

高光谱遥感检测复合绝缘子运行状态技术研究

文志科¹, 孔晨华², 闵 绚¹, 邵瑰玮¹, 胡 霁¹, 付 晶,¹ 蔡焕青¹

(1. 中国电力科学研究院, 武汉 430074; 2. 国网甘肃省电力公司检修公司, 兰州 730070)

摘要: 挂网运行的复合绝缘子若出现劣化, 电气绝缘性能降低, 若不及时替换将危害线路的安全运行。目前, 国内外尚缺乏成熟的绝缘子运行状态检测方法, 笔者在研究国内外复合绝缘子检测方法的基础上, 首次引入高光谱遥感技术检测复合绝缘子的运行状态。采用高光谱成像仪对不同运行状态的硅橡胶绝缘子伞套及绝缘子串进行影像采集, 成功地构建了复合绝缘子样本光谱特征库, 并直观地展示了不同运行状态复合绝缘子光谱曲线及其在特征空间中的聚类特性。继而, 利用特征光谱库, 采用概率判决函数和贝叶斯判别规则对目标绝缘子进行状态检测, 结果显示此方法可以准确地检测出绝缘子的运行状态。

关键词: 高光谱遥感; 复合绝缘子; 状态检测; 最大似然法; 贝叶斯分类

中图分类号: TM216 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1609(2014)02-0075-05

Working State Detection of Composite Insulator by Hyperspectral Remote Sensing

WEN Zhike¹, KONG Chenhua², MIN Xuan¹,
SHAO Guiwei¹, HU Ji¹, FU Jing¹, CAI Huanqing¹

(1. China Electric Power Research Institute, Wuhan 430074, China;

2. Maintenance Company of State Grid Gansu Power Corporation, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Deterioration of composite insulators in power grid results in degradation of their electrical insulation performance, harming safe operation of the transmission lines. The existing working state detection methods of composite insulators are insufficient. The authors analyze the existing detection methods of composite insulators in the world, and introduce hyperspectral remote sensing technology to working state detection of composite insulator. Hyperspectral camera is adopted to acquire the hyperspectral images of silicon rubber composite insulators in different working states, and a characteristic spectrum library of composite insulators is thus constructed. The spectrum curves of the composite insulators in different working states and their clustering property in characteristic space are displayed. The characteristic spectrum library is then employed to detect the working state of the target insulator by using the probability decision function and the Bayesian discriminant function. The result shows that the present method can accurately detect working state of composite insulators.

Key words: hyperspectral remote sensing; composite insulator; state detection; maximum likelihood; Bayesian classification

0 引言

复合绝缘子由于重量轻、强度高、耐污闪、维护方便等优点被广泛应用于超/特高压输电线路, 截止 2010 年底, 国家电网公司管辖的 66 kV 及以上电压等级线路在运复合绝缘子支数占同种电压等级线路所有类型在运绝缘子串数的 37.02%。近年来, 复合

绝缘子的老化程度增加导致闪络、损伤事故逐年增多, 因电蚀、伞裙老化、憎水性丧失造成复合绝缘子损伤支数占复合绝缘子损伤总数的 48.1%^[1-11]。

国内外专家学者在绝缘子检测技术方面开展了大量研究, 常用的检测方法有直接观察法、紫外成像法、红外热像测温法、超声波法、激光多普勒法、电场测量法、泄漏电流测量法、脉冲电流法、憎水性检测法, 上述检测方法检测工作强度较大, 受外界环境因

收稿日期: 2013-09-11; 修回日期: 2013-10-14

素影响大^[12-17]。

现有复合绝缘子检测方法的使用有较多限制条件,只适合在实验室进行,现场带电检测技术还不成熟。而且,根据电网运行维护的实践经验,大多采用定期抽检的方法检测绝缘子,检测方法为定性评价,主观性强,无法进行精确的定量分析。因此,有必要深入研究一种高效、便捷的检测技术,能够在带电状态下检测复合绝缘子的运行状态,及时发现潜在的危害,减少输电线路绝缘的安全隐患。

目前,基于高光谱遥感的目标检测与分类技术在产品质量检测、地物分类、环境监测等领域已经得到广泛的应用^[18]。高光谱遥感是利用采集目标物多波段的光谱信号,同时获取地物的空间信息和辐射信息,然后对影像进行数学建模和处理^[19-22]。笔者提出了高光谱遥感带电检测复合绝缘子技术,通过非接触方式获取绝缘子运行状态的信息,选取了全新、粉化、C 级污秽 3 种状态的复合绝缘子作为试验样本,试验结果证明该方法行之有效。

1 基于高光谱的复合绝缘子状态检测流程

针对全新、粉化、C 级污秽 3 种状态的复合绝缘子,用高光谱遥感技术进行带电检测的流程如下:

1)选择全新、粉化、C 级污秽 3 种状态下的复合绝缘子样本,采集其光谱信息,比较上述 3 种状态下复合绝缘子的光谱曲线,研究复合绝缘子光谱曲线与其运行状态的对应关系;

2)通过比较最小距离法和最大似然法的错分概率,确定采取最大似然法分析获取复合绝缘子的全新、粉化、C 级污秽 3 种状态的判断依据;

3)选取 7 个样本,利用判断依据分析其所属状态,并与实际状态进行比较,验证判据的准确性。

2 样本光谱采集

由于目前国内外并没有针对绝缘子的专用高光谱检测设备,为了便于试验研究采购了 AISA Eagle 高光谱成像系统,其光谱范围为 400~970 nm,帧速 160 Hz。整个试验在户外进行,试品平放在试验场地,设备离试品的距离为 3 m,向下 45°角,左右 90°夹角进行光谱采集。该次试验选取的复合绝缘子样本见表 1。试验在温度(9~15℃)、湿度(30%~80%)、紫外强度等级 4 级的条件下进行。经试验采集的每幅高光谱影像由 125 个波段组成,部分复合绝缘子的高光谱影像见图 1。

从复合绝缘子高光谱影像中提取全新、C 级污秽、粉化 3 种状态对应的像素反射值,并表示在以波

表 1 试验样本

Tab. 1 Test sample

运行状态	伞套切片/片		长串绝缘子/串	
	红色	灰色	红色	灰色
全新	3	3	1	1
C 级污秽	3	3	2	2
粉化	3	3	3	3

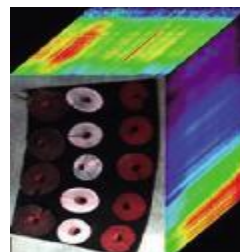


图 1 复合绝缘子高光谱影像

Fig. 1 Hyperspectral images of composite insulators

长为横轴、以反射率为纵轴的坐标系中,见图 2。

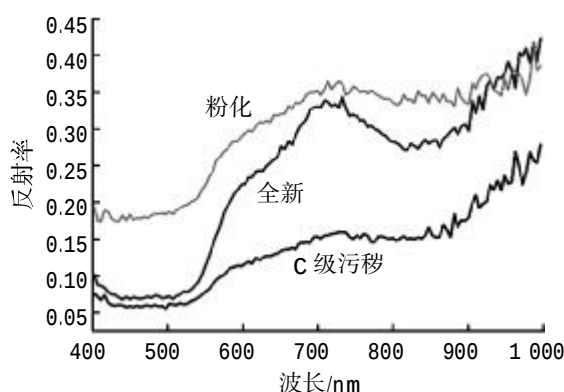


图 2 不同状态复合绝缘子的光谱曲线

Fig. 2 The spectral curve of composite insulators in different states

这些反射率在波长 400~1 000 nm 范围内形成连续的光谱曲线,不同运行状态的绝缘子与其光谱曲线一一对应。由此得出结论:运行状态不同的复合绝缘子具有不同的光谱特性,通过状态分析方法可以找出表征绝缘子状态的特征参量及状态判断依据。

3 复合绝缘子状态分析判据

分类的方法有很多种,其中最常用的有最小距离法和最大似然法^[23-24]。最小距离法是通过比较特征点离不同状态类别点簇中心的距离来判断其所属类别,最大似然法通过比较特征点落入不同状态类别区域的概率来判断其所属类别,这两种分类方法的错分概率见图 3 阴影部分,最大似然法的错分概率比最小距离法小,因此笔者将采用最大似然法对不同状态的复合绝缘子进行分类。

采用最大似然法对不同运行状态复合绝缘子分

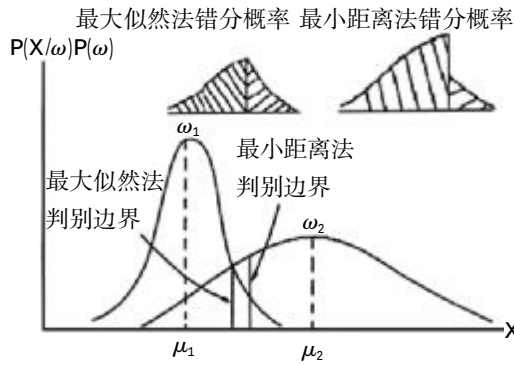


图3 最大似然法和最小距离法的错分概率

Fig. 3 The probability of misclassification between maximum likelihood and minimum distance

类的步骤为:从高光谱影像上获取全新、粉化、C级污秽复合绝缘子样本的光谱曲线,采用距离测度法选取特征波段并构建特征光谱库,最后确定目标样本落入不同状态类别区域的概率,判断目标样本的所属类别。

3.1 影像特征区域信息获取

从高光谱影像上圈选样本区域,将相同状态复合绝缘子所对应的区域归为一类别,选定的7类样本包括:红色全新复合绝缘子类、灰色全新复合绝缘子类、红色C级污秽复合绝缘子类、灰色C级污秽复合绝缘子类、红色粉化复合绝缘子类、灰色粉化复合绝缘子类及绿色全新复合绝缘子类,这7种状态中除全新状态,其他类型均同时存在粉化和污秽,粉化样品侧重于粉化状态,污秽等级低;污秽样品侧重于污秽状态,粉化等级低,其样本光谱均值曲线(见图4)在某些波段呈现一定可分性,这些波段为运行状态的分析提供可靠依据。

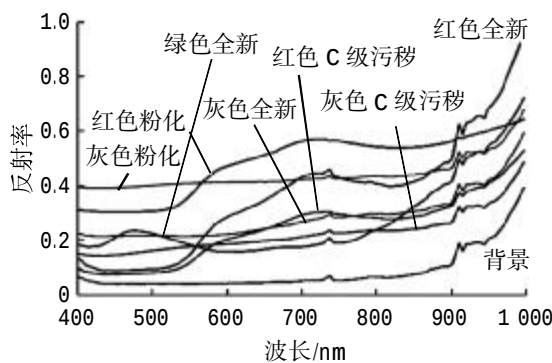


图4 样本光谱均值曲线

Fig. 4 Spectral curve of the mean sample

3.2 特征波段选取与光谱库建立

在多维空间中,同一类有一定的聚集性,距离是最基本的类别可分性测度,可以使用类别间均值和标准差构建距离公式。

$$d_{\text{norm}} = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\delta_1 + \delta_2} \quad (1)$$

式(1)中: μ_1, μ_2 为类别1和类别2的均值; δ_1, δ_2 为类别1和类别2的标准。

两类状态间的标准化距离d越大则可分性越好,因此可以选择类间标准化距离大的波段来构建光谱库。以红色全新、红色C级污秽、红色粉化绝缘子样本为例来说明特征波段的选取。根据上式计算类别之间的标准化距离,结果见图5。

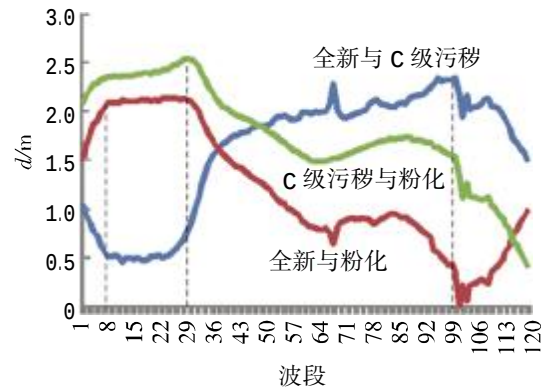


图5 特征波段选取

Fig. 5 Feature band selection

各曲线的纵坐标较大位置代表相应类别之间的标准化距离较大,可分性越好,因此曲线波峰所对应的横轴波段可以作为特征波段^[24-25]。如图5所示,选择标准化距离d相差最大的3个波段作为特征波段,建立特征空间,从而实现红色全新、红色C级污秽和红色粉化绝缘子的分类识别。

相同状态绝缘子的像素点在特征空间中聚集在相近的区域,形成点簇,这些特征是区分不同运行状态的基础^[26]。7种状态的样本,选取了21个特征波段。利用所选择的特征波段构建多维特征空间光谱库,为直观表示光谱特征空间,选取高光谱影像中的波段20、35、50作为坐标轴,绘制三维特征空间光谱库,见图6。从图6中可以明显看出,即使是在3个维度的特征空间中,不同类别也表现了明显的聚集性和分散性。

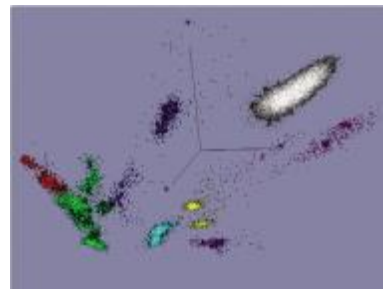


图6 复合绝缘子三维特征空间

Fig. 6 Three-dimensional feature space of composite insulators

3.3 状态判断依据

根据概率判决函数式(2)计算目标状态属于类的概率。

$$P(\omega_i/X) = \frac{P(X/\omega_i) \cdot P(\omega_i)}{P(X)} \quad (2)$$

式(2)中: $P(\omega_i/X)$ 为某特征矢量 X 落入某状态 ω_i 的条件概率; $P(\omega_i)$ 为 ω_i 类出现的概率,也称先验概率; $P(X/\omega_i)$ 为在 ω_i 类中出现 X 的条件概率,也称 ω_i 类的似然概率。

根据贝叶斯判决规则:若存在 $P(\omega_i/X) > P(\omega_j/X)$, $j=1,2,3,\dots,m, j \neq i$, 则目标属于 ω_i 类。根据构建的复合绝缘子光谱特征空间,采用贝叶斯判别函数对目标样本进行分类,识别目标样本的运行状态。

4 判据的试验验证

在每类绝缘串上任意选取一个目标像素,见图7,利用判据对各个像素的所属状态进行判断。



图 7 目标像素选取

Fig. 7 Selection of target pixel

根据概率判决函数计算目标像素属于各类别的概率见图 8。

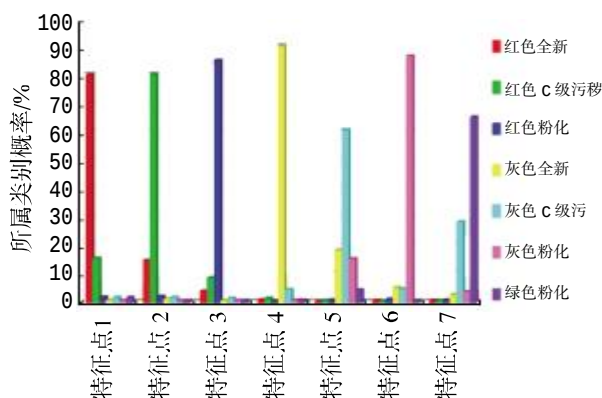


图 8 目标像素属于各种类别的概率

Fig. 8 The probability of target pixel belonging to the various types

目标像素 1:

落入红色全新状态区域 $d_1(X)=80\%$ 大于 $d_j(X)$ ($j=2,3,4,5,6,7$) 根据贝叶斯判断规则,目标像素 1 属于全新状态。

采用相同的方法判断目标像素 2-7 所属的状态分别为:红色 C 级污秽绝缘子、红色粉化绝缘子、

灰色新绝缘子、灰色 C 级污秽绝缘子、灰色粉化绝缘子、绿色粉化绝缘子。将检测结果与目标像素实际状态进行比较,检测结果与实际状态一致,验证了判据的准确性,见图 9。



图 9 目标像素实际状态

Fig. 9 The actual state of the target pixel

5 结语

复合绝缘子检测尚缺少成熟带电检测方法的情况下,首次提出了用高光谱遥感带电检测复合绝缘子运行状态的技术。通过试验研究了复合绝缘子运行状态的分析方法,并找到了复合绝缘子全新、粉化、C 级污秽 3 种状态的判断依据。采用判据对 7 个未知像素进行检测,检测结果与实际状态一致,验证了判据的准确性。该试验可以得到以下结论:

1)全新、粉化、C 级污秽状态复合绝缘子光谱曲线存在明显差异,根据概率判决函数以及贝叶斯判定规则获取的复合绝缘子全新、粉化、C 级污秽状态的判断依据是可靠的。

2)不同状态复合绝缘子的光谱曲线存在差异,用高光谱遥感技术检测复合绝缘子的运行状态是可行的,能通过非接触的方法对运行中的复合绝缘子进行检测。

3)该项技术处在试验阶段,只采集了有限种类的复合绝缘子光谱信息并建立样本光谱库,还需深入研究复合绝缘子光谱的影响因素,并通过大量试验以及优化算法找到能准确判断污秽、憎水性和老化等级状态的判据,以完善对各种运行状态复合绝缘子的带电检测。

4)上述试验均在试验场进行,与在线检测的扫描方式仍存在一定的差异,因此,下阶段将对高光谱设备的扫描距离以及扫描方式进行改进,以实现远距离,从上到下的扫描方式对在线复合绝缘子串进行光谱采集。

参考文献:

- [1] 易 辉. 我国输电线路用绝缘子运行现状[J]. 电力设备, 2005, 6(3):1-4.
YI Hui. Transmission line insulators statue of our Country [J]. Electrical Equipment, 2005, 6(3):1-4.
- [2] 吴光亚,蔡 炜,罗真海,等. 有机复合绝缘子运行性能分析[J]. 高电压技术, 2000, 26(2):59-61.

- WU Guangya, CAI Wei, LUO Zhenhai, et al. Analysis of the operation characteristics of the composite insulators[J]. High Voltage Engineering, 2000, 26(2): 59-61.
- [3] 张文亮, 吴维宁, 吴光亚, 等. 我国绝缘子的发展现状与应用前景[J]. 高电压技术, 2004, 30(1): 10-12.
- ZHANG Wenliang, WU Weining, WU Guangya, et al. The insulators development and application of our country [J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(1): 10-12.
- [4] 徐击水, 张子蓬, 王淑青, 等. 基于 GNBR 算法的 BP 网络对绝缘子运行状态预测研究[J]. 电网与清洁能源, 2013, 29(6): 6-9.
- XU Jishui, ZHANG Zipeng, WANG Shuqing, et al. Research on the prediction for the operating state of insulators using BP network based on GNBR algorithm[J]. Power System and Clean Energy, 2013, 29(6): 6-9.
- [5] 闫士涛, 何 宇, 石岩龙. 750 kV 直线塔整串绝缘子带电更换方法[J]. 电网与清洁能源, 2012, 28(2): 30-34.
- YAN Shitao, HE Yu, SHI Yanlong. Live replacement methods of the whole-bunch insulators on the 750 kV suspension tower[J]. Power System and Clean Energy, 2012, 28(2): 30-34.
- [6] 何兴龙. 线路复合绝缘子运行中出现的问题探讨[J]. 浙江电力, 2006, 25(6): 60-63.
- HE Xinglong. Running analysis of line composite insulator [J]. Zhengjiang Electric Power, 2006, 25(6): 60-63.
- [7] 张福增, 李锐海, 王国利, 等. 高海拔特高压线路绝缘子的直流污闪特性[J]. 南方电网技术, 2011, 5(1): 29-32.
- ZHANG Fuzheng, LI Ruihai, WANG Guoli, et al. The DC pollution flashover characteristics of UHV transmission line insulators at high altitude [J]. Southern Power System Technology, 2011, 5(1): 29-32.
- [8] JB/T 8737—1998 高压线路用复合绝缘子使用导则[S]. 北京: 机械工业部, 1998.
- JB/T 8737—1998 Composite Insulators for high voltage transmission line with guidelines[S]. Beijing: Republic of China Ministry of Machinery Industry, 1998.
- [9] IEC 61109: 2005 标称电压高于 1 000 V 的交流架空线路用复合绝缘子—定义、试验方法及验收准则[S]. 2005.
- IEC 61109: 2005 Nominal voltage greater than 1 000 V AC overhead line insulators with complex-Define, test methods and acceptance criteria[S]. 2005.
- [10] JB/T 8460—1996 高压线路用棒型悬式复合绝缘子尺寸与特性[S]. 1996.
- JB/T 8460—1996 High-voltage line with the rod suspension composite insulator size and features[S]. 1996.
- [11] JB/T 5892—1991 高压线路用有机复合绝缘子技术条件[S]. 1991.
- JB/T 5892—1991 High-voltage line with the technical conditions of organic composite insulators[S]. 1991.
- [12] 雍 军, 沈庆河, 赵富强, 等. 电网中运行绝缘子的检测[J]. 高电压技术, 2006, 28(6): 53-54.
- YONG Jun, SHEN Qinghe, ZHAO Fuqiang, et al. Discussion on field inspection of composite insulators[J]. High Voltage Engineering, 2006, 28(6): 53-54.
- [13] 王 雪, 张冠军, 严 璋. 国内高压绝缘子在线检测方法综述[J]. 电瓷避雷器, 2002(6): 3-8.
- WANG Xue, ZHANG Guanjun, YAN Zhang. Discussion on the methods of on-line insulators monitoring in China [J]. Insulators and Surge Arrester, 2002(6): 3-8.
- [14] 卢 明, 姚德贵, 张国民, 等. 劣化绝缘子检测方法的对比分析[J]. 电瓷避雷器, 2006(5): 9-13.
- LU Ming, YAO Degui, ZHANG Guomin, et al. Study on methods of detection of faulty insulators[J]. Insulators and Surge Arrester, 2006(5): 9-13.
- [15] 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. Study on non-contact detection for faulty insulators[D]. Chongqing: Chongqing University, 2006.
- [16] 贺 博, 万 军, 金海云, 等. 复合绝缘子的老化特性分析[J]. 高压电器, 2009, 45(1): 21-25.
- HE Bo, WAN Jun, JIN Haiyun, et al. Analysis of the aging characteristics of composite insulators[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(1): 21-25.
- [17] 赵 阳, 惠 华, 李娟绒, 等. 复合绝缘子憎水性测量及影响因素分析[J]. 陕西电力, 2011, 39(6): 76-79.
- ZHAO Yang, HUI Hua, LI Juanrong, et al. Measurement analysis of composite insulator hydrophobicity and its influence factors[J]. Shaanxi Electric Power, 2011, 39(6): 76-79.
- [18] 童庆禧, 张 兵, 郑兰芬. 高光谱遥感原理、技术与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- TONG Qingxi, ZHANG Bin, ZHENG Lanfen. Hyperspectral remote sensing [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [19] 郭文勇, 独亚军, 魏存娣, 等. 数学形态学在绝缘子泄漏电流在线监测中的应用[J]. 电网与清洁能源, 2011, 27(11): 20-24.
- GUO Wenyong, DU Yajun, WEI Cundi, et al. Application of mathematical morphology in on-line leakage current monitoring of insulators[J]. Power System and Clean Energy, 2011, 27(11): 20-24.
- [20] 管建华. 基于统计方法的图像识别系统研究[J]. 电子元器件应用, 2010, 12(8): 91-93.
- GUAN Jianhua. Image recognition system based on statistical methods[J]. Electronic Component and Device Applications, 2010, 12(8): 91-93.
- [21] 杨国鹏, 余旭初. 高光谱遥感技术的发展与应用现状[J]. 测绘通报, 2008(10): 1-5.
- YANG Guopeng, YU Xunchu. The development and application of hyperspectral remote sensing technology [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2008(10): 1-5.

(下转第 85 页)

- GU Yunxia, SUN Haiwen, JIN Hu. Probe into partial discharge detection and location of switchgear based on TEV and ultrasonic wave methods[J]. Shaanxi Electric Power, 2012, 40(12): 12-16.
- [10] 谭克雄, 李福祺. 局部放电识别用的几种人工神经网络[J]. 高电压技术, 1996, 22(4): 3-7.
- TAN Kexiong, LI Fuqi. Some types of artificial neural network used for recognition of partial discharge[J]. High Voltage Engineering, 1996, 22(4): 3-7.
- [11] SALAMA M M A. Determination of neural network topology for partial discharge pulse pattern recognition[J]. IEEE Transactions on Neural Network, 2002, 13(2): 446-456.
- [12] SAHOO N C, SALAMA M M A, BARTNIKAS R. Trends in partial discharge pattern classification: A survey [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2005, 12(2): 248-264.
- [13] ABDEL-GALIL T K, SHARKAWY R M, SALAMA M M A, et al. Partial discharge pattern classification using the fuzzy decision tree approach[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2005, 54(6): 2258-2263.
- [14] CHEN X, CAVALLINI A, MONTANARI G C. Statistical analysis and fuzzy logic identification of partial discharge in paper-oil insulation system [C]//IEEE 9th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials. [S.l.]: IEEE, 2009: 505-508.
- [15] LANDWEHR N, HALL M, FRANK E. Logistic model trees[J]. Machine Learning, 2005, 59(1): 161-205.
- [16] QUINLAN R. C4.5: Programs for machine learning [M]. San Mateo, CA :Morgan Kaufmann Publishers, 1993.
- [17] FRIEDMAN J, HASTIE T, TIBSHIRANI R. Additive logistic regression: a statistical view of boosting[J]. The Annals of Statistics, 2000, 28(2): 337-407.
- [18] BREIMAN L. Classification and regression trees [M]. New York: Chapman & Hall/CRC Publisher, 1984.
- [19] 倪学锋, 谢 诚. 极对壳绝缘局部放电试验对电容器绝缘老化的评定[J]. 电力电容器, 2005, 26(1): 35-38.
- NI Xuefeng, XIE Cheng. Predication of the insulation ageing for power capacitor according to the pole-to-case insulation partial discharge test[J]. Power Capacitor, 2005, 26(1): 35-38.
- [20] 陈温良, 董 燕, 贾 华. 对金属化电容器局部放电和自愈放电性能的初步研究 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2008, 29(1): 31-36.
- CHEN Wenliang, DONG Yan, JIA Hua. Preliminary research on partial discharge and self-healing characteristics of metallized film capacitors[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2008, 29(1): 31-36.
- [21] 夏建中, 李洪臣. 对电力电容器局部放电的理解与对策 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2009, 30(2): 7-9.
- XIA Jianzhong, LI Hongchen. Research and countermeasure on partial discharge of power capacitor[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2009, 30(2): 7-9.

郝英帅(1988—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向是电气设备故障诊断。

(上接第 79 页)

- [22] 郭仕德, 马 庭, 林旭东. 高光谱遥感及其影像空间结构特征分析[J]. 测绘科学, 2005, 30(3): 35-37.
- GUO Shide, MA Ting, LIN Xudong. Hyperspectral remote sensing and its images spectral structure analysis[J]. Science of Surveying and Mapping, 2005, 30(3): 35-37.
- [23] 张亚梅. 地物反射波谱特征及高光谱成像遥感[J]. 光电技术应用, 2008, 23(5): 6-12.
- ZHANG Yamei. Spectrum characteristics of surface features reflection and high spectral imaging remote sensing [J]. Electro-optic Technology Application, 2008, 23(5): 6-12.
- [24] 向 娟, 李 钢. 高光谱遥感影像管理系统的设计与实现[J]. 测绘与空间地理信息, 2008, 31(5): 148-151.
- XIANG Juan, LI Gang. Design and implement of hyperspectral remote sensing image management system[J]. Geomatics and Spatial Information Technology, 2008, 31(5): 148-151.
- [25] 李 行, 毛定山, 张连蓬. 高光谱遥感影像波段选择算法评价方法研究[J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(6): 34-37.
- LI Xing, MAO Dingshan, ZHANG Lianpeng. Evaluation method for band selection algorithm of hyperspectral image[J]. Geography and Geo-information Science, 2006, 22(6): 34-37.
- [26] 赵志勇, 吕绪良, 卢 辉, 等. 基于高光谱的目标探测方法分析[J]. 光电技术应用, 2010, 25(3): 3-9.
- ZHAO Zhiyong, LYU Xuliang, LU Hui. Analysis of target detecting methods based on hyperspectrum[J]. Electro-optic Technology Application, 2010, 25(3): 3-9.
- 文志科(1984—), 男, 硕士, 研究方向为电网运行维护。
- 孔晨华(1976—), 男, 本科, 研究方向为超高压输电线路运行与检修技术。
- 闵 绚(1984—), 女, 硕士, 研究方向为电网防灾减灾。
- 邵瑰玮(1974—), 男, 博士, 研究方向为电网运行维护与防灾减灾。
- 胡 霁(1983—), 男, 硕士, 研究方向为运行维护。
- 付 晶(1987—), 女, 硕士, 研究方向为遥感技术。
- 蔡焕青(1987—), 女, 硕士, 研究方向为输电线路运行维护。