

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.01.009

基于灰色关联分析的变压器故障诊断方法

徐广¹ 胡非²

(1. 国网咸宁供电公司, 湖北 咸宁 437100; 2. 国网黄石供电公司, 湖北 黄石 435000)

摘要: 变压器的故障诊断对于保障电力系统安全稳定运行十分重要。在分析造成变压器故障原因特点的基础上, 采用灰色关联分析对变压器故障进行诊断。研究发现, 灰色关联分析能够准确地对变压器故障原因进行确定, 证明了该方法在变压器故障诊断领域的可行性。

关键词: 变压器; 故障诊断; 灰色关联分析; 灰色关联度

Abstract: Fault diagnosis of transformer is very important for ensuring the safe and stable operation of power system. Based on the analysis of cause characteristics of transformer faults, the grey relational analysis is adopted for fault diagnosis of transformer. The research finds out that the grey relational analysis can determine the causes of transformer faults exactly, which proves the feasibility of the proposed method in fault diagnosis of transformer.

Key words: transformer; fault diagnosis; grey relational analysis; grey correlation grade

中图分类号: TM41 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)01-0038-03

0 引言

变压器作为电力系统的枢纽设备, 在电力工程中起着重要的作用。若一旦发生故障, 会严重影响系统的正常运行, 给电力系统的安全稳定造成隐患^[1]。因此, 为保障电力系统安全稳定运行、提高供电可靠性, 定期对变压器进行故障诊断并及时维护就显得尤为重要。而在变压器故障诊断中, 油中溶解气体分析(dissolved gas analysis, DGA)技术因其廉价高效、无破坏性等特点得到了广泛的应用^[2]。但传统的DGA诊断技术, 如气体法、三比值法存在受人因素为影响较大、诊断时间长等缺点, 在实际应用中不能较为准确地对变压器故障进行诊断^[3]。考虑到影响变压器安全的因素很多, 各种因素存在不确定性和模糊性, 因此, 近几年来人们将神经网络、模糊数学、灰色理论等人工智能方法应用在变压器故障诊断中, 并取得了一定的研究成果。

变压器故障系统是一个典型的“部分信息已知, 部分信息未知”的灰色系统, 对变压器故障诊断的实质是灰色系统的“白化”过程。因此可以以DGA为特征量, 利用灰色关联分析方法对变压器进行故障诊断。下面以收集的某山区变电器DGA数据为例, 以灰色关联分析方法对变压器的故障诊断

展开研究。

1 灰色关联分析的基本原理

灰色关联分析是灰色系统理论中的重要内容, 灰色关联分析是根据因素之间发展趋势的相似或相异程度, 亦即“灰色关联度”, 是衡量因素间关联程度的一种方法^[4]。具体是通过对系统统计数列几何关系的比较来分析系统中多因素的关联度, 通过比较关联度的大小, 来判断各因素对事物影响的大小, 灰色关联度分析可以对一个系统的发展变化态势提供量化的度量, 比较适合动态历程分析^[5]。根据造成变压器故障因素的特点, 应用灰色关联分析法, 对变压器故障原因进行分析, 以便能针对相关因素采取有效的措施, 以使变压器得到合理的维护, 从而保障整个电力系统的安全稳定。

1.1 参考序列和比较序列的确定

反映系统行为特征的数据序列, 称为参考数列, 也称母序列。影响系统行为的因素组成的数据序列, 称比较数列, 也称子序列。设母因素序列为 $X_0(k) = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(n)\}$, 子因素序列为 $X_i(k) = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)\}$, $i = 1, 2, 3, \dots$, 式中: k 表示在不同时刻子因素对母因素的影响值; i 表示子因素(影响因素)的个数。

1.2 因素序列的归一化处理

在实际应用中,由于系统中各因素的物理意义不同,导致数据的量纲也不一定相同,为避免由于量纲不同或数据序列相差悬殊而无法进行数据序列的相互比较、分析,在进行灰色关联度分析前,一般都要对数据进行归一化处理^[6]。下面采用的是均值化处理,即

$$\overline{X_i(k)} = \frac{X_i(k)}{X_i} \quad k=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$\text{式中 } \overline{X_i} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^n X_i(k) \quad k=1, 2, \dots, n; i=1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

按式(1)或式(2)进行归一化处理所得的数据序列 $\overline{X_i(k)} = \{ \overline{X_i(1)}, \overline{X_i(2)}, \dots, \overline{X_i(n)} \}$, $i=1, 2, 3, \dots$ 称为均值化序列。

1.3 求灰色关联系数和灰色关联度

灰色关联系数体现了第*i*个子序列与母序列在第*k*时刻的关联情况,是第*k*时刻第*i*个子序列与母序列所对应的点的距离状态的反映。子序列与母序列关联系数为

$$\xi_{0i}(k) = \frac{\min_i \min_k | \overline{X_0(k)} - \overline{X_i(k)} | + \rho \max_i \max_k | \overline{X_0(k)} - \overline{X_i(k)} |}{| \overline{X_0(k)} - \overline{X_i(k)} | + \rho \max_i \max_k | \overline{X_0(k)} - \overline{X_i(k)} |} \quad (3)$$

式中 ρ 是表征分辨率大小的系数,称为分辨系数。 ρ 一般的取值区间为 0.1 ~ 1,通常取 0.5。

关联系数是比较数列与参考数列在各个时刻的关联程度值,所以它的数不止一个,而信息过于分散不便于进行整体性比较。因此有必要将各个时刻(即曲线中的各点)的关联系数集中为一个值,作为比较数列与参考数列间关联程度的数量表示。亦即关联度:

$$r(i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_{0i}(k) \quad (i=1, 2, 3, \dots, M) \quad (4)$$

得到每个子数列的灰色关联度后,即可对关联度从大到小进行排序,所排出的序列称为灰色关联序列。其关联度排在最前面的子数列与母数列的关系最为密切,对母数列的影响最大;排在第二位的影响次之,其余依次类推;排在最后的子数列与母数列的关系最为疏远,对母数列的影响最小。

2 变压器故障诊断模型的建立

变压器故障诊断实际上是一个灰色系统白化的

过程,将灰色关联分析模型用于变压器故障诊断的原理是:首先以表征故障特征的各种气体含量参数作为变压器故障特征状态矢量;其次,通过大量样本数据建立各个典型故障模式的标准状态矢量集;最后根据待验变压器特征气体含量状态矢量与各个标准状态矢量的关联度计算结果来判断该变压器的可能故障类型。关联度越大,表示待验变压器故障类型属于该故障类型的可能性越大;关联度越小,表示属于该故障类型的可能性越小,通过关联度大小的计算,从而实现了对变压器故障的识别与诊断,进而采取有针对性的措施对故障进行处理。

2.1 标准故障模式向量的建立

通常以 DGA 技术得到的油中各种特征气体 (H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 、 C_2H_2) 的含量信息作为诊断变压器故障的依据,通过对大量变压器故障原因数据的采集和分析,最终选择典型的 9 种故障类型作为特征向量^[7]。如表 1 所示(其中气体组分含量的单位为 $\mu L/L$)。

表 1 变压器典型故障参考参数

故障类型	序列编号	气体组分				
		H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2
低温过热	G_1	16.00	38.40	28.00	70.00	0.00
中温过热	G_2	27.50	48.20	46.00	18.40	0.00
高温过热	G_3	12.95	24.60	60.60	12.90	2.80
接地故障	G_4	11.20	30.80	11.60	56.20	1.40
开关故障	G_5	13.60	21.60	10.80	58.10	9.50
局部放电	G_6	195.90	14.50	2.40	11.60	0.00
低能放电	G_7	61.50	24.60	5.60	1.33	20.50
高能放电	G_8	75.50	30.20	30.30	2.33	18.20
正常运行	G_9	46.10	21.50	15.80	61.50	1.20

由于各变压器的容量和电压等级不同,导致数据的量纲也不一定相同,为避免由于量纲不同或数据序列相差悬殊而无法进行数据序列的相互比较分析,在运用灰色关联分析对变压器故障进行诊断时,需对数据进行归一化处理。采取均值化的归一化处理方法,具体是将每个故障下某特定气体的含量除以该故障下各种气体含量之和。归一化处理后的标准故障模式向量如表 2 所示。

2.2 变压器故障诊断过程

对于待验变压器,首先应建立标准故障模式向量 G_i ($i=1, 2, \dots, 9$),并对标准故障模式向量进行归

表 2 变压器典型故障归一化参考参数

故障类型	序列编号	气体组分				
		H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
低温过热	G ₁	0.105	0.0252	0.183	7.0459	3 0
中温过热	G ₂	0.196	3.0344	0.328	3.0131	3 0
高温过热	G ₃	0.113	7.0216	1.0532	3.0113	3.0024 6
接地故障	G ₄	0.100	7.0277	0.104	3.0505	4.0012 6
开关故障	G ₅	0.119	7.0190	1.0095	1.0511	4.0083 6
局部放电	G ₆	0.873	0.0064	6.0010	7.0051	7 0
低能放电	G ₇	0.541	7.0216	7.0049	3.0011	7.0180 6
高能放电	G ₈	0.482	3.0192	9.0193	6.0014	9.0116 3
正常运行	G ₉	0.315	5.0147	2.0108	1.0420	9.0008 2

一化处理 将归一化处理后的向量作为比较序列;其次 根据待验变压器色谱分析的结果 并将结果进行归一化处理 建立参考序列 G₀;再计算各个比较序列与参考序列在各个气体组成下的灰色关联系数 $\xi_{0i}(k)$;最后根据灰色关联系数 $\xi_{0i}(k)$ 计算比较序列与各个参考序列的灰关联度 $r(i)$ 。

3 实例分析

为了验证灰色管理分析方法在变压器故障检测中的应用效果 选取某山区 2 台变压器进行检测 某 220 kV 变电站 2 号主变压器的色谱分析油中气体组成含量(单位为 $\mu\text{L/L}$) 按照 H₂、CH₄、C₂H₆、C₂H₄、C₂H₂ 的次序依次为 180、650、680、230、0.87。先根据式(1)进行归一化处理 再根据式(3)可以求得该气体组成向量与标准故障模式向量的灰色关联系数矩阵 最后根据式(4)可求得该变压器故障与各标准故障类型 G₁ ~ G₉ 的灰关联度依次为:0.669、0.676、0.712、0.672、0.619、0.644、0.775、0.829、0.509。从关联度计算结果可以看出 该变压器故障类型与 G₈ 关联度最大 初步判断该变压器的故障可能是由于高能放电所引起的。另一座 220 kV 变电站 1 号主变压器的色谱分析气体含量的结果按照相同的次序依次为 18.5、49.73、42.43、14.87、28.31。同样按照灰色关联分析的步骤可求得该变压器故障与各标准故障类型 G₁ ~ G₉ 的灰关联度依次为:0.679、0.750、0.237、0.690、0.631、0.689、0.645、0.825、0.910。从该组数据中可以看出 该变压器与 G₉ 关联度最大 初步判断该变压器运行正常 没有产生任何故障。

经变压器生产单位对以上 2 个变压器进行拆卸检查发现 220 kV 变电站 2 号主变压器中的线圈两

侧压钉与压钉板之间有明显的放电痕迹 并且固体绝缘材料遭到严重破坏 证实为高能放电。另一座 220 kV 变电站 1 号主变压器拆卸发现 压钉与压钉板接触面光滑 无任何杂质、麻点 证实该变压器运行正常。通过比较灰色关联分析结果与实际检查结果可以看出 灰色关联分析能够较为准确地对变压器故障类型做出判断。

4 结论

变压器的故障诊断是保障电力系统稳定运行的一个重要措施 采取合理有效的诊断方法来对变压器故障进行诊断显得十分重要。在分析变压器故障原因特点的基础上 以 DGA 技术得到的各种气体含量作为序列 建立了灰色关联分析模型 并通过灰色关联分析法对变压器的故障进行诊断 研究发现灰色关联分析能够有效准确地对各种故障进行诊断。说明了该方法在变压器诊断领域具有良好的应用前景 希望以上的研究成果能为类似问题提供一定的借鉴。

参考文献

- [1] 张吉林 李守学 邹姗姗. 基于灰色关联度的变压器故障诊断[J]. 吉林电力 2015 43(1): 13-15.
- [2] 宋斌 罗运柏 于萍 等. 灰色关联分析在变压器故障诊断中的应用研究[J]. 水利电力机械 2003 25(1): 47-50.
- [3] 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 50(9): 48-51.
- [4] 刘思峰 郭天榜 党耀国. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [5] 吕锋. 灰色系统关联度之分辨系数的研究[J]. 系统工程理论与实践 1997 17(6): 49-54.
- [6] 吕干云 程浩忠 翟海保 等. 基于改进灰色关联分析的变压器故障识别[J]. 中国电机工程学报 2004 24(10): 121-125.
- [7] 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.

作者简介:

徐 广(1986) 工程师、硕士 主要从事状态评价、无功电压、变电缺陷管理工作;

胡 非(1985) 工程师、硕士 主要从事继电保护工作。

(收稿日期: 2015-09-17)