

数控

车 / 铣宏程序的 开发与应用

◎ 周维泉 著



附赠光盘



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数控车/铣宏程序 的开发与应用

周维泉 著



机械工业出版社

本书详细介绍了数控车铣用发那科系统宏程序的开发与应用,主要内容为:宏程序概述,变量,系统变量,变量的赋值,变量的置换、运算和变量的函数,改变宏程序执行流向的控制指令,宏程序的格式和宏程序的间接赋值,宏程序的手动输入方法和变量值的显示,数控车/铣用直线或单圆弧逼近非圆曲线轮廓宏程序的开发,单圆弧等误差逼近非圆曲线纯计算宏程序的开发,双圆弧等误差逼近非圆曲线纯计算宏程序的开发,非圆曲线的逼近计算、数据转换和加工的“一条龙式”宏程序,历届全国数控技能大赛中加工非圆曲线宏程序的应用,数控车/铣用若干通用宏程序,局部变量、公共变量和系统变量的综合应用举例。

本书内容由简单到复杂,程序解释详尽,非圆二次曲线“可限定误差、先算后干、数据自动存储和加工自动提取”的“一条龙式”宏程序是作者首创,既适合初级数控人员学习,又适合中高级数控应用人员提高。

本书适用于数控大赛的备考选手、中高职院校数控专业师生,数控工艺员和操作员学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控车/铣宏程序的开发与应用/周维泉著. —北京:机械工业出版社, 2012. 6

ISBN 978-7-111-38637-7

I. ①数… II. ①周… III. ①数控机床-车床-程序设计②数控机床-铣床-程序设计 IV. ①TG519.1②TG547

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第117842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:王英杰 责任编辑:王英杰 武晋

版式设计:霍永明 责任校对:李锦莉

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2012年6月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·18.75印张·459千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38637-7

ISBN 978-7-89433-515-9(光盘)

定价:45.00元(含1CD)

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

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

著者 1978 年走上数控应用岗位就开始接触宏程序：发那科系统的全自动对刀宏程序和日本大隈 OSP 系统的机内自动检测工件宏程序。弄懂厂家提供的有限的几个模块后就开发出适用于自动对特型刀和适用于检测本公司工件的宏程序。数控车加工和数控铣加工时常遇到用宏程序最合适和较合适的情况。遇到一个就编一个简单的专用宏程序，直接用于加工。完成加工也就意味着这个宏程序通过了调试。这种专用宏程序中的变量一般不超过 3 个。随着用于生产的专用宏程序的积累，著者就把自己和同行可能常会遇到的与此加工内容类似的宏程序进行二次开发，把其中的若干常量改成变量，使之成为在一定范围内通用的宏程序。

近几年，在数控应用和数控职业教育领域掀起了学习宏程序的热潮。必须明确，学习宏程序的目的是为了应用：用自己编制的宏程序或用别人包括制造厂家开发的宏程序模块加工或做别的工作。而自己编制宏程序的前提条件是懂变量与宏程序的基础知识、宏程序开发的技巧。掌握宏程序分三个阶段。第一阶段是会编制并使用简单的宏程序和会使用现成的宏程序模块；第二阶段是会编制并使用中等复杂的宏程序和会使用现成的中等复杂的宏程序；第三阶段是会编制并使用比较复杂的宏程序，直到会开发在一定范围内通用的宏程序模块。后者不仅可自用，还可与同行共享。

作为编写和使用宏程序已有 30 多年历史的数控应用工作者，著者一直想把自己对宏程序的认识、体会和开发应用心得与同行交流。在本书编写过程中，著者原想把发那科、西门子和日本大隈 OSP 数控系统的宏程序比较着编写，但写完两章后改为只写发那科系统的。原因有三：一是写 3 种系统的要么篇幅太长，要么写得不深；二是著者对西门子新系统的 R 参数程序没有应用经验；三是发那科系统的宏程序有一定的代表性，且国内外开发的数控系统有不少宏程序与它类似。

著者希望本书对于处于掌握宏程序第一、二、三阶段的同行都有帮助。为此，本书编写分三部分内容：变量与宏程序的基础知识；宏程序开发的方法和过程；提供若干个可以直接使用的宏程序模块（其中有一些模块可作为开发同类模块的样板）。学习宏程序的目标是应用，关键是开发。开发宏程序分三大步：建立数学模型（导出算式）；编写；调试。

本书重点讲前两步。为便于读者自学，著者对书中的宏程序作了尽可能详细的注解和说明。

迄今为止，著者见到的加工宏程序都是边算边干，即计算一步刀具移动一小段。边算边干有个问题：离散段太长，拟合误差就大；离散段太短会来不及算，即加工完前段时后段的数据还没算出来。再有，由于验算误差要用许多段宏程序，所以用边算边干的方法无法作非圆曲线的等误差拟合加工。

著者在书中介绍了如何开发先算后干的加工宏程序。先算后干的观程序主要分两部分：一个只用于对非圆曲线作逼近计算的宏程序和另一个利用计算结果数据作切削加工的宏程序。由于计算切削加工分开，在计算宏程序中就可以进行拟合误差验算，最终实现等误差拟合加工。

著者在 15 年前就把等误差逼近非圆曲线的纯计算宏程序开发出来了。开始几年的应用是把计算宏程序运行的结果抄录下来（每段逼近圆弧 3 个数据），再将其编入 NC 加工程序中，再用这个 NC 程序进行加工。

能不能让计算结果自动存储在即使断电也不会丢值的公共变量中，在随后执行加工（宏）程序时自动到这些公共变量中去取值呢？著者考虑这个问题好多年。早期的发那科系统中，这种变量只有 10 个，后来扩展到 500 个。此外，发那科系统允许变量套变量。著者利用这个优势终于开发出既能自动存储又能自动取值的编程方法，从而实现了所谓“逼近计算—自动存值—切削加工自动取值的连续自动加工”。人类的进步是通过不断的创新来实现的。著者不知道这种非圆曲线的连续自动加工能不能算一种小小的创新。

宏程序在数控加工中有一定的地位，它与 NC 程序及自动编程各适用于不同的加工对象和不同的加工内容。比较而言，数控铣加工比数控车加工用宏程序的机会多一些。在此，著者愿同行开发出更多更好的数控应用宏程序。

个人的能力总是有限的，由于时间仓促，书中难免有错误和疏漏之处，请广大读者指正。

目 录

前言

第1章 宏程序概述	1
1.1 宏程序的含义	1
1.2 宏程序与 NC 程序的异同	1
1.3 宏程序的用途	3
1.4 宏程序在数控加工 程序中的地位	6
第2章 变量	8
2.1 变量的形态	8
2.2 变量的分类	8
2.2.1 空变量#0	8
2.2.2 局部变量#1 ~ #33	9
2.2.3 公共变量#100 ~ #199 和#500 ~ #999	9
2.2.4 系统变量简介	10
2.3 变量值的许用范围	10
2.4 小数点的省略	10
2.5 变量在程序字中的引用	11
第3章 系统变量	12
3.1 用于接口信号的系统变量	12
3.1.1 用于输入接口信号的 系统变量	12
3.1.2 用于输出接口信号的 系统变量	13
3.2 用于刀具补偿值的系统变量	15
3.2.1 车床数控系统用于刀具 补偿值的系统变量	15
3.2.2 铣床数控系统用于刀具 补偿值的系统变量	16
3.3 用宏程序语句设置报警的 系统变量	17
3.4 用于时钟的系统变量	17
3.4.1 用于时刻的系统变量	18
3.4.2 用于时间的系统变量	18
3.5 用于加工零件计数的系统变量	18
3.6 用于当前模态信息的系统变量	19
3.6.1 车床数控系统的系统变量	

与模态信息的对应关系	19
3.6.2 铣床数控系统的系统变量 与模态信息的对应关系	20
3.7 用于位置信息的系统变量	21
3.8 用于工件坐标系补偿值的 系统变量	22
第4章 变量的赋值	23
4.1 等式赋值	23
4.2 操作面板键入赋值	23
4.3 间接赋值	23
4.4 未赋值变量	24
4.4.1 未赋值变量在程序字中的引用	24
4.4.2 未赋值变量在条件表达 式中的应用	24
第5章 变量的置换、运算 和变量的函数	26
5.1 变量的置换	26
5.2 变量的运算	26
5.2.1 变量的算术运算	26
5.2.2 变量的逻辑运算	26
5.3 变量的函数	27
5.3.1 变量可使用的函数	27
5.3.2 变量的三角函数说明	27
5.3.3 变量的其他函数说明	28
5.4 变量的组合运算	29
5.5 变量运算的精度	29
第6章 改变宏程序执行流向 的控制指令	30
6.1 转向指令	30
6.1.1 IF 指令	30
6.1.2 无条件转向指令	32
6.2 循环指令	32
6.3 循环指令和 IF 指令循环 功能的比较	35
第7章 宏程序的格式和宏程序 的间接赋值	37

7.1 标准格式宏程序	37	误差、边算边干的顺时针铣削宏程序	70
7.1.1 标准格式宏程序的组成	37	9.10 宏程序的仿真	71
7.1.2 标准格式宏程序中的间接赋值	37	第10章 单圆弧等误差逼近非圆曲线纯计算宏程序的开发	78
7.1.3 标准格式宏程序中的模态和非模态调用	39	10.1 边算边干和先算后干	78
7.1.4 宏程序的多重调用	41	10.2 用单圆弧等误差逼近椭圆曲线纯计算宏程序的开发	79
7.1.5 指令 G65 和指令 M98 调用功能的区别	41	10.2.1 逼近圆弧与被逼近椭圆曲线间的误差	79
7.2 非标准格式宏程序	43	10.2.2 逼近思路 and 开发思路	81
7.2.1 单纯性非标准格式宏程序	43	10.2.3 存在一个隐蔽漏洞的纯计算宏程序的开发	83
7.2.2 复合性非标准格式宏程序	43	10.2.4 检查和修补程序的漏洞并优化程序	89
7.2.3 两种格式宏程序的应用区别	44	10.2.5 用单圆弧等误差逼近椭圆曲线纯计算通用宏程序的应用举例	94
第8章 宏程序的手动输入方法和变量的显示	46	10.3 用单圆弧等误差逼近双曲线纯计算宏程序的开发	94
8.1 在操作面板上手动输入宏程序	46	10.3.1 逼近圆弧与被逼近双曲线段之间的误差	95
8.2 变量当前值的显示	47	10.3.2 纯计算通用宏程序的编制	96
第9章 数控车/铣用直线和单圆弧逼近椭圆轮廓宏程序的开发	48	10.3.3 用单圆弧等误差逼近双曲线纯计算通用宏程序的应用举例	104
9.1 椭圆曲线的有关方程	48	10.4 用单圆弧等误差逼近抛物线纯计算宏程序的开发	104
9.1.1 椭圆的普通方程	49	10.4.1 逼近圆弧与被逼近抛物线段之间的误差	105
9.1.2 椭圆的参数方程	49	10.4.2 纯计算通用宏程序的编制	105
9.2 车削外凸椭圆轮廓的 NC 程序	50	10.4.3 抛物线纯计算通用宏程序的应用举例	110
9.3 Z 向分步、直线逼近、不验算误差、边算边干的车削宏程序	51	第11章 双圆弧等误差逼近非圆曲线纯计算宏程序的开发	111
9.4 参数角分步、直线逼近、不验算误差、边算边干的车削宏程序	54	11.1 双圆弧逼近与单圆弧逼近非圆曲线的比较	111
9.5 参数角分步、圆弧逼近、不验算误差、边算边干的车削宏程序	57	11.2 用双圆弧等误差逼近椭圆曲线纯计算通用宏程序的开发	114
9.6 把圆弧逼近、不验算误差的宏程序编入闭合粗车循环指令中	63	11.2.1 用双圆弧等误差逼近椭圆	
9.7 把圆弧逼近、不验算误差的宏程序编入其他粗车循环指令中	65		
9.7.1 只作逼近计算、不进行加工的宏程序开发	65		
9.7.2 把计算出的数据编入其他粗车循环指令中	67		
9.8 参数角分步、圆弧逼近、不验算误差、边算边干的逆时针铣削宏程序	67		
9.9 参数角分步、圆弧逼近、不验算			

曲线的有关公式	114	12.3.3 提取单圆弧逼近数据进行 顺向铣削的加工宏程序	157
11.2.2 不能跨越Ⅱ、Ⅲ象限交界 线的双圆弧等误差逼近椭 圆宏程序的编制	119	12.3.4 提取单圆弧逼近数据进行 逆向铣削的加工宏程序	158
11.2.3 用于Ⅱ、Ⅲ象限的双圆弧等 误差逼近椭圆宏程序的编制	124	12.3.5 提取双圆弧逼近数据进行 顺向车削的加工宏程序	159
11.2.4 适用于全象限的双圆弧等 误差逼近椭圆纯计算通用 宏程序的编制	125	12.3.6 提取双圆弧逼近数据进行 逆向车削的加工宏程序	160
11.3 用双圆弧等误差逼近双曲线纯 计算通用宏程序的开发	130	12.3.7 提取双圆弧逼近数据进行 顺向铣削的加工宏程序	162
11.3.1 用双圆弧等误差逼近双曲线 的有关公式	130	12.3.8 提取双圆弧逼近数据进行 逆向铣削的加工宏程序	163
11.3.2 纯计算通用宏程序的编制	133	12.4 自动计算、数据自动转换、自动 加工“一条龙式”宏程序	164
11.4 用双圆弧等误差逼近抛物线纯 计算通用宏程序的开发	138	12.4.1 先作单圆弧逼近计算再 进行顺向车削的纲领主 程序和宏程序	164
11.4.1 用双圆弧等误差逼近抛物线 的有关公式	138	12.4.2 先作单圆弧逼近计算再 进行逆向车削的纲领主 程序和宏程序	167
11.4.2 不能跨越Ⅰ、Ⅳ象限交界线 纯计算宏程序的编制及用它 计算跨越Ⅰ、Ⅳ象限交界线 抛物线的方法	138	12.4.3 先作单圆弧逼近计算再 进行顺向铣削的纲领主 程序和宏程序	168
11.4.3 可以直接跨越Ⅰ、Ⅳ象限 交界线的抛物线纯计算宏 程序的编制	144	12.4.4 先作单圆弧逼近计算再 进行逆向铣削的纲领主 程序和宏程序	171
第12章 非圆曲线的逼近计算、数 据转换和加工的“一条龙 式”宏程序	150	12.4.5 先作双圆弧逼近计算再 进行顺向车削的纲领主 程序和宏程序	172
12.1 坐标系平移和旋转后点 坐标值的转换	150	12.4.6 先作双圆弧逼近计算再 进行逆向车削的纲领主 程序和宏程序	175
12.2 坐标转换宏程序的开发	151	12.4.7 先作双圆弧逼近计算再 进行顺向铣削的纲领主 程序和宏程序	176
12.2.1 用于单圆弧逼近曲线计算 宏程序算出数据转换的宏 程序	151	12.4.8 先作双圆弧逼近计算再 进行逆向铣削的纲领主 程序和宏程序	178
12.2.2 用于双圆弧逼近曲线计算宏 程序算出数据转换的宏程序	152	12.5 曲线段与两端连接线轮廓的 连续“一条龙式”加工	182
12.3 提取存放在公共变量中的逼近圆 数据进行加工的宏程序的开发	154	12.5.1 零件轮廓的逆时针 连续铣削宏程序	183
12.3.1 提取单圆弧逼近数据进行 顺向车削的加工宏程序	154	12.5.2 体外碎石机的反射体零	
12.3.2 提取单圆弧逼近数据进行逆向 车削的加工宏程序	156		

件端面和内腔连续车削 宏程序	188	用宏程序	229
12.5.3 超导腔用的一个末半腔阳模 外形连续车削宏程序	191	14.1.2 用装 35°刀片的外圆偏刀 粗车内斜外直端面槽的通 用宏程序	230
12.5.4 激光反射体与其车加工用胎 的连续车削宏程序	194	14.1.3 用装 35°刀片的对称外圆车 刀单向粗车梯形端面槽的通 用宏程序	232
12.5.5 激光喷气发动机用二次反射 体反射面的精车宏程序	199	14.1.4 用装 35°刀片的对称外圆 车刀往复粗车端面梯形槽 的专用宏程序	236
12.6 编制连续“一条龙式”加工宏 程序用的纲领样板程序	205	14.1.5 用装 35°刀片的对称外圆 车刀往复粗车端面槽的 通用宏程序	237
第 13 章 历届全国数控技能大赛 中加工非圆曲线宏程序 的应用举例	207	14.2 用牛鼻刀螺旋铣削内锥面的 通用宏程序及其应用	239
13.1 椭圆弧回转轮廓的计算与加工	207	14.2.1 螺旋顺铣内锥面的通用 宏程序	240
13.1.1 用于椭圆弧回转轮廓的通用 计算宏程序	207	14.2.2 螺旋顺铣内锥面通用宏程序 的应用实例	243
13.1.2 第一届全国数控技能大赛学 生组试题中椭圆轮廓加工	208	14.2.3 螺旋逆铣内锥面的通用 宏程序	246
13.1.3 2008 年全国中职学校数控 技能大赛试题中椭圆轮廓 加工	211	14.2.4 螺旋顺/逆铣内锥面的 通用宏程序	247
13.2 抛物线回转轮廓的计算与加工	214	14.3 用牛鼻刀螺旋铣削外锥面的通用 宏程序及其应用	248
13.2.1 用于抛物线回转轮廓的 通用计算宏程序	214	14.3.1 螺旋铣削外锥面的通用宏 程序	249
13.2.2 第二届全国数控技能大赛 学生组试题中抛物线轮廓 加工	215	14.3.2 螺旋铣削外锥面通用宏程序 的应用实例	252
13.2.3 2009 年全国中职学校数控 技能大赛学生组试题中抛物 线轮廓加工	218	14.4 钻沿圆周均布孔的中心孔或 连续钻孔通用程序及其应用	257
13.3 双曲线回转轮廓的计算与加工	221	14.4.1 钻沿圆周均布孔的中心孔 或连续钻孔通用宏程序	257
13.3.1 用于双曲线回转轮廓的 通用计算宏程序	221	14.4.2 钻沿圆周均布孔的中心孔 或连续钻孔通用宏程序应 用实例	260
13.3.2 第三届全国数控技能大赛 学生组试题中双曲线轮廓 加工	222	14.5 断续钻削沿圆周均布孔的通用宏 程序及其应用	262
第 14 章 数控车铣用若干通用 宏程序	228	14.6 扩镗沿圆周均布的不通孔 通用宏程序及其应用	264
14.1 车削断面为锯齿形或梯形端面槽 的几个通用宏程序	228	14.7 扩镗沿圆周均布通孔的通用 宏程序及其应用	265
14.1.1 用装 35°刀片的外圆偏刀 粗车外斜内直端面槽的通		14.8 用球头刀铣削沿圆周均布	

放射形半圆槽的通用宏程序及其应用	266	槽的极坐标通用宏程序	272
14.8.1 铣削沿圆周均布放射形半圆槽的非极坐标通用宏程序	266	第 15 章 局部变量、公共变量和系统变量的综合应用举例	276
14.8.2 铣削沿圆周均布放射形半圆槽的非极坐标通用宏程序的应用	269	附录 A FANUC 0i 系统有关变量和宏程序的报警表	281
14.8.3 铣削沿圆周均布放射形半圆		附录 B 程序号索引	282

第 1 章 宏程序概述

1.1 宏程序的含义

宏程序不是宏大（很长）的程序之意，它是程序中含有宏程序语句的程序的统称。

什么是宏程序语句？数控程序中，至少含有变量，还可能含有函数和等式的程序段称为宏程序语句。与宏程序语句对应的是 NC 语句。NC 语句是指数控程序中不含变量、函数和等式的程序段。全部由 NC 语句组成的程序称为 NC 程序，而由 NC 语句和宏程序语句（哪怕只有一句）组成的程序称为宏程序。

由此可见，宏程序与变量是密不可分的：宏程序离不开变量，变量也离不开宏程序。

宏程序在 NC 程序的基础上上了一个台阶，可以说建立了一个新的程序平台。

各品牌的数控系统所用的宏程序从形态到规则区别很大，或者说，这部分内容的标准化程度极低，有的甚至连大名称都不一样。例如，西门子数控系统中的宏程序称 R 参数编程。不过，大部分品牌的数控系统还是称宏程序或变量与宏程序。笔者用过发那科、西门子和日本大隈 OSP 系统三种系统的宏程序，发现这三种系统中的宏程序在本质上还是有许多共通之处。

由于篇幅限制，本书只介绍发那科系统的宏程序。同一公司开发的新、旧数控系统的宏程序的内容也不一样。例如 20 世纪 80 年代用的发那科 6 系统的公共变量只有 50 + 10 个，且没有反正弦和反余弦这两个三角函数，而现在出的系统（如 0i-D）有 100 + 500 个公共变量，并有了反正弦和反余弦这两个三角函数。本书主要介绍发那科 0i-C（包括 0i-TC 和 0i-MC）和 0i-D（包括 0i-TD 和 0i-MD）系统的宏程序。

1.2 宏程序与 NC 程序的异同

现以一个用于宏程序入门的简单教学例子来说明宏程序与 NC 程序的异同。

某企业主要进行 10 种类似图 1-1 所示零件的中批量加工。零件坯料是精密铸造而成的。这些零件都有内孔、内倒角、端面、外圆角、小外圆和小外圆与大外圆之间的锥面共 6 个加工要素。这 10 种零件不定期地轮番加工。图 1-1 所示是其中一种零件的示意图。加工该零件时，第 1 工步用端面外圆刀车端面和外形轮廓，第 2 工步用内圆车刀车内孔和倒内角。这里只讨论第 1 工步。第 1 工步的 NC 程序如下：

```
O001;  
N11 G54 T0101 S500 M04;  
N12 G00 X50 Z65 M08;      (快速到达点 1)  
N13 G42 G01 Z60 F0.8;      (工进到达点 2)  
N14 X96 F0.3;              (车端面到点 4)
```

```

N15 G03 X116 W-10 R10;    (倒外角到点5)
N16 G01      Z32;          (车小外圆到点6)
N17      X144 Z18;          (车锥面到点7)
N18 G00 G40 X200 Z100 M09;
N19      M05;
N20 M30;

```

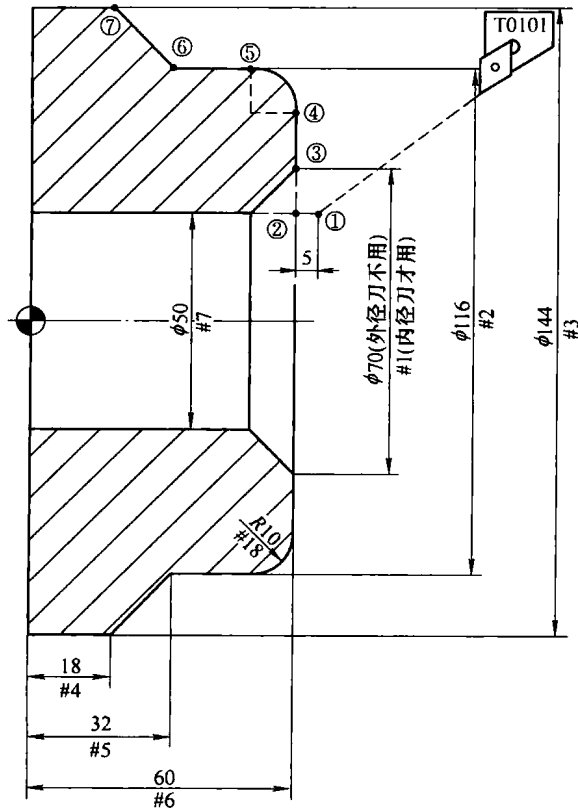


图 1-1 宏程序与 NC 程序异同例图

每种零件都需要编一个类似的 NC 程序，但实际上这 10 个程序中只有 N12 ~ N17 段中的数据不同。

因此，把图 1-1 所示的 8 个尺寸数据分别用 8 个变量（#1 ~ #7、#18）来代替，并在执行含有这些变量的程序段（宏程序段）前给它们赋值（其中，#1 代表内孔径的倒角尺寸，要到下一个工步再用）。这时，执行这个用变量值代替常量的宏程序段与执行 NC 程序段效果是一样的。下面是用于车削图 1-1 所示零件的宏程序：

```

O002;
N01 #2 = 116;
N02 #3 = 144;
N03 #4 = 18;
N04 #5 = 32;

```

```

N05  #6 = 60;
N06  #7 = 50;
N07  #18 = 10;
N11  G54 T0101 S500 M04;
N12  G00 X#7 Z[#6 + 5] M08;      (快速到达点1)
N13  G42 G01 Z#6 F0.8;          (工进到达点2)
N14      X[#2 - 2 * #18] F0.3;   (车端面到点4)
N15  G03 X#2 W - #18 R#18;      (倒外角到点5)
N16  G01      Z#5;              (车小外圆到点6)
N17      X#3 Z#4;              (车锥面到点7)
N18  G00 G40 X200 Z100 M09;
N19      M05;
N20  M30;

```

执行这个宏程序，与执行 0001NC 程序是一样的。另外几种零件的加工也可借用这个宏程序，只要把前七个变量按待加工零件的实际尺寸重新赋值（即改一下数值）就可以了。这个宏程序还有别的格式，后面将对其进行详细的介绍。

1.3 宏程序的用途

宏程序可用于加工，这是不容置疑的。

数控加工是通过编制和执行（加工）程序来进行的。加工程序的编制方法分手工编程和自动编程两种。现代企业中，在两轴联动加工场合（全部数控车削加工和部分数控铣削加工），手工编程用得比较普遍；而在三轴及三轴以上联动加工的场合，以自动编程为主。用户宏程序的编制属于手工编程的范畴。

宏程序的加工应用之一是作平面非圆曲线的拟合（加工）。用手工编制加工平面非圆曲线的 NC 程序不是绝对不可以，而是非常麻烦，编程过程中需作很多次计算，而且程序也会很长，所以不现实。从应用角度说，如果手工编制加工平面非圆曲线程序最好用宏程序。本书将重点研究宏程序在平面非圆曲线加工中的应用。

宏程序加工应用之二是简化编程。在有些场合，虽然可用手工编制的 NC 程序加工，但程序较长，且不方便修改。如改用宏程序，不但程序短而精，而且在加工计划改变时很容易修改。举例如下：

例 1-1 用圆头车刀精车半圆形剖面螺旋槽（图 1-2）。槽的剖面半径为 10mm，刀片半径为 3mm。计划分 31 次进刀车出。可编制和使用如下 NC 程序：

```

O003;
N10  G54 T0101 S300 M03;
N11  G00 X200 Z57 M08;      (到第 1 刀起点)
N12  G92 X100 Z - 118 F25;  (切第 1 刀)
N13  G00      Z56.962;      (到第 2 刀起点)
N14  G92 X98.537 Z - 118;   (切第 2 刀)

```

```

:
N69 G00          Z43.038;      (到第 30 刀起点)
N70 G92 X98.537 Z-118;        (切第 30 刀)
N71 G00          Z43;          (到第 31 刀起点)
N72 G92 X100     Z-118;        (切第 31 刀)
N73 G00 X300     Z200 M09;
N74              M05;
N75 M30;

```

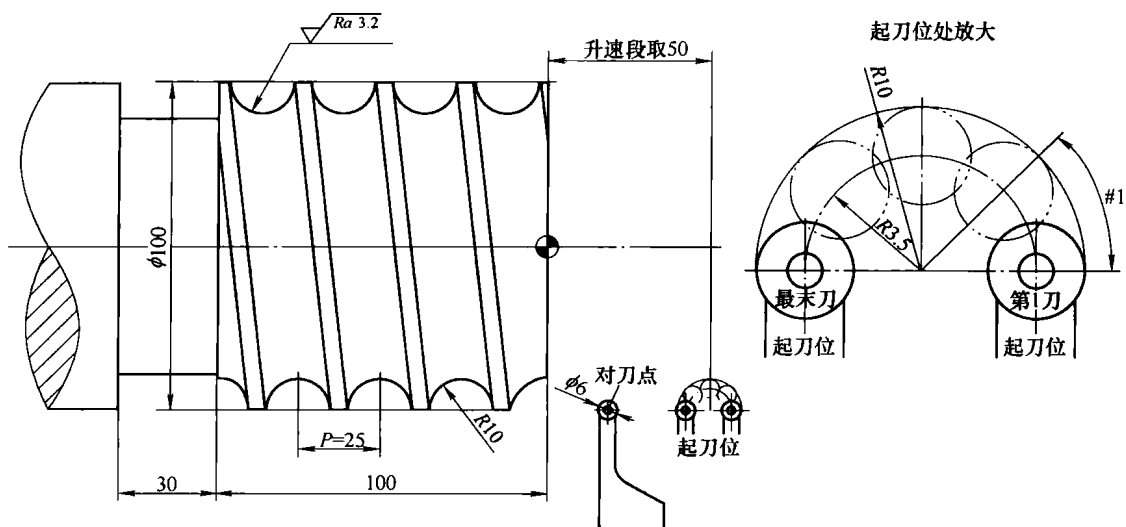


图 1-2 车半圆形螺旋槽示意图

这个 NC 程序共有 66 段，其中切螺旋槽就用了 62 段。

用这个程序试切，如果发现螺旋槽的表面粗糙度未达到要求，需改分 61 次进刀车出。如果还用 NC 程序，那么就编一个 126 段长的程序。

如果改用宏程序来加工这条螺旋槽，那么这个宏程序将会很短。甚至可以只用一个变量，用它代表这一次进刀时刀头圆心所处的角度。此宏程序如下：

```

O004;
N1 #1 = 0;                      (第 1 刀从 0° 开始)
N2 G54 T0101 S300 M03;
N3 G00 X200 Z[50 + 7 * COS[#1]] M08; (到达该刀的起刀点)
N4 G92 X[100 - 14 * SIN[#1]] F25;   (切一刀)
N5 #1 = #1 + 6;                   (把刚才的角度加 6°)
N6 IF[#1 LE 180] GOT03;           (如果角度小于等于 180°就转回 N3 段)
N7 G00 X300 Z200 M09;
N8 M05;
N9 M30;

```

在这个程序中，角度取绝对值。由于分 31 次进刀(30 个间隔)车削半圆形螺旋槽，相邻两

刀间的夹角为 6° ，所以 N5 段中“把刚才的角度加 6° ”。

这个宏程序结构简单只有数段，更重要的优点是便于修改。例如，要分成 61 次进刀车削，只要把 N5 段中的数字 6 改成 3 就可以了。修改一次进刀次数（试切），只要修改一次这个数字即可。这样就可以很方便地进行多次试切，以便达到表面粗糙度要求（当然还应配以合理的切削参数）。注意，这个程序只用于余量很小时的精车。如需粗车（当毛坯是圆柱料时），还应编一个相应的宏程序。即便是精车，如果余量不是很小，所车的角度就应大于 180° ，特别是开始进刀时。也就是说，第一刀要从负角度开始，否则第一刀加工时会切得过多。

例 1-2 在平板上围绕 $\phi 200\text{mm}$ 圆周上加工 60 个深 5mm 的中心孔（为下一工步钻孔作准备）。

钻中心孔可用 G81 循环指令。如果工件坐标系 X 轴、Y 轴的原点取在 $\phi 200\text{mm}$ 圆心上，NC 程序如下：

```
O005;
N01 G90 G54 G17 G49 G0 X0 Y0;
N02 G43 H1 Z100 S2000 M03;
N03 G99 G81 X100 Y0 Z-4 R10 F200;
N04 G81 X99.452 Y10.453 Z-4 R10;
:
N62 G81 X99.452 Y-10.453 Z-4 R10;
N63 G80 G0 Z100 M05;
N64 G49 X0 Y0 Z200;
N65 M30;
```

这个 NC 程序有 65 句，如果改成如下宏程序，就简短多了：

```
O006;
N1 #1=0; （第 1 个孔的中心位于零度处）
N2 G90 G54 G17 G49 G0 X0 Y0;
N3 G43 H1 Z100 S2000 M03;
N4 G99 G81 X[100 * COS[#1]] Y[100 * SIN[#1]] Z-4 R10 F200;
N5 #1=#1+6; （下一个孔中心所处的角度值）
N6 IF [#1 LT 360] GOTO4; （如是下个孔中心位小于  $360^\circ$  就返回 N4 段）
N7 G80 G0 Z100 M05;
N8 G49 X0 Y0 Z200;
N9 M30;
```

宏程序中的 #1 是个变量，用它来代表（替）当前要加工那个孔的中心的角度值。改成宏程序后，程序段减少到了 9 段。

这个程序内，N5 段中的数字 6 代表相邻两孔之间的角度差，改变这个数据就可以改变均布孔的个数。

以上两个例子中，用宏程序代替 NC 程序可大大缩短程序，即可简化编程。

宏程序的加工应用之三是多个轮廓相似零件的加工可使用一个宏程序，如图 1-1 所示的例子。

宏程序用于加工只是其用途之一。宏程序的用途之二是用于数控机床的许多先进功能,包括加工计时、加工工件计数、刀具寿命(俗称刀具耐用度)管理、半自动对刀、全自动对刀和自动检测工件等。当然,半自动对刀、全自动对刀和自动检测工件等还要配备相应的硬件,如检测器等。

宏程序的第三个用途是可以用它来做一些杂事。例如计算 1 到 1000 的累加值;找出一组数中最大或最小的数;把某些国家年月日的写法改编成中国的习惯写法(如把 18092012 改成 20120918);自动清空所有公共变量等。这个用途不是宏程序的主要用途,属于用户可用的“其他用途”。

宏程序还有第四个用途,即数控加工用的固定循环指令以及加工中心用的自动换刀指令实际上都是调用某个宏程序。这类宏程序是(系统)生产厂家编好的,用户不可修改,而且大多是不能显示的。

在上述四个用途中,前三个是机床(系统)的用户可以做的,所以这部分宏程序称为用户宏程序。本书只研究用户宏程序,而且重点是研究用于加工的用户宏程序。

1.4 宏程序在数控加工程序中的地位

在现代数控加工中,宏程序的重要性到底怎么样,它的地位有多高,以下分数控车削和数控铣削(含用加工中心加工)两部分进行阐述。

在企业中,数控车削程序现在多数还是以手工编制为主,自动编程为辅。甚至许多小企业中,数控车削程序全部用手工编制。如果车削零件的回转轮廓是非圆曲线,而且只能手工编程,那么不用宏程序就无法加工。还有一种情况不用宏程序很难加工,那就是车削大螺距异形(剖面)螺旋槽。在普通车床上车削这种螺旋槽是粗车时一刀一刀地切除大部分余量,精车用成形刀车加工,不但效率低,对操作工的技能要求也很高,而且车出的表面质量不好。如果用数控车床加工,在多数场合可用标准车刀,粗车时分层分刀(即每层又分许多刀)切削,精车可分刀切削(可分多次进刀),切削线速度较高,加工质量和效率可显著提高。但是,这种效果只有用宏程序才能达到。虽然车削非圆曲线轮廓零件时可用自动编程,但数控工艺员不能完全依赖自动编程。况且,即使有自动编程条件且会自动编程,在车削大螺距异形螺旋槽时,自动编程也无能为力。因此,不会编制和使用宏程序的数控工艺员不能算是合格的数控工艺员。

数控铣削(包括用加工中心加工)与数控车削的情况有点不一样。

数控铣床一般都配备可进行自动编程的计算机(当然包括相应的软件)。有些企业所加工的零件上的要素主要是平面、二维曲面和孔(需钻和镗),三维曲面不多,还是以手工编程为主,只有遇到三维曲面加工时才借助计算机进行自动编程。另一些企业所加工的零件上的要素主要是三维曲面,当然以自动编程为主,手工编程(包括手工编制宏程序)为辅。

还有个别的三维(加工)要素很难用自动编程手段来解决,笔者就曾遇到过这种情况。一批美国海上油井用 40CrMo 材质的大件上要加工 0.5in 的 NPT 锥螺纹(以前称为布锥螺纹),在数控立铣床上用丝锥作刚性攻螺纹攻不到底。若等进口的整体硬质合金 NPT 螺纹铣刀采购回来再加工会耽误交货期。因此,只能改用单齿小螺纹刀来铣齿(借用了现成的小螺纹车刀)。这种情况下,用手工编制这个零件的铣削 NC 程序不现实,用自动编程则异常

困难（甚至不知道是否可能），最后用一个不长的宏程序就可铣削完成，解决了燃眉之急。

总之，无论对数控车削还是数控铣削，宏程序都很重要。同时也要看到，宏程序在数控程序中只占有一定的地位，不是万能的，既不能代替手工编制的大量 NC 程序，更不能代替自动编制的大多数用于三轴甚至三轴以上联动的 NC 程序，但是也决不能忽视它。有些情况下，不用宏程序要么编程很麻烦，要么编出来的程序很长，甚至会出现不用宏程序就无法加工的现象。总之，宏程序在数控加工程序中占有一席之地。

比较而言，数控铣削比数控车削用宏程序的机会要更多些。这主要是因为非圆曲线轮廓零件和带有大螺距异形螺旋削槽的零件在车削加工零件中所占的比例不大。