

第5章

工序尺寸及公差的優化設計

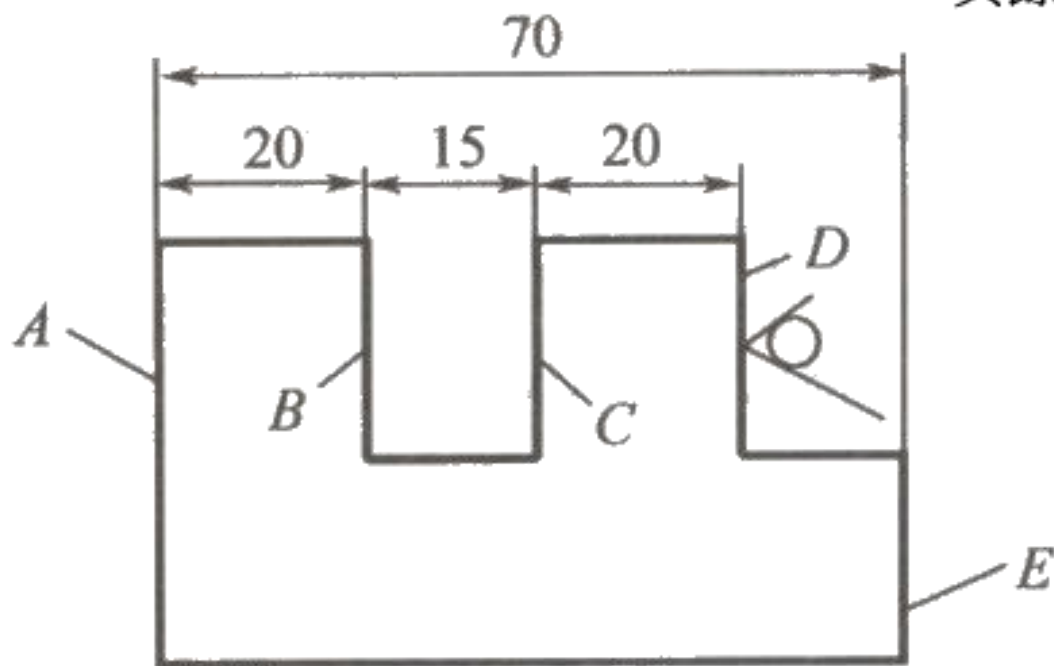
第一節	工藝尺寸式計算原理
第二節	工序公差設計的方法
第三節	工序尺寸及公差的設計
第四節	工藝尺寸式的特點

第一節 工藝尺寸式計算原理

1. 各種尺寸之間的數量關係

- 各種尺寸之間的數量關係如下圖。零件的水平方向各面加工工藝過程為：

工序5	銑E面，保證尺寸 AE_1
工序10	銑A面，保證尺寸 E_1A_1
工序15	銑槽，保證尺寸 A_1B_1 、 B_1C_1
工序20	磨A面，保證尺寸 E_1A_2
工序25	磨E面，保證尺寸 A_2E_2



其餘 $\frac{3.2}{\nabla}$

- ❧ 此零件在水平面方向上有5個面，除了粗基準A面外有一個D面不需加工。加工過程中在該方向上有6個工序尺寸，下面來分析該方向上各種尺寸之間的數量關係。
- ❧ 顯然在此方向上有4個設計尺寸，由於每一個工序尺寸有一個餘量，所以共有6個餘量。因此，設計尺寸與餘量總數為 $4+6=10$ 個，這些尺寸是必須確保，其值應該給定，它們為已知數。由於每一個設計尺寸及餘量都有相應的尺寸式，因此可以列出10個尺寸式。
- ❧ 此例中 $A_{\text{工}}$ 為六個， $A_{\text{毛}}$ 為四個，這些尺寸是在零件製造和毛坯製造過程中形成的，它們的尺寸受到設計尺寸和餘量的約束，在尺寸式對應的方程式中為未知數，所以未知數的總數為 $6+4=10$ 個。10個方程式可以解出10個未知數(6個工序尺寸和4個毛坯尺寸)。

❧粗基準面的粗加工餘量僅和工序尺寸有關，和毛坯尺寸無關，其餘面的粗加工餘量均與毛坯尺寸有關，各面第二次加工餘量均只與工序尺寸有關。因此，本例中粗基準A面的粗加工餘量、A面和E面的第二次加工餘量，這3個加工餘量僅和工序尺寸有關，另外，因為D面不加工，因此設計尺寸C1D除了和工序尺寸有關外，還和毛坯尺寸有關，故有3個設計尺寸僅和工序尺寸有關，因此共有 $3 + 3 = 6$ 個 $A_{\text{設餘}}$ 僅與 $A_{\text{工}}$ 有關，它對應6個尺寸式，這6個尺寸式對應的方程式即可解出6個 $A_{\text{工}}$ 。

其尺寸式為：

$$A_2B_1 \rightarrow A_2E_1A_1B_1$$

$$B_1C_1 \rightarrow B_1C_1$$

$$A_2E_2 \rightarrow A_2E_2$$

$$A_1A_2 \rightarrow A_1E_1A_2$$

$$E_2E_1 \rightarrow E_2A_2E_1$$

$$A A_1 \rightarrow AE_1A_1$$

- ∞ 設一零件某方向有 N 個面，除了粗基準外有 P 個面不需加工，加工過程中在該方向上有 M 個工序尺寸。顯然在某方向有 $N - 1$ 個設計尺寸，由於每一個工序尺寸肯定對應一個餘量，所以整個工藝過程有 M 個餘量。因此設計尺寸及餘量的總數量為 $N - 1 + M$ 個。
- ∞ $A_{\text{設餘}} = f(A_{\text{毛}}, A_{\text{工}})$ 中， $A_{\text{設餘}}$ 是要約束的，它們為已知數， $A_{\text{毛}}$ 和 $A_{\text{工}}$ 是保證 $A_{\text{設餘}}$ 的，它們為我們要確定的未知數，在這裡 $A_{\text{工}}$ 的數量為 M 個， $A_{\text{毛}}$ 的數量為 $N - 1$ 個，因此未知數的總數量也為 $M + N - 1$ 個。
- ∞ 該情況下， $A_{\text{設}}$ 的數量+ $A_{\text{餘}}$ 的數量 = $A_{\text{工}}$ 的數量+ $A_{\text{毛}}$ 的數量=工藝尺寸式的總數量。如果不計算公差， $N - 1 + M$ 個尺寸式對應的方程式可以求出 $N - 1 + M$ 個工序尺寸和毛坯尺寸。

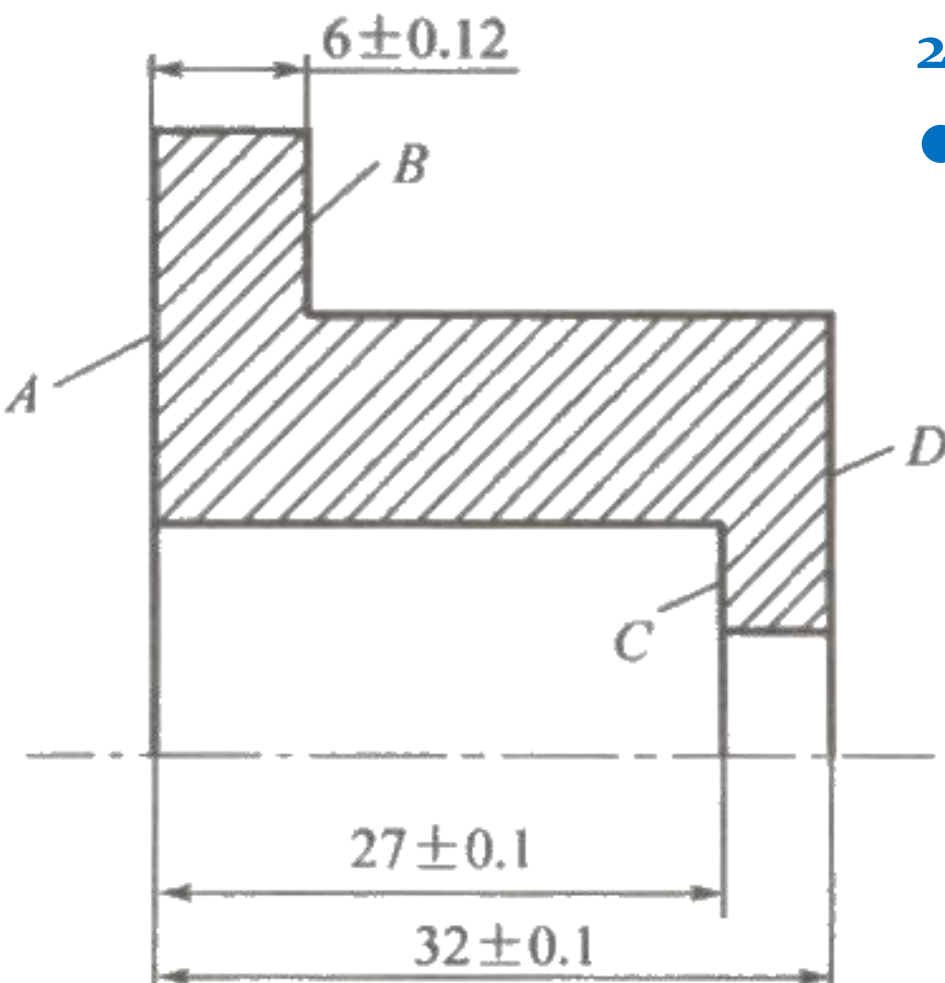
✧在很多情況下只計算 $A_{\text{工}}$ 而不計算 $A_{\text{毛}}$ ，那麼僅需要列出與 $A_{\text{工}}$ 有關的尺寸式。因為除了粗基準外的 $N-1$ 個面中，有 P 個面未加工，因此除粗基準外加工面的數量為 $N-1-P$ ，而這些面的粗加工餘量必然和 $A_{\text{毛}}$ 有關，所以有 $M-(N-1-P)$ 個餘量僅與 $A_{\text{工}}$ 有關。這樣僅與 $A_{\text{工}}$ 有關的 $A_{\text{設餘}}$ 的總數量為 $[M-(N-1-P)]+(N-1-P)=M$ 個，它對應 M 個尺寸式，如果不計算公差， M 個尺寸式對應的方程式可以求出 M 個工序尺寸。

第一節 工藝尺寸式計算原理

2. 工藝尺寸式組

- 所有設計尺寸及餘量的尺寸式的組合。一個零件的加工工藝過程一旦確定，工藝尺寸式組便隨之確定。
- **工藝尺寸式組反映：**整個加工過程中的全部尺寸關係，用它它可以很靈活地分析和計算工序尺寸
- 如果工序尺寸沒有誤差，那麼一旦設計尺寸及餘量被確定，工序尺寸則是唯一確定的一組尺寸
- 工序尺寸是存在誤差的，它的製造公差必然要受到設計尺寸公差及餘量的公差約束，也就是說各工序尺寸的公差必須滿足尺寸式組
- 在計算工序尺寸之前，必須根據尺寸式組確定各工序尺寸公差

第一節 工藝尺寸式計算原理



2. 工藝尺寸式組

● 套筒有關工序尺寸為：

- 工序5 以D面定位，粗車A、C面，保證 DA_1 、 A_1C_1
- 工序10 以A面定位，粗車B、D面，保證 A_1B_1 、 B_1D_1
- 工序15 以B面定位，精車A、C面，保證 B_1A_2 、 A_2C_2
- 工序20 靠火花磨端面B，保證 B_1B_2 （ B_1B_2 是一個工序尺寸，也是一個餘量）

第一節 工藝尺寸式計算原理

2. 工藝尺寸式組

1) 建立尺寸式組

- $N=4$, $M=7$, 有3個設計尺寸, 有7個餘量, 其中4個餘量僅與工序尺寸有關, 這4個餘量包括粗基準D面的粗加工餘量 D_1D , 其他面的加工餘量 A_1A_2 、 B_2B_1 、 C_1C_2 全部尺寸式為:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_2B_2 \rightarrow A_2B_1B_2 \\ A_2C_2 \rightarrow A_2C_2 \\ A_2D_1 \rightarrow A_2B_1D_1 \\ D_1D \rightarrow D_1B_1A_1D \\ A_1A_2 \rightarrow A_1B_1A_2 \\ B_2B_1 \rightarrow B_2B_1 \\ C_1C_2 \rightarrow C_1A_1B_1A_2C_2 \end{array} \right.$$

第一節 工藝尺寸式計算原理

2. 工藝尺寸式組

1) 建立尺寸式組

- 寫成方程式為：

$$\left\{ \begin{array}{l} A_2 B_2 = A_2 B_1 - B_1 B_2 \\ A_2 C_2 = A_2 C_1 \\ A_2 D_1 = A_2 B_1 + B_1 D_1 \\ D_1 D = -D_1 B_1 - B_1 A_1 + A_1 D \\ A_1 A_2 = A_1 B_1 - B_1 A_2 \\ B_2 B_1 = B_2 B_1 \\ C_1 C_2 = -C_1 A_1 + A_1 B_1 - B_1 A_2 + A_2 C_2 \end{array} \right. \quad (2-3)$$

第一節 工藝尺寸式計算原理

2. 工藝尺寸式組

2) 確定工序尺寸公差

- 工序尺寸公差（用 δ 表示）的確定應根據各企業具體情況採用不同的方法，可以根據加工要求給出各餘量及公差，然後據此及工藝尺寸式組確定出全部工序尺寸及公差，也可以僅保證設計尺寸式

第一節 工藝尺寸式計算原理

2. 工藝尺寸式組

2) 確定工序尺寸公差

- 由 $A_2D_1 \rightarrow A_2B_1D_1$ ($\delta(A_2D_1)=0.1$) 確定 $\delta(A_2B_1)=\pm 0.05$ ， $\delta(B_1D_1)=\pm 0.05$
- 由 $A_2B_2 \rightarrow A_2B_1B_2$ 確定 $\delta(B_1B_2)=\pm 0.03$ （從設計尺寸保證來講，可以放大到 ± 0.07 ，但靠火花磨削容易達到 ± 0.03 ，餘量公差小對加工有利）
- 由 $A_2C_2 \rightarrow A_2C_2$ 確定 $\delta(A_2C_2)=\pm 0.1$
- 其餘工序尺寸公差和設計尺寸沒關，按經濟精度確定：
 $\delta(DA_1)=\pm 0.2$ ， $\delta(A_1B_1)=\pm 0.15$ ， $\delta(A_1C_1)=\pm 0.2$
- 注意：雖然這些工序尺寸公差不影響設計尺寸精度，但它們絕對影響餘量公差，因此也不宜過大

第一節 工藝尺寸式計算原理

2. 工藝尺寸式組

3) 計算工序尺寸平均值

- 設計尺寸平均值是已知的，餘量平均值可以由工藝手冊查到，注意應驗算最小餘量是否足夠；也可以確定出最小餘量，計算出餘量公差，再計算出平均餘量

$$Z_{\min}(A_1A_2)=0.1 \quad Z_{\min}(B_2B_1)=0.07$$

$$Z_{\min}(C_1C_2)=0.1 \quad Z_{\min}(D_1D)=0.1$$

$$\delta(A_1A_2)=\delta(A_1B_1)+\delta(B_1A_2)=\pm 0.2$$

$$\delta(B_2B_1)=\delta(B_2B_1)=\pm 0.03$$

$$\delta(C_1C_2)=\delta(C_1A_1)+\delta(A_1B_1)+\delta(B_1A_2)+\delta(A_2C_2)=\pm 0.5$$

$$\delta(D_1D)=\delta(D_1B_1)+\delta(B_1A_1)+\delta(A_1D)=\pm 0.4$$

第一節 工藝尺寸式計算原理

2. 工藝尺寸式組

3) 計算工序尺寸平均值

- 平均餘量 $A_1A_2=0.3$ 、 $B_2B_1=0.1$ 、 $C_1C_2=0.6$ 、 $D_1D=0.5$
- 把餘量的平均值及設計尺寸平均值代入方程式組（2-3），可求出全部工序尺寸平均值：

$$\begin{aligned} 6 &= A_2B_1 - B_1B_2 \\ 27 &= A_2C_2 \\ 32 &= A_2B_1 + B_1D_1 \\ 0.5 &= -D_1B_1 - B_1A_1 + A_1D \\ 0.3 &= A_1B_1 - B_1A_2 \\ 0.1 &= B_2B_1 \\ 0.6 &= -C_1A_1 + A_1B_1 - B_1A_2 + A_2C_2 \end{aligned} \quad (2-3)$$

第一節 工藝尺寸式計算原理

2. 工藝尺寸式組

3) 計算工序尺寸平均值

- 解方程式得：

$$\left\{ \begin{array}{l} DA_1 = 32.8 \\ A_1C_1 = 26.7 \\ A_1B_1 = 6.4 \\ B_1D_1 = 25.9 \\ B_1A_2 = 6.1 \\ A_2C_2 = 27 \\ B_1B_2 = 0.1 \end{array} \right.$$

第二節 工序公差設計的方法

1. 工序公差設計的原則

∞ 所確定的工序尺寸公差一定要能滿足設計尺寸公差和餘量公差，即按所確定的各工序尺寸公差對工件進行加工後，應能保證設計尺寸公差和餘量公差。同時，在確定各工序尺寸公差時，還應考慮到加工的經濟性，採用經濟精度。如工序尺寸公差太小，則會給加工帶來很大困難，使得製造成本增加；工序尺寸公差太大，則滿足不了設計要求。所以在保證設計尺寸和餘量的前提下，應儘量放大公差，使其經濟合理

∞ 確定工序公差時，應根據下列主要原則：

1. 工序公差不超出經濟的加工精度範圍
2. 選擇的工序公差應能夠滿足目標尺寸及公差

∞ 選擇的工序公差首先應能夠滿足零件每一個設計尺寸及公差要求；其次選擇的工序公差應能夠保證餘量公差，也只要控制餘量不要太大或太小，這一點對磨削等精密加工特別重要

第二節 工序公差設計的方法

2. 設計工序公差的方法

- 1) 按等公差值的原則分配目標尺寸的公差，即極值法為：

$$T(A_i) = \frac{T(A_0)}{n-1}$$

概率法為：

$$T(A_i) = \frac{T(A_0)}{K_M \sqrt{n-1}}$$

式中 n — 工藝尺寸式中有關工藝尺寸的個數

$T(A_i)$ — 相關尺寸公差

$T(A_0)$ — 目標尺寸公差

K_M — 相對分布係數，一般取1.2~1.5

✎ 計算上比較簡便，但從工藝上講，沒有考慮到各個相關尺寸加工的難易、尺寸的大小，顯然不夠合理

✎ 適用於各個相關尺寸相近，加工難易程度相近的場合

第二節 工序公差設計的方法

2. 設計工序公差的方法

- 2) 按等公差級的原則分配目標尺寸的公差：即各相關尺寸的公差取相同的公差等級，公差值的大小取決於基本尺寸的大小
- 根據公差標準的規定，標準公差的計算公式為：

$$T_i = a_i i_i$$

式中 a_i — 公差等級係數

i_i — 公差單位（與基本尺寸有關）

- 所以，各相關尺寸應取相同的公差等級係數 a_m
極值法為：

$$a_m = a_i = \frac{T(A_0)}{\sum_{i=1}^{n-1} i_i}$$

概率法為：

$$a_m = a_i = \frac{T(A_0)}{K_M \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} i_i^2}}$$

第二節 工序公差設計的方法

2. 設計工序公差的方法

3) 按具體情況來分配目標尺寸的公差：

- **第一步：**按等公差值（或等公差級）分配原則求出各相關尺寸所能分配到的公差
- **第二步：**從加工的難易程度和設計要求等具體情況調整各相關尺寸的公差。這與設計工作經驗有關，但實際上仍是從工藝的角度考慮的

第三節 工序尺寸及公差的設計

1. 單個工藝尺寸式的計算

- 通過對單個工藝尺寸式的計算，可以在確保目標尺寸（設計尺寸及餘量）的情況下，確定出某一個相關尺寸（工序尺寸或毛坯尺寸）及公差，也可以在相關尺寸及公差確定的情況下，校核目標尺寸的保證情況。

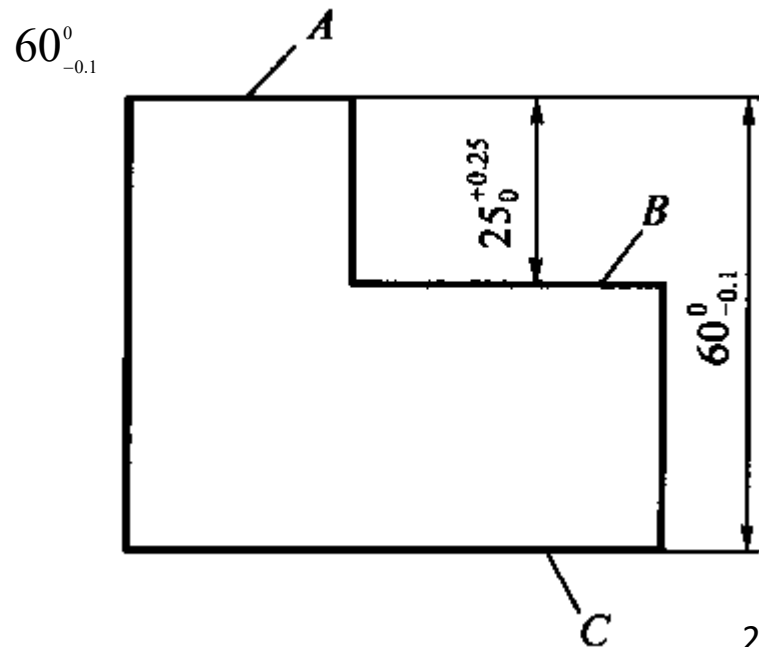
1) 工序尺寸的計算

支25塊在高度方向的設計尺寸為 $25^{+0.25}_0$ 及
，有關工藝過程為：

工序5 銑削底面C，保證尺寸AC₁

工序10 以底面C₁為基準，銑削A面，保證工序尺寸C₁A₁，銑削B面，保證工序尺寸C₁B₁。比較設計尺寸和60_{-0.1}尺寸可以看出，設計尺寸直接由工序尺寸C₁A₁保證，而設計尺寸並未直接由一個工序尺寸直接保證，其工藝尺寸式為：

$$A_1B_1 \rightarrow A_1C_1B_1$$



第三節 工序尺寸及公差的設計

1. 單個工藝尺寸式的計算

- 按式（4 -1）、式（4 -2）得：

$$25+0.25=60-C_1B_{\min}$$

$$25=60-0.1-C_1B_{\max}$$

$$\text{即：} C_1B_{\min}=34.75 \quad C_1B_{\max}=34.9$$

- 因此有： $C_1B_1 = 34.9_{-0.15}^0$
- 由上看出，為保證設計尺寸 $25_{+0.25}^0$ 的要求，對工序尺寸 C_1B_1 規定一個較嚴格的尺寸 $34.9_{-0.15}^0$

第三節 工序尺寸及公差的設計

1. 單個工藝尺寸式的計算

- 階梯軸A面是軸向的主要設計基準，直接從它標註的有 $40^{+0.1}_0$ 和 160 ± 0.15 兩個設計尺寸。與A、B、C三個端面加工有關的工序及工序尺寸為：

工序5 精車B面，保證尺寸 AB_1 ，精車C面，保證尺寸 B_1C_1

工序10 熱處理

工序15 磨削A面，保證尺寸 $B_1A_1 = 40^{+0.1}_0$

比較設計尺寸和工序尺寸可以看出，設計尺寸 $160 \pm 0.15 (A_1C_1)$ 沒有直接保證，其工藝尺寸式為：

$$A_1C_1 \rightarrow A_1B_1C_1$$

其中： $A_1C_1 = 160 \pm 0.15$ $A_1B_1 = 40^{+0.1}_0$

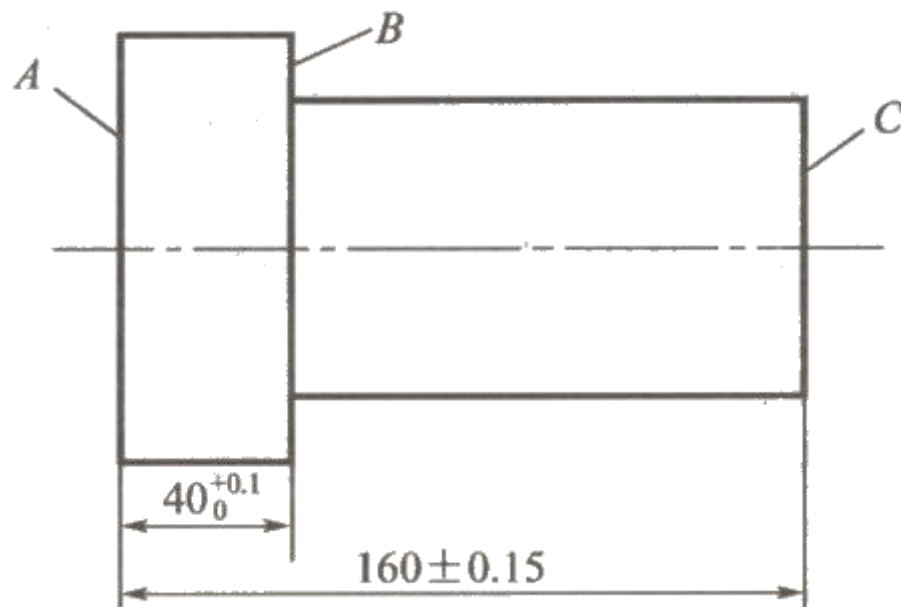
第三節 工序尺寸及公差的设计

1. 單個工藝尺寸式的計算

- 由工藝尺寸式得：

$$160.15 = 40.1 + B_1 C_{1\max}$$

$$159.85 = 40 + B_1 C_{1\min}$$



- 得： $B_1 C_{1\max} = 120.05$ $B_1 C_{1\min} = 119.85$
- 因此有： $B_1 C_1 = 120.05^{0}_{-0.2}$
- 應當指出，在上面計算中，工序尺寸 AB_1 的大小量與保證設計尺寸無關，但它會影響A面的磨削餘量 $AA_1 \rightarrow AB_1 A_1$ ，因此工序尺寸 AB_1 的公差也不能太大

第三節 工序尺寸及公差的設計

1. 單個工藝尺寸式的計算

2) 餘量的計算

小軸工件軸向尺寸的工藝過程

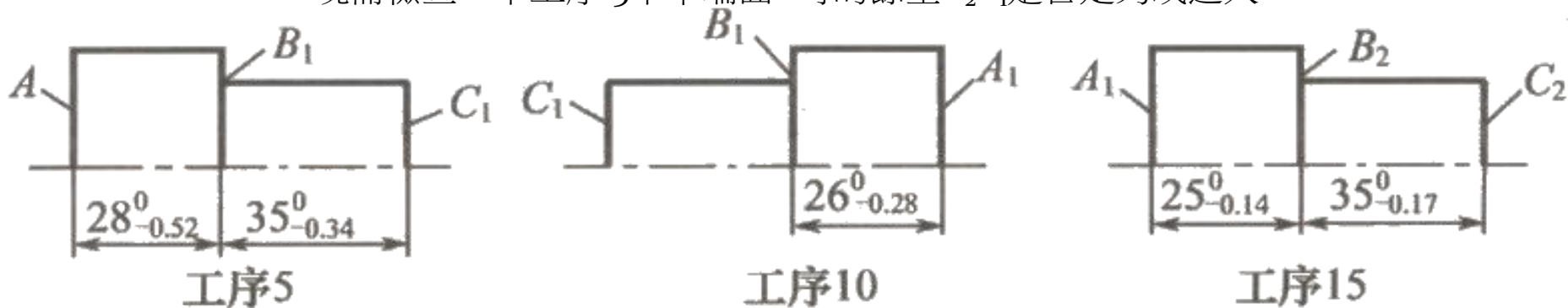
有關工序及工序尺寸為：

工序5 粗車B面和C面，保證尺寸 $AB_1 = 28_{-0.52}^0$ 及 $B_1C_1 = 35_{-0.34}^0$

工序10 調頭，精車端面A，保證尺寸 $B_1A_1 = 26_{-0.28}^0$

工序15 再調頭，精車B面和C面，保證尺寸 $A_1B_2 = 25_{-0.14}^0$ 及 $B_2C_2 = 35_{-0.17}^0$

現需檢查一下工序15中車端面C時的餘量 C_2C_1 是否足夠或過大



以餘量 C_2C_1 為封閉段的工藝尺寸式為：

$$C_2C_1 \rightarrow C_2B_2A_1B_1C_1$$

因此有：

$$C_2C_{1\max} = -(35 - 0.17) - (25 - 0.14) + 26 + 35 = 1.31$$

$$C_2C_{1\min} = -35 - 25 + (26 - 0.28) + (35 - 0.34) = 0.38$$

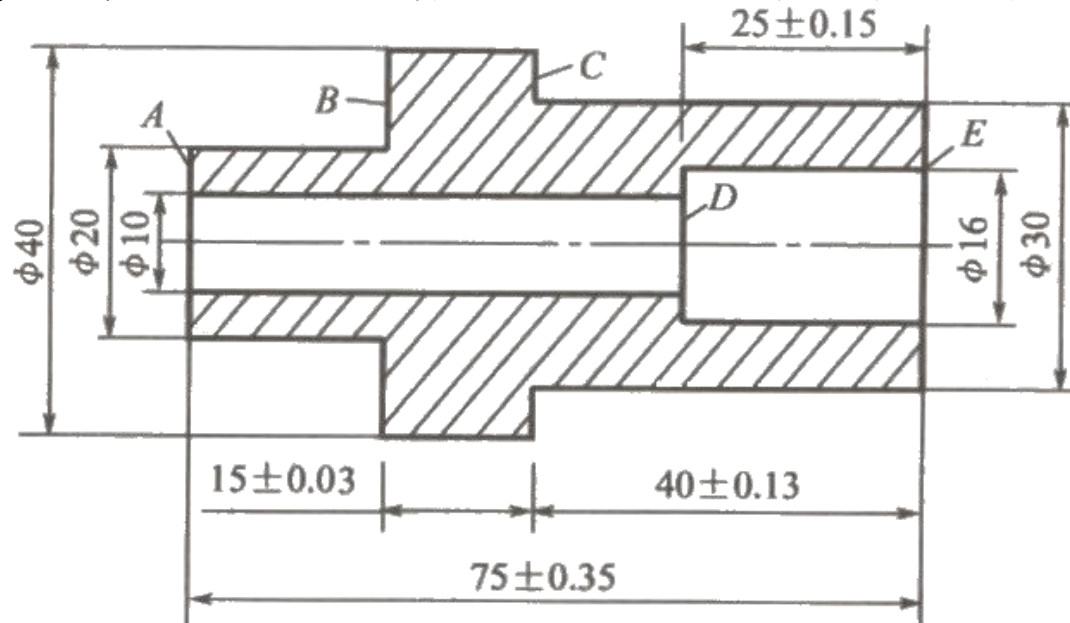
即最大餘量為1.31，最小餘量為0.38，餘量是合適的

第三節 工序尺寸及公差的设计

2. 工序尺寸及公差的綜合計算

軸用棒料作毛胚，軸向各尺寸經五道工序加工而成：

- ∞ 工序5 自動車床加工。由棒料直接粗車成形，最後從棒料上切斷。直接保證軸向尺寸 EA_1 、 EB_1 、 EC_1 、 ED_1
- ∞ 工序10 六角車床精車小端，以凸肩端面軸向定位，直接保證軸向尺寸 C_1B_2 、 C_1A_2
- ∞ 工序15 六角車床精車另一端，以另一端凸肩軸向定位，直接保證軸向尺寸 B_2C_2 、 B_2E_1 、 E_1D_2
- ∞ 工序20 磨削一端圓柱面及其端面，工件用兩端頂尖定位安裝，直接保證軸向尺寸 B_2C_3
- ∞ 工序25 磨削另一端，同樣以兩端的頂尖定位安裝，控制軸向尺寸 C_3B_3



第三節 工序尺寸 及公差的 設計

2. 工序尺寸 及公差的 綜合計算

工序號	工序名稱	工序尺寸代號	工藝尺寸式	雙向對稱公差	最小餘量	餘量變動量	平均餘量	工序平均尺寸	標注成公稱尺寸及單向公差
工序 5	粗車	EA ₁		±0.20				76.35	76.55 _{-0.40}
	粗車	EB ₁		±0.20				56.43	56.63 _{-0.40}
	粗車	EC ₁		±0.20				40	39.80 _{+0.40}
	粗車	ED ₁		±0.20				24.65	24.45 _{+0.40}
工序 10	精車	C ₁ A ₂	A ₁ A ₂ →A ₁ EC ₁ A ₂	±0.15	0.22	±0.55	0.77	35.58	35.73 _{-0.30}
	精車	C ₁ B ₂	B ₁ B ₂ →B ₁ EC ₁ B ₂	±0.10	0.22	±0.50	0.72	15.71	15.81 _{-0.20}
工序 15	精車	B ₂ C ₂	C ₂ C ₁ →C ₂ B ₂ C ₁	±0.10	0.18	±0.20	0.38	15.33	15.43 _{-0.20}
	精車	B ₂ E ₁	E ₁ E→E ₁ B ₂ C ₁ E	±0.10	0.18	±0.40	0.58	55.13	55.23 _{-0.20}
	精車	E ₁ D ₂	D ₂ D ₁ →D ₂ E ₁ B ₂ C ₁ ED ₁	±0.15	0.18	±0.75	0.93	25	24.85 _{+0.30}
工序 20	磨	B ₂ C ₃	C ₃ C ₂ →C ₃ B ₂ C ₂	±0.03	0.07	±0.13	0.20	15.13	15.16 _{-0.06}
工序 25	磨	C ₃ B ₃	B ₂ B ₃ →B ₂ C ₃ B ₃	±0.03	0.07	±0.06	0.13	15	15.03 _{-0.06}
設計尺寸		C ₃ E ₁	C ₃ E ₁ →C ₃ B ₂ E ₁	±0.13				40	
		A ₂ E ₁	A ₂ E ₁ →A ₂ C ₁ B ₂ E ₁	±0.35				75	

注：□內為設計尺寸

第三節 工序尺寸及公差的設計

2. 工序尺寸及公差的綜合計算

首先按加工順序由上至下在工序尺寸代號一欄中寫出相應的工序尺寸代號，零件圖要求的設計尺寸代號寫在工序尺寸代號的下面。根據工序尺寸代號就可以寫出工藝尺寸式，以設計尺寸為目標尺寸的工藝尺寸式寫在相應設計尺寸代號後面，以餘量尺寸為目標尺寸的工藝尺寸式寫在相應工序尺寸代號的後面。到此，工藝尺寸式已全部列在表中，據它及設計尺寸要求，就可以進行工序尺寸及公差的計算

❧ 1) 確定各工序尺寸公差

❧ (1) 確定以間接保證的設計尺寸為目標尺寸的工藝尺寸式中的各相關尺寸公差。

❧ 首先要確定設計尺寸公差較小，相關尺寸數又較多的工藝尺寸式的相關尺寸公差。然後逐個確定設計尺寸公差較大，相關尺寸數又較少的工藝尺寸式的相關尺寸公差。有些工序尺寸同時是幾個工藝尺寸式的相關尺寸，這樣，這些工序尺寸及公差就必須能夠同時滿足這幾個工藝尺寸式。我們按目標尺寸公差較小相關尺寸數又較多的工藝尺寸式所確定的各相關尺寸公差一定較小。較小的尺寸公差一定能滿足目標尺寸公差大相關尺寸數又較少的工藝尺寸式，反之則不行。因此，按照上面的程序所確定的工序尺寸公差一般可以一次成功，減少重複計算。

第三節 工序尺寸及公差的設計

2. 工序尺寸及公差的綜合計算

1) 確定各工序尺寸公差

① 確定以間接保證的設計尺寸為目標尺寸的工藝尺寸式中的各相關尺寸公差

- 間接保證的設計尺寸為目標尺寸的工藝尺寸式為：

$$C_3E_1 \rightarrow C_3B_2E_1 \quad \text{公差為} \pm 0.13$$

$$A_2E_1 \rightarrow A_2C_1B_2E_1 \quad \text{公差為} \pm 0.35$$

- 第一個工藝尺寸式目標尺寸公差遠比第二個工藝尺寸式目標尺寸公差小，故應先按第一個工藝尺寸式確定相關尺寸公差（按極值法）：

$$\delta(C_3B_2) = \pm 0.03 \quad \delta(B_2E_1) = \pm 0.1$$

- 再確定第二個工藝尺寸式中相關尺寸的公差。其中第二個工藝尺寸式的相關尺寸 B_2E_1 也是第一個工藝尺寸式的相關尺寸，它的公差已在前面確定。按工藝尺寸式確定其餘兩個相關尺寸公差為：

$$\delta(C_1B_2) = \pm 0.1$$

$$\delta(A_2C_1) = \pm 0.15$$

第三節 工序尺寸及公差的设计

2. 工序尺寸及公差的綜合計算

1) 確定各工序尺寸公差

② 確定直接保證設計尺寸的工序尺寸公差

- 如果工序尺寸既是以間接保證的設計尺寸為目標尺寸的工藝尺寸式的相關尺寸，又是直接保證的設計尺寸，此類工序尺寸公差在前面已經確定，在此只是應校核一下前面所確定的公差是否能滿足設計尺寸公差。如果前面所確定的工序尺寸公差小於該設計尺寸公差，則原來所確定的工序尺寸公差就不必變動；如果前面所確定的工序尺寸公差大於該設計尺寸公差，則前面所確定的工序尺寸公差應改為設計要求的公差
- 如果直接保證設計尺寸的工序尺寸不是以設計尺寸為目標尺寸的工藝尺寸式的相關尺寸，則工序尺寸公差為設計尺寸公差即可
- 在本例子中，直接保證設計尺寸 D_2E_1 、 B_3C_3 的工序尺寸為 E_1D_2 及 C_3B_3 ，在前面未確定它們的公差，故它們的工序尺寸公差應取設計尺寸公差，即：

$$\delta(E_1D_2)=\pm 0.15 \quad \delta(C_3B_3)=\pm 0.03$$

第三節 工序尺寸及公差的設計

2. 工序尺寸及公差的綜合計算

1) 確定各工序尺寸公差

③ 確定其他工序尺寸的公差

- 上面未被確定的工序尺寸公差可按經濟加工精度確定。應當指出，這類工序尺寸公差，雖與保證設計尺寸精度無關，但它會影響餘量的波動量，在後面的計算中我們就會發現。因此這類工序尺寸公差也不能太大
- 在本例中，取：

$$\delta(B_2C_2)=\pm 0.10$$

$$\delta(EA_1)=\delta(EB_1)=\delta(EC_1)=\delta(ED_1)=\pm 0.20$$

- 到此，全部工序尺寸公差全部確定，由此確定的工序尺寸公差可經濟合理地保證設計尺寸。另一方面，所確定的全部工序尺寸公差是整個計算過程的基礎

第三節 工序尺寸及公差的設計

2. 工序尺寸及公差的綜合計算

2) 確定加工餘量的最小值

- 為保證加工有足夠的餘量，應確保加工時有足夠的最小餘量，故需確定各次加工的最小餘量，以根據它來確定餘量的基本值。
最小餘量應足以消除上道工序所遺留的表面粗糙度、上工序的表面破壞層、上工序的尺寸公差、上工序的形狀和位置誤差及本工序的安裝誤差等。具體數值可根據實際情況按經驗選取
- 本例中，取：

$$Z_{\min}(A_1A_2)=Z_{\min}(B_1B_2)=0.22$$

$$Z_{\min}(C_2C_1)=Z_{\min}(E_1E)=Z_{\min}(D_2D_1)=0.18$$

$$Z_{\min}(C_3C_2)=Z_{\min}(B_2B_3)=0.07$$

第三節 工序尺寸及公差的設計

2. 工序尺寸及公差的綜合計算

3) 計算餘量實際變動的極限範圍（餘量公差）

- 為確保加工有合理的餘量值，首先要計算出餘量的變動範圍（餘量公差）
- 餘量公差等於以餘量為目標尺寸的工藝尺寸式的各相關尺寸公差之和，所以可根據餘量的工藝尺寸式計算出餘量公差
- 本例中，由表可見，前四個加工餘量皆從圓棒料上直接切出，因而不必計算其餘量，其餘的餘量變動量為：

$$\delta(A_1A_2) = \delta(A_1E) + \delta(EC_1) + \delta(C_1A_2) = \pm(0.2 + 0.2 + 0.15) = \pm 0.55$$

$$\delta(B_1B_2) = \delta(B_1E) + \delta(EC_1) + \delta(C_1B_2) = \pm(0.2 + 0.2 + 0.1) = \pm 0.50$$

$$\delta(C_2C_1) = \delta(C_2B_2) + \delta(B_2C_1) = \pm(0.1 + 0.1) = \pm 0.20$$

$$\delta(E_1E) = \delta(E_1B_2) + \delta(B_2C_1) + \delta(C_1E) = \pm(0.1 + 0.1 + 0.2) = \pm 0.40$$

$$\begin{aligned} \delta(D_2D_1) &= \delta(D_2E_1) + \delta(E_1B_2) + \delta(B_2C_1) \\ &\quad + \delta(C_1E) + \delta(ED_1) = \pm(0.15 + 0.1 + 0.1 + 0.2 + 0.2) = \pm 0.75 \end{aligned}$$

$$\delta(C_3C_2) = \delta(C_3B_2) + \delta(B_2C_2) = \pm(0.03 + 0.1) = \pm 0.13$$

$$\delta(B_2B_3) = \delta(B_2C_3) + \delta(C_3B_3) = \pm(0.03 + 0.03) = \pm 0.06$$

第三節 工序尺寸及公差的設計

2. 工序尺寸及公差的綜合計算

4) 計算餘量平均值

$$Z_{\text{平均}} = \frac{Z_{\min} + Z_{\max}}{2} = \frac{Z_{\min} + (Z_{\min} + \delta_Z)}{2} = Z_{\min} + \frac{\delta_Z}{2}$$

- 上式說明，餘量的平均值等於最小餘量與餘量公差半值之和，即等於最小餘量加餘量雙向對稱公差的絕對值。因此根據上面確定的最小餘量及雙向對稱公差就可算出餘量的平均值，如 $C_2C_1=0.18+0.20=0.38$ 等

第三節 工序尺寸及公差的設計

2. 工序尺寸及公差的綜合計算

5) 計算確定工序尺寸的基本值

1) 直接保證設計尺寸的工序尺寸的基本值等於相應設計尺寸的基本值

● 本例中有： $E_1D_2=25$ $C_3B_3=15$

2) 確定其餘工序尺寸的基本值有兩種方法：

方法1：根據工序尺寸式逐個計算工序尺寸的基本值

由 $B_2B_3 \rightarrow B_2C_3B_3$ 得： $0.13=B_2C_3-15$

得 $B_2C_3=15.13$

由 $C_3E_1 \rightarrow C_3B_2E_1$ 得： $40=-15.13+B_2E_1$

得 $B_2E_1=55.13$

由 $C_3C_2 \rightarrow C_3B_2C_2$ 得： $0.2=-15.13+B_2C_2$

得 $B_2C_2=15.33$

由 $C_2C_1 \rightarrow C_2B_2C_1$ 得： $0.38=-15.33+B_2C_1$

得 $B_2C_1=15.71$

由 $A_2E_1 \rightarrow A_2C_1B_2E_1$ 得： $75=A_2C_1-15.71+55.13$

得 $A_2C_1=35.58$

由 $E_1E \rightarrow E_1B_2C_1E$ 得： $0.58=-55.13+15.71+C_1E$

得 $C_1E=40$

由 $B_1B_2 \rightarrow B_1EC_1B_2$ 得： $0.72=B_1E-40-15.71$

得 $B_1E=56.43$

由 $A_1A_2 \rightarrow A_1EC_1A_2$ 得： $0.77=A_1E-40-35.58$

得 $A_1E=76.35$

由 $D_2D_1 \rightarrow D_2E_1B_2C_1ED_1$ 可簡化為 $D_2D_1 \rightarrow D_2E_1ED_1$

得 $0.93=25+0.58-ED_1$

得 $ED_1=24.65$

第三節 工序尺寸及公差的設計

2. 工序尺寸及公差的綜合計算

5) 計算確定工序尺寸的基本值

2) 確定其餘工序尺寸的基本值有兩種方法：

方法2：餘量加減法

- 因為工序尺寸代號和設計尺寸代號相同的工序尺寸的基本值只和設計尺寸差一個或幾個餘量，據此，可以求得全部類似工序尺寸得基本值。如：

$$B_2C_3=B_3C_3+B_2B_3=15+0.13=15.13$$

第三節 工序尺寸及公差的设计

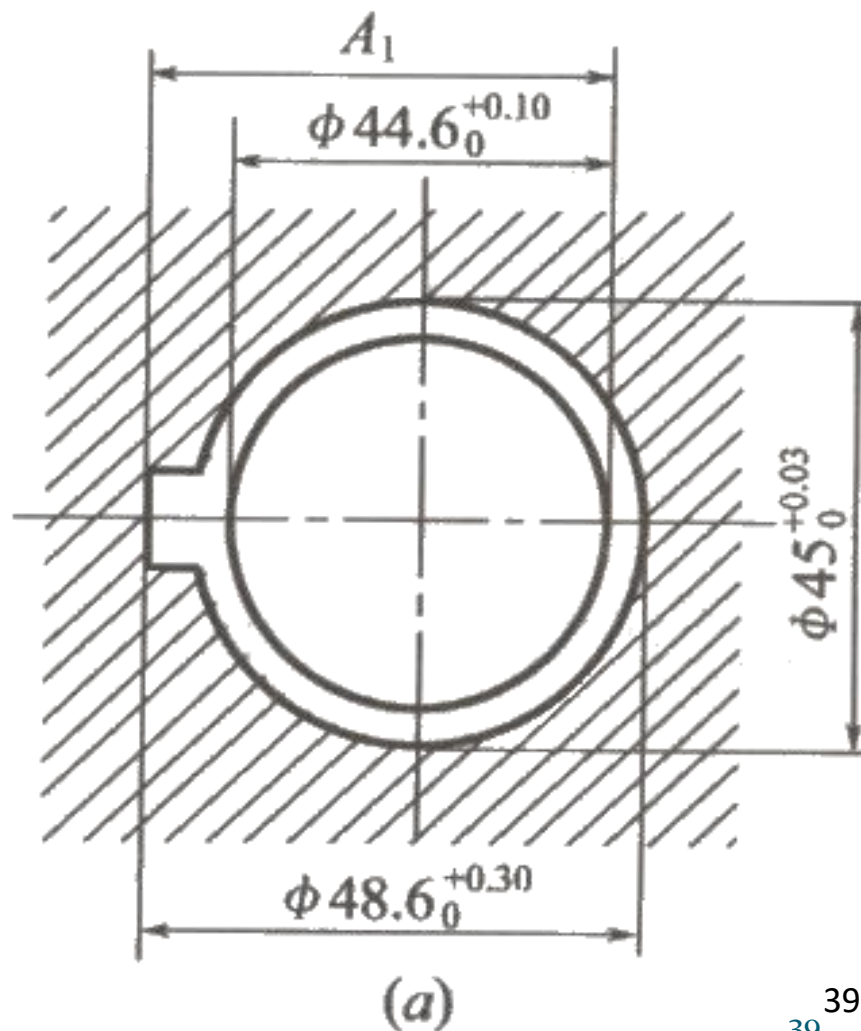
3. 熱處理對工件尺寸的影響

- **熱處理**：一種重要的金屬加工工藝，在機械製造工藝中已被廣泛地應用
- 經過正確地熱處理，可提高使用性能，改善工藝性能，達到充分發揮材料性能潛力，提高產品質量，延長使用壽命，提高經濟效益的目的
- 在熱處理加工過程中，由於各部分冷熱收縮不均勻以及金相組織轉變的體積變化，使零件的內部產生了相當大的內應力（有熱應力、組織應力等）。零件的結構愈複雜，各部分的厚度愈不均勻，散熱的條件相差愈大，則在零件內部產生的內應力也愈大，引起變形的可能性也愈大。由於內應力的作用，或多或少地會引起零件的變形（在某一方向上或增大、或減小、或彎曲），從而影響工件尺寸的大小

第三節 工序尺寸及公差的设计

3. 熱處理對工件尺寸的影響

- 如在右圖例中有熱處理工序，經過熱處理後，就可能使內孔的大小在某一個方向或某幾個方向上產生變形，使內孔增大或縮小，影響到後面的磨內孔工序的磨削餘量或零件的合格與否
- 至於熱處理後，工件的尺寸變大還是變小，和工件的材料、尺寸大小及熱處理方式等眾多因素有關，一般要根據實驗確定
- 這裡要強調的是熱處理變形引起的誤差在計算工序尺寸時一定要考慮，否則計算出的結果就與實際不符，甚至造成廢品零件



第三節 工序尺寸及公差的設計

4. 典型零件的工序尺寸及公差的設計

1) 階梯軸軸向尺寸及公差的確定

● 階梯軸加工該零件的有關工藝過程如下：

工序5 車床上加工棒料，保證工序尺寸 GF_1 、 F_1C_1 、 C_1B_1 、 GA_1

工序10 精車小端面，保證工序尺寸 C_1A_2 、 A_2B_2

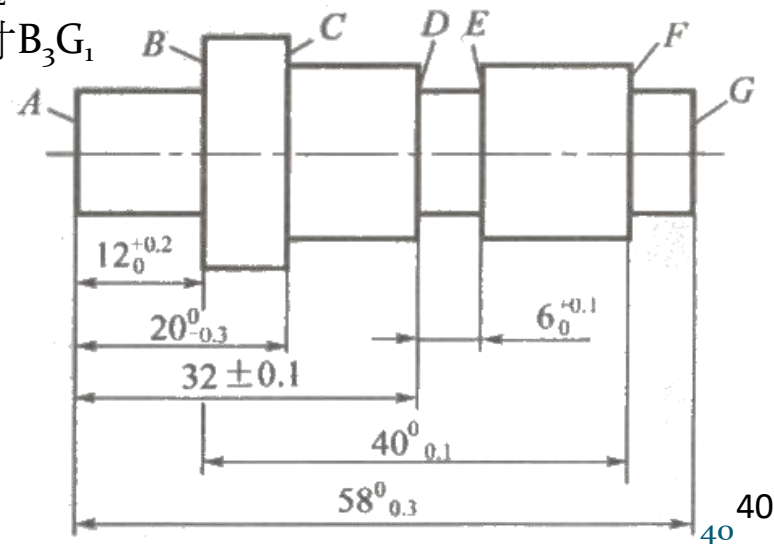
工序15 精車外圓及切槽，直接保證軸向工序尺寸 B_2D_1 、 D_1E_1

工序20 磨外圓柱面及端面，直接保證軸向工序尺寸 B_2C_2

工序25 磨小頭，直接保證軸向工序尺寸 A_2B_3

工序30 磨軸端，直接保證軸向工序尺寸 B_3F_2

工序35 磨端頭平面，直接保證軸向工序尺寸 B_3G_1



第三節 工序尺寸及公差的设计

4. 典型零件的工序尺寸及公差的设计

1) 阶梯轴轴向尺寸及公差的确定

- 求解全部工序尺寸、餘量及公差的步骤如下：

- ① 畫出43頁的表格，並按加工順序將工序名稱及工序尺寸符號填入表內
- ② 寫出全部工藝尺寸式，其中工序5及工序15的餘量為粗加工餘量，如果不確定毛坯尺寸，它們的餘量不需計算，故不必寫出它們的工藝尺寸式
- ③ 確定全部工序尺寸的雙向對稱公差
 - a. 確定和設計尺寸有關的工序尺寸公差
 - b. 確定和設計尺寸無關的工序尺寸公差
- ④ 確定各工序的最小餘量
- ⑤ 計算餘量的變動量
- ⑥ 計算平均餘量
- ⑦ 計算工序平均尺寸

第三節 工序尺寸及公差的設計

4. 典型零件的工序尺寸及公差的設計

1) 階梯軸軸向尺寸及公差的確定

工序號	公序名稱	工序尺寸代號	工藝尺寸式	雙向對稱公差	最小餘量	餘量變動量	平均餘量	工序平均尺寸	標注成單向尺寸公差
5	粗車	GF ₁		±0.15				5.88	6.03 ⁰ _{-0.3}
	粗車	F ₁ C ₁		±0.15				32.19	32.34 ⁰ _{-0.3}
	粗車	C ₁ B ₁		±0.15				8.83	8.98 ⁰ _{-0.3}
	粗車	GA ₁		±0.15				58.89	59.14 ⁰ _{-0.3}
10	精車	C ₁ A ₂	A ₁ A ₂ →A ₁ GF ₁ C ₁ A ₂	±0.1	0.3	±0.33	0.63	20.19	20.29 ⁰ _{-0.2}
	精車	A ₂ B ₂	B ₁ B ₂ →B ₁ C ₁ A ₂ B ₂	±0.03	0.3	±0.22	0.52	11.88	11.91 ⁰ _{-0.06}
15	精車	B ₂ D ₁		±0.07				20.12	20.19 ⁰ _{-0.14}
	精車	D ₁ E ₁		±0.05				6.05	6.1 ⁰ _{-0.1}
20	磨	B ₂ C ₂	C ₂ C ₁ →C ₂ B ₂ A ₂ C ₁	±0.12	0.15	±0.19	0.34	7.97	8.09 ⁰ _{-0.24}
25	磨	A ₂ B ₃	B ₂ B ₃ →B ₂ A ₂ B ₃	±0.05	0.15	±0.07	0.22	12.1	12.15 ⁰ _{-0.1}
30	磨	B ₃ F ₂	F ₂ F ₁ →F ₂ B ₃ A ₂ C ₁ F ₁	±0.05	0.1	±0.23	0.33	39.95	40 ⁰ _{-0.1}
	磨	B ₃ G ₁	G ₁ G→G ₁ B ₃ A ₂ C ₁ F ₁ G	±0.1	0.1	±0.31	0.41	45.75	45.85 ⁰ _{-0.2}
設計尺寸			A ₂ D ₁ →A ₂ B ₂ D ₁	±0.1				32	
			A ₂ C ₂ →A ₂ B ₂ C ₂	±0.15				19.85	
			A ₂ G ₁ →A ₂ B ₃ G ₁	±0.15				57.85	

注：□內為設計尺寸

③ 確定全部工序尺寸的雙向對稱公差。

① 確定和設計尺寸有關的工序尺寸公差。

由工藝尺寸式 $A_2D_1 \rightarrow A_1B_2D_1$ (目標尺寸公差為 ± 0.1) 確定：

$$\delta(A_2B_2) = \pm 0.03 \quad \delta(B_2D_1) = \pm 0.07$$

由工藝尺寸式 $A_2C_2 \rightarrow A_2B_2C_2$ (目標尺寸公差為 ± 0.15) 確定：

$$\delta(B_2C_2) = \pm 0.12$$

由工藝尺寸式 $A_2G_1 \rightarrow A_2B_3G_1$ (目標尺寸公差為 ± 0.15) 確定：

$$\delta(A_2B_3) = \pm 0.05 \quad \delta(B_3G_1) = \pm 0.1$$

直接保證設計尺寸 A_2B_3 的工序尺寸 A_2B_3 在前面已確定了

其公差為 ± 0.05 ，能夠滿足設計尺寸 A_2B_3 (公差為 ± 0.10) 的要求。再確定其他兩個直接保證設計尺寸的工序尺寸公差：

② 確定和設計尺寸無關的工序尺寸公差。

$$\delta(B_3F_2) = \pm 0.05 \quad \delta(D_1E_1) = \pm 0.05$$

$$\delta(C_1A_2) = \pm 0.1 \quad \delta(GA_1) = \pm 0.15$$

$$\delta(C_1B_1) = \pm 0.15 \quad \delta(F_1C_1) = \pm 0.15$$

$$\delta(GF_1) = \pm 0.15$$

∞ (4) 確定各工序的最小餘量。

∞ 取：

$$Z_{\min}(A_1A_2) = Z_{\min}(B_1B_2) = 0.3$$

$$Z_{\min}(C_1C_2) = Z_{\min}(B_2B_3) = 0.15$$

$$Z_{\min}(F_2F_1) = Z_{\min}(G_1G) = 0.10$$

∞(5)計算餘量的變動量。

∞由 $\delta = K \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \delta_i^2}$ ，取K=1.2，得：

$$\begin{aligned}\delta(A_1A_2) &= \pm 1.2 \sqrt{0.1^2 + 0.15^2 + 0.15^2 + 0.15^2} \\ &= \pm 0.33\end{aligned}$$

$$\delta(B_1B_2) = \pm 1.2 \sqrt{0.03^2 + 0.1^2 + 0.15^2} = \pm 0.22$$

$$\delta(C_1C_2) = \pm 1.2 \sqrt{0.12^2 + 0.03^2 + 0.1^2} = \pm 0.19$$

$$\delta(B_2B_3) = \pm 1.2 \sqrt{0.05^2 + 0.03^2} = \pm 0.07$$

$$\begin{aligned}\delta(F_1F_2) &= \pm 1.2 \sqrt{0.05^2 + 0.05^2 + 0.1^2 + 0.15^2} \\ &= \pm 0.23\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta(G_1G) &= \pm 1.2 \sqrt{0.1^2 + 0.05^2 + 0.1^2 + 0.15^2 + 0.15^2} \\ &= \pm 0.31\end{aligned}$$

∞(6)計算平均餘量。

∞

由

$$Z_{\text{平均}} = Z_{\min} + \frac{\delta_E}{2} \quad \text{得：}$$

$$A_1A_2 = 0.3 + 0.33 = 0.63$$

$$B_1B_2 = 0.3 + 0.22 = 0.52$$

$$C_1C_2 = 0.15 + 0.19 = 0.34$$

$$B_2B_3 = 0.15 + 0.07 = 0.22$$

$$F_2F_1 = 0.1 + 0.23 = 0.33$$

$$G_1G = 0.1 + 0.31 = 0.41$$

∞(7)計算工序平均尺寸。

∞由工藝尺寸式得：

$$\begin{cases} 0.63 = A_1G - GF_1 - F_1C_1 - C_1A_2 \\ 0.52 = B_1C_1 - C_1A_2 + A_2B_2 \\ 0.34 = -C_2B_2 - B_2A_2 + A_2C_1 \\ 0.22 = -B_2A_2 + 12 \\ 0.33 = -40 - 12 + A_2C_1 + C_1F_1 \\ 0.41 = -G_1B_3 - 12 + A_2C_1 + C_1F_1 + F_1G \\ 19.85 = A_2B_2 + B_2C_2 \\ 32 = A_2B_2 + B_2D_1 \\ 57.85 = 12 + B_3G_1 \end{cases}$$

∞ 解此方程組得：

∞ $GF_1 = 5.88$ $F_1C_1 = 32.19$

∞ $C_1B_1 = 8.83$ $GA_1 = 58.89$

∞ $C_1A_2 = 20.19$ $A_2B_2 = 11.88$

∞ $B_2D_1 = 20.12$ $B_2C_2 = 7.97$

∞ $B_3G_1 = 45.75$

到此工序尺寸及公差全部確定。

∞ 根據習慣，再把工序尺寸公差標成單向尺寸公差（如表所列）。

第三節 工序尺寸及公差的設計

4. 典型零件的工序尺寸及公差的設計

2) 曲軸工序尺寸及公差的確定

- 單缸柴油機曲軸毛坯為QT60-2，工藝過程如下：

工序5 車兩端外圓，平兩平面，鑽中心孔，機床為鼓輪式五工位組合機床，該工序有四個工位

工位1 套車 $\varnothing 100$ 、 $\varnothing 38$ 、 $\varnothing 56$ 留餘量

工位2 車削兩端面，直接保證軸向尺寸

工位3 鑽兩端中心孔

工位4 套車 $\varnothing 100$ 、 $\varnothing 8$ 留餘量，保證軸向尺寸 AB_2 、 AC_1

工序10 以 $\varnothing 100$ 及端面 $\varnothing 56$ 為安裝定位基準，銑 $\varnothing 70$ 主軸頸及開擋，留餘量，機床為專用銑床，有前後兩個刀架，前刀架裝有兩把棒形銑刀，後刀架裝有兩把大直徑的盆狀銑刀，本工序分兩個工步

工步1 後車刀快進轉工進，銑到 $\varnothing 86$ 凸肩處緊靠死檔鐵停留，工件開始低速回轉一周多一點，銑成 $\varnothing 86$ 凸肩外圓及開檔平面，快退

工步2 前刀架快進轉工進，棒銑刀端面沿工件 $\varnothing 70$ 外圓切線進給，進到刀架中心距工件中心約80處緊靠死檔停留，工件低速迴轉一周多一點，銑成 $\varnothing 70$ （留餘量）及 R_4 圓弧，快退

第三節 工序尺寸及公差的設計

4. 典型零件的工序尺寸及公差的設計

2) 曲軸工序尺寸及公差的確定

- 單缸柴油機曲軸毛坯為QT60-2，工藝過程如下：

工序15 銑連杆軸頸及開檔，留餘量，定位同前，機床為專用銑床，結構和動作和工序10基本相同，所不同的是本工序連杆軸頸為旋轉中心，該工序直接保證軸向尺寸 R_1I 、 $IH_1=IJ_1$ 、 R_1K_1 、 K_1G_1

工序20 在M131外圓磨床上，以兩端中心孔定位，磨成 $\varnothing 70h5$ 及 R_4 肩面，直接保證軸向尺寸 R_1P_2 、 P_2N_2 、 N_2E_2

工序25 在M8623曲軸磨床上，以兩端 $\varnothing 70h5$ 軸頸及肩面M定位，磨成 $\varnothing 57h5$ 及 R_4 連杆軸頸，直接保證軸向尺寸 N_2J_2 、 J_2H_2

工序30 在CW6140車床上，以兩端中心孔安裝定位，車 $\varnothing 48d8$ 及其肩面，直接保證軸向尺寸 P_2Q_1

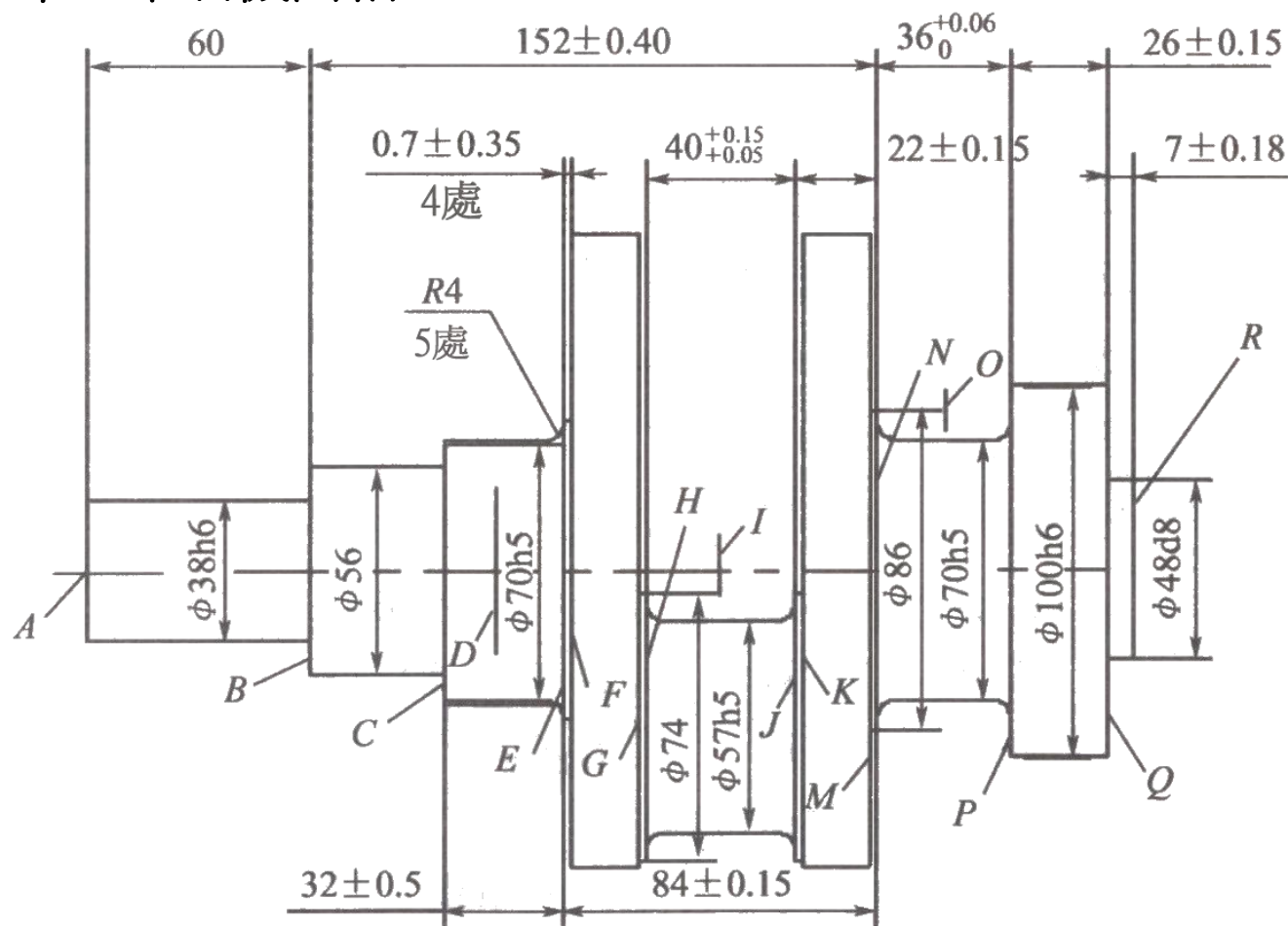
第三節

工序尺寸及公差的設計

4. 典型零件的工序尺寸及公差的设计

2) 曲軸工序尺寸及公差的確定

● 單缸柴油機曲軸



第三節 工序尺寸及公差的設計

4. 典型零件的工序尺寸及公差的設計

2) 曲軸工序尺寸及公差的確定

- 確定有關工序尺寸及公差，並且確定毛胚的尺寸及公差。設毛胚為精密鑄造
 - ① 把各工序中直接保證的軸向工序尺寸代號按加工順序的先後填入54頁的表中，同時把設計尺寸的平均值，設計尺寸的雙向對稱公差值也填入表中的相應位置
 - ② 寫出工藝尺寸式
 - ③ 確定各工序雙向對稱公差（在相關尺寸段數大於3的情況下採用概率法計算）
 - ④ 確定最小餘量值直接填入表中
 - ⑤ 根據餘量工藝尺寸式計算餘量變動量（在此毛胚尺寸公差均取 ± 0.5 ）
 - ⑥ 計算平均餘量
 - ⑦ 根據工藝尺寸式計算工序平均尺寸

第三節 工序尺寸 及公差的 設計

4. 典型零件的工 序尺寸及公差 的設計

2) 曲軸工序尺 寸及公差的 確定

序號	工序 尺寸 代號	工藝尺寸式	雙向 對稱 公差	最小 餘量	餘量 變動量	平均 餘量	平均 尺寸	尺寸
1	AB ₁	BB ₁ →BAB ₁	±0.17	0.20	±0.67	0.87	60	60±0.17
2	AC ₁	CC ₁ →CAC ₁	±0.25	0.20	±0.75	0.95	96	96±0.25
3	AR ₁	R ₁ R→R ₁ AR	±0.17	0.20	±0.67	0.87	281.03	281.03±0.17
4	R ₁ O		±0.05				51.01	51.01±0.05
5	ON ₁	N ₁ N→N ₁ OR ₁ AN	±0.03	0.15	±0.80	0.95	17.76	17.76±0.03
6	OP ₁	PP ₁ →PAR ₁ OP ₁	±0.03	0.15	±0.80	0.95	17.76	17.76±0.03
7	OD		±0.05				120.11	120.11±0.05
8	DE ₁	EE ₁ →EAR ₁ ODE ₁	±0.03	0.15	±0.80	0.95	17.76	17.76±0.03
9	R ₁ M ₁	M ₁ M→M ₁ R ₁ AM	±0.22	0.15	0.86	1.01	69.73	69.73±0.22
10	R ₁ F ₁	FF ₁ →FAR ₁ F ₁	±0.18	0.15	±0.84	0.99	152.33	152.33±0.18
11	R ₁ I		±0.05				111.03	111.03±0.05
12	IH ₁	H ₁ H→H ₁ IR ₁ AH	±0.03	0.15	±0.80	0.95	19.71	19.71±0.03
13	IJ ₁	JJ ₁ →JAR ₁ IJ ₁	±0.03	0.15	±0.80	0.95	19.71	19.71±0.03
14	R ₁ K ₁	KK ₁ →KAR ₁ K ₁	±0.12	0.15	±0.81	0.96	90.33	90.33±0.12
15	K ₁ G ₁	G ₁ G→G ₁ K ₁ R ₁ AG	±0.10	0.15	±0.83	0.98	41.45	41.45±0.10
16	R ₁ P ₂	P ₁ P ₂ →P ₁ OR ₂ P ₂	±0.10	0.08	±0.17	0.25	33	33±0.10
17	P ₂ N ₂	N ₂ N ₁ →N ₂ P ₂ R ₁ ON ₁	±0.03	0.08	0.18	0.26	36.03	36.03±0.03
18	N ₂ E ₂	E ₁ E ₂ →E ₁ DOR ₁ P ₂ NE ₂	±0.10	0.08	±0.25	0.33	84	84±0.10
19	N ₂ J ₂	J ₁ J ₂ →J ₁ IR ₁ P ₂ N ₂ J ₂	±0.10	0.06	±0.23	0.29	22	22±0.10
20	J ₂ H ₂	H ₂ H ₁ →H ₂ J ₂ N ₂ P ₂ R ₁ IH ₁	±0.10	0.06	±0.28	0.34	40.5	40.05±0.10
21	P ₂ Q ₁	Q ₁ Q→Q ₁ P ₂ R ₁ AQ	±0.08	0.20	±0.81	1.01	26	26±0.08
設計尺寸			設計 要求					實際公差
22	B ₁ N ₂	B ₁ N ₂ →B ₁ AR ₁ P ₂ N ₂	±0.40				152	±0.39
23	C ₁ E ₂	C ₁ E ₂ →C ₁ AR ₁ P ₂ N ₂ E ₂	±0.50				32	±0.50
24	E ₂ F ₁	E ₂ F ₁ →E ₂ N ₂ P ₂ R ₁ F ₁	±0.35				0.7	±0.35
25	G ₁ H ₂	G ₁ H ₂ →G ₁ K ₁ R ₁ P ₂ N ₂ J ₂ H ₂	±0.35				0.7	±0.36
26	J ₂ K ₁	J ₂ K ₁ →J ₂ N ₂ P ₂ R ₁ K ₁	±0.35				0.7	±0.28
27	M ₁ N ₂	M ₁ N ₂ →M ₁ R ₁ P ₂ N ₂	±0.35				0.7	±0.36
28	Q ₁ R ₁	Q ₁ R ₁ →Q ₁ P ₂ R ₁	±0.18				7	±0.18

注：□內為設計尺寸

✧ (2) 寫出工藝尺寸式。

✧ 對照設計尺寸和各工序中直接保證的軸向尺寸可以看出， 152 ± 0.4 ， 32 ± 0.5 ， 0.7 ± 0.35 （四處）， 7 ± 0.18 均為間接保證的設計尺寸，故應寫出以其為目標尺寸的工藝尺寸式。另外，餘量也都是在加工中間接保證的，故也應寫出以各個餘量為目標尺寸的工藝尺寸式。

✧ 工藝尺寸式可直接寫入表中相應位置。

∞ (3) 確定各工序雙向對稱公差（在相關尺寸段數大於3的情況下採用概率法計算）。

∞ 根據 $G_1H_2 \rightarrow G_1K_1R_1P_2N_2J_2H_2$ 確定：

$$\delta(G_1K_1) = \pm 0.10 \quad \delta(K_1R_1) = \pm 0.12$$

$$\delta(R_1P_2) = \pm 0.10 \quad \delta(P_2N_2) = \pm 0.03$$

∞

（注意它應保證設計尺寸 P_2N_2 的公差要求）

∞

$$\delta(N_2J_2) = \pm 0.10 \quad \delta(J_2H_2) = \pm 0.10$$

∞ 驗算目標尺寸公差：

$$\begin{aligned} \delta(G_1H_2) &= \pm 1.5 \sqrt{0.1^2 + 0.12^2 + 0.1^2 + 0.03^2 + 0.1^2 + 0.1^2} \\ &= \pm 0.35 \end{aligned}$$

∞ 根據 $E_2F_1 \rightarrow E_2N_2P_2R_1F_1$ 確定：

$$\delta(N_2E_2) = \pm 0.10 \quad \delta(R_1F_1) = \pm 0.18$$

∞ 驗算目標尺寸公差：

$$\begin{aligned} \delta(E_2F_1) &= \pm 1.5 \sqrt{0.1^2 + 0.03^2 + 0.1^2 + 0.18^2} \\ \delta(P_1P_2) &= \pm 0.35 \end{aligned}$$

根據 $J_2K_1 \rightarrow J_2N_2P_2R_1K_1$ 驗算目標尺

$$\begin{aligned} \delta(J_2K_1) &= \pm 1.5 \sqrt{0.1^2 + 0.03^2 + 0.1^2 + 0.12^2} \\ &= \pm 0.28 \end{aligned}$$

∞ 根據 $M_1N_2 \rightarrow M_1R_1P_2N_2$ 確定:

∞ $\delta(M_1R_1) = \pm 0.22$

∞ 驗算目標尺寸公差:

∞ $\delta(M_1N_2) = \pm (0.22 + 0.1 + 0.03) = \pm 0.35$

∞ 根據 $Q_1R_1 \rightarrow Q_1P_2R_1$ 確定:

∞ $\delta(Q_1R_1) = \pm 0.08$

∞ 驗算目標尺寸公差:

$$\delta(Q_1R_1) = \pm (0.08 + 0.1) = \pm 0.18$$

∞ 根據 $C_1E_2 \rightarrow C_1AR_1P_2N_2E_2$ 確定:

∞ $\delta(C_1A) = \pm 0.25 \quad \delta(AR_1) = \pm 0.17$

∞ 驗算目標尺寸公差:

$$\begin{aligned} \delta(C_1E_2) &= \pm 1.5 \sqrt{0.25^2 + 0.17^2 + 0.1^2 + 0.03^2 + 0.1^2} \\ &= \pm 0.50 \end{aligned}$$

∞ 根據 $B_1N_2 \rightarrow B_1AR_1P_2N_2$ 確定:

∞ $\delta(B_1A) = \pm 0.17$

∞ 驗算目標尺寸公差:

$$\begin{aligned} \delta(B_1N_2) &= \pm 1.5 \sqrt{0.17^2 + 0.17^2 + 0.1^2 + 0.03^2} \\ &= \pm 0.39 \end{aligned}$$

∞ 從驗算結果看,以上所確定的工序尺寸公差可以滿足設計要求。除以上所確定的工序尺寸公差外,其他工序尺寸公差都不會影響設計尺寸的公差。對於這類工序尺寸公差,可以按照經濟加工精度取:

$$\begin{aligned}\delta(R_1 O) &= \pm 0.05 & \delta(OD) &= \pm 0.05 \\ \delta(R_1 I) &= \pm 0.05 & \delta(R_1 F_1) &= \pm 0.18 \\ \delta(ON_1) &= \delta(OP_1) &= \pm 0.03 \\ \delta(IH_1) &= \delta(IJ_1) &= \pm 0.03\end{aligned}$$

∞ 將以上所確定的工序尺寸公差填入表中。

❧ (4) 確定最小餘量值直接填入表中。

(5) 根據餘量工藝尺寸式計算餘量變動量（在此毛胚尺寸公差均取 ± 0.5 ）。

$$\delta(BB_1) = \pm (0.17 + 0.5) = \pm 0.67$$

$$\delta(CC_1) = \pm (0.25 + 0.5) = \pm 0.75$$

$$\delta(R_1R) = \pm (0.17 + 0.5) = \pm 0.67$$

$$\delta(N_1N) = \pm 1.5 \sqrt{0.03^2 + 0.05^2 + 0.17^2 + 0.5^2} = \pm 0.80$$

$$\delta(PP_1) = \pm 1.5 \sqrt{0.5^2 + 0.17^2 + 0.05^2 + 0.03^2} = \pm 0.80$$

$$\begin{aligned} \delta(E E_1) &= \pm 1.5 \sqrt{0.5^2 + 0.17^2 + 0.05^2 + 0.05^2 + 0.03^2} \\ &= \pm 0.80 \end{aligned}$$

$$\delta(M_1M) = \pm 1.5 \sqrt{0.22^2 + 0.17^2 + 0.5^2} = \pm 0.86$$

$$\delta(FF_1) = \pm 1.5 \sqrt{0.5^2 + 0.17^2 + 0.18^2} = \pm 0.84$$

$$\delta(H_1H) = \pm 1.5 \sqrt{0.03^2 + 0.05^2 + 0.17^2 + 0.5^2} = \pm 0.80$$

$$\delta(JJ_1) = \pm 1.5 \sqrt{0.5^2 + 0.17^2 + 0.05^2 + 0.03^2} = \pm 0.80$$

$$\delta(KK_1) = \pm 1.5 \sqrt{0.5^2 + 0.17^2 + 0.12^2} = \pm 0.81$$

$$\delta(G_1G) = \pm 1.5 \sqrt{0.5^2 + 0.17^2 + 0.12^2 + 0.1^2} = \pm 0.83$$

$$\delta(P_1P_2) = \pm 1.5 \sqrt{0.1^2 + 0.05^2 + 0.03^2} = \pm 0.17$$

$$\delta(N_2N_1) = \pm 1.5 \sqrt{0.03^2 + 0.1^2 + 0.05^2 + 0.03^2} = \pm 0.18$$

$$\begin{aligned} \delta(E_1E_2) &= \pm 1.5 \sqrt{0.1^2 + 0.03^2 + 0.1^2 + 0.05^2 + 0.05^2 + 0.03^2} \\ &= \pm 0.25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta(J_1J_2) &= \pm 1.5 \sqrt{0.1^2 + 0.03^2 + 0.1^2 + 0.05^2 + 0.03^2} \\ &= \pm 0.23 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta(H_2H_1) &= \pm 1.5 \sqrt{0.1^2 + 0.1^2 + 0.03^2 + 0.1^2 + 0.05^2 + 0.03^2} \\ &= \pm 0.28 \end{aligned}$$

$$\delta(Q_1Q) = \pm 1.5 \sqrt{0.08^2 + 0.1^2 + 0.17^2 + 0.5^2} = \pm 0.82$$

∞ (6) 計算平均餘量。

∞ 最小餘量與雙向對稱公差絕對值之和即為平均餘量，把計算結果填入表中。

∞ (7) 根據工藝尺寸式計算工序平均尺寸。

∞ 根據表3-3 中序號28 得： $7 = 26 + P_2 R_1$

∞ 得 $P_2 R_1 = 33$

∞ 根據表3-3 中序號27得： $0.7 = M_1 R_1 - 33 - 36.03$

∞ 得 $M_1 R_1 = 69.73$

∞ 根據表3-3 中序號26得： $0.7 = 22 + 36.03 + 33 - R_1 K_1$

∞ 得 $R_1 K_1 = 90.33$

✧ 根據表3-3 中序號25得： $0.7 = G_1K_1 + 90.33 + 33 - 36.03 - 22 - 40.05$

✧ 得 $G_1K_1 = 41.45$

✧ 根據表3-3 中序號24 得： $0.7 = 84 + 36.03 + 33 - R_1F_1$

✧ 得 $R_1F_1 = 152.33$

✧ 根據表3-3 中序號22 得： $152 = -60 + AR_1 - 33 - 36.03$

✧ 得 $AR_1 = 281.03$

✧ 根據表3-3 中序號23 得： $32 = -C_1A + 251.03 - 33 - 36.03 - 84$

✧ 得 $C_1A = 96$

✧ 根據表3-3 中序號21得： $1.01 = -26 + 33 - 281.03 + AQ$

✧ 得 $AQ = 275.04$

∞ 根據表3-3中序號19及序號20得：

$$\begin{cases} 0.29 = -J_1 I + IR_1 - 33 - 36.03 - 22 \\ 0.34 = 40.05 + 22 + 36.03 + 33 - R_1 I - IH_1 \end{cases}$$

由於 $IJ_1 = IH_1$ ，解方程得：

$$\begin{cases} IJ_1 = IH_1 = 19.71 \\ IR_1 = 111.03 \end{cases}$$

根據表3-3中序號16及序號17得：

$$\begin{cases} 0.25 = -P_1 O + OR_1 - 33 \\ 0.26 = 36.03 + 33 - R_1 O - ON_1 \end{cases}$$

∞ 由於 $ON_1 = OP_1$ ，解方程得：

$$\begin{cases} ON_1 = OP_1 = 17.76 \\ OR_1 = 51.01 \end{cases}$$

∞

根據表3-3中號18 得：

∞ $0.33 = -17.76 + DO + 51.01 - 33 - 36.03 - 84$

∞ 得 $DO = 120.11$

∞ 到此，工序平均尺寸已計算完畢，下面計算毛胚尺寸。

✧ 根據表3-3 中序號15得： $0.98 = 41.15 + 90.33 - 281.03 + AG$

✧ 得 $AG = 150.53$

✧ 根據表3-3 中序號14得： $0.96 = -KA + 281.03 - 90.33$

✧ 得 $AK = 189.74$

✧ 根據表3-3 中序號13得： $0.95 = -JA + 281.03 - 111.03 + 19.71$

✧ 得 $AJ = 188.76$

✧ 根據表3-3 中序號12得： $0.95 = 19.71 + 111.03 - 281.03 + AH$

✧ 得 $AH = 151.24$

✧ 根據表3-3 中序號10得： $0.99 = -FA + 281.03 - 152.33$

✧ 得 $AF = 127.71$

☞ 根據表3-3 中序號9得： $1.01=69.73-281.03+AM$

☞ 得 $AM = 212.31$

☞ 根據表3-3 中序號8得： $0.95 = -EA + 281.03 - 51.01 - 120.11 + 17.76$

☞ 得 $AE=126.72$

☞ 根據表3-3 中序號6得： $0.95 = -PA + 281.03 - 51.01 + 17.76$

☞ 得 $AP=246.83$

☞ 根據表3-3 中序號5得： $0.95 = 17.76 + 51.01 - 281.03 + AN$

☞ 得 $AN = 213.21$

☞ 根據表3-3 中序號3得： $0.87 = -281.03 + AR$

☞ 得 $AR= 281.9$

☞ 根據表3-3 中序號2得： $0.95 = -CA + 96$

☞ 得 $CA=96.95$

☞ 根據表3-3 中序號1得： $0.87 = -BA + 60$

☞ 得 $AB=60.87$

❧ 至此，工序平均尺寸，毛胚平均尺寸以及它們的公差都已全部確定，按此所確定的尺寸作毛胚及按此確定的工序尺寸對工件進行加工能經濟合理地滿足設計要求，同時又有合理的餘量值。

❧ 以表3-3可以看出，以設計尺寸（除 $Q_1 R_1$ ）為目標尺寸的工藝尺寸式以及所有第二次加工面餘量為目標尺寸的工藝尺寸式都含有 $R_1 P_2 N_2$ ，如果在工序20中直接保證 $R_1 N_2$ 及 $N_2 P_2$ （例中直接保證 $R_1 P_2$ 及 $P_2 N_2$ ），則上面這些工藝尺寸式右端就可以去掉，從而使這些工藝尺寸式少了一個相關尺寸，這樣既可以增大有關工序的工序尺寸公差，又可使餘量波動量小一些。

第三節 工序尺寸及公差的設計

4. 典型零件的工序尺寸及公差的设计

3) 殼體類零件工序尺寸計算

- 殼體類零件在一般機器零件中也占有重要地位
- 常見的殼體類零件：箱體、機體、外殼等，這類零件尺寸也比較複雜，而且尺寸往往在幾個不同的方向上，因此，計算這類零件工序尺寸有它自己的特點。
- **注意：**這類零件在不同尺寸方向上應該分別按順序標註不同的英文字母以表示不同方向的各個面

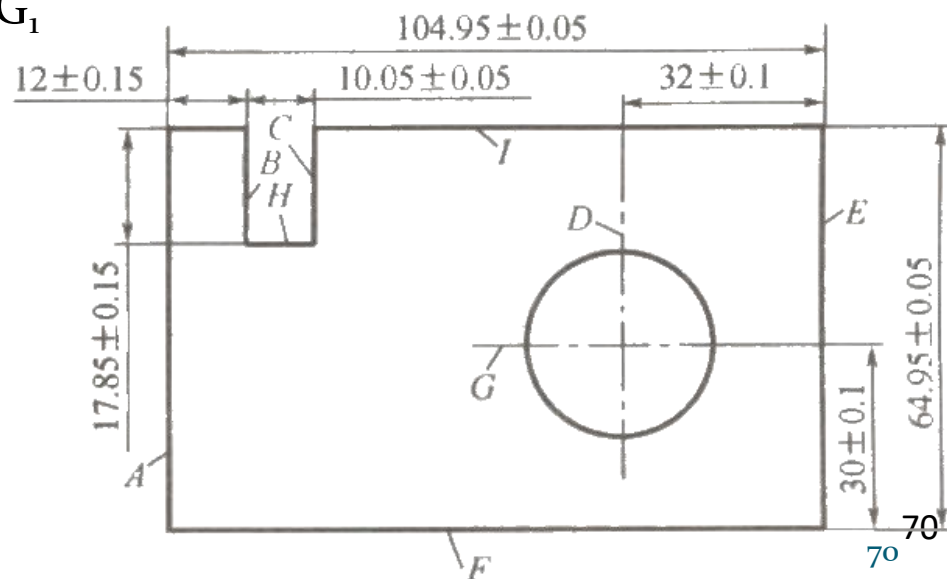
第三節 工序尺寸及公差的設計

4. 典型零件的工序尺寸及公差的設計

3) 殼體類零件工序尺寸計算練習

箱體的視圖與加工該視圖上各尺寸零件的有關工序為：

- 工序05 銑E面，保證尺寸 AE_1
- 工序10 銑A面，保證尺寸 E_1A_1
- 工序15 銑I面，保證尺寸 FI_1
- 工序20 銑F面，保證尺寸 I_1F_1
- 工序25 銑槽，保證尺寸 I_1H_1 及 A_1B_1 、 B_1C_1
- 工序30 鏜孔，保證尺寸 E_1D_1 及 F_1G_1
- 工序35 磨A面，保證尺寸 E_1A_2
- 工序40 磨E面，保證尺寸 A_2E_2
- 工序45 磨I面，保證尺寸 F_1I_2
- 工序50 磨F面，保證尺寸 I_2F_2



第三節 工序尺寸及公差的設計

4. 典型零件的工序尺寸及公差的設計

3) 殼體類零件工序尺寸計算

- ① 建立工序尺寸計算表，並寫出相應工藝尺寸式
- ② 確定工序尺寸公差
- ③ 確定最小餘量，直接填入表中
- ④ 計算餘量的變動量
- ⑤ 計算平均餘量
- ⑥ 計算工序平均尺寸

第四節 工藝尺寸式的特點

1. 不需畫圖，而用英文字母表示工藝尺寸關係

- ∞ 尋找工藝尺寸關係特別方便
- ∞ 不論工藝尺寸關係多複雜，在一張表中都可以很方便地寫出全部有關的工藝尺寸式
- ∞ 在計算工序尺寸時，可直接利用表中所列的工藝尺寸式，而不必在計算過程中再尋找工藝尺寸關係，因而可大大減少出錯的機會，提高工作品質和效率

2. 便於計算機輔助計算

- 計算機輔助工序尺寸及公差設計是CAPP（計算機輔助工藝規程設計）的一個難點，由於工藝尺寸式法條理清晰，不需畫圖，可以很方便地解決這個問題

第四節 工藝尺寸式的特點

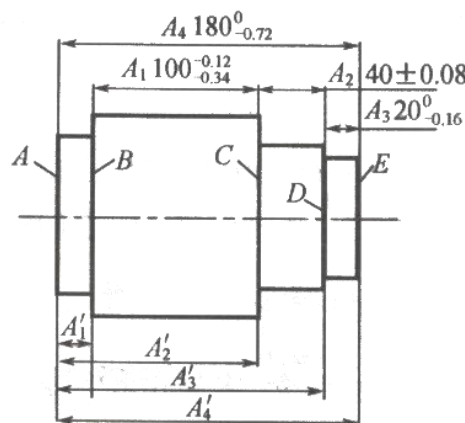
3. 概念少，不易出錯

- 工藝尺寸式法省略了許多不必要的概念，容易正確掌握
- 傳統工藝尺寸鏈中有許多概念，如封閉環、組成環、增環、減環等。計算尺寸鏈之前需要正確找出封閉環和組成環，判斷各組成環是增環還是減環
- **注意：**所有文獻中都定義間接獲得的尺寸為封閉環，而間接獲得的尺寸又很多，究竟哪些尺寸應為封閉環，工藝人員在應用時經常搞錯，給生產帶來損失
- 工藝尺寸式不需要專門的計算公式，其本身就是數學表達式，所以工藝尺寸式中將不會出現相應的概念，
- 學習和掌握特別容易，可大大提高教學質量和效率

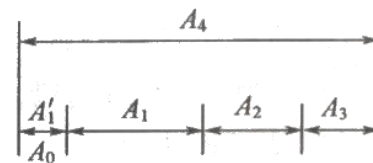
第四節 工藝尺寸式的特點

- 階梯軸上方標註設計尺寸，在多刀車床上加工時，採用單一基準的定位原則，工序尺寸為 A'_1 、 A'_2 、 A'_3 及 A'_4 ，現要確定工序尺寸及公差
- 用尺寸鏈法解答的過程如下：

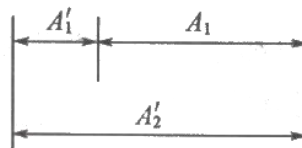
1. 求算尺寸 A'_1
2. 求算尺寸 A'_2
3. 求算尺寸 A'_3
4. 求算尺寸 A'_4



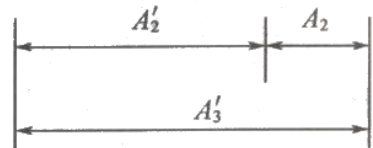
(a)



(b)



(c)



(d)

∞ (1) 求算尺寸 A_1' 。

∞ 尺寸 A_1' 的尺寸鏈如圖3-10 (b) 所示，在零件圖上，尺寸 A_1' 是不要求的，它是由 A_1 ， A_2 ， A_3 及 A_4 來決定的，因此是封閉環，用豎式法解尺寸鏈即可。

∞ 這是已知組成環，求封閉環，計算可得

$$A_{1\max}' = 180 - 99.66 - 39.92 - 19.84 = 20.58$$

$$A_{1\min}' = 179.28 - 99.88 - 40.08 - 20 = 19.32$$

$$A_1' = 20_{-0.68}^{+0.58}$$

∞(2) 求算尺寸 A_2' 。

∞尺寸 A_2' 的尺寸鏈如圖3-10 (c) 所示，它是由 A_1' ， A_1 及 A_2' 所組成的封閉環鏈。其中 A_1' 是由加工直接得到的，它的數值已由上一個尺寸鏈求出； A_2' 是要求算的尺寸，它也是由加工可以直接得到的；只有 A_1 是由 A_1' 和 A_2' 所間接得到，也就是它的尺寸是由 A_1' 和 A_2' 所決定的，因此 A_1 是封閉環。分析這個尺寸鏈，尺寸 A_1 的公差 $T_{A_1}=0.22\text{mm}$ ，尺寸 A_1' 的公差 $T_{A_1'}=1.26$ ，產生了封閉環的公差小於組成環的公差的情況，根據極值法的理論，封閉環的公差應等於各組成環公差之和，因此無論 A_2' 的公差等於多少，都不能解這個尺寸鏈。這時，只有修改 A_1' 的公差，使它小於封閉環的公差 T_{A_1} ，才能求算 A_2' 。

❧ 這個尺寸鏈，現在成為已知封閉環的尺寸，要求算組成環的尺寸。由於有兩個組成環，即有兩個未知數，但只有一個方程式，因此不能解。採用等公差法分配這兩個組成環的公差，則 $T_{A'_1} = 0.11\text{mm}$ ， $T_{A'_2} = 0.11\text{mm}$ ；考慮到 A'_1 的尺寸較小，故決定 $T_{A'_1} = 0.10\text{mm}$ ， $T_{A'_2} = 0.12\text{mm}$ 。再令 $A'_1 = 20^{+0.58}_{+0.48}\text{mm}$ ，則可用豎式法求得 $A'_2 = 120^{+0.36}_{+0.24}\text{mm}$ 。

❧ 從求算 A'_2 的過程中得知，為了保證 $A_1 = 100^{-0.12}_{-0.34}\text{mm}$ ，

❧ $A'_1 = 20^{-0.58}_{-0.68}\text{mm}$ 是不行的，必須改為 $A'_1 = 20^{+0.58}_{+0.48}\text{mm}$ ，這樣就把 A'_1 的精度提高了。因此在尺寸換算中，要考慮幾個換算尺寸的相互關係。

∞ (3) 求算尺寸 A'_3 。

∞ 尺寸 A'_3 的尺寸鏈如圖3-10 (d) 所示，它是由 A'_3, A'_2 及 A_2 所成， A'_2 和 A'_3 都是在加工中可以直接得到的尺寸。現在， A'_2 和 A_2 已知， A_2 是必須保證的，要求算 A'_3 ，這是一個已知封閉環和部分組成環，求其餘組成環，用豎式法計算可得

$$A'_3 = 160^{+0.32}_{-0.28}\text{mm}, \text{ 為了保證 } A_2 = 40 \pm 0.08, A'_3 \text{ 的公差只有 } 0.04\text{mm}$$

∞，精度比較高些，而 A'_2 的公差為 0.12mm ，精度也不算低，在調整一下作用也不大，可見尺寸換算有時會使工藝尺寸的精度提高。

∞ (4) 求算尺寸 A'_4 。

∞ 由於 A'_4 可在加工中直接得到，沒有工藝尺寸鏈的問題，故

$$A'_4 = A_4 = 180^{0}_{-0.72} \text{mm}。$$

∞ 至此按工藝尺寸鏈計算出了4個工序尺寸及公差。下面來分析上面的計算結果。

∞ A_3 是一個設計尺寸，毫無疑問應該保證，現在根據上面確定的工序尺寸來演算一下 A_3 是否能夠保證。

A_3, A'_3 及 A_4 組成了一個尺寸鏈，在該尺寸鏈中 A'_4, A_4 都是由工序尺寸直接保證的，而 A_3 則被間接保證，由 $A_3 = A'_4$

∞ $A'_3 = 180^{0}_{-0.72} - 160^{+0.32}_{+0.28}$ 計算得 $A_3 = 20^{-0.28}_{-1.04} \text{mm}$ ，顯然不能滿足設計要求 $20^{0}_{-0.16}$ 。我們花了這麼大的力氣卻沒算對，是為什麼呢!?其原因很簡單，上面的計算沒有把 $A_3 = 20^{0}_{-0.16}$ 作為封閉環給予保證，而是計算了一下，而這又是毫無意義的。如果用工藝尺寸式法來計算就不會出現這種情況。

∞ 該零件的設計尺寸為 $AE_1, B_1C_1, C_1D_1, D_1E_1$ 。加工時的工序尺寸按順序為 AB_1, AC_1, AD_1, AE_1 。

∞ 列出各工藝尺寸式為：

$$AE_1 \rightarrow AE_1$$

$$B_1C_1 \rightarrow B_1AC_1$$

$$C_1D_1 \rightarrow C_1AD_1$$

$$D_1E_1 \rightarrow D_1AE_1$$

∞ 從設計尺寸可以看出， D_1E_1, C_1D_1 的公差為 **0.16**，要求較高，應先按 $C_1D_1 \rightarrow C_1AD_1$ 和 $D_1E_1 \rightarrow D_1AE_1$ 確定工序尺寸和公差。

∞ 由 $D_1E_1 \rightarrow D_1AE_1$ 確定 $\delta(AE_1) = 0.08$ ，即：

$$AE_1 = 180_{-0.08}^0$$

把 $AE_1 = 180_{-0.08}^0$ 及 $D_1E_1 = 20_{-0.16}^0$ 代入 $D_1E_1 = -D_1A + AE_1$,

得： $AD_1 = 160_0^{+0.08}$

同理，把 $C_1D_1 = 40 \pm 0.08$ 與 $AD_1 = 160_0^{+0.08}$ 代入 $C_1D_1 = -C_1A + AD_1$, 得： $AC_1 = 120_0^{+0.08}$

把 $B_1C_1 = 100_{-0.34}^{+0.12}$ 及 $AC_1 = 120_0^{+0.08}$ 代入 $B_1C_1 = -B_1A + AC_1$, 得：

$$AB_1 = 20_{+0.2}^{+0.34}$$

因為四個設計尺寸都用工藝尺寸式進行了計算，因此按照上面確定的工序尺寸加工，四個設計尺寸都可以得到保證，可見，用工藝尺寸法解答既簡便又不易出錯。