴的直径落在公差带外，成为可修复废品。

$$A\left(\frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_2}\right) = A\left(\frac{11.005 - 11.015}{0.0025}\right) = A(2)$$

$$A(2) = 0.9542$$

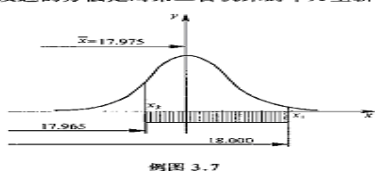
$$0.5 - 0.9542 \div 2 = 2.28\%$$

查表 3.1 可得

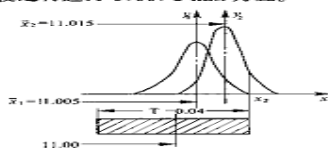
废品率为

从例图 3.8 可见，第二台机床产生废品的主要原因是刀具调整不当，使一批工件尺寸分布中心偏大于公差带中心，从而产生可修复废品。

改进的办法是对第二台机床的车刀重新调整，使之再进刀 0.0075 mm 为宜。



例图 3.7



例图 3.8

11. 在两台相同的自动车床上加工一批小轴的外圆，要求保证直径 $\phi 11 \pm 0.02 \text{ mm}$ 。第一台加工 1 000 件，其直径尺寸按正态分布，平均值 $\bar{x}_1 = 11.005 \text{ mm}$ ，均方差 $\sigma_1 = 0.004 \text{ mm}$ 。第二台加工 500 件，其直径尺寸也按正态分布，且 $\bar{x}_2 = 11.015 \text{ mm}$ ， $\sigma_2 = 0.0025 \text{ mm}$ 。试求：

(1) 在同一图上画出两台机床加工的两批工件的尺寸分布图，并指出哪台机床的精度高？

(2) 计算并比较哪台机床的废品率高，并分析其产生的原因及提出改进的办法。

【解】 两台机床加工的两批小轴，其加工直径的分布曲线如例图 3.8 所示。

(1) 第一台机床的精度

$$6\sigma_1 = 6 \times 0.004 = 0.024 \text{ mm}$$

第二台机床的精度

$$6\sigma_2 = 6 \times 0.0025 = 0.015 \text{ mm}$$

所以， $6\sigma_2 < 6\sigma_1$ ，故第二台机床的精度高。

(2) 第一台机床加工的小轴，其直径全部落在公差带内，故无废品。

第二台机床加工的小轴，有部分小轴的直径落在公差带外，成为可修复废品。

$$A\left(\frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_2}{\sigma_2}\right) = A\left(\frac{11.02 - 11.015}{0.0025}\right) = A(2)$$

查表 3.1 可得

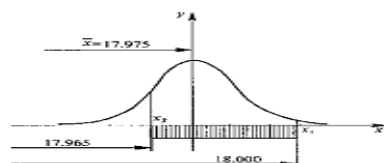
$$A(2) = 0.9542$$

废品率为

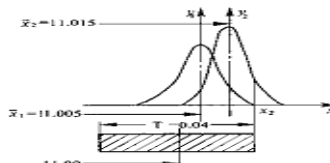
$$0.5 - 0.9542 \div 2 = 2.28\%$$

从例图 3.8 可见，第二台机床产生废品的主要原因刀具调整不当，使一批工件尺寸分布中心偏大于公差带中心，从而产生可修复废品。

改进的办法是对第二台机床的车刀重新调整，使之再进刀 0.0075 mm 为宜。

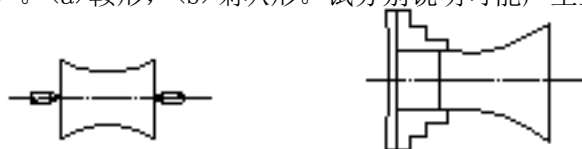


例图 3.7



例图 3.8

12. 在车床上加工一批光轴的外圆，加工后经度量若整批工件发现在下列几何形状误差（图示）。<a>鞍形，喇叭形。试分别说明可能产生上述误差的各种因素？

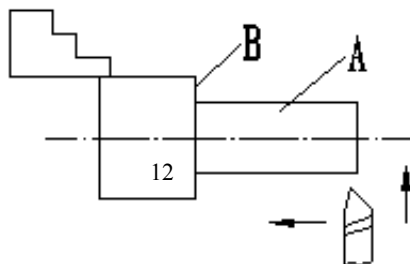


解：对图 (a)：产生鞍形误差的原因：(1) 机床纵导轨在水平面内不直；

(2) 导轨扭曲或机床两顶尖与纵导轨在垂直面内不平行；(3) 加工粗而短工件时，由于机床刚度沿床身纵向不一致；(4) 加工长轴时，开始因刀具热伸长，使加工直径减小，热平衡后，又因刀具磨损使加工直径增大。

对图 (b)：产生喇叭形误差的原因：(1) 机床导轨在水平面不直；(2) 悬臂加工，工件刚度随长度变化；(3) 加工开始时，刀具因热伸长逐渐增大而使加工直径减小。

13. 在车床上加工心轴时（图示），粗、精车外圆 A 及肩台面 B，经检测发现 A 有圆柱度误差，B 对 A 有垂直度误差。试从机床几何形状误差的影响，分析产生以上误差的主要原因有哪些？



解：产生A面圆度误差的主要原因是车床主轴回转线的径向跳动。

产生A面圆柱度误差的主要原因有：（1）车床导轨在水平面内的直线度误差；（2）主轴回转轴线的角向摆动；（3）床身导轨和主轴回转轴线在水平面内不平行；（4）床身导轨的扭曲。

产生B面对A面不垂直的主要原因有：（1）主轴回转轴线的轴向串动；（2）刀架横溜板导轨与主轴回转轴线不垂直。

14. 在生产现场测量一批小轴的外圆（计1000件），其最大尺寸 $D_{\max}=25.030\text{mm}$ ，最小尺寸 $D_{\min}=25.000\text{mm}$ ，若整批工件尺寸为正态分布，图纸要求该轴的外径为 $\Phi 25_{-0.005}^{+0.025}\text{mm}$ ，求这批零件的废品有多少件？能否修复？（已知 $Q(2)=0.4772$ ）

解：整批工件的尺寸分散范围为 $6\sigma=D_{\max}-D_{\min}$ 所以

均方差 $\sigma=(D_{\max}-D_{\min})/6=(25.030-25.000)/6=0.005\text{mm}$ 。

算术平均值 $D=(D_{\max}+D_{\min})/2=(25.030+25.000)/2=25.015\text{mm}$

按图纸要求确定公差带中心尺寸 $25_{-0.005}^{+0.025}=25.010 \pm 0.015\text{mm}$

公差带中心与分布中心偏移值 $\Delta_0=25.015-25.010=0.005\text{mm}$

所以 $Z=\frac{\frac{\delta}{2}-\Delta_0}{\sigma}=\frac{\frac{0.03}{2}-0.005}{0.005}=2$ 查表得 $Q(2)=0.4772$

废品率 $=0.5-0.4772=0.0228$ 废品的件数 $N=0.0228\times 1000=23$ 件

依题意分析废品尺寸都偏大，属于可修复废品

15. 选择题

1) 误差的敏感方向是指产生加工误差的工艺系统的原始误差处于加工表面的（A）。

A 法线方向（Y向）；B 切线方向（Z向）；C 轴线方向（Y向）。

2) 车床主轴的几何偏心（纯径向跳动）使加工阶梯轴时产生的误差是（C）。

A 圆度误差；B 端面平面度误差；C 加工面与装夹面的同轴度误差。

3) 主轴具有纯角度摆动时，车削外圆得到的是（B）形状，产生（F）误差；镗出的孔得到的是（A）形状，产生（E）误差。

A 椭圆；B 圆锥；C 棱圆；D 腰鼓形；E 圆度；F 圆柱度；G 直线度。

4) 车床主轴的纯轴向窜动对 (B, C) 加工有影响：

A 车削内外圆；B 车削端面；C 车削螺纹。

5) 试指出下列刀具中，哪些刀具的制造误差会直接影响加工精度 (A, D, E, F)。

A 齿轮滚刀；B 外圆车刀；C 端面铣刀；D 铰刀；E 成形铣刀；F 键槽铣刀；G 内圆磨头。

6) 判别下列误差因素所引起的加工误差属于何种误差类型及误差性质：(1) 夹具在机床上的安装误差 (C, D)；(2) 工件的安装误差 (C, F)；(3) 刀具尺寸调整不准确引起的多次调整误差 (A, F)；(4) 车刀磨损发生在加工一批套筒的外圆 (A, E)；(5) 工件残余应力引起的变形 (B, C, F)。

A 尺寸误差；B 几何形状误差；C 相互位置误差；D 常值误差；E 变值规律性误差；F 随机误差。

7) 加工齿轮、丝杠时，试指出下列各情况哪些属于加工原理误差 (C, D, E)。

A 传动齿轮的制造与安装误差；B 母丝杠的螺距误差；C 用阿基米德滚刀切削渐开线齿轮；D 用模数铣刀加工渐开线齿轮；E 用近似传动比切削螺纹。

8) 测定机床部件静刚度的实验曲线说明 (C)：

A 机床部件的静刚度是不变的；B 机床部件的静刚度是变化的，但与载荷无关；C 机床部件的静刚度是随载荷大小而变化的

9) 研究工艺系统受力变形时，若以车床两顶尖间加工光轴为例，试分别指出下列三种条件下，由于切削过程受力点位置的变化引起工件何种形状误差：(1) 只考虑机床变形 (C)；(2) 只考虑车刀变形 (D)；(3) 只考虑工件变形 (B)。

A 圆锥形；B 腰鼓形；C 马鞍形 (双曲线)；D 圆柱形。

10) 工艺系统的热变形只有在系统热平衡后才能稳定，可采取适当的工艺措施予以消减，其中系统热平衡的含义是 (B)。

A 机床热平衡后；B 机床与刀具热平衡后；C 机床刀具与工件都热平衡后。

11) 在卧式镗床上，精镗车床尾架长孔时，为减小粗糙度一般应先考虑采用哪种工艺措施较有效 (B)？

A. 对工件材料先进行正火，调质等热处理；B. 增大刀尖圆弧半径和减少付偏角；C.

使用润滑性能良好的切削液;D. 采用很高的切削速度并配合较小的进给量

12) 磨削光轴时, 若切削条件相同, 哪种工件材料磨削后表面粗糙度小(B)?

A. 20 钢;B. 45 钢; C. 铸铁; D. 铜

13) 在平面磨床上精磨连杆端面时(工件材料 45 钢), 若磨削表面出现拉毛、划伤等缺陷, 一般应先考虑采用哪种工艺措施较有效(A, E)?

A. 正确选用砂轮, 检查砂轮的硬度是否合适; B. 精细修正砂轮及增加光磨次数;
C. 降低磨削深度及工件纵向进给量, 提高砂轮速度; D. 磨削液是否有良好的冷却性和流动性, 供应是否充分; E. 磨削液是否清洁。

14) 磨削淬火钢时在下列工作条件下可能产生哪种形式的磨削烧伤: (1) 在磨削条件(用切削液)(A); (2) 重磨削条件(不用切削液)(C); (3) 中等磨削条件(B)
(4) 轻磨削条件(D)。

A. 淬火烧伤; B. 回火烧伤; C. 退火烧伤; D. 不烧伤。

15) 为保证小粗糙度磨削表面的质量及生产率, 在下列各种影响因素中对磨削过程起支配作用的主要是(C):

A. 具有精密加工的设备及环境; B. 合理选用磨削用量; C. 合理选用砂轮并精细修正砂轮; D 良好的冷却和润滑。

16) 光整加工方法的工艺特点主要是(A)

A. 不用砂轮磨削, 采用细粒度磨料或磨具进行微量切削和挤压、抛光, 主要是提高加工表面质量; B. 磨具和工件间有一定的压力和复杂的相对运动, 因此对机床的成形运动和工具精度有一定的要求; C. 余量很小但能纠正前工序加工表面的形状误差及相互位置误差; D. 生产效率较高, 加工成本较低, 各种生产批量均可使用口

17) 表面冷压强化工艺属于下列何种加工方法(B):

A 精密加工工艺; B. 无屑光整加工工艺; C. 少切屑光整加工工艺

18) 加工过程中若表面层以冷塑性变形为主, 则表面层产生(B)应力; 若以热塑性变形为主, 则表面层产生(A)应力; 若以局部高温和相变为主, 则加工后表面层产生(A)应力

A. 拉应力; B. 压应力; C. 无应力层。

19) 机械加工中的振动, 按其产生的原因可分为三种, 试指出各种振动类型的能量特

性：(1)自由振动 (B)； (2)受迫振动 (A)； (3)自激振动 (C)；

A. 在外界周期性干扰力持续作用下的持续振动； B. 只有初始干扰力的作用、振动中再也没有能量输入，故为衰减振动； C. 维持振动的交变力是振动系统在自身运动中激发出来的，从而引起系统的持续振动。

20) 动刚度是衡量系统抗振性的重要指标，一般应以哪项参数作为系统动刚度指标 (C)？

A. 不同阻尼下产生单位振幅的振动时，所需的激振力大小； B. 不同频率下产生单位振幅的振动时，所需的激振力大小； C. 谐振时的最小刚度值； D. 固有频率、阻尼率、等效静刚度 k_0 。

21) 受迫振动系统在共振区消振最有效的措施是 (B)

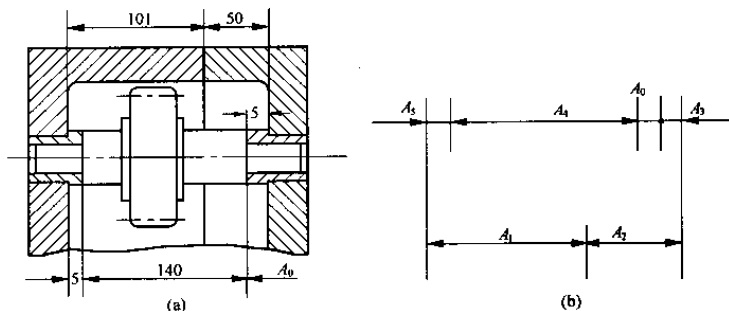
A. 增大系统刚度； B. 增大系统阻尼； C. 增大系统质量。

22) 试判别在下列切削加工过程中产生的振动属于何种振动类型：(1)磨削时由于砂轮硬度不均或局部堵塞引起的 (B)； (2)内圆磨削带键槽的内孔 (B)； (3)在车床上用横刀架割宽槽时 (C)； (4)用宽砂轮，小进给精磨外圆时 (C)； (5)在滚齿机上滚切齿轮时 (B)； (6)刨削平板时，当刨刀切到工件表面某处硬点时 (A)； (7)用圆镗杆镗削细长孔时 (C)

A. 自由振动； B. 强迫振动； C. 自激振动

第3章 机器的装配工艺

【例 4.1】 例图 4.1 (a) 所示的齿轮箱部件, 根据使用要求, 齿轮轴肩与轴承端面间的轴向间隙应在 $1 \sim 1.75 \text{ mm}$ 范围内。若已知各零件的基本尺寸为: $A_1 = 101 \text{ mm}$, $A_2 = 50 \text{ mm}$, $A_3 = A_5 = 5 \text{ mm}$, $A_4 = 140 \text{ mm}$, 采用互换法装配, 试确定这些尺寸的公差及偏差。



例图 4.1

【解】 装配尺寸链如例图 4.1 (b) 所示, A_1 、 A_2 为增环, A_3 、 A_4 和 A_5 为减环, 间隙 A_0 为封闭环。

由题意可知 $A_{0\max} = 1.75 \text{ mm}$, $A_{0\min} = 1 \text{ mm}$

而封闭环基本尺寸

$$A_0 = (\vec{A}_1 + \vec{A}_2) - (\vec{A}_3 + \vec{A}_4 + \vec{A}_5) = (101 + 50) - (5 + 140 + 5) = 1 \text{ mm}$$

故

$$T_0 = 1.75 - 1 = 0.75 \text{ mm}$$

$$ES_0 = 1.75 - 1 = 0.75 \text{ mm}$$

$$EI_0 = 1 - 1 = 0 \text{ mm}$$

(1) 极值法(采用等公差法):

① 计算各组成环的平均公差

$$T_{av,1} = \frac{T_0}{m} = \frac{0.75}{5} = 0.15 \text{ mm}$$

由于 A_3 、 A_5 尺寸小又容易加工, 可取 $T_3 = T_5 = 0.1 \text{ mm}$; 由于 A_1 、 A_2 尺寸较大, 且为箱体件, 加工较难, 适当放大公差为 $T_1 = T_2 = 0.2 \text{ mm}$ 。

② 决定各组成环的偏差。取 A_4 为协调环。由于 A_1 、 A_2 为内尺寸, 按基孔制标注为

$$A_1 = 101^{+0.2}_0 \text{ mm} \quad A_2 = 50^{+0.2}_0 \text{ mm}$$

A_3 、 A_5 为外尺寸按基轴制标注为

$$A_3 = A_5 = 5^{+0}_{-0.1} \text{ mm}$$

③ 计算协调环公差及极限偏差。

$$T_4 = T_0 - T_1 - T_2 - T_3 - T_5 = 0.75 - 0.2 - 0.2 - 0.1 - 0.1 = 0.15 \text{ mm}$$

$$EI_4 = ES_1 + ES_2 - ES_0 - EI_3 - EI_5 = 0.2 + 0.2 + 0.1 + 0.1 - 0.75 = -0.15 \text{ mm}$$

$$ES_4 = EI_4 + T_4 = 0 \text{ mm}$$

所以

$$A_4 = 140^{+0}_{-0.15} \text{ mm}$$

(2) 概率法(等公差原则):

① 计算各组成环平均公差

$$T_{av.S} = \frac{T_0}{\sqrt{m}} = \frac{0.75}{\sqrt{5}} = 0.34 \text{ mm}$$

按各环加工难易,以平均公差为基础,确定各组成环公差,即

$$T_1 = 0.46 \text{ mm} \quad T_2 = 0.34 \text{ mm} \quad T_3 = T_5 = 0.16 \text{ mm}$$

协调环公差 T_4 按下式计算

$$T_0^2 = \sum_{i=1}^m T_i^2$$
$$T_4 = \sqrt{T_0^2 - T_1^2 - T_2^2 - T_3^2 - T_5^2} = 0.43 \text{ mm}$$

② 确定各环的上、下偏差。

对于 A_1 、 A_2 按“人体原则”确定为

$$A_1 = 101_{+0.46}^{+0.46} \text{ mm} \quad A_2 = 50_{+0.34}^{+0.34} \text{ mm}$$

A_3 、 A_5 按“人体原则”标注为

$$A_3 = A_5 = 50_{-0.16}^{-0.16} \text{ mm}$$

③ 计算协调环上、下偏差。各环的中间偏差为

$$\Delta_1 = 0.23 \text{ mm} \quad \Delta_2 = 0.17 \text{ mm} \quad \Delta_3 = \Delta_5 = -0.08 \text{ mm} \quad \Delta_0 = 0.375 \text{ mm}$$

$$\Delta_0 = \sum_{i=1}^m \Delta_i = 0.23 + 0.17 - 0.08 - 0.08 + \Delta_4$$

$$\Delta_4 = 0.375 - 0.23 - 0.17 + 0.08 + 0.08 = 0.135 \text{ mm}$$

$$ES_4 = \Delta_4 + \frac{T_4}{2} = 0.135 + \frac{0.43}{2} = 0.35 \text{ mm}$$

$$EI_4 = \Delta_4 - \frac{T_4}{2} = 0.135 - \frac{0.43}{2} = -0.08 \text{ mm}$$

所以

$$A_4 = 140_{-0.08}^{+0.35} \text{ mm}$$

【例 4.2】 例图 4.2 (a) 所示为水泵的一个部件,其支架一端面距气缸一端面的尺寸 $A_1 = 50_{-0.62}^{-0.62} \text{ mm}$, 气缸内孔长度 $A_2 = 31_{+0.62}^{+0.62} \text{ mm}$, 活塞长度 $A_3 = 19_{-0.52}^{-0.52} \text{ mm}$, 螺母内台阶的深度 $A_4 = 11_{+0.43}^{+0.43} \text{ mm}$, 支架外台阶 $A_5 = 40_{-0.62}^{-0.62} \text{ mm}$ 。试求活塞行程长度的公差 T_0 。技术条件要求 $T_0 < 3 \text{ mm}$ 。

【解】 首先绘出尺寸链简图如例图 4.2 (b) 所示, 活塞行程 A_0 为封闭环, A_2 、 A_4 、 A_5 为增环, A_1 、 A_3 为减环。

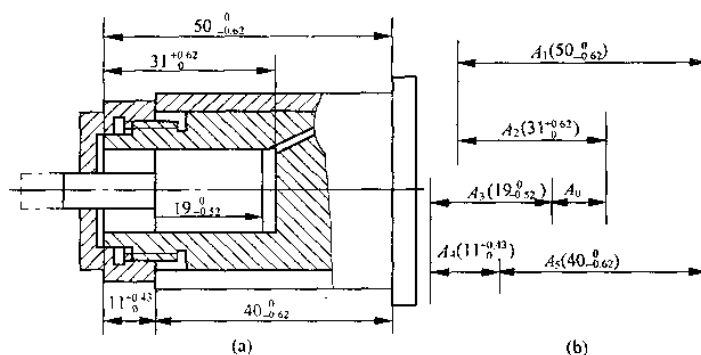
封闭环的基本尺寸 A_0 为

$$A_0 = \sum \vec{A}_i - \sum \vec{A}_j = (31 + 11 + 40) - (50 + 19) = 13 \text{ mm}$$

(1) 极值法:

① 计算封闭环的上、下偏差 ES_0 、 EI_0

$$ES_0 = \sum ES_i - \sum EI_j =$$
$$(0.62 + 0.43 + 0) - (-0.62 - 0.52) = 2.19 \text{ mm}$$



例图 4.2

$$EI_0 = \sum EI_i - \sum ES_j = (-0.62) - 0 = -0.62 \text{ mm}$$

② 写出封闭环的尺寸及公差

$$A_0 = 13^{+2.19}_{-0.62} \text{ mm}$$

$$A_{0\max} = A_0 + ES_0 = 15.19 \text{ mm}$$

$$A_{0\min} = A_0 + EI_0 = 12.38 \text{ mm}$$

$$T_0 = ES_0 - EI_0 = 2.81 < 3 \text{ mm}$$

(2) 概率法:

① 计算封闭环的中间偏差 Δ_0

$$\begin{aligned} \Delta_0 &= \sum_{i=1}^m \xi_i \Delta_i = (0.31 + 0.215 - \\ &0.31) - (-0.31 - 0.26) = 0.785 \text{ mm} \end{aligned}$$

② 计算封闭环的公差 T_0

$$\begin{aligned} T_0 &= \sqrt{\sum_{i=1}^m T_i^2} = \\ &\sqrt{(0.62)^2 + (0.62)^2 + (0.52)^2 + (0.43)^2 + (0.62)^2} = 1.268 < 3 \text{ mm} \end{aligned}$$

③ 写出封闭环的尺寸及公差

$$A_0 = A_0 + \Delta_0 \pm \frac{T_0}{2} =$$

$$13 + 0.785 \pm \frac{1.268}{2} = 13.785 \pm 0.634 \text{ mm}$$

$$A_{0\max} = 13.785 + 0.634 = 14.419 \text{ mm}$$

$$A_{0\min} = 13.785 - 0.634 = 13.151 \text{ mm}$$

两种方法计算结果表明, 活塞行程的变动值没有超过技术条件规定的 3 mm 要求。

(例 4.3) 说明装配尺寸链中组成环、封闭环(相依环)和公共环的含意。

〔解〕组成环是对装配精度发生直接影响的那些零件或部件(总装时部件作为一个整体进入总装)上的尺寸或角度(直线尺寸链时是尺寸, 角度尺寸链时是角度)。

封闭环是装配之后形成的, 而且这一环往往具有装配精度要求的。

协调环(相依环)是在根据装配精度指标确定组成环公差。标注组成环基本尺寸及其偏差时, 为了简化试凑工作, 可将一些比较难加工和不宜改变其公差的组成环的公差预先肯定下来, 只将极少数或一个比较容易加工或在生产上受限制较少的组成环作为试凑对象, 这个环称为“协调环”(或“相依环”), 意思是该环的尺寸相依于封闭环和其它组成环的尺寸及其公差。

公共环是在并联尺寸链中出现的。由于这个环（或几个环），使得两个以上尺寸链而相互联系起来形成并联尺寸链。这些环属于不同尺寸链的共有环称为公共环。公共环可以是各个尺寸链的组成环，也可以在一个尺寸链中是封闭环，而在另一个尺寸链则是组成环。

（例 4.4）何谓装配尺寸链组成最短原则？

〔解〕装配尺寸链中组成环数应该以最少的为正确，即所谓最少环数原则，或称为最短路线原则，若不符合此原则，将由于组成环数增多，所能分配到各环的公差减小，从而使零件加工成本增加。

符合最短路线原则的那些尺寸，就是零件图上应该标注的尺寸，称为“设计尺寸”，每个零件只能有一个尺寸参与装配，它们都有一定的精度要求，是通过装配尺寸链解算而规定的。

（例 4.5）极值法解尺寸链与概率法解尺寸链有何不同？各用于何种情况？

〔解〕极值解法是按误差累积的两个最不利情况。即各增环皆为最大极限尺寸（或最小极限尺寸）而各减环皆为最小极限尺寸（或最大极限尺寸）的情况，来计算封闭环极限尺寸的方法，封闭环公差计算式为：

$$T_{\Sigma} = \sum T_i$$

概率解法是应用概率论原理来进行尺寸链计算的一种方法。封闭环公差计算式为：

$$T_{\Sigma} = \sqrt{\sum k_i^2 T_i^2}$$

把两种解法的计算式作一比较，可以看出， $T_{\Sigma} = \sum T_i$ （极值解法）是包括了封闭环尺寸变动的一切可能出现的尺寸，即尺寸出现在 T_{Σ} 范围内的概率为 100%，而 $T_{\Sigma} = \sqrt{\sum k_i^2 T_i^2}$ （概率解法）在正态分布下的取值范围是 $6T_{\Sigma}$ ，尺寸落在这范围内的概率则一般是 99.73%。由于超出 $6T_{\Sigma}$ 之外的概率仅为 0.27%，是很小的，实际上可认为不至于出现。所以取 $6T_{\Sigma}$ 作为封闭环尺寸的实际可能的变动范围是合理的。这就是概率解法所求得的封闭环公差比极值解法所求得公差要小的本质所在。

极值解法的优点是简单可靠，但计算得到的组成环公差过于严格偏于安全保守。当组成环数较多，而且又是大批大量生产条件下，完全可以按概率解法来计算。

一般而言：

- （1）采用完全互换法时，应用极大极小计算法的全部公式；或者，在大量大批生产条件下，则可应用概率计算法的公式。
- （2）采用不完全互换法时，应用概率法的计算公式。
- （3）采用选配法时，互配件分组公差极易确定，一般都按极值法来计算。
- （4）采用修配法或调整法时，大部分情况都应用极值法来确定修配量或调整量。假如是在大批大量生产条件下采用调整法，也可以应用概率法。

（例 4.6）试将装配尺寸链与工艺过程尺寸链进行比较，试述其异同：（从计算基本公式；组成环；封闭环；尺寸链解法；尺寸链构成等方面进行比较）

比较项目	装配尺寸链	工艺过程尺寸链
计算公式	相同	
组成环	零件（或部件）上某一尺寸或角度	某一道工序尺寸或角度
封闭环	不是一个零件或一个部件上的尺寸，而是不同零件或部件之间的相对位置尺寸或技术要求。它是装配后形成的，常是装配精度要求。	由零件加工顺序来确定，它是间接保证的，常是零件上某一设计尺寸或技术要求。
尺寸链解法	有四种（互换法、选配法、修配法、调整法）	一般常用“互换法”极值解，有时也用概率解。
尺寸链构成	取决于零部件结构的设计。	取决于工艺过程方案和具体加工方法。

〔例 4.7〕 机器产品的装配精度与零件的加工精度、装配工艺方法有什么关系？

零件的加工精度直接影响到装配精度。对于大批量生产，为了简化装配工作，便于流水作业，通常采用控制零件的加工误差来保证装配精度。但是，进入装配的合格零件，总是存有一定的加工误差，当相关零件装配在一起时，这些误差就有累积的可能。累积误差不超出装配精度要求，当然是很理想的。此时装配就只是简单的连接过程。但事实并非常能如此，累积误差往往超过规定范围，给装配带来困难。采用提高零件加工精度来减小累积误差的办法，在零件加工并不十分困难，或者在单件小批生产时还是可行的。这种办法增加了零件的制造成本。当装配精度要求很高，零件加工精度无法满足装配要求，或者提高零件加工精度不经济时，则必须考虑采用合适的装配工艺方法，达到既不增加零件加工的困难又能满足装配精度的目的。由此可见，零件加工精度是保证装配精度要求的基础。但装配精度不完全由零件精度来决定，它是由零件的加工精度和合理的装配方法共同来保证的。如何正确处理好两者之间的关系是产品设计和制造中的一个重要课题。

〔例 4.8〕 什么叫装配尺寸链？它与一般尺寸链有什么不同？

装配尺寸链是产品或部件在装配过程中，由相关零件的尺寸或位置关系所组成的一个封闭的尺寸系统。即由一个封闭环和若干个与封闭环关系密切的组成环组成。

它与一般尺寸链的不同点是：

1. 装配尺寸链的封闭环一定是机器产品或部件的某项装配精度，因此，装配尺寸链的封闭环是十分明显的。
2. 装配精度只有机械产品装配后才能测量。
3. 装配尺寸链中的各组成环不是仅在一个零件上的尺寸，而是在几个零件或部件之间与装配精度有关的尺寸。
4. 装配尺寸链的形式较多，有线性尺寸链、角度尺寸链、平面尺寸链、空间尺寸链。

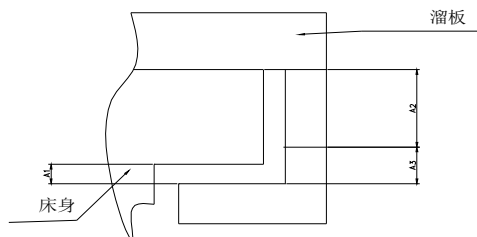
〔例 4.9〕 装配尺寸链如何查找？查找时应注意些什么？

具体方法为：取封闭环两端的零件为起始点，沿着装配精度要求的方向，以装配基准面为联系线索，分别查找出装配关系中影响装配精度要求的那些有关零件，直至

找到同一个基准零件甚至是同一个基准表面为止。

这样，所有有关零件上直接连接两个装配基准面间的位置尺寸或位置关系，便是装配尺寸链的全部组成环。此查找方法与查找工艺尺寸链的方法是类同的，同样也要符合最短路线，即环数最少的原则。

(例 4.10) 图所示，在溜板与床身装配前有关组成零件的尺寸分别为： $A_1=46_{-0.04}^0\text{ mm}$ ， $A_2=30_{+0}^{+0.03}\text{ mm}$ ， $A_3=16_{+0.03}^{+0.06}\text{ mm}$ ，试分析当间隙在使用过程中，因导轨磨损而增大后如何解决。

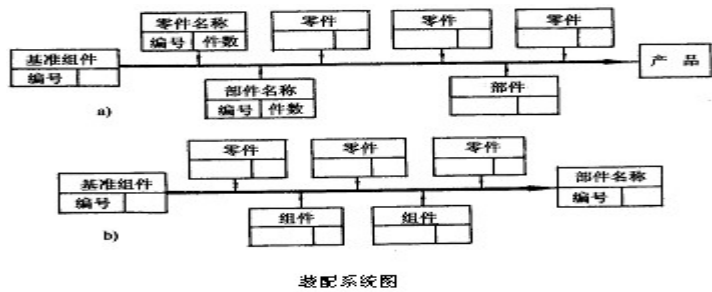


(解) 修配尺寸 A_1 和 A_2 的配合面，可减小间隙

(例 4.11) 什么叫装配工艺规程？包括的内容是什么？有什么作用？

装配工艺规程是装配生产的指导性技术文件，又是制订装配生产计划、组织管理装配生产的主要依据，也是设计装配工装和装配流水线的重要依据。

制订装配工艺规程有下列任务：划分装配单元、确定装配方法、拟定装配过程与划分装配工序、计算时间定额、规定装配工序的技术要求及质量检查方法和工具，零、部件的输送方法及所需设施及工装；制订装配工艺文件；提出装配专用工具和非标准设备的设计任务书。



(例 4.12) 制订装配工艺的原则及原始资料是什么？

制定装配工艺规程的基本原则及原始资料

1 制定装配工艺规程的原则

- 1) 保证产品装配质量，力求提高质量，以延长产品的使用寿命
- 2) 合理安排装配顺序和工序，尽量减少钳工手工劳动量，缩短装配周期，提高装配效率。
- 3) 尽量减少装配占地面积，提高单位面积的生产率。
- 4) 要尽量减少装配工作所占的成本。

2 制定装配工艺规程原始资料

在制定装配工艺规程前，需要具备以下原始资料：

- 1)产品的装配图及验收技术标准
- 2)产品的生产纲领

〔例 4.13〕简述制订装配工艺的步骤是什么？

具体制订的内容与步骤如下：

- 1 熟悉产品装配图和有关零件图，明确装配技术要求和验收标准；必要的装配尺寸链的分析计算，检查所采用的装配方法是否合理。

2 绘制装配系统图

- (1)将机械产品分解为可以独立装配的单元。装配单元即为各部件及组件。
- (2)选择确定装配基准件。它通常是产品的基体或主干零、部件。
- (3)绘制装配系统图。

〔例 4.14〕保证产品精度的装配工艺方法有哪些？

为了保证装配精度，常用装配方法有五种：完全互换装配法、部分互换装配法、选择装配法、修配装配法和调整装配法。