机械制造工艺学
尺寸链原理及应用

陈榆生　编著

西　南　林　学　院

一九九二年十月

第五章　尺寸链原理与应用

§5－1　尺寸链的基本概念

一、尺寸链定义

在零件加工过程和机器装配过程中，经常遇到一些相互联系的尺寸，当某一尺寸改变时，会引起其它有关尺寸的变化。例如图5－1所示小轴加工，以A面为定位基准加工C面、B面，直接得到尺寸A_1、A_2，则尺寸A_0就随之确定，它们之间的关系是：

$$A_0 = A_1 - A_2$$

A_0的大小和精度完全取决于A_1和A_2的大小和精度，并且A_1、A_2、A_0构成一个封闭图形。

又如图5－2为齿轮孔和轴的装配，轴装入孔中形成间隙X，X的大小取决于孔径A_1和轴径A_2，A_1、A_2、X构成封闭图形，它们的关系是：

$$X = A_1 - A_2$$

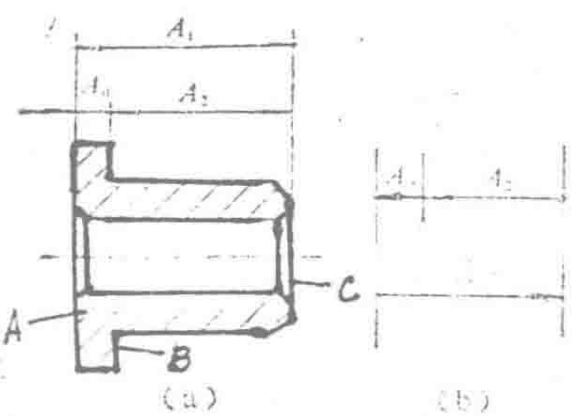


图 5－1　小轴加工

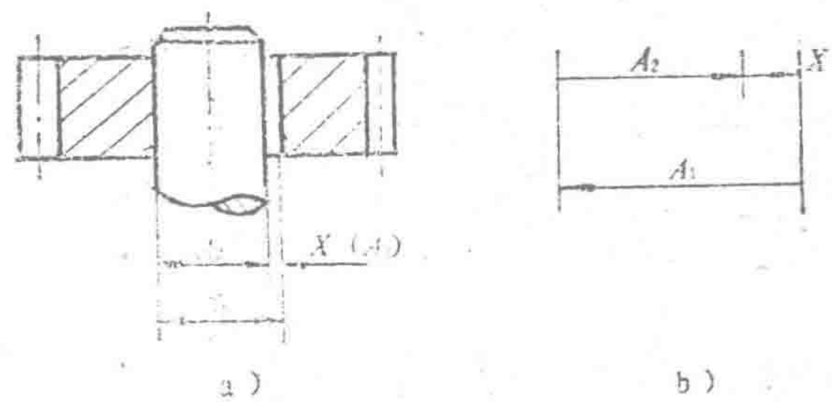


图 5－2　齿轮孔和轴的配合

因此，我们把在机器装配过程中或零件加工过程中，由相互连接的尺寸形成封闭的尺寸组，称为尺寸链。

尺寸链具有两个主要特征：

(1) 封闭性　尺寸链必须由一组有关尺寸首尾相接构成封闭图形。其中应包含一个间接得到的尺寸和若干个对其有影响的直接得到的尺寸。

(2) 关联性　尺寸链中间接得到的尺寸的大小和精度，受直接得到的尺寸的支配，且精度低于直接得到尺寸的精度。

二、尺寸链中的术语和符号

尺寸链中有一些专门的术语：

(1) 尺寸链的环 ——列入尺寸链中的每一个尺寸。图5－1和5－2中的A_1、A_2、A_0、X都为尺寸链的环。

按尺寸的几何特征，环可分为长度环和角度环。长度环用大写拉丁字母A、B、C…等表示；角度环用小写希腊字母α、β、γ……等表示。

根据各环在尺链中性质的不同，可分为封闭环和组成环。

(2) 封闭环——尺寸链在装配过程中或加工过程中最后形成的一环。如图5－1中的A_0和图5－2中的X。

封闭环是尺寸链中的特殊环，一个尺寸链只有一个封闭环。以下角标“0”表示，如A_0、a_0等。

封闭环的概念非常重要，应用尺寸链分析问题时，若封闭环判断错误，则全部分析计算之结论，也必然是错误的。必须明确：封闭环是尺寸链中最后形成（即精度间接得到保证）的一个环。所以在加工或装配未完成前，它是不存在的。图5－1中A_0是在加工完成后才自然形成的，因此它就为此尺寸链的封闭环。在零件加工过程形成的尺寸链中，封闭环只有在加工顺序确定后才能确定，当加工顺序改变时，封闭环也随之而改变。通过尺寸链计算确定加工过程中有关工序尺寸时，应以设计尺寸或加工余量作为封闭环构成尺寸链。在机器装配过程中，凡是装配技术要求（即装配后形成的间隙或过盈）就是封闭环。图5－2孔与轴装配后形成的间隙X，即为封闭环。

(3) 组成环——尺寸链中对封闭环有影响的全部环。这些环中任一环的变动必然引起封闭环的变动。图5－1和5－2中的A_1、A_2，都是组成环。

在同一尺寸链中，组成环必须用同一字母表示。如A_1、A_2、……A_i，a_1、a_2……a_i等。下角所标阿拉伯数字母表示组成环编号。

组成环是在加工过程中或装配过程中直接得到（即精度直接得到保证）的尺寸，封闭环的尺寸和精度是各组成环变动的综合结果。根据组成环对封闭环变动的影响，它可分为两类：

(4) 增环——尺寸链中的组成环，由于该环的变动引起封闭环同向变动。同向变动指该环增大时封闭环也增大，该环减小时封闭环也减小。图5－1和图5－2中的A_1都是增环。

(5) 减环——尺寸链中的组成环，由于该环的变动引起封闭环反向变动。反向变动指该环增大时封闭环减小，该环减小时封闭环增大。图5－1和图5－2中的A_2都是减环。

为便于尺寸链的分析和计算，常在尺寸链增环的字母（或尺寸）上方加标一个向右的箭头，如$\overrightarrow{A_1}$。而减环加标一个向左的箭头，如$\overleftarrow{A_2}$。

一个尺寸链通常由封闭环、增环和减环组成，但有时可以没有减环。

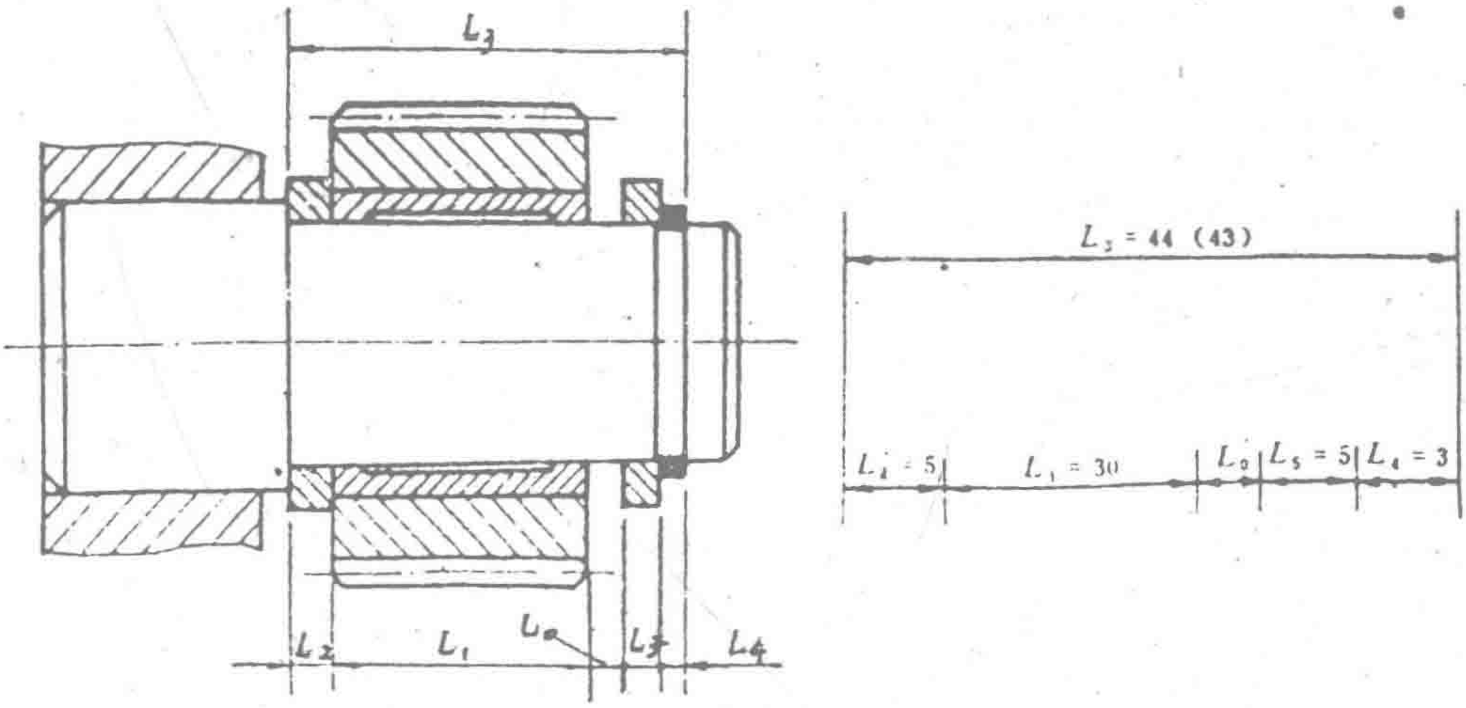
(6) 补偿环——尺寸链中预先选定的某一组成环，可以通过改变其大小或位置，使封闭环达到规定要求。

补偿环只有在机器装配过程中，采用修配法或调整法装配时才采用。如图5－35用调整法装配蜗轮减速器，选A_8为该尺寸链的补偿环，通过改变A_8的大小来保证蜗轮与蜗杆的轴线偏移量不超过设计要求。

(7) 尺寸链图——表示互相联系且按一定顺序排列的尺寸的封闭图形。

在应用尺寸链的原理作分析计算时，为了清楚地表达各尺寸之间的相互关系，常将互相联系的尺寸绘成尺寸链图，尺寸链图不画零件或部件的具体结构，也不必按严格的比例，只需依次绘出各有关尺寸，并构成封闭图形，但必须保持原有的联接关系。尺寸链图有两

种形式，将各环尺寸用符号标注在装配或加工示意图上（图5－3a），或将尺寸相互连接关系单独表示出来（图5－3b）。



a　　　　　　　　　　　　b

图 5－3　尺寸链图

作尺寸链图时，首先根据装配过程或加工过程确定封闭环，再从封闭环任一端开始，找出与之相联系又影响封闭环大小的有关尺寸作组成环，并依次绘出，直至到封闭环另一端构成一个封闭图形为止。

(8) 尺寸链方程式——确定尺寸链中封闭环（因变量）与组成环（自变量）之间的函数关系的公式。即 $L_0 = f(L_1, L_2, \cdots\cdots, L_m)$，其中m为组成环的环数。

图5－3的尺寸链方程式为：

$$L_0 = L_3 - (L_1 + L_2 + L_4 + L_5)$$

(9) 传递系数——表示各组成环对封闭环影响大小的系数，其值等于组成环在封闭环上引起的变动量对该组成环本身变动量之比。

设第i个组成环的传递系数为 ξ_i，则有

$$\xi_i = \frac{\partial f}{\partial L_i}$$

图5－3中，$\xi_3 = \dfrac{\partial f}{\partial L_3} = +1$，$\xi_1 = \dfrac{\partial f}{\partial L_1} = -1$，同理可得 $\xi_2 = -1$，$\xi_4 = -1$，$\xi_4 = -1$，$\xi_5 = -1$。由此可见对于增环 ξ_i 为正值，对于减环 ξ_i 为负值。

三、尺寸链的分类

1、按尺寸链各环的几何特征分

(1) 长度尺寸链——全部环为长度尺寸的尺寸链。（图5－1b，图5－2b）

(2) 角度尺寸链——全部环为角度尺寸的尺寸链。图5－4是由平行度和垂直度（分别为0°和90°）组成的角度尺寸链。

2、按尺寸链应用范围分

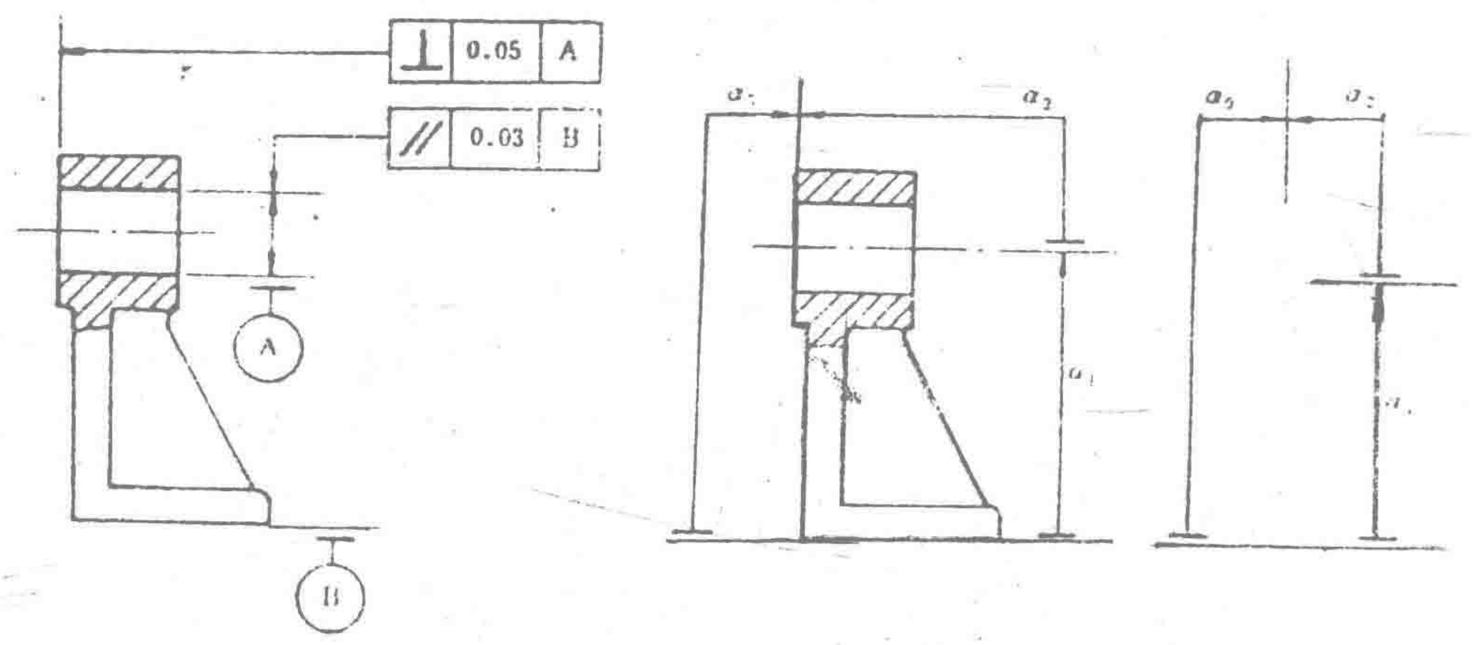
(1) 装配尺寸链——全部组成环为不同零件设计尺寸所形成的尺寸链(图5－5)。

(2) 零件尺寸链——全部组成环为同一零件设计尺寸所形成的尺寸链(图5－6)。

装配尺寸链与零件尺寸链又统称为设计尺寸链。

(3) 工艺尺寸链——全部组成环为同一零件工艺尺寸所形成的尺寸链(图5－7)。

工艺尺寸包括工序尺寸，定位尺寸和基准尺寸。



a　　b　　c

图5－4　角度尺寸链

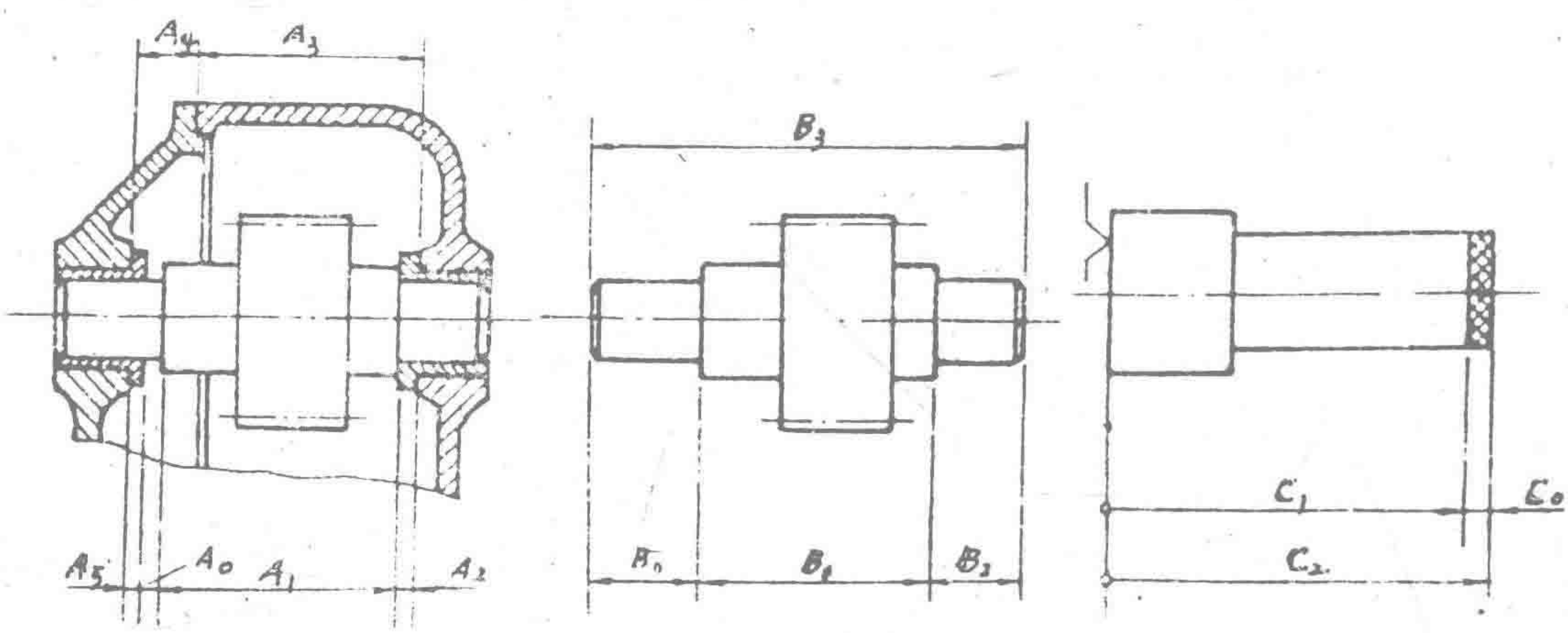


图5－5　装配尺寸链　　图5－6　零件尺寸链　　图5－7　工艺尺寸链

3、按尺寸链中各环所处空间位置分

(1) 直线尺寸链——全部组成环平行于封闭环的尺寸链。前面所举各例的尺寸链(除图5－4外)都是直线尺寸链。

对于直线尺寸链传递系数为，增环的 $\xi_i=+1$；减环的 $\xi_i=-1$。

(2) 平面尺寸链——全部组成环位于一个或几个平行平面内，但某些组成环不平行于

封闭环的尺寸链(图5－19)。

(3) 空间尺寸链——组成环位于几个不平行平面内的尺寸链。

直线尺寸链最常见，应用最广泛，它的应用与计算十分重要。当遇到平面尺寸链或空间尺寸链时，常将它们的尺寸投影到某一共同方位上变成直线尺寸链，再进行计算。

4、按尺寸链之间相容关系分

(1) 基本尺寸链——全部组成环皆直接影响封闭环的尺寸链(图5－8中尺寸链A)。

(2) 派生尺寸链——一个尺寸链的封闭环为另一尺寸链组成环的尺寸链(图5－8中尺寸链B)。

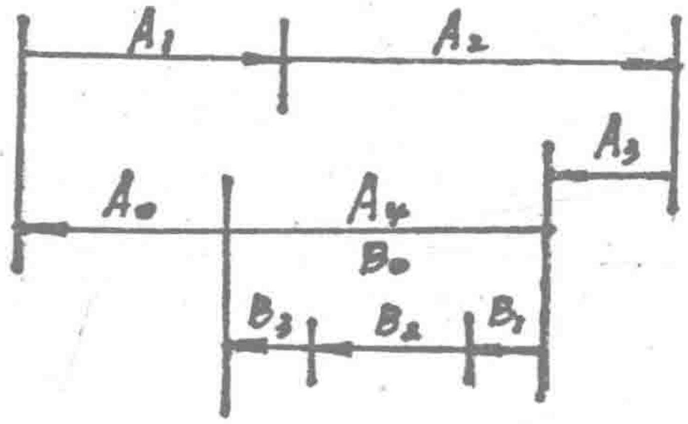


图5－8 基本尺寸链和派生尺寸链

四、尺寸链的计算方法

尺寸链的计算方法有两种：

(1) 极值法：这种方法是按误差综合的最不利情况来计算各环的极值公差。按极值公差公式计算，在给定各组成环公差的情况下，计算所得封闭环的公差值为最大；在给定封闭环公差情况下，计算所得组成环公差值为最小。

(2) 统计法：应用概率论原理来进行尺寸链计算的方法。

尺寸链计算的各具体公式，就是照这两种不同的计算方法，分别推导出来的。

解尺寸链时，可分为下列三种计算情况：

(1) 正计算——已知组成环，求封闭环

根据各组成环的基本尺寸及公差(或极限偏差)，来计算封闭环的基本尺寸及公差(或极限偏差)。这种计算主要用于验证组成环基本尺寸及公差(或极限偏差)的规定是否正确，是否满足设计要求(如装配精度要求等)。

(2) 反计算——已知封闭环，求组成环

根据设计要求的封闭环基本尺寸及公差(或极限偏差)，来计算各组成环的基本尺寸及公差(或极限偏差)。主要用于机器设计或工艺设计，例如根据装配精度要求确定各零件的基本尺寸和公差；求零件加工过程中各工序的基本尺寸和公差等。

反计算应将封闭环的公差合理地分配给各组成环(分配原则见§5－3例2)，它不是单纯的计算问题，需要按具体情况进行最佳方案(或装配方法)选择。

(3) 中间计算——已知封闭环及部分组成环，求其余组成环。

根据已知的封闭环和其它组成环的基本尺寸及公差(或极限偏差)，来计算尺寸链中某一个(或极少数)组成环的基本尺寸及公差(或极限偏差)。这种计算又因该组成环的基本尺寸及公差相依于封闭环和其它组成环，也称“相依尺寸公差法”，其实质属于反计算的一种。

中间计算在工艺设计上应用较多，如基准的换算、工序尺寸的确定等。

§5-2 尺寸链的计算公式

在林业机械设计和制造中，尺寸和公差要求，通常以基本尺寸和上、下偏差的形式来表达。在尺寸链计算中，可通过基本尺寸，中间偏差、公差等关系来求解。这些尺寸和偏差之间的关系可见图5-9和图5-10。

为了尺寸链计算的方便和统一，本章各参数的符号见表5-1。

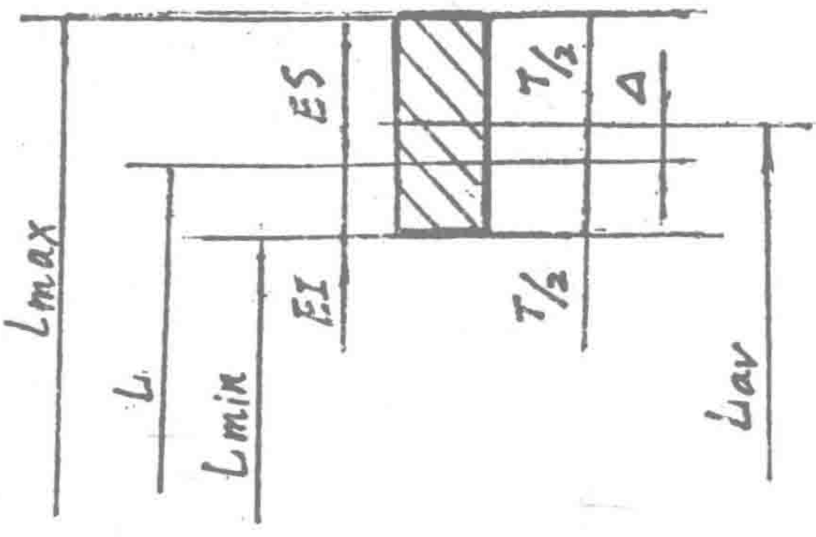


图5-9 尺寸和偏差的关系

表5-1 尺寸链计算所用符号

尺　　寸	偏　　差	公　差 T	系　　数	环　数
基本尺寸 L	上偏差 ES	平均公差 T_{av}	传递系数 ξ	组成环环数 m
最大极限尺寸 L_{max}	下偏差 EI	极值公差 T_L	相对分布系数 k	增环环数 j
最小极限尺寸 L_{min}	中间偏差 Δ	统计公差 T_s	相对不对称系数 e	减环环数 m-j
	平均偏差 X	平方公差 T_Q 当量公差 T_m		

一、极值法计算公式

极值法的出发点是从尺寸链中各环的极限尺寸出发进行计算，而不考虑各环实际尺寸的分布情况。即当各增环均为最大极限尺寸，各减环均为最小极限尺寸时，则封闭环必然获得最大极限尺寸；当各增环均为最小极限尺寸，各减环均为最大极限尺寸时，则封闭环获得最小极限尺寸。

$$L_{o max}=\sum_{i=1}^{j}\overrightarrow{A}_{i max}-\sum_{i=j+1}^{m}\overleftarrow{A}_{i min}$$

$$L_{o min}=\sum_{i=1}^{j}\overrightarrow{A}_{i min}-\sum_{i=j+1}^{m}\overleftarrow{A}_{i max}$$

1、各环基本尺寸

根据尺寸链的封闭性，将各组成环的基本尺寸代入其尺寸链方程式，就可得封闭环的基本尺寸。

$$L_O=\sum_{i=1}^{m}\xi_i L_i \qquad (5-1)$$

即封闭环的基本尺寸等于全部组成环基本尺寸的代数和。

如前面所述，对于直线尺寸链，增环的传递系数 $\xi_i=+1$；减环的传递系数 $\xi_i=-1$。

2、各环中间偏差

中间偏差为上偏差与下偏差的平均值(见图5-9)。即

$$\Delta_i=1/2(ES_i+EI_i)$$

$$\Delta_O=1/2(ES_O+EI_O) \qquad (5-2)$$

经推导得

$$\Delta_O=\sum_{i=1}^{m}\xi_i\Delta_i \qquad (5-3)$$

即封闭环的中间偏差等于全部组成环中间偏差的代数和。

3、各环公差

按不同的计算公式可得不同值的封闭环公差，用极值法计算得到封闭环的极限公差，即

$$T_{OL}=\sum_{i=1}^{m}|\xi_i|T_i \qquad (5-4)$$

此式表明：封闭环的极值公差等于全部组成环公差的累积值。

在给定各组成公差的情况下，按此式计算的封闭环公差 T_{OL} 值是最大的。对于直线尺寸链 $|\xi_i|=1$ 则

$$T_{OL}=\sum_{i=1}^{m}T_i\text{。}$$

4、各环极限偏差

由图5—9知：各环的上偏差或下偏差相应为各环中间偏差加或减其公差的半量。即

$$\begin{cases}ES_i=\Delta_i+1/2T_i\\ EI_i=\Delta_i-1/2T_i\end{cases} \qquad (5-5)$$

$$\begin{cases}ES_{OL}=\Delta_O+1/2T_{OL}\\ EI_{OL}=\Delta_O-1/2T_{OL}\end{cases} \qquad (5-6)$$

5、各环极限尺寸

同样，由图5-9可得各环的最大或最小极限尺寸相应为各环的基本尺寸加其上偏差或下偏差，即：

$$\begin{cases}L_{imax}=L_i+ES_i\\ L_{imin}=L_i+EI_i\end{cases} \qquad (5-7)$$

$$\begin{cases} L_{0max} = L_0 + ES_0 \\ L_{0min} = L_0 + EI_0 \end{cases} \tag{5-8}$$

式(5－4)是一个很重要的关系式，它表明：尺寸链中所有组成环的公差都累积到封闭环上，封闭环的精度低于任何一个组成环的精度，因此，在零件设计、加工和装配时应注意：

(1) 在设计零件时，应选择精度要求最低的尺寸作为封闭环（即图纸上不标注的尺寸）。

(2) 应尽量减少尺寸链组成环的环数，即遵守"最短尺寸链原则"。对于装配尺寸链，减少组成环的环数，可简化机构，提高装配精度；对于工艺尺寸链，当封闭环公差给定时，减少组成环的环数，能够相应地放大各组成环公差，使零件加工容易，加工成本降低。

二、统计法计算公式

用极值法解尺寸链的优点是简便、可靠，一般用于少环数尺寸链。当尺寸链环数较多时，若采用这种方法计算就显得十分不合理。因生产实践证明，在一批零件加工和装配中，各组成环的尺寸处于极限值的可能性很小，多环尺寸链中全部组成环的尺寸同时处于极限值的可能性更小（基本不会出现）。根据极值法计算公式得到的组成环公差将过于严格，人为地增加了零件加工之困难，是不经济，也不合理的。因此，在环数较多时，采用统计法计算更科学。

统计法解尺寸链的基本出发点是认为各组成环的实际尺寸是随机变量，并且具有某种确定的分布规律（表5－2 为机械加工中常见的几种分布型式，可分为正态分布和非正态分布）。因而封闭环作为多个组成环之合成量，自然也是个随机变量，其实际尺寸也按一定规律分布。

图5－10为尺寸正态分布和非正态分布时尺寸、偏差、公差等参数间的关系图。

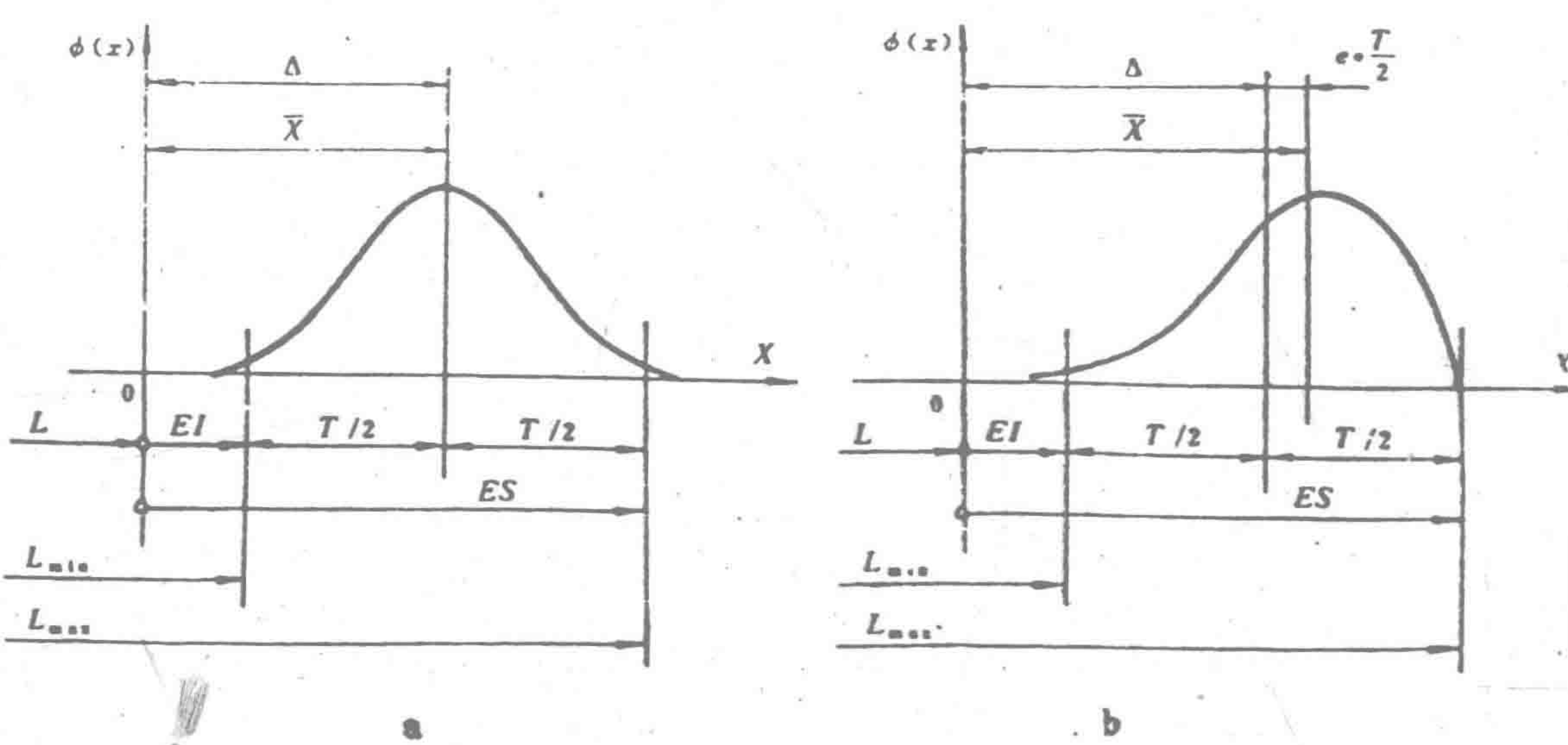


图5－10　实际尺寸的分布状态

a－正态分布　　　　b－偏态分布

设尺寸链有m个组成环，各组成环传递系数为ξ_i，则封闭环的基本尺寸仍为：

$$L_O=\sum_{i=1}^{m}\xi_i L_i$$

1、正态分布情况下的统计计算公式。

由概率论原理可知，各独立随机变量的均方根偏差 σ_i与这些随机变量之和的均方根偏差σ_o之间的关系为：

$$\sigma_o=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sigma_i^2}$$

对于正态分布其偶然误差（即尺寸分散范围）ε与均方根偏差σ的关系可表达为：

$$\varepsilon=6\sigma, \qquad \sigma=\varepsilon/6$$

当取各组成环公差值$T=\varepsilon$（即$T=6\sigma$）时，各组成环的传递系数为ξ_i，则封闭环公差与各组成环公差的关系式就为：

$$T_{OQ}=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\xi_i^2 T_i^2} \qquad (5-9)$$

对于直线尺寸链可简化为

$$T_{OQ}=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}T_i^2}$$

即封闭环的公差等于各组成环公差平方和的平方根。

将式(5－9)与式(5－4)所求封闭环公差值进行比较，很明显，在给定各组成环公差值的情况下$T_{OQ}<T_{OL}$。从图5－11可以看出，封闭环的极值公差T_{OL}是其尺寸变动的极值范围，即封闭环尺寸出现在该范围内的概率为100%；而封闭环的平方公差T_{OQ}是在正态分布下取值范围为$6\sigma_o$，即封闭环在该范围内的概率（或置信水平）为99.73%。由于超出$6\sigma_o$以外的概率（或危率）仅为0.27%，这个数值很小，可以认为不至于出现，所以取$6\sigma_o$，作为封闭环尺寸的实际变动范围是合理的。这就是$T_{OQ}<T_{OL}$的本质所在。同理，在封闭环公差相等的条件下进行反计算，统计解法较极值解法就可得到较大的组成环公差（平均公差要大$\sqrt{m}$倍），而便于加工。

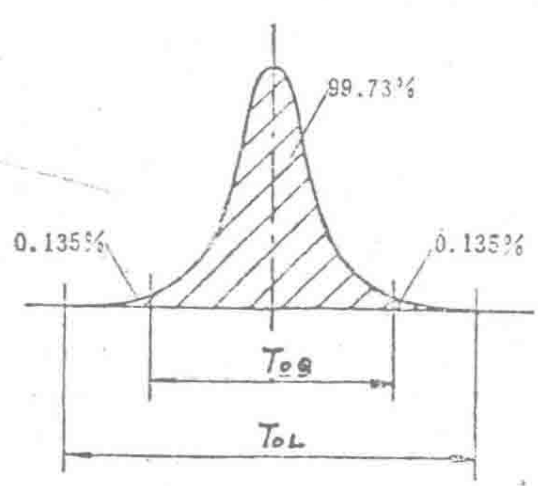


图3-11　概率解法与极值解法的比较

图5－11　T_{OQ}与T_{OL}的比较

当各组成环的尺寸分布曲线属于对称分布，而且分布中心与公差带中心重合时(5－10a)，平均偏差$\bar{X}$等于中间偏差Δ，即可得封闭环的中间偏差为：

$$\Delta_o=\sum_{i=1}^{m}\xi_i\Delta_i \qquad (5-10)$$

因封闭环也为对称分布，其上，下偏差为中间偏差加或减其公差的半量，即

$$\begin{cases} ES_{0Q}=\Delta_0+1/2T_{0Q} \\ EI_{0Q}=\Delta_0-1/2T_{0Q} \end{cases} \qquad (5-11)$$

2、非正态分布情况下的统计计算公式

当组成环为非正态分布时，封闭环的分布也是非正态的（图5—10b)。此时可用修正系数的方法进行计算：

$$T_{0S}=1/k_0\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\xi_i^2k_i^2T_i^2} \qquad (5-12)$$

$$\Delta_0=\sum_{i=1}^{m}\xi_i(\Delta_i+e_iT_i/2) \qquad (5-13)$$

式中k为相对分布系数，它是表征尺寸分布分散性的系数，它由下式定义：

$$k_i=6\sigma_i/T_i$$

在正态分布时$k=1$

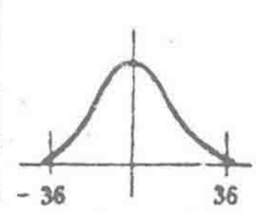
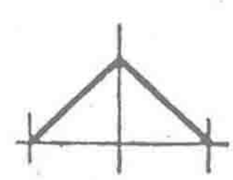
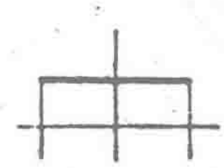
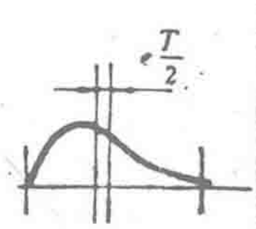
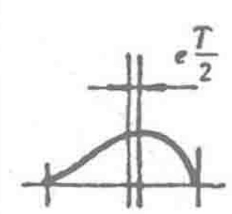
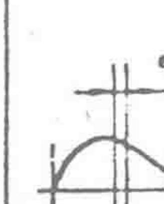
e为相对不对称系数，它是表征分布曲线不对称程度的系数，它由下式定义：

$$e=(\bar{X}-\Delta)/T/2$$

尺寸在公差带内对称分布时$e=0$。

表5—2列出了机械加工中，组成环几种常见分布曲线的e值及k值。

表5—2　　　实际尺寸分布曲线的e及k值。

分布特征	正态分布	三角分布	均匀分布	瑞利分布	偏态分布	
					外尺寸	内尺
分布曲线						
e	0	0	0	-0.28	0.26	-0.2
k	1	1.22	1.73	1.14	1.17	1.1

显然，$T_{0L}>T_{0S}>T_{0Q}$。

当组成环环数较多（$m>5$)，各组成环分布范围相差又不太 时，封闭环亦趋近于正态分布，通常取$e_0=0$，　$k_0=1$

当尺寸链环数较多，设计时又没有参考的统计数据，可综合地取一个相对分布系数平均值k，并假定$e=0$，可用下面两个公式进行近似计算

$$T_{oE}=k\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\xi_i^2T_i^2} \tag{5-14}$$

$$\Delta_o=\sum_{i=1}^{m}\xi_i\Delta_i \tag{5-15}$$

T_{oE}为当量公差，它是统计公差T_{os}的近似值。

可取$k=1.2\sim1.7$，推荐取$k=1.5$。

非正态分布情况下封闭环的上、下偏差也可用下式计算：

$$\begin{cases} ES_o=\Delta_o+1/2T_o \\ EI_o=\Delta_o-1/2T_o \end{cases}$$

统计法解尺寸链，在给定封闭环公差的情况下，可以放大组成环公差，具有显著的经济效益。但是，不能保证完全互换(前面已分析，当置信水平取99.73%，有0.27% 的零件不能互换)，其只能在一的置信水平下满足互换要求，因此，统计计算公式主要用于装配尺寸链大数互换法计算中。

§5－3 工艺尺寸链

工艺尺寸链的组成环是工艺尺寸，所谓工艺尺寸是指机械加工中各工序所要达到的加工尺寸，即工序尺寸等。工序尺寸不同于零件设计尺寸，在零件图上往往是不标注的。

工艺尺寸链的计算主要用于确定零件在机械加工过程中各工序的工序尺寸。这些尺寸或是中间尺寸——零件在加工过程中存在的尺寸，或是最终尺寸——各表面加工的最后一道工序的工序尺寸。工序尺寸只有为最终尺寸并是直接按设计尺寸加工时，才和设计尺寸一致，其它情况下的工序尺寸都是为间接保证设计尺寸达到一定精度或加工时能有合理的加工余量而确定的。因此，正确地分析和计算工艺尺寸链是编制工艺规程的重要内容。

本节介绍几种常见的运用尺寸链原理对工艺尺寸进行计算或验算的方法，以及应用尺寸图解追踪法设计（确定）工序尺寸。

一、基准不重合时的尺寸换算

当各表面最终加工所选的工序基准（定位基准，测量基准）与设计基准不重合时，工序尺寸的标注就不同于设计尺寸的标注，必须进行工艺尺寸换算。在进行尺寸换算时，有下面两种情况：

1、换算中不须提高零件的制造精度

例1　图5－12. a是一轴套的零件图。根据装配要求标注的设计尺寸为：36±0.05、26±0.02、6±0.1。但在加工时，由于6±0.1这一尺寸不便测量，须通过测量尺寸A（图5－12. b）来间接保证。试确定工序尺A（测量基准与设计基准不重合）

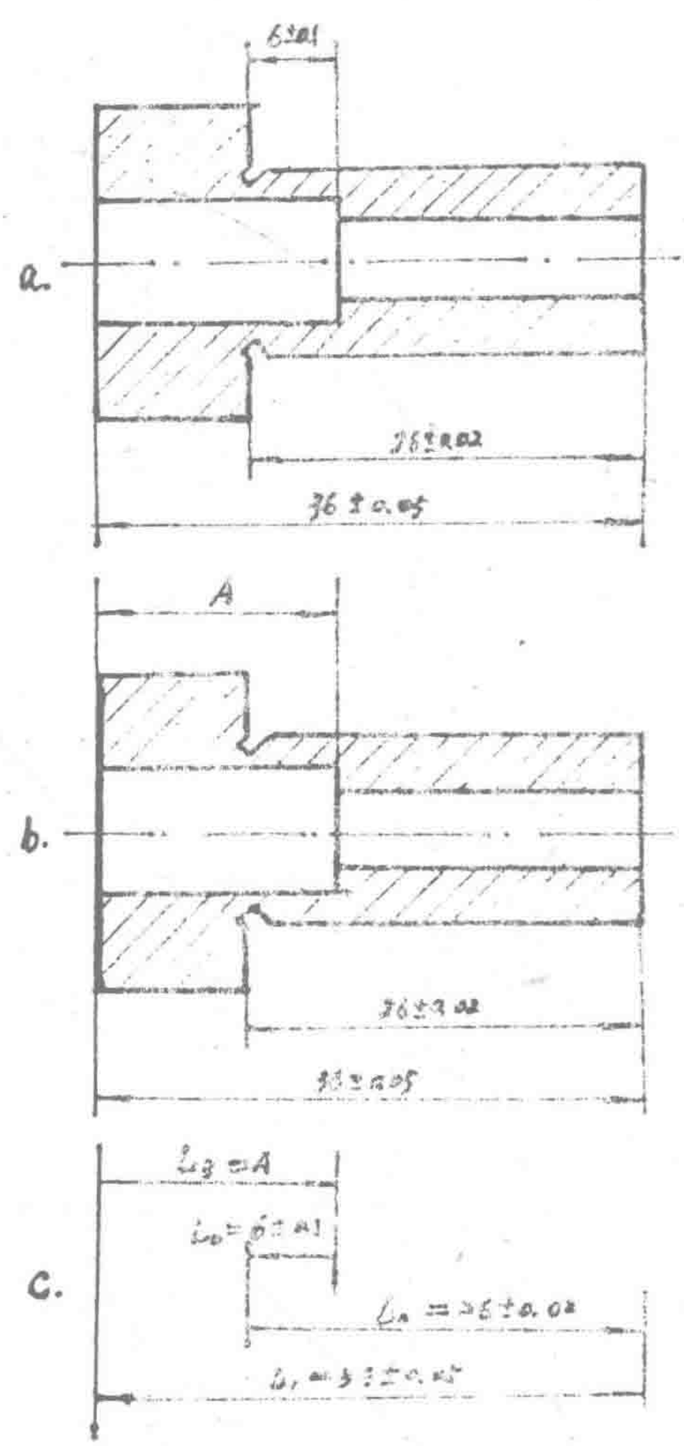


图6－12

解：(1) 画尺寸链图，确定封闭环和组成环

尺寸链图见图5－12c。此尺寸链由$L_1=36±0.05$，$L_2=26±0.02$，$L_3=A$，$L_0=6±0.1$组成。因6±0.1是在加工过程中最后形成的一个环，故为封闭环，其余三个环L_1、L_2、L_3都是在加工中直接保证的，均为组成环。

在这尺寸链中，组成环L_2，L_3的变动引起L_0同向变动，故L_2，L_3是增环，传递系数$\xi_2=\xi_3=+1$；组成环L_1的变动引起L_0反向变动，故L_1是减环，$\xi_1=-1$。

(2) 计算

1) 计算基本尺寸

$$L_0=\sum_{i=1}^{3}\xi_i L_i=L_2+L_3-L_1 \qquad L_3=L_0+L_1-L_2=36+6-26=16$$

2) 计算中间偏差

$$\Delta_0=\sum_{i=1}^{3}\xi_i\Delta_i=\Delta_2+\Delta_3-\Delta_1 \qquad \Delta_3=0+0-0=0$$

3) 计算极值公差

$$T_{0L}=\sum_{i=1}^{3}|\xi_i|T_i=T_1+T_2+T_3$$

$$T_3=T_0-T_1-T_2=0.2-0.1-0.04=0.06$$

4) 计算极限偏差

$$ES_3=\Delta_3+T_3/2=+0.03$$

$$EI_3=\Delta_3-T_3/2=-0.03$$

故工序尺$A=L_3=16\pm0.03$。

2、换算中必须提高零件的制造精度

例 2　图5-13.a为解放牌汽车发动机活塞零件图上的部分设计尺寸。要求顶面至销

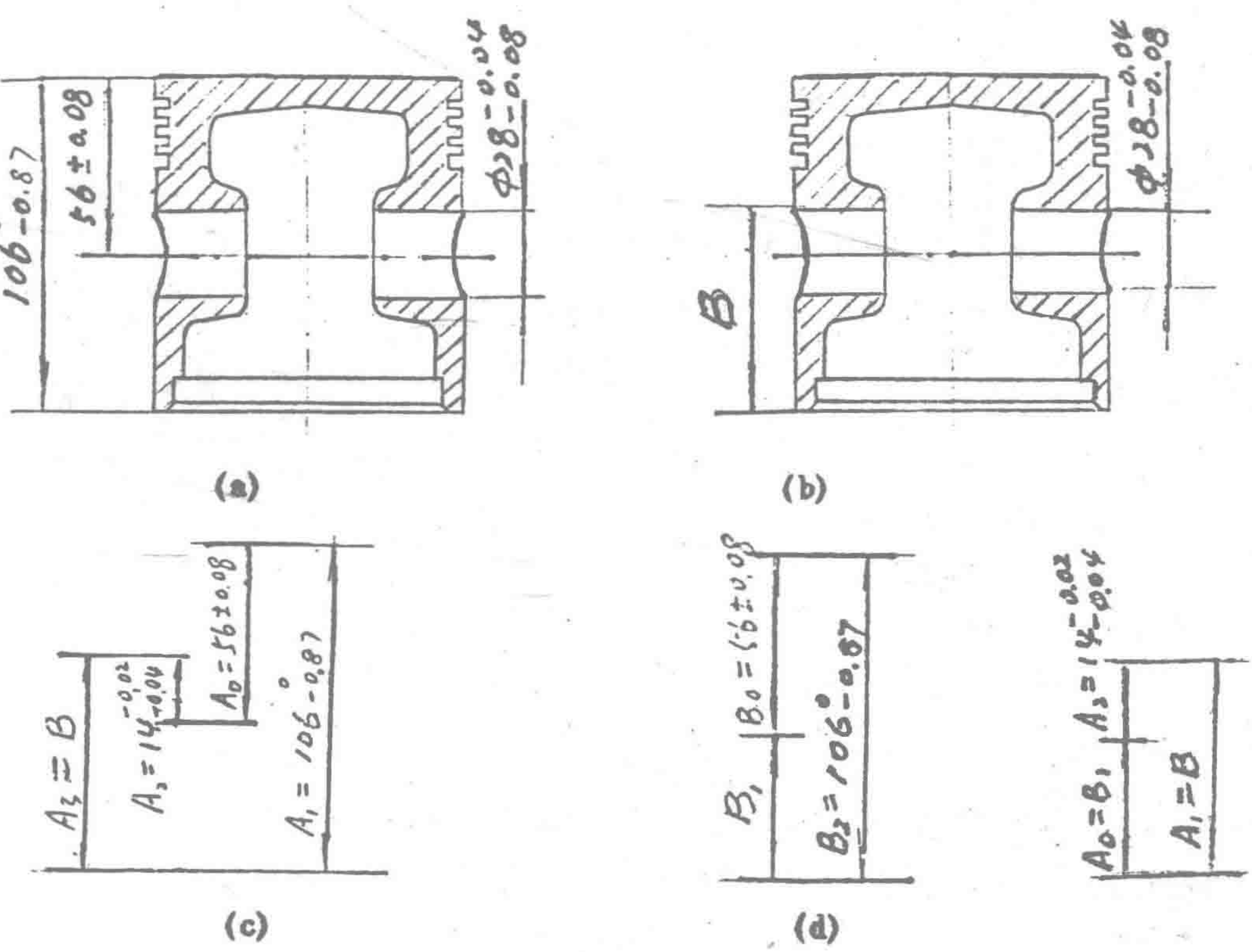


图5-13

孔轴线的距离为56±0.08，顶面至底面距离为$106^{0}_{-0.087}$，销孔孔径为$\phi 28^{-0.04}_{-0.08}$ 。在精镗销孔时，以底面定位，并为方便测量，在工序图（图b）中，标注尺寸B，试确定工序尺寸B。（定位基准与设计基准不重合）。

解：(1) 画尺寸链图，确定封闭环及组成环。

此工艺尺寸链是由四个相互关联的尺寸组成，见图5－13C。因$A_1=106^{0}_{-0.87}$、$A_2=14^{-0.02}_{-0.04}$（$\phi 28^{-0.04}_{-0.08}$的半径）、$A_3=B$均是在加工过程中直接得到保证，$A_0=56\pm0.08$是最后形成，精度间接得到保证的尺寸（A_1、A_2、A_3任一环的变动均必然引起A_0的变动），故A_0为封闭环，A_1、A_2、A_3为组成环。根据"同向变动是增环，反向变动是减环"，可决定A_1、A_2是增环，$\xi_1=\xi_2=+1$；A_3为减环，$\xi_3=-1$

(2) 计算

基本尺寸：$A_0=A_1+A_2-A_3$

$A_3=106+14-56=64$

中间偏差：$\Delta_0=\Delta_1+\Delta_2-\Delta_3$

$\Delta_3=(-0.435)+(-0.03)-0=-0.465$

公　　差：$T_0=T_1+T_2+T_3$

$T_3=0.16-0.87-0.02=-0.73<0$　（不合要求）

计算结果$T_3<0$，是因为组成环A_1、A_2的公差之和已大于封闭环的公差（即$0.89>0.16$）所以采用底面定位时，必须缩小组成环的公差，提高它们的制造精度。

(3) 调整组成环公差，计算A_3的中间偏差和极限偏差。

※《公差分配原则》

在设计计算中，当已知封闭环公差，求各组成环公差（即尺寸链反计算）时，为将封闭环公差方便，合理地分配给各组成环，通常采用下述三种方法：

a 等公差法　按等公差值的原则分配封闭环的公差是假定各组成环的公差都相等，即：

$$T_1=T_2=\cdots\cdots=T_m=T_{av}$$

极值公差 $T_{av.L}=T_0/\sum_{i=1}^{m}|\xi_i|$ (5－16)

对于直线尺寸链则：$T_{av.L}=T_0/m$

统计公差 $T_{av.s}=k_0T_0/\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\xi_i^2k_i^2}$ (5－17)

对于正态分布 $T_{av.Q}=T_0/\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\xi_i^2}$；直线尺寸链$T_{av.Q}=T_0/\sqrt{m}$ 。

在给定封闭环的情况下，$T_{av.L}$值最小，$T_{av.Q}$值最大。即$T_{av.L}<T_{av.s}<T_{av.Q}$。

这种方法简单，计算方便，但工艺上不够合理，因其没考虑各组成环基本尺寸的大小和加工的难易程度。在实际使用中，常在求出Tav后，再进行调整。

b 等精度法　按等精度的原则分配封闭环的公差是假定各组成环的公差等级相等，即

公差等级系数相等。按极值公差公式计算得：

$$a_1 = a_2 = \cdots\cdots = a_m = a_{av}$$

$$a_{av} = T_0 / \sum_{i=1}^{m} |\xi_i| i_i \quad (5-18)$$

对于直线尺寸链 $a_{av} = T_0 / \sum_{i=1}^{m} i_i$

各组成环的公差为：$T_1 = a_{av} \cdot i_1$，$T_2 = a_{av} \cdot i_2$，……，$T_m = a_{av} \cdot i_m$。

各尺寸段的公差单位 i 的数值可参见表5－3。

表5－3　　　　公 差 单 位 数 i

尺寸分段（毫米）	公差单位数	尺寸分段（毫米）	公差单位数
≤3	0.569	>80 ～120	2.189
>3 ～6	0.747	>120～180	2.541
>6 ～10	0.908	>180～250	2.911
>10～18	1.099	>250～315	3.235
>18～30	1.322	>315～400	3.551
>30～50	1.579		
>50～80	1.874	>400～500	3.898

这种方法在工艺上比较合理，但实际上尺寸链中各组成环的精度要求不可能相等，最后也须加以调整。

等精度法在使用中，因计算麻烦，常以“近似精度法”来代替。（详见§5－4完全互换法例1的计算）

c 根据生产单位的具体加工条件和零件的加工难易程度确定各组成环的公差。

这种方法在生产中应用广泛，要求设计人员应有一定的实践经验。**

此例按等公差法公式求得各组成环极值公差 $T_{av.L} = T_0/m = 0.16/3 = 0.53$

即　$T_1 = T_2 = T_3 = 0.53$

在调整各组成环公差时，必须首先满足各组成环的设计要求（如本例零件图上要求 $T_2 = 0.02$，调整时必须 $T_2 < 0.02$），然后再根据基本尺寸大小或加工难易等确定其它组成环公差。

经调整确定各组成环的公差为：

$T_1' = 0.087$、$T_2' = 0.02$、$T_3' = 0.053$

并确定 A_1 的上、下偏差为：$A_1 = 106^{0}_{-0.087}$

计算 A_3 的中间偏差：$\Delta_3 = \Delta_1 + \Delta_2 - \Delta_0 = -0.0435 - 0.03 - 0 = -0.0735$

计算A_3的上、下偏差： $ES_3 = -0.0735 + 0.053/2 = -0.047$

$EI_3 = 0.0735 - 0.053/2 = -0.100$

故工序尺寸$B = 64^{-0.047}_{-0.100}$

在解此题时，也可把图c尺寸链分解为两个尺寸链进行计算（图d），引入底面到销孔的距离B_1，计算后同样得到$B = 64^{-0.047}_{-0.100}$

本例表明，因基准不重合，为达到图纸上所有设计尺寸的精度要求，必须提高零件上某些加工表面的尺寸精度（此例中尺寸106的公差从0.87紧缩到0.087），造成加工困难，成本增加。因此，在加工中应尽量减少或避免基准转换。

二、中间工序尺寸计算

零件的加工绝大多数是多工序加工，特别是形状比较复杂，加工精度要求较高的零件，在编制工艺规程时，应通过工艺尺寸链的分析和计算来确定各中间工序尺寸。

中间工序尺寸计算有以下几种常见类型：

1、工序基准是待加工的设计基准时的中间工序尺寸计算。

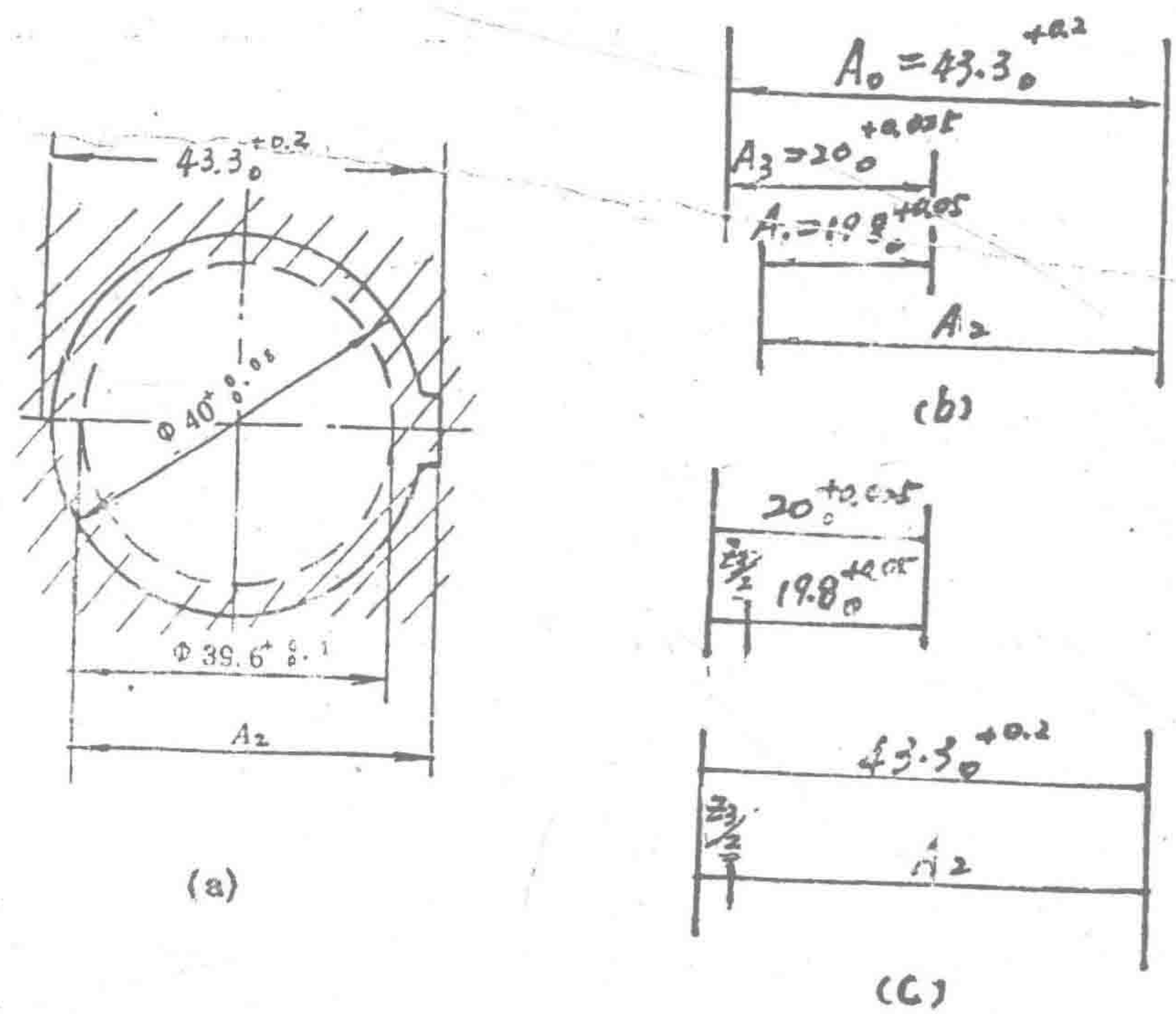


图5－14 加工键槽时的工序尺寸计算

例3 图5－14a为一带有键槽的内孔，因要求有一定耐磨性，需淬火后再磨削。插键槽工序的尺寸就成为中间工序尺寸，须经尺寸链计算得到。与此有关的加工顺序是

工序1：镗内孔至$\phi 39.6^{+0.10}_{0}$；

工序2：插键槽至尺寸A_2；