

# 风电制氢技术经济性分析及商业化路径探索

李鹏慧 刘晓

北京京能清洁能源电力股份有限公司内蒙古分公司, 中国·内蒙古 呼和浩特 010000

**摘要:** 随着全球能源结构向清洁低碳转型, 风电制氢作为耦合可再生能源与高效储能载体的关键技术, 正展现出巨大的发展潜力。本文旨在系统分析风电制氢技术的经济性, 并探索其可行的商业化路径。文章首先阐述了风电制氢的系统构成与技术原理, 随后从关键成本要素、标准化制氢成本以及系统集成效益三个维度深入剖析其经济性, 并构建了成本分析表格。最后, 文章提出了分阶段的商业化发展路径, 涵盖示范项目引领、产业链协同降本以及市场化机制构建, 以期为我国风电制氢产业的健康发展提供参考。

**关键词:** 风电制氢; 技术经济性; 商业化路径; 标准化制氢成本; 绿氢

## Analysis of economic performance and commercialization path of hydrogen production technology by wind power

Li Penghui, Liu Xiao

Inner Mongolia Branch of Beijing Jingneng Clean Energy Power Co., Ltd., China Inner Mongolia Hohhot 010000

**Abstract:** As the global energy structure transitions toward clean and low-carbon solutions, wind-powered hydrogen production—serving as a pivotal technology that integrates renewable energy with efficient energy storage—is demonstrating tremendous development potential. This study systematically evaluates the economic viability of wind-powered hydrogen production and explores viable commercialization pathways. The paper first outlines the system architecture and technical principles of wind-powered hydrogen production, then conducts a comprehensive cost analysis from three dimensions: key cost factors, standardized hydrogen production costs, and system integration benefits, accompanied by a cost analysis table. Finally, it proposes a phased commercialization roadmap encompassing three pillars: demonstration project leadership, industrial chain collaboration for cost reduction, and market-oriented mechanism development, aiming to provide actionable references for the healthy growth of China's wind-powered hydrogen production industry.

**Keywords:** Wind power hydrogen production; Technical and economic performance; Commercialization path; Standardized hydrogen production cost; Green hydrogen

## 0 引言

能源安全、气候变化是当今世界面临的共同挑战, 全球共同达成大力发展风能、太阳能等可再生能源的共识。风电固有的间歇性以及波动性给电网消纳带来巨大压力, “弃风”情况屡见不鲜, 氢能作为一种来源充裕、绿色环保、应用多样的二次能源, 被赋予厚望。依靠风电的制氢技术, 也即用风电驱动电解水装置生产“绿氢”, 顺利把不稳定的风电转化为可储存、可运输的氢能, 既能够对过剩风电加以有效消纳, 又可为交通、工业等领域提供清洁能源以及原料, 是实现能源体系深度脱碳的关键渠道。因此, 科学考量风电制氢的经济性, 并规划出切实可行的商

业化途径, 具备关键的理论价值与现实意义。

## 1 风电制氢技术经济性深度分析

### 1.1 关键成本构成要素解析

风电制氢系统的总成本主要由初始投资成本以及运营成本两大部分组成。初始投资成本包含风力发电机组、电解槽(现以碱性电解槽 ALK 和质子交换膜电解槽 PEM 为主)、氢气压缩与储存设备以及系统集成与土建等各项费用, 核心设备为电解槽, 其成本占比处于最高水平。运营成本主要由风电场运维费用、电解槽运维费用、水资源消耗以及人工成本等构成, 高昂的设备投入, 特别是电解槽的成本, 是制约项目经济性的首要瓶颈。电解槽的成本,

是阻碍项目经济性的关键瓶颈。具体见图 1。



图1 风电制氢系统总成本构成图

### 1.2 平准化制氢成本测算与敏感性分析

标准化制氢成本是衡量其经济性的关键考量，其计算包括项目全生命周期的总成本及总产氢量，LCOH 的计算结果对多个关键参数极为敏感。如下表所示，对一个典型的 50MW 风电制氢项目进行了 LCOH 测算，并分析了关键变量的影响。

表1 风电制氢项目平准化制氢成本 (LCOH) 测算与敏感性分析

项目	基准情景	敏感性变化一	敏感性变化二
风电上网电价 (元/kWh)	0.25	0.15 (弃风电价)	0.35
电解槽投资成本 (元/kW)	3000	4000	2000
系统年运行小时数 (h)	4000	3000	4500
测算 LCOH (元/kg)	28.5	20.1	35.8

### 1.3 系统集成模式与综合效益评估

风电制氢经济性分析不应仅拘泥于制氢环节本身，而应从系统集成方面评估其综合价值，其主要集成模式有“并网型”与“离网型”两种。并网型可保障电解槽实现高利用率，但受电网电价的约束；离网式直接耦合风电，可最大限度利用廉价风电，但需应对风电的波动，对电解槽性能的要求更为苛刻<sup>[1]</sup>。风电制氢带来了可观的附加效益，包括：缩减弃风引发的电量收益、作为化工原料或交通燃料的市场价值、参与电网调峰辅助服务获得的补偿，以及其明显的碳减排环境效益。这些综合效益是其未来商业化的核心支撑。

## 2 风电制氢商业化发展路径设计

### 2.1 示范项目引领与关键技术突破阶段

在现阶段绿氢产业起步时期，应以国家以及地方层面的示范项目作为核心抓手，全面推动技术验证与模式探索进程。建议优先在“三北”等风能资源充裕且弃风问题显著的区域安排项目，重点塑造“风光氢储”一体化示范园

区、氢燃料电池汽车商业化运营区等多样化场景。此阶段的核心任务为借助规模化示范，检验不同技术路线的经济性及可靠性，尤其针对大功率电解槽的适应性、系统效率及运维稳定性等关键指标展开实证研究。政府须设立专项扶持资金，实施针对设备购置补贴、税收减免的精准政策，推动企业携手科研机构攻克核心技术难题，实现电解槽效率提升与成本把控。为后续产业化筑牢根基，需构建示范项目评估体系，及时整合技术参数与运营经验，构建可复制的典型模式。

### 2.2 产业链协同降本与规模化应用阶段

随着技术逐步成熟且市场认知增进，产业进入聚焦协同发展的规模化扩张阶段。该阶段着重推动风电设备商、电解槽企业、气体公司及终端用户组建产业联盟，形成制氢、储运到应用的完整生态链架构<sup>[2]</sup>。借助上下游协同研发及规模化采购，推动电解槽等核心设备制造的成本迅速降低；在钢铁、化工、重型交通等高排放且无法直接电气化的领域，助力风电制氢达成规模化替代化石能源制氢，构建稳定且可持续的绿氢市场需求。此阶段应同步完备氢能储运基础设施，探求液氢、有机载体等多元输配举措，随着产业规模得以扩大以及成本持续优化，项目投资主体会逐步走向多元化，驱动力由政策扶持过渡到市场内生动力，建成有竞争力的绿氢供应体系。

### 2.3 市场化机制构建与商业模式创新阶段

在产业进入成熟期阶段，必须构建完备的市场化机制以支撑可持续发展。核心要点是搭建与国际接轨的“绿氢”认证标准体系，做到全生命周期碳足迹可追溯与可认证，为绿氢市场交易提供制度上的保障。应推动把风电制氢项目纳入全国碳交易市场，把碳减排效益转化为实际经济收益，增强项目盈利水平。对于商业模式而言，除传统的氢气销售途径外，需积极探索“合同能源管理”“氢气银行”、分布式制氢租赁等创新模式，减少用户用氢阻碍。推动金融机构推出针对氢能项目的绿色信贷、资产证券化等金融产品，带动社会资本介入，最终借助构建开放、透明的交易平台及市场规则，构建竞争充分、循环良性的氢能市场生态，促使绿氢产业实现商业化自主发展。

## 3 推动商业化落地的核心支撑要素

### 3.1 强有力的政策支持与标准体系

政府须制订明晰的氢能产业中长期发展规划，为市场给予稳定预期。在财政方面，延续且优化绿氢生产补贴相关政策，且为相关设备制造企业提供研发补贴。在金融方面，激励绿色信贷、氢能产业基金等金融工具助力项目搭

建，亟须迅速建立覆盖氢气制备、储运、加注全过程的国家及行业标准，为产业规范化发展筑牢根基。

### 3.2 高效协同的基础设施网络建设

氢能的储运成本是阻碍其市场半径拓展的关键。要按照资源禀赋及市场需求，恰当规划输氢管网布局，优先在产业集群区构建区域性管网<sup>[9]</sup>。全力发展高压气态运输、液氢运输以及天然气管道掺氢等各类技术路线，削减储运成本，加氢站建设需紧跟燃料电池汽车示范路线，逐步构筑网络。

### 3.3 持续性的技术创新与成本优化

技术突破为降本增效的核心要点，研发重点应聚焦于：开发契合风电波动特性的新一代高通量、低能耗电解槽技术；攻克低成本、高安全性兼备的高压储氢及液态储氢技术；提升系统集成控制技术水平，加大风-氢转换的整体效率。通过持续的技术创新，不断压低全产业链各环节的成本支出，最终达成绿氢在与灰氢、蓝氢竞争中脱颖而出。

## 4 总结

风电制氢技术是达成可再生能源高效利用及深度脱碳的战略性方向。较高的设备投资与运营成本对其经济性造成了限制，但借助弃风电力、技术进步及规模化效应，平准化制氢成本存在大幅下降的潜力。在未来，我国风电制氢商业化需依照“示范引领-规模化-市场化”的递进路径推进，借助政策精准扶持、基础设施配套及技术持续创新的三轮驱动。只有这样，才可以加速冲破成本瓶颈，拓宽应用场景范畴，最终摸索出一条符合中国国情的风电制氢商业化途径，为我国“双碳”目标实现筑牢坚实基础。

### 参考文献：

- [1] 张勇, 纪凤坤, 谭晓琴等. 绿电制氢技术路线分析与经济性评价[J]. 中国高新科技, 2025,(16):148-150.
- [2] 黄彪斌, 王建荣, 何宗源等. 海上风电制氢技术经济性与商业模式分析[J]. 广东化工, 2025,52(15):62-65.
- [3] 刘超, 李欧萍, 程光远等. 深远海风电制氢技术经济性分析[J]. 海洋工程装备与技术, 2024,11(01):116-121.