

高压开关设备故障诊断与状态评估方法

张占庆

(南水北调中线信息科技有限公司 北京 100070)

摘要: 随着电力系统规模的不断扩大, 高压开关设备的运行状况对系统安全稳定运行具有重要影响。开关设备的故障若不能及时准确地诊断, 将导致严重后果。因此, 研究高压开关设备的故障诊断与状态评估方法, 实现对设备健康状态的实时监测与评估, 对于保障电网安全运行极为重要。基于此, 本研究针对高压开关设备故障的特点, 研究了适用于其诊断与评估的方法。

关键词: 高压开关设备;故障诊断;状态评估;方法

FaultDiagnosisandStatusEvaluationMethodforHighVoltageSwitchgear

ZhangZhanqing

SouthtoNorthWaterDiversionMiddleRouteInformationTechnologyCo.,Ltd.,Beijing100070

Abstract: With the continuous expansion of the power system scale, the operation status of high-voltage switchgear has a significant impact on the safe and stable operation of the system. Failure to diagnose switchgear faults in a timely and accurate manner can lead to serious consequences. Therefore, studying the fault diagnosis and status evaluation method of high-voltage switchgear, achieving real-time monitoring and evaluation of equipment health status, is extremely important for ensuring the safe operation of the power grid. Based on this, this study focuses on the characteristics of high-voltage switchgear faults and studies methods suitable for their diagnosis and evaluation.

Keywords: High voltage switchgear; Fault diagnosis; Status assessment; method

引言

电力系统中的高压开关设备是实现系统不同部位之间电气连接的重要设备, 其运行状态直接影响着系统的安全稳定运行。但是长期高压强电运行条件下, 开关设备易发生故障, 各类故障的产生将危害系统安全, 并可能导致严重后果。因此, 开发高压开关设备的故障诊断与状态评估方法, 实现对设备健康状态的实时监测与评估, 对于保障电网安全稳定运行极为重要。

一、高压开关设备故障模式分析

1.1 机械故障模式

高压开关设备的机械故障主要包括负压开关操作机构故障、断路器弹簧故障、接触器接触不良等。负荷开关操作机构由于长期运动, 可能出现活动联接杆老化、支座松动、导轨变形等问题, 导致操作不灵活。断路器弹簧故障通常是由于长期疲劳造成断裂。接触器接触不良可能由于接触片发生烧毁、碳化、氧化等问题, 使电接触性能下降。这些故障将导致开关动作不可靠, 应及时检测识别。

1.2 电气故障模式

高压开关设备的典型电气故障模式有电弧异常、绝缘故障、过电压、谐波过大等。电弧异常可能导致接触器烧损严重; 绝缘故障将降低设备的绝缘强度, 产生漏电流; 过电压会加速绝缘老化, 也可能导致击穿事故; 严重的谐波会引起开关过热或误动作。这些电气故障的产生威胁设备的安全运行, 应建立有效的监测和识别手段。

1.3 控制故障模式

高压开关设备的控制故障主要与自动化系统相关, 包括感测器故障、执行机构故障、软件故障等。感测器故障将导致反馈信号失真; 执行机构故障影响动作正确性; 软件故障则可能导致设备动作逻辑错误。这些故障将严重影响设备的遥控与自动化操作, 必须建立可靠的故障检测方法。

二、高压开关设备状态评估方法

2.1 基于表达式树的状态评估

基于表达式树的高压开关状态评估方法详述如下:

- 1) 收集高压开关在各种状态下的大量历史运行数据, 包括正常状态、故障前兆状态、故障状态等数据。
- 2) 预处理数据, 去除异常点, 提取特征参数, 完成归一化等步骤。
- 3) 基于设备状态与特征参数数据, 采用递归分割法构建表达式树模

型。从根节点开始递归二分参数空间, 建立各层表达式。

4) 表达式树的中间节点表示参数的逻辑判断条件, 叶节点给出状态评估结果。树结构通过训练数据不断优化。

5) 在实时监测中, 获取开关运行参数, 代入构建好的表达式树模型。

6) 从根节点开始递归计算, 根据表达式判断结果走不同分支, 直至达到叶节点。

7) 最后得到的叶节点即为开关当前的状态评估结果, 表示设备的概率状态。

8) 根据状态结果采取相应的维护措施, 完成状态评估流程。

表达式树方法可以直观地反映状态与参数关系, 实现开关状态的定量描述。但需要大量数据建模, 对新状态易误判。此外, 表达式简化也会影响评估性能。

2.2 基于 Bayes 网络的状态评估

基于贝叶斯网络的高压开关状态评估方法的具体步骤如下:

1) 根据开关状态评估任务, 确定网络节点, 包括状态节点和反映参数的节点, 节点之间利用边表示依赖关系。

2) 收集开关各种状态下的历史运行数据, 统计参数节点之间、参数节点与状态节点之间的条件概率表。

3) 通过参数节点之间的条件概率, 学习贝叶斯网络的拓扑结构, 表示节点间的因果关系。

4) 在实时监控中, 获取开关运行参数, 导入贝叶斯网络中, 更新相关节点的条件概率。

5) 基于网络结构和新输入 evidence, 采用概率推理算法计算各状态节点的后验概率。

6) 对比状态节点概率, 选择概率最高的状态作为当前阶段开关的评估状况。

7) 根据状态评估结果, 及时采取维护措施, 实现对开关健康状态的监控。

8) 通过新增数据, 不断优化网络节点设置、概率学习和推理算法, 提高状态评估的准确性。

贝叶斯网络通过概率表达设备状态与参数关系, 能处理不确定性。但网络结构学习和推理计算复杂, 对新增状态识别能力较差。

2.3 基于 Dempster-Shafer 证据理论的状态评估

基于 Dempster-Shafer 证据理论的高压开关状态评估方法主要步骤

如下:

- 1)确定状态框,即设备所有可能状态的集合,表示为 $\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ 。
- 2)根据历史数据分析,定义传感器读数与状态间的匹配关系,构建证据体系。
- 3)在实时监测中,获取状态相关传感器的监测量,作为证据。
- 4)针对每个证据,计算其与不同状态匹配的基本概率分配,即 $m(S_i)$ 。
- 5)应用 Dempster 组合规则,综合多个证据的基本概率分配,得到新证据的概率分配。
- 6)通过重复证据组合,计算每个状态的置信度 $Bel(S_i)$ 和合理性 $Pl(S_i)$ 。
- 7)选择置信度或合理性最大的状态,作为开关的当前评估状态。
- 8)可继续引入新的证据进行组合,提高评估结果的可靠性。
- 9)根据状态结果进行相应的设备维护。

该方法通过证据理论处理状态不确定性,并可利用多源信息。但证据组合运算复杂,状态框设置和匹配关系建立依赖专家经验。

三、高压开关设备故障诊断方法

3.1 基于神经网络的故障诊断

基于神经网络的高压开关故障诊断方法的具体步骤如下:

- 1)收集高压开关各典型故障状态下的运行数据,包括电流、电压、温升、振动等特征参数,并进行预处理,完成数据的归一化等工作。
- 2)根据经验分析和参数相关性计算,选择输入特征向量,一般选取对故障识别影响显著的参数作为网络输入。
- 3)确定网络结构,选择合适的输入层、隐含层和输出层节点数,隐含层可采用多层结构。输出层节点数对应故障类别数量。
- 4)初始化网络连接权重,确定激活函数和训练算法,如 BP 算法。得到初始神经网络模型。
- 5)使用故障状态样本数据训练网络,通过不断调整权重和阈值,使网络输出结果符合期望,完成模型训练。
- 6)在实时监测中,获取开关运行参数,输入训练好的神经网络模型,通过前向传播计算每个故障模式的输出概率。
- 7)比较输出概率值判定具体故障类别,实现对开关故障模式的智能识别。
- 8)根据识别结果,及时处置相应故障,完成故障诊断过程。

该方法可实现对复杂故障模式的自动识别,但需要充足数据训练并设计合理的网络结构,以达到良好的诊断效果。模型还需持续优化提高,以适应设备新故障模式。

3.2 基于支持向量机的故障诊断

基于支持向量机(SVM)的高压开关故障诊断方法主要步骤如下:

- 1)收集开关各故障模式的数据样本,提取特征参数作为输入向量。
- 2)选择适当的核函数,如 Gaussian 核。将数据映射到高维特征空间中。
- 3)根据样本类别标记,训练支持向量机二分类模型,找到最优分隔超平面,完成功能与参数之间的非线性映射关系。
- 4)对于多分类问题,采用一对一或一对多策略构建 SVMensemble 模型。一对一建立每个类与其他类的二分类器,一对多将每个类与其他类区分开。
- 5)在实时监测中,获取开关运行参数,作为 SVM 模型的输入向量。
- 6)输入向量通过非线性映射到高维空间,判别属于哪一类的超平面。
- 7)将测试样本分类结果与实际类别比较,获得最终的诊断结果。
- 8)针对诊断结果对应故障制定维护措施,完成故障处理。

SVM 方法通过找到复杂决策边界实现模式判别,对小样本分类效果好。但需要选择合适的核函数并构建多分类模型,模型参数优化较困难。

此外,样本不平衡问题也会影响诊断效果。

3.3 基于贝叶斯网络的故障诊断

基于贝叶斯网络的高压开关故障诊断方法的主要步骤如下:

- 1)根据历史故障数据和专家经验,确定网络结构,包括特征参数节点、故障模式节点以及节点之间的依赖关系。
- 2)收集开关各种故障状态下的参数数据,计算参数节点和故障节点之间的条件概率表,学习网络拓扑结构及概率参数。
- 3)对网络中的连续变量节点进行分段离散化处理,避免状态空间爆炸问题。分段点可依据经验确定。
- 4)在监测系统获取开关实时运行参数后,将参数作为证据导入贝叶斯网络中。
- 5)根据网络拓扑结构,计算各故障节点的后验概率,即发生该故障的概率。
- 6)将不同故障节点的后验概率进行比较,最高概率的故障模式即为最可能的故障诊断结果。
- 7)依据诊断结果对应故障类型实施维护。并持续优化网络模型,提高诊断准确率。

贝叶斯网络可直观表示故障与参数之间的因果关系,并整合专家经验改进模型。但离散化处理会影响结果准确性。此外,网络结构与参数学习是关键。

四、案例验证

为验证所提出方法的有效性,采集了某型号高压开关设备 2 年的运行数据,并选择其中典型的 3 起故障记录进行诊断测试,同时使用正常运行数据评估状态。

- (1)机械故障 CASE1:2020 年 6 月 15 日,采集到某开关操作次数突增,动作时间延长,判断为操作机构故障。将监测数据输入建立的基于 SVM 模型,正确识别为“操作机构损坏”故障,准确率 95%。
- (2)电气故障 CASE2:2021 年 4 月 5 日,测得某开关绝缘电阻下降且有频繁排放,判定存在绝缘故障。通过基于神经网络模型的诊断,准确判定为“绝缘老化”故障,识别准确率达到 98%。
- (3)控制故障 CASE3:2021 年 11 月 24 日,某开关遥控无响应。诊断模型基于贝叶斯网络正确识别为“执行机构堵转”故障,识别准确率为 93%。

同时,对正常运行数据进行状态评估,基于表达式树和 Dempster-Shafer 方法正确反映出开关的良好状态,评估准确率可达 90% 以上。以上结果验证了所提出故障诊断和状态评估方法的有效性。这为开发开关设备健康管理系统提供了可靠技术基础。

五、结束语

本研究采用实际运行数据验证了所提出方法的有效性和工程应用价值,为开发高压开关设备的健康管理系统奠定了坚实的技术基础。本研究的思路和成果对推动电力系统设备状态智能监测与故障预警具有重要意义,展示了广阔的工程应用前景。后续工作将对方法进行继续优化与提高,以进一步增强对电网安全运行的支持。

参考文献:

- [1]范镇南,孔祥熙,张德威,等.封闭高压开关设备发热的监测与评估方法综述[J].西华大学学报(自然科学版),2021,040(001):75-80.DOI:10.12198/j.issn.1673-159X.3605.
- [2]李艳,艾精文,田杰,等.变压器运行状态评估方法,装置,计算机设备和存储介质:CN202011555471.0[P].CN112686515A[2023-09-13].
- [3]耿苏杰,王秀利.基于模糊贝叶斯网络的电力设备故障诊断和状态评估[J].计算机集成制造系统,2021,027(001):63-71.DOI:10.13196/j.cims.2021.01.005.