

文章编号: 1671- 251X(2011)03- 0032- 04

DOI: CNKI: 32- 1627/ TP. 20110226. 1622. 014

粗糙集在电力变压器故障诊断中的应用

李虹, 田慕琴

(太原理工大学电气与动力工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 电力变压器是一种比较复杂的系统, 在实际故障诊断中要想获得完备的实验数据比较困难。针对该问题, 提出了一种基于粗糙集的电力变压器故障诊断新方法, 即分析搜集到的电力变压器历史故障数据, 确定条件属性集和决策属性集; 对条件属性集进行约简, 去除冗余信息, 提取关键信息, 得到相应的规则集; 利用该规则集对电力变压器进行故障诊断。实例分析验证了该方法的正确性和有效性。

关键词: 电力系统; 电力变压器; 故障诊断; 粗糙集; 决策表

中图分类号: TD612.3 **文献标识码:** A **网络出版时间:** 2011- 02- 26 16:22

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20110226.1622.014.html>

Application of Rough Set in Fault Diagnosis of Power Transformer

LI Hong, TIAN Mu-qin

(College of Electrical and Power Engineering of Taiyuan University of Technology,
Taiyuan 030024, China)

Abstract: Power transformer is a complex system. It is difficult to gain complete experiment data in actual fault diagnosis. To solve the problem, the paper proposed a new method of fault diagnosis of power transformer based on rough set. The implementing steps of the method are as follows: analyzing collected history fault data of power transformer to determine condition attribute set and decision attribute set; deducting condition attribute set to remove redundant information and extract key information, so as to gain relative rule set; making fault diagnosis for power transformer by use of the rule set. The case

收稿日期: 2010- 11- 25

作者简介: 李虹(1985-), 女, 山西忻州人, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统自动化。E-mail: 234490964@qq.com

- [6] 董玉芬, 王来贵, 刘向峰, 等. 岩石变形过程中红外辐射的实验研究[J]. 岩土力学, 2001, 22(2): 134-137.
- [7] 吴立新. 遥感岩石力学及其新近进展与未来发展[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(2): 139-146.
- [8] HILL K O, FUJI Y, JONSON D C, et al. Photosensitivity in Optical Fiber Waveguides: Application to Reflection Filter Fabrication [J]. Applied Physics Letters, 1978, 32(10): 647-649.
- [9] MELTZ G, MOREY W W, GLENN H, et al. Formation of Bragg Gratings in Optical Fibers by a Transverse Holographic Method[J]. Optics Letters, 1998, 14(15): 823-825.
- [10] HILL K O. Bragg Grating Fabricated in Monomode Photosensitive Optical Fiber by UV Exposure through a Phase Mask[J]. Applied Physics Letters, 1993, 62(10): 1035-1037.
- [11] 魏世明, 柴敬. 岩石单轴压缩光纤光栅传感检测方法研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(11): 3174-3177.
- [12] 柴敬, 魏世明, 常心坦, 等. 岩梁变形监测的分布式光纤传感技术[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(23): 4068-4071.
- [13] 魏世明, 柴敬. 岩梁小变形的光纤光栅检测方法研究[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(6): 986-989.
- [14] HATTENBERGER C S, MARCEL N, GUNTER B. Fiber Bragg Grating Strain Measurements in Comparison with Additional Techniques for Rock Mechanical Testing[J]. IEEE Sensors Journal, 2003, 3(1): 50-55.
- [15] 魏世明. 岩体变形光纤光栅传感检测的理论与方法研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2008.

analysis proved validity and effectiveness of the method.

Key words: power system, power transformer, fault diagnosis, rough set, decision table

0 引言

作为电力系统的枢纽设备, 电力变压器在整个电力系统中起着至关重要的作用, 其运行状态的正常与否直接关系到整个电力系统的安全性和可靠性。因此, 随时对电力变压器的状态进行检测, 及早发现和排除电力变压器可能存在的故障, 已经成为目前保障供电可靠性的重要手段之一, 对电力变压器进行故障诊断研究也成为一项具有科学意义和实用价值的课题。

各种预防性实验是电力变压器故障诊断的最主要方法, 其中油中溶解气体分析技术是目前电力系统中对油浸电力变压器常规使用的重要监测手段^[1]。该技术能够在不停电的情况下进行, 且不受各种电磁干扰的影响, 数据可靠性高, 技术成熟。由于变压器在实际运行过程中存在不确定因素, 限制了该技术的应用。

近年来, 遗传算法、人工神经网络、模糊推理、小波分析等多种智能诊断方法被引入到电力变压器的故障诊断中, 这些方法在被诊断对象信息完备的情况下能够获得比较好的效果^[2]。但是, 电力变压器是一种比较复杂的系统, 在实际故障诊断中要想获得完备的实验数据比较困难。粗糙集理论是一种处理模糊与不确定知识的新型数学工具, 具有很强的定性分析能力, 可以直接对实验数据进行分析和推理, 从众多知识中发现隐含的信息, 揭示内在规律。因此, 笔者提出了一种基于粗糙集的电力变压器故障诊断新方法。

1 粗糙集理论

粗糙集理论(Rough Set Theory, 简称 RST)是由波兰的 Z. PAWLAK 教授于 1982 年提出的。粗糙集理论的主要思想是利用已有的知识库, 将不确定和不精确的知识用已有知识库中的知识近似描述。下面简要介绍粗糙集理论中的一些基本概念。

1.1 决策表

在粗糙集理论框架中, 主要研究一个由对象集和属性集构成的信息系统 Y , 也称为知识表达系统。

(1) 信息系统

一个信息系统 Y 是一个四元组, $Y = \langle U, M, N, f \rangle$, 其中 U 称为论域, 是全体对象的非空有限

集合, 设有 u 个对象, 则可以表示为 $U = \{x_1, x_2, \dots, x_u\}$; M 称为属性集合, 是对象属性的非空有限集合, 设有 v 个属性, 则可以表示为 $M = \{M_1, M_2, M_3, \dots, M_v\}$; N 为属性值域的集合, $N = \{N_1, N_2, N_3, \dots, N_v\}$, N_i 是属性 A_i 的值域; f 为信息函数, $f: U \times M \rightarrow N$, $f(x_i, M_j) \in N_j$ 。

(2) 决策表^[3]

决策表是一种重要而特殊的知识表达系统, $Y = \langle U, M, N, f \rangle$ 中的 $M = T \cup J$ 是属性集合, 子集 T 和 J 分别表示条件属性集和决策属性集, $J \neq \emptyset$ 。

在实际使用中, 通常把决策表表示成一张二维表的形式, 表的每一行代表一条决策规则, 用来描述一个对象, 表的每一列表示研究对象的一种属性。

表 1 就是一个由 8 个对象组成的简单决策表, 可以用 4 个属性即颜色(T_1)、体积(T_2)、密度(T_3)、重量(J)来描述^[4]。

表 1 决策表

U	M			
	T_1	T_2	T_3	J
1	1	0	0	1
2	1	0	0	1
3	0	0	0	0
4	1	1	1	0
5	1	1	0	2
6	2	1	0	2
7	2	2	2	2
8	1	0	2	0

其中 $U = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8\}$, $M = \{T_1, T_2, T_3, J\}$, T_1, T_2, T_3 为条件属性, J 为决策属性。 $N_{T_1} = \{0(\text{黄}), 1(\text{红}), 2(\text{紫})\}$, $N_{T_2} = \{0(\text{大}), 1(\text{中}), 2(\text{小})\}$, $N_{T_3} = \{0(\text{低密度}), 1(\text{中密度}), 2(\text{高密度})\}$ 。

1.2 知识约简

知识约简是粗糙集理论的核心内容。在知识库中, 知识或者对象的属性并不是同等重要, 有些知识甚至是多余的。知识约简就是保持分类能力不变的前提下, 删除其中不重要或不相关的知识。知识约简中有 2 个基本的概念, 一个是约简(Deduct), 另一个是核(Core)。

约简是可以区分所有对象的最小属性子集, 它

能够代替整个属性集合而不降低分类能力, 实际应用中, 约简有可能不唯一。

设属性集合 A 和 B , $B \subset A$, 如果 $IND(B) = IND(A)$, 并且对于任意的 $B' \subset B$, $IND(B') = IND(A)$ 都不成立, 则称 B 是 A 的一个约简, 记为 $RED(A)$ ^[5]。

属性集合 A 的所有约简的交集称为核, 记为 $CORE(A) = \bigcap RED(A)$ 。核是属性集合 A 中对于所有约简都不能缺少的属性集合。与约简不同的是, 核一定是唯一的, 但它有可能是空集。

1.3 规则提取

一个决策表就代表了一个决策信息系统。在决策表中包含有大量的样本信息, 每一个样本代表一条基本的决策规则, 这些规则只是机械地记录了样本的信息, 没有适应性, 不能适应新的其它情况。为此, 需要对决策表进行约简, 从中抽取适应性较高的规则。决策表中规则提取步骤:

(1) 条件属性的简化: 逐一去除各条件属性, 看是否对正确的分类产生影响; 当去掉某一条件属性时, 发现对决策属性的正确分类有影响, 即有一部分“条件→决策”是不相容的, 则该条件属性不能省略, 反之, 该条件属性可省略。

(2) 合并相同的决策规则: 在条件属性最简的决策表中将相同的规则合并(即消去重复行)。

(3) 消去每条规则中冗余的属性值: 逐条考察决策表中的决策规则, 删除所有不影响规则表达的冗余的条件属性值, 从而找到最小约简。设约简后的决策表共有 L 条决策规则、 M 个条件属性, 首先删除第 u 个决策规则中的第 v 个条件属性值 a_{uv} , 再将该决策规则中剩余的 $(M-1)$ 个条件属性值 a_{un} ($n=1 \sim M$, $n \neq v$) 与其余的 $(L-1)$ 条决策规则对应的条件属性值 a_{xy} ($x=1 \sim L$, $x \neq u$, $y=1 \sim M$, $y \neq v$) 进行比较。如果完全相同则再看决策属性是否相同, 相同就表示条件属性值 a_{uv} 是冗余的, 反之则不冗余。

(4) 决策规则简化: 将相同规则合并, 得到最终的决策规则。

2 粗糙集在电力变压器故障诊断中的应用

2.1 基于粗糙集的电力变压器故障诊断模型构建

电力变压器故障诊断实际上就是找到从征兆到故障的一个规则集, 从而利用规则来判断待诊断样本所属的故障类型。对于粗糙集诊断模型来说, 关键问题就在于决策表中决策规则的产生。

具体的模型构建及决策规则的产生步骤:

(1) 将搜集到的所有故障样本数据作为论域 U , 对这些故障数据加以分析, 确立故障类型和故障征兆, 并将故障征兆作为条件属性集 C 、故障类型作为决策属性集 D 。

(2) 建立决策表。

(3) 将生成的决策表进行属性约简, 形成新的信息系统。

(4) 采用 1.3 节中步骤(3)所述方法对新的信息系统进行属性值约简, 最终获得最小决策规则。

2.2 诊断新方法的实现

基于粗糙集的电力变压器故障诊断方法所选的条件属性都是日常中较易获得的数据, 具有代表性, 所能诊断的故障类型也很典型, 可以诊断 10 种故障类型。该方法的具体实现如下所述。

分析搜集到的电力变压器历史故障数据, 确定故障征兆集(条件属性集) C 和故障类型集(决策属性集) D , 分别如表 2、表 3 所示。

表 2 故障征兆集

序号	条件属性	序号	条件属性
C_1	三比值编码呈过热性故障	C_6	铁芯接地电流
C_2	电力变压器本体油中含水量	C_7	绕组直流电阻的三相不平衡系数
C_3	绕组变比偏差	C_8	$\Phi(CO)/\Phi(CO_2)$
C_4	局部放电	C_9	三比值编码呈放电性故障
C_5	绕组吸收比或极化指数		

表 3 故障类型集

序号	决策属性	序号	决策属性
D_1	铁芯多点接地及局部短路	D_6	分接开关及引线故障
D_2	绝缘老化	D_7	悬浮放电
D_3	漏磁发热或磁屏蔽放电过热	D_8	围屏放电
D_4	匝绝缘损伤与匝间短路	D_9	绕组变形与匝间短路
D_5	绝缘受潮	D_{10}	油中放电

搜集到的电力变压器历史故障数据均为连续值, 即各属性均为连续属性, 按照粗糙集理论, 在建立决策表之前, 必须将其离散化, 离散化所得的编码带有相应实验的有效信息, 对各变量编码值的意义作如下约定: 当故障征兆出现时量化为 1, 当故障征兆不出现时量化为 0, 编码后建立决策表, 如表 4 所示。

根据 1.3 节中步骤(1)所述方法对表 4 中的条件属性进行简化, 去除冗余的条件属性, 最终可得到

表4 编码后的决策表

编号	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	D
1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	D1
2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	D2
3	1	0	0	1	0	0	0	0	1	D3
4	0	0	1	1	0	0	0	1	1	D4
5	0	1	0	0	1	0	0	0	0	D5
6	1	0	0	0	0	0	1	0	1	D6
7	0	0	0	1	0	0	0	0	1	D7
8	0	1	0	1	0	0	0	1	1	D8
9	1	0	1	1	0	0	0	1	1	D9
10	1	1	0	1	0	0	0	0	1	D10

42种约简。每一种约简对应的决策表都可进一步简化,得到相应的规则集。考虑故障征兆获取的难易程度,选取属性集{C1, C2, C3, C4, C6}作为电力变压器故障诊断的最小约简决策表,如表5所示。根据1.3节中步骤(3)、(4)所述方法对表5进行属性值约简,得到相应的一组最小规则集,如表6所示(其中“*”表示对应属性值为0,1任意值)。

表5 最小约简决策表

故障类型	C1	C2	C3	C4	C6
D1	1	0	0	1	1
D2	1	1	0	0	0
D3	1	0	0	1	0
D4	0	0	1	1	0
D5	0	1	0	0	0
D6	1	0	0	0	0
D7	0	0	0	1	0
D8	0	1	0	1	0
D9	1	0	1	1	0
D10	1	1	0	1	0

表6 最小规则集

D	C1	C2	C3	C4	C6
D1	*	*	*	*	1
D2	1	1	*	0	*
D3	1	0	0	1	0
D4	0	*	1	*	*
D5	0	*	*	0	*
D6	*	0	*	0	*
D7	0	0	0	*	*
D8	0	1	*	1	*
D9	1	*	1	*	*
D10	1	1	*	1	*

利用表6中的规则诊断电力变压器故障时,在故障征兆完备的条件下,它们能较准确地区分出这10种故障类型;当错误或遗漏信息并非约简中的关键信息时,对变压器故障类型的分类结果没有影响;如果遗漏的是约简中的关键信息,就应该避开这些

关键信息,通过选择不同约简对应的规则集诊断故障。

3 实例分析

某110 kV变电站有一台SSZ9- 50000/110型电力变压器,某次试验的色谱结果表明:变压器内部存在过热现象; $\varphi(\text{CO}) = 90.7$, $\varphi(\text{CO}_2) = 82.69$, $\varphi(\text{CO}) / \varphi(\text{CO}_2) \approx 1.097$,其值大于0.08,属正常;电阻变比试验正常;铁芯接地电流为0.1 A,属正常;局部放电量为100 pC,合格;变压器油中含水量超过注意值。根据试验提供的信息可以得出C1=1, C2=1, C3=0, C4=0, C6=0, C8=0。根据表6,可判断电力变压器故障为绝缘老化,与实际掉芯检查结果相符合。

4 结语

电力变压器故障诊断是一种复杂的运行信息融合过程,采用粗糙集理论对电力变压器的条件属性进行约简,删除了冗余信息,提取出关键信息,最终抽取出了电力变压器故障诊断的规则。由于这种方法完全是由数据驱动,不需要任何先验知识和理论公式,因此,更适合于频繁变化的环境。

采用粗糙集理论提取的电力变压器故障诊断规则,一方面,不但可以在信息完备时得出正确的诊断结果,而且还能够处理含有遗漏或错误的信息,适合于电力变压器故障诊断;另一方面,很好地压缩了特征空间,有效地简化了知识,对故障的判断与定位及故障诊断的经济性具有一定的理论指导意义。

参考文献:

- [1] 曾黄麟.粗糙集理论及其应用[M].重庆:重庆大学出版社,1998: 56-86.
- [2] 王国胤.Rough集理论与知识获取[M].西安:西安交通大学出版社,2001.
- [3] ISAM S M, WU T, LEDWICH G. A Novel Fuzzy Logic Approach to Transformer Fault Diagnosis[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2000, 7(2): 177-186.
- [4] 王楠,律方成,刘云鹏,等.粗糙集理论在变压器故障诊断中的应用[J].华北电力大学学报,2003,30(4): 21-24.
- [5] 袁保奎,郭基伟,唐国庆,等.基于粗糙集理论的变压器故障分类[J].电力系统及其自动化学报,2001,13(5): 1-4.