

电机及拖动基础 习题与解答



徐 虎 编

4

兵器工业出版社

TM3-44

4
3

电机及拖动基础习题与解答

徐 虎 编著

兵器工业出版社

B 550371

内 容 简 介

本书是为《电机及拖动基础》课程编写的学习指导书。主要内容是归纳和总结教学主要内容，阐明教学重点和难点以及易错易混淆的问题，同时对每章思考题或问答题加以原则性的回答，对不同类型的计算题加以详细地分析。

全书共10章，有270道题解。是电气专业的大、中专学生及电视大学工科类学生、业余大学电气类学生在学习《电机及拖动基础》课程时的良师益友。对于从事电机及拖动工作的工程技术人员也是一本很好的参考书。

电机及拖动基础习题与解答

徐 虎 编著

*

兵器工业出版社出版(北京海淀区车道沟10号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本:787×1092 1/32 印张10¹/₈·字数226千字

1988年11月北京第一版·1988年11月北京第一次印刷

印数:06001—6 000 定 价: 3.20

ISBN 7—80038—030—0/TM·2



前 言

《电机及拖动基础》是大、中专电气专业的必修课之一，也是广播电视大学、业余科技大学和工人业余大学工科类学生的必修课。虽然它们体系不同，但课程的基本内容大同小异，有时选用同一教材。学生在学习这门课时，普遍反映难度大。因为这门课既有空间概念，又有时间概念；既有电的专业知识，又有机械知识，而且与磁方面打交道。一般认为，电路比电场好学些，而电场又比磁场好掌握，因此，学生一谈到磁场，特别是电大的一部分不脱产学生，更为困难。为了满足广大的电气专业大、中专学生和电大、业大工科类学生的需求，帮助他们巩固听课时获得的理论，加深对所学理论的体会与理解，培养独立思考能力，特编写《电机及拖动基础习题与解答》，也求对读者有所帮助。

为了使學生能正确运用学得知识去解决实际问题的能力，必须要解决如下三个问题：

1. 搞清楚题目已给出的条件与数据及要求解决的问题。如果给出条件很多（如告诉整个铭牌数据），那么首先要区别哪些有用，哪些与本题无关，给出条件不一定都用上。若遇上与电机原理图或结构图有关，还要先给出草图，标上文字符号，按惯例标出参考方向，然后根据已学过原理、概念，找出解题的最简单办法。

2. 解题时单位必须统一，一般都是采用国际单位制的基本单位或由此导出单位，对于其他单位，首先进行单位换

算（详见附录一），然后才能进行运算。否则，会导致结果的失败，甚至得出错误的结论。

3. 必须了解电路与磁路的异同点和对应的相似关系，可用电路的基本定律为磁路服务。例如，电路里的电阻与磁路里的磁阻的相似关系；电路里的克希霍夫定律与磁路里的克希霍夫定律……。这样，名为解磁路，实则犹是解电路，只不过量纲不同而已。为了便于同学们对照，特在附录二中列出。

在编写过程中，针对目前大都采用的两种教材——顾绳谷主编的《电机及拖动基础》，和李发海等编的《电机与拖动基础》，为了便于自学掌握，采用与此两种相同的顺序和统一的符号，如果两种教材不一时，则采用国家有关标准或实用较多的一种。

本书在编写过程中，承蒙章华浦、刘希真、吴贵文等老师的热情帮助，并提出许多宝贵意见，在此表示衷心谢意。

温州市鹿城第一建筑工程处对本书出版给予大力支持，温州机械工业学校也给予方便，在此均表示感谢。

由于编者学识浅薄，再加上时间仓促，在编写过程中不免有遗漏和谬误，恳请读者予以指正。

编 者

1988年2月

目 录

第一章	直流电机	(1)
第二章	直流电机的电力拖动	(27)
第三章	变压器	(67)
第四章	三相异步电动机的工作原理及其绕组、磁势 及电势	(112)
第五章	三相异步电动机的运行原理	(135)
第六章	三相异步电动机的机械特性	(171)
第七章	三相异步电动机的电力拖动	(188)
第八章	其他交流电动机	(255)
第九章	控制电机	(269)
第十章	电力拖动系统电动机的选择	(282)
附录一	电机及拖动中常用法定计量单位及其 换算	(313)
附录二	电路与磁路有关基本定律对照表	(316)
参考文献		

第一章 直流电机

本章主要阐述直流电机内部电磁关系及其工作特性，应掌握下面六个问题。

一、直流电机的主要结构

它是由定子和转子两大部分组成，而两者之间由气隙隔开。定子包括机座、主磁极（包括励磁线圈）、换向极（包括换向极线圈）及电刷装置；转子则包括电枢铁芯、电枢绕组、换向器、风扇、转轴和轴承等。

对每部分形状、选用材料及所起作用等要有所了解。

二、直流电机的工作原理

1) 必须掌握电磁感应、法拉弟定律、楞次定律和电磁力定律。

一根在磁场里运动的导体，如果磁感应 B_x 、导体长度 L 和导体运动速度 v 的方向三者互相垂直，则在导体中感应电势 e ，其值以公式 $e = B_xLv$ 计算，方向用右手定则确定；如果处在磁场 B_x 里的载流为 i 的导体 L ，当两者互相垂直时，则导体 L 受电磁力作用，其大小用式 $f = B_xLi$ 计算，方向用左手定则确定。

2) 必须懂得电刷两端的电势是直流成分，而每槽导体中的电势则永远是交流电势。

3) 应知道直流电机铭牌中的额定数据的含义，特别是

额定功率 P_N 的定义，对于直流发电机，则是输出功率；对于电动机，则是轴上输出的机械功率。

4) 额定电流 I_N 与电枢电流 I_a 的异同点，对于他励式直流电机，两者相同，即额定电枢电流就是 I_N ；对于串激式电机两者亦一样；对于并励和变励直流电机，两者是不等的。

三、直流电机的电枢绕组

电枢绕组的基本型式是单迭绕组和单波绕组。它们的共同点是各节距定义相同，第一节距的计算式也一样，即 $Y_1 = Z_p / 2P \mp e = \text{整数}$ ，而且在给定极对数 P 情况下，虚槽数 Z_p 、元件数 S 和换向片数 K 三者相等，即 $Z_p = S = K$ 。同时，电刷处于磁极几何中性线上，使正负刷间感应电势最大，也就是说，被电刷短路的元件中感应电势最小。

对于单迭绕组，由于同一磁极下的元件组成一条支路，因此支路对数 a 等于磁极对数 P ，同时，每条支路分别与两个异性电刷相接，而每个刷却分别联接两条不同支路，故电刷杆数等于支路数，那么， $a = P = \text{电刷杆对数}$ 。

对于单波绕组，由于处在同一极性下元件串联为一支路，故并联支路对数 a 永远等于1，与磁极对数 P 无关。

四、直流电机的磁场

直流电机的励磁方式有他励和自励两种，自励又分为并励、串励和复励。励磁磁场在空间呈礼帽形，方向从N极到S极（故称直轴磁场）。当电机带上负载后，即电枢里有电流通过，则产生电枢磁场，它的大小与电枢电流有关，形状呈马鞍形，方向与励磁磁场正交（故称横轴磁场）。根据磁

场基本属性，磁力线不能正交，故直轴磁场与横轴磁场发生作用（打架），称为电枢反应。反应结果，在空间分布扭斜的合成磁场（或称气隙磁场）。

电枢反应产生一系列恶果，主要有：一是引起去磁作用（使每极磁通量减少）；二是磁场扭斜使物理中性线偏移；三是片间电位不等使换向恶化。但必须要搞清楚：对于发电机，仅是后极尖去磁，而对电动机则相反；物理中性线偏移，对于发电机是顺着转向偏移某一角度，对于电动机则逆着转向偏移某一角度。

另外，还要搞清楚几何中心线、物理中性线和电刷轴线的含义，对装有附加极电机，在空载时一般三者重合；在负载时，仅物理中性线发生偏移，其偏移程度由电枢反应强弱而定。这时，电流分界线仍为电刷轴线，而电势分界线则是物理中性线，这点千万不能混淆。

五、直流发电机和直流电动机

1. 直流发电机（用ZF表示）

直流发电机是根据电磁感应原理将机械能变为电能的一种旋转机械。在能量变换地方，称为电枢（一般在转子上），这部分变换功率称为电磁功率，用符号 P_M 表示。

对于并励ZF，电压的建立有三个必要条件：一是电机磁极中有剩磁；二是并励绕组极性正确，或者电机转向要正确；三是励磁绕组电阻小于临界值。

ZF的外特性是一条下垂曲线，其下垂原因有二：一是电枢回路电阻上有压降；二是电枢反应的去磁作用。对于并励ZF，除上述两原因外，尚有随着端电压的下降，励磁电流随之减少，致使端电压再度下降，故外特性比他励的下垂更多。

ZF的几个基本关系式必须要掌握：

1) 电枢电势公式 $E_a = \frac{PN}{60a} n\Phi = C_e n\Phi$ 和电磁转矩公式

$$M = \frac{PN}{2\pi a} I_a \Phi = C_M I_a \Phi$$

特别要注意磁通 Φ 的含义，它是气隙磁通（即电枢反应后的合成磁通），并不是励磁磁通，但是，如果不考虑电枢反应的影响，在计算时往往以空载磁通即励磁磁通来计算。

2) 稳态时三种平衡方程式

电势平衡方程式： $E_a = U_N + I_a R_a$ ，表示电枢电势 E_a 与电枢两端电压 U_N 及电枢电阻 R_a 上的压降 $I_a R_a$ 之总和。再加上一条励磁回路电压平衡方程式 $U_f = I_f R_f$ 。

转矩平衡方程式： $M_1 = M + M_0$ ，表明输入机械转矩 M_1 与电磁转矩 M 及空载转矩 M_0 的和相平衡。

功率平衡方程式：

$$P_N = U_N I_N \text{ 或 } P_2 = UI$$

$$P_M = E_a I_a = P_N + p_{C_{ua}} + (p_{C_{mf}}) \text{ 并励时 } = M\Omega$$

$$P_1 = P_M + p_{Fe} + p_{\Omega} = P_M + p_0$$

表明输入机械功率 P_1 与电磁功率 P_M 和铁耗 p_{Fe} 及机械耗 p_{Ω} （两者之和称空载损耗 p_0 ，即 $p_0 = p_{Fe} + p_{\Omega}$ ）之和相平衡，而输出功率 P_2 （在额定负载时为 P_N ）等于 P_M 扣除电枢回路铜耗 $p_{C_{ua}} = I_a^2 R_a$ 及并励时励磁绕组铜耗 $p_{C_{mf}}$ 。

上述三种稳态平衡方程式与电机原理图是一一对应的，毋须死记硬背。

2. 直流电动机（用ZD表示）

ZD是根据电磁力定律，将电能变换为机械能的一种旋

转机械。它的电枢和电磁功率 P_M 的含义同ZF。

ZD在稳态运行时的主要工作特性是指转速特性 $n = f(I_a)$ 、转矩特性 $M = f(I_a)$ 和效率特性 $\eta = f(I_a)$ 。当电源电压、励磁电流和电枢回路电阻均为常数时，电磁转矩 M 与转速之间函数关系，即 $n = f(M)$ 称为机械特性。

ZD稳态时的电势 E_a 和电磁转矩 M 的计算公式同ZF，它的基本平衡方程式有：

电势平衡方程式：

$$\begin{cases} U_N = E_a + I_a R_a \\ U_f = I_f R_f \end{cases}$$

表明电枢端电压 U_N 等于电枢电势 E_a 和电枢内阻 R_a 上压降 $I_a R_a$ 之总和。励磁回路自相平衡。

转矩平衡方程式：

$$M = M_N + M_0$$

表明电磁转矩 M 与负载转矩 M_N （负载不为额定时用 M_Z 表示）及空载转矩 M_0 之和相平衡。

功率平衡方程式：

$$\begin{cases} P_1 = P_M + p_{cua} + (p_{cuf}) \text{并励时} \\ P_M = P_N + p_{Fe} + p_{\Omega} = P_N + p_0 = M\Omega \\ P_N = M_N \Omega = \eta_N P_1 \end{cases}$$

表明输入电功率 P_1 扣除电枢内总损耗 $p_{cua} = I_a^2 R_a$ 和并励时的励磁损耗 p_{cuf} 外，转化为电磁功率 P_M ，而 P_M 再减去电枢铁耗 p_{Fe} 和机械耗 p_{Ω} （两者之和称为空载损耗 p_0 ，即 $p_0 = p_{Fe} + p_{\Omega}$ ），剩下的便是电机轴上输出机械功率 P_2 ，当负载为额定时，即为额定功率 P_N 。

3. 直流电机的可逆原理

从上分析可知，直流电机的电磁功率 P_M 为：

$$P_M = E_a I_a = \frac{PN}{60a} n \Phi I_a = \frac{PN}{2\pi a} I_a \Phi \cdot \frac{2\pi n}{60} = M \Omega$$

这说明直流电机的机电能量可以彼此互相转换，也就是说，ZF可为ZD使用，或者相反。不过，两者在原理上可以互换，但性能上不同的。首先表现在电势平衡方程式上，对于ZF， $E_a > U_N$ ，而ZD则相反，是 $U_N > E_a$ ，依此可判别电机是运行在发电状态或电动状态；第二，ZF的电势 E_a 是原动势，与电流基本上同方向，而ZD的电势 E_a 是反电势，与电流基本上是反方向；第三，ZF的电磁转矩 M 与转速 n 方向相反，阻止原动机旋转，称为制动矩，而ZD的 M 则与 n 同方向，是动力矩；第四，由于转矩 M 和电势 E_a 的含义不同，故功率的流程也不一样。以上这些必须要搞清楚。

六、直流电机的换向

所谓换向，就是某元件从一条支路经过电刷换到另一条支路，元件里的电流方向改变一次的全过程。如果换向元件里合成电势为零，电流随时间按直线规律变化，称为直线换向，此时电刷下不发生火花；如果换向元件中存在着电抗电势，阻碍电流变化，使换向延迟，称延迟换向，此时在电刷下出现火花，称为换向不良。

依照国家技术标准规定，火花可分为1级、 $1\frac{1}{4}$ 级、 $1\frac{1}{2}$ 级、2级和3级等，1级为无火花换向，称暗换向。

改善换向的主要方法是在两个相邻主磁极之间的位置装置换向极（附加极），且换向极绕组里流过电流就是电枢电流，即换向极绕组与电枢回路串联。换向极的极性，对于

ZF，顺电枢旋转方向看，应与下面主磁极的极性一致，对于ZD则相反，这点不能搞错，否则元件换向更加延迟，产生极大火花。当然，换向极产生磁势过强，使换向元件加速换向，也产生火花，这点也应给予注意。

习题与解答

1-1 主极铁芯用的薄钢板之间没有绝缘，为什么一般不用整块钢板做主极铁芯？用薄钢板有什么好处？

答：当励磁电流不变时，磁极中的磁通是不变的，则磁极无须迭片。但极靴部分由于电枢有齿槽存在，在旋转时掠过极面，使极面下任一固定点所面对磁阻在脉动，从而引起磁极表面磁场的变化而产生损耗。为了减少表面损耗，极靴应做成迭片式，考虑制造方便，致使整个磁极用钢片迭成。

1-2 直流电机磁路中的磁通 Φ 一般为一不变值，为什么电枢铁芯都用硅钢片迭成？而且在片间还涂漆绝缘？

答： Φ 基本上是不变化的，但电枢在旋转时铁芯中的磁通方向发生变化，在铁芯中引起涡流和磁滞损耗。为减少损耗，铁芯采用硅钢片迭成，且涂绝缘漆来处理。

1-3 在直流发电机中，电刷之间的电势与电枢绕组里某一根导体中的感应电势有何不同？

答：电刷之间的电势是直流成分，而电枢绕组里每根导体的感应电势却永远是交流电势。

1-4 在直流电机里，换向器起了什么作用？

答：在直流发电机中，它将绕组内的交流电势转换为电刷端的直流电势；对于直流电动机，则将电刷上的直流电流转换为绕组内的交流电流。

1-5 直流电机空载时气隙磁密是何分布？并说明理

由。

答：由于气隙磁密 B_x 的大小与气隙长度 δ 成反比，如果在一个磁极范围内励磁磁势的大小一样，且磁极下的气隙均匀，则磁密分布为矩形波；但实际上，电机磁极内表面与电枢铁芯外表面之间气隙不均匀，磁极中心处的气隙小，在两个极尖处气隙大，故使气隙磁密分布为礼帽形，在两极之间的几何中心线处气隙磁密等于零。

1-6 一台直流电动机的电枢绕组是装在定子上，磁极装在转子上，试问换向器和电刷应怎样装置？

答：换向器应固定在定子绕组的端接部分，且与绕组联接，处于静止不动，而电刷则随转子一起转动。

1-7 在电枢绕组展开图中，电刷在换向器表面位置应处在何处才能使正、负电刷间的电势为最大？

答：把电刷的中心线对准磁极中心线位置，也就是说，把电刷置于对准磁极中心线的换向器表面。

1-8 为什么直流电机的电枢绕组至少要有两条支路并联？

答：一台电机至少有N和S两个极，对于单迭绕组，每极下有一条支路，故一台电机至少要有两条；对单波绕组，每一极性下元件构成一条支路，一台电机至少也只能有N和S两个极性，故也有两条支路。

1-9 如果电枢绕组是不对称元件（见图1-1）构成，电刷应置换向器表面何处才能使正、负电刷间电势为最大？

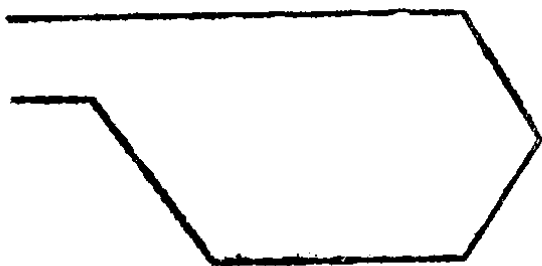


图1-1 电枢元件形状

答：电刷应置于几何中性线的换向片上。

1-10 一台四极直流电机，采用单迭绕组。若取下一只电刷或取下相邻的两只电刷，电机是否可以工作？若只用相同两只电刷，是否可以工作？若电枢绕组中一个元件断线，是否可以工作？若有一极失去励磁，将产生什么后果？如若是单波绕组，又将如何？

答：若取下一只电刷或取下相邻两只电刷时，对于发电机运行状态，其电流和功率均减小一半，对于电动机运行状态，其转矩和功率也均减小一半；对于发电机仍能运行，对于电动机，在轻载时尚能运行，在重载或满载时是不能运行，不管如何，它们的工作状态是不正常的。

若只用相同两只电刷，则电机不能工作。

若一个元件断线，则该元件所在支路失去作用，电刷端电压不变，其电流和功率均为原来的 $3/4$ 。

当一极失磁时，该磁极下的一条支路无电势（对发电机）或不产生转矩（对于电动机），使功率减小，且产生不平衡状态。

对于单波绕组：

若取下一只或相邻两只电刷时，电机仍可运行，只是电刷电流增大。

若只用相同两只电刷，电机不能工作。

若有一元件断线，则电流和功率都减半。

若一极失磁，则电流或转矩都将减小，且产生不平衡状态。

1-11 一台四极直流电动机，有两个极的励磁绕组极性接反，使主磁极的极性变为N-N-S-S，问此时有无电磁转矩？如若将两N极和两S极之间的电刷拿掉，另外两个电刷端仍加直流电压，此时有否电磁转矩？

答：由于每两条支路所产生的电磁转矩互相抵消，无电磁转矩产生。如果去掉两只电刷，则相当于两极电机，故有电磁转矩。

1-12 一台P对磁极的单迭绕组，其电枢电阻为 r_a 、电流为 I_a ，试问把它改接为单波绕组后电枢电阻和电枢电流变为多少？

答：P对极的单迭绕组有 $2p$ 条支路并联，所以每条支路电阻为 $2P r_a$ ，而单波绕组仅有两条支路并联，每条支路电阻为单迭绕组时每条支路电阻的 P 倍，即 $2P^2 r_a$ ，则波绕组电枢电阻为：

$$\frac{1}{2} (2P^2 r_a) = P^2 r_a$$

增加到 P^2 倍。

单迭绕组时，支路电流为 $I_a/2P$ ，改为单波绕组后，由于支路电流不变（绕组规格一样），仅变为两条支路，则电枢电流变为：

$$2 \cdot I_a/2P = I_a/P$$

即降低原来的 $1/P$ 。

1-13 一台并励直流电动机将其单迭绕组改接为单波绕组，试问对其电磁转矩有何影响？

答：对于单迭绕组，电枢电流 $I_a = 2a i_a$ ，（ i_a 为支路电流），而且 $a = P$ ，则根据电磁转矩公式得：

$$M = \frac{PN}{2\pi a} \Phi I_a = \frac{PN}{2\pi P} \Phi \cdot 2P i_a = \frac{PN}{2\pi} \Phi \cdot 2i_a$$

对于单波绕组，电枢电流为 $2i_a$ ，即 $a = 1$ ，则电磁转矩为：

$$M = \frac{PN}{2\pi a} \Phi I_a = \frac{PN}{2\pi} \Phi \cdot 2i_a$$

由此可见，当保持支路电流 i_a 不变时，电磁转矩 M 也不变。

1-14 已知一台两极直流电机，主极不加励磁电流，只在电刷通入直流电流且使电枢以一定转速旋转（由别的原动机拖动），问电枢导体切割电枢磁势产生的气隙磁场是否感生电势？在电刷两端总值多大？

答：电枢导体不切割电枢磁势所生的气隙磁场，故不感生电势。如不考虑磁极剩磁，电刷两端电势为零。

1-15 主磁通既链着电枢绕组，又链着励磁绕组，为什么只在电枢绕组中有感应电势，而在励磁绕组中不感应电势？

答：主磁通与电枢绕组有相对切割运动，而与励磁绕组无相对运动而不感应电势。

1-16 用什么办法能改变直流发电机电枢电势的方向？

答：改变励磁电流的方向（改变励磁绕组或励磁电压的极性）或改变原动机的旋转方向，都可以改变发电机电枢电势方向。

1-17 公式 $E_a = C_e \Phi n$ 和 $M = C_M \Phi I_a$ 中的磁通 Φ ，是指什么磁通？

答：指气隙磁场对应磁通，比空载磁通 Φ_0 略小，如果不计电枢反应的影响，两者相等。

1-18 电磁转矩与什么因素有关？如何确定电磁转矩的实际方向？

答：对现制造的电机， C_M 是常数，则 M 仅与合成磁通 Φ