



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材

华中科技大学“双一流”建设机械工程学科系列教材

数控技术

(第二版)

主编 彭芳瑜 唐小卫

主审 李 斌

SHUKONG JISHU



本书配备
数字资源



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

内 容 简 介

本书以数控系统硬件、软件结构为主线,重点介绍数控加工程序的编制、计算机数控装置、进给伺服驱动系统、运动机构与典型数控机床、数控系统的选型及应用等内容。本书将数控技术及应用方面的基本知识、基本理论与本学科发展的相关新技术、新方法有机地融合,为读者介绍数字制造装备的发展与应用方向,并提供必要的基础知识与方法。本书既强调学科之间的交叉融合,又面向实际应用,通过启发创新思维,培养读者主动实践的工程应用能力。

本书具有概念清晰、内容简明、叙述通俗、体系完整、由浅入深的特点,可作为高等学校机械类专业“数控技术”课程的教学用书,也可供近机械类各专业的学生及从事数控机床加工相关工作的工程技术人员参考,可满足48~56学时本科教学的需要。本书还提供了与教材配套的二维码教学资源,使用本书的读者可以通过扫描二维码阅读和学习。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/彭芳瑜,唐小卫主编.—2版.—武汉:华中科技大学出版社,2022.5
ISBN 978-7-5680-8089-7

I. ①数… II. ①彭… ②唐… III. ①数控技术 IV. ①TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第069540号

数控技术(第二版)

彭芳瑜 唐小卫 主编

Shukong Jishu(Di-er Ban)

策划编辑:万亚军

责任编辑:姚同梅

封面设计:原色设计

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:21

字 数:551千字

版 次:2022年5月第2版第1次印刷

定 价:59.80元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

21 世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业系列教材
编 审 委 员 会

顾问： 姚福生 黄文虎 张启先
(工程院院士) (工程院院士) (工程院院士)

谢友柏 宋玉泉 艾 兴
(工程院院士) (科学院院士) (工程院院士)

熊有伦
(科学院院士)

主任： 杨叔子 周 济 李培根
(科学院院士) (工程院院士) (工程院院士)

丁 汉
(科学院院士)

委员： (按姓氏笔画顺序排列)

于骏一 王书亭 王安麟 王连弟 王明智

毛志远 左武炘 卢文祥 朱承高 师汉民

刘太林 李 斌 杜彦良 杨家军 吴昌林

吴 波 吴宗泽 何玉林 何岭松 陈康宁

陈心昭 陈 明 陈定方 张春林 张福润

张 策 张健民 冷增祥 范华汉 周祖德

洪迈生 姜 楷 殷国富 宾鸿赞 黄纯颖

童秉枢 傅水根 廖效果 黎秋萍 戴 同

秘书： 俞道凯 万亚军

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序 一

“中心藏之，何日忘之”，在新中国成立 60 周年之际，时隔“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”出版 9 年之后，再次为此系列教材写序时，《诗经》中的这两句诗又一次涌上心头，衷心感谢作者们的辛勤写作，感谢多年来读者对这套系列教材的支持与信任，感谢为这套系列教材出版与完善作过努力的所有朋友们。

追思世纪交替之际，华中科技大学出版社在众多院士和专家的支持与指导下，根据 1998 年教育部颁布的新的普通高等学校专业目录，紧密结合“机械类专业人才培养方案体系改革的研究与实践”和“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革研究与实践”两个重大教学改革成果，约请全国 20 多所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师，经多年辛勤劳动编写了“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”。这套系列教材共出版了 20 多本，涵盖了“机械设计制造及其自动化”专业的所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程，是一套改革力度比较大的教材，集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校在改革机械工程类人才培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材出版发行 9 年来，已被全国数百所院校采用，受到了教师和学生的广泛欢迎。目前，已有 13 本列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材，多本获国家级、省部级奖励。其中的一些教材（如《机械控制基础》《机电传动控制》《机械制造技术基础》等）已成为同类教材的佼佼者。更难得的是，“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”也已成为一个著名的丛书品牌。9 年前为这套教材作序的时候，我希望这套教材能加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作，对机械工程类专业人才培养质量的提高起到积极的促进作用，现在看来，这一目标很好地达到了，让人倍感欣慰。

李白讲得十分正确：“人非尧舜，谁能尽善？”我始终认为，金无足赤，人无完人，文无完文，书无完书。尽管这套系列教材取得了可喜的成绩，但毫无疑问，这套书中，某本书中，这样或那样的错误、不妥、疏漏与不足，必然会存在。何况形势总在

不断地发展,更需要进一步来完善,与时俱进,奋发前进。较之9年前,机械工程学有了很大的变化和发展,为了满足当前机械工程类专业人才培养的需要,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,对这套系列教材进行了全面修订,并在原基础上进一步拓展,在全国范围内约请了一大批知名专家,力争组织最好的作者队伍,有计划地更新和丰富“21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”。此次修订可谓非常必要,十分及时,修订工作也极为认真。

“得时后代超前代,识路前贤励后贤。”这套系列教材能取得今天的业绩,是几代机械工程教育工作者和出版工作者共同努力的结果。我深信,对于这次计划进行修订的教材,编写者一定能在继承已出版教材优点的基础上,结合高等教育的深入推进与本门课程的教学发展形势,广泛听取使用者的意见与建议,将教材凝练为精品;对于这次新拓展的教材,编写者也一定能吸收和发展原教材的优点,结合自身的特色,写成高质量的教材,以适应“提高教育质量”这一要求。是的,我一贯认为我们的事业是集体的,我们深信由前贤、后贤一起一定能将我们的事业推向新的高度!

尽管这套系列教材正开始全面的修订,但真理不会穷尽,认识不是终结,进步没有止境。“嚶其鸣矣,求其友声”,我们衷心希望同行专家和读者继续不吝赐教,及时批评指正。

是为之序。

中国科学院院士



2009.9.9

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序 二

制造业是立国之本,兴国之器,强国之基。当今世界正处于以数字化、网络化、智能化为主要特征的第四次工业革命的起点,世界各大强国无不把发展制造业作为占据全球产业链和价值链高端位置的重要抓手,并先后提出了各自的制造业国家发展战略。我国要实现加快建设制造强国、发展先进制造业的战略目标,就迫切需要培养、造就一大批具有科学、工程和人文素养,具备机械设计制造基础知识,以及创新意识和国际视野,拥有研究开发能力、工程实践能力、团队协作能力,能在机械制造领域从事科学研究、技术研发和科技管理等工作的高级工程技术人才。我们只有培养出一大批能够引领产业发展、转型升级和创造新兴业态的创新人才,才能在国际竞争与合作中占据主动地位,提升核心竞争力。

自从人类社会进入信息时代以来,随着工程科学知识更新速度加快,高等工程教育面临着学校教授的课程内容远远落后于工程实际需求的窘境。目前工业互联网、大数据及人工智能等技术正与制造业加速融合,机械工程学科在与电子技术、控制技术及计算机技术深度融合的基础上还需要积极应对制造业正在向数字化、网络化、智能化方向发展的现实。为此,国内外高校纷纷推出了各项改革措施,实行以学生为中心的教学改革,突出多学科集成、跨学科学习、课程群教学、基于项目的主动学习的特点,以培养能够引领未来产业和社会发展的领导型工程人才。我国作为高等工程教育大国,积极应对新一轮科技革命与产业变革,在教育部推进下,基于“复旦共识”“天大行动”和“北京指南”,各高校积极开展新工科建设,取得了一系列成果。

国家“十四五”规划纲提出要建设高质量的教育体系。而高质量的教育体系,离不开高质量的课程和高质量的教材。2020年9月,教育部召开了在我国教育和教材发展史上具有重要意义的首届全国教材工作会议。近年来,包括华中科技大学在内的众多高校的机械工程专业结合自身的办学特色,引入先进的教育理念,在专业建设、人才培养模式、教学内容、教学方法、课程建设等方面积极开展教学改

革,取得了较好的效果,建设了一大批优质课程。为了将这些优秀的教学改革经验和教学内容推广给全国高校,华中科技大学出版社联合华中科技大学在内的一批高校,在首批“21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”的基础上,再次组织修订和编写了一批教材,以支持我国机械工程专业的人才培养。具体如下:

(1)根据机械工程学科基础课程的边界再设计,结合未来工程发展方向修订、整合一批经典教材,包括将画法几何及机械制图、机械原理、机械设计整合为机械设计理论与方法系列教材等。

(2)面向制造业的发展变革趋势,积极引入工业互联网及云计算与大数据、人工智能技术,并与机械工程专业相关课程融合,新编写智能制造、机器人学、数字孪生技术等方面教材,以开拓学生视野。

(3)以学生的计算分析能力和问题解决能力、跨学科知识运用能力、创新(创业)能力培养为导向,建设机械工程学科概论、机电创新决策与设计等相关课程教材,培养创新引领型工程技术人才。

同时,为了促进国际工程教育交流,我们也规划了部分英文版教材。这些教材不仅可以用于留学生教育,也可以满足国际化人才培养需求。

需要指出的是,随着以学生为中心的教学改革的深入,借助日益发展的信息技术,教学组织形式日益多样化;本套教材将通过互联网链接丰富多彩的教学资源,把各位专家的成果展现给各位读者,与各位同仁交流,促进机械工程专业教学改革的发展。

随着制造业的发展、技术的进步,社会对机械工程专业人才的培养还会提出更高的要求;信息技术与教育的结合,科研成果对教学的反哺,也会促进教学模式的变革。希望各位专家同仁提出宝贵意见,以使教材内容不断完善提高;也希望通过本套教材在高校的推广使用,促进我国机械工程教育教学质量的提升,为实现高等教育的内涵式发展贡献一份力量。

中国科学院院士



2021年8月

再版前言

数控机床是装备制造业的根本,被称为工业母机,已广泛应用于汽车、铁路、风电、核电、航空航天、船舶以及日常生活用品等的制造。数控技术是数控机床的核心技术,随着数控技术在我国制造业中的普及与发展,迫切需要培养大量素质高、能力强的数控技术人才。

为了适应我国制造业快速发展,我们遵循高等工科院校教学规律的要求,根据教育部机械类专业教学指导委员会关于工科教材编写的有关精神,结合多年来在教学及科研方面的实践经验,参考最新的国内外资料,在上一版本的基础上对本书进行了全面修订,增加了新的内容,完善了某些重要论述,对相关部分进行了增、减、改。本书系统介绍了数控技术和数控机床系统的基本知识、核心技术与最新技术成就,并将理论融入实际需求。在内容编排上,注重先进性与实用性的统一,同时注重知识面的深度与广度;在文字叙述上,注意简练通俗、层次分明,并遵循由点到面、由浅入深的认识规律。2017年,教育部提出了“新工科”建设目标,“新工科”专业改革类项目涵盖了人工智能类、大数据类、智能制造类项目等,而数控技术是智能制造类项目的重要组成部分,因此,本书也增加了与智能制造相关的智能数控系统的介绍,以进一步深化机械类专业学生对多学科融合智能制造的认识。

全书共分为6章。第1章介绍数控机床的组成、工作原理、分类、特点及应用范围,数控技术的发展;第2章介绍数控编程的方法,有关手工编程的相关标准、程序结构和相关指令,并以大量实例详细描述了手工编程在车削和铣削加工中的应用,同时简单介绍自动编程方法、常用编程软件和编程实例;第3章阐述计算机数控装置的软件和硬件结构、插补和刀补的原理、数控系统中的可编程控制器,并简要介绍了目前具有代表性的几种国内外数控系统;第4章介绍进给伺服驱动系统,其中详细描述了伺服系统的类型、伺服电机及调速、位置检测装置;第5章介绍数控机床的主运动系统及典型功能部件,主要包括主轴部件、主轴驱动与电机、电主轴、丝杠副、同步带、导轨及工作台、换刀机构等典型部件,并介绍了典型的数控机床,包括数控车床、铣床、磨床、加工中心及特种机床等;第6章介绍数控系统的选型及应用,包括主轴电机、进给电机的选型和案例等。

本书既可作为高等工科院校机械工程及自动化专业主干技术基础课程“数控技术”的教材,也可供从事数控机床加工相关工作的工程技术人员参考使用。

本书由彭芳瑜和唐小卫主编。参加教材编写的有:彭芳瑜(第1、3、4章)、唐小卫(第2、5、6章)、周向东(第2章)、叶伯生(第3章)、宋宝(第4章)、袁楚明(第5章)、向华(第6章)。闫蓉和胡鹏程参与了书稿的校核。本书由彭芳瑜统稿,李斌主审,相关视频资源由唐小卫负责制作。

在编写本书的过程中,我们参阅了有关院校、科研机构、企业的教材、资料;得到了许多同行专家的鼎力协助,他们对本书初稿提出了许多宝贵的意见和建议;同时还得到了华中科技大学国家数控系统工程技术研究中心教师的热情鼓励和无私支持,他们为本书的出版提供了大量的素材,付出了辛勤劳动;在出版过程中,华中科技大学出版社的领导和编辑也给予了我们极大支持与帮助,使本书得以顺利付梓。编者在此谨向所参考文献的单位和作者以及为我们提供帮助的人们表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中错误和不当在所难免,恳请各方面专家及广大读者批评指正。

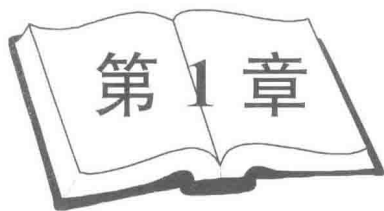
编 者

2021年7月于武汉喻家山



第 1 章 概论	(1)
1.1 数控机床的基本概念	(1)
1.2 数控机床的分类	(4)
1.3 数控加工原理、特点及应用范围	(7)
1.4 数控机床与数控系统的指标与功能	(9)
1.5 数控机床主机和数控系统的技术特征	(13)
习题	(20)
第 2 章 数控加工程序的编制	(21)
2.1 程序编制概述	(21)
2.2 数控机床坐标系	(22)
2.3 数控加工工艺设计要点	(26)
2.4 指令及程序结构	(31)
2.5 编程应用举例	(47)
2.6 自动编程	(64)
习题	(79)
第 3 章 计算机数控装置	(80)
3.1 计算机数控装置概述	(80)
3.2 数控加工的基本控制原理	(83)
3.3 CNC 装置的硬件和软件结构	(123)
3.4 国内外常见 CNC 装置简介	(141)
习题	(148)
第 4 章 进给伺服驱动系统	(149)
4.1 进给伺服驱动系统概述	(149)
4.2 位置检测装置	(152)
4.3 交流永磁同步进给伺服电机及驱动系统	(168)
4.4 交流永磁同步进给伺服驱动系统	(171)
4.5 交流进给伺服驱动技术发展趋势	(177)
4.6 进给伺服驱动系统的性能分析	(179)
习题	(190)

第 5 章 运动机构与典型数控机床	(191)
5.1 数控机床的主运动系统	(191)
5.2 数控机床的进给运动系统	(206)
5.3 数控机床的换刀运动	(226)
5.4 数控机床的辅助装置	(242)
5.5 典型数控机床	(244)
习题	(272)
第 6 章 数控系统的选型及应用	(273)
6.1 数控系统的设计与选型	(273)
6.2 数控系统的连接及调试	(288)
6.3 数控系统的智能化应用	(304)
6.4 数控系统应用案例	(309)
习题	(317)
附录 A 数控机床标准代码 G、M 功能定义表	(319)
参考文献	(323)



概 论

数控机床是装备制造业的基础设备,机床产业的下游行业主要为汽车、电力、航天航空、电子信息等行业。数控机床主要包括加工中心、组合机床、专用机床、重型龙门铣床、大型落地镗铣床、重型立式车床、高速龙门铣床、小型精密机床等。历经几十年的发展,我国机床工业取得了显著的成就。近年来我国一直保持着世界第一机床生产大国的地位。我国拥有全球最大的高精度数控轧辊磨床、数控龙门镗铣床、巨型模锻液压机和油压机,以及全球最大的齿轮数控加工设备等。随着我国工业转型升级和战略性新兴产业的高速发展,以智能制造、绿色制造和服务型制造为代表的装备制造业已经成为国民经济的支柱产业。在上述工业转型升级的大背景下,规模以上工业企业基本上实现了机床设备的数控化。

高端数控机床属于国家的重要战略物资,世界各机床强国都对其实行了出口管制,为应对日趋复杂的国际形势,我国在不断地加速高端数控机床进口替代的进程,从2006年开始就将高档数控机床和基础制造装备列为重大专项,《中国制造2025》将数控机床和基础制造装备列入“加快突破的战略必争领域”,其中提出要加强前瞻部署和关键技术突破,积极谋划抢占未来科技和产业竞争制高点。根据《中国制造2025》的规划,到2025年,高档数控机床与基础制造装备国内市场占有率要超过80%,我国机床工业总体进入世界前列。经过多年的努力发展,在高端数控机床方面,国内数控系统和机床企业也逐渐掌握了部分核心技术,其产品得到市场的广泛认可,综合竞争力大幅提高,民族品牌开始崛起,逐渐形成进口替代趋势。

在全球大环境、国家政策以及自主关键技术积累的大背景下,我国数控技术的发展面临着新的机会和挑战,数控技术,尤其是高端数控技术及装备是我国从制造大国转变为制造强国的重要支撑。

1.1 数控机床的基本概念

1.1.1 数控技术与数控机床

在加工机床中得到广泛应用的数控技术,是一种采用计算机对机械加工过程中各种控制信息进行数字化运算、处理,并通过高性能的驱动单元对机械执行构件进行自动化控制的高新技术。当前已有大量机械加工装备采用了数控技术,其中最典型和应用面最广的是数控机床。为了便于后面的讨论,首先给出数控技术、数控系统和数控机床几个概念的定义。

数控技术:也称数字控制(numerical control,NC)技术,是指用数字、字母和特定符号对某一工作过程进行编程的自动控制技术。

数控系统:一般指计算机数控(computer numerical control,CNC)系统,是实现数控技术相

关功能的软、硬件模块有机集成系统,通常是以计算机为核心的软、硬件集成系统,是数控技术的载体。

数控机床:应用数控技术对加工过程进行控制的机床。

CNC系统是在数控技术的基础上发展起来的,其部分或全部功能通过软件来实现。由于CNC系统只要更改控制程序,不需更改硬件电路,就可以改变其控制功能,因此,相对于早期的NC系统(硬接线数控系统),CNC系统在通用性、灵活性、使用范围等方面具有更大的优越性。EIA(美国电子工业协会)所属的数控标准化委员会对CNC系统定义为:CNC系统是一个用于存储程序的计算机,按照存储在计算机内的读写存储器中的控制程序去执行数控装置的部分或全部功能,在计算机之外的唯一装置是接口。CNC系统是由数控程序、输入/输出(I/O)设备、计算机数控装置(CNC装置)、可编程逻辑控制器(programable logic controller,PLC)、主轴驱动装置、进给伺服驱动系统共同组成的一个完整的系统,控制机床各组成部分实现各种数控功能。

1.1.2 数控机床的组成

从宏观上看,数控机床主要由机床本体和CNC系统两部分组成,如图1-1所示。

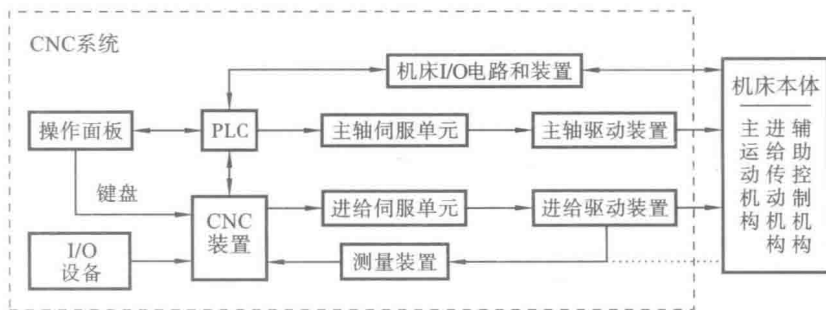


图 1-1 数控机床的组成

1. 机床本体

机床本体(见图1-2)是数控机床的主体,是数控系统的控制对象,是实现零件加工的执行部件。主要由主运动部件、进给运动部件(工作台、拖板以及相应的传动机构)、支承件(立柱、床身等)、特殊装置(如刀具自动交换系统(automatic tools changer,ATC)、自动工件交换系统(automatic pallet changer,APC)),以及辅助装置(如冷却、润滑、排屑、转位和夹紧装置)等组成。数控机床机械部件的组成与普通机床相似,但传动结构和变速系统较为简单,在精度、刚度、抗振性等方面要求高。

2. 数控系统

数控系统是数控机床的指挥中心,如图1-3所示。它主要由操作面板、I/O设备、CNC装置、伺服单元、驱动装置、PLC以及机床I/O电路等部分组成。

1) 操作面板

操作面板也称控制面板,是操作人员与数控机床(系统)进行交互的工具。一方面,操作人员可以通过操作面板对数控机床(系统)进行操作、编程、调试或对机床参数进行设定和修改;另一方面,操作人员也可以通过操作面板了解或查询数控机床(系统)的运行状态。操作面板是数控机床的一个I/O部件,是数控机床的特有部件。它主要由按钮站、状态灯、按键阵列(功能与计算机键盘一样)和显示器等部分组成,如图1-4所示。

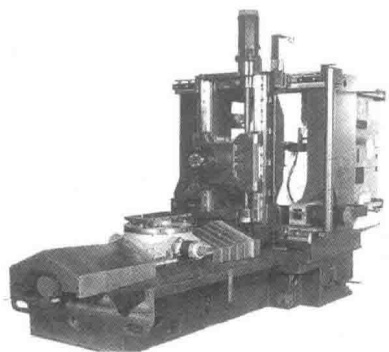


图 1-2 机床本体



图 1-3 数控系统

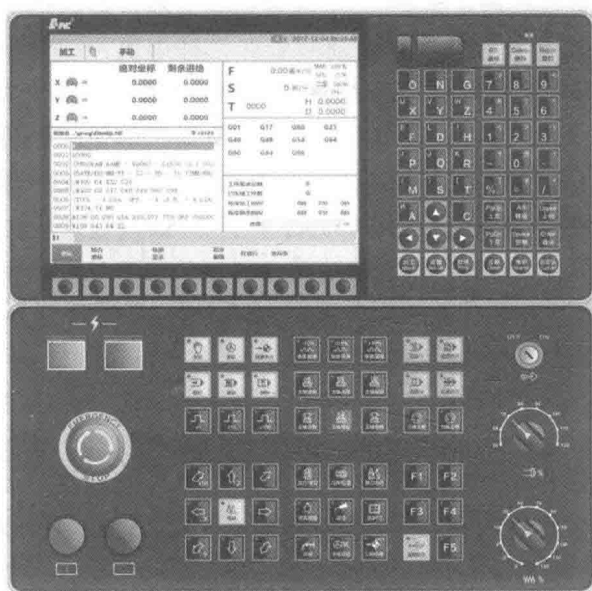


图 1-4 操作面板



操作面板

2) 存储介质和 I/O 设备

存储介质是记录零件加工程序的媒介,而I/O设备是CNC系统与外部设备进行信息交互的装置,其作用是将编制好的记录在控制介质上的零件加工程序输入CNC系统,或将已调试好的零件加工程序通过输出设备存放或记录在相应的存储介质上。数控机床常用的存储介质有电子盘、CF卡、SD卡、U盘、硬盘等,输入设备有键盘、输入按钮、开关等,输出设备有打印机、显示器、状态灯等,另外,读卡器、USB读/写控制电路、硬盘驱动器可同时作为输入与输出设备。

除此之外,还可采用通信方式进行信息交换,现代数控系统一般都具有利用通信技术进行信息交换的能力。通信技术是实现CAD/CAM(计算机辅助设计/制造(computer aided design/manufacturing))集成、柔性制造系统(flexible manufacturing system, FMS)、计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system, CIMS)和智能制造系统(intelligent manufacturing system, IMS)的基本技术。

目前在数控机床上常用的通信方式有：

- (1) 串行通信,如利用 RS232、RS485、USB 等串口通信。
- (2) 利用网络与总线通信,利用如 Internet、局域网,以及现场总线、各种工业总线等通信。
- (3) 利用自动控制专用接口,如直接数字控制(direct numerical control,DNC)接口、制造自动化协议(manufacturing automation protocol,MAP)接口等通信。

3) CNC 装置

CNC 装置是 CNC 系统的核心。其主要作用是根据输入的零件加工程序或操作者命令进行相应的处理(如运动轨迹处理、机床输入/输出处理等),然后输出控制命令到相应的执行部件(伺服单元、驱动装置和 PLC 等),完成零件加工程序或操作者命令所指定的工作。在数控装置的协调配合、合理组织下,整个系统得以有条不紊地工作。CNC 装置主要由计算机系统、位置控制板、PLC 接口板、通信接口板、扩展功能模块以及相应的控制软件等模块组成。

4) 伺服单元、驱动装置和测量装置

伺服单元和驱动装置是指主轴伺服驱动装置和主轴电机^①、进给伺服驱动装置和进给电机;测量装置是指位置和速度测量装置,是实现速度闭环控制(主轴、进给)和位置闭环控制(进给)的必要装置。主轴伺服系统的主要作用是实现零件加工的切削运动,其控制量为速度。进给伺服驱动系统的主要作用是实现零件加工的成形运动,其控制量为速度和位置。能灵敏、准确地跟踪数控装置的位置和速度指令是进给伺服驱动系统的共同特征。

5) PLC、机床 I/O 电路和装置

PLC 用于完成与逻辑运算、顺序动作有关的 I/O 控制,由硬件和软件组成;机床 I/O 电路(由继电器、电磁阀、行程开关、接触器等执行部件组成的逻辑电路)和装置用于实现 I/O 控制。PLC、机床 I/O 电路和装置共同完成以下任务:

- (1) 接收 CNC 系统的 M、S、T 指令,对其进行译码并转换成对应的控制信号,控制辅助装置完成机床相应的开关动作;
- (2) 接收操作面板和机床侧的 I/O 信号,送给 CNC 装置,经其处理后,输出指令以控制 CNC 系统的工作状态和机床的动作。

1.2 数控机床的分类

数控机床的种类很多,从不同角度对其进行考察,就可采用不同的分类方法对其进行分类。通常有表 1-1 所示的几种不同的分类方法。

表 1-1 数控机床的分类

分类方法	数控机床类型
按运动控制方式分类	点位控制数控机床、直线控制数控机床、轮廓控制数控机床
按伺服系统分类	开环数控机床、半闭环数控机床、全闭环数控机床
按功能水平分类	经济型数控机床、普及型数控机床、高档型数控机床
按工艺方法分类	金属切削数控机床、金属成形数控机床、特种加工数控机床

^① 本书中的“电机”均指“电动机”。

1.2.1 按控制功能分类

1) 点位控制数控机床

这类数控机床仅能控制两个坐标轴带动刀具相对工件运动,从一个坐标位置快速移动到下一个坐标位置,然后控制第三个坐标轴进行钻、镗等切削加工,具有较高的定位精度。为了提高生产率,定位运动采用数控系统设定的最高进给速度,在移动过程中不进行切削加工,因此对运动轨迹没有要求。点位控制的数控机床用于加工平面内的孔系,这类机床主要有数控钻床、印制电路板钻孔机、数控镗床、数控冲床、三坐标测量机等。

2) 直线控制数控机床

这类数控机床可控制刀具或工作台以适当的进给速度、沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工,进给速度根据切削条件可在一定范围内调节。早期的简易两坐标轴数控车床可用于加工台阶轴。简易的三坐标轴数控铣床可用于平面的铣削加工。现在的组合机床采用数控进给伺服驱动系统,驱动动力头可带着多轴箱轴向进给进行钻、镗削加工,也可以算作一种直线控制的数控机床。

3) 轮廓控制数控机床

这类数控机床具有控制几个坐标轴同时协调运动,即多坐标轴联动的能力,可使刀具相对于工件按程序规定的轨迹和速度运动,能在运动过程中进行连续切削加工。可实现联动加工是这类数控机床的本质特征。这类数控机床有数控车床、数控铣床、加工中心等用于加工曲线和曲面形状零件的数控机床。现在的数控机床基本上都是这种类型的。根据其联动轴数还可细分为两轴、三轴、四轴、五轴联动数控机床,例如四轴三联动是指任一时刻只能控制任意三轴联动,而联动坐标轴数越多,加工程序的编制就越难。

1.2.2 按进给伺服驱动系统类型分类

按数控系统的进给伺服驱动系统有无位置测量装置(无位置测量装置的为开环系统,有位置测量装置的为闭环系统),数控机床可分为开环数控机床和闭环数控机床。闭环数控机床根据位置测量装置安装的位置又可分为全闭环数控机床和半闭环数控机床两种。

1) 开环数控机床

开环数控机床采用开环进给伺服驱动系统。开环进给伺服驱动系统没有位置测量装置,信号流是单向的(数控装置→进给系统),故系统稳定性好。但由于无位置反馈,其精度相对闭环系统较低。其精度主要取决于伺服驱动系统、机械传动机构的性能和精度。该系统一般以功率步进电机作为伺服驱动元件,具有结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、价格低廉等优点,在精度和速度要求不高、驱动力矩不大的场合得到了广泛应用,一般用于经济型数控机床和旧机床的数控化改造。

2) 半闭环数控机床

半闭环数控机床的进给伺服驱动系统采用的位置检测点是从驱动电机(常用交、直流伺服电机)或丝杠端引出,通过检测电机和丝杠旋转角度来间接检测工作台的位移量,而不是直接检测工作台的实际位置。由于在半闭环环路内不包括或只包括少量机械传动环节,因此半闭环进给伺服驱动系统可获得较稳定的控制性能。其稳定性虽不如开环进给伺服驱动系统,但比全闭环进给伺服驱动系统要好。另外,在位置环内各组成环节的误差可得到某种程度的补

偿,但位置环外的各环节如丝杠的螺距误差、齿轮间隙引起的运动误差不能消除,可通过软件补偿这类误差来提高其运动精度。总之,半闭环进给伺服驱动系统的精度比开环进给伺服驱动系统好,比全闭环进给伺服驱动系统差,还具有结构简单、调试方便等特点,因而在数控机床中得到了广泛应用。

3) 全闭环数控机床

全闭环进给伺服驱动系统直接对工作台的实际位置进行检测。从理论上讲,全闭环进给伺服驱动系统可以消除整个驱动和传动环节的误差、间隙和失动量,具有很高的位置控制精度。但由于位置环内的许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的,很容易造成系统不稳定,因此全闭环进给伺服驱动系统的设计、安装和调试都有相当的难度。因而,全闭环进给伺服驱动系统对其组成环节的精度、刚性和动态特性等都有较高的要求,故价格高昂。全闭环进给伺服驱动系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床以及较大型的数控机床等。

1.2.3 按功能水平分类

按功能水平可以将数控机床分为高档型、普及型、经济型三类。这种分类没有明确的定义和确切的界限。通常可通过主 CPU(中央处理器)档次、分辨率和进给速度、联动轴数、伺服水平、通信功能、人机界面等评价数控机床档次。

1) 高档型数控机床

高档型数控机床一般采用 32 位或更高性能的 CPU;联动轴数在 5 以上;分辨率不小于 $0.1 \mu\text{m}$;进给速度不小于 24 m/min (分辨率为 $1 \mu\text{m}$ 时)或不小于 10 m/min (分辨率为 $0.1 \mu\text{m}$ 时);采用数字化交流伺服驱动;具有 MAP 接口等高性能通信接口,有联网功能;具有三维动态图形显示功能。

2) 普及型数控机床

普及型数控机床一般采用 16 位或更高性能的 CPU;联动轴数在 5 以下;分辨率为 $1 \mu\text{m}$;进给速度小于或等于 24 m/min ;采用交、直流伺服电机驱动;具有 RS232 或 DNC 通信接口;有阴极射线管(CRT)字符显示和图形显示功能。

3) 经济型数控机床

经济型数控机床一般采用 8 位 CPU 或单片机;联动轴数在 3 以下;分辨率为 0.01 mm ;进给速度为 $6 \sim 8 \text{ m/min}$;采用步进电机或交流伺服电机驱动;具有简单的 RS232 通信功能;用发光二极管(LED)数码管或简单的 CRT 字符显示。

1.2.4 按工艺用途分类

按工艺用途可以将数控机床分为以下四类。

1) 切削加工数控机床

切削加工数控机床是具有切削加工功能的数控机床,如数控铣床、数控车床、数控磨床、加工中心、数控齿轮加工机床等。

2) 成形加工数控机床

成形加工数控机床是具有通过物理方法改变工件形状功能的数控机床,如数控折弯机、数控弯管机等。