

数控机床

邵奇惠 编著



2.35

SHU KONG JI CHUANG

数 控 机 床

邵奇惠 编著

黑龙江人民出版社

1981年·哈尔滨

内 容 提 要

本书以数控技术的初学者和数控机床的初步接触者为对象, 简明、系统的阐述了数控机床的基本概念, 数控技术的基础理论、工作原理及主要技术环节, 并介绍了数控机床的维护、使用及其发展。

封面设计: 杨汝威

数 控 机 床

邵奇惠 编著

黑 龙 江 人 民 大 学 出 版

(哈尔滨市道里森林街42号)

黑龙江新华印刷厂印刷 黑龙江省新华书店发行

开本 787×1092毫米 1/16 印张 13 2/8 · 插页 1 · 字数 300,000

1981年3月第1版 1981年3月第1次印刷

印数 1—3,000

统一书号: 15093·61

定价: 1.50 元

前 言

机床在历史上始终是产业革命的重要后盾。从1775年威尔肯逊发明了镗床使瓦特发明的蒸汽机得以实现到现在,社会生产和科学技术已取得了巨大成就,而机床本身也有了很大的发展。

数控机床即为当代机床发展现代化的重要标志。由于它在加工效率、加工方式、加工对象等方面具有一系列普通机床所不能比拟的优点,因而已得到越来越广泛的应用和重视。据国际生产技术会议(CIPP)对今后二十五年加工技术发展动向的调查,认为到1990年将有50%的机床实现数控,到2000年可实现生产过程的全面自动化。

数控机床是现代科学技术应用于机床的结果。它包含着自动控制技术、计算机技术、精密测量技术和机械结构设计等多方面的内容,是一门综合性技术,也带有某些边缘性科学技术的特色。因而对于每一个数控机床的初步接触者来讲,都面临有许多新的学科和新的问题。

本书即试图适合这一部分读者,尤其是多数原来主要从事机械方面工作的技术人员和工人的需要,力求简明、系统的阐述数控机床的基本概念,数控技术的基础理论、工作原理及主要技术环节,并简单介绍数控机床的维护、使用及其发展;本书在叙述中侧重于原理说明,较少涉及具体电子线路、液压详图,必要时也尽量选用多数读者易于看懂的分立元件线路图。同时,为便于初学者熟悉数控语言和参阅其他中外文资料,本书在重要数控术语和名词后皆注出英文词汇或缩写。

本书在编写中承孙靖民、王永章、乔松林同志审阅,白美玉、赵淑华同志对本书的编写给予了很大的协助,在此一并致谢。

由于编著水平有限,书中不妥之处,望读者批评指正。

编 者

一九七九年十月

目 录

第一章 数控机床的评价与应用	(1)
第一节 现代机床的发展动向	(1)
一、“柔性”	(1)
二、精密化	(1)
三、高效化	(2)
四、自动化	(2)
第二节 数控机床的评价	(3)
一、解决了自动化与生产批量间的矛盾	(3)
二、奠定了现代机床学的基础	(5)
三、为科学技术现代化提供了工艺基础	(6)
四、为设计工作提供了新的手段	(7)
第三节 数控机床的应用范围	(8)
第二章 数控机床的特点与分类	(10)
第一节 数控机床的逻辑方框图	(10)
第二节 数控技术中的主要环节	(10)
一、指令形式的转换	(11)
二、信息形式的转换	(11)
三、能量形式的转换	(12)
四、运动形式的转换	(12)
第三节 数控机床的结构特点	(12)
第四节 数控系统的分类	(13)
一、按能够控制的刀具与工件间相对运动的轨迹分类	(14)
二、按被控制量有无检测反馈装置分类	(16)
三、按机床的数控装置是否包括插补运算器分类	(17)
四、按对伺服驱动机构发出的控制信号的变化规律分类	(18)
五、按数控装置能同时控制的座标轴数分类	(18)
第三章 数控机床的控制原理	(19)
第一节 加工过程中的四个节拍	(19)
第二节 插补原理与插补方法	(20)
一、插补原理	(20)
二、插补方法	(20)
第三节 圆弧加工插补运算	(21)

一、加工偏差	(21)
二、偏差计算公式	(22)
三、偏差计算	(22)
第四节 直线加工插补运算	(23)
一、加工偏差	(24)
二、偏差计算公式	(24)
三、偏差计算	(24)
第五节 长度控制	(26)
一、加工斜线计数方向的选取	(26)
二、加工圆弧计数方向的选取	(27)
三、计数长度的确定	(27)
第四章 手工程序编制	(28)
第一节 程序编制概述	(28)
一、软件与硬件	(28)
二、程序编制的方法	(29)
三、手工编程的步骤	(29)
第二节 控制介质的种类与特点	(29)
一、穿孔带	(29)
二、穿孔卡片	(30)
三、磁带	(31)
第三节 穿孔带代码简介	(32)
一、八单位穿孔带	(32)
二、五单位穿孔带	(35)
第四节 工艺处理	(36)
一、确定对刀点	(36)
二、确定加工顺序, 进行程序分段	(37)
三、确定每段行程的起点或终点坐标值	(37)
四、确定加工用量、刀具和操作条件	(39)
五、确定编程时的允许误差	(39)
第五节 程序单	(39)
一、工艺指令	(40)
二、程序段格式	(42)
三、点位控制系统程序编制举例	(48)
四、轮廓控制系统程序编制举例	(49)
第六节 间隙补偿和刀具补偿	(50)
一、固定间隙补偿	(51)
二、任意刀具补偿	(51)
第七节 附加程序	(53)
一、伸缩控制程序	(53)

二、尖角过渡程序	(54)
第五章 计算机自动编程	(56)
第一节 计算机自动编程的基本原理	(56)
第二节 XY 语言	(57)
一、XY 语言简介	(57)
二、XY 语言第一部分	(58)
三、XY 语言第二部分	(60)
四、XY 语言程序实例	(62)
第三节 APT 语言	(63)
一、APT 语言特点	(63)
二、APT 语言的控制曲面	(64)
三、APT 语句	(66)
四、APT 程序编制示例	(67)
第六章 逻辑代数基础	(69)
第一节 逻辑代数概述	(69)
第二节 基本逻辑运算	(70)
一、逻辑代数中的变量	(70)
二、逻辑“与”及乘法规则	(70)
三、逻辑“或”及加法规则	(71)
四、逻辑“非”	(72)
第三节 逻辑代数的基本定律	(73)
第四节 逻辑图形符号	(75)
一、逻辑图形符号的表示法	(76)
二、信息流的方向	(77)
三、“非”逻辑的表示法	(77)
四、负逻辑的表示法	(77)
五、组合单元的表示法	(77)
第五节 逻辑代数式的拟定与简化	(77)
一、简单逻辑代数式的拟定	(77)
二、逻辑代数式的简化	(79)
第七章 逻辑电路基础	(82)
第一节 简单逻辑门电路	(82)
一、“与”门电路	(82)
二、“或”门电路	(83)
三、“非”门电路	(83)
第二节 复合逻辑门电路	(84)
一、“与非”门电路	(84)
二、“或非”门电路	(85)

三、“与或非”门电路	(85)
第三节 双稳态触发器	(86)
一、双稳态触发器电路	(87)
二、双稳态触发器输入电路	(88)
三、触发方式	(89)
第四节 数字集成电路	(90)
一、概述	(90)
二、集成电路逻辑门	(91)
三、集成电路触发器	(92)
第五节 单稳态触发器	(94)
一、单稳态触发器的特点	(94)
二、单稳态触发器的工作原理	(95)
第八章 二进制运算基础	(97)
第一节 二进制计数	(97)
一、计数制与数的表示方法	(97)
二、二进制计数的特点	(98)
第二节 二进制——十进制的转换	(99)
一、十进制数换算为二进制数	(99)
二、二进制数换算为十进制数	(100)
三、二——十进制计数法	(100)
第三节 二进制数的四则运算规则	(100)
一、加法	(100)
二、减法	(101)
三、乘法	(101)
四、除法	(101)
第四节 二进制数的三种表示法	(101)
一、原码	(101)
二、补码	(102)
三、反码	(102)
第九章 运算器	(103)
第一节 运算器概述	(103)
第二节 加法运算	(104)
一、加法步骤	(104)
二、半加器	(104)
三、全加器	(105)
四、加法计数器	(107)
五、移位寄存器	(108)
六、串行加法的实现	(109)
第三节 减法运算	(109)

一、减法的补码运算	(109)
二、变补器	(110)
三、串行减法器	(110)
四、减法计数器	(110)
第四节 乘法运算	(111)
一、乘法运算方法	(111)
二、乘法的实现	(112)
三、串行乘法器	(112)
第五节 除法运算	(113)
第六节 十翻二运算	(113)
一、十翻二运算原理	(113)
二、十翻二运算的实现	(114)
第七节 运算器示例	(114)
一、运算任务	(114)
二、基本运算部件	(116)
三、控制门	(116)
第十章 输入	(118)
第一节 输入概述	(118)
第二节 输入方式	(119)
一、光电式纸带输入	(119)
二、机械式纸带输入	(122)
三、控制台手动输入	(123)
第三节 奇偶校验与纸带译码	(124)
一、奇偶校验	(124)
二、纸带译码	(125)
第四节 数与加工指令输入	(126)
一、置数	(126)
二、计数长度与计数方向输入	(127)
三、加工指令输入	(129)
第十一章 主控制器	(130)
第一节 主控制器概述	(130)
第二节 时序脉冲的发生与控制	(130)
一、时标	(131)
二、时标计数器	(131)
三、时序脉冲门	(131)
四、运算开关	(132)
五、变频调速	(132)
六、加工开关	(132)
第三节 加工运算控制	(133)

一、走圆、走线	(133)
二、算 X、算 Y	(133)
第四节 进给控制	(134)
一、进给信号	(135)
二、走 X 与走 Y 信号	(135)
三、拖板正向运动或反向运动	(135)
第五节 计数长度控制	(135)
第六节 终点控制	(136)
第七节 加工指令修改	(136)
一、修改指令的逻辑条件	(137)
二、指令修改方法	(137)
三、变补	(137)
第八节 总逻辑图	(139)
第十二章 输出	(140)
第一节 输出概述	(140)
第二节 步进电机	(140)
一、步进电机的工作原理	(140)
二、步进电机的主要特点	(143)
三、步进电机的主要类型	(143)
第三节 环形分配器	(144)
一、三稳态电路	(144)
二、双三拍供电环形分配器触发方式	(145)
三、其它供电控制方式时的触发方式	(145)
第四节 功率放大器	(146)
第五节 自动升降速装置	(147)
一、自动升降速装置的作用	(147)
二、自动升降速装置工作原理	(147)
第十三章 伺服驱动机构	(149)
第一节 伺服驱动机构概述	(149)
第二节 电液脉冲马达	(150)
一、液压扭矩放大器的工作原理	(150)
二、电液脉冲马达的结构	(152)
第三节 直线步进电机	(154)
第四节 电液伺服阀	(154)
一、湿式力矩马达电液伺服阀	(155)
二、干式力矩马达电液伺服阀	(156)
第五节 丝杠螺母机构	(157)
一、普通丝杠螺母副	(157)

二、滚珠丝杠螺母副	(158)
三、滚柱丝杠螺母副	(162)
四、静压丝杠螺母副	(164)
第六节 提高伺服驱动机构精度的方法	(164)
一、正确选取脉冲当量	(165)
二、减少传动间隙	(165)
三、反向间隙的补偿	(168)
四、传动误差补偿	(170)
第十四章 位置检测、显示装置	(171)
第一节 位置检测、显示装置概述	(171)
第二节 光电脉冲编码装置	(172)
一、光电脉冲编码装置工作原理	(172)
二、提高分辨率和可靠性的方法	(172)
三、光电脉冲编码器的应用	(173)
第三节 光栅	(174)
一、工作原理	(174)
二、光栅种类与技术性能	(176)
三、玻璃反射粗光栅	(176)
第四节 磁栅	(177)
第五节 旋转变压器	(178)
第六节 感应同步器	(179)
一、感应同步器的工作原理	(179)
二、感应同步器的特点	(182)
三、感应同步器的安装与使用	(182)
第七节 激光检测装置	(183)
第十五章 数控机床的维护与使用	(185)
第一节 数控机床的可靠性	(185)
一、设计方面的措施	(186)
二、工艺方面的措施	(187)
第二节 数控机床的精度	(188)
第三节 数控机床的使用	(190)
一、熟悉数控机床的原理与特点	(190)
二、仔细做好安装与调试工作	(190)
三、注意机械与液压系统的维护	(190)
四、建立、健全使用保养制度	(191)
第四节 故障诊断	(191)
一、诊断技术的发展	(191)
二、常见故障分析举例	(193)

第十六章 数控机床的发展与展望	(194)
第一节 数控机床的发展趋势	(194)
第二节 简易数控	(194)
一、简易数控机床	(194)
二、简易数控装置	(195)
第三节 计算机数控	(196)
一、小型计算机数控	(196)
二、计算机直接数控	(196)
三、适应控制	(197)
第四节 自动化工厂	(198)

第一章 数控机床的评价与应用

数字程序控制机床 (*numerically controlled machine tools*), 简称数控机床, 是现代机床发展的一个新阶段。所谓数控机床, 就是把零件图的尺寸、加工要求和对机床的控制内容, 用数字和数字代码的形式来表达, 通过数控装置对工件实现加工的机床。本章拟从现代机床发展的动向对数控机床作出评价, 并介绍其应用范围。

第一节 现代机床的发展动向

机床是机器制造业中最重要的工具之一, 是制造各种机器的母机。机床作为产业革命的后盾, 在历史上曾经支持了实现以机器代替人的体力劳动的重大技术革命; 在现代, 机床不仅继续担负着这项任务, 而且又担负了加速实现用机器分担人的脑力劳动的任务。

机床的发展始终是围绕不断提高生产效率、加工精度、自动化程度和降低劳动强度而进行的, 现代机床总的趋势仍然是继续沿着这个方向发展。但是, 在整个社会生产方式全面趋向现代化和生产结构急速演变的今天, 对机床这一系列要求的具体内容也发生了明显的变化, 比较突出的有以下几点:

一、“柔性”

“柔性”即灵活性, 指机床的适应能力。

由于经济与技术的飞跃发展, 现代技术的更新速度比过去大大加快了, 一项新技术从发明创造到被投入实际应用的时间显著缩短了, 例如: 造纸技术的推广用了一千年, 蒸汽机用了八十年, 电话为五十年, 飞机为二十年, 晶体管为三年, 激光仅两个月。其所以能这样高速发展的原因当然是多方面的, 但主要原因之一, 就是因为现代工业的发展 (包括机床) 为新技术的应用提供了强大的物质条件。同时, 经济与技术的快速更新, 也造成了社会需求的多样化, 这直接影响到生产的规模与方式, 促成了机械工业生产以中、小批为主这一新形势。据统计, 目前机械行业有 75~80% 的产品是以中、小批方式制造出来的。许多工厂的产品品种、规格变化比过去频繁了, 每批投料的数量减少了。所有这些, 都要求机床不仅要保证效率与质量, 还需要有一定的“柔性”, 使之能够很灵活地适应加工任务的改变。这种要求目前日益明显, 甚至在过去被认为产品长期不变的大量生产的工厂 (如汽车、拖拉机制造厂), 现在对其生产自动线也提出了“柔性”的要求。

“柔性”使原有机床的经济寿命缩短了, 机床行业普遍用现代化机床取代旧机床、采用最新科学技术成就改造老机床, 从而使机床在一定加工范围内具有更大灵活性。在这些新机床中, 以数控机床最为突出, 其次是组合机床、专门化机床和特种加工机床。

二、精密化

现代工业的技术复杂性越来越大,可靠性要求越来越高,尤其是在空间工程、航空工业、激光技术、电子计算机、半导体器件、精密测量仪器等方面,随着机械性能的提高和加工材料的多样化,加工形状日益复杂,加工尺寸日趋细微化,精度和光洁度要求也越来越高。两个世纪以前,当时为瓦特发明的第一台蒸汽机加工汽缸孔的镗床,所能达到的加工精度仅为1毫米。过了一个世纪以后,精度提高了10倍,当时车床已能达到0.1毫米的加工精度。在这以后一个世纪中加工精度又提高了100倍,现在稳定掌握的加工精度是1微米(0.001毫米),而正在追求的加工精度为0.1~0.01微米。0.01微米是原子直径的20倍,与这种加工精度相对应的表面光洁度也极高,表面微观不平度应能达到0.001微米。所以必须发展以原子为单位的毫微米加工技术,也就是目前兴起的细微加工,或叫超精密加工。

为了提高机床的加工精度,必须从根本上对精密工艺、精密机床和精密量仪进行改进。超精密加工,就是建立在材料物理、物性物理基础上的物理与化学加工方法,如电子束加工、离子束加工、激光加工、等离子加工、喷射加工、化学加工等,它们发展与扩大了机床的工艺范畴。

就机床本身而论,为了完成精密加工或超精密加工,特别要求妥善解决机床的构形运动(即产生工件外形与表面的切削运动)、控制技术与加工过程的热变形等问题。虽然目前真正需要超精密加工的产品尚属少数,但对机床技术发展的影响却很大,应当给予足够的重视。

三、高效化

近年来,在提高切削效率、缩短机加工时间方面已取得很大进展。相当长时间以来,影响切削效率提高的限制性因素是机床动力、刀具的切削性能和机床的结构刚度。目前,机床动力的限制已基本上不存在,机床的结构刚度也显著改善,因此机床能否实现高效化的关键性因素是刀具的切削性能。据统计,自从1900年出现高速钢刀具以后,切削速度几乎每十年提高一倍。目前,我国一般切削速度在100公尺/分左右。而国外在采用对硬质合金的基体进行涂层(碳化钛、氧化铝、氮化钛、碳化钨、氮化钨)的技术后,切削速度提高至200~500公尺/分;在采用整体或涂层聚晶金刚石和聚晶立方氮化硼作刀具后,切削速度提高至900公尺/分;在采用陶瓷刀片后,切削速度更跃增至1400公尺/分以上。预计到2000年时切削速度可达1800公尺/分。当切削速度达到3400公尺/分时,预计效率将提高50~100倍,这种设想经过初步试验已证明是可能的,但要应用于实际,目前无论在刀具和机床方面都还不具备条件。超高速切削使机床的操作条件和受力、受热状态发生变化,因此必须根本改变其控制形式和结构。

除了发展高速、强力切削外,提高切削效率的方法还包括广泛采用多刀多刃和成形切削,发展宽砂轮、多砂轮或多线砂轮的磨削,发展快换刀夹、快换刀架和各种自动换刀装置等。这些也都将对机床结构产生一定的影响。

四、自动化

高效机床的发展,突出了减轻操作人员劳动强度和安全防护的迫切性;切削效率的提高,相对突出了辅助工时过长的矛盾。为此,要求不断提高机床的自动化程度,压缩换刀、装卸工件、测量和空行程时间。

现代机床的自动化程度普遍有很大提高,几十年前发展起来的适合大量生产的自动化方

式虽然仍在生产中使用,但是在社会需求多样化和机床加工高效化、精密化的促进下,在这种“刚性”自动化设备上出现了提高“柔性”的趋势;同时,对用于中、小批生产的“柔性”自动化设备,又提出了进一步扩大自动化范围和提高自动化程度的要求。所以也可以说,现代机床自动化的特点是柔度与广度的结合。

纵观机床的发展历史,可以看出机床的发展是受多种因素影响的。社会生产需要是其主要发展动力,而各种新技术的出现与发展,则为机床的发展提供了可能。现代机床与过去时代的机床相比,无论在形态上和内容上都已发生了深刻的变化:新的工艺方法不断产生,自动控制能力不断提高和扩大,新的机构形式不断出现,机床技术的范畴不断扩充伸展,尤其是在电子技术与计算技术的推动下,更使生产过程向着综合自动化前进。面对这一新的形势,数控机床以其特有的风姿和突出的优点,短期内已成为机床现代化的一个重要标志。图 1-1 所示为自动控制的发展概况图,由图所见,不难形象地看到数控机床以及由它发展起来的适应控制机床等,都是现代科学技术的丰硕成果。

第二节 数控机床的评价

从 1952 年美国麻省理工学院研制成功世界上第一台数控机床到现在,仅有二十多年的时间。数控机床的历史还很短,它的功能还没有被全部发现,现在要全面评价数控机床在机床发展史中的意义和在促进社会生产现代化方面的作用尚为时过早,但至少可以肯定下述几点:

一、解决了自动化与生产批量间的矛盾

生产过程的自动化与生产批量之间的关系,历来是批量愈大,自动化程度可以相应地愈高。反之,单件、小批生产无论从技术或经济的观点看,实现自动化都是不合适的。因此,自动化机床多年来始终与成批、大量的专业化生产联系在一起;而当中、小批生产甚至单件生产亦需实现高度自动化时,传统的机床和工艺方式就显得十分困难。数控机床的应用使上述矛盾得到圆满解决,这就解决了自动化与生产批量间的矛盾,也解决了机床现代化中“柔性”与“广度”的结合问题。

数控机床由于用电子计算机 (*electronic computer*) 控制,程序变换方便,控制精确而合乎逻辑,伺服驱动和反馈机构完善,机床结构与刚度可靠,再加配以先进的刀具和预调、补偿系统,所以完全适应机床的高效率、高精度和高度自动化加工。在许多情况下,例如在切削速度达 1000 公尺/分以上、插齿机冲程次数达 2000 次/分、磨削速度达 100 公尺/秒、切削深度需要保持在 0.1 微米以下时,为了避免人为的操作误差,除了采用数控,目前还不能找出其它能够胜任或更加合理的控制方法。

数控机床可以显著减少辅助时间,提高设备利用率。一般通用机床的净切削时间是机床开动时间的 15~20%,数控机床是 65~70%,而自动换刀数控机床则可高达 75~85%。

使用数控机床,一般可提高生产率 3~5 倍,当外形复杂、精度要求高的零件采用单件、小批方式生产时,可提高效率 5~10 倍,甚至更多。使用一台自动换刀数控机床,可代替通用机床 7~8 台。图 1-2 所示是由于自动化、数控化的发展,加工一个零件所需工时相对减

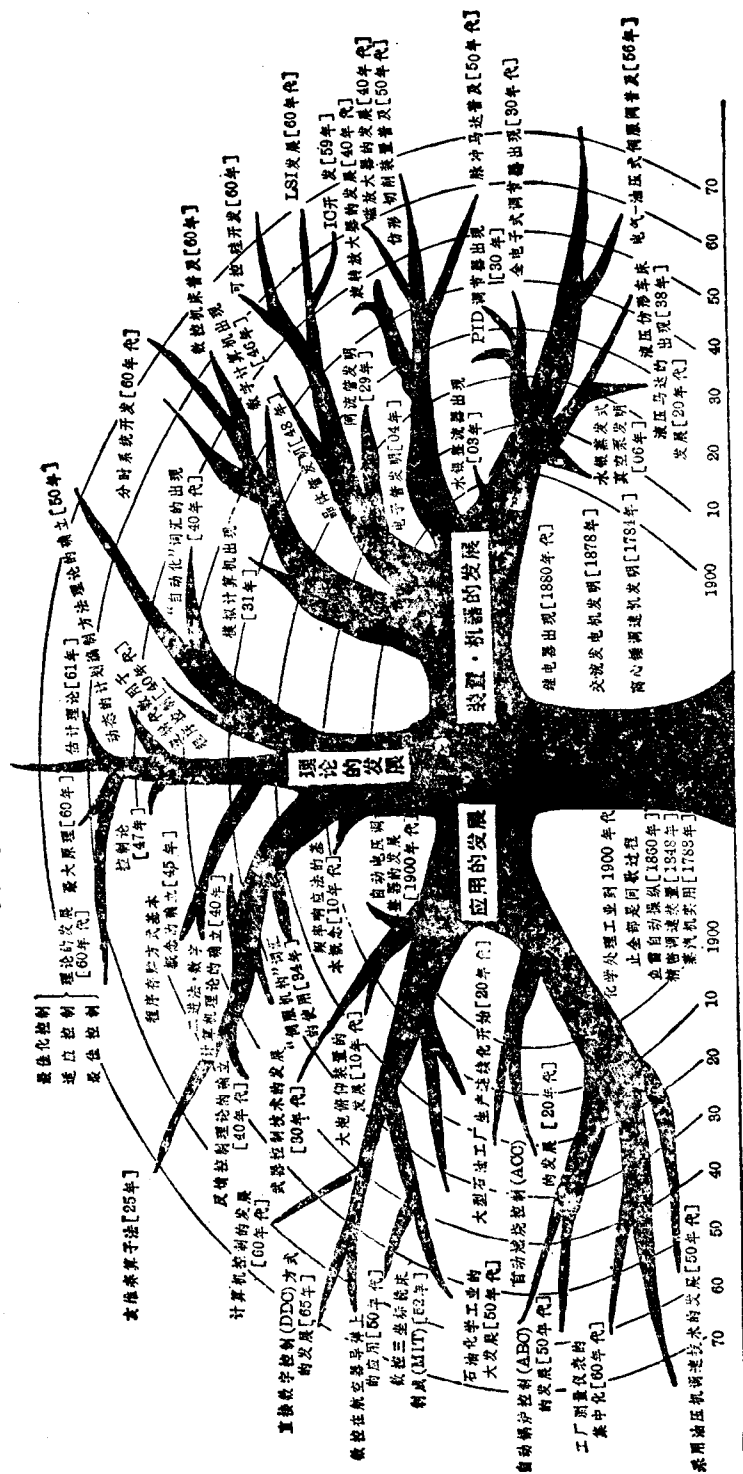


图 1-1

少趋势的示意图,其中虚线表示今后发展趋势。

二、奠定了现代机床学的基础

机床学近二百年的历史经历了不同的阶段,在开始生产机床的年代里,人们设计机床主要是从运动学和结构强度来考虑,即考虑如何在机床上获得所需要的刀具和工件的相对运动,而在使用过程中又不致受力作用而破坏。后来,随着刀具材料的发展,以及对机床性能特别是对加工精度与生产率要求的提高,对机床的研究则着重在刚度、振动、热变形和加工过程中的动态稳定。

从六十年代中期到现在,为了满足宇宙航空工业、军事工业和许多现代工业的需要,机床学的重大课题是充分利用现代科学技术的成就,特别是电子计算机来武装机床、改造机床,使之趋向于最佳化。数控机床的出现,使机床的改革不但在控制技术上,而且在所有各方面都引起了连锁反应,使机床在构形运动、工艺方法和驱动技术等方面都有重大突破。

数控技术的出现和应用改变了许多传统的机床概念。传统的机床包括动力装置、传动装置和工作装置三个部分,在数控机床中出现了第四个部分——自动控制装置,即数控装置部分。机床构成的改变,导致了机床加工性质、加工能力和具体结构的改变。例如,传统机床的运动部件,是依靠它们之间的机械传动链来协调其运动的,当运动关系比较复杂时,传动装置就会变得庞大而复杂。而采用数控技术后,则可以部分或完全取消部件间的传动装置。如传统的滚齿机都依靠本机的母蜗轮、蜗杆副进行传动和分度,并且依靠它们来保证精度,但目前国外正在研制的一种数控滚齿机,则没有母蜗轮、蜗杆副,完全依靠数控装置来保证其传

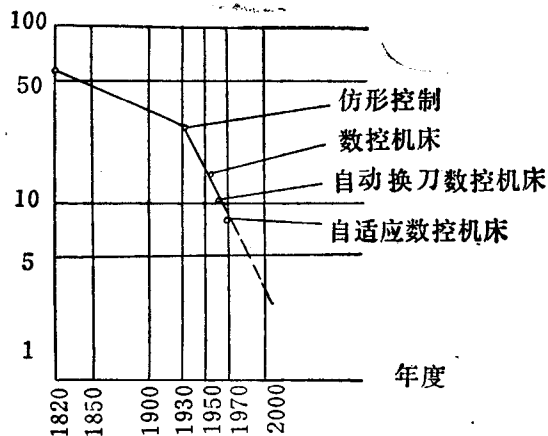


图 1-2 自动化的发展使工时减少的趋势

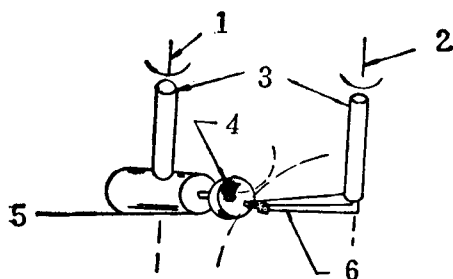


图 1-3 全转式机床工作原理

- 1-垂直工件定位轴线； 2-垂直工具摆臂轴线；
3-垂直主轴； 4-工件； 5-工件旋转主轴；
6-工具摆臂

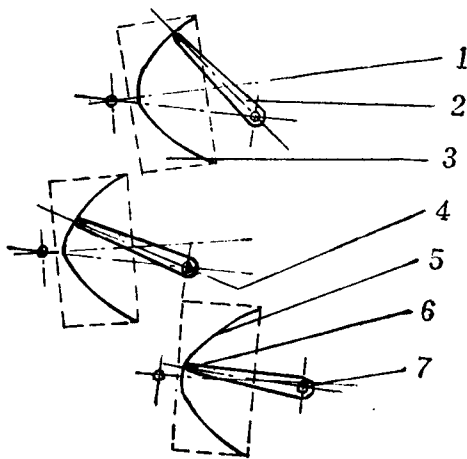


图 1-4 全转式机床加工抛物面时的运动配合

- 1-工件中心线及自转轴线； 2-工具摆臂； 3-工件；
4-垂直工具摆臂定位轴线； 5-工件的抛物线内表面；
6-切削位置； 7-工具摆臂定位轴线