

普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材

顾问 杨叔子 李培根



机电传动控制

JIDIAN CHUANDONG KONGZHI

郝用兴 苗满香 罗小燕 主编

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

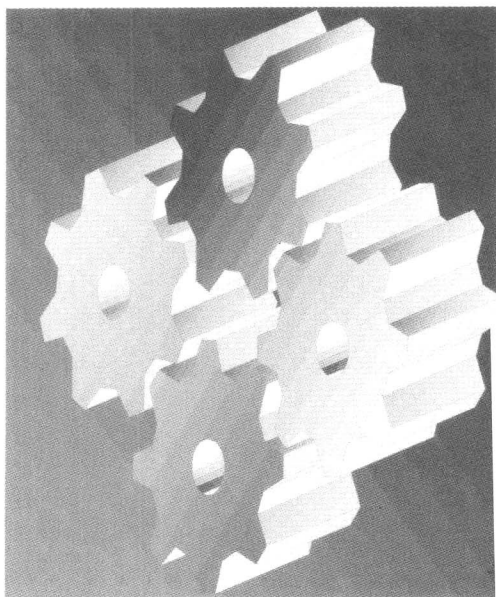




普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材

顾问 杨叔子 李培根
.....

机电传动控制



主 编	郝用兴	苗满香	罗小燕
副主编	杨 杰	李申山	陈焕林
	邓大立	王海涛	

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

机电传动控制/郝用兴 苗满香 罗小燕 主编. —武汉:华中科技大学出版社, 2010 年 1 月

ISBN 978-7-5609-5862-0

I. 机… II. ①郝… ②苗… ③罗… III. 电力传动控制设备-高等学校-教材
IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 219075 号

机电传动控制

郝用兴 苗满香 罗小燕 主编

策划编辑:刘 锦

封面设计:潘 群

责任编辑:刘 勤

责任监印:周治超

责任校对:李 琴

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)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:787mm×960mm 1/16

印张:16.25 插页:2

字数:320 000

版次:2010 年 1 月第 1 版

印次:2010 年 1 月第 1 次印刷

定价:26.00 元

ISBN 978-7-5609-5862-0/TM·116

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

序

“爆竹一声除旧，桃符万户更新。”在新年伊始，春节伊始，“十一五规划”伊始，来为“普通高等院校机械类精品教材”这套丛书写这个“序”，我感到很有意义。

近十年来，我国高等教育取得了历史性的突破，实现了跨越式的发展，毛入学率由低于10%达到了高于20%，高等教育由精英教育而跨入了大众化教育。显然，教育观念必须与时俱进而更新，教育质量观也必须与时俱进而改变，从而教育模式也必须与时俱进而多样化。

以国家需求与社会发展为导向，走多样化人才培养之路是今后高等教育教学改革的一项重要任务。在前几年，教育部高等学校机械学科教学指导委员会对全国高校机械专业提出了机械专业人才培养模式的多样化原则，各有关高校的机械专业都在积极探索适应国家需求与社会发展的办学途径，有的已制定了新的人才培养计划，有的正在考虑深刻变革的培养方案，人才培养模式已呈现百花齐放、各得其所的繁荣局面。精英教育时代规划教材、一致模式、雷同要求的一统天下的局面，显然无法适应大众化教育形势的发展。事实上，多年来许多普通院校采用规划教材就十分勉强，而又苦于无合适教材可用。

“百年大计，教育为本；教育大计，教师为本；教师大计，教学为本；教学大计，教材为本。”有好的教材，就有章可循，有规可依，有鉴可借，有道可走。师资、设备、资料（首先是教材）是高校的三大教学基本建设。

“山不在高，有仙则名。水不在深，有龙则灵。”教材不在厚薄，内容不在深浅，能切合学生培养目标，能抓住学生应掌握的要言，能做

到彼此呼应、相互配合,就行,此即教材要精、课程要精,能精则名、能精则灵、能精则行。

华中科技大学出版社主动邀请了一大批专家,联合了全国几十个应用型机械专业,在全国高校机械学科教学指导委员会的指导下,保证了当前形势下机械学科教学改革的发展方向,交流了各校的教改经验与教材建设计划,确定了一批面向普通高等院校机械学科精品课程的教材编写计划。特别要提出的,教育质量观、教材质量观必须随高等教育大众化而更新。大众化、多样化决不是降低质量,而是要面向、适应与满足人才市场的多样化需求,面向、符合、激活学生个性与能力的多样化特点。“和而不同”,才能生动活泼地繁荣与发展。脱离市场实际的、脱离学生实际的一刀切的质量不仅不是“万应灵丹”,而是“千篇一律”的桎梏。正因为如此,为了真正确保高等教育大众化时代的教学质量,教育主管部门正在对高校进行教学质量评估,各高校正在积极进行教材建设、特别是精品课程、精品教材建设。也因为如此,华中科技大学出版社组织出版普通高等院校应用型机械学科的精品教材,可谓正得其时。

我感谢参与这批精品教材编写的专家们!我感谢出版这批精品教材的华中科技大学出版社的有关同志!我感谢关心、支持与帮助这批精品教材编写与出版的单位与同志们!我深信编写者与出版者一定会同使用者沟通,听取他们的意见与建议,不断提高教材的水平!

特为之序。

中国科学院院士
教育部高等学校机械学科指导委员会主任

杨红子

2006.1

前 言

“机电传动控制”课程是全国高等学校机械工程类专业教学指导委员会确定的机械设计制造及其自动化、机械电子工程等专业必修的主干课程,是机械工程、机电一体化人才知识框架构建主体的重要组成部分。本书是根据2008年7月在呼和浩特召开的机械工程教学指导委员会年会颁布的《中国机械工程学科教程》中“机电传动及控制工程”课程规范的规定而编写的。

本课程的任务是使机械设计制造及其自动化、机械电子工程等非电类专业学生了解机电传动的一般知识;掌握机电传动控制静态和动态特性;掌握直流电机和交流电机的工作原理、特性及其应用;了解控制电机与特种电机的工作原理、机械特性及应用知识;了解典型生产机械常用的低压电器,掌握继电器-接触器控制的基本线路,学会分析常见典型生产机械控制线路的方法,掌握电动机控制线路的设计方法及元器件的选择原则;了解电动机的计算机控制技术;掌握现代电力电子技术在机电传动中的应用;掌握交流和直流电机调速与伺服控制的主要内容。

在编写本书时,注意体现以下基本思路:

(1) 加强基础—注重学生对机电传动系统中涉及的有关基本概念、基本原理、基本方法的学习;

(2) 重视系统—关注机电传动系统中各部分、各器件的作用及工作机理的讲述,使学生建立机电传动系统各部分之间的系统的有机联系;

(3) 应用导向—强化理论与实际的结合,使学生在掌握理论的基础上,能够根据实际要求与各种元器件的特点正确应用;

(4) 点面结合—在保证课程要求的核心知识讲述的同时,努力扩大学生对新的技术、方法、理论的了解。

本课程的先修课程是电子技术基础、电工技术基础、理论力学、控制工程基础等。

本书是机械设计制造及其自动化专业、机械电子工程专业的本科生教材,并可作为高职、电大、函大等大学的相关课程教材,或者作为其他机械类、机电类及相近专业本科生或研究生教材;也可供其他从事机电一体化工作的工程技术人员参考。

参加本书编写工作的有:华北水利水电学院郝用兴(第1章、第6章)、江西理工大学罗小燕(第2章、第3章)、石家庄铁道学院李申山(第4章)、中原工学院邓大立(第5章、第9章)、华北水利水电学院杨杰(第7章)、黑龙江科技学院陈焕林(第8章)、郑州航空工业管理学院苗满香(第10章、第11章)。湖北工业大学王海涛参加了本书编写大纲的拟

定,并对全书的编写提出了宝贵意见。全书由郝用兴、苗满香、罗小燕担任主编,杨杰、陈焕林、邓大立、李申山、王海涛担任副主编。

限于编者的水平,书中难免有错误和不妥之处,敬请各位读者批评指正。

编 者

2009 年 11 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 机电传动控制技术的发展	(1)
1.2 “机电传动控制”课程的性质和任务	(4)
1.3 课程内容安排	(4)
第 2 章 机电传动系统的静态与动态特性	(6)
2.1 研究机电传动系统静态与动态特性的意义	(6)
2.2 机电传动系统的运动方程式	(7)
2.3 典型生产机械的负载特性	(9)
2.4 负载转矩、转动惯量和飞轮转矩的折算方法	(11)
2.5 机电传动系统的过渡过程.....	(13)
2.6 机电传动系统稳定运行的条件.....	(15)
思考题与习题	(16)
第 3 章 直流电机的工作原理及特性	(18)
3.1 直流电机的基本结构和工作原理.....	(18)
3.2 直流发电机和电动机的基本方程.....	(22)
3.3 直流电动机的机械特性.....	(24)
3.4 直流他励电动机的启动特性.....	(29)
3.5 直流他励电动机的调速特性.....	(30)
3.6 他励电动机的制动特性.....	(33)
思考题与习题	(42)
第 4 章 交流电动机的工作原理及特性	(44)
4.1 三相异步电动机的结构和工作原理.....	(44)
4.2 三相异步电动机的定子电路和转子电路.....	(52)
4.3 三相异步电动机的转矩与机械特性.....	(54)
4.4 三相异步电动机的启动特性.....	(59)
4.5 三相异步电动机的调速特性.....	(65)
4.6 三相异步电动机的制动特性.....	(68)
4.7 单相异步电动机.....	(71)
思考题与习题	(74)

第 5 章 控制电机与特种电机	(77)
5.1 伺服电动机	(77)
5.2 力矩电动机	(82)
5.3 小功率同步电动机	(84)
5.4 步进电动机	(87)
5.5 测速发电机	(91)
5.6 自整角机	(95)
5.7 直线电动机	(101)
思考题与习题	(103)
第 6 章 机电传动控制系统中电动机的选择	(105)
6.1 电动机的温度变化规律	(105)
6.2 电动机功率选择的原则	(106)
6.3 不同运行方式下电动机功率的选择	(106)
6.4 电动机功率选择的统计法和类比法	(110)
6.5 电动机的种类、电压、转速和结构形式选择	(111)
思考题与习题	(113)
第 7 章 继电器-接触器控制系统	(114)
7.1 常用低压电器	(114)
7.2 电气控制电路图的绘制与分析方法	(133)
7.3 继电器-接触器控制线路的基本环节	(136)
7.4 典型生产机械的继电器-接触器控制线路分析	(145)
7.5 继电器-接触器控制线路设计	(151)
思考题与习题	(154)
第 8 章 电动机的计算机控制技术	(156)
8.1 计算机控制技术基础	(156)
8.2 电动机计算机控制系统的组成与特点	(162)
8.3 步进电动机的计算机控制	(164)
思考题与习题	(169)
第 9 章 电力电子技术	(170)
9.1 电力半导体器件	(170)
9.2 电力半导体器件的驱动电路	(175)
9.3 晶闸管调压电路	(181)
9.4 逆变电路	(187)
9.5 脉宽调制控制	(193)

思考题与习题	(197)
第 10 章 直流调速控制系统	(198)
10.1 直流调速系统性能指标	(198)
10.2 有静差调速系统	(200)
10.3 无静差调速系统	(205)
10.4 转速、电流双闭环调速系统	(209)
10.5 直流脉宽调制调速装置	(214)
10.6 数字控制直流调速系统	(217)
思考题与习题	(225)
第 11 章 交流调速系统	(226)
11.1 异步电动机闭环控制变压调速系统	(226)
11.2 笼式异步电动机变压变频调速系统(VVVF 系统)	(228)
思考题与习题	(237)
附录	(238)
附录 1 常用电气图形符号	(238)
附录 2 电气技术文字符号	(241)
附录 3 常用符号	(243)
附录 4 部分思考题与习题的参考答案或提示	(246)
参考文献	(249)

第 1 章 绪 论

本章要求了解机电传动控制技术的发展;了解本课程的性质与任务等。

现代生产机械一般由工作机构、传动机构、原动机及控制系统等几部分组成。当原动机为电动机时,即由电动机通过传动机构带动工作机构进行工作时,这种传动方式称为“机电传动”。本章主要介绍机电传动控制技术的发展及本课程的性质与任务。

1.1 机电传动控制技术的发展

一般说来,机电传动系统包括电动机、电气控制电路及电动机和运动部件相互联系的传动机构。可以把电动机及传动机构合并一起称为“机电传动”部分;把满足加工工艺要求使电动机启动、制动、反向、调速、快速定位等的电气控制和电气操作部分视为“机电传动控制”部分。随着现代化进程的加快,人们对机电传动控制提出了越来越高的要求。例如,对于工业方面的专用加工设备和数控机床的控制,有很高的精度要求;重型数控机床要求有很高的调速范围;可逆式轧钢机拖动系统要求正反转换向频繁;现代大型生产线、柔性制造系统,要求各拖动系统能相互协调;军事和宇航方面的火炮瞄准、惯性导航、卫星姿态的控制,不仅要求精度高,更要求稳定性能好;民用方面的电梯拖动系统,要求启动、制动快速平稳、停车位置准确可靠;计算机外围设备和办公设备中的控制、音像设备和家用电器中的控制,要求结构精巧、功能全、成本低等。

无论是工农业生产、交通运输、国防、航空航天、医疗卫生、商务与办公设备,还是日常生活中的家用电器设备,都大量地使用着各种各样的电动机。据资料统计,现在工业企业有 90% 以上的动力来自于电动机,我国生产的电能大约有 60% 用于电动机,电动机在现代化生产和生活中起着十分重要的作用。

机电传动系统是随着社会生产的发展而不断发展的。其发展历程大体经历了成组拖动、单电动机拖动和多电动机拖动三个阶段。成组拖动就是由一台电动机拖动一根天轴,然后再由天轴通过皮带轮和皮带分别拖动各生产机械。机电传动技术发展的初期,由于电动机成本较高,机械设备常采用这种拖动形式。这种拖动方式生产效率低,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。单电动机拖动是指由一台电动机拖动一台生产机械,20 世纪 40—50 年代的老式切削机床常采用这种拖动形式,至今中小型通用机床仍有采用这种拖动形式的。但是当一台机械的运动部件较多时,机械传动机

构会十分复杂。多电动机拖动是指一台生产机械的每一运动部件分别由一台专门的电动机拖动,例如,龙门刨床的工作台、左右垂直刀架、侧刀架、横梁、横梁夹紧机构等,均分别由一台电动机拖动。起重机的提升机构、行走机构等都是由单独的电动机拖动的。数控车床的主轴、横向进给机构、纵向进给机构、冷却系统等也都是分别由不同的电动机拖动的。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极为有利的条件,所以,随着电动机制造技术的不断提高,成本的不断降低,现代机电传动系统基本上都采用这种拖动形式。

机电传动控制系统的发展是随着微电子技术、电力电子技术、传感器技术、磁性材料技术、自动控制技术、微机应用技术的发展而逐步发展的。最早的机电传动控制系统出现在 20 世纪初期,能够实现电动机的简单控制,即对电动机进行启动、制动、正反转控制、顺序控制及有级调速,控制器件主要是接触器、继电器、按钮、行程开关等,其特点是结构简单、价格低廉、维护方便、抗干扰强,因此广泛应用于各类机械设备上。采用它不仅可以方便地实现生产过程自动化,而且还可以实现集中控制和远距离控制。目前,继电器-接触器控制仍然是最基本的电气控制形式之一。但由于该控制形式是接线固定,通用性和灵活性差;又由于采用有触点的开关动作,工作频率低,触点易损坏,可靠性较差。20 世纪 60 年代末,出现的可编程控制器(PLC)是由大规模集成电路、电子开关、功率输出器件等组成的专用微型电子计算机,用它可代替大量的继电器,且功耗小、体积小,在机电传动控制中具有广阔的应用前景。

直流发电机-直流电动机调速的出现,以及电磁放大器、大功率可控水银整流器调速控制系统的应用,使控制系统从断续控制阶段发展到连续控制阶段,实现了电气无级调速。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,电气无级调速具有可灵活选择速度和极大简化机械传动结构的优点。所以 20 世纪 30 年代以后,直流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,由于大功率整流技术和大功率晶体管的发展,直流电动机晶闸管无级调速系统和采用脉宽调制的直流调速系统获得了广泛应用。

交流调速有许多优点,单机容量和转速可大大高于直流电机,交流电动机因无电刷与换向器,易于维护,可靠性高,能用于带有腐蚀性、易爆性、含尘气体等较恶劣的环境中;与直流电动机相比,交流电动机还具有体积小、重量轻、制造简单、坚固耐用等优点。20 世纪 70 年代以后,由于半导体交流技术的发展,先后出现了几种有自关断能力的全控型功率器件,如门极可关断晶闸管(GTO)、电力功率晶体管(GTR)等。其后又出现了功率场效应管(P-MOSFET)、绝缘栅双极晶体管(IGBT)、MOS 控制晶闸管(IGCT)等第三代功率器件。这些全控型功率器件取代了普通晶闸管系统,提高了工作频率,简化了电路结构,提高了效率和可靠性。交流电动机的控制技术也从相控变流转变到脉宽调制和变频

控制,交流电动机调速系统进入了实用阶段。

最新出现的功率集成电路将半导体功率器件与驱动电路、逻辑控制电路、检测和诊断电路、保护电路集成在一块芯片上,使功率器件含有某种智能功能,它是电力电子技术与微电子技术相结合的产物,使电力电子控制技术具有更加强大的生命力。交流调速已突破关键性技术,从实用阶段进入了扩大应用、系列化的新阶段。

计算机技术的发展为电动机控制技术的发展增加了新的活力。电动机的控制部分已由模拟控制逐渐让位于以单片机为主的微处理器控制,形成数字与模拟的混合控制系统和纯数字控制系统的应用,并正向全数字控制方向快速发展。微处理器取代模拟电路作为电动机的控制器具有很多特点,如使电路更简单、可以实现较复杂的控制、无零点漂移,控制精度高、可提供人机交互界面、能多机联网工作等。

数字信号处理器(DSP)属于微处理器的一种。出现在20世纪80年代,随着微处理器销售价格的下降开始逐渐进入电动机的控制领域。这些芯片不但具有高速信号处理能力和数字控制功能,而且还有为电动机控制应用所必需的外围功能。在电动机控制系统中采用电动机专用的DSP不但可以实现如矢量控制、直接转矩控制这样的控制算法,而且也有条件完成现代控制理论或智能控制理论的一些复杂算法,如自适应控制、神经网络等,这是单片机所不及的。

伺服系统是使物体的位置、方位、状态等输出被控量能够跟随输入目标值(或给定值)任意变化的自动控制系统。它是具有反馈的闭环自动控制系统,由信号检测部分、误差放大部分、执行部分及被控对象等组成。伺服系统的发展经历了由机械到液压、电气的过程。电气伺服系统根据驱动电动机类型分为直流(DC)伺服系统和交流(AC)伺服系统。目前,交流变频调速器、矢量控制伺服单元及交流伺服电动机已日益广泛地应用于工业中。随着微处理技术、大功率电力电子技术的成熟和永磁材料的发展及成本降低,交流伺服系统得到了长足发展,正弦波交流伺服系统综合了伺服电动机、角速度和角位移传感器的最新成就,与采用新型电力电子器件、专用集成电路和专用控制算法的交流伺服驱动器相匹配,组成新型高性能机电一体化产品。交流伺服系统使原有的直流伺服系统面临淘汰的危机,成为当今世界伺服驱动的主流及发展方向。采用嵌入式控制器的电动机数字交流伺服系统的出现,使机电传动控制技术进入了信息化时代。在嵌入式操作系统的软件平台上工作,控制系统具有局域网甚至互联网的上网功能,这样就为远程监控、远程故障诊断和维护提供了方便。

总之,以电力半导体变流器件为基础,以电动机为被控对象,以自动控制理论为指导,以电子技术、微处理器控制和计算机辅助设计为手段,并且与检测技术和数据通信技术相结合,机电传动控制技术正在进入一个崭新的发展阶段,在现代生产与生活中,它正在发挥着越来越重要的作用。

1.2 “机电传动控制”课程的性质和任务

机电一体化技术水平是一个国家工业技术水平的重要标志之一。指导学生学习并掌握机、电、液、计算机等综合控制系统的技术,成为基础扎实、知识面宽,具有创新精神和实践能力的“机电复合型”人才,是 21 世纪社会主义现代化建设的需要。“机电传动控制”课程融合了电力拖动、自动控制原理、计算机技术、继电器-接触器控制、电力电子技术、交流伺服系统技术、直流伺服系统技术等相关技术,是机械设计制造及其自动化专业、机械电子工程专业的学生学习机电一体化技术的重要课程之一。

机电传动控制以驱动系统为主导,以控制为主线,将元、器件与控制系统有机结合,即把机电一体化技术所需的强电控制知识都集中在这一门课程中。这不仅避免了不必要的重复,节省了学时,加强了系统性,而且理论联系实际,学以致用,使学生对机电一体化技术中的强电控制部分有一个全面系统的了解。

考虑到大部分学校都开设有与信号检测元件相关的课程,为了避免课程内容重复,本教材未将相关内容列入编写范围。可编程控制器技术与本课程具有密切关系,考虑到许多院校已经单独设置该课程,特别是不同学校所使用的可编程控制器的型号差别较大,编程指令差别也大,所以,本书仅仅在第 8 章电动机的计算机控制技术中对可编程控制器作了简要介绍。

1.3 课程内容安排

全书共分 11 章。第 1 章为绪论。基于分析机电传动控制系统的静态与动态性能的需要,第 2 章重点介绍了机电传动系统运动方程、过渡过程、系统稳定运行的条件等。电动机既是机电传动的动力,又是机电传动的控制对象,故第 3 章、第 4 章分别介绍了直流电机和交流电机的工作原理及其特性。控制电动机和特种电动机作为重要的检测、控制元件用得愈来愈多,故第 5 章介绍了各类常用控制电动机的结构特点、工作原理、性能和应用。第 6 章介绍了电动机的选择。由于继电器-接触器控制系统目前还广泛应用在生产实际中,未来很长时间内它仍然还将起着重要的作用,故第 7 章介绍了继电器-接触器控制系统中的常用电器和基本控制线路,典型的应用实例,以及继电器-接触器控制线路的设计方法等。集成电路、微处理器、微机等技术飞速发展,计算机控制技术越来越多地应用于电机控制,故第 8 章重点介绍了计算机控制技术,以及计算机控制技术在电动机控制中的应用。基于电动机调速控制学习的需要,第 9 章介绍了晶闸管和全控型开关元件等电力电子器件及其驱动电路、可控整流电路、晶闸管调压电路、逆变器、脉宽调制控制等电力电子技术知识。调速系统是机电传动控制系统中非常重要的组成部分,因此,第 10

章、第 11 章分别介绍了各类常用直、交流电动机调速控制系统。

本教材是按照课程学时数为 64 学时而编写的。教师可以根据各学校的具体情况和课程教学的实际需要,灵活地安排部分内容 by 学生自学完成,或补充部分内容。

实践环节是本课程的重要内容,各校可以根据各自教学大纲的实际要求,选择安排交流电动机的继电器-接触器控制实验、他励直流电动机脉宽调制调速控制实验、三相交流电动机变频控制实验、直流电动机伺服控制实验、交流电动机伺服控制实验等实验项目的部分或全部内容,以及安排典型案例分析、大型作业等。

本书各章后面均附有思考题和习题,书末并附有部分思考题和习题的参考答案或提示。

第 2 章 机电传动系统的静态与动态特性

本章要求在了解静态和动态特性的基础上掌握机电传动系统的运动方程式及其含义;熟悉几种典型生产机械的负载特性;了解多轴传动系统中负载转矩、转动惯量、飞轮转矩的折算原则和方法;掌握加快过渡过程的方法及机电传动系统稳定运行的条件。

机电传动系统有静态(稳态)和动态(暂态)两种运行状态。静态是指系统以恒速运转的状态,其动态转矩为零;动态是指系统的速度处于变化之中的状态,存在动态转矩。本章主要讨论机电传动系统的静态与动态特性,在分析机电传动系统运动方程式的基础上,进而分析过渡过程。

2.1 研究机电传动系统静态与动态特性的意义

机电传动系统的静态特性是指电动机的电磁转矩和生产机械速度之间的关系。

通过研究静态特性,可以了解当负载转矩一定时,机电传动系统中各电气参数如电源电压、励磁磁通、电枢电阻等对转速的影响。

机电传动系统的动态特性是指系统从一种稳定状态变化到另一种稳定状态时在过渡过程中的特性。当机电传动系统处于启动、制动、反转、调速或负载转矩发生变化等运转状态时,电磁转矩和转速就要随之变化,即系统处于动态运行。所以,只研究系统的静态特性是不够的,还必须研究其动态特性,即动态的过渡过程。

通过研究机电传动系统的动态特性,可以分析如何缩短过渡过程的时间,从而提高生产率;还可以研究如何改善机电传动系统的运行情况,使设备安全运行。这些问题对某些生产机械具有更为重要的意义,比如龙门刨床的工作台、可逆式轧钢机、起重机等在工作中需要频繁地启动、制动、反转和调速,负载还可能有很大变化,过渡过程进行的时间在整个工作时间中占有很大的比重,因此,更需要研究过渡过程的有关问题;对升降机、载人电梯、地铁、电车等机电设备,要求启动、制动过程尽量平稳,加、减速度不能过大,以保证安全和舒适。因此,为满足各种要求,必须研究过渡过程的基本规律,如转速、转矩、电流等随时间的变化规律,才能正确选择机电传动装置,为控制系统提供控制原则,设计出完善的启动、制动等控制线路,从而改善产品质量、提高生产效率和减轻劳动强度。

2.2 机电传动系统的运动方程式

机电传动系统是一个由电动机拖动、通过传动机构带动生产机械运动的整体。机电传动系统的运动规律可以用运动方程式来描述。

2.2.1 单轴机电传动系统的运动方程

图 2-1 所示为一个单轴机电传动系统,它由电动机 M 产生电磁转矩 T ,克服负载转矩 T_L ,带动生产机械运动。

速度变化的大小与传动系统的转动惯量 J 有关,单轴机电传动系统的运动方程式为

$$T - T_L = J \frac{d\omega}{dt} \quad (2-1)$$

式中: T 为电动机产生的电磁转矩($N \cdot m$); T_L 为生产机械产生的负载转矩($N \cdot m$); J 为单轴机电传动系统的转动惯量($kg \cdot m^2$); ω 为单轴机电传动系统的角速度(rad/s); t 为时间(s)。

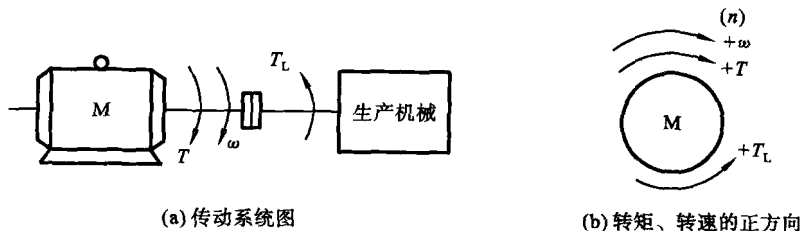


图 2-1 单轴机电传动系统

2.2.2 单轴机电传动系统的实用运动方程

在实际工程计算中,常用速度 n 代替角速度 ω ,用飞轮转矩 GD^2 代替转动惯量 J 。由于 $J = m\rho^2 = mD^2/4$,其中, ρ 和 D 定义为转动部分的回转半径和回转直径,而质量 m 和重力 G 的关系是 $G = mg$, g 为重力加速度。所以 J 与 GD^2 的关系为

$$J = \frac{1}{4} \frac{GD^2}{g}; \text{ 且 } \omega = \frac{2\pi}{60} n, g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

这样可得运动方程的实用表达式为

$$T - T_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (2-2)$$

式中: $375 = 4g \cdot 60 / (2\pi)$ 是含有加速度量纲的常数(m/s^2);飞轮转矩 GD^2 是一个整体物理量,量纲为 $N \cdot m^2$ 。