

数控宏程序 经典实例详解

史磊 贺陈挺 张廷 主编

技术能手分享详细宏程序编制思路
真实案例全面讲解与答疑
助您赢得更好工作机会



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数控宏程序经典实例详解

主 编 史 磊 贺陈挺 张 廷
副主编 杜立波 鲁国军 张结琼 马 潮
参 编 贾 斌 毛 军 褚佳琪 金 江
曹 杰 张 建 杨贵良 任珠峰
陈良峰 沈 梁



机 械 工 业 出 版 社

本书共9章,以具体的零件加工为主线,循序渐进地讲解FANUC数控系统的宏程序编写过程与技巧。第1章介绍了宏程序编程的基本要点。第2章介绍了各类二次曲线宏程序编程在数控车床宏程序中的应用。第3章介绍了各类复杂非标准螺纹宏程序编程在数控车床宏程序中的应用。第4章介绍了宏程序编程在数控铣床钻孔中的应用。第5章介绍了宏程序编程在数控铣床平面轮廓加工中的应用。第6章介绍了宏程序编程在数控铣床曲面加工中的应用。第7章介绍了各类二次曲线宏程序编程在数控铣床宏程序中的应用。第8章介绍了宏程序编程在加工中心四轴加工中的应用。第9章介绍了各类车铣复合宏程序编程在车削中心中的应用。本书提供从两轴加工到四轴加工的宏程序经典实例。

本书可作为数控技术专业学生用书,也可供企业从事数控工作的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控宏程序经典实例详解/史磊,贺陈挺,张廷主编. —北京:机械工业出版社,2018.12

ISBN 978-7-111-61697-9

I. ①数… II. ①史… ②贺… ③张… III. ①数控机床-车床-程序设计 IV. ①TG519.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第000705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 章承林

责任校对:樊钟英 封面设计:马精明

责任印制:张博

唐山三艺印务有限公司印刷

2019年4月第1版第1次印刷

169mm×239mm·15.5印张·296千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-61697-9

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

前 言

自 20 世纪 50 年代初,美国麻省理工学院成功研制出全球第一台三坐标数控铣床至今已有 60 多年的时间。数控编程技术随着时代的发展也变得更加的便捷。当前大多数的数控系统可采用手工编程、交互式编程或 CAM 软件编程三种编程方式进行零件的加工。

宏程序作为手工编程中的一种数控加工程序,为程序开发提供了一种新的方式,并可以作为其他编程方式的补充。

在数控编程中,利用宏程序能让程序变得更加灵活与简洁。宏程序与普通程序的不同就在于它可以进行数值计算、逻辑判断、系统控制等。宏程序主要针对复杂零件的加工,如曲面、曲线、型腔、固定循环等。

针对某些零件,利用宏程序可以把几十条甚至上百条的程序简化成几条程序。当今在自动编程软件日益流行之际,人们觉得手工编程似乎显得“无用武之地”,但是针对某些特殊零件的加工,宏程序还是有其一定优势的,也是自动编程无法替代的,所以说宏程序在我们的工作当中还是起着很重要的作用。

本书提供了几乎涵盖所有 FANUC 数控系统从两轴加工到多轴加工的宏程序实例。所有不同的控制器所使用的宏程序在编程方法上是一致的,只是在使用的语法上有差异。学习 FANUC 数控系统宏程序对读者学习其他控制器的宏程序有很大的帮助。

本书共 9 章,以具体的零件加工为主线,循序渐进地讲解 FANUC 数控系统的宏程序编写过程与技巧。第 1 章介绍了宏程序编程的基本要点。第 2 章介绍了各类二次曲线宏程序编程在数控车床宏程序中的应用。第 3 章介绍了各类复杂非标准螺纹宏程序编程在数控车床宏程序中的应用。第 4 章介绍了宏程序编程在数控铣床钻孔中的应用。第 5 章介绍了宏程序编程在数控铣床平面轮廓加工中的应用。第 6 章介绍了宏程序编程在数控铣床曲面加工中的应用。第 7 章介绍了各类二次曲线宏程序编程在数控铣床宏程序中的应用。第 8 章介绍了宏程序编程在加工中心四轴加工中的应用。第 9 章介绍了各类车铣复合宏程序编程在车削中心中的应用。本书提供从两轴加工到四轴加工的宏程序经典实例。

本书第 1 章由张廷、沈梁、毛军编写,第 2 章和第 3 章由史磊、张建、金江、曹杰编写,第 4 章、第 5 章、第 6 章由贺陈挺、杜立波、张廷、马潮、贾斌、杨贵良编写,第 7 章由褚佳琪、张结琼、沈梁、任珠峰编写,第 8 章由杜立波、张廷、陈良峰编写,第 9 章由鲁国军、史磊编写。

本书可作为数控技术专业学生用书,也可供企业从事数控工作的技术人员参考。由于作者水平有限,书中难免尚存一些不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2018 年 3 月

目 录

前 言

第1章 宏程序入门 001

1.1 宏程序概述 001

1.1.1 宏程序的基本概念 001

1.1.2 宏程序的使用范围 001

1.1.3 宏程序的特点 003

1.1.4 注意事项 003

1.2 宏程序的基本数学知识 004

1.2.1 椭圆 005

1.2.2 双曲线 006

1.2.3 抛物线 008

1.3 变量、常量、运算函数及

常用逻辑语句 009

1.3.1 常量、变量的概念 009

1.3.2 变量的表示和使用 009

1.3.3 变量的种类 010

1.3.4 算术运算命令 010

1.3.5 转移与循环指令 012

第2章 数控车宏程序之二次曲线

加工实例 016

2.1 椭圆各类型编程思路与

程序解析 016

2.1.1 零件图及加工内容 016

2.1.2 零件图的分析 016

2.1.3 椭圆的知识和程序流程 019

2.1.4 宏程序的编写 021

2.1.5 零件加工效果 021

2.1.6 小结 022

2.1.7 习题 022

2.2 抛物线各类型编程思路与

程序解析 022

2.2.1 零件图及加工内容 022

2.2.2 零件图的分析 023

2.2.3 抛物线的知识和程序

流程 025

2.2.4 宏程序的编写 026

2.2.5 零件加工效果 027

2.2.6 小结 027

2.2.7 习题 028

2.3 各类函数曲线编程思路与

程序解析 028

2.3.1 零件图及加工内容 028

2.3.2 零件图的分析 028

2.3.3 正弦函数曲线的知识和

程序流程 031

2.3.4 宏程序的编写 032

2.3.5 零件加工效果 033

2.3.6 小结 034

2.3.7 习题 034

2.4 旋转椭圆各类型编程思路与

程序解析 034

2.4.1 零件图及加工内容 034

2.4.2 零件图的分析 035

2.4.3 旋转椭圆坐标公式的

推导 037

2.4.4 宏程序的编写 039

2.4.5 零件加工效果 040

2.4.6 小结 040

2.4.7 习题 041

第3章 数控车宏程序之各类异形

螺纹加工实例 042

3.1 圆柱面上圆弧槽螺旋线的编程

思路与程序解析 042

3.1.1 零件图及加工内容 042

3.1.2 零件图的分析 043

3.1.3 圆柱面上圆弧槽螺旋线的 编程知识和程序流程	044	3.5.3 圆柱面上双截面圆弧槽 螺旋线的编程知识和 程序流程	068
3.1.4 宏程序的编写	045	3.5.4 宏程序的编写	069
3.1.5 零件加工效果	046	3.5.5 零件加工效果	070
3.1.6 小结	046	3.5.6 小结	070
3.1.7 习题	046	3.5.7 习题	071
3.2 圆弧面上圆弧槽螺旋线的编程 思路与程序解析	047	第4章 数控铣宏程序之孔加工 实例	072
3.2.1 零件图及加工内容	047	4.1 平面钻孔的编程思路与程序 解析	072
3.2.2 零件图的分析	047	4.1.1 零件图及加工内容	072
3.2.3 圆弧面上圆弧槽螺旋线 编程分析	050	4.1.2 零件图的分析	072
3.2.4 参考程序	051	4.1.3 宏程序算法及程序流程	075
3.2.5 零件加工效果	051	4.1.4 宏程序的编写	076
3.2.6 小结	052	4.1.5 零件加工效果	077
3.2.7 习题	052	4.1.6 小结	077
3.3 圆柱面上凸圆弧螺旋槽的编程 思路与程序解析	053	4.1.7 习题	077
3.3.1 零件图及加工内容	053	4.2 螺旋铣孔的编程思路与 程序解析	078
3.3.2 零件图的分析	053	4.2.1 零件图及加工内容	078
3.3.3 圆柱面上凸圆弧螺旋槽的 编程知识和程序流程	055	4.2.2 零件图的分析	079
3.3.4 宏程序的编写	056	4.2.3 宏程序算法及程序 流程	081
3.3.5 零件加工效果	058	4.2.4 宏程序的编写	083
3.3.6 小结	058	4.2.5 零件加工效果	084
3.3.7 习题	058	4.2.6 小结	084
3.4 圆柱面上不等角度梯形螺纹的 编程思路与程序解析	059	4.2.7 习题	084
3.4.1 零件图及加工内容	059	4.3 圆周钻孔的编程思路与 程序解析	085
3.4.2 零件图的分析	059	4.3.1 零件图及加工内容	085
3.4.3 螺纹的知识和程序方式	061	4.3.2 零件图的分析	086
3.4.4 宏程序的编写	062	4.3.3 宏程序算法及程序 流程	088
3.4.5 零件加工效果	063	4.3.4 宏程序的编写	089
3.4.6 小结	063	4.3.5 零件加工效果	089
3.4.7 习题	063	4.3.6 小结	090
3.5 圆柱面上双截面圆弧槽螺旋线 的编程思路与程序解析	065	4.3.7 习题	090
3.5.1 零件图及加工内容	065		
3.5.2 零件图的分析	065		

第5章 数控铣宏程序之平面

轮廓加工实例 091

5.1 分层铣削的编程思路与

程序解析 091

5.1.1 零件图及加工内容 091

5.1.2 零件图的分析 092

5.1.3 宏程序算法及程序流程 ... 094

5.1.4 宏程序的编写 096

5.1.5 零件加工效果 097

5.1.6 小结 097

5.1.7 习题 097

5.2 铣圆的编程思路与程序

解析 098

5.2.1 零件图及加工内容 098

5.2.2 零件图的分析 099

5.2.3 宏程序算法及程序流程 ... 101

5.2.4 宏程序的编写 103

5.2.5 零件加工效果 103

5.2.6 小结 104

5.2.7 习题 105

5.3 椭圆铣削的编程思路与

程序解析 105

5.3.1 零件图及加工内容 105

5.3.2 零件图的分析 106

5.3.3 宏程序算法及程序流程 ... 108

5.3.4 宏程序的编写 109

5.3.5 零件加工效果 110

5.3.6 小结 110

5.3.7 习题 111

5.4 放射铣圆的编程思路与

程序解析 111

5.4.1 零件图及加工内容 111

5.4.2 零件图的分析 111

5.4.3 宏程序算法及程序流程 ... 114

5.4.4 宏程序的编写 115

5.4.5 零件加工效果 116

5.4.6 小结 117

5.4.7 习题 117

第6章 数控铣宏程序之曲面加工

实例 118

6.1 轮廓倒角的编程思路与

程序解析 118

6.1.1 零件图及加工内容 118

6.1.2 零件图的分析 119

6.1.3 宏程序算法及程序

流程 121

6.1.4 宏程序的编写 123

6.1.5 零件加工效果 123

6.1.6 小结 124

6.1.7 习题 124

6.2 轮廓倒圆角的编程思路与

程序解析 124

6.2.1 零件图及加工内容 124

6.2.2 零件图的分析 124

6.2.3 宏程序算法及程序

流程 127

6.2.4 宏程序的编写 130

6.2.5 零件加工效果 131

6.2.6 小结 131

6.2.7 习题 131

6.3 斜面铣削的编程思路与

程序解析 132

6.3.1 零件图及加工内容 132

6.3.2 零件图的分析 132

6.3.3 宏程序算法及程序

流程 134

6.3.4 宏程序的编写 136

6.3.5 零件加工效果 137

6.3.6 小结 138

6.3.7 习题 138

6.4 球面铣削的编程思路与

程序解析 138

6.4.1 零件图及加工内容 138

6.4.2 零件图的分析 138

6.4.3 宏程序算法及程序

流程 141

6.4.4 宏程序的编写	143	7.1.1 零件图及加工内容	166
6.4.5 零件加工效果	144	7.1.2 零件图的分析	166
6.4.6 小结	144	7.1.3 宏程序算法和程序流程	169
6.4.7 习题	144	7.1.4 宏程序的编写	170
6.5 椭球面铣削的编程思路与 程序解析	145	7.1.5 零件加工效果	170
6.5.1 零件图及加工内容	145	7.1.6 小结	171
6.5.2 零件图的分析	145	7.1.7 习题	171
6.5.3 宏程序算法及程序 流程	147	7.2 抛物线铣削的编程思路与 程序解析	172
6.5.4 宏程序的编写	150	7.2.1 零件图及加工内容	172
6.5.5 零件加工效果	150	7.2.2 零件图的分析	172
6.5.6 小结	150	7.2.3 宏程序算法及程序流程	175
6.5.7 习题	151	7.2.4 宏程序的编写	177
6.6 圆锥面铣削的编程思路与 程序解析	152	7.2.5 零件加工效果	178
6.6.1 零件图及加工内容	152	7.2.6 小结	178
6.6.2 零件图的分析	152	7.2.7 习题	179
6.6.3 宏程序算法及程序 流程	154	7.3 正弦函数曲线的编程思路与 程序解析	179
6.6.4 宏程序的编写	156	7.3.1 零件图及加工内容	179
6.6.5 零件加工效果	157	7.3.2 零件图的分析	179
6.6.6 小结	157	7.3.3 宏程序算法及程序 流程	182
6.6.7 习题	157	7.3.4 宏程序的编写	183
6.7 圆变椭圆铣削的编程思路与 程序解析	158	7.3.5 零件加工效果	183
6.7.1 零件图及加工内容	158	7.3.6 小结	184
6.7.2 零件图的分析	158	7.3.7 习题	184
6.7.3 宏程序算法及程序 流程	161	第8章 加工中心宏程序之四轴 加工实例	185
6.7.4 宏程序的编写	163	8.1 圆柱凸轮的编程思路与 程序解析	185
6.7.5 零件加工效果	164	8.1.1 零件图及加工内容	185
6.7.6 小结	164	8.1.2 机床的选择分析	185
6.7.7 习题	165	8.1.3 工件的装夹分析	188
第7章 数控铣宏程序之二次曲线 加工实例	166	8.1.4 工艺装备的选择	189
7.1 阿基米德螺线铣削的编程思路与 程序解析	166	8.1.5 圆柱凸轮的加工方法	191
		8.1.6 圆柱凸轮槽加工宏程序 应用方法	193
		8.1.7 小结	196

8.2 经典四轴联动试件的编程思路与程序解析	196
8.2.1 零件图及加工内容	196
8.2.2 零件图的分析	196
8.2.3 宏程序算法及程序流程	200
8.2.4 宏程序的编写	202
8.2.5 零件加工效果	203
8.2.6 小结	203
8.2.7 习题	204

第9章 车铣复合宏程序编程思路与加工实例程序

9.1 车削中心	205
9.1.1 工艺特点	206
9.1.2 常规编程	206
9.2 涡轮增压发动机加工应用	209
9.2.1 涡轮增压发动机加工分析	210
9.2.2 涡轮增压发动机转动轴——弹尖圆弧槽的编程思路与程序解析	221
9.2.3 涡轮增压发动机转动轴——叶轮铣边的编程思路与程序解析	223

9.2.4 涡轮增压发动机转动轴——叶轮钻点的编程思路与程序解析	225
9.2.5 涡轮增压发动机转动轴——环形花槽端面的编程思路与程序解析	227
9.2.6 涡轮增压发动机转动轴——环形花槽外径的编程思路与程序解析	230
9.2.7 涡轮增压发动机转动轴——环形花槽外径正弦曲线槽的编程思路与程序解析	231
9.2.8 涡轮增压发动机转动轴——环形花槽外径正弦曲线槽上钻孔的编程思路与程序解析	233
9.2.9 涡轮增压发动机转动轴——环形花槽外径6等分窗口的编程思路与程序解析	235
9.2.10 涡轮增压发动机转动轴——繁花连头钻中心孔的编程思路与程序解析	239

第1章 宏程序入门

本章内容提要

本章将通过学习宏程序编程，解析宏程序基本的知识点要求。

1.1 宏程序概述

1.1.1 宏程序的基本概念

以一组子程序的形式存储并带有变量的程序称为用户宏程序，简称宏程序。宏程序是一种零件编程的方法，该方法是在标准 CNC 手工编程的基础上附加控制特征，可使程序功能更强大、灵活。调用宏程序的指令称为“用户宏程序指令”，或宏程序调用指令（简称宏指令）。

宏程序与普通程序相比，普通程序的字为常量，一个程序只能描述一个几何形状，所以缺乏灵活性和适用性；而在宏程序的本体中，可以使用变量进行编程，也可以用宏指令对这些变量进行赋值、运算等处理，通过使用宏程序能执行一些有规律变化（如非圆二次曲线轮廓）的动作。

1.1.2 宏程序的使用范围

其实宏就是用公式来加工零件的，比如椭圆，如果没有宏，则要逐点算出曲线上的点，然后用直线来慢慢逼近，如果是个表面粗糙度值要求很小的工件，则需要计算很多的点，可是应用了宏后，把椭圆公式输入系统中，然后给出 Z 坐标并且每次加 0.01mm，那么宏就会自动算出 X 坐标并且进行切削。因此，实际上宏在程序中主要起到的是运算作用。

宏一般分为 A 类宏和 B 类宏。A 类宏是以“G65H $\times\times$ P $\times\times$ Q $\times\times$ R $\times\times$ ”的格式输入的；而 B 类宏程序则是以直接的公式和语言输入的，和 C 语言很相似，在 FANUC-0i 数控系统中应用比较广。

宏程序主要应用在以下几个方面：

(1) 相似系列零件的加工 同一类相同特征、不同尺寸的零件，给定不同的参数，使用同一宏程序就可以加工，编程得到大幅度简化。

(2) 实现特定的插补功能 对于椭圆、双曲线、抛物线、螺旋线、正（余）弦曲线等可以用数学公式描述的非圆曲线的加工（图 1-1），数控系统一般没有这样的插补功能，但是应用宏程序功能可以将这样的非圆曲线用非常微小的直线段或圆弧段拟合加工，从而得到满足精度要求的非圆曲线。

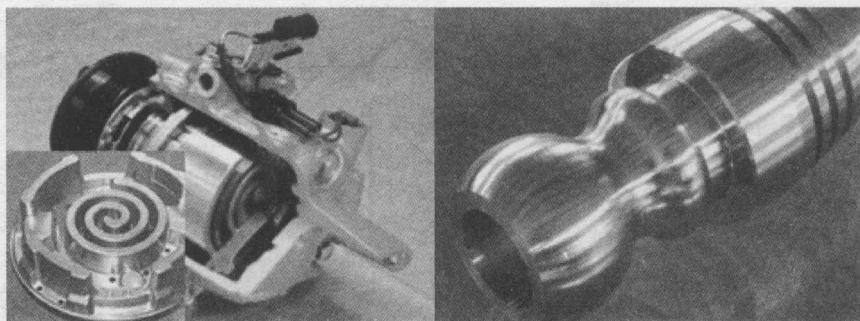


图 1-1 插补功能加工零件图

(3) 实现特定的机床辅助动作 如换刀（图 1-2）、换附件头、多点定向、路径间轴分配实时参数修订等。

(4) 实现在线检测 在零件加工的生产线或无人加工车间，程序中必须对零件的关键尺寸进行直接检查与调整，当刀具磨损或其他原因，达不到期望的尺寸时，需要进行修正，这时使用检测装置在线检测能够解决以上问题。图 1-3 所示为测头和接触式传感器。

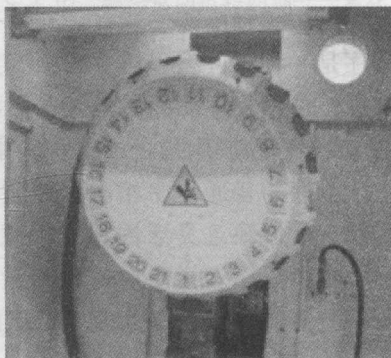


图 1-2 换刀辅助

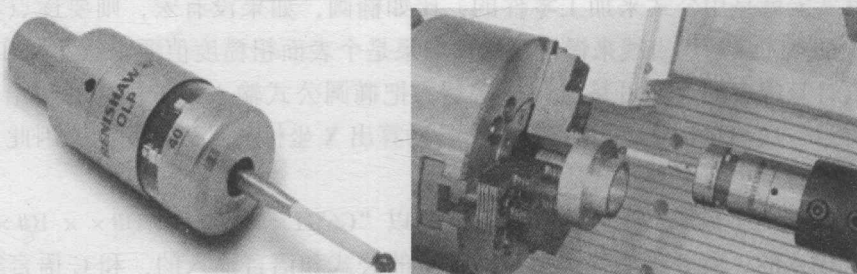


图 1-3 测头和接触式传感器

1.1.3 宏程序的特点

普通编程只能使用常量，常量之间不能运算，程序只能顺序执行，不能跳转。宏程序编程与普通程序编制相比有以下特点：

(1) 可以使用变量 可以在宏程序中使用变量，使得程序更具有通用性。当同类零件的尺寸发生变化时，只需要更改程序中变量的值即可，而不需要重新编制程序。

(2) 可对变量赋值 可以在宏程序中对变量进行赋值或在变量设置中对变量赋值，使用者只需要按照要求使用，而不必去理解整个程序内部的结构。

(3) 变量间可进行演算 在宏程序中可以进行变量的四则运算和算术逻辑运算，从而可以加工出非圆曲线轮廓和一些简单的曲面。

(4) 程序运行可以跳转 在宏程序中可以改变控制执行顺序。

此外，宏程序还有自身的优点，主要如下：

(1) 长远性 数控系统中随机携带有各种固定循环指令，这些指令是以宏程序为基础开发的通用的固定循环指令。通用循环指令有时对于某一类零件的实际加工并不一定能满足加工要求，对此可以根据加工零件的具体特点，量身定制出适合这类零件特征的专用程序，并固化在数控系统内部。对于这种专用的程序可以像使用普通固定循环指令一样调用，使数控系统增加了专用的固定循环指令，只要这一类零件继续生产，这种专用固定循环指令就可以一直存在并长期应用，因此，数控系统的功能得到了增强和扩大。

(2) 简练性 在质量上，自动编程生成的加工程序基本由 G00、G01、G02/G03 等简单指令组成，数据大部分是离散的小数点数据，难以分析、判别和查找错误，程序长度要比宏程序长几十倍甚至几百倍，不仅占用宝贵的存储空间，而且加工时间也要长得多。

(3) 智能性 宏程序是数控加工程序编制的高级阶段，程序编制的质量与编程人员的素质息息相关。高素质的编程人员在宏程序的编制过程中可以融入积累的工艺经验技巧，考虑轮廓要素之间的数学关系，应用适当的编程技巧，使程序非常精练，并且加工效果好。宏程序是由人工编制的，必然包含人的智能因素，宏程序中应考虑各种因素对加工过程及精度的影响。

1.1.4 注意事项

宏程序是强大的，可以用它进行更智能的控制加工，用它来防止出错，以及用它进行刀具管理功能的扩展等。

虽然宏程序很强大，但是为了保证宏程序的正常运行，在使用宏程序的过程中，有很多注意事项：

1) 在 FANUC 数控系统中“#”作为变量的标志,后面的数值作为变量标号,用来区分各个变量,其数据不允许带小数点。如“#3”正确,“#13.”不正确。

2) 如果用于各算术运算的 Q 或 R 未被指定,则作为 0 处理。

3) 在分支转移目标地址中,如果序号为正值,则检索过程是先向大程序号查找;如果序号为负值,则检索过程是先向小程序号查找。

4) 转移目标序号可以是变量。例如“IF[#2GT#3]GOTO#10”。

5) 程序号、顺序号及其任选程序段跳转号不能使用变量。例如:

O#1;

/#2 G00 X100.0;

N#3 Y200.0;

这样是不允许的。

6) 当引用未定义的变量时,变量及地址字都被忽略。例如:当变量#1 的值是 0 并且变量#2 的值是空时,G00X#2Y#3 的执行结果为 G00X0。在使用 EQ 或 NE 的条件表达式中,<空>和零有不同的效果。在其他形式的条件表达式中,<空>被当作 0。

7) I 类变量可以和 II 类变量混合使用,CNC 内部会通过顺序自动判断。如果赋值重复,则最后面一个赋值有效。例如:

G65 A1.0 B2.0 I-3.0 I4.0 D5.0 P1000

变量: #1:1.0 #2:2.0 #4:-3.0 #7:4.0 #7:5.0

8) I 类变量中除 G、P、O、L、N 五个字母不能作为自变量,其他的大部分字母赋值没有顺序要求,但是对 I、J、K 必须按顺序赋值。例如:

B43. A2. D6. I12. J36. 正确

D4. F600. K6. I9. A8. 不正确

1.2 宏程序的基本数学知识

宏程序的应用离不开相关的数学知识,其中三角函数、解析几何是最重要、最直接的数学基础,要编制出精简的加工用宏程序,一方面要求编程者具有相应的工艺知识和经验,即确定合理的刀具、走刀路线(或走刀方式);另一方面也要求编程者具有相应的数学知识,即如何将上述的意图通过逻辑严密的数学语言,配合标准的格式语句加以表达出来。

在宏程序编程应用中,应充分了解曲线的标准方程和参数方程的转换。由于非圆曲线采用的编程均是参数方程,因此本节使用图形、表格的形式简单总结一下椭圆、双曲线、抛物线三种常用曲线的标准方程及参数方程。

二次曲线的定义:从动点 P 到定点 F 的距离 PF 与到定直线的距离 PH 之比为定值 e ,即从动点到定点(焦点)的距离与到定直线(准线)的距离的商是

常数 e (离心率) 的点的轨迹。当 $e > 1$ 时, 为双曲线的一支; 当 $e = 1$ 时, 为抛物线; 当 $0 < e < 1$ 时, 为椭圆; 当 $e = 0$ 时, 为一点。

此时, 定点 F 称为焦点, 定直线称为准线。椭圆和双曲线称为有心二次曲线, 抛物线称为无心二次曲线。

二次曲线在立体几何上都是由一平面以不同角度与标准圆锥面相割而得到的截面线, 又称之为圆锥曲线。在工程实践中, 二次曲线的应用非常广泛, 在此不再赘述。

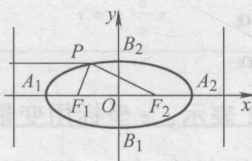
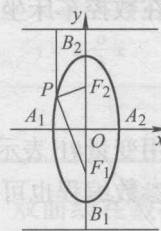
1.2.1 椭圆

(1) 椭圆的定义 平面内与两个定点 F_1 、 F_2 的距离的和等于常数 (大于 $|F_1F_2|$) 的点的轨迹。其中, 这两个定点叫作椭圆的焦点, 两焦点间的距离叫作焦距。

注意: $2a > |F_1F_2|$ 表示椭圆; $2a = |F_1F_2|$ 表示线段 F_1F_2 ; $2a < |F_1F_2|$ 没有轨迹。

(2) 椭圆的标准方程、图形及几何性质 见表 1-1。

表 1-1 椭圆的标准方程、图形及几何性质

	中心在原点, 焦点在 x 轴上	中心在原点, 焦点在 y 轴上
标准方程	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 (a > b > 0)$	$\frac{y^2}{a^2} + \frac{x^2}{b^2} = 1 (a > b > 0)$
图形		
顶点	$A_1(-a, 0), A_2(a, 0)$ $B_1(0, -b), B_2(0, b)$	$A_1(-b, 0), A_2(b, 0)$ $B_1(0, -a), B_2(0, a)$
对称轴	x 轴, y 轴; 短轴长为 $2b$, 长轴长为 $2a$	
焦点	$F_1(-c, 0), F_2(c, 0)$	$F_1(0, -c), F_2(0, c)$
焦距	$ F_1F_2 = 2c (c > 0), c^2 = a^2 - b^2$	
离心率	$e = \frac{c}{a} (0 < e < 1)$ (离心率越大, 椭圆越扁)	
准线	$x = a^2/c, x = -a^2/c$	$y = a^2/c, y = -a^2/c$
第二定义	椭圆上任意一点到一焦点的距离与其对应的准线 (同在 y 轴一侧的焦点与准线) 对应的距离比为离心率	
通径	$\frac{2b^2}{a}$ (过焦点且垂直于对称轴的直线夹在椭圆内的线段)	

根据椭圆的标准方程，结合数控车床的坐标系，椭圆在数控车时的方程变为

$$\frac{x^2}{b^2} + \frac{z^2}{a^2} = 1$$

对公式进行变换，得到 x 和 z 之间的直接关系。推导过程如下：

$$\frac{x^2}{b^2} = 1 - \frac{z^2}{a^2}$$

$$\frac{x^2}{b^2} = \frac{a^2 - z^2}{a^2}$$

$$x^2 = \frac{b^2(a^2 - z^2)}{a^2}$$

$$x = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - z^2}$$

将 x 用变量#1 表示， z 用变量#2 表示，用宏程序语言即参数编程可表示为

$$\#1 = b * \text{SQRT}[a * a - \#2 * \#2] / a$$

(3) 椭圆的参数方程

$$\begin{cases} x = a \cos \alpha \\ y = b \sin \alpha \end{cases}$$

同理，在数控车床坐标系里可演变为

$$\begin{cases} z = a \cos \alpha \\ x = b \sin \alpha \end{cases}$$

将角度用变量#1 表示， x 坐标用变量#2 表示， z 坐标用变量#3 表示，用宏程序语言即参数编程也可表示为

$$\#2 = a * \cos[\#1], \quad \#3 = b * \sin[\#1]$$

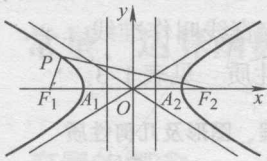
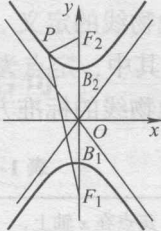
1.2.2 双曲线

(1) 双曲线的定义 平面内与两个定点 F_1 、 F_2 的距离的差的绝对值等于常数（小于 $|F_1F_2|$ ）的点的轨迹。其中，这两个定点叫作双曲线的焦点，两焦点间的距离叫作焦距。

注意： $|PF_1| - |PF_2| = 2a$ 与 $|PF_2| - |PF_1| = 2a$ ($2a < |F_1F_2|$) 表示双曲线的一支； $2a = |F_1F_2|$ 表示两条射线； $2a > |F_1F_2|$ 没有轨迹。

(2) 双曲线的标准方程、图形及几何性质 见表 1-2。

表 1-2 双曲线的标准方程、图形及几何性质

	中心在原点，焦点在 x 轴上	中心在原点，焦点在 y 轴上
标准方程	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 (a > 0, b > 0)$	$\frac{y^2}{a^2} - \frac{x^2}{b^2} = 1 (a > 0, b > 0)$
图形		
顶点	$A_1(-a, 0), A_2(a, 0)$	$B_1(0, -a), B_2(0, a)$
对称轴	x 轴, y 轴; 虚轴长为 2b, 实轴长为 2a	
准线	$x = a^2/c, x = -a^2/c$	$y = a^2/c, y = -a^2/c$
第二定义	抛物线上任意一点到一焦点的距离与其对应的准线（同在 y 轴一侧的焦点与准线）对应的距离比为离心率	
焦点	$F_1(-c, 0), F_2(c, 0)$	$F_1(0, -c), F_2(0, c)$
焦距	$ F_1F_2 = 2c (c > 0), c^2 = a^2 + b^2$	
离心率	$e = \frac{c}{a} (e > 1)$ (离心率越大, 开口越大)	
渐近线	$y = \pm \frac{b}{a}x$	$y = \pm \frac{a}{b}x$
通径	$\frac{2b^2}{a}$	

根据双曲线的标准方程，结合数控车床的坐标系，双曲线在数控车时的方程变为

$$\frac{x^2}{b^2} - \frac{z^2}{a^2} = 1$$

对公式进行变换，得到 x 和 z 之间的直接关系。推导过程如下：

$$\begin{aligned} \frac{x^2}{b^2} &= 1 + \frac{z^2}{a^2} \\ \frac{x^2}{b^2} &= \frac{a^2 + z^2}{a^2} \\ x^2 &= \frac{b^2(a^2 + z^2)}{a^2} \\ x &= \frac{b}{a} \sqrt{a^2 + z^2} \end{aligned}$$

将 x 用变量#1 表示, z 用变量#2 表示, 用宏程序语言即参数编程可表示为

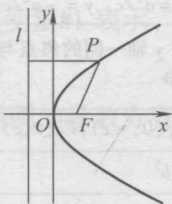
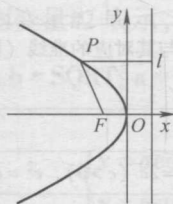
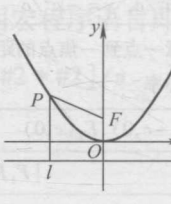
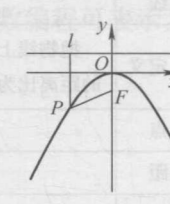
$$\#1 = b * \text{SQRT}[a * a + \#2 * \#2] / a$$

1.2.3 抛物线

(1) 抛物线的定义 平面内与一个定点的距离和一条定直线的距离相等的点的轨迹。其中, 定点为抛物线的焦点, 定直线叫作准线。

(2) 抛物线的标准方程、图形及几何性质 见表 1-3。

表 1-3 抛物线的标准方程、图形及几何性质

	焦点在 x 轴上, 开口向右	焦点在 x 轴上, 开口向左	焦点在 y 轴上, 开口向上	焦点在 y 轴上, 开口向下
标准方程	$y^2 = 2px$	$y^2 = -2px$	$x^2 = 2py$	$x^2 = -2py$
图形				
顶点	$O(0,0)$			
对称轴	x 轴		y 轴	
焦点	$F\left(\frac{p}{2}, 0\right)$	$F\left(-\frac{p}{2}, 0\right)$	$F\left(0, \frac{p}{2}\right)$	$F\left(0, -\frac{p}{2}\right)$
离心率	$e = 1$			
准线	$x = -\frac{p}{2}$	$x = \frac{p}{2}$	$y = -\frac{p}{2}$	$y = \frac{p}{2}$
通 径	$2p$			
焦半径	$ PF = y_0 + \frac{p}{2}$		$ PF = y_0 + \frac{p}{2}$	
焦距	p			

根据抛物线的标准方程, 结合数控车床的坐标系, 抛物线在数控车时的方程变为

$$x^2 = 2pz$$

对公式进行变换, 得到 x 和 z 之间的直接关系。推导过程如下:

$$x = \pm \sqrt{2pz}$$