

基于声发射技术的绝缘子在线监测对比^①

张美金, 刘胜芳

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 葫芦岛 125105)

摘 要: 为了深入了解声发射技术在绝缘子在线监测方面的应用, 在充分了解声发射检测技术原理的基础上采用声发射技术对陶瓷绝缘子和复合绝缘子的污秽放电进行了对比研究。实验结果表明: 两种绝缘子虽然实验电压存在高低差异, 但在不同污秽度和实验电压下的污秽放电发出的声信号具有基本相同的特性, 进一步证明了声发射技术在绝缘子污秽放电中是可行的。另外, 在污秽实验中提取实际的声发射信号的特征量, 采用模糊推理方法对实际数据进行处理, 结果表明模糊推理可以正确判断污秽放电的强弱以及它对绝缘子的威胁程度。

关键词: 污秽闪络; 声发射技术; 在线监测; 聚焦声传感器; 隶属度函数; 人工雾室

On-Line Monitoring Comparative Study of the Insulator Based on Acoustic Emission

ZHANG Mei-Jin, LIU Sheng-Fang

(Electrical and Control Engineering Institute, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: In order to deeply understand the applications of acoustic emission technology in the insulator on-line monitoring, based on the full understanding of acoustic emission testing technology principle, using the acoustic emission technology makes a comparative study of ceramic insulators and composite insulators uncleanness discharge. The experimental results show that although the experimental voltage of the two kinds of insulators exists high and low difference, the acoustic signals of filthy discharge basically have the same characteristics under the different degrees and experimental voltage, further proofed that the acoustic emission technology in polluted insulator discharging is feasible. In addition, in the polluted experiment extracts the actual characteristic quantities of acoustic emission signal, using the fuzzy reasoning method to process the actual data, the results show that the fuzzy reasoning can correctly judgment the strength of the uncleanness discharge and its threat level to insulator.

Key words: filthy flash collaterals; acoustic emission; online monitoring; focus on acoustic sensors; membership functions; artificial fog room

绝缘子的污秽闪络是电力系统中常见的且危害性较大的事故, 也被称为污闪。污闪是由于绝缘子表面的污秽湿润状态增加到一定的程度, 导致绝缘子表面的泄漏电流过大, 进而产生的线路闪络。是电力系统中常见的高发性故障^[1]。

污闪的放电过程包括四个阶段: 绝缘子表面积污、绝缘子表面污秽受潮、局部放电导致表面干层的形成、电弧形成导致沿面闪络。有大量的理论和试验结果可以证明, 在局部放电过程中往往会伴随着发生电磁波、

声波、光波及热等物理现象。文献[2]指出, 局部放电过程其实就是能量突然释放的过程, 会对周围的介质产生压力, 该压力会使空气发生震动, 进而产生声波, 这就是绝缘子污秽放电所引起的声发射现象^[3]。

文献[4]只是以陶瓷绝缘子为研究对象, 其实验电压较低, 不能完全适应于高电压绝缘子的情形, 文中另外又对复合绝缘子进行了同样的实验研究, 并对两种绝缘子的实验结果进行了对比分析, 更好的证实了声发射技术^[5]在绝缘子污秽放电研究中的可行性及实

① 收稿时间:2011-08-10;收到修改稿时间:2011-09-18

用性。

1 系统结构

实验所用的原理图如图 1 所示：

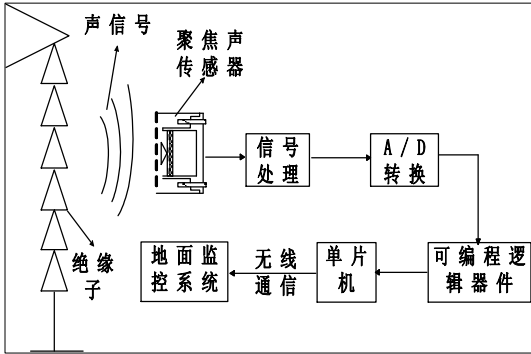


图 1 绝缘子污秽放电监测原理图

在本实验中，采用的是文献中介绍的聚焦声传感器^[6](封装后如图 2 所示)，该传感器是安装在杆塔上的，这样可以减少高频段声信号在空气中长距离传播时的衰减，从而有效接受这些信号。传感器将接收到的声信号转换成电信号，经前置放大、衰减补偿以及滤波等信号处理模块处理(处理模块如图 3 所示)后，送入 A/D 转换模块(如图 4 所示)将模拟信号转换成数字信号后再送入单片机处理，然后由无线通信模块送入地面监控系统来监测声信号的变化^[7]。



图 2 封装后的聚焦声传感器示意图

图 4 中选用的是 TI 公司专门为 DSP 配套的一种 10 位的并行 A/D 转换器 TLV1571,该器件给定的 CLK 频率达到的等效最大采样频率为(1/16)fCLK。该转换器速度高、接口简单，成为需要模拟输入的高速数字信号处理的理想选择。

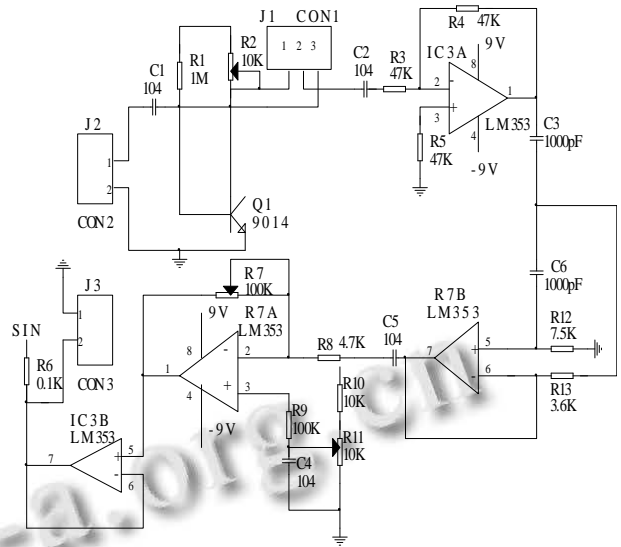


图 3 信号处理模块电路图

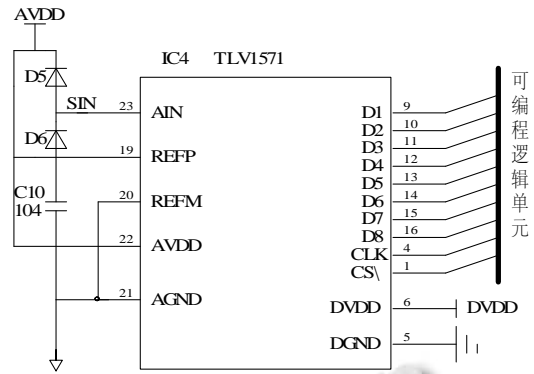


图 4 A/D 转换模块电路图

2 建立声信号模型

在试验中，可以确定实验电压和污秽度，但是不能确定声信号以及它与污秽度的关系，只能以声信号的“大”、“小”来判断污秽放电的“强”、“弱”。这些都是模糊概念，不能用来建立精确的数学模型。但是模糊推理的方法在这却可以得到很好的应用，因此在实验中采用模糊推理的方法来处理实验数据。

选取的特征量包括声信号的最大幅值 U 、最大工频半周期面积 S 以及连续周期数 P (在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)，输出为污秽放电程度 Y 。

2.1 输入参数模糊化

在建立模糊模型时，最重要的一步是将输入参数进行模糊化处理，即用人们日常使用的模糊语言(比如太热、太高、稍冷等)来替代数值集合。主要包括：确

定输入参数的论域范围(指被讨论事物处于一个什么样的界限范围)和术语集合(即模糊概念的集合),构建参数的隶属度函数(假设对于论域 Y 内的任意一个函数 x , 都有一个介于 0 和 1 之间的数 $A(x)$ 与之相对应, 则 A 为 Y 上的模糊集, $A(x)$ 为 x 对 A 的隶属度。当 x 在 Y 中变化时, $A(x)$ 就成为了一个函数, 也即 A 的隶属度函数。其范围在 0~1 之间, 是模糊控制的基础。

在本文所建立的声信号模型中, 模糊输入集 $X=\{U, S, P\}$ 。其中最大幅值 U 的论域为 $[0, 4500]$, 术语集合 $T(U)=\{T(\text{小}), T(\text{大})\}$ 。隶属度函数选用高斯函数,

$$\mu_{\text{小}}(x) = \frac{(x)^2}{e^2 \times 1500^2}; \mu_{\text{大}}(x) = \frac{(x - 4500)^2}{e^2 \times 1500^2}$$

最大工频半周期面积 S 的论域为 $[0, 40000]$, 术语集合 $T(S)=\{\text{小}, \text{中}, \text{大}\}$ 。隶属度函数选用梯形函数,

$$\begin{aligned} \mu_{\text{小}}(x) &= \text{sigmf}(x, [100, 0.8]) \\ \mu_{\text{中}}(x) &= f(x, 8000, 15000, 25000, 30000) \\ \mu_{\text{大}}(x) &= f(x, 20000, 28000, 40000, 50000) \end{aligned}$$

连续半周期数 P 的论域为 $\{\text{少}, \text{多}\}$, 术语集合 $T(P)=\{0, 30\}$ 。隶属度函数选用高斯函数:

$$\mu_{\text{少}}(x) = \text{sigmf}(x, [a, b]) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-b)}}$$

对 $\mu_{\text{多}}(x)$ 采用联合高斯隶属度函数,

$$\begin{aligned} \mu_{\text{多}}(x) &= \text{gauss2mf}(x, [\text{sig}1, b1, \text{sig}2, b2]) \\ &= \text{gauss2mf}(x, [1, 4, 3, 5]) \end{aligned}$$

输出 Y 的论域为 $(0, 1)$, 术语集合 $T(Y)=\{\text{安全}, \text{报警}, \text{危险}, \text{临闪}\}$ 。隶属度函数同样选用高斯函数:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{安全}}(x) &= \text{gaussmf}(x, [0.2, 0]) \\ \mu_{\text{报警}}(x) &= \text{gaussmf}(x, [0.2, 0.5]) \\ \mu_{\text{危险}}(x) &= \text{gaussmf}(x, [0.5, 0.7]) \\ \mu_{\text{临闪}}(x) &= \text{gaussmf}(x, [100, 0.8]) \end{aligned}$$

2.2 模糊规则的确立

模糊规则是模糊控制器的核心部分, 主要包括状态评估和目标评估两种型式。其正确与否直接影响到模糊控制器性能的优劣。模糊规则的主要来源是: 专家的经验知识和、操作员的操作模式以及学习等。建立模糊规则时应注意保证规则库的一致性、连贯性和完整性等特性。

在本系统中, 由周期 P 的定义可知, 当 S 为小和中时 P 为零(P 定义中的阈值为 S 中和大的分界值)。根据以往的实验结论和专家知识及总结的经验, 现给出以下几条模糊规则:

- (1) U 为小时, Y 为安全;
- (2) U 为大且 S 为小时, Y 为安全;
- (3) U 为大且 S 为中且 P 为少时 Y 为报警;
- (4) U 为大且 S 为大且 P 为少时 Y 为危险;
- (5) P 为多时 Y 为临闪。

3 模拟试验与对比结果分析

3.1 实验过程

在本实验中采用的是人工污秽实验中的固体层法, 实验装置有人工雾室、试验变压器、调压器等, 接线图如图 5 所示。

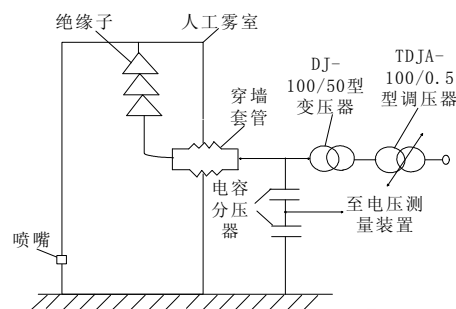


图 5 实验接线图

首先采用涂刷法^[18]对绝缘子染污, 将其彻底干燥后送入雾室准备污闪实验。在进行污闪实验时, 把染污后的绝缘子悬挂在人工雾室的吊钩上, 再将人工雾室起雾, 使绝缘子的表面受潮湿润, 这时开始施加电压, 直到把电压匀速升高到绝缘子临近闪络时, 同时还要采集升压过程中的声发射信号。将经过穿墙套管从室外的试验变压器上引入的电压送由电容分压器引出, 用电压表测量该电压。用声发射式污秽放电装置对绝缘子污秽放电时产生的声信号进行检测和分析处理。

3.2 实验结果及对比分析

与葫芦岛市某电厂合作, 在现场使用声发射技术分别对陶瓷绝缘子和复合绝缘子进行污秽放电实验: 现场采集两种绝缘子在盐密度分别为 0.03、0.1、0.3, 同时在不同放电阶段的特征量和模糊输出, 如表 1 所示, 随后又在该电厂监测设备上采集了两种绝缘子随

时间变化的声信号波形，如图 6 所示。

表 1 特征量和模拟量输出

特征量及输出 污秽度		施加电压 (V)	最大幅值 (mV)	最大工频半周期面积 (Mv.ms)	连续周期数	污秽放电程度
0.03	陶瓷	0	100	158.56	0	0.0370
		10	2680	2918.40	0	0.4511
		20	4480	1292.00	10	0.9700
	复合	0	45	78.20	0	0.0156
		10	1297	1439.90	0	0.2110
		20	2163	6300.10	5	0.4700
0.1	陶瓷	0	140	207.52	0	0.0372
		10	2520	2980.00	0	0.4423
		20	4200	6915.20	3	0.7823
	复合	0	68	100.11	0	0.0173
		10	1120	1490.12	0	0.2009
		20	2010	3492.10	1	0.4920
0.3	陶瓷	0	340	448.48	0	0.0882
		10	2560	2552.80	0	0.4090
		20	4360	6659.20	3	0.7806
	复合	0	156	219.08	0	0.0420
		10	1190	1180.02	0	0.2012
		20	2201	3228.19	2	0.3529

由表 1 可以看出两种绝缘子拥有大致相同的特性：随着污秽放电强度的加强，三个特征量在增大；随着污秽度的增加，三个特征量也在增大。只是在同等电压级别下放电程度不同而已。另外，从表 1 也可以看出由声信号可以反映出污秽放电的强弱。从图 6 可以看出陶瓷绝缘子和复合绝缘子在相同电压下随时间变化时其声信号波形幅值并不相同，进一步证实了在同等电压级别下两种绝缘子的放电程度是不同的。

4 结语

通过对陶瓷绝缘子和复合绝缘子应用声发射技术，对绝缘子的污秽放电程度做出评判，进一步证明

了声发射技术可以用来监测绝缘子的污秽放电强度。但是由于只研究了两种绝缘子，并不能保证声发射技术对所有类型的绝缘子都适用，还需进一步的研究。

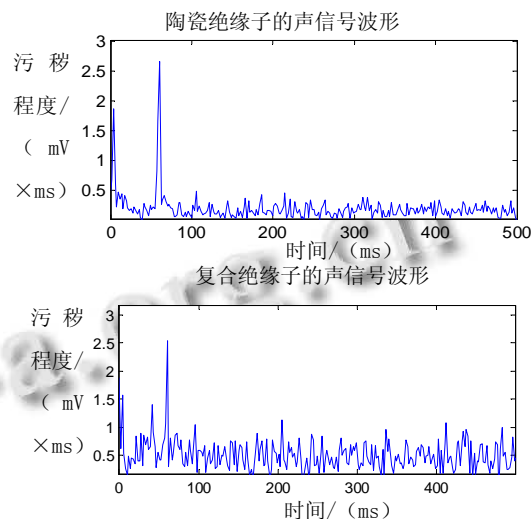


图 6 相同电压下两种绝缘子随时间变化的声信号波形

参考文献

- 1 刘涤尘. 自适应噪声对消应用于高压绝缘子泄漏电流检测的研究. 武汉大学学报, 2001, 34(8): 96-99.
- 2 Lundgaard L. Partial discharge. XIV. Aacoustic Partial Discharge Detection-Practical Application. IEEE Electrical Insulation Magazine, 1992, 8(5): 34-43.
- 3 赵静荣, 王珂. 声发射信号处理系统与源识别方法的研究. 吉林大学学报, 2010, 22(7): 3-13.
- 4 汪奕, 李中年. 高电压线路绝缘子在线检测仪研究. 武汉理工大学学报, 2007, 5(1): 1-72.
- 5 熊迪, 熊庆国, 周雄伟. 基于 MSP430 系列单片机的声发射检测系统设计. 微计算机信息, 2011, 27(5): 101-103.
- 6 张德宁, 张曙光. 基于超声波的局部放电检测仪的研制. 河北农业大学学报, 2009, 20(8): 1-12.
- 7 赵战胜, 李红军, 袁英迪. 绝缘子污秽放电超声监测及超声传感器的研究. 电力学报, 2009, 24(5): 423-425.
- 8 杨建明, 时卫东, 董春. 污秽绝缘子泄漏电流监测系统的设计. 北京交通大学学报, 2008, 10(7): 51-54.
- 9 马永辉, 刘康, 杨大志. 基于 LabVIEW 的声发射信号采集分析与处理系统. 煤矿机械, 2011, 32(2): 258-261.