

探寻降低 1000kV 变压器油中颗粒度方法

罗施财

(福建省送变电工程有限公司 福建福州 350000)

摘要: 变压器作为电网中不可或缺的重要组成部分,其工作状态直接影响到电力系统的运行安全,因而在变压器运行过程中,及时、高效地对变压器油中颗粒度进行分析与控制,是保障变压器能够安全稳定运行的关键。本文对降低 1000kV 变压器油中颗粒度施工方法进行了全方位的分析,首先简要概述了降低变压器油中颗粒度的重要意义,其次分析常规滤油施工方法的优缺点,接着深入剖析了变压器滤油中颗粒度的主要影响因素,最后提出了降低变压器油中颗粒度的解决方案,旨在透彻了解其工作原理的基础上,解决特高压滤油的颗粒度问题。希望本文可以在一定程度上为相关的专业学者提供参考与借鉴,如有不足之处,还望批评指正。

关键词: 变压器滤油;颗粒度;施工方法

Exploring methods to reduce particle size in 1000kV transformer oil

Luo Shicai

(Fujian Power Transmission and Transformation Engineering Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350000)

Abstract: As an indispensable and important component of the power grid, the working status of transformers directly affects the operational safety of the power system. Therefore, timely and efficient analysis and control of particle size in transformer oil during transformer operation is the key to ensuring the safe and stable operation of transformers. This article provides a comprehensive analysis of the construction methods for reducing particle size in 1000kV transformer oil. Firstly, it briefly outlines the important significance of reducing particle size in transformer oil. Secondly, it analyzes the advantages and disadvantages of conventional oil filtration construction methods. Then, it deeply analyzes the main influencing factors of particle size in transformer oil filtration. Finally, a solution to reduce particle size in transformer oil is proposed, aiming to gain a thorough understanding of its working principle, Solve the particle size problem of ultra-high pressure oil filtration. I hope this article can provide reference and guidance to relevant professional scholars to a certain extent. If there are any shortcomings, I hope to receive criticism and correction.

Keywords: transformer oil filtration; Particle size; Construction methods

1. 降低变压器油中颗粒度的重要意义

随着电力变压器向特高压大容量方向发展,对变压器油的要求也越来越高。研究表明,固体颗粒杂质对油的电气性能有显著影响。对变压器而言,为保证超高压变压器的安全运行,油中固体颗粒对其绝缘强度的影响特别关键。

混入油中的固体颗粒悬浮在油中并随油流流动,在高压电场作用下不断运动,聚集在场强较高处,容易因极化定向排列成杂质“小桥”,形成绝缘的薄弱环节,引起局部放电超标甚至造成绝缘击穿。对于重视安装质量的施工单位来说,首先重视新油(指经真空滤油后,注入变压器油箱前的油)的清洁度,其次重视生产及运输过程中产品清洁度的控制,如果产品清洁度控制不理想,注入油箱中合格的变压器油会被污染,造成油中颗粒度超过限值要求。分析杂质颗粒的来源、性质、数量、危害,对制定有效的控制和处理措施很有帮助,从而提高特高压设备运行的可靠性。

电气安装队根据以往变压器安装的经验,发现了变压器安装过程中主要会增加变压器油颗粒度的以下三点重要因素:

一是:在热油循环过程中,由于需要更换油罐,在油管法兰对接过程中对接法兰金属颗粒会混入变压器油,导致油源污染。法兰对接处的金属颗粒和变压器油表面附着的颗粒同时存在,造成油中颗粒度超标;为了避免这种情况发生,在法兰对接时需要在法兰上涂抹一层石蜡或其他绝缘材料,保证法兰不会因金属颗粒而混入变压器油。

二是:在油管法兰对接过程中,变压器油露空,施工场地中的粉尘颗粒会污染油源。施工过程中,必须保证现场的干净整洁,在变压器油中有粉尘颗粒存在的情况下,必须在现场洒水来避免粉尘颗粒进入变压器油;由于油源污染,现场无法满足洒水条件时,在变压器油中加入适量的消泡剂和除雾剂来保证变压器油露空。

三是,更换油罐过程中,油罐震动导致罐壁金属颗

粒混入变压器油中，造成油源污染。在变压器更换油罐过程中，要避免震动引起油罐壁金属颗粒进入变压器油中；为了防止这种情况发生，必须保证油罐移动速度缓慢，并且在更换油罐时，要将罐体和地面垫平。

可见，变压器安装过程中的油源污染是影响变压器油颗粒度的重要因素。

由于特高压变压器油颗粒度有以下要求：投运前(热油循环后) 100mL 油中大于 5 μ m 的颗粒数小于或等于 2000 个，运行时(含大修后)100mL 油中大于 5 μ m 的颗粒数小于或等于 3000 个。



尤其在特高压变压器安装过程，降低变压器油中颗粒度这一关键措施成为特高压变压器安装的重中之重，加上施工工期紧迫，迫切需要探寻一种高质量高效率的降低变压器油中颗粒度的方法，以保障福州 1000kV 特高压榕城站特电气安装工程顺利竣工。

2. 分析常规滤油施工方法的优缺点

在进行了可行性分析后，小组初步商定解决方式为考虑新型滤油方案，但暂无成型思路，需进一步探索。提出用多根输油管道代替以往单根输油管道的初步滤油方案：多根输油管道，单头连接油罐，另外一头采用法兰密封，滤油时连接法兰。方案相比以往的滤油方案，减少了一半的法兰对接次数。经小组深入讨论，作出滤油方案分析：

滤油方案优点：减少法兰对接次数，有效减少了金属颗粒产生。

滤油方案缺点：制作工艺繁琐，施工过程中操作繁琐，如果遭遇紧急情况，容易造成误操作；多根输油管道，质量参差不齐，很难保证滤油的整体质量。多根输油管道，单头连接在油罐上，另一头采用法兰密封，在拆封的时候，容易被施工场地的粉尘污染。

因此常规滤油方案无法直接适用于本站施工，但已为小组成员提供了宝贵的经验教训，并进一步开拓了小

组成员的思路，为此，全体成员再次开展讨论会议，对施工方法进行改进。

3. 分析影响因素并提出降低颗粒度的解决方案

影响变压器油中颗粒度的主要因素是：

- ①输油管道法兰面对接次数；
- ②输油管道露空时间；
- ③施工工序少，操作简便；
- ④隔绝污染源，避免天气因素影响施工。

经过对末端因素的逐条确认，小组共找出了 4 条要因，根据所确定的主要因素，并在结合新型滤油施工方案经验，遵循 5W1H 的原则，通过分析讨论，小组制定了相应对策，对策表如下：

序号	要因	对策	目标	措施
1	隔绝空气中的粉尘污染源，避免天气因素影响施工。	加工滤油专用全封闭式输油管道系统	确保全封闭式输油管道系统可有有效隔绝空气中的粉尘污染源，避免天气因素影响施工	设置专用滤油区隔离土建施工，采用钢管加工输油管道，定制法兰面对接，设计全封闭输油管道系统，隔绝空气中的粉尘污染源，避免天气因素影响施工
2	减少输油管道法兰面对接次数	统一所有油罐进出油口，做到施工过程中零露空时间，零法兰对接	做到施工过程中零露空时间，零法兰对接	采用惠根斯母线桥连接方式，通过可控阀门统一控制输油管道进出口
3	减少施工工序，操作简便	进出油全部采用阀门控制	在零露空时间，零法兰对接的前提下，通过采用阀门控制来减少滤油法兰对接工序，操作简便	每个油罐出油口前装设一个阀门，控制出油口开合，操作简便

基于以上措施的分析可知，在变压器运行过程中，特别是在进行维护工作时，应该做到以下几点：

(1) 要尽量避免对变压器的正常运行产生不良影响，在设备维护过程中，应根据设备的运行情况定期进行常规试验，使其保持良好的工作状态。①对变压器的绝缘电阻、吸收比、放电常数等性能进行定期试验，当

发现异常时应及时处理；②对变压器的油质进行化验分析，特别是对变压器油中的水分含量及运行条件下油中溶解气体进行分析，同时根据运行条件对变压器进行相应的检修处理。

(2) 要尽可能缩短对设备进行维护时的间隔时间，缩短维护的时间间隔有利于减少设备内部的杂质累积。对于需要进行定期维护的设备，在进行维护时，应根据运行情况对维护的间隔时间进行相应的调整，同时要将不同类型设备之间的间隔时间进行适当调整，尽量使不同类型设备之间保持一定的间隔时间，避免一些杂质的累积。

(3) 在进行维护工作时要认真仔细，严格按照相关规程、规范进行操作，同时要做好记录，以便日后进行分析和总结。在对变压器进行维护时，要注意设备的清洁工作，对于一些因外部原因而造成的油质污染，要及时进行清理，避免污染物长期累积。当发现变压器内部有杂质时，应及时对变压器进行维护处理，避免杂质影响设备的正常运行。

(4) 对于已知变压器内部有杂质的情况下，可以通过在油样中添加相应物质的方法来提高油样中颗粒度指标。

(5) 对变压器进行维护时，要保持一定的间隔时间，在维护过程中要注意对设备进行清洁工作，同时要将设备与周围环境隔离开来，避免灰尘等污染物进入到变压器油中，从而对变压器油造成污染。

对策实施：

1) 设置专用滤油区，周边采用硬质围栏将滤油区与土建施工区域隔离；在滤油区内铺满碎石，防止扬尘污染；滤油区内设置消防驻点，严禁在滤油区内使用明火，严禁在滤油区内吸烟；滤油期间在滤油区两侧铺设土工布，避免扬尘。对设备进行改造，增设专用滤油系统，包括滤油器、过滤器、储油罐等，使滤油工序由人工操作变为自动过滤操作。通过改造，现场粉尘含量明显降低，滤油器滤芯上的粉尘减少，经测量颗粒度平均由原来的 $2.36\ \mu\text{m}$ 降至 $0.53\ \mu\text{m}$ ，比改造前下降了 80%。在此基础上，还通过对设备进行改造，在滤油器和过滤器上加装除尘装置，使滤油器滤芯的粉尘含量进一步降低，达到了国家排放标准。由于滤油过程中大量灰尘进入储油罐中造成储油罐污染严重，通过对储油罐进行改造，使储油罐清洁度达到了国家排放标准。

2) 在专用滤油区内装设全封闭滤油系统，采用钢管输油，定制法兰面对接，通过定制阀门统一控制进出油路，做到滤油过程中零露空时间、零法兰面对接。滤油

器上配置的是 4 只高效过滤器，由于现场环境影响，实际过滤精度不能达到设计要求，在经过一段时间后，4 只高效过滤器的效果都达不到预期要求。现场经过测量发现，滤油器滤芯表面附着有大量的油垢，造成滤芯堵塞，导致滤油效果达不到预期。经过分析研究，决定对滤油器进行改造。通过多次试验，最后采用了在滤油器滤芯上加装除尘装置的改造方案，更换了除尘器，在过滤器和滤油器上分别加装除尘装置。对过滤器进行改造后效果显著，滤油过程中可以在一定程度上保持过滤精度，滤出的油液洁净度可达国标要求。

3) 在所有阀门操作把手上做好标识，标明进出油阀门开合方向，使滤油工序简单清楚，避免操作失误。在油罐出油口前装设一个阀门，控制出油口开合，使滤油过程中零露空时间、零法兰面对接。滤油工序由原来的人工操作变为自动过滤操作，实现滤油自动化。同时根据油液污染情况和滤油器工作原理，对储油罐进行改造，在储油罐底部设置双层滤网，减少进油时的粉尘污染。通过以上措施的实施，现场粉尘含量明显下降，经测量颗粒度平均下降了 50%，达到国家排放标准。通过对滤油器进行改造，使滤油器滤芯上的粉尘含量进一步降低，达到国家排放标准。

效果检查：

通过以上对策的实施，在探寻降低变压器油中颗粒度方法的过程中持续改进、循环提高，针对第一阶段环节后的效果检查中发现的问题，小组又进行了一次 PDCA 小循环。最终确定了新型的“全封闭系统滤油方案”。具体实施效果图如下：



在施工中我们进行了跟踪检查，经过全封闭系统滤油的油源经过颗粒度试验，一次合格率达到 100%，且全封闭式滤油系统加工难度相对较低，成本低廉，制作时间短，操作简便。并且还能够保证特高压变压器油颗粒度合格的大前提下，大幅度提高滤油效率，缩短工期，经拆卸之后仍可再次利用，达到了预期的效果。