

# 基于数据融合电晕放电紫外计数值的数据处理

丁国成<sup>1</sup>, 李伟<sup>1</sup>, 王刘芳<sup>1,2</sup>, 赵爱华<sup>1</sup>, 叶剑涛<sup>1</sup>

(1. 安徽省电力科学研究院, 安徽 合肥 230022; 2. 安徽省电力公司, 安徽 合肥 230022)

**摘要:** 电晕不是一个稳定的放电现象, 往往受到测量条件等因素的影响, 使得紫外测量得到的数据一般是波动的, 仅凭某一紫外计数值或有限次测量结果的简单算术平均值是很难判断电晕放电的强弱。因此, 为了提高电晕放电紫外计数值的测量准确性和可靠性, 基于数据融合技术, 采用算术平均值和分批估计相结合的数据融合方法, 对电晕放电紫外计数值进行了处理, 在一定程度上消除了电晕放电紫外测量过程中外界因素的干扰, 使得结果更能有效反映电晕放电的强弱, 从而为后续故障诊断提供依据。文中介绍了该方法的基本原理以及详细的计算步骤, 最后以实例将该方法与简单的算术平均值方法进行了比较, 验证了该方法的有效性。

**关键词:** 电晕放电; 紫外测量; 计数值; 数据处理; 数据融合

中图分类号: TM835

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)05-0028-03

## Data Process of Ultraviolet Counts for Corona Discharge Detection Based on Data Fusion Technology

DING Guo-cheng<sup>1</sup>, LI Wei<sup>1</sup>, WANG Liu-fang<sup>1,2</sup>, ZHAO Ai-hua<sup>1</sup>, YE Jian-tao<sup>1</sup>

(1. Anhui Electric Power Research Institute, Hefei 230022, China; 2. Anhui Electric Power Corporation, Hefei 230022, China)

**Abstract:** The corona is not a steady discharge because of the effect of detection conditions, so the data of ultraviolet(UV) counts is fluctuant. It is difficult to estimate the corona discharge with only one data or the average of several UV counts. To improve the precision and reliability of UV counts for corona discharge measurement, the authors use the methods of arithmetic average and batch estimation for processing the data of UV counts of corona discharge based on the principle of data fusion technology. As a result, the interference in the course of UV detection of corona discharge is suppressed to a certain extent, hence the detection result gets more accurate.

**Key words:** corona discharge; ultraviolet detection; counts; data process; data fusion

## 0 引言

高压电气设备在设计、制造、运输、安装过程中都不可避免地存在一些“瑕疵”, 像高压导线散股、高压端部表面处理不良等<sup>[1,2]</sup>, 这样在运行过程中, 当其局部电场强度达到起晕场强时, 其周围将会出现电晕放电现象, 电晕放电会造成空气发生化学反应, 产生一些腐蚀性物质, 而且电晕放电会形成高频电磁波, 对附近的通讯设施产生干扰, 更为不利的是电晕放电可能直接发展成火花放电, 造成设备外绝缘闪络<sup>[3]</sup>, 严重影响电网的安全、稳定运行, 因此, 能够及时发现、准确评估这些电晕现象具有十分重要的意义。

目前, 国内外针对电气设备电晕放电检测较成熟的方法是采用紫外成像检测法, 通过紫外成像仪接收到日光“盲区”的紫外线信号, 经过处理后成像并与可见光图像叠加, 从而达到确定电晕放电位置和放电强弱的目的<sup>[4-6]</sup>, 而评估电气设备电晕放电情况的关键是紫外测量数据的准确性和可靠性, 目前, 大多采用计数稳定后某一次数据或有限次测量结果的算术平均值作为表征电晕放电的强弱<sup>[7]</sup>, 但在现场对电气设备进行电晕检测时, 外部测量条件的影响, 使得紫外测量得到的数据一般是波动的, 仅凭某一紫外计数值或有限次测量结果的简单算术平均值是很难判断电晕放电的强弱, 因此, 需要引进更加先进的数学工具来分析电晕放电紫外计数值。笔者基于数据融合技术, 将其应用于电晕放电紫外测量数据处

收稿日期: 2009-07-30

基金项目: 安徽省电力公司科技项目基金资助(206K-GY-02)。

作者简介: 丁国成(1980), 男, 工程师, 现从事高压试验研究工作。

理中,采用算术平均值和分批估计相结合的数据融合方法,以期获取比有限次数的算术平均值更加精确的测量结果。该结果更能反映电晕放电状况,从而能为后续故障诊断提供更加精确的数据。

## 1 数据融合的基本原理

### 1.1 概述

数据融合是20世纪70年代末兴起的一门新技术,虽然在理论上还需不断改进和完善,但在许多领域,特别是在军事领域得到广泛应用,如在导弹精确制导,卫星遥感遥测和目标自动识别等方面得到成功运用<sup>[8]</sup>。近年来,在火电机组在线性能计算<sup>[9]</sup>,消防车检测<sup>[10]</sup>以及绝缘油击穿电压测试<sup>[11,12]</sup>等方面也得到成功运用。其基本思想是将系统中若干相同类型或不同类型的传感器所提供的相同或不同形式,同时刻或不同时刻的测量信息依据某种准则加以处理、分析和综合,以得到被测对象更全面、一致的估计。其最大优势在于能合理协调多源数据,充分综合有用信息,提高在多变环境中正确决策的能力,其主要特点可以概括为两方面:可以扩大系统处理信息的空间覆盖范围。可以从不同来源、不同环境、不同层次以及不同的分辨率来分析同一对象;具有强大的时间覆盖能力。可以利用不同时间点的信息进行优化处理,以时间为定标尺度,配以历史数据和当前数据,使用合理的融合结构和算法,从而得到优化的数据。

### 1.2 基本步骤

#### 1.2.1 数据的一致性检验

在电晕放电紫外测量过程中,由于现场各种因素的干扰,经常会发现实际数据的真实误差会超出预先估计的误差,影响了测量数据的一致性。因此,在进行数据融合之前,必须对测量数据进行一致性检验。一致性检验的方法很多,有t检验、F检验以及分布图法检验等。其中分布图法不需要大容量或复杂的数据结构,具有编程简单、可靠性高和实时性好等特点,这对于处理电晕放电紫外测量数据不失为一种好方法<sup>[13,14]</sup>,笔者即采用此方法检测数据的一致性。

利用分布图法检验其主要计算过程有

(1)将 $N$ 个测量结果按升序排列,得到一个有序的测量序列 $X_1, X_2, \dots, X_N$ 。

(2)确定中位值 $X_{M_0}$ 。

$$\begin{cases} N \text{ 为偶数时 } X_{M_0} = \frac{(X_{\frac{N}{2}+1} + X_{\frac{N}{2}})}{2} \\ N \text{ 为奇数时 } X_{M_0} = X_{\frac{N+1}{2}} \end{cases} \quad (1)$$

(3)确定上四分位数 $f_H$ 及下四分位数 $f_L, f_H$ 为区间 $[X_M, X_N]$ 的中位数, $f_L$ 为区间 $[X_1, X_M]$ 的中位数,计算方法同步骤(2)。

(4)计算四分位离散度 $d_f$ 。

$$d_f = f_H - f_L \quad (2)$$

(5)一致性检验

无效数据的判别区间为

$$|X_n - X_M| > \delta d_f \quad (3)$$

式(3)中, $\delta$ 为常数,其大小取决于测量系统的精度,一般取值为0.5, 1, 2等。

测量数据序列剔除了疏失误差后,可认为剩下的数据具有一致性,接下来就可以利用数据融合进行计算了。

#### 1.2.2 数据融合处理

按照相邻的测量值不在同一组的原则,将测量序列分为两组 $X_{(1)1}, X_{(1)2}, \dots, X_{(1)m} (m \leq N/2)$ 和 $X_{(2)1}, X_{(2)2}, \dots, X_{(2)n} (n \leq N/2)$ 。

两组一致性测量序列的算术平均值分别为

$$\bar{X}_{(1)} = \frac{1}{m} \sum_{p=1}^m X_{(1)p} \quad (4)$$

$$\bar{X}_{(2)} = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n X_{(2)q} \quad (5)$$

其相应的标准差值为

$$\sigma_{X_{(1)}} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_p (X_{(1)p} - \bar{X}_{(1)})^2} \quad (6)$$

$$\sigma_{X_{(2)}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_q (X_{(2)q} - \bar{X}_{(2)})^2} \quad (7)$$

假设测量的真实值为 $X_0$ ,则带电检测的测量方程可表示为

$$X = HX_0 + E \quad (8)$$

式(8)中, $X$ 为测量值, $H$ 为系数矩阵, $E$ 为剩余误差。

考虑到这两组数据是同一批的两个测量数据,在此之前没有其统计资料,因此此前的测量结果 $X^{-1}$ 的标准差是

$$\sigma_{X^{-1}} = \infty, (\sigma_{X^{-1}})^{-1} = 0 \quad (9)$$

系统的剩余误差相互独立,其数学期望值为0,则剩余误差的协方差矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_{X_{(1)}}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{X_{(2)}}^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

根据分批估计方法,分批估计后的融合值方差为

$$\sigma^2_{X'} = [(\sigma_{X^{-1}})^{-1} + H^T R^{-1} H]^{-1} = \left[ [1 \ 1] \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_{X_{(1)}}^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_{X_{(2)}}^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right]^{-1} = \frac{\sigma_{X_{(1)}}^2 \sigma_{X_{(2)}}^2}{\sigma_{X_{(1)}}^2 + \sigma_{X_{(2)}}^2} \quad (11)$$

测量结果的融合值 $X'$ 为

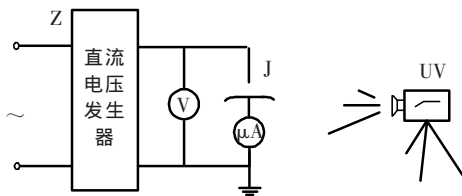
$$X' = [\sigma_{X^{-1}}^+ (\sigma_{X^{-1}})^{-1}] X^- + [\sigma_{X^{-1}}^+ H^T R^{-1}] X = [\sigma_{X^{-1}}^+ H^T R^{-1}] X =$$

$$\frac{1}{\frac{1}{\sigma^2_{X(1)}} + \frac{1}{\sigma^2_{X(2)}}} [1 \ 1] \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma^2_{X(1)}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma^2_{X(2)}} \end{bmatrix} = \frac{\sigma^2_{X(2)}}{\sigma^2_{X(1)} + \sigma^2_{X(2)}} \bar{X}_{(1)} + \frac{\sigma^2_{X(1)}}{\sigma^2_{X(1)} + \sigma^2_{X(2)}} \bar{X}_{(2)} \quad (12)$$

根据式(12)就可以得到电晕放电紫外测量结果的融合值。

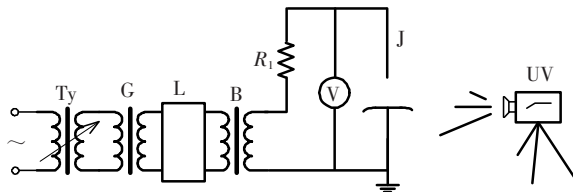
## 2 实例验证

为验证数据融合方法对于电晕放电紫外测量数据处理的有效性,笔者在试验室分别搭建了直流和交流情况下电晕放电的紫外测量系统,见图1、2。



Z——直流电压发生器 V——静电电压表  
J——放电电极 UV——紫外检测仪

图1 直流情况下电晕放电紫外测量系统



Ty——调压器 G——隔离变压器 L——滤波器  
V——静电电压表 B——试验变压器  
R1——保护电阻 J——放电电极 UV——紫外检测仪

图2 交流情况下电晕放电紫外测量系统

分别按图1与图2接好试验接线,保持电压不变,在某一固定测量距离下分别连续测量得到30个紫外计数值和20个紫外计数值,见表1、表2。因此,测量结果是这些实时采集数据的融合,使由数据融合而得的结果比每次实时采集的数据更能反映该电晕放电的强弱。

对表1交流情况下电晕放电30个紫外计数值进行数据融合,30次测量结果的简单算术平均值为493.77,标准差为63.67,而根据数据融合原理,用分布图法一致性检验后,按照相邻的测量值不在同一组的原则,将剩下的测量序列分成两组,两组序列的算术平均值和标准差分别为

$$\bar{X}_{(1)}=479.75, \sigma_{X(1)}=62.90$$

$$\bar{X}_{(2)}=474.71, \sigma_{X(2)}=49.09$$

由式(12)和式(11)可以计算出这几个数据的融

表1 交流情况下电晕放电紫外计数测量值

测量次序	计数值	测量次序	计数值	测量次序	计数值
1	453	11	460	21	527
2	466	12	493	22	508
3	465	13	545	23	569
4	499	14	546	24	584
5	466	15	518	25	614
6	428	16	514	26	579
7	388	17	498	27	579
8	376	18	489	28	481
9	372	19	493	29	443
10	415	20	582	30	463

表2 直流情况下电晕放电紫外计数测量值

测量次序	计数值	测量次序	计数值
1	493	11	420
2	590	12	453
3	589	13	480
4	579	14	538
5	536	15	560
6	565	16	526
7	587	17	460
8	531	18	471
9	471	19	486
10	423	20	498

合值为476.62,标准差为38.70。

同样对于表2直流情况下电晕放电紫外测量结果也可以利用数据融合原理得到其融合值和标准差,20次测量结果的算术平均值为512.8,标准差为54.88,两组序列的算术平均值和标准差分别为

$$\bar{Y}_{(1)}=501.2, \sigma_{Y(1)}=28.53$$

$$\bar{Y}_{(2)}=504.8, \sigma_{Y(2)}=28.86$$

由式(12)可以计算出这几个数据的融合值为502.98,标准差为20.29。不同方法计算结果对应的标准差见表3。

表3 两种方法计算结果对应的标准差比较

	算术平均值 对应的标准差	数据融合 对应的标准差
交流紫外计数值	63.67	38.70
直流紫外计数值	54.88	20.29

从表3两组标准差的计算结果可以看出,该方法较传统的算术平均值更精确、可靠,更能有效体现电晕放电的强弱。

## 3 结语

将数据融合方法应用到电晕放电紫外测量数据

(下转第34页)

输出电压为 0.51 V, 可得其实测互感为  $1.62 \times 10^{-6}$  H, 实测值与理论计算值相当接近。

表 1 实验数据

测点 ( $I/I_N$ )/%	比差/%	角差/(')	测点 ( $I/I_N$ )/%	比差/%	角差/(')
1	-0.38	14	50	0.05	5
10	0.21	10	100	0.02	5
20	-0.11	8	120	-0.05	5

将被测电流额定值定为 100 A, 对图 5 所示的电路板进行了测试, 其中一个通道的测量结果见表 1。试验结果表明, 当一次电流在额定值的 10%~120% 之间变化时可满足 0.2 级的要求。

外磁场干扰实验: 将通过额定电流的干扰导线置于实验模型附近, 相距为 0 时, 比差变化 0.15% 以内; 当距离大于 10 cm 时, 比差变化几乎为 0; 实验模型的三相同步通入测量电流, 感应电压不变, 相互间基本无影响。因此, PCB 空心线圈对外磁场干扰有较好的抵御效果。

### 5 结论

(1) 提出一种新型 PCB 空心线圈, 其互感系数大, 抗干扰能力强, 测量精度高。

(2) 对不同级别的电流分别提出了与之相对应的 PCB 空心线圈的结构, 以保证其测量精度。

(3) 对实际模型进行了测试实验, 结果表明: 在对小电流测量时, 其准确度达到了工程要求, 且有较

强的抗电磁干扰能力。

### 参考文献:

[1] YU D C, CUMMINS J C, WANG Z D, et al. Correction of Current Transformer Distorted Secondary Currents Due to Saturation Using Artificial Neural Networks [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2001, 16(2): 189-194.

[2] ANDRZEJ K, WALTER K. Combined Sensors for Current and Voltage are Ready for Application in GIS [C]//CIGRE, Paris, France, 1998.

[3] 袁季修, 盛和乐, 吴聚业. 保护用电流互感器应用指南[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.

[4] 李伟凯, 张慧哲, 郑绳植. 电子式互感器数字输出接口[J]. 仪表技术与传感器, 2005(11): 54-56.

[5] 贾春荣, 邱志刚, 张庆凌, 等. 电子式电流互感器相位补偿设计[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 76-79.

[6] 申 焯, 王士敏, 罗承沐. 一种电子式电流互感器的研制[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(18): 41-44.

[7] 徐 雁, 朱明钧, 郭晓华, 等. 空心线圈作为保护用电流互感器的理论分析和试验 [J]. 电力系统自动化, 2002, 26(16): 52-55, 78.

[8] 罗苏南, 田朝勃, 赵希才. 空心线圈电流互感器性能分析[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(3): 108-113.

[9] 陈 庆, 李红斌, 张明明, 等. 3 种 Rogowski 线圈的设计及其性能分析[J]. 仪表技术及传感器, 2005(7): 54-55, 58.

[10] 陈 庆, 李红斌, 张明明, 等. 采用主副印刷电路板构造的 Rogowski 线圈性能分析及设计 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 79-82.

[11] 李红斌, 陈 庆, 张明明, 等. 一种基于印刷电路板的高准确度 Rogowski 线圈[J]. 高压技术, 2004, 30(4): 54-56.

(上接第 30 页)

处理中, 通过采用算术平均值和分批估计相结合的数据融合方法, 分别对交流情况和直流情况下电晕放电紫外测量结果进行了处理, 从不同方法所得的标准差可以看出, 通过数据融合方法可以得到比算术平均值更加可靠的测量结果, 而且该方法程序编写简单, 计算量小, 计算结果可靠性高, 适合于现场应用。

### 参考文献:

[1] 迟殿林, 曾庆立. 用紫外成像检测电气设备外绝缘状况[J]. 东北电力技术, 2005, 26(1): 22-23.

[2] 戴立波. 紫外成像技术在高压设备带电检测中的应用[J]. 电力系统及其自动化, 2003, 27(22): 97-98.

[3] 朱德恒, 严 璋. 高压绝缘[M]. 北京: 清华大学出版社, 1990.

[4] 蒋 焯. 紫外电晕检测仪在电晕放电检测中的应用[J]. 华东电力, 2004, 32(8): 34-35.

[5] 滕鹤松. 紫外成像技术及其应用[J]. 光电子技术, 2001, 21(4):

294-297.

[6] 靳贵平, 庞其昌. 紫外成像检测技术[J]. 光子学报, 2003, 32(3): 294-296.

[7] 傅晨钊, 周建国, 肖 嵘, 等. 紫外电晕检测仪检测线路绝缘子的模拟试验[J]. 华东电力, 2005, 33(6): 50-53.

[8] 王晓宏. 数据融合技术及其在电器试验数据采集中的应用[J]. 微计算机信息, 2004, 20(1): 46-47.

[9] 陈坚红, 李 蔚, 盛仁德, 等. 一种火电机组在线性能计算中的数据融合方法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(5): 152-156.

[10] 王冠凌, 凌有铸, 于世海, 等. 数据融合技术在消防车检测系统中的研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2008, 136(2): 82-84.

[11] 崔雪英, 蔡振江, 肖志刚, 等. 基于数据融合的绝缘油击穿电压测试仪[J]. 电工技术, 2004(1): 70-72.

[12] 李兰君, 喻寿益, 唐耀庚, 等. 数据融合在变压器油击穿电压测试仪中的应用[J]. 高压技术, 2008, 34(6): 1 267-1 269.

[13] 黄德祥, 曹 建. 数据融合技术在电力设备在线监测系统数字滤波中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(21): 31-33.

[14] 夏卓君. 分布图法在疏失误差处理中的应用[J]. 实用测试技术, 2002, 28(2): 33-34.