

农村电气设备故障排除及检修丛书

WONGUEN

DIANQISHEBEI GUZHANG PAICHU JI

JIANXIU CONGSHU



变 压 器

陈家斌 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

农村电气设备故障排除及检修丛书

变 压 器

陈家斌 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书共分 10 章。分别介绍了变压器的基本结构和运行维护,故障判断和检修方案的制订,运行中的异常和故障处理,铁芯故障排除实例,绕组故障排除实例,分接开关故障排除实例,变压器油的故障诊断,渗漏油及其他故障排除实例,配电变压器雷击故障原因和排除实例,变压器故障在线诊断等内容。

本书可以作为从事中低压变压器运行、维护、检修的工程技术人员培训教材,也可供相关学校学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

变压器/陈家斌编. - 北京: 中国电力出版社, 2002

(农村电气设备故障排除及检修丛书)

ISBN 7-5083-0520-5

I. 变… II. 陈… III. 变压器-检修 IV. TM407

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 056450 号

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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 1 月第一版 2003 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 14.75 印张 327 千字

印数 0001—3000 册 定价 24.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

随着改革开放的不断深入和农村经济的蓬勃发展，以及近三年来国家投入巨额资金进行农村电网建设与改造工程，我国农村电力事业取得了令人瞩目的成就。农村用电水平大幅度提高，农村电网装备水平和健康状况明显改善，供电可靠性和供电质量显著提高，农村电力管理中长期存在的乱加价和乱收费问题，从根本上得以遏制。农电事业的长足发展，不仅有效地改善了农村生活条件，推动了农村经济振兴，而且对促进农村两个文明建设发挥了重要作用。

为了适应农村电气化事业迅猛发展的需要，如何尽快提高全国一百多万农电职工队伍的科技素质和业务水平，是摆在我们面前极为紧迫而严肃的课题。

为了满足广大农电职工学习和培训的需要，中国电力出版社组织出版了这套《农村电气设备故障排除及检修丛书》（共八分册）。这套丛书的作者都来自农电生产第一线，具有较好的理论基础和较丰富的实践经验，他们根据农村电气设备维护和检修中最常见的实际问题，编写了这套丛书。

这套丛书有如下特点：一是涵盖面较宽。全套丛书共八册，内容包括变压器、电动机、配电线路、高压电器、低压电器、电工仪表、漏电保护器、电力通信。二是内容简明扼要，通俗易懂。书中尽量避免系统的理论分析和繁琐的公式推导，深入浅出，简洁直观地阐述有关概念、原理、结构、性能。三是实用性

较强。全书本着以实际应用为出发点和归宿的原则，结合国家技术标准和电工应知应会要求，进行选材组稿，在阐述理论概念和原理性能的同时，着力介绍运行维护、检修及排除故障的知识、方法和技能，并列举有关分析、排除故障实例。

这套丛书可作为农村电工及乡镇企业电工的培训读物，也可供农电管理人员及电力企业运行维护和检修人员阅读。

为保证丛书的质量，中国电力出版社专门组织有关专家对丛书进行了审定。值此丛书即将付梓之际，谨对所有在丛书编辑出版过程中付出辛勤劳动的同志表示衷心的感谢。

我们深信，这套丛书的出版必将对广大农村电工学习、培训有所裨益。

万千云

二〇〇二年三月

前言

随着社会的进步，农村电气化得到飞速发展，乡镇企业电气化，家用电气化，使供电量不断增长，各种电力变压器得到日益广泛的应用。变压器的科学选用，经济、安全稳定地运行及维护修理任务日益增多，广大农村从事变压器运行维护和修理的电工，急需有关常用变压器故障诊断与维修方面的参考读物。为此，我们组织一些长期在农电战线上工作多年，具有极其丰富的实际工作经验的高级工程师，给广大农村电工编写了本书。

本书系统地、全面地介绍了常用 10~35kV 变压器故障产生的原因，诊断与处理方法及修理经验。本书以大量的变压器故障实例介绍查找、处理故障的全过程，以便于电工在实际工作中减少排除故障的时间，提高专业技术素质及工作效率，增大供电可靠性，增加企业和社会的效益。

本书所选写的内容都是从实践中收集总结的，实用性强。分析判断故障，以理论联系实际，由浅入深进行。可作为电工对变压器故障分析处理的参考书。

由于作者知识面有限，书中定有不妥之处，恳请读者、专家给予指正。

编者

2001 年 5 月

序言

前言

第一章 变压器的基本结构和运行维护 1

第一节 变压器的原理和结构 1

第二节 变压器投入运行前的检查 13

第三节 变压器运行方式 20

第四节 变压器的运行和维护 28

第五节 变压器火灾预防 34

第二章 变压器的故障判断方法和检修方案制订 ... 55

第一节 利用人的感官判断变压器故障 55

第二节 利用变压器保护装置判断故障 59

第三节 利用仪器仪表诊断故障 62

第四节 变压器的故障原因和种类 64

第五节 变压器故障检修方案的制定 80

第三章 变压器运行中的异常和故障处理 91

第一节 变压器运行中异常情况检查及处理 91

第二节 气体继电器保护动作原因及处理
方法 101

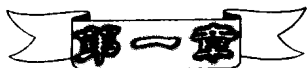
第三节 变压器差动保护动作跳闸的原因
及处理 117

第四节 变压器后备保护动作跳闸的处理 121

第五节 变压器冷却系统故障的处理 124

第六节	变压器有载调压分接开关运行中的故障处理	128
第七节	配电变压器运行中熔丝熔断故障处理	131
第四章	变压器铁芯故障排除实例	133
第一节	变压器铁芯多点接地故障的排除方法	133
第二节	铁芯多点接地故障排除实例	142
第三节	变压器铁芯其他故障排除实例	157
第五章	变压器绕组故障排除实例	169
第一节	绕组故障类别和检测	169
第二节	变压器绕组直流电阻不平衡故障原因及排除实例	175
第三节	绕组短路故障排除实例	184
第四节	接线错误引起的故障及排除实例	199
第五节	绕组的其他故障排除实例	211
第六章	变压器分接开关故障排除实例	233
第一节	无励磁分接开关的维护和常见故障修理	233
第二节	无励磁分接开关故障排除实例	241
第三节	变压器有载分接开关的结构和运行维护	255
第四节	有载分接开关的故障排除实例	268
第七章	变压器油的故障诊断	285
第一节	变压器绝缘等级分类及老化鉴别方法	285
第二节	变压器油绝缘老化诊断	291
第三节	变压器油介质损耗因数异常及处理	

方法	294
第四节 变压器受潮故障处理	301
第八章 变压器渗漏油及其他故障排除实例	309
第一节 变压器渗漏油的原因和排除实例	309
第二节 变压器喷油故障排除实例	328
第三节 变压器过热故障排除实例	342
第四节 变压器其他故障排除实例	361
第九章 配电变压器雷击故障原因和排除实例	400
第一节 配电变压器雷击故障原因	400
第二节 配电变压器的防雷击措施	408
第三节 雷击变压器故障维修实例	420
第十章 变压器故障在线诊断	425
第一节 电力设备故障和维修	425
第二节 变压器绝缘在线诊断	432
第三节 电力设备故障红外诊断原理和技术 特点	435
第四节 变压器故障红外诊断仪器及选配	440
第五节 变压器故障红外诊断及实例	450
第六节 在线诊断经济效益分析	462



变压器的基本结构和运行维护

第一节 变压器的原理和结构

一、变压器的用途

变压器是利用电磁感应，以相同的频率，在两个或更多的绕组之间变换电压或电流的一种静止电气设备。

从电厂发出的电能，要经过很长的输电线路输送给远方的用户，为了减少输电线路上的电能损耗，必须采用高压或超高压输送。而目前一般发电厂发出的电压，由于受绝缘水平的限制，电压不能太高，这就要将电厂发出的电能电压经过变压器进行升高送到电力网。这种变压器统称升压电力变压器。

对各用户来说，为了安全和经济，各种用电设备所要求的电压又不太高。因此，也要经过变压器将电力系统的高电压变成符合用户各种电气设备要求的额定电压，作为这种用途的变压器统称降压电力变压器。

电力变压器是电力系统中用以改变电压的主要电气设备。

从电力系统的角度来看，一个电力网将许多发电厂和用户联在一起，分成主系统和若干个分系统。各个分系统的电压并不一定相同，而主系统必须是统一的一种电压等级，这也需要各种规格和容量的变压器来连接各个系统。所以说电

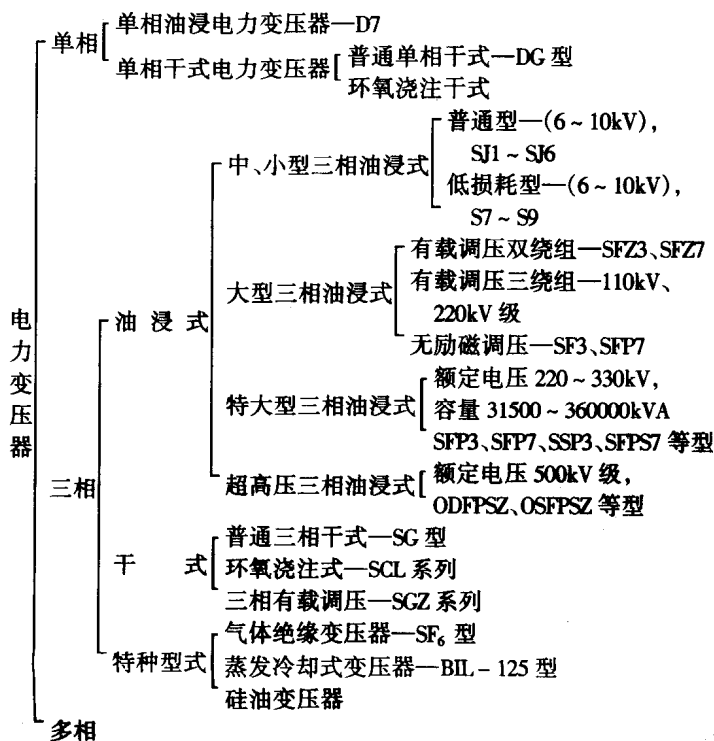
力变压器是电力系统中不可缺少的一种电气设备。

其他类型的变压器,如整流变压器、电炉变压器、各类调压器、互感器、电抗器等,虽然结构形式各有所异,其具体作用也有所不同,但其宏观用途仍是用以变换电压或电流的。

二、变压器的分类

变压器有不同的使用条件、安装场所,有不同的电压等级和容量级别,有不同的结构形式和冷却方式,所以应按不同原则进行分类。

(1) 按电源输出相数分:



- 1) 单相变压器;
- 2) 三相变压器;
- 3) 多相变压器。
- (2) 按冷却方式分:
 - 1) 干式(自冷)变压器;
 - 2) 油浸自冷变压器;
 - 3) 油浸水冷或风冷变压器;
 - 4) 氟化物(蒸发冷却)变压器。
- (3) 按绕组结构分:
 - 1) 单绕组变压器;
 - 2) 双绕组变压器;
 - 3) 三绕组变压器;
 - 4) 多绕组变压器。
- (4) 按铁芯结构分:
 - 1) 心式铁芯变压器;
 - 2) 壳式铁芯变压器;
 - 3) C型、T型及环形铁芯变压器。
- (5) 按防潮方式分:
 - 1) 开启式变压器;
 - 2) 密封式变压器;
 - 3) 全密封式变压器。
- (6) 按用途分:
 - 1) 电力变压器;
 - 2) 电炉变压器;
 - 3) 整流变压器;
 - 4) 调压变压器;
 - 5) 各种小型电源变压器;

6) 各种特殊用途变压器, 如试验变压器、焊接变压器等。

(7) 按调压方式分: 可分为无载调压变压器及有载调压变压器两类。

(8) 按中心点绝缘分: 可分为全绝缘变压器及半绝缘变压器。

电力变压器按用途还可分为升压、降压、配电和联络变压器。通常以其特征来分类, 所以变压器型号可把所有特征均表达出来, 并标出额定容量和高压绕组电压等级, 见图 1-1。

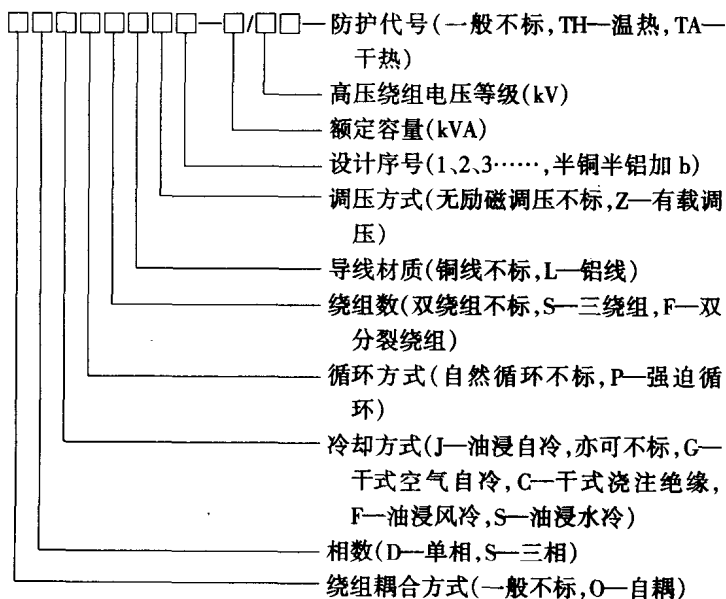


图 1-1 电力变压器产品型号的表示方法

三、变压器的运行原理

不论是单相还是三相电力变压器, 在其磁路构成的铁芯

柱上，分别装有一次绕组及二次绕组。通常将接于电源侧的绕组称为一次绕组，将负载侧的绕组称为二次绕组。根据电磁感应定律，当变压器一次绕组接入电源时，交流电源电压就在一次绕组中产生一个励磁电流，励磁电流由铁芯中感应出变化的磁通，称为主磁通。主磁通以铁芯为闭合回路，既穿过一次绕组又穿过二次绕组。于是，在二次绕组中感应出交变电动势。如果二次绕组输出端接入负载，就会在负载中流过交流电流。

根据电磁感应原理，变压器一、二次绕组中产生的感应电动势分别为

$$E_1 = 4.44 f_1 N_1 B_m S \times 10^{-4}$$

$$E_2 = 4.44 f_1 N_2 B_m S \times 10^{-4}$$

式中 B_m ——铁芯中最大的磁通密度，T；

S ——铁芯截面积， cm^2 ；

f ——电源频率，Hz 工频频率为 50Hz；

N_1 ——一次绕组匝数，匝；

N_2 ——二次绕组匝数，匝。

将上两式相比得

$$E_1/E_2 = N_1/N_2$$

由此可见，变压器一、二次电动势之比等于一、二次绕组匝数之比。由于变压器绕组有阻抗，即一次电压 U_1 略大于 E_1 ，而二次电压 U_2 略小于 E_2 。如忽略阻抗压降，则有

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

这个关系式说明变压器一、二次电压之比近似等于一、二次绕组匝数之比。这个比值称为变压器的电压比。

变压器通过电磁耦合关系，将一次侧的电能传输到二次侧去，如忽略漏磁因素，即变压器本身损耗忽略不计，那么，向变压器输入的功率就等于变压器向负载输出的功率，即

$$U_2 I_2 = U_1 I_1 \text{ 或 } I_1 / I_2 = U_2 / U_1$$

所以

$$I_1 / I_2 = N_2 / N_1$$

说明变压器一、二次电流与一、二次绕组匝数成反比。

实际上变压器在运行中有铁损、铜损等损耗产生，正因为如此，变压器在运行中会产生热量。

四、变压器的结构

三相油浸电力变压器，由三相一、二次绕组，铁芯，油箱，底座，高低压套管，引线，散热器（或冷却器），净油器，储油柜，气体继电器，安全气道，分接开关，温度计等组件和附件所构成，如图 1-2 所示。

（一）铁芯及夹件

电力变压器铁芯由硅钢片（带）经剪切成为一定尺寸的铁芯片，按一定叠压系数叠压而成。对于老式变压器（如 SJ 系列等），铁芯要经穿心螺杆紧固，外加铁或木制夹件夹紧；对于 S7 ~ S9 系列中小型及其他大型低损耗变压器，其铁芯为全斜接缝铁芯，铁芯片叠成心柱后，不用穿心螺杆紧固，而采用无纬玻璃丝带绑扎，再经金属夹件夹紧。图 1-3 是电力变压器铁芯片叠积图。

（二）绕组分类

三相电力变压器绕组是由一次绕组、二次绕组、对地绝缘层（主绝缘）、一、二次绕组之间绝缘及由燕尾垫块、撑条构成的油道（油浸式变压器）或气道（干式变压器）、高压和低压引线构成。

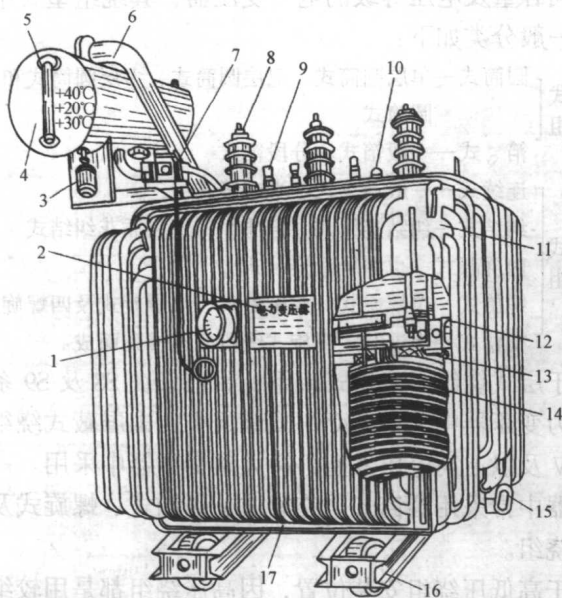


图 1-2 中小型油浸式电力变压器

1—信号式温度计；2—铭牌；3—吸湿器；4—储油柜；5—油位计；6—安全气道；7—气体继电器；8—高压套管；9—低压套管；10—分接开关；11—油箱；12—铁芯；13—引线；14—绕组及绝缘；15—放油阀门；16—小车；17—接地螺栓

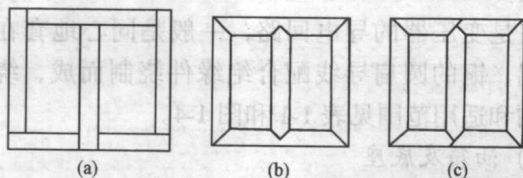
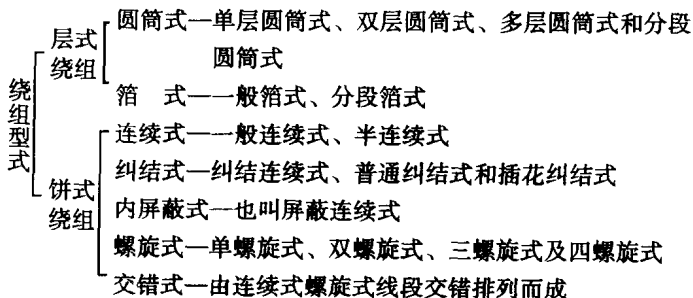


图 1-3 电力变压器铁芯片叠积图

(a) 老型号铁芯片叠积图；(b) 低损耗全斜接不断铁芯片叠积图；

(c) 低损耗全斜接断铁芯片叠积图

不同容量及电压等级的电力变压器，其绕组型式结构不一样。一般分类如下：



对于层式绕组类的箔式绕组，目前仅在 S8 及 S9 系列低损耗电力变压器中采用；而饼式绕组类的内屏蔽式绕组也只在 110kV 及以上高电压大型、特大型变压器中采用。一般电力变压器中常采用圆筒式、连续式、纠结式、螺旋式及交错式五种绕组。

关于高低压绕组安装位置，因高压绕组都是用较细的导线绕成匝数较多的绕组，为便于抽头引出，通常将高压绕组放在外侧，作为一次绕组；低压绕组则放在靠近铁芯的里侧，由于电压低，便于和铁芯间对地绝缘的布置。当然，大型三相电力变压器则大多相反，即低压绕组在外侧，高压绕组在里层。

绕组是变压器的导电回路，一般是同心地套在铁芯柱上，由铝、铜的圆扁导线配合绝缘件绕制而成，绕组的型式、结构和适用范围见表 1-1 和图 1-4。

(三) 油箱及底座

油箱和底座是油浸变压器的支持部件，它们支持着器身和所有附件。油箱里装有绝缘和冷却用的变压器油。油箱是用钢板加工制成的容器，要求机械强度高、变形小、焊接处