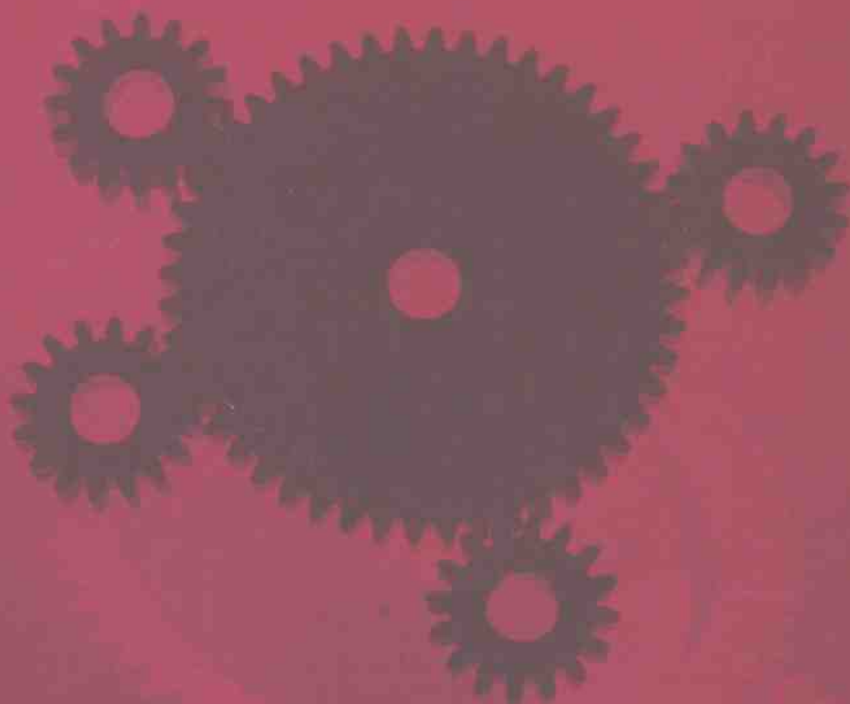




中等职业技术学校数控技术应用专业教材
ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO SHUKONG JISHU YINGYONG ZHUANYE JIAOCAI

数控铣削实训教程

SHUKONG XIXIAO SHIXUN JIAOCHENG



中国劳动社会保障出版社

中等职业技术学校数控技术应用专业教材

数控铣削实训教程

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

(地址: 北京市西城区德胜门内大街2号)

电话: 010-64283800

中国劳动社会保障出版社

地址: 北京市西城区德胜门内大街2号

电话: 010-64283800

邮编: 100088

中国劳动社会保障出版社

地址: 北京市西城区德胜门内大街2号

电话: 010-64283800

邮编: 100088

图书在版编目(CIP)数据

数控铣削实训教程/湛年远, 黄耀新主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2007

中等职业技术学校数控技术应用专业教材

ISBN 978-7-5045-6260-9

I. 数… II. ①湛…②黄… III. ①数控机床: 铣床-金属切削-程序设计-教材②数控机床: 铣床-金属切削-加工-教材 IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 082806 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.5 印张 311 千字

2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷

定价: 22.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

编审人员名单

(按姓氏笔画排列)

主 审 陆曲波

主 编 湛年远 黄耀新

副主编 李献龙 吴 强 莫新鉴 曾祥海

参 编 韦荣贵 李健龙 陈 焕 蒙红伟 廖永胜

前 言

为了更好地满足中等职业技术学校数控技术应用专业的教学要求,适应广西壮族自治区的实际情况和职教特色,促进广西地区数控技术人才的培养,劳动和社会保障部教材办公室组织广西有关学校的职业教育研究人员、一线教师 and 行业专家在广泛调研的基础上,开发了这套中等职业技术学校数控技术应用专业教材。

这套数控技术应用专业教材主要包括《机械制图与 AutoCAD》《机械基础》《机械加工工艺与实训》《机床电气控制基础》《CAD/CAM 软件应用实训教程》《数控车削实训教程》《数控铣削实训教程》《数控机床结构、原理与维护保养》。以后我们还会根据教学需要和行业发展,推出其他数控教材。

本套教材的编写原则是:以就业为导向,以学生为主体,以培养中等数控技术应用型人才为根本任务,以数控技术应用岗位必备的能力和基本素质为主线,构建课程的知识结构,重组课程体系;突出理论知识在实践中的应用和实际能力的培养,以技能和能力培养为重点,坚持常规机械制造技术训练与数控技术训练相结合,坚持实验室模拟编程仿真教学与数控机床单机实操实训相结合,构建具有中职特色的理论教学和实践教学新体系。

本套教材的编写特点是:

一是从生产实际出发,合理安排教材的知识和技能结构,突出技能性培养,摒弃“繁难偏旧”的理论知识。

二是以国家相关职业标准为依据,确保在知识内容和技能水平上符合国家职业技能鉴定标准。

三是引入新技术、新工艺内容,反映行业的新标准、新趋势,淘汰陈旧过时的技术,拓宽专业技术人员的知识眼界。

四是在结构安排和表达方式上,强调由浅入深,循序渐进,力求做到图文

并茂。

本套教材的编写工作得到了广西教苑图书有限公司的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

《数控铣削实训教程》的主要内容有：数控加工基础知识、数控铣削加工工艺基础、数控铣床编程与操作基础、数控铣削加工技术、中级数控铣工综合实训。

劳动和社会保障部教材办公室

2007年6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 1 程序识读	(5)
复习思考题	(6)
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 2 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	(36)
§ 3—3 数控铣床的编程指令	(39)
*§ 3—4 数控铣床编程的数值处理	(42)
§ 3—5 数控铣床的基本操作	(48)
实训项目 3 数控铣床基本操作技能训练	(70)
实训项目 4 零件自动加工实训 (1)	(74)
实训项目 5 零件自动加工实训 (2)	(78)
第4章 数控铣削加工技术	(84)
§ 4—1 平面轮廓加工技术	(84)
实训项目 6 底座数控铣削加工	(84)

§ 4—2 孔加工技术	(95)
实训项目 7 垫板数控铣削加工	(95)
§ 4—3 腔槽加工技术	(111)
实训项目 8 型芯数控铣削加工	(111)
§ 4—4 镜像、坐标旋转指令应用	(123)
实训项目 9 多型板数控铣削加工	(123)
§ 4—5 宏程序应用	(135)
实训项目 10 压板数控铣削加工	(135)
实训项目 11 球面数控铣削加工	(151)
*§ 4—6 DNC 加工技术	(161)
实训项目 12 冲头数控铣削加工	(161)
§ 4—7 数控铣削加工综合练习	(165)
实训项目 13 端盖数控铣削加工	(165)
第5章 中级数控铣工综合实训	(182)
§ 5—1 中级数控铣工综合实训一	(182)
§ 5—2 中级数控铣工综合实训二	(187)
§ 5—3 中级数控铣工综合实训三	(189)
§ 5—4 中级数控铣工综合实训四	(192)
§ 5—5 中级数控铣工综合实训五	(194)
§ 5—6 中级数控铣工综合实训六	(197)
附录 1 数控技术常用术语	(200)
附录 2 典型数控系统 G 代码列表	(202)

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制造方法，在机械、模具、汽车、航天航空等行业中得到了广泛应用。

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，而机床硬件部分则不需做大的调整。

2. 加工精度高，尺寸一致性好

(1) 数控机床具有很高的刚度和热稳定性。

(2) 数控机床的定位精度、重复定位精度高。

(3) 具有反向间隙补偿与丝杆螺距误差自动补偿等功能。

(4) 加工过程完全自动化，消除了各种人为操作误差。

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，从而有效地提高了生产率。

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 和图 1—2 所示。

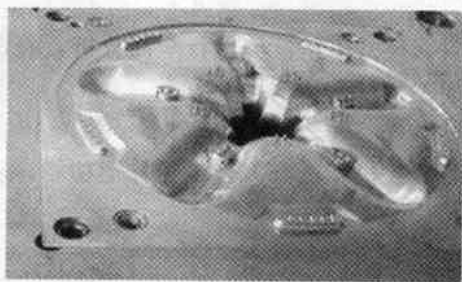


图 1—1 波轮模具

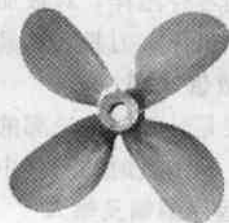


图 1—2 螺旋桨

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。

二、数控加工的适用范围

图 1—3 所示为各种机床的使用范围。

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。

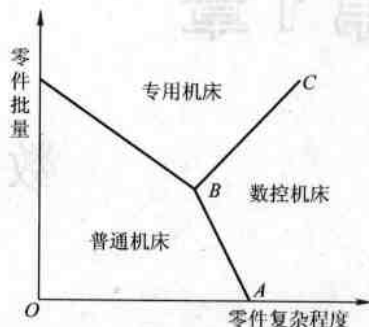


图 1—3 各种机床的使用范围

§ 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、开关切削液等辅助动作,按照运动顺序,用数控系统规定的指令代码和程序格式编写成数控加工程序,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。

(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,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,编制零件的数控加工程序,并通过键盘或通信方式输入到数控系统。

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，主要用于检验程序运动轨迹的正确性。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—4 所示。

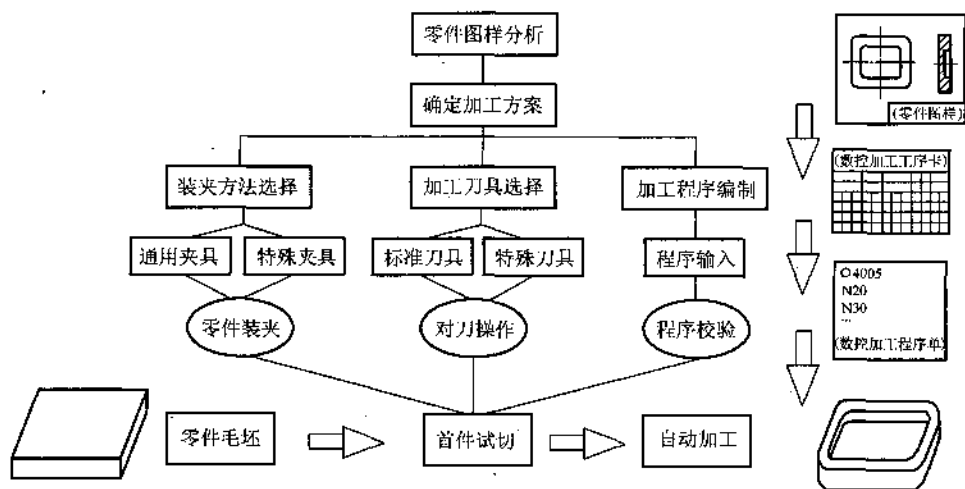


图 1—4 零件数控加工过程

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—1。

表 1—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 数控系统完全相同。

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。

表 1—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 轴的坐标值
		U, V, W	指令平行于 x, y, z 轴的第二附加坐标系的坐标值
		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。

(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 150 mm/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 500 r/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 § 3—3。

实训项目 1 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;
```

三、思考

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？
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？
3. 在哪一个程序段执行开切削液功能？哪一个程序段关切切削液？关切切削液的指令是什么？
4. 执行程序段 N50 时，系统执行什么 G 功能？进给速度是多少？
5. 执行程序段 N60 时，机床的进给速度是多少？
6. 执行程序段 N70 时，进给运动终点的 Y 坐标值是多少？
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. 为什么数控机床与普通机床相比，加工精度高，尺寸一致性好？
3. 什么是数控编程？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？分别适用于什么场合？
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。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。

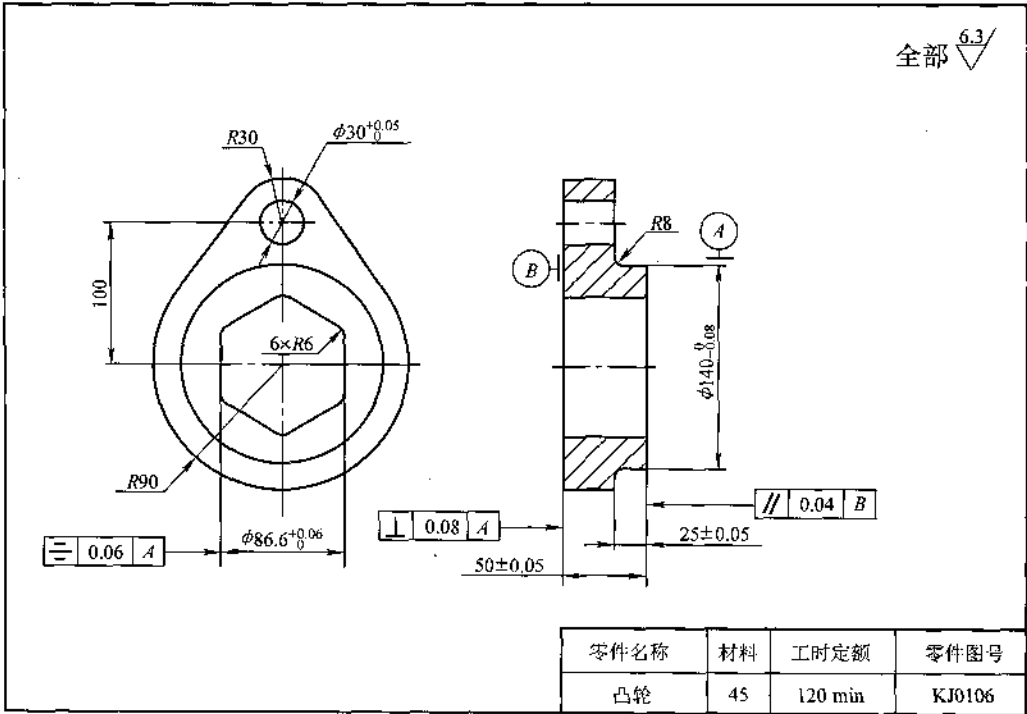


图 2—1 凸轮

§ 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、零件图分析、结构工艺性分析和毛坯工艺性分析等。

一、零件图分析

1. 尺寸标注分析

数控加工的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—2 所示。

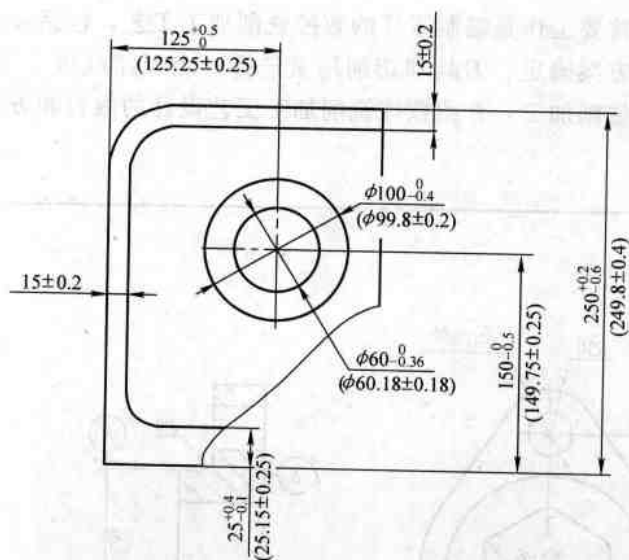


图 2—2 零件尺寸标注

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（如相切、相交、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。位置公差则分两种情况：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；在多次装夹加工时，后一次装夹的加工表面对已加工表面的位置精度，由后次装夹的定位（找正）精度决定，这时，位置公差是选择装夹方式的重要依据。

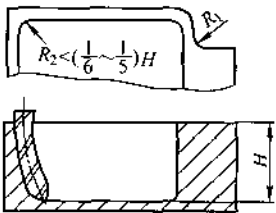
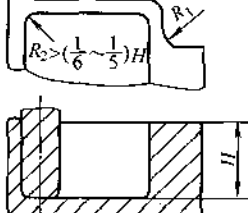
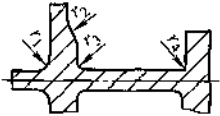
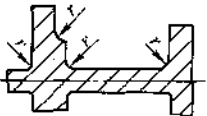
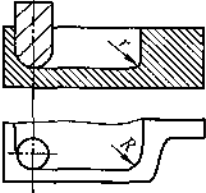
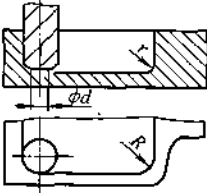
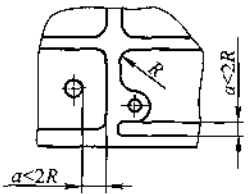
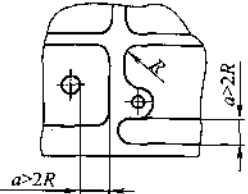
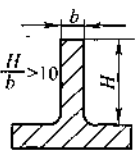
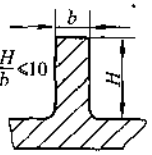
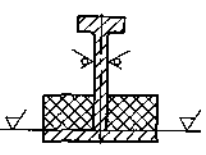
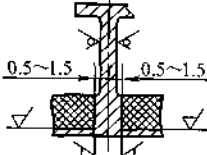
此外，在进行技术要求分析时，要注意分析零件的材料、表面粗糙度和热处理等要求，这是选择加工阶段、加工方式、刀具及切削用量的重要依据。

二、零件结构工艺性分析

零件结构工艺性分析主要考虑保证加工精度、提高切削效率、减少刀具数量等问题，数控铣削加工的零件结构工艺性分析实例见表 2—1。

表 2—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, 以扩大铣刀端刃面积, 提高切削效率
4			窄槽宽度应大于轮廓转角圆弧半径的 2 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			在加工面和不加工表面之间应有过渡表面, 以减少切削量