

电机与拖动基础 (第4版)

学习指导

王 岩 曹李民 编

清华大学出版社

电机与拖动基础 (第4版) 学习指导

王 岩 曹李民 编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书为李发海、王岩编写的《电机与拖动基础(第4版)》(清华大学出版社2012年出版)一书的配套用书,包括各章的重点与难点以及该教材中全部思考题和习题的解答,可供采用此书作教材的教师备课时参考,也可供学生作学习参考用书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动基础(第4版)学习指导/王岩,曹李民编. —北京:清华大学出版社, 2012.6

ISBN 978-7-302-27811-5

I. ①电… II. ①王… ②曹… 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. ①TM3 ②TM921

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第000080号

责任编辑:张占奎

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:沈露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:140mm×203mm 印 张:6.375 字 数:158千字

版 次:2012年6月第1版 印 次:2012年6月第1次印刷

印 数:1~5000

定 价:15.00元

产品编号:044526-01

CONTENTS

目 录

第 1 章 绪论	1
重点与难点.....	1
思考题解答.....	1
第 2 章 电力拖动系统动力学	3
重点与难点.....	3
思考题解答.....	3
习题解答.....	7
第 3 章 直流电机原理	16
重点与难点	16
思考题解答	17
习题解答	23
第 4 章 他励直流电动机的运行	30
重点与难点	30
思考题解答	31
习题解答	40

第5章 变压器	61
重点与难点	61
思考题解答	62
习题解答	75
第6章 交流电机电枢绕组的电动势与磁通势	102
重点与难点	102
思考题解答	103
习题解答	113
第7章 异步电动机原理	125
重点与难点	125
思考题解答	126
习题解答	138
第8章 三相异步电动机的启动与制动	150
重点与难点	150
思考题解答	151
习题解答	160
第9章 同步电动机	169
重点与难点	169
思考题解答	170
习题解答	173
第10章 三相交流电动机调速	178
重点与难点	178

思考题解答.....	179
习题解答.....	183
第 11 章 电动机的选择	187
重点与难点.....	187
思考题解答.....	188
第 12 章 微控电机	192
重点与难点.....	192
思考题解答.....	193
习题解答.....	197

重点与难点

正确理解磁感应强度、磁通量、磁场强度等物理量及铁磁材料的磁化特性,掌握载流导体在磁场中的安培力及电磁感应定律。

变压器电动势数学表达式的符号因其正方向规定不同而不同,这是难点。

思考题解答

1.1 通电螺线管电流方向如图 1.1 所示,请画出磁力线方向。

答 向上,图略。

1.2 请画出图 1.2 所示磁场中载流导体的受力方向。

答 垂直导线向右,图略。

1.3 请画出图 1.3 所示运动导体产生感应电动势的方向。

答 从 A 向 B 方向,图略。

1.4 螺线管中磁通与电动势的正方向如图 1.4 所示,当磁通变化时,分别写出它们之间的关系式。

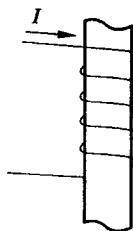


图 1.1

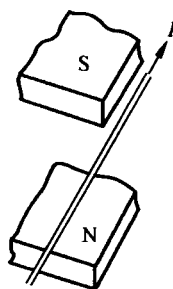


图 1.2

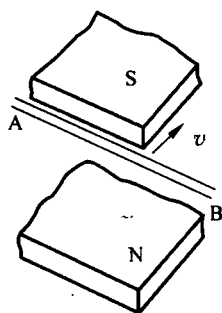


图 1.3

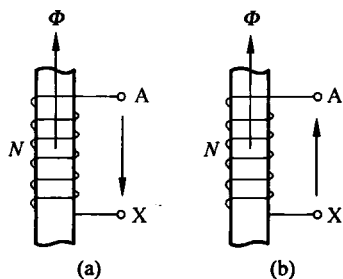


图 1.4

答 (a) $e = N \frac{d\Phi}{dt}$

(b) $e = -N \frac{d\Phi}{dt}$

电力拖动系统动力学

重点与难点

1. 单轴电力拖动系统的转动方程式：各物理量及其正方向规定、方程式及对其理解，动转矩大于、等于或小于零时，系统处于加速、恒速或减速运行状态。
2. 多轴电力拖动系统简化时，转矩与飞轮矩需要折算。具体计算是难点但不是重点。
3. 反抗性和位能性恒转矩负载的转矩特性、风机和泵类负载的转矩特性、恒功率负载的转矩特性。
4. 电力拖动系统稳定运行的充分必要条件。
5. 思考题是重点。

思考题解答

2.1 选择以下各题的正确答案。

(1) 电动机经过速比 $j=5$ 的减速器拖动工作机构，工作机构的实际转矩为 $20 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，飞轮矩为 $1 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ ，不计传动机构损耗，折算到电动机轴上的工作机构转矩与飞轮矩依次为_____。

A. $20 \text{ N} \cdot \text{m}, 5 \text{ N} \cdot \text{m}^2$

B. $4 \text{ N} \cdot \text{m}, 1 \text{ N} \cdot \text{m}^2$

C. $4 \text{ N} \cdot \text{m}$, $0.2 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ D. $4 \text{ N} \cdot \text{m}$, $0.04 \text{ N} \cdot \text{m}^2$

E. $0.8 \text{ N} \cdot \text{m}$, $0.2 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ F. $100 \text{ N} \cdot \text{m}$, $25 \text{ N} \cdot \text{m}^2$

(2) 恒速运行的电力拖动系统中, 已知电动机电磁转矩为 $80 \text{ N} \cdot \text{m}$, 忽略空载转矩, 传动机构效率为 0.8 , 速比为 10 , 未折算前实际负载转矩应为_____。

A. $8 \text{ N} \cdot \text{m}$

B. $64 \text{ N} \cdot \text{m}$

C. $80 \text{ N} \cdot \text{m}$

D. $640 \text{ N} \cdot \text{m}$

E. $800 \text{ N} \cdot \text{m}$

F. $1000 \text{ N} \cdot \text{m}$

(3) 电力拖动系统中已知电动机转速为 1000 r/min , 工作机构转速为 100 r/min , 传动效率为 0.9 , 工作机构未折算的实际转矩为 $120 \text{ N} \cdot \text{m}$, 电动机电磁转矩为 $20 \text{ N} \cdot \text{m}$, 忽略电动机空载转矩, 该系统肯定运行于_____。

A. 加速过程

B. 恒速

C. 减速过程

答 (1) 选择 D。因为转矩折算应根据功率守恒原则。折算到电动机轴上的工作机构转矩等于工作机构实际转矩除以速比, 为 $4 \text{ N} \cdot \text{m}$; 飞轮矩折算应根据动能守恒原则, 折算到电动机轴上的工作机构飞轮矩等于工作机构实际飞轮矩除以速比的平方, 为 $0.04 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ 。

(2) 选择 D。因为电力拖动系统处于恒速运行, 所以电动机轴上的负载转矩与电磁转矩相平衡, 为 $80 \text{ N} \cdot \text{m}$, 根据功率守恒原则, 实际负载转矩为

$$80 \text{ N} \cdot \text{m} \times 0.8 \times 10 = 640 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(3) 选择 A。因为工作机构折算到电动机轴上的转矩为

$$\frac{120 \text{ N} \cdot \text{m}}{0.9} \times \frac{100 \text{ r/min}}{1000 \text{ r/min}} = \frac{40}{3} \text{ N} \cdot \text{m}$$

小于电动机电磁转矩, 故电力拖动系统处于加速运行过程。

2.2 电动机拖动金属切削机床切削金属时, 传动机构的损耗由电动机负担还是由负载负担?

答 电动机拖动金属切削机床切削金属时,传动机构的损耗由电动机负担,传动机构损耗转矩 ΔT 与切削转矩对电动机来讲是同一方向的,恒速时,电动机输出转矩 T_2 应等于它们二者之和。

2.3 起重机提升重物与下放重物时,传动机构损耗由电动机负担还是由重物负担?提升或下放同一重物时,传动机构损耗的转矩一样大吗?传动机构的效率一样高吗?

答 起重机提升重物时,传动机构损耗转矩 ΔT 由电动机负担;下放重物时,由于系统各轴转向相反,性质为摩擦转矩的 ΔT 方向改变了,而电动机电磁转矩 T 及重物形成的负载转矩方向都没变,因此 ΔT 由重物负担。提升或下放同一重物时,可以认为传动机构损耗转矩的大小 ΔT 是相等的。若把损耗 ΔT 的作用用效率来表示,提升重物时为 η ,下放重物时为 η' ,由于提升重物与下放重物时 ΔT 分别由电动机和负载负担,因此使 $\eta \neq \eta'$,二者之间的关系为 $\eta' = 2 - \frac{1}{\eta}$ 。

2.4 电梯设计时,其传动机构的效率在上升时为 $\eta < 0.5$,请计算 $\eta = 0.4$ 的电梯下降时,其效率是多大?若上升时,负载转矩的折算值 $T_F = 15 \text{ N} \cdot \text{m}$,则下降时负载转矩的折算值为多少? ΔT 为多大?

答 提升时效率 $\eta = 0.4$,下降时效率

$$\eta' = 2 - \frac{1}{\eta} = 2 - \frac{1}{0.4} = -0.5$$

假设不计传动机构损耗转矩 ΔT 时,负载转矩的折算值为 $\frac{T_I}{j}$;若传动机构损耗转矩为 ΔT ,电梯下降时的负载转矩折算值为 T'_F ,则

$$\frac{T_I}{j} = T_F \cdot \eta = 15 \times 0.4 = 6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T'_F = \frac{T_f}{j} \cdot \eta' = 6 \times (-0.5) = -3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\Delta T = T_F - \frac{T_f}{j} = 15 - 6 = 9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

T'_F 也可以如下计算:

$$T'_F = T_F - 2\Delta T = 15 - 2 \times 9 = -3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

2.5 表 2.1 所列生产机械在电动机拖动下稳定运行时的部分数据,根据表中所给数据,忽略电动机的空载转矩,计算表内未知数据并填入表中。

表 2.1

生产机械	切削力 或重物 重力 /N	切削速度 或升降 速度 /(m/s)	电动机 转速 n /(r/min)	传动 效率	负载转矩 /(N·m)	传动损耗 /(N·m)	电磁转矩 /(N·m)
刨床	3400	0.42	975	0.80			
起重机	9800	提升 1.4	1200	0.75			
		下降 1.4					
电梯	15 000	提升 1.0	950	0.42			
		下降 1.0					

答 数据见表 2.2。

表 2.2

生产机械	切削力 或重物 重力 /N	切削速度 或升降 速度 /(m/s)	电动机 转速 n /(r/min)	传动 效率	负载转矩 /(N·m)	传动损耗 /(N·m)	电磁转矩 /(N·m)
刨床	3400	0.42	975	0.80	17.48	3.49	17.48

续表

生产机械	切削力或重物重力 /N	切削速度或升降速度 /(m/s)	电动机转速 n /(r/min)	传动效率	负载转矩 /($N \cdot m$)	传动损耗 /($N \cdot m$)	电磁转矩 /($N \cdot m$)
起重机	9800	提升 1.4	1200	0.75	145.58	36.39	145.58
		下降 1.4	1200	0.667	72.8	36.39	72.8
电梯	15 000	提升 1.0	950	0.42	359.02	208.23	359.02
		下降 1.0	950	-0.381	-57.44	208.23	-57.44

习 题解答

2.1 如图 2.1 所示的某车床电力拖动系统,已知切削力 $F=2000\text{ N}$,工件直径 $d=150\text{ mm}$,电动机转速 $n=1450\text{ r/min}$,减速箱的三级速比 $j_1=2, j_2=1.5, j_3=2$,各转轴的飞轮矩为 $GD_a^2=3.5\text{ N} \cdot \text{m}^2$ (指电动机轴), $GD_b^2=2\text{ N} \cdot \text{m}^2$, $GD_c^2=2.7\text{ N} \cdot \text{m}^2$, $GD_d^2=9\text{ N} \cdot \text{m}^2$,各级传动效率都是 $\eta=0.9$,求:

- (1) 切削功率;
- (2) 电动机输出功率;
- (3) 系统总飞轮矩;

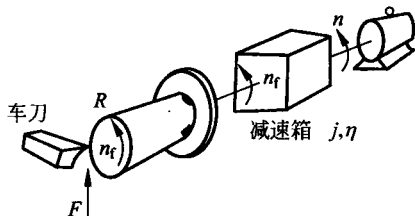


图 2.1

(4) 忽略电动机空载转矩时,电动机电磁转矩;

(5) 车床开车但未切削时,若电动机加速度 $\frac{dn}{dt} = 800 \text{ r}/(\text{min} \cdot \text{s})$, 忽略电动机空载转矩但不忽略传动机构的转矩损耗,求电动机电磁转矩。

解 (1) 切削功率。

切削负载转矩

$$T_f = F \cdot \frac{d}{2} = 2000 \times \frac{0.15}{2} = 150 \text{ N} \cdot \text{m}$$

负载转速

$$n_f = \frac{n}{j_1 j_2 j_3} = \frac{1450}{2 \times 1.5 \times 2} = 241.7 \text{ r}/\text{min}$$

切削功率

$$P_f = \frac{2\pi}{60} n_f T_f = \frac{2\pi}{60} \times 241.7 \times 150 = 3797 \text{ W}$$

(2) 电动机输出功率

$$P_2 = \frac{P_f}{\eta} = \frac{3797}{0.9} = 4218 \text{ W}$$

(3) 系统总飞轮矩

$$\begin{aligned} GD^2 &= GD_a^2 + \frac{GD_b^2}{j_1^2} + \frac{GD_c^2}{(j_1 j_2)^2} + \frac{GD_d^2}{(j_1 j_2 j_3)^2} \\ &= 3.5 + \frac{2}{2^2} + \frac{2.7}{(2 \times 1.5)^2} + \frac{9}{(2 \times 1.5 \times 2)^2} \\ &= 4.55 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

(4) 忽略电动机空载转矩时,电动机电磁转矩

$$\begin{aligned} T &= \frac{T_f}{\eta j_1 j_2 j_3} \\ &= \frac{150}{0.9 \times 2 \times 1.5 \times 2} \\ &= 27.8 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

(5) 传动机构转矩损耗

$$\begin{aligned}\Delta T &= \frac{T_f}{j_1 j_2 j_3} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \\ &= \frac{150}{2 \times 1.5 \times 2} \left(\frac{1}{0.9} - 1 \right) \\ &= 2.78 \text{ N} \cdot \text{m}\end{aligned}$$

电磁转矩

$$\begin{aligned}T &= \Delta T + \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} \\ &= 2.78 + \frac{4.55}{375} \times 800 \\ &= 12.5 \text{ N} \cdot \text{m}\end{aligned}$$

2.2 龙门刨床的主传动机构如图 2.2 所示, 齿轮 1 与电动机轴直接相连, 经过齿轮 2、3、4、5 依次传动到齿轮 6, 再与工作台 7 的齿条啮合, 各齿轮及运动物体的数据见表 2.3。

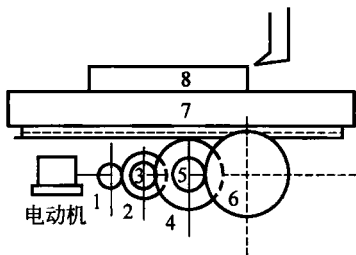


图 2.2

表 2.3

编号	名称	齿数 Z	重力/N	$GD^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2)$
1	齿 轮	20		8.25
2	齿 轮	55		40.20

续表

编号	名称	齿数 Z	重力/N	$GD^2/(N \cdot m^2)$
3	齿 轮	38		19.60
4	齿 轮	64		56.80
5	齿 轮	30		37.25
6	齿 轮	78		137.20
7	工作台		14 700(即质量为 1500 kg)	
8	工 件		9800(即质量为 1000 kg)	

若已知切削力 $F=9800 \text{ N}$, 切削速度 $v=43 \text{ m/min}$, 传动效率 $\eta=0.8$, 齿轮 6 的节距 $t_{k6}=20 \text{ mm}$, 电动机转子飞轮矩 $GD^2=230 \text{ N} \cdot \text{m}^2$, 工作台与导轨的摩擦系数 $\mu=0.1$ 。试计算:

(1) 折算到电动机轴上的总飞轮矩及负载转矩(包括切削转矩及摩擦转矩两部分);

(2) 切削时电动机输出的功率。

解 (1) 旋转部分飞轮矩

$$\begin{aligned}
 GD_a^2 &= GD^2 + GD_1^2 + \frac{GD_2^2 + GD_3^2}{(Z_2/Z_1)^2} + \frac{GD_4^2 + GD_5^2}{(Z_2/Z_1)^2(Z_4/Z_3)^2} \\
 &\quad + \frac{GD_6^2}{(Z_2/Z_1)^2(Z_4/Z_3)^2(Z_6/Z_5)^2} \\
 &= 230 + 8.25 + \frac{40.2 + 19.6}{(55/20)^2} + \frac{56.8 + 37.25}{(55/20)^2(64/38)^2} \\
 &\quad + \frac{137.20}{(55/20)^2(64/38)^2(78/30)^2} \\
 &= 251.49 \text{ N} \cdot \text{m}^2
 \end{aligned}$$

工作台和工件总重量

$$G = 14\,700 + 9800 = 24\,500 \text{ N}$$

切削速度

$$v = 43 \text{ m/min} = 0.72 \text{ m/s}$$

齿轮 6 转速

$$n_6 = \frac{v}{t_{k6} Z_6} = \frac{43}{0.02 \times 78} = 27.56 \text{ r/min}$$

电动机转速

$$\begin{aligned} n &= n_6 \frac{Z_6}{Z_5} \frac{Z_4}{Z_3} \frac{Z_2}{Z_1} \\ &= 27.56 \times \frac{78}{30} \times \frac{64}{38} \times \frac{55}{20} \\ &= 331.88 \text{ r/min} \end{aligned}$$

直线运动部分飞轮矩

$$\begin{aligned} GD_b^2 &= 365 \frac{Gv^2}{n^2} \\ &= 365 \times \frac{24\,500 \times 0.72^2}{331.88^2} \\ &= 42.09 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

总飞轮矩

$$\begin{aligned} GD^2 &= GD_a^2 + GD_b^2 \\ &= 251.49 + 42.09 \\ &= 293.58 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

工作台及工件与导轨的摩擦力

$$\begin{aligned} f &= (G_1 + G_2)\mu \\ &= (14\,700 + 9800) \times 0.1 \\ &= 2450 \text{ N} \end{aligned}$$

折算到电机轴上的负载转矩

$$\begin{aligned} T_F &= 9.55 \frac{(F + f)v}{\eta n} \\ &= 9.55 \times \frac{(9800 + 2450) \times 0.72}{0.8 \times 331.88} \\ &= 317.25 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$