

中等专业学校规划教材

# 矿山电力拖动与控制 习题解

佟熙田 编



XITIJIE

中国矿业大学出版社

T063-44

T-893

中等专业学校规划教材

# 矿山电力拖动与控制习题解

佟熙田 编

中国矿业大学出版社

862599

(苏)新登字第 010 号

### 内 容 提 要

本书是机电专业《矿山电力拖动与控制》一书的配套教材。

全书共分十一章,内容包括:电力拖动物力学、电动机起动设备的计算与选择、电力拖动系统的转速调节、电动机选择、控制电器、电气控制基本线路、笼形异步电动机控制、绕线型电动机控制、直流电动机的控制、同步电动机的控制。本书对教材中全部习题做了解答并附有各章内容提要、习题思考题解,在此基础上又补充了一定量的习题。

本书作为机电专业大、中专生教材编写,也可供电大及工程技术人员参考。

责任编辑:高 专

责任校对:杜锦芝

中等专业学校规划教材  
矿山电力拖动与控制习题解  
佟照田 编

---

中国矿业大学出版社出版

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 850×1168 毫米 1/16 印张 13.25 字数 316 千字

1994 年 11 月第一版 1994 年 11 月第一次印刷

印数 1—1000 册

---

ISBN 7-81040-347-8

---

TM · 3

定价: 7.60 元

## 前 言

本书是中等专业学校矿山机电专业规划教材,与《矿山电力拖动与控制》教材配套使用。全书共分十一章,其内容包括:电力拖动动力学、电动机机械特性、起动设备的选择、转速调节、电动机容量的选择、控制电器、控制线路分析等。本教材注重培养学生分析问题和解决问题的能力。对教材中全部习题做了解答并附有各章内容提要、习题思考题解,对难度较大的题增加了解题思路分析和解题方法。

本书是1992年11月,在杭州煤校召开的煤炭中专电工教材编审委员会第一次会议上确定佟熙田主编。编写中得到教编室的指导,江西煤校段浩钧参加了审稿,并提供了部分试题,北京煤校刘莉宏、山东泰安煤校高延民、云南煤校董守昆、重庆煤校、山西煤校、抚顺煤校等也提供了试题,对本书的编写给予很大支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,错漏难免,欢迎读者提出宝贵意见。

编者

一九九三年九月

佟熙田 04

## 目 录

第一章 电力拖动动力学.....	(1)
第二章 电动机的机械特性 .....	(15)
第三章 电动机起动设备的计算与选择 .....	(57)
第四章 电力拖动系统的转速调节 .....	(75)
第五章 电动机容量的选择 .....	(88)
第六章 控制电器.....	(103)
第七章 电气控制的基本线路.....	(113)
第八章 笼型异步电动机的控制.....	(133)
第九章 绕线型异步电动机的控制.....	(148)
第十章 直流电动机的控制.....	(177)
第十一章 同步电动机的控制.....	(191)
参考文献.....	(205)

# 第一章 电力拖动动力学

## 内 容 提 要

电力拖动系统主要是研究电动机的电磁转矩与工作机构负载转矩的关系。可用拖动系统运动方程式表示,即

$$M - M_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}$$

式中  $M$  ——电动机产生的拖动转矩(电磁转矩),Nm;

$M_L$  ——负载转矩,Nm;

$\frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}$  ——惯性转矩,Nm。

运动方程式中,电磁转矩  $M$  与负载转矩  $M_L$  有正、负之分,电磁转矩  $M$  的正方向与转速  $n$  方向相同,负载转矩  $M_L$  的正方向与转速  $n$  方向相反。转速  $n$  的正方向应根据生产机械运动情况预先规定。

拖动系统运动方程式是研究单轴系统,有传动机构的多轴系统要简化成单轴系统。其方法是把实际负载的转矩及各轴的动态转矩都折算到电动机轴上,静态转矩是按折算前后系统传递的功率不变的原则,和传动效率有关。转动惯量(飞轮惯量)是按折算前后系统储存动能不变的原则,它和传动效率没有关系。

### 一、工作机构转矩的折算

电动机工作在电动状态

$$M_L = M'_L \frac{1}{j \cdot \eta_G}$$

式中  $M_L$  ——折算到电动机轴上的等效负载转矩,Nm;

$M'_L$  ——工作机构轴上的负载转矩,Nm;

$\eta_G$  ——传动总效率,各级传动效率  $\eta_1, \eta_2, \dots$  之积;

$j = \frac{n}{n_L}$  ——电动机轴与工作机构轴间的转速比。

电动机工作在制动状态

$$M_L = \frac{M'_L}{j} \eta_G$$

### 二、工作机构直线运动作用力的折算

工作机构具有做直线运动部分,如矿井提升用的钢丝绳以力  $F$  吊质量为  $m$  的重物,以速度  $v_L$  上升或下降,这个力在电动机轴上反映的就是负载转矩。

电动机工作在电动状态

$$M_L = 9.55 \frac{F_L \cdot v_L}{n \cdot \eta_G}$$

式中  $v_L$ ——与电动机相对应平移部件的速度, m/s,

电动机工作在制动状态

$$M_L = 9.55 \frac{F_L \cdot v_L}{n} \eta_G$$

### 三、传动机构与工作机构飞轮惯量的折算

多轴系统作用于电动机轴上的系统飞轮惯量等于各转轴折算到电动机轴上飞轮惯量之和,即

$$GD^2 = GD_a^2 + \frac{GD_1^2}{j_1^2} + \frac{GD_2^2}{(j_1 \cdot j_2)^2} + \dots + \frac{GD_n^2}{(j_1 \cdot j_2 \dots j_n)^2}$$

### 四、工作机构直线运动质量的折算

工作机构具有直线运动部分其质量  $m$  中储存动能,造成机构运动的惯性。因此,必须把速度为  $v_L$ ,质量  $m$  折算到电动机轴上,按折算储存动能相等的原则用飞轮惯量表示,即

$$GD_L^2 = 364 \frac{G_L \cdot v_L^2}{n^2}$$

## 习 题

1-1 什么是电力拖动系统?它包括哪些部分?各起什么作用?举例说明。

答 电力拖动系统是指用电动机作原动机,拖动生产机械的拖动方式。电力拖动系统包括:

电动机:把取自电网的电能变为机械能,拖动生产机械;

工作机构:执行任务的机械部分;

控制设备:控制电机运转的控制电器;

电源:向电动机和控制设备供电的部分。

电力拖动系统到处可见,例如矿井提升机、通风机、水泵、金属切削机床、电机车、洗衣机等。电力拖动系统示意图如图 1-1 所示。

1-2 电力拖动系统的阻转矩分哪几种?

各有什么特点?

答 电力拖动系统阻转矩,即负载转矩分三种类型。

1) 负载转矩  $M_L$  与转速  $n$  的大小无关当转速变化时转矩恒定不变,负载功率  $P_L = \frac{M_L n}{975} = An$ ,负载功率与转速成正比,此种

负载称恒转矩负载。根据负载转矩与转速的方向关系,恒转矩负载又可分为:

(1)反作用负载转矩。负载转矩在任何时候均与电动机转动方向相反,如采煤机的负载转矩就是反作用负载转矩,如图 1-2 a 所示。

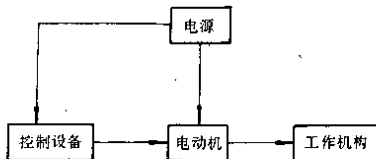


图 1-1 电力拖动系统示意图

(2) 位能负载转矩。负载转矩的方向与电动机转动方向无关,方向始终不变,此种转矩称位能负载转矩。提升机提升或下放重物时,电动机转动方向改变了,负载转矩方向却不变,这就是位能负载转矩,如图 1-2 b 所示。

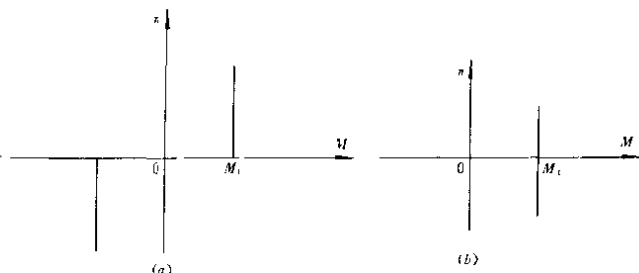


图 1-2 负载转矩与转速方向的关系  
a—反作用负载转矩 b—位能负载转矩

2) 负载转矩与转速平方成正比  $M_L = kn^2$ , 通风机、水泵属此种特性, 又称泵类负载, 如图 1-3 a 线所示。

3) 负载转矩与转速成反比  $M_L = \frac{k}{n}$ , 此种特性的负载功率  $P_L = C$  与转速无关, 也称恒功率负载。如采煤机、电机车均属恒功率负载, 如图 1-3 b 所示。

### 1-3 负载转矩和惯性转矩有什么区别和联系?

答 负载转矩是静态转矩, 属阻转矩。例如做直线运动的工作机构在电动机轴上反映的转矩就是负载转矩。

惯性转矩是动态转矩, 运动物体因速度变化, 需要克服惯性而产生的转矩。如做直线运动部分的质量产生的惯性, 运动系统的飞轮惯量反映的转矩都是惯性转矩。

负载转矩和惯性转矩它们的联系表现在: 稳定运行时, 电动机的拖动转矩等于负载转矩,  $M = M_L$ ; 变速运行时,  $M = M_L + \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}$ 。

### 1-4 转矩的正负号是怎样确定的?

答 电动机拖动转矩  $M$  的方向与确定的旋转正方向一致,  $M$  取正, 反之取负。负载转矩  $M_L$  的方向与所规定的旋转正方向相反,  $M_L$  取正, 反之取负, 如图 1-4 所示。

### 1-5 试说明 $J$ 和 $GD^2$ 的概念。

答 拖动系统作用于电动机轴上的转动惯量用  $J$  表示, 单位  $\text{kgm}^2$ 。 $GD^2$  表示飞轮惯量, 单位  $\text{Nm}^2$ 。

转动惯量  $J$  用飞轮惯量  $GD^2$  表示时, 两者关系  $4gJ = GD^2$ 。转动惯量  $J$ 、飞轮惯量  $GD^2$

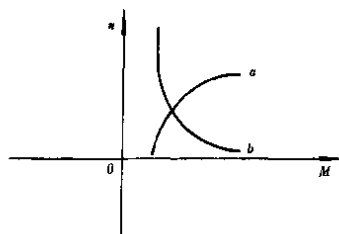


图 1-3 负载转矩的机械特性  
a—泵类负载特性, b—恒功率负载特性



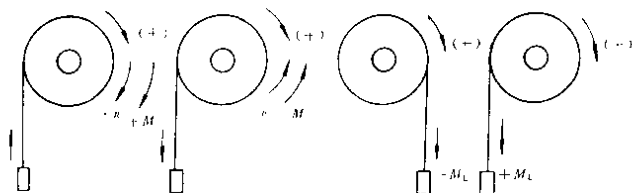


图 1-4  $M, M_L$  的方向与规定正方向的关系

都表示系统机械惯性大小。

1-6 试由拖动系统的运动方程式说明系统的加速、减速、稳定或静止的各种工作状态。

答 电力拖动系统运动方程式  $M - M_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}$ , 从该式可以分析系统的运动状态:

(1) 当  $M - M_L = 0$ , 即  $\frac{dn}{dt} = 0$  则  $n = 0$  或  $n = k$  (常数), 电动机静止或匀速转动, 系统处于稳定运行状态;

(2) 当  $M - M_L > 0$ , 即  $\frac{dn}{dt} > 0$  则转速  $n$  升高, 电动机加速, 系统处于非稳定运行状态。

(3) 当  $M - M_L < 0$ , 即  $\frac{dn}{dt} < 0$  则转速  $n$  下降, 电动机减速, 系统处于非稳定运行状态。

1-7 什么叫单轴系统? 什么叫多轴系统? 多轴的拖动系统为什么要折算成单轴的拖动系统?

答 单轴系统是指在电力拖动系统中, 电动机和工作机构是直接联接, 同一转速。但在实际拖动系统中电动机与负载之间装有变速设备, 即包括有以不同速度转动的部件形成多轴或变速系统。研究电力拖动系统只需研究电动机轴的运转规律, 因此, 为简化计算采用等值折算方法, 将各个速度不同部件的转矩折算到电动机轴上, 这样就存在将一个多轴系统折算为一个等效的单轴系统。

1-8 把多轴系统折算为单轴系统时哪些量需要进行折算? 折算的原则是什么?

答 多轴系统转化为一个等值的单轴系统, 负载转矩和动态转矩都应进行折算。

1) 负载转矩(静态转矩)的折算

$$\text{电动状态} \quad M_L = M_{L1} \frac{1}{j \cdot \eta_G}$$

$$\text{制动状态} \quad M_{L1} = M_L \frac{1}{j} \eta_G$$

2) 直线运动部分作用力的折算

$$\text{电动状态作用力 } F_L \text{ 的折算} \quad M_{L1} = 9.55 \frac{F_L \cdot v_L}{n \cdot \eta_G}$$

$$\text{制动状态作用力 } F_L \text{ 的折算} \quad M_{L1} = 9.55 \frac{F_L \cdot v_L}{n} \eta_G$$

3) 动态转矩的折算就是飞轮惯量的折算

$$GD^2 = GD_M^2 + \frac{GD_1^2}{j_1^2} + \frac{GD_2^2}{(j_1 \cdot j_2)^2} + \dots + \frac{GD_L^2}{(j_1 \cdot j_2 \dots j_L)^2}$$

### 直线运动部分质量 $m$ 的折算

$$GD^2 = 364 \frac{G_i \cdot v_i^2}{n^2}$$

飞轮惯量折算中,总的  $GD^2$ ,电动机  $GD_{\text{电}}^2$  占主要成分。其次是工作机构轴上的飞轮惯量折算值,占比重较小的是传动机构各轴上的飞轮惯量折算值。

折算原则:静态转矩的折算按折算前后系统传递的功率不变,与传动效率有关。飞轮惯量的折算按不同轴上储存的动能相等的原则,与传动效率无关。

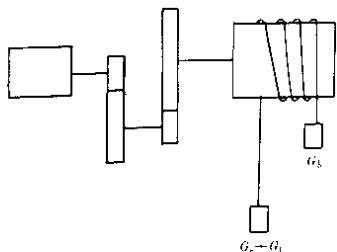


图 1-5 拖动系统示意图

1-9 拖动系统如图 1-5 所示,已知罐笼重量  $G_c = 4900\text{N}$ ,重物重量  $G_L = 11770\text{N}$ ,平衡物重量  $G_b = 7840\text{N}$ ,电动机额定转速  $n_N = 980\text{r/min}$ ,罐笼提升速度  $v_L = 2\text{m/s}$ ,传动效率  $\eta_G = 0.86$ ,试求折算到电动机轴上的负载转矩。

解 作用在滚筒圆周上的负载力

$$\begin{aligned} F_L &= G_c + G_L - G_b \\ &= 4900 + 11770 - 7840 \\ &= 8830\text{N} \end{aligned}$$

作用在电动机轴上的负载转矩

$$M_L = 9.55 \frac{F_L \cdot v_L}{n \cdot \eta_G} = 9.55 \frac{8830 \times 2}{980 \times 0.86} = 200.1\text{Nm}$$

1-10 求图 1-6 所示的拖动系统提升重物时,折算到电动机轴上的负载转矩和折算到电动机轴上的系统直线运动部分的转动惯量。罐笼重量  $G_c = 3924\text{N}$ ,重物重量  $G_L = 9810\text{N}$ ,提升速度  $v_L = 1.5\text{m/s}$ ,电动机额定转速  $n_N = 720\text{r/min}$ ,传动效率  $\eta_G = 0.85$ ,传动机构和滚筒的转动惯量折算值忽略不计。

解 作用在滚筒圆周上的负载力

$$F_L = G_L = 9810\text{N}$$

折算到电动机轴上的负载转矩

$$\begin{aligned} M_L &= 9.55 \frac{F_L \cdot v_L}{n \cdot \eta_G} \\ &= 9.55 \frac{9810 \times 1.5}{720 \times 0.85} = 230\text{Nm} \end{aligned}$$

折算到电动机轴上直线运动部分的质量飞轮惯量

$$GD_L^2 = 364 \frac{G_L v_L^2}{n^2} = 364 \frac{(2 \times 3924 + 9810) \times 1.5^2}{720^2} = 28\text{Nm}$$

转动惯量

$$J = \frac{GD_L^2}{4g} = \frac{28}{4 \times 9.81} = 0.714\text{Nm}$$

1-11 拖动系统如图 1-7 所示,已知提升重物  $G_L = 19620\text{N}$ ,提升速度  $v_L = 0.51\text{m/s}$ ,滚筒直径  $D = 0.4\text{m}$ ,转子飞轮惯量  $GD_{\text{电}}^2 = 9.81\text{Nm}^2$ ,滚筒飞轮惯量  $GD_{\text{筒}}^2 = 9.81\text{Nm}^2$ ,齿轮飞轮惯量  $GD_1^2 = 0.98\text{Nm}^2$ ,  $GD_2^2 = 19.62\text{Nm}^2$ ,  $GD_3^2 = 4.91\text{Nm}^2$ ,  $GD_4^2 = 49\text{Nm}^2$ ,电动机转速  $n_N$

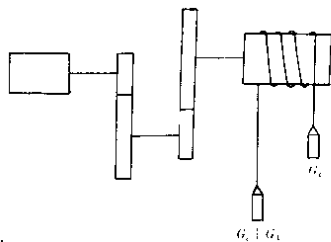


图 1-6 拖动系统图

=1450r/min, 各级转速比  $j_1=6, j_2=10$ , 传动效率  $\eta_1=0.96, \eta_2=0.95$ , 电动机起动时间  $t_1=2$ s, 试求电动机的起动转矩。

解 1) 求折算到电动机轴上的负载转矩  $M_L$

解法一是先求出作用在滚筒上的负载力  $F_L$ , 再求负载转矩  $M_L$ , 然后将负载转矩折算到电动机轴上; 解法二是根据负载力  $F_L$  直接求出作用于电动机轴上的负载转矩, 两个解法结果基本相同。

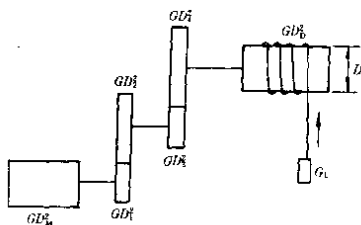


图 1-7 拖动系统图

方法一 作用在滚筒上的负载力  $F_L$

$$F_L = G_L = 19620 \text{ N}$$

作用在滚筒上的负载转矩

$$M'_L = F_L \frac{D}{2} = 19620 \times \frac{0.4}{2} = 3924 \text{ Nm}$$

折算到电动机轴上的负载转矩

$$M_L = M'_L \frac{1}{j \cdot \eta_G} = 3924 \frac{1}{6 \times 10 \times 0.96 \times 0.95} = 71.1 \text{ Nm}$$

方法二 求折算到电动机轴上的负载转矩

$$M_L = 9.55 \frac{F_L \cdot v_L}{n \cdot \eta_G} = 9.55 \frac{19620 \times 0.51}{1450 \times 0.96 \times 0.95} = 72.3 \text{ Nm}$$

2) 求折算到电动机轴上的飞轮惯量

电动机轴上的飞轮惯量

$$GD_M^2 + GD_1^2 = 9.81 + 0.98 = 10.79 \text{ Nm}^2$$

旋转部分折算到电动机轴上的飞轮惯量

$$GD^2 = \frac{GD_2^2 + GD_3^2}{j_1^2} + \frac{GD_1^2 + GD_3^2}{j_1 \cdot j_2^2} = \frac{19.62 + 4.91}{6^2} + \frac{49 + 9.81}{6^2 \times 10^2} = 0.7 \text{ Nm}^2$$

直线运动部件的质量折算到电动机轴上的飞轮惯量

$$GD_L^2 = 364 \frac{G_L \cdot v_L^2}{n^2} = 364 \frac{19620 \times 0.51^2}{1450^2} = 0.884 \text{ Nm}^2$$

折算到电动机轴上总的飞轮惯量

$$GD^2 = GD_M^2 + GD_1^2 + GD_2^2 + GD_3^2 + GD_1^2 + GD_3^2 + GD_L^2 = 10.79 + 0.7 + 0.884 = 12.4 \text{ Nm}^2$$

3) 电动机轴上的动态转矩

$$M = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} = \frac{12.4}{375} \frac{1450}{2} = 24 \text{ Nm}$$

4) 电动机的平均起动转矩  $M_{av}$

$$M_{av} = M_L + \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} = 72.3 + 24 = 96.3 \text{ Nm}$$

1-12 拖动系统见图 1-8 所示, 已知重物的质量  $m_L=5000\text{kg}$ , 滚筒直径  $D=1.2\text{m}$ , 提升速度  $v_L=1.7\text{m/s}$ , 电动机飞轮惯量  $GD_M^2=62.72\text{Nm}^2$ , 各齿轮飞轮惯量  $GD_1^2=9.8\text{Nm}^2, GD_2^2=78.4\text{Nm}^2, GD_3^2=38.2\text{Nm}^2, GD_4^2=156.8\text{Nm}^2$ , 滚筒飞轮惯量  $GD_3^2=294\text{Nm}^2$ , 各级转速比

$j_1 = j_2 = 6$ , 每对齿轮效率  $\eta_G = 0.94$ , 启动时间  $t = 2\text{s}$ , 试求电动机的启动转矩。

解 此题没有直接给出电动机转速, 根据提升速度可以求出滚筒转速和电动机转速, 然后再求作用在电动机轴上的负载转矩、飞轮惯量和启动转矩。

滚筒转速

$$n_D = \frac{60 \cdot v_L}{\pi \cdot D} = \frac{60 \times 1.7}{3.14 \times 1.2} = 27 \text{ r/min}$$

电动机转速

$$n_M = n_D j_1 j_2 = 27 \times 6 \times 6 = 972 \text{ r/min}$$

求折算到电动机轴上的负载转矩  $M_L$ 。

方法一 负载的静阻力  $F_L$

$$F_L = G_L = mg = 500 \times 9.81 = 49050 \text{ N}$$

$$M_L = 9.55 \frac{F_L \cdot v_L}{n \cdot \eta_G} = 9.55 \frac{49050 \times 1.7}{972 \times 0.94^2} = 927.2 \text{ Nm}$$

方法二 先求作用在滚筒上的负载转矩, 再折算到电动机轴上。

$$M_L = F_L \cdot \frac{D}{2} = 49050 \frac{1.2}{2} = 29430 \text{ Nm}$$

$$M_L = M_L \frac{1}{j_1 \cdot j_2 \cdot \eta_G} = 29430 \frac{1}{6 \times 6 \times 0.94^2} = 925.2 \text{ Nm}$$

电动机轴上的飞轮惯量

$$[GD^2]_1 = GD_M^2 + GD_D^2 = 62.72 + 9.8 = 72.52 \text{ Nm}^2$$

旋转部件折算到电动机轴上的飞轮惯量

$$[GD^2]_2 = \frac{GD_3^2 + GD_4^2}{j_1^2} + \frac{GD_5^2 + GD_6^2}{j_1^2 \cdot j_2^2} = \frac{78.4 + 38.2}{6^2} + \frac{156.8 + 294}{6^2 \times 6^2} = 3.6 \text{ Nm}^2$$

直线运动部件质量折算到电动机轴上的飞轮惯量

$$[GD^2]_L = 364 \frac{G_L \cdot v_L^2}{n^2} = 364 \frac{49050 \times 1.7^2}{972^2} = 54.6 \text{ Nm}^2$$

系统折算到电动机轴上的飞轮惯量

$$GD^2 = [GD^2]_1 + [GD^2]_2 + GD_L^2 = 72.52 + 3.6 + 54.6 = 130.72 \text{ Nm}^2$$

电动机轴上的动态转矩

$$\frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} = \frac{130.72}{375} \frac{972}{2} = 169.4 \text{ Nm}$$

电动机的启动转矩

$$M_M = M_L + \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} = 927.2 + 169.4 = 1096.6 \text{ Nm}$$

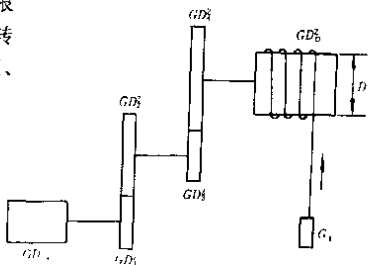


图 1-8 拖动系统图

## 补 充 题

1-13 如图 1-9 示,若规定顺时针方向为旋转正方向,试在图中括号内标出正负方向。

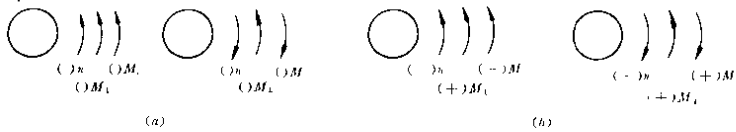


图 1-9  $M$  与  $M_L$  方向图

答 见图 1-9  $b$  图所示。

1-14 如图 1-10 所示,若规定顺时针旋转方向为正,试确定  $M$  与  $M_L$  的正负符号(将正负符号填在括号内)。

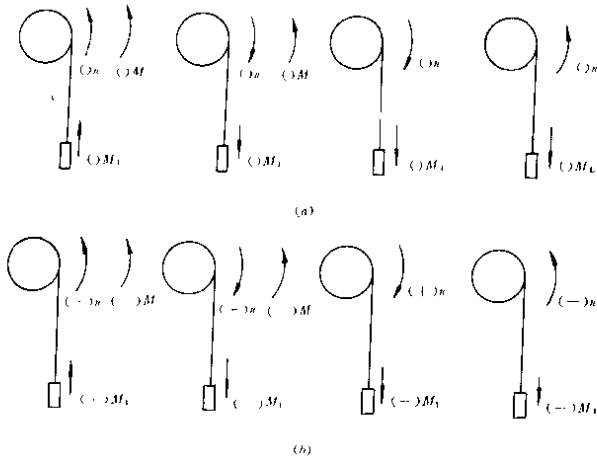


图 1-10  $M$  与  $M_L$  方向图

答 见图 1-10  $b$  图所示。

1-15 写出下列情况(见图 1-11)系统的运动方程式,并说明系统运行于加速、减速、还是匀速运动状态(设  $M_1$  为拖动转矩、 $M_L$  为阻转矩)。

- 答 (a)  $M_1 - M_L = \frac{GD^2 dn}{375 dt}$  系统减速; (b)  $-M_1 - M_L = \frac{GD^2 dn}{375 dt}$  系统减速;  
 (c)  $M_1 + M_L = \frac{GD^2 dn}{375 dt}$  系统加速; (d)  $-M_1 - M_L = \frac{GD^2 dn}{375 dt}$  系统减速;  
 (e)  $-M_1 + M_L = \frac{GD^2 dn}{375 dt}$  系统均速。

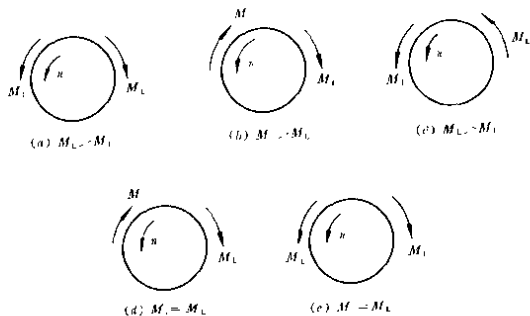


图 1-11 拖动系统的运行情况

1-16 在拖动系统中同时存在向上向下运动的物体,试问计算飞轮惯量时是否为正负一负?为什么?

答 飞轮惯量是物体惯性的量度,当电动机产生的电磁转矩(拖动转矩)和负载转矩不相等时,飞轮惯量需克服惯性表现为转速发生变化,故飞轮惯量只与转速变化有关,与运动方向无关。计算时对向上、向下运动的物体飞轮惯量总是相加的。

1-17 如图 1-12 所示,已知  $J_M = 30 \text{ kgm}^2$ ,  $n_M = 900 \text{ r/min}$ ,  $J_L = 100 \text{ kgm}^2$ ,  $n_L = 90 \text{ r/min}$ ,求

- 1) 折算到电动机轴上的转动惯量和飞轮惯量;
- 2) 折算到生产机械轴上的转动惯量和飞轮惯量。

解 1) 折算到电动机轴上转动惯量、飞轮惯量

$$J = J_M + J_L \left( \frac{n_L}{n_M} \right)^2 = 30 + 100 \left( \frac{90}{900} \right)^2 = 31 \text{ kgm}^2$$

$$GD^2 = 4gJ = 4 \times 9.81 \times 31 = 1216.5 \text{ Nm}^2$$

2) 折算到生产机械轴上的转动惯量、飞轮惯量

$$J = J_L + J_M \left( \frac{n_M}{n_L} \right)^2 = 100 + 30 \left( \frac{900}{90} \right)^2 = 3100 \text{ kgm}^2$$

$$GD^2 = 4gJ = 4 \times 9.81 \times 3100 = 121644 \text{ Nm}^2$$

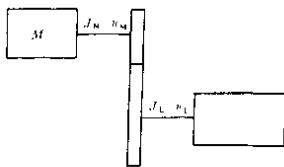


图 1-12 拖动系统图

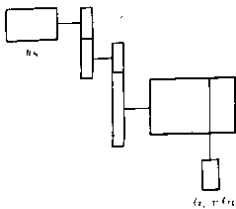


图 1-13 拖动系统图

1-18 如图 1-13 所示,求折算到电动机轴上的提升系统飞轮惯量和负载转矩。已知数据如下:提升容器自重  $G_c = 5000 \text{ N}$ ,载重  $G_L = 15000 \text{ N}$ ,电动机转子飞轮惯量  $GD_M^2 = 1500 \text{ Nm}^2$ ,额定转速  $n_M = 580 \text{ r/min}$ ,滚筒直径  $D = 1 \text{ m}$ ,滚筒飞轮惯量  $GD_B^2 = 2000 \text{ Nm}^2$ ,各齿轮的飞轮惯量  $GD_1^2 = 100 \text{ Nm}^2$ ,  $GD_2^2 = 200 \text{ Nm}^2$ ,  $GD_3^2 = 150 \text{ Nm}^2$ ,  $GD_4^2 = 500 \text{ Nm}^2$ ,各传动比  $j_1 = 6$ ,  $j_2 = 10$ ,各级传动效率  $\eta_{G1} = 0.96$ ,  $\eta_{G2} = 0.95$ ,忽略钢丝绳自重。

解 作用在滚筒上的负载转矩

$$M'_L = (G_e + G_L) \frac{D}{2} = (15000 + 5000) \frac{1}{2} = 10000 \text{ Nm}$$

折算到电动机轴上的负载转矩

$$M_L = M'_L \frac{1}{j\eta_G} = 10000 \frac{1}{6 \times 10 \times 0.96 \times 0.95} = 182.7 \text{ Nm}$$

电动机轴上的飞轮惯量

$$GD_{M'}^2 + GD_e^2 = 1500 + 100 = 1600 \text{ Nm}^2$$

旋转部件的飞轮惯量

$$\frac{GD_3^2 + GD_3^2}{j_1^2} + \frac{GD_4^2 + GD_5^2}{j_1 j_2^2} = \frac{200 + 150}{6^2} + \frac{500 + 2000}{6^2 \times 10^2} = 10.42 \text{ Nm}^2$$

滚筒的转速

$$\begin{aligned} n_L &= \frac{n_N}{j_1 j_2 \eta_G \eta_{G_2}} \\ &= \frac{580}{6 \times 10 \times 0.96 \times 0.95} \\ &= 10.6 \text{ r/min} \end{aligned}$$

滚筒的速度

$$v_L = \frac{n_L \cdot \pi \cdot D}{60} = \frac{10.6 \times 3.14 \times 1}{60} = 0.56 \text{ m/s}$$

直线运动部件质量折算到电动机轴上飞轮惯量

$$\begin{aligned} GD^2 &= 364 \frac{G_L \cdot v_L^2}{n^2} \\ &= 364 \frac{(15000 + 5000) \times 0.56^2}{580^2} = 6.8 \text{ Nm}^2 \end{aligned}$$

折算到电动机轴上总的飞轮惯量

$$GD^2 = 1600 + 10.42 + 6.8 = 1617.2 \text{ Nm}^2$$

1-19 图 1-14 为一龙门刨床的主传动机构图, 齿轮 1 与电动机轴直接联接, 各齿轮数据见表 1-1, 切削力  $F_L = 9810 \text{ N}$ , 切削速度  $v_L = 43 \text{ m/min}$ , 传动效率为 0.8, 齿轮 6 的节距为 20mm, 电动机电枢的飞轮惯量为  $230 \text{ Nm}^2$ , 工作台与床身的摩擦系数为 0.1, 试计算:

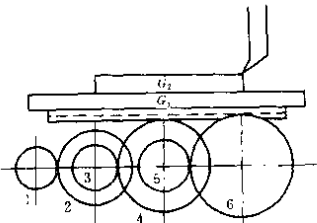


图 1-14 龙门刨床的主轴传动机构图

1) 折算到电动机轴上的系统总飞轮惯量及负载转矩;

2) 切削时电动机输出功率;

3) 空载不切削要求工作台有  $2 \text{ m/s}^2$  的加速度时的电动机转矩。

解 解题中应注意: 总的飞轮惯量包括电动机电枢、旋转部件、直线运动部件; 齿轮的转速比就是啮合齿轮齿数之比。根据切削速度  $v_L$  先求出齿轮 6 的转速, 再求电动机转速。求负载转矩时要考虑摩擦力, 工作台的加速度就是  $\frac{dv}{dt}$ 。

1) 旋转运动部件的飞轮惯量

$$\begin{aligned}
 GD^2 &= GD_1^2 + \frac{GD_2^2 + GD_3^2}{\left[\frac{Z_2}{Z_1}\right]^2} + \frac{GD_4^2 + GD_5^2}{\left[\frac{Z_2}{Z_1}\right]^2 \left[\frac{Z_4}{Z_3}\right]^2} + \frac{GD_6^2}{\left[\frac{Z_2}{Z_1}\right]^2 \left[\frac{Z_4}{Z_3}\right]^2 \left(\frac{Z_6}{Z_5}\right)^2} \\
 &= 8.25 + \frac{40.2 + 19.6}{\left[\frac{55}{20}\right]^2} + \frac{56.8 + 37.3}{\left[\frac{55}{20}\right]^2 \times \left[\frac{64}{38}\right]^2} + \frac{137.2}{\left[\frac{55}{20}\right]^2 \times \left[\frac{64}{38}\right]^2 \times \left[\frac{78}{30}\right]^2} \\
 &= 21.5 \text{ Nm}^2
 \end{aligned}$$

表 1-1 齿轮数据表

代号	名称	$GD^2, \text{Nm}^2$	重量, N	齿数
1	齿轮	8.25		20
2	齿轮	40.20		55
3	齿轮	19.60		38
4	齿轮	56.80		64
5	齿轮	37.30		30
6	齿轮	137.20		78
$G_1$	工作台		14715	
$G_2$	二件		9810	

直线运动部件的飞轮惯量

切削速度  $v_L = 43 \text{ m/min} = 0.72 \text{ m/s}$

齿轮  $b$  的转速  $n_b = \frac{v_L}{Z_b t_b} = \frac{43}{78 \times 0.02} = 27.6 \text{ r/min}$

电动机转速  $n_1 = n_b \left[ \frac{Z_5}{Z_6} \frac{Z_4}{Z_3} \frac{Z_2}{Z_1} \right] = 27.6 \left[ \frac{78}{30} \frac{64}{38} \frac{55}{20} \right] = 332.3 \text{ r/min}$

$$GD_6^2 = \frac{364(G_1 + G_2)v_L^2}{n_1^2} = 364 \frac{(14715 + 9810) \times 0.72^2}{332^2} = 42.1 \text{ Nm}^2$$

总的飞轮惯量

$$GD^2 = [GD^2] + GD_M^2 + GD_6^2 = 21.5 + 230 + 42.1 = 293.6 \text{ Nm}^2$$

折算到电动机轴上的负载转矩

$$F_L = \text{切削力} + \text{摩擦力} = 9810 + [14715 + 9810] \times 0.1 = 12262.5 \text{ N}$$

$$M_L = 9.55 \frac{F_L \cdot v_L}{n_M \cdot \eta_c} = 9.55 \frac{12262.5 \times 0.72}{332 \times 0.8} = 317.5 \text{ Nm}$$

2) 切削时电动机输出功率

$$P_N = \frac{F_L \cdot n_N}{9550} = \frac{317.5 \times 332}{9550} = 11 \text{ kW}$$

3) 空载时工作台加速度为  $2 \text{ m/s}^2$ , 切削力为零

$$M_L = 9.55 \frac{F_L \cdot v_L}{n \cdot \eta_c} = \frac{9.55(14715 + 9810) \times 0.1 \times 0.72}{332 \times 0.8} = 63.4 \text{ Nm}$$

空载时电动机转速

$$n_M = n_b \left[ \frac{Z_5}{Z_6} \frac{Z_4}{Z_3} \frac{Z_2}{Z_1} \right] = \frac{v_L}{Z_b t_b} \left[ \frac{78}{30} \frac{64}{38} \frac{55}{20} \right] = \frac{v_L}{78 \times 0.02} \left[ \frac{78}{30} \frac{64}{38} \frac{55}{20} \right]$$



$$= 7.72 v_L$$

$$\frac{dn}{dt} = 7.72 \frac{dv_L}{dt} = 7.72 \times 2 = 15.44 \text{ r/min}^2 = 926 \text{ r/min/s}$$

$$M = M_L + \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} = 63.4 + \frac{293.6}{375} \times 926 = 788 \text{ Nm}$$

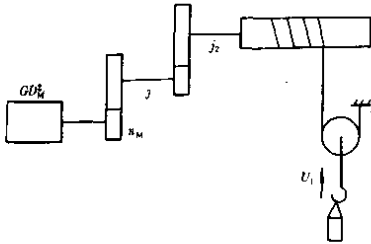


图 1-15 提升机构传动系统

1-20 某一提升机构其传动系统如图 1-15 所示。电动机转速 950r/min, 齿轮减速箱的传动比  $j_1 = j_2 = 4$ , 滚筒直径  $D = 0.24\text{m}$ , 滑轮的减速比  $j_3 = 2$ , 空钩重量  $G_c = 200\text{kg}$ , 起重载荷  $G_L = 1000\text{kg}$ , 电动机的飞轮惯量  $GD_M^2 = 1.05\text{kgm}^2$ , 试求提升速度  $v_L$  和折算到电动机轴上的负载转矩  $M_L$  以及折算到电动机轴上整个拖动系统的飞轮惯量  $GD^2$ 。

解 1) 提升速度  $v_L$

依照电动机转速经三级减速后, 再转换

成直线速度的关系

$$v_L = \frac{\pi D n_M}{j_1 j_2 j_3} = \frac{3.14 \times 0.24 \times 950}{4 \times 4 \times 2} = 22.37 \text{ m/min}$$

2) 折算到电动机轴上的负载转矩  $M_L$

考虑传动机构的损耗, 设每对齿轮的效率为 0.95, 滑轮和滚筒的效率为 0.92, 则

$$M_L = M_L' \frac{1}{\eta_G} = (G_c + G_L) \times \frac{D}{2} \times \frac{1}{4 \times 4 \times 2 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.92}$$

$$= \frac{(1000 + 200) \times \frac{0.24}{2} \times 9.81}{4 \times 4 \times 2 \times 0.83} = 53.2 \text{ Nm}$$

3) 折算到电动机轴上的系统总飞轮惯量

$GD^2$

系统中间传动轴和滚筒的飞轮惯量未给出, 考虑  $\delta = 1.2$  近似估计, 可求出折算后系统等效飞轮惯量。

$$GD^2 = 1.2GD_M^2 + 364 \frac{(G_c + G_L)v_L^2}{n_M^2}$$

$$= 1.2 \times 1.05 \times 9.81$$

$$+ 364 \frac{1200 \times 9.81 \times 22.37^2}{(60 \times 950)^2}$$

$$= 13.01 \text{ Nm}^2$$

1-21 起重机的传动机构如图 1-16 所示, 图中各部件的数据列表 1-2, 起吊速度为 12m/min, 起吊重物时传动机构效率  $\eta_G = 0.7$ , 试计算:

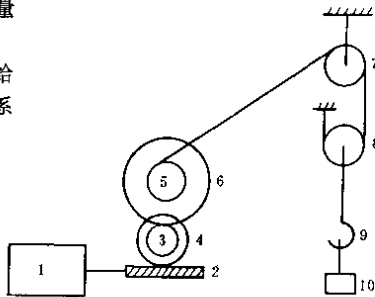


图 1-16 拖动系统示意图

1—电动机, 2—轴杆, 3—齿轮, 4—蜗轮, 5—卷筒;  
6—齿轮, 7—导轮, 8—导轮, 9—吊钩, 10—重物