

# 能源动力产业的绿色低碳环保技术与应用分析

张建东

陕西 TCL 光伏工程有限公司, 陕西 西安 710000

**摘要:** 能源动力产业是国民经济的基础性支柱产业, 也是碳排放的主要来源。在“双碳”目标推动下, 能源动力产业正面临从高碳向低碳、粗放向高效、传统向智能转型的发展过程。本文将利用 2025—2026 年最新数据和示范案例, 从清洁化、规模化、智能化三个维度探究能源动力产业的绿色低碳环保技术及其应用体系。其中, 清洁化方面探讨煤电清洁燃烧与碳捕集利用与封存 (CCUS) 技术取得重大突破; 规模化方面探索氢能与新型储能产业快速崛起; 智能化方面探析数字孪生、智慧电厂与虚拟电厂技术等优化能源系统中的巨变作用。技术创新和产业应用相融合, 将改变能源动力产业现有的局面, 为全球推进绿色低碳提供可资借鉴的中国案例。

**关键词:** 能源动力产业; 绿色低碳技术; 碳捕集利用与封存; 新型储能; 智慧能源

DOI: 10.64649/yh.shfzykcx.issn3078-8994.202605005

## 0 引言

能源动力产业包括燃煤发电、燃气发电、核电、新能源发电以及储能等, 是将一次能源转化为电力、动力等的关键环节, 直接涉及国家能源安全和经济发展。长期以来, 我国能源动力产业以化石能源为主, 碳排放量大、对环境的影响大, 成为制约可持续发展的瓶颈。在中国, 根据《中华人民共和国 2025 年国民经济和社会发展统计公报》显示, 2025 年, 我国完成了 61.7 亿吨标准煤的生产, 清洁能源消费占能源消费总量比重上升至 30.4%, 较上年提高 1.8 个百分点, 万元国内生产总值二氧化碳排放较上年下降 5.0%。这说明能源动力产业绿色低碳转型已由倡导阶段走向实践深耕阶段。

## 1 存量优化与末端治理的双重突破

煤电是中国电力系统的基础性电源, 清洁化转型将成为实现碳中和目标的“关键一战”。2025 年, 尽管煤炭消费量占中国能源消费总量的 51.4%, 但比重却下降 1.8 个百分点, 由此意味着煤电从主力电源向基础保障、灵活调节电源的角色转变, 在这种清洁燃烧技术与碳捕集利用与封存 (CCUS) 技术之间形成了两大核心支撑。

### 1.1 超超临界发电技术持续迭代, 煤电能效水平大幅提升

超超临界发电技术是提高煤电效率、降低碳排放强度的重要手段, 蒸气压力增加至 29 兆帕以上、温度加热到 600°C 以上使得热量转化为电能的效率大幅提高。2025 年 11 月, 世界首台 660 兆瓦高效超超临界循环流化床发电项目安全运行一周年并通过权威鉴定评审, 各项性能指

标均达到或超过设计值, 填补了该领域的空白。将超超临界技术与循环流化床相结合, 每年可清洁转化煤泥、矸石等低热值煤、低品质燃料约 200 万吨, 年发电量 33 亿度, 具有深度调峰能力并在超低负荷工况下持续稳定运行, 平抑风电、光伏等新能源波动性, 提升电网对新能源的消纳能力, 既能实现效率的提升又能作用于系统整体<sup>[1]</sup>。二次再热方面, 安徽谢桥电厂 2×660 兆瓦超超临界燃煤机组项目同样取得了突破性进展。项目采用的超超临界二次再热技术, 其供电煤耗较常规超超临界一次再热机组减小 5—6 克/千瓦时, 处于行业领先地位; 而创新的全负荷脱硝技术则保证了机组低负荷工况仍能稳定脱硝, 兼顾环保和经济运行。同步建设烟气脱硫、脱硝装置, 使得大气污染物远低于国家标准。这些技术的应用表明, 煤电清洁化已由单一提升效率走向全流程多环节优化阶段。

### 1.2 CCUS 技术实现百万吨级工业化应用

如果说清洁燃烧技术解决的是“少排”的问题, CCUS 技术则解决的却是“已排”的问题, 是煤电大规模深度减排的关键手段。2025 年 9 月 25 日, 全球最大的煤电碳捕集示范工程——华能甘肃正宁电厂百万吨级 CCUS 项目完成 72 小时试运行, 投入使用。全国碳捕集总量 150 万吨/年, 碳捕集率超过 90%, 产出二氧化碳纯度 99% 以上, 技术和装备 100% 实现国产化, 碳减排能力相当于种植约 1.3 亿棵树木所形成的碳汇或相当于每年减少近 60 万辆燃油汽车碳排放量。

该项目所取得的突破与进展具有重要意义。在碳捕集环节, 首次实现了“二塔合一”复合式吸收塔的建设, 解决了传统吸收塔输送路线

长、阻力大等问题；在压缩环节，研制出国内第一台八级整体齿轮式二氧化碳压缩机，将气态二氧化碳压缩至超临界状态，极大地提升管道运行效率；在封存环节，开启了国内封存层位最深、单井规模最大咸水层封存工程；获取到的二氧化碳被用于油田增采、绿色燃料合成、矿化建材等方面的工业生产和应用，完善了“捕集—利用—封存”的全产业链，是我国CCUS技术从“万吨级示范”向“百万吨级工业化应用”发展的新时代契机，为世界各地煤电绿色低碳转型贡献了“中国方案”；其次，该项目还可以起到辅助调峰作用，能够随时调整碳捕集系统负荷，探索了“煤电低碳转型+能源安全保障”协同发展之道。

### 1.3 煤电清洁化技术体系的战略意义

超超临界技术与CCUS不是单一的关联，而是形成“源头增效+末端治理”的协同减排体系，从源头提升能源转化效率，降低单位发电碳排放；从末端实现碳排放捕捉和资源化利用，两者结合构建煤电清洁化技术闭环。随着CCUS百万吨级工业化应用的实施，未来煤电有可能从碳排放主体转变为“低碳基荷电源”，在国家能源安全与碳中和之间找到平衡点。

## 2 氢能与新型储能规模化

随着风电、光伏等可再生能源装机规模的迅速扩大，电力系统的间歇性与波动性日益凸显。作为两个重要支撑技术：氢能和新型储能，正在加快从示范走向规模化应用，成为能源动力产业绿色转型的新引擎。

### 2.1 氢能产业进入规模化发展新阶段

氢能被称为“21世纪的终极能源”，其在能源动力产业中占据越来越重要地位。2025年1月1日起新版《中华人民共和国能源法》颁布实施，首次从法律层面将氢能纳入到我国能源管理中来，改变了之前氢能长期归属于危险化学品而带来的审批困难等一系列问题，为氢能发展扫清了关键性制度障碍。2025年国家出台超20条政策推进氢能产业发展，财政部安排超过23亿元专项资金用以奖励燃料电池汽车示范应用。同时在产业运行方面，加快第一批氢能区域试点工作步伐。比如武汉都市圈就是当前中部唯一入选国家能源领域氢能区域试点单位的城市，该地区确立了到2028年6月实现氢能总产值突破500亿元、建设加氢站30座以上、推广氢能汽车2600辆以上目标。”汉宜”高速氢能示范线投入运营已有一年多，累计消纳氢气160余吨，氢能安全行驶里程已经突破160万公里，减碳超1600吨。国家发改委原副主

任、中国国际经济交流中心特邀专家张晓强也在2025年中国氢能产业大会上表示：“到2030年我国绿氢产量有望达到300万吨，形成万亿元以上的大市场，走在世界前列<sup>[2]</sup>。”

同时，氢能在工业方面也取得了长足发展。2025年9月五部门联合下文支持氢冶金等低碳共性技术攻关，加快推进绿电、绿氢、纯氢冶金一体化工艺技术和装备产业化；国家能源局提出稳步建设绿色氢氨醇综合产业基地，鼓励在风光资源丰富的地区规划布局可再生能源制氢氨醇综合产业基地。在交通运输领域中，东风商用车旗下氢燃料产品包括牵引车、工程车、环卫车等多种品类，可以应用于钢厂、港口、快递快运等各个场景当中。氢能正从交通示范向工业、储能、建筑等全面渗透，多点开花。

### 2.2 新型储能装机规模跨越式增长，经济性显著提升

新型储能是支撑新型电力系统的关键技术和基础装备，据国家能源局数据显示，截至2025年底我国已建成投运新型储能装机规模1.36亿千瓦/3.51亿千瓦时，与十三五末相比增长超过40倍。2025年全国新型储能等效利用小时数1195小时，较2024年提升近300个小时，新型储能利用效率明显提高；从技术路线来看，锂离子电池储能占据绝对主导地位，装机占95%以上；最引人注目的是成本端的突破，到2025年9月锂离子电池储能系统成本降低约0.5元/瓦时、工程总承包成本降至1元/瓦时、较2021年下降67%左右等经济性大幅度改善。国家发改委、国家能源局印发《新型储能规模化建设专项行动方案（2025—2027年）》，到2027年全国新型储能装机达到1.8亿千瓦以上，带动新型储能项目直接投资约2500亿元。也就是说新型储能逐步由“政策驱动”的强制配储阶段转向“市场驱动”的主动配置阶段，新型储能的内生动能正在形成。

技术创新方面，除锂离子电池外，压缩空气储能、液流电池储能、钠离子电池储能、飞轮储能等多种储能技术路线同步发展。为满足跨日、跨季节等更长调节时间尺度的需求，热储能、氢储能等长周期储能有望规模化示范应用。商业模式将向多元化演进，共享储能、独立储能参与电力现货市场交易，虚拟电厂聚合分布式储能资源，为储能商业可持续性提供了新的可能。另外，中国储能企业积极拓展海外市场，2025年上半年，全球采购量达163GWh，比去年增加246%，覆盖世界50余个国家和地区<sup>[3]</sup>。

### 3 智能化数字孪生与系统优化

随着数字化、智能化技术与能源动力产业的深度融合,新的生产方式和管理模式正在迅速升级。从单机的智能到全厂的数字化,从发电侧的智慧运维再到需求端灵活响应,智能化技术已经逐渐成为提高整个能源系统效率的重要手段之一。

#### 3.1 数字孪生与智慧电厂重构生产运行范式

数字孪生技术是利用虚拟镜像以创造物理电厂的实时映射,为设备状态提供智能化诊断与信息服务的重要手段。2025年12月中国核电正式发布了国内第一个全厂级别的实时数字孪生智慧系统,该系统由福清核电、中核武汉共同研制,覆盖运行、维修、技术、应急等五大领域,涉及16个生产处室和20个重点场景,是我国首个基于系统仿真的全厂实时数字孪生系统,也是核电行业数智化转型迈出重要一步。在火电方面,国家能源集团准东电厂也有着较为典范的表现。作为准东—皖南±1100千伏特高压直流输电工程的配套电源,准东电厂建立起从设备到生产再到人员多个层次的全链条智慧体系;三维数字孪生模型可以展示锅炉燃烧情况、间冷塔温度分布情况,巡检机器人24小时不间断值守,AI算法代替经验判断,锅炉检修无人机仅15分钟就能完成一圈扫描,数据实时回传,连0.1毫米的隐患都能被AI识别,这些智能化应用,极大地提升了运行效率与安全性,更为全国各地火电行业进入数字化时代提供了“准东方案”。准东电厂的燃煤机组数值孪生优化项目获得了电力建设科学技术进步一等奖。

#### 3.2 虚拟电厂与综合智慧能源推动需求侧变革

虚拟电厂通过数字化技术聚合分布式能源资源,实现“源—网—荷—储”的协同优化是提升电力系统灵活性的重要方向。2025年9月,南京市江宁开发区能碳虚拟电厂示范项目正式投入使用。该项目通过综合应用发电预测、负荷预测、价格预测、可调潜力分析、资源聚合、

优化调度、协调控制和交易辅助决策等主要技术手段,将区内分布式光伏、储能设备、充电桩、空调负荷、冰蓄冷系统、电锅炉、工业可调负荷等多种具有灵活性的能源资源聚合在一起,接入各类用户侧资源规模200兆瓦,常态参与需求响应、电力辅助服务以及电力现货市场化交易。

该项目的创新之处是提出了“电碳耦合”与“配微协同”技术理念,搭建起区域多层次协同下智慧能碳管控平台,精准追溯碳足迹,在降低用能成本的同时有效地提高了能源综合利用水平。并于2025年4月入选国家发改委全国第二批绿色低碳先进技术示范项目清单,成为全国首个示范项目;山东烟台综保区低碳智慧园区项目以“全生命周期碳管理”为理念,建设完成省内第一个集绿色供能、低碳用能、多网融合、智慧调度为一体的近零碳智慧综保区示范项目;中山市建设实施首个“微电网+虚拟电厂”智慧低碳园区示范项目,创造性应用“光储直柔”技术,能源综合利用率提升10%—15%等。从这些项目的案例可知,虚拟电厂和智慧微网正逐步从概念走向落地,成为优化区域能源系统的重要抓手。

### 4 总结

能源动力产业的绿色低碳转型,是一个技术、产业与制度紧密相连的系统工程。从本文分析可知,其正在向着这样三方面并行进发:清洁化维度以超超临界发电技术和百万吨级CCUS工程为标志,煤电清洁化实现了“减污降碳”到“深度脱碳”的新跨越,尤其是CCUS的百万吨级工业化突破意义重大,使得煤电成为碳中和时代下有更明确角色定位的主力军;规模化维度以新型储能装机四年增长超40倍,锂电储能系统成本3年下降近七成,氢能产业逐步走向制度上突破走向区域试点落地,清洁能源调节瓶颈正在被逐步打破;智能化维度数字孪生、智慧电厂和虚拟电厂等技术将改变能源系统运行格局,从发电侧到需求侧全链条数字化协同正在成为现实。

#### 参考文献:

- [1] 陈鹏. 新能源电池产业引领绿色发展新方向 [J]. 经贸实践, 2023(2):60-61.
- [2] 李钰. 新能源汽车动力电池应用现状及发展趋势探析 [J]. 内燃机与配件, 2024(12):132-134.
- [3] 陈军. 低碳时代的精细化学品绿色制造技术 [J]. 科技和产业, 2010, 10(6):3. DOI:10.3969/j.issn.1671-1807.2010.06.024.

**作者简介:** 张建东(1998.01—),男,汉族,陕西咸阳,大专,研究方向:能源动力。