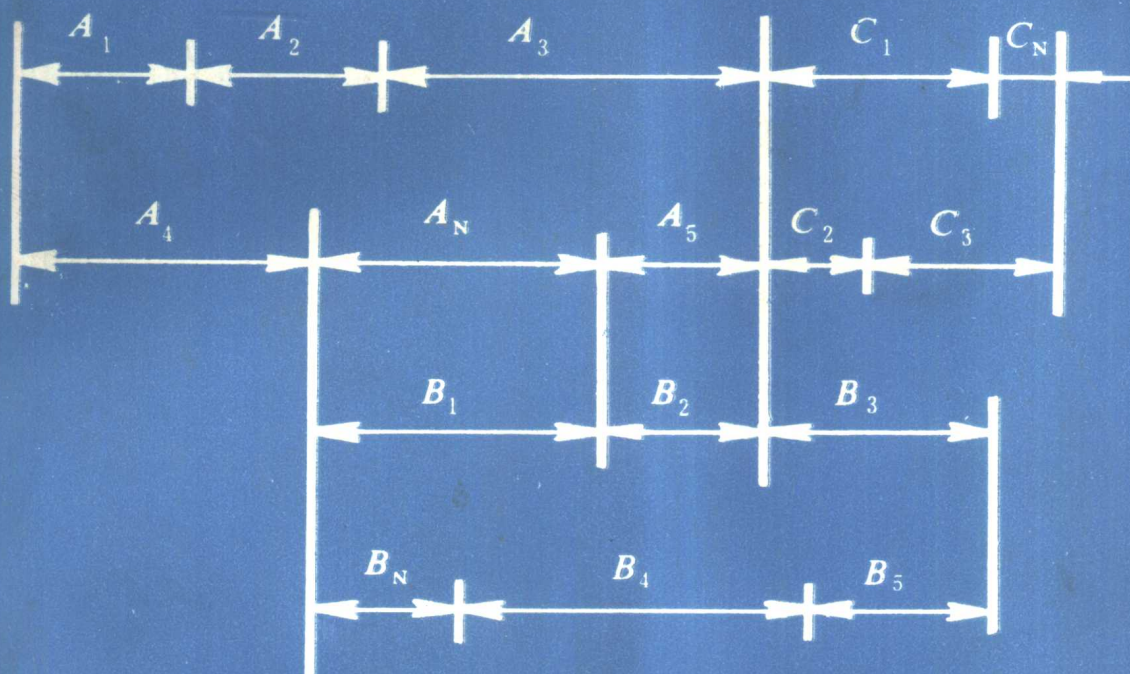


尺寸链原理及其应用

张荣瑞 编著



机械工业出版社

尺寸链原理及其应用

张荣瑞 编著



机械工业出版社

内 容 简 介

本书根据国内外有关尺寸链方面的资料编写而成,对尺寸链的原理、计算公式,以及尺寸链在机器设计、制造、装配、图纸审核和机器性能参数分析中的应用作了系统的介绍。各章节都以误差在封闭环上的累积来说明分析问题的方法,并举例说明其应用,目的在于使设计、制造、装配等各部分工作紧密联系,互相协调,以达到保证与提高机器质量的要求。

本书可供从事机械设计、制造的科技人员参考,也可供大专院校师生参考。

尺 寸 链 原 理 及 其 应 用

张荣瑞 编著

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

金堂县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本787×1092毫米 1/16 印张18³/₄ 插页 1·字数 466千字

1986年10月北京第一版 1986年10月成都第一次印刷

印数: 0,001—7,400 定价 4.60元

*

统一书号: 15033·6100

前 言

利用尺寸链原理对机器零部件尺寸及其误差进行综合与累积的分析，是机器制造中质量分析的一个组成部分。因此尺寸链原理在设计、制造和装配中的普遍应用，对保证机器产品质量具有十分重要的意义。

目前，国内外有关尺寸链的资料和书刊，大多是把装配尺寸链和工艺尺寸链分别论述的，笔者认为尽管这两种尺寸链在应用上有相当的区别，但所应用的基本原理是完全相同的。本书编写方式是以尺寸链原理作为共同的基础，再分别阐述设计和制造等方面的不同应用，从不同的条件和不同的要求分别说明各种应用的特点和分析问题的方法。

由于尺寸链原理是与生产经验紧密结合的，所以本书编写力求系统地介绍一些生产中应用的实例，希望能以此提供解决生产实际问题的方法与途径。但是，机器制造行业是品种十分繁多的生产部门，因此书中的例子只能以一些基本的结构元件、机床制造中的零件或部件，和部分内燃机零件作为应用的典型范例。其他生产部门可以此为准则，灵活应用。

根据国内外的资料和笔者的实践经验，本书对一些问题进行了引伸，并提出自己的见解，主要有以下几方面：

1. 本书是以误差累积与综合来说明尺寸链关系的实质。在各章节中我们对体现误差累积的“封闭环”，侧重说明其各种形式和特点，由封闭环再分析尺寸链中的其他环。

2. 本书把结构尺寸链作为独立的问题来分析，其目的是为了设计者在不考虑具体装配方法和装配工艺过程的条件下，合理地进行结构设计和制订技术要求。

3. 在工艺尺寸链一章中，是以“间接获得尺寸必然会有加工误差的累积”这一基本规律作为分析问题的基础。由此使工艺尺寸换算和工序加工公差的确立等问题有一个统一的认识。在确定工序尺寸公差时，强调应用“跟踪法”来分析问题，而且对跟踪法原理的实质作了探讨。

4. 在装配尺寸链一章中，考虑到机器制造行业中、小批量生产占有较大的比重，因此对刮研修配法和调整法作了充实，企图使修配法和调整法能在生产中扩大应用。

5. 在尺寸链的计算实例中，所采用的方法大多是根据加工方法的经济精度先确定组成环公差，尔后再应用公式加以验算，在验算过程中对各组成环数值作必要的搭配和调整。这种计算方法比较切合实际，具有实用价值。

6. 在最后一章，从尺寸链的扩大和引伸出发，介绍了“函数互换性原理”和“空间尺寸链”，由于篇幅关系，很多地方还不够完整，还有待于今后补充和完善。

本书在尺寸链的计算中，一些参数和系数的选择，都是以中批生产、中等工艺水平，以及一般精度的设备条件为依据而进行计算的。各生产部门在应用时，可结合自己的具体条件加以修正。

书中不少图例取材于各院校及厂矿的交流资料。初稿出来后，袁家骧、余敏、李绍瀛同志提出了不少宝贵意见，同时还得到西安交通大学顾崇衡教授的指导；在编写过程中，还曾得到关玉祥、汪鸣铮同志的协助，在此一并致谢。

由于水平有限、错误在所难免，希望提出宝贵意见，以期今后逐步完善。

目 录

前 言

第一章 尺寸链的基本概念及其在生产中应用的意义	1
一、尺寸链的定义和基本概念	1
二、尺寸链所表示的基本关系	2
三、尺寸链的类型	5
四、机器制造误差的基本特征	8
五、机器制造中应用尺寸链的意义	16
第二章 尺寸链计算的基本公式和计算方法	18
一、尺寸链的通用函数式	18
二、极值法计算尺寸链的公式	21
三、用公差单位计算尺寸链的公式	26
四、概率法计算尺寸链的公式	27
五、概率法计算时的误差相对分布系数 K_i 和保险系数 K_H	32
六、尺寸链计算中误差理论的应用	36
七、角度尺寸链的计算公式	40
八、平面尺寸链的计算公式	45
九、尺寸链的计算步骤和注意事项	47
第三章 尺寸链在结构设计中的应用	51
一、结构尺寸链的特点和分析的内容	51
二、机器结构中封闭环的确定	52
三、结构设计中部件与零件尺寸公差确定	54
四、结构设计中零件和部件技术要求的确定	59
五、结构设计中补偿环的设置与计算	68
六、结构设计中应用尺寸链的典型例证	74
七、在保证机器性能参数要求时应用尺寸链的分析计算	85
八、结构设计中特殊要求的保证	94
第四章 机械加工工艺尺寸链的分析与应用	101
一、工艺尺寸链的特点和误差累积	101
二、工艺尺寸链封闭环的确定	106
三、零件上工艺尺寸的换算问题	110
四、应用尺寸链确定工序尺寸和公差	116
五、工艺尺寸链的分类法和图解法	131
六、应用跟踪法确定工序尺寸和公差	134
七、跟踪法的原理和应用实例	142
八、应用尺寸链分析工艺装备精度对加工精度的影响	150
九、应用尺寸链分析机床的合理调整和尺寸控制	157
第五章 尺寸链在机器装配中的应用	166

一、保证机器装配精度的方法和装配尺寸链的特点	166
二、完全互换法装配	168
三、不完全互换法装配	172
四、选择法装配	178
五、修配法装配	184
六、调整法装配	197
七、机床制造中装配尺寸链的应用	209
第六章 零部件尺寸的合理标注和审图	218
一、零部件尺寸的合理标注	218
二、图纸的审核	228
第七章 尺寸链的扩大应用	236
一、函数互换性原理	236
二、函数互换性原理的应用	240
三、尺寸链在分析机构精度方面的发展	263
四、空间尺寸链	267
附 录	279
一、本书应用的主要符号	279
二、标准公差计算公式(1~500mm)	280
三、标准公差单位的计算误差	280
四、各种加工方法的加工精度	281
五、各种加工方法的加工误差和系数 α_i 、 K_i	282
六、在金属切削机床上加工所能达到的精度	286
七、未标注公差尺寸的极限偏差	291
八、紧固螺钉孔中心距的极限偏差	291
九、齿轮中心距极限偏差	291
十、圆锥齿轮传动公差	292
十一、蜗轮蜗杆传动公差(当模数为1~30mm时)	293
十二、尺寸链计算的主要公式	294
参考文献	295

第一章 尺寸链的基本概念及其在生产中应用的意义

在机械的设计、制造过程中，普遍存在尺寸链问题，它最初是由机器装配过程发展而形成的。在把零件组装成机器的过程中，也就将零件上有关的尺寸进行了组合和累积。由于零件尺寸不能制造得绝对准确，或多或少总会有误差产生，因此在装配的同时，也就会有误差的综合和累积，累积后形成的总误差将会影响机器的工作性能和质量。这样就形成了零件的尺寸误差和综合误差之间的相互影响关系，由这种相互关系逐渐发展形成了尺寸链的基本原理。

以后，尺寸链原理逐步扩展，在产品的设计、制造、装配调整以及试验和检验等各个生产阶段中，每一阶段都可应用这一原理对产品质量进行分析。因此明确尺寸链原理并熟练掌握尺寸链的分析和计算方法，可以把机器的设计、制造、工艺装备的检查和调整，以及装配试验等各个环节相互联系在一起，采用综合控制误差的措施，有效地达到机器产品的性能指标和精度标准，保证机器的质量。

一、尺寸链的定义和基本概念

尺寸链的定义：一组互相联系且按一定顺序排列的封闭尺寸组合。其中各个尺寸的误差相互累积，形成误差相互制约的尺寸链关系。

尺寸链中各有关的组成部分，包括尺寸、角度、过盈量、间隙、或者位移等等，叫做尺寸链的“链环”，或者简称为“环”。

如图1-1的减速箱装配图，其中箱体和箱盖形成的内腔尺寸 A_1 和 A_2 ，轴套凸缘高度 A_3 和 A_5 ，以及轴肩长度 A_4 ，构成一组尺寸链。这个结构装配后形成一组传动件，要求轴肩和轴套凸缘间保留一定的间隙 ΔN 。这些尺寸环节所组成的尺寸链图如图1-2所示。其关系可用下式来表示：

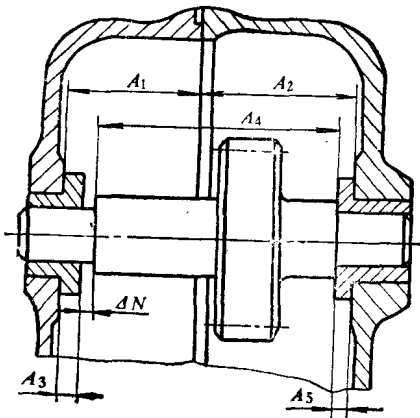


图 1-1

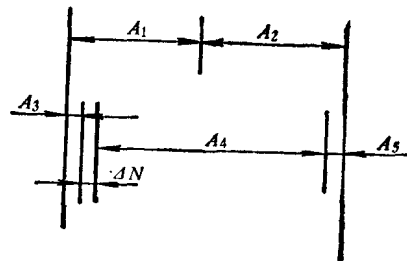


图 1-2

$$\Delta N = (A_1 + A_2) - (A_3 + A_4 + A_5)$$

在尺寸链中，由于各个组成环的性质不同，所以误差的相互影响作用也就各不相同。

同样，在一个单独的零件上也存在着尺寸链关系。如图 1-3 的阶梯轴，各个尺寸形成封闭的形式，也就是形成了尺寸链。其中尺寸 $N = 30\text{mm}$ ，一般在图纸中不标注，但这个尺寸实际上是客观存在的， A_1 、 A_2 、 A_3 和 A_4 ，各个尺寸误差恰恰累积在这个尺寸上。

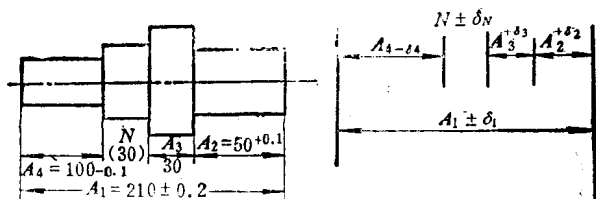


图 1-3

在组成一组尺寸链的所有组成环中，有两类不同性质的组成部分，一种叫做“封闭环”，另一种叫做“组成环”。关于封闭环和组成环的定义和特点说明如下：

1) 封闭环：凡是由其他环尺寸大小而间接形成的最终环叫做封闭环。封闭环可能是一个尺寸或角度，也可能是一个间隙，过盈量或其他数值的偏差。在装配中封闭环代表装配技术要求，体现装配质量指标。在加工中封闭环代表间接获得尺寸，或者被代换的原设计要求尺寸。

封闭环的特性是，其他环的误差必然综合累积在这个环上，因此封闭环误差是所有各组成环误差的综合。

2) 组成环：在尺寸链中影响封闭环误差增大或减小的其他环，叫做组成环。组成环本身的误差是由其本身的制造条件独立产生而存在的，不受其他环的影响，因此是由加工设备和加工方法而确定的。

3) 增环：是指在尺寸链的组成环中，凡因组成环实际尺寸增大（或减小），相应地使封闭环实际尺寸也增大（或减小）的组成环叫做增环。图 1-1 中尺寸 A_1 、 A_2 为增环。

4) 减环：是指在尺寸链的组成环中，凡因组成环实际尺寸增大（或减小），相应地使封闭环实际尺寸减小（或增大）的组成环叫做减环。图 1-1 中 A_3 、 A_4 和 A_5 是减环。

对于组成环的增环，用 $\overrightarrow{A_i}$ 来代表。通常在计算中用“+”号表示。

对于组成环的减环，用 $\overleftarrow{A_i}$ 来代表。通常在计算中用“-”号表示。

对于尺寸链的封闭环，用 N 来代表。它的正负号由实际情况而定。

通常在建立尺寸链关系时，根据机器的实际装配情况，或者根据所设计的部件和零件图纸资料等，先画出尺寸链的封闭关系图，如图 1-2 所示的那样。然后由所画出的尺寸链关系图和机器所要求保证的质量要求，确定封闭环和它要求的数值。在封闭环确定以后，就可以从封闭环的状态，分别根据组成环对封闭环的影响关系，再确定增环和减环。

二、尺寸链所表示的基本关系

在一组尺寸链中，从形式上看各个环都一样，但其中有些环是代表着机器的装配要求，需要从机器的性能或者工作质量来确定其数值。例如图 1-1 所示的尺寸链中，装配后形成的轴向间隙，是影响机器运转平稳性的主要环节，它代表着这个箱体的装配要求。作为机器的通用技术要求，回转轴的轴向间隙约为 $0.1 \sim 0.3\text{mm}$ 。除代表整个机器或构件装配要求的特定

环外，其他环都可看作是影响装配质量的因素，它们的制造误差累积起来将影响装配质量。例如图1-1中， A_1, A_2, \dots, A_5 各个尺寸误差将影响 ΔN 的大小，因此是影响装配要求的组成部分。

从图1-3可以看到，在一个单独的零件上，各个尺寸之间也存在着误差的相互影响和积累，有些尺寸已经明确标注，可以在加工制造时直接控制尺寸误差，如图1-3中 A_1, A_2, A_3 和 A_4 。但有些尺寸是间接封闭而形成的，如图1-3中的尺寸 N 。尺寸 A_1, A_2, A_3 和 A_4 的制造误差累积后将影响封闭尺寸 N ，产生误差 δ_N 。

以上这种组成尺寸之间的相互影响关系，也就是“组成环”和“封闭环”之间的影响关系，不管在任何情况下，组成环误差将累积在封闭环上，累积后形成封闭环的误差。

由于在组成环中有增环和减环的区别，因此它们对封闭环的影响状况也就不一样，其区别为：

增环对封闭环误差的积累关系为同向影响，增环误差增大(或减小)可使封闭环尺寸相应的一同增大(或减小)。而且使封闭环尺寸向偏大方向偏移。

减环对封闭环误差的积累关系为反向影响，减环误差增大(或减小)可使封闭环尺寸相应的反而减小(或增大)。而且使封闭环尺寸向偏小方向偏移。

但是增环尺寸增大使封闭环向偏大方向偏移，减环又使封闭环向偏小尺寸方向偏移，综合起来、结果使封闭环尺寸向两个方向扩大，最后使封闭环误差 δ_N 增大。因此由图1-2即可看出，组成环中、包括所有的增环和减环，都最终将影响封闭环误差增加。

根据前面所举的例子可以看出，不论尺寸链的组成环有多少，也不管它的形式和用途怎样，都是反映着封闭环和组成环之间的相互影响关系。而这种相互影响关系也正是尺寸链所代表的基本关系。

尺寸链所代表的基本关系是用来说明尺寸链的基本原理和本质问题的，在建立尺寸链的基本概念中具有十分重要的意义。为了说明内在因素的影响关系，还可用图1-4的一般尺寸链来进行说明。

图1-4说明了各组成环尺寸都有一定的误差 $\pm\delta_i$ ，所以封闭环受各组成环误差的影响，可能产生极大值 N_{max} ；另一方面，在相反的极限情况下也可能产生极小值 N_{min} 。

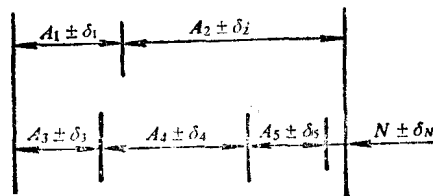


图 1-4

封闭环产生最大极限尺寸的情况为：

$$N_{max} = \sum_{i=1}^m (\overset{\rightarrow}{A_i} + \delta_i) - \sum_{j=m+1}^{n-1} (\overset{\leftarrow}{A_j} - \delta_j) = \left(\sum_{i=1}^m \overset{\rightarrow}{A_i} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overset{\leftarrow}{A_j} \right) + \left(\sum_{i=1}^m \delta_i + \sum_{j=m+1}^{n-1} \delta_j \right) \quad (1-1)$$

封闭环产生最小极限尺寸的情况为：

$$N_{min} = \sum_{i=1}^m (\overset{\rightarrow}{A_i} - \delta_i) - \sum_{j=m+1}^{n-1} (\overset{\leftarrow}{A_j} + \delta_j) = \left(\sum_{i=1}^m \overset{\rightarrow}{A_i} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overset{\leftarrow}{A_j} \right) - \left(\sum_{i=1}^m \delta_i + \sum_{j=m+1}^{n-1} \delta_j \right) \quad (1-2)$$

式中

- $\xrightarrow{\quad}$
 A_i —— 组成环中的增环;
- $\xleftarrow{\quad}$
 A_j —— 组成环中的减环;
- δ_i 和 δ_j —— 组成环的公差;
- n —— 尺寸链的总环数, (包括封闭环);
- m —— 尺寸链中的增环数;
- $(n-1)$ —— 尺寸链中组成环数;
- N_{\max} —— 封闭环最大极限偏差;
- N_{\min} —— 封闭环最小极限偏差。

由于 $(N_{\max} - N_{\min})$ 为封闭环的公差, 因此把公式(1-1)和(1-2)相减则得:

$$2\delta_N = N_{\max} - N_{\min} = 2\left(\sum_{i=1}^m \delta_i + \sum_{j=m+1}^{n-1} \delta_j\right) \quad (1-3)$$

在上式中, δ_i 和 δ_j 都是尺寸链的组成环, 如果用 δ_i 来代表所有各组成环的公差, 则得:

$$\delta_N = \sum_{i=1}^{n-1} \delta_i \quad (1-4)$$

最后推导出的这个公式, 说明了封闭环偏差为各组成环公差的代数和。这个式子所代表的关系就是尺寸链误差的综合关系式。这个误差关系式对任何的机器结构, 对任何类型的尺寸链, 以及任何生产过程中的应用都是适用的。它在尺寸链的分析计算中具有普遍的意义, 因此把它叫做尺寸链的基本关系式。

对尺寸链单纯理解为封闭的尺寸组合是很不全面的, 由尺寸链的基本关系式可揭示尺寸链的本质, 是组成环误差的综合关系。

通过上面的分析, 对尺寸链所代表的基本关系可以总结为以下三点:

- 1) 尺寸链中各环组成封闭的形式。这一点由图1-4的组合关系可以看出, 各个增环和各个减环形成封闭的框图。各环之间具有封闭性。
- 2) 在尺寸链中, 增环尺寸的总和等于减环尺寸和封闭环尺寸之和。即:

$$\sum_{i=1}^m A_i = \sum_{i=1}^{n-1} A_i + N \quad (1-5)$$

- 3) 在尺寸链中, 封闭环的偏差等于各组成环公差之和。

以上三点中最主要的是误差综合关系, 这一关系一方面说明当各组成环公差已经确定时, 组成环公差之和即形成了封闭环的偏差; 另一方面, 当封闭环偏差根据机器的精度标准已经明确确定时, 组成环公差的允许值也就有了一定的限制。各组成环的公差是互相影响, 相互补偿, 而又相互制约的。某些环允许的公差有所增大, 同时也就意味着另一些组成环允许公差的相应减小。这种封闭环偏差和组成环公差之间的相互影响, 同时又相互制约的特

点，也正是尺寸链所表示的本质性问题。

尺寸链的基本原理，主要是反映误差的综合和累积的，以后各种计算公式都是依此基本关系推演转化而建立的。因此应当由此建立尺寸链的基本概念，然后再熟悉各种计算公式的应用，这一点对于掌握尺寸链的分析问题方法是十分重要的。

三、尺寸链的类型

尺寸链有各种不同的分类方法，是由于尺寸链的构成随各种机器结构的形式而有所差别并且由于生产条件的不同，人们应用尺寸链来解决问题的目的也就不完全一样。下面根据不同的分类原则来介绍各种尺寸链的类型。

(一) 根据尺寸链中组成环的性质分

1. 线性尺寸链

这种情况下，尺寸链的各组成环均为直线尺寸，尺寸与尺寸之间相互联接，几部分尺寸又分成若干相互平行的尺寸组合。前面图1-1至图1-4所示均为线性尺寸链。

2. 角度尺寸链

尺寸链的组成环由各种不同的角度所组成，其中包括由误差形成的角度，如图1-5所示的尺寸链。图中 α_1 为主轴套筒轴线相对于其理论位置的角度偏差， α_2 为主轴轴线与导轨平行度误差形成的夹角， α_3 为工作台台面与导轨垂直度的角度偏差。各个零件和部件完全装配好后，这些角度关系应当保证主轴与机床工作台台面相互垂直。因此封闭环为 α_N ，即主轴轴线相对机床工作台台面的垂直度。

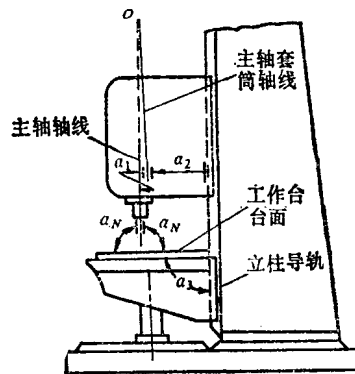


图 1-5

α_N 为立式钻床精度标准中主要的技术条件之一，它所代表的是尺寸链的封闭环，其中组成环和封闭环的关系可用下式来表示：

$$\alpha_N = \alpha_3 - (\alpha_1 + \alpha_2) \quad (1-6)$$

根据立式钻床精度标准规定，钻床主轴相对工作台台面垂直度允差为 $\alpha_N = 0.03\text{mm}/300\text{mm}$ 。这个比值可折算成角度误差，按角度尺寸链来分析计算。

3. 平面尺寸链

尺寸链中所有组成环与封闭环都处在同一平面内，或者几个相互平行的平面内的角度尺寸组合叫做平面尺寸链。平面尺寸链内既有线性尺寸，同时又有相互形成的角度，这样就使尺寸链中某一些尺寸互不平行，如图1-6所示的阀门即为平面尺寸链的典型例子。图中阀芯为一圆锥体，半锥角为 $\alpha = 5^\circ$ ，线性尺寸 A 、 D_1 和 D_2 形成一个四边形。在这个尺寸链中，封闭环为阀芯外端伸出量 y ，即 $\Delta N = y$

根据所规定的封闭环要求，阀芯最后进行研磨时实际要求控制尺寸为 D_3 ，由此确定圆锥体小端直径 D_1 。这种尺寸之间的相互影响关系，除尺寸本身有影响外，还会受到角度误差的影响，具体尺寸要求要经过平面尺寸链的计算才能解决。

4. 空间尺寸链

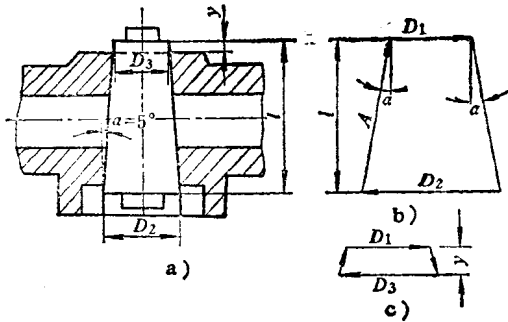


图 1-6

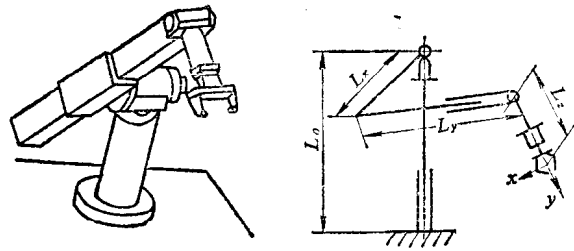


图 1-7

当各组成环和封闭环处在不平行的各个平面内的尺寸链，叫做空间尺寸链。空间尺寸链在空间坐标系中各部分构件形成一定的角度和距离，组合成复杂的尺寸链。这种尺寸链多应用在空间机构的运动计算中，如图 1-7 所示的机器人，其底部可以回转和升降，中间的大臂可以绕水平轴回转，同时也可以伸缩移动，大臂前端的小臂可以俯仰转动，小臂前端手腕部分可以绕小臂轴而使手爪转位。在一套机构中共有六个运动部件实现六种不同的运动，六种运动的组合，使工业机器人手爪实现在空间由一个位置移动到另一个位置。

当对机器人手臂各部分的制造误差和运动误差进行分析时，就需要应用空间尺寸链的误差综合关系。

(二) 根据尺寸链在生产中的应用分

1. 结构尺寸链

在结构设计时，由结构中部件或零件的尺寸组成的尺寸链叫做结构尺寸链。结构尺寸链主要是用来分析结构技术要求的保证问题。一般情况下，根据标准具体确定结构技术要求的数值，然后再由此确定各组成零件的公差和技术要求。此外，也可根据各组成环尺寸公差的累积，来验证机器结构技术要求能否得到保证。

2. 装配尺寸链

在装配机器的过程中，结合各种不同装配方法，应用尺寸链来分析机器的装配精度并采取有效措施，使机器能经济合理地达到质量要求，这种装配过程中应用的尺寸链叫做装配尺寸链。它和结构尺寸链形式上类同，但主要区别是结合具体装配方法有各种不同的尺寸链计算方法。如图 1-1 的箱体，达到封闭环间隙 ΔN ，可以有不同的装配方式，可用严格控制零件有关尺寸公差，从而实现完全互换装配，也可以用调整轴套的方法，或者修配的方法来补偿装配间隙，由此来保证装配技术要求。由于装配操作和满足所要求的装配技术要求的措施有很大的差别，所以装配尺寸链是按照装配方法来建立尺寸链关系的。因此，在设计结构时，虽然是同样的结构形式，但随产量、批量和具体的生产条件不同，可以应用完全不同的装配尺寸链来分析保证机器质量的问题。

3. 零件尺寸链

在机器的零件图上，各个有关尺寸所组成的尺寸链叫做零件尺寸链。如图 1-2 所示。

4. 工序尺寸链

在零件加工过程中，各个工序的工序尺寸之间形成的尺寸链关系叫做工序尺寸链。由于每道工序的加工都有工序误差产生，这些工序加工误差的累积将会影响零件原设计尺寸公差的

保证,因此要应用工序尺寸链来进行分析,以合理确定工序尺寸的公差。如图 1-8 a 的插键槽加工, 图纸要求保证键槽深度为 $46^{+0.3}$ mm, 工序 I 为车外圆及镗孔, 工序 II 为插键槽, 工序 III 为热处理淬火, 工序 IV 为最后磨孔。在这个加工过程中, 各个工序尺寸误差的累积会影响键槽深度的保证, 其尺寸链关系如图 1-8 b 所示。如果要保证最后获得尺寸符合图纸要求, 应进行尺寸链的分析计算。

(三) 根据工艺过程分

1. 装配尺寸链(前面已介绍)
2. 工序尺寸链(前面已介绍)
3. 工艺尺寸换算尺寸链

一般减速箱、传动箱根据齿轮传动的精度, 要求孔中心距公差保证在一定的范围之内, 但是在坐标镗床上加工时, 轴孔的位置精度是应用 x 方向和 y 方向的坐标尺寸来进行对刀测量而实现加工的, 因此要进行工艺尺寸的换算如图 1-9 所示。这一类型的尺寸链属于工艺尺寸换算尺寸链, 具体分析运算要应用平面尺寸链关系来分解。

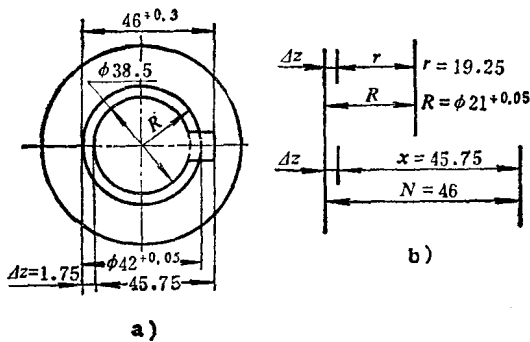


图 1-8

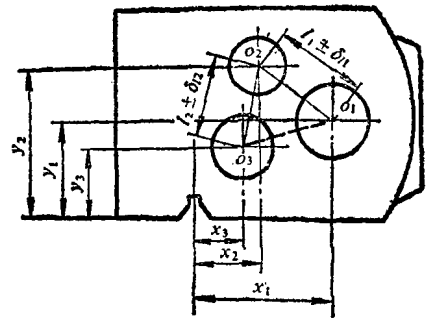


图 1-9

4. 机床调整尺寸链

在自动半自动机床上加工, 或者应用复杂的夹具、刀具加工时, 机床主轴、刀具、夹具(其定位基准面)、定程挡铁和工件的被加工表面相互有关的各个尺寸形成了复杂的尺寸链关系。这一类型尺寸链叫做机床调整尺寸链, 如图 1-10 所示。

应用如上图的机床调整尺寸链, 就可以保证刀具的正确安装尺寸, 确定定程挡铁的合理调整位置, 同时还可解决对刀样板的制造公差。

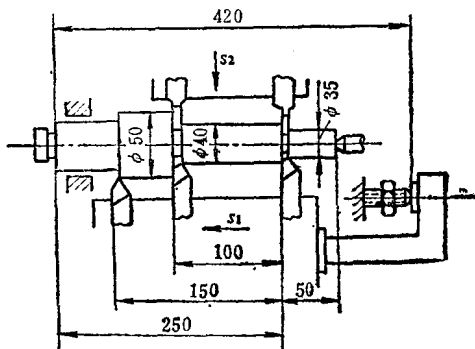


图 1-10

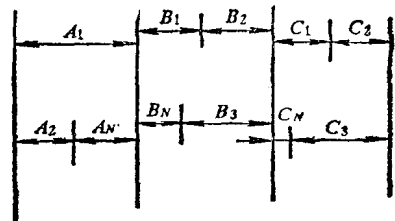


图 1-11

(四) 根据尺寸链的形式分

复杂的机器结构和复杂的机器零件，同时可以有許多尺寸链相互联系在一起，形成了复合的尺寸链。从尺寸链之间的相互联系方式看，归纳起来有如下三种。

1. 串联尺寸链

各组尺寸链之间以一定的基准线互相串联合合成为相互有关的尺寸链组合。如图1-11所示。

在串联尺寸链中，主要的特征是前一组尺寸链中各环的尺寸误差，将引起基准线的位置变化，从而引起后一组尺寸链的起始位置发生根本的变动。因此在串联尺寸链中，公共基准线是计算中应当特别注意的关键问题。

2. 并联尺寸链

在各组尺寸链之间，以一定的公共环互相并联结合成的复合尺寸链叫做并联尺寸链。它一般由几个简单的尺寸链组成，如图1-12所示。并联尺寸链中关键的问题是要由几个尺寸链的误差累积关系来分析确定公共环的尺寸公差。因此并联尺寸链的特点是具有公共环。

根据图1-12的并联尺寸链，还可看出：当公共环有一定的误差存在时，将同时影响几组尺寸链关系的变化。如图中公共环尺寸 A_5 将影响上下两组尺寸相应地变动。

3. 混联尺寸链

由并联尺寸链和串联尺寸链混合组成的复合尺寸链叫做混联尺寸链，如图1-13所示。

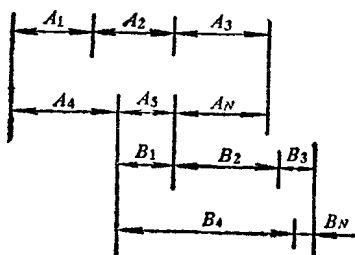


图 1-12

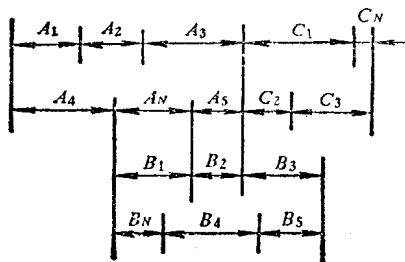


图 1-13

不难想象，混联尺寸链中，既有公共的基准线，又有公共环，这一特点在分析混联尺寸链时应当特别注意。

从上面的介绍可以知道，尺寸链的类型和具体应用尽管有很多种，而其中最基本的形式是简单的线性尺寸链。它主要应用在机器设计中的结构尺寸链的分析和制造过程中装配尺寸链、工序尺寸链的分析计算中，这些内容，本书将在以后章节中重点介绍。

四、机器制造误差的基本特征

前面已阐明了尺寸链所揭示的基本关系是误差之间的相互影响和相互累积。分析尺寸链的目的，主要着眼于误差的大小和状态。为了能够在尺寸链计算、分析中正确应用误差的规律和特征，根据数理统计学研究的成果，现对机器产品制造误差的基本特征，作一些简要的介绍。

根据机械加工的生产经验证明，在尺寸链的分析计算中，应用概率法计算是比较经济合理的，而应用概率法计算尺寸链，必须对误差的分布状态具有一定程度的了解。

(一) 机械制造中的公差和误差

由于零件的制造不可能获得绝对准确的尺寸，必然有误差产生，所以零件和机器的制造要规定公差。

公差是尺寸的允许变动量。它作为机器的质量指标，在概念上和误差有相当的区别。公差是一个单纯的数值概念，没有具体生产条件的限制，也没有零件数量与批量的影响。

误差是零件加工后，经过测量而得的实际尺寸与基本尺寸之间的差值。

误差的大小虽然也是一定范围的差值，但它是在具体生产条件下许多因素错综复杂互相综合影响的结果，误差总是和具体的生产条件，具体的时间、地点等有联系的。

衡量加工误差的大小，要在具体加工条件下。经过一定的时间加工一批零件，然后测量实际尺寸并进行统计分析，才能真实反映误差的状态。

尺寸链计算中，对各尺寸环进行误差的综合，应当考虑误差的分布状态，特别是当应用概率法进行计算时，若能应用误差分布规律进行折合计算，将会取得更好的效果。

(二) 正态分布

在尺寸链分析计算中，通常应用的误差分布规律有：实验分布曲线和理论正态分布曲线。现分别介绍如下：

1. 实验分布曲线

在测量一批加工完的零件实际尺寸后，可得出如图 1-14 的实验分布曲线。图中横坐标代表被测尺寸的实际误差值。纵坐标为分布密度。分布密度可用下式来说明：

$$\text{分布密度} = \frac{\text{频率}}{\text{组距}} = \frac{\text{频数}}{\text{总数} \times \text{组距}}$$

$$\text{即} \quad y = \frac{n_i}{N t_i} \quad (1=7)$$

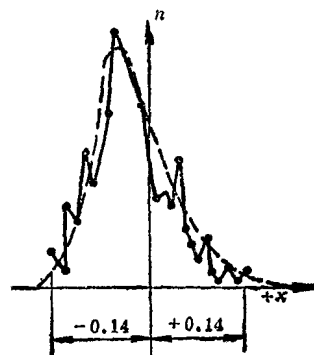


图 1-14

式中 y ——分布密度；

n_i ——各组测量值的频数；

t_i ——分组间隔值；

N ——总体数。

由实验分布曲线可说明误差分布的如下特征：

1) 误差分布有一定的分布范围，通常用 ω 代表分布带的宽度。图 1-14 中 $\omega = 0.28\text{mm}$ 。由图还可同时确定出最小误差和最大误差的极限数值。

2) 在一批零件中，有误差分布中心，误差分布中心处于占零件数目最多的误差数值处，正态分布时误差分布中心可能在误差分布带的中间，也可能略有偏移。

3) 在一批零件中，产生中间误差的数量较多，出现的机率较大；而产生最大或者最小误差的数量很少，出现的机率最小。

2. 正态分布曲线

根据概率论和数理统计学所推荐的结论,对大批大量生产条件下加工的零件进行测量,再经过数学处理,可得出正态分布曲线,如图1-15所示。

图1-15所示是标准正态分布, x 代表测量值, y 为对应各测量值的分布密度。在这种情况下,分布密度函数可用下式来表示:

$$y = f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (1-8)$$

x 值在 $-\infty$ 到 $+\infty$ 之间,坐标中心在 $x=0$ 处。如果被测量零件数目相当大时,总体测量值的算术平均数 $\bar{x}=0$ 。在这种情况下,曲线是对称的,产生 $+x$ 和 $-x$ 的机率对应相等。

但是零件加工大多都有一定的基本尺寸,而误差是围绕某一基本值而变动,在这种情况下,误差中心 $x \neq 0$,这时误差分布曲线为非标准正态分布。分布曲线及有关参数如图1-16所示。

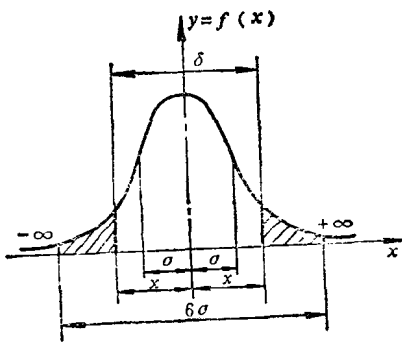


图 1-15

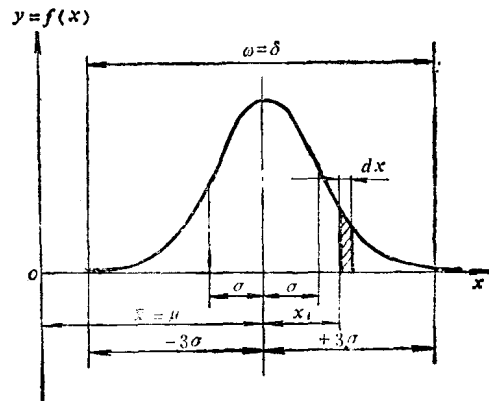


图 1-16

非标准正态分布和上面所述的正态分布的性质没有什么区别,只不过坐标中心增加了一个移轴的位移量 \bar{x} 。这时曲线的分布密度函数式改写为:

$$y = f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (1-9)$$

式中 \bar{x} ——为总体测量值的算术平均值。也就是数理统计学所述的“数学期望”。

σ ——为分布曲线的分散度,数理统计学也叫做“离差”。

由于正态分布时分布曲线的有效分布范围为 $\omega=6\sigma$,因此 σ 值的大小实际代表的是误差分布带的扩散程度。 σ 值可用测量值的均方根差来代替。

(1) 正态分布的基本参数计算

当应用测量值直接计算时:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{N} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \quad (1-10)$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{N} \quad (1-11)$$

式中 x_i ——各测量值的数值；

N ——被测零件的总数；

\bar{x} ——测量值的算术平均数。

当对测量值进行分组统计时，可应用表 1-1 的统计计算卡(即概率计算卡)，把测量数据进行分组后，再进行计算。这时可用如下公式：

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x'_i n_i}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad (1-12)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x'_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n n_i}} \quad (1-13)$$

式中 x'_i ——测量值各组中的中值；

n_i ——各组中的频数；

N ——被测量零件的总数；

i ——分组序号；

n ——测量值分组的组数。

在计算时可应用表 1-1 的格式，逐栏计算总和，然后再代入上述公式进行计算。这样计算方便，而且不致发生错误。

(2) 应用正态分布分析尺寸链的原则

在分析尺寸链时，各组成环误差的综合，应保证封闭环的技术要求，这种尺寸链的基本关系是按尺寸误差来进行综合的，因此实际上应当考虑误差分布状态及其特征。在尺寸链分析中应用正态分布的条件与原则如下：

1) 误差分布曲线的分布带宽度为 $\omega = \pm 3\sigma$ ，而且是以 \bar{x} 为中点两侧对称分布。如果要求的公差为 δ ，那么，只有当 $\delta > 6\sigma$ 时才能认为合格。

2) 在没有具体生产条件和不确定年产量的前提下分析尺寸链时，各尺寸环都按正态分布来对待。

3) 在一般计算中，通常是以公差带的平均值 A_M 作为误差分布中心 \bar{x} 来进行分析的。例如尺寸 $A = 30^{+0.1} \text{mm}$ ，这时是以 30.05mm 为平均尺寸 A_M ，因此误差是以 $\bar{x} =$