

强油冷却式变压器油流带电分析安全工程师考试 PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

[https://www.100test.com/kao\\_ti2020/645/2021\\_2022\\_\\_E5\\_BC\\_BA\\_E6\\_B2\\_B9\\_E5\\_86\\_B7\\_E5\\_c62\\_645388.htm](https://www.100test.com/kao_ti2020/645/2021_2022__E5_BC_BA_E6_B2_B9_E5_86_B7_E5_c62_645388.htm)〔摘要〕

高强度的绝缘油在干燥的油道中流动时，就会在油纸界面上产生电荷分离，形成油道中局部电荷的积累，进而产生闪络放电，引起变压器故障。分析电荷积累与油流的速度、温度、变压器的结构形式、绝缘材料的表面情况，油的绝缘程度、油嘴等方面有关。建议对新设计的、正在安装的及未投运的变压器进行油流带电测试，以避免或减少变压器事故。〔关键词〕变压器；绝缘油；油流带电 由于变压器的容量和电压等级不断增大，对强油循环冷却要求的提高，绝缘结构的紧凑化，材料干燥度的增加，使得绝缘油流过油道时，就会在油纸界面上产生电荷分离，进而形成油道中局部电荷的积累，即出现油流带电现象。这种积聚达到一定程度，在油中产生浮云状的直流势差，产生闪络放电，破坏油道的绝缘性能，因此油流带电成为引起变压器故障的因素之一。近些年来，国内运行中的500 kV变压器相继发生数起重大事故，据有关资料报道，安徽洛河、山东潍坊的故障变压器就存在着明显的油流带电情况，部分500 kV变压器在出厂实验时也发现有油流放电的迹象，甚至在个别运行中的220 kV变压器也曾有类似的油流放电现象出现。因此，油流带电问题应引起我们的高度关注。

### 1 油流带电的机理

变压器中的流体带电不同于其它的流体带电，因为变压器通常由液体和固体两种材料承担电力绝缘，而且，它的流体带电是在一封闭的系统内进行，也就是在一个气、水成分受控制的封闭循环系统内进行。在变压

器中油流带电，特别是紊流的影响已导致几起变压器烧毁事故，如洛河电厂的变压器事件。紊流为什么起电呢？这是因为在紊流条件下，流速分量同流向垂直，如单管模型的流体带电表示电荷分布不规律。剩余电荷密度几乎均匀地分布于流体截面，电荷从管壁上激出。

## 2 影响油流带电的几个因素

从变压器的结构来看，可分为芯式与壳式。大亚湾核电站的主变为芯式结构，联变为壳式结构。有关资料表明：壳式结构的油流带电现象较多于芯式结构。现将国内外资料中，有关影响油流带电的几个因素分述于下。

### 2.1 与流速及温度的关系

从泄漏电流与流速、油温的关系曲线可知，这里流速等于 $1\text{Pu}$ ，表示最小流速。在这个流速下油温达到 $50^\circ\text{C}$ 时才会发生静电放电。通常，由层流引起的流体电流同流速成正比，但在紊流条件下，流体电流同平均速度的 $7/4$ 次方成正比，假若有旋涡产生，将会同平均流速的二次方成正比。但实际运行的变压器结构复杂，油流的局部偏差不可避免，即使在设计时考虑了油流情况，绕组泄漏电流仍对流速表现出有较大的依赖性，从 $2$ 次方到 $4$ 次方。对油温的依赖关系方面，油温上升，雷诺数增加，流体由层流向紊流变化。当流速为一定值，导电率愈高即油温愈高，电流密度也愈大；反之，油温愈高松弛时间越短，泄漏电流就愈大。此外，图3还说明，任何流速下模型变压器均在 $50\sim 60^\circ\text{C}$ 的油温时出现最大泄漏电流，油温更高或更低，绕组的泄漏电流均有所下降，泄漏电流最大时的油温一般在 $20\sim 60^\circ\text{C}$ 。因此，变压器发生油流放电故障时，其油的温度应在 $20\sim 60^\circ\text{C}$ 范围内；也就是说变压器空载时，其油温在 $45\sim 50^\circ\text{C}$ ，若在 $1\text{Pu}$ 流速下，亦可能会发生静电放电。

### 2.2 绝缘材料的表面情况

各种不同的固体绝缘

材料如牛皮纸、绝缘纤维板和棉布带都会用于变压器中，它们有不同的表面条件及电流密度。带电程度按表面粗糙程度随牛皮纸、纤维板、皱纹纸和棉布带的排列顺序依次加大。棉布带的允许带电程度大约是牛皮纸和纤维板的10倍，同样，皱折牛皮纸使其表面起毛，则带电程度也增加约10倍。此外，从微观的角度看，接触面增大，能导致大量静电电荷产生。这对壳式变压器绕组中的油道接触面来说，是带电的因素之一。

### 2.3 绝缘油的带电倾向

油流带电的基本因素之一是绝缘油有带电倾向。图4是两种绝缘油的差异，此外，还与最小流速有关。所以绝缘油的性质对油流带电影响较大。这对运行中的滤油、油质的质量要求，提出了更高的要求。

### 2.4 其它因素

#### 2.4.1 励磁

静电带电强度随交流场强的增加而提高，当前对流动油和层压板系统的研究表明交流电场作用的增强大约可提高电荷密度5倍。变压器流动油的介电强度随油的流速而变化，油的介电强度也随温度、水份、气泡的存在、杂质及微粒物质而变化。此外，在运行的油/纸介质变压器系统中油和绝缘材料之间的水份是移动的。当变压器温度和压力发生变化时，水份便移至重新建立的平衡状态中，当水份留在或进入绝缘体的表面时，界面流体的导电性也相应地变化，这种情况同样会影响电荷的释放过程。

#### 2.4.2 微粒物质

变压器油中由生产过程中带来的微粒物质除对前面提到的介质特性有影响外，还对静电带电活动有所影响。

#### 2.4.3 电荷注入

已经证明上部流油电荷注入对下部流油的介质强度有所影响。

#### 2.4.4 油嘴

已经证明，油嘴也能产生电荷。

## 3 变压器中局部放电的特征

静电放电发生时的油温大概会在绕组泄漏电流最大的地方出现，最小流速及各种油温下静电放电产生的绕组泄

漏电流近似于常数，在5~8。芯式变压器的静电放电主要在绕组底部附近产生。

#### 4 结论与建议

对于油流带电的测试方法，可以实测电荷量。该方法在制造厂生产时是有条件进行的，但对现场或已投运的变压器就很难办到了。在现场就只能以色谱分析、超声测量作为主要手段，而辅以局放进行监控。因此，建议：

- (1) 对于新设计变压器在型式试验时，做油流带电试验。做空载全电压试验，油泵全开12 h以上。试验前后做色谱试验，中间每隔2 h取油样进行分析，以观察气体成分的增量。C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>量应为“0”，H<sub>2</sub>的增量不应超过10%。试验过程中，用超声仪(带磁带录波)监测下列部位：进油口、有载开关引线处、变压器油箱上部。
- (2) 对于现场安装与即将投运的变压器在冲击合闸试验前，增加空载全电压试验，油泵全开12 h以上。
- (3) 对于未投运的变压器在冲击合闸试验前，加做以下3项试验：  
不加压，全油泵启动试验。在高压绕组的中性点(各相分开)用静电电压表测量电压值。如有油流带电，一般有10 000 V及以上电压指示。启动试验从开始到结束，时间应不少于2~3 h。  
分油泵启动试验。空载全电压试验，油泵全开12 h以上。此外，还应加强对油质和滤油速度的控制，以及变压油的水份和气体含量的控制。

把安全工程师站点加入收藏夹 100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 [www.100test.com](http://www.100test.com)