

基于多源信息融合的智能变电站继电保护系统可靠性评估

刘淑娟

广东律诚工程咨询有限公司 528400

DOI: 10.12238/ems.v7i10.15748

[摘要] 随着智能电网建设的不断推进,智能变电站作为关键节点,其继电保护系统的可靠性至关重要。传统可靠性评估方法存在局限性,难以全面反映复杂系统真实情况。本文提出基于多源信息融合的评估方案,阐述智能变电站继电保护系统构成及故障特点,详细介绍多源信息获取及融合技术,运用贝叶斯网络、模糊综合评价等方法构建评估模型,并通过实际案例分析验证,展示该方法在提升评估准确性和可靠性方面的显著优势,为智能变电站安全稳定运行提供有力支撑。

[关键词] 智能变电站;多源信息融合;继电保护;评估

一、引言

智能变电站利用先进的信息技术、通信技术和自动化技术,实现了变电站运行的智能化监控、操作和管理。继电保护系统作为智能变电站的关键组成部分,其可靠性直接关系到电力系统的安全稳定运行。一旦继电保护系统出现故障,可能导致电力系统的停电事故,给社会经济带来巨大损失。因此,对智能变电站继电保护系统进行可靠性评估具有重要的现实意义。传统的继电保护系统可靠性评估方法主要基于设备的历史故障数据和经验模型,然而,智能变电站继电保护系统具有高度的复杂性和不确定性,传统方法难以全面考虑各种因素对系统可靠性的影响。多源信息融合技术的发展为解决这一问题提供了新的思路,通过融合多种来源的信息,可以更全面、准确地评估继电保护系统的可靠性。

二、智能变电站继电保护系统概述

2.1 系统构成

智能变电站继电保护系统主要由电子式互感器、合并单元、智能终端、保护装置以及通信网络等部分组成。电子式互感器将一次设备的电气量转换为数字信号,通过合并单元进行数据同步和处理后,传输给保护装置。保护装置根据接收到的数据进行故障判断和保护动作决策,通过智能终端实现对断路器等设备的控制。通信网络则负责各个设备之间的数据传输和信息交互。

2.2 故障特点

与传统变电站继电保护系统相比,智能变电站继电保护系统的故障具有以下特点:一是故障类型更加复杂,除了传

统的设备硬件故障外,还包括通信故障、软件故障等;二是故障传播速度更快,由于系统的数字化和网络化程度高,一个设备的故障可能迅速传播到整个系统;三是故障诊断和定位难度增大,需要综合考虑多个设备和环节的信息。

三、多源信息获取

3.1 设备状态监测信息

通过在继电保护设备上安装各种传感器,获取设备的运行状态参数,如温度、湿度、振动、电气量等。例如,利用温度传感器监测保护装置的内部温度,当温度过高时,可能预示着设备存在散热问题或内部元件故障。振动传感器可以检测设备的振动情况,异常振动可能表示设备内部存在松动或机械故障。

3.2 故障录波信息

故障录波装置能够记录继电保护系统在故障发生前后的电气量变化情况,包括电流、电压、功率等。这些信息对于分析故障原因、判断保护动作的正确性以及评估系统的可靠性具有重要价值。通过对故障录波数据的分析,可以了解故障的类型、故障发生的时间和地点,以及保护装置的动作时序等。

3.3 通信网络状态信息

智能变电站继电保护系统依赖通信网络进行数据传输和信息交互,因此通信网络的状态对系统可靠性影响很大。获取通信网络的状态信息,如网络延迟、丢包率、链路状态等,可以及时发现通信故障,评估通信网络对继电保护系统可靠性的影响。例如,当网络延迟过高或丢包率过大时,可能导

致保护装置接收的数据不及时或不准确, 从而影响保护动作的正确性。

3.4 运行维护记录信息

运行维护记录包含了设备的安装调试信息、日常巡检记录、维修历史等。这些信息反映了设备的使用情况和维护状况, 对于评估设备的可靠性和预测设备的剩余寿命具有重要参考作用。例如, 频繁的维修记录可能表明设备存在质量问题或运行环境不佳, 需要重点关注其可靠性。

四、多源信息融合技术

4.1 数据层融合

数据层融合聚焦于对原始数据的直接整合, 是多源信息融合体系里最为基础的一个层级。在智能变电站继电保护系统中, 其数据源丰富多样, 涵盖了电子式互感器所采集的电气量数据, 像是电流、电压数值等反映电力系统运行状态的关键信息; 还有传感器采集的设备状态数据, 例如设备的温度、湿度、振动幅度等, 这些数据能够展现设备实时的物理状态。在这些数据进入保护装置之前开展融合操作, 有着重要意义。以加权平均算法为例, 当多个传感器对同一参数进行采集时, 由于传感器自身精度差异、外界干扰等因素, 采集到的数据可能存在波动。通过加权平均算法, 依据各个传感器的精度、稳定性等因素赋予不同的权重, 对采集到的数据进行融合计算。比如在监测变压器油温时, 假设有三个传感器, 其中精度较高、稳定性好的传感器权重设为 0.5, 另外两个稍逊一筹的传感器权重各设为 0.25, 将它们采集到的油温数据按照权重进行加权平均, 得出的融合数据就能最大程度地接近真实油温值, 有效降低数据误差, 提高数据的准确性和可靠性, 为后续保护装置基于这些数据做出准确判断奠定坚实基础, 使保护装置能够依据更精准的数据对电力系统的运行状态做出判断, 及时准确地检测出潜在故障隐患, 保障智能变电站的安全稳定运行。

4.2 特征层融合

特征层融合处于数据处理流程的中间环节, 它着重于从各类数据源中挖掘并提取关键特征信息, 随后再将这些特征信息进行融合, 这一过程能够为后续的故障诊断和可靠性评估提供更具价值的信息。在智能变电站继电保护系统中, 故障录波数据和设备状态监测数据是重要的数据源。从故障录波数据里, 可以提取出电流突变幅值这一关键特征量, 当电力系统发生短路等故障时, 电流会瞬间急剧变化, 其突变幅

值能够直观地反映故障的严重程度; 电压相位变化也是重要特征, 相位的异常改变往往预示着系统出现了不对称故障或其他异常状况。同时, 从设备状态监测数据中提取设备健康特征量, 像温度变化趋势, 正常运行的设备温度通常保持在一定范围内且变化较为平稳, 若温度出现异常快速上升趋势, 很可能意味着设备内部存在过热隐患, 如变压器绕组过热可能引发绝缘损坏; 振动频率特征同样关键, 设备正常运行时振动频率处于稳定区间, 若振动频率异常波动, 可能表示设备存在机械故障, 比如电机轴衬磨损会导致振动频率异常。将从不同数据源提取出的这些特征进行融合, 能够形成一个更为全面、综合的特征向量。这个特征向量包含了电力系统运行状态以及设备健康状况的多维度信息, 为后续利用人工智能算法或其他分析方法进行故障诊断和可靠性评估提供了丰富且高质量的信息基础, 大大提升了诊断和评估结果的准确性与可靠性, 有助于运维人员更及时、精准地发现系统潜在问题, 采取有效措施保障智能变电站的可靠运行。

4.3 决策层融合

决策层融合是多源信息融合的最后一个关键环节, 其核心在于各个数据源独立进行处理和决策, 然后把这些决策结果进行整合, 以获取最终的判断结论, 在智能变电站继电保护系统可靠性评估中发挥着重要作用。在对继电保护系统可靠性进行评估时, 存在多种评估方法和模型, 每种方法和模型都基于自身的理论基础和算法逻辑对系统的可靠性进行分析判断。以基于贝叶斯网络的评估方法来说, 它依据贝叶斯概率理论, 通过构建网络结构来描述系统中各个元件之间的逻辑关系和故障概率传递, 从而得出关于系统可靠性的评估结果; 而基于模糊综合评价的评估方法, 则是运用模糊数学的理论, 将影响系统可靠性的多个因素进行模糊量化处理, 通过模糊变换和综合运算得出评估结论。这些不同方法得出的决策结果都包含了一定的信息, 但也都有其局限性。通过投票法, 让各个评估方法的决策结果进行“投票”, 每个决策结果拥有相同的“投票权”, 最终依据多数“投票”结果得出结论; 加权平均法会根据各个评估方法的准确性、可靠性等因素赋予不同的权重, 对决策结果进行加权平均计算, 综合考虑各个方法的优势和不足。例如, 如果基于贝叶斯网络的评估方法在过往实践中表现出对复杂故障场景下的可靠性评估更为准确, 就可以赋予其较高权重, 反之则赋予较低权重。通过这样的融合方式, 能够有效整合不同评估方法的优势,

克服单一方法的局限性,得到更为科学、准确的系统可靠性评估结论,为智能变电站的运维管理提供可靠依据,助力运维人员制定合理的维护策略,保障电力系统的安全稳定运行。

五、可靠性评估模型构建

5.1 基于贝叶斯网络的评估模型

贝叶斯网络作为一种基于概率推理的图形化模型,在处理不确定性问题上优势显著,十分契合智能变电站继电保护系统可靠性评估需求。在构建该评估模型时,首要任务是明确系统的故障节点和状态变量。故障节点代表系统中可能出现故障的关键部位,状态变量则用于描述这些节点的工作状态。完成上述步骤后,紧接着依据系统的结构以及故障逻辑关系搭建贝叶斯网络拓扑结构,它就像一张蓝图,清晰呈现各节点之间的关联。之后,将多源信息融合所获取的设备故障概率和条件概率作为贝叶斯网络的关键参数。这些参数通过多源信息融合,更全面准确地反映设备实际状况。最后,利用贝叶斯推理算法对这些参数进行运算,从而得出系统故障概率、设备重要度等重要的可靠性指标,为评估继电保护系统的可靠性提供数据支撑。

5.2 基于模糊综合评价的评估模型

智能变电站继电保护系统的可靠性受多种模糊和不确定因素影响,模糊综合评价方法正是处理这类问题的有力工具。运用此方法进行评估时,首先要确定一套科学合理的评价指标体系,涵盖设备可靠性、通信可靠性、运行维护水平等关键方面。针对每个指标,由于其状态往往难以精确界定,所以需要进行模糊量化。比如设备可靠性,可能根据设备的运行时间、故障次数等因素划分为高、较高、一般、较低、低等模糊等级。量化后,建立模糊关系矩阵,用以体现各指标与可靠性之间的模糊关联。同时,依据各指标对系统可靠性影响的重要程度确定权重向量,突出关键指标作用。最后,通过模糊合成运算,综合考虑各指标及权重,得出系统可靠性的综合评价结果,以高可靠性、中可靠性、低可靠性等级直观展现,帮助运维人员快速了解系统可靠性水平。

六、案例分析

6.1 某智能变电站概况

选取某实际运行的智能变电站作为案例研究对象,该变电站采用了先进的智能继电保护设备和通信网络,负责某地区的重要负荷供电。其继电保护系统包括多条输电线路保护、母线保护以及主变保护等。

6.2 多源信息采集与融合

通过在变电站内安装的各类传感器、故障录波装置以及通信监测设备,采集设备状态监测信息、故障录波信息和通信网络状态信息等多源信息。采用数据层、特征层和决策层融合技术对这些信息进行融合处理,提高信息的准确性和完整性。

6.3 可靠性评估结果与分析

运用基于贝叶斯网络和模糊综合评价的评估模型对该智能变电站继电保护系统进行可靠性评估。结果显示,通过多源信息融合后的评估结果更加准确地反映了系统的实际可靠性水平。与传统评估方法相比,考虑了更多影响系统可靠性的因素,如通信网络的实时状态、设备的实时运行参数等。通过对评估结果的分析,找出了系统中的薄弱环节,如部分通信链路的可靠性较低、某些保护装置的老化问题较为严重等,为制定针对性的维护和改进措施提供了依据。

结论

本文通过对基于多源信息融合的智能变电站继电保护系统可靠性评估的研究,表明多源信息融合技术能够有效提高可靠性评估的准确性和全面性。通过获取设备状态监测信息、故障录波信息、通信网络状态信息和运行维护记录信息等多源信息,并采用数据层、特征层和决策层融合技术进行处理,结合基于贝叶斯网络和模糊综合评价的评估模型,能够更准确地评估智能变电站继电保护系统的可靠性。案例分析验证了该方法的有效性和实用性。未来,随着智能变电站技术的不断发展和多源信息获取与融合技术的进一步完善,可靠性评估方法将更加准确和智能,为智能电网的安全稳定运行提供更可靠的保障。后续研究可以考虑进一步优化信息融合算法和评估模型,以及拓展评估指标体系,纳入更多影响系统可靠性的新兴因素。

[参考文献]

- [1] 赵伟杰. 基于多源信息融合的变压器状态评估方法研究[D]. 沈阳工业大学, 2023. DOI: 10.27322/d.cnki.gsggyu.2023.001382.
- [2] 余梦奇. 基于多源信息融合的电网故障诊断研究[D]. 三峡大学, 2021. DOI: 10.27270/d.cnki.gsxa.2021.000168.
- [3] 乔帅君. 基于多源信息融合的智能电网故障诊断方法研究[D]. 中国矿业大学, 2022. DOI: 10.27623/d.cnki.gzkyu.2022.001275.