放电量特征参量表征故障发展阶段的研究

局部放电是电缆本体及附件、变压器及GIS开关等电气设备长期运行中绝缘不断劣化的一个重要征兆。近年来在国网推动下，局部放电在线检测技术得到了极大发展。在实际运行中，这一技术也遇到了一些问题，当遇到疑似故障放电时最大放电量这一特征量是否适用于表征故障发展阶段从此现场需求引出并构建了5种特征参量，并研究了几种特征量在故障发展阶段的发展规律，希望能找到可表征故障发展阶段的，且便于现场人员直观感受：易于接受的特征量。试验证明，最大放电量并不适用于故障发展阶段预警；累积放电量虽适用于故障发展阶段预警，但在故障发展周期长的现场条件下难以提取；1 s放电量既适用于故障发展阶段预警，又方便在现场条件下提取，是值得推荐的参量。

刘青 高智益 林一轩 赵洋 李光 李譞/国网北京市电力公司检修分公司

刘青/工程师

关键词/Keywords

局部放电·
最大放电量·
故障发展·
特征参量·
累积放电量·

0 引言

局部放电是电缆本体及附件、变压器及GIS开关等电气设备长期运行中绝缘不断劣化的一个重要征兆[1-3]。近年来在国网推动下，针对局部放电的在线监测技术得到了极大发展，但在实际运行中也遇到了一些问题，比如当遇到疑似故障放电时如何处理，就是现场人员关心的问题。

对于检测出疑似放电的案例，一般给出的建议为长期监测与多家会诊相结合。即可分步骤落实以下内容。

1）长期监测。建议选择清爽、晴好天气进行复测；对其进行全面、充分的检测和分析，对于可能的干扰信号，应尽量予以排除；对于疑似放电信号，可观察其趋势、掌握其规律，如放电幅值、放电稳定性等的发展趋势。

2）多家会诊。如有条件，可使用其他检测方式对其进行检测。电缆可用的在线检测方式较少，可借用停电检修的机会，使用常规检测方法检测。另外，使用其他品牌的检测设备进行检测，也有一定效果。

在进行复测时使用何种特征量，也是现场人员疑惑的地方。由于局部放电在线检测研究尚未深入到能够提供简单易懂、流程性规范的程度，加上现场人员对专业知识了解不足等原因，一般现场人员在复测时，只是简单观察最大放电量这一特征量。而最大放电量用于表征故障发展阶段的可靠性是有待研究的。

本文课题从此现场需求出发，研究了最大放电量是否可用于表征故障发展阶段，以及何种特征量可用于表征故障发展阶段，希望能找到可表征故障发展阶段的、且便于现场人员直观感受、易于接受的特征量。

1 局部放电故障发展阶段预警技术研究现状

绝缘结构有固体、气体和液体三态。由于GIS设备为气体+固体绝缘，结构相对简单，在长期运行中绝缘老化或劣化的现象相对不明显，而且由于油纸绝缘试验方法简便，可以采用加速老化方法来等效现场情况,所以国内外的研究主要集中于分析局部放电信号和油中溶解气体特征信息，对变压器或电缆等油纸绝缘设备故障的严

中国知网 https://www.cnki.net

重等级、风险程度进行评估，做出故障预警或预测，但是对GIS设备局部放电的预警问题研究相对较少。

2 构建特征参量

本文构建了以下5种有可能实时表征故障发展阶段的特征量。

2.1 脉冲频度

本文在统计脉冲的频度时，采用了1 s时间内的脉冲数量作为脉冲频度的表征参数。统计脉冲数量时，需要根据背景噪声的数值大小，选择50～800pC内的某一个数值，设置为脉冲提取的阈值。应该选择尽量低的阀值，这样能够统计到幅值较小的脉冲信号。统计脉冲数量时，需要区分处于正半周的脉冲和处于负半周的脉冲，两类脉冲分别进行统计。区分两类脉冲的标准是相位，一般是参照脉冲散点图选择范围，通常将0°～130°、310°～360°范围内的定为正脉冲，而将其他范围内的定为负脉冲。

2.2 脉冲最大放电量

设置一个时间范围后，对脉冲的视在放电量进行对比，可找出其中的最大值。由于脉冲有正负之分，因此脉冲的最大放电量同样有正负之分。

2.3 脉冲平均放电量

对于窄带脉冲电流信号，分析平均放电量。设置一个时间范围后，对脉冲的视在放电量进行累加求和，再除以脉冲的数量，就是脉冲平均放电量。由于脉冲有正负之分，因此脉冲的平均放电量同样有正负之分。

2.4 脉冲1 s放电量

将1 s设置为时间范围，统计该时间范围内的脉冲，累加求和正脉冲和负脉冲的视在放电量。

2.5 脉冲累积放电量

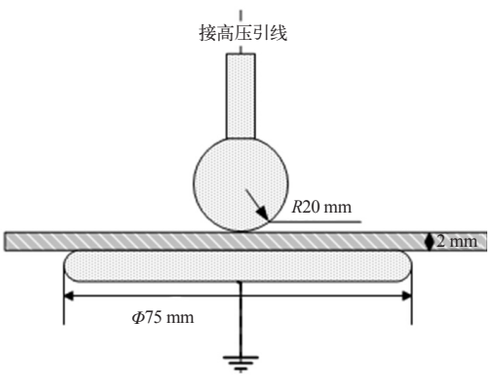
将需要统计的时间范围设置为从试验设备开始加压到击穿，对脉冲的视在放电量累加求和（包括正脉冲和负脉冲），计算出脉冲的总放电量。由于每隔一段时间测量一次局部放电，再乘以时间间隔，就是脉冲累计放电量。

3 试验平台和试验过程

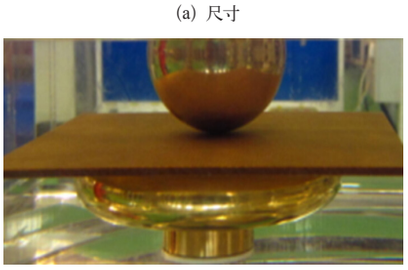
3.1 试验平台

本文使用工频加压系统，采用恒压法进行试验。试验样品置于变压器油杯中，样品包含球－板模型、绝缘纸板和纸带。信号采集设备为符合IEC 60270标准的窄带局部放电检测仪器。

本文所采用球－板模型可用来代表稍不均匀电场，变压器内部的稍不均匀电场一般出现在高压绕组和低压绕组之间、绕组对外壳以及高压引线对外壳等部位。电极模型如图1所示。



(a) 尺寸



(b) 实物

图1 球板放电模型

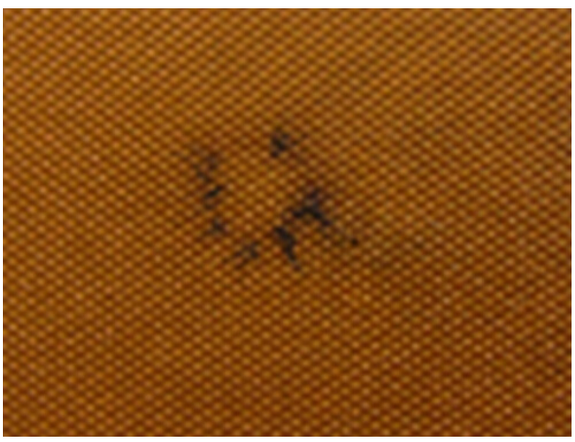
本文使用的是恒定电压法，选择3个电压等级作为外加电压，观察绝缘纸板从开始放电直至击穿的整个过程。试验电压开始时缓慢而匀速地升高，达到起始放电电压后，迅速调整至指定电压，记录此次局放试验的相关数据，直到绝缘纸板被击穿。

3.2 试验过程

本次试验试品的起始放电电压为29 kV,迅速调整至25 kV后保持恒定。在试验过程中，不仅能够看到火花、听到明显的放电声音，而且在球电极周围有气泡生成。放电持续了27 min，试品最终被击穿。试品击穿后正面、背面

中国知网 https://www.cnki.net

的炭化痕迹如图2所示。



(a) 正面

(b) 背面

图2 试品表面炭化痕迹

4 各特征量的发展情况

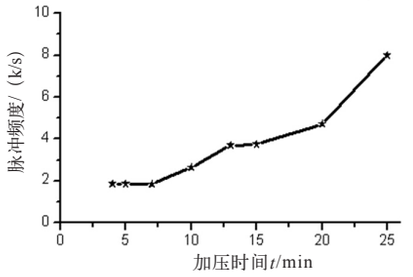
4.1 脉冲的频度

试品在25 kV电压等级下，脉冲频度的发展情况如图3所示。横坐标是以分钟为单位的加压时间，纵坐标是以千每秒为单位的脉冲频度。恒定电压下，随着加压时间的不断增加，脉冲频度出现了增大的趋势，增长曲线也符合幂数规律。但是，存在以下值得关注的现象。

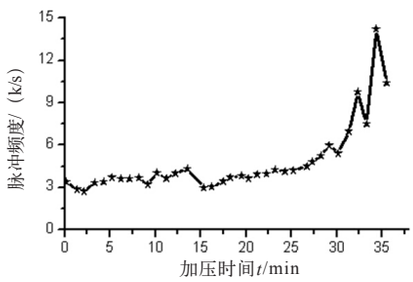
1）大部分试品可以发现阶段性的特征。脉冲频度在初期会维持在较低水平，但是在后期会持续增大。

2）脉冲频度有时增大、有时减小，说明变化相对复杂。

3）在击穿前夕，不是所有试品的脉冲频度会继续增大，少数试品的脉冲频度会下降。



(a) 8号

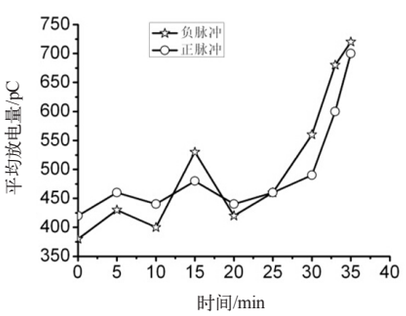


(a) 02号

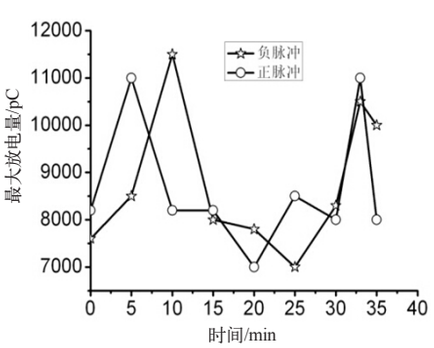
图3 25 kV电压等级下试品的脉冲频度发展情况

4.2 脉冲的最大放电量和平均放电量

放电量的变化如图4所示，会出现整体上不变、逐渐增加和逐渐减小三类情况。其中逐渐增加和逐渐减小出现的次数较多，整体上不变的情况较少。单纯从放电量来分析，大部分试品在初始阶段一般比较稳定，在发展阶段会快速增大。



(a) 平均放电量



(b) 最大放电量

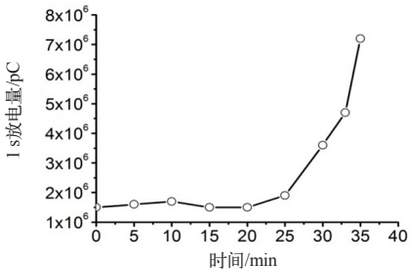
图4 25 kV电压等级下最大放电量和平均放电量的发展过程

中国知网 https://www.cnki.net

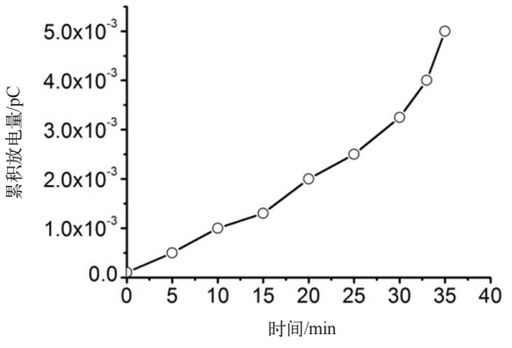
4.3 脉冲的1 s放电量和累积放电量

如图5所示，脉冲的1 s放电量在整体上呈现增大趋势，但是从累积放电量的曲线上能明显看出线性增长或者幂数增大。

综合分析脉冲的1 s放电量和累积放电量，可以很明显地分为初始阶段和发展阶段，而且初始阶段相对平稳，发展阶段相对增长较快。



(a) 1s放电量



(b) 累积放电量

图5 25 kV 1 s放电量和累积放电量发展过程

4.4 球板放电特征参数发展规律小结

通过分析球板的局部放电特征参量发展规律，发现大部分试品的脉冲频度、最大放电量、平均放电量、1 s放电量和累积放电量在不断发展变化的过程中，初始阶段都相对稳定，发展阶段都增长较快。初始阶段的各项特征参数，数量值较小而且比较稳定；发展阶段的各项特征参数，数值会快速增大，直至绝缘纸板被击穿。说明放电通道的平衡被突破后，局部放电情况会快速发展。

5 结束语

1）试验记录了恒定交流电压下，绝缘纸板从开始放电直至击穿的整个过程。通过分析实验数据，初步分析了试品脉冲频度、最大放电量、平均放电量、1 s放电量和累积放电量等特征参量的发展阶段和变化规律。

2）脉冲频度的增长比较多样化，整体上会不断增长。脉冲最大放电量和平均放电量出现逐渐增加和逐渐减小出现的次数较多，整体上不变的情况较少。脉冲1 s放电量的增长比较有规律性。脉冲累计放电量明显跟随时间的延长而不断增长，符合客观规律。

3）结合现场检测，需要密切注意的是：最大放电量并不适用于故障发展阶段预警；累积放电量虽适用于故障发展阶段预警，但在故障发展周期长的现场条件下难以提取；1 s电量作为放电频次与放电量的效果叠加参量，既适用于故障发展阶段预警，又方便在现场条件下利用软件进行提取，是值得推荐的参量。

参考文献

[1] 王彩雄，李成榕，唐志国，等.基于LabView的变压器局部放电UHF定位系统的软件设计与开发[C].中国电机工程学会高压专委会2007 年学术年会论文集：1195-1198.

[2] 王彩雄，李成榕，唐志国，等.基于UHF方法的电弧炉变压器局部放电在线检测[C].中国电机工程学会高压专委会2007 年学术年会论文集：1199-1201.

[3] 李成榕，王彩雄，唐志国，等.基于聚类分析的变压器局部放电智能诊断方法[J]. 华北电力大学学报，2008，35(6)：7-12.

作者简介

刘青（1984-），男，本科，工程师，从事电缆运维检修工作。

（收稿日期：2015-12-10）EA

（编辑：杨得润）

中国知网 https://www.cnki.net