

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

数控加工 工艺与编程

(铣床分册)

中国机械工业教育协会

组编

全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

尚建伟 主编



“工学结合”新理念
“校企合作”新模式
赠送电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



SHUKONG JIAGONG GONGYI YU BIANCHENG

本教材是为适应“工学结合、校企合作”培养模式的要求,根据中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织制定的中等职业教育教学计划大纲编写的。本教材主要内容包括:数控铣床的基础知识,数控铣床的机械结构,数控铣床的刀具材料与刀具系统,数控加工中工件的定位与装夹,数控加工工艺基础,数控铣床的编程,数控自动编程。

本套教材公共课、专业基础课、专业课、技能课、企业生产实践课配套,教学计划大纲、教材、电子教案(或课件)齐全,大部分教材还有配套的习题和习题解答。

本教材可供中等职业技术学校、技工学校、职业高中使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程. 铣床分册 / 尚建伟主编. —北京:
机械工业出版社, 2009. 1
中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材
ISBN 978-7-111-26139-1

I. 数… II. 尚… III. ①数控机床: 铣床—加工工艺—
专业学校—教材②数控机床: 铣床—程序设计—专业学
校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 013010 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: 荆宏智 王晓洁 责任编辑: 王晓洁

版式设计: 张世琴 责任校对: 刘志文

封面设计: 马精明 责任印制: 杨 曦

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷

2009 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.75 印张·340 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-26139-1

定价: 23.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379080

封面无防伪标均为盗版

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材书目

公共基础课

实用语文（任务驱动模式）

应用数学

计算机应用基础

求职与就业

企业生产实习指导

机械加工技术专业（车工、铣工）

车工、铣工共用教材

机械制图

机械制图（任务驱动模式）

公差配合与测量

公差配合与测量技能基础（任务驱动模式）

金属材料与热处理知识

机械基础

电工常识

电工常识（任务驱动模式）

计算机绘图

数控技术基础

机械制造工艺基础

车工用教材

车工工艺学（上、下册）

车工技能训练（上、下册）

铣工用教材

铣工工艺学（上、下册）

铣工技能训练（上、下册）

数控技术应用专业

（数控车工、数控铣工、加工中心操作工）

数控车工、数控铣工、

加工中心操作工共用教材

机械制图

机械制图（任务驱动模式）

公差配合与测量

公差配合与测量技能基础（任务驱动模式）

金属材料与热处理知识

机械基础

电工常识

电工常识（任务驱动模式）

计算机绘图

金属切削机床

金属切削及数控加工刀具（任务驱动模式）

数控技术基础

数控车工用教材

车工工艺学（上册）

车工技能训练（上册）

数控加工工艺与编程（车床分册）

数控加工工艺与编程技能训练（车床分册）

数控铣工、加工中心操作工共用教材

铣工工艺学（上册）

铣工技能训练（上册）

数控铣工用教材

数控加工工艺与编程（铣床分册）

数控加工工艺与编程技能训练（铣床分册）

加工中心操作工用教材

数控加工工艺与编程（加工中心分册）

数控加工工艺与编程技能训练（加工中心分册）

焊接专业（焊工）

机械制图

机械制图（任务驱动模式）

机械制图（下册，焊接、冷作专业用）

公差配合与测量

公差配合与测量技能基础（任务驱动模式）

机械加工常识

机械基础

电工与电子技术基础

金属材料与热处理（焊接、冷作专业用）

计算机绘图

焊工工艺学

焊工技能训练

（完整书目见封二、封三）

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材书目

公共基础课

实用语文 (任务驱动模式)

应用数学

计算机应用基础

求职与就业

企业生产实习指导

机电设备安装与维修专业

(钳工、机修钳工)

钳工、机修钳工共用教材

机械制图

机械制图 (任务驱动模式)

公差配合与测量

公差配合与测量技能基础 (任务驱动模式)

机械加工常识

机械基础

电工常识

电工常识 (任务驱动模式)

液气压传动

计算机绘图

数控技术基础

金属切削机床

钳工工艺学

钳工基本技能训练

机械加工基本技能训练 (钳工、模具类专业用)

钳工用教材

装配钳工工艺学

机械设备装配技能训练

机修钳工用教材

机修钳工工艺学

设备管理

机械设备维修技能训练

机修钳工企业生产实践

模具设计与制造专业 (模具钳工)

机械制图

机械制图 (任务驱动模式)

公差配合与测量

公差配合与测量技能基础 (任务驱动模式)

机械加工常识

机械基础

电工常识

电工常识 (任务驱动模式)

模具材料及热处理

数控电加工编程与操作

钳工工艺学

模具钳工工艺学

模具制造工艺与夹具

模具原理与结构

模具CAD/CAM(CAXA)

模具CAD/CAM(MasterCAM)

模具CAD/CAM(Cimatron)

钳工基本技能训练

模具制造与维修技能训练

机械加工基本技能训练 (钳工、模具类专业用)

电气技术应用专业 (维修电工)

电工基础 (任务驱动模式)

电子技术

电工测量

机械常识与识图

计算机绘图 (电气类)

电机与变压器

电力拖动与控制

可编程序控制器应用基础

钳工基本技能训练

维修电工基本技能训练

电力拖动技能训练

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材 编审委员会

主 任 郝广发 季连海

副主任 刘亚琴 周学奎 何阳春 林爱平 李长江 李晓庆
徐 彤 刘大力 张跃英 董桂桥

委 员 (按姓氏笔画排序)

于 平 王 军 王兆山 王沪均 王德意 方院生

付志达 许炳鑫 杜德胜 李 涛 杨柳青 (常务)

杨耀双 何秉戌 谷希成 张 莉 张正明 周庆礼

孟广斌 赵杰士 郝晶卉 荆宏智 (常务) 姜方辉

贾恒旦 奚 蒙 徐卫东 章振周 梁文侠 喻勋良

曾燕燕 蒙俊健 戴成增

策划组 荆宏智 徐 彤 何月秋 王英杰

《数控加工工艺与编程 (铣床分册)》编审人员

主 编 尚建伟

参 编 张文宝 甘卫华 陈 琳 孙淑君 周 辉 解章其

审 稿 冯小平

序

为贯彻《国务院关于大力发展职业教育的决定》精神，落实文件中提出的中等职业学校实行“工学结合、校企合作”的新教学模式，满足中等职业学校、技工学校和职业高中技能型人才培养的要求，更好地适应企业的需要，为振兴装备制造业提供服务，中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会共同聘请有关行业专家制定了中等职业学校6个专业10个工种新的教学计划、大纲，并据此组织编写了这6个专业的“十一五”规划教材。

这套新模式的教材共近70个品种。为体现行业领先的策略，编出特色，扩大本套教材的影响，方便教师和学生使用，并逐步形成品牌效应，我们在进行了充分调研后，才会同行业专家制定了这6个专业的教学计划，提出了教材的编写思路和要求。共有22个省（市、自治区）的近40所学校的专家参加了教学计划大纲的制定和教材的编写工作。

本套教材的编写贯彻了“以学生为根本，以就业为导向，以标准为尺度，以技能为核心”的理念，以及“实用、够用、好用”的原则。本套教材具有以下特色：

1. 教学计划大纲、教材、电子教案（或课件）齐全，大部分教材还有配套的习题集和习题解答。

2. 从公共基础课、专业基础课，到专业课、技能课全面规划，配套进行编写。

3. 按“工学结合、校企合作”的新教学模式重新制定了教学计划，教学大纲，在专业技能课教材的编写时也进行了充分考虑，还编写了第三学年使用的《企业生产实习指导》。

4. 为满足不同地区、不同模式的教学需求，本套教材的部分科目采用了“任务驱动”形式和传统编写方式分别进行编写，以方便大家选择使用；考虑到不同学校对软件的不同要求，对于《模具CAD/CAM》课程，我们选用三种常用软件各编写了一本教材，以供大家选择使用。

5. 贯彻了“实用、够用、好用”的原则，突出“实用”，满足“够用”，一切为了“好用”。教材每单元中均有教学目标、课题小结、复习思考题或技能练习题，对内容不做过高的难度要求，关键是使学生学到干活的真本领。

本套教材的编写工作得到了许多学校领导的重视和大力支持以及各位老师的热烈响应，许多学校对教学计划大纲提出了很多建设性的意见和建议，并主动推荐教学骨干承担教材的编写任务，为编好教材提供了良好的技术保证，在此对各个学校的支持表示感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，书中难免存在某些缺点或不足，敬请读者批评指正。

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

前 言

数控铣床是一种典型的数控机床,掌握某一类型数控铣床的操作和编程的方法可为使用其他数控机床打好坚实的基础。

各种数控铣床的不同操作方法在于它们所配置的数控系统不同。本书针对日本FANUC公司生产的BEIJING—FANUC—0iM系列的数控系统讲解。目前这种系统在国内外的数控机床上都有广泛的使用,属于典型的数控系统,能控制三个基本轴和一个附加轴。

同一个数控系统可以配置在不同型号的数控机床上,数控系统的功能是通过其所在的机床反映出来的。机床制造厂在对各种机床配置数控系统时,往往是根据使用要求仅选择其中的一部分功能。本书从通用性、实用性的角度出发介绍了BEIJING—FANUC—0iM系列数控系统的大部分功能。必须指出的是:操作者在使用某台数控机床时还需查阅机床厂提供的使用说明书,以明确系统功能在本机床上的有效性。

本书是依据《国家职业标准》规定的中级数控铣工工种的技术水平,并结合各学校最新教改成果及校企合作办学的新模式的要求编写的。通过本书的学习可以使学生了解数控机床的发展方向、数控机床的机械结构、数控软件的应用,理解数控加工工艺相关知识,掌握数控铣床工艺基础知识、编程知识,能独立进行简单零件图的工艺分析、确定正确加工方案,并能够完成程序的编制工作。

本书由尚建伟主编,张文宝、甘卫华、陈琳、孙淑君、周辉、解章其参加编写,冯小平审稿。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

序

前言

绪论 1

第一章 数控铣床的基础知识 9

第一节 数控铣床的结构特点和分类 9

第二节 数控铣床的组成和工作原理 15

第三节 数控铣床的主要功能 16

本章小结 18

复习思考题 18

第二章 数控铣床的机械结构 19

第一节 数控机床对结构的要求 19

第二节 数控铣床的布局结构特点 22

第三节 数控铣床的主传动系统 25

第四节 数控铣床的进给传动系统 28

第五节 其他装置 34

本章小结 34

复习思考题 35

第三章 数控铣床的刀具材料与刀具系统 36

第一节 数控铣床的刀具材料 36

第二节 刀柄及刀具系统 41

本章小结 48

复习思考题 48

第四章 数控加工中工件的定位与装夹 50

第一节 数控机床夹具概述 50

第二节 工件的定位与装夹 53

第三节 定位基准的选择原则 55

第四节 常见的定位方式及定位元件 58

第五节 典型夹紧机构 63

本章小结 65

复习思考题 65

第五章 数控加工工艺基础 66

第一节 数控加工工艺设计的主要内容 66

第二节 数控加工工艺的基本概念 70

第三节 数控加工工艺分析 73

第四节 数控加工工艺路线的拟定 78

第五节 加工余量的确定 82

第六节 加工路线的确定 85

第七节 工序尺寸及其公差确定 87

第八节 数控加工工艺的设计 88

第九节 机械加工精度及表面质量 97

第十节 手工编程中的数学处理 102

本章小结 106

复习思考题 107

第六章 数控铣床的编程 109

第一节 程序编制的基本概念 109

第二节 编程基础知识 112

第三节 常用 G 功能指令 117

第四节 固定循环功能 138

第五节 数控铣削程序的编制实例 146

第六节 宏程序的编制 162

本章小结 170

复习思考题 170

第七章 数控自动编程 173

第一节 数控自动编程简介 173

第二节 Mastercam 软件简介 175

第三节 Mastercam 软件铣削实例 176

本章小结 212

复习思考题 212

参考文献 214

绪 论

一、先进制造系统概述

20 世纪初,为了解决高产、优质的问题,人们多采用专用的工艺装备、专用自动化机床或专用自动生产线的自动化车间进行大批量产品的生产,在汽车、拖拉机与家用电器的零件制造业中取得很大的成功,成为 20 世纪自动化生产的一种重要模式。随着科学技术的发展,机械产品结构越来越合理,其性能、精度和效率日趋提高,更新换代频繁,生产类型由大批大量生产向多品种小批量生产转化。因此,对机械产品的加工相应的提出了高精度、高柔性、高度自动化的要求。

在机械产品中,单件与小批量产品占到 70% ~ 80%,在传统的生产组织原则指导下,它们只能采用生产效率较低的工艺方法和通用加工设备进行生产。而且通用机床的自动化程度不高,难以提高生产效率和保证产品质量。特别是一些由曲线、曲面轮廓组成的复杂零件,只能借助靠模和仿形机床,或者借助划线和样板用手工操作的方法来加工,加工精度和生产效率都受到很大的限制。而高度机械化的自动生产线虽具有很高的生产率,但缺乏柔性,不允许加工对象的设计发生变化。当产品改变时,机床与工艺装备均需作相应的变换和调整,因而使产品的开发周期增长。不能满足市场对产品的多品种需求。

由于数控机床综合应用了计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等方面的技术成果,具有高柔性、高精度与高自动化的特点。因此,采用数控加工手段,解决了机械制造中常规加工技术难以解决甚至无法解决的单件、小批量,特别是复杂型面零件的加工。目前应用数控加工技术的领域已从当初的航空工业部门逐步扩大到汽车、造船、机床、建筑等民用机械制造业。

而先进制造系统的采用,是生产发展的客观要求。先进制造系统目前主要是指柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)。先进制造系统是在现代机械制造、自动控制和计算机等技术的支持下,为适应多品种自动化生产的需要而迅速发展起来的现代加工方法,具有传统机械加工方法无法比拟的许多突出优点,因而发展很快。先进制造系统的核心是生产加工设备的数控化、柔性化和精密化。

1. 柔性制造系统

按柔性自动化程度及功能范围可把柔性制造系统分为以下三类:

(1) 单机数控加工 这是用一台数控机床或数控铣床加工机械零件的方法,是柔性自动化加工中规模最小的一种。其功能特点是柔性自动化程度只限于切削加工过程,不能实现如工件自动化搬运、交换和存储等其他功能,控制系统也相对较简单,但却是各种柔性自动化加工的基本方法和基础,使用方法较简单,应用也最广泛。

(2) 柔性加工单元 这类系统除了具有柔性自动化加工功能外还可实现工件及其他与加工有关的物料(如刀具、托板、切屑等)在加工过程中的柔性自动输送、搬运和储存。设备除数控机床外还包括了物流系统的设备如运输车、存储库、搬运机器人等。

柔性加工单元(Flexible Machining Cell)是一种在人的参与活动减到最小的情况下,能

连续地对同一零件族内不同的零件进行自动化加工（包括工件在单元内部的运输和交换）的最小加工单元，既可以作为独立使用的加工设备，又可作为更大更复杂的柔性制造系统或柔性自动线的基本组成模块。近年来，这种单元的功能和应用已扩展到非切削加工，如焊接、喷漆等加工领域，因而称为柔性制造单元（Flexible Manufacturing Cell）。显然前者是后者的子集，两者都简称为 FMC。

（3）柔性制造系统 柔性制造系统（Flexible Manufacturing System）是由加工系统（由一组数控机床和其他自动化工艺设备，如清洗机、成品试验机、喷漆机等组成）、物料自动储运系统和信息控制系统三者相结合、由中央计算机管理使之自动运转的制造系统。这种系统可按任意顺序加工一组不同工序和不同加工节拍的工件，工艺流程可随工件不同而调整，能适时地平衡资源的利用。因而这种系统能在设备的技术范围内自动地适应加工工件和生产规模的变化。

2. 计算机集成制造系统

1974 年美国约瑟夫·哈林顿（Joseph Harrington）博士在《Computer Intergrated Manufacturing》一书中首先提出计算机集成制造（CIM）的概念。其两个基本观点：一是企业生产的各个环节（即从市场分析、产品设计、加工制造、经营管理到售后服务的全部生产活动）是一个不可分割的整体，要紧密联系，统一考虑；二是整个生产过程实质上是一个数据的采集、传递和加工处理的过程。最终形成的产品可以看做是数据的物质表现。

CIM（Computer Integrated Manufacturing）是一种企业经营管理的哲理，它强调企业的生产经营是一个整体，必须用系统工程的观点来研究解决生产经营中的问题。CIM 必须与市场需求紧密相连，集成是 CIM 的核心，不仅是设备的集成，更主要的是以信息为特征的技术集成和功能集成。计算机是集成的工具，计算机辅助的各单元技术是集成的基础，信息交换是桥梁，信息共享是目标。计算机集成制造系统 CIMS（见图 0-1）的构成可以分以下几个部分：

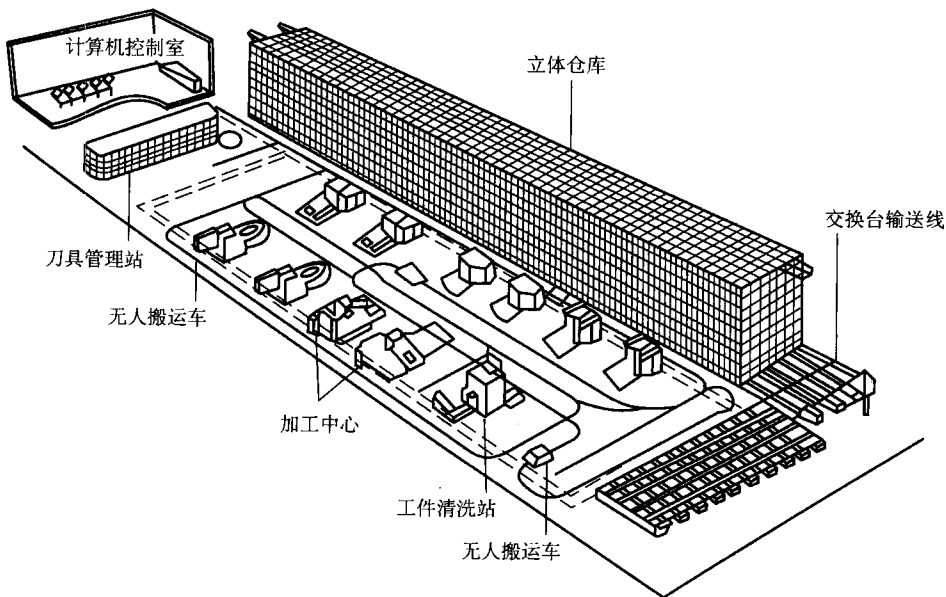


图 0-1 CIMS 车间布局

(1) 设计过程 设计过程主要包括 CAD、CAE、CAPP、CAM 等环节。CAD 包括设计过程中各个环节的数据, 包括管理数据、检测数据及产品设计开发的专家系统及设计中的仿真软件等。CAE 主要是对零件的机械应力、热应力等进行有限元分析及优化设计等。CAPP 是根据 CAD 的数据自动制定合理的加工工艺的过程。CAM 是根据 CAD 模型按 CAPP 要求生成刀具轨迹文件, 并经后置处理转换成 NC 代码。CIMS 中最基本的是 CAD/CAE/CAPP/CAM 集成。

(2) 加工制造过程 加工过程主要包括加工设备(数控机床)、工件搬运工具及自动仓库、检测设备、工具管理单元、装配单元等。

(3) 计算机辅助生产管理 制定年、月、日、周的生产计划、生产能力平衡以及进行财务、仓库等各种管理、经营方向并包括市场预测及制定长期发展战略计划。

(4) 集成方法及技术 系统的集成方法必须有先进理论为指导, 如系统理论、成组技术、集成技术、计算机网络等。

二、数控机床及编程的发展

1. 数控机床的发展

自 1948 年美国帕森兹 (Parsons) 公司在研制加工直升机叶片轮廓样板时提出了数控机床的初始设想, 1949 年与麻省理工学院 (MIT) 合作, 开始了三坐标铣床的数控化工作。1952 年 3 月公开发布了世界上第一台数控机床试制成功, 可作直线插补。经过三年的试用、改进与提高, 数控机床于 1955 年进入实用化阶段。此后, 其他一些国家, 如德国、英国、日本和苏联等国都开始研制数控机床, 其中日本发展最快。当今世界著名的数控系统厂家有日本的 FANUC (法那科) 公司、德国的 SIEMENS (西门子) 公司、美国的 A-B 公司、意大利的 A-BOSZA 公司等。1959 年, 美国 Keaney & Treckre 公司开发成功了具有刀库、刀具交换装置、回转工作台的数控机床, 可以在一次装夹中对工件的多个面进行多工序加工, 如进行钻孔、铰孔、攻螺纹、镗削、平面铣削、轮廓铣削等加工。至此, 数控机床的新一代类型——数控铣床 (Machining Center) 诞生了, 并成为当今数控机床发展的主流。

数控机床的发展先后经历了电子管 (1952 年)、晶体管 (1959 年)、小规模集成电路 (1965 年)、大规模集成电路及小型计算机 (1970 年) 和微处理器或微型计算机 (1974 年) 等五代数控系统。前三代系统采用专用电子线路实现的硬件式数控系统, 一般称为普通数控系统, 简称 NC。第四代和第五代系统是采用微处理器及大规模或超大规模集成电路组成的软件式数控系统, 称为现代数控系统, 简称 CNC (第四代) 和 MNC (第五代)。由于现代数控系统的控制功能大部分由软件技术来实现, 因而使硬件进一步得到了简化, 系统可靠性提高, 功能更加灵活和完善。目前, 现代数控系统几乎完全取代了以往的普通数控系统。

随着数控系统的不断更新换代, 数控机床的品种也得以不断地发展, 产量也不断地提高。目前, 世界数控机床的品种已超过 1500 种, 几乎所有品种的机床都实现了数控化。数控机床的年产量近 15 万台, 产值超过 200 亿美元, 数控机床总拥有量达到 100 万台以上。

我国数控机床的研制始于 1958 年, 由清华大学研制出了最早的样机。1966 年我国诞生了第一台用直线——圆弧插补的晶体管数控机床。1970 年初研制成功集成电路数控系统。1980 年以来, 通过研究和引进技术, 我国数控机床发展很快, 现已掌握了 5~6 轴联动、螺距误差补偿、图形显示和高精度伺服系统等多项关键技术。目前已有几十个单位在从事不同层次的数控机床的生产和开发, 形成了具有小批量生产能力的生产基地。数控机床的品种已

超过 500 种, 其中金属切削机床品种的数控化率达 20%。

2. 自动编程系统的发展

在 20 世纪 50 年代后期, 美国首先研制成功了 APT 系统。由于它具有语言直观易懂、制带快捷、加工精度高等优点, 很快就成为广泛使用的自动编程系统。到了 20 世纪 60 年代和 70 年代, 又先后发展了 APT III 和 APT VI 系统, 主要用于轮廓零件的编程, 也可以用于点位加工和多坐标数控机床程序的编制。APT 语言系统很庞大, 需要大型通用计算机, 不适用于中小用户。为此, 还发展了一些比较灵活、针对性强的可用于小型计算机的自动编程系统, 如用于两坐标轮廓零件编程的 ADAPT 系统等。

在西欧和日本, 也在引进美国技术的基础上发展了各自的自动编程系统, 如德国的 EX-APT 系统、法国的 IFAPT 系统、英国的 2CL 系统以及日本的 FAPT 和 HAPT 系统等。

我国的自动编程系统起步较晚, 但发展很快, 目前主要有用于航空零件加工的 SKC 以及 ZCK、ZBC 系统和用于线切割加工的 SKG 系统等。

3. 自动化生产系统的发展

随着 CNC 技术、信息技术、网络技术以及系统工程学的发展, 为单机数控化向计算机控制的多机制造系统自动化发展创造了必要的条件。在 20 世纪 60 年代末期出现了一台计算机直接管理和控制一群数控机床的计算机群控系统, 即直接数控系统 DNC, 1967 年出现了由多台数控机床连接成的可调加工系统, 这就是最初的柔性制造系统 FMS。20 世纪 80 年代初又出现以 1~3 台数控铣床或车削中心为主体, 再配上工件自动装卸的可交换工作台及监控检验装置的柔性制造单元 FMC。近十多年来 FMC、FMS 发展迅速, 在 1989 年第八届欧洲国际机床展览会上, 展出的 FMS 超过 200 条。目前, 已经出现了包括生产决策、产品设计制造和管理等全过程均由计算机集成制造系统 CIMS 控制, 以实现工厂自动化。自动化生产系统的发展, 使加工技术跨入了一个新的生产里程, 建立了一种全新的生产模式。我国已开始在这方面进行了探索与研究, 并取得可喜的成果, 已有一些 FMS 和 CIMS 成功地用于生产。

三、数控机床的加工特点

1. 高柔性

数控机床的最大特点是高柔性, 即可变性。所谓“柔性”即是灵活、通用、万能, 可以适应加工不同形状工件的自动化机床。在数控机床上加工零件与普通机床不同, 主要取决于加工程序, 不必制造、更换许多工具、夹具, 不需要经常重新调整机床。因此, 数控机床适用于零件频繁更换的场合, 也就是适合单件、小批生产及新产品的开发, 缩短了生产准备周期, 节省了大量工艺装备的费用。

数控机床一般都能完成钻孔、镗孔、铰孔、铣平面、铣斜面、铣槽、铣曲面 (凸轮) 和攻螺纹等加工, 而且一般情况下, 可以在一次装夹中完成所需的加工工序。

如图 0-2 所示齿轮箱, 齿轮箱上一般有两个具有较高位置精度要求的孔, 孔周有安装端盖的螺纹孔, 传统加工方法步骤如下:

- (1) 划线 划底面线 A, 划 $\phi 47JS7$ 、 $\phi 52JS7$ 及 (90 ± 0.03) mm 中心线。
- (2) 刨 (或铣) 刨 (或铣) 底面 A。
- (3) 平磨 (或刮削) 平磨 (或刮削) 底面 A。
- (4) 镗加工 (用镗模) 铣端面, 镗 $\phi 52JS7$ 、 $\phi 47JS7$, 保持中心距 (90 ± 0.03) mm。

(5) 划线（或用钻模） 划 $8 \times M6$ 螺纹孔中心线。

(6) 钻、孔攻螺纹 钻攻 $8 \times M6$ 螺纹孔。

以上工件至少需要 6 道工序才能完成。如果用数控铣床加工，只需把工件的基准面 A 加工好，可在一次装夹中完成铣端面、镗 $\phi 52JS7$ 、 $\phi 47JS7$ 及钻攻 $8 \times M6$ 孔，也就是将工序（4）、（5）和工序（6）合并为 1 道工序加工。

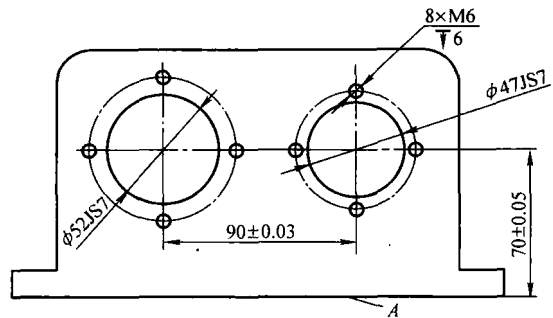


图 0-2 齿轮箱

更重要的是，如果开发新产品或更改设计需要将齿轮箱上 2 个孔改为 3 个孔， $8 \times M6$ 螺纹孔改为 $12 \times M6$ 螺纹孔，采用传统的加工方法必须重新设计制造镗模和钻模，生产周期长。如果采用数控铣床加工，只需将工件程序指令改变一下（一般只需 0.5 ~ 1h），即可根据新的图样进行加工。这就是数控机床高柔性的优点。

2. 高精度

数控机床加工精度，一般可达 $0.005 \sim 0.1\text{mm}$ 之间，数控机床是以数字信号的形式控制的。数控装置每输出一个脉冲信号，则机床移动部件移动一个脉冲当量（一般为 0.001mm ），目前数控装置的脉冲当量（即每发出一个脉冲后滑板的移动量）一般为 0.001mm ，高精度的数控系统可达 0.0001mm 。而且机床进给传动链的反向间隙与丝杠螺距平均误差可由数控装置进行补偿，因此，数控机床定位精度比较高。一般情况下，绝对能保证工件的加工精度。另外，数控加工还可避免工人操作所引起的误差，一批加工零件的尺寸统一性特别好，产品质量能得到保证。

3. 高稳定性

加工同一批零件，在同一机床、相同加工条件下，使用相同的刀具和加工程序，刀具的进给轨迹完全相同，零件的尺寸一致性好，质量稳定。

4. 高效率

数控机床的高效率主要是由数控机床的高柔性带来的。如数控铣床，一般不需要使用专用夹具和工艺装备。在更换工件时，只需调用储存于计算机中的加工程序、装夹工件和调整刀具数据即可，可大大缩短生产周期。更重要的是数控铣床的万能性带来高效率，如一般的数控铣床都具有铣床、镗床和钻床的功能，工序高度集中，提高了劳动生产率并减少了工件的装夹误差。

另外，数控机床的主轴转速和进给量都是无级变速的，因此有利于选择最佳切削用量。数控铣床都有快进、快退、快速定位功能，可大大减少零件的加工时间和辅助时间，数控机床的主轴转速和进给量的可调范围大，允许机床进行大切削量的强力切削。数控机床目前正进入高速加工时代，数控机床移动部件的快速移动、定位及高速切削加工，极大地提高了生产率。另外，配合数控铣床的刀库使用，实现了在一台机床上进行多道工序的连续加工，减少了半成品在工序间周转的时间，提高了生产率。

据统计，采用数控铣床比普通铣床可提高生产率 3 ~ 5 倍。对于复杂的成形面加工，生产率可提高十几倍甚至几十倍。

5. 减轻劳动强度

数控机床对零件加工是按事先编好的程序自动完成的。数控机床在加工前调整好后，输入程序并起动，机床就能自动连续地进行加工，直至加工结束。操作者主要进行程序的输入、编辑、装卸零件、刀具准备、加工状态的观测、零件的检验等工作。除了操作键盘、装卸工件和中间测量及观察机床运行外，不需要进行繁重的重复性手工操作。劳动强度极大降低，机床操作者的劳动趋于智力型工作。另外，数控机床一般是封闭式加工，既清洁又安全。

6. 利于生产管理现代化

数控机床加工时，可预先精确估计加工时间，所使用的刀具、夹具可进行规范化、现代化管理。数控机床使用数字信号与标准代码为控制信息，易于实现加工信息的标准化，目前已与计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）有机地结合起来，是现代集成制造技术的基础。

7. 数控机床与普通设备的比较（见表 0-1）

表 0-1 数控机床与普通设备的比较

数 控 机 床	普 通 设 备
(1) 操作者可在较短的时间内掌握操作和加工技能	(1) 要求操作者有长期的实践经验
(2) 加工精度高、质量稳定，较少依赖于操作者的技能水平	(2) 高质量、高精度的加工要求操作者具有高的技能水平
(3) 编制程序花费较多时间	(3) 加工过程要求具有直觉和技巧
(4) 加工零件复杂程度高，适合多工序加工	(4) 适合加工形状简单、单一工序的产品
(5) 易于实现加工工艺标准化和刀具管理规范化	(5) 操作者以自己的方式完成加工，加工方式多样，很难实现标准化
(6) 适于长时间无人操作和加工自动化	(6) 难以实现自动化加工
(7) 适于计算机辅助生产控制	(7) 不适应计算机生产管理
(8) 生产率高，质量稳定	(8) 生产率低，质量不稳定

四、数控机床技术的发展

1. 高速化

采用高速的 32 位以上的微处理器，使得数控系统的输入、译码、计算、输出等环节都在高速下完成，同时可提高数控系统的分辨率及实现连续小程序段的高速、高精加工。

目前，正在开发采用的 64 位 CPU 的新型数控系统，增强了插补运算功能、快速进给功能，实现了高速加工和多轴控制功能，一般控制轴数为 3 ~ 15 轴，最多 24 轴，同时控制轴数可达 3 ~ 6 轴。

2. 多功能

数控机床具有多种监控、检测及补偿功能，如刀具磨损的检测、系统的精度及热变形的检测等，还具有工具寿命管理、刀具长度偏置、刀具半径补偿、刀尖补偿、螺距补偿等功能。大多数现代数控机床都采用 CRT 显示，可以进行二维图形的轨迹显示，有的还可以实现三维彩色动态图形显示。借助 CRT、利用键盘可以实现程序的输入、编辑、修改和删除等功能。现代数控系统还具有硬件、软件及故障自诊断功能。

3. 智能化

在现代数控系统中，引进了自适应控制技术。自适应控制（Adaptive Control 简称 AC）技术能调节在加工过程中所测得的工作状态特性，且能使切削过程达到并维持最佳状态。在

系统工作中, 大约有 30 余种变量直接或间接影响加工效果, 如工件毛坯余量不匀、材料硬度不一致、刀具磨损、工件变形、机床热变形、化学亲和力的大小、切削液的粘度等因素。这些变量事先难以预知, 编制加工程序时常依据经验数据, 实际加工时很难用最佳参数进行切削。而自适应控制技术则能根据切削条件的变化, 自动调整并保持最佳工作状态, 从而得到高的加工精度、较小的表面粗糙度值, 同时也能提高刀具的使用寿命和设备的生产效率。

现代数控系统智能化的发展, 目前主要体现在以下几方面:

- 1) 工件自动检测、自动定心。
- 2) 刀具折损检测及自动更换备用刀具。
- 3) 刀具寿命及刀具收存情况管理。
- 4) 负载监控。
- 5) 数据管理。
- 6) 维修管理。
- 7) 利用前馈控制实时补偿矢动量的功能。
- 8) 根据加工时的热变形, 对滚珠丝杠等的伸缩进行实时补偿的功能。

4. 高精度化

以数控铣床为例, 其主要精度指标——直线坐标的定位精度和重复定位精度, 都有了明显的提高; 定位精度由 $\pm 5\mu\text{m}/\text{m}$ 提高到 $\pm (0.15 \sim 3)\mu\text{m}/\text{m}$; 重复定位精度由 $\pm 2\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 1\mu\text{m}$ 。为了提高加工精度, 除了在结构总体设计、主轴箱、进给系统中采用低热胀系数材料、通入恒温油等措施外, 在控制系统方面采取的措施有以下几点:

- (1) 采用高精度的脉冲当量 从提高控制精度入手, 来提高定位精度和重复定位精度。
- (2) 采用交流数字伺服系统 伺服系统的质量直接关系到数控系统的加工精度。采用交流数字伺服系统, 可使伺服电动机的位置、速度及电流环路等参数都实现数字化, 因此也就实现了几乎不受负载变化影响的高速响应的伺服系统。
- (3) 前馈控制 所谓前馈控制, 就是在原来的控制系统上加上指令各阶导数的控制。采用它, 能使伺服系统的追踪滞后减少 $1/2$, 改善了加工精度。
- (4) 机床静止摩擦的非线性控制 对于具有较大静止摩擦的数控设备, 过去没有采取有效地控制, 使切削圆弧的圆度不好。而新型数字伺服系统具有补偿机床驱动系统静摩擦的非线性控制功能, 可改善切削圆弧的圆度。

5. 高可靠性

数控系统工作的可靠性一直是人们经常关注的重要性能指标。为了提高数控系统的可靠性, 人们采取了下面的一些措施:

- (1) 提高数控系统的硬件质量 选用高质量的集成电路芯片、印制电路板和其他元器件, 建立并实施从元器件筛选、稳定产品的制造及装配工艺、性能测试等一系列完整的质量保证体系。

最新的数控系统, 如日本 FANUC16 系统采用了三维插装技术, 与平面高密插装技术相比, 进一步提高了印制电路板上电子零件的插装密度, 使控制装置更加小型化, 进而将典型的硬件进行集成化, 做成专用芯片, 为提高系统的可靠性提供了保证。

- (2) 模块化、标准化和通用化 现代的数控系统性能越来越完善, 功能越来越丰富, 促使系统的硬件、软件结构实现了模块化、标准化和通用化。三化的实现, 不仅便于组织开

发、生产和应用，而且也提高了制造和运行的可靠性，并便于用户的维修和保养。

五、《数控加工工艺与编程（铣床分册）》的学习方法

数控加工工艺是一门综合性、实践性、灵活性强的专业技术课程。学习本课程应注意下列几点：

1) 本课程包含面广，内容丰富，综合性强。不仅包含金属切削原理、刀具、夹具和加工工艺等，还涉及毛坯制造、金属材料、热处理、公差配合、零件表面加工方法和加工设备等多方面知识。因此，在学习时，要善于将已学过的《铣工工艺学》、《数控加工基础》知识同本课程的知识结合起来，综合运用。

2) 本课程同生产实际密切相关，其理论源于生产实际，是长期生产实践的总结。因此，学习本课程必须注意同生产实际结合，以便掌握本课程的知识，提高工艺分析和解决问题的能力。

3) 本课程的应用有很大的灵活性。对同一个问题，在工艺上可能有多种方案，必须针对具体问题进行具体分析，在不同现场条件下灵活运用理论知识，优选最佳方案。

第一章 数控铣床的基础知识

教学目标 1. 了解数控铣床的结构特点和分类。

2. 掌握数控铣床的组成和工作原理。

本章重点 1. 数控铣床的分类。

2. 数控铣床的工作原理。

本章难点 数控铣床的工作原理。

第一节 数控铣床的结构特点和分类

数控铣床是世界上最先研制出来的数控机床，是一种功能强大的机床。其加工范围广、工艺复杂、涉及的技术问题多，是数控加工领域中最具代表性的机床之一。加工中心和柔性制造单元等都是在数控铣床的基础上迅速发展起来的。人们在研究和开发新的数控系统和自动编程软件时，也把数控铣削加工作为重点。

与普通铣床相比，数控铣床的加工精度高、精度稳定性好、适应性强、操作劳动强度低，特别适应于板类、盘类、壳具类、模具类等复杂形状的零件或对精度保持性要求较高的中、小批量零件的加工。

一、数控铣床的结构特点

数控铣床的种类规格较多，但其结构特点、基本原理和操作方法基本相似。下面以北京第一机床厂生产的 XKA714B 型数控铣床（见图 1-1 和表 1-1）为例进行说明。

北京第一机床厂的 XKA714B 型数控铣床采用立式主轴、十字形床鞍工作台布局，结构十分紧凑。大件均采用加强筋封闭式框架结构，机床刚度高、抗振性好。主传动采用主轴电动机、同步齿形带传动，可在 100 ~ 6000r/min 范围内实现无级调速，对各类零件加工的适应能力较好，传动噪声低。主轴套筒内设有自动拉紧和松刀装置，能在数秒钟内完成装刀和卸刀动作，效率较高。进给方向 X、Y、Z 三向均由伺服电动机通过联轴器与滚珠丝杠直联，从而使工作台、床鞍及铣头沿 X、Y、Z 轴做直线运动。导轨的材料为铸铁，淬硬后再精磨，配合面贴塑，精度好，寿命长。采用滚珠丝杠传动，高速时进给振动小，低速时无爬行现象。机床的主要结构特点如下：

1. 床身部分

床身是整个机床的基础。床身底面通过调节螺栓和垫铁与地面相连。调整调节螺栓可使机床工作台处于水平。床身上的 Y 向矩形导轨联接床鞍，并使床鞍沿导轨运动。

2. 立柱部分

立柱安装于床身后部，上面设有 Z 向矩形导轨用于联接铣头部件，并使其沿导轨做 Z 向进给运动。立柱内部安放平衡锤，平衡锤用于平衡铣头部件的质量，以减少滚珠丝杠垂直方向的拉力。立柱在铣头上的连接杆、套筒滚子链、链轮等带动而上下运动的。