

## 浅论府南油真空干燥加吸附提升主绝缘方法

陈科一<sup>1</sup>, 唐树林<sup>2</sup>, 邓华<sup>2</sup>, 李恒<sup>2</sup>, 任乔林<sup>2</sup>, 钱艺华<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 武汉电力职业技术学院 湖北武汉

<sup>2</sup> 国网湖北省电力有限公司孝感供电公司 湖北孝感

<sup>3</sup> 广东电网有限责任公司电力科学研究院 广东广州

**【摘要】**本文介绍了一例主变局部进水受潮介损大、经吸附循环再生合格的案例。采用高效吸附剂加上真空干燥的方法,成功地将主变绝缘提高到新变压器投运前的水平。吸附热油循环加上真空干燥的方法简单易行,适用于进水受潮及油质劣化的变压器恢复绝缘水平,能加快脱水和除杂质速度,缩短提升绝缘所需时间,保证变压器经济可靠运行。

**【关键词】**变压器油; 吸附剂; 绝缘

**【收稿日期】**2026年4月15日

**【出刊日期】**2026年5月16日

**【DOI】**10.12208/j.sdr.20260048

### Brief discussion on improving main insulation by vacuum drying combined with adsorption of Funan transformer oil

Keyi Chen<sup>1</sup>, Shulin Tang<sup>2</sup>, Hua Deng<sup>2</sup>, Heng Li<sup>2</sup>, Qiaolin Ren<sup>2</sup>, Yihua Qian<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Wuhan Electric Power Technical College, Wuhan, Hubei

<sup>2</sup> Xiaogan Power Supply Company, State Grid Hubei Electric Power Co., Ltd., Xiaogan, Hubei

<sup>3</sup> Electric Power Research Institute, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong

**【Abstract】** This paper presents a case study of a main transformer with excessive dielectric loss caused by partial water ingress and dampness, which was successfully restored to the qualified standard through adsorption cycle regeneration. By adopting the method of combining high-efficiency adsorbent with vacuum drying, the main insulation performance of the main transformer was effectively improved to the level of a new transformer before commissioning. The integrated technology of hot oil circulation adsorption and vacuum drying is simple and feasible, which is suitable for restoring the insulation level of transformers suffering from water dampness and oil deterioration. This method can accelerate the speed of water removal and impurity elimination, shorten the time required for insulation improvement, and ensure the economical and reliable operation of transformers.

**【Keywords】** Transformer oil; Adsorbent; Main insulation

#### 1 前言

孝感市孝南 110KV 府南主变是孝感云梦某变电站 2017 年底退出运行的一台主变。该变压器是山东达驰变压器厂 2007 年产品,型号 SFSZ9-31500/110,主变容量 31500KVA,2024 年 10 月调孝南区 110KV 变电站,在安装过程中发现油介损达到 3.158% (90°C)勉强符合运行油标准,但是体积电阻率  $1.2 \times 10^9 \Omega m$ ,油色号小于 2,低于 GB/T 7595《运行中变压器油质量标准》,应属于主变进水绝缘受潮和油老化故障,在无法解决问题的情况下,拟采用孝感光源公司高效吸附剂加上真空干燥的方法,对

油中杂质和水分进行深度处理,取得更好的提高绝缘的效果<sup>[1,2]</sup>。2024 年 11 月 20 日,孝感光源公司接到孝南某 110KV 变电站主变干燥的任务,立即制定了“热油吸附+真空排油+真空注油+无油真空”的详细方案,对该主变进行吸附和真空处理<sup>[3]</sup>。

#### 2 方案介绍

##### 2.1 油真空加吸附提升主变绝缘的先例

孝感供电公司今年以来大力发展变压器吸附剂处理技术,在核电站、浙江、四川、东北等地多台变压器上施行了变压器油吸附处理降介损。从化学角度处理变压器油的同时,发现从电气绝缘的角度也

能提升主变绝缘电阻等业主更为关注的指标<sup>[4-5]</sup>, 如下表 1 所示。

2.2 本次油真空加吸附滤油方案

首先采用下图所示方法进行热油循环, 油再生机采用恒源公司的 XFJ-02 型多功能变压器油吸附处理机, 真空滤油机采用渝锋 120L/min 真空机。油

温控制在 50°C, 不启用真空机的加热器。热油循环流程图如下 (图 1)。

然后真空排油, 真空度达到-0.05MPa<sup>[6]</sup>; 然后抽真空, 真空度达到-0.08 MPa; 最后无油抽真空。采用如下流程图 (图 2), 真空度达-0.05M Pa, 最高达到-0.08MPa。

表 1 XD 吸附剂处理变压器油前后绝缘指标变化一览表

	处理前绝缘 (高-中低地), 兆欧	处理后 (高-中低地), 兆欧	体积电阻率 (处理前), 欧米	体积电阻率 (处理后), 欧米
核电 106A	/	/	1.0*10 <sup>9</sup>	1.1*10 <sup>11</sup>
核电备用相	/	/	2.5*10 <sup>9</sup>	1.2*10 <sup>11</sup>
葛洲坝极 II B	1290 (10 秒)	7000	2.4*10 <sup>10</sup>	9*10 <sup>12</sup>
绍兴	384 (1 秒)	3505	/	/
杭州钱塘	1260	2020	/	/

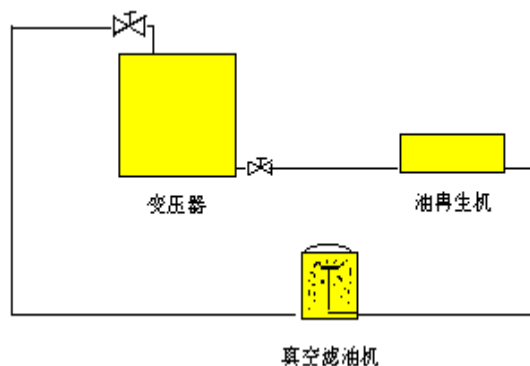


图 1 热油循环流程图

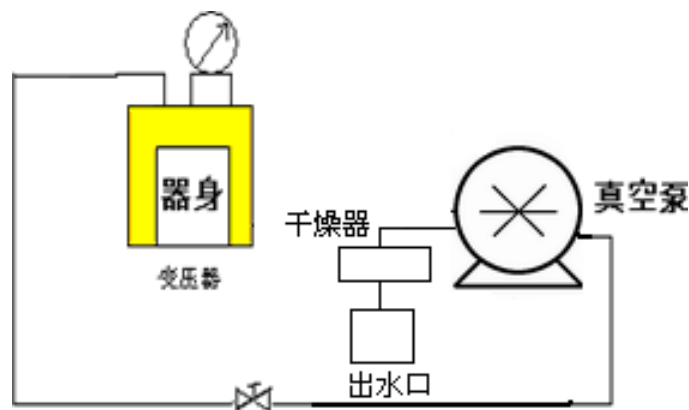


图 2 无油抽真空流程图

经上述步骤后再真空注油并做绝缘高压实验后停工。

3 处理结果

采用上述热油吸附以及抽真空的方法提高绝缘电阻的过程记录如表 2。

按照 DL 474.1-2018《现场绝缘试验实施导则 绝缘电阻、吸收比和极化指数试验》，本标准中所列的绝缘电阻测量, 应使用 60s 的绝缘电阻值 (R<sub>60</sub>) ; 吸收比的测量应使用 R<sub>60</sub> 与 15s 绝缘电阻值 (R<sub>15</sub>) 的比值; 极化指数应使用 10min 与 1min 的绝缘电阻

值的比值。从表 2 看出, 刚开始由于绝缘电阻下降不能低于出厂试验的 70%<sup>[3]</sup>, 所以该主变属于不能投入运行的变压器。经过上述两个“热油吸附+真空排油+真空注油+无油真空”的过程, 该变压器的绝缘电阻吸附后上升了 5 倍左右。且吸收比符合式(1)的规律, 在 64 小时有一个最大值 1.85 (吸收比为 1.62), 到 139 小时吸收比下降, 也属于符合式(1)的正常现象<sup>[6]</sup>。

$$K = \frac{1 + G_0^{-15/T}}{1 + G_0^{-60/T}} \quad (1)$$

吸附剂加真空处理过程中, 相应的排水量也在增加, 如第一阶段热油吸附循环, 排水量见下表(表 3)。

此表间接地记录了受潮变压器内部水分被逐渐吸附和真空拔除的现象。

表 2 吸附和真空过程绝缘电阻变化记录表

处理时段, h	绝缘电阻 R60, 高对中低地, 兆欧	吸收比 k	备注
0	3150	1.33	热油吸附循环开始
10	4500	1.60	
18.5	5062	1.85	
35.5	6075	1.80	排油抽真空开始
44	12859	1.75	
59	9682	1.56	
61	14112	1.60	无油真空状态
64	20747	2.0	真空注油开始
82	6750	2.0	热油吸附循环开始
106	7087	1.40	排油抽真空开始
110	20280	1.80	无油真空状态
114	15304	1.60	
132	16534	1.80	真空注油开始
139	8298	1.60	注油到升高座后测试
157	14904	1.34	静置 17 小时后

表 3 热油吸附阶段真空泵排水量记录表

时间	9/11 4: 00	9/11 18: 00	9/12 6: 00	9/12 10: 00
时段, 小时数, h	6	14	12	4
排出冷凝水量, ml	1200	145	145	45
每小时排水量, ml/h	200	10.1	12.0	10.1

#### 4 分析讨论

采用本方法吸附, 真空干燥本来就能拔除水分, 加用吸附剂后力量更大, 吸附剂加用的最大好处是处理油温比较不用吸附剂时低得多。刚开始热油循环吸附时油质较好而主绝缘较差, 所以主变绝缘值较小; 后来油质较好而主绝缘也好, 所以主绝缘值升到最大, 吸收比大于 1.33, 大于文献<sup>[3]</sup>介绍的“吸收比与出厂值无明显变化, 在常温下不小于 1.3”“变压器电压等级为 35kV 及以上且容量在 4000kVA 及

以上时, 应测量吸收比。吸收比与产品出厂值相比应无明显差别, 在常温下不应小于 1.3; 当 R0 大于 3000MO (20C) 时, 吸收比可不作考核要求。变压器电压等级为 220kV 及以上或容量为 120MVA 及以上时, 宜用 5000V 兆欧表测量极化指数。测得值与产品出厂值相比应无明显差别, 在常温下不应小于 1.5。当 R: 0 大于 10000M2 (20C) 时, 极化指数可不作考核要求”的要求; 绝缘恢复正常。且合乎式(1)的规律(在主绝缘和油绝缘都正常后吸收比有

一个极大值)<sup>[7-8]</sup>。一月后复查, 得到该主变的绝缘电阻变化不大, 所以本次绝缘提升正常。

## 5 结论

5.1 吸附热油循环加上真空的方法简单易行, 适用于进水受潮的变压器, 可以使进水受潮及油质劣化的变压器恢复绝缘水平, 能加快脱水和除杂质速度, 缩短提升绝缘所需时间。

5.2 吸附热油循环采用颗粒状渗滤, 使用简单。使用中无灰尘, 用过吸附剂排放方便, 油耗小。

5.3 吸附热油循环加真空法处理后绝缘上升, 但时间长后有无反复, 是否会又降低, 还有待观察。

5.4 加吸附剂的作用主要是油温较低, 工作在50℃以下, 避免了真空机处理油温过高引起的油老化。

## 参考文献

- [1] 陈钠, 徐浩, 丁嘉乐, 等. 变压器绝缘电阻异常原因排查及处理[J]. 电气技术, 2024, (9): 45-50.
- [2] 黄琬祎, 任乔林, 黄文涛, 汤迎春, 黄旦莉, 任贝婷, 蔡世腾. 壳聚糖-膨润土吸附剂的制备及其对变压器废油的再生性能[J]. 石油炼制与化工, 2023, 54 (11).
- [3] IET. 变压器高负荷波动期间的水分动力学: 油/纸板绝缘内的局部积累与界面迁移[J]. IET 发电、输电与配电, 2024, 18(12): 2890-2901.
- [4] QIAN Y H, LI Z, ZHAO Y H, et al. Infrared spectroscopy for ageing assessment of insulating oils via dielectric loss factor and interfacial tension[J]. Open Physics, 2023, 21: 20220260.  
<https://doi.org/10.1515/phys-2022-0260>
- [5] 任乔林, 张逸, 张伟, 蔡萱, 吴优, 李钟灵. 变压器废油处置案例分析及应用 [J]. 湖南电力, 2023, 43(4): 114-117.  
<https://doi:10.3969/j.issn.1008-0198.2023.04.017>
- [6] 窦鹏, 朱紫妍, 黄燕, 等. 铁改性活性炭的制备及其对劣化变压器油再生试验的研究[J]. 绝缘材料, 2025, 58 (10): 146-152.  
<https://doi.org/10.16790/j.cnki.1009-9239.im.2025.10.017>
- [7] 王建国, 刘敏, 张鹏. 吸附剂辅助真空干燥处理变压器水分及降温增效研究[J]. 电力建设, 2025, 46(8): 78-85.
- [8] 张军, 李丽, 赵伟. 变压器绝缘吸收比与极化指数检测规范及特性研究[J]. 高压电器, 2024, 60(11): 102-108.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS