

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

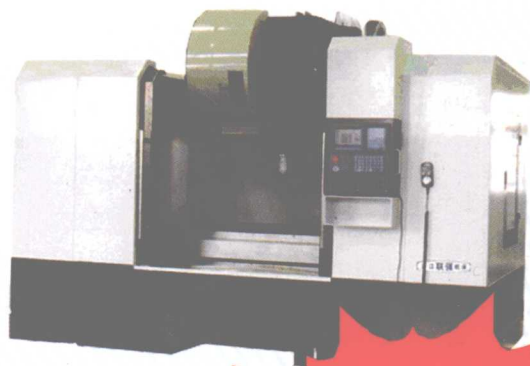
数控技术基础

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

焦红卫 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



中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

数 控 技 术 基 础

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 组编
焦红卫 主编



机械工业出版社

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。本教材的主要内容包括:数控技术概述、数控机床简介、数控机床的典型机械结构、计算机数字控制系统、数控机床的伺服驱动系统、数控机床的检测装置、数控机床的编程基础、数控刀具和数控机床的管理与维护。

本教材可供中等职业技术学校、技工学校、职业高中师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术基础/焦红卫主编. —北京:机械工业出版社, 2010.7
中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材
ISBN 978-7-111-31032-7

I. ①数... II. ①焦... III. ①数控机床—专业学校—教材
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 115075 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 邓振飞 责任编辑:赵磊磊

版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:马精明 责任印制:杨 曦

北京双青印刷厂印刷

2010 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14.5 印张·357 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-31032-7

定价:27.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

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

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

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。“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”。教材各单元中均有学习目标,本章小结、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

数控机床自1952年诞生以来,在短短的五十多年间得到了迅猛的发展。大力发展以数控技术为核心的先进制造技术已成为各发达国家加速经济发展、提高综合国力的重要途径。我国自改革开放以来,经济快速发展,数控机床的应用越来越普遍,数量也越来越多。

目前,数控技术已经广泛应用于工业控制的各个领域,尤其是机械制造业中。传统的普通机床正逐渐被高效率、高精度、高自动化的新兴数控机床所取代。随着世界制造业加工中心地位在我国形成,企业不断升级改造,在大量采购数控设备的同时,更需要相当数量的数控机床编程、操作与维护方面的专业技术人才。加速培养掌握数控技术的应用型人才已成为当务之急。

为满足新形势下企业对高新技术应用型人才在数控加工领域的要求,结合多年的教学经验,查阅了大量国内外资料,最终编写了这本教材。在编写中我们适当降低了数控理论的深度和难度,增加了岗位能力需要的新知识、新技术,注重实践性教学和知识的综合应用,力求使这本教材内容新颖、实例丰富、系统性强、具有较高的实用价值。

全书共分九章,由焦红卫主编并统稿,纪琳参加编写。武汉技师学院李京平、张玉梅、高海宝、汪建州及武汉软件工程职业学院夏伯雄等对本书的编写工作给予了大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

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 王泸均 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

《数控技术基础》编审人员

主 编 焦红卫

参 编 纪 琳

目 录

序

前言

第一章 数控技术概述..... 1

第一节 数控技术的发展概况..... 1

一、数控技术的起源与发展..... 1

二、发展数控技术的重要性..... 2

三、数控技术的发展趋势..... 3

第二节 数控技术的组成..... 5

一、基本概念..... 5

二、数控技术的组成要素..... 6

第三节 数控系统的技术性能指标..... 6

一、数控系统的特点..... 6

二、主要技术指标..... 7

本章小结..... 10

复习思考题..... 10

第二章 数控机床简介..... 11

第一节 数控机床的特点和适用范围..... 11

一、数控机床的特点..... 11

二、数控机床的适用范围..... 12

第二节 数控机床的组成..... 13

一、输入/输出设备..... 13

二、CNC 装置..... 14

三、伺服单元..... 14

四、驱动装置..... 14

五、可编程序控制器..... 15

六、机床本体..... 15

七、测量装置..... 16

第三节 数控机床的工作原理..... 16

一、数控机床的加工过程..... 16

二、数控机床的工作原理..... 16

第四节 数控机床的分类..... 19

一、按工艺用途分类..... 19

二、按控制运动的方式分类..... 19

三、按伺服系统的控制方式分类..... 21

四、按功能水平分类..... 22

第五节 典型数控机床..... 22

一、数控车床..... 22

二、数控铣床..... 24

三、加工中心..... 25

四、数控磨床..... 28

五、数控电火花成形机床..... 30

六、数控电火花线切割加工机床..... 32

本章小结..... 33

复习思考题..... 33

第三章 数控机床的典型机械结构..... 35

第一节 数控机床的结构要求..... 35

一、数控机床的机械结构特点..... 35

二、数控机床的机械结构要求..... 35

三、完善数控机床机械结构的措施..... 35

第二节 数控机床的主传动系统..... 38

一、数控机床主传动的特点..... 38

二、数控机床主传动系统的参数..... 38

三、主传动系统的设计要求..... 39

四、主传动系统的配置..... 39

五、主轴的支承与润滑..... 41

六、主轴的准停装置..... 41

第三节 数控机床的进给传动系统..... 42

一、对进给传动系统的要求..... 42

二、电动机与丝杠间的连接..... 42

三、滚珠丝杠螺母副..... 43

四、进给系统齿轮间隙的消除..... 45

五、回转工作台..... 46

第四节 数控机床的导轨..... 47

一、对导轨的基本要求..... 47

二、滚动导轨..... 48

三、滑动导轨..... 49

四、静压导轨..... 49

第五节 数控机床的自动换刀装置..... 50

一、自动换刀装置的要求..... 50

二、刀库形式..... 51

三、刀具交换装置..... 51

本章小结..... 53

复习思考题..... 53

第四章 计算机数字控制系统..... 55

第一节 计算机数字控制系统的硬件

结构..... 55

一、计算机数字控制系统硬件结构的分类	55	一、直线电动机驱动进给伺服系统	105
二、单微处理器结构	56	二、脉冲比较进给伺服系统	107
三、多微处理器结构	58	三、全数字进给伺服系统	108
四、华中数控系统硬件结构简介	60	四、力矩电动机驱动进给伺服系统	108
第二节 计算机数字控制系统的软件结构	61	五、开环进给伺服系统	111
一、CNC 系统软、硬件界面关系	61	六、鉴相式伺服系统	111
二、CNC 系统的软件结构特点	61	七、鉴幅式伺服系统	113
三、华中数控系统的软件结构简介	66	本章小结	114
第三节 计算机数字控制系统的通信接口	68	复习思考题	115
一、输入/输出接口	68	第六章 数控机床的检测装置	116
二、异步串行通信接口	70	第一节 常用检测装置分类	116
三、网络通信接口	70	一、数控机床对位置检测装置的要求	116
四、华中数控系统的接口	72	二、常用检测装置分类	116
第四节 可编程序控制器	72	第二节 数控机床的检测装置简介	117
一、PLC 基本组成	72	一、旋转变压器	117
二、PLC 的工作原理	76	二、感应同步器	119
三、PLC 在数控机床中的应用	82	三、脉冲编码器	120
第五节 典型数控系统简介	84	四、磁栅	121
一、FANUC 公司的数控系统	84	五、光栅	121
二、西门子公司的数控系统	86	本章小结	122
三、华中数控公司的数控系统	87	复习思考题	122
第六节 数控系统的数据传输	89	第七章 数控机床的编程基础	123
一、计算机的设定步骤	90	第一节 数控编程概述	123
二、电缆的连接	93	一、数控编程的内容和步骤	123
三、数控系统的参数设定	93	二、数控编程的方法	124
本章小结	94	三、常用 CAD/CAM 软件简介	125
复习思考题	94	第二节 数控程序的结构与格式	127
第五章 数控机床的伺服驱动系统	96	一、程序代码	127
第一节 伺服驱动系统的分类	96	二、程序的结构	127
一、按驱动系统的用途和功能分类	96	三、程序段格式	128
二、按其控制原理和有无位置检测反馈环节分类	96	第三节 数控机床的坐标系统	132
三、按驱动执行元件的动作原理分类	97	一、机床坐标系	132
第二节 伺服系统性能及参数	98	二、工件坐标系	135
一、伺服系统的性能指标	98	第四节 数控编程的常用代码	137
二、伺服系统的参数调整	99	一、FANUC 系统与华中数控系统的 G 代码比较	138
第三节 数控进给系统伺服驱动装置	103	二、绝对编程与增量编程	139
一、数控机床对进给伺服装置的要求	103	三、平面选择	139
二、进给伺服驱动电动机的发展	104	四、插补功能	140
三、驱动装置的发展	104	五、进给功能	142
第四节 典型进给伺服系统	105	六、参考点	143
		七、坐标系	144
		八、辅助功能	145
		九、刀具补偿功能	146

十、子程序调用	149	第二节 数控刀具的材料	197
第五节 数控编程中的工艺处理	153	一、刀具材料应具备的性能	197
一、数控加工工艺的概念	153	二、刀具材料的分类	197
二、数控加工工艺分析	154	第三节 数控刀具的选择	202
三、加工余量的选择	156	一、数控刀具的国家标准	202
四、加工路线的确定	159	二、可转位刀片与刀片代码	203
五、工件的定位与安装	163	三、可转位刀片的夹紧	203
六、刀具的选择	166	四、数控车削刀具（可转位刀片）的 选择	204
七、切削用量的确定	167	五、数控铣削刀具的选择	205
八、数控加工工艺文件的编制	172	本章小结	208
第六节 数控编程中的数学处理	175	复习思考题	209
一、基点坐标的计算	175	第九章 数控机床的管理与维护	210
二、节点坐标的计算	176	第一节 数控机床的管理	210
三、数控加工误差的组成	176	一、数控机床的合理选择	210
第七节 典型零件的数控编程与加工	177	二、数控机床的正确使用	210
一、典型车削加工零件编程实例	177	三、数控机床的安装、调试与验收	211
二、数控铣削加工编程实例	181	四、数控机床的管理	215
本章小结	184	第二节 数控机床的维护	216
复习思考题	185	一、数控机床的日常保养	216
第八章 数控刀具	188	二、数控机床的维护	217
第一节 数控刀具的种类及特点	188	三、数控机床的故障分类	218
一、数控机床对刀具的要求	188	四、数控机床的故障维修	220
二、数控刀具的分类	189	本章小结	222
三、数控刀具简介	189	复习思考题	222
四、数控刀具的特点和性能要求	194	参考文献	223
五、数控刀具的失效形式	196		

第一章 数控技术概述

教学目标 了解数控技术的发展动态、数控技术的基本组成、数控系统的主要技术性能指标，掌握数控技术的基本概念。

教学重点 数控技术的组成和基本概念。

教学难点 数控系统的主要技术性能指标。

第一节 数控技术的发展概况

一、数控技术的起源与发展

数控技术是在数学和电子科学基础上发展起来的一门新兴技术，既有很强的理论性，又有很强的实践性。数控的产生离不开数据载体和二进制形式的数据运算。从 20 世纪初期穿孔的金属薄片式数据载体问世，到 20 世纪末期以纸为数据载体并具有辅助功能的控制系统的发明，为数控的发展提供了便捷合理的数据存储方法。香农于 1938 年在美国麻省理工学院进行了数据快速运算和传输，为数控的发展提供了高效可靠的数据处理手段，奠定了计算机数控系统的基础。

数控技术及其装备历经了半个多世纪的发展历程，其间可分为两个阶段和六代：

第一阶段是硬件数控，历经电子管时代（1952 年）、晶体管时代（1959 年）、中小规模集成电路时代（1965 年）。

第二阶段是软件数控，历经小型计算机时代（1970 年）、微处理器时代（1974 年）、基于 PC 机时代（1990 年）。

自 1946 年第一台电子计算机在美国诞生以来，随着微电子技术、自动信息处理、数据处理以及电子计算机的发展，不断推动着机械制造设备朝自动化的方向发展。采用数控技术进行机械加工的构想，最早于 20 世纪 40 年代初提出。当时美国的一个小型飞机工业承包商帕森公司（Parsons Co.）在制造飞机机翼轮廓样板时，利用全数字电子计算机对轮廓路径进行数据处理，并考虑了刀具直径对加工路径的影响，提高了加工精度。1949 年，帕森公司接受美国空军委托，与麻省理工学院伺服机构研究所共同从事数控机床的研制工作，并于 1952 年研制成功世界第一台数控铣床。这便是第一代数控，也称为电子管时代。

1953 年，美国空军与麻省理工学院合作，开始从事计算机自动编程的研究，这就是创建自动编程系统（APT）的开始。

1958 年，美国克耐·杜列克公司在世界上首先成功研制了带自动换刀装置的数控机床，称为“加工中心”。

1959 年，由于晶体管的发明，数控装置中广泛采用晶体管元器件和印制电路板技术，提高了系统的可靠性，降低了生产成本，从而跨入第二代数控时代，也称为晶体管时代。同时，美国航空工业协会（AIA）和麻省理工学院发展了 APT 程序语言。

1960 年以后，数控技术不仅在机床上得到了实际应用，而且逐步推广到冲压机、绕线

机、焊接机、火焰切割机、包装机和坐标测量机等。在程序编制方面，由手工编程逐步发展到采用计算机自动编程，除了 APT 数控语言外，又发展了许多自动编程语言。

从 1960 年开始，德国、日本等先进工业国家都陆续开发、生产及使用了数控机床。1965 年，出现了小规模集成电路。由于它体积小、功耗低，使数控系统的可靠性得以进一步提高，数控系统发展到第三代，也称中小规模集成电路时代。

以上三代，都是采用专用控制计算机的硬逻辑数控系统，也称硬件数控。装有这类数控系统的机床为普通数控机床（简称 NC 机床）。

1967 年，英国首先把几台数控机床连接成具有柔性的加工系统，这就是最初的柔性制造系统（FMS）。之后，美国、欧洲一些国家、日本也相继进行开发与应用。

随着计算机技术的发展，小型计算机的价格急剧下降，因此小型计算机开始取代专用数控计算机，其数控的许多功能由软件程序实现，这样组成的数控系统称为计算机数控系统（CNC）。1970 年，在美国芝加哥国际机床展览会上，首次展出了这种系统，称为第四代数控。而由计算机直接对许多机床进行控制的控制系统，称为直接数控（DNC）。

1974 年，美国、日本等国首先研制出以微处理器为核心的数控系统。随后，带有微处理器数控系统的数控机床得到了飞速发展和广泛应用，这就是第五代数控（MNC）。

20 世纪 80 年代初，国际上又出现了柔性制造单元（FMC）。FMC 和 FMS 被认为是实现计算机集成制造系统（CIMS）的基础和必经阶段。

20 世纪 90 年代初，基于个人的 PC 机（PC-BASED）由于元器件集成度高、性能好、可靠性高，在数控装置中大量使用，这就是第六代数控。其特点是：基于 PC 平台、技术进步快、升级换代容易；提供了开放式基础，使数控功能扩展到很宽的领域，如 CAD（计算机辅助设计）/CAM（计算机辅助制造）/CAPP（计算机辅助工艺设计）等；给数控系统生产厂家提供了优良的开发环境，简化了硬件结构。

第四、五、六代数控，也称为软件数控。装有这类数控系统的机床为计算机数控机床（简称 CNC 机床）。

新型 CNC 机床普遍采用软件来实现数控系统的绝大部分功能，要增加或更新系统功能时，只需要更换控制软件即可，因而 CNC 机床与 NC 机床相比具有更好的通用性和灵活性。

目前，由于柔性制造系统的迅速发展和计算机集成制造系统的不断完善，对数控技术的要求越来越高，CNC 机床在全世界也都得到了蓬勃发展。

二、发展数控技术的重要性

现代数控技术集机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感器检测技术、信息处理技术、网络通信技术、液压气动技术、光机电技术于一体，是现代制造技术的基础。它的发展和运用，开创了制造业的新时代，使世界制造业的格局发生了翻天覆地的变化。数控技术的重要性在于：

1) 数控技术是提高产品质量和提高劳动生产率的重要手段，对国民经济的发展起着重要的促进作用。

2) 数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础，现代的 CAD/CAM、FMS、CIMS 等，都是建立在数控技术基础之上的。

3) 数控技术是国际商业贸易的重要构成部分，发达国家视数控机床为具有高技术附加值、高利润的重要出口产品，世界贸易额也因此逐年增加。

4) 数控技术在制造业广泛使用所产生的辐射作用和波及效应对机械制造业的产业结构、产品结构、专业化分工方式、机械加工方式及管理模式、社会的生产分工、企业的运行机制等都带来了深刻的变化,其关联效益难以估计。

因此,数控技术是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要的基础性产业,它的水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志。实现加工机床及生产过程数控化,是当今制造业的发展方向。未来机械制造技术的竞争,已成为数控技术的竞争。有鉴于此,发达国家把提高数控技术水平作为提高制造业水平的重要前提,竞相发展本国的数控产业。日本、美国、德国、西班牙、印度等国,都采用了一些扶植本国数控产业发展的政策措施。中国政府也积极采取各种有效措施大力发展中国的数控产业,把发展数控技术作为振兴机械工业的重中之重。

三、数控技术的发展趋势

数控技术的应用不但使传统制造业发生了革命性的变化,使制造业有了工业化的特征,而且随着数控技术的不断发展和应用领域的不断扩大,它对国计民生的一些重要行业(IT、汽车、轻工、医疗等)的发展也起着越来越重要的作用,因为这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。目前,世界上数控技术及其装备发展的趋势主要体现在以下几个方面。

1. 高速、高效、高精度、高可靠性

效率、质量是先进制造技术的主体。高速、高精度加工技术可极大地提高效率,提高产品的质量和档次,缩短生产周期和提高市场竞争能力,而可靠性则是上述目标的基本保证。为此,国际生产工程学会(CIRP)将其确定为21世纪的中心研究方向之一。

机床向高速化方向发展,可充分发挥现代刀具材料的性能,不但可大幅度提高加工效率、降低加工成本,而且还可提高零件的表面加工质量和精度。超高速加工技术对制造业实现高效、优质、低成本生产有着广泛的适用性。

新一代数控机床(含加工中心)只有通过高速化大幅度缩短切削工时才可能进一步提高其生产率。超高速加工(特别是超高速铣削加工)与新一代高速数控机床(特别是高速加工中心)的开发应用紧密相关。20世纪90年代以来,美国、日本及欧洲各国争相开发应用新一代高速数控机床,加快机床高速化发展步伐。高速主轴单元(电主轴,转速为15000~100000r/min)、高速且高加/减速度的进给运动部件(快移速度为60~120m/min,切削进给速度高达60m/min)、高性能数控和伺服系统以及数控工具系统都出现了新的突破,达到了新的技术水平。随着超高速切削机理、超硬耐磨长寿命刀具材料和磨料磨具、大功率高速电主轴、高加/减速度直线电动机驱动进给部件以及高性能控制系统(含监控系统)和防护装置等一系列技术领域关键问题的解决,开发应用新一代高速数控机床具有非常广阔的前景。

从精密加工发展到超精密加工(特高精度加工),是各工业强国致力发展的方向。其精度从微米级到亚微米级,乃至纳米级($<10\text{nm}$),其应用范围日趋广泛。超精密加工主要包括超精密切削(车、铣)、超精密磨削、超精密研磨抛光以及超精密特种加工(三束加工及微细电火花加工、微细电解加工和各种复合加工等)。随着现代科学技术的发展,对超精密加工技术不断提出新的要求。新材料及新零件的出现,更高精度要求的提出等都需要超精密加工工艺,发展新型超精密加工机床,完善现代超精密加工技术,以适应现代科技的

发展。

目前,机械加工中的普通加工精度提高了一倍,达到 $5\mu\text{m}$ 。精密加工精度提高了两个数量级,超精密加工精度进入纳米级 ($0.001\mu\text{m}$),主轴回转精度要求达到 $0.01 \sim 0.05\mu\text{m}$ 、加工圆度为 $0.1\mu\text{m}$ 、加工表面粗糙度为 $R_a 0.003\mu\text{m}$ 等。

精密化是为了适应高新技术发展的需要,也是为了提高普通机电产品的性能、质量和可靠性,减少其装配时的工作量,从而提高装配效率的需要。随着高新技术的发展和对机电产品性能与质量要求的提高,机床用户对机床加工精度的要求也越来越高。

高可靠性是指数控系统的可靠性要高于被控设备的可靠性且在一个数量级以上,但也不是可靠性越高越好,仍然是适度可靠。对于每天工作两班的无人工厂而言,如果要求在 16h 内连续正常工作,无故障率 $P(t) = 99\%$ 以上,则数控机床的平均无故障运行时间 (MTBF) 就必须大于 3000h。当前国外数控装置的 MTBF 值已达 6000h 以上,驱动装置达 30000h 以上。

2. 智能化、开放式、网络化

21 世纪的数控装备将是具有一定智能化的系统,包括在数控系统中的智能化内容有几个方面:追求加工效率和加工质量方面的智能化,如自适应控制,工艺参数自动生成;提高驱动性能及使用连接方面的智能化,如前馈控制、电动机参数的自适应运算、自动识别负载、自动选定模型、自整定等;简化编程、简化操作方面的智能化,如智能化的自动编程、智能化的人机界面等;还有智能诊断、智能监控方面的内容,更加方便系统的诊断和维修等。

所谓开放式数控系统就是数控系统的开发可以在统一的运行平台上,面向机床厂家和最终用户,通过改变、增加或剪裁结构对象(数控功能)形成系列化。开放式数控系统可方便地将用户的特殊应用和技术诀窍集成到控制系统中,快速实现不同品种、不同档次的产品开发,形成个性鲜明的品牌产品。为解决传统的数控系统封闭性和数控应用软件的产业化生产存在的问题,许多国家对开放式数控系统进行了研究,例如美国的 NGC、欧共体的 OS-ACA、日本的 OSEC,中国的 ONC 等。数控系统开放化已经成为数控系统的未来之路。目前开放式数控系统的体系结构规范、通信规范、配置规范、运行平台、数控系统功能库以及数控系统功能软件开发工具等都是当前研究的核心。

网络化数控装备是近年来的一个新亮点。数控装备的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的需求,也是实现新的制造模式(如敏捷制造、虚拟企业、全球制造)的基础单元。

3. 重视新技术规范、标准的建立

(1) 数控系统设计开发规范 如前所述,开放式数控系统有更好的通用性、柔性、适应性和扩展性。美国、欧共体和日本等国纷纷实施战略发展计划,并进行开放式体系结构的数控系统规范的研究和制定,世界 3 个最大的经济体在短期内进行了几乎相同的科学计划和规范的制定,预示了数控技术一个新的变革时期的来临。我国于 2000 年开始进行 ONC 数控系统规范框架的研究和制定。

(2) 数控标准 数控标准是制造业信息化发展的一种趋势。数控技术诞生后的 50 年间的信息交换都是基于 ISO 6983 标准,即采用 G、M 代码来描述如何加工,其本质特征是面向加工过程,显然,它已越来越不能满足现代数控技术高速发展的需要。为此,国际上正在

研究和制定一种新的 CNC 标准, 即 ISO 14649 (STEP-NC), 其目的是提供一种不依赖于具体系统的中性机制, 能够描述产品整个生命周期内统一的数据模型, 从而实现整个制造过程乃至各个工业领域产品信息标准化。

STEP-NC 的出现可能是数控技术领域的一次革命, 对于数控技术的发展乃至整个制造业将产生深远的影响。首先, STEP-NC 提出了一种崭新的制造理念, 传统的制造理念中, NC 加工程序都集中在单个计算机上。而在新标准下, NC 程序可以分散在互联网上, 这正是数控技术开放化、网络化发展的方向。其次, STEP-NC 数控系统还可大大减少加工图样 (约 75%)、加工程序编制时间 (约 35%) 和加工时间 (约 50%)。

目前, 欧美国家非常重视 STEP-NC 的研究, 欧洲发起了 STEP-NC 的 IMS 计划 (1999. 1. 1 ~ 2001. 12. 31)。参加这项计划的有来自欧洲和日本的 20 个 CAD/CAM/CAPP/CNC 用户、厂商和学术机构。美国的 STEP TOOLS 公司是制造业数据交换软件的开发者, 它已经开发了用于数控机床加工信息交换的超级模型 (Super Model), 其目标是用统一的规范描述所有的加工过程。目前, 这种新的数据交换格式已经在配备了 SIEMENS、FIDIA 以及欧洲 OSACA-NC 数控系统的原型样机上进行了验证。

第二节 数控技术的组成

一、基本概念

数字控制 (Numerical Control, NC) 是一种自动控制技术, 国家标准 (GB/T 8129—1997) 定义为“用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法”, 简称数控。它所控制的通常是位置、角度、速度等机械量和与机械能量流向有关的开关量。数控技术也叫计算机数控技术, 采用计算机实现数字程序的控制。这种技术是用计算机按事先存储的控制程序来执行对设备的控制。由于采用计算机代替原先用硬件逻辑电路组成的数控装置, 输入数据的存储、处理、运算、逻辑判断等各种控制机能的实现, 均可通过计算机软件来完成。

数控机床是采用了数控技术的机床, 或者说是装备了数控系统的机床。国际信息处理联盟 (International Federation of Information Processing, 简称 IFIP) 第五技术委员会, 对数控机床作了如下定义: 数控机床是一种装了程序控制系统的机床, 该系统能逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。

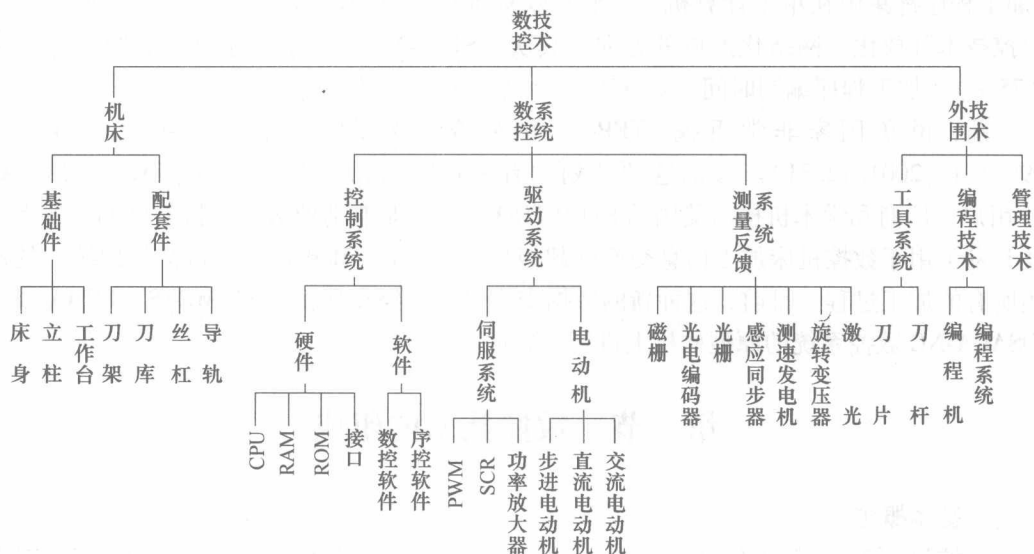
数控机床是一种用电子计算机或专用电子计算装置控制的高效自动化机床, 它综合应用了自动控制、计算机技术、精密测量和机床结构等方面的最新成果。由于它的出现, 机床自动化进入了一个新的阶段。

数控装备是以数控技术为代表的新技术对传统制造业和新兴制造业的渗透形成的机电一体化产品, 即所谓的数字化装备。

数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业 (如信息技术及其产业、生物技术及其产业、航空、航天等国防工业产业) 的使能技术和基本的装备, 在提高生产率、降低成本、保证加工质量及改善工人劳动强度等方面都有突出的贡献。特别是在适应机械产品的更新换代频率、小批量、多品种生产方面, 各类数控装备是实现先进制造技术的关键。

二、数控技术的组成要素

数控技术是现代化工业生产中的一门新兴的、发展十分迅速的高新技术，其技术范围所覆盖的领域有：机械制造技术、微电子技术、信息处理技术、加工或传输技术、自动控制技术、伺服驱动技术、检测监控技术、传感器技术、软件技术等。数控技术可由三大部分组成，即机床、数控系统和外围技术，其组成见图 1-1。



第三节 数控系统的技术性能指标

一、数控系统的特点

数控系统（CNC）大致有如下一些特点：

1. 用存储的软件实现控制

一般的计算机是用存储的软件进行操作的，CNC 也是用存储的软件进行操作以代替普通 NC 的硬件控制。早期的 CNC 使用磁心存储器，后来用半导体存储器（RAM），它们都有可能丢失信息，所以 CNC 往往配有系统软件程序带，软件丢失后可重新读入。现代 CNC 都把系统软件存储在半导体只读存储器（ROM），或可擦除的只读存储器（EPROM）中，也有把硬盘作为存储器使用的。使用这样的器件，软件的内容存入后可长期保持不变，提高了 CNC 的稳定性。

2. 有存储零件程序和修改零件程序的能力

一般 CNC 在存储器中划出一部分可读可写存储器用以存储零件程序，有的 CNC 甚至有专门的区域存储用户编的子程序。CNC 都有编辑功能，程序员可以利用 CNC 的显示装置和软件编辑功能来修改零件程序。CNC 控制机床工作时，都是从自己的存储器中读出零件程序进行处理、执行，这叫做存储器工作方式，它可以避免纸带阅读机的输入故障。

现代 CNC 都有手动数据输入 (MDI) 功能, 用来输入零件程序, 而且普遍设置了串行数据传输接口, 以便接收外来的零件程序或送出 CNC 内部的零件程序。

3. 有故障诊断的功能

CNC 有诊断程序, 当 CNC 出现故障时, 能显示出故障信息, 使操作和维修人员能了解故障的部件, 减少维修、停机时间。

4. 可用软件取代机床的继电器控制

普通 NC 的 M、S、T 是通过继电器实现控制的。继电器电路的缺点是速度低、可靠性差, 而且改变电路很难。可编程控制器 (PLC) 把机床的各种开关控制作为软件控制, 由 CNC 的计算机来处理, 使机床的全部动作都由软件加以控制和监视。

5. 可实现调节控制

CNC 把计算机引入机床位置控制回路中, 利用计算机的数据处理能力, 实现各种控制策略。例如, 针对机床轮廓加工和快速移动的不同要求, 可方便地实现对开环增益的调节, 使机床在两种不同的运动条件下都具有最佳性能; 采用前馈控制, 提高响应速度, 降低伺服跟随误差; 利用滑模变结构控制和双模控制保持系统定位过程中的加速度恒定等。

6. 有保护零件的能力

保护零件必须考虑 3 个方面: 必须保证零件程序数据的正确性。必须监视零件程序在机床上的执行情况, 以保证机床服从命令。在检测到错误时, 必须在零件变成废品之前采取措施。

二、主要技术指标

CNC 的技术指标反映了 CNC 的基本性能, 概括起来如下:

1. 控制轴数

控制轴数说明 CNC 最多可以控制多少坐标轴, 其中包括移动轴和回转轴。基本坐标轴是 X、Y、Z, 多于 3 个坐标轴往往是 X、Y、Z 的平行辅助轴 U、V、W 轴或回转轴 A、B、C 轴。

2. 联动轴数

联动轴数表示 CNC 可同时控制按一定规律完成一定轨迹插补的坐标轴数, 它与控制轴数是不同的概念。联动轴数越多, 说明 CNC 可以加工越复杂的空间线型或曲面。若某机床具有 X、Y、Z 三个坐标轴, 而数控系统只能同时控制两个坐标轴 (XY、XZ 或 YZ) 做任意插补运动, 第三轴只能做简单的等距移动, 则该机床为 3 轴 2 联动机床, 也称 2 轴半联动或 2.5 轴联动。

3. 插补功能

插补功能越强, 说明 CNC 能够加工的轮廓越多。现在的 CNC 不仅可以插补直线、圆弧, 而且可以插补抛物线、椭圆、正弦曲线、螺旋曲线、样条函数等, 高级型 CNC 系统甚至可以对曲面进行直接插补。插补坐标系也从直角坐标系扩展到极坐标系、圆筒坐标系等。

4. 脉冲当量 (分辨率)

脉冲当量是 CNC 很重要的精度指标, 有两方面的内容: 一是机床坐标轴可达到的控制精度, 表示 CNC 每发一个脉冲, 坐标轴所移动的距离, 称为实际脉冲当量或外部脉冲当量; 二是内部运算的最小单位, 称为内部脉冲当量, 内部脉冲当量一般比实际脉冲当量设置得要

小，为的是在运算过程中不损失精度。数控系统在输出位移量之前，自动将内部脉冲当量转换成外部脉冲当量。

5. 定位精度和重复精度

定位精度指实际位置与指令位置的一致程度，不一致量为误差。重复精度指在相同条件下，操作方法不变，进行规定次数的重复操作所得到的连续结果的一致程度。

6. 行程和插补范围

行程和插补范围说明 CNC 的控制范围和加工范围。例如： $\pm 99999.999\text{mm}$ 表示 CNC 的控制范围是 $-99999.999 \sim +99999.999\text{mm}$ 。

7. 进给速度和调整范围

以每分钟进给距离的形式指定刀具切削进给速度。其中，最大进给速度表示 CNC 在一定的精度条件下所能达到的最大加工速度，它常用作评价 CNC 实时性和高速加工能力的一个重要指标；最大快进速度表示不加工时的最大移动速度。进给速度可通过操作面板上的进给倍率开关调整，调整范围一般可为 $10\% \sim 200\%$ ，每挡间隔 10% 。

8. 主轴转速和调节范围

以每分钟转动圈数的形式指定主轴的转速。机床操作面板有主轴倍率开关，用它可以在不修改程序的情况下改变主轴转速，典型的调整范围为 $50\% \sim 120\%$ ，每挡间隔 5% 。还有一种主轴恒线速度的表示方法，单位是 m/min ，它能保证诸如车床端面切削的恒定切削速度等。

9. 准备功能（G 功能）

准备功能是用来指令机床动作的方式功能，包括基本移动、程序暂停、平面选择、坐标设定、刀具补偿、参考点返回、固定循环、米英制转换等。G 功能从一个侧面代表了 CNC 功能的强弱。

10. 辅助功能（M 功能）

辅助功能是用来规定主轴的起、停、转向，切削液的连通和断开，刀架的起、停等。它也是衡量 CNC 功能的一个重要指标。M 功能的使用有段前型（在指令的程序段开始动作时立即执行）和段后型（在指令的程序段完成时才执行）两种。

11. 刀具管理和刀具补偿

用来选择刀具的指令是 T 指令。CNC 能根据 T 指令从一定容量的刀库中选择加工时所需的刀具。现代 CNC 还可以进行刀具半径补偿、刀具长度补偿、刀具寿命管理和自动刀具测量等。

12. 零件程序管理和编辑

零件程序管理功能反映在 CNC 中可同时存储的零件程序个数，还有一个重要指标是容量，它表示可存储零件程序的长度。有两种表示方法，一种是直接给出容量，例如 64KB 、 128KB 等，另一种是给出可存储的纸带长度，例如 120m 等。两种方法可以换算，每 1K 容量大约可存储 2.6m 的纸带。

CNC 提供的编程方式主要有两种，即手工编程和自动编程。

13. 零件程序结构

零件程序结构包括程序名称、程序段、结束符、子程序、子程序的嵌套层数、用户宏程序等。CNC 提供的零件程序结构越灵活，用户使用越方便，零件程序越简单。