

绝缘子污秽放电声发射监测方法研究

杨振东¹,舒乃秋¹,王文志²,刘 敏³

(1. 武汉大学 电气工程学院,湖北 武汉 430072;2. 深圳市广前电力有限公司,
广东 深圳 518051;3. 广东省水利水电科学研究院,广东 广州 510610)

摘要:提出了绝缘子污秽放电的声发射现象,通过监测声发射信号可以监测污秽绝缘子。介绍了声发射信号的监测原理及由超声传感器和后续处理电路组成的监测装置,进行了绝缘子污秽试验,采集了实际的声发射信号。从采集的声信号中提取特征量,建立声信号的数学模型。利用模糊推理方法对声信号的特征量进行处理,分析结果表明综合声信号的几个特征量可以有效判断绝缘子表面的污闪放电强弱,实现对绝缘子污秽放电的监测和预警。

关键词: 声发射; 绝缘子; 污秽闪络; 监测方法

中图分类号: TM 216

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)07-0035-03

绝缘子表面污秽后,一旦遇到恶劣的天气状况,在它的表面就会出现污秽放电(污闪)。

由于局部放电过程实际上是能量突然释放的过程,会对周围的介质产生压力,这一压力使空气振动,就产生了声波,即绝缘子污秽放电引起声发射现象。

本文针对绝缘子污秽放电时所伴随的声发射现象,提出通过监测声信号来监测污秽绝缘子。验证了声发射监测原理的可行性,建立了判断污闪放电强弱的声信号模型。

1 基于声发射的污秽放电监测原理及装置

在污闪发展的整个过程中,局部放电由微弱的辉光放电到强烈的局部电弧,再由局部电弧发展到闪络^[1]。在整个污闪过程中,随着污闪放电的发展,声发射信号从无到有,由弱变强。由于声波信号的能量是污秽放电所释放能量的一部分,其幅值与放电能量的平方根成正比^[2]。因此,可以在污闪的发展过程中,通过对声信号的监测而判断出绝缘子表面放电的发展状态。

声发射信号监测装置由超声传感器和后续处理电路组成。超声传感器拾取放电时产生的声波信号并将声信号转化为电信号供处理。由于高频超声信号在空气中衰减很大,而且声波信号能量集中在 30~50 kHz,因此选用了频率为 40 kHz 左右的超声传感器,灵敏度为 -67 dB。后续处理电路包含前置放大、带通滤波、放大电路和数字存储示波器、微机与示波器通信、存储采集信号。

2 试验及结果分析

试验选取两片绝缘子清洗干净后涂污,悬挂于雾室中,打开加热器产生蒸汽雾,待绝缘子表面饱和

受潮后,加压至绝缘子运行电压。试验时观察污闪不同阶段绝缘子表面污秽放电情况,用监测装置采集放电声信号。试验绝缘子为 XP₃₁₆₀ 型瓷质悬式绝缘子。对不同污秽度绝缘子(灰密均取 1.0 mg/cm²,盐密分别取 0.03 mg/cm²,0.1 mg/cm²,0.3 mg/cm²)都进行了同样的试验。由于超声信号在空气中传播有时延,试验时声传感器距绝缘子的距离固定,约 2 m,污秽试验接线图如图 1 所示。

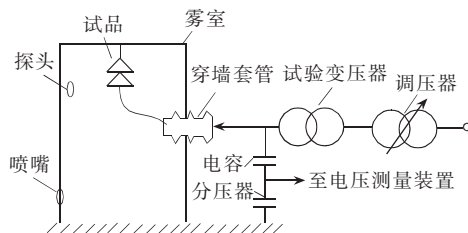


图 1 污秽试验接线图

Fig.1 The wiring of pollution test

在放电的起始阶段,未观察到放电现象,泄漏电流很小,无声波信号,此时声信号波形见图 2(a)示。加大运行电压,绝缘子表面出现紫色刷状放电,夹杂颜色或黄或白的小火花,此时的泄漏电流较小,可听见放电声响,声信号波形见图 2(b)。当绝缘子表面出现局部放电大电弧后,放电声响突然变得很大,此时声信号波形见图 2(c)。出现局部电弧后,局部电弧不断熄灭、重燃,此时声信号见图 2(d)。当绝缘子接近闪络时,在铁帽和铁脚处可见较粗的桔黄色电弧且电弧较长,同时伞面上出现多处黄白色小火花,此时的泄漏电流很大,放电声响非常大,声信号波形见图 2(e)。

比较 4 种放电情况下的信号波形,可以发现明显的不同。随着污闪的发展,声发射信号越来越强,信号的幅值越来越大,波形从无到周期变化再到声脉冲密集发生。对不同的盐密绝缘子进行同样的试

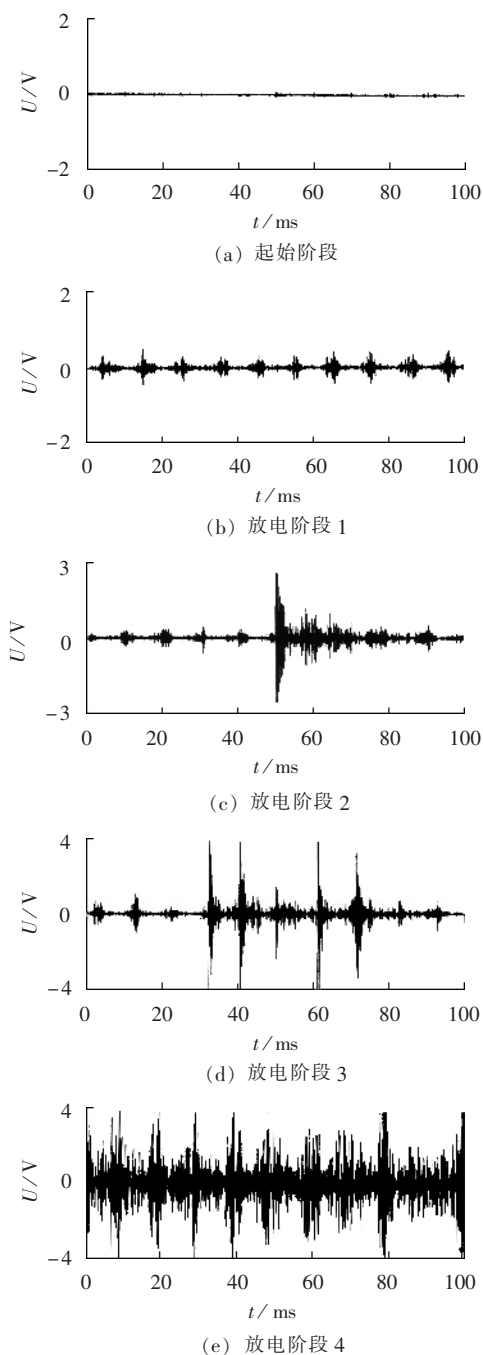


图 2 不同放电阶段下的声发射信号

Fig.2 The acoustic signals under different discharge stages

验,采集的声信号也具有相同的趋势。因此,得出结论:通过监测污秽放电产生的声波发射信号,可监测绝缘子的污闪过程,实现对绝缘子污闪预警。

3 根据污闪放电强弱建立声信号模型

为了从声信号波形中提取有用的信息,利用这些信息判断污秽绝缘子表面的污闪放电强弱,从声信号波形中提取了相关的特征量。

根据对试验现象的观察和对试验数据的分析,可发现由于污秽绝缘子表面局部放电的复杂性,声发射信号并不是平稳的,在污秽度和电压不变的条件下,声信号忽大忽小,单独利用信号幅值判断绝缘

子放电状态并不准确。根据对污秽试验现象的观察和数据的分析发现污秽放电强弱与声波信号的幅值和频度有关,即声信号幅值越强、信号包络线面积越大和大面积包络线的信号出现时间越长共同表明绝缘子表面污闪放电的强度越大。因此,选取了以下 3 个特征量:

a. 最大幅值 $U_{\max}$;

b. 最大工频半周期面积 $S_{\max}$;

c. 周期数 P_{num} ,一段固定时间长度内工频半周期面积超过给定阈值的声信号的个数。

由于受到电极形状、温度、湿度等外界条件的影响,污秽放电产生的声发射信号无法用精确的函数预测,因此采用传统的数学建模方法对数据进行处理会有很大困难,本文采用模糊推理的方法综合这 3 个特征量的信息,对试验绝缘子的污秽放电强度做出判断。由于 Mamdani 模糊推理算法具有推理模型简单、推理算法易于实现等优点,因此采用该模型。

3.1 输入/输出模糊化

分析中定义输入的 3 个语言变量为最大幅值 (U)、最大面积 (S)、周期数 (P)。即模糊数据输入集 $X=\{U, S, P\}$ 。 U 的论域为 $[0 \quad 4500]$,它的术语集合为(小,中,大,很大)。 S 的论域为 $[0 \quad 30000]$,它的术语集合为(小,中,大,很大)。 P 的论域为 $[0 \quad 10]$,它的术语集合为(少,多)。对这 3 个输入语言构造了三角形和梯形隶属度函数。

定义模糊模型的输出为放电危险度 (Y),它的论域为 $[0 \quad 1]$ 。将其分为放电小 (N)、放电弱 (S)、放电弱中 (MS)、放电中 (M)、放电中强 (MB)、放电强 (B)、放电极强 (F) 7 个级别,即模糊输出集为 $Y=\{N, S, MS, M, MB, B, F\}$ 。对输出构造了三角形和梯形隶属度函数。

3.2 设置模糊推理规则

该模糊模型的模糊控制规则具有以下形式:

if $\{U=A_i \text{ and } S=B_j \text{ and } P=C_k\}$ then $Y=D_l$

if $\{U=A_i \text{ and } S=B_j\}$ then $Y=D_l$

其中 A_i, B_j, C_k 以及 D_l 都是各自论域上的模糊语言值,其模糊推理规则表如表 1 所示,整个模糊推理的规则表共有 16 条规则,由于 P 参数的面积给定阈值为 S 大和中的分界值,所以 S 为小和中时 P 为零。

3.3 模糊推理计算

采用 MIN-MAX 合成法的推理运算法则,去模糊方法采用重心法。实际计算时运用 Matlab 的 Fuzzy 工具箱中的 evalfis 函数完成计算。函数 evalfis 的作用是进行模糊推理,得出去模糊化的输出变量值。

4 结果分析

采用了 3 种不同污秽度(盐密 0.03, 0.1, 0.3)绝缘子的声信号波形,提取特征量以后,比较不同放电阶段的放电强度,同一盐密下每组放电特征与图 2 是

表 1 模糊推理规则表
Tab.1 The fuzzy inference rules

U	S	P	Y
小	小		放电小
小	中		放电小
中	小		放电弱
中	中		放电弱
大	中		放电弱中
很大	中		放电弱中
中	大	少	放电中
中	很大	少	放电中强
大	大	少	放电中
大	很大	少	放电中强
很大	大	少	放电中强
很大	很大	少	放电强
大	大	多	放电强
大	很大	多	放电极强
很大	大	多	放电强
很大	很大	多	放电极强

一一对应的。由于声信号是非平稳的,模型的输入是一段时间内声信号的统计结果。特征量及模型输出结果如表 2 所示。

表 2 不同污秽度不同放电阶段下输出结果
Tab.2 The output results under different pollution intensities at different discharge stages

盐密	U/mV	S/(mV·ms)	P	输出
0.03	100	158.56	0	0.037 0
0.03	1 008	1 612.20	0	0.154 8
0.03	2 680	2 918.40	0	0.451 1
0.03	3 800	4 398.40	0	0.590 0
0.03	4 480	12 922.00	10	0.970 0
0.10	140	207.52	0	0.037 2
0.10	512	915.04	0	0.119 0
0.10	2 520	2 980.00	0	0.442 3
0.10	3 760	5 590.40	1	0.692 3
0.10	4 200	6 915.20	3	0.782 3
0.30	340	448.48	0	0.088 2
0.30	560	747.20	0	0.120 4
0.30	2 560	2 552.80	0	0.409 0
0.30	4 360	5 464.00	1	0.718 6
0.30	4 360	6 659.20	3	0.780 6

应用模糊推理可以有效地判断绝缘子表面的污闪放电强弱,以推理模型输出结果为绝缘子运行状

态的评价标准。可以把输出为 0~0.2 的情况定义为安全,0.2~0.5 定义为报警,0.5~0.7 定义为危险,0.7~1.0 定义为临闪。输出结果在任何范围以内提示绝缘子表面的污闪放电情况。只要能够正确判断出放电是弱,或者强,正确判断它对绝缘的威胁程度,就可以发出相应的报警信息,使工作人员能够及时采取措施防止放电进一步发展,达到防止污闪发生的目的。

5 结论

- a. 声发射信号可以反映出绝缘子是否发生了污秽放电,根据声波信号的变化可以判断污秽放电的强弱,因此可以实现绝缘子污秽放电的监测和预警。
- b. 采用 Mamdani 模糊推理方法综合了声发射信号的特征量,建立的声发射信号模型可以判断污秽放电的强弱,实现对绝缘子污秽放电的监测和预警。

参考文献:

[1] 张仁豫. 绝缘污秽放电[M]. 北京:水利电力出版社,1994.

[2] LUNDGAARD L E, XIV P D. Acoustic partial discharge detection-practical application[J]. **IEEE Electrical Insulation Magazine**, 1992, 8(5): 34-43.

[3] LUNDGAARD L E. Partial discharge XIII. Acoustic partial discharge detection-fundamental considerations [J]. **IEEE Electrical Insulation Magazine**, 1992, 8(4): 25-31.

[4] 李 治,王永江,王黎明,等. 绝缘子泄漏电流和放电现象的初步研究[J]. 高电压技术, 2002, 28(12): 1-2, 14. LI Zhi, WANG Yong-Jiang, WANG Li-ming, et al. Research on leakage current and discharge phenomena of insulators [J]. **High Voltage Engineering**, 2002, 28(12): 1-2, 14.

[5] 楼顺天,胡昌华,张 伟. 基于 Matlab 的系统分析与设计模糊系统[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2001.

(责任编辑:柏英武)

作者简介:

杨振东(1980-),男,湖北宜昌人,硕士研究生,从事在线监测方面的研究(E-mail: zdyang80@163.com);

舒乃秋(1954-),男,湖北黄冈人,教授,从事传感器、智能仪器仪表方面的研究;

王文志(1977-),男,云南建水人,硕士,从事在线监测方面的研究。

Acoustic emission detection method monitoring insulator pollution flashover
YANG Zhen-dong¹, SHU Nai-qi¹, WANG Wen-zhi², LIU Min³
(1. Department of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;
2. Shenzhen Guangqian Electric Power Co., Ltd., Shenzhen 518051, China;
3. Guangdong Institute of Water and Hydropower, Guangzhou 510610, China)

Abstract: Insulator pollution flashover is monitored using acoustic emission detection. Its principle is introduced. The monitoring device consists of supersonic transducer and reprocessing circuits. The insulator pollution flashover experiment is performed and real acoustic signals are collected, from which eigenvectors are picked up and mathematical model is built up. The eigenvectors are processed by fuzzy inference to effectively identify the flashover intensity on insulator surface, which is thus used to monitor and forewarn the flashover.

Key words: acoustic emission; insulator; pollution flashover; monitoring method