

Application Research of Grey Relational Analysis in Transformer DGA Code Absence Data

Xihua Shang, Zhiping Zhang, Huilin Wang, Xin Zhou

State Grid Henan Electric Power Corporation Maintenance Company, Zhengzhou Henan
Email: whl3769@163.com

Received: Nov. 19th, 2018; accepted: Nov. 30th, 2018; published: Dec. 7th, 2018

Abstract

Three-ratio method is one of the effective methods for latent fault diagnosis of power transformers, but there is a lack of code in this method. According to the DGA data collected in this paper, it is found that the variation trend of the characteristic gas in the same fault samples is the same, and the variation trend of different fault features is obviously different. In this paper, by excavate the changing trend of each data in DGA, using the grey relational theory and using the DGA fault identification method based on grey relational analysis, the fault diagnosis of code absence power transformers in DGA is carried out. It makes up for the deficiency of the three ratio method and improves the accuracy of transformer fault diagnosis. The research results have important theoretical value and practical value of engineering. It can be popularized vigorously and bring great economic benefits to the power system and the society.

Keywords

Power Transformer, DGA, Three-Ratio Method, Fault Diagnosis

灰色关联分析在变压器DGA缺码数据中的应用研究

尚西华, 张治平, 王会琳, 周鑫

国网河南省电力公司检修公司, 河南 郑州
Email: whl3769@163.com

收稿日期: 2018年11月19日; 录用日期: 2018年11月30日; 发布日期: 2018年12月7日

文章引用: 尚西华, 张治平, 王会琳, 周鑫. 灰色关联分析在变压器 DGA 缺码数据中的应用研究[J]. 电气工程, 2018, 6(4): 325-331. DOI: 10.12677/jee.2018.64037

摘要

三比值法是电力变压器进行潜伏性故障诊断的有效方法之一, 但该方法存在缺码问题。本文根据收集到的DGA数据, 发现相同故障样本中特征气体的增减变化趋势相同, 不同故障特征气体变化趋势有明显不同。本文通过挖掘DGA中各数据的变化趋势, 运用数据灰色关联度理论, 使用基于灰色关联度的DGA故障识别方法, 对DGA缺码故障变压器进行故障诊断。弥补了三比值法的不足, 提高变压器故障诊断精度, 研究成果具有重要的理论价值和工程实用价值, 可以大力推广, 给电力系统及社会带来较大的经济效益。

关键词

变压器, DGA, 三比值法, 故障诊断

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

利用变压器油中溶解气体分析(Dissolved Gases Analysis, DGA)和判断变压器故障, 已成为当今世界各国诊断变压器故障的主要方法[1]。它的主要优点除可发现变压器早期潜伏性故障外, 还因不需要对设备停电而得到广泛应用。国际电工电气委员会推荐的基于油中溶解气体分析的三比值方法, 因其方法简单, 受到了广泛的应用, 为及时发现变压器故障隐患发挥了重要作用[2]。

三比值法的诊断过程一般遵循《变压器油中溶解气体分析和判断导则》。《变压器油中溶解气体分析和判断导则》(GB1T7252-1987)中缺少十八个编码, 随着运行经验的积累以及实例的验证, 我国改进了最初的三比值判别方法, 使得此方法得到了进一步完善, 在2001年对导则进行了修订为(GB1T7252-2001), 增添了之前所缺少的复合故障类型编码。但是修订后的导则对编码为011的故障类型依然没有给出对应的判断标准[3]。

本文通过变压器相同故障类型各特征气体变化趋势相一致的特点, 结合了灰色系统理论。其能依据少量的样本数据寻找影响变压器绝缘故障的各个因素间的主要关系, 通过影响系统行为的主要特征变量之间的灰色关系来建立系统的简化模型[4] [5] [6] [7]。通过对比011编码故障的特征气体与各个故障特征气体之前的灰色关联度来确定011编码故障所属类型, 是对DGA缺码数据类型的有效探究。

2. 故障气体规律

为了分析研究变压器故障诊断方法, 克服现有方法在比值边界附近出现误判和缺码的缺陷, 对收集整理的数据, 计算其DGA数据的三比值编码, 按照编码进行分类, 本文以收集的编码为012DGA数据为例[8] [9] [10] [11], 对DGA数据进行作图分析, DGA数据如表1所示, 数据增减情况如图1所示。图中氢气和乙烯的单位为10 uL/L, 数值缩小为原数值的十分之一, 其余三种气体单位为uL/L。

在图1中, 编码为012的数据氢气、甲烷等五种气体的变化规律不具备特征, 从一条数据到另一条数据, 各种气体有增有减, 如从第1条数据到第5条数据, 甲烷与乙烯的增减情况完全相反。但从第5条数据到第8条数据, 各种气体又呈现出了相同的增减变化情况。

Table 1. Data and fault type of the code 012 (uL/L)
表 1. 012 编码的数据及故障类型, 单位(uL/L)

编号	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	故障类型
1	39	3.8	5.6	69	0	高温过热
2	102.96	6.62	2.21	10.24	0.24	裸金属过热
3	117	2.29	1.5	76.4	0	固体绝缘老化
4	67	5.1	0.77	3.85	0	火花放电
5	117.8	1.8	2.67	62.8	0	固体绝缘老化
6	145.2	5.6	5.6	115.5	0	固体绝缘老化
7	120.4	4	0	78.7	0	固体绝缘老化
8	147.6	8.2	2	118.2	0	固体绝缘老化

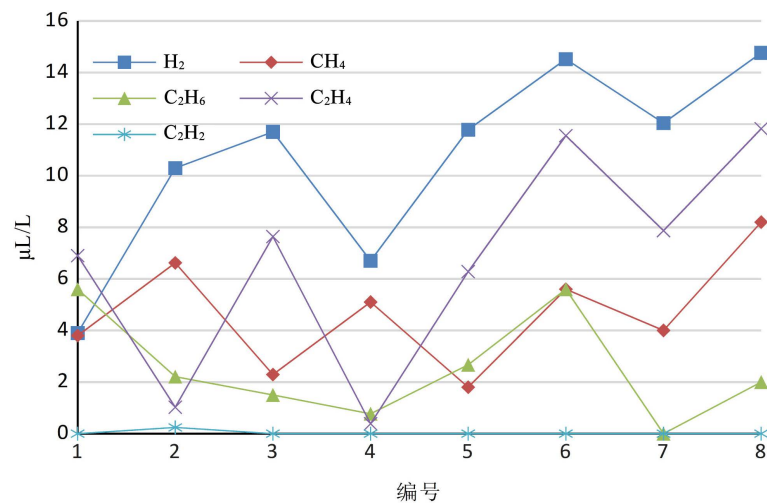


Figure 1. Data of the code 012
图 1. 012 编码的数据

仔细考察上述编码的数据可以发现, 012 编码的数据故障类型不统一, 有过热故障、放电故障、固体绝缘老化三种故障, 在均为固体绝缘老化的数据 5 至数据 8, 气体折线局部呈现出相同的增减变化情况。

以上情况表明在变压器发生故障时, 产生的特征气体的增减规律和故障类型有着较大的相关性。即变压器发生同种故障则从一条数据到另一条数据之间, 五种气体往往呈现出同时增加或者同时减少的趋势; 不同故障收集到的数据, 往往出现交叉的情况, 表现为较差的相关性。由此可以利用灰色关联分析方法进行故障诊断。

3. 灰色关联度方法简介

关联度是事物之间、因素之间关联性的“量度”。它通过从随机性的时间序列中找到关联性, 从而为因素分析、预测的精度分析提供依据, 为决策提供基础, 灰关联度是序列与序列之间比较的测度[12] [13]。

对于序列集:

$$X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)), \quad i = 0, 1, 2, \dots, m \text{ 则}$$

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min_i \min_k \Delta_{0i}(k) + \xi \max_i \max_k \Delta_{0i}(k)}{\Delta_{0i}(k) + \xi \max_i \max_k \Delta_{0i}(k)} \quad (1)$$

为 $x_i(k)$ 与 $x_0(k)$ 的关联度系数, $\Delta_{0i}(k)$ 为 $x_i(k)$ 与 $x_0(k)$ 两点之间的绝对差, $\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$ $\xi \in [0,1]$ 为分辨系数。

序列 x_i 与 x_0 的关联度为:

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)), k = 0, 1, 2, \dots, n \tag{2}$$

灰色关联度分析是根据因素之间发展态势(大小、方向和速度等)的相似或相异程度来衡量因素间的接近程度, 一般而言, 两因素在发展过程中, 相对变化基本一致, 则认为两者关联程度大, 从图形上来看, 几何形状越接近, 则变化趋势就越接近, 关联程度也就越大。

4. 故障诊断方法应用步骤

利用与已知故障类型的数据进行对比, 比较各种故障气体之间的增减情况进行故障判断, 需先建立各种故障类型的数据集, 具体包括低温、中温、高温过热, 局部放电, 火花放电, 电弧放电以及复合型故障类型的数据。再进行斜率关联度计算, 根据计算结果进行比较判别。具体步骤如下:

第一步: 利用已知故障类型的数据, 建立各种故障的数据集。把待检测数据分别插入到每一个数据集中参与编号计算。进行数据预处理, 减小因气体含量差别所引入的斜率差异。通过对大量故障数据的统计分析, 得出每种故障中, 各气体所占的比重如表 3 所示。在关联度计算之前, 所有数据均除以表 2 中所对应的比重。

Table 2. The proportion of fault gases
表 2. 故障气体所占比重

故障类型	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
低温过热	0.3820	0.3113	0.1056	0.1932	0.0079
中温过热	0.0737	0.3689	0.2174	0.3392	0.0008
高温过热	0.1329	0.2437	0.0937	0.5194	0.0103
局部放电	0.8907	0.0564	0.0412	0.0117	0.0001
低能放电	0.5936	0.1000	0.0254	0.0571	0.2239
电弧放电	0.3941	0.1478	0.0300	0.1965	0.2316

Table 3. Data and fault type of the code 011 (uL/L)
表 3. 011 编码数据及故障类型, 单位(uL/L)

编号	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	故障类型
1	89.3	1.8	0.2	0.7	0.0	局部放电
2	123.5	2.64	0.56	0.8	0.0	局部放电
3	213.3	19.8	3.83	5.83	0.0	局部放电
4	420.0	37.3	14.9	30.0	0.2	局部放电
5	700.0	60.0	20.0	40.0	0.0	局部放电
6	1043.2	62	22.7	42.1	0.0	局部放电
7	538.3	12.6	8.7	14.1	0.3	局部放电
8	1680.0	0.0	1.8	2.1	0.0	低能放电
9	3319.0	36.5	31.5	39.3	0.0	固体绝缘过热
10	565.0	53.0	34.0	47.0	0.0	低温过热

第二步: 计算数据中, 任意两条数据 i, j 之间的关联度系数 $\gamma(i, j)_{H_2}$ 、 $\gamma(i, j)_{CH_4}$ 、 $\gamma(i, j)_{C_2H_6}$ 、 $\gamma(i, j)_{C_2H_4}$ 、 $\gamma(i, j)_{C_2H_2}$ 。 $\gamma(i, j)_{\psi}$ 表示在数据 i 和数据 j 之间的五条故障折线中, 气体 ψ 与其余四种故障气体斜率关联度系数的平均值。

第三步: 计算每一条数据对对该种故障类型的关联度 $\gamma(i)_{H_2}$ 、 $\gamma(i)_{CH_4}$ 、 $\gamma(i)_{C_2H_6}$ 、 $\gamma(i)_{C_2H_4}$ 、 $\gamma(i)_{C_2H_2}$, 其中:

$$\gamma(i)_{\psi} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1, j \neq i}^{n-1} \gamma(i, j)_{\psi}$$

第四步: 计算故障 ζ 的特征关度 $\gamma(\zeta)_{\psi}$:

$$\gamma(\zeta)_{\psi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \gamma(i)_{\psi}$$

第五步: 计算待检数据 0 对 ζ 故障的关联度:

$$\gamma(\zeta) = 1 - \frac{1}{5} \sum_{\psi} |\gamma(\zeta)_{\psi} - \gamma(0)_{\psi}|$$

比较待检数据对每种故障的关联度 $\gamma(\zeta)$, 关联度最大者, 即为其所属故障。

5. 实例验证分析

从整理到的油色谱数据中[14]-[19], 选取 011 编码数据中的 10 条进行分析, 其中局部放电故障数据 7 条, 过热故障数据 2 条, 低能放电故障数据 1 条, 如表 3 所示。

利用上述方法对该条故障数据进行判别分析。把上述编码为 011 的且故障类型为低温过热数据逐一的插入每种故障集数据中进行作图分析。当插入低温过热数据集时, 故障折线能同增同减而不出现交叉; 当插入其余故障类型的数据集中时, 总会出现故障气体增减性不同而故障折线出现交叉的情况, 如图 2 所示, 图中为该条数据插入局部放电故障数据集时的增减情况(图 2 中, 氢气单位为 10 $\mu\text{L/L}$, 数值缩小为十分之一, 便于作图分析)。

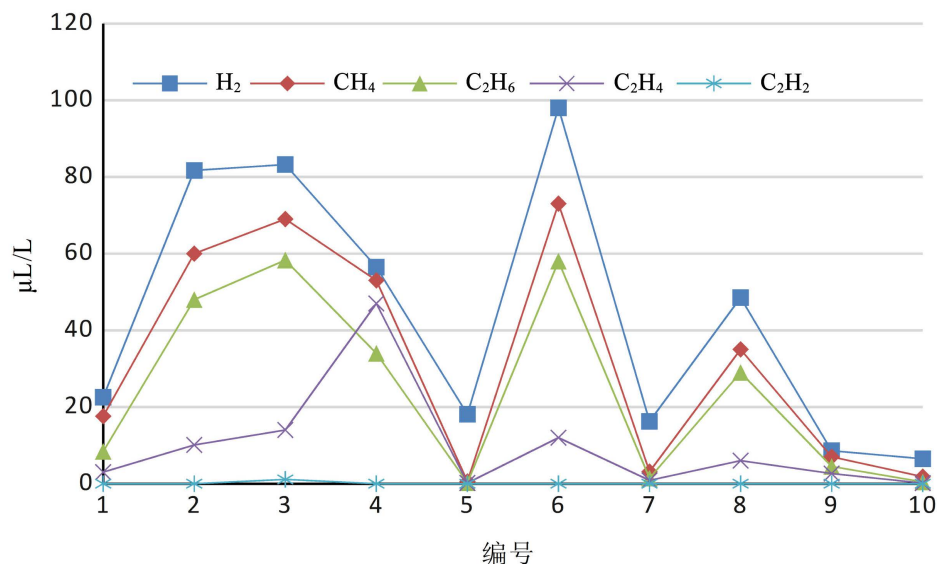


Figure 2. Trend of low temperature overheating fault about code 011 in partial discharge data
图 2. 011 编码低温过热故障在局部放电数据中趋势

可以看出当 011 编码低温过热故障插入第四个数据中时, 乙炔的变化出现相反的趋势, 使得插入后数据的关联度下降, 从而可以说明此故障特征气体数据与局部放电故障有着较小的相关性, 与各个故障数据集比较后可以得出与低温过热的灰色关联度最高, 可以判断为低温过热故障, 结果见表 4。

Table 4. Fault diagnosis results of the code 000 used by grey relational analysis

表 4. 编码 000 数据关联度诊断结果

故障类型	关联度	故障类型	关联度
低温过热	0.8972	局部放电	0.0753
中温过热	0.4512	低能放电	0.0958
高温过热	0.3146	电弧放电	0.0851

判断结果为低温过热故障, 与实际情况相符。

6. 结论

三比值法通过比值的方法来确定故障, 在很大程度上缩减了 DGA 数据所代表的信息。本文从 DGA 原始数据出发, 充分利用 DGA 数据所代表的信息, 运用了灰色关联度的计算, 用于刻画 DGA 数据的增减规律, 可获得未知故障气体数据与各类型故障气体数据的关联度大小, 对比关联度大小即可判定该未知故障的数据的故障类型。实例表明, 该方法能克服三比值法的缺码问题。该方法通过于已知故障类型的数据集的关联度计算进行故障识别, 诊断效果与数据集有关, 数据集越全面丰富, 诊断效果越好。

参考文献

- [1] 杜正聪, 牛高远. 基于加权模糊聚类算法的变压器故障诊断方法[J]. 高压电器, 2014, 50(4): 42-48.
- [2] 杨延方, 张航, 黄立滨, 等. 基于改进主成分分析的电力变压器潜伏性故障诊断[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(6): 149-165.
- [3] GB/T7252-2001 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S].
- [4] 宋斌, 刘志雄, 李恩文, 等. 基于负关联度的 DGA 故障诊断分析[J]. 电网技术, 2015, 39(9): 2627-2632.
- [5] 葛乐, 陆文伟, 周志成, 等. 基于改进熵权法和灰色关联分析的变压器故障诊断[J]. 电测与仪表, 2016, 53(12): 46-51.
- [6] 蔡金锭, 黄云程. 基于灰色关联诊断模型的电力变压器绝缘老化研究[J]. 高电压技术, 2015, 41(10): 3296-3301.
- [7] Singh, J. and Sood, Y.R. (2007) Dissolved Gas Analysis for Power Transformers. *Electr. India*.
- [8] 宋臻杰. 基于灰色关联分析的变压器油纸绝缘状态评估研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- [9] Bigdeli, M., Vakilian, M. and Rahimpour, E. (2012) Transformer Winding Faults Classification Based on Transfer Function Analysis by Support Vector Machine. *IET Electric Power Applications*, 6/5, 268-276. <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2011.0232>
- [10] 张安平. 基于熵权优化灰色关联度方法的电力变压器故障诊断研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2016.
- [11] Dong, L., Xiao, D., Liang, Y., *et al.* (2008) Rough Set and Fuzzy Wavelet Neural Network Integrated with Least Square Weighted Fusion Algorithm Based Fault Diagnosis Research for Power Transformers. *Electric Power Systems Research*, 78, 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.epr.2006.12.013>
- [12] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 22-65.
- [13] 孙鹏霄. 灰色关联方法的分析与应用[J]. 数学的实践与认识, 2014, 44(1): 97-101.
- [14] 张卫华, 苑津莎, 张铁峰, 等. 应用 B 样条理论改进的变压器三比值故障诊断方法. 中国电机工程学报, 2014, 34(24): 4129-4135.
- [15] Zhao, J.Y., Zheng, R.R., Li, J.P. (2009) Transformer Fault Diagnosis Based on Homotopy BP Algorithm. *9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI)*, 4, 622-626.

<https://doi.org/10.1109/ICEMI.2009.5274664>

- [16] 李硕, 赵峰. 基于熵权优化加权灰色关联度的变压器故障诊断方法[J]. 变压器, 2013, 37(1): 136-142.
- [17] Barbosa, F.R. and Braga, A.P.S. (2012) Application of an Artificial Neural Network in the Use of Physicochemical Properties as a Low Cost Proxy of Power Transformers DGA Data. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **19**, 239-246. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2012.6148524>
- [18] 张东波, 徐瑜 王耀南. 主动差异学习神经网络集成方法在变压器 DGA 故障诊断中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(22): 64-70.
- [19] 邹杰慧. 基于新型编码隶属函数的变压器故障模糊诊断法[J]. 电力系统自动化设备, 2010, 30(7): 88-91.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2333-5394, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org