

• 数控大赛辅导用书 •

数控铣削加工 宏程序 及应用实例

陈海舟 著

CAD/CAM 软件资深用家

——奉献宏程序编程成功实例

秉承应用为先实用至上宗旨

——百余实例皆上机运行验证

数控大赛应试利器

备赛人员良方秘笈

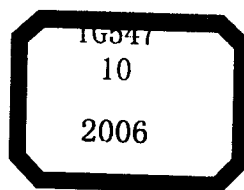


机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





数控大赛辅导用书



数控铣削加工宏程序及应用实例

陈海舟 著
袁万宏 审



机械工业出版社 /

本书以“应用为先，实用至上”为宗旨，以 FANUC Oi 系统为蓝本，详细讲述了数控（铣削）加工宏程序的基础理论知识，内容包括：宏程序应用概述，宏程序基础理论，宏程序功能 A 的使用规定及特点，宏程序功能 B 的调用及其他特点等，并配有大量的宏程序加工应用实例（共计大约 120 个），所有宏程序中的每行语句后都附有详细、清晰的注释说明。更重要的是，书中所有的宏程序，都在 FANUC Oi 系统的加工中心上实际运行过。

本书是一本实用性很强的数控技术用书，对于除 FANUC Oi 系统以外的其他数控系统也有相当的参考价值，可供从事数控（铣削）加工的操作及编程人员、数控行业的工程技术人员参考，也可供各类职业技术学院、技工学校的相关专业师生使用。

图书在版编目（CIP）数据

数控铣削加工宏程序及应用实例 / 陈海舟著. —北京：机械工业出版社，2006.5（2006.8 重印）

数控大赛辅导用书

ISBN 7-111-19017-3

I. 数... II. 陈... III. 数控机床：铣床—金属切削—程序设计 IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 038216 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：邓振飞

策划编辑：何月秋

封面设计：鞠 杨 责任印制：洪汉军

北京汇林印务有限公司印刷

2006 年 8 月第 1 版第 2 次印刷

184mm×260mm·15 印张·363 千字

5 001—10 000 册

定价：27.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话（010）68326294

编辑热线电话（010）88379761

封面无防伪标均为盗版

前言

SHUKONG DASAI

随着现代制造技术的发展和数控机床的日益普及，数控加工在我国得到广泛的应用，其中相当比例的数控铣床（包括加工中心）都应用在模具行业。由于模具加工的特殊性，以及众所周知的非技术性原因，各种 CAD/CAM 软件的应用由来已久，且日趋成熟，从规模较大的各种企业，到那些仅有 1~2 台数控铣床或加工中心的数控“加工店”，随处可见 UG、Cimatron、MasterCAM、PowerMILL 等世界知名 CAD/CAM 软件的身影。

由于种种因素的影响，目前在各类职业技术学院、技工学校的相关专业教学中，过分依赖 CAD/CAM 软件（主要指数控铣），造成学生的编程基本能力得不到应有的训练和提高，真正博大精深的 CAD/CAM 软件也不过掌握一些皮毛，仅停留在能够应付考级考试，而缺乏工艺知识积累和培训的介质。

在 CAD/CAM 软件普遍应用的今天，手工编程的应用空间日趋缩小，数控界有一种说法很流行：“宏程序已经没有什么用”，对此本人不敢苟同。其实任何数控系统都有很多指令在一般情况下用不着，那它们是否也没用呢？这显然不对，对宏程序也是如此，原因只是大家对宏程序不熟悉、往往误以为宏程序深不可测而已。在实际工作中，宏程序确实也有广泛的应用空间，并且能够方便工人编程，锻炼工人的编程能力，帮助工人更加深入地了解自动编程的本质。

2005 年本人曾应日本中央职业能力开发协会（JAVADA）的邀请，随劳动和社会保障部代表团赴日考察，给我们这些数控从业人员留下深刻印象的是：日本机械行业的自动化、数控化、智能化程度绝对不会在中国之下，CAD/CAM 软件的应用也很普遍，但是日本并没有因此而忽略和削弱对编程基本功的要求，例如，无论是数控类技能鉴定等级考试或是数控技能大赛，都不允许使用 CAD/CAM 软件进行自动编程，而只能进行手工编程（在机床控制器上直接编程），因为在企业的实际生产中手工编程依然存在，尤其对宏程序的运用也有明确的要求。

自动编程产生的数控加工程序的精度受多方面因素的影响。首先它受 CAD/CAM 软件在 CAD 建模时的计算精度（还包括不同软件之间 CAD 图档的转换精度）的影响，其次，受 CAD/CAM 软件在生成 NC 刀具轨迹时的（逼近）计算精度影响，再者，就是后处理（Post Process）环节有时也会对其有影响。打开一个自动编程产生的数控加工程序，可以发现里面几乎都是直线圆弧简单指令的组合，虽然数据相当准确，但也相当繁琐，基本上没有办法读懂。

宏程序是程序编制的高级形式，程序编制的质量与编程人员的素质息息相关，宏程序里应用了大量的编程技巧，例如数学模型的建立、数学关系的表达、加工刀具的选择、走刀方式的取舍等，这些使得宏程序的精度很高。特别是对于中等难度的零件，使用宏程序进行编程加工要比自动编程加工快得多，有时自动编程的程序长度可能是宏程序的几十倍、几百倍甚至更悬殊，加工时间也会大大增加。宏程序是手工编程，CAD/CAM 软件编程是自动编程，手工编程是自动编程的基础，在任何时候手工编程都是必须掌握的，特别是其精髓——宏程序。

著者个人认为：在能应用手工编程的地方尽量不使用自动编程，在必要的地方可以采用自动编程。由于编写宏程序的过程其实也是一个直接地体现编程者工艺指导思想，衡量编程者工艺制定水平的过程。因此，对于数控编程的初学者及普通使用者来说，学习宏程序也非常有助于提高数控加工工艺水平。

本书以“**应用为先，实用至上**”为宗旨，并不试图对数控系统的宏程序功能进行全面深入、面面俱到的诠释，而是以实用主义为导向，以图文并茂的形式生动列举了大量的加工实例，且所有宏程序的每行语句进行详细、清晰的注释说明。更重要的是，书中所有的宏程序（共计大约 120 个），都在 FANUC Oi 系统的加工中心上**实际运行过**！

尽管本书是以 FANUC Oi 系统来讲述宏程序的基础理论知识及应用实例，但并不意味着这些内容对于其他数控系统就毫无价值。首先，在宏程序方面 FANUC 系统各系列不同之处甚微；其次，即使对于 FANUC 以外的其他数控系统（涉及到系统内部的参数定义、用法规定等），在基本原理和编写语法方面同样有参考价值，所谓“触类旁通，举一反三”是指只要真正了解和掌握了 FANUC Oi 这一种数控系统的宏程序原理、应用方法和技巧，那么即使是面对其他的数控系统，也能够很快适应和掌握，例如 FANUC 系统的宏程序同华中系统的差别就不大，用 FANUC 能编的宏程序，一定可以转为华中系统识别的宏程序，反之亦然。正



如学习 CAD/CAM 软件一样，精通一种之后再去学第二种，就会有种“似曾相识”的感觉，学起来自然就事半功倍，得心应手。

著者 1992 年进入数控领域，从那时起就开始使用著名的 CAD/CAM 软件 Cimatron，2004 年有幸代表广东省参加了在北京举行的第一届全国数控技能大赛（加工中心职工组），开始真正认识宏程序，以一个 CAD/CAM 软件资深使用者的经历和眼光，经过了从不屑、怀疑和陌生到认识、学习和熟悉的过程，领悟之余，萌生了写本书的念头。希望有机会与同行专家在宏程序领域共同探讨、深入交流，更乐于看到广大读者在实际工作中有机会直接套用本书中的宏程序，那不仅是对我的肯定，更是对宏程序应用的肯定。

最后给读者赠言：宏程序其实很简单，它可以用在难的地方，也可用在简单的地方，但都可以简化我们的编程，磨砺我们的思维！

书中错误及疏漏之处敬请同行及读者不吝指正。

陈海舟

2005 年 11 月 22 日



目录

SHUKONG DASAI

前言

第1章 宏程序应用概述	1
1.1 宏程序与普通程序的对比	2
1.2 数控编程技术的应用现状	2
1.3 宏程序编程的技术特点	2
1.4 宏程序与 CAD/CAM 软件生成程序的加工性能对比	4
第2章 宏程序基础理论 (FANUC 0i 系统)	7
2.1 FANUC 0i 系统的用户宏程序	8
2.2 变量	8
2.2.1 变量的表示	8
2.2.2 变量的类型	8
2.2.3 变量值的范围	8
2.2.4 小数点的省略	9
2.2.5 变量的引用	9
2.3 系统变量	9
2.3.1 接口 (输入/输出) 信号	10
2.3.2 刀具补偿值	10
2.3.3 模态信息	11
2.3.4 当前位置信息	12
2.3.5 工件坐标系补偿值 (工件零点偏移值)	13
2.4 算术和逻辑运算	14



2.5 赋值与变量	18
2.6 转移和循环	19
2.6.1 无条件转移 (GOTO 语句)	19
2.6.2 条件转移 (IF 语句)	19
2.6.3 循环 (WHILE 语句)	20
第3章 用户宏程序功能 A	23
3.1 用户宏指令 (用户宏程序调用指令)	24
3.1.1 宏程序模态调用与取消 (G66、G67)	24
3.1.2 子程序调用 (M98)	24
3.1.3 用 M 代码调用子程序	24
3.1.4 用 T 代码调用子程序	25
3.2 用户宏程序本体	25
3.2.1 用户宏程序本体的结构	25
3.2.2 变量的表示和引用	26
3.2.3 变量的种类	26
3.2.4 宏程序的运算和控制指令	26
第4章 用户宏程序功能 B	28
4.1 用户宏指令 (用户宏程序调用指令)	29
4.1.1 宏程序非模态调用 (G65)	29
4.1.2 宏程序模态调用与取消 (G66、G67)	32
4.1.3 用 G 代码调用宏程序 (G<g>)	33
4.1.4 用 M 代码调用宏程序 (M<m>)	34
4.1.5 用 M 代码调用子程序	35
4.1.6 用 T 代码调用子程序	36
4.2 宏程序语句和 NC 语句	36
4.2.1 宏程序语句和 NC 语句的定义	36
4.2.2 宏程序语句和 NC 语句的异同	36
4.2.3 宏程序语句的处理	37
4.3 用户宏程序的使用限制	37



第5章 宏程序应用实例1——孔系加工	39
5.1 概述	40
5.2 圆柱孔及螺纹孔的铣削加工实例	40
5.2.1 圆孔轮廓加工（螺旋铣削）	40
5.2.2 多个圆孔（或台阶圆孔）轮廓加工（螺旋铣削）	42
5.2.3 单刃螺纹铣刀铣削加工内（直）螺纹	44
5.2.4 单刃螺纹铣刀铣削加工外（直）螺纹	46
5.3 孔群的固定循环加工实例	47
5.3.1 沿圆周均布的孔群加工	47
5.3.2 沿直线均布的多组孔群加工	48
5.3.3 沿圆周均布的多组孔群加工	50
5.3.4 沿圆周（旋转）均布的多组孔群加工	51
5.3.5 沿椭圆均布的孔群加工	53
5.3.6 平行阵列的孔群加工	55
5.4 钻深可变速深孔钻加工实例	57
第6章 宏程序应用实例2——口袋及轮廓加工	60
6.1 矩形类口袋加工实例	61
6.1.1 矩形开放区域平面加工	61
6.1.2 封闭矩形口袋加工（即矩形内腔加工）	63
6.1.3 四角圆角过渡矩形内腔加工	64
6.2 圆孔类口袋加工实例	66
6.2.1 圆孔内腔加工（中心垂直下刀）	66
6.2.2 台阶圆孔内腔加工（中心垂直下刀）	68
6.2.3 圆孔内腔加工（螺旋铣削）	69
6.3 其他规则形状类口袋加工实例	70
6.3.1 正多边形内腔加工（中心垂直下刀）	70
6.3.2 椭圆内腔加工（中心垂直下刀）	72
6.4 规则形状轮廓加工实例	74
6.4.1 标准矩形外轮廓加工	74



6.4.2	四角圆角过渡矩形外轮廓加工.....	75
6.4.3	标准正多边形外轮廓加工.....	76
6.4.4	顶点圆角过渡正五边形外轮廓加工.....	77
6.4.5	顶点圆角过渡正六边形外轮廓加工.....	79
6.4.6	顶点圆角过渡正八边形外轮廓加工.....	80
6.4.7	椭圆轨迹加工.....	82
第 7 章	宏程序应用实例 3——各类圆柱面加工（球头铣刀）.....	86
7.1	轴线垂直于坐标平面的外圆柱面加工.....	87
7.1.1	G17/G18/G19 与 G02/G03 圆弧插补的定义.....	87
7.1.2	ZX 坐标平面内的 G02/G03 圆弧插补式加工.....	87
7.1.3	YZ 坐标平面内的 G02/G03 圆弧插补式加工.....	89
7.2	轴线不垂直于坐标平面的外圆柱面加工.....	91
7.2.1	对进给方式选择的说明.....	91
7.2.2	圆柱面右侧 Y+→Y0 单向推进加工.....	91
7.2.3	圆柱面左侧 Y0→Y+ 单向推进加工.....	92
7.3	轴线垂直于坐标平面的内圆柱面加工.....	94
7.3.1	ZX 坐标平面内的 G02/G03 圆弧插补式加工.....	94
7.3.2	YZ 坐标平面内的 G02/G03 圆弧插补式加工.....	95
7.4	轴线不垂直于坐标平面的内圆柱面加工.....	97
7.4.1	圆柱面右侧 Y0→Y+ 单向推进加工.....	97
7.4.2	圆柱面左侧 Y+→Y0 单向推进加工.....	99
第 8 章	宏程序应用实例 4——各类斜面加工.....	101
8.1	简单斜面加工（平底立铣刀）.....	102
8.1.1	标准矩形周边外斜面加工.....	102
8.1.2	前侧斜面 X0→X- 单向推进加工.....	104
8.1.3	后侧斜面 X0→X+ 单向推进加工.....	105
8.1.4	左侧斜面 Y0→Y+ 单向推进加工.....	106
8.1.5	右侧斜面 Y0→Y- 单向推进加工.....	107



8.2	简单斜面加工（球头铣刀）	108
8.2.1	标准矩形周边外斜面加工	108
8.2.2	前侧斜面 $X0 \rightarrow X$ -单向推进加工	110
8.2.3	后侧斜面 $X0 \rightarrow X$ +单向推进加工	111
8.2.4	左侧斜面 $Y0 \rightarrow Y$ +单向推进加工	112
8.2.5	右侧斜面 $Y0 \rightarrow Y$ -单向推进加工	113
8.3	四角圆角过渡（上下等半径）矩形周边斜面加工	114
8.3.1	四角圆角过渡（上下等半径）矩形周边外斜面加工（平底立铣刀）	114
8.3.2	四角圆角过渡（上下等半径）矩形周边内斜面加工（平底立铣刀）	115
8.3.3	四角圆角过渡（上下等半径）矩形周边外斜面加工（球头铣刀）	116
8.3.4	四角圆角过渡（上下等半径）矩形周边内斜面加工（球头铣刀）	118
8.4	四角圆角过渡（上下变半径）矩形周边斜面加工	119
8.4.1	四角圆角过渡（上下变半径）矩形周边外斜面加工（平底立铣刀）	120
8.4.2	四角圆角过渡（上下变半径）矩形周边内斜面加工（平底立铣刀）	121
8.4.3	四角圆角过渡（上下变半径）矩形周边外斜面加工（球头铣刀）	122
8.4.4	四角圆角过渡（上下变半径）矩形周边内斜面加工（球头铣刀）	124
8.5	标准正多边形周边外斜面加工	125
8.5.1	标准正多边形周边外斜面加工（平底立铣刀）	126
8.5.2	标准正多边形周边外斜面加工（球头铣刀）	127
8.6	顶点圆角过渡（上下等半径）正多边形周边外斜面加工	128
8.6.1	顶点圆角过渡（上下等半径）正五边形周边外斜面加工（平底立铣刀）	129
8.6.2	顶点圆角过渡（上下等半径）正五边形周边外斜面加工（球头铣刀）	130
8.6.3	顶点圆角过渡（上下等半径）正六边形周边外斜面加工（平底立铣刀）	132
8.6.4	顶点圆角过渡（上下等半径）正六边形周边外斜面加工（球头铣刀）	133
8.6.5	顶点圆角过渡（上下等半径）正八边形周边外斜面加工（平底立铣刀）	134
8.6.6	顶点圆角过渡（上下等半径）正八边形周边外斜面加工（球头铣刀）	135
8.7	顶点圆角过渡（上下等半径）正多边形周边内斜面加工	136
8.7.1	顶点圆角过渡（上下等半径）正五边形周边内斜面加工（平底立铣刀）	137
8.7.2	顶点圆角过渡（上下等半径）正五边形周边内斜面加工（球头铣刀）	138
8.7.3	顶点圆角过渡（上下等半径）正六边形周边内斜面加工（平底立铣刀）	139
8.7.4	顶点圆角过渡（上下等半径）正六边形周边内斜面加工（球头铣刀）	140





8.7.5	顶点圆角过渡（上下等半径）正八边形周边内斜面加工（平底立铣刀）	141
8.7.6	顶点圆角过渡（上下等半径）正八边形周边内斜面加工（球头铣刀）	142
8.8	顶点圆角过渡（上下变半径）正多边形周边外斜面加工	144
8.8.1	顶点圆角过渡（上下变半径）正五边形周边外斜面加工（平底立铣刀）	144
8.8.2	顶点圆角过渡（上下变半径）正五边形周边外斜面加工（球头铣刀）	144
8.8.3	顶点圆角过渡（上下变半径）正六边形周边外斜面加工（平底立铣刀）	145
8.8.4	顶点圆角过渡（上下变半径）正六边形周边外斜面加工（球头铣刀）	145
8.8.5	顶点圆角过渡（上下变半径）正八边形周边外斜面加工（平底立铣刀）	145
8.8.6	顶点圆角过渡（上下变半径）正八边形周边外斜面加工（球头铣刀）	146
8.9	顶点圆角过渡（上下变半径）正多边形周边内斜面加工	146
8.9.1	顶点圆角过渡（上下变半径）正五边形周边内斜面加工（平底立铣刀）	146
8.9.2	顶点圆角过渡（上下变半径）正五边形周边内斜面加工（球头铣刀）	147
8.9.3	顶点圆角过渡（上下变半径）正六边形周边内斜面加工（平底立铣刀）	147
8.9.4	顶点圆角过渡（上下变半径）正六边形周边内斜面加工（球头铣刀）	148
8.9.5	顶点圆角过渡（上下变半径）正八边形周边内斜面加工（平底立铣刀）	148
8.9.6	顶点圆角过渡（上下变半径）正八边形周边内斜面加工（球头铣刀）	148
第 9 章	宏程序应用实例 5 —— 内外球面及倒 R 面加工	150
9.1	外球面加工	151
9.1.1	自上而下等高体积粗加工（平底立铣刀）	151
9.1.2	自下而上等角度水平圆弧环绕球面精加工（球头铣刀）	152
9.2	内球面加工	154
9.2.1	自上而下等高体积粗加工（平底立铣刀）	154
9.2.2	自上而下等角度水平圆弧环绕曲面精加工（球头铣刀）	156
9.3	标准矩形周边外凸倒 R 面加工	158
9.3.1	标准矩形周边外凸倒 R 面加工（平底立铣刀）	158
9.3.2	标准矩形周边外凸倒 R 面加工（球头铣刀）	159
9.4	四角圆角过渡矩形周边倒 R 面加工	160
9.4.1	四角圆角过渡矩形周边外凸倒 R 面加工（平底立铣刀）	160
9.4.2	四角圆角过渡矩形周边外凸倒 R 面加工（球头铣刀）	162
9.4.3	四角圆角过渡矩形周边内凸倒 R 面加工（平底立铣刀）	163



9.4.4	四角圆角过渡矩形周边内凸倒 R 面加工（球头铣刀）	164
9.5	标准正多边形周边外凸倒 R 面加工	166
9.5.1	标准正多边形周边外凸倒 R 面加工（平底立铣刀）	166
9.5.2	标准正多边形周边外凸倒 R 面加工（球头铣刀）	167
9.6	顶点圆角过渡正多边形周边外凸倒 R 面加工	168
9.6.1	顶点圆角过渡正五边形周边外凸倒 R 面加工（平底立铣刀）	169
9.6.2	顶点圆角过渡正五边形周边外凸倒 R 面加工（球头铣刀）	170
9.6.3	顶点圆角过渡正六边形周边外凸倒 R 面加工（平底立铣刀）	171
9.6.4	顶点圆角过渡正六边形周边外凸倒 R 面加工（球头铣刀）	173
9.6.5	顶点圆角过渡正八边形周边外凸倒 R 面加工（平底立铣刀）	174
9.6.6	顶点圆角过渡正八边形周边外凸倒 R 面加工（球头铣刀）	175
9.7	顶点圆角过渡正多边形周边内凸倒 R 面加工	176
9.7.1	顶点圆角过渡正五边形周边内凸倒 R 面加工（平底立铣刀）	177
9.7.2	顶点圆角过渡正五边形周边内凸倒 R 面加工（球头铣刀）	178
9.7.3	顶点圆角过渡正六边形周边内凸倒 R 面加工（平底立铣刀）	179
9.7.4	顶点圆角过渡正六边形周边内凸倒 R 面加工（球头铣刀）	180
9.7.5	顶点圆角过渡正八边形周边内凸倒 R 面加工（平底立铣刀）	182
9.7.6	顶点圆角过渡正八边形周边内凸倒 R 面加工（球头铣刀）	183
第 10 章	宏程序应用实例 6 —— 特殊加工实例	185
10.1	单刃螺纹铣刀铣削加工内锥螺纹	186
10.2	凸半球体曲面三维螺旋加工	188
10.3	外椭圆球面加工	190
10.3.1	自上而下等高体积粗加工（平底立铣刀）	190
10.3.2	自上而下等角度水平环绕曲面精加工（球头铣刀）	192
10.4	内椭圆球面加工	194
10.4.1	自上而下等高体积粗加工（平底立铣刀）	194
10.4.2	自上而下等角度水平环绕曲面精加工（球头铣刀）	196
10.5	内外圆锥面自上而下等高加工（圆鼻刀）	198
10.5.1	外圆锥面（圆台）等高加工	199
10.5.2	内圆锥面（锥孔）等高加工	200



10.6 非圆曲线轮廓（凸轮）加工	201
第 11 章 宏程序应用的数学基础	203
11.1 解析几何基础	204
11.1.1 直线和圆	204
11.1.2 二次曲线（椭圆、双曲线、抛物线）	205
11.1.3 其他平面曲线（摆线、渐开线、螺线等）	207
11.1.4 （空间）二次曲面（椭球面、双曲抛物面等）	209
11.2 典型几何图形计算图解	210
11.2.1 正多边形及其简单衍生图形（见表 11-14~表 11-16）	210
11.2.2 正多边形圆弧连接类图形（见表 11-17~表 11-25）	212
11.2.3 直线与直线圆弧过渡类图形	217
11.2.4 圆弧与圆弧间以圆弧连接类图形	218
参考文献	221

第1章

宏程序应用概述

-  1.1 宏程序与普通程序的对比
-  1.2 数控编程技术的应用现状
-  1.3 宏程序编程的技术特点
-  1.4 宏程序与 CAD/CAM 软件生成程序的加工性能对比

数控大赛



1.1 宏程序与普通程序的对比

一般意义上所讲的数控指令其实是指 ISO 代码指令编程，即每个代码的功能是固定的，由系统生产厂家开发，使用者只需（只能）按照规定编程即可。但有时候这些指令满足不了用户的需要，系统因此提供了用户宏程序功能，使用户可以对数控系统进行一定的功能扩展，实际上是数控系统对用户的开放，也可视为用户利用数控系统提供的工具，在数控系统的平台上进行二次开发，当然这里的开放和开发都是有条件和有限制的。

用户宏程序和与普通程序存在一定的区别，认识和了解这些区别，将有助于宏程序的学习理解和掌握运用，表 1-1 为用户宏程序和普通程序的简要对比。

表 1-1 用户宏程序和普通程序的简要对比

普通程序	宏程序
只能使用常量	可以使用变量，并给变量赋值
常量之间不可以运算	变量之间可以运算
程序只能顺序执行，不能跳转	程序运行可以跳转

1.2 数控编程技术的应用现状

众所周知，我国目前被誉为“世界工厂”、“制造大国”，这其中以制造业高度发达的华南（以珠三角地区为代表）和华东（以上海及江浙地区为代表）最具代表性，我国制造业在飞速发展的同时，与世界制造业先进水平的差距也在不断缩小。而作为现代制造技术的灵魂及核心，数控加工技术在上述地区得到了最为广泛的应用：据不完全统计，早在十年前广东地区所拥有的数控铣床（包括加工中心）数量，已经超过广东以外全国其他所有地区的数控铣床（包括加工中心）数量的总和，十年后的今天，这种情况已经发生了相当大的变化。这些地区的数控加工技术的应用水平，在某种程度上也代表了我国数控加工技术的最高水平。

在我国，六成以上数控铣床（加工中心）都是应用在模具行业，由于模具加工的特殊性，和一些非技术性原因，CAD/CAM 软件的应用由来已久，且日趋成熟，从规模较大的各种企业，到那些仅有 1~2 台数控铣床或加工中心的数控“加工店”，随处可见 UG、Cimatron、MasterCAM、PowerMILL 等世界知名 CAD/CAM 软件的身影。

迄今为止，各类 CAD/CAM 软件日趋普及，特别是在数控三维曲面加工中，手工编程几乎已没有用武之地，而由于强大的思维定势和使用习惯，使得编程人员不论程序大小、加工难易，都习惯并乐于使用各种 CAD/CAM 软件来编程加工。手工编程似乎被遗忘在角落里，大有无人问津之势。

1.3 宏程序编程的技术特点

必须强调的是，尽管使用各种 CAD/CAM 软件来编制数控加工程序已经成为潮流（或是主流），但是手工编程毕竟还是基础，各种“疑难杂症”的解决往往还要利用手工编程；且手动编程还可以使用变量编程，即宏程序的运用。其最大特点就是将有规律的形状或尺寸用最短的程序段表示出来，具有极好的易读性和易修改性，编写出的程序非常简洁，逻辑严密，



通用性极强,而且机床在执行此类程序时,较执行 CAD/CAM 软件生成的程序更加快捷,反应更迅速。

随着技术的发展,自动编程逐渐会取代手工编程,但宏程序简捷的特点使之依然具有使用价值,笔者个人认为,宏程序的运用应该是手工编程应用中最大的亮点和最后的堡垒。

宏程序具有灵活性、通用性和智能性等特点,例如对于规则曲面的编程来说,使用 CAD/CAM 软件编程一般都有工作量大,程序庞大,加工参数不易修改等缺点,只要任何一样加工参数发生任何变化,再智能的软件也要根据变化后的加工参数重新计算刀具轨迹,尽管软件计算刀具轨迹的计算速度非常快,但始终是个比较麻烦的过程。而宏程序则注重把机床功能参数与编程语言结合,而且灵活的参数设置也使机床具有最佳的工作性能,同时也给予操作工人极大的自由调整空间。

从模块化加工的角度看,宏程序最具有模块化的思想和资质条件,编程人员只需要根据零件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,应用时只需要把零件信息、加工参数等输入到相应模块的调用语句中,就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,有种一劳永逸的效果。

另外,由于宏程序基本上包含了所有的加工信息(如所使用刀具的几何尺寸信息等),而且非常简明、直观,通过简单地存储和调用,就可以很方便地重现当时的加工状态,给周期性的生产特别是不定期的间隔式生产带来了极大的便利。

客观地说,对于主要由大量的不规则复杂曲面构成的模具成型零件,特别是各种注塑模、压铸模等型腔类模具的型芯、型腔和电极,以及汽车覆盖件模具的凸模、凹模等,由于从设计、分析到制造的整个产业链在技术层面及生产管理上都是通过以各种 CAD/CAM 软件为核心(还包括 PDM、CAE 等)的纽带紧密相联的,从而形成一种高度的一体化和关联性,无论从哪个角度来看,数控加工的程序编制几乎百分之百地依赖各种 CAD/CAM 软件,宏程序在这里的发挥空间是非常有限的。但是,数控加工领域还有很大一片天空是属于机械零件的批量加工,虽然同样是数控加工,它与上述的模具类零件的数控加工还是有着相当大差别的,机械零件的数控加工主要有以下特点:

1) 机械零件绝大多数都是批量生产(除了样品试制,即俗称的“打板”),在保证质量的前提下要求最大限度地提高加工效率以降低生产成本,一个零件哪怕仅仅节省 1s,成百上千的同样零件合计起来节省的时间就非常可观了。另外批量零件在加工的几何尺寸精度和形状位置精度方面都要求保证高度的一致性,而加工工艺的优化主要就是程序的优化,是一个反复调整、尝试的过程,这就要求操作者能够非常方便地调整程序中的各项加工参数(如刀具尺寸、刀具补偿值、层降、步距、计算精度、进给速度等),正如上所述,只要其中任何一项发生变化,再智能的软件也要根据变化后的加工参数重新计算刀具轨迹,再经后处理生成程序,这个过程非常耗时,且十分繁琐。显然,宏程序在这方面就有强大的优越性,只要能利用宏程序来表述,操作者就根本无需触动程序本身,而只需针对各项加工参数所对应的自变量赋值做出个别调整,就能迅速的将程序调整到最优化的状态,这就体现出宏程序的一个突出优点,即一次编程,终身受益。

2) 机械零件的形状主要是由各种凸台、凹槽、圆孔、斜平面、回转面等组成,很少包含不规则的复杂曲面,构成其的几何因素无外乎点、直线、圆弧,最多加上各种二次圆锥曲线(椭圆、抛物线、双曲线),以及一些渐开线(常应用于齿轮及凸轮等),所有这些都是基