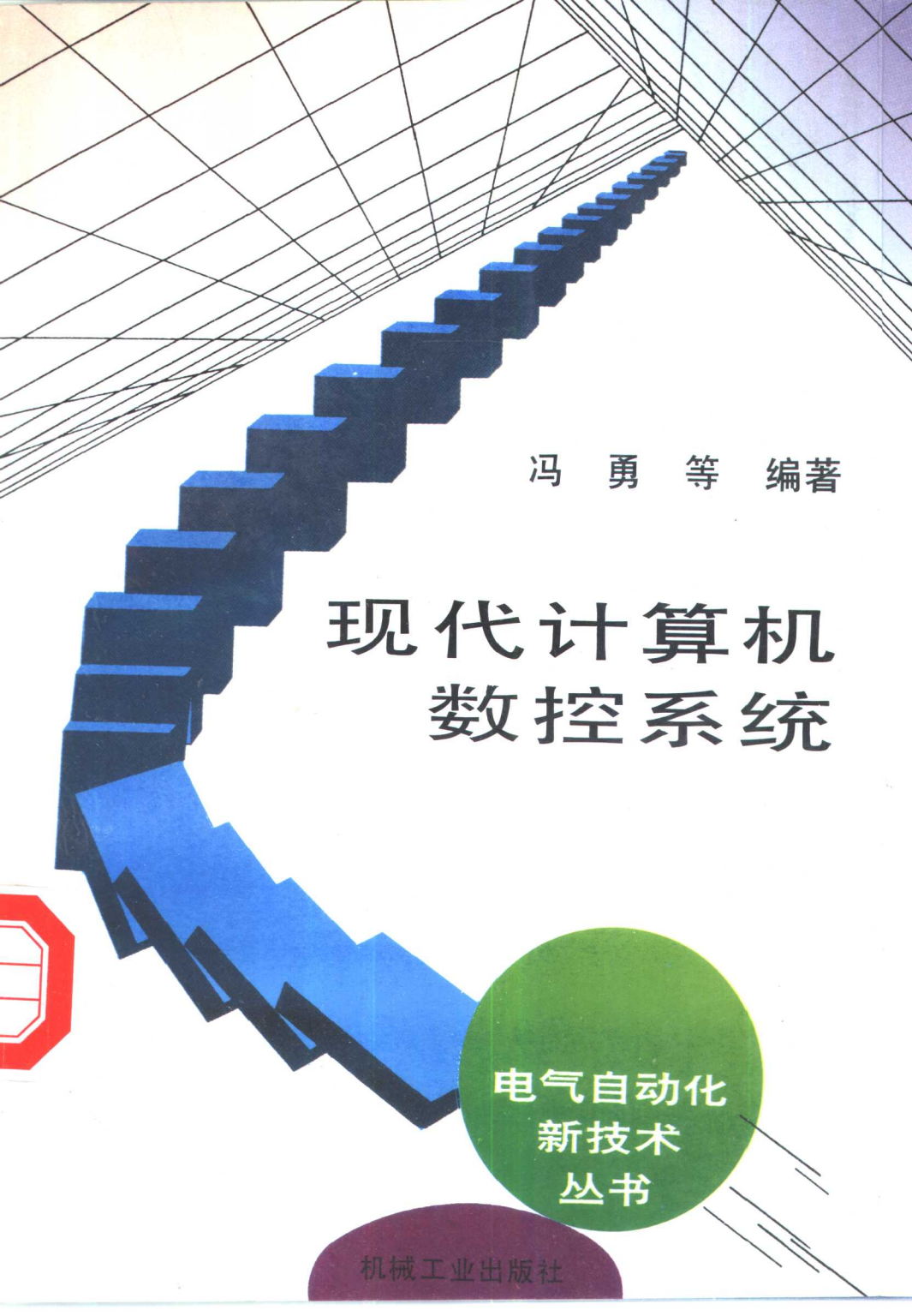




冯 勇 等 编著

现代计算机 数控系统



电气自动化
新技术
丛书

机械工业出版社

电气自动化新技术丛书

现代计算机数控系统

冯 勇 霍勇进 编著



机械工业出版社

本书是作者多年来从事计算机数控、计算机控制和过程控制等方面的教学和科研工作的总结。书中详细而深入浅出地介绍了计算机数控系统的组成、工作原理、编程方法、插补原理、刀具补偿原理,并完整地给出了各种算法,介绍了计算机数控系统的伺服系统、硬件和软件,并给出了具体实现方法。本书还介绍了自适应数控系统、计算机集成制造系统,突出了计算机数控系统的高层次应用。最后,本书介绍了新一代计算机数控系统的起源、作用、实现和发展。

本书可供电气自动化领域中的工程技术人员和研究人员阅读,也可作为大专院校有关专业的教材和教学参考书,还可作为有关培训班的教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代计算机数控系统/冯勇等编著. —北京:机械工业出版社,1996

(电气自动化新技术丛书)

ISBN 7-111-05154-8

I. 现… II. 冯… III. 计算机数控系统:数控系统
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 08580 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:孙流芳 版式设计:李松山 责任校对:丁丽丽

封面设计:姚毅

三河永和印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 1 月第 2 次印刷

850mm×1168mm^{1/32}·13.75 印张·367 千字

5 001—6 500 册

定价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

《电气自动化新技术丛书》

序 言

科学技术的发展,对于改变社会的生产面貌,推动人类文明向前发展,具有极其重要的意义。电气自动化技术是多种学科的交叉综合,特别在电力电子、微电子及计算机技术迅速发展的今天,电气自动化技术更是日新月异。毫无疑问,电气自动化技术必将在建设“四化”、提高国民经济水平中发挥重要的作用。

为了帮助在经济建设第一线工作的工程技术人员能够及时熟悉和掌握电气自动化领域中的新技术,中国自动化学会电气自动化专业委员会和中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会联合成立了《电气自动化新技术丛书》编辑委员会,负责组织编辑《电气自动化新技术丛书》。丛书将由机械工业出版社出版。

本丛书有如下特色:

一、本丛书是专题论著,选题内容新颖,反映电气自动化新技术的成就和应用经验,适应我国经济建设急需。

二、理论联系实际,重点在于指导如何正确运用理论解决实际问题。

三、内容深入浅出,条理清晰,语言通俗,文笔流畅,便于自学。

本丛书以工程技术人员为主要读者,也可供科研人员及大专院校师生参考。

编写出版《电气自动化新技术丛书》,对于我们是一种尝试,难免存在不少问题和缺点,希广大读者给予支持和帮助,并欢迎大家批评指正。

本丛书选题将随新技术发展不断扩充,凡属电气自动化领域

新技术均可作为专题撰写新书。我们也面向社会公开征稿,欢迎自列选题投稿。来稿或索取稿约请函寄 300180 天津市津塘路 174 号天津电气传动设计研究所转《电气自动化新技术丛书》编辑委员会。

《电气自动化新技术丛书》

编辑委员会

《电气自动化新技术丛书》

编辑委员会成员

主任委员:陈伯时

副主任委员:喻士林 夏德铃 李永东

委员:(以姓氏笔划为序)

王 炎	王文瑞	王正元
刘宗富	孙 明	孙武贞
孙流芳	过孝瑚	许宏纲
朱稚清	夏德铃	陈伯时
陈敏逊	李永东	李序葆
张 浩	张敬民	周国兴
涂 健	蒋静坪	舒迪前
喻士林	霍勇进	戴先中

《电气自动化新技术丛书》

出版基金资助单位

机械工业部天津电气传动设计研究所

深圳华能电子有限公司

北京电力电子新技术研究开发中心

天津普辰电子工程有限公司

前 言

计算机数控系统(CNC)是20世纪70年代发展起来的机床控制新技术,它是综合了计算机、自动控制、电气传动、测量、机械制造等技术而形成的一门边缘科学。数控技术是计算机集成制造系统(CIMS)和工厂自动化(FA)的基础技术之一,也是当今世界机械制造业的高技术之一。数控技术是振兴国家机床工业、增强制造业国际竞争能力的基础。

本书是作者多年来从事计算机数控、计算机控制和过程控制等方面的教学和科研工作的总结。书中详细地介绍了计算机数控系统的构成、工作原理;对编程方法、插补原理、刀补原理作了深入浅出的介绍,并完整地给出了各种算法;介绍了计算机数控系统的伺服系统、硬件和软件,并给出了具体实现方法。本书还介绍了自适应数控系统、计算机集成制造系统,突出了计算机数控系统的高层次应用。最后本书介绍了新一代计算机数控系统的起源、作用、实现和发展。

本书力图做到理论联系实际,着重于应用,突出理论的系统性、算法的完整性、实现的可参考性、技术的先进性。作者期望本书能对正在从事和将要从事电气自动化领域工程技术工作的工程技术人员、研究人员有所帮助。本书也可作为大专院校有关专业的教材或教学参考书,还可作为有关培训班的教材。

本书共分10章。第1章介绍了计算机数控系统的基本概念、组成与分类,以及国内外发展概况。第2章介绍数控机床的坐标系、运动方向定义、零点偏置问题,以及数控系统的一般工作方式。第3章介绍数控系统加工程序的三种编程方法:手工编程、自动编程和图形编程。第4章介绍数控系统的插补原理,描述出插补的完

整过程,给出了插补算法以及终点判别算法,除一般的直线和圆弧插补算法以外,还给出了椭圆及高次曲线插补算法。最后给出了螺旋加工算法。第5章介绍数控系统的刀具补偿原理,描述出刀补类型的判别方法及各种类型的刀补算法。第6章介绍数控机床的伺服系统,对伺服系统的8种检测元件及直流、交流、步进电动机和直接驱动电动机分别进行了介绍,并讨论了各种伺服电动机的计算机控制实现方法,对主轴驱动系统也进行了介绍。第7章介绍数控系统的硬件和软件,讨论了几种CNC系统硬件结构形式和实现,同时描绘出一个完整的CNC系统软件体系。对数控系统的故障诊断原理与实现方法也作了介绍。另外,还介绍了数控系统的接口技术和通信技术。第8章介绍自适应数控系统的原理、作用和实现方法,以此了解数控系统更高层次的控制方法。第9章介绍计算机集成制造系统,从直接数字控制(DNC)系统、柔性制造单元(FMC)和柔性制造系统(FMS)直到CIMS,分别介绍它们的原理、作用和实现方法,以此了解CNC系统的发展过程和未来的发展趋势。第10章介绍新一代数控系统,从下一代控制器(NGC)计划的由来开始,讲述NGC的技术与标准、NGC计划的目标与实现、NGC计划带来的好处,最后谈到我国面临的机遇与挑战。

本书第1章至第9章由哈尔滨工业大学冯勇编写,第10章由冯勇和霍勇进编写,全书由冯勇统稿。

初稿完成后,蒙哈尔滨工业大学王炎教授主审,提出了许多宝贵的修改和补充意见,特此表示感谢。

在本书选题、编写、定稿和出版过程中,得到了中国自动化学会电气自动化专业委员会、中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会、机械工业出版社以及《电气自动化新技术丛书》编委会的大力支持与帮助。特别是,天津电气传动设计研究所原总工程师喻士林教授级高级工程师给予作者许多具体指导和帮助,作者对此表示衷心的感谢。

由于作者学识水平所限和时间紧迫,在计算机数控方面一定还有许多好的内容没有得到反映,恳请读者谅解。书中内容也难免

有不当或错误之处,殷切希望有关专家和广大读者批评指正。

作者

于哈尔滨工业大学

1995 年 9 月

目 录

《电气自动化新技术丛书》序言

前言

第 1 章	概述	1
1.1	数控系统的基本概念	1
1.2	数控机床的组成与工作原理	2
1.2.1	数控机床的组成	2
1.2.2	数控机床的工作原理	3
1.3	数控机床的分类与适用范围	5
1.3.1	按机床运动轨迹的分类	6
1.3.2	按伺服系统类型的分类	8
1.3.3	按加工工艺类型的分类	10
1.3.4	按数控系统功能水平的分类	11
1.3.5	数控机床的适用范围	12
1.4	数控机床的特点	13
1.5	国外主要数控系统产品简介	15
1.5.1	日本 FANUC 公司的 CNC 产品	15
1.5.2	德国 SIEMENS 公司的 CNC 产品	16
1.5.3	西班牙 FAGOR 公司的 CNC 产品	19
1.6	数控系统的发展	21
1.6.1	数控系统的发展简述	21
1.6.2	我国数控系统的发展简述	22
1.6.3	数控系统的发展趋势	24
第 2 章	数控系统的工作原理	30
2.1	数控机床的坐标系	30
2.1.1	机床坐标和运动方向的定义	30
2.1.2	机床坐标的确定方法	32
2.1.3	绝对坐标系与相对坐标系	34

2.2	数控机床的零点偏置	37
2.2.1	零点偏置的基本定义	37
2.2.2	可设定零点偏置与可编程零点偏置	38
2.2.3	零点偏置的取消	40
2.2.4	轨迹计算	42
2.3	数控系统的控制面板	43
2.4	数控系统的复位操作	48
2.5	数控系统的一般工作方式	48
2.5.1	返回参考点方式	48
2.5.2	自动加工方式	49
2.5.3	连续点动方式	52
2.5.4	增量点动方式	53
2.5.5	手动输入/自动加工方式	54
2.5.6	设定实际值方式	54
2.5.7	重定位方式	55
第3章	数控系统的程序编制	56
3.1	概述	56
3.2	程序编制的基础知识	57
3.3	手工程序编制	60
3.3.1	程序编制的 G 代码	60
3.3.2	辅助功能 M 代码	64
3.3.3	其他功能代码	67
3.3.4	手工编程的缺点	68
3.4	自动程序编制	69
3.4.1	概述	69
3.4.2	数控语言	70
3.4.3	APT 语言的基本要素	71
3.4.4	APT 数控语言的几何定义语句	76
3.4.5	APT 数控语言的运动语句	85
3.4.6	APT 数控语言的后置处理语句及其他语句	92
3.4.7	APT 编程举例	98
3.5	图形程序编制	102
3.5.1	蓝图编程的基本概念	102

3.5.2	蓝图编程的基本原理	103
3.5.3	蓝图编程的主要算法	103
3.5.4	蓝图编程软件的总体设计	107
3.5.5	蓝图编程系统软件的实现	108
第4章	数控系统的插补原理	114
4.1	概述	114
4.2	数据采样插补	117
4.2.1	插补周期与采样周期	117
4.2.2	插补周期与采样周期的选择	117
4.2.3	插补周期与精度、速度的关系	118
4.3	内接弦线法插补原理	121
4.3.1	直线插补原理	122
4.3.2	圆弧插补原理	123
4.4	扩展 DDA 插补原理	125
4.4.1	直线插补原理	126
4.4.2	DDA 圆弧插补原理	128
4.4.3	扩展 DDA 圆弧插补	131
4.4.4	圆弧插补参数 I 、 K 的符号判别	134
4.4.5	扩展 DDA 圆弧插补法分析	135
4.5	圆弧插补二阶递归算法	138
4.6	数据采样插补的终点判别	141
4.6.1	终点判别的一般方法	142
4.6.2	终点判别的快速判别方法	144
4.7	椭圆插补方法	148
4.7.1	椭圆插补基本原理	148
4.7.2	椭圆插补终点判别处理	150
4.7.3	椭圆插补精度分析	152
4.8	高次曲线样条插补方法	154
4.8.1	参数三次样条插补原理	154
4.8.2	参数三次样条插补基本算法	156
4.8.3	参数三次样条插补轮廓误差分析	157
4.9	螺纹加工算法	159
4.9.1	固定螺距的螺纹加工算法	160

4.9.2	变动螺距的螺纹加工算法	163
4.9.3	多螺纹加工算法	163
第 5 章	数控系统的刀具补偿原理	166
5.1	概述	166
5.2	数控系统的刀具补偿原理	167
5.2.1	刀具数据	167
5.2.2	刀具长度补偿原理	170
5.2.3	刀具半径补偿原理	172
5.2.4	C 功能刀具补偿的基本设计思想	174
5.3	刀具补偿类型及判别方法	176
5.3.1	刀具补偿类型的定义	176
5.3.2	刀具半径补偿算法的几个基本概念	180
5.3.3	刀具补偿转接类型的判别方法	182
5.4	刀具补偿的算法	184
5.4.1	直线接直线的情况	184
5.4.2	直线接圆弧的情况	188
5.4.3	圆弧接直线的情况	192
5.4.4	圆弧接圆弧的情况	195
5.5	刀具补偿的几种情况	198
第 6 章	数控机床的伺服系统	201
6.1	概述	201
6.1.1	数控机床的伺服系统简述	201
6.1.2	数控机床对伺服系统的要求	204
6.2	伺服系统的检测元件	204
6.2.1	测速发电机	204
6.2.2	自整角机	208
6.2.3	旋转变压器	211
6.2.4	感应同步器	215
6.2.5	光栅	222
6.2.6	脉冲编码器	225
6.2.7	磁尺	230
6.2.8	激光检测装置	232
6.3	进给伺服系统	233

6.3.1	伺服电动机的种类、特点和选用原则	233
6.3.2	直流伺服系统	234
6.3.3	交流伺服系统及其应用	253
6.3.4	交、直流伺服电动机的计算机位置闭环控制	266
6.3.5	步进电动机的驱动与控制	273
6.3.6	直接驱动伺服系统	284
6.4	主轴驱动系统	291
6.4.1	数控机床对主轴驱动的要求	291
6.4.2	直流主轴驱动	293
6.4.3	交流主轴驱动	295
6.4.4	主轴定向控制	300
第 7 章	数控系统的硬件和软件	302
7.1	概述	302
7.2	数控系统的硬件结构	305
7.2.1	按硬件制造方式对数控系统硬件结构的分类	305
7.2.2	按所用的 CPU 对数控系统硬件结构的分类	307
7.2.3	最新 32 位微处理器 CNC 系统	310
7.3	数控系统的 I/O 接口	313
7.4	数控系统的通信	314
7.4.1	概述	314
7.4.2	CNC 系统的异步串行接口	315
7.4.3	CNC 系统的网络通信接口	323
7.5	数控系统的软件	327
7.5.1	前后台型结构的 CNC 系统软件	328
7.5.2	中断型结构的 CNC 系统软件	333
7.6	数控系统的可编程序控制器(PLC)	336
7.6.1	数控系统 PLC 的类型	336
7.6.2	数控系统 PLC 的工作过程	339
7.6.3	数控系统 PLC 程序的设计流程	340
7.7	数控系统的故障诊断	341
第 8 章	自适应数控系统	346
8.1	概述	346
8.2	自适应控制的概念	347

8.3	自适应数控系统	350
8.4	具有约束条件的自适应控制	354
8.4.1	基本概念	354
8.4.2	车削 ACC 系统	356
8.5	可变增益的 AC 系统	358
8.6	最佳自适应控制数控系统	363
8.6.1	磨削模型	364
8.6.2	最优化对策	365
8.6.3	磨削自适应控制的设计	366
8.7	过程变量的检测	368
8.7.1	切削力检测	368
8.7.2	转矩检测	370
8.7.3	温度检测	370
8.7.4	空切检测	372
8.7.5	振动检测	372
8.8	自适应控制的应用	373
8.8.1	自适应控制铣床	373
8.8.2	自适应控制加工中心	375
8.8.3	磨床的自适应控制问题	376
8.9	自适应控制的研究展望	377
第 9 章	计算机集成制造系统	378
9.1	直接数字控制(DNC)系统	378
9.2	柔性制造系统(FMS)	382
9.2.1	FMS 的定义与组成	382
9.2.2	FMS 的类型与特点	384
9.2.3	FMS 的管理与控制	385
9.2.4	FMS 的决策支持系统	387
9.2.5	FMS 的通信	387
9.3	柔性制造单元(FMC)	389
9.4	计算机集成制造技术	391
9.4.1	概述	391
9.4.2	CIMS 的构成	392
9.4.3	CIMS 的分级递阶结构	393

9.5 计算机集成制造技术的发展概况	394
9.5.1 FMS 的发展	394
9.5.2 CIMS 的发展	396
第 10 章 新一代数控系统	401
10.1 下一代控制器 NGC 计划的由来	401
10.2 NGC 的技术与标准	402
10.3 NGC 计划的目标	406
10.4 NGC 计划的实现	407
10.5 NGC 计划带来的好处	410
10.6 机遇与挑战	410
参考文献	417