

文章编号: 1000-5013(2010)03-0260-03

# 变压器油中溶解气体的智能诊断

成琴, 王启志

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

**摘要:** 提出一种正-负-零的面积关联度,通过其计算数值,确定待诊断变压器油中溶解气体序列和标准故障模式序列间的相似性与相近性.实例分析表明,正-负-零面积关联度诊断的结果与实际情况完全吻合,与传统的灰色面积关联度相比,能更全面、更准确地诊断变压器的内部故障类型.

**关键词:** 变压器油; 故障诊断; 溶解气体; 面积关联度

**中图分类号:** TM 410.7<sup>+</sup>1

**文献标识码:** A

随着电力变压器制造容量和电压等级不断提高,其安全运行状态越来越受关注.研究者提出了不少检测变压器潜伏故障的方法,如局部放电试验<sup>[1]</sup>、油中溶解气体分析<sup>[2]</sup>和绝缘油电气试验等.油中溶解气体分析不受各种电磁干扰的影响,所得数据可靠性高、技术成熟.故障征兆和故障类型之间常常存在复杂的非线性关系,决定了传统的比值法难以完全满足工程应用的要求,而常用的灰色关联度虽然在一定程度上弥补了比值法,但也因为它的某些固有缺陷限制了它的应用.本文提出一种可以作为正-负-零的面积关联度的数值,以分析序列之间的相似性与相近性.

## 1 正-负-零面积关联度

设参考序列  $X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n))$ , 对比序列  $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n))$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ . 把这 2 个序列分别看成是 2 条曲线. 正-负-零面积关联度,是根据曲线  $X_i$  与  $X_0$  之间的面积来计算对比序列  $X_i$  与参考序列  $X_0$  之间的关联度的.显然,面积越小曲线就越接近,关联度就越大;反之,面积越大,曲线间就越偏离,关联度就越小.因此,正-负-零关联度可以直观得出曲线之间到底有多少发展相同或相异的部分.

计算曲线间面积时,有曲线相交和曲线不相交两种情况,如图 1 所示.序列  $X_i$  与  $X_0$  之间只有 4 种可能分布的情况.图 1 中:气体体积分数,第 1 段( $n=1 \sim 2$ )为曲线的起始点,第 2 段( $n=2 \sim 3$ )和第 3 段( $n=3 \sim 4$ )为两曲线的其余情况.为便于计算,定义  $X_i$  与  $X_0$  作为坐标系的纵坐标数,而横坐标数据是以 0 开始、间距为 1 的一系列整数数据.

(1) 第 1 种情况可以看成是求一个梯形面积,即中间区域或者最后区域.此时,  $[x_i(k) - x_0(k)] \cdot [x_i(k+1) - x_0(k+1)] > 0$ , 则有

$$s_{i,k} = \frac{1}{2} \cdot [ |x_i(k) - x_0(k)| + |x_i(k+1) - x_0(k+1)| ] \quad (1)$$

当  $[x_0(k+1) - x_0(k)] \cdot [x_i(k+1) - x_i(k)] > 0$  时,即两线趋势相同时,取  $S_{i,k} = s_{i,k}$ ; 否则,取

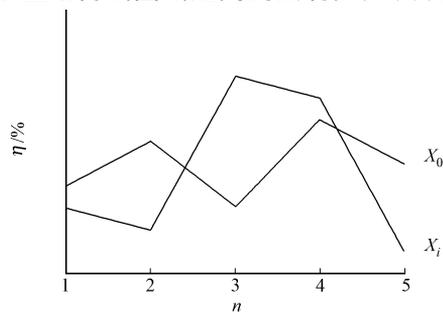


图 1 序列曲线分布可能性图

Fig. 1 Possible distribution figure of a couple of sequence curves

收稿日期: 2009-01-09

通信作者: 王启志(1971-),男,副研究员,主要从事状态监测与故障诊断的研究. E-mail: wangqz@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(A0640004)

$S_{i,k} = - S_{i,k}$ .

(2) 第 2 种情况较为特殊, 可将其看成是 2 个三角形面积的迭加. 此时,  $[x_i(k) - x_0(k)] \cdot [x_i(k+1) - x_0(k+1)] < 0$ . 要计算出 2 个三角形的面积, 就必须算出它们之间的交点. 设这 2 条曲线分别为  $y_0$  与  $y_i$ , 则有

$$\begin{cases} y_0 - x_0(k) = [x_0(k+1) - x_0(k)](x - k), \\ y_i - x_i(k) = [x_i(k+1) - x_i(k)](x - k). \end{cases}$$

令  $y_0 = y_i$ , 可求出 2 曲线交点的  $x$  值为

$$\left. \begin{aligned} x &= k + \frac{x_0(k) - x_i(k)}{[x_i(k+1) - x_i(k)] - [x_0(k+1) - x_0(k)]}, \quad x > k, \\ S_{i,k} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{[x_i(k+1) - x_0(k+1)]^2 + [x_i(k) - x_0(k)]^2}{|x_i(k+1) - x_0(k+1)| + |x_i(k) - x_0(k)|}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

同样, 当  $[x_0(k+1) - x_0(k)] \cdot [x_i(k+1) - x_i(k)] > 0$  时,  $S_{i,k} = S_{i,k}$ ; 否则, 取  $S_{i,k} = - S_{i,k}$ . 此时, 对比序列  $X_i$  与  $X_0$  参考序列之间的关联度即为各面积之和, 有

$$(x_0, x_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^{n-1} S_{i,k} \quad (3)$$

在  $(x_0, x_i)$  序列中, 数值可能有正、负、零 3 种情况同时存在. 其中, 正值和负值分别代表两曲线之间的变化趋势相同和相异的程度, 零值代表两曲线完全相同. 综上所述, 所求值应是与零值最接近的.

文[3]提出了一种把对比序列进行平移后, 通过计算两曲线之间面积来确定关联度的方法. 即令

$x_i = x(i) - [x_i(1) - x_0(1)]$ ; 然后, 通过  $r_i = 0.8 \left[ \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n S_{i,k} \right]^{-1}$ , 以及  $r_i = \left[ 1 + \sum_{k=1}^{n-1} S_k \right]^{-1}$  来计算关联度.

## 2 实例分析

电力变压器的常见故障, 有低能、高能放电故障, 中低温、高温过热故障, 匝间、层间故障等, 加上正常运行状态, 共同构成标准谱<sup>[3]</sup>. 从各变电站搜集来的变压器油色谱数据(体积分数), 如表 1 所示. 表 1 中: 变压器 1# ~ 4# 分别为吉林白山发电厂 3 号主变(360 MW/242 kV)<sup>[4]</sup>、四川绵阳大康站 1 号主变(220 kV)<sup>[5]</sup>、甘肃平凉变电站 2 号主变(110 kV)<sup>[6]</sup>和四川宜宾叙南 110 kV 号主变<sup>[6]</sup>. 利用 LabVIEW 程序的软件平台, 可大大地缩短系统开发周期<sup>[7]</sup>. 智能诊断的前面板, 如图 2 所示.

表 1 变压器油色谱数据

Tab. 1 Data of transformer oil chromatography

变压器	取样时间	(H <sub>2</sub> )	(CH <sub>4</sub> )	(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	(C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	(C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )
1#	1984-08-11	0.407 2	1.585 0	2.262 1	0.905 7	0.053 5
2#	1995-03-27	0.016 4	0.024 4	0.049 7	0.010 3	0.000 8
3#	2002-03-08	0.016 4	0.002 3	0.007 0	0.000 7	0.007 8
4#	1993-01-17	0.016 2	0.010 9	0.020 1	0.001 1	0.018 3



图 2 智能诊断的前面板

Fig. 2 Front board of intelligent diagnosis

按式  $x_i = x(i) - [x_i(1) - x_0(1)]$  对  $x_0$  的数据预处理, 然后对  $X_i$  进行平移. 若  $[x_i(k) - x_0(k)] \cdot$

$[x_i(k+1) - x_0(k+1)] = 0$  时,按式(1)计算  $S_{i,k}$ ;否则,按式(2)计算  $S_{i,k}$ .最后,计算  $r_i$  的值.该序列中最大的数值所对应的  $i$  就是所求的故障序列号.

若  $[x_i(k) - x_0(k)] \cdot [x_i(k+1) - x_0(k+1)] = 0$ ,可以按式(1)计算  $S_{i,k}$ .当  $[x_0(k+1) - x_0(k)] \cdot [x_i(k+1) - x_i(k)] > 0$  时,令  $S_{i,k} = S_{i,k}$ ;否则,令  $S_{i,k} = -S_{i,k}$ .

如果  $[x_i(k) - x_0(k)] \cdot [x_i(k+1) - x_0(k+1)] < 0$ ,则按式(2)计算  $S_{i,k}$ .当  $[x_0(k+1) - x_0(k)] \cdot [x_i(k+1) - x_i(k)] > 0$ ,即两线趋势相同时,令  $S_{i,k} = S_{i,k}$ ;否则,令  $S_{i,k} = -S_{i,k}$ .最后,可以根据式(3)计算  $(x_0, x_i)$ .该序列中最小的数值所对应的  $i$  就是所求的故障序列号.

各行数据用故障诊断模块操作后,所得到的相应故障类型如表2所示.

表2 对应故障类型

Tab.2 Corresponding types of faults

序号	实际故障类型	灰色面积关联度		正-负-零面积关联度	
		计算值	诊断结果	计算值	诊断结果
1	中温过热	0.510	铁芯两点或多点接地(误判)	0.010	中低温过热
2	高温过热	0.631	中低温过热(误判)	0.105	高温过热
3	高能放电	0.338	高能放电	30.231	高能放电
4	匝间、层间故障	0.520	匝间、层间故障	17.439	匝间、层间故障

### 3 结束语

所建立的模型具有动态性,可对变压器油中溶解气体在线实时监控.由于变压器油中各种溶解气体之间的关系是一个灰色系统,而所用到的是一个比较明确的系统模式,故其关系模式有待进一步研究.

#### 参考文献:

- [1] 李文征,王军. 变压器局部放电试验中的故障分析及处理[J]. 电力设备, 2007, 8(9): 63-65.
- [2] HUCKER T, KRANZ H G. Requirements of automated PD diagnosis systems for fault identification in noisy conditions[J]. Digital Object Identifier, 1995, 2(4): 544-556.
- [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] 孙才新,李俭,郑海平,等. 基于灰色面积关联度分析的电力变压器绝缘故障诊断方法[J]. 电网技术, 2002, 26(7): 24-29.
- [5] 李俭,孙才新,陈伟根,等. 基于灰色聚类分析的充电电力变压器绝缘故障诊断的研究[J]. 电工技术学报, 2002, 17(4): 18-21.
- [6] 李亚军. 平凉变电站 31.5 MW 电力变压器绝缘油在线监测装置应用研究[D]. 重庆:重庆大学, 2001.
- [7] 邓小川,赵俊霞,刘桥. 面向仪器的图形化编程环境 LabVIEW[J]. 贵州科学, 2002, 20(4): 68-71.

## Intelligent Diagnosis of Dissolved Gases in Transformer Oil

CHENG Qin, WANG Qi-zhi

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

**Abstract:** An area relational grade is put forward, the value of which can be positive, negative or zero, to determine the similarity and the proximity between the content sequences of dissolved gases in the transformer oil to be diagnosed and the sequences of standard fault modes by calculating its value. The case study has indicated that the results of the diagnosis based on the area relational grade fit those in the actual situations completely, which can diagnose the inside fault types in the transformer more completely and accurately compared with the traditional gray area relational grade.

**Keywords:** transformer oil; fault diagnosis; dissolved gases; area relational grade

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 郑亚青)