

文章编号:1000-582X(2013)03-059-06

油纸绝缘气隙放电与油中产气规律的相关-回归分析

陈伟根^{1a,1b}, 许庭^{1a,1b}, 谢波², 岳彦峰^{1a,1b}

(1. 重庆大学 a. 电气工程学院; b. 输配电设备及系统安全与新技术国家重点实验室; 重庆 400044;
2. 洛阳供电局, 河南 洛阳 471000)

摘要: 气隙放电是变压器油纸绝缘局部放电的主要模式, 研究其与油中产气规律的相关性对诊断油纸绝缘早期故障的产生及发展具有重要意义。笔者在实验室设计了变压器局部放电模拟实验系统, 采用升压法, 在 60℃ 油温条件下研究了气隙放电及其发展特征, 利用主成分分析方法从 29 个局放统计算子中提取出 6 个相互独立的主成分因子; 利用相关-回归分析得出了变压器油中产生的 6 种溶解气体含量与 6 个局放主成分因子线性相关; 拟合得到了 6 种气体含量与 6 个主成分的多元线性回归模型, 为进一步探讨变压器早期局部放电发展与油中产气规律之间的关系提供了一种新的思路。

关键词: 气隙放电; 主成分因子; 相关分析法; 回归分析; 多元线性回归模型

中图分类号: TM411

文献标志码: A

Correlation and regression analysis of air-gap discharge and gas generation law in oil-paper insulation

CHEN Weigen^{1a,1b}, XU Ting^{1a,1b}, XIE Bo², YUE Yanfeng^{1a,1b}

(1a. College of Electrical Engineering; b. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
2. Luoyang Power Supply Company, Luoyang, Henan 471000, China)

Abstract: The air gap discharge is the main pattern of partial discharge of transformer insulation paper. Studying the correlation of partial discharge and gas production rules is important to diagnose early generation and development of the paper oil insulation. The paper design a simulation experiment system of transformer partial discharge in laboratory, and study gas discharge and development characteristics under the condition of 60 °C and the way of increasing voltage method. By major-content method, six major factors are selected from 29 statistic operators. And the six major factors are independent with each other. Results show that there is correlation between six kinds of gas and six major factors by correlation and regression method, and multivariable linear regression model of six kinds of gas and six major factors is presented. The above results provide a new idea for further discussing the relationship between early development of transformer partial discharge and the rule of gas production in oil.

Key words: air gap discharge; major factor; correlation methods; regression analysis; multivariable linear regression model

收稿日期: 2012-10-20

基金项目: 国家创新研究群体基金资助项目(51021005); 国家重点基础研究发展计划项目(973 项目)(2011CB209401)

作者简介: 陈伟根(1967-), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, 主要从事变电设备在线监测、状态检修等研究,
(E-mail) weigench@cqu.edu.cn。

电力变压器是电能转换、传输的核心,是电网中最重要和关键的设备。变压器的故障不仅会导致自身的损坏还会中断电力供应,给社会带来巨大的损失^[1]。因此,开展对变压器运行状态的研究,提高对变压器故障的检测诊断能力具有重要的意义。基于变压器油中溶解气体分析(DGA)和局部放电特性诊断变压器运行状态是目前变压器故障诊断的两种主要手段。

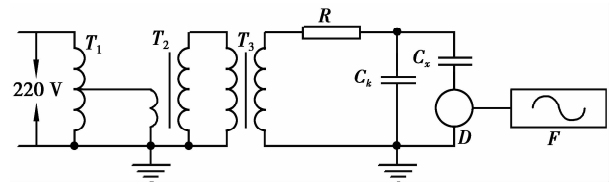
文献[2]对近 20 多年来反映变压器绝缘老化的特征量和测量手段以及寿命预测方法上的成果作了比较全面的综述。文献[3]介绍了变压器油中溶解气体分析法(DGA),该方法已经广泛用于变压器内部的发热和电性故障,即利用油中气相色谱分析仪得到油中特征气体浓度来判断变压器的故障状况。文献[4-8]论述了近年来随着局部放电数字化测量系统的发展,基于局部放电统计图谱提取统计特征量的方法得到越来越多的关注。局部放电图谱特性和油中溶解气体分析法(DGA)都可以进行变压器内部故障监测诊断。然而多数研究都是单独使用某一种方法,研究两种诊断方法之间的相关性文献很少,特别是对在故障早期放电的发展特性与产生气体的对应关系研究几乎未见报道。

笔者采用变压器局部放电的油纸气隙放电模型,在 60℃油温和升压法实验条件下进行局部放电模拟试验,在不同局部放电阶段采集局部放电信号,分析油中溶解气体含量随放电发展的变化规律;从最大放电量-相位分布 $H_{q_{max}}(\varphi)$,平均放电量-相位分布 $H_{q_{ave}}(\varphi)$,放电频数-放电量分布 $H(n)$ 以及放电频数-放电量分布 $H(q)$ 4 个二维图谱中计算得到 29 个统计算子,利用主成分分析法提取出 6 个局放主成分因子,最大限度地降低了数据维度,保留了大部分的原始信息,并且 6 个主成分因子之间相互独立。根据相关-回归分析知识首先进行了相关性分析,得到 6 种气体与 6 个主成分的线性相关关系比较显著,并且拟合得到了 6 种气体线性回归模型。

1 基于气隙放电模型的变压器油纸绝缘局部放电模拟实验

气隙模型的局部放电实验回路如图 1 所示。

气隙纸板模型前期处理:所用的绝缘纸板均先在 65℃下干燥 3 d,再将温度升高到 105℃干燥 3 d,以保证纸板在内部绝缘结构不被破坏的前提下充分干燥;随后对其真空浸油 5 d 以上;纸板周围各边角事先打磨光滑,无尖角或者毛刺。



T_1 —自耦调压器; T_2 —隔离变压器; T_3 —高压试验变压器;
 R —保护电阻; C_k —耦合电容; C_x —放电模型;
 D —电流传感器; F —数字示波器

图 1 局部放电实验回路

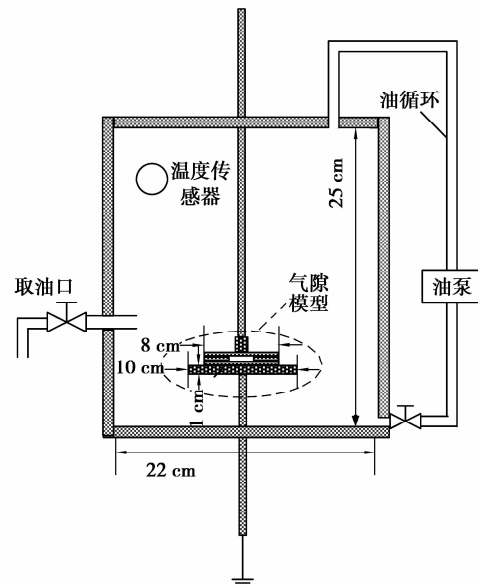


图 2 气隙放电模型及模拟油箱

首先测量起始放电电压:放置好试品后,均匀缓慢地升高电压,每隔 10 s 升压 0.5 kV,示波器一出现放电脉冲就记录下试验电压,此电压值即为放电模型的起始放电电压 U_0 。此后把电压每次升高 1.5 kV,然后保持电压稳定,让其加压放电 10 min 后开始采集信号,设置采样频率为 10 MS/s,时域宽度为一个工频周期 20 ms,每个数据文件长 200 K,每次采集 600 组工频局部放电信号,用于统计分析局部放电发展过程中局部放电特征参量和相位特征参量的变化特性^[9];采样局部放电信号的同时取油样,每次 50 ml,用于色谱分析,测量局部放电发展过程中油中溶解气体的变化特性。

2 气体变化规律及局部放电主成分因子提取

2.1 气体变化规律

在油纸气隙模型局部放电发展过程中,不断电

的情况下,在不同放电电压值下取油样做色谱分析,考察油纸气隙放电发展过程中油中溶解气体组分及其气体浓度的变化特性。表1为不同放电电压下油纸气隙放电气体含量,在放电开始阶段产生的气体以 H_2 、 CH_4 和 CO 为主,伴随有 C_2H_4 和 C_2H_2 气体产生。随着放电电压的增大,每种气体所占百分比不同。

升压法下油纸绝缘气隙模型的6种气体含量随所加电压变化近似呈现反“L”形。油纸气隙放电产生的每种气体含量随时间变化整体趋势是一致的,放电起始和发展阶段气体含量增加较为缓慢,而放电发展的后期放电突然增大,气体含量呈现急剧增加的趋势。分析可知,前一段处于低能量放电阶段,产生的能量较小,对油和绝缘纸造成的破坏较小,只有少量油纸绝缘结构遭到破坏裂解,产生气体的量也较少;而在放电发展的最后阶段为放电击穿前较为剧烈的放电阶段(预击穿阶段),对油纸绝缘结构破坏强烈,造成纤维纸和25#矿物油的裂解,伴随大量气体的产生^[10]。

2.2 局部放电特征量主成分因子提取

2.2.1 PRPD 统计特征量

笔者研究了局部放电PRPD模式的 $H_{qmax}(\varphi)$ 、 $H_{qave}(\varphi)$ 、 $H(n)$ 和 $H(q)$ 4个二维图谱,提取的29个统计特征参数如表2所示。包括图谱的偏斜度 sk 、翘度 ku 、峰值数 $peak$ 和不对称度 asy 、互相关系数 cc ,以及Weibull分布尺度 α 和形状参数 β ,各参数的计算表达式文献中都有描述^[11-12]。

表1 气隙模型不同放电电压下油中的气体产量

放电电压 /kV	气体组分 $\mu\text{L}/\text{L}$					
	H_2	CO	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	C_2H_2
6.8	1.275	11.585	0.83	0.300	0	0.715
9.0	1.343	12.047	0.83	0.307	0	0.6867
10.5	0.88	13.47	0.88	0.236	0	0.6
12.0	1.775	12.53	0.81	0.310	0	0.67
13.5	2.255	12.31	0.815	0.315	0	0.69
15.0	2.937	14.09	0.82	0.320	0	0.68
16.5	3.8	0.75	0.823	0.300	0	0.64
18.0	4.37	1.25	0.865	0.315	0	0.615
19.5	7.265	2.02	0.845	0.355	0	0.69
21.0	12.75	3.66	1.12	0.635	0.25	1.22
22.5	14.5	4.98	1.425	1.080	0.41	1.94
28.0	154.52	46.66	15.425	27.445	4.585	134.48

2.2.2 29个统计算子的主成分分析

从表2可以看出,用于表征4个图谱的统计算子有29个之多,它们分别从不同的角度反映了局部放电4个图谱的信息特征,图谱之间的统计算子可能存在信息重复交叉,将其全部用于局部放电的分析计算,不仅存在变量间的多重共线性,引起计算的极大误差,而且模型过于复杂,不利于计算分析。因此,笔者采用主成分分析方法对4个图谱的29个算子进行降维处理,在保留绝大部分统计信息的同时实现计算的简便易行。

表2 4个二维图谱的29个统计算子

参数	$H_{qmax}(\varphi)$		$H_{qave}(\varphi)$		$H(n)$		$H(q)$
	+	-	+	-	+	-	
Sk	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ku	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
$Peak$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Asy	✓			✓	✓		
cc	✓			✓	✓		
α							✓
β							✓

注:“+”表示正半周工频周期;“-”表示负半周工频周期。

主成分分析也称为主分量分析,是一种通过降维来简化数据结构的方法:如何把多个变量(指标)化为少数几个综合变量(综合指标),而这几个综合变量可以反映原来多个变量的大部分信息,并且综

合变量所包含的信息互不重叠。文献[13]中有主成分分析的详细介绍。主成分分析步骤如下:

- ①将原始数据进行标准化处理。
- ②对标准化阵 Z 求相关矩阵 R 。

③求相关矩阵 \mathbf{R} 的特征值和特征向量并计算贡献率。

④选择主成分,选取主成分的个数依据两个原则:从第一个主成分开始依次选取,直至累计贡献率达到 85% 以上即可;特征根大于 1 的即可选取。

⑤对所选主成分做经济解释。

2.2.3 主成分分析结果

对各类统计算子进行分析并提取公共因子的结果如表 3 所示。可以看出统计算子的 KMO 检验值超过 0.5,包括了较多的冗余信息,适合采用因子分析方法进行数据压缩。笔者从中提取出 6 个公共因子($F_1 \sim F_6$),并将其所含信息量和表征的主要含义列于表 3 中。6 个主成分得分根据 29 个特征算子

的标准化数据和各主成分对各特征算子的因子载荷矩阵计算而来,如表 4 所示。从表中可以看出 6 个主成分因子实现了数据压缩,并且代表了原始统计算子中的大部分信息。

3 相关-回归分析

3.1 相关分析

为进一步明确 6 种气体产量分别与 6 个主成分是否具有密切关系,下面引用偏相关系数的概念来进行衡量计算,偏相关系数就是在衡量多个变量中的某两个变量之间的线性相关程度时,控制其他变量的影响下得到的指标^[14-15]。偏相关系数表达式如下:

表 3 统计算子的主成分因子分析结果

主成分因子	特征根值	信息量/%	累计信息量/%	各主成分表征的主要意义
F_1	10.096	34.813	34.813	整体不规则度
F_2	5.553	19.148	53.961	$H(n)$ 图谱的信息(只表征偏斜度以外的信息)
F_3	5.170	17.826	71.787	$H_{qmax}(\varphi)$ 和 $H(n)$ 的正半周偏斜度
F_4	2.419	8.341	80.128	$H(n)$ 的负半轴偏斜度和 $H_{qave}(\varphi)$ 的互相关系数
F_5	1.815	6.258	86.386	$H_{qmax}(\varphi)$ 和 $H_{qmax}(\varphi)$ 的正半周峰值个数
F_6	1.253	4.321	90.707	$H_{qave}(\varphi)$ 的正半周峰值个数和 $H(q)$ 的 Weibull 分布尺度 α

表 4 各主成分在各所加电压值下的得分

所加电压值/kV	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
6.8	-13.794	-7.249	-8.641	-0.132	-3.147	-0.538
9.0	-6.508	-3.886	-4.764	-1.406	2.079	1.512
10.5	1.320	9.270	-4.346	-3.679	0.195	1.148
12.0	7.472	7.216	-0.865	1.517	-0.784	-0.035
13.5	6.056	5.764	-3.745	1.012	-0.251	-2.505
15.0	1.804	-1.026	-4.160	4.293	3.477	-0.088
16.5	3.657	0.124	2.269	2.958	-2.366	1.958
18.0	7.109	-1.884	3.760	-0.039	-0.623	-0.144
19.5	7.101	-2.900	4.659	0.632	-0.348	0.832
21.0	5.185	-6.559	4.930	-1.374	1.166	-0.986
22.5	5.473	-4.066	2.326	-3.810	-0.006	-0.784
28.0	-24.877	5.1981	8.577	0.028	0.609	-0.369

1) 零阶偏相关就是简单相关。

2) 变量 Y 与 X_1 之间的一阶偏相关系数:

$$r_{01 \cdot 2} = \frac{r_{01} - r_{02}r_{12}}{\sqrt{1 - r_{02}^2} \sqrt{1 - r_{12}^2}}, \quad (5)$$

其中:下标 0 代表 Y ,下标 1 代表 X_1 ,下标 2 代

表 X_2 。

3) 增加 X_3 变量之后, Y 与 X_1 之间的二阶偏相关系数为

$$r_{01 \cdot 23} = \frac{r_{01} - r_{03 \cdot 2}r_{13 \cdot 2}}{\sqrt{1 - r_{03 \cdot 2}^2} \sqrt{1 - r_{13 \cdot 2}^2}}. \quad (6)$$

4)由此推导可以考察多个变量 Y 与 $X_i (i=1, 2, \dots, p)$ 的 $p-1$ 阶偏相关系数。利用 spss 软件对 6 种气体与 6 个主成分的偏相关关系进行分析,得到如表 5 所示结果,从表中可以看出 6 种气体与 6 个主成分关系非常密切,与 F_1 和 F_6 是正相关关系,与 F_2, F_3, F_4, F_5 是负相关关系。偏相关系数绝对值大部分在 0.8 以上,说明 6 个主成分因子对 6 种气体含量变化的影响显著。

3.2 多元线性回归分析

多元线性回归分析是研究在线性相关条件下,两个和两个以上自变量对一个因变量的数量变化关系,表现这一数量关系的数学公式称为多元线性回归模型^[16-17]。

假定因变量 Y 与 p 个自变量 X_1, X_2, \dots, X_p 之间的回归关系可以用线性函数来近似反映。多元线性总体回归模型的一般形式如下:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon. \quad (7)$$

其中: ε 为随机扰动项; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ 为总体回归参数。 β_j 为在其他自变量保持不变的情况下,自变量 X_j 变动一个单位所引起因变量 Y 的平均变动的单位数,因而又叫做偏回归参数。

由前面分析可知,6 种气体的产气量与 6 个主成分因子显著相关,根据多元线性回归理论可以拟合出 6 种气体产量与 6 个主成分因子多元线性方程,如式(8)~(13),它们是在本实验条件数据下分析得到,是否具有普遍性还需要更多实验条件下的数据进行验证。

表 5 随电压升高 6 种气体增加量与 6 个主成分因子的偏相关系数

气体	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
H ₂	0.876	-0.880	-0.864	-0.907	-0.811	0.804
CO	0.840	-0.843	-0.819	-0.918	-0.829	0.745
CH ₄	0.860	-0.866	-0.847	-0.897	-0.787	0.781
C ₂ H ₄	0.860	-0.865	-0.847	-0.896	-0.787	0.779
C ₂ H ₆	0.868	-0.874	-0.855	-0.903	-0.798	0.791
C ₂ H ₂	0.739	-0.760	-0.733	-0.760	-0.797	0.519

$$Y_1 = 0.789x_1 - 0.561x_2 - 0.969x_3 - 0.453x_4 - 0.456x_5 + 0.853x_6 - 2.86, \quad (8)$$

$$Y_2 = 0.632x_1 - 0.447x_2 - 0.759x_3 - 0.457x_4 - 0.460x_5 + 0.665x_6 - 2.281, \quad (9)$$

$$Y_3 = 0.772x_1 - 0.551x_2 - 0.951x_3 - 0.450x_4 - 0.444x_5 + 0.833x_6 - 2.802, \quad (10)$$

$$Y_4 = 0.774x_1 - 0.552x_2 - 0.9549x_3 - 0.45x_4 - 0.446x_5 + 0.832x_6 - 2.809, \quad (11)$$

$$Y_5 = 0.77x_1 - 0.551x_2 - 0.943x_3 - 0.449x_4 - 0.442x_5 + 0.829x_6 - 2.792, \quad (12)$$

$$Y_6 = 0.626x_1 - 0.464x_2 - 0.799x_3 - 0.324x_4 - 0.571x_5 + 0.504x_6 - 2.308. \quad (13)$$

表 6 6 种气体多元线性回归模型拟合的 F 检验值和 R^2 值

气体	F	R^2
H ₂	3.869	0.853
CO	4.459	0.870
CH ₄	3.420	0.837
C ₂ H ₄	3.373	0.835
C ₂ H ₆	3.748	0.849
C ₂ H ₂	1.966	0.747

其中,式(8)~(13)中 $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6$ 分别表示 H₂、CO、CH₄、C₂H₄、C₂H₆、C₂H₂ 6 种气体增量, x_i 代表 F_i 。从表 6 可以看出前 5 种气体的复合相关系数均超过 0.8,线性相关显著;查 F 分布表得 $F_{0.90}(6, 5) = 3.40$, H₂、CO、CH₄ 和 C₂H₆ 的 F 值检验均拒绝原假设,即认为式(8)、(9)、(10)、(12)回归方程的效果显著,而式(11)、(13)回归方程拟合效果不够显著。6 种气体与 F_1, F_6 呈正相关关系,与 F_2, F_3, F_4 和 F_5 呈负相关关系,即第一、第六主成分的增大代表气体含量增大,第二、第三、第四和第五主成分的增大表示气体增量的减小。根据式(8)、(9)、(10)、(12)4 个回归模型可以较准确寻找 H₂、CO、CH₄ 和 C₂H₆ 4 种气体增量与局部放电的线性关系。

4 结 论

1)通过实验室模拟变压器油纸气隙放电实验,得到随着放电的发展,变压器油中溶解的 H₂、CO、CH₄、C₂H₄、C₂H₂ 和 C₂H₆ 6 种气体含量整体呈现缓慢后快速增长的趋势,气体以 H₂ 为主,伴随有其他气体的少量产生。

2)利用相关-回归分析法分析了 6 种气体含量与局部放电 6 个主成分因子的相关性;得出 6 种气体含量的增多与 6 个主成分因子线性相关。

3)拟合得到了 6 种气体与 6 个主成分的多元线性回归模型,为进一步探讨变压器早期局部放电发展与油中产气规律之间的关系提供了一种新的

思路。

笔者对局放特征参量和油中气体含量的多元统计分析只是基于本实验室条件下的气隙模型升压法实验数据,为今后的变压器油纸绝缘故障诊断预测提供了一定的参考。

参考文献:

- [1] 操敦奎,许维宗,阮国方. 变压器运行维护与故障分析处理[M]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [2] Shen Y J, Lei L C, Zhang X W, et al. Improvement of diagnostic techniques and electrical circuit in azo dye degradation by high voltage electrical discharge [J]. Energy Conversion and Management, 2008, 49 (8): 2254-2263.
- [3] 孙才新,陈伟根,李俭,等. 电气设备油中气体在线监测与故障诊断技术[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [4] 胡文堂,高胜友,余绍峰,等. 统计参数在变压器局部放电模式识别中的应用[J]. 高电压技术, 2009, 35(2):277-281.
HU Wentang, GAO Shengyou, YU Shaofeng, et al. Application of statistics parameters in recognition of partial discharge in transformers [J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(2):277-281.
- [5] 王燕,贺景亮,郑鹏,等. 油纸绝缘局部放电发展趋势及监测参数选取[J]. 高电压技术, 2002, 28(8): 24-25.
WANG Yan, HE Jingliang, ZHENG Peng, et al. Trend of development of transformer partial discharge and discussion on monitor parameter[J]. High Voltage Engineering, 2002, 28(8): 24-25.
- [6] 尤少华,刘云鹏,刘海峰,等. 基于 UHF 检测的变压器内部典型放电实验的谱图分析[J]. 华北电力大学学报, 2008, 35(2):18-24.
YOU Shaohua, LIU Yunpeng, LIU Haifeng, et al. Spectrogram analysis of transformer interior typical discharge based on ultra-high frequency detection[J]. Journal of North China Electric Power University, 2008, 35(2):18-24.
- [7] 杨丽君,孙才新,廖瑞金,等. 油纸绝缘老化状态判别的局部放电特征量[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(10):55-60.
YANG Lijun, SUN Caixin, LIAO Ruijin, et al. Partial discharge features applied in aging condition discrimination of oil-paper insulation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(10):55-60.
- [8] Grosjean D F, Schweickart D L, Kasten D G, et al. Development of procedures for partial discharge measurements at low pressures in air, argon and helium[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2008, 15(6):1535-1543.
- [9] Song J C, Cheng Y H, Xie H K, et al. Aging diagnosis of large generator stator winding insulation based on AC dielectric characteristic parameters [C] // Proceedings of the 2001 International Symposium on Electrical Insulating Materials, November 19-22, 2001, Himeji, Japan. Piscataway: IEEE Press, 2001: 709-712.
- [10] 杨丽君,廖瑞金,孙会刚,等. 油纸绝缘热老化特性及生成物的对比分析[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(22):53-58.
YANG Lijun, LIAO Ruijin, SUN Huigang, et al. Contrasting analysis and investigation on properties and products of oil-paper during thermal aging process[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(22):53-58.
- [11] 廖瑞金,杨丽君,孙才新,等. 基于局部放电主成分因子向量的油纸绝缘老化状态统计分析[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(14):114-119.
LIAO Ruijin, YANG Lijun, SUN Caixin, et al. Aging condition assessment of oil-paper based on principal component and factor analysis of partial discharge[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(14):114-119.
- [12] Zhang T C, Yue D J, Wang Y Q, et al. A novel approach for mining multiple data streams based on lag correlation [C] // Proceedings of the 2011 Chinese Control and Decision Conference, May 23-25, 2011, Mianyang, China. Piscataway: IEEE Press, 2011: 2377-2382.
- [13] Auer A A, Nooijen M. Dynamically screened local correlation method using enveloping localized orbitals[J]. The Journal of Chemical Physics, 2006, 125(2):24104.
- [14] Orlowsky B, Seneviratne S I. Statistical analyses of land-atmosphere feedbacks and their possible pitfalls [J]. Journal of Climate, 2010, 23(14):3918-3932.
- [15] Ng S T, Skitmore M, Wong K F. Using genetic algorithms and linear regression analysis for private housing demand forecast [J]. Building and Environment, 2008, 43(6):1171-1184.
- [16] Wang J, Fan B L, Wang T S. Statistical analysis and data analysis of stock market by interacting particle models[J]. Journal of Computers, 2008, 3(12): 11-18.
- [17] Davis W J. Handbook of univariate and multivariate data analysis and interpretation with SPSS [J]. The American Statistician, 2008, 62:268-268.

(编辑 王维朗)