

仪器仪表文辑

(第二版) 下集 李中藩主编

上海科学技术出版社



变 压 器 文 輯

下 集

李 中 藩 主 編

(第 二 版)

上 海 科 学 技 术 出 版 社

內 容 提 要

本輯分为上下两集。下集以变压器的运行及维护为主要内容,共計 18 篇。其中从变压器的故障分析开始到提高变压器出力,对检修、干燥、試驗、保护及接法等均有較系統的介绍。最后一篇还介绍农村应用的加压变压器。文章内容大多是各运行单位的經驗总结,可作为电机专业学生、变压器运行部門及制造厂从业人員的参考。

变压器文輯(第二版)下集

李 中 藩 主 編

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1168 1/32 印張 3 18/32 版面字数 92,000

1962 年 12 月第 2 版 1962 年 12 月第 1 次印刷 印数 1—3,500

統一书号 15119·1699 定价(十二) 0.52 元

目 录

变压器的故障和原因	王秋儂	(1)
变压器故障介紹		
一、音响故障	張 一	(6)
二、压环引起的故障	袁嗣义	(9)
大型变压器耐压試驗时的异常現象	周錫賢	(12)
电力变压器的檢修	赵祿臻	(17)
变压器檢修用的材料		
一、衬垫代用品	顾慈祥譯	(22)
二、密陀僧胶合剂	官 樵	(26)
三、硅鋼片漆膜清洗	孙家銓	(28)
变压器干燥經驗談	文心府	(30)
真空渦流干燥大型变压器的点滴經驗	周錫賢	(37)
零相序电流干燥法		(44)
高压試驗变压器带电压断开时的过电压現象	楊桂琳	(49)
工頻耐压試驗中保护电阻的作用	楊桂琳	(53)
变压器过电流保护	黃立鈞	(57)
变压器差动保护	黃立鈞	(63)
关于电力变压器的瓦斯保护	陈 同譯	(68)
电力变压器 Y/Y ₀₋₁₂ 接法問題	李中藩	(72)
自耦变压器的三相联接法	林剛汉	(81)
使用噴雾冷却提高变压器出力	孙 煦	(94)
加强风冷和噴雾冷却提高电力变压器出力的試驗		
.....	吳恩宝	(101)
农村中适用的带負荷調整加压变压器	許萃群	(107)

变压器的故障和原因

王 秋 儂

变压器的故障大致可分为四个方面：

一、磁路中发生的故障——在鉄心、鉄軛及其相互夹紧結構間所发生的故障。

二、电路內发生的故障——在綫圈、繞組絕緣及接綫端所发生的故障。

三、介质部分发生的故障——在油及其他絕緣介质所发生的故障。

四、結構及安裝配合上所发生的故障。

現分別归納敘述如下：

一、磁路中发生的故障

(1) 在变压器中，螺栓穿过鉄心及鉄軛以夹紧迭片时，常因装配上的大意，而使螺栓四周絕緣损坏，这种损坏能使迭片間引起局部短路形成局部渦流。如果螺栓上的絕緣有二个或二个以上损坏时，則螺栓与螺栓間可能产生强烈的循环电流形成如一匝通过磁通的短路綫圈。这种現象如果在鉄心一端的螺栓与相邻近鉄軛中的螺栓同时发生故障时，那末磁通經過鉄心到軛部，差不多全部可穿过二个螺栓之間。两螺栓与两端所接触的夹件或迭片之間造成一个低阻抗的閉路，其电流所产生的热量足以使該部分的硅鋼片燒到熔化的程度，并可能同时造成綫圈絕緣破坏而短路。

(2) 故障亦可能发生在迭片間的絕緣，及軛与軛的夹板間的絕緣；这些故障会产生大量的渦流，因而发生相当的热量，可能使鉄心及綫圈絕緣损坏，而且常遇到鉄损耗的上增。

(3) 鉄心的螺栓及螺栓与鉄心結構紧夹一起时，应特別留心

磁路的連鎖，否則將會產生震動現象，足使鉄心絕緣減弱，而產生象上面所述的故障。

(4) 在製造過程中，由於不斷使用金屬工具，使鉄心及軛迭片的邊緣，發生粗糙現象，而使鉄心迭片產生局部短路和渦流。

(5) 變壓器製造完成後，最重要的是不應有鉄屑或碎鋼片存在迭片間，因為這些東西均易產生局部渦流及過量的鉄心發熱。

(6) 在某些情形下，尤其是高壓試驗用變壓器，其頂軛可能是对接式，其目的為了便利檢修，假如有不正常的空隙遺留在鉄心與軛間，那末亦可能对接處產生嚴重的渦流。

(7) 製造時少用了迭片數目，使變壓器的有效鉄心截面減少，相當於採用高的磁通密度，因而產生高的鉄損耗及巨大的磁化電流；但這些情形遇到機會是很少的。

(8) 高飽和磁路的變壓器，在無載情形下接通電路時，結果常會產生巨大磁化電流的沖動。這種電流沖動，一般很快就消失，但由於巨大的電磁力量，對綫圈很受影響。變壓器的位置如愈接近發電機，則這種現象更為嚴重，若重複幾次作用時，可能使綫圈破裂。

(9) 較舊製造的變壓器，由於硅鋼片老化的緣故，結果可使鉄損耗上增及變壓器溫度的上升，這種情形常會使變壓器油變成泥濘狀態，或綫圈一部分或全部因過熱而破壞。

二、電路內發生的故障

(1) 綫圈相鄰匝間的短路——常屬於高壓繞組，由於在銅導體上的銳利邊緣的存在所形成，若變壓器在負載時震動，或者繞組發生重複幾次的電磁震動，這些銳利邊緣將也割破絕緣，而使相鄰匝發生短路。

(2) 尚未全部浸透凡立水的綫圈，即所浸的凡立水，未能使綫圈全部達到飽和，這樣潮氣就比較容易浸入綫圈，因此易破壞或降低纖維絕緣的介質強度。

(3) 直接繞在絕緣筒上的薄條導體，成一圓筒式綫圈，這樣的綫圈，其機械能力很弱，就是說完全依靠絕緣筒表面的張力來保持

綫的形状。如此,若外部系統发生短路时,綫圈很可能变形而影响
到損坏。

(4) 在高压的变压器中,对銳利或邊緣稍圓的綫圈,由于电暈
的关系,导体的絕緣亦有損坏的可能。

(5) 餅形綫圈的半徑闊度設計时,常比其高度大,所謂“热点”
将在綫圈內部上升,这样使导体絕緣变脆,因而使匝間发生短路。
若油循环系統設計不足够时(即油隙太狹窄),这种危險情形将更
易扩大。

(6) 綫圈間由于不佳的焊接,在負載时可以发生过热,因而使
油炭化;同时散布在联接处的热量,可使圍繞导体附近的絕緣部分
炭化,最后匝間短路。

(7) 变压器引出电流的螺栓接处或連接处,若未旋紧,可能由
于震动的緣故而松动了,这种連接处即会很快地发热,虽則此种情
形不算严重,但其危害性可能暂时使变压器无法使用。

三、介质部分发生故障

(1) 由于所謂呼吸作用,結果因潮湿空气帶入油中,使其介质
强度降低。

(2) 由于变压器延长其过载時間,而使变压器油温过度升高,
产生粘泥、水分及酸性所造成的損坏。

(3) 在有些情形中,初次級綫圈及每只綫圈与鉄心中間,由于
靜电电容的关系,有时使得在低压电路中有高压之存在,問題在于
接地良好与否。

(4) 支持綫圈的木栓,如不完全干燥或受潮,則有漏电的可
能,以致短路。

(5) 有时因油管太狹,或油量不足,得不到充分的冷却条件,
而引起过热現象。

四、結構及安裝配合上发生的故障

(1) 用来供給电炉或其他用途的大电流和低电压的变压器,

常用許多导体并联繞制,由于制造上反头的不适当,可使每根导体长短不一致,及漏抗不相等产生了渦流,結果造成繞組部分过热現象。

(2) 并联使用的变压器,最好采用同一匝数比,同一百分阻抗及同一电阻和电抗比的降压,若任何一个因素不同时,則一变压器至少遇到过载情形,甚至燒毀。

(3) 在电炉变压器及电炉之間所布置的大电流接綫,必須保持阻抗在所定限度以內,若不注意到这个限度,往往可使电炉端电压低于实际工作所需者(例如低压接綫繞过以支持房屋的鉄柱到电炉端时,形成低压电路的电感上增,因此降低了施于电炉的电压)。

(4) 变压器的房屋必須留下足够的空間地位,务使油箱內发出的热量,得到充分的散热,假使变压器与其他变压器或离房屋之牆太近,則变压器的温升可达到危險情况,所以所有变压器都須装有适宜之通风,对閉塞坑及小型磚房应尽量避免。电炉变压器的情形,电炉与变压器之間,必須隔一层隱蔽物。

(5) 油浸式的变压器油箱頂端之蒸气,大多为爆炸性气体,所以在檢查接綫等时,不应采用露出灯光,由于这种疏忽,可能引起极大的爆炸及丧失生命的危險。

(6) 水冷式变压器的冷却管,由于水源中含有石灰质或其他物质,使用日久以后,管子会受到阻塞,若管子不定期的举行清理,則水流量将因此而慢慢减少,使变压器达到較高之温升。

(7) 油水共同冷却式变压器中,由于水漏入油中而发生故障;在普通水冷式变压器中,这种漏水現象由于冷却管之腐蝕,因此用銅管較用鉄管为佳,但代价相当昂貴。其他漏水的原因,是由于在变压器內部冷却管系統之接合处的破裂,如采用外部冷却設備时,渗漏的危險可用泵浦来調节,使油的压力保持比水压力高,这样可保証任何渗漏时,只有漏油到水,而不可能漏水到油。

(8) 在繞組結構上,由于繞組間沿綫圈高度的磁势分布不均,造成不平衡的机械应力,当系統发生短路时或过大的冲击电流时

使綫圈严重变形、发生移动而损坏。

(9) 大型变压器的繞組由于沒有采用預压缩工艺，或装配时压紧装置不牢，則使用后繞組松动，当有系統短路发生时或过大的冲击电流发生时也造成綫圈变形或移动而损坏。

根据近代变压器损坏的統計，大約有 77~80% 是匝間的短路所造成，这些故障一般很难肯定其发生的原因，常根据实际情况加以推測及研究来判断，所以本篇的介紹，仅可作为讀者对变压器故障的一些参考而已。

(原載“电世界”1953年3月号)

变压器故障介紹

变压器故障所表現的現象极其复杂繁多,但絕大多数皆是由于繞組的故障所引起的。本文特为介紹两种非是属于繞組故障所引起的現象,而此两种故障又是較為典型的例子,足供参考。

一、音响故障

張 一

变压器在运行中正常的声音,是值班人所熟悉的听慣的“嗡嗡……”單調均匀的响声,如果值班人听到了其他一些不正常的音响,往往只意識到变压器可能有故障,但不知其底細。現介紹我厂几个变电所 35 千伏級、1000~1800 千伏安、三相油浸自冷式变压器所遇到的几种音响故障,以便于参考。

(一)負荷急剧变化的音响

在供电系統中有 $1/4$ 的負荷作急烈的变化时,会影响到內部鉄心有振蕩产生,呈現“割割割、割割割割”突出的間諧响声,此声音的发生和变压器的指示仪表同时动作的,所以极易識別。如果是裝指示仪表的容量变压器,从指示灯的閃絡亦能識出。我厂某号变压器供电系統中有几个大容量的单相电炉,当金属在炉中熔化沸騰时,熔液在炉內 V 型沟中形成突然的通断現象,造成負荷的急剧变化,形成变压器有严重的音响現象,其响声大小亦随变压器而异。

(二)变压器外壳与其他物件相撞击产生的音响

在变压器安裝中如有其他控制回路中的管道或軟管喉,如瓦

斯继电器线用的电线管(如图 1) 与变压器的外壳或油管相接触, 由于变压器在进行中外壳的振动, 则引起接触处相互撞击, 呈现“沙沙沙、沙沙沙”連續較长的間隔响声。如发响处在变压器的一側是比較容易发现的, 若声源在变压器上部則不易識出, 只有将管道取掉或多固定几点再听声音以判断之。

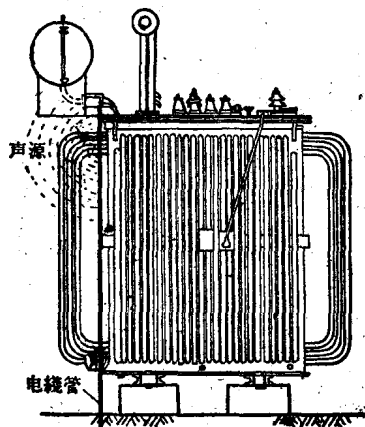


图 1 变压器安装图

(三) 夹紧铁心的螺钉松动和铁心上有遺漏零件

此項原因造成的发响与上述不同, 能呈現非常惊人的“锤击”和“吹大风”之声, 如“叮叮噹噹”和“呼…呼…”之音。我厂某号变压器发现此声后几乎停止了运行, 但因其他指示仪表、油温、油位皆正常, 又因当时设备无电源可换, 在加强守卫的情况下强制运行到下班時間, 然后进行了停电檢查, 外观、絕緣电阻及油全作了試驗, 都符合运行标准; 又作了强制运行, 运行后負荷增大及負荷变动时仍有此声。吊出心子作內部檢查时, 发现有三只夹紧螺絲松了两牙, 一只松了三牙, 同时在鉄心上有 M10 螺母二只, 檢修后此响声即消除了。

(四) 外界气候的影响

当高压瓷套管表面落有尘层, 在干燥情况下沒有多大的电导,

但被大雾露湿以后,则降低了放电电压,形成所谓辉光放电及电量放电,呈现“嘶嘶”之声;严重时夜间可见小火花出现,如图2中3

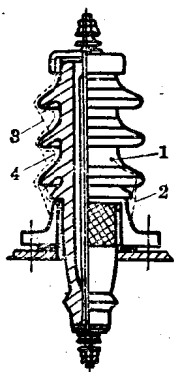


图2 套管放电示意图

1—砂眼孔; 2—损伤放电电路线; 3、4—潮湿放电电路线

及4所示。此声音之强弱与表面电阻(即蒙尘程度成分及湿度)有关,但此声较易识别,因为其他设备(如变流器油开关)亦发声,但套管型号不同亦有差别,并随同雾之消失而声音亦行消失。为了避免此现象,只有定期对套管作清洁工作。

(五) 套管缺陷造成的閃絡放电

如图2中1及2所示,是由于套管表面釉质脱落或伤痕(裂纹、沙眼等)存在,造成表面电阻不均匀,使沿着表面的电场分布变形而形成的放电电压降低,亦能成严重的表面閃絡,而发出“嘶嘶嘶嘶”之声,有时亦可可见火花出现。我厂另外还在35千伏电流互感器上发现三次,发现此缺陷应及时修理或更换套管,不然会有击穿的危险。

(六) 其他方面

是由于变压器内部故障所造成,如铁心接地断线会产生如放电时劈裂声,铁心的短路造成的“铁心失火”亦有不正常的鸣声,但这些在我厂未发现过。

另外,有时因外界声音的影响而没有识别出来会造成意外的惊慌,如昆虫的叫声和低压铜排的振动声,与变压器的音响形成和谐的共鸣,扰乱了变压器正常的声音,会错认为是变压器音响故障;但若仔细的用耳朵接近变压器外壳来分析声音,是可以识别出来。

以上只将我厂变电所中变压器的音响故障作简短介绍,以引起运行人员的注意和便于电气技术人员研究分析声响故障及其原因的参考。

(原载“电世界”1958年10月号)

二、压环引起的故障

袁 嗣 义

(一)引 言

在較大的变压器中，綫圈的上部和下部一般都裝有压环以作压紧装置。压环和軛鉄的夹鉄之間用螺絲撐住，当旋紧螺絲时，綫圈就受到軸向的压力，使綫圈不能发生位移变动，这是压环的主要作用。但是如果压环的設計和装置不当，則可能引起变压器发生故障。容易被疏忽的是压环內周边緣对鉄心的絕緣距离問題，这些变压器在设计制造时，压环內徑造得太小，以致和鉄心的距离留得很少。这种情况将引起下列二种故障：

(1) 在压环沒有接地的情况下，压环在綫圈和外壳間的電場中将有一定的电位；带电的压环与接地的鉄心通过上述很少的距离間隙內放电，致鉄心和压环被电弧所烧坏。

(2) 如果压环因运行中发生移动以致和鉄心直接碰触，同时碰触又发生在压环缺口的兩側，則压环将通过鉄心而成閉路，压环产生强大的短路电流，把鉄心和压环烧坏。

(二)故障实例

故障发生于一具三相双綫圈 500 千伏安的变压器中。

变压器参加运行九个月后即发生故障。故障前負荷电流只达到額定值的 80% 左右，故障时內部发生强烈而連續的“必剎”声，好象油的沸騰声音；同时油温上升至 74°C （平常只有 65°C 左右），于是值班人員把变压器自电路中切断。此时变压器初級的过电流保护装置还没有动作（此台变压器沒有瓦斯继电器装置）。

事后把变压器的心子取出檢查，发现 A 相綫圈的上压环出故障。压环缺口附近約共有 30 平方厘米面积（图中斜綫部分的面积）被燒熔而凝成鉄块，总重約为 60 克的碎鉄珠自鉄件中熔出来，

跌落在綫圈的頂部和內部；壓環與鐵心的二個間隙（圖中的間隙 3 和 6）被熔鐵所充滿，該處的硅鋼片被熔缺的深度約為 10 毫米；壓環缺口兩側上面的二個壓緊螺絲（圖中的 5）與壓環間的絕緣被燒焦，螺絲 5 的螺絲頭也被燒去了一半；變壓器油經試驗結果，閃點降低為 96°C ，耐壓和酸價沒有特殊變化，變壓器的其他部分仍完好。

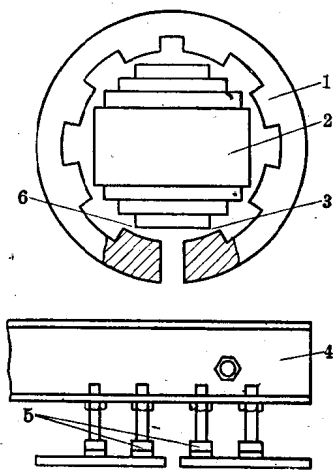


圖 3

1—壓環；2—鐵心；3, 6—間隙；
4—槽鐵；5—螺絲

為了比較，我們檢查了 B 相的上壓環情形，發現 B 相上壓環的間隙 6 已被接通，間隙 3 只剩下 0.15 毫米的絕緣距離，其他位置的間隙也只有 2 毫米左右。

根據上述檢查結果，我們認為故障是由于壓環與鐵心的距離不夠所引起的。這個距離原來已經很小或已碰接，運行期間壓環

發生移動，造成壓環與鐵心二點接通。于是強大的短路電流把壓環和硅鋼片燒壞。另外螺絲 5 的絕緣被波及而燒焦，螺絲和槽鐵構成另一個閉路，于是故障繼續擴大，直至停用變壓器時為止。

第二個實例發生于一具三相 750 千伏安，13.2 千伏/6.6 千伏，Y 接，單圈變壓器中。變壓器在運行時發現內部有間歇的“吱吱”的跳火聲，就取出心子檢查。結果在壓環與鐵心的間隙處發現四處有跳火痕迹，附近的硅鋼片有薰黑和損缺現象。這些壓環是與地絕緣的，壓環對鐵心的距離只有 1~2 毫米左右。後來將壓環內徑加大，使間隙距離達到 6 毫米以上，故障就消除。

類似的故障還發生于一具單相 2000 千伏安，13.2 千伏/2.3 千伏的雙綫圈變壓器中。這具變壓器運行時內部發生跳火聲音，經吊出心子檢查，發現壓環與鐵心間有跳火痕迹。于是將壓環與鐵心的間隙增大為 10 毫米，跳火聲亦即消除。

(三) 結 論

(1) 变压器的压环与鉄心間的絕緣間隙距离不能太小，否則將引起故障。

(2) 变压器在大修时，必須注意檢查压环与鉄心的間隙距离是否足够，如發現不够时，应即改善。

(3) 改善上述缺陷，一般可采取加大压环內徑的办法，同时应将压环接地。但必須注意防止压环二点接地或造成压环閉路的一切可能。

(原載“电世界”1958年3月号)

来 函 謝 詞 謹 此 佈 告

大型变压器耐压試驗时的异常現象

周 錫 賢

某新建变电站工程装有国产三相三繞組 SFSL-10,000/110 型 110/38.5/6.6 千伏 10,000 千伏安变压器一台。安裝结束后,經過試驗,发现高压对地絕緣电阻較出厂試驗結果低逾 50%, 其他試驗数据判断均属正常。当即致函制造厂詢問,經答复认为絕緣电阻低的原因,可能系試驗仪表、操作方法、被試物表面清洁情况及气候因地区不同的影响等客观原因所造成,判断时可与其他試驗数据共同加以分析研究,再作定論。从其他試驗数据判断,变压器絕緣性能是好的,可以进行耐压試驗,耐压試驗前各种試驗結果如表 1 所示。

一、第一次耐压試驗情况

我們先使用单相 10 千伏安、100,000/400 伏耐压試驗机对变压器中压、低压繞圈进行耐压試驗。先进行中压对地耐压試驗,电压按制造厂出厂試驗电压的 75% 計为 63.75 千伏,利用球間隙量測試驗电压,当时气温 31.5°C, 油温 35°C, 耐压后 13 秒钟,发现在油枕下部靠近低压側处有极輕微放电响声,但毫安表未有波动,讀数为 230 毫安。因发现有放电响声,立即停止試驗工作。当时根据响声情况判断可能系内部剩余空气击穿所致,故将所有套管进行放气,并量测中压对地絕緣电阻 (油温 35°C), 所得結果如下:

絕緣电阻	$R_{15''}$	$R_{30''}$	$R_{45''}$	$R_{60''}$	$R_{60''}/R_{15''}$
中压对地	200	350	400	500	2.5

从测得絕緣电阻值判断中压繞圈未发现有关击穿情况,随即进行第二次耐压試驗。在进行此次試驗前,因球間隙限流电阻发热

表 1 变压器耐压試驗前各种試驗結果

	絕緣电阻,兆欧,25°C						泄漏电流,微安,油温 40°C, 气温 29°C								C ₂ /C ₅₀		介质損							
	15"		30"		45" 60"		出厂試驗 值 26°C	2.5 千伏		5 千伏		7.5 千伏		10 千伏		15 千伏		20 千伏		25 千伏		30 千伏		
	油温 38°C																							
高压对地	820	440	490	540	1.66	1150		7.9			14.4	19.2	27.2	33.2	40.4	1.05	1.69%							
中压对地	320	350	450	550	1.70	440		6			9.1	11.8	13.7			1.12	2.1%							
低压对地	200	320	440	500	2.50	400		4.5	6.1	7.1	9.5					1.06	1.38%							

表 2 变压器耐压試驗后各种試驗結果

	絕緣电阻,兆欧,油温 40.5°C					泄漏电流,微安,油温 41°C								C_2/C_{30}	介質損 油温 41.5°C
	$R_{15''}$	$R_{30''}$	$R_{45''}$	$R_{60''}$	$\frac{R_{60''}}{R_{15''}}$	2.5	5	7.5	10	15	20	25	30		
						千伏	千伏	千伏	千伏	千伏	千伏	千伏	千伏	千伏	
高压对地	220	275	295	315	1.49		14.8		25.88	36.52	46.55	57.53	71.1	1.11	1.963%
中压对地	175	250	290	360	2.06		12.8		18.58	26.72	33.95	44.23	53.2	1.07	2.36%
低压对地	155	210	240	270	1.74	6.4	11.8	14.5	24.58					1.07	1.59%

表 3 第三次耐压試驗前后的絕緣电阻值

	耐压前,兆欧,油温 59°C					耐压后,兆欧,油温 57°C				
	$R_{15''}$	$R_{30''}$	$R_{45''}$	$R_{60''}$	$\frac{R_{60''}}{R_{15''}}$	$R_{15''}$	$R_{30''}$	$R_{45''}$	$R_{60''}$	$\frac{R_{60''}}{R_{15''}}$
	油温 57°C									
高压对地	140	160	170	180	1.29	145	165	180	190	1.31
中压对地	100	130	140	155	1.55	100	130	150	170	1.7
低压对地	80	98	105	110	1.38	95	120	130	135	1.42