



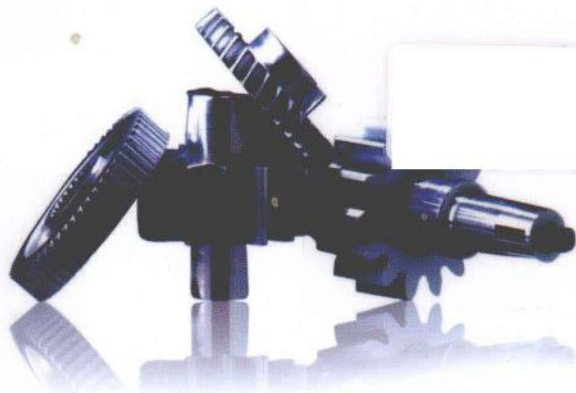
青年技工  
培训丛书

QINGNIANJIGONGPEIXUNCONGSHU QINGNIANJIGONGPEIXUNCONGSHU QINGNIANJIGONGPEIXUNCONGSHU

# 数控铣工 实用技术

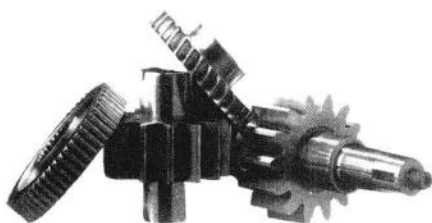
SHUKONGXIANGONG  
SHIYONGJISHU

主 编◎任志俊





青年技工  
培训丛书



# 数控铣工 实用技术

SHUKONGXIANGONG  
SHIYONGJISHU

主 编：任志俊

编 委：赵飞飞 张能武 余玉芳 陈利军 夏卫国

张 洁 李 桥 杨小荣 郭大龙 吴 亮

王 荣 蒋 勇 张茂龙 刘 瑞 刘玉妍

张 洁 周小渔 王春林 陈 伟 邓 杨

8

QINGNIANJIGONG  
PEIXUNCONGSHU

## 图书在版编目 (C I P) 数据

数控铣工实用技术 / 任志俊主编. — 长沙: 湖南科学技术出版社, 2013. 7

(青年技工培训丛书 8)

ISBN 978-7-5357-7660-0

I. ①数… II. ①任… III. ①数控机床—铣床 IV.

①TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 108364 号

青年技工培训丛书 8

### 数控铣工实用技术

主 编: 任志俊

责任编辑: 杨 林 龚绍石

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系: 本社直销科 0731-84375808

印 刷: 湖南汇龙印务有限公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 长沙市开福区捞刀河镇大明工业园

邮 编: 410153

出版日期: 2013 年 7 月第 1 版第 1 次

开 本: 710mm×1010mm 1/16

印 张: 28.25

字 数: 540000

书 号: ISBN 978-7-5357-7660-0

定 价: 57.00 元

(版权所有·翻印必究)

## 丛书前言

随着我国工业化进程的加速和产业结构的调整、开放,经济发展对各行各业的从业人员都提出了职业操作技能要求。从业人员必须熟练地掌握本行业、本岗位的操作技能,才能胜任本职工作,把工作做好,为社会做出更大的贡献,实现人生应有的价值。然而,技能人才缺乏已是不争的事实,并日趋严重,这已引起全社会的广泛关注。

为贯彻“全国职业教育工作会议”和“全国再就业会议”精神,落实国家人才发展战略目标,促进农村劳动力转移培训,全面推进技能振兴计划和高技能人才培养工程,我们精心策划组织编写了这套“青年技工培训丛书”,该套丛书将陆续出版《车工实用技术》、《钳工实用技术》、《铣工实用技术》、《钣金工实用技术》、《数控车工实用技术》、《数控铣工实用技术》、《冲压工实用技术》、《磨工实用技术》、《模具工实用技术》、《简明机械传动实用技术》、《机械工人切削实用技术手册》等图书,以飨读者。

本套丛书的编写以企业对人才需要为导向,以岗位职业技能要求为标准。丛书主要有以下特点:

(1) 内容新颖。除了讲解传统机械加工应掌握的内容之外,还加入了新技术、新工艺、新设备、新材料等方面的内容。

(2) 标准新。采用了最新国家标准、最新名词术语和法定计算单位。

(3) 注重实用。在内容组织和编排上特别强调实践,书中的大量实例来自生产实际和教学实践。全书既介绍了必需的基础知识和专业理论,又介绍了许多典型的加工实例、操作技能及最新技术的应用;兼顾先进性与实用性,尽可能地反映现代加工技术领域内的实用技术和应用经验。

(4) 图文并茂,浅显易懂。多以图和表来讲解,更加直观和生动,易于读者学习和理解。

本套丛书便于广大技术工人、初学者、技工学校、职业院校广大师生实习自学、掌握基础理论知识和实际操作技能;同时,也可用于职业院校、培训中心、企业内部的技能培训教材。我们真诚地希望本套丛书的出版对我国高技能人才的培养能起到积极的推动作用,能成为广大读者的“就业指导、创业帮手、立业之本”,同时衷心希望广大读者对这套丛书提出宝贵意见和建议。

## 前 言

数控技术的应用是提高制造业的产品质量和劳动生产率必不可少的重要手段,对国计民生的一些重要行业的发展起着越来越重要的作用。数控机床是工业现代化的重要装备,是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要标志。因此可预见 21 世纪机械制造业的竞争,其实质是数控技术的竞争。数控机床在企业的使用数量正在大幅度增加,企业正急需大批数控编程与加工方面的技能型人才。然而,目前国内掌握数控编程与加工的技能型人才严重短缺,这使得数控技术应用技能型人才的培养显得十分迫切。为适应数控铣床工作人员培训和学习的需要,并供大中专、高职院校、技校学生教学及数控铣工考工培训之用,特编写了本书。

本书共分 9 章,内容主要包括:数控铣床基础知识、数控铣工艺、数控铣刀具系统、数控机床的维护与保养、FANUC 0i 系统的操作和编程、SIEMENS 802D 系统的操作与编程、数控加工仿真、数控铣床自动化编程、数控铣、加工中心操作实例等知识。

本书所选的数控系统均为当今主流典型系统,实际应用广泛。编程讲解详细,操作步骤具体,而且都举有典型实例。尤其是零件加工项目实例更是对典型零件的编程与加工做了详细而具体的讲解。在编写过程中,突出体现知识新、技术新、技能新的编写思想,介绍知识和技能以实用性,可操作性强为原则。

本书图文并茂,内容丰富,浅显易懂,取材实用而精练。可供各类高等职业技术学院、中职的数控技术应用专业、模具专业、数控维修专业、机电一体化专业学生阅读,还可供相关工种的社会化培训学员使用。

本书由任志俊主编。参加编写的人员还有:赵飞飞、余玉芳、陈利军、夏卫国、张洁、李桥、张能武、杨小荣、郭大龙、吴亮、王荣、蒋勇、张茂龙、刘瑞、刘玉妍、张洁、周小渔、王春林、李桥、陈伟、邓杨等。我们在编写过程中参考了相关图书出版物,并得到江南大学机械工程学院、无锡机电高等职业技术学校领导和部分老师的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 第一章 数控铣床基础知识

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第一节 数控铣床简介 .....        | 1  |
| 一、数控技术的发展及其方向 .....     | 1  |
| 二、数控铣床的组成和工作原理 .....    | 6  |
| 三、数控铣床的分类、加工特点及应用 ..... | 7  |
| 四、数控系统的主要功能 .....       | 13 |
| 五、数控铣床的主要结构和技术参数 .....  | 15 |
| 第二节 常用量具 .....          | 18 |
| 一、卡尺 .....              | 18 |
| 二、千分尺 .....             | 25 |
| 三、指示表 .....             | 28 |

## 第二章 数控铣工艺

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一节 数控铣削加工工艺 .....       | 34 |
| 一、数控铣床和加工中心的主要加工对象 ..... | 34 |
| 二、数控加工工艺文件 .....         | 38 |
| 第二节 数控铣加工工艺的制订 .....     | 40 |
| 一、零件图样分析 .....           | 40 |
| 二、加工方法的选择 .....          | 43 |
| 三、加工阶段的划分 .....          | 49 |
| 四、工序的划分 .....            | 50 |
| 五、加工顺序的安排 .....          | 51 |
| 六、进给路线的确定 .....          | 52 |
| 第三节 数控铣工件的定位与装夹 .....    | 55 |
| 一、定位与夹紧方案的确定 .....       | 55 |
| 二、工件在数控铣床和加工中心上的装夹 ..... | 56 |
| 第四节 切削用量的选择 .....        | 61 |
| 一、吃刀量的选择 .....           | 61 |
| 二、每齿进给量 $f_z$ 的选择 .....  | 62 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 三、切削速度 $v_c$ 的选择 .....  | 72  |
| 第五节 数控铣加工工件及工艺性分析 ..... | 72  |
| 一、平面铣削工艺分析 .....        | 72  |
| 二、轮廓铣削工艺分析 .....        | 74  |
| 三、型腔加工工艺分析 .....        | 79  |
| 四、槽形铣削加工工艺分析 .....      | 83  |
| 五、孔类零件加工工艺分析 .....      | 86  |
| 六、箱盖零件铣削加工工艺分析 .....    | 91  |
| 第六节 数控铣编程基础知识 .....     | 95  |
| 一、数控铣编程概述 .....         | 95  |
| 二、数控铣编程特点 .....         | 95  |
| 三、数控铣常用系统功能及程序结构 .....  | 97  |
| 四、数控铣编程中的程序处理 .....     | 98  |
| <br>第三章 数控铣刀具系统         |     |
| 第一节 数控铣常用刀具 .....       | 99  |
| 一、常用刀具材料 .....          | 99  |
| 二、数控铣削对刀具的要求 .....      | 100 |
| 三、数控铣削刀具的选用原则 .....     | 102 |
| 四、常用铣刀的种类 .....         | 103 |
| 五、常用孔加工刀具 .....         | 107 |
| 六、对刀及对刀点和换刀点的确定 .....   | 113 |
| 第二节 常用数控刀具刀柄选择 .....    | 115 |
| 一、常规数控刀柄及拉钉结构 .....     | 115 |
| 二、典型刀具系统的种类 .....       | 117 |
| 第三节 切削液的选择 .....        | 123 |
| 一、概述 .....              | 123 |
| 二、切削液的种类 .....          | 123 |
| 三、常用切削液 .....           | 124 |
| <br>第四章 数控机床的维护与保养      |     |
| 第一节 数控机床的日常维护 .....     | 125 |
| 一、数控机床操作维护规程 .....      | 125 |
| 二、数控机床日常维护和保养 .....     | 126 |
| 三、数控机床运行使用中的注意事项 .....  | 131 |
| 第二节 数控机床的故障诊断与排除 .....  | 133 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 一、数控机床故障诊断的特点 .....              | 133 |
| 二、数控机床故障诊断的流程 .....              | 134 |
| 三、数控机床故障诊断的方法 .....              | 135 |
| 四、数控机床常见故障的分类 .....              | 137 |
| 五、数控系统故障的诊断和排除 .....             | 139 |
| 第三节 数控机床精度的选择与检验 .....           | 147 |
| 一、数控机床精度的选择 .....                | 147 |
| 二、数控机床精度的检验 .....                | 148 |
| <b>第五章 FANUC 0i 系统的操作和编程</b>     |     |
| 第一节 FANUC 0i 系统的操作 .....         | 151 |
| 一、控制面板 .....                     | 151 |
| 二、数控铣/加工中心的基本操作 .....            | 157 |
| 三、坐标系参数设置 .....                  | 164 |
| 四、数控铣/加工中心的对刀 .....              | 165 |
| 第二节 FANUC 0i 系统的编程 .....         | 169 |
| 一、FANUC 0i 系统的基本指令 .....         | 169 |
| 二、FANUC 0i 系统基本 G 指令 .....       | 173 |
| 三、简化编程 .....                     | 181 |
| 四、子程序 .....                      | 186 |
| 五、固定循环指令 .....                   | 187 |
| 六、宏程序 .....                      | 199 |
| 第三节 FANUC 0i 系统编程实例 .....        | 206 |
| <b>第六章 SIEMENS 802D 系统的操作和编程</b> |     |
| 第一节 SIEMENS 802D 系统的操作 .....     | 220 |
| 一、控制面板 .....                     | 220 |
| 二、SIEMENS 802D 系统的基本操作 .....     | 224 |
| 三、SIEMENS 802D 数控系统的对刀 .....     | 237 |
| 第二节 SIEMENS 802D 系统的编程 .....     | 240 |
| 一、SIEMENS 802D 系统准备功能 G 指令 ..... | 240 |
| 二、基本编程指令 .....                   | 245 |
| 第三节 SIEMENS 802D 系统编程实例 .....    | 292 |
| <b>第七章 数控加工仿真</b>                |     |
| 第一节 仿真系统基本功能 .....               | 302 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| 第二节 仿真系统操作·····  | 310 |
| 第三节 数控程序的处理····· | 320 |
| 第四节 仿真加工·····    | 323 |

## 第八章 数控铣床自动化编程

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第一节 自动编程概述·····        | 327 |
| 一、自动编程的特点·····         | 327 |
| 二、自动编程的分类·····         | 328 |
| 第二节 CAD/CAM 的基本知识····· | 330 |
| 一、CAD/CAM 基本概念·····    | 330 |
| 二、CAD/CAM 技术的发展·····   | 330 |
| 三、CAD/CAM 的基本组成·····   | 333 |
| 四、CAD/CAM 系统组成·····    | 338 |
| 第三节 CAD/CAM 软件介绍·····  | 344 |
| 一、CAD/CAM 软件的类型·····   | 344 |
| 二、常用的 CAD/CAM 软件·····  | 345 |

## 第九章 数控铣、加工中心操作实例

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 实例一：平面内、外轮廓加工····· | 352 |
| 实例二：台阶面铣削加工·····   | 366 |
| 实例三：凹槽加工·····      | 371 |
| 实例四：孔加工·····       | 382 |
| 实例五：复杂零件的加工·····   | 401 |

## 附录

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 一、数控铣床、加工中心操作工职业概况····· | 436 |
| 二、职业基本要求·····           | 437 |

# 第一章 数控铣床基础知识

## 第一节 数控铣床简介

### 一、数控技术的发展及其方向

#### 1. 数控系统的发展进程

数控机床最早产生于美国，自 1952 年世界上第一台数控三坐标镗铣床问世后，数控系统先后经历了两个阶段和 6 代的发展（见表 1-1）。第 1 代数控系统采用电子管元件，体积大、可靠性低、价格高，主要用于军工部门，未得到推广应用，产量较低；第 2 代是 1961 年出现的由晶体管构成的数控系统，其可靠性有所提高，体积大为减小；第 3 代是 1965 年商品化的集成电路数控系统，它大大缩小了数控装置的体积，其可靠性得到实质性的提高，从而为一般用户所接受，数控机床的产量和品种均得到较大的发展。

以上 3 代数控系统实质上是一种专用的计算机，主要靠硬件来实现各种控制功能，属第 1 阶段，称作数字控制系统，简称 NC 系统。

1968 年小型计算机在数控系统中得到应用，称为第 4 代数控系统。

1974 年微处理器的应用成为第 5 代数控系统。

1990 年基于 PC 平台的开放型 CNC 系统成为第 6 代数控系统。

后 3 代属第 2 阶段，称作计算机数控系统，也称 CNC 系统。

表 1-1 数控系统发展的 6 代

| 阶 段                | 数控系统发展历史                      | 世界产生年代 | 中国产生年代 |
|--------------------|-------------------------------|--------|--------|
| 第 1 阶段<br>(NC 系统)  | 第 1 代电子管数控系统                  | 1952 年 | 1958 年 |
|                    | 第 2 代晶体管数控系统                  | 1961 年 | 1964 年 |
|                    | 第 3 代集成电路数控系统                 | 1965 年 | 1972 年 |
| 第 2 阶段<br>(CNC 系统) | 第 4 代小型计算机数控系统                | 1968 年 | 1978 年 |
|                    | 第 5 代微处理器数控系统                 | 1974 年 | 1981 年 |
|                    | 第 6 代基于 (工控) PC 平台的开放型 CNC 系统 | 1990 年 | 1992 年 |

#### 2. 数控技术的发展方向

目前，我国已有自主产权的数控系统，但绝大多数全功能型数控机床还是

采用国外的 CNC 系统。从国产数控机床的整体来看，无论是可靠性、精度、自动化程度和生产率，与国外先进水平相比都还有着不小的差距。

随着科学技术的发展，世界先进制造技术的兴起，对数控加工技术的要求越来越高。随着一些相关技术的发展，如超高速切削、超精密加工等技术的应用，对数控机床的机床结构、主轴驱动、数控系统、伺服系统等提出了更高的性能指标，使数控机床在技术上呈现以下 7 个方面的发展趋势：

(1) 高精度化。数控机床的高精度包括高的机床几何精度和高的加工精度，而高的几何精度是提高加工精度的基础。几何精度中最主要的是定位精度。定位精度的提高，加上机床的结构特性和热稳定性的提高，使得数控机床的加工精度得到了大幅度提高。例如：加工中心的加工精度从过去的  $\pm 0.01\text{mm}$  提高到  $\pm 0.005\text{mm}$ ，甚至更高。

为实现更高精度的目标，现主要采取的措施见表 1-2。

表 1-2 实现高精度化所采取的措施

| 措施类型              | 措 施 说 明                                                                                                                                         |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 伺服驱动系统            | 采用数字式交流伺服系统，在定位精度、进给速度等伺服性能方面较以往模拟式直流伺服系统有了极大的改进，甚至出现采用直线电动机直接驱动机床工作台的所谓“零传动”直线伺服进给方式，从而极大地提高了加工精度                                              |
| 前馈控制技术            | 以前的伺服系统是将指令位置 and 实际位置的偏差乘以位置环的增益，其积作为速度指令，去控制电动机的速度。这种方式总是存在位置跟踪滞后误差，使得在加工拐角或圆弧时加工情况恶化。所谓前馈控制，就是在原来的控制系统上加上速度指令的控制方式，这样使跟踪滞后误差大大减少，以改善拐角切削加工精度 |
| 机床动、静摩擦的非线性补偿控制技术 | 机床动、静摩擦的非线性会导致机床床鞍爬行。除了在机床结构上采取措施降低静摩擦外，新型的数字伺服系统具有自动补偿机械系统动、静摩擦非线性的控制功能                                                                        |
| 补偿技术的发展和广泛应用      | 现代数控机床利用计算机数控系统的软件补偿功能对伺服系统进行多种补偿，例如：轴向运动定点误差补偿、丝杠螺距误差补偿、齿轮间隙补偿、热变形补偿等                                                                          |
| 高精度的脉冲当量          | 高精度的脉冲当量可提高定位精度和重复定位精度                                                                                                                          |
| 采用高分辨率的位置检测装置     | 例如：高分辨率的脉冲编码器、内装微处理器组成的细分电路，使得分辨率大为提高                                                                                                           |

(2) 高速化。提高生产效率一直是机床技术发展的目标之一，数控机床的出现和快速发展，其原因之一就是其生产效率要比普通机床高得多。近年来，数控机床的生产效率又提高了很多，主要方法是减少切削时间和非切削辅助时间。减少切削时间是从提高切削速度，即提高主轴转速来实现的。加工中心的主轴转速已从 10 年前的 4000~6000r/min 提高到 8000~12000r/min，最高的达 100000r/min 以上，数控车床的主轴转速也提高到 5000~20000r/min，磨削的砂轮线速度提高到 100~200m/s。

据最新统计，加工中心的切削时间不超过整个工作时间的 55%，因此减少非切削时间是提高生产效率的一个主要手段。非切削时间由两部分组成：一是空程时间，即快速移动所需要的时间；另一个是辅助时间，主要是刀具交换时间和工件交换时间。

要缩短空程时间，就需要提高快速移动的速度。目前，一般的快速移动速度已达到 20~24m/min，有的在 30m/min 左右，最快的可达 60m/min。特别是直线移动进给伺服电动机的出现，为进一步提高移动速度带来了可能。另外，要减少辅助动作的时间，就需要缩短自动交换刀具的时间和自动交换工件的时间。目前，数控车床刀架的转位时间已达到 0.4~0.6s，加工中心刀具自动交换时间已达到 3s 左右，快的可达到 1s 以内。而加工中心托板交换时间已从过去的 12~20s 缩短到 6~10s，快的已达到 2.5s。

现主要从表 1-3 所给出的几个方面采取措施以提高速度指标。

表 1-3 实现高速化所采取的措施

| 措施类型              | 措施说明                                                                                                                                                                  |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 数控系统              | 微处理器是现代数控系统的核心部件。采用位数、频率更高的微处理器，以提高系统的基本运算速度，目前已由 16 位 CPU 过渡到 32 位 CPU，并向 64 位 CPU 发展；采用 32 位微处理器和多微处理器结构，以提高系统的数据处理能力，即提高插补运算的速度和精度                                 |
| 配置高速、功能强大的内装式 PLC | 通过提高 PLC 的运行速度，来满足数控机床高速加工的要求。新型的 PLC 具有专用的 CPU，基本指令执行速度可达“ $\mu\text{s}/\text{step}$ （步）”，可编程步数可扩大到 16 000 步以上，利用 PLC 的高速处理功能，使 CNC 与 PLC 之间能有机结合，满足数控机床运行中的各种实时控制要求 |
| 提高多轴控制水平          | 新型的数控系统都具有多轴控制功能，可采用多轴联动实现对复杂及特殊型面的加工；还可采用多刀具同时加工的多刀架控制                                                                                                               |
| 超高速切削刀具的运用        | 目前金刚石涂层刀具和陶瓷刀具已在超高速加工中得到应用                                                                                                                                            |



续表

| 类 型     | 说 明                                                                                                                                                                                                             |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 更强的通信功能 | 数控机床由单机发展到 FMC (柔性制造单元)、FMS (柔性制造系统), 进而联网形成 CIMS (计算机集成制造系统), 需要数控系统具有更强的通信功能。大多数控系统都具有 RS232C 和 RS422 高速远距离串行接口, 可以按照用户级的格式要求, 同上一级计算机进行多种数据交换。高档的数控系统应具有 DNC (分布式数控) 接口, 可以实现几台数控机床之间的数据通信, 也可以直接对几台数控机床进行控制 |

现代数控机床为了适应自动化技术的进一步发展, 满足工厂自动化规模越来越大的要求和不同厂家、不同类型数控机床联网的需要, 已采用了 MAP (制造自动化协议) 工业控制网络, 现已实现了 MAP 3.0 版本, 为现代数控机床进入 FMS 及 CIMS 创造了条件。

(6) 数控编程自动化。CAM 自动编程是当前最先进的数控加工编程方法。目前 CAD/CAM 图形交互式自动编程软件得到较多的应用, 它是利用 CAD 完成零件几何图形的计算机绘制, 再经计算机内的刀具轨迹数据计算和后置处理, 而自动生成 NC 零件加工程序, 再通过通信接口传入数控机床, 进行自动控制加工, 从而达到 CAD/CAM 集成一体化, 实现无图样化设计与制造。另外, 随着 CIMS 技术的发展, 当前又出现了 CAD/CAPP (计算机辅助工艺设计)/CAM 集成的全自动编程方式, 它与 CAD/CAM 系统编程的最大区别是其编程所需的加工工艺参数不必由人工参与, 而直接从系统的 CAPP 数据库获得。

(7) 智能化。现代数控系统中, 引进了自适应控制技术。自适应控制 (Adaptive Control, AC) 技术是要求在随机变化的加工过程中, 通过自动调节加工过程中所测得的工作状态、特性, 按照给定的评价指标自动校正自身的工作参数, 以达到或接近最佳工作状态的技术。自适应控制技术能达到很高的加工精度及较小的表面粗糙度值, 同时也能提高刀具寿命和设备的生产效率。智能化的数控系统主要体现在以下几个方面:

① 刀具寿命自动检测更换, 对工件超差、刀具磨损和破损进行及时报警、自动补偿或更换备用刀具。

② 出现故障时自动诊断、自动修复。

③ 根据加工时的热变形, 对滚珠丝杠等的伸缩进行实时补偿。

④ 引进模式识别技术, 应用图像识别和声控技术, 由系统自己辨认图样, 按照自然语言命令进行 CNC 自动加工。

## 二、数控铣床的组成和工作原理

数控铣床是由普通铣床发展而来的一种数字程序控制机床。它将零件加工过程中所需的各种操作和步骤,以及刀具与工件之间的相对位移量都用数字化的代码表示,通过控制介质和数控面板等数字信息输入专用或通用的计算机,由计算机对输入的信息进行处理与运算,发出各种指令来控制机床的伺服系统或其他执行机构,从而自动加工出所需要的零件。

数控铣床加工能力很强,能够铣削各种平面轮廓和立体轮廓的零件,例如各种形状复杂的凸轮、样板、模具、叶片、螺旋桨等;此外,配上相应的刀具还可以进行钻、扩、铰、镗、镗孔和螺纹加工等。因此,在制造业中数控铣床得到了广泛应用。

### 1. 数控铣床的组成

数控铣床的组成见表 1-6。

表 1-6 数控铣床的组成

| 组成类型 | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 铣床本体 | <p>数控铣床本体是指其机械结构实体部分。与传统的普通机床相比,它同样由主传动系统、进给传动系统、床身、立柱和工作台等部分组成,但数控铣床的整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作界面等方面都发生了很大变化,以满足数控技术的要求和充分发挥数控机床的优势。归纳起来,主要包括以下几个方面的变化:</p> <p>(1) 采用高性能主传动及主轴部件,具有传递功率大、刚性高、抗振性好及热变形小等优点</p> <p>(2) 进给传动采用高效传动件,具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点,一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等</p> <p>(3) 机床本身具有很高的动、静刚度</p> <p>(4) 采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工,为了操作安全等,一般采用移动门结构的全封闭罩壳,对机床的加工部件进行全封闭</p> |
| 数控系统 | <p>数控系统是数控铣床的控制中心,是数控铣床的灵魂,主要由主控制系统、可编程序控制器(PLC)、输入/输出接口、键盘、监视器等组成。数控系统的主要控制对象是位置、角度、速度等机械量以及温度、压力、流量等物理量,其控制方式又可分为数据运算处理控制和时序逻辑控制两大类。其中,主控制器内的插补模块就是根据所读入的零件程序,通过译码、编译等处理后,进行相应的刀具轨迹插补运算,并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号的比较,从而控制机床各坐标轴的位移。而时序逻辑控制通常由 PLC 来完成,它根据机床加工过程中各个动作要求进行协调,按各检测信号进行逻辑判别,从而控制机床各个部件有条不紊地按顺序工作</p>                                                             |

续表

| 组成类型 | 说 明                                                                                                                                                                                                   |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 伺服系统 | 伺服系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节。它将数控系统发出的脉冲信号转换为机床移动部件的运动,加工出符合图样要求的零件。伺服系统主要由伺服电动机、驱动控制系统和位置检测与反馈装置等组成。伺服电动机是系统的执行件;驱动控制系统则是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号,与位置反馈信号比较后,作为位移指令,经过驱动系统的功率放大后,驱动电动机运转,通过机械传动装置带动工作台或刀架运动 |
| 辅助装置 | 辅助装置是数控铣床上为加工服务的配套部分,主要包括液压和气动系统、冷却和润滑系统、回转工作台、自动排屑装置、过载和保护装置等                                                                                                                                        |

## 2. 数控铣床的工作原理

数控铣床加工零件,首先根据所设计的零件图样,经过加工工艺分析、设计,将加工过程中所需的各种操作,例如主轴起停、主轴变速、切削用量、进给路线、切削液供给以及刀具与工件相对位移量等,以规定的数控代码按一定的格式编写成加工程序,然后通过键盘或其他输入设备将信息传送到数控系统,由数控系统中的计算机对接受的程序指令进行处理和计算,向伺服系统和其他各辅助控制线路发出指令,使它们按程序规定的动作顺序、刀具运动轨迹和切削工艺参数来进行自动加工。零件加工结束时,机床停止工作。

当数控铣床通过程序输入、调试和首件试切合格进入批量生产时,操作者一般只要进行工件上、下料装卸,再按一下程序自动循环按钮,数控铣床就能自动完成整个加工过程。

## 三、数控铣床的分类、加工特点及应用

### (一) 数控铣床的分类

#### 1. 按其控制坐标轴的联动数分类

- (1) 二轴联动数控铣床,可对三轴中的任意两轴联动。
- (2) 三轴联动数控铣床,可三轴同时联动。
- (3) 多轴联动数控铣床,如四轴联动、五轴联动数控铣床。

#### 2. 按其主轴的布局形成分类

(1) 立式数控铣床。立式数控铣床的主轴轴线垂直于机床工作台平面,即垂直于水平面,是数控铣床中数量最多的一种,应用范围也最为广泛。立式数控铣床主要用于加工机械零件类的平面、内外轮廓、孔和螺纹以及各类模具。立式数控铣床中以三轴(X、Y、Z)联动铣床居多,根据各坐标轴控制方式不同又可分为两种:

①工作台作纵、横向移动和升降，主轴固定不动。小型数控立铣一般都采用工作台移动、升降，而主轴固定不动的方式，与普通立式升降台铣床差不多。

②工作台作纵、横向移动，主轴升降。中型数控立铣一般采用工作台作纵向、横向移动，主轴沿垂直溜板上下运动。

此外，还有机床主轴可以绕 X、Y、Z 坐标轴中的一个或两个轴作数控摆角运动的四轴和五轴联动数控立铣。一般来说，数控机床控制的坐标轴越多，特别是要求联动的坐标轴越多，数控机床的功能、加工范围及可选择的加工对象也越多。但随之而来的是数控机床的结构更复杂，系统功能更强大，编程难度更大，设备价格也更昂贵。为了扩大数控立铣的功能、加工范围和加工对象，可以附加数控转盘。当数控转盘水平放置时，可增加一个 C 轴；垂直放置时可增加一个 A 轴或 B 轴。如果是万能数控转盘，则可以一次增加两个转动轴。但附加数控转盘后，能实现几个坐标轴联动，则是由机床自身配置的数控系统的功能来决定的。

(2) 卧式数控铣床。卧式数控铣床主轴轴线与机床工作台平面平行，即平行于水平面。卧式数控铣床主要用于加工零件侧面的轮廓，例如箱体类零件的加工。为了扩大加工范围和扩充功能，卧式数控铣床通常采用增加数控转盘来实现四轴或五轴联动加工。这样不但工件侧面上的连续回转轮廓可以加工出来，而且可以实现一次安装中，通过数控转盘改变工位，进行“四面加工”。尤其是万能数控转盘可以把工件上各种不同角度或空间角度的加工面摆成水平来加工，从而省去很多专用夹具或专用角度成形铣刀。对箱体类零件或需要在一次装夹中改变工位进行加工的零件来说，选择带数控转盘的卧式数控铣床进行加工非常合适。

(3) 复合式数控铣床。复合式数控铣床是指一台机床上有立式和卧式两个主轴，或者是指主轴可作  $90^\circ$  旋转的数控铣床。复合式数控铣床同时具备立式数控铣床和卧式数控铣床的功能，故又称为立、卧两用数控铣床。这类铣床对加工对象的适应性更强，因而使用范围也更广，其性能价格比高，能获得较好的经济效益。

有些立、卧两用数控铣床采用主轴头可任意方向转换的万能数控主轴头，使其可以加工出与水平面呈不同角度的工件表面。此外，还可在其工作台上增设数控转盘，实现对零件的“五面加工”，即除了工件与转盘贴合的定位面外，其他表面都可以在一次安装中进行加工。当然，配有自动换刀装置 ATC (Automatic Tool Changer)、自动交换工作台机构 APC (Automatic Pallet Changer) 的五面体加工中心功能更强，应用范围更广。

(4) 龙门数控铣床。龙门数控铣床的主轴固定在龙门架上，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。龙门数控铣床一般是大型数控铣床，主要用于大型机械零件及大型模具的加工。