

AI-Based Operational Strategies for Coordinated Dispatch of Electrolytic Water Hydrogen Production and Power Grids

Wanyi Liu Tao Tao Zhuqing Xiong

China Electric Construction Group Guizhou Engineering Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550003, China

Abstract

With the accelerated advancement of energy transition, electrolytic water hydrogen production, as a green hydrogen production method with developmental potential, has garnered increasing attention for its coordinated dispatch with power grids. This paper elaborates on the fundamental aspects of coordinated dispatch between electrolytic water hydrogen production and power grids. Leveraging artificial intelligence (AI) technology, the study investigates key influencing factors of coordinated dispatch and conducts a comprehensive analysis of optimization strategies, including electricity price-based dispatch, renewable energy output tracking, participation in grid auxiliary services, and AI-based collaborative optimization. The findings aim to provide theoretical and practical guidance for achieving efficient coordinated dispatch and promoting sustainable development in energy systems.

Keywords

electrolytic water hydrogen production; power grid; AI-based coordinated scheduling; operational strategies

基于人工智能的电解水制氢与电网协同调度的运行策略

刘婉怡 陶涛 熊竹青

中国电建集团贵州工程有限公司, 中国·贵州 贵阳 550003

摘要

随着能源转型的加速推进, 电解水制氢作为一种具备发展潜力的绿色制氢方式, 与电网之间的协同调度愈发受到关注。本文详细剖析了电解水制氢与电网协同调度的基础内容, 并借助人工智能技术深入探究了协同调度的影响因素, 并对基于电价、跟踪新能源出力、参与电网辅助服务以及基于人工智能的协同优化策略展开了全面分析, 希望为实现二者高效协同调度、推动能源系统可持续发展提供理论支撑与实践指导。

关键词

电解水制氢; 电网; 人工智能协同调度; 运行策略

1 引言

在全球积极应对气候变化、大力推动能源转型的大背景下, 清洁能源的开发与利用成为关键, 氢能, 以其清洁、高效、能量密度高等诸多优势, 在未来能源体系中占据重要地位。电解水制氢技术, 能够将电能转化为化学能储存于氢气之中, 有效消纳过剩电能, 在提升能源利用效率、促进电网稳定运行等方面展现出巨大潜力, 实现电解水制氢与电网的协同调度, 能优化资源配置, 助力构建安全、高效、清洁的能源系统, 因此, 对其运行策略展开深入研究意义重大。

2 电解水制氢与电网协同调度基础

2.1 电解水制氢技术原理与现状

电解水制氢技术基于电化学反应原理, 在电解槽中, 水在

直流电的作用下发生分解反应。水分子 (H_2O) 在阳极失去电子, 生成氧气 (O_2) 和氢离子 (H^+), 氢离子通过电解质迁移至阴极, 在阴极得到电子生成氢气 (H_2), 目前, 常见的电解水技术主要包括碱性电解水 (AWE)、质子交换膜电解水 (PEMWE) 以及固体氧化物电解水 (SOEC)。碱性电解水技术相对成熟, 成本较低, 但其电流密度有限, 且对水质要求较高, 质子交换膜电解水技术具备响应速度快、电流密度大、产氢纯度高等优点, 不过目前其成本相对较高, 主要应用于对氢气品质要求高、功率较小的场景, 固体氧化物电解水技术在高温环境下运行, 具有较高的转化效率, 但其技术难度大, 尚处于研发和示范阶段。

2.2 电网运行特性与需求

现代电网具有复杂性、动态性和强耦合性等特性, 其负荷需求时刻处于变化之中, 受到用户用电行为、气候条件、经济活动等多种因素影响, 比如在夏季高温时段, 空调负荷大幅增加, 导致电网用电需求急剧上升; 而在深夜, 工业生产活动减少, 负荷需求显著降低。同时, 随着大量分布式电

【作者简介】刘婉怡 (2000-), 女, 中国贵州瓮安人, 本科, 从事新能源等研究。

源（如太阳能光伏、风力发电等）接入电网，电网的潮流分布变得更加复杂，稳定性面临新的挑战。电网的运行需求主要体现在安全、可靠、经济三个方面，安全方面，要确保电网在各种运行工况下不发生故障，维持电压、频率在正常范围内，可靠则要求电网能够持续为用户供应电能，减少停电时间和次数。

2.3 协同调度的必要性与潜力

随着可再生能源发电装机容量的快速增长，弃风、弃光现象时有发生，以部分风电资源丰富地区为例，在风力发电高峰期，由于电网消纳能力有限，大量风电无法上网，只能被迫弃风，电解水制氢可作为一种灵活的负荷，在电网电能过剩时，利用多余电能进行制氢，将电能转化为氢能储存起来，有效消纳过剩电能，缓解弃风、弃光问题。另一方面，氢气作为一种优质的储能载体，在电网负荷高峰时，可通过燃料电池等方式将储存的氢能再转化为电能，反哺电网，增强电网的供电能力。而且借助人工智能驱动的智能决策系统，可根据电价、能源供需、设备状态等实时信息，动态优化电力资源与氢气资源配置，强化学习算法能在复杂多变的电网环境中不断学习最优调度策略，使电解水制氢系统既能高效消纳过剩电能，又能在电网负荷高峰时，通过燃料电池将氢能灵活转化为电能，精准反哺电网，显著提升电网运行的稳定性与可靠性。

3 协同调度影响因素剖析

3.1 制氢系统特性

不同类型的电解水制氢系统在运行特性上存在差异，碱性电解水制氢系统启动时间相对较长，一般在几分钟到几十分钟不等，这限制了其对电网快速功率变化的响应能力，而质子交换膜电解水制氢系统响应速度快，能在数秒内实现功率调节，但其运行成本较高，对系统整体经济性有一定影响。制氢系统的效率也是重要特性之一，电解水制氢过程中存在能量损耗，包括电解槽的欧姆损耗、极化损耗等。

3.2 电网运行条件

电网的结构对协同调度影响显著，在电网结构薄弱的地区，如一些偏远山区的配电网，线路传输容量有限，难以承受大规模电解水制氢设备接入后带来的功率冲击，电网的电压稳定性和频率稳定性至关重要。当大量电解水制氢设备接入电网时，若其运行状态发生突变，可能会引起电网电压波动和频率偏移，影响电网的安全稳定运行。另外，电网的负荷特性也不容忽视，不同类型的负荷对电能质量的要求不同，电解水制氢设备作为一种特殊的负荷，其启动、停止以及功率调节过程中产生的谐波等问题，可能会对其他对电能质量要求高的负荷产生干扰，在协同调度时需采取相应措施进行治理。

3.3 政策与市场环境

政策对电解水制氢与电网协同调度起到引导和规范作

用，政府出台的补贴政策，如对电解水制氢项目的电价补贴、投资补贴等，能有效降低制氢成本，提高项目的经济效益，从而促进电解水制氢产业的发展，推动其与电网的协同，而在市场环境方面，目前我国电力市场和氢能市场尚不完善，缺乏合理的价格形成机制和交易机制，就比如在电力市场中，电解水制氢用电价格如何确定，怎样参与电力市场交易等问题尚未明确；在氢能市场中，氢气的价格波动较大，缺乏统一的定价标准，这些都给协同调度带来一定困难，不过，随着市场的逐步完善，将为二者的协同调度创造更加有利的条件^[1]。

4 电解水制氢与电网协同调度的运行策略分析

4.1 基于电价的协同策略

为实现基于电价的高效协同，人工智能技术的深度融合可大幅提升策略的精准性与灵活性，在系统层面，构建基于人工智能的智能电价监测与制氢功率调控系统，该系统通过物联网传感器和高速通信网络实时采集电力市场电价数据，并运用机器学习算法对海量历史电价数据进行深度分析，构建电价预测模型，不仅能精准识别电价低谷与高峰时段，还能对未来电价趋势进行提前预判。当算法检测到电价进入低谷区间，系统会自动向电解水制氢设备发送指令，根据预先训练的优化模型，动态设定多个功率提升梯度，结合低谷电价的持续时长和深度，智能调整制氢功率，例如，利用强化学习算法，系统可在预测到长时间极低价电时段时，逐步将制氢功率提升至接近满负荷运行状态，实现资源的最优配置。从成本控制角度，借助人工智能建立复杂的电价与制氢成本关系模型，通过对长期数据的持续学习和优化，精准确定不同电价下制氢成本的平衡点，当电价高于平衡点时，系统除自动降低制氢功率外，还能基于自然语言处理技术分析周边能源资源情况，若现场具备生物质能等可利用资源，智能决策是否部分切换至低成本能源辅助制氢，利用深度学习算法优化制氢设备的运维计划，在电价高峰时段智能安排设备维护工作，减少因设备运行产生的高成本电费支出，确保设备在低价电时段稳定高效运行 [2]。

4.2 跟踪新能源出力策略

为有效跟踪新能源出力，一系列切实可行的策略措施亟待落实，在监测技术层面，运用高精度传感器搭建全方位的新能源发电监测网络，在风力发电场，于每台风机的关键部位安装风速、风向、功率传感器，实时捕捉风机运行数据，在光伏电站，在光伏板组中部署光照强度、温度及输出功率传感器，实现对光伏系统运行状态的精确感知。通过高速通信网络，将这些实时数据快速传输至中央监控系统。对于制氢系统的控制部分，开发先进的自适应控制算法，该算法能够依据实时监测到的新能源发电功率波动，动态调整制氢设备的运行参数，当检测到风电功率快速上升时，算法迅速提升电解水制氢槽的电流密度，同步优化电解液流量与温度

控制,以提升制氢功率,实现对风电的高效消纳,在光伏功率因云层遮挡出现波动时,控制算法能及时调整制氢系统的负荷,确保系统稳定运行。预测技术的应用也至关重要,引入机器学习和深度学习模型,对历史气象数据、新能源发电数据进行深度挖掘与分析,利用这些模型预测未来数小时内的光照强度、风速风向变化,进而提前预估新能源发电功率,根据预测结果,提前调整制氢系统的运行状态^[3]。此外,构建新能源-制氢联合优化调度平台,该平台整合新能源发电数据、制氢系统运行数据以及电网负荷数据,通过优化算法,实现新能源发电、制氢系统与电网之间的协同调度,在保障电网安全稳定运行的前提下,最大限度地将不稳定的新能源电能转化为稳定的氢能,提高能源利用效率,推动能源体系向清洁、高效方向发展。

4.3 参与电网辅助服务策略

为充分发挥电解水制氢系统在电网辅助服务中的作用,一系列具体策略措施需稳步推进。在调峰服务方面,建立制氢系统与电网调度中心的实时通信链路,电网调度中心根据负荷预测及实时负荷情况,向制氢系统发送调峰指令,制氢系统配备快速响应的功率调节装置,当接收到高峰时段降功率指令时,通过精准控制电解槽的输入电压和电流,在短时间内降低制氢功率。可设置多级功率调节档位,根据电网负荷紧张程度灵活调整。在负荷低谷时段,调度中心下达增功率指令,制氢系统迅速提升功率,消纳过剩电能,优化制氢系统的启动和停止流程,减少设备频繁启停对寿命的影响,确保高效参与调峰^[4]。在调频服务中,制氢系统需安装高精度的频率监测装置,实时获取电网频率信号,开发与频率紧密关联的功率调节算法,当检测到电网频率下降时,算法自动增加制氢系统的功率需求,快速消耗电能,这可通过提升电解槽运行的电流强度实现,促使更多水电解产生氢气,吸收多余电能以提升电网频率。反之,当电网频率上升,算法迅速降低制氢系统功率,甚至可通过能量回收装置将部分电能反馈回电网,维持频率稳定,并且,定期对频率监测和调节装置进行校准和维护,保障调频响应的准确性和及时性。

4.4 基于人工智能的协同优化策略

将人工智能深度融入电解水制氢与电网协同调度,可实现更高效、智能的运行,利用强化学习算法,构建制氢-电网协同调度智能体,以电价、新能源出力、电网负荷等多

维数据为输入,通过不断与环境交互试错,学习最优调度策略,比如在电价波动、新能源发电不稳定等复杂场景下,智能体能够快速决策制氢设备的功率调节、储能系统充放电时机,以及参与电网辅助服务的具体方案,实现经济效益与电网稳定性的平衡^[5]。结合深度学习技术,搭建预测-决策一体化模型,一方面,对历史气象、电力交易、设备运行等海量数据进行分析,准确预测未来电价走势、新能源发电量及电网负荷变化;另一方面,基于预测结果,运用智能算法优化制氢系统运行参数,提前规划设备维护计划,动态调整制氢-储能-电网协同策略。此外,通过自然语言处理技术,实现与电网调度中心、能源交易平台的智能交互,自动解读调度指令与市场信息,快速生成响应方案,提升协同调度的自动化与智能化水平,为电解水制氢与电网协同发展注入新动能。

5 结语

电解水制氢与电网的协同调度是推动能源转型、实现可持续发展的重要举措,通过深入了解二者协同调度的基础,剖析影响因素,并实施基于电价、跟踪新能源出力、参与电网辅助服务以及基于储能协同等运行策略,能够有效提升能源利用效率,促进电网安全稳定运行,推动氢能产业与电力产业的协同发展。然而,目前在技术、政策、市场等方面仍存在诸多挑战,需要进一步加强技术研发、完善政策体系、健全市场机制,以实现电解水制氢与电网更加高效、深度的协同调度,为构建清洁低碳、安全高效的能源体系奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 曾冠维,刘承锡,廖敏芳,等. 基于电解水制氢系统快速频率响应的电网频率稳定控制[J]. 太阳能学报, 2024, 45 (10): 1-10.
- [2] 付雪涛,张理,朱晨,等. 光伏电解水制氢储氢技术标准体系框架研究[J]. 信息技术与标准化, 2024, (10): 19-24.
- [3] 潘广劲,白云鹏,宋蕙慧,等. 基于光伏直流微电网的混合电解制氢协调控制研究[J]. 当代化工研究, 2024, (14): 173-175.
- [4] 邹龙. 光伏电解水制氢储能系统建模与仿真研究[D]. 大连海事大学, 2024.
- [5] 孔寒冰. 弱电网下电解水制氢系统阻抗建模及稳定性分析[D]. 燕山大学, 2024.