

智能电网技术对水利电力能源规划的影响探究

赵占国

湖北汉为电力咨询有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i2.6134

[摘要] 本研究探讨了智能电网技术对水利电力能源规划的影响及其优化策略。首先分析了智能电网的关键技术,包括先进传感测量、信息通信、控制方法以及储能与新材料技术;其次深入研究了智能电网技术对水利电力能源规划的多方面影响,包括优化电力系统运行、促进能源协调互补、提升需求响应能力、支撑分布式电源发展和推动储能技术应用等;最后提出了基于智能电网的水利电力能源优化调度策略,构建了多能互补下的水电优化调度模型,探讨了需求响应及不确定性条件下的调度方法,为水电参与电力市场提供了策略建议。

[关键词] 智能电网技术; 水利电力; 能源规划; 优化调度; 多能互补

中图分类号: TV211 **文献标识码:** A

Exploration of the Impact of Smart Grid Technology on Water Resources and Electric Power Energy Planning

Zhanguo Zhao

Hubei Hanwei Electric Power Consulting Co., Ltd

[Abstract] This study explores the impact of smart grid technology on water conservancy and power energy planning, as well as its optimization strategies. Firstly, the key technologies of smart grid were analyzed, including advanced sensing and measurement, information communication, control methods, as well as energy storage and new material technology; Secondly, we conducted in-depth research on the various impacts of smart grid technology on water conservancy and power energy planning, including optimizing power system operation, promoting energy coordination and complementarity, enhancing demand response capabilities, supporting the development of distributed power sources, and promoting the application of energy storage technology; Finally, a smart grid based water conservancy and power energy optimization scheduling strategy was proposed, and a multi energy complementary hydropower optimization scheduling model was constructed. The scheduling methods under demand response and uncertainty conditions were discussed, providing strategic recommendations for hydropower participation in the electricity market.

[Key words] smart grid technology; Water conservancy and electricity; Energy planning; Optimize scheduling; Multi energy complementarity

引言

我国正处于能源转型的关键时期,《能源发展“十四五”规划》明确提出要加快建设现代能源体系,推进能源清洁低碳转型。水电作为重要的清洁能源,在保障能源安全、优化能源结构、促进节能减排中发挥着重要作用。智能电网技术的快速发展为水利电力的高效利用提供了新的机遇和挑战。当前,随着特高压输电、储能技术、需求响应等新技术的广泛应用,水利电力与其他能源的协调互补成为可能,这对传统的水利电力能源规划提出了新的要求。

1 智能电网的关键技术

1.1 先进传感测量技术

智能电网中的先进传感测量技术包括光学电子式互感器、电子式电压互感器和数字化电能表等。光学电子式互感器利用光学原理实现电流、电压的精确测量,具有量程宽、带宽大、体积小、重量轻等优点^[1]。电子式电压互感器采用电子线路和高性能模数转换器件,克服了传统电磁式电压互感器铁芯饱和、谐振等缺陷。数字化电能表内置专用芯片,实现了用电信息的实时采集与双向传输,为需求侧管理和柔性用电提供了数据支撑。

1.2 信息与通信技术

在智能电网中,信息与通信技术发挥着数据传输与处理的

关键作用。电力光纤通信利用光纤材料构建通信网络,具有通信容量大、传输损耗低、抗干扰能力强等特点,适用于电力系统的远距离、大容量信息传输。无线传感网络由大量低功耗无线传感器节点组成,可实现电网设备状态的自组织、自适应监测。另外,云计算、大数据等新兴信息技术在智能电网中得到广泛应用,海量电力数据的存储、挖掘、分析为电网的优化调度、故障诊断等提供了决策支持。

1.3 先进控制方法

智能电网的安全稳定运行离不开先进控制方法的支撑。现代控制理论如鲁棒控制、自适应控制、智能控制等在电网运行控制中得到应用,可有效处理负荷波动、电源间歇性等不确定因素的影响。基于智能算法的自愈控制技术,能够实现电网故障的快速诊断、隔离与恢复,大幅提升供电可靠性^[2]。此外,新型的电力电子设备如柔性交流输电装置、统一潮流控制器等,采用了先进的拓扑结构与控制策略,对提高电能质量、增强电网灵活性具有重要作用。

1.4 储能与新材料技术

规模化储能装置如抽水蓄能、压缩空气储能、电池储能等,可实现电网多时间尺度的能量调节,平滑新能源发电的波动性,提高电网对可再生能源的消纳能力。特高压输电技术采用新型复合绝缘子、高导电率导线等关键材料,突破了远距离、大容量输电的技术瓶颈。超导材料用于输电线路、变压器、限流器等设备,可显著提升输电效率,降低电能损耗。新型绝缘介质材料如纳米改性绝缘纸、电子气体等,具有优异的绝缘性能与散热性能,提高了电力设备的安全性及紧凑性。

2 智能电网技术对水利电力能源规划的影响分析

2.1 优化电力系统运行,提高能源利用效率

智能电网技术的应用能够全面优化电力系统运行,显著提升能源利用效率。通过先进的传感测量、通信、控制技术,智能电网可实时获取电网运行各环节的状态信息,并基于大数据分析、人工智能等手段实现电网的优化调度。例如,通过对电源出力、负荷需求、网损等数据的实时分析,制定最经济的机组出力方案,最大限度地降低发电成本。针对电力负荷的波动性,采用需求侧管理措施引导用户错峰用电,削减峰荷,提高电网运行效率。

2.2 促进水电与其他能源的协调互补

智能电网技术有助于发挥水电的调节优势,促进水电与其他能源的协调互补。水电具有启停速度快、调节性能好等特点,是电网中理想的调峰电源。智能电网通过优化水电调度,合理安排水库蓄水和发电,可在最大程度上利用水能资源的同时,提高电网对风电、光伏等新能源的消纳能力。当新能源发电出力不足时,水电可快速启动补充电量缺口;当新能源发电出力充足时,则可利用富余电量抽水蓄能,削减弃风弃光电量。

2.3 提升电力需求响应能力,平滑负荷曲线

通过智能电表、用电信息采集系统等设施,智能电网可精准掌握不同类型用户的用电数据,并据此制定科学的电价政策和

激励措施,引导用户主动参与电力需求响应。例如,在用电高峰时段上浮电价,激励用户减少用电量或将用电负荷转移至低谷时段;在新能源电力充沛时,适当下调电价刺激用电需求,从两端入手平滑负荷曲线。电动汽车、储能设备等可控负荷也可纳入需求响应体系,通过精准控制其充放电行为,在用户获得经济收益的同时,提供电网所需的调峰、填谷服务。

2.4 支撑分布式电源和微电网发展

分布式电源如分布式光伏、风电,就近接入配电网,有利于提高能源利用效率,满足局部用电需求。但分布式电源呈现间歇性、波动性特点,给配电网安全稳定运行带来挑战。智能电网通过精准负荷预测、实时潮流计算等技术,可准确评估配电网对分布式电源的承载能力,优化分布式电源接入方案^[3]。在微电网方面,智能电网技术支撑微电网的可靠运行和智慧管理。微电网内部通过智能控制技术,协调优化各类型分布式电源、储能装置和负荷,实现能量的自给自足和经济运行。在并网运行时,微电网作为一个可控单元参与调峰调频,为主电网提供辅助服务。

2.5 推动电动汽车和储能技术发展,提供电网灵活性

电动汽车可视为移动式储能单元,其蓄电池具备双向充放电能力。在智能电网环境下,大规模电动汽车可通过智能充电桩与电网实现能量和信息的双向交互。当电网负荷低谷时,电动汽车充电吸纳富余电量;高峰时,电动汽车向电网放电,提供调峰服务。电网以优惠电价激励电动汽车参与调峰,车主则可获得经济收益,实现多方共赢。类似地,固定式储能设施的灵活调节也得到充分发挥。在智能电网中,多元化储能资源与先进的能量管理系统深度融合,形成灵活可调的能量缓冲区,从而有效应对电网负荷和电源出力的波动,保证电网稳定运行。

3 基于智能电网的水利电力能源优化调度策略

3.1 多能互补下的水电优化调度模型

多能互补下的水电优化调度模型需要综合考虑各类能源的出力特性、系统负荷需求、电网约束等因素,在满足电力电量平衡、机组出力限制、水库调度规则等约束条件下,以总发电成本最小或社会效益最大为目标,构建大系统优化调度模型^[4]。该模型可采用非线性规划、动态规划、进化算法等方法求解,获得水电与其他能源协调运行下的最优出力曲线。优化结果不仅指导水电站科学调度水量,最大限度利用水资源,也有助于提高风电、光伏等新能源的消纳水平,减少弃水弃风弃光现象,实现多能互补的系统整体效益最优。

3.2 需求响应下的水电优化调度策略

传统调度模式下,水电站被动适应负荷变化安排发电出力,缺乏主动调控负荷的手段。引入需求响应后,水电调度可通过动态电价、激励措施等方式引导用户电力消费行为,在一定程度上主动塑造符合水电运行特点的理想负荷曲线,从而在更大范围内优化电站调度。针对不同类型水电站,可制定差异化的需求响应策略。例如,对于调节性能好的常规水电,可采取峰谷分时电价,诱导用户错峰用电,削减负荷峰谷差,减轻水电调峰压力;对于季节性调节作用突出的大型水库,可根据来水丰枯周期实施

阶梯式电价,引导需求与资源禀赋相匹配;在新能源高渗透率地区,可采用新能源优先上网的低价政策,刺激用户增加电力消费,缓解弃水限电问题。需求响应下的水电优化调度需建立综合用户类型、负荷特性、电价弹性等在内的用户响应模型,结合水电站自身调节能力,统筹制定调度策略,寻求水电运行效益与需求侧管理效果的平衡。

3.3 考虑不确定性的水电优化调度方法

水电系统面临来水量、负荷需求、电价等多重不确定性因素的影响,传统的确定性优化调度模型难以适应智能电网环境下的复杂性和波动性。为此,需要发展考虑不确定性的水电优化调度方法。其一是采用随机优化、鲁棒优化等数学方法直接建模刻画不确定因素,在优化目标中同时兼顾收益期望和风险约束,寻求最优调度策略。其二是运用实时滚动优化与反馈校正相结合的思路,通过设置多个优化时段,在每个时段开始时结合当前实际情况开展调度优化,并根据优化时段末水电站的真实运行状态校正下一时段的优化边界,如此滚动循环,可有效消解不确定性因素的累积偏差。其三是引入场景分析、概率预测等不确定性分析工具,通过对不确定性变量的概率分布进行刻画,并构建多场景、多树或离散概率的优化模型,从根本上提高优化求解对不确定性问题的适用性。

3.4 智能电网环境下水电参与电力市场的策略

智能电网技术的发展对电力体制改革提出了新的要求,市场化交易已成为常态。水电凭借调节性能好、投资及运行成本低的优势,在参与电力市场竞争中占据有利地位。但在电力现货市场、辅助服务市场等多元化交易机制下,水电如何根据自身特

点合理制定竞价策略,以最大化市场效益,尚需深入研究。可通过构建博弈论模型,分析水电与其他市场主体的竞争行为,寻求均衡状态下的最优竞价策略;也可采用强化学习、多智能体等人工智能方法,让水电通过不断探索形成最佳应对策略。

4 结束语

通过对智能电网关键技术的分析及其对水利电力能源规划影响的研究,提出了相应的优化调度策略,为水利电力与智能电网的协同发展提供了理论依据和实践指导。未来需要进一步加强智能电网技术在水利电力领域的应用研究,深化多能互补机制,完善需求响应策略,提高不确定性应对能力,推动水电更好地参与电力市场。这对于构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系具有重要意义。

[参考文献]

- [1]潘锦豪,赵松鹏,韦仁能,等.面向数字孪生水利工程的电力监控数据传输通道解决方案[J].人民珠江,2024,45(S2):23-25.
- [2]张映,马佳.智能电网技术中配网线损精细化精确比对的应用探究[J].科技风险,2018,(01):191.
- [3]尹晓林.有效提高水利水电工程设计水平的途径探讨[J].中国高新技术企业,2015,(09):125-127.
- [4]周银贵,田谷.实施资源水利节约电力能源[J].治淮,2007,(05):41-42.

作者简介:

赵占国(1994--),男,汉族,湖北武汉人,本科,研究方向:电力规划,电力设计,安全咨询,经济咨询。