

数控一代应用技术人才培养实用教程

# 数控一代应用技术

◎主 编 王海文



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

数控一代应用技术人才培养实用教程

# 数控一代应用技术

主 编 王海文  
副主编 高党国 谢 荣  
参 编 薛志成 朱 强 刘 永 杨 云  
主 审 陶 涛

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书以培养数控一代应用技术人才为依据,从推广应用的角度出发主要介绍了数控一代相关核心技术的应用。全书分为7章,包括数控一代概述、计算机数字控制装置、伺服系统、位置检测装置、缝制设备、包装印刷设备、齿轮磨削设备等。其中,缝制设备、包装印刷设备、齿轮磨削设备等3章重点介绍了数控一代技术在企业产品中的实际运用,具有一定的工程应用性。本书内容丰富,层次清晰,突出实践性、实用性和先进性。

本书可作为数控一代应用技术人才培养的指导用书,也可作为高等职业院校数控技术、机电一体化技术、数控设备应用与维护等相关专业的教学用书,还可作为数控技术行业的技术人员、操作人员、维修人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

数控一代应用技术/王海文主编. — 西安:西安电子科技大学出版社,2018.2  
ISBN 978-7-5606-4817-0

I. ①数… II. ①王… III. ①数控技术 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 002504 号

策划编辑 李惠萍

责任编辑 杜萍 阎彬

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467

邮 编 710071

网 址 www.xduph.com

电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2018年2月第1版

2018年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16

印张 12

字 数 277千字

印 数 2000册

定 价 27.00元

ISBN 978-7-5606-4817-0/TP

XDUP 511900 1-1

\*\*\*\*\*如有印装问题可调换\*\*\*\*\*



# 数控一代应用技术人才培养实用教程

## 《数控一代应用技术》

### 编写委员会

|       |     |     |     |     |     |     |  |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 名誉主任  | 梅雪松 |     |     |     |     |     |  |
| 主 任   | 王海文 |     |     |     |     |     |  |
| 副 主 任 | 崔海龙 | 陶 涛 | 薛志成 | 朱 强 | 郝来成 |     |  |
| 委 员   | 高党国 | 谢 荣 | 冀 峰 | 张东升 | 习大润 | 练大伟 |  |
|       | 李永琦 | 刘 永 | 罗金刚 | 高晓松 | 马 军 | 郭群立 |  |
|       | 杨 云 | 樊利军 | 李 梅 |     |     |     |  |

# 前言

## PREFACE

本书是“十二五”国家科技支撑计划先进制造领域重大项目“数控一代机械产品创新应用示范工程”(以下简称“数控一代”工程)的成果之一。“数控一代”工程的目的是把数控技术扩展到各行各业,包括纺织、印刷、包装、轻工、建材、塑机等。该工程是为了弥补我国传统机械设备的数字化短板,在“十二五”期间由科技部会同工信部、中国工程院等相关部门共同组织实施的。为了推广应用成果,帮助广大中小企业提高机械设备的数字化水平,推动我国制造业向数字化方向转变,我们会同相关人员组建了教材编写委员会,在编委会的指导下编写了本书。本书的编写意义基于以下三点:

(1) 数控一代工程具有非常重要的战略意义和现实意义。我国经济发展正处于关键的转折点,必须依靠科学技术,大力发展自主创新,通过信息化和工业化的融合来发展高科技,以实现产业化。

(2) 数控技术是数字化技术、信息技术在机械产品中的应用。数控一代工程是一次信息化革命,也是实现智能化的重要基础。

(3) 数控一代工程是数控技术的应用推广工程,更是机械产品的创新工程。数控技术是典型的机电一体化技术,需要机械和电控方面的密切配合,并进行组织创新、集成创新、协同创新,通过先进适用的数控技术的推广、应用和再创新,为走向信息化和智能化奠定基础。

全书内容包含7章,由陕西省机械研究院教授级高工王海文担任主编。其中,王海文编写了第1章和第2章,陕西省机械研究院高党国编写了第3章,陕西省机械研究院谢荣编写了第4章,西安标准工业股份有限公司朱强、刘永编写了第5章,陕西北人印刷机械有限责任公司薛志成编写了第6章,西安秦川数控系统工程有限公司杨云编写了第7章。

本书由西安交通大学陶涛教授主审,他对本书编写提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之数控一代技术发展迅速,书中难免存在不妥或疏漏之处,敬请读者不吝赐教。

编者

2017年10月



# 目 录

# CONTENTS

|                                |    |                                 |    |
|--------------------------------|----|---------------------------------|----|
| 第1章 数控一代概述 .....               | 1  | 2.4.2 CNC系统的异步串行接口 .....        | 24 |
| 1.1 数控一代的基本概念 .....            | 1  | 2.4.3 CNC系统的网络通信接口 .....        | 29 |
| 1.2 发展数控一代的重要意义 .....          | 1  | 2.5 数控系统的软件结构 .....             | 31 |
| 1.3 数控一代的核心技术 .....            | 3  | 2.5.1 CNC系统的软、硬件组合类型 .....      | 31 |
| 1.3.1 数控系统 .....               | 3  | 2.5.2 CNC系统控制软件的结构特点 .....      | 32 |
| 1.3.2 伺服驱动 .....               | 3  | 2.6 数控机床用可编程控制器 .....           | 36 |
| 1.3.3 多轴联动 .....               | 4  | 2.6.1 可编程控制器的组成 .....           | 36 |
| 1.3.4 数控切削装备 .....             | 4  | 2.6.2 可编程控制器的工作过程 .....         | 37 |
| 1.3.5 工业机器人 .....              | 4  | 2.6.3 可编程控制器的特点 .....           | 38 |
| 1.3.6 在线监测 .....               | 5  | 2.6.4 数控系统中PLC的类型 .....         | 39 |
| 1.3.7 数控刀具 .....               | 5  | 2.6.5 数控机床中PLC控制功能的实现 .....     | 40 |
| 1.3.8 PLC技术 .....              | 6  |                                 |    |
| 1.3.9 CAM系统 .....              | 6  |                                 |    |
| 1.4 数控一代的发展趋势 .....            | 7  |                                 |    |
| 第2章 计算机数字控制装置 .....            | 8  | 第3章 伺服系统 .....                  | 54 |
| 2.1 概述 .....                   | 8  | 3.1 概述 .....                    | 54 |
| 2.1.1 计算机数控系统 .....            | 8  | 3.2 步进电机及其驱动控制系统 .....          | 56 |
| 2.1.2 数控机床的组成 .....            | 8  | 3.2.1 步进电机的分类 .....             | 57 |
| 2.1.3 计算机数控装置的工作原理 .....       | 10 | 3.2.2 步进电机的工作原理 .....           | 58 |
| 2.2 数控系统的硬件结构 .....            | 12 | 3.2.3 步进电机的主要特性 .....           | 60 |
| 2.2.1 按硬件的制造方式分类 .....         | 12 | 3.2.4 步进电机驱动控制线路的构成 .....       | 61 |
| 2.2.2 按所用的CPU分类 .....          | 13 | 3.2.5 功率放大电路 .....              | 64 |
| 2.2.3 微处理器32位CNC系统 .....       | 18 | 3.3 直流伺服电机及其速度控制系统 .....        | 67 |
| 2.3 数控系统的I/O接口 .....           | 19 | 3.3.1 直流伺服电机的结构与分类 .....        | 67 |
| 2.3.1 CNC装置的输入/输出和通信要求 .....   | 19 | 3.3.2 直流伺服电机的调速原理与方法 .....      | 67 |
| 2.3.2 数控系统的I/O接口电路的作用和要求 ..... | 19 | 3.3.3 直流伺服电机速度控制单元的调速控制方式 ..... | 69 |
| 2.3.3 常见的I/O接口电路 .....         | 20 | 3.4 交流伺服电机及其速度控制系统 .....        | 72 |
| 2.3.4 通用I/O接口 .....            | 22 | 3.4.1 交流伺服电机的分类与特点 .....        | 72 |
| 2.4 数控系统的通信 .....              | 24 | 3.4.2 交流伺服电机的调速原理 .....         | 73 |
| 2.4.1 概述 .....                 | 24 | 3.4.3 交流伺服电机的变频调速 .....         | 74 |
|                                |    | 3.5 位置控制 .....                  | 77 |

|            |                            |            |            |                            |            |
|------------|----------------------------|------------|------------|----------------------------|------------|
| 3.5.1      | 数字脉冲比较伺服系统 .....           | 77         | 5.4.1      | 机电控制系统概述 .....             | 107        |
| 3.5.2      | 相位比较伺服系统 .....             | 78         | 5.4.2      | 机电控制原理 .....               | 107        |
| 3.5.3      | 幅值比较伺服系统 .....             | 80         | 5.4.3      | 电控参数 .....                 | 109        |
| 3.5.4      | 全数字控制伺服系统 .....            | 81         | 5.4.4      | 控制系统的要求 .....              | 109        |
| <b>第4章</b> | <b>位置检测装置 .....</b>        | <b>83</b>  | 5.5        | 典型缝纫产品的应用 .....            | 113        |
| 4.1        | 概述 .....                   | 83         | 5.5.1      | 平缝机的种类 .....               | 114        |
| 4.1.1      | 数控机床对检测装置的要求 .....         | 83         | 5.5.2      | 平缝机的应用 .....               | 114        |
| 4.1.2      | 位置检测装置的分类 .....            | 83         | 5.6        | 典型控制系统的操作及故障维修 .....       | 114        |
| 4.2        | 旋转变压器 .....                | 85         | 5.6.1      | 控制系统示例 .....               | 116        |
| 4.2.1      | 旋转变压器的结构 .....             | 85         | 5.6.2      | 操作盒按键功能 .....              | 116        |
| 4.2.2      | 旋转变压器的工作原理 .....           | 85         | 5.6.3      | 基本功能界面 .....               | 118        |
| 4.2.3      | 旋转变压器的工作方式 .....           | 86         | 5.6.4      | 特殊功能界面 .....               | 119        |
| 4.2.4      | 旋转变压器的应用 .....             | 87         | 5.6.5      | 时钟界面 .....                 | 121        |
| 4.3        | 感应同步器 .....                | 88         | 5.6.6      | 常用参数说明 .....               | 121        |
| 4.3.1      | 感应同步器的结构与种类 .....          | 88         | 5.6.7      | 简易故障及警告排除 .....            | 125        |
| 4.3.2      | 感应同步器的工作原理 .....           | 90         | 5.6.8      | 检测功能 .....                 | 126        |
| 4.3.3      | 感应同步器的工作方式 .....           | 91         | 5.7        | 缝制设备的使用及维修 .....           | 129        |
| 4.3.4      | 感应同步器的特点 .....             | 91         | <b>第6章</b> | <b>包装印刷设备 .....</b>        | <b>139</b> |
| 4.3.5      | 感应同步器安装使用的<br>注意事项 .....   | 92         | 6.1        | 包装印刷概述 .....               | 139        |
| 4.4        | 光栅 .....                   | 93         | 6.2        | 包装印刷的分类及技术指标 .....         | 139        |
| 4.4.1      | 光栅的种类与精度 .....             | 93         | 6.2.1      | 包装印刷的分类 .....              | 139        |
| 4.4.2      | 光栅的结构与测量原理 .....           | 94         | 6.2.2      | 包装印刷的技术指标 .....            | 140        |
| 4.4.3      | 光栅测量系统 .....               | 96         | 6.3        | 包装印刷设备的功能部件 .....          | 140        |
| 4.5        | 磁栅 .....                   | 96         | 6.4        | 典型产品的包装印刷过程 .....          | 141        |
| 4.5.1      | 磁栅的分类 .....                | 97         | 6.5        | 包装印刷专用的数控系统 .....          | 141        |
| 4.5.2      | 磁栅的结构与工作原理 .....           | 97         | 6.5.1      | 张力控制系统 .....               | 141        |
| 4.6        | 编码器 .....                  | 100        | 6.5.2      | 自动套色系统 .....               | 142        |
| 4.6.1      | 编码器的分类及安装方式 .....          | 100        | 6.6        | 包装印刷设备的操作 .....            | 148        |
| 4.6.2      | 光电式编码器 .....               | 101        | 6.7        | 包装印刷设备的维护 .....            | 148        |
| 4.6.3      | 光电脉冲编码器在数控机床中<br>的应用 ..... | 102        | 6.7.1      | 整体维护 .....                 | 148        |
| <b>第5章</b> | <b>缝制设备 .....</b>          | <b>104</b> | 6.7.2      | 清洁 .....                   | 148        |
| 5.1        | 缝制设备概述 .....               | 104        | 6.7.3      | 润滑 .....                   | 148        |
| 5.1.1      | 缝纫机的发展阶段 .....             | 104        | 6.7.4      | 检查 .....                   | 152        |
| 5.1.2      | 机电一体化缝纫机 .....             | 105        | <b>第7章</b> | <b>齿轮磨削设备 .....</b>        | <b>153</b> |
| 5.2        | 缝制设备的分类及技术指标 .....         | 105        | 7.1        | 齿轮磨削机床概述 .....             | 153        |
| 5.2.1      | 缝制设备的分类 .....              | 105        | 7.1.1      | 成形磨齿法的基本原理 .....           | 153        |
| 5.2.2      | 缝纫机的主要技术指标 .....           | 106        | 7.1.2      | 展成磨齿法的基本原理 .....           | 154        |
| 5.3        | 缝制设备的功能部件 .....            | 106        | 7.1.3      | 成形磨齿机和展成磨齿机<br>各自的特点 ..... | 154        |
| 5.4        | 缝制设备的机电控制系统 .....          | 107        | 7.2        | 齿轮磨削机床的发展趋势 .....          | 155        |
|            |                            |            | 7.3        | 齿轮磨削机床的技术指标 .....          | 156        |

|                         |     |                                 |     |
|-------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 7.3.1 成形砂轮磨齿机系列 .....   | 156 | 7.6.3 齿轮加工方面附加的 CNC<br>功能 ..... | 170 |
| 7.3.2 蜗杆砂轮磨齿机系列 .....   | 157 | 7.7 齿轮磨削机床的操作界面 .....           | 171 |
| 7.4 磨齿机的典型功能部件 .....    | 158 | 7.8 磨齿机的维护 .....                | 180 |
| 7.5 典型磨齿机的磨削工艺 .....    | 162 | 7.8.1 数控磨齿机电气部件的维护 .....        | 180 |
| 7.6 齿轮精加工专用数控系统 .....   | 164 | 7.8.2 数控磨齿机机械部件的维护 .....        | 180 |
| 7.6.1 数控系统概述 .....      | 164 | 参考文献 .....                      | 181 |
| 7.6.2 齿轮加工循环的主要功能 ..... | 168 |                                 |     |



# 第1章 数控一代概述

## 1.1 数控一代的基本概念

当今,机械产品在工业发展中不断创新,数控技术已成为中国智能制造的巨大驱动力。数控技术是用数字信息技术对工作过程和机械运动进行控制的技术,数控装备是信息技术与机械技术深度融合的典型体现。所谓数控一代,就是将数控技术及产品(包括数控系统和驱动装置等)与各行各业的机械设备有机融合,实现机械设备的数字化控制,从而引发机械产品本身的内涵发生根本性变化,使产品的功能极大丰富,性能发生质的飞跃,并全面提升机械产品的质量水平和市场竞争力。综观全球实现产业结构调整和机械产品升级的历程,蒸汽机技术使机械工业由人力制作时代进入机械化时代,电气技术使机械工业由机械化时代进入电气化时代,数控技术正在使机械工业由电气化时代跃升为数字化时代,在可预见的将来,机械工业将由数字化时代进入智能化时代。可以看到,驱动和控制系统的创新具有鲜明的特征和本质的规律,可以普遍运用于各种机械产品的创新,可以引起机械产品的升级换代以及机械工业的深刻变革,这也是“数控一代”这个概念产生/出现的缘由和根据。

## 1.2 发展数控一代的重要意义

### 1. 机械产品创新是机械工业科学发展的关键

机械产业的发展是以科学发展为主题,并以加快转变经济发展方式为主线的。加快转变经济发展方式,必须加快推进产业结构的优化调整,其核心是产品的技术创新和升级换代。

经过多年的努力,中国的机械工业实现了历史性的跨越式发展,制造业生产总值成为世界第一,我国已经成为“制造大国”。但是,我国还不是“制造强国”,机械工业还没有摆脱粗放型、外延式发展的模式,核心技术和关键技术掌握得不多,自主创新的产品少,附加值不高,核心竞争力不强。综观世界制造业,中国制造既面临其他新兴发展中国家的低、中端竞争,又面临西方发达国家重振先进制造业的压力,在全球制造产业新的调整中既面临大好的发展机遇,又面临极为严峻的挑战。面临的挑战很多,主要问题有两个:产品质量问题和产品创新问题。因此,产品创新和产品质量应该成为今后一段时期内机械工程技术发展的主要方向。

应用数控技术实现我国机械产品的全面创新和升级换代是非常必要的,而且也是完全可能的,对于我国机械工业的科学发展具有重要的战略意义。

## 2. 数控化是全面创新机械产品的有效途径

机械产品的创新可以有多种途径,主要有两种方法:一是创新工作原理(或是工作装置);二是创新机械运动的驱动和控制系统。传统机械产品的构成包括动力装置、传动装置和工作装置。其中,工作装置的创新是根本性的,极为重要。千百年来,人们一直在不断创造各种新的机械,形成了适用于完成各种不同任务的成千上万的机械产品。数控化则是对于机械运动的驱动和控制系统的创新。

数控化是创新机械产品的有效途径,其核心的技术路线是用伺服电机驱动系统取代传统机械中的动力装置与传动装置,更重要的是用计算机控制系统对机械运动与工作过程进行控制。数控技术的核心是数字化,是先进的信息技术与自动控制、机械制造技术相结合的集成技术,是机械产品创新的使能技术。数控技术的应用引起机械产品本身的内涵发生了根本性的变化,使机械产品的功能极大丰富,性能发生质的变化,可以从根本上提高机械产品的水平和市场竞争力。

应用数控技术对机械产品进行创新具有以下显著特点:

- (1) 先进、有效,产品功能、性能、质量均有极大提高,同时,机械结构大大简化,节省能源和材料;
- (2) 由于实现了数字控制,从而为各种先进信息技术的进一步应用乃至将来实现的智能化奠定了基础;
- (3) 可行性强,创新方案与技术路线具体、明确,相关技术成熟、可靠;
- (4) 应用面广,适用于各行各业机械产品的全面创新。

## 3. 发展数控一代是中国机械产品升级换代的最佳机遇

当前,我国机械工业正处于产品数字化的发展时期,全世界的机械工业也正处于产品数字化的发展时期。由“电气一代”到“数控一代”是一场深刻的变革,必然要经过艰难的攀登过程。数控一代是中国机械产品升级换代和中国机械工业跨越式发展的最佳机遇,是中国智能制造水平提升的标志,其主要理由如下:

(1) 需求强大。需求是最强大的发展动力。由于国民经济持续、快速发展,国际、国内市场的激烈竞争,数控机械产品的市场需求越来越旺盛,企业产品的创新积极性越来越高涨。我们现在面临的形势有两方面:一是要将数控技术应用于中、低端机械产品,以提升产品的市场竞争力;二是要开发高端数控机械产品,以满足经济、社会、国防等方面对数控产品日益提高的需求。

(2) 技术支持。数控技术的落后是长期以来制约我国机械产品创新与质量的一个重要因素。经过多年来对数控技术的持续攻关,特别是由于电机技术、功率器件技术、控制技术、计算机技术的突破性进展,我国的数控产业已经基本形成,国产经济型数控系统已主导国内市场,中档数控系统已形成了产业规模,高档数控系统也已经掌握了关键技术。我国的数控技术已发展到了技术成熟、质量可靠的阶段,全面推广应用的条件已经成熟。

(3) 应用示范带动。数控机械产品的创新需要掌握数控技术、机械设计与制造技术、产品领域知识等复合型知识结构的人才,这也是长期以来影响我国机械产品创新的一个重要原因。经过多年努力,人才队伍和应用示范方面已具备了良好的基础。

## 1.3 数控一代的核心技术

### 1.3.1 数控系统

数控系统是数字控制系统的简称,它是根据计算机存储器中存储的控制程序来执行部分或全部数值控制功能,并配有接口电路和伺服驱动装置的专用计算机系统。它通过利用数字、文字和符号组成的数字指令来实现一台或多台机械设备的动作控制,它所控制的通常是位置、角度、速度等机械量和开关量。数控系统早期是与计算机并行发展演化的,用于控制自动化加工设备。由电子管和继电器等硬件构成的具有计算能力的专用控制器的数控系统称为硬件数控。19世纪70年代以后,分离的硬件电子元件逐步由集成度更高的计算机处理器代替,这种数控系统称为计算机数控系统。

目前世界上的数控系统种类繁多,形式各异,组成结构上都有各自的特点,这些结构特点来源于系统初始设计的基本要求和工程设计的思路。例如:对点位控制系统和连续轨迹控制系统就有截然不同的要求;对于T系统和M系统同样也有很大的区别,前者适用于回转体零件加工,后者适合于异形非回转体的零件加工。对于不同的生产厂家来说,基于历史发展的因素以及各自因地而异的复杂因素的影响,在设计思想上也各有千秋。例如,美国Dynapath系统采用小板结构,便于板子的自由更换和灵活结合,而日本FANUC系统则趋向大板结构,可提高系统工作的可靠性,促使系统的平均无故障率不断提高。然而无论哪种系统,它们的基本原理和构成都是十分相似的。整个数控系统一般由三大部分组成,即控制系统、伺服系统和位置测量系统。控制系统按加工工件程序进行插补运算,发出控制指令到伺服驱动系统;伺服驱动系统将控制指令放大,由伺服电机驱动机械部件按要求运动;测量系统检测机械的运动位置或速度,并将其反馈到控制系统用来修正控制指令。这三部分有机结合,组成了完整的闭环控制的数控系统。

### 1.3.2 伺服驱动

伺服驱动技术作为数控机床、工业机器人及其他产业机械控制的关键技术之一,在国内外普遍受到关注。在20世纪最后10年间,微处理器(特别是数字信号处理器)技术、电力电子技术、网络技术、控制技术的发展为伺服驱动技术的进一步发展奠定了良好的基础。如果说20世纪80年代是交流伺服驱动技术取代直流伺服驱动技术的10年,那么,20世纪90年代则是伺服驱动系统实现全数字化、智能化、网络化的10年,这一点在一些工业发达国家表现得尤为明显。

无人化、规模化生产对加工设备提出了高速度、高精度、高效率的要求,交流伺服系统具有高响应、免维护(无碳刷、换向器等磨损元部件)、高可靠性等特点,正好适应了这一需求。例如,日本FANUC公司、三菱电机公司、安川电机公司,德国Siemens公司、AEG公司、力士乐Indramat公司,美国A.B公司、GE公司等均在1984年前后将交流伺服系统付诸实用。国内的交流伺服驱动技术起步较晚,到20世纪80年代末才有产品问世,如冶金部自动化研究院华腾公司的ACS系列、扬州5308厂引进Siemens公司的610系列,这些产品采用大功率晶体管模块(GTR),属于模拟伺服,从技术上填补了国内空白。

### 1.3.3 多轴联动

所谓多轴联动,是指在一台机床上的3个以上的坐标轴(包括直线坐标和旋转坐标)上同时进行加工,而且可在计算机数控(CNC)系统的控制下同时进行运动,例如,五轴联动横梁移动式高速龙门铣床、五轴联动龙门加工中心、五轴联动车铣复合中心、五轴联动立式叶片加工中心、五轴联动卧式加工中心、六轴五联动弧齿锥齿轮磨床等。多轴联动加工可以提高空间自由曲面的加工精度、质量和效率。现代数控加工正向高速化、高精度化、高智能化、高柔性化、高自动化和高可靠性方向发展,而多坐标轴数控机床正体现了这一点。

随着加工技术的不断发展和完善以及程序编写的日益简单,这在很大程度上减轻了工程师们在程序上的计算量,同时也减轻了机床操作者的工作量,提高了生产效率,降低了成本。多轴联动加工是现代机床的发展方向,体现了一个国家制造业水平的高低。

### 1.3.4 数控切削装备

作为制造技术的主要基础工艺,数控切削加工随着制造技术的发展,在20世纪末取得了很大的进步,进入了以发展高速切削、开发新的切削工艺和加工方法、提供成套技术为特征的发展新阶段。它是制造业中重要的工业部门,如汽车工业、航空航天工业、能源工业、军事工业和新兴的模具工业、电子工业等使用的主要加工技术,也是这些工业部门迅速发展的重要因素。当前以高速切削为代表的干切削、硬切削等新的切削工艺已经显示出很多的优点和强大的生命力,成为制造技术用于提高加工效率和质量、降低成本的主要途径。

发展高速切削等新的切削工艺、促进制造技术的发展是现代切削技术面临的新任务。当代的高速切削不是切削速度的少量提高,而是在制造技术全面进步和进一步创新的基础上,特别是在数控机床、刀具材料、涂层、刀具结构等技术重大进步的基础上,达到切削速度和进给速度的成倍提高,从而使制造业整体的切削、加工效率有显著的提高。

### 1.3.5 工业机器人

工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器人。工业机器人是自动执行工作的机器装置,是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。它可以接受人类的指挥,也可以按照预先编排的程序运行,现代的工业机器人还可以根据人工智能技术制定的原则纲领来行动。

工业机器人在工业生产中能代替人来做一些某些单调、频繁和重复的长时间作业,或是危险、恶劣环境下的作业。例如,在冲压、压力铸造、热处理、焊接、涂装、塑料制品成形、机械加工和简单装配等工序上,以及在原子能工业等部门中,工业机器人可完成对人体有害物料的搬运或工艺操作。

在发达国家中,工业机器人自动化生产线成套设备已成为自动化装备的主流机器人发展前景及未来的发展方向。国外的汽车行业、电子/电器行业、工程机械等行业已经大量使用工业机器人自动化生产线,以保证产品质量,提高生产效率,同时避免了大量的工伤事故。全球诸多国家近半个世纪的工业机器人的使用实践表明,工业机器人的普及是实现自

动化生产、提高社会生产效率、推动企业和社会生产力发展的有效手段。

### 1.3.6 在线检测

所谓在线检测,就是直接安装在生产线上,通过软测量技术实时检测、实时反馈,以此来更好地指导生产,减少不必要的浪费。

过程工业常常伴随着物理反应、化学反应、生化反应、相变过程及物质和能量的转移与传递,它往往是一个十分复杂的工业大系统,其本身就存在大量的不确定性和非线性因素。它通常还伴随着十分苛刻的生产条件或环境,如高温、高压、低温、真空、高粉尘和高湿度,有时甚至存在易燃、易爆或有毒物质,生产的安全性要求较高。它强调生产过程的实时性、整体性,各生产装置间存在复杂的耦合、制约关系,要求从全局协调,以求整个生产装置运行平稳、高效。这种复杂的特性使得在工业过程中很难建立起准确的数学模型。

近年来,随着科学技术的迅猛发展和市场竞争的日益激烈,为了保证产品的质量和经济效益,先进控制和优化控制纷纷被应用于工业生产过程中。然而,不管是在先进控制策略的应用过程中,还是在对产品质量的直接控制过程中,一个最棘手的问题就是难以对产品的质量变量进行在线实时测量。受工艺、技术或者经济的限制,一些重要的过程参数和质量指标难以甚至无法通过硬件传感器实现在线检测。目前,生产过程中通常采用定时离线分析的方法,即每几小时采样一次,送化验室进行人工分析,然后根据分析值来指导生产。由于这种方法时间滞后大,因此远远不能满足在线控制的要求。

在线检测技术正是为了解决这类变量的实时测量和控制问题而逐渐发展起来的。在线检测技术根源于推理控制中的推理估计器,即采集某些容易测量的变量(也称二次变量或辅助变量),并构造一个以这些易测变量为输入的数学模型来估计难测的主要变量(也称主导变量),从而为过程控制、质量控制、过程管理与决策等提供支持,也为进一步实现质量控制和过程优化奠定基础。在线连续检测技术是现代流程工业和过程控制领域的关键技术之一,它的成功应用将极大地推动在线质量控制和各种先进控制策略的实施,使生产过程控制得更加理想,如浓度、黏度、分子量、转化率、比值、液位等质量参数都可以实现在线检测。

### 1.3.7 数控刀具

数控刀具是机械制造中用于切削加工的工具,又称切削工具。广义的切削工具既包括刀具,还包括磨具。数控刀具除切削用的刀片外,还包括刀杆和刀柄等附件。各种刀具的结构都由装夹部分和工作部分组成。整体结构刀具的装夹部分和工作部分都做在刀体上;镶齿结构刀具的工作部分(刀齿或刀片)则镶装在刀体上。

制造刀具的材料必须具有很高的硬度、耐磨性,必要的抗弯强度、冲击韧性和化学惰性,良好的工艺性(切削加工、锻造和热处理等),并不易变形。在选择刀具的角度时,需要考虑多种因素的影响,如工件材料、刀具材料、加工性质(粗、精加工)等,必须根据具体情况合理选择。通常讲的刀具角度是指制造和测量用的标注角度。在实际工作时,由于刀具的安装位置不同和切削运动方向的改变,使得实际工作的角度和标注的角度有所不同,但通常相差很小。

### 1.3.8 PLC 技术

PLC 的全称为可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller),它采用一类可编程的存储器,用于其内部存储程序,执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算术操作等面向用户的指令,并通过数字或模拟式输入/输出控制各种类型的机械或生产过程。

PLC 是一个以微处理器为核心的数字运算操作的电子系统装置,专为在工业现场应用而设计。PLC 是微机技术与传统的继电接触控制技术相结合的产物,它克服了继电接触控制系统中机械触点接线复杂、可靠性低、功耗高、通用性和灵活性差的缺点,充分利用了微处理器的优点,又照顾到现场电气操作维修人员的技能与习惯,特别是 PLC 的程序编制不需要专门的计算机编程语言知识,而是采用了一套以继电器梯形图为基础的简单指令形式,使用户程序编制形象、直观、方便易学,而且其调试与查错也都很方便。用户在购买到所需的 PLC 后,只需按说明书的提示做少量的接线和简易的用户程序编制工作,就可灵活方便地将 PLC 应用于生产实践。

### 1.3.9 CAM 系统

CAM(Computer Aided Manufacturing,计算机辅助制造)的核心是计算机数字控制(简称数控),它通过计算机编程生成机床设备能够读取的 NC 代码,从而使机床设备运行更加精确和高效,为企业节约大量的成本。

1952 年美国麻省理工学院首先研制成数控铣床,此后发展了一系列的数控机床,包括称为“加工中心”的多功能机床。加工中心能从刀库中自动换刀和自动转换工作位置,能连续完成钻、铰、攻丝等多道工序,这些都是通过程序指令控制运作的,只要改变程序指令就可改变加工过程,数控的这种加工灵活性称为“柔性”。

计算机辅助制造系统通过计算机的分级结构来控制和管理制造过程的多方面工作,它的目标是使用一个集成的信息网络来检测一个广阔的、相互关联的制造作业范围,并根据一个总体的管理策略来控制每项作业。

从自动化的角度来看,数控机床加工是一个工序自动化的加工过程,在加工中心实现部分零件或全部机械加工过程的自动化,由计算机直接控制并通过柔性制造来完成一族零件或不同族零件的自动化加工过程。所谓计算机辅助制造,是指计算机参与了制造过程这样一个概念。

一个大规模的计算机辅助制造系统是一个计算机分级结构的网络,它由两级或三级计算机组成。中央计算机控制全局,提供经过处理的信息;主计算机管理某一方面的工作,并对下属的计算机工作站或微型计算机发布指令和进行监控;计算机工作站或微型计算机承担单一的工艺控制过程或管理工作。

计算机辅助制造系统的组成可以分为硬件和软件两方面。硬件方面有数控机床、加工中心、输送装置、装卸装置、存储装置、检测装置、计算机等,软件方面有数据库、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助数控程序编制、计算机辅助工装设计、计算机辅助作业计划编制与调度、计算机辅助质量控制等。



## 1.4 数控一代的发展趋势

随着机械制造的发展,如今,数控系统已经普遍存在于企业的各个环节中,作为一门集计算机技术、自动化控制技术、测量技术、现代机械制造技术、微电子技术、信息处理技术等多学科交叉的综合技术,数控已经成为近年来应用领域中发展十分迅速的一项综合性的高新技术。它是为适应高精度、高速度、复杂零件的加工而出现的,是实现自动化、数字化、柔性化、信息化、集成化、网络化的基础,是现代机床装备的灵魂和核心,有着广泛的应用领域和广阔的应用前景。未来,随着信息化程度的逐步提高,对实现综合生产指标优化的综合自动化系统的需求不断增长。此外,随着通信技术与计算机及其网络技术的融合发展,为了增强产品竞争力,提高综合效益,机械制造企业将会更多地考虑如何把传统的数控系统技术放在企业信息化的大背景下,思考如何用信息化技术促进数控去适应本企业的需求,并快速向高端发展。在全球市场环境的影响和推动下,改进产品质量、提高生产效率和降低产品成本的需求不断增长,生产的实时优化受到过程工业的普遍重视并广泛加以采用。为了适应变化的经济环境,减少消耗,降低成本,提高生产效率,提高运行安全性,必须对控制、优化、计划与调度以及生产过程管理实现无缝集成。要降低生产成本、提高产品质量、减少环境污染和资源消耗,产品只能通过全流程数字控制的优化设计来实现。

因此,未来我国在发展数控技术的时候,必须以数控技术和产品的应用推广为牵引,提高机械设备行业中企业的自主创新能力,改变生产方式,提高生产效率,增加机械设备产品的附加值,实现产品的转型升级和机械装备的更新换代,大力促进我国机械工程领域的科技进步。数控一代既是数控技术应用工程,更是机械产品创新工程;既有机械工业发展强大需求的推动,又有成熟数控技术的支撑。要充分发挥我国的制度优越性,采取协同创新技术路线,在整个机械行业推进组织创新。

数控一代的战略目标是:在机械行业全面推广应用数控技术,在5到8年内,实现各行各业、各类各种机械产品的全面创新,使中国的机械产品整体升级为“数控一代”,为我国机械工业从“大”到“强”的跨越式发展作出重大贡献。

当今数控技术高速发展,学科间相互交叉与融合,使得“数控一代”技术的发展不是个人或者企业的行为,不仅需要科学技术与工业生产的紧密结合,还需要整个产业结构模式的紧密结合。因此,在这次针对数控化的机械发展革命中,为了更好地发展数控一代,必须以整个机械行业为先导,拓展创新包括数控核心技术、数控装备、配套技术,建立相应的传播平台,应用服务与培训体系在内的服务支撑体系,为未来加快“数控一代”的发展和推广应用打下良好的基础。

## 第 2 章 计算机数字控制装置

### 2.1 概述

#### 2.1.1 计算机数控系统

计算机数控(Compute Numerical Control)英文简称 CNC。按照美国电子工业协会(Electronic Industries Association, EIA)数控标准化委员会的定义,“CNC 是指用一个存储程序的计算机,按照存储在计算机内的读写存储器中的控制程序去执行数控装置的部分或全部功能,在计算机之外唯一的装置是接口”。该定义表明计算机数控系统实际是一台控制用计算机,是数控机床的控制核心。机床的各个外围部件在数控系统的控制下有序地工作,自动按照预先编制的程序进行机械零件的加工。数控系统随着电子技术的发展,先后经历了电子管、晶体管、集成电路、小型计算机、微处理器及基于工控 PC 机的通用型系统六代。其中,前三代称为硬件数控,其插补运算主要由硬件完成,简称 NC 系统,目前已被淘汰;后三代称为软件数控,其插补运算主要由软件算法完成,也称 CNC 系统。由于微电子技术的迅速发展,目前比较多的是采用微处理器数控系统,简称为 MNC 系统,但习惯上仍称为 CNC 系统。

CNC 系统根据输入的程序(或指令)由计算机进行插补运算,形成理想的运动轨迹。插补计算出的位置数据输出到伺服单元,控制电动机带动执行机构,从而加工出所需要的零件。

#### 2.1.2 数控机床的组成

数控机床一般是由程序输入/输出设备、计算机数字控制装置(CNC 装置)、可编程序控制器(PLC)、伺服系统、机床本体等组成,如图 2-1 所示,数控机床的核心是 CNC 装置。

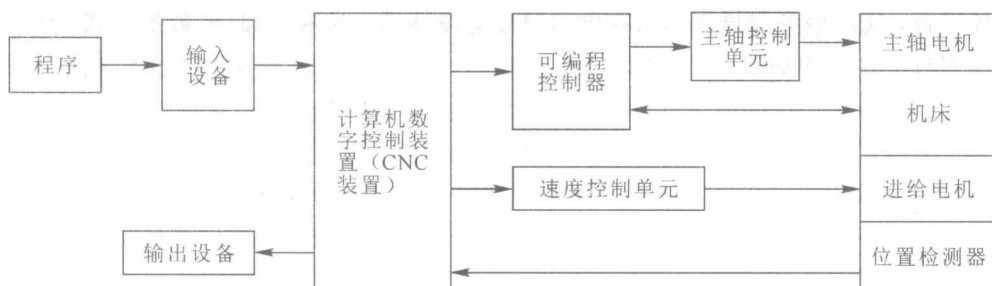


图 2-1 数控机床的组成框图

### 1. 输入/输出设备

输入/输出设备主要用于数据的输入和输出,这些数据主要包括:数控加工程序、机床参数、刀具补偿参数、PLC 参数、螺距误差补偿等。早期的输入/输出设备主要有:光电阅读机、纸带穿孔机、磁带机、软盘驱动器、显示器、键盘等。其中,键盘和显示器是最常用的输入/输出装置,显示器主要用于监控和显示之用;键盘主要用作输入操作命令及编辑修改数据,也可以用作少量零件加工程序的输入。在现代数控系统中,通常还配有存储卡、串行通信口、网络通信接口等,它们可以将计算机上编写的加工程序、PLC 程序、机床参数等输入到数控系统中。有些高端的数控系统还有一套自动编程机或 CAD/CAM 系统。

### 2. 计算机数控装置

微型计算机(以下简称微机)是计算机数控装置中的核心,与通用计算机一样,它包括中央处理器(CPU)、内部存储器、I/O 接口以及时钟、译码等辅助电路。

中央处理器(CPU)由运算器和控制器两部分组成。运算器是对数据进行算术和逻辑运算的部件。在运算过程中,运算器不断地得到由存储器提供的数据,并将运算的中间结果送回存储器暂时保存起来。控制器从存储器中依次取出组成程序的指令,经过译码后向数控系统的各部分按顺序发出执行操作的控制信号,使指令得以执行。

内部存储器用于存储系统软件和零件加工程序,并将运算的中间结果以及处理后的结果储存起来,它包括存放系统控制软件的存储器(ROM)和存放中间数据的存储器(RAM)两部分。ROM 中的系统控制软件程序是由数控系统生产厂家写入的,用来完成 CNC 系统的各项功能,机床断电后 ROM 中的内容不会丢失,数据永久保存。RAM 中一般存储的是系统参数、PLC 参数、螺距误差补偿参数、刀具补偿参数等,机床断电后 RAM 中的数据会丢失,因此需要专门的后备电池为其提供电源,并且该电源需按照数控系统厂家的规定进行定期更换。

输入/输出接口是中央处理器和外界联系的通路,它提供物理的连接手段,完成必要的数据格式和信号形式的转换。I/O 接口按功能可分为两类:一类连接常规的输入/输出设备以实现程序的输入/输出以及人机交互的界面,称之为通用的 I/O 接口;另一类则连接专用的控制和检测装置,实现机床的位置和工作状态的控制与检测,这是 CNC 系统专有的,称之为机床控制的 I/O 接口。

### 3. 可编程序控制器(PLC)

数控机床的控制侧(即 NC 侧)有各坐标轴的运动控制,在机床侧(即 MT 侧)有各种执行机构的逻辑顺序控制。加工程序中一般都包含有主轴的正/反转、冷却液开/关、润滑、自动换刀、主轴松拉刀、工件的松开/夹紧等辅助指令,这些指令在 CNC 装置读取后,由操作系统软件进行译码,并由 PLC 完成其控制,驱动外部相应的电磁阀、继电器、液压、气动元件完成规定的动作。PLC 处于 NC 和 MT 之间,对 NC 和 MT 的输入、输出信息进行处理,用软件实现机床侧的控制逻辑。利用 PLC 可以提高 CNC 系统的灵活性、可靠性和利用率,并使结构更紧凑。

数控机床使用的可编程序控制器有内装型(Built in Type)和独立型(Stand-alone Type)两种。

PLC 的应用程序(Application Program)即 PLC 程序,通常用梯形图表示。编制 PLC 程序的设备有 PLC 专用编程机、编程器、有 PLC 编程功能的 CNC 系统或配有 PLC 编程