

可编程序控制器原理及应用系列丛书

可编程序控制器 运动控制技术

■ 汪小澄 袁立宏 张世荣 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



可编程序控制器原理及应用系列丛书

可编程序控制器 运动控制技术

汪小澄 袁立宏 张世荣 编著



机械工业出版社

《可编程序控制器运动控制技术》是“可编程序控制器原理及应用系列丛书”之一。主要介绍：运动控制技术的基本知识和发展情况，运动控制系统中常用的检测和伺服机构，OMRON公司的CS1和CJ1系列PLC的运动控制单元和位置控制单元的原理及基本使用，结合实例介绍基于PLC的运动控制系统的设计、选型及编程方法。

本书工程性和实践性强，简明实用，并且与系列丛书的其他分册联系紧密。

本书可作为大专院校电气工程及自动化、计算机应用、机电一体化、机械及其相关专业的教材，也可供工程技术人员自学和作为培训教材使用，对PLC用户具有较大的参考价值。

图书在版编目（CIP）数据

可编程序控制器运动控制技术/汪小澄等编著. —北京：机械工业出版社，2006.1

ISBN 7-111-17710-X

I. 可... II. 汪... III. 可编程序控制器—运动控制 IV. TP332.3

中国版本图书馆CIP数据核字（2005）第124610号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：贡克勤

责任编辑：贡克勤 版式设计：冉晓华 责任校对：李秋荣

封面设计：王伟光 责任印制：杨曦

北京机工印刷厂印刷

2006年1月第1版第1次印刷

850mm×1168mm¹/₃₂·10.25印张·272千字

定价：20.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68326294

封面无防伪标均为盗版

可编程序控制器原理及应用系列丛书

编 审 委 员 会

- 总策划：周 珑 工程师 中国电工技术学会工业自动化高技能人才培训部主任
- 主 编：阮于东 教授级高工 上海电器科学研究所
- 副主编：江龙康 高工 中国自动化学会电气自动化专业委员会副主任委员
ODVA China 执委会主席
上海电器科学研究所
- 蔡忠勇 高工
- 主 审：欧阳沪群 高工 欧姆龙自动化(中国)统辖集团
- 编审委员会成员：
- 戴一平 浙江机电职业技术学院
- 叶竹范 上海电器科学研究所
- 贡克勤 机械工业出版社
- 彭 涛、朱妙其
- 王崇韞、程国平 欧姆龙自动化(中国)统辖集团
- 李春磊、裴军明
- 董燕霞、陈建瓴

编审委员会联系方式：cslplc@126.com （邮箱）

021-50372222 * 1841 （电话）

序

工业化任务尚未完成的中国，又面临信息化时代的即将到来。工业化与信息化的并行，决定了中国只能走新型工业化道路，以信息化提升工业化，以工业化促进信息化。信息化、工业化的共同任务是提高工业化的效率、效益，减少环境污染，降低资源消耗，从而加速工业化的进程；同时，工业化对信息化是一种巨大的需求拉动，促进了经济、社会各方面实现信息化。信息化和工业化的一个交汇点，即信息技术在工业领域，尤其是制造业的广泛应用，以信息技术提高制造业的自动化、智能化，促进制造业产业升级。计算机技术、自动控制技术和网络通信技术则是对制造业的提升具有十分重要作用的信息技术。

近些年来，我国制造业通过信息技术的应用，大力推进制造业信息化，使制造业的快速响应市场能力、研究开发能力、企业管理水平有了较大提高。为了取得制造业信息化的应有效果，从我国制造业企业的实际出发，要突出强调从信息化的底层做起，即把产品智能化、数字化，设计数字化，生产过程自动化、智能化放在重要位置来抓，并做好基础管理工作，在此基础上，进一步做好管理数字化和产业层次的信息化。

可编程序控制器（PLC）是20世纪60年代以来发展极为迅速的一种新型工业控制装置。现代PLC综合了计算机技术、自动控制技术和网络通信技术，其功能已十分强大，超出了原先概念的PLC，应用越来越广泛、深入，已进入到系统的过程控制、运动控制、通信网络、人机交互等领域。系统了解PLC的技术原理、软件编程、应用示例、发展趋势，已是广大工程技术人员、院校师生、技术管理人员的迫切愿望。在OMRON公司

的大力支持下，由多所高等学校教师和长期从事 PLC 应用研究人员共同编写的“可编程序控制器原理及应用系列丛书”，将能满足这一愿望和要求。

相信这套系统原理完善、涵盖知识全面、应用内容丰富的丛书，将为关心、了解、应用 PLC 的人们所喜爱，也将为推广应用 PLC，推进制造业信息化做出应有的贡献。

中国机械工业联合会执行副会长

中国机械工程学会副理事长 **朱森第**

中国机电一体化技术协会理事长

2005 年 5 月 11 日 于北京

前 言

本书系“可编程序控制器原理及应用系列丛书”之一，全套丛书共五分册，读者可按实际需要选择不同分册进行阅读。

《可编程序控制器原理及逻辑控制》

《可编程序控制器过程控制技术》

《可编程序控制器运动控制技术》

《可编程序控制器通信与网络》

《触摸式可编程终端》

运动控制是自动化技术与电气拖动技术的融合，在国民经济各行业中起着重要的作用。自 20 世纪 80 年代以来，运动控制领域已经并正在发生着日新月异的变化，各种先进技术已经被广泛应用到各个工程实际中。目前，随着电力电子技术、微电子技术和控制技术的发展，已将电力电子器件、控制、驱动及保护等集为一体，为机电一体化开辟了广阔的前景。数字脉宽调制（PWM）技术、微型计算机控制及各种现代控制技术，如自适应控制、最优控制、鲁棒控制、滑模变结构控制、模糊控制、神经网络控制及各种智能控制已经深入到传统的运动控制系统中，具有较高的静动态性能的运动控制系统不断涌现。

本书以 OMRON 公司的 PLC 为例，主要介绍位置控制单元（NC）和运动控制单元（MC）的工作原理和使用方法。

全书共分 6 章：第 1 章主要介绍了运动控制技术的基本结构、现状、发展趋势，以及 PLC 在运动控制领域的应用；第 2 章介绍运动控制系统中常用的测量元件、电动机和伺服驱动单元的工作原理及实例；第 3 章详细介绍 OMRON 公司的 CJ1 系列 PLC 的位置控制单元（NC）及其使用方法；第 4 章详细介绍 OMRON 公司的 CS1 系列 PLC 运动控制单元（MC），主要是定位

操作和 G 指令编程；第 5 章结合立体仓库实例介绍对传送辊道、机械手、堆垛机等设备及各工序配合的控制思想、控制方法及编程；第 6 章结合线切割机床实例介绍如何采用 OMRON 公司的 MC 单元搭建数字控制系统，结合具体加工实例介绍数控编程方法。

本书可供从事工业自动化系统设计开发的工程技术人员进行设计和应用的参考书，也可作为各类学生学习 PLC 运动控制技术的教材。

本书由武汉大学自动化系的汪小澄、袁立宏、张世荣编写。在本书的编写工作中，研究生刘元、唐玉玲、汪冀宇、张海艳、刘鹏、夏立民等做了大量实验和英文资料的翻译整理工作，在此表示感谢。由于编者水平有限，书中难免存在错误和不当之处，恳请专家读者指正。

中国机械工业联合会执行副会长、中国机械工程学会副理事长、机电一体化协会理事长朱森第教授精心为丛书撰写了序。在此谨致以衷心感谢和诚挚敬意！

作 者

2005 年 5 月

E-mail: wxcrz@163.com

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 运动控制技术简介	1
1.1.1 什么是运动控制	1
1.1.2 运动控制系统的分类	2
1.1.3 运动控制与 PLC	2
1.1.4 运动控制技术的应用领域	3
1.2 运动控制系统的结构	3
1.2.1 操作员站	4
1.2.2 运动控制器	4
1.2.3 驱动器	5
1.2.4 伺服机构	5
1.2.5 检测装置	6
1.2.6 机械装置	7
1.3 运动控制技术的发展趋势	7
1.3.1 采用智能控制方法	7
1.3.2 运动控制器	7
1.3.3 运动控制系统结构的改进	11
1.3.4 伺服装置的改进	12
1.3.5 直线电动机驱动技术	13
第 2 章 运动控制系统的检测与执行元件	15
2.1 运动控制系统的检测元件	15
2.1.1 运动控制系统检测元件概述	15
2.1.2 光电编码器	16
2.1.3 OMRON 光电编码器	22

2.2 变频器	25
2.2.1 变频器的基本原理	25
2.2.2 变频器的基本构成	27
2.3 步进驱动系统	30
2.3.1 步进电动机简介	30
2.3.2 步进电动机控制技术	34
2.3.3 步进电动机的选择	37
2.4 伺服驱动系统	38
2.4.1 伺服驱动系统	38
2.4.2 OMRON 伺服驱动系统举例	40
2.4.3 伺服驱动与步进驱动的比较	47
2.4.4 伺服驱动与变频驱动的比较	48
第 3 章 可编程序控制器位置控制技术	51
3.1 位置控制单元概述	52
3.2 位置控制单元安装与接线	57
3.2.1 位置控制单元的安装	57
3.2.2 外部输入输出电路	60
3.2.3 位置控制单元接线设计	66
3.3 位置控制单元数据区分配	74
3.3.1 位置控制单元数据区分配概述	74
3.3.2 公共参数区域	77
3.3.3 轴参数区域	79
3.3.4 工作存储器区域	82
3.3.5 工作数据区域	86
3.3.6 存储器操作数据	87
3.3.7 区域数据	87
3.4 位置控制单元的数据传送与保存	88
3.4.1 数据传送与保存概述	88
3.4.2 用数据传送位进行数据读写	89
3.4.3 用 IOWR 和 IORD 进行数据读写	92
3.4.4 数据保存	94
3.4.5 CX - Position	94

3.5	原点搜索	105
3.5.1	概述	105
3.5.2	原点搜索过程	106
3.5.3	原点搜索方式	107
3.6	位置控制单元的直接操作	110
3.6.1	直接操作概述	110
3.6.2	位置控制单元直接操作	111
3.7	位置控制单元的存储区操作	114
3.7.1	存储区操作概述	114
3.7.2	定位序列	115
3.7.3	存储区操作时序图	119
3.7.4	存储器操作示例	119
3.8	位置控制单元其他操作	124
3.8.1	点动 (Jogging)	124
3.8.2	示教 (Teaching)	124
3.8.3	中断进给 (Interrupt Feeding)	126
3.8.4	强迫中断 (Forced Interrupt)	127
3.8.5	减速停止 (Deceleration Stop)	127
3.8.6	超驰 (Override)	128
3.8.7	间隙补偿 (Backlash Compensation)	129
3.8.8	软件限位 (Software Limit)	130
3.9	使用 CJ1M 来进行位置控制	131
第 4 章 可编程序控制器运动控制单元		136
4.1	概述	136
4.1.1	MC 单元的控制面板	136
4.1.2	MC 单元的基本功能	139
4.1.3	数据处理	139
4.2	基本定位操作	141
4.2.1	PTP 控制	141
4.2.2	直线插补	143
4.2.3	圆弧插补	146
4.2.4	螺旋圆弧插补	146

4.2.5	中断进给	148
4.2.6	往返运动功能	149
4.2.7	操作模式	150
4.2.8	改变参数	156
4.2.9	中途停留功能	157
4.2.10	CPU 单元中断处理	157
4.2.11	超驰功能	158
4.2.12	复位偏差计数器	159
4.2.13	伺服锁与解锁	162
4.2.14	后冲校正	162
4.2.15	自动装载	163
4.2.16	当前位置预设	165
4.2.17	电子齿轮功能	165
4.2.18	升速和减速曲线	167
4.2.19	不受限进给	168
4.3	G 语言	170
4.3.1	概述	170
4.3.2	G 语言中所用的符号	173
4.3.3	G 代码	174
4.3.4	M 代码输出	226
第 5 章 立体仓库模型位置控制系统		239
5.1	立体仓库在现代物流中的位置	239
5.1.1	现代物流概述	239
5.1.2	立体仓库在现代物流中的地位	241
5.2	自动化立体仓库控制模型	243
5.2.1	立体仓库模型概述	243
5.2.2	辊道输送带	245
5.2.3	四自由度机械手	245
5.2.4	全自动堆垛机	247
5.2.5	立体仓库模型的检测与执行装置	249
5.3	立体仓库模型控制系统设计	254
5.3.1	自动化立体仓库控制系统概述	254

5.3.2	立体仓库模型控制系统总体设计	257
5.3.3	立体仓库模型控制系统硬件设计	259
5.3.4	立体仓库模型操作流程分析	261
5.4	辊道输送带控制	264
5.5	四自由度机械手控制	268
5.5.1	步进电动机驱动器与 NC 单元的接线	268
5.5.2	机械手操作模式与过程	269
5.5.3	机械手控制程序设计	271
5.6	自动化立体仓库堆垛机控制	281
5.6.1	堆垛机的控制模式	282
5.6.2	堆垛机定位控制梯形图设计	287
5.7	上位机监控系统设计	289
5.7.1	用“组态王”6.03 软件设计上位机监控系统	289
5.7.2	立体仓库管理系统的实现	291
第 6 章	基于 PLC 的线切割机床控制系统实例	294
6.1	电火花加工技术简介	294
6.2	数控线切割技术简介	296
6.2.1	电火花线切割的基本原理和特点	296
6.2.2	电火花线切割机床的基本结构	298
6.2.3	电火花线切割机床的编程	302
6.3	基于 PLC 的数控线切割机床控制系统	303
6.4	数控线切割机床编程实例	305
6.4.1	数控编程基础	305
6.4.2	偏移补偿值的计算	306
6.4.3	加工实例	307
参考文献	313

第 1 章

绪 论

运动控制通常是指在复杂条件下，将预定的控制目标转变为期望的机械运动。运动控制系统使被控机械实现精确的位置控制、速度控制、加速度控制、转矩或力的控制，以及这些被控机械量的综合控制。运动控制技术综合了微电子技术、计算机技术、检测技术、控制技术、伺服驱动技术等学科的最新成就，是自动化技术的重要组成部分。

运动控制技术所涉及的知识面极广，应用形式繁多，由一本书对各种运动控制设备及其应用进行介绍是不可能的。本书的主要内容是介绍采用 PLC 作为运动控制器，以电动机为动力源的运动控制系统的应用技术问题。



1.1 运动控制技术简介

1.1.1 什么是运动控制

传统运动控制的内容是电气传动技术。19 世纪中期开始使用直流电气传动，到 19 世纪末交流电气传动开始得到广泛应用。早期的运动控制通常仅实现点到点（Point to Point, PTP）的控制，在起点和终点装有位置开关，到位后停止运动。

随着生产的不断发展，对电气传动品质的要求也不断提高，包括正反转及起动、速度的调整并保证精度等。从 20 世纪 30 年代开始使用直流调速系统，并在很长一段时期内形成“直流调速，交流恒速”的格局。直流电动机的主要缺点是具有电刷和换向器，造成维护工作量大及成本较高。直到 20 世纪 60 年代，电力电子技术的发展使交流变频装置逐步推广。目前交流调速

系统已实现了高精度、大量程、快速反应等技术性能，达到直流调速系统的水平。但交流调速产品的成本和维护费用较低，据统计，目前的调速产品 80% 以上采用交流调速技术。

为提高产量、质量、生产率和降低成本，从 20 世纪初起在制造业开始采用被称为“大量生产方式”的新技术，在零件加工中大量使用专用机床，在装配工序采用流水线作业，形成“刚性生产线”。在此阶段运动控制技术也逐渐从位置控制、速度控制发展到加速度控制和轨迹控制等。

运动控制系统的提法只有十几年，通常指的是对机械系统中称之为轴（axis）的一个或多个坐标上的运动以及这些运动之间的协调，涉及各轴上运动速度的调节，以一定的加减速曲线来进行运动，以及形成准确的定位或遵循特定的轨迹等诸如此类的问题。通过对多轴的控制使机械部件在空间的运动轨迹符合控制要求，或者在被加工零件的表面形成复杂的曲面。

1.1.2 运动控制系统的分类

运动控制系统按照被控量的性质和运动控制方式可以分成以下几类：位置控制、速度控制和加速度控制、同步控制、力和力矩控制。

运动控制系统按照伺服机构的能源供给可分为电动、气动和液压三种。气动和液压伺服机构适用于要求防爆、输出力矩要求较大、控制精度要求较低的场合，目前在工业领域也使用非常广泛。

1.1.3 运动控制与 PLC

从 20 世纪 50 年代起，制造业为适应市场多样化的要求，在零件加工中大量使用数控机床，在一条流水线上生产多种产品，形成所谓“柔性制造系统（FMS）”。

1968 年，美国通用汽车公司（GM）为使其汽车装配线能适应多种产品的需求，对装配线控制系统提出 10 条招标意见，被称为 GM10 条。1969 年，美国数据设备公司（DEC）研制出基本满足 GM10 条的控制器，并在 GM 的装配线上成功使用，这种控

制器就是 PLC，它已广泛应用于各类生产线上。

数控机床（CNC）适合于加工多品种小批量、几何形状复杂、精度要求高的零件，是目前制造业加工各种零件的主要设备。数控机床的控制系统由数字控制器（也称运动控制器）和内装式 PLC 组成。内装式 PLC 负责主轴和刀具的控制，为专用 PLC。运动控制器负责运动轨迹控制（零件形状），也是专用控制装置。专用数控机床控制系统的价格高、维护较困难，特别是对于不太复杂的系统而言。而采用通用 PLC 实现数控机床控制的好处是价格较低、维护较方便。

1.1.4 运动控制技术的应用领域

运动技术的应用领域非常广泛，遍及国民经济的各个行业，例如：

(1) 冶金行业 电弧炉电极控制；轧机轧辊控制；产品定尺控制等。

(2) 建筑行业 电梯控制等。

(3) 机械行业 机床的定位控制和加工轨迹控制等。

(4) 信息产业 绘图机、打印机控制；磁盘驱动器的磁头定位控制等。

(5) 军事 雷达天线和各类火炮控制等。

(6) 制造业 各类流水线和机械手。

(7) 其他 立体仓库及立体车库的控制等。



1.2 运动控制系统的结构

图 1-1 为典型的运动控制系统示意图。运动控制系统的控制目标可能为位置控制、速度控制、加速度控制和转矩控制等。位置控制是将某负载从某一确定的空间位置按某种轨迹移动到另一确定的空间位置，数控机床的自动装夹装置和机器人就是典型的位置控制系统。速度和加速度控制是以确定的速度曲线使负载产生运动，如风机和水泵通过调速来调节流量或压力、

电梯通过速度和加速度调节来实现平稳升降和平层。转矩控制则要通过转矩的反馈来维持转矩的恒定，或遵循某一规律变化，这样的系统如轧钢机械、造纸机械和传送带中的张力控制等。这些控制目标往往是互相配合工作的，例如电梯运动控制系统一般包括位置控制、速度及加速度控制等。

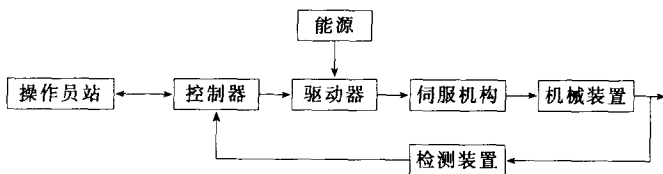


图 1-1 典型运动控制系统示意图

1.2.1 操作员站

操作员站是工业现场操作人员使用的设备，它提供控制系统与操作人员的完整接口，操作人员通过它实现各种控制调节和管理功能。

操作员站通常采用 PC 装载组态软件，运行人员通过专用键盘、鼠标可进行各种操作。在小型系统中，操作员站也经常采用触摸屏（NS 或 PT）。

运动控制系统还可通过操作员站与企业信息网络连接。

1.2.2 运动控制器

运动控制器是运动控制系统的核心。运动控制器的控制目标值由处于上级地位的操作员站提供，在恒速系统中是速度给定，在伺服系统是速度时间曲线，也可以是定位指令或一条运动轨迹。

运动控制器可以是专用控制器，但更多是采用具有通信能力的智能装置，如工业控制计算机（IPC）或可编程序控制器（PLC）等。本书第 3、4 章介绍的 NC 和 MC 单元就是运动控制器。

运动控制器实现控制算法，如 PID 算法、模糊控制算法、各类校正算法，现代运动控制器还可实现各种先进控制算法。