



Rockwell
Automation

罗克韦尔自动化技术丛书

循序渐进 Kinetix集成运动 控制系统

主 编 钱晓龙
副主编 路 阳 袁 伟
主 审 郑宇明



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



Rockwell Automation



ISBN 978-7-111-24498-1

封面设计：鞠杨

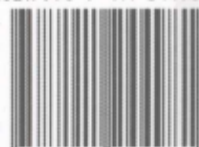
编辑热线：(010)88379059

定价：45.00元

地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037
联系电话：(010)88326294 网址：<http://www.cmpbook.com> (机工门户网)
(010)88993821 E-mail: cmp@cmpbook.com
购书热线：(010)88379639 (010)88379641 (010)88379643

上架指导：工业技术/电气自动化

ISBN 978-7-111-24498-1



9 787111 244981 >

罗克韦尔自动化技术丛书

循序渐进 Kinetix 集成运动 控制系统

主 编 钱晓龙

副主编 路 阳 袁 伟

主 审 郑宇明



机械工业出版社

本书是结合罗克韦尔自动化公司的 Kinetix 集成运动控制产品编写的实训指导教材。本书首先对伺服驱动系统和 Kinetix 硬件做了简单介绍,然后通过大量精选的 Kinetix 功能实验着重介绍了产品的硬件组态方法和系统的功能特点。

本书以 Kinetix 的 DEMO 实验平台为对象,介绍了如下主要内容:第 1 章介绍了运动控制系统的组成及系统的硬件;第 2 章介绍了运动控制系统的软件组态方法;第 3 章介绍了 ControlLogix 集成运动控制的指令特点,通过编程实验教会读者对指令的使用;第 4 章介绍了 ControlLogix 集成运动控制系统的应用案例,通过对硬件的设置和组态,解决在应用中存在的问题;第 5 章介绍了 Ultraware 软件的使用;第 6 章通过发挥罗克韦尔自动化产品的特点,实现了一些特殊的应用案例;第 7 章重点介绍了人机界面在集成运动控制系统中的应用及如何发挥 PanelView Plus 的优势,实现一些特殊的功能;第 8 章介绍了 Kinetix 集成运动控制系统的选型和使用。

本书主要面向从事自动化专业的工程技术人员和自动化专业的学生,着重培养读者对罗克韦尔自动化公司的 Kinetix 产品的综合运用能力,同时也可以作为罗克韦尔自动化公司的高级培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

循序渐进 Kinetix 集成运动控制系统/钱晓龙主编. —北京:机械工业出版社, 2008. 7

(罗克韦尔自动化技术丛书)

ISBN 978-7-111-24498-1

I. 循… II. 钱… III. 运动控制-控制系统 IV. TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 094339 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:林春泉 责任编辑:王 琪 关晓飞 责任校对:陈立辉

封面设计:鞠 杨 责任印制:王书来

北京兴华昌盛印刷有限公司印刷(装订)

2008 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 20.5 印张 · 499 千字

0001—5070 册

标准书号:ISBN 978-7-111-24498-1

定价:45 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379059

封面防伪标均为盗版

电气自动化

序号	书 名	书号	定价	出版时间
1	计算机控制系统理论与应用	978-7-111-22981-0	26	200801
2	现代电力电子器件原理与应用技术	978-7-111-23022-9	20	200801
3	计算机测控系统与数据采集卡应用	978-7-111-22132-6	47	200710
4	矩阵式变换器技术及其应用(电力电子新技术系列图书)	978-7-111-22088-6	26	200709
5	变频器、可编程序控制器及触摸屏综合应用技术实操指导书	978-7-111-22195-1	30	200709
6	自动控制综合应用技术—嵌入式微控系统、PLC、变频器、触摸屏、工控机、组态软件的综合应用	978-7-111-21570-7	50	200707
7	数字伺服控制系统与设计	978-7-111-21609-4	40	200707
8	自动化解决方案指南—工业控制技术的应用实践	978-7-111-22044-2	68	200708
9	控制装置与仪表	978-7-111-21083-2	32	200704
10	最新工业自动化测控应用手册	978-7-111-21113-6	59	200704
11	多电平逆变技术及其应用	978-7-111-20665-1	43	200704
12	现场总线与工业以太网产品手册	978-7-111-20913-3	58	200703
13	现场总线与工业以太网	7-111-20097-7	20	200701
14	伺服运动控制系统的结构及应用(1CD)	7-111-19832-8	30	200610
15	过程计算机控制及先进控制策略的实现	7-111-19268-0	33	200701
16	电机现代控制技术	978-7-111-18678-6	40	200702
17	数字化工厂技术与应用	7-111-18668-0	30	200604
18	现代数控系统——原理、构成与实例	978-7-111-18781-3	39	200702
19	单片机控制实训指导及综合应用实例	978-7-111-21188-4	28	200704
20	基于单片机的测试技术原理与应用	978-7-111-20762-7	26	200703
21	单片微机控制应用技术	978-7-111-18567-3	40	200702
22	机电控制系统原理及工程应用	978-7-111-18557-4	23	200702
23	工业控制网络与现场总线技术	978-7-111-18421-8	28	200708
24	电力半导体模块选用和代换手册	7-111-13909-7	30	200404
25	集散系统及系统开放	7-111-15582-3	33	200508
26	电力监视系统原理与应用	7-111-15557-2	30	200501
27	高频功率开关变换技术	7-111-15626-9	30	200603
28	绿色电能变换集成控制器	7-111-15696-X	20	200504
29	电气自动控制	7-111-15242-5	26	200702

仪器仪表

序号	书 名	书号	定价	出版时间
1	2006/2007 传感器与执行器大全			200801
2	现代传感器应用技术	978-7-111-19672-3	28	200709
3	压力测量技术及仪表	7-111-16598-5	20	200607
4	数字化测量技术与应用	7-111-13953-4	30	200606

以上图书由全国各地新华书店经销。也可由中国科技金书网 (www.golden-book.com) 订购、联系电话: 010-68993821 010-88379639 010-88379641

前言

罗克韦尔自动化公司中国大学项目开展了近 10 年,随着公司在华业务的不断增加,参加大学项目的学校也在扩展,合作的领域在不断扩大。继浙江大学、东北大学、哈尔滨工业大学、西安交通大学等相继出版了有关 A-B 产品的教材之后,得到了各高校、企业的不同反响,大家在认可的前提下,提出了能否增加一些实训类内容的建议,这样对应用产品会有更直接的例子可参考。针对这些意见,罗克韦尔自动化公司中国大学项目部和 ACIG 产品部门的经理组织各高校实验室的老师和同学开始编写关于产品的应用实例类教材。

东北大学罗克韦尔自动化实验室在出版了《智能电器与 MicroLogix 控制器》、《MicroLogix 控制器应用实例》、《循序渐进 PowerFlex 变频器》和《循序渐进 SLC500 控制系统与 PanelView 训练课》四本教材之后,应罗克韦尔自动化公司大中国区 ACIG 产品经理段永康先生的邀请,针对已使用过 Kinetix 的用户和 OEM 厂商的需要,开始编写此书。其中 Logix 平台与 Kinetix 的合理搭配, Motion 运动控制指令的功能作为本书的重点进行了详细的阐述。全书以 Kinetix 的使用为基调,将教会大家如何将产品放在第一位,同时兼顾 Kinetix 的各种配置方案及与 PanelView Plus 人机界面的系统组成。可以说这是对 Kinetix 综合运用的归纳与总结,本书的着眼点也正是教会大家如何去运用产品,使 Kinetix 的特点能够在实战中得到淋漓尽致的发挥。

本书的编写首先要感谢东北大学罗克韦尔自动化实验室的同学们,他们为此书的出版付出的辛勤汗水,其中罗克韦尔自动化公司大学项目部工程师李磊先生编写了第 1 章运动控制系统概述,路阳编写了第 2 章运动控制系统的组态,徐海青编写了第 3 章集成运动控制系统的功能,钱晓龙编写了第 4 章集成运动控制应用实例,袁伟编写了第 5 章 Ultraware 软件的使用,他们还对书中的所有实验进行了验证。王策编写了第 6 章多种运动控制方案,路阳编写了第 7 章 PanelView Plus 在集成运动控制中的应用,陈宏志编写了第 8 章集成运动控制系统的选型。罗克韦尔自动化公司 Kinetix 产品经理郑宇明先生在编辑的最后阶段进行了认真的审核。值得一提的是本书最初是在原罗克韦尔自动化公司李向祺先生的建议下开始着手,他不仅参与了本书提纲的编写,还提供了大量的素材。而后王策先生在研究生期间进行了大量前期调研和实验设计,在这里一并表示感谢。罗克韦尔自动化公司中国大学项目部的丁慧君小姐和吕颖珊小姐也一直关注着本书的出版,她们给予了我们各方面的帮助,同时也提出了大量宝贵的意见,在此表示最诚挚的谢意。

由于编者水平有限,特别是对 Kinetix 在实际应用中的积累还很不够,书中难免有错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者于东北大学

2008 年 5 月 9 日

目 录

前言

第 1 章 运动控制系统概述	1
1.1 运动控制系统	2
1.1.1 运动控制系统的发展	2
1.1.2 运动控制系统的性能指标	3
1.1.3 伺服系统的基本组成	4
1.2 罗克韦尔自动化公司的运动控制平台	7
1.3 SERCOS 网络	10
1.4 伺服驱动器	14
1.4.1 伺服驱动器的结构	14
1.4.2 罗克韦尔自动化公司的全数字伺服驱动器	16
1.4.3 1394 系列伺服驱动器	16
1.4.4 Ultra3000 数字式伺服驱动器	19
1.4.5 Ultra5000 智能位置伺服驱动器	22
1.4.6 Kinetix6000 伺服驱动器	22
1.5 执行电动机	24
1.5.1 步进电动机	24
1.5.2 永磁式直流电动机	27
1.5.3 交流伺服电动机	29
1.5.4 伺服电动机的比较	34
1.5.5 罗克韦尔自动化公司的永磁同步伺服电动机	35
1.6 检测装置	36
1.6.1 光电编码器	38
1.6.2 光电编码器的使用	41
1.6.3 光栅	44
1.6.4 旋转变压器	47
1.6.5 感应同步器	49
第 2 章 运动控制系统的组态	51
2.1 Kinetix 的结构体系	52
2.2 基于 Logix 平台的 SERCOS 运动控制系统的组态和调试	53
2.2.1 SERCOS 运动控制系统的组态	53
2.2.2 伺服轴的连接测试及自动调节	63
2.3 基于 Logix 控制平台的模拟量运动控制系统的组态和调试	73
2.3.1 模拟量运动控制系统的组态	73
2.3.2 伺服轴的连接测试及自动调节	78
2.4 基于 GML 平台的运动控制系统的组态和调试	84
2.4.1 GML 平台介绍	84

2.4.2 1394 系统的设置和组态	85
2.4.3 伺服轴的连接测试和调节	93
第3章 集成运动控制系统的功能	99
3.1 集成运动控制指令	100
3.2 运动指令的结构体及轴数据类型	102
3.3 伺服环的闭合和断开	104
3.4 点动和停止伺服轴	106
3.5 定位移动	113
3.6 工程单位整定	117
3.7 归零	123
3.8 设置参考点	127
3.9 电子齿轮	131
3.10 时间凸轮	142
3.11 位置凸轮	150
3.12 结构化文本实现齿传比	162
第4章 集成运动控制应用实例	169
4.1 智能传送带控制	170
4.1.1 智能传送带的工艺背景	170
4.1.2 智能传送带控制系统的配置	170
4.1.3 智能传送带的程序设计	171
4.2 飞剪控制	179
4.2.1 飞剪的工艺背景	179
4.2.2 飞剪控制系统的配置	180
4.2.3 飞剪控制系统的程序设计	181
4.3 模拟绘图仪	191
4.3.1 绘图仪的工艺背景	191
4.3.2 模拟绘图仪系统的配置	192
4.3.3 直线插补功能的程序设计	194
第5章 Ultraware 软件的使用	199
5.1 Ultraware 软件的概述	200
5.1.1 Ultraware 软件的功能	200
5.1.2 带索引功能的 Ultra3000 伺服驱动器	200
5.1.3 伺服驱动器的组态	202
5.1.4 电动机的测试、自动调节及试运转	207
5.2 模拟量速度控制模式	215
5.3 预置速度控制模式	220
5.4 预置位置控制模式	223
5.5 主跟随和预置电子齿轮	226
5.6 索引控制模式	228
5.7 位置凸轮	235
第6章 多种运动控制方案	239
6.1 MicroLogix 1500 脉冲控制 Ultra100	240

6.2	1756-M02AE 与 PowerFlex70 变频器的伺服控制	248
6.2.1	利用 1756-HSC 模块采集反馈信号控制伺服系统	248
6.2.2	利用 1756-M02AE 模块采集反馈信号控制伺服系统	252
6.3	Ultra3000i 的 DeviceNet 网络控制	255
第 7 章	PanelView Plus 在集成运动控制中的应用	273
7.1	PanelView Plus 运动控制系统方案	274
7.2	PanelView Plus 在运动控制系统中的项目开发	275
7.3	PanelView Plus 直接控制 Ultra3000 索引型驱动器	288
第 8 章	集成运动控制系统的选型	305
8.1	运动控制系统的选型过程	306
8.2	运动控制系统设备的选择	307
8.3	Motion Analyzer 软件	309
8.3.1	软件概述	309
8.3.2	应用项目实例	310
8.3.3	Motion Analyzer 软件的使用	311
参考文献		320

第1章

运动控制系统概述

学习目标

- 运动控制系统的介绍
- 罗克韦尔自动化公司的运动控制平台
- SERCOS 网络
- 罗克韦尔自动化公司的伺服驱动器
- 伺服电动机
- 反馈检测装置

1.1 运动控制系统

1.1.1 运动控制系统的发展

运动控制系统又称为伺服系统 (Servo System)。初次见到“伺服”这个词语的时候,大部分人会想到“什么是伺服?伺服是从何处来?”这样的基本问题。伺服起源于早期的伺服控制,“伺服”一词最早出现在 1873 年法国工程师 Jean Joseph Leon Farcot 的一本书《Le Servo-Motor on Moteur Asservi》中,该书中 Farcot 描述了轮船引擎上由蒸汽驱动的伺服系统的工作原理。顾名思义,伺服一词意味着“伺候”和“服从”,具有音译和意译的双重含义。广义的伺服系统是指精确地跟随某个过程的反馈控制系统,又称随动系统,它并不一定局限于机械运动。但是在很多情况下,伺服系统这个术语狭义地指利用反馈和误差修正信号对位置及其派生参数,如速度和加速度进行控制,其作用是使输出的机械位移准确地实现输入的位移指令,达到位置的精确控制和轨迹的准确跟踪。伺服系统的结构组成与其他形式的反馈控制系统没有原则上的区别。

伺服系统的被控量(输出量)是负载机械空间的线位移或角位移。当位置给定量(输入量)任意变化时,该系统的主要任务是使输出量快速而准确地复现输入量的变化。常见的应用伺服系统的场合有:数控机床的定位控制及加工轨迹控制、船舵的自动操纵、火炮方位的自动跟踪和机器人的动作控制等。

采用伺服系统主要是为了达到以下几个目的:

- 1) 以小功率指令信号控制大功率负载,火炮控制和船舵控制就是典型的例子。
- 2) 在没有机械连接的情况下,由输入轴控制位于远处的输出轴,实现远距离同步传动,例如轧机和长距离多段传送带的伺服系统。
- 3) 使输出机械位移精确地执行某控制器发出的运动指令。这些指令可以是预先编制的,也可以是随机产生的,如数控机床和行走的机器人。

伺服系统按所用驱动元件的类型可分为液压伺服系统、气动伺服系统和机电伺服系统。前两者特色明显,但应用范围有一定的局限性。而机电伺服系统的能源可以用最方便、最灵活的电能,其驱动元件是按特定需要设计和选用的电动机,系统性能优异,因此机电伺服系统成为应用最广泛的伺服系统。

最早使用的伺服系统是步进式伺服系统,它盛行于 20 世纪 70 年代,主要应用于数控系统。一般由环形分配器、步进电动机功率放大器、步进电动机、配速齿轮和丝杠螺母传动副等组成。数控系统每发出一个指令脉冲,经驱动电路功率放大后,驱动步进电动机旋转一个固定的角度(即步距角),再经过传动机构带动工作台移动。这类系统的信息流是单向的,即指令脉冲发出去后,实际的移动值不会反馈回来,所以又称开环位置伺服系统。

20 世纪 70 年代至 80 年代中期,直流伺服系统在数控机床上占据了绝对的统治地位。由于永磁直流伺服电动机的额定转速很低,如可在 1r/min 或 0.1r/min 下平稳地运转,甚至可以在堵转状态下运行。这样低速运行的电动机,其转动轴可以和负载直接耦合,省去了减速器,简化了结构,提高了传动精度。因此,许多数控机床使用这种以这种电动机为驱动的直流伺服系统。但永磁直流伺服电动机的缺点是其结构中包含电刷,限制了转速的提高,一般额定转速为 $1000 \sim 1500\text{r/min}$,而且结构复杂,价格较贵。

从 20 世纪 80 年代后期开始,制造业中开始大量使用交流伺服系统,交流伺服系统使用

交流异步伺服电动机（一般用作主轴伺服驱动）和永磁同步伺服电动机（一般用作进给伺服驱动）。直流伺服电动机在结构上存在一些固有缺点，应用环境受到限制，但交流伺服电动机没有这些缺点，且惯量较直流电动机小，动态响应快。另外，在同样体积下，交流电动机的输出功率可比直流电动机提高 10% ~ 70%，且交流电动机的容量比直流电动机大，可达到更高的转速。因此，交流伺服系统得到了迅速发展，已经形成潮流。有些国家的厂商，甚至全部使用了交流伺服系统。

1.1.2 运动控制系统的性能指标

伺服系统与变频调速系统的主要区别是变频调速系统的转速给定信号通常是恒值，系统的任务是不管外界扰动情况如何，保证系统的输出量维持在与输入量相对应的数值不变，因此，变频调速系统的抗扰动性能往往显得十分重要；在伺服系统中，系统的输入量即位置给定是一个随机变量，系统的任务是要求输出量能够准确地跟随输入量的变化，因此输出响应的快速性、灵活性和准确性是伺服系统的主要特征，即系统的跟随性能成了主要指标。

当选择一个特定的定位平台时，有很多参数可用来衡量其性能，明确各种参数的定义以及它们如何反映性能指标，可以使我们对伺服系统的理解更加深入。

1) 最小运动增量 (Minimum Incremental Motion) 指的是一个装置能可靠提供的最小运动。分辨率 (Resolution) 是运动系统中可检测到的最小位置增量，也被称为显示分辨率或编码分辨率。它与最小运动增量有所不同，一般由反馈装置的输出确定。但是由于传动链中的滞环、回差等因素影响，大多数系统不能使最小运动增量等于分辨率，除非反馈装置可以直接测量运动本身，所以这两个指标不能混淆。分辨率主要是基于控制器检测和显示的最小增量数值。

2) 灵敏度 (Sensitivity) 指的是能够产生输出运动的最小输入。它也被定义为输出量与输入量之比。这个指标经常被误解为分辨率，请读者认真区分。

3) 准确度 (Accuracy) 又称精度，即在给定输入下，理想位置与实际位置之差的最大期望值。运动装置的精度在很大程度上取决于实际位置的测量，这个术语可以更直观地说成不准确度。例如，一个运动系统要求移动 10mm，而实际上只移动了 9.99mm（由一个精度很高的测量仪器测得），那么不准确度就是 0.01mm。

4) 精密度 (Precision) 一般定义为对于完全相同的输入，系统多次运行输出的 95% 的结果在偏差范围内。重复性 (Repeatability) 则是系统在多次运行中达到命令指定位置的能力，可见两个指标虽然说法不同，但具有相同的本质。注意，精密度与精度是不同的。

5) 调整时间 (Setting Time) 为运动系统接受指令后第一次进入并保持在可接受的指令位置误差范围内所需要的时间。

6) 超调 (Overshoot) 为欠阻尼系统中过校正行为的度量，这在位置伺服系统中是应尽量避免的。

7) 振动 (Vibration) 为当设备的运行速度接近机械系统的自然频率时，导致的结构振动或振铃现象，振铃也可由系统中速度或位置的突然改变引起。这种震荡将减小有效转矩并导致电动机和控制器之间的失步。

8) 稳态误差 (Steady-State Error) 为控制器完成校正行为后实际位置与指令位置之间的差值。

9) 跟踪误差 (Following Error) 为位置反馈设备测得的实际位置与控制器通过命令要求

的理想位置之间的瞬时差值。

10) 误差 (Error) 为所获得的性能参数和理想结果之间的差值。伺服系统中的各种误差可分为两大类：一类是轴上误差，即与传输方向上某些参数有关的误差，如精度；另一类是非轴上误差，即与自由约束度有关的误差，如螺距误差等。

针对上述性能指标，可把它们放到一个伺服系统中，看它们对系统的静态特性和动态特性是如何评价的。

通常一个定位平台坐标系 (Coordinates) 有 6 个自由度，其中 3 个是沿着 X、Y、Z 轴方向的直线坐标，另外 3 个是围绕直线坐标按右手定则形成的 3 个旋转坐标，如图 1-1 所示。任何运动都可以分解为沿直线坐标的平移运动和沿旋转坐标的旋转运动。伺服系统中的坐标一般称之为轴 (Axis)。

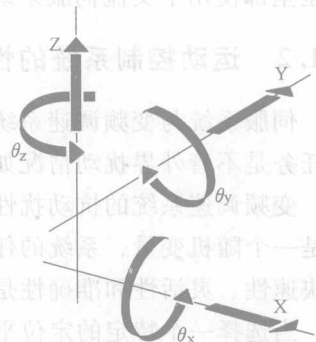


图 1-1 轴 (Axis) 坐标系统

伺服系统的基本要求可归纳为以下几点：

1) 稳定是指系统在给定输入或外界干扰作用下，经过短暂的调节过程后达到新的或者回复到原有的平衡状态。通常要求在承受额定转矩变化时，静态速降应小于 5%，动态速降应小于 10%。

2) 伺服系统的精度是指输出量能跟随输入量的精确程度。例如，精密加工的数控机床要求的定位精度或轮廓加工精度以及进给跟踪精度都比较高。精度也是伺服系统静态特性与动态特性指标是否优良的具体表现。伺服系统的精度一般都在 0.001 ~ 0.01mm (1 ~ 10μm) 之间，高精度伺服系统可达 0.00001 ~ 0.0001mm (0.01 ~ 0.1μm)。

3) 快速响应是伺服系统动态品质的标志之一，即要求跟踪指令信号的响应要快，一方面要求过渡过程的时间短，一般在 200ms 以内，甚至小于几个毫秒，且速度变化时不应有超调；另一方面是当负载突变时，要求过渡过程的前沿陡，即上升率要大，恢复时间要短，且无振荡。

4) 低速大转矩和调速范围宽，即在低速时进给驱动要求大转矩输出。例如，机床加工时为了适应不同的加工条件，不但要求在低速时有较大的转矩，还要求数控机床进给能在很宽的范围内无级变化。这就要求伺服电动机有很宽的调速范围和优异的调速特性。目前，先进的水平是在进给脉冲当量为 1μm 的情况下，进给速度在 0 ~ 4m/s 范围内连续可调。

1.1.3 伺服系统的基本组成

伺服系统主要由 6 部分组成：给定、控制器、伺服驱动器、伺服电动机、检测装置及执行机构。

典型的伺服系统的基本组成如图 1-2 所示。



图 1-2 伺服系统的基本组成

(1) 给定

在伺服系统中, 给定可以是电动机的转数(位置)、转速、在速度变化时的加/减速以及速度变换曲线或者运动轨迹图。常见的给定有工件的轮廓、凸轮的曲线等。

(2) 控制器

控制器用于执行逻辑控制和运动控制, 它为每条指令按时间顺序提供与之兼容的伺服驱动器所能接受的控制信号。

如今伺服器已经从以单片机或微处理器作为核心和以专用集成芯片(Amplitude Shift Keying, Application Sepecific Integrated Chip, ASIC)作为核心的运动控制器, 发展到基于PC总线的以数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)和现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)为核心处理器的开放式运动控制器。这类开放式运动控制器以DSP芯片作为运动控制器的核心处理器, 以PC或可编程序控制器(Programmable Logic Controller, PLC)作为信息处理平台。运动控制器在使用时以插卡形式嵌入PC, 即“PC+运动控制器”的模式, 也可以通过模块的形式与PLC进行数据交换。这样将PC与PLC的信息处理能力及开放式的特点与运动控制器的运动轨迹控制能力有机地结合在一起, 具有信息处理能力强、开放程度高、运动轨迹控制准确、通用性好的特点。这类运动控制器充分利用了DSP的高速数据处理能力和FPGA的超强逻辑处理能力, 因此具有完善的功能和优越的性能。这类运动控制器通常都能提供多轴协调运动控制与复杂的运动轨迹规划、实时的插补运算、误差补偿、伺服滤波算法等。由于采用FPGA技术进行硬件设计, 方便运动控制器供应商根据客户的特殊工艺要求和技术要求进行个性化的定制, 形成独特的产品。这类控制器的典型代表为罗克韦尔自动化公司的ControlLogix系统等。

(3) 伺服驱动器

伺服驱动器直接驱动伺服电动机, 是控制器和伺服电动机之间的桥梁。它将控制器的控制信号, 检测装置反馈的位置、速度等信号, 以及现场的一些信息(如限位开关)统一采集, 再同控制器频繁交换信息, 在控制器的统一指挥管理下执行具体的定位算法、插补运算。这类驱动器的典型代表有罗克韦尔自动化公司的Kinetix系列, 西门子公司SIMOTON等。

伺服系统发展的历史也就是伺服驱动器的发展史, 伺服驱动器在伺服系统中的作用可见一斑。关于伺服驱动器的内容在后面还会进行详细地讲解。

(4) 伺服电动机

通常, 伺服系统的被控对象就是伺服电动机。目前普遍使用的是永磁同步电动机, 它具有如下特点:

- 1) 高精度: 要使机械运动精确地满足系统的要求, 必须要求执行元件具有较高精度。
- 2) 快速性: 在伺服系统中, 控制指令经常变化, 有些变化非常迅速, 所以要求执行元件能快速响应, 高转矩、低惯量是伺服电动机的基本特征。
- 3) 可靠性: 整个系统的可靠性取决于所有组成部分的可靠性, 执行元件是伺服系统的主要组成部分, 故它的可靠性显得十分重要。

(5) 检测装置

检测装置为伺服系统提供反馈信息, 主要用于提供被控对象的位置、速度等信息。常见的检测装置有光栅、旋转变压器、编码器等。现在部分伺服电动机内部会有检测装置。它的精密程度直接影响到控制效果。

检测装置的核心是传感器，它作为测量反馈部分的检测装置，向主控制器反映系统的状况，同时也可以闭环控制系统中形成反馈回路，将指定的输出量反馈给控制器，控制器根据这些信息进行控制决策。伺服系统中的传感器用于运动参数（如位置、速度和加速度）的测量、力学参数（如转矩）的测量，也用于电气参数（如电压和电流）的测量。传感器利用各种物理学原理，如电磁感应、光电转换、光栅效应、霍尔效应等，实现物理量的检测。伺服系统中的传感器在采用新原理、新工艺、新材料，并与先进的电子技术结合的基础上，朝着高速度、高精度和高可靠性的方向发展。

(6) 执行机构系统的外设

执行机构系统的外设包括限位器、用户 I/O 接口以及机械装置等。当伺服系统的性能不能满足需要时，用户还可以通过外设与第三方设备（如检测装置）连接共同控制被控对象，以达到更加精确的控制。

机械装置及其作用对象是电动机的负载，如机床中的主轴、刀架和工件、机械手和机器人手臂、行走机构和施力对象等。电动机的负载，还包括机械系统的传动链，如齿轮箱、传动带和滚珠丝杠等。考虑到机械装置的力学特性对系统的影响，在对伺服系统的设计中它们是不可忽略的。

一个完整的伺服系统由控制器、通信网络、驱动器、电动机、执行机构及检测装置组成。其中控制器相当于人的大脑，用来分析各种输入信号（命令和反馈等）；通信网络相当于人的神经系统，如 SERCOS 接口、DeviceNet 接口等；而驱动器则像肌肉所起的作用一样，用于将控制信号进行功率放大，以驱动电动机；电动机相当于手，而人手中的生产工具则是伺服系统中的执行机构（如滚珠丝杠等，将电动机的旋转运动转化为直线运动）。

图 1-3 是一个典型的用罗克韦尔自动化公司的运动控制设备搭建的伺服系统实验平台，在此作为用 SERCOS 光纤环网通信的伺服系统应用实例。通过上位机设定输入量（如电动机要达到的位置、转速、加/减速度、凸轮曲线等），通过 EtherNet/IP（工业以太网）发送给 ControlLogix 控制器，再由 ControlLogix 控制器通过 SERCOS（Serial Real-time Communications System，串行实时通信系统）光纤环网控制 Ultra3000 伺服驱动器来驱动伺服电动机，带动执行机构（如滚珠丝杠等），将电动机的旋转运动转化为直线运动。同时，伺服电动机通过编码器将位置信号反馈回伺服驱动器，从而有效地进行位置控制。

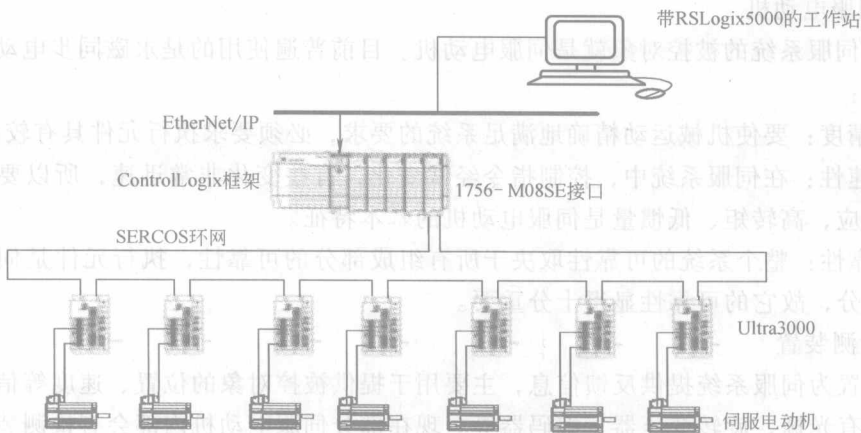


图 1-3 用 SERCOS 光纤环网通信的伺服系统应用实例

1.2 罗克韦尔自动化公司的运动控制平台

伺服系统作为一种高级的工业控制装置，通常都设计为以控制器为主导的智能型产品，它们的智能化特点表现在以下几个方面：首先它们都具有参数记忆功能，系统的所有运行参数都可以通过人机对话的方式由软件来设置，保存在伺服单元内部，通过通信接口，这些参数甚至可以在运行过程中由上位计算机加以修改，应用起来十分方便；其次它们都具有故障自诊断与分析功能，无论何时，只要系统出现故障，就会将故障的类型以及可能引起故障的原因通过用户界面清楚地显示出来，从而简化了调试与维护的过程。

在伺服系统领域，罗克韦尔自动化公司采用包括 ControlLogix 控制器和 1768 CompactLogix 控制器的 Logix 控制平台。它们使用 32 位微处理器的“Logix”控制引擎，使其处理数据的能力大大提高，同时将顺序控制、运动控制、过程控制、传动控制、安全控制以及批处理等集成在一个多任务的控制平台内，能够胜任多种自动化控制任务。Logix 控制平台提供种类丰富、功能各异的控制器，如图 1-4 所示，用户可以根据实际应用项目的需求自主选择经济、实用的控制器。

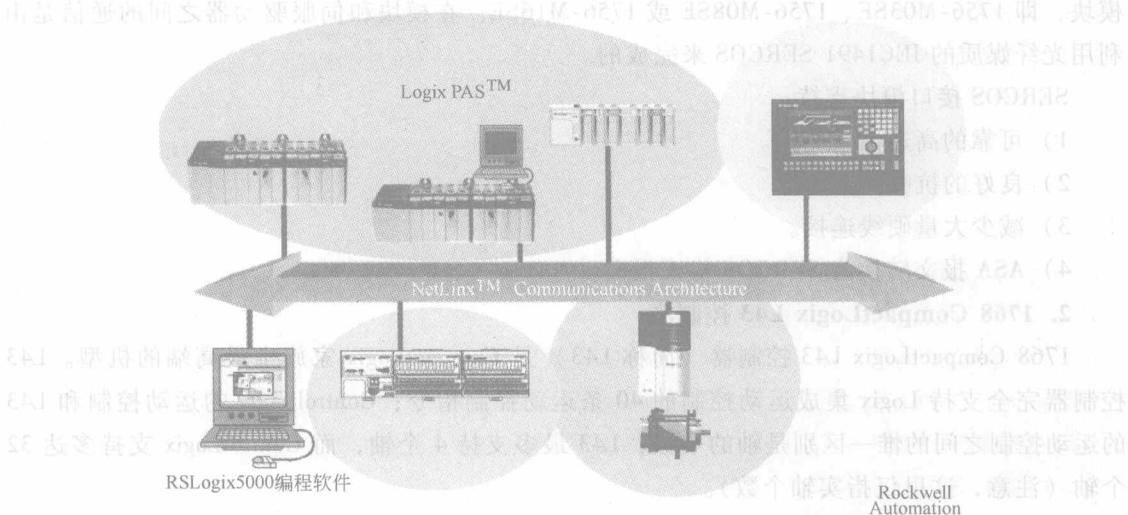


图 1-4 Logix 控制平台

1. ControlLogix 控制器

ControlLogix 控制器是 ControlLogix 系统中的主要组件。它支持顺序控制和运动控制，并且可执行所有的运动控制指令实现运动轨迹规划功能。在每个背板中可以使用一个或多个 ControlLogix 控制器，每个控制器最多可控制 32 个轴。

ControlLogix 控制器提供了以下的运动支持：

- 1) 40 条运动控制指令。
- 2) 一个高速运动任务，其可管理运动功能并且产生移动曲线。
- 3) 能够控制多达 16 个模拟量/编码器伺服模块，共 32 个轴。
- 4) SERCOS (Serial Real-time Communications System, 串行实时通信系统) 网络。

(1) 模拟量/编码器伺服模块

ControlLogix 控制器中使用的模拟量/编码器伺服模块为 1756-M02AE, 该模块提供一个模拟量/正交编码器伺服驱动器接口。伺服模块用于接收组态信息, 传送来自 ControlLogix 控制器的信息, 以及控制电动机的位置和速度。

该伺服模块支持:

- 1) 最多连接两个伺服驱动器。
- 2) $\pm 10\text{V}$ 模拟量输出。
- 3) 正交编码器输入。
- 4) 归零限位开关输入。
- 5) 驱动器故障输入。
- 6) 驱动器使能输出。
- 7) 5V 或 24V 位置注册输入。
- 8) $250\mu\text{s}$ 位置和速度环刷新。

(2) SERCOS 接口模块

在 ControlLogix 控制器和智能伺服驱动器之间建立连接的是 3、8 或 16 轴 SERCOS 接口模块, 即 1756-M03SE、1756-M08SE 或 1756-M16SE。在模块和伺服驱动器之间的通信是由利用光纤媒质的 IEC1491 SERCOS 来完成的。

SERCOS 接口模块支持:

- 1) 可靠的高速数据传输。
- 2) 良好的抗噪声能力。
- 3) 减少大量硬线连接。
- 4) ASA 报文转换为 SERCOS 格式报文。

2. 1768 CompactLogix L43 控制器

1768 CompactLogix L43 控制器 (简称 L43) 是 CompactLogix 家族中最高端的机型。L43 控制器完全支持 Logix 集成运动控制的 40 条运动控制指令; ControlLogix 的运动控制和 L43 的运动控制之间的惟一区别是轴的个数: L43 最多支持 4 个轴, 而 ControlLogix 支持多达 32 个轴 (注意, 这里仅指实轴个数)。

如图 1-5 所示, 在 L43 控制器的左侧 (电源与控制器之间) 为 1768 总线, 除控制器外, 最多可以插两个支持 1768 总线的模块。它们可以是: 两个 1768-ENBT 模块或者一个 1768-ENBT 加一个 1768-M04SE 模块 (注意, 1768 系统仅支持一个 1768-M04SE 模块)。

L43 控制器的右侧为 1769 总线, 即通常的 CompactLogix 总线。但是需要注意的是: L43 控制器最多支持 16 个本地 1769 I/O 模块, 其中最多可以将 8 个 1769 I/O 模块附加到控制器右侧。其余的模块可以分成一个或者两个 I/O 模块组 (I/O bank), I/O 模块组之间可以水平也可以互相垂直, 但是每个 I/O 模块组必须使用 1769 的电源 (1769-PA4) 分别进行供电, 使用标准的 1769 扩展电缆 (1769-CRLx) 同主框架进行通信。

综上所述, 1768 CompactLogix 控制器的总体配置为: 根据具体的需要使用 EtherNet/IP 进行编程开发及同上位机操作界面的通信; 使用 SERCOS 光纤环网组成运动控制平台, 进行运动控制; 使用 1769-SDN 扩展 DeviceNet 网络。