

水电站主变压器保护改造保护配置分析

段保春

云南滇能(集团)控股公司 云南 昆明 650000

摘要: 随着电力系统智能化升级,主变压器保护配置的精准性与可靠性成为保障电网安全的核心环节。本文聚焦水电站主变压器保护改造保护配置问题。首先阐述水电站主变压器常见的绕组、铁芯、分接开关及绝缘等故障类型,接着分析当前保护配置存在动作不准确、可靠性低、不完善等现状。基于此,提出保护改造优化方向,包括双套差动保护配置、复合电压闭锁过流保护优化、完善非电量保护以及增加发电机出口断路器失灵保护功能等,旨在提升水电站主变压器保护性能,保障其安全稳定运行。

关键词: 水电站主变压器;保护配置;优化方向

引言: 水电站作为重要的能源供应设施,主变压器是其核心设备之一,其安全稳定运行至关重要。主变压器一旦出现故障,不仅会影响水电站的正常发电,还可能引发严重的安全事故。而主变压器保护配置的合理性直接关系到故障能否及时、准确处理。然而,目前水电站主变压器保护配置存在诸多问题,难以满足实际运行需求。本文将深入分析水电站主变压器常见故障类型、现有保护配置状况,并针对性地提出保护改造的优化方向,为提升水电站主变压器保护水平提供参考。

1 水电站主变压器常见故障类型

1.1 绕组故障

水电站主变压器绕组故障较为常见。绕组是变压器实现电压变换的核心部件,长期运行中,可能因绝缘老化而出现匝间短路。当短路发生时,短路处会产生巨大电流,导致局部过热,使绝缘材料进一步损坏,甚至引发绕组烧毁。此外,绕组变形也是常见问题,在遭受短路冲击或机械振动时,绕组可能发生轴向、径向位移,改变绕组间的电气距离,破坏绝缘,降低变压器性能,严重影响其安全稳定运行,需及时检测与处理。

1.2 铁芯故障

铁芯作为变压器的磁路通道,其故障对变压器影响重大。铁芯多点接地是典型故障之一,正常情况下铁芯仅一点接地,多点接地会使铁芯中产生环流,造成铁芯局部过热,加速绝缘老化,严重时甚至烧毁铁芯。另外,铁芯片间绝缘损坏也会引发问题,导致涡流损耗增加,铁芯发热,降低变压器效率。而且,铁芯松动会在运行中产生振动和噪声,影响变压器稳定运行,还可能使铁芯部件磨损,需定期检查维护。

1.3 分接开关故障

分接开关用于调节变压器输出电压,其故障不容忽

视。触头磨损是常见问题,频繁操作会使触头表面磨损,导致接触不良,引发过热,甚至烧毁触头。弹簧压力不足也会造成接触不可靠,增加电阻,产生热量。此外,分接开关密封不良会使水分、杂质进入,影响绝缘性能,引发短路。若分接开关选择器操作不到位,还会造成电压调节异常,影响电力系统的稳定运行,因此要加强对分接开关的检修与维护。

1.4 绝缘故障

绝缘故障是水电站主变压器较为严重的故障类型。变压器绝缘系统包括绕组绝缘、引线绝缘等,长期运行中,受电场、热、机械应力等因素影响,绝缘材料会逐渐老化,性能下降。当绝缘老化到一定程度,可能发生绝缘击穿,引发相间短路或对地短路,造成变压器损坏。同时,水分、杂质侵入绝缘系统也会降低绝缘性能,加速绝缘劣化^[1]。

2 水电站主变压器保护配置现状

2.1 保护动作不准确

水电站主变压器保护动作不准确问题较为突出。一方面,保护装置的定值整定可能存在偏差。由于电力系统运行方式复杂多变,负荷波动频繁,若定值计算未充分考虑这些动态因素,就可能导致定值不合理,在故障发生时保护无法准确动作。比如,过流保护定值设置过高,在轻微故障时不能及时启动;设置过低,又可能在正常负荷波动时误动作。另一方面,保护装置的测量元件精度有限,对电流、电压等电气量的测量可能存在误差,影响保护对故障的判断。

2.2 可靠性不高

水电站主变压器保护可靠性不高体现在多个方面。保护装置硬件质量参差不齐,部分元件可能存在制造缺陷,在长期运行中容易出现故障,如芯片损坏、电容老

化等，导致保护装置误动或拒动。软件方面，保护算法可能不够完善，对复杂故障情况的识别和处理能力不足，在遇到特殊故障时无法可靠动作。同时，保护装置的抗干扰能力较弱，水电站内存在大量的电磁干扰源，如电机启停、开关操作等产生的电磁脉冲，可能干扰保护装置的正常运行，使其误发信号或动作异常。

2.3 保护配置不完善

当前水电站主变压器保护配置存在诸多不完善之处。从保护类型来看，部分重要保护功能缺失，例如对于一些新型故障模式，缺乏相应的专项保护措施。在非电量保护方面，配置不够全面，对主变压器油温、瓦斯等非电量参数的监测和保护可能不够灵敏、及时，不能有效预防因非电量因素引发的故障。从保护范围来说，存在保护死区，某些部位的故障无法被现有保护装置覆盖，导致故障扩大^[2]。

3 水电站主变压器保护改造保护配置优化方向

3.1 双套差动保护配置

在水电站主变压器保护改造中，双套差动保护配置是提升保护可靠性与安全性的关键优化方向。(1) 从提高保护冗余度方面来看，单套差动保护一旦出现硬件故障，如保护装置中的芯片损坏、继电器失灵，或是软件故障，像程序运行错误、逻辑判断失误，又或者受到外部电磁干扰导致信号失真，都会使保护装置无法正常工作，主变压器将失去主要保护。而双套差动保护采用不同厂家、不同原理的保护装置，两套保护相互独立，各自进行采样、运算和出口判断。当一套保护因上述原因出现故障时，另一套保护仍能准确动作，及时切除主变压器内部故障，如绕组匝间短路、相间短路等，有效避免了因单套保护失效而引发的严重事故，为水电站主变压器提供了双重保障。(2) 在增强对复杂故障的识别能力上，不同原理的双套差动保护具有各自的故障特征识别优势。例如，一套采用基于二次谐波制动的差动保护，另一套采用基于波形对称原理的差动保护。在面对一些复杂的内部故障时，如同时存在匝间短路和局部过热的情况，两套保护可以从不同角度对故障特征进行分析和判断，提高故障识别的准确性和全面性，减少保护误动和拒动的概率。(3) 从适应系统运行方式变化的角度而言，水电站的电力系统运行方式复杂多变，负荷波动频繁。双套差动保护可以根据系统实时运行参数，如电流、电压的变化，动态调整保护定值和动作特性。两套保护相互配合，能够更好地适应不同的运行工况，确保在各种情况下都能准确、快速地动作，保障水电站主变压器的安全稳定运行。

3.2 复合电压闭锁过流保护优化

在水电站主变压器保护体系里，复合电压闭锁过流保护至关重要，对其进行优化是提升保护性能的关键举措。(1) 从提高保护动作准确性来看，原有复合电压闭锁过流保护在面对复杂多变的系统运行工况时，动作特性不够灵活。优化后可引入智能算法，依据系统实时运行参数，如负荷大小、电压波动情况等，动态调整定值。当系统处于轻载状态，过流定值可适当降低，以提高对小故障的敏感度；而在重载情况下，适当提高定值，避免因正常负荷波动导致保护误动作。同时，优化复合电压元件的启动值和返回系数，使其能更精准地反映系统电压异常，当电压出现不对称下降或负序电压升高时，及时启动保护，准确切除外部短路引起的过流故障。(2) 增强保护与系统其他部分的协调性也是优化重点。水电站电力系统包含众多设备，各保护装置之间需紧密配合。优化后的复合电压闭锁过流保护能够与其他保护，如差动保护、距离保护等，实现信息共享和动作逻辑协同。在多故障同时发生时，根据故障类型和严重程度，合理安排保护动作顺序，避免出现保护装置之间动作冲突或保护死区，确保整个电力系统安全稳定运行。(3) 提升保护对新型故障的应对能力十分必要。随着电力系统发展，出现了一些新型故障模式。优化后的保护装置增加了对谐波、高频分量等故障特征的监测和分析功能。当系统中出现这些新型故障特征时，保护装置能快速识别并准确动作，有效防止故障扩大，保障主变压器免受损害，提高水电站供电的可靠性和稳定性。

3.3 非电量保护完善

在水电站主变压器保护系统中，非电量保护起着不可或缺的预警与防护作用。对其进行完善，是提升主变压器运行安全性的重要环节。(1) 从拓展监测范围来讲，现有非电量保护监测项目相对局限。完善后可增加对主变压器油中溶解气体种类及含量的实时、精准监测。不同类型的气体产生往往对应着主变压器内部不同的故障，如氢气、甲烷等气体大量出现可能暗示局部放电，乙炔含量超标则极有可能意味着绕组存在严重过热或电弧放电故障。同时，加强对局部放电的监测，利用先进的传感器技术，捕捉微弱的放电信号，提前发现绝缘劣化等潜在问题，将故障隐患扼杀在萌芽状态。(2) 优化保护动作逻辑至关重要。以往非电量保护与电量保护配合不够紧密，动作顺序和时限设置不够合理。完善后，当非电量参数出现异常时，能迅速与电量保护协同动作。例如，当油温过高且伴随电流异常增大时，非电量保护先发出报警信号，若在一定时间内情况未改善，则与电量

保护共同动作,跳开相关断路器,及时隔离故障,避免故障范围扩大,减少设备损坏程度。(3)提升保护装置的抗干扰能力也不容忽视。水电站环境复杂,存在大量电磁干扰源。完善非电量保护装置时,采用屏蔽、滤波等技术手段,增强其对电磁干扰的抵御能力,确保在恶劣环境下,保护装置能准确接收和处理监测信号,避免因干扰导致误动作或拒动作,切实保障主变压器在各种工况下的安全稳定运行。

3.4 增加发电机出口断路器失灵保护功能

在水电站主变压器保护体系里,增加发电机出口断路器失灵保护功能意义重大,是强化系统安全性的关键举措。(1)从保障主变压器安全的角度来看,发电机出口断路器在水电站电力传输中起着控制电流通断的核心作用。然而,当断路器出现失灵状况时,故障电流将无法及时切断,会持续流经主变压器。长时间的过电流会导致主变压器铁芯饱和,产生大量涡流和磁滞损耗,使铁芯发热,绝缘材料加速老化,严重威胁主变压器的使用寿命和运行安全。增加失灵保护功能后,一旦检测到断路器失灵,能迅速动作,及时隔离故障,避免主变压器遭受过电流的持续损害。(2)有助于维护整个电力系统的稳定运行。水电站作为电力系统的重要组成部分,其稳定运行关乎整个电网的供电质量。发电机出口断路器失灵可能引发系统振荡、电压波动等一系列连锁反应,影响其他电气设备的正常运行,甚至导致大面积停电事故。增加的失灵保护功能可以在断路器失灵时快速切除相关故障设备,防止故障范围扩大,减少对系统的冲击,保障电力系统其他部分的稳定供电。(3)提升保护动作的协调性和可靠性。现有的保护配置可能无法全面应对断路器失灵这种复杂情况。增加的失灵保护功能与主变压器其他保护装置相互配合,形成更完善的保护体系。通过合理设置保护动作逻辑和时限,确保在断路器失灵时,各保护装置能够有序、准确地动作,避免保护误动或拒动,提高整个保护系统的可靠性和有效性,为水电站的安全稳定运行提供坚实保障。

3.5 过励磁保护升级

在水电站运行体系里,主变压器过励磁保护升级是

提升设备安全与稳定运行水平的关键一环,具有不可忽视的重要意义。(1)适应电力发展新需求。随着电力系统的不断发展,用电负荷结构愈发复杂,水电站面临的运行工况也更为多样。系统电压波动、频率变化等情况频繁出现,使得主变压器过励磁的风险大幅增加。传统的过励磁保护方式在应对这些新变化时,逐渐暴露出监测不够精准、动作不够及时等问题。升级过励磁保护,能够更好地适应电力发展的新需求,确保主变压器在各种复杂工况下都能得到可靠保护。(2)升级实现精准高效保护。高精度传感器可以实时、准确地监测主变压器铁芯的磁通密度等关键参数,为保护动作提供精确依据。智能算法则能根据监测数据快速分析判断过励磁的程度和趋势,实现分级保护。在过励磁初期及时发出预警,提醒运维人员采取措施;当过励磁情况严重时,迅速动作切除故障,避免设备损坏。(3)提升系统整体稳定性。过励磁保护升级还增强了与水电站其他保护装置的协同性,形成了更完善的保护体系。这有助于在发生故障时,快速、准确地隔离故障区域,减少对系统的影响,提升整个电力系统的稳定性和可靠性^[3]。

结束语

水电站主变压器保护改造中,通过科学配置主保护与后备保护,构建了多层次、高可靠性的保护体系。主保护采用双重化差动保护,结合二次谐波制动与波形判别技术,有效提升故障识别精度;后备保护整合复压过流、阻抗保护及过励磁保护,实现故障范围的精准隔离。非电量保护与电量保护协同动作,配合断路器失灵保护功能,进一步强化系统抗风险能力。改造后,主变压器在复杂工况下的运行安全性显著提升,为水电站长期稳定运行提供了坚实保障。

参考文献

- [1]陈志峰.变电站综合自动化系统常见问题分析处理[J].沿海企业与科技,2021(11):120-122.
- [2]吴小云.浅谈变电站综合自动化系统存在的问题[J].科技信息,2022(13):749-750.
- [3]王喜志.水电站发电机及变压器继电保护的设计原则与配置方案[J].自动化应用,2021(11):69-71.