

常见数控系统宏程序编程方法、技巧与实例

SIEMENS参数编程 方法、技巧与实例

孟生才 著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书以 SINUMERIK 802D 数控系统为例,介绍了宏程序的编程方法和技巧,同时列举了大量的车削、铣削宏程序实例,基本上包括了宏程序的常用使用场合,且所有宏程序都有清晰的数学处理和注释说明。

本书是一本实用性很强的数控技术用书,可供数控技术人员参考,也可供各类职业技术学院、技工学校的数控技术专业及模具等相关专业师生使用,同时可作为各类数控技能竞赛参赛人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

SIEMENS 参数编程方法、技巧与实例/孟生才著. —北京:机械工业出版社, 2012. 3

(常见数控系统宏程序编程方法、技巧与实例)

ISBN 978-7-111-37233-2

I. ①S… II. ①孟… III. ①数控机床-程序设计 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 012434 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍 王治东

版式设计:石 冉 责任校对:姜 婷

封面设计:路恩中 责任印制:李 妍

中国农业出版社印刷厂印刷

2012 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·16 印张·309 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-37233-2

定价:39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

策划编辑 (010) 88379733

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着数控机床的普及，越来越多的企业采用数控设备进行零件的加工。对于具有非圆曲线、列表曲线及曲面类的零件，用普通的编程方法编制程序存在一定的难度，采用 CAD/CAM 软件虽然能够自动生成加工程序，但程序段过长，且加工效率低。而采用参数编程可以体现极大的优势，且编制出来的程序短小、精干，加工效率很高，尤其是参数编程在异型螺纹车削加工中的应用更胜一筹，是自动编程无法比拟的。目前，参数编程在国内许多企业都有着广泛的应用。所以，参数编程在数控编程中占有非常重要的地位，是手工编程不可或缺的，是 CAD/CAM 软件无法取代的。

本书以 SINUMERIK 802D 系统为例，详细介绍了其参数编程指令和参数使用思想。本书通过列举大量的加工实例，分别讲述数控车床、数控铣床参数编程的编制方法及技巧，且介绍了每个程序的数学处理方法，了解参数编程的本质，还对每一个程序都做了详细的注释说明。使用者可以清楚地学习参数编程的本质思想，从而对自己的编程有所启发。

本书是一本实用性很强的数控技术用书，可供数控技术人员参考，也可供各类职业技术学院、技工学校的数控技术专业及模具等相关专业师生使用，同时可作为各类数控技能竞赛参赛人员的参考书。

本书由孟生才著。由于时间仓促，书中难免存在不足和错误之处，恳请广大读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第 1 章 SIEMENS 系统参数编程

概述 1

1.1 参数编程的特点和应用范围 1

1.1.1 参数编程的特点 1

1.1.2 参数编程的应用范围 2

1.2 R 参数的应用和运算 2

1.2.1 R 参数的应用及范围 2

1.2.2 R 参数的赋值和运算 3

1.3 R 参数跳转 5

1.4 等间距直线逼近法 7

1.5 等间距直线逼近法误差分析 8

第 2 章 平面轮廓铣削编程 10

2.1 正多边形加工 10

2.1.1 正五边形加工（以边数为自变量） 10

2.1.2 正五边形极坐标加工（以圆心角度为自变量） 12

2.1.3 正五边形外轮廓顶点圆角过渡 13

2.1.4 长方形外轮廓加工 16

2.1.5 长方形轮廓分层加工 18

2.1.6 长方形外轮廓四周圆角过渡加工 20

2.2 圆形加工 22

2.2.1 圆形加工（以角度为自变量） 23

2.2.2 圆形加工（以 X 或 Y 为自变量） 24

2.2.3 圆形内孔去除余量加工 26

2.3 椭圆加工 27

2.3.1 椭圆的基础知识 27

2.3.2 椭圆外轮廓加工 29

2.3.3 椭圆内轮廓加工 31

2.3.4 内椭圆去除余量 36

2.4 双曲线加工 36

2.4.1 双曲线加工（以 X 为自变量） 37

2.4.2 双曲线加工（以 Y 为自变量） 39

2.4.3 双曲线加工（以离心角为自变量） 40

2.5 抛物线加工 42

2.6 函数曲线加工 45

2.6.1 正弦曲线加工 45

2.6.2 余弦曲线加工 48

2.6.3 正切曲线加工 50

2.7 等速曲线加工 52

2.8 牙嵌式离合器齿形加工 56

第 3 章 平面加工 58

3.1 平行于坐标面的平面加工 58

3.1.1 矩形外轮廓上表面往复加工 58

3.1.2 矩形外轮廓上表面方形轨迹加工 59

3.1.3 矩形外轮廓上表面圆形轨迹加工 61

3.1.4 矩形内腔之字形轨迹加工 63

3.1.5 矩形内腔方形轨迹加工 65

3.2 斜面加工 67

3.2.1 平底刀单向加工斜面 67

3.2.2 平底刀双向加工斜面 70

3.2.3 大小端尺寸不同斜面的加工 71

第4章 简单立体轮廓加工	73	4.3.1 ZX 面外圆柱面加工	110
4.1 圆锥体加工	73	4.3.2 ZX 面内凹椭圆面加工	112
4.1.1 外圆锥体自下而上加工 (平底刀)	73	4.4 YZ 面圆柱面、圆锥面及凸椭圆面 加工	113
4.1.2 外圆锥体自上而下加工 (平底刀)	77	4.4.1 YZ 面圆柱面加工	113
4.1.3 外圆锥体自下而上加工 (球头刀)	78	4.4.2 YZ 面圆锥面加工	115
4.1.4 外圆锥体自上而下加工 (球头刀)	80	4.4.3 YZ 面凸椭圆面加工	117
4.1.5 外圆锥体自下而上加工 (牛鼻刀)	82	4.5 棱台加工	119
4.1.6 外圆锥体自上而下加工 (牛鼻刀)	83	4.5.1 上方下方四棱台加工(分层 法)	119
4.1.7 内圆锥体自下而上加工 (平底刀)	86	4.5.2 五棱台加工(旋转法)	121
4.1.8 内圆锥体自上而下加工 (平底刀)	87	4.5.3 不等边等角内棱台分层 切削	124
4.1.9 内圆锥体自下而上加工 (球头刀)	89	4.6 圆方连接零件加工	126
4.1.10 内外圆锥去除余量加工	91	4.6.1 上方下圆零件内轮廓 加工	126
4.2 半球体加工	97	4.6.2 上圆下方零件外轮廓 加工	129
4.2.1 凸半球球体自上而下等高法加 工(平底刀)	97	4.7 上圆下椭内曲面加工	131
4.2.2 凸半球球体自下而上等角度法 加工(球头刀)	99	4.8 上下椭圆形内腔加工	134
4.2.3 凸半球球体自下而上等角度法 加工(牛鼻刀)	100	4.9 圆柱端面上正弦曲面加工	136
4.2.4 凹半球球体自上而下等高法加 工(平底立铣刀)	102	4.10 倒角加工	138
4.2.5 凹半球球体自上而下等角度法 加工(球头刀)	103	4.10.1 圆柱倒圆角(以坐标轴为自变 量)	138
4.2.6 凸半球球体粗加工	105	4.10.2 圆柱倒圆角(以角度为自变 量)	140
4.2.7 凹半球球体粗加工	106	4.10.3 长方体倒直角	141
4.2.8 凸半球球体分层法 加工	108	4.10.4 正六边形倒圆角	143
4.3 ZX 面外圆柱面、内凹椭圆面 加工	110	4.10.5 椭圆轮廓倒圆角	145
		4.10.6 正六边形变半径倒角	147
		4.10.7 复杂外轮廓倒角	150
		第5章 螺纹铣削加工	155
		5.1 螺纹铣削的特点及铣削刀具	155
		5.2 单刃单齿内螺纹加工	156
		5.3 右旋外锥螺纹加工	160
		5.4 内锥螺纹加工(等分圆 周法)	162
		第6章 孔系加工	165

6.1 直排孔加工	165	7.3 抛物线轮廓加工	197
6.1.1 直排孔参数编程加工	165	7.3.1 轴线平行于 X 轴的抛物线 加工	197
6.1.2 HOLSE1 钻孔循环加工	167	7.3.2 轴线平行于 Z 轴的抛物线 加工	199
6.2 带角度排孔加工	169	7.3.3 轴线平行于 Z 轴且 X 向偏移 的抛物线加工	200
6.2.1 极坐标知识	169	7.3.4 内孔抛物线加工	203
6.2.2 极坐标加工带角度排孔	169	7.4 正弦曲线轮廓加工	205
6.3 圆周等分孔加工	171	7.5 斜曲线加工	208
6.3.1 参数编程加工	171	7.5.1 斜抛物线加工	208
6.3.2 HOLES2 钻孔循环加工	172	7.5.2 斜椭圆加工	210
6.4 平行四边形孔系钻孔	174	第 8 章 螺纹车削	218
第 7 章 数控车削非圆曲线	177	8.1 梯形螺纹车削	218
7.1 椭圆车削加工	177	8.1.1 梯形螺纹车削知识	218
7.1.1 椭圆外轮廓加工 (以角度为自 变量)	177	8.1.2 斜进左右切削法	220
7.1.2 椭圆外轮廓加工 (以 X 为自变 量)	179	8.1.3 直进左中右切削法	222
7.1.3 中心不在轴线上的椭圆加工 (以 Z 为自变量)	181	8.1.4 大螺距直进左右分层切削 法	224
7.1.4 中心在轴线上的椭圆内轮廓 加工	184	8.2 锯齿异形螺纹车削	227
7.1.5 椭圆内轮廓加工 (轴线平行于 坐标轴)	187	8.3 圆形螺纹车削	229
7.1.6 椭圆内轮廓加工 (以角度为自 变量)	189	8.4 变螺距螺纹车削	232
7.2 双曲线轮廓加工	191	8.5 变螺距锥螺纹车削	235
7.2.1 双曲线轮廓加工 (以坐标轴为 自变量)	191	8.6 椭圆面普通管螺纹车削	238
7.2.2 双曲线轮廓加工 (以角度为自变 量)	194	8.7 余弦螺纹车削	240
		8.8 圆柱上的椭圆螺纹车削	243
		8.9 椭圆轮廓上的圆形螺纹车削	245
		参考文献	248

第 1 章 SIEMENS 系统参数编程概述

各种数控系统都有其固定的代码，目前使用最多的是 ISO 代码和 EIA 代码，每种代码都有其固定的功能。一般在学习一种数控代码时，只要知道其功能，再和自己熟悉的数控代码相比较，就可以很快学会用其进行编程。但各厂家开发的功能往往并不能完全满足生产的需要，于是绝大多数系统厂家都提供了宏程序功能，也就是变量编程。用户可以使用变量编程开发适合自己的数控程序。在本书中，我们把 SIEMENS 系统中的 R 参数编程称为参数编程或变量编程，也称为宏程序编程。

1.1 参数编程的特点和应用范围

1.1.1 参数编程的特点

1. 高效

数控加工时，经常遇到多品种、有规则几何形状的相似工件，编程时将相似零件的共同特点找出来，编成一个宏程序。加工时，根据不同的条件修改变量的赋值，就可以进行调试和加工，从而大大节省了编程时间。而如果改用 CAM 软件自动编程，对此都需要重新画图、重设参数、后置处理，再向机床传输程序后才可以加工。CAM 生成的程序成百上千行，加工时间长，而宏程序一般不会超过 60 行，机床加工效率极高。

2. 模块化

参数编程具有模块化的思想，编程人员只需要根据零件的几何信息和不同的数学模型，即可完成相应的模块化加工程序设计。应用时，只需把零件信息、加工参数等输入到相应模块的赋值语句中，能使编程人员从繁琐的、大量重复性的编程工作中解脱出来。

3. 应用范围广

参数编程基本上包含了所有的加工信息，如加工件的尺寸大小、所使用刀具的长度补偿、刀具半径补偿、进给量、主轴转速、切削深度等，通过对这些参数的赋值，可大大提高加工效率。

4. 加工质量高

一般用自动编程软件生成的程序容量比较大，特别是曲面零件，此时就需要采用在线加工。在线加工时，当计算精度较高、进给速度较大（如 F1000 以上）

时, 程序传输速率往往跟不上机床的节拍, 在加工中可以看到机床的进给运动有明显的断续、迟滞现象, 造成零件表面有振痕。而采用参数编程时, 程序都短小、精干, 不需要在线加工, 可以使用较高的进给速度 (如 F2000 以上), 机床也不会出现断续现象, 表面加工质量好。

1.1.2 参数编程的应用范围

1. 加工工艺的优化

对于机械零件的生产, 提高产量和生产效率是首要问题。而加工零件时, 需要进行加工工艺的优化, 它需要编程者不断地修改程序中的参数, 如刀具补偿值、步距、层降等, 得到最优化的加工程序。宏程序就能实现方便修改和调整参数, 而不需要改动程序本身, 使程序得到最大优化。

2. 公式曲面的加工

应该说, 凡是能够写出公式的曲面, 都可以用参数编程。像常见的抛物线、椭圆、双曲线、摆线、渐开线等, 都可以用三角函数式、解析方程式和参数方程表示, 也就能用参数编程。对于某些零件表面无方程描述、只有离散型值点描述的, 这时要用插值的方法将型值点加密, 求出其拟合曲线方程, 再进行直线或圆弧逼近。因此, 宏程序在曲面加工中能发挥强大的作用。

3. 车削、铣削中的螺纹加工

对于车削、铣削中的特殊螺纹, 如变螺距螺纹加工、圆螺纹加工、椭圆面上圆螺纹加工等, 采用 CAM 软件无法自动生成程序, 而参数编程能通过简短的编程实现这一功能。

1.2 R 参数的应用和运算

1.2.1 R 参数的应用及范围

R 参数代表一个可变数值, 通过变量赋值可以使程序功能强大。

1. R 参数的应用

R 参数的应用主要体现在以下方面:

(1) 在程序中使用 R 参数功能求特定点的坐标数值

对于某些必须通过计算求取的点坐标, 一般情况是通过手工计算, 麻烦又易出错。而通过数控系统提供的数学计算功能和计算参数, 在程序中通过表达式直接求得这些点的坐标。

(2) 编制非圆曲线加工程序

非圆曲线和曲面的编程采用参数编程很方便。

(3) 相同特征结构编程

对相同特征结构零件采用变量编程，可避免编程的重复。

(4) 定制宏指令

使用数控系统强大的宏功能定制出需要的程序和功能指令。

2. R 参数的范围

计算参数用字母 R 加数字来表示。目前，SINUMERIK 802D 系统提供给用户使用的参数范围从 R0 到 R299，其中有 250 个计算参数。

1) 传输参数：R0 ~ R49，用于将参数分配给固定循环和程序。

2) 局部参数：R50 ~ R99，用于在循环和程序内计算。对于嵌套的子程序，可以使用相同的局部参数。

3) 整体参数：R100 ~ R199，用于零件程序和子程序可存取的数据存储。其中，刀具系统将 R100 ~ R109 留用，测量系统将 R110 ~ R199 留用。

4) 内部函数用参数：R200 ~ R219，留作内部分配（循环转换程序）；R220 ~ R239，WS800 编译程序；R240 ~ R299，留作内部分配；R300 ~ R499，堆栈指针。

5) 附加参数：R500 ~ R599，留给用户使用。

6) 中央参数：R900 ~ R999，留给用户使用。其中，用户可以自由使用的参数地址号为 R0 ~ R99；另外还有 R100 ~ R249，常用于系统定义的固定循环传递参数，只有在循环不使用时，用户才可以使用。

1.2.2 R 参数的赋值和运算

1.2.2.1 赋值

1. 赋值范围

算术参数赋值范围为 $\pm(0.00000001 \sim 99999999)$ ，用指数表示法可以在更大的数值范围 $\pm(10^{-300} \sim 10^{+300})$ 赋值。指数值写在“EX”符号之后，EX 范围为 $-300 \sim +300$ 。例如：R6 = -0.1EX - 4 表示 R6 = -0.00001；R7 = 1.8EX5 表示 R7 = 180000。

2. 直接赋值

参数 R 可以在程序运行时由控制器计算或设定所需要的数值，也可以通过操作面板设定参数数值。如果参数已经赋值，也可以在程序中被重新赋值。整数的小数点可以省略，正号也可以省略，例如：R1 = 4.5，R3 = 3，R5 = -5.1。

3. 多个参数同时赋值

一个程序段中可以有多多个赋值同时进行。例如：N10 R1 = 12 R2 = 34
R3 = 3 * 12。

4. 表达式赋值

通过表达式可以简化计算，充分发挥参数的功能。例如： $R4 = R2 - (R1 + R5)$ 。

5. 给其他地址赋值

可以用数值、表达式、计算参数对一些地址赋值。通过给其他的 NC 地址分配计算参数或参数表达式，可以增加数控程序的通用性，但对地址 N、G、L 例外。赋值时，在地址符后写入字符“=”。赋值语句也可以带负号赋值，给坐标轴地址赋值时，要求有一独立的程序段。例如：

G1 X = R2 ; X 轴赋计算参数

G01 X = R10 Z = - R11 F = 100 - R12 ; X 轴、Z 轴和 F 赋计算参数

当 $R10 = 100$ 、 $R11 = 50$ 、 $R12 = 20$ 时，上式即表示为：G01 X100 Z - 50 F80。

1.2.2.2 算术和逻辑运算

1. 常用的运算形式

在参数计算时，遵循一般的数学运算规则：圆括号内的运算优先进行，函数运算优先于乘法和除法运算，乘除运算优先于加法和减法运算。常用的运算形式如表 1-1 所示。

表 1-1 常用的运算形式

计算符号	含 义	编 程 示 例	说 明
+	加法	$R1 = 20 + 1$	R1 等于 20 与 1 之和 ($R1 = 21$)
-	减法	$R2 = R3 - R4$	R2 等于 R3 与 R4 之差
*	乘法	$R5 = R6 * R7$	R5 等于 R6 与 R7 之积
/	除法	$R8 = 9/3$	R8 等于 9 与 3 之商 ($R8 = 3$)
SIN	正弦	$R9 = \text{SIN} (30)$	R9 等于 30 的正弦 ($R9 = 0.5$)
COS	余弦	$R10 = \text{COS} (0)$	R10 等于 0 的余弦 ($R10 = 1$)
TAN	正切	$R11 = \text{TAN} (45)$	R11 等于 45 的正切 ($R11 = 1$)
ASIN	反正弦	$R12 = \text{ASIN} (0.5)$	R12 等于 0.5 的反正弦 ($R12 = 30$)
ACOS	反余弦	$R13 = \text{ACOS} (0)$	R13 等于 0 的反余弦 ($R13 = 1$)
ATAN2	反正切	$R14 = \text{ATAN2} (1)$	R14 等于 1 的反正切 ($R14 = 45$)
POT	平方	$R15 = \text{POT} (2)$	R15 等于 2 的平方 ($R15 = 4$)
SQRT	平方根	$R16 = \text{SQRT} (4)$	R16 等于 4 的平方根 ($R16 = 2$)
ABS	绝对值	$R17 = \text{ABS} (-5)$	R17 等于 -5 的绝对值 ($R17 = 5$)
TRUNC	取整	$R18 = \text{TRUNC} (3.66)$	$R18 = 3$ ，小数点后舍去
ROUND	圆整	$R19 = \text{ROUND} (3.66)$	$R19 = 4$ ，四舍五入

注：1. 以上指令可以用数值表示，也可以用参数表示。

2. 用 () 可以嵌套改变运算顺序。

3. 角度计算单位为度 (°)。

2. R 参数运算示例

$\begin{cases} \text{N1 R1} = 5 \\ \text{N2 R1} = \text{R1} + 1 \end{cases}$	R1 初始值为 5，经计算后 R1 重新赋值 R1 = 6
$\begin{cases} \text{N1 R1} = 4 \\ \text{N2 R2} = 3 \\ \text{N3 R2} = \text{SQRT} (\text{R1} * \text{R1} + \text{R2} * \text{R2}) \end{cases}$	初始值 R1 = 4、R2 = 3，经计 算后 R2 重新赋值 R2 = 5
$\text{R1} = 3 + \text{SIN}(30) * 2 - ((6 - 2) / 2)$	；经计算后 R1 = 2

3. 条件表达式

条件表达式如表 1-2 所示。

表 1-2 条件表达式

条 件	示 例	意 义
=	IF R1 = R2 GOTOB MS1	等于
< >	IF R1 < > R2 GOTOB MS1	不等于
>	IF R1 > R2 GOTOB MS1	大于
> =	IF R1 > = R2 GOTOB MS1	大于等于
<	IF R1 < R2 GOTOB MS1	小于
< =	IF R1 < = R2 GOTOB MS1	小于等于

1.3 R 参数跳转

数控程序运行时，按导入的顺序依次执行。采用程序跳转功能可以实现程序分支运行，有时会使程序得到明显简化。

1. 跳转标记符

标记符可以自由选取，但必须由 2~8 个字母或数字组成，其中，前两个符号必须是字母或下划线。跳转目标程序段中，标记符后面必须为冒号 (:)，标记符应位于程序段段首，如果程序段有行号，则标记符紧跟在行号后。在一个程序段中，标记符不能有其他意思，例如：

N8 MAS1: G1 X80 ； MAS1 为标记符
TR891: G0 X90 Y30 ； TR891 为标记符

2. 跳转指令

程序跳转指令有两种，一种是无条件跳转，另一种是有条件跳转。

(1) 无条件跳转

跳转目标只能是有标记符的程序段，且此程序段必须位于该程序内；无条件跳转指令必须占用一个独立的程序段。

1) GOTOF Label ; 向前跳转，无条件向程序下方（程序结束的方向）跳转到标记符 Label 处执行程序。

2) GOTOB Label ; 向后跳转，无条件向程序上方（程序开始的方向）跳转到标记符 Label 处执行程序。

Label 表示所选用的标记符。

例如：

...

GOTOF MS1 ; 向前跳转到 MS1 标记符所在程序段
MS2: GO X50 Z50

...

MS1: GO X100 Z100
GOTOB MS2 ; 向后跳转到 MS2 标记符所在程序段

...

(2) 有条件跳转

如果满足条件则进行跳转，不满足就跳出。跳转目标只能是有标记符的程序段，且该程序段必须位于该程序内。有条件跳转也要求是一个独立的程序段，且在一个程序中可以出现多个条件跳转指令。

1) 有条件跳转格式。

① IF 条件 GOTOF Label ; 如果条件满足，则向前跳转到 Label 标记符所在程序段，如果条件不满足，则不跳转。

② IF 条件 GOTOB Label ; 如果条件满足，则向后跳转到 Label 标记符所在程序段，如果条件不满足，则不跳转。

可用比较运算符表示跳转条件。

2) 跳转示例。

① N10 IF R1 < > 0 GOTOF MS1; 如果 R1 不等于零时，向前跳转到 MS1 所在程序段。

② N50 IF R1 > 5 GOTOF MS2; 如果 R1 大于 5 时，向前跳转到 MS2 所在程序段。

③ N100 IF R1 = R2 - 1 GOTOB MS3; 如果 R1 等于 R2 减 1 时，向后跳转到 MS3 所在程序段。

④ N1000 IF R1 = 2 GOTOF MS4 IF R2 > 5 GOTOF MS5; 当程序段内有多个条件跳转时，则第一个条件实现后就进行跳转。

注意：如果跳转标记符后面的冒号漏写，则程序报警不执行。

1.4 等间距直线逼近法

数控系统对非圆曲线常采用逼近的方法实现，常见的非圆曲线的离散逼近方法有等间距直线逼近法、等弦长直线逼近法、等误差直线逼近法、圆弧逼近法等。其中，等误差直线逼近法逼近误差相等、程序段数少、加工质量最好，但计算比较麻烦。本节以等间距直线逼近法为例介绍逼近原理。

等间距直线逼近法的特点是：使曲线的某一坐标增量相等，然后根据曲线表达式求出另一坐标值，即可得到节点坐标。在直角坐标系中，可使相邻节点间的 X 坐标增量或 Y 坐标增量相等；在极坐标中，使相邻节点间的转角坐标增量或径向坐标增量相等。等间距直线逼近法的计算方法如图 1-1 所示。

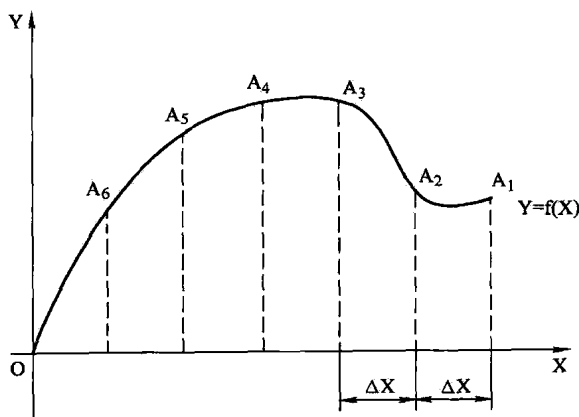


图 1-1 等间距直线逼近法的计算方法

由起点 A_1 开始，使 X 坐标的增量相等，将坐标值 X_1 代入轮廓曲线方程 $Y = f(X)$ ，即可求出 A_1 点的 Y 坐标值 Y_1 ， (X_1, Y_1) 即为逼近线段点的坐标。增加一个坐标增量 ΔX ，得到 A_2 点的 X 坐标值 $(X_1 - \Delta X)$ ，将 $(X_1 - \Delta X)$ 代入曲线方程求出 Y_2 。这样，每次增加一个坐标增量 ΔX ，就能得到相应的 Y 值，如此反复，则可求出一系列节点坐标值，将这些点用直线或圆弧连接起来，就能逼近曲线了。这种方法的关键是确定间距值，该值应保证曲线 $Y = f(X)$ 相邻两节点间的法向距离小于允许的程序编制误差，允许的程序编制误差一般为零件公差 $1/10 \sim 1/5$ 。

该方法计算简单，但用该方法取插值点时，会导致曲线斜率大的地方取点较少，编程误差较大；曲线斜率小的地方取点较多，编程误差较小。

1.5 等间距直线逼近法误差分析

等间距直线逼近法的间距到底选多少合适？一般根据零件加工精度凭经验确定，但容易引起加工结果超差。采用计算方法可精确确定间距的大小。本例通过椭圆轮廓直线逼近，选用离心角作为自变量，计算在允许误差一定的情况下的最大离心角。等间距法直线逼近椭圆的计算参数如图 1-2 所示。

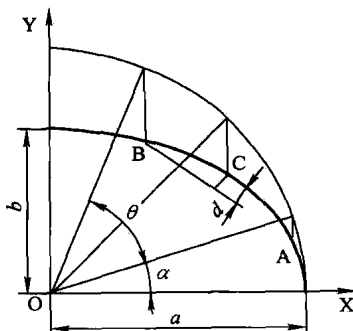


图 1-2 等间距法直线逼近椭圆的计算参数

设椭圆的方程为 $X^2/a^2 + Y^2/b^2 = 1$ ，其参数方程为 $X = a \cos \delta$ ， $Y = b \sin \delta$ 。式中， δ 为参数，表示椭圆上任意点的离心角； a 、 b 分别表示 X、Y 轴方向的半轴长。

设椭圆上 A 点的离心角为 α ，则 A 点的坐标为 $(a \cos \alpha, b \sin \alpha)$ ；再设离心角的增量值为 θ ，则椭圆上离心角为 $(\alpha + \theta)$ 的对应点 B 的坐标为 $[a \cos(\alpha + \theta), b \sin(\alpha + \theta)]$ 。由两点式列出直线 AB 的方程为

$$\frac{Y - b \sin \alpha}{b \sin(\alpha + \theta) - b \sin \alpha} = \frac{X - a \cos \alpha}{a \cos(\alpha + \theta) - a \cos \alpha}$$

在 AB 所夹椭圆弧上任取一点 C，设其离心角为 β ，则 C 的坐标为 $(a \cos \beta, b \sin \beta)$ ，点 C 到直线 AB 的距离为

$$\begin{aligned} d &= \frac{\left| b \cos\left(\alpha + \frac{\theta}{2}\right) \times a \cos \beta + a \sin\left(\alpha + \frac{\theta}{2}\right) \times b \sin \beta - ab \cos \frac{\theta}{2} \right|}{\sqrt{\left[b \cos\left(\alpha + \frac{\theta}{2}\right) \right]^2 + \left[a \sin\left(\alpha + \frac{\theta}{2}\right) \right]^2}} \\ &= \frac{ab \left| \cos\left(\alpha + \frac{\theta}{2} - \beta\right) - \cos \frac{\theta}{2} \right|}{\sqrt{\left[b \cos\left(\alpha + \frac{\theta}{2}\right) \right]^2 + \left[a \sin\left(\alpha + \frac{\theta}{2}\right) \right]^2}} \end{aligned}$$

d 有最大值, 计算得:

$$d_{\max} = a \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) \text{ 或 } d_{\max} = b \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right)$$

$d_{\max}$ 表示用直线拟合椭圆弧时, 铣削所得直线 AB 与其所夹椭圆弧的最大误差值。若允许误差为 $\delta_{\text{允}}$, 由 $d_{\max} = a \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) \leq \delta_{\text{允}}$, 解得:

$$\theta \leq 2 \arccos(1 - \delta_{\text{允}}/a)$$

当然也可以用短轴 b 进行计算。

例如: 要铣削长、短半轴分别为 80mm、50mm 的椭圆, 允许 $\delta_{\text{允}} = 0.01\text{mm}$, 确定离心角增量值 θ 为

$$\theta \leq 2 \arccos(1 - \delta_{\text{允}}/a) = 2 \arccos(1 - 0.01/80) = 1.8^\circ$$

计算结果说明当离心角增量不大于 1.8° 时, 其 $\delta_{\text{允}}$ 不会超过 0.01mm 。

第2章 平面轮廓铣削编程

2.1 正多边形加工

正多边形铣削在数控加工中是常见的。如果多边形的边数较少，可以直接计算出各个顶点坐标，进行直线插补；如果边数较多的话，一般不采用直接计算方法，而是采用参数编程，这样能大大提高编程效率，编制的程序短小易读。参数编程根据所设变量的不同，可以用边数、角度等作为自变量。

2.1.1 正五边形加工（以边数为自变量）

如图 2-1 所示的正五边形，外接圆直径为 $\phi 120\text{mm}$ ，高度为 5mm 。工件坐标系（G54）原点建在正五边形中心，Z0 面为工件上表面，采用平底刀加工，刀具半径为 5mm 。

1. 数学处理

编程思路：利用圆的参数方程计算出正多边形的各顶点坐标 $X = R\cos\theta$ ， $Y = R\sin\theta$ ，再用 G01 沿各顶点插补。 R 为正多边形外接圆半径， θ 为圆心角。刀具从图中一条边的延长线上的 A 点移动建立半径补偿，A 点的 $X = OA = OB\tan 54^\circ = 60\tan 54^\circ$ ， $Y = 0$ 。编程时，以边数作为自变量。

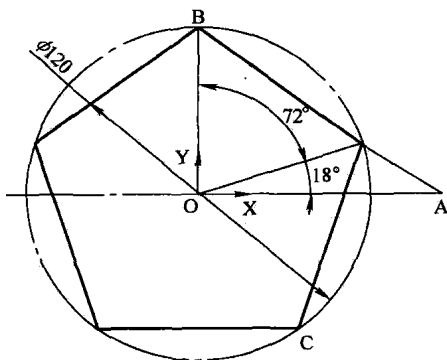


图 2-1 正五边形加工（有刀具半径补偿）

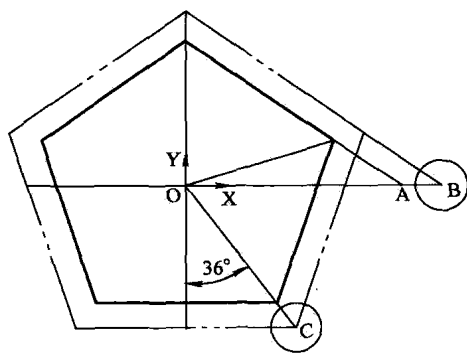


图 2-2 正五边形加工（无刀具半径补偿）

2. 参数说明

R1: 正五边形外接圆半径。

R2: 第一条边的起始角度。

R3: 圆心角。

R4: 边数自变量。

R5: 刀具半径。

R7: 加工高度。

3. 加工程序 (使用刀具半径补偿)

```

CS211_1.MPF          ; 程序名
G17 G40 G90 G94 G54    ; 初始化并建立工件坐标系
G0 X0 Y0 Z100          ; 刀具抬离工件上方
M3 S1000               ; 主轴正转
G0 Z20                 ; 刀具接近工件
R1 = 60                 ; 正五边形的外接圆半径为 60mm
R2 = 18                 ; 第一条边起始点角度为 18°
R3 = 72                 ; 圆心角的递增量为 72°
R4 = 5                  ; 多边形边数为 5
R6 = R1 * TAN ((180 - R3)/2) ; 计算 A 点的 X 坐标
R7 = 5                  ; 加工高度为 5mm
G42 G0 X = R6 Y0 D1      ; 刀具位于第一边延长线上的 A 点且建立
                          ; 刀具半径补偿

G1 Z = - R7 F100         ; 下刀
X = R1 * COS18 Y = R1 * SIN18 ; 定位到多边形的顶点
MS1: R2 = R2 + R3        ; 圆心角度递增
R9 = R1 * COS (R2)       ; 计算顶点的 X 坐标
R8 = R1 * SIN (R2)       ; 计算顶点的 Z 坐标
G1 X = R9 Y = R8 F1000   ; 刀具移动到多边形顶点
R4 = R4 - 1              ; 边数减少 1
IF R4 >= 0 GOTOB MS1     ; 如果边数不小于 0, 则跳转到 MS1 继续
                          ; 循环执行

G0 Z100                 ; 抬刀
G40 X0 Y0               ; 取消刀具半径补偿
M02                     ; 程序结束

```

此题也可以不建立刀具半径补偿进行加工, 刀具轨迹如图 2-2 中的双点画线所示。加上刀具半径后, 此时的外接圆半径为 $(R1 + R5)$, 刀具起刀点从 B 点开始, 修改程序如下:

```

CS211_2.MPF          ; 程序名 (不用刀具半径补偿)

```