

21  
Century

21世纪高等院校电气信息类系列教材

# 电机与拖动基础 学习指导与习题解答

单海欧 孙海军 刘权中 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

# 电机与拖动基础学习 指导与习题解答

单海欧 孙海军 刘权中 主编



机械工业出版社

本书是《电机与拖动基础》教材配套学习指导书，以培养和提高学生自主学习能力和基本指导思想而编写。内容主要包括基本理论、直流电机、变压器、交流电机、同步电机五大部分。全书总结了每部分的知识、重点难点、知识框图，给出了重点内容的典型习题，题型涵盖选择、填空、判断、简答和计算题。书中精选的典型例题数量众多、难易程度不同，方便读者及时检查学习情况，加深对重要知识和方法的理解。

全书以电机为主线，讲述清晰，重点突出，循序渐进，富于启发，便于读者自学。本书适合用作普通高等学校电气工程及其自动化专业的教材，或用作其他相关专业的参考书，也可供有关科技人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电机与拖动基础学习指导与习题解答/单海欧, 孙海军, 刘权中主编.  
—北京: 机械工业出版社, 2018.1  
21 世纪高等院校电气信息类系列教材  
ISBN 978-7-111-58466-7

I. ①电… II. ①单… ②孙… ③刘… III. ①电机-高等学校-教学参考资料 ②电力传动-高等学校-教学参考资料 IV. ①TM3②TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 303960 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 尚晨 责任编辑: 张艳霞

责任校对: 李晶 责任印制: 孙炜

北京玥实印刷有限公司印刷

2018 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·10.25 印张·242 千字

0001-2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-58466-7

定价: 35.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线: (010)88379833

读者购书热线: (010)88379649

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)



# 前 言

《电机与拖动学习指导与习题解答》为适应高等院校电类专业教学改革实际需要而编写，教材中共包含电机原理和电力拖动两部分，主要内容有直流电机、变压器、交流电机、特殊电机的基本结构及理论，电动机的电力拖动、电动机的选择。本书共分9章，为了适应工学结合、项目驱动的教学改革原则，每章均附有要点提要、典型例题、知识框图、习题解答等部分。

本书深度适宜，实用性强，层次分明，条理清晰，概念阐述清楚、准确，可作为高等院校、高等专科学校、成人高校及民办高校机电一体化、应用电子技术、自动控制、仪器仪表测量、计算机应用、机械制造、数控加工和模具技术等专业的教学用书，也可作为相关专业的培训教材或相关工程技术人员的技术参考及学习用书。

本书由辽宁石油化工大学单海欧、孙海军、刘权中主编，王立言参与编写，编写过程中还参考了许多同行及前辈编写的专著和教材，在此一并表示感谢。由于作者学识有限，编写仓促，书中难免会有疏漏和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

第1章 绪论	1
1.1 内容提要	1
1.1.1 基本要求	1
1.1.2 掌握要点	1
1.2 知识框图	2
1.3 典型例题	2
1.4 习题	4
1.5 习题答案	5
第2章 电力拖动系统动力学	6
2.1 内容提要	6
2.1.1 基本要求	6
2.1.2 掌握要点	6
2.2 知识框图	7
2.3 典型例题	7
2.4 习题	9
2.5 习题答案	9
第3章 直流电机	11
3.1 内容提要	11
3.1.1 基本要求	11
3.1.2 掌握要点	11
3.2 知识框图	13
3.3 典型例题	13
3.4 习题	17
3.5 习题答案	23
第4章 直流电机拖动系统的静态特性	35
4.1 内容提要	35
4.1.1 基本要求	35
4.1.2 掌握要点	35
4.2 知识框图	40
4.3 典型例题	40
4.4 习题	45
4.5 习题答案	51

<b>第 5 章 变压器</b> .....	61
5.1 内容提要 .....	61
5.1.1 基本要求 .....	61
5.1.2 掌握要点 .....	61
5.2 知识框图 .....	65
5.3 典型例题 .....	65
5.4 习题 .....	69
5.5 习题答案 .....	75
<b>第 6 章 三相异步电动机</b> .....	85
6.1 内容提要 .....	85
6.1.1 基本要求 .....	85
6.1.2 掌握要点 .....	85
6.2 知识框图 .....	88
6.3 典型例题 .....	88
6.4 习题 .....	90
6.5 习题答案 .....	96
<b>第 7 章 三相异步电动机拖动系统的静态特性</b> .....	104
7.1 内容提要 .....	104
7.1.1 基本要求 .....	104
7.1.2 掌握要点 .....	104
7.2 知识框图 .....	109
7.3 典型例题 .....	109
7.4 习题 .....	112
7.5 习题答案 .....	117
<b>第 8 章 同步电动机</b> .....	128
8.1 内容提要 .....	128
8.1.1 基本要求 .....	128
8.1.2 掌握要点 .....	128
8.2 知识框图 .....	133
8.3 典型例题 .....	133
8.4 习题 .....	136
8.5 习题答案 .....	140
<b>第 9 章 综合测试</b> .....	149
9.1 模拟试题一 .....	149
9.2 模拟试题二 .....	150
9.3 模拟试题答案 .....	152
<b>参考文献</b> .....	155

# 第1章 绪 论

## 1.1 内容提要

### 1.1.1 基本要求

1. 了解电机及电机拖动的发展概况；
2. 熟悉电路的常用定律，掌握磁路的基本概念和常用定律；
3. 理解磁路和电路的联系与区别。

### 1.1.2 掌握要点

重点掌握磁感应强度、磁通、磁场强度。

#### (1) 磁感应强度 $B$

国际单位：T（特斯拉，简称“特”）， $1\text{T}=1\text{Wb}/\text{m}^2$ 。

磁场是电流通入导体后产生的，表征磁场强弱及方向的物理量是磁感应强度  $B$ ，是一个矢量。磁场中各点的磁感应可以用闭合的磁感应矢量线来表示，它与产生它的电流方向可以用右手螺旋定则来确定。

#### (2) 磁通 $\Phi$

国际单位：Wb（韦伯，简称“韦”）。

在均匀磁场中，磁感应强度  $B$  的大小与垂直于磁场方向面积  $A$  的乘积，为通过该面积的通量，称为磁通量，简称磁通  $\Phi$ ，也可简称“磁通密度”。

若用磁感应矢量线来描述磁场，通过单位面积磁感应矢量线的疏密反映了磁感应强度（磁通密度）的大小以及磁通量的多少。

#### (3) 磁场强度 $H$

国际单位：A/m（安/米）。

磁场强度  $H$  是计算磁场时所引用的一个物理量，是一个矢量。用来表示物质磁导能力大小的物理量称为“磁导率”  $\mu$ ，它与磁场强度  $H$  的乘积等于磁感应强度  $B$ ，即：

$$B=\mu H$$

真空的磁导率为  $\mu_0$ ，国际单位制中  $\mu_0=4\pi\times 10^{-7}\text{H}/\text{m}$ ，铁磁材料的磁导率  $\mu_{\text{Fe}}\gg\mu_0$ 。

掌握磁路的常用定律：重点掌握安培环路定律、磁路的基尔霍夫第一和第二定律。

#### (4) 安培环路定律

磁场中沿任意一个闭合环路的磁场强度的线积分等于穿过这个环路的所有电流的代数

和，亦称全电流定律，即：

$$\int H \, dl = \sum I = \sum Ni$$

### (5) 磁路的基尔霍夫第一（磁通）定律

通常铁心都不会是一个简单回路，而是带有并联分支的磁路，若令进入闭合面的磁通为正，穿出闭合面的磁通为负，则闭合面积分得：

$$\sum \phi = 0$$

### (6) 磁路的基尔霍夫第二（磁动势）定律

由于电机和变压器的磁路总是由数段的不同截面、不同铁磁材料的铁心组成，还可能含有气隙，因此在磁路计算时，总是把整个磁路分成若干段，每段由同一材料构成、其截面积相同且段内磁通密度处处相等，从而磁场强度亦处处相等。

$$Ni = \sum_{i=0}^k H_k l_k = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 + \dots + H_\delta \delta$$

## 1.2 知识框图

电机的本质：利用电磁感应原理实现  $\left\{ \begin{array}{l} \text{能量转换的装置或元件} \\ \text{信号变换} \end{array} \right.$

电机的分类：（按能量转换方式）  $\left\{ \begin{array}{l} \text{发电机（机械能} \rightarrow \text{电能）} \\ \text{电动机（电能} \rightarrow \text{机械能）} \\ \text{变压器（电能} \rightarrow \text{电能）} \end{array} \right.$

磁路的基本概念  $\left\{ \begin{array}{l} \text{磁通 } \Phi \\ \text{磁感应强度 } B \\ \text{磁场强度 } H \\ \text{磁动势 } F \\ \text{磁阻 } R_m \\ \text{磁导 } A_m \end{array} \right.$

磁路的基常用定律  $\left\{ \begin{array}{l} \text{磁路的欧姆定律} \\ \text{安培环路定律} \\ \text{基尔霍夫第一（磁通）定律} \\ \text{基尔霍夫第二（磁动势）定律} \\ \text{电磁感应定律（左手定则）} \\ \text{电磁力定律（右手定则）} \\ \text{能量守恒定律} \end{array} \right.$

## 1.3 典型例题

【例 1-1】有一闭合铁心磁路，铁心的截面积  $A = 9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ，磁路的平均长度 0.3 m，铁心的磁导率为  $\mu_{Fe} = 5000\mu_0$ （ $\mu_0$  为真空的磁导率， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ ），套装在铁心上的励磁绕



组为 500 匝，不计漏磁。试求在铁心中产生 1T 的磁感应强度时，所需的励磁磁动势和励磁电流。

解：安培环路定律，即全电流定律：
$$\sum_{k=1}^n H_k l_k = \sum I = \sum Ni$$

利用安培环路定律，可知：

$$\text{磁感应强度：} H = \frac{B}{\mu_{Fe}} = \frac{1}{5000 \times 4\pi \times 10^{-7}} \text{ A/m} = 159 \text{ A/m}$$

$$\text{磁动势：} F = Hl = 159 \times 0.3 \text{ A} = 47.7 \text{ A}$$

$$\text{励磁电流：} i = \frac{F}{N} = \frac{47.7}{500} \text{ A} = 9.54 \times 10^{-2} \text{ A}$$

**【例 1-2】** 若在图 1-1 中的磁路中，打开一个长度  $\delta = 5 \times 10^{-4} \text{ m}$  的气隙，问铁心中产生 1T 的磁感应强度时，所需的励磁磁动势为多少？已知铁心截面积  $A_{Fe} = 3 \times 3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ， $\mu_{Fe} = 5000\mu_0$ 。考虑到气隙磁场的边缘效应，计算气隙面积时应当用有效面积。

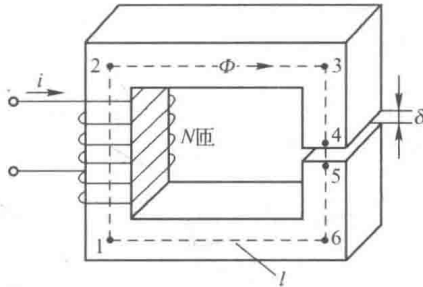


图 1-1 简单磁路示例

解：基尔霍夫第二（磁动势）定律，即  $N_i = \sum_{k=1}^k H_k l_k = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 + \dots + H_\delta \delta$

利用磁路的基尔霍夫第二（磁动势）定律来求解：

$$\text{铁心内的磁场强度：} H_{Fe} = \frac{B_{Fe}}{\mu_{Fe}} = \frac{1}{5000 \times 4\pi \times 10^{-7}} \text{ A/m} = 159 \text{ A/m}$$

气隙的有效面积：

$$\begin{aligned} A_{s(\text{有效})} &= (a+\delta)(b+\delta) \\ &= (3+0.05)(3+0.05) \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 9.303 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{气隙内的磁感应强度：} B_\delta = B_{Fe} \frac{A_{Fe}}{A_{\delta(\text{有效})}} = 1 \times \frac{3 \times 3}{9.303} \text{ T} = 0.967 \text{ T}$$

$$\text{气隙内的磁场强度：} H_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0} = \frac{0.967}{4\pi \times 10^{-7}} \text{ A/m} = 77 \times 10^4 \text{ A/m}$$

$$\text{铁心的磁位降：} H_{Fe} l_{Fe} = 159 \times (0.3 - 0.0005) \text{ A} = 47.6 \text{ A}$$

$$\text{气隙的磁位降：} H_\delta l_\delta = 77 \times 10^4 \times 5 \times 10^{-4} \text{ A} = 385 \text{ A}$$

$$\text{励磁磁动势：} F = H_{Fe} l_{Fe} + H_\delta l_\delta = 432.6 \text{ A}$$

由此可见，气隙虽然很短，仅  $5 \times 10^{-4} \text{ m}$ （仅占磁路总长度的 0.167%），但其磁位降却占整个磁路的 89%。

## 1.4 习题

### 一、选择题

1. 能够表征磁场强弱及方向的物理量是 ( )。

- A. 磁通                      B. 磁场强度                      C. 磁感应强度                      D. 磁动势

2. 描述错误的是 ( )。

- A. 磁感应强度可用闭合的磁感应矢量线来表示, 它的方向与产生它的电流方向可以用右手螺旋定则来确定  
B. 若用磁感应矢量线来描述磁场, 通过单位面积磁感应矢量线的疏密反映了磁感应强度的大小以及磁通量的多少  
C. 磁导率  $\mu$  与磁场强度  $H$  的乘积等于磁感应强度  $B$ , 即  $B = \mu H$   
D. 铁磁材料的磁导率  $\mu_{Fe} \ll \mu_0$

### 二、填空题

1. 就像把电流流过的路径称为电路一样, 磁通所通过的路径称为\_\_\_\_\_。

2. 对于线性电路, 计算时可以应用\_\_\_\_\_, 但对于铁心磁路, 计算时不能应用叠加原理, 因为铁心饱和时磁路为\_\_\_\_\_。

3. 所谓全电流定律, 或称\_\_\_\_\_, 即磁场中沿任意一个闭合环路的磁场强度的线积分等于穿过这个环路的所有电流的\_\_\_\_\_。

### 三、简答题

磁路与电路具有一定的相似性, 但二者还有本质的区别, 请简述回答磁路和电路的区别。

### 四、计算题

1. 图 1-2 所示的铸钢铁心线圈内通入电流产生磁动势 1500 A, 其尺寸见表 1-1, 试求下列三种情况下, 右边线圈应加的磁动势值:

(1) 气隙磁通为  $1.65 \times 10^{-4}$  Wb 时;

(2) 气隙磁通为零时;

(3) 右边铁心柱中的磁通为零时。

表 1-1 图 1-1 的铸钢铁心尺寸

路径	截面积/ $10^{-4} \text{ m}^2$	长度/ $10^{-2} \text{ m}$
abcd	4	50
aghd	5	75
af	2.5	10
fe	2.75	0.25
ed	2.5	10

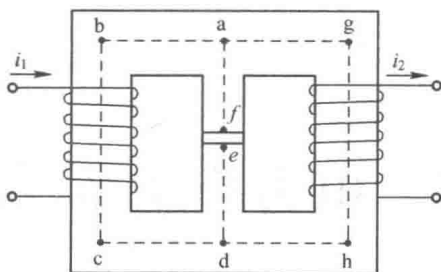


图 1-2 磁路铁心示例

## 1.5 习题答案

### 一、选择题

1. C 2. D

### 二、填空题

1. 磁通; 2. 叠加原理、非线性; 3. 安培环路定律、代数和。

### 三、简答题

1.

解: 磁路与电路仅是一种形式上的类似, 而不是物理本质的相似, 二者还有本质的区别。

(1) 电路中有电流  $I$  时, 就有功率损耗  $I^2R$ ; 而在直流磁路中, 维持一定的磁通量  $\phi$  时, 铁心中没有功率损耗。

(2) 在电路中可以认为电流全部在导线中流通, 导线外没有电流。在磁路中, 则没有绝对的磁绝缘体, 除了铁心中的磁通外, 实际上总有一部分漏磁通散布在周围的空气中。

(3) 电路中导体的电阻率  $\rho$  在一定的温度下是不变的, 而磁路中铁心的磁导率  $\mu_{Fe}$  却不是常值, 它是随铁心的饱和程度大小而变化的。

(4) 对于线性电路, 计算时可以应用叠加原理, 但对于铁心磁路, 计算时不能应用叠加原理, 因为铁心饱和时磁路为非线性。

### 四、计算题

解: 过程略, 可利用磁路的基尔霍夫第二定律, 具体可参考【例 1-2】, 答案为:

(1)  $F_2 = 1233.8 \text{ A}$ ; (2)  $F_2 = -960 \text{ A}$ ; (3)  $F_2 = 1351 \text{ A}$ 。

# 第 2 章 电力拖动系统动力学

## 2.1 内容提要

### 2.1.1 基本要求

1. 了解电力拖动系统的组成；
2. 掌握电力拖动运动方程式；
3. 掌握负载转矩特性。

### 2.1.2 掌握要点

1. 电力拖动系统一般由电动机、生产机械的传动机构、工作机构、控制设备和电源组成，通常又把传动机构和工作机构称为电动机的机械负载。

2. 电力拖动运动方程的实用形式为

$$\text{电动机的电磁转矩 } T \text{ 与生产机械的负载转矩 } T_L \text{ 的关系: } \pm T - (\pm T_L) = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}$$

(1) 当  $T = T_L$  时,  $dn/dt = 0$ , 则  $n = 0$  或  $n = \text{常数}$ , 表示电力拖动系统处于静止不动或以恒定转速旋转的状态。

(2) 当  $T > T_L$  时,  $dn/dt > 0$ , 电力拖动系统处于加速状态。

(3) 当  $T < T_L$  时,  $dn/dt < 0$ , 电力拖动系统处于减速状态。

由此可知, 当  $T = T_L$  时, 系统处于稳定运行状态; 当  $T \neq T_L$ , 系统处于加速或减速状态, 把这种运动状态称为动态或过渡状态。

3. 生产机械的负载转矩特性如图 2-1 所示。

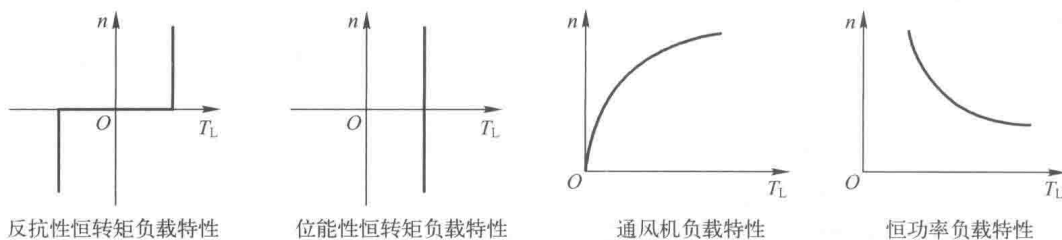
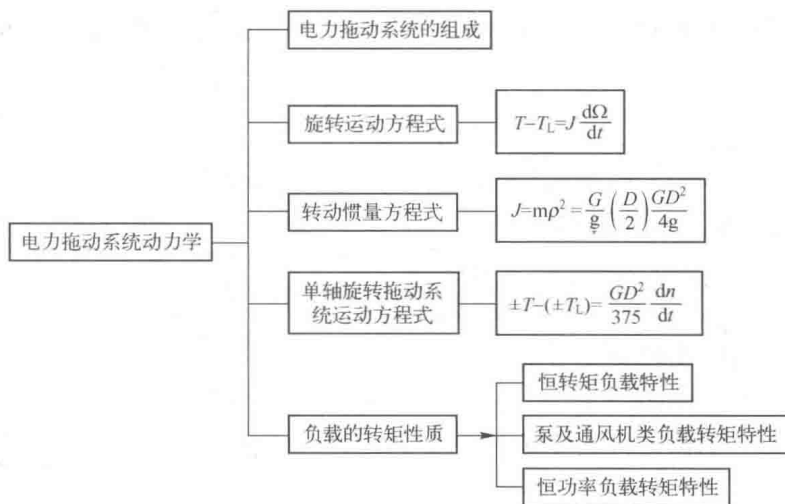


图 2-1 生产机械的负载转矩特性

## 2.2 知识框图



## 2.3 典型例题

【例 2-1】如图 2-2 所示的电力拖动系统中，已知飞轮矩  $GD_a^2 = 14.5 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ ， $GD_b^2 = 18.8 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ ， $GD_f^2 = 120 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ ，传动效率  $\eta_1 = 0.91$ ， $\eta_2 = 0.93$ ，转矩  $T_{LG} = 85 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，转速  $n = 2450 \text{ r/min}$ ， $n_b = 810 \text{ r/min}$ ， $n_f = 150 \text{ r/min}$ ，忽略电动机空载转矩，求：(1) 折算到电动机轴上的系统总飞轮矩  $GD^2$ ；(2) 折算到电动机轴上的负载转矩  $T_L$ 。

解：(1) 系统总飞轮矩

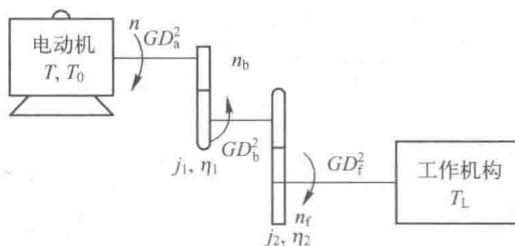


图 2-2 某电力拖动系统示意图

$$GD^2 = \frac{G_f^2}{\left(\frac{n}{n_f}\right)^2} + \frac{GD_b^2}{\left(\frac{n}{n_b}\right)^2} + GD_a^2 = \left( \frac{120}{\left(\frac{2450}{150}\right)^2} + \frac{18.8}{\left(\frac{2450}{810}\right)^2} + 14.5 \right) \text{ N} \cdot \text{m}^2 = 17.005 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

(2) 负载转矩

$$T_L = \frac{T_{LG}}{\frac{n}{n_f} \eta_1 \eta_2} = \frac{85}{\frac{2450}{150} \times 0.91 \times 0.93} \text{ N} \cdot \text{m} = 6.15 \text{ N} \cdot \text{m}$$

**【例 2-2】** 某刨床电力拖动系统，已知切削力  $F=10000\text{ N}$ ，工作台与工件运动速度  $v=0.7\text{ m/s}$ ，传动机构总效率  $\eta=0.81$ ，电动机转速  $n=1450\text{ r/min}$ ，电动机的飞轮矩  $GD^2=100\text{ N}\cdot\text{m}^2$ ，求：(1) 切削时折算到电动机轴上的负载转矩；(2) 估算系统的总飞轮矩；(3) 不切削时，工作台及工件反向加速，电动机以  $\frac{dn}{dt}=500\text{ r/min}\cdot\text{s}^{-1}$  恒加速度运行，计算此时系统的动态转矩绝对值。

解：(1) 切削功率

$$P = Fv = 10000 \times 0.7\text{ W} = 7000\text{ W}$$

切削时折算到电动机轴上的负载转矩

$$T_L = 9.55 \times \frac{7000}{1450 \times 0.81}\text{ N}\cdot\text{m} = 56.92\text{ N}\cdot\text{m}$$

(2) 估算系统总的飞轮矩

$$GD^2 \approx 1.2GD_0^2 = 1.2 \times 100\text{ N}\cdot\text{m}^2 = 120\text{ N}\cdot\text{m}^2$$

(3) 不切削时，工作台与工件反向加速时，系统动态转矩绝对值

$$T' = \frac{GD^2 dn}{375 dt} = \frac{120}{375} \times 500 = 120\text{ N}\cdot\text{m}$$

**【例 2-3】** 某起重机电力拖动系统如图 2-3 所示。电动机  $P_N=20\text{ kW}$ ， $n_N=950\text{ r/min}$ ，传动机构转速比  $j=3$ ， $j=3.5$ ， $j=4$ ，各级齿轮传递效率  $\eta_{c1}=\eta_{c2}=\eta_{c3}=0.95$ ，各轴上的飞轮矩  $GD_a^2=123\text{ N}\cdot\text{m}^2$ ， $GD_b^2=49\text{ N}\cdot\text{m}^2$ ， $GD_c^2=40\text{ N}\cdot\text{m}^2$ ， $GD_d^2=465\text{ N}\cdot\text{m}^2$ ，卷筒直径  $d=0.6\text{ m}$ ，吊钩重  $G_0=1962\text{ N}$ ，被吊重  $G=49650\text{ N}$ ，忽略电动机空载转矩，忽略钢丝绳重量，忽略滑轮传递的损耗，求：(1) 以速度  $v=0.3\text{ m/s}$  提升重物时，负载（重物及吊钩）转矩、卷筒转速、电动机输出转矩及电动机转速；(2) 负载及系统的飞轮矩（折算到电动机轴上）；(3) 以加速度  $\alpha=0.1\text{ m/s}^2$  提升重物时，电动机输出的转矩。

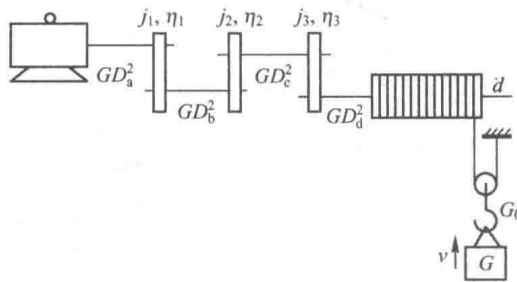


图 2-3 某起重机电力拖动系统示意图

解：(1) 以  $v=0.3\text{ m/s}$  提升重物时，负载（吊钩及重物）转矩

$$T_f = \frac{1}{2}(G_0 + G) \frac{d}{2} = \left[ \frac{1}{2} \times (962 + 49050) \times \frac{0.6}{2} \right]\text{ N}\cdot\text{m} = 7651.8\text{ N}\cdot\text{m}$$

卷筒转速

$$n_f = \frac{60 \times 2v}{\pi d} = \frac{60 \times 2 \times 0.3}{\pi \times 0.6}\text{ r/min} = 19.1\text{ r/min}$$

电动机输出转矩

$$T_F = \frac{T_f}{j\eta} = \frac{T_f}{j_1 j_2 j_3 \eta_1 \eta_2 \eta_3} = \frac{7651.8}{3 \times 3.5 \times 4 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.95} \text{ N} \cdot \text{m} = 212.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$n = n_j = 19.1 \times 3 \times 3.5 \text{ r/min} = 802.2 \text{ r/min}$$

(2) 负载及系统的飞轮矩的计算

吊钩及重物飞轮矩

$$GD_F^2 = 365 \frac{(G_0 + G)v^2}{n^2} = 365 \times \frac{(1962 + 49050) \times 0.3^2}{802.2^2} \text{ N} \cdot \text{m}^2 = 2.6 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

系统总飞轮矩

$$GD^2 = GD_a^2 + \frac{GD_b^2}{j_1^2} + \frac{GD_c^2}{(j_1 j_2)^2} + \frac{GD_d^2}{(j_1 j_2 j_3)^2} + GD_F^2$$

$$= \left( 123 + \frac{49}{3^2} + \frac{40}{(3 \times 3.5)^2} + \frac{465}{(3 \times 3.5 \times 4)^2} + 2.6 \right) \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

$$= 131.7 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

(3) 以加速度  $a = 0.1 \text{ m/s}^2$  提升重物时电动机转矩的计算

电动机转速与重物提升速度的关系为：

$$n = n_j j_1 j_2 j_3 = 60 \times \frac{2u}{\pi d} j_1 j_2 j_3$$

电动机加速度与重物提升加速度的关系为：

$$\frac{dn}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{120v}{\pi d} j_1 j_2 j_3 \right) = \frac{120}{\pi d} j_1 j_2 j_3 \frac{dv}{dt} = \frac{120}{\pi d} j_1 j_2 j_3 a$$

电动机加速度：

$$\frac{dn}{dt} = \left( \frac{120}{\pi \times 0.6} \times 3 \times 3.5 \times 4 \times 0.1 \right) \text{ r/min} \cdot \text{s}^{-2} = 267.4 \text{ r/min} \cdot \text{s}^{-2}$$

电动机输出转矩：

$$T = T_F + \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} = \left( 212.5 + \frac{131.7}{375} \times 267.4 \right) \text{ N} \cdot \text{m} = 306.4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

## 2.4 习题

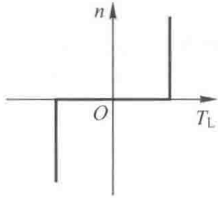
1. 电力拖动系统运动方程式中的  $GD^2$  反映了什么？
2. 写出电力拖动系统的运动方程式，并说明怎样根据该方程式中的参数判断运动系统是处于动态还是处于稳态？
3. 负载的转矩特性是如何描述的？
4. 当  $T = T_L$  时，电力拖动系统能稳定运行吗？为什么？

## 2.5 习题答案

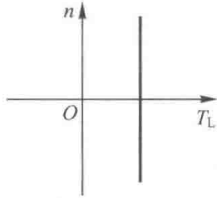
1.  $GD$  是一个物理量，叫作飞轮矩或飞轮惯量，单位为  $\text{N} \cdot \text{m}^2$ 。

2. (1) 拖动转矩  $T$  方向如果与所规定的旋转正方向相同,  $T$  前取正号, 相反时取负号;
- (2) 阻转矩  $T_L$  方向如果与所规定的旋转正方向相同时,  $T_L$  前取负号, 相反时取正号;
- (3) 加速转矩  $\frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}$  的大小及正负符号, 由拖动转矩  $T$  及阻转矩  $T_L$  的代数和来决定。

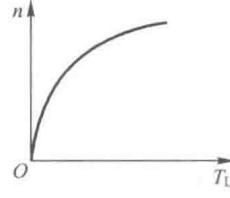
3. 负载特性曲线描述如下图所示。



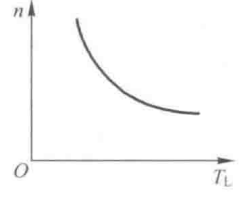
反抗性恒转矩负载特性



位能性恒转矩负载特性



通风机负载特性



恒功率负载特性

4. 电力拖动系统静态稳定运行的条件是:

- (1) 电动机的机械特性与负载的机械特性必须有交点, 该点处的  $T = T_L$ 。
- (2) 该点为稳定运行点的判定依据为, 在该点附近应有  $\frac{dT}{dn} < \frac{dT_L}{dn}$ 。



# 第3章 直流电机

## 3.1 内容提要

### 3.1.1 基本要求

1. 了解直流电机的工作原理；
2. 了解直流电机的基本结构和铭牌；
3. 能根据直流电机的模型结构对直流电机运行进行分析。

### 3.1.2 掌握要点

#### 一、直流电机的工作原理

1. 直流电动机主要由定子、转子、电刷装置、端盖、轴承、通风冷却系统等部件组成。定子由机座、主磁极、换向极、电刷装置等组成，如图 3-1 所示。转子（又称电枢）由电枢铁心、电枢绕组、换向器、转轴和风扇等组成。

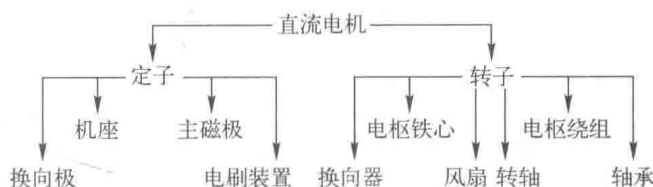


图 3-1 直流电机心的组成

2. 直流电机电枢绕组内电流是交变的，直流电机具有可逆性。

#### 二、直流电机的绕组

1. 绕组的基本形式：单叠绕组和单波绕组。 $a$  为支路对数， $p$  为磁极对数。
2. 单叠绕组的特点： $a=p$ 。
3. 单波绕组的特点： $a=1$ ，即单波绕组的支路对数与磁极对数无关，总等于 1。

#### 三、直流电机的励磁方式

直流电机的励磁方式分为：他励、并励、串励和复励，如图 3-2 所示。