

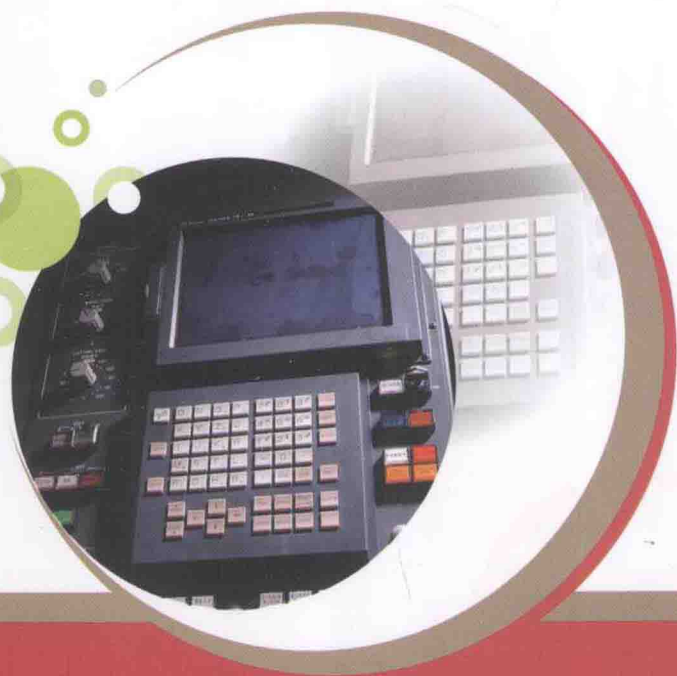
● 中等职业技术学校规划教材



CNC Milling Programming and Training Guide

数控铣编程与实训教程

兰松云 周宝誉◎主编



- 以国家相关职业标准为依据
- 从生产实际出发，合理安排教材的知识
- 引入新技术、新工艺内容，反映行业的新标准



本书配有电子教学参考资料包



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

中等职业技术学校规划教材

数控铣编程与实训教程

主 编	兰松云	周宝誉		
副主编	何建宁	蒙红伟	林树雄	岑文拣
	曾祥海	莫德芳	黄素品	梁桂星
参 编	周 洁	钟 珊	吴 强	

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书立足于应用,在内容组织和编排上图文并茂,书中大量实例多数来自生产实际和教学实践。本书围绕数控铣削的工艺、编程与操作等核心内容,以国家职业资格标准数控铣操作的应知、应会内容为主线,全面、系统地介绍了数控加工基础、数控铣削加工工艺基础、数控铣床编程与操作、数控铣削加工技术与实训等内容。教学内容面向实用、够用,立足岗位能力需求。

本书可作为中等职业学校数控技术应用、模具设计与制造、机械制造与自动控制等专业的教学用书,也可作为数控加工技术岗位的培训教材及数控加工人员的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣编程与实训教程/兰松云,周宝誉主编. —北京:电子工业出版社,2010.8

中等职业技术学校规划教材

ISBN 978-7-121-10849-5

I. ①数… II. ①兰… ②周… III. ①数控机床:铣床-程序设计-专业学校-教材 IV. ①TG547

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第084974号

策划编辑:白楠

责任编辑:白楠

印刷:北京京师印务有限公司

装订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

开本:787×1092 1/16 印张:10.5 字数:268.8千字

印次:2010年8月第1次印刷

印数:3000册 定价:20.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

本书是针对目前职业学校数控机床操作培训教材适应面窄及数控机床操作工严重短缺,而市场又急需的现状编写的。在调查研究的基础上,本书兼顾了各职业学校的实训条件,总结了几年来职业技术教育课程改革的经验,突出职业教育的特色,紧密联系生产实际,注重基本理论、基本知识和操作技能的叙述,有丰富的案例和思考题,内容通俗易懂,方便教学,具有广泛的实用性。

本书结合主流数控系统(FANUC-0i-MC、SIEMENS802D等)数控铣床、加工中心的编程与操作,参照中级数控铣工国家职业标准编写而成。全书共分五章,包括数控加工基础、数控铣削加工工艺基础、数控铣床编程与操作、数控铣削加工实训等内容。本书重点介绍了平面加工、平面轮廓加工、孔加工、腔槽加工以及宏程序、DNC加工等数控铣削加工技术,理论内容简明易懂,突出实践能力的培养,充分体现以就业为导向,以能力为本位的教学思想。按照从简单到复杂循序渐进的原则,全书设计了多个实训项目,每个项目包括了加工工艺分析、加工方案确定、零件装夹、刀具选择、铣削用量选择、加工程序编制、机床操作、工件加工等知识和技能,通过由浅入深的实践性训练,使学生逐步形成并掌握数控铣削加工的实际工作能力。全书形象直观,实践性强,既便于教师组织教学,也便于学生对知识的理解和对技能的掌握。

本书可作为中等职业学校数控技术应用、模具设计与制造、机械制造与自动控制等专业的教学用书,也可作为数控加工技术岗位的培训教材及数控加工人员的参考用书。

本书由兰松云、周宝誉担任主编,何建宁、蒙红伟、林树雄、岑文拣、曾祥海、黄素品、莫德芳、梁桂星担任副主编,参加编写的还有周洁、钟珊、吴强。

由于作者水平所限,加之时间仓促,书中疏漏和错误之处在所难免,欢迎广大读者提出宝贵意见。

为了方便教师教学,本书还配有电子教学参考资料包,请有此需要的老师登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)免费注册后再进行下载,有问题时请在网站留言或与电子工业出版社联系(E-mail:hxedu@phei.com.cn)。

编 者
2010年7月

目 录

第1章 数控加工基础知识	(1)
§ 1.1 数控加工概述	(1)
§ 1.2 数控编程基础	(2)
实训项目 程序识读	(5)
第2章 数控铣削加工工艺基础	(7)
§ 2.1 数控铣削加工工艺性分析	(7)
§ 2.2 数控铣削加工工艺路线设计	(10)
§ 2.3 数控铣床的工件装夹	(14)
§ 2.4 数控铣削刀具及辅具选择	(19)
§ 2.5 切削用量选择	(24)
§ 2.6 数控铣削加工走刀路线设计	(26)
§ 2.7 数控铣削加工工艺文件	(30)
实训项目 数控铣削加工工艺编制	(33)
第3章 数控铣床编程与操作基础	(34)
§ 3.1 数控铣床基础知识	(34)
§ 3.2 数控铣床坐标系	(35)
§ 3.3 数控铣床的编程指令	(38)
§ 3.4 数控铣床的基本操作	(41)
实训项目1 数控铣床基本操作技能训练	(56)
实训项目2 零件自动加工实训(1)	(59)
实训项目3 零件自动加工实训(2)	(62)
第4章 数控铣削加工技术	(67)
§ 4.1 凹凸模轮廓加工技术	(67)
§ 4.2 内轮廓加工技术	(71)
§ 4.3 平面轮廓加工技术	(75)
§ 4.4 镜像指令的应用	(79)
§ 4.5 坐标旋转指令应用	(84)
§ 4.6 综合轮廓加工技术	(89)
§ 4.7 腔槽数控加工实训	(94)
§ 4.8 宏程序及非圆曲线轮廓加工实训	(102)
§ 4.9 DNC 数控加工实训	(113)
第5章 数控铣削加工综合实训	(118)
实训项目1 凸模加工实训	(118)
实训项目2 凹模加工实训	(127)
实训项目3 型芯零件加工实训	(134)
实训项目4 盖板零件数控加工实例	(147)
实训项目5 端盖数控铣削加工实训	(154)

第 1 章

数控加工基础知识

§1.1 数控加工概述

数控加工是利用数控机床完成零件加工的一种现代先进加工方法，在机械、模具、汽车、航天航空等行业均得到了广泛的应用。

一、数控加工的特点

1. 加工适应性强

数控机床的运动由加工程序控制，当加工零件改变时，只要改变加工程序即可，机床硬件部分不需做大的调整。

2. 加工精度高，尺寸一致性好

这是因为：（1）数控机床具有很高的刚度和热稳定性；（2）具有很高的定位精度、重复定位精度；（3）具有反向间隙与丝杆螺距误差自动补偿功能；（4）加工过程完全自动化，消除了人为操作的误差。

3. 生产率高

数控机床的刚性好，运动速度快，可进行大切削用量的强力切削，具有自动换刀功能，从而有效提高了生产效率。

4. 适合加工形状复杂的零件

数控机床几乎可实现任意轨迹的运动，可加工任何形状的空间曲面，特别适合复杂异形零件的加工，如图 1-1-1、图 1-1-2 所示。

5. 有利于生产管理的现代化

数控机床用数字信息和标准代码处理、传递信息，为计算机辅助设计、制造和管理奠定了基础。

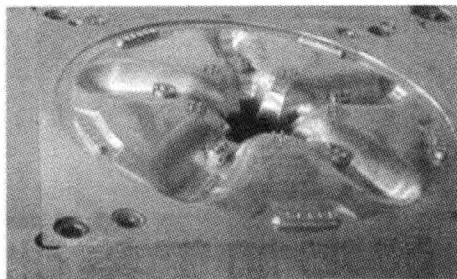


图 1-1-1 波轮模具

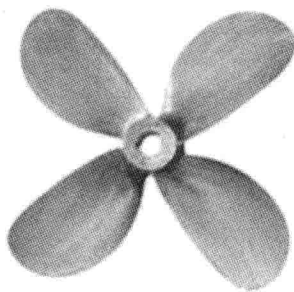


图 1-1-2 螺旋桨

二、数控加工的适用范围

各种机床的使用范围如图 1-1-3 所示。其中，数控机床适合以下零件的加工。

1. 多品种、小批量生产的零件。
2. 形状复杂、精度要求高，普通机床难以加工或无法加工的零件。
3. 工艺设计需要多次改型的零件。
4. 用普通机床加工时，需要昂贵工艺装备的零件。
5. 价格昂贵、不允许报废的零件。

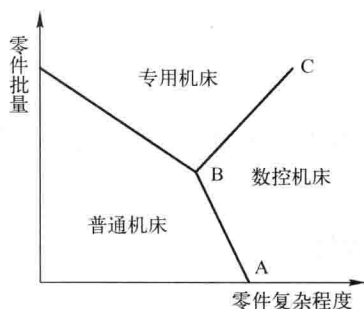


图 1-1-3 各种机床的使用范围

§1.2 数控编程基础

在数控机床上加工零件时，首先要将被加工零件的全部工艺过程以及变速、换刀、开关冷却液等辅助动作，按照运动顺序、数控系统规定的指令代码和程序格式，编制数控加工程序，作为控制数控机床自动加工零件的依据。

一、数控编程概述

1. 数控编程的概念

从分析零件图样到获得数控加工程序的过程，称为数控编程。



2. 数控编程的方法

(1) 手工编程 由数控编程人员以手工方式完成零件加工程序编制工作的方法称为手工编程,主要用于形状简单、计算量小、程序段不多的零件加工。

(2) 计算机自动编程 以计算机辅助设计(CAD)建立的几何模型为基础,以计算机辅助制造(CAM)为手段,通过图形交互方式生成加工程序的方法,称为计算机自动编程,简称自动编程。自动编程主要适用于形状复杂的零件加工,常用的CAD/CAM软件有MasterCAM、Pro/E、UG等。

二、数控编程的主要内容与步骤

1. 零件加工工艺处理

根据零件图样,对被加工零件的形状、材料、尺寸、精度等进行全面分析,确定加工方案,选择机床、刀具、夹具,确定走刀路线、加工余量、切削用量等。

2. 数值计算

主要是计算零件轮廓的基点和节点坐标。若数控机床没有刀具半径补偿功能,还要计算零件粗、精加工时的刀具中心运动轨迹。

3. 程序编制及输入

根据确定的工艺过程、工艺参数以及零件的几何数据,按照数控系统规定的功能指令和程序格式,编制零件的加工程序,并通过键盘输入或通信传输的方式输入数控系统。

4. 程序校验与首件试切

程序校验的方法有空运行、图形显示、模拟加工等,主要用于检验运动轨迹的正确性。程序校验后还应进行首件试切,以检验零件的加工精度。在程序校验和首件试切中,若发现问题,应找出原因并加以修改。

零件的数控加工过程如图1-2-1所示。

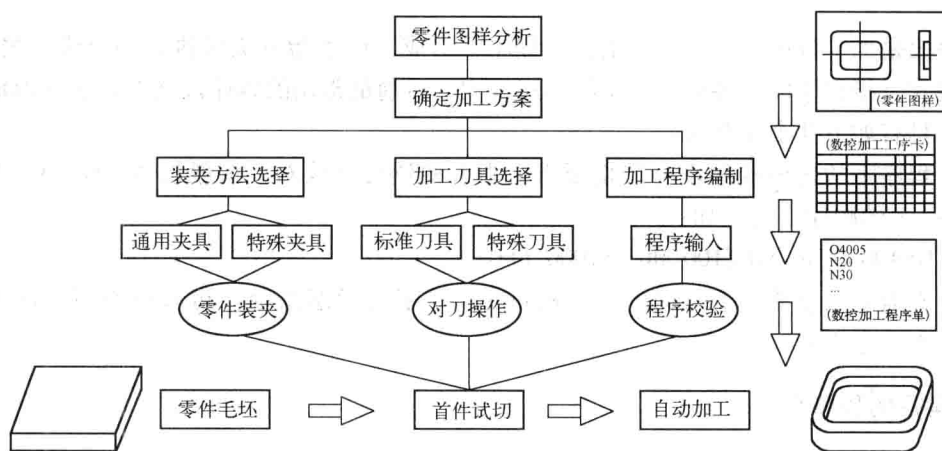


图1-2-1 零件的数控加工过程



三、程序格式和常用的功能字

1. 数控加工程序的结构组成

一个完整的数控加工程序，应包括程序名、程序主体和程序结束符三个组成部分，见表 1-2-1。

表 1-2-1 数控加工程序的结构组成

CNC 程序	程序结构说明
O0028;	程序名。放在程序起始位置，一般独占一行
N10 G90 G00 G54 X0. Y0. Z30. ; N20 M03 S500; N30 G00 X -25. Y -25. M08; N40 Z3. ; N50 G01 Z -5. F100; N60 Y10. ; N70 G03 X -10. Y25. R15. ; N80 G01 X15. ; N90 G02 X25. Y15. R10. ; N100 G01 Y -10. ; N110 G00 Z30. M09; N120 X0. Y0. M05;	程序主体。由若干个程序段组成，每个程序段独占一行。程序主体包含了加工顺序、走刀路线、切削用量等零件加工的所有信息
N160 M30;	程序结束。放在程序最后，一般独占一行

FANUC (FANUC 0i - MC, 全书同) 数控系统的程序名以大写字母“O”开头，后跟若干位数字，如 O0018，主程序和子程序的命名方法相同。

SIEMENS (SINUMERIK 802D, 全书同) 数控系统的程序名由字母和数字组成(开始的两个字符必须是字母，子程序也可使用地址 L 后跟若干位整数)，后跟后缀名。主程序以“.MPF”为后缀名(可省略)，如 TTL2.MPF，子程序以“.SPF”为后缀名(不可省略)，如 SUB01.SPF、L003.SPF。

GSK (GSK 990M, 全书同) 数控系统程序名的命名规则与 FANUC 数控系统完全一致。

2. 程序段格式

程序段是加工程序中的一句，由若干程序字组成，用来指令机床执行一个或一组动作。程序段格式是指程序段中各个程序字的书写规则，目前最常用的程序段格式是字-地址程序段格式，具有如下几个主要特点。

(1) 程序字的排列顺序没有严格要求。为方便读写和校对，一般按 N、G、X、Y、Z、F、M、S、T 的顺序书写，如：

N50 G54 G00 X0 Y0 Z100 M03 S1000 T1D1。

(2) 不需要的字或与上一程序段中相同的续效字(模态指令)可省略不写，每个程序段的长度不一定相同。

3. 常用的程序字

程序字是组成程序的基本单元，它由地址字符和数字字符组成，常用的地址字及其含义见表 1-2-2。



表 1-2-2 常用地址字及其含义

功 能		地 址 字	含 义
顺序号字		N	指令程序段的顺序号
准备功能字		G	指令机床的工作方式
辅助功能字		M	指令机床的开/关动作
尺寸字		X, Y, Z	指令 x, y, z 轴的绝对坐标值
		U, V, W	指令 x, y, z 轴的增量坐标值
		A, B, C	指令绕 x, y, z 轴的旋转坐标值
		I, J, K	指令圆弧 x, y, z 轴的圆心坐标值
		R, CR	指令圆弧半径
进给功能字		F	指令刀具中心的进给速度
主轴转速功能字		S	指令主轴的转速
刀具功能字		T	指令刀具的刀具号
其他字	偏移号	H, D	指令刀具补偿号
	重复次数	L	指令固定循环和子程序的执行次数
	参数值	R, Q	指令固定循环中的设定距离
	暂停时间	P, X	指令刀具的暂停时间

(1) 顺序号字 N 由字母 N 和 2~4 位数字组成, 表示程序段的序号。编程时, 可以每个程序段都设程序段序号, 也可以只在其中部分程序段中设序号, 还可以在整个程序段中都不设序号 (高档数控系统编程时一般都不写程序段序号)。程序段在数控机床的存储器中按输入的先后顺序排列, 执行时严格按排列的先后顺序逐段执行, 与程序段序号无关。

(2) 准备功能字 G 由地址字 G 和其后的 2~3 位数字组成, 如 G01、G02、G158 等, 典型数控系统的 G 功能字及其功能见附录 2。

(3) 尺寸字 由地址码、“+”、“-”和数字组成 (编程时“+”可省略), 如 X30.5、Z-5、P3 等。

(4) 进给功能字 F 指令刀具中心运动时的进给速度 (mm/min 或 mm/r), 如 F150, 表示刀具的进给速度为 150mm/min。

(5) 主轴转速功能字 S 指令主轴的转速, 如 S500, 表示主轴的转速为 500r/min。

(6) 刀具功能字 T 指令刀具号, 由地址码 T 和其后的若干位数字组成, 如 T01, 表示调用 T01 号刀具。

(7) 辅助功能字 M 由地址字 M 和其后的 2 位数字组成, 如 M03 (主轴正转)、M05 (主轴停止)、M30 (程序结束) 等, 典型数控系统的辅助功能字及其功能见本书 §3.3。

实训项目 程序识读

一、实训目的

理解数控加工程序的结构组成和格式, 初步认识常用的程序字及其功能。



二、实训要求

参照附录 2，阅读下面的数控加工程序，回答后面的问题。

```
O0058;  
N10 G92 X0 Y0 Z50;  
N20 G00 X -50 Y -60 M03 S600;  
N30 Z3 M08;  
N40 G01 Z -3 F100;  
N50 Y0;  
N60 G02 X -20 Y30 R30;  
N70 G01 X20;  
N80 G02 Y -30 R30;  
N90 G01 X -20;  
N100 G02 X -50 Y0 R30;  
N110 G03 X -55 Y5 R5;  
N120 G00 Z50 M09;  
N130 X0 Y0 M05;  
N140 M30;
```

问题 1：本程序的程序名是什么？符合哪一种数控系统的命名规则？

问题 2：在哪一个程序段执行了主轴正转功能？主轴转速是多少？哪一个程序段使主轴停止旋转？停止主轴旋转的指令是什么？

问题 3：在哪一个程序段执行开冷却液功能？哪一个程序段关冷却液？关冷却液的指令是什么？

问题 4：执行程序段 N50 时，系统执行什么 G 功能？进给速度是多少？

问题 5：执行程序段 N60 时，机床的进给速度是多少？

问题 6：执行程序段 N70 时，进给运动终点的 Y 坐标值是多少？

问题 7：本程序使用了哪几种 G 代码？它们的功能分别是什么？



试一试

根据上面的加工程序，画出刀具中心在 XY 平面内的走刀路线图。



复习思考题

1. 简述数控加工的工作过程。
2. 与普通机床相比，为什么数控机床的加工精度更高，尺寸一致性更好？
3. 何谓数控编程？数控编程的工作内容主要有哪些？
4. 数控编程的方法有哪几种？分别适用于什么零件的加工？
5. 程序段执行的先后顺序与程序段序号有关吗？为什么？

第 2 章

数控铣削加工工艺基础

数控铣削加工的首要工作是编制零件的数控铣削加工工艺,包括零件工艺性分析、加工工艺路线设计、装夹方案确定、刀具和切削用量选择、走刀路线设计等工作内容。本章结合图 2-1 所示凸轮零件的数控铣削加工,介绍数控铣削加工工艺设计的内容和方法。

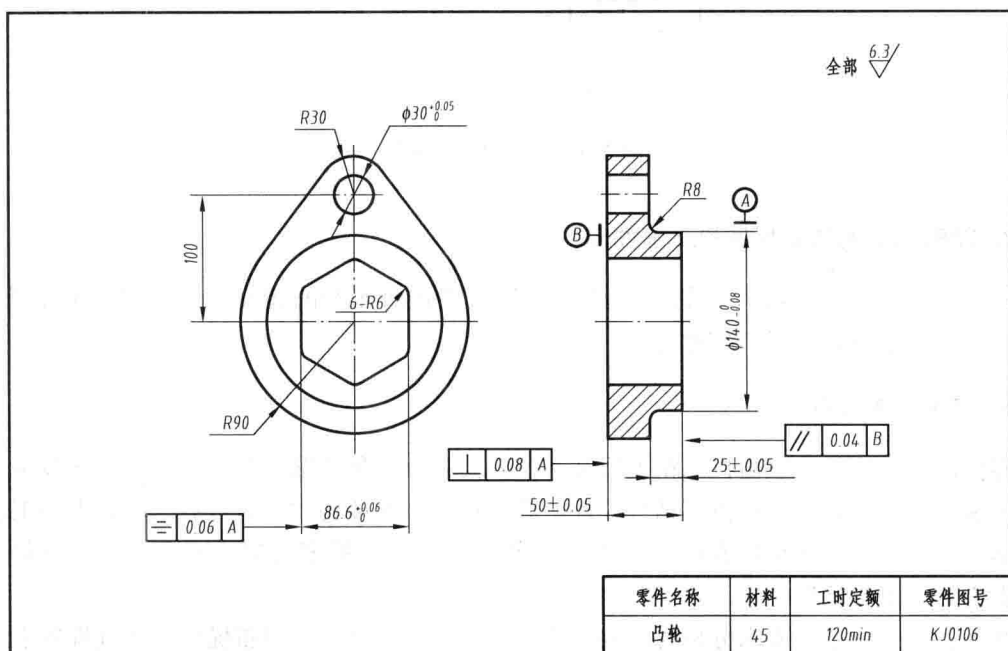


图 2-1 凸轮

§ 2.1 数控铣削加工工艺性分析

零件工艺性分析是编制零件数控铣削加工工艺的前提,主要包括数控铣削加工内容选择、零件图样分析、结构工艺性分析和毛坯工艺性分析等内容。

一、零件图分析

1. 尺寸标注分析

数控加工精度和重复精度都很高,零件图样应尽量采用同一基准标注或直接给出坐标尺



寸，以方便编程，并使编程原点与设计基准统一。对于用极限偏差标注的尺寸，为保证零件的加工精度，编程时应将尺寸改为对称公差标注，编程尺寸取尺寸的公差中值，如图 2-1-1 所示。

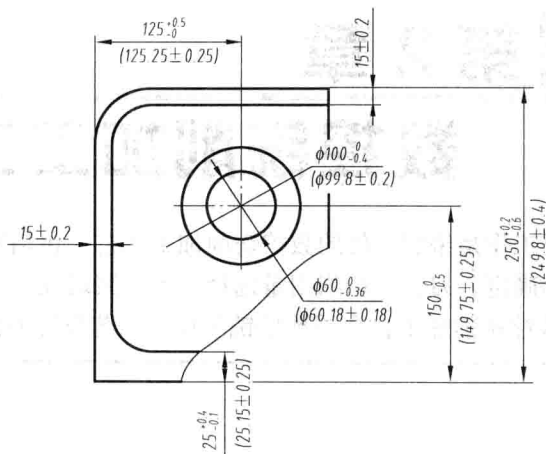


图 2-1-1 零件尺寸标注

2. 轮廓几何元素完整性和正确性分析

构成零件轮廓的几何元素的条件是否充分，各几何元素的相互关系（如切点、交点、圆心、垂直、平行等）是否完整等。

3. 技术要求分析

零件的形状公差一般由机床精度保证。位置公差分两种情况：第一种，在一次装夹中加工的各表面间的位置公差由机床精度保证。第二种，多次装夹加工时，后一次装夹加工表面对已加工表面的位置度精度则由后次装夹的定位（找正）精度决定。所以，位置公差是选择装夹方式的重要依据。

此外，在进行技术要求分析时，要注意分析零件的材料、表面粗糙度和热处理要求，这是选择加工阶段、加工方式、刀具及切削用量的重要依据。

二、零件结构工艺性分析

零件结构工艺性分析主要是为了保证加工精度、提高切削效率、减少刀具数量等，数控铣削加工的零件结构工艺性分析实例见表 2-1-1。

三、毛坯工艺性分析

由于数控铣削加工过程的高度自动化，所以，余量大小、零件装夹等问题在毛坯设计阶段就应考虑清楚。毛坯工艺性分析的主要内容有如下几点。

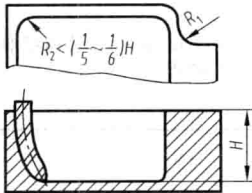
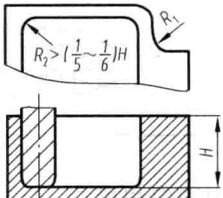
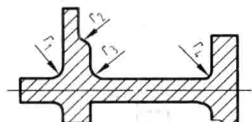
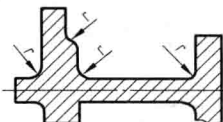
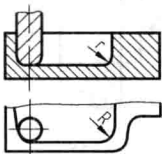
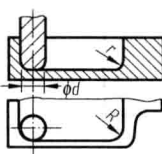
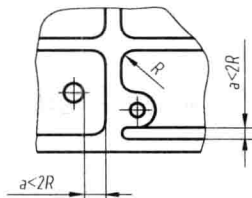
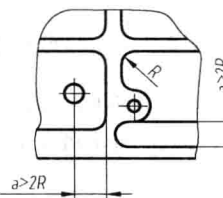
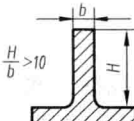
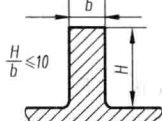
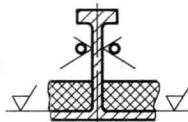
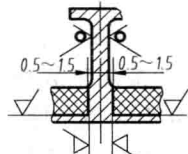
1. 分析毛坯的装夹适应性

毛坯在加工时应方便装夹，定位可靠，其外形形状、尺寸大小以及预加工状态等，是确



定装夹定位的重要依据。图 2-1-2 是图 2-1 所示凸轮零件的两种毛坯形式, 对于图 (a) 所示的板料毛坯, 第一道工序可选用平口虎钳装夹, 而对于图 (b) 所示的铸件毛坯, 则需使用组合夹具或专用夹具才能方便装夹。

表 2-1-1 零件结构工艺性分析实例

序号	工艺性差结构	工艺性好结构	说 明
1			内槽侧壁轮廓转角圆弧半径与槽深之比应尽可能取大, 以提高刀具刚性
2			内外轮廓底槽圆角应尽可能统一, 以减少刀具数量
3			内外轮廓底槽圆角应尽可能小, 以扩大铣刀端面刀面积, 提高切削效率
4			窄槽宽度应大于轮廓转角圆弧半径的二倍, 以便铣刀通过, 减少刀具数量
5			侧壁厚度与高度之比应满足 $H/b \leq 10$, 以提高工件刚度
6			在加工表面和不加工表面之间应有过渡表面, 以减少切削量



续表

序号	工艺性差结构	工艺性好结构	说 明
7			用斜面筋取代台阶筋, 可节约材料, 简化编程
8			尽量采用对称结构, 以简化编程

2. 分析毛坯的加工余量大小和均匀程度

主要考虑在加工过程中是否需要分层切削, 如果需要分层切削, 需分几层等。对于在加工中或加工后容易变形的毛坯, 还应考虑预防变形的措施。

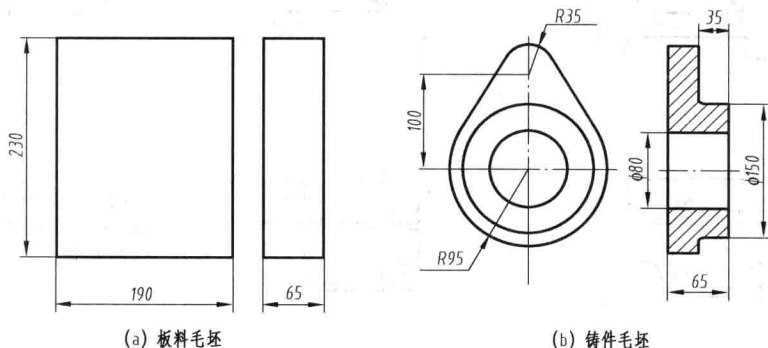


图 2-1-2 凸轮毛坯形式

此外, 毛坯形式不同, 加工工序也会不同。图 2-1-2 (a) 所示的板料毛坯, 零件的内六边形需先安排钻孔工艺, 图 (b) 所示的铸件毛坯则不需钻孔。

§2.2 数控铣削加工工艺路线设计

零件的数控加工工艺路线是对几道数控加工工序内容和顺序的概括, 而不是从毛坯到成品的整个工艺过程。在数控加工工艺路线设计中, 要充分考虑与整个工艺过程的协调。

一、加工工序划分

根据数控加工的特点, 数控加工工序的划分方法主要有以下几种。

1. 以加工表面特性划分。将零件按加工表面特性划分为内腔、外形、平面、曲面等若干部分, 将每一特性的表面加工划分为一道工序。
2. 按装夹次数划分。零件需多次装夹完成加工, 可将同次装夹中加工的内容划分为一道工序。

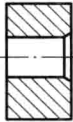
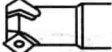
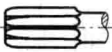
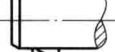
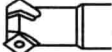
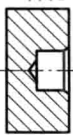
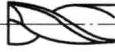
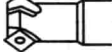
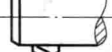
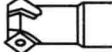
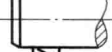
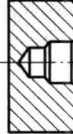
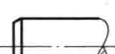
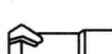
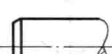
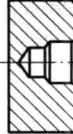
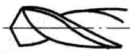
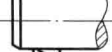
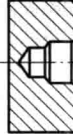


3. 按刀具类型划分。零件的加工内容较多, 需要多种刀具加工时, 可将同一把刀能够完成的加工内容划分为一道工序, 本工序加工完毕后, 再换刀加工其他部位, 以减少换刀次数。

4. 按粗、精加工划分。对加工中易发生变形的零件, 应将粗、精加工工序分开。

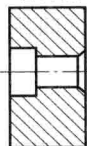
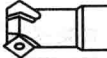
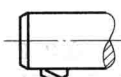
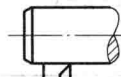
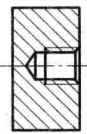
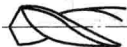
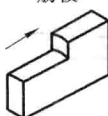
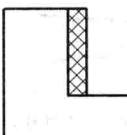
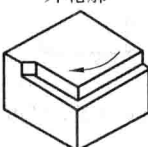
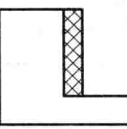
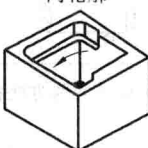
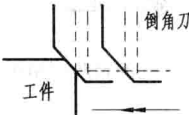
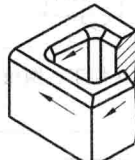
选择合适的加工方法及顺序是工序划分的基础, 常见平面类零件表面的加工方法见表 2-2-1。

表 2-2-1 常见平面类零件表面的加工方案

表面类型	加工方案及说明			
通孔	方案 1: 钻孔→扩孔→倒角→铰孔。适用于孔的位置精度、直线精度要求不高的小孔加工, 加工方便, 孔径一致性好			
				
	方案 2: 钻孔→镗孔→倒角→铰孔。适用于孔的尺寸和位置精度要求都较高的孔, 镗削加工能保证孔的直线精度和位置精度			
				
	方案 3: 钻孔→镗孔→倒角→精镗孔。适用于高精度孔, 经多次精镗, 孔的位置、形状等精度都能得到很好的保证			
				
	方案 1: 钻孔→平底钻扩孔→倒角→精镗孔。适合于小尺寸盲孔, 为保证孔底平整, 可用平底钻或铣刀加工孔底			
				
	方案 2: 钻孔→铣孔→倒角→精镗孔。适合于较大孔径平底盲孔, 孔底可用型腔铣削方法精加工, 孔壁用精镗加工			
				
	方案 1: 钻孔→平底钻加工台阶→倒角→镗孔。阶梯孔的台阶可用平底钻直接加工, 倒角后精镗大孔			
				
	方案 2: 钻孔→镗刀加工台阶→倒角→镗孔。适用于大孔径、浅台阶孔。也可用铣刀精加工台阶			
				



续表

表面类型	加工方案及说明			
阶梯孔	钻孔→倒角→镗正面孔→镗背面孔。加工背面孔时，应在主轴静止状态下，先把镗刀沿径向与刀尖相反方向偏离一定距离，使镗刀穿过工件背面，再复位，然后Z轴反向进给加工			
				
螺纹孔	钻孔→倒角→攻螺纹			
				
筋板	用面铣刀或立铣刀一次进给完成一层的切削，分粗精加工时，精加工余量为0.05~0.1mm			
				
外轮廓		用立铣刀加工。零件的外形侧面尺寸要求较高时，要留精加工余量，余量大小及精加工时的尺寸可用改变刀具半径补偿值的方法调节		
				
内轮廓		加工方法与外廓零件类似，零件的内廓侧壁尺寸要求较高		
				
倒角		用倒角刀加工。编程时，在倒角刀的斜边上取一距刀具底边为1mm的参考点，以该点的回转半径为编程假想铣刀半径，过该点的高度为假想刀尖平面，然后按假想刀具半径与工件的侧壁对应，假想刀尖平面相对工件的顶面下降一个倒角宽度尺寸确定刀具坐标值		
				
简单型腔	简单型腔是一组封闭的内轮廓侧壁围成的有底空腔。加工特点是要通过粗加工切除腔内的大量材料，侧面和底面应留精加工余量。粗加工时需要设置切削层高、层高间的进刀方式、每层的走刀方式。精加工时先加工底面，后加工侧壁			
	