



“十三五”职业教育国家规划教材  
首届全国机械行业职业教育优秀教材  
江西省普通高等学校优秀教材

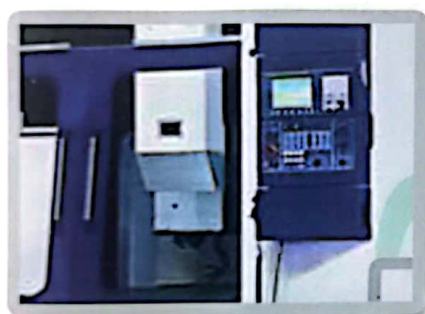


*shukong jiagong biancheng yu caozuo*

# 数控加工编程与操作

第2版

◎ 李河水 梁斯仁 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



扫描全能王 创建



“十三五”职业教育国家规划教材



首届全国机械行业职业教育优秀教材  
江西省普通高等学校优秀教材

# 数控加工编程与操作

第2版

主 编 李河水 梁斯仁  
副主编 范洪斌  
参 编 吴在丞 彭实名  
主 审 龚建国



机械工业出版社



扫描全能王 创建

# 目 录

## 前言

### 项目一 数控车削编程与加工 ..... 1

#### 任务一 数控车床认识与操作 ..... 1

##### 一、任务导入 ..... 1

###### (一) 任务描述 ..... 1

###### (二) 知识目标 ..... 1

###### (三) 能力目标 ..... 2

###### (四) 思政目标 ..... 2

##### 二、知识准备 ..... 2

###### (一) 数控车床概述 ..... 2

###### (二) FANUC Oi-T 数控车床操作面板

###### 简介 ..... 5

##### 三、方案设计 ..... 9

##### 四、任务实施 ..... 9

###### (一) 开机操作 ..... 9

###### (二) 手动回参考点 ..... 9

###### (三) 输入程序 ..... 10

###### (四) 装夹工件 ..... 10

###### (五) 刀具的选择与安装 ..... 11

###### (六) 一把刀的对刀 ..... 11

###### (七) 程序校验 ..... 12

###### (八) 自动加工 ..... 13

###### (九) 关机 ..... 13

##### 五、检查评估 ..... 13

##### 六、技能训练 ..... 13

### 任务二 使用基本指令的编程与加工 ..... 16

#### 一、任务导入 ..... 16

##### (一) 任务描述 ..... 16

##### (二) 知识目标 ..... 16

##### (三) 能力目标 ..... 16

##### (四) 思政目标 ..... 16

#### 二、知识准备 ..... 17

##### (一) 数控编程基础知识 ..... 17

##### (二) 粗加工进给路线设计方法 ..... 20

##### (三) 数控车削编程特点 ..... 22

##### (四) 数控车削编程时的注意事项 ..... 22

##### (五) 数控车削简单 G 指令 ..... 22

##### (六) M 指令 ..... 24

##### (七) 数控车床刀具补偿功能 ..... 24

##### (八) 多把刀的对刀 ..... 24

#### 三、方案设计 ..... 25

##### (一) 分析零件图 ..... 25

##### (二) 选择机床与夹具 ..... 25

##### (三) 制订加工方案 ..... 25

##### (四) 选择刀具及切削用量 ..... 25

##### (五) 确定编程原点 ..... 25

##### (六) 设计毛坯粗加工的进给路线 ..... 25

##### (七) 坐标点的计算 ..... 25

#### 四、任务实施 ..... 27

##### (一) 编写零件的加工程序 ..... 27

##### (二) 零件的加工 ..... 29

#### 五、检查评估 ..... 32

#### 六、技能训练 ..... 33

### 任务三 使用单一固定循环指令的编程与

#### 加工 ..... 36

#### 一、任务导入 ..... 36

##### (一) 任务描述 ..... 36

##### (二) 知识目标 ..... 36

##### (三) 能力目标 ..... 36

##### (四) 思政目标 ..... 36

#### 二、知识准备 ..... 36

##### (一) 套类零件结构特点与技术要求 ..... 36

##### (二) 套类零件的加工方案 ..... 37

##### (三) 数控车削孔类刀具介绍 ..... 37

##### (四) 单一固定循环指令 ..... 38

##### (五) 螺纹切削参数的确定 ..... 40

#### 三、方案设计 ..... 41

##### (一) 分析零件图 ..... 41





|                       |    |                                |           |
|-----------------------|----|--------------------------------|-----------|
| (二) 制订加工方案 .....      | 41 | (二) 制订加工方案 .....               | 63        |
| (三) 选择刀具与切削用量 .....   | 41 | (三) 选择刀具及切削用量 .....            | 63        |
| (四) 确定编程原点 .....      | 41 | (四) 确定编程原点 .....               | 64        |
| (五) 确定毛坯粗加工的方法 .....  | 41 | 四、任务实施 .....                   | 64        |
| (六) 数学处理 .....        | 42 | (一) 编写零件加工程序 .....             | 64        |
| 四、任务实施 .....          | 42 | (二) 零件的加工 .....                | 68        |
| (一) 编写零件加工程序 .....    | 42 | 五、检查评估 .....                   | 68        |
| (二) 零件的加工 .....       | 44 | 六、技能训练 .....                   | 68        |
| 五、检查评估 .....          | 44 | <b>项目二 数控铣削编程与加工 .....</b>     | <b>75</b> |
| 六、技能训练 .....          | 44 | 任务一 数控铣床认识与操作 .....            | 75        |
| 任务四 使用复合固定循环指令的编程与    |    | 一、任务导入 .....                   | 75        |
| 加工 .....              | 47 | (一) 任务描述 .....                 | 75        |
| 一、任务导入 .....          | 47 | (二) 知识目标 .....                 | 76        |
| (一) 任务描述 .....        | 47 | (三) 能力目标 .....                 | 76        |
| (二) 知识目标 .....        | 47 | (四) 思政目标 .....                 | 76        |
| (三) 能力目标 .....        | 47 | 二、知识准备 .....                   | 76        |
| (四) 思政目标 .....        | 47 | (一) 数控铣床的结构 .....              | 76        |
| 二、知识准备 .....          | 47 | (二) 数控铣床的维护和保养 .....           | 77        |
| (一) 数控车削工艺知识 .....    | 47 | (三) 数控铣床的分类 .....              | 78        |
| (二) 复合固定循环指令 .....    | 48 | (四) 数控铣床的加工对象 .....            | 78        |
| 三、方案设计 .....          | 51 | (五) 华中系统数控铣床的控制面板 .....        | 78        |
| (一) 分析零件图 .....       | 51 | 三、方案设计 .....                   | 82        |
| (二) 制订加工方案 .....      | 51 | 四、任务实施 .....                   | 82        |
| (三) 选择刀具与切削用量 .....   | 51 | (一) 开机 .....                   | 82        |
| (四) 确定编程原点 .....      | 51 | (二) 回参考点 .....                 | 82        |
| (五) 确定毛坯粗加工的方法 .....  | 51 | (三) 设定主轴转速 .....               | 83        |
| (六) 数学处理 .....        | 51 | (四) 编辑程序 .....                 | 83        |
| 四、任务实施 .....          | 51 | (五) 工件的装夹 .....                | 84        |
| (一) 编写零件加工程序 .....    | 51 | (六) 刀具的安装 .....                | 84        |
| (二) 零件的加工 .....       | 53 | (七) 对刀 .....                   | 84        |
| 五、检查评估 .....          | 53 | (八) 程序校验与首件试切 .....            | 85        |
| 六、技能训练 .....          | 54 | (九) 零件的加工 .....                | 85        |
| 任务五 使用宏程序的编程与加工 ..... | 57 | (十) 关机 .....                   | 86        |
| 一、任务导入 .....          | 57 | 五、检查评估 .....                   | 86        |
| (一) 任务描述 .....        | 57 | 六、技能训练 .....                   | 86        |
| (二) 知识目标 .....        | 58 | <b>    任务二 以平面和外轮廓为主的板类零件的</b> | <b>89</b> |
| (三) 能力目标 .....        | 58 | <b>        编程与加工 .....</b>     | <b>89</b> |
| (四) 思政目标 .....        | 58 | 一、任务导入 .....                   | 89        |
| 二、知识准备 .....          | 58 | (一) 任务描述 .....                 | 89        |
| (一) 刀尖圆弧半径补偿 .....    | 58 | (二) 知识目标 .....                 | 89        |
| (二) 宏程序编程 .....       | 60 | (三) 能力目标 .....                 | 90        |
| 三、方案设计 .....          | 63 | (四) 思政目标 .....                 | 90        |
| (一) 分析零件图 .....       | 63 | 二、知识准备 .....                   | 90        |



|                                |     |                                            |     |
|--------------------------------|-----|--------------------------------------------|-----|
| (一) 数控铣床的坐标系 .....             | 91  | 一、任务导入 .....                               | 121 |
| (二) 平面与外轮廓铣削加工方案的<br>设计 .....  | 91  | (一) 任务描述 .....                             | 121 |
| (三) 华中数控铣系统基本编程指令 ...          | 92  | (二) 知识目标 .....                             | 121 |
| (四) 子程序 .....                  | 95  | (三) 能力目标 .....                             | 121 |
| 三、方案设计 .....                   | 96  | (四) 思政目标 .....                             | 121 |
| (一) 分析零件图 .....                | 96  | 二、知识准备 .....                               | 121 |
| (二) 选择机床与夹具 .....              | 96  | (一) 型腔槽类零件的加工方法 .....                      | 121 |
| (三) 制订加工方案 .....               | 96  | (二) 型腔槽类零件加工刀具的<br>选择 .....                | 124 |
| (四) 设计进给路线 .....               | 96  | (三) SINUMERIK 802S 系统基本指令<br>与挖槽循环指令 ..... | 124 |
| (五) 选择刀具与切削用量 .....            | 97  | 三、方案设计 .....                               | 127 |
| (六) 确定编程原点 .....               | 97  | (一) 分析零件图 .....                            | 127 |
| 四、任务实施 .....                   | 97  | (二) 选择机床 .....                             | 127 |
| (一) 编写零件加工程序 .....             | 97  | (三) 选择夹具 .....                             | 127 |
| (二) 零件的加工 .....                | 99  | (四) 制订加工方案 .....                           | 128 |
| (三) 设备维护与保养 .....              | 99  | (五) 选择刀具与切削用量 .....                        | 128 |
| 五、检查评估 .....                   | 99  | (六) 确定编程原点 .....                           | 128 |
| 六、技能训练 .....                   | 100 | 四、任务实施 .....                               | 128 |
| 任务三 以孔为主的盖板类零件的编程与<br>加工 ..... | 103 | (一) 编写零件加工程序 .....                         | 128 |
| 一、任务导入 .....                   | 103 | (二) 零件的加工 .....                            | 129 |
| (一) 任务描述 .....                 | 103 | 五、检查评估 .....                               | 129 |
| (二) 知识目标 .....                 | 103 | 六、技能训练 .....                               | 130 |
| (三) 能力目标 .....                 | 103 | 任务五 具有对称轮廓的零件的编程与<br>加工 .....              | 133 |
| (四) 思政目标 .....                 | 103 | 一、任务导入 .....                               | 133 |
| 二、知识准备 .....                   | 103 | (一) 任务描述 .....                             | 133 |
| (一) 孔的加工方法 .....               | 103 | (二) 知识目标 .....                             | 133 |
| (二) 孔加工进给路线的确定 .....           | 105 | (三) 能力目标 .....                             | 133 |
| (三) 孔加工用刀具及切削用量的<br>选择 .....   | 105 | (四) 思政目标 .....                             | 133 |
| (四) 孔加工固定循环指令 .....            | 108 | 二、知识准备 .....                               | 133 |
| 三、方案设计 .....                   | 114 | (一) 镜像功能指令 G24、G25 .....                   | 133 |
| (一) 分析零件图 .....                | 114 | (二) 图形旋转指令 G68、G69 .....                   | 135 |
| (二) 选择机床及夹具 .....              | 114 | 三、方案设计 .....                               | 135 |
| (三) 确定工件坐标系 .....              | 114 | (一) 分析零件图 .....                            | 135 |
| (四) 制订加工方案 .....               | 114 | (二) 选择机床和夹具 .....                          | 135 |
| (五) 选择刀具与切削用量 .....            | 115 | (三) 确定工步 .....                             | 135 |
| 四、任务实施 .....                   | 115 | (四) 选择刀具与切削用量 .....                        | 135 |
| (一) 编写零件加工程序 .....             | 115 | (五) 设计刀具进给路线 .....                         | 136 |
| (二) 零件的加工 .....                | 117 | (六) 确定编程原点及编程思路 .....                      | 136 |
| 五、检查评估 .....                   | 117 | 四、任务实施 .....                               | 136 |
| 六、技能训练 .....                   | 118 | (一) 编写零件加工程序 .....                         | 136 |
| 任务四 槽类零件的编程与加工 .....           | 121 | (二) 零件的加工 .....                            | 139 |





|                             |     |                                |     |
|-----------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| 五、检查评估 .....                | 139 | (三) 首次转动主轴 .....               | 164 |
| 六、技能训练 .....                | 140 | (四) 程序的输入与编辑 .....             | 164 |
| 任务六 具有非圆曲线轮廓的零件的编程与加工 ..... | 143 | (五) 工件的装夹 .....                | 165 |
| 一、任务导入 .....                | 143 | (六) 刀具的安装 .....                | 165 |
| (一) 任务描述 .....              | 143 | (七) 刀库操作 .....                 | 166 |
| (二) 知识目标 .....              | 143 | (八) 对刀 .....                   | 166 |
| (三) 能力目标 .....              | 143 | (九) 刀具半径补偿的输入与修改 .....         | 167 |
| (四) 思政目标 .....              | 143 | (十) 自动加工 .....                 | 167 |
| 二、知识准备 .....                | 143 | (十一) 零件的检测 .....               | 167 |
| (一) 计算参数 R .....            | 143 | (十二) 关机 .....                  | 167 |
| (二) 标记符 .....               | 145 | (十三) 去毛刺 .....                 | 168 |
| (三) 绝对跳转 .....              | 145 | 五、检查评估 .....                   | 168 |
| (四) 有条件跳转 .....             | 145 | 六、技能训练 .....                   | 168 |
| 三、方案设计 .....                | 146 | 任务二 配合件的编程与加工 .....            | 170 |
| (一) 分析零件图 .....             | 146 | 一、任务导入 .....                   | 170 |
| (二) 选择机床 .....              | 146 | (一) 任务描述 .....                 | 170 |
| (三) 选择夹具 .....              | 146 | (二) 知识目标 .....                 | 173 |
| (四) 制订加工方案 .....            | 146 | (三) 能力目标 .....                 | 173 |
| (五) 选择刀具及切削用量 .....         | 146 | (四) 思政目标 .....                 | 173 |
| (六) 确定编程原点与编程思路 .....       | 147 | 二、知识准备 .....                   | 173 |
| 四、任务实施 .....                | 147 | (一) 工艺基础部分 .....               | 173 |
| (一) 编写零件加工程序 .....          | 147 | (二) 编程基础部分 .....               | 174 |
| (二) 零件的加工 .....             | 148 | 三、方案设计 .....                   | 176 |
| 五、检查评估 .....                | 148 | (一) 机床及夹具的选择 .....             | 176 |
| 六、技能训练 .....                | 149 | (二) 毛坯尺寸及精度 .....              | 176 |
| 项目三 加工中心的编程与加工 .....        | 155 | (三) 确定工件坐标系 .....              | 176 |
| 任务一 加工中心认识与操作 .....         | 155 | (四) 设计加工方案 .....               | 176 |
| 一、任务导入 .....                | 155 | 四、任务实施 .....                   | 177 |
| (一) 任务描述 .....              | 155 | (一) 编写零件加工程序 .....             | 177 |
| (二) 知识目标 .....              | 157 | (二) 零件的加工 .....                | 184 |
| (三) 能力目标 .....              | 157 | 五、检查评估 .....                   | 185 |
| (四) 思政目标 .....              | 157 | 六、技能训练 .....                   | 186 |
| 二、知识准备 .....                | 157 | 任务三 薄壁件的编程与加工 .....            | 190 |
| (一) 加工中心的分类 .....           | 157 | 一、任务导入 .....                   | 190 |
| (二) 加工中心的组成 .....           | 158 | (一) 任务描述 .....                 | 190 |
| (三) 加工中心的结构特点 .....         | 159 | (二) 知识目标 .....                 | 191 |
| (四) 数控系统操作面板和机床操作面板 .....   | 159 | (三) 能力目标 .....                 | 191 |
| 三、方案设计 .....                | 164 | (四) 思政目标 .....                 | 191 |
| 四、任务实施 .....                | 164 | 二、知识准备 .....                   | 191 |
| (一) 开机 .....                | 164 | (一) 镜像功能指令 (G51.1、G50.1) ..... | 191 |
| (二) 返回参考点 .....             | 164 | (二) 坐标系旋转指令 (G68、G69) .....    | 192 |



|                           |     |                             |     |
|---------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| (三) 极坐标指令 (G16、G15) ..... | 192 | 一、任务导入 .....                | 217 |
| 三、方案设计 .....              | 193 | (一) 任务描述 .....              | 217 |
| (一) 选择机床及夹具 .....         | 193 | (二) 知识目标 .....              | 217 |
| (二) 毛坯尺寸及精度 .....         | 193 | (三) 能力目标 .....              | 218 |
| (三) 确定工件坐标系 .....         | 193 | (四) 思政目标 .....              | 218 |
| (四) 设计加工方案 .....          | 193 | 二、知识准备 .....                | 218 |
| 四、任务实施 .....              | 194 | (一) CAXA 制造工程师 2016 软件      |     |
| (一) 编写零件加工程序 .....        | 194 | 界面简介 .....                  | 218 |
| (二) 零件的加工 .....           | 201 | (二) 等高线粗加工 .....            | 219 |
| 五、检查评估 .....              | 202 | (三) 扫描线精加工 .....            | 228 |
| 六、技能训练 .....              | 202 | 三、方案设计 .....                | 231 |
| 任务四 箱体类零件的编程与加工 .....     | 205 | (一) 分析零件图 .....             | 231 |
| 一、任务导入 .....              | 205 | (二) 选择机床类型 .....            | 231 |
| (一) 任务描述 .....            | 205 | (三) 选择夹具 .....              | 231 |
| (二) 知识目标 .....            | 206 | (四) 制订加工方案 .....            | 231 |
| (三) 能力目标 .....            | 206 | (五) 确定刀具及切削用量 .....         | 231 |
| (四) 思政目标 .....            | 206 | (六) 确定编程原点 .....            | 232 |
| 二、知识准备 .....              | 206 | 四、任务实施 .....                | 232 |
| (一) 箱体类零件加工中定位基准的         |     | (一) 生成轨迹 .....              | 232 |
| 选择 .....                  | 206 | (二) 传输程序 .....              | 236 |
| (二) 箱体类零件加工顺序的安排 .....    | 206 | (三) 加工中心操作及加工 .....         | 237 |
| (三) 箱体类零件的编程 .....        | 207 | 五、检查评估 .....                | 237 |
| (四) 箱体类零件的定位与调整 .....     | 208 | 六、技能训练 .....                | 238 |
| 三、方案设计 .....              | 209 | 附录 .....                    | 242 |
| (一) 分析零件图, 了解生产纲领 .....   | 209 | 附录 A 任务完成检查考核表 .....        | 242 |
| (二) 制订零件加工工艺方案 .....      | 209 | 附录 B 任务完成综合评价表 .....        | 242 |
| (三) 安排加工中心工序 .....        | 210 | 附录 C SINUMERIK 808D 数控车系统   |     |
| (四) 选择刀具及切削用量 .....       | 210 | 指令集 .....                   | 243 |
| (五) 确定编程原点 .....          | 211 | 附录 D HNC-21T 华中数控车系统        |     |
| 四、任务实施 .....              | 211 | 指令集 .....                   | 247 |
| (一) 编写零件加工程序 .....        | 211 | 附录 E SINUMERIK 808D 数控铣系统   |     |
| (二) 零件的加工 .....           | 215 | 指令集 .....                   | 249 |
| 五、检查评估 .....              | 216 | 附录 F FANUC Oi 数控系统指令集 ..... | 255 |
| 六、课后思考 .....              | 217 | 参考文献 .....                  | 258 |
| 任务五 零件的自动编程与加工 .....      | 217 |                             |     |





### 3. 实施

|                        |  |
|------------------------|--|
| 开机、关机操作                |  |
| 工件和刀具的装夹               |  |
| 回参考点                   |  |
| 手动移动滑板                 |  |
| 程序的输入                  |  |
| 对刀、G54 零点偏置值的输入及刀补值的输入 |  |
| 程序校验操作                 |  |
| 程序运行操作                 |  |
| 机床保养内容                 |  |

### 4. 检查

按附录 A 规定的检查项目和标准对技能训练进行检查与考核。

### 5. 评价与总结

按附录 B 规定的评价项目对学生技能训练进行评价。

## 任务二 以平面和外轮廓为主的板类零件的编程与加工

### 一、任务导入

#### (一) 任务描述

使用数控铣床加工图 2-9 所示的板。零件材料为 45 钢, 毛坯尺寸为  $140\text{mm} \times 115\text{mm} \times 35\text{mm}$ 。四周已加工到图样要求, 并且下表面已加工好, 加工内容为上平面、两个台阶的外轮廓。要求制订正确的加工工艺方案, 选择合理的刀具和切削用量, 编制数控加工程序并加工出符合图样要求的零件。

#### (二) 知识目标

1. 掌握数控铣削加工工艺的基础知识, 刀具选择与切削用量的选用原则。
2. 掌握平面及外轮廓类零件的进给路线的设计方法。
3. 掌握外轮廓铣削加工编程指令的应用。
4. 掌握子程序的调用与编程技巧。
5. 掌握刀具半径补偿和长度补偿指令的应用方法。





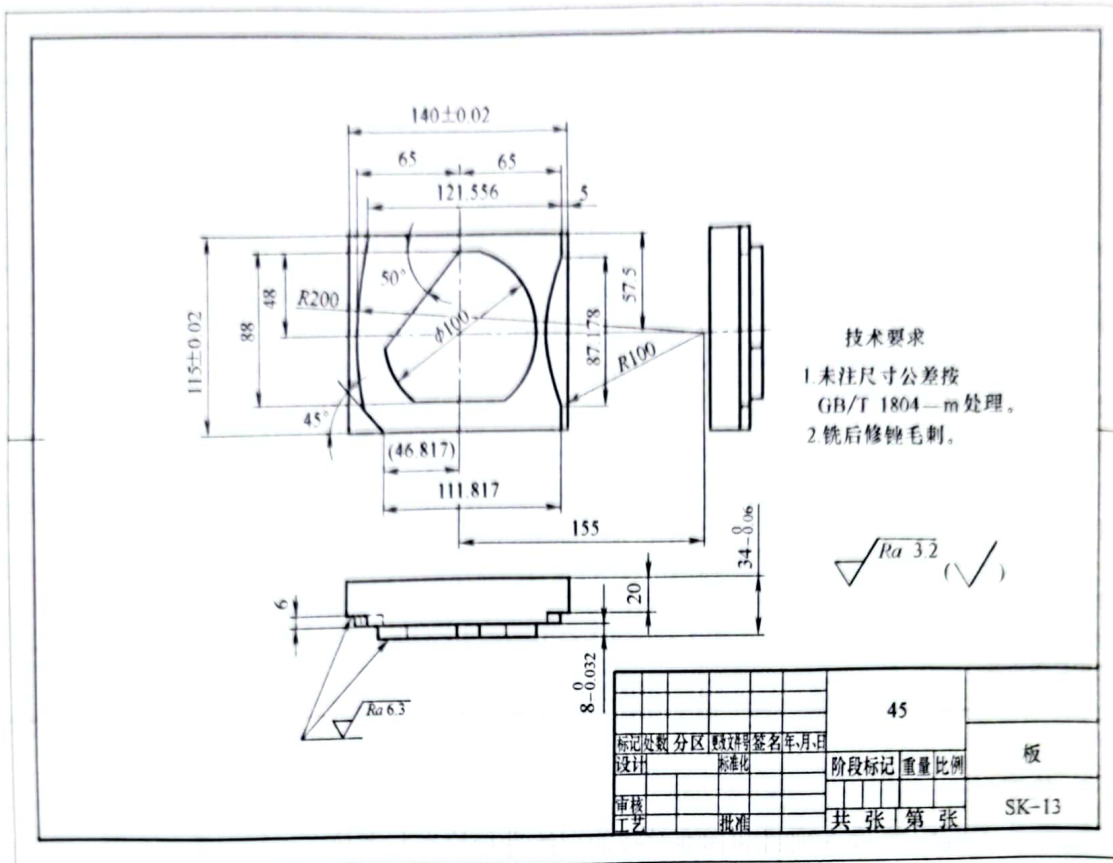


图 2-9 板

### (三) 能力目标

1. 能合理设计平面及外轮廓类铣削加工工艺方案，正确选择刀具和切削用量。
2. 能正确编制二维直线、圆弧组成的平面及外轮廓类零件的数控铣削加工程序。
3. 能利用刀具半径补偿功能实现粗精加工及刀具补偿控制尺寸精度。
4. 能正确处理程序运行过程中出现的故障。
5. 能按数控铣床安全操作规程规范地使用和操作机床。

### (四) 思政目标

通过优化加工轨迹培养学生的质量意识和安全意识以及精益求精的大国工匠精神。

## 二、知识准备

### (一) 数控铣床的坐标系

数控铣床的坐标系采用右手直角笛卡儿坐标系，X、Y、Z 三个坐标轴的正方向用右手法判定，绕各坐标轴的旋转轴 A、B、C 的正方向用右手螺旋法则判定。一般先确定 Z 轴及其正方向，再确定 X 轴及其正方向，然后根据右手直角笛卡儿坐标系确定 Y 轴及其正方向，最后确定各回转轴和附加轴及其正方向。图 2-10、图 2-11 所示分别为立式、卧式数控铣床的坐标系。

数控铣削加工采用空间三维坐标系，三维坐标系是在二维即平面坐标系的基础上增加了



一个垂直方向的轴,通常称之为 $Z$ 轴,为平行于机床主轴的坐标轴,如图2-10、图2-11所示。

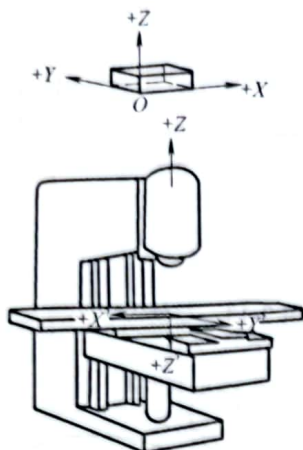


图 2-10 立式数控铣床坐标系

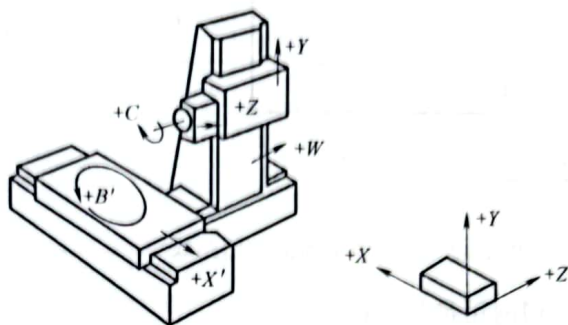


图 2-11 卧式数控铣床坐标系

## （二）平面与外轮廓铣削加工方案的设计

### 1. 无界限平面加工方案的设计

在高度方向有尺寸公差或与其他加工表面有几何公差要求的平面,如果分多次安装可能难于保证加工精度,此时可采用数控铣床进行加工。

(1) 刀具的选择 无界限平面加工选用盘铣刀,并且在机床主轴电动机功率允许的前提下,尽量选择较大直径的盘铣刀,以减少进给路线长度。

(2) 进给路线的设计 无界限平面的加工一般采用“己”字形的进给路线。刀具在径向上要求有一定的重合度,以消除刀具圆角或倒角形成的残留,如图2-12所示。

### 2. 外轮廓加工方案的设计

(1) 刀具的选择 加工二维平面类外轮廓一般选用立铣刀。如图2-13所示,立铣刀的圆柱表面和端面上都有切削刃,圆柱表面的切削刃为主切削刃,端面切削刃为副切削刃。如果端面切削刃不通过铣刀中心,则不能轴向进给。

(2) 进给路线的设计 铣削平面类零件外轮廓时,一般采用立铣刀侧刃进行切削。为减少接刀痕迹,保证零件表面质量,对刀具的切入和切出程序需要精心设计。

1) 确定切入、切出点。切入、切出点的选取应符合空行程最短原则和安全原则。为避免加工表面产生划痕,保证零件轮廓光滑,数控刀具切入、切出点应放在零件轮廓曲线的延长线上,实现切向切入和切向切出(见图2-14),而不应沿法向直接切入零件。

2) 确定进给方向。数控铣削加工有顺铣和逆铣两种。铣刀切入工件时切削速度方向与工件进给方向相反的铣削方式称为逆铣,逆铣时刀齿的切削厚度从零逐渐增大。铣刀切入工件时切削速度方向与工件进给方向相同的铣削方式称为顺铣,顺铣时刀齿的切削厚度从最大逐渐递减至零。顺铣主要用于工件轮廓精加工及切削工件表面无硬皮的场合;逆铣主要用于铣床工作台丝杠与螺母间隙较大又不便调整、工件表面有硬质层或硬度不均、工件材料过硬以及阶梯铣削等场合。





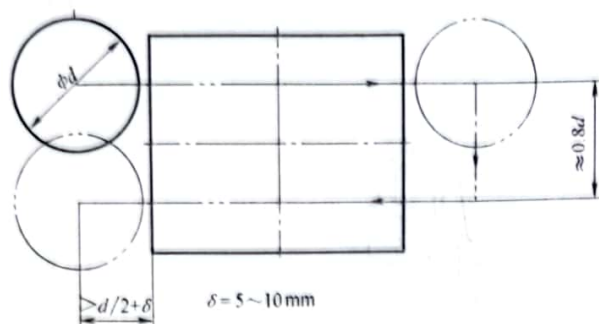


图 2-12 无界限平面的进给路线

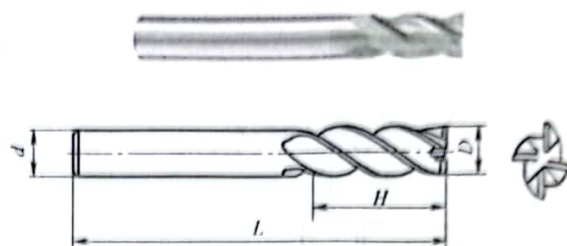


图 2-13 立铣刀

### 3) 切削用量的选择

① 切削用量的选用顺序。由于背吃刀量或侧吃刀量对刀具寿命影响不大，而切削速度影响最大，并且粗加工主要考虑生产效率，精加工主要考虑加工精度兼顾效率和成本。因此，粗加工切削用量选用顺序为：首先选用较大的背吃刀量或侧吃刀量，其次选择较快的进给速度，最后确定较低的切削速度；而精加工则选用较小进给速度和较高的主轴转速，以提高加工精度。

② 背吃刀量的确定。采用面铣刀铣平面时，用背吃刀量 $a_p$ 表示切削深度；用立铣刀铣侧轮廓时，用侧吃刀量 $a_e$ 表示切削深度。如工件表面粗糙度值为 $Ra12.5\sim25\mu m$ ，端铣余量小于6mm或侧铣余量小于5mm，只要机床刚度和动力许可，可一次铣削达到加工要求。当工件表面粗糙度值为 $Ra3.2\sim12.5\mu m$ 时，一般分粗铣、半精铣两次铣削完成，半精铣的吃刀量取0.5~1.0mm。当工件表面粗糙度为 $Ra0.8\sim3.2\mu m$ 时，可分粗铣、半精铣和精铣三步。半精铣的吃刀量取1.5~2.0mm；精铣时，立铣刀的侧吃刀量取0.3~0.5mm，面铣刀的背吃刀量取0.3~0.5mm。

③ 切削速度 $v_c$ 和进给量 $f_z$ 的确定。加工条件不同，选择的切削速度 $v_c$ 和每齿进给量 $f_z$ 也不同。工件材料较硬时， $f_z$ 及 $v_c$ 值应取得小些；刀具材料韧性较大时， $f_z$ 值可取得大些。刀具材料硬度较大时， $v_c$ 的值可取得大些；铣削深度较大时， $f_z$ 及 $v_c$ 的值应取得小些。

各种切削条件下的 $f_z$ 、 $v_c$ 值及计算公式可查阅《金属机械加工工艺手册》或相关刀具供应商的刀具手册等有关资料。

### (三) 华中数控铣系统基本编程指令

华中数控系统铣削加工时的常用G指令见表2-6。

### (四) 子程序

#### 1. 子程序的概念

工件分层切削和轮廓粗、精加工时的刀具轨迹是一样的，为减少编程工作量，将程序中一连串在写法上完全相同或相似的内容单独抽出来，并按一定的格式编成一段程序，该程序即为子程序，调用子程序的程序称为主程序。子程序可通过主程序的调用指令来调用。

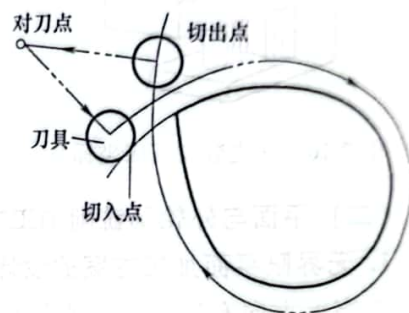


图 2-14 切入切出



表 2-6 华中数控系统铣削加工时的常用 G 指令

| G 指令 | 组  | 功能       | 格式                                                    | 说明                                                                                                                                                                |
|------|----|----------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G90  | 13 | 绝对坐标编程   | G90 G__ X__ Y__ Z__                                   | 1. 使用绝对坐标编程时,坐标值是相对于坐标原点给定的<br>2. 使用增量坐标编程时,每个轴上的坐标值是相对于前一位置而言的<br>3. 该组指令为模态指令。开机默认 G90 有效                                                                       |
| G91  |    | 增量坐标编程   | G91 G__ X__ Y__ Z__                                   |                                                                                                                                                                   |
| G17  | 02 | 选择 XY 平面 | G17                                                   | 平面选择指令为一组指令,为模态指令。开机默认 G17 有效                                                                                                                                     |
| G18  |    | 选择 XZ 平面 | G18                                                   |                                                                                                                                                                   |
| G19  |    | 选择 YZ 平面 | G19                                                   |                                                                                                                                                                   |
| G00  | 01 | 快速定位     | G00 X__ Y__ Z__                                       | 1. 模态指令。刀具以点位控制的方式快速移动到目标位置,X、Y、Z 为目标点坐标。可用 G90 和 G91 分别指定绝对坐标编程和增量坐标编程<br>2. 各轴移动的速度由参数来设定,并可由控制面板倍率按钮修调<br>3. 两个以上坐标轴同时移动时,刀具移动轨迹可能是直线,也可能是折线。快速定位倍率的调节会影响定位的轨迹 |
| G01  |    | 直线插补     | G01 X__ Y__ Z__ F__<br>G01 X__ Y__ F__<br>G01 Z__ F__ |                                                                                                                                                                   |





(续)

| G 指令 | 组  | 功能          | 格式                                                                                                                                                                         | 说明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------|----|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G02  | 01 | 顺时针圆弧插补 CW  | G17 G02 X__Y__I__J__F__<br>G17 G02 X__Y__R__F__<br>G17 G02 I__J__F__<br>G18 G02 X__Z__I__K__F__<br>G18 G02 X__Z__R__F__<br>G19 G02 Z__Y__J__K__F__<br>G19 G03 Z__Y__R__F__ | 1. 顺、逆圆弧插补判断:沿着垂直插补平面的第三轴负方向看去,加工路线为顺时针圆弧的采用 G02 指令,为逆时针圆弧的采用 G03 指令<br>2. 模态指令。X、Y 坐标值为圆弧终点坐标,可使用绝对坐标编程或增量坐标编程,如用增量坐标编程,则 X、Y 值分别为圆弧终点坐标值减去圆弧起点坐标值<br>3. 圆心坐标(I,J)采用增量坐标编程,为圆心相对圆弧起点的增量值,即 I 坐标值为 X <sub>圆心坐标</sub> -X <sub>圆弧起点坐标</sub> ,J 坐标值为 Y <sub>圆心坐标</sub> -Y <sub>圆弧起点坐标</sub><br>4. 使用 R 编程时,由于相同的圆弧起点和终点有两段半径为 R 的圆弧存在,应用 R 和-R 区分。当圆弧圆心角大于 180°时,R 取负值;当圆弧圆心角小于或等于 180°时,R 取正值<br>5. 整圆不能用 R 编程,只能用 I、J、K 编程 |
| G03  |    | 逆时针圆弧插补 CCW | G17 G03 X__Y__I__J__F__<br>G17 G03 X__Y__R__F__<br>G17 G03 I__J__F__<br>G18 G03 X__Z__I__K__F__<br>G18 G03 X__Z__R__F__<br>G19 G03 Z__Y__J__K__F__<br>G19 G03 Z__Y__R__F__ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| G40  | 09 | 取消刀具半径补偿    | G17 G40 G00 X__Y__<br>G17 G40 G01 X__Y__F__                                                                                                                                | 1. 左、右补偿判断:从垂直插补平面的第三轴负方向并沿着刀具前进方向看去,当刀心运动轨迹位于工件轮廓的左侧时,为左补偿,反之为右补偿                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| G41  |    | 刀具半径左补偿     | G17 G41 G00 X__Y__D__<br>G17 G41 G01 X__Y__D__F__                                                                                                                          | 2. 实现刀补应具备四个条件:必须指令补偿方式(左补或右补);在插补平面内至少一个轴方向有移动;必须在 G00 或 G01 方式下移动,G02 或 G03 方式移动会出现报警;必须输入不为零的刀具半径补偿值,并调用存有补偿值的 D 代码补偿号                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| G42  |    | 刀具半径右补偿     | G17 G42 G00 X__Y__D__<br>G17 G42 G01 X__Y__D__F__                                                                                                                          | 3. 刀具半径补偿必须在加工之前建立,并在加工完成后取消                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |



(续)

| G 指令 | 组  | 功能       | 格式                                             | 说明                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|----|----------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G43  | 10 | 正向刀具长度补偿 | G17 G43 G00 Z _ H _<br>G17 G43 G01 Z _ H _ F _ | 1. 刀具长度补偿使刀具垂直于走刀平面(如 XY 平面,由 G17 指定)偏移一个刀具长度修正值<br>2. 刀具长度补偿的实现条件为:必须指令补偿方式(G43/G44);必须指令 G00/G01 移动方式;必须有 Z 轴移动;补偿之前须将刀具长度补偿值输入到相应补偿地址(H _ )中(H00 除外)<br>3. 刀具长度正补偿执行后的实际位置坐标值等于指令位置坐标值加上长度补偿寄存器(H _ )中 Z 向长度补偿值<br>4. 刀具长度补偿必须在加工前建立,取消刀具长度补偿必须在加工完成之后进行 |
| G44  |    | 负向刀具长度补偿 | G17 G44 G00 Z _ H _<br>G17 G44 G01 Z _ H _ F _ |                                                                                                                                                                                                                                                             |
| G49  |    | 刀具长度补偿取消 | G17 G49 G00 Z _<br>G17 G49 G01 Z _ F _         |                                                                                                                                                                                                                                                             |

## 2. 子程序格式与调用

### 1) 子程序的格式: %xxxx

程序段

M99

在子程序开头,必须规定子程序号,作为调用入口地址,格式为“%”加其后的数字(1~9999)。子程序用 M99 结尾,以控制执行完该子程序后返回主程序。

### 2) 调用子程序的格式: M98 P \_ L \_

其中, M98 表示调用子程序, P 后的数字表示被调用的子程序号。L 后的数字表示重复调用的次数,当不指定重复次数时,子程序只被调用一次。

在主程序执行期间出现子程序调用指令时,则执行子程序;子程序执行完毕后,数控系统控制其返回主程序,继续执行主程序。

## 3. 子程序的嵌套

子程序调用指令可以重复地调用子程序,主程序也可以调用多个子程序。为简化编程,子程序还可以调用另一个子程序,称为子程序嵌套。实际编程中使用较多的是二重嵌套。

## 4. 子程序的应用场合

- 1) 零件上有若干处相同的轮廓形状。
- 2) 加工中反复出现相同轨迹的进给路线,如分层切削,轮廓粗、精加工等。
- 3) 为便于程序的阅读和修改,将每一个独立的工序编成一个子程序,主程序中只有换刀、设定刀补值、设定加工工艺参数和调用子程序等内容。

本例是按加工部位划分工序(步)的,将一个部位的加工程序编在一个子程序中。

## 5. 注意事项

- 1) 使用子程序时,注意变换主程序和子程序间的模式代码,如 M 代码和 F 代码,属于同一组别的模态 G 代码的变化与主程序、子程序无关。
- 2) 半径补偿模式中的程序不能分支。





- 59870 数控加工编程与操作 第2版
- 46176 数控编程与操作
- 61735 UG NX10数控编程学习教程 第3版
- 63836 数控机床编程与操作 第3版
- 42694 组合件数控加工综合实训
- 42932 机械类专业英语
- 43478 数控车削技术
- 45577 数控线切割操作工培训教程
- 43364 机床电气控制与PLC实践
- 43799 机械零件的手动加工
- 67478 数控机床电气系统装调与维修一体化教程 第2版
- 67813 数控机床机械系统装调与维修一体化教程 第2版
- 44688 车床模型制作与装配
- 47500 机械加工工艺设计
- 53397 加工工艺
- 48244 机床数控技术
- 49254 零件的数控铣削加工
- 49605 钳工实训与技能考核训
- 55493 数控车削编程与操作
- 56214 数控铣削编程与操作
- 59975 机械制造工艺与装备

- 李河水 梁斯仁 主编
- 陈文杰 韩伟 主编
- 王卫兵 主编
- 穆国岩 主编
- 曹著明 刘京华 主编
- 韩林烨 关雄飞 主编
- 周晓宏 主编
- 孙庆东 主编
- 刘建功 主编
- 熊越东 徐忠兰 主编
- 韩鸿鸾 主编
- 韩鸿鸾 主编
- 王 彪 薛 梅 主编
- 武友德 主编
- 周智敏 主编
- 刘 敏 主编
- 苏 伟 户凤荣 主编
- 苏 伟 姜庆华 主编
- 李宗义 张庆华 主编
- 李宗义 张庆华 主编
- 张本升 李晓星 主编

策划编辑◎王英杰



ISBN 978-7-111-59870-1



9 787111 598701

定价：49.80元



扫描全能王 创建