

基于多源信息的变压器故障诊断与状态评价方法研究

季国宾

(中海油能源发展装备技术有限公司, 天津 300452)

摘要: 针对变压器结构复杂、故障种类多、状态量多的特点, 建立了基于多源信息的变压器故障诊断与状态评价模型, 按照故障类型故障指数评估→部件状态评估→设备状态评估的层次逐级进行状态评价, 为变压器的综合诊断提供了有效的判断方法。同时, 针对变压器的故障诊断, 提出了一种多维度的故障诊断方法, 通过故障指数量化评价变压器故障的严重程度, 对其相对劣化程度和故障程度提供了科学合理的评估方法。

关键词: 变压器; 多源信息; 故障诊断; 状态评价

中图分类号: TM406

DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2024.07.036

Multisource Information-based Fault Diagnosis and State Evaluation of Transformers

JI Guobin

(CNOOC Enertech Equipment Technology Co., Ltd., Tianjin 300452, China)

Abstract: In view of complex structure, diversified fault types, and multiple states of transformers, this paper establishes a transformer fault diagnosis and state evaluation model based on multisource information. The state evaluation is carried out step by step according to the hierarchy of fault index evaluation, component state evaluation, and equipment state evaluation, providing an effective judgment method for comprehensive diagnosis of transformers. Moreover, for transformer fault diagnosis, this paper proposes a multi-dimensional fault diagnosis method that quantifies the severity of transformer faults through fault indices, providing a scientific and rational evaluation method for their relative deterioration and fault severity.

Key words: transformer; multi-source information; fault diagnosis; status evaluation

0 引言

电力变压器是输配电网中最关键的设备之一, 它在电压等级变换和电能转化方面具有重要的作用。电力变压器的运行状况优劣直接影响着整个电力系统的可靠性。电力变压器内部包含众多复杂的元器件, 如载流部件、铁芯、绝缘部件和分接开关等, 多种部件组合构成了一个复杂的电力装置^[1-2]。而当前针对变压器缺陷的原因分析主要倚赖阈值判断和人为经验判断, 但这种方式导致诊断结论主观且不精准, 无法为变压器的检修维护工作提供指导^[3]。基于这一现状, 本文开展了变压器故障诊断与状态评估方法的研究。针对变压器结构复杂、状态量多的特点, 进行了变压器故障类型和状态量之间的相关性分析, 建立了基于多源信息的变压器故障诊断与状态评价模型, 为变压器的综合诊断提供了有效的判断方法。

1 变压器状态评价模型

对于结构复杂的变压器, 基于单个数据源的故障诊断相对较片面, 无法准确地对变压器状态进行评估。为了更

好地实现对变压器的状态评估, 本文提出了基于多源信息的综合状态评价方法, 建立了状态评价模型, 如图 1 所示。

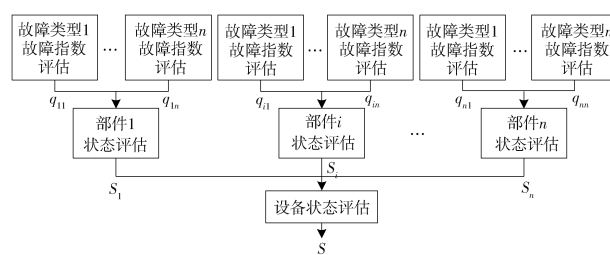


图 1 变压器状态评价模型

按照故障类型故障指数评估→部件状态评估→设备状态评估的层次逐级进行状态评价, 结合故障树分析、多源数据相关性分析和专家诊断等技术手段, 采用层次渐进的推理模式, 根据变压器运行环境、预防性试验、停电试验、检测数据和巡检记录等对变压器的故障类型和故障程度进行综合分析, 为变压器的状态评价提供决策依据^[4]。

2 故障诊断方法

变压器故障诊断方法是建立在前期的基础性研究之上

收稿日期: 2023-09-11

的。以变压器特征状态量集、典型故障类型集及两个集合中各个项的关联关系构建了模型的主体框架。模型中主要的逻辑包括故障识别(即故障类型模式匹配)和故障指数评估(定性定量)两个部分。模型的输入设计为可采集的全部特征状态量;输出设计为变压器可能的故障类型及故障指数。图2为故障诊断模型的主要逻辑结构。

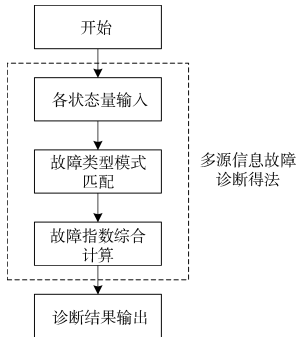


图2 变压器故障诊断模型

变压器故障诊断的关键在于故障现象。由于故障和现象之间并不是简单的一对一的关系,一种故障可能产生多种不同的故障现象,而同一种故障现象也可能对应多种不同的故障类型^[5],因此这种多对多的关系增加了故障诊断的复杂性。在进行变压器故障诊断时,需对故障现象进行综合分析,结合专业知识和经验,才能准确判断可能的故障类型;同时,还需考虑变压器的工作状态、负载情况和环境影响等因素,以全面评估故障原因和严重程度。通过综合分析和细致观察,可尽可能降低误诊的风险,提高变压器故障诊断的准确性和效率。

本文建立的层次推理方法借鉴了人类学者的推理模式,首先根据要诊断问题的初始多源信息,产生一组可能的故障类型集,这些故障类型能解释所有初始信息;然后根据初始故障类型集进行下一步的测验和推理,对上一步判定结果进行迭代,从而得到更多状态信息,通过逐层推理和迭代,最终获得对所有故障现象最佳的解释,作为最终的诊断结论。变压器典型故障类型和状态量的相关性集合见表1。

表1 变压器典型故障类型集

状态量	故障类型	部件名称
绕组温度(℃)	绕组短路	载流部件
	绕组过热	载流部件
	绝缘老化	绕组绝缘
	绕组接触不良	载流部件
红外铁芯温度(℃)	铁芯短路	铁芯
	铁芯多点接地	铁芯
红外引线温度(℃)	引线焊接不良	载流部件
	绕组绝缘局部放电	载流部件
局部放电量(pC)	引线放电	载流部件
	绝缘开裂	绕组绝缘
	绝缘电树枝放电	绕组绝缘
	绝缘老化	绕组绝缘
	放电或爬电故障	有载分接开关

续表		
状态量	故障类型	部件名称
局部放电超声波测量值(dB)	绕组绝缘局部放电	载流部件
	引线放电	载流部件
局部放电高频信号测量值	绕组绝缘局部放电	载流部件
	引线放电	载流部件
	绕组短路	载流部件
绝缘电阻(MΩ)	绝缘受潮	绕组绝缘
	放电或爬电故障	有载分接开关
吸收比(R_{15}/R_{60})	绝缘老化	绕组绝缘
	绕组短路	载流部件
三相直阻不平衡系数(%)	绕组接触不良	载流部件
	引线焊接不良	载流部件
介质损耗因数($\tan\delta\%$)	绝缘受潮	绕组绝缘
	绝缘老化	绕组绝缘
	绕组短路	载流部件
绕组变比(%)	切换开关动静触头接触不良/分接档位接错	有载分接开关
频响特性曲线结果	绕组变形	载流部件
泄漏电流(μA)	绝缘受潮	绕组绝缘
空载电流($I_0\%$)	铁芯短路	铁芯
短路电压($U_k\%$)	绕组短路	绕组
直流电阻纵比(%)	绕组接触不良	载流部件
	引线焊接不良	载流部件
交流耐压值(kV,1 min)	绝缘开裂	绕组绝缘
	绝缘电树枝放电	绕组绝缘
铁芯接地电流(A)	铁芯多点接地	铁芯
铁芯绝缘电阻(MΩ)	铁芯多点接地	铁芯
有无放电声音	引线放电	载流部件
紫外成像巡检	引线放电	载流部件
振动监测状态	铁芯松动	铁芯
风机运行状态	切换开关故障	有载分接开关
风扇运行状态	风机运行故障	冷却系统
温控仪运行状态	风机运行故障	冷却系统
温控仪运行状态	温控运行故障	冷却系统
过渡电阻(Ω)	拒动	有载分接开关
触头接触电阻($\mu\Omega$)	切换开关动静触头接触不良或分接档位接错	有载分接开关
有载分接开关直流电阻(mΩ)	选择开关限位失灵切换开关动触头接触不良或分接档位接错	有载分接开关
运行电压(kV)		
运行电流(A)		运行工况
环境温度(℃)		
相对湿度(%)		

2.1 单状态量故障指数评价方法

在变压器诊断模型处理过程中,故障程度的计算是在故障类型确定之后进行的。输出的故障指数值将主要应用在状态评价模型中。故障指数是模型中用于表征故障发展程度的量化指标。可表征故障程度的状态量或状态量集对于每一个故障来说都是不一样的。基于以上特点,在对变压器故障进行定量分析过程中,针对变压器典型故障类型集合形成了一套对应的故障指数计算公式。每个故障类型故障指数的最终取值都在0~1之间,0代表故障程度最

轻,1代表故障程度最重。

描述变压器的故障程度按照定性描述和定量描述两种方式进行评价:对于采用定量描述的故障指数,采用四区间划分故障程度;对于采用定性描述的故障指数,采用二区间划分故障程度。

(1)四区间划分法。对于绕组温度、红外铁芯温度、红外引线温度、局部放电量、绝缘电阻、介质损耗因数、泄漏电流、空载电流、短路电压、铁芯接地电流、铁芯绝缘电阻等状态,参考电力行业标准或国家电网相关规程,采用四区间划分法定量判断故障指数,形成针对每项状态的评价公式。以绕组温度为例,评价公式为:

$$\text{故障指数 } q = \begin{cases} 0 & 1 \text{ 区: } \frac{\text{测量值}}{\text{参考值}} \leq 0.6 \\ ((\frac{\text{测量值}}{\text{参考值}} - 0.6) / (1 - 0.6)) \times 0.375 & 2 \text{ 区: } 0.6 < \frac{\text{测量值}}{\text{参考值}} \leq 1 \\ ((\frac{\text{测量值}}{\text{参考值}} - 1) / (1.5 - 1)) \times 0.625 + 0.375 & 3 \text{ 区: } 1 < \frac{\text{测量值}}{\text{参考值}} \leq 1.5 \\ 1 & 4 \text{ 区: } \frac{\text{测量值}}{\text{参考值}} > 1.5 \end{cases}$$

(2)二区间划分法。对于绕组变比、过渡电阻值、交流耐压值、有无放电声音、振动监测状态、风扇运行状态、温控仪运行状态等状态,采用二区间划分法定性判断故障指数。以风机运行状态为例,评价公式为:

$$\text{故障指数 } q = \begin{cases} 0 & 1 \text{ 区: 风扇运行无异常声响} \\ 1 & 2 \text{ 区: 风扇运行有异常声响} \end{cases}$$

以此方式建立每项状态的故障指数评价公式,形成单状态量的故障指数评价方法,对其相对劣化程度和严重程度进行了科学合理的评估。

2.2 单故障类型故障指数评价方法

对于变压器,一种故障类型对应了多种故障现象,即可能对应了多种状态量的变化,因此对于某一故障类型,需结合单状态量的故障指数评估结果,计算出该故障类型的综合故障指数。基于故障类型的评价方法,根据该故障类型对应所有状态量的评价结果,可得一个故障类型的评价结果可通过与其相关的 n 个状态量来表示其故障指数,即:

$$q = \sum_{i=1}^n q_i - \sum_{1 \leq i < j \leq n} q_i q_j + \sum_{1 \leq i < j < k \leq n} q_i q_j q_k + (-1)^{n-1} q_1 q_2 q_3 \cdots q_n$$

式中, q 为某一故障类型的故障指数; q_i 为第 i 个状态量的故障指数。

3 设备状态评价方法

当变压器某个部件发生任意一种或多种故障时,认为该部件为故障状态。研究表明,同一部件的各故障类型之间存在串联关系,因此可得该部件状态值 s 与其对应的 n 个故障类型的故障指数间存在如下关系:

$$s = \prod_{i=1}^n (1 - q_i) \times 100$$

式中, s 为该部件的状态评分。

变压器设备的最终评价结果取决于该变压器所有部件的评价结果。在研究中发现,各个部件的劣化程度对于设备的整体评价结果无交叉性影响,因此参照规程,选取劣化程度最严重的部件的状态评价结果作为设备的最终评价结果,并给出变压器状态的评价建议。其对应关系如下:

$$\text{状态评价结果} = \begin{cases} \text{正常} & 85 < s \leq 100 \\ \text{注意} & 75 < s \leq 85 \\ \text{异常} & 60 < s \leq 75 \\ \text{严重} & s \leq 60 \end{cases}$$

4 结语

本文开展了变压器故障诊断与状态评估方法的研究。针对变压器结构复杂、故障种类多、状态量多的特点,建立了基于多源信息的变压器故障诊断与状态评价模型,按照故障类型故障指数评估→部件状态评估→设备状态评估的层次逐级进行状态评价,能有效反映变压器的状态,尽可能降低误诊的可能,提高变压器故障诊断的准确性和效率。同时根据变压器运行环境、预防性试验、停电试验、检测数据和巡检记录等对变压器的故障类型和故障程度进行综合分析,为变压器的状态评价提供决策依据。

参考文献

- [1]郑含博.电力变压器状态评估及故障诊断方法研究[D].重庆:重庆大学,2012.
- [2]高骏.电力变压器故障诊断与状态综合评价研究[J].武汉:华中科技大学,2011.
- [3]于涛.电力变压器状态评估及故障诊断方法研究[J].建筑工技术与设计,2015(25):1136.
- [4]赵文清,祝玲玉,高树国,等.基于多源信息融合的电力变压器故障诊断方法研究[J].电力信息与通信技术,2018,16(10):25-30.
- [5]祝青.基于多源信息融合的变压器故障诊断方法研究[D].广州:广东工业大学,2019.