

高等学校机械专业系列教材



全国教育科学“十一五”规划课题研究成果

机电传动控制

第二版

海 心 主编
蒋 荣

非
外
借

高等教育出版社

高等学校机械专业系列教材



全国教育科学“十一五”规划课题研究成果

机电传动控制

第二版

海心 主编
蒋荣

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是全国教育科学“十一五”规划课题研究成果。

本书内容分为五部分,第一部分内容为机电传动控制技术基础,重点介绍组成电气系统常用电器元件的结构和工作原理、电气图纸的阅读和绘制以及用于电路分析的逻辑代数;第二部分内容为继电器控制技术基础,通过典型环节电路和典型设备电气系统分析,阐述电气控制系统的工作原理、分析电气系统的方法;第三部分内容为可编程顺序控制器(PLC)应用技术,其中涉及 PLC 的工作原理、基本使用方法、编程软件与组态软件应用等知识;第四部分内容为设备调速控制技术,其中包含直流调速系统和近年来应用日益广泛的交流调速系统;第五部分内容为电气控制系统设计基础,初步涉及电气控制系统设计的有关知识。

本书以初次接触电气控制技术的读者为主,内容由浅到深,循序渐进,涉及知识面宽,内容丰富。本书既可作为高等学校机械工程专业课程教材,也可作为相关工程技术人员的参考文献。

图书在版编目(CIP)数据

机电传动控制 / 海心, 蒋荣主编. -- 2 版. -- 北京: 高等教育出版社, 2018.9
ISBN 978-7-04-050083-7

I. ①机… II. ①海… ②蒋… III. ①电力传动控制设备-高等学校-教材 IV. ①TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 154223 号

策划编辑	卢广	责任编辑	卢广	封面设计	赵阳	版式设计	童丹
插图绘制	于博	责任校对	刘娟娟	责任印制	韩刚		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	北京东君印刷有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×960mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	23.5	版 次	2007 年 11 月第 1 版
字 数	430 千字		2018 年 9 月第 2 版
购书热线	010-58581118	印 次	2018 年 9 月第 1 次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	45.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 50083-00

机电传动控制

第二版

海心
蒋荣 主编

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/12319729>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/12319729>

前 言

本书是根据“十一五”规划国家重点课题“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”项目中对机械工程类专业应用型本科人才培养目标要求开展编写工作的。该书的编写原则是从机械类专业的人才培养目标出发,在知识结构组织、编写内容安排、例题习题选择等方面体现机械工程类专业应用型教育的特点,力求内容清晰,结构紧凑,实用性强,尽可能反映本学科近年来科技发展的新内容、新技术,并注意引入工程实用技术手段与应用实例。

本书在编写内容安排上,依据应用型本科机械类专业机电传动控制课程以认识、分析和应用机电控制系统为重点的教学目标,着重于课程知识体系完整、知识面宽、工程实用性强的知识构架。在内容组织上,一方面是采用简单完整的实例,重点体现知识点掌握与方法应用,使刚开始接触电气控制系统的初学者能够很快地进入学科领域;另一方面是将实际计算机工程软件应用于书中实例,使技术知识学习与实际应用相结合,并在扩展知识的基础上引入组态软件应用。

按照上述编写目标,本书编写内容由传统的继电器控制应用开始,在学习电气控制基本原理的基础上,进一步引入采用计算机技术的可编程序控制器应用知识以及使用计算机工程应用软件编制控制器程序的方法。同时本书内容还涉及交流电动机和直流电动机的调速控制,系统地给出电气控制系统涉及的知识内容,并由此形成机电传动控制课程的知识体系。

本书第一版编写于 2007 年。随着技术的发展,特别是近年来 PLC 控制器应用不断有新技术出现,原书这部分内容已不能满足知识学习的要求。本次修订重点主要是第三篇的第 6 章、第 7 章、第 8 章,修改完善原有内容,并增加当前经常使用的新内容,更新并采用新版工程应用编程软件。

参加本书修订的有海心、蒋荣、孙延永、赵华、王俭朴、李守军,由海心、蒋荣任主编,孙延永任副主编。东南大学汤文成教授对全书进行了认真的审阅,并提出许多宝贵的意见。另外在编写的过程中,得到了马银忠、李春荣、厉荣给予的诸多帮助,同时也参考了许多相关文献,在此一同表示衷心的感谢。

限于编者的学识水平,加之时间仓促,书中存在的错误和不妥之处,诚希使用本书的读者给予指正,在此表示衷心的感谢。

编 者

2018 年 3 月

目 录

第一部分 机电传动控制技术基础

第 1 章 绪论	2
1.1 概述	2
1.1.1 设备组成与工作过程	2
1.1.2 设备控制方式的变化	3
1.2 机电传动控制技术发展概述	3
1.2.1 设备驱动方式的发展	4
1.2.2 电气控制方式的发展	6
1.2.3 电气元件的发展	7
1.2.4 控制系统设计技术的发展	7
1.3 机电传动控制技术研究重点	7
1.4 职业道德与社会责任	8
习题及思考题	8
第 2 章 常用低压电器	9
2.1 概述	9
2.2 开关类电器	11
2.2.1 动力电路开关电器	11
2.2.2 控制电路开关电器(主令电器)	21
2.3 继电器类电气元件	28
2.3.1 接触器类电气元件	29
2.3.2 控制继电器	31
2.3.3 热过载保护继电器	36
2.4 其他电器	38
2.4.1 熔断器	38
2.4.2 控制变压器	40
习题及思考题	41
第 3 章 电气控制系统基础知识	42
3.1 电气图绘制及绘图标准	42
3.1.1 电气图中的图形符号和文字符号	42

3.1.2 电路图	44
3.1.3 电气元件布置图	47
3.1.4 接线图	48
3.2 电气控制系统的逻辑代数分析方法	50
3.2.1 电气元件的逻辑表示	51
3.2.2 电路状态的逻辑表达式	52
3.2.3 电路化简的逻辑方法	52
习题及思考题	53

第二部分 继电器控制技术基础

第4章 电气控制系统基本控制电路	56
4.1 三相笼型异步电动机基本控制电路环节	56
4.1.1 三相笼型异步电动机的启动控制电路	57
4.1.2 三相笼型异步电动机的正反转控制电路	63
4.1.3 三相笼型异步电动机的制动控制电路	67
4.1.4 三相笼型异步电动机的变速控制电路	72
4.2 特定功能控制电路	76
4.2.1 点动与长动控制电路	76
4.2.2 多地点、多条件控制电路	77
4.2.3 联锁控制电路	79
4.3 自动循环工作控制电路	82
4.3.1 机械设备自动循环工作控制电路	82
4.3.2 电液控制电路	87
习题及思考题	94
第5章 典型设备电气控制系统分析与电路图设计	96
5.1 设备电气控制系统分析概述	96
5.2 普通车床电气控制系统分析	98
5.2.1 车床的主要结构和工作要求分析	98
5.2.2 电力拖动及控制要求分析	99
5.2.3 车床电气控制系统分析	99
5.3 卧式铣床电气控制系统分析	104
5.3.1 铣床的主要结构和运动形式分析	104

5.3.2 电力拖动及控制要求分析	105
5.3.3 铣床电气控制系统分析	106
5.4 组合机床电气控制系统分析	113
5.4.1 组合机床的结构及运动分析	114
5.4.2 组合机床的拖动及控制要求	116
5.4.3 组合机床控制电路分析	117
5.5 电气控制系统电路图设计基础	122
5.5.1 控制电路设计的基本原则	122
5.5.2 控制电路设计的基本方法	122
5.5.3 电路图的控制逻辑设计	123
5.5.4 电路图设计中的注意事项	124
5.5.5 电路图设计举例	127
习题及思考题	130

第三部分 可编程序控制器 (PLC) 应用技术

第 6 章 可编程序控制器 (PLC) 应用基础	132
6.1 概述	132
6.1.1 问题的提出与解决途径	132
6.1.2 可编程序控制器使用特点	133
6.2 可编程序控制器硬件构成及工作原理	139
6.2.1 可编程序控制器硬件构成	139
6.2.2 可编程序控制器用户程序输入设备	144
6.2.3 可编程序控制器工作原理	144
6.3 用户控制程序编程概述	147
6.3.1 可编程序控制器的编程方式	147
6.3.2 可编程序控制器编程元素	149
6.4 PLC 控制程序编程基础	153
6.4.1 基本指令	153
6.4.2 可编程序控制器程序编制规则	159
6.4.3 可编程序控制器编程应用	161
6.5 可编程序控制器编程软件	165
6.5.1 编程软件概述	165

6.5.2 编程软件应用实例	168
6.5.3 用户控制程序仿真	172
习题及思考题	179
第 7 章 可编程序控制器扩展应用	181
7.1 步进控制	181
7.1.1 顺序功能图 SFC	182
7.1.2 步进梯形图与步进指令	184
7.1.3 步进功能的 SFC 方法程序输入	186
7.1.4 功能图主要类型	194
7.2 功能指令应用	198
7.2.1 功能指令构成	198
7.2.2 功能指令应用实例	202
7.3 监控组态软件在 PLC 控制系统中的应用	209
7.3.1 组态软件应用概述	210
7.3.2 组态软件的主要功能与组态步骤	212
7.3.3 PLC 监控组态软件组态实例	214
习题及思考题	223
第 8 章 可编程序控制器的 STEP7 编程方法(西门子 PLC 产品应用) ...	224
8.1 STEP7 编程方法基础	224
8.1.1 STEP7 程序结构与程序调用	225
8.1.2 STEP7 编程软件应用简介	226
8.1.3 STEP7 编程元素与指令	229
8.2 S7-200 系列 PLC 编程应用举例(风机运行监控)	233
8.3 STEP7 编程方法应用扩展(S7-300 系列 PLC 应用)	237
8.3.1 西门子 S7-300 系列 PLC 硬件系统组成	237
8.3.2 S7-300 系列 PLC 产品编程应用	239
8.3.3 西门子 S7 系列 PLC 的网络应用与组态监控	248
习题及思考题	252

第四部分 设备调速控制技术

第 9 章 设备伺服系统概述	254
9.1 概述	254

9.1.1 设备的调速要求	254
9.1.2 电气调速的基本概念	255
9.2 伺服控制系统	258
9.2.1 伺服控制系统构成	258
9.2.2 伺服控制系统分类	259
9.2.3 伺服系统的基本要求	262
9.2.4 伺服系统应用	263
习题及思考题	264
第 10 章 直流电动机调速控制	265
10.1 直流调速控制系统的基本概念	265
10.1.1 直流电动机工作原理	265
10.1.2 他励直流电动机机械特性方程	266
10.1.3 他励直流电动机调速方式	267
10.1.4 直流电动机调速装置	269
10.1.5 直流电动机调速指标	273
10.2 速度负反馈单闭环直流电动机调速系统	278
10.2.1 晶闸管-直流电动机调速系统	278
10.2.2 晶闸管-直流电动机转速负反馈调速系统	280
10.3 无静差直流调速系统	284
10.3.1 调节器	284
10.3.2 采用 PI 调节器的单闭环转速负反馈调速系统	287
10.4 直流电动机转速、电流双闭环调速系统	288
10.4.1 转速、电流双闭环调速系统的组成	289
10.4.2 转速、电流双闭环调速系统的调速过程	290
习题及思考题	292
第 11 章 交流电动机调速控制	293
11.1 交流电动机调速概述	293
11.1.1 三相异步电动机的结构和工作原理	293
11.1.2 交流电动机调速系统分类	294
11.2 交流电动机定子侧变频调速系统	296
11.2.1 变频调速的基本原理	296
11.2.2 变频器的基本结构与工作原理	298
11.2.3 正弦波脉宽调制 (SPWM)	302
11.3 交流电动机转子侧串级调速系统	306

11.3.1 串级调速概述	306
11.3.2 串级调速构成与调速原理	307
11.3.3 晶闸管串级调速系统结构与工作原理	309
11.4 无刷直流电动机调速系统	311
11.4.1 永磁无刷直流电动机结构组成	312
11.4.2 永磁无刷直流电动机调速控制	313
11.5 VVVF 变频器产品与使用	316
11.5.1 一般变频器的基本结构	316
11.5.2 变频器的主要控制参数	317
11.5.3 变频器使用简介	318
习题及思考题	323

第五部分 电气控制系统设计基础

第 12 章 设备电气控制系统设计	326
12.1 电气控制系统设计的基本原则和内容	326
12.1.1 电气控制系统设计的基本原则	326
12.1.2 电气控制系统设计的主要工作内容	327
12.2 电气控制装置的设计步骤与设计要点	329
12.2.1 电气控制系统设计的设计步骤	329
12.2.2 电气控制系统设计的设计要点	330
12.3 设计举例	337
12.3.1 设备结构及运动概述	337
12.3.2 初步设计	339
12.3.3 技术设计	340
习题及思考题	345

附 录	347
附录 A 电气元件的操作件图形符号及电气元件触点图形符号例	347
附录 B 电气元件文字符号(项目种类代号)	352
附录 C 日本三菱公司微型可编程控制器指令	355
参考文献	360

第一部分 基础理论

第一章 绪论

第一部分

机电传动控制技术基础

第 1 章 绪 论

1.1 概述

在人类发展的历史过程中,工具的使用是一个重要的因素。人类所使用的工具,从原始人制作的石斧发展到今天现代人制造的登月探测车,经历了原始技能到现代技术的进步,人类利用工具不仅延伸了自身的生存能力,也改变了自己的生活方式。观察我们周围就会发现,人们已被各种各样的工具所包围,有些复杂工具,就被称之为机器,或者设备。这些机器或设备,有的是与生活直接有关,如洗衣机、电冰箱、飞机等,有的则是与设备制造有关,如数控机床、线切割机、汽车生产线等。人们的生活不仅离不开这些设备,同时还需不断地发明和制造新的设备。

1.1.1 设备组成与工作过程

当我们仔细分析周围的设备,就会发现它们都有一个共同点,那就是设备整体来说主要有 3 部分组成,即固定支撑机构及功能执行部分(工作部分)、驱动装置部分和控制驱动装置的控制系统部分。例如,图 1.1.1 所示洗衣机的构成,外壳、洗衣桶、进排水管等组成洗衣机的工作部分,电动机为洗衣机驱动装置,电路板、操作键和按钮组成洗衣机的控制部分(电气控制系统),控制部分按照人们设定的洗衣要求控制洗衣机完成洗衣过程。

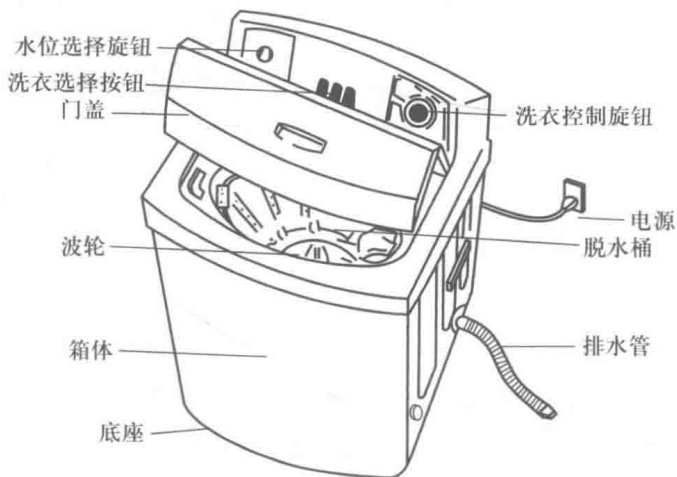


图 1.1.1 洗衣机构成示意图

又如在数控机床上也可以看到同样的构成形式,床身、主轴箱、进给机构、换刀机构组成设备的工作部分,电动机和液压系统为机床的驱动装置,含数控单元的电气系统组成机床的控制部分。电气控制系统控制数控机床完成零件加工过程。

上述设备构造特点使人们在设计、制造设备的过程中,逐渐延伸形成设备功能设计制造、驱动系统设计制造与控制系统设计制造等相互关联的技术领域。控制系统设计制造是本书关注和讨论的内容。

1.1.2 设备控制方式的变化

设备的控制部分是其必不可少的重要组成部分,而控制部分的构成以及其所采用的控制方式也经历了一个不断变化的过程。

人们最早实现设备控制的方式可以从机械钟表的结构中看到,无论是普通钟表时、分、秒针的走动,还是“布谷”钟上伴随报时出现的小鸟和音乐,其控制都是由发条、齿轮、杆件、齿鼓、弹簧等机械零件组成的系统完成,这种控制方式为机械方式。在20世纪早期,制造汽车发动机凸轮的机床上,也采用凸轮等机械方式控制机床完成自动循环加工的工作过程。

机械控制方式的应用,受到构成组件的体积、重量、功能等方面的限制。随着各种电动机产品的出现和使用,使人们逐渐转向使用电气方式,通过开关、接触器、继电器等开关类器件组成电气系统对设备进行控制。从上个世纪后期的一些产品和设备中可以看到这些控制方式的例子,例如有些洗衣机、电风扇及普通车床的控制等。

随着计算机技术的发展和现代自动化生产过程的出现,普通开关类器件组成的电气系统已不能满足人们对设备控制的要求,在计算机技术的支持下,人们拓展了电气系统的组件,加入一些其他的控制系统,如数控系统、可编程序控制器系统、单片机系统、计算机集成系统等计算机控制方式和数字控制方式。

控制技术的发展,还与控制对象的发展紧密相关,各种电动机的制造和使用,压力液体和压力空气的使用,使设备有了更多的驱动形式,因而也出现相应的控制系统。

目前,采用电气传动控制技术构建设备的控制系统,是主要的设备控制途径。通过由电气设备构成的控制系统,可以控制设备完成设计预定的工作功能。

1.2 机电传动控制技术发展概述

机电传动控制技术的研究对象是设备的电气控制系统。设备上与电气控制

系统相关的部分为设备的驱动装置和由各种电气元件组成的控制装置,其关系如图 1.2.1 所示。驱动装置(如电动机、液压系统、气动系统等)拖动设备产生工作运动,如洗衣机洗衣桶的转动,车床的主轴转动等。控制装置则按照工作要求控制驱动装置提供动力。在现代设备控制中,电气控制系统概念也已不像早期设备的电气控制方法和手段,只涉及开关类器件组成的控制装置,而是包含很多采用计算机技术实现控制的综合性系统。通过对生产设备电气控制系统发展过程的回顾,将能够进一步了解电气传动技术涉及领域和题目。电气控制系统发展过程可以从设备驱动方式、电气控制方式、组成电气控制系统的元器件设计和使用,以及控制系统设计技术的发展变化过程来了解。

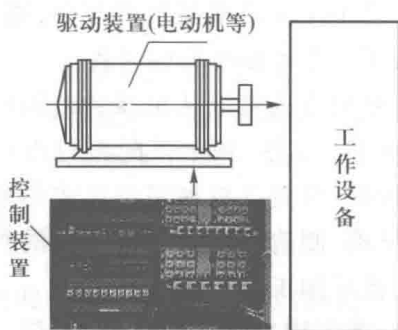
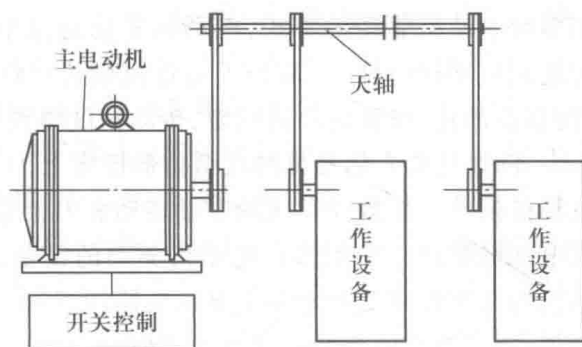


图 1.2.1 控制系统关系图

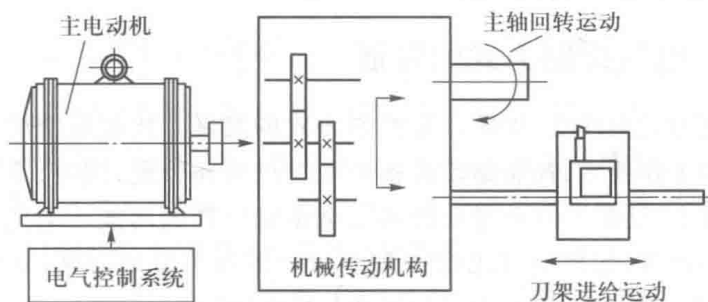
1.2.1 设备驱动方式的发展

设备驱动方式的发展主要是指生产企业中,使用电动机拖动设备时,电动机配置方式的变化过程。20 世纪初,电动机开始被用于拖动生产设备时,是采用一台电动机拖动多台设备工作的传动形式,此时,电动机通过中间机构(天轴)将动力传送到多台设备,传动关系如图 1.2.2a 所示。设备的控制主要依靠机械方式实现。这种驱动方式传动机构复杂、动力传送路径长、功耗大、可变性差。

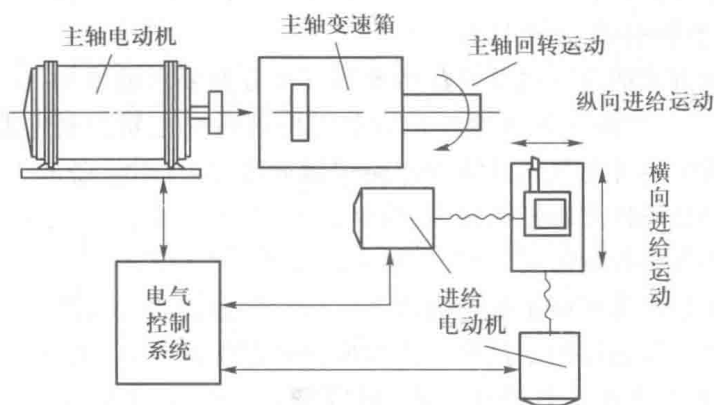
为改变设备的工作性能,到 20 世纪中期,很多设备已由一台电动机单独驱动(在单台设备多台电动机的情况下,主要工作运动由一台电动机驱动,其他为辅助电动机,如冷却泵电动机等),设备传动关系如图 1.2.2b 所示。其特点是驱动对象减少,设备功能增加。例如普通车床由一台电动机驱动,通过机械传动链将动力分别传递到主轴和进给机构,产生切削主运动和进给运动。但是此种驱动方式仍然存在机械传动链长、传动机构复杂、精度难以提高的问题,同时设备结构庞大,功能增加受到限制,并且不易实现设备工作自动化。



(a) 一台电动机拖动多台设备



(b) 一台电动机拖动一台设备



(c) 多台电动机拖动一台设备

图 1.2.2 设备传动示意图

为了解决上述存在的问题,一些需要多个工作运动输出的设备,就将一台电动机驱动几个传动链的传动方式改为每一个工作运动都由单独的电动机驱动,

形成在一台设备上采用多台电动机驱动的方式,电动机驱动对象单一。此时由于电动机的动力直接传递到运动执行件上,取消了通过机械传动链分配动力的机构,从而设备机械结构得以简化,机械传动链缩短,传动精度得到提高,设备传动关系如图 1.2.2c 所示。例如目前人们常见的大型仿形铣床上,工作台两个方向的移动分别由两台电动机拖动。而数控车床的主轴转动和刀架移动也分别由主轴电动机和进给伺服电动机驱动。采用多台电动机驱动的设备,其控制系统也由原来控制一个电动机的简单控制变为对多个电动机协调控制,因此,对电气控制系统的功能要求增加,控制系统的复杂程度也随之增加。

随着技术的发展,除使用电动机作为驱动动力,人们还发明和采用压力液体和压力空气作为设备工作的驱动力,这种驱动装置被广泛地用在现代自动化设备中,同时也形成相应的控制系统。

1.2.2 电气控制方式的发展

设备驱动方式的改变,促使设备控制方式的发展。控制系统的主要功能就是按照设备的工作要求,控制驱动设备的动力供给和分配,同时,系统在完成主要功能的基础上,还需要具有保证设备安全正常工作的功能。电气控制系统随着驱动方式的改变,在控制要求增加和变化的带动下发展起来,其发展变化过程,也反映了电气控制系统的现状和涉及的技术领域。

针对早期简单设备以及目前一些容量小、动作单一的设备,人们采用的是简单手动开关电气控制,只完成动力设备电源的接通和断开,其操作简单、功能单一,且人为因素影响大、安全性差。

随着驱动方式的改变以及设备功能和安全方面要求的增加,出现了采用继电器、接触器等电磁操作的元器件作为电气控制系统主要控制电器,系统由开关、接触器、继电器等电气元件构成开关逻辑电路,实现对设备的工作控制。这种方法使用的是硬件逻辑控制原理,简单直接、工作稳定可靠、成本低,基本能满足设备工作的各种控制需要,而且能够实现设备工作自动化。

但是由于继电器控制系统是由许多电气元件通过接线组装成的控制电路,具有分立电气元件通过固定接线方式构成控制系统的特点,因此存在两个不足之处,其一是控制系统一旦设计确定,制造安装完毕,便不能随时更改,可变性差;其二是分立电气元件组成自动控制系统,特别是对规模较大的自动化生产设备控制,系统中电气元件数量较多,控制系统结构庞大复杂,尽管单个元件故障率不高,但是设备总故障率还是很高,并且故障查找困难。这样的控制系统控制柔性差,控制规模受限制,同时控制功能也具有局限性,难以适应现代化生产模式的需求。