

第 3 章

数控车床编程基础知识

数控车床是一种高效的自动化加工设备,它严格按照加工程序自动地对被加工工件进行加工。我们把从数控系统外部输入的直接用于加工的程序称为数控加工程序,简称为数控程序。编制数控程序是使用数控车床的一项重要技术工作。理想的数控程序不仅应该保证能加工出符合零件图样要求的合格零件,还应该使数控车床的功能得到合理的应用与充分的发挥,使数控车床能安全、可靠、高效地工作。

3.1 数控编程的内容与方法

在编制数控程序前,应首先了解数控程序编制的主要内容、工作步骤、每一步应遵循的工作原则等,最终才能获得满足要求的数控程序。

1. 数控编程的内容

数控车床能够自动加工出不同形状、不同尺寸及高精度的零件,是因为数控车床可以按事先编制好的加工程序,经其数控装置“接收”和“处理”,实现对零件自动加工的控制。用数控车床加工零件时,首先要做的工作就是编制加工程序。从分析零件图样到获得数控车床所需控制介质(加工程序单或数控带等)的全过程,称为程序编制,其主要内容和一般流程如图 3-1 所示。

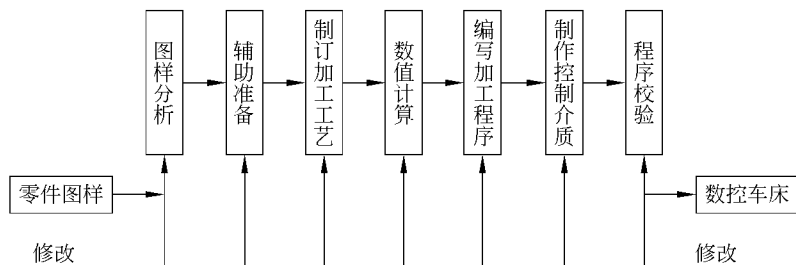


图 3-1 程序编制的主要内容和一般流程

(1) 图样分析

根据加工零件的图样和技术文件,对零件的轮廓形状、尺寸精度、形状精度、基准、表面粗糙度、毛坯种类、件数、材料及热处理等项目要求进行分析,并形成初步的加工方案。

(2) 辅助准备

根据图样分析确定机床坐标系、编程坐标系、刀具准备、对刀方法、对刀点位置及测定

机械间隙等。

(3) 制订加工工艺

拟定加工工艺方案,确定加工方法、加工线路与余量的分配、定位夹紧方式,并合理选用机床、刀具、切削用量等。

(4) 数值计算

在编制程序前,还需对加工轨迹的一些未知坐标值进行计算,作为程序输入的数据,主要包括数值换算、尺寸链计算、坐标计算和辅助计算等。对于复杂的加工曲线和曲面还需使用计算机辅助计算。

(5) 编写加工程序

根据确定的加工路线、刀具号、刀具形状、切削用量、辅助动作及数值计算的结果,按照数控车床规定使用的功能指令代码及程序段格式,逐段编写加工程序。此外,还应附上必要的加工示意图、刀具示意图、机床调整卡、工序卡等加工条件说明。

(6) 制作控制介质

加工程序完成以后,还必须将加工程序的内容记录在控制介质上,以便输入到数控装置中(如穿孔带、磁带及软盘等),还可采用手动方式将程序输入至数控装置。

(7) 程序校验

加工程序必须经过校验和试切削才能正式使用,通常可以通过数控车床的空运行来检查程序格式有无出错;或用模拟仿真软件来检查刀具加工轨迹的正误,根据加工模拟轮廓的形状,与图样对照检查。但是,这些方法仍无法检查出刀具偏置误差和编程计算不准而造成的零件误差大小、切削用量的选用是否合适、刀具断屑效果及工件表面质量是否达到要求等,所以必须采用首件试切的方法来进行实际效果的检查,以便对程序进行修正。

2. 数控编程的方法

数控加工程序的编制方法主要有两种,即手工编程和自动编程。

(1) 手工编程

手工编程指主要由人工来完成数控编程中各个阶段的工作。一般的,几何形状不太复杂的零件所需的加工程序不长,计算比较简单,用手工编程比较合适。

手工编程耗费时间较长,容易出现错误,无法胜任复杂形状零件的编程。据国外资料统计,当采用手工编程时,一段程序的编写时间与其在机床上运行加工的实际时间之比平均约为 30 : 1。数控机床不能开动的原因中,有 20%~30%是加工程序编制困难、编程时间较长。

(2) 自动编程

自动编程是指在编程过程中,除了分析零件图样和制订工艺方案由人工进行外,其余工作均由计算机辅助完成。

采用计算机自动编程时,数学处理、编写程序、检验程序等工作是由计算机自动完成的,由于计算机可自动绘制出刀具中心的运动轨迹,使编程人员可及时检查程序是否正确,需要时可及时修改,以获得正确的程序;又由于计算机自动编程代替程序编制人员完成了繁琐的数值计算,可提高编程效率几十倍乃至上百倍,因此自动编程解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题。自动编程的特点就在于编程工作效率高,可解决

复杂形状零件的编程难题。

根据输入方式的不同,可将自动编程分为图形数控自动编程、语言数控自动编程和语音数控自动编程等。图形数控自动编程是指将零件的图形信息直接输入计算机,通过自动编程软件的处理,得到数控加工程序。目前,图形数控自动编程是使用最为广泛的自动编程方式。语言数控自动编程指将加工零件的几何尺寸、工艺要求、切削参数及辅助信息等用数控语言编写成源程序后,输入到计算机中,再由计算机进一步处理得到零件加工程序。语音数控自动编程是采用语音识别器,将编程人员发出的加工指令声音转变为加工程序。

3.2 数控机床坐标系

在数控编程时,为了描述机床的运动,简化程序编制的方法及保证记录数据的互换性,数控机床的坐标系和运动方向均已标准化。

3.2.1 机床坐标系

1. 机床坐标系的确定

(1) 机床相对运动的规定

在机床上,我们始终认为工件静止,而刀具是运动的。这样,编程人员在不考虑机床上工件与刀具具体运动的情况下,就可以依据零件图样,确定机床的加工过程。

(2) 机床坐标系的规定

在数控机床上,机床的动作是由数控装置来控制的。为了确定数控机床上的成型运动和辅助运动,必须先确定机床上运动的位移和运动的方向,这就需要通过坐标系来实现,这个坐标系被称为机床坐标系。

标准机床坐标系中, X 、 Y 、 Z 坐标轴的相互关系可用右手笛卡尔直角坐标系确定。

① 伸出右手的大拇指、食指和中指,并互为 90° 。其中,大拇指代表 X 坐标,食指代表 Y 坐标,中指代表 Z 坐标。

② 大拇指的指向为 X 坐标的正方向,食指的指向为 Y 坐标的正方向,中指的指向为 Z 坐标的正方向。

③ 围绕 X 、 Y 、 Z 坐标旋转的旋转坐标分别用 A 、 B 、 C 表示。根据右手螺旋定则,大拇指的指向为 X 、 Y 、 Z 坐标中任意轴的正向,则其余四指的旋转方向即为旋转坐标 A 、 B 、 C 的正向,如图3-2所示。

(3) 运动方向的规定

增大刀具与工件距离的方向即为各坐标轴的正方向。如图3-3所示为数控车床上两个运动的正方向。

2. 坐标轴方向的确定

(1) Z 坐标

Z 坐标的运动方向是由传递切削动力的主轴所决定的,即平行于主轴轴线的坐标轴

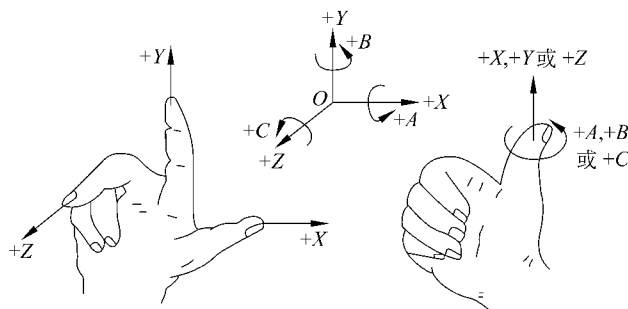


图 3-2 右手笛卡尔直角坐标系

为 Z 坐标轴。 Z 坐标的正向为刀具离开工件的方向。

如果机床上有几个主轴,或者机床无主轴,或者主轴能够摆动,则选一个垂直于工件装夹平面的主轴方向为 Z 坐标方向。

(2) X 坐标

X 坐标平行于工件的装夹平面,一般在水平面内。确定 X 轴的方向时,要考虑以下两种情况。

① 如果工件做旋转运动,则刀具离开工件的方向为 X 坐标的正方向。

② 如果刀具做旋转运动,则分为两种情况:当 Z 坐标水平时,观察者沿刀具主轴向工件看时, $+X$ 运动方向指向右方;当 Z 坐标垂直时,观察者面对刀具主轴向工件看时, $+X$ 运动方向指向右方。

(3) Y 坐标

在确定 X 、 Y 坐标的正方向后,可以根据 X 和 Z 坐标的方向,按照右手笛卡尔直角坐标系来确定 Y 坐标的方向。如图 3-4 所示为数控车床的坐标系。

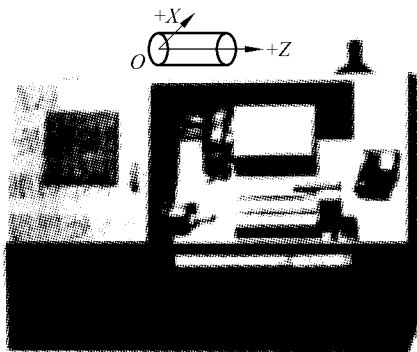


图 3-3 机床运动的方向

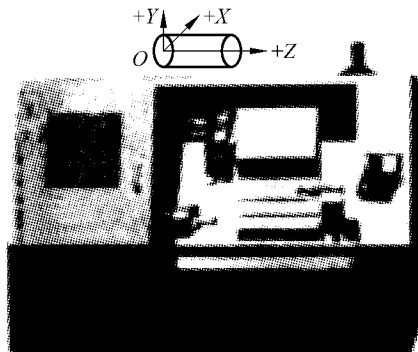


图 3-4 数控车床的坐标系

3. 附加坐标系

为了编程和加工的方便,有时还要设置附加坐标系。

对于直线运动,通常可以采用的附加坐标系有:第二组 U 、 V 、 W 坐标,第三组 P 、 Q 、 R 坐标。

4. 机床原点的设置

机床原点是指在机床上设置的一个固定点,即机床坐标系的原点。它在机床装配、调试时就已确定下来,是数控机床进行加工运动的基准参考点。

在数控车床上,机床原点一般取在卡盘端面与主轴中心线的交点 O_1 处,如图 3-5 所示。同时,通过设置参数的方法,也可将机床原点设定在 X 、 Z 坐标正方向的极限位置上(具体情况请参照机床说明书)。

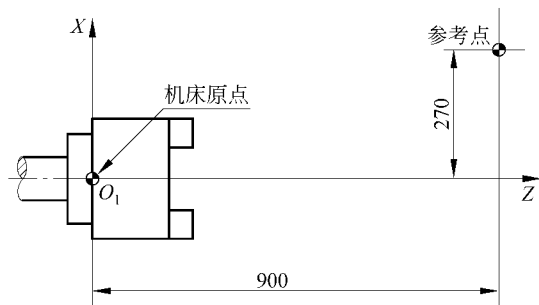


图 3-5 数控车床的参考点与机床原点

5. 机床参考点

机床参考点是用于对机床运动进行检测和控制的固定位置点。

机床参考点的位置是由机床制造厂家在每个进给轴上用限位开关精确调整好的,其坐标值已输入数控系统中。因此,参考点对机床原点的坐标是一个已知数。通常,数控车床上的机床参考点是离机床原点最远的极限点,如图 3-5 所示。

数控机床开机时,必须先确定机床原点,而确定机床原点的运动就是刀架返回参考点的运动,这样通过确认参考点,就确定了机床原点。只有机床参考点被确认后,刀具(或工作台)移动才有基准。

6. 各类数控车床的坐标系

ISO 对数控车床的坐标轴及其运动方向做了规定。常用数控车床的坐标轴及坐标方向如图 3-6 所示。

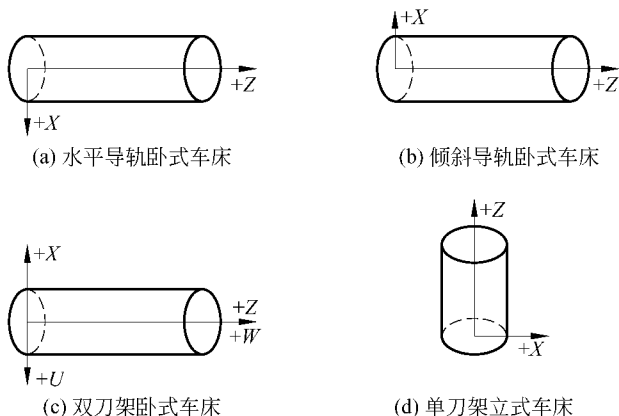


图 3-6 常用数控车床的坐标轴及坐标方向

7. 初态、模态

初态是指运行加工程序之前的系统编程状态;模态是指相应字段的值一经设置,以后一直有效,直至某程序段又对该字段重新设置。模态的另一意义是指设置之后,以后的程序段中若使用相同的功能,可以不必再输入该字段。

3.2.2 工件坐标系

数控机床坐标系是进行设计和加工的基准,但有时利用机床坐标系编制零件的加工程序并不方便。如图 3-7 所示的零件,如果以机床坐标系编程,则编程前必须计算出 A、B、C、D 和 E 点相对机床零点 O_1 的坐标,这样做较繁琐。如果选择工件上某一固定点为工件零点,如图中的 O_2 点,以工件零点为原点且平行于机床坐标轴 X、Y、Z 建立一个新坐标系,则称为工件坐标系。将图中的工件零点 O_2 相对机床零点 O_1 的坐标值输入数控系统,就可用工件坐标系按图样上标注的尺寸直接编程,给编程者带来了方便。数控系统根据已输入的工件零点 O_2 相对机床零点 O_1 的坐标值和编程的尺寸,便可自动计算出 A、B、C、D 和 E 各点相对机床零点的坐标值。这种处理方法称为工件坐标系的零点(原点)偏置(设置),工件零点相对机床零点的坐标值称为零点偏置值。

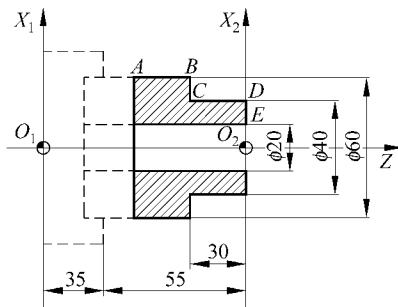


图 3-7 工件坐标系设定

工件坐标系的零点是由操作者或编程者自由选择的,其选择的原则如下。

- ① 应使工件的零点与工件的尺寸基准重合。
- ② 使工件图样中的尺寸容易换算成坐标值,尽量直接用图样尺寸作为坐标值。
- ③ 工件零点应选在容易找正、在加工过程中便于测量的位置。

根据上述的原则,数控车床的工件零点 O_2 通常选在工件轮廓右侧边缘或者左侧边缘的主轴轴线上。

3.3 编程中的数学处理

根据被加工零件的图样,按照已经确定的加工路线和允许的编程误差,计算数控系统所需要输入数据的过程,称为数学处理。这是编程前的主要准备工作之一,不仅是手工编程必不可少的工作步骤,而且即使采用计算机进行自动编程,也经常需要先对工件的轮廓图形进行数学预处理,才能对有关几何要素进行定义。

3.3.1 数学处理的内容

对图形的数学处理一般包括两个方面:一方面要根据零件图给出的形状、尺寸和公

差等直接通过数学方法(如三角、几何与解析几何法等)计算出编程时所需要的有关各点的坐标值,圆弧插补所需要的圆弧圆心、圆弧端点的坐标;另一方面,按照零件图给出的条件还不能直接计算出编程时所需要的所有坐标值,也不能按零件图给出的条件直接进行工件轮廓几何要素的定义来进行自动编程,那么就必须根据所采用的具体工艺方法、工艺装备等加工条件,对零件原图形及有关尺寸进行必要的数学处理或改动,才可以进行各点的坐标计算和编程工作。

1. 数值换算

(1) 选择原点

原点是指编制加工程序时所使用的编程原点。加工程序中的大部分是尺寸字,这些尺寸字中的数据是程序的主要内容。同一个零件、同样的加工,如果原点选得不同,尺寸字中的数据就不一样,所以编程之前首先要选定原点。从理论上说,原点选在任何位置都是可以的。但实际上,为了换算尽可能简便及尺寸较为直观(至少让部分点的指令值与零件图上的尺寸值相同),应尽可能把原点的位置选得合理些。

车削工件的编程原点 X 向应取在零件的回转中心,即车床主轴的轴心线上,所以原点的位置只能在 Z 向,且一般在工件的左端面或右端面。如果是左右对称的零件,则 Z 向原点应选在对称平面内,这样同一个程序可用于调头前后的两道加工工序。对于轮廓中有椭圆之类非圆曲线的零件, Z 向原点取在椭圆的对称中心较好。

(2) 尺寸换算

在很多情况下,因图样上的尺寸基准与编程所需要的尺寸基准不一致,故应首先将图样上的基准尺寸换算为编程坐标系中的尺寸,再进行下一步的数学处理工作。

① 直接换算。直接换算是指直接通过图样上的标注尺寸,即可获得编程尺寸的一种方法。进行直接换算时,可对图样上给定的基本尺寸或极限尺寸的中值经过简单的加、减运算后完成。

例如,在图 3-8(b)中,除尺寸 42.1 外,其余均属直接按图 3-8(a)所示标注尺寸经换算后得到的编程尺寸。其中, $\phi 59.94$ 、 $\phi 20$ 及 $\phi 140.08$ 三个尺寸为分别取两极限尺寸平均值后得到的编程尺寸。

在取极限尺寸中值时,如果遇到有第三位小数(或更多位小数),则基准孔按照“四舍五入”的方法处理,基准轴则将第三位进上一位。例如:

- 当孔尺寸为 $\phi 20^{+0.052}_0$ 时,其中值尺寸值取 $\phi 20.03$ 。
- 当轴尺寸为 $\phi 16_{-0.07}^0$ 时,其中值尺寸取 $\phi 15.97$ 。
- 当孔尺寸为 $\phi 16^{+0.07}_0$ 时,其中值尺寸取 $\phi 16.04$ 。

② 间接换算。间接换算是指需要通过平面几何、三角函数等计算方法进行必要换算后,才能得到其编程尺寸的一种方法。

用间接换算方法所换算出来的尺寸是直接编程时所需的基点坐标尺寸,也可以是为计算某些基点坐标值所需要的中间尺寸。图 3-8(b)中的尺寸 42.1 就是间接换算后得到的编程尺寸。

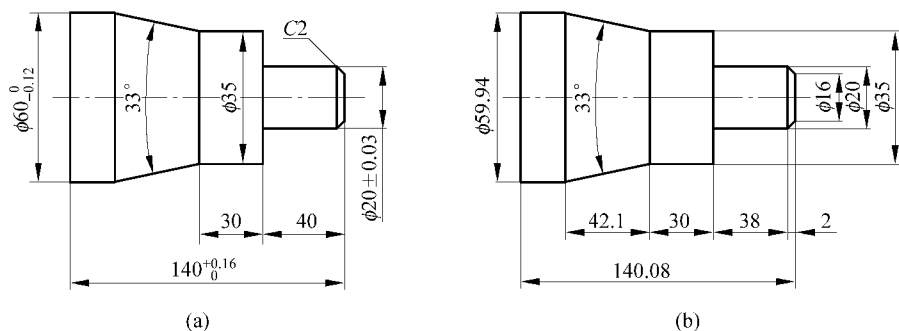


图 3-8 标注尺寸换算

2. 基点与节点

(1) 基点

一个零件的轮廓曲线可能由许多不同的几何要素所组成,如直线、圆弧、二次曲线等。各几何要素之间的连接点称为基点,如两条直线的交点、直线与圆弧的交点或切点、圆弧与二次曲线的交点或切点等。基点坐标是编程中需要的重要数据,可以直接作为其运动轨迹的起点或终点,如图 3-9(a)所示。

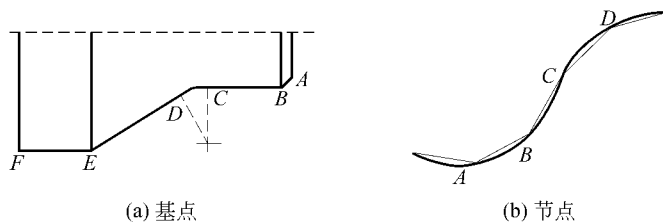


图 3-9 零件轮廓上的基点和节点

(2) 节点

当被加工零件的轮廓形状与机床的插补功能不一致时,如在只有直线和圆弧插补功能的数控机床上加工椭圆、双曲线、抛物线、阿基米得螺旋线或用一系列坐标点表示的列表曲线时,就要用直线或圆弧去逼近被加工曲线。这时,逼近线段与被加工曲线的交点就称为节点。如图 3-9(b)所示的曲线,当用直线逼近时,其交点 A、B、C、D 等即为节点。

在编程时,要计算出节点的坐标,并按节点划分程序段。节点数目的多少,由被加工曲线的特性方程(形状)、逼近线段的形状和允许的插补误差来决定。

显然,当选用的数控机床系统具有相应几何曲线的插补功能时,编程中的数值计算是最简单的,只需求出基点坐标,而后按基点划分程序段就可以了。但一般的数控机床不具备二次曲线与列表曲线的插补功能,因此就要用逼近法加工,这时就要求出节点的数目及其坐标值。为了编程方便,一般都采用直线段去逼近已知的曲线,这种方法称为直线逼近或线性插补。常用的逼近方法主要有切线逼近法、弦线逼近法、割线逼近法和圆弧逼近法等。

3.3.2 尺寸链计算

在数控加工中,除了要准确地获得编程尺寸外,还要掌握、控制某些重要尺寸的允许变动量,这需要通过尺寸链计算才能得到,故尺寸链计算是数学处理中的一个重要内容。

1. 尺寸链的基本概念

在机器装配或零件加工过程中,由相互连接的尺寸所形成的封闭尺寸组称为尺寸链。尺寸链按其功能分为设计尺寸链和工艺尺寸链两种。

(1) 设计尺寸链

组成尺寸全部为设计尺寸而形成的尺寸链即为设计尺寸链。它又分为两种,一种是装配尺寸链,即全部组成尺寸为不同零件的设计尺寸所形成的尺寸链;另一种是零件尺寸链,即全部组成尺寸为同一零件的设计尺寸所形成的尺寸链。

(2) 工艺尺寸链

组成尺寸全部为同一零件的工艺尺寸所形成的尺寸链即为工艺尺寸链。所谓工艺尺寸,是指根据加工要求而形成的尺寸,如工序尺寸、定位尺寸等。

2. 尺寸链简图

如图 3-10(a)所示,设计图样上标注的设计尺寸为 A_1 、 A_0 ,绘制的工艺尺寸链简图如图 3-10(b)所示。钻孔时若以左侧面为定位基准,则 A_1 及 A_2 为钻孔时的工艺尺寸(或工序尺寸), A_0 则变为加工过程中最后形成的尺寸。

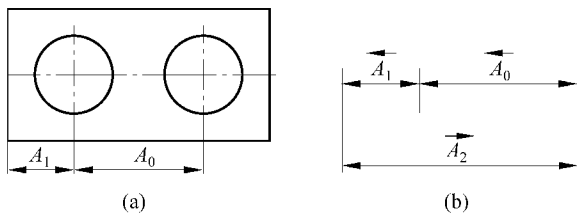


图 3-10 工艺尺寸链简图

3. 尺寸链的环

列入尺寸链中的每一个尺寸都称为尺寸链中的环。由长度尺寸表示的环则称为长度环,并用大写斜体字母 A 、 B 、 C ...表示。每个尺寸链中至少应有三个环。

(1) 封闭环

在零件加工或机器装配过程中,最后自然形成(间接获得)的环称为封闭环。封闭环以下标“0”表示,如图 3-10(b)中的 A_0 。一个尺寸链中只能有一个封闭环。

(2) 组成环

尺寸链中除封闭环以外的其余各环均称为组成环。同一尺寸链中的组成环用同一字母加下标 1、2、3...表示,如图 3-10(b)中的 A_1 、 A_2 。

(3) 增环

在其他组成环(尺寸)不变的条件下,当某个组成环增大时,封闭环亦随之增大,则该组成环称为增环。增环用字母上加符号“ $\rightarrow$ ”表示。

(4) 减环

在其他组成环不变的条件下,当某个组成环减小时,封闭环却随之减小,则该组成环称为减环。减环用字母上加符号“←”表示。

在尺寸链简图上,任意假设一个旋转方向,即由尺寸链中任何一环为基准出发,绕该链轮廓转一周,回到出发基准。按该旋转方向(顺、逆时针)给每个环标出箭头,如图 3-10(b)所示,凡是其箭头方向与封闭环相反的为减环,箭头方向与封闭环相同的则为增环。

4. 解尺寸链

在手工编程中,为了使图样上的给定尺寸符合工艺要求和编程的需要,常常要计算封闭环的各有关尺寸,或根据已知的封闭环去计算所需的某个组成环,这些计算工作称为解尺寸链。下面介绍采用完全互换法中的极值法求解尺寸链的过程。

(1) 封闭环的基本尺寸

封闭环的基本尺寸等于所有增环的基本尺寸之和减去所有减环的基本尺寸之和,其计算公式为

$$L_0 = \sum \vec{L}_n - \sum \tilde{L}_n \quad (3-1)$$

式中, L_0 ——封闭环的基本尺寸;

L_n —— n 个组成环的基本尺寸。

(2) 封闭环的最大极限尺寸

封闭环的最大极限尺寸等于所有增环的最大极限尺寸之和减去所有减环的最小极限尺寸之和,其计算公式为

$$L_{0\max} = \sum \vec{L}_{n\max} - \sum \tilde{L}_{n\min} \quad (3-2)$$

式中, $L_{0\max}$ ——封闭环的最大极限尺寸;

$L_{n\max}$ —— n 个组成环的最大极限尺寸;

$L_{n\min}$ —— n 个组成环的最小极限尺寸。

(3) 封闭环的最小极限尺寸

封闭环的最小极限尺寸等于所有增环的最小极限尺寸之和减去所有减环的最大极限尺寸之和,其计算公式为

$$L_{0\min} = \sum \vec{L}_{n\min} - \sum \tilde{L}_{n\max} \quad (3-3)$$

式中, $L_{0\min}$ ——封闭环的最小极限尺寸。

如因验算或工艺要求需要计算出封闭环的极限偏差或公差,则可按有关尺寸公差的知识解决。

3.3.3 坐标值的常用计算方法

1. 作图计算法

(1) 作图计算法的实质

作图计算法是以准确绘图为主,并辅以简单的加、减运算的一种处理方法。因其实质