

「变压器」

基于灰色神经理论变压器故障预测

文/长春工业大学电气与电子工程学院 房艳军

对变压器故障进行了分析，采用分析变压器故障时产生的故障气体结合着灰色神经理论对变压器故障进行预测分析，提出了解决办法，为变压器的安全运行提供了依据，避免了一些由于故障产生的不必要损失。

变压器是变电站的重要的设备之一，变压器能否正常工作就会影响到整个变电站的安全运行，所以能否对变压器进行准确有效的故障诊断对整个电力系统的安全稳定的运行就至关重要了。

目前变压器的故障诊断的方法包括电气预防方法和基于油溶解气体分析的变压器故障诊断简称（DGA），作为变压器的故障诊断的重要依据，再通过灰色理论和神经网络的有效结合来实现变压器故障的预测。

灰色预测模型是灰色理论的一个重要的部分，通过特有的累加生成变换进行序列数据建模，把原始的数据序列不明显的变化趋势通过累加变换后呈现明显的增长趋势，并用灰色分差方程和灰色微分方程对变换后的数据进行建模，最后用累减生成进行数据的模拟和预测。该模型不需要收集大量的统计数据，且在一定程度上弱化了原始数据的随机性，容易找出各因素之间的变化规律，建立一阶多变量的 $G(1, m)$ 模型将得到的微分方程运用到BP神经网络中去，从而得到灰色神经网络，再通过原始的数据对变压器的故障进行预测。

灰色 $G(1, m)$ 模型

原始数据矩阵 $X^{(0)} = \{X_1^{(0)}, X_2^{(0)}, \dots, X_m^{(0)}\}^T$,

$X_j^{(0)}$ 表示第 j 个变量在时刻 $t = 1, 2, \dots, n$ 的观察值序列。对 $X_1^{(0)}, X_2^{(0)}, \dots, X_m^{(0)}$ 分别进行一次累加得到一阶累加生成矩阵 $X^{(1)}$ ，记为 $X^{(1)} = \{X_1^{(1)}, X_2^{(1)}, \dots, X_m^{(1)}\}^T$ 。则

$$x_j^{(1)}(1) = (x_j^{(0)}(1), x_j^{(0)}(2), \dots, x_j^{(0)}(n)) \quad (1)$$

$$x_j^{(1)}(i) = \sum_{k=1}^i x_j^{(0)}(k) \quad (2)$$

式中： $x_j^{(0)}(k)$ 表示 j 个变量在 $t = k$ 时刻的观察值， $j = 1, 2, \dots, m$ ； $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

$G(1, m)$ 模型的矩阵形式为

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} = Ax^{(1)}(t) + B \quad (3)$$

由最小二乘法得

$$\hat{a} = [a, b_2, \dots, b_5]^T = (BTB)^{-1}BTY \quad (4)$$

$$B = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(1) + x_1^{(1)}(2))x_2^{(1)}(2)\cdots x_5^{(1)}(2) \\ -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(1) + x_1^{(1)}(3))x_2^{(1)}(3)\cdots x_5^{(1)}(3) \\ \vdots \\ -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(n-1) + x_1^{(1)}(n))x_2^{(1)}(n)\cdots x_5^{(1)}(n) \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$Y = \begin{pmatrix} x_1^{(0)}(2) \\ x_1^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x_1^{(0)}(n) \end{pmatrix} \quad (6)$$

解得离散形式的解

$$\hat{x}_1^{(1)}(k+1) = \left[x_1^{(1)}(0) - \frac{1}{a} \sum_{i=2}^5 b_i x_i^{(1)}(k+1) \right] e^{-ak} + \frac{1}{a} \sum_{i=2}^5 b_i x_i^{(1)}(k+1) \quad (7)$$

$$x_i^{(1)}(0) = x_i^{(1)}(1) \quad i = 1, 2, \dots, 5 \quad (8)$$

还原值为

$$\hat{x}_1^{(0)}(k+1) = \hat{x}_1^{(1)}(k+1) - \hat{x}_1^{(1)}(k) \quad (9)$$

BP神经网络用于变压器的故障诊断

BP神经网络是一种多数据处理系统，它具有较强的模式分类能力，可解决非线性、多变量系统等问题的建模。变压器油中溶解的特征气体与故障之间存在未知的映射关系，由于边缘整齐系统的复杂性，该函数关系不能用数学式子表示出来，则理论分析无法精确找到溶解的特征气体和故障之间非线性、多变量、耦合性的函数关系。对变压器进行故障诊断，本质上就是要找到输入的数据样本和一个或多个故障状态之间的关系，而BP神经网络恰好在不需要了解变压器的数学和物理模型的基础上，通过样本训练找到输出和输入的关系。因此，应用BP神经网络是一种能较好地应用于变压器故障诊断的方法。

建立灰色神经网络

对一个变量进行预测，可选择不同的预测模型，但任何单个模型都难以全面地反映变量的变化规律。如果对多种预测模型进行有机合成，则可以全面反映系统的变化规律，提高预测精度。所以，利用灰色神经网络模型来进行变压器故障诊断。具体思路：计算原始数据各气体含量占5种气体含量总和和百分比，再进行累加生成处理，在满足灰色数据离散光滑要求的情况下，并进行归一化处理后作为网络训练样本数据。由于累加数据具有单调增加趋势，便于BP网络中激励函数的逼近。每个输出端的输出为该数据序列的一次累加生成数据。在使输出平方误差最小后，求得各层神经元间的最佳连接权值，最后将输出值进行一次累减生成处理就可得到变压器状态的预测值。选择输入量，选择H₂，CH₄，C₂H₆，C₂H₄，C₂H₂作为网络的输入量。为防止某些较多气体的绝对含量远大于相对于较少的气体的含量，而将

较少气体的作用覆盖。输出层设置5个输出端，分别对应变压器故障的5种状态，即正常（01）、中低温过热（02）、高温过热（03）、低能量放电（04）、高能量放电（05），logsig的特点，输出值在0~1之间。当输出值大于等于0.5时，认为发生故障，小于0.5时，认为未发生故障。

表1 故障类型

序号	故障名称	01	02	03	04	05
1	正常	1	0	0	0	0
2	中低温	0	1	0	0	0
3	高温	0	0	1	0	0
4	低能放电	0	0	0	1	0
5	高能放电	0	0	0	0	1

选择训练样本和检验样本。本文选择某变电站的30组数据作为训练值，5组作为检验样本1，2，3，4，5。

表2 训练样本

故障类型	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
正常	3.3	6.6	2.5	0.9	0.4
正常	13.7	5.2	1	1.6	0
正常	26.5	10.9	2.5	3.6	0
正常	9.1	11.7	5.2	1.8	0.9
正常	4.8	18	3.9	4.5	0
正常	23.6	16.8	8.9	6.3	0
中低温故障	18	80	70	185	0
中低温故障	12.3	42	21	161	0.7
中低温故障	4.3	193	118	124	0
中低温故障	32.2	36	6.2	65	1.4
中低温故障	45.2	96.7	39	25.1	0
中低温故障	42.1	145.6	16.1	93	0
高温故障	10	52	40	280	2.2
高温故障	27	92.2	20.1	220	0.9
高温故障	81	158	30	254	4
高温故障	28	145.7	113	436	0
高温故障	39.8	125	112	380	0
高温故障	45	58	64	280	3.1
低能量放电	53.9	8.3	1.1	6	7.1
低能量放电	82	89.3	12	28	8
低能量放电	32.2	5.5	1.4	12.6	13.2
低能量放电	34.4	21.5	3.2	45	19.6
低能量放电	22.5	8.5	1.2	7.3	8.4
低能量放电	45.2	3.6	2.9	8.3	18.3
高能量放电	85	26.1	12.9	21	48
高能量放电	450	48.2	11.7	49.1	26
高能量放电	100	22	1.5	26.2	33
高能量放电	150	38.5	3.9	73.2	53.4
高能量放电	73	18.5	1.4	28.7	24.7
高能量放电	200	48.1	14.1	116.9	131

表3 测试组数据

故障类型	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
正常	2.9	12.8	4.7	2.4	0
中低温故障	46	22	5.3	72.3	1
高温故障	89.3	176.8	42	400	1.2
低能量放电	45	15	1	9	8
高能量放电	120.9	45	1.5	26.1	62.4

试验的流程

试验的流程如图1所示。



图1 试验流程图

MATLAB中的仿真

用MATLAB软件编写灰色神经网络程序，对已经选择的训练样本进行取样，随着训练的次数的不断增加误差曲线如图2所示。

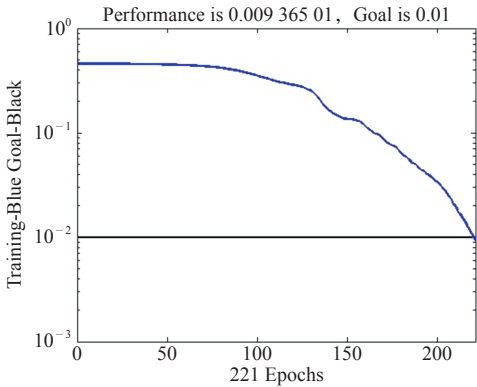


图2 误差曲线图

灰色神经网络预测的结果分析

对30组采样的数据进行分析，选用5组检测样本结果发现准确率在百分之80，最后一组数据出现错误。**EA**

表4 灰色神经网络预测结果

01	02	03	04	05	预测故障	实际故障
0.972 6	0.108 2	0.015 8	0.000 0	0.000 0	正常	正常
0.106 2	0.821 4	0.214 5	0.000 0	0.000 6	中低温故障	中低温故障
0.000 6	0.002 5	0.902 4	0.000 0	0.000 6	高温故障	高温故障
0.000 0	0.000 0	0.000 9	0.880 5	0.897 8	低能量放电	低能量放电
0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.120 6	0.487 2	高能量放电	低能量放电

(收稿日期：2017.08.17)

(编辑：白文亭)

(上接第73页)

挥其过载能力，又能提高电力拖动系统的可靠性和生产过程的连续性。水泥厂采用保护器用于电动机保护控制回路，取代热继电器等作为电动机的过载保护和控制元件，并且利用通信技术，实现了水泥生产中电动机设备控制的自动化，使水泥厂大型设备的电动机得到了有效保护和控制。

结束语

随着电动机保护器的应用，市场对产品的

需求在不断地变化。针对市场对经济型电动机保护器的需求，研发了一款经济实用的简易型电动机保护器。简易型保护器是以ARM为核心的智能化、数字化电动机保护器，对电动机发生起动超时、过载、断相、欠载、不平衡、堵转、阻塞、短路、过电压、欠电压等故障时进行实时保护，保证了工业设备能够安全可靠地运行。**EA**

(收稿日期：2017.08.17)

(编辑：白文亭)