

# 第10章

## 零件尺寸及公差的優化設計

第一節	零件尺寸及公差設計的方法
第二節	虛公差問題的提出
第三節	對虛公差現象的解釋
第四節	基於虛公差概念的裝配尺寸鏈計算方法

# 第一節

## 零件尺寸及公差設計的方法

### 完全互換法

當裝配精度要求不太高，而且和它相關的零件尺寸數量又較少時，裝配精度所要求的公差可以分配給各個零件

### 不完全互換法

留一個和裝配精度相關的尺寸作為補償件，其餘的相關尺寸仍按經濟精度加工，最後通過改變補償件的尺寸來保證裝配精度

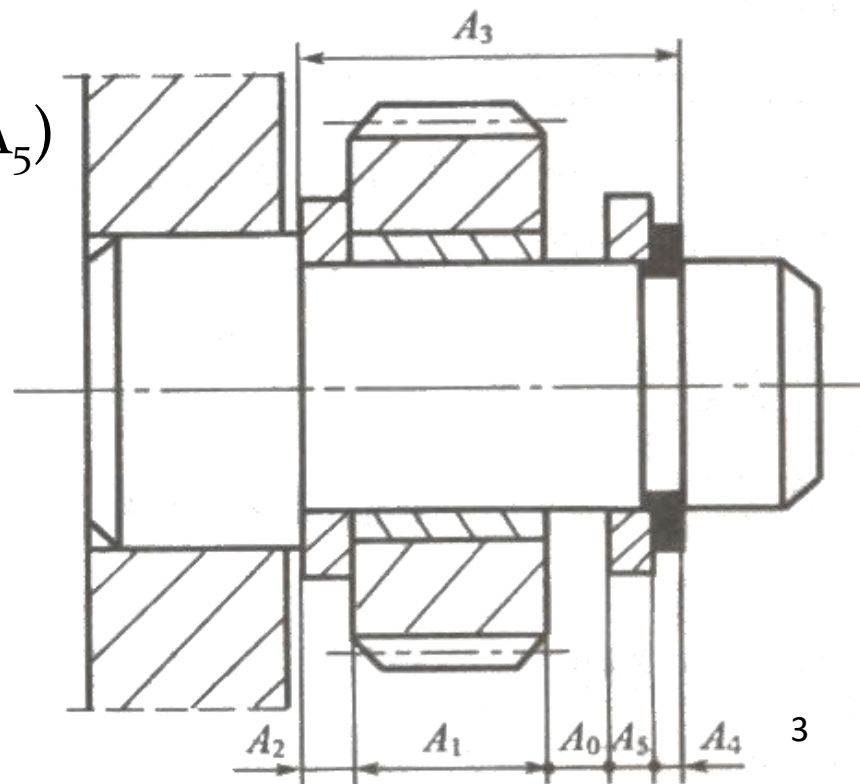
# 第二節 虛公差問題的提出

## ● 尺寸鏈計算實例

- 設計要求封閉環  $A_0 = 0_{+0.1}^{+0.35} = 0.225 \pm 0.125$  ；選 $A_5$ 為補償件，按經濟精度確定其餘各零件的軸向尺寸及公差： $A_1 = 30_{-0.2}^0 = 29.9 \pm 0.1$   $A_2 = 5_{-0.1}^0 = 4.95 \pm 0.05$   $A_3 =$   
，要求確定補償件 $A_5$ 的尺寸 $2.975 \pm 0.025$

- 尺寸鏈計算公式為：

$$A_0 = A_3 - (A_1 + A_2 + A_4 + A_5)$$



## 第二節 虛公差問題的提出

### 極值法

$$0.35 = 43.2 - (29.8 + 4.9 + A_{5\min} + 2.95)$$

$$A_{5\min} = 5.2$$

$$0.1 = 43 - (30 + 5 + A_{5\max} + 3)$$

$$A_{5\max} = 4.9$$

$$A_5 = 5_{+0.2}^{-0.1}$$

### 概率法

$$\begin{aligned}\bar{A}_5 &= 43.1 - (29.9 + 4.95 + 2.975) - 0.225 \\ &= 5.05\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_5 &= \sqrt{0.25^2 - 0.2^2 - 0.1^2 - 0.2^2 - 0.05^2} \\ &= 0.173i\end{aligned}$$

$$A_5 = 5.05 \mp \frac{0.173}{2}i = 5.05 \mp 0.0866i$$

# 第三節 虛公差問題的提出

## 1. 用數學觀點看虛公差

- 例如：一根彈簧在受力情況下，其軸向尺寸可以從45變到50，彈簧的軸向尺寸可以滿足  $50_0^{-5}$ ，因為這個尺寸可以不大於45(取45)，也可以不小於50(取50)
- 虛公差區間的尺寸組合能夠滿足虛公差要求
- 從對誤差影響角度看，虛公差的值定量地反映誤差補償的量，上下偏差之間的尺寸正是誤差補償的範圍
- 具有虛公差要求的尺寸必須用補償的方法來保證

# 第三節 虛公差問題的提出

## 2. 從工程和教學看虛公差概念

### 極值法

- 線性公差關係
- 計算結果正確
- 將簡單問題複雜化

### 傳統概率法

- 不用概率法基本公式直接計算
- 分步計算
  1. 將除補償環外的其他組成環尺寸及公差按概率法計算得到一個合成尺寸及公差
  2. 合成的尺寸與裝配尺寸、補償件尺寸組成一個新的三環尺寸鏈
  3. 由於尺寸數量少，必然要按極值法分析計算補償件的補償範圍
  4. 經過理論分析，傳統概率法的計算結果在很多情況下都滿足不了裝配精度要求

# 第三節 虛公差問題的提出

## 3. 用哲學觀點看虛公差

- 自然界的任何事物都有其兩面性，例如：數學有正數和負數、實數和虛數，物理學有位移和虛位移、物質和反物質等

虛公差	公差
虛公差是公差的延伸	
●對立	
對 $10_{-0.1}^{+0.2}$ ，在9.9~10.2之間的任一尺寸都可以滿足其要求，上下偏差之間的範圍越小，對尺寸提出的要求越高，公差是限制誤差	
●統一	
$10_{+0.2}^{-0.1}$ 能滿足9.9 ~10.2之間的所有尺寸，當然可以保證尺寸不大於9.9(取9.9)，也可以保證尺寸不小於10.2(取10.2)	

# 第四節

## 基於虛公差概念的裝配尺寸鏈計算方法

- 計算出的虛公差範圍：補償件應補償的尺寸範圍
- 虛公差概念的建立
  - 簡化帶補償件的裝配尺寸鏈計算
  - 用尺寸鏈基本公式直接求出補償件的尺寸及虛公差（即補償範圍）
  - 根據不同裝配方法直接確定出補償件實際尺寸及公差



## 第四節

# 基於虛公差概念的裝配尺寸鏈計算方法

### 1. 按極值法計算

#### 修配法

單件小批生產中，當裝配精度要求很高，且組成環較多時，各組成環按經濟精度加工，裝配時通過修配補償件使封閉環達到裝配精度的要求

補償件 $A_5$ 是一個墊片，它的尺寸越修越小，為能夠修配， $A_5$ 實際最小尺寸應為5.2，因此，預加工尺寸應確定為 $5.2^{+0.1}_0$ （0.1為修配件公差）。在裝配時，根據其餘組成環的實際尺寸組合，修正 $A_5$ 的尺寸，最大修配量為 $5.2+0.1-4.9=0.4$ （5.2+0.1為預加工尺寸的最大值，0.49為 $A_5$ 可能被修配到的最小值），最小修配量為0，假定要求最小修配量為0.05，則修配環尺寸應為 $5.25^{+0.1}_0$ ，最大修配量為0.45

#### 調整法

通過改變補償件的位置或更換不同尺寸的補償件來保證裝配精度

取 $A_5$ 實際加工公差為0.1，那麼，封閉環公差與補償環實際公差之差即為補償件各組之間的尺寸差 $0.25-0.1=0.15$ ，於是，補償件的各組尺寸應定為：

$$A_5 = 4.9^{0}_{-0.1}; 5.05^{0}_{-0.1}; 5.2^{0}_{-0.1}; 5.35^{0}_{-0.1} \text{ (或 } 5.2^{+0.1}_0; 5.05^{+0.1}_0; 4.9^{+0.1}_0; 4.75^{+0.1}_0 \text{)}$$

## 第四節

# 基於虛公差概念的裝配尺寸鏈計算方法

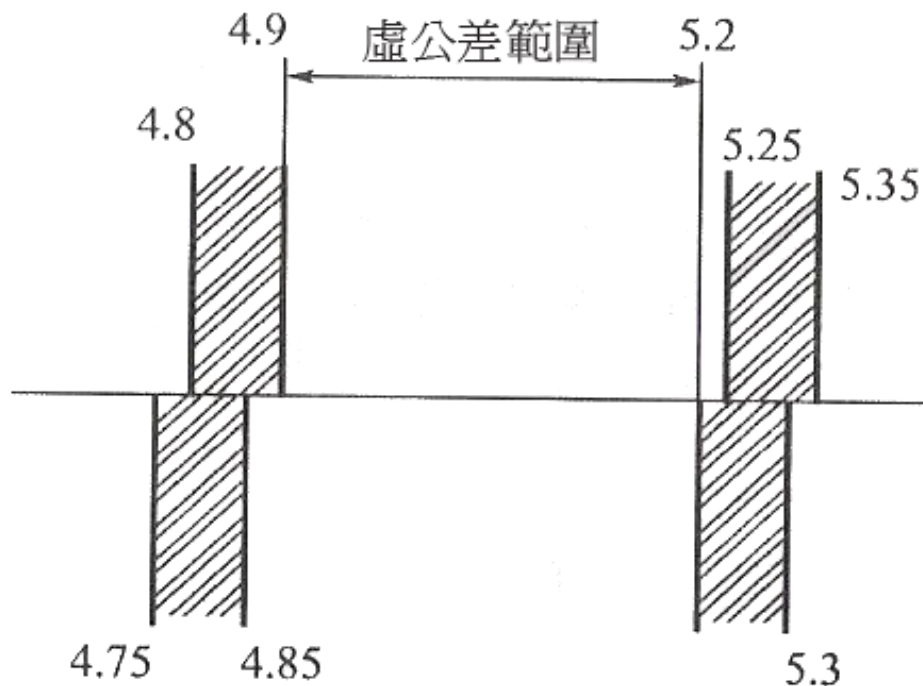
### 1. 按極值法計算

- 調整法取值圖解1

- 數軸上下為兩種方案：

上方：由小向大推算尺寸

下方：由大向小推算尺寸，即括號內的尺寸



## 第四節

# 基於虛公差概念的裝配尺寸鏈計算方法

### 2. 按概率法計算

- 假定 $\delta_0$ 為封閉環公差， $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\delta_3$ 、...、 $\delta_{m-1}$ 為組成環公差， $\delta_m$ 為補償環的虛公差值， $\delta'_m$ 為假定的當量公差，它和 $\delta_m$ 絕對值相等，則：

$$\delta_0 = k \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \delta_i^2 + \delta_m^2} = k \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \delta_i^2 - \delta_m'^2 + \delta_m'^2 + \delta_m^2}$$

$\delta'_m$ 與 $\delta_m$ 相互抵消得

$$\delta_0 = k \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \delta_i^2 - \delta_m'^2}$$

$$\delta'_m = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \delta_i^2 - \delta_0^2 / k^2}$$

## 第四節

# 基於虛公差概念的裝配尺寸鏈計算方法

### 3. 按混合法計算

- 把除補償件外的所有組成環按概率法求出其合成公差 $\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} d_i^2}$ ，如果合成公差大於封閉環公差 $d_0$ ，則 $d'_{m混} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} d_i^2} - d_0$ 就是補償環的補償範圍（即虛公差的絕對值）。為定向的分析問題，假定各組成環尺寸均按正態分布，即 $k=1$

## 第四節

# 基於虛公差概念的裝配尺寸鏈計算方法

### 4. 三種計算方法的結果比較

封閉環公差	按極值法	按概率法	按混合法	結 果 分 析
0.35	-0.2	-0.086	-0.15	按混合法算出的補償範圍太小，不安全 按極值法計算的補償範圍太大，不經濟 按概率法計算的結果經濟合理
0.25	-0.3	-0.22	-0.11	按混合法算出的補償範圍太小，不安全 按極值法計算的補償範圍太大，不經濟 按概率法計算的結果經濟合理
0.15	-0.4	-0.27	-0.21	按混合法算出的補償範圍太小，不安全 按極值法計算的補償範圍太大，不經濟 按概率法計算的結果經濟合理
0.1	-0.45	-0.29	-0.26	按極值法計算的補償範圍太大，不經濟 封閉環公差較小時，後兩種方法計算接近
0.05	-0.5	-0.3	-0.31	按極值法計算的補償範圍太大，不經濟 封閉環公差較小時，後兩種方法計算接近

## 第四節

# 基於虛公差概念的裝配尺寸鏈計算方法

### 5. 根據最大修配量確定各零件尺寸及公差

- 用修配法裝配，選 $A_5$ 為修配件，根據裝配條件，最大修配量不允許超過0.25，試確定相關零件尺寸和公差
- 用極值法計算，取修配件預加工尺寸公差為0.08，從『**最大修配量=虛公差的絕對值+預加工尺寸公差**』得：

補償件的虛公差： $-(0.25-0.08)=-0.17$

其餘組成環公差之和： $0.25-(-0.17)=0.42$

分配其於組成環的公差分別： $\delta_1=0.12$ ， $\delta_2=0.1$ ， $\delta_3=0.16$ ， $\delta_4=0.04$

$$A_1 = 30_{-0.12}^0 = 29.94 \pm 0.06$$

$$A_2 = 5_{-0.1}^0 = 4.95 \pm 0.05$$

$$A_3 = 43_0^{+0.16} = 43.08 \pm 0.08$$

$$A_4 = 3_{-0.04}^0 = 2.98 \pm 0.02$$

$$A_5 = A_3 - (A_1 + A_2 + A_0 + A_4) = 43.08 - (29.94 + 4.95 + 0.225 + 2.98) = 4.985 \text{ 即}$$

$$A_5 = 4.99 \pm 0.085$$

尺寸補償範圍為4.905~5.075， $A_5$ 的預加工尺寸確定為  $5_{+0.075}^{+0.155}$

## 第四節

# 基於虛公差概念的裝配尺寸鏈計算方法

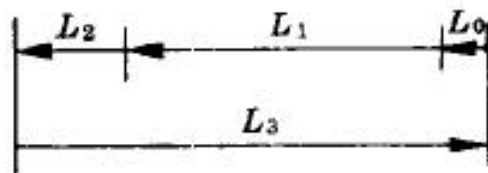
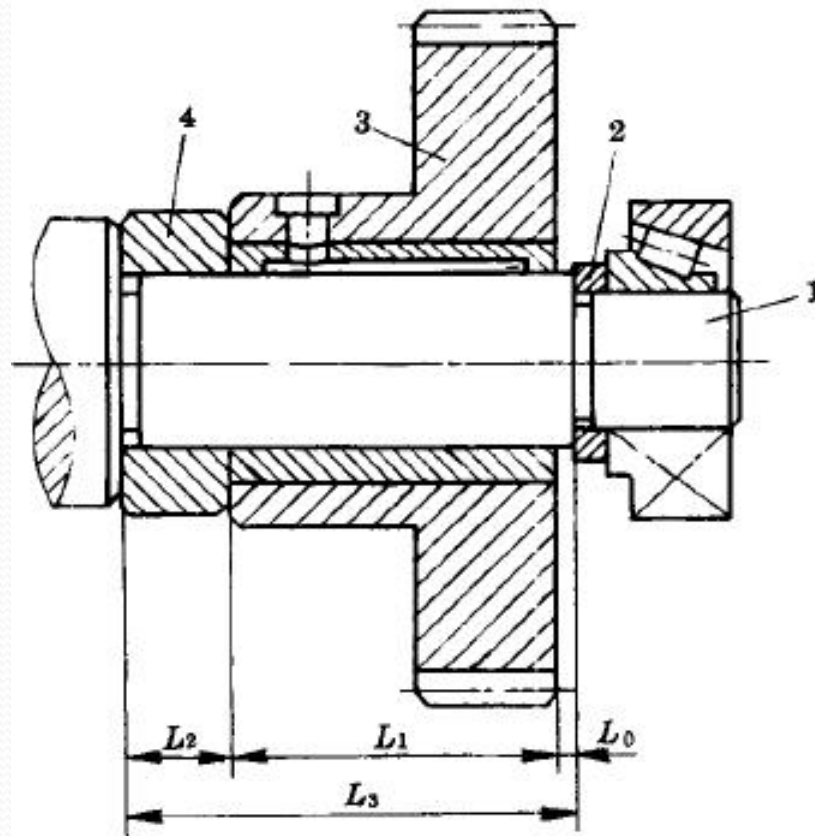
### 6. 結論

方法	修配法	調整法	虛公差
結果	完全相同		
過程	複雜不統一		簡單統一
時間	浪費		節省
錯誤	容易		不易



# 用完全互换法计算尺寸链

例2：如图所示的齿轮机构尺寸链，已知各组成环基本尺寸分别为 $L_1=35\text{mm}$ ， $L_2=14\text{mm}$ ， $L_3=49\text{mm}$ ，要求装配后齿轮右端的间隙在 $0.1\sim 0.35\text{mm}$ 之间。试用完全互换法计算尺寸链，确定各组成环的极限偏差。





解：分析图中的尺寸链可知，装配后的间隙 $L_0$ 为封闭环，组成环数为3， $L_3$ 为增环， $L_1$ 、 $L_2$ 为减环，封闭环基本尺寸 $L_0=L_3-(L_1+L_2)=49-(35+14)=0$ ，其公差值 $T_0=0.35-0.10=0.25\text{mm}$ ，其上、下偏差分别为 $ES_0=+0.35\text{mm}$ ， $EI_0=+0.10\text{mm}$ ，其极限尺寸可表示为

$0 \begin{smallmatrix} +0.35 \\ -0.10 \end{smallmatrix} \text{mm}。$

(1) 确定各组成环的公差：先假设各组成环公差相等，即 $T_1=T_2=T_3$ ， $T_{av}=0.25/3=0.083\text{mm}$ ，考虑到各组成环的基本尺寸的大小及加工工艺各不相同，故各组成环的公差应在平均极值公差的基础上作适当调整。因为尺寸 $L_1$ 、 $L_3$ 在同一尺寸分段内，平均极值公差数值接近 $IT_{10}$ ，所以可取 $T_1=T_3=0.10\text{mm}(IT_{10})$ ，则 $T_2=0.25-0.10-0.10=0.05\text{mm}$ (接近于 $IT_9$ )。

(2)確定各組成環的極限偏差：通常，尺寸鏈中的內、外尺寸(組成環)的極限偏差按“偏差入體原則”配置，即內尺寸按H配置，外尺寸按h配置；一般長度尺寸的極限偏差按“偏差對稱原則”即按JS或js配置。因此，取

$$L_1 = 35_{-0.10}^{0}\text{mm}(35\text{h}10) \quad L_3 = 49 \pm 0.05\text{mm}(49\text{JS}10)$$

組成環 $L_1$ 、 $L_3$ 的極限偏差確定後，相應的中間偏差分別為 $\Delta_1=0.05\text{mm}$ ， $\Delta_3=0$ ，封閉環的中間偏差為 $\Delta_0=0.225\text{mm}$ ，則 $\Delta_2=\Delta_3-\Delta_1-\Delta_0=-0.175\text{mm}$   
則組成環 $L_2$ 的上下偏差分別為 $ES_2=\Delta_2+T_2/2=-0.15\text{mm}$ ，  
 $EI_2=\Delta_2-T_2/2=-0.20\text{mm}$ 。

所以

$$L_2 = 14_{-0.20}^{-0.15}\text{mm}$$