

# 电气试验 实操手册

国网宁夏电力公司培训中心 编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 电气试验 实操手册

国网宁夏电力公司培训中心 编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书依据国家及行业规程和标准系统地阐述了电气一次设备基本结构原理、主要设备试验方法和要求、系统过电压及绝缘配合等。主要内容有：电气设备、电介质的绝缘特性、过电压与绝缘配合、变压器试验、互感器试验、断路器试验、电容器试验、避雷器试验、电力电缆试验、接地装置试验和典型案例分析。

本书可作为电气试验、变电检修专业岗位职工的培训用教材，也可作为电力工程、电力系统及自动化专业师生的辅助读物。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电气试验实操手册/国网宁夏电力公司培训中心编. —北京：  
中国电力出版社，2014. 11

ISBN 978-7-5123-6658-9

I. ①电… II. ①国… III. ①电工试验-技术手册 IV. ①  
TM64-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 246409 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2014 年 11 月第一版 2014 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.5 印张 333 千字

印数 0001—2500 册 定价 48.00 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

## 编 委 会

主 任 唐 平

副 主 任 施江辉 王波海

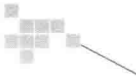
成 员 张莉君 尹正伏 杨新勇 姜纪宁

刘岳玲

编写组组长 马全福

成 员 张 玮 吴志勇 陈文龙 陈 芳

崔 巍 康亚丽 闫敬东 叶建新



# 前言

随着国家经济的发展对电力需求的不断提高,使更高电压、更大容量以及新材料、新结构的高压电气设备不断出现,对供电的安全性、可靠性和经济性的要求越来越高。传统的周期性检修已逐渐不再适合电力系统发展的需要,开展输变电设备状态检修工作已成为时代的必然要求。作为状态检修工作的核心,以电力设备试验数据分析为主的输变电设备状态评价工作已越显重要。而电气试验数据的来源离不开电气试验工作,并且随着国家电网公司“三集五大”体系建设的深化,各岗位职能的进一步调整,从事电气试验的队伍的不断扩大,电气试验的培训工作也越来越重要了。目前的教材还都停留在原理的学习上,对技能的培训很不适用,本书依据最新版的国家标准和电力行业标准,结合生产现场实际试验工作中的经验以及具体工作中的典型案例,着重介绍了试验的准备、危险点分析与预控、试验的原理接线和示意接线的对比、试验的操作方法和注意事项以及试验数据和结果分析,重点放在对员工的技能培训上。

本书共分 11 章。第一、三章由国网宁夏电力公司培训中心马全福编写;第二章由国网宁夏电力公司培训中心康亚丽编写;第四章由国网宁夏电力公司石嘴山供电公司陈文龙编写;第五章由国网宁夏电力公司吴忠供电公司吴志勇编写;第六章由国网宁夏电力公司检修公司张玮编写;第七、八章由国网宁夏电力公司银川供电公司陈芳编写;第九章由国网宁夏电力公司石嘴山供电公司陈文龙、叶建新编写;第十章由国网宁夏电力公司检修公司崔巍编写;第十一章由国网宁夏电力公司培训中心马全福、闫敬东编写。全书由马全福统稿并担任主编,杨新勇担任主审。

在本书的编写过程中,得到了有关方面的大力支持,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2014 年 10 月



# 目 录

## 前言

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 第一章 电气设备 .....                          | 1  |
| 第一节 变压器 .....                           | 1  |
| 第二节 互感器 .....                           | 12 |
| 第三节 断路器 .....                           | 19 |
| 第四节 电容器 .....                           | 25 |
| 第五节 氧化锌避雷器 .....                        | 26 |
| 第二章 电介质的绝缘特性 .....                      | 29 |
| 第一节 电介质的极化 .....                        | 29 |
| 第二节 电介质的电导 .....                        | 32 |
| 第三节 电介质的损耗 .....                        | 35 |
| 第四节 电介质的击穿 .....                        | 38 |
| 第三章 过电压与绝缘配合 .....                      | 43 |
| 第一节 内部过电压 .....                         | 43 |
| 第二节 外部过电压 .....                         | 50 |
| 第三节 电力系统绝缘配合的原则 .....                   | 52 |
| 第四节 绝缘配合的基本方法 .....                     | 54 |
| 第五节 电气设备绝缘水平的确定 .....                   | 58 |
| 第四章 变压器试验 .....                         | 63 |
| 第一节 变压器绕组绝缘电阻和吸收比试验 .....               | 63 |
| 第二节 变压器绕组直流泄漏电流试验 .....                 | 66 |
| 第三节 变压器铁芯绝缘电阻试验 .....                   | 70 |
| 第四节 变压器变比、极性及接线组别试验 .....               | 72 |
| 第五节 变压器绕组介质损耗 $\tan\delta$ 及电容量试验 ..... | 76 |
| 第六节 变压器绕组连同套管直流电阻试验 .....               | 79 |
| 第七节 变压器分接开关特性试验 .....                   | 83 |
| 第五章 互感器试验 .....                         | 88 |
| 第一节 电流互感器试验 .....                       | 88 |

|      |                                                           |     |
|------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 第二节  | 电磁式电压互感器试验 .....                                          | 104 |
| 第三节  | 电容式电压互感器试验 .....                                          | 116 |
| 第六章  | 高压断路器试验 .....                                             | 128 |
| 第一节  | 断路器导电回路直流电阻的测量试验 .....                                    | 128 |
| 第二节  | 断路器机械特性试验 .....                                           | 131 |
| 第三节  | 断路器断口并联电容绝缘电阻及介质损耗试验 .....                                | 136 |
| 第四节  | 真空断路器断口耐压试验 .....                                         | 139 |
| 第七章  | 电容器试验 .....                                               | 143 |
| 第一节  | 电容器绝缘电阻试验 .....                                           | 143 |
| 第二节  | 电容器极间电容量测试 .....                                          | 147 |
| 第三节  | 电容器介质损耗角值 $\tan\delta$ 的测试 .....                          | 152 |
| 第四节  | 高压并联电容器极对地、集合式高压并联电容器相间及<br>对地交流耐压测试 .....                | 155 |
| 第八章  | 避雷器试验 .....                                               | 159 |
| 第一节  | 避雷器绝缘电阻试验 .....                                           | 159 |
| 第二节  | 避雷器直流 1mA 电压 ( $U_{1mA}$ ) 及 $0.75U_{1mA}$ 下的泄漏电流试验 ..... | 162 |
| 第三节  | 避雷器运行电压下的交流泄漏电流试验 .....                                   | 165 |
| 第四节  | 避雷器放电计数器试验 .....                                          | 168 |
| 第九章  | 电力电缆试验 .....                                              | 171 |
| 第一节  | 电缆绝缘电阻试验 .....                                            | 171 |
| 第二节  | 电缆相位的试验 .....                                             | 173 |
| 第三节  | 电缆直流耐压和泄漏电流试验 .....                                       | 175 |
| 第四节  | 橡塑电缆变频谐振耐压试验 .....                                        | 178 |
| 第十章  | 接地装置试验 .....                                              | 182 |
| 第一节  | 独立避雷针接地电阻试验 .....                                         | 182 |
| 第二节  | 接地网接地电阻试验 .....                                           | 185 |
| 第三节  | 土壤电阻率试验 .....                                             | 188 |
| 第四节  | 接地装置导通试验 .....                                            | 191 |
| 第五节  | 接触电压、跨步电压及电位分布试验 .....                                    | 194 |
| 第十一章 | 事故案例分析 .....                                              | 197 |
| 第一节  | 变压器 .....                                                 | 197 |
| 第二节  | 断路器 .....                                                 | 208 |
| 第三节  | 互感器 .....                                                 | 210 |
| 第四节  | GIS 组合电器 .....                                            | 215 |
| 第五节  | 避雷器 .....                                                 | 217 |
| 参考文献 | .....                                                     | 223 |

## 第一节 变 压 器

电力变压器是发电厂和变电站的重要电气设备之一，它的作用是利用电磁感应原理把一种交流电压转换成相同频率的另一种交流电压。利用它不仅能实现电压转换（升压或降压），以利于远距离输电和方便用户使用，而且能实现系统联络、改善系统运行方式和网络结构，以利于提高电力系统运行的稳定性、可靠性和经济性。

## 一、变压器基本原理

变压器的工作原理如图 1-1 所示。绕组 1 接交流电压  $u_1$ ，便有电流  $i_1$  流入，因而在铁芯中激励一交变磁通  $\Phi$ 。磁通  $\Phi$  同时与绕组 1 和绕组 2 相匝链，由于磁通  $\Phi$  的交变作用，在绕组 1 和绕组 2 中便感应出电动势  $e_1$  和  $e_2$ 。根据电磁感应原理可知：绕组的感应电动势正比于它的匝数。因此，只要改变绕组 2 的匝数，就能改变感应电动势  $e_2$  的数值。如果绕组 2 接上用电设备，便有电能输出。

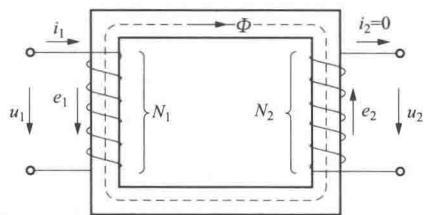


图 1-1 变压器工作原理

绕组 1 吸收电能，被称为一次绕组；绕组 2 输出电能，被称为二次绕组。用来升高电压（ $u_2 > u_1$ ）的变压器称为升压变压器，用来降低电压（ $u_1 > u_2$ ）的变压器称为降压变压器。

## 二、变压器结构

大型变压器目前主要采用油浸式变压器，其结构主要由铁芯、绕组、油箱、绝缘套管、冷却装置、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。

## 1. 铁芯

铁芯是变压器的磁路部分，同时又是套装绕组的骨架。铁芯由铁芯柱和铁轭两部分构成。铁芯柱上套绕组，铁轭将铁芯柱连接起来形成闭合磁路。铁芯型式有芯式和壳式两种。一般采用芯式结构铁芯。

## (1) 铁芯结构。

1) 三相三柱式。如图 1-2 所示，它是将 U、V、W 三相的三个绕组，分别套在三个铁芯柱上，三个铁芯柱由上、下铁轭将其连接起来。

2) 三相五柱式。由于变压器运输高度的限制，当单台制造容量增大时，就会发生困难。为部分地解决这一矛盾，其方法之一就是采用三相五铁芯柱。它是将变压器的上、下

铁轭的高度几乎各减去一半，这样对整个变压器而言，即降低了一个铁轭的高度。但是，降低后铁轭中的磁密仍必须保持原来的数值，不能超过设计所允许的数值。为此，把上、下铁轭中各减去一半的铁磁物质，置于U、W两相芯柱的两旁，故称之为旁轭，就成了图1-3所示的外形。旁轭仅起着磁路闭合的作用，其功能与上、下铁轭相同，是没有绕组的。

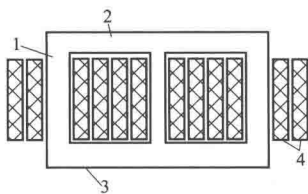


图 1-2 三相三芯柱变压器的铁芯和绕组  
1—铁芯柱；2—上铁轭；3—下铁轭；4—绕组

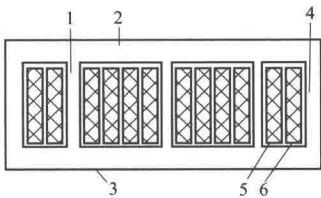


图 1-3 三相五铁芯柱变压器的铁芯和绕组  
1—铁芯柱；2—上铁轭；3—下铁轭；4—旁轭；  
5—低压绕组；6—高压绕组

(2) 铁磁材料。变压器铁芯一般采用高质量、低损耗的晶粒取向冷轧硅钢片，硅钢片为软磁性材料。通常厚度取 0.35mm 和 0.5mm 两种。硅钢片的两面均涂以绝缘漆，这样可使叠装在一起的硅钢片相互之间绝缘。

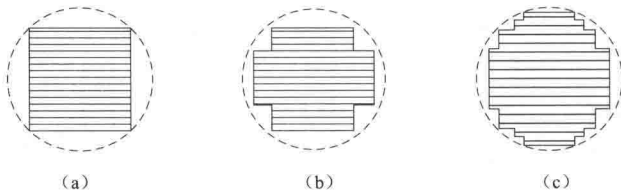


图 1-4 铁芯柱的各种截面形状  
(a) 方形；(b) 十字形；(c) 多级阶梯形

所示的十字形截面；随着变压器容量的不断增大，铁芯柱的直径也随着增大，阶梯的级数也随着增加，则可做成如图 1-4 (c) 所示的多级阶梯形截面。

2) 铁轭的截面。直角接缝的硅钢片中，接缝为 90°，磁力线由 90°转到 0°，在该转角处的单位损耗将增大。在斜接缝的硅钢片结构中，如图 1-5 所示，磁力线在接缝转角处，其夹角由 0°转到 45°，并再由 45°转到 0°，且转向所占的区域面积较小，约占整个转角面积的 1/2。

(4) 铁芯接地。变压器在运行中，铁芯以及固定铁芯的金属结构、零件、部件等，均处在强电场中，在电场作用下，具有较高的对地电位。如果铁芯不接地，它与接地的夹件及油箱等之间就会有电位差存在，会产生断续的放电现象。另外，在绕组的周围具有较强的磁场，铁芯和零部件都处在非均匀的磁场中，它们与绕组的距离各不相等，所以各零部件被感应出来的电动势大小也各不相等，彼此之间也存在着电位差。电位差虽然不大，但也能击穿很小的绝缘间隙，因而也会引起持续性的微量放电。因此，必须将铁芯以及固定铁芯、绕组等的金属零部件可靠地接地，使它们与油箱同处于地电位。

### (3) 铁芯截面。

1) 铁芯柱的截面。铁芯柱的截面在容量较小的变压器中是做成正方形或长方形的，如图 1-4 (a) 所示；当容量稍大些时，为了节省材料和充分利用空间，铁芯柱的截面，被做成一个十字形，如图 1-4 (b)

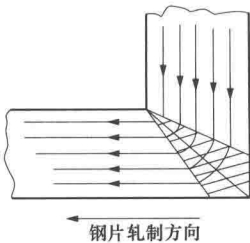


图 1-5 铁芯为斜接缝时磁通在转角处的分布情况

图 1-6 所示为大型变压器外部接地方式的原理图，从图中可以看到，在变压器内部，上夹件与下夹件在电的回路上是不相通的。在变压器上部，上夹件 4 与穿芯螺杆、穿芯螺杆与铁芯，相互之间是绝缘的。但铁芯与上夹件之间，则通过一片接地钢片 5 相接通，使铁芯只有一点与上夹件相连通，左右通过导电带 6 连接起来。然后，导电带再与装在变压器箱盖上的接地套管 7 相连通，接地套管 7 则在外部进行接地，于是就实现了铁芯在外部接地。在变压器下部，下夹件 3 与铁芯、下夹件与穿芯螺杆、穿芯螺杆与铁芯，三者之间也是相互绝缘的。在下铁轭的底部有钢垫脚 1，钢垫脚与下夹件的下肢板之间是通过螺栓连接在一起的，它们在电的回路上是相通、不绝缘的。

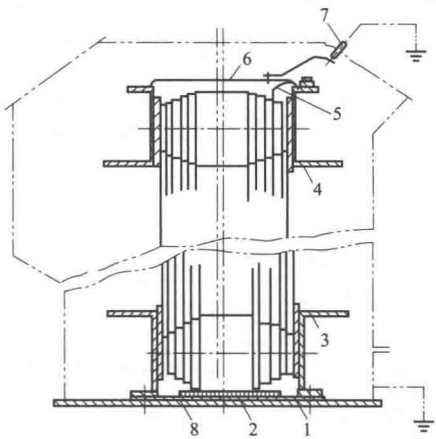


图 1-6 大型变压器外部接地方式的原理图

1—钢垫脚；2—垫脚绝缘；3—下夹件；  
4—上夹件上铁轭；5—接地钢片；6—导电带；  
7—接地套管；8—箱壳底板

为了避免结构件电位悬浮引起的放电，铁芯必须接地。铁芯磁路部分接地线通过箱盖上的套管一点引出，并通过铜母线引至油箱下部与接地板连接。

## 2. 绕组

绕组是变压器的电路部分，一般采用无氧铜导线绕制。绕组采用同心式，指在铁芯柱的任一横断面上，绕组都是以同一圆心的圆筒形套在铁芯柱的外面。在一般情况下总是将低压绕组放在里面靠近铁芯处，将高压绕组放在外面。高压绕组与低压绕组之间，以及低压绕组与铁芯柱之间，都必须留有一定的绝缘间隙和散热通道（油道），并用绝缘纸筒隔开。

同心绕组按其结构不同可分为下列几种基本形式：

(1) 圆筒形绕组。它是一个圆筒形螺旋体，其线匝是用扁线彼此紧靠着绕成的，如图 1-7 所示。圆筒形绕组可以绕成单层，如图 1-7 (a) 所示；也可以绕成双层，如图 1-7 (b) 所示。通常总是绕成双层圆筒。圆筒式绕组一般用在 3~35kV 电压等级、250~630kVA 电力变压器的高压绕组中，而低压绕组很少用。

(2) 螺旋形绕组。螺旋形绕组如图 1-8 所示。螺旋形绕组每匝并联导线的数量较多，

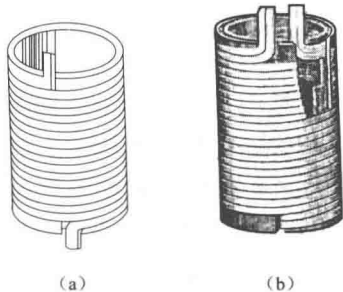


图 1-7 圆筒形绕组

(a) 单层圆筒；(b) 双层圆筒

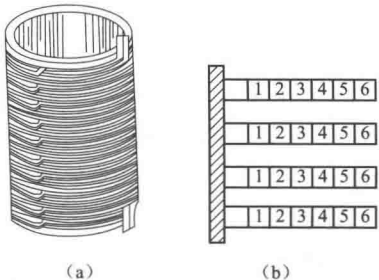


图 1-8 螺旋形绕组

(a) 外形；(b) 绕组剖面导线的排列

而且是沿径向一根压着一根地叠起来绕。图 1-8 (b) 所示是螺旋形绕组导线匝间排列的一部分 (只拿出其中 4 匝, 每匝有 6 根导线并联, 把 6 根并联的导线绕成一个螺旋), 各个螺旋不是像圆筒形绕组那样彼此紧靠着, 而是中间隔着一个沟道。图 1-8 (a) 所示为螺旋形绕组绕成后的外形。螺旋形绕组当并联导线更多时 (例如 12 根), 就把并联导线分成两组并排来绕, 这样就绕成了双层螺旋, 图 1-8 (a) 所示的即为双层螺旋。螺旋绕组一般适用于 800kVA 以上, 电压在 35kV 及以上的变压器中。

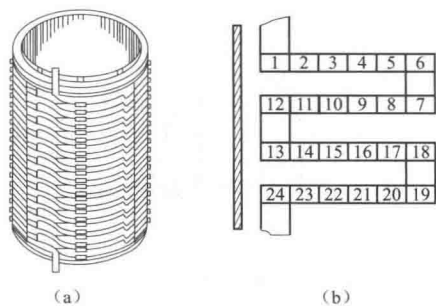


图 1-9 连续式绕组  
(a) 外形; (b) 绕组纵剖面导线的匝间排列

(3) 连续式绕组。连续式绕组是没有焊接头的, 用扁线绕制。导线的匝间排列, 如图 1-9 (b) 所示, 是经过特殊的绕制工艺绕成的。从一个线饼 (也称线段) 到另一个线饼, 其接头是交替地在绕组的内侧和外侧, 但都用绕制绕组的导线自然连接, 所以没有任何接头。这是连续式绕组的主要优点。图 1-9 (a) 为绕组的外形, 如果导线截面较大, 可以用几根导线并联绕, 一般不超过 4 根。多用在 3~110kV、三相容量在 630kVA 以上的三相变压器中。

(4) 纠结式绕组。图 1-10 所示为普通纠结式绕组绕制的次序, 它用两根导线进行并绕, 两个线饼成对地绕。然后按照图中所示的次序将两个线饼串连起来, 成为一个单回路线圈。图中编号 10 和 11 连接起来, 称为纠位线; 编号 5 和 6、15 和 16 在绕的撑条附近连接起来, 称为底线; 编号 20 作为与下对线饼相连接用, 称为连线。

纠结式绕组与连续式绕组相比, 其饼间的等值电容大大增加, 其增大的原因是因为匝间电位差加大, 几乎等于一段绕组的电压, 而匝间储存的静电能量  $W_c$  与匝间电位差的平方成比例,  $U$  提高后, 使  $W_c$  大大增加, 从而使等值电容也大大增加。饼间电容增大后, 绕组的冲击特性有了显著的改善。一般用于三相容量 6300kVA 以上、电压 220kV 以上的变压器绕组中。

(5) 绕组散热油道。为了使绕组有效地散热, 绕组设有散热油道, 大致有以下三种。

1) 自然循环冷却。对双层圆筒形绕组, 在其内外层之间, 用木夹条或绝缘纸板做成的撑条垫隔开来, 以构成纵向油道。对线饼式绕组, 例如螺旋形、连续式、纠结式等绕组, 每两个线饼之间也用绝缘纸板隔开, 构成了横向油道。纵向和横向油道是互相连通的。在运行中热油上升至变压器顶部后流向散热管 (器), 在散热管 (器) 中热油得到冷却。冷油在散热管 (器) 内下降, 流入变压器的底部, 进行油流的补充。冷油使铁芯和绕组得到冷却, 油温重新上升, 热油再次上升至变压器的顶部。

2) 强迫油循环冷却。大型变压器大多采用强迫油循环冷却, 它是依靠油泵的压力,

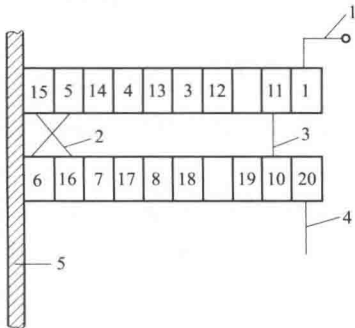


图 1-10 普通纠结式绕组绕制次序  
1—引出线; 2—底线; 3—纠位线;  
4—连接线; 5—纸板撑条

强迫循环冷却，冷却效果大大地改善。但这种冷却方式没有充分利用油泵加压的有利条件，油在绕组内的循环没有固定路线，仍然是按照自然阻力无定向地循环，因此，冷却效果不是最理想的。

3) 强迫油循环导向冷却。图 1-11 为双绕组变压器强迫油循环导向冷却示意图，从图中可见压力油在高、中、低压绕组之间，有各自的流通过路线，绕组中有纵向和横向油道，压力油在油道中沿着图中箭头所示的路线有规律地定向流动，保证所有的绕组都有低温冷却油流过，把热量带走，使绕组得到有效的冷却，所以冷却效果是比较理想的。因此，目前大型变压器几乎都采用这种强迫导向冷却的方式。

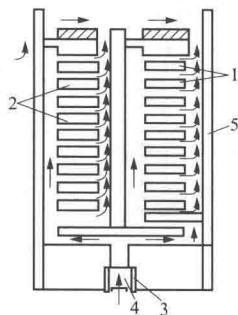


图 1-11 双绕组变压器强迫油循环导向冷却示意图

1——一次绕组；2——二次绕组；  
3——绝缘纸板油管；4——钢管；  
5——压绕组围屏

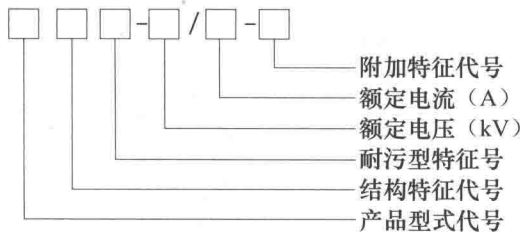
### 3. 油箱

大型变压器的油箱为钟罩式，分上、下两部分。一般都采用碳素钢，油箱顶部应带有 2%~4% 坡度，以便泄水和将气体积聚通向气体继电器。油箱顶部的所有开孔均应有凸起的法兰盘。凡可产生窝气之处都应在其最高点设置放气塞，并连接至公用管道以将气体汇集通向气体继电器。高、中压套管升高座应增设一根集气管并连接至油箱与气体继电器间的连管上。上部油箱为钟罩式，检修时可只把上部吊起即可，下部油箱壁同底板焊接在一起，器身坐落在其中。

### 4. 绝缘套管

变压器套管是变压器箱外的主要绝缘装置，变压器绕组的引出线必须穿过绝缘套管，使引出线之间及引出线与变压器外壳之间绝缘，同时起固定引出线的作用。因电压等级不同，绝缘套管有纯瓷套管、充油套管和电容套管等形式。

#### (1) 型号说明：



#### (2) 结构。

1) 40kV 及以下变压器用套管。40kV 及以下变压器用套管是以瓷或主要以瓷作为内外绝缘的套管。它由瓷套、导电杆和有关零件所构成。

(a) 复合瓷绝缘式套管。复合瓷绝缘式套管，简称为复合式套管，结构如图 1-12 所示。套管由上瓷套和下瓷套组成绝缘部分，上瓷套作为径向绝缘和气侧轴向绝缘，下瓷套作为油侧轴向绝缘（对于油浸式变压器），导电杆穿过瓷套的中心，并利用导杆下端焊上的定位件和上端的螺母将上下瓷套串压在变压器箱盖上。

(b) 单体瓷绝缘式套管。单体瓷绝缘式套管分导杆式和穿缆式两系列，其结构如图 1-13 所示。单体瓷绝缘只有一个瓷套，瓷套中部有固定台以便卡装在变压器箱盖上。瓷套上部如额定电压为 10kV 及以下时有 2 个瓷伞。穿缆式瓷套的上部有一固定槽，而导杆式瓷套

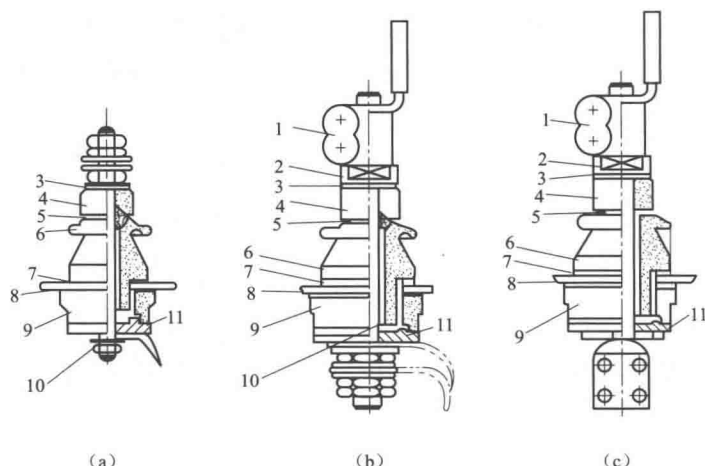


图 1-12 复合瓷绝缘式套管结构

(a) 用于 600A 及以下; (b) 用于 800~1200A; (c) 用于 2000~3000A

1—接线头; 2—圆螺母; 3—衬垫; 4—瓷盖; 5—封环; 6—上瓷套;

7—密封垫圈; 8—纸垫圈; 9—下瓷套; 10—导电杆; 11—纸垫圈

的下部有一固定槽, 以便卡入电缆接头的凸台和导电杆下端定位件, 使连接引线时, 电缆接头和导电杆不致转动。

(c) 有附加绝缘的套管。有附加绝缘的套管就是单体瓷绝缘式套管上增加了绝缘而形成, 故也可称为有附加绝缘的单体瓷绝缘套管, 也分导杆式和穿缆式两系列, 如图 1-14 所示。

由于单体瓷绝缘套管的径向电场不均匀, 瓷套的介电系数大, 而空气或变压器

油介电系数小, 电位主要分布在空气或变压器油上, 而绝缘性能好的瓷套上电位则很小。为了改善电位的分布还要在导电杆外面套有绝缘管或电缆, 并包以 3~4mm 厚电缆纸加强绝缘, 有了这样的附加绝缘 (覆盖层), 提高了放电电压, 从而使带有附加绝缘的套管广泛应用于 35kV 和 40kV 的电压等级中, 在 40kV 套管下部一个瓷伞至安装固定台 (接地处) 之间的瓷套外表面涂以半导体漆 (含有锌粉或铝粉), 改善接地处的电场, 并使滑闪放电的发展被半导体层的电阻所阻碍, 提高滑闪放电电压。穿缆式的有附加绝缘的套管为了使电缆与瓷套保证同心, 在瓷套内腔下端装入一绝缘环。

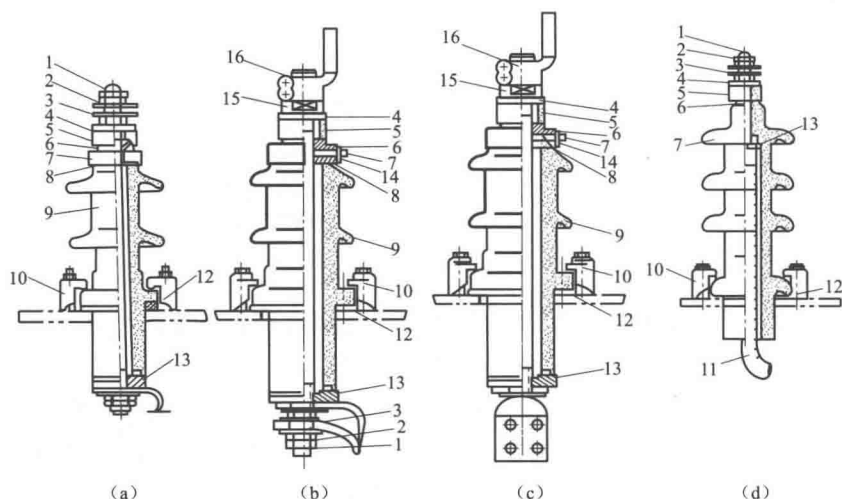


图 1-13 单体瓷绝缘式套管

(a) 400~600A; (b) 800~1000A; (c) 1200~4000A; (d) 50~275A

1—导电杆 (或电缆接头); 2—螺母; 3—垫圈; 4—衬垫; 5—瓷盖; 6—封环; 7—罩; 8—密封垫圈;

9—瓷套; 10—压钉; 11—电缆; 12—密封垫圈; 13—衬垫; 14—放气塞; 15—圆螺母; 16—接线头

2) 注油式套管。注油式套管用于电压等级 60kV 及以上的变压器，连通型的结构如图 1-15 所示，没有下部瓷套，套管内的油是从变压器油箱内注入，因此变压器的储油柜就需抬得比较高。

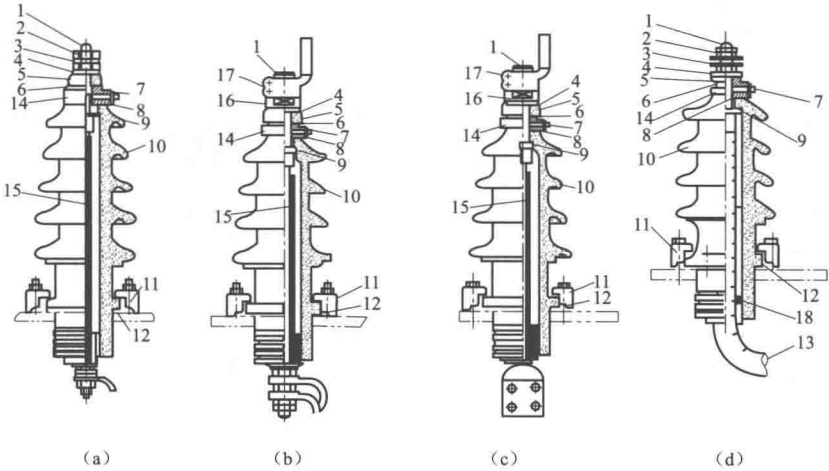


图 1-14 有附加绝缘的套管

(a) 300~600A; (b) 800~1000A; (c) 1200~3000A; (d) 35~400A

1—导电杆; 2—螺母; 3—垫圈; 4—衬垫; 5—瓷盖; 6—封环; 7—放气塞; 8—密封垫圈; 9—衬垫; 10—瓷套; 11—压钉; 12—密封垫圈; 13—加强绝缘的电缆; 14—罩; 15—绝缘管; 16—圆螺母; 17—接线头; 18—绝缘环

这种套管一般不拆卸运输，如果要拆卸，必须把套管的绝缘芯子（图 1-15 中项 1~3 和 11），单独装在小油箱中或装在变压器油箱中，套管的瓷套装在木箱中，其他零件（项 6、7 和项 13~19）用绳子扎好放在变压器包装箱中，这种不利因素加上外形大，就限制了这种套管的应用。

3) 电容式套管。60kV 及以上电压等级的套管，其结构逐渐趋向复杂。采用电容分压原理和具有较高击穿强度的固体绝缘，目前广泛应用于电压等级为 60、110、220、330kV 及以上的电容式套管。

电容式套管的引线与接地屏之间的绝缘，是多层紧密配合的绝缘纸和铝箱交错卷制成的电容芯子。根据电容芯子的材质及制造方法，电容式套管分为胶纸电容式和油纸电容式两种。

(a) 胶纸电容式套管。胶纸电容式套管分为胶纸电容式 (BR)、胶纸电容加强式 (BRQ)，可装电流互感器胶纸电容式 (BRL) 和可装电流互感器加强式 (BRLQ) 四种。它们之间除了中间法兰和上瓷套有长短之分外，其余结构基本上是一致的，主要由电容芯子、头部及储油柜、上瓷套、安装法兰部分和尾部均压球部分所组成。如图 1-16 所示。

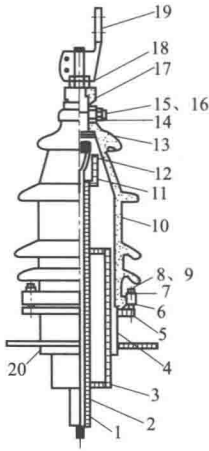


图 1-15 注油式套管

1—均压球; 2—有绝缘的导管; 3—绝缘筒; 4—升高座; 5—密封垫圈; 6、7—压圈; 8—螺杆; 9—螺母; 10—瓷套; 11—绝缘筒; 12—引线接头; 13—导电杆; 14—密封垫圈; 15—塞子; 16、17—封环; 18—螺母; 19—接线头; 20—均压环

(b) 油纸电容式套管。油纸电容式套管也分为油纸电容式 (BRY)、油纸电容加强式 (BRYQ)、可装电流互感器油纸电容式 (BRYL) 和可装电流互感器加强式 (BRYQL) 四种。

油纸电容式套管如图 1-17 所示, 也由电容芯子、头部及储油柜、上下瓷套、安装法兰部分和尾部所组成。

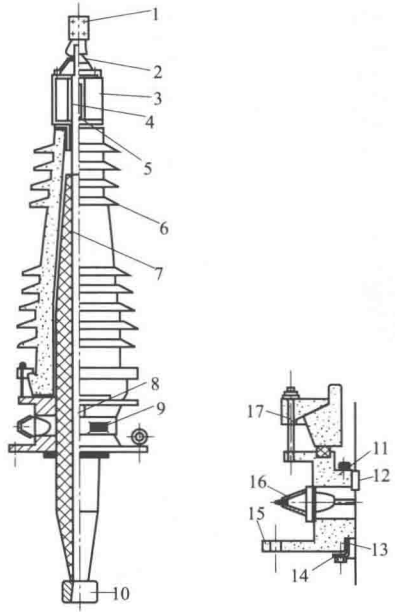


图 1-16 分段卡装式胶纸电容式套管

1—接线头; 2—放气塞和罩; 3—储油柜; 4—卡紧螺杆; 5—密封垫圈; 6—瓷套; 7—胶纸电容芯子; 8—取油样塞子; 9—铭牌; 10—均压球; 11—法兰; 12—锥形环; 13—封环; 14—压圈; 15—安装法兰; 16—接地套管 (测量端子) 和接地罩; 17—压圈 (压钉)

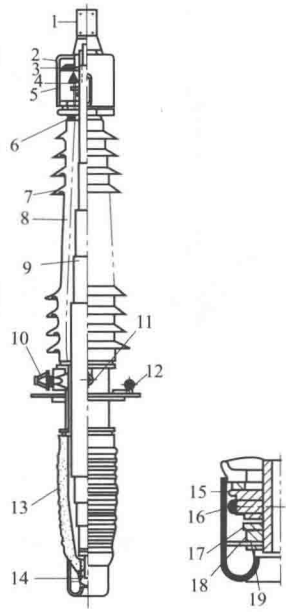


图 1-17 串装式油纸电容式套管

1—接线头; 2—均压罩; 3—压圈; 4—螺杆及弹簧; 5—储油柜; 6—密封垫圈; 7—上瓷套; 8—变压器油; 9—油纸电容芯子; 10—接地套管; 11—取油样塞子; 12—中间法兰; 13—下瓷套; 14—均压球; 15—底座; 16—放油塞; 17—封环; 18—垫圈; 19—螺母

(c) 220kV 油纸绝缘套管。套管采用油纸电容芯子做主绝缘、穿缆式载流方式以及采用多组压力弹簧产生的轴向压紧力套管, 实现的整体连接和主密封。252kV 的套管在瓷件与连接套管连接处还辅以卡装结构, 以增强该部位的连接密封强度, 套管的储油柜、连接套筒均选用铸造铝合金, 以减少磁滞和涡流损耗, 降低发热及温升。如图 1-18 所示。

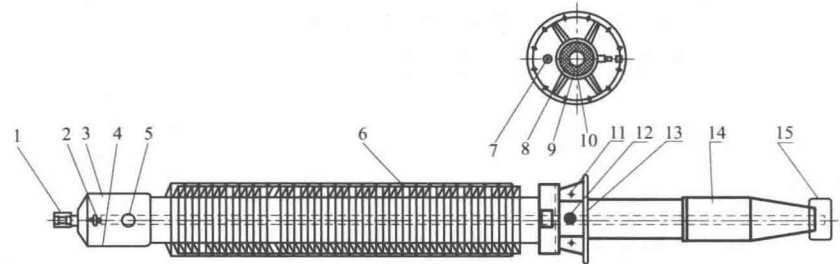


图 1-18 变压器油纸电容套管示意图

1—接线板; 2—引线接头; 3—储油柜; 4—油塞; 5—油表 (油位计); 6—户外套件; 7—放气塞; 8—电容芯子; 9—中心导管; 10—取油阀; 11—起吊孔; 12—测量引线装置; 13—安装法兰; 14—油中瓷件; 15—均压球

## 5. 散热器和冷却器

散热器和冷却器是油浸变压器的冷却装置，大型电力变压器一般都采用强油风冷却器和强油水冷却器两种形式，也可以使用片式散热器加上吹风装置作为大型变压器的冷却器。

冷却器由金属管制成，为了增加冷却面积在管子外表挤出有螺旋形的金属片。冷却管的两端各有一个集油箱，集油箱内焊有隔板，以便形成多回路的油循环路径。下集油箱的下端面装有潜油泵，潜油泵的吸入端直接装在第一个油回路上，吐出端通过油流继电器的连接管接在第二个油回路上。另外，在冷却器的外侧装有电风扇箱、导风筒及反装的电风扇和通风保护装置。当冷却器工作时，如果油的流速低于规定速度，装在潜油泵出口处的油流继电器可以报警。每台变压器设有一个总控制箱，每组冷却器装有一个分控制箱，可以控制油泵和风扇的自动投入和切除。

片式散热器由多个散热片组成，每个散热片用 1mm 厚的薄钢板冲压成形，两片对合后焊接组成一个散热片。每个散热片的两端都有一个凸出部分，把若干个散热片的凸出部分对焊在一起，构成一组散热片。凸出部分把各散热片连通在一起，构成一组散热片。

## 6. 变压器的其他主要部件

(1) 储油柜：俗称油枕，其作用是保证油箱内充满油，使变压器减少与空气的接触面，减少油的劣化速度；变压器油温随着负载和环境温度的变化而变化，当油的体积随着温度膨胀或缩小时，储油柜起储油及补油作用。在储油柜的侧面装有监视油位的油位计（玻璃式、连杆式、铁磁式）。储油柜内放置气囊，与呼吸器配合调节油位变化。

(2) 压力释放器。目前，大型变压器普遍使用压力释放器来代替安全气道。当变压器发生内部故障时，温度升高，油剧烈分解产生大量气体，使油箱内压力剧增，当压力达到防爆阀动作值时，压力释放器打开，油及气体将挡板顶开向外喷出，使油箱及时减压，防止变压器油箱爆炸或变形。

压力释放器安装在油箱顶盖的升高筒上，在压力释放器上面还装有事故导油管，以便使喷出的油导入地面的固定容器中。

(3) 呼吸器：当储油柜内的空气随变压器油的体积膨胀或缩小时，排出或吸入的空气都经呼吸器，呼吸器内的干燥剂吸收空气中的水分，对空气起过滤作用，从而保证油的清洁。通常在小罐内放入氯化钴浸渍过的变色硅胶作为吸潮剂，它在干燥情况下呈蓝色，吸收潮气后渐渐变为粉红色，此时即说明硅胶已失去效能。已失效的硅胶经 140℃ 烘干 8h 后即可继续使用。吸潮剂也可采用氯化钙等其他吸潮物质。呼吸器内的硅胶变色过程：蓝色→淡紫色→淡粉红（ $\geq 2/3$  时需更换）。吸湿器的构造如图 1-19 所示。

(4) 测温元件。变压器配备绕组测温 and 上层油温测量装置，在油箱上安装两只远方测温热电阻（一只接计算机，一只备用），热电阻为三线双支铂（Pt100）电阻。绕组测温能反映绕组的平均温升，油温测量装置监测上层油温。温度变量除在变压器本体上可观测外，还能将该信号以 4~20mA 模拟信号形式送出供远方显示。

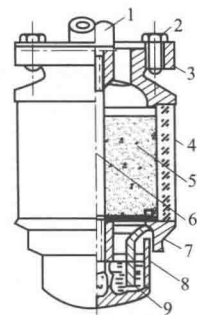


图 1-19 吸湿器构造

- 1—连接管；2—顶板紧固螺栓；
- 3—连接法兰盘；4—透明玻璃管；
- 5—硅胶；6—长螺杆；7—底座；
- 8—底罩；9—油封（变压器油）

1) 油温测量装置。一般装设两套油温测量装置(位于变压器两端)监视上层油温。每套提供4对无源接点,2对用于冷却器控制,1对用于信号回路,1对用于保护跳闸。还要提供至控制室的4~20mA油温度信号,并满足现场环境条件。

2) 绕组温度测量装置。装设一只绕组温度计监视绕组温度,使用交流220V电源,每只提供4对无源接点,2对用于冷却器控制,1对用于报警回路,1对用于保护跳闸。每只另提供至控制室的4~20mA绕组温度信号,并满足现场环境条件。

(5) 气体在线监测仪。变压器安装一台气体在线监测仪,用以监测特征气体的含量,判断变压器内部是否故障,并留有与诊断终端通信的计算机接口。同时能提供必要的模拟量和开关量输出,以便接入电厂、变电站监控系统,其中模拟量要求为4~20mA的输出,开关量为无源接点。

监测范围:变压器高压侧套管和变压器油。

系统:应包括套管在线检测、油中故障气体(8组分)在线检测和油中微水在线检测功能,以上检测功能应在统一管理平台下。每台变压器配一套系统主机,主机提供可通过硬接线接入控制系统的报警输出接点,并配有以太网适配器,能满足就地及通过局域网查看各种参数的要求。在线监测系统应配有诊断软件和专家系统,通过专家系统的分析,能够提供可靠、有效、明确的结果和建议采取的措施。

1) 变压器高压套管监测装置。①套管在线监测装置包括双功能末屏传感器、现场信号处理模块、传感器与处理模块之间的联系电缆及防护箱体等。②防护箱采用不锈钢材质,箱内配有加热器及温控器,根据设定温度或凝露点自动起停加热器。③末屏传感器安装后应满足距变压器本体各裸露点的带电距离要求,并不影响变压器出线。

2) 变压器油中故障气体监测装置。监测装置能够连续在线检测绝缘油中故障气体(氢气、甲烷、乙烷、乙烯、乙炔、一氧化碳、二氧化碳、氧气)含量、总可燃气体及微水,实现以上故障气体的含量和趋势预警,并远程通信到上位机(用通信电缆通信到上位机的工程师站),当故障气体含量或发展趋势超标时上位机工程师站能输出报警信号。

3) 变压器绝缘油微量水分在线监测装置。监测装置能够连续在线检测绝缘油中的微量水分含量。监测装置能够收集和记录数据,并经过数字通信上传系统主机。当微水含量或发展趋势超标时,上位机工程师站能输出报警信号。

### 三、有载调压分接开关

有载调压分接开关也称带负荷调压分接开关,其基本原理是在变压器的绕组中引出若干分接抽头,通过有载调压分接开关,在保证不切断负载电流的情况下,由一个分接头切换到另一个分接头,以达到变换绕组的有效匝数,即改变变压器变比的目的。

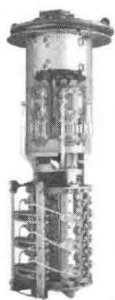


图 1-20 有载分接  
开关透视图

#### 1. 结构

变压器有载分接开关,它由切换开关(包括切换开关本体和切换开关油室)和分接选择器(带或不带转换选择器)组成,如图1-20所示。

(1) 切换开关本体。切换开关本体包括传动装置、绝缘转轴、快速机构、切换机构(触头系统)和过渡电阻器组成。快速机构直