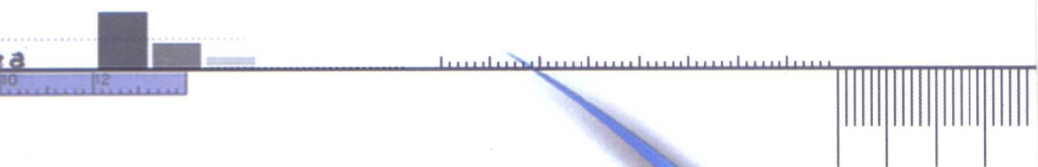


尺寸设计理论及应用

王晓慧 著



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

尺寸设计理论及应用

王晓慧 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

尺寸设计理论及应用/王晓慧著. —北京:国防工业出版社, 2004.8

ISBN 7-118-03541-6

I. 尺... II. 王... III. 尺寸公差—设计
IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 063809 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

京南印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 4 $\frac{1}{4}$ 130 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:10.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

尺寸及公差设计的合理与否直接影响产品的质量与成本,也是连接 CAD/CAM 的关键技术。1989 年以来,国际生产工程学会每年的年会都有公差研究的专题报告,美国机械工程师协会已经连续召开了 7 次公差学术专题研讨会。近年来,尺寸与公差设计已经成为先进制造技术中的一个热门研究问题,我们在这方面作出了一些有益的工作,写成该书,奉献给从事机械制造业的同行们。

工序尺寸的计算和分析在机械加工工艺规程的制订中占有重要的位置,也是 CAPP 的重点和难点,因为它在教学和生产实际中应用很频繁,因此其计算方法也备受人们关注,人们在不断地探索更加简便好用的方法。在我国,20 世纪 60 年代以前广泛使用苏联的工艺尺寸链来分析和计算工序尺寸,这种方法仅对某些重要尺寸进行单个尺寸链分析计算;20 世纪 70 年代后期到 80 年代中期,我国机械行业广泛推广美国工程师提出的尺寸跟踪法,但是该方法仍需要画出众多烦琐的尺寸链图,工艺人员稍有疏忽,就会把工艺关系搞错,而使计算前功尽弃;1983 年,笔者提出了工艺尺寸式法,首次用非画图的方法表达工艺尺寸关系,该方法与传统的尺寸链相比,具有理论完善、不需画图、寻找工艺尺寸关系方便、便于计算机辅助设计等特点,在我国机械行业已经推广应用 20 多年,受到广大机械工艺师们的好评,近年来许多“机械制造工艺学”教材也相继将该方法编入。

目前毛坯尺寸均以零件图生根,也就是说,毛坯尺寸是在零件图尺寸的基础上加减余量而生成的,这种设计方法虽然简单,但不合理,因为它没有根据毛坯尺寸所起的作用来设计毛坯。对毛坯

各个面无非有加工和不加工两种情况,分别对毛坯尺寸提出的要求为:(1)如毛坯某些面需要加工,则应重点考虑使这些面的粗加工余量公差最小(即粗加工余量最均匀,这样可减小粗加工余量);(2)如果毛坯某些面不需要加工,则应重点考虑使这些不加工面与其他加工面的尺寸及位置最准确。毛坯尺寸满足了以上两个要求,也就完成了它的使命,而从上面两个要求选择毛坯尺寸的基准恰好都应选择加工该毛坯时所用的粗基准,这一点我们已经从理论上给予了证明,并且在一些企业得到了实际验证。

关于毛坯尺寸的优化设计,以前没有引起人们的足够重视,一则这可能是机械制造工艺师和毛坯制造工艺师工作交叉处被双方都忽略的一个问题,二则可能是人们认为毛坯尺寸误差较大,无需精确设计。实际上,较大的毛坯尺寸误差伴随着不合理的毛坯尺寸设计会使得粗加工余量公差很大,而很多企业都是用偏大的加工余量来补偿很大的粗加工余量公差,却没有人对如何合理的设计毛坯尺寸进行专题研究,以致于使材料消耗很大。另外,当零件有些面不需加工时,毛坯尺寸设计的合理与否对零件的精度也有较大影响,因此很有必要从合理设计毛坯尺寸的角度去减小毛坯的误差对粗加工余量和工件精度的影响。过去我们在制订机械加工工艺规程中选择粗基准时才考虑以上两个问题,这是十分必要的,但已为时过晚,因为不合理的毛坯已经制造出来,因此改变传统的毛坯尺寸设计方法、正确合理地设计毛坯尺寸对提高产品质量、降低材料消耗有重要意义,本书首次专题介绍毛坯尺寸设计的新方法。

当一个装配尺寸链封闭环公差较小,而其余组成环(除补偿环)公差又较大时,按尺寸链基本公式计算出补偿环的公差一定是虚公差。应该相信,既然能够计算出虚公差,虚公差就肯定有其意义,我们不应该回避它,而应给虚公差一个正确解释。弄清虚公差意义后,各种装配方法的尺寸链都可以用尺寸链基本公式进行计算,不再需要推导出许多特定公式,学生特别容易掌握,同时关于装配尺寸链的内容也可以大大缩减,本书将介绍这种基于虚公差

的装配尺寸链新计算方法。

定位误差的分析和计算在生产和教学中会经常遇到,可是目前各种文献对定位误差的定义五花八门,且不具体、不明确,以致于不少教材出现了一些原则性的错误。我们对定位误差提出了一个新的定义,经过我们的教学实践表明,基于这种新定义可以大大提高教学质量和效率。

本书由太原科技大学王晓慧著,温淑花主审,韩慧鑫、芮雪、王俊鹏为本书的出版作了大量的工作,同时该书得到山西省自然科学基金的支持,在此深表谢意。

由于本书中提出了许多新的观点,难免有不当之处,恳请读者能够提出批评意见,并愿意与大家一起完善尺寸及公差设计理论。

著 者

目 录

第一章 工艺尺寸分析计算的方法	1
第一节 工艺尺寸链	1
第二节 尺寸跟踪法	5
第三节 图论法	8
第四节 工艺尺寸式法	12
第二章 工艺尺寸式原理	14
第一节 工艺尺寸式的基本概念	14
第二节 工艺尺寸式的原理及建立的方法	17
第三节 工艺尺寸式的计算公式	20
第三章 工序尺寸及公差和优化设计	23
第一节 工艺尺寸式计算原理	23
第二节 工序公差设计的方法	29
第三节 工序尺寸及公差的设计	31
第四节 工艺尺寸式的特点	58
第四章 计算机辅助工序尺寸及公差设计	63
第一节 计算机辅助公差设计的现状和意义	63
第二节 输入的数据	64
第三节 工艺尺寸式软件的计算原理	65
第四节 程序计算示例	67
第五章 工序位置公差的设计	72
第一节 位置关系的尺寸式表达	72
第二节 工序位置公差的计算	76
第三节 位置公差和尺寸公差的综合计算	79

第四节	工艺方案优化设计的方法	83
第五节	工艺方案优化设计	84
第六章	平面尺寸式	91
第一节	平面尺寸式的建立	91
第二节	平面尺寸式的方程式及其工序尺寸计算	94
第三节	工序公差的计算	96
第七章	定位误差的新定义与计算方法	102
第一节	概述	102
第二节	定位误差的新定义	102
第三节	基于新定义的定位误差计算	104
第八章	毛坯尺寸的优化设计	111
第一节	目前毛坯尺寸设计的方法	111
第二节	毛坯尺寸设计基准选择的理论依据	112
第三节	铸锻件尺寸及公差的确定	114
第四节	焊接件尺寸的设计	127
第九章	零件尺寸及公差的优化设计	130
第一节	零件尺寸及公差设计的方法	130
第二节	虚公差问题的提出	131
第三节	对虚公差现象的解释	132
第四节	基于虚公差概念的装配尺寸链计算方法	135

第一章 工艺尺寸分析计算的方法

一个机械零件是由毛坯经若干道机械加工工序而成的,每次机械加工都要切除一层金属,最后形成合格的零件。为了保证零件所要求的设计尺寸及确保每次加工都有合理的余量值,就必须合理地控制每道工序的工序尺寸及公差,这是因为设计尺寸及余量的大小是由相关的工序尺寸及公差保证的。

有的设计尺寸可由一个工序尺寸直接保证,而有的设计尺寸则需要两个或两个以上的工序尺寸间接保证;余量尺寸一般都由两个或两个以上的工序尺寸间接保证。对于能由一个工序尺寸直接保证的设计尺寸来讲,只要这个工序尺寸公差等于或小于设计尺寸公差,则即可满足设计尺寸要求。但是对于由两个或两个以上的工序尺寸间接保证的设计尺寸或余量来讲,就必然要控制这两个或两个以上的工序尺寸及公差。这样就需要通过工艺尺寸的换算来合理地确定这两个或两个以上的工序尺寸及公差,以保证按所确定的工序尺寸及公差加工出来的零件能经济合理地满足设计尺寸及公差的要求以及具有合理的余量值。

正确地分析和计算工艺尺寸是制订工艺规程不可缺少的重要内容,应用它可以合理地确定工序尺寸、公差和技术条件,也有助于分析工艺路线拟定的合理性。工艺尺寸的换算方法有工艺尺寸链法、尺寸跟踪法、图论法、工艺尺寸式法。

第一节 工艺尺寸链

尺寸链是最传统的工艺尺寸分析的工具。它的原理和计算方

法并不复杂,但尺寸链的基本概念却较多,具体计算过程也十分繁琐。以下仅介绍最基本的直线尺寸链(全部组成环平行于封闭环的尺寸链)。

1. 工艺尺寸链的定义和特征

以图 1-1 所示的小轴零件为例,当零件尺寸 A_1, A_2 由加工保证后,尺寸 A_0 在加工中并没有直接保证,但它随尺寸 A_1, A_2 的确定也就确定了,这样 A_1, A_2 及 A_0 三个尺寸就构成一个封闭的尺寸组合。由于 A_0 是被间接保证的,所以其尺寸和精度取决于 A_1 和 A_2 的尺寸和精度。

人们把这些互相联系,且按一定顺序排列的封闭的尺寸组合,称为尺寸链。把尺寸链中的尺寸按一定顺序首尾相接形成的封闭图形,称为尺寸链图。如图 1-1(b)所示即为尺寸链图。由单个零件在工艺过程中的有关尺寸所形成的尺寸链,就称为工艺尺寸链。尺寸链的主要特征是:

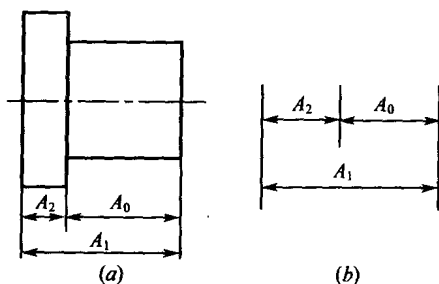


图 1-1 小轴及尺寸链图

(1) 封闭性——尺寸链必须是一组有关尺寸首尾相接构成封闭形式的尺寸。其中应包含一个间接保证的尺寸和若干个对此有影响的直接获得的尺寸。

(2) 关联性——尺寸链中间接保证的尺寸大小和变化(即精度),是受那些直接获得的尺寸的精度支配的,彼此间具有特定的函数关系,并且间接保证的尺寸精度必然低于直接获得的尺寸精度。

2. 尺寸链的组成

组成尺寸链的各个尺寸称为尺寸链的“环”。如图 1-1 中的 A_1 , A_2 和 A_0 都是尺寸链的环。这些环又可分为:

(1) 封闭环——根据尺寸链的封闭性,最终被间接保证精度的那个环。如图 1-1 中 A_0 就是封闭环。

(2) 组成环——除封闭环以外的其他环,都称为组成环。如图 1-1 中的 A_1 和 A_2 就是组成环。组成环又可按其对封闭环的影响性质分为增环和减环。

增环——当其余各组成环不变,凡因其增大(或减小)而封闭环也相应增大(或减小)的组成环。如图 1-1 中尺寸 A_1 ,用 $\vec{A}_1$ 表示。

减环——当其余各组成环不变,凡因其增大(或减小)而封闭环却相应减小(或增大)的组成环。如图 1-1 中尺寸 A_2 ,用 $\vec{A}_2$ 表示。

3. 尺寸链图的作法

(1) 首先根据工艺过程,找出间接保证的尺寸,定为封闭环。

(2) 从封闭环起,按照零件上表面间的联系,依次画出有关直接获得的尺寸,作为组成环,直到尺寸的终端回到封闭环的起端,形成一个封闭图形。

(3) 按照各尺寸首尾相接的原则,可顺着一个方向在各尺寸线终端画箭头。凡是箭头方向与封闭端方向相同的尺寸就是减环,箭头方向与封闭环箭头方向相反的方向的尺寸就是增环。

4. 尺寸链的计算

尺寸链的计算方法有两种:极值法和概率法。目前生产中一般采用极值法。概率法主要用于生产批量大的自动化及半自动化生产中,但是当尺寸链的环数较多时,即使生产批量不大也宜采用概率法。

如图 1-2(a)所示的具有键槽的内孔,其加工路线是:

工序 5 镗内孔至 $\phi 44.6_0^{+0.10}\text{mm}$;

工序 10 插键槽至 A_1 ;

工序 15 热处理;

工序 20 磨内孔至 $\phi 45_0^{+0.03}\text{mm}$ 。

键槽设计尺寸 $\phi 48.6_0^{+0.30}\text{mm}$ 的设计基准是内孔,而在工序 10 中插键槽时,工序尺寸 A_1 的工序基准是尚未磨削的内孔。在工序 20 中,一方面要直接保证设计尺寸 $\phi 45_0^{+0.03}\text{mm}$,另一方面,还要间接保证设计尺寸 $\phi 48.6_0^{+0.03}\text{mm}$,这样就存在一个多尺寸保证的尺寸换算问题。

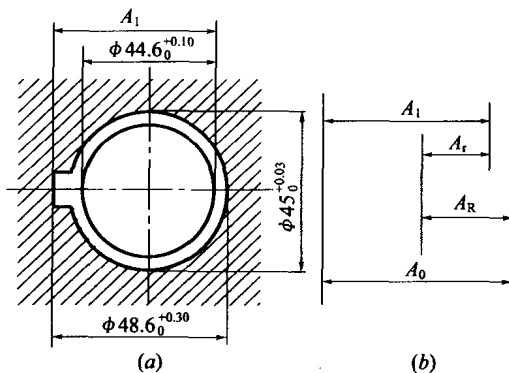


图 1-2 内孔及插键槽尺寸工序尺寸链图

由于镗孔直径和磨孔直径是通过彼此的中心线发生位置关系的,故各以半径尺寸 A_r 与 A_R 表示,且以各自的中心线作为半径尺寸的基准线。按加工路线作出如图 1-2(b)所示的尺寸链图,其中 $A_0 = 48.6_0^{+0.30}\text{mm}$ 为封闭环, $\vec{A}_R = 22.5_0^{+0.015}\text{mm}$ (即 B_1C_2) 和 $\vec{A}_1$ 为增环, $\vec{A}_r = 22.3_0^{+0.05}\text{mm}$ (即 BC_1) 为减环。用竖式法(如表 1-1)解得:

$$A_1 = 48.4_{+0.05}^{+0.285} = 48.45_0^{+0.235}\text{mm}$$

表 1-1 竖式法计算 A_1

基本尺寸		ES	EI
$\vec{A}_1$	+48.4	+0.285	+0.05
$\vec{A}_R$	+22.5	+0.015	0
$\vec{A}_r$	-22.3	0	-0.05
A_0	+48.6	+0.300	0

第二节 尺寸跟踪法

工艺尺寸跟踪图解法,简称尺寸跟踪法。它是通过对加工过程中尺寸误差相互传递路径跟踪而建立起来的一整套工艺尺寸的图解计算方法。

用尺寸跟踪法时,首先要绘制尺寸跟踪图,再按尺寸跟踪规则来查明误差传递过程的路线,然后才能具体计算。

1. 尺寸跟踪图的绘制

绘制尺寸跟踪图是正确进行图解计算的基础,因此尺寸跟踪图的绘制,必须注意其正确性。

1) 尺寸跟踪图的特点

(1) 尺寸跟踪图不仅应表明构成尺寸链的尺寸关系,而且要形象地表明加工误差互相传递的过程,以使用图解方法直接查明误差传递的路径。

(2) 尺寸跟踪图不应只孤立地表示部分的尺寸关系,而应能够表示出整个加工过程中全部加工尺寸之间的复杂关系,能够反映尺寸联系整体性的特点。

2) 绘制方法及其符号

首先,在图纸上绘出零件的外形轮廓,还可用双点划线画出毛坯的外形轮廓。从零件轮廓图的各轴向端面处,用细实线向下引

出尺寸界限,一直引到图纸底部为止。为了清晰起见,绘制轮廓图形时不必拘泥于严格的尺寸比例,而应力求使各个轴向端面的尺寸界限不致重叠或过于拥挤,以便清晰地区别开各不同端面的轴向位置和尺寸。然后,按加工的先后顺序,自上而下(或自下而上),逐个地将毛坯尺寸、各工序尺寸、图纸设计尺寸依次标注出来。标注时所用符号及其意义如图 1-3 所示。

3) 加工尺寸的标注要求

在绘制尺寸跟踪图时,应特别强调正确地标注尺寸的重要性。正确地标注尺寸,必须注意下列要求:

(1) 必须严格按照加工与控制的先后顺序,依次地标注加工尺寸,不得有任何颠倒。在加工过程中,同一工序中不同工步的加工尺寸,也应分清顺序,按序标注,不得搞错。

(2) 加工尺寸不得遗漏或多余。应遵循“每切削一个表面,只标一个‘加工’尺寸”的原则。

(3) 加工尺寸的标注,应根据基准选择原则,既考虑到设计尺寸的要求,又考虑到定位、对刀调整及检验、测量的方便,避免在现场使用时再需作进一步的换算。所标注的加工尺寸应能在加工过程中便于直接控制。

2. 尺寸跟踪法的规则

从所需查找的目标尺寸(相当于尺寸链的封闭环)出发,沿其两端的尺寸界限同步向上跟踪(如果是自下而上地依次填注加工尺寸,则为向下跟踪),每遇到箭头(即加工符号)就拐 90°弯,沿这个箭头所示的加工尺寸作水平跟踪;跟踪完这个尺寸后,再沿这个尺寸端头所在的界限拐弯向上,继续跟踪新的箭头;如此不断继续下去,直到沿目标尺寸两端出发的跟踪过程在某个加工尺寸端头

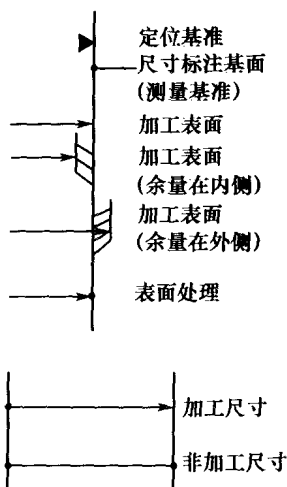


图 1-3 标注符号及意义

处相遇,形成封闭的环形跟踪迹线为止。于是跟踪过程终止。

如此跟踪所路径的加工尺寸,就是所需查找的误差传递路线。所路径的加工尺寸,其误差互相累积的结果,将影响到目标尺寸的精度。可以根据跟踪结果,按照极值法或概率法来计算累积误差的数值。

应用这个规则,在尺寸跟踪图上直接进行图解作业,就能查明复杂的尺寸关系。

以下用尺寸跟踪法来解答上面插键槽的工序尺寸及公差(如图1-4所示)。

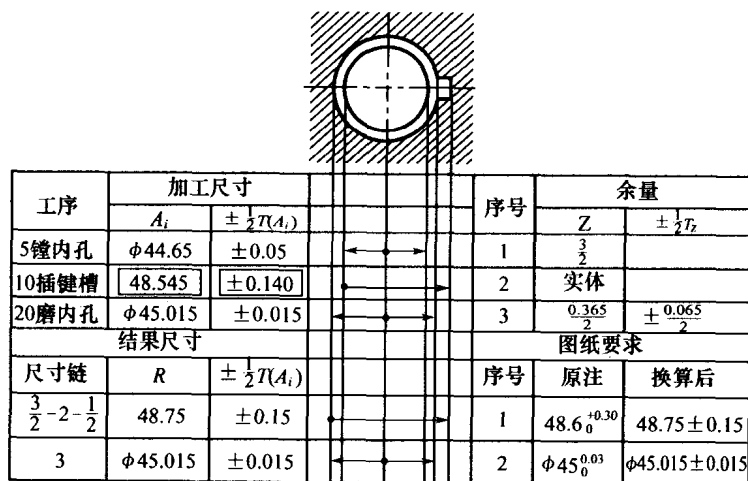


图1-4 工序尺寸跟踪法图表

为了便于采用尺寸跟踪法来图解计算,孔径的加工尺寸表示需进行特殊处理。考虑到一般圆柱面的基准是中心线,所以在直径尺寸的中心线位置上画出黑点。为了表示全圆周面上都有余量,在孔径尺寸两端都标以箭头。按跟踪法的规则方法,即可解算出方框内所要求的尺寸及公差。

第三节 图论法

图论是数学的一个分支,研究由多个要素和要素间的联系组成的复杂几何结构。加工过程中的零件可以看作是由多个表面和表面间的联系(尺寸)组成的几何结构。因此,用图论可以分析工艺尺寸之间的关系。

由点和连接这些点的线组成的图形称为图,点称为顶,连接顶的线称为图的弧或边。

如果在边上用箭头表示出该边由哪个顶引出和进入到哪个顶,则这样的边称为有向边;如果边上不加箭头,则这样的边称为无向边。如图 1-5(a)所示为有向边与无向边 E 的实例。

按照边的称呼,把图称为有向图或无向图。如果一对顶可以用几个边连接,则这样的边称为复边(如图 1-5(b)所示)。串联的边 E (在其中相邻两边有公共顶)称为路图。图 1-5(c)中边 E_1 和 E_2 有公共顶 2,而边 E_2 与 E_3 有公共顶 3。路 $U = E_1 + E_2 + E_3$ 。

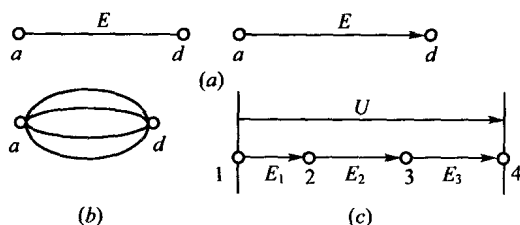


图 1-5 实例

(a) 有向边与无向边; (b) 复边; (c) 路图。

如果路的起点与终点处在同一顶上,则这样的路称为环路(如图 1-6 所示)。如果在一个路中每个边只出现一次,则这样的路称为链。封闭的链,即起始与终止于同一顶上的链,称为环链。如果每个顶可以和某些链的任意其他顶连接,则该图称为关联图。

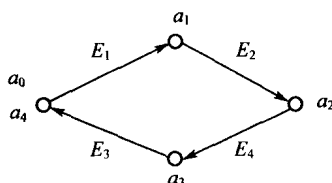


图 1-6 环路图

不包含环路,并且没有复边的关联图称为树。每一对顶只存在唯一的连接它们的链。为了构成树,需要选择任一个顶 A_0 ,并由该顶 A_0 向顶 A_1, A_2 与 A_3 引出边,由这些顶再向顶 A_{11}, A_{12}, A_{13} 等引出边(如图 1-7 所示)。最初选定的顶 A_0 称为树根。可以从任一点开始构成树,因此任意顶都可以用作树根。

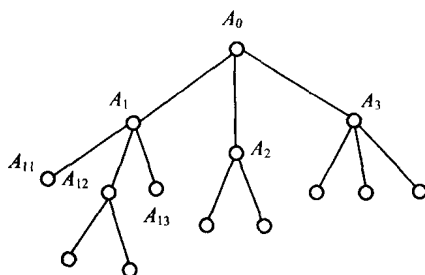


图 1-7 树图

因为树是没有循环的,所以由 A_0 引出不同的链是彼此分隔的,像真实的树的分支。这种图的每个分支应该有带有不再引出任一边的最终顶的最后边。因此,具有 n 个顶的树共有 $n-1$ 个边。

如果把毛坯与零件的表面作为顶,表面间的联系(尺寸)作为边,则具有设计尺寸与工艺尺寸的零件图,可以作为两棵树。具有设计尺寸与加工余量尺寸的树称为原始树,具有工艺尺寸的树称为派生树或工艺树。如果把两棵树合在一起,则这种混合图能够表示零件加工工艺过程几何结构的形式,并且是该几何结构的数学模型。在这种图中,全部尺寸联系与工艺尺寸链由不明显变为