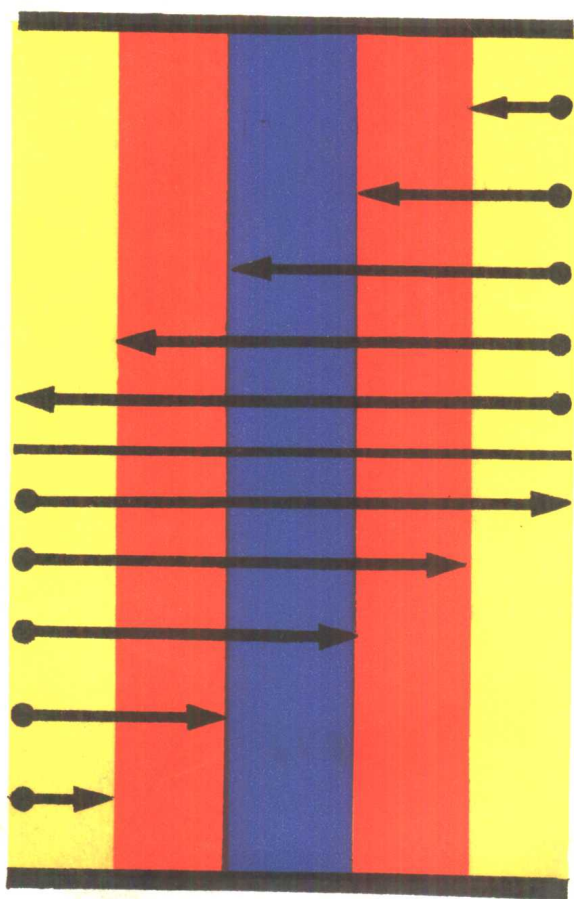


工艺尺寸 跟踪图解法

丁华荣 编著



北京科学技术出版社

工 艺 尺 寸 跟 踪 图 解 法

丁 华 荣 编 著

北京科学技术出版社

内 容 提 要

工艺尺寸跟踪图解法简称尺寸跟踪法,它根据误差传递原理来计算机械加工中的工艺尺寸和余量(基本值和公差),能满足精密加工的要求,是达到省工、省料、精密、优质的一种系统、完整的计算方法。它比传统的尺寸链算法更完善,图解计算更简便,并广泛应用于工艺方案选优、超差品处理、图纸的工艺审定等方面。本书附有练习题,选编了生产中应用成功的实例,内容深浅兼顾,可供从事机械加工的技术人员、大专院校师生和有高中文化程度的工人阅读,可作为推广尺寸跟踪法的教材。

工艺尺寸跟踪图解法

丁华荣 编著

北京科学技术出版社出版

(北京西外大街140号)

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

北京市新华书店发行

各地新华书店经售

*

开本 787×1092毫米1/16 印张10.75 字数256千字

1984年6月第一版1984年6月第一次印刷

印数: 1—12,000 定价: 1.45元

统一书号: 15274·008

本社书号: 029

编 著 说 明

工艺尺寸跟踪图解法，简称尺寸跟踪法。经过多年的实践和应用，不断地充实和发展，形成了一套完整的计算方法。使用者都反映：它是一种比较科学、简便的好方法。

这种方法自在刊物上公开介绍以来，受到广大机械制造工艺人员和科技人员的欢迎，并组织了推广。目前不少读者迫切希望进一步扩大推广范围。然而，目前除了少数高等院校教材中有极简略的介绍外，国内还没有一本专门的书籍介绍这种方法。在推广中也感到迫切需要有一本便于自学阅读的书。为了满足这种需要，作者根据推广时所用教材，加以充实、修改、整理，写成了这本书。希望能对读者有所裨益。

本书既可供多年从事机械工艺实践的科技人员、有关专业的大专院校师生使用，也适合具有高中文化程度的机械工人阅读。

学习工艺尺寸跟踪图解法，目的是为了掌握它，应用它。为此，在有关章节列出了一些练习题，并在本书末尾备有题解答案。若能充分利用，将有助于掌握基本要领，加深对基本内容的理解。

本书第一章阐述这种方法的原理及有关基础知识。因此，对于已有一定基础的读者，也可不学习第一章，或只选读其中部分内容。如果有的读者在阅读第一章中某些内容（例如关于概率法计算原理等）时感到有困难，也可以暂先跳越过去，这对学习后面章节影响不大。第二章则具体介绍图解方法，是本书的核心。第三章中所讨论的“复杂情况”，是第二章的继续和扩展。第四章进一步介绍这种方法的其他应用。第五章通过介绍几个应用实例，进一步帮助读者理解掌握方法的应用及其要领。总之，第二章是本书的重点，其他各章的内容是围绕它来安排的。

目前我国新旧公差标准都在使用，各种书刊所用符号也极不统一。考虑到新标准的使用日益普遍和为了便于阅读，在本书的开头，列出了书中所用符号的统一说明表。

在本书编著过程中，得到了北京永定机械厂工程师王海同志的宝贵支援，并在第五章的编写过程中进行了合作，特此致谢。

作 者

1983年8月于北京工业学院

常用符号说

A_i ——第 i 个加工尺寸 (基本值)。

A_{im} ——加工尺寸 A_i 的平均值。

TA_i ——加工尺寸 A_i 的公差。

$\frac{1}{2}TA_i$ ——加工尺寸 A_i 的公差半值。

EsA_i ——加工尺寸 A_i 的上偏差。

EiA_i ——加工尺寸 A_i 的下偏差。

EmA_i ——加工尺寸 A_i 的平均偏差。

$\overrightarrow{A_i}$ ——增环加工尺寸 A_i 。

$\overleftarrow{A_i}$ ——减环加工尺寸 A_i 。

L_i ——图纸设计尺寸 (基本值)。

$\frac{1}{2}TL_i$ ——图纸设计尺寸的公差半值。

M_i ——毛坯尺寸 (基本值)。

$\frac{1}{2}TM_i$ ——毛坯尺寸的公差半值。

N ——封闭环尺寸 (基本值)。

N_m ——封闭环尺寸的平均值。

TN ——封闭环尺寸的公差。

EsN ——封闭环尺寸的上偏差。

EiN ——封闭环尺寸的下偏差。

EmN ——封闭环尺寸的平均偏差。

R_k ——第 k 个加工结果尺寸 (基本值)。

TR_k ——结果尺寸 R_k 的公差。

Z_i ——第 i 个加工余量 (基本值)。

$\frac{1}{2}TZ_i$ ——加工余量 Z_i 的公差半值。

Z_{imax} ——加工余量 Z_i 的最大值。

Z_{imin} ——加工余量 Z_i 的最小值。

k ——误差分布特性的相对分散系数。

α ——误差分布特性的对称性系数。

Mx_i ——随机误差 x_i 的数学期望 (算术平均值)。

Dx_i ——随机误差 x_i 的方差。

σ_{x_i} ——随机误差 x_i 的均方差。

$M_{\Sigma x}$ ——累积误差 x 的数学期望。

$D_{\Sigma x}$ ——累积误差 x 的方差。

$\sigma_{\Sigma x}$ ——累积误差 x 的均方差

目 录

常用符号说明

引言	1
第一章 原理与基础知识	3 ~ 39
1-1 直接保证与间接保证尺寸	3
1-2 间接保证尺寸的计算	5
1-3 公差标注的对称化	9
1-4 计算累积误差的概率方法	11
1-5 加工误差传递与尺寸联系	22
1-6 尺寸跟踪图及跟踪法的规则	32
1-7 练习题	37
第二章 加工尺寸公差图	40 ~ 64
2-1 整体计算法原理	40
2-2 绘制加工尺寸公差图	46
2-3 加工尺寸公差图的图解过程	49
2-4 一份完整的加工尺寸公差图	59
2-5 小结	62
2-6 练习题	63
第三章 图解计算中的复杂情况	65 ~ 100
3-1 结算尺寸	65
3-2 键槽加工	67
3-3 表面处理的尺寸计算	68
3-4 成型表面靠模加工的尺寸计算	70
3-5 壳体类等杂形零件的加工尺寸计算	78
3-6 尺寸跟踪法在形位公差控制中的应用	83
3-7 练习题	89
第四章 加工尺寸公差图的其他用途	101 ~ 115
4-1 工艺方案的选优	101
4-2 寻找减小加工余量的措施	105
4-3 超差品处理	110
4-4 零件设计图纸的工艺审定	113
第五章 应用实例	116 ~ 153
5-1 外圈	116
5-2 圆柱齿轮	120
5-3 锥齿轴	127
5-4 接长刀柄	137
练习题答案	150
主要参考资料	161

引 言

工艺尺寸跟踪图解法,简称尺寸跟踪法。在国内,还有一些与此类似的叫法。它是通过对加工过程中尺寸误差相互传递路径的跟踪而建立起来的一整套工艺尺寸的图解计算方法。

工艺尺寸跟踪图解法的主要用途,是在精密机械制造中用来对零件加工过程中全部加工尺寸及其公差进行计算,用于尺寸公差的控制。

众所周知,对机械零件的制造质量要求,一般有四个方面:

(1)机械性能的要求 应当保证零件具有必要的强度、韧性和耐磨性等。通常,这些要求可通过材料选择、毛坯工艺、热处理等途径加以控制。

(2)加工精度的要求 包括尺寸精度、形状与位置公差等。机械工艺师的一项重要任务,就是要对工艺尺寸公差进行计算与控制,并且合理地选择加工方法,以便确保加工精度合乎产品设计的要求。

(3)表面质量的要求 通常是指表面光洁度及物理性能要求。这可由选择恰当的加工方法予以保证。

(4)其他性能要求 例如零件的静动平衡、重量的控制、去磁等等。

本书讨论的重点,是为了得到满意的加工精度,对加工过程中所有的加工尺寸与公差应如何计算及如何控制的问题。

在精密机械制造中,对加工尺寸公差进行控制或计算的目的,一般地说有两个:

其一,确保加工结果所得的成品合格,其尺寸公差符合图纸设计要求。

其二,确保加工过程经济合理,能进行高效率的加工,加工余量小,材料消耗低,节省能源。

为了达到这两个目的,可从三个环节入手进行尺寸公差的控制:

第一,在产品的设计阶段,应合理地确定零件的精度要求,合理地标注尺寸,合理地确定其公差大小,争取能用经济合理的加工方法来制成零件。

第二,设计合理的加工方案。要有合理的工艺过程和加工顺序;各工序加工尺寸的标注、加工公差的确定,都要经过科学的计算分析,然后再择优确定。

第三,正确地进行实际操作和现场控制。严格按照设计所确定的加工尺寸及公差,控制加工过程中的实际尺寸,及时发现可能出现的超差现象,并迅速采取措施予以纠正。

显然,能否正确地进行尺寸公差控制,关键在于能否科学、准确地计算加工尺寸与公差。

对于一般的机械零件,需要进行计算和控制的尺寸可分成两类。

表面形状尺寸 常见的轴颈直径、孔径、渐开线齿形公法线长度、螺纹中径等尺寸皆属这一类尺寸。这些尺寸通常是在加工中一次走刀切削形成。一般地说,它不存在加工过程中误差传递累积的问题。

表面之间的位置间距尺寸 常见的有:轴肩的长度,板的厚度,孔的中心位置等等。

这些尺寸的精度，常常受加工过程中误差传递的影响，因而其尺寸公差的控制比较复杂。

本书讨论的重点，是后一类尺寸的计算与控制问题。

多少年来，我国机械制造工艺、科技人员所采用的计算方法，是工艺尺寸链的方法。这也是国内大专院校教材中的传统内容。然而，多年实践表明，这种方法极不完善，使用烦琐，常常出错，以致造成计算上的极大混乱。广大机械工艺师迫切希望有一种比较科学、简便好用的计算方法。工艺尺寸跟踪图解法，正是在这种要求下逐渐发展起来的。

所谓工艺尺寸链的方法，就是应用传统的尺寸链理论和方法，来解决加工过程中设计计算工艺尺寸公差的方法。使用这种方法的通病，是计算过程复杂烦琐，难以正确掌握，常常出现计算返工，以致计算结果混乱。因此，许多机械工艺师常常对复杂尺寸联系的计算望而生畏，难以把握计算结果的正确性。不得已而采用经验凑合的办法，使得加工尺寸公差控制的任务得不到正确的解决。

工艺尺寸链方法之所以存在上述缺点，是因其理论上不完善、未能很好地解决工艺过程中全部加工尺寸之间错综复杂联系所带来的问题。这表现在：无论是工艺尺寸链的查找，还是它的计算方法原理，都未能针对加工过程中尺寸整体联系的特点，提出完善的方法来。

多年来的实践表明，对于整个加工过程中尺寸公差的计算，需要在对其互相联系的规律性作科学分析的基础上，确定新的计算原理和方法。工艺尺寸跟踪图解法，就是在此基础上发展起来的，是一种比较新的方法。

关于工艺尺寸跟踪图解法的应用，最早始于美国。本世纪五十年代，就出现用跟踪方法在“公差图表”（Tolerance Chart）上进行公差的累积计算，以后又逐渐发展完善。在我国，从六十年代起，少数单位开始运用这种方法，反映很好，感到它既简便迅速，又巧妙好用。经过多年的实践和推广，不断地充实和发展，逐渐形成了一套完整的计算方法，并日趋完善。本书的任务，就是在总结实践经验的基础上，从理论上阐明工艺尺寸跟踪图解法的科学性，同时系统地介绍图解计算的具体方法，以及它在各种不同情况下的具体应用，使它在生产实践中能发挥更大的作用。

与工艺尺寸链方法相比，工艺尺寸跟踪图解法更加完善，主要表现在三方面：

①科学准确 尺寸跟踪图解法的原理，是在对零件加工过程中全部加工尺寸的整体联系进行科学分析的基础上建立起来的。它的计算过程和步骤科学合理、条理清晰、方法简单，数据准确可靠，一般不易出差错。

②简便好用 由于把复杂烦琐的计算过程变成了简单的图表作业，整个加工过程中的加工尺寸联系直观形象。所以计算过程规则简单，易于掌握，计算迅速，使用方便。

③用途广泛 由于图解计算过程直观形象、一目了然，作图计算又非常简便迅速，还可使复杂问题的分析过程大大简化，因此它不仅可用于加工尺寸公差的设计计算，还可用于工艺方案选优、寻找减少加工余量的措施、进行超差品处理，以及产品设计图纸的工艺会审等复杂任务。

工艺尺寸跟踪图解法具有简单、规则的特点，便于计算工作的计算机化。

随着我国社会主义四化建设的蓬勃发展，为了提高产品质量、讲究经济效益，对工艺工作提出了更严格的要求。因此，迫切要求广泛地推广应用尺寸跟踪图解法，并在实践中使其更加完善。

第一章 原理与基础知识

如引言所述, 尺寸跟踪图解法完善了工艺尺寸链的理论, 形成了一整套别具特色的新方法, 因此, 就其原理来说, 既有与工艺尺寸链原理相同之处, 又有新的发展。所以, 在本章中, 若要全面阐明工艺尺寸跟踪图解法的原理, 就必须涉及一部分尺寸链理论方面的内容。因此, 读者在阅读本章时, 可以根据各自需要进行选读。

1-1 直接保证与间接保证尺寸

分析一个零件的结构尺寸, 按其精度在加工过程中进行控制和保证的方法不同, 可以把它分成两类:

(1) 直接保证尺寸——是指零件结构上这样的尺寸, 其尺寸公差的要求直接等于加工过程中所标注的某一个加工尺寸公差。就是说, 零件上这类尺寸的精度要求, 可以通过直接控制某一个标注方法完全相同的加工尺寸的公差而得到保证。只要这一个加工尺寸精度合乎其公差要求, 就可保证在加工过程结束时得到合格的成品尺寸。

(2) 间接保证尺寸——它与直接保证尺寸不同, 零件成品所需保证的尺寸, 在加工过程中并不直接标出。它只能靠控制其他一些与它有关的加工尺寸公差, 间接地予以保证。

因此, 这两类尺寸在如何控制、保证尺寸公差方面是有很大区别的。

例如, 加工图1-1所示的零件, 要求保证42、8、20等三个尺寸在所给定的公差范围内。它采用了图中所示的加工方案, 三个工序中控制的加工尺寸分别为A、B、C。

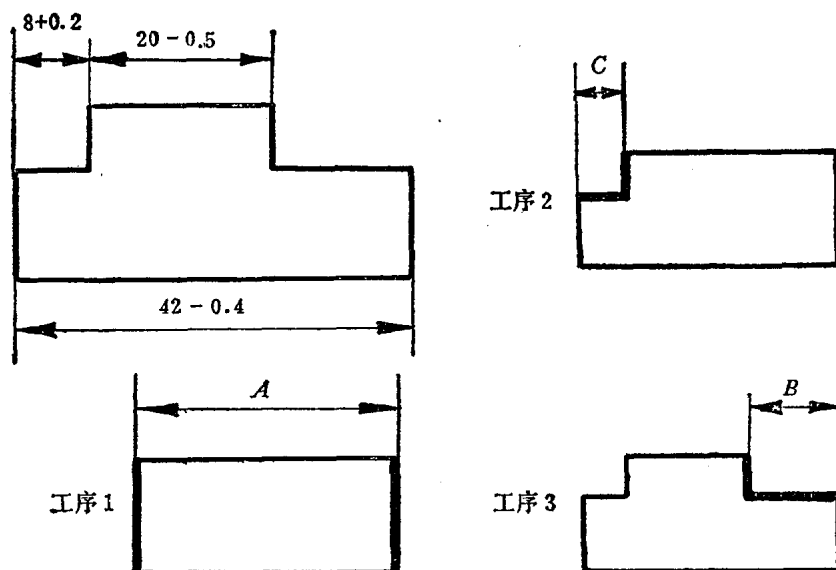


图 1-1

将 A 、 B 、 C 与零件要求保证的尺寸相对照，可以看出，尺寸 42 和 8 分别可由加工尺寸 A 和 C 直接控制保证，是直接保证尺寸。而尺寸 20 则没有相同的加工尺寸相对应，其精度要求是由加工尺寸 A 、 B 、 C 等间接控制保证的，也就是说，尺寸 20 的最后精度，取决于加工尺寸 A 、 B 、 C 等的公差累积结果。

从这个实例可以看出：凡是零件要求保证的尺寸注法与加工尺寸注法不相同的，一般就是间接保证尺寸。但是，不能就此反推，认为两种尺寸注法相同的就一定是直接保证尺寸。

例如，图 1-2 所示的轴套零件，要求保证两个轴向长度尺寸 L_1 、 L_2 （图 1-2 a）。从图 1-2 b、c 所示的工序图中，可以看到 A_3 与 L_2 的注法相同， A_2 与 L_1 的注法也相同，似乎 L_1 与 L_2 都是直接保证尺寸。其实不然， A_3 与 L_2 是直接控制保证关系，但 A_2 与 L_1 则不存在直接保证关系。因为在加工得到尺寸 A_2 之后，后一道工序中又从其左端切除了一层余量（ Z_3 ），因而尺寸 A_2 的基本值和公差都应与 L_1 不相同。所以，它是一个间接保证尺寸。

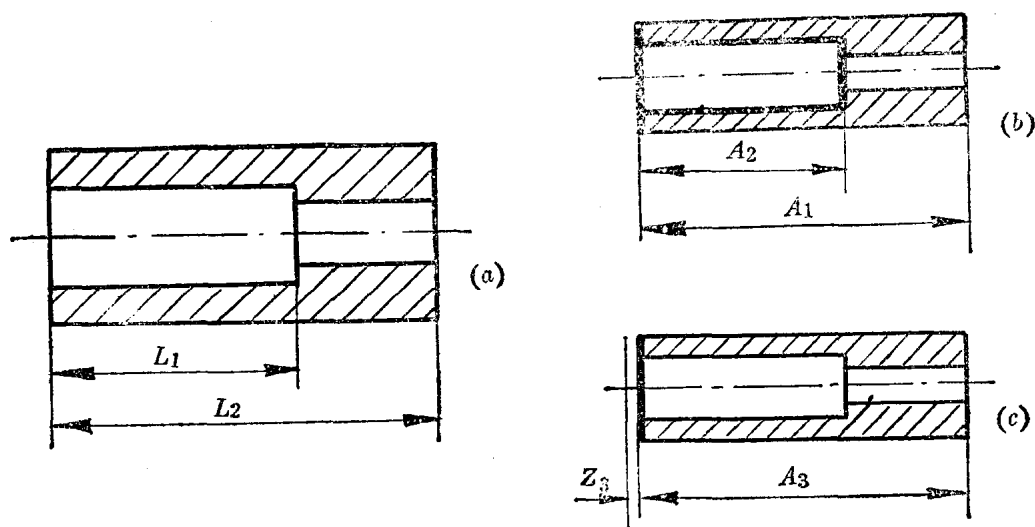


图 1-2

可见，识别直接保证与间接保证尺寸的方法，不仅要看它是否与某个加工尺寸的注法相同，而且要看该加工尺寸的两端界面在后续工序中是否还被再次加工。

必须强调，区分这两类尺寸，主要是指零件图纸上的设计尺寸来说的。在一些工厂里，习惯于把一个工序中的加工尺寸分成直接获得和间接获得两类尺寸。这里区分直接获得与间接获得的标志，是看该加工尺寸能否靠直接测量得到。其意义与本书中的直接保证与间接保证的概念不同，两者之间无直接联系。上述直接获得、间接获得尺寸一般指工序中的加工尺寸，而本书中的直接或间接保证尺寸则为零件图纸上的设计尺寸。两者不应混淆。

在零件的机械加工过程中，除了一部分零件设计尺寸由有关的加工尺寸间接控制保证外，还存在另一类间接保证尺寸——加工余量。例如，图 1-2 中套筒左端面的加工余量 Z_3 。通常，余量值都不在工序草图中直接注出，而是通过控制加工尺寸 A_1 与 A_3 的大小，予以间接保证的。若要保证零件整个加工过程中各次加工的余量数值合理，就应对有关工序的加

工尺寸公差进行必要的控制。

既然间接保证尺寸的精度，有赖于其他加工尺寸公差的控制，那么为了确保加工后的间接保证尺寸合格，就必须对有关的加工尺寸公差进行计算。这就是通常所用的尺寸链计算。

1-2 间接保证尺寸的计算

计算间接保证尺寸的方法，即尺寸链方法。对于用来解决工艺尺寸公差计算的尺寸链，我们习惯地称作工艺尺寸链。

用尺寸链方法来计算加工尺寸公差，通常包括两类目标：

其一，成品尺寸精度的间接保证问题，即为了间接保证成品尺寸，如何确定各加工尺寸公差的计算问题。

其二，加工余量的间接保证问题，即为了得到经济合理的加工余量，如何计算确定各加工尺寸的问题。

在常见的这两类问题中，基本上都是直线尺寸链问题。所以，这里只对线性尺寸链计算原理作简要的介绍。

一、尺寸链的组成

我们知道，尺寸链由两类尺寸组成：组成环与封闭环。

在一个尺寸链中，封闭环尺寸只能是一个。尺寸链中的封闭环尺寸，总是需要通过对组成环尺寸的加工和控制，予以间接保证而得到。而组成环尺寸则不同，它是可以直接加工保证、并直接得到的尺寸。在实践中，常常易把需通过换算才得知其值的组成环尺寸，误当作尺寸链的封闭环，从而导致计算结果大错。封闭环的特征，主要不是看它是否已知，而在于它是否通过对各组成环的控制而间接得到或间接保证。

所以，封闭环尺寸，也可以说成是尺寸公差计算中的目标尺寸，即间接控制保证的目标尺寸。在工艺尺寸链计算中，常见的封闭环有两类：需要间接控制保证的成品尺寸及工序加工余量。它们的尺寸公差取决于尺寸链计算的结果，受各组成环（各工序的加工尺寸）的影响。

在一个尺寸链中，组成环尺寸的数量可多可少，这取决于尺寸互相联系的情形。

在组成环中，又可根据它对封闭环尺寸影响的性质，区分为增环和减环。

增环——在其他组成环尺寸都不变化的情况下，如果某个组成环尺寸增加时，能使其封闭环尺寸也随之而增大，那么这个组成环就称之为增环。如果尺寸 A 为增环，可以记为 $\overline{A}$ 。

减环——在其他组成环尺寸不变化的条件下，如果某组成环尺寸增加时，封闭环尺寸随之而减小，那么这个组成环就称之为减环。减环尺寸 A ，可以记为 $\underline{A}$ 。

可以根据上述定义来区分增环减环。例如图 1-3 a 所示的尺寸链中，封闭环为 N ，由上述定义出发，可逐个地分辨出增环尺寸有： A_2 、 A_4 、 A_5 及 A_7 ，其余则为减环尺寸。

增减环的识别，也可采用作图法（图 1-3 b）。作图方法是：从封闭环开始，按任一方向画一个单向箭头，然后顺此方向顺序地给各组成环按前进的方向画单向箭头，如此直

到封闭环为止。如图 1-3 b 所示那样, 有些组成环尺寸的箭头向右, 而另一些则向左。现在, 就可根据箭头方向来辨别增减环: 凡是箭头方向与封闭环箭头方向不同的, 就是增环, 如图 1-3 b 中的尺寸 B_1 、 B_4 、 B_5 、及 B_7 等四个尺寸便是。凡是箭头与封闭环的箭头同向的则是减环, 例如图中的尺寸 B_2 、 B_3 、 B_6 及 B_8 等。

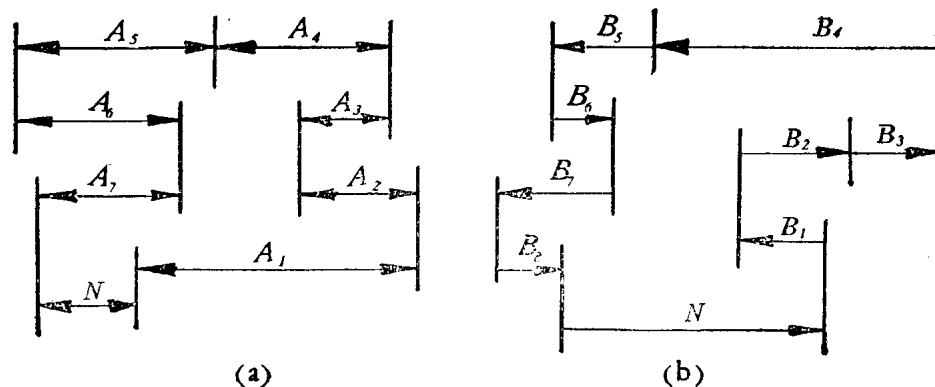


图 1-3

由此可见, 在尺寸链简图中, 凡是与封闭环尺寸同向顺延连接的组成环尺寸, 必是减环, 每当尺寸按顺延连接方向掉头换向一次, 那么增减环的性质也将变换一次。按此规则, 对图 1-3 所示两个尺寸链进行判别, 所得结果与前述讨论结果相同。

二、尺寸链计算的基本公式

根据尺寸链理论, 其基本公式如下:

(1) 封闭环的基本尺寸

封闭环的基本尺寸, 等于各增环基本尺寸之和减去各减环基本尺寸之和, 即

$$N = \sum_{i=1}^m \vec{A}_i - \sum_{i=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A}_i \quad (1-1)$$

式中 N ——封闭环的基本尺寸;

$\vec{A}_i$ ——增环的基本尺寸;

$\overleftarrow{A}_i$ ——减环的基本尺寸;

$n-1$ ——全部组成环的总数;

m ——增环尺寸的个数。

(2) 封闭环的最大和最小尺寸

根据增减环的定义, 分别得下列计算式:

$$N_{max} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_{imax} - \sum_{i=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A}_{imin} \quad (1-2)$$

$$N_{min} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_{imin} - \sum_{i=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A}_{imax} \quad (1-3)$$

(3) 封闭环的上下偏差

根据定义可知:

$$N_{max} = N + EsN; \quad N_{min} = N + EiN;$$

$$\begin{aligned}\overrightarrow{A_{i\max}} &= \overrightarrow{A_i} + Es\overrightarrow{A_i}, & \overrightarrow{A_{i\min}} &= \overrightarrow{A_i} + Ei\overrightarrow{A_i}, \\ \overleftarrow{A_{i\max}} &= \overleftarrow{A_i} + Es\overleftarrow{A_i}, & \overleftarrow{A_{i\min}} &= \overleftarrow{A_i} + Ei\overleftarrow{A_i}.\end{aligned}$$

式中 EsN , $Es\overrightarrow{A_i}$, $Es\overleftarrow{A_i}$ ——分别表示封闭环、增环及减环的上偏差;

EiN , $Ei\overrightarrow{A_i}$, $Ei\overleftarrow{A_i}$ ——分别表示封闭环、增环及减环的下偏差。

将上述关系式代入式 (1-1) ~ (1-3), 整理后可得封闭环上下偏差的计算公式。

$$EsN = \sum_{i=1}^m Es\overrightarrow{A_i} - \sum_{i=m+1}^{n-1} Ei\overleftarrow{A_i} \quad (1-4)$$

$$EiN = \sum_{i=1}^m Ei\overrightarrow{A_i} - \sum_{i=m+1}^{n-1} Es\overleftarrow{A_i} \quad (1-5)$$

这说明: 封闭环的上偏差, 等于各增环尺寸上偏差之和减去各减环下偏差之和。同理, 封闭环的下偏差, 等于各增环下偏差之和减去各减环上偏差之和。

应用式 (1-4) 与 (1-5) 时, 必须正确辨别增减环的上下偏差, 否则计算结果将出错。

(4) 封闭环的公差

因为

$$TN = EsN - EiN$$

$$TA_i = EsA_i - EiA_i$$

这里的 TN 及 TA_i 分别表示封闭环及组成环的公差。

将式 (1-4)、(1-5) 相减, 可得封闭环公差的计算式

$$EsN - EiN = \sum_{i=1}^m (Es\overrightarrow{A_i} - Ei\overrightarrow{A_i}) + \sum_{i=m+1}^{n-1} (Es\overleftarrow{A_i} - Ei\overleftarrow{A_i})$$

整理即可得

$$TN = \sum_{i=1}^{n-1} TA_i \quad (1-6)$$

这表明: 封闭环的公差, 等于全部增环及减环公差之和。

式 (1-1) ~ (1-6), 就是用于尺寸链计算的基本公式。

三、三类计算问题

进行尺寸链计算时, 通常可以见到三种类型的计算问题。

(1) 正计算问题 由已知的各组成环尺寸与公差, 来计算封闭环的尺寸公差。在工艺尺寸链中, 通常把加工余量的计算, 作为正计算的尺寸链问题。其目的, 是在确定各加工尺寸公差之后, 验算一下余量的实际数值是否足够合理, 能否保证工艺过程的顺利进行。

(2) 反计算问题 由已知的封闭环尺寸公差, 反过来计算确定各组成环的尺寸公差。对于间接保证成品尺寸的问题, 常可作为反计算问题进行。这时, 可按等精度或等公差的原则, 把封闭环的公差分配给全部组成环。

(3) 中间计算问题 已知封闭环及部分组成环的尺寸公差, 反过来计算确定未知组成环的尺寸公差。所以, 中间计算本质上也是一种反计算问题。在工艺设计计算中, 成品尺寸的间接保证问题, 常常也可变成中间计算问题。这时, 先根据经验初步确定大多数组成环的尺寸公差, 然后再通过计算确定剩余组成环的尺寸公差、或调整某些组成环的尺寸公差, 以保证间接控制的成品尺寸合格。

四、尺寸链计算实例

下面, 结合实例介绍单个尺寸链的计算方法。

(1) 计算加工余量

以图1-2为例, 在加工尺寸 A_1 、 A_3 已知的情况下, 验算一下加工余量 Z_3 的数值是否足够。显然, 这是一个尺寸链的正计算问题。

尺寸链简图如图1-4。已知尺寸: $A_1=40.3_{-0.17}$, $A_3=40_{-0.06}$ 。

按图1-4所示的尺寸链简图, 由式(1-1)可得

$$Z_3=A_1-A_3=0.3,$$

由式(1-2)及(1-3)可得

$$Z_{3max}=A_{1max}-A_{3min}=40.3-39.94=0.36,$$

$$Z_{3min}=A_{1min}-A_{3max}=40.13-40.0=0.13。$$

或可由式(1-4)及(1-5)得到

$$Z_{3max}=Z_3+EsZ_3=Z_3+EsA_1-EiA_3=0.3+0-(-0.06)=0.36,$$

$$Z_{3min}=Z_3+EiZ_3=Z_3+EiA_1-EsA_3=0.3-0.17-0=0.13。$$

所以, 加工余量实际值为0.13~0.36。对于图1-2实例中的磨削加工来说, 最小磨削余量为0.13是足够的。验算表明, 上述工序尺寸(A_1 及 A_3)是适宜的。

(2) 计算成品尺寸的间接保证

现以图1-1为例, 计算零件尺寸 $20_{-0.5}$ 的间接保证问题。计算尺寸链简图如图1-5。

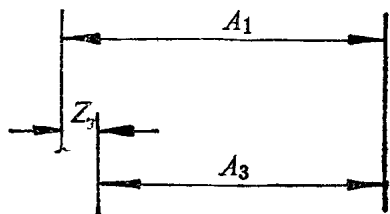


图 1-4

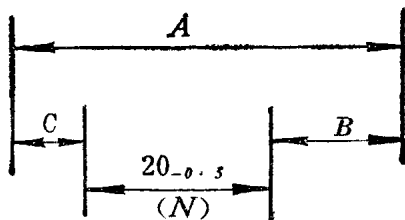


图 1-5

如图1-5所示的尺寸链简图中, 需要通过计算予以间接保证的尺寸 $20_{-0.5}$ 是封闭环 N 。由此可见, 属于增环的是尺寸 A , 而尺寸 B 与 C 则为减环。由图1-1可知, 加工尺寸 A 、 C 与图纸尺寸 $42_{-0.4}$ 及 $8^{+0.2}$ 对应, 它们都是直接控制保证尺寸。所以, 一般就可取为:

$$A=42_{-0.4}, \quad C=8^{+0.2}。$$

下面, 具体讨论计算过程。

① 计算基本尺寸

由式(1-1)可得

$$N=A-B-C,$$

∴

$$B=A-N-C=42-20-8=14。$$

② 计算公差

由式(1-6)可得

$$TN=TA+TB+TC,$$

$$∴ TB=TN-(TA+TC)=0.5-(0.4+0.2)=-0.1<0$$

这显然是不合理的，我们知道，任何尺寸的公差，都是指它最大值与最小值之间的差，是其尺寸变化的幅度范围。因此，任何尺寸的公差值必须是大于零的正值。现在，计算得到尺寸B的公差为-0.1，它意味着，要求尺寸B的最大值小于其最小值，这是荒谬的。这种情况表明，有关工序尺寸公差的数值定得过大，以致出现荒谬的结果。因此，为了继续计算，先必须对有关工序尺寸的公差进行修改调整。

③调整并重新计算公差

通常，调整公差就意味着压缩有关的组成环公差。在本例中，就是尺寸A与C的公差太大了，应予以压缩。比如压缩到图1-6所示的数值： $TA=0.2$ ， $TC=0.1$ 。

经过调整公差以后，按式(1-6)可计算得

$$TB = TN - (TA + TC) = 0.5 - (0.2 + 0.1) = 0.2$$

显然，这样的加工公差是可行的。

④计算上下偏差

由式(1-4)可得

$$EsN = EsA - (EiB + EiC),$$

$$\therefore EiB = EsA - EsN - EiC = 0.$$

由式(1-5)可得

$$EiN = EiA - (EsB + EsC),$$

$$\therefore EsB = EiA - EiN - EsC = -0.2 - (-0.5) - 0.1 = 0.2.$$

计算至此结束。所得结果为： $B = 14^{+0.2}$ 。这表明，只要控制图1-1中各工序加工尺寸 $A = 42_{-0.2}$ ， $B = 14^{+0.2}$ 及 $C = 8^{+0.1}$ ，最后就能间接保证得到合格的成品尺寸 $N = 20_{-0.5}$ 。

以上两例表明，在通常情况下，尺寸链计算中常出现需要调整压缩有关组成环公差、调整修改某些组成环尺寸基本值的情况。对于计算单个尺寸链来说，它只会引起返工，尚无其他影响。但是，对于有多个互相联系的复杂尺寸链来说，它不仅引起多次交叉的返工，还难免造成计算结果的混乱。

从上述两例来看，尺寸链计算过程是比较简单的。然而，实际应用尺寸链公式来计算零件加工过程中全部加工尺寸公差时，常常还遇到两个难题：其一，是必须有一个正确的尺寸链简图。然而，要建立正确的尺寸链简图，常常是相当复杂和困难的。其二，对于有多个尺寸链的复杂组合情况，常因频繁计算返工，导致计算结果的混乱。

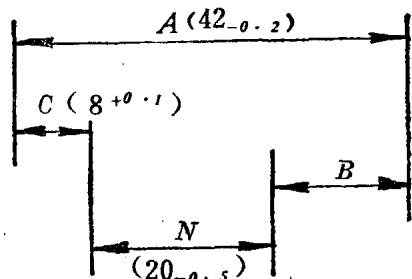


图 1-6

1-3 公差标注的对称化

从前面的尺寸链计算中可以看到，尺寸链计算中虽无复杂困难的计算项目，然而其计算过程比较烦琐。

主要原因是需要辨别增环减环，而且要分清楚增减环的上下偏差。否则，有关上下偏差的计算就会出错。烦琐的原因还在于：零件加工过程中的同一个加工尺寸，可以出现在不同的尺寸链中，而且它对各链中封闭环的影响也不同。同样一个加工尺寸，在某一个尺寸链中它可能是增环，在另一个尺寸链中则可能是减环。所以，这种分辨工作必须每个尺寸链都进行一次，非常烦琐，稍一疏忽就易搞错，从而导致计算结果的错乱。

从前述基本公式的讨论可以看到，所以要分辨增减环，根本原因是其上下偏差的数值

不相等。如果能将上下偏差不相等的不对称公差换算成对称的公差标注形式，那末基本公式就可简化。

下面，具体讨论这种简化计算的过程。

当尺寸 A 的公差对称标注时，则其上下偏差的绝对值相等，但符号相反。下述两种标注方法应完全相等：

$$A_{\begin{smallmatrix} Es \\ Ei \end{smallmatrix}}^{\begin{smallmatrix} Es \\ Ei \end{smallmatrix}} A = A \pm \frac{1}{2} TA。$$

即
$$EsA = +\frac{1}{2} TA, \quad EiA = -\frac{1}{2} TA。$$

故有
$$EsA = -EiA$$

可得
$$TA = EsA - EiA = 2EsA = -2EiA = 2 \times \frac{1}{2} TA = TA。$$

将这些关系代入基本公式 (1-1) ~ (1-6) 后，可整理得到新的计算关系式：

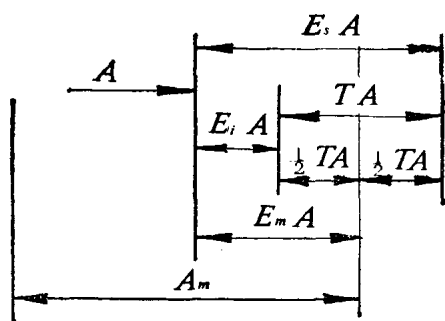


图 1-7

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

$$\frac{1}{2} TN = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{2} TA_i \quad (1-6')$$

$$N_{max} = N + \frac{1}{2} TN \quad (1-7)$$

$$N_{min} = N - \frac{1}{2} TN \quad (1-8)$$

$$A_{imax} = A_i + \frac{1}{2} TA_i \quad (1-9)$$

$$A_{imin} = A_i - \frac{1}{2} TA_i \quad (1-10)$$

将这些关系式与前述关系式对比，可以看出：对称化换算后简化了计算工作。现在只有基本尺寸及公差两个计算项目[关系式 (1-1) 及 (1-6')]，而极限尺寸及上下偏差的计算可以简化或省略。这样，可以避免许多烦琐工作，有利于减少差错。

把不对称的公差，换算成对称的公差，可按图1-7所示的原理进行。

换算前，不对称时尺寸标注为： $A_{\begin{smallmatrix} Es \\ Ei \end{smallmatrix}}^{\begin{smallmatrix} Es \\ Ei \end{smallmatrix}} A$ ，换算成对称后的尺寸标注为： $A_m \pm \frac{1}{2} TA$ 。

各值换算关系式如下：

$$A_m = A + EmA$$

式中 EmA ——尺寸 A 的平均偏差。

由定义可知：

$$EmA = -\frac{1}{2} (EsA + EiA)$$

$$\therefore A_m = A + \frac{1}{2} (EsA + EiA) \quad (1-11)$$

$$\therefore TA = EsA - EiA$$

$$\therefore \frac{1}{2} TA = \frac{1}{2} (EsA - EiA) \quad (1-12)$$

利用式(1-11)、(1-12),就可进行对称化的换算。

例1 把非对称标准的尺寸 $54^{+0.5}_{-0.1}$,换算成公差对称标注的尺寸。

由式(1-11)可得换算后的基本尺寸 A_m 为:

$$A_m = 54 + \frac{1}{2}(0.5 + 0.1) = 54.3。$$

由式(1-12)可得公差

$$\frac{1}{2}TA = \frac{1}{2}(0.5 - 0.1) = 0.2。$$

故换算后的尺寸公差为: 54.3 ± 0.2 。这样换算后,实际尺寸的公差范围不变,仍然是 $54.1 \sim 54.5$,与换算前相同。

例2 已知原注尺寸为 $36^{+0.5}_{-0.3}$,其换算过程如下:

由式(1-11)可得

$$A_m = 36 + \frac{1}{2}(0.5 - 0.3) = 36.1。$$

由式(1-12)可得

$$\frac{1}{2}TA = \frac{1}{2}[0.5 - (-0.3)] = 0.4。$$

故换算后的尺寸为 36.5 ± 0.4 。

例3 已知原注尺寸为 $28_{-0.7}$,换算如下:

由式(1-11)可得

$$A_m = 28 + \frac{1}{2}(0 - 0.7) = 27.65。$$

由式(1-12)可得

$$\frac{1}{2}TA = \frac{1}{2}[0 - (-0.7)] = 0.35。$$

对称化换算后成为 27.65 ± 0.35 。

例4 已知原注尺寸为: $84_{-0.32}^{+0.08}$,换算过程如下:

由式(1-11)可得

$$A_m = 84 + \frac{1}{2}[-0.08 - 0.32] = 83.8。$$

由式(1-12)可得

$$\frac{1}{2}TA = \frac{1}{2}[-0.08 - (-0.32)] = 0.12。$$

故对称化换算后成为 83.8 ± 0.12

1-4 计算累积误差的概率方法

在前面的讨论中,我们用式(1-6)来计算封闭环的公差,即:封闭环的公差,等于所有组成环公差之和。这里的封闭环公差,实际上就是所有组成环公差的累积总和。

按照这种原理计算累积误差的方法,我们称之为极值法。

极值计算法的原理,是考虑到在最坏的极端情况下,各组成环尺寸误差都处于极限值