

水电站孤网运行频率异常的防控措施

熊先刚

国家能源集团江西电力有限公司万安水力发电厂 江西 吉安 343800

摘要：水电站孤网运行频率异常防控措施的研究，旨在保障孤网环境下水电站的安全稳定运行。本文综合分析了加强监测与控制、优化机组控制策略、合理配置备用容量、无功功率补偿与电压稳定以及加强人员培训与应急演练等关键防控措施。通过实施这些措施，可以有效提高孤网运行的频率稳定性，降低频率异常对电网的影响，确保水电站孤网运行的安全性和可靠性。本研究对于提升水电站孤网运行管理水平具有重要意义。

关键词：水电站；孤网运行；频率异常；防控措施

引言：水电站孤网运行是指水电站与主电网解列后，独立形成的小电网运行状态。在这种环境下，由于负荷变化、机组性能等多种因素的影响，电网频率容易出现异常波动，对水电站的安全稳定运行构成威胁。因此研究水电站孤网运行频率异常的防控措施，对于保障孤网环境下水电站的安全运行具有重要意义。本文将从多个方面入手，探讨有效的防控策略。

1 水电站孤网运行原理及频率特性

水电站孤网运行原理主要基于水轮发电机的工作原理，并需要配备储能设备和智能控制系统以确保电网的稳定运行。而频率特性方面，孤网水电站需要由负荷控制转变为频率控制，并通过一次调频和二次调频来保持电网频率的稳定，调速系统需要具有更高的灵敏度和稳定性以满足孤网环境的需求。

1.1 孤网运行原理

孤网运行是指水电站脱离大电网，形成一个小型的独立电网进行运行，这种运行方式主要适用于偏远地区或离网环境，为当地居民提供电力供应。（1）水轮发电机工作原理：当水流经过水轮机时，水能转化为机械能，进而驱动发电机产生电能。这种转换过程在孤网环境中同样适用，但由于孤网容量较小，因此需要更加精细的调控。（2）储能设备：在孤网环境中，水电站需要配备储能设备（如蓄电池）以确保电力供应的稳定性。当电网负荷发生变化时，储能设备可以提供或吸收电能，以维持电网的稳定运行。（3）智能控制系统：孤网水电站还需要具备智能控制系统，以实时监控电力供需平衡，并自动调整发电机组的运行状态。这种系统能够确保电网在负荷变化时保持稳定，避免频率和电压的波动。

1.2 频率特性

孤网运行最突出的特点是发电机组由负荷控制转变为频率控制。这意味着运行人员需要更加关注频率的调

整，以确保电网的稳定运行。以下是孤网水电站频率特性的详细解释：第一，频率控制。在孤网环境中，由于电网容量较小，负荷变化对电网频率的影响更加明显。发电机组需要由负荷控制转变为频率控制，以确保电网频率的稳定。这要求调速系统具有符合要求的静态特性、良好的稳定性和动态响应特性^[1]。第二，一次调频和二次调频。一次调频是指当负荷变化时，调速系统自动调整发电机组的出力，以保持电网频率的稳定。由于孤网环境的特殊性，一次调频可能无法满足所有需求。运行人员还需要通过操作调速系统的给定机构进行二次调频，以进一步调整电网频率，使之维持在额定频率附近。第三，调速系统要求。由于孤网容量较小，调速系统需要具有更高的灵敏度、更小的迟缓率和更快的动态响应，以满足用户负荷变化后维持频率稳定的需求。这要求调速系统的设计、制造和调试都需要达到较高的精度和稳定性。

2 水电站孤网运行频率异常的原因分析

2.1 负荷变化的影响

水电站孤网运行中，负荷变化是导致频率异常的主要因素之一，这种影响在孤网环境下尤为显著。由于孤网的容量相对较小，其自我调节和恢复能力相对较弱，因此负荷的突然增减会对电网产生更为直接和显著的影响。当负荷急剧增加时，如果发电机组无法及时响应并增加出力，电网的频率将会迅速下降，可能导致设备损坏或供电中断。相反，当负荷突然减少时，若发电机组未能及时调整减少出力，则电网频率会上升，超出正常范围，同样会对电网的稳定性和安全性构成威胁。

2.2 机组性能与控制问题

水电站孤网运行中的机组性能与控制问题也是导致频率异常的重要原因。机组性能不佳，如调速系统响应慢、调节精度低，都会直接影响频率的稳定性。调速

系统作为发电机组的核心部件，其性能的好坏直接关系到频率控制的准确性和及时性。如果调速系统响应速度慢，无法及时跟踪负荷变化，就会导致频率波动；如果调节精度低，即使调速系统响应了负荷变化，也可能因为调节不到位而引发频率异常。控制策略的不当或控制系统的故障也可能导致发电机组无法准确跟踪负荷变化，从而引发频率波动。例如，调速系统的参数设置不合理，可能导致系统无法适应不同的负荷变化模式；控制回路存在缺陷，可能导致系统无法正确执行控制指令；执行机构故障，则可能导致控制指令无法得到有效执行。这些问题都可能对频率稳定性产生不利影响^[2]。

2.3 网络结构与通信限制

孤网水电站的网络结构与通信限制同样对频率稳定性产生影响。由于孤网规模较小，网络结构相对简单，但这也意味着任何小的扰动都可能对整个电网产生显著影响。在孤网中，发电机组、负荷和控制系统之间通过通信网络进行信息交换和指令传递。孤网中的通信系统可能面临带宽限制、延迟或中断等问题。带宽限制可能导致信息传输速度变慢，影响控制指令的及时性和准确性；延迟可能导致控制指令无法及时到达执行机构，从而引发频率波动；中断则可能导致控制指令无法传递，导致发电机组无法根据负荷变化进行调整，进而引发频率异常。

3 水电站孤网运行频率异常的防控措施

水电站孤网运行频率异常的防控需要从多个方面入手，包括加强监测与控制、优化机组控制策略、合理配置备用容量、无功功率补偿与电压稳定以及加强人员培训与应急演练等。通过实施这些防控措施，可以有效提高孤网运行的频率稳定性，确保电网的安全可靠供电。

3.1 加强监测与控制

水电站孤网运行频率异常的防控，首先需从加强监测与控制入手。孤网环境下，电网的频率稳定性直接受到负荷变化、机组性能等多种因素的影响，因此建立一套全面、高效的监测与控制系统显得尤为重要。实时监测是防控频率异常的基础。水电站应配备高精度的频率测量设备，对电网频率进行不间断监测。同时，结合先进的数据采集与分析技术，实时采集电网的负荷、机组出力等关键数据，为频率控制提供准确的信息支持。在实时监测的基础上，水电站应逐步实现频率的自动控制。通过引入先进的自动控制系统，如自动发电控制（AGC）和自动电压控制（AVC），实现对机组出力的快速、准确调节，从而有效应对负荷变化对频率的影响。自动控制系统应具备高度的可靠性和稳定性，确保

在紧急情况下能够迅速响应并恢复电网频率至正常范围。建立频率异常的预警机制是防控措施的重要组成部分。通过分析历史数据，设定合理的频率阈值，当电网频率接近或超出阈值时，自动触发预警信号，提醒运行人员及时采取措施进行调整^[3]。预警机制应结合声光电等多种报警方式，确保信息能够迅速、准确地传达给相关人员。对于偏远地区的水电站孤网运行，远程监控技术的应用尤为重要。通过建设远程监控中心，实现对水电站运行状态的实时远程监控和调度。这不仅可以提高监控效率，降低运维成本，还能在紧急情况下迅速响应，确保电网的安全稳定运行。

3.2 优化机组控制策略

机组控制策略的优化是防控频率异常的关键环节。通过调整机组的控制参数和策略，提高机组的响应速度和调节精度，从而有效应对负荷变化对频率的影响。调速系统是机组控制的核心部件，其性能直接影响频率控制的准确性和及时性。应对调速系统进行全面检查和优化，包括调整调速器的参数设置、提高调速器的响应速度、优化调速器的控制算法等。定期对调速系统进行维护和保养，确保其处于良好的工作状态。根据孤网运行的特点和负荷变化规律，对机组的控制策略进行调整。例如，可以采用更为灵活的负荷分配策略，根据各机组的性能差异和负荷需求进行动态调整；或者引入先进的预测控制算法，根据历史数据和负荷预测结果提前调整机组出力，以应对未来的负荷变化。随着人工智能技术的发展，智能控制技术在水电站孤网运行中的应用日益广泛。通过引入智能控制算法，如模糊控制、神经网络控制等，实现对机组出力的智能调节和频率的智能控制。智能控制技术具有自适应性和自学习能力，能够根据电网的实际运行状态进行动态调整和优化，从而提高频率控制的准确性和稳定性。

3.3 合理配置备用容量

备用容量的合理配置是防控频率异常的重要保障。在孤网环境下，由于负荷变化的不确定性，机组故障或检修可能导致出力不足，进而引发频率异常。应根据孤网的实际情况和负荷需求，合理配置一定比例的备用容量。在水电站中设置一定数量的备用机组，当主运行机组出现故障或需要检修时，可以迅速启动备用机组，补充出力，确保电网的稳定运行^[4]。备用机组的数量和容量应根据孤网的负荷需求和机组性能进行合理规划。黑启动能力是指在电网全部停电的情况下，通过启动特定的机组或设备，逐步恢复电网供电的能力。在孤网环境下，黑启动能力尤为重要。应定期对水电站的黑启动能

力进行测试和评估,确保其具备在紧急情况下迅速恢复供电的能力。根据孤网的负荷变化和机组性能变化,动态调整备用容量的配置。

3.4 无功功率补偿与电压稳定

无功功率补偿与电压稳定是防控频率异常的重要辅助手段。在孤网环境下,由于负荷变化和机组出力的波动,可能导致电网的无功功率不平衡和电压波动,进而影响频率的稳定性。在水电站孤网运行中,应合理配置无功功率补偿设备,如静止无功补偿器(SVC)、静止同步补偿器(STATCOM)等。这些设备可以根据电网的无功功率需求进行快速、准确的补偿,从而维持电网的无功功率平衡和电压稳定。结合孤网的实际情况和负荷需求,对电压控制策略进行优化。例如,可以采用分区电压控制策略,将孤网划分为多个电压控制区域,根据各区域的负荷变化和机组出力情况进行动态调整;或者引入先进的电压预测控制算法,根据历史数据和负荷预测结果提前调整电压控制策略,以应对未来的负荷变化。定期对孤网的电压进行监测和分析,及时发现并处理电压异常问题。通过建立电压异常预警机制,当电压接近或超出正常范围时,自动触发预警信号,提醒运行人员及时采取措施进行调整,结合数据分析技术,对电压异常的原因进行深入分析,为后续的防控措施提供科学依据。

3.5 加强人员培训与应急演练

人员培训与应急演练是防控频率异常的最终保障。在孤网环境下,运行人员的专业素养和应急处理能力直接关系到电网的安全稳定运行。定期对运行人员进行专业培训,包括水电站运行管理、机组控制技术、频率异常防控等方面的知识和技能。通过培训,提高运行人员的专业素养和实际操作能力,确保他们具备应对各种突发情况的能力^[5]。结合孤网运行的实际情况和可能遇到

的突发情况,定期组织应急演练。通过模拟频率异常、机组故障等紧急情况,检验运行人员的应急处理能力和团队协作能力。根据演练结果进行总结和评估,发现存在的问题和不足,及时进行改进和完善。根据孤网运行的实际情况和可能遇到的突发情况,制定完善的应急预案。应急预案应包括应急处理流程、责任分工、救援措施等内容,定期对应急预案进行更新和完善,确保其与孤网运行的实际情况保持一致。加强与相关部门和人员的沟通与协作,建立有效的信息共享和应急联动机制。在紧急情况下,能够迅速协调各方资源,共同应对突发情况,确保电网的安全稳定运行。

结束语

水电站孤网运行频率异常的防控是一个系统工程,需要综合考虑技术、管理和人员培训等多个方面。通过本文的研究和探讨,提出了一系列有效的防控措施,旨在提高孤网运行的频率稳定性,确保水电站的安全可靠供电。未来,随着技术的不断进步和管理水平的不断提升,将继续深化研究,探索更为高效、智能的防控手段,为水电站孤网运行的安全稳定提供有力保障。

参考文献

- [1]郑富智.小水电站孤网运行频率异常的防控措施[J].云南水力发电,2023,39(7):237-241.DOI:10.3969/j.issn.1006-3951.2023.07.058.
- [2]李浩权.关于水电站运行管理节能措施分析及运用效果研究[J].电子元器件与信息技术,2022,6(06):196-199.
- [3]杨彦铖.新时期水电站运行管理节能措施分析[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2019,(10):12-13.
- [4]沙仔古.简述水电站集控运行安全风险分析及应对措施[J].华东科技(综合),2020,0(6):0344-03440352
- [5]李川.水电站集控运行中的安全风险与对策分析[J].集成电路应用,2023,40(2):74-75