

两种紫外成像参数在绝缘子故障诊断中的比较

刘渝根, 柴艳莉

(重庆大学电气工程学院输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400030)

摘要: 绝缘子的运行状态直接关系到高压电网的稳定性,在运行过程中会出现绝缘性能下降同时伴随着表面放电,可以用紫外成像仪对其运行状态进行检测。目前,主要的参数是“紫外光斑面积”和“光斑直径”,为了对它们在绝缘子故障诊断中的性能有一个对比,笔者通过喷水分级法在现场选择了正常、良好、微痕、劣化和严重老化5种绝缘状态的同一种绝缘子,在实验室搭建平台,在加压8、10、15 kV的情况下,通过南非CoroCAM504紫外成像仪对绝缘子放电情况拍摄足够的紫外图片,运用数字图像处理算法提取了两个参数值,通过MATLAB数字仿真,得到了这两种参数随绝缘状态的变化趋势。结果表明:①在绝缘子绝缘状态良好的时候,光斑面积和光斑直径几乎可以忽略,对应性比较好,反之,在这两个参数都很小的时候,说明绝缘子绝缘良好;②在绝缘子绝缘出现问题时,二者都有上升趋势,但是光斑面积有一个转折点“4”,而光斑直径没有,这说明,当绝缘劣化到一定程度时,光斑面积就没有太大区分度了,而光斑直径则可以区分。最终为绝缘子的运行状态的评估提供了量化的依据和一定的指导。

关键词: 绝缘子; 紫外成像; 光斑面积; 光斑直径; 数学形态学; 状态评估

中图分类号: TM861

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2012)10-0022-05

Comparison Between Two Ultraviolet Imaging Parameters for Insulator Fault Diagnosis

LIU Yu-gen, CHAI Yan-li

(State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The stability of ultra-high voltage grid is related to the working condition of the insulators, whose insulation performance degrades during working period with surface discharge. The ultraviolet camera (UV-camera) can be used to detect the working condition of the insulators for fault diagnosis. The main parameters of UV-camera are spot area and spot diameter. In this paper, five kinds of insulation states of a same kind insulator, i.e. normal, good, slight trace, degradation and severe aging, are selected through the water spray classification method to compare the effect of the two parameters on insulator fault diagnosis. A platform is constructed in laboratory to take sufficient ultraviolet pictures of insulator discharge with a CoroCAM504 type UV camera (made in South Africa) at the voltage of 8 kV, 10 kV and 15 kV, respectively. The two parameters are extracted by using the digital image processing algorithm, and the variation of the two parameters with insulation condition of the insulator is obtained through digital simulation by MATLAB. The results indicate that: When the insulation condition of the insulator is perfect, the spot area and spot diameter are almost negligible; Smaller values of the two parameters correspond to nice insulation; When the insulation get worse, both parameters show incremental tendency, but only spot area appears a turning point “4”, which suggests spot diameter is more sensitive to insulation degradation as the degradation reaches a certain degree. This study may provide a basis for quantitative assessment of insulator working condition.

收稿日期: 2012-06-21; 修回日期: 2012-07-11

基金项目: 国家创新研究群体基金(51021005)。

Project Supported by the Funds for Innovative Research Groups of China(51021005).

Key words: insulators; ultraviolet imaging; spot area; spot diameter; mathematical morphology; condition assessment

0 引言

高压绝缘子承受的电压等级高,在长期的运行过程中,由于各种原因会导致其绝缘性能下降,绝缘性能的下降会在绝缘子表面产生放电现象,根据放电特征对其进行在线运行状态监测可以及时发现故障绝缘子,减小危害。紫外成像是检测高压电气绝缘子绝缘状况的一种新方法,基本原理是通过检测绝缘子表面放电点发射出的紫外光信号从而实现了对绝缘子的绝缘状况进行评估,与传统的检测方法相比,该方法具有探测距离远、非接触、灵敏度高及放电点定位精确的特点^[1-7]。目前,紫外成像法在电力系统的应用主要有如下几个方面:①高压电气设备污秽放电检测;②绝缘子放电检测;③导线外伤探测;④高压变电站及线路的整体维护;⑤寻找无线电干扰源等^[8]。但是,目前紫外成像法表征和量化放电强度一般是利用所谓的“光子数”参数,但根据仪器生产厂家提供的相关资料可知该参数并非真正的光子数,而是仪器内部采用了一定的信号处理算法统计在一段时间内出现在紫外图像中的区域点(spots)的数量。光子数参数可直接从仪器屏幕上读取,方便快捷,但笔者通过前期的大量研究和现场实际测试发现利用紫外光子数来表征放电存在如下不足:①光子数与紫外成像仪的增益、距离之间存在较复杂的非线性关系,难以得到较好的规律曲线,不便于量化放电;②光子数需要人工从屏幕上读取,不便于自动化的参数提取和计算,不便于研究放电的动态过程;③光子数受观测距离的影响很大,而距离在现场较难以确定,不同距离下检测的结果不具有可比性。

观察发现紫外图像中的光斑^[9-10](放电发光区域所成的像,文中将其简称为“光斑”)大小随放电强弱而动态变化,文中将其定义为“光斑面积” S ,相对于光子数,光斑面积具有如下特点:①成像法提取的紫外图像中的光斑区域实际上是紫外通道的图像,也即放电电离发光区域,其光斑面积与放电的强度之间有着较明确的物理意义;②光斑面积随距离、增益的变化规律较好,可从成像和仪器的工作原理进行明确的解释,方便了工程应用;③利用图像处理软件可自动完成紫外视频中大量连续光斑面积的计算,参数提取效率高,在数字图像中,放电光斑区域由许多个像素点所构成,在二值图像中该区域的每一个像素用“1”表示,而背景的黑色区域则以

“0”表示,因此统计图像矩阵的“1”的个数即可得到光斑区域像素点的个数,文中将其定义为“光斑面积” S 。同时将光斑中边缘两点的最大距离定义为“光斑直径”,也采用像素值表示。目前,较常用的就是这两个参数,但在现场,为了获得更好的与绝缘子故障相对应的关系,非常有必要对这两个参数性能进行比较。

1 试验平台搭建

1.1 试品选择

笔者的主要目的是比较两种紫外参数在绝缘子故障诊断中的性能。所以事先选择一组样本:复合绝缘子型号为 FXBW4-10/70,共 5 个,绝缘状态依次为:通过喷水分级法在现场选择了正常、良好、微痕、劣化和严重老化 5 种绝缘状态的绝缘子。试验前将这些绝缘子洗净,然后自然风干 24 h,待用。

1.2 试验过程

研究需保证放电源的放电尽可能的稳定且光斑面积能在较大的范围内调节,为此笔者采用了紫外成像仪型号为南非 CoroCAM504,利用视频记录测试该节设计的试验系统接线见图 1。

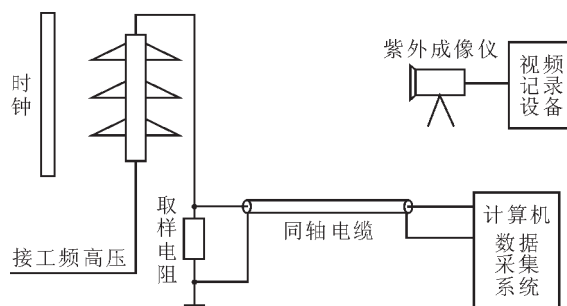


图 1 试验系统的接线原理图

Fig. 1 Experiment system connection diagram

试验中的工频高压由 HY-AC20 型 100 kV 的工频高压试验控制台提供,复合绝缘子型号为 FXBW4-10/70。前台由程序控制,不断将循环缓冲区中的数据取出,放入应用缓冲区进行运算、存盘、图形显示等,只要数据处理、存盘等的速度大于或等于数据采集的速度,连续的数据采集就可持续下去。

2 光斑面积与绝缘子状态的对应关系

2.1 光斑面积求取的主要算法

运用计算机技术对图片进行处理,将现场取得的 JPEG 格式的图像转化为 BMP 格式,即将彩色图片转化为灰度图片,进一步将灰度图谱转化为二值

图谱,这样图片由“0”和“1”表示,不仅可以减小计算机内存,更重要的是图片的信息只与“0”和“1”在图片中的位置有关系,而不必考虑其他的因素了,极大地方便现场处理。二值化后,采用图像分割技术和数学形态学数字图像处理分割出放电光斑区域,进一步统计光斑特性,得到与输变电绝缘子放电特性相关的参量。二值图像以“0”和“1”组成的矩阵存储,上述的方法都是以此为基础进行的数学运算,最终实现了光斑放电信息的量化,包括光斑面积和光斑直径,这两个参数给现场的技术人员提供了重要的参照。

紫外成像仪得到的主要是紫外图像,为了得到绝缘子在线运行的信息,需要进行图像处理,主要运用了图像分割和数学形态学图像处理。数学形态学就是一种非线性分析方法,它对信号波形特征的研究完全在时域中进行,图像分割就是它应用的一个典型例子,就是将图像划分成若干个有意义的区域,将图像中要应用的特征提取出来,如像素灰度值、物体的轮廓曲线和纹理特征等,图像分割是从图像处理进入图像分析的关键步骤^[11-14]。基本处理方式:先在图像的灰度取值范围中选择一个灰度阈值,并对图像全部像素点应用该阈值。因为,通常情况下,整幅图片用一个阈值来处理不能得到良好的分割结果,在软件设计的时候采用动态阈值分割法,通过调整阈值条,可以反复试验,直到调到满意的结果为止,其基本思想可由如下函数表示

$$f(x)=\begin{cases} 0, & x \leq T_1 \\ 255, & T_1 < x < T_2 \\ 0, & x \geq T_2 \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, T_1 和 T_2 为阈值。另一个图像处理的方法为数学形态学,包含图像腐蚀、膨胀、图像开和图像闭运算,腐蚀的运算符定义为“ $\otimes$ ”,对于一个给定的图像 B 和结构元素 S ,所有与 B 具有相关的结构元素 S 的当前位置像素点的集合即称为 S 对 B 的腐蚀。运算数学表达式为

$$E=B \otimes S=\{(x,y)|S_{xy} \subseteq B\} \quad (2)$$

膨胀可表示为

$$D=B \oplus S=\{(x,y)|[(S_{xy}) \cap B] \neq \emptyset\} \quad (3)$$

式(3)中,“ $\oplus$ ”为膨胀符^[15-16]。

图像锐化就是使边缘和轮廓线模糊的图像变得清晰,使其细节更加清晰。从数学上看,图像模糊的实质是图像受到平均或者均分运算的影响,因此对其进行逆运算(如微分运算)就可以使图像清晰。同时形态学边缘检测法检测出的边缘较为平滑,保留了更多的边缘细节^[17]。

笔者采用的是二阶微分的算子——拉普拉斯算子进行图像增强。连续的二元函数 $f(x,y)$,其拉普拉斯运算定义为

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (4)$$

对于数字图像,拉普拉斯算子可以简化为^[18-20]

$$g(i,j)=\sum_{r=-k}^k \sum_{s=-l}^l f(i-r,j-s)H(r,s) \quad (5)$$

式(5)中, $i,j=0,1,2,\dots,N-1$ 。

$k=1,l=1,H(r,s)$ 取下式

$$H_1=\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

在图像处理中,函数的拉普拉斯算子也是借助模板来实现的。常用的模板有

$$G_x=\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}, G_y=\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

2.2 光斑面积与绝缘状态的关系

试验图片见图2。

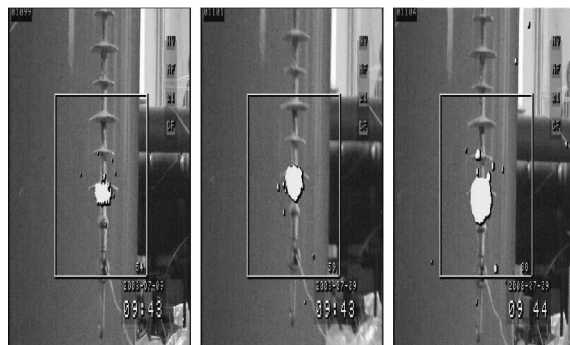


图2 放电实验图

Fig. 2 Discharge experiment figure

根据以上算法可以得到光斑面积,见图3。

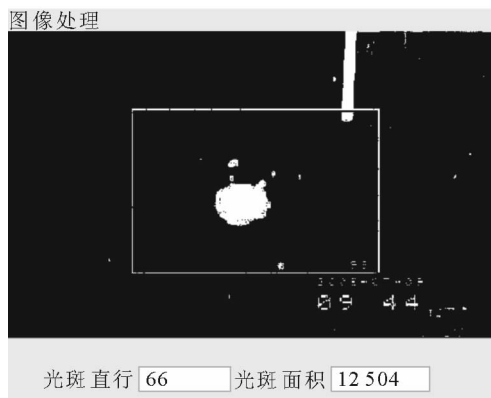


图3 参数提取

Fig. 3 Parameters extraction

在加压分别为8、10、15 kV的情况下测得的光斑面积随绝缘状态的变化情况见表1。

表1 光斑面积随绝缘状态的变化情况

Tab. 1 The change of flare area with the insulation states

绝缘子状态	正常	良好	微痕	劣化	严重老化
光斑面积(8 kV)	22	213	12 234	30 575	38 632
光斑面积(10 kV)	25	243	12 342	32 312	38 762
光斑面积(15 kV)	34	254	15 642	34 217	39 745

由 MATLAB 仿真,可以得到如下的规律,见图 4。

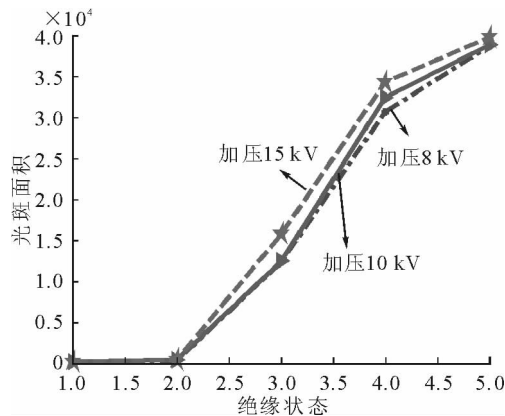


图4 光斑面积随绝缘状态的变化

Fig. 4 The change of flare area with insulation state

3 光斑直径与绝缘子绝缘状态的对应关系

文中,光斑直径和光斑面积采用同一种算法,在相同情况下,得到了如下的参数,见表2,光斑直径随绝缘状态变化曲线图见图5。

表2 光斑直径随绝缘状态的变化情况

Tab. 2 The change of flare diameter with insulation state situation

绝缘子状态	正常	良好	微痕	劣化	严重老化
光斑直径(8 kV)	3	11	122	266	385
光斑直径(10 kV)	4	13	135	275	392
光斑直径(15 kV)	6	17	150	283	402

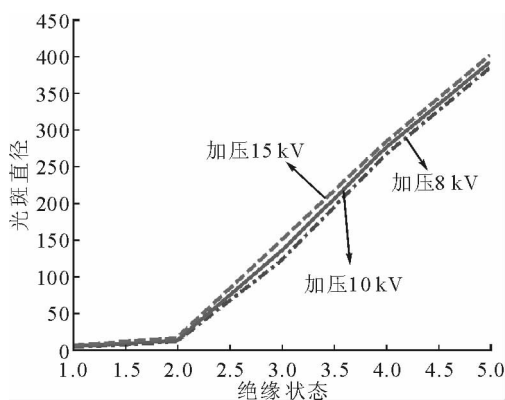


图5 光斑直径随绝缘状态变化的曲线图

Fig. 5 Flare diameter with insulation change status curve

4 分析

4.1 光斑面积随绝缘状态的变化

1)从单个曲线走势看,在“2”之前,也就是绝缘子绝缘状态良好的时候,光斑面积几乎可以忽略,但在“2”到“4”之间曲线上升很快,而在“4”之后虽有一定的上升,但比较平缓。

2)各个曲线之间,在“2”之前几乎是重合的,在“2”之后,所加电压高的曲线略高于加电压低的。

4.2 光斑直径随绝缘状态的变化

1)从单个曲线看,在“2”之前上升很平缓,“2”之后上升较快,并且没有出现转折点。

2)3条曲线虽然也呈现随所加电压高低分布,但分离度不明显。

4.3 比较分析

通过 4.1 和 4.2 的分析,可以看出:

1)在绝缘子绝缘状态良好的时候,光斑面积和光斑直径几乎可以忽略,对应性比较好,反之,在这两个参数都很小的时候,说明绝缘子绝缘良好。

2)在绝缘子绝缘出现问题时,二者都有上升趋势,但是光斑面积有一个转折点“4”,而光斑直径没有,这说明,当绝缘劣化到一定程度时,光斑面积就没有太大区分度了,而光斑直径则可以区分。

5 结论

通过实验,笔者对比了紫外光斑面积和光斑直径随绝缘子绝缘状态的变化情况,分析了其特点,总体说来,取得了如下成果:

1)设计了试验平台,采用南非 CoroCAM504 紫外成像仪,对 5 种绝缘状态的同一种绝缘子进行了不同电压下的紫外试验,得到了试验图片。

2)采用数学形态学对紫外图像进行处理,获得了不同试验条件下的紫外光斑面积和光斑直径。

3)通过 MATLAB 曲线仿真,得到了光斑面积和光斑直径随绝缘状态的变化关系,分析了各自的变化情况,最后,通过比较两种参数随绝缘状态的变化,得到了二者的异同点,最终为实现绝缘子的状态评估提供了重要的量化依据。

参考文献:

- [1] PINNANGUDI B, CORUR R S. Quantification of corona discharges on non-ceramic insulators[J]. IEEE Trans. on D & E I, 2005, 12(3): 513-523.
- [2] 程养春, 李成榕, 沈小军, 等. 几种合成绝缘子带电检测方法 的比较[J]. 高电压技术, 2004, 30(6): 35-37.

- CHENG Yang-chun, LI Cheng-rong, SHEN Xiao-jun, et al. The comparison of several methods of composite insulators' charging inspection[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(6): 35-37.
- [3] 宋伟, 赵林杰, 李成榕, 等. 复合绝缘子在线监测技术的发展[J]. 高电压技术, 2005, 31(5): 28-30.
SONG Wei, ZHAO Lin-jie, LI Cheng-rong, et al. The development of composite insulator's online monitoring technology[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(5): 28-30.
- [4] 陈涛. 基于非接触式的劣化绝缘子检测方法的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
CHEN Tao. The research of detection methods on insulators degradation based on non-contact[D]. Chongqing: Chongqing University, 2006.
- [5] 何爽, 臧春燕, 何俊佳, 等. 污秽绝缘子的紫外成像检测[J]. 高压电器, 2010, 46(9): 74-77.
HE Shuang, ZANG Chun-yan, HE Jun-jia, et al. The ultraviolet imaging detection of polluted insulator[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(9): 74-77.
- [6] ARBUSOV R S, OVSYANNIKOV A G. UV-inspection of HV equipment[C]//2005-the XIVth International Symposium on High Voltage Engineering. Beijing, China: Tsinghua University, 2005: 10-15.
- [7] 迟殿林, 曾庆立. 用紫外成像检测电气设备外绝缘状况[J]. 东北电力技术, 2005(1): 22-23.
CHI Dian-lin, ZENG Qing-li. UV imaging method in detecting the insulation condition of electrical equipment[J]. Power Technology of Northeast, 2005(1): 22-23.
- [8] 戴利波. 紫外成像技术在高压设备带电检测中的应用[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(20): 97-98.
DAI Li-bo. The application of ultraviolet imaging in high-voltage electric equipment detection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(20): 97-98.
- [9] 王胜辉, 律方成, 李和明, 等. 高压电气绝缘子紫外成像检测管理系统的开发与应用[J]. 高压电器, 2009, 45(4): 146-149.
WANG Sheng-hui, LÜ Fang-cheng, LI He-ming, et al. Development and application of ultraviolet imaging detection and management system of high-voltage electrical insulator[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(4): 146-149.
- [10] 姚魏. Delphi数据库开发及精彩实例[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
YAO Wei. Database development and wonderful examples[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.
- [11] JIANG Xing-liang, SHI Yan, SUN Cai-xin, et al. Evaluating the safety condition of porcelain insulators by the time and frequency characteristics of LC based on artificial pollution tests[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2010, 17(2): 481-489.
- [12] FARANG A S. Estimation of polluted insulators flashover time using artificial neural networks [C]//Industrial Commercial Power Systems Technical Conference, 1997 Conference Record, Papers Presented at the 1997 Annual Meeting, [S.l.]: IEEE, 1997: 184-192.
- [13] 王利敏. 梯度矢量流(GVF)变形模型在医学图像分割中的应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
WANG Li-min. The application of gradient vector flow (GVF) deformable model in medical image segmentation [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2005.
- [14] 司马文霞, 冉锐, 袁涛, 等. 采用数学形态学的弧光接地过电压识别方法[J]. 高电压技术, 2010, 36(4): 835-841.
SIMA Wen-xia, RAN Rui, YUAN Tao, et al. Using mathematical morphology method to identify the arc grounding over-voltage[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(4): 835-841.
- [15] 杨晓琳, 李燕青, 刘云鹏, 等. 基于数学形态学的电力设备紫外图像放电区域提取[J]. 电网技术, 2008, 32(7): 96-99.
YANG Xiao-lin, LI Yan-qing, LIU Yun-peng, et al. Discharge area extraction of ultraviolet image of the power equipment based on mathematical morphology[J]. Chinaware, 2008, 32(7): 96-99.
- [16] 魏强强. 数学形态学及其在图像边缘检测中的应用[J]. SCIENCE, 2010(9): 42-43.
WEI Qiang-qiang. Mathematical morphology and its application in image edge detection[J]. SCIENCE, 2010(9): 42-43.
- [17] CHANNAKESHA D D, RAJKUMAR A D. Leakage current and charge in RTV coated insulators under pollution conditions[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2002, 9(2): 294-299.
- [18] 刘骏. Delphi数字图像处理及高级应用[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
LIU Jun. Delphi digital image processing and advanced application[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [19] 尹建媛. 图像处理中边缘检测算法的研究[J]. 科技信息, 2008(4): 67-68.
YIN Jian-yuan. Research of edge detection algorithm with image processing[J]. Science and Technology Information, 2008(4): 67-68.
- [20] 薛毅. 最优化原理与方法[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 2001.
XUE Yi. Optimization principle and method[M]. Beijing: Beijing Industrial University Press, 2001.
- 刘渝根(1963—), 男, 副教授, 长期从事高电压工程、电力系统过电压与接地技术的教学和科研工作。
柴艳莉(1982—), 女, 硕士研究生, 从事过电压仿真技术研究。