碳捕集与可再生能源结合的系统优化研究

叶博洋

华电(浙江)新能源有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

摘要: 碳捕集技术作为碳减排的关键手段, 通过捕获工业生产过程中排放的二氧化碳, 并将其储存或利用, 从而减少温室气体排放。将碳捕集与可再生能源相结合, 为应对气候变化和实现能源转型提供了新的路径。这种结合方式不仅可以降低碳捕集的能耗和成本, 还能提高可再生能源的稳定性和可靠性, 促进能源系统的可持续发展。本研究旨在深入剖析碳捕集与可再生能源结合系统的运行特性, 通过多维度的优化策略, 提升系统的整体性能, 实现能源利用的高效化与低碳化, 为应对全球气候变化和能源转型提供理论支持与技术方案。

关键词: 碳捕集; 可再生能源; 系统优化

Research on System Optimization of the Combination of Carbon Capture and Renewable Energy

Boyang Ye

Huadian (Zhejiang) New Energy Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: As a key means of carbon emission reduction, carbon capture technology reduces greenhouse gas emissions by capturing carbon dioxide emitted during industrial production processes and storing or utilizing it. Combining carbon capture with renewable energy provides a new path for addressing climate change and achieving energy transformation. This combination can not only reduce the energy consumption and cost of carbon capture, but also improve the stability and reliability of renewable energy, and promote the sustainable development of the energy system. This study aims to deeply analyze the operation characteristics of the system that combines carbon capture and renewable energy. Through multi-dimensional optimization strategies, it aims to enhance the overall performance of the system, achieve efficient and low-carbon energy utilization, and provide theoretical support and technical solutions for addressing global climate change and energy transformation.

Keywords: carbon capture; renewable energy; system optimization

0 前言

在全球工业化进程持续推进的当下, 人类对能源的需求呈现出爆发式增长, 而传统化石能源的大量使用, 正以惊人的速度改变着地球的气候系统。国际能源署(IEA)数据显示, 自工业革命以来, 全球二氧化碳排放量急剧攀升, 2023 年全球碳排放总量高达 363 亿吨, 创历史新高。这一数据的背后, 是地球气候系统的深刻变化, 全球平均气温持续上升, 冰川加速融化, 海平面不断攀升, 极端气候事件如暴雨、干旱、飓风等愈发频繁且强度增大。

全球气候危机的警钟已然长鸣, 严重威胁着人类的生存与发展。IPCC 第六次评估报告明确指出, 若全球气温较工业化前水平升高超过 1.5°C, 将引发一系列不可逆转的气候灾难, 如大量物种灭绝、粮食减产、沿海城市被淹等。而北极海冰面积正以每十年 13.1% 的速度减少, 这不仅改变了极地生态系统, 还影响了全球的洋流和气候模式; 格陵兰岛冰盖融化速度加快, 2023 年单日融冰量最高达 60 亿吨, 成为海平面上升的重要推手。

碳捕集与可再生能源结合系统的优化研究, 对于推动能源转型和实现可持续发展具有重要的现实意义。通过深入

研究两者的协同机制和优化策略, 可以提高系统的性能和效率, 降低成本, 为大规模应用提供技术支持。优化碳捕集与可再生能源结合系统的运行调度策略, 根据可再生能源的发电预测和碳捕集的需求, 合理安排能源的生产和分配, 实现系统的最优运行, 这对于解决全球气候危机和能源问题具有重要的理论和实践价值, 是实现可持续发展的必然选择。

1 碳捕集技术综述

碳捕集技术是应对气候变化的关键手段, 旨在捕获工业排放的二氧化碳。常见类型有燃烧前捕集、燃烧后捕集和氧燃烧捕集。

燃烧前捕集用于煤的气化, 先将煤转化为合成气, 再经水煤气变换反应后捕集二氧化碳。优点是捕集系统小、能耗低, 缺点是投资成本高、可靠性待提高。燃烧后捕集是目前应用最广的方法, 用胺类溶液吸收二氧化碳, 能在现有工业设施改造, 灵活性高。但因烟气中二氧化碳浓度低、含大量其他气体, 捕集效率受限, 还存在能耗大、吸收剂损耗、设备腐蚀等问题^[1]。

氧燃烧捕集通过提高氧气浓度、降低氮气含量, 使燃

烧产生的烟气中二氧化碳浓度高,便于捕集。不过制氧技术投资和能耗高,阻碍了大规模应用。燃烧后捕集技术最成熟,已在多行业应用,但成本高、能耗大限制推广。燃烧前捕集和氧燃烧捕集技术有优势,但在可靠性、成本控制方面需完善,目前处于示范和研究阶段。碳捕集技术朝着降低成本、提高效率、减少能耗发展,研发新型材料和技术,如固态吸附剂、膜分离技术、电化学捕集技术等是热点,多技术融合也是趋势。

2 可再生能源发展态势

在全球能源转型浪潮下,可再生能源因清洁、可持续成为焦点,其发展对碳减排和能源结构优化意义重大。太阳能发展迅猛,2023 年全球装机 1350GW,中国装机 450GW,占全球 33%。这得益于技术进步和成本下降,如钙钛矿电池实验室转换效率超 25%,十年间光伏发电成本下降超 80%。但它存在间歇性、不稳定性,储能技术成本高、发展滞后等问题。风能在全球广泛开发利用,2023 年全球装机 1000GW,中国装机 350GW,占比 35%。技术不断升级,中国 16 兆瓦海上风电机组成功并网。不过,风能发电也有间歇性、不稳定性,并网消纳困难等问题。水能技术成熟、应用广泛,2023 年全球水电装机 1200GW,中国装机 400GW,占比 33%,年发电量 1.3 万亿千瓦时。中国水电开发技术领先,三峡水电站规模巨大。但水电开发带来环境生态问题,开发潜力减小。生物质能资源丰富、分布广、环境友好,2023 年全球装机 150GW,中国装机 30GW,占比 20%。主要发电技术有直接燃烧、气化、混合燃烧等。但它面临原料供应不稳定、成本高、效率低等问题。国际可再生能源署预测 2030 年全球可再生能源发电装机达 6000GW,占比超 45%。中国规划 2030 年可再生能源发电装机超 3000GW,占比超 50%,在能源结构中占主导地位^[2]。

3 碳捕集与可再生能源结合系统的技术优化路径

3.1 多能互补协同运行模式的深化探索

多能互补协同运行模式的深化探索,不同能源具有互补特性,太阳能白天光照充足时发电量大,夜间停止发电;风能受风速和风向影响大,具有间歇性,但在夜间或阴天可能发电良好;水能发电相对稳定,受季节和水位变化影响。基于此,建立能源协调控制中心,实时监测各类能源发电情况、负荷需求及碳捕集设备运行状态。通过智能控制系统,根据能源实时供需动态调整各能源出力。用电高峰,太阳能和风能发电不足时,优先启动水电站增加发电出力,同时调整碳捕集设备运行参数,降低能耗保障电力供应;用电低谷,将多余电力用于驱动碳捕集设备提高效率或储存起来。此外,引入储能系统平衡能源供需波动。锂电池储能响应速度快、能量密度高,可短时间调节能源供需平衡;抽水蓄能储能容量大、寿命长,可长时间存储和调节能源。太阳能和

风能发电过剩时,将多余电能存储到储能系统;能源供应不足时,释放电能保障稳定供应^[3]。

3.2 储能技术的多元融合与创新应用

储能技术在碳捕集与可再生能源结合系统中至关重要,是平衡能源供需、提高系统稳定性的核心要素。随着可再生能源占比提升,其间歇性和不稳定性问题凸显,储能技术成为解决难题的关键。储能技术能有效应对可再生能源的间歇性和不稳定性。以太阳能为例,发电依赖光照强度和时长,夜晚和阴天发电量大幅下降甚至停止;风能发电受风速和风向影响,功率波动大。储能系统可在可再生能源发电过剩时储存电能,发电不足或能源需求高峰时释放电能,实现能源平稳供应,保障系统稳定运行。例如,某太阳能发电项目配置锂电池储能系统,白天太阳能发电充足时将多余电能储存在锂电池,夜间或阴天太阳能发电不足时,锂电池释放电能满足周边地区电力需求,提高了电力供应的稳定性和可靠性。碳捕集设备运行需要稳定能源供应,储能系统可为其提供备用电源,确保可再生能源发电不稳定或电网故障时,碳捕集设备能正常运行,提高碳捕集效率,减少二氧化碳排放。抽水蓄能作为成熟的大规模储能技术,在该系统中有广泛应用。抽水蓄能电站利用电力负荷低谷时的电能抽水至上水库,在电力负荷高峰期放水至下水库发电,实现电能储存和调节^[4]。

3.3 智能控制与优化调度算法的协同进化

智能控制系统在碳捕集与可再生能源结合系统中扮演核心角色,通过实时监测系统运行状态,实现对能源生产、传输、分配和使用的精确调控,保障系统高效、稳定运行。在某大型工业园区的能源系统中,智能控制系统实时采集太阳能光伏发电板的光照强度、温度,风力发电机的风速、风向,以及碳捕集设备的运行参数等数据。利用这些实时数据,智能控制系统能准确判断能源生产和需求情况,及时调整各设备运行状态,确保能源供需平衡。当检测到太阳能光伏发电量超过当前负荷需求时,智能控制系统会自动调整碳捕集设备的运行功率,使其消耗多余电能,提高碳捕集效率;当风力发电不足且负荷需求较高时,智能控制系统会启动储能系统,释放储存的电能,满足负荷需求,保障系统稳定运行。

优化调度算法是提高系统运行效率和降低成本的关键手段。通过建立数学模型,综合考虑能源供需、设备性能、成本效益等多方面因素,为系统提供最优运行策略,实现能源合理分配和高效利用。在能源供需方面,算法根据实时能源生产和需求数据,预测未来一段时间内的能源供需变化,合理安排能源生产和分配。在设备性能方面,考虑太阳能光伏发电板的转换效率、风力发电机的发电效率、碳捕集设备的捕集效率等因素,充分发挥各设备性能优势。在成本效益方面,综合考虑能源采购成本、设备运行成本、维护成本等因素,降低系统运行成本。此外,智能控制系统将实时监测数据传输给优化调度算法,算法根据数据进行分析 and 计算,

生成最优调度策略,并将指令反馈给智能控制系统,由智能控制系统执行相应操作。在某能源系统中,智能控制系统与优化调度算法通过实时通信和数据交互,实现对能源生产和分配的精准控制。当系统检测到风力发电突然增加时,智能控制系统迅速将信息传递给优化调度算法,算法根据当前能源需求和储能系统状态,调整能源分配策略,将多余风力发电用于驱动碳捕集设备,或者储存到储能系统,实现能源高效利用和系统稳定运行。

3.4 系统集成与综合效益评估

系统集成是将碳捕集技术与多种可再生能源及储能系统、智能控制系统等进行有机整合,形成一个高效、稳定的能源系统整体。在某实际项目中,从能源生产端到消费端,全面规划和设计各组成部分的连接与协同。例如,在能源生产侧,将太阳能、风能、水能发电设施进行合理布局和协调运行,确保不同能源在不同时段都能充分发挥作用。在能源传输和分配环节,构建统一的能源网络,实现能源的高效输送和精准分配。同时,将储能系统与能源生产和消费环节紧密结合,使其能够及时响应能源供需变化,保障能源的稳定供应^[5]。

综合效益评估对于衡量碳捕集与可再生能源结合系统的可行性和价值至关重要。一方面,从经济效益角度分析,计算系统的建设成本、运行成本以及能源产出带来的收益。例如,通过详细核算设备采购、安装调试、日常运维等费用,以及可再生能源发电的售电收入、碳捕集后碳交易的收益等,评估系统的经济可行性。在某项目中,通过优化系统配置和运行策略,在一定时期内实现了成本的有效控制和收益的显著提升,投资回报率达到了预期目标。另一方面,从环境效益评估,重点关注系统对二氧化碳减排的贡献。通过准确测量和统计碳捕集量以及可再生能源替代传统能源所减少的碳排放,量化系统的环境效益。如某项目实施后,二氧化碳排放量大幅减少,对当地的空气质量和生态环境改善起到了积极作用。此外,社会效益也不容忽视,包括能源供应的稳定性提升对当地经济发展和居民生活的保障作用,以及该技术的推广应用对就业和产业带动作用等。通过全

面、科学的综合效益评估,可以为碳捕集与可再生能源结合系统的进一步优化和推广提供有利依据。

4 结语

在提高能源系统稳定性方面,有效缓解了可再生能源间歇性问题。通过将碳捕集技术与可再生能源发电系统协同运行,利用储能技术,实现了能源的灵活调配,增强了能源供应的稳定性。在降低碳排放方面,该结合系统能够有效减少二氧化碳排放,助力实现碳中和目标。在工业生产和能源领域,通过碳捕集技术捕获二氧化碳,同时利用可再生能源替代部分传统化石能源,大幅降低了碳排放。在促进能源转型方面,推动了从传统化石能源向清洁能源的转变,构建了可持续能源体系。通过大规模开发利用可再生能源,减少对化石能源的依赖,同时应用碳捕集技术,实现传统化石能源的清洁利用,带动了相关产业的发展,促进了技术创新和进步。总之,碳捕集与可再生能源结合的系统虽面临挑战,但前景广阔。只要持续推进技术创新、完善经济市场机制、强化政策与社会支持,就一定能够克服困难,在全球能源转型和实现碳中和目标的进程中发挥关键作用,为人类创造更加清洁、更可持续的未来能源环境。

参考文献:

- [1] 姜河,周航,赵琰,等.计及新能源消纳与碳捕集电厂的多能源系统优化调度研究[J].可再生能源,2024,42(11):1536-1545.
- [2] 舒征宇,贾可凡,李黄强,等.计及碳捕集的含新能源电网低碳调度策略[J].电力工程技术,2024,43(3):78-87+139.
- [3] 杨佳澄.含碳捕集的能源电力系统互补运行优化及效率评价研究[D].北京:华北电力大学(北京),2023.
- [4] 童星.基于IGDT的含碳捕集新能源并网协同优化调度策略[D].湘潭:湘潭大学,2023.
- [5] 王浩翔.考虑碳捕集的互联电力系统多源协调低碳优化调度[D].北京:华北电力大学(北京),2023.

作者简介:叶博洋(1993-),男,中国浙江嘉兴人,硕士,从事生态环境保护研究。