

# 低碳环保理念下电力技术创新与应用

王学成

国核电力规划设计研究院有限公司 北京 100086

**摘要:** 本文围绕低碳环保理念,探讨了电力技术在能源结构优化、电网系统升级、终端用能电气化等方面的变革方向,分析了清洁发电、储能、碳捕集与利用等关键技术体系的创新路径,并阐述了多能互补系统构建、数字技术赋能机制及用户侧参与模式创新等系统集成与协同创新策略,为电力行业低碳转型提供参考。

**关键词:** 低碳环保; 电力技术; 能源结构; 电网升级; 储能技术

引言: 在应对气候变化、推动可持续发展的背景下,低碳环保理念已成为全球共识。电力行业作为能源消耗与碳排放的重要领域,其技术创新与应用对于实现低碳转型至关重要。本文从技术变革方向、关键技术体系创新路径及系统集成与协同创新三个维度,探讨低碳环保理念下电力技术的发展路径。

## 1 低碳环保驱动的电力技术变革方向

### 1.1 能源结构优化技术

在低碳环保理念的驱动下,电力行业正加速向清洁能源主导的能源结构转型。可再生能源发电技术持续突破,海上风电领域,大型化、智能化、深远海化的风机设备不断涌现,通过更高效的叶片设计、智能运维系统及漂浮式基础技术,实现了在复杂海况下的稳定发电,大幅提升了海上风电的发电效率和经济性。光伏光热协同技术则通过将光伏发电与光热储能相结合,白天利用光伏板直接发电,收集多余热量用于储能,夜晚或阴天则释放储存的热能发电,实现了能源的高效利用与连续供应,有效解决了光伏发电的间歇性问题。核能作为低碳能源的重要组成部分,其安全利用技术创新同样引人注目。第四代核电技术以固有安全性、经济性和可持续性为核心目标,采用先进燃料循环、高温气冷堆等创新设计,大幅提高了核电站的安全性和运行效率。小型模块化反应堆以其建设周期短、选址灵活、安全性高等优势,成为未来核能发展的重要方向,能够满足偏远地区、工业园区等特定场景的能源需求,推动核能技术的广泛应用。氢能作为理想的清洁能源载体,其产业链关键技术的突破为能源转型提供了新的可能。制氢技术方面,电解水制氢与可再生能源的结合日益紧密,通过高效电解槽和智能控制系统,实现了绿氢的规模化生产。储运技术上,固态储氢、液态有机储氢等新型储氢方式的研究不断深入,提高了氢气的储存密度和运输安全性。应用端,氢燃料电池在交通、发电等领域的应用逐

步扩大,形成了从制氢、储运到应用的完整产业链,为能源结构的深度优化提供了有力支撑。

### 1.2 电网系统升级技术

智能电网架构的优化,是电力行业迈向高效、灵活与可靠未来的重要基石。通过构建多能互补调度体系,电网能够智能协调风能、太阳能、水能及传统火能等多种能源的协同运作。这种调度方式不仅打破了传统能源利用的界限,更通过精准预测与动态调整,显著提升了能源的综合利用效率,使得每一份能源都能在最佳时机、最优路径下被高效利用。源网荷储协同技术的引入,则进一步强化了电网的智能化水平<sup>[1]</sup>。该技术通过先进的智能调度系统,将发电、输电、配电、用电及储能各个环节紧密相连,形成了一个高度协同的能源生态系统。在这一系统中,能源的供需平衡得以精准实现,资源配置得到持续优化,电网的自我调节能力大幅提升,有效应对了能源供需波动带来的挑战。柔性直流输电技术,作为解决新能源消纳难题的创新方案,正引领着电网技术的革新潮流。该技术采用全控型电力电子器件,实现了直流输电系统的灵活控制与快速响应,为超远距离电力传输提供了可能。其卓越的调节能力有效缓解了新能源发电的波动性与间歇性问题,使得电网能够更加从容地接纳大规模清洁能源的接入,推动了能源结构的绿色转型。微电网自愈运行技术的发展,则为分布式能源的接入与高效利用开辟了新路径。微电网通过集成分布式电源、储能装置、负荷及控制系统,实现了局部能源的自给自足与优化管理。在电网遭遇故障或停电时,微电网能够迅速切换至孤岛运行模式,确保关键负荷的持续供电,为电力系统的韧性与可靠性提供了有力保障。

### 1.3 终端用能电气化技术

在工业领域,电能替代技术正推动传统高耗能行业的绿色转型。电炉炼钢技术通过采用高效电弧炉和智能

控制系统，实现了炼钢过程的清洁化和高效化，大幅降低了碳排放。电解铝行业则通过优化电解槽设计、提高电流效率等措施，推动了电解铝生产的绿色升级，减少了能源消耗和环境污染。交通领域的电动化技术正引领出行方式的深刻变革。快充技术的不断突破，缩短了电动汽车的充电时间，提高了使用便利性。车网互动V2G技术则通过电动汽车与电网的双向能量交换，实现了车辆储能资源的有效利用，为电网提供了灵活的调峰调频服务，促进了交通与能源的深度融合。建筑领域的综合能源系统则通过集成光伏发电、储能装置、智能控制系统等，实现了建筑能源的自给自足和高效管理。光储直柔建筑通过将光伏发电、储能、直流配电和柔性用电相结合，提高了建筑能源的利用效率和舒适度。智慧供热系统则通过智能调控和热能回收技术，实现了供热过程的节能减排和高效运行，为建筑领域的低碳发展提供了有力支持。

## 2 关键技术体系创新路径

### 2.1 清洁发电技术突破

在清洁发电领域，技术创新是推动能源结构转型的核心驱动力。高效光伏材料研发成为焦点，钙钛矿电池凭借其高光电转换效率、低成本制备工艺及可柔性化特性，展现出替代传统晶硅电池的潜力。其研发聚焦于稳定性提升与大面积制备技术突破，旨在实现工业化量产。叠层电池技术则通过多结结构吸收更宽光谱范围的太阳光，进一步提升光电转换效率，其创新方向包括优化界面层材料与能级匹配，降低能量损失。海上风电装备升级是清洁能源开发的重要方向。漂浮式风机技术突破传统固定式基础限制，通过浮体结构与系泊系统设计，实现深远海风能资源的高效开发。其关键在于浮体稳定性控制、系泊系统耐久性提升及安装运维技术优化。深远海运维技术则依托智能化监测与远程操控系统，结合无人船、无人机等装备，实现海上风电场的远程巡检与故障诊断，降低运维成本与风险。地热能开发技术中，增强型地热系统（EGS）成为研究热点<sup>[2]</sup>。该技术通过水力压裂等手段人工增强地热储层渗透性，提升地热流体循环效率。其创新路径包括优化压裂工艺、提高储层改造效果，以及研发高效换热材料与系统，实现地热能的大规模开发与高效利用。

### 2.2 储能技术革新方向

储能技术革新是应对可再生能源间歇性与波动性的重要路径。新型电池技术中，固态电池因高安全性、长循环寿命及高能量密度，成为下一代动力电池的有力竞争者。当前研发聚焦于固态电解质材料创新，以突破离

子传导率瓶颈，同时致力于提升界面稳定性，减少界面阻抗，并优化制造工艺，降低成本，推动固态电池商业化进程。钠离子电池凭借资源丰富、成本低廉的优势，在大规模储能领域展现出巨大潜力。技术突破方向包括正负极材料设计，以提升能量密度与循环稳定性；电解液配方优化，增强电池性能与安全性；以及电池管理系统开发，实现精准监控与智能管理。机械储能技术中，飞轮储能以其响应速度快、充放电次数多等优点受到关注。创新点在于飞轮材料轻量化设计，以降低能耗；磁悬浮轴承技术优化，减少摩擦损耗；以及能量转换效率提升，提高储能密度。压缩空气储能利用低谷电压压缩空气并储存，高峰时释放发电。技术革新方向涵盖储气室结构优化，提高储气效率；压缩与膨胀过程热力学效率提升，减少能量损失；以及系统集成控制策略改进，实现高效稳定运行。氢储能技术中，液态有机储氢与金属氢化物储氢技术备受瞩目。前者创新在于催化剂研发，提升反应速率；储氢介质稳定性提升，确保长期安全；以及储运过程安全性保障。后者则致力于新型储氢合金材料开发，优化吸放氢动力学性能；并设计高效储氢系统热管理，提升整体性能。

### 2.3 碳捕集与利用技术

碳捕集与利用技术是实现碳中和目标的重要手段。燃烧前捕集技术中，化学链燃烧通过固体氧化物作为氧载体实现燃料与空气的间接接触燃烧，避免氮气参与反应，从而简化二氧化碳分离过程。其创新点在于氧载体材料研发、反应器结构优化及系统能量集成。富氧燃烧则通过空气分离技术获取高浓度氧气与燃料混合燃烧，产生高浓度二氧化碳尾气，便于后续捕集。其技术突破包括空气分离效率提升、燃烧过程稳定性控制及捕集系统能耗降低。碳转化利用技术中，甲烷化技术将二氧化碳与氢气在催化剂作用下转化为甲烷，实现碳资源化利用。其创新方向在于催化剂活性与选择性提升、反应条件优化及过程强化技术。电化学还原技术则利用电能驱动二氧化碳还原反应生成燃料或化学品，其技术突破包括电极材料设计、电解液配方优化及反应器结构创新。碳封存技术中，咸水层封存与玄武岩矿化技术为二氧化碳长期安全封存提供解决方案。咸水层封存通过地质构造评估、封存容量计算及监测技术确保二氧化碳稳定封存于地下咸水层中<sup>[3]</sup>。玄武岩矿化技术则利用玄武岩与二氧化碳的化学反应生成稳定的碳酸盐矿物，实现二氧化碳的永久封存。其技术革新方向包括矿化反应动力学研究、封存场地选址优化及环境影响评估。

## 3 系统集成与协同创新

### 3.1 多能互补系统构建

在能源结构转型的浪潮中,多能互补系统的构建成为提升能源利用效率、保障能源安全的重要途径。风光储一体化基地建设,通过整合风力发电、光伏发电与储能系统,实现了清洁能源的高效开发与稳定供应。这种基地模式不仅克服了单一能源发电的间歇性问题,还通过储能系统的调节作用,平滑了电力输出曲线,提高了电网接纳清洁能源的能力。风光储一体化基地的建设还促进了区域能源结构的优化,推动了能源消费的绿色化进程。水风光储协同调度,则是利用水电站调节性能好、响应速度快的优势,与风光发电形成互补。在风光发电出力不足时,水电站迅速增加出力,保障电力供应;在风光发电出力过剩时,水电站则减少出力或蓄水储能,为后续高峰时段预留发电空间。这种协同调度机制,不仅提高了能源的综合利用效率,还增强了电力系统的灵活性和可靠性。生物质能耦合发电,作为多能互补系统中的新兴力量,通过将生物质能转化为电能,实现了废弃物的资源化利用。生物质能耦合发电技术不仅减少了化石能源的消耗,还降低了温室气体排放,对于推动循环经济发展、促进生态文明建设具有重要意义。未来,随着生物质能转化技术的不断进步和成本的持续降低,生物质能耦合发电将在多能互补系统中发挥更加重要的作用。

### 3.2 数字技术赋能机制

数字技术的飞速发展,为能源行业的转型升级提供了强大动力。人工智能在电力预测中的应用,通过机器学习算法对海量历史数据进行深度挖掘和分析,实现了对电力负荷、新能源发电出力等关键参数的精准预测。这种预测能力不仅提高了电力系统的调度水平,还降低了因预测偏差导致的能源浪费和系统风险。区块链在碳交易中的应用,则通过去中心化、不可篡改的特性,为碳交易市场提供了更加透明、公正的交易环境。区块链技术能够确保碳配额的准确分配和交易记录的真实可靠,有效防止了碳配额的重复使用和欺诈行为。区块链技术还促进了碳金融产品的创新和发展,为碳市场的繁荣注入了新的活力<sup>[4]</sup>。数字孪生在设备运维中的应用,则通过构建设备的虚拟模型,实现了对设备运行状态的实

时监测和故障预警。数字孪生技术能够模拟设备在不同工况下的运行状态,提前发现潜在故障点,并给出维修建议。这种运维模式不仅提高了设备的可靠性和使用寿命,还降低了运维成本和停机时间。

### 3.3 用户侧参与模式创新

用户侧参与模式的创新,是推动能源消费革命的关键环节。虚拟电厂运营机制,通过聚合分布式能源资源,形成了一个可调度、可控制的虚拟发电单元。虚拟电厂能够根据电网需求实时调整发电出力,参与电力市场交易,实现能源的优化配置和高效利用。需求响应市场建设,则通过价格信号引导用户调整用电行为,实现电力供需的动态平衡。需求响应市场不仅提高了电力系统的灵活性和可靠性,还为用户提供了参与电力市场交易、获取经济收益的机会。分布式能源交易平台,则为分布式能源资源的直接交易提供了便利条件。用户可以通过平台发布能源供求信息,与其他用户进行点对点交易,实现能源的自给自足和余电上网。这种交易模式不仅促进了分布式能源的发展和应用,还推动了能源消费的民主化和市场化进程。

### 结束语

低碳环保理念下,电力技术创新与应用在能源结构优化、电网系统升级、终端用能电气化等方面取得显著进展。关键技术体系创新路径不断拓展,系统集成与协同创新策略逐步完善。未来,需持续加强技术研发与应用推广,推动电力行业低碳转型,为实现全球碳中和目标贡献力量。

### 参考文献

- [1]周振宇,郭超.低碳环保理念下电力技术创新与应用[J].电力设备管理,2024(22):204-206.
- [2]杨颖.低碳经济下电力企业财务绩效评价体系构建研究[J].经营者,2021,35(11):123-124.
- [3]章祎炜,缪文清.绿色低碳背景下电力计量技术的创新研究[J].今日自动化,2024(11):94-96.
- [4]孙玉阳,汪海悦,吕向楠.双碳目标约束下电力行业低碳转型的制度门槛效应研究[J].工业技术经济,2024,43(8):110-117.