

普通高等教育规划教材

数控原理与系统

主 编 汪木兰
副主编 周 慧
参 编 李宏胜 焦满囤
主 审 陈绍廉

机械工业出版社

本书介绍了机械加工领域中机床数控原理与系统, 主要内容包括数控系统的基本概念、数控加工程序的输入及预处理、轮廓插补原理、进给运动的控制、主轴驱动与控制、可编程序控制器与辅助功能实现等数控技术, 并介绍了机床数控系统的硬、软件结构, 参数设置、信号连接情况, 以及数控系统的发展趋势和新技术, 例如现场总线、开放式数控系统和并联运动机床等, 还适当介绍了一些实用技术。本书取材新颖, 内容全面, 根据数控系统内部信息流处理过程为主线展开阐述, 由浅入深, 循序渐进, 理论与实际结合紧密, 并注重机电结合和系统理念, 反映了当今世界机床数控系统的技术发展前沿。

本书可作为高等院校数控技术、自动化、机械电子工程和机电一体化类专业教材和参考书, 可作为各种层次的继续工程教育的数控培训教材, 也可供研究设计单位、工厂企业的有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控原理与系统 /汪木兰主编. —北京: 机械工业出版社, 2004.7

普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-14603-4

I. 数... II. 汪... III. 数控系统—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 052578 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: 王小东

责任编辑: 冯 钺 版式设计: 霍永明 责任校对: 吴美英

封面设计: 陈 沛 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·19.25 印张·476 千字

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

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育应用型人才培养规划教材

编审委员会名单

- 主任：刘国荣 湖南工程学院
副主任：左健民 南京工程学院
 陈力华 上海工程技术大学
 鲍 泓 北京联合大学
 王文斌 机械工业出版社
- 委员：(按姓氏笔画排序)
- 刘向东 华北航天工业学院
任淑淳 上海应用技术学院
何一鸣 常州工学院
陈文哲 福建工程学院
陈 峻 扬州大学
苏 群 黑龙江工程学院
娄炳林 湖南工程学院
梁景凯 哈尔滨工业大学（威海）
童幸生 江汉大学

数控技术应用专业分委员会名单

主任：朱晓春 南京工程学院
副主任：赵先仲 华北航天工业学院
 龚仲华 常州工学院

委员：(按姓氏笔画排序)

卜云峰 淮阴工学院
汤以范 上海工程技术大学
朱志宏 福建工程学院
李洪智 黑龙江工程学院
吴 祥 盐城工学院
宋德玉 浙江科技学院
钱 平 上海应用技术学院
谢 骐 湖南工程学院

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来，科学技术突飞猛进，国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化发展和我国加入WTO，世界制造业将逐步向我国转移。有人认为，我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此，工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止，我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才，为经济的发展作出了巨大的贡献。但据IMD1998年的调查，我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第36位，与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下，国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校，并于2001、2002年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”，对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的，以适应经济、社会发展对工程教育的新要求，满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的先驱、美国加州理工学院的冯·卡门教授有句名言：“科学家研究已有的世界，工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律，所以科学强调分析，强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学（包括自然科学、技术科学和社会科学）理论和技术手段去改造客观世界的实践活动，所以它强调综合，强调方案优缺点的比较并做出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案，采用不同的培养模式，采用具有不同特点的教材。然而，我国目前的工程教育没有注意到这一点，而是：①过分侧重工程科学（分析）方面，轻视了工程实际训练方面，重理论，轻实践，没有足够的工程实践训练，工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象，导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一，课程结构不合理，知识面过窄，导致知识结构单一，所学知识中有一些内容已陈旧，交叉学科、信息学科的内容知之甚少，人文社会科学知识薄弱，学生创新能力不强。③教材单一，注重工程的科学分析，轻视工程实践能力的培养；注重理论知识的传授，轻视学生个性特别是创新精神的培养；注重教材的系统性和完整性，造成课程方面的相互重复、脱节等现象；缺乏工程应用背景，存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验，自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展，培养更多优秀的工程技术人才，我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材，目的在于改革传统的高等工程教育教材，建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材，满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是：

1. 保证基础，确保后劲

科学的发展，要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此，从内容安排上，保证学生有较厚实的基础，满足本科教学的基本要求，使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色，强化应用

围绕培养目标，以工程应用为背景，通过理论与工程实际相结合，构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针：知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为：“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上，挑选出最基本的内容、方法及典型应用；“新”指将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容，以适应科学技术发展的需要。妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容，并将这些按新的教学系统重新组织；“广”指在保持本学科基本体系下，处理好与相邻以及交叉学科的关系；“用”指注重理论与实际融会贯通，特别是注入工程意识，包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓住重点、合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课（专业基础课、专业课）教材的建设，并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设，力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者，确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验，又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务，以确保教材质量。

我们相信，本套系列教材的出版，对我国工程应用型人才培养质量的提高，必将产生积极作用，会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光，高瞻远瞩，及时提出并组织编写这套系列教材，他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作，并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件，在此深表衷心感谢！

编 委 会 主 任 刘国荣教授
湖南工程学院院长

前 言

自从 20 世纪 60 年代世界上第一台数控机床问世以来，随着计算机技术、微电子技术、现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术和机械制造技术等各相关领域的发展，数控技术已成为现代先进制造系统（FMS，CIMS 等）中不可缺少的基础技术。近年来，各种数控机床的柔性、精确性、可靠性、集成性和宜人性等各方面功能越来越完善，它在自动化加工领域中的占有率也越来越高，越来越多的技术人员期望了解和掌握各种机床数控系统的基本工作原理。为了满足制造数控化的需要，在参考了大量国内外资料的基础上，结合多年来的教学实践经验、数控系统科研成果和数控技术及应用专业方向的教学改革，编写了这本教材。本教材力求取材新颖，尽可能反映现代数控技术，着重于实用技术，突出理论的系统性、实例的代表性和技术的先进性，反映机与电的结合，减少繁杂的数学推导，系统全面地介绍数控系统。

本书以数控系统内部信息流为主线，从数控加工程序输入开始，到位置控制输出为止，共分为八章。第一章主要介绍了数控系统的基本概念，包括机床数控系统的组成、分类、特点和工作过程，应具备的各种数控加工功能以及在现代机械制造系统中的作用和地位。第二章介绍数控加工程序的输入及各种预处理（译码、诊断、刀具补偿和速度处理等）。第三章介绍加工轨迹控制的轮廓插补原理及其算法实现流程，除了一般的直线和圆弧插补算法外，还介绍了较为先进的样条插补和实用的螺纹加工插补算法。第四章介绍开环和闭环进给系统的位置及速度控制原理，直流、交流驱动装置的信号连接及有关控制参数的设定、位置控制精度分析以及位置误差补偿方法等。第五章介绍数控系统主轴的驱动控制和主轴驱动装置的信号连接，以及主轴分段无级变速、主轴准停和主轴与进给轴的关联控制等。第六章介绍了用以实现数控系统辅助功能及开关量控制的可编程序控制器及其信号连接与辅助功能的实现思路。在前面各章内容的基础上，第七章介绍计算机数控系统的硬、软件总体结构，在结构化和模块化程序设计思想下，介绍系统内部各功能模块和系统外部之间的连接界面，并进一步介绍数控系统所涉及的一些实用技术，例如网络通信技术、接口技术、人机交互技术和诊断技术等，最后还简单介绍了一个经济型数控系统实例和普通机床数控改造方法。第八章从发展的角度出发，介绍了现代数控系统的发展趋势，以及开放式数控系统的先进理念和并联运动机床的基本概念。其中第一章第三节、第三章第五节、第六章第三节、第七章第五节、第七章第六节和第八章可以根据教学时数的具体情况作为选讲或自学内容安排。

本书由汪木兰任主编，周慧任副主编。其中第一章、第七章、第八章和附录由汪木兰编写；第二章、第三章和第五章的第五节由周慧编写；第四章和第五章的其余部分由李宏胜编写；第六章由焦满囤编写。全书由汪木兰统稿和定稿。

蒙南京航空航天大学陈绍廉教授主审，并提出了许多宝贵的修改和补充意见，特此表示衷心的感谢。

在本书编写过程中，不仅得到了许多老师的关心、支持和帮助，而且还参阅了国内外兄弟院校的教材、资料和文献，在此谨致谢意。

数控技术发展日新月异，限于作者的水平和学识，书中难免还存在错误和不妥之处，恳请读者不吝指正。

编者

2004年2月

目 录

序

前言

第一章 数控系统概述	1	第五章 主轴驱动及控制	160
第一节 基本概念	1	第一节 概述	160
第二节 计算机数控系统	12	第二节 数控装置与主轴驱动装置的 信号连接	162
第三节 数控机床与现代机械制造 系统	28	第三节 主轴分段无级变速及控制	166
本章小结	34	第四节 主轴准停控制	168
思考题与习题	35	第五节 主轴与进给轴的关联控制	173
第二章 数控加工程序输入及预 处理	37	本章小结	176
第一节 数控加工程序输入	37	思考题与习题	177
第二节 数控加工程序的译码与诊断	43	第六章 可编程控制器与辅助功能 实现	178
第三节 刀具补偿原理	48	第一节 概述	178
第四节 其他预处理	67	第二节 数控系统中的 PLC	178
本章小结	70	第三节 数控系统中 PLC 的信息交换	184
思考题与习题	70	第四节 辅助功能 (M、S、T) 的 实现	189
第三章 轮廓插补原理	72	本章小结	192
第一节 概述	72	思考题与习题	193
第二节 逐点比较法	74	第七章 数控系统硬软件及相关 技术	194
第三节 数字积分法	91	第一节 数控系统硬件结构	194
第四节 数据采样法	102	第二节 数控系统接口电路	201
第五节 其他插补方法	114	第三节 数控系统软件结构	211
本章小结	122	第四节 数控系统采用的软件技术	217
思考题与习题	123	第五节 数控系统通信与网络技术	233
第四章 进给运动的控制	125	第六节 典型数控系统硬软件结构 实例分析	249
第一节 概述	125	第七节 普通机床的数控改造	258
第二节 开环数控系统进给运动 控制	128	本章小结	262
第三节 闭环数控系统进给运动控制及 特性分析	139	思考题与习题	262
第四节 闭环数控系统进给驱动装置的 信号连接	147	第八章 新型数控系统简介	264
第五节 进给运动控制参数设置	152	第一节 现代数控系统发展趋势	264
第六节 进给运动的误差补偿	155	第二节 开放式数控系统	269
本章小结	158	第三节 并联机床	275
思考题与习题	159		

本章小结	285	辅助功能 M 代码	288
思考题与习题	286	附录 C ASCII 码	291
附录	287	附录 D 机床数字控制术语	292
附录 A ISO 代码和 EIA 代码	287	参考文献	297
附录 B 常见的各种准备功能 G 代码和			

第一章 数控系统概述

数控系统是现代机械制造系统的重要基础之一。而数控机床则是数控系统应用最为广泛和最为典型的一类系统。所以，本章首先阐述数控机床的基本概念、结构组成、分类方法、显著特点以及发展过程，然后着重讲解计算机数控系统的基本工作原理、内部信息流的处理过程及其各种功能，最后简单介绍数控机床与现代机械制造系统之间的关系。

第一节 基本概念

一、数控系统的基本概念

数控是数字控制 (Numerical Control, NC) 的简称。从广义上讲，是指利用数字化信息实行控制，也就是利用数字控制技术实现的自动控制系统，其被控对象可以是各种生产过程。而这里主要从狭义上理解，也就是利用数字化信息对机床轨迹和状态实行控制，例如数控车床、数控铣床、数控线切割机床、数控加工中心等。因此，本书主要以机床作为被控对象，讨论数控系统的工作原理。

任何生产都有一定的过程。采用数字控制技术，生产过程被用某种语言编写的程序来描述，以数字形式送入计算机或专用控制装置，利用计算机的高速数据处理能力，识别出该程序所描述的生产过程，通过计算和处理将此程序分解为一系列的动作指令，输出并控制生产过程中相应的执行对象，从而可使生产过程能在人不干预或少干预的情况下自动进行，实现生产过程自动化。可见，计算机数字控制系统都是由输入、决策与输出三个环节组成。

数控系统与被控机床本体的结合体称为数控机床。它是具有高附加值的技术密集型产品，实现了高度的机、电、液、光、气一体化。它集机械制造、计算机、微电子、现代控制及精密测量等多种技术为一体，使传统的机械加工工艺发生了质的变化。这个变化的本质就在于用数控系统实现了加工过程的自动化操作。

二、数控系统的组成

数控系统一般由输入/输出装置、数控装置、伺服系统 (驱动控制装置)、机床电器控制装置四部分组成，机床本体为被控对象，如图 1-1 所示。

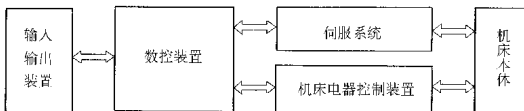


图 1-1 数控机床的组成框图

数控系统是严格按照外部输入的程序对工件进行自动加工的。我们将从外部输入的、描述机床加工过程的程序称为数控加工程序，它是用字母、数字和其他符号的编码指令规定的程序。数控加工程序按零件加工顺序记载机床加工所需的各种信息，有零件加工的轨迹信息（如几何形状和几何尺寸等）、工艺信息（如进给速度和主轴转速等）及开关命令（如换刀、切削液开/关和工件装/卸等）。数控加工程序常常记录在各种信息载体上，其形式可以是穿孔纸带、磁带、磁盘、半导体存储器等各种可以记载二进制信息的媒介。通过各种输入装置，信息载体上的数控加工程序将被数控装置所接收。

输入装置将数控加工程序等各种信息输入数控装置，输入的内容及数控系统的工作状态可以通过输出装置观察。常用的输入/输出装置有纸带阅读机、盒式磁带录音机、磁盘驱动器、通信网络接口、CRT及各种显示器件等。

数控装置是数控系统的核心。它的主要功能是：正确识别和解释数控加工程序，对解释结果进行各种数据计算和逻辑判断处理，完成各种输入、输出任务。其形式可以由数字逻辑电路构成的专用硬件数控装置或计算机数控装置。前者称作硬件数控装置，或 NC 装置，其数控功能由硬件逻辑电路实现；后者称为 CNC 装置，其数控功能由硬件和软件共同完成。数控装置将数控加工程序按两类控制信息分别输出：一类是连续控制量，送往驱动控制装置；另一类是离散的开关控制量，送往机床电器逻辑控制装置。

伺服系统（驱动控制装置）位于数控装置和机床本体之间，包括进给轴伺服驱动装置和主轴伺服驱动装置。进给轴伺服驱动装置由位置控制单元、速度控制单元、电动机和测量反馈单元等部分组成，它按照数控装置发出的位置控制命令和速度控制命令正确驱动机床受控部件的移动。主轴驱动装置主要由速度控制单元组成。

机床电器控制装置也位于数控装置和机床之间，接受数控装置发出的开关命令，主要完成机床主轴选速、起停和方向控制功能，换刀功能，工件装夹功能，冷却、液压、气动、润滑系统控制功能以及机床其他辅助功能。其形式可以是继电器控制线路或可编程逻辑控制器（PLC）。

根据不同的加工方式，机床本体可以是车床、铣床、钻床、镗床、磨床、加工中心及电加工机床等。与传统的普通机床相比，数控机床本体的外部造型、整体布局、传动系统、刀具系统及操作机构等方面都应该符合数控的要求。

数控机床还配有各种辅助装置，其作用是配合机床完成对零件的加工。如切削液或油液处理系统中的冷却或过滤装置，油液分离装置，吸尘吸雾装置，润滑装置及辅助主机实现传动和控制的气动、液动装置等。除上述通用辅助装置外，从目前数控机床技术现状看，至少还有五类辅助装置是数控机床应该配备的：对刀仪、自动编程机、自动排屑器、物料储运及上下料装置和交流稳压电源。

当数控系统采用计算机数控装置（CNC 装置）时，该数控系统就称为计算机数控系统。目前，在市场上以 NC 装置为核心的硬件数控系统已日渐减少，取而代之的是以 CNC 装置为核心的计算机数控系统，且绝大多数 CNC 装置都采用微型计算机系统。

计算机数控系统由硬件和软件共同完成数控任务，因此，其组成形式更加灵活。计算机数控系统的基本组成如图 1-2 所示，它具有数控系统一般组成形式的各个部分。此外，现代数控装置不仅能通过读取信息载体方式，还可以通过其他方式获得数控加工程序。例如，通过键盘方式输入和编辑数控加工程序；通过通信方式输入其他计算机程序编辑器、自动编程

器、CAD/CAM 系统或上位机所提供的数控加工程序。高档的数控装置本身已包含一套自动编程系统或 CAD/CAM 系统，只需采用键盘输入相应的信息，数控装置本身就能自动生成数控加工程序。

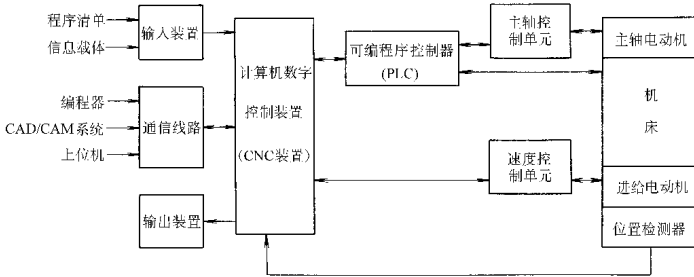


图 1-2 计算机数控系统的组成

计算机数控装置在软件作用下，可以实现各种硬件数控装置所不能完成的功能，例如图形模拟显示，系统诊断，各种复杂的轨迹控制算法和补偿算法的实现，智能控制的实现，通信及联网功能等。

现代数控系统采用可编程逻辑控制器（PLC）取代了传统的机床电器逻辑控制装置，即继电器控制线路。用 PLC 控制程序实现数控机床的各种继电器控制逻辑。PLC 可位于数控装置之外，称为独立型 PLC；也可以与数控装置合为一体，称做内装型 PLC。

三、数控系统中的有关约定

（一）数控加工程序的格式

如前所述，数控加工程序是从外部输入数控装置的、用以描述机床加工过程的程序。数控加工程序由一个个程序段组成，每一个程序段都由一个个功能字组成，每个功能字都由一个个字符组成，它将零件加工过程的几何数据、工艺数据以及各种辅助开关命令（换刀、冷却、夹紧、松开等），按机床部件的运动顺序，用数控系统规定的功能代码和程序格式编成加工程序单。一般数控加工程序段的格式如下：

N	___	G	___	X	___	Y	___	Z	___	F	___	S	___	T	___	M	___	LF
程	准									进	主	刀	辅					
序	备									给	轴	具	助					
段	功									速	速	功	功					
序	能									度	度	能	能					
号																		

每个程序段的起始为程序段序号功能字，随后为工艺和几何信息方面的功能字，段末以换行符或回车符结束。每个功能字以字母开始，后面跟着几位数字。常见的 26 个字母在数控系统中所表示的含义可参见附录 A。其中，准备功能字（G ___）指定数控系统应准备好某

种运动和工作方式，辅助功能字（M__）指定了数控系统在加工过程中的辅助开关量控制功能。常见的各种准备功能 G 代码和辅助功能 M 代码可参见附录 B 给出的行业标准 JB/T 3208—1999。例如数控加工程序段：

N010 G01 X60 Y40 F60 S800 T01 M03 LF

表示本程序段为第 10 段，指定机床运动部件以直线形式从刀具所在点移动到 $X=60$ 、 $Y=40$ 的点，移动速度为 $60\text{mm}/\text{min}$ ，主轴以转速 $800\text{r}/\text{min}$ 顺时针方向旋转，采用 1 号刀具。

（二）数控加工程序采用的编码

数控加工程序保存在控制介质上，其字母、数字和各种符号是以各种编码来表示的。在数控机床中常用的编码有两种，即 ISO 代码和 EIA 代码（参见附录 A）。

ISO 代码是由国际标准化组织（International Standard Organization）颁布的编码形式，是由八位二进制信息组成的编码，其最高位为补偶位，所能表示的信息量最多为 128 种。EIA 代码是由美国电子工业协会（Electronic Industry Association）颁布的代码，也是由八位二进制信息组成的编码，其由低位向高位数的第五位为补奇位，最高位只有“程序段结束”代码（CR）用到，因此，所能表示的信息量最多为 64 种。

在数控系统的存储器中，数控加工程序通常以 ASCII 码形式保存，它是美国信息交换标准代码，由七位二进制信息组成，能形成 127 个不同编码的组合（参见附录 C）。事实上，ISO 代码就是在 ASCII 码的基础上，在最高位增加一个补偶位形成的。

（三）数控机床坐标系

在数控系统中，为了精确控制机床移动部件的运动，需要建立相应的坐标系，统一规定数控机床坐标轴名称及其运动的正、负方向，可使编程简单，并使所编程序对同类机床具有互换性。对此，国际上很早就制定有统一标准。我国也于 1999 年颁布了 JB/T 3051—1999《数控机床坐标和运动方向的命名》，1989 年 2 月 15 日又由国际标准化组织 ISO/DP841 及其分技术委员会 ISO/TC184/SC1 新提出“机床数控——坐标轴和运动方向专用术语”。

标准的数控机床坐标系采用右手直角笛卡儿坐标系。基本坐标轴为 X、Y、Z 直角坐标，围绕 X、Y、Z 各轴的旋转运动轴为 A、B、C。用右手直角笛卡儿坐标法则可判定 X、Y、Z 三轴的关系和正方向；用右手螺旋法则则可判定三个直角坐标轴与 A、B、C 轴的关系和 A、B、C 轴的正方向，如图 1-3 所示。

当考虑刀具移动时，用不加“'”的字母表示运动的正方向；当考虑工件移动时，则用加“'”的字母表示运动的正方向。但为了使

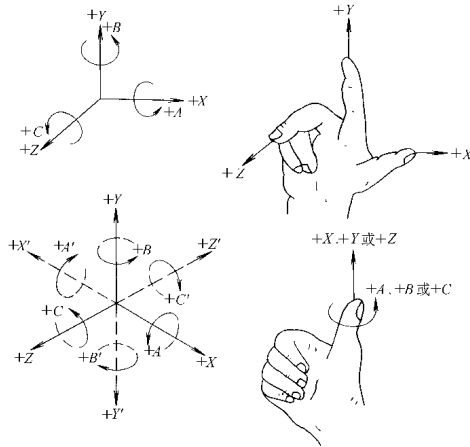


图 1-3 数控机床右手坐标系

编程人员在编程时不必考虑是刀具运动还是工件运动，只需根据零件图样进行编程，所以标准规定，在确定坐标系时，一律看作工件相对静止而刀具产生运动。另外，还规定增大刀具与工件之间距离的方向为正方向。

Z 轴为平行于机床主轴的坐标轴，如果机床有一系列主轴，则选择尽可能垂直于工件装夹面的主要轴为 Z 轴。 Z 轴的正方向定义为工件到刀具夹持的方向。

X 轴作为水平的、平行于工件装夹平面的轴，它平行于主要的切削方向，且以此为正向。对于工件旋转运动的机床（如车床、磨床），面向 Z 轴正向，右方为 X 轴正向；对于刀具旋转运动的机床（如铣床、镗床），当 Z 轴为水平时，则由主轴向工件看时，右方为 X 轴正向，当 Z 轴为垂直时，则由主要主轴向立柱（对双柱机床应为左侧立柱）看时右方为 X 轴正向；在没有旋转的刀具或工件（如牛头刨床）上， X 轴平行于主要切削方向。

Y 坐标轴垂直于 X 及 Z 轴坐标，当 $+X$ 、 $+Z$ 轴确定后，按右手直角坐标系确定 Y 轴。

X 、 Y 、 Z 为主坐标系，或称第一坐标系。若有平行于 X 、 Y 、 Z 的第二组坐标和第三组坐标，则分别指定为 U 、 V 、 W 和 P 、 Q 、 R 。靠近主轴的直线运动为第一坐标系，稍远的为第二坐标系。

图 1-4 所示为数控车床和数控铣床坐标系示意图。

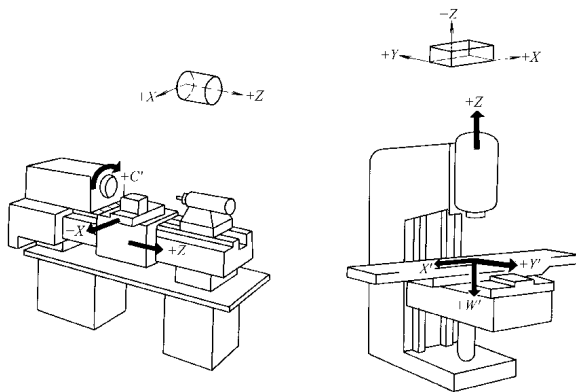


图 1-4 数控车床和数控铣床坐标系

在数控机床中，根据坐标原点不同，同时存在着多种坐标系，包括机床坐标系、工件坐标系（编程坐标系）、绝对坐标系和相对坐标系等。为了确定各种坐标系下的坐标值，必须先明确一些“点”的概念，包括机床零点、机床参考点、工件零点和刀架相关点。图 1-5 所示为立式铣床及加工中心各坐标点的关系，图 1-6 所示为数控车床各坐标点的关系。图中 M 为机床零点、 R 为机床参考点、 W 为工作零点、 C 为刀架相关点、 P 为刀尖， XMW 、 ZMW 为工件零点到机床零点的坐标，而 XMR 、 ZMR 为机床参考点到机床零点的坐标， XCR 、 ZCR 为机床参考点到刀架相关点的坐标， XCP 、 ZCP 为刀尖到刀架相关点的坐标。在图 1-5 中，主轴上的 R 点实际上即为刀架相关点（图中已与参考点重合）。

机床零点（机械原点、机床原点） M 是机床坐标系的设计原点，它在机械硬件上的位置是由机床本体制造厂家所确定的。

机床参考点（电气原点） R 是机床制造厂在机床上设置的，通过末端行程开关粗测定，又用测量系统精测定的一个固定点，通常位于工作台运行范围的一个角上。它相对机床零点的坐标位置在机床出厂前已经精确地确定，是数控装置确定机床原点的参考点。通过“回参考点”工作方式，可手动或由程序控制，以 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ 的精度到达参考点。有些数控系统开机后能自动回参考点，并使当前实际坐标值也置为参考点相对机床原点的确定值。

工件零点（编程原点） W 是编程人员在编写数控加工程序时，为定义工件尺寸，在工件上选择的坐标原点。在一个工件上，这样的原点可以设定一个或多个。因工件安装在工作台或夹具上的位置是不固定的，所以工件原点相对机床原点的位置也是变动的，因此，又称其为浮动原点。工件原点相对机床原点的坐标位置由 G 代码（G54~G59 等）指定，可由编程人员编入程序或通过数控系统的数控面板等设备输入。

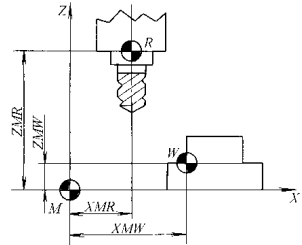


图 1-5 立式加工中心各坐标点关系示意图

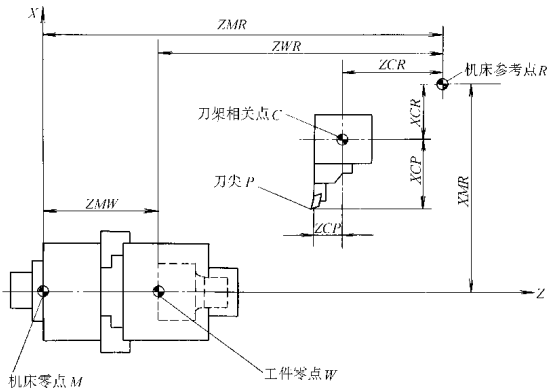


图 1-6 数控车床各坐标点关系示意图

刀架相关点 C 是机床制造厂在刀架上设置的一个位置点，当机床回参考点运行后，它与机床参考点 R 相重合。在工件的实际加工中，一般都要使用多把刀具，如粗加工刀具、精加工刀具及孔加工刀具等，各刀具的切削点相对刀架相关点的偏离位置将被测出，作为刀具参数，在加工开始前输入系统，用于加工轨迹的相应校正（刀具补偿计算）。

数控机床的各运动坐标点可以在绝对坐标系或相对坐标系下确定。若各坐标点都以某一

固定坐标原点来计量，这样的坐标系称为绝对坐标系；若运动轨迹的终点以其起点为坐标原点来计算，这样的坐标系称为相对坐标系。

四、数控系统的分类

(一) 按数控机床运动轨迹分类

1. 点位数控系统

这类数控系统控制机床运动部件从一点准确地移动到另一点，在移动过程中不进行加工，因此对两点间的移动速度和运动轨迹没有严格要求，可以先沿一个坐标轴移动完毕，再沿另一个坐标轴移动，也可以多个坐标轴同时移动。但是为了提高加工效率，一般要求运动时间最短；为了保证定位精度，常常要求运动部件的移动速度是“先快后慢”，即先以快速移动接近目标点，再以低速趋近并准确定位。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床和数控冲床等。

2. 直线数控系统

这类数控系统不仅要控制机床运动部件从一点准确地移动到另一点，还要控制两相关点之间的移动速度和轨迹。其轨迹一般为与某坐标轴平行的直线，也可以为与坐标轴成 45° 夹角的斜线。但不能为任意斜率的直线。由于这类数控系统可一边移动一边切削加工，因此其辅助功能也比点位数控系统多一些。例如，它可能被要求具有主轴转速控制、进给速度控制和刀具自动交换等功能。这类数控机床主要有简易数控车床、数控镗床等。也可以与点位数控系统结合起来，设计成点位/直线数控系统。

3. 轮廓数控系统

这类数控系统能够同时对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制，使其合成的平面或空间的运动轨迹符合被加工工件图样的要求。这类数控系统的辅助功能比前两类都多。相应的数控机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床、加工中心和电加工机床等。

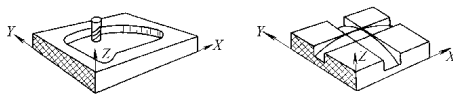


图 1-7 同时控制两个坐标的轮廓加工

连续切削控制系统同时控制且

相互独立的轴数，可以有 2 轴控制，

2.5 轴控制，3、4、5 轴控制等。2 轴控制指的是可以同时控制 2 轴，但机床也许多于 2 轴，如 X、Y、Z 三个移动坐标轴，可以进行如图 1-7 所示形状的零件加工。2.5 轴控制是指两个轴连续控制，第三个轴点位或直线控制，从而实现三个主要轴 X、Y、Z 内的二维控制。3 轴控制是指同时控制 X、Y、Z 三个坐标，这样刀具在空间的任意方向都可移动，因而能够进行三维的立体加工，如图 1-8 所示。

4 轴控制是指同时控制四个坐标运动，即在三个平动坐标之外，再加一个旋转坐标。同时控制四个坐标的数控机床如图 1-9 所示，可用来加工叶轮或圆柱凸轮。5 轴控制中的 5 个轴是三个平动坐标 X、Y、Z，再加上围绕这些直线坐标旋转的旋转坐标 A、B、C 中的两个坐标形成同时控制五个坐标，这时刀具可以给定在空间的任意方向，因而当进行曲面切削时，可以使刀具对曲面保持一定角度，如图 1-10 所示。此外，5 轴联动数控机床在一次

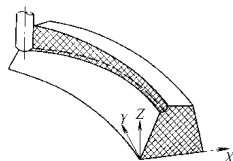


图 1-8 3 轴联动的轮廓加工