



21世纪高等学校  
机械设计制造及其自动化专业参考书

# 机电传动控制

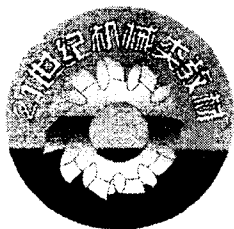
## 学习辅导与题解

邓星钟 主编

复习 ——— 理论提要  
考研 ——— 例题解析  
自考 ——— 考题精选

**好帮手**

华中科技大学出版社  
HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS  
E-mail: hustpp@wuhan.cnbg.com



21 世纪高等学校

机械设计制造及其自动化专业参考书

# 机电传动控制

## 学习辅导与题解

主编 邓~~俊~~钟

编者 邓~~俊~~钟 梁~~平~~德 坚

华中科技大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

机电传动控制学习辅导与题解/邓星钟 主编  
武汉:华中科技大学出版社, 2001年5月  
ISBN 7-5609-2414-X

- I. 机…
- II. ①邓… ②周… ③邓…
- III. 机电传动-控制系统-题解
- IV. TM921

**机电传动控制学习辅导与题解**

邓星钟 主编

责任编辑:黄以铭  
责任校对:王崇军

封面设计:潘群  
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

经 销:新华书店湖北发行所

录 排:华中科技大学惠友科技文印中心

印 刷:华中科技大学出版社印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:12.75

字数:243 000

版次:2001年5月第1版

印次:2001年5月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5609-2414-X/TM·87

定价:16.50元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

# 前 言

“机电传动控制”课程是机械类、机械设计制造及其自动化、机械电子工程（机电一体化）等专业的一门主干技术基础课。《机电传动控制》一书出版后，诸多兄弟院校选用了该书作为教材。为了配合教学和帮助学生提高学习效率、深刻理解教材中各章节的要点和难点、掌握解决问题的思路和方法，编者根据多年来所积累的教学和实践经验、学生学习中反映出的问题，编写了《机电传动控制学习辅导与题解》，书中不但对各章的要点和难点进行了归纳，还对大量的有代表性的例题进行了剖析，并编入了自测练习题及其答案。每章后专列一节——教学方面的建议，供授课教师参考。

本书可供机械类、机械设计制造及其自动化、机械电子工程等专业的大学本、专科学生和电大、函大、夜大、高职、网大学生学习参考，亦可作为讲授“机电传动控制”课程的教师和准备报考研究生的读者作参考用书。

## 1. 对本课程学习的基本要求

本课程的前修课程主要是电路和磁路、模拟电子技术、数字电子技术，后续课程主要是数控技术。对本课程学习的基本要求是：

- ① 了解机电传动控制系统的组成，掌握机电传动的基本规律；
- ② 掌握常用电机、常用电器、晶闸管及其基本电路的基本工作原理、主要特性，了解其应用与选用；
- ③ 掌握继电器-接触器控制、可编程序控制器的基本工作原理，学会用它们来实现生产过程的自动控制；
- ④ 掌握常用的开环、闭环驱动控制系统的基本工作原理和特点，了解其性能和应用场所；
- ⑤ 学会分析机电传动控制系统的基本方法。

## 2. 学好本课程的方法

学习时首先要了解问题是如何提出的，特别要注意对基本物理概念、基本工作原理、基本公式的理解和掌握，学会分析问题的思路和方法，注意各部分内容之间的联系，了解其应用；而后去做教材中有关的习题、思考题以及本书中的自测练习，借以检验所学内容

的掌握程度。对于以自学为主的读者，必须合理安排时间，按计划阅读教材，按时完成指定的作业，提高学习效率。

### 3. 对使用《机电传动控制》教材教学方案的建议

本课程的教学总学时为 90 学时，课堂讲授学时为 74 学时，8 个实验共 16 学时。下面介绍使用《机电传动控制》教材的参考教学方案，内容包含两部分：第一部分为各教学环节学时分配表；第二部分是编制本教学方案的几点说明。

#### (1) 各教学环节学时分配表

章节号	内 容	讲 课 学时数	实 验	
			个数	学时数
第一章	概述	1		
第二章	机电传动系统的动力学基础	2		
第三章	直流电机的工作原理与其特性	共 7		
3.1	直流电机的基本结构和工作原理	1.5		
3.2	直流发电机	0.5		
3.3	直流电动机的机械特性	2		
3.4	直流他励电动机的启动特性	1		
3.5	直流他励电动机的调速特性	1		
3.6	直流他励电动机的制动特性	1		
第四章	机电传动系统的过渡过程	2		
第五章	交流电动机的工作原理及其特性	共 10		
5.1	三相异步电动机的结构和工作原理	1.5		
5.2	三相异步电动机的定子电路和转子电路	1.5		
5.3	三相异步电动机的转矩与机械特性	1		
5.4	三相异步电动机的启动特性	2		
5.5	三相异步电动机的调速特性	1		
5.6	三相异步电动机的制动特性	1		
5.7	单相异步电动机	1		
5.8	同步电动机的工作原理、特点及应用	1		
第六章	控制电机	3		
第七章	机电传动控制系统中电动机的选择	1		
第八章	继电器-接触器控制系统	共 8	2	共 4
8.1	常用控制电器与执行电器	2		
8.2	继电器-接触器控制的常用基本线路	6		
8.3	继电器-接触器控制线路举例			
8.4	继电器-接触器控制线路设计简介			

续表

章节号	内 容	讲 课 学时数	实 验	
			个数	学时数
第九章	可编程序控制器	共 8	2	共 4
9.1	可编程序控制器的基本结构、工作原理和主要特点	1		
9.2	可编程序控制器的内部等效继电器电路	1		
9.3	可编程序控制器的编程和指令系统	3		
9.4	可编程序控制器的应用	3		
第十章	电力电子学——晶闸管及其基本电路	共 10	1	2
10.1	电力半导体器件	2		
10.2	单相可控整流电路	4		
10.3	三相可控整流电路	1		
10.4	逆变器	2		
10.5	晶闸管的触发电路	1		
10.6	晶闸管的串并联和保护			
第十一章	直流传动控制系统	共 12	1	2
11.1	机电传动控制系统的组成和分类	1		
11.2	机电传动控制系统调速方案的选择	2		
11.3	晶闸管-电动机直流传动控制系统	7		
11.4	晶体管-电动机直流脉宽调速系统	1.5		
11.5	微型计算机控制的直流传动系统	0.5		
第十二章	交流传动控制系统	5	1	2
第十三章	步进电动机传动控制系统	共 5	1	2
13.1	步进电动机	1		
13.2	步进电动机的环形分配器	2		
13.3	步进电动机的驱动电路	1.5		
13.4	步进电动机的运行特性及选用中应注意的问题	0.5		
总 计		74	8	16

## (2) 编写本教学方案的几点说明

本教学方案仅供教师使用该教材时参考，编写本教学方案时，总的想法是：

① 坚持“教师为主导，学生为主体”的思想，教师的“精讲”与学生的“自学”相结合，教师主要起“启发”和“引导”的作用，贯彻“少而精”的原则，以点带面去激发学生获得更多知识的欲望，调动学生的学习自觉性；

② 要尽力采用现代化、多媒体教学手段和现场教学，理论联系实际，以增加课堂教学信息量和感性认识，培养学生的创新能力；

③ 结合学生的作业可采用一些课堂讨论，以调动学生的学习兴趣和积极性，使课堂“活”起来，提供“相互学习”的机会，培养学生探索与追求知识的能力；

④ 本课程的课内外学时比为 1:1.5。

至于各章节内容的取舍和教学方法，将在各章后提出一些不成熟的建议，但这些浅见仅供教师们在所处的具体条件下教学时参考，也欢迎老师们多给我们反馈宝贵经验，共同探讨最佳的教学方案。

#### 4. 作业与自测练习

在学懂书中基本内容的基础上再做一些习题，可以起到巩固概念、熟练运算、启发思维的作用，完成好作业是巩固和加深所学知识、培养分析问题和解决问题能力的有效途径。为此，各章拟做适当数量的习题，解题时要看懂题意，注意分析，对号入座，不要乱套。本书介绍的解题方法只供参考（有的题解也不是唯一的），绝对不要去凑答案。未指定要作的习题与思考题，也要逐个思考，找出解决问题的理论依据和思路。通过对自测练习的试做，可以较全面地检查各章所学内容的掌握程度。

#### 5. 实验

本课程拟开出的八个实验（每个实验 2 学时）是：

- (1) 交流电动机的继电器-接触器控制（一）
- (2) 交流电动机的继电器-接触器控制（二）
- (3) 可编程序控制器（一）
- (4) 可编程序控制器（二）
- (5) 晶闸管特性及可控整流电路
- (6) 直流电动机闭环调速系统
- (7) 交流电动机变频调速系统
- (8) 步进电动机调速系统

实验是验证和巩固所学理论、训练实践技能、培养求实和严谨的科学作风的重要环节，这对于本课程尤为重要。实验前要细看说明书，认真准备；实验时要积极思考，多动手，学会正确使用电气设备和仪器，能正确连线和操作；实验后对实验现象和数据要认真分析，写出有收获和体会的实验报告。

本书的第二、三、四、五、六、七、八、九章由邓坚编写，第十二、十三章由周祖德编写，邓星钟编写第十、十一、十四章并负责全书定稿。

由于我们缺乏编写这类书籍的经验，所以肯定问题不少，恳请读者多提意见并批评指正。

编者

2001 年 2 月

## 内 容 提 要

本书按照《机电传动控制》教材的章次，逐一简述学习各章应掌握的基本概念和知识、基本要求、重点和难点。为供授课教师参考，还对教学方面提出了一些建议。本书通过诸多例题介绍了解题的思路和方法，并适当扩展了教材中部分理论联系实际的内容，亦提供了适量的自测练习题及参考答案，最后给出了4套模拟试题及参考答案。

本书是机电类《机电传动控制》(第三版)教材的配套教学用书，既可帮助学生加深对教材内容的理解和掌握，又可供从事该课程教学的教师进行教学、开展教学研究时参考，准备报考研究生的读者和从事机电一体化工作的工程技术人员亦可参考。



# 目 录

---

第一章 概述 (略)	(1)
第二章 机电传动系统的动力学基础	(2)
2.1 知识要点	(2)
2.1.1 基本内容	(2)
2.1.2 基本要求	(5)
2.1.3 重点与难点	(5)
2.2 例题解析	(5)
2.3 学习自评	(10)
2.3.1 自测练习	(10)
2.3.2 自测练习参考答案	(12)
2.4 关于教学方面的建议	(12)
第三章 直流电机的工作原理及其特性	(13)
3.1 知识要点	(13)
3.1.1 基本内容	(13)
3.1.2 基本要求	(18)
3.1.3 重点与难点	(19)
3.2 例题解析	(19)
3.3 学习自评	(23)
3.3.1 自测练习	(23)
3.3.2 自测练习参考答案	(24)
3.4 关于教学方面的建议	(25)

<b>第四章 机电传动系统的过渡过程</b> .....	(26)
4.1 知识要点 .....	(26)
4.1.1 基本内容 .....	(26)
4.1.2 基本要求 .....	(27)
4.1.3 重点与难点 .....	(27)
4.2 例题解析 .....	(27)
4.3 学习自评 .....	(33)
4.3.1 自测练习 .....	(33)
4.3.2 自测练习参考答案 .....	(34)
4.4 关于教学方面的建议 .....	(34)
<b>第五章 交流电动机的工作原理及其特性</b> .....	(35)
5.1 知识要点 .....	(35)
5.1.1 基本内容 .....	(35)
5.1.2 基本要求 .....	(38)
5.1.3 重点与难点 .....	(38)
5.2 例题解析 .....	(39)
5.3 学习自评 .....	(57)
5.3.1 自测练习 .....	(57)
5.3.2 自测练习参考答案 .....	(59)
5.4 关于教学方面的建议 .....	(60)
<b>第六章 控制电机</b> .....	(61)
6.1 知识要点 .....	(61)
6.1.1 基本内容 .....	(61)
6.1.2 基本要求 .....	(63)
6.1.3 重点与难点 .....	(63)
6.2 例题解析 .....	(64)
6.3 学习自评 .....	(67)
6.3.1 自测练习 .....	(67)
6.3.2 自测练习参考答案 .....	(67)
6.4 关于教学方面的建议 .....	(68)
<b>第七章 机电传动控制系统中电动机的选择</b> .....	(69)
7.1 知识要点 .....	(69)

7.1.1 基本内容 .....	(69)
7.1.2 基本要求 .....	(70)
7.1.3 重点与难点 .....	(70)
7.2 例题解析 .....	(70)
7.3 学习自评 .....	(73)
7.3.1 自测练习 .....	(73)
7.3.2 自测练习参考答案 .....	(74)
7.4 关于教学方面的建议 .....	(74)
<b>第八章 继电器-接触器控制系统 .....</b>	<b>(75)</b>
8.1 知识要点 .....	(75)
8.1.1 基本内容 .....	(75)
8.1.2 基本要求 .....	(76)
8.1.3 重点与难点 .....	(77)
8.2 例题解析 .....	(77)
8.3 学习自评 .....	(88)
8.3.1 自测练习 .....	(88)
8.3.2 自测练习参考答案 .....	(90)
8.4 关于教学方面的建议 .....	(90)
<b>第九章 可编程序控制器 .....</b>	<b>(91)</b>
9.1 知识要点 .....	(91)
9.1.1 基本内容 .....	(91)
9.1.2 基本要求 .....	(93)
9.1.3 重点与难点 .....	(93)
9.2 例题解析 .....	(93)
9.3 学习自评 .....	(109)
9.3.1 自测练习 .....	(109)
9.3.2 自测练习参考答案(略) .....	(112)
9.4 关于教学方面的建议 .....	(112)
<b>第十章 电力电子学——晶闸管及其基本电路 .....</b>	<b>(113)</b>
10.1 知识要点 .....	(113)
10.1.1 基本内容 .....	(113)
10.1.2 基本要求 .....	(117)

10.1.3 重点与难点 .....	(117)
10.2 例题解析 .....	(118)
10.3 学习自评 .....	(126)
10.3.1 自测练习 .....	(126)
10.3.2 自测练习参考答案 .....	(128)
10.4 关于教学方面的建议 .....	(129)
<b>第十一章 直流传动控制系统 .....</b>	<b>(130)</b>
11.1 知识要点 .....	(130)
11.1.1 基本内容 .....	(130)
11.1.2 基本要求 .....	(133)
11.1.3 重点与难点 .....	(133)
11.2 例题解析 .....	(134)
11.3 学习自评 .....	(140)
11.3.1 自测练习 .....	(140)
11.3.2 自测练习参考答案 .....	(142)
11.4 关于教学方面的建议 .....	(143)
<b>第十二章 交流传动控制系统 .....</b>	<b>(144)</b>
12.1 知识要点 .....	(144)
12.1.1 基本内容 .....	(144)
12.1.2 基本要求 .....	(145)
12.1.3 重点与难点 .....	(146)
12.2 例题解析 .....	(146)
12.3 学习自评 .....	(148)
12.3.1 自测练习 .....	(148)
12.3.2 自测练习参考答案(略) .....	(148)
12.4 关于教学方面的建议 .....	(148)
<b>第十三章 步进电动机传动控制系统 .....</b>	<b>(149)</b>
13.1 知识要点 .....	(149)
13.1.1 基本内容 .....	(149)
13.1.2 基本要求 .....	(151)
13.1.3 重点与难点 .....	(151)
13.2 例题解析 .....	(151)

---

13.3 学习自评 .....	(153)
13.3.1 自测练习 .....	(153)
13.3.2 自测练习参考答案 .....	(153)
13.4 关于教学方面的建议 .....	(154)
<b>第十四章 模拟试题及参考答案 .....</b>	<b>(155)</b>
模拟试题 I .....	(155)
模拟试题 I 参考答案 .....	(159)
模拟试题 II .....	(164)
模拟试题 II 参考答案 .....	(167)
模拟试题 III .....	(173)
模拟试题 III 参考答案 .....	(177)
模拟试题 IV .....	(181)
模拟试题 IV 参考答案 .....	(185)

# 第一章

## 概 述

---

(略)

## 第二章

# 机电传动系统的动力学基础

## 2.1 知识要点

### 2.1.1 基本内容

#### 1. 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，并通过传动机构带动生产机械运转的机电运动的动力学整体[如图 2.1(a)所示]；尽管电动机种类繁多、特性各异，生产机械的负载性质也可以各种各样，但从动力学的角度来分析时，则都应服从动力学的统一规律，即在同一传动轴上电动机转矩  $T_M$ 、负载转矩  $T_L$ 、转轴角速度  $\omega$  三者之间符合下面的关系：

$$T_M - T_L = J \frac{d\omega}{dt} \quad (2.1)$$

或用转速  $n$  代替角速度  $\omega$ ，则为

$$T_M - T_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (2.2)$$

式(2.1)和式(2.2)称为机电传动系统的运动方程式。

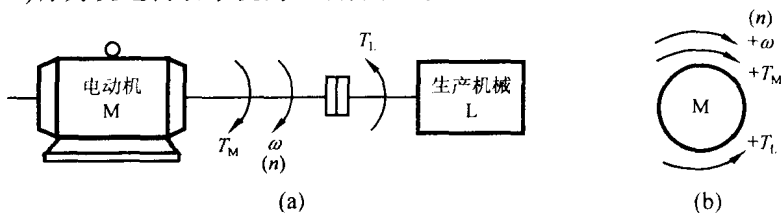


图 2.1 单轴拖动系统

(a) 传动系统图 (b) 转矩、转速的正方向

机电传动系统的运动方程式是描述机电系统机械运动规律的最基本方程式，它决定着系统的运行状态，当动态转矩  $T_d = T_M - T_L = 0$  时，加速度  $a = \frac{dn}{dt} = 0$ ，表示没有动态转矩，系统恒(匀)速运转，即系统处于稳态；当  $T_d \neq 0$  时， $a = \frac{dn}{dt} \neq 0$ ，表示系统处于动态， $T_d > 0$  时， $a = dn/dt$  为正，传动系统为加速运动； $T_d < 0$  时， $a = dn/dt$  为负，系统为减速运动。因式(2.1)和式(2.2)中的  $T_M$ 、 $T_L$  既有大小还有方向（正负），故确定传动系统的运行状态不仅取决于  $T_M$  和  $T_L$  的大小，还要取决于  $T_M$  和  $T_L$  的正负（方向）。因此，列机电传动系统的运动方程式和电路平衡方程时，必须规定各电量的正方向，也必须规定各机械量的正方向。对机电传动系统中各机械量的正方向约定[见图 2.1(b)]如下：在确定了转速  $n$  的正方向后，电动机转矩  $T_M$  取与  $n$  相同的方向为正方向，负载转矩  $T_L$  取与  $n$  相反的方向为正方向，因此，若  $T_M$  与  $n$  符号相同，则表示  $T_M$  与  $n$  的方向一致；若  $T_L$  与  $n$  符号相同，则表示  $T_L$  与  $n$  方向相反。也可以由  $T_M$ 、 $T_L$  的方向来确定  $T_M$ 、 $T_L$  的正负。

根据上述约定，可以从转矩与转速的符号上判定  $T_M$  和  $T_L$  的性质：若  $T_M$  与  $n$  符号相同（同为正或同为负），则表示  $T_M$  的作用方向与  $n$  相同， $T_M$  为拖动转矩；若  $T_M$  与  $n$  符号相反，则表示  $T_M$  的作用方向与  $n$  相反， $T_M$  为制动转矩。而若  $T_L$  与  $n$  符号相同，则表示  $T_L$  的作用方向与  $n$  相反， $T_L$  为制动转矩；若  $T_L$  与  $n$  符号相反，则表示  $T_L$  的作用方向与  $n$  相同， $T_L$  为拖动转矩。

## 2. 多轴系统中转矩、转动惯量和飞轮转矩的折算原则

机电传动系统运动方程式中的转矩、转动惯量及飞轮转矩等，均分别为同一轴上的数值。若运动系统为多轴系统，则必须将上述各量折算到同一转轴上才能列出整个系统的运动方程式。由于一般均以传动系统的电动机轴为研究对象，因此，一般都是将它们折算到电动机轴上。

转矩折算应依据系统传递功率不变的原则，转动惯量和飞轮转矩折算应依据系统贮存的动能不变的原则。

## 3. 生产机械负载的类型

根据生产机械在运动中所受阻力的性质不同，可以将它们分成恒转矩型、通风机型、直线型和恒功率型等几种类型的负载（其机械特性见教材图 2.4~图 2.7）。恒转矩型负载又有两种不同性质的负载转矩，即反抗转矩和位能转矩。反抗转矩是由摩擦力、机床切削力等产生的负载转矩，其作用方向恒与运动方向相反，总是阻碍系统运动；位能转矩是由物体的重力或弹性体的弹性力产生的负载转矩，其作用方向固定不变，与运动的方向无关。



#### 4. 机电传动系统稳定运行的条件

在机电传动系统中，电动机与生产机械连成一体，为了使系统运行合理，就要使电动机的机械特性与生产机械的机械特性尽量相配合。特性配合好的一个基本要求是系统要能稳定运行。

机电传动系统的稳定运行有两层含义：一是系统应能以一定速度匀速运转，即电动机轴上的拖动转矩  $T_M$  和折算到电动机轴上的负载转矩  $T_L$  大小相等，方向相反，相互平衡，这是必要条件。二是系统受某种外部干扰作用（如电压波动、负载转矩波动等）而使运行速度稍有变化时，应保证在干扰消除后系统能恢复到原来的运行速度，这是充分条件。

从机械特性[如图 2.2 所示，曲线 1 为异步电动机的机械特性  $n=f(T_M)$ ，直线 2 为恒转矩型生产机械的机械特性  $n=f(T_L)$ ]上看，机电传动系统稳定运行的必要充分条件是：

- ① 电动机和生产机械的机械特性曲线  $n=f(T_M)$  和  $n=f(T_L)$  有交点（如 A、B 两点，即拖动系统的平衡点）。
- ② 当转速大于平衡点所对应的转速（即  $n' > n$ ）时，必须有  $T_M' < T_L$ ，即若干扰使转速上升，当干扰消除后应有  $T_M' - T_L < 0$ ，才能使系统减速而回到平衡点；而当转速小于平衡点所对应的转速（ $n'' < n$ ）时，必须有  $T_M'' > T_L$ ，即若干扰使转速下降，当干扰消除后应有  $T_M'' - T_L > 0$ ，才能使系统加速而回到平衡点。

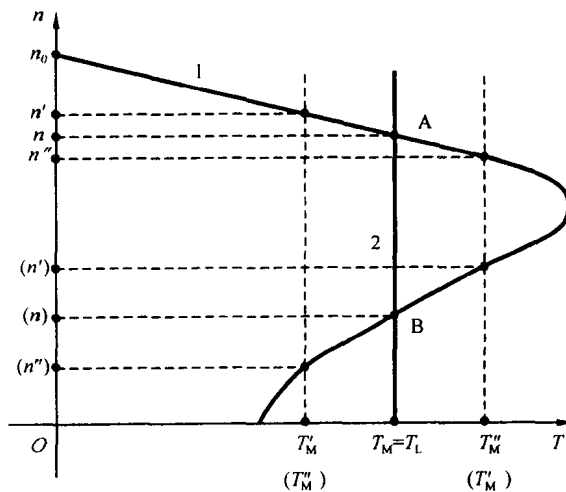


图 2.2 稳定工作点的判别

只有满足上述两个条件的平衡点，才是拖动系统的稳定平衡点，即只有这样的特性配合，系统在受到外界干扰后，才具有恢复到原平衡状态的能力而进入稳定运行。显然，图