

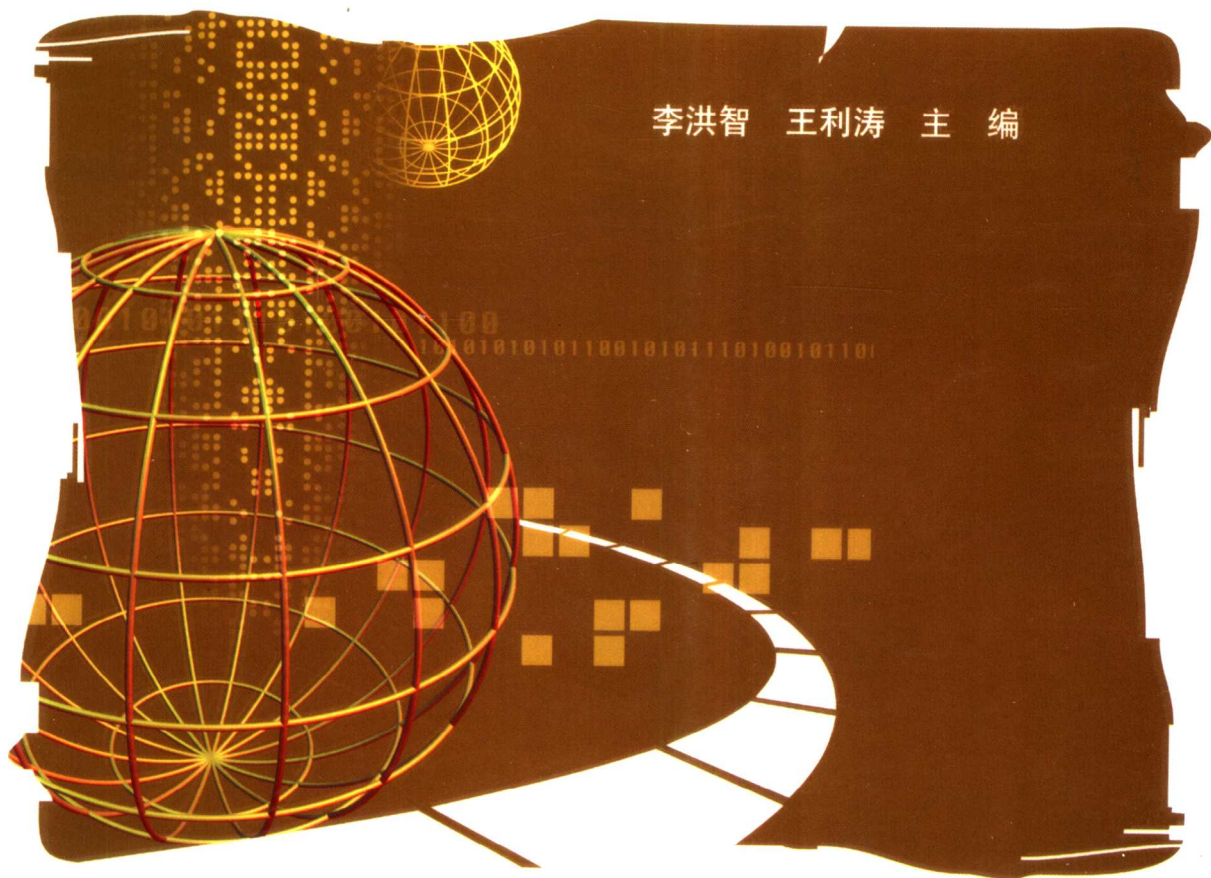


21世纪高校机电类规划教材

数控加工实训教程

An practical training course for
numerical control manufacture

李洪智 王利涛 主 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高校机电类规划教材

数控加工实训教程

副主编 魏国丰 刘立伟
参 编 徐东明
主 审 张铭钧



机械工业出版社

本书是21世纪高校机电类规划教材之一,是一本专门讲解数控加工工艺、编程和操作的实训教材。全书共有九章,三大部分:数控加工的工艺知识;FANUC、SIEMENS数控系统的数控机床编程技术和仿真及实训技术;Master CAM9.0数控自动编程技术。书中介绍了许多实际操作的经验,其中的例题、加工数据和图表都是典型的数控加工实例,并经过实践检验,可用于实际操作教学。

本书可用作高校机械类本科生数控技术工程训练用的教材,也可供高职高专数控技术应用专业学生工程训练使用,还可以供从事数控加工的工程技术人员、操作工人参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工实训教程/李洪智,王利涛主编. —北京:机械工业出版社, 2006. 7

21世纪高校机电类规划教材

ISBN 7-111-19294-X

I. 数... II. ①李... ②王... III. 数控机床—加工—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第060597号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:高文龙 版式设计:冉晓华 责任校对:王欣

封面设计:陈沛 责任印制:洪汉军

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷

2006年7月第1版·第1次印刷

180mm×235mm·16.25印张·349千字

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

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线电话(010)88379711

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高校机电类规划教材

编 审 委 员 会

顾 问：李培根 华中科技大学

主 任：左健民 南京工程学院

副主任：童幸生 江汉大学

徐格宁 太原科技大学

党新安 陕西科技大学

刘全良 浙江海洋学院

张世亮 湛江海洋大学

高文龙 机械工业出版社

郑 堤 宁波大学

陈 明 北华航天工业学院

胡 琳 深圳大学

马 光 温州大学

方庆瑄 安徽工业大学

邓海平 机械工业出版社

委 员：（按姓氏笔画排序）

王卫平 东莞理工学院

仝基斌 安徽工业大学

刘小慧 机械工业出版社

刘镇昌 山东大学

李子琼 厦门理工学院

李洪智 黑龙江工程学院

赵先仲 北华航天工业学院

王 华 长春工程学院

朱志宏 福建工程学院

刘申全 中北大学分校

张 茂 西南石油学院

李建华 中原工学院

陈廉清 宁波工程学院

夏凤芳 上海电机技术高等专科学校

顾晓勤 电子科技大学（中山）

倪少秋 机械工业出版社

序

为了适应我国制造业的迅速发展的需要，培养大批素质高、应用能力与实践能力强应用综合型人才已成为当务之急。这同时对高等教育的办学理念、体制、模式、机制和人才培养等方面提出了全新的要求。

为了打通新形势下高等教育和社会需求之间的瓶颈，中国机械工业教育协会机电类学科教学委员会和机械工业出版社联合成立了“21 世纪高校机电类规划教材”编审委员会，本着“重基本理论、基本概念，淡化过程推导，突出工程应用”的原则，组织教材编写工作，并力求使本套教材突出以下特点：

(1) 科学定位。本套教材主要面向应用的综合型人才的培养，既不同于培养研究型人才的教材，也不同于一般应用型本科的教材；在保持高学术水准的基础上，突出工程应用，强调创新思维。

(2) 品种齐全。这套教材设有“力学”、“制图”、“设计”、“数控”、“控制”、“实训”、“材料”、“双语”等模块，方便学校选用。

(3) 立体化程度高。教材均要求配备 CAI 课件和相关的教辅材料，并在网站上为本套教材开设研讨专栏。

机械工业出版社是我国成立最早、规模最大的科技出版社之一，是国家级优秀出版社，是国家高等教育的教材出版基地之一，在机电类教材出版领域具有很高的地位。相信这套教材在中国机械工业教育协会机电类学科委员会和机械工业出版社的精心组织下，通过全国几十所学校的老师的仔细认真的编写，一定能够为我国高等教育应用综合型人才的培养提供更好用、更实用的教材。

教育部·机械工程及自动化专业分教学指导委员会·主任
中国机械工业教育协会·高等学校机械工程及自动化学科教学委员会·主任
李培根 院士
于华中科技大学

前 言

数控机床自上世纪 50 年代诞生以来,已经历了从电子管、晶体管、集成电路到小型计算机、微型计算机等五代的演变,并随着各种先进技术的迅猛发展而向着基于工业 PC 的第六代迈进。数控机床在现代制造业中的广泛使用使数控技术已成为促进国民经济健康发展不可或缺的因素,同时它也成为一个国家制造能力的象征。

随着高等教育国民化,以及我国现代制造业的迅速崛起,对数控机床应用人才的需求更加迫切,针对这种社会需求的变化,有必要进一步加强数控技术人才的培养,在数控技术理论课讲解的同时,加大实用的操作性知识的讲授,使学生更好地加深对数控技术的理解。本书就是基于上述需求而编写的,可作为数控技术理论课的配套实训教材。

本书是在 2004 年 4 月由中国机械工业教育协会机电类学科委员会和机械工业出版社联合举办的应用型高等工程教育机械类专业年会上提出的“21 世纪高校机电类规划教材”之一。

本书共有 9 章,第 1 章绪论,介绍了机械制造自动化发展、数控机床的主要组成部分以及数控机床的分类等知识。第 2 章介绍了数控加工工艺基础知识,包括数控加工工艺性分析、数控加工工艺路线设计、数控加工工序设计、数控加工技术文件的编写等。第 3 章讲解了 FANUC OiMate-TB 数控车床加工技术与操作实训知识,包括 FANUC OiMate-TB 数控车床指令编程方法与应用、FANUC OiMate-TB 控制系统计算机仿真实训、FANUC OiMate-TB 系统数控车床操作实训等。第 4 章是 SIEMENS 802D 数控车床加工技术与操作实训内容。第 5 章介绍了 FANUC Oi-MA 数控铣床加工技术与操作实训知识,包括 FANUC Oi-MA 控制系统指令编程方法与应用、FANUC Oi-MA 控制系统计算机仿真实训、FANUC Oi-MA 系统数控铣床操作实训等。第 6 章介绍了 SIEMENS 802D 数控铣床加工技术与操作实训知识。第 7 章介绍了加工中心的操作与加工实训内容,第 8 章介绍了数控线切割加工机编程、操作实训。第 9 章介绍了利用 Master CAM9.0 软件工具进行自动编程的技术。书中每个章节都有实例,有利于学生掌握数控加工技术。

本书系统地介绍了数控车削、铣削的工艺知识,手工编程方法和自动编程技术以及数控计算机仿真加工和实际操作技术。尤其具有特点的是本书编入了很多实际例题,读者可以按照例题所给出的工艺路线,工艺参数、装夹方案、刀具类型和规格,输入例题中的程序,就能够加工出相应的零件。这样对学生全面了解和掌握数控车削、铣削加工的工艺理论和操作技能有极大的帮助。所以这本书不仅可以作为普通高等院校本科、高职高专等职业技术学院数控技术工程训练用的学生教材,而且还可以作为从事数控加工的工程技术人员、操作工人的参考书。

本书由黑龙江工程学院李洪智和长春工程学院王利涛主编。其中第1章和第2章由宁波大学徐东明编写；第3章和第5章由黑龙江工程学院魏国丰编写；第4章和第6章由华北航天工业学院刘立伟编写；第7章和第9章由长春工程学院王利涛编写；第8章由黑龙江工程学院李洪智编写。全书由李洪智、王利涛负责统稿和定稿，哈尔滨工程大学张铭钧担任本书主审。

本书编写的过程中参考了大量已经出版或未公开出版的有关资料，在此向这些资料的作者致以衷心的感谢。

由于编者的水平和经验有限，加之时间仓促，书中难免有欠妥和错误之处，恳请读者指正。

编 者
2006年2月

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 机械制造自动化发展	1
第二节 数控机床的主要组成部分和基本工作过程	4
第三节 数控机床的分类	7
第二章 数控加工工艺基础	14
第一节 数控加工工艺性分析	14
第二节 数控加工工艺路线分析	17
第三节 数控加工工序的设计	19
第四节 数控加工技术文件的编写	25
第五节 数控加工工艺设计实例	27
第三章 FANUC Oi Mate-TB 数控车床加工技术与操作实训	40
第一节 数控车削加工概述	40
第二节 数控车床编程中的坐标系	43
第三节 数控车削加工的编程技术	43
第四节 FANUC Oi Mate-TB 控制系统计算机仿真实训	53
第五节 FANUC Oi Mate-TB 实际机床操作	75
第六节 编程实例	77
第四章 SIEMENS 802D 数控车床加工技术与操作实训	84
第一节 SIEMENS 802D 系统数控车床编程方法	84
第二节 SIEMENS 802D 系统数控车床操作实训	91
第三节 SIEMENS 802D 加工实例	107
第五章 FANUC Oi-MA 数控铣床加工技术与操作实训	109
第一节 数控铣削加工概述.....	109
第二节 数控铣削加工工艺简介.....	110
第三节 数控铣削编程中的坐标系.....	111
第四节 FANUC Oi-MA 控制系统指令编程方法与应用	114
第五节 FANUC Oi-MA 控制系统计算机仿真实训	126
第六节 FANUC Oi-MA 数控系统机床操作方法与步骤	131
第七节 编程综合实训.....	133
第六章 SIEMENS 802D 数控铣床加工技术与操作实训	138
第一节 SIEMENS 802D 数控铣床的编程方法	138

第二节	SIEMENS 802D 系统数控铣床操作实训	146
第三节	SIEMENS 802D 加工实例	149
第七章	加工中心的操作与加工实训	151
第一节	加工中心概述	151
第二节	加工中心编程典型实例	155
第三节	加工中心的操作方法	173
第八章	数控线切割加工机编程、操作实训	186
第一节	数控线切割加工概述	186
第二节	电火花线切割加工工艺	190
第三节	数控线切割编程方法	199
第四节	数控线切割加工实例	210
第九章	CAD/CAM 自动编程系统——Master CAM9.0 使用基础	214
第一节	Master CAM9.0 功能说明	214
第二节	CAD 几何造型及其实例	220
第三节	机械加工 CAM 基础	227
第四节	CAM 刀具轨迹生成与后置处理	234
参考文献		247

第一章 绪 论

第一节 机械制造自动化发展

一、数控技术的产生

科学技术和社会生产的不断发展,机械制造技术发生了深刻的变化,机械产品的结构越来越合理,其性能、精度和效率日趋提高,因此对加工机械产品的生产设备提出了三高(高性能、高精度和高自动化)的要求。

在机械产品中,单件和小批量产品占到 70% ~ 80%。由于这类产品的生产批量小、品种多,一般都采用通用机床加工。当产品改型时,加工所用的机床与工艺装备均需作相应的变换和调整,而且通用机床的自动化程度不高,基本上由人工操作,难于提高生产效率和保证产品质量。要实现这类产品生产的自动化成为机械制造业中长期未能解决的难题。

大批大量生产的产品,如汽车、摩托车、家用电器等零件,为了解决高产优质的问题,多采用专用机床、组合机床、专用自动化机床以及专用自动生产线和自动化车间进行生产。但是应用这些专用生产设备,生产周期长,产品改型不易,因而使新产品的开发周期增长,生产设备使用的柔性很差。

现代机械产品的一些关键零部件,如在造船、航天、航空、机床及国防部门的产品零件,往往都精密复杂、加工批量小、改型频繁,显然不能在专用机床或组合机床上加工。而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受到很大的限制。特别对空间的复杂曲线曲面,在普通机床上根本无法实现。

为了解决上述问题,一种新型的数字程序控制机床应运而生,为单件、小批量生产,特别是复杂型面零件提供了自动化加工手段。数控机床的研制始于 20 世纪 40 年代末。1952 年美国 PARSONS 公司与麻省理工学院(MIT)合作研制了第一台三坐标立式数控铣床。该机床的研制成功是机械制造行业中的一次技术革命,使机械制造业的发展进入了一个新的阶段。

二、数控技术的发展

1. 数控技术的发展历史

1952 年至 1959 年:第一代数控系统,采用电子管元件。

20 世纪 60 年代前期:第二代数控系统,采用晶体管元件。

20 世纪 60 年代后期:第三代数控系统,采用集成电路。

20 世纪 70 年代前期：第四代数控系统，采用大规模集成电路和小型通用计算机。

20 世纪 70 年代后期开始：第五代数控系统，采用微处理器和微型计算机。

数控机床经历的 5 个时代可以分为 2 个阶段。第一、二、三代数控系统主要由电路的硬件和连线组成，所以称之为接线逻辑数控系统（Wired Logic NC）或硬数控系统。它的特点是具有很多的硬件电路和连接接点，电路复杂，可靠性不好，这是数控系统发展的第一阶段。第四、五两代数控系统主要是由计算机硬件和软件组成，所以称之为 CNC 系统。它的特点是控制和运算主要由软件来完成，容易扩大功能、柔性好、可靠性高，因此也称为软数控系统。

我国数控技术起步于 1958 年，近 50 年的发展历程大致可分为 3 个阶段：第一阶段从 1958 年到 1979 年，即封闭式发展阶段。在此阶段，由于国外的技术封锁和我国的基础条件的限制，数控技术的发展较为缓慢。第二阶段是在国家的“六五”、“七五”期间以及“八五”的前期，即引进技术，消化吸收，初步建立起国产化体系阶段。在此阶段，由于改革开放和国家的重视，以及研究开发环境和国际环境的改善，我国数控技术的研究、开发以及产品的国产化方面都取得了长足的进步。第三阶段是在国家的“八五”的后期和“九五”期间，即实施产业化的研究，进入市场竞争阶段。在此阶段，我国国产数控装备的产业化取得了实质性进步。在“九五”末期，国产数控机床的国内市场占有率达 50%，配国产数控系统（普及型）也达到了 10%。

2. 数控技术的发展趋势

(1) 高精度化 现代科学技术的发展、新材料和新零件的出现，对精密加工技术不断提出新的要求，提高加工精度，发展新型超精密机床，完善精密加工技术，以适应现代科技的发展，是现代数控机床的发展方向之一。其精度已从微米级到亚微米级，乃至纳米级。比如，随着高精产品如数字录相机、硬盘等的出现，精度要求严格到 $0.1\mu\text{m}$ ，甚至有些已经到了 $0.01\mu\text{m}$ 的数量级，也就是说有的实际上已经进入了纳米级加工领域。提高数控机床的加工精度，一般可通过减少数控系统的误差和采用误差补偿技术来实现。在减少 CNC 系统误差方面，通常采取提高数控系统的分辨率、提高位置检测精度、在位置伺服系统中采用前馈控制与非线性控制等方法。在机床误差补偿方面，采用齿隙补偿、丝杠螺距误差补偿和刀具补偿等技术外，还可对设备进行热变形补偿。

(2) 高速化 提高生产率是机床技术追求的基本目标之一。数控机床高速化可充分发挥现代刀具材料的性能，不但可以大幅提高加工效率、降低加工成本，而且还可以提高零件的表面加工质量和精度，对制造实现高效、优质、低成本生产具有广泛的适应性。要实现数控设备的高速化，首先要求数控系统对由微小程序段构成的加工程序进行高速处理，以计算出伺服电动机的移动量。同时要求伺服电动机能高速的作出反应，采用 32 位或 64 位微处理器，是提高数控系统高速处理能力的有效手段。实现数控设备的高速化的关键是提高切削速度、进给速度和减少辅助时间。高速数控加工源于 20 世纪 90 年代，以电动机主轴（实现高主轴速度）和直线电动机（实现高直线移

动速度)的应用为特征,使主轴转速、进给速度、进给加速度大大提高。现在车削和铣削的切削速度已达到 $5000 \sim 8000 \text{ m/min}$ 以上,主轴转速达 $30000 \sim 100000 \text{ r/min}$,工作台的移动速度,当分辨率为 $1 \mu\text{m}$ 时,在 100 m/min (有的 200 m/min) 以上,当分辨率为 $0.1 \mu\text{m}$ 时,在 24 m/min 以上。自动换刀速度在 1 s 以内,小线段插补进给速度达到 12 m/min 。高速化的发展进程见表 1-1。

表 1-1 中型加工中心的高速化发展进程及预测

高速化指标		20 世纪			21 世纪	
		80 年代	90 年代前期	90 年代后期	21 世纪初	2010 年 (预测)
主传动	最高转速 / ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	4000 ~ 6000	8000 ~ 12000	12000 ~ 18000	18000 ~ 24000	30000 ~ 42000
	静止至最高转速的起动时间 / s	3	2	1.5	1.0 ~ 1.2	≤ 1
控制轴驱动	最高进给速度 / ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	5000 ~ 10000	10000 ~ 20000	20000 ~ 30000	30000 ~ 50 000	40000 ~ 60 000
	快移速度 / ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	12 ~ 24	20 ~ 32	40 ~ 80	60 ~ 120	80 ~ 120
	加 (减) 速度 (g)	0.3	0.5	1.0 ~ 1.2	1.5 ~ 2.0	≥ 3
刀具交换	直接换刀时间 (刀 - 刀) / s	6 ~ 8	4.5 ~ 6.0	4 ~ 5	3 ~ 4	2 ~ 3
	机械手换刀时间 (刀 - 刀) / s	3.5 ~ 5.0	2 ~ 3	1.5 ~ 2.0	0.8 ~ 1.2	0.6 ~ 1.0
托盘自动交换时间 / s		12 ~ 16	10 ~ 12	8 ~ 10	6 ~ 8	4 ~ 6

注: 中型加工中心规格为: 工作台宽度 $400 \sim 630 \text{ mm}$, 主轴锥孔 ISO40 或 HSK63, 材料切除率 $\leq 200 \text{ cm}^3/\text{min}$ (45 钢), 刀具最大质量 $\leq 10 \text{ kg}$ 。

(3) 高柔性化 采用柔性自动化设备和系统,是提高加工精度和效率、缩短生产周期、适应市场变化需求和提高竞争力的有效手段。数控机床在提高单机柔性化的同时,朝着单元柔性化和系统柔性化方向发展。如出现了可编程控制器 (PLC) 控制的可调组合机床、数控多轴加工中心,换刀换箱式加工中心、数控三坐标动力单元等具有柔性的高效加工设备、柔性加工单元 (FMC)、柔性制造系统 (FMS) 以及介于传统自动线和 FMS 之间的柔性制造线 (FTL)。

(4) 高自动化 高自动化是指在全部加工过程中尽量减少人的介入而自动完成所有规定的任务。它包括物料流自动化和信息流的自动化。自 20 世纪 80 年代中期以来,以数控机床为主体的加工自动化已从“点” (数控机床、加工中心和数控复合加工机床)、“线” (FMC、FMS、FTL、FML) 向“面” (车间独立制造岛、FA)、“体” (CIMS、分布式网络制造系统) 的方向发展。

(5) 智能化 数控机床的智能化指的是机床能够完成复杂任务,具有规划与决策能力;能够加工数学模型复杂的对象或难于建模的对象;具有故障自诊断功能;具有加工程序段预处理功能;选择最佳切削参数功能;自适应控制、自学习控制功能等。

(6) 复合化 复合化包含工序复合化和功能复合化。数控机床的发展已模糊了粗精加工工序的概念。加工中心的出现,又把车、铣、镗等工序集中到一台机床来完成,打破了传统的工序界限和分开加工的工艺规程,可最大限度地提高设备利用率。

(7) 网络化 现代化的制造系统对机床的通信有了更高的要求。先进的 CNC 系统为用户提供了强大的联网能力,除有 RS-232C 串行接口、RS-422 等接口外,还带有远程缓冲功能的 DNC 接口,可以实现几台数控机床之间的数据通信和直接对几台数控机床进行控制,有的数控机床已配备与工业局域网 (LAN) 通信的功能以及 MAP (Manufacturing Automation Protocol——制造自动化协议) 接口。

国内外一些著名数控机床和数控系统制造公司都在近两年推出了相关的新概念和样机,如在 EMO2001 展中,日本山崎马扎克 (Mazak) 公司展出的 “Cyber Production Center” (智能生产控制中心,简称 CPC);日本大隈 (Okuma) 机床公司展出 “IT plaza” (信息技术广场,简称 IT 广场);德国西门子 (Siemens) 公司展出的 Open Manufacturing Environment (开放制造环境,简称 OME) 等,反映了数控机床向网络化方向发展的趋势。

三、数控技术的国际标准

方便了数控系统的研制、数控机床的设计、使用和推广,国际标准化组织 (ISO) 指定了一系列工业自动化系统与集成领域的国际标准,内容涉及工业自动化的安全、数控指令、产品数据的表达和交换、通信等各方面。中国也参照相关国际标准制定了相应的国家标准。表 1-2 列举了 ISO 在工业自动化系统与集成领域已发布的部分国际标准。随着数控技术的不断发展,ISO 也在不断的制定适应数控技术发展的新标准。

表 1-2 ISO 在工业自动化系统与集成领域已发布的部分国际标准

序号	国际标准编号	名 称
1	ISO 11161; 1994	工业自动化系统——集成制造系统的安全基本要求
2	ISO 841; 2001	工业自动化系统与集成——机床数字控制——坐标系统和运动命名
3	ISO 2806; 1994	工业自动化系统与集成——机床数字控制——词汇
4	ISO 2972; 1979	机床数字控制——符号
5	ISO 3592; 2000	工业自动化系统与集成——机床数字控制——NC 处理程序输出逻辑结构
6	ISO 4342; 1985	机床数字控制——NC 处理程序输入基本零件源程序参考语言
7	ISO 4343; 2000	工业自动化系统与集成——机床数字控制——NC 处理程序输出——后置处理指令
8	ISO 6983; 1982	机床数字控制——程序格式和地址字定义
9	ISO 10303; 1994	工业自动化系统与集成——产品数据表达和交换 (STEP)
10	ISO 13584; 2001	工业自动化系统与集成——零件库

第二节 数控机床的主要组成部分和基本工作过程

一、数控机床的主要组成部分

现代数控机床一般都是 CNC 机床,其组成如图 1-1 所示。

从图中可以看出,CNC 机床主要由计算机数控装置、可编程逻辑控制器 PLC、主

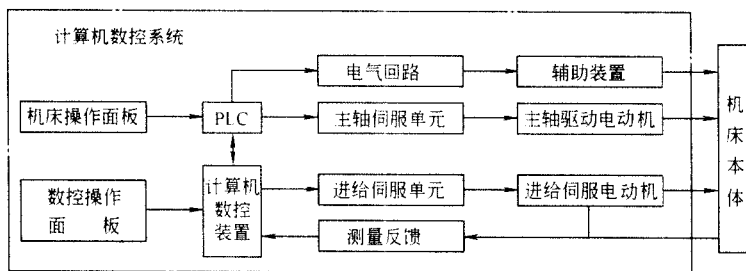


图 1-1 CNC 机床的组成

轴伺服系统、进给伺服系统、数控操作面板、机床操作面板、机床本体等部分组成。

1. 计算机数控装置

计算机数控装置，即 CNC 装置，是 CNC 机床的核心。由微处理器（CPU）、存储器、各种 I/O 接口及外围逻辑电路等构成，其主要作用是对输入的数控程序及有关数据进行存储和处理，通过插补等运算形成运动轨迹指令，控制伺服单元和驱动装置，实现刀具与工件的相对运动。对于离散的开关控制量，将控制指令传输给 PLC，通过 PLC 对机床电器实现逻辑控制。计算机数控装置由硬件和软件组成。

2. 可编程逻辑控制器 PLC

可编程逻辑控制器 PLC 也是一种以微处理器为基础的通用型自动控制装置，也称 PC（Programmable Controller），而在数控机床上也称为 PMC（Programmable Machine Controller），用于完成数控机床的各种逻辑运算和顺序控制，如：机床起停、工件装夹、刀具更换、切削液开关等辅助动作。PLC 还接受机床操作面板的指令，一方面直接控制机床，另一方面将有关指令传输给 CNC 用于完成加工过程的控制。数控机床上使用 PLC 可以分为内装型 PLC 和独立型 PLC。

3. 进给伺服系统

进给伺服系统主要由进给伺服单元和伺服进给电动机组成，对于闭环和半闭环控制的进给伺服系统，还应包括位置检测反馈装置。进给伺服装置接收来自 CNC 装置的运动指令，经变化和放大后，驱动伺服电动机运转，实现刀架或工作台的运动。CNC 装置每发出一个控制脉冲，机床刀架或工作台的移动距离称数控机床的脉冲当量或最小设定单位，脉冲当量或最小设定单位的大小直接影响数控机床的加工精度。

在闭环和半闭环控制的进给伺服系统中，位置检测装置安装在机床工作终端上（闭环控制）或伺服电动机上（半闭环控制），其作用是将机床工作终端或伺服电动机实际位置信号反馈给 CNC 系统，以便与指令位置信号相比较，用其差值控制机床运动，达到消除运动误差，提高定位精度的目的。

4. 主轴伺服系统

数控机床的主轴驱动与进给驱动区别很大，主轴电动机功率输出应为 2.2 ~ 250kW，进给电动机一般为恒转矩调速，而主轴电动机除了要有较大范围的恒转矩调速

外,还要有较大范围的恒功率调速,对于数控车床,为了能加工螺纹和恒切速功能,要求主轴和进给驱动能同步控制,对于加工中心,还要求高精度准停和分度功能。因此中高档数控机床的主轴驱动都采用电动机无级调速或伺服驱动。

5. 数控操作面板

数控操作面板是数控系统的控制面板,各种数控系统的面板是不同的,但大多数是有共性的或相似的。主要由显示器、手动数据输入(Manual Data Input,简称MDI)、键盘组成。显示器常具有多个软功能键,用于选择菜单。按键除各种符号键和数字键外,还常设控制键和用户自定义键等。操作人员可通过键盘和显示器实现系统管理和数控程序及数据的输入和编辑修改。此外数控程序和数据还可以通过磁盘或通信接口输入。

6. 机床操作面板

机床操作面板(Operator Panel)主要用于手动方式下对机床的操作以及自动方式下对机床的干预。其上有各种按钮和选择开关,用于机床和辅助装置的起停、加工方式的选择、速度倍率的选择等;还有数码管及信号的显示等。中小型数控机床的操作面板通常和数控操作面板做成一个整体,但两者之间有明显界限。数控系统的通信接口,如串行接口,常设置在机床操作面板上。

7. 机床本体

数控机床机械结构的设计与制造要适应数控技术的发展,具有刚度大、精度高、抗振性强、热变形小等特点;由于普遍采用伺服电动机无级调速技术,机床进给运动和主轴传动的变速机构被极大的简化甚至取消;广泛采用滚珠丝杠、滚动导轨的高效高精度的传动部件;采用机电一体化的设计和布局,机床布局主要考虑有利于提高生产效率,而不像传统机床那样主要考虑方便操作;此外还采用自动换刀装置、自动上下料机构和数控夹具等。

二、数控机床的工作过程

数控机床和传统的机床的基本操作过程是完全不一样的。在数控机床正式进行加工操作之前,机床操作人员必须首先完成一系列的工作为数控加工做准备。这些工作如图1-2所示,主要包括下列步骤:

- 1) 根据零件加工图样进行工艺分析,确定加工方案、工艺参数和位移数据。
- 2) 选择夹具,并将工件安装在机床上。
- 3) 选择刀具,填写数控加工刀具卡片,如果是在加工中心上加工产品,则应该将刀具事先全部安装到刀库里。
- 4) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单;或用自动编程软件进行CAD/CAM工作,直接生成零件的加工程序文件。
- 5) 程序的输入或传输。由手工编写的程序,可以通过数控机床的操作面板输入程序;由编程软件生成的程序,通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元(MCU)。

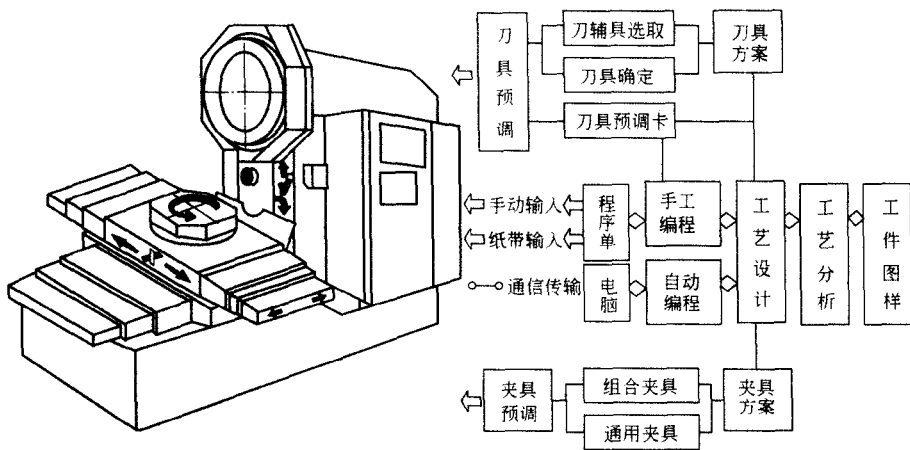


图 1-2 数控机床加工过程框图

6) 机床调整、起动加工。

第三节 数控机床的分类

数控技术已经在机床行业中得到广泛的应用，数控机床基本上已经含盖了所有的机械加工方式，如数控车床、数控铣床、数控磨床、数控钻床、数控加工中心、数控线切割机床、快速成形机床等。按照不同的分类标准可以将数控机床分成不同的类型。本节按照数控机床的不同分类方式，将数控机床分成下述几类。

一、按加工工艺及机床用途分类

随着数控技术的发展，目前国内外大部分普通机床几乎都已开发了相应的数控机床，并且还开发了一些特殊类型的数控机床，其加工用途、功能特点多种多样，五花八门。据不完全统计，目前数控机床的品种规格已达 500 多种，按其基本用途可分为 4 大类。

1. 金属切削类

这一类是数控机床的主要类型，其又可分为两类：

(1) 普通数控机床 普通数控机床是指数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床等，其工艺用途与传统车床、铣床、钻床、磨床等基本相似。

(2) 加工中心 加工中心的主要特点是具有刀库和自动换刀装置，工件一次装夹后可进行多种工序加工，主要有铣、镗加工中心和车削中心两类，前者一般简称加工中心，主要完成铣、镗、钻、攻螺纹等加工，后者以完成各种车削加工为主，还能利用自驱动刀具完成铣平面、键槽及钻横孔等工序。

2. 金属成形类

指使用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床,如数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等。

3. 特种加工类

主要指数控电火花切割机、数控电火花成形机、数控火焰切割机、数控激光加工机等。

4. 测量绘图类

主要有数控三坐标测量机、数控绘图仪、数控对刀仪等。

二、按控制运动轨迹分类

1. 点位控制系统

这类控制系统只要求控制刀具从一点到另外一点的准确位置,而对运动轨迹原则上没有控制要求,几个坐标轴运动没有任何联系。并且刀具在点到点的运动过程中不进行加工操作。这种类型的控制系统一般应用在数控钻床、数控镗床、数控冲床等机床上。这种控制系统较为简单,价格也较低。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床不仅要求精确的定位功能,还要求从一点到另一点按直线运动进行加工操作,也就是说能对单个轴的移动速度进行控制,对不同的刀具和工件,选择不同的进给速度。这类数控机床包括数控车床、数控磨床、数控铣床等。其数控装置控制功能比点位控制系统复杂,不仅要求控制直线运动轨迹,还能控制进给速度及自动循环加工等功能。这些机床可以有两个或三个可控轴,但同时控制轴只有一个。

3. 连续控制系统

连续控制系统也称轮廓控制系统,这类控制系统能同时对两个或两个以上坐标方向的位移进行连续相关控制。使刀具和工件产生数控程序所设定的相对运动,从而加工出符合要求的工件轮廓表面,使用这类控制系统的机床可以加工出复杂的轮廓表面,如圆弧、抛物线及各种函数关系的曲面或曲线。但这类控制系统比较复杂,数控装置中都必须具有插补运算的功能,就是将程序中给定的一些轮廓数据,如直线的起点和终点坐标、圆弧的圆心坐标和半径等,通过数控插补装置进行数学计算,得出每个坐标轴的运行数据,数控装置根据运行数据控制坐标轴协调运动。

连续控制系统按照联动轴数分可以分为二轴联动、二轴半联动、三轴联动、多轴联动等数控机床。几轴联动就是机床能按工件轮廓的函数关系同时控制几个坐标轴联合协调运动。

(1) 二轴联动 主要用于数控车床加工曲线旋转面、数控铣床中的二维加工,如图 1-3a。

(2) 二轴半联动 主要是三轴控制机床,其中二轴互为联动,而另外一轴作间隙单轴进给,如在数控铣床或加工中心中用球头铣刀或牛鼻铣刀采用平行法加工三维空间曲面。图 1-3b 所示为数控铣床上用球头铣刀对三维空间曲面用行切法进行加工,其中铣刀在 XZ 平面上是进行插补铣削曲线,每加工完一段后移动 ΔY ,Y 轴是调整坐