

第 1 章

变压器典型故障诊修

技巧

1-1 变压器的铁芯必须接地，而且只能一点接地

变压器运行时，其铁芯处在强电场中，具有很高的电位。如果不接地，势必在接地的油箱、铁轭等之间产生较高的电位差而导致放电现象，加速绝缘油的分解和劣化，造成事故。同时也无法判断变压器在试验时或运行中的绝缘是否良好。但若将铁芯硅钢片几点接地，则硅钢片沿接地处形成涡流通路，使涡流损失加大，造成铁芯局部发热，这也是不允许的。硅钢片之间虽然涂有绝缘漆，但其绝缘电阻较小，只能隔断涡流而不能阻止高压感应电流，故只要将一片硅钢片接地就相当于整个铁芯都接地了（俗称一点接地）。

1-2 变压器低压侧（400V）中性点接地较好

变压器低压侧（400V）中性点接地为宜。因为接地后低压侧

不会出现比相电压更高的电压，当有一相接地时，会快速熔断熔丝，并且没有弧光接地现象，这对防火有好处。在高、低压侧线圈击穿时，也可避免人身接触高压电的危险。如果中性点不接地，当一相接地后，人若与另一相接触，则人体对地电压为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，危害性较大。

另外，有小部分地区将低压侧中性点经过一只电压保安器或电流保安器接地。当人体与相线接触时，泄漏电流流经人体，保安器即动作（示警或跳闸），使人体能及时脱离电源。然而这需增加很多其他工作，例如必须提高低压电网的绝缘电阻等等。中性点通过接地保安器接地的方法，仅在试点中，没有全面推广实施。

1-3 两线一地制的电力变压器 中相不直接地

有些地区变电所的变压器二次侧（10kV）采用两线一地制向农村供电。选择两线一地制变压器的接地相时，要考虑到接地相对附近通信线路的影响。因为变压器的中柱磁路短，中相电流的谐波分量高，故选用变压器三相中的边上两相接地对通信线路的干扰较小。如果变电所的主变压器将 C 相接地，其他配电变压器也以 C 相接地为妥。这样使接地相有规律，不致混淆而发生意外事故。

1-4 安装有气体继电器的变压器时， 应该倾斜安装

在安装有气体继电器的变压器时，应该倾斜安装，倾斜方向如图 1-1 所示。即装有油枕的一边应较高，使其顶盖沿气体继电器方向有 1% ~ 1.5% 的升高坡度。这样使变压器内产生的瓦斯易跑向油枕，从而促使气体继电器正确、可靠地动作。

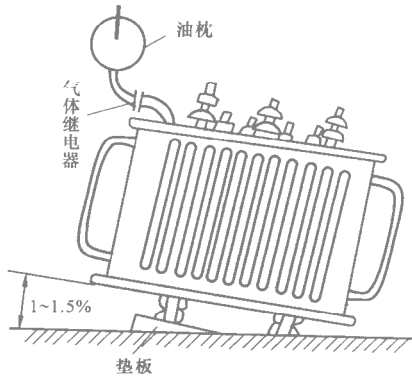


图 1-1 变压器倾斜安装示意图

1-5 变压器吸湿器上密封胶圈须取掉

电力变压器上吸湿器的结构如图 1-2 所示。变压器在出厂时，油封碗处用密封胶圈密封。在变压器投入运行前应将密封胶圈取掉，这是使用的基本常识。如果疏忽了这个问题，那么电力变压器将不能自由呼吸。当负荷较大时，变压器油温上升，油体积膨胀，内部气体又不能排出，

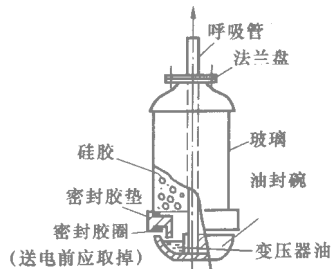


图 1-2 吸湿器结构示意图

变压器内部压力逐渐升高。当压力升高到一定程度时，油箱中的油经气体继电器向油枕方向流动，导致轻瓦斯误动作发出信号。所以，要防止变压器轻瓦斯误动作既要保持油位正常，又要保证呼吸道畅通，特别是新变压器在投入运行前，一定要将吸湿器上密封胶圈取掉，并在油封碗内充满合格的变压器油。

1-6 电力变压器的高压绕组通常放在外层，而低压绕组放在内层

中、小容量电力变压器的高、低压绕组都采用同心圆筒式结构，高压线圈放在外层。因为变压器铁芯是接地的，低压线圈放在里面绝缘较容易；同时，电力变压器需要调压抽头，高压线圈导线较细，圈数较多，故易抽头，因此将高压线圈放在外层，使抽头引出比较方便。

1-7 变压器低压侧引出线的裸铝排或裸铜排上要涂一层绝缘清漆

在变压器低压侧引出线的裸铝排或裸铜排上涂一层绝缘清漆的原因有两个：在油浸式变压器中，如果裸铝排或裸铜排直接与变压器油接触，铝或铜会成为油氧化时的催化剂，加速变压器油的氧化，降低其绝缘强度。因此，裸铝排或裸铜排上要涂一层绝缘清漆；在超高压变压器中，裸导线与油箱及铁芯等会形成不均匀电场。在曲率半径较小的裸导线上涂一层绝缘清漆，就可以减小导线与油箱、铁芯等金属构件之间的泄漏电流。

1-8 不宜从上部往电力变压器中注油

往电力变压器大量注油时，如果将变压器油通过油枕，比较大的流速注入油箱内，就会在变压器油内积聚静电。尤其当变压器油黏度较大或夹杂微量小固体，或在干燥的冬天，就更容易积聚静电。静电积聚到一定程度，就会发生火花放电，甚至引起火灾。所以一般不宜从上部往变压器中注油，但从上部补油是可以的。

电力变压器正确的注油方法是从下面的油阀门注油，并将进油管接地，使油靠本身压力慢慢地注入，这样就可以避免静电危

害，保证注油的安全。

1-9 电力变压器加油过程中，应将其顶部的放气螺栓松开，进行放气

电力变压器添加绝缘油的过程中，应将其顶部或靠近顶部的放气螺栓松开，使油箱内残存的气体随着油位的升高而徐徐排出，以防止由于残存气体的存在使变压器油位计指示不正确、气体继电器误动作、降低部分元件的电气强度而产生放电或击穿。这些放气螺栓安装在防爆管顶部、充油套管升高法兰盘上部、35kV 套管顶部、人孔门和手孔盖板等处。

1-10 变压器注油后，必须静放 24h 以上方可进行耐压试验

变压器在注油时，其内部将产生许多气泡，潜伏在变压器油及部件中。由于绝缘材料的介电常数不同，因此承受电场强度的能力也不同，介电常数小的绝缘材料不能承受较大的电场强度。如果变压器注油后便进行耐压试验，因空气（气泡）的介电常数小于变压器油及其他绝缘材料的介电常数，随着耐压试验电压的升高，气泡很快被击穿，包泡周围绝缘材料局部温度升高，电流也增大，温度升高到一定程度时，导致绝缘击穿。所以电力变压器注油后，必须按有关规程规定静止 24h 后，方能进行耐压试验，以防因气泡未排完而造成绝缘击穿，损坏变压器。

1-11 电力变压器中油量过多或过少，都严重影响变压器的安全运行

电力变压器中油量过多或过少，都严重影响变压器的安全运行，会导致变压器停运、损坏，甚至发生火灾。所以每台电力变

压器必须具备油标（也叫油面计），经常检查油面的高低是变压器外部检查的一个主要项目。

电力变压器中的油是变压器油，变压器油的作用为绝缘和散热。电力变压器油在运行时油温较高，因热胀冷缩而膨胀，所以油面以上应为油的膨胀留出空隙。在容量不满 100kVA 的小容量变压器中，变压器油并不注满到油箱的顶盖，而在顶盖上有一个特殊的孔，当油由于热而膨胀或因冷而收缩时，空气可以从这个孔进出。不过这种变压器里的油，因为和空气的接触面积很大，容易吸收空气中的氧气和潮汽，油变质损坏较快。因此，100kVA 及以上容量的电力变压器都在顶盖上装置油枕，用钢管和油箱连接，使得整个变压器油箱内都注满变压器油，在运行时由热而膨胀的油可以到油枕里去。这样油和空气接触的面积大大减少，且空气不会直接和变压器油箱里面的油接触，而只和油枕里的油发生关系，这样就有效地防止了空气对油箱里的油的破坏作用。油枕的体积一般是变压器油箱的 $1/10$ ，变压器中的油量要保证在最冷的时候，油箱里始终充满变压器油，油枕里有一定量的油，油面在油枕直径 $1/10$ 处，即油面计里有指示；在最热的时候不能让油溢出来，油枕里有一定空间，油面不得超过油枕直径 $6/10$ 处。电力变压器正常运行时，油面计指示在 $1/4 \sim 3/4$ 为佳！

综上所述，电力变压器里加注的油量过多，当环境温度较高时，变压器满载或超负荷运行时，特别是当变压器内部发生故障时，变压器油的温度突然增加，而且在大多数的故障情况中有气体产生（油的蒸气，油分解出来的气体，如氢气等），这样由于突然的变化，油面上的空气和产生的气体不能很快排除出去，就可能在变压器油箱里产生很大的压力，结果使变压器的外壳和油箱变形，甚至破裂损坏。更甚者，由于套管破裂和闪络，油在油枕内油的压力下流出，并且在顶盖上燃烧，发生火灾。因此变压器油的油面高出规定时应放油至适当高度。

变压器里的油量因渗漏、取样、放油等而减少，导致油面位置在油标（油面计）里找不到。当冬季温度剧烈降低或晚间负荷

剧烈减少时，油温降低，体积缩小，油面过低，造成装置的气体继电器动作而停电；无气体继电器装置的变压器，油面过低会使变压器的上层线圈、分接头切换开关触头、铁芯的穿心螺栓等失去绝缘和散热，这不仅导致变压器过热，而且当铁芯的穿心螺栓绝缘受到变质油、空气中水分和氧气侵蚀损坏后，会造成铁芯大量发热，铁芯硅钢片中间绝缘逐渐损坏，使发热更加厉害，发展下去可能引起火灾。因此，运行中的电力变压器不论在什么时候，油枕里面有一定量的变压器油，即油标指示面在最下面的一根线（一般标注 -35°C ）。如果油缺少了，应在油枕上面的加油孔把质量良好的变压器油加进去。在检查了解油面时，尚需注意因油标管堵塞等原因造成的假油面。否则也会发生变压器缺油运行，同样会导致上述事故发生。

1-12 变压器油的混合使用

运行中的变压器补充加油历来有一种不成文的规定，即不同种类或型号的变压器油原则上不能混合使用。如果补充少量同一产地的不同型号的油是允许的，所谓少量是指在 5% 及以下。若混油量较多，新旧油混合，有可能降低油质，影响变压器的安全运行。产地不同的变压器油不能任意混用，因各地变压器油的油基和制取工艺过程不尽相同。这在不少地区已成为沿用戒律。但根据运行实践和实验室的试验结果证明，不同种类或型号的变压器油原则上不能混合使用的论点是不科学的。现就可能发生的几种混油使用情况分述如下。

1. 国产变压器油的相互混合使用

(1) 在新油中补加新油或在接近新油标准的运行油中补加新油。当混合的油品仅牌号不同时（如10号油与25号油），可以直接混合，使用时不需要做混合试验，这是因为国产变压器油都是矿物基原油常压三线的馏分（即石腊基原油或环烷基原油作为基础油），即经脱蜡、酸碱精制白土吸附（或溶剂白土）、调配

2.6 二叔丁基对甲酚抗氧化剂等工艺，因炼制工艺及添加剂的品种均相同，所以混合后油品的质量除凝固点外其他理化电气性能均无不良变化，如表 1-1 所示。

表 1-1 不同混合比例的国产油理化性能试验

10 号油与 25 号油 混合比	密度	闪点 ($^{\circ}\text{C}$)	酸值 (mgKOH/g)	pH	氢氧化钠 抽出物 酸化测 定法	115 $^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 老 化试验后 酸值 (mgKOH/g)	介质损失角 $\text{tg}\delta\%$	
							室温	70 $^{\circ}\text{C}$
							10 号油	0.868
25 号油	0.875	144	0.02	< 5.6	1	0.034	0.10	0.42
10 号:25 号 = 2:8	0.872	144	0.02	> 5.6	1	0.035	0.12	0.40
10 号:25 号 = 5:5	0.871	146	0.02	> 5.6	1	0.032	0.08	0.38
10 号:25 号 = 8:2	0.868	146	0.017	> 5.6	1	0.030	0.05	0.35

注 10 号油及 25 号油均系新油，并含有烷基酚添加剂。

(2) 已降低到运行允许标准的油中补加新油时，应作油泥析出试验，以确定能否混合或混合的适当比例。酸值在 0.1mgKOH/g 、pH 值在 4.2 以下时表明运行中油品处在氧化增进阶段，油中已生成有一定量的可溶性油泥。此油若混入大量新油时，因新油对油泥溶解度比旧油小，常会引起油泥析出，如表 1-2 所示，可见劣化油中混入大量新油，老化试验结果并不能得到改善。同样会析出油泥，如附着在绕组表面将会导致绝缘水平和导热水平的降低。

表 1-2 运行中已劣化的油与新油的混合试验

试验项目	新油	劣化油	新油对劣化油的混合比			备注
			5%:95%	20%:80%	50%:50%	
YS-21-1-78 油泥析出试验	清洁 透明	透明 无油泥	透明 无油泥	透明 无油泥	底部略 显混浊	新油为国产 10 号新油；劣化油为国产 25 号旧油（酸值 0.109mgKOH/g ， $\text{pH}4.1$ ）
YS-25-1-78 老化试验 ^①	清洁透明 色略深	混浊 有油泥	混浊 有油泥	混浊 有油泥	混浊 有油泥	

原水电部颁发的《电力系统油质试验方法》规定该项试验用于变压器混油老化试验。

油泥析出试验方法是：按新旧油的混合比例配出油样，取 10mL 于 100mL 带磨口塞量筒中，同正庚烷稀释至 100mL 刻度，然后摇匀，置暗处 24h 后对光观察，以无沉淀物析出为合格。

(3) 混合油用于低温环境的充油电气设备时，应注意混合后凝固点的变化。这对于想混入高牌号油（如将 25 号油混到 10 号油中）以降低凝固点时尤为重要。混合后凝固点曲线如图 1-3 所示，不成线性关系。

2. 国外进口油、牌号不明的油、加有其他类型添加剂，以及加氢变压器油等需补加不同种类或牌号油品

这就要事先作混油试验以

确定能否混合使用。这是因为炼制上述油品的原油来源不同和炼制工艺不同，因此油品氧化产物的形成过程不同，有时氧化初期的酸性产物极易脱水而凝集成油泥从油中析出。加氢油有对光的敏感性，因而不能把国产油品氧化反应的现象和过程作为上述混合油氧化过程的解释。特别对于欲混合的两种油内含有添加剂（有的国家除抗氧化剂外还加有金属纯化剂等）的类型不明时，在未经混油样品的老化试验或化学分析清楚之前更不应随意混合。另外，即使来源同一个国家不同充油设备内的绝缘油，在未经试验之前也不应混合使用，因为不少国家有变压器油和开关油之分，两种油的理化性质，如闪光点截然不同。

混油试验方法是取混油油样 200g，在有铜催化条件下于 115℃ 恒温时放置 72h，冷却后测酸值，然后取一定量老化油作油泥析出试验，方法同上。对于上述油品混合油的试验质量不低于

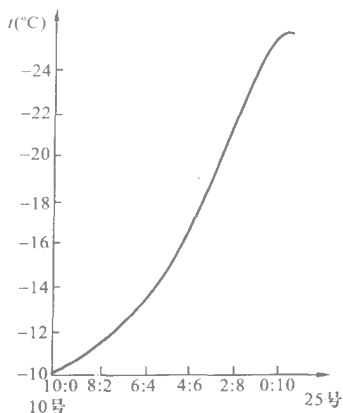


图 1-3 混合后凝固点曲线示意图

运行中油时，才能混合使用。

3. 同是矿物基变压器油的不同牌号和来源的新油或新油和运行中油的混合比不大于 5% 时，混合是允许的

这是因为少量油品的混合不构成对油泥溶性的影响，如表 1-2 所示。这从日常检修中也可以得到说明。例如，一般充油电气设备现场检修或更换新油时，虽然都要经过冲洗，但变压器的绕组和散热器等部位是很难冲洗彻底的，仅在变压器绕组绝缘中浸渍的旧油与更换的油即已形成了 5% 的混合，而事实上这样的换油是不会发生不良结果的（当然，这并不是主张现场换油时不再需要冲洗的，只是用事实说明同是矿物基变压器油的不同牌号和来源的新油或新油和运行中油的混合比不大于 5% 时，混合是允许的）

1-13 变压器上层油温不要超过 85

变压器油的温度升高，将使油的氧化速度增大，促进老化，变压器油变混浊，黏度、酸度、灰分增加，绝缘性能降低。根据试验知道，当平均温度每升高 10 时，变压器油的劣化速度就会增加 1.5~2 倍。油的氧化起始温度为 60~70℃。低于这个温度，油很少变质；超过这个温度开始氧化。为此对变压器的上层油温作了一个限制，规定为 85℃，以免温度再高后氧化加剧，影响变压器的寿命。

1-14 变压器线圈温升为 65℃

变压器在运行中要产生铁损和铜损，这两部分损耗将全部转换成热能，使线圈和铁芯发热，导致绝缘老化，缩短变压器的使用寿命，国家规定变压器线圈温升为 65 的依据是以 A 级绝缘为基础的。 $65 + 40 = 105$ （ ）是变压器绕组的极限工作温度，在油浸变压器中一般都采用 A 级绝缘，A 级绝缘的耐温度为

105℃。由于环境温度一般都低于 40℃，故变压器绕组的温度不会超过极限工作温度，即使在短时间内达到 105℃，由于时间很短，对绕组的绝缘并没有直接的危险。

1-15 扇形温度计的乙醚管不许踩压

扇形温度计（又叫信号温度计）如图 1-4 所示，包括一个带电气接点的温度计和一个测温管 3（温包），这两者之间用金属软管 2 连接。测温管固定在油箱顶盖上的一个开口套筒内，套筒内注满绝缘油。用管接头 1 连接测温管和金属软管，软管的另一端连到温度计的气压弹簧管（图 3-4 中未画出），管内充满氯

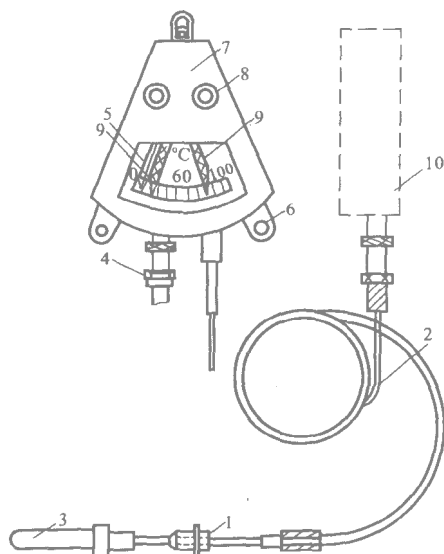


图 1-4 扇形温度计示意图

- 1—管接头；2—金属软管；3—测温管（温包）；
4—接线端子；5—指针；6—固定孔；7—外壳；
8—调节螺钉；9—示位指针；10—表盘

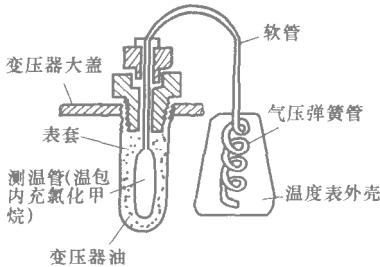


图 1-5 温度计安装示意图

当温度上升到示位指针所整定的数值时，两对接点分别导通，给出信号或者操动冷却系统的自动装置。

图 1-5 是温度计安装示意图，乙醚管不许踩压，软管踩砸或弯曲半径太小，均容易使管坏漏气，使表不能正确反映温度。

1-16 变压器储油柜上油位指示计的刻度是表示 变压器未投入运行时环境温度下的油位线

电力变压器储油柜（也叫油枕）上油位指示计的刻度有 -30°C 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 和 $+40^{\circ}\text{C}$ 三个标志（玻璃管油位计上也标有 -10°C 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 和 $+40^{\circ}\text{C}$ 三个油面标志），是表示变压器未投入运行时的油位线。当环境温度为 $+40^{\circ}\text{C}$ 时，油柜的油位线应在 $+40^{\circ}\text{C}$ 上，以此类推。此油位不是指示变压器的油温，也不是指示变压器运行时所在环境温度下的油位线，而是作为变压器在投入运行前提示变压器油应注入的高度，即在安装变压器加油时一次性参考应用。

1-17 变压器分接开关是调整电压的

电力网络的电压是随运行方式和负载的大小变化而变化的。

化甲烷或乙醚液体。当电力变压器的油温变化时，氯化甲烷的压力也跟着变化，于是弹簧管变形而使表计的指针（黑针）偏转，指示出相应的温度数值。在指针的轴上固定一个接触板，它沿着两个带有触头的扇形片滑动，两个触头片分别接到黄色和红色的示位指

电压过高或过低，都会直接影响变压器的正常运行、用电设备的出力以及使用寿命。为了使变压器能够有一个额定的输出电压，大多数是通过改变变压器一次绕组分接抽头的位置实现调压的。即在变压器一次侧的三相绕组中，根据不同的匝数引出几个抽头，这几个抽头按照一定的接线方式接在分接开关上，开关的中心有一个能转动的触头。当变压器需要调整电压时，改变分接开关的位置（实际上是通过转动的触头改变绕组的匝数，见图 1-6），就改变了变压器的变压比。因为

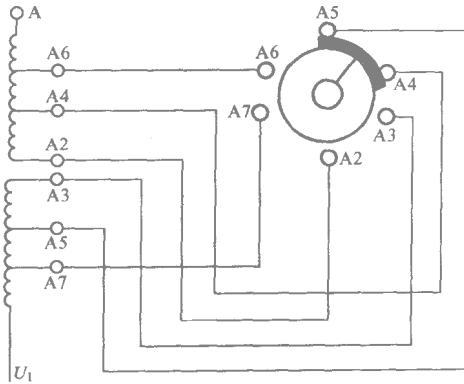


图 1-6 变压器分接开关原理图

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \quad N_1 U_2 = N_2 U_1 \quad U_2 = \frac{N_2 U_1}{N_1}$$

所以，改变变压器一次绕组的匝数，二次电压也相应改变，从而达到了调节电压的目的。

1-18 分接开关的位置应视电网电压而定

1968年（文化大革命年代）9月，出身不好的王某任某矿电工组长，数日电压偏低，提升绞车运行不正常影响生产，矿领导

很着急，怕影响国庆献礼。王某经左思右想后，在一天下班后，叫上其徒弟电工甲去变电所重地。首先断开高压跌落式熔断器，经验电放电确认无电后，让电工甲转动装在变压器油箱盖上的分接开关手柄，调节到 III 的位置。经检查测试无误后闭合高压跌落式熔断器。其间电工乙因负有监督电工组长王某的任务，也跟随去了，且看了变压器铭牌，开关位置“III”对应的是高压额定电压 95% (9500V)。于是当晚汇报矿领导，说王某所作所为是想破坏生产，有意将电压调得更低。矿领导不懂电工知识，听后认为对呀！现在电压偏低就使绞车运行不正常，王某再调低至 9500V (10kV 线路)，那明天就不能生产啦。故让电工乙严密监视王某。待第二天一上班立即向上级报告，并请人来参加破坏生产现场会。电话刚打完准备布置会场，绞车房负责人前来反映，说电压返升已达正常；绞车起动和运行均正常。问及邻近同线路供电的单位，却说电压仍然偏低。这是怎么回事？恰好上级部门派人已到矿场，建议先叫来电工甲问问，电工甲听后真是哭笑不得。然后要过一支笔，在纸上画了个图（见图 1-7）说：一般情况下，小型容量变压器，为调整二次电压，常在每相高压绕组末段的相应位置留有三个（有的是五个）抽头，并将这些抽头接

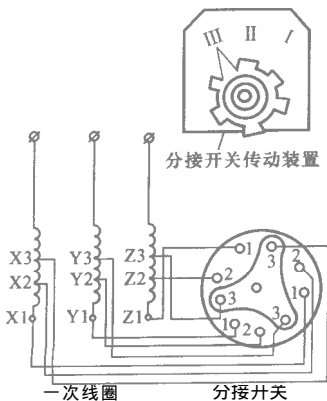


图 1-7 分接开关原理示意图

到一个开关上，这个开关就叫作“分接开关”。变压器一次绕组的三个分接抽头，中间一个对应于额定电压，其余两个则和额定电压相差 $\pm 5\%$ 。这些抽头标志为 X1、X2、X3；Y1、Y2、Y3；Z1、Z2、Z3。它们分别是高压绕组额定电压时匝数的 105%、100%、95%。抽头与分接开关的相互绝缘的静触头连接起来，动触片是由铜片或其他良导体制成，有三个突出

部分，它们互成 120° 。转动动触片把三个不同相的相应静触头短接，这样就能改变变压器一次绕组的匝数，二次电压也相应改变，从而达到了调整电压的目的。调整电压时，分接开关的位置应视电网电压而定。当时因电网电压低于额定电压，接近 9500V ，将分接开关放在“Ⅲ”的位置，这时，变压器一次绕组匝数为额定时的 95% ，所以变压器二次侧电压就接近或达到绞车电动机的额定电压 380V 了。

1-19 变压器分接开关变档时须测量各分接抽头的直流电阻

变压器分接开关变档调整电压时，需要测量各分接抽头的直流电阻，这是因为变压器分接开关的触头部分在运行中可能磨损，而未使用的分接开关的触头部分长期浸在油中，也可能因氧化而在触头表面生成一层氧化膜，使开关接触不良。为了防止分接开关故障，在分接开关换档时，必须来回转动分接开关手柄 10 次左右，以消除触头表面的氧化膜和油垢，使其接触良好；然后核对开关指示位置与实际接线是否符合；最后测量切换后的各分接抽头的直流电阻值，三相应平衡，互差不能超过 2% ，否则，应查明原因，进行处理。

1-20 变压器不平衡运行的后果

由于种种原因，运行中的配电变压器在一定程度上存在着三相负载不平衡运行现象。运行规程规定，运行中的变压器的零序电流不得高于变压器低压侧额定电流的 25% 。但一些工矿企业和农村用电仍存在着严重的不对称运行现象，这是极不经济和不安的。

1. 增加配电变压器的损耗

众所周知，变压器在运行中存在着功率损耗，它包括空载损

耗和负载损耗。其中，空载损耗随变压器运行电压的大小而变化。当变压器接于一定的电网上，其运行电压基本不变，即空载损耗可以看成是一个恒量。负载损耗随变压器运行负荷的变化而变化，与负荷电流的平方成正比。当三相负载不平衡运行时，变压器的负载损耗可看成三台单相变压器的负载损耗之和。

在任意负载下变压器运行的功率损耗为

$$\Delta P_T = \Delta P_0 + \frac{1}{3} P_d (\beta_A^2 + \beta_B^2 + \beta_C^2)$$

即为
$$\beta_A = \frac{I_A}{I_e}, \beta_B = \frac{I_B}{I_e}, \beta_C = \frac{I_C}{I_e}$$

式中 ΔP_T ——变压器在任意负载下的总损耗；

ΔP_0 ——变压器的空载损耗，也叫铁损；

P_d ——变压器额定状态时的短路损耗，也叫铜损；

$\beta_A, \beta_B, \beta_C$ ——变压器各相的负荷率。

I_A, I_B, I_C ——变压器运行中各相运行电流；

I_e ——变压器的额定电流。

【例 1】 一台容量为 800kVA 的配电变压器，其 $\Delta P_0 = 1700\text{W}$ 、 $P_d = 11500\text{W}$ 、 $U_d = 4.5\%$ 。在 $I_A = 1154.7\text{A}$ 、 $I_B = 577\text{A}$ 、 $I_C = 289\text{A}$ 及 $I_A = I_B = I_C = 673.6\text{A}$ 的两种输出方式下，输出容量相同，试计算其相应的有功损耗。

解 (1) 在不对称运行下的功率损耗。

$$\begin{aligned} \Delta P_T &= \Delta P_0 + \frac{1}{3} P_d (\beta_A^2 + \beta_B^2 + \beta_C^2) \\ &= 1700 + \frac{1}{3} \times 11500 \times \left[\left(\frac{1154.7}{1154.7} \right)^2 + \left(\frac{577}{1154.7} \right)^2 + \left(\frac{289}{1154.7} \right)^2 \right] \\ &= 67300(\text{W}) \end{aligned}$$

(2) 在对称运行下的功率损耗。

$$\begin{aligned} \Delta P_T &= \Delta P_0 + \frac{1}{3} P_d (\beta_A^2 + \beta_B^2 + \beta_C^2) \\ &= \Delta P_0 + P_d \beta^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1700 + 11500 \times \left(\frac{673.6}{1154.7} \right)^2 \\
 &= 51600 (\text{W})
 \end{aligned}$$

(3) 两种损耗的比较。

$$\Delta P_{\text{Tb}} - \Delta P_{\text{Td}} = 6730 - 51600 = 15700 (\text{W})$$

由以上计算可见，变压器在相同输出容量情况下，不对称运行大大增加了变压器的损耗。

2. 降低了变压器的出力

配电变压器是三相绕组所组成的，其最大输出功率为每相输出容量之和，即 $S = S_A + S_B + S_C$

由于配电变压器绕组结构是按对称运行情况下设计的，其每相绕组结构性能均一样。所以变压器允许最大出力只能按三相负荷中最大一相为限。因此，变压器不对称运行出力将下降。

【例 2】 一台 100kVA 的配电变压器，二次电流为 $I_A = 144\text{A}$ 、 $I_B = I_C = 72\text{A}$ ，则其最大输出容量为

$$S = 144 \times 0.22 + 72 \times 0.22 + 72 \times 0.22 = 63.4 (\text{kVA})$$

$$\frac{S}{S_e} = \frac{63.4}{100} = 63.4\%$$

可见，不对称运行的变压器其最大输出容量将大大降低。这对变压器的运行安全将有很大的影响。由于输出最大容量降低，变压器的备用容量亦相应减少，同时，过载能力也降低。这时，运行中的配电变压器如果短时产生过载，就有可能引起过热以致烧坏，所以是极不利的。

3. 零序电流过大，温升增加

配电变压器负载不对称，产生零序电流。这个零序电流随变压器不对称程度的大小而变化。不对称程度越大，零序电流越大。

在变压器内部，由于零序电流的存在，在铁芯中产生零序磁通。由于配电变压器高压侧设有零序电流，则不能由高压侧来的零序磁通来抵销低压侧零序磁通。其零序磁通只能通过变压器的