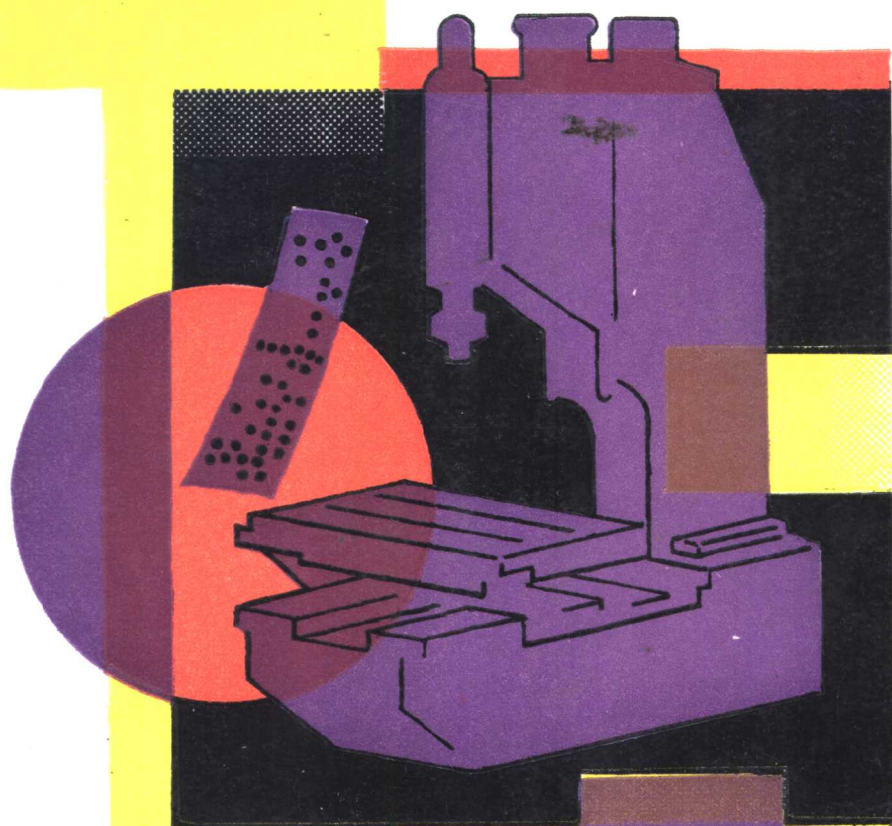


实用数控机床 技术手册



SHI YONG SHUKONG
JICHUANG JI SHU
SHOU CE

北京出版社

TG659-62
4032

实用数控机床技术手册

北 京 出 版 社

(京) 新登字 200 号

内 容 提 要

全书分七章, 详细介绍数控技术基础知识、数控机床的结构与元件、数控编程、数控装置、伺服系统及位置测量、数控系统的维修与调试、数控机床的使用等, 并附有国产数控机床介绍。内容翔实, 图文并茂, 实用性强。

本书可供机械加工技术人员、管理干部阅读, 亦可供高等院校及中等专业学校有关专业的师生参考。

实用数控机床技术手册

SHIYONG SHUKONG JICHUANG JISHU SHOUCHE

*

北 京 出 版 社 出 版

(北京北三环中路 6 号)

邮政编码: 100011

北 京 出 版 社 总 发 行

新华书店北京发行所经销

北京市朝阳广益印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 49.25 印张 1209 000 字

1993 年 8 月第 1 版 1993 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—4 500

ISBN 7-200-01934-8/Z·219

定 价: 45.00 元

推广机电一体化用微电
子技术来改造装备工

业

一九九二年八月十六日

倪志福

我国现在已经有相当数量的数控机床,今后还将会增加,这是一支先进高效的生产力,要发挥它的效益,还不是一件容易的事情,还得认真的学习。实用手册及时出版,对这项先进技术设备的使^用和^选择,是有很^大帮助的,我非常赞同并希望它早日和读者见面。

沈凤鸣

一九九一年十一月于北京

《实用数控机床技术手册》编委会成员

主任：唐仲文（中国机电一体化协会理事长，原机械电子工业部副部长）

副主任：陈璧光（中国职工技术交流中心主任，高级工程师）

徐文星（机械电子工业部机床司司长，高级工程师）

权义鲁（中国机床总公司总经理，高级工程师）

彭晋龄（北京机床研究所所长，高级工程师）

委员：（以姓名笔划为序）

王红洁（中国职工技术交流中心高级工程师）

田玉顺（北京出版社，本书责任编辑）

张连祥（武汉重型机床厂厂长，高级工程师）

张运镁（沈阳中捷友谊厂总电气师）

华平澜（北京市电子办公室总工程师）

刘任需（原机械电子工业部机床司副总工程师）

李绪成（北京市机电研究院副院长，高级工程师）

李福生（北京国兴电子公司技术顾问，本书主编，高级工程师）

陈信祥（北京市经委总工程师）

余名珩（上海开通数控公司高级工程师）

冒泽泉（北京市机械局局长，高级工程师）

宋剑行（中国机床工具协会高级顾问，高级工程师）

吴家龙（常州机床厂厂长，高级工程师）

易炜里（济南第一机床厂厂长，高级工程师）

- 金振华 (大连组合机床研究所所长, 高级工程师)
- 周文华 (机械电子工业部职工技术协会秘书长, 高级工程师)
- 杨楚保 (北京第一机床厂总工程师)
- 杨鲁阳 (北京国兴电子公司董事长)
- 郭嘉鸿 (机械电子工业部职工技术协会常务副会长, 高级工程师)
- 黄 浙 (机械电子工业部机床司副司长, 总工程师)
- 曹敬曾 (机械工业科学技术情报研究所高级工程师)
- 董庆祥 (沈阳第一机床厂厂长, 高级工程师)
- 解明久 (中国数控集团副总经理, 高级工程师)
- 韩至骏 (清华大学精密仪器系教授)
- 高光润 (沈阳第三机床厂副总工程师, 高级工程师)

《实用数控机床技术手册》主要编写人员

主 编: 李福生 **主 审:** 刘任需

主要编著人员有:

李福生、陈循介、王玉琪、厉承兆、
金志霞、汤季安、李京生

前 言

数字程序控制技术(简称数控技术),是根据生产工艺程序,用电子计算机对机械加工过程进行信息处理与控制,达到生产过程自动化的一门技术。用数控技术控制机械加工过程的机床,称为数控机床。随着电子元器件、电子计算机、传感器、信息和自动控制等技术的进步,数控机床得到迅速发展,在机械工业中的应用越来越普及。

数控机床经历了电子管、晶体管、集成电路 IC、大规模和超大规模集成电路 (LSI、VLSI*), 以及小型、超小型、微型计算机控制的数控机床等几个发展阶段。我国于 1958 年开始进行数控机床的研制生产。从 1980 年起,从国外引进数控系统和宽调速直流伺服电机与主轴电机(近几年又有向交流电机发展的趋势)的制造技术,并与有关国家进行技术交流、合作,从而使我国机床的数控化率得到逐步提高。

展望未来,数控技术既是机电一体化 Mechantronics 的典型产品,又是高新技术的重要组成部分。它正在向高性能(如高速、大容量、高生产率等)、高精度(并具有精度的一致性、保持性)、高可靠性,增加与增强使用功能,以及简化产品结构、改善操作性能、节约能源材料、减轻劳动强度,增大生产柔性(并以它为基础,组成柔性制造单元 FMC、柔性制造系统 FMS、计算机集成制造系统 CIMS 或无人化自动工厂 FA),缩短生产周期和生产准备周期,提高智能化、小型轻量化和综合自动化、无人化方向发展。

为了发展我国数控机床技术,提高有关干部和广大职工的技术素质和业务素质,能正确地选用、验收、调试、操作、维修,以更好的发挥其功能、性能、效能,我们组织编写了《实用数控机床技术手册》一书。全书分七章,系统介绍数控技术基础、数控机床的结构、数控编程、计算机数控装置、伺服系统和数控系统的选用、验收、安装调试和保养维修,以及数控机床的使用和操作等。本书内容系统、丰富,素材新颖、全面,图文并茂,文字流畅、易懂。本书主编李福生、参加编写的有北京机床研究所陈循介、王玉琪、厉承兆、金志霞,上海市机床研究所汤季安等同志,在数控技术的研究和生产制造工艺等方面,都具有丰富的经

* Very large Scale Integrated Circuit

验，所写内容有较高的可读性，适宜一般具有大、中专文化水平，对机械加工技术有一定知识的技术干部、技术工人、管理干部等阅读。

全国总工会主席倪志福同志和老一辈机械专家沈鸿同志为本书题词。全国总工会技术交流中心主任陈璧光同志、高级工程师王洪洁同志、机电部职工技协周文华同志（研究员级高工）、辽宁精密仪器厂高级工程师王克勤同志为本书编写和出版做了大量工作，或提供资料，这里对他们表示衷心感谢。

虽然编者做了很大努力，但缺点错误在所难免，敬请广大读者批评指教。

刘任需

目 录

第一章 数控机床技术基础	(1)
1.1 概论	(1)
1.1.1 机床数控技术及其组成	(1)
1.1.2 数控机床及其加工特点	(4)
1.1.3 数控技术发展概况	(9)
1.2 数控术语	(19)
1.3 数控标准	(27)
1.3.1 数控标准的制订	(27)
1.3.2 机床数字控制代码	(30)
1.3.3 数控机床的坐标轴和运动方向	(32)
1.3.4 机床数字控制的程序段格式	(41)
1.3.5 数控系统通用技术条件	(62)
1.3.6 步进电机驱动机床数控系统技术条件	(78)
1.3.7 数控机床操作指示形象化符号	(82)
第二章 数控机床的结构与元件	(93)
2.1 数控机床的结构特点	(93)
2.2 导轨	(96)
2.2.1 滑动导轨	(96)
2.2.2 滚动导轨	(99)
2.2.3 静压导轨	(103)
2.3 工作台	(108)
2.3.1 工作台的形式及其应用	(108)
2.3.2 回转工作台	(108)
2.4 主轴	(111)
2.4.1 数控机床的主轴部件及轴承	(111)
2.4.2 刀具自动夹紧及主轴准停装置	(115)
2.5 滚珠丝杠副	(116)
2.5.1 滚珠丝杠副的形状和结构	(116)
2.5.2 滚珠丝杠副的代号、精度等级及系列尺寸	(118)
2.5.3 滚珠丝杠副的安装支承方式	(121)
2.6 自动换刀装置	(139)
2.6.1 数控车床的自动换刀装置	(139)

2.6.2	加工中心的自动换刀装置及刀库类型	(140)
2.6.3	自动换刀装置的换刀过程	(147)
2.6.4	换刀机械手	(152)
第三章	数控编程	(156)
3.1	数控编程基础	(156)
3.1.1	程序编制的内容和基本方法	(156)
3.1.2	数控加工的工艺文件	(158)
3.1.3	数控加工的编程过程例	(162)
3.2	手工编程	(164)
3.2.1	程序编制中的基本指令的使用	(165)
3.2.2	手工编程中的常用算法	(215)
3.3	数控自动编程	(253)
3.3.1	数控自动编程的产生及其进展	(253)
3.3.2	数控自动编程语言	(258)
3.4	编程实践	(319)
3.4.1	手工编程实践	(319)
3.4.2	自动编程实践	(345)
第四章	计算机数字控制装置	(350)
4.1	数控机床的控制系统	(350)
4.1.1	控制对象及控制功能	(350)
4.1.2	控制系统的组成及分类	(351)
4.1.3	数控装置的一般结构	(353)
4.2	经济型数控装置	(360)
4.2.1	步进电机驱动的开环数控装置	(360)
4.2.2	直流电机驱动的半闭环数控装置	(370)
4.2.3	点位式经济型数控装置	(377)
4.3	标准型数控装置 BF-3 系统	(382)
4.3.1	中央处理单元(CPU)芯片 8086	(382)
4.3.2	时钟发生器 8284	(385)
4.3.3	总线控制器 8288	(386)
4.3.4	中断控制器 8259 A	(387)
4.3.5	可编程计时器 8253	(389)
4.3.6	通用串行通讯接口 (USART) 8251 A	(390)
4.3.7	地址总线的锁存与数据总线的缓冲	(393)
4.3.8	地址译码器	(394)
4.3.9	存储器	(394)
4.3.10	CNC 输出的信号的锁存	(394)
4.3.11	机床信号的输入	(395)
4.3.12	扩展总线	(395)

4.3.13	进给坐标轴的位置控制	(396)
4.3.14	字符输入键盘	(397)
4.4	小型计算机数控装置	(397)
4.4.1	系统结构	(398)
4.4.2	中央处理机 KDF 11-BA	(393)
4.4.3	存储器 MSV 11-P	(400)
4.4.4	异步串行通讯接口 DLV 11-J	(400)
4.4.5	可编程并行接口 DRV 11	(401)
4.4.6	总线的接口	(402)
4.4.7	输入、输出驱动器	(402)
4.4.8	进给坐标轴的位置控制	(402)
4.5	多个微处理机 CNC 数控装置-FANUC 11 系统	(403)
4.6	BF-6 数控装置	(404)
4.6.1	BF-6 系统结构	(404)
4.6.2	BF-6 的主要功能说明	(405)
4.7	数控装置的性能和操作	(409)
4.7.1	数控装置的性能	(409)
4.7.2	数控系统的操作	(415)
4.8	可编程序控制器 (PC)	(418)
4.8.1	PC 的构成	(419)
4.8.2	PC 编程的表达方法	(421)
4.8.3	PC 的工作过程及其特点	(422)
4.8.4	数控机床中 PC 的功能	(424)
4.8.5	常见国外 PC 性能简介	(426)
4.8.6	编写顺序程序的方法和实例	(466)
4.9	控制软件	(477)
4.9.1	控制软件的结构和管理程序	(477)
4.9.2	输入数据处理	(488)
4.9.3	插补运算	(495)
4.9.4	进给速度控制	(506)
4.9.5	诊断程序	(509)
4.10	ACRAMATIC 850 MC/TC 数控系统	(513)
4.10.1	A 850 CNC 系统的结构	(513)
4.10.2	A 850 MC/TC 主要功能	(514)
4.10.3	机床接口的特点	(518)
第五章	伺服系统及位置测量	(520)
5.1	进给位置伺服系统	(520)
5.2	开环位置伺服系统-步进电动机驱动系统	(525)
5.2.1	步进电动机的工作原理	(525)

5.2.2	步进电动机的特性参数及其选择	(526)
5.2.3	步进电动机的控制与驱动	(530)
5.3	闭环位置伺服系统	(533)
5.3.1	数据采集系统	(536)
5.3.2	参考脉冲法(Reference-Pulse Technique)	(538)
5.3.3	闭环系统的参数	(540)
5.4	直流伺服电动机及其速度控制	(541)
5.4.1	直流伺服电动机及其特性	(541)
5.4.2	直流伺服电动机的速度控制	(550)
5.4.3	可控硅控制的可逆系统	(555)
5.4.4	可控硅可逆驱动装置实例	(559)
5.4.5	晶体管脉宽调制(PWM)系统实例	(569)
5.5	交流异步电动机及其速度控制	(575)
5.5.1	三相异步电动机	(575)
5.5.2	变频逆变器	(577)
5.5.3	异步电动机的矢量控制	(581)
5.5.4	异步电机控制实例	(584)
5.6	无整流子电动机及其速度控制	(585)
5.6.1	无整流子电动机	(585)
5.6.2	调速系统	(586)
5.7	位置测量及其电路	(587)
5.7.1	位置测量	(587)
5.7.2	典型的测量电路	(593)
5.8	数控机床的主轴控制	(604)
5.8.1	BESK 直流主轴电机驱动系统	(604)
5.8.2	数控机床主轴的其它控制	(614)
第六章	数控系统的维修与调试	(616)
6.1	数控系统可靠性和维修的基本概念	(616)
6.1.1	可靠性和维修的涵义	(616)
6.1.2	维修前必备的基本知识	(617)
6.1.3	维修用器具	(617)
6.2	数控系统的验收、安装及调试	(619)
6.3	预防性维修	(622)
6.4	数控装置故障维修	(624)
6.4.1	故障的常规处理	(624)
6.4.2	数控系统故障的一般判断方法	(625)
6.4.3	常见故障分析	(625)
6.5	进给伺服系统故障维修	(627)
6.5.1	软件报警	(627)

6.5.2 硬件报警	(628)
6.5.3 无报警显示的故障	(628)
6.6 主轴伺服系统故障维修	(629)
6.6.1 主轴伺服系统使用前的检查	(629)
6.6.2 定期维护	(630)
6.6.3 主轴伺服系统故障分析	(630)
第七章 数控机床的使用	(632)
7.1 数控机床的特点和使用范围	(632)
7.2 数控机床的分类及其用途	(637)
7.3 数控机床的操作方法	(639)
7.3.1 数控机床操作中的信息及其输入	(639)
7.3.2 主要数控机床的操作方法	(643)
7.4 数控机床的加工工艺	(653)
7.4.1 零件结构设计与加工工艺性	(653)
7.4.2 成组工艺 (GT) 与加工效率	(657)
7.4.3 数控机床加工工艺的发展	(665)
7.5 数控机床的刀具系统和夹具系统	(673)
7.5.1 数控车床的刀具	(673)
7.5.2 加工中心的刀具系统	(679)
7.5.3 数控刀具的使用及刀具预调仪	(683)
7.5.4 数控夹具	(684)
7.6 数控机床的精度	(690)
7.6.1 数控机床的精度及提高精度的措施	(690)
7.6.2 数控机床位置精度的评定方法	(693)
7.7 数控机床的验收	(699)
7.7.1 简式数控卧式车床制造与验收技术要求	(699)
7.7.2 简式数控卧式车床精度	(703)
7.7.3 数控卧式车床制造与验收技术要求	(714)
7.7.4 加工中心技术条件	(721)
7.8 数控机床的投资决策	(727)
7.9 数控机床的生产管理	(732)
7.9.1 应用数控技术的生产准备	(732)
7.9.2 编程系统的选择	(739)
7.9.3 数控机床的生产管理	(741)
附录 国产各类数控机床的技术规格	(747)

第一章 数控机床技术基础

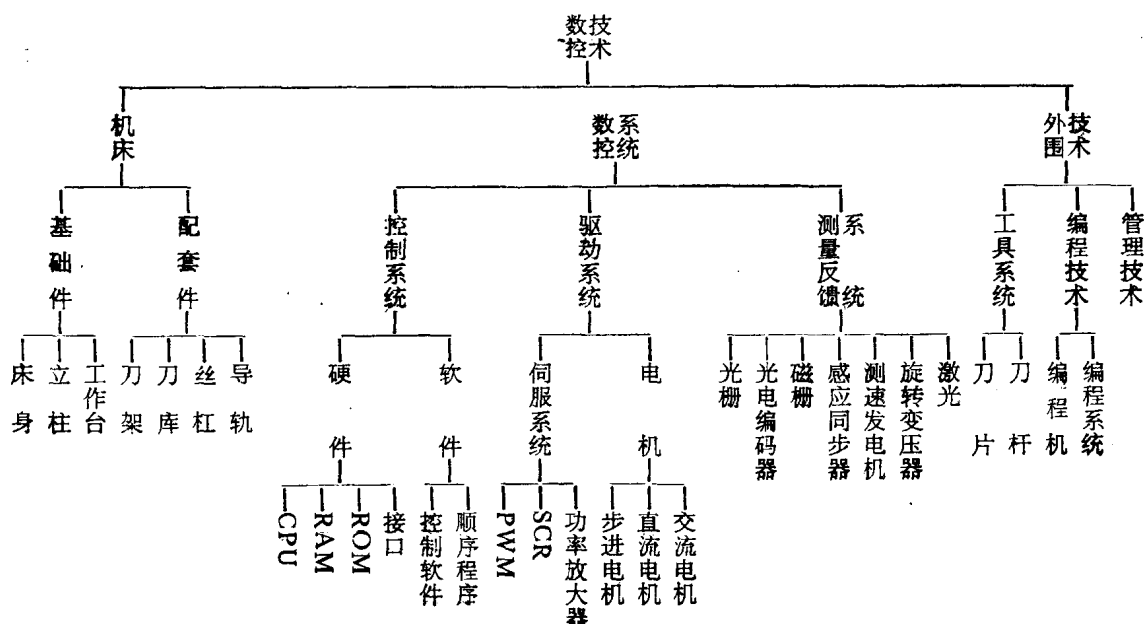
1.1 概 论

数字控制机床 (Numerically Controlled Machine Tool) 简称数控机床, 是近期发展起来的且具有广阔发展前景的新型自动化机床。

1.1.1 机床数控技术及其组成

机床数控技术由机床、数控系统和外围技术三部分组成, 见表 1-1。

表 1-1 机床数控技术的组成



机床数控技术起源于美国, 首先用于军工, 使数控技术获得迅速发展。

1948 年, 美国帕森斯公司 (Parsons Co) 承担研究设计和加工直升飞机桨叶轮廓用检查样板的加工机床任务时, 该公司经理帕森斯 (John T Parsons) 根据自己的设想, 提出了革新这种样板加工机床的新方案, 由此便产生了研制数控机床的最初萌芽。1949 年, 作为这一方案主要承包者的帕森斯公司, 正式接受委托, 在麻省理工学院伺服机构试验室 (Servo Mechanism Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology) 的协助下, 开始从事数控机床的研制工作。经过三年时间的研究, 于 1952 年试制成功世界上第一台数控机床试验性样机。这是一台采用脉冲乘法器原理的直线插补三坐标连续控制铣床 (Cincinnati Hydrotel), 数控装置体积比机床本体还要大, 电路采用电子管元件。

1953 年, 美国空军与麻省理工学院协作, 开始从事计算机自动编程的研究, 这就是创制

APT (Automatically Programmed Tools) 自动编程系统的开始。

1955 年，美国空军花费巨额经费订购了大约 100 台数控机床。此后两年，数控机床在美国进入积极发展阶段，市场上出现了商品化数控机床。1958 年，美国凯奈·屈列克公司 (Keaney & Trecker Co) 在世界上首先研制成功带有自动换刀装置的加工中心机床。

1959 年，数控装置由电子管过渡到晶体管和印刷电路板元件。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，点位控制机床在美国得到迅速发展，数控技术不仅在机床上得到实际应用，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，已由手工编程逐步发展到采用计算机自动编程。除 APT 数控语言外，又发展了许多小型自动编程语言。

1965 年，出现商品化集成电路数控装置，不仅缩小了数控装置的体积，减少了功耗，并且使系统的可靠性进一步提高。与此同时，廉价数控装置和适应控制机床在市场上也先后相继出现。

1970 年，美国芝加哥国际机床展览会上，第一次展出了采用小型计算机的计算机数控装置 (CNC)，以及由计算机直接进行多机床控制的系统，称为直接数控系统 (DNC)。1974 年，发展了采用微处理器和半导体存储器的微计算机数控装置。

从 1966~1976 年的 10 年间，数控装置的功能扩大了一倍，而体积则缩小为 1/20，价格降为 1/4，可靠性得到了极大的提高。表 1-2 是数控系统升级换代的情况。

表 1-2 数控系统升级换代情况表

种 类	世 代	诞生年代	构 成 方 式 及 其 他
硬接线 方 式 (NC)	第 1 代	1952 年	真空管、继电器、模拟电路
	第 2 代	1959 年	晶体管数字电路(分立元件)
	第 3 代	1965 年	集成数字电路
计算机 数 控 (CNC)	第 4 代	1970 年	内装小型计算机。采用中、大规模集成电路
	第 5 代	1974 年	微处理器数控
	I	1974 年	开始内装微处理器，字符显示，故障自诊断
	II	1979 年	超大规模集成电路，大容量磁泡存储器，可编程接口，遥控接口
	III	1981 年	人机会话，动态图形显示，实时软件精度补偿，适应机床无人化运转要求

目前，数控系统种类繁多，但其结构方式归纳起来有如下三类：

- ① 一二个微处理器加大规模集成电路系统。如有足够的产量，这种方式比较合算。
- ② 多微处理器系统。它把数控系统所要完成的任务分为若干部分，由不同的微处理器来承担，然后由主处理器通过软件协调，使整个系统获得较强大的功能。
- ③ 单个微处理器系统。目前这种系统主要是采用 8 位或 16 位单板机，用于经济型数控中。

我国数控技术的发展过程可分为四个阶段：第一阶段是1958~1965年，开始研制数控铣床（电子管控制、步进电机和液压力矩放大器拖动的开环系统），处于试制、试用阶段。第二阶段从1965年开始，研制晶体管数控系统，直到60年代末和70年代初，研制的劈锥数控铣床、非圆插齿机等获得成功，在生产中发挥了作用。简易的数控线切割机床也在生产中广为应用。这一阶段的特点是，虽然数控机床的数量和品种不多，但在少数复杂零件的加工中，已开始从试验阶段进入生产使用阶段。与此同时，还开展了数控铣床加工平面零件自动编程方法的研究。第三阶段为1972~1979年，是数控技术的生产和使用阶段。例如：研制成功集成电路数控系统；数控技术在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工、电加工等领域开始研究或应用；数控加工中心机床研制成功；数控升降台铣床和数控齿轮加工机床开始小批生产供应市场。尤其是数控线切割机床，由于其结构简单，使用方便，价格低廉，以及模具加工的迫切需要，而取得较大的发展。此外，数控线切割的自动编程也已出现很多系统和语言，其中一部分已在生产中成功地应用。数控车削加工、点位和加工中心及三坐标数控加工的自动编程系统和语言也研制成功，有的也在生产中应用。

1980年以后为第四阶段，是稳步发展阶段。1981年我国引进日本FANUC公司3、5、6、7系列产品的制造技术，以及直流伺服电机、主轴电机及可编程序控制器制造技术，并开始批量生产，供应市场。此外，还引进了美国GE公司的MC1系统和交流伺服系统，美国DYNAPATH 10系统，西门子V5系列可控硅调速装置。国外技术的引进，使数控系统的稳定性和可靠性得到了提高。引进FANUC 3、5、6、7系统之后，我国自行开发了三、四、五轴联动的数控系统以及双电机驱动的同步数控系统（用于火焰切割机）和新品种的伺服电机。此外，具有工艺处理能力的加工中心用数控编程系统和语言研制成功，数控线切割机编程机研制成功，并用于生产。采用单板机控制的经济型数控系统开始发展，并在改造老机床方面取得进展。

根据数控系统的性能价格比，我国对数控系统分为：

经济型数控系统、标准型数控系统、全功能型数控系统和特殊型数控系统四档产品发展。经济型数控系统和数控机床习惯称为简易数控。经济型数控机床能满足一般精度要求（如粗加工和半精加工的车床、钻床和铣床），用于加工形状较简单的直线、斜线、圆弧及带有螺纹类零件。经济型数控的主要特点是价格便宜，精度中等，功能针对性强，可控坐标数为1~3个。目前，经济型数控系统只是全功能数控系统价格的1/5~1/3。这类数控系统除用于发展新品种数控机床外，也适用于老设备的技术改造。

在经济型数控系统的价格中，拖动系统所占比例最大，约占整个数控系统的50%~80%。根据拖动系统的种类不同，经济型数控系统可分为如下三类：

① 步进电机拖动的开环系统。这类系统技术较简单，价格最便宜，可适于小型车床、铣床、钻床等机床，以及线电极切割机。由于步进电机拖动系统速度低，过载能力差，有噪音，而且受到功率和有限转矩的限制，随有效转矩的增加，其价格成指数上升。因此这类系统适于步进电机拖动力矩为15 N·m以下的小型机床。

② 异步电机或直流电机拖动、光栅测量反馈、电磁离合器切换变速及制动定位的点位数控系统。这种系统主要用于车削阶梯轴、铣削阶梯形零件、钻削坐标孔等数控加工中。其拖动功率主要取决于离合器的额定转矩值，一般在10~50 N·m左右，可用于控制中、小型机床。

③ 直流伺服电机拖动、编码器反馈的半闭环数控系统。由于直流伺服电机的晶体管脉