

电力工人技术等级暨职业技能鉴定培训教材

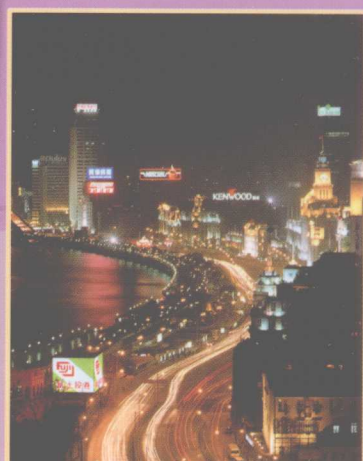
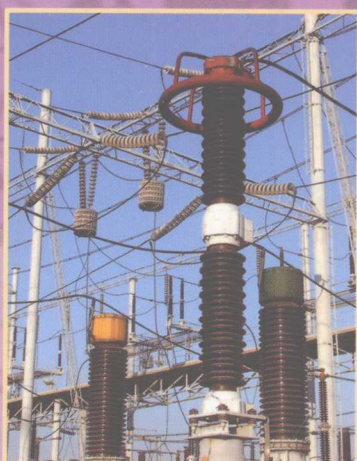
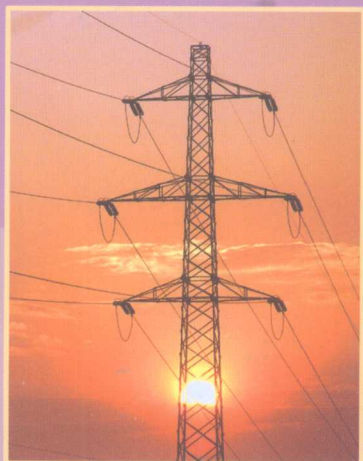
(初、中、高级工及技师、高级技师适用)

总主编 丁毓山 徐义斌

变 电 检 修 工

主 编 王向臣

副主编 徐 伟 程云峰



BIANDIAN JIANXIUGONG

知识

技能

题库



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

电力工人技术等级暨职业技能鉴定培训教材
(初、中、高级工及技师、高级技师适用)

总主编 丁毓山 徐义斌

变 电 检 修 工

主 编 王向臣
副主编 徐 伟 程云峰



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书根据《电力工人技术等级标准》、《中华人民共和国职业技能鉴定规范》、职业技能鉴定指导书及相关专业国家标准、行业标准和岗位规范编写,为《电力工人技术等级暨职业技能鉴定培训教材》之一。

本书共十二章,内容包括:变压器概述、变压器检修、箱式变电站检修、真空断路器检修、SF₆断路器检修、环网供电设备检修、隔离开关和负荷开关检修、送配电线路检修、防雷与接地装置检修、倒闸操作、电气设备检修维护安全技术、带电作业等。为了便于学习和培训,每章后附有大量复习思考题与习题,并附有答案。

本书为岗位及职业技能鉴定培训教材,也可供相关技术人员及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

变电检修工/丁毓山,徐义斌主编;王向臣分册主编.

北京:中国水利水电出版社,2009

电力工人技术等级暨职业技能鉴定培训教材.初、中、高级工及技师、高级技师适用

ISBN 978-7-5084-6327-8

I. 变… II. ①丁…②徐…③王… III. 变电所-检修-技术培训-教材 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 031536 号

书 名	电力工人技术等级暨职业技能鉴定培训教材 (初、中、高级工及技师、高级技师适用) 变电检修工
总 主 编	丁毓山 徐义斌
作 者	主 编 王向臣 副主编 徐 伟 程云峰
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 18.25 印张 433 千字
版 次	2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	39.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

有关电力工人技术等级及电力行业职业技能鉴定的培训教材已出版了很多,例如,由中国电力企业联合会名誉理事长张绍贤作序,原电力工业部副部长张凤祥和赵庆夫题词的《电力工人技术等级培训教材(初、中、高级工适用)》自1996年由中国水利水电出版社出版以来,已修订两次,共印刷了15次,总印数达100万册以上,深受电力系统广大读者的好评。但是,随着电力体制改革的深入,我国电力网正在向大电网、大电厂、超高压和特高压、核电站、高度自动化的方向发展,输电网和配电网正在经历着一次重大的变革。而变革最深、门类最多、面积最广的领域,还在配电网。110kV以下的配电网,在网络设备、接线方案、保护元件、运行方式、管理方法、操作工艺等方面,皆有不同程度的更新。可见,我国电力事业的发展速度是惊人的。面对电力系统这种发展的新形势,以往教材的内容以略显陈旧,特别是有些内容与当代的现实相差较远。为了配合新形势下电力系统人员培训的需要,中国水利水电出版社决定,组织有关专家和培训一线的教师编写这套教材。其编写宗旨是:保证编写质量,反映电力新技术、新设备、新方法,以满足当前电力企业的培训要求。全书包含三方面内容:知识、技能、题库。

为此,总主编聘请了辽宁省电力公司、铁岭电力公司、抚顺电力公司、海城供电公司、沈阳电力公司所属法库农电公司和于洪供电公司、沈阳农业大学信息电气工程学院、华北电力大学、中国农业大学信息电气工程学院、沈阳大学有关专家和教授参与编写。编写的原则是:不要求面面俱到,力求少而精,抓住重点,深入浅出。全书共分十二章,其内容包括:变压器概述,变压器检修,箱式变电站检修,真空断路器检修, SF₆ 断路器检修, 环网供电设备检修, 隔离开关和负荷开关检修, 送配电线路检修, 防雷与接地装置检修, 倒闸操作, 电气设备检修维护安全技术, 带电作业。每章后面皆附有复习思考题与习题, 并附有答案。为了配合教学中使用, 在书中标有(*)者, 适于中级工使用; 标有(**)者, 适于高级工、技师、高级技工使用; 没有标注者适于初级工。

本书编写人员有:王向臣、徐伟、程云峰、周丽、刘宁、冯勃、李奎生、

刘延森、张大勇、龙云、赵博、张斌、刘挺、董洪阳、董崇、宗凉、周鑫、谈文华、叶常容。

参加本书部分编写工作的还有：张强、王卫东、石威杰、贺和平、潘利杰、张娜、石宝香、李新歌、尹建华、苏跃华、刘海龙、李小方、李爱丽、王志玲、李自雄、陈海龙、韩国民、刘力侨、任翠兰、张洋、李翱翔、孙雅欣、李景、赵振国、任芳、吴爽、李勇高、杜涛涛、李启明、郭会霞、霍胜木、李青丽、谢成康、马荣花、张贺丽、薛金梅、李荣芳、孙洋洋、余小冬、丁爱荣、王文举、徐文华、李键、孙运生、王敏州、杨国伟、刘红军、白春东、魏健良、周凤春、董小玫、吕会勤、孙金力、孙建华、孙志红、孙东生、王惊、李丽丽等。

作者虽尽了很大努力，但疏漏之处定然难免，深望广大读者多加批评指正。

作者

2009年3月

目 录

前言

第一章 变压器概述	1
第一节 变压器的分类及工作原理	1
第二节 变压器的额定技术数据	4
第三节 变压器的构造	7
第四节 分接开关与调压变压器	11
复习思考题与习题	14
第二章 变压器检修	17
第一节 特殊结构的变压器	17
第二节 检修的有关规定和要求	25
第三节 变压器芯体的检修	28
第四节 冷却装置的检修	34
第五节 各种辅助装置的检修	36
第六节 变压器的状态检修	39
第七节 三相电力变压器绕组数测试法	45
第八节 变压器中性点接地方式	47
第九节 变压器室通风问题	51
第十节 变压器瓦斯保护动作原因与对策	54
复习思考题与习题	57
第三章 箱式变电站检修	60
第一节 箱式变电站概述	60
第二节 箱变配变、补偿电容的容量确定	62
第三节 箱变的运行	65
第四节 箱变的安装与现存问题	67
第五节 箱式变电站的操作与维护	72
复习思考题与习题	75
第四章 真空断路器检修	77
第一节 真空断路器的基本结构	77
第二节 户内、户外真空断路器	82
第三节 真空断路器机械参数及其调整	88

第四节	真空断路器的检修	91
*第五节	真空断路器拒动处理及巡视要求	98
*第六节	真空断路器的在线检测	99
*第七节	截流过电压产生和对电机产生的危害	101
第八节	真空断路器的应用	105
*第九节	真空断路器的故障分析	108
复习思考题与习题		110
第五章	SF₆ 断路器检修	115
第一节	SF ₆ 气体的特性安全防护	115
第二节	SF ₆ 断路器结构和灭弧原理	118
第三节	检修项目、周期与修前准备	125
*第四节	SF ₆ 断路器检修工艺	127
*第五节	SF ₆ 断路器状态检修	136
*第六节	SF ₆ 在寒冷地区的使用	139
*第七节	SF ₆ 断路器的二次接线	141
复习思考题与习题		143
第六章	环网供电设备检修	148
第一节	概述	148
第二节	有关环网柜的技术要求	151
第三节	RM6、AR6 环网柜	153
*第四节	环网柜的检修操作	156
*第五节	环网柜电缆的连接工艺	158
*第六节	环网柜的应用实例	162
复习思考题与习题		165
第七章	隔离开关和负荷开关检修	167
第一节	隔离开关	167
第二节	隔离开关的检修	169
第三节	SF ₆ 负荷开关在城乡电网中的应用	173
复习思考题与习题		176
第八章	送配电线路检修	180
第一节	送电线路检修	180
第二节	检修作业	184
第三节	检修实例	190
第四节	配电网导线的故障及其防止措施	191
第五节	倒杆、断杆和断横担故障及其防止措施	196
第六节	绝缘子故障及其防止措施	198

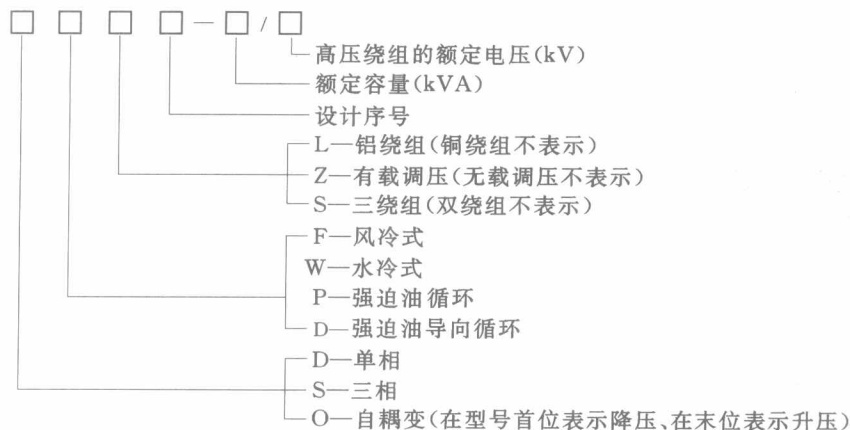
第七节 跌落保险器故障及其防止措施	199
复习思考题与习题	201
第九章 防雷与接地装置检修	204
第一节 雷电	204
第二节 避雷器与避雷针	208
第三节 金属氧化物避雷器的接线分析	215
第四节 金属氧化物避雷器损坏的原因	219
第五节 避雷器的检修	221
第六节 线路的防雷保护	224
第七节 配电变压器及配电设备的防雷保护	225
第八节 变电所的防雷保护	227
第九节 接地	231
复习思考题与习题	234
第十章 倒闸操作	237
第一节 电气设备倒闸操作的内容、程序和制度	237
*第二节 倒闸操作中的安全技术	240
第三节 线路和设备中高压开关和刀闸的操作	244
*第四节 母线、线路的操作	247
第五节 变压器操作	250
**第六节 电源并列解列操作	251
复习思考题与习题	253
第十一章 电气设备检修维护安全技术	256
第一节 电力线路检修、维护安全技术	256
第二节 发电机、调相机、电动机检修安全技术	260
第三节 表计、继电保护与自动装置等的安全事项	261
复习思考题与习题	262
第十二章 带电作业	263
第一节 带电作业的安全距离和绝缘工具的长度	263
第二节 带电作业方法	265
第三节 带电作业工具	271
第四节 带电作业的安全要求	277
复习思考题与习题	280

第一章 变压器概述

第一节 变压器的分类及工作原理

变压器是利用电磁感应原理制成的一种静止的电气设备，它把某一电压等级的交流电能转换成频率相同的另一种或几种电压等级的交流电能。变压器是电力系统中的重要设备，对电能的经济传输、灵活应用和安全使用具有重大意义。目前，大型变压器大多为油浸式变压器，它是由铁芯、绕组、油箱、绝缘套管、出线装置、冷却装置和保护装置等部分组成。

变压器型号及其含义如下：



另外，在型号后加注防护类型代号，TH 为温热带，TA 为干热带。

一、分类

- (1) 变压器按用途可分为电力变压器、特种变压器，诸如电炉变压器、电焊变压器、整流变压器、电压互感器、电流互感器等。
- (2) 按绕组形式可分为双绕组变压器、三绕组变压器、自耦变压器等。
- (3) 按相数可分为单相变压器和三相变压器等。
- (4) 按冷却方式可分为油浸式变压器和干式变压器等。

二、变压器的空载运行和电压变换

变压器主要由铁芯和绕组构成，其工作原理如图 1-1 所示。原绕组（一次绕组） N_1 和副绕组（二次绕组） N_2 放置在环状铁芯上。

当二次绕组开路而一次绕组接到电压为 u_1 的电源上的运行情况，称为空载运行。一次绕组加上电压 u_1 后产生交变的励磁电流，又称为空载电流 i_0 ，空载电流在铁芯中产生交变磁能 Φ_m 。该磁通同时与 N_1 和 N_2 交链，在绕组中产生感应电势 e_1 和 e_2 。感应电势

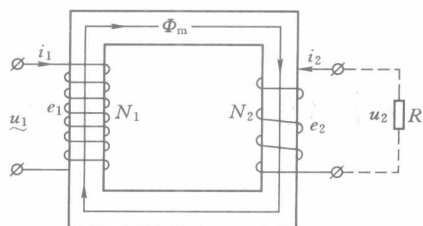


图 1-1 变压器工作原理图

的有效值 E_1 和 E_2 可用下列公式计算

$$E_1 = 4.44fN_1\Phi_m$$

$$E_2 = 4.44fN_2\Phi_m$$

式中 E_1 、 E_2 ——一、二次侧感应电势的有效值，V；

N_1 、 N_2 ——一、二次绕组的匝数；

f ——电源的频率，Hz；

Φ_m ——主磁通的幅值，Wb。

空载运行时，空载电流在一次绕组中产生电压降 $r_1 I_0$ ，这个电压降和一次电压相比是很小的，可忽略不计。因此，一次电压有效值 U_1 和二次绕组中感应电势的有效值 E_1 基本相等；即 $U_1 \approx E_1$ 。

二次绕组由于开路，没有电流，因此二次绕组中感应电势的有效值 E_2 就是空载二次电压的有效值 U_{20} ，即 $E_2 = U_{20}$ 。所以

$$\frac{U_1}{U_{20}} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44fN_1\Phi_m}{4.44fN_2\Phi_m} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

式中 K ——变压器的电压比，简称变比，它近似等于一、二次绕组的匝数比。

因此，只要适当改变变压器一、二次绕组的匝数，就可达到改变电压的目的。变比 $K > 1$ 时，即 $U_1 > U_{20}$ ，为降压变压器； $K < 1$ 时，即 $U_1 < U_{20}$ ，为升压变压器。

三、变压器的负载运行和电流变换

变压器一次绕组加电源电压 u_1 ，二次绕组接负载的工作状态称为负载运行。

负载运行状态下，二次绕组中就有电流 i_2 通过，二次绕组的磁动势 $i_2 N_2$ 也产生磁通。因此，在负载运行状态下铁芯中的主磁通是一个由一、二次绕组的磁动势共同产生的合成磁通。此时，变压器一次绕组中的电流由空载电流 i_0 增大到 i_1 ，以抵偿二次绕组磁势对一次绕组磁势的去磁作用，从而维持主磁通基本不变。

变压器在运行时，传输效率很高，一般可高达 98%~99%。也就是说变压器本身的损耗很小，忽略不计，可认为变压器的输入功率等于输出功率，即

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

式中 I_1 、 I_2 ——一、二次绕组电流的有效值，A。

则有

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

上式说明，一、二次绕组中电流与匝数成反比，即

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{K}$$

四、三相变压器

1. 三相变压器组

三相变压器组是三台单相变压器按某种接线方式连接在一起构成的，用三台单相变压器分别变换各相的电压，变压器的磁路系统各相是独立的，如图 1-2 所示。

由单相变压器构成的三相变压器组，比同容量的三相变压器贵，效率低，占地面积

大。但每台单相变压器的尺寸和运输重量较小，因此便于运输和安装。此外，三相变压器组有一台单相变压器作为备用就可以了，从而也便于检修和提高运行的安全性。所以，在大容量变压器，运输安装困难以及需要备用变压器的情况下，一般都采用三相变压器组。

三相变压器组的容量为三台单相变压器容量之和。

2. 三相变压器

三相三柱式铁芯变压器，一般称为三相芯式变压器，因目前电力系统中一般都采用这种变压器，故简称为三相变压器。

三相变压器的铁芯有三个芯，每个芯柱上都套着一、二次绕组，各相磁路是相互关联的。在对称负荷下运行时，各相电压、电流大小相等，相位彼此相差 120° 。在实际工程上，取三相激磁电流的平均值作为三相变压器的空载电流值。

对于特大型变压器，为了降低其高度，便于运输，将铁芯做成三芯五柱式，即在普通的三相芯式变压器铁芯的两侧加上两个旁轭，而三相绕组仍分别在原来的铁芯上。

三相变压器的工作原理与单相变压器的工作原理一样。变压器铭牌上所标的是额定线电压，额定线电流。其额定容量即三相总容量。

三相变压器的容量越大，其经济指标也越好。但是，大型的三相变压器体积大，本体重，因此受到运输条件的限制。在不受运输和安装条件限制的中、小容量情况下，一般采用三相变压器较经济。

五、三绕组变压器

当用两种不同等级的电压向电力系统或用户供电时，或枢纽变电所需要连接几种不同等级电压的电力系统时，通常采用三绕组变压器。三绕组变压器可以做成单相的变压器组，也可以做成三相变压器，常见的为三相变压器。三绕组变压器每相有高、中、低三个绕组，三个绕组同心地套在一个芯柱上。为绝缘方便起见，高压绕组放在最外边。至于中、低压绕组，根据相互间传递功率较多的两个绕组应靠得近些的原则，用在不同场合的变压器有不同的安排。如用于发电厂的升压变压器，大部分是由低压向高、中压侧传递功率，一般采用中压绕组放在最里边，低压绕组放在中间的方案；如用于变电所的降压变压器，大部分是从高压侧向中、低压侧传递功率，则一般选用低压绕组放在最里边的方案。

三绕组变压器的任意两绕组间按电磁感应定律传递能量，这一点和双绕组变压器没有什么区别。

根据供电的实际需要，三绕组变压器各绕组的容量可以设计的不同。变压器铭牌上的额定容量是指其中最大的一个绕组的容量，一般为一次绕组的额定容量。如果将额定容量作为 100，则按国家标准，我国现在制造的三绕组变压器三个绕组的容量比见表 1-1。

由于三绕组变压器三个绕组的容量可能不同，运行中应注意监视控制任何一侧的负载，其值不应超过该绕组的额定容量，否则有可能在其他两绕组还没有到额定容量时，另一侧绕组就已经过载了。

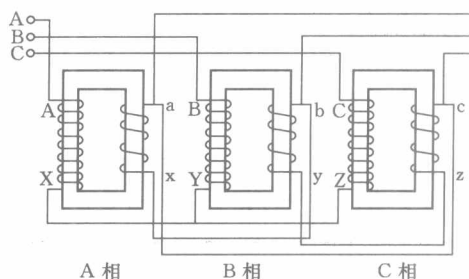


图 1-2 三相变压器组

表 1-1 三绕组变压器容量比

绕 组	一次	二次	三次	备 注
三绕组变压器	100	100	50	国外的一些三绕组变压器二、三次绕组容量比为 66.7（以额定容量百分数表示）
	100	50	100	
	100	100	100	
自耦变压器	100	100	50	

第二节 变压器的额定技术数据

在每台变压器的铭牌上都标定有额定运行情况下的一些技术数据，通常称额定值。额定值是选择和使用变压器时的重要依据。变压器铭牌上标有的数据有型号、额定电压、额定电流、额定容量、阻抗电压、空载电流、空载损耗、短路损耗、温升、接线组别等。

一、型号

变压器的型号由两部分组成：第一部分是汉语拼音组成的符号，用以表示变压器的产品分类、结构特征和用途；第二部分是数字，斜线前表示额定容量（kVA）；斜线后表示高压侧的电压等级（kV）。

二、额定电压

一次额定电压 U_{1N} 指变压器额定运行情况下一次绕组应当施加的工作电压；二次额定电压 U_{2N} 指一次侧加额定电压 U_{1N} 时的二次侧空载电压。额定电压以 kV 为单位。对三相变压器，额定电压指线电压。

为了保证二次侧电压在一定范围内变化，通常变压器的一次绕组设有分接头，用以调整电压。中、小型变压器一般有三个分接头，中间一个接头相当于额定电压，上、下两个分接头相当于额定电压改变 $\pm 5\%$ 。大型变压器一般有六个分接头，相应的电压调整范围为 $\pm 2.5\%$ ， $\pm 5\%$ 。一般变压器均采用无载分接开关，这种分接开关只能在断电情况下调节，称为无载调压。有载调压变压器结构较为复杂，有多个抽头，调压范围宽，可为 $\pm 15\%$ 。

三、额定电流

一、二次额定电流 I_{1N} 、 I_{2N} 是指在额定容量和允许温升条件下，变压器一、二次绕组允许长期通过的工作电流。额定电流以 A 为单位。对三相变压器，额定电流指线电流。其计算方法如下。

额定电流的计算式为：

单相变压器

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} \quad I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}}$$

三相变压器

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}} \quad I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}}$$

式中 S_N ——额定容量，kVA。

四、额定容量 S_N

额定容量 S_N 指按变压器铭牌上规定的额定状态连续运行时，变压器输出的视在功率值，以 kVA 为单位。其计算公式为：

$$\text{单相变压器} \quad S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N}$$

$$\text{三相变压器} \quad S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N}$$

目前，我国电力变压器的容量按新系列组合，有 10kVA、20kVA、30kVA、40kVA、50kVA、63kVA、80kVA、100kVA、125kVA、160kVA、200kVA、250kVA、315kVA、400kVA、500kVA、630kVA、800kVA、1000kVA 等。

五、阻抗电压 U_K (%)

阻抗电压又称短路电压，将变压器的二次绕组短路，缓慢升高一次侧电压，当二次侧的短路电流等于额定值时，一次侧所施加的电压 U_K 称为阻抗电压。在铭牌上通常以其占一次侧额定电压的百分数表示，即

$$U_K(\%) = \frac{U_K}{U_{1N}} \times 100\%$$

阻抗电压是变压器的一个重要技术参数，对变压器的并列运行、突然短路的研究有重要意义。

六、空载电流 I_0 (%)

空载电流又称励磁电流，当变压器一次侧加额定电压，二次侧空载时，一次绕组中所通过的电流称为空载电流。一般以其占一次侧额定电流的百分数表示，即

$$I_0(\%) = \frac{I_0}{I_{1N}} \times 100\%$$

空载电流也是变压器的一个重要技术参数。空载电流与变压器容量和铁芯的材料有关。容量越大的变压器，空载电流的百分数 I_0 (%) 越小；同等容量的变压器，空载电流百分数越小，说明铁芯的材质越好。

七、空载损耗 ΔP_0

变压器二次侧空载，一次侧加额定电压时所产生的损耗称为空载损耗 ΔP_0 ，以 kW 为单位。变压器空载时，一次侧铜损非常小，可忽略不计，所以空载损耗近似等于铁损。

空载损耗的大小除与电压有关，还与电源的频率，硅钢片的性质、厚度和制造工艺有关。变压器正常工作时，电源电压及其频率基本不变，因此空载损耗也基本不变，所以空载损耗又称为固定损耗。

八、短路损耗 ΔP_K

把变压器的二次绕组短路，在一次绕组额定分接头位置上通入额定电流时，变压器所消耗的功率称为短路损耗 ΔP_K ，以 kW 为单位。变压器短路实验时，外施电压很低，故铁芯磁通密度很小，铁损可忽略不计，因此短路损耗可近似认为等于一、二次绕组的铜损。由于铜损是一、二次绕组中流过的电流产生的，一、二次电流与负载大小有关，负载变化时铜损也要相应的变化，因此短路损耗又称为可变损耗。

九、三相变压器的连接组别

三相变压器的铁芯有三个铁芯柱，每相的高、低绕组同心的套在一个芯柱上，相当于三台单相变压器。三相高压绕组的首端和末端分别用 A、B、C 和 X、Y、Z 标记，三相低压绕组的首端和末端分别用 a、b、c 和 x、y、z 标记。

三相变压器中，无论一、二次绕组，主要采用两种连接方法：

(1) 星形连接或 Y 接。把三相绕组的末端 X、Y、Z 连接成一点，即中性点 O，而把它们的三个首端 A、B、C 分别引出，便是星形连接，用 Y 表示，如图 1-3 (a) 所示。若将 Y 接的中性点引出接地，则称为引出中性线的星形接法，用 YN 表示。

(2) 三角形连接或 D 接。把一相绕组的首端和另一相绕组的末端连接在一起，顺次连成一闭合回路，将 A、B、C 引出，便是三角形连接，用 D 表示，如图 1-3 (b)、(c) 所示。

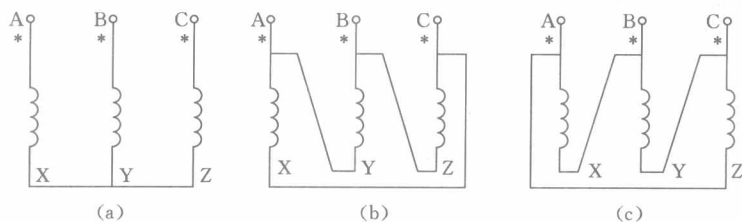


图 1-3 三相变压器绕组的各种接法

(a) 星形连接；(b)、(c) 三角形连接

将一、二次绕组分别按 Y、YN、D 接法进行配合，可形成多种连接方式。在我国，变压器的连接组别高压侧一般都是 Y 接。这是因为在同样的线电压下，Y 接的相电压是 D 接的相电压的 $1/\sqrt{3}$ ，匝数也相应为 D 接的 $1/\sqrt{3}$ 。故匝间绝缘 Y 接比 D 接的要求偏低、占空间也小，同时匝数也少，绕起来省工，成本也低。而低压侧由于电压低，在绝缘方面的矛盾就不那么突出，有时大容量变压器低压侧电流很大，采用 D 接，在同样的线电流时，可以使相电流为 Y 接的相电流的 $1/\sqrt{3}$ ，绕组导线截面就小，绕起来方便。

因此，我国最常见的连接组别有 Y，yn0；Y，d11 和 YN，d11 等。其中“，”左边表示高压，“，”右边表示低压，数字表示连接组号。

连接组号表示的是一次侧和二次侧电势相量的相位关系。为了形象地表示一次侧和二次侧电势相量的相位关系，采用所谓时钟表示法，就是把高压绕组的电压相量看成时钟的长针，低压绕组的电压相量看成时钟的短针，把长针指向 12，看短针指在哪个数字上，这个数字即连接组号。

下面介绍这三种连接组别。

1. Y，yn0 连接组

Y，yn0 连接的三相变压器，高、低压侧线电压同相，如图 1-4 所示，相当于时钟的长针、短针都指向“12”，即 12 点钟的位置，所以记作 Y，yn0 连接组。

Y，yn0 连接组一般用于容量不大（不超过 1600kVA）的配电变压器和所用小容量变压器，供给动力和照明负载。三相动力接 380V 线电压，照明负载接 220V 相电压。

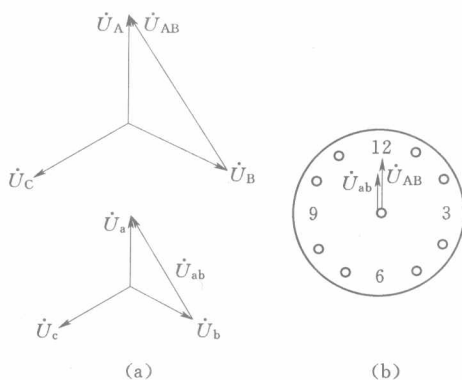


图 1-4 Y, yn_0 连接组相量图和钟向图
(a) 相量图; (b) 钟向图

2. Y, d11 连接组

Y, d11 连接的三相变压器, 高压侧绕组作星形连接, 而低压侧绕组为三角形连接。这样, 低压侧线电压相位上滞后于高压侧线电压, 如图 1-5 所示, 长、短针相当于时钟“11”点的位置, 所以记作 Y, d11 连接组。

Y, d11 连接组一般用于中容量, 电压为 10kV 或 35kV 电网及电厂中较大容量的厂用变压器。

3. YN, d11 连接组

YN, d11 连接组的接法和 Y, d11 连接组的接法一样, 不同的是高压侧绕组采用引出中性线的星形接法, 且中性线接地。这种接线一般用于 110kV 及以上的电力系统中。

十、温升

额定温升是指变压器在额定运行情况下, 变压器指定部位 (绕组或上层油面) 的温度与标准环境温度 (一般为 40°C) 之差。在每一台变压器的铭牌上都规定了其温升的限值。国家标准规定, 当变压器安装地点的海拔不超过 1000m 时, 绕组温升的限值为 65°C ; 上层油面的温升限值为 55°C 。因此, 周围环境最高温度不超过 40°C 时, 变压器上层油面最高温度不应超过 95°C 。为保证变压器油和绝缘在长期使用条件下不致迅速老化, 上层油温不宜经常超过 85°C 。

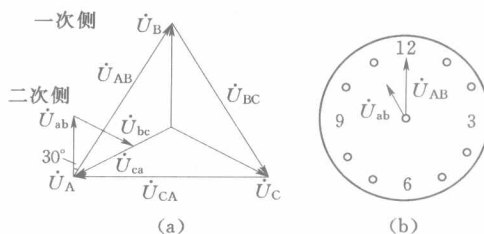


图 1-5 三相变压器的 Y, d11 接线相量图
(a) 相量图; (b) 用时钟表示一、二次线电压有 30° 的相位差图

第三节 变压器的构造

变压器的结构如图 1-6 所示, 主要由下述各部分组成。

一、芯体

其中包括铁芯、绕组、绝缘、引线、分接开关等部件。

二、油箱

包括油箱本体 (箱盖、箱壁、箱底、钟罩下节油箱等) 及附性 (放油阀门、油样阀门、小车、接地螺栓、铭牌等。)

三、冷却装置

包括散热器或冷却器。

四、保护装置

包括油枕、油表、防爆管、呼吸器、测温元件、热虹吸（净油器）、瓦斯继电器等。

五、出线装置

包括高、中、低压套管等。

六、绝缘套管

变压器绕组的引出线从油箱内穿过油箱盖时，必须经过绝缘套管，以使带电的引线和接地的油箱绝缘。绝缘套管一般是磁质的，它的主要结构取决于电压等级。下面介绍目前广泛使用的几种绝缘套管。

1. 10kV 瓷套管

10kV 以下的引出套管为单体瓷质绝缘套管，如图 1-7 所示。瓷套内穿过一根导电的铜杆，该铜杆与空气和瓷套绝缘。

2. 60kV 的瓷套管

60kV 及以下采用瓷质充油式绝缘套

管，如图 1-8 所示。该套管的导电杆与瓷套间充油绝缘，故套管与变压器箱体相通。因为油枕中的油面高于套管顶部，因此，套管顶部以及套管与箱盖的接合处处皆有橡胶密封垫圈，以防止渗漏油。套管的顶端有一放气螺孔，变压器安装或大修后，必须将该螺孔打开，待油溢出后，将套管内空气排净。再拧紧堵塞螺钉，以防套管内存有空气，在强电场作用下而击穿。

3. 电容式套管

110kV 全密封油浸纸质电容式套管如图 1-9 所示。这种套管的铜制芯管上包有铝箔和绝缘纸，其分层缠成线垂形。套管内注变压器或电缆油，形成自身的密封体，不与变压器箱体相通。套管内部装有供测量和保护用的电流互感器，110kV 及以上的出线均采用这种类型的套管，其优点是体积小、重量轻。

七、油箱和变压器油

油箱是油浸式变压器的外壳，变压器的器身置于油箱的内部，箱内注满变压器油。油箱分箱盖、箱体、箱底三部分。

中、小型变压器多制成箱式，即将箱壁与箱底焊接成一个整体，器身置于箱中。检修时，需要将器身从油箱中吊出。

大型变压器油箱皆制成钟罩式，即将箱盖和箱体制成一体，罩在铁芯和绕组上。这将

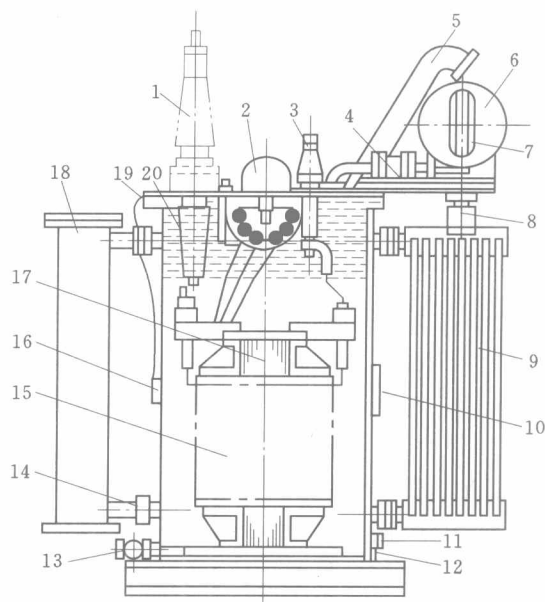


图 1-6 变压器结构图

- 1—高压套管；2—分接开关；3—低压套管；4—瓦斯继电器；5—防爆管；6—油枕；7—油位表；8—呼吸器；9—散热器；10—铭牌；11—接地螺栓；12—油样阀门；13—放油阀门；14—阀门；15—绕组；16—信号温度计；17—铁芯；18—净油器；19—油箱；20—变压器油

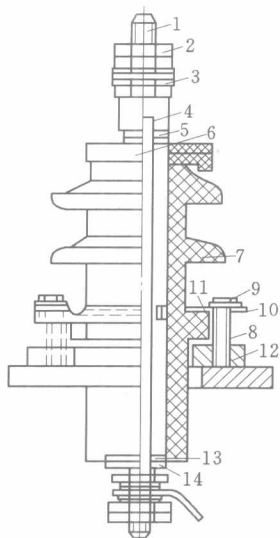


图 1-7 10kV 单体瓷套管
1—导电杆；2—螺帽；3—垫圈；
4—铜杆；5—衬垫；6—磁盖；
7—磁伞；8—螺杆；9—螺帽；
10—夹持法兰；11—压钉；
12—钢板；13—绝缘垫圈；
14—铜垫圈

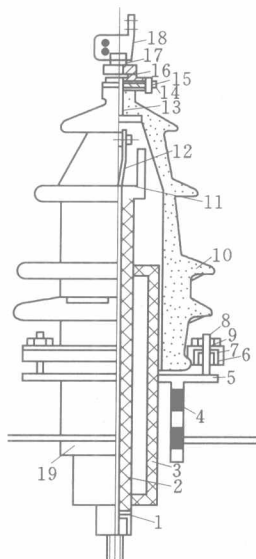


图 1-8 60kV 瓷质充油式瓷套管
1—均压球；2—导电杆绝缘；3—绝缘
筒；4—升压座；5—密封垫圈；6、7—
压圈；8—螺杆；9—螺帽；10—磁伞；
11—绝缘筒；12—引线接头；13—导
电杆；14—密封垫圈；15—塞子；
16—封环；17—螺帽；18—接线
端子；19—均压环

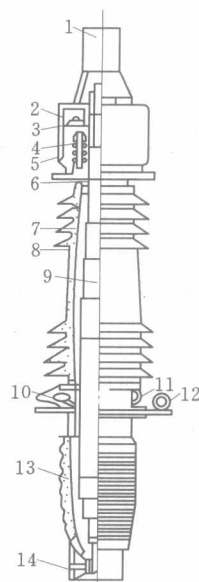


图 1-9 电容式套管
1—接线端子；2—均压罩；3—压圈；
4—螺杆及弹簧；5—储油器；6—密
封垫圈；7—上磁套；8—绝缘油；
9—电容芯子；10—接地套管；
11—取油样塞子；12—中间
法兰；13—下磁套；
14—均压球

为检修提供方便，检修时只需把钟罩吊起，器身则显露出来，这要比吊起沉重的铁芯方便得多。近年来，10000kVA 以上的电力变压器多制成钟罩式。

变压器油既起冷却作用，又加强绝缘。变压器油的主要指标是绝缘强度、黏度、酸价、闪点、凝固点、水溶性酸等。

变压器油要求十分纯净，不含杂质，如酸、碱、硫、水分、灰尘、纤维等。即使其中含有少量的水分，也将使其绝缘强度大大降低，同时水分将腐蚀金属，降低散热能力。故要求油面应避免与空气接触，以防止受潮和氧化，降低绝缘和散热能力。因此，为了油箱的安全，需设有一些保护装置：油枕、呼吸器和防爆管等。油枕、呼吸器和防爆管的作用分别介绍如下。

1. 油枕的作用

变压器在运行中，因铁芯和绕组发热，会使油温增加，油的体积膨胀，将使油箱受到很大的压力。如果不设油枕，油将不能注满油箱，因此，必须留有足够的空间，以供油膨胀之用。由于箱体的截面很大，当变压器负荷降低时，油温下降，体积缩小，油面将会与大面积的空气接触，如不设置油枕，势必会加速油的吸潮和氧化。设置油枕之后，为变压器油提供了一个膨胀室，缩小了油与空气的接触面积，可大为延缓油吸潮和氧化的速度，且可防止因油膨胀导致箱体受高压而产生爆炸。