

文章编号: 1001-1609(2006)03-0196-03

# 灰关联分析用于分析环境因素对 MOA 在线监测的影响

丁国成, 律方成, 李燕青, 刘云鹏

(华北电力大学电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室, 河北 保定 071003)

Study of Influence of Environmental factor on MOA  
On-line Monitoring Based on the Grey Relational Analysis

DING Guo-cheng, LU Fang-cheng, LI Yan-qing, LIU Yun-peng

(Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control under Ministry of Education, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

摘要: 引入灰关联分析来量化 MOA 在线监测数据与环境因素之间的关联关系, 通过对关联度排序, 分析了在不同环境条件下影响 MOA 在线监测数据的最主要因素, 进而能排除外部环境因素的影响, 而正确分析所得数据, 最后以实例分析了该方法的实用性。

关键词: 金属氧化物避雷器; 在线监测; 灰关联分析

中图分类号: TM835

文献标识码: A

Abstract: Based on the principle of grey relational analysis, this paper uses the grey relational analysis to quantify the similarity between on-line monitoring data of MOA and environmental factors. By sorting grey relational degree, the uppermost factor that affects the on-line monitoring data of MOA under different environmental conditions is analyzed. So the influence of environmental factors can be eliminated, and the monitoring data can be analyzed correctly. Finally, a practical example has been given to verify its practicability.

Key words: metal oxide surge arrester(MOA);

on-line monitoring; grey relational analysis

## 1 引言

金属氧化物避雷器(MOA)以其保护特性好、通流量大、结构简单等特点在电力系统中得到广泛应用。但由于大多数 MOA 不再串有放电间隙, 这样随着运行时间的加长及潮湿、污秽和过电压等因素的作用会加速 MOA 阀片的劣化, 致使其保护性能下降, 如果不及时加以处理, 将会引起 MOA 被击穿, 甚至造成爆炸, 影响电力系统的安全运行。因此, 必须对 MOA 的绝缘状况进行检测<sup>[1]</sup>。由于 MOA 内部受潮时, 其泄漏电流将增加, 老化将导致其阻性电

流及功率损耗增加。因此, 目前大多通过监测 MOA 泄漏电流或泄漏电流的阻性分量了解 MOA 运行状况, 及时发现可能出现的异常现象, 以便采取措施, 防止事故扩大造成经济损失<sup>[2]</sup>。

近年来, 随着传感器技术、人工智能及计算机网络等技术的发展, MOA 在线监测技术在信号采集、数据传输等方面取得了长足的进步, 大大提高了 MOA 在线监测技术的发展。但是, 目前仍缺乏行之有效的 MOA 在线诊断理论和方法, 不能建立各种监测信息之间的关联关系, 即便准确得到了在线监测的信息, 也很难准确地判断 MOA 的绝缘状况。原因是多方面的: ①由于在线监测与预防性试验条件的差异, 用在线监测值与规程规定值作比较是不合适的。考虑到 MOA 的老化和受潮是一个缓慢的过程, 分析一段时间内的监测值变化趋势进行故障诊断较为合理, 这样可以克服单个数据比较时随机误差的影响。②由于 MOA 本身存在有自身电容和对地电容, MOA 芯体对外套、法兰及导线都有电容, 在不同环境条件下, 外套表面的物理状态及电位分布发生变化, MOA 内部阀片的电位分布也发生变化, 这样其监测值也随之变化, 很难直观地看出其趋势。文[3]采用分析相对值的方法, 纵向或横向比较相同电压等级设备的监测值, 大大提高了故障诊断的灵敏性, 但由于设备制造工艺、运行时间等方面的差异, 会造成绝缘特性之间也有一定的差异, 从而降低了其可比性。文[4]采用 BP 神经网络对 MOA 状态进行预测, 较大程度上减少了环境因素对测量值的影响, 但其仅考虑输入和输出间的非线性关系, 而未考虑 MOA 各样本之间的关联关系, 具有一定的局限性。

由此可见, 当前 MOA 在线监测和故障诊断还

收稿日期: 2005-11-30; 修回日期: 2006-02-16

作者简介: 丁国成(1980-), 男, 硕士研究生, 主要从事电气设备在线监测与故障诊断方面的研究。

停留在数据处理的层面上，需要引进先进的数学工具进行分析。笔者采用灰关联分析量化 MOA 在线监测量与当时的环境条件之间的关联关系，通过对环境因素与 MOA 在线监测数据之间的关联度进行排序，分析了不同季节下影响 MOA 在线监测数据的主导因素，以期为电力部门能排除外部环境因素的影响而正确分析 MOA 在线监测数据提供依据，从而减少漏判和误判的发生，保证电力系统安全运行。

## 2 灰关联分析原理

### 2.1 灰关联分析基本描述

灰关联分析是灰色系统理论中的一种分析方法，目前已广泛应用于生态环境、经济生活以及工程应用中<sup>[5]</sup>，并已在电力系统可靠性分析<sup>[6]</sup>、输电线故障判相<sup>[7]</sup>等方面得到成功运用，基本思想就是依据空间理论的数学基础，按照规范性、整体性、对称性和接近性的原则确定参考序列和比较序列之间的关联系数和关联度，量事物之间、因素之间的关联程度，目的就是寻求系统中影响目标值的最主要因素，如果某因素在发展变化过程中与参考序列相对变化基本一致，则认为两者关联度大，反之则小。由于灰关联分析是按照发展趋势作分析，因此对样本的大小没有太高的要求，也不需要典型的分布规律，而且分析结果一般与定性分析结果相同。

### 2.2 计算方法与步骤

(1) 选取参考序列  $X_0=[x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)]$  和比较序列  $X_j=[x_j(1), x_j(2), \dots, x_j(n)]$

(2) 计算关联系数

$$j_i(k) = \frac{\min_k |x_0(k) - x_j(k)|}{\max_k |x_0(k) - x_j(k)|} \quad (1)$$

式中： $\max_k = \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)|$ ； $\min_k = \min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)|$ ；为分辨系数，它反映了系统的各个因子对关联度的间接影响程度，乘以  $\alpha$  是为减小极值对计算的影响，从而可以提高分辨率，通常取  $\alpha=0.5$ 。

(3) 计算比较序列对参考序列的关联度

$$j_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n j_i(k) \quad (2)$$

由式(1)，式(2)可以看出关联度不仅直接取决于参考序列和比较序列，而且间接地取决于其它所有的比较序列。同时  $\max_k$  间接地体现了系统的整体性，是系统整体性在关联空间中的反映。

## 3 灰关联分析在 MOA 故障诊断中的应用

为验证该方法的有效性，采用文[8]的实测数据为依据，该数据是从变电站 220 kV 母线的 MOA 上取得的，变电站地处化工区，附盐密度为 0.09 mg/cm<sup>2</sup>。

按照 2.2 灰关联分析方法计算了在不同环境条件下测得的泄漏电流值与环境因素之间的关联度，其分析步骤如下：

(1) 确定参考序列和比较序列

以不同环境条件下测得的泄漏电流为参考序列  $X_0$ ，即：

$$X_0=[x_0(k)]=[x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)]$$

以相对湿度、温度、系统电压、降雨、降雪、热冷锋面作为比较序列  $X_j$ ，即：

$$X_j=[x_j(k)]=[x_j(1), x_j(2), \dots, x_j(n)]$$

(2) 数据的规范化

数据的规范化是为了消除数据的量纲影响，合并数量级，使各序列之间具有可比性，常用的有初值化、均值化，区间值化和归一化等处理方法。笔者采取的是区间值化法处理数据。序列按下式进行处理后可得新序列。

$$x_0(k) = \frac{x_0(k) - x_{0min}}{x_{0max} - x_{0min}}; x_j(k) = \frac{x_j(k) - x_{jmin}}{x_{jmax} - x_{jmin}}$$

式中： $x_{0max}$ ， $x_{0min}$  分别为参考序列中的最大值和最小值； $x_{jmax}$ ， $x_{jmin}$  分别为比较序列中的最大值和最小值。

(3) 计算灰关联系数和关联度

按式(1)，式(2)可得灰关联系数与关联度，分析的结果见表 1~表 5。

表 1 夏秋两季无雨时泄漏电流与外部环境因素的关联度

	相对湿度	温度	系统电压
泄漏电流	0.537 56	0.730 88	0.621 73

表 2 夏秋两季有雨时泄漏电流与外部环境因素的关联度

	相对湿度	温度	系统电压	降雨与否
泄漏电流	0.594 78	0.647 29	0.508 88	0.776 34

表 3 冬春有无热冷锋面时泄漏电流与外部环境因素的关联度

	相对湿度	温度	系统电压	有无热冷锋面
泄漏电流	0.813 33	0.463 46	0.715 66	0.841 98

表 4 冬春有无降雪时泄漏电流与外部环境因素的关联度

	相对湿度	温度	系统电压	降雪与否
泄漏电流	0.632 87	0.627 75	0.487 02	0.646 12

表 5 冬春有无降雨时泄漏电流与外部环境因素的关联度

	相对湿度	温度	系统电压	降雨与否
泄漏电流	0.607 92	0.440 93	0.437 47	0.676 36

(4) 比较关联度

从表 1~表 5 可以看出，对于不同季节，各环境因素对 MOA 泄漏电流的影响程度是不同的，对于夏秋两季无雨时，昼夜之间的较大温度差成为影响泄漏电流的最主要因素，进一步了解现场情况发现，泄漏电流一般在 17:00 后开始变化，19:00 后变化明显，0:00~06:30 左右泄漏电流达到最大，07:00 以后明显下降，10:00 以后趋于稳定；而当有雨时，温度的影响就下降为次一级的影响因素，这时雨柱的形成

情况决定了其对 MOA 在线监测的影响, 最大能达到正常时的几倍。对于华北地区冬季和春季经常出现的冷气团和热气团相遇所形成的热冷锋面, 由表 3 灰关联计算结果说明, 在这种环境条件下, 有无热冷锋面会对 MOA 泄漏电流产生很大的影响; 对于冬春两季的降雨或降雪与否都会成为影响 MOA 泄漏电流在线监测的最主要因素, 现场实际监测结果也表明, 冬春季节的降雨、降雪及热冷锋面最大都可使泄漏电流增加 1 倍以上。

通过以上计算分析表明, 电力部门在分析 MOA 在线监测数据时要充分考虑到环境条件的变化, 应明确区分这些环境因素在不同季节时其对 MOA 在线监测数据的影响, 以减少误判和漏判的发生。同时, 由于大气相对湿度、降雨、降雪、强烈的热冷锋面等外部环境因素的变化, 都会明显地改变污秽区 MOA 内部的电压分布, 如果可以通过在线监测所得的环境条件并分析其变化的规律, 再利用环境条件的逐渐转化和积累, 就可根据灰关联计算结果, 在不同的季节利用外部环境条件的变化, 提前采取相应的措施, 改善 MOA 表面状况。从而减小环境因素对 MOA 在线监测的影响, 保证 MOA 在线监测的准确性。另外, 在对 MOA 在线监测数据进行灰关联分析之前, 首先要保证所得数据的准确性, 如采样单元的精度、现场噪声等不确定因素的干扰等, 同时还需要进一步完善样本空间。这将有助于进一步量化环境因素同 MOA 泄漏电流之间变化的关联性, 更为准确地把握 MOA 绝缘特性变化的程度, 充分体现灰关联分析方法能在“量”与“度”两个不同层面上同时把握故障特征的优越性<sup>[9]</sup>。

(上接第 195 页) 况等, 关于这些情况时载流量的计算还有待进一步的研究和完善。

### 参考文献:

[1] 杨小静, 马国栋. 电力电缆载流量计算视窗化[J]. 电线电缆, 2002(2): 36-40.  
 [2] 马国栋. 电线电缆载流量 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.  
 [3] IEC60287-1-1: Calculation of the Current Rating of Electric Cables Part 1: Current Rating Equations (100% Load Factor) and Calculation of Losses-section 1: General[S]. 1994.

### 4 结语

考虑到 MOA 在线监测数据受环境因素影响较大, 而且各因素的影响程度随着不同季节而发生改变。根据 MOA 在线监测数据, 运用灰关联分析量化在线监测数据与环境因素之间的关联关系, 并将环境因素与 MOA 的关联度进行排序, 分析了不同季节下影响 MOA 在线监测数据的主导因素, 为电力部门能排除环境因素的影响, 正确分析 MOA 在线监测数据提供了依据, 灰关联分析不需要大量的样本和特殊的分布形式, 计算量小, 算法程序编写简单、可操作性强, 有利于现场应用。

### 参考文献:

[1] 盛亚军. MOA 阳性电流的带电测试及其角度校正 [J]. 高压电器, 2003, 39(2): 61-62.  
 [2] 屠幼萍, 何金良, 廖冬梅. ZnO 避雷器运行状况的判断方法 [J]. 高电压技术, 2000, 26(1): 22-24.  
 [3] 尚勇, 杨敏中, 严璋, 等. 高压电力设备绝缘状态检测判据选择[J]. 中国电力, 2002, 34(4): 52-54.  
 [4] 陈继东, 周龙, 文远芳. 神经网络在 MOA 在线监测中的应用研究[J]. 电瓷避雷器, 1997, 157(3): 35-38.  
 [5] 邓聚龙. 灰色控制系统 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1986.  
 [6] 陈举华, 赵建国, 郭毅之. 电力系统可靠性研究的灰关联和模糊贴近度分析方法 [J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(1): 59-63.  
 [7] 周静, 陈允平, 梁劲, 等. 灰色关联分析在输电线故障判相中的应用[J]. 继电器, 2004, 32(14): 1-5.  
 [8] 樊力, 张宝全, 周琛, 等. 金属氧化物避雷器在线监测测量结果分析[J]. 电网技术, 1992, 61(2): 15-21.  
 [9] 周宇阳, 陈汉平, 王炜哲, 等. 故障诊断灰色数学模型[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(6): 145-151.

[4] IEC60287-2-1. Electric Cables-calculation of the Current Rating-part 2: Thermal Resistance-section 1: Calculation of Thermal Resistance[S]. 1994.  
 [5] 刘英, 贾欣, 曹晓珑. 高压电缆工程计算的软件实现[J]. 电线电缆, 2002(1): 24-26.  
 [6] 国家经济贸易委员会电力司. 电力电缆[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.  
 [7] JB/T10181.1-10181/6-2000. 电缆载流量的计算[S].  
 [8] IEC 60287-2-2. Electric Cables-calculation of the Current Rating-part2: Thermal Resistance-section 2:A Method for Calculation Factors for Groups of Cables in Free Air Protected from Solar Radiation[S]. 1995.

## 高压开关分会 5 届 1 次常务理事会召开

简讯

中国电器工业协会高压开关分会 5 届 1 次常务理事会于 2006 年 5 月 27 日~29 日在浙江省乐清市召开, 有 27 家常务理事单位参加了本次会议。会议通过了 2005 年度高压开关分会的工作总结; 审批了 33 个新入会的会员单位; 并对 2006 年的工作进行了部署。