

运动控制器及

数控系统的工程应用

黄风 等编著



运动控制器及数控 系统的工程应用

黄 风 等编著



机械工业出版社

本书汇集了作者多年来将运动控制器及数控系统应用于各行业的自动控制项目 50 余例。案例范围涵盖了包装机械、压力机、升降机、加工中心、专用机床、激光加工机床、磨床、数控机床联网控制和绝对位置检测系统等方面。

本书内容翔实、丰富,着重介绍了解决方案、PLC 程序及宏程序编制、调试技术难点等,为机床运动控制系统设计、调试、维修、操作人员提供了实用的技术和经验。

本书主要读者对象为自动控制技术从业人员,对机床数控系统设计、调试,维修、操作人员特别适用,也可作为高校教师和学生在教学培训时的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

运动控制器及数控系统的工程应用/黄风等编著. —北京:
机械工业出版社, 2014. 9
ISBN 978 - 7 - 111 - 48108 - 9

I. ①运… II. ①黄… III. ①运动控制 - 数字控制系统
IV. ①TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 224504 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: 章承林

版式设计: 赵颖喆 责任校对: 陈秀丽

责任印制: 刘 岚

北京京丰印刷厂印刷

2015 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18.75 印张 · 446 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 48108 - 9

定价: 59.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

目前, 大多数的工作机械和机床都需要运动控制, 随着计算机技术和自动控制技术的发展, 运动控制器、数控系统、伺服电动机在工作机械上的应用日益广泛。一般的工作机械如包装机, 其运动轴数多但定位动作不复杂, 运动程序固定不变, 这种情况下其运动控制系统一般配用运动控制器。而对于加工中心、铣床、车床等对运动控制有较高要求, 而且加工对象经常变化的工作机械, 其运动控制系统就要配用数控系统。

本书汇集了作者多年来将运动控制器及数控系统应用于各行业的自动控制项目 50 余例。案例范围涵盖了包装机械、压力机、升降机、加工中心、专用机床、激光加工机床、磨床、数控机床联网控制、绝对位置检测系统等方面。

各工程案例着重介绍了解决方案、系统选型及配置、PLC 程序及宏程序编制、调试技术难点及故障排除等, 总结了大量现场调试的经验和教训, 为机床运动控制系统设计、调试、维修、操作人员提供了实用的技术和经验。

本书第 1 篇 (第 1 ~ 14 章) 为运动控制器及 PLC 在各类型工作机械上的应用, 介绍了运动控制器的运动程序编程方法、参数设置和特殊功能应用。

本书第 2 篇 (第 15 ~ 52 章) 为数控系统在各类型工作机械上的应用, 介绍了三菱数控系统在加工中心、车床、铣床、专用机床、磨床和激光加工机床等机械上的应用, 从客户要求到解决方案, 从数控系统特殊功能的开发到现场调试遇到的棘手问题都有详细说明和实用程序支持。

本书是“一本来自现场”的书, 全部案例都是实际应用经验的总结。相信本书对从事现场工作的技术人员和维修、操作工及高校职校教师和学生有很大的帮助。

在本书的编写过程中, 香港东兴集团董事长林步东先生给予了巨大支持。香港东兴集团是多年从事三菱工程控制产品销售和技术服务的大型专业化公司, 为本书的编写提供了大量的工程实践和实验设备。在此表示衷心地感谢!

运动控制技术博大精深, 应用范围也极其广泛。本书仅仅是“站在巨人肩膀上的一次瞭望”, 本书的缺点、错误在所难免, 恳请读者与同行专家批评指正。如果本书能够给从事运动控制技术的朋友们一些帮助, 那就是作者内心的初衷。

参加编写的还有申建北、李新、陈琛、胡彬、辛曼一、李永翔、彭常照、周持家、李卫强、李智、吴建发、李玲玲等。

读者对本书涉及的应用项目欲更深入的了解, 可通过下列方式与作者联系:

QQ: 2635112588

新浪博客: 黄风数控之友

作者 黄风
2014 年 10 月

目 录

前言

第1篇 运动控制器应用案例

第1章 大型包装机多轴同步运行

控制系统的设计开发及伺

服系统的调试 1

1.1 项目背景及主控制系统方案 1

1.1.1 项目背景 1

1.1.2 主控制系统方案 1

1.2 电气控制系统设计方案 2

1.2.1 包装机核心技术要求——多轴

同步运行 2

1.2.2 同步控制设计方案 2

1.3 伺服系统调试 3

1.3.1 同步运行精度超标 3

1.3.2 对第1轴速度波动的原因分析 3

1.3.3 对电动机工作状态的测试 4

1.3.4 对机械负载进行分析 4

1.3.5 对伺服电动机工作参数进行

调整 5

1.4 对系统稳定性的判断和改善 6

1.4.1 减速比的影响 6

1.4.2 改变机械系统减速比提高系

统稳定性 7

1.5 结束语 7

第2章 数控压力机伺服电动机的

选型及压力测试新方法 8

2.1 伺服电动机选型的原则和计算 8

2.2 压力机工作压力的测定 10

2.2.1 测试对象的基本参数 10

2.2.2 伺服电动机最大转矩测试 10

2.2.3 行程-转矩测试 11

2.2.4 实际自动工作状态数据测试 12

第3章 基于三菱 QD75 运动控制

单元的压力限制保护技术

开发 13

3.1 压力机控制系统的构成及压力控

制要求 13

3.2 压力机工作压力与伺服电动机转

矩的关系 13

3.3 实时转矩控制方案 14

3.3.1 实时转矩值的读取 14

3.3.2 实际自动工作状态转矩值

测试 15

3.3.3 实时转矩控制的 PLC 程序 15

3.4 转矩限制方案 16

3.4.1 作为控制指令的转矩限制

指令 16

3.4.2 使用转矩限制指令的若干

问题 16

3.4.3 报警 17

3.5 结束语 17

第4章 运动控制器与 QPLC 多

CPU 数据通信的实用

方法 18

4.1 运动控制器 CPU 的信息及传递 18

4.2 多 CPU 通信方法 19

4.3 运动控制器中的指令型元件和状

态型元件 21

4.3.1 指令型元件 21

4.3.2 状态型元件 22

4.4 对运动 CPU 中常用软元件的解释 22

4.5 运动控制器中信息程序的编制

原则 24

4.5.1 处理“开关量信号” 24

4.5.2 处理“数据量信号” 26

第5章 运动控制器 SFC 程序的

设计开发 28

5.1 实用的 SFC 编程方法 28

5.2 SFC 图的构建技巧	28	方法	47
5.2.1 主程序 SFC 图	28	7.1 硬件配置要求及定位准确度	47
5.2.2 工作模式选择流程图	28	7.2 FR-A7AP 定位卡的安装与接线	47
5.2.3 JOG 模式的 SFC 图	29	7.3 变频器参数的设置	48
5.2.4 手轮模式运行子程序 SFC	30	7.3.1 定位起动信号设置	48
5.2.5 回原点模式子程序 SFC	30	7.3.2 定位完成信号设置	49
5.2.6 自动模式子程序 SFC	31	7.3.3 定位运行主要参数设置	49
5.3 对 SFC 图用软元件的说明	32	7.4 定位过程	51
5.4 结束语	33	7.4.1 在运行过程中的定位	51
第 6 章 运动控制器“原点返回”		7.4.2 从停止状态起动的定位	51
的 14 种模式及参数设置	34	7.4.3 连续多点定位	52
6.1 运动控制器“原点返回”的 14 种		7.4.4 关于定位原点的确定方法	52
模式	34	7.4.5 关于编码器脉冲的“4 倍频”	52
6.1.1 对“原点返回”模式各名词		7.5 对电动机性能的调谐	52
的说明	34	第 8 章 基于运动控制器的变频器	
6.1.2 DOG1 型“原点返回”模式	34	伺服运行技术开发研究	54
6.1.3 DOG2 型“原点返回”模式	35	8.1 对硬件的要求	54
6.1.4 DOG + 计数 1 型“原点返回”		8.2 FR-A7NS SSCNET III 通信卡的技	
模式	36	术规格及使用	55
6.1.5 DOG + 计数 2 型“原点返回”		8.2.1 FR-A7NS SSCNET 通信卡	55
模式	37	8.2.2 FR-A7NS SSCNET III 通信卡各	
6.1.6 DOG + 计数 3 型“原点返回”		接口的说明和连接	55
模式	37	8.2.3 使用 FR-A7NS SSCNET III 通信	
6.1.7 绝对原点设置模式 1	38	卡的注意事项	56
6.1.8 绝对原点设置模式 2	38	8.2.4 轴号设定	56
6.1.9 长挡块型 DOG 开关“原点返		8.3 变频器相关参数设置	57
回”模式 1	38	8.4 运动控制器系统构成及设置	58
6.1.10 长挡块型 DOG 开关“原点返		8.5 运动程序编制	59
回”模式 2	39	8.5.1 回原点	59
6.1.11 长挡块型 DOG 开关“原点返		8.5.2 定位	59
回”模式 3	40	8.6 虚模式下的同步运行	60
6.1.12 长挡块型 DOG 开关“原点返		8.7 注意事项	62
回”模式 4	40	8.8 关于变频器定位准确度的计算	62
6.1.13 阻挡型“原点返回”模式 1	40	第 9 章 基于运动控制脉冲单元的	
6.1.14 阻挡型“原点返回”模式 2	41	专用机床控制系统开发	63
6.1.15 限位开关型“原点返回”		9.1 项目背景	63
模式	42	9.2 控制系统方案及配置	63
6.2 “原点返回”操作的主要参数	43	9.2.1 方案及配置	63
6.2.1 对参数的一般说明	43	9.2.2 位置控制单元 FX2N-1PG	63
6.2.2 对重要参数的说明	43	9.3 基于 1PG 的自动程序编制	64
6.3 MT-developer 软件固定参数的设置	45	9.4 绝对位置检测系统的建立	64
第 7 章 变频主轴实现定位运行的		9.5 定位不准的问题及其解决方法	66

9.5.1 定位不准的现象	66	13.2 控制系统的基本配置	80
9.5.2 解决问题的方法	66	13.2.1 控制系统的构成	80
9.6 结束语	67	13.2.2 控制系统各部分的功能	81
第10章 PLC位置控制系统中手		13.3 多点定位测试仪运动逻辑分析及	
轮应用技术研究	68	运动程序开发	81
10.1 FXPLC使用手轮理论上的可能性	68	13.3.1 多点定位测试仪的定位运	
10.2 PLC程序的处理	68	动要求	81
10.3 实际接入手轮信号后遇到的问题		13.3.2 对运动逻辑的分析	81
及处理方法	69	13.3.3 运动程序的编制	81
10.3.1 手轮的输入信号	69	13.4 FX2N-20GM定位单元与PLC的	
10.3.2 对手轮运行模式下“起动信		联机通信	83
号”的处理	69	13.4.1 联机通信的专用指令及PLC	
10.3.3 提高PLC处理速度响应性的		程序	83
方法	70	13.4.2 使用FX2N-20GM定位单元	
第11章 基于PLC控制的升降机		的注意事项	84
舒适感调试及运动分析	71	13.5 调试期间的问题及解决	85
11.1 客户对升降机运行舒适感的要求	71	13.5.1 手轮的连接	85
11.2 解决方案	71	13.5.2 停止方式的选择	85
11.3 升降机各运行阶段速度变化的		13.5.3 M指令的使用	85
分析	71	第14章 基于FX2N-10GM定位单	
11.3.1 上升起动阶段的速度变化	71	元的8轴专用机床数控系统	
11.3.2 上升停止阶段的速度变化	72	的开发设计	86
11.3.3 下降起动阶段的速度变化	72	14.1 工作机械的动作要求	86
11.3.4 下降停止阶段的速度变化	73	14.2 数控系统的选型及配置	86
11.4 PLC程序的编制	73	14.2.1 控制方案	86
11.5 实验结果	74	14.2.2 设计方案	86
11.6 结论	75	14.3 程序设计要点	87
第12章 带触摸屏压力机数控系		14.3.1 主PLC与FX2N-10GM定位	
统的技术开发及调试	76	单元之间的信息交换	87
12.1 数控系统的配置	76	14.3.2 自动程序的构成	87
12.2 主要程序的编制	77	14.4 主要技术难点	88
12.3 调试中遇到的问题及故障排除	78	14.4.1 绝对位置检测系统的建立	88
第13章 基于FX2N-20GM定位		14.4.2 绝对位置检测系统下的回零	
单元的多点定位测试仪		操作	88
控制系统技术开发	80	14.4.3 关于旋转轴的定位和旋转的	
13.1 多点定位测试仪控制系统技术		处理	88
要求	80	14.5 结束语	89

第2篇 数控系统应用案例

第15章 轧辊磨床数控系统的技		15.1 磨床的各运动轴及数控系统配置	90
术开发及应用	90	15.1.1 磨床的各运动轴	90

15.1.2 数控系统的基本配置	90	17.4.2 对模拟主轴速度的计算	106
15.2 调试中的问题及故障排除	91	17.4.3 插补轴的合成速度和分量 速度	107
15.2.1 Z 轴速度问题及对“电子齿 轮减速比”的分析	91	17.4.4 变量设置及宏程序编制	108
15.2.2 插补速度的限制	91	17.5 结束语	108
15.2.3 Z55 报警及其排除	92	第 18 章 数控系统在激光切割机随 动技术上的应用	109
15.3 磨削程序的结构	92	18.1 激光切割机的特殊工作要求	109
15.3.1 轧辊磨床的基本动作顺序	92	18.2 激光切割机的数控系统基本配置	109
15.3.2 客户对加工程序的要求	93	18.3 激光切割机特殊工作要求的解决 方案——随动技术	110
15.3.3 加工程序的编制原则	93	18.4 实现“外部工件坐标系补偿” 的相关技术	111
15.4 加工程序中变量的设置及使用	94	18.4.1 硬件配置	111
15.4.1 公共变量的设置	94	18.4.2 相关的 PLC 接口	112
15.4.2 程序内部用变量	95	18.4.3 PLC 程序处理	112
15.5 实用加工程序	95	18.5 实际效果	113
15.6 PLC 程序与加工程序的关系	96	第 19 章 伺服同步功能在双驱动 龙门铣床上的应用	114
15.6.1 “当前磨削齿数”的处理	96	19.1 伺服同步功能的实现	114
15.6.2 加工圈数的显示	96	19.2 相关的参数	115
15.7 结束语	97	19.3 原点的设置	115
第 16 章 12 轴热处理机床数控系 统的开发应用	98	19.4 回原点过程中遇到的问题	115
16.1 机床动作要求和运动轴功能分配	98	19.5 机械精度误差的补偿	116
16.2 数控系统的选择	98	19.6 软极限引起的问题	116
16.3 双系统的 PLC 梯形图编制要点	98	第 20 章 变截面变速度运行的宏 程序编制	118
16.4 加工程序的编制	99	第 21 章 高速高精度功能在模具 加工中的使用	120
16.4.1 双系统编程方法	99	21.1 使用高速高精度功能的步骤	120
16.4.2 工件旋转轴的速度控制和位 置控制的实现	100	21.2 影响运行流畅性的关键参数	120
16.5 控制系统的其他特点	101	21.2.1 关键参数及加速度	120
16.6 调试中遇到的问题	101	21.2.2 其他高速高精度参数设置	121
第 17 章 彩带打标机控制系统的 技术开发	102	21.3 建议设置的参数	121
17.1 彩带打标机的工作要求	102	第 22 章 刀库换刀 PLC 程序和宏 程序的开发研究	122
17.2 控制系统的构成及解决方案	102	22.1 刀库运动的基本知识	122
17.3 技术难点——超长行程的处理 方法	103	22.1.1 刀库运动基本术语	122
17.3.1 延长当前值的各种实验	103	22.1.2 三菱 M70 数控系统内置刀库 的设置	122
17.3.2 理论行程和实际行程	104	22.1.3 刀库中的环形坐标系	124
17.3.3 设置参数时的注意事项	105	22.2 换刀专用指令的功能及使用	125
17.4 技术难点——模拟主轴与插补轴 的同步运行	105		
17.4.1 彩带打标机的主加工运行 模式	105		

22.2.1	换刀专用指令的基本格式	125	25.2	M70 数控系统的“功能开发”	154
22.2.2	刀号搜索指令	126	25.2.1	启用 M70 的“中断宏插入”功能	154
22.2.3	刀具交换指令	127	25.2.2	启用 M70 的“手动-自动同时有效”功能	155
22.2.4	刀盘正转指令	128	25.3	使用 M70 中“手动定位”功能的技术要点	155
22.2.5	刀盘反转指令	128	25.4	结束语	157
22.2.6	刀号读取指令	129	第 26 章 数控系统的特殊功能在专用机床上的应用		
22.2.7	刀号写入指令	130	26.1	问题的提出	158
22.2.8	一次性写入全部刀号指令	131	26.2	三菱数控系统特殊功能的应用	158
22.2.9	刀库旋转分度指令	131	26.2.1	DDB 功能的应用	158
22.3	斗笠式刀库换刀程序的编制	132	26.2.2	对进给轴“当前位置”的处理	159
22.3.1	斗笠式刀库的基本特点	132	26.2.3	使用“宏程序读取 PLC 程序中的相关信息”	160
22.3.2	换刀指令的使用	133	26.3	实用的主加工程序	161
22.3.3	换刀 PLC 程序的编制方法	135	第 27 章 两伺服轴同步运行的一种新方法		
22.3.4	换刀宏程序的编制方法	136	27.1	工作机械的特殊要求	162
22.3.5	刀库换刀的安全保护	138	27.2	解决方案	162
22.3.6	刀库换刀调试必须注意的问题	138	27.3	实际技术开发	162
22.4	机械手刀库的换刀程序开发和调试	139	第 28 章 应用“斜线可选程序跳过功能”实现加工程序的分支流程		
22.4.1	机械手刀库的工作特点	139	28.1	专用机床的交替循环工作要求	164
22.4.2	换刀宏程序及 PLC 程序的编制方法	140	28.2	解决问题的对策	164
22.4.3	刀库调试必须注意的问题	141	28.3	“斜线可选程序跳过功能”的实际应用	165
22.5	某品牌刀库的案例	142	28.4	实际效果	166
22.5.1	刀库系统提供的信号	142	第 29 章 伺服参数对加工圆形工件几何误差的影响		
22.5.2	对换刀系统时序图的解释	144	29.1	加工圆形工件时出现的形位误差	167
22.6	伺服电动机刀库	146	29.2	圆度误差在 45°方向达到最大	168
22.6.1	斗笠式刀库	146	29.3	产生圆度误差的原因	169
22.6.2	机械手刀库	146	29.4	提高加工准确度的对策	169
第 23 章 一种多 M 指令的 PLC 程序处理方法			第 30 章 数控机床断电重启的一种新方法		
23.1	对感应器运动的处理方法	149	30.1	三菱数控系统本身具有“断电重启”功能	170
23.2	解决问题的关键	150	30.2	新开发的“断电重启”功能	170
第 24 章 主轴换档的 PLC 程序编制和关键参数设置					
24.1	与主轴换档相关的主轴参数	151			
24.2	与换档相关的 PLC 接口信号	152			
24.3	主轴换档的 PLC 程序处理	152			
第 25 章 “中断宏程序插入”功能在加快生产节拍上的应用					
25.1	专用数控机床的工作要求	154			

第 31 章 影响数控齿条机动态剪**切精度的各因素试验****研究 172****31.1 工作机械的运行方式及控制系统 172****31.1.1 移动剪切平台对齿条的动态****剪切过程 172****31.1.2 移动剪切平台控制系统的****构成 172****31.2 移动剪切平台的动态冲切模式****分析 173****31.2.1 移动剪切平台的动态冲切****模式分析 173****31.2.2 移动剪切平台动态冲切的****PLC 程序 174****31.3 影响剪切长度准确度的因素 174****31.4 影响冲切准确度的各因素分析 175****31.5 现场采取的措施 177****第 32 章 建立数控机床监控网络****的一种简易方法 179****32.1 数控设备的联网要求 179****32.2 NC MONITOR 数控机床监控网络的****硬件配置及网络构成 179****32.2.1 数控机床监控网络的硬件****配置 179****32.2.2 数控机床监控网络的构成 179****32.3 NC MONITOR 软件的使用 180****32.3.1 NC MONITOR 软件的安装 180****32.3.2 NC MONITOR 软件的主要****工作界面 180****32.3.3 NC MONITOR 软件的使用****方法 180****32.3.4 使用 NC MONITOR 软件可****进行的监控操作 182****32.3.5 使用 NC MONITOR 软件的****限制事项 182****32.4 建立数控机床监控网络的关键****技术及设置 182****32.4.1 硬件连接 182****32.4.2 IP 地址的设置 182****32.4.3 其他参数设置 183****32.5 结束语 183****第 33 章 数控机床旋转轴运动的****宏程序编制及应用 184****33.1 全数控热处理机床的工作要求 184****33.2 第 1 种编程方案及运行效果 184****33.3 第 2 种编程方案及运行效果 185****第 34 章 车床刀塔换刀及卡盘工****作模式转换技术研究 186****34.1 数控车床刀架换刀的工作顺序 186****34.2 数控车床的换刀动作及指令 186****34.3 换刀过程的其他问题 188****34.4 关于液压卡盘的安全工作模式 189****34.5 液压尾座的工作模式 190****第 35 章 锁机锁屏 PLC 程序开发****研究 191****35.1 锁机程序的一般性要求 191****35.2 锁机程序的编制 191****35.2.1 锁机时间的设定 191****35.2.2 锁机间隔的设定 191****35.2.3 锁机次数 191****35.2.4 PLC 程序的编制 192****35.3 关于锁停时钟屏幕和参数屏幕的****原理和程序处理 194****第 36 章 通信故障的分析和故障****排除 195****36.1 数控系统的配置和硬件布置 195****36.2 通信故障报警 195****36.3 对报警的分析和判断 196****36.4 排除故障的方法及相关试验 196****36.5 干扰源及其影响 197****36.5.1 干扰源 197****36.5.2 相关的试验 197****36.6 结论 197****第 37 章 伺服双驱龙门铣床建立****绝对值检测系统的关键****技术 198****37.1 相对值检测系统与绝对值检测系****统的区别 198****37.2 对伺服电动机编码器的要求 199****37.3 设置绝对值检测系统原点的方法 199****37.3.1 相对值检测系统回原点的原****理和实际操作过程 199****37.3.2 绝对值检测系统建立原点的****原理和过程 200**

37.3.3 绝对值检测系统设定原点的 实际操作	200	40.3.1 PLC 程序编制	215
37.3.4 对“绝对位置设置”界面的 解释	201	40.3.2 宏程序处理	215
37.4 伺服同期数控系统双轴的绝对值 检测系统原点设定	201	40.3.3 取电流、电压平均值的实 用宏程序	216
37.5 结束语	202	40.4 监控数据在屏幕上的显示	217
第 38 章 数控机床定位紊乱故障的 排除	203	40.5 输入信号接反时出现的烧损	217
38.1 第 1 阶段故障	203	第 41 章 伺服主轴过热的原因分 析及故障排除	218
38.2 第 2 阶段故障	204	41.1 基本数控系统配置	218
第 39 章 大型回转工作台数控系 统的技术开发及调试	206	41.2 故障现象	218
39.1 控制系统基本配置	206	41.3 对该主轴发热故障原因的基本 判断	218
39.2 有关减速比的设置	206	41.4 VGN 参数的调整	219
39.2.1 电子齿轮传动比的计算	206	41.5 VGN 参数的影响过程	219
39.2.2 E68 数控系统相关的参数及 使用方法	207	41.6 相关案例	220
39.2.3 三菱 CNC 中电子齿轮传动 比的计算及其设置范围	207	第 42 章 数控系统烧损的主要类 型及防护对策	221
39.2.4 电子齿轮传动比的计算实例	208	42.1 数控系统烧损的主要类型	221
39.3 分度的调节	208	42.1.1 数控系统的地线“接零”	221
39.3.1 影响分度准确度的因素分析	208	42.1.2 接地不良引起的故障	222
39.3.2 “反向间隙”的测定	209	42.1.3 基本 I/O、远程 I/O 因为接 线错误引起的烧损	225
39.3.3 运行速度和加减速时间对分 度运动的影响	210	42.1.4 DC24V 电源短路引起的烧损	225
39.4 关于电子齿轮传动比的有关计算	210	42.1.5 DNC 加工出现的烧毁	227
39.4.1 直线轴的计算	210	42.1.6 编码器烧毁	227
39.4.2 齿轮传动比参数的设定调整	210	42.1.7 模拟信号接反引起的烧损	228
39.4.3 误差的计算	210	42.2 总的分析和判断	229
第 40 章 宏程序在热处理机床能 量监控系统中的应用	212	42.3 防护对策	229
40.1 数控热处理机床对“能量监控” 的要求	212	42.4 三菱数控系统中各部件的接地 端子	230
40.2 实际监控中的问题	212	第 43 章 多点定位指令在主轴二 次定位技术中的应用	233
40.2.1 DX140 的基本特性	212	43.1 问题的提出	233
40.2.2 DX140 的实际使用	212	43.2 对主轴定位的简要分析	233
40.2.3 对模拟信号监控的 PLC 程序	213	43.3 主轴定位的新方案	233
40.2.4 在实际对模拟信号监控时 出现的问题	214	43.4 自动及手动模式下的程序处理	234
40.3 PLC 程序和宏程序对模拟信号 的处理	215	43.4.1 自动模式下的宏程序处理	234
		43.4.2 手动模式下的 PLC 程序处理	235
		43.5 新开发的主轴定位方法的特点	236
		第 44 章 PLC 轴在专用机床上的 应用	237
		44.1 专用机床的工作要求	237

44.2 PLC 轴功能的开发	237	板厚	251
44.3 PLC 轴相关 PLC 程序的开发	237	46.5.2 由宏程序选择不同的加工参 数组	252
44.3.1 启用 PLC 轴功能的专用指令	237	46.5.3 由 PLC 程序计算速度-功率 线性方程	252
44.3.2 PLC 程序处理的若干问题	238	46.5.4 其他注意事项	253
44.3.3 PLC 轴实际使用中的若干 问题	239	46.6 结束语	253
44.3.4 与 PLC 轴有关的参数设置	239	第 47 章 柔性加工系统的数控技术	
44.4 PLC 轴在自动加工程序中的应用	239	开发	254
44.4.1 工作机械的特殊要求	239	47.1 专用连杆加工机床的工作要求	254
44.4.2 自动加工程序中使用 PLC 轴的方法	240	47.2 C70 数控系统的解决方案	254
第 45 章 研磨机超长加工程序的 简化方法	242	47.3 PLC 梯形图程序编制	254
45.1 多工位滑槽研磨机的运动控制 要求	242	47.3.1 利用 GOT 进行参数的预置 和零件选择	254
45.2 对研磨工艺运动逻辑的分析	242	47.3.2 根据加工零件选择加工参数 的 PLC 梯形图编制	255
45.2.1 程序结构预分析	242	47.4 使用宏程序读取 PLC 程序中的 相关数据	256
45.2.2 基本加工程序 P100	243	47.4.1 读取 PLC 程序中相关数据的 宏程序	256
45.3 对加工程序的简化	243	47.4.2 实用的柔性主加工程序	256
45.3.1 利用宏程序功能实现研磨工 艺加工程序的简化	243	47.5 在线修改参数	257
45.3.2 不可以简化的程序部分	244	第 48 章 三菱 C70 多系统数控装 置在汽车部件生产线上 的应用	258
45.3.3 运动流程判断条件程序的 简化	245	48.1 汽车部件生产线的工作要求及控 制系统配置方式	258
45.4 对加工程序的再次简化	245	48.1.1 汽车部件生产线的基本要求	258
45.4.1 运动变量设置及宏程序调用 子程序	245	48.1.2 汽车部件生产线控制系统 的配置方式	258
45.4.2 P9100 程序的顺序步号	246	48.2 C70 系统所具备的多系统控制 功能	258
45.4.3 顺序步号变量	246	48.2.1 C70 系统的强大功能	258
45.5 主加工程序	247	48.2.2 汽车部件生产线数控系统的 主要部件配置和选型	259
第 46 章 数控技术在避免激光切 割工件烧损上的研究与 应用	248	48.3 C70 CNC 多系统技术的开发	261
46.1 由工件烧损引出的对激光切割机 数控系统的特殊要求	248	48.3.1 多系统的 PLC 梯形图及 GOT 界面编制要点	261
46.2 解决方案	248	48.3.2 生产线上的连续运行程序	261
46.3 相关技术的实现	249	48.3.3 多主轴指令的使用	262
46.3.1 系统硬件配置的要求	249	48.4 调试及故障排除	263
46.3.2 运行速度数据的读出	249	48.4.1 开机后有关多系统参数的	
46.4 等长度能量输出的参数整定	250		
46.5 柔性化的加工程序	251		
46.5.1 由 PLC 程序选择不同的材质			

设定	263	50.3.1 模拟输出信号通道号的确定	275
48.4.2 故障排除	263	50.3.2 模拟输入信号通道号的确定	276
48.5 结束语	264	50.3.3 文件寄存器中的数值与模拟 输出电压的关系	276
第 49 章 M70A 双系统功能在双 刀塔车床上的应用	265	50.3.4 对模拟输出信号模块 DX120 的 使用小结	277
49.1 具备双系统功能的数控系统硬件 配置及功能	265	50.3.5 DX140 的连接和使用	277
49.1.1 M70A CNC 具备的双系统 功能	265	50.4 模拟信号在数控系统特殊功能中 的应用	277
49.1.2 M70A 数控系统硬件配置	265	第 51 章 数控冲齿机大、小齿现象的 消除及修正程序的技 术开发	279
49.2 M70A 系统的连接和相关参数的 设置	266	51.1 大、小齿现象的出现	279
49.2.1 M70A 双系统各轴的连接	266	51.2 大、小齿的形状分布及成因分析	279
49.2.2 开机后有关双系统参数的 设定	266	51.2.1 大、小齿的形状分布	279
49.3 与双系统功能相关的 PLC 程序	267	51.2.2 出现大、小齿的原因分析	280
49.4 双系统功能在车床上的有关应用	268	51.3 消除大、小齿的对策	280
49.4.1 平衡切削	268	51.3.1 第 1 种解决方案	280
49.4.2 双系统中的程序互相等待 运行	269	51.3.2 第 2 种解决方案	281
49.5 结束语	271	51.4 冲齿过程中的过载报警处理及修 正程序	281
第 50 章 数控系统模拟信号的采 集处理及应用技术	272	51.4.1 过载报警的发生	281
50.1 引言	272	51.4.2 过载报警的处理方法	281
50.2 基于 M70 系统的模拟信号输入/ 输出单元及其技术指标	272	51.4.3 修正程序的开发和执行	281
50.2.1 M70 系统配用的模拟信号 输入/输出单元	272	第 52 章 数控机床调试阶段的故 障判断及排除	283
50.2.2 模拟信号的技术条件	274	52.1 案例 1——组合机床	283
50.3 对模拟信号的 PLC 程序处理	275	52.2 案例 2——数控铣床	284
		52.3 案例 3——专用机床	284
		52.4 案例 4——专用加工机床	286

第 1 篇 运动控制器应用案例

第 1 章 大型包装机多轴同步运行控制系统的设计开发及伺服系统的调试

本章论述了基于三菱运动控制器构建多轴高精度同步运行系统的技术方案，特别介绍了在实际调试由运动控制器和伺服电机构成的控制系统中，对伺服电动机的调试和排除影响系统稳定性因素的过程，对实际使用运动控制器和伺服电动机有很实际的帮助。

1.1 项目背景及主控制系统方案

1.1.1 项目背景

某机床厂客户生产的大型包装机，其主要功能及动作要求如下：

- 1) 包装机有 8 个运动工步，每个运动工步配置有 1 个运动轴，8 个运动轴要求同步运行。
- 2) 包装机由于工步多、分布长，每个工步有不同的输入/输出（I/O）点，还有模拟量输入信号和高速计数信号。
- 3) 在主操作屏上要求采用触摸屏进行数据输入和显示。
- 4) 控制系统采用上位机进行生产管理和远程监控。

为满足大型包装机的复杂动作要求，经过综合技术经济分析，决定以三菱运动控制器为核心，以三菱 QPLC 为主控，以 CC-LINK 总线为网络，构建大型包装机的控制系统。

1.1.2 主控制系统方案

控制系统方案如下：

- 1) 8 个运动轴的控制采用三菱 Qmotion 运动控制器加上伺服电动机。由于包装机的核心技术要求是 8 个运动轴“同步运行”，而在三菱的运动控制单元中，只有 Qmotion 运动控制器有“同步运行”控制功能，所以必须采用“Qmotion 运动控制器”。

- 2) 顺序控制部分采用三菱 Q02UCPU，Q02UCPU 负责处理来自 CC-LINK 现场总线传送的各工步的输入/输出信号、A-D/D-A 信号和高速计数信号。

Q02UCPU 与触摸屏 GOT 连接，实现对外部开关信号和数据信号的处理。

1.2 电气控制系统设计方案

1.2.1 包装机核心技术要求——多轴同步运行

包装机的核心技术要求是在上电后的各种工作状态（点动、手轮）下8个工步的辊筒的线速度一致，不仅是线速度一致，而且要求保证在整个自动运行中的“相位”一致（即各轴的相对位置始终一致，即使在加减速过程中也必须一致。由于加减速过程中实际速度有滞后于指令速度的现象，各轴的相对相位会发生变化，就造成了相对相位的变化）。

1.2.2 同步控制设计方案

1. 电气主控系统硬件的构成

为了构成8轴同步运行系统，在三菱现有产品序列中，只有“运动控制器+SSCNET3+MR-J3-B”的构成方式。这种方式有以下优点：

1) MR-J3-B伺服系统是可以使用“光纤电缆构成的SSCNET3高速串行通信”伺服系统。运动控制器通过SSCNET3与各伺服系统相连，通信速度为50MB/s（相当于单向100MB/s）。系统响应能力很高。

2) 通信周期高达0.44ms，使运行更加平滑。

3) 光纤抗干扰能力强，并且可减少布线误差，最长布线距离可达800m。

4) 控制器和伺服放大器之间进行大量数据的实时发送与接收。伺服驱动器的信息可在“运动CPU”中处理。

2. 虚模式

为了实现多轴同步运行控制，三菱运动控制器提供了一种“虚模式”的程序构建方式，用于实现多轴同步运行。

1) 在虚模式模式下，实际伺服电动机由一套“电子软元件构成的机械传动系统”驱动，而这些电子软元件是“运动控制器”内部所特有的软元件。

这套“电子软元件构成的机械传动系统”由以下元件构成：

①驱动源——虚电动机及同步编码器。

②传动元件——齿轮、离合器和差速齿轮。

③输出模块——圆筒、丝杠、圆盘和凸轮。

必须注意：这些元件都是电子软元件。

2) “电子软元件构成的机械传动系统”与实际伺服电动机的关系由虚模式中“输出模块”的参数来设定。

3) 由于实际上没有这套“机械传动系统”，所以就称为“虚模式”。

4) 主要利用虚模式构建“同步运行系统”。

由于电子软元件代表的机械部件具有足够的柔性，所以其构成的“机械传动”系统也具有足够的柔性，可以满足实际需要的运动要求。

3. 使用虚模式构成的“同步系统”

图1-1所示是根据包装机的实际运行要求，用虚模式中的电子软元件构成的一套多轴机

械传动系统。图 1-1 中的电动机、传动轴、齿轮、辊筒（输出模块）全部是电子软元件，但这些电子软元件全部可以设置参数而赋予其工作性能（如齿轮齿数比）。

通过设置输出模块的参数建立起输出模块与实际伺服电动机的关系。

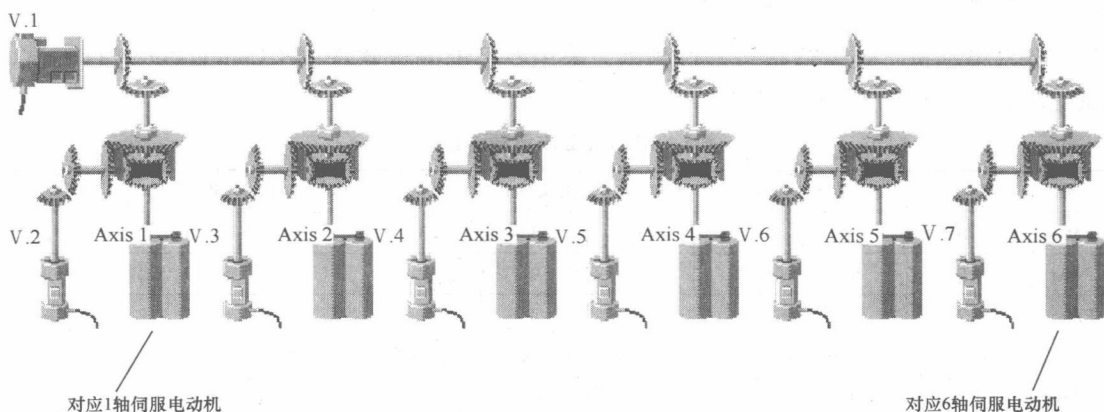


图 1-1 用虚模式构成的多轴机械传动系统

在图 1-1 中，只要通过运动程序向“主虚拟电动机”发出指令，各实际伺服电动机就能够按照图 1-1 中这套机械传动系统运行。在设定的机械系统参数都相同时，各伺服电动机就按“同一速度运行”。由于 MR-J3-B 伺服系统是使用“SSCNET3 高速串行通信”，运动控制器通过 SSCNET3 与各伺服系统相连，通信周期为 0.44ms，从而保证了同步运行的要求。

在这套“虚模式电子机械传动系统”的驱动下，可以实现点动（JOG）运行、手轮运行和自动运行。

1.3 伺服系统调试

在大型包装机项目中，伺服电动机所驱动的对象是大型辊筒。辊筒这类负载对象运动起来不像滚珠丝杠驱动的工作台负载那样有所约束，而是辊筒直径越大惯性越大，旋转速度越快电动机负载越大。这类负载对伺服电动机的工作性能要求很高，在实际调试中遇到诸多问题。

1.3.1 同步运行精度超标

在驱动 8 轴作“同步运行”时，遇到最严重的问题是“同步运行”精度超标。为了分清是机械系统还是电气系统引起的问题，在显示屏上仔细地观察了正常运行时各轴的速度（在 Qmotion 运动控制器内有专门软元件显示伺服电动机速度），观察发现第 1 轴速度波动很大，在不同的速度段都存在 3 ~ 10r/min 的速度波动，而其他轴未出现速度波动，显然是第 1 轴的速度波动引起了同步运行精度误差。

1.3.2 对第 1 轴速度波动的原因分析

1) 电动机基本性能不足。

- 2) 机械负载过大。
- 3) 伺服电动机运行参数未优化。

1.3.3 对电动机工作状态的测试

首先对电动机工作运行状态进行测试,采用专门的测试软件 MR-Configurator 进行测试,测试结果见表 1-1。

表 1 电动机工作负载测量表

1 轴	60r/min	120r/min	300r/min	600r/min	900r/min	1200r/min	1400r/min	1500r/min	1500r/min
PA08	3	3	3	3	3	3	3	3	3
PA09	9	9	9	9	9	9	9	9	9
PB06	7	7	7	7	7	7	7	7	7
力矩	3% ~ 9%	6% ~ 14%	6% ~ 31%	3% ~ 32%	4% ~ 47%	10% ~ 60%	11% ~ 55%	20% ~ 60%	5% ~ 66%
峰值负载率	11%	14%	31%	41%	54%	70%	77%	82%	80%
速度波动					898 ~ 902				
5 轴	60r/min	120r/min	300r/min	600r/min	900r/min	1200r/min	1400r/min	1500r/min	
PA08	2	2	2	2	2	2	2	2	
PA09	15	15	15	15	15	15	15	15	
PB06	10	10	10	10	10	10	10	10	
力矩	15% ~ 20%	17% ~ 27%	29% ~ 35%	32% ~ 42%	32% ~ 52%	35% ~ 54%	36% ~ 54%	33% ~ 48%	
峰值负载率	25%	29%	40%	46%	56%	59%	60%	63%	
速度波动									

注: PA08 为位置环增益; PA09 为自动调谐响应等级; PB06 为负载惯量比。

对电动机工作负载测量表中的数据分析:

- 1) 电动机负载(力矩)随运行速度的增加而增加。
- 2) 电动机负载始终在额定范围之内。
- 3) 电动机峰值负载未超过额定值。电动机峰值负载是指在加减速过程中出现的最大值。实际工作区域是不含加减速阶段的。

在不同速度下的实际工作区域都观察到:电动机速度有 3 ~ 10r/min 的波动。

从测试数据分析可知:电动机的工作负载在额定范围之内。所以可以得出结论:电动机选型没有问题。

1.3.4 对机械负载进行分析

第 1 轴的机械负载有下列特点:

- 1) 辊筒质量不大,比其他轴辊筒质量小。
- 2) 带有偏心齿轮箱。
- 3) 带有间歇性凸轮机构。

虽然有“偏心齿轮箱”和“间歇性凸轮机构”等不利因素,但是这些不利因素已经综合反映在工作负载上。而且本机的第 5 轴配用同功率的伺服电动机,辊筒质量比 1 轴大 2