

变压器状态评估技术现状研究

郑朝晖¹, 徐伟¹, 吕鸿宾¹, 张登²

(1. 泸州电业局, 四川 泸州 646000;

2. 强电磁工程与新技术国家重点实验室(华中科技大学), 湖北 武汉 430074)

摘要:介绍了变压器状态评估技术的现状和最新进展,列举了目前现有的几种典型变压器状态评估方法,对每种评估方法的评估过程和优缺点进行了分析,指出了目前变压器状态评估技术存在的问题和困难,并提出了变压器状态评估技术的研究方向和发展趋势。分析表明,电力系统要实现状态检修这个长远目标,有效的状态评估手段是其中不可或缺的一部分。

关键词:变压器; 状态评估; 人工智能; 数据挖掘; 状态检修

Abstract: The present situation and the latest progress of condition assessment technology for transformer are presented. Several representative condition assessment methods for transformer are provided. The assessment process, the merits and demerits of each assessment method are analyzed. The existing problems and difficulties in condition assessment technology of transformer are pointed out. The research orientation and development trend of condition assessment technology for transformer are presented. The analysis results show that the effective condition assessment method is an indispensable part of power system, if condition-based maintenance will come true.

Key words: transformer; condition assessment; artificial intelligence; data mining; condition-based maintenance

中图分类号: TM407 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2012)05-0073-04

0 引言

随着中国电力系统建设规模的日益增大以及复杂程度的日益提高,电网运行可靠性与安全性的要求也越来越高,传统的计划检修模式因为存在“检修过剩”和“检修不足”的问题,经常造成变压器盲目检修,增加了产生新隐患的概率,已经满足不了现代变压器在安全性、稳定性与经济性上的要求。

状态检修是以设备的当前实际工作状况为依据,通过先进的状态监测手段、可靠的评价手段和准确的寿命预测手段来判断设备的状态。在当前电力企业市场化的环境下,状态检修取代传统检修方式是电力系统发展的必然趋势。状态检修提出“该修必修,修必修好”的检修形式,能够节省检修工作中的大量人力物力财力,大大提高变压器的运行安全性与稳定性,因此状态检修在变压器的检修中得到了越来越广泛的应用与推广。

科学合理的状态评估作为实现变压器状态检修的重要前提之一,也受到越来越多的重视,准确的状态评估对指导变压器的检修工作、降低变压器维修费

用以及提高变压器运行可靠性都具有十分重要的意义。资料表明,对电力变压器等设备运行状态实施状态评估,可使每年的维修费用减少25%~50%,故障停电时间减少75%^[1]。

1 变压器状态评估现状

1.1 状态评估现状

对变压器进行状态评估即结合某台变压器的出厂试验数据、交接试验数据、历年预试数据、历年在线监测数据等各类试验数据,采用一定的方法(人工智能、数据挖掘等)对这些数据以及它们的变化趋势进行科学地分析,并同时考虑变压器的家族缺陷数据、运行环境数据等非试验数据的影响,来综合判断变压器的整体运行状态情况。变压器状态评估流程如图1所示。

随着状态检修制度的推进与在线监测技术的发展,变压器的状态评估已经具备了较强的技术基础,国内外学者针对变压器状态评估技术也进行了大量的研究工作。目前针对变压器运行状态的评估方法主要分以下为3类。

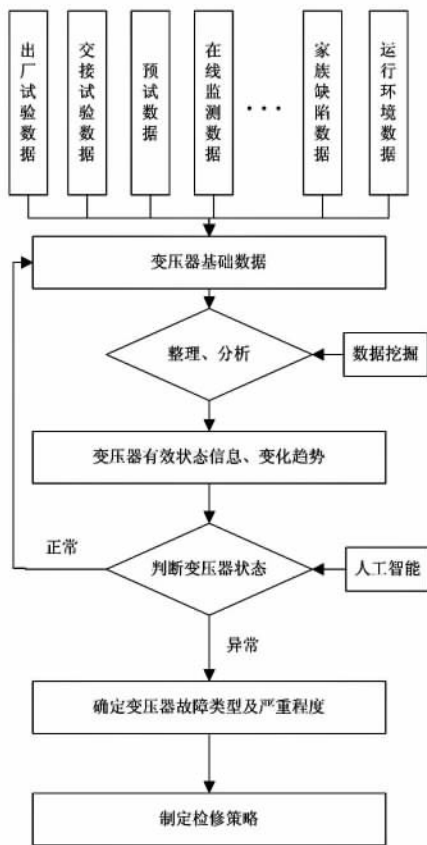


图 1 变压器状态评估流程

(1) 评分法。这种方法是按照一定的评分标准,根据变压器的不同状态参量数值变化,对变压器进行打分或者扣分,分值的大小即决定变压器处于何种运行状态。中国国家电网公司组织编制的《油浸式变压器(电抗器)状态评价导则》即是采用这种状态评分的解决方案^[2]。另外还有加拿大 Powertech Labs 公司开发了一套软件,程序根据各测试项的测试值、运行历史和寿命等自动计算出设备的健康指标,从而确定变压器的状态等级^[3]。这种采用评分标准的方法来判断变压器的运行状态,具有良好的可操作性与状态量全面等特点,对状态检修工作具有一定的指导作用。然而,其判据及阈值的选定缺乏相应的理论基础,因此这种方法在实际中的应用还有待考察。

(2) 部分特征判别法。这种方法是根据变压器的某一部分故障特征表现来判断变压器的运行状态,印尼国家电力公司提出的基于热应力的变压器状态评估方法就属此类^[4]。他们将变压器状态分为好、良好和差三个等级,采用顶层油温、负荷比、热点温度、油界面张力、产气量以及产气率等参数,结合神经网络对变压器状态进行评估。其中各参量所决定的状态等级根据绝缘介质承受应力的极限以及统计数据获取。这种方法仅考虑某一部分与变压器运行状态

关系十分密切的特征量,因此其并不能全面反映变压器的整体状态。

(3) 基于信息处理技术的评估方法。这类方法主要是针对变压器状态信息种类繁多与数量庞大的特点,采用合适的信息处理技术来判断变压器的实际运行状态。近年来国内外对于变压器状态评估的研究重点也集中在本类方法的应用,如基于模糊理论的评估方法^[5]、基于证据推理的评估方法^[6-7]、基于灰靶理论的评估方法^[8]、基于支持向量机的评估方法^[9]、基于人工神经网络的评估方法^[10]、基于可拓分析的评估方法^[11]等。

1.2 典型状态评估方法

1.2.1 基于模糊理论的评估方法

基于模糊理论的评估方法也有很多种,如变权模糊综合评判法^[12]、模糊层次分析法^[13-14]等。这类方法主要针对变压器状态信息不确定性或模糊性的特点,引进模糊理论的知识,提出基于模糊综合评判的变压器状态评估的方法,建立变压器状态综合评判模型。它的引入打破了以往变压器评估工作中简单地变压器状态进行合格还是不合格的划分,从而达到了评估变压器这个复杂系统时精确性和有意义性的相对统一。基于模糊理论的评估方法的重点在于权重集、评判集与隶属函数的确定,而模糊理论并没有明确的权重确定方法,因此经常结合其他方法一起来评估变压器的状态。

1.2.2 基于证据推理的评估方法

证据推理又称为 D-S 证据理论^[15],是一种不确定性推理方法,可根据 D-S 融合规则,依靠证据的积累,不断地缩小假设集,有效地融合不同的信息,具有较强的决策处理能力。证据推理理论可应用于多种设备的状态评估或故障诊断领域^[16],其在信息融合处理方面具有明显的优越性,而不足之处在于当证据冲突严重的情况下,基于 D-S 证据理论推导的结果往往与实际情况不符。据此,文献 [17] 提出了一种改进的证据推理方法来对变压器进行状态评估,解决了证据出现冲突所带来的问题。

1.2.3 基于支持向量机的评估方法

支持向量机^[18-19]是数据挖掘中的一项新技术,其在解决小样本、非线性及高维模式识别问题中表现出许多特有的优势,并能够推广应用到函数拟合等其他机器学习问题中。基于支持向量回归的变压器状态评估就是将各个评价指标作为支持向量机的输入

样本,将支持向量机的实际评估结果作为输出,调整相关的参数通过学习和测试使不同的输入向量得到相应的输出值,这样通过一定的样本就可以训练这个系统,就将各个指标的权重存储在网络中(权重是隐含在训练模型中),实现非线性回归^[20-21]。为了解决支持向量机不能用于多类问题的缺陷,文献[22]提出了基于多分类支持向量机的变压器状态评估方法,在传统支持向量机的基础上进行了一定的改进。

1.2.4 基于可拓分析的评估方法

物元分析由中国学者蔡文于1983年提出,结合可拓集合的基本思想,利用关联函数可以取负值的特点,使得根据事物的特征量值判断事物属于某集合的程度更加全面和精细化^[23]。文献[11]对可拓分析在变压器状态评估中的应用进行了研究,证明了可拓分析用于变压器状态评估的可行性;文献[24]在可拓分析的基础上,提出了基于多级可拓理论的变压器状态评估方法,能有效解决二级甚至多级评价问题,其应用范围更广。

2 目前存在的问题

尽管近年来变压器及其他电气设备的状态评估工作受到越来越多的重视,但由于在技术条件等方面存在相当大的局限性,状态评估仍然大多处于学术研究阶段,能够应用于实际的很少。目前变压器状态评估工作存在的问题主要有如下几个方面。

(1) 变压器在线监测技术水平处于起步阶段,无法为状态评估工作提供准确可靠的在线监测数据。目前变压器在线监测方面的研究有很多,如局部放电、介质损耗因数、油中溶解气体(DGA)、泄漏电流等等,但除了油中溶解气体在线监测技术较成熟,能够为检修工作提供一定的指导之外,其他在线监测技术都还在研究与待验证之中,没有发展到能够应用于实际生产的阶段。没有准确的在线监测数据支持,使得变压器的状态评估工作产生了相当大的局限性。

(2) 电力系统数据管理方法落后,对数据挖掘工作形成了一定的制约性。多年以来,由于计算机应用尚未普及,电力系统中数据都是采用纸质文件记录,这极易导致相当一部分的数据错误甚至丢失的情况。而近年来虽然逐步开始采用计算机管理数据,但现场的数据一般还是靠工作人员手写输入到纸质文件,然后再录入计算机,因此数据错误或丢失的情况虽然有

了一定的改善,但仍然存在较多的问题。数据的不完整性直接导致数据挖掘工作的开展受到了极大的限制,甚至会得出错误的结论,这对变压器的状态评估工作也产生了不利的影响。

(3) 数据挖掘与人工智能技术在电气设备状态评估领域的应用发展还不成熟。目前变压器的状态评估主要还是依靠单一状态量的测量结果来确定,常常会导致故障错判或漏判的情况,而要综合大量离线数据、在线数据、家族缺陷数据、运行环境数据等来对变压器进行整体评估,就必须要用到数据挖掘或人工智能技术,因此近年来数据挖掘和人工智能技术在变压器状态评估方面的应用研究发展的很快,但由于研究的时间不长,也没有经过实际的检验,还需要进一步的讨论与验证。

3 今后发展趋势

针对变压器状态评估的现状与存在的问题,可以预测其在今后的发展方向应集中在以下几个方面。

(1) 进一步加强变压器故障机理的基础理论研究。变压器发生某种故障往往是有多种诱因的,只有对这些故障诱因的机理进行深入的研究,才能了解清楚变压器各种故障是如何发生以及各种故障之间的相互联系,才能为在线监测与状态评估技术的发展提供扎实的理论基础。

(2) 继续致力于变压器在线监测技术水平的提高。先进的在线监测技术是实现状态检修的基础,也是变压器准确进行状态评估的前提,只有在具有准确可靠的在线监测数据的基础上,变压器的状态评估工作才能够在状态检修中体现出它的重要意义。因此,当前应大力发展更多种类更先进的在线监测技术,为状态评估的发展提供所需的技术条件。

(3) 在电力系统中提倡数据管理规范化,防止数据错误或丢失的发生。目前国家电网公司正在推广的sg186生产管理系统,能够有效汇集下属各子公司的生产管理数据,但由于其故障记录与下属员工绩效评分挂钩,必然会导致许多子公司瞒报故障,这人为造成了数据丢失的发生,给数据挖掘工作增加了不小的难度,需要对此管理办法进行相应的改进。另外现场记录数据可发展平板电脑或PDA等便携系统的应用来防止数据丢失或二次录入的错误。

(4) 数据挖掘与人工智能技术需大力发展并在

生产实际中得到检验。由于变压器具有大量并且复杂的数据信息,要通过提取有用的数据信息来对变压器进行状态评估,有效的数据挖掘或人工智能技术的应用是必不可少的。在研究相对成熟的条件下,将之应用于生产实际以得到验证也是其中重要的一个步骤。

4 结 语

近年来,变压器的状态评估已经得到了电力行业各相关部门的高度重视,其在状态检修中所起到的作用也是众所周知的。在变压器状态评估技术上进行细致深入的研究,不仅对变压器在电网中安全运行具有重大的意义,也在学术界具有重要的科研价值,同时也具有广阔的市场前景。虽然目前变压器的状态评估工作还不完善,不能满足电力系统实现状态检修的要求,但只要假以时日,学者们在变压器故障机理、在线监测技术、数据管理以及数据挖掘和人工智能技术等方向上不断地深入探索,必将能够实现对变压器准确可靠的状态评估,为电力系统从计划检修过渡到状态检修奠定坚实的基础。

参考文献

- [1] 赵文清,朱永利. 电力变压器状态评估综述[J]. 变压器, 2007,11(44):9-12,74.
- [2] 国家电网公司, Q/GDW 169-2008, 油浸式变压器(电抗器)状态评价导则[S].
- [3] Nick Dominelli, Avaral Rao, Prabha Kundur. Life Extension and Condition Assessment Techniques for an Aging Utility Infrastructure [J]. Power and Energy Magazine, 2006, 4(3):24-35.
- [4] Y. Tamsir, Sumaryadi, H. Gumilang, et al. Thermal Condition Assessment for Power Transformers Operated in Tropical Condition [C]. Condition Monitoring and Diagnosis, International Conference, 2008: 559-561.
- [5] 王谦. 基于模糊理论的电力变压器运行状态综合评估方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.
- [6] W. H. Tang, K. Spurgeon, Q. H. Wu, et al [D]. An Evidential Reasoning Approach to Transformer Condition Assessments [J]. Power Delivery, Transactions, 2004, 19(4): 1696-1703.
- [7] 吴莉琳. 变压器状态评估与信息管理系统的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2004.
- [8] 李建坡, 赵继印, 郑蕊蕊, 等. 基于灰靶理论的电力变压器状态评估新方法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2005, 31(1): 201-205.
- [9] 申涛, 朱永利, 李强, 等. 基于支持向量机和 DGA 的变压器状态评估方法[J]. 电力科学与工程, 2008, 24(2): 47-50.
- [10] M. Farrokhi and M. Rafiee. Evaluation of Used and Repaired Power Transformers Using Neural Networks [C]. Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001: 143-146
- [11] 廖瑞金, 张懿议, 黄飞龙, 等. 基于可拓分析法的电力变压器本体绝缘状态评估[J]. 高电压技术, 2012, 38(3): 521-526.
- [12] 骆思佳, 廖瑞金, 王有元, 等. 带变权的电力变压器状态模糊综合评判[J]. 高电压技术, 2007, 33(8): 106-110.
- [13] 徐建军, 闫丽梅, 刘小斌. 模糊层次分析法在变压器脆性分析中的应用[J]. 电工技术学报, 2005, 20(2): 94-98.
- [14] Feng - Jiao Wu, Guan - Jun Zhang, Shi - Qiang Wang, et al. Research on Condition Assessment Method of Intelligent Power Transformer [C]. International Conference on Electrical Engineering and Informatics, Bandung, Indonesia, 2011.
- [15] 段新生. 证据决策[M]. 北京: 经济科学出版社, 1996.
- [16] 卜乐平, 刘开培, 侯新国. 采用 D-S 证据推理的电机转子故障诊断[J]. 振动、测试与诊断, 2011, 31(1): 23-26, 126.
- [17] 朱承治, 郭创新, 孙旻, 等. 基于改进证据推理的变压器状态评估研究[J]. 高电压技术, 2008, 34(11): 2332-2337.
- [18] Vapnik V N. Statistical Learning Theory [M]. New York: John Wiley and Sons, Inc, 1998.
- [19] 邓乃扬, 田英杰. 数据挖掘中新方法 - 支持向量机[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [20] 赵文清, 朱永利, 张小奇. 应用支持向量机的变压器故障组合预测[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(25): 14-19.
- [21] 赵文清. 基于数据挖掘的变压器故障诊断和预测研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2009.
- [22] Ning Hao, Zhuo Dong. Condition Assessment of Current Transformer Based on Multi-classification Support Vector Machine. International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering [C]. Changchun, China, 2011.
- [23] 杨春燕, 蔡文. 可拓工程[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [24] Qing Xie, Yanqing Li, Hongling Xie, et al. Large Power Transformer Condition Evaluation Based on Multilevel Extension Theory [C]. DRPT, Nanjing, China, 2008.

作者简介:

郑朝晖(1969),女,工程师,主要研究方向为电力系统继电保护。
(收稿日期:2012-07-17)