

供电企业岗位技能培训教材

G O N G D I A N Q I Y E

GANGWEI JINENG
PEIXUNJIAOCAI

变电检修

山西省电力公司 组编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



供电企业岗位技能培训教材

变 电 检 修

山西省电力公司 组编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内容提要

《供电企业岗位技能培训教材》由山西省电力公司组织编写，内容涵盖了变电运行、线路运行与维护、变电检修、继电保护、电网调度、电网自动化、电力营销等专业领域。本套教材的编撰贯彻了“以现场需求为导向，以提高技能为核心”的指导思想，力求从实用角度出发，提高职工解决实际问题的能力，更适合一线职工学习和提高技能的需要。

本书为《变电检修》分册，根据变电检修专业维护人员应具备的基础理论知识、检修技能和要求进行编写，主要涉及高压系统设备。本书共分十一章，主要内容包括电力变压器、高压断路器、高压隔离开关、母线、高压互感器、高压熔断器、高压成套柜、电力电容器、电力电缆、避雷器及高压电气试验。每章后均附有复习思考题。

本书可作为供电企业变电检修人员的岗位培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

变电检修 / 山西省电力公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2009
供电企业岗位技能培训教材
ISBN 978 - 7 - 5083 - 8279 - 1

I. 变… II. 山… 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 (2008) 第 205905 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 4 月第一版 2009 年 4 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 7.75 印张 178 千字

印数 0001—3000 册 定价 16.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
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

《供电企业岗位技能培训教材》

编 委 会

- 主 任 王抒祥
- 副主任 曹福成 胡庆辉 王礼田 (常务)
- 委 员 张兴国 史更林 康成平 张 强 魏 琦
陈佩琳 左德锦 张薛鸿 霍建业 张雅明
楼鸿平 褚艳芳 王康宁 张文芳 崔作让
卢保喜 燕争上 丁少军 张学荣 韩海安
张占彪 赵文元 史小报 杨宇松 刘随胜
王文贤 王爱寿
- 主 编 丁少军
- 副主编 张冠昌 牛泓生 郭林虎
- 编 委 杨 澜 韩亚娟 齐 玮

《变电检修》编写组

组 长 王海龙
副 组 长 韩海安
成 员 王小红 张建昌 吴随莲 贺国强 李保安
贺临元
主 编 王海龙
副 主 编 郭 敏 滑 勉 毛晋生 李社勇
参编人员 杨海波 卢洪宝 要利华 靳红心 郭 兵
姚蕊霞 王小红 董建玲 李保安 史晋生

电力工业作为关系国计民生的基础能源产业，电网的稳定运行直接关系到国民经济的发展。2008年初的南方冰雪灾害更让人们深刻体会到电网的安全运行对人民群众日常生活的重要性。当前，电力工业已进入大机组、高参数、高电压、高自动化的发展时期，新技术、新设备、新工艺不断涌现，现代电力企业对职工的专业技能水平提出了更高的要求。要实现国家电网公司“一强三优”的企业目标，广大的电力工作者就必须不断地学习新技术、新知识、新技能，全面提高自己的综合素质。

山西省电力公司一直高度重视职工的教育培训工作，把该项工作重点纳入企业的发展规划当中，不断加大培训的投入力度，努力创建学习型企业。为适应新形势下员工培训的需求，使员工培训做到有章可循、有据可依，山西省电力公司组织编写了《供电企业岗位技能培训教材》，内容涵盖了变电运行、线路运行与维护、变电检修、继电保护、电网调度、电网自动化、电力营销等专业领域。本套教材的编撰贯彻了“以现场需求为导向，以提高技能为核心”的指导思想，力求从实用角度出发，提高职工解决实际问题的能力，更适合一线职工学习和提高技能的需要。同以往的培训教材相比，本套教材具有以下特点：

(1) 在整套教材的编写中突出了对实际操作技能的要求，不再人为地划分初、中、高技术等级，不同技术等级的培训可以根据实际情况，从教材中选取相关内容。在每一章结束时，均附有复习思考题，对本章的重点和难点内容进行温故，便于读者自学参考。

(2) 教材的编写体现了为企业服务的原则，面向生产、面向实际，以提高岗位技能为导向，强调“缺什么补什么、干什么学什么”的原则。

(3) 教材力求更多地反映当前的新技术、新设备、新工艺以及有关生产管理、质量监督和专业技术发展动态的内容。

《供电企业岗位技能培训教材》的编写人员主要由山西省电力公司的技术专家、多年从事教学工作的高级讲师组成，在编写前期经过了充分地论证，编写过程中经过了数次审定、多次修改，历时数月，终于告罄。在此，谨希望本套教材的出版，对广大电力职工技能水平的提高起到一定的指导作用，为建设“一强三优”的现代企业作出更大的贡献！

王抒祥

2008年8月

为适应电力网安全、稳定、持续、经济发展的需要，电网专业化技术技能亟待提高，一个有技术管理要求、有技能素质的职工队伍亟待发展、培育和壮大。国家电网公司“一强三优”目标的提出，对电网设备提出了更高的要求，电网设备要实现安全可靠运行，才能达到电网坚强和供电可靠。变电设备的检修，是保证设备可靠运行，减少设备事故的有效手段。

在电网发展日益庞大，用户对可靠性的要求越来越高的今天，变电检修更加显现出不可替代的作用。为此，在山西省电力公司及各专业部门的关心指导下，从事技术生产的管理者和实践者共同编写了《变电检修》分册，以满足输变电企业为适应电网发展所需的队伍建设、岗位培训和技能鉴定的培训需要。

本书本着深入浅学的原则，对电网变电专业高压（一次）系统设备的技术理论、维护检修作了系统的讲述。在讲述相关专业内容时，参考引用了许多成熟的专业理论和技术标准，编者结合实践经验，对已成熟的技术作了介绍，旨在结合岗位技能方面的规范要求，最大限度地实现理论为实践服务、为技能提供依据，从而使读者能较快地掌握基础理论和技术要求，提高工作技能。

由于编者水平有限，时间仓促，书中不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2008年8月

序

前言

第一章 电力变压器	1
第一节 变压器基础理论	1
第二节 变压器基本结构及作用	2
第三节 变压器基本性能及参数	7
第四节 变压器的检修及技术要求	11
第五节 变压器的一般维护和故障分析	16
复习思考题	18
第二章 高压断路器	19
第一节 断路器的作用和性能	19
第二节 高压断路器的结构及其作用	21
第三节 断路器的工作原理	28
第四节 断路器检修内容及技术要求	33
第五节 故障分析、处理与维护	36
复习思考题	37
第三章 高压隔离开关	38
第一节 高压隔离开关的性能参数及作用	38
第二节 高压隔离开关类型及结构	40
第三节 高压隔离开关的检修	42
第四节 隔离开关的操动机构	43
第五节 高压隔离开关调试的基本要求	47
复习思考题	48
第四章 母线	49
第一节 母线的分类、性能及技术条件	49
第二节 硬母线的构成及作用	52
第三节 母线检修	53
复习思考题	60
第五章 高压互感器	61
第一节 高压互感器的原理及作用	61
第二节 高压互感器的类型	62
第三节 互感器的检修	66
第四节 高压互感器技术特征及运行技术要求	70
复习思考题	72

第六章 高压熔断器	73
第一节 高压熔断器结构性能	73
第二节 高压熔断器用途及参数	75
第三节 熔断器技术性能及检修	75
复习思考题	77
第七章 高压成套柜	78
第一节 高压成套柜的分类和性能	78
第二节 高压成套柜的功能	79
第三节 高压成套柜的检修及维护	82
复习思考题	84
第八章 电力电容器	85
第一节 电容器的工作原理及应用	85
第二节 电力电容器的类型与结构	85
第三节 电力电容器的技术要求	86
第四节 电力电容器的检修	88
第五节 电抗器	88
复习思考题	90
第九章 电力电缆	91
第一节 电力电缆的性能、结构及种类	91
第二节 电力电缆装配	95
第三节 电力电缆日常维护及故障处理	99
复习思考题.....	100
第十章 避雷器	101
第一节 避雷器的种类及工作原理.....	101
第二节 避雷器的维护检修.....	105
复习思考题.....	105
第十一章 高压电气试验	106
第一节 电气试验内容及要求.....	106
第二节 主要电气设备的试验内容及标准.....	110
复习思考题.....	113



电力变压器

变压器是一种静止的电气设备,类似一台发电机,利用电磁感应原理,将一种电压等级的交流电能转变成另一种电压等级的交流电能。在电力系统中,变压器将不同电压等级的线路连接起来,以实现系统电能输配。电力变压器是电力系统中的重要设备之一,在长距离输送电能时,其功率损耗与电压的二次方成反比,即电压越高,输电线路损耗越小,因此要减少输电线路损耗,电网输配中需要将电压等级提高。发电厂的发电机输出电压由于受发电机绝缘水平的限制,通常设计制造能力只能做到 6.3、10.5kV,最高不超过 20kV。电网长距离输送电能时,需通过升压变压器将电压升高到几万伏或几十万伏以上,以降低输电损耗。然而这一高电压电势输送到负荷区后,不适于用电设备的供电,必须经降压变压器将高电压降为适应配电网所需要的低电压,故在这一系统中需要大量的降压变压器,将高电压转换成与之适用的不同等级的低电压,以满足各类负荷的需要。

第一节 变压器基础理论

变压器的工作原理如图 1-1 所示。

变压器是根据电磁感应原理工作的,在闭合的铁芯上,绕有两个互相绝缘的绕组,其中接入电源的一侧为一次绕组,输出电能的一侧为二次绕组。交流电源电压 \dot{U}_1 加到一次绕组后,就有交流电流 \dot{I}_1 通过该绕组,此时铁芯中产生交流磁通 $\dot{\Phi}_m$,即有了磁通势,电动势变成磁通势,实现交变磁通。这个交变磁通不仅穿过一次绕组,同时也穿过二次绕组,两个绕组分别产生感应电动势 \dot{E}_1 和 \dot{E}_2 ,这时,二次绕组与外电路的负荷接通,就有 \dot{I}_2 流入负载,即二次绕组有了电能输出。

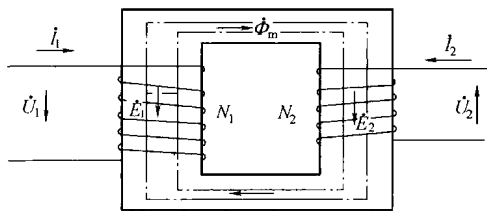


图 1-1 变压器工作原理图

根据电磁定理可得到:

一次绕组感应电动势

$$\dot{E}_1 = 4.44fN_1\dot{\Phi}_m \quad (1-1)$$

二次绕组感应电动势

$$\dot{E}_2 = 4.44fN_2\dot{\Phi}_m \quad (1-2)$$

式中 f ——频率;

N_1, N_2 ——一、二次绕组匝数;

$\dot{\Phi}_m$ ——铁芯主磁通。

依据能量守恒定律可得出

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (1-3)$$

由此可见，变压器一次侧和二次侧感应电动势之比等于一、二次绕组匝数之比（即变压器变比）。

由于一次绕组的漏抗和电阻都比较小，可忽略不记，因此可以近似地认为：一次电压有效值 $U_1 \approx E_1$ ，二次电压有效值 $U_2 \approx E_2$ 。于是

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (1-4)$$

式（1-4）即为变压器变比公式。

如果忽略变压器的内损耗，可以认为变压器二次输出功率等于变压器一次输出功率，即 $P_1 = P_2$ ，也即 $I_1 U_1 = I_2 U_2$ ，其中 I_1 ， I_2 分别为变压器一、二次电流的有效值，由此可得

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K} \quad (1-5)$$

式（1-5）即为变压器电流比公式。

由此可得出以下结论：

（1）由于变压器一、二次绕组匝数不同，因此一、二次绕组的电压也不相等。匝数多则电压高，匝数少则电压低，说明电压之比与匝数之比成正比。

（2）变压器一、二次电流之比与一、二次绕组的匝数比成反比，即变压器匝数多电流小，匝数少电流大。

（3）变压器电压高的一侧电流必小，电压低的一侧电流必大，这就是变压器改变电压或实现升降电压的基本理论。

◎ 第二节 变压器基本结构及作用

变压器主要由磁路、铁芯、绕组、绝缘支撑、变压器油、箱体、调压电路及辅助功能配置等部件组成。

1. 铁芯

变压器铁芯是磁路部分，由铁芯柱和铁轭两部组成，绕组套装在铁芯柱上，而铁轭则用作整个磁路闭合。铁芯一般有芯式和壳式两种结构。

（1）芯式铁芯。其特点是铁轭靠着绕组的顶面和底部，但不包围绕组的侧面，即绕组包围铁芯。

（2）壳式铁芯。其特点是铁轭不仅包围顶面和底层，也包围侧面，即铁芯包围绕组。

芯式铁芯结构简单，绕组的布置和绝缘也较容易，因此电力变压器主要采用芯式铁芯结构，也有一些特种变压器采用壳式铁芯结构。

铁芯材料要求磁导率高，导磁性能好。变压器铁芯采用硅钢片叠制而成。硅钢片有热轧和冷轧两种，由于冷轧硅钢片性能优于热轧，故而普遍采用冷轧硅钢片。硅钢片的厚度大致可分为 0.35、0.30、0.27mm 等几种，硅钢片厚则涡流损耗大，反之则小。在使用工艺中，片与片之间表面涂覆一层绝缘漆以达到绝缘。

2. 绕组

绕组是电路部分，一般用绝缘纸包的导线（铝、铜）绕制而成。根据高、低压绕组排列方式不同，绕组分为同心式和交叠式两种。为了便于绕组和铁芯绝缘，通常将低压绕组靠近铁芯柱，高压绕组放置外侧。对于交叠式绕组，为了减小绝缘距离，通常将低压绕组靠近铁轭。

3. 绝缘

变压器的绝缘分为主绝缘、纵绝缘两部分。主绝缘是指绕组对地之间、绕组相间、同相绕组不同电压等级之间的绝缘。纵绝缘是指同电压等级绕组的的不同部位之间（如匝间）、绕组对静电围屏之间、围屏对外壳之间的绝缘。上述绝缘是依靠变压器绝缘材料做支撑的，主要材料包括变压器油、绝缘纸板、电缆纸、皱纹纸、白布带等。

变压器油是主要的绝缘介质，是主、纵绝缘得以保证的关键。变压器油的电气绝缘强度极为可靠理想，在理论研究方面可承受击穿电压 $400\text{kV}/\text{mm}$ ，工程用可满足 $25\sim 30\text{kV}/\text{mm}$ 。而变压器绝缘间隙应是这一标准的几十倍甚至上百倍。其他绝缘材料如纸板、布等的绝缘能力也在 $20\sim 100\text{kV}/\text{mm}$ 之间，足以满足绝缘需求。

变压器油有绝缘和冷却两个作用。变压器油的主要性能指标有绝缘强度、黏度、酸价、闪点、凝固点、水溶性酸等。变压器油要求十分纯净，不能含杂质（如酸、碱、硫、水分、灰尘、纤维等）。一旦含有少量水分，将使绝缘性能大大降低，还会使绕组绝缘损坏，腐蚀金属，散热效果差。

4. 分接开关

为了供给稳定电压、控制电力潮流或调节负载电流，均需对变压器进行电压调整。变压器调整电压的方法是在变压器的绕组（双绕组变压器只在高压侧装设，三绕组变压器在高、中压侧装设）装设分接，以切除或增加绕组匝数，从而改变电压比，是一种有级调整电压的方法。这种绕组抽出分接以供调压的电路称为调压电路；变换分接以进行调压所采用的开关称为分接开关。一般分接开关是高压绕组抽出适当分接，这是因为：①高压绕组套在外面，引出分接方便；②高压侧电流小，分接引线和分接开关的载流部分截面小，开关触头也容易制造。

当变压器停电，即二次侧不带负载、一次侧与电网断开时，通过人工倒换分接的调压，称为无励磁调压，也称为无载调压。当变压器在运行带电情况下或带负载进行变换绕组分接的调压，称为有载调压。

（1）无载调压。无载调压是在变压器一、二次侧都脱离电网的情况下，借变换其一次侧分接头来改变绕组匝数进行分级调压的，中间一个分接头相当于额定电压。由于其分接头由线圈末端引出，所以称中性点调压。

当由于一次侧电压偏高致使二次侧电压也偏高时，可将分接开关换接到 $+5\%$ 分接头，二次侧电压则可接近于额定电压 U_{2N} 。当一次侧电压偏低致使二次侧电压也偏低时，可将分接开关换接到 -5% 分接头，同样二次侧可获得接近于 U_{2N} 的电压。当一次侧电压接近 U_{1N} 时，分接开关也换接到 U_{1N} 的主接头，则二次侧也可获得接近于 U_{2N} 的电压。

大容量变压器一般有 5 个分接位置，相应的电压变化范围为额定电压的 $\pm 2.5\%$ 和 $\pm 5\%$ 。5 个分接位置一般以罗马数字 I、II、III、IV、V 表示，它们分别对应于 105% 、 102.5% 、 100% 、 97.5% 、 95% 的额定电压。分接头由绕组的中部引出（称中部调压）。变

压器每相绕组用一只独立传动的分接开关,可以转换5个分接位置。

(2) 有载调压。有载调压就是在变压器带负荷运行中,通过变换一次分接头,改变一次绕组的匝数来进行分级调压的。其调压范围可以达到额定电压的 $\pm 15\%$ 。电力系统中有载调压变压器的主要作用如下:

- 1) 稳定电力网在各负载中心的电压,以提高供电质量。
- 2) 作为两个电网之间的联络变压器,利用有载调压来分配和调整网络之间的负载。
- 3) 作为带负载调节电流和功率的电源,以提高生产效率,如电化工业、电冶炼工业中所用的电炉变压器、整流变压器等。

有载调压分接开关的结构如图1-2所示。有载调压分接开关在变换分接头过程中,必须利用电阻实现过渡,以限制其过渡时的环流,其分接头变换过程如图1-3所示。有载调压分接开关的主触头接通分接头4,负载电流由分接头4输出。当变压器低压侧电压降低时,需要提高变压器低压侧电压,这就需要将开关从分接头4换接到分接头5。换接过程中,由串联过渡电阻 R 的辅助触头接通分接头5,这时主触头仍然接在分接头4上,负载电流仍经由分接头4从主触头输出,而分接头4、5则被主触头和辅助触头连接起来,成为一个闭合回路。在这个闭合回路里,由于两个分接头之间线圈的感应电动势的作用,将会出现闭合环流 I_h ,由于电阻 R 的限流作用,环流 I_h 不会很大。然后,主触头脱离分接头4,负载电流经分接头5从辅助触头输出。主触头和辅助触头同时接通分接头5,这时负载电流基本上由主触头输出,而辅助触头内只通过很小的电流。

所以,当辅助触头从分接头5断开时,基本上不产生电弧。切换时间为 $0.02\sim 0.03\text{s}$ 。如需再切换到各分接头7、8、9、...切换情况与上述过程一样。

5. 油箱

油箱是油浸式变压器的外壳,器身置于油箱内,箱内注满变压器油。油箱分为箱式和钟罩式两类。箱式适用于容量小的变压器(上盖与铁芯一体);钟罩式是将油箱罩在铁芯和绕组上,检修时只需把它吊起来,铁芯和绕组就可全部露出,检修方便,改变了以前检修时要把铁芯和绕组吊起来的所谓吊芯检查过程。近年来,电力系统中,大、中型变压器大多采用钟罩式。

6. 冷却装置

变压器运行时,由于绕组和铁芯中产生的损耗转化为热量,因此必须及时散热或冷却,以免变压器绝缘材料老化,寿命缩短或过热而造成事故。变压器配置的冷却装置主要起散热作用,可根据容量大小,采用不同的冷却装置。

一般小容量($8000\text{kV}\cdot\text{A}$ 以下)变压器,绕组和铁芯所产生的热量可经过变压器油与油箱内壁的接触,通过外壁与自然空气接触而形成自然散热冷却,或增加外壁辅助性的散热箱,以增大散热面积。

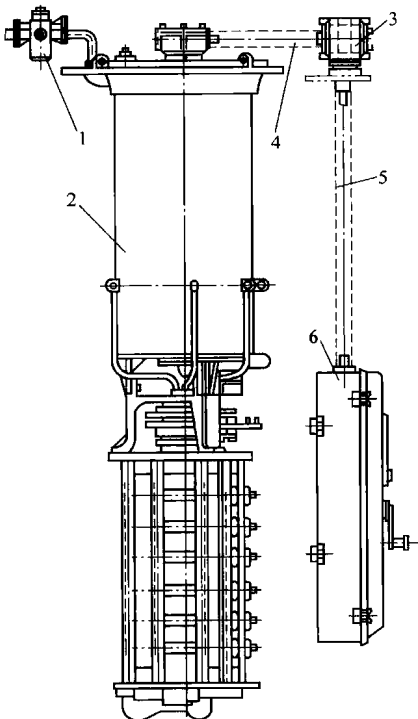


图 1-2 有载调压分接开关结构图

- 1—保护继电器; 2—有载分接开关;
- 3—圆锥齿轮传动箱; 4—水平传动轴;
- 5—垂直传动轴; 6—电动机

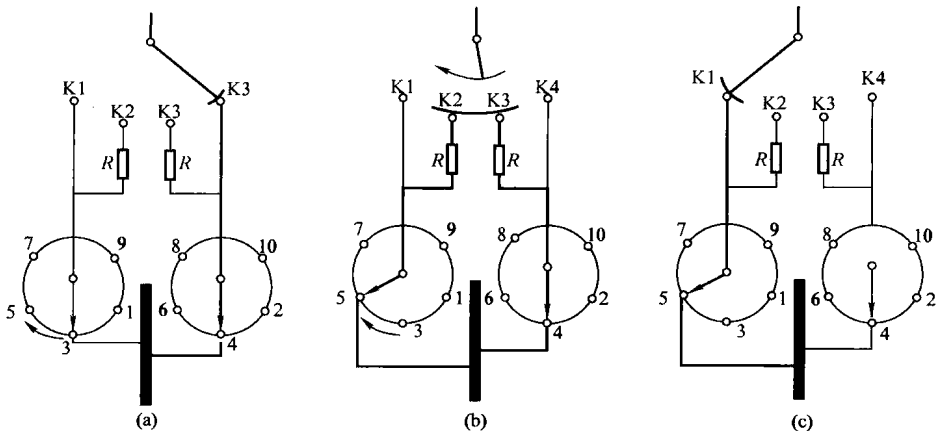


图 1-3 有载调压分接开关分接头变换过程

(a) 阶段 1; (b) 阶段 2; (c) 阶段 3

大容量变压器 (50 000kV·A 以上) 则应配置冷却风扇, 以增强冷却效果。如配置强油循环形式下的风冷或水冷来加强冷却效果, 这种形式是通过数台潜油泵对变压器进行加压高流速促进油流循环, 再通过强制风或水的介质冷却, 使变压器油得到更充分的冷却效果。考虑到节能效果, 目前大容量变压器也采用自冷形式。

7. 储油柜

变压器油因温度的变化, 会发生热胀冷缩现象, 油面将随温度的变化而上升或下降。因此, 储油柜的作用是油位调节。同时储油柜容量应与变压器容量配套, 是变压器整体油容量的 8%~10%。储油柜在运行中还具有密闭容器的作用, 隔绝容器内变压器油及电器与大气的连通, 对保证变压器油的绝缘效果和变压器油位正确指示有着重要作用。

变压器储油柜有如下几种结构方式:

(1) 胶囊式储油柜, 如图 1-4 所示。

(2) 波纹式储油柜, 如图 1-5 所示。

波纹式储油柜的膨胀体为全密封结构, 不需加装吸湿器, 变压器油与外界空气完全隔绝。因波纹片采用不锈钢材料, 可有效防止油质劣化, 且补偿量大。储油柜可在微正压下运行, 结构简单, 安装方便, 注油容易。

8. 压力释放阀

变压器顶部装有压力释放装置, 早期是防爆筒, 后期为压力释放阀。防爆筒以玻璃作为压力释放, 这种装置易拒动或误动, 其动作值不准确, 密封性能差, 易出现渗水或潮气进入高压绕组侧的现象; 压力释放阀是通过电接点预警在准确压力值下的动作, 可靠性好, 密封性能好。当变压器内部故障 (短路形成气体压力) 而气体 (瓦斯) 继电器拒动时, 箱内气压将压力释放阀冲顶破裂释放压力或喷出油气, 以保护变压器不

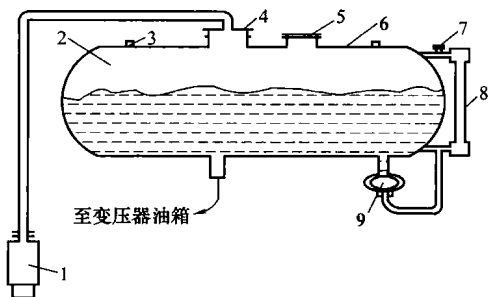


图 1-4 胶囊式储油柜

1—吸湿器; 2—胶囊; 3—放气塞; 4—胶囊压板;
5—安装手孔; 6—油柜; 7—油标注油及呼吸塞;
8—油标; 9—油标小胶囊

受到毁灭性的损害，降低事故损坏程度。

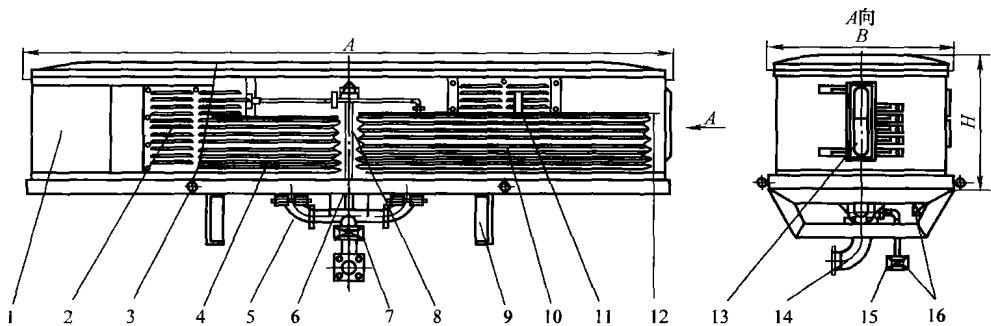


图 1-5 波纹膨胀储油柜

- 1—外壳；2—散热窗；3—吊柄；4—排气软连管；5—输油管路；6—接线端子盒；7—80 蝶阀；
8—排气管；9—柜脚；10—波纹膨胀芯体；11—芯体保护装置；12—油位指示；13—视窗；
14—软连接管；15—注油管；16—40 蝶阀

9. 净油器

净油器是用来改善运行中的绝缘油特性，防止绝缘油老化的装置。净油器的主要部分是用钢板焊成的圆筒形净油罐（在上部侧面有连接法兰），它和散热器一样装在电力变压器的油箱上，罐内充满吸附剂（如硅胶之类）。在电力变压器运行过程中，由于上层油和下层油之间有温差，绝缘油从上向下经过净油罐形成对流，使绝缘油与吸附剂接触，油中的水分、渣滓、酸和氧化物等被吸附剂吸取，从而使油质保持清洁，延长了绝缘油的使用年限。

净油罐的底部有放油塞，上部有放气塞。为了便于更换吸附剂，罐的上、下盖板都做成可拆式的，同时在油管道的上端和下端都装有平板式油阀门。只需关闭油阀门，隔绝净油罐与油箱的油路，就可以放出净油罐中的存油，然后拆开上、下盖板，更换吸附剂。

10. 气体继电器

气体继电器位于储油柜与油箱盖上部联管之间。当变压器内部发生故障（绝缘击穿、匝间短路等）产生气体或油位缺失等使油面降低，失去对电气的绝缘支撑时，气体继电器首先接通控制回路相关信号或执行跳闸保护过程，以保护变压器的安全运行。气体继电器安装应正确，箭头指向储油柜为正确方向，应避免逆向造成继电器误动或拒动。该继电器应沿储油柜方向具有 1%~1.5% 的倾斜度，以便气体集结及采集。

11. 绝缘套管

变压器内部的高、低压引线经绝缘套管引到油箱外部并与外接线相连接。高压套管起固定引线和对地绝缘的作用。

绝缘套管的种类较多，目前广泛使用的有以下几种：

(1) 10kV 以下的为单体瓷质绝缘套管。瓷套内为绝缘油，中间穿过一根导电铜杆，以绝缘油和瓷套为绝缘。

(2) 60kV 及以下和低电压大电流的瓷质充油式绝缘套管。套管上部有一放气螺孔，套管内充的油和变压器本体相通。变压器安装（或大修）后、投入运行前，必须将此螺孔打开，当油溢出后，将套管内部的空气排除干净，再拧紧堵塞螺钉，以防在强电场下套管内有空气时而被击穿。

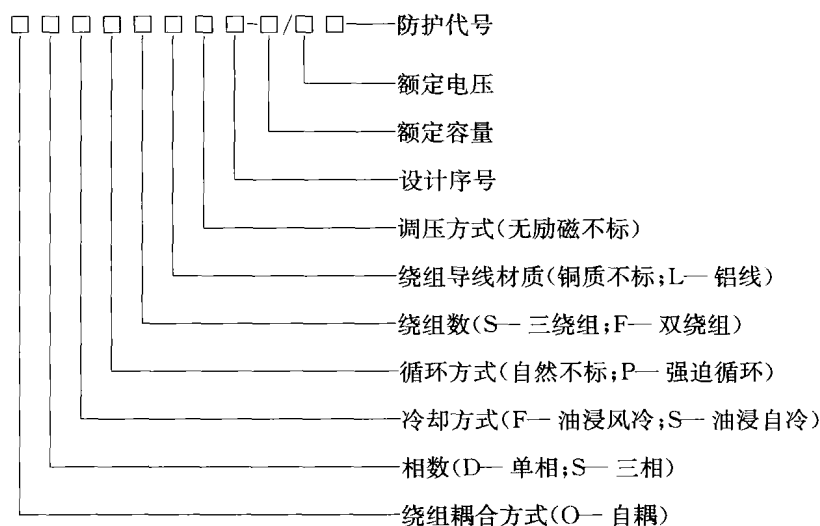
(3) 全密封油浸纸电容式套管。它是在套管的芯管（铜管）上用绝缘纸和锡箔纸分层绕成线垂形。套管自身密封，不和变压器本体连通，套管内注有变压器油。此种套管有保护好、尺寸小、质量轻等优点。110kV 及以上出线均采用此种套管。有的全密封油浸纸电容式套管内部可装套管形电流互感器，供测量和保护用。

◎ 第三节 变压器基本性能及参数

1. 型号

变压器型号是变压器主要性能的一个基本缩写，一般标注在设备铭牌上。铭牌上标注有变压器名称、型号、产品代号、标准代号、制造厂名、出厂年月日、出厂序号及主要性能的技术参数。

变压器型号的主要表示方法和含义如下：



例如：ODFPSZ-250000/500，表示自耦、单相、油浸风冷、强油循环、三绕组、有载调压、额定容量为 250 000kV·A、额定电压为 500kV 的变压器；SFZ-10000/110，表示三相、油浸风冷有载调压、额定容量为 10 000kV·A、额定电压为 110kV 的变压器。

电力变压器型号描述了它的基本性能特征，但一些具体技术条件或电气特征还应有具体的定义过程。

2. 相数

变压器分单相和三相两种，一般是三相一体的。通常小型变压器（电压极低、容量极小）或特大型变压器（电压极高、容量极大）做成单相，特大型变压器因考虑运输条件制约而制成单相。

3. 额定频率

我国规定交流电的额定频率是 50Hz，故变压器设计频率是 50Hz。

4. 额定电压

额定电压是指变压器线电压有效值，它应与所连接的输变电路电压相符合。我国输变

电线路的电压等级一般有 0.38、10、35 (63)、110、220、330、500kV 等。因此连接于线路终端的变压器（降压变压器）的一次侧额定电压与上列数值相同。

考虑到线路电压降，线路始端（电源侧）电压将高于等级电压，35kV 以下高 5%，35kV 及以上高 10%。即线路始端电压为 0.4、10.5、38.5 (69)、121、242、363、550kV。因此连接于线路始端的变压器（即升压变压器）的二次侧额定电压与上列数值相同。

5. 额定容量

额定容量是指在变压器铭牌规定的状态下，变压器二次侧的输出能力，单位符号为 $kV \cdot A$ 。对于三相变压器，额定容量是三相容量之和。

对双绕组变压器，其额定容量即是绕组的额定容量；对多绕组变压器，应对每个绕组的额定容量加以规定，其额定容量为最大的绕组额定容量。

变压器额定容量的大小与电压等级成正比关系。电压低，容量做大时，电流大，损耗也增大；电压高，容量做小时，绝缘比例过大，变压器尺寸也相对增大。因此，电压低的变压器容量必小，电压高的变压器容量必大。

6. 额定电流

变压器的额定电流为通过绕组线端的电流，即为线电流（有效值）。它的大小等于绕组的额定容量除以该绕组的额定电压及相应的相系数（单相为 1，三相为 $\sqrt{3}$ ），即

$$I_N = \frac{S_N}{kU_N} \quad (1-6)$$

式中 I_N ——变压器额定电流；

S_N ——变压器额定容量；

k ——系数，单相为 1，三相为 $\sqrt{3}$ ；

U_N ——变压器额定电压。

则单相变压器额定电流为 $I_N = S_N / U_N$ ，三相变压器额定电流为 $I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N}$ 。

三相变压器绕组为 Y 联结时，线电流为绕组电流； Δ 联结时线电流等于 $\sqrt{3}$ 倍的绕组电流。即：Y 联结时， $I_l = I_c$ ， $U_l = \sqrt{3}U_{ph}$ ； Δ 联结时， $I_l = \sqrt{3}I_c$ ， $U_l = U_{ph}$ 。其中 I_l 为线电流， U_l 为线电压， I_c 为绕组电流， U_c 为绕组电压， I_{ph} 为相电流， U_{ph} 为相电压。

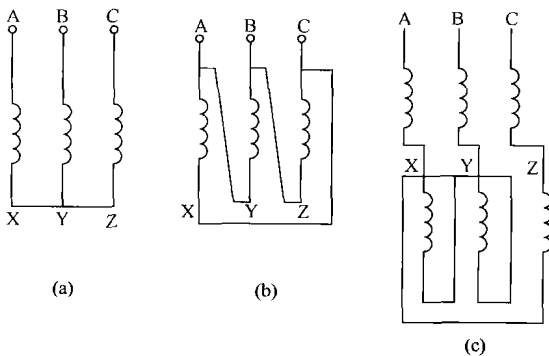


图 1-6 三相绕组的联结

(a) 星形联结；(b) 三角形联结；(c) 曲折形联结

7. 绕组联结组标号

变压器同侧绕组是按一定形式联结的。三相变压器组或三相变压器的单相变压器，可以联结成星形、三角形、曲折形，如图 1-6 所示。

星形、三角形、曲折形联结，对于高压绕组分别用 Y、D、Z 表示，中低压绕组分别用 y、d、z 表示。有中性点引出时，星形联结用 YN、yn、yn 表示；曲折形联结用 ZN、zn、zn 表示。

变压器按高压、中压、低压绕组联结