

BIANDIAN SHEBEI YUNWEI
JISHU TUJIE

变电设备运维

技术图解

● 广东电网有限责任公司东莞供电局变电管理一所 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

BIANDIAN SHEBEI YUNWEI
JISHU TUJIE

变电设备运维

技术图解

● 广东电网有限责任公司东莞供电局变电管理一所 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为了提高现场运行人员对变电设备的熟悉程度，切实增强其技能水平，使运行人员能正确处理各种异常现象和事故，本书结合现代化变电站实际设备，采用大量一次设备仿真实物图，系统地介绍了变电站中各种一次设备的工作原理、构造、一般异常处理等内容。力求浅显易懂又不失专业性，使运行人员能尽快完成理论与实践的结合，并运用到工作中去。

全书共分9章，分别为变压器、断路器、10kV开关柜设备、隔离开关、电流互感器、电压互感器、无功补偿装置（电容器/电抗器）、避雷器、六氟化硫封闭式组合电器。书中涵盖了一次设备的运行基础知识、设备的巡视与维护、倒闸操作、一般事故处理以及变电站值班员工作中可能遇到的各类问题。

本书可供从事变电设备运行维护的技术人员使用，也可作为变电专业相关人员进行岗位培训考核、职业技能鉴定的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

变电设备运维技术图解 / 广东电网有限责任公司东莞供电局
变电管理一所组编. —北京：中国电力出版社，2015.5

ISBN 978-7-5123-7107-1

I. ①变… II. ①广… III. ①变电所-电气设备-电力系统
运行-图解②变电所-电气设备-维修-图解 IV. ①TM63-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 014855 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>）

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015年5月第一版 2015年5月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 8.5印张 136千字

定价 42.00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 编 王永源

副主编 张汉光 张 刚

编写人员 范 建 黄杰明 黄国尊

前 言

目前，在针对变电设备运维的培训教材中，很多内容还停留在以往旧式设备上，与目前现场设备存在较大差别，且大都以文字理论为主，缺少图例说明，这在很大程度上脱离了集控中心工作的实际情况，造成了理论与实践的脱节，不利于基层技术人员的培养。为了提高现场运行人员对变电设备的熟悉程度，切实增强其技能水平，使运行人员能正确处理各种异常现象和事故，编者编写了本书。

本书主要结合现代化变电站实际设备，采用大量一次设备仿真实物图，比较系统和详细地介绍了变电站中各种一次设备的工作原理、构造、一般异常处理等内容，力求浅显易懂又不失专业性，使运行人员能尽快完成理论与实践的结合，并运用到工作中去。为了便于分析，本书以某一集控中心的 220kV 及 110kV 变电站的设备配置为模板，选取了典型常用的一次设备进行介绍，具有普遍意义。

全书共分 9 章，分别为变压器、断路器、10kV 开关柜设备、隔离开关、电流互感器、电压互感器、无功补偿装置（电容器/电抗器）、避雷器和六氟化硫封闭式组合电器。书中涵盖了一次设备的运行基础知识、设备的巡视与维护、倒闸操作、一般事故处理以及变电站值班员工作中可能遇到的各类问题，基本上满足了变电站值班员应具备的知识和技能要求，可作为变电站值班员进行岗位培训考核、职业技能鉴定的参考书。

全书由王永源任主编，张汉光、张刚任副主编，范建、黄杰明、黄国尊参与了各章节内容的编写工作。在本书编写的过程中，得到了东莞供电局变电管理一所各兄弟班站的支持与帮助，在此表示衷心的感谢！

由于编者经验和理论水平有限，书中难免有错误或不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2014 年 8 月

目 录

前言

1	变压器	1
2	断路器	30
3	10kV 开关柜设备	54
4	隔离开关	70
5	电流互感器	81
6	电压互感器	93
7	无功补偿装置（电容器/电抗器）	101
8	避雷器	112
9	六氟化硫封闭式组合电器	118
	参考文献	128

1

变电设备运维技术图解

变压器

电力变压器是通过电磁耦合把一种等级的电压转换成同频率的另一种等级的电压的电气一次设备。它是电力系统的主要元件之一。常规型变压器用于送、受电（即升、降压），自耦型变压器用于耦合不同电压等级的电力系统。在电力长距离传输中，变压器担当重要的角色，被称为“变电站的心脏”（见图 1-1）。



图 1-1 变电站中的变压器

1 变压器的作用

变压器在电力系统中的主要作用是变换电压，以利于功率的传输（见图 1-2）。电压经升压变压器升压后，可减少线路损耗，提高送电的经济性，达到远距离送电的目的；降压变压器能把高电压变为用户所需要的各级使用电压，满足用

户需要。

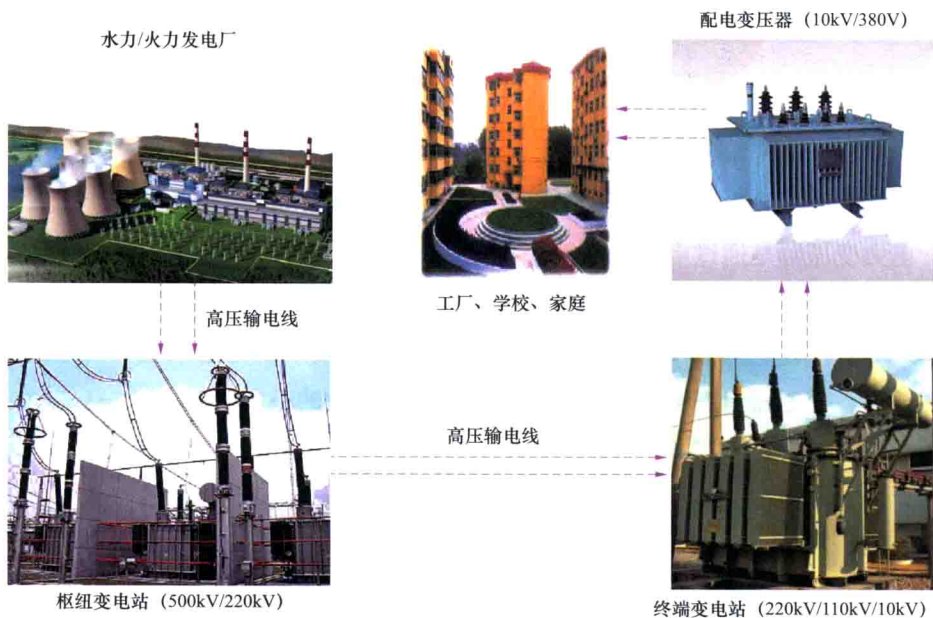


图 1-2 电力系统中的变压器

根据电路原理，电力系统中输送的电功率 $P=UI$ ，当功率一定时，电流 I 的大小与电压 U 成反比，而电能 在输电线上的损耗主要是发热损失 $P_{\text{损}}=I^2R$ ，因此为了降低输电过程中的电能损失，就要通过升压变压器将电压 U 升高，从而降低电流 I ，达到减小电能损耗的目的。

2 变压器的分类

变压器按不同的特征分类如下：

- 1) 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；
- 2) 按相数可分为单相变压器和三相变压器等；
- 3) 按冷却方式可分为油浸式变压器和干冷式变压器等；
- 4) 按调压方式可分为无载调压变压器和有载调压变压器。

下面将介绍一些典型变压器的型号及技术参数。

3 变压器型号序列及技术参数

常见的变压器主要有 220kV 变压器和 110kV 变压器两种，如图 1-3 所示。其中，典型 220kV 变压器的技术参数及型号含义分别见表 1-1、表 1-2；典型 110kV 变压器的技术参数及型号含义分别见表 1-3、表 1-4。



图 1-3 常见变压器

(a) 220kV 变压器；(b) 110kV 变压器

表 1-1

典型 220kV 变压器参数

技术参数	
SFPSZ9-240000/220	
相数	3
油号	#25
频率	50Hz
冷却方式	ODAF 强迫油循环风冷
联结组别	YN, yn0, d11
额定容量	240/240/80 MVA
额定电压	$(220 \pm 8) \times 1.25\% / 121 / 11kV$
额定电流	630/1145/4199A
空载损耗	88.5kW
空载电流	0.14%
负载损耗 (kW)	高-中 658.1, 高-低 211.4, 中-低 209.6
阻抗电压	高-中 30.64%, 高-低 76.85%, 中-低 13.44%

表 1-2 **220kV 变压器型号含义**

O	绕组耦合方式（一般不标，O—自耦）
S	相数（D—单相，S—三相）
F	循环方式（J—油浸自冷，亦可不标；G—干燥空气自冷；C—干式浇注绝缘；F—油浸风冷；S—油浸水冷）
P	循环方式（自然循环不标，P—强迫循环）
S	绕组数（双绕组不标，S—三绕组，F—双分裂绕组）
Z	调压方式（Z为有载调压，无载调压不标）
240000	额定容量（kVA）
220	高压绕组额定电压等级（kV）

表 1-3 **典型 110kV 变压器参数**

技术参数	
SZ11-63000/110	
相数	3
油号	#25
频率	50Hz
冷却方式	ONAN 油浸自冷
联结组别	YN, d11
额定容量	63MVA
额定电压	$(110 \pm 8) \times 1.25\% / 10.5\text{kV}$
空载损耗	27.563kW
空载电流	0.07%
负载损耗	215.246kW
短路阻抗	16.11%

表 1-4 **110kV 变压器型号含义**

S	相数（D—单相，S—三相）
Z	调压方式（Z为有载调压，无载调压不标）
11	设计序号
63000	额定容量（kVA）
110	高压绕组额定电压等级（kV）

4 变压器的工作原理

变压器主要由铁芯和绕组组成。它是按照电磁感应原理工作的。当一次绕组加上电压、流过交流电流时，在铁芯中就会产生交变主磁通 Φ 。在主磁通的作用下，两侧的绕组分别产生感应电动势，电动势的大小与匝数成正比，如图 1-4 所示。一、二次电压关系：

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{N_1}{N_2} = k \quad (1-1)$$

一、二次电流关系：

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{k} \quad (1-2)$$

式中 k ——变压器的电压比；

u_1 、 u_2 ——一次电压和二次电压；

i_1 、 i_2 ——一次电流和二次电流；

N_1 、 N_2 ——一次、二次绕组匝数。

变压器的变比与匝数比：

对三相变压器而言，变比与绕组匝数比不一定相等。对于星形/星形 (Y/Y) 联结，变比和匝数比相等；而对于星形/三角形 (Y/ Δ) 联结来说，变比 k 等于 $\sqrt{3}$ 倍的匝数比。

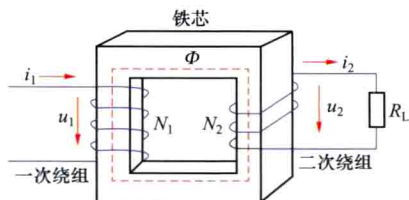


图 1-4 变压器工作原理示意

5 变压器的构造

变压器主要由铁芯、绕组、油箱及绝缘油、储油柜、绝缘套管、冷却装置、分接开关、防爆管、脱水呼吸器、瓦斯继电器、滤油器等部件构成，如图 1-5 所示。图 1-6 为变压器的结构部件示意图。以下将对其构成部件作介绍。

(1) 铁芯。铁芯是变压器的磁路部分。为了提高磁路的磁导率和降低铁芯的内部涡流损耗，铁芯通常用厚度为 0.35mm、表面涂绝缘的含硅量较高的硅钢片制成，如图 1-7 所示。

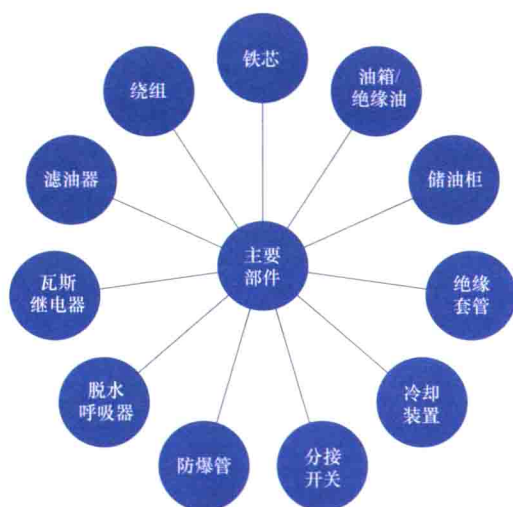


图 1-5 变压器的主要部件

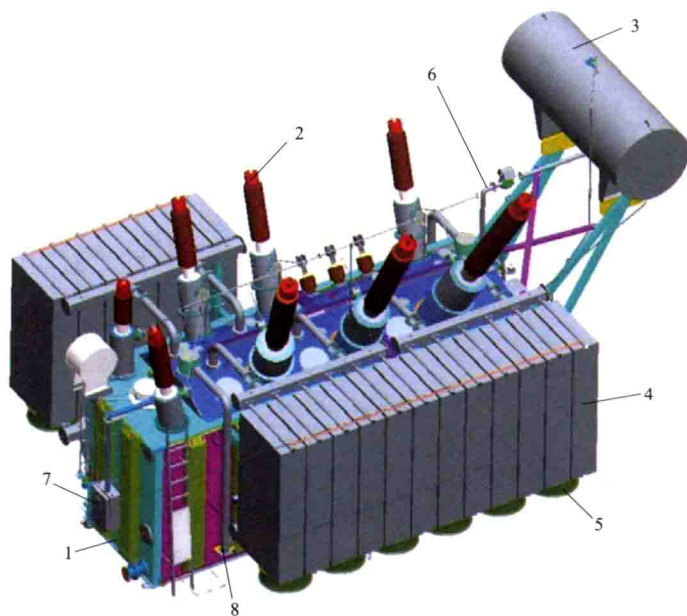


图 1-6 变压器结构部件示意图

- 1—变压器本体（油箱、绕组、铁芯）；2—绝缘套管；3—储油柜；4—散热片；
5—风扇；6—瓦斯继电器；7—分接开关；8—防爆管



图 1-7 铁芯实物

为了防止在运行中变压器铁芯、夹件等金属部件感应悬浮电位过高而造成对地放电，这些部件均需单点接地，并定时测量接地电流。

铁芯只允许一点接地，如果有两点以上接地，则接地点之间可能形成回路。当主磁道穿过此闭合回路时，就会在其中产生循环电流，造成内部过热事故。

(2) 绕组。绕组是变压器的电路部分。通常降压变压器的低压绕组在里面，高压绕组在外面，由于变压器铁芯是接地的，低压绕组对铁芯的绝缘要求低，故将低压绕组靠近铁芯，另外，把高压绕组安置在外面也便于引出到分接开关，如图 1-8 所示。

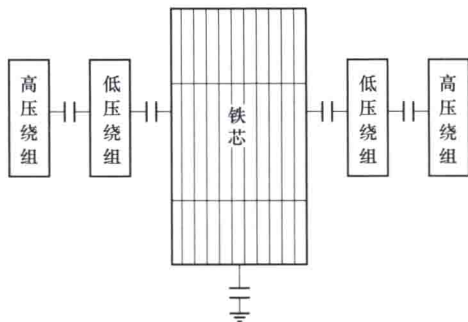


图 1-8 绕组安置示意

(3) 油箱及绝缘油。油箱用来充满绝缘油。油箱的内部结构如图 1-9 所示。

一般使用 25 号绝缘油，在北方较冷地区会用到 45 号绝缘油。绝缘油的作用是增加内部绕组与外壳的绝缘强度，冷却铁芯、绕组和对金属与空气隔离起到防腐作用。

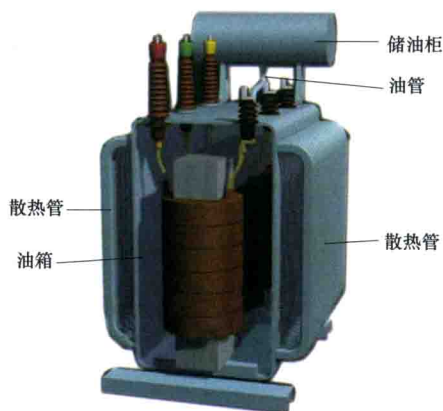


图 1-9 油箱内部结构示意图

绝缘油的牌号：

绝缘油的牌号表示的是油的抗冷能力。如 25 号绝缘油表示这种油的凝点不高于 -25°C ，即凝固温度不高于 -25°C 。

(4) 储油柜。储油柜的体积为油箱的 10% 左右，通过热胀冷缩起到储油和补油的作用。另外缩小了油和空气的接触面积，降低油的劣化速度。储油柜外观如图 1-10 所示。

通常有载调压变压器储油柜分别与主变压器本体油箱和调压机构油箱连通。

变压器储油柜有两种，即胶囊式储油柜和隔膜式储油柜。

胶囊式储油柜是储油柜的内壁增加了一个胶囊袋，如图 1-11 所示。胶囊袋内部经过呼吸器及其连管与大气相通，胶囊袋的底面紧贴地浮在储油柜上，隔绝了油面和空气的接触，起到阻止油氧化、防止外界湿气、杂质等侵入。另外，当油面随温度变化时，胶囊袋也会随之膨胀和压缩，起到呼吸的作用。



图 1-10 储油柜外观



图 1-11 胶囊式储油柜内部

油位计的观察：

如图 1-12 所示，变压器油位标有 $+40^{\circ}\text{C}$ ， $+20^{\circ}\text{C}$ ， -30°C 三条刻度线。其含意： $+40^{\circ}\text{C}$ 表示安装地点变压器在环境最高温度为 $+40^{\circ}\text{C}$ 时满载运行中油位的最高限额线，油位不得超过此线； $+20^{\circ}\text{C}$ 表示年平均温度为 $+20^{\circ}\text{C}$ 时满载运行时的油位高度； -30°C 表示环境为 -30°C 时空载变压器的最低油位线，不得低于此线，若油位过低，应加油。

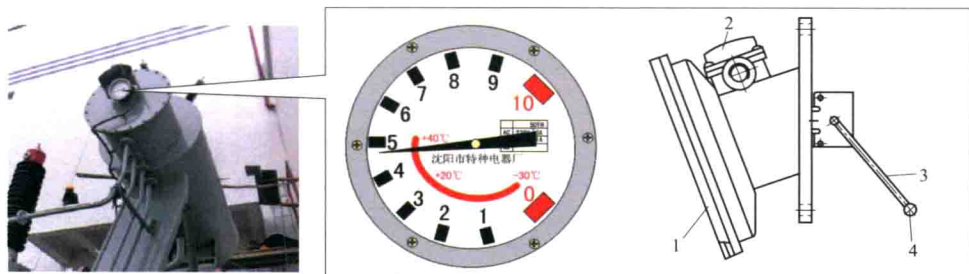


图 1-12 油位表

1—表体；2—二次连接处（报警）；3—传动连杆；4—浮球（浮于油面上）

油位是否异常的判断：

变压器的油位是否正常变化（排除渗漏油）决定于变压器的油温变化，而影响油温的因素有负荷的变化、环境温度和冷却器装置的运行状况等。如果油温的变化是正常的，而油标管内油位不变化或变化异常，则说明油位是假的。

运行中出现假油位的原因可能有油标管堵塞、呼吸器堵塞、防爆管通气孔堵塞等。处理油位异常（包括渗漏油），应先将瓦斯保护改接信号。

图 1-13 为油位异常信号回路，当主变压器油位降低到设定值时，主变压器本体的油位计的触点闭合，使发信回路通过主变压器本体端子箱和主变压器非电量保护装置接通，发出油位低的告警信号。

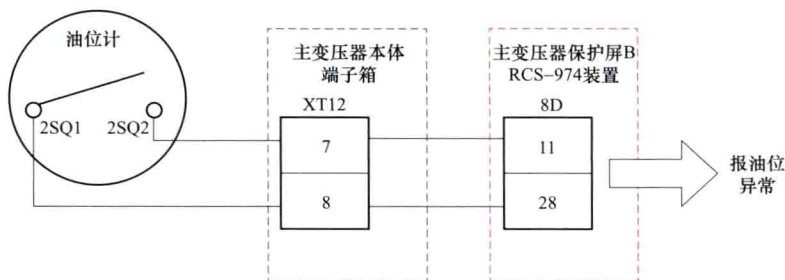


图 1-13 油位低发信回路

主变压器油位异常处理见表 1-5。

表 1-5 主变压器油位出现异常的原因及处理方法

原因	处理方法
大量漏油而致油位迅速下降	检查瓦斯保护确实已投“跳闸”位置，并迅速采取停止漏油的措施
油位表异常、吸湿器堵塞造成假油位	应使堵塞处畅通，在处理时将瓦斯保护改接信号位置
油位表接点损坏或其他机械问题	更换油位表
冷却器漏油	立即停止该冷却器运行，关闭其进出阀门（注意处理中与带电部分保持足够的安全距离），主变压器漏油停止后，应迅速要求变电站安排加油，如大量漏油而无法制止，应立即向调度申请将主变压器停电，做好安全措施，要求变电站派人检修

原因	处理方法
主变压器油位因温度上升而逐渐升高时（注意是否假油位及油温不正常的上升），油位高出油位计最高油位指示	将主变压器适量放油，使油位降至适当高度

变压器补油时的注意事项：

- 1) 应补入经试验合格的油，如需补入的油量较多则应做混油试验。
- 2) 补油应适量，使油位与储油柜的温度线相适应。
- 3) 补油前应将瓦斯保护改接信号位置，补油后经两小时观察，如无异常再将瓦斯保护由信号位置改接跳闸位置。

4) 禁止从变压器的底部阀门补油，防止变压器底部的沉淀物冲入绕组内，影响变压器的绝缘和散热。

5) 补油后要检查气体继电器并及时放出气体继电器内的气体。

(5) 绝缘套管。套管起到绝缘作用，固定引线，将内部高、低压引线引到箱外。运行时应经常观察油位表油位变化（见图 1-14），油位过高或过低均需要调节。油位过高时，套管内部压力会变大，内压过大可能导致套管渗漏油，此时可从安装法兰的取油塞处放出适量的变压器油；油位过低则不能保证安全运行，应加入规定的合格的变压器油。

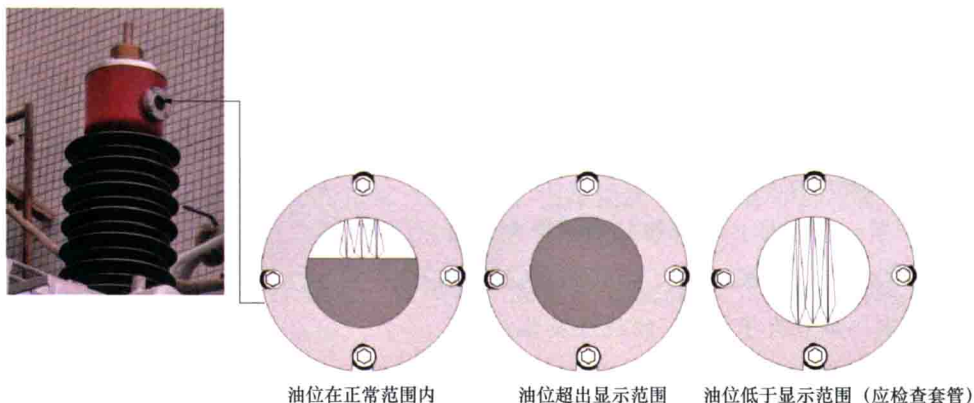


图 1-14 套管油位观察窗