



上岗之路

领你入门——轻松掌握一技之长

带你上岗——信步迈入职业殿堂

电机修理 入门

李 洋 编著



上岗之路

电机修理入门

李 洋 编著



机械工业出版社

本书较为系统地介绍了电机修理必备的基础知识、方法与实际操作技能。主要内容有:电机修理基础知识、电机修理常用工具、仪表和电工材料、电机常见故障检查及修理,异步电动机机械故障的修理,电动机绕组及其接线图,电动机绕组修理和电动机修复后的试验等。鉴于照片图的直观形象特点,本书在附录部分集中给出了常用工具、仪表,绕组嵌线,电动机拆装的实物照片图。

本书通俗易懂,适合电动机维修初学者自学,也可以作短期培训班的培训教材,还可供职业技术学院学生实训使用。

图书在版编目(CIP)数据

电机修理入门/李洋编著. —北京:机械工业出版社, 2012.9
(上岗之路)
ISBN 978-7-111-40018-9

I. ①电… II. ①李… III. ①电机-维修-基本知识
IV. ①TM307

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第239407号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:陈玉芝 责任编辑:陈玉芝 王振国

版式设计:霍永明 责任校对:任秀丽

责任印制:杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2013年1月第1版·第1次印刷

140mm×203mm·5印张·131千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-40018-9

定价:18.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

前 言

中、小功率（异步）电动机在工农业生产及人们的日常生活中有着极其广泛的应用，特别是随着乡镇企业、农村电气设备及家用电器的迅速发展，人们更需要大量的中、小功率（异步）电动机，随之而来的是社会需要大量掌握有关电动机维修保养知识的技术人员，为了帮助读者快速掌握维修技能，我们组织编写了此书。

本书较为系统地介绍了电机修理必备的基础知识、方法与实际操作技能。为了使本书易读易懂，我们避免使用高深的理论和复杂的数学公式，而尽量采用通俗易懂的语言来讨论问题，帮助读者快速掌握修理知识和技能，做到无师自通。

本书共分为七章。第一章是电机修理基础知识，主要是讲述电机修理所必需的电磁知识，以及中小型和微型交、直流电动机的工作原理、结构及铭牌、型号等知识。第二章是电机修理常用工具、仪表和电工材料，讲述了常用工具、仪表及其使用方法以及修理时常用的绝缘材料、导电材料和磁性材料等知识。第三章是电机常见故障检查及修理，分析了单相异步电动机、三相异步电动机、直流电机的常见故障，并给出了相应的修理方法。鉴于电动机机械故障和绕组故障修理的复杂性，本书将其单独设章详细讲述。第四章是异步电动机机械故障的修理，讲述电动机的拆卸和安装及机械故障检修常识。第五章是电动机绕组及其接线图，讲述了绕组的类型和绕制方法。第六章是电动机绕组修理，分析了绕组常见的故障，并给出了绕组重绕的工艺步骤。第七章是电动机修复后的试验。鉴于照片图的直观形象特点，本书在附录部分集中给出了常用工具、仪表，绕组嵌线，电动机拆装的实物照片图。

因编者学识所限，不当之处在所难免，敬请读者和同行批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 电机修理基础知识	1
第一节 磁电基本知识	1
一、磁的基本知识	1
二、电磁感应	3
第二节 正弦交流电路	5
一、单相正弦交流电路	5
二、三相正弦交流电路	7
第三节 三相异步电动机修理基础知识	11
一、三相异步电动机的工作原理	12
二、三相异步电动机的结构	13
三、三相异步电动机的铭牌和型号	17
第四节 单相异步电动机修理基础知识	19
一、单相异步电动机的结构	19
二、单相异步电动机的起动	19
第五节 直流电机修理基础知识	21
一、直流电机的构造	21
二、直流电机的定子	21
三、直流电机的转子	22
第二章 电机修理常用工具、仪表和电工材料	25
第一节 电机修理常用量具	25
一、钢直尺	25
二、钢卷尺	26
三、游标卡尺	26

四、外径千分尺	27
第二节 电机维修常用工具	28
一、钳工工作台	28
二、台虎钳	28
三、划线工具	30
四、锉削工具	30
五、锯削工具	33
六、钻孔设备	34
七、顶拔器	34
八、刮板	34
九、电热烘箱	35
十、拆装工具	35
十一、下线工具	35
十二、接线工具	36
第三节 电机修理常用仪表	36
一、验电器	36
二、电流表	37
三、电压表	39
四、万用表	39
五、绝缘电阻表	43
第四节 电机修理常用材料	43
一、绝缘材料	43
二、导电材料	47
三、磁性材料	49

第三章 电机常见故障检查及修理 51

第一节 电动机工作不正常的原因	51
一、电源方面的影响	51
二、负载方面的影响	52
三、使用环境的影响	52
四、安装情况的影响	52
五、电动机本身故障的影响	53

六、维护情况的影响	54
第二节 单相异步电动机的常见故障及修理	55
第三节 三相异步电动机的常见故障及修理	57
第四节 直流电机常见故障及修理	64
一、直流电机起动故障	64
二、直流电动机转速故障	65
三、换向火花故障	65
四、直流电动机过热故障	66
五、直流电动机火花等级的鉴别	67

第四章 异步电动机机械故障的修理

第一节 异步电动机的拆装	68
一、拆卸前的准备工作	68
二、拆卸方法和步骤	68
三、修后装配	70
第二节 转轴的修理	72
第三节 轴承的检查与修理	74
一、轴承的检查	74
二、轴承的拆卸与安装	75
三、轴承的修理	76
第四节 机座及铁心的修理	77
第五节 转子的平衡	78

第五章 电动机绕组及其接线图

第一节 电动机绕组的结构形式	80
一、以定子绕组形成磁极数来区分	80
二、以定子绕组的形状与嵌装布线方式来区分	80
三、转子绕组	81
第二节 中、小型三相异步电动机绕组	81
一、绕组的基本术语	81
二、三相异步电动机定子绕组的分类和连接	83

三、三相异步电动机定子绕组的排列	85
第三节 单相异步电动机绕组	88
一、双层叠绕组	88
二、单层叠绕组	89
三、等距、交叉绕组	90
四、单链绕组	90
五、单层同心式绕组	91
六、电容运转电动机绕组	91
第四节 直流电动机绕组	92
一、单叠绕组	92
二、单波绕组	97
第六章 电动机绕组修理	101
第一节 电动机定子绕组故障的检修	101
一、绕组接地	101
二、绕组短路	104
三、绕组断路	105
四、绕组接线错误	106
第二节 电动机转子绕组故障的检修	107
一、笼型转子的故障检修	107
二、绕线转子的故障检修	107
第三节 电动机定子绕组重绕	108
一、填写原始数据记录卡	108
二、旧绕组拆除	109
三、绕组的绕制	109
四、嵌线	111
五、绕组试验	115
六、浸漆与烘干	116
第四节 三相异步电动机定子绕组下线及连接方法	117
一、单层链式绕组	117
二、单层交叉链式绕组	118
三、单层交叉同心式绕组	120

四、双层绕组	121
第七章 电动机修复后的试验	123
一、电动机试验前的检查	123
二、电动机绝缘试验	123
三、电动机空载运转试验	126
四、电动机温升试验	127
五、电动机换向故障的检查	128
六、电动机超速试验	128
附录	129
附录 A 常用漆包圆铜线数据	129
附录 B Y80 ~ 160 (IP44) 三相异步电动机绕线模 尺寸及示意图	132
附录 C 电机绕组嵌线流程图	134
附录 D 电动机修理常用工具和仪表实物图	138
附录 E 三相异步电动机实物拆装分解图	145
参考文献	148

第一章

电机修理基础知识

第一节 磁电基本知识

在电机使用和修理中，常常接触到各种电磁现象。为了更好地使用电机和修理电机，我们必须了解和掌握这些电磁现象。本节将对磁电的一些基本规律性的知识做简单介绍。

一、磁的基本知识

1. 磁场

大家都熟悉永久磁铁有两个基本特性：

1) 有两个磁极，即北极（也称为 N 极）和南极（也称为 S 极）永远同时存在。

2) 同极性相斥，异性性相吸。

在磁体周围存在一种特殊物质，称为磁场。

2. 磁力线

为了形象地描述磁铁周围的磁场，我们引用磁力线的概念。虽然磁力线仅是一种假想的概念，但它能直观、有效地帮助我们进行大量电磁现象和电磁过程的分析与研究。因此，学会定性地描述磁力线，对电动机磁场分析是一个有效的工具。

磁力线有如下特点：

1) 磁力线总是由北极出发进入南极的。在磁场内部再由南极又回到北极。因此，磁力线构成一个个闭合的环路。

2) 磁力线互不交叉。

3) 磁力线的疏密程度通常表明了磁场的强弱。在磁场强的地方磁力线比较密；反之磁力线比较疏。在磁场均匀的地方，磁力线疏密均匀并互相平行，如图 1-1 所示。

4) 磁力线上任意一点的切线方向就是该点的磁场方向，即

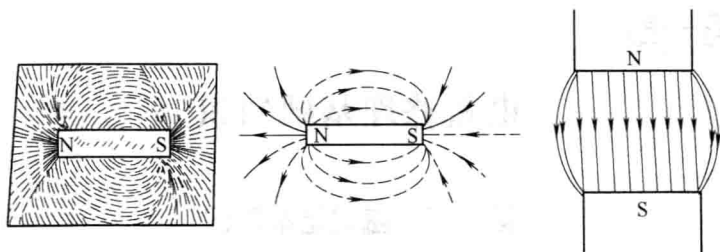


图 1-1 条形磁铁的磁力线

小磁针在磁力作用下 N 极所指的方向，这也是指南针的工作原理。

磁极会发出许多磁力线，而且磁力线是一条一条的线条。为了定量地进行分析，我们引入磁通这个物理量。

磁通就是磁力线条数，为了说明这一面积上磁力线分布的疏密情况，有必要用单位面积内通过的磁力线条数来表示。单位面积内通过的磁力线条数（面积与磁通垂直），就叫做磁通密度。计算公式为

$$B = \Phi / S$$

式中 B ——磁通密度 (T)；

Φ ——磁通 (Wb)；

S ——磁通所通过的垂直面积 (m^2)。

3. 电流的磁场效应

1) 除了天然磁石或磁铁可以形成磁场外，电流也能产生磁场，电流和磁场之间有着密不可分的关系。当电流通过导体时，导体的周围就产生磁场，这种电生磁的现象被称为电流的磁效应。

2) 通电直导线的磁场，如图 1-2 所示，电流流过直导线时，它产生的磁力线为以直导线为中心的同心圆，这些同心圆都在和导线垂直的平面上。磁力线的方向和电流方向的关系可用安培定



则（也叫做右手螺旋定则）来确定，即：右手握住导体，大拇指指向电流的方向，弯曲四指就是指向磁力线的方向。

3) 通电螺线管的磁场，如图 1-3 所示，电流流过螺线管时，它表现出来的磁性类似于条形磁铁，螺线管的两端相当于 N 极和 S 极。它的磁力线是一系列穿过螺线管内孔的闭合回路。磁力线方向也可用安培定则来判定，即：右手握住螺线管，四指弯曲的方向和线圈中电流的方向一致，大拇指所指的方向就是磁场穿过螺线管内孔的方向，也就是线圈的 N 极。

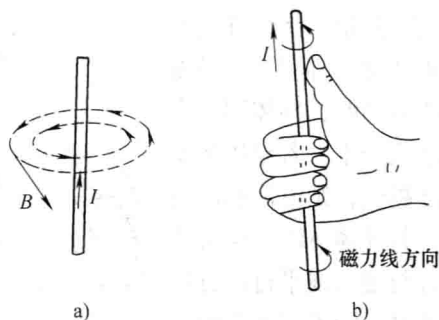


图 1-2 通电直导线的磁场

a) 通电直导线的磁力线

b) 右手螺旋定则

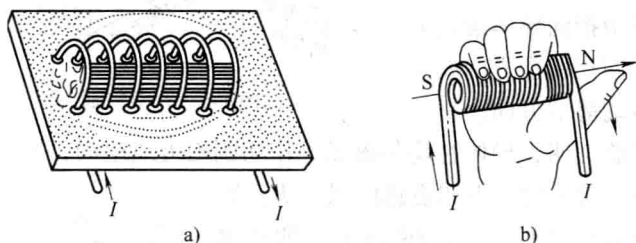


图 1-3 通电螺线管的磁场

a) 通电螺线管的磁力线 b) 右手螺旋定则

二、电磁感应

自从丹麦物理学家奥斯特发现电流的磁效应之后，很多科学家都在探索变化的磁场能否在导体中产生电动势。英国物理学家法拉第通过实验给出了明确的结论，即变化的磁场能够在导体中产生感应电动势，我们将这种现象称为电磁感应。



1. 直导体切割磁力线产生的感应电动势

如图 1-4 所示, 在均匀磁场中放置一根直导体 AB, 当导体 AB 在磁场中沿着与磁力线垂直的方向作切割磁力线运动时, 导体回路中有电流产生。若导体运动速度越快, 则电流相应越大。若导体 AB 不运动或沿着与磁力线平行的方向运动时, 则不产生电流。

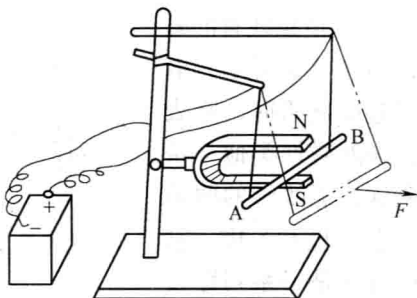


图 1-4 直导体切割磁力线运动

导体作切割磁力线运动所产生的感应电动势的方向, 可用右手定则来判定, 如图 1-5 所示, 平伸右手, 使拇指和四指垂直, 让磁力线垂直穿过手心, 拇指指向导体运动方向, 则四指所指方向就是感应电动势的方向。

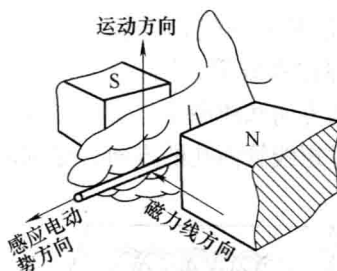


图 1-5 右手定则

实验证明, 导体在均匀磁场中作切割磁力线运动, 所产生的感应电动势 e 的大小和磁感应强度 B 、导体的有效长度 l 、导体与磁场方向的夹角 α 以及导体的运动速度 v 有关系, 可以表示为

$$e = Blv \sin \alpha$$

2. 线圈中的感应电动势

如图 1-6 所示, 将一根条形磁铁快速插入线圈时, 我们可观察到检流计的指针有一个方向的偏转, 当快速将条形磁铁抽出线圈时, 检流计的指针又会向另

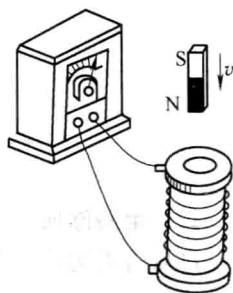


图 1-6 线圈中的感应电动势



一个方向偏转。当磁铁进入线圈后不运动，则检流计指针不偏转，即没有电流产生。

线圈中的感应电动势或感应电流的方向可以由楞次定律来进行判定。楞次定律指的是：感应电流产生的磁场总是阻碍线圈中原磁通的变化。也就是说，当线圈中的磁通增加时，感应电流产生的磁通与原磁通方向相反，而当线圈中的磁通减少时，感应电流产生的磁通与原磁通方向相同。

第二节 正弦交流电路

一、单相正弦交流电路

1. 单相正弦交流电的特点

在日常生活和生产中，大量使用的电能都是正弦交流电。以单相正弦交流电流为例，把它沿时间坐标展开，如图 1-7 所示，横轴代表时间，纵轴代表电流，可以看出，交流电的大小和方向随着时间正负交替往复变化，是时间的正弦函数。正弦交流电具有以下特点：

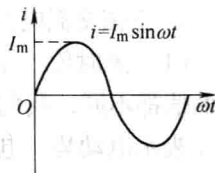


图 1-7 单相
正弦交流电流

1) 交流电易于升降电压。在电力系统中，应用变压器可以方便地改变电压，高压输电可以减少线路上的损耗，降低电压可以满足不同用电设备的电压等级。

2) 交流电动机比直流电动机结构简单。

2. 正弦交流电动势的产生

正弦交流电是由交流发电机利用电磁感应原理产生的。如图 1-8 所示为最简单的正弦交流发电机的结构示意图，它由一对磁极（定子）和能够产生感应电动势的线圈（转子）组成。磁极 N 和 S 之间是固定在转轴上的圆柱形铁心，在它上面绕有线圈，当转轴以角频率 ω 沿逆时针方向做匀速运动时，线圈边切割磁力线，产生感应电动势 e ，即

$$e = E_m \sin \varphi$$



式中 E_m ——电动势的最大值；
 φ ——线圈平面与中性面的夹角。

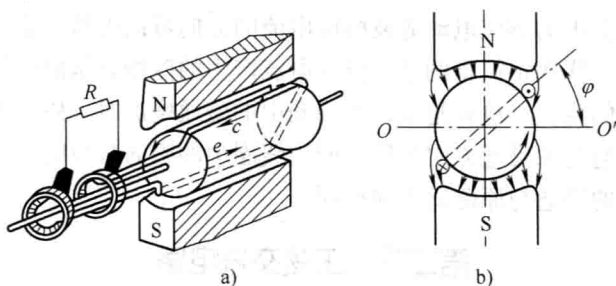


图 1-8 正弦交流发电机

a) 发电机示意图 b) 绕组线圈和电动势

3. 正弦交流电的基本物理量

(1) 瞬时值 正弦交流电随时间以正弦规律变化，每一时刻的值都不同，我们将任意时刻的值称为瞬时值，并分别用 e 、 u 、 i 表示电动势、电压和电流的瞬时值。

(2) 最大值 最大的瞬时值称为最大值，也叫做振幅或峰值，分别用 E_m 、 U_m 、 I_m 来表示电动势、电压和电流的最大值。

(3) 有效值 交流电的瞬时值时刻在变化，难以用来衡量其做功的能力，所以我们用交流电在一定时间内整体做功多少来衡量。交流电的有效值是根据电流的热效应来规定的，如果使交流电和直流电都流过相同阻值的电阻，在相同的时间内产生的热量相等，那么就可以把这个直流电的值作为交流电的有效值。我们用 E 、 U 、 I 分别表示电动势、电压和电流的有效值。有效值和最大值的关系是

$$E = E_m / \sqrt{2} = 0.707 E_m \quad U = U_m / \sqrt{2} = 0.707 U_m \quad I = I_m / \sqrt{2} = 0.707 I_m$$

(4) 周期和频率 周期是指交流电每重复变化一次所需的时间，用字母 T 表示，单位是秒 (s)，常用单位还有毫秒 (ms) 和微秒 (μs)。频率是指每秒钟交流电重复变化的次数，用字母



f 表示, 单位是赫兹 (Hz), 常用单位还有千赫 (kHz)、兆赫 (MHz)。频率和周期互为倒数, 即

$$f = 1/T$$

(5) 角频率 交流电每变化一次, 相当于变化了 2π 弧度。若交流电每秒变化 f 次, 则每秒变化的角度为 $2\pi f$ 弧度。交流电每秒钟变化的弧度数称为角频率, 用字母 ω 表示, 单位是弧度/秒 (rad/s)。角频率与频率之间的关系为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

(6) 相位 确定交流电每一瞬间数值的电角度称为相位, 单位是弧度或度。根据公式 $e = E_m \sin \alpha$, 若线圈在磁场内从中性面开始, 以角速度 ω 做等速运动, 则有 $e = E_m \sin \omega t$ 。同理, 交流电流和交流电压可分别表示为 $i = I_m \sin \omega t$ 和 $u = U_m \sin \omega t$ 。

如果线圈是与中性面成某一夹角 ϕ 开始计时运动, 那么经过时间 t 线圈与中性面的夹角是 $(\omega t + \phi)$, 那么感应电动势、交流电流、交流电压的公式应该分别表示为 $e = E_m \sin (\omega t + \phi)$ 、 $i = I_m \sin (\omega t + \phi)$ 、 $u = U_m \sin (\omega t + \phi)$ 。该夹角 ϕ 又称为初相位。

(7) 相位差 两个同频率交流电的相位之差叫做相位差, 用 $\Delta\phi$ 表示。

二、三相正弦交流电路

单相交流电路只有一个交变电动势, 由三个频率、幅值相同, 彼此之间相差 120° 相位的正弦交流电动势构成的电源叫做三相正弦交流电源。由三相电源和负载构成的电路叫做三相交流电路。

1. 三相交流电动势

三相交流电动势是由三相交流发电机产生的, 如图 1-9 所示。

三相正弦交流电动势表达式

$$e_1 = E_m \sin \omega t \quad e_2 = E_m \sin (\omega t + 120^\circ) \quad e_3 = E_m \sin (\omega t - 120^\circ)$$