

# 数控车宏程序编程 实例精讲

沈春根 徐晓翔 刘 义 主编



# 数控车宏程序编程 实例精讲

沈春根 徐晓翔 刘 义 主编



机械工业出版社

本书全部采用实例形式,针对数控车削中的常见型面,包括外圆、端面、割槽、切断、螺纹、非圆曲线型面、梯形螺纹和变距螺纹等数控加工问题,进行宏程序编程的详细讲解,编排时注重工艺和编程相结合、编程思路和操作步骤相结合、单型面编程和综合实例相结合,循序渐进,由浅入深,通过大量实例引导初学者逐步提高宏程序的编程技能和水平。全书实例程序中的语句都有详细的注释和重要提示,且所有实例均通过 FANUC 数控系统仿真和实际运行。

本书可以作为高职、中职院校数控技术课程的实践教材,也可用于数控技术进阶培训教材、数控编程操作用书和自学教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

数控车宏程序编程实例精讲/沈春根,徐晓翔,刘义主编. —北京:机械工业出版社,2011.12(2014.6重印)

ISBN 978-7-111-36311-8

I. ①数… II. ①沈…②徐…③刘… 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(2011)第223414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

版式设计:张世琴 责任校对:闫玥红

封面设计:姚毅 责任印制:刘岚

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2016年5月第1版第6次印刷

169mm×239mm·14.25印张·259千字

9501—11500册

标准书号:ISBN 978-7-111-36311-8

定价:30.00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

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版



# 前言

随着数控技术在制造业的快速发展和新产品不断的涌现，对从事或即将从事数控编程的专业人才提出了更高的要求，不仅要掌握数控机床操作和基本的手工编程技能，还需具备如下的能力：能够解决复杂型面零件或者超精密零件的数控加工问题、能够充分发挥数控系统的编程潜力以及使数控设备发挥出最大效益化，这就要求专业人员具有良好的编程素养。

掌握宏程序编程和自动编程（计算机辅助编程）技术是步入高级程序员序列的必备条件，而对于初学者来说，学习宏程序和其他高级语言一样比较抽象，需要通过大量的案例学习和实践操作后才能掌握其精髓，因此，本书以数控车削中常见型面的加工为背景，一开始以最简单的单型面作为加工对象，详细讲解宏程序编程思路和操作步骤，循序渐进，加工对象的编程难度逐渐加大，最终引导初学者能够运用宏程序编程解决非圆型面、梯形螺纹和变距螺纹等较为复杂工件数控车削中的编程问题。

## 本书主要内容

第1章介绍了宏程序在简单型面车削中的应用，主要包括单外圆粗、精车削宏程序编程，二、三、四个外圆车削宏程序编程，单沉槽/多沉槽加工宏程序编程，切断宏程序编程，端面车削宏程序编程和钻孔、镗孔宏程序编程。

第2章介绍了宏程序在锥度型面车削中的应用，主要包括外圆锥面车削宏程序编程，内孔锥面宏程序编程、盘类工件车削宏程序编程和简单配合件加工宏程序编程。

第3章介绍了宏程序在圆弧类型面车削中的应用，主要包括凹/凸圆弧车削宏程序编程、内孔圆弧宏程序编程和孔类零件加工宏程序编程。

第4章介绍了宏程序在非圆型面车削中的应用，主要包括右/左椭圆车削宏程序编程、凹/整椭圆车削宏程序编程、椭圆内孔车削宏程序编程、旋转

椭圆宏程序编程、正弦曲线外圆轮廓车削宏程序编程、双曲线外圆轮廓车削宏程序编程和综合实例。

第5章介绍了宏程序在普通螺纹车削中的应用，主要包括单线/双线螺纹加工宏程序编程、大螺距螺纹宏程序编程、普通内螺纹车削宏程序编程和车削综合加工宏程序编程。

第6章介绍了宏程序在高级螺纹车削中的应用，主要包括：外梯形螺纹车削宏程序编程、内梯形螺纹宏程序编程、异形螺纹车削宏程序编程，圆弧螺纹车削宏程序编程，等槽宽变齿宽变距螺纹加工宏程序编程，变槽宽变齿宽变距螺纹加工宏程序编程。

### 本书编排特点

注重工艺和编程相结合、编程思路和操作过程相结合、单型面编程和综合实例相结合，实例内容基本上覆盖了车削中常见的加工型面，实例中的程序语句均有注释和总结。

### 本书适合读者

本书适合高职、中职数控技术专业的学生和数控技术进阶培训人员、数控编程操作技术工人。

### 本书学习方法建议

学习数控 CNC 编程基本知识→上机实践→学习宏程序基本概念→对照本书实例进行学习和模仿→程序仿真和验证→上机实践→加工实物→总结。

### 本书编写人员

本书由沈春根、徐晓翔和刘义主编，汪健、周丽萍、孙奎洲、叶霞、黄冬英、吴建兵、李伟、王亚元、刘金斌、肖克霞、袁进、胡旭、李海东、陈马源、王潇、陈建和许玉方参与了编写工作，全书由沈春根统稿。本书在编写过程中借鉴了国内外同行有关宏程序编程技术的最新研究成果，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中不足和错误之处恳请读者斧正，并希望提出宝贵建议，以便一起提高数控加工编程技术水平，更欢迎来信进行交流和探讨（本书作者电子邮箱：chungens@163.com 和 liuyicslg@126.com）。

编 者

# 目 录

## 前言

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| <b>第1章 宏程序在简单型面车削中的应用</b> .....        | 1  |
| 1.1 实例 1-1 单外圆粗车宏程序应用 .....            | 1  |
| 1.2 实例 1-2 单外圆精车宏程序应用 .....            | 5  |
| 1.3 实例 1-3 两个外圆粗车宏程序应用 .....           | 8  |
| 1.4 实例 1-4 两个外圆精车宏程序应用 .....           | 11 |
| 1.5 实例 1-5 三个外圆车削宏程序应用 .....           | 13 |
| 1.6 实例 1-6 四个外圆车削宏程序应用 .....           | 18 |
| 1.7 实例 1-7 车削外圆单个沉槽宏程序应用 .....         | 21 |
| 1.8 实例 1-8 车削外圆多排等距沉槽宏程序应用 .....       | 25 |
| 1.9 实例 1-9 车削外圆多排等差递增沉槽宏程序应用 .....     | 28 |
| 1.10 实例 1-10 车削外圆多排阶梯等距递增沉槽宏程序应用 ..... | 31 |
| 1.11 实例 1-11 车削外圆多排阶梯等差递增沉槽宏程序应用 ..... | 34 |
| 1.12 实例 1-12 大直径外圆的切断宏程序应用 .....       | 38 |
| 1.13 实例 1-13 车削端面宏程序应用 .....           | 40 |
| 1.14 实例 1-14 钻孔、镗孔宏程序应用 .....          | 42 |
| 1.15 本章小结 .....                        | 45 |
| <b>第2章 宏程序在锥度型面车削中的应用</b> .....        | 48 |
| 2.1 实例 2-1 车削外圆锥度宏程序应用 .....           | 48 |
| 2.2 实例 2-2 车削内孔锥度宏程序应用 .....           | 54 |
| 2.3 实例 2-3 车削盘类工件宏程序应用 .....           | 56 |
| 2.4 实例 2-4 简单配合件加工宏程序应用 .....          | 59 |
| 2.5 本章小结 .....                         | 67 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第3章 宏程序在圆弧类型面车削中的应用</b>    | 68  |
| 3.1 实例 3-1 车削凸圆弧宏程序应用         | 68  |
| 3.2 实例 3-2 车削凹圆弧宏程序应用         | 76  |
| 3.3 实例 3-3 车削内孔圆弧宏程序应用        | 85  |
| 3.4 实例 3-4 孔类零件加工宏程序应用        | 87  |
| 3.5 本章小结                      | 91  |
| <b>第4章 宏程序在非圆型面车削中的应用</b>     | 92  |
| 4.1 实例 4-1 车削右椭圆宏程序应用         | 92  |
| 4.2 实例 4-2 车削左椭圆宏程序应用         | 105 |
| 4.3 实例 4-3 车削凹椭圆宏程序应用         | 111 |
| 4.4 实例 4-4 车削整椭圆宏程序应用         | 116 |
| 4.5 实例 4-5 车削椭圆内孔的宏程序应用       | 124 |
| 4.6 实例 4-6 车削旋转椭圆宏程序应用        | 129 |
| 4.7 实例 4-7 车削正弦曲线外圆轮廓宏程序应用    | 135 |
| 4.8 实例 4-8 车削双曲线外圆轮廓宏程序应用     | 138 |
| 4.9 实例 4-9 综合实例 1（凸、凹椭圆组合的加工） | 142 |
| 4.10 实例 4-10 综合实例 2（配合件的加工）   | 148 |
| 4.11 本章小结                     | 163 |
| <b>第5章 宏程序在普通螺纹车削中的应用</b>     | 164 |
| 5.1 螺纹加工概述                    | 164 |
| 5.2 实例 5-1 车削单线螺纹宏程序应用        | 166 |
| 5.3 实例 5-2 车削双线螺纹宏程序应用        | 168 |
| 5.4 实例 5-3 车削大螺距螺纹宏程序应用       | 170 |
| 5.5 实例 5-4 车削普通内螺纹宏程序应用       | 174 |
| 5.6 实例 5-5 综合实例 1（螺纹轴类零件加工）   | 176 |
| 5.7 实例 5-6 综合实例 2（椭圆和螺纹组合的加工） | 182 |
| 5.8 本章小结                      | 191 |
| <b>第6章 宏程序在高级螺纹车削中的应用</b>     | 192 |
| 6.1 实例 6-1 车削外梯形螺纹宏程序应用       | 192 |
| 6.2 实例 6-2 车削内梯形螺纹宏程序应用       | 198 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 6.3 实例 6-3 车削异形螺纹宏程序应用 .....       | 203 |
| 6.4 实例 6-4 车削圆弧螺纹宏程序应用 .....       | 206 |
| 6.5 实例 6-5 车削等槽宽变齿宽变距螺纹宏程序应用 ..... | 210 |
| 6.6 实例 6-6 车削变槽宽变齿宽变距螺纹宏程序应用 ..... | 214 |
| 6.7 本章小结 .....                     | 218 |
| 参考文献.....                          | 219 |







## 宏程序在简单型面 车削中的应用

### 本章内容提要

本章先介绍宏程序在车削简单型面中的应用，依次为车削单外圆、两个外圆、三个外圆、四个外圆、单个沉槽、多个沉槽，切断、车削端面和钻孔、镗孔等，它们刀具路径轨迹的共同特点是：沿 X 向或者 Z 向走刀。通过诸多实例的练习，可以掌握宏程序在实现单向刀具路径轨迹的思路和技巧，为后续复杂工件的宏程序编程应用打下基础。

### 1.1 实例 1-1 单外圆粗车宏程序应用

#### 1.1.1 零件图和加工内容

本实例先介绍一个简单的单外圆粗车加工宏程序编程实例，了解宏程序编程的基本方法和步骤。图 1-1 所示为一个需要加工单个外圆的零件，尺寸为  $\phi 20\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，材料为 45 钢。

#### 1.1.2 工艺分析和加工路线

- (1) 按照图 1-2 所示，准备毛坯尺寸为  $\phi 30\text{mm} \times 80\text{mm}$ ，端面车平即可。
- (2) 装夹方式：普通自定心卡盘，夹持  $\phi 30\text{mm}$  毛坯外圆，保证悬伸长度为 60mm；刀具：90°外圆粗车刀，为硬质合金机夹车刀；量具：0 ~ 150mm 的游标卡尺。
- (3) 按照粗车、精车分开的工艺原则安排车削工序，具体切削用量见表 1-1。其中，切断工序也可以采用宏程序编程方法，在后面章节作专门介绍，故本实例没有编排切断工序。

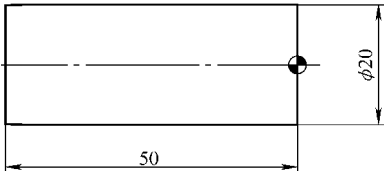


图 1-1 零件主要尺寸

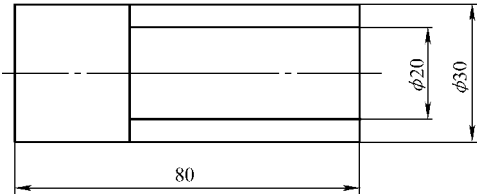


图 1-2 毛坯主要尺寸

表 1-1 数控粗车单外圆的工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具         | 切 削 用 量         |                |             |
|-----|---------|------|-------------|-----------------|----------------|-------------|
|     |         |      |             | 转 速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1   | 车削端面    | 数控车床 | 90°外圆粗车刀    | 600             | 0.08           | 0.1         |
| 2   | 粗车外圆    | 数控车床 | 90°外圆粗车刀    | 500             | 0.15           | 1           |
| 3   | 切断      | 数控车床 | 割断刀（刀宽 4mm） | 500             | 0.04           | —           |

1.1.3 编程思路和刀具路径规划

（1）本实例为了说明宏程序在车削外圆中的应用方法，毛坯余量取值较大，从外径 φ30mm 车削至 φ20mm，直径方向余量为 10mm，单边切削余量为 5mm，而在实际生产中，特别是批量加工中，每个工序余量都有相应的规定。本书中其他实例也有类似情况，特此说明。

（2）进刀至端面处，控制好第 1 次背吃刀量，先沿轴向行程车削一次外圆，然后退刀至起刀点，进行下一次车削，重复走刀路径，如图 1-3 所示，直至完成整个零件的加工。

（3）根据走刀路径设计和加工要求，本程序中需要赋值的变量有外圆毛坯直径#100、车削的轴向行程#101、每次背吃刀量双边径向值#102，每次切削后毛坯外径逐渐减少，每次切削后再判断外圆直径是否达到规定值，如满足就退出程序，否则快速退刀至加工起点，再减去每次的背吃刀量，进行下一次的切削，如此反复，直到外圆直径值等于零件规定值。经过多次切削后再判断外圆直径是否达到规定值，该思路可以归纳为图 1-4 所示的车削单外圆程序编制的流程图。

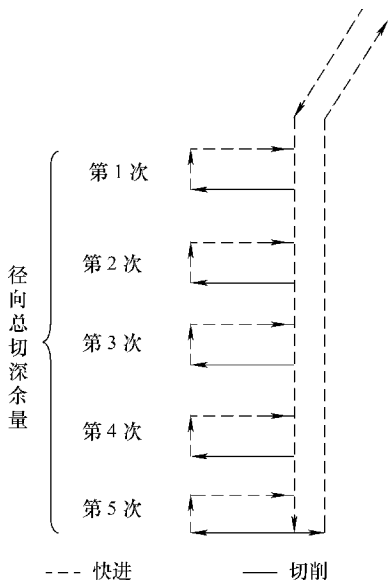


图 1-3 车削单外圆走刀路径设计

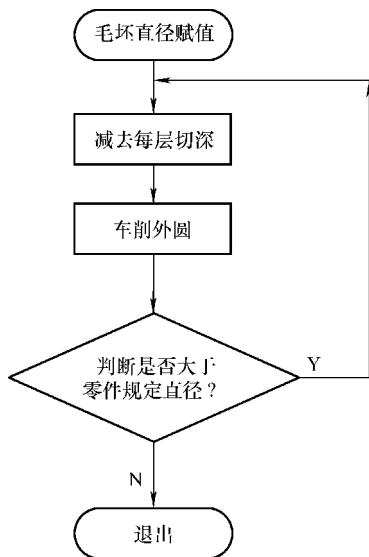


图 1-4 车削单外圆程序流程图

### 1.1.4 数控程序及其注释

程序 1：采用 IF 判断语句进行编程

|                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| O1001;                  | (程序名)                 |
| T0101;                  | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)     |
| M03 S600;               | (主轴正转,转速为 600r/min)   |
| G0 X32 Z1 M08;          | (快速定位至毛坯右端面)          |
| G01 Z0 F0.2;            | (进刀至 Z0 处)            |
| X -0.6 F0.08;           | (车削端面)                |
| G0 X32 Z1;              | (快速退刀)                |
| S500;                   | (转速变为 500r/min)       |
| #100 = 30;              | (#100 变量赋值:外圆毛坯直径)    |
| #101 = 55;              | (#101 变量赋值:车削轴向的行程)   |
| #102 = 2;               | (#102 变量赋值:背吃刀量双边径向值) |
| N10 #100 = #100 - #102; | (每次 X 向要到达的位置)        |
| G0 X[#100];             | (径向进刀)                |
| G01 Z[-#101] F0.15;     | (车削外圆)                |

|                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| X30;(或者 X[#100+2])    | (径向退刀)                    |
| G0 Z1;                | (轴向退刀)                    |
| IF[#100 GT 20]GOTO10; | (如果#100 大于 20mm,则跳转到 N10) |
| G0 X100 Z100;         | (快速返回)                    |
| T0100                 | (取消 1 号刀具补偿)              |
| M05;                  | (主轴停止旋转)                  |
| M09;                  | (关闭切削液)                   |
| M30;                  | (程序结束)                    |

**程序 2：采用 WHILE ... DO ... 语句进行宏程序编程**

|                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| O1002;                | (程序名)                 |
| T0101;                | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)     |
| M03 S600;             | (主轴正转,转速为 600r/min)   |
| G0 X32 Z1 M08;        | (快速定位至毛坯右端面)          |
| G01 Z0 F0.2;          | (进刀至 Z0 处)            |
| X -0.6 F0.08;         | (车削端面)                |
| G0 X32 Z1;            | (快速退刀)                |
| S500;                 | (转速变为 500r/min)       |
| #100 = 30;            | (#100 变量赋值:外圆毛坯直径)    |
| #101 = 55;            | (#101 变量赋值:车削的轴向行程)   |
| #102 = 2;             | (#102 变量赋值:背吃刀量双边径向值) |
| WHILE[#100 GT 20]DO1; | (判断语句以及条件)            |
| #100 = #100 - #102;   | (每次减少 2mm)            |
| G0 X[#100];           | (径向进刀)                |
| G01 Z[-#101]F0.15;    | (车削)                  |
| X30;                  | (径向退刀)                |
| G0 Z1;                | (轴向退刀)                |
| END 1;                | (循环 1 结束)             |
| G0 X100 Z100;         |                       |
| T0100;                | (取消 1 号刀补)            |
| M05;                  | (主轴停止旋转)              |
| M09;                  | (关闭切削液)               |
| M30;                  | (程序结束)                |



### 1.1.5 编程总结

(1) 本实例编程过程虽然简单，但体现了宏程序编程的基本思路，可以作为学习宏程序入门的实例，其中设置合理的变量、合理的变量之间的运算和选择判断语句（控制指令）是宏程序编程的关键。

(2) 针对程序所用的变量数量、变量之间运算的不同要求，可以采用不同的判断语句来达到相同的编程要求和控制加工路径的目的。

(3) 变量判断或者决策常用多种方法，它们都可以达到相同的编程目的。本实例中分别运用了 IF 和 WHILE 判断语句进行了宏程序编程，它们不同之处如图 1-5 所示，IF 语句是先执行循环体，然后作出判断；WHILE 语句是先执行条件判断，然后再执行循环体。

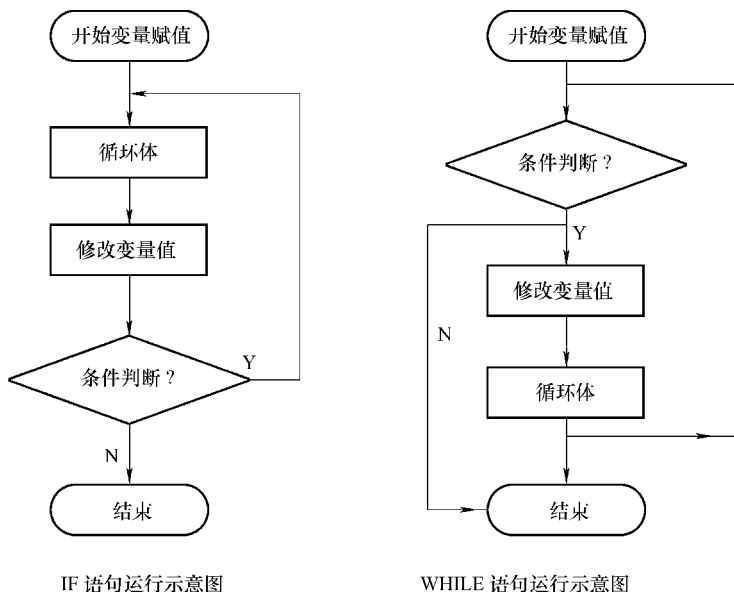


图 1-5 IF 语句和 WHILE 语句运行示意图

(4) 注意：不同数控系统对数字输入有不同的格式要求，比如数控系统 FANUC Series 0i-TC 要求程序中所有整数后面需要加小数点。

## 1.2 实例 1-2 单外圆精车宏程序应用

实例 1-1 介绍了单个外圆的宏程序应用实例（只有粗车程序，没有精车程

序)，在实际加工中需要对加工表面表面粗糙度有要求时，需要按照粗、精车分开原则，所以在实例 1-1 的基础上，增加精车工序，这样的加工程序更有实用性。

1.2.1 工艺分析和加工路线

在参照实例 1-1 工艺分析和加工路线的基础上，有所变化的情况如下：

- (1) 刀具：90°外圆粗车刀（1 号刀），90°外圆精车刀（2 号刀），均为硬质合金机夹车刀。
- (2) 制订车削工序见表 1-2。

表 1-2 数控车削（包含粗车和精车外圆两个工序）工序卡

| 工序 | 主要内容 | 设备   | 刀具       | 切削用量           |                |             |
|----|------|------|----------|----------------|----------------|-------------|
|    |      |      |          | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 车削端面 | 数控车床 | 90°外圆粗车刀 | 600            | 0.08           | 0.1         |
| 2  | 粗车外圆 | 数控车床 | 90°外圆粗车刀 | 500            | 0.15           | 1           |
| 3  | 精车外圆 | 数控车床 | 90°外圆精车刀 | 600            | 0.08           | 0.5         |

1.2.2 编程思路和刀具路径规划

- (1) 编程思路和刀具路径规划与实例 1-1 一样，在它基础上增加精车的刀具路径。由于增加了精车程序，程序编写中需要增加两个变量#103 和#104 来描述精车余量，还需要增加一个判别指令来表达余量的变化。
- (2) 设置变量#103 = 1 和相关语句作为精车余量的控制，粗加工时相当于把所有刀具轨迹轮廓向外偏移了 1mm；最后设置语句#103 = #103 - 1，精加工时相当于将轮廓偏移回原来位置。

1.2.3 数控程序及其注释

- #100 = 30; (外圆的毛坯直径)
- #101 = 55; (车削的轴向径程)
- #102 = 2; (背吃刀量)
- #103 = 1; (精车余量)
- #104 = 0; (判别变量)
- O1003; (程序名)
- T0101; (调 1 号刀具以及 1 号刀补)

|                         |                                         |
|-------------------------|-----------------------------------------|
| M03 S600;               | (主轴正转,转速为 600r/min)                     |
| G0 X32 Z1 M08;          | (快速定位至毛坯右端面)                            |
| G01 Z0 F0.2;            | (进给到 Z0 处)                              |
| X -0.6 F0.08;           | (车削端面)                                  |
| G0 Z1 X32;              | (快速退刀)                                  |
| S500;                   |                                         |
| #100 = 30;              | (外圆的毛坯直径)                               |
| #101 = 55;              | (车削的轴向行程)                               |
| #102 = 2;               | (背吃刀量)                                  |
| #103 = 1;               | (精车余量)                                  |
| #104 = 0;               | (判别变量)                                  |
| N10 #100 = #100 - #102; | (每次 X 向要到达的位置)                          |
| N20 G0 X[#100 + #103];  | (进刀)                                    |
| G01 Z[-#101]F0.15;      | (切削)                                    |
| X31;                    | (径向退刀)                                  |
| G0 Z1;                  | (轴向退刀)                                  |
| IF[#100 GT 20]GOTO10;   | (条件判断)                                  |
| G0 X100 Z100;           |                                         |
| M05 M09;                |                                         |
| M01;                    | (暂停,便于首件调试,首件调试结束后可<br>以取消控制面板上的选择停止按钮) |
| #104 = #104 + 1;        |                                         |
| IF[#104 GT 1.5]GOTO30;  | (如果#104 大于 1.5,则跳转到 N30)                |
| M03 S600;               |                                         |
| T0202;                  | (换精车刀具)                                 |
| M8;                     | (打开切削液)                                 |
| #103 = #103 - 1;        | (精车余量减掉)                                |
| F0.08;                  |                                         |
| GOTO20;                 | (绝对跳转到 N20)                             |
| N30 G0 X100 Z100;       |                                         |
| M05;                    |                                         |
| M09;                    |                                         |
| M30;                    |                                         |

### 1.2.4 编程总结

(1) 本实例增加精车程序后，程序编写的逻辑性就略微复杂些了，这也是宏程序的难点所在。宏程序不像常规 G、M 代码那样作简单的叠加，而是考虑相互间的逻辑是否合理。

(2) 在宏程序编程中，粗车和精车的共同点是它们刀具轨迹是一样的，都是工件轮廓的偏移；而区别之处在于：在粗加工时，工件轮廓向外平移精车余量的值；而在精加工，把工件轮廓移回了原处。

(3) 本例中的 GOTO（绝对跳转）也可以用 IF...GOTO... 条件跳转来替换，它们都是用来改变控制的流向，同时本实例可以编写 WHILE...DO 循环操作格式的精加工程序。

(4) 本例中运用了 #104 号变量，使循环跳出到 N30，否则就会出现死循环，即无限地循环下去。在宏程序中有时要及时结束循环，就必须设置好变量以及控制语句，使逻辑更加的合理。

(5) 前两个实例使用的 #100 等变量都属于公共变量，在编制宏程序时要注意变量的种类及特性，不可乱用。局部变量、系统变量和公共变量有各自的运用要求：

- 局部变量 #1 ~ #33 是在宏程序中局部使用的变量；公共变量 #100 ~ #149、#500 ~ #531 是通过主程序及其调用的子程序通用的变量，公共变量的用途在系统中没有明确的规定，用户可以自由使用。

- 系统变量是在系统中用途固定的变量，如 #2000 ~ #2932 为刀具补偿量，#3001、#3002 为时钟等。

## 1.3 实例 1-3 两个外圆粗车宏程序应用

### 1.3.1 零件图和加工内容

在实例 1-1、实例 1-2 单外圆车削宏程序编程的基础上，本实例稍增加了宏程序编程的难度。图 1-6 所示为两个外圆需要车削的零件，材料为 45 钢，需要采用宏程序加工  $\phi 20\text{mm}$  和  $\phi 30\text{mm}$  的外圆和端面，图 1-7 所示为其毛坯。

### 1.3.2 工艺分析和加工路线

(1) 按照图 1-7 所示尺寸准备毛坯，其尺寸为  $\phi 40\text{mm} \times 110\text{mm}$ 。

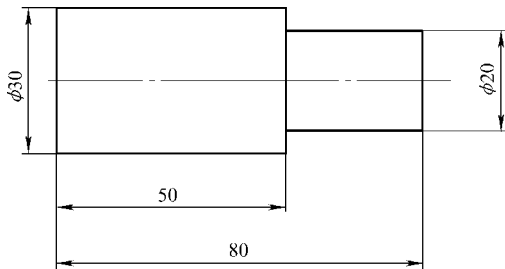


图 1-6 零件及其主要尺寸

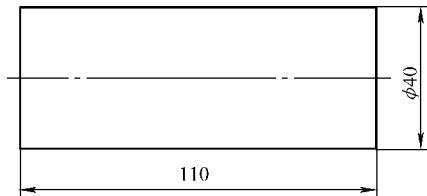


图 1-7 毛坯及其尺寸

(2) 装夹方式：采用自定心卡盘，夹持  $\phi 40\text{mm}$  毛坯外圆，夹持后保证伸出  $90\text{mm}$ ；刀具： $90^\circ$ 外圆粗车刀（1 号刀）， $90^\circ$ 外圆精车刀（2 号刀）；量具： $0 \sim 150\text{mm}$  的游标卡尺。

(3) 制订表 1-3 所示的车削工序。

表 1-3 数控车削两个外圆的工序卡

| 工序 | 主要内容   | 设备   | 刀具                    | 切削用量                             |                                  |                       |
|----|--------|------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
|    |        |      |                       | 转速<br>/( $\text{r}/\text{min}$ ) | 进给量<br>/( $\text{mm}/\text{r}$ ) | 背吃刀量<br>/ $\text{mm}$ |
| 1  | 粗车端面   | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆粗车刀      | 600                              | 0.08                             | 0.1                   |
| 2  | 粗车两处外圆 | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆粗车刀      | 500                              | 0.15                             | 1                     |
| 3  | 切断     | 数控车床 | 割断刀（刀宽 $4\text{mm}$ ） | 500                              | 0.04                             | —                     |

1.3.3 数控程序及其注释

O1004; (程序名)

T0101;

M03 S600;

G0 X42 Z1 M08; (快速定位到毛坯的右端面)

G01 Z0 F0.2; (轴向进刀)

X -0.6 F0.08; (车削端面)

G0 X42 Z1;

S500;

#100 = 20; (外圆径向最大余量)

#101 = 30; (第一个台阶的轴向长度)

#102 = 85; (第二个台阶的轴向长度)

|                          |                                     |
|--------------------------|-------------------------------------|
| #103 = 2;                | (每次背吃刀量)                            |
| N10 #100 = #100 - #103;  | (每次变化量)                             |
| #104 = #100 + 20;        | (第一个台阶的直径)                          |
| #105 = #104 + 10;        | (第二个台阶的直径)                          |
| G0 X#104;                | (进刀)                                |
| Z0.5;                    | (进刀)                                |
| IF[#104 GE 30]GOTO30;    | (判断第一个表达式是否大于等于<br>30,如果是,则跳转到 N30) |
| G01 Z[-#101]F0.15;       | (切削第一个台阶轴向长度)                       |
| G0 X[#105];              | (径向退刀)                              |
| IF[#105 LE 30]GOTO60;    | (判断第二个表达式是否小于等于<br>30,如果是,则跳转到 N60) |
| G0 Z0.5;                 | (轴向退刀)                              |
| IF[#105 GT 30]GOTO40;    | (判断第二个表达式是否大于 30,如<br>果是,则跳转到 N40)  |
| N30 G01 Z[-#102];        | (切削第二个台阶的轴向长度)                      |
| X[#105 + 1];             | (径向退刀)                              |
| G0 Z0.5;                 | (轴向退刀)                              |
| N40 IF[#100 GT 0]GOTO10; | (判断毛坯余量是否大于 0,若大于,<br>则跳转到 N10)     |
| N60 G01 X41;             | (退刀)                                |
| G0 X100 Z100;            | (退刀)                                |
| M05;                     |                                     |
| M09;                     |                                     |
| M30;                     |                                     |

### 1.3.4 编程总结

两个外圆宏程序编程的思路是一个外圆宏程序编程思路的延伸,程序的逻辑性要复杂些,宏程序在车削两个外圆中的应用要点可以归纳如下:

(1) 需要采用 IF[#105 LE 30] GOTO60 语句,否则在车削第一个外圆完成后,不是直接退刀,而是接着去车削第二个外圆,不但产生空切,而且会破坏已加工表面的表面粗糙度,这样控制的刀具路径是不合理的,在实际加工中需要避免这种情况。

(2) 上述三个实例说明宏程序编程的关键在于思路，即选取哪些尺寸作为变量，采用何种合理的控制指令。在宏程序编程的学习中，要善于对相同零件采用不同的编程思路来达到最终同样的加工目的。

1.4 实例 1-4 两个外圆精车宏程序应用

实例 1-3 介绍了两个外圆粗加工的宏程序编制。在粗加工的基础上，下面再补充精加工两个外圆的宏程序。零件图样、装夹方式、编程思路、刀具轨迹的控制和切削用量的选择参考实例 1-3，其中刀具要增加一把 90°外圆精车刀，设为 2 号刀，工序卡见表 1-4 所示，包括粗、精两个外圆的工序卡。

表 1-4 制定的粗、精车削两个外圆的工序卡

| 工序 | 主要内容 | 设备   | 刀具       | 切削用量           |                |             |
|----|------|------|----------|----------------|----------------|-------------|
|    |      |      |          | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 车端面  | 数控车床 | 90°外圆粗车刀 | 600            | 0.08           | 0.1         |
| 2  | 粗车外圆 | 数控车床 | 90°外圆粗车刀 | 500            | 0.15           | 1           |
| 3  | 精车外圆 | 数控车床 | 90°外圆精车刀 | 600            | 0.08           | 0.5         |

1.4.1 数控程序及其注释

O1005; (程序名)

T0101;

M03S600;

G0 X42 Z1 M08; (快速定位到工件右端面)

G01 Z0 F0.2; (车削端面)

X -0.6 F0.08;

G0 Z1 X42 M09;

S500 F0.15;

#100 = 20; (毛坯余量)

#101 = 30; (第一个台阶的轴向长度)

#102 = 85; (第二个台阶的轴向长度)

#103 = 2; (每次背吃刀量)

#106 = 1; (精加工余量)



```

N10 #100 = #100 - #103;      (每次变化量)
N60 #104 = #100 + 20 + #106; (第一个台阶的直径)
#105 = #104 + 10;           (第二个台阶的直径)
G0 X[#104];                 (进刀)
G0 Z0.5;                    (进刀)
IF[#104 GE 30]GOTO30;       (判断第一个表达式是否大于等于 30,如果是,则跳转到 N30)

G01 Z[-#101];               (切削第一个台阶的轴向长度)
    X#105;                  (退刀)
IF[#106 LT 1]GOTO30;        (判断#106 是否小于 1,如果是,则跳转到 N30)
G0 Z0.5;
IF[#105 GT 30]GOTO40;       (判断第二个表达式是否大于 30,如果是,则跳转到 N40)

N30 G01 Z[-#102];           (切削第二个台阶的轴向长度)
    X[#105 + 1];            (退刀)
G0 Z0.5;                    (退刀)
N40 IF[#100 GT 0]GOTO10;     (判断毛坯余量是否大于 0,如果是,则跳转到 N10)

G01 X42;
G0 X100 Z100;               (退刀到换刀点)
#106 = #106 - 1;
IF[#106 LT -0.5]GOTO50;     (条件判断)
S600 F0.08;
T0202;
GOTO 60;                    (绝对跳转到 N60)
N50 G01 X42;
G0 X100;                    (退刀)
    Z100;                   (退刀)
M05;
M09;
M30;

```

### 1.4.2 编程总结

本实例需要加上 IF [#106 LT1] GOTO30 的控制语句，否则在车削完第一个外圆时，会先退刀到 Z0.5 处，然后向 X 向进刀，车削第二个外圆时会有一段空走刀路，即产生空切现象。

## 1.5 实例 1-5 三个外圆车削宏程序应用

### 1.5.1 零件图和加工内容

图 1-8 所示的零件需要依次加工  $\phi 20\text{mm}$ 、 $\phi 26\text{mm}$  和  $\phi 32\text{mm}$  三个外圆及其端面，材料为 45 钢，采用宏程序进行编程。

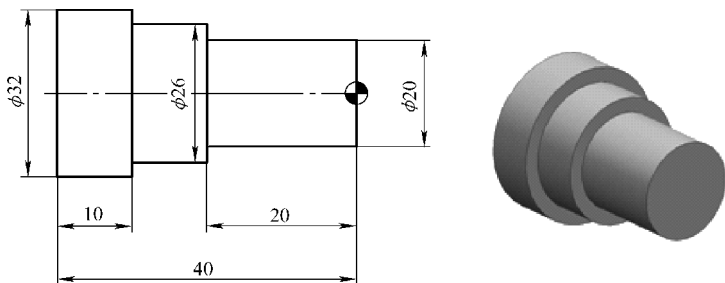


图 1-8 零件主要尺寸及其三维造型图

### 1.5.2 工艺分析和加工路线

- (1) 确定加工毛坯尺寸为  $\phi 40\text{mm} \times 70\text{mm}$ 。
- (2) 装夹方式：采用普通自定心卡盘，毛坯夹持后伸出约 50mm；刀具：90°外圆粗车刀（1 号刀）90°外圆精车刀（2 号刀），为硬质合金机夹车刀；量具：采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺。
- (3) 制订表 1-5 所示的车削工序卡。

### 1.5.3 编程思路和刀具路径规划

- (1) 本实例采用切削一刀后退到进刀点，再进行下一刀的切削，直至完成零件的加工。

表 1-5 数控车削三个外圆的工序卡

| 工序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具      | 切 削 用 量        |                |             |
|----|---------|------|----------|----------------|----------------|-------------|
|    |         |      |          | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 粗车端面    | 数控车床 | 90°外圆粗车刀 | 600            | 0.08           | 0.1         |
| 2  | 粗车外圆    | 数控车床 | 90°外圆粗车刀 | 500            | 0.15           | 1           |
| 3  | 精车外圆    | 数控车床 | 90°外圆精车刀 | 600            | 0.08           | 0.5         |

(2) 三个外圆车削宏程序的逻辑性比较复杂了，为此给出两种不同思路的程序作为参考。

1.5.4 数控程序及其注释

程序 1：不带精车工序的宏程序，每个台阶设置一个判别

O1006; (程序名)

T0101;

M03 S600;

G0 X42 Z1 M08;

G01 Z0 F0.2;

X -0.6 F0.08; (车削端面)

G0 X42 Z1;

S500;

#100 = 38; (第三个台阶毛坯直径减去 2mm)

#101 = 40; (第三个台阶的轴向距离)

N10 G0 X[#100]; (进刀)

G01 Z[ -#101]; (车削第三台阶)

X[#100 + 3] (X 向退刀)

G0 Z1; (Z 向退刀)

#100 = #100 - 2; (每次 X 向要到达的位置)

IF[#100 GE 32] GOTO10; (条件判断,第三个台阶的毛坯直径是否达到规定值)

#102 = 30; (第二个台阶的毛坯直径)

#103 = 30; (第二个台阶的轴向距离)

|                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| N20 G0 X[#102];        | (进刀)                     |
| G01 Z[-#103];          | (车削第二个台阶)                |
| X[#102+3]              | (X向退刀)                   |
| G0 Z1;                 | (Z向退刀)                   |
| #102 = #102 - 2;       | (每次X向要到达的位置)             |
| IF[#102 GE 26] GOTO20; | (条件判断,第二个台阶的毛坯直径是否达到规定值) |
| #104 = 24;             | (第一个台阶的毛坯直径)             |
| #105 = 20;             | (第一个台阶的轴向距离)             |
| N30 G0 X[#104];        | (进刀)                     |
| G01 Z[-#105];          | (车削第一个台阶)                |
| X[#104+3]              | (X向退刀)                   |
| G0 Z1;                 | (Z向退刀)                   |
| #104 = #104 - 2;       | (每次X向要到达的位置)             |
| IF[#104 GE 20] GOTO30; | (条件判断,第一个台阶的毛坯直径是否达到规定值) |
| G0 X100 Z100;          |                          |
| M05;                   |                          |
| M09;                   |                          |
| M30;                   |                          |

**程序 2：不带精车工序的宏程序，每个台阶外圆直径作为变量**

|                      |                  |
|----------------------|------------------|
| O1007;               | (程序名)            |
| T0101;               |                  |
| M03 S600;            |                  |
| G0 X42 Z1 M08;       |                  |
| G01 Z0 F0.2;         |                  |
| X-0.6 F0.08;         | (车削端面的程序)        |
| G0 X42 Z1;           |                  |
| M03 S500 F0.15;      |                  |
| #100 = 20;           | (加工余量)           |
| N10 #100 = #100 - 2; | (每次减少量,即每次的背吃刀量) |
| #101 = #100 + 20;    | (第一个台阶的直径)       |
| #102 = #101 + 6;     | (第二个台阶的直径)       |

|                          |                                    |
|--------------------------|------------------------------------|
| #103 = #102 + 6;         | (第三个台阶的直径表示)                       |
| G0 Z0.5                  | (循环的轴向起点)                          |
| G0 X[#101];              | (进刀)                               |
| IF[#101 GE 32]GOTO20;    | (条件判断,如果#101 大于等于 32,则跳<br>转到 N20) |
| IF[#101 GE 26]GOTO30;    | (条件判断,如果#101 大于等于 26,则跳<br>转到 N30) |
| G01 Z - 20 F0.15;        | (切削第一个台阶的轴向距离)                     |
| X[#102];                 | (X 向退刀)                            |
| IF[#102 GE 32]GOTO20;    | (条件判断,如果#102 大于等于 32,则跳<br>转到 N20) |
| IF[#102 GT 26]GOTO40;    | (条件判断,如果#102 大于 26,则跳转到<br>N40)    |
| N30 G01 Z - 30;          | (切削第二个台阶的轴向距离)                     |
| X[#103];                 | (X 向退刀)                            |
| IF[#103 GT 32]GOTO40;    | (条件判断,若#103 大于 32,则跳转到 N40)        |
| N20 G01 Z - 40;          | (切削第三个台阶的轴向距离)                     |
| X42;                     | (X 向退刀)                            |
| N40 IF[#100 GT 0]GOTO10; | (条件判断,若#100 大于 0,则跳转到 N10)         |
| G01 X41;                 | (X 向退刀)                            |
| G0 X100;                 |                                    |
| Z100;                    | (Z 向退刀)                            |
| M05 M09;                 |                                    |
| M30;                     |                                    |

**程序 3：在程序 2 的基础上，增加精车工序的宏程序**

|                |           |
|----------------|-----------|
| O1008;         | (程序名)     |
| T0101;         |           |
| M03 S600;      |           |
| G0 X42 Z1 M08; |           |
| G01 Z0 F0.2;   | (车削端面的程序) |
| X - 0.6 F0.08; |           |
| G0 X42 Z1;     |           |
| S500 F0.15;    |           |

|                          |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| #100 = 20;               | (毛坯径向余量)                      |
| #104 = 1;                | (精加工余量)                       |
| #105 = 1;                | (实现跳转的变量)                     |
| N10 #100 = #100 - 2;     | (每次减少量,即每次的背吃刀量)              |
| N70 #101 = #100 + 20;    | (第一个台阶的直径表示)                  |
| #102 = #101 + 6;         | (第二个台阶的直径表示)                  |
| #103 = #102 + 6;         | (第三个台阶的直径表示)                  |
| G0 Z0.5                  | (循环的轴向起点)                     |
| G0 X[#101 + #104];       | (X向进刀)                        |
| IF[#101 GE 32]GOTO20;    | (条件判断,若#101 大于等于 32,则跳转到 N20) |
| IF[#101 GE 26]GOTO30;    | (条件判断,若#101 大于等于 26,则跳转到 N30) |
| G01 Z - 20 F0.15;        | (切削第一个台阶的轴向距离)                |
| X[#102 + #104];          | (X向退刀)                        |
| IF[#105 LT 1]GOTO30;     | (条件判断,若#105 小于 1,则跳转到 N30)    |
| IF[#102 GE 32]GOTO20;    | (条件判断,若#102 大于等于 32,则跳转到 N20) |
| IF[#102 GT 26]GOTO40;    | (条件判断,若#102 大于 26,则跳转到 N40)   |
| N30 G01 Z - 30;          | (切削第二个台阶的轴向距离)                |
| X[#103 + #104];          | (X向退刀)                        |
| IF[#105 LT 1]GOTO20;     | (条件判断,若#105 小于 1,则跳转到 N20)    |
| IF[#103 GT 32]GOTO40;    | (条件判断,若#103 大于 32,则跳转到 N40)   |
| N20 G01 Z - 40;          | (切削第三个台阶的轴向距离)                |
| X42;                     | (X向退刀)                        |
| N40 IF[#100 GT 0]GOTO10; | (若#100 大于 0,则跳转到 N10)         |
| #104 = #104 - 1;         | (精车余量自减)                      |
| #105 = #105 - 1;         |                               |
| IF[#104 LT -0.5]GOTO50;  | (若#104 小于 -0.5,则跳转到 N50)      |
| S600 F0.08;              |                               |
| GOTO70;                  | (无条件跳转到 N70)                  |
| N50 G0 X100;             | (X向退刀)                        |

```

Z100;                (Z 向退刀)

M05;
M09;
M30;
    
```

### 1.5.5 编程总结

(1) 程序 1 编程思路：此种思路比较清晰，逻辑也很简单，即设置一个变量，车削一个台阶，车下一个台阶重新设置变量，但是这种编程方法没有突出宏程序编程的优势。

(2) 实例 1-1 ~ 实例 1-5 介绍了一个外圆、两个外圆、三个外圆台阶的加工宏程序，说明了随着外圆台阶数量的增多，变量数量和逻辑关系会发生相应的变化。

## 1.6 实例 1-6 四个外圆车削宏程序应用

### 1.6.1 零件图和加工内容

在上述实例练习的基础上，下面通过编写图 1-9 所示的含有四个外圆零件的宏程序，来进一步增加宏程序编写的难度。其中，需要加工的四个外圆直径依次为  $\phi 10\text{mm}$ 、 $\phi 13\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm}$ 、 $\phi 28\text{mm}$ ，零件材料为 45 钢。

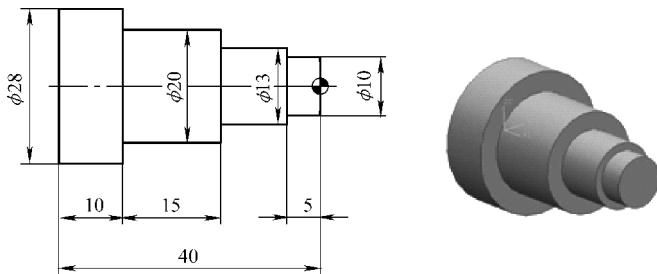


图 1-9 零件主要尺寸及其三维造型图

### 1.6.2 工艺分析和加工路线

(1) 准备毛坯尺寸  $\phi 30\text{mm} \times 70\text{mm}$ ， $\phi 30\text{mm}$  外圆已完成加工，端面车平即可。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘，夹持  $\phi 30\text{mm}$  外圆后保持伸出长度约  $50\text{mm}$ ；刀具： $90^\circ$ 外圆粗车刀（1 号刀）、 $90^\circ$ 外圆精车刀（2 号刀），为硬质合金机夹刀具；量具：采用  $0 \sim 150\text{mm}$  的游标卡尺。

(3) 制订表 1-6 所示的车削工序卡。

表 1-6 数控车削 4 个外圆的工序卡

| 工序 | 主要内容 | 设备   | 刀具               | 切削用量           |                |             |
|----|------|------|------------------|----------------|----------------|-------------|
|    |      |      |                  | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 粗车端面 | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆粗车刀 | 600            | 0.08           | 0.1         |
| 2  | 粗车外圆 | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆粗车刀 | 500            | 0.15           | 1           |
| 3  | 精车外圆 | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆精车刀 | 600            | 0.08           | 0.5         |

1.6.3 编程思路和刀具路径规划

四个外圆车削的刀具路径设计和三个外圆车削的刀具路径设计思路基本一致，宏程序编程中采用的变量赋值方法也类似；采用切削一刀后退到进刀点，再进行下一刀的切削，直至完成零件的加工；考虑台阶增多，采用斜线退刀方法来提高效率。

1.6.4 数控程序及其注释

O1009; (程序名)

T0101;

M03 S600;

G0 X42 Z1 M08;

G01 Z0 F0.2; (车削端面的程序)

X -0.6 F0.08;

G0 X42 Z1;

S500;

#101 = 30; (毛坯最大直径)

#102 = 0;

#103 = 0;

#104 = 0;



|                                              |                                                     |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| #107 = 1 ;                                   | (精加工余量)                                             |
| #108 = #101                                  | (设置退刀点)                                             |
| N10#101 = #101 - 2 ;                         | (每次直径减少 2mm)                                        |
| N20 G0 U1 W1 ;                               | (斜向退刀)                                              |
| Z1 ;                                         | (轴向退刀进刀点)                                           |
| IF[ #101 GE 10]GOTO30 ;                      | (条件判断,若#101 大于等于 10,则跳转到 N30)                       |
| IF[ #101 LT 10]GOTO80 ;                      | (条件判断,如果#101 小于10, 则跳转到 N10)                        |
| N30 G0 X[ #101 + #107] ;                     | (X 向进刀)                                             |
| G01 Z - 5 F0. 15 ;                           | (切削第一个台阶)                                           |
| G0 X[ #101 + #102 + #107] ;                  | (X 向退刀)                                             |
| IF[ #101 + #102 GE 13]GOTO40 ;               | (如果#101 + #102 大于等于 13,则跳转到 N40)                    |
| IF[ #101 + #102 LT 13]GOTO10 ;               | (如果#101 + #102 小于 13,则 跳转到 N10)                     |
| N40 G01 Z - 15 ;                             | (切削第二个台阶)                                           |
| X[ #101 + #102 + #103] ;                     | (X 向退刀)                                             |
| IF[ #101 + #102 + #103 GE 20]GOTO50 ;        | (若#101 + #102 + #103 大于等 于 20,则跳转到 N50)             |
| IF[ #101 + #102 + #103LT 20]GOTO10 ;         | (若#101 + #102 + #103 小于 20, 则跳转到 N10)               |
| N50 G01 Z - 30 ;                             | (切削第三个台阶)                                           |
| X[ #101 + #102 + #103 + #104] ;              | (X 向退刀)                                             |
| IF[ #101 + #102 + #103 + #104 GE 28]GOTO60 ; | (条件判断,如果#101 + #102 + #103 + #104 大于等于 28,则跳转到 N60) |
| IF[ #101 + #102 + #103 + #104 LT 28]GOTO10 ; | (条件判断,如果#101 + #102 + #13 + #104 小于 28,则 跳转到 N10)   |
| N60 G01 Z - 40 ;                             | (切削第四个台阶)                                           |
| IF[ #101 GT 10]GOTO10 ;                      | (条件判断,如果#101 大于10, 则跳转到 N10)                        |

|                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| X[#108];                | (X 向退刀)                    |
| N80 #102 = 3;           | (第 2 个外圆和第 1 个外圆的直径差值)     |
| #103 = 7;               | (第 3 个外圆和第 2 个外圆的直径差值)     |
| #104 = 8;               | (第 4 个外圆和第 3 个外圆的直径差值)     |
| #101 = 10;              | (第 1 个外圆的直径值)              |
| #107 = #107 - 1;        | (精车余量自减)                   |
| S800 F0.08;             |                            |
| IF[#107 GE 0]GOTO20;    | (若#107 大于等于 0,则跳转到 N20)    |
| IF[#107 GE -0.5]GOTO20; | (若#107 大于等于 -0.5,则跳转到 N20) |
| G0 X100 Z100;           |                            |
| M05;                    |                            |
| M09;                    |                            |
| M30;                    |                            |

### 1.6.5 编程总结

(1) 本实例关键是设置了变量赋值#102 = 3、#103 = 7、#104 = 8 和 #101 = 10。

(2) 此思路可以扩展到 N 个台阶的零件，每加一个台阶，多加个变量和判断，极大地方便了编程。在此强调的是：宏程序在一般零件加工中也是有应用的，如一些复杂零件编程中运用宏程序会体现出其特有的优势。

## 1.7 实例 1-7 车削外圆单个沉槽宏程序应用

### 1.7.1 零件图和加工内容

上述实例均以控制 Z 向（轴向）走刀为主，下面开始介绍控制 X 向（径向）宏程序的编程方法。图 1-10 所示的工件需要割出一个沉槽，材料为 45 钢，编制车削单个沉槽的子程序和宏程序。

### 1.7.2 工艺分析和加工路线

(1) 准备毛坯尺寸  $\phi 40\text{mm} \times 70\text{mm}$ 。

(2) 装夹方式：采用普通自定心卡盘保证棒料伸长约 40mm，采用一夹一顶方式；刀具：切槽刀（刀宽为 4mm），为硬质合金刀具；量具：采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺。

(3) 制订表 1-7 所示的车削工序卡。

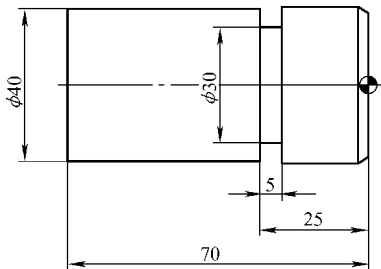


图 1-10 零件主要尺寸

表 1-7 数控车削沉槽的工序卡

| 工序 | 主要内容 | 设备   | 刀具      | 切削用量           |                |             |
|----|------|------|---------|----------------|----------------|-------------|
|    |      |      |         | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 车削外圆 | 数控车床 | 90°外圆车刀 | 500            | 0.15           | 1           |
| 2  | 车削端面 | 数控车床 | 90°外圆车刀 | 600            | 0.08           | 0.1         |
| 3  | 切槽   | 数控车床 | 切槽刀     | 350            | 0.04           | 2           |

### 1.7.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 切槽宽度为 5mm，切槽刀具宽度为 4mm，需要增加左、右进刀量各为 1mm，即刀宽决定了进刀量的大小；同时，为了减少刀具的磨损，需要采用分层切削加工的刀具路径控制方法，即采用进刀→退出→右进刀→切入→平槽等，如此反复完成槽的加工，刀具路径设计如图 1-11 所示。

(2) 切槽时工件承受较大的径向切削力，同时需要增加进刀量，为了保证工件具有足够的刚度，切槽时远离卡盘切入，最后平槽。

(3) 本实例采用子程序和宏程序两种方法，其中，宏程序编制的流程图如图 1-12 所示。

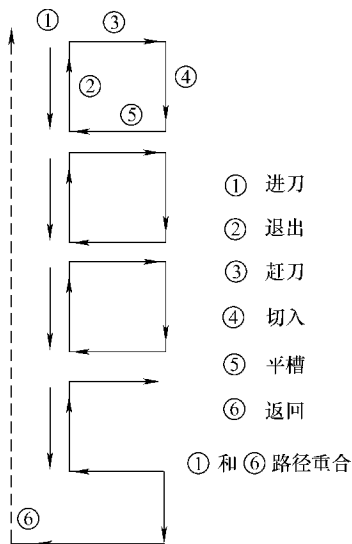


图 1-11 车削沉槽刀具路径图

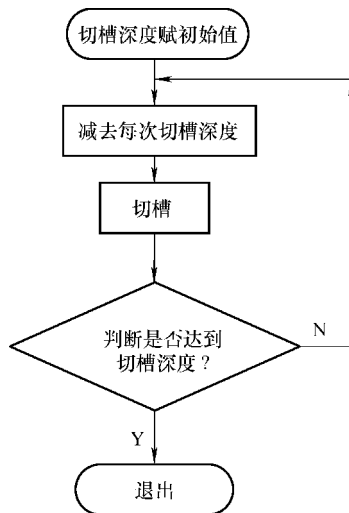


图 1-12 车削沉槽程序流程图

### 1.7.4 数控程序及其注释

#### 程序 1：采用子程序完成切槽

```

O1010;                (主程序名)
T0101;
M03 S350;
G0 X42 Z1;            (快速定位到工件的右端面处)
    Z -25;            (快速进刀至切槽轴向位置)
G01 X40 F0.3;         (移动至工件切槽径向表面)
M98 P50020;           (调用子程序,子程序号为 00020,调用 5 次)
G01 X42 F0.4;
G0 X100;
    Z100;
M05;
M09;
M30;
...
O0020;                (子程序名)
    
```

```
G01 U - 2 F0.04;      (径向切入)
G1 U2.5 F0.5;          (径向退刀)
    W1;                (右进刀)
G01 U - 2.5 F0.04;     (径向切入)
    W - 1;              (平槽)
M99;
```

程序 1 编程总结:

(1) 子程序调用的格式为 M98 P $\Delta\Delta\Delta$ XXXX,  $\Delta\Delta\Delta$  为重复调用的次数 (最多 999 次, 如果省略则为 1 次), XXXX 为调用子程序号, 调用的次数为 1 时, 子程序号前面的 1 可以省略不写。例如: M98 P60010 表示调用的子程序号为 0010, 调用的次数为 6 次; M98 P0010 表示调用的子程序号为 0010, 调用的次数为 1 次。每调用一次子程序, 则需要返回到主程序 M99; 如果子程序没有调用完毕, 再执行下一次调用子程序, 否则执行 M99 下一程序段。

(2) 调用子程序切槽可以简化编程, 当切割多个沉槽时, 需要采用多个子程序嵌套, 和宏程序相比, 宏程序编程更具有优越性。

#### 程序 2: 采用宏程序完成切槽

```
O1011;                (程序名)
T0101;
M03 S350;
M08;
G0 X42 Z1;            (快速定位到工件的右端面处)
    Z - 25;            (快速进刀至切槽轴向位置)
G01 X40 F0.4;          (切槽的位置)
#100 = 40;             (切槽深度初始值)
#102 = 2;              (每次切槽深度)
#103 = 1;              (进刀量)
N10 #100 = #100 - #102; (切槽深度自减)
G01 X[ #100 ] F0.04;   (切入)
    X[ #100 + 2.5 ] F0.2; (退刀)
    W[ #103 ];          (右进刀)
G01 X[ #100 ] F0.04;   (切入)
    W[ - #103 ];        (平槽)
IF[ #100 GT 30 ] GOTO10; (如果直径大于 30mm, 则跳转到 N10)
```

G01 X42 F0.4;                   (以较快速度离开切槽位置)

G0 X100;

Z100;

M05;

M09;

M30;

程序2 编程总结:

(1) 由于切削的起始点在 X40 处, 每次分配的背吃刀量为 2mm, 这样需要循环 5 次才能完成整个槽深的加工。

(2) 在本实例中, 宏程序和调用子程序相比, 宏程序更能简化编程, 只需要一个判别就能解决 5 次切槽。

(3) 在切割多排等距槽和等差槽时, 采用子程序编制比较繁琐, 而采用宏程序更能体现其优越性, 后续实例可以说明这一点。

(4) 进刀量是由槽宽尺寸减去刀宽尺寸所得。

## 1.8 实例 1-8 车削外圆多排等距沉槽宏程序应用

### 1.8.1 零件图和加工内容

图 1-13 所示的工件需要加工出 5 个等距的沉槽, 每个槽之间的间距均为 10mm, 材料为 45 钢, 编制车削多排等距沉槽的子程序和宏程序。

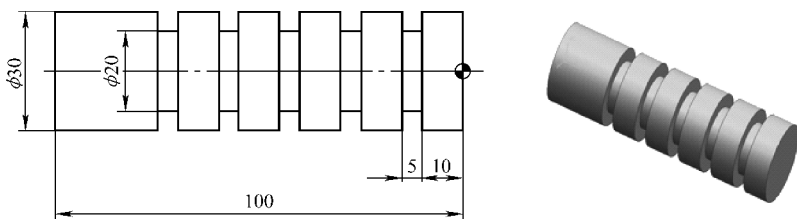


图 1-13 零件主要尺寸及其三维造型图

### 1.8.2 工艺分析和加工路线

(1) 准备毛坯尺寸  $\phi 30\text{mm} \times 110\text{mm}$ ,  $\phi 30\text{mm}$  外圆、端面和端面中心孔已完成加工。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘，由于切槽的总长度为 75mm，故保证夹持后棒料伸长约 90mm，并采用一夹一顶的方式；刀具：切槽刀（刀宽为 4mm），为硬质合金刀具；量具：采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺。

(3) 具体切削用量见表 1-8。

表 1-8 数控车削多排等距沉槽的工序卡

| 工序 | 主要内容 | 设备   | 刀具  | 切削用量           |                |             |
|----|------|------|-----|----------------|----------------|-------------|
|    |      |      |     | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 切槽   | 数控车床 | 切槽刀 | 350            | 0.04           | 2           |

1.8.3 编程思路和刀具路径规划

采用从沉槽的左侧进刀，按照切入→退出→右进刀→切入→平槽，如此反复完成一个槽的加工，然后朝 Z 向移动，进行第二个槽的加工，如此反复最终完成整个零件的加工。

1.8.4 数控程序及其注释

程序 1：采用子程序完成切槽

O1012; (主程序名)

T0101;

M03 S350;

G0 X32 Z1;

Z0;

M98 P50023; (调用一级子程序)

G0 X32;

G0 X150; (X 向退刀)

Z30; (Z 向退刀)

M05;

M09;

M30;

...

O0023; (一级子程序名)

G01 W - 15;

```

M98 P60024;          (调用二级子程序,子程序号为 O0023,调用6次)
G01 X32;
M99;
O0024;                (二级子程序名)
G01 U -2 F0.04;       (切入)
G01 U2 F0.4;          (退到进刀 X 起点)
      W1;              (右进刀)
G01 U -2 F0.04;       (再次切入)
      W -1;            (左进刀)
M99;

```

程序1 编程总结:

(1) 本实例采用了子程序嵌套方法,不但主程序中可以调用子程序,子程序也可以调用二级子程序,在 FANUC 0i 系统中最多可以嵌套 4 层子程序。

(2) 采用子程序嵌套进行编程,要衔接好它们之间的顺序关系。如本例中先调用 O0023,即轴向先进刀,然后再调用 O0024 程序进行切槽,它们之间的顺序是不可以颠倒的。

#### 程序 2: 采用宏程序完成切槽

```

O1013;                (主程序名)
T0101;
M03 S350;
G0 X32 Z1;
      Z0;
#100 = -15;            (第1个切槽轴向位置)
WHILE[#100 GE -75] DO1; (如果#100 大于等于 -75,则在 WHILE
                        和 DO1 之间循环,否则跳出循环)
G0 Z[#100];           (快速到达第1个切槽轴向位置)
#101 = 0;              (切槽初始深度)
WHILE[#101 LT 6] DO2;  (如果#101 小于 6,则在 WHILE 和 DO2 之
                        间循环,否则跳出循环)
G01 U -2 F0.04;        (切入)
G01 U2.5 F0.4;         (退刀)
      W1;              (右进刀)

```



```

G01 U -2.5 F0.04;           (切入)
      W -1;                  (平槽)
#101 = #101 + 1;             (切槽次数累加)
END2;
G01 X32 F0.4;
#100 = #100 - 15;            (向左进一个槽距)
END1;
G0 X150;
  Z30;
M05;
M09;
M30;

```

程序 2 编程总结:

(1) 本实例切槽思路为: 先轴向移动到切槽的位置, 切槽, 切到槽底后径向退刀, 再移动到下一个切槽的位置, 如此反复, 直到完成等距槽的加工。

(2) WHILE [#100 GE -75] DO1 用来控制轴向移动, WHILE [#101 LE 6] DO2 用来控制径向切槽的深度, 保证切槽的次数为 6。

(3) 本实例为多排等距槽的加工, 如果再多设置一个变量就形成了加工多排等差槽的编程思路, 这是子程序嵌套无法替代的, 可见宏程序比子程序要灵活。

## 1.9 实例 1-9 车削外圆多排等差递增沉槽宏程序应用

### 1.9.1 零件图和加工内容

图 1-14 所示的工件需要加工出 5 个沉槽, 相互槽之间的间距递增为 5mm,

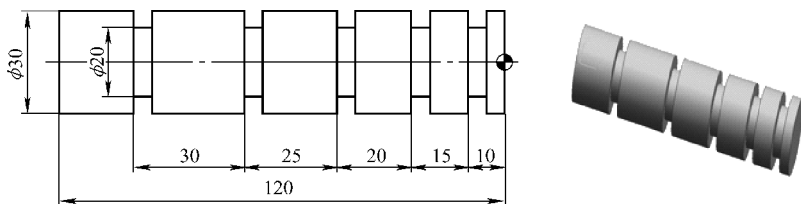


图 1-14 零件主要尺寸及其三维造型图

材料为 45 钢，编制车削多排不等距沉槽的宏程序。

1.9.2 工艺分析和加工路线

(1) 准备毛坯尺寸  $\phi 30\text{mm} \times 140\text{mm}$ ， $\phi 30\text{mm}$  外圆、端面和端面中心孔已完成加工。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘，由于切槽的总长度为 95mm，故保证夹持后棒料伸长约 105mm，并采用一夹一顶的方式；刀具：切槽刀，刀宽为 4mm；量具：采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺。

(3) 制订见表 1-9 所示的车削工序卡。

表 1-9 数控车削多排等差递增沉槽的工序卡

| 工序 | 主要内容 | 设备   | 刀具  | 切削用量           |                |             |
|----|------|------|-----|----------------|----------------|-------------|
|    |      |      |     | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 切槽   | 数控车床 | 切槽刀 | 350            | 0.04           | 2           |

1.9.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 在实例 1-8 等距沉槽加工的基础上，再增加一个变量，用宏程序实现切削外圆多排等差沉槽的加工。

(2) 本实例的刀路方法和等距沉槽一样，即采用切入→退出→右进刀→切入→平槽，如此反复完成一个槽的加工，然后 Z 向移动（每次移动距离不同），进行第二个槽的加工，如此反复最终完成工件上所有槽的加工。

1.9.4 数控程序及其注释

O1014; (主程序名)

T0101;

M03 S350;

G0 X32 Z1;

G0 Z0 F0.4;

#100 = -10; (第 1 个槽的 Z 向位置)

#102 = 0; (递增的初始值)

WHILE[#100 GE -30]DO1; (如果#100 大于等于 -30,则在 WHILE 和 DO1 之间循环,否则跳出循环)

|                       |                                           |
|-----------------------|-------------------------------------------|
| G0 W[#100];           | (快速到达轴向切槽位置)                              |
| #101 = 0;             | (切槽深度的初始赋值)                               |
| WHILE[#101 LE 5] DO2; | (如果#101 小于等于5,则在 WHILE 和 DO2 之间循环,否则跳出循环) |
| G01 U -2 F0.04;       | (切入)                                      |
| G01 U2.5 F0.2;        | (退刀)                                      |
| W1;                   | (右进刀)                                     |
| G01 U -2.5 F0.04;     | (切入)                                      |
| W -1;                 | (平槽)                                      |
| #101 = #101 + 1;      | (切入次数累加)                                  |
| END2;                 |                                           |
| G01 X32 F0.4;         |                                           |
| #102 = #102 + 5;      | (递增槽距值)                                   |
| #100 = #100 - #102;   | (向左进一个槽距)                                 |
| END1;                 |                                           |
| G0 X150;              |                                           |
| Z30;                  |                                           |
| M05;                  |                                           |
| M09;                  |                                           |
| M30;                  |                                           |

### 1.9.5 编程总结

(1) 在实例 1-8 的基础上增加了变量,实现了由等距沉槽转变为等差沉槽,差值为 5mm;使用了 G0 W [#100] 语句,简化了编程,实现了 Z 向不等距移动控制。

(2) 加工等差外圆沉槽采用 G 代码中的 G75 指令进行切槽循环编程,程序比较长,也容易出错,使用子程序编程需要调用 5 次子程序,而本实例使用宏程序方法,只要增加一个变量,就达到了加工的目的,程序编制非常方便。也可以采用子程序嵌套宏程序的思路,来完成外圆多排等差递增沉槽的加工。

## 1.10 实例 1-10 车削外圆多排阶梯等距递增沉槽宏程序应用

### 1.10.1 零件图和加工内容

图 1-15 所示的工件需要加工出 5 个台阶外圆和沉槽，相互槽之间的间距均为 15mm，各个台阶外圆直径依次增加 5mm，材料为 45 钢，编制车削多排阶梯等距沉槽的宏程序。

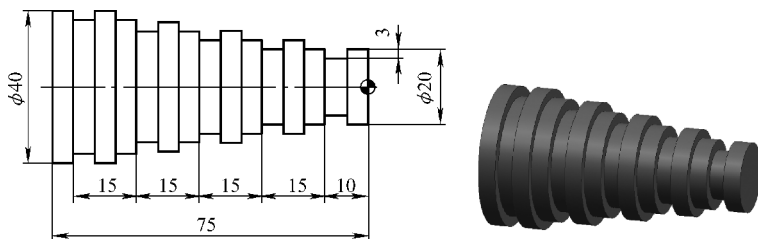


图 1-15 零件主要尺寸及其三维造型图

### 1.10.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯尺寸  $\phi 40\text{mm} \times 110\text{mm}$ ，按照图 1-16 所示加工成形，即各个外圆和台阶已加工完毕。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘，由于切槽的总长度为 75mm，故保证夹持后棒料伸长约 95mm，并采用一夹一顶的方式；刀具：切槽刀，刀宽为 4mm；量具：采用 0~150mm 的游标卡尺。

(3) 制订表 1-10 所示的车削工序卡。

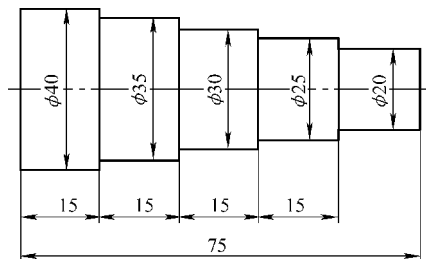


图 1-16 车削多排阶梯工件的毛坯图

表 1-10 数控车削多排阶梯等距沉槽的工序卡

| 工序 | 主要内容 | 设备   | 刀具  | 切削用量           |                |             |
|----|------|------|-----|----------------|----------------|-------------|
|    |      |      |     | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 切槽   | 数控车床 | 切槽刀 | 350            | 0.04           | 2           |

### 1.10.3 编程思路和刀具路径规划

本实例为外圆多台阶切槽加工，各个沉槽直径在 X 向逐渐增加 5mm，在 Z 向是等距（15mm）变化的，所以适合采用宏程序和子程序嵌套方法进行编程，并且整体上刀路的编排和实例 1-9 一致。

### 1.10.4 数控程序及其注释

#### 程序 1：采用宏程序进行编程

```

O1015;
T0101;
M03 S350;
G0 X32 Z1;
#100 = -10;           (Z 向赋初始值,即第 1 个槽轴向位置)
#104 = 22;            (第一个外圆的直径,因为要远离工件表面,故设置为 22)

WHILE[ #100 GE -70 ] DO1; (如果#100 大于等于 -70,则在 WHILE 和
                           DO1 之间循环,否则跳出循环)

  G0 X[ #104 ];        (径向退刀)
  Z[ #100 ];           (轴向退刀)
  #101 = 0;            (切槽次数的初始值)
  WHILE[ #101 LE 3 ] DO2; (如果#101 小于等于 3,则在 WHILE 和
                           DO2 之间循环,否则跳出循环)

    G01 U -2 F0.04;    (切入)
    G01 U2.5 F0.4;     (退刀)
    W1;               (右进刀)
    G01 U -2.5 F0.04;  (切入)
    W -1;             (平槽)
    #101 = #101 + 1;   (切槽次数累加)
  END2;

  G01 X#104;          (径向退刀)
  #104 = #104 + 5;     (直径增加)
  #100 = #100 - 15;    (向左进一个槽距)
END1;

```

G0 X150;

Z30;

M05;

M09;

M30;

程序 1 编程总结:

本实例中各个沉槽的轴向间距和直径是同步增加的,因此在程序中只设置和判断一个变量即可,如果它们不是同步增加的,则在程序中需要再增加一个变量和一个判别语句。

#### 程序 2: 采用子程序嵌套进行编程

O1016;

T0101;

M03 S350;

G0 X22 Z1; (快速移动到切槽位置)

G01 Z0 F0.5;

M98 P0027; (调用子程序,次数为 1)

G0 X150 Z30; (退刀)

M05 M09;

M30;

...

O0027; (子程序名)

#100 = -10; (Z 向初始值)

#103 = 22; (X 向初始值,因为要远离工件表面,故设置为 22)

WHILE[ #100 GE -70 ] DO1; (如果#100 大于等于 -70,则在 WHILE 和 DO1 之间循环,否则跳出循环)

G0 X[ #103 ]; (X 向进刀到切槽外圆的表面)

Z[ #100 ]; (Z 向进刀到切槽外圆)

#101 = 0; (切槽次数初始值)

WHILE[ #101 LE 3 ] DO2; (如果#101 小于等于 3,则在 WHILE 和 DO2 之间循环,否则跳出循环)

G01 U -2 F0.04; (切入)

G01 U2.5 F0.4; (退刀)

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| W1;               | (右进刀)                   |
| G01 U -2.5 F0.04; | (切入)                    |
| W -1;             | (平槽)                    |
| #101 = #101 + 1;  | (切槽次数累加)                |
| END2;             |                         |
| G01 X[#103];      | (径向退刀)                  |
| #103 = #103 + 5;  | (#103 累加,X 向直径每次增加 5mm) |
| #100 = #100 - 15; | (轴向位置移动)                |
| END1;             |                         |
| M99;              |                         |

## 1.11 实例 1-11 车削外圆多排阶梯等差递增沉槽宏程序应用

### 1.11.1 零件图和加工内容

图 1-17 所示的工件需要加工出 5 个台阶外圆和沉槽，其中，槽宽为 5mm，相互槽之间的间距呈现递增关系，材料为 45 钢，编制车削多排阶梯等差递增沉槽的宏程序。

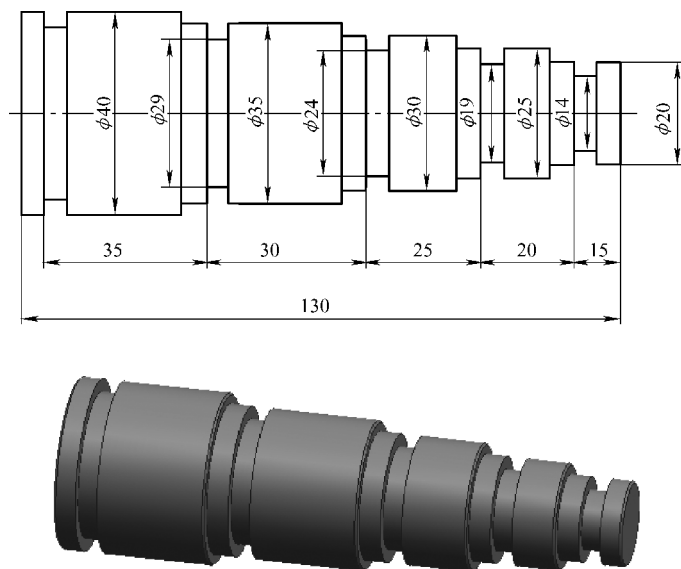


图 1-17 零件主要尺寸及其三维造型图

1.11.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯尺寸  $\phi 40\text{mm} \times 160\text{mm}$ ， $\phi 40\text{mm}$  外圆和外侧端面已经完成加工。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘，由于切槽的总长度为 125mm，故保证夹持后棒料伸长约 140mm，并采用一夹一顶的方式；刀具：切槽刀，刀宽为 4mm；量具：采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺。

(3) 制订表 1-11 所示的车削工序卡。

表 1-11 数控车削工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具 | 切 削 用 量                          |                                  |                       |
|-----|---------|------|-----|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
|     |         |      |     | 转速<br>/( $\text{r}/\text{min}$ ) | 进给量<br>/( $\text{mm}/\text{r}$ ) | 背吃刀量<br>/ $\text{mm}$ |
| 1   | 切槽      | 数控车床 | 切槽刀 | 350                              | 0.04                             | 2                     |

1.11.3 编程思路和刀具路径规划

本实例的编程思路和刀路设计与实例 1-10 一致，此处不再赘述。

1.11.4 数控程序及其注释

程序 1：采用宏程序编制程序

O1017; (主程序名)

T0101;

M03 S350;

G0 X22 Z1; (快速移动到切槽位置)

G01 Z0 F0.4;

#100 = -15; (轴向初始位置)

#104 = 22; (第一个外圆的直径,因为要远离工件表面,故设置为 22)

WHILE[#100 GE -35] DO1; (如果#100 大于等于 -35,则在 WHILE 和 DO1 之间循环,否则跳出循环)

G0 X[#104]; (径向退刀)

W[#100]; (轴向退刀)

#101 = 0; (切槽次数的初始值)



```

WHILE[ #101 LE 3 ] DO2;          ( 如果#101 小于等于 3,则在 WHILE 和
                                   DO2 之间循环,否则跳出循环)

G01 U -2 F0.04;                  ( 切入)
G01 U2.5 F0.4;                   ( 退刀)
    W1;                          ( 右进刀)
G01 U -2.5 F0.04;                ( 切入)
    W -1;                        ( 平槽)
#101 = #101 + 1;                 ( 切槽次数累加)
END2;
G01 X[ #104 ];                   ( 退刀)
#104 = #104 + 5;                 ( 直径增加)
#100 = #100 - 5;                 ( 向左进一个槽距)
END1;
G0 X150;
    Z30;
M05;
M09;
M30;

```

程序 1 编程总结:

如果工件上各个沉槽的轴向间距和直径是同步增加的,在程序中只设置一个变量即可;而本实例的沉槽在 Z 向是等差增加,需要在程序中设置一个变量来控制增加值。

#### 程序 2: 采用子程序嵌套进行编程

```

O1018;                          ( 主程序名)
T0101;
M03 S350;
M08;
G0 X22 Z1;
G01 Z0 F0.4;
#105 = 0;                        ( 程序跳转的判别变量)
M98 P50031;
G0 X150 Z30;
M05 M09;

```

```

M30;
O0031;                                (一级子程序名)
IF[#105 GT 0.5] GOTO30;               (条件判断,如果#105 大于 0.5,则跳转到
                                     N30)
#100 = -15;                           (Z 向位置初始值)
#103 = 22;                             (X 向位置初始值,因为要远离工件表面,
                                     故设置为 22)
N30 G0 X[#103];                       (X 向进刀到切槽外圆的表面)
      W[#100];                         (Z 向进刀到切槽外圆)
M98 P40032;
G01 X[#103] F0.4;                     (径向退刀)
#103 = #103 + 5;                       (#103 累加,直径每次增加 5mm)
#100 = #100 - 5;                       (#100 累减,槽距每次增加 5mm)
#105 = #105 + 1;                       (#105 累加)
M99;
...
O0032;                                (二级子程序)
G01 U-2 F0.04;                        (切入)
G01 U2.5 F0.4;                        (退刀)
      W1;                             (右进刀)
G01 U-2.5 F0.04;                      (切入)
      W-1;                            (左进刀)
M99;

```

#### 程序 2 编程总结:

(1) 对于这种等差沉槽的加工,采用子程序编程比较困难,因为调用子程序时其等差值难以实现控制。

(2) 本实例设置了一个变量#105,第一次调用子程序后,通过#103 = #103 + 5 和#100 = #100 - 5 的运算,利用 IF [#105 GT 0.5] GOTO30 实现了跳转,避免了重新对变量进行初始赋值,否则会 5 次重复加工第一个沉槽。

(3) 由此可见,在很多数控加工场合中宏程序可以替代子程序。在有些零件加工中,宏编程不但可以简化程序,而且具有别的编程方法不具备的优越性。如本实例中把宏程序带进子程序嵌套中,程序显得更为简洁。

(4) 实例 1-7 ~ 实例 1-11 均为外圆沉槽的加工,它们的编程思路和刀具路

径规划同样适合于内割槽、端面割槽以及异形沉槽的加工中。

## 1.12 实例 1-12 大直径外圆的切断宏程序应用

### 1.12.1 零件图和加工内容

切断工序是车削中常见的，图 1-18 所示工件需要切断，材料为 45 钢，编制该宏程序。

### 1.12.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯尺寸  $\phi 50\text{mm} \times 60\text{mm}$ ， $\phi 50\text{mm}$  外圆和端面已经完成加工。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘，夹持  $\phi 50\text{mm}$  外圆并保证夹持伸出约 35mm；刀具：切槽刀，刀宽为 4mm；量具：采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺。

(3) 制订表 1-12 所示的车削工序卡。

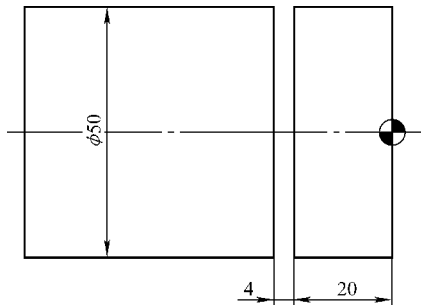


图 1-18 零件图及其主要尺寸

表 1-12 数控加工切断的工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具 | 切 削 用 量           |                    |                |
|-----|---------|------|-----|-------------------|--------------------|----------------|
|     |         |      |     | 转 速<br>/( r/min ) | 进 给 量<br>/( mm/r ) | 背 吃 刀 量<br>/mm |
| 1   | 切槽      | 数控车床 | 切槽刀 | 350               | 0.08               | —              |

### 1.12.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 切断直径  $\phi 50\text{mm}$  的毛坯，因为刀宽较窄且切断工件的直径较大，所以设置切断时的进刀量为 0.3mm。

(2) 切断的刀具路径设计和切割类似，采用切入→右进刀→退刀→平槽，反复完成工件的割断。其程序编制的流程如图 1-19 所示。

(3) 设置变量#100 = 52 作为切断毛坯的直径，#102 = 2 作为控制每次切槽的深度，#103 = 350 作为主轴转速的初始值。

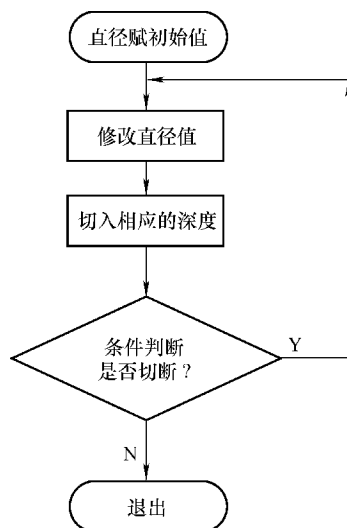


图 1-19 切断程序流程

#### 1.12.4 数控程序及其注释

|                         |                                            |
|-------------------------|--------------------------------------------|
| O1019;                  | (主程序名)                                     |
| T0101;                  |                                            |
| M03 S350;               |                                            |
| #100 = 52;              | (#100 赋值, 因为毛坯直径为 50mm, 切断时要远离工件, 故设置为 52) |
| #102 = 2;               | (每次切割的深度)                                  |
| #103 = 350;             | (初次切削主轴转速)                                 |
| G0 X[#100] Z1;          |                                            |
| Z - 24;                 | (切断的 Z 向位置)                                |
| N10 #100 = #100 - #102; | (每次切削径向到达的位置)                              |
| M03 S[#103]             |                                            |
| G01 X[#100] F0.08;      | (开始切削)                                     |
| #101 = #100 + 2.5;      |                                            |
| X[#101] F0.2;           | (退刀)                                       |
| W - 0.3;                | (右进刀)                                      |
| X[#100];                | (切入)                                       |
| W0.3;                   | (返回上次切槽位置)                                 |

```

#103 = #103 + 25;           (转速每次递增 25r/min)
IF[#100 GT 2] GOTO10;      (条件判断,如果#100 大于 2,则跳转到 N10)
G01 X52 F0.4;              (退刀,退出毛坯)
G0 X150;
Z30;
M05;
M09;
M30;

```

### 1.12.5 编程总结

(1) 工件切断和切槽在程序编制的思路是一致的,只不过本实例采用 IF[#100 GT 2] GOTO10 控制语句来判断工件是否被切断。

(2) 为了达到良好的切断效果,本实例将转速也作为一个变量,通过 #103 = #103 + 25 语句,每切入 2mm,主轴转速会增加 25r/min,这样可以达到类似恒线速的切削效果。

## 1.13 实例 1-13 车削端面宏程序应用

### 1.13.1 零件图和加工内容

车削端面是车削中最为常见的工序,车削端面的厚度要求各不一致,图1-20所示对轴类工件的端面车削,车削的轴向长度为 10mm,编制车削端面的宏程序。

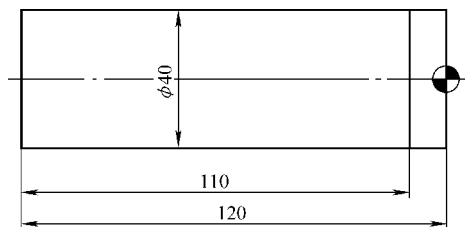


图 1-20 零件主要尺寸

### 1.13.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯尺寸  $\phi 40\text{mm} \times 120\text{mm}$ ,  $\phi 40\text{mm}$  外圆已经完成加工。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘，夹持  $\phi 40\text{mm}$  外圆并伸出约  $30\text{mm}$ ；刀具： $90^\circ$  外圆粗车刀；量具：采用  $0 \sim 150\text{mm}$  的游标卡尺。

(3) 制订表 1-13 所示的车削工序卡。

表 1-13 数控车削端面的工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具              | 切 削 用 量          |                  |             |
|-----|---------|------|------------------|------------------|------------------|-------------|
|     |         |      |                  | 转速<br>/( r/min ) | 进给量<br>/( mm/r ) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1   | 粗车端面    | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆粗车刀 | 600              | 0.08             | 2           |

1.13.3 编程思路和刀具路径规划

车削端面时每次切削  $2\text{mm}$ ，分 5 次车削完毕，刀具路径设计如图 1-21 所示。

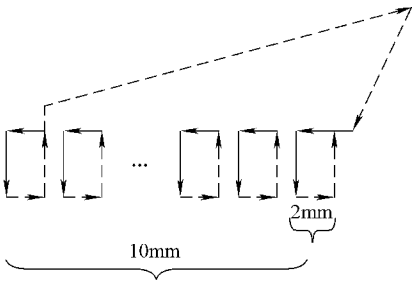


图 1-21 车端面刀具路径图

1.13.4 数控程序及其注释

O1020; (主程序名)

T0101;

M03 S350;

G0 X42 Z1;

#100 = 0; (轴向位置赋初始值)

WHILE[ #100 GE -10 ] DO1; (条件判断)

G0 Z[ #100 ]; (Z 向定位)

G01 X -0.6 F0.08; (车削端面)

G0 W1; (退刀)

X42; (X 向退刀)

```
#100 = #100 - 2;           (Z 向进刀)
END1;
G0 X100 Z100;
M05;
M09;
M30;
```

### 1.13.5 编程总结

(1) 本实例宏程序的编程思路不仅适用于车削端面，也适用于切片加工，比如把一个空心管切成厚度为 2mm 的薄片作为垫圈，采用宏程序编程非常方便，当零件外径尺寸改变后，只要修改相应的变量值即可。

(2) 语句 WHILE [#100 GE -10] DO1 是判断语句，其含义：如果 #100 大于等于 -10，在 WHILE 和 DO1 之间循环，否则退出循环，执行 END1 之后的语句。

## 1.14 实例 1-14 钻孔、镗孔宏程序应用

### 1.14.1 零件图和加工内容

孔类零件加工时往往先钻孔、扩孔，然后再粗镗、精镗孔。虽然一般的数控车床有 G74 循环钻孔指令，但其参数设置固定，难以适合特殊钻孔情况，而宏程序具有设置变量灵活、控制走刀路径方便的特点，比如利用宏程序加工深孔时，采用每次钻孔一段距离再后退的工艺，当相关参数发生改变时，只需要改变相应的变量即可，使用起来比 G74 简单，只需要一个简单的语句判断即可。

如图 1-22 所示零件中间有通孔，材料为 45 钢，编制钻孔和镗孔的宏程序。

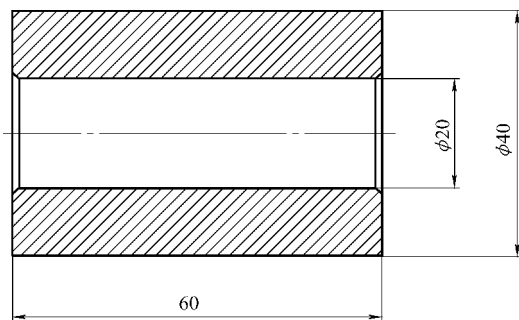


图 1-22 零件主要尺寸及其三维造型图

### 1.14.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯尺寸  $\phi 40\text{mm} \times 60\text{mm}$ ， $\phi 40\text{mm}$  外圆已经完成加工。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘，夹持  $\phi 40\text{mm}$  外圆并伸出约  $30\text{mm}$ ；刀具： $\phi 10\text{mm}$  加长钻头，不通孔镗孔刀；量具：采用  $0 \sim 150\text{mm}$  的游标卡尺、内径表。

(3) 采用先钻后镗的加工方式，制订表 1-14 所示的车削工序卡。

表 1-14 数控钻孔和镗孔工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具                     | 切 削 用 量        |                |             |
|-----|---------|------|-------------------------|----------------|----------------|-------------|
|     |         |      |                         | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1   | 钻孔      | 数控车床 | $\phi 10\text{mm}$ 加长钻头 | 600            | 0.08           | 2           |
| 2   | 镗孔      | 数控车床 | 不通孔镗孔刀                  | 500            | 0.1            | 1           |
| 3   | 切断      | 数控车床 | 切断刀                     | 350            | 0.04           | —           |

### 1.14.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 由于本实例为深孔加工，钻孔刀路设计：每钻进  $2\text{mm}$  就退刀  $1\text{mm}$ ，便于排屑和冷却，减少刀具磨损；镗孔采用切削→X 向退刀→Z 向退刀→进刀，如此反复切削方式。

(2) 其中钻孔程序的流程图如图 1-23 所示。

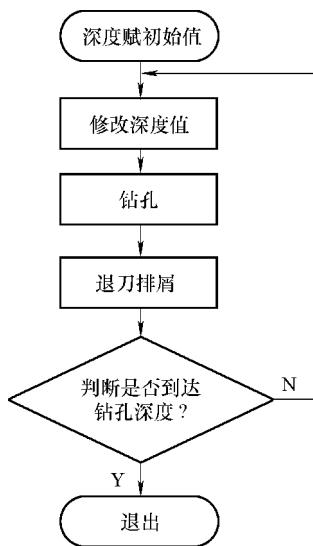


图 1-23 钻孔程序流程图



#### 1.14.4 数控程序及其注释

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| O1021;                  | (主程序名)               |
| T0101;                  |                      |
| M03 S600;               |                      |
| M08;                    |                      |
| G0 X0 Z1;               | (快速达到孔右端面 1mm 处)     |
| G01 Z0.8 F0.4;          |                      |
| #100 = 0;               | (深度设置初始值为 0)         |
| N10 #100 = #100 - 2;    | (每次钻深度为 2mm)         |
| G01 Z#100 F0.08;        | (钻入)                 |
| G0 Z2;                  | (退出端面,便于冷却和断屑)       |
| Z[#100 + 0.5];          | (返回到离上次加工位置 0.5mm 处) |
| IF[#100 GT -66] GOTO10; | (条件判断)               |
| G0 Z100;                | (轴向退刀)               |
| G0 X100;                |                      |
| T0202;                  |                      |
| M03 S500;               |                      |
| M08;                    |                      |
| G0 X10 Z5;              |                      |
| G01 Z1 F0.4;            |                      |
| #101 = 10;              | (直径设置初始值为 10)        |
| N20 #101 = #101 + 2;    | (每次镗孔深度为 2mm)        |
| G0 X[#101];             | (进刀)                 |
| G01 Z -66 F0.1;         | (镗孔)                 |
| G0 U -1;                | (X 向退刀)              |
| Z1;                     | (轴向退刀)               |
| IF[#101 LT 20] GOTO20;  | (条件判断)               |
| G0 Z100;                |                      |
| X100;                   |                      |
| M05;                    |                      |
| M09;                    |                      |
| M30;                    |                      |

### 1.14.5 编程总结

(1) 根据深孔加工要求, 每钻入一定深度后, 及时向后退一段距离, 有利于排屑和冷却。

(2) 镗孔时退刀 X 方向和车削外圆时相反, 退刀 X 向也是如此。同时为了安全, 先完成径向退刀后, 再进行轴向退刀。

## 1.15 本章小结

本章实例中所有走刀路径虽然简单, 设置的变量也不多, 但编制宏程序的思路和方法有一定的典型性。下面再介绍一些宏程序编程的基本知识: 宏程序编程的作用、分类、常见控制指令和在车削中的应用场合。详细内容请查阅宏程序专业书籍。

(1) 宏程序的主要作用及与其他编程方法的区别

- 宏程序 (宏指令) 是在常规手工编程方式上附加的、更为高效、更为通用的编程方式, 它大量使用了各种变量、运算指令和控制指令, 提供循环、判断、分支和子程序的调用, 从而大大精简了程序编制的容量。

- 宏程序全称为用户宏程序本体, 实质就是一系列指令的组合。宏程序本体既可以由数控机床生产厂商提供, 也可以由机床用户自己编制。使用时先将用户宏程序本体像子程序一样存入数控系统的内存中, 然后用子程序调用指令调用。

- 宏程序编程和常规手工编程的区别在于: 在宏程序中, 能使用变量, 可以给变量赋值, 变量之间可以运算, 程序之间可以跳转; 而常规编程只能指定常量, 常量之间不能运算, 程序之间只能顺序执行, 不能跳转。

- 宏程序编程和 CAM 自动编程软件相比, 宏程序具有更强的适应性, 当加工零件形状或者尺寸改变时, 只要改变相关的变量值就可以了; 而 CAM 编程软件则需要重新绘图, 而且生成的程序容量通常都比较大, 给程序的检查带来极大的不便。

(2) 宏程序的分类

宏程序又分为宏程序 A 和宏程序 B, 宏程序 A 是以 “G65 Hxx P#xx Q#xx R#xx” 的格式输入的; 而宏程序 B 和 C 语言相类似, 是直接以公式和语言输入的, 对于目前的数控系统而言, 大多数采用宏程序 B 来编程, 本书实例亦属如此。

(3) 宏程序的控制指令

宏程序控制指令的作用是控制程序的流程, 它包括以下三类分支循环语句:

● 无条件分支 (GOTO) 语句。该语句的作用是转向程序的第 N 句，程序顺序号可以是数字也可以是表达式。

**格式**：GOTO n；(n 是顺序号，为 1 ~ 9999)

● 条件分支 (IF) 语句。该语句的作用是在 IF 后面指定一个条件表达式，如果条件满足，转向程序的第 N 句，否则执行下一个程序段。

**格式**：IF [条件表达式] GOTO n；

注意：一个条件表达式一定要有一个操作符，这个操作符插在两个变量或一个变量和一个常数之间，并且要用方括号括起来，即 [表达式 操作符 表达式]。操作符如下表所示：

| 操作符 | EQ | NE | GT | GE | LT | LE |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| 作用  | =  | ≠  | >  | ≥  | <  | ≤  |

● 循环 (WHILE) 语句。该语句的作用是在 WHILE 后指定一个条件表达式，当条件满足时，执行 DO 到 END 之间的语句，否则执行 END 后的语句。

**格式**：WHILE [条件表达式] DO m；(m = 1, 2, 3，即 m 只能在 1、2、3 中取值)

⋮  
END m；

注意：①指定了 DO m 而没有 WHILE 语句，循环将在 DO 和 END 之间无限期执行下去，即出现了所谓的无限循环；②程序执行 GOTO 分支语句时，要进行程序顺序号的搜索，所以反向执行的时间比正向执行的时间长，此时可以用 WHILE 语句减少处理时间；③在使用 EQ 或 NE 的条件表达式中，空值和零的使用结果不同，而含其他操作符的条件表达式将空值视为“0”。

#### (4) 编制宏程序的加工流程

宏程序的基本流程图如图 1-24 所示。在编制加工程序过程中，若程序较为复杂，使用变量数量多，可以设计子程序使

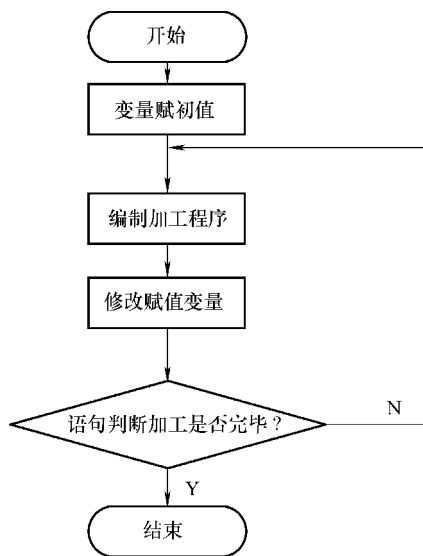


图 1-24 宏程序的基本流程图

得整个程序变得简洁。

#### (5) 宏程序在车削中的应用场合

数控车削是当今使用最为广泛的加工方法，它主要用于加工轴类、盘类、套类等回转体零件，通过程序控制，自动完成端面、内外圆柱面、圆弧面、螺纹等工序的切削加工。但如果加工型面的母线不是圆弧曲线而是公式曲线（如椭圆、抛物线和正弦曲线）时，采用常规的数控编程指令不能满足要求，必须采用宏程序编程技术才能到达曲线的加工要求。

在多台阶、多沉槽、梯形螺纹等存在大量相同型面的零件中，为了提高程序的通用性，工件尺寸尽可能地用宏变量来控制，运行程序前先对其进行赋值，这样宏程序编程比常规编程的程序更加具有可读性和便于检查。

## 宏程序在锥度型面 车削中的应用

### 本章内容提要

本章介绍宏程序在车削锥度型面中的应用，依次为外圆锥面、内孔圆锥面和 2 个综合实例，它们刀具路径轨迹的共同特点是：X 向和 Z 向进给运动按照斜线方程的规律（旋转类零件锥面的精加工刀具路径必须是 X 向和 Z 向联动完成）。

### 2.1 实例 2-1 车削外圆锥度宏程序应用

#### 2.1.1 零件图和加工内容

图 2-1 所示工件为圆锥形，材料为 45 钢，编制车削锥度外圆的宏程序。

#### 2.1.2 工艺分析和加工路线

(1) 准备毛坯尺寸  $\phi 50\text{mm} \times 80\text{mm}$ ， $\phi 50\text{mm}$  外圆和端面完成加工。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘，夹持  $\phi 50\text{mm}$  外圆，保证棒料伸长约 60mm；刀具： $90^\circ$  外圆粗车刀（为 1 号刀）， $90^\circ$  外圆精车刀（为 2 号刀）；量具：采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺；专用锥度环规。

(3) 制订表 2-1 所示的车削工序卡。

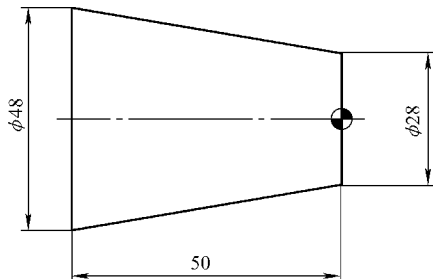


图 2-1 零件主要尺寸

表 2-1 车削锥度外圆的工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具      | 切 削 用 量        |                |             |
|-----|---------|------|----------|----------------|----------------|-------------|
|     |         |      |          | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1   | 粗车外圆    | 数控车床 | 90°外圆粗车刀 | 500            | 0.15           | 2           |
| 2   | 精车外圆    | 数控车床 | 90°外圆精车刀 | 800            | 0.08           | 1           |
| 3   | 切断      | 数控车床 | 割断刀      | 350            | 0.04           | —           |

2.1.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 车削锥度时，如果刀具路径控制不当很容易产生空刀，降低加工效率。根据车削加工工艺，可以车削小的锥度（斜率可以相等，也可以不相等）或者直线，把大余量去掉。

(2) 在宏程序中，也可以把宏程序带进 G71 里，这样可以有效地避免空切。

(3) 采用宏程序方法中，比较好的方法是将余量逐渐平移，即采用锥度平移法，只要刀具路径中的 X 值超过毛坯直径就让它跳转到加工起点，这样形成了锥度加工的刀具路径，如图 2-2 所示。

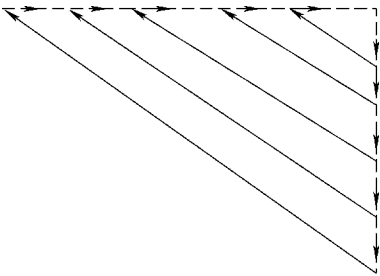


图 2-2 车削锥面余量平移法  
刀具路径示意图

(4) 程序编制中尽量让数控系统来计算锥度的斜率，这样更容易保证锥度斜率精度。

(5) 本例中不考虑刀尖的圆弧半径带来的刀具半径补偿问题。

2.1.4 数控程序及其注释

程序 1：精加工轮廓的程序

```
O2001;                                (程序名)
T0101;
M03 S600;
G0 X52 Z1 M08;
G01 Z0 F0.2;                          (车削端面的程序)
```

```

X -0.6 F0.08;
G0 Z1 X52;
#100 = 14;                (锥度小圆的半径)
#101 = 0;                (锥度 Z 向的起点)
#102 = 24;                (锥度大圆的半径)
#103 = -50;              (锥度 Z 向的终点)
#106 = 0;                (轴向距离初始值)
#104 = [#102 - #100] / [#103 - #101]; (计算斜率,基于数学中的斜率计算公式)
N20 #106 = #106 - 0.1;    (每次步距递减 0.1mm)
#107 = [#106 * #104] + 14; (由 Z 值计算 X 值)
G01 X[2 * #107] Z[#106] F0.12; (车削锥度)
IF [#106 GT -50] GOTO20;
G0 X100;
  Z100;
M05;
M09;
M30;
程序 1 编程总结:

```

(1) 本实例的程序只针对精加工外锥轮廓,适用于工件已经去除大量余量的最后一道精加工,该程序不适合外锥面的粗加工,否则会产生扎刀现象。

(2) 本实例采用的是走步距方式,步距越小,刀具路径插补的精度越高。在实际加工中,粗加工时采用较大的步距,精加工时采用相对小的步距,兼顾了效率和精度。

(3) 本实例是采用计算斜率的方式,超越了传统的找坐标方式来加工的,具有一定的代表性。那么有没有办法来解决加工余量的问题呢?下面介绍两种方法来解决余量问题。

方法 1: 利用数控系统提供的固定形状循环 G71 (G73) 指令来完成粗加工, G70 指令来实现精加工。

#### 程序 2: 采用 G71 固定循环编程

```

O2002;                    (程序名)
T0101;
M03 S500;
G0 X52 Z1M08;

```

```

G01 Z0 F0.2;           (车削端面的程序)
  X -0.6 F0.08;
G0 Z1 X52;
G71 U1 R0.5;           (背吃刀量直径为2mm,退刀量为0.5mm)
G71 P10 Q30 U0.5 W0.2;
N10 G01 X50 F0.2;      (G71 第一句必须是X向的移动)
#100 = 14;              (锥度小圆的半径)
#101 = 0;               (锥度Z向的起点)
#102 = 24;              (锥度大圆的半径)
#103 = -50;             (锥度Z向的终点)
#106 = 0;               (轴向距离初始值)
#104 = [#102 - #100] / [#103 - #101]; (计算斜率,基于数学中的斜率计算公式)
WHILE[#106 GE -49.9] DO1; (条件判断)
  #106 = #106 - 0.1;     (每次步距递减0.1mm)
  #107 = [#106 * #104] + 14; (由Z值计算X值)
G01 X[2 * #107] Z[#106] F0.12;
END1;
N30 X50;
  G0 X28;
  G01 Z0 F0.4;
G0 X100 Z100;
M09;
M01;                    (暂停,测量做刀补)
M03 S600;
M08;
G70 P10 Q30;           (精加工程序)
M05;
M09;
M30;

```

程序2 编程总结:

(1) 本程序利用FANUC数控系统自带的固定循环G71或G73进行去除余量,对于其他的系统,如SIEMENS的LCYC95同样适用。

(2) 程序中语句G71 U1 R0.5和G71 P10 Q30 U0.5 W0.2的作用:U1是指



半径背吃刀量为 1mm, R0.5 是指退刀量 (半径值), P10 是指从 N10 开始加工, Q30 是指加工到 N30, U0.5 是指精车径向余量 (半径值), W0.2 是指轴向精车余量; 其中, P10 Q30 描述要加工零件的形状。

(3) G71 指令使用有局限性, 只能加工单调递增或递减的轮廓, 如果加工过中心的椭圆, 用该指令就无法实现; 而 G73 指令一般用于仿形加工, 但会产生空刀现象。因此, 不管是 G71 或 G73 都要根据实际情况酌情选用, 才能发挥出它们的功能。

方法 2: 采用余量平移法。

编程思路: 把加工余量加进去, 然后逐步减掉, 当刀具轨迹超过毛坯的直径让它跳转, 余量减去背吃刀量, 如此循环直到完成加工。参考图 2-2 所示的刀具路径图。

#### 程序 3: 余量平移法

```

O2003;                                (程序名)
T0101;
M03 S600;
G0 X52 Z1 M08;
G01 Z0 F0.2                            (车削端面的程序)
    X -0.6 F0.08;
GO X55 Z1;
#100 = 14;                             (锥度小圆的半径)
#101 = 0;                               (锥度 Z 向的起点)
#102 = 24;                             (锥度大圆的半径)
#103 = -50;                            (锥度 Z 向的终点)
#108 = 22;                             (毛坯余量)
#109 = 1;                              (精车余量为 1mm)
#104 = [#102 - #100] / [#103 - #101]; (计算斜率, 基于数学中斜率计算公式)
N40 G0 X51;
    Z1;
G01 Z0;
N30 #108 = #108 - 2;                    (毛坯余量每次减去 2mm)
    G0 X[#108];
    G01 Z0 F0.15;
N60 #106 = 0;                          (轴向距离初始值)
    
```

|                                |                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| N20 #106 = #106 - 0.1;         | (每次步距递减 0.1mm)                        |
| #107 = [#106 * #104] + 14;     | (由 Z 值计算 X 值)                         |
| #110 = 2 * #107 + #108 + #109; | (计算工件中的 X 值)                          |
| G01 X#110 Z#106 F0.15;         | (切削锥度)                                |
| IF[#110 GE 50.5] GOTO40;       | (条件判断,如果刀位大于等于毛坯直径,则跳转到 N40)          |
| IF[#106 GE -49.9] GOTO20;      | (条件判断,如果 Z 向大于等于 -49.9,则跳转到 N20)      |
| G0 U1;                         | (X 向退刀)                               |
| Z0.5;                          | (Z 向退刀)                               |
| IF[#108 GT 0] GOTO30;          | (条件判断,若毛坯加工余量(不包含精加工余量)大于 0,则跳转到 N30) |
| #109 = #109 - 1;               | (减掉精车余量)                              |
| IF[#109 LT -0.5] GOTO50;       | (条件判断,若#109 小于 -0.5,则跳转到 N50)         |
| S800 F0.08;                    |                                       |
| GOTO60;                        | (绝对跳转到 N60,完成零件的精加工)                  |
| N50 G01 X51;                   |                                       |
| G0 X100;                       |                                       |
| Z100;                          |                                       |
| M05;                           |                                       |
| M09;                           |                                       |
| M30;                           |                                       |

程序 3 编程总结:

(1) 变量#109 用来控制精加工余量,当精加工余量为零时,用 GOTO 实现精加工轮廓。GOTO 也可以用 IF...GOTO...替代。

(2) 本实例程序流程可以归纳为图 2-3 所示。该方法完全可以应用在椭圆、圆弧等需要去除余量的宏程序应用中,具有典型性,其中刀具路径轨迹如图 2-2 所示。

(3) 关于步距控制问题,合理的步距可以兼顾加工效率和加工表面质量,在本实例中可以设置变量,如增加变量#111 = 0.5 代表粗加工步距,在精加工时重新赋值#111 = 0.1 即可。

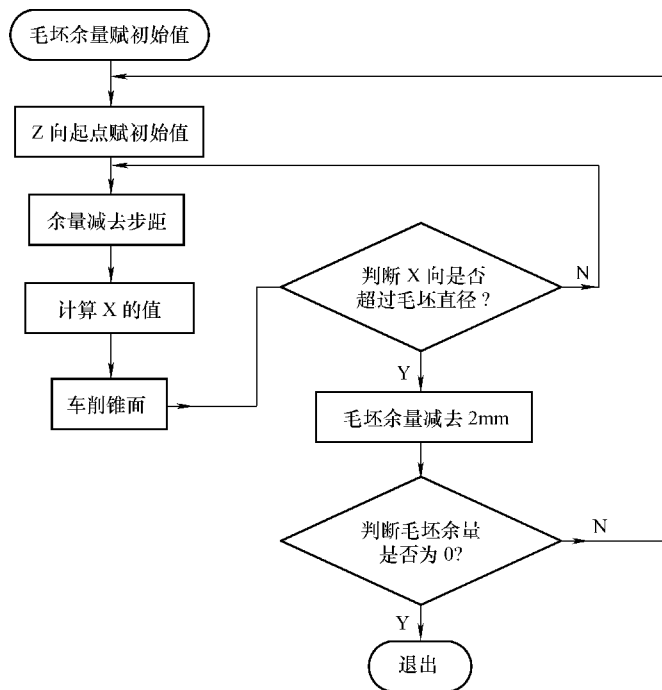


图 2-3 平移法宏程序编制的流程图

## 2.2 实例 2-2 车削内孔锥度宏程序应用

### 2.2.1 零件图和加工内容

图 2-4 所示工件的内孔为锥形，小端孔径为  $\phi 10\text{mm}$ ，大端孔径为  $\phi 30\text{mm}$ ，材料为 45 钢，编制车削内锥孔的宏程序。

### 2.2.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯尺寸为  $\phi 60\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，其中外圆尺寸和端面已经加工，中间预钻  $\phi 10\text{mm}$  的通孔。

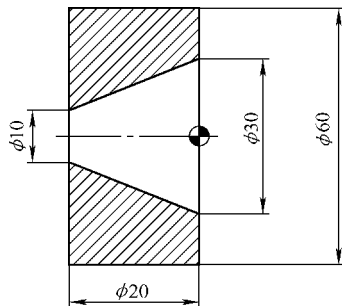


图 2-4 零件主要尺寸

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘；刀具：通孔镗孔刀；量具：锥度塞规。

(3) 制订表 2-2 所示的车削工序卡。

表 2-2 数控车削内孔锥度的工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具   | 切 削 用 量        |                |             |
|-----|---------|------|-------|----------------|----------------|-------------|
|     |         |      |       | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 镗孔  | 车削锥度    | 数控车床 | 通孔镗孔刀 | 500            | 0.08           | 1           |

2.2.3 编程思路和刀具路径规划

本实例刀具路径基于直线方程公式，以 X 为自变量，Z 为因变量，当程序中 X 值小于根据锥度直线方程计算出的 X 值时，则走直线，车削出一个个小台阶，以达到去除大余量的目的，最后精加工按照锥度轮廓走刀，其刀具路径示意图如图 2-5 所示，仅仅表达了 3 层车削台阶的刀具路径和精加工轮廓的刀具路径。

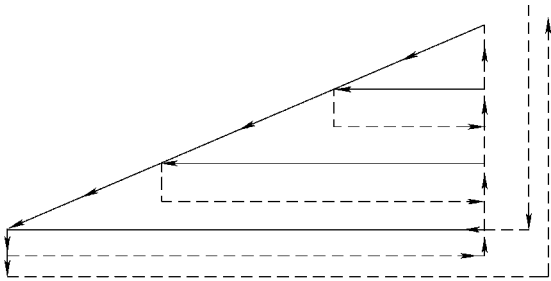


图 2-5 车削内孔锥度的刀具路径示意图

2.2.4 数控程序及其注释

```
O2004;                                (主程序名)
T0101;
M03 S500;
M08;
G0 X8 Z1;
#106 = 0;                              (判别变量)
#100 = 5;                              (锥度小端半径值)
#103 = 0.5;                            (步距,去除余量步距可以大些)
#101 = [ -20 - 0 ] / [ 5 - 15 ];      (计算斜率)
N10 #100 = #100 + #103;               (X 向自加)
```

```

#102 = [ 30 - #100 ] / #101 ;      ( 计算 Z 值 )
IF[ #106 GT 0.5 ] GOTO20 ;      ( 条件判断,如#106 大于 0.5,则跳转到
                                N20 )
G0 X[ 2 * #100 ] ;      ( 进刀 )
G01 Z[ #102 ] F0.2 ;      ( 车削 )
G0 U -0.5 ;      ( 径向退刀 )
G0 Z1 ;      ( 轴向退刀 )
IF[ #100 LT 15 ] GOTO10 ;      ( 条件判断 )
#103 = -0.1 ;      ( 步距重新赋值,为了提高锥度的精度 )
#106 = #106 + 1 ;      ( #106 变量自加 1 )
N20 G01 X[ 2 * #100 ] Z#102 F0.1 ;      ( 车削锥度 )
IF[ #100 GT 5 ] GOTO10 ;      ( 条件判断,如#100 大于 5,则跳转到 N10 )
G0 X8 ;      ( 径向退刀 )
    Z100 ;      ( 轴向退刀 )
M05 ;
M09 ;
M30 ;

```

### 2.2.5 编程总结

(1) 设置#106 号变量的目的是让程序跳转到车削锥度轮廓的精车程序；变量#103 一定要重新赋值，因为去除余量时是由小到大车削的，而车削锥度时是由大到小车削的。

(2) 为了防止过切，可以将程序中的语句 `G0 X [ 2 * #100 ]` 修改为 `G0 X [ 2 * #100 + 0.1 ]`。

(3) `Z [ #102 ]` 是由锥度直线方程中计算得出的，是 Z 向车削距离的依据。

(4) 车削内锥度和外锥度的区别：车削内锥度的 X 向进刀方向和退刀方向是相反的。

## 2.3 实例 2-3 车削盘类工件宏程序应用

### 2.3.1 零件图和加工内容

图 2-6 所示为一盘类工件，右侧为锥度外圆，材料为 45 钢，编制车削工件

的宏程序。

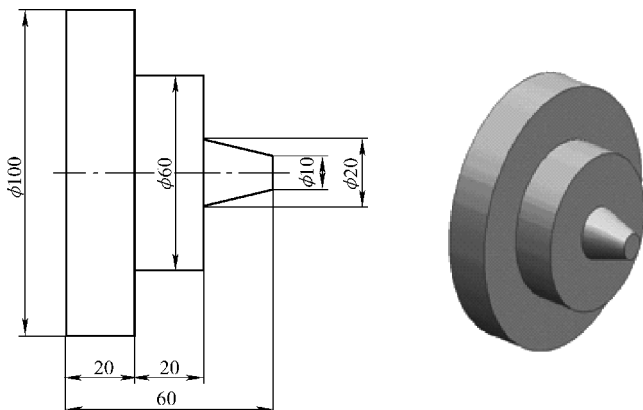


图 2-6 零件主要尺寸及其三维造型图

### 2.3.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯为  $\phi 100\text{mm} \times 80\text{mm}$ ，其中  $\phi 100\text{mm}$  外圆尺寸和端面已经加工。

(2) 装夹方式：采用普通自定心卡盘；刀具： $90^\circ$  外圆粗车刀（1 号刀）， $90^\circ$  外圆精车刀（2 号刀）；量具：采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺。

(3) 制订表 2-3 所示的车削工序卡。

表 2-3 数控车削盘类工件的工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具              | 切 削 用 量                          |                                  |                       |
|-----|---------|------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
|     |         |      |                  | 转速<br>/( $\text{r}/\text{min}$ ) | 进给量<br>/( $\text{mm}/\text{r}$ ) | 背吃刀量<br>/ $\text{mm}$ |
| 1   | 车削端面    | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆粗车刀 | 600                              | 0.08                             | —                     |
| 2   | 粗车外圆、锥度 | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆粗车刀 | 500                              | 0.15                             | 1                     |
| 3   | 精车外圆、锥度 | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆精车刀 | 500                              | 0.08                             | 0.5                   |

### 2.3.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 本实例工件的径向余量较大、轴向距离较短，两个台阶之间落差较大，属于典型的盘类零件，如果采用轴向车削，会产生很多空刀，大大降低了加工效率，因此本实例采用的是径向车削，编程思路借鉴 G72 指令的思路。

(2) 采用毛坯直径为 100mm 的外圆, 已经不需要加工, 只需加工直径为 60mm 的台阶和前面的锥度外圆, 而车削外圆和锥度刀具路径规划思路前面实例均已介绍过。

### 2.3.4 数控程序及其注释

|                                 |                           |
|---------------------------------|---------------------------|
| O2005;                          | (程序名)                     |
| T0101;                          | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)         |
| M03 S600;                       | (主轴正转, 转速为 600 r/min)     |
| G0 X102 Z1 M08;                 | (快速定位至毛坯右端面)              |
| G01 Z0 F0.2;                    | (进给到 Z0 处)                |
| X -0.6 F0.08;                   | (车削端面)                    |
| G0 Z100 X100 M09;               | (快速退刀)                    |
| T0202;                          | (调 2 号刀具以及 2 号刀补)         |
| S500 M08;                       | (改变主轴转速)                  |
| G0 X102 Z1;                     | (快速定位至毛坯右端面)              |
| #109 = 0.5;                     | (精加工余量)                   |
| #105 = 0;                       | (设置#105 号变量初始值, 判别变量)     |
| #106 = 0;                       | (设置#106 号变量初始值, 判别变量)     |
| #100 = 0;                       | (设置#100 号变量初始值, 判别变量)     |
| #107 = 0;                       | (设置#107 号变量初始值, 判别变量)     |
| #108 = 1;                       | (设置#108 号变量(即步距)初始值)      |
| N10 #100 = #100 - #108;         | (#100 号变量每次减少#108 号变量值)   |
| IF[ #105 GT 1.5 ] GOTO60;       | (如果#105 大于 1.5, 则跳转到 N60) |
| IF[ #106 LT 0.5 ] GOTO60;       | (如果#106 小于 0.5, 则跳转到 N60) |
| IF[ #106 GT 0.5 ] GOTO40;       | (如果#106 大于 0.5, 则跳转到 N40) |
| N60 G0 Z[ #100 ];               | (Z 向进刀)                   |
| IF[ #105 GT 0.5 ] GOTO30;       | (如果#105 大于 0.5, 则跳转到 N30) |
| N40 #101 = [ -1/4 ] * #100 + 5; | (计算 X 值, 基于直线斜率公式和直线方程)   |
| #102 = 2 * #101 + #109;         | (计算程序中的 X 值)              |
| IF[ #106 GT 0.5 ] GOTO70;       | (如果#106 大于 0.5, 则跳转到 N70) |
| G01 X[ #102 ] F0.12;            | (车削)                      |
| G0 W0.5;                        | (轴向退刀)                    |

|                             |                          |
|-----------------------------|--------------------------|
| X102;                       | (径向退刀)                   |
| IF[#106 LT 0.5] GOTO20;     | (如果#106 小于 0.5,则跳转到 N20) |
| N70 G01 X[#102] Z[#100];    | (车削锥度)                   |
| N20 IF[#100 GT -20] GOTO10; | (如果#100 大于 -20,则跳转到 N10) |
| #105 = #105 + 1;            | (#105 号变量累加 1)           |
| N30 G01 X[60 + #109];       | (车削)                     |
| IF[#106 GT 0.5] GOTO80;     | (如果#106 大于 0.5,则跳转到 N80) |
| G0 W0.5;                    | (轴向退刀)                   |
| X102;                       | (径向退刀)                   |
| N80 IF[#100 GT -30] GOTO10; | (如果#100 大于 -30,则跳转到 N10) |
| IF[#107 GT 0.5] GOTO90;     | (如果#107 大于 0.5,则跳转到 N90) |
| G0 Z1;                      | (轴向退刀)                   |
| #100 = 0;                   | (#100 号变量重新赋值)           |
| #109 = #109 - 0.5;          | (精车余量为零)                 |
| #106 = #106 + 1;            | (#106 号变量自加 1)           |
| #107 = #107 + 1;            | (#107 号变量自加 1)           |
| IF[#106 GT 0.5] GOTO10;     | (如果#106 大于 0.5,则跳转到 N10) |
| G01 X102;                   | (直线退刀)                   |
| Z100;                       | (Z 向快速退刀)                |
| M05;                        |                          |
| M09;                        |                          |
| M30;                        |                          |

### 2.3.5 编程总结

本实例的宏程序编程思路是 G72 指令思路的典型应用,此方法对于盘类零件的加工具有一定的参考价值。

## 2.4 实例 2-4 简单配合件加工宏程序应用

### 2.4.1 零件图和加工内容

图 2-7 所示为能实现配合的 2 个工件,材料为 45 钢,编制车削 2 个工件的宏程序。



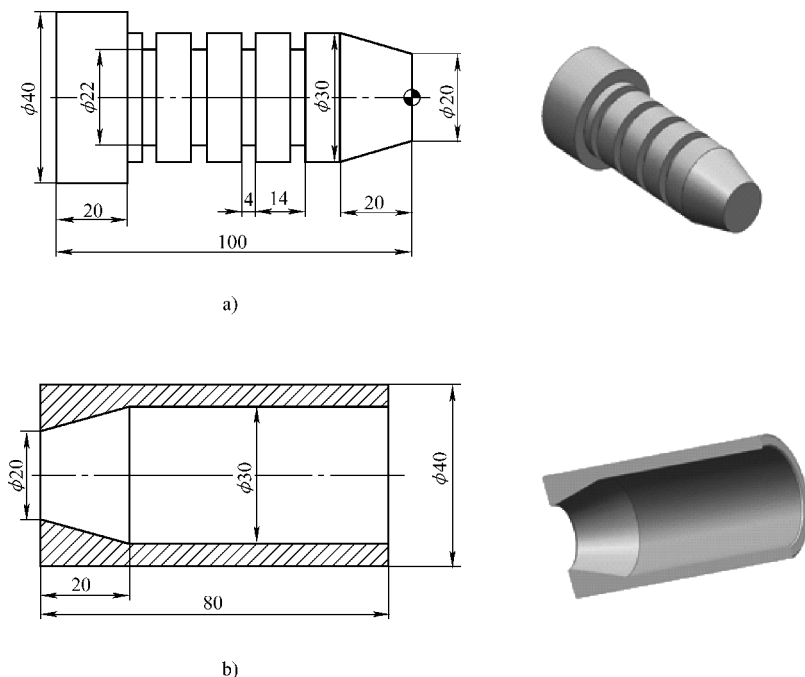


图 2-7 锥度配合件的主要尺寸和三维造型图

a) 件 1 主要尺寸及其三维造型 b) 件 2 主要尺寸及其三维造型

## 2.4.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定件 1 毛坯尺寸为  $\phi 50\text{mm} \times 150\text{mm}$ ，其中  $\phi 50$  外圆尺寸已经加工；件 2 毛坯尺寸为  $\phi 40\text{mm} \times 90\text{mm}$ ，其中  $\phi 40$  外圆尺寸已经加工。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘；刀具： $90^\circ$ 外圆精车刀（1 号刀）；切槽刀（刀宽 3mm，2 号刀）， $\phi 10\text{mm}$  钻头（3 号刀）；不通孔镗孔刀（4 号刀），中心钻（5 号刀）；量具：0 ~ 150mm 的游标卡尺，专用塞规，内径百分表，深度尺。

(3) 制订表 2-4 件 1 和表 2-5 件 2 所示的车削工序卡。

表 2-4 件 1 数控车削工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容  | 设 备  | 刀 具              | 切 削 用 量        |                |             |
|-----|----------|------|------------------|----------------|----------------|-------------|
|     |          |      |                  | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1   | 车端面      | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆精车刀 | 600            | 0.08           | 0.1         |
| 2   | 车削外圆，含锥面 | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆精车刀 | 500            | 0.12           | 1           |
| 3   | 切槽       | 数控车床 | 切槽刀              | 350            | 0.08           | 2           |

表 2-5 件 2 数控车削工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容   | 设 备  | 刀 具      | 切 削 用 量        |                |             |
|-----|-----------|------|----------|----------------|----------------|-------------|
|     |           |      |          | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1   | 钻孔        | 数控车床 | 中心钻      | 600            | 0.10           | 5           |
| 2   | 钻孔        | 数控车床 | φ10mm 钻头 | 500            | 0.10           | 2           |
| 3   | 镗孔加工（含锥孔） | 数控车床 | 不通孔镗孔刀   | 550            | 0.12           | 1           |

2.4.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 由于是配合件的加工，一般应先加工轴类零件，后加工孔类零件，用轴来配合孔，实际加工中要注意配合公差大小。

(2) 件 1 的加工思路：先加工外圆，再切槽加工。刀具轨迹为：如果直径小于要加工零件的直径，采用走台阶的方式去除大量余量，最后走精加工轮廓，完成零件的加工。最后切断保证总长，调头加工端面（本实例略去切断、倒角的程序）。

(3) 件 2 的加工思路和件 1 大致相同，只是退刀方向相反。钻孔思路为每钻深 2mm，则向后退刀 1mm，这样有利于断屑。最后切断保证总长，调头加工端面（本实例略去切断、倒角的程序）。

2.4.4 数控程序及其注释

程序 1：件 1 加工程序

O2006; (程序名)

T0101; (车削外圆的程序)

M03 S500;

M08;

G0 X52 Z1; (快速到达工件右端面 1mm 处)

G01 Z0 F0.12; (以 G01 方法接近到右端面)

X -0.6; (车端面)

G0 X52 Z1; (快速退刀)

#100 = 25; (毛坯余量半径值)

#102 = 1; (背吃刀量半径值)

#105 = 0; (判断变量)

|                         |                                 |
|-------------------------|---------------------------------|
| #106 = 0;               | (判断变量)                          |
| #107 = 0;               | (判断变量)                          |
| #108 = 0;               | (判断变量)                          |
| #109 = 0;               | (判断变量)                          |
| #110 = 1;               | (精加工余量)                         |
| #111 = 0;               | (判断变量)                          |
| #112 = 1/4;             | (斜率, 基于直线方程斜率计算公式)              |
| N10 #100 = #100 - #102; | (每次车削 X 向到达的位置)                 |
| G01 X[2 * #100 + #110]; | (进刀)                            |
| IF[#118 GT 0.5] GOTO70; | (条件判断, 如果#118 大于 0.5, 则跳转到 N70) |
| IF[#110 GT 0.5] GOTO90; | (条件判断, 如果#110 大于 0.5, 则跳转到 N90) |
| IF[#111 GT 0.5] GOTO90; | (条件判断, 如果#111 大于 0.5, 则跳转到 N90) |
| IF[#109 GT 0.5] GOTO20; | (条件判断, 如果#109 大于 0.5, 则跳转到 N20) |
| IF[#107 GT 0.5] GOTO30; | (条件判断, 如果#107 大于 0.5, 则跳转到 N30) |
| IF[#106 GT 0.5] GOTO30; | (条件判断, 如果#106 大于 0.5, 则跳转到 N30) |
| IF[#105 GT 0.5] GOTO20; | (条件判断, 如果#105 大于 0.5, 则跳转到 N20) |
| N70 G01 Z - 110 F0.12;  | (车削直径 $\phi 40\text{mm}$ 的外圆)   |
| IF[#113 GT 0.5] GOTO80; | (条件判断, 如果#113 大于 0.5, 则跳转到 N80) |
| G0 U0.5;                | (X 向退刀)                         |
| Z1;                     | (Z 向退刀)                         |
| IF[#100 GT 20] GOTO10;  | (条件判断, 如果#100 大于 20, 则跳转到 N10)  |
| #105 = #105 + 1;        | (#105 号变量自加)                    |
| N20 G01 Z - 80;         | (车削直径 $\phi 30\text{mm}$ 的外圆)   |
| IF[#109 GT 0.5] GOTO60; | (条件判断, 如果#109 大于 0.5, 则跳转       |

|                                    |                               |
|------------------------------------|-------------------------------|
|                                    | 到 N60)                        |
| G0 U0.5;                           | (X 向退刀)                       |
| Z1;                                | (Z 向退刀)                       |
| IF[#100 GT 15] GOTO10;             | (条件判断,如果#100 大于 15,则跳转到 N10)  |
| <br>#106 = #106 + 1;               | (#106 号变量自加)                  |
| N30 #101 = [5 - #100]/#112;        | (计算锥度中 X 对应的 Z 值)             |
| IF[#107 GT 0.5] GOTO40;            | (条件判断,如果#107 大于 0.5,则跳转到 N40) |
| <br>G01 Z[ - #101];                | (车削锥度,去余量)                    |
| G0 U0.5;                           | (X 向退刀)                       |
| Z1;                                | (Z 向退刀)                       |
| IF[#100 GT 10] GOTO10;             | (条件判断,如果#100 大于 10,则跳转到 N10)  |
| <br>#102 = -0.1;                   | (#102 重新赋值)                   |
| #107 = #107 + 1;                   | (#107 号变量自加)                  |
| #110 = #110 - 1;                   | (精车余量减掉)                      |
| N40 G01 X[2 * #100 + #110]Z[#101]; | (车削锥度)                        |
| IF[#100 LT 14.9] GOTO10;           | (条件判断,如果#100 小于 5,则跳转到 N10)   |
| <br>#109 = #109 + 1;               | (#109 号变量自加)                  |
| IF[#109 GT 0.5] GOTO10;            | (条件判断,如果#109 大于 0.5,则跳转到 N10) |
| <br>N60 #111 = #111 + 1;           | (#111 号变量自加)                  |
| #100 = 20;                         | (#100 重新赋值)                   |
| IF[#111 GT 0.5] GOTO10;            | (条件判断,如果#111 大于 0.5,则跳转到 N10) |
| <br>N80 G01 X52;                   | (车削)                          |
| G0 X100 Z100;                      |                               |
| T0202;                             | (车槽程序)                        |
| M03 S350;                          |                               |
| G0 X32 Z1;                         |                               |
| Z - 20;                            |                               |

|                         |                                              |
|-------------------------|----------------------------------------------|
| #122 = -14;             | (第 1 个槽的轴向距离)                                |
| #125 = 14;              | (槽间距)                                        |
| WHILE[#122 GE -56] DO1; | (如果#122 大于等于 -56,则在 WHILE 和 DO1 之间循环,否则跳出循环) |
| G0 W[#112];             | (快速到达切槽轴向位置)                                 |
| #123 = 0;               | (设置切槽次数初始值)                                  |
| WHILE[#113 LE 5] DO2;   | (如果#113 小于等于 5,则在 WHILE 和 DO2 之间循环,否则跳出循环)   |
| G01 U -2 F0.08;         | (切入)                                         |
| G0 U2;                  | (退刀)                                         |
| W1;                     | (右进刀)                                        |
| G01 U -2;               | (切入)                                         |
| W -1;                   | (平槽进刀)                                       |
| #123 = #123 + 1;        | (切槽次数累加)                                     |
| END2;                   |                                              |
| G01 X32;                |                                              |
| #122 = #122 - #125;     | (向左进一个槽距)                                    |
| END1;                   |                                              |
| G0 X100 Z100;           |                                              |
| M05;                    |                                              |
| M09;                    |                                              |
| M30;                    |                                              |

#### 程序 2: 件 2 加工程序

|                  |                   |
|------------------|-------------------|
| O2007;           |                   |
| T0101;           | (车削端面的程序)         |
| M03 S500;        |                   |
| G0 X42 Z1;       | (快速到达右端面 1mm 处)   |
| G01 Z0;          | (以 G01 方式到达 Z0 处) |
| G01 X -0.6 F0.1; | (车削端面)            |
| G0 X100 Z100;    | (快速退刀)            |
| T0505;           | (钻中心孔程序)          |
| M03 S600;        |                   |
| G0 X0 Z1;        |                   |

|                           |                                 |
|---------------------------|---------------------------------|
| G01 Z - 5 F0.05;          | ( 钻中心孔 )                        |
| G04 X2                    | ( 暂停 2s )                       |
| G0 Z100;                  |                                 |
| X100;                     |                                 |
| T0303;                    | ( 钻 10mm 底孔程序 )                 |
| M03 S500;                 |                                 |
| G0 X0 Z1;                 |                                 |
| #110 = 0;                 | ( 钻孔深度赋初始值 )                    |
| WHILE[ #110 GE -90 ] DO1; | ( 条件判断,如果#110 号变量大于等于 -90,      |
|                           | 则 WHILE 和 DO1 之间循环,否则跳出         |
|                           | 循环 )                            |
| #110 = #110 - 2;          | ( #110 变量自减 )                   |
| G01 Z[ #110 ];            | ( 钻孔 )                          |
| G0 Z2;                    | ( 退出工件端面 2mm 以利于断屑 )            |
| Z[ #110 ];                | ( 进刀到上一次钻孔的深度 )                 |
| END1;                     |                                 |
| G0 Z100;                  | ( 退刀 )                          |
| X100;                     |                                 |
| T0404;                    | ( 镗孔的程序 )                       |
| M03 S500;                 |                                 |
| G0 X8 Z1;                 |                                 |
| #100 = 5;                 | ( 孔的底径值 )                       |
| #101 = 1;                 | ( 背吃刀量半径值 )                     |
| #104 = 1;                 | ( 精车余量 )                        |
| #105 = 0;                 | ( 判别变量 )                        |
| #106 = 0;                 | ( 判别变量 )                        |
| #107 = 0;                 | ( 判别变量 )                        |
| #112 = 1/4;               | ( 计算斜率,基于直线方程的斜率公式 )            |
| N10 #100 = #100 + #101;   | ( 每次 X 向到达的位置 )                 |
| G01 X[ 2 * #100 + #104 ]; | ( 进刀 )                          |
| IF[ #107 GT 0.5 ] GOTO20; | ( 条件判断,如果#107 大于 0.5,则跳转到 N20 ) |
| IF[ #105 GT 0.5 ] GOTO20; | ( 条件判断,如果#105 大于 0.5,则跳转到       |
|                           | N20 )                           |

|                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| G01 Z -90 F0.12;              | (车削)                          |
| G0 U -0.5;                    | (X 向退刀)                       |
| Z1;                           | (Z 向退刀)                       |
| IF[#100 LT 10] GOTO10;        | (条件判断,如果#100 小于 10,则跳转到 N10)  |
| #105 = #105 + 1;              | (变量#105 自加)                   |
| N20#103 = #112 * [15 - #100]; | (计算直线方程 X 对应的 Z 值)            |
| IF[#107 GT 0.5] GOTO60;       | (条件判断,如果#107 大于 0.5,则跳转到 N60) |
| G01 Z[#103];                  | (车削)                          |
| G0 U -0.5;                    | (X 向退刀)                       |
| Z1;                           | (Z 向退刀)                       |
| IF[#100 LT 15] GOTO10;        | (条件判断,如果#100 小于 15,则跳转到 N10)  |
| N50 #101 = 0;                 | (#101 重新赋值)                   |
| #104 = #104 - 1               | (精车余量自减)                      |
| #107 = #107 + 1;              | (变量#107 自加)                   |
| IF[#107 GT 0.5] GOTO10;       | (条件判断,如果#107 大于 0.5,则跳转到 N10) |
| N60 G01 X[2 * #100] Z[#103]   | (车削锥度,精加工)                    |
| F0.1;                         |                               |
| #101 = -0.1;                  |                               |
| IF[#100 GT 10] GOTO10;        | (条件判断,如果#100 大于 10,则跳转到 N10)  |
| G0 U -0.5;                    | (X 向退刀)                       |
| Z150;                         | (Z 向退刀)                       |
| X100;                         |                               |
| M05;                          |                               |
| M09;                          |                               |
| M30;                          |                               |

## 2.4.5 编程总结

(1) 宏编程在工件多型面加工时,首先要结合工序的先后顺序来决定相应

单个型面加工的顺序，根据需要选择变量类型和数量；而配合件加工时一般先加工轴类工件，再加工孔套类工件，一般选取配合尺寸作为变量，以便于调整后来控制公差大小。

(2) 本例是配合件宏程序编程的综合实例，配合件在加工时要考虑配合公差大小。

(3) 切断和车削端面的程序因为比较简单，可以参考第1章的实例1.12和实例1.13。

## 2.5 本章小结

(1) 本章介绍了宏程序在外圆锥度、内孔锥度等带有斜面加工中的应用，也适合内外孔端面倒斜角加工，有的实例给出了不同的编程思路和方法，最后介绍了一个具有典型的轴类、孔类配合件加工宏程序的应用实例，为后续学习车削圆和非圆型面宏程序编程提供基础。

(2) 学习宏程序的关键在于编程思路的提高上，多练习编程思路和逻辑关系是学好宏程序的关键，而且宏程序不仅仅用于非圆型面的加工，也可以应用于常见型面。合理应用宏程序，不但可以简化程序，而且可以使程序更具有特色。



## 宏程序在圆弧类型面 车削中的应用

### 本章内容提要

本章介绍宏程序在车削圆弧类型面中的应用，依次为车削凸圆弧、凹圆弧、内孔圆弧和综合实例，它们刀具路径轨迹的共同特点是：X 向和 Z 向进给运动按照圆方程规律。

### 3.1 实例 3-1 车削凸圆弧宏程序应用

#### 3.1.1 零件图和加工内容

图 3-1 所示需要车削工件右侧的球状（截面为凸圆弧），工件材料为 45 钢，编制车削圆弧截面的宏程序。

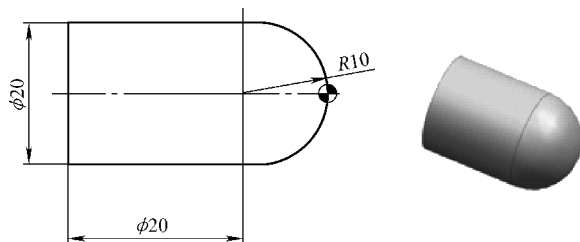


图 3-1 零件尺寸及三维造型

#### 3.1.2 工艺分析和加工路线

- (1) 准备加工毛坯，尺寸为  $\phi 20\text{mm} \times 60\text{mm}$ ，外圆已经完成加工。
- (2) 装夹方式：普通自定心卡盘，保证棒料伸出约 35mm；刀具：90°外圆

粗车刀（为1号刀）；90°外圆精车刀（为2号刀）；最好采用圆弧刀；量具：采用0~150mm的游标卡尺，专用圆弧样板。

(3) 制订表3-1所示的车削工序卡。

表 3-1 数控车削凸圆弧的工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具      | 切 削 用 量          |                  |             |
|-----|---------|------|----------|------------------|------------------|-------------|
|     |         |      |          | 转速<br>/( r/min ) | 进给量<br>/( mm/r ) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1   | 粗车圆弧    | 数控车床 | 90°外圆粗车刀 | 550              | 0.15             | 1           |
| 2   | 精车圆弧    | 数控车床 | 90°外圆精车刀 | 650              | 0.1              | 0.5         |

3.1.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 车削圆弧编程的思路比较多，常用的有分层切削法，每次余量均匀，大小在1~2mm左右；用参数（三角函数）编程法；采用余量平移法；G71和宏程序结合等，后面分别采用实例来说明各自的特点。

(2) 一般来讲，这类零件的编程原点和方程中心不在同一个点，通常采用平移法，即如图3-2所示，把圆弧方程中心点平移到编程的原点。

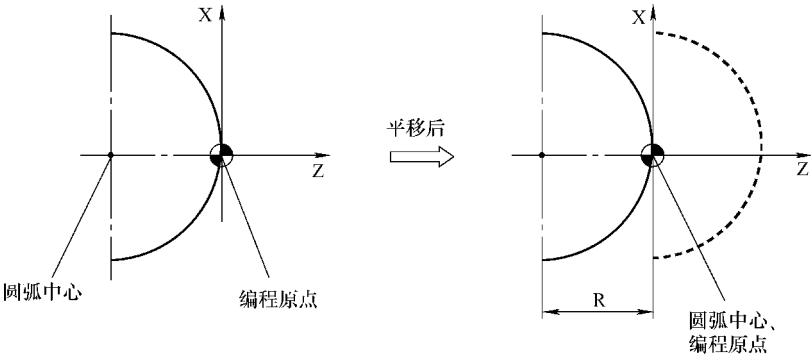


图 3-2 车削圆弧原点平移示意图

3.1.4 数控程序及其注释

程序 1：把余量分为 10 次，每次进刀 2mm

```
O3001;                                (程序名)
T0101;
M03 S600;
```

```

G0 X22 Z1 M08;           (快速到达右端面的 Z1 处)
G01 Z0 F0.2;             (以 G01 方式到达右端面的 Z0 处)
    X -0.6 F0.08;        (车削端面)
G0 X22 Z1;               (快速退刀)
#100 = 20;                (毛坯余量)
N10 #100 = #100 - 2;      (每次减少量 2mm)
G01 X[#100];              (进刀)
G01 Z0 F0.08;             (到 Z 轴圆弧起点)
G03 X[#100 + 20] Z -10 R8; (车削圆弧)
G0 Z0.5;                  (退刀)
IF[#100 GT 0] GOTO10;     (条件判断,若#100 变量大于 0,则跳转到
                           N10)
G0 X100;                  (退刀)
    Z100;
M05;
M09;
M30;
程序 1 编程总结:

```

(1) 本实例编程思路比较清晰,逻辑也很简单,主要是分层切削,把余量平移出来,设置#100 作为余量初始值,通过#100 = #100 - 2 语句,来实现每次余量减少 2mm。

(2) 为了简化,本实例没有考虑设置刀具半径补偿。

(3) 本实例存在大量空刀,没有区分粗、精车,所以加工效率低和表面质量差,后面的程序会逐渐改进。

**程序 2: 基于三角函数的原理采用角度 (三角函数) 编程,也称参数编程**

```

O3002;                    (程序名)
T0101;
M03 S600;
G0 X22 Z1 M08;
G01 Z0 F0.2;              (车削端面的程序)
    X -0.6 F0.08;
G0 X22 Z1;
#106 = 20;                 (毛坯余量)

```

|                                |                                                 |
|--------------------------------|-------------------------------------------------|
| #108 = 1;                      | (精车余量)                                          |
| N20 #106 = #106 - 2;           | (毛坯余量递减,每次减少 2mm)                               |
| G0 X22;                        | (该点为每次退刀的循环点)                                   |
| Z1;                            |                                                 |
| N60 #100 = 0;                  | (角度初始值)                                         |
| N30 #100 = #100 + 1            | (角度自加)                                          |
| #101 = 10;                     | (圆弧半径)                                          |
| #102 = #101 * SIN[#100];       | (计算 X 值)                                        |
| #103 = #101 * COS[#100];       | (计算 Z 值)                                        |
| #109 = 2 * #102 + #106 + #108; | (计算程序中 X 的直径值)                                  |
| G01 X[#109]Z[#103 - 10]F0.1;   | (切削圆弧轮廓, -10 是指控制方程原点和工件原点重合)                   |
| IF[#109 GT 20.5] GOTO20;       | (条件判断,刀位超过毛坯的直径,跳转到 N20,余量减少 2mm,再进行下一次的切削)     |
| IF[#100 LT 90] GOTO30;         | (条件判断,如果#100 小于 90°,则跳转到 N30,角度每次增加 1°,再进行切削轮廓) |
| G0 U2;                         | (X 向退刀)                                         |
| Z1;                            | (Z 向退刀)                                         |
| IF[#106 GT 0] GOTO20;          | (条件判断,如果余量大于 0,则跳转到 N20)                        |
| IF[#108 LT -0.5] GOTO50;       | (条件判断,如果精车余量小于 -0.5mm,则跳转到 N50,退刀)              |
| #108 = #108 - 1;               | (精车余量自减)                                        |
| GOTO60;                        | (绝对跳转到 N60,车削精加工轮廓)                             |
| N50 G0 X100;                   | (退刀)                                            |
| Z100;                          |                                                 |
| M05;                           |                                                 |
| M09;                           |                                                 |
| M30;                           |                                                 |

程序 2 编程总结:

(1) 该方法的编程原点和圆弧中心不在同一个点,因此预先要采用平移法(参考图 3-2 车削圆弧原点平移示意图),让编程原点和圆弧的中心点重合(也

可以在对刀时采用刀具偏置，偏置值为圆弧的半径值)。

(2) 采用余量平移可以实现分层切削，刀具路径中的 X 值大于毛坯直径，跳转到圆弧加工的起点，再减去背吃刀量，准备进行下一次的圆弧车削，如此反复完成圆弧的车削加工，具体参考图 3-3 所示的刀具路径图，避免了空切，极大地提高了加工效率。

(3) 圆弧加工的精度取决于角度增量的大小，角度增量越小，精度越高。

(4) 本实例采用  $\#108 = \#108 - 1$  余量自减控制语句，和无条件跳转 GOTO60 结合，实现了精加工的程序。

(5) 本程序的方法也适用于椭圆的编程。说明一点：为了简化程序，本实例没有考虑刀具半径补偿。

### 程序 3：用公式法（解析法）编程

根据圆弧解析方程  $X^2 + Z^2 = R^2$ ，把其中的 X 作为自变量，Z 作为应变量，把圆弧上所有的点用函数关系表示出来，再利用 G01 直线插补来车削圆弧轮廓。

```

O3003;                                     (程序名)
T0101;
M03 S600;
G0 X22 Z1 M08;
G01 Z0 F0.2;                               (车削端面的程序)
      X -0.6 F0.08;
G0 Z1 X22;
#100 = 10;                                 (圆弧半径)
#101 = 10;                                 (圆弧轴向距离)
N20 #102 = SQRT[#100 * #100 - #101 * #101]; (计算 X 值)
G01 X[2 * #102] Z[#101 - 10] F0.15;       (车削圆弧轮廓)
#101 = #101 - 0.1;                         (步距自减)
IF[#101 GE 0] GOTO20;                     (条件判断)
G0 X100 Z100;
M05;
M09;
M30;
程序 3 编程总结：

```

(1) 应用公式进行宏程序编程的特点是很容易找出变量之间变化的规律，具有椭圆、双曲线、抛物线等线型的模型都可以用此方法。

(2) 本程序是精车轮廓程序, 注意的是该程序不能应用于粗加工, 否则会产生扎刀。为了使程序达到完整和实用, 下面在公式法编程的基础上, 增加去余量程序进行圆弧加工宏程序的编程。

**程序 4: 增加去余量程序的公式法进行编程**

```

O3004;                                (程序名)
T0101;
M03 S600;
G0 X22 Z1 M08;
G01 Z0 F0.2 ;                        (车削端面的程序)
    X -0.6 F0.08;
G0 X22 Z1;
#103 = 20;                            (毛坯余量)
#100 = 10;                            (圆弧半径)
N30 G0 X20;
G01 Z0 F0.15;
#101 = 10;                            (圆弧的轴向距离)
N10 #103 = #103 - 2;                  (余量自减 2mm)
G0 X21;
N20 #101 = #101 - 0.1;                (步距自减)
#102 = SQRT[ #100 * #100 - #101 * #101 ]; (计算 X 值)
#104 = 2 * #102 + #103;              (计算程序中的 X 值)
G01 X[ #104 ] Z[ #101 - 10 ] F0.15; (切削圆弧轮廓)
IF[ #104 GT 20.5 ] GOTO30;           (条件判断, 如果变量大于毛坯
                                      直径, 则跳转到 N30)
IF[ #101 GT 0 ] GOTO20 ;              (条件判断, 如果 #101 大于等于
                                      0, 则跳转到 N20)
G0 U1;                               (径向退刀)
    Z0.5;                             (轴向退刀)
IF[ #103 GT 0 ] GOTO10;               (条件判断, 如果余量大于 0, 则
                                      跳转到 N10)
G01 X22 F0.3;                        (径向退刀)
G0 X100 Z100;
M05;

```

M09;

M30;

程序4 编程总结:

(1) 本程序流程控制的思路: 采用加余量的方式将圆弧轮廓平移出来, 然后让余量每次减少 2mm, 逐渐逼近圆弧的精加工轮廓。当刀具超过工件毛坯的直径时就实现跳转, 再让余量减少 2mm, 如此循环, 直到完成整个零件的加工。

(2) 本程序的刀具路径设计示意如图 3-3 所示。

(3) 为了简化, 没有考虑刀尖圆弧半径补偿, 同时没有涉及精车的程序, 可以参照前面程序, 通过设置一个余量变量实现精车。

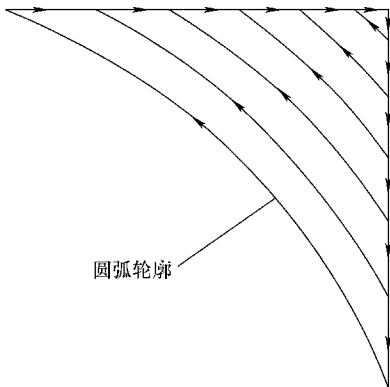


图 3-3 程序4 的刀具路径图

#### 程序 5: 包含精车的程序

O3005;

(程序名)

T0101;

M03 S600;

G0 X22 Z1 M08;

G01 Z0 F0.2;

(车削端面的程序)

X -0.6 F0.08;

G0 Z1 X22;

#100 = 20;

(毛坯余量)

#102 = -10;

(Z 向终点距离)

#103 = 10;

(分 10 次车削完成)

N10 #103 = #103 - 1;

(余量自减)

#104 = 1;

(精车余量)

G00 Z0.5;

(快速定位)

N5 G00 X[ [#100/10] \* #103 + #104];

(进刀)

G01 Z0;

G03 X[#100 + #104] Z - [10 + #102 \* #103/10] R8;

(切削圆弧轮廓)

IF[#103 GT 0] GOTO10;

(条件判断)

```

#104 = #104 - 1;           (精车余量自减)
IF[ #104 LT -0.5 ]GOTO40;  (条件判断)
    F0.08 S600;
G00 Z0.5;
GOTO50;
N40 G01 Z -20;
    U1;
G00 X100 Z100;
M05;
M09;
M30;

```

程序5 编程总结:

(1) 本实例通过设置变量#103 = 10 来控制每次的背吃刀量为 2mm, 采用语句  $Z - [10 + \#102 * \#103 / 10]$ , 随着变量#103 的减少, 车削距离越长, 避免了空切, 极大地提高了加工效率。

(2) 从凸圆弧的编程实例来看: 宏程序编制的关键在于思路, 同样的零件会有多种的编程方法, 非常灵活, 尤其是角度编程法和公式法有很好的借鉴作用。

#### 程序 6: 参考西门子系统的 LCYC95 思路编制程序

```

O3006;                     (程序名)
T0101;
M03 S600;
G0 X20 Z10.5;
#105 = 10;                  (毛坯余量)
N10 #105 = #105 - 1;        (余量每次减少 1mm)
#104 = #105 + 1;           (每次判断的依据)
#101 = #105;                ( #101 号变量等于 #105, 便于
                             方程的运算)
#102 = SQRT[ 100 - #101 * #101 ]; (根据圆方程的 X 值计算对应的
                             Z 值)
G0 X[ 2 * #101 ];          (进刀)
N20 #101 = SQRT[ 100 - #102 * #102 ]; (根据圆方程的 Z 值计算对应的
                             X 值)

```



```

#102 = #102 - 0.2;                ( 减去步距)
G01 X[2 * #101] Z[ #102] F0.1;    ( 车削圆弧轮廓)
IF[ #102 GE SQRT[ 100 - #104 * #104 ] ] GOTO20;
                                     ( 条件判断, 如果语句成立则
                                     跳转到 N20)

G0 X22;
  Z10.5;
IF[ #105 GT 0 ] GOTO10;            ( 条件判断, 如果#105 大于 0,
                                     则跳转到 N10)

G0 X22;
G0 X100 Z00;
M05;
M09;
M30;
程序 6 编程总结:

```

(1) 本实例的思路受到西门子公司 LCYC95 毛坯切削循环模块的启发, 通过设置一个变量进行判别: 如果 X 方向的进刀点大于圆弧上的点, 则走直线, 目的是去除余量; 如果等于圆弧上的点, 则走圆弧的轮廓。具体刀具路径设计的示意如图 3-4 所示, 这种思路解决了空刀的问题, 对椭圆、锥度等的加工具有一定的借鉴作用。

(2) 此程序是以圆弧方程的中心为编程原点, 如果应用于实际加工, 由于编程中心和圆弧的方程中心不是同一个点, 在对刀后, 要向 Z 负方向偏置 10mm。

(3) 语句#101 = #105 方便了方程内部的数值计算。

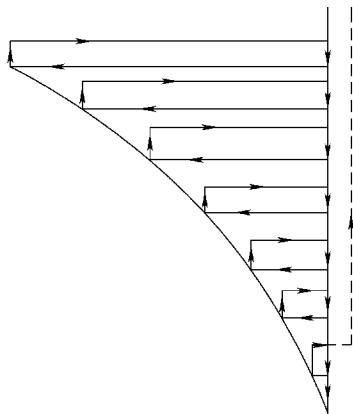


图 3-4 程序 6 的刀具路径图

## 3.2 实例 3-2 车削凹圆弧宏程序应用

### 3.2.1 零件图和加工内容

图 3-5 所示需要车削工件右侧外圆的凹圆弧, 右端面中心为编程原点, 工件

材料为 45 钢，编制车削凹圆弧截面的宏程序。

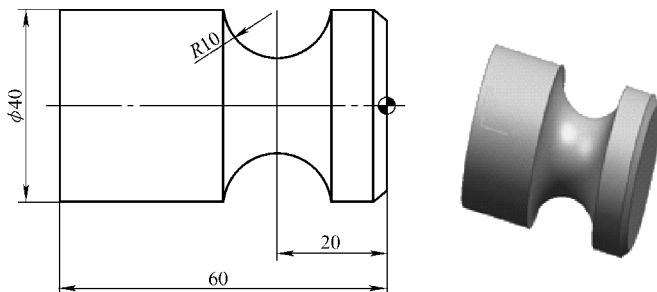


图 3-5 零件主要尺寸及三维造型图

### 3.2.2 工艺分析和加工路线

(1) 准备加工毛坯，尺寸为  $\phi 40\text{mm} \times 60\text{mm}$ ，外圆已经完成加工。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘，保证夹持后棒料伸出长度为 45mm；刀具：35°尖形车刀（刀尖圆弧半径 0.2mm，以减小对圆弧轮廓形状的影响，刀具副偏角要保证其两侧后面与加工面不发生干涉）；量具：采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺，专用圆弧样板。

(3) 制订表 3-2 所示的车削凹圆弧工序卡。

表 3-2 数控车削凹圆弧的工序卡

| 工 序 | 主要内容 | 设 备  | 刀 具     | 切削用量             |                  |             |
|-----|------|------|---------|------------------|------------------|-------------|
|     |      |      |         | 转速<br>/( r/min ) | 进给量<br>/( mm/r ) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1   | 粗车圆弧 | 数控车床 | 35°尖形车刀 | 550              | 0.15             | 1           |
| 2   | 精车圆弧 | 数控车床 | 35°尖形车刀 | 650              | 0.1              | 0.5         |

### 3.2.3 编程思路和刀具路径规划

本实例的圆弧加工编程可以用以下多种思路来实现：

(1) 用同心圆刀具路径轨迹的方法车削圆弧。

(2) 用解析法写出精加工的轮廓方程，由于本实例不是单调递增或递减轮廓，无法用 FANUC 固定循环 G71 进行编程；而使用 G73 进行编程同样会有空切，所以此思路不是最理想的。

(3) 用解析法，可以换个思路用 X 作为步距来判断（一般习惯用 Z 作为步

距来判断，因此在车削过中心的方程曲线轮廓时，判别会更困难)。

(4) 采用余量平移进行编程，前面实例已经介绍，故本实例不再重复；由于此实例是过圆弧中心的凹圆弧，采用角度法进行宏程序编程比较麻烦，故本实例不予给出。

### 3.2.4 数控程序及其注释

#### 程序 1：采用公式法精加工轮廓

```

O3007;                                (程序名)
T0101;
M03 S600;
G0 X42 Z1 M08;
G01 Z0 F0.2;
      X -0.6 F0.08;
G0 X42 Z1;
#100 = 10;                            (Z 向赋初始值)
N10 #100 = #100 - 0.1;                (步距自减)
#101 = SQRT[100 - #100 * #100];      (根据圆弧方程计算 X 值)
#102 = 40 - 2 * #101;                (通过方程 X 值计算程序中的 X 值)
G01 X[#102] Z[#100 - 20] F0.1;      (车削圆弧的轮廓)
IF[#100 GT -10] GOTO10;              (如果#100 大于 -10,则跳转到 N10,
                                      轴向步距减少 0.1mm)
G01 X42 F0.2;                        (径向退刀)
G00 X100 Z100;
M05;
M09;
M30;
程序 1 编程总结:

```

(1) 本程序实现精加工圆弧的轮廓，不适用于毛坯件的加工，否则会产生扎刀。

(2) 本程序为实现车削凹圆弧，采用了变量#101 实现计算 X 方向的坐标值；由于编程原点和圆弧方程中心点相距 20mm，因此 Z 向坐标设为#100 - 20，且随着#100 的变化而变化。

(3) 圆弧的加工精度取决于步距的大小，步距越大，精度越差，反之亦然。

(4) 车削凹圆弧最好使用圆弧刀。为了简化编程,本实例没有考虑刀尖圆弧半径补偿,但在实际加工中,一定要考虑刀尖圆弧半径补偿,否则圆弧形状不准确。

**程序 2: 采用公式法并且平移余量, 实现粗加工轮廓**

```

O3008;                                (程序名)
T0101;
M03 S600;
G0X42 Z1 M08;
G01 Z0 F0.2;
      X -0.6 F0.08;
G0 Z1 X42;
#100 = 20;                            (毛坯余量)
N10 #101 = 10;                        (Z 向赋初始值)
#100 = #100 - 2;                      (余量自减,每次减少 2mm)
N20 #102 = SQRT[100 - #101 * #101]; (根据圆弧方程计算 X 值)
#103 = 40 - 2 * #102 + #100;          (通过方程 X 值计算程序中的 X 值)
G01 X[#103] Z[#101 - 20];            (车削圆弧)
#101 = #101 - 0.1;                   (步距自减,每次减少 0.1mm)
IF[#101 GE -10] GOTO20;              (条件判断)
G0 U1;                               (X 向退刀)
      Z0.5;
IF[#100 GT 0] GOTO10;                (条件判断)
G01 X41;
G0 X100 Z100;                       (X 向退刀)
M05;
M09;
M30;
程序 2 编程总结:

```

(1) 设置变量#100 = 10,把粗加工的余量加进去,实现了分层车削圆弧,每次车削 2mm。此方法就是把圆弧的整体轮廓给平移出来,然后每次再车削 2mm,逼近圆弧的精加工轮廓。

(2) 如果用“大于毛坯直径就跳转”这个编程思路,是不正确的,原因是:车削锥度、凸圆弧时,尺寸是从小到大车削的,大于毛坯就跳转,余量就会减

去, 然后进行下一次的切削是可行的, 而凹圆弧的车削尺寸是从大到小的, 只有精加工轮廓时是小于毛坯直径的。

(3) 本程序仍然没有解决加工中的空刀问题, 下面的程序 3 采用同心圆方法不但能有效克服空刀问题, 而且能解决精加工保证轮廓精度问题。

**程序 3: 采用同心圆法, 解决空刀问题**

```

O3009;                                (程序名)
T0101;
M03 S600;
G0 X42 Z1 M08;
G01 Z0 F0.2;
    X -0.6 F0.08;
G0 Z1 X42;
#105 = 2;                             (第 1 次切削圆弧半径值)
N10 #100 = #105;                      (Z 向的距离等于圆弧半径, 圆弧半
    径是变化的)
G0 Z[#105 - 20];                      (Z 向进刀到切削圆弧的起点)
N20 G0 X40;
#102 = SQRT[#105 * #105 - #100 * #100]; (计算当前圆弧的 X 值)
#104 = 40 - 2 * #102;                 (通过方程 X 值计算程序中的 X 值)
G01 X[#104] Z[#100 - 20] F0.1;        (车削当前的圆弧)
#100 = #100 - 0.1;                    (步距自减, 每次减少 0.1mm)
IF[#100 GT -#105] GOTO20;             (条件判断, 如果圆弧没有车削完,
    则跳转到 N20, 减去一个步距
    再进行车削圆弧)

G01 X42;                              (退刀)
#105 = #105 + 2;                       (圆弧半径增加 2mm, 再进行下一
    个圆弧的车削)

IF[#105 LT 10] GOTO10;                (条件判断, 如果圆弧半径小于 10mm,
    则跳转到 N10)

G01 X41;
G0 X100 Z100;
M05;
M09;
    
```

M30;

程序3 编程总结:

本程序采用同心圆法车削凹圆弧的程序流程图如图3-6所示,车削刀具路径如图3-7所示。

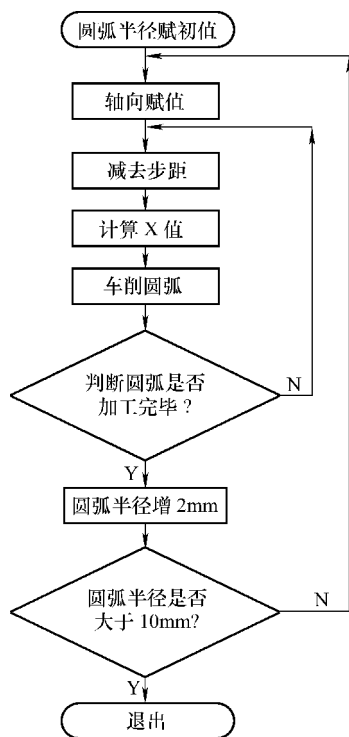


图 3-6 车削单外圆程序流程图

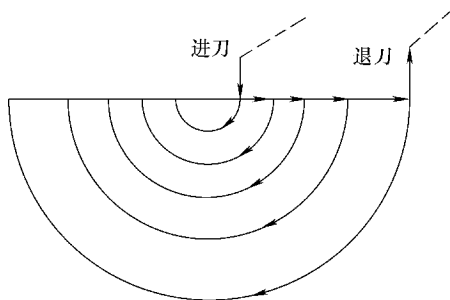


图 3-7 同心圆法车削凹圆弧的刀具路径图

程序 4: 上述程序也可以采用 WHILE...DO...语句来替换,有关语句的注释请参考本实例中的程序 1、程序 2 和程序 3

```

O3010;                                (程序名)
T0101;
M03 S600;
G0 X42 Z1 M08;
G01 Z0 F0.2;
      X -0.6 F0.08;
G0 Z1 X42;
  
```

```

#105 = 2;                                (第1次切削圆弧半径值)
WHILE[ #105 LE 10] DO1;                  (如果#105 小于 10,程序在 WHILE
                                           和 END1 之间循环,否则跳出
                                           循环)

#100 = #105;                             (第1次切削圆弧轴向值)
G00 Z[ #105 - 20]
WHILE[ #100 GE - #105 ] DO2;              (如果#100 大于 - #105, 程序在
                                           WHILE 和 END1 之间循环,
                                           否则跳出循环)

G0 X40;
#102 = SQRT[ #105 * #105 - #100 * #100 ]; (根据圆弧公式计算 X 值)
#104 = 40 - 2 * #102;                    (通过方程 X 值计算出工件 X 值)
G01 X#104 Z[ #100 - 20] F0.1;            (车削圆弧)
#100 = #100 - 0.1;                        (步距自减)
END2;
G01 X42;
#105 = #105 + 2;                          (圆弧半径自增)
END1;
G01 X41;
G0 X100 Z100;
M05;
M09;
M30;
程序4 编程总结:

```

(1) 程序3和程序4分别用条件转移语句(IF...GOTO...)和循环(WHILE...DO...)语句进行编写,来说明这两个语句的不同点:条件转移语句是先执行程序再判断,而循环(WHILE...DO...)语句是先判断再执行程序。

(2) 程序4和程序3一样,均采用同心圆法进行编程,随着加工半径值不断增大,逐步逼近整个圆弧的轮廓,有效地解决了空刀问题,同时通过语句#100=#105,实现了Z向距离和圆弧半径的同步扩大;程序3中语句IF[#100 GT - #105]GOTO20实现了程序动态的判别,使程序显得合理。

(3) 由于编程原点和圆弧方程原点相距20mm,因此Z向坐标值通过语句Z[#100-20]实现了Z向的平移。

程序5：采用公式法，用X值作为步距来判断精加工轮廓

```

O3011;                                     (程序名)
T0101;
M03 S600;
G0 X42 Z1 M08;
G01 Z0 F0.2;
      X -0.6 F0.08;
G0 Z1 X42;
#100 = 0;                                  (X 向的起点值)
#103 = 0.1;                                (步距)
#105 = 0;                                  (判别变量)
#106 = 0;                                  (判别变量)
N10 #100 = #100 + #103;                    (步距自增)
#102 = SQRT[ 100 - #100 * #100 ];          (计算 Z 值)
#104 = 40 - 2 * #100;                      (计算程序中的 X 值)
IF[ #106 LT 0.5 ] GOTO20;                 (条件判断)
#102 = - #102;                              (赋值#102 = - #102)
N20 G01 X[ #104 ] Z[ #102 - 20 ] F0.1;     (车削圆弧的轮廓)
IF[ #105 GT 0.5 ] GOTO30;                 (条件判断)
IF[ #100 LE 9.9 ] GOTO10;                 (条件判断)
#103 = - #103;                             (赋值#103 = - #103)
#105 = #105 + 1;                           (判别变量自增)
#106 = #106 + 1;                           (判别变量自增)
N30 IF[ #100 GT 0 ] GOTO10;                (条件判断)
G01 U1;                                    (退刀)
G0 X100 Z100;
M05;
M09;
M30;

```

程序5 编程总结：

(1) 本程序适合已经去除余量的轮廓精加工，采用X值来判断：在车削右半圆弧时，X向步距值是递增的；而在车削左半圆弧时，X向步距又变为递减的，因此必须在通过中心后，重新赋值变量 $\#103 = -\#103$ 。



(2) 圆弧加工中, 计算 Z 向值在右半圆弧是正的, 而在左半圆弧 Z 向值为负, 因此必须在过中心后, 重新赋值变量 $\#102 = -\#102$ 。

(3) 语句  $\text{IF}[\#100 \text{ LE } 9.9] \text{GOTO}10$  中设置了 9.9 的值, 是个临界点, 即超过了 9.9, 步距就会由递增变为递减。

(4) 本程序中合理设置了变量 $\#105$  和 $\#106$ , 利用这两个变量以及条件转移语句, 跳出了 $\#102 = -\#102$  和 $\#103 = -\#103$  重复赋值, 实现了先走右半圆弧再走左半圆弧的编程目的。

(5) 利用本程序的思路可以车削整凸个椭圆、整个凹椭圆弧和圆弧。

**程序 6: 用公式法, 以 X 值作为步距 (也包含了粗加工程序) 车削轮廓**

|                                                                |                        |
|----------------------------------------------------------------|------------------------|
| O3012;                                                         | (程序名)                  |
| T0101;                                                         |                        |
| M03 S600;                                                      |                        |
| G0 X42 Z1 M08;                                                 |                        |
| G01 Z01 F0.2;                                                  |                        |
| X -0.6 F0.08;                                                  |                        |
| G0 Z1 X42;                                                     |                        |
| $\#107 = 10$ ;                                                 | (粗加工余量)                |
| $\#100 = 0$ ;                                                  | (X 向赋初始值)              |
| $\text{N}40 \#103 = 0.1$ ;                                     | (步距)                   |
| $\#107 = \#107 - 1$                                            | (余量自减)                 |
| $\#105 = 0$ ;                                                  | (判别变量)                 |
| $\#106 = 0$ ;                                                  | (判别变量)                 |
| $\text{N}10 \#100 = \#100 + \#103$ ;                           | (每次进刀量)                |
| $\#102 = \text{SQRT}[100 - \#100 * \#100]$ ;                   | (计算 Z 值)               |
| $\text{IF}[\#106 \text{ LT } 0.5] \text{GOTO}20$ ;             | (条件判断)                 |
| $\#102 = -\#102$ ;                                             | (赋值 $\#102 = -\#102$ ) |
| $\text{N}20 \#104 = 40 - 2 * \#100 + 2 * \#107$ ;              | (计算程序中的 X 值)           |
| $\text{G}01 \text{X}\#104 \text{ Z}[\#102 - 20] \text{F}0.1$ ; | (车削圆弧的轮廓)              |
| $\text{IF}[\#105 \text{ LT } 0.5] \text{GOTO}30$ ;             | (条件判断)                 |
| $\text{IF}[\#100 \text{ LE } 9.9] \text{GOTO}10$ ;             | (条件判断)                 |
| $\#103 = -\#103$ ;                                             | (步距重新赋值)               |
| $\#105 = \#105 + 1$ ;                                          | (判别变量自加)               |
| $\#106 = \#106 + 1$ ;                                          | (判别变量自加)               |

N30 IF[#100 GT #107]GOTO10; (条件判断)

IF[#107 GT 0]GOTO40; (条件判断)

G0 X100 Z100;

M05;

M09;

M30;

程序6 编程总结:

(1) 本程序是在上一个程序的基础上,合理设置一个变量和判别,实现了粗加工时分层车削轮廓的目的,可以看出宏程序编程的灵活性。

(2) 通过变量#107 的设置,可以有效地控制 Z 向的进刀距离,把圆弧平移出来,通过语句#100 = #107 来控制圆弧的起点和终点坐标,通过不断扩大#107 变量的值,使圆弧的起点和终点随之不断的增大,从而解决余量的问题,同时也避免了空切。

### 3.3 实例 3-3 车削内孔圆弧宏程序应用

#### 3.3.1 零件图和加工内容

图 3-8 所示为车削工件内孔的圆弧,右端面中心为编程原点,工件材料为 45 钢,编制车削内孔圆弧的宏程序。

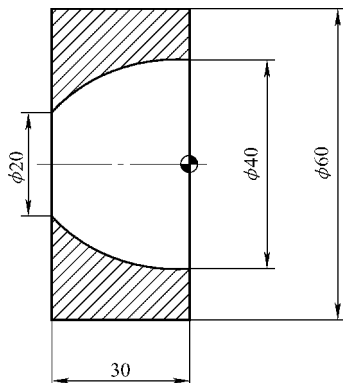


图 3-8 零件主要尺寸

### 3.3.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯，尺寸为  $\phi 60\text{mm} \times 60\text{mm}$ ，外圆和两侧端面已经完成加工，并且预钻  $\phi 20\text{mm}$  的通孔。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘，夹持外圆；刀具：通孔镗孔刀；量具：专用塞规。

(3) 制订表 3-3 所示的车削工序卡。

表 3-3 数控车削内孔圆弧的工序卡

| 工 序 | 主要内容  | 设 备  | 刀 具   | 切 削 用 量          |                  |             |
|-----|-------|------|-------|------------------|------------------|-------------|
|     |       |      |       | 转速<br>/( r/min ) | 进给量<br>/( mm/r ) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1   | 粗车削圆弧 | 数控车床 | 通孔镗孔刀 | 500              | 0.2              | 1           |
| 2   | 精车削圆弧 | 数控车床 | 通孔镗孔刀 | 800              | 0.1              | 0.5         |

### 3.3.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 本实例思路：先粗加工去除大部分余量，再精加工轮廓，即当刀具路径中的 X 值小于根据圆弧解析方程计算出的 X 值时，则走直线，车削出一个个小台阶，以去除大量余量，最后精加工圆弧轮廓，刀具路径设计如图 3-9 所示。

(2) 由于是车削内圆弧，采用向 X 的负方向退刀。

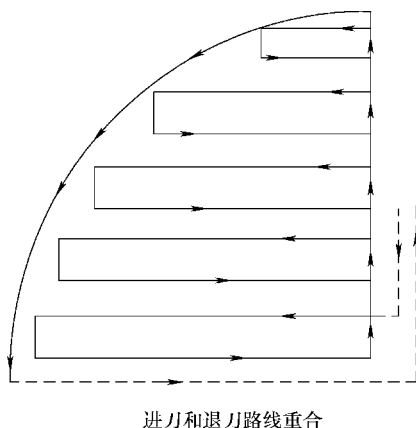


图 3-9 车削内圆弧刀具路径图

### 3.3.4 数控程序及其注释

```

O3013;                                     (主程序名)
T0101;
M03 S500;
M08;
G0 X18 Z1;
#106 = 0;                                  (控制粗、精车的判别变量)
    
```

|                                       |                      |
|---------------------------------------|----------------------|
| #100 = 10;                            | (孔的底半径,即初始孔直径为 20mm) |
| #103 = 0.5;                           | (步距,去除余量步距可以大些)      |
| N10#100 = #100 + #103;                | (半径自加)               |
| #102 = SQRT[400 - #100 * #100];       | (由圆弧计算 Z 的值)         |
| IF[ #106 GT 0.5 ]GOTO20;              | (条件判断)               |
| G0 X[ 2 * #100 ];                     | (进刀)                 |
| G01 Z[ - #102 ]F0.2;                  | (粗车削圆弧轮廓)            |
| G0 U -0.5;                            | (退刀)                 |
| G0 Z1;                                | (退刀)                 |
| IF[ #100 LT 20 ]GOTO10;               | (条件判断)               |
| #103 = -0.1;                          | (为了提高圆弧轮廓的精度,步距重新赋值) |
|                                       |                      |
| #106 = #106 + 1;                      |                      |
| N20 G01 X[ 2 * #100 ]Z[ - #102 ]F0.1; | (精车削圆弧轮廓)            |
| IF[ #100 GT 10 ]GOTO10;               | (条件判断)               |
| G0 X18;                               | (退刀)                 |
| Z100;                                 |                      |
| X100;                                 |                      |
| M05;                                  |                      |
| M09;                                  |                      |
| M30;                                  |                      |

### 3.3.5 编程总结

(1) 利用圆弧公式进行计算,当 X 为某一个值时,计算出对应的 Z 值,这样能保证去除大量的余量,并且能使余量均匀,保证不会过切。

(2) 在去除余量时, #103 变量的赋值可以适当增大;在精加工时,为了保证尺寸精度和表面粗糙度值,可以适当减小。实际加工过程中,根据实际情况酌情选用。

## 3.4 实例 3-4 孔类零件加工宏程序应用

### 3.4.1 零件图和加工内容

图 3-10 所示需要车削工件内孔的形状,一段为圆柱面,另一段为圆弧面,

两段光滑连接，工件材料为 45 钢，编制车削内孔的宏程序。

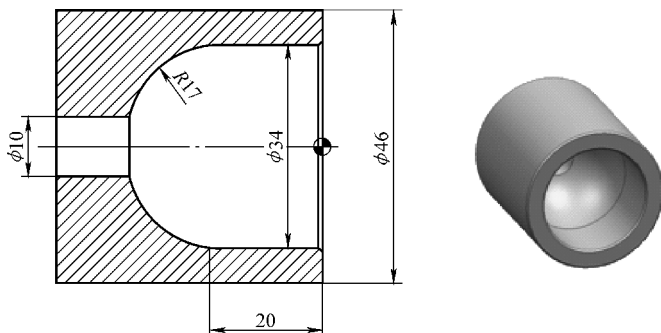


图 3-10 零件主要尺寸及三维造型图

### 3.4.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯，尺寸为  $\phi 46\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，外圆和两侧端面已经完成加工，并且预钻  $\phi 6\text{mm}$  的通孔。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘；刀具： $\phi 6$  钻头，通孔镗孔刀（本实例中，使用镗孔刀代替圆弧刀，在实际加工中，建议使用圆弧刀）；量具：0 ~ 150mm 的游标卡尺，圆弧规，内径百分表。

(3) 制订表 3-4 所示的车削内孔圆弧的工序卡。

表 3-4 数控车削内孔圆弧的工序卡

| 工 序 | 主要内容 | 设 备  | 刀 具         | 切削用量             |                  |             |
|-----|------|------|-------------|------------------|------------------|-------------|
|     |      |      |             | 转速<br>/( r/min ) | 进给量<br>/( mm/r ) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1   | 钻孔   | 数控车床 | $\phi 6$ 钻头 | 800              | 0.08             | 2           |
| 2   | 镗孔   | 数控车床 | 通孔镗孔刀       | 400              | 0.1              | 0.5         |

### 3.4.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 此零件为典型的孔类零件，涉及钻、镗等孔的加工，从形状上看，涉及刀圆弧、内孔等相关的加工。

(2) 此加工刀具路径采用 G71 的思路，即如果直径小于要加工零件的直径，采用走台阶的方式去除大量的余量，最后走精加工的轮廓，以完成零件的加工。

(3) 圆弧的加工采用拟合法，即用圆弧公式，然后用 G01 直线插补无限逼

近的方法，来取代传统 G02/G03 等圆弧插补加工的方法。

(4) 假设预先用  $\phi 6$  钻头钻孔，此例钻孔程序省略，可以参考钻孔宏程序的实例。

### 3.4.4 数控程序及其注释

|                          |                                    |
|--------------------------|------------------------------------|
| O3014;                   | (程序名)                              |
| T0101;                   |                                    |
| M03 S500;                |                                    |
| G0 X5 Z1;                |                                    |
| G01 Z0 F0.12;            |                                    |
| #100 = 3;                | (底孔的半径值)                           |
| #102 = 1;                | (背吃刀量)                             |
| #105 = 0;                | (判别变量)                             |
| #106 = 0;                | (判别变量)                             |
| #107 = 0;                | (判别变量)                             |
| #108 = 0;                | (判别变量)                             |
| #110 = 1;                | (精加工余量)                            |
| N10 #100 = #100 + #102;  | (每次 X 向到达的位置)                      |
| G01 X[2 * #100 - #110];  | (进刀)                               |
| IF[ #108 GT 0.5 ]GOTO70; | (条件判断,如果#108 大于 0.5 ,则<br>跳转到 N70) |
| IF[ #105 GT0.5 ]GOTO20;  | (条件判断,如果#105 大于 0.5 ,则<br>跳转到 N20) |
| IF[ #106 GT0.5 ]GOTO20;  | (条件判断,如果#106 大于 0.5 ,则<br>跳转到 N20) |
| N70 G01 Z -50 F0.1;      | (车削)                               |
| IF[ #108 GT 0.5 ]GOTO80; | (条件判断,如果#108 大于 0.5 ,则<br>跳转到 N80) |
| G0 U -0.5;               | (X 向退刀)                            |
| Z1;                      | (Z 向退刀)                            |
| IF[ #100 LT 5 ]GOTO10;   | (条件判断,如果#100 小于 5 ,则跳<br>转到 N10)   |
| #106 = #106 + 1;         | (#106 号变量自加)                       |

```

N20 #101 = SQRT[17 * 17 - #100 * #100]; (计算 Z 值, 基于圆弧的公式)
IF[ #107 GT 0.5 ] GOTO30; (条件判断, 如果#107 大于 0.5, 则
                            跳转到 N30)

G01 Z[- #101 - 20]; (车削, 去除余量)
IF[ #105 GT 0.5 ] GOTO30; (条件判断, 如果#105 大于 0.5, 则
                            跳转到 N30)

G0 U -0.5; (X 向退刀)
    Z1; (Z 向退刀)
IF[ #100 LT 17 ] GOTO10; (条件判断, 如果#100 小于 17, 则
                          跳转到 N10)

#105 = #105 + 1; ( #105 号变量自加)
#110 = #110 - 1; (余量减掉)
IF[ #105 GT 0.5 ] GOTO10; (条件判断, 如果#105 大于 0.5, 则
                          跳转到 N10)

N30 #102 = -0.1; (步距重新赋值)
G01 X[2 * #100 - #110] Z - [ #101 + 20 ]; (车削圆弧, 精加工)
#107 = #107 + 1; ( #107 号变量自加)
IF[ #100 GT 5 ] GOTO10; (条件判断, 如果#100 大于 5, 则跳
                        转到 N10)

#108 = #108 + 1; ( #108 号变量自加)
IF[ #108 GT 0.5 ] GOTO10; (条件判断, 如果#108 大于 0.5, 则
                          跳转到 N10)

N80 G0 U -0.5; (X 向退刀)
G0 Z100; (Z 向退刀)
    X100;
M05;
M09;
M30;

```

### 3.4.5 编程总结

(1) 本实例编程的思路具有综合性: 在粗加工走台阶可以去除大量毛坯余量; 在精加工走刀后可以较好地保证轮廓精度。

(2) 本实例在精加工程序中设置了变量#110 以及相应的变化, 实现粗加工

和精加工的转换，是普通 G 代码编程所不及的。

(3) 设置变量#105 = 0、#106 = 0、#107 = 0 和#108 = 0，其目的是让程序实现跳转，其中#107 号变量的设置很关键，否则精车时无法实现直径 34mm 内孔的加工，造成刀具路径直接去加工圆弧轮廓了。

(4) 语句 IF[#108 GT 0.5] GOTO80 保证程序顺利跳出循环；IF[#100 LT 17] GOTO10 判别语句中 17 是个圆弧轮廓的临界点。

(5) 特别说明：本实例仅仅为了宏程序的编制练习，实际加工中直径为 10mm、深度为 50mm 的孔是比较难以镗削加工的（只能钻孔），本书宗旨是为学习宏程序提供一种思路，实际加工中需要酌情修改加工参数和程序语句。

### 3.5 本章小结

(1) 本章系统地介绍了宏程序在车削圆弧类型面中的应用，依次为车削凸圆弧、凹圆弧、内孔圆弧和综合实例。不同的圆弧余量去除方法和加工工艺，可以采用不同的编程思路，并且各种宏程序都有它的适用范围。本章实例针对的都是规则零件，但编程思路和程序逻辑方法同样也适合于非圆型面的加工。

(2) 不可否认，宏程序编程和传统手工编程相比，在解决非圆类零件的加工中才能体现出明显的优势，而对于宏程序初学者来说，直接进入较为复杂的宏程序运用编程练习，会有一种畏惧情绪，因此，本书通过前面三章将宏程序应用到规则类零件编程中去，由浅入深，逐步引导读者去掌握宏程序编程的基本思路、方法和技巧，再去学习后面章节有较大难度的实例。





## 宏程序在非圆型面 车削中的应用

### 本章内容提要

前面章节系统地介绍了宏程序在常见型面中的应用，在常见型面中也许不能充分体现宏程序的优点，因为常见型面加工采用一般的 G 代码和循环也可以解决的。但是数控系统只能进行直线和圆弧的插补运算，针对非圆曲面，如椭圆，抛物线，双曲线，正、余弦函数曲线等的加工中，一般的 G 代码和循环指令很难实现，必须借助宏程序和软件编程来完成，但是软件编程一般生成的程序都是 G01/G02/G03 等组成的，程序比较长，给输入和检查带来困难。

本章介绍宏程序在车削非圆型面中的应用，依次为车削右/左椭圆、凹椭圆、整椭圆、椭圆内孔、旋转椭圆、正弦曲线、双曲线和综合实例。它们刀具路径轨迹的共同特点是：X 向和 Z 向进给运动按照二次曲线（椭圆、正弦曲线和双曲线）方程规律。

### 4.1 实例 4-1 车削右椭圆宏程序应用

#### 4.1.1 零件图和加工内容

图 4-1 所示工件为椭圆形状（右半边椭圆），材料为 45 钢，编制车削椭圆形状的宏程序，其中该椭圆的解析方程为  $X^2/19^2 + Z^2/30^2 = 1$ ，如果以 Z 值作为自变量，可以得到相应的因变量 X 值。

#### 4.1.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯尺寸为  $\phi 38\text{mm} \times 120\text{mm}$ ，其中  $\phi 38\text{mm}$  外圆已经完成

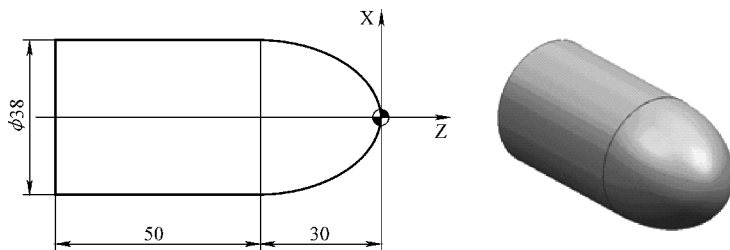


图 4-1 零件主要尺寸及三维造型

加工。

(2) 装夹方式：采用普通自定心卡盘；刀具：90°外圆粗车刀（为1号刀），90°外圆精车刀（为2号刀）；量具：采用0~150mm的游标卡尺。

(3) 制订表4-1所示的车削工序卡。

表 4-1 数控车削椭圆的工序卡

| 工 序 | 主要内容  | 设 备  | 刀 具      | 切 削 用 量        |                |             |
|-----|-------|------|----------|----------------|----------------|-------------|
|     |       |      |          | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1   | 车削端面  | 数控车床 | 90°外圆粗车刀 | 600            | 0.08           | 0.1         |
| 2   | 粗车椭圆弧 | 数控车床 | 90°外圆粗车刀 | 500            | 0.15           | 1           |
| 3   | 精车椭圆弧 | 数控车床 | 90°外圆精车刀 | 500            | 0.15           | 0.5         |

### 4.1.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 本实例属于典型椭圆类零件编程，用普通G代码编程是无法完成的，需要借助宏程序，采用直线逼近（也叫拟合法，即无限逼近原理）法编程，即在Z向（或X向）分段，以0.05~0.2mm为一个步距，并把Z（或X）作为自变量，X（或Z）作为应变变量函数。

(2) 本实例作为宏程序在非圆型面中应用的典型，而宏程序的编制有很大的灵活性，因此本实例提供不同的编程思路和方法，详细阐述宏程序在非圆型面中的应用，具体如下：

- 1) 基于椭圆解析方程  $X^2/19^2 + Z^2/30^2 = 1$  进行粗、精加工轮廓。
- 2) 借助G71指令去除余量。
- 3) 采用三角函数角度编程（即参数编程法）：设中间参数为 $\theta$ ，则该椭圆方

程中的两个变量分别转换为： $X = 19 * \sin(\theta)$ ， $Z = 30 * \cos(\theta)$ 。

4) 利用 SIEMENS 系统 G158 偏置指令。

5) 参照 G71 指令的思路进行粗、精加工。

6) 参照 SIEMENS 系统 LCYC95 指令的思路。

7) 余量平移法和实际加工中刀具路径中的 X 值大于毛坯直径的跳转方法相结合。

(3) 为了提高加工效率，适应不同的椭圆尺寸、不同的起始点和不同的步距，实际生产中可以编制一个只用变量不用具体数据的宏程序，然后在主程序中调用并为上述变量赋值即可，这样对于不同的椭圆参数，不必更改程序，只要修改主程序中宏程序内的赋值数据，即把它视为固定模板使用。

(4) 在椭圆类零件的加工方法中，针对去除毛坯余量的刀具路径设计方法和前面凸/凹圆弧加工刀具路径类似，视毛坯形状、余量大小和加工效率也有多种刀具切削路径方案。

#### 4.1.4 数控程序及其注释

##### 程序 1：宏程序进行精车轮廓

|                                      |                        |
|--------------------------------------|------------------------|
| O4001;                               |                        |
| T0101;                               | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)      |
| M03 S600;                            | (主轴正转,转速为 600r/min)    |
| G0 X42 Z1 M08;                       | (快速定位至毛坯右端面)           |
| G01 Z0 F0.2;                         | (进给到 Z0 处)             |
| X -0.6 F0.08;                        | (车削端面)                 |
| G0 X40 Z1;                           | (快速退刀)                 |
| S500 M08;                            |                        |
| #100 = 30;                           | (椭圆的长半轴半径)             |
| N10 #100 = #100 - 0.1;               | (步距自减)                 |
| #101 = 19 * SQRT[1 - [#100 * #100] / | (计算椭圆长半轴对应的短半轴,        |
| [30 * 30]];                          | 即 X 值)                 |
| #102 = 2 * #101;                     | (计算程序中的 X 值)           |
| #103 = #100 - 30;                    | (计算程序中的 Z 值)           |
| G01 X[#102] Z[#103] F0.1;            | (车削椭圆弧)                |
| IF[#100 GT 0] GOTO10;                | (如果#100 大于 0,则跳转到 N10) |
| G01U1;                               |                        |

G0 X100 Z100;

M05;

M09;

M30;

程序1 编程总结:

(1) 本程序基于椭圆解析方程公式  $X^2/A^2 + Z^2/B^2 = 1$ , 得到短半轴的坐标值, 即 X 轴的计算变量:  $\#101 = 19 * \text{SQRT}[1 - [\#100 * \#100]/[30 * 30]]$ 。

(2) 本程序中编程原点和椭圆方程原点不在同一个点上, 因此采用平移法把编程原点和方程原点平移到同一点, 即设置了变量  $\#103 = \#100 - 30$ , 可以参考第3章图3-2所示的原点平移设计示意图, 椭圆编程平移也同样适用, 还可以在操作机床时将刀补参数进行偏置相应的值。

(3) 本程序是精车椭圆轮廓的程序, 适用于已经去除大量毛坯余量的零件加工, 余量较大的情况下会产生扎刀情况。

(4) 本程序属于精车椭圆轮廓的程序, 但编程思路不仅仅局限于椭圆类零件, 对双曲线、抛物线、余弦曲线等都有一定的参考价值。实际加工中只是曲线的公式不同而已, 因此, 这类零件的宏程序编写一般步骤可以归纳如下:

1) 将曲线的解析方程简化为  $X = -Z -$  的形式。

2) 在该式中设置 X 为  $\#101$  号变量, Z 为  $\#100$  号变量, 则方程可以用变量表示为  $\#101 = -\#100 -$ 。

3) 求解  $\#101$  号变量对应的  $\#100$  号变量在公式中的对应值。

4) 根据零件尺寸确定方程原点的平移值, 保证编程原点和方程原点为同一个点, 偏移量为曲线方程原点到编程原点的距离, 也可以在操作机床时将刀补参数进行偏置相应的值。

5) 再利用拟合法, 采用直线插补 (G01 X-Z-F-) 指令走出椭圆曲线刀具路径。

(5) 根据上述宏程序的编写步骤和要求, 在本程序设计的主要变量如下: 变量  $\#100$  作为 Z 向曲线加工起点相对于曲线数学零点的距离, 变量  $\#102$  作为走刀步距, 通过变量之间的运算和语句判断实现走刀路径按照椭圆曲线的规律。

#### 程序2: 采用 G71 指令实现粗、精加工轮廓

O4002;

T0101;

(调1号刀具以及1号刀补)

M03 S600;

(主轴正转, 转速为 600r/min)

|                                                     |                           |
|-----------------------------------------------------|---------------------------|
| G0 X42 Z1 M08;                                      | (快速定位至毛坯右端面)              |
| G01 Z0 F0.2;                                        | (进给到 Z0 处)                |
| X -0.6 F0.08;                                       | (车削端面)                    |
| G0 X40 Z1;                                          | (快速退刀)                    |
| S500;                                               |                           |
| G0 X42 Z2;                                          |                           |
| G71 U1 R0.5;                                        | (粗加工背吃刀量为 2mm,退刀量为 1mm)   |
| G71 P20 Q30 U0.5 W0F0.15;                           | (X 向精加工余量为 1mm)           |
| N20 G0 X0;                                          |                           |
| G01 Z0;                                             |                           |
| #100 = 30;                                          | (椭圆的长半轴)                  |
| N10 #100 = #100 - 0.1;                              | (步距自减)                    |
| #101 = 19 * SQRT[1 - [#100 * #100] /<br>[30 * 30]]; | (计算椭圆长半轴对应的短半轴,<br>即 X 值) |
| #102 = 2 * #101;                                    | (计算程序中的 X 值)              |
| #103 = #100 - 30;                                   | (计算程序中的 Z 值)              |
| G01 X[#102]Z[#103]F0.1;                             | (车削椭圆弧)                   |
| IF[#100 GT 0]GOTO10;                                | (如果#100 大于 0,则跳转到 N10)    |
| N30 G01 X40;                                        |                           |
| G70 P20 Q30;                                        |                           |
| G0 X100 Z100;                                       |                           |
| M05;                                                |                           |
| M09;                                                |                           |
| M30;                                                |                           |

程序 2 编程总结:

(1) 本程序是利用 FANUC 系统自带的粗车循环指令 (G71) 和精车循环指令 (G70) 完成零件由粗加工到精加工的全部过程,也是实际加工中经常使用的方法。但由于 G71 指令本身的局限性,只能针对单调递增或递减的曲线,如果遇到有增有减的曲线轮廓,只需把 G71 换成 G73 即可,但会增加空切现象,在实际加工中根据实际情况酌情选用。

(2) 本程序编程思路也可以和 SIEMENS 系统的 LCYC95 的模块相结合来完成椭圆类零件的加工。

## 程序3：采用三角函数编程（即参数编程法）粗加工轮廓

```

O4003;
T0101;                (调1号刀具以及1号刀补)
M03 S600;             (主轴正转,转速为600r/min)
G0 X42 Z1 M08;        (快速定位至毛坯右端面)
G01 Z0 F0.2 ;         (进给到Z0处)
      X-0.6 F0.08;     (车削端面)
G0 X40 Z1;            (快速退刀)
S500;
#100 = 0;              (角度初始值)
#105 = 1;              (步距为1°)
N10 #100 = #100 + #105;  (#100变量加#105号变量,即步距自加)
#101 = 19 * SIN[#100]; (计算X值)
#102 = 30 * COS[#100]; (计算Z值)
#103 = 2 * #101;        (计算程序中的X值)
#104 = #102 - 30;        (计算程序中的Z值)
G01X[#103]Z[#104]F0.1; (直线插补椭圆弧)
IF[#100 LT 90]GOTO10;   (如果#100小于90,则跳转到N10)
G01 X41;
G0 X100 Z100;
M05 M09;
M30;

```

## 程序3 编程总结:

(1) 角度编程法是基于将椭圆解析方程转换为参数方程得来的,其中公共参数设为角度量 $\theta$ ,即数学公式变为 $X = A * \sin(\theta)$ 和 $Z = B * \cos(\theta)$ ,这种转换思路也同样适合其他类型的非圆曲线轮廓的编程加工。

(2) 椭圆轮廓的加工精度取决于角度增量的大小,角度增量越小,精度越精确。

(3) 本程序中Z轴的编程原点和椭圆弧的中心不是同一个点,因此要采用平移法,通过语句 $\#104 = \#102 - 30$ 将编程原点和圆弧中心点重合(也可以在对刀时采用刀具偏置,偏置值为轴向与椭圆中心的距离)。

(4) 本程序为精加工椭圆轮廓,适用于已经去除大量余量零件的加工。

程序 4：利用 SIEMENS 系统 G158 偏置功能进行宏编程

|                          |                                          |
|--------------------------|------------------------------------------|
| AAA1                     | (程序名,和 FANUC 系统取名有所区别)                   |
| T1;                      | (调用 1 号刀)                                |
| M03 S600;                | (主轴正转,转速为 600r/min)                      |
| G0 X42 Z1 M08;           | (快速定位至毛坯右端面)                             |
| G01 Z0 F0.2;             | (进给到 Z0 处)                               |
| X -0.6 F0.08;            | (车削端面)                                   |
| G0 X40 Z1;               | (快速退刀)                                   |
| S500 M08;                |                                          |
| G0 X42 Z2;               |                                          |
| R5 = 1;                  | (精车余量)                                   |
| R7 = 1;                  |                                          |
| R6 = 40;                 | (毛坯余量)                                   |
| AA1:R6 = R6 - 2;         | (余量自减)                                   |
| AA3:G158 X = R5;         | (采用 G158 偏置精车余量值)                        |
| G00 X = R6 Z1;           | (快速定位到加工的起点)                             |
| R9 = 0;                  | (角度初始赋值)                                 |
| R8 = 1;                  | (步距为 1°)                                 |
| AA2:R9 = R9 + R8;        | (R9 等于 R9 变量加 R8 号变量,即步距<br>自加)          |
| R1 = 19 * SIN(R9);       | (根据参数方程计算 X 值)                           |
| R2 = 30 * COS(R9);       | (根据参数方程计算 Z 值)                           |
| R3 = 2 * R1 + R6;        | (计算程序中的 X 值)                             |
| R4 = R2 - 30;            | (计算程序中的 Z 值)                             |
| G01X = R3 Z = R4 F0.1;   | (直线插补椭圆弧)                                |
| IF R3 > 40.5 GOTO B AA1; | (如果 R3 大于 40.5,则向前跳转到 AA1,<br>否则执行下一段程序) |
| IF R9 < 90 GOTO B AA2;   | (如果 R9 小于 90,则向前跳转到 AA2,否<br>则执行下一段程序)   |
| G91 X1;                  | (X 向退刀)                                  |
| G90 Z0.5;                | (Z 向退刀)                                  |
| IF R6 > 2 GOTO BAA1;     | (如果 R6 大于 2,则向前跳转到 AA1,否<br>则执行下一段程序)    |

```

R7 = R7 - 1;
IF R7 < -0.5 GOTO F AA4;      (如果 R7 小于 -0.5,则向后跳转到 AA4,
                                否则执行下一段程序)

R5 = 0;                        (R5 重新赋值)
S800 F0.08;
GOTO AA3;                      (绝对跳转到 AA3)
AA4:G01 Z -30;                 (到椭圆终点)
G01 X41;                      (径向退刀)
G0 X100 Z100;
M05;
M09;
M30;

```

程序4 编程总结:

(1) 本程序的思路是利用 SIEMENS 系统 G158 偏置的功能,将精加工余量(即设置变量  $R5 = 1$ ) 平移出来,最后重新给 R5 赋值,从而完成零件的加工,具有一定的典型性,该程序只能对 SIEMENS 系统有效,但思路同样适合其他的数控系统。

(2) 变量 R6 的作用是把粗加工余量平移出来,然后逐渐分层减掉,每次为 2mm 直径值,实现了粗加工。

(3) 语句 IF R3 > 40.5 GOTO BAA1 的含义是:如果 R3 大于 40.5,则向前跳转到 AA1,否则执行下一段程序,即大于毛坯直径就跳转,余量再减去 2mm,进行下一次的切削,这个判别可以避免空刀,大大提高加工效率。

(4) 本程序中的 G158 X = R5,也可以转换成 FANUC 系统的 G10 P-Z- 格式,如果该程序应用到 FANUC 系统时,涉及不同系统之间的编程格式转换。

(5) 从程序格式和逻辑角度来看, FANUC 系统的宏程序编程与 SIEMENS 系统的参数编程两者没有太大的区别,关键要掌握宏程序编程的思路。SIEMENS 系统宏程序的格式和语句,可以参考数控系统的使用说明和相关专业书籍。

#### 程序5: 参照 G71 指令思路编程,进行粗、精加工轮廓

```

O4005;                        (程序名)
T0101;                        (调1号刀具以及1号刀补)
M03 S600;                    (主轴正转,转速为 600r/min)
G0 X42 Z1 M08;               (快速定位至毛坯右端面)

```



|                                                           |                            |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------|
| G01 Z0 F0.2;                                              | (进给到 Z0 处)                 |
| X -0.6 F0.08;                                             | (车削端面)                     |
| G0 Z1 X40;                                                | (快速退刀)                     |
| S500;                                                     |                            |
| #100 = 19;                                                | (毛坯余量半径值)                  |
| #101 = 0.5;                                               | (每次背吃刀量)                   |
| #105 = 0;                                                 | (判别变量)                     |
| N10 #100 = #100 - #101;                                   | (余量自减)                     |
| IF[ #105 GT 0.5 ]GOTO20;                                  | (如果#105 大于 0.5,则跳转到 N20)   |
| G0 X[2 * #100];                                           | (进刀)                       |
| N20 #102 = 30 * SQRT[1 - [ #100 *<br>#100 ]/[ 19 * 19 ]]; | (根据椭圆解析方程计算 Z 值)           |
| #103 = #102 - 30;                                         | (计算工件中的 Z 值)               |
| IF[ #105 GT 0.5 ]GOTO30;                                  | (如果#105 大于 0.5,则跳转到 N30)   |
| G01 Z[ #103 ]F0.15;                                       | (车削轮廓)                     |
| G0 U1;                                                    | (X 向退刀)                    |
| Z0.5;                                                     | (Z 向退刀)                    |
| IF[ #100 GT 0 ]GOTO10;                                    | (如果#100 大于 0,则跳转到 N10)     |
| #101 = -0.1;                                              | (#101 重新赋值,为精车椭圆轮廓作<br>准备) |
| #105 = #105 + 1;                                          | (#05 号变量加 1)               |
| N30 G01 X[2 * #100]Z[ #103 ]F0.1;                         | (车削椭圆弧轮廓)                  |
| IF[ #100 LT 19 ]GOTO10;                                   | (如果#100 小于 19,则跳转到 N10)    |
| G01 X38 Z -30;                                            | (车削轮廓)                     |
| G01 X41;                                                  |                            |
| G0 X100;                                                  | (X 向退刀)                    |
| Z100;                                                     | (Z 向退刀)                    |
| M05;                                                      |                            |
| M09;                                                      |                            |
| M30;                                                      |                            |
| 程序 5 编程总结:                                                |                            |

(1) 本程序编程思路是参考 G71 指令编制而成的, 粗车时由大到小去除大量余量的, 精车时由小到大进行车削的, 因此通过变量#101 重新对余量进行赋值。

(2) 车削精度是由步距大小控制的, 粗加工的步距可以适当大些, 精加工轮廓时步距适当小些, 实际生产时根据加工需要酌情选择步距大小。

(3) 设置变量#105 = 0 目的是让程序实现跳转, 在实际应用中, 需要设置一些自身没有意义的变量, 但整个程序利用这些变量使程序实现顺利跳转。比如利用语句 IF[#105 GT 0.5] GOTO30 跳转到精加工程序, 否则会无限车削粗加工轮廓, 使程序陷入死循环, 无法完成精加工轮廓。

(4) 语句 #102 = 30 \* SQRT[1 - [#100 \* #100]/[19 \* 19]] 和 G01 Z[#103], 保证了在粗车过程中不会产生过切; 语句 #103 = #102 - 30 也可以在对刀后, 在刀补中设置该偏置值。

(5) 本程序宏编程的流程如图 4-2 所示。

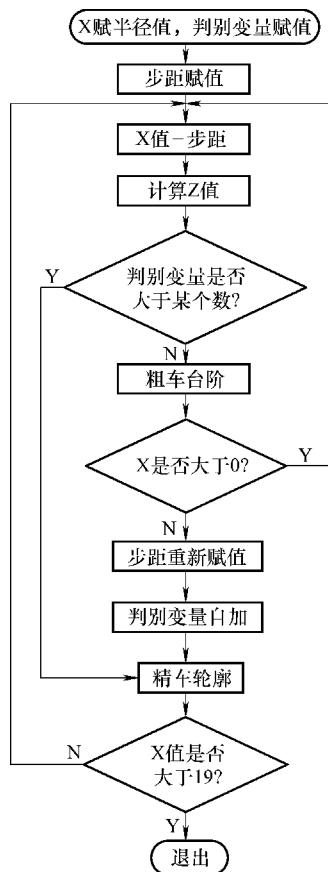


图 4-2 程序 5 的流程图

#### 程序 6: 仿照 SIEMENS 系统 LCYC95 循环指令进行编程

|                |                      |
|----------------|----------------------|
| O4006;         | (程序名)                |
| T0101;         | (调1号刀具以及1号刀补)        |
| M03 S600;      | (主轴正转, 转速为 600r/min) |
| G0 X42 Z1 M08; | (快速定位至毛坯右端面)         |
| G01 Z0 F0.2;   | (进给到 Z0 处)           |
| X -0.6 F0.08;  | (车削端面)               |
| G0 X42 Z1;     | (快速退刀)               |
| S500;          |                      |
| #103 = 19;     | (椭圆短半轴的值)            |
| #104 = 1;      | (背吃刀量为 1mm)          |

|                                                         |                              |
|---------------------------------------------------------|------------------------------|
| #108 = 0.5;                                             | (车削的步距)                      |
| #109 = 1;                                               | (精车余量为 1mm)                  |
| N20 #103 = #103 - #104;                                 | (毛坯余量每次减少 1mm, 半径值)          |
| #100 = #103;                                            | (把#103 号变量的值赋给#100 号变量)      |
| #106 = #103 + 1;                                        |                              |
| N50 G0 X[2 * #100 + #109];                              | (X 向进刀)                      |
| #101 = 30 * SQRT[1 - [#100 * #100] /<br>[19 * 19]];     | (计算#101 号变量的值, 即 Z 值)        |
| G01 Z[#101 - 30] F0.1;                                  | (车削直线轮廓)                     |
| N10 #100 = 19 * SQRT[1 - [#101 * #101] /<br>[30 * 30]]; | (计算#100 号变量的值, 即 Z 对应的 X 值)  |
| #101 = #101 - #108;                                     | (每次减少一个步距的值)                 |
| #105 = 2 * #100 + #109;                                 | (计算#105 号变量的值, 即 X 向已经加平移的值) |
| G01 X[#105] Z[#101] F0.1;                               | (用G01 走直线方式车削椭圆弧)            |
| #107 = 30 * SQRT[1 - [#106 * #106] /<br>[19 * 19]];     | (计算#107 号变量的值)               |
| IF[#101 GE #107] GOTO10;                                | (如果#101 大于等于#107, 则跳转到 N10)  |
| G0 U1;                                                  | (X 向退刀 1mm, 直径值)             |
| Z0.5;                                                   | (Z 向退刀)                      |
| G0 U - 1;                                               | (X 向进刀 1mm, 直径值)             |
| IF[#103 GT 0] GOTO20;                                   | (如果#103 大于 0, 则跳转到 N20)      |
| #109 = #109 - 1;                                        |                              |
| IF[#109 LT 0.5] GOTO40;                                 | (如果#109 小于 0.5, 则跳转到 N40)    |
| S650 F0.08;                                             | (改变转速和进给率)                   |
| GOTO50;                                                 | (无条件跳转到 N50)                 |
| N40 G01 X41;                                            | (X 向退刀)                      |

|          |               |
|----------|---------------|
| G0 X100; | (X 向快速退刀)     |
| Z100;    | (Z 向快速退刀)     |
| M05;     |               |
| M09;     | (主轴停止,切削液关闭)  |
| M30;     | (程序结束,返回程序开始) |

程序6 编程总结:

(1) 本程序参考了 SIEMENS 系统 LCYC95 加工思路, X 向进刀后, 根据椭圆方程计算 Z 向的进刀距离, 然后车削直线轮廓以达到去除余量的目的。

(2) 变量#103 为毛坯余量半径值, 语句#100 = #103 是为了便于方程的运算。

(3) 如果编程原点采用椭圆方程中心, 该程序应用于实际加工中, 需要将刀补进行偏置, 偏置值为 -30mm。

(4) 语句 IF[#109 LT -0.5] GOTO40 和 GOTO50 顺利实现了椭圆轮廓的精加工, 其中 GOTO 语句也可以用 IF...GOTO...来实现。

(5) 语句#106 = #103 + 1 是 Z 向每次切削的目标点, 也是每次车削交汇的坐标点, 用作判别的关键点, 可见该语句在整个程序中的地位。

(6) 设置#109 = 1 的作用是将精车余量设为 1mm (直径值), 并把精车余量平移出来, 相当于 SIEMENS 系统 G158 偏置指令的用法。

**程序7: 用把余量平移出来和大于毛坯直径跳转方法来实现**

|                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| O4007;              | (程序名)               |
| T0101;              | (调1号刀具以及1号刀补)       |
| M03 S600;           | (主轴正转,转速为 600r/min) |
| G0 X42 Z1 M08;      | (快速定位至毛坯右端面)        |
| G01 Z0 F0.2;        | (进给到 Z0 处)          |
| X -0.6 F0.08;       | (车削端面)              |
| G0 X42 Z1;          | (快速退刀)              |
| S500;               |                     |
| #103 = 19;          | (粗加工余量为 19mm,半径值)   |
| #106 = 1;           | (精加工余量为 1mm)        |
| N90 G00 X41;        | (X 向快速定位)           |
| Z0.5;               | (Z 向快速定位)           |
| #101 = 0;           | (轴向加工起点)            |
| N20 #103 = #103 - 1 | (余量自减)              |
| N30 #101 = 30.1;    | (椭圆长半轴的距离为 30mm)    |

```

G00 X[2 * #103];           (进刀)
N10 #101 = #101 - 0.1;      (#101 号变量每次减去 0.1mm)
#102 = 19 * SQRT[1 - [#101 * #101] / (根据椭圆公式计算#102 的值,即 X
[30 * 30]];                值)
#108 = 2 * [#102 + #103] + #106; (计算#108 号变量值,即工件坐标系的
                              X 值)
#109 = #101 - 30;          (计算#109 号变量值,即工件坐标系的
                              Z 值)

G01 X[#108]Z[#109]F0.1;    (车削椭圆弧)
IF[#108 GT 40.5]GOTO90;    (如果#108 小于 40.5,则跳转到 N90)
IF[#101 GT 0]GOTO10;       (如果#100 大于 0,则跳转到 N10)
G0 U2;                     (X 向退刀)
    Z0.5;                  (Z 向退刀)
IF[#103 GT 0]GOTO20;       (如果#103 大于 0,则跳转到 N20)
#106 = #106 - 1;           (余量减掉)
IF[#106 LT -0.5]GOTO40;    (如果#106 小于 -0.5,则跳转到 N40)
S800 F0.08;               (改变转速和进给率)
GOTO 30;
N40 G01 X41;               (X 向退刀)
G0 X100 Z100;
M05;
M09;
M30;
程序 7 编程总结:

```

(1) 本程序是包含粗、精车的程序,适用于有大量毛坯余量的粗、精加工,具有一定的特色。如果是单一型面的加工,本程序的思路比较好;如果是复杂型面的加工,逻辑关系就会显得非常复杂,其中编程流程如图 4-3 所示。

(2) 通过 #103 号变量的设置把粗加工的余量平移出来,通过语句 IF[#103 GT 0]GOTO20 的判别,实现了分层切削,每次车削 2mm,车削的深度均匀。

(3) 通过判别语句 IF[#108 GT 40.5]GOTO90,只要刀具路径轨迹超过了毛坯直径值,使其返回到下一次切削的起点,余量再次减去 2mm,准备进行下一次的粗加工,有效避免了空切现象,大大提高了加工效率。

### 4.1.5 编程总结

(1) 本实例介绍了7种不同编程的思路,详细地介绍了宏程序在非圆型面中的应用,而且各个程序是由简单到复杂的渐进过程,并且本实例的思路不仅适合于椭圆类零件加工,对抛物线,双曲线,正、余弦函数曲线类零件的加工都具有重要的参考价值。

(2) 在非圆曲线的零件加工中,只要能列出曲线方程,找出其中的规律,通过合理的逻辑关系和控制语句就能实现宏程序编程。其中,用宏程序编写椭圆的方法很多,可以用解析方程编写,也可以用角度法(参数编程)编写。总的说来,在相同的设备条件和切削参数条件下,采用角度法编写应用比较多,用它车削出的椭圆表面粗糙度值比较均匀,相对循环周期比较短。

(3) 在用解析方程进行编程时,一般用Z轴方向做自变量,也可根据实际零件的形状(例如X向半轴大于Z向半轴)用X轴做自变量。

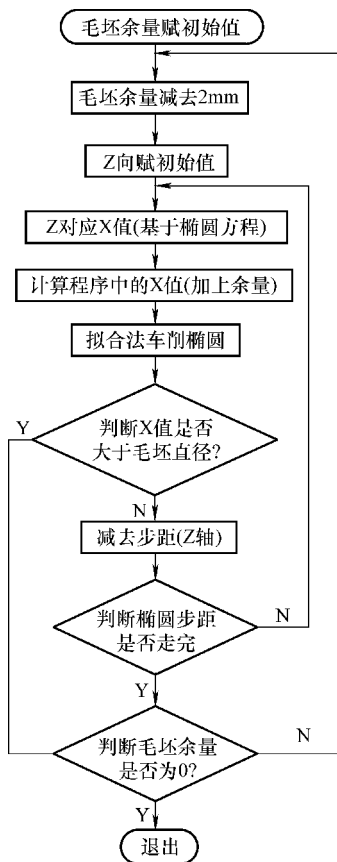


图 4-3 程序 7 的流程图

## 4.2 实例 4-2 车削左椭圆宏程序应用

### 4.2.1 零件图和加工内容

图 4-4 所示工件椭圆形状(左半边椭圆),材料为 45 钢,编制车削椭圆形状的宏程序。其中,该椭圆的解析方程为  $X^2/19^2 + Z^2/30^2 = 1$ ,该椭圆的中心座落在右侧端面上。

### 4.2.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯尺寸为  $\phi 40\text{mm} \times 70\text{mm}$ ,  $\phi 40\text{mm}$  外圆已经完成加工。

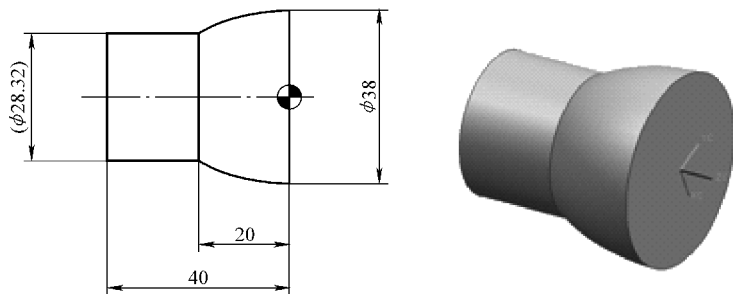


图 4-4 零件主要尺寸及其三维造型图

(2) 装夹方式：采用普通自定心卡盘；刀具：90°外圆精车刀（1 号刀），35°尖形车刀（2 号刀，注意刀具副偏角不能和已加工表面干涉，最好采用圆弧刀带半径补偿）；量具：采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺，专用椭圆样板。

(3) 制订表 4-2 所示的车削工序卡。

表 4-2 数控车削左侧椭圆的工序卡

| 工序 | 主要内容  | 设备   | 刀具       | 切削用量             |                  |             |
|----|-------|------|----------|------------------|------------------|-------------|
|    |       |      |          | 转速<br>/( r/min ) | 进给量<br>/( mm/r ) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 车削端面  | 数控车床 | 90°外圆精车刀 | 600              | 0.08             | 0.1         |
| 2  | 粗车椭圆弧 | 数控车床 | 35°尖形车刀  | 500              | 0.15             | 1           |
| 3  | 精车椭圆弧 | 数控车床 | 35°尖形车刀  | 600              | 0.08             | 0.5         |

### 4.2.3 编程思路和刀具路径规划

左椭圆的加工和右椭圆是有所区别的，车削右椭圆是先去除余量，然后再车削椭圆轮廓；而加工左椭圆是先车削一段椭圆轮廓，当刀具轨迹中的 X 值小于根据椭圆解析方程计算出来的 X 值时，走直线以去除大量余量，直到完成整个椭圆弧轮廓的车削，这种刀具路径设计思路可以参考图 4-5。

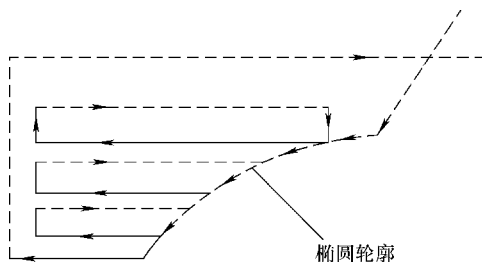


图 4-5 车削左椭圆的刀具路径思路

#### 4.2.4 数控程序及其注释

##### 程序 1：精加工左椭圆轮廓

|                                                        |                                                         |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| O4008;                                                 | (程序名)                                                   |
| T0101;                                                 | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)                                       |
| M03 S600;                                              | (主轴正转,转速为 600r/min)                                     |
| G0 X42 Z1 M08;                                         | (快速定位至毛坯右端面)                                            |
| G01 Z0 F0.2;                                           | (进给到 Z0 处)                                              |
| X -0.6 F0.08;                                          | (车削端面)                                                  |
| G0 X42 Z1;                                             | (快速退刀)                                                  |
| S500;                                                  | (改变主轴转速)                                                |
| #100 = 19;                                             | (椭圆短半轴为 19mm)                                           |
| #103 = 0.5;                                            | (步距)                                                    |
| N 10 #101 = 30 * SQRT[1 - [#100 *<br>#100]/[19 * 19]]; | (计算椭圆公式 X 对应的 Z 值)                                      |
| #102 = 2 * #100;                                       |                                                         |
| G01 X[#102]Z[-#101]F0.1;                               | (车削椭圆弧)                                                 |
| G01 Z -50;                                             | (车削直线)                                                  |
| U0.5;                                                  | (X 向退刀)                                                 |
| G0 Z[-#101];                                           | (Z 向退刀到上一次车削的终点)                                        |
| G01 U -0.5                                             |                                                         |
| #100 = #100 - #103;                                    | (每次减少一个步距)                                              |
| IF[#100 GT 10]GOTO10;                                  | (如果#100 大于 10,则跳转到 N10,<br>执行标号为 10 的程序段,否则<br>执行下一段程序) |
| G01 X41;                                               | (X 向退刀)                                                 |
| G0 X100;                                               | (X 向快速退刀)                                               |
| Z100;                                                  | (Z 向快速退刀)                                               |
| M05;                                                   |                                                         |
| M09;                                                   |                                                         |
| M30;                                                   |                                                         |
| 程序 1 编程总结:                                             |                                                         |

(1) 本程序的思路是根据公式计算 X 在椭圆公式中对应的 Z 值,利用直线



插补车削椭圆弧轮廓，当程序中的 X 值小于根据椭圆解析方程计算出来的 X 值时，直线插补去除大量余量，然后 X 向退刀，Z 向退刀到上一次车削椭圆弧的终点，减小一个步距，然后准备进行下一刀的车削，如此反复，直到完成整个零件的加工。本程序设计的流程如图 4-6 所示。

(2) 语句 G0 Z [-#101] 的作用：Z 向快速退刀到上一次车削椭圆弧的终点，这是个关键的坐标点，这样才能保证下一刀的起点是上一刀的终点。

(3) 变量 #103 = 0.5 是步距，在实际加工中粗加工可以适当大些，精加工时可以适当小些，具体情况可以酌情选择。

(4) 本程序主要针对椭圆轮廓的粗加工程序，没有涉及精加工轮廓。在本程序的基础上，增加两个变量 #105 = 0、#106 = 0，就可以完成整零件的粗、精加工。

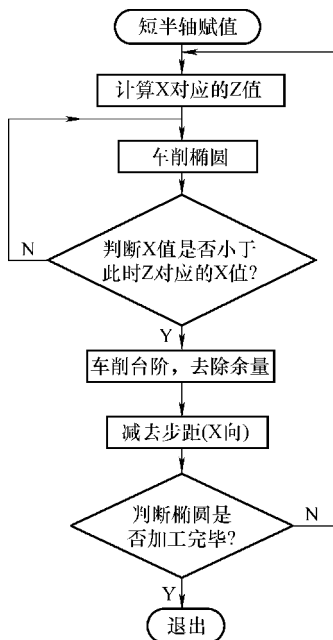


图 4-6 程序 1 流程图

#### 程序 2：带粗加工轮廓加工程序

|                |                      |
|----------------|----------------------|
| O4009;         | (程序名)                |
| T0101;         | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)    |
| M03 S600;      | (主轴正转, 转速为 600r/min) |
| G0 X42 Z1 M08; | (快速定位至毛坯右端面)         |
| G01 Z0 F0.2;   | (进给到 Z0 处)           |
| X -0.6 F0.08;  | (车削端面)               |
| G0 X100 Z100;  | (快速退刀)               |
| T0202;         |                      |
| S500 M08;      | (改变主轴转速)             |
| G0 X42 Z1;     | (快速定位至毛坯右端面)         |
| #100 = 19;     | (椭圆短半轴为 19mm)        |
| #103 = 0.5;    | (步距)                 |
| #104 = 1;      | (精加工余量为 1mm)         |
| #105 = 0;      | (判别变量)               |
| #106 = 0;      | (判别变量)               |

|                                                        |                          |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|
| N 10 #101 = 30 * SQRT[1 - [#100 *<br>#100]/[19 * 19]]; | (计算椭圆公式 X 对应的 Z 值)       |
| #102 = 2 * #100 + #104;                                | (计算程序中的 X 值)             |
| G01 X[#102]Z[-#101]F0.1;                               | (车削椭圆弧)                  |
| IF[#105 GT 0.5]GOTO20;                                 | (如果#105 大于 0.5,则跳转到 N20) |
| G01 Z - 50;                                            | (车削直线)                   |
| U0.5;                                                  | (X 向退刀)                  |
| G0 Z[-#101];                                           | (Z 向退刀到上一次车削的终点)         |
| G01 U - 0.5;                                           | (X 向进刀)                  |
| N20 #100 = #100 - #103;                                | (每次减少一个步距)               |
| IF[#100 GT 10]GOTO10;                                  | (如果#100 大于 10,则跳转到 N10)  |
| IF[#106 GT 0.5]GOTO30;                                 | (如果#106 大于 0.5,则跳转到 N30) |
| G01 X40;                                               | (X 向退刀)                  |
| Z1;                                                    | (Z 向退刀)                  |
| #104 = #104 - 1;                                       | (精车余量减掉)                 |
| #105 = #105 + 1;                                       | (#105 号变量加 1)            |
| #100 = 19;                                             | (#100 号变量重新赋值)           |
| #106 = #106 + 1;                                       | (#106 号变量加 1)            |
| IF[#105 GT 0.5]GOTO10;                                 | (如果#105 大于 0.5,则跳转到 N10) |
| N30 G01 X41;                                           | (X 向退刀)                  |
| G0 X100;                                               | (X 向快速退刀)                |
| Z100;                                                  | (Z 向快速退刀)                |
| M05;                                                   |                          |
| M09;                                                   |                          |
| M30;                                                   |                          |

程序 2 编程总结:

(1) 变量#104 = 1 设置精加工余量为 1mm,同时程序中的变量#100 = 19 和#100 必须重新赋值,原因是椭圆粗加工结束后, #100 号变量的值设置为 10mm。

(2) 本程序设置了变量#105、变量#106、语句 IF[#105 GT 0.5]GOTO10、语句 IF[#105 GT 0.5]GOTO20 和语句 IF[#106 GT 0.5]GOTO30,目的是为了能使程序顺利跳转,实现精加工椭圆轮廓。

(3) 本程序设计的流程图、刀具路径轨迹图可以参考本实例上述的程序 1。

程序 3：以 X 作为步距的加工程序

|                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| O4011;                         | (程序名)                      |
| T0101;                         | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)          |
| M03 S600;                      | (主轴正转,转速为 600r/min)        |
| G0 X42 Z1 M08;                 | (快速定位至毛坯右端面)               |
| G01 Z0 F0.2;                   | (进给到 Z0 处)                 |
| X -0.6 F0.08;                  | (车削端面)                     |
| G0 X100 Z100;                  | (快速退刀)                     |
| T0202;                         |                            |
| S500;                          | (改变主轴转速)                   |
| G0 X42 Z1;                     | (快速定位至毛坯右端面)               |
| #103 = 19;                     | (椭圆的短半轴为 19mm)             |
| #100 = 0.1;                    | (步距为 0.1mm)                |
| N10 #103 = #103 - #100;        | (#103 号变量每次减掉#100)         |
| #102 = #103;                   | (把#103 号变量赋值#10)           |
| N20 #101 = 30 * SQRT[1 - [#102 |                            |
| * #102]/[19 * 19]];            | (根据椭圆公式计算 X 对应的 Z 值)       |
| #104 = 2 * #102;               | (计算程序中的 X 值)               |
| G01 X[#104] Z[-#101] F0.1;     | (车削椭圆弧)                    |
| IF[-#101 LT 20] GOTO30;        | (如果 -#101 小于 20,则跳转到 N30)  |
| IF[#102 GE #103] GOTO20;       | (如果#102 大于等于#103,则跳转到 N20) |
| N30 G01 Z -50;                 | (车削直线,去除大量的余量)             |
| G0 U3;                         | (X 向快速退刀)                  |
| G0 Z [-#101];                  | (Z 向快速退刀到上一刀的切削终点)         |
| G0 U -2;                       | (X 向快速进刀 2mm)              |
| G01 U -1;                      | (X 向直线进刀 1mm,X 向进刀到上一次     |
|                                | 退刀的起点)                     |
| IF[-#101 GT -20] GOTO10;       | (如果 -#101 大于 -20,则跳转到 N10) |
| G01 X41;                       | (X 向 G01 直线退刀)             |
| G01 X100;                      | (X 向快速退刀)                  |
| Z100;                          | (Z 向快速退刀)                  |
| M05;                           |                            |
| M09;                           |                            |

M30;

程序3 编程总结:

(1) 语句 IF [ -#101 LT 20 ] GOTO30 中有关 -#101 的解释: 由于车削零件的左边椭圆轮廓, 编程原点和椭圆曲线方程的原点重合, 所 Z 值为负, 因而用 -#101 来判别。

(2) 语句 IF [ -#101GT -20 ] GOTO10 用来判别椭圆有没有车削完成; 语句 IF [ #102 GE #103 ] GOTO20 实现了动态判别, 具有一定的参考价值。

### 4.3 实例 4-3 车削凹椭圆宏程序应用

#### 4.3.1 零件图和加工内容

图 4-7 所示工件的中间部位为凹形椭圆形状, 材料为 45 钢, 编制车削椭圆形状的宏程序。其中, 该椭圆的解析方程为  $X^2/19^2 + Z^2/30^2 = 1$ , 椭圆中心距右侧端面的轴向距离为 40mm。

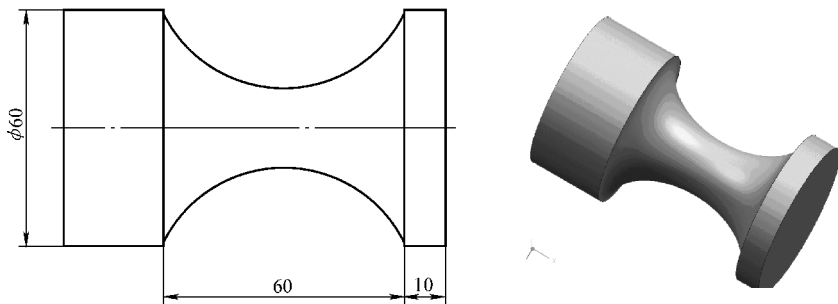


图 4-7 零件其主要尺寸及三维造型图

#### 4.3.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯为  $\phi 60\text{mm} \times 100\text{mm}$ , 其中  $\phi 60\text{mm}$  外圆已经完成加工。

(2) 装夹方式: 采用普通自定心卡盘, 夹持  $\phi 60\text{mm}$  的外圆; 刀具:  $90^\circ$  外圆精车刀 (1 号刀),  $35^\circ$  尖形车刀 (2 号刀); 量具: 采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺和凹椭圆对应的样板。

(3) 制订表 4-3 所示的车削工序卡。

表 4-3 数控车削凹椭圆的工序卡

| 工序 | 主要内容  | 设备   | 刀具       | 切削用量           |                |             |
|----|-------|------|----------|----------------|----------------|-------------|
|    |       |      |          | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 车削端面  | 数控车床 | 90°外圆精车刀 | 600            | 0.08           | 0.1         |
| 2  | 粗车椭圆弧 | 数控车床 | 35°尖形车刀  | 500            | 0.15           | 1           |
| 3  | 精车椭圆弧 | 数控车床 | 35°尖形车刀  | 600            | 0.08           | 0.5         |

4.3.3 编程思路和刀具路径规划

- (1) 本实例是车削凹形整体椭圆，采用的思路是用 X 值作为变化的步距，根据椭圆方程来计算 Z 值，在椭圆方程中心的右边，X 值是逐渐增加的，而在椭圆方程中心的左边，X 值是逐渐减小的。
- (2) 本实例编程思路和刀具路径规划可以借鉴前面同心圆法车削凹圆弧的方法。

4.3.4 数控程序及其注释

程序 1：精加工轮廓的程序

|                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| O4011;                  | (程序名)                     |
| T0101;                  | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)         |
| M03 S600;               | (主轴正转,转速为 600r/min)       |
| G0 X42 Z1 M08;          | (快速定位至毛坯右端面)              |
| G01 Z0 F0.2;            | (进给到 Z0 处)                |
| X -0.6 F0.08;           | (车削端面)                    |
| G0 X100 Z100;           | (快速退刀)                    |
| T0202;                  |                           |
| S500;                   | (改变转速)                    |
| G0 X42 Z1;              | (快速定位至毛坯右端面)              |
| #100 = 0;               | (设置#100 号,即短半轴,变量的初始值为 0) |
| #105 = 0;               | (判别变量)                    |
| #106 = 0;               | (判别变量)                    |
| #103 = 0.1;             | (设置步距的值为 0.1mm)           |
| N10 #100 = #100 + #103; | (#100 号变量每次累加#103 号变量的值)  |

```

#101 = 30 * SQRT[1 - [#100 * #100] /
  [19 * 19]];           (计算椭圆公式中 X 对应的 Z 值)
#102 = 60 - 2 * #100;    (计算该程序中的 X 值)
#107 = #101 - 40;        (计算该程序中的 Z 值)
IF[#105 LT 0.5] GOTO20;  (如果#105 小于 0.5,则跳转到 N20)
#101 = -#101;            ( #101 号变量重新赋值)
N20 G01 X[#102] Z[#107] F0.09; (车削椭圆弧)
IF[#106 GT 0.5] GOTO30;  (如果#106 大于 0.5,则跳转到 N30)
IF[#100 LT 19] GOTO10    (如果#100 小于 19,则跳转到 N10)
#103 = -#103;            ( #103 号变量重新赋值)
#105 = #105 + 1;         ( #105 号变量累加 1)
#106 = #106 + 1;         ( #106 号变量累加 1)
N30 IF[#100 GT 0] GOTO10; (如果#100 大于 0,则跳转到 N10)
G01 X41;                (X 向直线退刀)
G0 X100;                (X 向快速退刀)
  Z100;                 (Z 向快速退刀)
M05;
M09;
M30;

```

程序 1 编程总结:

(1) 本程序是车削凹椭圆轮廓的精加工程序, 只能应用于已经去除大量余量的精加工轮廓, 否则会产生扎刀。

(2) 由于是整体凹椭圆轮廓, 因此程序中 X 值应该设置为 $\#102 = 60 - 2 * \#100$ 。

(3) 设置 $\#103 = -\#103$ , 是因为在椭圆中心的右半边 X 值 (即短半轴) 是递增的, 而在椭圆中心左半边 X 值 (即短半轴) 是递减的; 同样道理, 设置 $\#101 = -\#101$ , 是因为在椭圆中心的右半边 Z 值 (即长半轴) 是正的, 而在椭圆中心的左半边 Z 值 (即长半轴) 是负的。

(4) 由于椭圆中心和编程原点不是同一个点, 距离相距 40mm, 所以设置了语句 $\#107 = \#101 - 40$ 。

(5) 判别语句 IF [#105 LT 0.5] GOTO20 是用来控制程序顺利跳转的。

#### 程序 2: 同心椭圆法

编程思路: 先车削一个小的起始椭圆, 然后逐渐加大椭圆的长短半轴, 慢慢逼近要加工的椭圆轮廓。

|                                       |                         |
|---------------------------------------|-------------------------|
| O4012;                                | (程序名)                   |
| T0101;                                | (调1号刀具以及1号刀补)           |
| M03 S600;                             | (主轴正转,转速为600r/min)      |
| G0 X62 Z1 M08;                        | (快速定位至毛坯右端面)            |
| G01 Z0 F0.2;                          | (进给到Z0处)                |
| X -0.6 F0.08;                         | (车削端面)                  |
| G0 X100 Z100;                         | (快速退刀)                  |
| T0202;                                |                         |
| S500;                                 | (改变转速)                  |
| G0 X42 Z1;                            | (快速定位至毛坯右端面)            |
| #103 = 1.9;                           | (起始椭圆短半轴的值)             |
| #104 = 3;                             | (起始椭圆长半轴的值)             |
| #106 = 0.5;                           | (椭圆的步距为0.5mm)           |
| WHILE[#103 LE 19] DO1;                | (如果#103号变量小于等于19mm,则在   |
|                                       | WHILE 和 END1 之间循环,否则跳   |
|                                       | 出循环执行 END1 的下一段程序)      |
| #101 = #104;                          | (把#104号变量的值赋给#101)      |
| #107 = #101;                          | (把#101号变量的值赋给#107)      |
| G0 Z[#104 - 40];                      | (Z向快速进刀到要加工的椭圆起点)       |
| N10 #101 = #101 - #106;               | (#101号变量每次自减0.5mm)      |
| #100 = #103 * SQRT[1 - [#101 * #101 / |                         |
| [#104 * #104]]];                      | (计算椭圆方程Z对应的X值)          |
| #105 = 60 - 2 * #100;                 | (计算程序中的X值)              |
| #106 = #101 - 40;                     | (计算程序中的Z值)              |
| G01 X#105 Z#106 F0.12;                | (车削椭圆弧)                 |
| IF[#101 GT -#107] GOTO10;             | (如果#101大于-#107,则跳转到N10) |
| G0 U1;                                | (X向退刀)                  |
| #103 = #103 + 1.9;                    | (#103号变量每次增加1.9mm)      |
| #104 = #104 + 3;                      | (#104号变量每次增加3mm)        |
| G0 Z[#104 - 40];                      | (Z向快速进刀到下一个要加工的椭圆起点)    |
| G01 U -1;                             | (G01直线进刀到上次的退刀点)        |
| END1;                                 |                         |

```

G01 X62;           (X 向 G01 退刀)
G0 X100;           (X 向快速退刀)
  Z100;            (Z 向快速退刀)
M05;
M09;
M30;

```

程序 2 编程总结:

(1) 本程序采用同心椭圆方法车削凹椭圆轮廓的程序, 也包含粗加工程序。该程序的思路大概为: 先把椭圆长短半轴分为均匀的 10 等份, 先车削一个小椭圆轮廓, 然后逐渐增加椭圆的长短半轴值, 慢慢逼近最终椭圆的轮廓。

(2) 由于每次车削凹椭圆的长短半轴都不一样, 采用 IF [#101GT - #107] GOTO10 这个判别语句实现动态变化; 语句 G0 Z [#104 - 40] 是控制每次 Z 向的进刀点; 语句 #106 = 0.5 在实际加工中可以适当增大和减少, 根据实际情况选用步距值; 语句 #101 = #104 实现了椭圆 Z 向距离的动态变化。

(3) 本程序设计的流程如图 4-8 所示, 对应的刀具路径设计如图 4-9 所示。

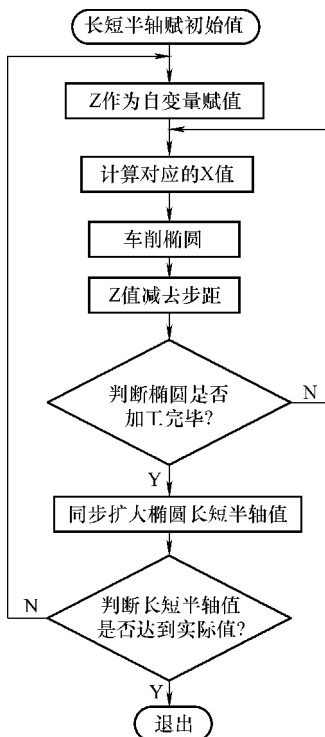


图 4-8 程序 2 设计流程图

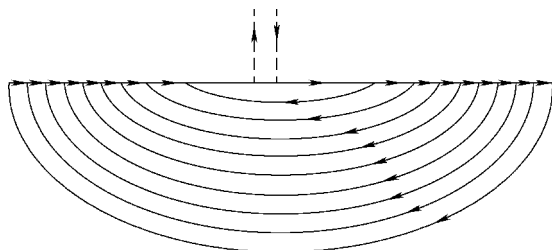


图 4-9 程序 2 刀具路径设计



## 4.4 实例 4-4 车削整椭圆宏程序应用

### 4.4.1 零件图和加工内容

图 4-10 所示工件的右侧为完整椭圆形状，材料为 45 钢，编制车削完整椭圆轮廓的宏程序。其中，该椭圆的解析方程为  $X^2/19^2 + Z^2/30^2 = 1$ 。

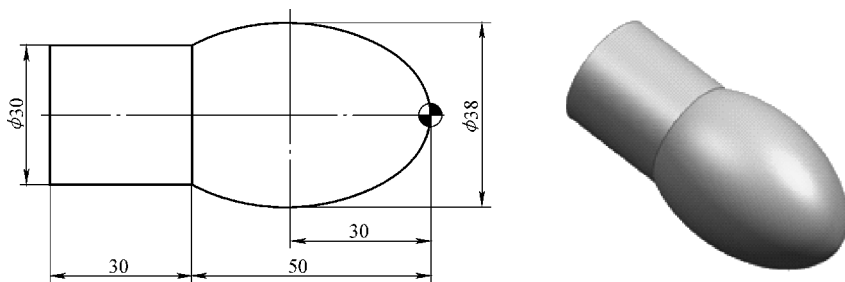


图 4-10 零件图主要尺寸及三维造型图

### 4.4.2 工艺分析和加工路线

- (1) 确定加工毛坯尺寸为  $\phi 38\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，其中外圆已经加工。
- (2) 装夹方式：采用普通自定心卡盘；刀具： $90^\circ$ 外圆精车刀（1 号刀）， $35^\circ$ 尖形车刀（2 号刀）；量具：采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺，专用椭圆样板。
- (3) 制订表 4-4 所示车削工序卡。

表 4-4 数控车削整椭圆的工序卡

| 工 序 | 主要内容  | 设 备  | 刀 具              | 切 削 用 量        |                |             |
|-----|-------|------|------------------|----------------|----------------|-------------|
|     |       |      |                  | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1   | 车削端面  | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆精车刀 | 600            | 0.08           | 0.1         |
| 2   | 粗车椭圆弧 | 数控车床 | $35^\circ$ 尖形车刀  | 500            | 0.15           | 1           |
| 3   | 精车椭圆弧 | 数控车床 | $35^\circ$ 尖形车刀  | 500            | 0.15           | 0.5         |

### 4.4.3 编程思路和刀具路径规划

- (1) 由于本实例加工零件的形状是过中心的整椭圆，采用的编程思路是用

X 值作为步距，控制 Z 向走刀的方法。

(2) 先粗车削右面半个椭圆轮廓，再车削左面半个椭圆轮廓，留 1mm 的精车余量，然后车削整个的加工轮廓。

#### 4.4.4 数控程序及其注释

程序 1：X 作为步距走 Z 的精加工轮廓

|                                      |                          |
|--------------------------------------|--------------------------|
| O4013;                               | (程序名)                    |
| T0101;                               | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)        |
| M03 S600;                            | (主轴正转,转速为 600r/min)      |
| G0 X42Z1 M08;                        | (快速定位至毛坯右端面)             |
| G01 Z0 F0.2;                         | (进给到 Z0 处)               |
| X -0.6 F0.08;                        | (车削端面)                   |
| G0 X100 Z100;                        | (快速退刀)                   |
| T0202;                               | (调 2 号刀具以及 2 号刀补)        |
| S500;                                | (改变转速)                   |
| G0 X42 Z1;                           | (快速定位至毛坯右端面)             |
| #100 = 0;                            | (设置#100 号变量初始值)          |
| #105 = 0;                            | (判别变量)                   |
| #106 = 0;                            | (判别变量)                   |
| #103 = 0.1;                          | (步距为 0.1mm)              |
| N10 #100 = #100 + #103;              | (#100 号变量每次增加值为#103 值)   |
| #101 = 30 * SQRT[1 - [#100 * #100] / |                          |
| [ * 19 * 19 ]];                      | (计算椭圆公式中 X 对应的 Z 值)      |
| #108 = 2 * #100;                     | (计算程序中的 X 值)             |
| #109 = #101 - 30;                    | (计算程序中的 Z 值)             |
| IF[ #105 LT 0.5 ] GOTO20;            | (如果#105 小于 0.5,则跳转到 N20) |
| #101 = -#101;                        | (#101 号变量重新赋值)           |
| N20 G01 X[#108] Z[#109] 0.12;        | (车削椭圆弧)                  |
| IF[ #106 GT 0.5 ] GOTO30;            | (如果#106 大于 0.5,则跳转到 N30) |
| IF[ #100 LT 19 ] GOTO10;             | (如果#100 小于 19,则跳转到 N10)  |
| #103 = -#103;                        | (#103 号变量重新赋值为 -#103)    |
| #105 = #105 + 1;                     | (#105 号变量每次增加 1)         |
| #106 = #106 + 1;                     | (#106 号变量每次增加 1)         |

```

N30 IF[#100 GT 10] GOTO10;      (如果#100 大于 10,则跳转到 N10)
G01 X30 Z-50;                  (车削椭圆弧,防止椭圆没有车削完)
    Z-60;
G01 X41;                      (X 向 G01 直线退刀)
G0 X100;                      (X 向快速退刀)
    Z100;                      (Z 向快速退刀)
M05;
M09;
M30;

```

程序 1 编程总结:

(1) 本实例是加工过椭圆中心的整个椭圆轮廓,在椭圆中心的右面 X 轴(短半轴)是逐渐增大的,而在椭圆中心的左面 X 轴(短半轴)是逐渐减小的,所以#103 变量需要重新赋值,且为负值;在椭圆中心的右面 Z 轴(长半轴)是正的,而在椭圆中心的左面 Z 轴(长半轴)是负的,所#101 变量需要重新赋值,且一定要负值。

(2) 语句#109 = #101 - 30 的作用:轴向的编程原点和椭圆中心不是同一个点,需要采用平移法,将椭圆中心和编程原点移到同一个点上,两者相距为 30mm

(3) 语句 IF [#105 LT 0.5] GOTO20 和 IF [#106 GT 0.5] GOTO30 实现了程序的跳转。

(4) 本程序是精加工轮廓的程序,适用于已经去除大量毛坯余量的轮廓,否则会产生扎刀。

本实例可以应用粗车切削循环指令 G72 和精车循环指令 G70 来实现粗、精车加工。

#### 程序 2: 采用 G72 指令进行编程

```

O4014;                        (程序名)
T0101;                        (调 1 号刀具及 1 号刀补)
M03 S600;                    (主轴正转,转速为 600r/min)
G0 X42 Z1 M08;                (快速定位至毛坯右端面)
G01 Z0 F0.2;                  (进给到 Z0 处)
    X-0.6 F0.08;              (车削端面)
G0 Z100 X100 M09;            (快速退刀)
T0202;                        (调 2 号刀具以及 2 号刀补)

```

|                                                     |                                                          |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| S500 M08;                                           | (改变主轴转速)                                                 |
| #100 = 30;                                          | (短半轴的 X 值)                                               |
| #106 = 0.5;                                         | (步距)                                                     |
| #107 = 0;                                           | (判别变量)                                                   |
| N10 #100 = #100 - #106;                             | (#100 号变量每次减少#106 的值)                                    |
| IF[#107 GT 0.5] GOTO30;                             | (如果#107 大于 0.5,则跳转到 N10,<br>执行标号为 10 的程序段,否则执行<br>下一段程序) |
|                                                     |                                                          |
| #101 = 19 * SQRT[1 - [#100 * #100] /<br>[30 * 30]]; | (计算椭圆公式 Z 对应的 X 值)                                       |
| #105 = 2 * #101;                                    | (计算程序中的 X 值)                                             |
| #104 = #100 - 30;                                   | (计算程序中的 Z 值)                                             |
| G01 X[#105] Z[#104] F0.15;                          | (车削椭圆弧)                                                  |
| G0 W0.5;                                            | (Z 向退刀)                                                  |
| X42;                                                | (X 向退刀)                                                  |
| IF[#100 GT -30] GOTO10;                             | (如果#100 大于 -30,则跳转到 N10)                                 |
| #107 = #107 + 1;                                    | (#107 号变量每次增加 1)                                         |
| N30 G01 X#105;                                      | (车削直线)                                                   |
| IF[#100 GT -40] GOTO10;                             | (如果#100 大于 -40,则跳转到 N10)                                 |
| G01 X42;                                            | (直线退刀)                                                   |
| G0 X100;                                            | (X 向快速退刀)                                                |
| Z100;                                               | (Z 向快速退刀)                                                |
| M05;                                                |                                                          |
| M09;                                                |                                                          |
| M30;                                                |                                                          |

程序 2 编程总结:

(1) 本程序采用了循环指令 G72 编程思路,但由于是径向切削,径向受力较大,工件加工时容易产生振动。

(2) 本程序的编程适用于径向余量较大、轴向距离较短以及两个台阶外圆尺寸相差较大的场合,即盘类零件的车削加工。

#### 程序 3: 先车右面,再车左面

编程思路:先去除右面半个椭圆大量的毛坯余量,再去除左半个椭圆的毛坯余量,最后走整个精加工的轮廓。

|                                                               |                       |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------|
| O4015;                                                        | (程序名)                 |
| T0101;                                                        | (调1号刀具以及1号刀补)         |
| M03 S600;                                                     | (主轴正转,转速为600r/min)    |
| G0 X42 Z1 M08;                                                | (快速定位至毛坯右端面)          |
| G01 Z0 F0.2;                                                  | (进给到Z0处)              |
| X -0.6 F0.08;                                                 | (车削端面)                |
| G0 Z100 X100 M09;                                             | (快速退刀)                |
| T0202;                                                        | (调2号刀具以及2号刀补)         |
| S500 M08;                                                     | (改变主轴转速)              |
| G0 X42 Z1;                                                    | (快速退刀)                |
| #105 = 0;                                                     | (判别变量)                |
| #106 = 1;                                                     | (背吃刀量)                |
| #107 = 0;                                                     | (判别变量)                |
| #108 = 0;                                                     | (判别变量)                |
| #110 = 0;                                                     | (判别变量)                |
| #112 = 0;                                                     | (背吃刀量)                |
| N50 #100 = 20;                                                | (毛坯余量初始值)             |
| N10 #100 = #100 - #106;                                       | (#100号变量每次减少#106号变量)  |
| IF[ #107 GT 0.5 ] GOTO20;                                     | (如果#107大于0.5,则跳转到N20) |
| G0 X[ 2 * #100 + #112 ];                                      | (进刀)                  |
| N20 #101 = 30 * SQRT[ 1 - [ #100 *<br>#100 ] / [ 19 * 19 ] ]; | (计算Z的值基于椭圆公式)         |
| IF[ #108 GT 0.5 ] GOTO40;                                     | (如果#108大于0.5,则跳转到N40) |
| IF[ #107 GT 0.5 ] GOTO70;                                     | (如果#107大于0.5,则跳转到N70) |
| IF[ #105 GT 0.5 ] GOTO40;                                     | (如果#105大于0.5,则跳转到N40) |
| G01 Z[ #101 - 30 ] F0.12;                                     | (车削)                  |
| G0 U1;                                                        | (径向退刀)                |
| Z1;                                                           | (轴向退刀)                |
| G0 U -1;                                                      | (径向进刀到上次的退刀点)         |
| IF[ #100 GT 0 ] GOTO10;                                       | (如果#100大于0,则跳转到N10)   |
| #105 = #105 + 1;                                              | (#105号变量自加1)          |
| IF[ #105 GT 0.5 ] GOTO50;                                     | (如果#105大于0.5,则跳转到N50) |
| N40 #101 = - #101;                                            | (#101号变量重新赋值)         |

|                                      |                            |
|--------------------------------------|----------------------------|
| #112 = 2;                            | (#112 号变量赋值)               |
| IF[ #108GT0.5 ] GOTO70;              | (如果#108 大于 0.5 ,则跳转到 N70)  |
| G01Z[ #101 - 30 ];                   | (车削)                       |
| G01 Z - 60;                          | (车削)                       |
| G0 U1;                               | (径向退刀)                     |
| G0 Z[ #101 - 30 ];                   | (轴向进刀到上次的退刀点)              |
| G0 U - 1;                            | (径向进刀到上次的退刀点)              |
| N60 IF[ #100GT15 ] GOTO10;           | (如果#100 大于 15 ,则跳转到 N10)   |
| #110 = #110 + 1;                     | (#110 号变量自加 1)             |
| IF[ #110 GT 2 ] GOTO80;              | (如果#110 大于 2 ,则跳转到 N80)    |
| G01 X42;                             | (径向退刀)                     |
| G0 Z0;                               | (轴向退刀)                     |
| X1;                                  | (径向进刀)                     |
| G01 X0;                              | (径向进刀)                     |
| #100 = 0;                            | (#100 号变量重新赋值)             |
| #106 = -0.1;                         | (#106 号变量重新赋值)             |
| #107 = 107 + 1;                      | (#107 号变量自加 1)             |
| IF[ #107 GT 0.5 ] GOTO10;            | (如果#107 大于 0.5 ,则跳转到 N10)  |
| N70 G01 X[ 2 * #100 ] Z[ #101 - 30 ] |                            |
| F0.15;                               | (车削椭圆弧)                    |
| IF[ #108 GT 0.5 ] GOTO60;            | (如果#108 大于 0.5 ,则跳转到 N60)  |
| IF[ #100 LE 18.9 ] GOTO10;           | (如果#100 小于 18.9 ,则跳转到 N10) |
| #108 = #108 + 1;                     | (#108 号变量自加 1)             |
| #106 = 0.1;                          | (#106 号变量重新赋值)             |
| #110 = #110 + 1;                     | (#110 号变量自加 1)             |
| #112 = #112 - 2;                     | (#112 号变量自减 2)             |
| IF[ #108 GT 0.5 ] GOTO10;            | (如果#108 大于 0.5 ,则跳转到 N10)  |
| N80 G01 X42;                         | (直线退刀)                     |
| G0 X100;                             | (X 向快速退刀)                  |
| Z100;                                | (Z 向快速退刀)                  |
| M05;                                 |                            |
| M09;                                 |                            |
| M30;                                 |                            |

程序 3 编程总结:

(1) 先去除右面半个椭圆大量的毛坯余量,然后再去除左半面椭圆的毛坯余量,最后精加工整个轮廓。

(2) 使用 X 方向的坐标值作为步距,在实际中粗加工的步距可以适当放大,精加工的步距可以适当放小,但是要注意步距设置的合理性,否则会出现报警,FANUC Oi-TC 系统的报警号为 119,内容为指定引数错误。

(3) 变量#105 = 0 和 #110 = 0 设置的目的是使程序顺利实现跳转。

(4) 由于椭圆已经过中心,设置#101 = - #101 的原因是:在椭圆中心的右半面 Z 值(即长半轴)是正的,而在椭圆中心的左半面 Z 值(即长半轴)是负的。

#### 程序 4: 对称车削整个椭圆

|                                          |                           |
|------------------------------------------|---------------------------|
| O4016;                                   | (程序名)                     |
| T0101;                                   | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)         |
| M03 S600;                                | (主轴正转,转速为 600r/min)       |
| G0 X42 Z1 M08;                           | (快速定位至毛坯右端面)              |
| G01 Z0 F0.2;                             | (进给到 Z0 处)                |
| X -0.6 F0.08;                            | (车削端面)                    |
| G0 Z100 X100 M09;                        | (快速退刀)                    |
| T0202;                                   | (调 2 号刀具以及 2 号刀补)         |
| S500 M08;                                | (改变主轴转速)                  |
| G0 X42 Z1;                               | (快速退刀)                    |
| #103 = 39;                               | (毛坯余量,含 1mm 精车余量))        |
| #104 = 0.2;                              | (进给率赋值)                   |
| N20 #102 = 30;                           | (椭圆长半轴值为 30mm)            |
| #105 = 0.5;                              | (步距值为 0.5mm)              |
| N10 #101 = 19 * SQRT[1 - [#102 * #102] / |                           |
| [30 * 30]];                              | (计算基于椭圆公式的 X 值)           |
| #106 = 2 * #101 + #103;                  | (计算程序中的 X 值)              |
| #107 = #102 - 30;                        | (计算程序中的 Z 值)              |
| G01 X[#106] Z[#107] F[#104];             | (车削椭圆弧)                   |
| IF[#102 LE 20] GOTO50;                   | (如果#102 小于等于 20,则跳转到 N50) |
|                                          | N50)                      |
| IF[#106 GT 40] GOTO40;                   | (如果#106 大于 40,则跳转到 N40)   |
| GOTO 60;                                 | (无条件跳转到 N60)              |

|                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| N50 IF[#106 LE 40] GOTO60; | (如果#106 小于等于 40,则跳转到 N60)  |
| N40 IF[#102 LE 0] GOTO60;  | (如果#102 小于等于 0,则跳转到 N60)   |
| G00 Z[ -#102 -30];         |                            |
| #102 = -#102;              | (#102 号变量重新赋值)             |
| N60 #102 = #102 - #105;    | (每次减去步距的值)                 |
| IF[#102 GE -20] GOTO10;    | (如果#102 大于等于 -20,则跳转到 N10) |
| G01 Z -60;                 | (车削)                       |
| X41;                       | (X 向退刀)                    |
| G00 Z0.5;                  | (轴向退刀)                     |
| X#103;                     | (径向进刀)                     |
| G0 U[ -2 * #101];          | (径向进刀)                     |
| G01 Z0;                    |                            |
| #103 = #103 -2;            | (余量每次自减 2mm)               |
| IF[#103 GT 0.5] GOTO20;    | (如果#103 大于 0.5,则跳转到 N20)   |
| IF[#103 LT -1.5] GOTO30;   | (如果#103 小于 -1.5,则跳转到 N30)  |
| #102 = 30;                 | (#102 号变量重新赋值)             |
| #104 = 0.05;               | (#104 号变量重新赋值)             |
| #103 = 0;                  | (#103 号变量重新赋值)             |
| S600;                      | (改变主轴转速)                   |
| GOTO10;                    | (无条件跳转到 N10,则执行标号 10 的程序段) |
| N30 G0 X100;               | (X 向快速退刀)                  |
| Z100;                      | (Z 向快速退刀)                  |
| M05;                       |                            |
| M09;                       |                            |
| M30;                       |                            |

#### 程序4 编程总结:

(1) 本程序的关键是把余量平移出来,再精加工轮廓,当刀具轨迹超过毛坯直径时就会跳转,余量减去背吃刀量,如此反复循环,直至完成零件加工。



(2) 椭圆中心的左面和右面轮廓不是对称的，本程序的思路是先车削右面的椭圆轮廓，使椭圆轮廓变为对称，再车削整个椭圆轮廓。

(3) 由于椭圆已经过中心，设置 $\#102 = -\#102$ 的作用：使在椭圆中心的右半面 Z 值（即长半轴）是正的，而在椭圆中心的左半面 Z 值（即长半轴）是负的。

## 4.5 实例 4-5 车削椭圆内孔的宏程序应用

### 4.5.1 零件图和加工内容

图 4-11 所示工件内孔为椭圆形状，材料为 45 钢，编制车削椭圆内孔的宏程序。其中，该椭圆的解析方程为  $X^2/19^2 + Z^2/30^2 = 1$ ，椭圆中心落在右端面上，大端椭圆孔径为  $\phi 38\text{mm}$ ，小端孔径为  $\phi 21\text{mm}$ 。

### 4.5.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯尺寸为  $\phi 100\text{mm} \times 50\text{mm}$ ， $\phi 100\text{mm}$  外圆已经完成加工。

(2) 装夹方式：采用普通自定心卡盘（软爪）；刀具： $90^\circ$  外圆粗车刀（1 号刀），中心钻（2 号刀）， $\phi 20\text{mm}$  钻头（3 号刀），通孔镗孔刀（4 号刀），割断刀（5 号刀）；量具：采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺，内孔百分表。

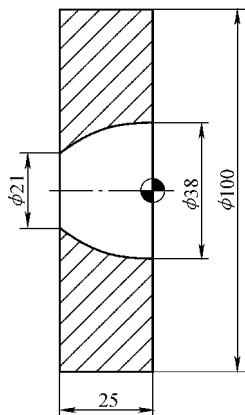


图 4-11 零件主要尺寸

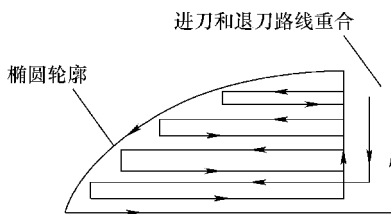


图 4-12 车削椭圆内孔的刀具路径

(3) 制订表 4-5 所示的车削工序卡。

表 4-5 数控车削椭圆内孔的工序卡

| 工序 | 主 要 内 容   | 设 备  | 刀 具      | 切 削 用 量           |                    |                |
|----|-----------|------|----------|-------------------|--------------------|----------------|
|    |           |      |          | 转 速<br>/( r/min ) | 进 给 量<br>/( mm/r ) | 背 吃 刀 量<br>/mm |
| 1  | 车削端面      | 数控车床 | 90°外圆粗车刀 | 600               | 0.08               | 0.1            |
| 2  | 钻中心孔      | 数控车床 | 中心钻      | 800               | 0.15               | 2              |
| 3  | 钻 φ20mm 孔 | 数控车床 | φ20 钻头   | 300               | 0.15               | 1              |
| 4  | 粗、精镗孔     | 数控车床 | 通孔镗孔刀    | 500               | 0.15               | 1/0.5          |
| 5  | 切断        | 数控车床 | 割断刀      | 500               | 0.04               | —              |

4.5.3 编程思路和刀具路径规划

本实例可以采用两个编程思路来实现宏程序：一是参考 G71 指令的编程思路，粗加工时采用直线走刀车削台阶以去除大量余量，精加工时车削内椭圆轮廓，该思路的刀具路径设计可以参考第 3 章的图 3-9；二是精加工轮廓时将 G71 和 G70 两个循环指令相结合来实现精加工。

4.5.4 数控程序及其注释

程序 1：仿照 G71 思路进行宏程序编程

O4017;

(程序名)

T0101;

(调 1 号刀具以及 1 号刀补)

M03 S600;

(主轴正转,转速为 600r/min)

G0 X102 Z1 M08;

(快速定位至毛坯右端面)

G01 Z0 F0.2;

(进给到 Z0 处)

X -0.6 F0.08;

(车削端面)

G0 Z100 X150;

(快速退刀)

T0202;

(调 2 号刀具以及 2 号刀补,钻中心孔)

M03 S800 M08;

(改变转速)

G0 X102 Z1;

(快速定位至毛坯右端面)

G0 X0;

(X 向进刀)

G01 Z -3 F0.12;

(钻深 3mm,以便直径 20mm 的钻头定

中心)

G0 Z100 M09;

(Z 向快速退刀,关闭切削液)

X150;

(X 向快速退刀)

|                                                    |                          |
|----------------------------------------------------|--------------------------|
| T0303;                                             | (调3号刀具以及3号刀补,钻孔)         |
| S300 M03 M08;                                      | (主轴正转,转速为350r/min,打开切削液) |
| G0 X0 Z1;                                          | (快速定位到X0 Z1处)            |
| #100 = 0;                                          | (设置#100变量的初始值为0)         |
| N10 #100 = #100 - 2;                               | (#100号变量每次背吃刀量2mm)       |
| G01 Z[#100] F0.15;                                 | (钻入)                     |
| G0 Z2;                                             | (退刀以利于断屑,减少刀具磨损)         |
| Z[#100 + 0.5];                                     | (进刀到离上次退刀点0.5mm处)        |
| IF[#100 GT -30] GOTO10;                            | (如果#100大于-30,则跳转到N10)    |
| G0 Z100;                                           | (刀具退到工件外面)               |
| X150;                                              | (快速退刀到换刀点)               |
| T0404;                                             | (调4号刀具以及4号刀补)            |
| M03 S500 M08;                                      | (主轴正转,转速为500r/min,打开切削液) |
| G0 X20 Z1;                                         | (快速定位到X20 Z1处)           |
| #101 = 10;                                         | (内孔底径)                   |
| #104 = 1;                                          | (步距)                     |
| #105 = 0;                                          | (判别变量)                   |
| N20#101 = #101 + #104;                             | (#101号变量每次增加#104号变量的值)   |
| #103 = 2 * #101;                                   | (计算#103号变量的值,X进刀)        |
| Z1;                                                |                          |
| IF[#105 GT 0.5] GOTO30;                            | (如果#105大于0.5,则跳转到N30)    |
| G0 X[#103];                                        | (进刀到X#103处)              |
| N30 #102 = 30 * SQRT[1 - [#101 * #101]/[19 * 19]]; | (计算基于椭圆公式的Z值)            |
| IF[#105 GT 0.5] GOTO40;                            | (如果#105大于0.5,则跳转到N40)    |
| G01Z[-#102] F0.15;                                 | (车削)                     |
| G0 U-1;                                            | (径向退刀)                   |
| Z1;                                                | (轴向退刀)                   |
| IF[#101 LT 19] GOTO20;                             | (如果#101小于19,则跳转到N20)     |
| #104 = -0.1;                                       | (#104变量重新赋值)             |

```

#105 = #105 + 1;           ( #105 变量加 1 )
N40 G01 X#103 Z [ - #102 ] F0.08; ( 车削椭圆弧 )
IF[ #101GT 10.5 ] GOTO20; ( 如果#101 大于 10.5,则跳转到 N20 )
G0 X18;                    ( 径向退刀 )
    Z100;                  ( 轴向退刀 )
G0 X150;                   ( 快速退刀 )
M05;
M09;
M30;
程序 1 编程总结:

```

(1) 本程序参考 G71 指令来车削椭圆内孔,粗加工走直线方式,精加工走椭圆弧轮廓,利用椭圆公式计算 X 对应的 Z 值,也可以留 0.5mm 为精加工余量,确保粗加工时不会过切。刀具路径设计示意如图 4-12 所示。

(2) 由于车削椭圆内孔,注意退刀方向应为 X 负方向。

(3) 因为编程原点和椭圆方程的中心点是同一个点,并且车削的是椭圆的左面,因此程序中设置 Z 值变量为 [ - #102 ]。

(4) 粗车削椭圆内轮廓时,刀具路径 X 值是由小到大进行车削的;而精加工时是由大到小进行车削的,因此#104 变量需要重新赋值,且为负值。

**程序 2: 把精加工轮廓带进 FANUC 系统的 G71 指令中,并利用 G70 指令实现精加工**

```

O4018;                     ( 程序名 )
T0101;                     ( 调 1 号刀具以及 1 号刀补 )
M03 S600;                  ( 主轴正转,转速为 600r/min )
G0 X102 Z1 M08;            ( 快速定位至毛坯右端面,检测对刀 )
G01 Z0 F0.2;               ( 进给到 Z0 处 )
    X -0.6 F0.08;          ( 车削端面 )
G0 X150 Z100;              ( 快速退刀 )
T0202;                     ( 调 2 号刀具以及 2 号刀补 )
M03 S500 M08;              ( 改变主轴转速 )
G0 X0 Z2;                  ( 快速定位至毛坯右端面 )
G01 Z -3 F0.12;            ( 钻深 3mm,便于 φ20mm 的钻头定中心 )
G0 Z100;                   ( Z 向快速退刀,关闭切削液 )

```

|                                                   |                           |
|---------------------------------------------------|---------------------------|
| X150;                                             | (X 向快速退刀)                 |
| T0303;                                            | (调 3 号刀具以及 3 号刀补)         |
| M03 S300 M08;                                     | (主轴正转,转速为 300r/min,打开切削液) |
| G0 X0 Z5;                                         | (快速定位到 X0 Z5 处)           |
| #100 = 0;                                         | (设置#100 号变量的初始值为 0)       |
| N10 #100 = #100 - 2;                              | (#100 号变量每次减少 2mm)        |
| G01 Z[#100] F0.15;                                | (钻入)                      |
| G0 Z2;                                            | (退刀以利于断屑,减少刀具磨损)          |
| Z[#100 + 0.5];                                    | (进刀到离上次退刀点 0.5mm 处)       |
| IF[#100 GT -30] GOTO10;                           | (如果#100 大于 -30,则跳转到 N10)  |
| G0 Z100;                                          | (刀具退到工件外面)                |
| X150;                                             | (快速退刀到换刀点)                |
| T0404;                                            | (调 4 号刀具以及 4 号刀补)         |
| M03 S500 M08;                                     | (主轴正转,转速为 500r/min,打开切削液) |
| G0 X20 Z3;                                        | (快速定位到 X20 Z3 处)          |
| G71 U1 R0.5;                                      | (背吃刀量为 1mm)               |
| G71 P30 Q40 U0.5 W0 F0.12;                        | (X 向的精车余量为 1mm)           |
| N30 G01 X38;                                      | (第一句必须是 X 的移动)            |
| Z0;                                               | (走到 Z0 的位置)               |
| #101 = 0;                                         | (设置#101 号变量的初始值为 0)       |
| #103 = 0.1;                                       | (设置#103 号变量的初始值为 0.1)     |
| N20 #101 = #101 - #103;                           | (#101 号变量每次减掉#103 号变量的值)  |
| #102 = 19 * SQRT[1 - [#101 *<br>#101]/[30 * 30]]; | (计算基于椭圆计算公式 Z 对应的 X 值)    |
| #104 = 2 * #102;                                  | (计算工件中的 X 值)              |
| G01 X[#104] Z[-#101] F0.12;                       | (粗车削椭圆弧)                  |
| IF[#101 GT -25] GOTO20;                           | (如果#101 大于 -25,则跳转到 N10)  |
| N40 X20;                                          | (内孔直径)                    |
| G0 Z1;                                            | (刀具退到工件外面)                |
| G70 P30 Q40 M08;                                  | (精加工程序)                   |
| G0 Z100;                                          | (轴向快速退刀)                  |
| X150;                                             | (径向快速退刀)                  |
| M05;                                              | (主轴停止)                    |

M09; (切削液关闭)  
M30; (程序结束,并返回到程序开始)

程序2 编程总结:

(1) 在 FANUC 系统的 G71 循环指令中,其中的顺序号“NS”程序段必须沿 X 向进刀且不能是 X 和 Z 的同时移动,否则会出现报警:

N10 G01 X30; (是正确的 NS 程序段)  
N10 G01 X30 Z0; (是错误的,因为 NS 程序段出现了 Z 向移动)

(2) 关于 G71 镗内孔 G71 U1 R0.5 中 U 值为正还是负呢?一般认为车削外圆为正值,镗内孔是负值,但仔细查阅 FANUC Oi-TC 系统使用手册后得知,车削内孔时的 U 值也为正。可见:编程人员在实际进行编程时,一定要严格按照数控系统说明书指定的格式进行编程,不能按照经验和相关书籍介绍的格式进行编程,否则会出错。

(3) 精车循环指令 G70 专用于 G71、G72 和 G73 指令之后。

(4) 本实例是椭圆内孔宏程序的应用,但是对正弦曲线、抛物线、双曲线等轮廓加工编制宏程序也有参考价值。

## 4.6 实例 4-6 车削旋转椭圆宏程序应用

### 4.6.1 零件图和加工内容

图 4-13 所示工件右侧为一段旋转(逆时针)的椭圆,其中长轴直径为 60mm,短轴直径为 40mm,长半轴轴线绕 Z 轴旋转了  $10^\circ$ ,工件材料为 45 钢,编制车削旋转椭圆的宏程序,其中该椭圆的解析方程为  $X^2/20^2 + Z^2/30^2 = 1$ 。

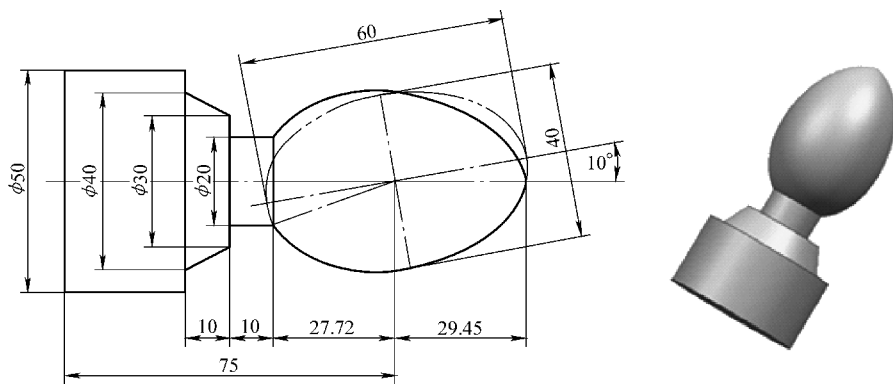


图 4-13 零件主要尺寸及三维造型图

### 4.6.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯尺寸为  $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，其中  $\phi 50\text{mm}$  外圆已经完成加工。

(2) 装夹方式：采用普通自定心卡盘；刀具： $90^\circ$ 外圆粗车刀（1号刀）， $35^\circ$ 尖形车刀（2号刀，注意副偏角不能和已经加工的表面发生干涉）；量具：采用  $0 \sim 150\text{mm}$  的游标卡尺。

(3) 制订表 4-6 所示的车削旋转椭圆轮廓的工序卡。

表 4-6 数控车削旋转椭圆轮廓工序卡

| 工序 | 主要内容   | 设备   | 刀具               | 切削用量           |                |             |
|----|--------|------|------------------|----------------|----------------|-------------|
|    |        |      |                  | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 车削端面   | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆粗车刀 | 600            | 0.08           | 0.1         |
| 2  | 粗车旋转椭圆 | 数控车床 | $35^\circ$ 尖形车刀  | 500            | 0.15           | 1           |
| 3  | 精车旋转椭圆 | 数控车床 | $35^\circ$ 尖形车刀  | 800            | 0.08           | 0.5         |

### 4.6.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 车削旋转椭圆刀路设计的思路可以参考车削上述椭圆的方法，即切入→X向退刀→Z向退刀→进刀→切削，如此反复完成整个轮廓的加工。

(2) 和车削一般椭圆轮廓一样，程序编制也有参数法（角度法）和解析法两种。

(3) 角度法编程思路：由于工件的椭圆中心线发生了旋转，而轮廓点与 Z 轴的夹角作为角度变量，编制程序时需要确定旋转轮廓在 Z 向的起始点和终止点。图 4-14 所示为旋转椭圆、正坐标（XOZ）和旋转坐标系（X'OZ'）及其各个变量的示意图，设长半轴轴线绕 Z 轴旋转为  $\alpha(10^\circ)$ ，椭圆 Z'方向的长半轴长度为 a，X'方向的短半轴长度为 b，设置变量#1 为椭圆轮廓上任意点 A 与 Z'轴正方向的夹角，下面需要计算和确定变量#1 的变化范围，其他变量可以通过计算得到。

(4) 首先计算图 4-14 所示的一些中间变量和参数：

$$\#2 = b * \text{SIN}[\#1] \quad (4-1)$$

$$\#3 = a * \cos[\#1] \quad (4-2)$$

$$\#4 = \#2 * \cos[\alpha] \quad (4-3)$$

$$\#5 = \#3 * \cos[\alpha] \quad (4-4)$$

$$\#6 = \#3 * \sin[\alpha] \quad (4-5)$$

$$\#7 = \#2 * \sin[\alpha] \quad (4-6)$$

旋转之前 A 点的坐标值:  $X' = 2 * \#2$  (直径),  $Z' = \#3$ 。

旋转之后 A 点的坐标值:  $X = 2 * [\#4 - \#6]$  (直径),  $Z = \#5 + \#7$ 。

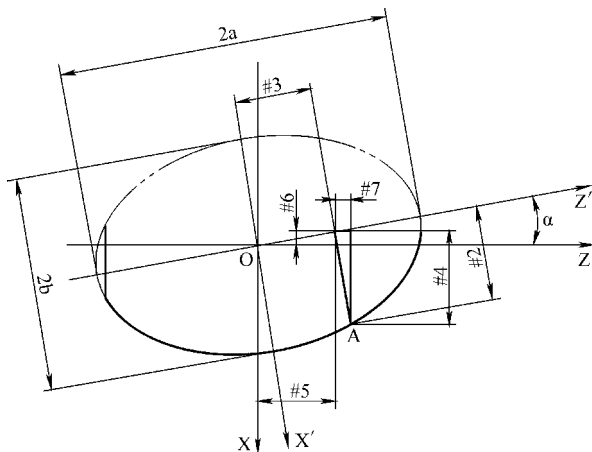


图 4-14 旋转椭圆正坐标 (XOZ) 和旋转坐标系 (X'OZ') 及其变量的示意图

(5) 计算椭圆轮廓旋转的初始角和确定终止角度:

由于加工轮廓起点的 X 值为 0, 得到:

$$X = 2 * [\#4 - \#6] = 0 \text{ (即 } \#4 = \#6 \text{)} \quad (4-7)$$

将式 (4-1)、式 (4-3)、式 (4-2) 和式 (4-5) 分别代入式 (4-7) 后得到等式:

$$b * \sin[\#1] * \cos[\alpha] = a * \cos[\#1] * \sin[\alpha] \quad (4-8)$$

得到椭圆旋转的初始角为

$$\#1 = \text{ATAN}[a * \tan[\alpha]] / [b] \quad (4-9)$$

通过对建立的数模进行测量, 得到旋转轮廓终止点与 Z' 轴的夹角为:  $\#1 = 170.16^\circ$ , 如图 4-15 所示。



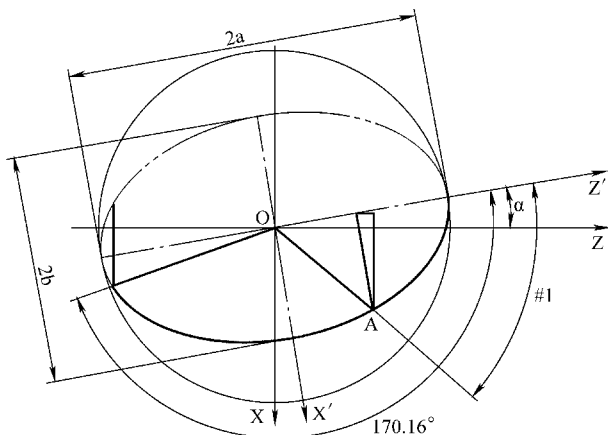


图 4-15 旋转椭圆轮廓的终止点

#### 4.6.4 数控程序及其注释

程序 1：角度法编程宏程序，在宏程序中采用 G73 指令进行粗加工，采用 G70 进行精加工

|                                 |                              |
|---------------------------------|------------------------------|
| O4019;                          | (程序名)                        |
| T0101;                          | (调用 1 号刀具及 1 号刀补)            |
| M03 S600;                       | (主轴正转, 转速为 600r/min)         |
| G0 X52 Z1 M08;                  | (快速定位至毛坯右端面)                 |
| G01 Z0 F0.2;                    | (进给到 Z0 处)                   |
| X -0.6 F0.08;                   | (车削端面)                       |
| G0 Z100 X100;                   | (快速退刀)                       |
| T0202;                          | (调 2 号刀具以及 2 号刀补)            |
| M03 S500 M08;                   |                              |
| G0 X52 Z1                       |                              |
| G73 U25 W0 R10;                 | (开始粗加工轮廓)                    |
| G73 P10 Q20 U0.5 W0 F0.12;      | (循环切削)                       |
| N10 G00 X0;                     |                              |
| G01 Z0                          |                              |
| #101 = ATAN[30 * TAN[10]]/[20]; | (根据公式计算初始的角度)                |
| #111 = 10;                      | (椭圆中心 Z 轴的旋转角度为 10°, 为逆时针方向) |

```

#112 = 0.88;                                (步距)
WHILE[#101 LE 170.16] DO1;                  (判断车削旋转椭圆轮廓是否达到终点)
#102 = 20 * SIN[#101];
#103 = 30 * COS[#101];
#104 = #102 * COS[#111];
#105 = #103 * COS[#111];
#106 = #103 * SIN[#111];
#107 = #102 * SIN[#111];
#108 = 2 * [#104 - #106];                    (X 坐标值计算)
#109 = #105 + #107;                          (Z 坐标值计算)
#110 = #109 - 30 * COS[#111];                (将计算的 Z 坐标值转换为实际 Z 坐标
                                              值,也就是方程原点平移了 -30 *
                                              COS(10),从而和工件编程原点重合)

G01 X[#108] Z[#110] F0.15;                  (车削椭圆的轮廓)
#101 = #101 + #112;
END1;
N20 X60;
G0 X100 Z100;
M03 S800 F0.08 M08;
G70 P10 Q20 F0.08;                          (精加工循环)
G0 X100;                                    (X 向快速退刀)
      Z100;                                (Z 向快速退刀)
M05 M09;
M30;

```

程序 1 编程总结:

- (1) 本程序中的有关变量是和图 4-14 中的有关参数相对应的,比如程序中的变量 #101 为通过公式计算后得到的切削轮廓起始角度,和图 4-14 中的 #1 相对应,其他类推。
- (2) 如果旋转椭圆为顺时针旋转,其起始角度的计算变量为  $\#101 = 180 + \text{ATAN}[-a * \text{TAN}[\alpha]]/[b]$ 。

程序 2: 解析法编制宏程序,在宏程序中采用 G73 指令进行粗加工,采用 G70 进行精加工

```
O4020;
```

```

T0101;
M03 S500;
M08;
G00 X52 Z0;
G01 X -0.6 F0.15;
G00 X52 Z1;
G73 U25 W0 R12;                (开始粗加工轮廓)
G73 P10 Q30 U0.5 W0 F0.12;      (循环切削)
N10 G00 X0;
    G01 Z0 F0.15;
    #100 = 29.45;                (方程 Z 轴的起点)
    #101 = 0;                    (方程 X 轴值的初始值)
    #102 = 0;                    (Z 轴旋转角度的初始值)
    #103 = 0;                    (X 轴旋转角度的初始值)
N20 #100 = #100 - 0.1;
    #101 = 20 * SQRT[1 - [#100 * #100] /
        [30 * 30]];              (通过椭圆方程由 Z 值计算出 X 值)
    #102 = #100 * COS[10] - #101 * SIN[10];
    #103 = #100 * SIN[10] + #101 * COS[10];
    G01 X[2 * #103] Z[#102 - 29.45]; (直线插补,用直线逼近椭圆轮廓形状)
    IF[#100 GT -27.72] GOTO 20;      (#100 大于 -27.72,返回到 N20)
    G01 W -10;                       (加工工件左侧外圆台阶)
        U10;
        U10 W -10;                  (车削锥度外圆)
N30 U10;
    M03 S800;                        (为精车提高主轴转速)
    G70 P10 Q30 F0.08;               (用 G70 精车 N10 ~ N30 的程序段)
    G00 X100 Z100;
    M09;
    M05;
    M30;

```

程序 2 编程总结:

(1) 设置变量#101 = 0 的目的: 椭圆方程 X 轴的坐标值, 它随着 Z 轴值的

变化而变化, 预设值为 0; 设置变量#102 = 0 的目的: 椭圆方程 Z 轴旋转角度为  $10^\circ$ , 坐标系旋转后的坐标值, 预设值为 0; 设置变量#103 = 0 的目的: 椭圆方程 X 轴旋转角度为  $10^\circ$ , 坐标系旋转后的坐标值, 预设值为 0。

(2) 语句 N20 #100 = #100 - 0.1 保证 Z 变量每次减小 0.1mm, 为坐标系旋转  $10^\circ$  后的值。

(3) 语句#102 = #100 \* COS [10] - #101 \* SIN[10] 的含义: 此时的变量#102为 Z'坐标轴旋转  $10^\circ$  后, 在旋转坐标系中的坐标值。

## 4.7 实例 4-7 车削正弦曲线外圆轮廓宏程序应用

### 4.7.1 零件图和加工内容

图 4-16 所示工件右侧为正弦截面形状, 工件材料为 45 钢, 编制车削正弦截面的宏程序, 该正弦曲线的解析方程为  $X = 20\sin Z$ , 其中 Z 为自变量。

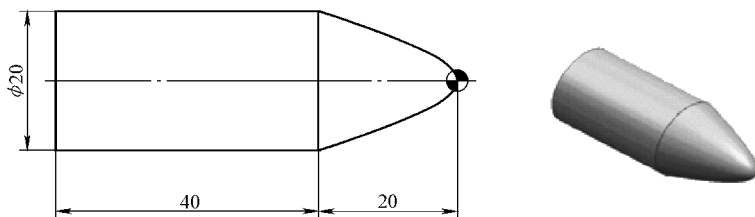


图 4-16 零件图主要尺寸及其三维造型

### 4.7.2 工艺分析和加工路线

- (1) 确定加工毛坯尺寸为  $\phi 20\text{mm} \times 100\text{mm}$ ,  $\phi 20\text{mm}$  外圆已经完成加工。
- (2) 装夹方式: 采用普通自定心卡盘; 刀具:  $90^\circ$  外圆粗车刀 (1 号刀),  $90^\circ$  外圆精车刀 (2 号刀); 量具: 采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺。
- (3) 制订表 4-7 所示的车削工序卡。

表 4-7 数控车削正弦曲线的工序卡

| 工序 | 主要内容    | 设备   | 刀具               | 切削用量           |                |             |
|----|---------|------|------------------|----------------|----------------|-------------|
|    |         |      |                  | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 车削端面    | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆粗车刀 | 600            | 0.08           | 0.1         |
| 2  | 粗车正弦函数线 | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆粗车刀 | 500            | 0.15           | 1           |
| 3  | 精车正弦函数线 | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆精车刀 | 500            | 0.15           | 0.5         |

### 4.7.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 正弦函数轮廓的加工和车削椭圆轮廓的思路一样，只是方程不一样而已，而在刀具路径规划和程序流程上相类似。

(2) 本实例中把 Z 向的距离分为 90 次车削完成，故 Z 向每次车削的距离为 20/90mm。

(3) 本实例先介绍精加工轮廓的程序，再介绍带有粗加工轮廓的程序。

### 4.7.4 数控程序及其注释

#### 程序 1：精车轮廓程序

|                             |                                     |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| O4021;                      | (程序名)                               |
| T0101;                      | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)                   |
| M03 S600;                   | (主轴正转,转速为 600r/min)                 |
| G0 X20 Z1 M08;              | (快速定位至毛坯右端面)                        |
| G01 Z0 F0.2;                | (进给到 Z0 处)                          |
| X -0.6 F0.08;               | (车削端面)                              |
| G0 Z100 X100;               | (快速退刀)                              |
| S500;                       | (改变主轴转速)                            |
| #103 = 0;                   | (角度的初始值 0°)                         |
| N10 #103 = #103 + 1;        | (角度每次增加 1°)                         |
| #106 = 0;                   | (设置#106 变量的初始值为 0,即要加工<br>工件轴向的起始值) |
| #107 = 20/90;               | (设置#107 的初始值为 20/90mm)              |
| #104 = 10 * SIN(#103);      | (计算#104 号变量的值,根据正弦函数曲<br>线解析方程)     |
| #105 = 2 * #104 + #100;     | (计算工件中的 X 值)                        |
| #106 = #106 + #107;         | (计算工件中的 Z 值)                        |
| G01 X[#105] Z[-#106] F0.12; | (车削正弦函数曲线轮廓)                        |
| IF[#103 LT 90] GOTO 10;     | (如果#103 小于 90,则跳转到 N10)             |
| G01 X21;                    | (直线退刀到 X21 处)                       |
| G0 X100;                    | (径向快速退刀到 X100 处)                    |
| Z100;                       | (轴向快速退刀到 Z100 处)                    |
| M05;                        |                                     |

M09;

M30;

程序1 编程总结:

(1) 本程序用于精加工正弦函数曲线的轮廓,适用于已经去除大量毛坯余量的工件的加工,不能应用于毛坯件的加工,否则会产生扎刀。

(2) 关于 $\#107 = 20/90$  变量的说明:零件的加工角度是由  $0^\circ$  到  $90^\circ$  的变化,而工件的轴向距离为 20mm,因此 Z 向每次变化值设置为  $\#107$  变量。Z 向步距大小应和角度的变化相对应。

**程序 2: 平移跳转法, 包含粗、精加工轮廓**

|                                     |                                         |
|-------------------------------------|-----------------------------------------|
| O4022;                              | (程序名)                                   |
| T0101;                              | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)                       |
| M03 S600;                           | (主轴正转,转速为 600r/min)                     |
| G0 X20 Z1 M08;                      | (快速定位至毛坯右端面)                            |
| G01 Z0 F0.2;                        | (进给到 Z0 处)                              |
| X -0.6 F0.08;                       | (车削端面)                                  |
| G0 Z100 X100;                       | (快速退刀)                                  |
| S500;                               | (改变主轴转速)                                |
| $\#100 = 20$ ;                      | (设置 $\#100$ 号变量的初始值,即毛坯余量)              |
| $\#101 = 2$ ;                       | (设置 $\#101$ 变量的值,背吃刀量为 2mm)             |
| $N30\#100 = \#100 - \#101$ ;        | ( $\#100$ 变量每次减少 $\#101$ 号变量的值)         |
| $\#103 = 0$ ;                       | (设置 $\#103$ 变量的值,即角度初始值为 0)             |
| $\#108 = 1$ ;                       | (设置 $\#108$ 变量的值,即角度的步距为 0)             |
| N20 G0 X $\#100$ Z1;                | (快速移刀到要加工的工件的起始处)                       |
| N10 $\#103 = \#103 + 1$ ;           | (角度每次增加 $1^\circ$ )                     |
| $\#106 = 0$ ;                       | (设置 $\#106$ 变量的初始值为 0,为要加工<br>工件轴向的起始值) |
| $\#107 = 20/90$ ;                   | (设置 $\#107$ 的初始值为 20/90)                |
| $\#104 = 20 * \sin(\#103)$ ;        | (根据正弦函数曲线解析方程计算 $\#104$ 号<br>变量的值)      |
| $\#105 = 2 * \#104 + \#100$ ;       | (计算工件中的 X 值)                            |
| $\#106 = \#106 + \#107$ ;           | (计算工件中的 Z 值)                            |
| G01 X $\#105$ Z [- $\#106$ ] F0.12; | (车削正弦函数曲线轮廓)                            |
| IF [ $\#105$ GT 20.5] GOTO20;       | (如果 $\#105$ 大于 20.5,则跳转到 N20)           |

```

IF[#103 LT 90] GOTON10;      (如果#103 小于 90,则跳转到 N10)
G0 U0.5;                      (径向快速退刀)
G0 Z1;                         (轴向快速退刀)
IF[#100 GT 0] GOTO20;         (如果#100 大于 0,则跳转到 N20)
G01 X21;                      (直线退刀到 X21 处)
G0 X100;                      (径向快速退刀到 X100 处)
    Z100;                     (轴向快速退刀到 Z100 处)
M05;
M09;
M30;

```

程序 2 编程总结:

- (1) 本程序用于粗、精加工轮廓的程序,适用于含大量毛坯余量的加工。
- (2) 本程序的思路是将毛坯余量平移出来,当刀具轨迹大于毛坯直径时,让刀具回到 Z 向加工的起点,再把余量减少 2mm 进行下一次的切削,如此反复完成整个零件的加工。

## 4.8 实例 4-8 车削双曲线外圆轮廓宏程序应用

### 4.8.1 零件图和加工内容

图 4-17 所示工件右侧为双曲线截面形状,工件材料为 45 钢,编制车削双曲线外圆轮廓的宏程序,该双曲线的解析方程为  $X = (36/Z) + 2$ ,方程的原点为图示中的焦点,编程原点在工件右侧端面中心处,其中 Z 为自变量,焦点在右端面 72mm 处。

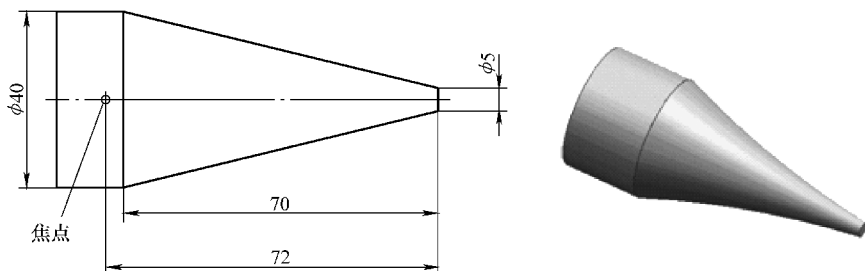


图 4-17 零件主要尺寸及其三维造型图

4.8.2 工艺分析和加工路线

- (1) 确定加工毛坯为  $\phi 40\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，外圆已经完成加工。
- (2) 装夹方式：采用普通自定心卡盘，夹持右侧  $\phi 40$  外圆；刀具： $90^\circ$  外圆精车刀（1 号刀）， $35^\circ$  尖形车刀（2 号刀）；量具：采用  $0 \sim 150\text{mm}$  的游标卡尺。
- (3) 制订表 4-8 所示的车削工序卡。

表 4-8 数控车削双曲线外圆轮廓的工序卡

| 工序 | 主要内容    | 设备   | 刀具               | 切削用量           |                |             |
|----|---------|------|------------------|----------------|----------------|-------------|
|    |         |      |                  | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 车削端面    | 数控车床 | $90^\circ$ 外圆精车刀 | 600            | 0.08           | 0.1         |
| 2  | 粗车双曲线外圆 | 数控车床 | $35^\circ$ 尖形车刀  | 500            | 0.15           | 1           |
| 3  | 精车双曲线外圆 | 数控车床 | $35^\circ$ 尖形车刀  | 600            | 0.08           | 0.5         |

4.8.3 编程思路和刀具路径规划

- (1) 本实例加工刀具路径的基本思路是：进刀→切削→X 向退刀→Z 向退刀，如此反复去除零件的大部分余量。
- (2) 本实例可以采用两个编程思路来实现宏程序：一是参考 G71 指令的编程思路，粗加工时采用直线走刀车削台阶以去除大量余量，精加工时车削内椭圆轮廓；二是精加工轮廓时将 G71 和 G70 两个循环指令相结合来实现精加工。

4.8.4 数控程序及其注释

程序 1：参考 G71 循环指令编制宏程序

O4022; (程序名)

T0101; (调 1 号刀具以及 1 号刀补)

M03 S600; (主轴正转,转速为 600r/min)

G0 X22 Z1 M08; (快速定位至毛坯右端面)

G01 Z0 F0.2; (进给到 Z0 处)

X -0.6 F0.08; (车削端面)



|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| G0 Z100 X100;                 | (快速退刀)                    |
| T0202;                        | (调 2 号刀具以及 2 号刀补)         |
| M03 S500;                     | (主轴正转,转速为 500r/min,打开切削液) |
| G0 X22 Z1;                    | (快速定位至毛坯右端面)              |
| #100 = 20;                    | (设置#100 号变量的初始值,即毛坯的余量)   |
| #101 = 0.5;                   | (背吃刀量为 0.5 mm)            |
| #105 = 0;                     | (判别变量)                    |
| N10 #100 = #100 - #101;       | (#100 号变量每次自减#101 号变量的值)  |
| #102 = 2 * #100;              | (计算工件中的 X 值)              |
| IF[#105 GT 0.5] GOTO20;       | (如果#101 大于 0.5,则跳转到 N10)  |
| G00 X[#102];                  | (径向进刀)                    |
| N20 #103 = 36/[#100 - 2];     | (计算双曲线方程中 X 对应的 Z 值)      |
| #104 = #103 - 72;             | (计算工件中的 X 值)              |
| IF[#105 GT 0.5] GOTO30;       | (如果#105 大于 0.5,则跳转到 N30)  |
| G01 Z[#104] F0.15;            | (车削轮廓)                    |
| G0 U0.5;                      | (径向退刀)                    |
| Z1;                           | (轴向退刀)                    |
| IF[#100 GT 2.5] GOTO10;       | (如果#100 大于 2.5,则跳转到 N10)  |
| S600 F0.08;                   | (改变转速和进给率)                |
| #101 = -0.25;                 | (重新设置#101 号变量)            |
| #105 = #105 + 1;              | (#105 号变量自加 1)            |
| N30 G01 X[#102] Z[#104] F0.1; | (车削双曲线的轮廓)                |
| IF[#100 LT 20] GOTO10;        | (如果#100 小于 20,则跳转到 N10)   |
| G01 X42 F1;                   | (直线退刀)                    |
| G0 X100;                      | (X 向快速退刀)                 |
| Z100;                         | (Z 向快速退刀)                 |
| M05;                          |                           |
| M09;                          |                           |
| M30;                          |                           |

程序 1 编程总结:

- (1) 本程序是参照 FANUC 系统 G71 指令进行宏程序编程的。
- (2) 粗加工轮廓时,刀具路径的 X 值是由大到小进行车削的,而精加工时,

是由小到大进行车削的, #101 变量需要重新赋值, 即设置了语句#101 = -0.25, #101 变量作为车削中的步距, 其大小需要合理设置。

(3) 变量#105 设置的作用: 让程序顺利跳过粗加工程序, 实现精加工轮廓。

(4) 由于双曲线焦点和编程原点不在同一个点上, 因此设置了语句#104 = #103 - 72。

#### 程序 2: 精加工轮廓

|                            |                                  |
|----------------------------|----------------------------------|
| O4023;                     | (程序名)                            |
| T0101;                     | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)                |
| M03 S600;                  | (主轴正转, 转速为 600r/min)             |
| G0 X22 Z1 M08;             | (快速定位至毛坯右端面)                     |
| G01 Z0 F0.2;               | (进给到 Z0 处)                       |
| X -0.6 F0.08;              | (车削端面)                           |
| G0 Z100 X100;              | (快速退刀)                           |
| T0202;                     | (调 2 号刀具以及 2 号刀补)                |
| M03 S500 M08;              | (主轴正转, 转速为 500r/min, 打开切削液)      |
| G0 X22 Z1;                 | (快速定位至毛坯右端面)                     |
| #101 = 72;                 | (方程中 Z 值起点)                      |
| #102 = 2.5;                | (方程中 X 值起点)                      |
| #103 = 5;                  | (右端面直径值)                         |
| #104 = 0;                  | (Z 值的初始值)                        |
| #105 = 0.1;                | (设置#105 号变量的初始值, 即步距值)           |
| WHILE[#100 GE 2] DO1;      | (如果#100 大于等于 2, 在 WHILE 和 END1 之 |
|                            | 间循环, 否则跳出循环, 执行下一程序段)            |
| #101 = #101 - #105;        | (#101 号变量的值每次减少#105 号变量的值)       |
| #106 = [36/#101] + 2;      | (计算 Z 对应的 X 值)                   |
| #104 = #101 - 72;          | (计算工件中的 Z 值)                     |
| #103 = 2 * #106;           | (计算工件中的 X 值)                     |
| G01 X[#103] Z[#104] F0.12; | (车削双曲线的轮廓)                       |
| END1;                      |                                  |
| G01 X42 F1;                | (直线退刀)                           |
| G0 X100;                   | (X 向快速退刀)                        |
| Z100;                      | (Z 向快速退刀)                        |
| M05;                       |                                  |

M09;

M30;

程序 2 编程总结:

(1) 本程序为双曲线精加工轮廓的程序, 适合于已经去除大量毛坯余量的零件加工。

(2) 由于编程原点和方程原点不在同一个点上, 并且两者相距 72mm, 所以设置语句#104 = #101 - 72 进行平移。

## 4.9 实例 4-9 综合实例 1 (凸、凹椭圆组合的加工)

### 4.9.1 零件图和加工内容

图 4-18 所示为凸、凹椭圆组合的工件, 其中凸椭圆的解析方程为  $X^2/30^2 + Z^2/19^2 = 1$ ; 凹椭圆的解析方程为  $X^2/19^2 + Z^2/30^2 = 1$ , 工件材料为 45 钢, 编制车削椭圆组合的宏程序。

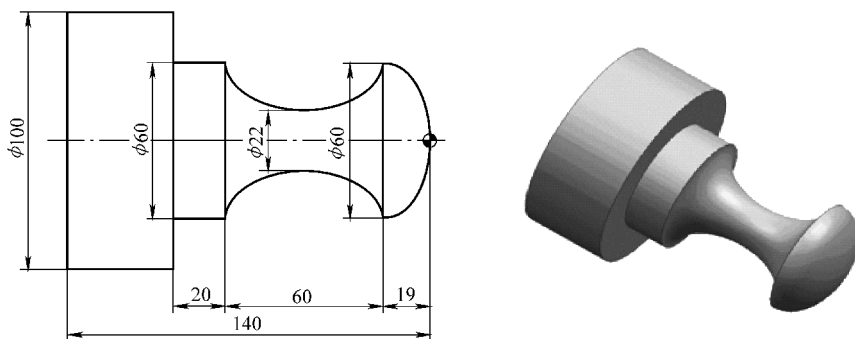


图 4-18 零件主要尺寸及其三维造型

### 4.9.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯为  $\phi 100\text{mm} \times 180\text{mm}$ ,  $\phi 100\text{mm}$  外圆已经加工完成。

(2) 装夹方式: 普通自定心卡盘, 夹持右侧的  $\phi 100$  外圆; 刀具:  $90^\circ$  外圆精车刀 (1 号刀), 粗车尖形车刀 (2 号刀); 精车尖形车刀 (3 号刀); 量具: 0 ~ 150mm 的游标卡尺, 0 ~ 255mm 的外径千分尺, 专用椭圆样板。

(3) 制订表 4-9 所示的车削工序卡, 其中背吃刀量为半径值。

表 4-9 数控车削凸、凹椭圆组合的工序卡

| 工序 | 主 要 内 容        | 设 备  | 刀 具      | 切 削 用 量          |                  |             |
|----|----------------|------|----------|------------------|------------------|-------------|
|    |                |      |          | 转速<br>/( r/min ) | 进给量<br>/( mm/r ) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 车削端面           | 数控车床 | 90°外圆精车刀 | 800              | 0.12             | 0.1         |
| 2  | 粗车外圆、<br>凸椭圆弧  | 数控车床 | 90°外圆精车刀 | 650              | 0、2              | 1           |
| 3  | 粗车凹椭圆弧         | 数控车床 | 粗车尖形车刀   | 550              | 0.2              | 1           |
| 4  | 精车外圆、凸椭圆弧、凹椭圆弧 | 数控车床 | 精车尖形车刀   | 650              | 0.08             | 0.5         |

4.9.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 本实例涉及凸、凹椭圆弧的综合加工。车削凸椭圆轮廓时采用先走台阶方式来去除大量的毛坯余量，精加工时采用车削整个轮廓的方法。

(2) 凹椭圆弧的加工也有多种的方法：可以调用子程序以及采用 SIEMENS 系统指令 G158 偏置，但是两种思路会产生大量的空刀；也可以运用 FANUC 系统自身的固定形状粗车循环指令 G73，但是也会产生大量的空刀，在实际加工中应该避免。

4.9.4 数控程序及其注释

程序 1：采用同心椭圆方法进行宏程序编程

O4024; (程序名)

T0101; (调 1 号刀具以及 1 号刀补)

M03 S800 M08; (主轴正转,转速为 800r/min,打开切削液)

G0 X102 Z1; (快速进刀到工件的右面)

G01 Z0 F0.12; (直线进刀到右端面)

X -0.6; (车削端面)

G0 Z1 X102; (快速退刀)

S650;

#100 =50; (毛坯半径)

#105 =0; (判别变量)

|                                                             |                            |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------|
| #106 = 0;                                                   | (判别变量)                     |
| #107 = 0;                                                   | (判别变量)                     |
| #108 = 0;                                                   | (判别变量)                     |
| #109 = 0;                                                   | (判别变量)                     |
| #112 = 1;                                                   | (设置#112 变量的初始值,精加工余量)      |
| #104 = 1;                                                   | (设置#114 变量的初始值,粗加工步距)      |
| N10 #100 = #100 - #104;                                     | (#100 号变量每次减少#104 号变量的值)   |
| IF[ #107 GT 0.5 ] GOTO20;                                   | (如果#107 大于 0.5 ,则跳转到 N20)  |
| G0 X[ 2 * #100 + #112 ];                                    | (X 向进刀)                    |
| IF[ #106 GT 0.5 ] GOTO20;                                   | (如果#106 大于 0.5 ,则跳转到 N20)  |
| N80 G01 Z -99 F0.2;                                         | (车削)                       |
| IF[ #109 GT 0.5 ] GOTO100;                                  | (如果#109 大于 0.5 ,则跳转到 N100) |
| G0 U0.5;                                                    | (径向退刀)                     |
| Z1;                                                         | (轴向退刀)                     |
| IF[ #100 GT 30 ] GOTO10;                                    | (如果#100 大于 30 ,则跳转到 N10)   |
| #106 = #106 + 1;                                            | (#106 号变量每次增加 1)           |
| N20 #101 = 19 * SQRT[ 1 - [ #100 *<br>#100 ]/[ 30 * 30 ] ]; | (基于凸椭圆方程计算#101 变量)         |
| IF[ #107 GT 0.5 ] GOTO30;                                   | (如果#107 大于 0.5 ,则跳转到 N30)  |
| G01 Z[ #101 - 19 ];                                         | (车削)                       |
| G0 U0.5;                                                    | (径向退刀)                     |
| Z1;                                                         | (轴向退刀)                     |
| IF[ #100 GT 0 ] GOTO10;                                     | (如果#100 大于 0 ,则跳转到 N10)    |
| G0 X150;                                                    | (X 向快速退刀)                  |
| Z100;                                                       | (Z 向快速退刀)                  |
| T0202;                                                      | (调 2 号刀具以及 2 号刀补)          |
| M03 S550 M08;                                               | (主轴正转,转速为 550r/min,打开切削液)  |
| G0 X65 Z1;                                                  | (快速定位至毛坯右端面)               |
| #113 = 1.9;                                                 | (起始椭圆短半轴的值)                |
| #114 = 3;                                                   | (起始椭圆长半轴的值)                |
| #116 = 0.5;                                                 | (椭圆的步距为 0.5mm)             |
| N40 #111 = #114;                                            | (把#114 号变量的值赋给#111)        |

|                                                         |                             |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------|
| #117 = #111;                                            | (把#111 号变量的值赋给#117)         |
| G0 Z[#114 - 49];                                        | (Z 向快速进刀到要加工的椭圆起点)          |
| N70 #111 = #111 - #116;                                 | (#111 号变量每次自减 0.5mm)        |
| #110 = #113 * SQRT[1 - [#111 *<br>#111]/[#114 * #114]]; | (计算椭圆方程 Z 对应的 X 值)          |
| #115 = 60 - 2 * #110;                                   | (计算程序中的 X 值)                |
| #118 = #111 - 40;                                       | (计算程序中的 Z 值)                |
| G01 X[#115 + #112] Z[#118] F0.2;                        | (车削椭圆弧)                     |
| IF[#111 GT - #117] GOTO70;                              | (如果#111 大于 - #117,则跳转到 N70) |
| IF[#108 GT 0.5] GOTO90;                                 | (如果#108 大于 0.5,则跳转到 N90)    |
| G0 U1;                                                  | (X 向退刀)                     |
| #113 = #113 + 1.9;                                      | (#113 号变量每次增加 1.9)          |
| #114 = #114 + 3;                                        | (#114 号变量每次增加 3)            |
| G0 Z[#114 - 49];                                        | (Z 向快速进刀到下一个要加工的椭圆<br>起点)   |
| G01 U - 1;                                              | (G01 直线进刀到上次的退刀点)           |
| IF[#114 LE 30] GOTO40;                                  | (如果#114 小于等于 30,则跳转到 N40)   |
| G0 X100;                                                | (X 向快速退刀)                   |
| Z100;                                                   | (Z 向快速退刀)                   |
| M05;                                                    |                             |
| M09;                                                    |                             |
| T0303;                                                  | (调 3 号刀具以及 3 号刀补)           |
| M03 S650 M08;                                           | (主轴正转,转速为 650r/min,打开切削液)   |
| G0X0Z1;                                                 | (快速到达工件的右面)                 |
| G01 Z0 F0.08;                                           | (直线进刀)                      |
| #104 = -0.1;                                            | (#104 号重新赋值)                |
| #116 = -0.1;                                            | (#116 号重新赋值)                |
| #112 = #112 - 1;                                        | (#112 号变量减去 1,即精车余量)        |
| #107 = #107 + 1;                                        | (#107 号变量增加 1)              |
| N30 G01 X[2#100 + #112]<br>Z[#101 - 19];                | (车削椭圆弧)                     |
| IF[#100 LT 30] GOTO10;                                  | (如果#100 小于 30,则跳转到 N10)     |
| #108 = #108 + 1;                                        | (#108 号变量每次增加 1)            |

```
IF[#108 GT 0.5] GOTO40;      (如果#108 等于 0.5,则跳转到 N40)
N90 #109 = #109 + 1;          (#109 号变量每次增加 1)
IF[#100 EQ 30] GOTO80;        (如果#100 等于 30,则跳转到 N80)
N100 G0 X102;                 (X 向快速退刀)
      Z100;                    (Z 向快速退刀)
M05;
M09;
M30;
```

程序 1 编程总结:

(1) 本实例介绍凸、凹椭圆轮廓加工综合应用,本程序中的凹椭圆轮廓采用的是同心椭圆方式步步逼近整个椭圆轮廓。

(2) 读者可以尝试调用子程序方式来加工凹椭圆轮廓,采用平移加余量的方法来加工凸椭圆轮廓,此练习有利于培养程序的逻辑变换能力。实际加工中,相同的零件可以采用不同的编程方法加工出来,有利于提高宏程序的应用能力。

#### 程序 2: 调用子程序进行凹椭圆粗加工

```
O4025;                        (程序名)
T0202;                        (调 2 号刀具以及 2 号刀补)
M03 S550 M08;                 (主轴正转,转速为 550r/min,打开切削液)
G0 X96 Z1;                    (快速到达工件的右端面)
      Z-19;                    (到达凹椭圆弧的起点)
      #107 = 96;               (椭圆中心直径初始值加上平移值)
M98 P180024;                  (调用子程序名次数为 18,子程序名为 0024)
G0 X100;                      (X 向快速退刀)
      Z100;                    (Z 向快速退刀)
M05;
M09;
M30;
...

O0024;                        (子程序名)
#107 = #107 - 2;              (每次向中心平移 2mm)
M98 P0023;                    (调用子程序名次数为 1,子程序名为 0023)
M99;                          (返回主程序)
```

...

```

O0023;                (子程序名)
#100 = 30;            (设置#100号变量,初始值)
#103 = 0.1;           (步距为0.1mm)
N10 #100 = #100 - #103; ( #100号变量每次减去#103,即每次减去步距值)

    #101 = 19 * SQRT[1 - [ #100 *
    #100 ]/[30 * 30] ]; (基于椭圆方程的计算公式计算#101的值)
    #104 = 60 - 2 * #101; (计算#104号变量,即工件中的X坐标值)
    #105 = #100 - 49;     (计算#105号变量,即工件中的Z坐标值)
G01 X[ #104 + #107 ] Z[ #105 ]
F0.08;                (车削椭圆弧轮廓)
IF[ #100 GT -30 ] GOTO10; (如果#100大于-30,则跳转到N10)
G0 Z -19;              (快速移动到椭圆的加工起点)
M99;                   (返回主程序)

```

#### 程序3：SIEMENS系统指令G158偏置方式进行编程

```

AAA2;                (程序名)
T2;                   (调2号刀具以及2号刀补)
M03 S550 M08;         (主轴正转,转速为550r/min,打开切削液)
G0 X96 Z1;            (快速达到工件的右端面)
    Z -19;             (快速到达椭圆的起点,Z向)
R1 = 18;              (设置R1变量的初始值)
AA2:R1 = R1 - 1;       (R1号变量每次减少1)
G158 X = R1 Z0;        (采用G158偏置值为R1)
R2 = 30;               (设置R2变量的初始值为30)
R3 = 0.1;              (设置R3变量的初始值为0.1)
AA1:R2 = R2 - R3;      (R2号变量每次减少R3的值,即步距)
R4 = 19 * SQRT[1 - [ R2 * R2 ]/
    [30 * 30] ];       (基于椭圆方程的计算公式计算R4的值)
R5 = 60 - 2 * R4;      (计算R5的值,即工件中的X坐标)
R6 = R2 - 49;          (计算R6的值,即工件中的Z坐标)
G01 X = R5 Z = R6 F0.08; (车削椭圆弧)
IF R2 > -30 GOTOB AA1; (如果R2大于-30,则跳转到AA1)

```



```
G0 Z - 19;           (快速回到椭圆加工的起点)
IF R1 > 0 GOTOB AA2;  (如果 R1 大于 0,则跳转到 AA2)
G0 X100;             (X 向快速退刀)
    Z100;             (Z 向快速退刀)
M05;
M09;
M30;
```

程序 2 和程序 3 编程总结:

(1) 调用子程序方法和 SIEMENS 系统指令 G158 偏置方法可实现凹椭圆的加工,但是这两种编程方法会产生很多的空刀。

(2) 车削凹圆弧轮廓、凸椭圆轮廓比较好的方法为同心圆法、同心椭圆法,不但能有效地避免空切现象,而且还能实现动态的判别。

## 4.10 实例 4-10 综合实例 2 (配合件的加工)

### 4.10.1 零件图和加工内容

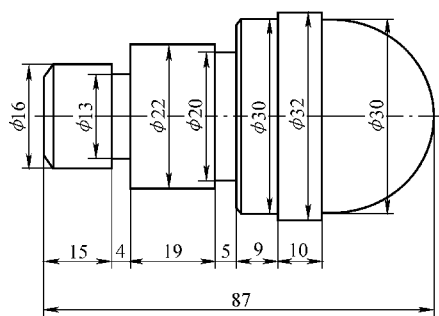
图 4-19 所示工件为 3 个工件的组合,其中件 1 椭圆的解析方程为  $X^2/19^2 + Z^2/25^2 = 1$ ,件 3 椭圆的解析方程为  $X^2/19^2 + Z^2/10^2 = 1$ ,工件材料为 45 钢,编制车削组合件的宏程序,保证各件的配合。

### 4.10.2 工艺分析和加工路线

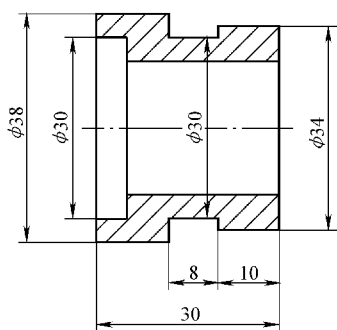
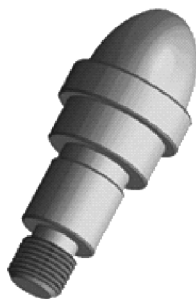
(1) 确定件 1 毛坯尺寸为  $\phi 40\text{mm} \times 90\text{mm}$ ;件 2 毛坯尺寸为  $\phi 40\text{mm} \times 65\text{mm}$ ,中间已完成  $\phi 18$  通孔加工;件 3 毛坯尺寸为  $\phi 40\text{mm} \times 40\text{mm}$ ,预钻  $\phi 10$  至一定深度。假设件 2 已经钻出直径  $\phi 18\text{mm}$  和相应深度的孔;假设件 3 已经钻出直径  $\phi 10$  和相应深度的孔。

(2) 装夹方式为:普通自定心卡盘;刀具:  $90^\circ$  外圆车刀 (1 号刀),外切槽刀 (刀宽为 4mm, 2 号刀),外螺纹刀 (角度为  $60^\circ$ , 3 号刀),镗孔刀 (4 号刀),内槽刀 (刀宽为 4mm, 5 号刀),内螺纹刀 (角度为  $60^\circ$ , 6 号刀),尖形车刀 (7 号刀)。

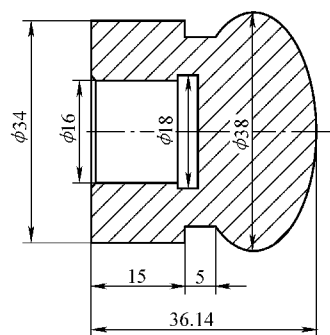
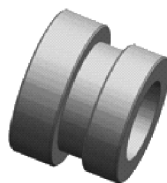
(3) 制订表 4-10 ~ 表 4-12 所示的车削工序卡。



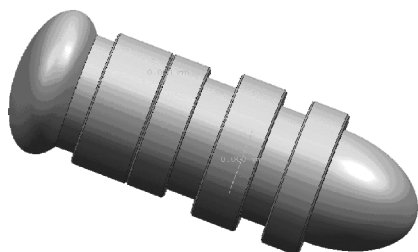
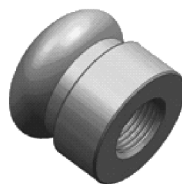
a)



b)



c)



d)

图4-19 配合件的各个零件主要尺寸及其三维造型图

- a) 件1 零件主要尺寸及其三维造型图
- b) 件2 零件主要尺寸及其三维造型图
- c) 件3 零件主要尺寸及其三维造型图
- d) 3 件装配后三维造型图



表 4-10 件 1 数控车削工序卡

| 工序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具     | 切 削 用 量          |                  |             |
|----|---------|------|---------|------------------|------------------|-------------|
|    |         |      |         | 转速<br>/( r/min ) | 进给量<br>/( mm/r ) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 车削端面    | 数控机床 | 90°外圆车刀 | 650              | 0.08             | 0.1         |
| 2  | 粗车外圆轮廓  | 数控机床 | 90°外圆车刀 | 550              | 0.2              | 1           |
| 3  | 精车外圆轮廓  | 数控机床 | 90°外圆车刀 | 650              | 0.08             | 0.5         |
| 4  | 切槽      | 数控机床 | 外切槽刀    | 350              | 0.05             | 1           |
| 5  | 车削外螺纹   | 数控机床 | 外螺纹刀    | 850              |                  |             |

表 4-11 件 2 数控车削工序卡

| 工序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具     | 切 削 用 量          |                  |             |
|----|---------|------|---------|------------------|------------------|-------------|
|    |         |      |         | 转速<br>/( r/min ) | 进给量<br>/( mm/r ) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 车削端面    | 数控机床 | 90°外圆车刀 | 650              | 0.08             | 0.1         |
| 2  | 粗车外圆轮廓  | 数控机床 | 90°外圆车刀 | 550              | 0.2              | 1           |
| 3  | 精车外圆轮廓  | 数控机床 | 90°外圆车刀 | 650              | 0.08             | 0.5         |
| 4  | 切槽      | 数控机床 | 外切槽刀    | 350              | 0.05             | 1           |
| 5  | 粗镗孔     | 数控机床 | 镗孔刀     | 550              | 0.12             | 1           |
| 6  | 精镗孔     | 数控机床 | 镗孔刀     | 650              | 0.08             | 0.5         |

表 4-12 件 3 数控车削工序卡

| 工序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具     | 切 削 用 量          |                  |             |
|----|---------|------|---------|------------------|------------------|-------------|
|    |         |      |         | 转速<br>/( r/min ) | 进给量<br>/( mm/r ) | 背吃刀量<br>/mm |
| 1  | 车削端面    | 数控机床 | 90°外圆车刀 | 650              | 0.08             | 0.1         |
| 2  | 粗车外圆轮廓  | 数控机床 | 90°外圆车刀 | 550              | 0.2              | 1           |
| 3  | 精车外圆轮廓  | 数控机床 | 尖形车刀    | 650              | 0.08             | 0.5         |
| 4  | 切槽      | 数控机床 | 外切槽刀    | 350              | 0.05             | 1           |
| 5  | 粗镗孔     | 数控机床 | 镗孔刀     | 550              | 0.12             | 1           |
| 6  | 精镗孔     | 数控机床 | 镗孔刀     | 800              | 0.08             | 0.5         |
| 7  | 切内槽     | 数控机床 | 内槽刀     | 300              | 0.05             | 0.5         |
| 8  | 车削内螺纹   | 数控机床 | 内螺纹刀    | 650              |                  |             |

### 4.10.3 编程思路和刀具路径规划

本实例仿照 FANUC 系统循环指令 G71 的思路进行宏程序编程,该思路为:粗加工时采用车削台阶去除大量毛坯余量,精加工时车削工件轮廓。

### 4.10.4 数控程序及其注释

#### 程序 1: 件 1 左面加工程序

|                                  |                                                          |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------|
| O4027;                           | (程序名)                                                    |
| T0101;                           | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)                                        |
| M03 S650 M08;                    | (主轴正转,转速为 650r/min,打开切削液)                                |
| G0 X42 Z1;                       | (快速进刀到工件的右面)                                             |
| G01 Z0 F0.12;                    | (直线进刀到右端面)                                               |
| X -0.6;                          | (车削端面)                                                   |
| G0 Z1 X42;                       | (快速退刀)                                                   |
| S550;                            | (改变转速,转速为 550r/min)                                      |
| #100 = 20;                       | (设置#100 号变量的初始值,即为毛坯直径)                                  |
| #101 = 1;                        | (设置#101 号变量的初始值,即步距)                                     |
| #103 = 1;                        | (设置#103 号变量的初始值,即精加工余量)                                  |
| #104 = 0;                        | (设置#104 号变量的初始值,判别变量)                                    |
| #105 = 0;                        | (设置#105 号变量的初始值,判别变量)                                    |
| #106 = 0;                        | (设置#106 号变量的初始值,判别变量)                                    |
| #107 = 0;                        | (设置#107 号变量的初始值,判别变量)                                    |
| #108 = 0;                        | (设置#108 号变量的初始值,判别变量)                                    |
| #109 = 0;                        | (设置#109 号变量的初始值,判别变量)                                    |
| N10 #100 = #100 - #101;          | (#100 号变量每次减少#101 号变量的值)                                 |
| G01 X[2 * [#100 - #101] + #103]; | (进刀)                                                     |
| IF[#108 GT 0.5] GOTO80;          | (如果#108 大于 0.5,则跳转到 80,则执行<br>标号为 80 的程序段,否则执行下一段<br>程序) |
| IF[#107 GT 0.5] GOTO60;          | (如果#107 大于 0.5,则跳转到 N60)                                 |
| IF[#105 GT 0.5] GOTO40;          | (如果#105 大于 0.5,则跳转到 N40)                                 |
| IF[#104 GT 0.5] GOTO30;          | (如果#104 大于 0.5,则跳转到 N30)                                 |
| IF[#103 GT 0.5] GOTO20;          | (如果#103 大于 0.5,则跳转到 N20)                                 |

|                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| N110 G01 Z - 65 F0.2;      | (车削轮廓)                    |
| IF[#109 GT 0.5] GOTO120;   | (如果#109 大于 0.5,则跳转到 N120) |
| G0 U0.5;                   | (径向退刀)                    |
| Z1;                        | (轴向退刀)                    |
| IF[#100 GT 19] GOTO10;     | (如果#100 大于 19,则跳转到 N10)   |
| #103 = #103 + 1;           | (#103 号变量每次增加 1)          |
| N20 G01 Z - 52;            | (车削)                      |
| IF[#108 GT 0.5] GOTO90;    | (如果#108 大于 0.5,则跳转到 N90)  |
| G0 U0.5;                   | (径向退刀)                    |
| Z1;                        | (轴向退刀)                    |
| IF[#100 GT 15] GOTO10;     | (如果#100 大于 15,则跳转到 N10)   |
| #104 = #104 + 1;           | (#104 号变量每次增加 1)          |
| N30G01Z - 40;              | (车削)                      |
| IF[#107 GT 0.5] GOTO70;    | (如果#107 大于 0.5,则跳转到 N70)  |
| G0 U0.5;                   | (径向退刀)                    |
| Z1;                        | (轴向退刀)                    |
| IF[#100 GT 11] GOTO10;     | (如果#100 大于 11,则跳转到 N10)   |
| #105 = #105 + 1;           | (#105 号变量每次增加 1)          |
| N40 G01 Z - 16;            | (车削)                      |
| IF[#106 GT 0.5] GOTO40;    | (如果#106 大于 0.5,则跳转到 N40)  |
| G0 U0.5;                   | (径向退刀)                    |
| Z1;                        | (轴向退刀)                    |
| IF[#100 GT 8] GOTO10;      | (如果#100 大于 8,则跳转到 N10)    |
| #101 = -0.1;               | (#101 重新赋值)               |
| #103 = #103 - 1;           | (余量减掉)                    |
| #106 = #106 + 1;           | (#106 号变量每次增加 1)          |
| IF[#106 GT 0.5] GOTO40;    | (如果#106 大于 0.5,则跳转到 N40)  |
| N50 #107 = #107 + 1;       | (#107 号变量每次增加 1)          |
| IF[#107 GT 0.5] GOTO10;    | (如果#107 大于 0.5,则跳转到 N10)  |
| N60 IF[#100 LT 11] GOTO10; | (如果#100 小于 11,则跳转到 N10)   |
| IF[#100 EQ 11] GOTO30;     | (如果#100 等于 11,则跳转到 N30)   |
| N70 #108 = #108 + 1;       | (#108 号变量每次增加 1)          |
| IF[#108 GT 0.5] GOTO10;    | (如果#108 大于 0.5,则跳转到 N10)  |

|                             |                                                           |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|
| N80 IF[#100 LT 15] GOTO10;  | (如果#100 小于 15,则跳转到 N10)                                   |
| IF[#100 EQ 15] GOTO20;      | (如果#100 等于 15,则跳转到 N20)                                   |
| N90 #109 = #109 + 1;        | (#109 号变量每次增加 1)                                          |
| N100 IF[#100 LT 19] GOTO10; | (如果#100 小于 19,则跳转到 N10)                                   |
| IF[#100 EQ 19] GOTO110;     | (如果#100 等于 19,则跳转到 N110)                                  |
| N120 G01 X41;               | (车削)                                                      |
| G0 X100;                    | (径向退刀)                                                    |
| Z100;                       | (轴向退刀)                                                    |
| T0202;                      | (调用 2 号刀以及 2 号参数补偿)                                       |
| M03 S350 M08;               | (主轴正转,转速为 350r/min,打开切削液)                                 |
| G0 X17 Z1;                  | (快速定位)                                                    |
| Z - 16;                     | (快速到达切槽的位置)                                               |
| #110 = 0;                   | (设置#110 号变量的值)                                            |
| #111 = 2;                   | (设置#111 号变量的值)                                            |
| N180 #100 = #100 - #111;    | (#100 号变量减去#111 号变量的值)                                    |
| G01U[#100] F0.05;           | (切入)                                                      |
| IF[#110 GT -4] GOTO180;     | (如果#110 大于 -4,则跳转到 N180)                                  |
| G01 X23 F1;                 | (径向退刀)                                                    |
| G0 Z -40;                   | (到达第二个要切槽的位置)                                             |
| G01 X22;                    | (进刀到工件表面)                                                 |
| #111 = 0;                   | (切槽深度初始值)                                                 |
| #112 = 2;                   | (每次切槽深度)                                                  |
| #113 = 1;                   | (进刀量)                                                     |
| N130 #111 = #111 - #112;    | (切槽深度自加)                                                  |
| G01 U[ - #111] F0.1;        | (切入)                                                      |
| U#111;                      | (退刀)                                                      |
| W#113;                      | (进刀)                                                      |
| G01 U[ - #111] F0.08;       | (切入)                                                      |
| U[#111];                    | (退刀)                                                      |
| IF[#111 GT -2] GOTO130;     | (如果深度大于 -2,则跳转到 N130,深度<br>增加 2mm,准备进行下次切削,否则执<br>行下一程序段) |
| G0 X100;                    | (径向退刀)                                                    |

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Z100;                       | (轴向退刀)                      |
| T0303;                      | (调3号刀具以及3号刀补)               |
| M03 S850 M08;               | (主轴正转,转速为850r/min,打开切削液)    |
| G0 X15.8 Z3;                | (快速到达螺纹切削的起点)               |
| #120 = 0;                   | (螺纹深度初始值)                   |
| #121 = 0.5;                 | (第1层背吃刀量)                   |
| N140 #120 = #120 - #121;    | (螺纹深度减去每次进刀量)               |
| G0 X[#120 + 26];            | (进刀)                        |
| G32 Z - 15 F1.5;            | (车削螺纹)                      |
| G0 X16.5;                   | (X向退刀)                      |
| Z3;                         | (轴向退刀)                      |
| IF[#120 GT - 1.5] GOTO140;  | (如果#120 大于 - 1.5,则跳转到 N140) |
| #121 = 0.3;                 | (#121 重新赋值,第2层螺纹背吃刀量)       |
| IF[#120 GT - 1.8] GOTO140;  | (如果#120 大于 - 1.8,则跳转到 N140) |
| #121 = 0.1;                 | (#121 重新赋值,第3层螺纹背吃刀量)       |
| IF[#120 GE - 1.95] GOTO140; | (如果#120 大于等于 - 1.95,则跳转到    |
|                             | N140)                       |
| G0 X100;                    | (径向退刀)                      |
| Z100;                       | (轴向退刀)                      |
| M05;                        |                             |
| M09;                        |                             |
| M30;                        |                             |

程序2:件1右面加工程序,为了节省篇幅,掉头后保证总长的加工程序不再给出

|               |                          |
|---------------|--------------------------|
| O4028;        | (程序名)                    |
| T0101;        | (调1号刀具以及1号刀补)            |
| M03 S650 M08; | (主轴正转,转速为650r/min,打开切削液) |
| G0 X42 Z1;    | (快速进刀到工件的右面)             |
| G01 Z0 F0.12; | (直线进刀到右端面)               |
| X - 0.6;      | (车削端面)                   |
| G0 Z1 X42;    | (快速退刀)                   |
| S550;         | (改变转速,转速为550r/min)       |

|                                                   |                           |
|---------------------------------------------------|---------------------------|
| #100 = 20;                                        | (设置#100 号变量的值,为底孔直径)      |
| #101 = 1;                                         | (设置#100 号变量的值,判别变量)       |
| #103 = 1                                          | (设置#103 号变量的值,判别变量)       |
| #105 = 0;                                         | (设置#105 号变量的值,判别变量)       |
| N10 #100 = #100 - #101;                           | (#100 号变量每次减少#101 号变量的值)  |
| #106 = 2 * [#100 - #101] + #103;                  | (计算#106 号变量的值)            |
| G0 X[#106];                                       | (进刀)                      |
| #104 = 25 * SQRT[1 - [#100 *<br>#100]/[19 * 19]]; | (基于椭圆的方程计算#104 号变量的值)     |
| IF[#105 GT 0.5] GOTO20;                           | (如果#105 大于 0.5,则跳转到 N20)  |
| G01 Z[#104 - 25] F0.2;                            | (车削)                      |
| G0 U0.5;                                          | (径向退刀)                    |
| Z1;                                               | (轴向退刀)                    |
| IF[#100 GT 0] GOTO10;                             | (如果#100 大于 0,则跳转到 N10)    |
| #101 = -0.1;                                      | (#101 号变量重新赋值)            |
| #103 = #103 - 1;                                  | (余量减掉)                    |
| #105 = #105 + 1;                                  | (#105 号变量每次增加 1)          |
| S650;                                             | (改变转速,转速为 650r/min)       |
| N20 G01 X[2 * #100]                               |                           |
| Z[#104 - 30] F0.08;                               | (车削椭圆弧)                   |
| IF[#100 LT 19] GOTO10;                            | (如果#100 小于 19,则跳转到 N10)   |
| G01 X41;                                          | (车削)                      |
| G0 X100;                                          | (径向退刀)                    |
| Z100;                                             | (轴向退刀)                    |
| M05;                                              |                           |
| M09;                                              |                           |
| M30;                                              |                           |
| <b>程序 3:件 2 加工程序</b>                              |                           |
| O4029;                                            | (程序名)                     |
| T0101;                                            | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)         |
| M03 S650 M08;                                     | (主轴正转,转速为 650r/min,打开切削液) |
| G0 X42 Z1;                                        | (快速进刀到工件的右面)              |
| G01 Z0 F0.12;                                     | (直线进刀到右端面)                |



|                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| X -0.6;                 | (车削端面)                   |
| G0 Z1 X42;              | (快速退刀)                   |
| S550 F0.2;              | (改变转速,转速为 550r/min)      |
| #100 = 20;              | (设置#100 号变量的值,为毛坯直径)     |
| #101 = 1;               | (设置#101 号变量的值,为背吃刀量)     |
| #102 = 1;               | (设置#102 号变量的值,为精加工余量)    |
| #103 = 0;               | (设置#103 号变量的值,判别变量)      |
| #104 = 0;               | (设置#104 号变量的值,判别变量)      |
| N10 #100 = #100 - #101; | (#100 号变量的值减去#101 号变量的值) |
| #105 = 2 * #100 + #102; | (计算#105 号变量的值)           |
| G01 X[#105];            | (进刀)                     |
| IF[#104 GT 0.5] GOTO20; | (如果#104 大于 0.5,则跳转到 N20) |
| IF[#103 GT 0.5] GOTO20; | (如果#103 大于 0.5,则跳转到 N20) |
| N30 G01 Z -30;          | (车削)                     |
| IF[#105 GT 0.5] GOTO40; | (如果#105 大于 0.5,则跳转到 N40) |
| G0 U0.5;                | (径向退刀)                   |
| Z1;                     | (轴向退刀)                   |
| IF[#100 GT 19] GOTO10;  | (如果#100 大于 19,则跳转到 N10)  |
| #103 = #103 + 1;        | (#103 号变量每次增加 1)         |
| N20 G01 Z -18;          | (车削)                     |
| IF[#104 GT 0.5] GOTO10; | (如果#104 大于 0.5,则跳转到 N10) |
| G0 U0.5;                | (径向退刀)                   |
| Z1;                     | (轴向退刀)                   |
| IF[#100 GT 17] GOTO10;  | (如果#100 大于 17,则跳转到 N10)  |
| S650 F0.08;             | (改变转速和进给率)               |
| #102 = #102 - 1;        | (余量减掉)                   |
| #104 = #104 + 1;        | (#104 号变量每次增加 1)         |
| IF[#104 GT 0.5] GOTO20; | (如果#104 大于 0.5,则跳转到 N20) |
| IF[#100 LT 19] GOTO10;  | (如果#100 小于 19,则跳转到 N10)  |
| #105 = #105 + 1;        | (#105 号变量每次增加 1)         |
| IF[#105 GT 0.5] GOTO30; | (如果#105 大于 0.5,则跳转到 N30) |
| N40 G01 X41;            | (车削)                     |
| G0 X100;                | (径向退刀)                   |

|                          |                                   |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Z100;                    | (轴向退刀)                            |
| T0202;                   | (调2号刀具以及2号刀补)                     |
| M03 S350 M08;            | (主轴正转,转速为350r/min,打开切削液)          |
| G0 X35 Z1;               | (快速定位)                            |
| #120 = -14;              | (设置#120号变量的值)                     |
| #123 = 4;                | (设置#123号变量的值)                     |
| N110 G0 Z[#120];         | (快速移动到要切槽的位置)                     |
| #121 = 0;                | (设置#121号变量的值)                     |
| #122 = 2;                | (设置#122号变量的值)                     |
| N100 #121 = #121 - #122; | (#121号变量等于#121号变量减去#122号变量的值)     |
| G01 U[#121] F0.05;       | (切入)                              |
| IF[#121 GT -4] GOTO100;  | (如果#121大于-4,则跳转到N100)             |
| G01 X35 F1;              | (径向退刀)                            |
| #120 = #120 - #123;      | (#120号变量值等于#120号变量的值减去#123号变量的值)  |
| IF[#120 GT -18] GOTO110; | (如果#120大于-18,则跳转到N110)            |
| G0 X100;                 | (径向退刀)                            |
| Z100;                    | (轴向退刀)                            |
| T0404;                   | (调4号刀具以及4号刀补)                     |
| M03 S550 M08;            | (主轴正转,转速为550r/min)                |
| G0 X17 Z1;               | (快速定位)                            |
| #110 = 9;                | (设置#110号变量的值)                     |
| #111 = 1;                | (步距)                              |
| #113 = 1;                | (余量)                              |
| #114 = 0;                | (判别变量)                            |
| N50 #110 = #110 + #111;  | (#110号变量的值等于#110号变量的值加上#111号变量的值) |
| #112 = 2 * #100 + #113;  | (计算#112号变量的值)                     |
| G01 X[#112] F0.2;        | (车削)                              |
| IF[#116 GT 0.5] GOTO70;  | (如果#116大于0.5,则跳转到N70)             |
| IF[#115 GT 0.5] GOTO60;  | (如果#115大于0.5,则跳转到N60)             |
| IF[#114 GT 0.5] GOTO10;  | (如果#114大于0.5,则跳转到N10)             |

|                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| N80 G01 Z -31 F0.2;       | (车削)                     |
| IF[#117 GT 0.5] GOTO90;   | (如果#117 大于 0.5,则跳转到 N90) |
| G0 U -0.5;                | (径向退刀)                   |
| Z1;                       | (轴向退刀)                   |
| IF[#117 GT 0.5] GOTO90;   | (如果#117 大于 0.5,则跳转到 N90) |
| IF[#100 LT 11] GOTO60;    | (如果#100 小于 11,则跳转到 N60)  |
| #114 = #114 + 1;          | (#114 号变量每次增加 1)         |
| IF[#114 GT 0.5] GOTO50;   | (如果#114 大于 0.5,则跳转到 N50) |
| N60 G01 Z -5;             | (车削)                     |
| IF[#115 GT 0.5] GOTO70;   | (如果#115 大于 0.5,则跳转到 N70) |
| G0 U -0.5;                | (径向退刀)                   |
| Z1;                       | (轴向退刀)                   |
| IF[#110 LT 15] GOTO60;    | (如果#110 小于 15,则跳转到 N60)  |
| #113 = #113 - 1;          | (余量减掉)                   |
| #115 = #115 + 1;          | (#115 号变量每次增加 1)         |
| #111 = -0.2;              | (#111 号变量重新赋值)           |
| IF[#115 GT 0.5] GOTO50;   | (如果#115 大于 0.5,则跳转到 N50) |
| #116 = #116 + 1;          | (# 116 号变量每次增加 1)        |
| N70IF[#110 GT 11] GOTO50; | (如果#110 大于 11,则跳转到 N50)  |
| #117 = #117 + 1;          | (# 117 号变量每次增加 1)        |
| IF[#110 EQ 11] GOTO80;    | (如果#110 等于 11,则跳转到 N80)  |
| N90 G0 Z100;              | (轴向退刀)                   |
| X100;                     | (径向退刀)                   |
| M05;                      |                          |
| M09;                      |                          |
| M30;                      |                          |

程序 4：件 3 左面加工程序，为了节省篇幅，切断以及调头后保证总长的程序不再给出，可以参考前面加工程序

|               |                           |
|---------------|---------------------------|
| O4030;        | (程序名)                     |
| T0101;        | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)         |
| M03 S650 M08; | (主轴正转,转速为 650r/min,打开切削液) |
| G0 X42 Z1;    | (快速进刀到工件的右面)              |

|                             |                                   |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| G01 Z0 F0.12;               | (直线进刀到右端面)                        |
| X -0.6;                     | (车削端面)                            |
| G0 Z1 X42;                  | (快速退刀)                            |
| S550 F0.2;                  | (改变转速,转速为 550r/min)               |
| #100 = 20;                  | (设置#100 号变量的值,为毛坯直径值)             |
| #101 = 1;                   | (设置#101 号变量的值,为背吃刀量)              |
| #102 = 1;                   | (设置#102 号变量的值,为精加工余量)             |
| #103 = 0;                   | (设置#103 号变量的值,判别变量)               |
| #104 = 0;                   | (设置#104 号变量的值,判别变量)               |
| #105 = 0;                   | (设置#105 号变量的值,判别变量)               |
| #106 = 0;                   | (设置#106 号变量的值,判别变量)               |
| N10 #100 = #100 - #101;     | (#100 号变量等于#100 号变量减去#101 号变量)    |
| <br>#107 = 2 * #100 + #102; | (计算#107 号变量的值)                    |
| G0 X[#107];                 | (进刀)                              |
| G01 Z -20;                  | (车削)                              |
| G0 U0.5;                    | (径向退刀)                            |
| Z1;                         | (轴向退刀)                            |
| IF[#100 GT 17] GOTO10;      | (如果#100 大于 17,则跳转到 N10)           |
| #102 = #102 - 1;            | (余量减掉)                            |
| IF[#102 LT -0.5] GOTO20     | (如果#102 小于 -0.5,则跳转到 N20)         |
| S650 F0.08;                 | (改变转速,转速为 650r/min,进给率为 0.08mm/r) |
| <br>GOTO10;                 | (无条件跳转到 N10)                      |
| N20 G01 X42;                | (车削轮廓)                            |
| G0 X100;                    | (径向退刀)                            |
| Z100;                       | (轴向退刀)                            |
| T0202;                      | (调 2 号刀具以及 2 号刀补)                 |
| M03 S350 M08;               | (主轴正转,转速为 350r/min,打开切削液)         |
| G0 X36 Z1;                  | (快速定位)                            |
| #110 = -20;                 | (设置#110 号变量的值)                    |
| G0 Z[#110];                 | (快速移动到要切槽的位置)                     |
| #111 = 0;                   | (设置#111 号变量的值)                    |

|                             |                                 |
|-----------------------------|---------------------------------|
| #112 = 1;                   | (设置#112 号变量的值)                  |
| N30 #111 = #111 - #112;     | (#111 号变量等于#111 号变量减去#112 号变量)  |
| #113 = 2 * #111;            | (计算#113 号变量的值)                  |
| G01 U[#111] F0.05;          | (切入)                            |
| IF[#111 GT -3] GOTO30;      | (如果#111 大于 -3,则跳转到 N30)         |
| G01 X42 F1;                 | (径向退刀)                          |
| G0 X100;                    | (径向退刀)                          |
| Z100;                       | (轴向退刀)                          |
| T0404;                      | (调 4 号刀具以及 4 号刀补)               |
| M03 S550 M08 F0.2;          | (主轴正转,转速为 550r/min,打开切削液)       |
| G0 X8 Z1;                   | (快速定位)                          |
| #120 = 5;                   | (设置#120 号变量的值)                  |
| #121 = 1;                   | (设置#121 号变量的值)                  |
| #122 = 1;                   | (设置#122 号变量的值)                  |
| #120 = #120 + #121;         | (#120 变量等于#120 号变量加上#121 号变量的值) |
| N60 #123 = 2 * #120 - #122; | (计算#123 号变量的值)                  |
| G0 X[#123];                 | (进刀)                            |
| G0 Z - 19.5;                | (车削)                            |
| G0 U - 0.5;                 | (径向退刀)                          |
| Z1;                         | (轴向退刀)                          |
| IF[#120 LT 7] GOTO60;       | (如果#120 小于 7,则跳转到 N60)          |
| #122 = #122 - 1;            | (余量减去)                          |
| IF[#122 LT -0.5] GOTO50;    | (如果#122 小于 -0.5,则跳转到 N50)       |
| S650 F0.08;                 | (改变转速和进给率)                      |
| GOTO60;                     | (无条件跳转到 N60)                    |
| N50 G0 Z150;                | (轴向退刀)                          |
| X100;                       | (径向退刀)                          |
| T0505;                      | (调 5 号刀具以及 5 号刀补)               |
| M03 S300 M08;               | (主轴正转,转速为 300r/min)             |
| G0 X12 Z1;                  | (快速定位)                          |
| G01 Z - 19;                 | (到达切槽的位置)                       |

|                           |                                  |
|---------------------------|----------------------------------|
| #130 = 7;                 | (设置#130 号变量的值)                   |
| #131 = 1;                 | (设置#131 号变量的值)                   |
| N70 #130 = #130 + #131;   | (#130 号变量等于#130 号变量加#131 号变量的值)  |
| #132 = 2 * #130;          | (计算#132 号变量的值)                   |
| G01 X[#132];              | (车削)                             |
| IF[#132 LT 9] GOTO70;     | (如果#132 小于 9,则跳转到 N70)           |
| G01 X12;                  | (径向退刀)                           |
| G0 Z150;                  | (轴向退刀)                           |
| X150;                     | (径向退刀)                           |
| T0606;                    | (调用 6 号刀以及 6 号参数补偿)              |
| M03 S450 M08;             | (主轴正转,转速为 450r/min,打开切削液)        |
| G0 X13 Z3;                | (快速定位)                           |
| #140 = 0;                 | (设置#140 号变量)                     |
| #141 = 0.5;               | (背吃刀量)                           |
| N140 #140 = #140 + #141;  | (#140 号变量等于#140 号变量加上#141 号变量的值) |
| G0 X[#140];               | (进刀)                             |
| G32 Z - 16 F1.5;          | (车削螺纹)                           |
| G0 X13;                   | (X 向退刀)                          |
| Z3;                       | (轴向退刀)                           |
| IF[#140 LT 1.5] GOTO140;  | (如果#140 小于 1.5,则跳转到 N140)        |
| #141 = 0.3;               | (#141 重新赋值)                      |
| IF[#140 LT 1.8] GOTO140;  | (如果#141 小于 1.8,则跳转到 N140)        |
| #141 = 0.1;               | (#141 重新赋值)                      |
| IF[#140 GE 1.95] GOTO140; | (如果#141 大于等于 1.95,则跳转到 N140)     |
| G0 X100;                  | (径向退刀)                           |
| Z100;                     | (轴向退刀)                           |
| M05;                      |                                  |
| M09;                      |                                  |
| M30;                      |                                  |

程序 5：件 3 右面加工程序，为了节省篇幅，切断以及调头后保证总长的程序不再给出，可以参考前面加工程序

|                                                       |                            |
|-------------------------------------------------------|----------------------------|
| O4031;                                                | (程序名)                      |
| T0707;                                                | (调用 7 号以及参数)               |
| M03 S650 M08;                                         | (主轴正转,转速为 650r/min,打开切削液)  |
| G0 X42 Z1;                                            | (快速进刀到工件的右面)               |
| G01 Z0 F0.12;                                         | (直线进刀到右端面)                 |
| X -0.6;                                               | (车削端面)                     |
| G0 Z1 X42;                                            | (快速退刀)                     |
| S550 F0.2;                                            | (改变转速和进给率)                 |
| G73 U20 R20;                                          |                            |
| G73 P10 Q50 U0.3 F0.2;                                |                            |
| N10 G0 X0;                                            | (快速定位)                     |
| G01 Z0;                                               | (直线进刀到工件的原点)               |
| #101 = 10;                                            | (设置#101 号变量的值,粗加工余量)       |
| N20 #102 = 19 * SQRT[1 - [#101<br>* #101]/[10 * 10]]; | (计算#102 号变量的值)             |
| #103 = #101 - 10;                                     | (计算工件中的 Z 值)               |
| #104 = 2 * #102;                                      | (计算工件中的 X 值)               |
| G01 X[#104] Z[#103] F0.2;                             | (车削椭圆弧轮廓)                  |
| #101 = #101 - 0.1;                                    | (#101 号变量每次减去 0.1)         |
| IF[#101 GT -6.14] GOTO20;                             | (如果#101 大于 -6.14,则跳转到 N20) |
| N50 G01 X42;                                          | (车削)                       |
| G70 P10 Q50 F0.08;                                    | (精车椭圆轮廓)                   |
| G0 X100;                                              | (径向退刀)                     |
| Z100;                                                 | (轴向退刀)                     |
| M05;                                                  |                            |
| M09;                                                  |                            |
| M30;                                                  |                            |

#### 4.10.5 编程总结

宏程序很适应椭圆、正弦曲线、双曲线、抛物线等没有现成插补指令的非圆

曲线的编程；适合图形一致而尺寸不同的系列工件的加工；适合走刀路径一致而位置数据有所不同的系列工件的加工。

## 4.11 本章小结

(1) 宏程序特别适合用于车削非圆曲面回转类零件的编程加工，利用椭圆曲线拟合的编程原理，同样可以用于编程双曲线、抛物线等二次非曲线，只要合理运用宏程序的参数和转向语句 GOTO 或循环语句 WHILE 来编程，并用直线插补 G01 进行拟合加工，就能很好地简化程序，增加编程技巧，提高编程质量。

(2) 编制宏程序离不开数学知识作为支撑，其中三角函数、解析方程和参数方程等是最为直接的基础，要编制出高效、有效的宏程序，一方面要求编程者具有良好的工艺知识和经验，即具备确定切削用量参数、选择合适刀具、设计走刀方式等；另一方面也要求编程者具有相应的数学知识，即掌握如何将型面曲线转化为符合程序格式要求语句的能力。





# 宏程序在普通螺纹车削中的应用

### 本章内容提要

螺纹加工也是车削的重要内容，虽然目前多数的数控系统提供了螺纹循环切削的数控指令（G32、G92 和 G76），但在特殊螺纹牙型、大螺距和多线螺纹等方面，系统提供的指令显得功能不足了，因此本章依次介绍宏程序在单线螺纹、双线螺纹、大螺距螺纹、普通内螺纹加工和综合实例中的应用，了解宏程序结合螺纹加工工艺，在控制螺纹切削走刀方式和增加程序通用性上的优势。

## 5.1 螺纹加工概述

### 5.1.1 螺纹加工的常见循环指令和特点

螺纹车削是在车床上，通过控制进给运动与主轴旋转运动形成一定的比例关系，加工特殊螺旋槽的过程。其中，螺纹形状主要是由车刀截面形状和安装位置决定的，螺距是由刀具的进给量大小决定的。

在目前的 FANUC 和广州数控系统的车床上加工螺纹一般提供 3 种方法：G32 直进式切削方式、G92 直进式固定循环切削方式和 G76 斜进式复合固定循环切削方式。直进式的特点是工艺简单、编程方便，但造成两条切削刃同时承受切削力，切削刃容易磨损，也极易产生扎刀现象，因此一般用于车削螺距较小 ( $P \leq 2\text{mm}$ ) 的螺纹；斜进式的特点是进刀路径沿着同一个方向斜向进给，理论上车刀属于单面切削，不易产生扎刀现象。这两种车削螺纹的方法是数控车床上经常使用的螺纹加工方法，但是在加工大螺距、特殊牙型的螺纹时，会出现不同程度的振动现象，即螺距越大，加工深度越深，加工时切削刃部位所受到的切削力

越大。

### 5.1.2 螺纹加工的走刀路径

直进式螺纹切削指令 G92 的走刀路径方式如图 5-1 所示；斜进式螺纹切削指令 G76 的走刀路径方式如图 5-2 所示。

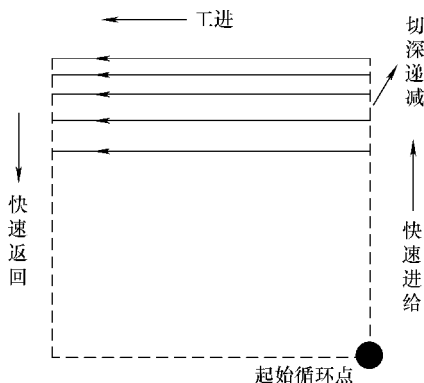


图 5-1 G92 指令走刀路径方式

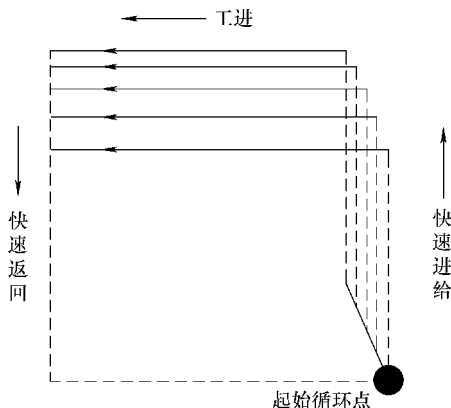


图 5-2 G76 指令走刀路径方式

除了上述两种常见螺纹切削走刀路径方式外，还可以采用左右切削进刀法，该方式很适合加工大螺距、多线螺纹等零件的粗加工，这种进刀方式如图 5-3 所示，其切削顺序依次为 1→2→3→4→5→6→7→8→9→10→11→12，每层背吃刀量还可以进行递减控制。采用这样的加工方式，可以大大改善切削刃的受力状况，当然最后精加工时需要对牙型两侧和底面进行修光加工。显然，在现有螺纹车削指令的基础上，增加宏程序可以更加方便地去控制走刀路径和走刀顺序。

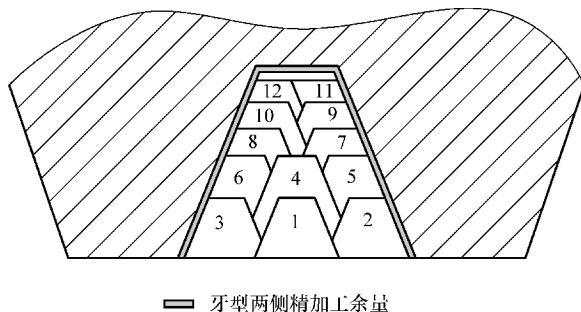


图 5-3 左右进刀方式和顺序

## 5.2 实例 5-1 车削单线螺纹宏程序应用

### 5.2.1 零件图和加工内容

图 5-4 所示为 M24 × 1.5 的单线螺纹，材料为 45 钢，除了螺纹外，其他尺寸已加工，编制车削螺纹的宏程序，其中牙型角度为 60°，单侧牙深为 0.975mm（根据螺纹的牙深计算公式推导出来的，该值为参考值，实际加工时需要根据螺纹公差、刀具刀尖圆弧大小等因素来确定，并不是一成不变的）。

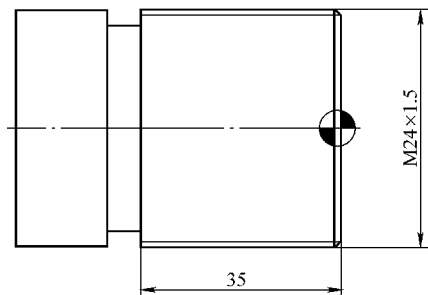


图 5-4 零件加工螺纹尺寸

### 5.2.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯尺寸  $\phi 24\text{mm} \times 60\text{mm}$ ，其中外圆  $\phi 24\text{mm}$  和螺纹退刀槽  $\phi 19\text{mm} \times 3\text{mm}$  已完成加工。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘，夹持左侧圆柱面；刀具：60°螺纹刀；量具：螺纹环规（通规和止规）。

(3) 制订表 5-1 所示的工序卡，其中螺纹加工的进给量为工件螺纹的螺距（多线螺纹为导程），螺纹车削深度需要根据加工材料、刀具材料和加工系统的刚度情况来确定，本实例螺纹背吃刀量依次递减为 0.5mm、0.3mm 和 0.1mm。

表 5-1 数控车削单线小螺距螺纹的工序卡

| 工序 | 主要内容 | 设备   | 刀具     | 切削用量           |                |                      |
|----|------|------|--------|----------------|----------------|----------------------|
|    |      |      |        | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm          |
| F1 | 车削螺纹 | 数控车床 | 60°螺纹刀 | 600            | —              | 0.5、0.3、<br>0.1、0.05 |

### 5.2.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 本实例螺纹加工刀具路径是：进刀→切削→X 向退刀→轴向退刀，如此往复直至完成螺纹的切削。同时，合理设置好螺纹切削起始位置，即加工起点

的 X 向和 Z 向坐标值。

(2) 随着螺纹切削深度的增加, 刀具承受的切削力就越大, 在实际加工中为了提高刀具的寿命和工件表面的质量, 常采用等深度分层车削, 即以螺纹加工深度作为变量, 随着切削深度的增加, 每层背吃刀量依次递减为 0.5mm、0.3mm 和 0.1mm, 螺纹车削编程的流程如图 5-5 所示。

(3) 螺纹加工主要设置的变量有精车次数、最小切深限制、精加工余量、牙底直径、首次背吃刀量、螺距等。不同的加工要求和编程思路, 设置变量有所不同。

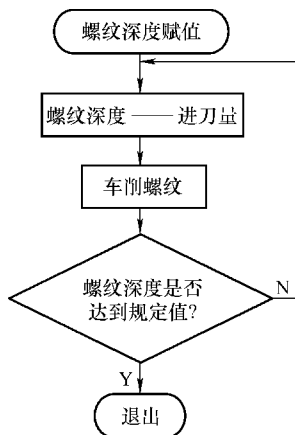


图 5-5 车削单线螺纹流程图

#### 5.2.4 数控程序及其注释

|                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| O5001;                    | (主程序名)                |
| T0101;                    |                       |
| M03 S600;                 |                       |
| G0 X23.8 Z3;              |                       |
| #100 = 24;                | (螺纹的起始直径)             |
| #101 = 0.5;               | (第 1 层背吃刀量)           |
| N10#100 = #100 - #101;    | (螺纹深度减去每次进刀量)         |
| G0 X[#100 + 24];          | (进刀)                  |
| G32 Z - 36.5 F1.5;        | (车削螺纹)                |
| G0 X30;                   | (X 向退刀)               |
| Z3;                       | (轴向退刀)                |
| IF[#100 GT - 1] GOTO10;   | (条件判断)                |
| #101 = 0.3;               | (#101 重新赋值,第 2 层背吃刀量) |
| IF[#100 GT - 1.6] GOTO10; | (条件判断)                |
| #101 = 0.1;               | (#101 重新赋值,第 3 层背吃刀量) |
| IF[#100 GT - 1.8] GOTO10; | (条件判断,判断螺纹的深度是否达到规定值) |
| #101 = 0.05;              |                       |
| IF[#100GT - 1.95] GOTO10; |                       |
| G0 X100;                  |                       |
| Z100;                     |                       |

M05;

M09;

M30;

### 5.2.5 编程总结

(1) 有关车削螺纹的螺纹加工参数、加工工艺和切削用量可以参考相关专业书籍。本实例确定的螺纹深度作为参考，在实际应用中螺纹作为配合件，加工时还要考虑其公差因素。

(2) 螺纹加工常采用等深度和等面积两种方式，本实例采用等深度分层车削螺纹，随着深度的增加，刀具承受切削力会加大，容易使螺纹产生扎刀，最后的走刀用于修光螺纹型面；等面积车削螺纹在车削大螺距普通螺纹、梯形螺纹和变距螺纹中最为常用。

(3) 本实例通过设置变量#101 作为螺纹深度的控制，随着不断切削对其重新赋值，实现了车削螺纹的分层车削。

(4) 关于设置起刀点 Z3 和切削终点 Z-36.5 的原因：在实际车削螺纹开始时，伺服系统不可避免地有个加速过程，结束前也有个减速过程，在这两段时间内，螺距得不到有效保证，故在车削螺纹的编程中应考虑增加空刀导入量和空刀退出量。

## 5.3 实例 5-2 车削双线螺纹宏程序应用

### 5.3.1 零件图和加工内容

图 5-6 所示为  $M30 \times 3$  ( $P = 1.5\text{mm}$ ) 的双线螺纹，材料为 45 钢，除了螺纹外，其他尺寸已加工，编制车削双线螺纹的宏程序。

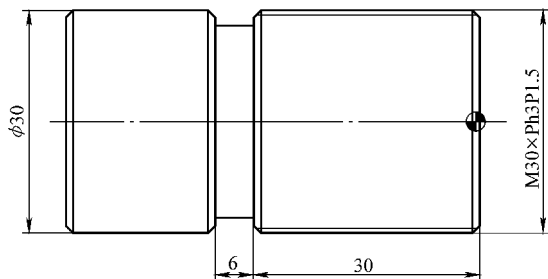


图 5-6 零件图及其主要尺寸

5.3.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯尺寸  $\phi 30\text{mm} \times 60\text{mm}$ ，其中外圆  $\phi 30\text{mm}$  和螺纹退刀槽  $\phi 26\text{mm} \times 6\text{mm}$  已完成加工。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘，夹持左侧外圆；刀具： $60^\circ$  螺纹刀；量具：螺纹环规（通规和止规）。

(3) 制订表 5-2 所示的工序卡，其中螺纹车削深度依次递减为 0.5mm、0.3mm 和 0.1mm。

表 5-2 数控车削双线螺纹的工序卡

| 工 序 | 主要内容 | 设 备  | 刀 具            | 切削用量           |                |                      |
|-----|------|------|----------------|----------------|----------------|----------------------|
|     |      |      |                | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm          |
| 1   | 车削螺纹 | 数控车床 | $60^\circ$ 螺纹刀 | 600            | —              | 0.5、0.3、<br>0.1、0.05 |

5.3.3 编程思路和刀具路径规划

本实例采用等面积法车削螺纹，加工刀路是：进刀→切削→X 向退刀→轴向退刀，如此往复直至完成螺纹的切削，编程时以螺纹加工深度作为变量，随着螺纹切入深度的增加，背吃刀量逐渐调整为 0.5mm、0.3mm 和 0.1mm。

5.3.4 数控程序及其注释

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| O5002;                 | (主程序名)              |
| T0101;                 |                     |
| M03 S600;              |                     |
| #103 = 5;              | (设置第 1 条螺旋线的加工起点)   |
| N20 G0 X29.8 Z#103;    | (快速到达第 1 条螺旋线的加工起点) |
| #100 = 0;              | (螺纹深度的初始值)          |
| #101 = 0.5;            | (螺纹第 1 层背吃刀量)       |
| N10#100 = #100 - #101; | (每次进刀值)             |
| G0 X[#100 + 29.8];     | (进刀)                |
| G32 Z - 32.5 F3;       | (车削螺纹)              |
| G0 X34;                | (X 向退刀)             |
| Z#103;                 | (轴向退刀)              |

```

IF[#100 GT -1] GOTO10;      (判断螺纹切削深度是否大于1)
#101 =0.3;                  (螺纹第2切削层背吃刀量)
IF[#100 GT -1.6] GOTO10;    (判断螺纹切削深度是否大于1.6)
#101 =0.1;                  (螺纹第3切削层背吃刀量)
IF[#100 GT -1.8] GOTO10;    (判断螺纹切削深度是否大于1.8)
#101 =0.05;
IF[#101GT -1.95] GOTO10
#103 = #103 -1.5;            (左进螺距)
IF[#103 GT 3] GOTO20;        (判断螺纹线数是否达到规定值)
G0 X100;
  Z100;
M05;
M09;
M30;
    
```

### 5.3.5 编程总结

本实例是在单线螺纹车削宏程序的基础上，增加一个变量#103=5 和一个表达式#103=#103-1.5 就能实现车削双线螺纹，这种编程思路同样适合车削三线螺纹、四线螺纹等多线螺纹。而在数控车上螺纹分头有几种方法，比如本实例采用的是Z轴起始点偏移了一个螺距，还有主轴周向起始点偏移一个角度等方法。

## 5.4 实例 5-3 车削大螺距螺纹宏程序应用

### 5.4.1 零件图和加工内容

图 5-7 所示为 M30×3 的单线螺纹，螺距为 3mm，材料为 45 钢，除了螺纹

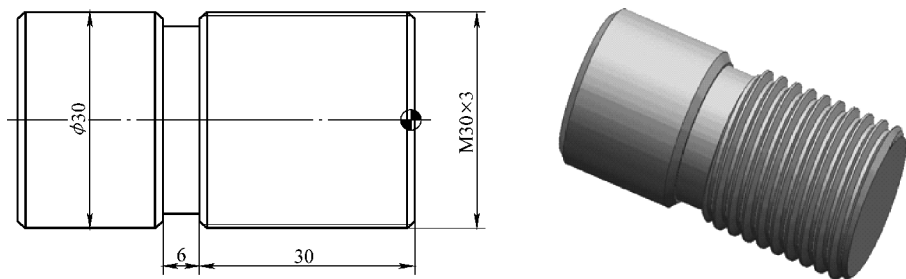


图 5-7 零件尺寸及三维造型图

外，其他尺寸已加工，编制车削螺纹（大螺距）的宏程序。

5.4.2 工艺分析和加工路线

- (1) 确定加工毛坯尺寸  $\phi 30\text{mm} \times 60\text{mm}$ ，其中外圆  $\phi 30\text{mm}$  和螺纹退刀槽  $\phi 26\text{mm} \times 6\text{mm}$  已完成加工。
- (2) 装夹方式：普通自定心卡盘，一夹一顶的装夹方式；刀具： $60^\circ$  螺纹刀；量具：螺纹环规（通规和止规）。
- (3) 制订表 5-3 所示的车削工序卡。

表 5-3 数控车削大螺距螺纹的工序卡

| 工 序 | 主要内容 | 设 备  | 刀 具            | 切 削 用 量        |                |              |
|-----|------|------|----------------|----------------|----------------|--------------|
|     |      |      |                | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm  |
| 1   | 车削螺纹 | 数控车床 | $60^\circ$ 螺纹刀 | 100            | —              | 0.3、0.15、0.1 |

5.4.3 编程思路和刀具路径规划

- (1) 本实例针对大螺距加工，采用等面积法车削螺纹，加工刀路是：进刀→切削→X 向退刀→轴向退刀，如此往复直至完成螺纹的切削，编程时以螺纹加工深度作为变量，随着螺纹切入深度的增加，背吃刀量逐渐调整为 0.5mm、0.3mm 和 0.1mm。
- (2) 由于车削螺纹的螺距较大，在加工过程中则需要左、右进刀 0.1mm。
- (3) 本实例依次采用子程序嵌套和宏程序两种方法进行编程。

5.4.4 数控程序及其注释

程序 1：采用子程序嵌套

O5003; (主程序名)

T0101;

M03 S100;

G00 X35 Z6;

X30;

M98 P50039; (调用 O0039 子程序 5 次)

M98 P100040; (调用 O0040 子程序 10 次)

M98 P40041; (调用 O0041 子程序 4 次)

G0 X26.6 Z6;



|               |                    |
|---------------|--------------------|
| S40;          | (改变转速)             |
| M98 P20041;   | (调用 00041 子程序 2 次) |
| G0 X100 Z100; |                    |
| M05;          |                    |
| M09;          |                    |
| M30;          |                    |
| ...           |                    |
| O0039;        | (子程序名)             |
| G0 U -0.3;    | (进刀每刀 0.3mm)       |
| M98 P0043;    | (调用 00043 子程序 1 次) |
| M99;          |                    |
| ...           |                    |
| O0040;        | (子程序名)             |
| G0 U -0.15;   | (进刀每刀 0.15mm)      |
| M98 P0043;    |                    |
| M99;          |                    |
| ...           |                    |
| O0041;        | (子程序名)             |
| G0 U -0.1;    | (进刀每刀 0.1mm)       |
| M98 P0043;    |                    |
| M99;          |                    |
| ...           |                    |
| O0043;        | (子程序名)             |
| G0 W0.1;      | (右进刀 0.1mm)        |
| G32 Z -32 F3; | (车削螺纹)             |
| G0 U10;       | (X 向退刀)            |
| Z6;           | (轴向退刀)             |
| W -0.1;       | (左进刀)              |
| U -10;        | (返回到 X 起点)         |
| G32 Z -32 F3; | (车削螺纹)             |
| G0 U10;       | (X 向退刀)            |
| Z6;           | (轴向退刀)             |
| U -10;        | (X 向返回到起点)         |

M99;

程序 2：采用宏程序编程

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| O5004;                    | (主程序名)             |
| T0101;                    |                    |
| M03 S100;                 |                    |
| G0 X30 Z5;                |                    |
| #100 = 0;                 | (螺纹深度的初始值)         |
| #101 = 0.3;               | (第 1 层螺纹背吃刀量)      |
| N10 #100 = #100 - #101;   |                    |
| G0 W0.1;                  | (右进刀)              |
| G0 X[#100 + 30];          | (进刀)               |
| G32 Z - 32 F3;            | (车削螺纹)             |
| G0 X40;                   | (X 向退刀)            |
| Z5;                       | (轴向退刀)             |
| W - 0.1;                  | (左进刀)              |
| G0 X[#100 + 30];          | (进刀)               |
| G32 Z - 32 F3;            | (车削螺纹)             |
| G0 X40;                   | (X 向退刀)            |
| Z5;                       | (轴向退刀)             |
| IF[#100 GT - 1.5] GOTO10; | (判断螺纹深度是否大于 1.5mm) |
| #101 = 0.15;              | (第 2 层螺纹背吃刀量)      |
| IF[#100 GT - 3] GOTO10;   | (判断螺纹深度是否大于 3mm)   |
| #101 = 0.1;               | (第 3 层螺纹背吃刀量)      |
| S40;                      | (精车转速降低)           |
| IF[#100 GT - 3.6] GOTO10; | (判断螺纹深度是否达到规定值)    |
| G0 X100;                  |                    |
| Z100;                     |                    |
| M05;                      |                    |
| M09;                      |                    |
| M30;                      |                    |

#### 5.4.5 编程总结

(1) 车削大螺距螺纹时, 根据工件材料和刀具材料情况合理分配好每层的

背吃刀量，在编制宏程序时可以合理设置变量及其控制语句来满足此加工要求。

(2) 车削大螺距螺纹时需要进刀保证刀具单侧加工，减小两侧同时加工的切削力。采用一般的 G 指令难以满足进刀路径变化的要求，采用子程序嵌套可以简化程序，而用宏程序就更加方便。

5.5 实例 5-4 车削普通内螺纹宏程序应用

5.5.1 零件图和加工内容

图 5-8 所示为 M20 × 1.5 的单线内螺纹，材料为 45 钢，除了螺纹外，其他尺寸已加工，编制车削内螺纹的宏程序。

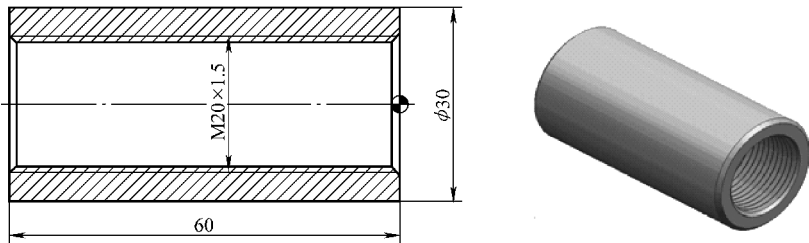


图 5-8 零件尺寸及三维造型图

5.5.2 工艺分析和加工路线

- (1) 确定加工毛坯尺寸为 φ30mm × 60mm，外圆和端面均已完成加工。
- (2) 装夹方式：普通自定心卡盘；刀具：直径 10mm 的钻头为 1 号刀具，通孔镗孔刀为 2 号刀具，60°的内螺纹刀为 3 号刀具。
- (3) 本实例采用先钻孔后镗孔，再加工螺纹的加工顺序，制订表 5-4 所示的工序卡。

表 5-4 数控车削内孔螺纹工件的工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具       | 切 削 用 量        |                |              |
|-----|---------|------|-----------|----------------|----------------|--------------|
|     |         |      |           | 转速<br>/(r/min) | 进给量<br>/(mm/r) | 背吃刀量<br>/mm  |
| 1   | 钻孔      | 数控车床 | 直径 10 的钻头 | 450            | 0.08           | 2            |
| 2   | 镗孔      | 数控车床 | 通孔镗孔刀     | 500            | 1              | 1            |
| 3   | 镗内螺纹    | 数控车床 | 60°的内螺纹刀  | 600            | —              | 0.3、0.15、0.1 |

### 5.5.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 本实例属于钻削深孔,故采用每钻 2mm 就退刀 1mm 的方式,利于断屑。

(2) 镗孔采用的刀具路径方式:进刀→切削→X 向退刀→Z 向退刀→进刀,如此反复的切削方式;镗削螺纹采用的刀具路径方式:进刀→切削→X 向退刀→Z 向退刀→进刀,如此反复的切削方式。

### 5.5.4 数控程序及其注释

```

O5005;                                (主程序名)
T0101;
M03 S450;
M08;
G0 X0 Z1;
G01 Z0.8 F0.4;
#100 = 0;                              (深度设置初始值为 0)
N10 #100 = #100 - 2;                  (每次钻深度为 2mm)
G01 Z[ #100] F0.08;                  (钻入)
      G0 W1;                          (退刀 1mm,以利于断屑)
      W -0.5;
IF[ #100 GT -64] GOTO10;              (判断钻孔深度是否达到规定值)
G0 Z100;                              (退刀)
      X100;
T0202;
M03 S500;
G0 X10 Z1;
G01 Z0 F0.1;
#101 = 9.5;                            (底孔直径初始值)
N20 #101 = #101 + 1;                  (每次镗孔的背吃刀量)
G01 X[ #101];                         (进刀)
      Z -63;                          (镗孔)
      U -2;                           (X 向退刀)
      G0 -Z1;                         (轴向退刀)

```

```

IF[ #101 LT 18.5 ] GOTO20;      (判断镗孔直径是否达到规定值)
G0 Z100;
  X100;
M01;
T0303;
M03 S600;
G0 X18.5 Z2.5;
#102 = 0;                        (螺纹深度初始值)
N30#102 = #102 + 0.1;          (变量累加)
G0X[ #102 + 18.5 ]             (进刀)
G32 Z -61 F1.5;                (车削螺纹)
  X18;                          (X 向退刀)
  Z2.5;                         (轴向退刀)
IF[ #103 LT 1.5 ] GOTO30;      (判断螺纹深度是否达到规定值)
G0 Z100;
  X100;
M05;
M09;
M30;

```

### 5.5.5 编程总结

(1) 本实例涉及钻孔、镗孔、内螺纹加工等宏程序的应用，属于简单综合性的实例，在实际加工中，镗孔分为粗镗和精镗，本实例作了简化，没有涉及精镗程序。

(2) 车削内螺纹和镗孔一样，退刀方向为负，与外圆加工是相反的。

(3) 本例中的螺纹深度只是个参考值，实际加工中要考虑并补偿配合公差大小。

## 5.6 实例 5-5 综合实例 1（螺纹轴类零件加工）

### 5.6.1 零件图和加工内容

本章介绍综合实例，加工图 5-9 所示工件为螺纹轴，编制以宏程序为主的加

工程序。

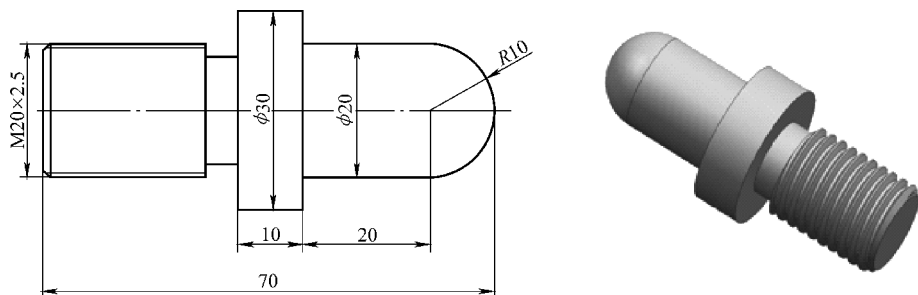


图 5-9 零件尺寸及三维造型图

### 5.6.2 工艺分析和加工路线

- (1) 确定加工毛坯尺寸为  $\phi 40\text{mm} \times 90\text{mm}$ 。
- (2) 装夹方式：普通自定心卡盘；量具：0 ~ 150mm 的游标卡尺，螺纹规和圆弧规；刀具：90°外圆车刀；切槽刀（刀宽为 4mm）；60°螺纹刀。
- (3) 制订表 5-5 所示的车削工序卡，其中螺纹每层背吃刀量均为 0.1mm。

表 5-5 数控车削工序卡

| 工序 | 主要内容    | 设备   | 刀具      | 切削用量           |                |             |
|----|---------|------|---------|----------------|----------------|-------------|
|    |         |      |         | 转速/<br>(r/min) | 进给量/<br>(mm/r) | 背吃刀量/<br>mm |
| 1  | 车削外圆、圆弧 | 数控车床 | 90°外圆车刀 | 600            | 0.15           | 2           |
| 2  | 调头车削外圆  | 数控车床 | 90°外圆车刀 | 600            | 0.15           | 2           |
| 3  | 切槽      | 数控车床 | 切槽刀     | 300            | 0.08           | 2           |
| 4  | 车削螺纹    | 数控车床 | 60°螺纹刀  | 550            | —              | 0.2         |

### 5.6.3 编程思路和刀具路径规划

- (1) 从零件形状和尺寸分析看，此零件需要调头加工，因此先加工右面的外圆和圆弧，保证总长的尺寸，然后夹住  $\phi 20\text{mm}$  的外圆，再加工左面的外圆、切槽和螺纹。
- (2) 本实例编程主要借鉴循环指令 G71 的思路。

### 5.6.4 数控程序及其注释

程序 1：右侧的外圆和圆弧加工

|                         |                                   |
|-------------------------|-----------------------------------|
| O5006;                  | (程序名)                             |
| T0101;                  |                                   |
| M03 S600;               |                                   |
| G0 X42;                 |                                   |
| Z1;                     |                                   |
| G01 Z0;                 |                                   |
| X -0.5 F0.12;           |                                   |
| G0 X42 Z1;              |                                   |
| #100 = 20;              | (设置#100 变量,为毛坯的初始半径)              |
| #102 = 1;               | (设置#102 变量,为每刀车削的深度)              |
| #105 = 0;               | (判别变量)                            |
| #106 = 0;               | (判别变量)                            |
| #107 = 0;               | (判别变量)                            |
| #108 = 0;               | (判别变量)                            |
| #109 = 0;               | (判别变量)                            |
| #110 = 0;               | (判别变量)                            |
| N10 #100 = #100 - #102; | (半径每次递减 1mm)                      |
| G01 X[2 * #100] F0.15;  |                                   |
| IF[#109 GT 0.5] GOTO70; | (条件判断,如果#109 大于 0.5,则跳<br>转到 N70) |
| IF[#108 GT 0.5] GOTO20; | (条件判断,如果#108 大于 0.5,则跳<br>转到 N20) |
| IF[#107 GT 0.5] GOTO30; | (条件判断,如果#107 大于 0.5,则跳<br>转到 N30) |
| IF[#105 GT 0.5] GOTO30; | (条件判断,如果#105 大于 0.5,则跳<br>转到 N30) |
| IF[#106 GT 0.5] GOTO20; | (条件判断,如果#106 大于 0.5,则跳<br>转到 N20) |
| N70 G01 Z -75 F0.1;     | (车削外圆轮廓)                          |
| IF[#109 GT 0.5] GOTO90; | (条件判断,如果#109 大于 0.5,则跳            |

|                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
|                                     | 转到 N90)                         |
| G0 U0.5;                            | (X 向退刀)                         |
| Z1;                                 | (Z 向退刀)                         |
| IF[#100 GT 15] GOTO10;              | (条件判断,如果#100 大于 15,则跳转到 N10)    |
| #106 = #106 + 1;                    | (#106 变量自加)                     |
| G0 U -0.5;                          | (进刀)                            |
| N20 G01 Z -30;                      | (车削直径 20mm 的外圆)                 |
| IF[#108 GT 0.5] GOTO60;             | (条件判断,如果#108 大于 0.5,则跳转到 N60)   |
| G0 U0.5;                            | (X 向退刀)                         |
| Z1;                                 | (Z 向退刀)                         |
| IF[#100 GT 10] GOTO10;              | (条件判断,如果#100 大于 10,则跳转到 N10)    |
| #105 = #105 + 1;                    | (#105 变量自加)                     |
| G0 U -0.5;                          | (进刀)                            |
| N30 #101 = SQRT[100 - #100 * #100]; | (计算圆弧中的 Z 值)                    |
| IF[#110 GT 0.5] GOTO40;             | (条件判断,如果#110 大于 0.5,则跳转到 N40)   |
| G01 Z[#101 - 10];                   | (车削)                            |
| G0 U0.5;                            | (X 向退刀)                         |
| Z1;                                 | (Z 向退刀)                         |
| IF[#100 GT 0] GOTO10;               | (条件判断,如果#100 大于 0,则跳转到 N10)     |
| #102 = -0.1;                        | (#102 重新赋值)                     |
| #107 = #107 + 1;                    | (#107 变量自加)                     |
| #110 = #110 + 1;                    | (#110 变量自加)                     |
| N40 G01 X[2 * #100] Z[#101 - 10];   | (车削圆弧)                          |
| IF[#100 LE 9.9] GOTO10;             | (条件判断,如果#100 小于等于 9.9,则跳转到 N10) |
| G01 X20 Z -10;                      | (车削防止圆弧欠切)                      |
| #108 = #108 + 1;                    | (#108 变量自加)                     |
| N60 IF[#100 LT 15] GOTO10;          | (条件判断,如果#100 小于 15,则跳转          |



|                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| #109 = #109 + 1;           | 到 N10)                 |
| N90 IF[#100 LT 20] GOTO10; | (#109 变量自加)            |
|                            | (条件判断,如果#100 小于 20,则跳转 |
|                            | 到 N10)                 |
| G01 X42                    | (X 向退刀)                |
| G0 X100 Z100;              | (快速退刀)                 |
| M05;                       |                        |
| M09;                       |                        |
| M30;                       |                        |

程序 2：左侧的外圆、螺纹、切槽加工

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| O5007;                   | (程序名)        |
| T0101;                   |              |
| M03 S600;                |              |
| G01 X42 Z1;              |              |
| G0 Z0;                   |              |
| G01 X -0.6;              |              |
| G0 X42 Z1;               |              |
| #100 = 15;               | (半径初始值)      |
| N10 #100 = #100 - 1;     | (直径递减)       |
| G0 X[2 * [#100 - 1.5]];  | (X 向进刀到倒角起点) |
| G01 Z0;                  | (Z 向进刀到倒角起点) |
| G01 X[2 * #100] Z - 1.5; | (倒角)         |
| Z - 30;                  | (车削外圆)       |
| G01 X42;                 | (X 向退刀)      |
| Z1;                      | (Z 向退刀)      |
| IF[#100 GT 10] GOTO10;   | (条件判断)       |
| G0 X100 Z100;            |              |
| T0202;                   |              |
| M03 S300;                |              |
| G0 X22 Z1;               | (快速定位)       |
| Z - 30;                  | (Z 向到要切槽的位置) |
| G01 X20;                 |              |
| #101 = 0;                | (切槽深度初始值)    |

|                            |                                                      |
|----------------------------|------------------------------------------------------|
| #102 = 2;                  | (每次切槽深度)                                             |
| #103 = 1;                  | (进刀量)                                                |
| N10 #101 = #101 - #102;    | (切槽深度自加)                                             |
| G01 X[ #101 + 20] F0.08;   | (切入)                                                 |
| U2.5;                      | (退刀)                                                 |
| W[ #103];                  | (进刀)                                                 |
| U - 2.5;                   | (切入)                                                 |
| W[ - #103];                | (进刀)                                                 |
| IF[ #101 LT 4] GOTO10;     | (条件判断,如果深度小于 4mm,则跳<br>转到 N10,深度增加 2mm,准备进<br>行下次切削) |
|                            |                                                      |
| G01 X42 F1;                |                                                      |
| G0 X100 Z100;              |                                                      |
| M01;                       |                                                      |
| T0303;                     |                                                      |
| M03 S550;                  |                                                      |
| G0 X20 Z3;                 |                                                      |
| #104 = 0;                  | (螺纹深度初始值)                                            |
| N20 #104 = #104 - 0.2;     | (螺纹深度减去背吃刀量)                                         |
| G0 U[ - #104];             | (进刀)                                                 |
| G32 Z - 27 F2.5;           | (车削螺纹)                                               |
| G0 U5;                     | (X 向退刀)                                              |
| Z3;                        | (Z 向退刀)                                              |
| U - 5                      | (X 向进刀)                                              |
| IF[ #104 GT - 2.5] GOTO20; | (螺纹深度是否达到规定值)                                        |
| G01 X42 F1;                |                                                      |
| G0 X100                    |                                                      |
| Z100;                      |                                                      |
| M05;                       |                                                      |
| M09;                       |                                                      |
| M30;                       |                                                      |

### 5.6.5 编程总结

(1) 本实例的工件属于典型的轴类零件,涉及外圆、圆弧、切槽、螺纹等

综合加工。

(2) 工件右面加工的宏程序参照 G71 粗加工循环指令，用车削台阶的方法去除大量的余量，然后再走精加工轮廓。

(3) 程序中语句 G01 X20 Z-10 是为防止圆弧欠切。

(4) 设置变量 #105 = 0、#106 = 0、#107 = 0、#108 = 0、#109 = 0 和 #110 = 0 是为了保证程序实现跳转，完成粗车、精车轮廓过程。

(5) 变量 #102 = -0.1 重新赋值，原因是：在粗加工时，#100 是逐渐减小的；而精加工时，#100 是逐渐增加的，必须使 #102 重新赋值（步距大小可以适当增大）。

(6) 关于控制语句 IF [#100 LE 9.9] GOTO10，其中 9.9 是个临界点。

## 5.7 实例 5-6 综合实例 2（椭圆和螺纹组合的加工）

### 5.7.1 零件图和加工内容

图 5-10 所示为椭圆和螺纹组合的工件，其右侧为椭圆截面形状，该椭圆的解析方程为  $X^2/(19+19) + Z^2/(30 \times 30) = 1$ ，螺纹规格为 M50 × 3，工件材料为 45 钢，编制车削椭圆和螺纹的宏程序。

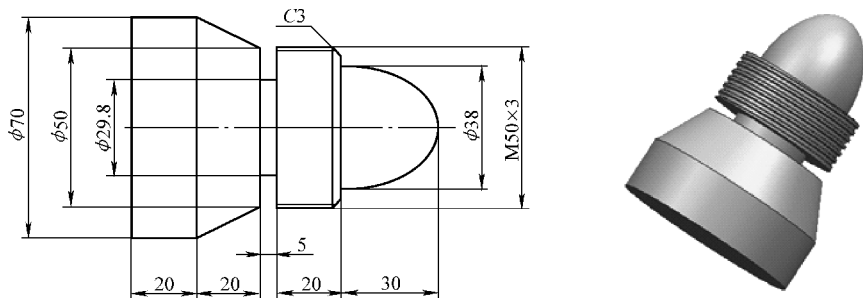


图 5-10 零件图主要尺寸及其三维造型图

### 5.7.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯为  $\phi 80\text{mm} \times 140\text{mm}$ ， $\phi 80\text{mm}$  外圆已经完成加工。

(2) 装夹方式：采用普通自定心卡盘；刀具：90°外圆粗车刀（1号刀），切槽刀（2号刀，刀宽为 3mm），螺纹刀（3号刀，角度 60°），90°外圆精车刀

(4 号刀); 量具: 采用 0 ~ 150mm 的游标卡尺, 25 ~ 50mm 的千分尺, 专用螺纹环规。

(3) 制订表 5-6 所示的车削工序卡。

表 5-6 数控车削椭圆和螺纹的工序卡

| 工序 | 主 要 内 容            | 设 备  | 刀 具      | 切 削 用 量        |                |              |
|----|--------------------|------|----------|----------------|----------------|--------------|
|    |                    |      |          | 转速/<br>(r/min) | 进给量/<br>(mm/r) | 背吃刀量/<br>mm  |
| 1  | 车削端面               | 数控车床 | 90°外圆粗车刀 | 600            | 0.08           | 0.1          |
| 2  | 粗车外圆、台阶、<br>锥度、椭圆弧 | 数控车床 | 90°外圆粗车刀 | 500            | 0.15           | 1            |
| 3  | 精车外圆、台阶、<br>锥度、椭圆弧 | 数控车床 | 90°外圆精车刀 | 800            | 0.08           | 0.5          |
| 4  | 切槽                 | 数控车床 | 切槽刀      | 300            | 0.03           | 1            |
| 5  | 车削螺纹               | 数控车床 | 螺纹刀      | 800            | 3              | 0.3、0.15、0.1 |

### 5.7.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 此实例为宏程序在非圆曲面和螺纹加工的综合应用, 涵盖了宏程序在常见车削零件的大部分应用。

(2) 本实例采用两种不同的编程思路: 一是仿照 FANUC 系统的 G71 的编程思路完成零件的加工。二是仿照 SIEMENS 系统的 LCYC95 模块的编程思路完成零件的加工。

### 5.7.4 数控程序及其注释

程序 1: 仿照 FANUC 系统 G71 指令的思路进行编程

```
O5008;                (程序名)
T0101;                (调 1 号刀具以及 1 号刀补)
M03 S600 M08;         (主轴正转, 转速为 500r/min, 打开切削液)
G0 X82 Z1;            (快速进刀到工件的右面)
G01 Z0 F0.5;          (直线进刀到右端面)
    X -0.6 F0.08;     (车削端面)
```

|                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| G0 Z1 X82;                          | (快速退刀)                              |
| M03 S500;                           |                                     |
| #100 = 40;                          | (毛坯直径)                              |
| #105 = 0;                           | (判别变量)                              |
| #106 = 0;                           | (判别变量)                              |
| #107 = 0;                           | (判别变量)                              |
| #108 = 0;                           | (判别变量)                              |
| #109 = 0;                           | (判别变量)                              |
| #110 = 0;                           | (判别变量)                              |
| #111 = 0;                           | (判别变量)                              |
| #112 = 1;                           | (设置#112 变量的初始值,精加工余量)               |
| #114 = 1;                           | (设置#114 变量的初始值,粗加工时的步距)             |
| #102 = -1/2;                        | (设置#102 变量的初始值,锥度的斜率,基于直线方程斜率的计算公式) |
| N10#100 = #100 - #114;              | (直径每次递减 1mm)                        |
| IF[ #110 GT 0.5 ]GOTO20;            | (如果#110 大于 0.5,则跳转到 N20)            |
| IF[ #109 GT 0.5 ]GOTO100;           | (如果#109 大于 0.5,则跳转到 N100)           |
| IF[ #108 GT 0.5 ]GOTO30;            | (如果#108 大于 0.5,则跳转到 N30)            |
| N100 G01 X[ 2 * #100 + #112 ] F0.5; | (直线车削)                              |
| IF[ #109 GT 0.5 ]GOTO60;            | (如果#109 大于 0.5,则跳转到 N60)            |
| IF[ #107 GT 0.5 ]GOTO40;            | (如果#107 大于 0.5,则跳转到 N40)            |
| IF[ #106 GT 0.5 ]GOTO30;            | (如果#106 大于 0.5,则跳转到 N30)            |
| IF[ #105 GT 0.5 ]GOTO20;            | (如果#105 大于 0.5,则跳转到 N20)            |
| N120 G01 Z -95 F0.15;               | (车削)                                |
| IF[ #110 GT 0.5 ]GOTO110;           | (如果#110 大于 0.5,则跳转到 N110)           |
| G0 U2;                              | (径向退刀)                              |
| Z1;                                 | (轴向退刀)                              |
| IF[ #100 GT 35 ]GOTO10;             | (如果#100 大于 35,则跳转到 N10)             |
| #105 = #105 + 1;                    | (#105 号变量每次累加 1)                    |
| N20 #103 = [ #100 - 25 ] / #102;    | (计算#103 号变量的值)                      |
| IF[ #110 GT 0.5 ]GOTO70;            | (如果#110 大于 0.5,则跳转到 N70)            |
| G01 Z[ #103 - 50 ] F0.15;           | (车削)                                |

|                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| G0 U2;                    | (径向退刀)                   |
| Z1;                       | (轴向退刀)                   |
| IF[#100 GT 25]GOTO10;     | (如果#100 大于 25,则跳转到 N10)  |
| #106 = #106 + 1;          | (#106 号变量每次累加 1)         |
| N30 G01 Z - 30 F0.15;     |                          |
| G0 U2;                    | (径向退刀)                   |
| Z1;                       | (轴向退刀)                   |
| IF[#100 GT 19]GOTO10;     | (如果#100 大于 19,则跳转到 N10)  |
| #107 = #107 + 1;          | (#107 号变量每次累加 1)         |
| N40#104 = 30 * SQRT[1 -   |                          |
| [#100 * #100]/[19 * 19]]; | (计算#104 号变量值)            |
| IF[#108 GT 0.5]GOTO50;    | (如果#108 大于 0.5,则跳转到 N50) |
| G01 Z[#104 - 30]F0.15;    | (车削)                     |
| G0 U2;                    | (径向退刀)                   |
| Z1;                       | (轴向退刀)                   |
| IF[#100 GT 0]GOTO10;      | (如果#100 大于 0,则跳转到 N10)   |
| G0 X100;                  | (X 向快速退刀)                |
| Z100;                     | (Z 向快速退刀)                |
| T0404;                    | (调 4 号刀具以及 4 号刀补)        |
| M03 S800;                 | (主轴正转,转速为 800r/min)      |
| G0 X0 Z1;                 | (快速进刀到 X0 Z1 处)          |
| G01 Z0 F0.08;             | (直线进刀到 Z0 处)             |
| #112 = #112 - 1;          | (精加工余量减掉)                |
| #114 = -0.1;              | (#114(步距)号变量重新赋值)        |
| #108 = #108 + 1;          | (#108 号变量每次累加 1)         |
| N50 G01 X[2 * #100]Z      |                          |
| [#104 - 30]F0.08;         | (车削椭圆弧)                  |
| IF[#100 LT 19]GOTO10;     | (如果#100 小于 19,则跳转到 N10)  |
| #109 = #109 + 1;          | (#109 号变量每次累加 1)         |
| N60 IF[#100 LT 25]GOTO10; | (如果#100 小于 25,则跳转到 N10)  |
| #110 = #110 + 1;          | (#110 号变量每次累加 1)         |
| N70 G01 X[2 * #100]Z      |                          |
| [#103 - 55]F0.08;         | (车削锥度)                   |

|                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| IF[ #100 LT 35 ]GOTO10;   | ( 如果#100 小于 35 ,则跳转到 N10)   |
| #111 = #111 + 1;          | ( #111 号变量每次累加 1)           |
| IF[ #111 GT 0.5 ]GOTO120; | ( 如果#111 大于 0.5 ,则跳转到 N120) |
| N110 G01 X81 F0.08;       | ( 直线车削)                     |
| G0 X100;                  | ( X 向快速退刀)                  |
| Z100;                     | ( Z 向快速退刀)                  |
| T0202;                    | ( 调 2 号刀具以及 2 号刀补)          |
| M03 S350 M08;             | ( 主轴正转,转速为 350r/min,打开切削液)  |
| G0 X52 Z1;                | ( 快速进刀到 X52 - Z1 处)         |
| Z - 55;                   | ( 到切槽的位置)                   |
| #120 = 49.8;              | ( 切槽深度初始值)                  |
| #122 = 2;                 | ( 每次切槽深度)                   |
| #123 = 2;                 | ( 进刀量)                      |
| N120#120 = #120 - #122;   | ( 切槽深度自加)                   |
| G01 X[ #120 ] F0.08;      | ( 切入)                       |
| X[ #120 + 2.5 ] F0.2;     | ( 退刀)                       |
| W[ #123 ];                | ( 进刀)                       |
| G01 X[ #120 ] F0.08;      | ( 切入)                       |
| W[ - #123 ];              | ( 进刀)                       |
| IF[ #120 GT 30 ]GOTO10;   | ( 如果切槽深度大于 30 ,则跳转到 N10)    |
| G01 X52 F1;               | ( 退出工件表面)                   |
| G0 X100;                  | ( X 向快速退刀)                  |
| Z100;                     | ( Z 向快速退刀)                  |
| T0303;                    | ( 调用加工螺纹刀具)                 |
| M03 S100;                 |                             |
| G0 X50 Z - 25;            | ( 到达螺纹加工起点)                 |
| #130 = 0;                 | ( 预设螺纹背吃刀量#130 为 0)         |
| #131 = 0.3;               | ( 第 1 层螺纹进刀深度为 0.3)         |
| N10#130 = #130 - #131;    | ( 每次计算 X 值)                 |
| G0 W0.1;                  | ( 右进刀)                      |
| G0 X[ 50 + #130 ];        | ( 进刀)                       |
| G32 Z - 52 F3;            | ( 车削螺纹)                     |
| G0 X55;                   | ( X 向退刀)                    |

|                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| Z - 25;                   | (轴向退刀)                      |
| W - 0.1;                  | (左进刀)                       |
| G0 X[50 + #130];          | (进刀)                        |
| G32 Z - 52 F3;            | (车削螺纹)                      |
| G0 X55;                   | (X 向退刀)                     |
| Z - 25;                   | (轴向退刀)                      |
| IF[ #130 GT - 1.5]GOTO10; | (分层切削第1层螺纹深度到达1.5mm)        |
| #131 = 0.15;              | (#131 重新赋值,第2层每次切入深度为0.15)  |
| IF[ #130 GT - 3]GOTO10;   | (分层切削第2层螺纹深度到达3mm)          |
| #131 = 0.1;               | (#131 重新赋值,第3层每次切入深度为0.1mm) |
| IF[ #130 GT - 3.6]GOTO10; | (分层切削第3层螺纹深度到达3.6mm)        |
| G0 X100;                  | (X 向快速退刀)                   |
| Z100;                     | (Z 向快速退刀)                   |
| M05;                      |                             |
| M09;                      |                             |
| M30;                      |                             |
| 程序1 编程总结:                 |                             |

(1) 本程序总体思路:粗加工时采用车削台阶方法去除大量毛坯余量,而精加工时车削整个零件轮廓,相当于FANUC系统循环指令G71和G70的应用。

(2) 在粗加工车削锥度和椭圆轮廓过程中,为了防止过切,分别利用直线方程和椭圆方程计算X对应的Z值。

(3) 本程序切槽的思路:采用左、右进刀的方法,由于槽宽为5mm,切槽的刀宽为3mm,所以每次进刀量为2mm。

(4) 本程序车削螺纹的说明:

1) 程序中有关M50螺纹的螺距和牙深作为参考值,实际加工时需要合理确定。

2) 螺纹加工的思路:进刀→车削螺纹→径向退刀→轴向退刀,在退刀时要注意径向和轴向退刀要保证退刀点是第一次车削螺纹的起刀点,否则螺纹产生乱扣。

3) 本程序螺纹为大直径、大螺距的螺纹,因此在车削过程中采用左、右进刀车削螺纹和分层车削螺纹,进刀量分别为0.3mm、0.15mm和0.1mm。



程序 2：仿照 SIEMENS 系统的 LCYC95 模块思路进行编程

|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| O5009;                        | (程序名)                     |
| T0101;                        | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)         |
| M03 S500 M08;                 | (主轴正转,转速为 500r/min,打开切削液) |
| G0 X82 Z1                     | (快速进刀到工件的右面)              |
| G01 Z0 F0.08;                 | (直线进刀到右端面)                |
| X -0.6;                       | (车削端面)                    |
| G0 Z1 X82;                    | (快速退刀)                    |
| #103 = 40;                    | (设置#103 号变量的初始值)          |
| #105 = 0;                     | (设置#105 号变量的初始值)          |
| #106 = 0;                     | (设置#106 号变量的初始值)          |
| #107 = 0;                     | (设置#107 号变量的初始值)          |
| #108 = 0;                     | (设置#108 号变量的初始值)          |
| #109 = 0;                     | (设置#109 号变量的初始值)          |
| #110 = 0;                     | (设置#110 号变量的初始值)          |
| #111 = 0;                     | (设置#111 号变量的初始值)          |
| #112 = 1;                     | (设置#112 号变量的初始值,精加工余量)    |
| #114 = 1;                     | (设置#114 号变量的初始值,粗加工时的步距)  |
| N10#103 = #103 - #114;        | (直径每次递减 1mm)              |
| #100 = #103;                  | (把#103 号变量的值赋给#100 号变量)   |
| #105 = #103 + 1;              | (判别点的值)                   |
| G01 X[2 * #103 + #108];       | (车削)                      |
| IF[ #110 GT 0.5 ]GOTO80;      | (如果#110 大于 0.5,则跳转到 N80)  |
| IF[ #109 GT 0.5 ]GOTO70;      | (如果#109 大于 0.5,则跳转到 N70)  |
| IF[ #107 GT 0.5 ]GOTO60;      | (如果#107 大于 0.5,则跳转到 N60)  |
| IF[ #106 GT 0.5 ]GOTO20;      | (如果#106 大于 0.5,则跳转到 N20)  |
| N110 G01 Z -95;               | (车削)                      |
| IF[ #113 GT 0.5 ]GOTO120;     | (如果#113 大于 0.5,则跳转到 N120) |
| G0 U0.5;                      | (径向退刀)                    |
| Z1;                           | (轴向退刀)                    |
| IF[ #103 GT 35 ]GOTO10;       | (如果#103 大于 35,则跳转到 N10)   |
| N20#104 = -2 * [ #100 - 25 ]; | (计算#104 号变量的值)            |
| G01 Z[ #104 - 50 ];           | (车削)                      |

```

N30#100 = -1/2 * #104 + 25;      (计算#100 号变量的值)
#104 = #104 - 0.1;              (#104 号变量每次减少 0.1mm)
G01 X[2 * #100 + #108]Z
    [#104 - 50];                (车削)
#115 = -2 * [#105 - 25];        (计算#115 号变量的值)
IF[#104 GE#115]GOTO30;         (如果#104 大于等于#115,则跳转到 N30)
IF[#112 GT 0.5]GOTO110;        (如果#112 大于 0.5,则跳转到 N110)
G0 U0.5;                        (径向退刀)
    Z1;                         (轴向退刀)
#106 = #106 + 1;                (#106 号变量每次增加 1)
IF[#103 GT 25]GOTO10;          (如果#103 大于 25,则跳转到 N10)
N60 G01 Z - 50;                 (车削)
IF[#111 GT 0.5]GOTO90;         (如果#111 大于 0.5,则跳转到 N90)
G0 U0.5;                        (径向退刀)
    Z1;                         (轴向退刀)
#107 = #107 + 1;                (#107 号变量每次增加 1)
IF[#103 GT 25]GOTO10;          (如果#103 大于 25,则跳转到 N10)
N70#101 = 30 * SQRT[1 -
    [#100 * #100]/[19 * 19]];   (计算#101 号变量的值)
G0 X[2 * #100 + #108];          (径向进刀)
G01 Z[#101 - 30];              (车削)
N50#100 = 19 * SQRT[1 -
    [#101 * #101]/[30 * 30]];   (计算#100 号变量的值)
#101 = #101 - 0.1;              (#101 号变量的值每次减少 0.1mm)
#116 = 2 * #100 + #108;         (计算程序中的 X 值)
#117 = #101 - 30;               (计算程序中的 Z 值)
G01 X[#116]Z[#117];            (车削椭圆弧)
#118 = 30 * SQRT[1 -
    [#105 * #105]/[19 * 19]];   (计算#118 号变量的值)
IF[#101 GT#118]GOTO50;         (如果#101 大于#118,则跳转到 N50)
IF[#110 GT 0.5]GOTO10;         (如果#110 大于 0.5,则跳转到 N10)
G0 U0.5;                        (径向退刀)
    Z1;                         (轴向退刀)

```

```

#109 = #109 + 1;           ( #109 号判别变量每次增加 1mm)
IF[ #103 GT 0]GOTO10;      ( 如果#103 大于 0,则跳转到 N10)
G0 X100;                   ( X 向快速退刀)
    Z100;                   ( Z 向快速退刀)
M05;
M09;
M01;
T0404;                     ( 调 4 号刀具以及 4 号刀补)
M03 S800 M08;              ( 主轴正转,转速为 800r/min,打开切削液)
G0 X0 Z1;                  ( 快速进刀到 X0 Z1 处)
G01 Z0 F0.08;              ( 直线进刀到 Z0 处)
#114 = -0.1;               ( #114 号变量重新赋值)
#108 = #108 - 1;           ( #108 号变量每次减去 1mm)
#101 = 30;                  ( 设置#101 号变量的值)
#110 = #110 + 1;           ( #110 号判别变量每次增加 1mm)
GOTO50;                     ( 无条件跳转到 N50)
N80 IF[ #103 LT 25]GOTO10;  ( 如果#103 小于 25,则跳转到 N10)
#111 = #111 + 1;           ( #111 号判别变量每次增加 1mm)
IF[ #103 EQ 25]GOTO60;     ( 如果#103 等于 25,则跳转到 N60)
#112 = #112 + 1;           ( #112 号判别变量每次增加 1mm)
N90 GOTO30;                 ( 无条件跳转到 N30)
#113 = #113 + 1;           ( #113 号判别变量每次增加 1mm)
N110IF[ #103 EQ 35]GOTO100; ( 如果#103 等于 35,则跳转到 N100)
N120 G01 X82;               ( 车削)
G0 X100;                   ( X 向快速退刀)
    Z100;                   ( Z 向快速退刀)
M05;
M09;
M30;

```

程序 2 编程总结:

(1) 本程序是仿照 SIEMENS 系统的 LCYC95 模块的编程思路,此思路的刀具轨迹为:当 X 小于方程中的 X 值时,车削直线;当 X 等于方程中的 X 值时,根据方程计算相应的 X (或 Z) 值车削工件轮廓。

(2) 本程序最重要的是设置变量 $\#105 = \#103 + 1$ ，该变量是 Z 向每次切削的目标点，也是每次车削的交汇点，是用来作为判别的点。

(3) 本程序利用 GOTO（无条件跳转的语句）来实现精加工轮廓。

(4) 本程序仅给出加工外圆的参考程序，切槽和螺纹加工程序在此不再赘述，可以参考上面实例的程序。

## 5.8 本章小结

在目前的 FANUC 和广州数控系统的车床上，加工螺纹一般提供 3 种方法：G32 直进式切削方法、G92 直进式固定循环切削方式和 G76 斜进式复合固定循环切削方式。由于它们的切削方式和编程思路有所区别，造成加工误差不同，在实际运用这些现有指令的同时，可以结合螺纹牙型、尺寸加工特点和要求，增加宏程序会进一步保证螺纹加工的效果和增加程序的通用性。



# 宏程序在高级螺纹车削中的应用

### 本章内容提要

第 5 章介绍了在普通螺纹加工中引入宏程序可以拓展螺纹加工范围，本章在此基础上，再介绍宏程序在外圆/内梯形螺纹、异形螺纹、圆弧螺纹和变距螺纹在车削中的应用，并对编制宏程序进行了总结。

高级螺纹编程和普通螺纹编程的主要区别在进刀量的控制上，例如车内/外梯形螺纹进刀量由槽底宽减去刀宽除以 2 所得，采用左、右进刀法；异形螺纹和圆弧螺纹是根据图形的形状，找出它们之间的规律（例如圆弧螺纹进刀量是根据圆弧解析方程计算出相应进刀 X 值和 Z 值位置得来的），采用步距结合 G32 车削螺旋线的方法逼近螺纹形状。

## 6.1 实例 6-1 车削外梯形螺纹宏程序应用

### 6.1.1 零件图和加工内容

图 6-1 所示为 Tr38 × 6 单线梯形螺纹（30°米制梯形螺纹）的工件，螺纹有效长度为 60mm，材料为 45 钢，分别用 G76 专用指令、子程序嵌套和宏程序编制车削外梯形螺纹的加工程序。

### 6.1.2 工艺分析和加工路线

- (1) 准备毛坯尺寸为  $\phi 38\text{mm} \times 130\text{mm}$ ，其中  $\phi 38\text{mm}$  外圆和端面已完成加工。
- (2) 装夹方式：普通自定心卡盘，采用一顶一夹的方式；刀具：30°螺纹刀

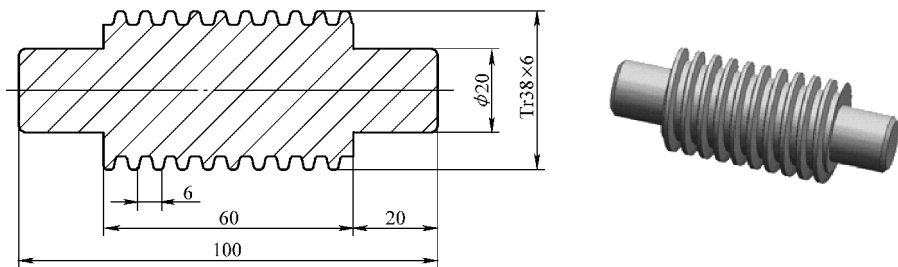


图 6-1 零件主要尺寸及其三维造型图

(为 1 号刀, 其材料为硬质合金), 刀宽小于螺纹小径处的宽度; 量具: 规格为 25 ~ 50mm 的千分尺; 梯形螺纹尺寸计算: 采用如下公式的三针法进行测量:

$$M = d + 4.864D - 1.866P$$

其中:  $M$  为三针测量时的理论值;  $d$  为螺纹中径;  $D$  为测量时钢针的直径, 取值为 0.518  $P$ ,  $P$  为螺纹的导程。

(3) 采用分层切削的方法车削螺纹, 其中精车螺纹余量要小, 制订车削工序卡见表 6-1 所示, 其中背吃刀量为双边径向值。

表 6-1 数控车削梯形螺纹的工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具    | 切 削 用 量        |                |             |
|-----|---------|------|--------|----------------|----------------|-------------|
|     |         |      |        | 转速/<br>(r/min) | 进给量/<br>(mm/r) | 背吃刀量/<br>mm |
| 1   | 粗车削螺纹   | 数控车床 | 30°螺纹刀 | 120            | 6              | 0.5、0.2、0.1 |
| 2   | 精车削螺纹   | 数控车床 | 30°螺纹刀 | 40             | 6              | 0.05        |

### 6.1.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 车削外圆梯形螺纹的刀具路径规划可以参考普通螺纹, 车削外圆梯形螺纹的方式为: 进刀→切入→径向退刀→轴向退刀, 如此反复完成零件的加工。

(2) 为了便于理解和比较, 本实例给出采用 G76 指令 (螺纹复合循环指令)、子程序嵌套和宏程序三种方法来编制梯形螺纹的加工程序。

(3) 根据刀具路径设计和加工要求, 本实例编制宏程序中需要赋值的变量有精车次数、螺纹加工起点、最小切深限制、精加工余量、牙底直径、首次背吃刀量、螺距。

### 6.1.4 数控程序及其注释

#### 程序 1：采用 G76 指令车削梯形螺纹

```
O6001;
T0101;
M03 S120 M08;
G0 X42 Z1;
G0 Z - 15;
G76 P020530 Q50 R0.05;
G76 X28.75 Z - 85 P3500 Q600 F6;
G0 X150;
    Z100;
M05;
M09;
M30;
```

程序 1 编程总结：

(1) 本程序利用 FANUC 系统的 G76 螺纹复合循环指令实现梯形螺纹的车削。

(2) 关于梯形螺纹精加工之前刀补的 Z 向偏置问题：在实际加工过程中，由于刀尖宽度并不等于槽底宽，在粗加工后，仍然无法正确控制螺纹中径等各项尺寸，精加工可以通过 Z 值的偏置解决上述问题，因此需要精确地计算 Z 向偏置值：

$$Z = 0.268(M - m)$$

式中： $M$  为三针测量工件时实际测量出来的值， $m$  为通过计算得出的理论值， $Z$  为精加工时 Z 向的偏置值。

#### 程序 2：采用子程序嵌套车削梯形螺纹

```
O6002;                (程序名)
T0101;                (调 1 号刀具以及 1 号刀补)
M03 S120 M08;         (主轴正转,转速为 120r/min,打开切削液)
G0 X42 Z1;            (快速定位)
Z - 15;               (定位螺纹刀的轴向起点)
    X38;              (螺纹径向的起点)
```

|              |                          |
|--------------|--------------------------|
| M98 P80002;  | (调用 O0002 号子程序,调用次数为 8)  |
| M98 P120003; | (调用 O0003 号子程序,调用次数为 12) |
| M98 P40004;  | (调用 O0004 号子程序,调用次数为 4)  |
| M98 P30005;  | (调用 O0005 号子程序,调用次数为 3)  |
| G0 X100;     | (径向退刀)                   |
| Z100;        | (轴向退刀)                   |
| M05;         |                          |
| M09;         |                          |
| M01;         | (暂停,便于测量)                |
| M03 S40 M08; | (主轴正转,转速为 40r/min,打开切削液) |
| G0 X42 Z1;   | (快速定位)                   |
| Z - 15;      | (定位螺纹刀的轴向起点)             |
| X31.05;      | (螺纹径向的起点)                |
| M98 P0005;   | (调用 O0005 号子程序,调用次数为 1)  |
| G0 X100;     | (径向快速退刀)                 |
| Z100;        | (轴向快速退刀)                 |
| M05;         |                          |
| M09;         |                          |
| M30;         |                          |
| ...          |                          |
| O0002;       | (子程序名)                   |
| G01 U - 0.5; | (径向进刀)                   |
| M98 P0001;   | (调用 O0001 号子程序,调用次数为 1)  |
| M99;         | (返回主程序)                  |
| ...          |                          |
| O0003;       | (子程序名)                   |
| G01 U - 0.2; | (径向进刀)                   |
| M98 P0001;   | (调用 O0001 号子程序,调用次数为 1)  |
| M99;         | (返回主程序)                  |
| ...          |                          |
| O0004;       | (子程序名)                   |
| G01 U - 0.1; | (径向进刀)                   |
| M98 P0001;   | (调用 O0001 号子程序,调用次数为 1)  |



```

M99;                ( 返回主程序)
...
O0005;              ( 子程序名)
G01 U -0.05;        ( 径向进刀)
M98 P0001;          ( 调用 O0001 号子程序,调用次数为 1)
M99;                ( 返回主程序)
...
O0001;              ( 子程序名)
G01 W -0.114;        ( 轴向进刀,进刀量为 0.114mm)
G32 Z -85 F6;        ( 车削螺纹)
G0 U10;             ( 径向退刀)
    Z -15;           ( 轴向退刀)
    U -10;           ( 返回到上次螺纹加工进刀起点)
    W0.114;          ( 轴向进刀,进刀量为 0.114mm)
G32 Z -85 F6;        ( 车削螺纹)
G0 U10;             ( 径向退刀)
    Z -15;           ( 轴向退刀)
    U -10;           ( 径向进刀)
M99;                ( 返回主程序)

```

#### 程序 2 编程总结:

(1) 利用子程序嵌套实现了梯形螺纹的分层切削,这样有利于提高工件的表面质量和减少刀具的磨损,更为重要的是避免了第一刀切入过深。

(2) 由于螺距为 6mm,所以需要采用左、右进刀方式切削螺纹,进刀量为螺纹的底槽宽度减去螺纹刀的刀宽除以 2 所得。

(3) 该程序在螺纹加工中具有通用型,不但可以加工梯形螺纹,也可以加工三角螺纹,结合其他变量也可以加工变距螺纹。

(4) 螺纹粗车、半精车结束后,程序中增加了暂停语句 M01,这是为了测量螺纹中径,测量后再进行修正,取消暂停后继续精车。

#### 程序 3: 采用宏程序车削梯形螺纹

```

O6003;              ( 程序名)
T0101;              ( 调 1 号刀具以及 1 号刀补)
M03 S120 M08;       ( 主轴正转,转速为 120r/min,切削液打开)
G0 X38 Z1;          ( 快速定位)

```

|                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| G0 Z - 15;              | (到达螺纹切削的起点)               |
| #101 = 0;               | (螺纹背吃刀量的初始值)              |
| #102 = - 15;            | (螺纹加工的 Z 向起点)             |
| #104 = 0.5;             | (第 1 层螺纹背吃刀量)             |
| #105 = 0.114;           | (进刀量)                     |
| N10#101 = #101 - #104;  | (螺纹深度每次减去背吃刀量)            |
| #106 = #101 + 38;       | (X 向退刀位置)                 |
| G0 X[#106];             | (径向进刀)                    |
| Z[#102 - #105];         | (轴向进刀)                    |
| G32 Z - 85 F6;          | (车削螺纹)                    |
| G00 X[#106 + 10];       | (径向退刀)                    |
| Z[#102 + #105];         | (轴向退刀)                    |
| X[#106];                | (返回到上次螺纹加工进刀起点)           |
| G32 Z - 85 F6;          | (车削螺纹)                    |
| G00 X[#106 + 10];       | (径向退刀)                    |
| Z[#102 - #105];         | (轴向进刀)                    |
| IF[#101 GT - 3]GOTO10;  | (如果#101 大于 -3,则跳转到 N10)   |
| #104 = 0.3;             | (第 2 层螺纹背吃刀量)             |
| IF[#101 GT - 6]GOTO10;  | (如果#101 大于 -6,则跳转到 N10)   |
| #104 = 0.1;             | (第 3 层螺纹背吃刀量)             |
| IF[#101GT - 6.8]GOTO10; | (如果#101 大于 -6.8,则跳转到 N10) |
| G0 X100;                | (径向退刀)                    |
| Z100;                   | (轴向退刀)                    |
| M05;                    |                           |
| M09;                    |                           |
| M00;                    |                           |
| M03 S40 M08;            | (主轴正转,转速为 40r/min,打开切削液)  |
| G0 X42 Z1;              | (快速定位)                    |
| Z - 15;                 | (定位刀螺纹的轴向起点)              |
| #104 = 0.05;            | (第 4 层螺纹背吃刀量)             |
| IF[#101 GT - 7]GOTO10;  | (如果#101 大于 -7,则跳转到 N10)   |
| G0 X100;                |                           |
| Z100;                   |                           |

M05;

M09;

M30;

程序 3 编程总结:

(1) 该程序实现了分层切削螺纹, 是加工梯形螺纹较为典型的编程方法, 其中通过#104 变量的重新赋值, 可以控制每层背吃刀量的变化。

(2) 采用 G76 指令车削螺纹, 除了第 1 刀切入深度和精加工可以控制外, 中间切削循环过程的背吃刀量, 是由机床根据参数内部进行运算的, 这样容易会增加扎刀的概率。

## 6.2 实例 6-2 车削内梯形螺纹宏程序应用

### 6.2.1 零件图和加工内容

图 6-2 所示为内梯形螺纹工件, 规格为 Tr36 × 6, 大径为 36mm, 小径为 29mm, 螺纹有效长度为 60mm, 材料为 45 钢, 分别用子程序嵌套和宏程序编制车削内梯形螺纹的加工程序。

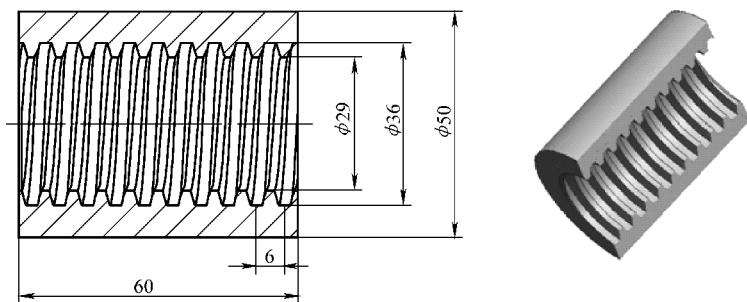


图 6-2 零件主要尺寸及其三维造型图

### 6.2.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯尺寸为  $\phi 50\text{mm} \times 60\text{mm}$ , 其中  $\phi 50\text{mm}$  外圆和  $\phi 29\text{mm}$  内孔已完成加工, 只需加工内梯形螺纹即可。

(2) 装夹方式: 采用普通自定心卡盘夹持  $\phi 50\text{mm}$  外圆; 刀具:  $30^\circ$  内梯形螺纹刀 (实践中分粗、精两种刀具); 量具: 0 ~ 150mm 的游标卡尺、内径百分

表、螺纹规。

(3) 制订车削工序卡，见表 6-2 所示，其中背吃刀量为双边径向值。

表 6-2 数控车削内梯形螺纹的工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具       | 切 削 用 量        |                |             |
|-----|---------|------|-----------|----------------|----------------|-------------|
|     |         |      |           | 转速/<br>(r/min) | 进给量/<br>(mm/r) | 背吃刀量/<br>mm |
| 1   | 粗车削螺纹   | 数控车床 | 30°内梯形螺纹刀 | 120            | 6              | 0.5、0.3、0.1 |
| 2   | 精车削螺纹   | 数控车床 | 30°内梯形螺纹刀 | 40             | 6              | 0.05        |

6.2.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 本实例车削内梯形螺纹的方式为：等深度分层切入。车削螺纹的刀具路径设计为：进刀→切入→径向退刀→轴向退刀→返回螺纹上次加工的起点，如此反复完成零件的加工。

(2) 本实例分别采用子程序嵌套和宏程序两种方法来编制内梯形螺纹的加工程序。

6.2.4 数控程序及其注释

程序 1：采用子程序嵌套车削内梯形螺纹

```
O6004;  
T0101;           (调 1 号刀具以及 1 号刀补)  
M03 S120;        (主轴正转,转速为 120r/min)  
M08;             (打开切削液)  
G0 X20 Z10;      (快速定位)  
X29;             (到达螺纹径向的起点)  
M98 P60002;      (调用 O0002 号子程序,调用次数为 6)  
M98 P100003;     (调用 O0003 号子程序,调用次数为 10)  
M98 P80004;      (调用 O0004 号子程序,调用次数为 8)  
M98 P20005;      (调用 O0005 号子程序,调用次数为 2)  
M03 S40;         (改变转速,转速为 40r/min)  
M98P20005;       (调用 O0005 号子程序,调用次数为 2,精加工螺纹)  
G0 Z100;         (轴向快速退刀)
```

|               |                         |
|---------------|-------------------------|
| X100;         | (径向快速退刀)                |
| M05;          | (主轴停止)                  |
| M09;          | (关闭切削液)                 |
| M30;          | (程序结束,返回程序开头)           |
| ...           |                         |
| O0002;        | (子程序名)                  |
| G01 U -0.5;   | (径向进刀)                  |
| M98 P0001;    | (调用 O0001 号子程序,调用次数为 1) |
| M99;          | (返回主程序)                 |
| ...           |                         |
| O0003;        | (子程序名)                  |
| G01 U -0.3;   | (径向进刀)                  |
| M98 P0001;    | (调用 O0001 号子程序,调用次数为 1) |
| M99;          | (返回主程序)                 |
| ...           |                         |
| O0004;        | (子程序名)                  |
| G01 U -0.1;   | (径向进刀)                  |
| M98 P0001;    | (调用 O0001 号子程序,调用次数为 1) |
| M99;          | (返回主程序)                 |
| ...           |                         |
| O0005;        | (子程序名)                  |
| G01 U -0.05;  | (径向进刀)                  |
| M98 P0001;    | (调用 O0001 号子程序,调用次数为 1) |
| M99;          | (返回主程序)                 |
| ...           |                         |
| O0001;        | (子程序名)                  |
| G32 Z -65 F6; | (车削螺纹)                  |
| G0 U -10;     | (径向退刀)                  |
| Z10;          | (轴向退刀)                  |
| U10;          | (径向返回到上次切削的位置)          |
| G0 W -0.114;  | (轴向左进刀,进刀量为 0.114mm)    |
| G32 Z -65 F6; | (车削螺纹)                  |
| G0 U -10;     | (径向退刀)                  |

```

Z10;                (轴向退刀)
U10;                (径向返回到上次切削的位置)
W0.114;            (轴向右进刀,进刀量为 0.114mm)
G32 Z-65 F6;       (车削螺纹)
G0 U-10;           (径向退刀)
Z10;                (轴向退刀)
U10;                (径向返回到上次切削的位置)
M99;                (返回主程序)

```

程序 1 编程总结:

- (1) 利用子程序嵌套实现了梯形螺纹的分层切削。
- (2) 本实例属于大螺距螺纹,因此在实际加工中需要采用左右进刀的方式切削螺纹,进刀量为螺纹的底槽径宽度减去螺纹刀的刀宽除以 2 所得。
- (3) 由于是内梯形螺纹,刀具较长,刚性不够,所以在进刀时采用三次切入,即分别以 Z10、Z10.114 和 Z9.886 为起点。同时,在加工中应该采用较小的吃刀量。
- (4) 在实际加工过程中,考虑到内梯形螺纹刀具在内孔中径向的退刀空间,刀杆应尽量选择细点,根据刀杆尺寸选择径向退刀量。本实例中选择螺纹径向退刀量采用相对量指令 U-10,也就是在螺纹切深较浅时最容易和内孔发生干涉,如果有干涉,建议退刀量再选择小点,以保证刀具能顺利退出螺纹槽。

#### 程序 2: 采用宏程序车削内梯形螺纹

```

O6005;              (程序名)
T0101;              (调 1 号刀具以及 1 号刀补)
M03 S120 M08;       (主轴正转,转速为 120r/min,切削液打开)
#101 = 0;            (螺纹将加工深度的初始值)
#102 = 10;           (螺纹轴向的加工起点)
#104 = 0.5;          (背吃刀量)
#105 = 0.114;        (进刀量)
G0 X20 Z[#102];      (快速定位)
    X29;              (径向到达螺纹切削的起点)
N10#101 = #101 + #104; (每次进刀的深度)
#106 = #101 + 29;     (每次径向到达的切削位置)
G0 X[#106];          (径向进刀)
    Z[#102];          (Z 向螺纹起点)

```

```

G32 Z - 65 F6;           (车削螺纹)
G0 U - 10;               (径向退刀,此处易和孔发生干涉,建议取小值)
    Z[#102];             (轴向退刀)
    X[#106];             (返回到上次加工起点)
    W[-#105];            (轴向左退刀)
G32 Z - 65 F6;           (车削螺纹)
G0 U - 10;               (径向退刀)
    Z[#102];             (轴向退刀)
    X[#106];             (径向返回到上次加工起点)
    W[#105];             (轴向右进刀)
G32 Z - 65 F6;           (车削螺纹)
G0 U - 10;               (径向退刀)
    Z[#102];             (轴向退刀)
    X[#106];             (径向返回到上次加工起点)
IF[#101 LT 3]GOTO10;     (分层切削第1层螺纹深度到达3mm)
    #104 = 0.3;           (#104 重新赋值,第2层每次切入深度为0.3mm)
IF[#101 LT 6]GOTO10;     (分层切削第2层螺纹深度到达6mm)
    #104 = 0.1;           (#104 重新赋值,第3层每次切入深度为0.1mm)
IF[#101 LT 6.8]GOTO10;   (分层切削第3层螺纹深度到达6.8mm)
G0 Z100;                 (轴向退刀)
    X100;                 (径向退刀)
M03 S40;                 (主轴正转,转速为40r/min)
M08;                     (打开切削液)
G0 X20 Z[#102];          (快速定位)
    X[#106];
    #104 = 0.05;          (#104 重新赋值,第4层精车,每次切入深度为
                           0.05mm)
IF[#101 LT 7]GOTO10;     (分层切削第4层螺纹深度到达7mm,即螺纹大径)
G0 Z100;
    X100;
M05;
M09;
M30;
    
```

程序2 编程总结:

(1) 本程序实现了分层切削螺纹, 其中对#104 号变量重新赋值, 实现了分层切削每一层不同的背吃刀量。

(2) 螺纹加工每次轴向退刀要退回到上次轴向加工起点, 否则会出现乱扣现象。

(3) 本程序值给出螺纹深度的参考值。在实际加工中, 螺纹的深度以及精加工的 Z 向偏移值, 要严格按照梯形螺纹相关的参数以及公式计算得出。

(4) 本实例采用子程序嵌套和宏程序编制了内梯形螺纹加工程序, 都采用了左右切削的方法, 实际中还有其他的加工方法, 此处不再赘述。

## 6.3 实例 6-3 车削异形螺纹宏程序应用

### 6.3.1 零件图和加工内容

图 6-3 所示工件的中间段为异形螺纹, 螺纹的螺距为 10mm, 单侧牙深为 2.5mm, 牙侧角为  $30^\circ$ , 牙槽底宽度为 3.2mm, 螺纹轴向长度为 89mm, 两侧  $\phi 10$ mm 长度均为 20mm, 工件材料为 45 钢, 用宏程序编制车削该异形螺纹的程序。

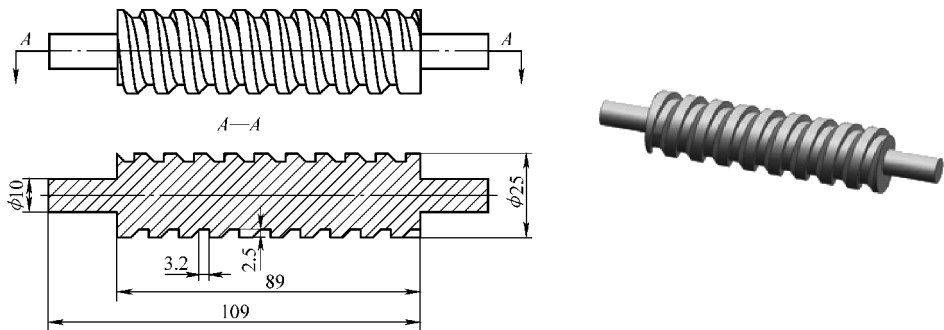


图 6-3 零件主要尺寸及其三维造型图

### 6.3.2 工艺分析和加工路线

(1) 准备毛坯尺寸为  $\phi 25\text{mm} \times 129\text{mm}$ , 其中  $\phi 25\text{mm}$  外圆和台阶端面已经完成加工。

(2) 装夹方式: 普通自定心卡盘, 采用一顶一夹的方式; 刀具: 方牙螺纹



车刀（1号刀），刀宽等于或者小于螺纹底径的槽宽，取2mm，手工磨刀刀具，刀片材料均为硬质合金；量具：0~150mm的游标卡尺和25~50mm的千分尺。

（3）确定切削用量：车削矩形（即方牙）螺纹采用等深度切削，每次背吃刀量为0.1mm（单边径向值）；车削右边斜面，设X向为自变量，Z向为应变量（由三角函数公式计算得出），采用等深度进刀逼近螺纹形状。

（4）制订表6-3所示的车削工序卡。

表 6-3 数控车削异形螺纹的工序卡

| 工序 | 主要内容          | 设备   | 刀具             | 切削用量           |                |             |
|----|---------------|------|----------------|----------------|----------------|-------------|
|    |               |      |                | 转速/<br>(r/min) | 进给量/<br>(mm/r) | 背吃刀量/<br>mm |
| 1  | 车削方牙螺纹        | 数控车床 | 2mm 方牙<br>螺纹车刀 | 120            | —              | 0.1         |
| 2  | 车削右面牙型<br>的斜面 | 数控车床 | 2mm 方牙<br>螺纹车刀 | 120            | —              | 0.1         |

### 6.3.3 编程思路和刀具路径规划

（1）本实例车削异形螺纹可以分为两步：第一步预先车削成方牙螺纹（假设刀宽为2mm）；第二步利用方牙螺纹刀车削右面牙型斜面。其中，车削方牙螺纹的编程思路和车削梯形螺纹一样，此处不再赘述，实际中可以采用成形刀来车削异形螺纹。

（2）和车削普通大螺距螺纹、梯形螺纹一样，依靠左右进刀来加工牙型，而异形螺纹在没有成形刀时，只能通过单面进刀完成牙型轮廓，其中精加工牙型进刀刀具路径如图6-4所示。

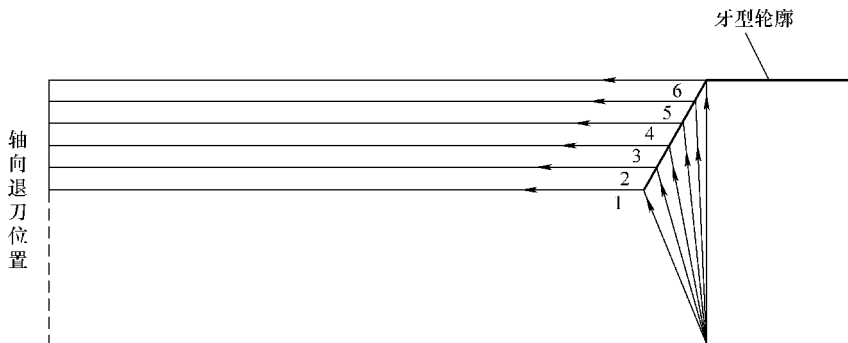


图 6-4 异形螺纹加工刀具路径示意图（前置刀架）

### 6.3.4 数控程序及其注释

```

O6006;
T0101;
M03 S120 M08;
G0 X28 Z1;
#100 = 0;                ( 螺纹深度的初始值)
#101 = 0.1;              ( 设定每次螺纹背吃刀量值)
N10#100 = #100 - #101;    ( 螺纹深度每次减去背吃刀量)
    #102 = 25 - 2 * #100; ( 计算程序中的 X 值)
G0 X[#102];
G32 Z - 115 F10;          ( 车削螺纹)
G0 X28;                  ( X 向退刀)
    Z1;                  ( Z 向退刀)
    W0.6;                ( 右进刀)
G0 X[#102];
G32 Z - 115 F10;
G0 X28;
    Z1;
    W - 0.6;
G0 X[#102];
G32 Z - 115 F10;
G0 X28;
    Z1;
IF[ #100 LT 2.5 ]GOTO10; ( 条件判断,判断螺纹深度是否达到规定值)
G0 X100;
    Z100;
M05;
M09;
M01;
M03 S120 M08;
G0 X28 Z1;
#103 = 2.5;              ( 螺纹半径方向的深度)

```

```

#104 = 0.1;                (每次 X 向进刀量)
N20#103 = #103 - #104;      (螺纹半径方向的深度每次减去背吃刀量)
#105 = #103/TAN[47];        (根据三角函数关系计算 Z 值)
#106 = 20 + 2 * #103;        (计算程序中的 X 值)
#107 = 1 - #105;            (计算程序中的 Z 值)
G0 X[#106];                (X 向进刀)
    Z[#107];                (Z 向进刀)
G32 Z - 110 F10;
G0 X28;
    Z1;
IF[#103 LT 0]GOTO20;        (条件判断,判断螺纹深度是否达到规定值)
G0 X100;
    Z100;
M05;
M09;
M30;
    
```

### 6.3.5 编程总结

(1) 本实例是异形螺纹,由于形状比较特殊,最好的方法是采用成形刀具来加工。如果采用常规刀具加工,需要结合宏程序才能达到较好的加工效果。

(2) 本实例中提供的思路有一定的改进空间,因为方牙螺纹在实际加工中属于难加工的一种,要求机床操作者具有较高的实际加工经验和操作技能,而本实例提供的宏程序思路拓展了该类螺纹的加工方法。

## 6.4 实例 6-4 车削圆弧螺纹宏程序应用

### 6.4.1 零件图和加工内容

图 6-5 所示为圆弧牙型螺纹工件,圆弧半径为 1.5mm,螺距为 5mm,螺纹外径为  $\phi 20\text{mm}$ ,长度为 41mm,材料为 45 钢,用宏程序编制车削该异形螺纹。

### 6.4.2 工艺分析和加工路线

(1) 准备毛坯尺寸为  $\phi 20\text{mm} \times 100\text{mm}$ ,其中  $\phi 20\text{mm}$  外圆和端面已经完成

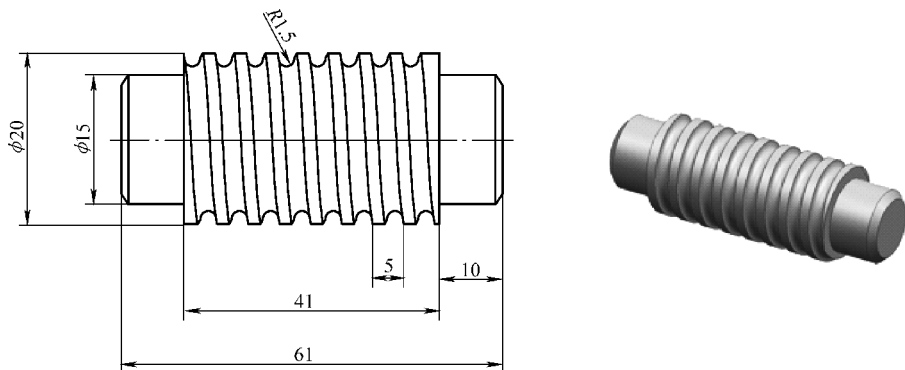


图 6-5 零件主要尺寸及其三维造型图

加工。

(2) 装夹方式：普通自定心卡盘，夹持  $\phi 20\text{mm}$  外圆，采用一夹一顶的装夹方式；刀具：粗加工螺纹采用圆弧螺纹刀（1 号刀），精加工螺纹采用  $30^\circ$  螺纹刀（2 号刀）；量具：0 ~ 150mm 的游标卡尺，25 ~ 50mm 的千分尺。

(3) 确定切削用量：在本实例中采用等深度分层切削螺纹，每次的背吃刀量直径值分别为：0.5mm、0.2mm、0.1mm、0.05mm。

(4) 制订表 6-4 所示的车削工序卡。

表 6-4 数控车削圆弧螺纹的工序卡

| 工 序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具            | 切 削 用 量        |                |             |
|-----|---------|------|----------------|----------------|----------------|-------------|
|     |         |      |                | 转速/<br>(r/min) | 进给量/<br>(mm/r) | 背吃刀量/<br>mm |
| 1   | 粗车削螺纹   | 数控车床 | 圆弧螺纹刀          | 120            | —              | 0.5、0.2、0.1 |
| 2   | 精车削螺纹   | 数控车床 | $30^\circ$ 螺纹刀 | 40             | —              | 0.05        |

### 6.4.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 车削圆弧螺纹和其他螺纹加工的方式基本相同，即采用进刀→切入→径向退刀→轴向退刀，如此反复完成零件的加工。粗车采用左右进刀，精车采用圆弧进刀，其中精加工进刀刀具路径示意如图 6-6 所示。

(2) 由于本实例圆弧螺纹的圆弧半径为 1.5mm，需要先通过粗加工去除大部分余量；精加工时，采用带刀具半径补偿方法，用进刀法慢慢逼近圆弧螺纹轮廓。

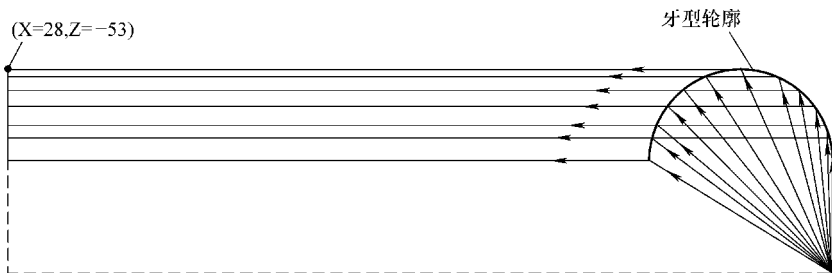


图 6-6 精加工进刀刀具路径示意图（前置刀架）

#### 6.4.4 数控程序及其注释

|                           |                                         |
|---------------------------|-----------------------------------------|
| O6007;                    | (程序名)                                   |
| T0101;                    | (调 1 号刀具以及 1 号刀补)                       |
| M03 S120 M08;             | (主轴正转, 转速为 120r/min, 打开切削液)             |
| G0 X26 Z6;                | (快速定位)                                  |
| #100 = 0;                 | (设置螺纹深度初始值)                             |
| #101 = 0.5;               | (第 1 层背吃刀量)                             |
| N10#100 = #100 - #101;    | (#100 号变量是指螺纹分层切削第 1 层, 每次切入 0.5mm)     |
| #102 = #100 + 20;         | (#102 号变量是指每次进刀后计算出 X 值)                |
| G0 X20;                   |                                         |
| Z - 1.5;                  | (进刀到螺纹加工的轴向起点)                          |
| G0 X[#102];               | (进刀到螺纹加工的径向起点)                          |
| G32 Z - 53 F5;            | (车削螺纹)                                  |
| G0 X28;                   | (径向退刀)                                  |
| G0 Z - 1.5;               | (轴向退刀)                                  |
| IF[#100 GT - 1.5] GOTO10; | (如果#100 大于 -1.5, 分层切削第 1 层螺纹深度达到 1.5mm) |
| #101 = 0.2;               | (第 2 层每次切入深度 0.2mm)                     |
| IF[#100 GT - 2.3] GOTO10; | (如果#100 大于 -2.3, 分层切削第 2 层螺纹深度达到 2.3mm) |
| #101 = 0.1;               | (第 3 层每次切入深度 0.1mm)                     |
| IF[#100 GT - 2.8] GOTO10; | (如果#100 大于 -2.8, 分层切削第 3 层螺纹深度达到 2.8mm) |

```

#101 = 0.05;           (第4层每次切入深度 0.05mm)
IF[#100 GE -2.9]GOTO10; (如果#100 大于等于 -2.9,分层切削第4层螺
                        纹深度达到 2.9mm)

G0 X100;               (径向快速退刀)
  Z100;                (轴向快速退刀)

M05;
M09;
M01;
T0202;                 (精加工程序)
M08 S120;              (主轴正转,转速为 120r/min,打开切削液)
G0 X28 Z4;             (快速定位)
#110 = 1.5;            (圆弧型螺纹牙型的半径)
#111 = 1.5;            (圆弧型螺纹 Z 向方程起点)
N20 G42 G0 X26;        (带上刀具半径右补偿)
  Z1.5;                (进刀到螺纹加工的轴向起点)
#112 = SQRT[#110 *
#110 - #111 * #111];   (计算#112 号变量的值,基于圆弧的公式,也就
                        是用进刀的方法计算出 X 向每次进刀量)

#113 = 20 - 2 * #112;  (程序中的 X 值)
G0 X[#113];            (进刀到螺纹加工的 X 向起点)
  Z[#111];             (到达圆弧螺纹加工的 Z 向起点)
G32 Z -53 F5;          (车削螺纹)
G0 X28;                (径向退刀)
G40 G0 Z4;             (取消刀具半径补偿;轴向退刀)
#111 = #111 - 0.1;     (由方程计算得到螺纹 Z 向每次进刀量为
                        0.1mm)

IF[#111 GE -1.5]GOTO20; (如果#111 大于等于 -1.5,则跳转到 N20)
G0 X100;               (径向快速退刀)
  Z100;                (轴向快速退刀)

M05;
M09;
M30;

```

### 6.4.5 编程总结

(1) 本实例是圆弧螺纹，粗加工时用圆弧螺纹刀（需要手工磨制一定的螺旋升角），不必采用刀具半径补偿。

(2) 精加工时采用进刀法慢慢逼近圆弧螺纹的形状。为了提高加工精度，需要带上刀具半径补偿。

(3) 步距大小的设置需要兼顾加工质量和效率。为了提高加工效率，步距可适当增大。

## 6.5 实例 6-5 车削等槽宽变齿宽变距螺纹宏程序应用

### 6.5.1 零件图和加工内容

变距螺纹分为等槽宽变齿宽变距螺纹、等齿宽变槽宽变距螺纹和变槽宽变齿宽变距螺纹三种情况。本例图 6-7 所示为第一种变距螺纹情况，其中螺纹外径为  $\phi 30\text{mm}$ ，底径为  $\phi 25\text{mm}$ ，牙深为  $2.5\text{mm}$ ，牙型为矩形，起始螺距为  $6\text{mm}$ ，起始齿宽为  $3\text{mm}$ ，终止螺距为  $12\text{mm}$ （终止齿宽为  $9\text{mm}$ ），槽宽为  $3\text{mm}$ ，圈数为 5，理论螺纹长度为  $45\text{mm}$ （起始螺距和终止螺距之和乘以圈数），实际取螺纹长度为  $40\text{mm}$ ，螺距大小均匀递增，编制车削等槽宽变齿宽变距螺纹的宏程序。

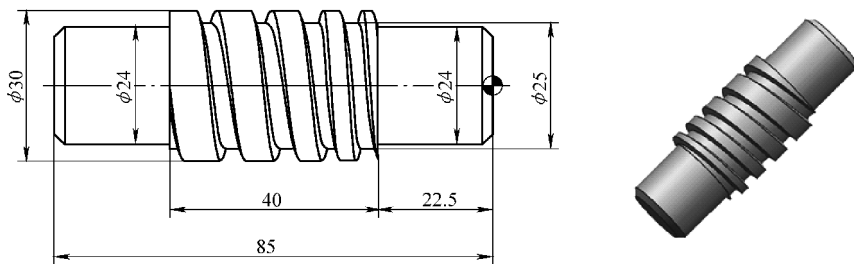


图 6-7 零件主要尺寸及其三维造型图

### 6.5.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定加工毛坯尺寸为  $\phi 30\text{mm} \times 85\text{mm}$ ，其中  $\phi 30\text{mm}$  外圆、 $\phi 24\text{mm}$  两侧台阶外圆和端面已经完成加工。

(2) 装夹方式：采用普通自定心卡盘，采用一夹一顶的方式；刀具：方牙螺纹车刀（1 号刀），刀宽等于或者小于螺纹底径的槽宽，取  $2\text{mm}$ ，手工磨刀；

量具：0 ~ 150mm 的游标卡尺和 25 ~ 50mm 的千分尺。

(3) 制订表 6-5 所示的车削工序卡，采用等深度分层切削螺纹，每次的背吃刀量直径值分别为 0.5mm、0.2mm、0.1mm、0.05mm，其中车削端面的程序不再给出。

表 6-5 数控车削等槽宽等齿宽变距螺纹的工序卡

| 工序 | 主 要 内 容 | 设 备  | 刀 具            | 切 削 用 量        |                |             |
|----|---------|------|----------------|----------------|----------------|-------------|
|    |         |      |                | 转速/<br>(r/min) | 进给量/<br>(mm/r) | 背吃刀量/<br>mm |
| 1  | 粗车削螺纹   | 数控车床 | 2mm 方牙<br>螺纹车刀 | 120            | —              | 0.5、0.2、0.1 |
| 2  | 精车削螺纹   | 数控车床 | 2mm 方牙<br>螺纹车刀 | 40             | —              | 0.05        |

6.5.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 本实例采用等深度和分层进行螺纹的加工，车削螺纹的方法为：进刀→切入→径向退刀→轴向退刀，如此反复完成零件的加工。

(2) 由于本实例为变距螺纹的加工，因此螺距的变化通过在宏程序中设置变量来实现。

(3) 本实例给出 G34 指令车削变距螺纹的参考程序和结合宏程序 G32 指令的参考程序。

6.5.4 数控程序及其注释

程序 1：子程序加嵌套编程

O6008; (程序名)

T0101; (调 1 号刀具以及 1 号刀补)

M03 S120 M08; (主轴正转,转速为 120r/min,打开切削液)

G0 X32 Z3; (快速定位)

X30 Z-17.5; (螺纹加工的起点,17.5 是指 22.5mm 减去上个螺

纹的螺距 5mm,图 6-7 中未显示该螺距值)

M98 P40002; (调用 O0002 号子程序,调用次数为 4)

M98 P120003; (调用 O0003 号子程序,调用次数为 12)

M98 P40004; (调用 O0004 号子程序,调用次数为 4)



|                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| M98 P20005;      | (调用 O0005 号子程序,调用次数为 2)  |
| M03 S40 M08;     | (主轴正转,转速为 40r/min,打开切削液) |
| M98 P20005;      | (调用 O0005 号子程序,调用次数为 2)  |
| G0 X100;         | (径向快速退刀)                 |
| Z100;            | (轴向快速退刀)                 |
| M05;             |                          |
| M09;             |                          |
| M30;             |                          |
| ...              |                          |
| O0002            | (子程序名)                   |
| G01 U -0.5;      | (径向进刀)                   |
| M98 P0001;       | (调用 O0001 号子程序,调用次数为 1)  |
| M99;             | (返回主程序)                  |
| ...              |                          |
| O0003            | (子程序名)                   |
| G01 U -0.2;      | (径向进刀)                   |
| M98 P0001;       | (调用 O0001 号子程序,调用次数为 1)  |
| M99;             | (返回主程序)                  |
| ...              |                          |
| O0004;           | (子程序名)                   |
| G01 U -0.1;      | (径向进刀)                   |
| M98 P0001;       | (调用 O0001 号子程序,调用次数为 1)  |
| M99;             | (返回主程序)                  |
| ...              |                          |
| O0005;           | (子程序名)                   |
| G01 U -0.05;     | (径向进刀)                   |
| M98 P0001;       | (调用 O0001 号子程序,调用次数为 1)  |
| M99;             | (返回主程序)                  |
| ...              |                          |
| O0001;           | (子程序名)                   |
| G01 W -0.5;      | (轴向进刀,左进刀量为 0.5mm)       |
| G34 Z -30 F5 K1; | (车削螺纹)                   |
| G0 U10;          | (径向退刀)                   |

```

Z - 17.5;           (轴向退刀)
W0.5;              (轴向进刀,右进刀量为0.5mm)
U - 10;
G34 Z - 30 F5 K1;   (车削螺纹)
G0 U10;            (径向退刀)
Z - 17.5;          (轴向退刀)
U - 10;            (径向进刀)
M99;               (返回主程序)

```

程序1 编程总结:

(1) 本程序采用 FANUC 系统自带的 G34 切削变距螺纹功能, 结合子程序嵌套的方法完成零件的加工。

(2) 本程序采用左右进刀和分层切削的加工方法, 这样可以提高加工产品的精度, 减少刀具的磨损以及提高工件表面质量。

#### 程序 2: 采用宏程序加工变距螺纹

```

O6009;              (程序名)
T0101;
M03 S120 M08;
G64 G0 X40 Z0;
      Z - 17.5;

#101 = 0;            (螺纹背吃刀量, 预设 0)
#102 = 0.3;          (第 1 层背吃刀量为 0.3mm)
#103 = 0.5;          (螺纹左右进刀的进刀量)
N30#101 = #101 + #102; (螺纹深度递增)
      #105 = 0;        (设置进刀方向)
N20#104 = 5;          (螺距预设 5mm)
G00 X[30 - #101];     (计算出螺纹每刀切削时的 X 值)
      Z[ - 17.5 - #103 ]; (计算出螺纹每刀切削时的 Z 值)
N10 G32 W[ - #104 ] F[ #104 ]; (预先用 G32 实现等螺距加工)
      #104 = #104 + 1;   (实现变距)
      IF[ #104 LE 10 ] GOTO 10; (当计算出螺距小于等于 10, 返回到 N10)
G00 X34;              (X 向退刀)
      Z - 17.5;          (Z 向退刀)
      #103 = - #103;      (进刀方向改变, 和变量 #105 配合使用)

```

```

IF[#105 GT 0]GOTO 40;      (判别进刀方向)
#105 = #105 + 1;           (进刀方向改变)
GOTO 20;                   (绝对跳转到 N20)
N40 #105 = 0;              (进刀方向重置)
IF[#101 LT 2.7]GOTO 30;    (控制第 1 层螺纹深度为 2.7mm)
#102 = 0.2;                (重新赋值第 2 层螺纹每刀背吃刀量)
IF[#101 LT 4.7]GOTO 30;    (控制第 2 层螺纹深度为 4.7mm)
#102 = 0.1;                (重新赋值第 3 层螺纹每刀背吃刀量)
IF[#101 LT 5]GOTO 30;      (控制第 3 层螺纹深度为 5mm)
G00 X100;
Z100;
M05;
M09;
M30;

```

程序 2 编程总结:

(1) 变量#101 就是螺纹背吃刀量预设值为 0; 变量#102 便于分层切削, 保证每层的背吃刀量变化; 语句#101 = #101 + #102 的作用是计算出下一次切削螺纹的深度。

(2) 变量#105 用来设置左、右进刀切削的 Z 轴位置; IF [#105 GT 0] GOTO 40 用来判别进刀左右方向, 当为 0 时进行左进刀, 为 1 时右进刀; 语句 G32 W [- #104] F [#104] 实现变距螺纹每段螺纹长度和螺距相等。

(3) 等槽宽变齿宽变距螺纹是变距螺纹中较为常见的一种, 掌握它的编程思路和方法可以解决其他类型的变距螺纹的编程加工。

## 6.6 实例 6-6 车削变槽宽变齿宽变距螺纹宏程序应用

### 6.6.1 零件图和加工内容

图 6-8 所示为变槽宽变齿宽变距螺纹工件, 其中螺纹外径为  $\phi 30\text{mm}$ , 底径为  $\phi 25\text{mm}$ , 牙深为 2.5mm, 牙型为矩形, 螺距从左到右逐渐减小, 槽宽和齿宽也按相同规律逐渐减小, 起始螺距为 10mm, 起始槽宽为 5.5mm, 终止螺距为 5mm, 终止槽宽为 3mm, 圈数为 6, 理论螺纹长度为 45mm (起始螺距和终止螺距之和乘以圈数), 实际取螺纹长度为 40.5mm, 螺距、槽宽和齿宽的尺寸大小

均匀递减，编制车削变槽宽变齿宽的变距螺纹宏程序。

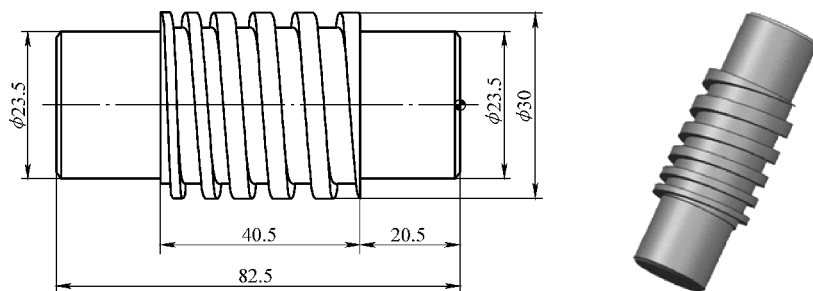


图 6-8 零件主要尺寸及其三维造型图

### 6.6.2 工艺分析和加工路线

(1) 确定毛坯尺寸为  $\phi 30\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，其中  $\phi 30\text{mm}$  外圆、端面和总长已经加工。

(2) 装夹方式：采用普通自定心卡盘，采用一夹一顶的方式；刀具：方牙螺纹车刀（1号刀），其刀宽小于工件最小的槽宽值 3mm，取 2.9mm，手工磨刀；量具：0~150mm 的游标卡尺和 25~50mm 的千分尺。

(3) 确定切削用量：在本实例中采用等深度分层切削螺纹，每次的背吃刀量双边径向值分别为：0.5mm、0.2mm、0.1mm、0.05mm。

(4) 制订表 6-6 所示的车削工序卡。

表 6-6 数控车削等槽宽等齿宽变距螺纹的工序卡

| 工序 | 主要内容  | 设备   | 刀具             | 切削用量           |                |             |
|----|-------|------|----------------|----------------|----------------|-------------|
|    |       |      |                | 转速/<br>(r/min) | 进给量/<br>(mm/r) | 背吃刀量/<br>mm |
| 1  | 粗车削螺纹 | 数控车床 | 2mm 方牙<br>螺纹车刀 | 120            | —              | 0.5、0.2、0.1 |
| 2  | 精车削螺纹 | 数控车床 | 2mm 方牙<br>螺纹车刀 | 40             | —              | 0.05        |

### 6.6.3 编程思路和刀具路径规划

(1) 本实例采用等深度和分层进行螺纹的加工，车削螺纹的方法为：进刀→切入→径向退刀→轴向退刀，如此反复完成零件的加工。

(2) 由于本实例为变距螺纹的加工, 因此螺距的变化通过在宏程序中设置变量来实现。

#### 6.6.4 数控程序及其注释

|                             |                                                    |
|-----------------------------|----------------------------------------------------|
| O6010;                      |                                                    |
| T0101;                      |                                                    |
| M03 S100 G64;               |                                                    |
| #101 = 0.5;                 | (螺纹每次切入深度, 切削螺纹时每层深度值重新赋值)                         |
| #102 = 0;                   | (变距螺纹螺距, 预先设为 0)                                   |
| #103 = 30;                  | (螺纹顶径)                                             |
| #104 = 0;                   | (螺纹径向退刀点)                                          |
| N10#103 = #103 - #101;      | (分层切削螺纹深度, 第 1 层每次背吃刀量 0.5mm)                      |
| #104 = #103 + 7;            | (螺纹径向退刀, 螺纹深度为 5mm, 在此基础上加上 2mm, 即可保证螺纹最后精车时能有效退出) |
| #102 = 11;                  | (变距螺纹起始螺距为 11mm, #102 号变量随着变距量而变化)                 |
| G0 X[#103];                 | (快速到达螺纹直径方向的起始点)                                   |
| Z - 9.5;                    | (到达轴向螺纹的起始点)                                       |
| N20 G32 W[ - #102] F[#102]; | (车削变距螺纹, 每段车削行程和螺距相等)                              |
| #102 = #102 - 1;            | (每车削一个螺距后, 螺距减少 1mm)                               |
| IF[#102 GE 5] GOTO 20;      | (当螺距大于等于最小螺距 5mm 时, 返回 N20)                        |
| G0 X[#104];                 | (每一刀切削后的径向退刀点)                                     |
| Z - 9.5;                    |                                                    |
| X[#103];                    |                                                    |
| W - 1.75;                   | (左进刀)                                              |
| #102 = 10.75;               | (重新赋值变距螺纹的起始螺距)                                    |
| N30 G32 W[ - #102] F[#102]; |                                                    |
| #102 = #102 - 1;            |                                                    |
| IF[#102 GE 4.75] GOTO 30;   | (当螺距大于等于最小螺距 4.75mm 时, 返                           |

```

                                回 N30)
G0 X[#104];                    (每一刀切削后的径向退刀点)
    Z-9.5;
    X[#103];
    W1.75;                      (右进刀)
    #102 = 11.25;               (重新赋值变距螺纹的起始螺距)
N40 G32 W[-#102]F[#102];
    #102 = #102 - 1;
    IF[#102 GE 5.25]GOTO 40;
G0 X[#104];                    (每一刀加工完成径向的退刀点)
    Z-9.5;
IF[#103 GT 27.5]GOTO 10;       (第1 层螺纹底径大于 27.5mm 时,执行
                                N10)
    #101 = 0.2;                 (螺纹底径等于 27.5mm 时,第 1 层加工结
                                束, #101 每次进刀量重新赋值为
                                0.2mm,进行第 2 层的切削)
IF[#103 GT 25.5]GOTO 10;       (第2 层螺纹底径大于 25.5mm 时,执行
                                N10)
    #101 = 0.1;
IF[#103 GT 25]GOTO 10;         (第3 层螺纹底径大于 25.5mm 时,执行
                                N10)
    G0 X100;
    Z100;
M05;
M09;
M02;

```

### 6.6.5 编程总结

(1) 本程序将螺纹牙深的切削量通过宏程序变量的控制进行分层切削,每层的背吃刀量有规律变化,同时通过左、右进刀来车削变距螺纹,可以确保每次切削完一层牙面再切削下一个牙面。

(2) 本零件的起始螺距名义上为 10mm,而设置变量#102 = 11 就是螺距初始值加上 1mm 的螺距递减量,变量对应的进刀点设置很重要;而语句#102 = #102 - 1

用来控制螺距逐渐递减的变化。

(3) 本实例中变距螺纹螺距变化规律是由经验推算进行插补的, 不同的螺距变化精度要求, 可以采用不同的插值方法, 在此不再赘述。

## 6.7 本章小结

(1) 梯形螺纹、变距螺纹等零件设计精度高, 程序编制难度也大, 在数控加工和编程时需要根据其尺寸参数要求, 合理选用刀具和确定切削用量, 编制程序时要考虑保证合理递减背吃刀量、螺纹牙侧粗精分开加工等原则, 改善切削状况; 如果加工的螺纹其尺寸参数变化较多时, 尽量编制通用性更好、变量替换方便的宏程序。

(2) 在目前螺纹切削指令 G32、G92 和 G76 的基础上, 利用宏程序定义变量的方便性和控制走刀路径的灵活性, 适于螺纹牙型、螺纹参数和工件尺寸变化多的场合。

(3) 本书所有实例均在 FANUC 0i-TC 数控车床上进行了运行验证, 当然编程思路也适合其他类型的数控系统。

## 参 考 文 献

- [1] 胡育辉, 赵宏立, 张宇. 数控宏编程手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [2] 冯志刚. 数控宏程序编程方法、技巧与实例 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [3] 李锋. 数控宏程序实例教程 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [4] 陈海舟. 数控铣削加工宏程序及其应用实例 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [5] Peter Smid. FANUC 数控系统用户宏程序与编程技巧 [M]. 罗学科, 等译. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [6] 孙德茂. 数控机床车削加工直接编程技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [7] 张立新, 何玉忠. 数控加工进阶教程 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.
- [8] 于万成. 数控加工工艺与编程基础 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
- [9] 顾雪艳, 等. 数控加工编程操作技巧与禁忌 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [10] 黄冬英. 车削倾斜椭圆的宏程序 [J]. 机械工程师, 2009, (11): 121-122.
- [11] 李延淳. 宏程序在数控车中的应用 [J]. 模具制造, 2008, (7): 63-65.
- [12] 陈颖, 韩加好. 基于宏指令的梯形螺纹通用数控加工程序编制 [J]. 工具技术, 2008, 42 (9): 69-71.
- [13] 赵宏立. 非圆二次曲线数控宏程序的编制与应用 [J]. 机械, 2010, (8): 62-65.
- [14] 陈光伟. 关于宏程序循环语句的应用研究 [J]. 装备制造技术, 2010, (5): 100-102.
- [15] 张钧. 宏程序加工蜗杆的应用与研究 [J]. 机械工程师, 2010, (7): 82-83.
- [16] 杨煦. 宏程序拓展螺纹加工的研究 [J]. 机械研究与应用, 2009, (6): 68-70.
- [17] 王茜菊, 黄振沛. 数控车削正弦曲线宏程序两种编程方法 [J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2010, (6): 86-87.
- [18] 黄文海. 子程序与宏程序在数控车削中的综合运用 [J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2010, (8): 70-71.
- [19] 朱龙飞. 应用宏程序数控车削变螺距螺纹 [J]. 林业机械与木工设备, 2010, (1): 48-49.
- [20] 穆瑞. 应用宏程序高速车削梯形螺纹 [J]. 机床与液压, 2009, (12): 248-249.



● ISBN 978-7-111-36311-8

策划编辑：周国萍

**实例内容丰富**  
**讲解详细系统**  
**经过FANUC数控系统仿真验证**

上架指导：工业技术/机械工程/数控技术

地址：北京市百万庄大街22号

电话服务

社服务中心：(010)88361066

销售一部：(010)68326294

销售二部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

邮政编码：100037

网络服务

门户网：<http://www.cmpbook.com>

教材网：<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

定价：30.00元

ISBN 978-7-111-36311-8



9 787111 363118 >