

# 中小型变压器修理

李 斌 编

重庆大学出版社

## 内 容 简 介

本书是进城务工实用知识与技能丛书之一,主要介绍常见中小型变压器原理、变压器结构、变压器绝缘、变压器的测量、变压器温升与冷却、检测和修理以及安全操作等。

图书在版编目(CIP)数据

中小型变压器修理/李斌编. —重庆:重庆大学出版社,  
2007.4

(进城务工实用知识与技能丛书·家电维修系列)

ISBN 978-7-5624-4064-2

I. 中... II. 李... III. 变压器—维修 IV. TM407

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 042562 号

### 中小型变压器修理

李 斌 编

责任编辑:曾显跃 版式设计:曾显跃  
责任校对:李定群 责任印制:张 策

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: [fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆大学建大印刷厂印刷

\*

开本: 787 × 1092 1/32 印张: 3.625 字数: 81 千

2007年4月第1版 2007年4月第1次印刷

印数: 1—3 000

ISBN 978-7-5624-4064-2 定价: 5.00 元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换  
版权所有,请勿擅自翻印和用本书  
制作各类出版物及配套用书,违者必究



## 编者的心声

党的十六大报告明确提出,农村劳动力向非农产业和城镇转移,是建设现代化农业、解决“三农”问题的重要途径,是经济和社会发展的必然要求,是我国社会进步的重要标志,也是我国一项长期、重要的国策。加快农村富余劳动力转移和就业的关键在于加强职业技能培训。

随着社会的发展,服务业已经成为农业、制造业之后的第三大产业。而修理业,又是服务业中重要的部分。修理行业市场广阔,品种极多,小至雨伞、鞋帽,大至家电、汽修,技术上囊括机械、电气、电子、计算机等各个学科。

修理行业有着自己的技术特点和经济特点,投资创业成本较低、易于实现自由就业或灵活就业等,因此成为极具潜力的一个劳动力开发领域。

但进入修理行业最需要的是技术和培训,为了广大的农村劳动力进城务工的需要,为了让他们拥有一技之长,实现多渠道、多方位就业,重庆大学出版社出版了这套《进城务工实用知识与技能丛书》。

本套电器电子类维修丛书的编写者来自不同的行业,他们中既有专业教师,又有活跃在维修业中的能工巧匠,更有资深

的维修工程师,但他们都是爱好维修,热衷于钻研维修技术,具有丰富的理论知识和长久的维修实践的人。不但如此,最重要的一点是,尽管本丛书要求只以初中文化的读者为对象,以初等技术为依据,但他们仍然愿意尽量将最新的科技成果、研究心得、宝贵经验等悉数为农民工朋友奉上。

本丛书特别强调以人为本,每书开篇为“学好安全再上路”,介绍维修中需要注意的安全事项。行文中注重可操作性和实用性,语言简单明了、通俗易懂、图文并茂。

本套丛书共30种,几乎囊括电气、电子维修的所有领域。

我们衷心希望本套丛书能给农民工朋友带来大的帮助,使他们为建设社会主义新农村和构建和谐社会做出新贡献。希望从他们中走出作家、诗人、歌手、能工巧匠、维修工程师……。并希望能得到广大读者的批评与指正,以便逐步调整、完善、补充,使之更符合农村劳动力培训的实践。

编者

2006年10月



# 目 录

学好安全再上路——变压器修理用电安全事项 .....	1
----------------------------	---

---

第一章 变压器的基础知识 .....	3
第一节 变压器的分类 .....	4
第二节 变压器的基本结构 .....	5
第三节 变压器的工作原理 .....	12
第四节 变压器的主要技术参数 .....	13

---

第二章 变压器的日常运行和维护 .....	18
第一节 变压器运行前的检查 .....	18
第二节 变压器并联运行 .....	25
第三节 变压器的防雷及接地 .....	28
第四节 变压器的绝缘保护 .....	32
第五节 变压器的日常维护 .....	37

---

第三章 变压器的故障检修技术 .....	42
----------------------	----

第一节	变压器的故障类型.....	42
第二节	变压器的故障检测方法.....	46
第三节	变压器保护装置的故障检修.....	54
第四节	变压器铁芯的故障检修.....	58
第五节	变压器绕组的故障检修.....	61
第六节	变压器过热的故障检修.....	66
第七节	变压器受潮的干燥处理.....	69
第八节	变压器油的故障检修.....	74
第九节	变压器分接开关的故障检修.....	84
第十节	变压器运行中异常声音故障处理.....	86
第十一节	配电变压器的小修和大修.....	88
<hr/>		
第四章	常用特种变压器简介 .....	100
第一节	互感器 .....	100
第二节	自耦变压器 .....	106
<hr/>		
参考文献	.....	109



## 学好安全再上路

### ——变压器修理用电安全事项

①不要乱拉电线和乱接电器设备 ,更不要利用“一线一地”方式接线用电。

②不要在电线附近放风筝、打鸟、装设天线 ,更不能在电杆和拉线上拴牲口 ;不许在电杆和拉线附近挖坑、取土 ,以防倒杆断线。

③不能带电修理电气设备 ,以免造成触电事故。

④禁止在电线上晒衣服 ,以防绝缘破损漏电造成触电。

⑤电线断线落地 ,不要靠近 ,对于 6 ~ 10 kV 的高压线 ,应至少离开电线落地点 8 ~ 10 m 远 ,并及时报告有关部门修理。

⑥不要用湿手去摸灯头、开关和插座。更换灯泡时 ,先关闭开关 ,然后站在干燥绝缘物上进行。

⑦如发现有人触电 ,应赶快切断电源或用干燥的木棍、竹竿等绝缘物将电线挑开 ,使触电者立即脱离电源。如触电者出现昏迷、呼吸停止 ,应立即进行人工呼吸 ,并尽快送医院抢救。

⑧开挖地面必须先到变电站高压电缆管理处或当地供电部门联系 ,看清标明地下电缆位置的标记 ,采取可靠措施 ,防止误伤电缆而引起伤亡、停电等事故。

⑨不要在电杆、变压器台、配电室、楼内开关箱附近堆放煤

等其他易燃物品或搭建房屋。这样做对设备安全运行构成威胁,也给电气设备检修、急修造成困难,影响消防通道,造成隐患。

⑩不要在电杆、配电室、楼道开关箱上随意张贴宣传品,以免覆盖运行标志,影响电气抢修工作的检查和进行。

⑪严禁攀爬电杆、变压器等,严禁私自开启配电室和楼道电气开关箱门,以免发生事故。

⑫严禁在架空电力线路附近进行吊车作业或乱搭脚手架。

⑬变压器修理现场严禁小孩或无关人员进入。

⑭一旦发现变压器在运行中过热、冒烟、着火等紧急情况,应立即切断低压小型变压器电源(拉开闸刀或空气开关),对于中高压变压器故障,应立即报告电力部门。

⑮安装变压器前挖坑时,必须与有关地下管道、电缆的主管单位取得联系,明确地下设施的确切位置,做好防护措施。组织外来人员施工时,应特别交代安全事项,并加强监护。在超过1.5 m深的坑内工作时,抛土要特别注意防止土石回落坑内。在松软土地挖坑,应有防止塌方的严格措施,如加挡板、撑木等。禁止由底部向上掏挖深坑。



## 第一章 变压器的基本知识

变压器是一种利用电磁感应原理将电压和电流转变成另一种(或几种)同频率而不同电压、电流的电气设备,是一种静止的电能量转换装置。它与电动机可以说是一对“孪生兄弟”,都是利用同一个原理,只是一个“电变电”,且静止不动(但总伴有或大或小的低频交流声);另一个却是“电变动”,即将电力转化为机械动力。

发电机发出的电功率,需要升高电压才能送至远方用户,而用户则需将电压再降为低压才能使用,这个任务是变压器才能完成的。随着输电距离、输送容量的不断增长,对变压器的要求也愈来愈高,不仅需要数量多,而且要性能好,技术经济指标先进,还要保证运行安全、可靠、经济。

变压器除应用于电力系统外,还普遍应用于工业生产中,例如:电炉整流、电焊设备以及船舶、电机等设备中都应用特种变压器。此外,在高压试验、测量设备和控制设备中也大量应用各种不同类型的变压器。

## 第一节 变压器的分类

变压器有不同的使用条件、安装场所,有不同的电压等级和容量级别,有不同的结构形式和冷却方式,有不同的使用目的,并要适应不同的工作环境,因此,变压器有很多不同的类型。变电器可按其用途、绕组结构、铁芯结构、相数、调压方式、冷却方式、容量等进行分类。

### 1. 按用途不同分类

根据用途不同,变压器分为电力变压器(升压变压器、降压变压器、配电变压器、厂用变压器等),特种变压器(电压互感器、电流互感器、电炉变压器、整流变压器、电焊变压器等),试验用高压变压器和调压器等。

### 2. 按绕组结构不同分类

根据绕组结构不同,变压器可分为双绕组、三绕组、多绕组变压器和自耦变压器。

### 3. 按铁芯结构不同分类

根据铁芯结构不同,变压器可分为心式变压器和壳式变压器。

### 4. 按相数不同分类

根据相数不同,变压器可分为单相、三相、多相(如整流用的六相)变压器。如图 1.1 所示为常见的心式三相变压器。

### 5. 按调压方式不同分类

根据调压方式不同,变压器可分为无励磁调压变压器、有载调压变压器。

### 6. 按冷却方式分类

根据冷却方式不同,变压器分为干式变压器、油浸自冷变

压器、油浸风冷变压器、强迫油循环冷却变压器、强迫油循环导向冷却变压器、充气式变压器等。

### 7. 按容量不同分类

根据容量不同,变压器可分为:小型变压器,容量为630 kVA及以下;中型变压器,容量为800~6 300 kVA;大型变压器,容量为8 000~63 000 kVA;特大型变压器,容量在900 000 kVA及以上。

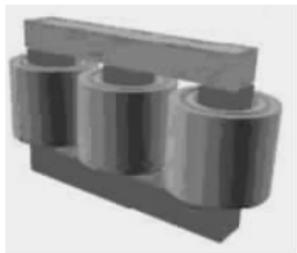


图 1.1 常用的三相变压器(心式)

## 第二节 变压器的基本结构

变压器的基本结构由铁芯、绕组、油箱、绝缘套管、冷却装置、分接开关和保护装置等主要部分组成。

### 一、铁芯

铁芯是变压器磁路的主体,由铁芯柱和铁轭两部分组成。绕组套装在铁芯上,铁轭的作用是使磁路闭合。为了提高铁芯的导磁能力,减少铁芯内的磁滞损耗和涡流损耗,铁芯通常采用含硅量约为5%、厚度为0.35 mm或0.5 mm、两面涂上绝缘漆或经氧化处理过的硅钢片(旧名称叫“矽钢片”)紧密叠装而成。

按照绕组套装在铁芯柱上的方式,铁芯可分为心式结构和壳式结构两种。

#### 1. 心式变压器

心式变压器的原、副绕组套装在铁芯的两个铁芯柱上,如图1.2(a)所示。这种结构比较简单,有较多的空间装设绝缘,

装配较容易,且用铁量较少,适用容量大、电压高的变压器,通常电力变压器都采用心式结构。

## 2. 壳式变压器

壳式变压器的铁芯包围着绕组的上下和侧面,如图 1.2 (b)所示。这种结构的变压器机械强度较好,铁芯容易散热,但用铁量较多,制造也较为复杂。小型干式变压器多采用这种结构形式。

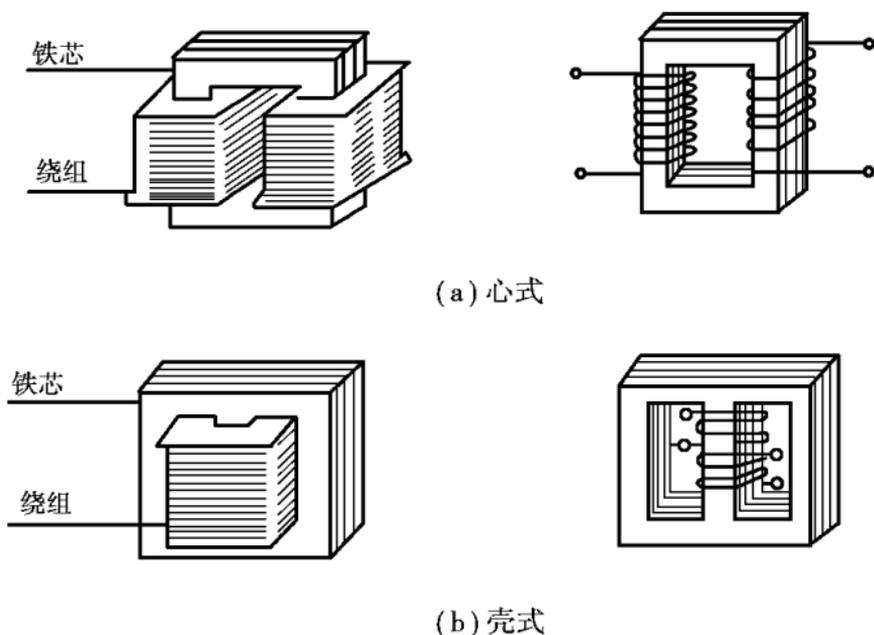


图 1.2 心式和壳式变压器

## 二、绕组

绕组是变压器的电路部分,一般用绝缘铜线或绝缘铝线绕制而成,近年来还有用铝箔绕制的。绕组的作为电流的载体,产生磁通和感应电动势。变压器中,接到高压电网的绕组称“高压绕组”,接到低压电网的绕组称“低压绕组”。按高、低压

绕组在铁芯柱上安装方式的不同,绕组有同心式和交叠式两种。

### 1. 同心式绕组

同心式绕组是将高、低压绕组同心地套在铁芯柱上。为了便于绕组与铁芯绝缘,通常低压绕组靠近铁芯,高压绕组套装在低压绕组的外面,如图 1.3 所示。但也有低压、大电流绕组安放在高压绕组外面的,目的是便于散热。同心式绕组具有结构简单、制造方便的特点,国产变压器多采用这种结构形式。

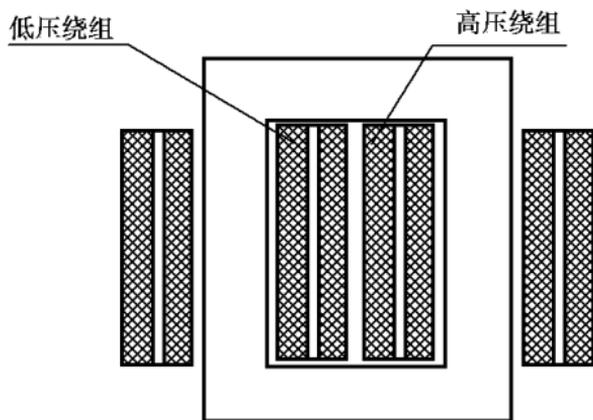


图 1.3 同心式绕组

### 2. 交叠式绕组

交叠式绕组又称“饼式绕组”,它的高低电压绕组分为若干个线饼,沿着铁芯柱的高度方向交替排列。为了便于绕线和铁芯绝缘,通常最上层和最下层放置低压绕组,如图 1.4 所示。交叠式绕组的主要优点是漏抗小,机械性能好,引线方便。这种绕组仅用于壳式变压器中,大型电炉变压器就采用这种结构形式。

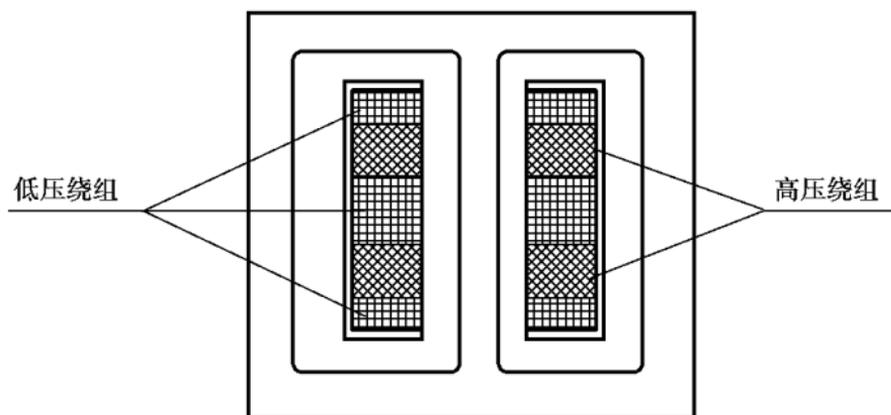


图 1.4 交叠式绕组

### 三、油箱

油浸式变压器的外壳就是油箱，油箱中盛有用来绝缘的变压器油。油箱可保护变压器铁芯和绕组不受外力作用和潮湿的侵蚀，并通过变压器油的循环和对流，将铁芯和绕组产生的热量传递给箱壁和散热管，再将热量散发到周围的空气中去。一般来说，对 20 kVA 以下的变压器，油箱自身表面能满足散热要求，故采用平板油箱；对 30 ~ 200 kVA 变压器，采用排管式油箱；对 2.5 ~ 6.3 MVA 的变压器，所需散热面积较大，则在油箱壁上安装若干散热器，加强冷却；容量为 8 ~ 40 MVA 的变压器，在散热器上还另装风扇冷却；对 50 MVA 及以上大容量变压器，采用强迫油循环冷却方式。

### 四、绝缘套管

绝缘套管由外部的瓷套和其中的导电杆组成。其作用是固定引线并且使高、低压绕组的引出线与变压器箱体绝缘。变压器套管的种类有瓷绝缘式套管，它用于 40 kV 及以下电压等

级变压器上,它以陶瓷作为套管主绝缘;充油式套管,用于60 kV及以上电压等级变压器上,它以绝缘筒和绝缘油作为套管主绝缘;电容式套管,它以多层紧密配合的绝缘纸和铝箔,交错卷制成电容芯子,作为主绝缘。为了增加表面放电距离,套管外形做成多级伞形,如图1.5所示。

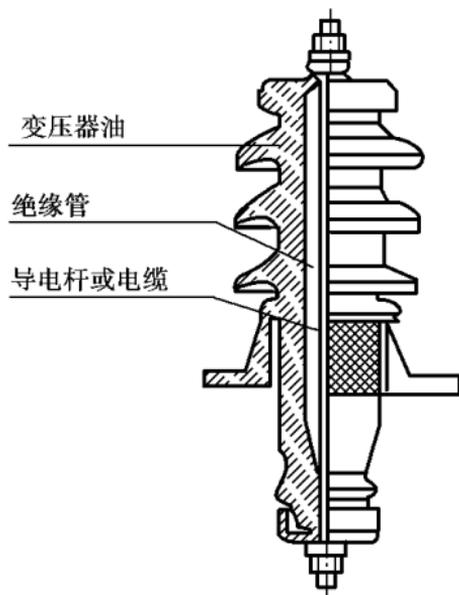


图 1.5 35 kV 充油式变压器绝缘套管

## 五、冷却装置

油浸变压器的冷却装置包括散热器和冷却器。中小型电力变压器的散热器,一般用钢管制成形后焊接在油箱两侧孔内。该种散热器要求刚度好,常在垂直排列的管子上焊几道钢带,将散热管连接成整体。大容量的变压器,采用油浸风冷却或强迫油循环风冷却,也采用油浸水冷却或油浸强迫水冷却方式。其主要作用是将变压器内部损耗产生的热量不断地散发到大气中,或通过热传递冷却掉,以保证变压器内部不因温度过高而损坏绝缘。

## 六、分接开关

变压器运行时,其输出电压是随输入电压的高低和负载电流的大小及性质而变动的。在电力系统中,为了使变压器的输出电压控制在允许变化的范围内,变压器的原边绕组匝数要在一定范围内调节,因而原绕组一般都备有抽头,称为分接头,如图 1.6 所示。

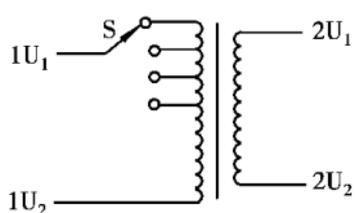


图 1.6 绕组的分接开关电路

利用开关  $S$  与不同分接头相连接,就可以改变原绕组的匝数,从而达到调节电压的目的。其调节范围一般是额定输出电压的  $\pm 5\%$ ,也有范围在  $\pm 7.5\%$  的。分接开关可分无载分接开关和有载分接开关两大类。每一类又有若干结构类型,两种开关

结构及特点如下:

### 1. 无载分接开关

无载分接开关又分星形连接中性点调压开关及夹片式两类。

### 2. 有载分接开关

有载分接开关是在不切断电源、变压器带负载运行下调压的开关。该类开关调压级数较多,它既能稳定电网在各负载中心的电压,又可提高供电质量,所以重要供电场所的变压器应该选用有载调压开关。有载分接开关的结构,一般由切换开关、快速机构、分接选择器、转换选择器及电压调整器等几部分组成。

## 七、保护系统

### 1. 储油柜

储油柜是用来减轻和防止变压器油氧化和受潮的装置。它是用钢板经剪切成形后,焊接制成,并通过管子和油箱内绝缘油沟通。

### 2. 吸湿器

吸湿器是防止变压器油受潮的部件之一。它是一个圆形容器,上端通过连管接到储油柜上,下端有孔与大气相通。在变压器运行中油温变化时,它起吸气和排气作用。吸湿器内装有吸湿剂,能吸取潮气及水分,硅胶或氧化钙之类吸湿剂吸入潮气或水分饱和时,会使自己变质而失去吸湿能力,所以要定期检查 and 更换。

### 3. 净油器

净油器又称温差滤油器,是用钢板焊成圆桶形的小油罐,罐内也装有硅胶之类吸湿剂,当油温变化而上下流动时,经过净油器达到吸取油中水分、渣滓、酸、氧化物的作用。

### 4. 气体继电器

继电器安装在油箱与储油柜连接管之间,是变压器内部故障的保护装置(通常又称为瓦斯继电器)。当内部发生故障时,它会发出信号给操作人员或自动切断电源,以保护变压器。

### 5. 防爆管

防爆管又称安全气道。其主体是一个长的钢质圆筒,顶端装有防爆膜。当变压器内部发生故障,气体骤增能使油及气体冲破防爆膜喷出,防止油箱破裂或爆炸。



### 第三节 变压器的工作原理

从变压器的结构可知,变压器主体是铁芯及套在铁芯上的绕组,将接交流电源的绕组设定为原绕组,其匝数用字母  $N_1$  表示。将接负载(例如接一个灯泡)的绕组设定为副绕组,其匝数用字母  $N_2$  表示,如图 1.7 所示。

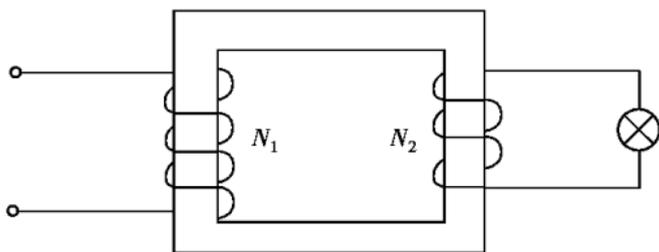


图 1.7 变压器的工作原理

当原绕组接通交流电源时,副绕组接的灯泡就会发光。依据电磁感应原理,穿过电路的磁通量发生变化时,电路中便有感应电动势产生,如果电路闭合,便会产生感应电流。具体来说,就是原绕组接通交流电源时,在原绕组中就有交变电流通过,这个电流将激发铁芯产生交变的磁通。由于原、副绕组套在同一铁芯柱上,铁芯中的交变磁通同时交链原、副绕组,于是在两绕组中都产生感应电动势。显然,对于负载来说,副绕组中的感应电动势相当于电源,在副绕组接通的回路中,便有电流通过,使灯泡发光。

总之,当变压器原绕组通以交流电流时,在其铁芯中产生交变磁通,根据电磁感应原理,原、副绕组都产生感应电动势。而副绕组的感应电动势相当于新的已经改变电压的电源,这就是变压器的基本工作原理。

以上过程说明,变压器原绕组从交流电源吸收电能传递到副绕组供给负载,铁芯中的磁通是能量传递的中介纽带。事实证明,变压器只能传递交流电能,而不能自己产生电能;它只能改变交流电压或电流的大小,而不能改变电源的频率;而且在传递过程中几乎不改变功率,即  $P = U_1 \cdot I_1 \approx U_2 \cdot I_2$ 。

但在变压器运行中有铁损、铜损等损耗产生,正因为如此,变压器在运行中会产生热量,输出功率才比输入功率小一些。

## 第四节 变压器的主要技术参数

变压器的技术参数反映了变压器的所有性能,下面列举了变压器的 10 个主要技术参数,以供参考。

### 一、相数和额定频率

相数表示变压器是单相、三相还是多相的;额定频率是所设计的运行频率,我国规定的额定频率是 50 Hz,而在美、日等国采用额定频率是 60 Hz。

### 二、额定电压、额定电压组合和额定电压比

额定电压就是指各绕组的额定电压,指额定施加的或空载产生的电压,即该绕组长时间工作所能承受的工作电压,用线电压的有效值表示;额定电压组合是指一台变压器具有高、中、低额定电压输出的组合;额定电压比是指高压绕组与低压绕组的额定电压之比,用  $K$  表示,  $K \geq 1$ 。

### 三、额定容量

额定容量是表示容量的惯用值,表示变压器传输电能的能

力。变压器额定容量与绕组额定容量有所区别:双绕组变压器的额定容量即为绕组的额定容量;多绕组变压器的额定容量为最大的一组绕组的额定容量,而对其他每个绕组的额定容量分别加以说明。

#### 四、额定电流

额定电流是绕组的额定容量除以该绕组的额定电压及相应的系数(单相为1,三相为 $\sqrt{3}$ ),而算得的流经绕组线端的电流,就是线电流,用其有效值来表示。变压器在额定容量运行时,绕组的电流就是额定电流。

#### 五、绕组连接组标号

绕组连接组标号 连接组 + 组别

##### 1. 连接组

变压器按高压、中压和低压绕组连接的顺序组合起来就是绕组的连接组。变压器的同一侧线圈是按照一定形式连接的,三相变压器或组成三相变压器的单相变压器,可连接成星形、三角形和曲折形,其中高压线圈分别用Y、D、Z表示,低压绕组分别用y、d、z表示。有中性点引出则分别用符号 $Y_N$ 、 $Z_N$ 和 $y_N$ 、 $z_N$ 表示。

##### 2. 组别

组别用来表示变压器不同侧电压相量的角度关系,如单相双绕组变压器不同侧绕组的电压相量相位移为 $0^\circ$ 或 $180^\circ$ ,其连接组别只有“0”或“6”两种。但通常绕组的绕向相同,所以连接组别仅有“0”这一种,实用的连接组标号为I、I<sub>0</sub>。三相双绕组变压器的相位移均为 $30^\circ$ 的倍数,所以有0、1、2、...、11,共12种组别,也因为绕组的绕向相同,端子和相别标志相同,组

别仅为“0”和“11”两种,即  $Y_{yno}$ 、 $D_{yn11}$  和  $Y_{zn11}$ 。

## 六、分接范围

分接范围也称调压范围。表示变压器的绕组具有分接抽头,以改变电压比的范围或档次。分接级是相邻分接间以百分数表示的分接因数之差,而分接范围最大和最小两个就是以百分数表示的分接因数。

## 七、空载电流、空载损耗和空载合闸电流

空载电流是指当变压器二次绕组开路,一次绕组施加额定频率的额定电压时,一次绕组中所流通的电流,用  $I_0$  表示。空载电流的有功分量所吸收的有功功率称为空载损耗,用  $P_0$  表示。当变压器空载合闸到线路时,由于铁芯饱和而产生很大的励磁电流,称为空载合闸电流。

## 八、阻抗电压和负载损耗

阻抗电压是指双绕组变压器当二次绕组短接,一次绕组流通额定电流而施加的电压。阻抗电压通常以额定电压百分数表示:

$$U_z\% = (U_z / U_N) \times 100\%$$

多绕组变压器则有任意一对绕组组合的阻抗电压。二次绕组短接,一次绕组流通额定电流时所吸收的功率称为负载损耗,用  $P_s$  表示。

## 九、效率和电压调节率

变压器的效率为输出的有功功率与输入的有功功率之比,效率  $\eta$  为:

$$\eta = \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}} \times 100\% =$$

$$\frac{\text{输出功率}}{\text{输出功率} + \text{空载损耗} + \text{负载损耗}} \times 100\%$$

变压器的电压调整率为二次空载电压  $U_{2N}$  和二次负载电压  $U_2$  之差与二次空载电压  $U_{2N}$  的比,用它来衡量变压器供电质量的好坏,即

$$\varepsilon\% = (U_{2N} - U_2) / U_{2N} \times 100\%$$

## 十、冷却方式

变压器的冷却方式由冷却介质种类及其循环种类来表示。冷却方式由两个或四个字母代号表示,依次为线圈冷却介质及其循环种类、外部冷却介质及其循环种类。冷却方式及其代号如下:

干式自冷式 :AN

干式风冷式 :AF

油浸自冷式 :ONAN

油浸风冷式 :ONAF

强迫水冷式 :OFWF

强迫风冷式 :OFAF

强油导向水冷式 :ODWF

强油导向风冷式 :ODAF

以上字母代号含义见表 1.1。

表 1.1 冷却介质及循环种类的字母代号

冷却介质种类	矿物油或可燃性合成油	O
	不燃性合成油	L
	气体	G
	水	W
	空气	A
循环种类	自然循环	N
	强迫循环(非导向)	F
	强迫导向油循环	D



## 第二章 变压器的日常运行和维护

### 第一节 变压器运行前的检查

变压器无论是经过检修后还是新安装竣工后投入运行,为了保证变压器能安全可靠地工作,都必须对该变压器的各有关方面做细致的检查,检查的内容大致包括以下几点。

#### 一、变压器保护系统的检查

##### 1. 熔丝保护的检查

对于小型变压器,如其原边采用熔丝保护,在送电投入运行前,必须检查所用的熔丝规格是否与规定的数值相符。因为熔丝是保护变压器的原边、副边出线套管防止内部短路用的,所以若熔丝选择过大,就不会起到保护的作用。例如,当副边出线套管短路时,如果熔丝不能熔断,变压器就会被烧毁;反之,若熔丝选择过小,则正常运行情况下,就会造成用户供电的中断,此时三相熔丝如只熔断其中的一相,则对用户造成的危害将可能更大。

对熔丝除应检查其规格外,还应检查熔丝盒内的熔丝是否

完好,有无断损,以及接触不良等不正常现象,因为上述情况,都容易引起事故而对用户带来不必要的损失。

## 2. 继电保护装置的检查

大中型变压器多采用继电保护系统,以备变压器自身及其外部的供电系统发生短路故障时,能准确、迅速、有选择地将断路器切断,使发生故障的变压器或供电线路退出工作,以保证整个电力系统能安全可靠地运行。因此,变压器在投入运行前,必须对继电保护装置做详细周密的检查。若变压器检修后投入运行,则需要呈交变压器继电保护装置的检修试验报告,以了解继电保护系统是否改变,继电器的整定数值、名称和标志是否变更,试验是否正常,并可试一试验信号装置是否正确动作等。

总之,继电保护系统应符合规定的要求。如果变压器是第一次投入运行,则更应进行仔细的检查,首先要了解继电保护系统的完整性和合理性,然后查阅继电保护装置试验报告等。

## 3. 气体保护的检查

800 kVA 及以上的变压器都具有气体继电器。气体继电器有两对常开的触点,上触点在以下两种情况下要闭合并且同时发出信号:一种情况是当变压器的油面过低时,上触点即闭合并发出信号,以使运行人员能及时赶到现场检查油位过低的原因或进行补充注油操作;另一种情况是当变压器内部缓慢地产生气体时,由于气体首先会聚积在气体继电器的上部,当气体的分子数量达到一定值后,上触点即闭合并且同时发出信号,以使运行人员能及时收集和分析此气体的性质及其产生的原因,加强对变压器的检查和监视,以保证变压器的安全运行。

下触点是当变压器内部有严重故障(例如短路时),绝缘物(固体的或液体的)燃烧后将生成大量的气体,这时,具有一



定压力的气流和油流便会猛烈地涌向气体继电器,使下触点闭合并立即切断电源。因此,变压器在投入运行前,应检查气体继电器内部有无气体存在,如有气体,则应先行放尽,并且应试一下上触点的触发信号是否能准确动作;下触点若是用跳闸连接板切换的,应检查连接板是否已经放好,对气体继电器的连通器,沿着气体流动的方向应具有一定的向上坡度,以保证缓慢流动的气体能到达气体继电器而不至在管道内停留积存。

#### 4. 防雷保护的检查

如果变压器与外部送电线路相连接,为了防止线路因遭雷击而使电压升高危及变压器的安全,在变压器的高压出线套管处都装有避雷器。这些避雷器在雷雨季节到来之前,应将它投入运行。因此,当变压器投入运行时,都必须结合当时的季节,检查避雷器装置的情况,如果当时正是雷雨季节,则必须将避雷器投入运行。此时,还应检查该避雷器是否做过预防性绝缘试验、是否装上了雷击计数器、避雷器的接地是否良好、接地电阻是否符合规定的数值等。

## 二、变压器监视装置的检查

监视装置包括电流表、电压表和温度测量仪表等。这些测量仪表是变压器运行中的“耳目”,是保证变压器安全可靠运行所不可或缺的。电流表可以直接测量负荷的大小,监视变压器是否过负荷;电压表可以测量电压的质量(电压的误差及波动等)。例如,原边电压表可以测量系统电压是否与变压器的铭牌所要求的允许偏差电压相符合,副边电压表可以测量变压器二次供电电压是否符合规定的电压标准。因此,在变压器投入运行前,应检查电流表、电压表等是否齐全,其测量范围是否适当,通常在额定数值处还须画上红线,以便监视。如果表计

为三相合用,是依靠切换开关来测量的,则还应检查切换开关工作的可靠性。

大、中型变压器的箱盖上都有上层油温的测量装置,它包括一个带电触点的压力式温度计和电阻式遥测温度计。当上层油温到达或超过允许值时,这种带电触点的压力式温度计便会发出警报信号,以便值班人员能及时处理。此外,这种温度计还有现场温度指示,以供巡回检查监视。电阻式遥测温度计,是值班人员定期遥测变压器的上层油温用的,使值班人员能在值班室随时掌握变压器运行中的油温。因此,变压器在投入运行前,应检查这些测温装置是否安装好,温度计是否合格,以保证测量的准确性。此外,还应检查报警整定值是否为允许的上层油温最高限额,报警发信是否能准确动作等。

小型变压器没有压力式温度计和电阻式遥测温度计,但在箱盖上有一只直接测量油温的玻璃温度计,指示部分露出在箱盖上,值班人员在巡回检查时可以观察温度指示,但必须注意与高压之间保持一定的安全距离。对这种玻璃温度计,在变压器投入运行前也应检查是否已经安装好,指示读数方位是否便于运行人员在变压器带电时进行观察,最好是落下零点后进行观察。

### 三、变压器冷却系统的检查

变压器在投入运行前,对冷却系统进行仔细的检查 and 试运转是非常重要的工作。变压器在运行中,由铁芯和绕组发热所产生的热量,如果不及时地被冷却系统所带走,则变压器的温度会不断地上升,甚至超过允许的限值,严重时甚至会使绕组过热而烧毁。运行人员应该非常重视变压器冷却系统的完好情况。对采用风冷却的变压器,在每个散热器内有 1~2

个风扇,变压器在运行中就依靠这些风扇来冷却,检修后或新安装的变压器在投入运行前,应对风扇电源送电,使每个风扇都转动起来,检查每个风扇的运转是否正常,例如风叶转动的方向是否正确、风扇电动机有无强烈的震动、运转的声音是否正常、三相电流是否基本上平衡以及经过一定时间的试运转后电动机的外壳是否有过热的现象等。

#### 四、变压器外观检查

为了保证变压器安全可靠地运行,变压器在投入运行前,应对外观做详细的检查。

##### 1. 储油柜检查

对储油柜上的油位计应检查其是否完好,油位是否能清晰、方便地观察到,油位是否在与当时的环境温度相符的油位线上,因为油位过高和过低都是不妥当的。油位过高,当变压器投入运行带上负荷后,油温上升膨胀,油很可能从储油柜顶部的吸湿器连通管处溢出来;油位过低,当在冬季轻负荷或短时期内停用时,很可能使油位下降到油位计上看不到的位置,甚至使气体继电器的上触点因油位过低而动作发信号,这将额外增加带电注油的工作量。

##### 2. 安全气道检查

变压器投入运行前,应检查安全气道的保护膜是否完好,如破损而未被发现,则在投入运行后,绝缘油便与空气直接接触,甚至有雨水侵入内部的可能,这就会使油质变坏,油的绝缘强度降低,甚至发生变压器内部短路的严重后果。

##### 3. 净油器检查

为了能较长时间保持变压器油质处在良好状态,中等容量以上的变压器都装有净油器,也称油的再生装置。净油器内都

充满着除酸硅胶或活性氧化铝,运行时依靠热油与冷油间的密度之差,自动地循环过滤,使油与除酸硅胶缓慢地相接触,从而不断地清除油中的游离酸、沉渣以及潮气,油被连续地净化、再生,从而延长油的运行年限。在一般情况下,变压器投入运行前,应将净油器投入,此时应打开下部与变压器相连通的阀门,使油充满整个净油器,接着再打开净油器顶盖上的放气小阀门,使内部空气排出,待有油溢出时,即可关闭放气阀,此时便可打开净油器上部与变压器相连通的阀门。

#### 4. 吸湿器和气体继电器检查

变压器投入运行前,应检查吸湿器的吸潮剂是否失效。例如,内部所放的蓝色硅胶的颜色有否变微红,若变微红,则说明硅胶已经吸收了水分变色,需要更换。还应检查吸湿器底部的油封盖内是否放了油。对于气体继电器与储油柜之间的连通蝶阀,应仔细检查,在变压器投入运行前先行打开,而且一定要使蝶阀开度正确,必须打开到 $90^\circ$ 的位置才算全打开。

#### 5. 接地装置检查

变压器以及其他附着的外壳(例如冷油器、潜油泵、控制箱等)都必须可靠地接地,因为它对变压器及其附着设备在运行中起着直接的保护作用。

#### 6. 各级电压的出线绝缘套管检查

各级电压的出线绝缘套管与导电线或电缆的连接应该良好,接头上应粘贴示温蜡片,三相油漆颜色应该正确无误,否则将引起严重后果。

#### 7. 变压器铭牌与工作要求是否相符检查

变压器铭牌上所列的各种规格和定额与选择该变压器时的规格和定额应相符。例如,电压等级及其分接抽头的级数和百分数、变压器的接线组别、变压器的容量、分接抽头现在所放

置的位置(挡数)、铭牌中规定的运行方式、冷却条件、允许环境温度及海拔高度等,都应与实际运行的要求相符合,否则有可能会影响变压器的长期安全可靠地运行,特别是对接线组别的要求,是绝对不允许有差错的。

### 8. 变压器的命名检查

新安装投入运行前的变压器,应该有一个正确的命名。这是为了使该变压器在运行中,值班调度员与值班长、值班员之间发布命令时能正确无误地执行调度员的意图,以及正确无误地执行所需要的操作。命名应该写在该变压器箱壳上醒目的位置,如为三相变压器组,则每台单相变压器上都应有相色和命名。另外,对该台变压器的附着设备,例如,冷油器、潜油泵、集中安装的散热器、控制箱、专用避雷器、中性点接地的隔离开关及其附件等,也应该各有其命名,这一切都是为了值班操作人员能正确地发布和执行操作命令,使变压器能安全运行,防止误操作。

### 9. 通道检查

在变压器室内或户外露天装设的变压器,其四周都应预设规定的走道和操作走廊,以备运行人员巡回检查和必要的操作之用。走道和走廊必须畅通,不可堆放与配电装置无关的杂物。为了检查变压器箱盖上面的情况,大、中型变压器还必须装有固定的扶梯,使运行人员能在变压器带电运行时,可在变压器上部的安全遮拦外面进行检查,例如检查套管的油位、储油柜的油位、箱盖上的直读油温计、气体继电器的采集气体和油样等。

## 五、消防设施的检查

变压器运行中可能会因内部故障而发生爆炸或燃烧等重

大事故,这时除依靠继电保护装置将变压器迅速地从系统中切除外,还需要对现场进行事故处理。例如,变压器爆炸时,会有大量的油喷溢出来,这时如果事故排油道和蓄油池也有故障,油就会流溢开来,此时若油正在燃烧,则会波及附近其他配电设备。因此,在变压器投入运行前应检查事故排油道、蓄油池是否完好,是否有堵塞现象;为了防止变压器爆裂时波及到邻近的其他配电设备,对户外安装的变压器,其两个侧面应设有防爆墙;为了在变压器失火时能迅速地将它扑灭,在每台变压器的现场均应设有一定数量的消防设备,如  $\text{CCl}_4$ 、 $\text{CO}_2$  灭火器、黄沙桶等,对户内安装的变压器,还可考虑采用喷雾灭火设备。

## 六、变压器绝缘测试

以上各项检查都已符合要求之后,在送电前还应对该变压器的各电压级的对地绝缘电阻和各电压级之间的绝缘电阻进行测试。摇表应使用  $1\,000 \sim 2\,500\text{ V}$  的电压,并记录测试时的上层油温或环境温度,绝缘电阻的允许值没有硬性规定,但应与历史情况或原始数据相比较,如认为合格,便可送电投入试运行。

## 第二节 变压器并联运行

无论是在电网变电所还是工矿企业变电所里,常采用两台或多台变压器并联运行方式。所谓“并联运行”(也称并列运行),即各台变压器的一次绕组并接到同一电网母线上,二次绕组也都并接到公共的二次母线上,如图 2.1 所示。

### 一、并联运行的优点

采用并联运行方式,具有下列优点:

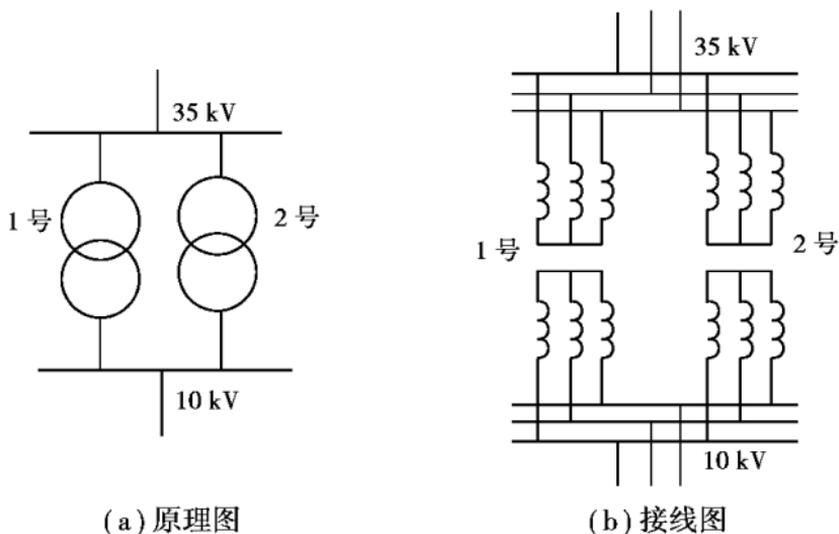


图 2.1 变压器的并联运行

①提高供电可靠性 其中一台变压器发生故障时,可从电网切除并进行检修。负荷由其余各台变压器分担,不用中断供电,也可有计划地安排轮流检修。

②提高运行经济性 根据负荷大小可随时调整投入并联运行的变压器台数,保证变压器的负荷系数较高,从而减少空载损耗,提高效率,改善电网的功率因数。

③减少一次性投资 可以减少总备用容量,并能随用电负荷的增加而分批安装新变压器,即分期投资。

## 二、并联运行的条件

正常并联运行的变压器应该是:在空载时,并联的线圈之间没有循环电流;在有负载时,变压器线圈中的负载电流是按照它们的容量成正比分配,防止其中某一台过载或欠载,使并联变压器容量得到充分利用。为了达到上述目的,并联运行的变压器必须满足以下 3 个条件:

- ①各变压器一、二次侧的额定电压分别相等(电压比也相同)。
- ②各变压器的连接组别相同且分别同相。
- ③各变压器的百分阻抗(即阻抗电压百分值)相等,并联运行的各台变压器额定容量不能相差过大。

表 2.1 变压器并联运行的技术条件

并列运行的条件	不能满足条件产生的后果	允许误差范围
电压比相等	如果二次电压不相等,会在绕组内产生一个循环电流,降低变压器的输出容量,甚至烧毁绕组	并联运行的变压器的电压比差值不应超过 5%
绕组的连接组必须相同	绕组连接不同时,将在绕组间产生很大的循环电流,使变压器严重发热,以致烧毁	任何奇数组别的变压器都不能和任何偶数组别的变压器并联运行 不同奇数组别间的变压器可通过改变其外部接线的方式来满足并联运行的要求
阻抗电压百分数 $U_k\%$ 相等 (即短路阻抗百分数 $Z_k\%$ 相等)	短路电压百分数不相等时,不能按变压器容量成比例地分配负荷,会造成短路电压百分数小的过负荷,短路电压百分数大的不能满负荷	并联运行变压器的阻抗电压差值不超过其中一台变压器阻抗电压值的 10%

续表

并列运行的条件	不能满足条件产生的后果	允许误差范围
两台变压器容量不宜相差过大	容量相差过大时,容易使负荷分配不合理,造成一台变压器过负荷,另一台变压器不能满负荷	并联运行的变压器,其容量比以不超过3:1为宜

### 第三节 变压器的防雷及接地

随着电力系统的不断发展,发电、供电设备限制内过电压和外过电压的技术措施在不断地改进和完善,并且在有关规程中都做了明确规定。因此,对于因过电压而损坏设备的绝缘事故将明显减少。但是,由于设备的绝缘水平不同,因雷害引起的设备绝缘事故还时有发生。尤其是大量分布在农村的10 kV配电变压器,每到春夏雷雨季节,遭受雷击损坏的现象屡见不鲜。由于配电变压设备绝缘水平低,并且分布面广,所以遭受雷害的几率高。因此,必须对配电变压器采取必要的防雷保护措施。实际上,配电变压器经解体检查,大多数为变压器高压绕组被击穿,而低压绕组则完好无损。有的是在正常运行时被击穿,有的是在高压侧断电的情况下被击穿。

#### 一、防雷保护措施

目前,配电变压器的防雷保护接线方式普遍采用的是“四点共地”法,如图2.2所示。对绝缘良好的配电变压器,如仅在高压侧装设避雷器,仍会发生由于正、逆变换过电压造成的雷击事故。这是因为高压侧所装设的避雷器对于正变换或逆

变换过电压都是无能为力的。正、逆变换过电压作用下的层间梯度电压与变压器的匝比成正比,与绕组匝数的分布有关,绕组首端、中部和末端均有可能损坏,但末端较危险。低压侧加装避雷器可以将正逆变换过电压限制在一定范围之内,其接线图如图 2.2 所示。

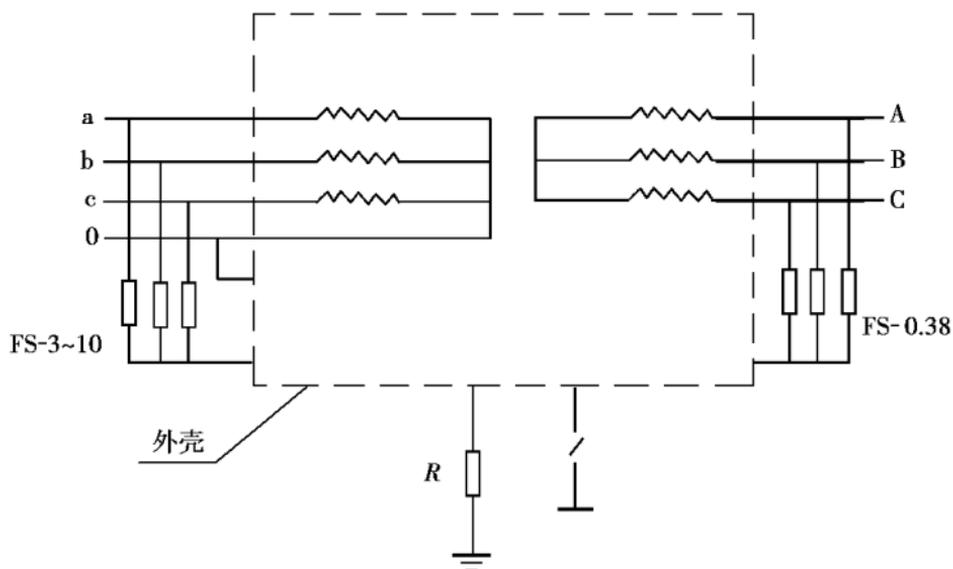


图 2.2 配电变压器防雷保护示意图

图 2.2 所示的防雷保护接线方式的优点在于变压器主绝缘只承受避雷器的残压作用,但由于变压器外壳电位升高,为防止对低压线圈放电,将低压线圈中性点接外壳,即同时提高低压线圈的电位,使之与外壳对地电压处在同一水平线上,这时,低压线圈必须接有避雷器保护。

无论是正变换过电压,还是逆变换过电压,均是由于低压绕组中的冲击电流,并在高压绕组中感应出高电压而损坏变压器的。因此,若能减少或消除低压绕组中的冲击电流,就能降低或消除正、逆变换过电压。

低压绕组采用曲折星形连接或 Z 形连接可以实现这个目



的。通常采用的连接方式是 Yzn11 组别。曲折星形连接是将每一相绕组均分为两个相等的部分,成为两个半绕组分别绕在两个铁芯柱上,而将一个铁芯柱上的半绕组和另一铁芯柱上的半绕组相反地串联起来,成为相绕组,再按星形方法,将三相绕组的末端接在一起。

根据正、逆变换过电压的基本理论,无论是正变换还是逆变换都是由于低压绕组流过冲击电流产生冲击磁通引起的。为此,提出在配电变压器铁芯上加装平衡绕组 LP 的方法来抑制冲击磁通,从而抑制正、逆变换过电压,以保护配电变压器。

另外,将高压侧避雷器装在跌落保险下侧,这样做的好处有:

①减少避雷器引下线长度,相应地减小了电感,从而降低了反击电压,使避雷器离变压器更近,保护效果更好。

②当避雷器质量不良,放电后不能熄弧时,工频续流使保险丝熔断,保险管自行脱落与系统分离,从而缩小了事故停电范围。

③便于避雷器的更换试验,特别是对无专业力量的广大用户来说十分方便,只要将变压器高压侧跌落保险拉开即可自行换装。

④便于准确测量接地电阻。

空心电感线圈可以促使避雷器可靠动作,因此可以加装空心电感线圈。其原理是:当雷电波入侵到空心电感线圈时,发生全反射,这样作用于避雷器上的电压约为两倍的入侵电压,因而使避雷器可靠动作,将雷电泄入大地,使作用于变压器的雷电波幅值和陡度进一步降低。

对配电变压器的防雷采取的措施归结为以下 3 点:

①防 摸清楚雷电活动的规律,做好各种防护措施。

②泄 装设维护避雷设施,一般在高低压两侧都装设避雷器,高压端的避雷器应安装在配电变压器进线电源侧,否则,当雷电波沿架空线袭来时,其通道首先经过变压器,当雷电压足够大时,变压器将被击穿。高低压避雷器接地线与变压器的外壳要共同接地,而且不能松脱,否则起不到防雷作用。另外,避雷器应尽量靠近变压器安装。

③抗 尽量提高绝缘水平,抵抗雷电的破坏力,确保农村在雷雨季节安全供电。

## 二、变压器的运行管理

在实施以上有关技术措施的同时,必须重视和加强配电变压器的管理,定期测试变压器的绝缘状况,进行变压器油试验和分析,测量接地电阻。检测高、低压避雷器,以保证变压器绝缘水平,从而保护装置的良好可靠。

①按期进行预试和检修。运行中的避雷器应结合线路检修和清扫进行试验。对有缺陷的避雷器进行及时更换。FS 阀型避雷器经过一段时间运行后,因避雷器自身老化,其工频放电电压降低至 23 kV、绝缘电阻低于 2 000 M $\Omega$  时必须更换,否则会造成线路频繁接地故障。

②避雷器的选择应与线路额定电压相符。避雷器额定电压高于设备额定电压,使设备受雷击时失去可靠保护;避雷器额定电压低于设备额定电压,在正常的过电压水平下,避雷器频繁动作引起线路接地跳闸。

③在配电变压器低压侧装设保护装置。10 kV 配电变压器,只在进线处安装避雷器不能保护其低压绕组,而且由于低压侧落雷也将造成高压侧由于正变换而过电压损坏。所以,在配电变压器低压侧也应安装低压避雷器 500 V 的通信用放电



间隙保护器,并将避雷器、变压器外壳和中性点可靠接地。这样,设备上绝缘所承受的电压只是避雷器的残压,雷击电流在接地电阻上的电压降就不会作用在设备的内绝缘上。

④避雷器安装应尽量靠近配电变压器,不能用线路避雷器代替保护避雷器。

⑤避雷器要接地良好,接地线连接可靠。由于避雷器接地线开路造成避雷器失去保护作用是较常见的。

⑥在配电变压器进线处装设电抗器。电抗器可用进线绕成直径 100 mm,10 ~ 20 匝的电感线圈。

## 第四节 变压器的绝缘保护

由于配电变压器的金属外壳和引线铝排的带电部分都装在露天,没有任何专门保护的覆盖物。因此,在秋末冬初的交换季节,在运行的变压器高压侧引线及铝排连接处附近,常常发生鼠害短路事故。根据有关数据表明,这方面的事故跳闸率高达 87%。为了防止这方面的事故发生,可在 10 kV 配电变压器高压侧三相引线及铝排接线处附近,里面用厚度 3 mm、耐压 10 kV 的橡胶垫剪成 50 mm 宽的包缠带,分别进行压缘缠绕。根据相色要求,在外层相应地用黄、绿、红塑料包缠。其绝缘包缠长度,从连接点开始到 300 mm 为止,如图 2.3 所示。采用了这一绝缘保护方式之后,可以彻底消除 10 kV 户外变压器的鼠害短路事故。

### 一、测量变压器的绝缘电阻

测量变压器绕组绝缘电阻的目的是检查绝缘状态,确定绝缘是否受潮和有无局部缺陷(如瓷套管是否破裂,引出线是否

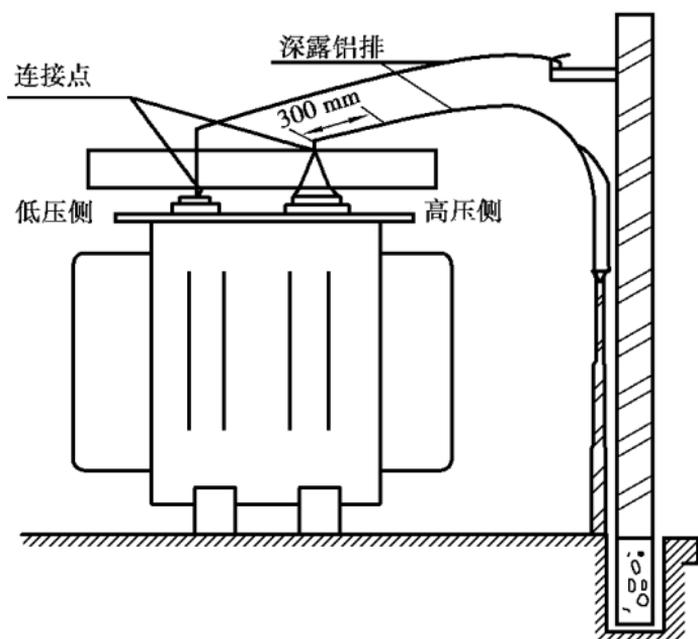


图 2.3 变压器绝缘保护示意图

接地等)。由于同一设备在相同的电压作用下,其绝缘体内通过的电流随时间的衰减快慢与绝缘状况有关。干燥良好的绝缘,电流随时间衰减的幅值较大,也就是绝缘电阻随时间变化较大,一般 60 s 时测得的绝缘电阻值与 15 s 时所测得的绝缘电阻值之比值 ( $R_{60} / R_{15}$ ),即吸收比均在 1.3 以上;当绝缘受潮或出现缺陷时,电流随时间衰减缓慢,也就是 15 s 以后绝缘电阻没有多大变化,此时吸收比  $R_{60} / R_{15}$  接近于 1。因此。根据吸收比的变化,可以判断绝缘受潮的情况,尤其是对容量大的高压设备,如大型变压器的绝缘状况,应以吸收比的变化作为判断的依据。如果吸收比明显下降,说明绝缘已受潮或油质劣化。

变压器的绝缘强度下降的原因最常见的有以下 3 种:

① 变压器未投入运行前,潮气侵入而使绝缘受潮;变压器所在场所潮气过大(如多雨、多雾地区),湿度过高。



②绝缘老化。一些年久失修的变压器最易出现这种现象。

③油质劣化。如油的绝缘特性丧失。

若是第一种原因,应对变压器进行加热干燥;若是后两种原因,应对变压器进行检修和换油。

## 二、测量变压器的绝缘电阻和吸收比的方法和注意事项

测量时,首先断开变压器所有的连接线,将非被试绕组以及绝缘电阻表的接地极接地,然后驱动绝缘电阻表的手摇发电机(或接通外接直流电源),待表针稳定在“无穷大”的位置后,用绝缘工具将火线端立即接至被试绕组上,同时记录时间,并分别读取 15 s 和 60 s 时的绝缘电阻值。读数后应先断开火线端的接线,然后停止绝缘电阻表的转动(或断开直流电源)。测得 60 s 时的绝缘电阻  $R_{60}$  代表该绕组的绝缘电阻值,而  $R_{60}$  与 15 s 时测得的绝缘电阻值  $R_{15}$  之比值就是被试绕组的吸收比。

在测量过程中应注意以下几点:

①断开被测变压器的电源及对外的—切连线后,应先将所要测的变压器接地放电,尤其对大电容量变压器,更应充分放电。

②测量前应用布擦去套管表面的污垢,以减少对测量的影响。

③绝缘电阻表要水平放置,驱动绝缘电阻表要达到规定转速。测量前,先空试绝缘电阻表。在火线端开路时,指针应指向“无穷大”,如指示正常后,就可以进行测量。如果被试品绝缘表面泄漏较大或对重要的设备进行测试,为了避免表面对其测量结果的影响,应加以屏蔽。屏蔽线应采用软铜线,在靠近火线端的绝缘表面上紧缠绕几圈作为屏蔽。屏蔽线不要靠近

地线端,因为绝缘电阻表的屏蔽端是直接从发电机的负极抽出,而L端线也是从负极先经过绝缘电阻表的电流线圈后抽出的,屏蔽线与火线之间电位差很小,如果屏蔽线接近地线,当表面泄漏较大时,会造成绝缘电阻表的发电机过载。

④读取绝缘电阻后,应先断开被试品的火线端,然后停止驱动绝缘电阻表(或断开绝缘电阻表的直流电源),以免被变压器电容在测量时所充的电荷经绝缘电阻表的线圈放电而损坏绝缘电阻表。对测量大电容量变压器时,更应注意这一点。

⑤测量中要记录15 s和60 s时的绝缘电阻值,同时还要记录测量时的温度和湿度。

⑥每测量一次绝缘电阻后,应将被试品进行充分放电,以免影响测量精度。

⑦测量时不可以用手触摸带电导体或拆、接绝缘电阻表线,以防止触电。

### 三、测量变压器的绝缘性能时注意的技术问题

①变压器绝缘要求数值对同一变压器内的高、中、低绕组应相同。

②绝缘电阻值应以注油并静放到规定时间后的测试值为准。

③用绝缘电阻表测试绕组对地或绕组间的绝缘电阻时,未测试绕组应接地,被测绕组在测试前应先接地放电2 min后再开始测试。

④绝缘电阻表测绝缘的时间按手柄开始转动时算起。

⑤对还未加热的变压器取其上层油的温度作为绝缘温度。

⑥采取加热措施的变压器,可以根据高压绕组直流电阻算出的平均温度作为绝缘温度,对于110 kV以下的变压器加热

时,允许按上层油温减去 15% 作为绝缘温度。

⑦若从油箱下部取出的油样温度低于 10 ℃ 时,须加热到 10 ℃,并继续加热 3 h 后再进行绝缘测试。

⑧使用绝缘电阻表的规定:电压为 35 kV 及以下,容量为 1 800 kVA 以下的变压器,用 1 000 ~ 2 500 V 绝缘电阻表测试绝缘电阻;电压为 35 kV 及以下,容量为 1 800 kVA 以上的变压器,用 2 500 V 绝缘电阻表或量程不小于 2 500 MΩ 的 1 000 V 绝缘电阻表测试绝缘电阻;电压为 110 kV 及以上的变压器,用 2 500 V 绝缘电阻表测试绝缘电阻。铁芯夹件绝缘要用 1 000 V 绝缘电阻表测试。

一般地,额定电压在 1 000 V 以下的绕组,用 1 000 V 绝缘电阻表测试;额定电压在 1 000 V 以上绕组,用 2 500 V 绝缘电阻表测试。

#### 四、正确选择修理变压器用的绝缘材料

绝缘材料的好坏直接影响变压器绝缘性能的优劣,因此,在修理变压器时,要选用符合性能要求的绝缘材料,选用绝缘材料应注意以下 4 个方面:

##### 1. 耐热性能

应按原设计的绝缘等级来选用绝缘材料,不可以用 A 级绝缘材料取代 B 级绝缘材料,否则,将大大缩短变压器的使用寿命;反之,若用 B 级绝缘材料代替 A 级绝缘材料,则材料得不到充分利用而造成浪费。

##### 2. 绝缘性能

要注意材料的绝缘性能,电缆纸、电容纸、绝缘纸板的绝缘强度都不相同。其中以电容纸的绝缘强度最高,电缆纸次之。若规定用电容纸,不得用相等厚度的电缆纸代替;若规定用两

张 1 mm 厚的纸板,不得用一张厚 2 mm 的纸板代替。这是因为这两项中前者的绝缘强度高于后者。材料代用的前提是绝缘强度必须相同。

### 3. 力学性能

绝缘材料一旦失去机械强度,也就失去了绝缘强度。考虑到机械强度,要求层间绝缘纸不得少于两张。制作绝缘筒一般要用两张厚 1.5 mm 的纸板。

### 4. 压缩系数

纸板吸潮后厚度增加,干燥后厚度减小。修理变压器时,应考虑纸板的增厚和收缩。

## 第五节 变压器的日常维护

### 一、运行中变压器的日常维护和检查

为了保证变压器安全可靠地运行,值班人员应对运行中的变压器各部位及各种表计进行定期巡视与严密监视,及时发现事故苗头,做出相应处理将设备的缺陷、故障甚至事故消除在萌芽状态。一般电力变压器均装有监视仪表,如电流表、电压表和功率表等,必须经常予以严密监视并做好运行记录。注意有无异常现象,如异常的高温、噪声、气味、变色等情况。

检查的方法如下:

①检查变压器的温度 由温度计查看变压器上层油的温度是否正常(油浸电力变压器在环境温度 40 ℃ 时,其上层油温不得超过 90 ℃)。当指示温度的玻璃温度计与压力式温度计相互间有显著差异时,应查明是仪表不准还是油温确有异常。

②检查油位 变压器储油柜上的油位是否正常,是否为假油位;有无渗油现象,充油的高压套管抽位、油色是否正常,套管有无漏油现象。油位指示标志正常时,必须查明原因。必须注意油位计出、入口处有无沉淀物堆积而阻碍油的通路。

③检查声响 变压器的电磁声与以往比较有无异常。异常噪声发生的原因通常有下列几种:

- a. 因电源频率波动大,造成外壳及散热器的振动。
- b. 铁芯夹紧不良。
- c. 因铁芯或铁芯夹紧螺杆、紧固螺栓等结构上的缺陷,发生铁芯短路。
- d. 紧固部分发生松动。
- e. 绕组或引线对铁芯或外壳有放电现象。
- f. 由于接地不良或某些金属部分未接地,产生静电放电。

④检查变压器顶盖上的绝缘件 检查出线套管、引出导电排的支持绝缘子等表面是否清洁,有无破裂或放电的痕迹等。

⑤检查导电排 引出导电排的螺栓接头有无过热现象。

⑥检查阀门 检查中应查看其状态是否符合运行要求,应特别注意检查阀门各部分的垫圈,若是焊接不良,则应立即进行检修处理。

⑦检查防爆管 防爆管有无破裂、损伤及喷油痕迹,防爆膜是否完好。防爆管装于较高处,检查应特别注意安全。

⑧检查冷却系统 冷却系统运转是否正常。对于风冷油浸电力变压器,要查看风扇有无个别停转,风扇电动机有无过热现象,振动是否增大,对室内安装的变压器,要查看周围通风是否良好,是否要开动排风扇等。

⑨检查吸湿器 吸湿器干燥剂是否变色(如白色的硅胶是否呈蓝色,活性铝是否由青色变为粉红色),辨明干燥剂是

否已失效。

⑩检查周围场地和设施 通道和走廊是否畅通,室外变压器事故储油坑有无积水,变压器室的门窗是否完好,有无雨水侵入的可能,照明是否合适和完好,消防用具是否齐全完好等。

## 二、特殊情况下的维护和检查

对于运行中的变压器,除了日常正常情况的监视和巡视外,在下列特殊情况下,还要进行特别监视和巡视。同时,应严格按照电业安全规程的要求进行。

①满负荷或超负荷 变压器的电流、电压、温升、声响、油位及油色等是否正常;导电排螺栓连接处接触是否良好;示温蜡片有无熔化现象。要保证变压器较好的冷却状况,使其温度不超过额定值(若运行中其实际温度经常超过额定值 $6 \sim 8$ ,则变压器的自然使用寿命将缩短一半,这就是通常所称为“ $6 \sim 8$  法则”)。

②大风 高、低压各侧引线有无强烈摆动;相间距离是否符合规定;其上有无搭挂杂物。

③雷雨、大暴雨 若出现高、低压避雷器放电破裂或短路接地时,应及时停电并仔细检查避雷器及其引接线。

④大雾 高、低压侧各瓷套管有无放电闪络现象,尤其是高压侧各相瓷套管有无拉弧与裂纹。

⑤严寒大雪 根据积雪融化与结冰程度,仔细检查各引线和接头等部位,对有可能危及安全运行的结冰要及时处理。

⑥冰雹、冰冻及气候急剧变化 瓷套管有无破损或裂纹。防爆膜、吸湿器和油位计等部件的玻璃壳是否完好;各侧母线上的瓷元件是否完好无损,是否松动。

⑦地震 变压器及各部构架基础是否出现沉陷、断裂或变

形等情况,有无威胁安全运行的其他不良因素。

### ⑧温度升高、油位上升

a. 运行确属正常,但温度却逐渐升高,致使油位计的油位不断上升。当超过最高油位线时,应立即放油,使油位回降到20时的油位线,以免溢油。

b. 油温比正常值高10以上,或负荷电流不变而油位上升(且油色混浊),说明变压器铁芯过热,导致线圈层间短路。由于该短路电流尚小于过流保护的整定值,故开关不动作,也发不出事故信号或明显异常声响,但此时电流表、电压表指示出现不平衡(相差30%以上)。这种情况下应以先低压、后高压的顺序立即停止变压器运行,然后排除故障。

此外,对于新安装或停运与维修后首次运行的24h所发生的严重穿越性的大短路故障的变压器,或带有重大缺陷而仍在运行的变压器,更要严密监视与巡视各种指示仪表、保护装置、信号系统以及变压器各部位状况,以便及时发现任何微小变化与异常。

除了上述异常情况下应进行的特别监视、巡视外,还要对变、配电设备进行特别的夜间巡视。这种夜巡要安排在没有灯光条件下并带重负荷进行巡视检查,应查看各带电母线排的接触点、面是否有因接触不良而导致过热而发红或拉弧等现象。

## 三、变压器着火的处理

变压器发生火灾是十分严重的事故。变压器不仅有大量绝缘油,而且其许多绝缘材料都是易燃品,若不及时扑灭火灾,变压器可能发生爆炸或火灾蔓延扩大。

变压器一旦着火,应按以下方法进行处理:

①将变压器的油断路器、隔离开关和各种保护装置断开。

②如果油从上部溢出,应打开下部油门,将油位降低。

③如果油箱炸裂,应迅速将油箱中的油全部排出,使之流入储油坑或储油槽,并将残油燃烧的火焰扑灭。

灭火时要使用不导电的二氧化碳、干粉、四氯化碳等灭火剂。对溢流于地面或坑、槽内的油火可用沙子、泥土扑灭,严禁使用水或普通灭火器灭火。

运行中的变压器着火的原因是:由于变压器的套管破损或闪络,油在储油柜的压力下流出;铁芯的穿心螺栓的绝缘和铁芯硅钢片间的绝缘损坏;高压绕组或低压绕组的层间短路;引出线混线或引出线触碰油箱;长时间过负荷造成变压器大量发热或局部产生电弧。

如果变压器的套管表面受潮,闪络电压便降低;如果套管上有粉尘、油垢、盐分、烟灰等污物,则闪络电压更低(仅为干燥时的闪络电压的40%~80%)。因此,脏污的套管最易发生闪络,往往造成开关跳闸。此外,套管上的污物吸收水分后导电性能提高,不仅会引起表面放电,还会增加泄漏电流,使套管发热,严重时可能导致套管击穿。

在变压器的运行中,如果发现套管脏污,应及时清扫和除去油污;如果发现套管破裂,应立即更换,以保证变压器安全运行。



## 第三章 变压器的故障检修技术

### 第一节 变压器的故障类型

变压器的故障类型是多种多样的,包括其附件的质量问题乃至变压器内绕组的绝缘击穿等。通常,变压器绕组的故障最多,占了变压器故障的 60% ~ 70%;其次就是铁芯故障,约占 15%,其他部位的故障发生比较少。

#### 一、按照故障发生的部位分类

常见的故障类型见表 3.1。

表 3.1 变压器的故障类型

故障部位	故障类型
铁芯	①铁芯绝缘故障 ②接地带断裂 ③铁芯叠片短路 ④夹件、螺栓等部位松动 ⑤铁芯接地

续表

故障部位	故障类型
绕组	①匝间故障 ②冲击 ③受潮 ④外部故障 ⑤过热 ⑥绕组断路 ⑦劣化 ⑧油道堵塞 ⑨接地 ⑩相间故障 ⑪机械故障
端子排	①连接松动 ②引线断开 ③受潮 ④短路
套管	①老化 ②污染 ③裂纹 ④动物闪络 ⑤冲击闪络 ⑥受潮 ⑦油位低 ⑧法兰接地

续表

故障部位	故障类型
分接开关	①机械性故障 ②电气故障 ③引线故障 ④过热 ⑤油泄漏 ⑥外部故障
油	①受潮 ②有杂质 ③氧化 ④泄漏 ⑤劣化
其他部位	①电流互感器故障 ②油中有金属颗粒 ③运输损坏 ④外部故障 ⑤油箱焊接不良 ⑥附属设备故障 ⑦过电压 ⑧过负荷

## 二、按故障的发生过程分类

### 1. 突发性故障

①由异常电压(如外过电压和内过电压)引起的绝缘层击穿。

②外部短路事故引起的绕组变形,层间短路。

③自然灾害,如地震、火灾等。

④辅机的电源停电。

## 2. 长期逐渐扩展积累形成的故障

①铁芯的绝缘不良,铁芯叠片间绝缘不良,铁芯的穿心螺栓绝缘不良。

②由外界的反复短路引起的绝缘层老化。

③由于吸潮,游离放电引起的绝缘材料、绝缘油劣化。

## 三、变压器故障的主要原因

变压器故障主要是因为绝缘材料(如绝缘油、绝缘纸、压制板等)的劣化,其原因是由于正常及过负荷下的热劣化,另外是水分和氧气对热劣化的促进作用,由于冲击等过电压产生电场劣化,造成绝缘材料的损坏,其征兆是局部放电和特征气体产生,由于外部短路的电磁机械及振动引起的机械劣化,使线圈和夹件造成物理损伤和几何位移等。变压器故障的原因一般是非常复杂,而且大多数表现的不是很明显,但是,弄清楚发生故障的原因对防止及检修故障是必须的。现将变压器故障的主要原因简述如下:

①选用规格不当。

a. 变压器的绝缘等级选择错误。

b. 所选的电压等级、电压分接头不当。

c. 容量太小。

d. 所选规格不能满足环境条件要求。

e. 设计不能满足特殊使用条件,如有脉冲状异常电压或短路频度高等。

②安装不良和保护设备(如避雷器、保护继电器和断路器等)选用不当。



- ③长期自然老化。
- ④自然灾害或外界物件的影响。

## 第二节 变压器的故障检测方法

对于经常修理变压器的维修人员来说,能够迅速准确地找出变压器故障点,确定故障种类,是检修变压器的关键。

### 一、利用人的感官判断变压器故障

维修人员可以通过自己对声音、振动、气味、变色、温度等的感官来判断变压器的故障。

#### 1. 通过声音和振动判断故障

任何电气设备在运行中都会产生各种声音和振动。例如,变压器中的励磁电流引起硅钢片磁致伸缩而发出振动的声音,旋转电机轴承处产生的机械振动声音等。这些声音和振动是运行中设备所特有的,也可以说这是表示设备运行状态的一种特征。注意观察这些声音和振动,就能通过检测声音的高低、音色的变化和振动的强弱来判断设备的故障。可以单用耳朵听,利用听音棒检测,用手摸,凭触觉检测。采用这些方法虽然可判断设备的情况,但任何一种方法都是根据响声或不规则的振动声与正常运行时的声音、振动有所差异,才能判断有故障。当然,不能单凭声音高或低或大小,而是要与平时运行时的微小差别来判断,所以要熟悉变电器稳定运行时的节奏是必要的。变压器属于静止设备,但运行中经常发出“嗡嗡”的声音,一般将这种声音称为“噪声”。近年来,在城市中心和近郊,已采取措施来控制这种噪声。变压器产生“嗡嗡”声的原因有以下几种:

- ①硅钢片的磁致伸缩引起的振动。
- ②铁芯的接缝与叠层之间的磁力作用引起的振动。
- ③绕组的导线之间或线圈之间的电磁力引起的振动。
- ④强迫冷却式的变压器,其风扇和冷却泵产生的噪声等。

了解了产生这种声音的原因,根据异常声音来检测变压器是完全可能的。而且,由于变压器铁芯的材质向着低损耗方向发展,可以认为因电压、负荷变化而使变压器声音变化的情况将占更大的比例。

## 2. 从温度的变化判断故障

各种电力设备和器材,无论是静止的还是转动的,只要通过电流总会产生热量。另外,在旋转设备中还会因可动部分与固定部分的摩擦而发热,但这种温升通常总在额定温度以下的一定温度时达到饱和,使设备能连续运行。若发生任何电气方面或机械方面的不正常情况时,就会通过温度的变化表现出来,即温度升高至额定温度以上。因此,电气设备可通过其温度是否高于正常温度来判断有无故障,温度升高就成为缩短电气设备寿命的重要原因。这就表明,电气设备必须在适当的温度范围内使用。检测温度变化的简单方法有下列几种:

①用手摸,凭感觉来检测。用这种方法所反映的温度随不同的人有很大的差别,所以检测设备时,经验和习惯是很重要的。如果平时经常有意识地去体验设备的正常温度,那么要判断异常的温度并不困难。一般情况下,能用手摸 10 s 左右的温度约为 60 。

- ②用贴示温片或涂示温涂料来检测。
- ③用固定安装的温度计检测。
- ④利用红外测温仪定期或不定期进行检测。

## 3. 从气味变化判断故障

电工产品(主要是绝缘材料)燃烧时产生的气味,是能嗅



到且能辨别的。当进入配电间或在检查电气设备时,若嗅到异常气味,应检查是否有冒烟的地方或是否有变色的部位。嗅气味是很重要的检查手段,但是仅凭气味尚不能判断故障,还必须结合目测进一步确定故障部位。目测只能检查可见部位,而对气味的检查需要打开配电柜,了解盘内全都设备情况,其优点是检查范围广。当嗅到异味时,这只是发现故障的第一步,下面将通过具体的现象来说明外观和变色的判断。

#### 4. 检查外观和变色判断故障

通过检查外观和变色能发现电气设备的故障。通过目测能够发现的现象如:破损(断线、带伤、粗糙);变形(膨胀、收缩);松动;漏油、漏水、漏气;污秽;腐蚀;变色(烧焦、吸潮);冒烟;产生火花;有无杂质异物;动作不正常。这些现象能反映出故障产生的原因,均是已经列入检查规程条目中的现象,将发现的现象与每一种电气设备一一对应列出分析就能发现故障。

对于油浸变压器通过外观和变色能检查出来的故障如下:

①漏油。变压器外面粘着黑色液体或者闪闪发光的时候,首先应该怀疑是漏油。大中型变压器装有油位计,可以通过油面水平线的降低而发现漏油。

②变压器油温度。

③呼吸器的吸湿剂严重变色。吸湿剂严重变色的原因是过度的吸潮、垫圈损坏、呼吸器破损、进入油杯的油太多等。通常用的吸湿剂是活性氧化铝(矾土)、硅胶等,并着色成蓝色。当吸湿量达到吸湿剂重量的 20% ~ 25% 时,吸湿剂就从蓝色变为粉红色,此时就应进行再生处理。吸湿剂再生处理应加热至 100 ~ 140 直至恢复到蓝色。对呼吸器如果管理不善,就会加速油的老化。

## 二、根据高压试验中的现象判断变压器的故障

目前在变压器高压试验中,可凭监视仪表和听放电声音,加上实践经验来判断变压器的故障,具体方法如下:

①在进行高压试验时,若仪表的指示不跳动,被试变压器无放电声音,这表明被试变压器承受住了外施高压试验。

②在进行高压试验时,若电流表的指示突然上升,并且被试变压器有放电声音,同时球隙放电,这表明被试变压器存在故障。

③在高压试验中的升压阶段或者持续时间阶段,发生清脆响亮的“当当”的放电声音(这种声音很像用金属物碰击油箱的声音),这往往是由于油隙距离不够,或者是电场畸变造成油隙一类绝缘结构的击穿。

④放电声音也是很清脆的“当当”声,但声音较小,仪表摆动不大。在重复试验时放电现象消失,这种现象是变压器油中的气泡放电。为了消除或减少变压器油中的气泡,在变压器总装配过程中应采取相应的措施:对于 60 ~ 560 kV 的变压器,尽可能进行抽真空;110 kV 以上的变压器,在注满油后停放时间不少于 36 h;对于 220 kV 级的变压器要进行真空注油,注油后还要进行 8 h 的抽真空;10 kV 及以下的变压器,在注油后也要停放 24 h 以后才能进行试验。

⑤放电的声音如果是“哧哧”或者是很沉闷的响声,同时电流表的指示立即超过最大偏转指示。当进行重复试验时,放电电压有明显的下降,这往往是固体绝缘的爬电,如线圈端部对铁轭爬电等。其原因是绝缘包扎较松或开裂,引线绝缘搭接的锥度太大或者爬电距离不够。

⑥如在加压过程中,变压器内部有如炒豆般的响声,而电



流表的指示很稳定,这可能是悬浮的金属件对地的放电。

### 三、从变压器油所含的气体成分判断变压器内部故障

在正常情况下,变压器油里也是含有气体的,一般未经运行的新油,氧质量分数约为 30%,氮质量分数约为 70%,二氧化碳质量分数约为 0.3%。已运行的变压器油,因绝缘材料和油的分解、氧化,会生成少量的二氧化碳和一氧化碳以及微量的烃类气体。当变压器内部出现故障时,就会在变压器油里产生较多种类的气体,改变油中的气体组成成分。因此,分析油中气体成分,能早期查出变压器内部的潜伏性故障,其方法如下:

#### 1. 利用气相色谱法检测变压器的内部故障

①氢和烃类(即甲烷、乙烯、乙炔等气体)的质量分数在 0.1% 以下,一氧化碳和二氧化碳含量正常,则可以认为变压器是正常的。

②氢和烃类的质量分数大于 0.5% 的变压器,一般内部存在缺陷。如二氧化碳和一氧化碳含量较大,则表明变压器内部有固体绝缘过热。

③氢和烃质量分数在 0.1% 左右,一氧化碳和二氧化碳正常,无乙炔,属正常情况。

④氢和烃质量分数大于 0.1%,其中乙炔含量较大,表明变压器内部有放电现象。

⑤氢和烃类质量分数大于 0.1%,一氧化碳和二氧化碳正常,可能是变压器内部裸露金属部分(导线和铁芯等)过热。

⑥氢和烃类质量分数大于 0.1%,一氧化碳、二氧化碳的含量比正常时大,可能是变压器过载运行引起绝缘过热或该变压器运行年久绝缘老化。

## 2. 从气体继电器积聚的气体判断变压器内部故障

这主要是对气体继电器积存的气体的数量、可燃性、颜色和化学成分进行鉴别,分析出变压器内部故障的性质,见表3.2。

表 3.2 变压器内产生气体的特征与故障性质的判断

气体颜色	气体特征	气体特征
无色	无味,且不可燃	空气
灰色	带强烈气味,可燃	油过热分解或油中出现过闪络
微黄色	不易燃	撑条之类木材烧损
白色	可燃	绝缘纸损伤

## 四、利用变压器保护装置判断故障

对于变压器的内部故障,可以用各种保护继电器和检测装置来检测。机械类的检测装置有瓦斯继电器、油流量继电器等。电气类的有差动继电器、过电流继电器。各种检测装置的动作原因及用途见表 3.3。

表 3.3 变压器的保护继电器

保护继电器名称	检出方法	动作原因(事故内容)	用途
差动继电器	电气法	因绕组层间短路 端子部分产生短路而引起的短路电流	跳闸用
过电流继电器	电气法	由于变压器外都短路而引起的短路电流及过负荷电流	跳闸用

续表

保护继电器名称	检出方法	动作原因(事故内容)	用途
瓦斯继电器	机械法	由于异常过热和油中电弧使电压、油流量增大或油面降低	轻瓦斯报警,重瓦斯跳闸用
冲击压电继电器	机械法	由于异常过热,油中电弧使油压、气压剧烈上升	跳闸用
油位继电器	机械法	漏油使油位降低	报警用
温度继电器	热法	油温异常升高	报警用
防爆装置	机械法	异常过热和油中电弧引起内部压力升高而喷油	报警用

## 1. 机械类检测装置

### 1) 瓦斯继电器

这是广泛应用于带油枕的变压器的继电器。第一段触点供轻故障报警用,它是变压器中绝缘材料、结构件中的有机材料烧毁时,油热分解而产生的气体进入瓦斯继电器的气室,当气体体积聚到一定量时,瓦斯继电器轻瓦斯触点动作。第二段触点用于重故障,它是在变压器内部因绝缘击穿、断线等而引起油中闪络放电弧,使发热更严重(二次发热),固态绝缘材料和变压器油发生热分解而产生气体,变压器内部压力剧增,油急速流向油枕时继电器重瓦斯触点动作。瓦斯继电器的特点是:除了可用重瓦斯动作检测绕组事故之类大事故之外,例如,接触不良、铁芯叠片之间绝缘不良、油位降低等初期的局部轻微事故,也可在事故的早期由轻瓦斯动作检查出来。此外,根据

积聚在气室中的气体量和成分,可在某种程度上推测事故的部位及程度。瓦斯继电器偶尔也会发生误动作。造成轻瓦斯误动作的原因是:油中吸收的气体在运行初期析出,以及溶解于绝缘油中的气体因温度上升而变成过饱和析出,这些气体积聚在继电器气室中而误动作。至于重瓦斯误动作,则是因地震或输油泵启动时的冲击油压而造成。为了防止地震引起误动作,在重瓦斯的触点回路内串入一个地震仪,在地震仪与继电器同时动作时,使重瓦斯的跳闸回路不能形成通路。另外,为了防止输油泵起动的误动作,可在油泵起动的瞬间采取将重瓦斯跳闸回路闭锁的方法,但又存在着不能保证闭锁时变压器不发生事故的问题。

## 2) 防爆装置

防爆装置是当内部压力升高至一定的数值时发生动作,使油箱内部压力向外部释放的装置,用于保护油箱和散热器。其动作与变压器故障的关系,可认为与瓦斯继电器重瓦斯动作大致相同。

## 2. 电气类检测装置

差动继电器、过电流继电器等部是用电气的原理来检测故障的。其动作和变压器内部事故的关系与机械类电器相同。

### 1) 差动继电器

差动继电器的动作原理是:在变压器的一次侧和二次侧分别安装了按变压器匝数比选定的电流互感器,利用变压器产生匝间短路事故时所引起的电流差值,使继电器动作。因此,变压器运行中如果差动继电器发生动作,一般都是匝间短路之类内部故障。

### 2) 过电流继电器

在电力设备及线路发生短路事故或者过负荷时进行保护

的继电器。如果设备外部线路没有相间短路,也没有过负荷,就应考虑是变压器内部短路。检测变压器内部故障的其他方法还有分析溶于油中的气体,看温度计的指示是否有异常或内部是否有异常声音等。

### 第三节 变压器保护装置的故障检修

一、变压器运行中瓦斯继电器轻动作发出报警信号和瓦斯继电器重动作断路掉闸

瓦斯继电器是一种非电量高灵敏度气体继电器,作为变压器内部故障的保护电器,其结构如图 3.1 所示。

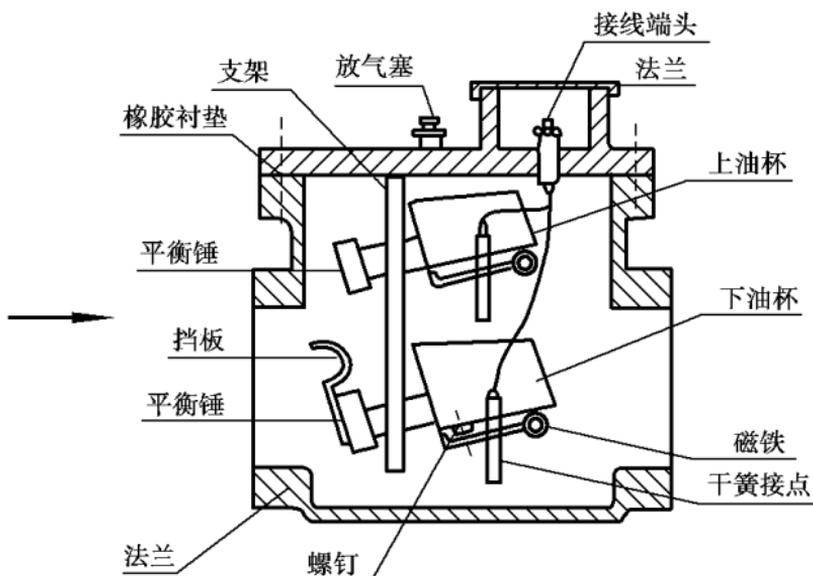


图 3.1 FJ<sub>3</sub>-80 型挡板式瓦斯继电器

#### 1. 瓦斯继电器轻瓦斯动作原因

运行中的变压器发生以下故障及异常时轻瓦斯动作发出报警信号。

- ①分接开关触点接触不良,触点过热。
- ②变压器绕组匝间短路。
- ③穿心螺丝绝缘损坏造成铁芯硅钢片间短路。
- ④变压器过载运行。
- ⑤变压器缺油,油面下降。

上述故障及异常都能使变压器运行中温度过高,引起油膨胀,油分解出大量气体聚集在瓦斯继电器上部,油面下降,使上油杯与永久磁铁随着油面逐渐下降,当磁铁接近干簧触点达到某一限度时,便吸动干簧触点使其闭合,接通信号回路发出报警信号。

## 2. 瓦斯继电器重瓦斯动作掉闸原因

运行中的变压器内部发生绕组相间短路、相对地短路及铁芯(磁路)短路严重故障时,释放大量的短路能量,使变压器急剧发热,产生大量的气体从油箱内上升到油枕,急速的油流冲击瓦斯继电器的挡板,使下油杯与永久磁铁下降,当磁铁接近干簧触点达到某一限度时,便吸动干簧触点闭合,接通断路器掉闸回路,断路器掉闸。

## 3. 故障处理方法

当运行中的变压器瓦斯继电器轻瓦斯动作发出报警信号时,值班员应立即对变压器和瓦斯继电器进行检查,特别注意电压、电流、温度及声音的变化,同时迅速收集气体做点燃试验,如果气体可燃,说明变压器内部有故障,应及时分析故障原因,进行测试,找出存在的故障;如果气体不可燃,应对气体和变压器油进行化学分析,做出正确的判断。重瓦斯动作断路器掉闸,说明变压器故障严重,若主变重瓦斯动作断路器掉闸,应通知供电局用电监察科,求助供电部门协同处理。在故障掉闸后未判断故障性质及处理故障之前,变压器不得投入运行。变



压器应进行试验,取气化验,确定变压器的故障性质、范围后,对变压器进行大修。

## 二、瓦斯继电器的检修方法

检查瓦斯继电器,应注意以下事项:

①检查上、下油杯是否灵活,干簧触点闭合和断开是否正确,观察触点开断灯泡电流时,火花是否正常,有无粘住现象。

②检查接线板的绝缘是否良好,接线板、放油口、试验顶杆和两端法兰等处有无渗、漏油现象。

③常用的挡板式气体继电器,其平衡锤和挡板的位置虽然是可调的,但每台变压器的这种气体继电器在投运前都已调试好,检修时切勿随意调节。

④组装继电器时,应特别细心,要注意其外壳上的箭头方向是从油箱指向油枕,不得接反,接上控制信号电源后,应使用试验顶杆试验上、下油杯的动作是否灵活。

## 三、油枕和防爆管的检修方法

检修油枕和防爆管,应注意以下事项:

①将油枕内的油和沉淀物全部从下部排油孔排出,并将油枕冲洗干净。

②检查油枕是否完好,有无渗、漏油部位,油枕与油箱的连通管是否畅通。

③检查油位计指示是否正常,有无堵塞现象,油位计的玻璃管有无裂纹或是否因脏污而显示模糊。

④如果发现油枕内部生锈或积聚的油泥太多而难以清除,可将油枕一端的铁板用吹管割下,并按圆周留下圆环,以便检修后补焊新底,也可就此改装为法兰盘,用法兰盖压紧,将油枕

内的铁锈用刮刀刮去,并用煤油清洗,自然风干后用耐油的硝化漆或清漆涂在刮除铁锈的部位。

⑤清除防爆管的油垢和铁锈,并检查防爆管的薄膜和密封垫是否良好。若有损坏或变质,应予以及时更换。

#### 四、变压器运行中瓷套管发热及闪络放电

变压器高低压瓷套管是变压器外部的主绝缘,变压器绕组引线由箱内引到箱外通过瓷套管作为相对地绝缘,支持固定引线与外电路连接的电气元件,若在运行中发生过热或闪络放电等故障,将影响到变压器的安全运行,应及时进行处理。

##### 1. 故障原因

变压器运行中瓷套管发热、闪络放电有以下原因:

##### 1) 瓷套管表面脏污

高低压瓷套管是变压器外部的主绝缘,它的绝缘电阻值由体积绝缘电阻值和表面绝缘电阻值两部分组成,运行中这两部分阻值并联运行,体积绝缘电阻值是一个定值,经耐压试验合格后,如果没有损伤、裂纹,其电阻值不变。表面电阻值是一个变化值,它暴露在空气中受环境温度、湿度和尘土的影响而变化。空气中的尘土成分为中性尘土、腐蚀性尘土和导电粉尘等。瓷套管运行中附着尘土,尘土有吸湿特性,积尘严重污秽,使瓷套管表面电阻下降,泄漏电流增大,使瓷套管表面发热,电阻下降,这样的恶性循环,在电场的作用下由电晕到闪络放电导致击穿,造成事故。

##### 2) 瓷套管有破损裂纹

瓷套管有破损裂纹,破损处附着力大,积尘多,表面电阻下降程度大,瓷套管出现裂纹,使其绝缘强度下降,裂纹中充满空气,空气的介电系数小于瓷的介电系数,空气中存有湿气,导致

裂纹中的电场强度增大到一定数值时,空气就被游离,造成瓷套管表面的局部放电,使瓷套管表面进一步损坏甚至击穿。此外,瓷套管裂纹中进水结冰时,还会造成胀裂,使变压器渗油。

## 2. 故障处理方法

- ① 擦拭干净瓷套管表面污秽。
- ② 更换破损裂纹瓷套管,换上经耐压试验合格的瓷套管。

# 第四节 变压器铁芯的故障检修

变压器中,铁轭夹件、穿心螺栓的设置及铁芯接地的情况如图 3.2 所示。

## 一、变压器铁芯多点接地的原因和检查方法

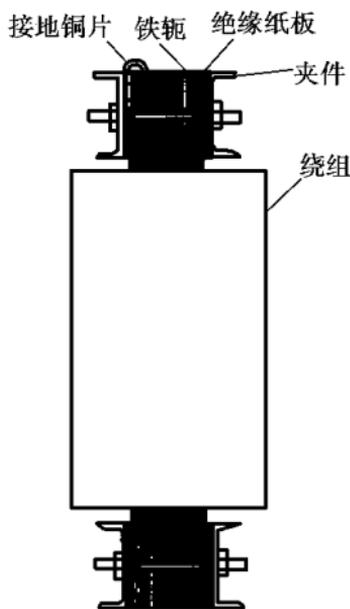


图 3.2 铁轭夹件、穿心螺栓的设置及铁芯接地布置情况

变压器铁芯多点接地主要原因是:变压器在现场装配及施工中,不慎遗落金属异物,造成多点接地或铁轭与夹件短路、芯柱与夹件相碰等。变压器铁芯是否有多点接地故障,可以先根据以下的征兆和方法来判断:

- ① 铁芯局部过热、铁芯损耗增加。
- ② 绝缘油性能下降。
- ③ 油中气体不断增加并析出(电弧放电故障时,气体析出量较之更高、更快),可能导致气体继电器动作而使变压器跳闸。

④断开接地线,用 2 500 V 绝缘电阻表对铁芯接地套管测量绝缘电阻,由此判定铁芯是否接地以及接地程度。

⑤对于无套管引出接地线的变压器,可通过色谱数据分析判断铁芯是否接地。

在确定为变压器铁芯多点接后,再进一步查找故障点的具体位置,方法如下:

①电压法。断开铁芯正常接地点,用交流耐压试验装置给铁芯加电压。若故障点接触不牢固,在升压过程中会听到放电声,根据放电火花可观察到故障点。当试验装置电流增大时,电压升不上去,没有放电现象,则表明接地故障点很稳固,此时可采用下述的电流法。

②电流法。断开正常接地点,用电焊机给铁芯加电流,并且逐渐增大。当铁芯故障接地点电阻大时,温度升高得很快,绝缘油将分解而冒烟,从而可观察到故障点部位。而故障点是否消除可用电压法验证。

## 二、防止变压器铁芯多点接地及短路故障的方法

防止变压器铁芯多点接地及短路故障的方法有:

①变压器在吊罩以后应测试铁芯的绝缘,如有多点接地情况,应查清原因,消除后才能投入运行。运行中的变压器应定期进行铁芯接地电流的测量。

②防止将焊渣、钢砂、铁屑以及其他金属杂物掉进线圈及油道内。新投入运行或大修后的变压器油应进行检查,清除残留的杂物。

③安装时应注意检查钟罩顶部的加强肋与铁芯夹件间的间隙,若有接触,应及时消除。

④供运输时用来固定变压器铁芯的定位钉,在安装时必须



将定位钉的盖板翻过来,以防止运行中上夹件中产生环流。

⑤穿心螺栓绝缘应良好,并应检查铁芯穿心螺杆绝缘套管两端的金属座套,防止因座套过长与铁芯接触造成铁芯短路。

⑥线圈压钉应紧固,防止螺母和座套松动掉下,造成铁芯短路。

⑦运行中如果发现有铁芯多点接地故障,应进行处理,并加强监视。

### 三、空载合闸和突然短路对变压器的危害

变压器在空载合闸和突然短路的瞬变过程中会产生过电流现象,可能使变压器遭到破坏。产生过电流的大小均与初始条件,即与进入瞬变过程瞬间电源电压的初始角有关。变压器空载合闸电流之所以很大,是由于铁芯的饱和特性引起的。最佳空载合闸时刻是在电源电压达到最大值的瞬时。此时一旦合闸即进入稳态,没有过渡过程。最不利的合闸时刻是在电源电压为零的瞬时合闸,在合闸的过渡过程中,变压器铁芯磁密度最大可达稳态时的2倍。由于铁芯饱和现象,致使空载电流最大可达几倍的额定电流。变压器空载合闸产生的过电流对变压器本身不会造成直接危害,但当过渡过程较长时,可能引起变压器的过电流保护装置动作而跳闸。变压器突然短路电流的大小与短路阻抗的大小和暂态分量的衰减快慢有关。在最不利的情况下(即在电源电压瞬时值为零的瞬间发生短路),短路电流最大值可达到稳态短路电流的1.2~1.8倍,是额定电流的几十倍。突然短路造成的过电流,使绕组受到很大的电磁力作用,可能造成绕组机械变形;另外,过电流也会使绕组温度迅速上升,造成绕组过热,因此,必须对变压器采取保护措施。

## 第五节 变压器绕组的故障检修

### 一、变压器的短路线圈的查找方法

在电压比试验中,有时会发现电压加不上去,而电流很大。这种现象是由于线圈存在短路故障。为了判断短路线圈是高压侧线圈还是低压侧线圈,并找出短路的线圈可采用以下几种办法:

#### 1. 电流比判定法

向低压侧供电,电流比减小不明显;向高压侧供电,电流比明显减小,则是高压线圈短路。若向高压侧供电,电流比增大不明显,而向低压侧供电,电流比明显增大,则是低压线圈短路。但需注意高、低压侧两次供电的电流读数最好差不大,使电流表误差相同,这样试验误差可以减少到最低程度。

#### 2. 电阻判定法

同时测量高、低压线圈的直流电阻,再与正常的高、低压线圈电阻比较,电阻明显减小的便是线圈短路。

#### 3. 冒烟观察法

在短路相任一侧供电,使电压慢慢上升,并从不同角度严密观察短路相,发现冒烟时,立即停电。一般变压器绝缘筒里边是低压线圈,外边是高压线圈。若烟从绝缘筒里面冒出来,则是低压线圈短路;若烟从绝缘筒外面端部(圆筒式线圈)或以外边线圈中间(分段式线圈)冒出来,则是高压线圈短路。若是高压线圈短路,对于圆筒式和分段式线圈均可用手摸到发热的地方,该发热的地方是故障部位。另外,分段式线圈还可以用手电筒照着逐段观察有无烧焦、变形、发黑的线匝,找出



短路的部位。

#### 4. 硅钢片探测法

若是高压线圈短路,可由短路相的低压侧施加电压,然后用手或带绝缘套的钳子夹住硅钢片,沿线圈的轴向上下移动。当硅钢片移到线圈匝间短路或纠结短路处时,硅钢片就会振动,并发出“吱吱”的响声。

#### 5. 短路匝搜索法

用短路匝搜索器沿线圈轴向搜索,以发现磁场的畸变,便于找出短路匝的轴向部位。

## 二、变压器绕组的主绝缘击穿解决方法

变压器绕组的主绝缘,是指低压绕组与铁芯柱之间的绝缘,高、低压绕组之间的绝缘,相邻两高压绕组之间的相间绝缘和绕组两端与轭铁之间的绝缘等。这些部位的绝缘击穿后,相当于绕组接地或相间短路,这种事故多发生在铁芯柱和轭铁附近。变压器绕组主绝缘被击穿的主要原因是:

- ①绝缘老化而引起破裂或折断。
- ②变压器油受潮,油质变劣。
- ③绕组内落入异物。
- ④线路故障使绝缘受到机械损伤。
- ⑤各种过电压击穿绝缘等。

对于过电压击穿,当过电压消除后,变压器油立即进入被损坏的空间,暂时隔离了电流的通路,因此,击穿后的绝缘并不一定会立即失去运行能力,但形成了绝缘的隐患。当再次出现过电压时,又会在原处造成第二次击穿,导致绝缘性能进一步降低,直到最后发展为短路故障,使差动保护装置和过载继电

器都动作。处理办法是:首先测量绝缘电阻,然后吊出器身更换有关绝缘,烘干器身,对变压器油进行处理(如除去水分、过滤等)。当事故扩大到两相短路时,变压器将发出较大响声。安全气道管口爆裂并向外喷油,各种保护装置全部动作,变压器停止运行。在这种情况下,通常需要更换绕组。

### 三、浸渍干式变压器的线圈损坏后的重绕方法

浸渍干式变压器的线圈结构为浸渍式,一般为B级绝缘,线圈的形式视容量和耐压等级而定。对于400 kVA以上的变压器高压绕组为连续式,低压绕组为箔式;400 kVA以下的变压器,为降低层间电压,提高爬电强度,高压绕组采用分段式,低压绕组为层式。线圈所用的导线均为双玻璃丝包扁圆铜线,隔板、绝缘筒和撑条用3240环氧玻璃布板制作,层间绝缘采用环氧预浸玻璃纤维丝带。

绕制线圈的主要工艺如下:

①预先在玻璃纤维丝带上涂刷环氧树脂,然后晾干,以不粘手为宜。

②在低压线圈的玻璃纤维纸筒上,缠绕数层预浸玻璃纤维布带,然后绕制低压线圈,绕一层导线缠一层预浸布带,直至缠绕完。线圈的最外层缠绕预浸布带时,采用交叉法,即直绕和交叉绕交替,将线圈包封起来。在低压线圈幅向尺寸的一半处,用撑条作冷却气道。用同样方法在高压线圈的内外层和层间缠绕预浸玻璃纤维丝布带。在高、低压之间和线圈幅向尺寸的 $1/3$ 处设置冷却气道。线圈的端部采用环氧玻璃布作为端圈。线圈绕好后,在整个线圈外表面交叉缠绕预浸布带,并连同端部再刷一层环氧树脂,特别是端部可以多刷一些。经固化

后,将端部整个密封起来。

③对于 400 kVA 以上的变压器,低压绕组为箔式,用半干性环氧树脂预浸玻璃布带作层间绝缘,经加热固化后成一整体,两端用环氧树脂涂封。

④浸漆和烘干 将绕好的线圈沿高度方向用压板夹住,收紧压板螺母,使线圈高度尺寸压至规定数值,如图 3.3 所示。浸漆和烘干的方法如下:

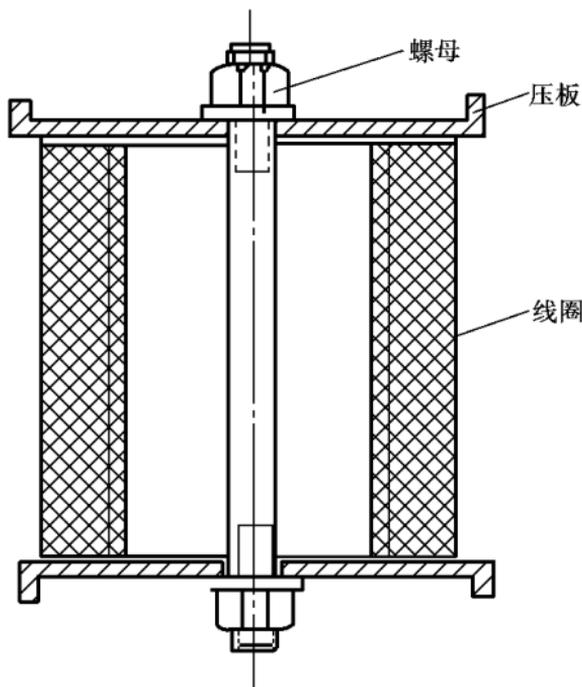


图 3.3 线圈烘干时的夹持

- a. 预烘在 105℃ 下,烘 8 h。
- b. 取出冷却至 60℃ 左右。
- c. 浸第一次漆,漆的牌号为 1053 有机硅浸渍漆,然后晾干。
- d. 烘焙在 105 ~ 120℃ 下,烘 6 h。
- e. 降温至 60℃ 左右,再浸第二次漆。

- f. 烘焙时 ,在 120 ~ 130 ℃ 下 ,烘 8 h。
- g. 降低 60 ℃ 左右 ,在线圈表面喷 1320 灰瓷漆。
- h. 低温干燥。

#### 四、变压器绕组线圈绕制时的注意事项

变压器绕组线圈绕制时应注意以下事项 :

①仔细看清图样 ,确认绕组线圈匝数、层数、段数、各段匝数。检查导线及绝缘材料的规格是否与图样相符。

②测量装好撑条绕线胎的外径(每根撑条应测左、中、右三点) ,尺寸应符合图样要求。撑条挡距太宽时 ,必须具备有与撑条数目相等的临时撑条 ,垫在固定撑条中间 ,以避免绕组内径不圆。

③在绕线过程中 ,应随时注意导线匝绝缘是否破裂或出现跑层、少层现象 ,若出现上述现象 ,应按原来标准修复后再用。

④绕制线圈时应注意导线的弯曲状况 ,若发现弯曲 ,应用木板打平 ,或以手钳、扳手缠以布带校直 ,不可用金属工具直接敲打导线。

⑤绕线时必须注意绕组线圈绕向 ,面对线模从起头往右绕为右绕向 ,反之则为左绕向 ,即所谓“左起右绕向”和“右起左绕向” ,如图 3.4 所示。

⑥注意抽头的位置及匝数。

⑦检查导线焊接是否良好。

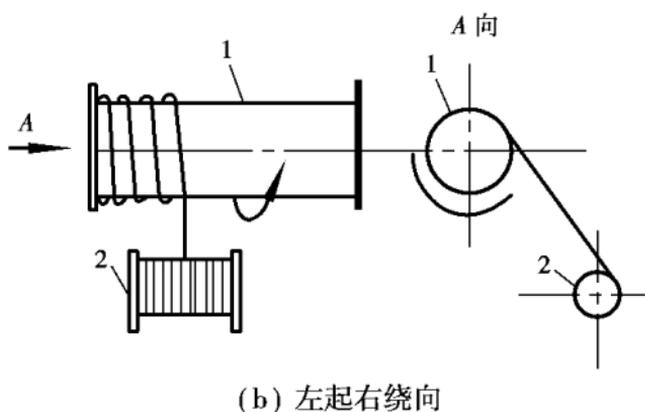
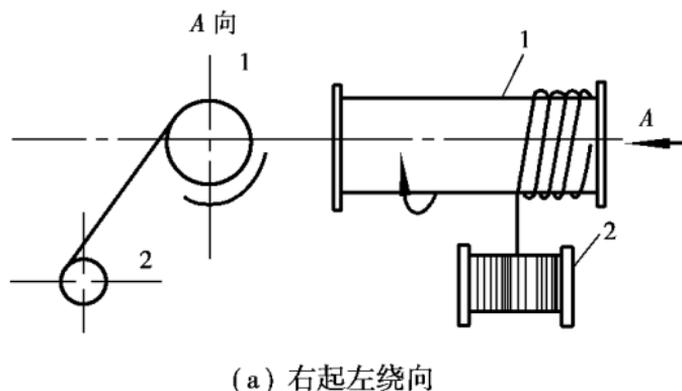


图 3.4 线圈的绕向

## 第六节 变压器过热的故障检修

在变压器运行中绕组通过电流而发热,变压器的热量向环境散发达到热平衡时,变压器的各部分温度应为稳定的定值,若在负荷不变的情况下,油温比平时高出 10℃ 以上或温度还在不断上升时,说明变压器内部有故障。

## 一、变压器内部故障

### 1. 分接开关接触不良

在变压器运行中,由于分接开关弹簧压力不够,触点接触面小,有油膜、污秽等原因,造成触点接触电阻大,触点过热(触点过热导致接触电阻增大,接触电阻增大又导致触点过热增大,恶性循环),温度不断上升。特别在倒分接开关后和变压器过负荷运行时容易使分接开关触点接触不良而过热。干式变压器分接开关采用螺丝压板压接,就解决了分接开关接触不良导致变压器温度过高的缺陷。

### 2. 绕组匝间短路

变压器绕组相邻的几匝因绝缘损坏或老化,将会出现一个闭合的短路环流,使绕组的匝数减少。短路环流产生高热,使变压器温度升高,严重时将烧毁变压器。变压器绕组匝间短路,短路的组匝处油受热,沸腾时发出“咕噜吐噜”的声音,轻瓦斯频繁动作发出信号,发展到重瓦斯动作开关掉闸。

### 3. 铁芯硅钢片间短路

在变压器运行中,由于外力损伤或绝缘老化以及穿心螺丝绝缘老化,使硅钢片间绝缘损坏,涡流增大,造成局部发热,轻者一般观察不出变压器油温上升,严重时使铁芯过热,油温上升,轻瓦斯频繁动作。油闪点下降,铁芯硅钢片间严重短路时,重瓦斯动作开关掉闸。

### 4. 变压器缺油或散热管内阻塞

变压器油是变压器内部的主绝缘,起绝缘、散热和灭弧的作用,一旦缺油,使变压绕组绝缘受潮发生事故,缺油或散热管内阻塞,油的循环散热功能下降,导致变压器运行中温度升高。



## 二、变压器外部故障

### 1. 变压器冷却循环系统故障

对于电力变压器,除了用散热管冷却散热外,还有强迫风冷、水循环等散热方式,一旦冷却散热系统故障,散热条件差,造成运行中的变压器温度过高,尤其是在炎热的夏季。

### 2. 变压器室的进出风口阻塞或积尘严重

变压器的进出风口是变压器运行中空气对流的通道,一旦阻塞或积尘严重,变压器的发热条件没有变化而散热条件差了,导致变压器运行中温度过高。

## 三、变压器运行中温度过高的处理方法

①分接开关接触不良往往可以从瓦斯继电器轻瓦斯频繁动作来判断,并通过取油样进行化验和测量绕组的直流电阻来确定。分接开关接触不良,油闪点迅速下降,绕组直流电阻增大。若分接开关触点接触不良,应进行处理,用细砂布打平触点表面烧蚀部位,调整弹簧压力,使之触点接触牢固。

②绕组匝间断路通过变压器内部有异常声音和瓦斯继电器频繁动作发出信号以及用电桥测量绕组的直流电阻等方法进行确定,发现绕组匝间短路,应进行处理,不严重者重新处理绕组匝间绝缘,严重者重新绕制绕组。

③铁芯硅钢片间短路用轻瓦斯动作,听变压器声音,摇测变压器绝缘电阻,对油进行化验,做变压器空载试验等综合参数进行分析确定,铁芯硅钢片间短路,应对变压器进行大修。

④变压器缺油应查出缺油的原因并进行处理,加入经耐压试验合格的同号变压器油至合适位置(加油时参照油标管的温度线)。变压器散热管堵塞,对变压器进行检修、放油、吊

芯、疏通散热管。

#### 四、变压器外部原因的处理方法

- ①维修好变压器冷却循环系统的故障,使其能正常工作。
- ②清理干净变压器室进出风口处的堵塞物和积尘。

## 第七节 变压器受潮的干燥处理

### 一、变压器在下列情况下需要进行干燥处理

- ①变压器在更换绕组或处理绝缘缺陷以后,必须进行干燥。
- ②经测试证明绝缘已经受潮,并小于规定值时,应考虑干燥。
- ③在油箱内或器身上发现有受潮迹象,应结合测试考虑是否干燥。
- ④如果器身在空气中停留的时间超过规定,应根据检修前后的绝缘性能测试值,按大修后规定数值判断是否需要干燥。
- ⑤新安装的变压器不满足条件时,应进行干燥。
- ⑥器身在空气中停留时间超过规定,但尚未超过48小时,可在油内轻度干燥。
- ⑦110 kV及以上未装储油柜的变压器,无论是否带油运输,如发现油箱密封不良,在内部尚未发现水迹时,可在油内轻度干燥。
- ⑧不带油运输的变压器残油击穿电压低于规定时,可在油内轻度干燥。
- ⑨绝缘性能略低于规定值者,可在油内轻度干燥。



⑩不带油运输的变压器,从发货日起,超过6个月(规定为3个月内注油)未注油者,可在油内轻度干燥。

⑪带油但不装储油柜运输的变压器,从发货日起,应在3个月内装上储油柜并将油注足,否则应在油内轻度干燥。

## 二、吸湿器的作用及硅胶受潮后的干燥处理

吸湿器也称“呼吸器”,它是为清除和干燥由于变压器温度变化而进入储油柜的空气中的杂质和潮气,以保证变压器油的绝缘强度,其结构图如图3.5所示。

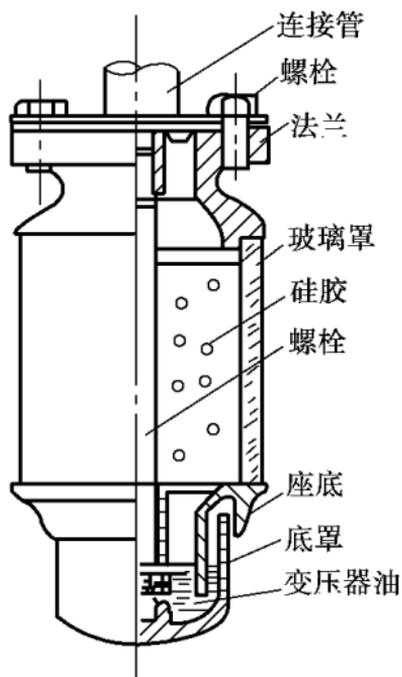


图3.5 吸湿器

吸湿器按结构分为吊式和座式两类。通过连通管装在储油管下,吸湿器内装有2.7~7mm颗粒状的硅胶(也有用活性氧化铝的),下部带有盛油器,用于过滤清除吸入空气中的杂质和水分。硅胶受潮到一定程度时,由蓝色变成粉红色。硅胶受潮后干燥处理的方法为:在120~140℃高温下干燥4~6h,使水分蒸发即成蓝色。吸湿器按照填充硅胶的容量分为6个规格,根据变压器重量配用。

## 三、使用热风干燥法烘干变压器

使用热风干燥法烘干变压器,既可在变压器的油箱里或专用干燥罐中进行,也可在干燥室内进行。其原理都是利用空气

的热量加热变压器器身的各部绝缘,使其中的水分蒸发,从而达到干燥的目的。在干燥室内用热风烘干变压器时,干燥室可根据变压器器身的大小用壁板搭合。室内满铺石棉板或其他浸过防火溶液的帆布(或石棉亚麻布)。壁板与变压器之间的距离一般小应大于 200 mm,通常可用电炉或蛇形蒸汽管来加热。需要的风量为:

$$Q = 1.5 V \quad (\text{m}^3/\text{min})$$

式中  $V$ ——干燥室的容积,  $\text{m}^3$ 。

如果使用电炉加热,则所需的电炉功率为:

$$P = 0.07 c_p Q (t_2 - t_1) \quad (\text{kW})$$

式中  $c_p$ ——空气的比定压热容,其值约为  $0.3 \text{ J}/(\text{kgK})$ ;

$t_2$   $t_1$ ——进口热风温度和环境温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

进口热风温度应逐渐上升,最高温度不应超过  $95^{\circ}\text{C}$ 。在热风进口处,应设过滤器,或装金属栅网,以消除火星、粉尘。在热风进口与变压器器身之间,应装上挡板,使热风扩散,然后缓慢地吹向变压器各处,不可直接吹到绕组上。在变压器的顶盖上,可利用入孔或一只高压套管的法兰孔装上一根管子,将热风抽出。

#### 四、在变压器油箱内进行真空干燥

在变压器油箱内抽真空干燥变压器的干燥方法为:

①拆除全部拆卸式散热器,干燥前将油箱内的油排完擦净,密封好。在变压器身上应装设热电偶或热电阻测温元件,并画出所埋设的测温元件的位置图,并编号固定好。

②先打开上下通风孔道,在通风状态下加热油箱,每小时按上升  $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$  的速度使油箱升温到  $85 \sim 90^{\circ}\text{C}$  (最高  $105^{\circ}\text{C}$ )。

③封闭通风孔道,抽真空到 20 kPa。

④然后按每小时 6.7 ~ 13.3 kPa 的速度均匀提高真空,直到油箱最大允许的变形为止。

⑤在干燥过程中,绕组温度为 90 ~ 95 ,油箱温度为 100 ~ 110 。

⑥对于低于 93.3 kPa 状态下进行干燥的变压器,油箱内的水蒸气将阻碍绝缘中潮气的析出,此时,可在油箱下部通入预热至 95 ~ 100 的空气或氮气,或在真空泵抽气量能够保持最大真空度并加热使箱体内温度保持 90 ~ 100 的情况下,将下部阀门置于微开状态,连续抽气或每隔数小时将下部阀门打开一次,以加强干燥效果。

⑦判断干燥是否达到要求,即绝缘电阻下降又重新上升后,在温度不变的情况下,绝缘电阻能保持 6 h 不变,则可认为干燥结束。

⑧在不降低真空度的情况下,将油箱内温度降到 80 进行真空注油(不包括 35 kV 级),注油后再在真空状态下,对于 60 ~ 100 kV 的变压器,浸泡 3 h;对于 154 ~ 220 kV 的变压器,浸泡 5 h,然后取消真空,降温到 40 ~ 50 ,再停留 1 h 后吊出器身进行修整。

⑨最后注油。

## 五、变压器在干燥过程中的注意问题

变压器在干燥过程中应特别注意以下问题:

①干燥变压器时采用的温度越高,达到饱和的蒸汽压力越高,干燥的效果越好。但 A 级绝缘的耐热温度为 105 ,为了防止绝缘老化,应将器身温度控制在 95 左右。

②变压器油温每增加 10 ,氧化速度增加一倍,在进行油

内干燥时,热油温度应限制在 85 左右。

③绝缘材料过度的干燥会损害绝缘材料内部的结构,只要达到标准规定的绝缘特性数值,即可停止干燥。

④干燥变压器时的真空度越高,水分的沸点越低,绝缘内部的水分越易蒸发。但使用变压器油箱进行干燥时,由于受油箱变形的限制(要求弹性变形不超过箱壁厚度 4 倍,永久变形不超过箱壁厚度的 1.5 倍),所以油箱真空度规定值为:

3 SkV 及以下的变压器	51 kPa
60 ~ 110 kV 的变压器	67 kPa
154 kV 及以上的变压器	80 kPa

⑤真空泵容量的选择,应以能在 1 小时内达到所需最大的真空度为依据。

⑥抽真空干燥变压器时,必须不断地将器身中析出的残油放净,以免在高温下蒸发,被真空泵吸出。

⑦抽真空干燥变压器,在真空度达到 66.7 kPa 时,如用绝缘电阻表测试绝缘电阻,可能在某些电极或引线之间出现小距离低气压下的放电现象。因此,要将真空度降到 60 kPa 以下,再进行测试。

⑧干燥变压器时,若油箱顶盖保温不好,可能使水蒸气在顶盖下面重新凝结。所以,应使油箱有良好的保温措施,抽真空时应在晴天,空气相对湿度不超过 65%,或用干燥过滤的空气,缓缓地放入,以避免温度急剧下降。

⑨采用感应加热法干燥时,励磁绕组应尽量靠近油箱壁绕制,避免负荷功率因数过低。绕制励磁绕组时,应先清除油箱壁上的油污,再包保温材料和缠绕绕组。

⑩变压器在干燥中应随时测试各处温度,包括干燥罐或油箱壁顶部、底部、器身进出口油温及进出口热风温度。对励磁

绕组密集缠绕并紧贴箱壁的部位(如油箱的圆弧部分),应装设玻璃温度计,并限制温度不超过 120 。对油箱内部测温,一般应使用测温电阻或信号温度计,不允许使用水银温度计,各种温度计在使用前应进行校验。

⑪在干燥变压器时,可以将高压绕组的温度作为器身的代表温度,若用电阻法计算绕组温度时,测量必须准确。

⑫干燥变压器时,每班至少应有两人值班,每 2 h 记录一次温度、真空度、电流、电压、绝缘电阻,排放凝结水一次,并定期进行安全防火巡视。

## 第八节 变压器油的故障检修

### 一、变压器油的主要性能

#### 1. 黏度

黏度说明油的流动性好坏,黏度越低,流动性大,变压器的冷却越好,当油老化时,黏度就会增高。

#### 2. 闪光点

在一定条件下,油被加热到某一温度,其蒸气与空气形成混合物,若将小火苗移近,该混合物着火,这温度就称闪光点。它标志着油的蒸发量,当油蒸发时,体积就会缩小,黏度增大,并出现有爆炸性的气体,油的劣化会使闪光点剧烈降低。如果检查运行中的油,发现闪光点比初始值降低超过 5 ,就表明油有问题。

#### 3. 酸价

为了中和 1 g 油中所含自由酸性化合物所需要的氢氧化钾的毫克数,称为“酸价”。油的酸价增大,表明油已处于氧化

初始阶段 这时油的其他特性尚未发生变化。根据酸价的大小,可以判断油的老化程度。

#### 4. 电气绝缘强度

电气绝缘强度又称为“抗电强度”,它是以击穿 1 cm 的油层所需要的电压(V)计量。该击穿电压与油中含有水分和机械混合物的多少有关,它能够反映油中是否存在水分等杂物。

### 二、在变压器油中添加抗氧化剂

#### 1. 添加抗氧化剂的目的和条件

变压器油在运行中,由于受到空气、阳光、湿度和温度等的影响,会使其逐渐老化。在变压器油中添加抗氧化剂的目的,就是为了减缓变压器油的老化速度,延长变压器油的使用寿命。目前对变压器油使用抗氧化剂的种类虽多,但使用最广、效果最好的是 T501 抗氧化剂。必须注意 T501 抗氧化剂只对新油和轻度劣化油有效。当油的水溶性酸  $\text{pH} < 5.0$  时,添加效果将不明显,这时应先进行再生净化,然后再添加 T501 抗氧化剂。添加 T501 抗氧化剂的条件如下:

- ①油色呈浅黄且透明。
- ②油的水溶性酸  $\text{pH} > 5.0$ 。
- ③油中无水分、杂质、油泥,耐压在 40 kV 以上。

若油液劣化后不满足上述条件,可用 BZ-4 型变压器油运行再生装置进行净化处理,使油质指标符合要求后再添加 T501 抗氧化剂。T501 抗氧化剂添加量与油液的抗氧化安全性和油中 T501 含量多少密切相关。当质量分数在 1% 以内时,油的抗氧化安全性将随 T501 含量的增加而增加,含量太高对抗氧化效果增加不明显。新油和再生净化后的油中 T501 含量应不低于 0.3%,运行中油中 T501 的含量应不低于

0.15%。油液经过再生净化后,若其中 T501 含量不明,其添加量可按质量分数 0.15% ~ 0.3% 计算。

## 2. 抗氧化剂的添加方法

T501 抗氧化剂的添加方法如下:

### 1) 热溶解法

首先母液配制,先按上述方法确定 T501 的添加量,再取 9 倍于 T501 抗氧化剂的油液(新油或经再生净化后的油),并将油加热到 65 ~ 70 ,然后缓缓加入 T501 抗氧化剂,并边加边搅拌,使之全部溶解,配成 10% 含量的母液。待母液适当降温后,再用一种具有精过滤能力的滤油机(如 BZ-4 型、ZL 型和 JL 型)缓缓将母液注入变压器油箱,使其与油箱中的油液混合均匀。

### 2) 再生循环法

直接将 T501 抗氧化剂加入 BZ-4 型变压器油运行再生装置中,与吸附剂混合在一起。随着油液的再生循环过程,使 T501 抗氧化剂逐渐溶解,并被带入变压器油箱,使之均匀混合。

## 三、再生处理绝缘油的方法

再生处理绝缘油一般有以下几种方法:

① 吸附法 吸附法又分接触吸附法和过滤吸附法两种。

a. 接触吸附法是将废油加热后与小颗粒的吸附剂(如硅胶、白垩土和人造钠氟石等)混搅接触,吸附后再进行澄清过滤。

b. 过滤吸附法是将废油用压力式滤油机使油循环于较大颗粒的吸附剂中除酸。压力式滤油机的工作原理如图 3.6 所示。

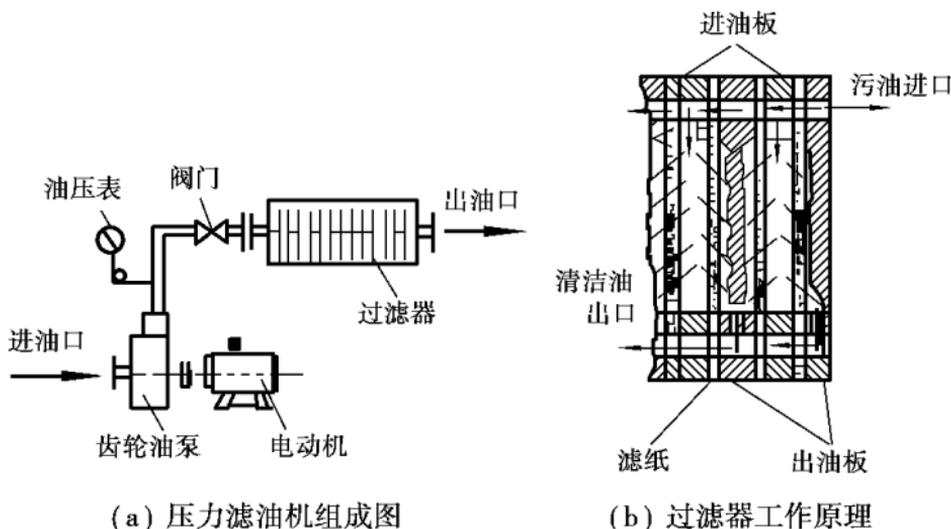


图 3.6 压力式滤油机原理

②硫酸—白土法 其中硫酸作为处理剂,白土作为吸附剂。

③硫酸—碱液(氢氧化钠或氢氧化钾溶液)—白土法 碱液的作用是为清除高分子定型酸和中和废油在酸洗时未完全清除的硫酸。

④磺化煤除酸法 按变压器绝缘油质量的 5% 经过烘干处理的磺化煤,装入容器后,两端油道加滤网,用压力式滤油机使废油不断循环再生处理。用过的磺化煤经高温处理后可继续使用,用这种方法之前,最好先进行小规模试验,取得经验后,再进行废油处理。

除此之外,还有用阳离子交换树脂和阴离子交换树脂处理废绝缘油的方法。

#### 四、延长变压器油使用寿命的方法

通常采用以下办法来延长变压器油的使用寿命:

①添加抗氧化剂 通常加入 0.2% ~ 0.3% (按油重计)

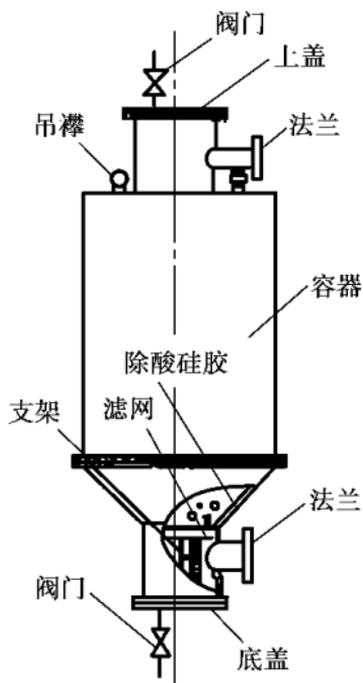


图 3.7 热虹吸过滤器过滤

的 T501 抗氧化剂。加入的步骤是：首先将抗氧化剂倒入变压器油内，然后加热到 70℃ 左右并搅拌，使其全部溶入油内过滤后加入变压器中。

②充氮保护 在油枕的上部空间充入化学性质较稳定的氮气，以使油得到较好的保护。

③胶囊(隔膜)密封 在油枕内部放入一个耐油的尼龙橡胶胶囊，其形状和体积与油枕内腔相似。胶囊上部开口与大气相通，下部表面平贴油面，使油与空气隔绝，胶囊可随油面的自由升降而自动调整体积(呼吸和吸气)。

④热虹吸过滤器过滤 热虹吸过滤器过滤的结构如图 3.7 所示。由于热虹吸过滤器内一般都装有硅胶和人造钠氟石吸附剂，而这两种吸附剂具有吸附油中老化生成物的能力，因此将这种过滤器接在变压器上，可使运行中的油在变压器内连续地得到再生，同时还可除去进入变压器的空气中的潮气和气态酸性物质。这种过滤器与散热器一样，也接在变压器外部。

## 五、除去变压器油中水分的注意事项

变压器油中若含有水分，应将其除去。除去油中水分的最佳方法是进行真空过滤、压力式过滤或离心机分离。处理时一般应注意以下事项：

①根据油的情况，可采用压力式滤油机(以下简称“滤油

机”)过滤或用离心机分离。当需要除去油中的机械杂质、细渣和大量水分时,宜采用离心机进行分离,而此时油的温度最好为 $40 \sim 50$  ;用滤油机过滤时,油温最好为 $50 \sim 60$  。

②应避免长时间或经常使用离心机对变压器油进行非真空分离,以防止加剧油的氧化。

③带电滤油时应考虑以下要求:

a. 应使用金属管而不得使用不耐油的橡胶软管来连接离心机或滤油机。

b. 过滤前,应将整个离心机(或滤油机)和油管都充满干燥的油,且气体继电器仅接于信号。

c. 离心机(或滤油机)和油管应可靠接地。

d. 将离心机(或滤油机)接在变压器上,这一项工作应由富有经验的技工来完成,过滤时油应放入变压器油枕中。

e. 过滤时,若气体继电器发出信号,应立即排放积聚在气体继电器内的空气。

④应采取妥善的防火措施。

⑤过滤情况应做详细记载。

如果现场不具备上述这类处理设备,可按以下简易方法进行处理:

①取经过干燥的球状粗孔硅胶(使用前应过筛除去灰尘),用无碱性玻璃丝布或细纱布将其包扎成袋状浸入油中,硅胶用量视油中水分含量而定。对于水分含量较高、油质混浊或击穿电压较低的变压器油,硅胶用量以 $3\% \sim 5\%$ 为宜。通常,硅胶袋在油中浸泡 $4 \sim 6$  h,就可使油的击穿电压提高到 $40$  kV。如果将油加热到 $50 \sim 60$  再进行硅胶处理,效果更好。

②将经过干燥的快速或中速滤油纸浸入受潮或水分含量

较小的油中,一般经 4 ~ 6 h 也可使油的击穿电压提高到 40 kV。此时应注意 滤油纸的边缘要整齐,以防纸纤维脱落在油中。

经过上述处理的变压器油,应经简化试验合格才可注入变压器中。

## 六、变压器检修后的注油方法

当变压器的所有部件都装复完毕,并经检查确认全部螺栓已紧固,便可用压力滤油机从变压器下部阀门注油,注油时油温不得低于 10<sup>°</sup>。油从下部注入,有利于变压器内的空气从线匝缝隙排出。注油时应注意以下几点:

①将可能积存空气的部件(如热虹吸过滤器上盖板、散热器上联箱、入孔门堵板、各瓷套管顶部和气体继电器上盖面)上面的放气螺栓松开,并自下往上进行观察,发现有螺栓渗油时,立即将其拧紧。

②将各散热器和热虹吸过滤器的上下蝶阀全部打开,待注油到一定程度,轻轻敲击各散热管,检查是否确已充油。

③检查各密封垫有无渗漏油现象;当套管充满油时,即拧紧其排气螺栓;当油位稍高于与环境温度相应的油面时,即停止注油。

④停止注油后,立即清扫变压器外表面,用干布擦净全部油污,将变压器静置 24 h 后,检查各衬垫的密封情况,并再次稍稍松动各排气螺栓,以排尽可能积存的空气。在排气过程中,一旦发现漏油,立即拧紧排气螺栓,防止变压器运行中受热时残存气体进入气体继电器,导致继电器误动作。

## 七、变压器运行中冲油的方法

运行中的变压器缺油需要补充油时,可按以下步骤补油:

- ①同牌号的新旧油混合时,新牌号油应试验合格。
- ②补油前将重气体保护改接信号位置,以防止误动掉闸。
- ③补油后应检查气体继电器,及时放出气体。运行 24 h 后,如果无异常现象,再将气体继电器接入掉闸位置。
- ④补油量不得过多或过少,油位应与变压器当时的油温相适应。
- ⑤禁止从变压器下部截门补油,以防止变压器底部的沉淀物冲入绕组内而影响变压器的绝缘和散热。

## 八、变压器漏油的解决方法

经常使用的中、小型变压器,大部分都存在不同程度的渗漏油现象。一般变压器渗漏油是由于螺栓紧固不牢、不均,焊口焊接不严密,以及衬垫不合适等原因造成的。为了防止变压器渗漏油,除了安装时注意均匀拧紧螺栓,焊好焊口,以及采用合适的衬垫外,对运行中的变压器的渗漏油不严重部位,可涂一种红色绝缘胶合剂。这种胶合剂的制作方法很简单,可采用下列原料配制(根据需要数量按重量比配方):

虫胶	1.2 kg
红丹粉	1.4 kg
蓖麻油	75 g
酒精	2.5 kg

配制时,将上述原料混合,在常温下搅拌 2~3 h,至虫胶完全溶化为止。溶化时不可加热,可保持在 40℃ 以下进行溶化。溶化完毕,用细筛过滤,装入罐中,盖好罐盖,供随时使用。

如果变压器油箱的铸件或焊件上出现渗漏砂眼或气孔,可用环氧树脂胶粘剂封堵。胶粘剂的重量比配方如下面两种:

配方 1: 6101 环氧树脂 100 份,乙二胺 7 份,瓷粉 10 份。

配方 2: 6101 环氧树脂 100 份,间苯二胺 12 份,瓷粉 10 份。

瓷粉规格应达到能通过 120 孔/cm 筛子。

按上述配方配制的胶粘剂,经调和均匀静置 15 ~ 20 min 即可使用。封堵孔眼时,首先擦去渗漏处的油迹,用腻子将孔眼堵塞,使油不继续外流,然后在渗漏处涂刷黏合剂,并用铁板遮盖,最后用喷灯将渗漏处加热到 100 ~ 150 ,持续约 1 h 即完成封堵作业。

## 九、变压器运行中缺油、突然喷油的故障处理

变压器油是经过加工制造的矿物油,具有密度小,闪点高(一般不低于 135 ),凝固点低(10# 油为 - 10 , 25# 油为 - 25 , 45# 油为 - 45 ) ,灰分、酸、碱、硫等杂质含量低和酸价低以及安定度高等特点。变压器油是变压器内部的主绝缘,起到绝缘、灭弧和冷却的作用。一旦运行中的变压器缺油,油面过低将使变压器的绕组暴露在空气中受潮,绕组的绝缘强度下降而造成事故,因此,变压器在运行中应有足够的油量,保持油位的规定高位。

### 1. 变压器缺油的原因

变压器运行中缺油有以下几种原因:

- ①油截面关闭不严漏油。
- ②变压器做油耐压试验取油样后未及时补油。
- ③变压器大端盖及瓷套管处防油胶垫老化变形而渗漏油。
- ④变压器散热管焊接部位,因焊接质量不过关而渗漏油。

此外,由于油位计、呼吸器、防爆管、通风孔堵塞等原因造成假油面,未及时发现缺油。

## 2. 变压器运行中喷油原因

变压器运行中喷油有以下几种原因:

①变压器二次出口线短路及二次母线总开关闸上口短路,而一次侧保护未动作造成变压器一、二次绕组电流过大,温度过高,油迅速膨胀,变压器内压力大而喷油。

②变压器内部一、二次绕组放电造成短路,产生电弧和很大的电动力,这时变压器油严重过热而分解气体,使变压器内压力增大,造成喷油。

③变压器出气孔堵塞,影响变压器运行中的呼吸作用,变压器重载运行时,绕组电流大、油温度高而膨胀,造成喷油。

## 3. 变压器缺油处理方法

①关紧放油截门,使其无渗漏。

②选择同号的变压器油,做耐压试验合格加入变压器至合适位置(参照油标管的温度线)。

③放油,更换老化的防油胶垫。更换完毕,检查有无渗油现象,正常后投入运行。

④放油,检修变压器,吊出器身,将漏油散热管与箱体连接处重新焊接。

⑤疏通油位计、呼吸器、防爆管、通气孔等处的堵塞,使其畅通无假油面。

## 4. 变压器喷油处理方法

①检修好二次短路故障,调整过流保护整定值。

②对变压器检修,处理短路绕组,或更换短路绕组。

③疏通堵塞出气孔。

## 第九节 变压器分接开关的故障检修

分接开关是变压器的电压调整装置,调压方式又分为无激磁调压和有载调压两种。SWX 型单片式无励磁分接开关外形图和接线图如图 3.8 所示。

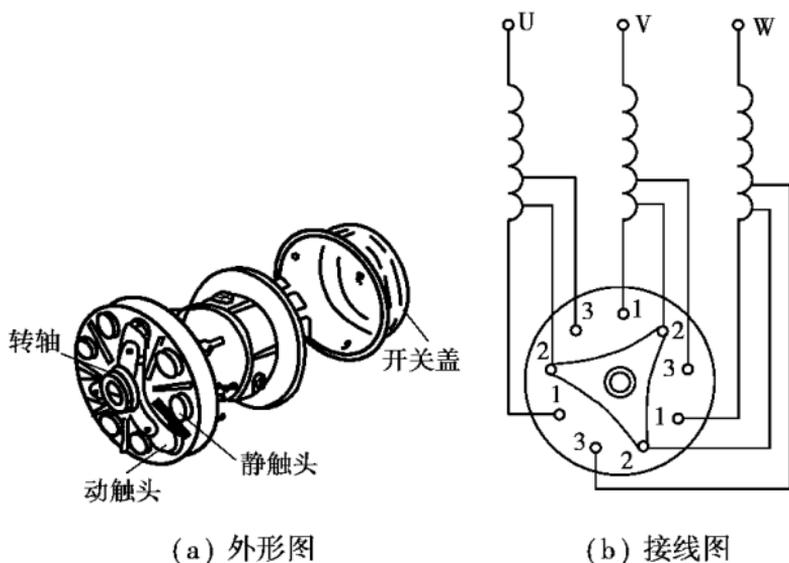


图 3.8 无激磁调压分接开关

无激磁调压分接开关有三个挡位,两个相邻挡为额定电压的  $\pm 5\%$ , 1 挡为 10.5 kV, 2 挡为 10 kV, 3 挡为 9.5 kV。有载调压分接开关有五个挡位,两相邻挡为额定电压的  $\pm 2.5\%$ , 1 挡为 10.5 kV, 2 挡为 10.25 kV, 3 挡为 10 kV, 4 挡为 9.75 kV, 5 挡为 9.5 kV。当变压器一、二次电压过高或过低,超过了电压允许偏差值,倒分接开关的挡位,调整变压器二次侧电压值。运行中的变压器分接开关一出现故障,将影响变压器的安全运行。在变压器运行中,当发现内部有“吱吱”声音,电流表随之声音而摆动或无电流指示,变压器温度过高,瓦斯继电器可能发出信号,油

的闪点急剧下降以及变压器一次绕组直流电阻增大或三相阻值差值大等异常现象,可以初步判断为分接开关故障。分接开关故障有以下几种原因:

### 1. 无激磁调压分接开关故障原因

①分接开关触点接触不良或引线焊接不良,当变压器重载运行及短路电流冲击通过触点,造成分接开关故障。

②变压器运行时间长,分接开关触点弹簧压力不足,滚轮压力不均,以及镀银层机械强度不够而严重磨损等原因,造成有效接触面减小,导致分接开关烧损。

③倒分接开关切换挡位时,由于分接开关接头位置切换有误,引起分接开关烧损。

④分接开关三相引线由于压接母线移动,相间距离小,或绝缘材料电气绝缘强度低,在过电压时绝缘击穿,造成分接开关相间短路烧毁。

### 2. 有载调压分接开关故障原因

有载调压分接开关为自动调压装置,它不需要停电和人工操作,使用方便,简单安全,调整电压幅值小,保持电压稳定性好,调整二次电压值接近额定电压值。如果维护不当将发生故障,影响变压器的安全运行。有载调压分接开关故障有下列几种原因:

①有载调压分接开关辅助触头的过渡电阻在切换过程中被击穿烧断,在电阻的断口处产生闪络放电,造成触头间的电弧拉长,电弧的高温将油剧烈分散发出“吱吱”的异常声音。

②有载调压分接开关由于箱体密封不严进水或潮湿聚集的凝结水以及油老化绝缘强度下降等原因,造成相间闪络放电,烧毁引线及触点。

③分接开关的机械传动部分损坏,滚轮卡阻,切换挡位时



不到位,切换在过渡的位置上,造成相间短路烧毁分接开关的触点。

④用有载调压分接开关的油箱与变压器油箱结合部位不够严密,使分接开关的油箱与变压器的油箱相互连通,使两个油位计指示的油位相同,造成分接开关的油位计指示出现假油面,使分接开关油箱内缺油,威胁分接开关运行安全而造成相间闪络放电及相间短路事故烧毁引线及触点。

### 3. 故障处理方法

①判断分接开关触点接触不良的方法可根据变压器的三相电压、电流、异常声音来初步确定,再用电桥测量变压器一、二次绕组的直流电阻与上次测量值进行比较,对变压器油进行化验等方法来进一步的确认分接开关故障。

②用细砂布打磨平分接开关触头被烧毁部分。更换损坏的导线、触头,调整弹簧压力。

③维修机械部分损坏或卡阻的滚轮,使其动作灵活,准确到位。

④用有载调压的分接开关更换烧毁的过渡电阻、触头,修好引线,化验不合格的变压器油,应更换油号相符合、经试验合格的变压器油加到合适位置。

⑤紧固严密分接开关的密封部位,查找出假油面的原因,将分接开关与变压器油箱连接部分紧固,杜绝连通,防止造成分接开关假油位。

## 第十节 变压器运行中异常声音故障处理

电力变压器的一次侧绕组接通与其对称额定的三相交流电压时,变压器一次侧绕组将有空载电流  $I_0$  通过,空载电流  $I_0$

(又称为“激磁电流”)在一次绕组通过在铁芯(磁路)中产生磁通 $\Phi$ ,使变压器铁芯振荡发出按 50 Hz 交变的轻微“嗡嗡”声。

变压器一次电流值的大小决定于变压器二次电流值,二次电流越大,则一次电流越大。变压器一次电流大,铁芯中产生的磁通密度大,铁芯的振荡程度大,则声音大。

正常运行的变压器发出的“嗡嗡”声是清晰而有规律的,按 50 Hz 变化的交流声。当变压器过载或发生故障时,值班员将根据变压器发出的异常声音来判断变压器运行状态,及时判断原因,采取措施,防止事故发生。

### 1. 故障判断方法

①变压器运行中发出的“嗡嗡”声有变化,声音时大、时小,但无杂音,规律正常。这是因为有较大的负荷变化造成的声音变化,并无故障。

②变压器运行中除“嗡嗡”声外,内部有时发出“哇哇”声,这是由于大容量动力设备启动所致。另外,变压器接有电弧炉、可控硅整流器设备,在电弧炉引弧和可控硅整流过程中,电网产生高次谐波过电压,变压器绕组产生谐波过电流。若高次谐波分量很大,变压器内部也会出现“哇哇”声,这就是人们所说的可控硅、电弧炉高次谐波对电网波形的污染。

③变压器运行中发出的“嗡嗡”声音变闷、变大。这是由于变压器过负荷和铁芯磁通密度过大造成的声音变闷,但振荡频率不变。

④变压器运行中内部有“吱吱”、“噼叭”、“咕噜”等异常声音。这是由于变压器内部触点接触不良、绝缘劣化、电气距离小等原因造成,有击穿放电声音。

⑤变压器内部发生强烈的电磁振动噪声。这是由于变压



器内部紧固装置松动,使铁芯松动,发出电磁振动的噪声及变压器地脚松动发出的共振声音。

⑥变压器运行中发出很大的电磁振动噪声。这是由于供电系统中有短路或接地故障,短路电流通过变压器绕组使铁芯磁通饱和,造成振动和声音过大的电磁噪声。

⑦运行中变压器声音尖、粗而频率不同规律的“嗡嗡”声中夹有“尖声”、“粗声”。这是 10 kV 中性点不接地系统中发生一相金属性接地,系统中产生铁磁饱和过电压(基频谐振过电压为相电压的 3.2 倍),导致变压器谐振过电流,使铁芯磁发生畸变,造成振荡和声音不正常。

## 2. 故障处理方法

①减少大容量动力设备启动次数。

②降低变压器负荷,或更换大容量变压器,防止变压器过载运行。

③检修变压器,处理内部故障。

④检修变压器,紧固夹紧装置,加强变压器地脚的牢固和稳定性。

⑤检查并处理系统中的短路和接地故障,破坏谐振参数( $X_L = X_C = 50$ )。

# 第十一节 配电变压器的小修和大修

配电变压器的检修分为大修和小修两类。在维修时,吊出变压器的器身称为“大修”,又称为“吊芯检修”;在维修时,不吊出变压器的器身称为“小修”,又称为“不吊芯检修”。

## 一、变压器小修的周期规定

配电变压器的小修周期是根据它的重要程度、运行环境、

运行条件等因素来决定的。一般规定：

①35 kV 及以上的变压器每半年小修一次。

②10 kV 及以下的变压器一般每年小修一次,对运行于配电网线路上的 10 kV 配电变压器可每两年小修一次

③运行于恶劣环境(严重污染、腐蚀,高原、高寒、高温)的变压器,可在上述基础上适当缩短小修周期。

## 二、变压器的小修项目

变压器的小修要在停电后进行,为了减少损失,应尽量缩短停电检修时间。一般规定:对于 2 000 kVA 以下的变压器,允许停电 6 h;对于 2 000 ~ 5 000 kVA 的变压器,允许停电 8 h;对于 5 000 kVA 以上的变压器,允许停电 10 h。变压器小修主要有以下一些内容:

### 1. 检查接头状况是否良好

检查出线接头及各处铜铝接头,若有接触不良或触点腐蚀,则应修理或更换;同时,还应检查绝缘套管的导电杆螺丝有无松动及过热。

### 2. 绝缘套管的清扫和检查

清扫高、低压绝缘套管的积污,检查有无裂痕、破损和放电痕迹。检查后,要针对故障及时处理。

### 3. 检查变压器是否漏油

清扫油箱和散热管,检查箱体结合处、油箱和散热管焊接处及其官部位有无漏油及锈蚀。若焊缝渗漏,应进行补焊或用胶粘剂补漏。若是密封渗漏,其原因有:

①密封垫圈老化或损坏。

②密封圈不正,压力不均匀或压力不够。

③密封填料处理不好,发生硬化或断裂。



检查后,视具体情况进行处理。对于老化、硬化、断裂的密封和填料,应予以更换。在装配时,注意螺丝要均匀地压紧,垫圈要放正,油箱及散热管的锈蚀部位应该铲锈除漆。

#### 4. 检查防爆管

有防爆管的变压器,应检查防爆膜是否完好;同时,检查它的密封性能。

#### 5. 查看气体继电器是否正常

检查气体继电器是否漏油,阀门的开闭是否灵活,动作是否正确可靠,控制电缆及继电器接线的绝缘电阻是否良好。

#### 6. 油枕的检查

检查储油柜上油表指示的油位是否正常,并观察油枕内实际油面,对照油表的指示进行校验。若变压器缺油要及时补充,同时应检查并及时清除储油柜内的油泥和水分。

#### 7. 吸湿器的检查和处理

吸湿器内的硅胶每年要更换一次。若还未到一年硅胶就已吸潮失效(颜色变红),也应取出放在 $110 \sim 140$  的烘箱内烘干脱水后再用。将硅胶重新加入吸湿器前,使用筛子将粒径小于 $3 \text{ mm}$ 的颗粒除去,以防止它们落入变压器油中,引起不良后果。

#### 8. 检查接地线

检查变压器接地线是否完整良好,有无腐蚀现象,接地是否可靠。

#### 9. 高低压熔断器的检查

检查与变压器配用的保险和开关触点的接触及机构动作是否良好。采用跌落式保险保护的变压器,还应检查熔断丝是否完整,熔丝直径是否适当。

#### 10. 测量变压器绝缘电阻

用兆欧表测定线圈的绝缘电阻。测量时,以额定转速

120 r/min均匀地摇动兆欧表 1 min,读取仪表所示值  $R_{60}$ ,并记录当时变压器温度。由于影响绝缘电阻值的因素很多,故一般对  $R_{60}$  的值不做统一规定,而是将测得值与制造厂提供的初试值进行比较来判断是否合格。一般新变压器投入运行前的绝缘电阻值换算到同一温度下比较,不应低于初试值的 70%;运行中的变压器,测得的  $R_{60}$  值换算到相同温度时,不应低于初试值的 50%。

### 11. 检查消防设施是否完好

配电变压器的消防设施包括四氯化碳灭火器、二氧化碳灭火器、干粉灭火器及砂箱,切记不能使用泡沫灭火器。

## 三、配电变压器的大修周期和大修前的检查

配电变压器的大修可分为因故障而进行的大修和正常运行的定期大修。对于前者,需在大修前详细检查变压器的故障状况;对后者,则应按规定期限进行。

### 1. 配电变压器的定期大修周期

变压器的定期大修,一般可按以下时间进行:

①对于 35 kV 及以上的变压器,在投运 5 年后应大修一次,以后每 5~10 年大修一次。

②对于 10 kV 及以下的变压器,如果不经常过负荷,每 10 年左右大修一次。

③对于新安装的电力变压器,除可以保证在运输和保管过程中不会受到损坏者外,均应进行吊芯检查,再安装投运。但对于容量很小(630 kV 及以下)的变压器,运输过程中无不正常现象,不必吊芯检查,可直接投入运行。

### 2. 故障变压器大修前检查

对于发生故障后的变压器,大修前首先应进行详细的检



查。通过外部检查和必要的电气试验,确定故障原因和部位,再进行针对性的检修,可达到较好的效果。应当进行检查的项目如下:

①查看变压器运行记录 收集变压器在运行中已暴露出并被运行人员记录在案的缺陷,对照这些缺陷到现场变压器上一一核对,制订针对性的检修措施。

②检查气体继电器是否动作 若气体继电器动作过,则表明由于严重内部故障已产生了大量气体。在因气体继电器动作引起跳闸后,应迅速鉴别气体的颜色、气味和可燃性,并据此推测故障类型和原因。不易燃的黄色气体,是木材受热分解产生;可燃、有强烈臭味的淡灰色气体,是纸和纸板产生;灰色或黑色易燃的气体,是变压器油分解产生的。

③检查变压器外观 对各部件故障状况进行记录,在对变压器开箱吊芯前,尽快对故障变压器的油枕、防爆管、油箱、高低压套管、上层油温、引线接头状况等进行检查记录。通过外部检查,发现上述部件故障,以便大修中进行处理。

④测定绕组的绝缘电阻 测量绕组的绝缘电阻,判断是否有短路和接地。若测得绝缘电阻值很小,甚至接近于零,表明存在接地或短路故障;若测得值不为零,但小于规定值,则可能是绝缘受潮,需进行烘干处理。

⑤交流耐压试验 有的变压器绝缘击穿后,由于变压器油流入击穿点而使绝缘暂时恢复;这时,用摇表就不能判断出故障,须由交流耐压试验来进一步判定。配电变压器的交流耐压试验是对绕组连同套管一起进行的,当外加电压为表 3.4 中的数值时,持续一分钟,变压器不应击穿。

表 3.4 配电变压器交流耐压试验标准

试验条件	额定电压/kV						
	< 0.5	3	6	10	15	20	35
出厂时	5	18	25	35	45	55	85
交接及大修时	2	15	21	30	38	47	72

当变压器出厂试验电压与上表所列的数值不符时,交接及大修的试验电压取实际出厂试验电压的 85%。对出厂试验电压不明的非标准变压器,耐压试验标准不得低于表 3.5 所列的数值。

表 3.5 配电变压器交流耐压试验电压标准下限值

绕组额定电压/kV	< 0.5	3	6	10	15	20	35
试验电压/kV	2	13	19	26	34	41	64

⑥测量各相绕组的直流电阻 测量各相绕组的直流电阻,判定是否有层间、匝间短路或分接开关引线断线。由于绕组直流电阻值较小,直流电阻测量一般用双电桥进行。在三相直流电阻之间的差值大于一相电阻值的  $\pm 5\%$ ,或电阻值与上次测得的数值相差  $2\% \sim 3\%$  时,可判定该相绕组有故障。

⑦测定变压器变比 测定变压器变比,判定变压器的匝间短路。测定时,用较低的电压加在各相绕组高压侧,测取一、二次电压并计算变比。若哪一相存在匝间短路,则那一相变比值会发生异常。如果试验时箱盖已吊开,器身仍浸在油中,还可

看到短路点由于电流产生高热引起变压器油分解而冒出的气泡,从而可以判断故障的相。

⑧测定变压器三相空载电流 在变压器一次侧接上额定电压,二次侧开路时测量它的空载电流(励磁电流),可判断绕组和铁芯是否有故障。测得的空载电流与上次试验的数值比较不应偏大,在测得的三相空载电流之间进行比较应基本平衡,否则存在故障。

⑨变压器油的试验 取样进行简化试验,确定变压器油是否合格,是否需要进行处理。

#### 四、配电变压器的大修项目

配电变压器无论是确定为内部故障后的大修或是定期大修,一般都需进行以下各项工作:

- ①吊芯及吊芯后,对器身的外部检查。
- ②器身检修。
- ③分接开关检修。
- ④油箱及其附件(箱盖、高低压套管、储油柜、呼吸器、防爆管、温度计、耐油密封圈等)的检修。
- ⑤气体继电器检修。
- ⑥滤油或换油。
- ⑦箱体内部清理及涂漆。
- ⑧装配。
- ⑨试验。

#### 五、油浸变压器吊芯检修的方法

油浸变压器如图 3.9 所示。吊芯检修是对油浸变压器比较彻底的检修,一般正常运行情况下,吊芯检修周期为 5 年。

当有特殊情况(如绕组发生短路或接地)时,必须进行吊芯检修。

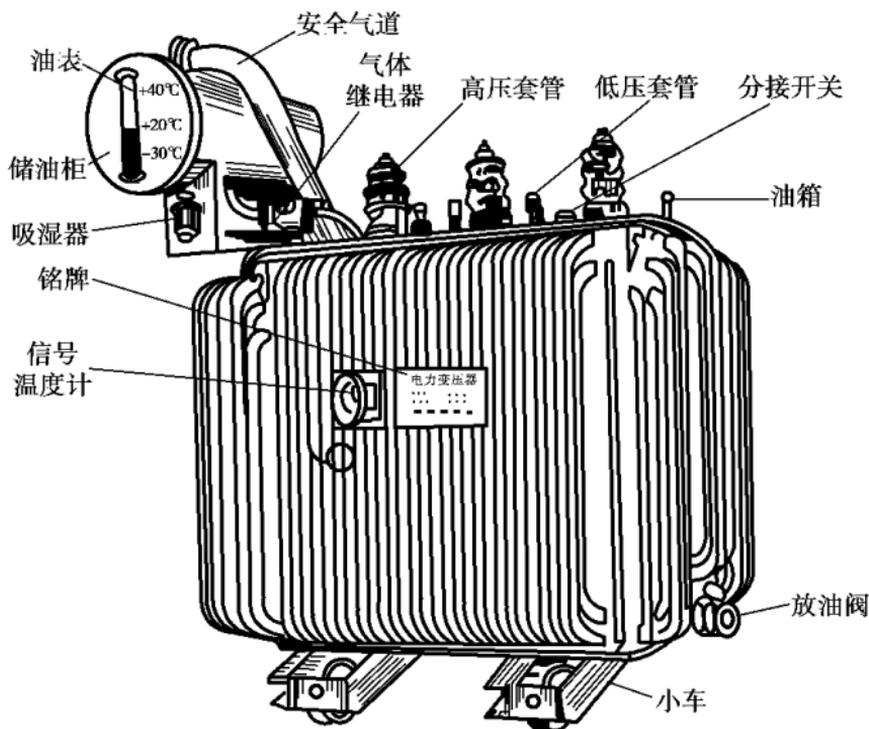


图 3.9 三相油浸变压器外形

### 1. 吊芯检修前的准备

①为了防止器身吊出后因暴露在空气中的时间过长而使绕组受潮,必须随时掌握气候变化,而且尽量不在阴雨天或下雪天吊芯。如果必须在阴雨天或下雪天吊芯时,则应在室内进行,而且室内的空气应比较干燥和清洁;同时,应考虑到器身检查时周围气温不宜低于 $0^{\circ}\text{C}$ 。当空气相对湿度不超过 $65\%$ 时,器身暴露在空气中的时间不得超过 $16\text{h}$ ,当空气相对湿度不超过 $75\%$ 时,不得超过 $12\text{h}$ 。

②检查分析变压器的运行记录,分析故障原因、部位及严重程度,制订检修方案及措施计划。

③吊芯检查前,必须准备工作场地以及所需要的设备、装置、工具、仪器仪表和材料。吊芯检查用的场地应当没有污物、灰尘和外来物的来源,而且便于移动起重机械。对于装置和临时存放拆下来的变压器组件和零件,最好是有能临时封存的地方。

④进行油样试验,准备好变压器油的注、放及处理设备和足够的补充油。

⑤吊起变压器组件所用的起重机械、吊绳和装置都应能承受住相应的起重负荷,而且应当经过校验。

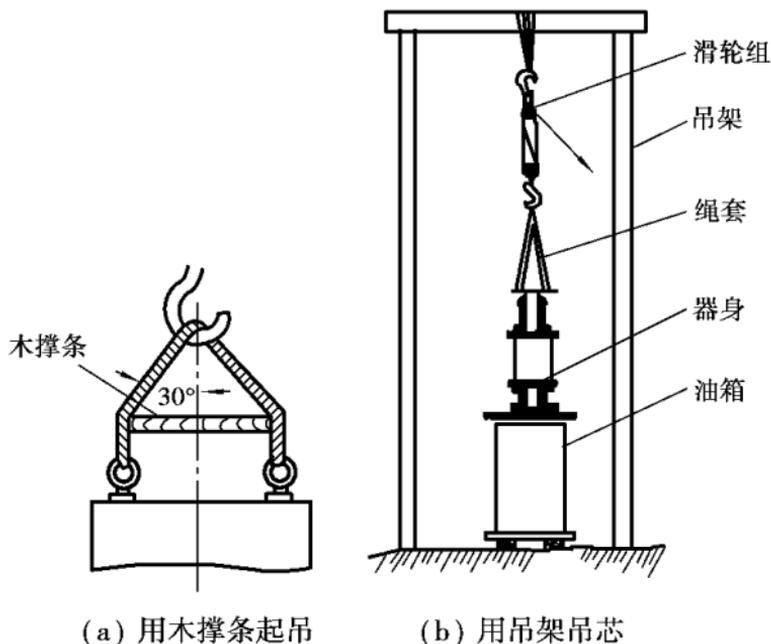


图 3.10 变压器吊芯

## 2. 吊出器身

①在吊出器身之前,先清扫变压器外部,检查油箱、散热管、油枕、瓷套管、防爆筒等有无渗漏现象。

②放油时,当油面放至接近铁芯铁轭顶面时,即可拆去油枕、防爆筒、气体继电器等。

③拆去箱盖与箱壳上的连接螺栓,用起重设备将箱盖连同器身一起吊出箱壳。

### 3. 绕组检修

检查绕组的绝缘是否有老化的现象和损坏的情况,通常是用手指按压绕组表面的绝缘,以观察其变化。一般绝缘良好的绕组,富有弹性,即手指按压时,绝缘会暂时变形,手指放开后,又恢复原状。绝缘不会因手指按压而碎裂,绝缘表面的颜色呈浅淡色。而当绝缘有相当程度老化时,用手指按压后,会产生较小的裂缝,或感觉到绝缘的质地比较坚硬、变脆,颜色也较深。并检查是否存在短路或接地的故障,然后根据具体情况,决定是否调换绕组。一般来说,二次绕组仅需局部的修理,而一次绕组和小型变压器的二次绕组则需要重绕。修理绕组时应注意以下事项:

①对于截面较大的用扁铜线绕制的二次绕组,主要是更换匝间绝缘,更换填平楔和层间绝缘。如果绕组是分段的,可只更换损坏的一段或数段。

②换下来的绕组先烧去绝缘,若铜线未变质,截面也未变形,可重包绝缘继续使用。

③如果绕组的铜线有熔化或截面缩小的部分,应将其割去,然后补换新线。

④如果利用旧线重绕,应首先烧掉原有绝缘,烧后将导线浸入硫酸水溶液中泡 5 ~ 10 min,再将旧绝缘全部除去,然后用水冲洗,再浸入 1% 质量分数的热肥皂水中,以中和可能残留的硫酸,最后用水冲洗干净,用布擦拭后再烘干。

### 4. 对铁芯进行检查

①检查铁芯到夹件的接地连接铜皮是否有效接地,若未安装或已断开,在运行时可能将发生轻微的放电声。

②用 1 000 V 绝缘电阻表测量铁轭夹件穿心螺杆绝缘电阻是否合格,其数值应不小于 2 M $\Omega$ 。若穿心螺杆绝缘损坏,应予更换,或用 0.12 mm 厚的电缆纸涂以酚醛树脂漆,包扎螺杆(每边约 2 ~ 3 mm),再在 100 ℃ 下烘干。

③检查铁芯底部平衡垫铁绝缘衬垫是否完整,是否有松动现象。

④检查铁芯硅钢片是否有过热现象。

⑤如发现有的螺栓松动,应加以紧固。

### 5. 绝缘油的处理

吊芯检修时,绝缘油应取样做绝缘油试验。当油的质量不合格时,应更换新的绝缘油,或将绝缘油再生处理。若有水分时,可用压力式滤油机进行过滤,或用无碱玻璃丝布袋装入硅胶,浸入油中 4 ~ 5 min。

### 6. 油箱及附件的检修

①对油箱外壳及防爆筒、油枕外壳锈蚀较严重的变压器,必须进行除锈喷漆。一般可先将外壳喷砂,以彻底除锈。考虑到防腐蚀和防潮的需要,可先喷过氯乙烯底漆两遍,干后再喷过氯乙烯瓷漆两遍,最后喷过氯乙烯清漆一遍。

②检查油位计指示是否正常,有无堵塞现象。油位计的玻璃管有无裂纹或是否因脏污而显示模糊。若有裂纹,应予以更换,若有脏污,则应擦净。

③变压器油箱盖变形较严重,应校正或重新制作。另外,老系列变压器的高、低压瓷套管宜用新系列变压器的瓷套管更换。

### 7. 分接开关的检修

对于分接开关的检修,主要是检查触头表面与接触情况。触头不应该有灼痕,当触头严重损坏时,应进行更换或重新配

制。当触头表面覆有氧化膜和污垢时,轻者可将触头往返切换多次,将污垢清除,较重者可用汽油或丙酮擦洗。另外,还应检查一下手柄的指示位置与触头的接触是否一致,以及触头在每一位置上的接触是否准确。

## 8. 装配

将检查时所发现的缺陷或故障完全排除之后,测量其绝缘电阻合格,便可进行组装。组装的步骤如下:

①首先重新吊芯检查,拧紧螺栓,进行清扫,然后将芯子装入油箱,并装上大盖。

②组装散热器、净油器(硅胶罐)、分接开关机构、油枕、瓦斯继电器和防爆管等附件。

③往变压器油箱中注油,先将油注至淹没绕组,其余部分待装完套管再补注。

④安装套管,连接套管下端引线和分接开关的接头。

⑤补注油至标准油位,注油时应先排除大盖下面和套管座等突出部位积聚的气体。

⑥静置 24 h 后,做检修后的电气试验。

⑦将变压器运回原安装地点,对准检修前的定位标志,垫好变压器轮下垫铁。

⑧连接套管引线,接通风扇电动机电源,并核对电动机转向。接通气体继电器和温度计的电源,并连接好接地线。



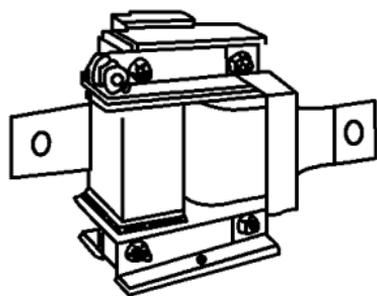
## 第四章 常用特种变压器简介

### 第一节 互感器

在电力系统中,高电压和大电流不便于测量,通常用特种专用的变压器将大电流变成小电流,将高电压变成低电压再进行测量。这种用途的变压器就称为“电流互感器”和“电压互感器”,统称为“仪用变压器”。电力系统中采用仪表和继电保护装置的线圈均接在互感器的二次侧,从而起到隔离电源的安全作用,即使电力系统在发生短路故障之后,仪表和继电保护装置的线圈内也不会受到极大的电流冲击而损坏。电流互感器是将高电压、大电流变换成电压较低的小电流,电压互感器是将高电压变换成低电压。电流互感器二次侧额定电流为 $5\text{ A}$ ,电压互感器二次侧电压为 $100\text{ V}$ ,这样在使用上方便、安全、标准化,简化了制造工艺,降低了成本,因此在电力系统中广泛应用。电流互感器正常运行时,相当于变压器工作在短路状态,一、二次侧磁动势处于平衡状态,磁场很弱;若二次侧开路,一次侧电流完全用于励磁,磁场变得很强,将在二次侧感应出很高的电压,将绝缘击穿,危及人身和设备安全。因此,电流

互感器二次侧不得开路。电压互感器正常运行时,负载接电压表,阻抗很大,接近于空载运行。若二次绕组短路,则变成短路运行,电流从空载电流变成短路电流,一、二次侧电流均变得很大,造成互感器绕组过热而烧坏。

电流互感器的结构、工作原理与普通双绕组变压器相似,也是由铁芯和原、副绕组两个主要部分构成。其外形结构和工作原理分别如图 4.1 和图 4.2 所示。其主要特点在于,电流互感器原绕组的匝数很少,一般只有一匝到几匝。使用时,原绕组串联在被测电路中,流过被测电流,副绕组的匝数很多,用较细的导线绕制,根据测量的目的不同,副绕组连接电流表或电度表的电流线圈或电流继电器。



(a) LQC—0.5 型

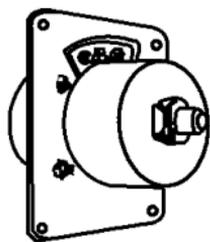
(b) LDZJ<sub>1</sub>—10 型

图 4.1 电流互感器外形结构

电压互感器的结构和工作原理同小型双绕组降压变压器相同。图 4.3 所示为两种电压互感器的外形结构,其工作原理如图 4.4 所示。

### 一、选择和使用电流互感器的方法

选择电流互感器,应注意以下几点:

①要根据被测电流大小选择合适的电流比,否则会增大误差。

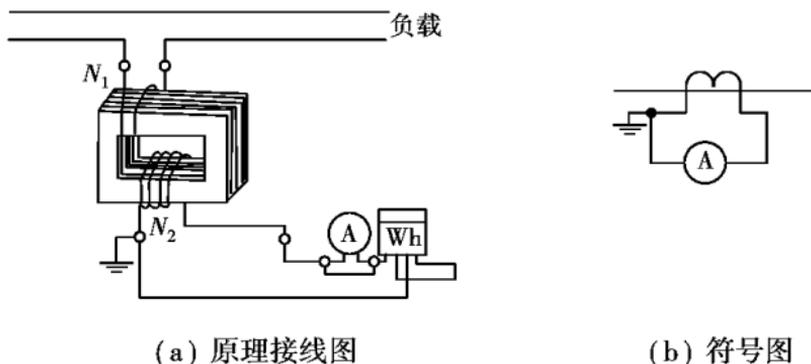


图 4.2 电流互感器原理

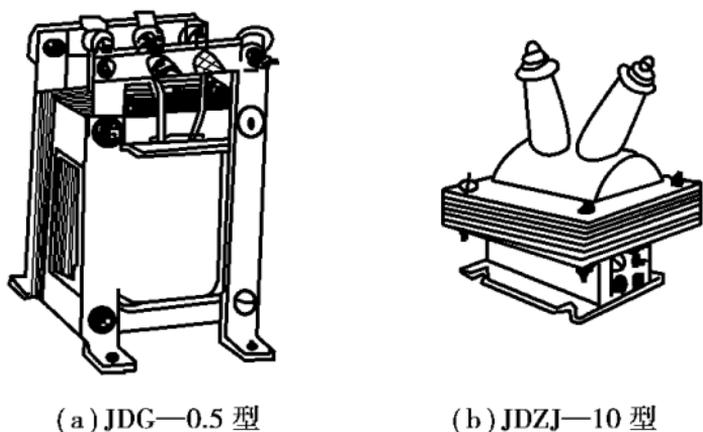


图 4.3 电压互感器外形结构

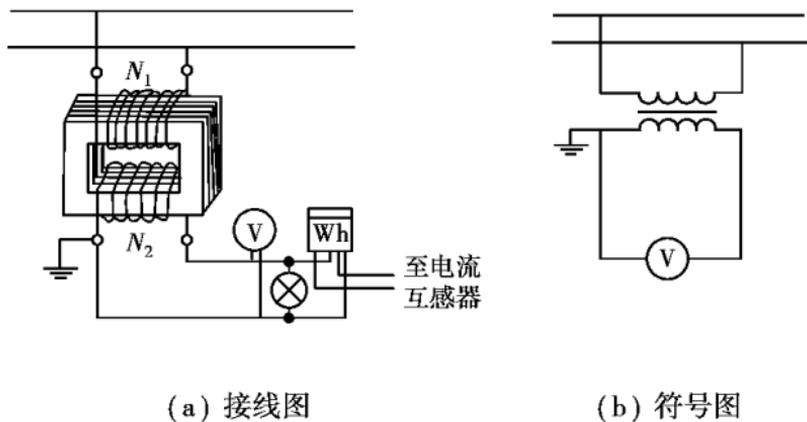


图 4.4 电压互感器原理图

②电流互感器的额定电压应等于被测电路的电压,其一次侧的额定电流应大于被测电路的最大持续工作电流。此外,电流互感器的结构形式和容量应满足测量准确度的要求。

③二次负载(如仪表和继电器等)所消耗的功率,不应超过电流互感器的额定容量,否则互感器的准确等级将下降。

④电流互感器二次回路不得开路。拆装仪表时,应先将二次侧两线端短接,然后才进行拆装仪表的工作。

⑤为了达到测量准确的目的,二次侧的负载阻抗不得大于电流互感器的额定负载阻抗。

⑥接线时,一次侧线端 $L_1$ 、 $L_2$ 串入被测电路,二次侧的线端 $K_1$ 、 $K_2$ 与测量仪表相连,此时要注意极性正确。当一次侧电流从 $L_1$ 流向 $L_2$ 时,二次电流应从 $K_1$ 流向 $K_2$ 。

⑦不得与电压互感器二次侧互相连接,否则会造成电流互感器近似开路,出现高电压。

⑧应根据装设地点的系统短路电流,定期校验互感器的动稳定度和热稳定度。

⑨高压电流互感器必须经过检查和耐压实验合格后方能投入运行。

⑩电流互感器应安装在金属构件上,并与其他带电体保持一定的安全距离。

⑪高压电流互感器在运行前要检查瓷体有无裂纹,法兰盘有无裂纹。

## 二、运行中的电流互感器二次侧开路的故障处理

### 1. 电流互感器二次侧开路所产生的后果

当电流互感器二次侧开路时,二次绕组产生的电流为零,二次侧磁通为零,去磁磁通消失,此时电流互感器一次侧电流

产生的磁通全部为励磁磁通,使得电流互感器铁芯中磁通急剧增加,铁芯磁通骤然饱和,此时如一次侧电流值为额定电流值时,铁芯中的磁通密度可达到 $14\ 000 \sim 18\ 000\ \text{GS}$ 。由于电流互感器的铁芯磁通饱和,将产生以下结果:

①由于铁芯磁通饱和,电流互感器的二次侧将产生数千伏的高电压,而且磁通的波形变成平顶波,因此,使二次侧产生的感应电压出现了尖顶波,对二次侧绝缘构成威胁,对电气设备和运行人员造成危险。

②由于铁芯磁通骤然饱和,铁芯中的损耗增加,铁芯严重发热,使电流互感器的绝缘受到损坏,甚至有可能烧毁。

③由于铁芯磁通饱和,铁芯中产生剩磁,使电流互感器的比差和角差都增加,影响电度计量和继电保护装置动作的准确性。

## 2. 电流互感器二次侧开路的判断

运行中的电流互感器二次侧开路时,当一次侧电流较大或在额定电流值的情况下,可根据下列现象来判断电流互感器的二次侧是否开路。

①由于电流互感器的铁芯磁通饱和,电磁振动较大,有异常的电磁噪声。

②与电流互感器串联的仪表(如电流表、功率表等)无指示或指示不正常。

③二次回路中接线端子压接松动处,有磁花现象和放电声音,指示仪表可能随之摆动。

## 3. 运行中的电流互感器二次侧开路的处理

处理运行中的电流互感器二次侧开路故障时,应按照安全规程规定执行安全技术措施,并有专人监护,使用基本安全用具和辅助的安全用具。使用的工具必须带有绝缘柄,与带电体保持规定的安全距离,并采取措施,防止相间相对地短路。处

理这类故障时,应在停电时进行,若电流互感器二次的开路点在仪表室和端子板室与带电部分有钢板隔离又需要带电处理时,可带电处理,但必须执行一线的安全保证措施。

①将电流互感器一次侧电流降到额定电流的 10% 以下。

②断开电流回路时,应先用专用的短路片或短路线将电流互感器二次侧短路后进行,严禁在短路点与电流互感器之间工作。电流互感器的开路点与带电部分小于规定安全距离时,严禁处理。

### 三、电压互感器的二次侧的接地方法

运行中的电压互感器,其一次绕组处于高电压,而二次绕组则处于一固定的低电压(例如一次绕组的电压为 1 000 V,二次绕组的电压为 100 V,则二次电压仅为一次电压的 1/10)。如果电压互感器的一、二次绕组之间的绝缘损坏,则一次侧高压便会窜入二次侧,而二次侧所接的各种仪表和继电器的绝缘强度一般都很低,所以此时不但会损坏二次侧设备,而且也威胁维护操作人员的安全。为了防止高压窜入低压,一般在电压互感器的二次侧实行保护接地。通常将电压互感器的外壳和二次绕组的一端均做可靠接地,就可达到互感器二次侧不受高压危害的目的。

### 四、维修电压互感器的方法

维修电压互感器,应注意以下几点:

①油浸式电压互感器的油面距油箱盖一般应为 10 ~ 15 mm。如果距离太大(例如 JDT 型,大于 30 mm;JSJB 和 JSJW 型,大于 60 mm),则器身和引线将露出油面,此时应检查绝缘是否受潮。

②测量绕组的绝缘电阻,测得值不应低于出厂值(或上一

次测量值)的70%(换算到同一温度时的值)。

③电压互感器二次回路不得短路。如果发生短路,应使其立即退出运行,并进行检查和试验。

④三相三绕组电压互感器(JSJW型)空载时,如果一次相电压平衡,且为额定值,则零序回路的端电压不应大于8V(用真空管电压表测量)。在试验中,一次侧应接二相电缆,电缆对地电容不应小于0.2 pF。

⑤线路发生单相接地故障时,只允许电压互感器连续运行2 h,否则,绕组可能因过热而损坏。

⑥电压互感器的故障多数是由于绝缘受潮、击穿、匝间短路、绕组烧毁和套管损坏而引起的,通常可按原样修复,修理方法与变压器的修理方法相同。

## 第二节 自耦变压器

普通变压器原、副绕组之间由磁通相互联系起来,根据法拉第电磁感应定律称为“互感现象”,也可以称为“互耦合现象”。根据自感现象制成的变压器,称为“自耦变压器”,也称为“自感变压器”,其应用范围很广泛。自耦变压器的特点在于:其原、副绕组之间不仅有磁的联系,而且也有电的直接联系。

自耦变压器与普通变压器相似,也是由铁芯和原、副绕组两部分组成。所不同的是原、副绕组共用一个线圈,如图4.5所示。如果绕组中间的抽头做成可滑动接触的,就可构成一个电压可调的自耦变压器。通常将这类可调的自耦变压器称为“自耦调压器”,如图4.6所示。这种自耦调压器将铁芯做成圆环形,将绕组均匀绕在上面,滑动接触点一般用碳刷构成。碳刷触头通过组件与转柄相连,可根据需要转动转柄以改变输

出电压。为了搬运和使用安全,还设有其他一些附件。

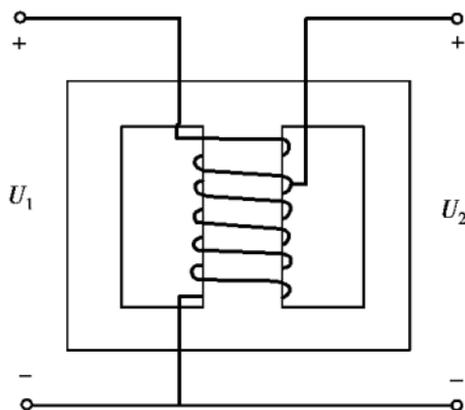


图 4.5 自耦变压器接线图

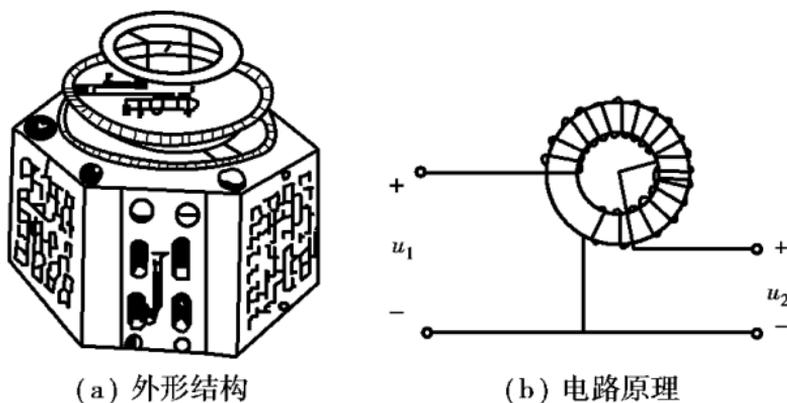


图 4.6 自耦调压器

### 一、自耦变压器的主要特点

①在同样的额定容量下,自耦变压器的尺寸小、重量轻、效率较高。因为自耦变压器的计算容量小于额定容量,而计算容量是设计变压器的依据,决定变压器的主要尺寸和材料消耗。有效材料的减少,使得自耦变压器的铜耗相应减少,从而效率得以提高。

②自耦变压器的短路阻抗标么值比两绕组变压器小,故电

压调整率较小而短路电流较大。

③由于自耦变压器一次侧和二次侧之间有电的直接联系，当高压侧过电压时，会引起低压侧产生严重过电压，因此，一、二次侧都需采取防雷措施。

## 二、自耦变压器在不同运行方式时负荷分配的注意事项

在升压、降压变电所内采用三种电压的自耦变压器运行时，对不同电压侧的负荷送、受电情况必须予以注意。不然，在某些情况下，自耦变压器会过负荷；在另外一些情况下，自耦变压器又不能充分利用。

常见的运行方式下负荷分配应注意下列事项：

①高压侧向中压侧（或相反）送电。这种方式对于降压变压器来说，经它传递的最大传输功率可以等于变压器的额定容量；对升压变压器来说，必须将传输功率限制为额定容量的70% ~ 80%。

②高压侧向低压侧（或相反）送电。在这种情况下，变压器的最大传输功率只要不超过低压绕组的额定容量即可，它小于自耦变压器的额定容量。

③中压侧向低压侧（或相反）送电。这种送电方式与第②种相似，其最大传输功率不得超过低压绕组的额定容量。

④高压侧同时向中压及低压侧（或相反）送电。在这种运行方式下，最大传输功率不能超过自耦变压器高压绕组的额定容量。这个容量就是自耦变压器铭牌上所标的额定容量。

⑤中压侧同时向高压及低压侧（或相反）送电。在这种运行方式下，自耦变压器的中压绕组是一次绕组，而其他两侧绕组是二次绕组。中压绕组内最大允许通过的电流不能超过该绕组本身的额定电流，向两侧送电的传输功率的大小也与负荷的功率因数有关。



## 参考文献

- [1] 潘成林. 电机和变压器的控制与维修问答[M]. 北京 : 机械工业出版社 2006.
- [2] 陈家斌. 电气设备故障检测诊断及实例[M]. 北京 : 中国水利水电出版社 2003.
- [3] 周裕厚. 常见电气故障处理[M]. 北京 : 中国物资出版社 ,1999.
- [4] 陈家斌. 变压器[M]. 北京 : 中国电力出版社 2003.
- [5] 王生. 电机与变压器[M]. 北京 : 高等教育出版社 ,1999.
- [6] 黄咏铭. 电动机与变压器维修[M]. 北京 : 高等教育出版社 ,1999.