

电机课程设计及实施

刘子林 主编

武汉工业大学出版社



责任编辑:朱家万 崔庆喜
封面设计:杨昌祖

ISBN 7-5629-1258-0



9 787562 912583 >

ISBN 7-5629-1258-0/TM-22
定价:11.00 元

电机课程设计及实施

刘子林 主编

武汉工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电机课程设计及实施/刘子林主编. —武汉:武汉工业大学出版社,1997. 6
ISBN 7-5629-1258-0

I. 电… II. 刘… III. 电机-专业学校-课程设计 N. TM3-4

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞狮路14号 邮编430070)

武汉测绘院地图印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:11 字数:280千

1997年6月第1版 1997年6月第1次印刷

印数:1—3 000

定价:11.00元

前 言

本书是根据全国建材中专工业企业电气化专业的教学计划,结合《电机及拖动基础》教学大纲的要求,重在培养学生的实践动手能力而编写的。

书中系统地介绍了如何利用异步电动机空壳,由学生自己动手测量铁芯尺寸,进行磁路计算,电动机绕组设计。即从导线的选择、线圈数、线圈匝数、绕组的型式、支路数的确定,到电动机的额定电压、额定容量、绕线模的计算等一系列设计方法。然后再根据自己设计的数据,绕制线圈、嵌线、接线、整形、绑扎、浸漆、组装、测试电机各参数,最后让电机投入正常运行,完成电机设计及实施整个过程。

本书原稿是1986年编写的《电机学课程设计指导书》,后经四次修订印刷,十一年间在校内外广泛使用和交流,为学生毕业后走上工作岗位解决一些电机技术问题奠定了一定基础。这次是在1990年修订印刷的基础上,经广泛征求使用单位师生和厂矿企业工程技术人员的意见,参考了大量书籍和资料,结合编者多年的教学和电机修理经验,对原书再次进行了系统的修改和补充,改为现书名作为《电机及拖动基础》的配套教材。本书不仅可供中等专业学校、中等职业学校电气化专业选用,还可供电气技术人员,电机修理人员参考。

书未附有《电机及拖动基础实验》指导。

全书由四川建材工业学校刘子林主编,武汉工业大学娄桂泉主审,编者对主审付出的辛勤劳动表示感谢。

在本书的编写过程中,参阅了大量的有关书刊和资料,在此,对提供资料的单位和个人及为本书描图的洪友伦同志表示感谢。本书在编写和修订过程中得到了科研院所,大专院校和厂矿企业的朋友们的大力支持,在此谨致衷心的感谢。

由于本人水平有限,书中错误和不妥之处,恳请师生和广大读者批评指正。

编 者

1996年12月

概 述

电能是现代最主要的能源之一,电机是电能的生产和使用的能量转换机械。它是工业、农业和交通运输业的重要设备,在家庭中的应用也日益广泛。任何一个现代化工厂需要几百至几万台电机,甚至人造卫星的自动控制系统中,电机也是不可缺少的。据初步统计,电动机的用电量占电网总容量的85%左右,而在这些种类繁多的电机中,异步电机具有结构简单,坚固耐用,价格便宜,使用维护方便等优点,现已成为厂矿企业应用最广的一种电机。异步电动机在运行中,因各种原因,不可避免地会发生故障,所以电机的修理工作是不可缺少的。由于电机绕组是能量转换的枢纽,是电动机的心脏,电动机的故障又多属绕组故障,因而,对电机的修理大部分是对绕组的修理。作为一个电气化专业的中专生——未来的厂矿企业电气技术人员,不仅要在理论上掌握电机的基本原理、运行性能、绕组的型式和联接规律,而且还应具有对空壳异步电动机重新设计绕组、修理技术等技能。因此,在学完《电机及拖动基础》课程之后,进行一次课程设计,并将该设计付之实施,也就成为中专电气化专业实践性教学的一个不可缺少的重要内容。

本课程设计分两步进行。第一步,利用无铭牌,无任何技术数据,无定子绕组的空壳异步电机铁芯,让学生自己动手测量铁芯尺寸,选取参数,进行电机绕组设计,绕线模的设计计算。第二步,学生将自己设计的方案和技术数据进行绕制电机绕组,最后让电机投入正常运行,完成设计的全过程。

目 录

概述

第一部分 电动机绕组设计

第一章	三相空壳异步电机的重新设计.....	(3)
第一节	重新设计的计算程序.....	(3)
第二节	三相绕组设计举例	(15)
第三节	空壳电动机的简易计算程序.....	(18)
第四节	空壳电动机绕组简易计算举例	(24)
第二章	改变导线规范的计算	(29)
第一节	改变并绕的导线根数	(29)
第二节	改变绕组的并联支路数	(39)
第三节	变更电动机绕组的 Y· Δ 接线方式	(41)
第四节	用数根相同直径的导线代用一根导线的计算	(42)
第五节	绕组接线和并联路数同时变更的代用导线	(42)
第三章	单相电动机绕组的设计计算	(44)
第一节	绕组设计程序	(44)
第二节	单相电容电动机计算举例	(48)
第三节	单相电动机绕组型式的选择.....	(51)
第四章	绕线模的设计计算	(55)
第一节	绕线模尺寸精确程度对电机性能的影响	(55)
第二节	单层交叉链式线圈绕线模尺寸的计算	(55)
第三节	单层链式绕组线模尺寸的计算	(60)
第四节	单层同心式绕组绕线模尺寸的计算	(61)
第五节	双层菱形绕线模尺寸的计算.....	(63)

第二部分 电动机设计方案的实施

第五章	线圈的制作	(67)
第一节	绕线模的制作	(67)
第二节	绕制线圈	(67)
第六章	嵌线	(70)
第一节	安放槽绝缘.....	(70)
第二节	嵌线工艺	(71)
第三节	接线与整形.....	(75)
第七章	绕组和电机主要部件的质量检查	(80)
第一节	电机质量的检查	(80)
第二节	电机空转检查	(81)
第三节	电动机绕组修理工具	(84)
第八章	浸漆与装配	(87)

第一节	浸漆前的准备	(87)
第二节	浸漆工艺过程	(87)
第三节	电动机的装配	(88)
附录 1	0.5mm 厚硅钢片 50Hz 典型磁化曲线数据	(91)
附录 2	漆包线的技术数据	(94)
附录 3	JO ₂ 、J ₂ 系列三相异步电动机线圈木模尺寸图	(99)
附录 4	Y 系列(IP44)小型三相异步电动机技术数据	(106)
附录 5	家用电器用电动机	(111)
附录 6	圆导线更换表	(117)
第三部分 电机及拖动基础实验指导		
第一章	电机及拖动基础实验的基本要求和基本测量方法	(123)
第一节	电机及拖动基础的基本要求	(123)
第二节	基本物理量的测量方法	(124)
第二章	直流电机实验	(131)
实验一	直流电机认识实验	(131)
实验二	直流发电机空载实验	(133)
实验三	直流发电机负载实验	(136)
实验四	直流并励电动机的特性实验	(140)
实验五	直流串励电动机实验	(144)
第三章	变压器实验	(147)
实验六	单相变压器空载和短路实验	(147)
实验七	三相变压器联接组别实验	(151)
第四章	三相异步电动机实验	(155)
实验八	三相异步电动机的启动实验	(155)
实验九	三相异步电动机的空载和短路实验	(157)
实验十	三相异步电动机的特性实验	(160)
第五章	同步电动机	(163)
实验十一	同步电动机实验	(163)

第一部分 电动机绕组设计

第一章 三相空壳异步电机的重新设计

在修理电机时,一定要作好原始记录,以便按原绕组修复,这样可保持电机原来的设计要求和性能。但是,我们这里主要讲,异步电动机既无铭牌,又无绕组,由学生自己动手测量电机铁芯尺寸,设计电动机绕组。

第一节 重新设计的计算程序

一、测量铁芯各部位尺寸

如图 1-1 所示。

1. 定子铁芯内径 D_1 ;
2. 定子铁芯外径 D_1' ;
3. 定子铁芯长度 L_1 ;
4. 定子铁芯槽数 Z_1 ;
5. 定子槽形尺寸;
6. 气隙长度 δ ;
7. 转子铁芯内径 D_2 ;
8. 转子铁芯外径 D_2' ;
9. 转子槽数 Z_2 。

注意:在测量时,对气隙及槽形的测量要特别精确,否则将会引起较大误差,对气隙的测量最好使用塞尺。

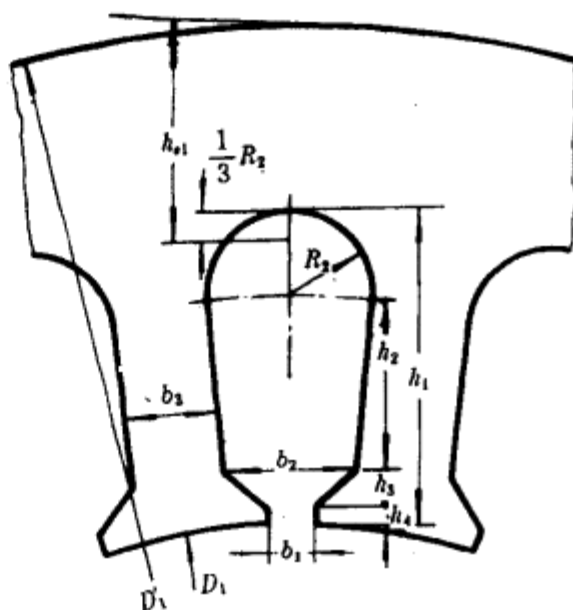


图 1-1 半开口圆底槽(梨形槽)定子槽形尺寸

二、初步估计电机磁极数,计算磁路各部分磁通密度

1. 估计磁极数

电动机的极数即可由经验公式估算:

$$2P = (0.35 \sim 0.40) \frac{Z_1 b_3}{h_{e1}}$$

式中: P ——电机磁极对数;

Z_1 ——定子铁芯槽数;

b_3 ——定子铁芯齿宽;

h_{e1} ——定子铁芯轭高。

计算出的磁极数取相近的双数作为极数,并根据电动机的槽数,一般槽数少的电动机极数较少,槽数多的电动机极数较多。

2. 计算磁路各部分磁通密度

电动机极数确定后,选定气隙磁密来验算各部分磁密。

(1)每极磁通 Φ

$$\Phi=a_jS_qB_g\times10^{-4}\text{ Wb}$$

式中: S_q ——气隙极弧面积(cm^2);

$$S_q=\tau L_1=\frac{\pi D_1L_1}{2P}\text{ cm}^2$$

$$\tau=\frac{\pi D_1}{2P}\text{ cm};$$

P ——磁极对数;

L_1 ——定子铁芯长度(cm);

D_1 ——定子铁芯内径(cm);

a_j ——极弧系数,它与磁极数及磁路饱和程度有关。先由表 1-1 决定电动机的饱和系数 K_b ,再根据 K_b 查表 1-2,便得极弧系数 a_j ;

B_g ——气隙磁密可根据电机的型式和磁极数按表 1-3 选取,电动机功率小者取小值,功率大者取大值。

饱 和 系 数 K_b 表 1-1

极数 $2P$	2	4	6	8
饱和系数 K_b	1.05~1.15	1.15~1.30	1.25~1.40	1.30~1.45

极 弧 系 数 a_j 表 1-2

饱和系数 K_b	1.1	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70
极弧系数 a_j	0.66	0.67	0.68	0.691	0.70	0.71	0.717	0.725	0.733	0.747	0.747	0.753	0.76

中、小型电动机气隙磁密 $B_g(\text{T})$ 表 1-3

气 隙 磁 密 B_g 型 式 \ 极 数	2	4	6	8
封闭式	0.550~0.650	0.670~0.800	0.700~0.800	0.670~0.800
开启式	0.650~0.750	0.700~0.850	0.750~0.850	0.700~0.850

表 1-3 中,气隙磁密值对系列产品的电动机较为适用,若硅钢片质量较差,铁芯又迭压不紧或参差不齐,就应适当降低气隙磁密,对于一般情况取中间值,由此可见,选择数据与参数计算,都应根据具体情况,灵活应用。

(2)计算定子轭部磁密 B_{c1}

$$B_{c1}=\frac{\Phi\times10^4}{2S_{c1}}\text{ T}$$

式中： S_{a1} ——定子轭部截面积(cm^2)； $S_{a1}=K_y h_{e1} L_1$
 K_y ——铁芯压装系数，根据铁芯冲片的绝缘情况可按表 1-4 取值；
 L_1 ——定子铁芯长度(cm)；
 h_{e1} ——定子铁芯轭高(cm)。此值可以直接从定子铁芯测得，或按下式计算：

压 装 系 数 K_y 值		表 1-4
绝缘情况	K_y	
铁芯冲片涂漆	0.92	
铁芯冲片未涂漆	0.95	
铁芯冲片纸绝缘	0.90	

圆底槽(如图 1-1)：

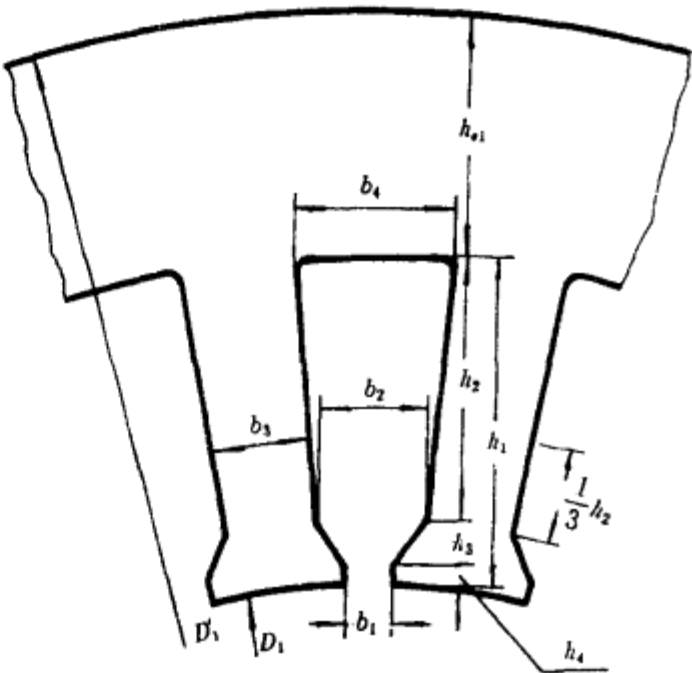
$$h_{e1}=\frac{D_1'-D_1}{2}-h_1+\frac{1}{3}R_2$$

平底槽(如图 1-2)：

$$h_{e1}=\frac{D_1'-D_1}{2}-h_1$$

D_1' ——定子铁芯外径(cm)；
 D_1 ——定子铁芯内径(cm)；
 h_1 ——定子铁芯槽高(cm)；
 $h_1=h_2+h_3+h_4$
 R_2 ——定子铁芯槽底半径(cm)。

式中各字母所代表的尺寸见图 1-1 和图 1-2 所示。



以上公式计算所得的 B_{a1} ，应在表 1-5 所规定的范围之内，早年生产的电机 B_{a1} 值多为小值。例如在 1.25~1.35T 左右。如果计算值与表内控制值相差较大，说明极数与气隙磁密选得不正确，那就得考虑变更磁极数，或重选气隙磁密，直到符合表 1-5 内之值为止。

中、小型电动机轭部磁密 B_{a1} (T)				表 1-5
极 数 磁 密 型 式	2	4	6	8
封闭式	1.250~1.400	1.350~1.450	1.300~1.400	1.100~1.350
开启式	1.400~1.550	1.350~1.500	1.300~1.500	1.100~1.450

(3)计算定子齿部磁密 B_{a1}

$$B_{cl} = \frac{\Phi \times 10^4}{a_j S_{cl}} \quad \text{T}$$

式中： Φ ——每极磁通(Wb)；
 a_j ——极弧系数；

$$S_{cl} = K_y \frac{Z_1}{2P} b_3 L_1 \quad \text{cm}^2$$

S_{cl} ——每极齿部面积；
 K_y ——铁芯迭压系数；
 Z_1 ——定子铁芯槽数；
 P ——磁极对数；
 L_1 ——定子铁芯长度(cm)；
 b_3 ——定子齿部计算宽度(cm)。

定子齿部计算宽度 b_3 ，对于平行齿，可以直接测量得到。对于非平行齿，则在靠近最狭窄的 1/3 部位测得，或按下式计算：

平行齿(例如梨形槽)：

$$b_3 = \frac{\pi(D_1 + 2h_4 + 2h_3)}{Z_1} - b_2 \quad \text{cm}$$

非平行齿(如矩形槽)：

$$b_3 = \frac{\pi(D_1 + \frac{2}{3}h_1)}{Z_1} - b_2 \quad \text{cm}$$

式中： h_4, h_3 ——定子铁芯槽的部分高(cm)。见图 1-1 和图 1-2 所示；

h_1 ——定子铁芯槽高(cm)；
 b_1 ——定子铁芯槽宽(cm)。

计算所得的 B_{cl} 值应符合表 1-6 所列范围内，早年生产的电动机大多数为小值，一般控制在 1.30~1.50T 左右，如计算所得值相差较大，则应减小气隙磁密 B_g 值；如过小，则应增加气隙磁密 B_g 值，直到合适为止。

当定子轭部和齿部的磁通密度经过计算都符合表中数值时，那么，电动机的极数与气隙磁密就可以确定了，所求的磁通即为电动机的工作磁通。

上面的磁通是按定子铁芯尺寸决定的允许工作磁通，下面就根据计算出的铁芯工作磁通来求出绕组各数据。

中、小型电动机齿部磁密 B_{cl} (T) 表 1-6

齿部磁密 B_{cl} 型式	极数			
	2	4	6	8
封闭式	1.400~1.550	1.450~1.600	1.450~1.550	
开启式	1.550~1.700	1.470~1.670	1.500~1.650	

三、电动机定子绕组数据的设计计算

容量在 10kW 以下的电动机,一般为单层绕组,10kW 以上的电动机,一般为双层绕组。

1. 绕组元件(线圈)的节距 y_1 (跨距)

$$y_1 = \beta' \tau = \beta' \frac{Z_1}{2P}$$

式中: τ ——极距;

P ——磁极对数;

β' ——短距率;

双层绕组: $\beta' = 0.8 \sim 0.9$

单层绕组: $\beta' = 1.0$

注意:设计绕组型式时,在相同效果下,要尽可能节省材料。

2. 绕组系数 K_{dp1}

$$K_{dp1} = K_{d1} K_{p1}$$

式中: K_{p1} ——短距系数;

$K_{p1} = \sin(\beta' \times 90^\circ)$, 也可查表 1-7;

K_{d1} ——分布系数;

$$K_{d1} = \frac{\sin \frac{qa}{2}}{q \sin \frac{a}{2}};$$

a ——每槽所占电角度:

$$a = \frac{P \times 360^\circ}{Z_1};$$

q ——每极每相槽数;

$$q = \frac{Z_1}{2Pm_1}$$

m_1 ——定子相数;

Z_1 ——定子槽数;

P ——磁极对数。

3. 定子每相串联匝数 W_1

$$W_1 = \frac{U_r}{4.44 f_1 K_{dp1} \Phi} \quad \text{匝}$$

式中: U_r ——电动机工作相电压(V);

Φ ——每极磁通(Wb);

K_{dp1} ——定子绕组系数。

4. 每槽导体数 N

$$N = \frac{2W_1 m_1}{Z_1}$$

式中: W_1 ——定子每相串联匝数;

Z_1 ——定子铁芯槽数;

m_1 ——定子相数。

短距系数 K_{p1}

表 1-7

节距 y	每极槽数												
	24	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
1—25	1.000												
1—24	0.998												
1—23	0.991												
1—22	0.981												
1—21	0.966												
1—20	0.947												
1—19	0.942	1.000											
1—18	0.897	0.996											
1—17	0.866	0.985	1.000										
1—16	0.832	0.966	0.995	1.000									
1—15	0.793	0.940	0.981	0.995	1.000								
1—14	0.752	0.906	0.956	0.978	0.994	1.000							
1—13	0.707	0.866	0.924	0.951	0.975	0.993	1.000						
1—12		0.819	0.882	0.914	0.944	0.971	0.991	1.000					
1—11		0.766	0.831	0.866	0.901	0.935	0.966	0.990	1.000				
1—10		0.707	0.773	0.809	0.847	0.884	0.924	0.960	0.988	1.000			
1—9			0.707	0.743	0.782	0.833	0.866	0.910	0.951	0.985	1.000		
1—8				0.669	0.707	0.749	0.793	0.841	0.891	0.940	0.981	1.000	
1—7						0.663	0.707	0.756	0.809	0.866	0.924	0.975	1.000
1—6								0.655	0.707	0.766	0.832	0.901	0.966
1—5										0.643	0.707	0.782	0.866
1—4												0.624	0.707

可以调整 W_1 而使 N 为整数,对于双层绕组 N 还必须为双数。

5. 确定定子槽内每根导体截面积 S

$$S = F_m \frac{S_2}{N} \text{ mm}^2$$

式中: F_m ——槽满率(如果采用扁线应控制在 0.70~0.85 范围内,如果采用圆铜线应控制在 0.45~0.70 范围内。较粗的圆导线取小值,较细的圆导线及扁线取大值;

S_2 ——槽有效面积(mm^2);

$$S_2 = S_{c1} - S_j$$

S_{c1} ——槽的实际面积(mm^2);

S_j ——槽绝缘所占的面积(mm^2)。

$$S_{c1} = \frac{2R_2 + b_2}{2} (h_s - h_r) + \frac{\pi R_2^2}{2}$$

此处指圆底槽,如图 1-3 所示。

R_2 ——槽底半径(mm);
 b_2 ——定子铁芯槽宽(mm);
 h_5 ——定子槽高(mm);
 h_x ——槽楔厚度,一般取为 2mm~4mm。或实测。

双层绕组:

$$S_j=C(2h_5+\pi R_2+2R_2+b_2)$$

单层绕组:

$$S_j=C(2h_5+\pi R_2+b_2)$$

C ——绝缘厚度,查表 1-8,根据求得的导线截面积 S 选取导线型号,扁导线可查表,圆导线的线径 d (带绝缘的导线外径)为:

$$d=1.13\sqrt{S}\text{ mm}$$

如果求得的线径太粗,由于受到槽口尺寸的限制,嵌线时将发生困难,因此,一般以两根导线同时能通过槽口为限,并且每根最大线径(裸导线)不要超过 1.68mm,否则可采用多根小截面的导线并绕,或多支路并联的办法(详见第二章)。

如果采用多支路并联,则每个线圈的匝数 W (双层绕组才除以 2)为:

$$W=\frac{Nna}{2}$$

式中: N ——每槽导体数;
 a ——并联支路数;
 n ——导体并绕根数。

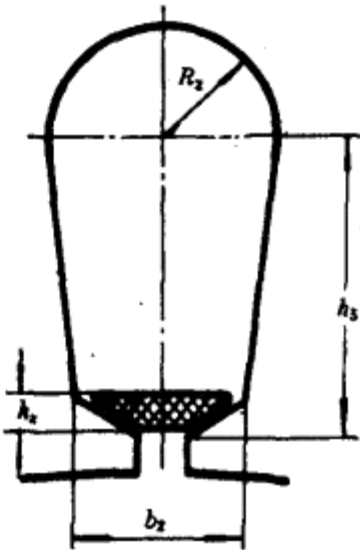


图 1-3 圆底槽尺寸

绝 缘 厚 度 参 考 值 表 1-8

绝 缘 等 级	机 座 号	C 值
A 级		0.35~0.45
E 级	1~2#	0.22
	3~5#	0.27
	6~9#	0.42
B 级		0.44~0.50

不同的槽形(如图 1-4 所示)面积计算公式:

(1)圆顶、圆底槽形面积 S_{c1} (如图 1-4(a)所示):

$$S_{c1}=\frac{b_2+2R_2}{2}(h_5-h_x)+\frac{\pi}{2}R_2^2$$

(2)圆顶、双圆底槽形面积 S_{c1} (如图 1-4(b)所示):

$$S_{c1}=\frac{b_2+b_4}{2}(h_5-h_x)+R_2b_r+\frac{\pi}{2}R_2^2$$

(3)圆顶、平底槽槽形面积 S_{c1} (如图 1-4(c)所示):