

电力设施承装（修、试）工程技术与管理人员培训教材（三）



DIANLI SHESHI
ANZHUANG(JIANXIU)
CAOZUO JINENG
湖南省电力行业协会 组编

电力设施

安装（检修）操作技能（上）

（输变配电部分）



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力设施承装（修、试）工程技术与管理培训教材（三）

电力设施安装（检修） 操作技能（上）

（输变配电部分）

湖南省电力行业协会 组编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书阐述了高压电气设备(除发电设备外)的基本结构、原理,具体的安装、检修工艺,运输、验收的方法及异常故障的处理和分析。

本书可作为电力设施承装(修、试)工程技术人员培训教材,也可供高压电气设备安装、检修工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力设施安装(检修)操作技能.上, 输变配电部分/湖南省电力行业协会组编.—北京: 中国电力出版社, 2003

电力设施承装(修、试)工程技术与管理人员培训教材

ISBN 7-5083-1762-9

I.电… II.湖… III.①高压电器-设备安装-技术培训-教材②高压电器-电气设备-检修-技术培训-教材 IV.TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第097004号

电力设施安装(检修)操作技能(上) (输变配电部分)

*

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

湖南蓝盾彩色印务有限公司

2004年1月第一版 2004年1月湖南第一次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 11.875印张 300千字

印数 0001-5000册

书号 ISBN 7-5083-1762-9 定价: 27.00元 (上、下册定价: 59.00)

版权专有 翻印必究

教材编审委员会

主 任	陈学军					
副 主 任	陈珍高	罗赤橙				
委 员	朱泌生	尚 佳	李应泉	彭振楚	秦国治	
	蒋 冬	傅维生	王宇丹			
主 编	朱泌生	尚 佳				
副 主 编	李应泉					
常务副主编	曾建明					
编 写	段晓庭	王菁武	周力加	何德家	彭洪范	
	李克昌	胡 睿	黎 刚	夏 立	李 程	
	王焕新	吴杰利	邓 友	张自评	胡军华	
	凌育华	单伟宏				
审 查	袁福安	李 斌	谢孔机	孙炳辰	汤美云	
	林 峰	匡 平	汪霄飞	陈春莲	颜焕文	

前 言

随着我国社会主义市场经济的发展和电力体制改革的推进，一个统一、开放、竞争、有序的电力市场将逐步形成，电力工业正在步入一个新的发展时期。在这个新的发展时期，维护电网安全稳定运行更凸现其重要性和紧迫性，并逐渐被全社会所认识，同时对电力设施装（修、试）质量也提出了更高的要求。

为适应形势发展的需要，湖南省电力行业协会根据湖南省经济贸易委员会的要求，组织湖南电力系统一批既有扎实理论基础又有丰富实践经验的专家和工程技术人员编写了《电力设施承装（修、试）工程技术与管理培训教材》。目的是通过规范承装（修、试）电力设施的市场秩序，加强对施工企业的管理，提高施工企业人员业务素质，确保电气工程与设备的安装、检修、试验质量，保障电网安全稳定运行。

教材共分五册，内容涵盖输变配电工程与电气设备的安装、检修、试验等。第一册为《电力设施安装（检修）技术要求》，第二册为《电力设施试验方法》；第三、四册为《电力设施安装（检修）操作技能》上、下册；第五册为《电力设施承装（修、试）技术与质量管理》。

本教材适用于电力设施承装（修、试）企业负责人、项目经理、电气工程技术人员、安全员、质检员的技术与业务培训，亦可供有关专业工程技术人员和管理人员参考。本教材出版前，在湖南省承装（修、试）电力设施企业负责人和工程技术人员培训班试用，反映良好，并根据教员和学员们提出的意见和建议，又作了补充修改。

本教材的编辑和出版得到了湖南省经济贸易委员会、吉林省电力行业协会、广西省电力行业协会、甘肃省电力行业协会、湖

南省电力公司、湖南省超高压输变电公司、湖南省电力试验研究所、湖南省送变电建设公司、长沙电业局的大力支持，在此谨向关心和支持承装（修、试）电力设施培训教材编审的领导、专家和同志们表示衷心的感谢。

因时间仓促和编写水平有限，教材中纰漏之处在所难免，恳请批评指正。

**《电力设施承装（修、试）工程
技术与管理人员培训教材》编辑委员会
2003 年 6 月**

目 录

前言

第一章 电力变压器	(1)
第一节 基本工作原理	(1)
第二节 变压器的主要参数及绕组的接法	(10)
第三节 变压器的基本结构	(21)
第四节 变压器型号及字母表示	(25)
第五节 变压器的检修	(27)
第六节 变压器的运输、验收检查和安装	(71)
第七节 变压器常见故障及处理	(73)
第八节 常用有载分接开关的检修	(80)
第九节 变压器的干燥	(95)
第十节 变压器油的净化处理	(105)
第十一节 树脂浇注干式电力变压器	(108)
第二章 互感器	(112)
第一节 电流互感器的工作原理	(112)
第二节 电流互感器的分类及型号	(114)
第三节 电流互感器结构简介	(116)
第四节 电压互感器的工作原理	(123)
第五节 电压互感器的分类及型号	(130)
第六节 电压互感器结构简介	(131)
第七节 互感器的检修	(137)
第八节 互感器常见故障及处理	(169)
第九节 互感器加装金属膨胀器密封改造	(172)

第三章 电抗器及消弧线圈	(178)
第一节 电抗器的型号与用途分类	(178)
第二节 电抗器的基本结构	(180)
第三节 消弧线圈的结构与原理	(184)
第四节 电抗器与消弧线圈的检修	(187)
第四章 高压断路器	(188)
第一节 一般介绍	(188)
第二节 多油断路器	(192)
第三节 少油断路器	(198)
第四节 真空断路器	(216)
第五节 六氟化硫断路器	(220)
第五章 操动机构	(239)
第一节 概述	(239)
第二节 电磁操动机构	(241)
第三节 弹簧操动机构	(250)
第四节 气动操动机构	(254)
第五节 液压操动机构	(260)
第六章 气体绝缘金属全封闭组合电器	(268)
第一节 特点及结构	(268)
第二节 标准组件	(272)
第三节 GIS 安装及规范	(279)
第四节 GIS 维护与检修	(284)
第七章 高压隔离开关	(288)
第一节 用途、结构及技术数据	(288)
第二节 GW5 系列型隔离开关	(299)
第三节 GW16、GW17 系列型高压隔离开关	(306)
第八章 高压成套装置	(316)
第一节 结构与工作原理	(316)
第二节 安装	(325)

第三节	高压成套装置的使用和维护	(327)
第九章	组合式变电站、高压负荷开关	(330)
第一节	结构	(330)
第二节	适用范围及使用条件	(332)
第三节	高压配电装置的组成	(332)
第四节	低压配电装置的电气性能	(334)
第五节	组合式变电站的维护与检修	(335)
第六节	高压负荷开关	(335)
第十章	电容器、避雷器、高压熔断器	(340)
第一节	并联电容器	(340)
第二节	耦合电容器	(348)
第三节	避雷器	(350)
第四节	高压熔断器	(358)
第十一章	架空线路施工常用工器具	(367)
第一节	常用施工工器具	(367)
第二节	常用带电作业工具	(386)
第十二章	送电线路施工	(392)
第一节	基础施工	(392)
第二节	混凝土电杆的组立	(419)
第三节	铁塔组立	(440)
第四节	架线施工	(466)
第五节	附件安装	(498)
第六节	接地装置施工	(502)
第十三章	架空电力线路检修	(504)
第一节	保证检修的安全措施	(504)
第二节	电杆横担检修与更换	(508)
第三节	绝缘子检修与更换	(514)
第四节	导线、避雷线的检修与处理	(524)
第五节	金具检修与更换	(533)

第六节	杆塔检修和加高	(539)
第十四章	母线	(545)
第一节	母线的分类及结构特点	(545)
第二节	硬母线安装	(547)
第三节	软母线安装	(574)
第十五章	电缆	(583)
第一节	一般介绍	(583)
第二节	交联聚乙烯绝缘电力电缆	(590)
第三节	电缆施工	(591)
第四节	110kV 及以下塑料绝缘电缆的附件制作	(601)
第五节	110kV 交联聚乙烯绝缘电力电缆	(621)
第十六章	接地装置	(631)
第一节	概述	(631)
第二节	接地装置的施工	(632)
第三节	接地装置的试验项目和标准	(637)
第十七章	配电盘、柜	(638)
第一节	概述	(638)
第二节	配电盘、柜基础的安装	(639)
第三节	控制及保护屏的安装	(641)
第四节	高压成套柜的安装	(643)
第十八章	低压电器	(647)
第一节	熔断器	(647)
第二节	刀开关	(652)
第三节	断路器	(656)
第四节	交流接触器	(677)
第五节	无声节能交流接触器	(685)
第六节	热继电器	(687)
第七节	起动器	(692)
第八节	时间继电器	(703)

第九节	漏电保护器	(707)
第十节	电磁铁	(712)
第十一节	直流接触器	(718)
第十二节	真空接触器	(721)
第十三节	按钮	(724)
第十四节	行程开关	(727)
第十五节	组合开关	(728)
第十六节	控制器	(730)
第十七节	万能转换开关	(732)
第十八节	变阻器	(733)
第十九节	信号灯	(734)
第二十节	电容器	(735)
第二十一节	低压配电柜	(740)
第十九章	低压配线工程	(744)
第一节	低压电力配电系统	(744)
第二节	照明配电系统	(746)
第三节	室内配线一般要求	(750)
第四节	室内配线操作工艺	(753)
第五节	车间配电线路安装	(764)
第六节	高层建筑内线工程	(771)
第七节	低压电缆线路	(775)
第二十章	电气照明	(788)
第一节	照明灯具的安装	(788)
第二节	电气照明线路的常见故障与处理	(792)
第三节	照明灯具的结构原理与故障处理	(794)
第四节	照明配电盘(箱)的安装	(808)

第一章 电力变压器

第一节 基本工作原理

一、变压器的用途及分类

1. 变压器的用途

我们知道，现代化的工业企业广泛地采用电力作为能源，而发电厂发出的电能往往需经远距离传输才能到达用电地区。在传输的功率恒定时，传输电压越高，则所需电流越小。因为电压降正比于电流，线损正比于电流的平方，所以用较高的输电电压可以获得较低的线路电压降和线路损耗。要制造电压很高的发电机，目前技术上还很困难，所以要用专门的设备将发电机端的电压升高以后再输送出去，这种专门的设备就是变压器。另一方面，在受电端又必须用降压变压器将高电压降低到配电系统的电压，以供使用。

由上可知，变压器是一种用来改变电压和电流的电器设备。在电力系统中，变压器的地位是十分重要的，不仅所需数量多，而且要求性能好，运行安全可靠。

变压器除了应用在电力系统中，还应用在需要特种电源的工矿企业中。例如：冶炼用的电炉变压器，电解或化工用的整流变压器，焊接用的电焊变压器，试验用的试验变压器，交通用的牵引变压器、补偿用的电抗器，保护用的消弧线圈及测量用的互感器等。

2. 变压器的分类

(1) 按用途分类，有电力变压器、电炉变压器、整流变压器、工频试验变压器、调压器、矿用变压器、冲击变压器、电抗器及互感器等。

(2) 按结构型式分类, 有单相变压器、三相变压器及多相变压器。

(3) 按冷却介质分类, 有干式变压器、油浸变压器及充气变压器等。

(4) 按冷却方式分类, 有自然冷式、风冷式、水冷式、强迫油循环水(风)冷式及水内冷式等。

(5) 按绕组数量分类, 有自耦变压器、双绕组变压器及三绕组变压器等。

(6) 按导电材质分类, 有铜线变压器、铝线变压器及半铜半铝变压器等。

(7) 按调压方式分类, 有无励磁调压变压器、有载调压变压器。

(8) 按中性点绝缘水平分类, 有全绝缘变压器、半绝缘(分级绝缘)变压器。

(9) 按铁芯型分类, 有芯式变压器、壳式变压器等。

二、变压器的工作原理

1. 电磁基本定律

(1) 电磁感应定律: 线圈中的感应电动势与线圈交链的磁通量与时间的变化速率成正比, 其计算式可表示为

$$e = -N (d\Phi/dt) \quad (1-1)$$

式中 e ——感应电动势, V;

N ——线圈匝数;

$d\Phi$ ——线圈中磁通的变化, Wb;

dt ——磁力线变化所需的时间, s。

(2) 磁感应强度(磁通密度): 磁感应强度为通过垂直单位面积的磁力线数, 它是用来衡量磁力线数的强弱的, 其计算式可表示为

$$B = \Phi/S \quad (1-2)$$

式中 B ——磁感应强度, T;

Φ ——磁通, Wb;

S ——垂直于磁通的面积, m^2 。

(3) 基尔霍夫第一定律和第二定律。基尔霍夫第一定律: 流入节点的电流等于流出节点的电流; 第二定律: 在电路任一闭合回路中沿绕行方向各段电位升的和等于电位降的和。基尔霍夫定律在磁路中同样适用。设 Φ 为磁通, λ 为磁导, R_m 为磁阻, F_0 为磁动势, 则

$$\Phi = F_0 \lambda = F_0 / R_m \quad (1-3)$$

如果在同一磁路上有几个线圈产生磁动势, 磁通决定于磁动势的总和, 即决定于合成磁动势。当有两个磁动势时, 合成磁动势为

$$\dot{F}_0 = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 \quad (1-4)$$

(4) 楞次定律。线圈中感应电动势的方向总是企图使它所产生的感应电流产生的新磁通反抗原有磁通的变化, 即 $e = -\Delta\Phi/\Delta t$ 。

2. 单相变压器的基本工作原理

变压器是一种静止的电器, 由绕在共同磁路上的 2 个或更多的绕组组成。图 1-1 是 1 台最简单的单相变压器原理图, 它由 2 个匝数不等的线圈绕在同一个闭合铁芯上, 铁芯用硅钢片叠成。铁芯柱左边的线圈称一次绕组, 匝数用 N_1 表示, 另一侧的线圈称二次绕组, 匝数用 N_2 表示。

将变压器的一次侧绕组的两端接到电压为 $\dot{U}_1$ 的交流电源上, 二次侧绕组开路。在 $\dot{U}_1$ 的作用下, 变压器一次绕组内产生电流 $\dot{i}_0$, $\dot{i}_0$ 称为变压器的空载电流。 $\dot{i}_0$ 是用来建立空载磁动势的, $\dot{F}_0 = N_1 \dot{i}_0$ 。磁动势 $\dot{F}_0$ 在铁芯中产生的磁通也称为交变磁通, 磁通大部分沿铁芯闭合, 与一、二次绕组相交链, 称为主磁通 $\dot{\Phi}_0$, 磁通的一小部分只穿过一次绕组, 和空气形成闭合回路, 称为一次绕组的漏磁通, 用 $\dot{\Phi}_{1l}$ 表示。通过电磁感应, 主磁通 $\dot{\Phi}_0$ 在一、二次绕组内分别产生感应电动势 $\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$, 漏磁通

$\dot{\Phi}_{ll}$ 也会在二次绕组中产生漏感电动势 $\dot{E}_{ll}$ 。

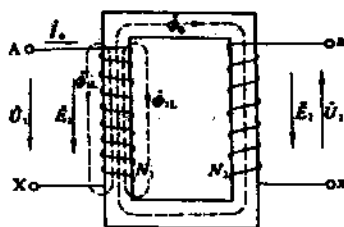


图 1-1 变压器原理图

为了正确表示电压、电流、磁通等量的相位关系，我们先规定图 1-1 中箭头表示的方向即为各有关量的正方向，箭头的标定按照电机学的惯例，这些确定方向的惯例需要考虑三个因素：①遵守电磁感应定律 $e = -N(d\Phi/dt)$ 以及磁动势和磁通方向一致的原则；②考虑磁动势、磁通的方向时必须注意绕组的绕向；③变压器通用的方式是将一次侧认为是输入，二次侧认为是输出。

按照以上的原则和惯例，将 $\dot{U}$ 看作是电位降，即沿箭头方向电压由高到低， $\dot{E}$ 看作电位升，即沿箭头方向电压由低到高。

(1) 正方向的确定：

1) 在一次绕组 AX 中，先标定 $\dot{U}_1$ 的正方向。当 $\dot{U}_1$ 为正时，A 点电位高于 X 点电位，故箭头方向由 A 指向 X。

2) 定 $\dot{i}_1$ 的正方向。当 $\dot{i}_1$ 为正时，电流从高电位 A 点流入变压器。

3) 定 $\dot{\Phi}$ 的正方向。根据右手螺旋定则和电流的正方向、绕向确定，即正电流产生正磁通。

4) 定 $\dot{E}_1$ 的正方向。习惯上我们规定 $\dot{E}_1$ 的正方向和 $\dot{i}_1$ 相同，故图 1-1 中 $\dot{E}_1$ 的方向是箭头向下，由 A 指向 X。要注意 $\dot{E}_1$ 的正方向是习惯上的标注，实际当 $\dot{\Phi}$ 增加时，电势的方向应产生削弱磁力线的电流，即实际的 $\dot{E}_1$ 方向此时向上。根据惯

例，数字表示式 $e = -d\Phi/dt$ 前面的负号就是这样得出的。

5) 定 $\dot{E}_2$ 的方向。在二次绕组 ax 中，由于二次绕组与一次绕组绕向一致，故 $\dot{E}_2$ 与 $\dot{E}_1$ 的正方向一样，由 a 指向 x 。

6) 定 $\dot{U}_2$ 的正方向。由 x 指向 a ，即高电位指向低电位。

(2) 电压比。为了讨论方便，假设变压器一、二次侧绕组电阻都等于零；一、二次绕组没有漏磁通，也就是它们是 100% 耦合；铁芯硅钢片磁导率 μ 为无穷大，即铁芯无损耗。这种变压器称为理想变压器，在实际中是不存在的，但它不会影响我们所讨论的问题结论的正确性。因此，在图 1-1 中，根据基尔霍夫第二定律可得

$$U_1 = -E_1 \quad (1-5)$$

当变压器一次侧施加频率为 f 、电压为 U_1 的正弦交流电压时，则铁芯中产生的磁通 Φ 也为正弦交变量，即

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

$$d\Phi = \omega \Phi_m \cos \omega t dt$$

$$\text{由式 (1-1)} \quad e_1 = -N_1 (d\Phi/dt) = -\omega N_1 \Phi_m \cos \omega t$$

$$= \omega N_1 \Phi_m \sin (\omega t - \pi/2) = E_{1m} \sin (\omega t - \pi/2)$$

$$E_1 = E_{1m} / \sqrt{2} = 2\pi f N_1 \Phi_m / \sqrt{2} = 4.44 f N_1 \Phi_m = U_1 \quad (1-6)$$

由式 (1-6) 可知，当 f 和 N_1 一定时，磁通的大小决定于外加电压 $\dot{U}_1$ 。同样，磁通 Φ 在二次侧绕组中也感应电动势 $\dot{E}_2$ ，因理想变压器无漏磁通，故二次侧的端电压 $\dot{U}_2$ 应等于二次侧的感应电动势 $\dot{E}_2$ ，即

$$U_2 = E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_m \quad (1-7)$$

用式 (1-6) 除以式 (1-7)，可得

$$U_1/U_2 = E_1/E_2 = N_1/N_2 = K_u \quad (1-8)$$

式中 K_u ——变压器电压比。

当 $N_1 > N_2$ 时， $K_{PT} > 1$ ，此时 $U_1 > U_2$ ，变压器输出电压比

输入电压低，这样的变压器称为降压变压器。当 $N_1 < N_2$ 时， $K_u < 1$ ，此时 $U_1 < U_2$ ，变压器输出电压比输入电压高，这样的变压器就是升压高压器。

(3) 电流比。当理想变压器二次侧未接负载时，一次侧绕组中只有励磁电流 $\dot{I}_0$ ，铁芯中只有主磁通 Φ_0 。当二次侧接上负载 Z 后，二次回路中即有电流 $\dot{I}_2$ 流通，如图 1-2 所示。 $\dot{I}_2$ 将在铁芯中建立起磁通 Φ_2 ， Φ_2 的方向与 Φ_1 相反，当 Φ_2 穿过一次绕组时，一次绕组便从电源中取得电流 $\dot{I}'_1$ ， $\dot{I}'_1$ 又产生与 Φ_2 相反的磁通 Φ_1 ，由于 $\dot{U}_1$ 不变，铁芯中的磁通总量也保持不变。为使变压器中的电磁关系重新达到平衡状态，显然 $\Phi_1 + \Phi_2 = 0$ ，于是可得到磁路的平衡方程式为

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 &= 0 \\ (\dot{I}_1 - \dot{I}_0) N_1 + \dot{I}_2 N_2 &= 0 \\ \dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 &= \dot{I}_0 N_1 \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

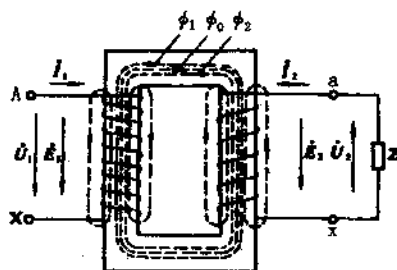


图 1-2 变压器负载运行

从上述分析可知，虽然变压器一次绕组和二次绕组之间并无电的联系，但当二次绕组内电流增加时，由于磁的联系，引起了一次绕组输入电流的相应增加，电能就从一次侧传递到二次侧。也就是说，一、二次侧的电流是紧密相联系的，二次侧绕组电流的增加与减少，必然会引起一次侧电流相应的增加或减少。用