

基于状态监测的变压器继电保护检修策略研究

杨泽宇 张继鹏 顾 皓

锡林郭勒热电有限责任公司 内蒙古锡林浩特 026000

摘 要：本文聚焦于基于状态监测的变压器继电保护检修策略。首先阐述了变压器继电保护系统的基本原理、组成以及常见故障类型和原因。接着深入探讨了状态监测技术在变压器继电保护中的应用，包括其概念、意义、常用技术以及数据的采集与处理。然后提出基于状态监测的变压器继电保护检修策略，涵盖综合风险评估、状态检修决策方法以及检修流程的优化。通过对实际案例的分析，为提高变压器继电保护的可靠性和稳定性提供了理论支持和实践指导，以保障电力系统的安全、稳定运行。

关键词：状态监测；变压器继电保护；检修策略；综合风险评估

引言

在现代电力系统中，变压器作为核心设备之一，其稳定运行对于保障电力供应的可靠性和安全性至关重要。锡林郭勒热电有限责任公司2×660MW机组采用了特定型号的汽轮机、锅炉和发电机等设备。其中，汽轮机型号为CJK660/651-28/0.4/600/610，由东方电气集团东方汽轮机厂有限公司生产，是660MW、超超临界、一次中间再热、单轴、高中压缸分缸、三缸两排汽、间接空冷抽汽凝汽式汽轮机。锅炉型号为HG-2114/29.3-HM14，由哈尔滨锅炉有限公司设计生产，是660MW超超临界褐煤塔式锅炉，具有超超临界参数、变压运行直流炉等特点。发电机为东方电气股份有限公司生产的QFSN-660-2-22B型660MW水氢氢冷却汽轮发电机，采用自并励静态励磁。机组热工控制为单元制，采用炉、机、电集中控制方式。在这样复杂的电力系统中，变压器继电保护系统的正常运行显得尤为关键。一旦变压器继电保护系统出现故障，可能会导致设备损坏、停电等严重后果，影响电力系统的稳定运行和用户的正常用电。因此，研究基于状态监测的变压器继电保护检修策略具有重要的现实意义。

一、变压器继电保护系统概述

（一）变压器继电保护的基本原理

变压器继电保护的基本原理是基于对变压器运行参

数的监测和分析，当检测到异常情况时，迅速动作以切除故障，保护变压器和电力系统的安全。常见的保护原理包括过电流保护、过电压保护、差动保护等。过电流保护是当变压器的电流超过设定的阈值时，保护装置动作，切断电路，防止设备因过流而损坏。过电压保护则是在变压器的电压超过允许值时，采取相应的措施，避免绝缘损坏。差动保护是通过比较变压器两侧的电流大小和相位，当出现差值超过一定范围时，判断为内部故障，迅速动作切除故障。例如，在锡林郭勒热电有限责任公司的电力系统中，变压器的差动保护可以及时发现变压器内部的短路故障，保障设备的安全运行。

（二）变压器继电保护系统的组成

变压器继电保护系统主要由测量元件、逻辑元件和执行元件组成。测量元件用于测量变压器的各种运行参数，如电流、电压、温度等，并将这些参数转换为电信号。逻辑元件根据测量元件提供的信号，进行逻辑判断，确定是否发生故障以及故障的类型。执行元件则根据逻辑元件的判断结果，发出相应的指令，如跳闸、报警等。在实际应用中，测量元件通常采用电流互感器、电压互感器等设备，逻辑元件可以是继电器、微机保护装置等，执行元件则包括断路器等开关设备。在锡林郭勒热电有限责任公司的变压器继电保护系统中，这些元件相互配合，共同保障变压器的安全运行。

（三）变压器继电保护系统的故障类型和原因

变压器继电保护系统的故障类型主要包括误动和拒动。误动是指在没有故障的情况下，保护装置错误地动作，导致不必要的停电。拒动则是在发生故障时，保护装置未能及时动作，使故障扩大。造成误动的原因可能有保护装置的误整定、二次回路故障、干扰等。例如，

作者简介：杨泽宇（1995.07——），男，汉族，内蒙古锡林郭勒盟锡林浩特市人，毕业于桂林电子科技大学信息科技学院，本科，电气工程及其自动化专业，工程师，现就职于锡林郭勒热电有限责任公司，研究方向为电气继电保护专业。

保护装置的整定值设置不合理，可能会导致在正常运行情况下误动作。二次回路中的接线松动、短路等故障也可能引起误动。拒动的原因可能有保护装置故障、电流互感器饱和、二次回路开路等。在锡林郭勒热电有限责任公司的电力系统中，需要对这些故障类型和原因进行深入分析，以便采取有效的预防措施。

二、状态监测技术在变压器继电保护中的应用

(一) 状态监测的概念和意义

状态监测是指通过对设备的运行状态进行实时或定期的监测，获取设备的各种状态信息，以便及时发现设备的潜在故障和异常情况。在变压器继电保护中，状态监测具有重要的意义。它可以帮助运维人员及时了解变压器的运行状态，提前发现故障隐患，采取相应的措施进行处理，避免故障的发生和扩大。通过状态监测，可以实现对变压器的精准维护，提高设备的可靠性和使用寿命，降低运维成本。在锡林郭勒热电有限责任公司的电力系统中，对变压器进行状态监测可以保障机组的稳定运行，提高电力供应的可靠性。

(二) 常用的状态监测技术

常见的状态监测技术对变压器继电保护起到了至关重要的作用，能够有效地保证变压器安全、稳定地运行。电气参数监测作为一种重要监测方法，利用电流互感器测量变压器电流，可以实现短路故障防护，例如差动保护、零序保护及过电流保护。同时通过电压互感器的电压监测可以针对过电压与欠电压的故障采取防护措施，主要有过电压保护与欠电压保护两种。频率保护主要关注变电站的整体或部分区域内的频率波动，例如频率偏差保护，这有助于确保电力系统的频率保持稳定。

油中气体分析又是一种普遍采用的技术，当变压器内温度过高或者出现放电故障时会产生氢气、甲烷、乙炔等多种气体，对其组分及含量进行检测分析后，可以判断变压器内有无故障，及故障种类及严重程度。

温度监测也不容忽视，变压器绕组温度、油温等参数实时监控可以及时发现过热现象。以绕组温度保护为例，当温度高于设定值时，将对装置进行保护运行，以免因为过热而导致装置的损坏。在绝缘保护中，可以通过绝缘电阻、绝缘油温等参数的监控来有效地保护变压器绝缘状况，避免因绝缘问题而导致故障发生。这几种状态监测技术互相配合，相辅相成，从各方面保证变压器安全运行。

(三) 状态监测数据的采集和处理

状态监测数据的获取与处理，是确保变压器继电保护系统高效工作的关键环节。以数据采集为根本，高精

度传感器网络作为状态监测实施的基石需要综合考虑采样频率、噪声抑制及传输效率等因素，利用各种传感器可以实时获得变压器振动、温度、压力和电流等运行参数，数据采集也可以通过该系统内置的通信接口或者手动观察记录来完成。

需要对所收集的数据进行处理，以便于后续的分析更加精确。数据预处理主要包括滤波、去噪及归一化处理，以消除采集中产生的噪声、异常值及冗余数据，保证数据质量及可靠性，同时对不同传感器所采集到的数据实现了统一量纲转换及标准化，方便了数据对比分析；对传感器故障和其他因素造成的数据缺失可以通过内插和归因而弥补缺失值；通过数据同步，确保了从各种传感器收集到的数据的时间戳是一致的，从而增强了数据的可靠性和精确度。

云计算和边缘计算的协同处理能够对大量监测数据做出实时响应，以适应动态决策的需要。处理后的数据存储应安全、可靠，并且因为实时监测系统对敏感数据进行处理，数据安全非常重要，需要防止非授权访问及数据泄露。通过对数据进行高效的收集和处理，可以为变压器继电保护的状态评定和故障检测提供坚实的依据。

三、基于状态监测的变压器继电保护检修策略

(一) 综合风险评估

综合风险评估作为以状态监测为基础的变压器继电保护检修策略的关键一环，具有十分重要的意义。就电力系统而言，与伊宁县多灾种综合风险评估相同，变压器继电保护综合风险评估需要综合考虑。针对变压器继电保护而言，需要对变压器的状态进行监控，并且设置可靠性指标的同时还要确定保护失效的风险费用以及本身的风险指标，以此为基础提出了严重度模型来设置继电保护失效的风险指标。通常是把设备工作时间内失效概率乘以故障损失来求得继电保护失效本身风险。如果将继电保护在状态检修阶段的失效检修费用定义为 E_f ，并将系统的失效概率设定为 P_e ，那么继电保护系统在失效后所面临的固有风险将被定义为 $P_e \times E_f$ 。

评估时需要采集变压器历史故障数据、运行参数和环境因素等诸多信息。对历史故障数据进行分析可以了解各种故障类型出现的频率以及影响范围；变压器的运行状况可以通过运行参数，如电流、电压和温度的异常波动来反映；环境因素，例如湿度、温度、污秽程度等，也都能影响变压器性能。

综合上述信息并采用科学评估模型与方法实现变压器继电保护系统风险量化评估。通过评估，我们可以确定哪些设备应当被优先考虑进行维修，这样可以提高维

修的效率和针对性,进而减少变压器出现故障的可能性,确保电力系统的稳定和安全运行。

(二) 状态检修决策方法

状态检修决策方法对于确保智能变电站继电保护系统的稳定运行至关重要,它的科学性和合理性直接影响着检修效率和费用。智能变电站继电保护系统大修体制下,通常把大修过程分为大修决策层、计划层与实施层。分析实效概率的大小可以设定 P_{max} 、 P_{min} 这两个检修阈值来确定继电保护系统实效率为 P_e 。当 P_e 的值超过 P_{max} ,这意味着继电保护系统存在严重的问题,需要进行彻底的维修,也就是大规模的维修;如果 P_e 在 P_{max} 与 P_{min} 的范围内,则表示系统出现故障的概率大但是严重性小,仅需要小修即可;如果 P_e 的值低于 P_{min} ,那么这意味着该系统没有出现故障的风险,因此不需要进行维修。

实际运行中需要优先考虑综合风险较大的继电保护系统,并合理地安排检修次序。同时应考虑诸多因素确定检修阈值并决策检修方式。比如可以根据设备历史故障数据、运行参数及环境因素,采用科学评估模型与方法定量评估继电保护系统风险。另外,结合状态监测技术可以实时地获得设备运行状态的相关信息,从而为检修决策的制定提供更加精准的依据。

建立在大数据分析基础上的电厂设备状态检修决策支持系统也是行之有效的办法,该系统通过获取电厂设备实时运行数据并对其进行特征提取,开展了设备状态分析与故障预测工作,在设备故障预测的基础上,为检修决策提供支持,从而避免了冗余检修,明显提高了检修效率并降低了成本,减少了不必要的检修及停机时间、提高了设备管理效率等。

(三) 检修流程的优化

检修流程的优化是保障变压器稳定运行、提高电力企业经济效益的重要举措。优化检修流程可从多方面入手,以实现提升可靠性、降低成本、提高效率的目标。

在检修决策方面,应基于设备状态数据,实现精准化决策,做到“应修必修、修必修好”。例如,某公司基于变压器的“负荷电流→顶层油温→油色谱数据”建立故障预测模型,预测准确率达92%,使变压器的计划检修率降低了25%,避免了过度检修,同时减少非计划停机率。

审批环节的简化也是关键。以往检修计划审批存在多部门重复核对、流程周期长的问题,如某变电站变压器检修流程需经过5个部门、12个审批节点,耗时超7天。优化后可改为“运维班组提交状态数据→系统自动评估

检修需求→生技部审核→分管领导备案”,减少审批环节,缩短流程周期。

制定标准化作业手册能确保检修质量一致。针对变压器等核心设备,明确检修步骤、技术标准、安全规范及验收要求,如变压器检修规定“油色谱分析→绕组直流电阻测试→铁芯接地电流测试”等12项必做项目,并规定每项项目的合格值范围。

资源配置的优化也不容忽视,要实现人力资源、物力资源的合理分配,避免资源浪费。此外,还可引入精益生产理念和流程再造方法,实现作业流程的精简和高效化,通过优化算法和智能调度技术,考虑不同需求和限制条件,实现任务的合理分配和优化调度。通过这些优化措施,可有效提高检修效率、降低检修成本、提升检修质量,保障电力系统的稳定运行。

结论

综上,通过对变压器继电保护系统的深入剖析,明确其基本原理、组成及常见故障类型与成因,为后续研究奠定基础。状态监测技术在变压器继电保护中的应用,凭借电气参数监测、油中气体分析、温度监测等手段,能及时察觉潜在故障隐患。基于状态监测的检修策略中,综合风险评估可量化风险,为检修优先级提供依据;状态检修决策方法依据实效概率确定检修方式,合理安排检修顺序;检修流程优化从决策、审批、作业标准及资源配置等多方面入手,提升了检修效率与质量。将这些策略应用于锡林郭勒热电有限责任公司等实际案例,能有效保障电力系统的安全稳定运行,降低运维成本。未来,随着技术发展,状态监测与检修策略将持续完善,为电力系统的可靠运行提供更坚实支撑。

参考文献

- [1] 胡永强.基于物联网的继电保护设备状态监测与远程维护研究[J].流体测量与控制,2024,5(6):92-95.
- [2] 王德星.基于CNN的海上风电交流送出线路继电保护状态监测技术研究[J].电工技术,2024(22):159-161.
- [3] 郭雄跃.电力工程继电保护二次回路运行状态监测方法研究[J].2025.
- [4] 李焯.继电保护的二次回路故障状态实时监测分析[J].电工材料,2023(2):57-58.
- [5] 吴俊宏,张印,李莎,等.水电站压板智能在线监测系统的设计和应用[C]//中国水力发电工程学会自动化专委会换届大会暨2023年全国水电厂智能化应用学术交流会.雅砻江流域水电开发有限公司二滩水力发电厂,2023.