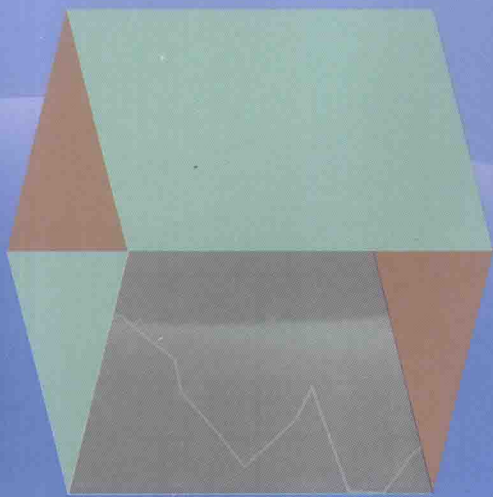




机电传动控制

主编 马如宏 袁健 熊新

高等教育出版社

JIDIAN CHUANDONG KONGZHI

机电传动控制

主编 马如宏 袁健 熊新

高等教育出版社·北京

内容简介

本书主要包括概述、机电传动控制的数学模型、机电传动系统的驱动电动机、机电控制系统中的传感器技术、继电接触控制系统的设计、可编程控制器原理、机电传动控制系统和机电传动控制设计范例。全书可概括为继电接触控制与可编程控制器(PLC)控制应用技术两部分内容。继电接触控制突出其控制原理和逻辑控制思路;PLC应用技术以典型机型三菱FX2N为主线,突出PLC程序设计和应用技术的实践。

本书可作为高等学校机械设计制造及其自动化、电气工程及其自动化、机电一体化等相关专业的教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电传动控制 / 马如宏, 袁健, 熊新主编. —北京: 高等教育出版社, 2015.9
ISBN 978-7-04-043803-1

I. ①机… II. ①马… ②袁… ③熊… III. ①电力传动控制设备—高等职业教育—教材 IV. ①TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第214729号

策划编辑 查成东
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 王 博
责任校对 陈旭颖

封面设计 李卫青
责任印制 尤 静

版式设计 马敬茹

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 中青印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 20.5
字 数 500千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
版 次 2015年9月第1版
印 次 2015年9月第1次印刷
定 价 34.80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 43803-00

前 言

本书是根据机械设计制造及其自动化专业“机电传动控制”课程教学大纲编写而成的。本书在总结编者多年教学经验的基础上,充分体现了教材的系统性、实用性和先进性,力求突出机电结合、电为机用的特点,力求理论联系实际,各元器件的介绍着重于外部特性及其在机电传动控制系统中的应用。

全书分为8章。第1章“概述”,主要介绍机电传动控制系统的基本概念及系统设计的基本方法;第2章“机电传动控制的数学模型”,主要介绍机电传动控制系统设计中数学模型的概念,机械传动系统、电气传动系统以及机电传动控制的数学建模方法;第3章“机电传动系统的驱动电动机”,主要介绍直流电动机、三相异步电动机、单相异步电动机等的工作原理及基本控制方法;第4章“机电控制系统中的传感器技术”,主要介绍常用传感器的工作原理及接口设计技术;第5章“继电器接触控制系统的设计”,主要介绍常用低压电器的工作原理、基本结构、用途、主要技术参数和选用方法,电气控制系统图的基本知识,电气控制基本线路的组成与工作原理、电气控制线路的阅读分析方法;第6章“可编程序控制器原理”,主要介绍可编程序控制器(PLC)的基本原理、指令系统和编程技术与方法;第7章“机电传动控制系统”,主要介绍机电传动控制系统的组成与分类、直流传动控制系统、交流传动控制系统、步进电动机驱动与控制系统,以及单片机在机电传动系统中的应用;第8章“机电传动控制设计范例”,通过产品开发设计实例,介绍机电传动控制系统的设计方法。每章后附有习题与思考题,便于自学。

本书是按学时数为64而编写的。除了课堂讲授的基本内容之外,有一些内容可在教师启发下由学生自学完成,这些内容为第4章的4.3节,第6章的6.6节。另外,还编写了一些较深入的内容,这些内容为第2章的2.4节,第3章的3.6节,这部分内容可由教师根据需要,在教学中灵活掌握。

本书主要编写工作由盐城工学院马如宏(第1、4、6章)、熊新(第3、5章)、袁健(第2、7、8章)完成。另外,宦海祥、崔治、郝昕玉三位教师也参加了编写,全书由马如宏统稿。本书在编写过程中参阅了国内外同行的教材、参考书、手册和期刊文献,在此谨致谢意。盐城工学院的徐春亮、陆启亮同学等为本书的图、表制作做了大量的工作,在此一并表示感谢。

编 者

2015年7月

目 录

第1章 概述	1	3.2.2 单相异步电动机的主要类型	39
1.1 机电传动控制的目的和任务	1	3.2.3 单相异步电动机的应用	41
1.2 机电传动控制系统的发展	2	3.3 三相异步电动机	42
1.3 机电传动控制系统的基本要素和功能	5	3.3.1 三相异步电动机的结构与转动原理	42
1.4 控制系统的基本概念	6	3.3.2 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	46
1.5 机电传动控制系统的设计方法	8	3.3.3 三相异步电动机的铭牌和技术数据	48
习题与思考题	9	3.3.4 三相异步电动机的选择	49
第2章 机电传动控制的数学模型	10	3.4 步进电动机	50
2.1 概述	10	3.4.1 步进电动机的结构与工作原理	50
2.1.1 数学模型的概念	10	3.4.2 反应式步进电动机的特性	52
2.1.2 机电传动控制系统数学模型的种类	11	3.4.3 驱动电源	55
2.2 机械传动系统的数学模型	15	3.5 伺服电动机	56
2.2.1 机械移动系统的数学模型	15	3.5.1 直流伺服电动机	56
2.2.2 机械转动系统的数学模型	18	3.5.2 交流伺服电动机	59
2.3 电气传动系统的数学模型	20	3.6 自整角机	61
2.3.1 电路网络的数学模型	20	3.6.1 自整角机的结构与工作原理	62
2.3.2 控制电动机的数学模型	23	3.6.2 自整角机的误差分析与选用时应注意的问题	65
2.4 液压、气压传动系统的数学模型	27	小结	66
2.4.1 液压伺服马达的传递函数	27	习题与思考题	66
2.4.2 液压力矩放大器	29	第4章 机电控制系统中的传感器技术	68
小结	31	4.1 传感器的组成及分类	68
习题与思考题	31	4.1.1 传感器的组成	68
第3章 机电传动系统的驱动电动机	33	4.1.2 传感器的分类	69
3.1 直流电动机	33	4.2 传感器的一般特性	69
3.1.1 直流电动机的构造	33	4.2.1 传感器的静态特性	70
3.1.2 直流电动机的工作原理	34	4.2.2 传感器的动态特性	71
3.1.3 直流电动机的分类	34	4.3 常用传感器及应用	72
3.1.4 直流电动机的特性	35		
3.1.5 直流电动机的运行与控制	36		
3.2 单相异步电动机	37		
3.2.1 单相异步电动机的工作原理	38		

II 目 录

4.3.1 位移传感器	72	6.1 概述	160
4.3.2 速度传感器	78	6.1.1 可编程序控制器的产生与发展 ...	160
4.3.3 物位传感器	85	6.1.2 可编程序控制器的用途与特点 ...	162
4.3.4 压力传感器	87	6.2 可编程序控制器的基本构成	164
小结	103	6.2.1 PLC 的控制功能	164
习题与思考题	103	6.2.2 PLC 系统的组成及功能	165
第 5 章 继电接触控制系统设计	105	6.2.3 PLC 的分类	169
5.1 常用低压电器	105	6.2.4 PLC 的性能指标	170
5.1.1 电器的定义及分类	105	6.2.5 PLC 的发展趋势及对工业 发展的影响	171
5.1.2 电磁式电器的工作原理与结构 特点	106	6.3 可编程序控制器的工作原理及 编程语言	172
5.1.3 电弧	108	6.3.1 可编程序控制器的等效电路	172
5.1.4 电器的基本特性	109	6.3.2 PLC 的扫描技术	175
5.1.5 常用低压电器的类型、结构及 使用	112	6.3.3 PLC 的编程语言	178
5.2 电气控制系统图	132	6.4 FX2N 系列可编程序控制器的 编程器件及基本指令	182
5.2.1 电气控制系统图中的符号	133	6.4.1 PLC 内部的编程器件	182
5.2.2 电气原理图	133	6.4.2 PLC 的基本指令	193
5.2.3 电气安装图	134	6.5 FX2N 系列步进指令	203
5.3 异步电动机的起动控制线路	136	6.5.1 状态转移图的编制方法	203
5.3.1 直接起动控制电路	136	6.5.2 状态的详细动作说明	206
5.3.2 减压起动控制电路	139	6.6 FX2N 功能指令的使用	208
5.4 异步电动机的正、反转控制线路	142	6.6.1 功能指令的形式	208
5.4.1 电动机正、反转控制线路	142	6.6.2 程序流程指令	209
5.4.2 自动往复行程控制线路	143	6.6.3 算术运算指令	210
5.5 异步电动机的调速控制线路	144	6.6.4 比较指令	213
5.5.1 异步电动机的调速方法	144	6.6.5 特殊功能指令——传送指令 MOV	215
5.5.2 异步电动机的变极调速	145	6.6.6 数制转换指令	216
5.6 异步电动机的制动控制线路	148	6.6.7 解码和编码指令	217
5.6.1 异步电动机的机械制动	148	6.6.8 数据输入、输出指令——七段 译码指令 SEGD	219
5.6.2 异步电动机的电气制动	149	6.7 PLC 控制系统的设计	219
5.7 电液控制	153	6.7.1 概述	219
5.8 其他基本控制线路	155	6.7.2 PLC 的编程方法及程序设计 注意事项	227
5.8.1 多地联锁控制	155	小结	236
5.8.2 顺序控制环节	155		
小结	157		
习题与思考题	157		
第 6 章 可编程序控制器原理	160		

习题与思考题	236
第 7 章 机电传动控制系统	238
7.1 机电传动控制系统的组成和分类	238
7.1.1 机电传动控制系统的组成	238
7.1.2 机电传动控制系统的分类	238
7.2 机电传动控制系统的设计	240
7.2.1 机电传动控制系统设计原则	240
7.2.2 机电传动控制系统设计要点	240
7.3 直流传动控制系统	243
7.3.1 概述	243
7.3.2 直流电动机闭环调速系统	246
7.3.3 直流电动机脉宽调速系统	256
7.4 交流传动控制系统	264
7.4.1 概述	264
7.4.2 异步电动机的调压调速系统	265
7.4.3 异步电动机的变频调速系统	269
7.5 步进电动机的驱动与控制系统	278
7.5.1 步进电动机的控制系统及功率 驱动电源	278
7.5.2 步进电动机的运行特性及影响 因素	283
7.6 单片机在机电传动系统中的应用	284
7.6.1 组成高分辨率的数字触发器	285
7.6.2 数字测速的实现	288
7.6.3 单片机在交、直流调速系统中 的应用	290
小结	295

习题与思考题	295
第 8 章 机电传动控制设计范例	298
8.1 概述	298
8.1.1 问题提出	298
8.1.2 PLC 控制系统设计的基本 步骤	298
8.1.3 PLC 硬件系统设计	300
8.1.4 PLC 软件系统设计	301
8.1.5 PLC 控制系统设计的注意 事项	302
8.2 传动带运输机的 PLC 控制系统 设计	302
8.2.1 传动带运输机的控制要求	303
8.2.2 PLC 程序设计	303
8.3 用 PLC 技术改造普通车床的电气 控制系统	305
8.3.1 C650 普通车床的电气控制 要求	305
8.3.2 PLC 控制电路	306
8.4 PLC 在机械手搬运控制系统中的 应用	309
8.4.1 机械结构和控制要求	309
8.4.2 PLC 的 I/O 分配	310
8.4.3 PLC 程序设计	310
小结	315
习题与思考题	315
参考文献	318

第1章 概 述

本章教学目的及要求:

- 1) 熟悉机电传动控制的目的和任务。
 - 2) 了解机电传动控制系统技术的发展,电气控制系统、液压控制系统和气动控制系统各自的特点。
 - 3) 掌握机电传动控制系统的基本要素和功能。
 - 4) 熟悉控制系统的基本概念、分类。
 - 5) 了解机电传动控制系统的设计方法。
-

1.1 机电传动控制的目的和任务

机电传动(又称电力传动或电力拖动)是指以电动机为原动机驱动生产机械的系统之总称。它的目的是将电能转变为机械能,实现生产机械的起动、停止以及速度调节,满足各种生产工艺过程的要求,保证生产过程正常运行。在现代工业中,为了实现生产过程自动化,机电传动不仅包括拖动生产机械的电动机,还包括控制电动机的一整套控制系统。也就是说,现代机电传动是和由各种控制元件组成的自动控制系统紧密地联系在一起的,所以,本课程被命名为“机电传动控制”(也称为“机械电气控制”)。

“机电传动控制”课程作为机械设计制造及其自动化专业的一门专业基础课,是机电一体化人才所需电知识结构的躯体。机电传动控制是一门实践性很强的专业课,机电传动控制系统在生产过程、科学研究及其他各领域的应用十分广泛。“机电传动控制”课程主要研究解决与生产机械的电气传动控制有关问题,阐述机电传动控制原理,介绍常用控制电路以及控制电路设计等技术。

在现代化生产中,生产机械的先进性和电气自动化程度反映了工业生产发展的水平。现代化机械设备和生产系统已不再是传统的单纯机械系统,而是机电一体化的综合系统,机电传动控制系统已成为现代化机械的重要组成部分。因此,从广义上讲,机电传动控制就是要使生产机械设备、生产线、车间甚至整个工厂都实现自动化;具体地讲,就是以电动机为原动机驱动生产机械,将电能转变为机械能,实现生产机械的起动、停止及调速,满足各种生产工艺过程的要求,实现生产过程的自动化。例如:一些精密机床要求加工精度达百分之几毫米,甚至几微米,重型镗床为保证加工精度和控制表面粗糙度,要求在极慢的稳速下进给,即要求在很宽的范围内调速;轧钢车间的可逆式轧机及其辅助机械,操作频繁,要求在不到1 s内就得完成从正转到反转的过程,即要求能迅速地起动、制动和反转;对于电梯和提升机则要求起动和制动平稳,并能准确地停

止在给定的位置上;对于冷、热连轧机以及造纸机,则要求其各机架或各分部的转速保持一定的比例关系进行协调运转;为了提高效率,由数台或数十台设备组成的生产自动线,要求统一控制和管理。诸如此类的要求,都是靠电动机及其控制系统和机械传动装置来满足的。

现代化生产要求对机电传动控制系统提出了越来越高的要求,特别突出的是电子、航空、航天及汽车工业等高新技术工业的发展,都依赖于机械工业制造技术,以及由“重大长厚”型转向“轻小短薄”型的工艺设备的发展。而每一次新技术的出现都是同新型的加工方法、加工手段和测量控制技术的出现密切相关的。目前,我国正在加速制造技术领域的发展,引进国外先进技术,吸收新技术成果,并正在加快单机自动化、局部生产过程自动化、生产线自动化和全厂综合自动化的步伐。这些都离不开机电传动控制。

1.2 机电传动控制系统的发展

机电传动及其控制系统总是随着社会生产的发展而发展的。在近代机械工业的发展过程中,机电传动的发展经历了一个复杂的过程:

单就电动机拖动而言,它的发展在大体上经历了成组拖动、单电动机拖动和多电动机拖动三个阶段,如图 1-1 所示。所谓成组拖动,就是用一台电动机拖动一根天轴,然后再由天轴通过带轮和皮带分别拖动各生产机械,这种拖动方式生产率低,劳动条件差,一旦电动机发生故障,将造成成组的生产机械停车;所谓单电动机拖动,就是用一台电动机拖动一台生产机械,它虽较成组拖动前进了一步,但当一台生产机械的运动部件较多时,机械传动机构仍十分复杂;多电动机拖动,即一台生产机械的每一个运动部件分别由一台专门的电动机拖动,如龙门刨床的刨台、左右垂直刀架与侧刀架、横梁及其夹紧机构,均分别由一台电动机拖动,这种拖动方式不仅大大简化了生产机械的传动机构,而且控制灵活,为生产机械的自动化提供了有利的条件,所以现代化机电传动基本上均采用这种拖动形式。



图 1-1 电动机拖动的发展过程

控制系统的发展伴随控制器件的发展而发展。随着功率器件、放大器件的不断更新,机电传动控制系统的发展日新月异,它主要经历了四个阶段,如图 1-2 所示。最早的机电传动控制系统出现在 20 世纪初,它仅借助于简单的接触器与继电器等控制电器,实现对控制对象的启动、停

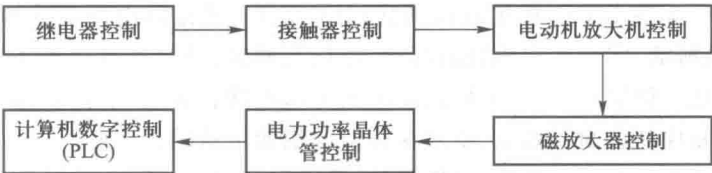


图 1-2 控制系统的发展过程

车以及有级调速等控制,它的控制速度慢,控制精度差;30年代出现了电动机放大机控制,它使控制系统从断续控制发展到连续控制,连续控制系统可随时检查控制对象的工作状态,并根据输出量与给定量的偏差对控制对象进行自动调整,它的快速性及控制精度都大大超过了最初的断续控制,并简化了控制系统,减少了电路中的触点,提高了可靠性,使生产率大为提高;40~50年代出现了磁放大器控制和大功率可控水银整流器控制;可时隔不久,于50年代末期出现了大功率固体可控整流元件——晶闸管,并很快就取代了水银整流器控制,后又出现了功率晶体管控制,由于晶体管、晶闸管具有效率高、控制特性好、反应快、寿命长、可靠性高、维护容易、体积小、重量轻等优点,它的出现为机电传动自动控制系统开辟了新纪元;随着数控技术的发展,计算机的应用特别是微型计算机的出现和应用,又使控制系统发展到一个新阶段——采样控制,它也是一种断续控制,但是和最初的断续控制不同,它的控制间隔(采样周期)比控制对象的变化周期短得多,因此,在客观上完全等效于连续控制,它把晶闸管技术与微电子技术、计算机技术紧密地结合在一起,使晶体管与晶闸管控制具有强大的生命力。

为了适应工业自动化和生产过程变动节奏加快的要求,电气控制逐步采用顺序控制技术。所谓顺序控制,就是对机械设备的动作和生产过程按预先规定的逻辑顺序自动进行的一种控制。20世纪60年代末发展起来的实现顺序控制的一种通用的电气控制装置称为顺序控制器(也称程序控制器),一般具有逻辑运算、顺序操作、定时、计数、程序转移、程序分支和程序循环等功能,有的还具有算术运算和数值比较等功能。它不仅用于单机控制,而且用于多机群控和生产线的自动控制等。其主要特点是:编制程序和改变程序方便,通用性和灵活性强,原理简单易懂,工作比较稳定可靠,使用和维修方便,装置体积小,设计和制造周期短,用它可代替大量的继电器。在机床行业,顺序控制器广泛用于单机、组合机床和自动生产线的控制。

近年来,可编程序控制器(PLC)在工业过程自动化系统中的应用日益广泛。可编程序控制器从一问世起就是以最基层、第一线的工业自动化环境及任务为前提的。它可用梯形图编程,具有硬件结构简单、安装维修方便、抗强电磁干扰、工作可靠等优点,工程技术人员能很快地熟悉它、使用它。可编程序控制器是一种数字运算操作的电子系统,是专门为在工业环境下应用而设计的。它采用一类可编程序的存储器,用来存储执行逻辑运算、顺序控制、定时和算术运算等面向用户的指令,并通过数字式或者模拟式的输入和输出,控制各种类型的机械或生产过程。可编程序控制器及其有关外部设备,都按易于工业控制系统连成一体,又易于扩充功能的原则设计。近年来,PLC的一个发展方向是微型、简易、价廉,以图占领一向以继电器系统为主流的(如一般机床、包装机、传输带等)控制领域;另一发展方向是向大型高性能方面延伸。

20世纪70年代初,计算机数字控制(CNC)系统应用于数控机床和加工中心,这不仅加强了自动化程度,而且提高了机床的通用性和加工效率,在生产上得到了广泛的应用。工业机器人的诞生,为实现机械加工全盘自动化创造了物质基础,80年代以来,出现了由数控机床、工业机器人、自动搬运车等组成的统一由中心计算机控制的机械加工自动线——柔性制造系统(FMS),它是实现自动化车间和自动化工厂的重要组成部分。机械制造自动化高级阶段是走向设计、制造一体化,即利用计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)形成产品设计和制造过程的完整系统,对产品构思和设计直至装配、试验和质量管理这一全过程实现自动化。为了实现制造过程的高效率、高柔性、高质量,研制计算机集成生产系统(CIMS)是人们今后的任务。

由整个发展过程不难看出,随着机械加工要求不断提高,机电传动控制系统的复杂度也在不

断增加。本课程的重点在于控制部分,如何利用电气元件或计算机控制电气来拖动机械实现所要求的功能。在设计控制系统时,就要求设计人员对执行元件(电动机)、控制元件的熟练掌握与运用,同时也要求对控制要求进行了解。

近些年来,许多工业部门和技术领域对高响应、高精度、高功率-质量比、大功率和低成本控制系统提出的要求,促使了液压、气动控制系统的迅速发展。液压、气动控制系统和电气控制系统一样,由于各自的特点,在不同的行业得到了相应的应用。

液压控制系统与电气控制系统相比,具有下列优点:

- 1) 液压执行机构的功率-质量比和转矩-惯量比大。液压控制系统的加速性好、结构紧凑、尺寸大、重量轻,适用于控制大功率、大惯量负载的场合。
- 2) 液压执行机构响应速度快,系统频带宽。
- 3) 液压系统的刚度大,抗干扰能力强,误差小,精度高。由于液压油的可压缩性小,液压执行机构泄漏少,因此稳态速度和动态位置刚度都比电气控制系统大。所以,液压控制系统具有高精度和快速响应的能力。
- 4) 液压控制系统低速平稳性好,调速范围宽。

液压控制系统虽然具有上述优点,但也有其缺点,如:

- 1) 液压元件加工精度要求高、成本高、价格高。
- 2) 液压元件易漏油,污染环境,可能引起火灾。
- 3) 液压油易受污染,导致液压控制系统产生故障。
- 4) 液压系统易受环境温度变化的影响。
- 5) 液压能源的获得、储存和输送不如电能方便。

气动控制系统的优点是:

- 1) 工作介质是空气,来源方便,使用后直接排出,不需回气管道,不污染环境。
- 2) 空气黏度很小,压力损失小,节能高效,适用于远距离输送。
- 3) 气动系统动作迅速、反应快、维护简单、成本低,易于标准化、系列化和通用化。
- 4) 工作环境适应性好,特别在易燃、易爆、多尘、强振、辐射等恶劣环境中工作安全可靠。

气动控制系统的缺点是:

- 1) 由于空气的可压缩性较大,负载变化时系统的动作稳定性较差。
- 2) 因工作压力低,不易获得较大输出力或力矩。
- 3) 需对气源中的杂质和水分进行处理,排气时噪声较大。
- 4) 因空气无润滑性能,在气路中要设置给油润滑装置。

随着现代控制技术、电子、计算机技术与液压、气动技术的结合,使得液压、气动控制也在不断创新,并大大提高了它的综合技术指标。电气控制系统和液压、气动控制系统将充分发挥各自的优势,在相应的行业和技术领域求发展。

自20世纪70年代以来,单片机发展很快。由于单片机的结构和指令系统都是针对工业控制的要求而设计的,其成本低、集成度高,可灵活地组成各种智能控制装置,解决从简单到复杂的各种任务,实现较佳的性价比,而且从单片机芯片的设计制造开始,就考虑了工业控制环境的适应性,因而它的抗干扰能力较强,特别适合于在机电一体化产品中应用,在机电传动与控制中也有许多应用。

1.3 机电传动控制系统的基本要素和功能

虽然随着机电传动系统的要求不同,其控制系统也不同,但归纳起来,它们通常是由五大要素与功能组成的,即由机械装置(结构功能)、执行装置(驱动和能量转换功能)、传感器与检测装置(检测功能)、动力源(运转功能)、信息处理与控制装置(控制功能)五部分组成,如图 1-3 所示。

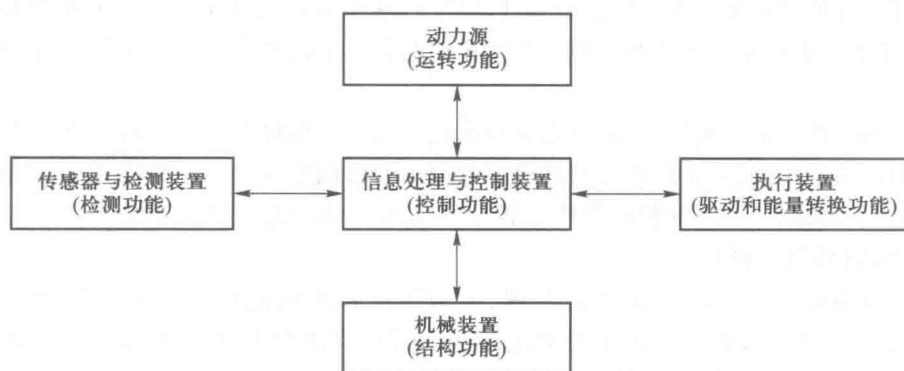


图 1-3 控制系统的五大要素与功能

1. 机械装置(结构功能)

机械装置是由机械零件组成的、能够传递运动并完成某些有效工作的装置,由输入部分、转换部分、传动部分、输出部分及安装固定部分组成。通用的传递运动的机械零件有齿轮、齿条、链轮、蜗轮、带、带轮、曲柄及凸轮等。两个零件互相接触并相对运动就形成了运动副。由若干运动副组成的具有确定运动的装置称为机构。就传动而言,机构就是传动链。

为了实现机电传动控制系统整体最佳的目标,从系统动力学方面来考虑,传动链越短越好。因为在传动副中存在“间隙非线性”,根据控制理论的分析,这种间隙非线性会影响系统的动态性能和稳定性。另外,传动件本身的转动惯量也会影响系统的响应速度及系统的稳定性。在数控机床中之所以存在“半闭环控制”,其原因就在于此。

据此,提出了“轴对轴传动(d-d 传动)”,如电动机直接传动机床的主轴,轴就是电动机的转子,从而出现了各种电主轴。这对执行装置提出了更高的要求,如机械装置、执行装置及驱动装置之间的协调与匹配问题。必须保留一定的传动件时,应在满足强度和刚度的前提下,力求传动装置细、小、巧,这就要求采用特种材料和特种加工工艺。

2. 执行装置(驱动功能和能量转换功能)

执行装置包括以电、气压和液压等作为动力源的各种元器件及装置。例如,以电作为动力源的直流电动机、直流伺服电动机、三相交流异步电动机、变频三相交流电动机、三相交流永磁伺服电动机、步进电动机、比例电磁铁、电磁粉末离合器/制动器、电动调节阀及电磁泵等;以气压作为动力源的气动马达和气缸;以油压作为动力源的液压马达和液压缸等。

选择执行装置时,要考虑执行装置与机械装置之间的协调与匹配,如在需要低速、大推力或

大转矩的场合下,可考虑选用液压缸或液压马达。

为了实现机电控制系统整体最佳的目标,实现各个要素之间的最佳匹配,已经研制出将电动机与专用控制芯片、传感器或减速器等合为一体的装置,如德国西门子公司的变频器与电动机一体化的高频电动机,日本东芝公司的电动机和传感器一体化的永磁电动机等。

近年来,出现了许多新型执行装置,如压电执行器、超声波执行器、静电执行器、机械化学执行器、光化学执行器、磁伸缩执行器、磁性液体执行器、形状记忆合金执行器等。特别是一些微型执行器的出现(如直径为0.1mm的静电执行器),大大促进了微电子机械的发展。

3. 传感器与检测装置(检测功能)

传感器是从被测对象中提取信息的器件,用于检测机电控制系统工作时所要监视和控制的物理量、化学量和生物量。大多数传感器是将被测的非电量转换为电信号,用于显示和构成闭环控制系统。

传感器的发展趋势是数字化、集成化和智能化。为了实现机电传动控制系统的整体优化,在选用或研制传感器时,要考虑传感器与其他要素之间的协调与匹配。例如:集传感检测、变送、信息处理及通信等功能为一体的智能化传感器,已广泛用于现场总线控制系统中。

4. 动力源(运转功能)

动力源或能源是指驱动电动机的电源、驱动液压系统的液压源和驱动气动系统的气压源。驱动电动机常用的电源包括直流调速器、变频器、交流伺服驱动器及步进电动机驱动器等。液压源通常称为液压站,气压源通常称为空压站。使用时应注意动力源与执行器、机械部分的匹配。

5. 信息处理与控制装置(控制功能)

机电传动控制系统的核心是信息处理与控制。机电传动控制系统的各个部分必须以控制论为指导,由控制器(继电器、可编程序控制器、微处理器、单片机、计算机等)实现协调与匹配,使整体处于最优工况,实现相应的功能。在现代机电一体化产品中,机电传动系统中控制部分的成本已占总成本的50%。特别是近年来随着微电子技术、计算机技术的迅速发展,越来越多的控制器使用具有微处理器、计算机的控制系统,输入/输出及通信功能也越来越强大。

1.4 控制系统的基本概念

1. 系统及控制系统

系统是相互制约的各个部分组成的具有一定功能的整体。在机电传动与控制中,将与控制设备的运动、动作等参数有关的部分组成的具有控制功能的整体称为系统。用控制信号(输入量)通过系统诸环节来控制被控变量(输出量),使其按规定的方式和要求变化,这样的系统称为控制系统。

2. 控制系统的分类

控制系统的分类方式很多,但机械设备的控制系统常按系统的组成原理分为开环控制系统、半闭环控制系统和闭环控制系统。

输出量只受输入量控制的系统称为开环控制系统。在任何开环控制系统中,系统的输出

量都不与参考输入量进行比较。对应于每个参考输入量,都有一个相应的固定工作状态与之相对应,系统中没有反馈回路(反馈是把一个系统的输出量不断直接或间接变换后,全部或部分地返回到输入量,再将输入量输入到系统中去的过程)。用步进电动机作为执行元件的经济简易型数控机床,其控制系统就是一个开环系统。这种机床的控制装置和驱动装置根据机床的坐标进给控制信号推动工作台运动到指定位置,该位置的坐标信号不再反馈;当控制系统出现扰动时,输出量便会出现偏差。因此,开环控制系统缺乏精确性和适应性。但它是最简单、最经济的一类控制系统,一般使用在对精度要求不高的机械设备中(如旧机床的改造)。开环控制系统的组成框图如图 1-4 所示。

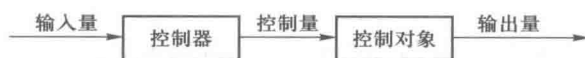


图 1-4 开环控制系统的组成框图

在有些控制系统中,输出量同时受输入量和输出量的控制,即输出量通过反馈回路再对系统产生控制作用。这种存在反馈回路的系统称为闭环控制系统。全功能型 CNC 机器人属闭环控制系统。在 CNC 机床的坐标驱动系统中,以坐标位置量为直接输出量,并在工作台上安装长光栅等位移测量元件作为反馈元件的系统才称为闭环系统。那些以交、直流伺服电动机的角位移作为输出量,用圆光栅作为反馈元件的系统则称为半闭环系统。目前的 CNC 机床大多为半闭环控制系统。采用半闭环控制系统的优点在于没有将伺服电动机与工作台之间的传动机构和工作台本身包括在控制系统内,系统易调整、稳定性好且整体造价低。闭环控制系统框图如图 1-5、图 1-6和图 1-7 所示。

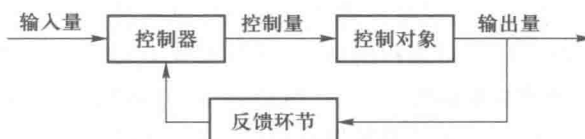


图 1-5 闭环控制系统框图



图 1-6 数控机床半闭环控制系统框图

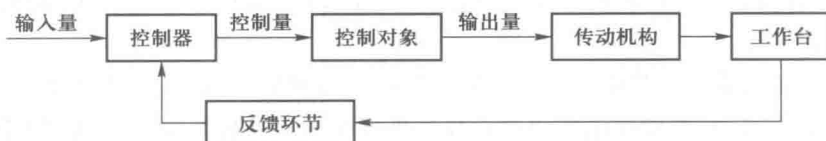


图 1-7 数控机床全闭环控制系统框图

1.5 机电传动控制系统的设计方法

机电传动控制系统是由相互制约的五大要素组成的具有一定功能的整体,不但要求每个要素具有高性能和高功能,更强调它们之间的协调与配合,以便更好地实现预期的功能。特别是在机电一体化传动系统设计中,存在着机电有机结合如何实现,机、电、液传动如何匹配,机电一体化系统如何进行整体优化等问题,以达到系统整体最佳的目标。

1. 模块化设计法

机电传动控制系统由相互制约的五大要素的功能部件组成,也可以设计成由若干功能子系统组成,而每个功能部件或功能子系统又包含若干组成要素。这些功能部件或功能子系统经过标准化、通用化和系列化,就成为功能模块。每一个功能模块可视为一个独立体,在设计时只需了解其性能、规格,按其功能来选用,而无需了解其结构细节。

作为机电一体化产品或设备要素的电动机、传感器和微型计算机等,都是功能模块的实例。再如,交流伺服驱动模块(AMOR)就是一种以交流电动机(AM)或交流伺服电动机(ASM)为核心的执行模块。它以交流电源为其主工作电源,使交流电动机的机械输出(转矩、转速)按照控制指令的要求而变化。

在新产品设计时,可以把各种功能模块组合起来,形成所需的产品。采用这种方法可以缩短设计与研制周期,节约工装设备费用,降低生产成本,也便于生产管理、使用和维护。

2. 柔性化设计法

将机电一体化产品或系统中完成某一功能的检测传感元件、执行元件和控制器做成机电一体化的功能模块,如果控制器具有可编程的特点,则该模块就成为柔性模块。例如:采用继电器可以实现位置控制,但这种控制是刚性的,一旦运动改变,则难以调节;若采用伺服电动机驱动,则可以使机械装置简化,且利用电子控制装置可以进行复杂的运动控制,以满足不同的运动和定位要求。采用计算机编程还可进一步提高该驱动模块的柔性。

3. 取代设计法

取代设计又称为机电互补设计方法。该方法的主要特点是利用通用或专用电子器件取代传统机械产品中的复杂机械部件,以便简化结构,获得更好的功能和特性。

1) 用电力电子器件或部件与电子计算机及其软件取代机械式变速机构。如用变频调速器或直流调速装置代替减速器、变速箱。

2) 用PLC(可编程序控制器)取代传统的继电器控制柜,可以大大减小控制模块的质量和体积,并具有柔性化,且可编程序控制器便于嵌入机械结构内部。

3) 用电子计算机及其控制程序取代凸轮机构、插销板、拨码盘、步进开关、时间继电器等,以弥补机械技术的不足。

4) 用数字式、集成式或智能式传感器取代传统的传感器,以提高检测精度和可靠性。智能传感器是把敏感元件、信号处理电路与微处理器集成在一起的传感器。集成式传感器有集成式磁传感器、集成式光传感器、集成式压力传感器和集成式温度传感器等。

取代设计法既适合于旧产品的改造,也适合于新产品的开发。例如:可用单片机应用系统

(微控制器)、可编程序控制器(PLC)和驱动器取代机械式变换机构、凸轮机构、离合器,代替插销板、拨码盘、步进开关、时间继电器等;采用多机驱动的传动机构代替单纯的机械传动机构,可省去许多机械传动件,如齿轮、皮带轮、轴等。其优点是可以在较远的距离实现动力传动,大幅度提高设计自由度,增加柔性,有利于提高传动精度和性能。这就需要开发相应的同步控制、定速比控制、定函数关系控制及其他协调控制软件。

4. 融合设计法

融合设计法是把机电一体化产品的某些功能部件或子系统设计成该产品所专用的。用这种方法可以使该产品各要素和参数之间的匹配问题考虑得更充分、更合理、更经济,更能体现机电一体化的优越性。融合法还可以简化接口,使彼此融为一体。例如:在激光打印机中,就把激光扫描镜的转轴与电动机轴制作成一体,使结构更加简单、紧凑;在金属切削机床中,把电动机轴与主轴部件作成一体,是驱动器与执行机构相结合的又一实例。

特别是在大规模集成电路和微型计算机不断普及的今天,完全能够设计出传感器、控制器、驱动器、执行机构与机械本体融为一体的机电一体化产品。融合法主要用于机电一体化新产品的设计与开发。

5. 系统整体设计法

系统整体设计法是以优化的工艺为主线,以控制理论为指导,以计算机应用为手段,以系统整体最佳为目标的一种综合设计方法。

系统整体设计法涉及多种技术和理论。技术方面主要包括微电子技术、电力电子技术、计算机技术、信息处理技术、通信与网络技术、传感器与检测技术、过程控制技术、伺服传动技术及精密机械技术;理论方面包括经典控制理论、现代控制理论、智能控制理论、信息论及运筹学等。

上述各种技术和理论均有专门的书籍加以介绍。系统整体设计法的难点在于,要求工程技术人员能够将上述各种技术和理论相互交叉、相互渗透并有机结合起来,做到融会贯通和综合运用。

习题与思考题

- 1-1 什么是机电传动控制? 机电传动与控制的发展各经历了哪些阶段?
- 1-2 机电传动控制系统有哪五大基本要素? 各具有什么功能?
- 1-3 什么是开环控制系统、半闭环控制系统和闭环控制系统?
- 1-4 机电一体化传动系统的设计方法有哪些? 各有什么特点?

第2章 机电传动控制的数学模型

本章教学目的及要求:

- 1) 掌握机电传动控制系统数学模型的概念和种类。
 - 2) 熟悉机械传动系统数学模型、电气传动系统数学模型、机电传动系统相似模型和机电一体化系统模型等的建立方法及传递函数的推导。
-

2.1 概述

在机电传动控制系统设计过程中会涉及机械传动系统、电气传动系统等建模问题,数学模型的建立是机电传动控制系统设计中首先要解决的问题,是控制系统设计方案选择及控制器设计的依据。建模的方法很多,本章主要介绍分析建模法,即所有模型都建立在相应物理定律的基础上,通过对典型系统建模的讨论,使读者能够学会机电传动控制系统数学模型建立的一般方法。

2.1.1 数学模型的概念

1. 数学模型的概念及建立意义

数学模型是系统动态特性的数学描述。由于系统在从初始状态向新的稳定状态过渡过程中,系统中的各个变量都要随时间而变化,因而在描述系统动态特性的数学模型中不仅会出现这些变量本身,而且也包含这些变量的各阶导数。所以,系统的动态特性方程式就是微分方程式,它是表示系统数学模型的最基本的形式。

在研究与分析一个机电传动控制系统时,不仅要定性地了解系统的工作原理及特性,而且还要定量地描述系统的动态性能。通过定量的分析与研究,找到系统的内部结构及参数与系统性能之间的关系。这样,在系统不能按照预先期望的规律运行时,便可通过对模型的分析,适当地改变系统的结构和参数,使其满足规定性能的要求。另外,在设计一个系统的过程中,对于给定的被控对象及其控制任务,可以借助数学模型来检验设计思想,以构成完整的系统。这些都离不开数学模型。

2. 建立数学模型的一般原则

由于机电传动控制系统所涉及的领域很广,被控对象性质差异极大,而且组成系统的各个环节有非线性 and 时变性的特点,各个环节之间具有关联性,除此之外还有很多其他的内在因素,因此,实际的机电传动控制系统是比较复杂的,系统的数学模型是一个变系数的非线性偏微分方程,求解这些方程是非常困难的,甚至是不可能的。为了便于分析问题,通常需要对实际模型做简化处理,如将时变参数定常化,将非线性参数线性化,使分布参数集中等,因而得到具有不同形