

孤岛电网稳定性影响因素分析及多能互补优化配置方案设计

张贻娜

中广核研究院有限公司 广东 深圳 518000

摘要: 孤岛电网在偏远地区供电、能源转型及国防安全等方面作用关键。其稳定性受电源、负荷、电网侧及环境等因素影响, 电源容量与类型、负荷随机波动、电网拓扑及参数、极端天气和电磁干扰等均带来挑战。多能互补优化配置遵循互补性、高效性、稳定性原则, 通过确定能源种类规模、优化转换输配、合理配置储能并结合智能控制, 可提升电网稳定性与能源利用效率。

关键词: 孤岛电网; 稳定性; 影响因素; 多能互补; 优化配置

1 孤岛电网在现代电力系统中的地位与作用

随着全球能源结构转型与电力技术的飞速发展, 孤岛电网作为现代电力系统的重要组成部分, 正发挥着愈发关键的作用。从能源供应角度来看, 孤岛电网有效解决了偏远地区电力供应难题。在传统大电网难以覆盖的区域, 建设长距离输电线路成本高昂且施工难度大, 而孤岛电网能够因地制宜, 利用当地可再生能源如太阳能、风能、水能等, 实现电力的自给自足, 为当地居民生活、生产活动提供稳定的电力保障。在能源结构转型进程中, 孤岛电网是可再生能源开发利用的重要试验场。由于其相对独立的运行特性, 能够灵活接入多种新能源发电设备, 为新型能源技术的应用和推广提供了理想环境。通过在孤岛电网中不断试验和优化, 积累运行经验, 进而为大电网的新能源接入和能源结构调整提供借鉴, 加速全球能源向清洁、低碳方向转型。孤岛电网在国防安全与应急保障方面具有重要意义。在自然灾害发生时, 如地震、台风导致大电网瘫痪, 孤岛电网可作为独立的应急电源, 为救援行动、医疗设施、通信基站等提供电力支持, 减少灾害损失, 助力灾后重建。孤岛电网的发展也推动电力技术的创新^[1]。为了保障孤岛电网的稳定运行, 研究人员不断探索新的控制策略、储能技术和能源管理方法, 这些技术成果经过实践检验后, 能够应用于大电网, 促进整个电力行业技术水平的提升。

2 孤岛电网稳定性影响因素分析

2.1 电源侧因素

电源侧是影响孤岛电网稳定性的关键环节之一。首先, 电源的容量和类型对稳定性影响显著。在孤岛电网中, 若电源容量不足, 当负荷需求突然增加时, 会导致系统频率和电压下降, 严重时甚至引发系统崩溃。而

电源类型方面, 传统化石能源发电具有输出稳定、可控性强的特点, 但存在环境污染和能源有限的问题; 可再生能源如太阳能、风能具有间歇性和波动性, 受天气、季节等因素影响较大。其次, 电源的控制策略和调节能力也至关重要, 具备快速响应和精确调节能力的电源控制系统, 能够在电网出现功率不平衡时迅速调整输出, 维持系统稳定。反之, 若控制策略不合理或调节能力不足, 会使电网难以应对功率波动, 降低稳定性。

2.2 负荷侧因素

负荷侧的变化同样对孤岛电网稳定性产生重要影响。负荷的随机性和波动性是主要问题之一。居民生活用电、工业生产用电等负荷需求在不同时段、不同季节差异较大, 而且存在许多不可预测的用电行为, 如大型设备的启动、停止等, 会导致电网负荷瞬间大幅变化。当负荷突然增加时, 若电源侧无法及时提供足够的功率, 就会造成频率下降、电压降低; 而负荷突然减少时, 又可能引起频率上升和电压过高。负荷的功率因数也会影响电网稳定性。低功率因数的负荷会增加电网的无功功率需求, 导致电压下降, 同时增加线路损耗, 降低电网运行效率。

2.3 电网侧因素

电网侧的结构和参数对孤岛电网稳定性有着直接关联。电网的拓扑结构决定了功率传输的路径和效率。简单的辐射状结构虽然易于建设和管理, 但供电可靠性较低, 一旦某条线路发生故障, 可能导致部分区域停电; 而复杂的环形或网状结构虽能提高供电可靠性, 但也增加了电网的运行控制难度。电网线路的参数, 如电阻、电感和电容等, 会影响功率传输过程中的损耗和电压变化。长距离输电线路会产生较大的线路损耗, 同时由于

线路电感和电容的存在,可能引发电压波动和无功功率失衡问题^[2]。电网中变压器的容量、变比和调节性能也会影响电压的稳定和功率的分配。电网的保护和控制装置对稳定性起着保障作用,合理配置的继电保护装置能够在电网发生故障时迅速切断故障线路,防止故障扩大;而先进的自动控制装置,如自动发电控制(AGC)、自动电压控制(AVC)等,能够实时监测电网运行状态,根据负荷和电源变化自动调整,维持电网的频率和电压稳定。若这些装置配置不合理或运行不正常,将无法及时应对电网故障和异常情况,降低电网稳定性。

2.4 环境与外部因素

环境因素对孤岛电网稳定性的影响不容忽视。极端天气条件,如暴雨、暴雪、强风、高温等,会对电网设备造成损害。强风可能导致风力发电机叶片损坏、杆塔倒塌;暴雨和洪水可能淹没变电站、冲毁输电线路;高温会使设备绝缘老化加速,增加故障发生概率。自然灾害如地震、泥石流等,可能对电网设施造成毁灭性破坏,导致大面积停电,严重影响孤岛电网的稳定运行。外部电磁干扰也可能影响孤岛电网的稳定性。随着电子设备和通信技术的广泛应用,电网周围存在大量的电磁干扰源,如无线电发射塔、高压输电线路的电磁辐射等。这些干扰可能影响电网中控制和保护装置的正常工作,导致误动作,进而影响电网稳定。

3 孤岛电网多能互补优化配置的基本原则

3.1 互补性原则

互补性原则是孤岛电网多能互补优化配置的核心原则之一。不同类型的能源具有各自的特点和优势,通过合理组合,可以实现优势互补,提高能源利用效率和电网稳定性。从时间维度来看,太阳能在白天光照充足时发电能力强,而夜间则无法发电;风能在不同时段、不同季节的发电功率波动较大,但与太阳能在时间上存在一定的互补性。将太阳能和风能结合,能够在一天和一年的时间尺度上平滑发电功率输出,减少功率波动对电网的影响。从能源特性角度,传统化石能源发电稳定、可控性强,可再生能源清洁、可持续。将两者结合,在可再生能源充足时优先利用可再生能源发电,满足部分负荷需求;当可再生能源不足或波动较大时,利用化石能源发电进行补充和调节,保证电网供电的连续性和稳定性。不同能源在能量转换和存储方式上也具有互补性。

3.2 高效性原则

高效性原则要求在孤岛电网多能互补优化配置过程中,最大限度地提高能源的利用效率,降低能源损耗和运行成本。首先,在能源转换环节,应选择高效的能

源转换设备。其次,在能源输配方面,合理规划电网布局,优化输电线路参数,降低线路损耗。采用智能电网技术,实现对能源输配过程的实时监测和优化控制,根据负荷分布和电源输出情况,动态调整电力输送路径和功率分配,提高输配电效率。另外,通过综合能源管理系统,对多种能源的生产、转换、存储和消费进行统一管理和调度,实现能源的梯级利用和协同优化,提高整个系统的能源综合利用效率。

3.3 稳定性原则

稳定性原则是保障孤岛电网可靠运行的关键。在多能互补优化配置时,必须充分考虑电网的频率稳定、电压稳定和功率平衡。通过合理配置不同类型的电源,确保在各种工况下都能满足负荷需求,维持系统频率在允许范围内。在电压稳定方面,优化电网结构和无功补偿设备配置,确保电压质量符合标准。合理选择变压器的变比和调节方式,根据负荷变化和电源输出情况,自动调节变压器分接头,维持电压稳定。通过配置适当的无功补偿装置,如电容器、电抗器等,补偿电网中的无功功率,提高功率因数,降低电压损耗。建立完善的电网保护和控制体系,对电网运行状态进行实时监测和分析,及时发现和处理故障,防止故障扩大,保障电网的安全稳定运行^[3]。

4 多能互补优化配置方案设计

4.1 能源种类与规模的确定

确定孤岛电网多能互补系统中的能源种类和规模,需要综合考虑当地的资源条件、负荷需求、经济成本等多方面因素。首先,对当地的可再生能源资源进行详细评估,包括太阳能辐照强度、风能资源分布、水能资源储量等。通过实地测量和数据分析,确定太阳能、风能、水能等可再生能源的可开发潜力。根据负荷预测结果,分析不同时段的用电需求特点和变化趋势。对于居民生活用电为主的孤岛电网,需要重点考虑用电高峰时段的负荷需求;对于工业负荷占比较大的电网,则要根据工业生产流程和设备用电特性确定负荷规模。结合资源条件和负荷需求,初步确定各类能源的配置比例。同时还需考虑经济成本因素,对不同能源发电方式的建设成本、运行维护成本和燃料成本进行分析比较,通过技术经济分析,选择成本效益最优的能源组合和规模。政策因素也会影响能源种类和规模的确定,如政府对可再生能源的补贴政策、环保要求等,都需要在配置过程中予以充分考虑。

4.2 能源转换与输配方式的优化

能源转换环节的优化是提高多能互补系统效率的关

键。对于太阳能发电,选择高效的光伏组件和先进的逆变器,提高太阳能到电能的转换效率。针对风力发电,采用变速恒频技术,使风力发电机在不同风速下都能保持较高的发电效率。在化石能源发电方面,优化燃气轮机、柴油机等设备的燃烧过程和发电系统设计,提高能源转换效率。在能源输配方式上,合理规划电网布局。根据电源和负荷的分布情况,采用合适的电网拓扑结构,如环形、网状或混合结构,提高供电可靠性和灵活性。优化输电线路的选型和参数设计,选择合适的导线截面和线路长度,降低线路电阻损耗和无功功率损耗。采用智能配电网技术,实现对配电线路的实时监测和控制,根据负荷变化自动调整配电方式,提高配电效率。为了实现多种能源的协同输配,建立综合能源输配网络。将电力网络与热力、天然气等能源网络有机结合,通过能源集线器等设备实现不同能源之间的转换和耦合,实现能源的协同优化配置和高效利用。

4.3 储能系统的配置与调度策略

储能系统在孤岛电网多能互补优化配置中起着重要的调节作用。首先,根据孤岛电网的电源特性、负荷需求和运行要求,确定储能系统的类型和容量。常见的储能技术包括电池储能、抽水蓄能、压缩空气储能等。对于功率波动较大的可再生能源发电为主的孤岛电网,可优先选择响应速度快、能量密度高的电池储能系统;在具备合适地形条件的地区,抽水蓄能是一种经济高效的大规模储能方式。储能系统容量的确定需要综合考虑可再生能源的波动范围、负荷变化情况以及系统稳定性要求。通过建立数学模型和仿真分析,计算出满足系统运行要求的最小储能容量。考虑一定的容量裕度,以应对突发情况和未来负荷增长需求。在储能系统的调度策略方面,制定合理的充放电控制策略。根据电网的实时运行状态,如电源输出功率、负荷需求、系统频率和电压等,动态调整储能系统的充放电功率。在可再生能源发电过剩时,控制储能系统充电,存储多余的电能;当可再生能源发电不足或负荷需求增加时,控制储能系统放电,补充功率缺口,维持电网稳定运行。

4.4 智能控制系统的设计与实现

智能控制系统是实现孤岛电网多能互补优化配置的核心支撑。该系统需要具备数据采集、监测、分析、决策和控制等功能。首先,通过安装在电源、负荷、储能

设备和电网各个节点的传感器,实时采集电压、电流、功率、频率、温度等运行数据,并将数据传输到控制中心。控制中心利用先进的数据分析和处理技术,对采集到的数据进行实时监测和分析,掌握电网的运行状态和能源系统的运行情况。基于分析结果,智能控制系统制定合理的调度决策。根据负荷需求变化和电源输出情况,优化各类能源的发电计划,合理分配发电功率;控制储能系统的充放电过程,实现能源的优化配置;调节电网中的变压器分接头和无功补偿设备,维持电压稳定^[4]。同时该系统还具备故障诊断和保护功能,能够快速检测电网故障,定位故障位置,并采取相应的保护措施,隔离故障区域,保障电网安全运行。在实现方式上,智能控制系统采用分层分布式架构,由现场设备层、通信网络层和控制中心层组成。现场设备层包括各种传感器、执行机构和智能设备;通信网络层负责数据的传输和交换,采用可靠的通信协议和网络拓扑结构;控制中心层是整个系统的核心,运行各种控制软件和算法,实现对整个孤岛电网多能互补系统的智能化管理和控制。

结束语

对孤岛电网稳定性影响因素的分析及多能互补优化配置方案设计,为其可靠运行提供了理论与实践路径。未来,伴随能源需求增长与技术革新,需持续深化研究,攻克新型能源融合、复杂环境适应等难题,进一步完善相关技术与策略,推动孤岛电网在保障能源供应、促进绿色发展等方面发挥更大价值。

参考文献

- [1]谭志广,杨栩,黄洪达,等.基于深度神经网络的分布式智能微电网群间能量优化调度仿真模型[J].电工技术,2023,(06):104-106+110.
- [2]李瑜,张占强,孟克其劳,等.基于改进深度确定性策略梯度算法的微电网能量优化调度[J].电子测量技术,2023,46(02):73-80.
- [3]谭勇.孤岛电网大功率电机启动案例分析与优化策略[J].有色设备,2024,38(2):65-70.DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.02.011.
- [4]徐思佳.柔性电负荷平衡装置对孤岛电网调频过程的影响研究[J].电力工程技术,2022,41(1):126-133.DOI:10.12158/j.2096-3203.2022.01.017.