

# 新型电力变压器 结构原理及常见故障处理

刘勇 侯向红 杨诚 李洪彬 等编著

# 新型电力变压器 结构原理及常见故障处理

刘 勇 侯向红 杨 诚 李洪彬 等 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书以目前正在电力系统中应用的新型变压器及其附件作为讨论对象,结合一线员工多年变压器检修现场实践经验,主要包括:变压器工作原理及基本结构,以及油浸式有载分接开关、电动机构、变压器套管、变压器储油柜、气体继电器、压力释放阀、变压器油泵、风冷控制箱的结构、工作原理和常见问题处理,书中每章都有典型的故障案例分析,供读者学习、参考。

本书适合从事变压器运行与检修专业的现场技术人员学习使用,特别适合变压器检修岗位人员作为培训教材,也可供相关专业的师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

新型电力变压器结构原理及常见故障处理/刘勇等编著. —北京:  
中国电力出版社, 2014.9  
ISBN 978-7-5123-5809-6

I. ①新… II. ①刘… III. ①电力变压器—结构②电力变压器—变  
压器故障—故障修复 IV. ①TM41

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第083159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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2014年9月第一版 2014年9月北京第一次印刷  
700毫米×1000毫米 16开本 9.75印张 196千字  
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

## 序

近日，欣闻此书即将出版，我倍感高兴。此书从编写到正式出版历时4年，而书中所有的数据积累都在20年以上，可以说，饱涵了几代电网人的心血。

企业的主体是人，每一名员工既是企业的建设者也是文化的传播者。国网沧州供电公司一向注重员工文化积累沉淀，为员工广泛搭建成长成才平台，培养了一批善于解决现场难题的技术能手，打造了一支“肯思考、善总结”的文武全才员工队伍，营造出了人心思进的良好氛围。

这本书的作者，全部来自于国网沧州供电公司最普通的基层班组。他们中，既有我的老师傅、老同事，也有新入职的大学生、研究生。我尤为感动的是两位即将退休的老师傅，毫无保留的将几十年的工作经验贡献出来，以帮助更多的员工成长和积淀。我相信，这本书能够成功出版，依靠的正是沧州公司多年的文化引导以及广大一线员工热爱岗位、恪尽职守、团结协作的敬业精神。

本书以变压器检修工人多年来口口相传的专业技巧为蓝本，将近二十年现场所取得的工作经验、成果加以总结、整理并公开出版，是一件很有意义的事情。我们从中不仅可以看到一线工人通过自己的智慧，巧妙地将现场宝贵经验转化成图文并茂、通俗易懂的专业宝典；更折射出沧州公司坚持以人为本，广搭平台，最大程度地激发员工干事创业的激情和热情，实现企业与员工共同发展的良好景象。

打开这本书，希望会对您“开卷有益”。借此篇幅，我也衷心祝愿国网沧州供电公司的一线员工继续发扬这种艰苦奋斗的拼搏精神、争创一流的进取精神、勇于创新的开拓精神，再接再厉，持续进步，不断创造新业绩、新成果、新经验，为加速沧州经济社会发展、建设和谐美丽新沧州做出新的贡献。

王光辉

# 前 言

电力变压器是电力系统中最关键的设备之一，它承担着电压变换、电能分配和传输的任务，并提供各种电力服务。因此，变压器正常运行是对电力系统安全、可靠、优质、经济运行的重要保证，必须最大限度地防止和减少变压器故障和事故的发生。

编者立足于现场实际和岗位技能提高的需要，搜集了大量的现场技术资料，征求同行专家意见，并结合一线员工多年变压器检修的现场实际经验，不断改进和完善，总结归纳了大型电力变压器相关知识点。本书凝聚了一线员工的智慧，并对工作中出现的典型案例进行了分析，旨在为相关的技术人员提供变压器结构原理和事故分析的全面认识和参考。

本书共分九章，介绍了变压器工作原理及基本结构、油浸式有载分接开关、电动结构、变压器套管、变压器储油柜、气体继电器、压力释放阀、变压器油泵、风冷控制箱的专业知识，除了介绍各设备的结构和工作原理之外，本书每章都有常见问题处理及典型案例分析，体现了理论与实际紧密结合的鲜明特点，特别适合变压器检修岗位人员的检修和培训。

本书由刘勇、侯向红、杨诚、李洪彬、冯学宽、王建杰、于汶琦、崔银、邵洪林、韩奉辰、李涛、马静、王蒙、张登坤、叶治坤、赵志廉、吕润正共同编写而成，同时本书在编写的过程中，还得到了国网沧州供电公司高红梅总工程师的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者经验和理论水平有限，时间仓促，书中难免出现疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

序  
前言

<b>第 1 章 变压器工作原理及基本结构</b> .....	1
1.1 变压器概述.....	1
1.2 变压器的工作原理.....	2
1.3 变压器的基本结构.....	3
1.4 变压器常见问题处理及典型案例分析.....	9
<b>第 2 章 油浸式有载分接开关</b> .....	13
2.1 有载分接开关概述.....	13
2.2 CM 型有载分接开关.....	13
2.3 CV 型有载分接开关.....	40
2.4 ABB 有载分接开关.....	52
2.5 有载分接开关常见问题处理及典型案例分析.....	60
<b>第 3 章 电动机构</b> .....	64
3.1 电动机构概述.....	64
3.2 CMA7 型电动机构.....	65
3.3 CMA9 型电动机构.....	73
3.4 ED 型电动机构.....	77
3.5 SHM— I 型电动机构.....	79
3.6 ABB 的电动机构.....	83
3.7 电动机构常见问题处理及典型案例分析.....	93
<b>第 4 章 变压器套管</b> .....	95
4.1 变压器套管概述.....	95
4.2 南京电瓷总厂生产油纸电容式套管.....	95
4.3 西安西电高压电瓷有限责任公司生产油纸电容式套管.....	97
4.4 传奇电气(沈阳)有限公司生产油纸电容式套管.....	100

4.5	南京智达充油式无局放变压器套管	102
4.6	变压器套管常见问题处理及典型案例分析	104
<b>第5章</b>	<b>变压器储油柜</b>	<b>110</b>
5.1	胶囊式储油柜	110
5.2	BP1型波纹膨胀储油柜(内油式)	111
5.3	BW型波纹膨胀储油柜(外油式)	114
5.4	变压器储油柜常见问题处理及典型案例分析	115
<b>第6章</b>	<b>气体继电器</b>	<b>118</b>
6.1	气体继电器概述	118
6.2	QJ系列气体继电器	118
6.3	RS2001保护继电器	122
6.4	气体继电器常见问题处理及典型案例分析	125
<b>第7章</b>	<b>压力释放阀</b>	<b>128</b>
7.1	压力释放阀概述	128
7.2	压力释放阀结构	128
7.3	压力释放阀的选用	131
7.4	安装与使用	131
7.5	压力释放阀常见问题处理及典型案例分析	132
<b>第8章</b>	<b>变压器油泵</b>	<b>135</b>
8.1	变压器油泵概述	135
8.2	变压器油泵结构	138
8.3	变压器油泵的使用和维护	141
8.4	变压器油泵常见问题处理及典型案例分析	143
<b>第9章</b>	<b>风冷控制箱</b>	<b>146</b>
9.1	型号说明	146
9.2	风冷控制箱工作原理	146
9.3	风冷控制箱常见问题处理及典型案例分析	148



# 第 1 章

## 变压器工作原理及基本结构

### 1.1 变压器概述

#### 1.1.1 变压器的用途

变压器是根据电磁感应原理,以相同的频率来改变电压和电流的静止电器设备,它主要用来升高或降低交流电压。

变压器的用途广泛,种类繁多。在现代化工农业生产和人民生活中用到的电,由发电厂供给,需经远距离传输,到达各厂矿、用户的地点。在传输一定功率的电能时,传输电压越高,所需电流越小,由于损耗正比于电流的平方,所以用较高的电压传输电能,可大大降低传输过程中的电压降和损耗,但是要制造高电压的发电机,技术上还很困难,因此需要变压器将发电厂发出的电能升高传输,用电端将电压降低使用。在电力系统中,由于电网内部存在多种电压等级,这就需要各种电压等级和容量的变压器来连接。由此可见,变压器的地位十分重要,这就要求其性能好,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,铁路用的牵引变压器。另外,互感器、电抗器、消弧线圈等,其基本原理和结构与变压器相似,常与变压器一起统称为变压器类产品。

#### 1.1.2 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、电焊变压器、试验变压器、调压变压器、电抗器和互感器等。

(2) 按电源输出相数分类,有单相变压器、三相变压器。

(3) 按冷却介质分类,有干式变压器、油浸变压器及 SF<sub>6</sub> 充气变压器。



(4) 按冷却方式分类, 有自冷式变压器、风冷式变压器、强迫油循环风冷却变压器、强迫油循环水冷却变压器等。

(5) 按绕组数量分类, 有双绕组变压器、三绕组变压器和自耦变压器等。

(6) 按调压方式分类, 有无励磁调压变压器、有载调压变压器等。

(7) 按中性点绝缘水平分类, 有全绝缘变压器、分级绝缘变压器。

(8) 按绕组引线材料分类, 有铜线变压器、铝线变压器及铜铝导线变压器。

(9) 按铁心结构分类, 有壳式变压器、芯式变压器。

### 1.1.3 变压器的型号

第 1 位: 绕组耦合方式 (D—一般不标, O—自耦)。

第 2 位: 相数 (D—单相, S—三相)。

第 3 位: 冷却方式 (自然冷却不标, F—风冷)。

第 4 位: 循环方式 (自然循环不标, P—强迫循环)。

第 5 位: 绕组数量 (双绕组不标, S—三绕组, F—分裂绕组)。

第 6 位: 导线材质 (铜质不标, L—铝质)。

第 7 位: 调压方式 (无载不标, Z—有载)。

第 8 位: 设计序号。

横线。

第 9 位: 额定容量。

斜划线。

第 10 位: 高压绕组电压等级。

第 11 位: 防护等级 (一般不标)。

例如, ODFSZ—334000/500 表示自耦单相油浸风冷三绕组铜导线有载调压, 额定容量 334000kVA, 高压绕组额定电压 500kV 的电力变压器。

OSFPSZ—120000/220 表示自耦三相强迫油循环风冷三绕组铜导线有载调压, 额定容量 120000kVA, 高压绕组额定电压 220kV 的变压器。

SFSZ9—180000/220 表示三相油浸风冷三绕组铜导线有载调压, 额定容量 180 000kVA, 高压绕组额定电压 220kV, 设计序号为 9 的电力变压器。

SSZ10—50000/110 表示三相油浸自冷三绕组铜导线有载调压, 额定容量 50000kVA, 高压绕组额定电压 110kV, 设计序号为 10 的电力变压器。

SFFZ10—50000/110 表示三相油浸风冷双分裂绕组铜导线有载调压, 额定容量 50000kVA, 高压绕组额定电压 110kV, 设计序号为 10 的电力变压器。

## 1.2 变压器的工作原理

变压器是一个应用电磁感应定律将电能转换为磁能, 再将磁能转换成电能, 以实现电压变化的电磁装置。



对理想化的变压器，首先假定变压器一、二次绕组的阻抗为零，铁心无损耗，铁心磁导率很大。下面对理想变压器的工作原理按照空载状态介绍。

图 1-1 为单相变压器工作原理图，在空载状态下，一次绕组接通电源，在交流电压  $U_1$  的作用下，一次绕组产生励磁电流  $I_\mu$ ，励磁磁动势  $I_\mu N_1$ ，该磁动势在铁心中建立了交变磁通  $\Phi_0$  和磁通密度  $B_0$  ( $B_0 = \Phi_0 / S_0$ ， $S_0$  是铁心的有效截面积)。

根据电磁感应定律，铁心中的交变磁通  $\Phi_0$  在一次绕组两端产生自感电动势  $E_1$ ，在二次绕组两端产生互感电动势  $E_2$

$$E_1 = 4.44 f N_1 B_0 S_0 \times 10^{-4} \quad (1-1)$$

$$E_2 = 4.44 f N_2 B_0 S_0 \times 10^{-4} \quad (1-2)$$

式中  $f$  —— 频率，Hz；

$N_1$  —— 变压器一次绕组的匝数；

$N_2$  —— 变压器二次绕组的匝数；

$B_0$  —— 铁心的磁通密度，T；

$S_0$  —— 铁心的有效截面积， $\text{cm}^2$ 。

在理想变压器中，一、二次绕组的阻抗为零，有

$$U_1 = E_1 = 4.44 f N_1 B_0 S_0 \times 10^{-4} \quad (1-3)$$

$$U_2 = E_2 = 4.44 f N_2 B_0 S_0 \times 10^{-4} \quad (1-4)$$

得到

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1-5)$$

从式 (1-5) 可见，改变一次绕组与二次绕组的匝数比，可以改变一次绕组与二次绕组的电压比，这就是变压器的工作原理。

### 1.3 变压器的基本结构

电力变压器是根据电磁感应原理制造出来的电气设备，因此，电力变压器至少应有能高效利用电磁感应的铁心和绕组。电力变压器的主要部分是铁心、绕组、绝缘、外壳和必要的组件。由于容量、电压的不同，电力变压器的铁心、绕组、绝缘、外壳和必要组件的结构形式可以是不一样的。

#### 1.3.1 铁心

变压器可以变换不同电压，是通过铁心内的磁通随时间的变化，在不同匝数的绕组内感应出不同的电压。铁心是变压器的磁路部分，作用是导磁，一般采用磁率高、损耗低的电工钢片作为铁心的材料，主要为了减少交变磁通在通过铁心时引

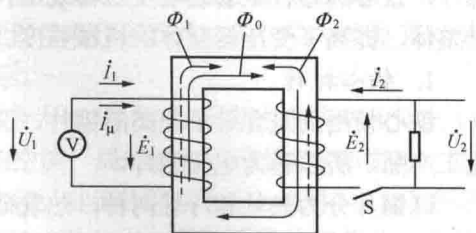


图 1-1 单相变压器工作原理图



起的磁滞、涡流损耗。铁心是变压器的骨架，铁心上几乎安装了变压器内部所有的部件，铁心的芯柱上套装着变压器绕组，并利用铁心的夹紧装置固定绕组，形成一个整体，提高了变压器整体的机械强度。

### 1. 铁心材料

铁心使用的是含硅量较高的钢片，又称硅钢片。硅钢片由于软磁特性好而用于电工产品，所以称为电工钢片。

硅钢片分为热轧和冷轧两种，热轧硅钢片的磁性差、磁通密度较小，而单位损耗较大，目前已不采用。冷轧硅钢片又分无取向和取向两种，冷轧取向硅钢片有明显的方向性，沿轧制方向的磁性能好，饱和磁通密度高，单位损耗和励磁容量小，目前变压器广泛采用冷轧取向硅钢片作为铁心材料。

目前部分配电变压器，为了降低空载损耗，使用非晶合金作为铁心的导磁材料。非晶合金的特点是磁导率比取向电工钢片的高，损耗比取向电工钢片的低，其节能降耗效果显著。但是由于其饱和磁通密度低、厚度薄、加工困难、材料价格比较高，目前在大容量变压器制造中仍未大量使用。

### 2. 铁心的结构

变压器铁心是框形闭合结构，套绕组部分为芯柱，不套绕组部分为铁轭（上下铁轭、旁轭）。铁心分为壳式和芯式两种。壳式铁心水平放置，铁心包围绕组。芯式铁心一般垂直放置，铁心截面呈多级圆柱状，线圈包围芯柱。有多种规格的硅钢片叠装而成的铁心称叠铁心结构，由硅钢片卷制而成的铁心称为卷铁心结构。

### 3. 铁心接缝结构

铁心的接缝方式分为直接缝、混合接缝（半直半斜）、标准斜接缝、台阶斜接缝和相交斜接缝 5 种。铁心芯柱截面形状有矩形截面、渐开线性截面、辐射片环形截面、多级圆形截面。铁轭截面形状有矩形截面、倒 T 形和多级倒 T 形截面、正 T 形和多级正 T 形截面、多级圆形截面、多极椭圆形截面。

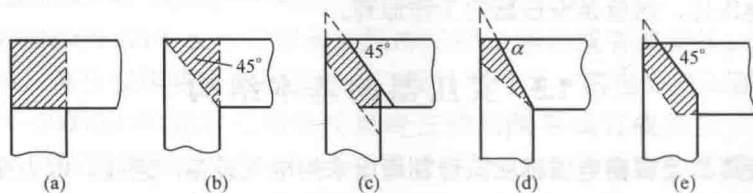


图 1-2 常用边角柱接缝形式

- (a) 直接缝；(b) 混合接缝（半直半斜接缝）；(c) 标准斜接缝（带尖斜接缝）；  
(d) 相交斜接缝（变角接缝）；(e) 台阶斜接缝（带台斜接缝）

(1) 直接缝。直接缝是指每叠铁心片均为直接缝，搭接面积占角部面积的 100%，铁心片剪切简单，叠积方便，结构强度高。但对冷轧晶粒取向硅钢片，搭接面积越大，磁通偏离轧制方向越长，磁性越坏，故只能用于热轧硅钢片中，如图 1-2 (a) 所示。



(2) 混合接缝(半直半斜接缝)。直接缝和斜接缝在各叠中交替出现, 芯柱片和铁轭片宽一致时, 斜接缝为  $45^\circ$ , 搭接面积占角部的 50%, 空载性能比直接缝有明显改善, 结构强度可靠, 剪切叠积方便, 硅钢片利用率最高; 但仍有一半是直接缝, 影响性能的进一步提高, 如图 1-2 (b) 所示。

(3) 标准斜接缝(带尖斜接缝)。铁心片全为  $45^\circ$  斜角片, 铁轭外侧有尖角伸出(或将尖角去掉)。角部内侧有与尖角大小相同的空隙, 局部提高了磁通密度和损耗, 搭接面积较小, 磁通拐角小, 空载性能好, 剪切方便, 硅钢片利用率高, 如图 1-2 (c) 所示。

(4) 相交斜接缝(变角接缝)。该接缝铁心片的角度不是  $45^\circ$ , 通常为  $35^\circ/55^\circ$  交替搭接, 也可采用  $30^\circ/60^\circ$  和  $42^\circ/48^\circ$ 。交替搭接时, 该接缝只要芯柱和铁轭片宽相同, 就可不同角度下接合, 但其剪切稍复杂, 搭接面积较小, 如图 1-2 (d) 所示。

(5) 台阶斜接缝(带台斜接缝)。铁心片是  $45^\circ$  带台阶的斜接缝, 其台阶正好填补了标准斜接缝的三角形空隙。因而磁通分布均匀, 叠积质量好, 但台阶局部磁通方向与轧制方向不一致, 剪切较复杂, 精度要求高, 上铁轭装配时不方便, 硅钢片利用率较差, 如图 1-2 (e) 所示。

常用的心式叠铁心有单相双柱式、单相旁轭式(单相三柱)、三相三柱式、三相旁轭式(三相五柱)。

(1) 单相双柱式叠铁心。单相双柱式叠铁心的芯柱与铁轭在同一平面, 交叠方式叠积, 两柱均套绕组, 结构简单, 目前广泛应用于单相变压器。

(2) 单相旁轭式。单相旁轭式叠铁心与三相三柱式叠铁心相同, 单相变压器时中柱为芯柱, 两边为旁轭, 旁轭的截面是芯柱的一半, 附加损耗小, 类似于单相壳式铁心, 适用于高压大型和高压试验变压器。三相变压器时三柱各为一相, 套装一个绕组, 是一般变压器的典型结构, 适用于各种三相变压器。

(3) 三相旁轭式。三相旁轭式叠铁心中间为三个芯柱, 两边旁轭和上下铁轭截面是芯柱的一半左右, 常用于三相大容量变压器和三相三绕组电压互感器。

### 1.3.2 绕组

绕组是变压器变换电压的电路部分, 是变压器的基本部件, 绕组的电器性能和机械性能直接影响变压器的性能。

绕组一般由表面有绝缘层(绝缘漆或纸包绝缘)的铜(铝或超导材料)导线绕制而成, 一般呈圆柱形。考虑到大型变压器短路容量较大和系统容量的增加, 为了提高绕组稳定能力、抗短路能力, 选用半硬铜导线, 为降低损耗采用自粘换位导线。由于国产变压器绝大多数是心式结构, 它的绕组也都采用同心式结构, 这种圆柱形绕组, 正合适同心式变压器绕组的布置, 因此, 大多数变压器均采用圆柱形绕组。

变压器绕组中通过的电流随额定电压的不同而不同, 绕组的结构与变压器的容量有关。因此, 电力变压器绕组采用不同的结构是为了适应不同的绕组电压、电流和加工制造方便。

根据绕组结构和工艺特点, 绕组的形式可分为层式绕组和饼式绕组两种。线圈

的线匝沿轴向依次按层排列绕成的绕组称为层式绕组，如圆筒式和箔式绕组。线圈的线匝沿辐向绕成线饼，在由多个线饼沿轴向排列的绕组称为饼式绕组，如连续式、纠结式、内屏蔽式绕组。绕组的形式见表 1-1。

表 1-1 绕组的形式

绕组	层式绕组	圆筒式	单层圆筒式、双层圆筒式、多层圆筒式、分段圆筒式
		箔式	一般箔式、分层箔式
	饼式绕组	连续式	一般连续式、半连续式
		纠结式	纠结连续式、普通纠结式、插花纠结式
		内屏蔽式	插入电容式
		螺旋式	单螺旋式（单半螺旋式）、双螺旋式（双半螺旋式）和四螺旋式
		交错式	由连续式或螺旋式线段交错排列而成（壳式变压器）

### 1. 圆筒式绕组

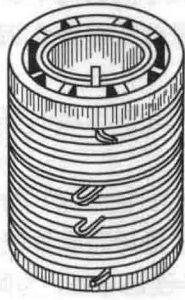
圆筒式绕组类似于一个圆筒形螺旋体，其线匝用圆或扁导线彼此紧靠着绕成，如图 1-3 所示。一般不绕成单层而绕成双层或多层时，其层间必须垫绝缘纸板或用木条夹在中间做成油道。它的特点是绕制简单、油道散热效果好；但绕组端部支撑面小、机械强度差，一般用在小容量变压器上。

### 2. 箔式绕组

箔式绕组是利用铝箔或铜箔作为导体绕成圆筒式，每层一匝，层间绝缘就是匝间绝缘，如图 1-4 所示。它的特点是绕组的空间利用率高，便于绕制，可用于小型变压器绕组。



(a)



(b)

图 1-3 圆筒式绕组

(a) 双层圆筒式；(b) 多层圆筒式

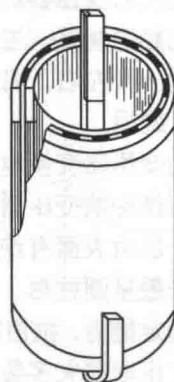


图 1-4 铝箔式绕组

### 3. 连续式绕组

连续式绕组是用扁导线连续绕制若干个线饼组成的，如图 1-5 所示。它的每个

线饼由一根或几根导线并联连续绕成的，线饼间由绝缘垫块隔开并形成横向油道，绝缘撑条沿绕组内径均匀布置形成纵向油道。线圈的饼数应为偶数，第一饼（奇数）由外向内绕制为反饼，第二饼（偶数）由内向外绕制为正饼，其余线饼相同。当连续式绕组由多根导线并绕时，并绕导线内部应进行换位。它的特点是机械强度高、散热性能好、承受冲击电压性能差，适用于 35~110kV 的绕组。

#### 4. 纠结式绕组

纠结式绕组与连续式绕组相似，它们的不同之处在于线匝的排列顺序，如图 1-6 所示。它的线匝不以自然数字排列，而在相邻数字的线匝间插入不相邻数字的线匝。原来的连续式绕组线匝，需进行交错纠连，形成纠结式绕组，如图 1-7 所示。有些 110kV 变压器绕组，只是在起始的一些线饼采用纠结式，其余部分采用连续式，这种绕组称为纠结连续式，220kV 以上变压器的绕组全部采用纠结式。纠结式绕组的特点提高了匝间电位差，增大了绕组纵向电容（纵向匝间），可以改善冲击电压起始分布，降低电压梯度；缺点是绕制费时、绕组焊头多。

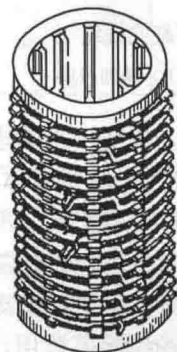


图 1-5 连续式绕组

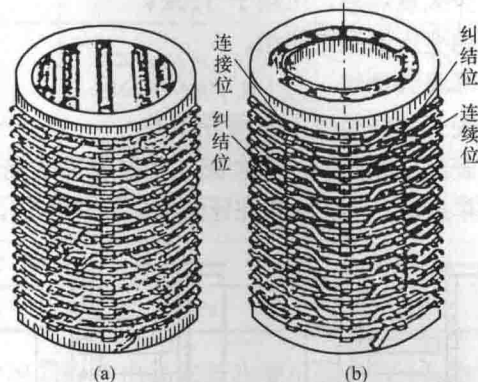


图 1-6 纠结式绕组示意图

(a) 普通纠；(b) 插花纠

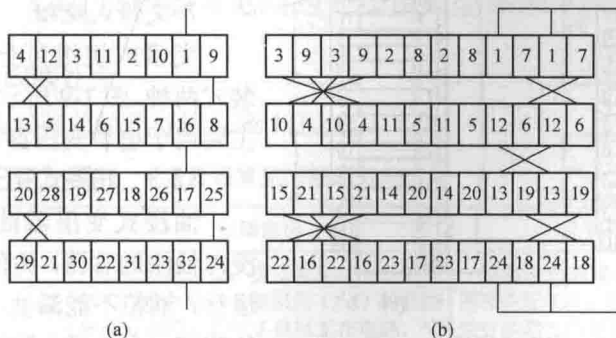


图 1-7 纠结式绕组接线图

(a) 普通纠；(b) 插花纠

### 5. 内屏蔽式绕组

内屏蔽式绕组是由在连续式线段内部插入增加纵向电容的屏蔽线而组成的，又称插入电容式绕组，如图 1-8 所示。屏蔽线无工作电流，常采用截面很小、厚度很薄的导线。为了提高内屏蔽式绕组的空间系数，往往使导线匝绝缘较薄而屏蔽线匝绝缘较厚。为防止屏蔽线端部放电，必须处理光滑，先包半导体材料再用绝缘纸包扎。内屏蔽式绕组的特点是它和纠结式绕组一样可以改善冲击电压起始分布，绕制方便，减少大量焊点，可用于 110kV 及以上的变压器高压绕组。

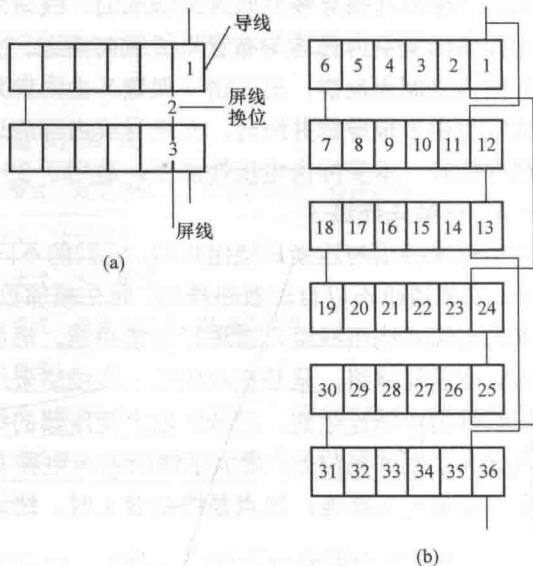


图 1-8 内屏蔽式绕组

(a) 跨二段屏；(b) 跨四段屏

### 6. 螺旋式绕组

螺旋式绕组是由多根扁导线并联按螺旋形绕制成的，当全部并绕导线重叠绕制成一个线饼，每绕一匝前进一个线饼时称单螺旋；当全部并绕导线绕成两个线饼，每绕一匝前进两个线饼时称双螺旋；同样可以绕制成三螺旋、四螺旋绕组。螺旋式绕组的特点是绕制工艺简单、冷却条件好，由于线圈高度的限制，匝数较多的绕组不适用，一般用于低电压、大电流绕组和有载调压变压器的调压绕组。

### 7. 交错式绕组

交错式绕组可分为直绕式和套装式两种，图 1-9 所示为交错式绕组，主要用于电炉变压器等特种变压器。

#### 1.3.3 油浸式变压器油箱

油浸式变压器油箱是保证器身浸入油中的容器，为保证变压器长期运行，油箱不能漏油，也不允许外界的空气、水分进入油箱内。变压器油箱还应允许在生产和运输过程中对

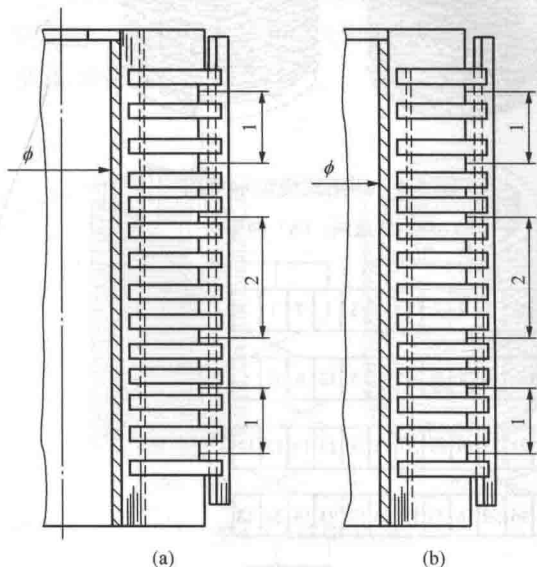


图 1-9 交错式绕组

(a) 直绕式；(b) 套装式

油箱进行一些作业，如经铁路、公路和水路运输，不带附件条件下吊起变压器本体，

在安装现场牵引变压器，用液压工具抬高变压器等各种作业。

变压器油箱作为变压器油的容器，要保证变压器器身的绝缘强度和规定的寿命，应保持油不渗漏，并有一定的机械强度。根据 GB/T 6451—1999《三相油浸式电力变压器技术参数和要求》和 GB/T 16274—1996《油浸式电力变压器技术参数和要求（500kV 级）》，对不同电压等级和不同容量的变压器油箱的密封性能和机械强度要求见表 1-2。

表 1-2 油浸式电力变压器油箱的密封性能和机械强度要求

电压等级/kV	密封性能要求	机械强度要求	
		真空	正压/kPa
6, 10	一般结构: 40kPa, 12h 波纹油箱: ≤315kVA 时, 20kPa; ≥400kVA 时, 15kPa	一般结构: 50kPa, 12h 波纹油箱: ≤315kVA 时, 20kPa; ≥400kVA 时, 15kPa	
35	50kPa, 24h	≥400kVA 时, 50kPa	60 50
66	50kPa, 24h	≤200kVA 时, 20kPa ≥1600kVA 时, 50kPa	80 60
110	50kPa, 36h	≤200kVA 时, 20kPa ≥1600kVA 时, 50kPa	80 60
220	50kPa, 72h	133Pa	98
330	30kPa, 24h	133Pa	98
500	30kPa, 24h	133Pa	98

此外，变压器的各种工作和保护用的附件也都安装在变压器油箱上，如套管、压力释放装置、气体继电器、储油柜、温度计等。

## 1.4 变压器常见问题处理及典型案例分析

### 1.4.1 常见问题处理

变压器常见问题及处理方法见表 1-3。

表 1-3 变压器常见问题及处理方法

故障特征	故障原因	检查与排除方法
变压器局部过热故障	(1) 发热失控。变压器运行中的局部温度，是由局部电能损耗 ( $I^2R$ ) 转化的热能引起的。其中 $I$ 包括工作电流、环流或涡流； $R$ 对于工作电流或环流是接触电阻；对于涡流是趋肤效应形成的“边缘电阻”。 $I$ 或 $R$ 失控，都可能引起发热	局部过热故障的特征是油中产生过热性特征气体。按 GB/T 7252《变压器油中溶解气体分析和判断导则》推荐的三比值法，乙炔与乙烯的比值小于 0.1，编码组合的第 1 位数为 0。是局部过热故障最方便、最有说服力的判据





续表

故障特征	故障原因	检查与排除方法
<p>变压器局部过热故障</p>	<p>失控 (2) 散热失控。油浸变压器的内部散热, 主要是依靠油的对流散热, 即依靠油在流动中带走热量; 变压器的外部散热, 主要是依靠大气或水分对流散热, 即依靠大气或水分在流动中带走热量。内部散热条件失控或外部散热条件失控, 都可能引起散热失控</p>	
<p>变压器局部放电故障</p>	<p>(1) 电压型局部放电。电压型局部放电是作用在局部绝缘上的电场强度, 超过该部分绝缘的绝缘强度 (指绝缘实际能够耐受的电场强度), 引起局部绝缘损坏的放电现象。产生电压型局部放电故障有两方面的原因: ①电场畸变, 引起电场强度过高; ②绝缘污染, 引起绝缘强度过低 (2) 电流型局部放电。电流型局部放电故障, 简称驱流放电故障。不是由于局部绝缘上的作用电场强度超过其绝缘强度引起, 而是原来流过导体中的电流, 被外力驱逐到电介质 (气体或油) 中, 在局部电介质中产生电火花, 引起局部绝缘发生变化的放电现象。在变压器内, 存在驱迫工作电流、环流、涡流、电容电流及泄漏电流进入油中的条件时, 都可能产生电流型局部放电故障</p>	<p>电压型局部放电和电流型局部放电的共同特征是: 油中产生以乙炔为主的特征气体, 乙炔与乙烯的比值大于 0.1。按 GB/T 7252《变压器油中溶解气体分析和判断导则》推荐的三比值法, 编码组合的第 1 位数, 绝大多数为 1, 极个别为 0。 电压型局部放电和电流型局部放电的不同特征是: 电压型局部放电可以通过 DGA 发现, 通过 ACLD 或 ACS D 试验证实。电流型局部放电可以通过 DGA 发现, 但 ACLD 或 ACS D 试验不能检测到</p>
<p>变压器形变故障</p>	<p>引起变压器部件形变的直接作用力是机械力。例如, 磁场与电流相互作用产生的电磁力, 转化为机械力后, 才可能引起形变。变压器部件发生形变的原因是: 部件上受到的作用力, 超过其实际能够承受的能力</p>	<p>形变故障的特征是: 暴露前很难预测, 暴露后才可以发现。例如, 许多油箱渗漏, 是在变压器运行多年以后才发现的。又如, 绕组变形在没有暴露成为事故以前, DGA 和 ACLD 或 ACS D 试验都是不能发觉的。绕组形变在没有发生事故以前, 测量其电阻、电感及电容等参数, 都不能决定变压器能否继续运行</p>

### 1.4.2 典型案例分析

#### 【例 1-1】

**事件:** 某供电公司对××站 2 号主变压器单元预试期间, 该变压器容量为 180MVA, 2007 年 12 月 28 日投运。油中总烃 550.0 $\mu$ L/L, 其中乙炔 0.12 $\mu$ L/L。变压器停运进行电气试验, 发现铁心对地绝缘电阻为零。

**事件原因分析:** 检修人员到达现场后排油进入内部检查, 有一个温度计座偏斜, 与铁心的尖角接触, 接触处有放电烧伤痕迹。分析认为, 温度计座与铁心的距离太近, 在交接试验时, 用 2500V 绝缘电阻表测量铁心绝缘电阻, 不能发现这个缺陷。变压器运行后, 温度上升, 铁心硅钢片和温度计座都受热膨胀, 两者发生互相