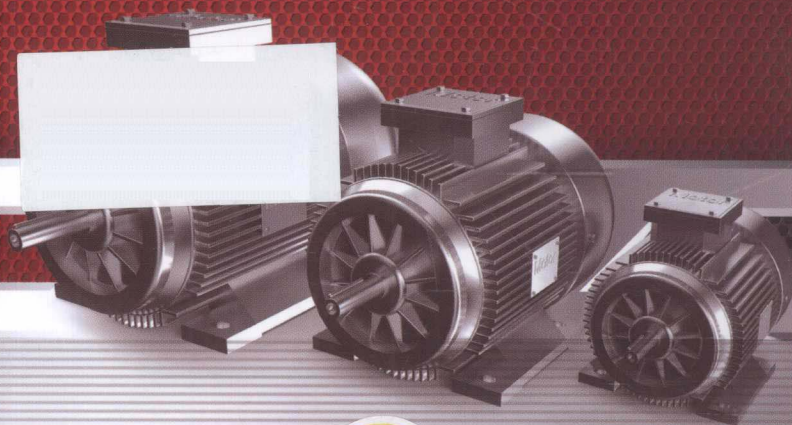



# 电动机及控制 实用技术手册

DIANDONGJI JI KONGZHI  
SHIYONG JISHU SHOUCHE

白玉岷 主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 电动机及控制实用技术手册

白玉岷 主编



机械工业出版社

本手册以电气工程及自动化工程实践经验和实用技术技能为主，并辅以扎实的理论知识，由浅入深详细讲述电动机及控制实用技术技能。

本手册详细地讲述了电动机的原理、结构、类别、用途，电动机的选择及起动控制方式，电动机的保护装置及控制设备元件，电动机的测试、试验及空载试运行，电动机控制设备、元件的测试和试验，电动机常用起动控制电路，电动机的运行及维护，电动机及其控制设备元件故障排除方法及思路，电动机的修理，电动机及其修理的计算方法，电动机运行安全注意事项等。

本手册可供从事电气工程及自动化工程安装调试、运行维护、检修修理以及电路设计的人员阅读，也可作为青年电工培训教材以及工程院校、职业院校电气专业教学实践用书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电动机及控制实用技术手册 / 白玉岷主编. —北京: 机械工业出版社, 2015. 3

ISBN 978-7-111-49425-6

I. ①电… II. ①白… III. ①电动机—控制系统—技术手册  
IV. ①TM320. 12-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 036240 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: 牛新国 责任编辑: 牛新国

责任校对: 陈延翔 封面设计: 鞠 杨

责任印制: 李 洋

北京玥实印刷有限公司印刷

2015 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 33.5 印张 · 1 插页 · 824 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-49425-6

定价: 98.00 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

网络服务

服务咨询热线: (010) 88361066

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: (010) 68326294

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

(010) 88379203

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面防伪标均为盗版

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

主编

编委

白玉岷  
刘洋建  
王蓓蓓  
董璐虹  
张晋敏  
刘利捷  
张颖德  
赵宏飞  
叶鹏敏  
闫静光  
尉迟伟  
刘斌  
王永胜  
武永胜

宋宏江  
张艳梅  
武占斌  
莫永杰  
白李君  
李桂垣  
张利敏  
王王建  
王琼琼  
苏秀龙  
王乐宏  
刘凯宏  
张瑜军

陈斌  
田明  
王振山  
谷文旗  
赵颖捷  
李君  
高春明  
王平红  
韩玉树  
赵玉春  
陈俊然  
廉瑞金

高英  
桂垣  
赵洪山  
李云鹏  
赵宏德  
贾连忠  
武双子  
房子健  
范锐  
王佩燕  
李树兵  
王佳乐

等

主编

审  
写人  
员

# 前 言

“电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书”已经出版近三十册了，该丛书的出版受到了广大读者和电气工作人员、技术人员的欢迎和青睐，我经常接到读者的电话及网上的评论，丛书确实给他们的技术工作和管理工作带来了很大的方便，真正起到了“师傅”和“老师”的作用，这正是我们编者所期盼的，达到了这样的社会效果我们已心满意足。说句实话，我们大都已年过古稀，把从事了近四五十年的电气技术工作的经验、技术、感悟、教训、技巧全部变成书，让年轻一代电气工作者少走弯路、少出差错，多出成果，多出业绩，正是我们“扶上马，送一程”的宗旨，也是我们的初衷。而我们也不会辜负读者的期盼，一定要沿着这条路走下去，写出更多、更好的作品，让大家在电气工程技术的道路上越走越顺，成为技术技能的高手，成为建设国家、建设小康社会的主力军。

我们在和读者的沟通过程中，发现读者提到的问题最多的是关于电动机方面的技术难题，特别是低压电动机及其起动控制设备方面、电动机及起动设备选择、维护保养、故障排除、修理及新设备维护运行、故障排除等方面的较多。因此我们便萌发了要写一部专门解决电动机相关方面技术难题的实用性、通俗性更强的书。说干就干，经过了近一年时间的工作便有了这部《电动机及控制实用技术手册》的雏形。本手册详细地讲述了电动机的原理、结构、类别、用途，电动机的选择及起动控制方式，电动机的保护装置及控制设备元件，电动机的测试、试验及空载试运行，电动机控制设备、元件的测试和试验，电动机常用起动控制电路，电动机的运行及维护，电动机及其控制设备元件故障排除方法及思路，电动机的修理，电动机及其修理的计算方法，电动机运行安全注意事项等。本手册以实践经验为主，经过教学实践、青工培训以及现场工程实践都得到了很好的效果。

本手册汇集了众多实践经验极为丰富、理论知识精通扎实、能够将科研成果转化为实践、能够解决工程实践难题的资深高工、教授、技师承担编写工作，他们分别来自设计单位、安装单位、工矿企业、高等院校、通信单位、供电公司、生产现场、监理单位、技术监督部门等。他们将电气工程及自动化工程中设计、安装、调试、运行、维护、检修、保养以及安全技术、读图技能、施工组织、预算编制、质量管理监督、计算机应用等实践技术技能由浅入深、由易至难、由简单到复杂、由强电到弱电以及实践经验、绝活窍门进行了详细的论述，供广大读者，特别是青年工人和电气工程及自动化专业的学生们学习、模仿、参考，以期在技术技能上取得更大的成绩和进步。

在本书的编写过程中，王建华主编的《电气工程师手册》（机工版）、柴天佑主编的《实用电工电子技术手册》（机工版）、吴忠智、吴加林编著的《变频器应用手册》（机工版）、余洪明、章克强编著的《软起动器实用手册》（机工版）给予了很大的帮助，这里表示衷心的感谢。

编 者

2015年1月5日

# 目 录

## 前言

<b>第一章 电动机概论</b> .....	1
第一节 电动机安全、稳定、可靠、准确运行的条件 .....	1
第二节 电动机的工作原理 .....	2
一、电的基本概念及单位 .....	2
二、电磁感应法和右手发电机定则 .....	4
三、电磁效应和左手电动机定则 .....	6
四、三相交流电动机的原理结构及旋转磁场的产生 .....	8
五、各种电动机的接线方法 .....	14
第三节 电动机的类别及用途 .....	20
第四节 电动机的结构和构造 .....	36
一、概述 .....	36
二、各种电动机的结构和构造 .....	38
第五节 电动机的常用计算方法 .....	53
一、交流异步电动机的计算 .....	53
二、交流异步电动机修理常用计算方法 .....	59
第六节 电动机应用指南 .....	67
一、电动机应用基本规则 .....	67
二、低压三相交流异步电动机 .....	72
三、高压三相交流异步电动机 .....	82
四、直流电动机 .....	88
五、小功率电动机 .....	95
<b>第二章 电动机及起动控制方式的选择</b> .....	100
第一节 电动机的选择 .....	100
一、电动机选择的基本原则 .....	100
二、电动机的选择方法 .....	109
三、电动机技术数据 .....	112
第二节 电动机起动控制方式的选择 .....	146
一、电动机常用起动方式的选择 .....	146
二、间接起动和直接起动的功能用途 .....	147
三、成套低压电动机起动装置主回路的设置 .....	148
第三节 电动机保护装置的选择 .....	153
一、电动机保护装置的设置要点 .....	153

二、电动机新型控制保护装置元件的选择 .....	176
第四节 电动机起动控制设备的选择 .....	186
一、起动控制设备的选择方法及要求 .....	186
二、起动控制设备选择注意事项 .....	187
三、软起动器的选择举例 .....	198
第三章 电动机及起动设备的测试、试验及空载试运行 .....	208
第一节 测试、试验、试运行总体要求 .....	208
一、测试、试验通用基本要求 .....	208
二、测试、试验的程序步骤 .....	209
三、测试、试验注意事项 .....	210
四、测试、试验中新型电测仪器仪表的使用及注意事项 .....	211
第二节 交流异步电动机的测试、试验及空载试运行 .....	226
一、交流异步电动机的测试、试验及标准规范要求 .....	226
二、电动机的抽心检查 .....	239
三、电动机的干燥处理 .....	246
四、电动机试车过程故障处理方法 .....	248
五、电动机内部故障的诊断 .....	248
第三节 直流电动机测试、试验及空载试运行 .....	249
一、标准规范要求 .....	249
二、直流电动机测试、试验要点 .....	250
三、直流电动机的空载试验 .....	255
第四节 同步电动机测试试验要点 .....	256
第五节 电动机电气控制设备元件的测试试验 .....	256
一、高压起动控制柜的测试及试验 .....	256
二、低压起动控制柜的测试和试验 .....	278
三、新型软起动器、变频起动器及其元件的测试试验 .....	312
四、直流电动机起动装置的测试和试验 .....	326
五、其他电动机起动装置的调试 .....	341
六、测试试验及检查标准规范要求 .....	342
第四章 常用电动机起动控制保护电路及分析 .....	356
一、低压电动机接触器—继电器起动控制电路 .....	356
二、低压电动机变频起动器、软起动器起动控制电路 .....	383
三、高压电动机起动控制电路 .....	418
四、单相电动机起动控制电路 .....	420
五、其他形式的电动机起动控制电路 .....	420
第五章 电动机的运行及维护 .....	433
一、电动机运行及维护的规则和方法 .....	433
二、中小型电动机的抽心检查、解体及装配 .....	443
三、电动机的干燥处理 .....	443

四、电动机的检查及空载试验 .....	443
五、电动机及其低压配电装置的检修和维护 .....	443
<b>第六章 电动机及电气故障的排除方法</b> .....	<b>456</b>
一、观察法判断电气故障 .....	456
二、电动机故障的处理方法 .....	458
三、低压电器故障的处理方法 .....	469
四、电缆、轴承、换向器的故障处理方法 .....	477
五、软起动器的故障处理排除方法 .....	479
六、变频起动器故障诊断及排除方法 .....	483
<b>第七章 电动机的修理</b> .....	<b>507</b>
一、一般故障的修理 .....	507
二、电动机绕组的更换 .....	507
三、电动机绕组更换后的烘干和浸漆 .....	512
四、电动机的装配、测试和试运行 .....	516
<b>第八章 电动机运行安全注意事项</b> .....	<b>517</b>
一、保证电动机安全运行的基本方法 .....	517
二、电动机的运行要点 .....	517
三、电动机起动设备及控制装置运行要点 .....	523
四、二次回路的巡视检查及校检 .....	525
五、疑难问题解决要点 .....	526
<b>参考文献</b> .....	<b>527</b>



# 第一章 电动机概论

发电装置、变配电装置、架空线路、动力装置、照明装置及所有的用电设备组成了庞大的电气系统，在国民经济、人民生活、国防设备中有着举足轻重的作用和地位。其中，动力装置占据了用电量的90%以上，包括发电厂在内，电动机这个为人类做功的装置无处不在，并且在人们的生活中也是处处可见。因此，电动机，这个1888年特斯拉发明的精灵，120多年以来为人类的进步、社会的发展做出了巨大的贡献。无论你走到哪里，到处都能看到它的影子，计算机主机中的排风机、微波炉、电磁炉、空调器、飞机高铁马达、工厂中转动的设备、自来水的泵房、供热站的加压泵以及矿山、港口、机场、农村、学校、商厦、军营等场所，均有不同的电动机在转动，在为人们不停地工作着，电动机已经成为人们生活、工作、学习的最亲密的伙伴了。因此，电动机的安全、稳定、可靠、准确运行是电气系统的最重要部分，也是每个电气工作人员应该掌握的技术技能，更是立足于电气工程谋求更大发展进而在电工事业上有所造诣的必经之路。

## 第一节 电动机安全、稳定、可靠、准确运行的条件

第一，电动机的制造质量是安全、稳定、可靠、准确运行的最重要条件，制造商必须在设计、制造过程中严把质量关、材料关、工艺关、技术关，做到逢关必检、必测、必试验，把好每个关口，确保质量和性能，为用户提供一流的产品，出厂时必须严格测试和试验。

第二，工程项目或使用单位在电动机设计选型时应按照被拖设备的容量、转速、工作方式、环境条件以及电源条件、电压等级等多种要求正确选择，同时应正确确定电动机的起动控制方式以及各种保护装置。

第三，工程项目或使用单位在电动机安装前及第一次接入电源试运行前，必须对电动机及其起动控制设备元件、电源装置等进行测试和试验，试验标准为GB 50150-2006，试验和测试用的仪器仪表应具有有效期内的检定合格证，检定合格证由国家技术监督部门出具，测试和试验的人员应具备相应的资质，测试和试验环境条件应符合标准的要求，杜绝假冒伪劣（包括人、工具、仪器、仪表、所用材料、试验方法、环境条件）进入电气工程。而在工程实践中，很多人对测试和试验不重视，导致假冒伪劣的设备元件进入电动机及其控制系统，给运行工作带来很大损失，这是必须要引起重视的。

第四，工程项目或使用单位正确完成电动机选型后，应准确合理确定电动机的起动控制电路或起动设备，保证电动机的起停及运行中的保护。其中起动设备及控制电路中的所有元件、材料必须按照GB 50150-2006进行试验和测试，试验人员、试验仪器仪表要求同上。

第五，电动机从投入使用后的第一天开始，使用单位应做好运行维护工作，并按设备及电动机的重要性确定运行维护保养的周期、内容、方法以及人员，并有详细记录，维护保养包括起动设备。

第六，运行使用人员在电动机运行时应随时监控电动机的运行状态，一旦发现异常应及时向维修人员报告，维修人员应进行妥善处理，排除故障，使电动机恢复正常运行，排除故

障包括起动设备及电源装置。

第七，对于运行中故障较大或者有修理价值的电动机应进行修理，使其恢复使用或降级使用。修理电动机时使用的材料必须是合格品，修理工艺应符合技术要求，修理人员应具备相应资质。修理后的电动机必须进行测试、试验和试运行，并有详细记录。

第八，由上述分析可以看到，在电动机制造、使用、运行过程中，人是一个关键，工艺、原材料、方法、工具设备、环境条件均为要点。因此，在这个过程中，人必须具备相应的技术技能，同时应尽心、尽责、准确、及时、无误，认真执行相应的标准规范，规章制度，做到并贯彻“勤、严、管”三大准则。

其中“勤”就是对电动机及其起动装置、电源装置的每一部分、每一元器件、每一参数勤检、勤测、勤校、勤查、勤清扫、勤修，勤是按相应的周期，确保电动机及其起动装置、电源设备正常，做到防患于未然，把故障、缺陷、不足消灭在萌芽状态。

而“严”就是在生产制造、设计选型、安装调试、运行维护、检修修理的大系统中严格执行标准规范，严格执行操作规程、试验标准、作业标准，层层把关，下层对上层有测试、试验的权力，严把质量关，杜绝假冒伪劣，同时层层有相应的严格的管理制度和易于实施的方案。

而“管”就是有相应的权威管理机构和组织措施，能解决处理有关设计制造、安装调试、运行维修、检修修理、人员培训、技术提升、安全方向的难题。同时能从上到下直至具体的运行人员组织一个强大的安全运行协作网，做到瞬间问题，瞬时解决。上述八点也是本书精讲的重点内容。

作为电气工作人员，无论职务大小、职称高低、工龄长短、技术技能好差都应时时刻刻做到上述八点，确保个人岗位的工作质量，并用职业道德约束自己，勇于承担个人从事过的工程质量的责任，也只有所有的电气工作人员都能做到这一点，电气系统和电动机系统的安全、稳定、可靠、准确才有保障。因此，要求电气工作人员不仅要加强提升技术技能，更重要的还要加强职业道德的修养和素质的提高，为电气系统做出自己的贡献。

## 第二节 电动机的工作原理

电动机是电机的一种，电机还包括发电机，电机的原理始于电磁感应定律和电磁力定律，这是著名科学家法拉第对人类文明和进步的最大贡献。简单地讲，电和磁是分不开的两种物理元素，电能感应出磁，磁又能感应出电，其中最重要的一点是力，也就是机械运动。力使导体在磁场中切割磁力线运动，便能使导体产生电，这就是我们常说的右手发电机定则；通电的导体在磁场中能进行切割磁力线的运动，这就是左手电动机定则。发电机便是右手发电机定则的产物，电动机便是左手电动机定则的产物。发电机和电动机相同的是都必须先有磁场，发电机是导体先在磁场中切割磁力线运动，而后在导体上产生电；而电动机是导体先通电，而后才能在磁场中切割磁力线运动。发电机先运动后生电，电动机先通电后运动，这就是发电机和电动机的根本区别。

### 一、电的基本概念及单位

#### 1. 电的起源及基本单位

大家都知道，物质是由分子组成的，分子是由原子组成的，原子又是由原子核和围绕原子核运动的数量不同的电子组成的，正因为电子数量的不同，所构成的物质也不同。因此，电子也是一种物质，只不过它很小而已。这里我们定义，电子为电的最小的基本单位，一个电子所

带的电量的多少为电的基本电量。因为电子本身很小，所带的电量也很少，没有实用价值。为了将电引用到实用范畴，人们用库仑（C）作为电量的单位，1库仑的电量大约为  $6.24 \times 10^{19}$  个电子所带的基本电量，或者说 1库仑 =  $6.24 \times 10^{19}$  电子电量，这是一个庞大的天文数字。

原子核也带电，带电量的多少与核外所有电子带的电量相同，但电的极性不同。为了区分这些不同的带电微粒，以便于科学研究再到实际应用，人们便做出了这样的规定：电子带的电为负电，原子核带的电为正电。数量相同的正负电在一起作用相互抵消，使得在正常条件下，一般的物质并不呈现带电。

但是，随着科学的进步，人们发现，由于特定的条件会使某一物质的电子因获得能量而转移到另一物质上去，该物质因失去了带负电的电子而带上了正电，而另一物质因得到了带负电的电子而带上了负电。如果把这些物质认为是很小的微粒，则称这种带电的微粒叫作电荷，带正电的叫正电荷，带负电的叫负电荷。

人们最早获得电荷的方法就是摩擦，不同的物质通过摩擦就可以吸附纸屑、灰尘、毛絮等轻小物体，同时可以听到“叭叭”的放电声，夜间还可以看到放电的火花。人类为了获得能够应用的电大约走过了一个世纪，到了今天，电同空气、水、阳光一样，已成为人类最亲密的伙伴了。

## 2. 电流概念的引出

在正常的条件下，一般的物质不带电，然而在特定的条件下，有些物质不但带电，而且还能使电子在该物质中流动（如金属银、铜、铝、铁等）。人们便把电子流动的现象叫作电流，电流的单位是安培，简称安（A）。在 1s 的时间里，流过导体截面的电量是 1 库仑，则定义为 1 安培，见式（1-1）和式（1-2）。

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}} \quad \text{或} \quad 1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}} \quad (1-1)$$

$$\text{电流} = \frac{\text{电量}}{\text{时间}} \quad \text{或} \quad I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

电流的进位关系：

$$1 \text{ 毫安} = 1000 \text{ 微安} \quad \text{或} \quad 1 \text{ mA} = 1000 \mu\text{A}$$

$$1 \text{ 安培} = 1000 \text{ 毫安} \quad \text{或} \quad 1 \text{ A} = 1000 \text{ mA}$$

$$1 \text{ 千安} = 1000 \text{ 安} \quad \text{或} \quad 1 \text{ kA} = 1000 \text{ A}$$

## 3. 电流产生的条件和电压概念的引出

电流的产生必须有三个条件，即能够提供电能的电源、用电器及连接电源和用电器的导线，把电源、用电器、导线称之为电流的三要素，而开关是为了接通电源而设置的。图 1-1 所示为电路的构成。

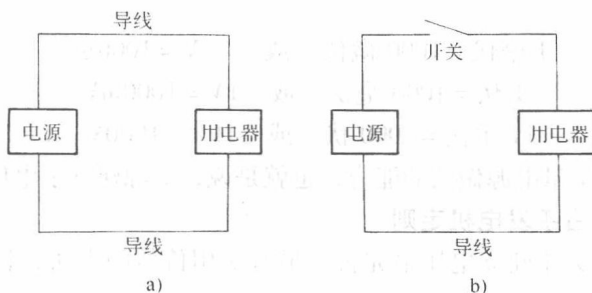


图 1-1 电路的构成

由图 1-1 可以看出, 电流是从电源的一端流出, 经过用电器又回到了电源的另一端。为了控制电流的有无和大小, 在电路中增加了一种装置, 叫作开关元件。在开关元件完全闭合 (导通) 的状态下, 电流可以全部流过开关元件并流过用电器, 用电器处于工作状态; 在开关元件完全断开 (断路) 的状态下, 电流不能流过开关元件, 用电器没有电流, 处于非工作状态。在特定的条件下, 开关元件可使部分电流流过, 并且能控制电流的大小或者使之有规则地流过, 使用电器处于被调节的控制状态下工作, 如灯泡的亮度由暗变亮, 再由亮变暗, 或者点亮后闪烁且闪烁的间隔可调。把这种开关元件叫作调节控制器, 如电位器、变频器、晶闸管等。

为什么当开关接通后, 电流能从电源的一端流出, 经过用电器后又流回电源的另一端呢? 这里要引出另一个重要的物理量——电压 (电动势)。

电源是一种提供电能的装置, 但是它本身并没有电, 只是在特定的条件下, 才能把其他能量转换为电能, 如电池是将化学能转换为电能的装置, 发电机是将机械能转换为电能的装置。在特定条件下及施加于电源的其他能量的作用下, 促使电源 (这里要注意到电源本身也是一种物质) 内部正负电荷进行分离, 使电源的一端聚积大量的正电荷, 而另一端聚积了大量的负电荷, 且数量相等, 由于其他能量的作用, 它们不会中和, 只能越聚越多。这里我们定义, 聚积正电荷的一端叫作电源的正极 (+), 聚积负电荷的一端叫作电源的负极 (-)。这时, 如果把电源接到如图 1-1 所示的电路中去, 负极的负电荷就要经过用电器流向正极并与正极的正电荷中和, 这样正负极上聚积的电荷就越来越少, 这种正负电荷中和的能力就越越来越低, 要想保持这种能力, 设定的条件和施加的能量就得保持不变, 不断地使正负电荷分离, 并使中和的能力和速度与分离的能力和速度相等, 这样, 电源就能够提供稳定的电流而使电路稳定地工作。这里定义, 这种负极的负电荷经过用电器流向正极并与正极上的正电荷中和的能力 (所做的功) 叫作电压。同时又规定了电流的方向是由电源的正极经过用电器流向电源的负极, 而在电源的内部则是由负极流向正极, 成为一个闭合的回路。电流中的电子 (负电荷) 是由负极经过用电器流向正极, 而在电源内部则是由正极流向负极, 同样成为一个闭合回路, 这个回路与电流的回路是同一个回路并不矛盾, 只不过是电流的方向与电子运动的方向相反而已。

电压的单位是伏特, 简称伏 (V)。若电路中 1 库仑的电量从 a 点移到 b 点所用的功是 1 焦耳, 则 ab 点的电压为 1 伏 [特], 见式 (1-3) 和式 (1-4)。

$$1 \text{ 伏} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 库仑}} \quad \text{或} \quad 1 \text{ V} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}} \quad (1-3)$$

$$\text{电压} = \frac{\text{电能}}{\text{电量}} \quad \text{或} \quad U = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

电压的进位关系:

$$1 \text{ 毫伏} = 1000 \text{ 微伏} \quad \text{或} \quad 1 \text{ mV} = 1000 \mu\text{V}$$

$$1 \text{ 伏} = 1000 \text{ 毫伏} \quad \text{或} \quad 1 \text{ V} = 1000 \text{ mV}$$

$$1 \text{ 千伏} = 1000 \text{ 伏} \quad \text{或} \quad 1 \text{ kV} = 1000 \text{ V}$$

我们往往用电压来衡量电源做功的能力, 也就是说, 电源建立了电压, 用电器才能工作。

## 二、电磁感应法和右手发电机定则

电磁感应法是迄今为止建立电压最完善、最有实用价值的方法, 目前人们使用的电能有 90% 都是来自电磁感应法。

磁体是人们最熟悉的物体了, 它与电有着千丝万缕的联系。它的周围存在着磁场, 它有吸

铁性，并有两个极，即N极和S极，把N极和S极的连线叫作磁力线，这和电路是极为相似的，磁力线从N极出来经过介质或空气回到S极，在磁铁内部再由S极回到N极，形成闭合的回路。但是这个磁力线则是人们为了描述磁场而设定的，如图1-2所示，我们把它叫作磁路，把磁场的强弱叫作磁感应强度，靠近磁极处最强，越远越弱。磁感应强度又叫作磁通密度。

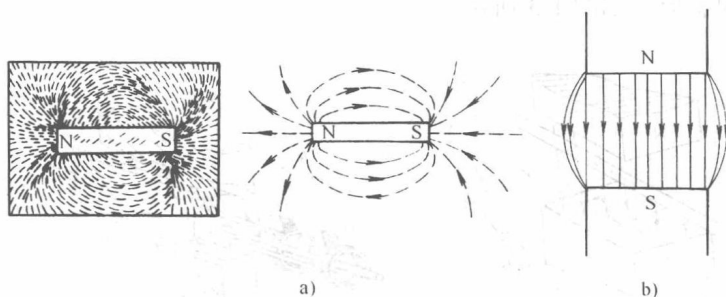


图 1-2 磁场及磁力线

a) 条形磁铁 b) 均匀磁场

导线在磁场中做切割磁力线运动时，便会在导线的两端产生电动势，这个电动势的大小与磁感应强度  $B$ 、导线在磁场中的长度  $L$ 、导线的运动速度  $v$  及其与磁力线的夹角  $\alpha$  ( $v$  的方向) 的乘积有关，见式 (1-5)，即

$$E = BLv \sin \alpha \quad (1-5)$$

式中  $E$ ——导线切割磁力线时两端产生的电动势 (V)；

$B$ ——磁感应强度 (T、 $\text{Wb}/\text{m}^2$  或  $\text{V} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ )；

$L$ ——导线在磁场中的长度 (m)；

$v$ ——导线运动的速度 (m/s)；

$\alpha$ ——导线运动的方向与磁力线的夹角 ( $^\circ$ )。

式 (1-5) 还有另一种表达方式，即

$$E = \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-6)$$

式 (1-6) 是这样推导出来的

$$E = BLv \sin \alpha$$

$$= BLv \quad (\sin \alpha \text{ 是一个无单位制的数值})$$

$$= BL \frac{dX}{dt} \quad (v \text{ 是导体在单位时间 } dt \text{ 内的位移 } dX)$$

$$= \frac{BdS}{dt} \quad (LdX = dS, \text{ 长度与变化的位移 } dX \text{ 的乘积为变化的面积 } dS)$$

$$= \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{变化的面积 } dS \text{ 与磁通密度 } B \text{ 的乘积为变化的磁通 } d\Phi)$$

$E = \frac{d\Phi}{dt}$  表示通过回路所包围的面积内的磁通变化时，就会在回路中产生感应电动势，其数值的大小等于该回路内磁通的变化率，这就是著名的法拉第定律。通俗地讲就是变化的磁场使该磁场中的导体两端产生电动势，即磁生电。

通常用右手定则来判断感应电动势的方向：四指并拢，拇指张开，磁力线穿过手心，拇

指指向导线运动的方向，则四指所指的方向就是感应电动势的正极方向。如果把导线的两端闭合，则四指所指的方向就是电流的方向，如图 1-3 所示。右手定则也叫作发电机定则。如果把导线做成一个矩形线圈并把它的中心轴线用绝缘支架支承起来放入磁场中，用手快速转动线圈，由于线圈的两个边都在做切割磁力线的运动，因此都产生电压且方向是相反的，这就是单相发电机的雏形，如图 1-3 所示。

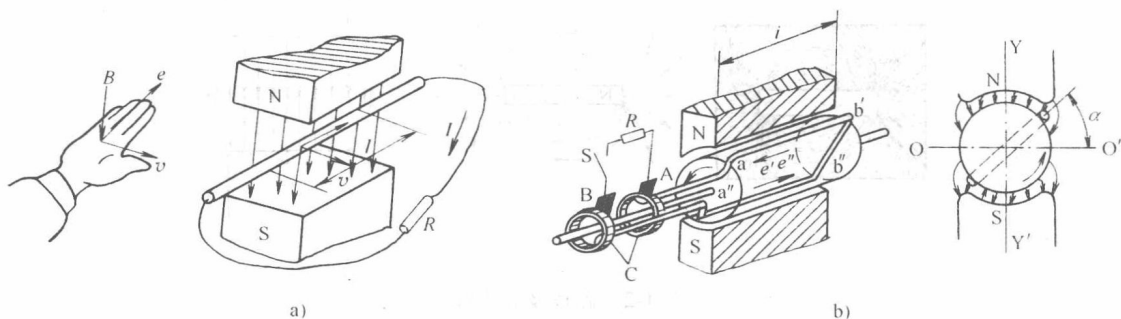


图 1-3 右手定则及发电机原理

a) 右手定则 b) 发电机原理

这里需要说明一点，我们常把电源（包括发电机，变压器，电池等）空载时输出端的电位差叫作电动势，而把由输出端引出线路上的电位差叫作电压，电动势和电压的单位都是伏（V）。

### 三、电磁效应和左手电动机定则

1. 电流流过导体（线）时会在导体（线）的周围产生磁场，即电→磁。磁场的方向可以用右手定则来判断。用右手握住导线，拇指指向电流的方向，则四指指向磁场的方向，这就是右手（单导线）定则，如图 1-4 所示。由图可见，通电单导线周围形成的磁场是以导线为中心的一个圆柱体，且离中心越远，磁场越弱。

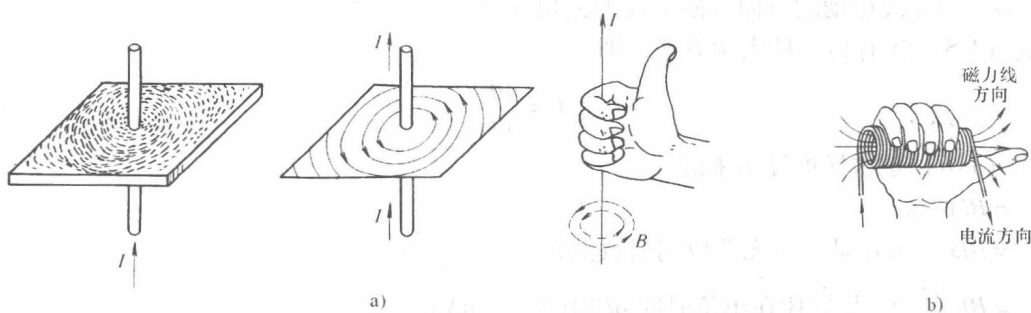


图 1-4 载流导体周围的磁场

a) 长直通电导线周围的磁场 b) 右手螺旋定则

2. 电流流过导线制成的线圈时，在线圈的周围形成磁场。这个磁场的方向同样可以用右手螺旋定则来判断。用右手握住线圈，四指指向通过线圈的电流方向，拇指则指向磁场的方向，这就是右手螺旋定则，如图 1-4 所示。由图可见，通电线圈周围形成的磁场同样也是以线圈为中心的一个圆柱体，且离中心越远，磁场越弱。这个螺旋定则在电动机线圈绕制和接线中有着重要的意义。工程中使用的电磁铁也是用这个原理制成的，实际上右手螺旋定则和右手（单导线）定则是一致的，把线圈的每一匝当作单导线并用右手（单导线）定则去判断磁场，线圈的磁场就是每一匝线圈磁场的合成；或者把线圈所有的匝当作一根导线并用

右手握住，拇指指向电流的方向，四指也就是磁场的方向。

3. 电流流过置于磁场中的导线时，导线会因受力而失去平衡，向一定的方向偏移，偏移的方向同样可用手来判断，所不同的是用左手：四指并拢，拇指张开，磁力线穿过手心，四指指向电流方向，则拇指指的方向就是导线受力后运动的方向。这就是著名的左手（电动机）定则，任何电动机的原理，都是按通电导线的磁场中运动的原理推导而成的。

通电导线在磁场中受力的大小可用式 (1-7) 计算

$$F = BIL\sin\alpha \quad (1-7)$$

- 式中  $F$ ——导线受到的磁力 (N);  
 $B$ ——磁感应强度 (T、Wb/m<sup>2</sup> 或 V·s/m<sup>2</sup>);  
 $I$ ——导线中的电流 (A);  
 $L$ ——导线在磁场中的长度 (m);  
 $\alpha$ ——导线与磁力线的夹角 (°)。

通电线圈在磁场中转矩的大小可用式 (1-8) 计算，其中转矩是力与受力距离的乘积。

$$T = BIS\cos\alpha \quad (1-8)$$

- 式中  $T$ ——线圈的电磁转矩 (N·m);  
 $B$ ——磁感应强度 (T、Wb/m<sup>2</sup> 或 V·s/m<sup>2</sup>);  
 $I$ ——线圈中的电流 (A);  
 $S$ ——线圈所包络的面积 (m<sup>2</sup>);  
 $\alpha$ ——线圈平面与磁力线的夹角 (°)。

对于  $N$  匝线圈，其在磁场中的转矩  $T_N$  由式 (1-9) 求出。

$$T_N = NBIS\cos\alpha \quad (1-9)$$

如果把通电导线做成一个矩形线圈并把它的中轴用绝缘支架支承起来放入磁场中，这时给它通以电流，由于两个边中的电流方向不同，受力的方向不同而形成力偶，我们看到的是这只矩形线圈在转动，这就是电动机的雏形，如图 1-5 所示。

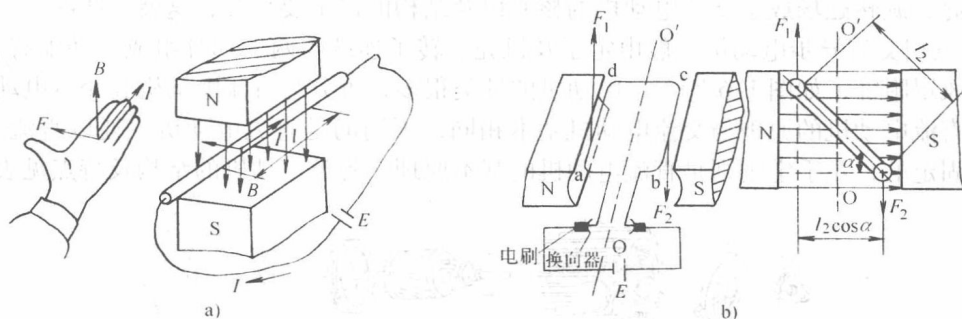


图 1-5 左手定则及电动机原理

a) 左手定则 b) 电动机原理

左手电动机定则准确地概括了直流电动机的工作原理，如果磁场的建立是由通以直流电的线圈组成，便是直流电动机的结构雏形。

而交流电动机的原理也是建立在左手定则上的，但是它的结构却与其大不相同，交流电动机的磁场是由三相交流电产生的一种旋转磁场，这个磁场在定子中是随交流电的相位及频率旋转的，这个旋转的磁场使中轴固定的具有线圈的定子转动而做功。

电机是发电机和电动机的总称，其类型及用途见表 1-1。

表 1-1 电机主要类型及用途

种类	名称		主要用途
发电机	1) 交流发电机	汽轮发电机 水轮发电机 柴油发电机 异步发电机 中频发电机	火力发电厂及核能发电厂 水力发电厂 工厂、矿山、船舶和农村自备电源和移动电源等 余热发电和水能、风能发电 特种电源及高频加热用电源 各种直流电源和作测速发电机用
	2) 直流发电机		
电动机	1) 交流电动机	同步电动机	驱动功率较大或转速较低的机械设备, 用于大型船舶的推进器
		异步电动机	用于驱动一般机械设备
		绕线转子异步电动机	用于要求起动转矩高、起动电流小或小范围调速的机械设备
	2) 直流电动机	交流换向器电动机	三相换向器电动机用于驱动需要高速的机械, 单相换向器电动机用于电动工具和某些家用电器中
3) 交直流两用电动机		用于冶金、矿山、交通运输、纺织、印染、造纸、印刷以及化工和机床工业, 主要驱动需要调速的机械设备	
特殊用途电机	1) 电动测功机		测定机械功率
	2) 同步调相机		供给或吸收电力网无功功率
	3) 调相机		改善电机功率因数
	4) 控制微特电机		在伺服系统中作检测、反馈、执行及放大元件使用, 在解算系统中作解算元件
	5) 其他特殊用途电机		满足特定功能用途

#### 四、三相交流电动机的原理结构及旋转磁场的产生

三相交流电动机的原理是左手定则和旋转磁场, 而左手定则的磁场是一个 N 极指向 S 极一个固定不变的磁场, 怎样使交流电产生的磁场旋转起来是三相交流电动机的最关键的技术。因此, 旋转磁场成了交流电动机的核心以及结构的最重要部分, 这就是线圈。

1. 三相交流异步电动机一般由定子及机壳、转子连端盖两大部分组成, 并配有轴承盖、风叶、风罩附件, 如图 1-6 所示。电动机的种类很多, 可分为直流电动机和交流电动机两大类, 而直流电动机的原理与交流电动机基本相同, 不同的是直流电动机是通以直流电源的, 磁场是固定的, 左手定则则是直流电动机的基本原理。各类电动机的结构及特点见表 1-2。

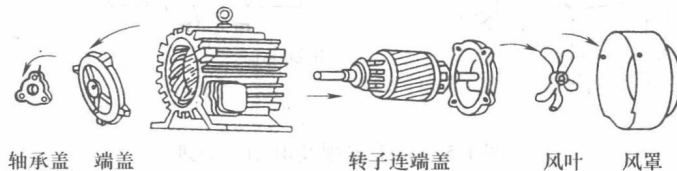


图 1-6 小型笼型电动机的结构示意图

#### 2. 电动机绕组接法及旋转磁场的产生

三相交流异步电动机旋转磁场的产生要由其定子线圈的结构和线圈绕组的接法以及交流电的相位及频率说起。

##### (1) 电动机绕组

所谓绕组就是指电动机定子或转子槽中嵌放的每只线圈或线圈的集合, 它的形状和在槽中的位置见图 1-7。



表 1-2 各类电动机的结构及特点

电动机类型	定子	转子	基本特点
直流电动机	包括主磁极及直流励磁绕组。建立励磁磁场	包括电枢铁心及电枢绕组。感应交流电动势，流过负载电流，借换向器和电刷的作用使外电路的直流电与电枢绕组的交流电之间相互交换	调速性能优良，调速方便、平滑、范围广；改变励磁方式可获得不同的运行特性。但结构较复杂，维护工作量较大
交流电动机	同步电动机	包括磁极及直流励磁绕组。建立励磁磁场 <sup>①</sup>	转速严格按同步转速运行
	异步电动机	包括定子铁心及交流绕组。建立励磁磁场，同时感应交流电动势，流过励磁电流及负载电流	转速与同步转速间存在一定的差异，电动机性能能满足一般机械的传动要求；结构简单，运行可靠，使用维护方便。但调速性能较差，要从电网吸收无功功率

① 小型或特殊用途的同步电动机有时采用旋转电枢式，即其转子为电枢，定子为磁极。

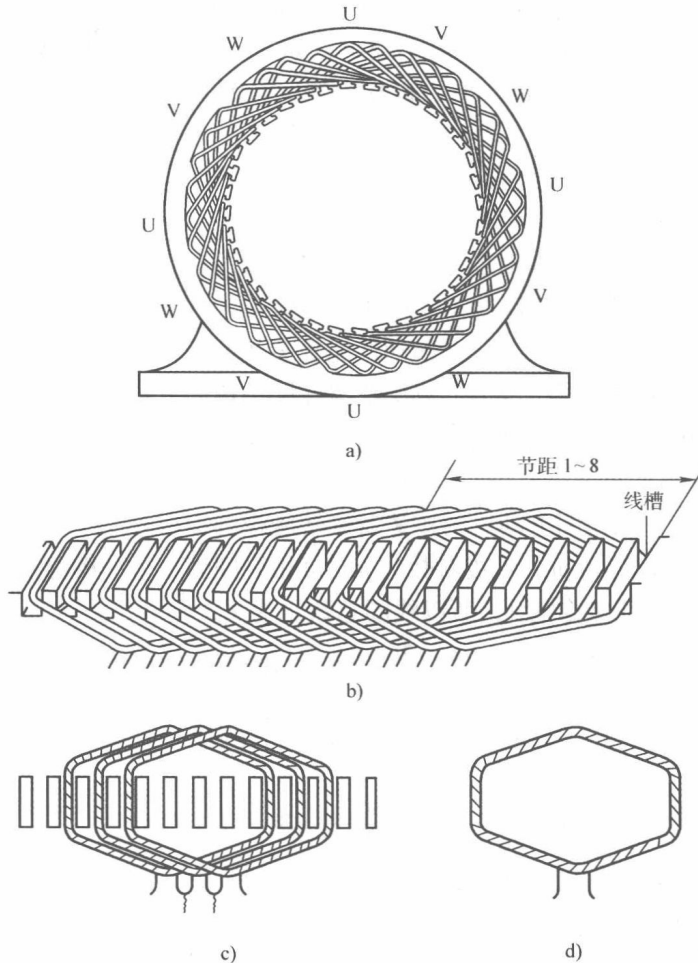


图 1-7 线圈的形状及在定子槽中的位置

a) 三相电动机的定子及槽内线圈 b) 将定子展开后的绕组 c) 槽内线圈展开图 d) 从槽内取出的单只线圈