

ICS 29.180

K 41

备案号: 53955-2016

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

DL / T 1534 — 2016

---

## 油浸式电力变压器局部放电的 特高频检测方法

Methods of UHF partial discharge detection in  
oil-immersed power transformers

2016-01-07 发布

2016-06-01 实施

---

国家能源局 发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 检测装置..... 2

    4.1 概述..... 2

    4.2 一般功能要求..... 2

    4.3 特殊功能要求..... 2

5 检测和定位..... 2

    5.1 传感器安装..... 2

    5.2 检测..... 3

    5.3 局部放电源定位..... 3

6 信号特征与分析..... 3

    6.1 局部放电信号..... 3

    6.2 干扰信号..... 3

    6.3 严重程度判定..... 4

附录 A（资料性附录） 局部放电特高频检测的原理..... 5

附录 B（资料性附录） 局部放电特高频检测装置的工作方式..... 7

附录 C（资料性附录） 局部放电特高频定位方法..... 8

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的要求编写。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电力变压器标准化技术委员会归口。

本标准主要起草单位：国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、中国电力科学研究院、广东电网公司电力科学研究院、广东电网公司、国网江西省电力公司电力科学研究院、国网湖北省电力公司电力科学研究院、国网山东省电力公司电力科学研究院、南方电网公司电力科学研究院、特变电工沈阳变压器集团有限公司、天威保定变压器有限公司、广州西门子变压器有限公司、沈阳变压器研究院股份有限公司、阿尔斯通电网技术中心有限公司。

本标准主要起草人：刘诣、邓建钢、聂德鑫、张淑珍、林春耀、欧阳旭东、万军彪、沈煜、朱文兵、邱进、王颂、孙健、王雪岗、杨家辉、陈奎、方石明。

本标准为首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 油浸式电力变压器局部放电的特高频检测方法

## 1 范围

本标准规定了油浸式电力变压器（电抗器）局部放电的特高频检测方法，主要包括检测装置功能要求、检测与定位技术要求、信号特征与分析方法。

本标准适用于 110（66）kV 及以上电压等级的油浸式电力变压器（电抗器）的局部放电特高频检测。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 7354 局部放电测量

GB 26860 电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分

GB 26861 电力安全工作规程 高压试验室部分

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 7354 中的某些术语和定义。

### 3.1

#### 局部放电 **partial discharge**

设备绝缘系统中部分被击穿的电气放电，这种放电可以发生在导体（电极）附近，也可发生在其他位置。

注：导体（电极）周围气体中的局部放电有时称为“电晕”，这一名词不适用于其他形式的局部放电。“游离”是指原子与分子等形式的电离，通常不应把“游离”这一广义性名词用来表示局部放电。

### 3.2

#### 特高频（UHF） **ultra high frequency**

频率为 300MHz～3000MHz 范围内的电磁波。

### 3.3

#### 特高频传感器 **ultra high frequency sensor**

用于接收局部放电激发的特高频信号的传感器。

### 3.4

#### 局部放电特高频检测法 **ultra high frequency detection of partial discharge**

通过特高频传感器检测局部放电所激发的特高频信号，实现局部放电检测和定位的方法。

### 3.5

#### 到达时刻 **arrival instant**

特高频传感器检测到局部放电激发的特高频信号的起始时刻。

### 3.6

#### 到达时间差 **time-difference-of-arrival**

不同特高频传感器检测到同一局部放电激发的特高频信号到达时刻差值。

## 4 检测装置

### 4.1 概述

检测装置基于局部放电特高频检测原理（参见附录 A），由特高频传感器、信号调理采集处理单元和分析软件等组成。工作方式可采用宽带检波、窄带选频或窄带检波（参见附录 B）。检测装置应具备一般功能要求，诊断型检测装置还应具备特殊功能要求。

### 4.2 一般功能要求

检测装置应具有下列一般功能：

- a) 特高频传感器在环境温度 $-25^{\circ}\text{C}\sim+115^{\circ}\text{C}$ 下应能正常工作。
- b) 信号调理采集处理单元在环境温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim+55^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $0\%\sim80\%$ 下应能正常工作。
- c) 检测频率范围应在 $300\text{MHz}$ 到 $3000\text{MHz}$ 之间的某个频段，其中：
  - 1) 宽带检波工作方式的检测装置工作频段宜为 $400\text{MHz}\sim1500\text{MHz}$ ；
  - 2) 频率可调，工作带宽宜为 $20\text{MHz}\sim100\text{MHz}$ ；
  - 3) 窄带检波型工作方式的检测装置检测中心频率不可调，工作带宽不宜小于 $100\text{MHz}$ 。
- d) 应能检测出上升沿不大于 $0.5\text{ns}$ 、持续时间大于 $10\text{ns}$ 、幅值大于 $3.5\mu\text{V/m}$ 的阶跃脉冲信号。
- e) 动态范围（DR）应不小于 $40\text{dB}$ ，由检测装置可检测最大脉冲电场值 $E_{\max}$ 和可检测最小脉冲电场值 $E_{\min}$ 计算出，计算公式如下：
 
$$DR = 20\log(E_{\max} / E_{\min}) \quad (1)$$
- f) 宜能同步检测不少于2路特高频信号。
- g) 应能抑制或排除干扰。
- h) 检测数据应能存储并导出。
- i) 应具备检测结果显示功能，并提供特高频信号的幅值、相位等信息，可采用波形图、趋势图、多工频周期扫描图、二维谱图（ $\Phi$ - $V$ 图、 $\Phi$ - $N$ 图）、三维谱图（ $\Phi$ - $V$ - $N$ 图）等谱图中的一种或几种进行展示。
- j) 采用改装放油阀伸入变压器内部进行检测的内置式特高频传感器，应有能防止安装过程中空气进入变压器内部的装置。

### 4.3 特殊功能要求

诊断型检测装置还应具有下列功能：

- a) 定位功能：应能同步检测不少于4路特高频信号，通道间信号时间分辨率不大于 $2\text{ns}$ 。
- b) 同步功能：应能采集被检测设备电压相位信号，并同步检测局部放电的特高频信号。

## 5 检测和定位

### 5.1 传感器安装

5.1.1 传感器可采用内置方式或外置方式安装。

5.1.2 内置安装是通过改装放油阀或法兰盘将传感器置入变压器内部进行局部放电特高频信号检测。内置特高频传感器安装应牢固可靠，具有防止滑脱的措施，不影响变压器的安全运行；安装完毕后，应能有效接收特高频信号。

5.1.3 外置安装是将传感器安装在变压器上可泄漏电磁波的介质窗上，进行局部放电特高频信号检测。布置传感器时，应与带电部位保持足够的安全距离。宜对传感器非检测面采取屏蔽措施。

## 5.2 检测

5.2.1 检测过程中安全措施参照 GB 26860、GB 26861 实施。

5.2.2 不应在特高频传感器附近使用可能与检测频段重合的无线通信设备；可在变压器外部设置特高频传感器采集空间干扰信号，若变压器内部检测信号与空间干扰信号的相位和形态类似并同步出现，应考虑为干扰信号的可能性。

5.2.3 连续检测时间应不少于 30min。若检测到发生频次较低（间隔时间数秒以上）疑似局部放电信号，且无规律，可延长检测时间。

5.2.4 若多个传感器同时检测时仅有一个传感器能重复检测到特高频信号，宜调整其他传感器（或调理采集通道）布置在该传感器位置上进行验证。

5.2.5 应对检测数据、环境和被检设备运行工况进行记录，如波形、幅值、统计图谱、传感器安装位置、天气、气温、湿度、检测时变压器负荷、分接开关挡位、冷却器运行状态等。

## 5.3 局部放电源定位

### 5.3.1 定位条件

接收到具有明确到达时刻的特高频信号的传感器不少于 4 个，且不宜处于同一平面上。

### 5.3.2 传感器坐标

以油箱上显著的结构点如外箱沿、加强筋等作为参考原点，建立三维直角坐标系，并在该坐标系下测量各个传感器的坐标。参考原点宜选择距参与定位的传感器较近的位置。

### 5.3.3 等效波速

进行定位计算时，电磁波在变压器内部包括油、纸、纸板等介质中的等效波速宜取 20cm/ns。

### 5.3.4 定位计算

检测结果达到定位条件并确定各传感器坐标后，宜采用到达时间差法进行定位，参见附录 C。

变压器可能存在多于一个放电源的情况，不同放电源产生的特高频信号可通过各传感器信号时间差特征进行分辨，应将不同放电源产生的不同的特高频信号到达时间差分别进行定位计算。

### 5.3.5 定位结果

给出局部放电特高频信号源定位位置时，应同时标明其参考坐标系。

## 6 信号特征与分析

### 6.1 局部放电信号

具有以下所有特征的信号，可能为局部放电信号：

- a) 脉冲前沿较为陡峭；
- b) 周期性出现；
- c) 有明显的相位特征，一般情况出现在所加电压相位的第一与第三象限。

### 6.2 干扰信号

具有以下任一特征的脉冲信号，可能为干扰信号：

- a) 偶然出现;
- b) 相位特征无规律;
- c) 与外置检测空间干扰的特高频传感器接收的信号同步出现, 相位特征一致。

### 6.3 严重程度判定

特高频传感器检测到的非干扰信号中, 幅值大于背景信号 10dB 时, 应加强关注。根据特高频信号幅值和频次等检测特征量的发展趋势, 结合局部放电超声检测和变压器油中溶解气体色谱分析等其他试验结果, 对变压器局部放电情况进行综合评价。不宜只根据特高频信号强度判断局部放电严重程度。

## 附录 A

## (资料性附录)

## 局部放电特高频检测的原理

在局部放电产生过程中，每一次局部放电的产生都会发生正负电荷的中和，伴随有一个陡的电流脉冲，其上升时间为 ns 级或亚 ns 级，并激发特高频频段的电磁波。当放电间隙比较小、绝缘强度比较高时，放电过程的时间比较短，电流脉冲的陡度比较大，辐射高频电磁波的能力比较强。通常变压器绝缘结构中发生的局部放电信号可以看成是由一个点源所发出的，当电介质某处发生局部放电时，由放电产生的电磁扰动随时间变化，将会产生电磁波，它们遵循麦克斯韦的电磁场基本方程：

$$\begin{cases} \nabla \times H = \delta_c + \frac{\partial D}{\partial t} \\ \nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \\ \nabla \cdot B = 0 \\ \nabla \cdot D = \rho \end{cases} \quad (\text{A.1})$$

式 (A.1) 中， $\delta_c$  为电流密度，单位为 A/m； $\rho$  为激励源，单位 C/m<sup>3</sup>。引入动态向量单位  $A$  和动态标量单位  $\varphi$  来分析局部放电产生的时变电磁场，这时麦克斯韦基本方程组变为式 (A.2) 动态位方程组：

$$\begin{cases} \nabla^2 A = -\mu \delta_c + \nabla \left( \mu \varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) + \nabla (\nabla \cdot A) + \mu \varepsilon \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} \\ \nabla^2 \varphi + \nabla \cdot \frac{\partial A}{\partial t} = -\frac{\rho}{\varepsilon} \end{cases} \quad (\text{A.2})$$

式 (A.2) 中， $A$  为动态向量单位，单位为 Wb/m； $\varphi$  为动态标量单位，单位为 V； $\varepsilon$  为介电常数，单位为 F/m； $\mu$  为导磁率，单位为 H/m。式 (A.2) 表示了动态单位与激励源  $\rho$  和电流密度之间的关系，考虑洛伦兹条件：

$$\nabla \cdot A = -\mu \varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (\text{A.3})$$

以及  $v = 1/\sqrt{\mu \varepsilon}$ ，则式 (A.2) 可化为

$$\begin{cases} \nabla^2 A - \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} = -\mu \delta_c \\ \nabla^2 \varphi - \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon} \end{cases} \quad (\text{A.4})$$

在时变场的无源区域，由于  $\rho$  和  $\delta_c$  均为 0，因此，式 (A.4) 达朗贝尔方程成为波动方程：

$$\begin{cases} \nabla^2 A - \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} = 0 \\ \nabla^2 \varphi - \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = 0 \end{cases} \quad (\text{A.5})$$

考虑体积  $v$  中所有电荷的作用，其解为

$$\varphi(x, y, z, t) = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \int_V \frac{\rho \left( x', y', z', t - \frac{r}{v} \right)}{r} dV \quad (\text{A.6})$$

$$A(x, y, z, t) = \frac{\mu}{4\pi} \int \frac{\delta_e \left( x', y', z', t - \frac{r}{v} \right)}{r} dV \quad (\text{A.7})$$

式 (A.6) 和式 (A.7) 说明局部放电产生的电磁波是以速度  $v$  沿着  $r$  方向传播的, 它是时间与位置的函数, 该电磁波的能量以速度  $v$  沿着  $r$  方向分布, 即沿电磁波的传播方向传播。

局部放电特高频 (UHF) 检测法基本原理是通过特高频传感器对电力设备中发生局部放电时产生的特高频电磁波信号进行检测, 从而获得局部放电的相关信息, 实现局部放电检测。通常可将特高频传感器外置于变压器电磁波介质窗口处, 或者预置在变压器油箱壁内侧, 以及通过放油阀伸入变压器油箱实现特高频电磁波信号接收, 如图 A.1 所示。

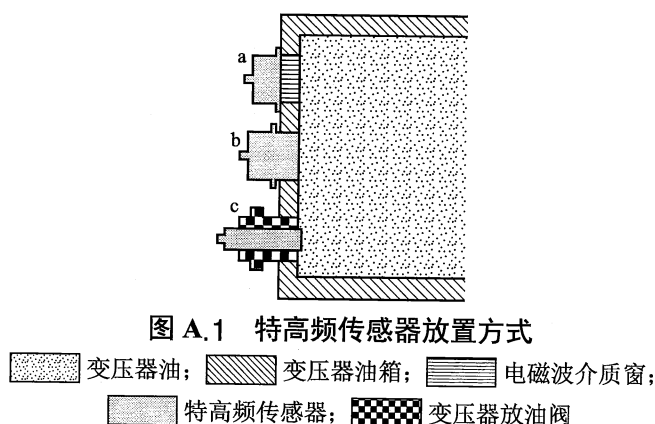


图 A.1 中, a、b、c 三种方式分别对应介质窗口外置、预置内置、放油阀伸入内置三种特高频传感器安装放置方式。

附录 B  
(资料性附录)

局部放电特高频检测装置的工作方式

特高频局部放电检测装置的工作方式一般分为宽带检波、窄带选频、窄带检波三种方式，其信号调理流程如图 B.1、图 B.2 所示。

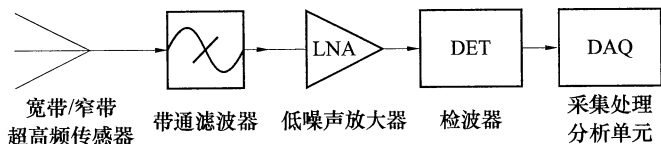


图 B.1 宽带/窄带检波信号调理流程

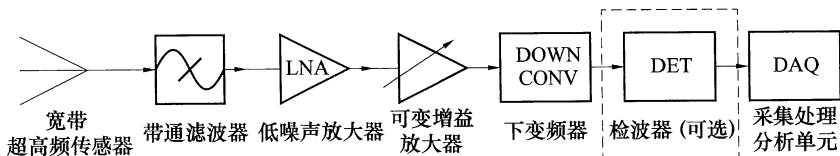


图 B.2 窄带选频信号调理流程

宽带检波工作方式具有耦合信号频率范围宽、能量高的优点，但是易受检测频段范围内窄带广播通信信号的干扰，使用时需根据干扰信号的频率特征采用特定中心频率的带通滤波器或组合使用特定频率的高通和低通滤波器来避免窄带干扰。

窄带选频工作方式可在工作频段中选取指定中心频率的固定带宽信号进行局部放电特高频检测，工作时可选取信噪比较高的频段作为检测频段，具有检测频段可变、抗干扰能力强的优点。

窄带检波工作方式类似于宽带检波方式，但是由于其特高频传感器耦合信号频率范围窄、能量低，需要预先设计特高频传感器工作于常见电磁波干扰频段范围之外，因此应用受到一定的限制，故不推荐采用。

附 录 C  
(资料性附录)  
局部放电特高频定位方法

局部放电特高频定位,是利用局部放电特高频信号到达多个传感器之间的时间差进行空间定位,一般需要至少 4 通道特高频信号进行定位,采用更多通道的特高频信号可得到更为准确的定位结果。到达时间差定位算法是在所有传感器中,以第一个特高频信号到达时刻作为参考时刻,通过测量后续到达的特高频信号不同的传播时间和传感器的几何位置,就可以进行放电源位置计算,如果以第一个收到特高频信号的传感器作为参考传感器,这样第  $i$  个传感器相对参考传感器的特高频传播时差  $t_{i-0}$  就可以测得,各传感器相对参考传感器的特高频信号传播时差就满足双曲面方程:

$$t_i - t_0 = t_{i-0} \quad (\text{C.1})$$

式中:

$t_i$  ——从放电源到第  $i$  个传感器的特高频信号传播时间;

$t_0$  ——放电源到参考传感器的特高频信号传播时间;

$i=1, 2, 3, \dots, m-1$  ( $m \geq 4$ )。

所以:

$$\frac{\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}}{c} - \frac{\sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + (z_0 - z)^2}}{c} = t_{i-0} \quad (\text{C.2})$$

式中:

$(x_i, y_i, z_i)$  ——第  $i$  个传感器所对应的位置坐标;

$(x_0, y_0, z_0)$  ——参考传感器的位置坐标;

$(x, y, z)$  ——放电源的位置坐标;

$c$  ——光速;

$i=1, 2, 3, \dots, m-1$  ( $m \geq 4$ )。

求解式 (C.2), 就可以得到放电源的位置坐标  $(x, y, z)$ , 这个点是  $(m-1)$  双曲面的交点。

求解式 (C.2) 可通过牛顿迭代法或者网格搜索法进行。此两种方法可单独使用, 也可以用较为粗略网格进行网格搜索得到初值, 用于牛顿迭代法, 具体应用时可灵活采用。

中 华 人 民 共 和 国  
电 力 行 业 标 准  
油浸式电力变压器局部放电的  
特 高 频 检 测 方 法  
DL/T 1534 — 2016

\*

中国电力出版社出版、发行  
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京传奇佳彩数码印刷有限公司印刷

\*

2016 年 6 月第一版 2016 年 6 月北京第一次印刷  
880 毫米×1230 毫米 16 开本 0.75 印张 18 千字  
印数 001—200 册

\*

统一书号 155123 · 3167 定价 9.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

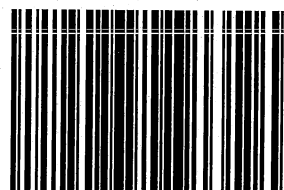
版 权 专 有 翻 印 必 究



中国电力出版社官方微信



掌上电力书屋



155123.3167