

氢能储运产业链经济性比较与商业化前景研究

于振鹏 (中油智阔 (廊坊) 信息技术有限责任公司沈阳分公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 本文拆解了氢能储运产业链上游制氢+中游储运+下游应用的完整架构, 聚焦高压气态、低温液态、有机液体及管道输送四大主流技术路径, 深入比对其经济性差异与场景适配性。研究发现, 当前产业链正深陷综合成本高企、核心技术卡脖子等多重困境, 为破解瓶颈、加速商业化进程提出针对性策略, 旨在为提升氢能储运经济性、推动产业规模化落地提供有益参考。

关键词: 氢能储运产业链; 经济性比较; 商业化; 前景

中图分类号: TK91; F426.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2026) 009-0013-03

Economic Comparison and Commercialization Prospect of Hydrogen Storage and Transportation Industry Chain

Yu Zhenpeng (Shenyang Branch of CNPC Zhikuo (Langfang) Information Technology Co., Ltd., Shenyang Liaoning 110000, China)

Abstract: This study systematically analyzes the complete hydrogen energy storage and transportation industrial chain, covering upstream hydrogen production, midstream storage and transportation, and downstream applications. It focuses on four mainstream technical approaches: high-pressure gaseous, cryogenic liquid, organic liquid, and pipeline transportation, with in-depth comparisons of their economic differences and scenario adaptability. The research reveals that the current industrial chain is grappling with multiple challenges, including high comprehensive costs and technological bottlenecks. Targeted strategies are proposed to overcome these constraints and accelerate commercialization, aiming to provide valuable insights for improving the economic viability of hydrogen storage and transportation and promoting large-scale industrial implementation.

Keywords: Hydrogen energy storage and transportation industry chain; Economic comparison; Commercialization; Prospects

在全球迈向绿色低碳能源体系的转型浪潮中, 氢能因来源多元、零碳排放、应用场景广泛等优势, 被寄予重构未来能源格局的厚望。但氢能的规模化普及, 始终受制于高效、安全且经济的储运技术突破。储运环节上承氢气生产、下接终端消费, 成本占比可达终端氢气价格的三成左右, 直接决定着氢能能否跨越实验室走向市场。当前, 各类氢能储运技术路径并行发展, 在成熟度、经济性与适用场景上各有优劣, 产业链各环节发展亦呈现不均衡态势。

1 氢能储运产业链的构成

1.1 上游制氢

上游聚焦氢气的生产与初步提纯处理, 是整个储运产业链的物质基础与源头保障。具体涵盖化石能源重整制氢 (如煤炭、天然气路线) 与可再生能源电解水制氢等主流路径, 不同制氢技术在清洁属性与成本控制上差异显著, 化石能源制氢成本偏低但碳排放较高, 绿氢虽契合低碳目标却面临成本难题。上游环节不仅需保障氢气的稳定供应规模, 更要满足中游储运对氢气品质的严苛要求, 包括纯度、压力、含水量等关键指标的精准管控。制氢的规模效应、成本水平与空间分布, 直接主导中游储运技术的选择: 大型集中

式制氢基地更适配规模化、长距离储运方案, 而分布式小型制氢点则对灵活便捷、短距离的储运模式需求更为迫切。

1.2 中游储运

中游作为氢能储运的核心枢纽, 承担着氢气的储存调控与跨区域转运功能, 是衔接产销两端的关键纽带。该环节涵盖储氢与运氢两大核心板块: 储氢技术包括高压气态储氢、低温液态储氢、有机液体储氢及固态材料储氢等, 核心目标是实现氢气在时间维度上的供需调节与稳定供给; 运氢技术则包含长管拖车运氢、液氢槽车运输、管道输送及载体间接运输等形式, 重点解决氢气在空间维度上的高效分配。中游技术的选型与经济效能, 直接影响氢气终端交付价格与应用场景的拓展边界, 其发展水平高度依赖材料科学、高端装备制造与工程设计能力的协同突破。

1.3 下游应用

下游是氢能价值实现的终端场景, 多元化的应用需求反向牵引中上游产业的发展方向。氢能的应用场景已覆盖多领域: 交通运输领域以燃料电池汽车为核心, 工业领域用于石油炼化、合成氨、甲醇生产等工艺替代, 建筑与发电领域则探索燃气掺氢、燃料电池

发电及燃气轮机掺氢发电等模式。不同场景对储运服务的需求呈现显著差异化：燃料电池汽车依赖密集有加氢站网络，对储运的便捷性、加注效率与安全标准要求极高；大型化工企业则更适合通过管道或规模化集中运输获取氢气，兼顾成本与稳定性。下游市场的需求规模、增长节奏与地理分布，是驱动中上游技术迭代与基础设施投资布局的核心动力。

2 氢能储运技术路径与经济性比较分析

2.1 高压气态储运

高压气态储运是当前技术最成熟、应用最普及的氢能储运路径，核心是将氢气压缩至 20–50MPa 的高压状态，储存于碳纤维复合材料储氢瓶内，再通过长管拖车实现公路运输。该技术优势显著：技术体系完备，充放氢效率高，初始投资相对可控；同时基础设施兼容性佳，能快速适配分布式应用需求。这也是我国氢能示范项目的主流选择，2022 年北京冬奥会期间，为保障氢燃料电池车正常运行，依托该技术的长管拖车车队，从制氢基地向各加氢站稳定供氢，充分印证了其在重大活动保障中的可靠性能。全球范围内，高压气态储运同样是现阶段商业化应用最广泛的路径；日本、韩国的加氢网络，目前主要依靠高压长管拖车完成氢气配送，美国加州氢燃料电池车加注网络初期也普遍采用这一方式。

2.2 低温液态储运

低温液态储运通过将氢气冷却至极低温度转化为液态，利用高绝热性能储罐储存并通过液氢槽车运输。液态氢的容积密度远超高压气态，单次运输量大幅提升，天然适配长距离、大规模氢气输送，单位运输成本对距离的敏感度较低。但该路径的经济性被高能耗与高投资牢牢制约：氢气液化过程能耗居高不下，能耗占比约达氢气总能量的 30%，且液化工厂与液氢储罐的建设投资巨大；液氢长期储存存在不可避免的蒸发损失，对储运装备的绝热性能提出极致要求。目前该路径仅在航天等特殊领域及少数示范项目中应用，商业化推广需等待液化技术突破与装备成本大幅下行。

2.3 有机液体储运

有机液体储氢依托可逆化学反应实现氢气的储存与运输，可借助现有石油设施开展长距离输送；但其经济性受限于脱氢环节能耗偏高，且催化剂成本高昂。这一技术路径的可行性，已在多个示范项目中得到验证。德国 HyCopter 项目以甲基环己烷为储氢载体，顺利完成氢能区域运输任务，同时验证了该方式依托现有油品设施开展应用的安全性及便捷性。日本 SPERA 氢能示范系统，进一步展现出该技术在长距离、跨海

域氢贸易中的应用潜力；不过其商业化推进，仍受限于脱氢环节的高能耗与高成本。

2.4 管道输氢

管道输氢是氢能实现大规模、长距离低成本输送的理想方式，主要包括新建纯氢管道与天然气管道掺氢改造两条路径；其经济性好坏取决于规模效应的释放，但也面临多重核心障碍，既有初始投资庞大、材料氢脆等技术难题，也受市场需求不确定性的制约。管道输氢的可行性，已在全球多地示范项目中得到验证。欧洲目前已投运纯氢管道约 2500km，比利时与法国共建的“HYDROGEN LINE”跨境输氢项目，便印证了该技术长距离运输的经济稳定性；国内方面，宁夏宁东化工基地的“天然气管道掺氢”示范项目颇具代表性，通过将氢气混入城市燃气管网为工业用户供能，验证了现有基础设施改造的技术可行性及减排成效。

3 氢能储运产业链商业化前景的不利因素

3.1 综合成本居高不下

当前氢能储运的综合成本远高于传统化石能源，市场竞争力薄弱。制氢端，低碳清洁的绿氢受可再生能源电价、电解槽成本限制，价格难以降至市场化水平；储运端，高压储氢的碳纤维材料、液氢的液化装备与能耗、有机液体的催化剂与脱氢能耗，均推高了中间成本；管道输氢的巨额初始投资更让社会资本望而却步。高成本最终传导至终端应用，导致燃料电池汽车用氢、工业绿氢替代的价格缺乏优势，难以激发大规模市场需求；而需求不足又无法形成规模效应摊薄成本，陷入成本高 + 需求弱 + 规模难扩大 + 成本难下降的循环。

3.2 关键技术与核心材料存在瓶颈

多项储运技术的商业化落地，受制于关键技术与核心材料的卡脖子问题。高压储氢所需的高性能碳纤维复合材料部分依赖进口，国产材料在性能与成本上难以兼顾，成本压缩空间有限；液氢技术的大型液化装置核心设备、超低温绝热材料及工艺优化尚未突破，能耗与成本居高不下；有机液体储氢的高效低成本脱氢催化剂、反应器技术仍未成熟，加脱氢效率与催化剂寿命亟待提升；管道输氢的掺氢比例上限、氢脆防控技术，以及纯氢管道的关键阀门、压缩机等核心装备，仍需持续攻关。这些技术短板不仅制约了储运效率提升与成本优化，更影响了产业链的自主可控与安全稳定。

3.3 基础设施网络薄弱且投资巨大

储运加基础设施网络是氢能商业化的血脉，当前我国氢能基础设施建设仍处于初级阶段。加氢站数量

有限且集中于少数示范城市，尚未形成网络化布局，难以支撑燃料电池汽车的规模化推广；氢气管网建设几乎处于空白状态，长距离、大规模输氢能力严重不足。基础设施建设具有投资规模大、回报周期长、跨领域协同要求高的特点，需要超前规划与巨额资本投入。但在商业化初期市场需求不明朗的背景下，社会资本投资意愿低迷，仅依靠政府主导的示范项目，难以支撑基础设施的网络化布局与规模化升级，直接限制了氢能应用的便捷性与市场覆盖面。

4 推动氢能储运产业链商业化发展的建议

4.1 实施差异化精准政策扶持，缓解初期成本压力

建议政府出台精准化、可预期的财政与价格政策，聚焦产业链各环节痛点精准施策。上游端，对绿氢生产给予阶段性电价优惠、专项补贴，探索将氢能纳入绿色电力交易与绿证体系，降低原料成本；中游端，对高压管束拖车、液氢槽车、加氢站储氢罐等关键设备购置给予投资补贴或贷款贴息，对液氢液化环节实施电价优惠，分摊能耗成本；下游端，在优化燃料电池汽车示范城市群补贴政策的基础上，对钢铁、化工等行业的绿氢替代项目给予碳减排奖励，激发终端需求。通过全链条成本疏导与分摊机制，助力产业顺利度过商业化初期的高成本阵痛期。

4.2 设立国家级技术攻关专项，突破材料与装备瓶颈

建议由国家牵头，整合龙头企业、高校、科研院所的创新资源，设立氢能储运关键技术攻关专项，明确攻关方向与目标。重点聚焦四大领域：一是研发低成本、高性能碳纤维复合材料及储氢瓶制造工艺，打破进口依赖；二是攻坚大型氢液化装置核心设备与工艺，提升液化能效、降低装备造价；三是开发高效、长寿命、低成本的有机液体脱氢催化剂与反应系统，优化加脱氢全流程效率；四是开展天然气管道掺氢、纯氢管道的材料适应性、安全评估及关键设备研发，明确掺氢比例上限与氢脆防控方案。强化攻关成果的知识产权保护与示范应用推广，推动技术从实验室走向工程化、市场化，提升产业链核心竞争力与自主可控水平。

4.3 加快构建全产业链标准体系，推行统一安全认证

建议标准化主管部门联合能源、工信、市场监管等部门，加快构建覆盖全链条的氢能储运标准体系，优先制定急需标准。重点完善液氢储运与加注、加氢站安全管理、车用储氢瓶定期检验、天然气管道掺氢等领域的技术标准，填补行业空白。鼓励行业领先企业参与国际标准制定，提升国际话语权。搭建国家级氢能装备检测认证平台，对储氢瓶、压缩机、加氢机等关键设备推行统一的安全认证制度，实现一地认证、

全国通用。简化符合标准项目的审批流程，消除制度壁垒，为新技术、新模式落地创造稳定透明的市场环境。

4.4 强化规划引领与商业模式创新，提速基础设施建设

建议将氢能基础设施纳入国家能源发展中长期规划，优先在可再生能源富集区与重点工业消费区之间，规划区域性输氢管道走廊，开展掺氢及纯氢管道示范项目。加氢站建设方面，推广油氢合建、制氢加氢一体化等集约化模式，依托现有加油站土地资源，降低建设成本与审批难度。创新投资运营模式，鼓励能源企业、整车企业、金融资本组建联合投资平台，通过特许经营、设备租赁等方式实现基础设施第三方市场化运营，分摊投资风险、提升运营效率，加速基础设施网络化布局。

综上所述，氢能储运是氢能产业规模化发展的核心支撑，也是当前面临的主要挑战。从短期来看，高压气态储运可满足分布式场景需求；中长期而言，低温液态与管道输氢是规模化应用的核心方向，有机液体储氢有望在跨区域贸易等特定场景发挥优势。氢能储运商业化绝非一蹴而就，需精准把握不同技术路径的适用阶段与经济边界，采取务实举措破解瓶颈。未来，通过持续技术创新降低核心成本，依托完善标准体系规范市场秩序，借助精准政策引导与商业模式创新推动基础设施升级，能逐步突破氢能储运的核心梗阻，为氢能经济蓬勃发展筑牢物流根基，最终助力我国能源结构实现深度清洁低碳转型。

参考文献：

- [1] 陈思宇, 王集杰, 李灿, 等. 氢能产业链的关键问题及对策建议 [J]. 前瞻科技, 2024,3(04):134-146.
- [2] 吴朝玲, 张昱晨, 杜瑞, 等. 氢储运技术的发展现状、挑战及未来方向 [J]. 前瞻科技, 2024,3(04):22-33.
- [3] 朱晨阳. 基于安全有机液储氢技术的氢能供热系统应用 [J]. 区域供热, 2024,(06):122-126.
- [4] 金玉瑄. 基于双链协同的氢能产业链网络演化机制研究 [D]. 大连: 东北财经大学, 2024.
- [5] 汪飞, 喻梦伊, 陈良勇. 氢能产业技术经济性分析及展望 [J]. 电力科技与环保, 2024,40(05):445-454.
- [6] 戴运哲. 我国氢能产业发展现状、制约瓶颈及应对策略 [J]. 能源研究与利用, 2024,(04):29-33+39.
- [7] 张岩, 王旭升, 林羲, 等. 新型氢储运技术发展及应用现状 [J]. 科技导报, 2025,43(7):67-78.

作者简介：

于振鹏 (1990-), 男, 汉族, 辽宁沈阳人, 本科, 工程师, 研究方向: 油气储运。