



典型零件

数控铣加工生产实例

涂志标 黎胜容 主编

- ▶ 基础知识引导入门
- ▶ 归纳铣加工常用技巧与经验
- ▶ 经典分析19个铣加工编程实例



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



典型零件数控铣 加工生产实例

涂志标 黎胜容 主编



机械工业出版社

本书以生产应用为目标,通过大量实例,深入浅出地介绍了典型零件数控铣加工生产的过程、技巧与实例。全书共分12章。第1、2章简要介绍了铣床结构、加工工艺和FANUC系统编程指令,以引导读者学习入门。第3~6章归纳介绍了铣加工的常用技巧与经验,包括节点运算技巧的运用、辅助编程的运用、极坐标的运用以及宏程序的运用;同时为了帮助读者巩固学透,每项技巧都结合实际案例来阐述。最后的第7~12章是铣加工编程实例,细分了典型零件类型,按照从简单到复杂的原则,结合19个实例,循序渐进地介绍了孔系零件加工编程、平面类零件加工编程、曲面类零件加工编程、箱体类零件的加工编程、变斜角类零件的加工编程以及异形件类零件的加工编程。书中实例典型丰富,并全部取自生产实践,代表性和实用性都很强,便于读者举一反三。读者学习后可以快速入门上手,以实现从入门到精通。

本书适合广大初中级读者使用,既可作为数控技工的自学参考书,也可作为高职高专相关专业学生的理想教材,是读者学习铣加工生产的必备宝典。

图书在版编目(CIP)数据

典型零件数控铣加工生产实例/涂志标,黎胜容主编. —北京:机械工业出版社,2011.4

ISBN 978-7-111-33622-8

I. ①典… II. ①涂… ②黎… III. ①机械元件-数控机床:铣床-加工 IV. ①TH16②TG547

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第033531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 庞 晖

版式设计:霍永明 责任校对:姜 婷

封面设计:赵颖喆 责任印制:乔 宇

北京汇林印务有限公司印刷

2011年5月第1版第1次印刷

169mm×239mm·15.75印张·311千字

0001-4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-33622-8

定价:36.00元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

编辑热线:(010) 88379733

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

数控铣加工是数控加工领域的一项重要技术,所需技能比较高,目前市场上关于数控铣加工的同类书中,讲解加工工艺、操作和指令用法的内容较多,而对编程技巧与典型零件加工实例应用涉及的少,缺少编程经验细节和生产案例的有机结合,存在一定的不足。

为了弥补这种不足,本书结合大量实例,按照由浅入深、循序渐进的形式来介绍,大致结构为:加工工艺—编程指令—编程技巧细节—简单零件加工——复合结构零件加工。全书共包括12章,具体内容安排如下:

第1章为数控铣床及加工工艺。首先介绍了数控铣床的组成结构、技术参数知识;然后阐述了数控刀具的种类、特点以及数控铣床刀具的选择;最后介绍了数控铣床加工工艺,包括铣床加工的主要对象、铣床加工工艺分析、铣削加工工序设计等。读者通过学习,可对数控铣床加工有一个入门性的了解。

第2章为FANUC数控系统及铣床编程指令。鉴于本书是围绕FANUC数控系统介绍铣床加工生产的,因此有针对性地介绍了FANUC数控系统特点、FANUC数控系统的铣床操作以及编程指令,而且重点部分在于编程指令的使用,具体包括:基本指令、固定循环指令、坐标系旋转功能、比例及镜像功能、子程序、B类宏程序等。

第3~6章为铣加工技巧应用,归纳总结了铣加工的注意事项和作者大量的实践经验。其中第3章介绍了手工计算技巧、编程代码计算技巧;第4章介绍了辅助编程的运用;第5章介绍了极坐标的运用;第6章介绍了宏程序的运用。为了便于理解和吸收知识,每章都结合具体的案例来同步讲解。

第7~12章为典型零件的铣加工编程实例。细分了零件类型,并遵循读者从入门到提高的学习方式和过程,依次介绍了孔系零件加工编程实例、平面类零件加工编程实例、曲面类零件加工编程实例、箱体类零件的加工编程实例、变斜角类零件的加工编程实例以及异形件类零件的加工编程实例。读者在学习后如能举一反三,将可以掌握各类典型零件的铣加工编程工艺、流程和实现技巧。

本书语言通俗、层次清晰,以应用为核心,突出生产实践性。所选案例丰富典型,技术先进新颖,示范性和指导性强;其中,实例统一通过学习目标与要领、工艺分析与实现、参考代码与注释的方式讲授,读者无论基础如何,都可以轻松入门上手,进而深入理解巩固和高效掌握。本书是读者学习数控铣加工编程的理想参考书。

本书由涂志标、黎胜容主编，参与编写的有黎双玉、涂志涛、邓力、刘红霞、刘铁军、何文斌、王乐、杨学围、张秋冬、闫延超、毕晓勤、董延、郭志强，提供技术支持的有贺红霞、史丽萍、袁丽娟、刘汝芳、夏劲松等，在此一并向他们表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免会有一些错误和不足之处，欢迎广大读者及业内人士予以批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 数控铣床及加工工艺	1
1.1 数控铣床入门	1
1.1.1 数控铣床分类、主要功能及特点	1
1.1.2 数控铣床的组成结构	4
1.1.3 数控铣床的技术参数	7
1.2 数控铣床刀具	7
1.2.1 刀具材料及其选用	7
1.2.2 数控刀具的种类及特点	12
1.2.3 数控铣床刀具的选择	15
1.3 数控铣床加工工艺	27
1.3.1 数控加工工艺概述	27
1.3.2 数控铣床加工特点与对象	31
1.3.3 数控铣床加工工艺分析	33
1.3.4 数控铣削加工工序设计	49
第 2 章 FANUC 数控系统及铣床编程指令	55
2.1 FANUC 数控系统概述	55
2.2 FANUC 数控系统的铣床操作	57
2.2.1 机床操作面板	57
2.2.2 手动操作	61
2.2.3 自动操作	62
2.2.4 加工程序的输入和编辑	62
2.2.5 刀具偏置	63
2.2.6 设置工件坐标系零点	65
2.3 FANUC 数控铣程序编程指令	66
2.3.1 基本指令	66
2.3.2 固定循环指令	69
2.3.3 坐标系旋转功能	75
2.3.4 比例及镜像功能	76
2.3.5 子程序	77
2.3.6 B 类宏程序	78
第 3 章 节点运算技巧的运用	85
3.1 手工计算技巧	85

3.1.1 收放法	85
3.1.2 分别加工躲避节点法	87
3.2 编程代码计算技巧	91
3.2.1 直接代入公式算出节点	91
3.2.2 复杂公式运算得出节点	93
3.3 节点运算编程训练案例	95
3.3.1 多边形节点运算	95
3.3.2 综合图形节点运算	99
第4章 辅助编程的运用	102
4.1 辅助编程的运用方法	102
4.1.1 直线之间倒圆、倒角	102
4.1.2 直线圆弧之间倒圆	104
4.1.3 两圆弧之间倒圆	105
4.2 辅助编程训练实例	107
4.2.1 直线之间倒角的编程训练	107
4.2.2 两圆弧之间倒圆的编程训练	109
第5章 极坐标的运用	113
5.1 极坐标的运用方法	113
5.1.1 极坐标系编程指令与格式	113
5.1.2 极坐标系的原点和平面	113
5.1.3 极坐标铣直线应用	114
5.1.4 极坐标铣圆应用	115
5.1.5 极坐标的综合应用	116
5.2 极坐标使用实例	118
5.2.1 极坐标铣多边形	118
5.2.2 极坐标铣月牙状图形	120
第6章 宏程序的运用	123
6.1 B类宏程序的运用方法	123
6.1.1 B类宏程序的指令格式	123
6.1.2 宏程序铣一般曲面(倒圆、倒角)	124
6.1.3 宏程序铣曲线方程图形(椭圆、双曲线等)	126
6.1.4 宏程序的综合运用(孔系零件的加工)	128
6.2 宏程序编程训练实例	130
6.2.1 宏程序铣倒角	130
6.2.2 宏程序铣椭圆	132
第7章 孔系零件加工编程实例	136
7.1 孔加工编程基础	136
7.2 孔系零件加工编程训练实例	139

7.2.1 实例1——四角打孔类图形加工	140
7.2.2 实例2——复杂孔系图形加工	141
7.2.3 实例3——镗孔类图形加工	143
第8章 平面类零件加工编程实例	145
8.1 复杂节点类零件	145
8.2 椭圆相交倒角类零件	151
8.3 双面加工类零件	159
第9章 曲面类零件加工编程实例	167
9.1 凸轮式轮廓倒角类图形	167
9.2 正弦曲线曲面类图形	172
9.3 椭圆曲面类图形	179
第10章 箱体类零件的加工编程实例	190
10.1 底座箱体零件加工	190
10.2 主轴箱体零件加工	201
第11章 变斜角类零件的加工编程实例	208
11.1 单边变斜角类零件	208
11.2 双边半圆变斜角类零件	212
第12章 异形件类零件的加工编程实例	216
12.1 复杂轮廓配合零件(一)	216
12.2 复杂轮廓配合零件(二)	222
12.3 凸凹倒圆配合零件(一)	225
12.4 凸凹倒圆配合零件(二)	230
12.5 斜椭圆配合零件(一)	234
12.6 斜椭圆配合零件(二)	238
参考文献	242

第 1 章 数控铣床及加工工艺

数控机床是指采用数控技术进行控制的机床，用于完成铣削加工的数控机床称为数控铣床。它的功能特点在于能够进行外形轮廓铣削、平面或曲面型腔铣削及三维复杂面的铣削，如凸轮、模具、叶片、螺旋桨等。同时，数控铣床还具有孔加工的功能，通过特定的功能指令可进行一系列孔的加工，如钻孔、扩孔、铰孔、镗孔和攻螺纹等。本章对数控铣床的组成结构、刀具使用以及加工工艺进行简要介绍。

1.1 数控铣床入门

首先介绍数控铣床的一些入门知识，包括分类与主要功能、组成结构以及技术参数。

1.1.1 数控铣床分类、主要功能及特点

1.1.1.1 数控铣床的分类

数控铣床种类很多，按其体积大小可分为小型、中型和大型数控铣床。一般数控铣床是指规格较小的升降台式数控铣床，其工作台宽度一般在 400mm 以下，规格较大的数控铣床，其功能已向加工中心靠近，进而演变成柔性加工单元。按其控制坐标的联动轴数可分为两轴半联动、三轴联动和多轴联动的数控铣床等。对于有特殊要求的数控铣床，可以加进一个回转的 A 坐标或 C 坐标，即增加一个数控分度头或数控回转工作台，此时机床数控系统为四轴联动控制的数控系统，可用来加工螺旋槽、叶片等空间曲面零件。常用的分类方法是按其主轴的布局形式分为立式数控铣床、卧式数控铣床和立卧两用数控铣床。

1. 按主轴布置形式分类

(1) 立式数控铣床 立式数控铣床的主轴轴线垂直于水平面，是数控铣床中最常见的一种布局形式，应用范围也最广泛。立式数控铣床中又以三坐标 (X, Y, Z) 联动铣床居多，其各坐标的控制方式主要有以下几种：

1) 工作台纵、横向移动并升降，主轴不动方式。目前小型数控铣床一般应用这种方式。

2) 工作台纵、横向移动，主轴升降方式。这种方式一般应用在中型数控铣床中，如图 1-1 所示。

3) 龙门架移动式，即主轴可在龙门架的横向与垂直导轨上移动，而龙门架则

沿床身做纵向移动。许多大型数控铣床都采用这种结构，又称为数控龙门铣床，如图 1-2 所示。

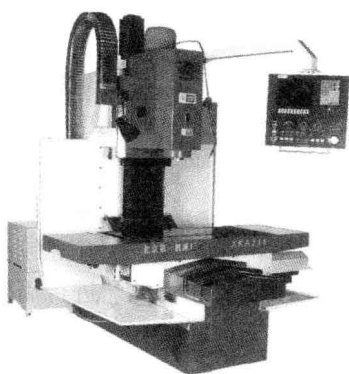


图 1-1 立式升降台铣床

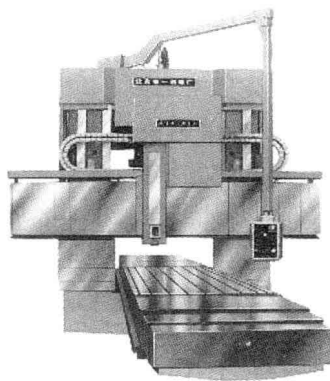


图 1-2 数控龙门铣床

(2) 卧式数控铣床 卧式数控铣床的主轴轴线平行于水平面，主要用来加工箱体类零件，如图 1-3 所示。为了扩大功能和加工范围，通常采用增加数控转盘来实现四轴或五轴加工。这样，工件在一次加工中可以通过转盘改变工位，进行多方位加工，使配有数控转盘的卧式数控铣床加工箱体类零件时，与需要在一次安装中改变工位的零件相比，具有明显的优势。

(3) 立卧两用数控铣床 立卧两用数控铣床的主轴轴线方向可以变换，使一台铣床具备立式数控铣床和卧式数控铣床的功能，如图 1-4 所示，这类铣床适应性更强，使用范围更广，生产成本更低。所以，目前立卧两用数控铣床的数量正在逐渐增多。



图 1-3 卧式数控铣床

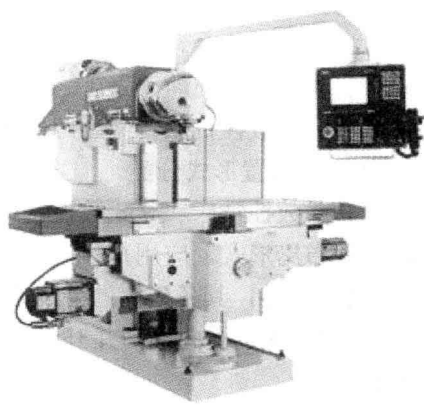


图 1-4 立卧两用数控铣床

立卧两用数控铣床靠手动和自动两种方式更换主轴方向。有些立卧两用数控铣

床通过采用主轴头,使其可以加工出与水平面呈不同角度的工件表面。还可以在这类铣床的工作台上增设数控转盘,以实现零件的“五面加工”。

2. 按数控系统的功能分类

(1) 经济型数控铣床 经济型数控铣床一般是在普通立式铣床或卧式铣床的基础上改造而来的。采用经济型数控系统,成本低,机床功能较少,主轴转速和进给速度不高,主要用于精度要求不高的简单平面或曲面零件加工,如图 1-5 所示。

(2) 全功能型数控铣床 全功能型数控铣床一般采用半闭环或闭环控制,控制系统功能较强,数控系统功能丰富,一般可实现四坐标及其以上的联动,加工适应性强,应用最为广泛,如图 1-6 所示。

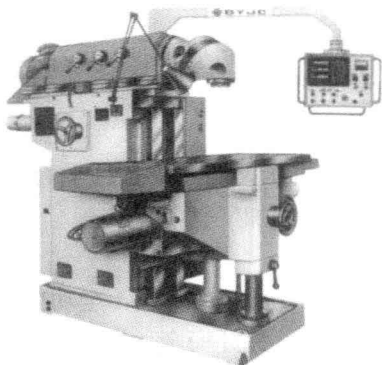


图 1-5 经济型数控铣床



图 1-6 全功能型数控铣床

(3) 高速铣削数控铣床 一般把主轴转速在 $8000 \sim 40000 \text{ r/min}$ 的数控铣床称为高速铣削数控铣床,其进给速度可达 $10 \sim 30 \text{ m/min}$ 。这种数控铣床采用全新的机床结构(主体结构及材料变化)、功能部件(电主轴、直线电动机驱动进给)和功能强大的数控系统,并配以加工性能优越的刀具系统,可对大面积的曲面进行高效率、高质量的加工。

高速铣削是数控加工的一个发展方向。目前其技术正日趋成熟,并逐渐得到广泛应用,但机床价格昂贵,使用成本较高。

1.1.1.2 数控铣床的主要功能

各种类型的数控铣床所配置的数控系统虽然各有不同,但各种数控系统的功能中除一些特殊功能不尽相同外,其主要功能基本相同。

(1) 点位控制功能 此功能可以实现对相互位置精度要求很高的孔系加工。

(2) 连续轮廓控制功能 此功能可以实现直线、圆弧的插补功能及非圆曲线的加工。

(3) 刀具半径补偿功能 此功能可以根据零件图样的标注尺寸来编程,而不必

考虑所用刀具的实际半径尺寸，从而减少编程时的复杂数值计算。

(4) 刀具长度补偿功能 此功能可以自动补偿刀具的长短，以适应加工中对刀具长度尺寸调整的要求。

(5) 比例及镜像加工功能 比例功能可将编好的加工程序按指定比例改变坐标值来执行。镜像加工又称轴对称加工，如果一个零件的形状关于坐标轴对称，那么只要编出一个或两个象限的程序，其余象限的轮廓可通过镜像加工来实现。

(6) 旋转功能 该功能可将编好的加工程序在加工平面内旋转任意角度来执行。

(7) 子程序调用功能 有些零件需要在不同的位置上重复加工同样的轮廓形状，将这一轮廓形状的加工程序作为子程序，在需要的位置上重复调用，就可以完成对该零件的加工。

(8) 宏程序功能 该功能可用一个总指令代表实现某一功能的一系列指令，并能对变量进行运算，使程序更具灵活性和方便性。

1.1.1.3 数控铣床的特点

数控铣床是主要采用铣削方式加工工件的数控机床，能完成各种平面、沟槽、螺旋槽、成形表面、平面曲线和空间曲线等复杂型面的加工。

与普通铣床相比，数控铣床具有以下特点：

1) 半封闭或全封闭式防护。经济型数控铣床多采用半封闭式，全功能型数控铣床多采用全封闭式防护，以防止切削液、切屑溅出，保证安全。

2) 主轴无级变速且变速范围宽。主传动系统采用伺服电动机（高速时采用无传动方式——电主轴）实现无级变速，且调速范围较宽，这既保证了良好的加工适应性，也为小直径铣刀工作形成了必要的切削速度。

3) 采用手动换刀，刀具装夹方便。数控铣床没有配备刀库，采用手动换刀，刀具安装方便。

4) 一般为三坐标联动。数控铣床多为三坐标（即 X、Y、Z 三个直线运动坐标）、三轴联动的机床，以完成平面轮廓及曲面的加工。

5) 应用广泛。与数控车削相比，数控铣床有着更为广泛的应用范围，能够进行外形轮廓铣削、平面或曲面型腔铣削及三维复杂型面的铣削，如各种凸轮、模具等。若再添加圆工作台等附件（此时变为四坐标），则应用范围将更广，可用于加工螺旋桨、叶片等空间曲面零件。此外，随着高速铣削技术的发展，数控铣床可以加工形状更为复杂的零件，精度也更高。

1.1.2 数控铣床的组成结构

首先介绍数控机床的一般组成，数控铣床的组成结构与之大体类似，只是有些自身的特点。

1. 数控机床的组成

数控机床主要由输入装置、数控装置、机床本体、驱动装置和检测装置、辅助控制装置等几个部分组成，如图 1-7 所示。

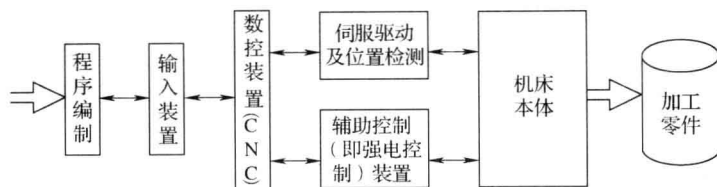


图 1-7 数控机床的组成

(1) 输入装置 数控加工程序可通过键盘，用手工方式直接输入数控系统，还可由编程计算机用 RS232C 或采用网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式：① 边读入边加工；② 一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器，加工时再从存储器中逐段调出进行加工。

(2) 数控装置 数控装置是数控机床的中枢。数控装置从内部存储器中取出或接收输入装置送来的一段或几段数控加工程序，经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种控制信息和指令，控制机床各部分的工作，使其进行规定的有序运动和动作。

零件的轮廓图形往往由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成，刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸的要求进行运动，即按图形轨迹移动。但输入的零件加工程序只能是各线段轨迹的起点和终点坐标值等数据，不能满足要求，因此要进行轨迹插补，也就是在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”，求出一系列中间点的坐标值，并向相应坐标输出脉冲信号，控制各坐标轴（即进给运动各执行部件）的进给速度、进给方向和进给位移量等。

(3) 驱动装置和检测装置 驱动装置接收来自数控装置的指令信息，经功率放大后，严格按照指令信息的要求驱动机床的移动部件，以加工出符合图样要求的零件。驱动装置包括控制器（含功率放大器）和执行机构两大部分。目前大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来，经反馈系统输入到机床的数控装置中。数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较，控制驱动装置按指令设定值运动。

(4) 辅助控制装置 辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号，经过编译、逻辑判断和运算，再经功率放大后驱动相应的电器，带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括

主轴运动部件的变速、换向和启停指令，刀具的选择和交换指令，冷却、润滑装置的启停，工件和机床部件的松开、夹紧，分度工作台转位分度等开关辅助动作。

现广泛采用可编程序控制器（PLC）作为数控机床的辅助控制装置。

（5）机床本体 数控机床的机床本体与传统机床相似，由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。

2. 数控铣床的组成

数控铣床的基本组成如图 1-8 所示，它由床身、立柱、主轴箱、工作台、滑板、滚珠丝杠、伺服电动机、伺服装置、数控系统等组成。

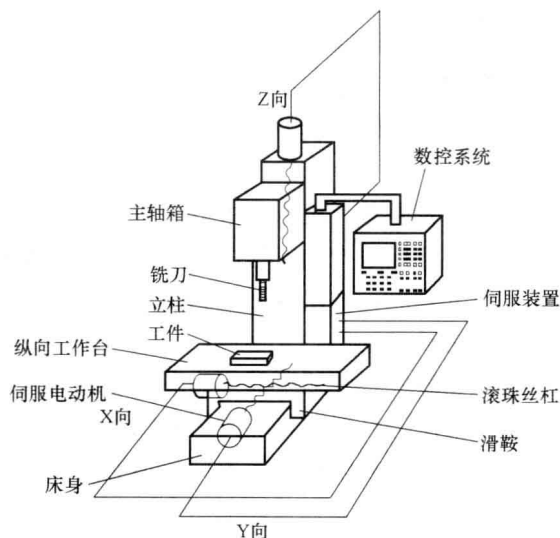


图 1-8 数控铣床的组成

床身用于支撑和连接机床各部件，主轴箱用于安装主轴，主轴下端的锥孔用于安装铣刀，当主轴箱内的主轴电动机驱动主轴旋转时，铣刀能够切削工件。主轴箱还可沿立柱上的导轨在 Z 向移动，使刀具上升或下降。工作台用于安装工件或夹具。工作台可沿滑板上的导轨在 X 向移动，滑板可沿床身上的导轨在 Y 向移动，从而实现工件在 X 向和 Y 向的移动。无论是 X 向、Y 向，还是 Z 向的移动都是靠伺服电动机驱动滚珠丝杠来实现的。伺服装置用于驱动伺服电动机。控制器用于输入零件加工程序和控制机床的工作状态。控制电源用于向伺服装置和控制器供电。

1.1.3 数控铣床的技术参数

数控铣床的主要技术参数包括工作台面积、各坐标轴行程、主轴转速范围、切削进给速度范围、定位精度、重复定位精度等，其具体内容及作用详见表 1-1。

表 1-1 数控铣床的主要技术参数

类 别	主 要 内 容	作 用
尺寸参数	工作台面积（长×宽）、承重	影响加工工件的尺寸范围（重量）、编程范围及刀具、工件、机床之间干涉
	各坐标轴最大行程	
	主轴套筒移动距离	
	主轴端面到工作台的距离	
接口参数	工作台 T 形槽数、槽宽、槽间距	影响工件及刀具安装
	主轴孔锥度、直径	
运动参数	主轴转速范围	影响加工性能及编程参数
	工作台快进速度、切削进给速度范围	
动力参数	主轴电动机功率	影响切削负荷
	伺服电动机额定转矩	
精度参数	定位精度、重复定位精度	影响加工精度及其一致性
	分度精度（回转工作台）	
其他参数	外形尺寸、重量	影响使用环境

1.2 数控铣床刀具

在金属切削加工中，掌握刀具知识十分重要。而刀具知识中，刀具材料与刀具的选择又最为重要，本节将分别进行介绍。

1.2.1 刀具材料及其选用

正确选择刀具材料是设计和选用刀具的重要内容之一，特别是对某些难加工材料的切削，刀具材料的选用显得尤为重要。下面首先对刀具材料应具备的基本性能进行介绍。

1.2.1.1 刀具材料应具备的基本性能

刀具材料是指刀具切削部分的材料。金属切削时，刀具切削部分直接和工件及切屑相接触，受到很大的切削压力和冲击，并受到工件切屑的剧烈摩擦，产生很高

的切屑温度。也就是说,刀具切削部分是在高温高压及剧烈摩擦的恶劣条件下工作的。因此,刀具材料应具备以下基本性能。

(1) 硬度 刀具材料的硬度必须高于加工工件材料的硬度,否则在高温高压下,就不能保持刀具锋利的几何形状,这是刀具材料应具备的最基本特征。目前,切削性能最差的刀具材料——碳素工具钢,其硬度在室温条件下也应在 62HRC 以上;高速钢的硬度为 63~70HRC;硬质合金的硬度为 89~93HRC。

HRC 和 HRA 都属于洛氏硬度,HRA 硬度一般用于高值范围(大于 70HRA),HRC 硬度的有效范围是 20~70HRC。60~65HRC 的硬度相当于 81~83.6HRA 或维氏硬度 687~830HV。

(2) 足够的强度和韧性 刀具切削部分的材料在切削时要承受很大的切削力和冲击力。因此,刀具材料必须要有足够的强度和韧性。一般刀具材料的抗弯强度 σ_{bb} (单位为 Pa) 表示它的强度大小;用冲击韧度 a_K (单位为 J/cm^2) 表示韧性的能力,它反映刀具材料抗脆性断裂和抗崩刃的能力。

(3) 耐磨性和耐热性 刀具材料的耐磨性是指抵抗磨损的能力。一般说来,刀具材料硬度越高,耐磨性越好。此外,刀具材料的耐磨性还与金相组织中的碳化物有关,碳化物越多,颗粒越细,分布越均匀,其耐磨性就越高。

刀具材料的耐磨性和耐热性有着密切的关系。其耐热性通常用它在高温下保持较高硬度的性能,即高温硬度来衡量,或用热硬性来衡量。高温硬度越高,表示耐热性越好,刀具材料在高温时抗塑变形、抗磨损的能力也就越强。耐热性差的刀具材料,由于高温下的硬度显著下降而会很快磨损,乃至发生塑性变形而丧失其切削能力。

(4) 良好的导热性 刀具材料的导热性用热导率 [单位为 $W/(m \cdot K)$] 来表示。热导率大,表示导热性好,切削时产生的热量容易传导出去,从而降低切削部分的温度,减轻刀具磨损。此外,导热性好的刀具材料,其耐热冲击和抗热龟裂的性能增强,这种性能对采用脆性材料进行断续切削,特别是在加工导热性能差的工件时尤为重要。

(5) 良好的工艺和经济性 为了便于制造,要求刀具材料有较好的可加工性,包括锻压、焊接、切削加工、热处理、可磨性等。经济性是评价新型刀具材料的重要指标之一,刀具材料的选用应结合本国资源,降低成本。

(6) 抗粘接性 防止工件与刀具材料的分子间在高温高压的作用下,发生相互吸附产生粘接。

(7) 化学稳定性 是指刀具材料在高温下,不易与周围介质发生化学反应。

1.2.1.2 刀具材料的种类及其选用

现今所采用的刀具材料,大体上分为五大类:高速钢 (high speed steel)、硬质合金 (cement carbide)、陶瓷 (ceramics)、立方氮化硼 (cubic boron nitride),

CBN)、聚晶金刚石 (poly crystal diamond, PCD)。

1. 高速钢

自 1906 年 Taylor 和 White 发明了高速钢以来,已经过了许多改进,至今仍被大量使用,大体上可分为钨 (W) 系和钼 (Mo) 系两大类。其主要特征有:合金元素含量多且结晶粒比其他工具钢细,淬火温度极高 (1200℃) 而淬透性极好,可使刀具整体的硬度一致。回火时有明显的二次硬化现象,甚至比淬火的硬度更高,且耐回火软化性较高,在 600℃ 仍能保持较高硬度,比其他工具耐磨性好,且比硬质合金的韧度高,但压延性较差,热加工困难,耐热冲击较弱。鉴于以上特点,高速钢刀具仍是数控机床的选择对象之一。目前国内外应用比较普遍的高速钢刀具材料以 WMo、WMoAl、WMoCo 为主,其中 WMoAl 是我国所特有的品种。

2. 硬质合金

硬质合金是将钨钴类 (WC)、钨钛钴类 (WC-TiC)、钨钛钽 (铌) 钴类 (W-Ti-TaC) 等硬质碳化物以钴 (Co) 系为结合剂烧结而成的物质,由德国的 Krupp 公司于 1926 年发明,其主体为 W-Co 系,在铸铁、有色金属和非金属的切削中大显身手。1929~1931 年前后, TiC 以及 TaC 等添加剂的复合碳化物系硬质合金在铁系金属中显示出极好的性能。于是,硬质合金得到了很大程度的普及。

GB/T 18376.1—2008 中主要以硬质合金的硬度、抗弯强度等指标为依据,将硬质合金刀片材料大致分为 P、M、K 三大类。

(1) K 类 成分为 WC+Co,适于加工长切屑的黑色金属、有色金属及非金属材料。主要成分为碳化钨 (WC) 和 3%~10% (质量分数) 钴 (Co),有时还含少量的碳化钽等添加剂。

(2) P 类 成分为 WC+TiC,适于加工长切屑的黑色金属。主要成分为碳化钽、碳化钨和钴 (或镍),有时加入碳化钽等添加剂。

(3) M 类 成分为 WC+TiC+TaC,适于加工长切屑或短切屑的黑色金属和有色金属。成分和性能介于 K 类和 P 类之间,可用来加工钢和铸铁。

以上为一般切削工具所用硬质合金的大致分类。除此之外,还有超微粒子硬质合金,可以认为其属于 K 类。但因其烧结性能上要求结合剂钴的含量较高,故高温性能较差,大多只用于钻、铰等低速切削工具。

在国际标准 (ISO) 中,通常分别在 K、P、M 三种代号之后附加 01、05、10、20、30、40、50 等数字进行更进一步的细分。一般来讲,数字越小,则硬度越高,韧性越低;而数字越大,则韧性越高,硬度越低。表 1-2 中大致给出了硬质合金刀具的成分及力学性能。