



# 绝缘油质劣化对有载分接开关的影响

董忍娥

(西安西变组件有限公司, 陕西 西安 710077)

**摘要:**介绍了绝缘油劣化的原因及其对有载分接开关的影响。

**关键词:**有载分接开关;绝缘油;电弧

中图分类号:TM403.9

文献标识码:B

文章编号:1001-8425(2009)08-0050-05

## Influence of Deterioration of Insulating Oil to On-Load Tap-Changer

DONG Ren-e

(Xi'an Xibian Component Co.,Ltd., Xi'an 710077, China)

**Abstract:**The reasons of insulating oil deterioration and its influence to on-load tap-changer are presented.

**Key words:**OLTC; Insulating oil; Arc

### 1 前言

有载调压变压器是电力系统中的主要设备。目前,在油浸式变压器上使用的有载分接开关大都是采用电阻式快速切换,其利用绝缘油作为绝缘介质和灭弧介质。从结构上看,它们主要分两种:一种是由切换开关与分接选择器组合而成,一般称为组合式开关;另一种是切换与分接选择合在一起的,没有单独的切换开关,称为复合式开关。此两种开关在变换分接时,均会产生电弧。由于电弧的作用,开关室内的绝缘油被分解,并析出游离碳、氢、乙炔、甲烷等气体及油垢。气体一般可从绝缘油中排出,但游离碳颗粒和油垢的一部分混合在绝缘油中,一部分积在开关的绝缘件表面。另外,还有少数触头材料熔化后溅射出来的金属微粒留在绝缘件表面和油中。从油浸式有载分接开关整体来看,开关运行后,随着油质的劣化,开关整体绝缘水平下降。如不及时处理,将严重影响有载分接开关的正常运行,还可能导致开关损坏。

本文中笔者分析了有载分接开关绝缘油质劣化的原因及产生的危害,提出了预防和维护开关正常运行的几点意见。

### 2 有载开关绝缘油质劣化的原因

在变压器运行期间,开关油室的油就开始劣化。通常,分接开关中变压器油的劣化主要取决于氧的存在、温度、切换开关中存在可能有催化作用的金属零件和油的化学结构。由于有载分接开关类型的不同,例如是油中熄弧型还是真空熄弧型分接开关,有的劣化因素可能存在也可能不存在。下面详细讨论油中熄弧型分接开关绝缘油劣化产生的原因。

绝缘油劣化的主要原因是:

- (1)开关电弧造成碳颗粒的生成(随分接开关的应用和操作而不同)。
- (2)过渡电阻发热引起的油热老化。
- (3)变压器运行期间水分的侵入。
- (4)开关油中的气体含量。
- (5)熔化后溅射出来的触头材料微粒。

对于有载分接开关,主要影响因素则是油中气体含量、碳颗粒和水分。

#### 2.1 开关电弧产生的老化

在分接变换从已选位置到预选位置的操作中,切换开关或选择开关的各个弧触头上要产生开关电弧。图1是旗循环触头布置的切换开关在操作过程中发生开关电弧的两个中间位置。第一个电弧发生在开断侧的主通断触头(SC)上。该触头的通过电流等于变压器负载电流。下一个开关电弧发生在开断侧的过渡触头(TC)上。这时,开断电流等于半个负载



电流和循环电流的相量和。

选择开关型有载分接开关和带有辅助过渡触头的切换开关(多电阻操作循环),情况与此相似。下面详细讨论图1所示的切换开关型有载分接开关。

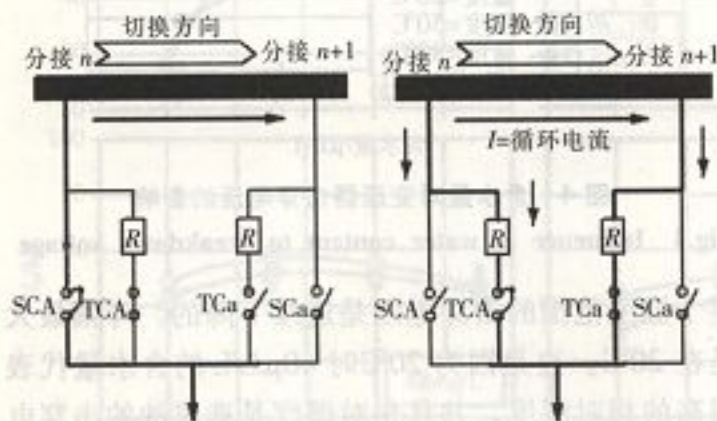


图1 分接变换中的开关电弧

Fig.1 Arc during tap conversion of tap-changer

切换开关和选择开关油室内的开关电弧产生两个老化结果,一个是碳颗粒的生成,另一个是电弧气体的生成。两者都是由切换开关操作过程中产生的电弧能量引起的。

图2是1200A开关电弧在矿物油中产生碳与气体的结果。图2是对环烷基油而言,对石蜡基油的效果也十分近似。

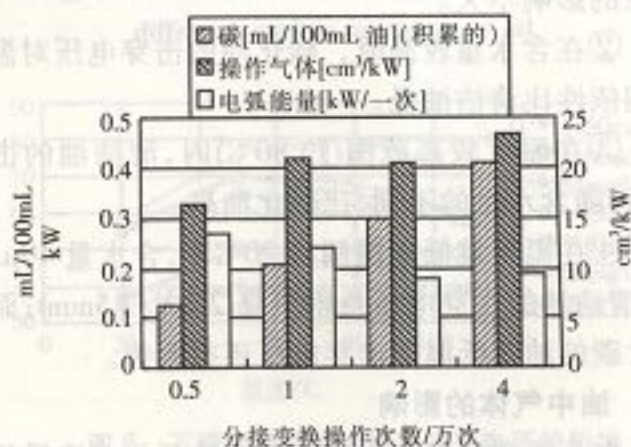


图2 1200A开关电弧在矿物油中产生碳与气体的结果

Fig.2 Data of carbon and gas caused by 1200A tap-changer arc in oil

图3是分接变换中开断电流(也是电弧能量)和碳颗粒生成量的关系曲线。单位是每100毫升矿物油中碳的毫克数。

如果采用矿物油作为熄弧介质,产生碳颗粒和操作气体是必然的。产生的碳颗粒和气体的多少决定于开关油室内积聚的电弧能量的大小。在变压器负载条件下的分接操作过程中,电弧、碳颗粒的生成和触头磨损都发生在过渡触头上。

## 2.2 过渡电阻上产生油的热老化

除上述开关电弧引起的变压器油碳化外,还会

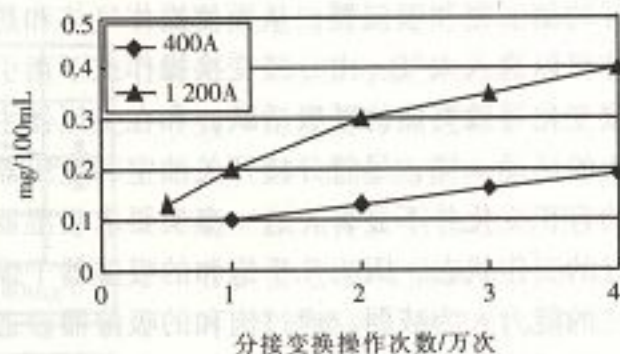


图3 开断电流(电弧能量)和碳颗粒生成的关系曲线

Fig.3 Curves of arc current and carbon

在切换开关和选择开关的过渡电阻上产生油的热降解。降解生成物和气体的多少决定于温度升高的大小。变压器油的裂化过程开始于90℃左右,气泡生成最低开始于沸点范围(250℃到300℃)。

除开关电弧之外,过渡电阻是切换开关或选择开关内的另一个热源。如上所述,在一个分接到相邻分接的切换操作中(约50ms),过渡电阻接入电路时间不足50ms。这个时间虽然很短,但是过渡电阻的表面温度却很高。按分接开关标准IEC 60214.1的规定,液体介质的分接开关,在1.5倍最大通过电流和相关额定级电压下,过渡电阻对周围介质的最大温升为350K。

在切换开关或选择开关切换操作期间,过渡电阻有两种不同工作状态(以旗循环为例,图1):

①在开断侧的主通断触头熄弧之后,负载电流流过开断侧的过渡电阻。在闭合侧的过渡电阻接通之后,负载电流分作两路,一半流过开断侧的过渡电阻,一半流过闭合侧的过渡电阻。另外流过的还有循环电流,它由级电压驱动,由串联连接的过渡电阻的阻抗所限制。

②在开断侧过渡触头熄弧之后,循环电流消失,负载电流全部流过闭合侧的过渡电阻,直到被闭合侧的主通断触头闭合为止。

从这个顺序可以看出,即使在负载条件下,在一次分接变换操作中,最低限度有循环电流流过过渡电阻。每次分接变换操作,切换开关或选择开关油室的油都要被加热。只有四周变压器主油箱中的油才有冷却作用。由于这个缘故,切换开关或选择开关油室的油温决定于环境条件、循环电流和负载电流以及随后的分接变换操作次数。无论如何,油的热老化是显而易见的,还可能生成气泡。油温升高的副作用就是溶于油中的操作气体的释放。

## 2.3 含水量升高

为了允许操作气体释放到大气和为了补偿温度引起的体积变化,有载分接开关安装和变压器主油



箱分开的储油柜和吸湿器,从而使操作气体和热老化气体可以逸入大气。由分接变换操作或下雨引发的温度变化导致突然的呼吸活跃,和在变压器主油箱发生的活动一样,尽管分接开关油室和变压器主油箱的容积变化并不显著。这一事实要求吸湿器具有良好的工作状态,因为几乎饱和的吸湿器干燥潮湿空气的能力大为减弱。通过饱和的吸湿器渗透到分接开关系统的大气潮气是水污染的主要来源。切换开关和选择开关中异常湿度的另一个来源是密封垫安装错误或不适宜。假如分接开关检修时拆下开关头盖、又重新安装、结合处密封垫不是使用O形密封垫、在随后的检修中接头打开以及出现漏油等,水平面的漏油就会有潮气侵入的机会,即使储油柜还保持静态油压也不行。油中含水量升高使油质劣化。

### 3 绝缘油质劣化对开关的影响

#### 3.1 碳颗粒的影响

开关油中碳颗粒的最明显效果是使油色变黑。碳颗粒越多,油色越黑。碳颗粒在分接开关油室内的散布不均,即使同样用途、同样运行条件下也不一样。碳颗粒在油中是分散的,并沉积在分接开关芯子和绝缘材料表面上。碳颗粒导致的后果是需要分接开关检修过程中清洗分接开关油室和切换开关。

根据现场经验,碳颗粒及其沉积不仅是正常现象,而且对分接开关的安全运行不构成任何危险。不过碳颗粒会降低开关油的击穿电压。1982年就有碳颗粒对分接开关击穿电压的影响的报导:分接开关油的击穿电压,由于碳颗粒的污染,将由起始值 $50\text{kV}/2.5\text{mm}\sim 60\text{kV}/2.5\text{mm}$ (按测定)下降到 $40\text{kV}/2.5\text{mm}$ 多一点。

#### 3.2 含水量的影响

在油中熄弧型有载分接开关中,水分的影响很难和碳颗粒影响分开。关于碳和水分组合对绝缘油的影响见本文第3.3节所述。如果不考虑碳颗粒,只讨论溶解水含量对开关油的影响,可以肯定地说击穿电压必将降低。其次,必须考虑到,油中水的饱和水平随温度升高而升高。新油在 $10^\circ\text{C}$ 时的典型饱和值是 $30\mu\text{L}/\text{L}$ ,在 $50^\circ\text{C}$ 时则达到 $150\mu\text{L}/\text{L}$ 。因此,如果绝缘油中溶解水含量高,而且温度急剧下降,油中溶解水可能变成游离水,击穿电压则大幅降低。

不同制造厂的不同绝缘油可能有不同的击穿电压值,但是饱和水平和温度的相关关系则是一样的。图4是不同温度下不同含水量时变压器的击穿电压。可以明显看出,含水量由 $10\mu\text{L}/\text{L}$ 上升到 $40\mu\text{L}/\text{L}$ ,

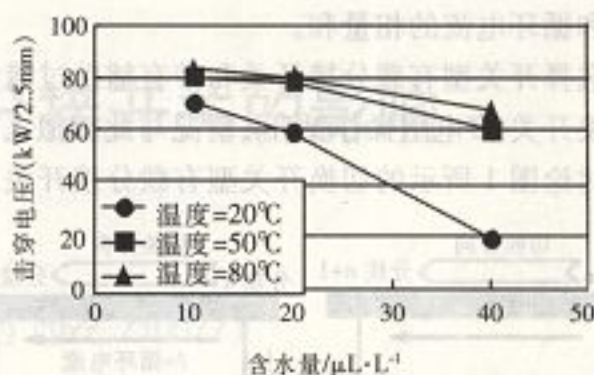


图4 含水量对变压器击穿电压的影响

Fig.4 Influence of water content to breakdown voltage

整个温度范围的击穿电压是连续下降的。降幅最大是在 $20^\circ\text{C}$ 。这是因为 $20^\circ\text{C}$ 时 $40\mu\text{L}/\text{L}$ 的含水量代表很高的相对湿度,并且相对湿度是造成油的击穿电压下降的原因。

#### 3.3 碳和水分组合的影响

对于清洁绝缘油,水分对击穿电压的影响已如上述,但是,要考虑到碳和水分的组合,问题就比较复杂。图5为碳和水分对矿物油的影响。

测量是在清洁油(左上角曲线)和不同碳含量( $40\text{mg}/\text{L}$ 、 $88\text{mg}/\text{L}$ 、 $416\text{mg}/\text{L}$ 、 $972\text{mg}/\text{L}$ 和 $1130\text{mg}/\text{L}$ )的油中进行的。由图5可以得到如下结论:

①碳化油和清洁油相比,含水量的变化对击穿电压的影响不大。

②在含水量较高时,碳化油的击穿电压对温度的相依赖性比清洁油低。

③在温度较高范围(约 $80^\circ\text{C}$ )内,清洁油的击穿电压,随含水量的不同,比碳化油高。

④在温度较低范围例如 $20^\circ\text{C}$ 下,含水量 $40\mu\text{L}/\text{L}$ 时,清洁油的击穿电压急剧下降( $20\text{kV}/2.5\text{mm}$ );而某些含碳的油在低温下击穿电压还有改善。

#### 3.4 油中气体的影响

在分接变换操作中可能在切换开关或选择开关油室内检测出乙烷、乙烯、氢和乙炔等气体。随着分接开关油室内积聚的电弧能量的升高,这些气体将达到和实际运行温度相应的饱和水平。如果采用IEC 60599列出的基本气体比例判断,可能发现和标准中D1、T1、T2和T3故障类型相似的故障。但是,对于油中熄弧型分接开关,这是正常的运行状态,因为气体比例适用于变压器主油箱的油并不适用于分接开关油室的油。

### 4 绝缘油质劣化的预防与开关维护

带电滤油机能够去除油中的碳颗粒和水分。图6是在含水量 $20\mu\text{L}/\text{L}$ 时测定的几种碳化油、过滤后的油和清洁油的击穿电压对比曲线。只有过滤后的



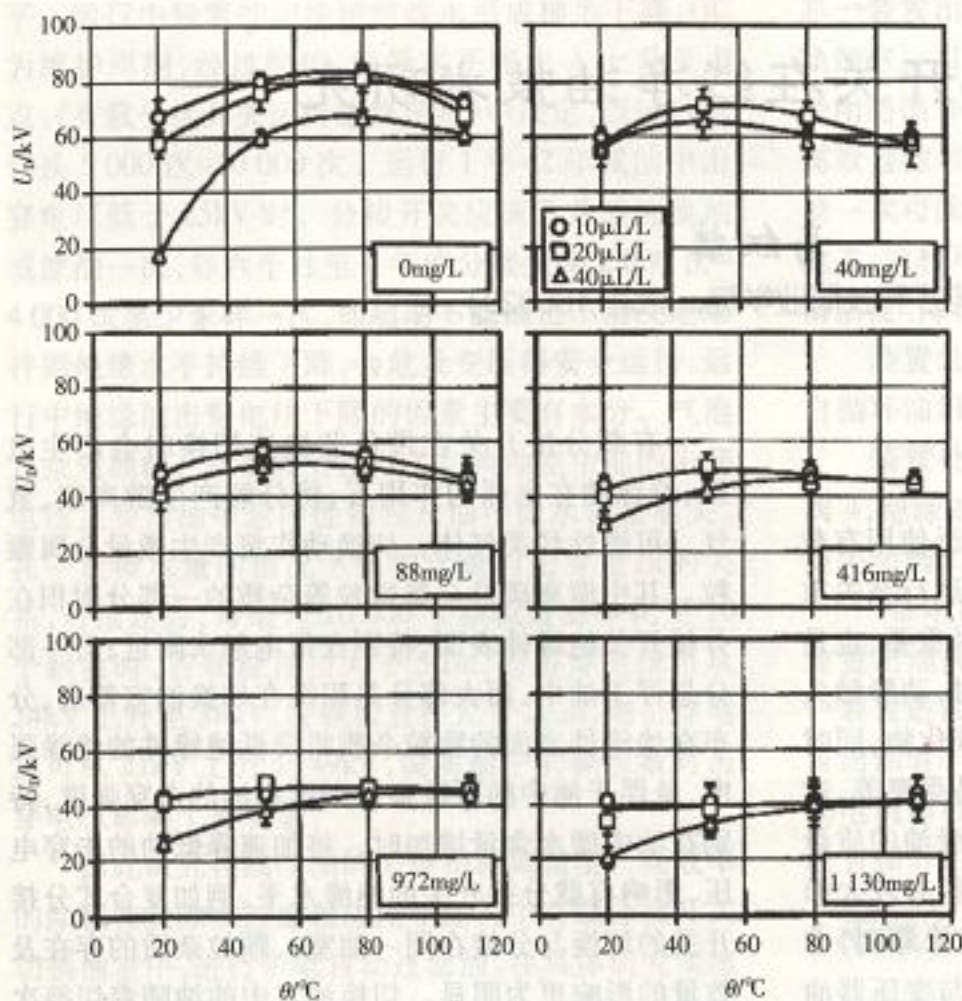


图5 不同碳含量油的击穿电压和温度(水分)的关系

Fig.5 Relation between breakdown voltage and temperature under different carbon contents in oil

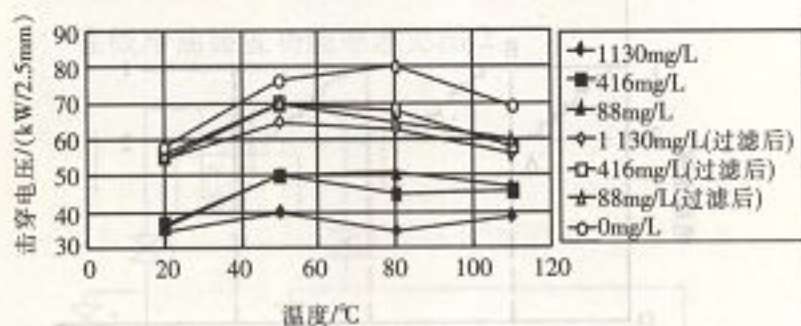


图6 不同温度下油过滤对击穿电压的影响

Fig.6 Influence of oil filtration to breakdown voltage at different temperatures

油才能大幅提高击穿电压,以使油品质长期保持良好状态。

目前运行中的分接开关大多数是油中熄弧型分接开关。而大部分油中熄弧型有载分接开关已经安装了带电滤油机。

有载分接开关滤油装置投入运行前,应检查电机油泵的转向是否正确,确认转向正确后才能投入运行。有载分接开关滤油装置投运后的维护工作一般有以下内容:

- (1) 设定工作模式。
- (2) 有载分接开关滤油装置投入运行后,试验人

员应定期进行油分析工作。

(3) 当分接开关内的油面下降到一定程度时应进行补油工作。

(4) 滤油装置内的滤芯为主要的的工作元件。当滤芯使用一定时间后,滤芯就可能失去过滤效果,这时,就需要进行滤芯的更换工作。

(5) 当油泵、电机损坏时,就应进行更换工作。

带电滤油装置出现以下情况时,应进行检修或更换滤芯:

(1) 压力开关压力指示达到规定值时。

(2) 从带电滤油装置放油阀取油样试验,如果油绝缘强度小于30kV/2.5mm时。

(3) 当有载分接开关油位过低导致滤油装置跳闸时。

(4) 其他异常情况时。

对真空熄弧型有载分接开关,由于采用真空技术完全消除了开关电弧对矿物油的影响。因此,可以认为这种分接开关的绝缘油中没有碳颗粒。也避免了开关电弧引起的燃弧气体。但是过渡电阻产生的热老化和水分侵入的可能性则不能消除。

## 5 结束语

燃弧产生气体对油中熄弧型分接开关是正常的,加热产生气体对油中熄弧型分接开关和真空熄弧型分接开关都是正常的。达到一定的操作次数之后,分接开关油中气体达到饱和。油中气体分析的判断标准适用于变压器主油箱的油,不适用于分接开关中油。

碳颗粒在一定程度上降低了绝缘性能,但是对分接开关绝缘一般不会构成问题。用带电滤油机进行油过滤有助于击穿电压保持高水平。新变压器采用真空熄弧型有载分接开关时,一般可以避免碳颗粒引起的开关油质劣化。因此,真空熄弧型有载分接开关对变压器是更可取的选择。

油中含水量升高在任何情况下都会导致击穿电压的降低。因此应该尽量保持分接开关油中水含量最小。这一点有两个办法可以达到,一是保证吸湿器长期状态良好,也就是采用免维护的干燥吸湿器;二是安装带复合滤芯的带电滤油机,可去除碳颗粒,又



可降低开关油中的含水量。这两项措施既适用于新变压器也适用于旧变压器。

#### 参考文献:

[1] IEC 60214-1, Tap-changers, Part 1: Performance requirements and test methods[S].

[2] IEC 60156, Insulating liquids. Determination of the breakdown voltage at power frequency[S].

[3] IEC 60599, Mineral oil. Impregnated electrical equipment in service. Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis[S].

---

收稿日期:2009-06-03

作者简介:董忍娥(1966-),女,陕西潼关人,西安西变组件有限公司工程师,主要从事变压器组件设计工作。