



普通高等学校机械制造及其自动化专业“十二五”规划教材
顾问 杨叔子 李培根 李元元

机电传动控制

主 编 © 王晓初



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



普通高等学校机械制造及其自动化专业“十二五”规划教材
顾问 杨叔子 李培根 李元元

机电传动控制

主 编 王晓初

副主编 胡兆勇 杨 杰 李克天



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 提 要

全书共分九章:绪论,常用低压电器,电气图基础知识,电气控制系统基本控制电路,典型设备电气控制电路分析,设备电气控制系统设计,可编程控制器及其应用,直流电动机调速控制,交流电动机调速控制。

本书内容循序渐进、知识面较广、应用性强,可作为机械制造、机械电子工程以及与之相近专业的教材,也可供机械、电气工程等相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电传动控制/王晓初 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2014.1
ISBN 978-7-5609-9642-4

I. ①机… II. ①王… 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(2014)第 014548 号

机电传动控制

王晓初 主编

策划编辑:俞道凯

责任编辑:王 晶 吴 晗

封面设计:李 嫚

责任校对:封力焯

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉楷轩图文

印 刷:湖北万隆印务有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:20.5 插页:2

字 数:380 千字

版 次:2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:39.80 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

编 委 会

丛书顾问：杨叔子 华中科技大学

李培根 华中科技大学

李元元 华南理工大学

丛书主编：张福润 华中科技大学

曾志新 华南理工大学

丛书编委（排名不分先后）

吕 明 太原理工大学

张宪民 华南理工大学

芮执元 兰州理工大学

邓星钟 华中科技大学

吴 波 华中科技大学

李蓓智 东华大学

范大鹏 国防科技大学

王艾伦 中南大学

王 杰 四川大学

何汉武 广东工业大学

何 林 贵州大学

高殿荣 燕山大学

李铁军 河北工业大学

高全杰 武汉科技大学

刘国平 南昌大学

王连弟 华中科技大学出版社

何岭松 华中科技大学

邓 华 中南大学

郭钟宁 广东工业大学

李 迪 华南理工大学

管琪明 贵州大学

轧 刚 太原理工大学

李伟光 华南理工大学

成思源 广东工业大学

蒋国璋 武汉科技大学

程宪平 华中科技大学

前言

本书力求知识面广,内容由浅入深、结构紧凑、应用性强,尽量符合教学规律以及便于自学,在内容的选取和处理上,注重基础知识、基本原理以及实用性,同时也尽可能反映本领域近年来发展的最新技术。

全书共九章。第1章为绪论。第2、3、4章为电气控制基础知识,介绍了常用低压电器、电气控制原理图的阅读和绘制以及电气控制电路的逻辑表达式、典型基本电气控制电路的分析,除传统的基础内容外,还介绍了电动机保护器和电动机软启动器等现代电气控制元件。第5、6章为继电器控制技术的综合应用,包括典型设备电气控制电路的工作原理及分析、设备电气控制系统设计的有关知识。第7章为可编程控制器及其应用,以日本三菱公司的FX系列可编程控制器为例,讲述了PLC的基本知识、分类及结构、基本工作原理、工作方式、编程语言、编程指令,从应用角度出发,介绍了可编程控制器的编程方法和技巧。第8、9章为电动机调速技术的基本知识,直流调速系统内容包括有静差和无静差调速系统、双闭环调速系统、直流可逆调速系统及数字直流调速系统,交流调速系统内容包括交流调速的基本原理、变极调速、转子串电阻调速、串级调速、调压调速及变频调速。

本书由王晓初主编,参加编写的有胡兆勇、杨杰、李克天。其中第1、6、7章由王晓初编写,第2、3、4章由胡兆勇编写,第5章由李克天编写,第8、9章由杨杰编写。全书由王晓初统稿和定稿。

由于编者水平有限,难免存在错误、疏漏和不妥之处,恳请读者给予批评指正。

编 者

2013年10月

目录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 机电传动控制的目的和任务	(1)
1.2 机电传动及其控制系统的发展	(2)
1.3 本课程的内容及要求	(6)
思考与练习	(7)
第 2 章 常用低压电器	(8)
2.1 低压电器的定义和分类	(8)
2.2 电磁式低压电器的基本结构	(9)
2.3 动力电路开关电器	(11)
2.4 主令电器	(17)
2.5 接触器	(23)
2.6 继电器	(27)
思考与练习	(36)
第 3 章 电气图基础知识	(38)
3.1 电气图中的图形符号和文字符号	(38)
3.2 电气控制原理图的绘制方法	(39)
3.3 电气控制的逻辑表达式	(41)
思考与练习	(45)
第 4 章 电气控制系统基本控制电路	(47)
4.1 三相笼型感应电动机的起动控制	(47)
4.2 三相笼型感应电动机的正反向运行控制	(59)
4.3 三相笼型感应电动机的制动控制	(62)
4.4 三相笼型感应电动机的其他基本控制电路	(66)
4.5 自动循环工作控制电路	(70)
4.6 双速笼型感应电动机的调速控制	(76)
思考与练习	(80)
第 5 章 典型设备电气控制电路分析	(82)

5.1	概述	(82)
5.2	普通车床电气控制系统分析	(84)
5.3	卧式铣床电气控制系统分析	(90)
5.4	组合机床电气控制系统分析	(99)
5.5	数控机床电气控制线路分析	(108)
	思考与练习	(114)
第6章	设备电气控制系统设计	(116)
6.1	电气控制系统设计的基本内容	(116)
6.2	常用电气元器件选择	(129)
6.3	电气控制电路原理图设计	(138)
6.4	电气控制系统的工艺设计	(147)
6.5	电气控制系统设计举例	(152)
	思考与练习	(162)
第7章	可编程控制器及其应用	(164)
7.1	概述	(164)
7.2	可编程控制器的结构和工作原理	(171)
7.3	可编程控制器使用的元件	(179)
7.4	可编程控制器程序的表达方式	(190)
7.5	FX 系列 PLC 的基本指令	(192)
7.6	定时器(T)、计数器(C)的使用	(207)
7.7	步进梯形图指令	(217)
7.8	功能指令	(220)
7.9	可编程控制器的编程	(242)
7.10	可编程控制器的应用	(252)
	思考与练习	(266)
第8章	直流电动机调速控制	(273)
8.1	直流调速控制系统的基本概念	(273)
8.2	单闭环直流调速系统	(278)
8.3	双闭环直流调速系统	(283)
8.4	直流可逆调速系统	(285)
8.5	数字化直流调速系统	(291)
	思考与练习	(293)
第9章	交流电动机调速控制	(294)
9.1	交流调速的基本原理	(294)



9.2 简易调速系统	(295)
9.3 串级调速	(297)
9.4 调压调速	(301)
9.5 变频调速	(305)
思考与练习	(317)
附录 常用电气元件图形符号、文字符号一览表	(318)
参考文献	(322)

第1章 绪论



1.1 机电传动控制的目的和任务

现代自动化生产设备早已不再是单纯的传统机械所组成的设备,而是机电一体化化的综合系统,机电传动与电气控制已经成为现代生产机械中不可分割的重要组成部分。在现代自动化生产中,生产机械的电气自动化程度反映了工业生产的水平。

现代生产机械一般由工作机构、传动机构、原动机和自动控制系统四个部分组成。当原动机为电动机时,电动机通过传动机构拖动工作机构进行工作,这种传动方式称为机电传动。

机电传动控制系统包括电气拖动和电气自动控制两大部分。电气拖动部分包含电动机及传动机构,而电气自动控制部分(装置)则包括电气控制线路和电气操作部件。机电传动控制的目的是通过电气自动控制,实现电动机的启动、制动、反向、调速、快速定位以及控制加工轨迹等,完成各种加工工艺过程,保证生产过程的正常进行。

对于整个工厂来说,机电传动控制系统所要完成的任务就是要使机械设备、生产线、车间都实现自动化;而对于一台设备来说,则是指通过控制电动机拖动生产机械,实现产品质量的提高、生产成本的降低、产品数量的增加、工人劳动条件的改善以及能量的合理利用等。

科学技术特别是微电子技术的高速发展,为电气控制的进步提供了良好的条件。现代生产机械在电气自动控制方面综合应用了计算机技术、电子技术、传感器技术、伺服驱动技术等许多现代的先进科学技术。特别是微型计算机和可编程控制器在机械行业的广泛应用,使机械设备的自动化程度、加工效率、加工精度以及可靠性不断提高,同时也缩短了新产品的试制周期,加速了产品的更新换代,降低了生产成本和减轻了工人劳动强度。各种现代的机电一体化设

备,如洗衣机、数控机床、机器人、柔性制造系统、晶圆固晶机及焊线机、SMT 贴片机等,均使用了可编程控制器或工业计算机。由此可见,电气自动控制对于现代生产机械的发展有极其重要的作用。



1.2 机电传动及其控制系统的发展

机电传动控制的研究对象是机电传动的电气控制系统,而电气控制技术的发展与电气拖动的发展紧密相连。

1.2.1 电气拖动系统的发展

20 世纪初,由于电动机的出现,使得机械设备的拖动发生了变革,用电动机直接代替蒸汽机,机械设备的电气拖动随电动机的发展而发展。

电气拖动主要分为直流拖动和交流拖动两大类。直流拖动是以直流电动机为动力,交流拖动则是以交流电动机为动力。由于直流电动机具有良好的启动、制动和调速性能,可以很方便地在宽范围内实现平滑无级调速,所以在 20 世纪 30~60 年代,直流电动机及其调速系统在对调速性能要求较高和对速度需要精确控制的设备上得到了广泛应用。但由于直流电动机结构复杂、维护困难,使大容量、高转速和高电压直流电动机的制造受到限制。在交流电动机出现后,尤其是新型电力电子器件的出现,交流调速系统的关键技术得到突破,交流拖动系统逐渐取代了直流拖动系统。交流电动机因结构简单、运行可靠、使用及维护方便、价格便宜而得到了广泛应用。电动机不同,其电气控制系统也不同,目前交流拖动系统在生产机械中占据主导地位。

在生产机械中,常用的交流电动机主要有笼型感应电动机和绕线转子感应电动机,即鼠笼式异步电动机和绕线式异步电动机,这两种电动机统称为感应电动机或异步电动机。

如图 1-1 所示,通常认为电气拖动经历了成组拖动、单电动机拖动和多电动机拖动三个阶段。

1. 成组拖动

由一台电动机拖动一组机械设备,称之为成组拖动。成组拖动是由一台电动机拖动一根天轴,再由天轴通过皮带轮和皮带拖动各台机械设备。这种拖动

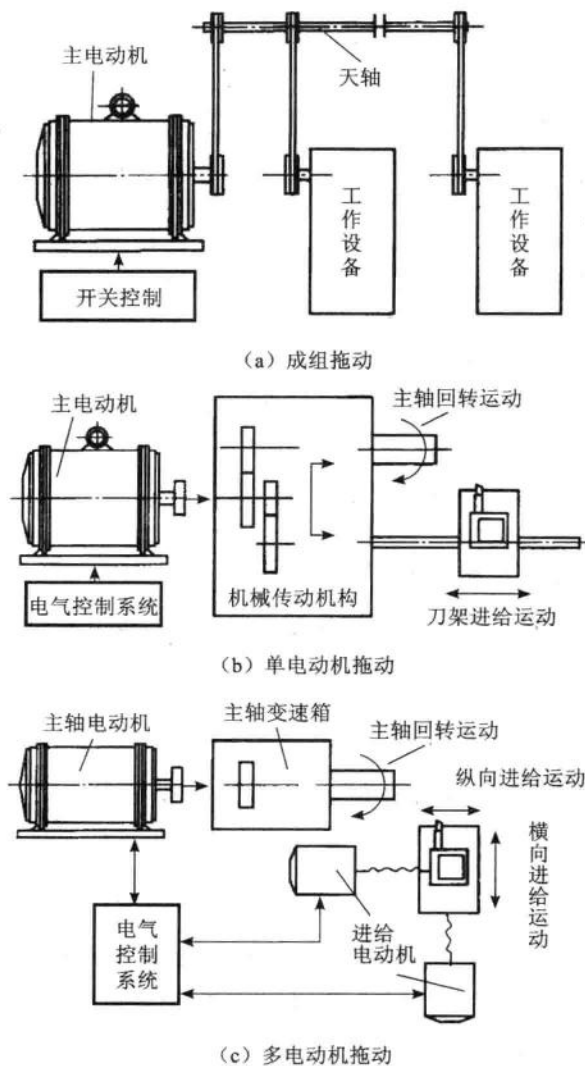


图 1-1 设备电气拖动方式

方式机构复杂、传递路径长、损耗大、效率低、生产灵活性小,已被淘汰。

2. 单电动机拖动

20 世纪 20 年代,出现了单独拖动形式,即由一台电动机拖动一台设备,称为单电动机拖动。与成组拖动相比,这种拖动方式简化了传动机构,缩短了传动路径,提高了传动效率。如普通车床就采用这种单电动机拖动形式。但这种



拖动方式仍然存在机械传动链长、传动机构复杂、加工精度难以控制等缺点,并且不易实现设备工作的自动化。

3. 多电动机拖动

所谓多电动机拖动就是由多台电动机分别拖动同一台设备中不同的运动机构,即设备中的每个工作运动都由单独的电动机拖动。如数控车床的主轴转动和刀架移动分别由主轴电动机和进给电动机拖动。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,从而简化了设备的机械机构,提高了传动效率和传动精度,各运动部件能够选择最合理的运动速度,缩短了加工时间,而且便于分别控制,易于实现各运动的自动控制。多电动机拖动已经成为现代机械设备最基本的拖动形式。

随着技术的发展及设备负载和运动动作的要求,除使用电动机作动力外,还采用压力液体和压力空气作为设备工作的动力,这种拖动方式已被广泛地应用于现代设备中,同时也形成相应的控制系统。

1.2.2 电气控制系统的发展

随着电气拖动方式的演变,电气拖动的控制方式也由手动控制逐步发展到自动控制。电气控制系统是伴随着电气控制器件的发展而发展的,主要体现在电气控制技术和电动机调速技术的不断进步。

1. 电气控制技术的发展

电气控制技术的发展主要体现在:在控制方法上,从手动控制向自动控制发展;在控制功能上,从单一功能向多功能发展。电气控制技术的发展主要经历了以下几个阶段。

1) 手动控制

手动控制是采用一些手动电器(如刀开关)来直接控制执行电器(如电动机)。它适合容量小、动作单一的设备(小型台钻、砂轮机等)。

2) 继电器接触器控制

20世纪20~30年代出现了继电器接触器控制,它采用继电器、接触器、位置开关和保护元件等,实现对控制对象的起动、停车、调速、制动、自动循环以及保护等控制。由于它所使用的控制器件结构简单、价格低廉,控制方式直观、易掌握、工作可靠、易维护,因此,在机械设备的控制上得到了长期、广泛的应用。其主要缺点是改变控制程序困难,由于控制线路接线固定,一旦工艺程序有所变动,就得重新配线,满足不了对程序经常改变、控制要求比较复杂的系统要求;同时还存在体积大、功耗大、控制速度慢等不足;此外,由于是有触点控制,



工作频率低,触点易损坏,在控制复杂时,使系统可靠性降低。

3) 顺序控制器控制

为了解决控制系统复杂和控制程序可变的需要,在 20 世纪 60 年代初出现了顺序控制器。它是继电器和半导体综合应用的控制装置,通过编码、逻辑组合来控制流程,适用于控制程序需要改变的场合。它具有通用性强、程序可变、编程容易、可靠性高和使用维护方便等特点,被广泛应用于机械手、组合机床和生产自动线上。

4) 可编程控制器控制

随着计算机技术的发展,20 世纪 60 年代末又出现了以微型计算机为基础,具有编程、存储、逻辑控制及数字运算功能的可编程控制器(PLC),它是一种专用的微型计算机。PLC 的设计以工业控制为目标,具有功率级输出、接线简单、通用性强、编程容易、抗干扰能力强以及工作可靠等一系列优点,它一问世即以强大的生命力,大面积地占领了传统控制领域。当今的 PLC 还具有模拟量调节、伺服控制以及联网通信等工业自动控制需要的所有功能。PLC 已成为机械设备中的主要电气控制装置。

5) 数字控制

数字控制(NC)是电气控制发展的另外一个重要方面,它综合应用电子技术、计算机技术、现代控制理论、精密测量技术、伺服驱动技术等现代科学技术形成数控系统。最初的数控系统由硬件逻辑电路组成,它灵活性差、可靠性不够。随着价格低廉、工作可靠的微型计算机的发展,数控系统的硬件已为微机所取代,成为计算机数控(CNC)。在现代设备中,计算机数控系统能实现精确的速度控制、位置控制以及轨迹控制,已被广泛地用在各种数控化设备中,数控机床即是典型的数控系统用于机床的产物。

2. 设备调速技术的发展

通常,在设备进行生产时,需要根据控制指令或工艺要求,对加工速度进行调节。常用的设备调速系统有如下几种。

1) 机械有级调速系统

在机械有级调速系统中,电动机采用不调速的电动机,而速度的调节是通过改变齿轮箱的变速比来实现的。在这种系统中,负载转矩是经机械传动机构传到电动机轴上的,电动机轴上的转矩只是负载转矩传动比的倍数,可以选择转矩较小的电动机,但机械系统变得复杂,影响了设备的加工精度。在普通车床、钻床、铣床中,一般都采用这种机械有级调速系统。

2) 电气-机械有级调速系统

在机械有级调速系统中,使用多速感应式异步电动机代替不能调速的感应式异步电动机,可以简化传动机构,这样的系统就是电气-机械有级调速系统。多速电动机一般采用双速电动机,少数设备采用三速、四速电动机。

3) 电气无级调速系统

通过直接改变电动机的转速来实现设备之工作机构转速的无级调速拖动系统,称为电气无级调速系统。这种调速系统具有调速范围宽、可以实现平滑无级调速、调速精度高、控制灵活等优点,同时能大大简化设备的机械传动机构,因而在现代化设备中得到了广泛应用。

电气无级调速系统主要分为直流无级调速系统和交流调速系统两大类。

由于直流电动机具有良好的起动、制动和调速性能,可以很方便地在宽范围内实现平滑无级调速,在 20 世纪 30 年代以后,直流无级调速系统在重型和精密机床上得到了广泛应用。20 世纪 60 年代以后,由于大功率晶闸管的问世、大功率整流技术和大功率晶体管的发展,晶闸管直流电动机无级调速系统取代了直流发电机-直流电动机、电磁放大机等直流调速系统,采用脉宽调制的直流调速系统也得到了广泛应用。

由于交流电动机具有结构简单、造价低以及容易维护等特点,交流电动机拖动系统在设备中占主导地位。20 世纪 80 年代以后,随着电力电子技术、大规模集成电路和计算机控制技术的发展,以及现代控制理论的应用,交流电动机调速系统有了突破性进展,高性能交流调速系统在机械设备中应用越来越广泛。特别是以鼠笼式交流伺服电动机为对象的矢量控制技术,矢量交流调速系统具有了与直流调速相当的优越调速性能。交流调速的单机容量和转速可大大高于直流电动机,且交流电动机无电刷和换向器,易于维护,可靠性高,能用于有腐蚀性、易爆性、含尘气体等特殊环境中。交流变频调速、矢量控制伺服单元以及交流伺服电动机等交流调速技术正逐步取代直流调速技术,成为电机传动技术的主流选择,并得到了广泛应用。



1.3 本课程的内容及要求

“机电传动控制”是研究解决机电传动的电气控制有关问题,阐述有关机电传动电气控制的原理、实际机电设备的控制线路、电气控制线路的设计方法、常用电气元件的原理和选择、可编程控制器以及交直流调速系统等。本书只涉及



最基本、最典型的控制线路及控制实例。

本课程的先修内容是电工学、微机原理及应用、机床。

学完本课程以后,应掌握电气控制的基本原理,学会分析一般设备的电气控制线路,并具有一定的设计能力,了解电气无级调速的主要类型、工作原理及其应用,对可编程控制器应具有基本的运用能力。

综上所述,机电传动的电气控制是各类设备的重要组成部分,因此对机械制造专业学生及设备设计人员来说,应该掌握机电传动控制的基本原理和方法。

思考与练习

1. 机械设备电气控制系统的主要任务是什么?
2. 电气拖动系统的发展经历了哪几个阶段?
3. 简述电气控制技术的发展历程。
4. 简述调速技术的发展历程。

第2章 常用低压电器



2.1 低压电器的定义和分类



2.1.1 低压电器的定义

电器是指一种能够根据外界信号的要求,手动或自动地接通或断开电路、断续或连续地改变电路参数的电气元件或设备,其作用是实现电路或用电设备的切换、控制、保护、检测、变换和调节。

按照电器所在电路的工作电压等级,电器可分为高压电器和低压电器。低压电器通常是指工作在交流 1200 V 或直流 1500 V 及以下电路中的电器。



2.1.2 低压电器的分类

低压电器的种类繁多,功能多样,具体可按如下方式进行分类。

1. 按动作方式

按照触点闭合的动作方式,低压电器可分为手动电器和自动电器。

由人工直接操作才能完成任务的电器称为手动电器,如按钮、刀开关等;不需要人工直接操作,由自身参数变化或外来信号作用,通过电或非电信号自动完成通断电路任务的电器称为自动电器,如接触器、熔断器等。

2. 按工作原理

按照电器的工作原理,低压电器可分为电磁式电器和非电量控制电器。

电磁式电器是根据电磁感应原理来工作的电器,如接触器、电磁式继电器;非电量控制电器是靠外力或非电物理量(压力、速度、时间、温度等)变化而动作的电器,如刀开关、行程开关、速度继电器等。



3. 按控制对象

按照电器在线路中位置决定的控制对象,低压电器可分为配电电器和控制电器。

配电电器主要用于低压配电电路中,用于电能的输送和分配,以及对电路及设备进行保护、通断与转换,如刀开关、低压断路器等;控制电器主要用于控制各种受电设备,使其达到预期要求的工作状态,如按钮、接触器等。

4. 按有无触点

按照电器是否存在触点,低压电器可分为有触点电器和无触点电器。

有触点电器具有可分离的动触头和静触头,利用触头的闭合和断开来实现电路的通断控制,如按钮、接触器等;无触点电器没有硬触头,是指电器输出部分为晶体管等类型的电子开关。

5. 按功能用途

按照电器的功能,低压电器可分为执行电器、主令电器、开关电器、检测电器和保护电器。

执行电器是接通或断开电动机主电路或直接用来带动生产机械运行的一种电器,如接触器、电磁离合器等。主令电器是用于发送动作指令的电器,如按钮、转换开关等。开关电器主要作用是实现对电路通断控制,常作为电源的引入开关、局部照明电路的开关和小容量电动机的起停控制,如刀开关、低压断路器等。检测电器是将电或非电的模拟量转换为开关量的电器,如时间继电器、速度继电器等。保护电器是保护电动机及设备正常运行的电器,如熔断器、热继电器等。



2.2 电磁式低压电器的基本结构

在常用的低压电器中,电磁式电器占有十分重要的地位,具有广泛的应用。电磁式电器的类型有很多,从结构上看,电磁式电器一般由两个基本部分组成,即感受部分和执行部分。感受部分接受外界输入信号,并通过转换、放大,使执行部分动作;执行部分则按照感受部分的反应进行相应的动作,从而接通或断开电路,实现控制的目的。对于有触点的电磁式电器来说,感受部分为电磁机构,执行部分为触头系统。