

新能源微电网与水厂泵站的并网运行策略

赵延红

天津水务集团华森规划勘测设计研究院有限公司 天津 300220

摘要: 新能源微电网与水厂泵站并网运行面临固有矛盾与技术挑战。新能源发电的间歇性、波动性与水厂泵站负荷的相对稳定性存在差异,致使功率匹配失衡、电能质量降低、控制协调复杂且安全风险增加。为实现二者协同运行,构建多维策略体系:能量管理系统经多目标优化与精准预测调配能源;协调控制平台借分层架构与统一通信实现设备联动;优化调度采用滚动优化平衡供需;通信保障依靠多元技术构建冗余网络;安全防护从电气和网络层面保障系统稳定,为行业融合发展提供路径。

关键词: 新能源微电网; 水厂泵站; 并网; 挑战; 运行策略

引言

在全球能源转型与可持续发展的趋势下,新能源微电网与水厂泵站的并网运行极具价值。新能源微电网高效利用可再生能源,水厂泵站保障城市供水,二者并网可降低水厂能耗、拓展新能源消纳。但新能源发电受自然条件影响,存在间歇性、波动性,与水厂泵站规律性、稳定的负荷需求矛盾突出。由此引发的功率失衡、电能质量下降、控制复杂及安全隐患等问题,严重制约并网进程,亟需探索有效运行策略,推动能源与水务协同发展。

1 新能源微电网与水厂泵站的特性分析

1.1 新能源微电网的特性

新能源微电网主要由太阳能光伏(PV)系统、风力发电系统、储能装置以及相关电力电子设备组成。太阳能光伏系统通过光伏电池将太阳能转化为电能,其发电功率受光照强度、温度等因素影响显著。在晴天,光伏系统发电功率较高;而在阴天或夜间,发电功率则大幅降低甚至为零。风力发电系统利用风力带动风机叶片旋转,通过发电机将机械能转化为电能,其发电功率与风速密切相关,风速的随机性和间歇性导致风力发电具有较强的波动性。

储能装置在新能源微电网中起到调节功率平衡、平滑发电曲线的作用。常见的储能技术包括锂电池储能、铅酸电池储能、超级电容器储能等。锂电池储能具有能量密度高、循环寿命长等优点,适用于长时间的能量存储;超级电容器储能则具有功率密度高、充放电速度快的特点,可用于快速响应功率波动。新能源微电网还具备孤岛运行和并网运行两种模式,在孤岛模式下,微电网独立运行,为内部负荷供电;在并网模式下,可与大电网进行能量交互,实现余电上网和缺电时从大电网购电。

1.2 水厂泵站的特性

水厂泵站承担着提升水压、保障城市供水的核心功能。其主要负荷来源于水泵电机,水泵运行具有明显的规律性特征。在用水需求方面,存在昼夜、工作日与休息日等周期性变化。一般而言,夜间用水需求处于低谷,此时部分水泵可停止运行或降低运行功率,以减少能耗;而在白天用水高峰时段,尤其是居民生活用水和工业生产用水集中的时段,需要启动更多水泵并提高运行功率,以满足用水需求。

水厂泵站对供电可靠性有着极高要求,一旦供电中断,将导致供水中断,不仅影响居民日常生活,还可能对医院、工厂等重要场所造成严重影响,甚至引发公共安全事件。水泵电机在启动和停止过程中,会产生较大的冲击电流,这种冲击电流会引起电网电压波动,对电网稳定性造成干扰^[1]。同时,水厂泵站内部环境湿度较大,长期处于这种环境下,电气设备的绝缘材料易受潮老化,降低绝缘性能,因此对电气设备的绝缘设计、防护等级及日常维护管理提出了更高要求。此外,水厂泵站的水泵控制系统需根据水位、水压等参数实时调节水泵运行状态,以保证供水压力稳定和水量充足。

2 新能源微电网与水厂泵站并网运行的挑战

2.1 功率匹配与平衡问题

新能源微电网发电的间歇性和波动性与水厂泵站负荷的相对稳定性之间存在固有矛盾。新能源发电功率受自然条件影响,其变化具有随机性和不可预测性,而水厂泵站的负荷虽有周期性规律,但在短时间内相对稳定。当新能源发电功率高于水厂泵站负荷需求时,多余电能若无法及时处理,可能导致储能装置过充,损害储能设备寿命,甚至出现弃电现象;反之,当新能源发电功率低于水厂泵站负荷需求时,会出现功率缺额,若不

能及时补充电能,将影响水厂泵站正常运行,导致供水压力不足或中断。此外,新能源发电功率的快速变化与水厂泵站水泵启动、停止时的负荷突变,进一步加剧了功率匹配与平衡的难度,需要系统具备快速响应和灵活调节能力。

2.2 电能质量问题

新能源发电设备中大量使用电力电子装置,如光伏逆变器、风力变流器等,这些装置在运行过程中会产生谐波电流。谐波电流注入电网后,会引起电压和电流波形畸变,导致电能质量下降。水厂泵站中的水泵电机等电气设备对电能质量较为敏感,谐波会增加电机的铁损、铜损和涡流损耗,使电机发热加剧,降低运行效率,缩短使用寿命,严重时可能导致电机故障。此外,新能源微电网与水厂泵站并网过程中,还可能出现电压波动和闪变问题。新能源发电功率的快速变化以及水泵电机启动时的大电流冲击,都会引起电网电压的波动,电压波动过大或频繁发生会影响电气设备的正常工作,甚至导致设备损坏。

2.3 控制与协调问题

新能源微电网和水厂泵站各自拥有独立的控制系统,且控制目标与运行机制存在差异。新能源微电网的控制侧重于最大化新能源利用、维持系统功率平衡和优化运行成本;水厂泵站的控制则以保障稳定供水、调节水压水量为首要目标。在并网运行时,需要实现两者之间的有效协同控制。当新能源发电功率大于水厂泵站实际运行功率,不能及时消纳的情况下,多余功率应能够储能或并网至市政电网;当新能源发电功率不能满足水厂泵站的运行功率时,则由储能电源或市政电源进行补充。然而,由于不同厂家设备的通信协议、控制逻辑和响应速度不同,导致信息交互不畅、控制指令执行延迟或错误,增加了精确控制与协调的难度。此外,系统运行状态的实时监测与数据共享不及时,也会影响控制与协调的效果。

2.4 安全稳定问题

新能源微电网与水厂泵站并网后,系统拓扑结构和运行方式变得更为复杂,安全稳定运行面临新的挑战。在故障情况下,微电网内的故障可能通过并网接口蔓延至水厂泵站,影响其正常供电;水厂泵站设备故障也可能引发微电网的连锁反应,导致系统崩溃。例如,微电网中光伏阵列发生短路故障,若不能及时隔离,可能引起整个系统电压骤降,影响水厂泵站水泵电机的正常运行;水厂泵站水泵电机因绝缘损坏发生漏电故障,可能导致微电网保护装置误动作^[2]。此外,新能源微电网在孤

岛与并网模式切换过程中,若切换控制策略不当,会产生冲击电流和电压暂态变化,对系统内电气设备造成损害,威胁系统安全稳定运行。

3 新能源微电网与水厂泵站并网运行策略

3.1 能量管理策略

构建基于多目标优化的能量管理系统是实现新能源微电网与水厂泵站高效并网运行的核心。该系统以最大化新能源消纳、最小化运行成本和保障水厂泵站供电可靠性为目标,综合考虑新能源发电预测、水厂泵站负荷预测、储能装置状态等多方面因素,制定最优能量分配方案。在新能源发电预测方面,采用结合物理模型与数据驱动的预测方法。物理模型依据太阳能、风能的产生原理和设备特性,建立发电功率与气象参数的数学关系;数据驱动方法利用历史发电数据和气象数据,通过机器学习算法挖掘数据特征,预测未来发电功率。对于水厂泵站负荷预测,综合分析历史用水数据、实时用水信息、天气变化、节假日等因素,运用时间序列分析、回归分析等方法,准确预测不同时段的负荷需求。根据发电与负荷预测结果,合理安排储能装置的充放电计划。当新能源发电功率大于水厂泵站负荷需求且储能装置未充满时,优先利用多余电能对储能装置充电;当新能源发电功率不足或储能装置电量充足时,由储能装置放电满足负荷需求。同时,建立与市政电网的能量交互机制,在新能源发电不足且储能装置电量耗尽时,利用市政电网供电;在新能源发电过剩且储能装置充满时,将多余电能上市政电网。通过优化能量管理系统的控制算法,实现能量的动态平衡与高效利用。

3.2 协调控制策略

建立统一的协调控制平台是实现新能源微电网与水厂泵站协同运行的关键。该平台通过高速通信网络,实现对微电网内新能源发电设备、储能装置和水厂泵站电气设备的实时监测与控制。协调控制采用分层控制结构,分为上层优化控制层和下层执行控制层。上层优化控制层基于能量管理系统的能量分配方案和系统实时运行状态,运用优化算法计算各设备的控制指令。例如,当新能源发电功率下降时,上层优化控制层根据当前水厂泵站负荷需求、储能装置剩余电量等信息,计算出需要启动或停止的水泵数量、储能装置的放电功率以及是否需要从大电网购电等控制指令,并将指令下发至下层执行控制层。下层执行控制层通过电力电子设备和电机控制装置,对新能源发电设备的输出功率、储能装置的充放电过程以及水泵电机的转速和启停状态进行精确控制。为解决不同设备通信协议不兼容问题,制定统一的

通信标准和协议转换机制,实现设备间的互联互通。同时,建立设备状态监测与故障诊断系统,实时监测设备运行参数,及时发现设备异常并采取相应措施,确保协调控制的准确性和可靠性^[3]。通过定期对协调控制平台进行优化和升级,提高系统的响应速度和控制精度。

3.3 优化调度策略

优化调度策略是提升新能源微电网与水厂泵站并网运行效率的重要手段。考虑新能源发电的不确定性和水厂泵站负荷的变化特性,采用滚动优化方法,以较短的时间间隔为一个调度周期,实时调整发电计划和负荷分配。在每个调度周期开始时,收集最新的新能源发电预测和水厂泵站负荷预测数据,结合系统当前运行状态,对下一调度周期的发电计划和负荷分配进行优化。优先利用新能源发电满足水厂泵站负荷需求,当新能源发电不足时,依次考虑储能装置放电、由市政电网供电。同时,根据水泵的效率曲线和运行成本,合理安排水泵的运行台数和运行时间。例如,在满足供水需求的前提下,优先选择效率高、能耗低的水泵组合运行,避免水泵频繁启停,降低能耗和设备磨损。通过不断滚动优化调度方案,实现系统运行效益的最大化。

3.4 通信保障策略

可靠的通信是新能源微电网与水厂泵站并网运行的基础支撑。为确保通信的稳定性和实时性,采用多种通信技术相结合的方式,构建冗余通信网络。在微电网内部,对于距离较近的设备,采用无线通信技术实现设备间的短距离通信,具有部署灵活、成本低的优势;在微电网与水厂泵站之间以及与大电网的通信中,采用光纤通信或4G/5G移动通信技术,光纤通信具有传输速率高、抗干扰能力强的特点,4G/5G移动通信技术则具有覆盖范围广、移动性好的优势,两者结合可确保数据的高速、稳定传输。制定统一的通信协议,规范数据格式和通信流程,解决不同厂家设备之间的通信兼容性问题。建立完善的通信故障监测和应急处理机制,实时监测通信链路状态,当检测到通信故障时,能够快速定位故障位置,并自动切换到备用通信线路,确保系统控制指令和数据的正常传输。同时,定期对通信设备进行维护和检修,更新通信软件和硬件,提高通信系统的可靠性和安全性。

3.5 安全防护策略

构建全面的安全防护体系是保障新能源微电网与水厂泵站并网运行安全稳定的必要措施。在电气安全方面,安装过流保护、过压保护、漏电保护等装置,对微电网和水厂泵站内的电气设备进行全方位保护。合理设置断路器和熔断器的参数,使其在系统发生过载、短路等故障时能够迅速切断故障线路,防止故障扩大。同时,加强电气设备的绝缘监测和维护,定期检测设备绝缘电阻,及时发现并处理绝缘缺陷。在网络安全方面,加强对能量管理系统、协调控制平台等关键系统的网络安全防护^[4]。采用防火墙技术,对进出网络的数据流进行过滤和控制,阻止非法访问和恶意攻击;部署入侵检测系统,实时监测网络中的异常行为,及时发现并处理网络攻击事件;对敏感数据进行加密传输和存储,防止数据泄露。制定完善的应急预案,针对新能源发电中断、水厂泵站设备故障、通信故障等可能出现的情况,明确应急处理流程和责任分工,定期组织应急演练,提高系统的应急响应能力和故障恢复能力。

结束语

新能源微电网与水厂泵站并网运行,是能源与水务行业创新融合的重要方向。尽管面临发电间歇性与负荷稳定需求间的矛盾、电能质量及安全等挑战,但通过能量管理、协调控制等策略,可实现两者稳定高效协同。实际应用中,需因地制宜调整策略。伴随新能源、信息及控制技术发展,未来应深入研究创新,持续优化并网运行策略,提升系统可靠性、经济性与智能化水平,为两行业可持续发展提供更强支撑。

参考文献

- [1]李岩.新能源技术在注水站削峰填谷中的应用[J].上海电气技术,2023,16(3):46-50,67.
- [2]徐志俊.既有水厂新建光伏系统的结构设计浅析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(6):0205-0209
- [3]刘易锟,史守圆,余涛,等.基于Benders分解的供水服务商与多微网能量共享[J].智慧电力,2022,50(10):78-86.
- [4]匡洪海,徐雨溟,李子龙,杨慧娴.计及需求响应的海岛微电网双层优化运行[J].电气技术,2025,26(3):15-21,29.