内

工艺尺寸链

国防工业出版社

工 艺 尺 寸 链

王福寿 编

国防工业出版社

1974

内 容 简 介

本书主要介绍在零件加工工艺方面应用尺寸链理论的基础知识。

全书共分四章：一、尺寸链一般原理；二、工艺尺寸链；三、加工精度；四、计算实例。

本书可供从事工艺技术工作的工人、技术人员和学校有关机械制造专业的学生参考。

工艺尺寸链

王福寿 编

（只限国内发行）

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第074号

新华书店北京发行所发行　　各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 1/32　印张 6 11/16　167千字

1974年10月第一版　1974年10月第一次印刷　印数：00,001—22,000册

统一书号：15034·1372　　定价：0.67元

前　言

工艺规程是企业组织生产活动的基础。工艺规程编制得合理，才能保证产品的高质量、低成本和高生产率。而正确地计算工艺尺寸链，是编制工艺规程（或拟定工艺过程）不可缺少的重要组成部分。成批生产和大量生产中，拟定工艺过程时，确定工序间尺寸、加工余量及公差，更需要尺寸链计算方面的知识。否则，往往会造成零件的成批报废。所以，对于从事工艺技术工作的工人和技术人员，必须掌握并熟练地计算工艺尺寸链。

但是，尺寸链理论在设计和装配工艺方面的应用介绍较多，而专门介绍在零件加工工艺方面的应用却很少。

本书是根据实际工作中积累的经验和有关资料编写的。从零件加工工艺的角度出发，提供应用尺寸链理论的基础知识。

为此，对于尺寸链一般原理作了较系统的介绍，并举例分析工艺尺寸链的计算。在介绍加工精度时，从工艺系统的尺寸链与加工精度的关系来讨论工艺系统的调整，以及达到工艺系统的尺寸链封闭环（即零件加工尺寸）精度的几种调整方法。最后，介绍了一些零件工艺尺寸链的计算实例。

由于经验不足，水平有限，缺点和错误在所难免，欢迎读者提出批评指正。

编　者

一九七三年七月

目　录

第一章 尺寸链一般原理

这一章较系统地介绍尺寸链一般原理、计算公式和计算方法。

§1 定义、符号及分类

尺寸链 尺寸链是一组构成封闭形式的尺寸的组合。在这些尺寸中，每一个尺寸的变化都会影响精度。

具体说来，零件的表面与表面之间、中心线与中心线之间、或者零件与零件之间相互距离（线性）或偏转位置（角度）的封闭形式的尺寸组合，即构成了尺寸链（图1-1)。

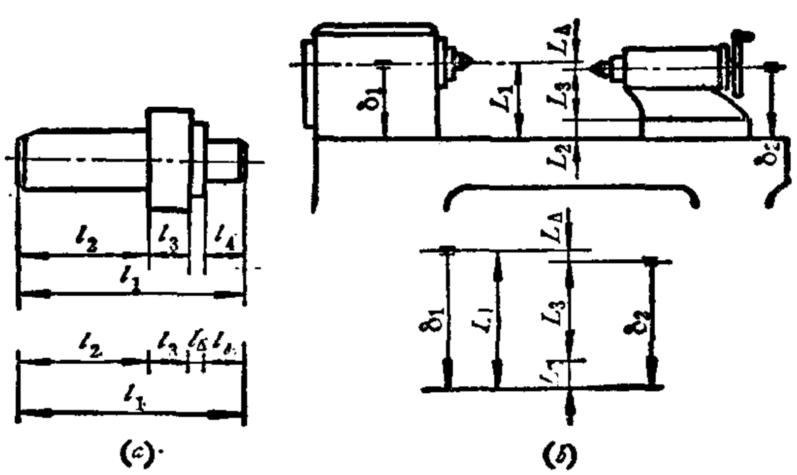


图1-1 尺寸链示例

a—单个零件的尺寸链；*b*—机床在垂直平面中的装配尺寸链。

所以，尺寸链的定义包含两个意思：

1. 组成尺寸链的各尺寸封闭；

2. 组成尺寸链的各尺寸中，任何一个尺寸的偏差都将直接影响某一尺寸的精度。

例如，在图1-1 *a* 中，封闭形式的各尺寸 l_1、l_2、l_3、l_4 及 l_Δ，

即构成尺寸链。其中尺寸 l_1、l_2、l_3 和 l_4 中任何一个尺寸的偏差，都将影响尺寸 l_Δ 的精度。在图 1-1 *b* 的装配尺寸链中，L_1、L_2、L_3的偏差，最终都将影响主轴和尾座中心线之间在垂直平面内的同心度；δ_1、δ_2 则影响它们之间在垂直平面内的平行度。

尺寸链的环　确定表面之间、轴线之间的距离以及角度位置的这些尺寸，叫做尺寸链的环。简单地说，构成尺寸链的各尺寸，叫做尺寸链的环。它们可以分为：

1．封闭环　加工或装配过程中，最后得到的尺寸，叫做封闭环。例如图 1-1 中的 l_Δ、L_Δ。由于它们是最后得到的尺寸，所以也叫做终结环。如果按此环来设计确定各组成尺寸时，封闭环也可叫做起始环。

2．组成环　加工或装配过程中，直接影响封闭环精度的各尺寸，叫做组成环。例如图 1-1 中尺寸 l_1、l_2、l_3、l_4；L_1、L_2、L_3以及 δ_1、δ_2 等即为组成环。

由此可见，尺寸链是由一个封闭环和两个或两个以上的组成环所构成的。

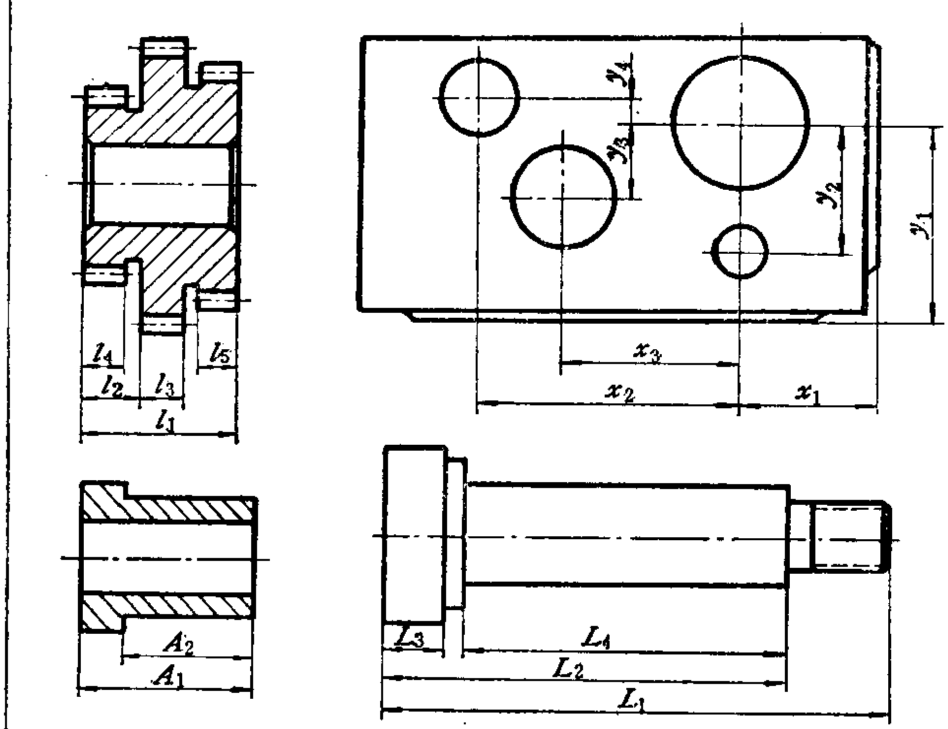
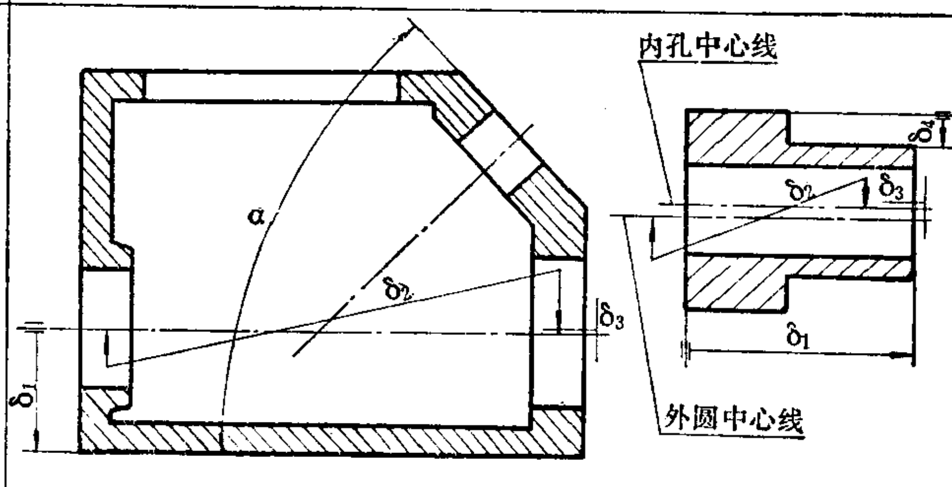
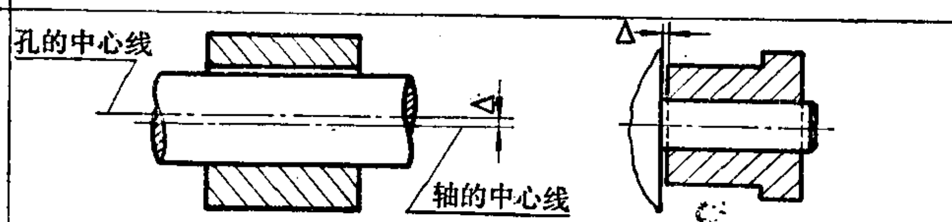
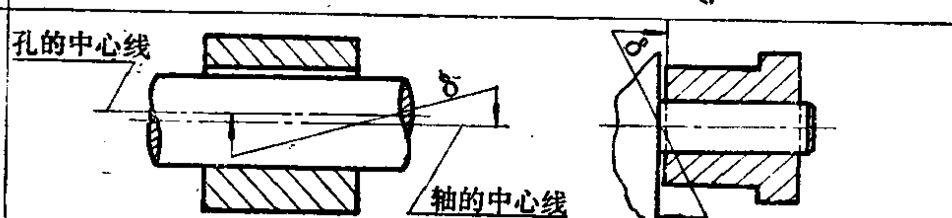
一般来说，构成尺寸链的任何一个尺寸，都可以作为封闭环来看，而其余尺寸则看作组成环。例如，零件图纸上的某一尺寸，在构成零件的设计尺寸链中，它是其中的一个组成环。而在这个零件制造工艺过程中，这一尺寸也许是某道工序加工最后所得，于是在这个零件某道工序加工的工艺尺寸链中，它就成为封闭环了。从而给工艺上带来了转换计算。这个问题，在第二章中将进行讨论。

组成环还可以分为：

1．增环　在尺寸链中，当增大某一组成环，而其余各组成环不变，导致封闭环增大，这样的组成环叫做增环。例如图 1-1 中尺寸 l_1、L_1 即为增环。增环用符号 $\vec{l}_1$、$\vec{L}_1$ 表示。

2．减环　在尺寸链中，当增大某一组成环，而其余各组成环不变，导致封闭环减小，这样的组成环叫做减环。例如图 1-1

表1-1 尺寸链图例

形 式	图 例
线性尺寸链	
角度尺寸链	
线性间隙	
角度间隙	

中尺寸 l_2、l_3、l_4 及 L_2、L_3 等即为减环。减环用符号 $\overleftarrow{l}_2$、$\overleftarrow{l}_3$ 及 $\overleftarrow{L}_2$、$\overleftarrow{L}_3$ 表示。

单个零件的尺寸链，表示了这个零件各表面之间、轴线之间的尺寸联系。计算这种尺寸链的目的，在于达到已知零件的表面之间和轴线之间相对位置的精度要求。

有关装配尺寸链不是本书叙述的方面。不过，作为尺寸链分类中的组成部分，也把它列入表中。

表 1-1 为尺寸链的图例，表 1-2 列出了尺寸链的分类。

表1-2 尺寸链分类

分类的依据	名称	特征
按在产品中的地位分	零件尺寸链	确定单个零件的表面或轴线之间相对位置和精度
	装配尺寸链	确定装配机构中任何参数的相对位置和精度
按达到精度的方法分	无补偿环尺寸链	借互换零件以保证封闭环所要求的精度
	有补偿环尺寸链	利用补偿环以保证封闭环所要求的精度
按构成尺寸链各环的空间位置分	线性尺寸链	尺寸链各环位于平行线上
	平面尺寸链	尺寸链各环位于一个或几个相互平行的平面上
	空间尺寸链	尺寸链各环位于不平行的平面上
按构成尺寸链各环的几何特征分	长度尺寸链	所有构成尺寸链的环，都是直线长度量
	角度尺寸链	构成尺寸链各环为角度量，且有一个共同的顶点
按相互联系的特征分	独立尺寸链	所有构成尺寸链的环，在同一个尺寸链中
	互联尺寸链	构成尺寸链的一个或几个环，在两个或者两个以上的尺寸链中

最常见的尺寸链是线性尺寸链。平面尺寸链或空间尺寸链可以用投影法转化为线性尺寸链。互联尺寸链在解尺寸链时，也是常常碰到的。互联尺寸链有三种形态：

1. 并联尺寸链　几个尺寸链通过一个或几个公共环相互联

系起来的互联形式（图1-2），叫并联尺寸链。

并联尺寸链的特征：当某一公共环的大小变化时，将同时影响有关各尺寸链。在图 1-2 中，公共环 A_6（$=B_1$）、A_7（$=B_2$）、A_Δ（$=B_3$）中任何一个的大小有变化，都将同时影响尺寸链 A 与尺寸链 B。而公共环 B_5（$=C_2$）的大小有变化时，将同时影响尺寸链 B 与尺寸链 C。

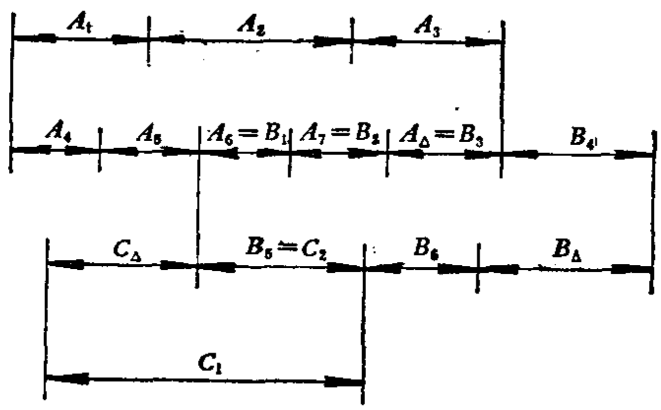


图1-2 并联尺寸链示例

$A_6=B_1$、$A_7=B_2$、$A_\Delta=B_3$ 系尺寸链 A 与尺寸链 B 的公共环；而 $B_5=C_2$ 系尺寸链 B 与尺寸链 C 的公共环。

2. 串联尺寸链 尺寸链组合中，每一个后继尺寸链，是以其前面一个尺寸链的基线（或基面）为开始的互联形式（图1-3），叫串联尺寸链。

串联尺寸链的特征：当前面尺寸链的某一环的大小有变化时，则后继尺寸链的基线（或基面）的位置将随之改变。在图 1-3 中，尺寸链 L 中任何一个环的大小有变化时，尺寸链 M 的基线 O_1 的位置随即改变。同样，尺寸链 M 中任何一个环的大小有变化时，将改变尺寸链 K 的基线 O_2 的位置。

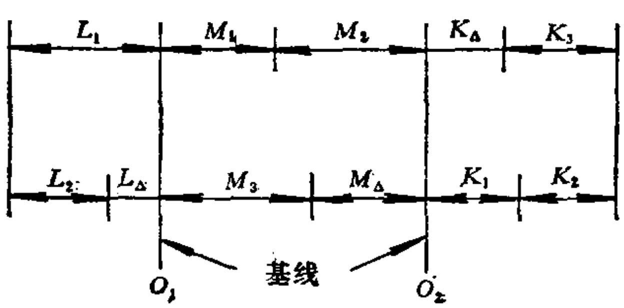


图1-3 串联尺寸链示例

尺寸链 M 系开始于尺寸链 L 的基线 O_1；而尺寸链 K 系开始于尺寸链 M 的基线 O_2。

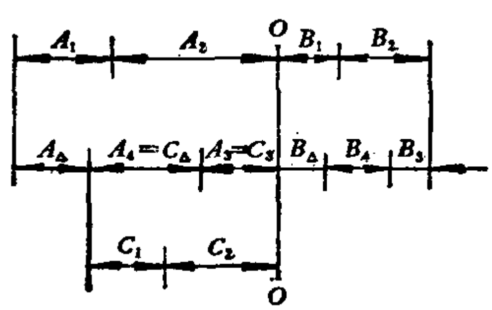


图1-4 混联尺寸链示例

尺寸链 A 与尺寸链 C 系具有公共环 A_3（$=C_3$）、A_4（$=C_\Delta$）的并联尺寸链；而尺寸链 B 系开始于基线 O，与尺寸链 A 组成串联尺寸链。

3. 混联尺寸链　兼有并联尺寸链和串联尺寸链的互联形式（图 1-4），叫混联尺寸链。

§2　基本公式及计算方法

一、计算名义尺寸的基本公式

设有一尺寸链，如图 1-5 所示。

由图 1-5 可知

$$l_\Delta=\vec{l}_1-(\overleftarrow{l}_2+\overleftarrow{l}_3),$$

普遍式

$$l_\Delta=\sum_{i=1}^{m}A_i\vec{l}_i-\sum_{j=m+1}^{n-1}A_j\overleftarrow{l}_j \qquad (1-1)$$

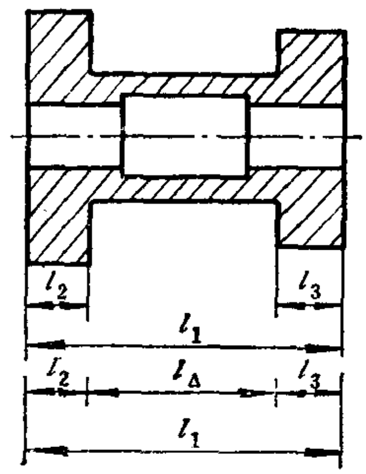


图1-5　零件的尺寸图

式中　m——所有增环数；

n——包括封闭环在内的总环数。

公式（1-1）表示封闭环的名义尺寸，等于构成尺寸链各组成环的名义尺寸之代数和。或者说，封闭环的名义尺寸，等于构成尺寸链的所有增环名义尺寸之和，减去所有减环名义尺寸之和。公式中各组成环的系数（见图 1-5）：

$$A_1=+1；\qquad A_2=-1；\qquad A_3=-1。$$

也即说，在各环都平行的线性尺寸链中，系数 $A=+1$ 或 -1。实际上，系数为 $+1$ 的是增环，系数为 -1 的是减环。

对于各环不都平行的尺寸链，见图 1-6 所示的杠杆零件图。这时，若将所有组成环向平行于封闭环的基线上投影（见图1-6），则原来的尺寸链便转化为各环平行的线性尺寸链了。

由图 1-6 可知

$$l_1'=l_1\cos 0^\circ=l_1;$$

$$l_2'=l_2\cos\alpha。$$

所以

$$l_\Delta=\vec{l_1'}+\vec{l_2'}=\vec{l}_1+\vec{l}_2\cos\alpha。$$

这里，尺寸链各组成环的系数为：

$A_1=+1$；　$A_2=+\cos\alpha$。

由此可知，对于构成尺寸链的各环不都平行的平面尺寸链，可取封闭环尺寸线作为基准线，而将其余各组成环在此基准线上投影。这样，构成的新尺寸链是各环平行的线性尺寸链。从而可以很容易写出它的方程式，并求得各组成环的系数A_i。系数A_i称为转换系数。经过转换以后的尺寸链是一个简化的尺寸链。

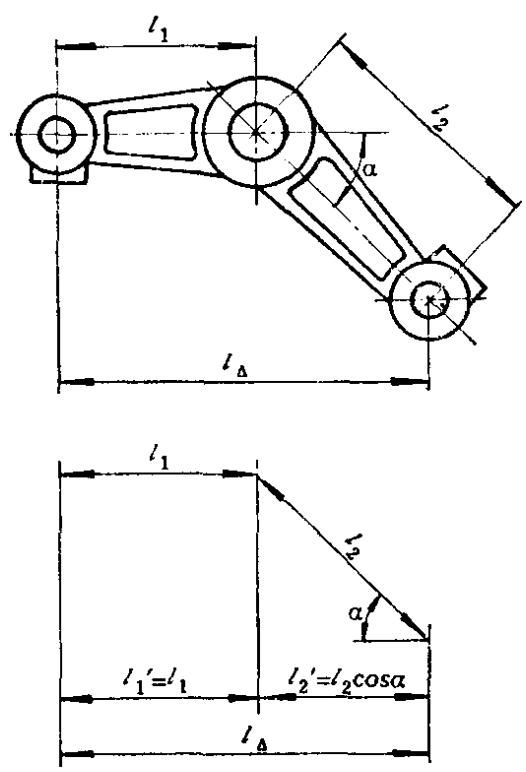


图1-6　杠杆尺寸简图

二、计算方法

所谓计算尺寸链，是根据构造上或工艺上的要求，确定构成尺寸链各环的名义尺寸及公差（或偏差）。即通常所说的解尺寸链。

解尺寸链时，根据各组成环名义尺寸及公差（或偏差），来计算封闭环名义尺寸及公差（或偏差），叫做正计算。根据封闭环名义尺寸及公差（或偏差），来计算各组成环名义尺寸及公差（或偏差），叫做反计算。根据封闭环和其余各组成环的名义尺寸及公差（或偏差），来计算尺寸链中某一个组成环的名义尺寸及公差（或偏差），是反计算的一种，也叫做中间计算。在拟定零件的工艺过程时，确定工序尺寸及余量的公差，或基准转换就属于中间计算。

1. 正计算

1）极大极小法

图 1-7 所示小轴，按公式（1-1），封闭环的最大值为

$$l_{\Delta\max}=\vec{l}_{1\max}-\overleftarrow{l}_{2\min},$$

最小值为

$$l_{\Delta\min}=\vec{l}_{1\min}-\overleftarrow{l}_{2\max}。$$

因而封闭环的公差为

$$\delta l_{\Delta}=l_{\Delta\max}-l_{\Delta\min}。$$

封闭环最大值和最小值的普遍式为

$$l_{\Delta\max}=\sum_{i=1}^{m}\vec{l}_{i\max}-\sum_{j=m+1}^{n-1}\overleftarrow{l}_{j\min} \tag{1-2}$$

$$l_{\Delta\min}=\sum_{i=1}^{m}\vec{l}_{i\min}-\sum_{j=m+1}^{n-1}\overleftarrow{l}_{j\max} \tag{1-3}$$

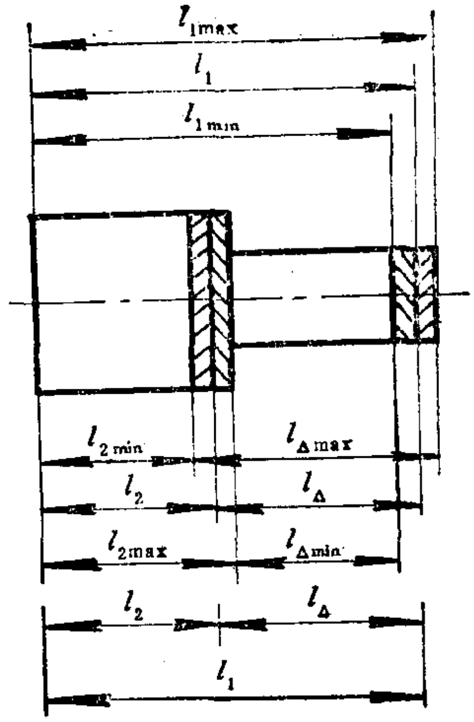


图1-7 小轴尺寸图

式中 m——所有增环数；

n——包括封闭环在内的总环数。

公式（1-2）表示，封闭环的最大值等于构成尺寸链各增环最大值之和，减去各减环最小值之和。

公式（1-3）表示，封闭环的最小值等于构成尺寸链各增环最小值之和，减去各减环最大值之和。

所以，封闭环公差的普遍式为

$$\begin{aligned}\delta l_{\Delta}&=l_{\Delta\max}-l_{\Delta\min}\\&=\left(\sum_{i=1}^{m}\vec{l}_{i\max}-\sum_{j=m+1}^{n-1}\overleftarrow{l}_{j\min}\right)-\left(\sum_{i=1}^{m}\vec{l}_{i\min}-\sum_{j=m+1}^{n-1}\overleftarrow{l}_{j\max}\right)\\&=\sum_{i=1}^{m}(\vec{l}_{i\max}-l_{i\min})+\sum_{j=m+1}^{n-1}(\overleftarrow{l}_{j\max}-\overleftarrow{l}_{j\min})\\&=\sum_{i=1}^{m}\delta\vec{l}_{i}+\sum_{j=m+1}^{n-1}\delta\overleftarrow{l}_{j}。\end{aligned}$$

或者写成

$$\delta l_{\Delta}=\sum_{r=1}^{n-1} \delta l_{r} 。 \tag{1-4}$$

公式（1-4）表示，封闭环公差等于构成尺寸链的各组成环公差之和。

封闭环的上偏差，等于构成尺寸链的各增环上偏差之和，减去各减环下偏差之和。即

$$\delta_{上} l_{\Delta}=\sum_{i=1}^{m} \delta_{上} \vec{l}_{i}-\sum_{j=m+1}^{n-1} \delta_{下} \overleftarrow{l}_{j} \tag{1-5}$$

封闭环的下偏差，等于构成尺寸链的各增环下偏差之和，减去各减环上偏差之和。即

$$\delta_{下} l_{\Delta}=\sum_{i=1}^{m} \delta_{下} \vec{l}_{i}-\sum_{j=m+1}^{n-1} \delta_{上} \overleftarrow{l}_{j} \tag{1-6}$$

当增环下偏差为 0 （即 $\delta_{下}\vec{l}_i=0$）、减环上偏差为 0（即$\delta_{上}\overleftarrow{l}_j=0$）时，封闭环的公差可按下式计算

$$\delta l_{\Delta}=\sum_{i=1}^{m} |\delta_{上} \vec{l}_{i}|+\sum_{j=m+1}^{n-1} |\delta_{下} \overleftarrow{l}_{j}| \tag{1-7}$$

公式（1-7）表示，当构成尺寸链的各增环下偏差 $\delta_{下}\vec{l}_i=0$、各减环上偏差 $\delta_{上}\overleftarrow{l}_j=0$ 时，封闭环的公差，等于各增环上偏差绝对值之和加各减环下偏差绝对值之和。

2）概率法

在上述极大极小法解尺寸链中，封闭环公差等于构成尺寸链的各组成环公差的代数和。由概率论可知，封闭环的公差实际上并没有这样大。

大家知道，在一批零件的加工过程中，每一加工尺寸都是彼此独立的随机变量，因而封闭尺寸也是随机变量。所以，封闭环

的均方根偏差σ_Δ和各组成环的均方根偏差σ_r的关系，可以用下式表示：

$$\sigma_\Delta=\sqrt{\sum_{r=1}^{n-1}\sigma_r^2}\text{。}$$

若尺寸链中各组成环都遵循正态分布规律，则封闭环也将遵循正态分布规律。如果不存在系统误差，则各环的分布中心与其公差带中心重合。因此，各环公差δl_r与均方根偏差σ_r的关系为：

$$\delta l_r=6\sigma_r,$$

所以，封闭环公差δl_Δ与各组成环公差δl_r的关系可写成：

$$\delta l_\Delta=\sqrt{\sum_{r=1}^{n-1}\delta l_r^2} \qquad (1\text{-}8)$$

式中　n——包括封闭环在内的总环数。

公式（1-8）表示，封闭环公差等于构成尺寸链的各组成环公差平方和的平方根。

如果把图 1-7 小轴的尺寸用图 1-8 表示，则

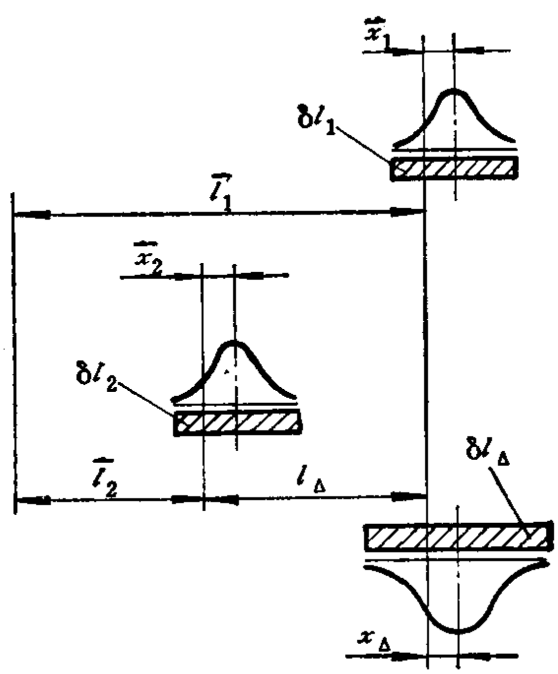


图　1-8

$$\delta l_\Delta=\sqrt{\delta l_1^2+\delta l_2^2}\text{。}$$

而且

$$\vec{l}_{1\max}=\vec{l}_1+\vec{x}_1+\frac{\delta l_1}{2},$$

$$\vec{l}_{1\min}=\vec{l}_1+\vec{x}_1-\frac{\delta l_1}{2};$$

$$\overleftarrow{l}_{2\max}=\overleftarrow{l}_2+\overleftarrow{x}_2+\frac{\delta l_2}{2},$$

$$\overleftarrow{l}_{2\min}=\overleftarrow{l}_2+\overleftarrow{x}_2-\frac{\delta l_2}{2}。$$

于是

$$l_\Delta+x_\Delta\pm\frac{\delta l_\Delta}{2}=\overrightarrow{l}_1+\overrightarrow{x}_1-\overleftarrow{l}_2-\overleftarrow{x}_2\pm\sqrt{\left(\frac{\delta l_1}{2}\right)^2+\left(\frac{\delta l_2}{2}\right)^2},$$

$$x_\Delta\pm\frac{\delta l_\Delta}{2}=\overrightarrow{x}_1-\overleftarrow{x}_2\pm\frac{1}{2}\sqrt{\delta l_1^2+\delta l_2^2},$$

故

$$x_\Delta=\overrightarrow{x}_1-\overleftarrow{x}_2$$

普遍式

$$x_\Delta=\sum_{i=1}^{m}\overrightarrow{x}_i-\sum_{j=m+1}^{n-1}\overleftarrow{x}_j \tag{1-9}$$

式中 m——所有增环数；

n——包括封闭环在内的总环数；

x_Δ——封闭环公差带中心对于名义尺寸的座标；

$\overrightarrow{x}_i$——增环公差带中心对于名义尺寸的座标；

$\overleftarrow{x}_j$——减环公差带中心对于名义尺寸的座标。

公式（1-9）表示，封闭环公差带中心对于名义尺寸的座标，等于构成尺寸链的所有增环公差带中心对于名义尺寸的座标之和，减去所有减环公差带中心对于名义尺寸的座标之和。

封闭环的上偏差

$$\delta_上 l_\Delta=x_\Delta+\frac{\delta l_\Delta}{2}=x_\Delta+\frac{1}{2}\sqrt{\sum_{r=1}^{n-1}\delta l_r^2} \tag{1-10}$$

封闭环的下偏差

$$\delta_下 l_\Delta=x_\Delta-\frac{\delta l_\Delta}{2}=x_\Delta-\frac{1}{2}\sqrt{\sum_{r=1}^{n-1}\delta l_r^2} \tag{1-11}$$

公式（1-8）、（1-9）、（1-10）和（1-11）是应用概率论解尺寸链的四个基本公式。

如果构成尺寸链各组成环的分布中心和公差带中心不相重合，即各组成环为非正态分布的情况。这时必须对公式（1-8）、（1-9）作如下修正：

封闭环的公差

$$\delta l_{\Delta}=\frac{1}{K_{\Delta}}\sqrt{\sum_{r=1}^{n-1}K_r^2\delta l_r^2},$$

但是，根据概率分布的组合率，封闭环的分布仍然服从正态分布，即 $K_{\Delta}=1$，所以

$$\delta l_{\Delta}=\sqrt{\sum_{r=1}^{n-1}K_r^2\delta l_r^2} \tag{1-12}$$

式中 K_r——实际分布曲线对正态分布曲线的形状差异程度的相对分布系数，正态分布曲线的 $K_r=1$。

封闭环公差带中心对于名义尺寸的座标

$$x_{\Delta}=\sum_{i=1}^{m}\left(\bar{x}_i+\frac{1}{2}\alpha_i\delta\vec{l}_i\right)-\sum_{j=m+1}^{n-1}\left(\bar{x}_j+\frac{1}{2}\alpha_j\delta\overleftarrow{l}_j\right) \tag{1-13}$$

式中 α_i、α_j——实际分布曲线不对称程度的相对不对称系数，正态分布时 $\alpha_i=0$。

比较极大极小法和概率法，可以看出，极大极小法的计算较简便，但是封闭环公差，比尺寸链中任何一个组成环的公差都来得大，即封闭环的精度最低。而在零件的加工过程中，由于工艺尺寸链的封闭环，是某道工序加工最后所得到的尺寸。这个尺寸在零件的设计尺寸链中，也许是组成环，它的公差必须满足工艺文件或图纸规定的要求。用极大极小法计算时，必须对其余各组成环的公差进行“压缩”。否则，作为工艺尺寸链封闭环尺寸的公差就会超差，造成被加工零件的报废。所以，用极大极小法解尺寸链，应遵循构成尺寸链的环数尽可能少的原则。概率法计算尺