

· 应用型系列教材 ·

总主编 吴国华

数控机床实训教程

主 编 隋信举 盛光英 赵福辉

副主编 史文杰 丁丽娟 陈 松 魏茂源



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

数控机床实训教程

主 编 隋信举 盛光英 赵福辉

副主编 史文杰 丁丽娟 陈 松 魏茂源

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是依据数控职业技能鉴定考试的要求,在总结多年实践教学与培训经验的基础上编写而成的。全书共六章,内容包括:数控机床概论、数控机床的加工工艺及刀具系统、数控车床的操作与编程、数控铣床(加工中心)的操作与编程、数控机床的维护与保养、数控职业技能鉴定。为了方便学生理解数控加工工艺和编程基础知识,书中列举了适量的操作与编程实例。

本书既可作为高校数控实训教材,也可作为数控职业技能鉴定和企业职工培训教材或教学参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床实训教程 / 隋信举, 盛光英, 赵福辉主编. —北京: 电子工业出版社, 2016.12

ISBN 978-7-121-30689-1

I. ①数… II. ①隋… ②盛… ③赵… III. ①数控机床—高等学校育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 312937 号

策划编辑: 朱怀永

责任编辑: 朱怀永

印 刷: 三河市良远印务有限公司

装 订: 三河市良远印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15.75 字数: 396 千字

版 次: 2016 年 12 月第 1 版

印 次: 2016 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010) 88254608 或 zhy@phei.com.cn。

序

17 世纪，德国哲学家、数学家莱布尼茨发明了二进位制，视其为“具有世界普遍性的、最完美的逻辑语言”。他有两个没想到。第一个没想到在后来，二百多年以后，二进位制成了计算机软件的数学基础，构筑了丰富多彩的虚拟世界。第二个没想到在先前，五千多年前的《周易》描绘了阴阳两元创化的智慧符号。莱氏从法国汉学家处看到了八卦，认定那是中国版的二进制。可惜他晚了五千年。《周易》也可惜，被拿去算卦，从阴阳看吉凶，深悟其中的道教天师成就了前知五百年，后知五百载的“半仙之体”。莱布尼茨也有宗教情结，他认为每周第一天为 1，亦即上帝，这是世界的一翼。数到第 7 天，一切尽有，是世界的另一翼。7 按照二进制表示为“111”，八卦主吉的乾卦符号为三横。这三竖三横只是方向不同，义理暗合。

《周易》为群经之首，设教之书，大道之源。“一阴一阳之谓道”，两仪动静是人类活动总源头，为万物本元图式。李约瑟视其为宇宙力场的正极和负极。西方学者容格评价更高，谈到世界智慧宝典，首推《周易》。他认为，在科学方面，我们所得出的许多定律是短命的，常常被后来的事实所推翻，唯独《周易》亘古常新，五六千年，依然活络。

乾与坤，始与终，精神与物质，主体与客体，合目的性与合规律性，工具理性与价值理性，公平与效率，社会与个人，人权与物权，政府与民众，自由与必然，形式与内容，理性与感性，陆地与海洋，东方与西方，和平与战争，植物与动物，有机与无机……在稀薄抽象中，二元逻辑是通则。我们的家庭也一样，一男一女是基础，有了后代，父母与子女也是二元存在。

世界无比丰富，不似二元那样单纯。但多元是双元的裂变，两端间的模糊带构成了丰富多彩的发挥天地。说到四季，根在两季，冬与夏代表冷与热，是基本状态，春秋的天气或不冷不热，或忽冷忽热，在冬夏间往复震荡。我攻读博士学位时搞的是美学，摇摆于哲学与艺术两域，如今沉思在文化里，那两个幽灵依然在脑海里“作怪”。我下过九年乡，身上有农民气，读过十年大学，身上有书生气，下笔喜欢文词，也喜欢白话，两者掺和在一起，不伦不类，或许也是特色。

烟台南山学院为了总结教学科研成果，启动了百部编著工程。没有统领思路，我感到杂乱无章，思前想后，觉得还是二元逻辑可靠。从体例上来说是二元的，一个系列是应用教材，一个系列是学术文库；从内容上来说也是两元的，有的成果属于自然科学，研究物，有的成果属于社会科学，研究人。南山学院是中国制造业百强企业创办的高校，产业与专

业相互嵌入，学校既为企业培养人才，也为社会培养人才，也是二元的。我们决定从书封面就按这一思路设计：二进位制与阴阳八卦，一个正面，一个背面；一个数学，一个哲学，一个科学，一个文化；一个近代，一个古代；一个外国，一个中国。

南山学术文库重视学理，也重视术用，这便是两元关照。如果在书中这一章讲理论，另一章讲实践，我们能接受。最受欢迎的是有机状态，揭示规律的同时，也揭示运用规律的规律，将科学与技术一体化。科学原创是发现，技术原创是发明，要让两者连通起来。对于“纯学术”著作，我们也提出了引向实践的修改要求，不光是为了照顾书系的统一，也是为了表达两元的学术主张。如果结合得比较生硬，也请读者谅解。我们以为，这是积极的缺欠，至少方向是对的。清流学者与实用保持距离，以为那是俗人的功课，这种没有技术感觉的科学意识并不透彻。我们倡导术用的主体性，反对大而无当的说理，哪怕有一点用处，也比没用的大话强。如果操作方案比较初级，将来可以优化。即便不合理，可能被推翻，也有抛砖引玉的作用，并非零价值，有了“玉”，“砖”就成了过季的学术文物，但文物不是废物。在学术史上哪怕写上我们一笔，仅仅轻轻的一笔，我们也满足了，没白活。

吴国华教授曾经提出，应用型大学的门槛问题在标准上，我很赞成，推荐他随中国民办教育协会代表团去德国考察二元制教育，回来后，吴教授主持应用标准化建设的信心更足了。德国的二元制教育有两个教育主体——学校与企业；受教育者有两个身份——学生与员工；教育者有两套人马——教员与师傅。精工制造，德国第一，这得益于二元制教育弘扬的工匠精神。我们必须改变专业主导习惯，提倡行业引领，专业追随行业，终端倒逼始端。应用专业的根在课程里，应用课程的根在教材里，应用教材的根在标准里，应用标准的根在行业里，线性的连续思路也是两元转化过程，从这一点走向另一点。我们按照这样的逻辑推动教材建设，希望阶段性成果能接地气。企业的技术变革速度快于大学，教材建设永远是过程，只能尽可能地缩短时差。

在《论语·子罕》中，孔子说：“吾有知乎哉？无知也。有鄙夫问于我，空空如也。我叩其两端而竭焉。”他认为自己并不掌握什么知识，假使没文化的人来请教，他不知道如何回答。但是孔子自认为有一个长处，那就是“叩其两端而竭”，弄清正反、本末、雅俗、礼法、知行……把两极看透，把两极间的波动看清，在互证中获得深知与致知，此为会通之学。这时，“空空如也”就会变成“盈盈如也”。那“竭”字很有张力，有通吃的意思。孔子是老师，我们也是老师，即便努力向先师学习，我们也成不了圣人，但可以成为聪明些的常人。世界是整块的，宇宙大爆炸后解散了，但依然恪守着严格的队列。《庄子》中有个混沌之死的故事，混沌代表“道”，即宇宙原本，亦为人之初，命之始，凿开七窍后，混沌死了。庄子借此说明，大道本来浑然一体，无所分界。“负阴而抱阳”，阳体中有阴眼，阴体中有阳眼。看出差别清醒，看出联系明晰。内视开天目，心里有数。

二元逻辑的重点不在“极”，而在“易”，两极互动相关，才能释放能量。道家以为，缺则全，枉则直，洼则盈，少则得，多则惑，兵强则灭，木强则折，坚强处下，柔弱处上，事物在反向转化中发展着。《周易》乃通变之学，计算机中的二进位制，也是在高速演算中演义世界的。

哈佛大学等名校在检讨研究型大学的问题时，比较一致的看法是忽视了本科教育。本科是本，顶天不立地，脚步发飘。中国科学院原就有水平很高的研究生院，现在又成立了

中国科学院大学，也要向下延伸到本科。高等教育的另一个极化问题出现在教学型高校中，许多人认为这里的主业是上课，搞不搞研究无关大局。其实科研是教学的内置要素，是两极，也是一体，两手抓，两手都要硬。科研好的教师不一定是好教师，但是科研不好的教师一定不是好教师，不爱搞学问的老师教不出会学习的学生，很难说教学质量有多高，老师自己都没有创新能力，怎么能培养出有创新能力的学生呢？二元思维是辩证的，不可一意孤行。我们的百部著述工程包含教学与科研两大系列，想表达的便是共荣理念，虽然水平有限，但信念是坚定的。

以《周易》名言收笔——“天行健，君子以自强不息。”

徐宏力

2016年7月17日于龙口

前 言

数控制造技术是集机械制造技术、计算机技术、微电子技术、现代控制技术、网络信息技术、机电一体化技术于一身的多学科高新制造技术，数控技术水平的高低、数控机床的拥有量已经成为衡量一个国家工业现代化的重要标志。

随着制造业的快速发展，企业需要大批数控机床编程、操作的工程技术人员。为顺应制造业的发展需求，众多高等院校把培养数控技能型人才放在实训教学的首位，加强学生动手能力的培养，使学生成为企业生产服务一线的高素质劳动者。

本书以市场占有率高的 FANUC、SIEMENS 系统为载体，并结合数控机床的特点、多年的实训经验和职业技能鉴定而编写。本书突出了实践技能和编程技能的培养，突出了学生对所学知识的应用能力和综合能力的培养。书中内容包括工艺分析、编程知识、操作步骤及编程实例。案例中的程序均在实践教学中经过检验，读者可以放心使用。

本书可作为应用型本科学校和高职业院校材料成型及控制工程、数控制造、模具设计、机电技术及机械设计专业的教材和参加国家职业技能鉴定高级工培训的辅导书。

本书的参考学时数为 90~120 学时。教师在组织实训教学时，可根据自己学校的教学计划和硬件设施酌情予以增减。

本书由烟台南山学院隋信举、盛光英和南山集团赵福辉主编，烟台南山学院史文杰、丁丽娟、陈松、魏茂源担任副主编，周天胜、周书杰、赵松林、苏美英参编。其中第一章、第二章由盛光英、史文杰、赵松林编写，第三章由隋信举、陈松、周天胜编写，第四章由赵福辉、丁丽娟、魏茂源编写，第五章、第六章由隋信举、周书杰、苏美英编写。全书由隋信举统稿和定稿。

本书编写过程中得到了原烟台南山学院机械工程实验中心诸多教师和南山集团机加工中心技术人员大力支持，在此表示感谢。由于编者水平有限，难免有疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

为了方便读者阅读和学习本书章节内容，本书编写人员精心组织和开发了配套的文档、视频、动画、图片等形式的数字化学习资源，以章为单位制作了数字化学习资源的链接二维码，放在每章的开始处。读者使用手机等智能终端扫描二维码即可在线查看。

编 者

2016 年 8 月

目 录

第一篇 基础篇

第一章 数控机床概论	- 3 -
第一节 数控机床的工作原理和组成	- 3 -
第二节 数控机床的分类	- 5 -
第三节 数控机床的坐标系统	- 7 -
第四节 数控技术的发展趋势	- 11 -
实训自测题一	- 15 -
第二章 数控机床的加工工艺及刀具系统	- 16 -
第一节 数控编程方法	- 16 -
第二节 数控机床加工工艺设计	- 17 -
第三节 数控加工路线的确定	- 18 -
第四节 切削用量的选择	- 23 -
第五节 数控加工工艺文件	- 27 -
第六节 数控加工刀具系统	- 30 -
实训自测题二	- 35 -

第二篇 操作与编程篇

第三章 数控车床的操作与编程	- 39 -
第一节 FANUC0i 系统有关功能	- 41 -
第二节 FANUC0i 系统操作面板简介	- 44 -
第三节 FANUC0i 系统数控车床编程基本指令	- 48 -
第四节 FANUC0i 系统数控车床加工实例	- 75 -
第五节 SIEMENS—802D 系统数控车床功能简介	- 79 -
第六节 SIEMENS—802D 系统数控车床的操作	- 81 -

第七节 SIEMENS—802D 系统数控车床编程基本指令	85 -
第八节 SIEMENS—802D 系统数控车床加工实例	93 -
实训自测题三	97 -
第四章 数控铣床（加工中心）的操作与编程	100 -
第一节 FANUC 0i Mate-MC 面板及各键功能	102 -
第二节 FANUC 0i Mate-MC 基本操作	105 -
第三节 FANUC 0i Mate-MC 编程	117 -
第四节 SINMERIK 802D 数控铣床（加工中心）面板及各键功能	144 -
第五节 SINMERIK 802D 系统数控铣床（加工中心）基本操作	146 -
第六节 SIEMENS 系统数控铣床（加工中心）编程与操作	156 -
第七节 数控铣床（加工中心）加工实例	165 -
实训自测题四	172 -
 第三篇 能力提升篇 	
第五章 数控机床的保养与维护	179 -
第一节 数控机床的维护与保养基础知识	179 -
第二节 数控机床的维护保养规范	184 -
第三节 数控机床的故障分析与诊断	187 -
第四节 数控机床常见报警信息及系统故障排除实例	193 -
实训自测题五	201 -
第六章 数控职业技能鉴定	202 -
第一节 数控职业技能鉴定概述	202 -
第二节 数控机床操作工国家职业标准	204 -
第三节 数控职业资格鉴定方式	217 -
第四节 数控机床高级工鉴定样题	218 -
实训自测题六	238 -
参考文献	239 -

第一篇 基础篇

第一章 数控机床概论



教学目标

1. 了解数控机床的工作原理、组成、分类。
2. 了解数控机床产生和发展趋势。
3. 掌握数控机床坐标系命名原则及坐标方向规定。



教学方法

数控基地现场讲解和视频多媒体课件讲解。



课时安排

理论 4 学时，现场教学 4 学时。

第一节 数控机床的工作原理和组成

一、数控机床的工作原理

1. 数控机床

采用数字化信号对机床的运动及加工过程进行控制的机床，称为数控机床。

2. 计算机数控 (CNC)

采用存储程序的专用计算机来实现部分或全部基本数控功能，则称为计算机数控。

3. 数控机床零件加工的步骤

- (1) 分析零件图，确定加工方案，用规定代码编程；
- (2) 输入数控装置；
- (3) 数控装置对程序进行译码、运算，向机床各伺服机构和辅助控制装置发信号—驱动—执行—加工零件。

二、数控机床的组成

数控机床主要由以下部分组成，图 1.1 为数控机床的系统组成，图 1.2 为数控机床的主要结构。

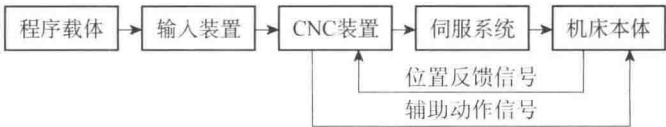


图 1.1 数控机床的系统组成

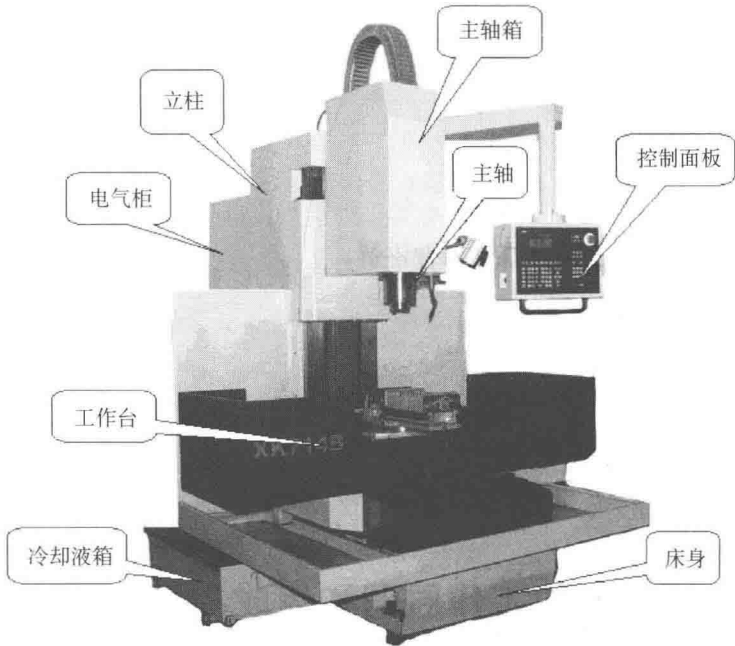


图 1.2 数控机床结构

1. 程序载体

程序：包括加工零件所需的全部信息和刀具相对工件的位移信息。
载体：穿孔纸带、磁带、磁盘（软盘、硬盘、内存 RAM）。

2. 输入装置

作用：将程序载体内有关加工的信息读入 CNC 装置。
穿孔纸带——光电阅读机。

磁带——录放机。

磁盘——驱动器和驱动卡。

MDI——手动输入装置。

3. CNC 装置

作用：接收输入装置输入的加工信息，完成数值计算、逻辑判断、输入输出控制等功能。

4. 伺服系统

作用：将数控装置发来的各种动作指令，转化成机床移动部件的运动，包括电动机、速度控制单元、测量反馈单元、位置控制单元。

5. 位置反馈系统

作用：将其准确测得的角位移或直线位移数据迅速反馈给数控装置，以便与加工程序给定的指令值进行比较和处理。

6. 机床本体

包括主运动系统、进给运动系统和辅助部分（液压、气动、冷却、润滑）。

第二节 数控机床的分类

一、按加工工艺方法分类

1. 金属切削类数控机床

与传统的车、铣、钻、磨、齿轮加工相对应的数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。尽管这些数控机床在加工工艺方法上存在很大差别，具体的控制方式也各不相同，但机床的动作和运动都是数字化控制的，具有较高的生产率和自动化程度。

在普通数控机床加装一个刀库和换刀装置就成为数控加工中心机床。加工中心机床进一步提高了普通数控机床的自动化程度和生产效率。例如铣、镗、钻加工中心，它是在数控铣床基础上增加了一个容量较大的刀库和自动换刀装置形成的，工件一次装夹后，可以对箱体零件的四面甚至五面大部分加工工序进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工，特别适合箱体类零件的加工。加工中心机床可以有效地避免由于工件多次安装造成的定位误差，减少了机床的台数和占地面积，缩短了辅助时间，大大提高了生产效率和加工质量。

2. 特种加工类数控机床

除了切削加工数控机床以外，数控技术也大量用于数控电火花线切割机床、数控电火花成型机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机床以及数控激光加工机床等。

3. 板材加工类数控机床

常见的应用于金属板材加工的数控机床有数控压力机、数控剪板机和数控折弯机等。近年来，其他机械设备中也大量采用了数控技术，如数控多坐标测量机、自动绘图机

及工业机器人等。

二、按控制运动轨迹分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确定位，在移动和定位过程中不进行任何加工。机床数控系统只控制行程终点的坐标值，不控制点与点之间的运动轨迹，因此几个坐标轴之间的运动无任何联系。可以几个坐标同时向目标点运动，也可以各个坐标单独依次运动。

这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机等。点位控制数控机床的数控装置称为点位数控装置。

2. 直线控制数控机床

直线控制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变化。

直线控制的简易数控车床，只有两个坐标轴，可加工阶梯轴。直线控制的数控铣床，有三个坐标轴，可用于平面的铣削加工。现代组合机床采用数控进给伺服系统，驱动动力头带有多轴箱的轴向进给进行钻镗加工，它也可算是一种直线控制数控机床。

数控镗铣床、加工中心等机床，它的各个坐标方向的进给运动的速度能在一定范围内进行调整，兼有点位和直线控制加工的功能，这类机床应该称为点位/直线控制的数控机床。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上运动的位移及速度进行连续相关的控制，使合成的平面或空间的运动轨迹能满足零件轮廓的要求。它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标，而且能控制整个加工轮廓每一点的速度和位移，将工件加工成要求的轮廓形状。

常用的数控车床、数控铣床、数控磨床就是典型的轮廓控制数控机床。数控火焰切割机、电火花加工机床以及数控绘图机等也采用了轮廓控制系统。轮廓控制系统的结构要比点位/直线控系统更为复杂，在加工过程中需要不断进行插补运算，然后进行相应的速度与位移控制。

现在计算机数控装置的控制功能均由软件实现，增加轮廓控制功能不会带来成本的增加。因此，除少数专用控制系统外，现代计算机数控装置都具有轮廓控制功能。

三、按驱动装置的特点分类

1. 开环控制数控机床

这类控制的数控机床是其控制系统没有位置检测元件，伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机。数控系统每发出一个进给指令，经驱动电路功率放大后，驱动步进电机旋转一个角度，再经过齿轮减速装置带动丝杠旋转，通过丝杠螺母机构转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率与脉冲数所决定的。此类数控机床的信息流是单向的，即进给脉冲发出去后，实际移动值不再反馈

回来，所以称为开环控制数控机床。

开环控制系统的数控机床结构简单，成本较低。但是，系统对移动部件的实际位移量不进行监测，也不能进行误差校正。因此，步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响被加工零件的精度。开环控制系统仅适用于加工精度要求不很高的中小型数控机床，特别是简易经济型数控机床。

2. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床是在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置，直接对工作台的实际位移进行检测，将测量的实际位移值反馈到数控装置中，与输入的指令位移值进行比较，用差值对机床进行控制，使移动部件按照实际需要的位移量运动，最终实现移动部件的精确运动和定位。从理论上讲，闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的检测精度，也与传动链的误差无关，因此其控制精度高。这类控制的数控机床，因把机床工作台纳入了控制环节，故称为闭环控制数控机床。

闭环控制数控机床的定位精度高，但调试和维修都较困难，系统复杂，成本高。

3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床是在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角位移电流检测装置（如光电编码器等），通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的实际位移，然后反馈到数控装置中去，并对误差进行修正。通过测速元件和光电编码盘可间接检测出伺服电动机的转速，从而推算出工作台的实际位移量，将此值与指令值进行比较，用差值来实现控制。由于工作台没有包括在控制回路中，因而称为半闭环控制数控机床。

半闭环控制数控系统的调试比较方便，并且具有很好的稳定性。目前大多将角度检测装置和伺服电动机设计成一体，这样使结构更加紧凑。

4. 混合控制数控机床

将以上三类数控机床的特点结合起来，就形成了混合控制数控机床。混合控制数控机床特别适用于大型或重型数控机床，因为大型或重型数控机床需要较高的进给速度与相当高的精度，其传动链惯量与力矩大，如果只采用全闭环控制，机床传动链和工作台全部置于控制闭环中，闭环调试比较复杂。混合控制系统又分为两种形式：

（1）开环补偿型。它的基本控制选用步进电动机的开环伺服机构，另外附加一个校正电路。用装在工作台的直线位移测量元件的反馈信号校正机械系统的误差。

（2）半闭环补偿型。它是用半闭环控制方式取得高精度控制，再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环修正，以获得高速度与高精度的统一。

第三节 数控机床的坐标系统

一、数控机床坐标系命名原则

数控机床的进给运动，有的由主轴带动刀具运动来实现，有的由工作台带着工件运动

来实现。命名原则是假定工件不动，刀具相对于工件做进给运动，增大工件与刀具之间距离的方向是机床运动的正方向，以刀具的运动轨迹来编程。

二、数控机床坐标系

常见车床的坐标如图 1.3～图 1.6 所示。

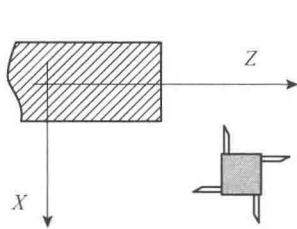


图 1.3 前置刀架车床坐标系

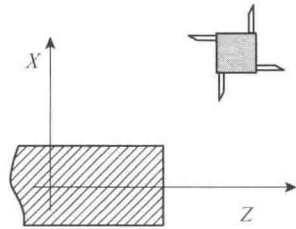


图 1.4 后置刀架车床坐标系

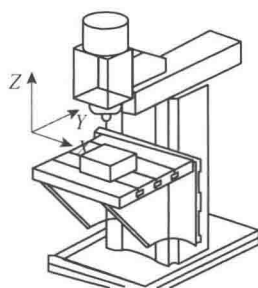


图 1.5 立式铣床坐标系

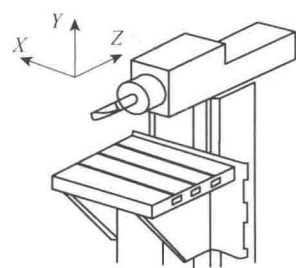


图 1.6 卧式铣床坐标系

三、坐标方向规定

为简化编程和保证程序的通用性，对数控机床的坐标轴和方向命名制定了统一的标准，规定直线进给坐标轴用 X 、 Y 、 Z 表示，常称基本坐标轴。 X 、 Y 、 Z 坐标轴的相互关系用右手定则决定，如图 1.7 所示，图中大姆指的指向为 X 轴的正方向，食指指向为 Y 轴的正方向，中指指向为 Z 轴的正方向（站在机床前面，右手中指从主轴进给方向伸出）。

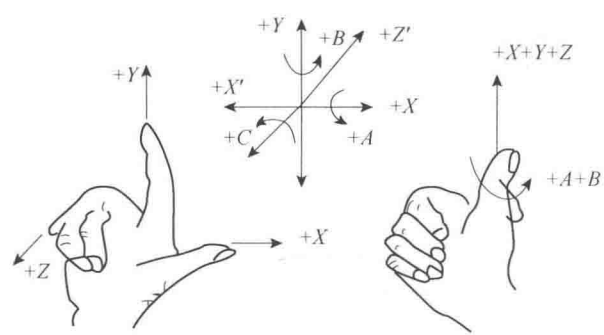


图 1.7 数控机床坐标系的确定法则

围绕 X 、 Y 、 Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A 、 B 、 C 表示，根据右手螺旋定则，如