

# Analysis and Verification of Damage of Magnetic Shielding Insulation on Low Voltage Side of 500 kV Main Transformer

Jianxing Zhang<sup>1</sup>, Fangcong Ru<sup>1</sup>, Han Wu<sup>2</sup>, Jiantao Zhang<sup>2</sup>, Qing Xie<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>State Power Grid North Hebei Maintenance Company, Beijing

<sup>2</sup>Hebei Provincial Key Laboratory of Power Transmission Equipment Security Defense, North China Electric Power University, Baoding Hebei

Email: \*732381408@qq.com

Received: June 4<sup>th</sup>, 2019; accepted: June 19<sup>th</sup>, 2019; published: June 26<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Transformer magnetic shield is damaged, caused by multi-point grounding, leakage magnetic field will produce circulation in the magnetic shielding, causing flooding discharge. In this paper, the breakdown accident of a 500 kV transformer low-voltage side magnetic shielding insulation is studied, and the whole process of partial discharge development is analyzed. By comparing the off-line and on-line monitoring method, it is pointed out that on-line monitoring can detect and accurately locate the partial discharge phenomenon in transformer rapidly.

## Keywords

Transformer, Insulation Breakage, Magnetic Shielding, Partial Discharge

---

# 500 kV主变低压侧磁屏蔽绝缘破损的分析与验证

张建兴<sup>1</sup>, 茹昉聪<sup>1</sup>, 吴 晗<sup>2</sup>, 张建涛<sup>2</sup>, 谢 庆<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>国家电网冀北检修公司, 北京

<sup>2</sup>河北省输变电设备安全防御重点实验室(华北电力大学), 河北 保定

Email: \*732381408@qq.com

---

\*通讯作者。

文章引用: 张建兴, 茹昉聪, 吴晗, 张建涛, 谢庆. 500 kV 主变低压侧磁屏蔽绝缘破损的分析与验证[J]. 电力与能源进展, 2019, 7(3): 46-53. DOI: 10.12677/aepe.2019.73006

收稿日期：2019年6月4日；录用日期：2019年6月19日；发布日期：2019年6月26日

## 摘要

变压器作为电力系统的核心设备，局部放电对变压器以及电网危害极大。针对变压器磁屏蔽破损引起的局部放电问题，本文对一起500 kV变压器低压侧磁屏蔽绝缘破损事故进行研究，分析了局部放电发展的全过程，通过比较离线检测手段和在线监测手段，指出在线监测能够及时发现并准确定位变压器内部发生的局部放电现象。

## 关键词

变压器，绝缘破损，磁屏蔽，局部放电

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

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



Open Access

## 1. 引言

电力变压器是电力系统中的核心设备，其运行状况直接关系到电网的安全和稳定运行[1]。一旦发生故障，就有可能引起大面积停电事故，给电力系统和国民经济带来重大损失。局部放电[2] [3] [4] (partial discharge, PD)是电力设备特别是电力变压器绝缘劣化的主要原因，对局部放电进行在线检测是预防电力变压器突发绝缘性故障的有效手段之一。

变压器内部的局部放电[1] [2] [3] [4]是影响电力变压器安全稳定运行的重要因素，仅依靠常规电气试验[5]是很难发现变压器在运行过程中发生的局部放电现象，油色谱分析[6] [7] [8] [9]能够很好地验证变压器内部是否发生了局部放电现象，超声局部放电[10] [11] [12]在线监测技术能够实现对变压器局部放电的长期监测和及时告警，将以上三种方法综合使用，能够比较准确地判断变压器内部是否发生局部放电现象，甚至能够对放电点进行精确定位。本文对某 500 kV 主变因低压侧磁屏蔽绝缘破损引起的局部放电现象进行分析和研究，探讨 500 kV 主变局部放电的检测、诊断和处理技术的相关问题。

## 2. 主变局放的发展过程

事故变压器型号为 ODFPSZ-250000/500，2000 年 4 月 1 日生产，2000 年 10 月 30 日投入运行，投运后运行情况良好，未发生过乙炔超标现象。2008 年 1 月 9 日的正常试验中发现，油中乙炔含量为 0.3  $\mu\text{l/l}$ ，后缩短监测周期跟踪测试。2008 年 3 月 18 日乙炔增长到 0.7  $\mu\text{l/l}$ ，2008 年 3 月 28 日乙炔增长到 1.0  $\mu\text{l/l}$ ，达到规程注意值，后对 2 号主变 A 相 3 号潜油泵进行检查，发现其线圈电流达到 20.1A，明显偏大，同时潜油泵噪声异常，当天投入 1 号潜油泵，将 3 号潜油泵退运并进行更换。之后乙炔含量长期稳定在 0.9  $\mu\text{l/l}$ ，直到 2008 年 10 月 10 日，发现乙炔增长至 2.2  $\mu\text{l/l}$ ，相对产气率为 28.9%/月，更换 1、3 号潜油泵后乙炔含量依然持续上升，至 11 月 6 日乙炔含量增加至 3.4  $\mu\text{l/l}$ ，主变内部局部放电的强度在持续增强。

油色谱离线测试数据变化过程如图 1 所示，相应监测期的变压器负荷变化情况如图 2 所示。

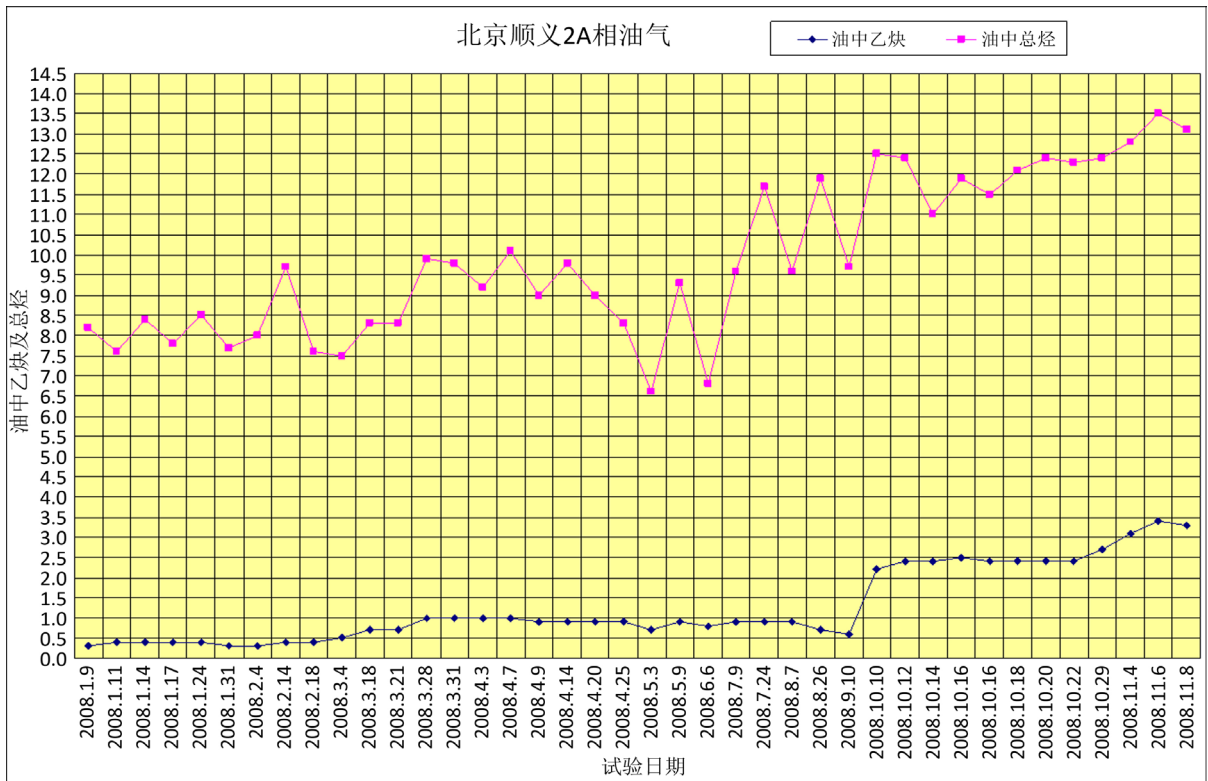


Figure 1. Trend Map of Off-line Measurement data for Oil Chromatography

图 1. 油色谱离线测试数据变化趋势图

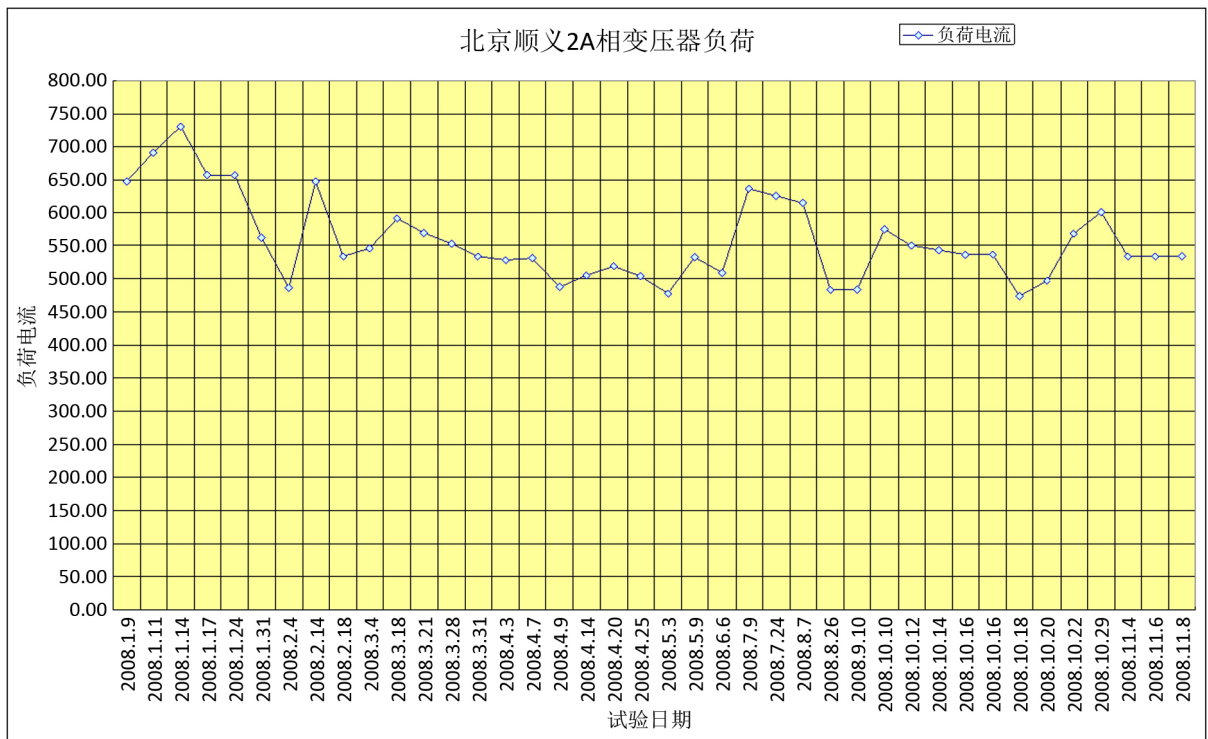


Figure 2. Trend diagram of transformer load change during monitoring period

图 2. 监测期内故障变压器负荷变化趋势图

### 3. 局部放电在线监测装置及其监测数据

为了提高变压器运行状况的检测水平，检修人员在缩短油色谱离线测试周期的同时，加装 OLM0403 移动式局放在线监测系统[13] [14]，它是一套 4 通道移动式局放在线监测系统，安装了一个宽带电流互感器用于监测铁心接地线上的局放脉冲电流信号，通过特殊抗干扰措施，提取变压器内部的放电脉冲电流信号；两个超声传感器，通过磁吸技术固定在变压器器身上，一个安装在高压侧；另一个安装在低压侧，另一通道用于提供基线噪声参考。

局部放电在线监测系统监测期内的局放峰值趋势图如图 3 所示，局放平均值趋势图如图 4 所示。

### 4. 局部放电发展过程分析

#### 4.1. 油色谱离线测试数据分析

从油色谱离线测试数据的变化情况可以看出，故障变压器局部放电的发展过程分为三个阶段：第一阶段为 2008 年 1 月 9 日至 3 月 28 日，该阶段乙炔含量从 0.3  $\mu\text{l/l}$  增长到 1.0  $\mu\text{l/l}$ ；第二阶段为 2008 年 3 月 31 日至 2008 年 9 月 10 日，该阶段乙炔含量基本稳定在 0.9  $\mu\text{l/l}$  上下；第三阶段为 2008 年 10 月 10 日至 2008 年 11 月 8 日，该阶段乙炔含量持续上升。

第一阶段 3 号潜油泵持续运行，由于 3 号潜油泵电流过大，可以判定 3 号潜油泵内部转子转动受阻，受阻的原因是转子轴偏斜，转子与定子表面发生摩擦产生的火花将油分解产生乙炔，但转子轴偏斜尚不严重，火花为非持续性的，所以乙炔增长速度并不是很快。第二阶段更换了损坏的潜油泵，乙炔基本稳定，说明变压器内部的放电点已经排除或放电不明显。第三阶段乙炔含量剧增，更换所有潜

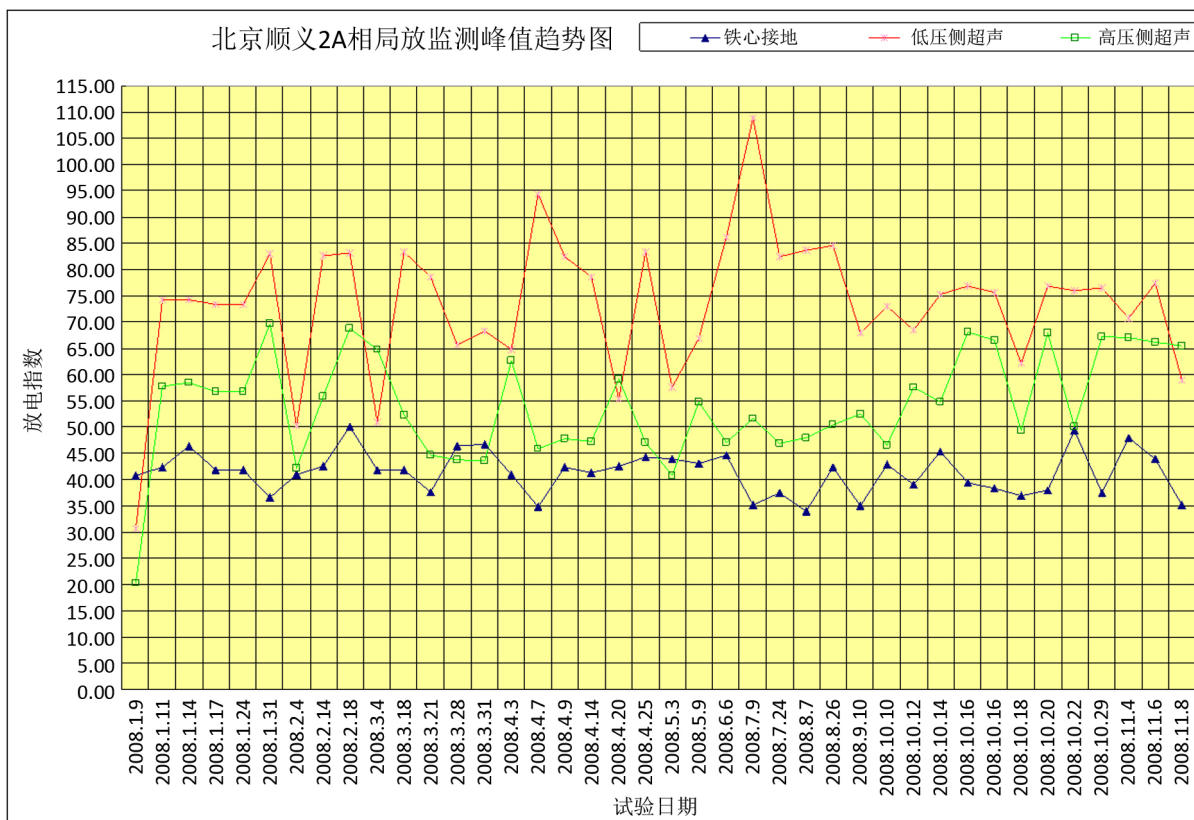


Figure 3. Peak trend chart of partial discharge during monitoring period

图 3. 监测期内局放峰值趋势图

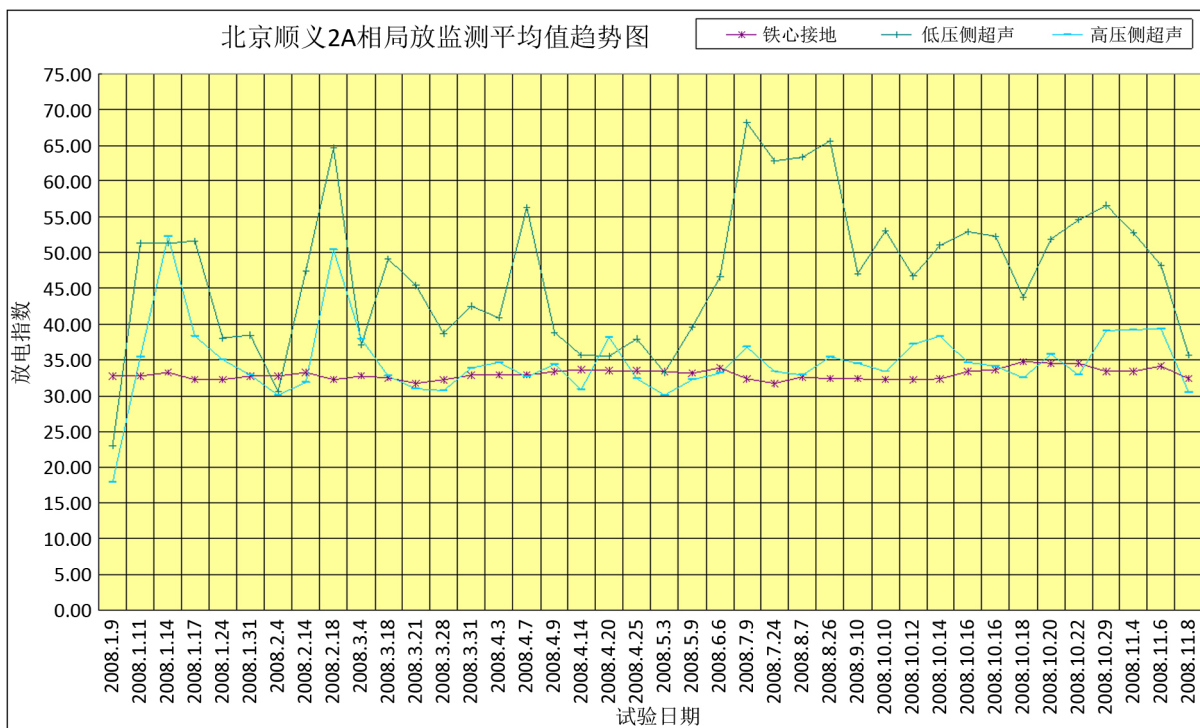


Figure 4. Trend Chart of the mean value of PD during the Monitoring period

图 4. 监测期内局放平均值趋势图

油泵后乙炔含量依然持续上升，排除潜油泵产生乙炔的因素，但仅凭借离线测试数据已无法确定放电点的具体位置。

#### 4.2. 局部放电在线监测数据分析

通过局部放电峰值和日平均值两组曲线的分析，可以明显看出，铁心接地线上的局放脉冲电流信号很小，且很平稳，没有明显的内部放电信号传导到铁心。高压侧有间断性超声信号，且与低压侧超声有一定的相关性，但与铁心接地线上的局放脉冲电流信号基本没有相关性。低压侧超声信号起伏变化很大，超声峰值点超过基准值的 40 多倍，7 月 9 日的一点超过 900 多倍，持续时间 30 多分钟，这些最大峰值点持续时间不等，间隔时间较长，且自身很难看出规律，与局放脉冲电流信号也没有明显的相关性。因此初步分析这种超声信号不是由单一的局放产生的。将局放监测的超声信号与变压器的负荷电流曲线对照分析，可以明显看出其相关性，负荷电流大于 550 A 时，低压侧出现超声信号，负荷突变时超声信号明显大幅度变化。因此可以进一步推断，这是由负荷电流或漏磁引起的接触性放电，同时伴随有震动。

#### 4.3. 离线测试和在线监测数据综合分析

在第一阶段，高压侧和低压侧均监测到了明显的局部放电信号，虽然离线测试数据的分析认为第一阶段乙炔的增加是由 3 号潜油泵故障引起的，但通过综合分析在线监测数据可知，在第一阶段已经伴随有低压侧漏磁引起的接触性放电现象，只是发展的较为缓慢，而高压侧的传感器，由于安放位置距离 3 号潜油泵较近，因此在第一阶段能够监测到明显的局部放电信号。

更换潜油泵后，进入第二、三阶段，高压侧监测到的局部放电信号明显减弱，低压侧仍能监测到明显的局部放电信号，这就说明 3 号潜油泵位置并没有发生局部放电现象，在排除了所有潜油泵造成



局部放电的原因后，即可判定在低压侧发生了漏磁引起的接触性放电。再通过与油气监测数据进行相关分析，每次大的超声信号过后，延时一段时间，油气开始上升，其中总烃变化比较明显，乙炔的上升说明发生过放电。

## 5. 解体分析验证

对3号潜油泵进行解体验证了第一阶段潜油泵故障是乙炔上升的一个主要因素，图5所示为3号潜油泵转子靠近外圈处的明显划痕，造成划痕时产生的火花导致乙炔的发生。



**Figure 5.** Scratches on rotor of submersible pump No.3

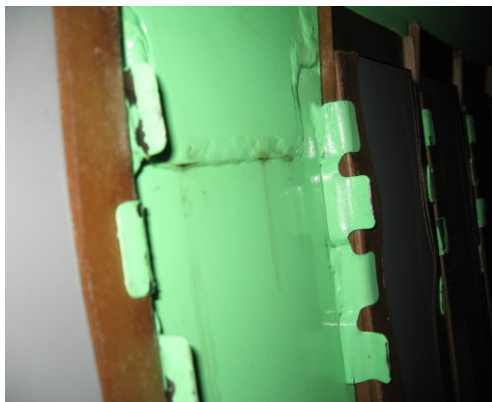
**图 5.** 3号潜油泵转子上的划痕

对主变低压侧磁屏蔽进行解体检查，发现低压侧第4块油箱磁屏蔽绝缘纸板断裂处及其与油箱接触部位有放电痕迹，如图6、图7所示，低压侧第5块油箱磁屏蔽发生破损，如图8所示。油箱磁屏蔽绝缘纸板被箱壁上焊接的电屏蔽铜板焊道扎破，导致油箱磁屏蔽两点接地，其中低压侧两块油箱磁屏蔽在漏磁场作用下形成闭环，导致驱流放电。



**Figure 6.** Discharge traces of low pressure side Magnetic shielding

**图 6.** 低压侧磁屏蔽的放电痕迹



**Figure 7.** Discharge trace of contact part between low pressure side magnetic shield and oil tank

**图 7.** 低压侧磁屏蔽与油箱接触部位放电痕迹



**Figure 8.** The fifth block of low pressure side oil tank magnetic shielding insulator paper is damaged

**图 8.** 低压侧第 5 块油箱磁屏蔽绝缘纸有破损

## 6. 结论

1) 油色谱离线测试手段依然是发现变压器内部故障的重要手段之一，通过油色谱离线测试和检查潜油泵电流可以及时发现因潜油泵故障引起的乙炔超标。

2) 局部放电在线监测技术是油色谱离线测试的重要补充，局部放电在线监测能够及时发现并定位局部放电点。

3) 变压器磁屏蔽绝缘破损会引起变压器内部产生局部放电现象，应提高变压器制造工艺水平，防止磁屏蔽两点接地。

## 参考文献

- [1] 伍志荣, 聂德鑫, 陈江波. 特高压变压器局部放电试验分析[J]. 高电压技术, 2010, 36(1): 54-61.
- [2] 刘嘉林, 董明, 安珊, 等. 电力变压器局部放电带电检测及定位技术综述[J]. 绝缘材料, 2015, 48(8): 1-7.
- [3] Raymond, W.J.K., Ilias, H.A., Bakar, A.H.A., *et al.* (2015) Partial Discharge Classifications: Review of Recent Progress. *Measurement*, **68**, 164-181. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.02.032>
- [4] 朱瑞华, 席保锋, 徐阳, 等. 变压器局部放电超声法检测中超声传感器的应用[J]. 绝缘材料, 2007, 40(4): 62-64.
- [5] 胡然, 罗维, 王瑞珍, 等. 一台新投运 500 kV 变压器油色谱异常的缺陷诊断和处理[J]. 高压电器, 2015, 51(5):

139-143.

- [6] 廖怀东. 变压器油色谱分析及故障判断[J]. 高电压技术, 2006, 24(1): 112-113.
- [7] 操敦奎. 变压器油色谱分析与故障诊断[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [8] Lin, Y.P. (2002) Trends of Chromatographic Analysis of Transformer Oil. *Transformer*.
- [9] 唐攀龙, 周羽生, 马士英, 等. 变压器油色谱分析及其应用的研究[J]. 绝缘材料, 2008, 41(5): 65-68.
- [10] 罗勇芬, 李彦明, 刘丽春. 基于超高频和超声波相控接收原理的油中局部放电定位法仿真研究[J]. 电工技术学报, 2004, 19(1): 35-39.
- [11] 谢庆. 基于空间谱估计的变压器局放超声阵列定位方法研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2010.
- [12] 律方成, 程述一, 李燕青, 等. 超声法在电力变压器局部放电检测中的应用与展望[J]. 变压器, 2012, 49(8): 45-49.
- [13] 陈卓, 刘念, 薄丽雅. 电力设备状态监测与故障诊断[J]. 高电压技术, 2005, 31(4): 46-48.
- [14] 王昌长, 李福祺, 高胜友. 电力设备的在线监测与故障诊断[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2328-0514, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [aepe@hanspub.org](mailto:aepe@hanspub.org)