

智能电网背景下抽水蓄能控制策略的创新与应用

慕宏波

中国水利水电第十六工程局有限公司 福建 福州 350003

摘要：智能电网发展对抽水蓄能控制策略提出新要求，需快速响应负荷变化、实现供需动态平衡、提高灵活性与经济性。本文提出基于大数据与人工智能的优化调度、多电站协同优化控制及数据共享与实时通信等创新策略，并在某智能电网试点项目应用。结果表明，创新策略提升了电力供需平衡能力、可再生能源消纳率及经济性与灵活性，具有推广价值。

关键词：智能电网；抽水蓄能控制策略；创新与应用

1 智能电网与抽水蓄能技术概述

1.1 智能电网的概念

智能电网是现代电力系统发展的重要方向，它集成先进传感测量、通信、信息、计算机和控制技术，与物理电网高度融合。其目的是充分满足用户电力需求，优化资源配置，确保电力供应安全、可靠、经济，满足环保要求，保证电能质量，适应电力市场化发展，为用户提供可靠、经济、清洁、互动的电力供应与增值服务。智能电网特征显著，自愈能力强，能实时监测运行状态，自动检测并隔离故障，通过自我修复恢复供电，减少停电时间和范围^[1]。交互性好，支持用户与电网双向互动，用户依电价调整用电，电网按需求调整供电。兼容性强，可接纳太阳能等分布式能源，推动能源结构优化。高效节能，优化电力传输分配，降低损耗。且采用信息化技术，实时采集、传输、分析信息，为电网规划等提供依据，提升决策科学性。

1.2 抽水蓄能技术的基本原理

抽水蓄能技术是成熟的物理储能方式，核心是水的势能与电能相互转换。系统由上、下水库，输水系统，水轮发电机组等组成。用电低谷时，电网有多余电能，驱动电动发电机带动水泵，将下水库水抽至上水库，把电能转化为水的重力势能储存，如同给“电池”充电。用电高峰时，电网负荷大增，上水库水经输水系统释放，冲击水轮机带动发电机发电，将重力势能转回电能送入电网，如同“电池”放电。抽水蓄能电站优点多，储能容量依上、下水库库容和水位差灵活设计，能满足大规模储能需求。运行效率方面，虽有能量损耗，但综合储能规模和可靠性，整体效率较高。且能快速启停，短时间内响应电网负荷变化，实现调峰、填谷等多种功能，保障电网安全稳定运行。

2 智能电网对抽水蓄能控制策略的新要求

2.1 需要快速响应电网负荷变化

随着智能电网的发展，电网中的负荷结构日益复杂，波动性也显著增强。一方面，大量分布式能源的接入，如太阳能和风能，由于其发电出力受自然条件影响较大，具有间歇性和不确定性，导致电网的功率平衡难以实时维持。另一方面，用户侧的用电行为也更加多样化，电动汽车的快速普及、智能家电的广泛应用等，使得用电负荷在时间和空间上的分布更加不均衡，负荷峰谷差进一步拉大。在这种情况下，抽水蓄能电站作为智能电网中重要的储能调节手段，必须具备快速响应电网负荷变化的能力。当电网负荷突然增加时，抽水蓄能电站要能够迅速从抽水工况切换到发电工况，在短时间内提供大量的电力支持，以缓解电网的供电压力，防止电网频率下降和电压波动，确保电网的稳定运行。反之，当电网负荷降低，出现多余电能时，抽水蓄能电站要及时切换到抽水模式，将多余的电能储存起来，避免能源的浪费。这种快速响应能力要求抽水蓄能电站的控制策略具备高度的灵活性和实时性，能够根据电网的实时运行状态，精准、迅速地调整运行模式和出力大小。

2.2 实现电力供需的动态平衡

智能电网强调电力供需的实时动态平衡，以适应不断变化的电力市场和用户需求。传统的电力系统调度方式往往基于预测数据进行静态调度，难以应对实际运行中的各种不确定性因素。而智能电网通过先进的传感技术、通信技术和信息技术，能够实时获取电网的运行信息、用户的用电信息以及分布式能源的发电信息，为实现电力供需的动态平衡提供了数据支持。抽水蓄能电站作为智能电网中的关键调节环节，其控制策略需要与智能电网的动态调度需求相适应。通过实时监测电网的频率、电压、功率等参数，以及预测未来一段时间内的负

荷变化和可再生能源发电出力，抽水蓄能电站可以动态调整自身的运行计划，优化抽水和发电的时机和规模，确保在任意时刻电网的电力供应与需求达到平衡^[2]。

2.3 提高储能系统的灵活性与经济性

在智能电网环境下，储能系统的灵活性和经济性成为衡量其性能的重要指标。灵活性要求抽水蓄能电站能够根据电网的不同运行场景和需求，灵活调整运行模式和功能定位。除了传统的调峰、填谷功能外，还需要具备调频、调相、备用等多种功能，以满足智能电网对电能质量、供电可靠性和安全性的更高要求。经济性方面，抽水蓄能电站的建设和运行成本较高，如何在保证其功能发挥的前提下，降低建设和运营成本，提高经济效益，是智能电网对抽水蓄能控制策略提出的重要挑战。这需要优化抽水蓄能电站的运行调度策略，合理安排抽水和发电的时间，提高设备的利用率，降低能量损耗。通过参与电力市场交易，根据电价波动灵活调整运行策略，在电价低谷时抽水储能，在电价高峰时发电售电，获取最大的经济效益。

3 智能电网背景下抽水蓄能控制策略的创新

3.1 基于大数据与人工智能的优化调度策略

大数据和人工智能技术的飞速发展，为抽水蓄能电站的优化调度提供了新的手段和方法。通过在抽水蓄能电站及智能电网中部署大量的传感器，实时采集电网的运行数据、气象数据、设备状态数据等，并利用大数据技术对这些海量数据进行存储、管理和分析，挖掘数据背后的潜在规律和价值信息。基于大数据分析的结果，结合人工智能算法，如神经网络、遗传算法、粒子群优化算法等，可以建立抽水蓄能电站的优化调度模型。该模型能够综合考虑电网的负荷需求、可再生能源发电出力、电价波动、设备运行约束等多种因素，自动生成最优的抽水和发电调度计划。基于大数据与人工智能的优化调度策略还具有自适应学习能力，能够根据实际运行情况不断调整和优化模型参数，提高调度决策的准确性和适应性。通过与智能电网的实时交互，该策略可以根据电网的实时运行状态和需求变化，动态调整调度计划，确保抽水蓄能电站始终处于最优运行状态，为智能电网的安全稳定运行提供有力支持。

3.2 多抽水蓄能电站的协同优化控制策略

随着智能电网的发展，区域内往往存在多个抽水蓄能电站。为了充分发挥各抽水蓄能电站的优势，实现资源的优化配置和整体效益的最大化，需要研究多抽水蓄能电站的协同优化控制策略。多抽水蓄能电站协同优化控制需要考虑各电站之间的地理位置、水库特性、设备

容量、运行状态等因素，建立一个统一的协同优化控制模型。该模型以整个区域的电力供需平衡、电网安全稳定运行和经济效益最大化为目标，通过协调各抽水蓄能电站的抽水和发电计划，实现资源的共享和互补。为了实现多抽水蓄能电站的协同优化控制，还需要建立高效的通信网络和信息共享平台，确保各电站之间以及电站与调度中心之间的实时信息交互。通过实时共享电网运行数据、各电站的设备状态和运行计划等信息，调度中心可以及时掌握整个区域的电力供需情况和抽水蓄能电站的运行状况，做出科学合理的协同调度决策。

优化抽水蓄能电站调度

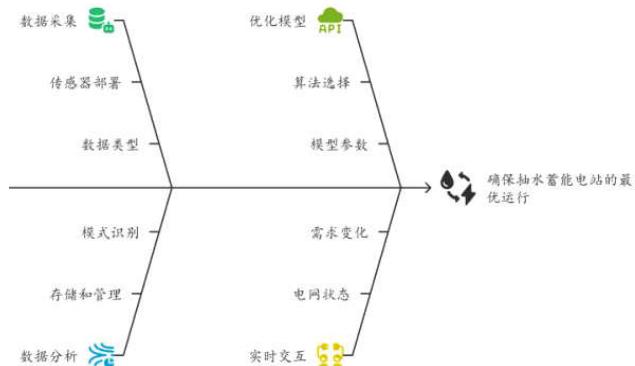


图1 优化调度策略

3.3 智能电网与抽水蓄能电站的数据共享与实时通信

智能电网与抽水蓄能电站之间的数据共享与实时通信是实现抽水蓄能控制策略创新的基础和关键。只有实现数据的实时、准确传输和共享，才能确保智能电网能够及时掌握抽水蓄能电站的运行状态，抽水蓄能电站也能根据电网的需求灵活调整运行策略^[3]。为了实现数据共享与实时通信，需要构建一个高速、可靠、安全的通信网络。该网络应具备大带宽、低延迟、高可靠性的特点，能够满足大量数据的实时传输需求。可以采用光纤通信、无线通信等多种通信技术相结合的方式，确保在不同环境和条件下通信的稳定性。同时，为了保障数据的安全性，需要采用加密技术对传输的数据进行加密处理，防止数据泄露和恶意攻击。在数据共享方面，需要建立统一的数据标准和接口规范，确保智能电网和抽水蓄能电站之间的数据能够无缝对接和共享。智能电网应向抽水蓄能电站实时传输电网的运行参数、负荷预测信息、电价信息等，以便抽水蓄能电站根据这些信息调整自身的运行策略。抽水蓄能电站则应向智能电网实时反馈电站的设备状态、水库水位、发电出力等信息，为智能电网的调度决策提供依据。通过数据共享与实时通信，实现智能电网与抽水蓄能电站的深度融合和协同运

行,提高整个电力系统的运行效率和可靠性。

4 创新控制策略的应用实践

4.1 某智能电网试点项目中的抽水蓄能控制策略应用

某地区为推进智能电网建设,开展了一个智能电网试点项目,其中抽水蓄能电站的控制策略创新是该项目的重要组成部分。该试点项目区域内有一座抽水蓄能电站,周边分布着大量的太阳能和风能发电站,电网负荷波动较大,对抽水蓄能电站的调节能力提出了较高要求。在项目中,采用了基于大数据与人工智能的优化调度策略。首先,在抽水蓄能电站和周边电网部署了大量的传感器,实时采集电网的频率、电压、功率、气象数据、设备状态等数据,并通过高速通信网络将数据传输至数据中心。利用大数据技术对采集到的海量数据进行存储和管理,运用数据分析算法挖掘数据中的潜在规律,如电网负荷的日变化规律、可再生能源发电出力与气象因素的关系等。基于数据分析结果,结合神经网络算法建立了电网负荷和可再生能源发电出力的预测模型,能够准确预测未来24小时内的电网负荷和太阳能、风能发电出力。利用遗传算法建立抽水蓄能电站的优化调度模型,以电网运行成本最低、可再生能源消纳率最高为目标,综合考虑电网负荷需求、可再生能源发电出力、电价波动、设备运行约束等因素,生成最优的抽水和发电调度计划。另外,该项目还实现了智能电网与抽水蓄能电站的数据共享与实时通信。通过建立统一的数据平台和通信接口,智能电网调度中心可以实时获取抽水蓄能电站的设备状态、水库水位、发电出力等信息,抽水蓄能电站也能及时接收调度中心下达的调度指令和电网运行参数。根据实时数据和调度指令,抽水蓄能电站自动调整运行模式和出力,实现了与智能电网的协同运行。

4.2 应用效果评估与分析

经过一段时间的运行,对该创新控制策略的应用效果进行了评估。从电力供需平衡方面来看,抽水蓄能电站通过采用优化调度策略,能够更加精准地根据电网负荷变化和可再生能源发电出力调整抽水和发电计划,有效缓解了电网的峰谷差,提高电网的供电可靠性。在可再生能源消纳方面,优化调度策略充分考虑太阳能和风能发电的不确定性,通过合理安排抽水蓄能电站的抽水和发电时机,显著提高可再生能源的消纳率,减少弃风、弃光现象的发生。在经济性方面,通过参与电力市场交易,根据电价波动灵活调整运行策略,抽水蓄能电

站获得了可观的经济效益。同时由于优化了设备运行计划,减少设备的频繁启停和过载运行,降低设备的损耗和维护成本,进一步提高电站的经济性。在运行灵活性方面,基于大数据与人工智能的优化调度策略使抽水蓄能电站能够快速响应电网的负荷变化和调度指令,具备多种运行功能,如调频、调相、备用等,满足智能电网对电能质量和供电可靠性的更高要求。

4.3 经验总结与推广价值

通过对该智能电网试点项目中抽水蓄能控制策略创新应用的分析,总结出以下经验:一是大数据和人工智能技术的应用为抽水蓄能电站的优化调度提供了强大的技术支持,能够提高调度决策的科学性和精准性;二是数据共享与实时通信是实现智能电网与抽水蓄能电站协同运行的关键,需要建立统一的数据标准和通信接口;三是创新控制策略的应用需要充分考虑实际电网的运行特点和需求,进行针对性的优化和调整。该创新控制策略具有广泛的推广价值,在其他地区的智能电网建设中,可以借鉴该项目的经验,结合当地实际情况,采用类似的基于大数据与人工智能的优化调度策略,实现抽水蓄能电站与智能电网的深度融合和协同运行。同时多抽水蓄能电站的协同优化控制策略和数据共享与实时通信技术也可以在更大范围内推广应用,提高整个电力系统的运行效率和可靠性,促进可再生能源的大规模消纳,推动智能电网的健康发展。

结束语

智能电网背景下,抽水蓄能控制策略的创新与应用是保障电网稳定运行、促进可再生能源消纳的关键。通过大数据、人工智能等技术实现优化调度,多电站协同控制及数据共享通信,提升了抽水蓄能电站的性能。试点项目的成功验证了创新策略的有效性,为其他地区智能电网建设提供了宝贵经验,将推动智能电网持续健康发展。

参考文献

- [1]李健,牟明,孙圣博,等.基于智能电网的抽水蓄能电站智能化分析[J].技术与市场,2022(001):029-030.
- [2]巩飞.面向智能电网的抽水蓄能电站的智能化研究[J].大电机技术,2022,(4):66-70.
- [3]毛鹏,江志红,夏遵全,卞晓卫,周以林,何平.长龙山抽水蓄能电站安全监测管理与施工创新[J].水电与新能源,2023,37(10):53-56.