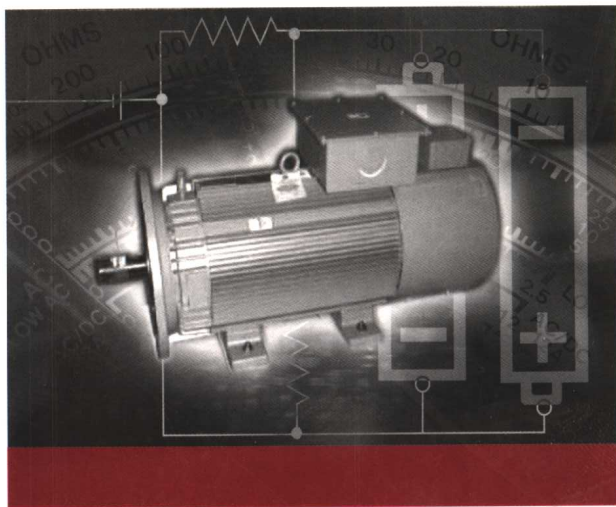


高等职业技能操作与实训教材

电机绕组维修技术

杨天明 王春阳 魏增菊 等编著



Chemical Industry Press



化学工业出版社
教材出版中心

高等职业技能操作与实训教材

电机绕组维修技术

杨天明 王春阳 魏增菊 等编著



化学工业出版社
教材出版中心

·北京·

本书从电机绕组维修技术需要的基本知识着手,即从磁场的基本知识、直流电机的原理与结构、交流电机的工作原理与结构方面着手,主要针对常用电机绕组的修理,内容包括:交流电机、直流电机、交直流通用电机各种形式的绕组分布嵌线排列原则、绕组展开图的操作步骤;电机绕组维修的具体操作工艺;电机故障检修及测试方法等方面进行了较为详细的介绍。其中的绕组嵌线排列原则,是作者集多年的理论研究与工作经验积累,提炼出的绕组排列新原则,再加上新的绕组展开图操作步骤,简单易行,操作方便,且具有自我纠错的特点,大大降低了电机绕组维修技术的难度,方便了初学者的自学。为了方便读者进行电机的修理和故障的处理,本书提供了附录部分,附录中有各种型号常用电机的铁芯、绕组技术数据与有关参考资料,供修理者查用。

本书内容丰富,操作方便,简单易行,实用性强,也可以作为高等院校有关专业师生的电机绕组技术实习实训教材,或作为中等专业以及技工学校侧重电机绕组修理专业的教材,或作为实践补充参考资料;也可供广大工矿企业的电机修理工、维修电工或一般电工学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机绕组维修技术/杨天明等编著. —北京:化学工业出版社,2006.4
高等职业技能操作与实训教材
ISBN 7-5025-8521-4

I. 电… II. 杨… III. 电机-绕组-维修-高等学校:技术学院-教材
IV. TM303.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第034604号

高等职业技能操作与实训教材

电机绕组维修技术

杨天明 王春阳 魏增菊 等编著

责任编辑:张建茹 陈丽

文字编辑:李玉峰

责任校对:洪雅妹

封面设计:潘峰

*

化学工业出版社 出版发行

教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)

购书咨询:(010) 64982530

(010) 64918013

购书传真:(010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷有限责任公司印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 12 字数 322千字

2006年6月第1版 2006年6月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8521-4

定 价:20.00元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

随着中国市场经济的建设，以及国际经济一体化的飞速发展，电机作为国内外先进的动力设备，在国民经济各个领域的使用将与日俱增。与此同时，电机的维修工作也无疑应跟上客观需要。绕组是电机机电能量转换的主要部件，电机的维修中，机械故障较为直观便于处理，而绕组部分的故障较多，且较为麻烦有一定的难度，需要一定的技术实力。为此，如何理解掌握电机绕组的基本规律与修理技术，是从事电机维修工作以及维修电工人员所急需的。

本书从磁场的基本知识、直流电机的原理与结构、交流电机的工作原理与结构方面着手，以普通电机绕组为主，在绕组的种类结构形式、分布接线规律、主要参数计算、各种故障分析，以至重绕布线、接线的具体操作工艺方法等方面，都系统地做了详细的叙述。对于普通电机绕组分布规律用新的绕组嵌线排列原则进行讨论，即：①一个极内所有导体的电流方向必须一致；②相邻两个极内所有导体的电流方向必须相反；③若为双层绕组，以上层绕组为准，或以下层绕组为准。为了使读者实际操作能力提高，书中还提供了绕组展开图的操作步骤，在电机的实际维修中，不需掌握过多的名词术语，简单易行。对于多速电机，按照槽电势分布的原理进行阐述；每种类型都附有例题；绕组布线、接线部分主要采用直观的绕组展开图、接线图等不同形式分别介绍，便于读者熟悉掌握与检修电机绕组的布线规律；最后介绍若干自制修理器具的经验。附录部分列出各种常用电机的铁芯、绕组技术数据与修理中必需的常用参考资料。

本书主要由杨天明执笔统稿；并具体编写了第6章；第1、2、3、4章及第5章的前三节由王春阳编写；第5章的第4节、7、8、

9章及第10章由魏增菊编写；第11、12章由王桂林编写；附录由刘绍勇编选。

本书内容属长期实践的小结，但限于编者的学识业务水平，不妥之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

2006年2月

目 录

第 1 篇 基本理论部分

第 1 章 磁场的基本知识	3
1.1 磁场	3
1.2 载流导体在磁场中的受力现象	8
1.3 在磁场中运动导体的感应电势	11
1.4 电机的分类与铭牌	13
第 2 章 直流电机的原理与结构	19
2.1 直流电机的工作原理	19
2.2 直流电机的结构	25
2.3 交直流通用电机的工作原理	29
第 3 章 交流电机的工作原理与结构	32
3.1 三相异步电机的工作原理	32
3.2 三相异步电机的结构	40
3.3 单相异步电机的工作原理与结构	45

第 2 篇 电机绕组的排列

第 4 章 绕组的基本概念	61
4.1 绕组及绕组展开图	61
4.2 槽数 Z 和磁极对数 P	65
4.3 极距 τ	67
4.4 电角度 α	68
4.5 线圈的节距 y	69
4.6 每极每相槽数 q	71

4.7 电机绕组排列的基本原则	71
第 5 章 直流电机绕组	73
5.1 转子(电枢)绕组的形式和主要参数	73
5.2 绕组的表现形式	76
5.3 绕组的排列与嵌放	76
5.4 通用电机绕组	99
第 6 章 交流电机绕组的排列	109
6.1 交流电机绕组的基本知识	109
6.2 单相交流电机的绕组展开图	114
6.3 三相交流电机的绕组展开图	130
第 7 章 三相交流多速电机绕组	170
7.1 双速电机变极原理	171
7.2 倍极比双速电机绕组排列	177
7.3 非倍极比双速电机绕组排列	186
7.4 非正规分布双速电机绕组排列	191
7.5 三速电机绕组及接线	197

第 3 篇 电机绕组维修

第 8 章 绕组重嵌工艺	211
8.1 铭牌与原始数据的记录	211
8.2 旧绕组的拆除	213
8.3 绕线模的制作及线圈的绕制	216
8.4 嵌线工艺	223
8.5 接线与焊接	230
8.6 绕组的浸漆与烘焙	234
第 9 章 异步电机绕组的简单计算	240
9.1 绕组数据的确定	240
9.2 改变导线规格的计算	246
9.3 三相异步电机的改极计算	251
9.4 改压计算	254

9.5 正弦绕组的安排计算	258
---------------------	-----

第4篇 电机故障检修

第10章 机械部分的故障检修	263
10.1 电机的拆装	263
10.2 转轴的故障和修理	266
10.3 轴承的检查修理	268
10.4 集流装置的修理	276
10.5 转子的平衡	282
第11章 绕组部分的故障检修	285
11.1 定子绕组故障的检修	285
11.2 转子绕组故障的检修	296
11.3 短路侦察器的制作	303
第12章 运行维护与测试	306
12.1 电机的选择	306
12.2 电机的启动	308
12.3 运行中电机的监视	309
12.4 电机的定期维护和保养	316
12.5 电机修复后的测试	317

附 录

附录一 产品代号所用字母的含义	331
附录二 滚动轴承的识别	332
附录三 电机电刷的选择	334
附录四 线规	335
附录五 Z2系列直流电动机铁芯、绕组技术数据	337
附录六 JW系列三相感应电动机铁芯和绕组的技术数据	345
附录七 JZ系列单相分相电动机铁芯、绕组技术数据	347
附录八 JY系列单相电容启动电动机铁芯、绕组技术数据	349
附录九 JX系列单相电容启动电动机铁芯、绕组技术数据	351
附录十 JO系列电动机的技术参数	353

附录十一	JO2 系列异步电动机铁芯和线圈的技术数据	359
附录十二	小型低压电动机常用绝缘材料和导线分类表	369
附录十三	常用浸漆的性能	370
参考文献	371

第 1 篇

基本理论部分

电机的基本理论，不仅是电机运行控制的理论基础，更是电机运行维护，特别是绕组维修技术的基本理论依据。

在电机绕组的维修技术中，必须先搞清楚电机的基本理论知识，否则，无法更好地掌握绕组修理技术。掌握了基本的理论知识，便可以做到在电机绕组维修中，思路清晰，对于电机的故障有一个较为清晰的判断，即首先判断出是机械方面还是电气方面的问题，电气方面是绕组的哪一部分出了问题。例如，电机通电不能运行的故障，是绕组接线端断开的原因，还是绕组内部烧断的问题，要搞清楚才好处理；否则由于不清楚基本的理论，而把绕组接线端断开的原因，判断为绕组内部烧断的问题，把绕组统统拆掉重嵌，那将是既浪费时间又浪费材料，同时，没有查出故障的原因，修好的电机很可能在较短的时间内会再次损坏。

第 1 章 磁场的基本知识

为了更好地理解电机绕组的工作原理，首先要介绍一些必要的基础知识，包括通电导体和通电线圈产生的感应磁场，磁场中载流导体的受力现象，运动导体的感应电势等；与此同时，将陈述右手法则、右螺旋法则和左手法则等有关法则。

1.1 磁场

在物质的分子中由于电子环绕原子核运动和本身自转运动而形成分子电流，分子电流会产生一种物理现象，这种物理现象其实就是磁场，每个分子相当于一个基本的小磁铁，称之为分子磁铁。在物质的内部还分成许多小区域，由于分子间有一种特殊的作用力而使每一区域内的分子磁铁都排列整齐，显示磁性。这些小区域称为磁畴。在没有外磁场的作用时，各个磁畴排列混乱，磁场相互抵消，对外就显示不出磁性来，如图 1-1(a) 所示。在外界磁场作用下（例如在绕在铁芯的线圈中的电流所产生的磁场的作用下），其中的磁畴就顺外磁场方向转向，显示出磁性来。这一过程称为磁化。磁化过程其实就是电能转化为磁能的一个过程，即磁化线圈内的电能通过磁化导磁材料，转化为导磁材料内部的磁能，而使导磁材料显示出磁性形成磁铁，如图 1-1(b) 所示。总的来说，磁场是由导体中的电流（移动的电荷）在其周围产生的，实质上就是磁畴有规则地排列所产生的一些现象。由于物质自身性质的不同，有些物质内部的磁畴数量多些，有的少些，所以，就此区分出高导磁材料和非导磁材料。物质内部磁畴数量多的称为高导磁材料，少的称为非导磁材料。高导磁材料主要是指铁、镍、钴及其合金而言，高导磁材料易被磁化，形成磁铁，如收音机内小喇叭上的磁铁。

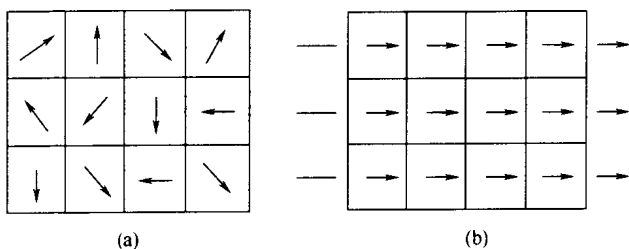


图 1-1 磁性物质的磁化

无论是直流电机，还是交流电机，都是在磁场和电流的共同作用下工作的，二者缺一不可。在直流电机中，磁场是恒定不变的；在交流电机中，磁场是交变的、不固定的，也即是旋转的。磁场的形成有两种基本形式，其一是永久磁铁形成的磁场，其二是电磁场。本节重点介绍电磁场的形成以及有关电磁场的知识。

1.1.1 载流导体产生的感应磁场

当电流通过导体时，在导体周围有磁场产生。当导体中电流方向改变时，电磁场方向也相应改变。这种载流导体所产生的磁场，称为感应磁场，这种现象称为电磁感应现象。

单根载流导体产生的感应磁场方向，用右螺旋法则判定。具体判定方法，是用右手握住导体，使大拇指的方向为电流方向，则其余四指的方向为感应磁场方向（磁力线方向），如图 1-2 所示。

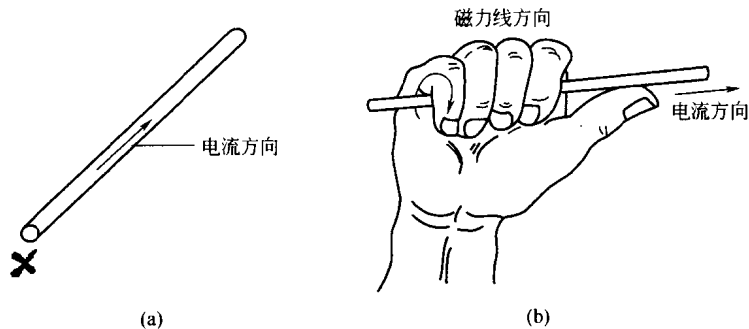


图 1-2 单根导体的磁场

为了更明确起见，电流和磁场的方向，常采用截面图表示，如图 1-3 所示。

在图 1-3 中，导体中的电流进入纸面用“ \otimes ”符号表示，如图 1-3(a) 所示，导体电流离开纸面用“ \odot ”符号表示，如图 1-3(b) 所示。载流导体周围的同心圆表示磁力线（磁场），图中的箭头表示磁力线方向。

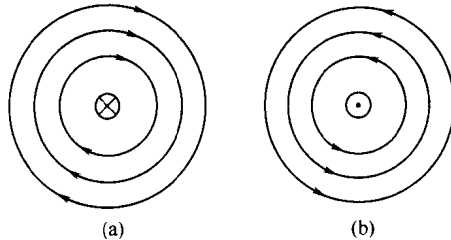


图 1-3 用截面方法表示导体电流方向和磁场方向

载流导体在其周围产生感应磁场的强弱直接与通过导体电流的强弱有关，还与导体周围的导磁介质有关系。以载流导体周围都是空气，与载流导体周围都是铁磁物质两种情况相比较，在导体中电流不变的情况下，空气中的磁场感应很弱，而铁磁物质中的磁场感应很强。空气中的磁场感应很弱，是因其导磁能力很低，导磁系数很小；铁磁物质中磁场感应很强，是因其导磁系数很大。空气中的导磁系数 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ ，而铁磁物质的导磁系数 μ_{Fe} ，约比空气的导磁系数大 2000~6000 倍。电机磁路采用硅钢片组成，其原因就在于此。

为了获得更强的感应磁场，可将导线绕制成螺旋管线圈，并将线圈套在由铁磁物质制成的铁芯上；当线圈通以电流时，在铁芯内部就可获得很强的磁场。图 1-4 画出了空心螺旋管线圈和套在铁芯上的线圈所产生的感应磁场。

通电线圈产生的感应磁场方向用右手法则判定。具体判定方法是用右手握线圈，使弯曲的四指和电流前进方向相同，这时，与四指相垂直的拇指方向，就是磁场方向。拇指的方向为载流线圈所产

生感应磁场的 N 极，其反方向为 S 极。

1.1.2 磁动势、磁场强度、磁通密度

为了便于进一步描述磁场的强弱，下面介绍几个与磁场有关的物理量：磁动势（磁势）、磁场强度和磁通密度。

(1) 磁动势（磁势）

在图 1-4 中磁力线通过的闭合路径被称为磁路。正如在电路中产生电流必须有电动势一样，在磁路中要产生磁通也要有磁动势（磁势）。磁动势的大小用电流强度与载流导体数之积表示，类似电源电动势，是产生磁场的源泉，即

$$F = IW \quad (1-1)$$

式中， F 为磁动势，单位为 A（安培）； I 为电流强度，单位为 A（安培），简称安； W 为载流导体数（线圈匝数）。

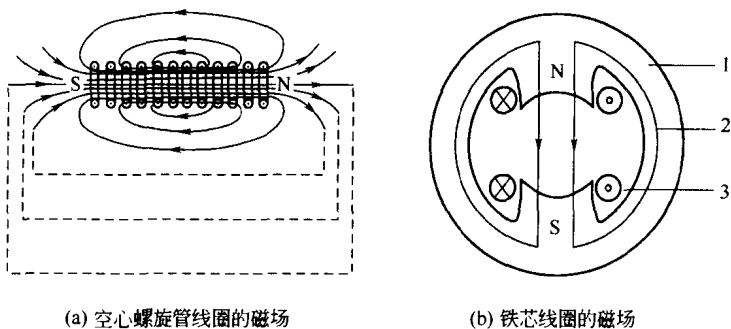


图 1-4 空心螺旋管线圈与铁芯线圈形成的磁场

1—铁芯；2—磁力线；3—线圈

(2) 磁场强度

作用于单位长度（m）磁路上的磁动势定义为磁场强度，由此可见，磁场强度是描述磁场强弱的很重要的物理量。磁场强度常用字母“ H ”表示。磁场强度公式为

$$H = F/L \quad (1-2)$$

式中， H 为磁场强度，单位为 A/m（安/米）； L 为磁路长度，单位为 m（米）。

(3) 磁通密度 (磁感应强度)

在磁场中, 通过给定曲面的总磁力线条数, 称为穿过 (垂直) 该曲面的磁通量, 简称磁通。而垂直通过单位截面的磁力线条数被称为磁通密度或磁感应强度。

磁通一般用字母“ Φ ”表示, 其法定计量单位为“Wb (韦伯)”。

磁通密度一般用字母“ B ”表示, 也称磁感应强度, 其法定计量单位为“T (特斯拉)”。

根据定义, 磁通密度和磁通之间的关系为

$$B = \Phi / S \quad (1-3)$$

式中, Φ 为磁通量, 单位为 Wb (韦伯); S 为磁力线垂直穿过线圈的面积, 单位为 m^2 (平方米); B 为磁通密度, 单位为 T (特斯拉), $1\text{T} = 1\text{Wb}/\text{m}^2$ 。

磁通密度和磁场强度都是表征磁场强弱的物理量, 它们二者有密切关系。二者关系用式 (1-4) 表示

$$B = \mu H \quad (1-4)$$

式中, μ 为组成磁路的导磁物质的导磁系数, H/m。

1.1.3 磁路的欧姆定律

人们熟知的电路欧姆定律, 它是描述电路电动势、电流和电路电阻之间关系的。与电路相类同, 磁路的欧姆定律是描述磁路中磁动势 F 、磁通 Φ 和磁路磁阻 R_m 之间关系的。磁路中这三个物理量之间的关系为

$$F = \Phi R_m \quad (\Phi = F/R_m) \quad (1-5)$$

由式 (1-5) 可知, 磁通的大小等于作用于磁路上的总磁动势除以磁路的磁阻。这一表达式被称为磁路的欧姆定律。

已知磁动势大小为 $F = IW$, 所以产生磁动势的线圈匝数越多, 电流越大, 磁动势也越大。

磁路的磁阻可用式 (1-6) 求得

$$R_m = L/(\mu S) \quad (1-6)$$

式中, L 为磁路长度, m; S 为磁路截面积, m^2 。

由式 (1-6) 可知, 磁路的磁阻与磁路长度成正比, 与导磁系

数和磁路截面积成反比关系。

1.1.4 铁磁物质的分类

根据铁磁物质所具有的特性，可将铁磁物质分为两大类，一类是硬磁性材料，另一类是软磁性材料。

(1) 硬磁性材料

高碳钢和某些特种合金钢（如含铁 65%、镍 5%、铝 10% 的合金钢）等是硬磁性材料。所谓硬磁性材料，指的是此种磁性材料一旦被强行磁化处理后，则其磁性很难消失。硬磁性材料适合做成永久性磁体。永磁式直流电机的定子磁极就是用硬磁性材料经磁化而成的。

(2) 软磁性材料

软铁、硅钢、铁镍合金等是软磁性材料，这种材料适合制成软磁铁。软磁铁插入螺旋管线圈内，便形成电磁铁。当线圈通以电流时，软磁铁易被磁化，显示出磁性；而当切断电流时，则软磁铁磁性消失。由于软磁性材料具有这样的特性，所以变压器和电机的铁芯一般都用硅钢片制成。

1.2 载流导体在磁场中的受力现象

前面讨论了载流导体和载流线圈产生的感应磁场。现在讨论在磁场中放置一个载流导体所发生的物理现象。

1.2.1 单根载流导体在磁场中的受力现象（电磁力）

为了说明载流导体在磁场中的受力情况，将载流导体如图 1-5 (a) 所示放置在磁场中，便可以发现，载流导体会向左运动，这说明导体受到力的方向指向左面。当改变导体电流为相反方向时，导体运动方向也改变，导体向右运动。

由此演示断定，载流导体在磁场中会受力产生运动，载流导体受到的力称为电磁力。载流导体在磁场中受到电磁力的大小由式 (1-7) 决定，电磁力方向用左手法则判定。

电磁力公式为