

BIANDIANZHANYUNXINGCAOZUOYUWEIHU

变电站运行操作与维护

63

辽宁科学技术出版社

变电站运行操作与维护

Biandianzhan Yunxing Caozuo Yu WeiHu

刘景昌 孙方汉 编著

辽宁科学技术出版社出版发行(沈阳市南京街6段1里2号)
朝阳新华印刷厂分厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 9 字数: 196, 000
1988年7月第1版 1988年7月第1次印刷

责任编辑: 倪 岚 封面设计: 张秋实

印数: 1—40, 000

ISBN 7-5381-0307-4/TM·15 定价: 2.70元

内 容 提 要

本书系统介绍变电站运行操作与维护方面的专业技术知识和实践经验,是电力系统、工矿企业和农村电网变电站运行和维修电工技术培训的运用教材。

全书共九章,分别介绍变电站各种电气设备:变压器、调相机、电力电容器、高压开关和开关柜、电力电缆、直流电源、避雷器、互感器和结合电容器等运行操作技术知识和反事故措施经验。书中还列举了不少事故案例,对从事变电站运行管理和安全监察的工程技术人员也有一定参考价值。

前 言

随着科学技术的发展,电气化水平愈来愈高,电力已成为国民经济不可缺少的一种能源。高压变电站又是电能传输和分配中不可缺少的一个重要部分。在现代大型电力系统中,从发电厂发电到用电单位使用电能,其间要经过大大小小各种变电站,以完成改变电压等级、接受和分配电能的任务。因此,能否保证变电站安全运行,将直接影响到千家万户的正常用电。

高压变电站的设备较为复杂,除了装有变压器、开关、互感器和电容器等一次设备外,还配备有计量控制系统、继电保护和自动装置等二次设备。变电站值班人员对设备维护操作不当往往会诱发重大事故,不仅使设备损坏,生产停顿,而且威胁人身安全。因此,要求变电站的运行值班人员必须训练有素、熟悉操作技术、精通本职业务。

本书收集了变电站运行人员所必需的有关设备维护和运行操作方面的技术知识。其中包括:变压器、调相机、电容器、互感器、电抗器、电缆、高压开关和直流操作电源等设备的运行维护技术知识,还包括变电站倒闸操作技术和事故预防知识。书末还列举了大量事故案例分析,可供变电站运行值班人员和维修人员进行事故预想训练时对照借鉴之用。

本书的编写,除了紧密结合国内实际情况外,还较多地吸取了国外的经验,特别是较多地吸取了苏联A. A费拉托

夫所著《变电站操作与维护》一书中所提供的技术经验。本书第一章变压器部分由顾秀珍工程师协助编写。在编写过程中，沈阳电业局等单位的领导和同志给予了多方面的指导和帮助，在此谨表示衷心的感谢。

本书的出版希望对运行值班人员充实技术知识，提高变电站设备运行的安全可靠，确保不间断供电，以及改善变电站的技术管理等方面将有所裨益。

由于水平所限，书中难免有疏漏之处，敬请读者不吝批评指教，以利修正。

编著者

1987年11月

目 录

第一章 变压器运行与维护	1
§ 1—1 变压器投运操作和运行监视.....	1
§ 1—2 额定工作状态和允许过负荷.....	6
§ 1—3 变压器冷却装置的维护.....	23
§ 1—4 变压器并列运行及其异常情况.....	28
§ 1—5 变压器并列运行时最经济台数的选择.....	34
§ 1—6 调压装置及其维护.....	38
§ 1—7 变压器中性点的过电压保护.....	50
§ 1—8 变压器油的维护.....	58
§ 1—9 充油套管的维护.....	69
§ 1—10 变压器运行中的异常现象判断.....	73
第二章 同期调相机与并联电容器的维护	80
§ 2—1 电力系统的无功补偿.....	80
§ 2—2 调相机的正常工作状态.....	86
§ 2—3 调相机的起机和停机.....	92
§ 2—4 调相机运行中的检查和巡视.....	95
§ 2—5 并联电容器概述.....	102
§ 2—6 并联电容器容量选择.....	107
§ 2—7 并联电容器的接线方式.....	114
§ 2—8 并联电容器的运行维护.....	118
第三章 开关设备操作与维护	125
§ 3—1 开关维护.....	125

§ 3—2	开关的操作技术.....	142
§ 3—3	隔离刀闸、快分刀闸和接地短路刀闸.....	144
§ 3—4	隔离刀闸和快分刀闸的操作技术.....	154
§ 3—5	压缩空气的制备装置及其维护.....	157
第四章	互感器、结合电容器、避雷器和电缆的运行维护	166
§ 4—1	电流互感器的运行维护.....	166
§ 4—2	电压互感器及其二次回路的运行维护.....	173
§ 4—3	结合电容器和阻波器的运行维护.....	183
§ 4—4	避雷器.....	187
§ 4—5	电抗器的运行维护.....	189
§ 4—6	电力电缆和控制电缆的运行维护.....	192
第五章	高压配电装置的运行维护	196
§ 5—1	对变电站的一般要求.....	196
§ 5—2	配电装置运行维护的一般要求.....	201
§ 5—3	成套配电装置（高压开关柜）.....	204
§ 5—4	导线接头.....	207
§ 5—5	高压开并的连锁装置.....	211
第六章	变电站的倒闸操作	214
§ 6—1	执行倒闸操作的程序.....	214
§ 6—2	停送电的倒闸操作顺序.....	218
§ 6—3	操作票制度.....	222
第七章	变电站事故预防	225
§ 7—1	单相接地扩大为多相短路故障的预防.....	225
§ 7—2	高压开关事故预防.....	234
§ 7—3	减少母线刀闸的操作次数.....	236
§ 7—4	防止操作过电压.....	237
第八章	变电站事故处理	242
§ 8—1	值班人员对事故的判断和处理.....	242

§ 8—2	值班人员事故处理的职责分工.....	244
§ 8—3	值班人员事故处理时的独立操作.....	244
§ 8—4	变电站事故案例.....	247
第九章	操作电源运行维护.....	252
§ 9—1	变电站的操作电源.....	252
§ 9—2	铅酸蓄电池及其维护.....	256
§ 9—3	镉镍蓄电池及其维护.....	271

第一章 变压器运行与维护

§ 1—1 变压器投运操作和运行监视

一、投运前的检查

在变压器投运之前，对变压器本体，以及和变压器连接的所有设备都要进行详细检查。检查内容包括：

(1) 油枕和套管的油位。对于停运中的变压器，油枕的油位应在与周围气温相对应的油标刻度附近。

(2) 冷却系统是否已在起动状态。

(3) 调压分接开关位置指示器是否正常，是否指示所需要的调压位置。

(4) 一二次侧有无短路接地线。

(5) 一次侧有中性点引出的变压器，应检查中性点保护设备的状态是否正常。

(6) 检查继电保护装置是否已按规定起用，对整定值有无疑问。

(7) 对于高压侧没有断路器的变压器，应检查高压熔断器的状态，了解熔件额定电流是否符合要求。普通电力变压器的一次侧熔丝应按变压器额定电流的1.5~2倍选用，小于5安培的可选用5安培熔丝。二次侧熔丝的额定电流可按变压器二次侧额定电流选用。对于单台电动机的专用变压器，考

虑起动电流的影响，二次熔丝额定电流可增大30%。

(8)如果变压器刚检修完，则应注意检查施工现场是否已收拾干净，一二次侧接线是否都已恢复正常。

(9)对于新安装或大修后的变压器，投运前要检查变压器的验收试验报告是否符合投运要求。

凡是处于备用状态的变压器（无论手动投入或自动投入），都应具备事先不经检查就可直接投运的条件。因此，运行值班人员在每次对运行中的设备进行系统巡视时，也要对备用变压器进行检查，核对变压器是否处于能迅速投运的状态。

二、变压器投运

将变压器投入电网时，应从电源侧开始操作。对于降压变压器，应先合高压侧。合闸瞬间，由于铁芯中出现一个非周期分量磁通，使铁芯饱和，因此产生一个冲击电流，称为励磁涌流。变压器合闸时，或当外部短路在故障消除后电压恢复时，都会出现励磁涌流，最大励磁涌流可达变压器额定电流的6~8倍。这种冲击电流对变压器并无危险，因为变压器绕组是按照允许瞬时流过穿越性短路电流设计的，而短路电流要比可能出现的最大励磁涌流还要大。

变压器继电保护的定值应能躲过可能出现的最大励磁涌流，以避免在变压器投运时继电器出现误动作。

变电站如有多台变压器并列运行，则当某一台变压器投运时，其所带负荷与变电站母线上的总负荷有关。有可能出现新投运的变压器在投运的最初瞬间就立即处于额定负荷状态。为了防止由于绝缘油在低温时循环流动受阻，而使变压器局部严重过热，对于自然油冷或风冷的变压器，如果油温

低于 -30°C ，在投运时不要马上带额定负荷，对于强油风冷的变压器，如果油温低于 -25°C 时，也不要再在投运时立即就带额定负荷。这时应使变压器在空载状态下，或者在不超过40~50%额定负荷下投运。但是，在事故处理时可不拘泥于这些要求。作出以上规定是考虑到冷油的粘度很高，流动慢，在油和绕组之间会出现很大的温差，这虽然不会造成变压器立即损坏，但绕组温度过高，会加速绝缘的劣化。

冬季投运变压器时，不仅要考虑变压器本身油的粘度增加，而且还要考虑冷却系统油的粘度增加。在低温时，由于油的粘度增大，油泵会因过载而招致损坏。因此，对于强油风冷冷却方式的变压器，当油温低于 -25°C 时，建议将油温预先加热到 -25°C 以上，然后再将冷却装置投入运行。除了上列情况外，如果没有制造厂的特别说明，强迫油循环的油泵应该随着变压器的投运而自动投入运行。

在周围气温较低时，冷却器风扇也可以不投运。如上层油温不超过 55°C ，即使不开风扇，变压器也可在额定负荷下运行。

对于采用风冷冷却方式的变压器，一般是按照负荷不超过67%额定负荷时可以断开风冷来设计的。这时的绝缘损耗可以认为与额定负荷状态下投入风冷时的绝缘损耗约略相等。

三、特殊情况时变压器的运行

在特殊情况时，例如变电站失去所用电源时，允许变压器在断开冷却装置的情况下，短时间带额定负荷工作。对于采用风冷冷却系统的变压器，允许断开全部风扇的时间与周围空气温度的关系如下：

空气温度, $^{\circ}\text{C}$	-10	0	+10	+20	+30	+40
允许工作时间, 小时	15	15	8	4	2	1

对于采用强油风冷冷却系统的变压器, 在额定负载时, 停用油泵和风扇的允许时间不准超过20分钟; 如果这时油面温度仍未达到 75°C , 还可以延长运行时间, 但切除冷却器后的最长运行时间不得超过1小时。

当达到上述时间, 而又不能恢复正常冷却条件时, 变压器应该减少负荷, 以避免变压器沿芯子高度出现的温差剧烈增加。

四、变压器运行状态的监视

变压器的负荷大小通过电流表来监视。在电流表的刻度盘上, 对应于变压器额定负荷的地方, 应该标上红色危险记号。这样便于对变压器运行状态进行监视, 以防止过载。在监视负荷数值的同时, 还应该检查各相负荷是否平衡。

变压器一二次电压高低可通过电压表来监视。变压器的外加一次电压可以较额定电压为高, 但一般不得比相应分接头电压值高出5%。根据变压器构造特点(铁芯饱和程度等), 经过试验或经制造厂认可, 加在变压器一次侧的电压也允许比该分接头电压增高10%。此时, 允许的电流值应遵守制造厂的规定或根据试验确定。

不论电压分接头在任何位置, 如果所加一次电压不超过其相应分接头电压值的105%, 则变压器二次侧可带额定电流。

对变压器发热状态的监视, 主要手段是定期测量变压器

油箱中的上层油温。测量上层油温可以采用玻璃温度计。如果变压器容量在1000千伏安及其以上,或者容量在500千伏安及其以上的重要变压器(例如发电厂用电变压器),则应装有带遥感信号的温度计。对于8000千伏安及其以上的变压器应装有远距离测温装置。如属于强油循环水冷方式变压器,则应在冷却器的前后装设测温装置,以便测量冷却水和油的温度,监视冷却器的工作状况。

变压器的远距离测温信号装置可以有两套控制触点,其中之一用以操纵冷却系统,另一对触点用以当油温超过允许值时发出警告信号。

变电站运行值班人员在监测变压器温度时,如遇变压器短时间突然过负荷,这时由于变压器内部热传递不能立即完成,因此不能只根据测温仪表指示的上层油温来判断变压器的真正热状态。这一点必须引起特别注意。

五、变压器的定期巡视

变压器定期巡视,其周期根据现场规程的规定执行,对有人值班的变电站,每天不少于一次。当冷却装置出现故障信号,或者继电保护、自动装置动作时应立即进行巡视。当出现自然灾害(火灾、地震等)时,也必须立即进行巡视。

定期巡视的主要目的是检查变压器工作状态是否正常,是否存在会迅速导致发生事故的严重缺陷。

定期巡视时要检查变压器的冷却装置、带负荷调压装置、变压器油防氧化、防潮装置;检查纯瓷或充油式出线套管以及中性点上的放电保护装置;检查各个阀门、法兰盘和油箱上手孔的外观;检查各部位胶皮垫圈有无渗漏油,良好的垫圈不应胀大和冒出;观察油枕的油位是否正常;检查温

度计、压力计是否正常，并读取读数；检查瓦斯继电器里有无气体；检查防爆筒的薄膜或玻璃片是否完整，位置是否正确；变压器油箱接地应良好；消防设备、储油坑和排水坑应无异常；核对变压器的标号和涂色等。

在巡视时可用耳朵监听变压器的声音，辨别有无放电音响。当对变压器的运行是否正常产生疑问时，应该把冷却装置的机械运转部分暂停3~4分钟，再一次监听变压器声音。对变压器室，要检查天棚、门和通风口有无异常。如果变压器室通风装置工作正常，变压器带额定负荷时，下部通风入口和上部通风出口的空气温差不应超过15℃。

六、停运变压器操作

停运变压器时，应先断开负荷侧的高压开关，然后断开电源侧的高压开关。对简易变电所用负荷开关或快分刀闸来切断变压器（变压器容量不能太大）。

§ 1—2 额定工作状态和允许过负荷

为了保证电力系统在发电、供电和用电等各个环节都能实现最经济的运行方式，从发电到用电中间必须经过若干电压等级的变换，这就决定了必须使用电力变压器。在降压变电站里，电力变压器的作用不仅是联接负荷和电流；而且通过适当选择变压器的变压比（把变压器一次线圈分接头放在合适的位置上），可以把电源侧电压降低到电力用户所需要的数值。

在110千伏及其以上电压的变电站里，除了采用变压器外，有时还使用自耦变压器。通过自耦变压器可以使高压电

网和中压电网之间建立起直接的电的联系。自耦变压器三次侧低压绕组可以带负荷，也可以接无功补偿设备，向电网补充系统正常运行所必不可少的无功功率。

电力变压器〔1〕通常是按正常状态下连续运行设计的。

一、变压器额定运行参数

电力变压器的出厂铭板上一般都标有额定电流、额定电压和额定频率等额定运行参数。如果周围空气冷却条件符合设计要求，则变压器在额定参数下可以不受限制地连续运行。变压器设计时所依据的周围冷却空气自然温度变化范围一般不超过 $+40^{\circ}\text{C}$ ，不低于 -30°C 。

双绕组变压器的额定容量，可以理解为变压器任意一个绕组的容量。三绕组降压变压器，由于各个绕组的容量可以相同，也可以不同，因此三绕组降压变压器的额定容量都是指对应的高压绕组的容量。

各个绕组的额定线电流 I_e ，可以由额定容量和对应的额定电压来确定：

$$I_e = \frac{S_e}{\sqrt{3} \cdot U_e} \quad (1-1)$$

式中 S_e ——绕组的额定容量，千伏安；

U_e ——绕组的额定线电压，千伏。

当绕组为星形连接时，相电流 I_{xe} 等于线电流 I_{xe} ；当绕组为角接时，相电流可按公式 $I_{xe} = \frac{I_{xe}}{\sqrt{3}}$ 求出。

三绕组变压器的额定工作状态，只要满足各绕组电流不超过额相电流的条件，各绕组负载允许有任意的匹配方式。

〔1〕后面谈到的内容如不特别声明，同样适用于自耦变压器。

二、自耦变压器与普通变压器的区别

自耦变压器的高低压绕组之间是有电气联系的，因此从一个绕组到另一个绕组的功率传输不仅依靠磁路，而且也依靠电路。对于三绕组的自耦变压器，高压和中压绕组之间属于电气联接，而低压绕组（即第三绕组）和高、中压绕组之间却是磁性联系（图1—1）。高压和中压三相绕组连接成星形，其公用中性点接地；低压绕组通常接成角形。高压每相绕组都由两部分构成：公共绕组 OA_m （也是中压绕组）和串联绕组 A_mA 。

由于自耦变压器的绕组之间存在电路联接，这就决定了其电流分配不同于普通变压器。自耦变压器在正常工作时，其串联绕组中流过高压电流 I_{eY} 。这个电流在铁芯中建立起磁通，于是在公共绕组中感应产生电流 I_{eo} 。因此，副边负载电流 I_{cY} （中压电流）是由两部分迭加而成的，其中一部分是由于高压和中压绕组之间的电路联接而流过的电流 I_{eY} ，另一部分是由于这两个绕组之间还有磁的耦合而引起的电流 I_{eo} ，即 $I_{cY} = I_{eY} + I_{eo}$ 。因此，公共绕组流过的电流 $I_{eo} = I_{cY} - I_{eY}$ （当负载的功率因数相同时）。

（1）自耦变压器的额定容量 S_e 是指相互间具有自耦联系的高压或中压绕组出线端子上的容量。这个容量可以由高压绕组上承受的额定电压 U_{eY} 和流过串联绕组的额定电流 I_{eY} 的乘积算出：

$$S_e = \sqrt{3} \cdot U_{eY} \cdot I_{eY}$$

（2）自耦变压器的标称容量是指额定容量中由磁路传输的那部分功率，即通常所说的变压器的“电磁功率”。

标称容量 S_B 小于额定容量 S_e ，用效益系数 α 表示，即

$$S_B = S_c \cdot \alpha$$

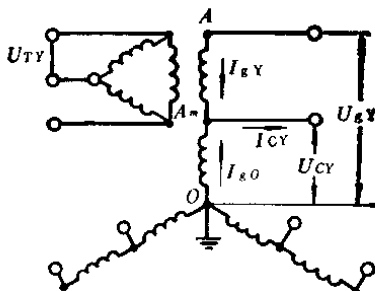
$$(1-2)$$

这里 α 为自耦变压器效益系数。

$$\alpha = 1 - \frac{U_{cY}}{U_{eY}} = 1 - \frac{1}{K_{e-s}}$$

式中 U_{cY} ——中压侧额定电压；

U_{eY} ——高压侧额定电压。



U_{TY} —低压； U_{cY} —中压， U_{eY} —高压， I_{go} —公共绕组电流

图1—1 三相自耦变压器原理图

电压 U_{cY} 和 U_{eY} 数值愈接近， α 数值愈小，标称容量占额定容量的份额也就愈小。自耦变压器的磁路和各个绕组都是根据标称容量（也就是计算容量）进行设计的，变压器的尺寸与标称容量有关。从这里可以反映出自耦变压器经济结构上的合理性。由此也可以得出一个很重要的结论：正常工作时自耦变压器的串联绕组和公共绕组所带的负载不能大于标称容量。

对公共绕组所带负载的监视，可以通过直接接于公共绕组的变流器，利用电流表进行监视。