

玩转

FANUC 数控 铣削宏程序

王小荣 著

数控大赛的**必备**用书 现场加工的**宝典**秘籍
进阶**高手**的不二法门 课堂教学的**良师益友**



科学出版社

玩转

FANUC数控铣削宏程序

王小荣 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书共 13 章,内容包括:FANUC Oi 宏程序概述及基础知识、面向 FANUC Oi 系统的宏程序编程模板,以及平面类、长方体类、圆柱类、椭圆类、正多边形类、球面类、椭球类、凸台类/凹槽类、曲线类、圆形/矩形阵列类等各类零件铣削宏程序。

本书的所有程序均为笔者原创。每一个程序视为一个模块,可应用于某一类零件的实际加工。读者只需分析零件具有的典型特征,再从书中查阅相关程序模块,调试相应参数即可。本书程序均在数控机床上运行验证,真实可靠,可应用于课堂教学、科学研究和加工生产。

本书可供数控编程人员学习和参考,可作为各类工科院校数控专业师生的参考教材,还可作为各类数控竞赛和国家职业技能鉴定数控高级工、数控技师、高级技师的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

玩转 FANUC 数控铣削宏程序/王小荣著. —北京:科学出版社,2012
ISBN 978-7-03-035895-0

I. 玩… II. 王… III. 数控机床-铣削-程序设计-高等学校-教材
IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 255149 号

责任编辑:张莉莉 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:刘素霞

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2013 年 1 月第一次印刷 印张: 26

印数: 1—3 000 字数: 501 000

定 价: 58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

进入 21 世纪,数控技术的发展突飞猛进,编程技术作为数控领域的一个庞大分支,同样获得了飞速发展。目前在市场上出现的软件中,UG、CATIA、Pro/E、PowerMill 等,功能越来越强大,并且引领数控自动编程潮流,其影响力之广,水平之高,使广大数控爱好者和从业人员趋之若鹜。

最近几年,借助“全国数控技能大赛”平台,数控技术在全国范围内得到了广泛的推广,许许多多的师生和一线工人,在这个舞台上斩获荣誉。国家、省、市、自治区和各单位加大了数控技术领域的支持,大赛所规定的相关编程软件也借此在全国范围内得到了普及。在数控技能大赛中,自动编程之外的手工编程也成为参赛者必须具备的素质,而宏程序恰恰能体现一个优秀编程人员水平的高低,借助大赛,一个学习宏程序的高潮在全国范围内被掀起。这些均为数控技术在我国的发展提供了良好的环境。

自动编程和手工编程是数控编程的两种方式,宏程序属于手工编程,是手工编程的高级阶段。一个高级的数控编程人员必须掌握宏程序,因为宏程序具有无与伦比的优势。笔者是在经历了自动编程和常量式手工编程之后,接触到宏程序,发现宏程序所具备的柔性,是自动编程和常量式手工编程所不具备的。

第一,自动编程和常量式编程所获得的程序,只能是针对某一个零件,而宏程序可以针对某一类零件编程。

第二,宏程序短小精悍,基本而言百行之内可以解决问题,而自动编程所获得的程序,动辄几千、几万、十几万行,这对一般的数控系统而言,其数据的存储基本上是不可能的,而数据的传输对 CNC 系统而言又是一个挑战。

第三,宏程序对零件的柔性(适应性)堪称完美,对自动编程和常量式手工编程获得的程序,我们无法做到让它们适应同类但不同尺寸零件的加工,只要加工对象形状或工艺尺寸发生变化,必须要重新编程,而宏程序却可以适应这种变化,操作者所做的仅仅是更改宏程序中的相关变量值而已。

第四,自动编程和常量式编程获得的程序,只能适应于既定类型(尺寸)的刀具,如果刀具类型(尺寸)发生变化,我们又要重新编制程序,但是,宏程序可以做到同一个程序适应不同类型(尺寸)的刀具,实现同样效果的加工。

第五,对自动编程人员而言,从某种程度上讲,自动编程获得加工程序其实是一个对软件应用熟练程度和对工艺知识了解水平过程的一种体现,至于该程序得以获得的数学本质,自动编程人员并不需要知道,这对编程人员而言,缺少了对数控加工刀具轨迹生成过程的理论了解,而宏程序却迫使编程人员必须掌握加工对象的数学基础,结合工艺,将相关算法编入其中实现加工,看起来好像工作量繁重,但和您的收获相比,这种付出是值得的。

宏程序还有很多优势,读者在学习过程中会有自己的体会。总之,宏程序,也只有宏程序才是目前各类编程方法中,将数学本质和加工工艺完美结合起来的一种编程方式,其独特的优势成为高水平编程人员的最爱。

本书是在笔者大量实践经验的基础上,结合相关特征理论背景,以“面向生产、面向教学、面向大赛”为方针著写而成的,书中提出了一些新的概念、原理和方法,可以成功地解决相关特征(零件)的编程和加工问题。书中以 10 类特征(零件)为研究对象,详细讨论了各自的理论背景和不同加工策略的宏程序实现方法。每个宏程序可视为一个模块,不同宏程序的模块化组合可以解决大量的现场生产问题。所有宏程序均在数控机床上运行验证,并提取了刀具轨迹图形。

本书是兰州交通大学青年科学基金项目(2011017)的研究成果。全书第一篇介绍 FANUC 数控宏程序的基础知识,根据《FANUC 编程手册》整理而成。第二篇则具体解决 10 类典型特征(零件)的宏程序问题。由于时间有限,撰写仓促,书中难免有诸多纰漏,真诚希望各位读者批评、指正。

本书在撰写过程中,得到了来自甘肃省总工会、甘肃省人力资源和社会保障厅、甘肃省教育厅、甘肃省科学技术厅、甘肃省工业和信息化委员会等单位的支持和鼓励,在此表示感谢。同时也向王天长、魏万红、靳国义等领导的帮助表示感谢。

自从事数控工作以来,从理论到实践的每一步,得到了许多领导和同事的指导及帮助,在此向高溥教授、石广田教授、王红教授、杨晋教授、蔡慧林教授、苟向锋教授、陈德道教授、万国银高级技师、陈智文讲师、王朝琴讲师、马志鲜高级技师致谢。

注:作者被甘肃省总工会授予“甘肃省五一劳动奖章”,被甘肃省人力资源和社会保障厅授予“甘肃省技术能手”,被甘肃省总工会、甘肃省人力资源和社会保障厅、甘肃省工业和信息化委员会、甘肃省科学技术厅、甘肃省人民政府国资委联合授予“甘肃省技术标兵”。



目 录

第 1 篇 FANUC 数控宏程序基础

第 1 章 FANUC 0i 宏程序概述	3
1.1 用户宏程序概念	3
1.2 宏程序编程特征	4
1.3 宏程序和子程序比较	5
1.4 宏程序的优点	6
1.5 宏程序的主要应用领域	7
1.6 用户宏程序的使用	9
1.7 编制宏程序的技巧要求	10
第 2 章 FANUC 0i 宏程序基础	13
2.1 变 量	13
2.1.1 变量的表示	14
2.1.2 变量类型	14
2.1.3 变量值的范围	15
2.1.4 小数点的省略	15
2.1.5 变量的引用	15
2.1.6 未定义的变量	15
2.1.7 限 制	16
2.2 系统变量	16
2.2.1 接口信号	17

2.2.2	刀具补偿	17
2.2.3	宏程序报警	19
2.2.4	程序停止和信息显示	19
2.2.5	时间信息	19
2.2.6	自动运行控制	20
2.2.7	已加工零件数	21
2.2.8	模态信息	22
2.2.9	当前位置信息	23
2.2.10	工件坐标系补偿值(工件零点偏移值)	23
2.3	算术和逻辑运算	26
2.4	赋值与变量	31
2.5	宏程序语句和 NC 语句	32
2.6	转移和循环	33
2.6.1	无条件转移语句(GOTO 语句)	33
2.6.2	条件转移(IF 语句)	33
2.6.3	循环(WHILE 语句)	35
2.7	宏程序调用	39
2.7.1	宏程序调用概述	39
2.7.2	宏程序非模态调用(G65)	40
2.7.3	宏程序模态调用与取消(G66、G67)	45
2.7.4	用 G 代码调用宏程序	47
2.7.5	用 M 代码调用宏程序	48
2.7.6	用 T 代码调用宏程序	49
2.8	用户宏程序的使用限制	51

第 2 篇 FANUC 数控铣削宏程序

第 3 章	面向 FANUC 0i 系统的宏程序编程模板	55
3.1	FANUC 0i 宏程序编程模板和使用方法	55
3.2	宏程序对 FMS 柔性的体现	62
3.2.1	宏程序对形状尺寸的柔性	65
3.2.2	宏程序对 Z 轴尺寸加工的柔性	66

3.2.3	宏程序对粗、精加工的柔性	67
3.2.4	宏程序对曲线类特征的柔性	68
3.2.5	宏程序对特征位置的柔性	70
3.2.6	宏程序对特征姿态的柔性	70
3.2.7	宏程序对位姿的柔性	72
3.2.8	宏程序对阵列的柔性	72
3.2.9	宏程序柔性小结	73
3.3	几个重要的 G 功能	73
3.3.1	螺旋插补	74
3.3.2	极坐标指令(G15,G16)	75
3.3.3	局部坐标系(G52)	77
3.3.4	坐标旋转指令(G68,G69)	79
3.3.5	可编程参数输入(G10)	83
3.4	XK715D 数控镗铣床	85
3.4.1	XK715D 数控镗铣床机械系统	85
3.4.2	XK715D 数控镗铣床数控系统	86
3.5	本书的创新点	92
第 4 章	平面类零件铣削宏程序	95
4.1	开放式矩形区域平面铣削加工	95
4.1.1	往复铣削	96
4.1.2	环切铣削(由外向内)	100
4.1.3	环切铣削(由内向外)	108
4.2	封闭式矩形区域平面铣削加工	118
4.2.1	参数化的边界处理	119
4.2.2	刀具半径补偿的边界处理	121
4.3	开放式圆形区域平面铣削加工	124
4.3.1	往复铣削	124
4.3.2	单向平行铣削	129
4.3.3	环切铣削(由外向内)	131
4.3.4	环切铣削(由内向外)	137
4.3.5	开放式矩形区域和开放式圆形区域编程对比	143
4.4	封闭式圆形区域的平面铣削加工	146
4.5	本章小结	149

第 5 章 长方体类零件铣削宏程序	151
5.1 长方体类零件外轮廓铣削加工	151
5.1.1 分层铣削精加工	151
5.1.2 分层铣削扩展精加工	154
5.1.3 螺旋铣削精加工	157
5.1.4 螺旋铣削扩展精加工	159
5.2 长方体类零件内轮廓铣削加工	161
5.2.1 分层铣削精加工	161
5.2.2 分层铣削扩展精加工	163
5.2.3 螺旋铣削精加工	166
5.2.4 螺旋铣削扩展精加工	167
5.3 本章小结	170
第 6 章 圆柱类零件铣削宏程序	171
6.1 圆柱类零件外轮廓铣削加工	171
6.1.1 分层铣削精加工	171
6.1.2 分层铣削扩展精加工	173
6.1.3 螺旋铣削精加工	175
6.1.4 螺旋铣削扩展精加工	177
6.2 圆柱类零件内轮廓铣削加工	179
6.2.1 分层铣削精加工	179
6.2.2 分层铣削扩展精加工	181
6.2.3 螺旋型铣削精加工	183
6.2.4 螺旋铣削扩展精加工	184
6.3 本章小结	186
第 7 章 椭圆类零件铣削宏程序	187
7.1 基本位姿椭圆外轮廓铣削加工	187
7.1.1 分层铣削精加工	187
7.1.2 螺旋铣削精加工	191
7.2 倾斜椭圆外轮廓分层铣削精加工	193
7.3 一般位姿椭圆外轮廓螺旋铣削精加工	196
7.4 一般位姿椭圆型腔铣削加工	199

7.5	一般位姿椭圆内轮廓铣削加工	202
7.5.1	分层铣削精加工	202
7.5.2	分层铣削扩展精加工	204
7.5.3	螺旋铣削精加工	206
7.5.4	螺旋铣削扩展精加工	208
7.6	本章小结	211
第8章	正多边形类零件铣削宏程序	213
8.1	偶数边正多边形棱柱外轮廓铣削加工	213
8.1.1	偶数边正多边形棱柱外轮廓分层铣削	214
8.1.2	偶数边正多边形棱柱外轮廓螺旋铣削	222
8.1.3	偶数边正多边形内轮廓分层铣削加工	227
8.1.4	偶数边正多边形内轮廓螺旋铣削加工	236
8.1.5	偶数边正多边形型腔铣削加工	244
8.2	奇数边正多边形棱柱外轮廓铣削加工	245
8.2.1	奇数边正多边形棱柱外轮廓分层铣削	245
8.2.2	奇数边正多边形棱柱外轮廓螺旋铣削	252
8.2.3	奇数边正多边形内轮廓分层铣削加工	257
8.2.4	奇数边正多边形内轮廓螺旋铣削加工	266
8.2.5	奇数边正多边形型腔铣削加工	274
8.3	本章小结	275
第9章	球面类零件铣削宏程序	277
9.1	球面外轮廓铣削粗加工	278
9.1.1	毛坯为圆柱体时的粗加工铣削宏程序	278
9.1.2	毛坯为正方体时的粗加工铣削宏程序	281
9.2	球面外轮廓铣削精加工	284
9.2.1	自上而下圆弧切入/切出分层铣削	284
9.2.2	自上而下层间球面过渡分层铣削	288
9.2.3	自下而上圆弧切入/切出分层铣削	289
9.2.4	自下而上层间球面过渡分层铣削	292
9.3	球面型腔铣削粗加工	294
9.4	球面内轮廓铣削精加工	297
9.4.1	自上而下圆弧切入/切出分层铣削	297

9.4.2	自上而下层间球面过渡分层铣削	299
9.4.3	自下而上圆弧切入/切出分层铣削	301
9.4.4	自下而上层间球面过渡分层铣削	303
9.5	本章小结	305
第 10 章	椭球类零件铣削宏程序	307
10.1	椭球外轮廓铣削粗加工	308
10.1.1	毛坯为圆柱体时的粗加工铣削宏程序	308
10.1.2	毛坯为长方体时的粗加工铣削宏程序	314
10.2	椭球面精加工数学计算	321
10.2.1	椭圆内、外等距线参数线方程	321
10.2.2	切削点虚拟刀具半径补偿原理	323
10.3	椭球面外轮廓铣削精加工	324
10.3.1	自上而下圆弧切入/切出分层铣削	324
10.3.2	自上而下层间椭球面过渡分层铣削	326
10.3.3	自下而上圆弧切入/切出分层铣削	331
10.3.4	自下而上层间椭球面过渡分层铣削	333
10.4	椭球面型腔铣削粗加工	336
10.5	椭球面内轮廓铣削精加工	339
10.5.1	自上而下圆弧切入/切出分层铣削	339
10.5.2	自上而下椭球面过渡分层铣削	342
10.5.3	自下而上圆弧切入/切出分层铣削	345
10.5.4	自下而上椭球面过渡分层铣削	348
10.6	本章小结	351
第 11 章	凸台类/凹槽类零件铣削宏程序	353
11.1	凸台类零件铣削精加工	354
11.1.1	圆锥台自下而上层间锥面过渡精加工	354
11.1.2	四棱台自下而上层间锥面过渡精加工	357
11.1.3	椭圆台自下而上层间锥面过渡精加工	360
11.2	凹槽类零件铣削精加工	363
11.2.1	圆锥槽自下而上层间锥面过渡精加工	363
11.2.2	四棱槽自下而上层间锥面过渡精加工	365
11.2.3	椭圆槽自下而上层间锥面过渡精加工	368

11.3	本章总结	370
第 12 章	曲线类零件铣削宏程序	373
12.1	抛物线类零件铣削精加工	373
12.2	双曲线类零件铣削精加工	378
12.3	平面变半径螺旋插补	382
12.4	本章小结	384
第 13 章	圆形/矩形阵列类零件铣削宏程序	385
13.1	椭圆圆形阵列外轮廓铣削加工	385
13.2	椭圆矩形阵列外轮廓铣削加工	391
13.3	本章小结	394
附 录	395

第 **1** 篇

FANUC 数控 宏程序基础

FANUC 0i 宏程序概述

1.1 用户宏程序概念

数控编程方式有自动编程和手工编程两种。

自动编程是借助于如 CATIA、UG、Pro/E、MasterCAM、Cimatron、PowerMill 等相关软件来生成数控加工程序,这种程序通常比较大,无法在一般的数控机床上存储,只能以直接数字控制(Direct Numerical Control,DNC)方式加工,且程序一旦生成,无法适应零件尺寸的变化,如果零件形状未改变而尺寸有所变化,必须借助软件重新生成程序。虽然自动编程已经成为数控加工领域的主流,但就其生成的某一程序而言,并不具有灵活性。

手工编程可分为常量式编程和宏程序编程。一般的零件数控加工程序是由常量式编程实现的,也就是程序中的坐标值都是常量。这和自动编程获得的程序一样,用这种编程方式所编制的程序的适应性很差。通常一个程序只能对应一个零件的加工,当零件形状不改变而尺寸稍有变化时,需要重新编制新的程序,这种程序不具备“柔性”,编程人员的工作量大,也增加了调试时间。另外在一些复杂的应用场合,例如在加工椭圆、螺旋线、渐开线、双曲线、复杂曲面等轮廓时,对于这类曲线/曲面,常量式编程无法胜任零件的加工,FANUC 系统是通过 G01 或 G02/G03 在满足加工精度的条件下逐段逼近来实现的。这个过程涉及大量的数据计算,当加工精度和表面质量要求较高时,编程人员借助常量式编程来实现数控程序的编制几乎是不可能的。然而,FANUC 系统所提供的宏程序功能为解决以上问题提供了手段,通过改变宏程序中的变量值可以加工一族零件,通过在宏程序中加入相应曲线、曲面的算法即可实现复杂曲线、曲面的加工。这种具有变量,并利用对变量的赋值和表达式来进行对程序编辑的程序就是宏程序。

20 世纪 90 年代出现的宏程序类似于 BASIC 计算机语言,随后宏程序得到了稳步发展,除了字母数字式字符仍然不能用于变量名等一些限制外,现在这种程序设计已经相当先进,宏程序已经完全改变了近些年 CNC 机床的程序设计方式,为此领域开辟了无数的可能性,其唯一的限制就是编程人员的想象力。

当前工业制造的重点不只是实现自动化,提高生产效率,还要求“柔性自动化”,以便能对快速变化的市场需求做出迅速响应。宏程序能够让零件编程以设定好的逻辑灵活地来适应不同的加工需求。另外,在许多情况下,可以把 CNC 机床设计为在不受操作员干涉的情况下,能够对不同情况做出决定。所有这些功能成就了不可比拟的高效率和柔性自动化。

数控系统供应商提供的宏程序称为系统宏程序,用户不能修改只能使用。用户自行编制的宏程序称为用户宏程序,可以修改、编辑和存储。平常说的宏程序就是指用户宏程序。FANUC 0i 提供了两种用户宏程序,即用户宏程序 A 和用户宏程序 B。用户宏程序 A 是 FANUC 系统的标准配置,任何配置的 FANUC 系统都具备此功能,而用户宏程序 B 是选择功能,一般的 FANUC 系统也都支持。由于用户宏程序 A 的编程方式极不直观且可读性差,所以在现场很少使用。本书以用户宏程序 B 为重点来阐述相关问题。

1.2 宏程序编程特征

常量式编程只能使用常量,常量之间不能进行运算,程序只能顺序执行,不能跳转。宏程序与常量式编程相比具有如下特征(表 1.1)。

表 1.1 常量式编程和宏程序的区别

比较项目	常量式编程	宏程序
变 量	不能使用变量,只可使用常量	允许使用变量,并且为变量赋值
运 算	常量间不可以进行运算	变量间允许进行数学运算
执 行	程序运行需按顺序执行,不能跳转	程序运行允许跳转

(1) 使用变量。宏程序之所以区别于常量式程序是因为在宏程序中使用了变量,变量的使用为程序的编制带来了灵活性,使得程序具备很高的柔性,具有不同尺寸的同类零件(零件族)只需要一个宏程序就可以实现加工,需要做的只是改变变量值以对应相应零件而已。

(2) 变量间可以进行数学运算。变量之间可以进行数学运算,这使将算法编

入程序成为可能,从而可以实现椭圆、螺旋线、渐开线、双曲线、复杂曲线/曲面等轮廓的加工。

(3) 程序运行可以跳转。宏程序的执行顺序不必和常量式程序一样顺序执行,可以根据条件来改变执行顺序。

1.3 宏程序和子程序比较

(1) 相同之处。用户宏程序是子程序的直接扩充或相似子程序,宏程序是提高数控机床性能的一种特殊功能,使用中通常把能完成某一功能的一系列指令像子程序一样存入存储器,然后用一个总指令代表它们,而且总是使用 M99 功能以子程序同样的方式结束,使用时只需给出这个总指令就能执行该功能。而子程序是将零件中经常出现的几何形状完全相同的加工轨迹,编制成有固定顺序和重复模式的程序段,通常在几个程序中都会用到它。

(2) 不同之处。虽然子程序对编制相同加工操作的程序非常有用,但宏程序由于允许使用变量进行算术或逻辑运算及条件转移,使得编制相同甚至类似加工操作的程序更方便、更容易,如开发成打包好的自定义的固定循环。加工程序可以利用一条简单的指令来调用宏程序,就像使用子程序一样,但宏程序的调用指令中可以对变量进行赋值。

宏程序编程中最重要的三个方面:

- ① 可变数据输入;
- ② 数学函数和计算;
- ③ 当前机床值的保存和恢复。

宏程序有自己专有的特征,这些特征通常是子程序所不具有的。宏程序的专有特征主要和灵活性有关,可归纳如下:

- ① 可修改程序数据;
- ② 可改变程序流程;
- ③ 数据可在两个程序之间传递;
- ④ 重复可有回路;
- ⑤ 测量(检测)可联合使用;
- ⑥ 专门的设备可完全控制。

(3) 宏程序和子程序的混合编程。不能认为宏程序只是更好替代子程序,宏程序有许多用途不能和子程序在相似方面作比较。粗略而言,能用子程序实现的编程都能由宏程序实现,能用宏程序实现的编程子程序不一定能实现,宏程序的柔