

文章编号: 1005-0523(2002)04-0061-04

一种新的 CAPP 专家系统工艺尺寸链解算方法

刘建春¹, 唐晓红²

(1. 江西现代职业技术学院 机电分院, 江西 南昌 330029; 2. 华东交通大学 机电工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要:设计出 CAPP 专家系统中解算工艺尺寸链的子程序, 该程序用 Visual Basic 语言编程, 采用数据文件形式进行数据输入、输出, 大大增强了程序的通用性和可读性. 再用 Matlab 软件进行矩阵运算, 一次便能求出包括毛坯在内的工序尺寸及公差. 论文同时指出了如何建立工序简图和判断简图中工序尺寸的箭头标注是否正确的方法.

关键词:专家系统; 工艺尺寸链

中图分类号: TP39

文献标识码: A

工序尺寸的计算与确定(包括毛坯尺寸的确定), 是 CAPP—计算机辅助工艺规程设计要解决的重要问题之一. 本文以一典型轴类零件加工过程为例, 基于图解追踪原理, 应用 Visual Basic 语言编程, 再用 Matlab 软件进行简单的矩阵运算, 一次便能解算出包括毛坯在内的各工序尺寸及公差. 该解法的提出对轴向尺寸繁多、加工中定位基准多次转换的轴类零件如齿轮轴、曲轴、凸轮轴及各种主轴等的工艺设计具有重要的实际应用意义. 现将其具体设计过程介绍如下.

1 工序尺寸简图的绘制

如图 1 所示的零件图, 略去了与解算工艺尺寸链无关的表面粗糙度的要求, 只标出了其轴向设计尺寸. 其加工工序如表 1 所示.

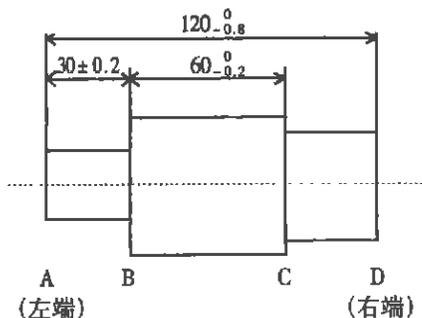


图 1 零件简图

表 1 加工工序

工序号	工序内容	定位面	加工面	工序尺寸
1	车 A 端面	B	A	S ₁
2	车 D 端面	已车过的 A 端面	D	S ₂
3	车 C 肩面	已车过的 A 端面	C	S ₃
4	车 B 肩面	已车过的 C 肩面	B	S ₄
5	热处理			
6	磨 C 肩面	已车过的 A 端面	C	S ₅
7	磨 B 肩面	已车过的 C 端面	B	S ₆

如图 2 所示, 画出该零件的加工工序简图, 并将设计尺寸整理成对称公差标注, 如 $A_1 = 30 \pm 0.2$, $A_2 = 60_{-0.2}^0 = 59.9 \pm 0.1$, $A_3 = 120_{-0.8}^0 = 119.6 \pm 0.4$. 将工件的轴向尺寸(包括毛坯尺寸和加工余量)的各端面, 从左至右按由小到大的顺序编号为 1~10. 为程序设计方便, 各表面加工余量用 $Z_1 \sim Z_6$ 表示, 零件的设计尺寸 A_1, A_2, A_3 则用符号 Z_7, Z_8, Z_9 表示. 对于各工序加工余量及设计尺寸 $Z_1 \sim Z_9$, 均用无箭头的两端圆点的连线表示, 如图 2 所示.

根据加工工序内容所指出的定位面及加工面, 画出表示各工序间尺寸的单向箭头: 规定定位面为箭头的起点(以圆点“•”表示), 加工面为箭头的终点, 如图 2 中 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ 所示. 对于工件的毛坯尺寸, 则按第一道工序的定位面为尺寸箭头的起点, 标出如图 2 所示的 L_1, L_2, L_3 .

收稿日期: 2002-05-09

作者简介: 刘建春(1972-), 男, 江西南昌人, 江西现代职业技术学院助教.

上述包括毛坯在内的所有尺寸箭头是否标注正确,可以用两个标准进行检验:一是在工序简图中,有一个端面而且只有一个端面没有箭头所指向,二是在其余各端面中,均有一个箭头而且只有一个箭头所指向。

2 建立工序尺寸矩阵

为了将图2所示的工序简图转换为计算机所能识别的语言符号,就必须建立工序尺寸矩阵。工序尺寸矩阵可通过如下方法建立:若包括毛坯在内共有 n 个工序尺寸,即用矩阵 $A[n, 2]$ 来表示,其中, $A_{i,1}$ 表示第 i 个工序尺寸箭头的起点端面号, $A_{i,2}$ 表示第 i 个工序尺寸箭头所指向的终点端面号。用此法建立的工序尺寸矩阵简洁明了,使读者一目了然。

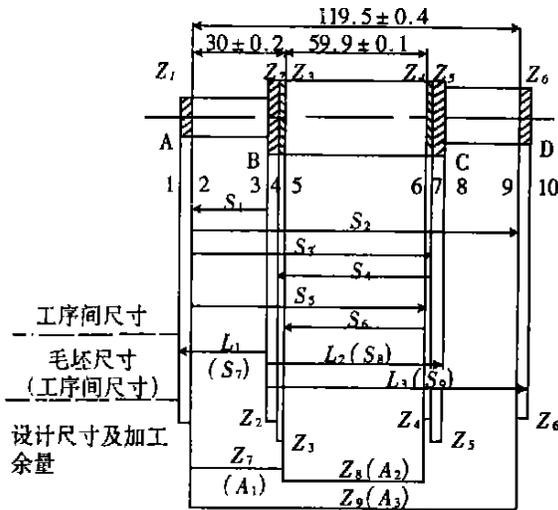


图2 工序简图

$$A[9,2] = \begin{pmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 9 \\ 2 & 7 \\ 7 & 4 \\ 2 & 6 \\ 6 & 5 \\ 3 & 1 \\ 3 & 8 \\ 3 & 10 \end{pmatrix}$$

图3 工序尺寸矩阵

在本例中,毛坯尺寸 L_1, L_2, L_3 在工序尺寸矩阵中分别用 S_7, S_8, S_9 表示,则工序尺寸和毛坯尺

寸 $S_1 \sim S_9$ 共有9个工序尺寸,建立的工序尺寸矩阵 $A[9, 2]$ 如图3所示。如在工序尺寸矩阵中, $A_{1,1} = 3$ 表示工序尺寸 S_1 的箭头起点端面号为“3”, $A_{1,2} = 2$ 表示工序尺寸 S_1 的箭头所指向的终点端面号为“2”。

3 设计 CAPP 工序尺寸链的解算程序

此 CAPP 专家系统的工序尺寸链解算程序的任务可以分为两大部分:一是要判断出各工序尺寸链中的各组成环是增环还是减环,并计算出工序尺寸链基本尺寸方程组的系数矩阵;二是求出工序尺寸链极限尺寸方程组的系数矩阵。下面将其设计原理介绍如下。

我们知道,在求解工艺尺寸链时,除特殊情况(靠火花磨削法)外,零件的设计尺寸和各工序加工余量都是封闭环。零件的设计尺寸是由图纸给定的,而加工余量可以根据加工工序内容直接从 CAPP 工艺知识库或查工艺师设计手册获得,所剩下的就是在已知封闭环的条件下找出各组成环的基本尺寸与公差的问题了。

如何找出组成环呢?具体方法,就是在如图2的工序简图中从封闭环的左、右两端分两路开始分别沿工序尺寸图往上找,在有工序尺寸箭头处,逆箭头而行,在箭头起点处继续往上找,又在有箭头处,逆箭头而行,直至两路最终的箭头起点端面重合或一路最终的箭头起点端面与该封闭环的另一路起点端面重合,这样的轨迹线所经过的工序尺寸即是与该封闭环有关的组成环。

按上述方法找到的组成环是增环还是减环要分两种情况判断:若从封闭环的右端面(大端面)出发找到的各组成环中,出现左行箭头则为减环,出现右行箭头则为增环;若从封闭环的左端面(小端面)出发找到的各组成环中,出现左行箭头则为增环,出现右行箭头则为减环。

如在图2中,以封闭环为加工余量的 Z_2 为例,因 Z_2 的左端面号“3”无尺寸箭头所指向,故从 Z_2 右端面(大端面)“4”出发,逆箭头而行经过 S_1 ,到达端面号“7”,在端面号“7”上又有 S_3 的箭头,继续逆箭头而行经过 S_3 ,到达端面号“2”,再经过 S_1 ,因 S_1 箭头起点端面号为“3”,与封闭环左端面“3”重合,形成封闭图形如图4所示,即找到 S_4, S_3, S_1 为以 Z_2 为封闭环的尺寸链的各组成环。而工序尺寸 S_4, S_1 的箭头是左行箭头,则为减环,在工序尺寸矩阵中则表示为 $A[4, 1] > A[4, 2]$ 及 $A[1, 1] > A[1,$

2). 而尺寸 S_3 的箭头是右行箭头, 则为增环, 在工序尺寸矩阵中则表示为 $A[3, 1] < A[3, 2]$.

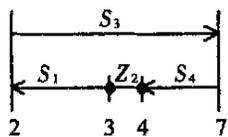


图4 以 Z_2 为封闭环的封闭图形

判断出各组成环是增环或是减环后, 我们令增环前的系数为“+1”, 减环前的系数为“-1”, 即各尺寸链中的各组成环前的系数就构成了工序尺寸链基本尺寸方程组的系数矩阵. 根据封闭环的基本尺寸等于组成环基本尺寸的代数和的原则, 便能列出尺寸链的基本尺寸方程组.

要求出各工序尺寸的公差, 可以先求出各工序尺寸的极限尺寸, 即最大极限尺寸和最小极限尺寸, 那么, 某工序尺寸的公差就是该工序尺寸的最大极限尺寸与最小极限尺寸之差.

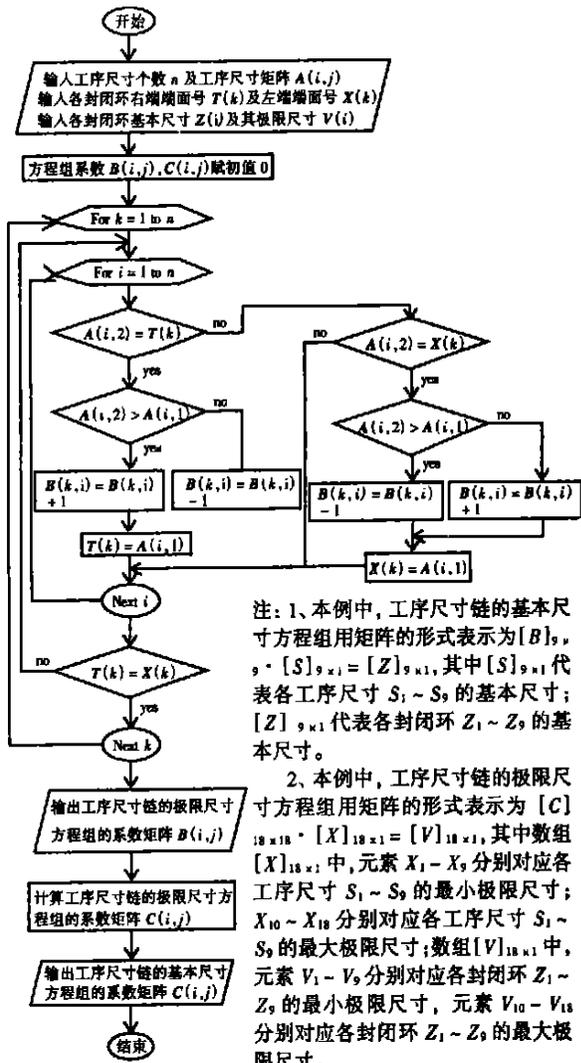
关于工序尺寸链中极限尺寸的计算, 可根据极值法的计算公式来计算, 即封闭环的最大极限尺寸应等于该尺寸链中所有增环最大尺寸之和减去所有减环最小尺寸之和; 封闭环的最小尺寸应等于该尺寸链中所有增环最小尺寸之和减去所有减环最大尺寸之和. 如在本例中有 9 个封闭环(即有 9 个尺寸链), 每个封闭环又分别有最大和最小尺寸, 所以在解算各组成环的最大和最小尺寸时, 共有 18 个方程, 就构成了工序尺寸链极限尺寸的方程组, 我们就可以设计一段子程序将其系数提取出来, 构成其系数矩阵, 为后续解方程组做准备.

CAPP 专家系统工艺尺寸链的解算程序(用 Visual Basic 语言编程)系统框图如图 5 所示.

用 CAPP 专家系统工艺尺寸链解算程序计算如图 2 所示的工艺尺寸链, 其输出的尺寸链的基本尺寸方程组的系数矩阵 $[B]_{9 \times 9}$ 如图 6 所示(在用该尺寸链解算程序计算各工序有关尺寸时, 我们不需要列出尺寸链的基本尺寸方程组. 当然, 如有必要, 该程序可输出如图 7 所示的尺寸链的基本尺寸方程组, 文中列出该方程组, 只为说明系数矩阵 $[B]_{9 \times 9}$ 中各元素的实际意义).

因为本例要解算的工序间尺寸 s 共有 9 个(即 $S_1 \sim S_6, L_1 \sim L_3$), 故系数矩阵 $[B]_{9 \times 9}$ 为 9 行 9 列矩阵, 在该矩阵中, 元素“-1”表示减环, “1”表示增环, “0”则表示无关. 例如, 从图 6 和图 7 可知, 尺寸链方程 “ $-S_1 + S_3 - S_4 = Z_2$ ” (即图 7 中第 2 行) 是以加工余量 “ Z_2 ” 为封闭环, 并由减环 “ $-S_1$ ”、“ $-S_4$ ” (即图 6 中第 2 行第 1 列和第 4 列) 和增环 S_3 (即图 6 中第

2 行第 3 列) 所组成.



注: 1、本例中, 工序尺寸链的基本尺寸方程组用矩阵的形式表示为 $[B]_{9 \times 9} \cdot [S]_{9 \times 1} = [Z]_{9 \times 1}$, 其中 $[S]_{9 \times 1}$ 代表各工序尺寸 $S_1 \sim S_9$ 的基本尺寸; $[Z]_{9 \times 1}$ 代表各封闭环 $Z_1 \sim Z_9$ 的基本尺寸.

2、本例中, 工序尺寸链的极限尺寸方程组用矩阵的形式表示为 $[C]_{18 \times 18} \cdot [X]_{18 \times 1} = [V]_{18 \times 1}$, 其中数组 $[X]_{18 \times 1}$ 中, 元素 $X_1 \sim X_9$ 分别对应各工序尺寸 $S_1 \sim S_9$ 的最小极限尺寸; $X_{10} \sim X_{18}$ 分别对应各工序尺寸 $S_1 \sim S_9$ 的最大极限尺寸; 数组 $[V]_{18 \times 1}$ 中, 元素 $V_1 \sim V_9$ 分别对应各封闭环 $Z_1 \sim Z_9$ 的最小极限尺寸, 元素 $V_{10} \sim V_{18}$ 分别对应各封闭环 $Z_1 \sim Z_9$ 的最大极限尺寸.

图5 程序框图

-1	0	0	0	0	0	1	0	0	$-S_1 + S_7 = Z_1$
-1	0	1	-1	0	0	0	0	0	$-S_1 + S_3 - S_4 = Z_2$
0	0	-1	1	1	-1	0	0	0	$-S_3 + S_4 + S_5 - S_6 = Z_3$
0	0	1	0	-1	0	0	0	0	$+S_3 - S_5 = Z_4$
1	0	-1	0	0	0	0	1	0	$+S_1 - S_3 + S_8 = Z_5$
1	-1	0	0	0	0	0	0	1	$+S_1 - S_2 + S_9 = Z_6$
0	0	0	0	1	-1	0	0	0	$+S_5 - S_6 = Z_7$
0	0	0	0	0	1	0	0	0	$+S_6 = Z_8$
0	1	0	0	0	0	0	0	0	$+S_2 = Z_9$

图6 基本尺寸方程组的系数矩阵 $[B]_{9 \times 9}$

图7 工艺尺寸链的基本尺寸方程组

工艺尺寸链解算程序输出的尺寸链极限尺寸方程组的系数矩阵 $[C]_{18 \times 18}$ 如图 8 所示.

```

0 0 0 0 0 0 1 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 -1 0 0 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 -1 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0
1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 -1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
-1 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
0 0 -1 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
0 0 -1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0
0 -1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1
0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0

```

图8 输出的尺寸链极限尺寸方程组的系数矩阵 $[C]_{18 \times 18}$

4 工序尺寸及公差计算

由于工序尺寸链方程组的特殊性(其系数为-1、0或1),在通用的线性代数方程组的算法程序中无法用列主元高斯消元法解线性方程组,故可用当今流行的数学软件——Matlab来计算各组成环的基本尺寸和极限尺寸.其算法很简单,只要将CAPP工序尺寸链解算程序中输出的系数矩阵和各加工余量及设计尺寸 $Z_1 \sim Z_9$ 的基本尺寸及极限尺寸拷贝到Matlab界面中,做两次矩阵除法运算,分别求出各工序尺寸的基本尺寸和其极限尺寸,然后做一次矩阵减法运算,就可以求出各工序尺寸的公差,从而大大提高了工作效率.

5 验算与调整

需要注意的是,在解算工序尺寸链的极限尺寸的

方程组时,可能由于各封闭环的极限尺寸大小(如毛坯余量)选取不当,导致输出的结果中,某组成环的最大极限尺寸小于该环的最小极限尺寸,即出现负公差的现象,这时可以按机制工艺的一般方法,适当减小其它组成环的公差,再重新计算,直至各组成环的公差与该工序加工所能达到的精度相适应为止.

6 结论和说明

1) 为便于说明和理解此种新的CAPP专家系统工艺尺寸链解算方法,文中选择只有3个设计尺寸的简单轴类零件为例加以说明.实际应用中,对于更为复杂的轴类零件如曲轴、凸轮轴等,其解算方法同样适用.

2) 应当指出的是,本方法求解方程组矩阵的大小,不是取决于零件设计尺寸的多少,而是取决于工件在加工时定位基准转换的次数,即需求解的工序尺寸的多少.当然,即便是求解具有较多设计尺寸的复杂轴类零件,也只需改动数据输入文件(其内容为图5中所要求输入的各项参数),而无需改动其它任何代码,运行该程序后,便分别输出尺寸链的基本尺寸和极限尺寸方程组的系数矩阵,并保存在数据输出文件中.用Matlab软件计算各组成环的基本尺寸和极限尺寸时,用到上述矩阵时,只进行数据拷贝,而无需手工输入.若用手工解算这些尺寸链方程组,不仅费时、繁琐,而且极易出错.因此,CAPP专家系统工艺尺寸链的解算方法的优越性便显得更为突出.

参考文献:

- [1] 顾崇銜. 机械制造工艺学[M]. 陕西: 陕西科学技术出版社, 1990.

A New Solution for Technology Dimension-chain in CAPP Expert System

LIU Jian-chun¹, TANG Xiao-hong²

(1. Jiangxi Modern Technical School, Nanchang 330029; 2. School of Mechatronic Eng., East China Jiaotong Univ., Nanchang 330013 China)

Abstract: An algorithm of technology dimension-chain in CAPP expert system is programmed with Visual Basic, and data-in and data-out is carried out by data file. Therefore the applicability and readability of the program are enhanced largely. Then the matrixes are manipulated with Matlab so that the process dimensions and tolerances including those of workblank are figured out at one time. In the same time, how to establish the diagram of process dimension and how to judge the label of the process dimension arrowhead's correctness in the diagram are introduced in this paper.

Key words: expert system; technology dimension-chain