

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2016.01.012

基于图像重叠处理技术的电气设备放电紫外成像检测方法

张宏钊¹, 吴钟祥², 黄荣辉¹, 姚森敬¹, 张君², 李勋¹

(1. 深圳供电局有限公司, 深圳 518000; 2. 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘要: 紫外成像技术是检测高压设备放电的有效方法,但是现场应用时,常出现放电形成的紫外光斑不明显的情况,无法将其与噪声光斑区分开来。为解决该问题,文中提出一种图像重叠法应用于紫外图像分析,通过分析统计同一放电位置拍摄的多张紫外图像中各个点处出现的光斑次数,生成一个二维矩阵,其中每个点的值表示所有图片中与之对应的位置光斑出现的频率。由于放电区域内的点出现光斑的频率比其他区域大,因此二维矩阵中放电区域的点的数值也较大,选择合适的阈值即可分离出紫外图像中的放电区域。最后文中设计了均压环缺陷放电试验,得出放电区域面积与观测距离之间的变化关系,证明了改进后的图像处理方法可靠有效,可以较好地处理电晕放电形成的光斑不明显的紫外图像。

关键词: 紫外成像; 图像处理; 参数提取; 放电区域面积; 均压环

Image Superposition Method for Detection of Electric Equipment Discharge Ultraviolet Image

ZHANG Hongzhao¹, WU Zhongyang², HUANG Ronghui¹, YAO Senjing¹, ZHANG Jun², LI Xun¹

(1. Shenzhen Power Supply Bureau Co., Ltd., Shenzhen 518000, China; 2. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Ultraviolet (UV) image technology is an effective method to detect the discharge of high-voltage equipment. However, UV spots are sometimes not clear in actual practice making it hard to distinguish them from noise spots. To resolve this problem, we propose an image superposition method (ISM) to analyze UV images. We count the occurrence number of UV spots in each pixel spot of images taken in the same discharge region and generate a two-dimensional matrix where each element represents the frequency of UV spots occurred in the pixel spot of UV images. Since UV spots appear more frequently in the discharge region, in the matrix, elements within the discharge region have larger values. We can separate the discharge region in the UV images by setting a proper threshold. Finally, grading ring defect discharge test is designed, the relationship between the discharge area and the observation distance is obtained, as well as it is proved that the improved image processing method is reliable and effective, and having a better capacity of dealing with the ultraviolet image, which formed by corona discharge with unapparent light spot.

Key words: ultraviolet imaging; image processing; parameter extraction; discharge area; grading ring

0 引言

高压设备放电会辐射 240~280 nm 日盲波段的紫外光信号,紫外成像仪接收该信号进行处理后输出图像(视频)^[1-2]。输出的紫外图像中不仅有放电辐

射的紫外线形成的光斑,还有其他因素形成的噪声光斑。依据此原理发展的紫外成像技术具有非接触、不需停电、灵敏度高、不易受到干扰等优点。

近几年来有许多学者进行相关研究,通过处理紫外图像提取相关参量来表征高压设备的放电特性并进行定量研究^[3-9]。如文[3]中通过“灰度变换”、“二值变换”、“形态学滤波”等步骤对紫外图像处理

收稿日期:2015-06-11; 修回日期:2015-07-13

基金项目:深圳供电局有限公司科技项目(2013科成0003)。

Project Supported by Scientific Project of Shenzhen Power Supply Co., Ltd.(2013-0003).

提取紫外图像中放电形成的光斑的面积、周长等参数来表征放电特性。但是在实际应用中,当高压设备放电比较微弱或观测距离较远、观测条件差时,紫外图像中放电形成的光斑不明显,使用已有的图像处理技术很难将其与噪声光斑区分开来,无法提取合适的参数表征放电特性。

为了解决这个问题,文中在文[3]所提方法的基础上进行改进,其创新之处是将多张同一位置拍摄的紫外图片的信息“重叠”在一个二维矩阵中,矩阵中每个点的值反映所有图片中与之对应的位置处光斑出现的频率。由于紫外图像中放电区域内各点出现光斑的频率比其他区域高。因此在“叠加”得到的矩阵中放电区域的点的数值大于其他地方,根据这一原理使用合理的阈值可以将放电区域分割出来,并统计其面积大小定义“放电区域面积”这一参数表征高压设备的放电强度。

为了验证该方法的有效性,设计均压环缺陷放电试验,研究“放电区域面积”大小与观测距离之间的关系,结果发现其试验结果与理论分析相符合。

文中所有图片及数据都是由南非 CORO CAM 504 型紫外成像仪拍摄得到,其输出的图像的中间有一位置恒定的方框。

1 紫外图像处理方法简述

紫外成像仪接收外界的光信号,其中紫外光信号经过处理后变成纯色光斑(默认为白色),与可见光图像叠加在一起,使用者可以根据紫外图像中光斑出现的位置来定位放电位置^[10]。

但是在实际情况中,由于其他设备放电、大气干扰和紫外成像仪的“余辉”效应^[11]等多种因素影响,在图像中非放电区域也有光斑出现,这属于噪声干扰。紫外成像检测技术的关键任务就是过滤掉紫外图像中的噪声光斑,提取出合适的参数表征放电强度^[12]。

用 OpenCv 图像处理工具将紫外图像以灰度图的形式导入后^[13-14],可以得到一个二维图像矩阵,每个值表示该处的灰度值,其变化范围为 0~255,0 表示黑色。

2 放电形成的光斑不明显的原因

在实际应用中,紫外图像中放电形成的光斑不明显的情况经常出现,由以下 4 个方面造成:①当运行电压不够高时,设备缺陷放电比较微弱,见图 1;②有些缺陷还未发展到足够严重的程度,放电比较微弱,见图 2;③而有些设备即使有严重缺陷也难以发生强烈放电,见图 3;④在观察高压设备时为了保证安全,或有时候找不到合适的观测位置,观测

距离非常远,这时观测到的光斑不明显。因此,有时候虽然未能观察到明显的光斑,但也不能轻易忽视。

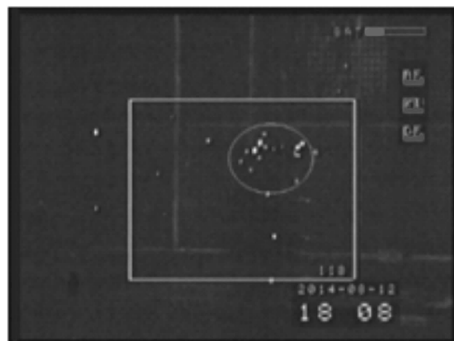


图 1 支柱绝缘子放电的紫外成像

Fig. 1 UV image of supporting insulator discharge

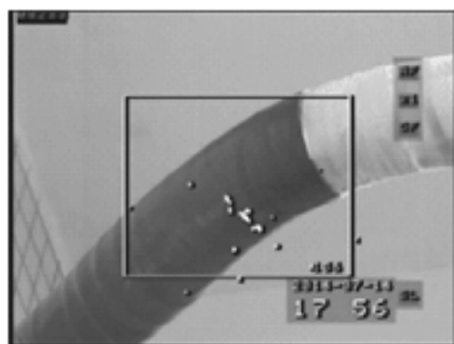


图 2 变压器变低母线进线缺陷放电紫外成像

Fig. 2 UV image of transformer incoming line defects discharge

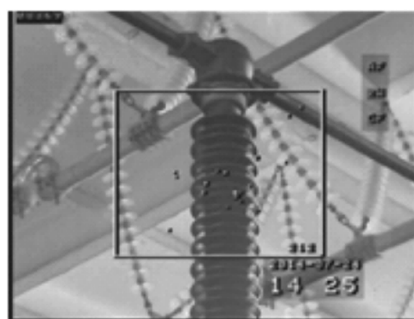


图 3 开关支柱绝缘子缺陷放电紫外成像

Fig. 3 UV image of disconnector's supporting insulator defects discharge

在这些情况下,高压设备缺陷放电形成面积很小的光斑,与噪声光斑没有区别。滤波器在滤除噪声光斑的同时也会把设备缺陷放电形成的光斑一起过滤掉^[3-11]。

图 1 中白色圆圈内的白色斑点为支柱绝缘子顶端放电所形成的。

3 图像处理方法的改进

3.1 改进思路

紫外图像中放电形成的光斑不明显时,难以将

其与噪声光斑区分出来,难以直接提取参量表征放电强度^[15]。

高压设备放电区域的电场强度比其他区域的电场强度大,容易发生放电,出现光斑的概率也更大^[16-17]。分析在同一位置固定拍摄参数拍摄的多张图片后发现,放电区域内各点出现光斑的频率比其他区域高,根据这个特点选用合适的阈值就可以有效过滤掉噪声光斑分割出紫外图像中的放电区域。

分析的图片越多,得到的结果越精确^[18]。光斑越不明显,所需要分析的图片就越多。但每次分析需要的图片不少于200张,一般以500张为宜。

3.2 具体实现过程

1)由于紫外图像中的方框外区域有一些不必要的信息,所以必须先将每张紫外图像的中间方框内的图像截取出来。初始化一个与紫外图像大小相等的二维矩阵 A ,即每个值设为0。

2)将1)处理好的图片依次以灰度图像的形式读入,扫描图片中的每个像素点(避开右下角处的“光子数”显示区),如果该点的灰度值高于额定阈值 h ,则二维矩阵中相对应位置的值加1(阈值 h 的选择应根据实际情况选择,当光斑颜色为白色,而且紫外图片背景中无白色明亮物体时,一般将其阈值设定为127)。最后得到一个二维矩阵,其中的每个元素见式(1)、(2)。

$$A(i,j)=\sum_{k=1}^p B_k(i,j); \quad (1)$$

$$B_k(i,j)=\begin{cases} 1 & G_k(i,j)>h \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式(1)、(2)中: $0 \leq i < n, 0 \leq j < m, n, m$ 分别表示二维矩阵的行数和列数; p 为图片数量; $G_k(i,j)$ 表示第 k 张图片的二维矩阵第 i 行、第 j 列的像素点的灰度值; h 为区分背景环境的灰度值阈值。

3)按式(3)进行归一化处理。

$$A'(i,j)=A(i,j) \div p. \quad (3)$$

式(3)中, $A'(i,j)$ 表示经过处理后的新二维矩阵, A' 中每个值的变化范围为(0,1)。

为了表征放电强度,计算大于额定阈值 k 的点的数量,定义该参量为“放电区域面积”,计算式见式(4)、(5)。

$$M=\sum_{i=0}^{H-1} \sum_{j=0}^{W-1} C(i,j); \quad (4)$$

$$C(i,j)=\begin{cases} 1 & A'(i,j)>k \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

式(4)、(5)中: H, W 分别表示二值矩阵的行数和

列数; k 表示区分放电区域与其他区域的阈值; $A'(i,j)$ 表示矩阵中位置为 (i,j) 处的点的值。阈值 k 根据具体情况设定,一般设定为0.8或0.9为宜。

4 通过均压环缺陷放电试验验证改进后的图像处理方法的有效性

4.1 理论分析

根据文[8、11]中的研究表明,在放电强度大且稳定条件下,可以根据紫外图像中主要光斑的位置确定高压设备的放电区域,并使用“放电区域面积”来表征放电强度,而且通过试验研究表明紫外图像中放电区域面积与观测距离的倒数的平方成正比关系见式(6)。

$$M=a \times D^{-2}+b. \quad (6)$$

式(6)中: a, b 为需要拟合求出的参数; M 为放电区域面积; D 表示观测距离。

但是当放电形成的光斑不明显时,难以从单张图片中直接得出放电区域面积^[9]。而文中提出的改进方法能在对多张图片进行分析的基础上求出紫外图像中的放电区域,接下来将通过试验验证该方法的有效性。

4.2 实验设计

选用一个人工模拟的严重损坏的均压环进行试验,见图4;安装在复合绝缘子上端,见图5。进行试验时的温度为30℃,湿度约为60%~70%,试验所加的工频交流电压有效值为56.56 kV。增益设定为70%,分别选取距离为5.2、6、7.117、7.8、8.439、9.2 m共6个点记录紫外成像仪输出的视频。

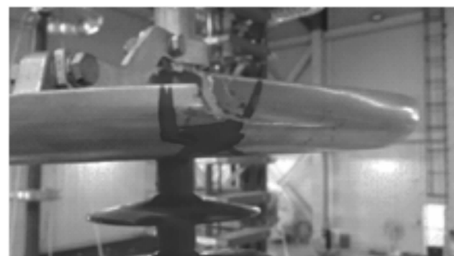


图4 均压环缺陷

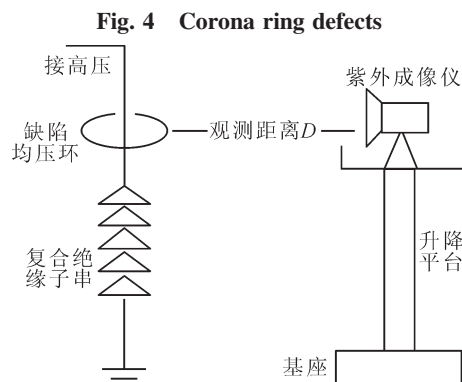


图5 试验装置布置简略图

Fig. 5 Thumbnails of test devices layout

4.3 实验结果

56.56 kV 电压等级下该均压环缺陷放电不明显,光斑不仅不明显而且十分散乱,见图 6。但是从图 4 中可以看出,该缺陷已经非常严重,不能忽视。

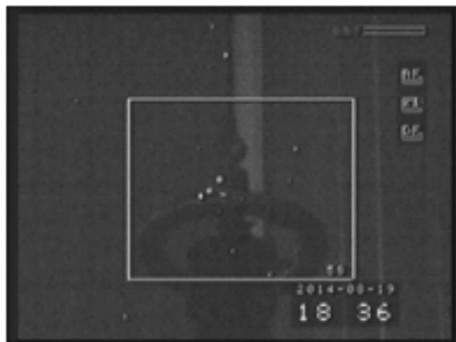


图 6 均压环缺陷放电紫外成像

Fig. 6 UV image of grading ring defects discharge

放电区域面积 M 表征紫外成像仪所接收到的紫外光强度,从而间接反映高压设备的放电特性。

研究表明,随着观测距离增大,放电区域面积 M 逐渐减小。观测距离 D 与放电区域面积 M 见表 1。

表 1 观测距离 D 与放电区域面积 M

Table 1 Observation distance D and discharge area M

观测距离 D/m	D^{-2}/m^{-2}	面积 $M/Pixel$
5.200	0.036 98	178
6.000	0.027 77	87
7.117	0.019 74	64
7.800	0.016 43	56
8.429	0.014 04	38
9.200	0.011 81	20

对表 1 中的数据使用式(6)表示的模型进行拟合,结果见图 7。

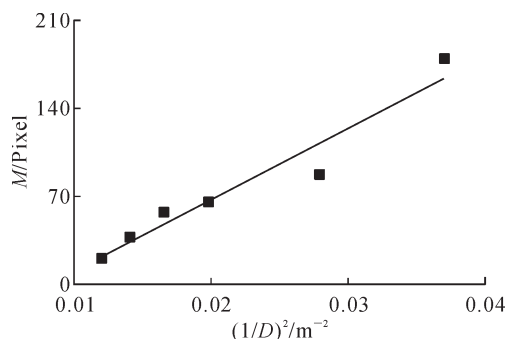


图 7 拟合直线图

Fig. 7 Fitting line diagram

拟合结果为

$$M=5\,677.662\,79 \times D^{-2}-46.150\,53. \quad (7)$$

R^2 值为 0.927 46(R^2 越接近 1,则拟合效果越好),说明 M 与观测距离的倒数的平方 $1/D^2$ 之间确实存在很好的线性关系。

在实际情况下,高压设备缺陷放电并不能等同于点光源,再加上噪声等因素的干扰,放电区域面积与距离的关系并不会严格遵照这一规律。这个试验结果说明了改进后的图像处理方法可以正常有效处理放电形成的光斑不明显的紫外图像。

5 结论

1)由于高压设备放电微弱、观测距离较远等因素影响,紫外图像中的放电形成的光斑不明显的情况经常出现,这些光斑与噪声光斑区别不大,已有的图像处理方法无法发挥作用。

2)改进紫外图像处理方法,分析同一位置拍摄的多张紫外图片后生成一个同样大小的二维矩阵,二维矩阵中每个点的值反映了多张图片中该位置出现光斑的频率。由于放电区域内各点出现光斑的频率较高,所以生成的二维矩阵中的放电区域内各点的值的都比非放电区域中的大。选择合适的阈值分割出紫外图片中的放电区域,定义了“放电区域面积”参数表征放电强度。

3)设计均压环缺陷放电试验,研究放电区域面积大小与观测距离之间的变化关系。分析试验结果表明,该区域面积大小与观测距离的平方的倒数之间存在很强的线性关系。试验结果与理论的推测结果相符合,说明改进后的紫外图像处理方法可以有效处理高压设备微弱放电等原因造成的放电形成的光斑不明显的紫外图像,为后续的研究提供了一个可借鉴的方向。

参考文献:

- [1] 甘德刚,陈洪波,刘平,等. 紫外检测技术在电力系统中的应用及展望[J]. 电气应用,2012,7(7):77-81.
GAN Degang, CHEN Hongbo, LIU Ping, et al. Application and prospect of ultraviolet corona detector in corona discharge detection[J]. Electrotechnical Application, 2012, 7(7):77-81.
- [2] 肖猛,文曹. 一种新型绝缘子带电检测方法——紫外成像法[J]. 高电压技术,2006,32(6):42-44.
XIAO Meng, WEN Cao. New method to detect insulation on line ultraviolet image method[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(6):42-44.
- [3] 王胜辉,李楠,廖鹏. 放电日盲紫外成像检测图像参数提取方法研究[J]. 华北电力大学学报,2013,40(6):40-45.
WANG Shenghui, LI Nan, LIAO Peng. Study on parameters extraction method of discharge based on solar-blind ultraviolet imaging detection[J]. Journal of North China Electric Power University, 2013, 40(6):40-45.
- [4] 李和明,王胜辉,律方成,等. 基于放电紫外成像参量的

- 绝缘子污秽状态评估[J]. 电工技术学报, 2010, 25(12): 22-29.
- LI Heming, WANG Shenghui, LYU Fangcheng, et al. Contamination condition evaluation of insulators based on discharge ultraviolet imaging parameters[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(12): 22-29.
- [5] 律方成, 戴日俊, 王胜辉, 等. 极不均匀电场中电晕放电紫外成像图像参量变化特性研究[J]. 华北电力大学学报, 2012, 39(2): 1-7.
- LYU Fangcheng, DAI Rijun, WANG Shenghui, et al. Study on the corona discharge ultraviolet image parameters characteristic in extremely uneven electric field[J]. Journal of North China Electric Power University, 2012, 39(2): 1-7.
- [6] 律方成, 戴日俊, 王胜辉, 等. 基于紫外成像图像信息的绝缘子表面放电量化方法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(2): 261-268.
- LYU Fangcheng, DAI Rijun, WANG Shenghui, et al. Study of insulator surface discharge quantification method based on ultraviolet imaging image information[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(2): 261-268.
- [7] 刘云鹏, 马国明, 律方成. 基于紫外成像技术的电气设备放电故障定位[J]. 高电压技术, 2007, 33(5): 79-82.
- LIU Yunpeng, MA Guoming, LYU Fangcheng. Based on UV imaging technology locating discharge of power equipment[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(5): 79-82.
- [8] 王胜辉, 郭晶, 刘宏亮, 等. 基于紫外成像放电检测光斑面积与观测距离关系研究[J]. 陕西电力, 2013, 8(8): 5-9.
- WANG Shenghui, GUO Jing, LIU Hongliang, et al. Research on relationship between facular area and observation distance based on UV imaging discharge detection[J]. Shaanxi Electric Power, 2013, 8(8): 5-9.
- [9] 陈磊, 邓慰, 周仿荣, 等. 基于紫外成像的电晕放电海拔因素的研究[J]. 电瓷避雷器, 2013(6): 124-129.
- CHEN Lei, DENG Wei, ZHOU Fangrong, et al. Study on the altitude factors of corona discharge based on UV imaging[J]. Insulators and Surge Arresters, 2013(6): 124-129.
- [10] 高健, 苗兴, 孙小平, 等. 基于紫外成像技术的电晕放电检测方法探讨[J]. 电力科技与环保, 2013, 4(4): 18-20.
- GAO Jian, MIAO Xing, SUN Xiaoping, et al. Research on detection method of corona discharge based on UV imaging technology[J]. Electric Power Environmental Protection, 2013, 4(4): 18-20.
- [11] 王胜辉. 基于紫外成像的污秽悬式绝缘子放电检测及评估[D]. 保定: 华北电力大学, 2011.
- [12] 闫丰, 于子江, 于晓, 等. 电晕探测紫外 ICCD 相机图像噪声分析与处理[J]. 光学精密工程, 2006, 14(4): 709-713.
- YAN Feng, YU Zijiang, YU Xiao, et al. Noise analysis and processing of ultraviolet ICCD for corona detection[J]. Optics and Precision Engineering, 2006, 14(4): 709-713.
- [13] 王胜辉, 律方成, 李和明. 基于紫外成像图像参量的交流电晕特性研究[J]. 高压电器, 2011, 47(1): 29-33.
- WANG Shenghui, LYU Fangcheng, LI Heming. Study on the AC corona characteristic based on UV imaging parameter[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(1): 29-33.
- [14] 王胜辉, 律方成, 李和明. 高压设备电晕紫外成像检测图像增强方法的研究[J]. 高压电器, 2009, 45(6): 15-19.
- WANG Shenghui, LYU Fangcheng, LI Heming. Study on image enhancement method of high voltage equipment corona UV imaging detection[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(6): 15-19.
- [15] 张小琳, 景越峰, 刘军. 高能闪光照相中 Sobel 算子的边缘检测方法[J]. 强激光与粒子束, 2009, 21(11): 1729-1733.
- ZHANG Xiaolin, JING Yuefeng, LIU Jun. An improved edge detection method with Sobel operation high-energy flash X-ray radiography[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2009, 21(11): 1729-1733.
- [16] 陈平, 李庆民. 基于数学形态学的数字滤波器设计与分析[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(11): 60-65.
- CHEN Ping, LI Qingmin. Design and analysis of mathematical morphology-based digital filters[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(11): 60-65.
- [17] 李庚银, 罗艳, 周明, 等. 基于数学形态学和网格分形的电能质量扰动检测及定位[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(3): 25-30.
- LI Gengyin, LUO Yan, ZHOU Ming, et al. Power quality disturbance detection and location based on mathematical morphology and grille fractal[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(3): 25-30.
- [18] 彭飞, 陈维荣, 冒波波, 等. 基于 Canny 边缘检测和聚合接续法的路轨边缘提取方法[J]. 铁道学报, 2012, 34(2): 52-57.
- PENG Fei, CHEN Weirong, MAO Bobo, et al. Rail-framework abstraction based on Canny edge detection and polyconnection[J]. Journal of the China Railway Society, 2012, 34(2): 52-57.
- [19] 律方成. 基于活动轮廓模型的外绝缘紫外放电特征提取[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(5): 967-974.
- LYU Fangcheng. Feature extraction based on active contour model for external insulation ultraviolet discharge[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013, 34(5): 967-974.

张宏钊(1987—), 男, 本科, 工程师, 主要从事电力设备状态监测与评价工作。