

Z A O X I T O N G Y U S H E B E I D E K O N G Z H I

制造系统 与设备的控制

李爱平等 编著



同济大学出版社

制造系统与设备的控制

李爱平等 编著

同济大学出版社

内 容 提 要

本书以最新视角,综述了国内外近年来在制造系统与设备控制领域中的新概念和新技术以及发展趋势。从制造设备控制的工作原理入手,介绍了可编程控制器和计算机数控系统的硬件和软件结构以及应用设计思想和实现方法,并突出了制造设备的高层次应用和开发。在数控加工编程技术的内容中,着重介绍了“以人为中心”的面向车间的数控编程方法 WOP 以及实物扫描数字化的编程方法。本书还介绍了制造系统中的关键控制技术,重点通过系统控制应用实例(自动生产线和柔性制造系统的控制),进一步研究制造系统控制的特点、设计中的关键技术及可靠性等问题。

本书可供从事于制造系统和设备的控制研究、设计、生产和使用的工程技术人员和研究人员参考,也可作为大专院校机械电子工程、机械制造、机电控制及自动化等专业的教材和教学参考书以及有关的培训班教材。



责任编辑: 郑元标

封面设计: 陈益平

制造系统与设备的控制

李爱平等 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号, 邮编: 200092)

新华书店上海发行所发行

同济大学印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 13.75 字数: 350 千字

1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1—2000 定价: 23.00 元

ISBN 7-5608-1799-8 T·P·199

TH16
59

序

数控技术是生产自动化的里程碑。它的重要意义在于自动化机床从此有了柔性和智能。机床不仅延伸了人的体力，还延伸了人的脑力。从此，人与机床在时间和空间上可以完全分离，人不再是机床的附属物，而真正成为操纵机床的主人。机床也摆脱了人工操作的负面影响，能够以更高的精度和更高的速度制造零件。毫无疑问，数控技术是先进制造技术的基础。

近十年来，国内关于数控技术的书籍已经出版很多，本书的最大特点是将可编程控制、计算机数字控制和制造系统的控制作为生产自动化的总体来阐述的，使读者对数控技术有了一个完整和全面的了解。其次本书也是同济大学十多年来在生产自动化领域中的实践和科学研究的总结。

本书从制造系统与设备控制的角度共分为三部分：可编程控制、计算机数字控制和制造系统的控制。同济大学是引进西门子可编程控制器的最早单位之一，早在 80 年代初，西门子公司就在同济大学设立了可编程控制器培训中心，翻译了 S5 系列可编程控制器的全部培训教材，举办了数百次的培训班，对国内推广可编程控制器起了一定的促进作用。在大量培训和推广可编程控制器的工作基础上，作者深入浅出地阐述了可编程控制器的基本原理、编程方法和应用实例。

作者在第二部分中，从计算机数控技术的基本原理入手，着重介绍了系统的应用设计思想和实现方法，突出了计算机数控技术的高层次开发和应用的內容。书中特别阐述了面向车间的数控编程系统——WOP，这是一种以人为中心的编程方法，它将对推广数控技术起到积极作用。介绍实物扫描数字化的编程方法也是本书的特点之一。

第三部分系统的控制，包括两个内容：自动生产线的控制和柔性制造系统的控制。后者是在同济大学为上海第四机床厂柔性制造系统研究开发的控制系统的基础上编写的。该系统包括四台加工中心、一台清洗机和有轨输送车，采用计算机控制和调度。

综上所述，本书不仅全面论述了生产自动化的技术原理，具有一定的新颖性，而且是大量实践和研究工作的总结，是一本值得一读的生产自动化专著。

张曙

1997 年 5 月

前 言

面对 21 世纪市场竞争的国际化 and 激烈化, 提高国家的制造技术水平和能力, 是增强国家经济和国防实力的重要手段。同时, 制造技术的发展正日益显示出它所带来的巨大的经济、社会效益, 已成为直接创造社会财富的重要基础, 因而引起世界各国科技界和工业界的普遍重视。制造设备的控制技术作为制造自动化的重要基础技术, 与制造系统的控制技术一起, 已成为现代机械制造业技术更新的关键, 是未来工厂自动化的基础技术之一。

80 年代末期提出的先进制造技术 AMT (Advanced Manufacturing Technology) 的新概念, 是各种现代制造技术的总称, 被称为是面向下一世纪的制造技术。制造系统和设备的控制技术作为先进制造技术的基础之一, 正在注入新的动力和思想, 以不断地推动新技术的发展。

本书是作者以从事多年科研和教学工作为基础而撰写成的。全书分为三个部分, 共五章。

第一部分是制造系统与设备控制的现状与发展趋势。

第一章从高性能数控系统的研究和开发、模块化数控技术、开放式数控系统结构、编程系统的进展以及制造的全球化和网络化出发, 以最新视角, 综述了国内外近年来在本领域中的新概念和新技术及其发展趋势。

第二部分是制造设备的控制技术。

其中第二章和第三章从制造设备控制的工作原理入手, 分别介绍了可编程控制器和计算机数控系统的硬件和软件结构, 应用设计思想和实现方法。在此基础上, 突出了制造设备控制技术的高层次开发和应用。在第四章的数控加工编程技术中, 通过阐述数控编程方法的演变过程, 着重介绍了“以人为中心”的面向车间的数控编程方法 WOP (Workshop Orientated Programming) 以及实物扫描数字化的编程方法。这也是本书的特点之一。

第三部分是制造系统的控制。

在第五章中, 首先阐述了制造过程自动化与控制的概念, 在对制造系统中的关键控制技术进行论述的基础上, 着重通过系统控制应用实例 (机械加工自动线以及柔性制造系统 FMS 等典型制造系统的控制), 进一步研究制造系统控制的特点、设计中的关键技术及可靠性等问题。

本书特别突出了近年来国外的新技术和国内实际应用的技术, 力求体现其先进性、科学性和适用性。作者对国内外同类书籍中尚没有涉及到的问题, 诸如面向车间的数控编程 (WOP) 和扫描数字化编程方法等, 在书中作了较系统、较完整的论述。

作者期望本书能对从事制造系统和设备研究、设计、生产和使用的工程技术人员、研究人员有所帮助, 本书也可作为大专院校机械电子工程、机械制造、机电控制及自动化等专业的教材和教学参考书, 还可作为有关培训班的教材。

本书第一章、第二章、第三章和第四章由同济大学李爱平编写, 其中第二章的第五节

由朱志浩编写，第五章由戴泳新编写。全书由李爱平统稿，张曙教授审阅。

在本书的选题、编写和定稿过程中，得到了张曙教授、陈炳森教授及研究生应文兰的大力支持和帮助，特别是张曙教授给予作者许多具体的指导，并对本书提出了许多宝贵的修改和补充意见，在此一并表示衷心的感谢。同时，感谢唐永芳先生在本书出版的过程中给予的支持和帮助。

由于作者编写时间仓促，水平有限，书中错误不当之处难免，恳请读者批评指正。

作者

于同济大学

1997年5月

目 录

第一章 现状与发展趋势.....	(1)
第二章 可编程控制器 (PC)	(22)
第一节 概述.....	(22)
一、PC的基本结构.....	(22)
二、PC的工作过程.....	(23)
三、PC的主要功能及特点.....	(25)
四、PC的应用领域及技术发展动向.....	(27)
第二节 PC的硬件.....	(29)
一、PC的CPU.....	(29)
二、PC的存储器.....	(30)
三、PC的I/O模块.....	(31)
第三节 PC的软件.....	(34)
一、系统软件.....	(34)
二、应用软件.....	(34)
第四节 PC应用的规划设计.....	(38)
一、PC应用的规划设计基本过程.....	(38)
二、控制流程设计的一般原则.....	(39)
三、顺序控制的设计方法.....	(40)
第五节 PC的网络通信功能.....	(46)
一、PC的数据输入输出和通信要求.....	(46)
二、分布式自动化系统结构.....	(46)
三、网络通信功能.....	(49)
第三章 机床的计算机数字控制 (CNC)	(52)
第一节 概述.....	(52)
一、CNC系统的组成及功能原理.....	(52)
二、CNC系统的主要特点.....	(54)
第二节 CNC系统硬件结构.....	(55)
一、CNC装置硬件结构.....	(55)
二、接口定义及其通信功能.....	(62)
三、CNC系统用可编程控制器 (PC)	(66)
第三节 CNC系统软件.....	(73)
一、CNC系统软件结构.....	(73)

二、CNC装置的插补原理.....	(75)
三、CNC装置的刀具补偿.....	(82)
四、CNC系统的PC顺序控制软件的模块化结构与设计.....	(84)
第四节 数控系统体系结构的进展.....	(89)
一、概述.....	(89)
二、面向总线功能分布式 CNC 系统.....	(92)
三、基于工业微机的开放式 CNC 系统.....	(95)
第五节 分布式数字控制 (DNC)	(102)
一、概述	(102)
二、DNC 内涵及特点.....	(102)
三、DNC 接口分析.....	(104)
四、DNC 功能的扩展及新型的 DNC 结构.....	(108)
第六节 典型 CNC 系统实例.....	(110)
一、系统硬件.....	(110)
二、系统软件.....	(118)
第四章 数控加工编程技术.....	(128)
第一节 数控加工、程序和编程.....	(128)
一、数控加工.....	(128)
二、数控加工程序.....	(129)
三、数控编程.....	(130)
第二节 面向车间的数控编程.....	(132)
一、数控编程方法的演变.....	(132)
二、车削数控加工程序的编制.....	(135)
三、镗铣数控加工程序的编制.....	(143)
四、板材数控加工程序的编制.....	(146)
五、经济效益的分析.....	(149)
六、WOP现状和发展趋势.....	(155)
第三节 实物扫描数字化的编程方法	(157)
一、数字化扫描的基本原理.....	(157)
二、数字化扫描软件.....	(159)
三、RETROSCAN和RENSCAN系统.....	(161)
四、CYCLONE高速数字扫描机.....	(165)
第五章 制造系统的控制.....	(167)
第一节 制造过程自动化与控制.....	(167)
一、基本概念.....	(167)
二、制造过程自动化特点及运行方式.....	(167)
三、自动化制造系统的控制.....	(168)

四、自动化制造系统的可靠性和安全性.....	(175)
第二节 自动化生产流水线的控制系统.....	(179)
一、自动化生产流水线的控制要求及分类.....	(179)
二、自动化生产流水线实例.....	(182)
第三节 柔性制造系统 (FMS) 的控制.....	(186)
一、FMS的控制结构.....	(186)
二、FMS的信息流.....	(191)
三、FMS的运行控制系统.....	(196)
四、FMS控制实例.....	(204)
参考文献.....	(209)

第一章 现状与发展趋势

随着科学技术的飞速发展,机械制造技术有了深刻的变化,由于社会对产品多样化的需求更加强烈,多品种、中小批量生产的比重明显增加,采用传统的普通加工设备已难于适应高效率、高质量、多样化的加工要求。因此,从 70 年代以来,工业发达国家在发展现代机械加工装备中,大量采用了以微电子技术和计算机技术为基础的数控技术,使传统的机械技术、成组技术与现代的控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通讯技术有机地结合在一起。数控技术的应用,一方面促使机械加工的大量前期准备工作与机械加工过程连为一体,采用数控机床才能使零件的计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助工艺规程设计 (CAPP)、计算机辅助制造 (CAM) 的一体化成为现实。另一方面,由于数控机床的大量应用,促使机械加工全过程的柔性自动化水平不断提高,即提高了制造系统适应各种生产条件变化的能力。当前,机械加工装备不仅仅局限于单机自动化,已从数控 (CNC) 机床、加工中心 (MC) 向具有更高制造柔性 (瞬时、短期、长期柔性)、且具有物料流或信息流自动化的柔性自动化系统发展,例如独立制造岛 (AMI)、柔性制造单元 (FMC)、柔性制造系统 (FMS)、柔性传输生产线 (FTL) 以及柔性自动化工厂等,并进一步向柔性化、集成化、智能化、网络化发展。面对日趋走近的 21 世纪,柔性自动化生产的发展趋势呈现着两个主流: 其一是推进现有自动化系统的高度自动化,其二是协调自动化技术与人类、与环境之间的关系。

制造系统与设备的控制技术的发展主要有以下几个方面:

一、高性能数控系统的研究和开发

现代机械制造技术要求数控机床成为一种新的高效率、高质量、高柔性和低成本的新一代制造设备,以适应生产的需要。主要表现在:

(1) 高精度

由于新型机械产品、电子产品的加工精度要求越来越高,据统计从 50 年代到 80 年代,普通机械加工的精度提高了一倍,达到了 $5\mu\text{m}$, 精密加工的精度提高了两个数量级,超精密加工则进入了纳米 ($0.001\mu\text{m}$) 级。要求机床的主轴回转精度达 $0.01\sim 0.05\mu\text{m}$, 加工圆度为 $0.1\mu\text{m}$, 加工表面粗糙度为 $R_a=0.003\mu\text{m}$ 。

(2) 高速度、高效率

50 年代,机床的切削速度只有 $30\sim 40\text{m/min}$, 现在由于采用了新型刀具,车削和铣削速度已达 $800\sim 1000\text{m/min}$, 主轴转速由 $1200\sim 1600\text{r/min}$ 提高到 $3000\sim 5000\text{r/min}$, 有些加工中心则达到了 10000r/min 以上,工作台快速移动达到了 100m/min , 自动换刀速度由 $2\sim 5\text{s}$ 提高到 1s 。

(3) 工序集中

为了减少工序数目、缩短准备时间,工序集中的、能完整加工一个零件的机床的需求

日益增长，为此，要求数控系统供应商提供能实现多种工艺方法的、多坐标控制的和多部件协同工作的机床数控装置。

(4) 系统化

为了满足机械工业向更高层次发展，为柔性自动化系统提供基础装备，要求制造系统中使用的数控装置具有承受长时间运算的高可靠性，以及具有高速通讯以及与 MAP (Manufacturing Automation Protocol) 适配的功能。

高性能数控系统的研究和开发就是为实现上述目标而进行的。采用高性能数控系统能使机床高速地加工形状复杂、精度要求高的零部件，例如飞机发动机、潜艇部件、大型水轮机叶片等，把机械加工装备的功能、质量、可靠性提高到了一个新的水平。在多坐标机床上，为获得必要的运算能力，通常的做法是把坐标和主轴的控制回路，分配给数控系统中若干处理器。这样就能以简单的方式获得复杂的功能，例如以固定或变动的传动比实现各坐标高度精确的同步运行。在必须使若干坐标轴的运动精确耦合的许多应用场合，例如在齿轮制造中，电子传动箱可取代传统的机械传动链，并可保证有更高的加工精度。这种“电子齿轮箱”还具有一些机械传动难以实现的性能，例如，加工对称鼓形齿型、磨制螺旋槽梯齿刀或不停车更换工件等，从而有助于缩短加工和停机时间。在高性能数控系统的研究和开发中，采用计算机技术、自动化技术检测技术、机械加工的最新技术，实现高速度、高精度、高效率、高可靠性的加工是优先考虑的课题。同时应该指出的是，高性能数控系统的应用还将使机械加工行业的结构发生深刻的变化，是实现柔性自动化系统的基础。国外高性能数控系统的主要性能指标如表 1-1 所示。

表 1-1 国外高性能数控系统的主要性能指标

性能	FANUC 15	SIEMENS-880	OSP-5020
可控轴数	*	24	*
联动轴数	6	16	*
最大进给速度	24m/min	45m/min	60m/min
精度	0.1μm	0.1μm	0.1μm
编程方式	图形菜单式 APT 自动编程	草图编程 APT	菜单式 APT 自动编程
可编程功能	I/O 1024/1024 速度 0.2μs/step	I/O 1024/1024	
伺服系统	数字交流	数字交流	数字交流
主轴转速控制	有	有	有
通讯方式	RS232-RS-422DNC	DNC 网络	DNC 网络
工艺数据库	有	有	有
故障诊断	人机会话智能式	自诊断	自诊断
图形	二、三维动态彩显	二、三维动态彩显	二、三维动态彩显

注：*表示不详

高性能数控系统的主要特点:

(1) 采用 32 位 CPU 多总线的体系结构和实时多任务、多用户的操作系统, 以提高运算处理速度

以 32 位 CPU 为核心的 CNC 系统具有极快的数值处理能力, 能同时实现几个过程的闭环控制, 以及完成高阶计算任务的能力。其主要代表产品有: 德国 SIEMENS 的 SINUMERIK 850/880 系统, 美国 Cincinnati Milacron 的 ACRLMATIC 950 系统, 日本 FANUC 15、18 系统和美国 AB 8600 系统等。这些系统的运算能力高达 2500 万指令/s 以上, 内部可编程地址大于 64MB, 数控程序总长度不少于 2MB, 程序段循环时间为 0.2~0.4 μ s, 采用多微处理机实时操作系统, 配有高分辨率彩色显示屏幕。在高速加工突变轮廓时, 32 位的 CNC 系统作 64 位运行, 可使系统滞后误差趋近为零。

以日本 FANUC FS15 系列 AI (人工智能) 功能 CNC 为例, 简述采用 32 位 CPU 的 CNC 系统的功能:

- ①高速计算机数控功能;
- ②数字伺服功能;
- ③主轴转速控制功能;
- ④高速可编程机床控制 (PC) 功能;
- ⑤数据输入/输出控制功能;
- ⑥程序记忆功能;
- ⑦对话性自动程序设计功能;
- ⑧通讯功能。

为执行这些功能, 采用了多个 32 位 CPU 进行分散处理, 大大提高了数据处理和数据传输速度, 实现了最小的移动单位和最大的进给速度 (最小设定单位在 0.0001mm 时, 进给速度可达 24m/min, 最小设定单位在 0.001mm 时, 进给速度可达 240m/min), 便于用微小程序段, 以高速度、高精度加工形状复杂的模具或其他复杂零件。

为了在高速下产生光滑、精确的复杂轮廓, 系统采用 32 位精简指令集计算机 (RISC transputer)、数学协处理器 (mathematical coprocessor) 及闪烁存储器等新技术, 进一步提高了系统的运算速度和精度。图 1-1 所示为微处理器的运算能力提高曲线, 该系统取消了 CPU 处理器的许多内在限制, 其作用是只限定那些被频繁使用的硬件命令, 使结构得以简化, 同时提高处理速度。例如, 传统的复杂指令集计算机 (CISC) 需要用几百条指令, 而 RISC 芯片却把它减少到约 70 条。FANUC FS15 系列还增加了 64 位 RISC 精简指令微处理器, 使加工速度提高 4 倍。

由于采用了高速可编程机床控制器 (PC), 实现了机床逻辑动作的高速处理。FANUC FS15 系列的 PC 专用处理器, 使得 PC 的基本指令为 0.25 μ s/步, 这样系统具备了 M, S, T 的高速处理能力, 允许在一个加工程序段内多次使用 M, S, T 功能, 大大缩短了加工循环时间, 同时, CNC 与 PC 之间具有高速窗口, 通过这个窗口可以对 CNC 参数、程序、刀具半径补偿数据、宏程序变量、MDI/CRT 输入的数据和显示数据、诊断与报警状态、当前位置、进给速度等信息进行交换。

多 CPU 控制是高速化发展的一个趋向, 其甚至发展到每一个控制轴都有一个 CPU (图 1-2 所示为 CPU 的多轴控制), 图中的控制轴可以是三向进给坐标轴、回转轴、可倾轴,

也可以是主轴摆动轴等等。

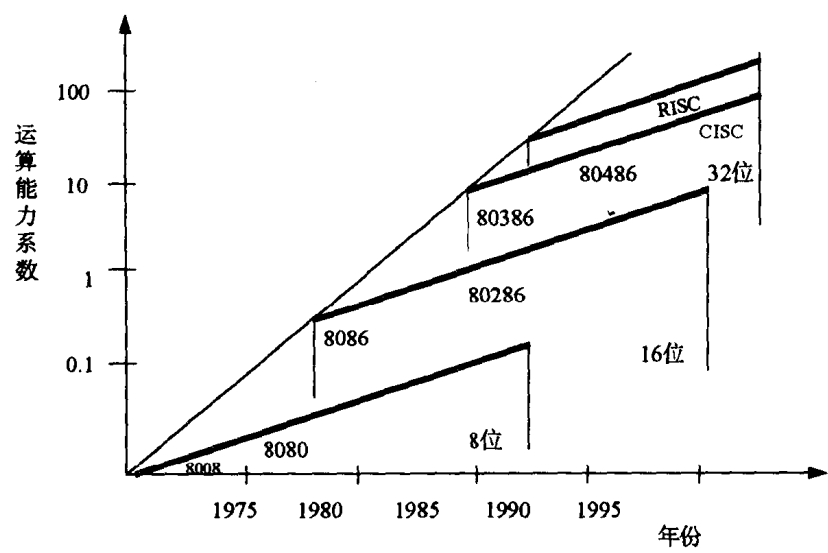


图1-1 微处理器的运算能力曲线

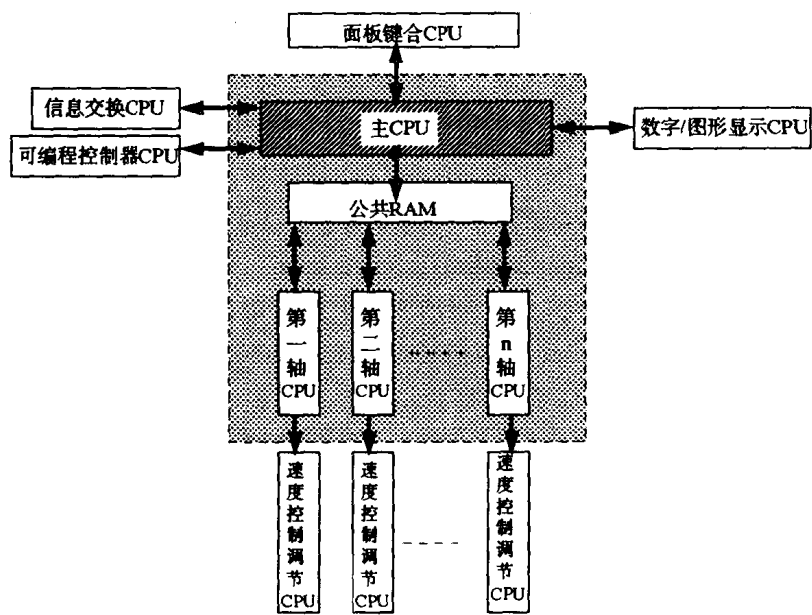


图 1-2 CPU 的多轴控制

（2）提高主轴和伺服驱动的精度和速度

随着数控机床的高速、高精度化，机床主轴和进给驱动要具有更高的速度和更好的动

静态位置控制精度。这不仅对数控系统的运算速度，同时也对伺服系统和位置检测元件的响应频率提出了相应的要求。近年来国外在数控机床的驱动系统中应用了一系列先进技术，在多方面取得了进展：

①采用以现代控制理论为基础的高精度、高速响应的交流伺服系统，实现了高分辨率、保证了加工精度。表 1-2 列出了高精度伺服系统与一般伺服系统性能比较。

表 1-2 高精度伺服系统与一般伺服系统性能比较

	指标	一般伺服系统	高精度伺服系统
性能	控制精度	1 μ m	0.1 μ m
	最大进给速度	15 ~ 25m/min	60 ~ 100m/min
位置检测	分辨率	1000 ~ 1600pulse/rev	163840 pulse/rev
	方式	相对式	绝对式
	最大输出频率	50 ~ 150kHz	9.557kHz
控制方式	方式	相当位置	绝对位置
	控制类型	模拟型	数字型
	控制分辨率	2 ⁻¹⁰ ~ 2 ⁻¹⁴	2 ⁻¹⁴
伺服类型		限于位置和速度的硬件伺服	智能型软件伺服

②高性能数字伺服控制技术的应用，使原来许多由硬件实现的功能，改由软件实现，例如：

- a. 采用前馈控制，减少因伺服滞后引起的误差；
- b. 合理选择升降速控制，减少由此引起的误差；
- c. 加工误差大的尖角部分自动采用降速加工，保证加工质量等。

③高精度位移和转速传感器的应用。具有高分辨率、高速响应的绝对位置检测脉冲编码器（FANUC FS15 系列）每周可分辨 10 万个等分，同时能使用在 10 000r/min 的高速运转系统中。FANUC FS15 系列中使用了超高速数字信号处理器（DSP），应用现代控制理论的各种控制算法可在系统中进行在线控制。它可进行非线性补偿、静动态惯性补偿值的自动设定和更新等，在一定精度的要求下，可使响应速度大幅度提高。

④直线电机伺服驱动的应用。在实现机床的高速加工中，主轴已具有很高的转速，但以滚珠丝杠为核心的进给机构因不能及时跟踪，已经成为实现高速加工的障碍。1993 年汉诺威 EMO 上，德国 Ex-Cell-O 公司把德国 Indramat 公司生产的直线电机用于卧式加工中心，从而拉开了高速进给时代的序幕。

直线电机的运动轨迹为直线，因此在进给伺服驱动中可避免丝杠等传动元件，实现直接取得提高机床部件的运动精度。FANUC LINEAR MOTOR PROFILER 的 X、Y 工作台有直线电机（美国 Anorad 公司生产）驱动，采用 64 位 RISC 微处理器进行高速、高精度轮廓加工。X、Y 轴的快速进给分别为 120m/min 和 90m/min，明显地缩短了非加工时间。由美国 Anorad 公司开发的机床进给驱动直线电机，是由永久磁铁与励磁线圈构成的 DC 无

刷式直线电机，其耐冲击能力（峰值载荷）高达 9000N，最大进给速度高达 8m/s，最大加速度高达 10g。图 1-3 所示为一典型直线电机伺服驱动系统的结构。

直线电机取代传统的进给驱动系统主要有这样一些优势：

- a. 简化结构；
- b. 高速化；
- c. 传动效率高；
- d. 响应速度快；
- e. 便于保养；
- f. 便于长行程化。

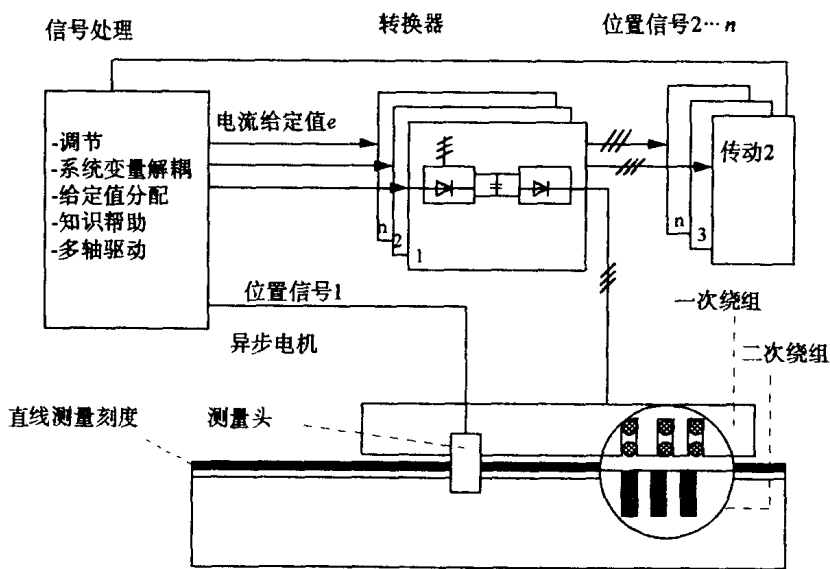


图 1-3 直线电机用于数控机床伺服驱动

（3）具有丰富的图形功能和自动程序设计功能，便于实现人机对话及高级故障诊断技术

为适应多品种、少批量生产的需要，高性能数控系统均具有人机对话式自动程序设计功能。系统应用人工智能技术，以操作者加工经验为基础，在自动决定加工范围、加工顺序、使用工具及切削条件后，自动生成数控程序（自动生成数控程序的流程图如图 1-4 所示）。

同时，提供方便的故障诊断能力来帮助操作人员和现场或远程服务的维修人员，以提高系统的可靠性。以美国 Kearney & Treckerg 公司的通讯诊断系统为例（如图 1-5 所示），当用户系统出现故障时，CNC 系统经电话线路与通讯诊断计算机连接，计算机向 CNC 发送诊断程序，使系统或机床执行某种运行，运行测试数据送回计算机分析、比较并得出结论。中央维修站再将诊断结论和处理办法通知用户。系统除事后故障诊断外，还可以进行定期预防性故障诊断。预计未来的诊断技术将在以下几个方面发展：

- ①运用数字伺服技术扩大诊断范围；

- ②滚动缓冲器概念;
- ③图示技术的应用;
- ④传感器的开发利用.

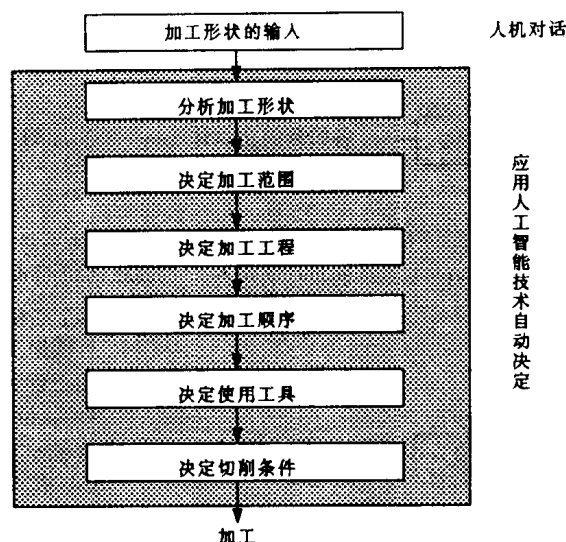


图 1-4 自动生成数控程序的流程图

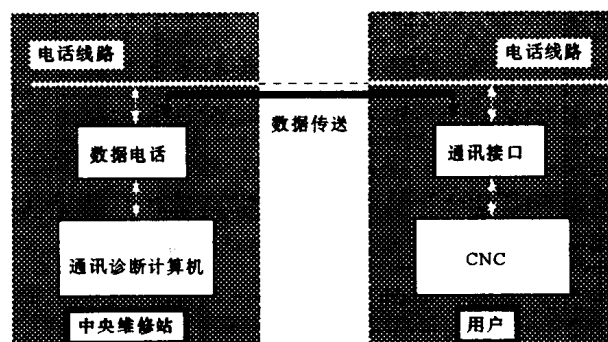


图 1-5 通讯诊断系统

(4) 具有通讯联网功能便于实现编程、加工一体化及柔性自动化系统联网，扩大数控系统的应用范围

数控技术是实现柔性自动化系统的基础技术之一。在柔性自动化系统中使用的 CNC 装置，要求具备有长时间运转的高可靠性、高速通信功能，且能够容易的实现与 MAP 对应的系统。如图 1-6 所示为自动化工厂 (FA) 的进展图 (点、线、面的推移)。如何将“高度自动化”与“一定的柔性”有机地结合起来，如何满足制造业在生产加工技术方面，出现的一些新的要求，诸如提高生产的自由度，协调生产技术与人的关系，协调生产技术与环境的关系等，从而使整个制造业的生产活动统一起来，以提高生产率。围绕着这些问题，

提出的“自律分散型 FMS 群”、“IMS（智能化制造系统）”、“绿色工厂”及 HIBM（基于人工智能的制造）等概念，是当今世界的热门话题。其中 CNC 系统是一项应用广泛的技术设备，促进 CNC 设备的标准化，研究优良的人机接口和人机学，将使 NC 技术进入一个新的时代。

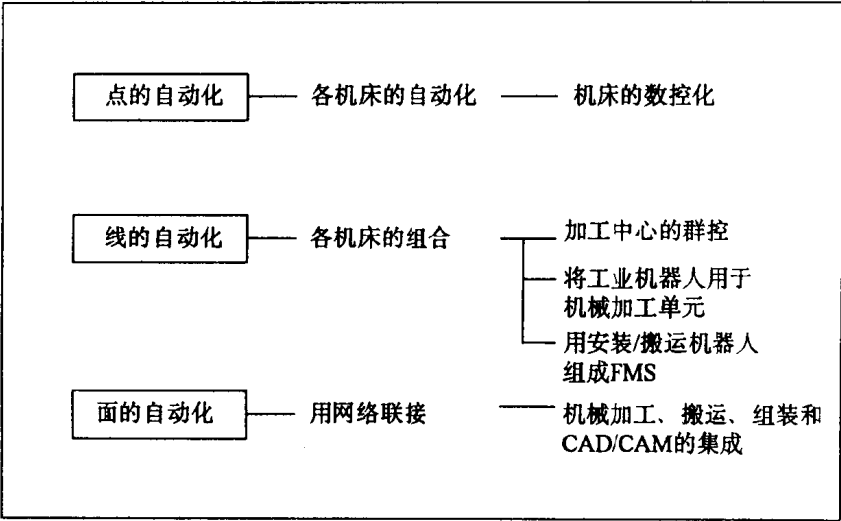


图1-6 FA的进展图

二、模块化数控技术

工业发达国家认为，为开发新的应用领域或保持本国机床工业在世界市场上的现有地位，不仅要有极好的技术性能，而且要有好的结构设计和价格。一方面，机床制造厂商对其自身产品的工艺特点及技术特性有不同的独特要求，因此要求的数控系统的功能也各不相同；另一方面，对于数控系统的供应商，为了提高其产品稳定性及降低成本，要求提高生产批量。要兼顾数控系统供应商和数控机床制造商的利益，就必须对目前数控技术产品进行标准化和模块化，以软硬件分离的方法来满足市场的需求。简单的说，就是通过硬件的标准模块化设计实现大批量低成本的生产，而应用软件技术来满足机床制造商的不同要求。

1. 数控系统的模块化

数控系统从功能上可以划分为机床控制、轨迹控制及物理控制功能。总线式、模块化结构的 CNC 装置，采用多微处理机、多主总线体系结构，CPU 为 68020 或 80386 芯片，PC、轴控制、图形控制、通信及自动编程等功能都有各自的 CPU，有 32 位（浮点为 64 位）RSIC 处理技术等，以提高系统计算能力和响应速度。

值得注意的是，由于硬件的模块化及开放性，则要求软件的每一功能块的功能能够典型化，由图 1-7 中的例子可见，对于不同的控制对象，由于其控制特征的不同，必须建立一系列典型功能软件模块，与模块化硬件的完美结合实现所需要的控制。

模块化有利于用户的需要，可构成最大或最小系统。根据制造单元的机床类型和附件，