



普通高等教育“十五”国家级规划教材配套参考书

电机与拖动基础(少学时)

思考题与习题解答

邱阿瑞 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十五”国家规划教材配套参考书

电机与拖动基础(少学时) 思考题与习题解答

邱阿瑞 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书是根据普通高等教育“十五”国家级规划教材《电机与拖动基础(少学时)》(高等教育出版社,2006)中各章的思考题与习题编写而成的,是《电机与拖动基础(少学时)》配套的学习辅导书。本书解答的思考题与习题共159题,其中思考题115题、习题44题。本书对深入理解和掌握电机与拖动的基本理论、基本概念和基本分析方法,提高运用所学知识去分析问题和解决问题的能力,都很有帮助。

本书可作为普通高等学校和成人高等学校各类自动化专业、电气类专业以及机电一体化专业的教学参考书,也可供有关科技人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

《电机与拖动基础(少学时)》思考题与习题解答/邱阿瑞主编. —北京:高等教育出版社,2006.5

ISBN 7-04-019259-4

I. 电... II. 邱... III. ①电机-高等学校-解题 ②电力传动-高等学校-解题 IV. ①TM3-44 ②TM921-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 037727 号

策划编辑 金春英 责任编辑 曲文利 封面设计 于文燕 责任绘图 朱 静
版式设计 王 莹 责任校对 王效珍 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京地质印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 5
字 数 90 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2006年5月第1版
印 次 2006年5月第1次印刷
定 价 7.10元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19259-00

前 言

本书是根据普通高等教育“十五”国家级规划教材《电机与拖动基础(少学时)》(高等教育出版社,2006)中各章的思考题与习题编写而成的解答,是《电机与拖动基础(少学时)》配套的学习辅导书。

《电机与拖动基础》是各类自动化专业、电气专业以及机电一体化专业一门重要的技术基础课程,由于它涉及的物理概念多,理论性强,并且与工程实际结合紧密,因此,要学好这门课程,除了认真学习和掌握教材中的基本理论、基本概念和基本分析方法外,还必须做一定数量的思考题和习题。本书解答的思考题与习题共159题,其中思考题115题、习题44题。读者在使用本书时,应不要急于去翻看解答,而是在对思考题进行了独自思考与分析,或者对习题独自做了求解之后,再与书中的解答进行对照。这样,才能对深入理解和掌握电机与拖动的基本理论、基本概念和基本分析方法有所帮助,才能提高运用所学知识去分析问题和解决问题的能力,才能使本书发挥学习辅导的积极作用。

本书中有的题目可能存在多种解题思路和方法,而我们在解答中一般只提供了一种解题思路和方法。如果读者独自做了求解,提出了不同解题思路和方法,这是值得提倡的,那就表明读者已经学会运用电机与拖动的基本理论和基本分析方法去分析与解决问题;或者在本书解答的启发下,探索出更加简明快捷的解题思路和方法,那就表明读者已经有所提高、有所创新,达到了我们编写本书的目的。

本书由邱阿瑞教授主编,负责全书的编写和整理工作,徐蕴婕参与编写第2、3、5、6、7章的部分习题解答,陶果参与编写第1章的部分习题解答。本书由吴新振教授审阅并提出了许多宝贵的意见,对此编者表示衷心的感谢。由于时间仓促和编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2005年10月于清华园

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第 1 章 电力拖动系统动力学	1
思考题解答	1
习题解答	2
第 2 章 直流电动机的原理和特性	9
思考题解答	9
习题解答	11
第 3 章 直流电动机的电力拖动	15
思考题解答	15
习题解答	18
第 4 章 交流电动机的磁动势、绕组和感应电动势	25
思考题解答	25
习题解答	28
第 5 章 三相异步电动机的原理和特性	35
思考题解答	35
习题解答	39
第 6 章 三相异步电动机的电力拖动	47
思考题解答	47
习题解答	56
第 7 章 同步电动机	65
思考题解答	65
习题解答	66
第 8 章 电动机的选择	69
思考题解答	69
习题解答	71
参考文献	74

第 1 章 电力拖动系统动力学

思考题解答

1-1 什么是电力拖动? 电力拖动系统主要由哪些部分组成?

答: 以电动机为动力来拖动各种设备和生产机械的拖动方式, 就称为电力拖动。电力拖动系统主要由电源、电动机、控制设备、传动机构和生产机械等几部分组成。

1-2 什么是电力拖动系统运动方程式? 动态转矩与系统运动状态有何关系?

答: 电力拖动系统的运动方程式为 $T - T_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}$, 其中 T 为电动机的电磁转矩; T_L 为负载转矩; $(T - T_L)$ 为动态转矩; GD^2 为飞轮矩; n 为电动机转速。因此, 电力拖动系统的运动方程式是用来描述动态转矩与系统运动关系的。当 $(T - T_L) > 0$ 时, 系统加速; 当 $(T - T_L) < 0$ 时, 系统减速; 当 $(T - T_L) = 0$ 时, 系统稳速运转 ($n = \text{常值}$) 或处于静止状态 ($n = 0$)。

1-3 负载转矩的折算原则是什么? 负载飞轮矩的折算原则是什么?

答: 负载转矩折算的原则是折算前后的功率不变; 负载飞轮矩折算的原则是折算前后的动能不变。

1-4 在工作机构为旋转运动、平移运动和升降运动的情况下其负载转矩的折算有何异同?

答: 旋转运动时负载转矩的折算式为 $T_L = \frac{T_g}{\eta_c \cdot i}$, 其中 T_g 为工作机构的实际负载转矩, η_c 为传动机构的传动效率, i 为传动机构的总速比; 平移运动时负载转矩的折算式为 $T_L = 9.55 \frac{F_g v_g}{\eta_c n_d}$, 其中 F_g 为工作机构作平移运动时所克服的阻力, v_g 为工作机构移动的速度, η_c 为传动机构的传动效率, n_d 为电动机转轴的转速; 升降运动时负载转矩的折算式为 $T_L = \frac{G_z R}{i \cdot \eta_c^\uparrow}$ (提升); $T_L = \frac{G_z R}{i} \eta_c^\downarrow$ (下放)。其中 G_z 为重物的重力, R 为卷筒的半径, i 为速比, $\eta_c^\uparrow$ 为提升传动效率, $\eta_c^\downarrow$ 为下放传动效率。它们折算的原则是相同的, 即保持折算前后的功率不变。

1-5 在工作机构为旋转运动、平移运动和升降运动的情况下其飞轮矩折算有何异同?

答:旋转运动时负载轴飞轮矩的折算式为 $GD_L^2 = \frac{GD_1^2 + GD_g^2}{i^2}$ 。其中 GD_g^2 为工作机构部分的飞轮矩, GD_1^2 是与工作机构同轴的齿轮的飞轮矩。传动机构各轴折算到电动机轴上的飞轮矩应为各轴上的飞轮矩除以电动机与该轴的速比平方;平移运动时平移运动部分折算到电动机轴上的飞轮矩为 $GD_{Lg}^2 = 365 \frac{G_g v_g^2}{n_d^2}$ 。其中 G_g 为平移运动部分的重力, v_g 为工作机构移动的速度, n_d 为电动机转轴的转速。其传动机构其他轴上飞轮矩的折算与旋转运动相同;升降运动的飞轮矩折算与平移运动相似,其升降部分折算到电动机轴上的飞轮矩为 $GD_{Lz}^2 = 365 \frac{G_z v_z^2}{n_d^2}$ 。其中 G_z 为重物的重力, v_z 为重物提升或下放的速度, n_d 为电动机转轴的转速。它们折算的原则是相同的,即保持折算前后的动能不变。其传动机构其他轴上飞轮矩的折算与旋转运动相同。

1-6 什么是负载特性? 生产机械中典型的负载特性有几类? 它们各有何特点?

答:电力拖动系统的负载转矩特性简称负载特性是指生产机械的负载转矩与转速的关系,典型的负载特性有恒转矩负载、通风机与泵类负载和恒功率负载等。

恒转矩负载的特点是负载转矩 T_L 恒定不变,与负载转速 n_L 无关,即 $T_L = \text{常数}$ 。恒转矩负载又分两种:反抗性恒转矩负载和位能性恒转矩负载。其中反抗性恒转矩负载的特点是负载转矩的方向总是与运动的方向相反,即转矩的性质是反抗运动的制动性转矩;而位能性恒转矩负载的特点是负载转矩的方向固定不变,并与转速的方向无关。

通风机与泵类负载的特点是负载转矩与转速的平方成正比,即 $T_L = k \cdot n_L^2$, 其中 k 是比例系数。

恒功率负载的特点是负载转矩与转速成反比,即 $T_L = \frac{k}{n_L}$, 其中 k 是比例系数。

习题解答

1-1 已知某电动机的额定转矩 T_N 为 $320 \text{ N} \cdot \text{m}$, 额定转速 n_N 为 1000 r/min , 拖动系统的总飞轮矩 GD^2 为 $75 \text{ N} \cdot \text{m}^2$, 负载为恒定转矩, $T_L = 0.82 T_N$ 。

求:(1) 如果电动机的转速从零起动至 n_N 的起动时间为 0.88 s, 起动时若电动机保持电磁转矩不变, 则该电磁转矩为多少? (2) 如果电动机拖动的负载不变, 转速由 n_N 制动到停止时的时间为 0.33 s, 制动时若电动机保持电磁转矩不变, 则其电磁转矩为多少?

解: 负载转矩

$$T_L = 0.82 T_N = 0.82 \times 320 \text{ N} \cdot \text{m} = 262.4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(1) 因起动时设电动机保持电磁转矩不变, 负载为恒定转矩, 根据拖动系统的运动方程式, 可求得起动时电动机的电磁转矩为

$$T = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} + T_L = \left(\frac{75 \ 1 \ 000}{375 \ 0.88} + 262.4 \right) \text{ N} \cdot \text{m} = 489.7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(2) 因制动时设电动机保持电磁转矩不变, 负载仍为恒定转矩, 根据拖动系统的运动方程式, 可求得制动时电动机的电磁转矩为

$$T = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} + T_L = \left(-\frac{75 \ 1 \ 000}{375 \ 0.33} + 262.4 \right) \text{ N} \cdot \text{m} = -343.7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

1-2 已知某拖动系统中的负载的转矩 T_L 为 $280 \text{ N} \cdot \text{m}$ 、飞轮矩 GD_L^2 为 $620 \text{ N} \cdot \text{m}^2$, 系统中减速机构的传动比 i 为 4.8, 传动效率 η 为 0.84, 减速机构折算至电动机轴上的飞轮矩与电动机转子的飞轮矩之和 $GD_{\text{总}}^2$ 为 $168 \text{ N} \cdot \text{m}^2$, 求电动机电磁转矩为 $240 \text{ N} \cdot \text{m}$ 时, 电动机轴及负载轴在起动时的机械角加速度; 若起动时保持电动机电磁转矩 $240 \text{ N} \cdot \text{m}$ 不变, 当起动时间为 2.2 s 时, 电动机的转速为多少?

解: 负载转矩折算到电动机轴上的转矩为

$$T'_L = \frac{T_L}{\eta \cdot i} = \frac{280}{0.84 \times 4.8} \text{ N} \cdot \text{m} = 69.44 \text{ N} \cdot \text{m}$$

负载飞轮矩折算到电动机轴上的飞轮矩为

$$(GD'_L)^2 = \frac{GD_L^2}{i^2} = \frac{620}{4.8^2} \text{ N} \cdot \text{m}^2 = 26.91 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

拖动系统的总飞轮矩

$$(GD^2)' = GD_{\text{总}}^2 + (GD'_L)^2 = (168 + 26.91) \text{ N} \cdot \text{m}^2 = 194.91 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

拖动系统的运动方程式

$$\frac{194.91}{375} \frac{dn}{dt} = T - T'_L = (240 - 69.44) \text{ N} \cdot \text{m} = 170.56 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\frac{dn}{dt} = 328.15$$

电动机轴在起动时的机械角加速度为

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{2\pi dn}{60 dt} = 34.36 \text{ rad/s}^2$$

负载轴在起动时的机械角加速度为

$$\frac{d\Omega_L}{dt} = \frac{d(\Omega/i)}{dt} = \frac{34.36}{4.8} \text{ rad/s}^2 = 7.16 \text{ rad/s}^2$$

当起动时间为 2.2 s 时,电动机的转速为

$$n = 328.15 \times \Delta t = 328.15 \times 2.2 \text{ r/min} = 722 \text{ r/min}$$

1-3 某拖动系统传动示意图如图 1.1 所示,已知工作机构转矩 T_g 为 $290 \text{ N}\cdot\text{m}$,传动比 i_1, i_2 分别为 3.6、2.8,传动效率 η_1, η_2 分别为 0.94、0.92,已知轴 1 上飞轮矩 $(GD_d^2 + GD_1^2)$ 为 $275 \text{ N}\cdot\text{m}^2$ 、轴 2 上飞轮矩 $(GD_2^2 + GD_3^2)$ 为 $565 \text{ N}\cdot\text{m}^2$ 、轴 3 上飞轮矩 $(GD_4^2 + GD_g^2)$ 为 $1\,250 \text{ N}\cdot\text{m}^2$,电动机起动时电动机电磁转矩为 $85 \text{ N}\cdot\text{m}$,求:(1) 轴 1 及轴 3 起动时的机械角加速度;(2) 如果将一飞轮矩 GD_f^2 为 $1\,250 \text{ N}\cdot\text{m}^2$ 的飞轮分别附加在轴 1 或轴 2 或轴 3 上,那么,电动机起动时轴 1 上的机械角加速度为多少?

解: 工作机构转矩折算到电动机轴上的转矩为

$$T_L = \frac{T_g}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot i_1 \cdot i_2} = \frac{290}{0.94 \times 0.92 \times 3.6 \times 2.8} \text{ N}\cdot\text{m} = 33.27 \text{ N}\cdot\text{m}$$

拖动系统的总飞轮矩为

$$\begin{aligned} GD^2 &= (GD_d^2 + GD_1^2) + \frac{GD_2^2 + GD_3^2}{i_1^2} + \frac{GD_4^2 + GD_g^2}{i_1^2 \cdot i_2^2} \\ &= \left(275 + \frac{565}{3.6^2} + \frac{1\,250}{3.6^2 \times 2.8^2} \right) \text{ N}\cdot\text{m}^2 = 330.9 \text{ N}\cdot\text{m}^2 \end{aligned}$$

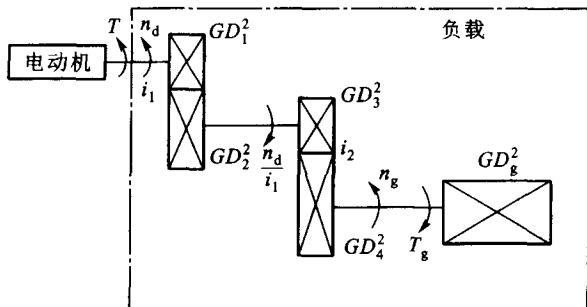


图 1.1

(1) 轴 1 在起动时的机械角加速度为

$$\frac{dn}{dt} = \frac{375}{GD^2} (T - T_L) = \frac{375}{330.9} (85 - 33.27) = 58.6$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{2\pi dn}{60 dt} = 6.14 \text{ rad/s}^2$$

轴 3 在起动时的机械角加速度为

$$\frac{d\Omega_L}{dt} = \frac{d(\Omega/i)}{dt} = \frac{6.14}{3.6 \times 2.8} \text{ rad/s}^2 = 0.609 \text{ rad/s}^2$$

(2) 飞轮附加在轴 1 上时:

拖动系统的总飞轮矩为

$$\begin{aligned} GD^2 &= (GD_d^2 + GD_1^2) + GD_i^2 + \frac{GD_2^2 + GD_3^2}{i_1^2} + \frac{GD_4^2 + GD_8^2}{i_1^2 \cdot i_2^2} \\ &= \left(275 + 1\,250 + \frac{565}{3.6^2} + \frac{1\,250}{3.6^2 \times 2.8^2} \right) \text{ N} \cdot \text{m}^2 = 1\,580.9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

轴 1 在起动时的机械角加速度为

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= \frac{375}{GD^2} (T - T_L) = \frac{375}{1\,580.9} (85 - 33.27) = 12.27 \\ \frac{d\Omega}{dt} &= \frac{2\pi dn}{60 dt} = 1.285 \text{ rad/s}^2 \end{aligned}$$

飞轮附加在轴 2 上时:

拖动系统的总飞轮矩为

$$\begin{aligned} GD^2 &= (GD_d^2 + GD_1^2) + \frac{GD_2^2 + GD_3^2 + GD_i^2}{i_1^2} + \frac{GD_4^2 + GD_8^2}{i_1^2 \cdot i_2^2} \\ &= \left(275 + \frac{565 + 1\,250}{3.6^2} + \frac{1\,250}{3.6^2 \times 2.8^2} \right) \text{ N} \cdot \text{m}^2 = 427.3 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

轴 1 在起动时的机械角加速度为

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= \frac{375}{GD^2} (T - T_L) = \frac{375}{427.3} (85 - 33.27) = 45.4 \\ \frac{d\Omega}{dt} &= \frac{2\pi dn}{60 dt} = 4.75 \text{ rad/s}^2 \end{aligned}$$

飞轮附加在轴 3 上时:

拖动系统的总飞轮矩为

$$\begin{aligned} GD^2 &= (GD_d^2 + GD_1^2) + \frac{GD_2^2 + GD_3^2}{i_1^2} + \frac{GD_4^2 + GD_8^2 + GD_i^2}{i_1^2 \cdot i_2^2} \\ &= \left(275 + \frac{565}{3.6^2} + \frac{1\,250 + 1\,250}{3.6^2 \times 2.8^2} \right) \text{ N} \cdot \text{m}^2 = 343.2 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

轴 1 在起动时的机械角加速度为

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= \frac{375}{GD^2} (T - T_L) = \frac{375}{343.2} (85 - 33.27) = 56.5 \\ \frac{d\Omega}{dt} &= \frac{2\pi dn}{60 dt} = 5.92 \text{ rad/s}^2 \end{aligned}$$

1-4 某刨床的传动机构如图 1.2 所示。电动机转子的飞轮矩 GD_d^2 为 $245 \text{ N} \cdot \text{m}^2$, 电动机轴直接与齿轮 1 相连, 经过齿轮 2~8, 再与工作台 G_1 的齿条

啮合。由齿轮1至8的传动比 i_1, i_2, i_3, i_4 分别为 3.0、2.8、2.4、2.0, 其 GD^2 分别是 10、24、18、26、20、32、22、40 $\text{N}\cdot\text{m}^2$, 切削力 $F_q = 8\,250\text{ N}$, 切削速度 $v_g = 46\text{ m/min}$, 传动效率 η 为 0.72, 齿轮8的节距 $t = 24\text{ mm}$ 、齿数 z 为 84, 工作台的重量 1 450 kg, 工件的重量 850 kg, 工作台与导轨的摩擦系数 $\mu = 0.1$ 。请计算: (1) 折算到电动机上的负载转矩; (2) 切削时电动机输出的功率; (3) 电动机轴上系统的总飞轮矩 GD^2 。

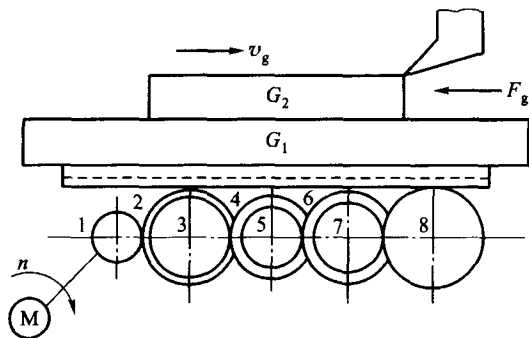


图 1.2

解: (1) 求折算到电动机上的负载转矩

齿轮部分总传动比 $i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4 = 3.0 \times 2.8 \times 2.4 \times 2.0 = 40.32$

齿轮8的周长 $L = 24 \times 84 \times 10^{-3}\text{ m} = 2.016\text{ m}$

电动机的转速 $n_d = \frac{v_g}{L} \cdot i = \frac{46}{2.016} \times 40.32\text{ r/min} = 920\text{ r/min}$

工作台与工件的总重量 $G_g = G_1 + G_2 = (1\,450 + 850)\text{ kg} = 2\,300\text{ kg}$

工作台与工件本身的阻力 $F_z = G_g \cdot g \cdot \mu = 2\,300 \times 9.8 \times 0.1\text{ N} = 2\,254\text{ N}$

折算到电动机上的负载转矩为

$$T_L = 9.55 \frac{F_g \cdot v_g}{\eta \cdot n_d} = 9.55 \times \frac{(8\,250 + 2\,254) \times 46/60}{0.72 \times 920}\text{ N}\cdot\text{m} = 116.1\text{ N}\cdot\text{m}$$

(2) 切削时电动机输出的功率为

$$P = T_L \cdot \Omega = 116.1 \times \frac{2 \times \pi \times 920}{60}\text{ kW} = 11.2\text{ kW}$$

(3) 电动机轴上系统的总飞轮矩 GD^2

工作台与工件折算到电动机上飞轮矩为

$$GD_g^2 = 365 \frac{G_g \cdot g \cdot v_g^2}{n_d^2} = 365 \times \frac{2\,300 \times 9.8 \times (46/60)^2}{920^2}\text{ N}\cdot\text{m}^2 = 5.71\text{ N}\cdot\text{m}^2$$

电动机轴上系统的总飞轮矩 GD^2 为

$$\begin{aligned}
 GD^2 &= GD_d^2 + GD_1^2 + \frac{GD_2^2 + GD_3^2}{i_1^2} + \frac{GD_4^2 + GD_5^2}{i_1^2 \cdot i_2^2} + \frac{GD_6^2 + GD_7^2}{i_1^2 \cdot i_2^2 \cdot i_3^2} + \frac{GD_8^2}{i^2} + GD_R^2 \\
 &= \left(245 + 10 + \frac{24 + 18}{3^2} + \frac{26 + 20}{3^2 \times 2.8^2} + \frac{32 + 22}{3^2 \times 2.8^2 \times 2.4^2} + \frac{40}{40 \cdot 32^2} + 5.71 \right) \text{ N} \cdot \text{m}^2 \\
 &= (245 + 10 + 4.67 + 0.652 + 0.133 + 0.025 + 5.71) \text{ N} \cdot \text{m}^2 \\
 &= 266.2 \text{ N} \cdot \text{m}^2
 \end{aligned}$$

1-5 某起重机的传动机构示意图如图 1.3 所示。图中,电动机通过齿轮箱减速,然后拖动卷筒,其中电动机直接与齿轮 1 相连,齿轮 1 与齿轮 2 啮合,齿轮 2 与齿轮 3 同轴,齿轮 3 与齿轮 4 啮合,齿轮 4 与齿轮 5 同轴,齿轮 5 与齿轮 6 啮合,齿轮 6 与卷筒相连。电动机转子的飞轮矩 $GD_d^2 = 22 \text{ N} \cdot \text{m}^2$;各齿轮齿数及 GD^2 分别是 $Z_1 = 24$ 、 $GD_1^2 = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ 、 $Z_2 = 108$ 、 $GD_2^2 = 6 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ 、 $Z_3 = 32$ 、 $GD_3^2 = 3 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ 、 $Z_4 = 128$ 、 $GD_4^2 = 10 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ 、 $Z_5 = 28$ 、 $GD_5^2 = 8 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ 、 $Z_6 = 98$ 、 $GD_6^2 = 14 \text{ N} \cdot \text{m}^2$;卷筒直径 $D_j = 0.64 \text{ m}$,卷筒 $GD_j^2 = 310 \text{ N} \cdot \text{m}^2$;重物的重力(包括吊钩) $G_z = 31\,500 \text{ N}$,重物提升速度 v_z 为 12.5 m/min 。假设重物提升时每对齿轮的传动效率均为 0.97,卷筒部分效率 0.96,求重物提升时:(1) 折算到电动机轴上的负载转矩;(2) 电动机的输出功率;(3) 折算到电动机轴上的总飞轮矩 GD^2 。

解:(1) 求折算到电动机轴上的负载转矩

传动比

$$i_1 = Z_2 / Z_1 = 108 / 24 = 4.5$$

$$i_2 = Z_4 / Z_3 = 128 / 32 = 4.0$$

$$i_3 = Z_6 / Z_5 = 98 / 28 = 3.5$$

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 = 4.5 \times 4.0 \times 3.5 = 63$$

电动机实际转速

$$n_d = i \cdot \frac{v_z}{\pi \cdot D} = 63 \times \frac{12.5}{\pi \times 0.64} \text{ r/min} = 391.7 \text{ r/min}$$

提升传动效率 $\eta = 0.97 \times 0.97 \times 0.97 \times 0.96 = 0.876$

折算到电动机轴上的负载转矩为

$$T_L = \frac{G_z R}{i \cdot \eta} = \frac{31\,500 \times 0.64 / 2}{63 \times 0.876} \text{ N} \cdot \text{m} = 182.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(2) 电动机的输出功率

$$P = T_L \frac{n_d}{9.55} = \frac{182.6 \times 391.7}{9.55} \text{ kW} = 7.49 \text{ kW}$$

(3) 求折算到电动机上的总飞轮矩 GD^2

升降部分折算到电动机上的飞轮矩

$$GD_z = 365 \frac{G_z v_z^2}{n_d^2} = 365 \times \frac{31\,500 \times (12.5/60)^2}{391.7^2} \text{ N} \cdot \text{m}^2 = 3.25 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

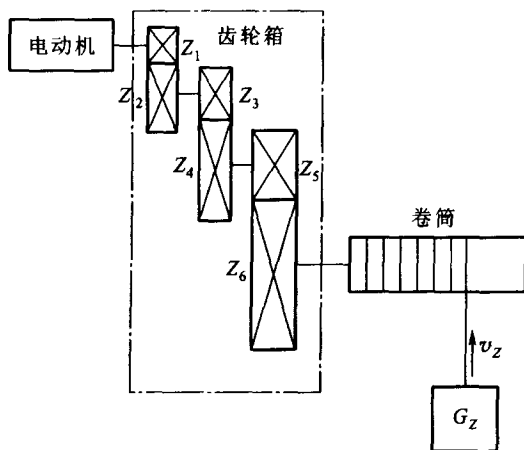


图 1.3

电动机上的总飞轮矩 GD^2 为

$$\begin{aligned}
 GD^2 &= GD_d^2 + GD_1^2 + \frac{GD_2^2 + GD_3^2}{i_1^2} + \frac{GD_4^2 + GD_5^2}{i_1^2 \cdot i_2^2} + \frac{GD_6^2 + GD_z^2}{i^2} + GD_z^2 \\
 &= \left(22 + 1 + \frac{6 + 3}{4.5^2} + \frac{10 + 8}{4.5^2 \times 4^2} + \frac{14 + 310}{63^2} + 3.25 \right) \text{ N} \cdot \text{m}^2 \\
 &= (22 + 1 + 0.444 + 0.056 + 0.082 + 3.25) \text{ N} \cdot \text{m}^2 = 26.83 \text{ N} \cdot \text{m}^2
 \end{aligned}$$

第2章 直流电动机的原理和特性

思考题解答

2-1 直流电动机由哪些主要结构部件构成？

答：直流电动机的主要结构部件有定子和转子两大部件。其中定子又包括机座、主磁极、励磁绕组、换向极、换向极绕组和电刷装置；转子包括电枢铁心、电枢绕组、换向器、风扇、转轴和轴承。

2-2 直流发电机电枢线圈导体感应的电动势是直流电动势吗？为什么？

答：电枢导体感应的电动势不是直流电动势，而是交变电动势。从直流发电机的物理模型可知，旋转导体某一瞬间在N极下，另一瞬间又转到S极下，因此感应电动势的方向是交变的。但正负电刷之间的感应电动势却是直流电动势。

2-3 直流电动机电枢线圈导体流过的电流是直流电流吗？为什么？

答：在直流电动机里，电枢导体中流过的电流是交变电流。从直流电动机的物理模型中可以看出，旋转导体的电流在N下是某个方向，转到S极下电流则是相反方向，这样载流导体在磁场中所受的力产生同向转矩使电枢旋转。但正负电刷之间流过的电流是直流电流。

2-4 请说明直流电动机的换向器所起的作用。

答：在直流电动机中换向器起逆变的作用，即把电刷外电路里的直流电经换向器转变为交流电输入电枢元件中。

2-5 请说出直流电动机定子部分有哪些部件及它们的作用？

答：定子部分有机座、主磁极、励磁绕组、换向极、换向极绕组和电刷装置等部件。机座起导磁和机械支撑作用；主磁极能在电机的气隙里产生一定形状分布的气隙磁密，能在电机的主磁路上产生一定数量的主磁通；换向极是为了改善直流电机的换向而设置的，电刷装置的功能是可以把转动的电路与静止电路连接起来。

2-6 请说出直流电动机转子部分有哪些部件及它们的作用？

答：转子部分有电枢铁心、电枢绕组、换向器、风扇、转轴和轴承等。电枢铁心是直流电机主磁路的一部分，并可放置电枢绕组。电枢绕组能感应电动势，流过电流，是机电能量转换的场所；在直流电动机中换向器起逆变的作用，即把电刷外电路里的直流电经换向器转变为交流电输入电枢元件中；风扇起散热作用；

转轴和轴承起支撑电枢转子并使其容易转动的作用。

2-7 主磁极和电枢铁心都是电机磁路的组成部分,但其冲片材料为什么一个用薄钢板,另一个用硅钢片?

答:在主磁极上套有励磁绕组,当励磁绕组通入直流励磁电流并保持不变时,产生的主磁通相对于主磁极磁路是不随时间发生变化的,因此它可以用钢板做成,没有磁滞与涡流损耗。为便于加工和具有较好的导磁性能,主磁极铁心通常用1~1.5 mm厚的低碳钢板冲制而成。但转动着的电枢铁心,却与主磁通之间有相对运动,于是就会在电枢铁心中产生感应电动势,并产生电流,即通常所说的涡流,由涡流引起的损耗就是涡流损耗。另外随着电枢铁心中磁通的交变,还会引起磁滞损耗,磁滞与涡流损耗统称为铁损耗,铁损耗将转换为热量散发。直流电机的电枢铁心采用硅钢片叠装而成就是为减小铁损耗,硅钢片表面很薄的绝缘层也是为了阻断硅钢片之间的涡流流通,以进一步减小涡流损耗。

2-8 直流电动机有哪些励磁方式?各种励磁方式分别有何特点?

答:直流电动机的励磁方式有他励、并励、串励和复励等。他励式的特点是励磁绕组单独接其他直流电源,这样励磁电流由该电源供给;并励式的特点是励磁绕组和电枢绕组并联,接同一个直流电源,励磁绕组上的电压就等于电枢绕组的端电压;串励式的特点是励磁绕组与电枢绕组串联连接,这样励磁绕组的电流就等于电枢绕组的电流;复励式的特点是有两套励磁绕组:一套是与电枢绕组并联的并励绕组,另一套是与电枢绕组串联的串励绕组。若串励绕组产生的磁动势与并励绕组产生的磁动势方向相同,就称为积复励式;若方向相反,则称为差复励式。直流电动机的运行性能因励磁方式的不同会有很大不同。

2-9 直流电动机的额定功率如何定义?

答:直流电动机的额定功率是指电动机在额定运行状态下轴上输出的机械功率。

2-10 如何改变他励直流电动机的转向?

答:有两种方法:(1)把励磁绕组两端的接线对调。它使励磁电流的方向改变,从而改变主磁通的方向,使得电磁转矩的方向改变,导致电枢转向的改变;(2)把电枢绕组两端的接线对调。它改变电枢两端的电压极性,从而使电枢电流的方向改变,同样使得电磁转矩的方向改变,导致电枢转向的改变。

2-11 他励直流电动机的负载为恒转矩负载,如果额定运行时减小磁通,电枢电流是增大、减小还是不变?

答:因为 $T = C_T \Phi I_a$, 负载为恒转矩负载时,如果 Φ 减少了,电枢电流 I_a 将增大。

2-12 为什么他励直流电动机机械特性硬、串励直流电动机机械特性软?

答:因为 $T = C_T \Phi I_a$, $U = E_a + I_a R_a$, 若他励直流电动机的励磁电流不变,其

磁通 Φ 不变, 当 T 增大时, I_a 成正比增加, 但是电枢电阻 R_a 一般较小, $I_a R_a$ 压降不大。也就是说, 当 T 从 0 增加到额定 T_N 时, E_a 只略为下降, 根据 $E_a = C_E \Phi \cdot n$ 的关系, 那么转速也只会比理想空载转速略为下降, 故他励直流电动机机械特性较硬。

而串励直流电动机的电枢电流 I_a 就是励磁电流 I_f , $U = E_a + I_a(R_a + R_f)$ 。原因之一是在电压 U 不变的条件下, 当 I_a 增大时, $I_a(R_a + R_f)$ 压降增大, E_a 略为减小, 而主要原因是由于 Φ 随 I_a 增大较多, 根据 $E_a = C_E \Phi \cdot n$, 转速 n 要大幅下降, 故串励直流电动机机械特性较软。

2-13 改变并励直流电动机电源的极性能否改变它的转向? 为什么?

答: 不能。因为并励直流电动机的特点是励磁绕组与电枢绕组并联连接, 当电源的极性改变时励磁电流与电枢电流同时改变, 所以转子转向不变。要想改变它的转向, 只能单独调换励磁绕组或电枢绕组的接头。

2-14 什么是他励直流电动机的固有机机械特性和人为机械特性? 他励直流电动机主要有哪几种人为机械特性?

答: 当电动机电枢两端的电源电压为额定电压、气隙磁通量为额定值、电枢回路不外串电阻时, 这种情况下的机械特性称为固有机机械特性; 而当直流电动机的电源电压、励磁电流、电枢回路串接电阻等由于生产机械的需要做人为调整时, 其机械特性将相应发生变化, 变化后的特性就称人为机械特性。他励直流电动机主要有电枢回路串接电阻、改变电枢两端电源电压和改变气隙磁通量这三种人为机械特性。

2-15 改变串励直流电动机电源的极性能否改变它的转向? 为什么?

答: 不能。因为串励直流电动机的特点是励磁绕组与电枢绕组串联连接, 当电源的极性改变时励磁电流与电枢电流同时改变, 所以转子转向不变。若想改变它的转向, 只能单独调换励磁绕组或电枢绕组的接头。

2-16 电力拖动系统稳定运行的充分必要条件是什么?

答: 其稳定运行的充分必要条件是:

$$T = T_L, \text{ 且 } \frac{dT}{dn} < \frac{dT_L}{dn}$$

习题解答

2-1 某台他励直流电动机的数据为: $P_N = 22 \text{ kW}$, $U_N = 110 \text{ V}$, $n_N = 1\,000 \text{ r/min}$, $p_{\text{Cun}} = 2\,340 \text{ W}$, $p_0 = 1\,840 \text{ W}$, 忽略杂散损耗。请计算额定运行时电动机的电磁功率 P_M 、电磁转矩 T_N 、电枢电阻 R_a 及效率 η_N 。