

现场人员专业基础培训适用

# 电气设备检修 技术基础

周武仲 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

现场人员专业基础培训适用

# 电气设备检修 技术基础

周武仲 编著

## 内 容 提 要

电气设备检修是一项专业性技术，它涉及电气设备的分类和作用、电气基础、常用材料的性能及使用、机械基础、电气试验、短路电流计算及电气设备选择、各种电气设备的结构原理及检修等知识。掌握上述相关知识将有利于解决现场出现的一些实际问题，较快地分析电气设备出现的故障并较好地对出现的故障进行维修，使设备能较快地投入正常运行，从而保证了电气设备安全可靠运行。作者根据多年的经验，在收集大量有关资料的基础上，对有关知识进行了提炼和总结。

本书内容全面、实用，作为从事电气设备检修人员入门的自学用书，也可作为电力企业员工的培训教材。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电气设备检修技术基础/周武仲编著. —北京：中国电力出版社，2014.7

ISBN 978-7-5123-5497-5

I. ①电… II. ①周… III. ①电气设备-检修 IV. ①TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 014476 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2014 年 7 月第一版 2014 年 7 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 10.625 印张 279 千字 1 插页

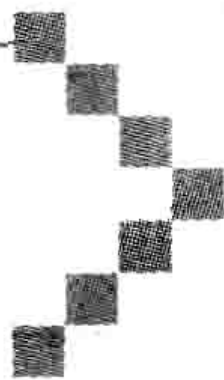
印数 0001—3000 册 定价 29.00 元

### 敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

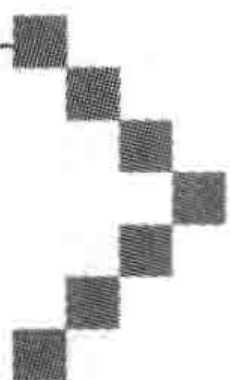
# 前 言



随着国民经济的飞速发展，我国的电力工业也突飞猛进，在装机容量和发电量方面已居世界第二位。最大的单机容量已达1000MW。各种类型的发电站和变电站遍布全国各地，电网的电压等级也随之提高，最高达1000kV。因此，对电力设备运行的安全可靠性的要求也越来越高，对电气设备检修的要求也越来越严格。当前，我国电气设备的检修工作还处于以定期检修为主，并由定期检修向状态检修逐步过渡的阶段，而全面实现状态检修还需要进一步解决一些相关的技术支持问题，并且目前状态检修包含的设备和内容还不够全面。因此，就需要加快落实状态检修的各项有关技术性问题。

在本书中用了较多的篇幅对电气设备检修的相关基本知识进行了说明，对各种类型的电气设备的结构及正常和故障检修进行了介绍，而掌握好基本的电气检修技术，无论对定期检修、状态检修或故障检修工作都是十分有利的。由于状态检修还处于试点和逐步推广阶段，故本书中的检修项目是以定期检修的项目为基础进行说明的，待状态检修全面应用时再进行补充和修改。

由于作者学识有限，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。



## 前言

<b>第一章 电气设备的分类和作用</b> .....	1
第一节 电气设备分类 .....	1
第二节 电气设备作用 .....	2
<b>第二章 电气基础</b> .....	7
第一节 电场和磁场 .....	7
第二节 电路基本知识 .....	14
<b>第三章 短路电流计算及电气设备选择</b> .....	23
第一节 电力系统短路的一般概念 .....	23
第二节 短路电流计算 .....	23
第三节 短路电流的电动力和发热计算 .....	31
第四节 电气设备选择 .....	35
<b>第四章 常用材料的性能及使用</b> .....	39
第一节 常用电工材料性能及使用 .....	39
第二节 常用机械材料的性能和使用 .....	47
<b>第五章 机械基础</b> .....	51
第一节 机械制图基本知识 .....	51
第二节 公差配合和加工要求 .....	59
第三节 焊接技术 .....	65
<b>第六章 电气试验</b> .....	69
第一节 绝缘预防性试验的项目 .....	69
第二节 绝缘预防性试验的应用 .....	70

<b>第七章 发电机的检修</b>	75
第一节 同步发电机原理与结构	75
第二节 发电机检修项目	99
第三节 发电机常见故障及修理	107
第四节 风力发电机检修	118
<b>第八章 电力变压器检修</b>	124
第一节 电力变压器原理与结构	124
第二节 电力变压器检修项目	141
第三节 电力变压器故障与检修	145
<b>第九章 三相异步电动机检修</b>	158
第一节 三相异步电动机原理与结构	158
第二节 三相异步电动机检修项目	177
第三节 三相异步电动机故障和检修	185
<b>第十章 直流电机检修</b>	202
第一节 直流电机原理、结构和分类	202
第二节 直流电机检修项目	212
第三节 直流电机故障及检修	217
<b>第十一章 高压断路器（包括 GIS）检修</b>	226
第一节 高压断路器（包括 GIS）原理和结构	226
第二节 高压断路器（包括 GIS）检修项目	245
第三节 高压断路器（包括 GIS）故障与检修	251
<b>第十二章 高压隔离开关检修</b>	260
第一节 高压隔离开关工作原理和结构	260
第二节 高压隔离开关检修项目	263
第三节 高压隔离开关故障和检修	267
<b>第十三章 电力互感器检修</b>	270
第一节 电流互感器结构和原理	270
第二节 电压互感器原理和结构	275

第三节	电力互感器检修项目 .....	280
第四节	电力互感器故障和检修 .....	282
第五节	电子式互感器检修 .....	282
<b>第十四章</b>	<b>避雷器检修 .....</b>	<b>288</b>
第一节	避雷器结构和原理 .....	288
第二节	避雷器检修项目 .....	294
第三节	避雷器故障及检修 .....	295
<b>第十五章</b>	<b>电力电缆检修 .....</b>	<b>296</b>
第一节	电力电缆结构和分类 .....	296
第二节	电力电缆使用场合 .....	299
第三节	电力电缆附件 .....	305
第四节	电缆检修项目 .....	309
第五节	电力电缆故障及检修 .....	316
<b>第十六章</b>	<b>重合器和分段器检修 .....</b>	<b>326</b>
第一节	重合器和分段器结构和原理 .....	326
第二节	重合器和分段器检修项目 .....	330
第三节	重合器和分段器故障及检修 .....	330

## 电气设备的分类和作用

### 第一节 电气设备分类

电气设备是一种产生和传递电流的设备，凡是和电力系统相连的设备都称为电气设备。

电气设备分为一次设备和二次设备。一次设备包括发电机、变压器、电动机、断路器、隔离开关、母线、输电线路、电流互感器和电压互感器、避雷器、电抗器、电容器和电缆等；二次设备包括各种保护和控制回路、各种信号回路、继电保护及自动装置、二次回路的保护设备、交流电流回路、交流电压回路、电气设备的二次接线和直流系统等。

此外，电气设备还可以按电压等级分为高压和中低压电气设备；按用途可分为工业、农业及家用电气设备；按控制类型可分为传动类电气设备、控制系统电气设备、电气仪表设备及供配电设备等。

各电压等级的输电线路和各种类型的变电站连接成电力网。由发电厂、电力网和用电设备连在一起组成电力系统。图 1-1 表示了电力系统的组成。



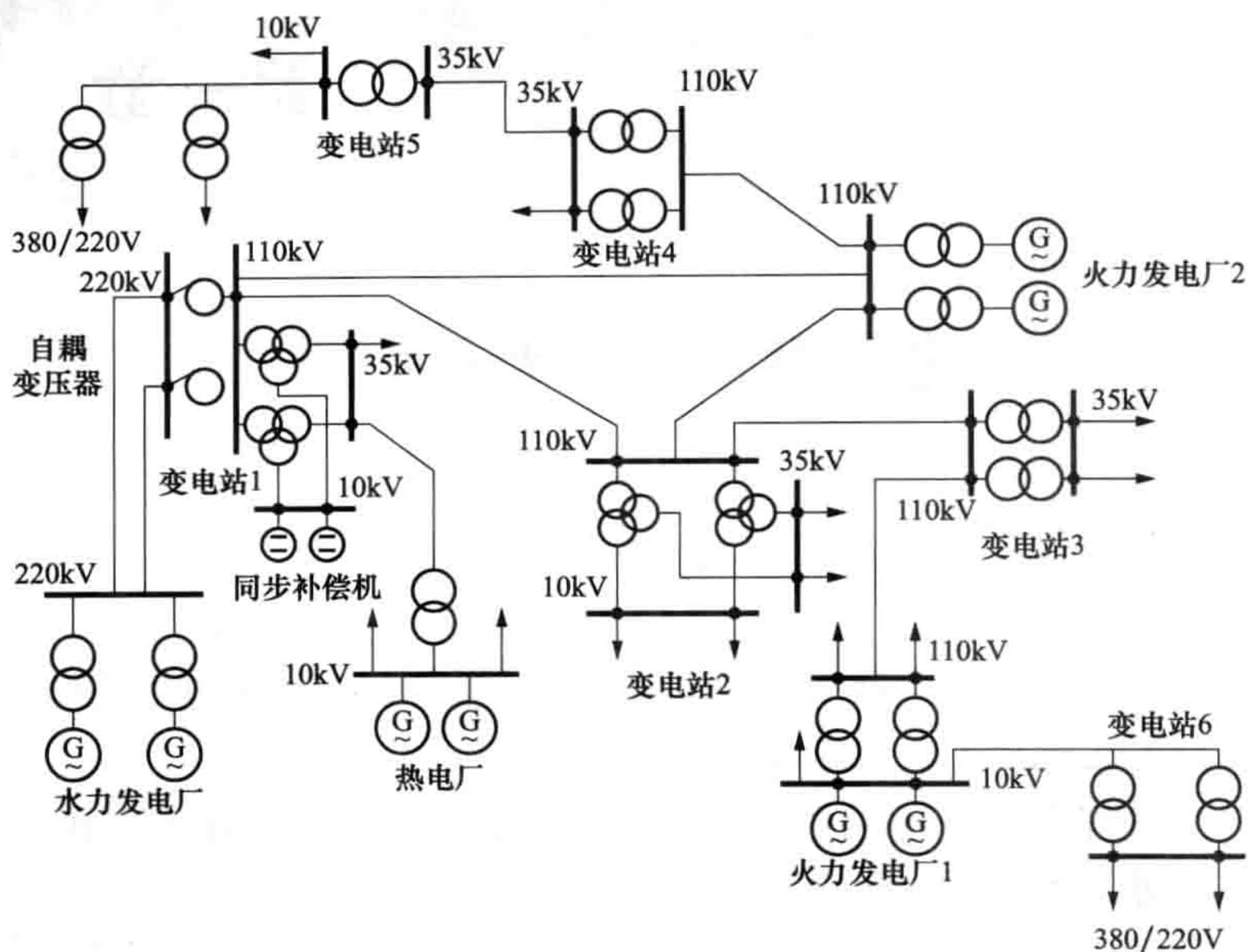


图 1-1 电力系统的组成

## 第二节 电气设备作用

在电力系统中有各种电气设备，每个电气设备起着不同的作用。下面我们对各种电气设备的作用给予说明。

### 一、发电机

发电机是将机械能转换为电能的一种电气设备，也是电力系统中的电源设备。发电机有直流发电机和交流发电机。直流发电机可作为直流电源用，出口电压一般在 1000V 以下，其容量范围较小，一般在几千瓦至几兆瓦之间。交流发电机用于交流电网中（我国交流电网的频率为 50Hz），交流发电机的名称与所带动的机械名称有关：由汽轮机带动的发电机称为汽轮发电机；由水轮机带动的发电机称为水轮发电机；由柴油机带动的发电机称为

柴油发电机；由风力带动的发电机称为风力发电机。发电机的出口电压一般在 20 000V 以下，其容量范围较大，一般在几百千瓦至一千兆瓦之间。

## 二、电力变压器

电力变压器是传递电能的一种电气设备。电力变压器是变压器的一种型式，一般电力变压器可分为升压变压器、降压变压器、配电变压器、联络变压器和厂用电变压器（电厂自用）。除电力变压器以外，还有特殊变压器，如整流变压器、电炉变压器和试验变压器等。电力变压器按绕组数的多少可分为双绕组变压器和三绕组变压器；按调压方式可分为无载调压变压器和有载调压变压器；按绕组耦合方式可分为自耦变压器和互耦变压器。其容量可由几百千伏安至几百兆伏安。电压可由几百伏至几百兆伏。

## 三、电动机

电动机是将电能转换为机械能的一种电气设备。电动机可分为直流电动机和交流电动机。直流电动机用于冶金矿山、交通运输、化工等工业，电压在 1000V 以下，容量在几千瓦至几兆瓦之间。交流电动机可分为单相交流电动机和三相交流电动机，三相交流电动机中以三相交流异步电动机使用最为广泛，三相交流异步电动机的电压在 10 000V 以下，容量可由几千瓦至上万千瓦。

## 四、断路器

断路器是一种断开或重合电路的电气设备。它可以断开系统的短路电流。断路器按电压可分为高压断路器和中低压断路器；按灭弧介质可分为油断路器、六氟化硫断路器、真空断路器、空气断路器等。油断路器又可分为多油断路器和少油断路器。目前，真空断路器和六氟化硫断路器得到了较广泛的应用。

断路器采用额定短路开断电流来表示开断能力，即在规定的条件下，断路器能保证正常开断的最大短路电流。在国家标准中采用下列额定短路电流值，即 1.6、3.15、6.3、10、12.5、16、20、25、31.5、40、50、63、80、100kA。

## 五、隔离开关

隔离开关是一种断开或重合电路的电气设备。它不能断开系统的短路电流，但可以用来进行电路的倒闸操作。隔离开关一般用空气作为介质，以通过额定电流的多少作为选择开关的条件。

## 六、电流互感器和电压互感器（统称为电力互感器）

电流互感器是一种测量一次电流的电气设备，由于一次电流较大，往往不能直接用仪表进行测量，经过电流互感器将一次电流转换为标准的二次电流（5A 或 1A），便于用仪表测量，也可用于继电保护。电压互感器是一种测量一次电压的电气设备，由于一次电压较高，往往不能直接用仪表进行测量，经过电压互感器将一次电压转换为标准的电压（100 或  $100/\sqrt{3}$  V），便于用仪表测量，也可用于继电保护。这两种互感器都是特殊的变压器，其容量也用 kVA 来表示。

## 七、电抗器和电容器

电抗器是一种限制短路电流的电气设备，而电容器是一种补偿系统无功的电气设备。电抗器一般可分为限流电抗器和分裂电抗器。电容器有高压电容器和中低压电容器两类。

## 八、避雷器和避雷针

避雷器和避雷针是一种防雷设施，它们可以用来限制过电压，保护设备绝缘，使电网能够正常供电。一般避雷器有阀型避雷器和氧化锌避雷器两类。阀型避雷器又分为普通型和磁吹型两种，后者利用磁场驱动电弧来提高灭弧性能，有较好的保护性能；而氧化锌避雷器由于避雷性能好而得到了较广泛的应用。

## 九、输电线路和电缆

输电线路和电缆是进行电力传输必不可少的电气设备。输电线路是用绝缘子串和杆塔绝缘的，它必须经受周围气候的各种影响，包括风、雪、冰等的作用。电缆可以分为高、中、低压电缆。目前使用较多的是交联聚乙烯绝缘电缆。由于大部分电缆埋在地下，故电缆应具有抗腐蚀能力和抗冲击能力。

## 十、继电保护及自动装置

继电保护及自动装置是电力系统中必不可少的保护设备。当系统发生短路等事故时，保护装置将事故段和正常段快速分开，保证了正常段的正常运行。保护装置分有触点和无触点两类。目前，微机保护得到了较广泛的应用。

## 十一、成套配电装置（开关柜）

成套配电装置（开关柜）是一种以断路器为主，将其他的配套电器，如隔离开关、互感器、保护装置、测量装置和母线等组合在一起的配电装置。固定式成套配电装置结构简单，制造方便，因而使用面较广。在发电厂厂用电、中小型变电站输配电及工矿企业配电中均宜采用。

## 十二、GIS（全封闭组合电器）

全封闭组合电器是一种将变电站各种元件（除变压器外）全部封闭在一个接地的金属外壳内，壳内充以表压 $0.25\sim 0.3\text{MPa}$ 的 $\text{SF}_6$ 气体的电气设备。它具有绝缘距离小，占地面积少，运行安全可靠，检修周期长（一般为 $5\sim 8$ 年，长者达 $20\sim 25$ 年），安装方便，建设周期短等优点。因此，这种设备得到了越来越多的应用。

## 十三、电源设备

电源设备是电力系统中一种重要的设备，它作为电气设备所需的动力、控制、照明、微机等设备的电源，特别在事故状态下，对保证事故用负荷是一种关键设备。电源设备可分为直流电源和交流电源两类。直流电源一般由蓄电池及其充电设备组成，还可以用直流不间断电源（DC UPS）组成。交流电源可以由控制变压器组成，也可以用交流不间断电源（AC UPS）或电容储能系统组成。一般采用 $110\text{V}$ 或 $220\text{V}$ 电压（也有用 $380\text{V}$ 的）。

## 十四、重合器和分段器

重合器和分段器是自动化较高的配电用电气设备。自动重合器是一种可按顺序自动完成开断和重合操作，并在其后自动复位或闭锁的控制设备，从而可有力地消除临时故障，提高供电的可

靠性。按灭弧介质可分为油、真空和六氟化硫三类；按控制方式可分为液压和电子两类；按安装地点可分为杆上、地面上、水下或地下；按分闸方式可分为串联和并联分闸。自动分段器是一种能够判断线路故障和记忆故障电流开断次数，并在达到预先整定的动作次数后，在无电压或无电流下自动分闸的开关设备。其分类方式和重合器相同。

### 十五、母线

母线也称为汇流排，它可以将电力系统传输来的电力集中到母线上，然后再分配到各个电力用户；也可以将各个发电机发出的电力集中到母线上，然后再供向电力系统的各条输电线。

### 十六、其他电气设备

以上所述的是一些主要的电气设备，还有一些电气设备，如套管、绝缘子、刀开关、熔断器、热继电器、接触器、负荷开关、刀熔开关、电焊机、电气照明、电工仪器仪表、机床电器、家用电器等，我们通称为其他电气设备。由于篇幅有限，这里不再一一说明。

## 电 气 基 础

电气设备中很多原理和部件都与电气知识有关，因此，做好电气设备的检修工作，具备基本的电气知识是十分必要的。下面将介绍一些基本的电气知识。

### 第一节 电 场 和 磁 场

当导体中流过电流时，其周围就会有磁场，而磁场的变化又会在导体中产生感应电动势（感应电流）。因此，一般而言，电场和磁场是不可分割的，必须一起进行研究。无论在变压器、电动机及各种铁磁元件中，都有电路问题和磁路问题。下面分别进行说明。

#### 一、静电场

静电场是指静止的电荷在其周围所形成的电场，图 2-1 中用电力线描述了几种电场。

从图 2-1 可见，在每条曲线上，各点的电场强度方向都与该点的切线方向一致，各处曲线的密度与该点的电场强度成正比。电场强度是从电荷在电场中受力的角度来描述电场性质的物理量，用  $V/m$  表示。而从电场力移动电荷做功的角度来描述电场性质时，则引入电位差或电位的概念。在均匀电场中，电场强度和电位差的关系为

$$E = (U_a - U_b) / L$$

式中  $E$ ——电场强度,  $V/m$ ;

$U_a$ 、 $U_b$ ——电场中  $a$  点和  $b$  点的电位,  $V$ ;

$U_a - U_b$ —— $a$ 、 $b$  两点间的电位差, 又称为电压,  $V$ ;

$L$ —— $a$ 、 $b$  两点间的垂直距离,  $m$ 。

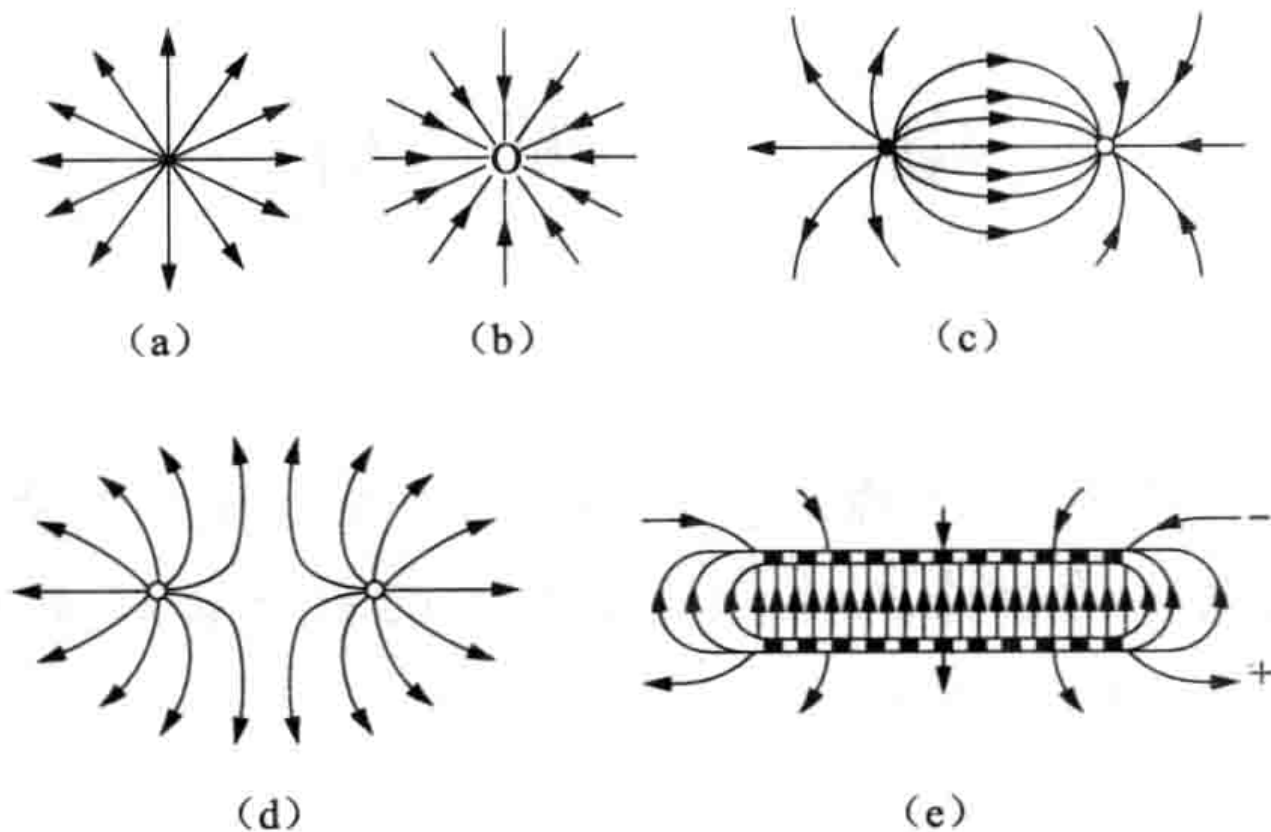


图 2-1 用电力线描述的几种电场

- (a) 正电荷电场; (b) 负电荷电场; (c) 两个异性电荷电场;  
(d) 两个同性电荷电场; (e) 平行带电板电场

把一个不带电的物体放到带电物体附近时, 会使不带电的物体出现表面带电现象, 这种现象称为静电感应。如果将带电物体拿走, 不带电的物体仍恢复表面不带电状态。

为防止静电感应, 将导体用金属罩罩起来, 使导体内的电场强度为零, 从而隔开静电感应的作用, 这种方法称为静电屏蔽。

当任意两导体带有等量的异性电荷时, 其电荷量与两导体间的电压之比称为两导体间的电容, 即

$$C = Q/U$$

式中  $Q$ ——两导体所带电荷量,  $C$ ;

$U$ ——两导体间的电压,  $V$ ;

$C$ ——两导体间的电容,  $F$ , 常用  $\mu F$  ( $10^{-6} F$ ) 或  $pF$  ( $10^{-12} F$ ) 作单位。

电容器是一种储存电场能的元件, 在两块金属极板中间充满着电介质。它可以由两块平板或同心圆柱形金属箔构成, 前者称

为平板电容器，后者称为圆柱形电容器。它们的电容可以用下式求得：

$$\text{平板电容器} \quad C = \epsilon S / d$$

式中  $S$ ——极板面积， $\text{m}^2$ ；

$d$ ——极板间距离， $\text{m}$ ；

$\epsilon$ ——电介质的介电常数， $\text{F/m}$ ；

$C$ ——电容器电容， $\text{F}$ 。

$$\text{圆柱形电容器} \quad C = 2\pi\epsilon l / \ln R_2 / R_1$$

式中  $R_1$ 、 $R_2$ ——内、外极板的半径， $\text{m}$ ；

$l$ ——圆柱的长度， $\text{m}$ 。

## 二、磁场和磁路

磁场有稳定磁场和交变电磁场两种，当稳定的电流通过导体时，其周围除存在静电场外，也存在着稳定磁场。当磁场的磁通量发生变化时，则称为交变电磁场。

### 1. 稳定磁场

图 2-2 是描述稳定磁场的几种载流导体的磁力线示意图。磁场中任一点上磁力线的切线方向就是该点磁感应强度  $B$  的方向；而磁力线的疏密程度即表示  $B$  的大小。 $B$  和电流  $I$  符合右螺旋定则。穿过某一面积的磁力线的通量称为磁通量，用  $\Phi$  表示，公式为

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

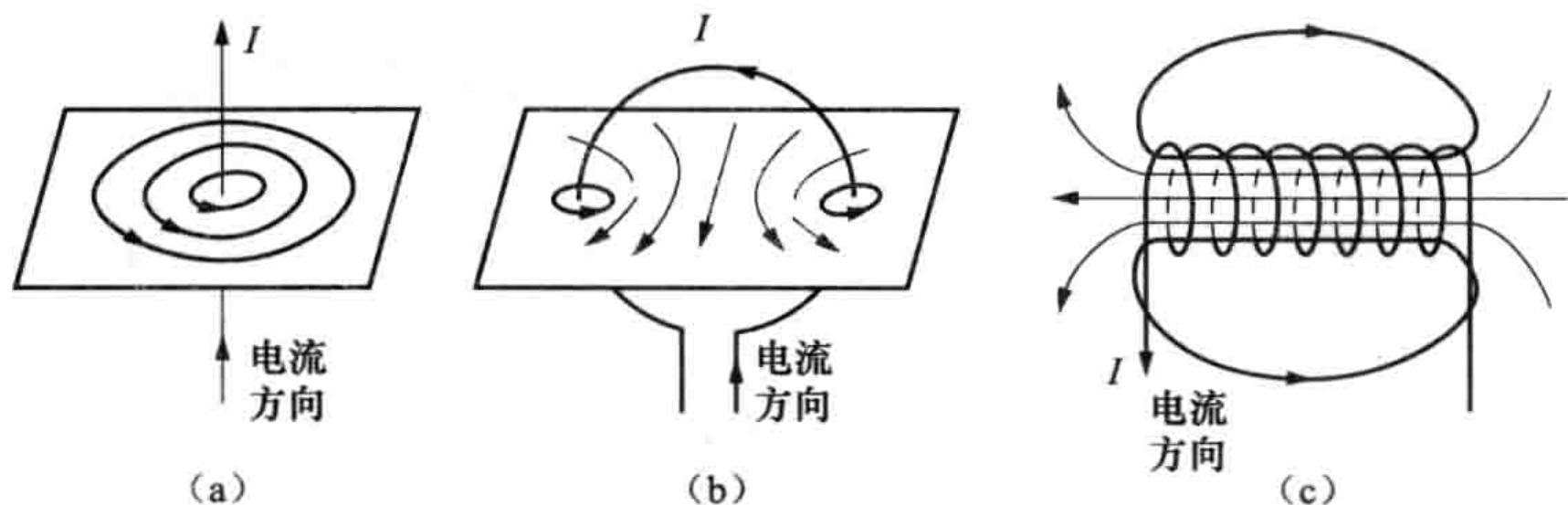


图 2-2 载流导体的磁力线示意图

(a) 载流长导线；(b) 圆形载流导线；(c) 载流螺旋管



式中  $B$ ——磁感应强度；  
 $S$ ——所计算面的面积；  
 $\alpha$ —— $S$  的法线与磁场方向的夹角。

当截面  $S$  平行于磁场方向时， $\alpha=0^\circ$ ，当截面  $S$  垂直于磁场方向时， $\cos\alpha=1$ ， $\Phi=BS$ ；而  $B=\Phi/S\cos\alpha$ ，即磁感应强度等于单位面积上的磁通量，故又称为磁通密度或磁密。

磁感应强度的单位是特斯拉 (T)， $1\text{T}=10^4\text{Gs}$  (高斯) 或  $1\text{T}=\text{Wb}/\text{m}^2$ 。与磁感应强度相对应的磁通单位是韦伯 (Wb)， $1\text{Wb}=10^8\text{Mx}$  (麦克斯韦)。

在磁场中用磁场强度来描述磁场的性质，用  $H$  来表示。它等于该点的磁感应强度和该处介质的导磁系数的比值，单位为  $\text{A}/\text{m}$ ，即

$$H = B/\mu$$

$$\mu = \mu_r\mu_0$$

式中  $\mu$ ——磁场介质的磁导率；  
 $\mu_0$ ——真空中的磁导率， $\mu_0=4\pi\times 10^{-7}\text{H}/\text{m}$  (亨/米)；  
 $\mu_r$ ——相对磁导率。

按照导磁性能的强弱，物质可分为顺磁物质 (如铝、铂)、反磁物质 (如铜) 和铁磁物质 (如硅钢片) 三类。铜可用在发电机中作为铜屏蔽；硅钢片可用在电机和变压器中作为导磁体。

在铁磁物质中有一种特性曲线，即磁化曲线，它是由实验来确定的，图 2-3 为一种磁化曲线 (也称为  $B-H$  曲线) 的形线族。将各曲线的顶点连起来，得到一条虚线，称为基本磁化曲线，如图 2-4 所示。

$B-H$  曲线用于磁路的计算。图 2-5 是几种物质的  $B-H$  曲线。

## 2. 交变电磁场

交变电磁场是在下列几种情况下产生的：

- (1) 在磁场中使导线做切割磁力线的运动；
- (2) 移动导线附近的磁场；