

新能源产业对绿色低碳转型的影响——以氢能为例

朝士美

安徽建筑大学, 中国·安徽 合肥 230601

摘要: 2022年我国发布《氢能产业发展中长期规划(2021—2035年)》, 氢能产业得到大力发展。本文以氢能源为研究对象, 构建了包含区位因素、空间集聚、技术进步、人力资源以及政府政策在内的五个变量的影响机制模型, 并以山东省为实例开展实证分析, 分析了新能源产业发展对绿色低碳转型的影响因素。据此提出了相关政策建议, 实现“双碳”目标最终需要将国家意志转化为企业和公民行为, 建立严格的监督管理机制, 发挥好市场的调节作用, 实现低碳目标推动高质量发展。

关键词: 新能源产业; 氢能源; 低碳转型; 影响因素

The Impact of New Energy Industry on Green and Low Carbon Transformation——Taking Hydrogen Energy as an Example

Chao Shimei

Anhui Jianzhu University, China Anhui Hefei 230601

Abstract: In 2022, China released the "Medium and Long-term Development Plan for the Hydrogen Energy Industry (2021-2035)", marking a significant development in the hydrogen energy industry. This paper focuses on hydrogen energy as the research subject and constructs an impact mechanism model encompassing five variables: locational factors, spatial agglomeration, technological progress, human resources, and government policies. Using Shandong Province as a case study, an empirical analysis is conducted to examine the influencing factors of the development of the new energy industry on green and low-carbon transformation. Based on these findings, relevant policy recommendations are proposed. To achieve the "dual carbon" goals, it is ultimately necessary to transform national will into corporate and citizen behavior, establish a strict supervision and management mechanism, leverage the regulatory role of the market, and promote high-quality development through achieving low-carbon goals.

Keywords: New energy industry; Hydrogen energy; Low-carbon transformation; Influencing factors

1 绪论

当前石油、煤炭等资源日趋枯竭, 太阳能、风能、氢能等新能源产业正迅速发展起来。当前中国庞大的工业体系及城市化进程对新能源的需求量巨大, 但是新能源的发展受众多因素的制约。因此, 根据其影响因素进行研究, 对我国实现绿色低碳转型和可持续发展具有深远意义。

1.1 氢能源概述

2015年氢能源产业实现突破, 日本^[1]率先将氢燃料电池技术应用于汽车行业, 从此氢能源汽车成为行业核心技术方向之一。

氢能是一种具有高密度、适应性广、清洁无污染^[2]等特点的新型能源。我国的氢能主要来源于天然气、煤炭制氢或者是化学副产品制氢, 化石能源占95%以上, 而可再生能源、生物质气化、核能制氢却十分匮乏, 据预测到2050年, 可再生资源的比例将上升到69%。

根据美国的一项调查, 即便是用矿物燃料制造的氢

气, 也能降低污染和温室效应。Khan^[3]指出, 风能-燃料电池集成能源系统运行过程不产生废物排放, 但在电池组件生产制造中会产生温室气体。从寿命周期的观点来看, 与常规化石能源相比, 这种集成体系所产生的温室气体排放要少很多。

1.1.1 氢能源的战略定位^[4,5]

氢气原料来源广泛有多种生产方式, 被广泛地用于能源、化学等领域, 主要体现在三个方面:

首先氢能非常干净环保, 无论是直接燃烧, 还是电化学转换, 产物只有水。

其次氢能易于储存和输送, 是一种优良的能量载体。近年来我国大力推动风能、太阳能等可再生能源发展, 可将发电高峰期剩余电能用来生产氢气。

最后, 氢气是重要的化工原材料, 化工用途广泛。氢气是合成氨工业、煤加氢气化与液化、石油炼制、甲醇合成等领域的重要原料。

1.1.2 氢能源主要应用领域

(1) 氢燃料电池汽车的普及。得益于燃料电池技术的突破，氢气通过阳极铂的催化，氢离子通过交换膜，电子通过外电路形成电流。此过程只产生水无污染物排放，且加氢时间短续航里程长具有明显的优势，将成为今后汽车产业发展的趋势。

(2) 分布式发电和备用电源。当前美国、瑞典、德国、法国等国已率先投产氢燃料电池发电^[6]设备，采用工业副产品氢气和生物能源，但发电费用较高。氢燃料电池具有节能环保、性能稳定可靠及耐用性强等特点，微软、苹果、谷歌等企业已纷纷启用氢燃料电池。偏远地区氢燃料电池的建设费用要低于传统电力设施成本，且安全性高具备可行性。

(3) 作为可再生能源消纳的储能载体。近年来新能源产业发展迅速，2016 年全球发电量超三成由风电提供达 1690 亿千瓦时。中国光伏发电量 780 亿千瓦时，规模居全球首位^[7]。但风能、太阳能存在间歇性与不稳定性，导致大量电能浪费，2016 年我国弃风电量达 497 亿千瓦时，占总风电量的 17%。储能技术是可再生能源发展的核心，如风电制氢储能技术^[8]是将过剩风电电解水制氢气，在用电需求加大时，将储存氢气通过内燃机、燃料电池等发电并网。

1.2 我国氢能源发展的相关政策

1.2.1 支持氢能发展的中长期战略

我国一直关注氢燃料电池技术走向，支持氢能产业发展^[9]。《国家发展战略》中指出：2030 年完成 5 万辆氢燃料电池车辆，配套建成 300 座加氢站；2035 年力争实现百万级商业车落地，完成 1000 座加氢站建设，且可再生能源制氢的占比需超过 50%。

1.2.2 鼓励氢能利用的中短期政策

国家给予氢能源车进行专项补贴，同时在氢气电池堆、发动机及其关键材料等关键技术进行研发，提高车辆整体可靠性延长使用寿命；重点发展天然气制氢、生物质制氢、微生物制氢等、高压容器储氢、金属储氢、化合物储氢等技术，加速制氢技术及设备的发展。

2 绿色低碳转型的影响因素及机制模型

2.1 指标选取与评价体系构建

氢能是一种新兴的技术产业，它的特征是技术和人才的驱动，在整个产业的整个生命周期中都存在着“脆弱性”。根据我国的产业特点，结合新的经济增长理论，建立了我国氢能产业发展的影响因子分析模型见下表 2.1。

表2.1 氢能产业影响因素分析模型

内部环境	产业自身特点	人力资本	从业人员（硕士以上）比重
		创新能力与投入	从业人数
			相关技术专利申请数
			R&D经费投入
资本投入	资本投入		
外部环境	市场环境	市场供求	能源生产量
		行业成熟度	能源消费量
	空间环境	产业结构	氢能企业数
			第二产业贡献率
		经济基础	第二产业对经济增长的拉动
			GDP
			人均收入
			资源效率
	单位工业增加值能耗		

我国人力资本投资已从“量”转向“质”。氢能产业依托高新技术赋能传统能源行业，因此选取在职人员占比、硕士学位占比作为人力资本投资的衡量指标。创新能力是新能源技术突破与产业规模化发展的核心，而氢能企业发展初期需大量资本开拓市场、培育产业，故将资本投入列为内部环境评估指标。

市场供求决定产业发展方向与规模，遵循市场规律是产业持续发展的关键。本文通过分析氢能生产量与能源消费量，评估市场供需关系；企业对市场规律的把握程度，直接影响其抗风险能力。同时，选取氢能企业数量作为衡量产业成熟度的指标。

产业结构优化升级可推动经济发展，其变迁在一定程度上反映行业发展前景。鉴于氢能等新能源产业归属于第二产业，本文从第二产业贡献度及对经济增长的拉动作用两方面展开研究。

资源利用效率与生产消费习惯、技术水平相关。本文以山东省人均 GDP 和单位产能增值为例，对其进行综合评价。

2.2 氢能发展下产业绿色低碳转型机制模型

本文参考科布一道格拉斯生产函数^[10]选取指标，该函数可剖析资本、劳动力投入对产出的影响，以及测算科技进步、资本增长、劳动增长对产出增长的贡献率，其基本形式为：

$$Y=ak^{\beta_1}L^{\beta_2}$$

其中：Y 代表产出增长率；a 代表科技进步率；K 代表资本增长率； β_1 代表资本产出弹性系数；L 代表劳动增长率； β_2 代表劳动产出弹性系数。

此函数可以分析多种影响因素对产出增长的贡献率，以此为基础，本文从资本、技术、劳动力三个维度对我国氢能产业产值开展实证研究，采用时变参数状态空间模型，动态观察不同年份三大影响因子的变化趋势，深入分析氢能产业发展规律。

3 实证分析——以山东省为例

3.1 实证分析

山东省氢能行业起步晚、统计资料不完备，难以支撑多变量变参数模型的精确运算。基于科研严谨性，本文将资本、技术、劳动力三变量单独分析，结合氢能产量探究各因素的影响。构建观察方程如下：

$$\ln Y_t = \eta_t \ln A_t + C_0 \quad (3.1)$$

$$\ln Y_t = \alpha_t \ln K_t + C_0 \quad (3.2)$$

$$\ln Y_t = \beta_t \ln L_t + C_0 \quad (3.3)$$

上述公式分别考虑了 R&D 投入、资本投入、从业人数三个维度对氢能产值的影响， η_t 、 α_t 、 β_t 分别是三个模型的可变参数，所有含参数的状态方程，都是基于一阶自回归形式搭建的。后续再通过变参数状态空间模型，对前述关系式中的时变参数进行测算估计，利用 Eviews 8.0 软件得出了估计结果。

状态空间分析开始前，需通过单元根检验判断样本数据平稳性，具体检验情况详见表 3.1。当显著性水平为 10% 时，四项指标统计量均小于对应 DW 临界值，由此可拒绝原假设 H_0 。这说明该组数据是平稳序列，能满足后续进一步分析的要求。

表3.1 各变量ADF单位根检验

变量	差分阶数	ADF值	10% level
新能源产值	1	-4.68	-2.80
R&D投入	1	-2.87	-2.84
资本投入	1	-3.36	-2.80
新能源行业从业人数	1	-6.22	-2.80

3.2 R&D 投入对山东氢能产值的影响

表3.2 R&D投入对新能源产值的输出结果

	Coefficient	Std. Error	Z-Statistic	prob
C (1)	13.63935	0.293711	46.43805	0.0000
C (2)	-6.600761	0.920376	-7.171812	0.0000
SV1	Final State	Root MSE	208.7182	0.0000
	0.235358	0.001128		

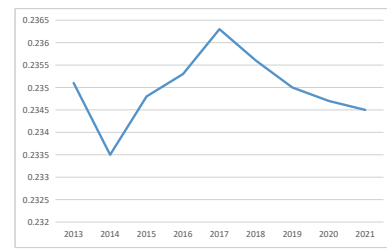


图3.1 R&D投入对氢能产值的动态影响

从图 3.1 可知，R&D 投资在 0.2334~0.2362 区间内表现出正向关系。2014-2017 年，技术与研究投资对氢能工业的推动作用逐步增强，后续却因技术收益积累特性、工业资金扩张及外界因素，技术投资产出效能下滑。山东氢能工业发展势头迅猛，能源供求关系日趋成熟，技术实力将取代资金，成为其发展核心动力。技术较量是新能源企业竞争的关键，掌握先进技术能降本提质、优化服务，助力企业树立口碑、扩大市场份额并实现收益增长。氢能工业发展是长期升级过程，山东需加大技术研发投入，补齐产业链产能缺口，提升技术开发的进度与效益，降低产业链成本，以此强化省内新能源行业竞争力，助力行业突破发展困境。

3.3 资本投入对山东氢能产值的影响

表3.3 资本投入对新能源产值的输出结果

	Coefficient	Std. Error	Z-Statistic	prob
C (1)	-1.219972	1.707511	-0.714474	0.4749
C (2)	-6.053980	0.309316	-19.57215	0.0000
SV1	Final state	Root MSE	1128.213	0.0000
	1.105639	0.000980		

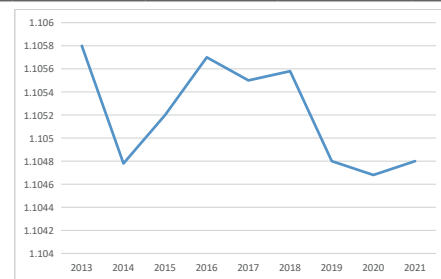


图3.3 资本投入对新能源产值的动态影响

从图 3.3 可知，资金投资的产出贡献是 (1.1046-1.1057)，二者存在一定的正向关系，因此资金投资对山东氢能工业发展具有一定的推动效应。尽管“波动性”相对温和，但会随时间推移逐渐扩大。这种波动源于国内氢能行业尚处起步阶段，下游企业众多、产业布局不科学造成资金大量流失，叠加能源政策处于摸索期、市场格局持续变动等因素。目前山东氢能工业发展势头迅猛，已形成完整产业链与市场格局，未来资金的作用将逐步弱化并趋于

平稳,但产业的健康发展仍需持续的资金保障。

3.4 劳动力投入对山东氢能产值的影响

表3.4 从业人员数对新能源产业的输出结果

	Coefficient	Std. Error	Z-Statistic	prob
Cd)	18.55881	7.532871	2.463710	0.0000
C(2)	-3.880950	0.752027	-5.160649	0.0000
SV1	Final state	Root MSE	-54.81341	0.0000
	-0.215008	0.003923		

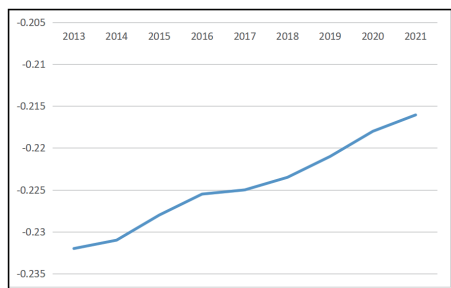


图3.4 行业从业人数对新能源产值的动态影响

由图 3.4 可知,行业投入对产值的影响系数处于 -0.2315~-0.2125 范围,这说明二者呈负相关山东氢能工业的发展受行业人员投入的制约,其效应随时间而减弱。由此可以看出,氢能工业是技术驱动和资本驱动的高科技行业。行业上游环节对人才的知识水平与科研能力有着较高标准,对劳动力的整体需求却偏小。近年来,我国为保障社会安定,一直在提升氢能行业的人力投入强度,这一举措也在一定程度上减轻了国内的就业压力;但是,大部分新增的劳工都是流向了下游的公司。山东的氢能工业存在着严重的劳动力结构和产能过剩^[11]。生产和销售的不平衡,导致了一系列的“蝴蝶效应”,包括生产经营的停滞、工人的工作效率低下。上述问题给山东氢能工业的发展进度带来了极大阻碍。因此,在今后的发展中,山东新能源企业能否实现快速发展,必须要合理配置人才,以吸引更多的人才。

3.5 政策建议

对照《山东省氢能产业中长期发展规划(2020—2030年)》要求,未来10年山东将持续壮大氢能产业^[12]。重点打造“中国氢谷”“东方氢岛”两大特色品牌,同时培育壮大覆盖六市的“鲁氢经济带”,最终建成集氢能研发、制造、应用、运营于一体的国家级氢能产业示范区。山东氢能产业区位优势呈报酬递增效应,制度体系逐步健全,已集聚超100家相关企业;燃料电池发动机、整车产能分别达2万台、5000辆,正加快布局轨道交通等氢能装备产业,产值突破200亿元。因此,山东氢能企业转型的政策

建议主要聚焦技术进步与政府政策层面。

3.5.1 加强科技创新

针对氢能环保短板,需构建以可再生能源为原料、严控矿物燃料制氢的清洁低碳低成本氢能生产系统,实现产业高质量可持续发展。当前可再生能源制氢高成本是规模化发展的关键瓶颈,需加大可再生能源推广力度、提升技术水平以降低成本,否则将严重制约山东氢能产业发展。

解决氢能应用的多样化问题的关键是寻找合适的应用场景,并逐步解决存在的工程难题。相较于传统燃油车及电动车,氢燃料电池更能适应低温环境,拥有更高的续航里程及补能效率^[13]。凭借核心技术优势,有望打破氢燃料电池产业发展瓶颈,率先在高寒、低温区域推广。

3.5.2 完善政府政策

健全山东氢能产业政策法规,制定长远发展战略,完善规划目标导向、定价协调及产品质检认证制度。

推动金融与氢能产业深度融合,创新投融资制度,结合政策导向与市场机制,构建涵盖创投、担保贷款、信贷支持、债券发行等多元融资体系,优化产业发展金融环境。

4 结语

本文梳理氢能核心应用场景与配套政策,从区位条件、空间集聚效应、技术迭代升级、人力资本储备及政府政策引导五大维度,构建氢能产业对绿色低碳转型的影响因素机制模型,据此剖析山东氢能产业发展现状并提出针对性建议。氢能可与电力协同助力低碳经济,为交通、电力、供热、工业等领域提供服务;世界能源理事会对其未来应用提出长期储能、蓝氢向绿氢转型、规模化应用及燃料电池交通工具推广四大展望。

在全球气候变化与能源危机背景下,新能源开发是能源转型关键,而氢能开发能提升国家能源安全、优化能源结构,推动“双碳”战略落地与绿色经济发展,具有深远价值。

参考文献:

- [1] 张慧智,张健.基于能源战略规划的日本能源转型研究[J].现代日本经济,2019,38(03):14-23.
- [2] 郭利.氢能源的研究现状及展望[J].化工设计通讯,2021,47(05):147-148.
- [3] 葛春定,刘建清.国外氢能源经济研究简述[J].华东电力,2012,40(12):2142-2144.
- [4] 高丹,孔庚,麻林巍等.我国区域能源现状及中长期发展战略重点研究[J].中国工程科学,2021,23(01):7-14.
- [5] 邹才能,陈艳鹏,熊波等.碳中和目标下中国新能

源使命[J]. 中国科学刊, 2023,38(01):48-58.

[6] 姚若军, 高啸天. 氢能产业链及氢能发电利用技术现状及展望[J]. 南方能源建设, 2021,8(04):9-15.

[7] 张智, 赵苑瑾, 蔡楠等. 中国氢能产业技术发展现状及未来展望[J]. 天然气工业, 2022,42(05):156-165.

[8] 郭丕斌, 李繁荣, 吕文栋等. 社会 - 技术变迁驱动能源转型研究框架与述评[J]. 科技进步与对策, 2019,36(10):153-160.

[9] 贾英姿, 袁璇, 李明慧等. 氢能全产业链支持政策: 欧盟的实践与启示[J]. 财政科学, 2022,(01):141-151.

[10] 罗政骐, 宋山梅. 数字普惠金融与农业产业升级

——来自柯布道格拉斯生产函数的证据[J]. 科技与经济, 2022,35(02):31-35.

[11] 陶誉仁, 范松, 钟磊等. 绿氢产业发展面临的挑战和对策分析[J]. 上海节能, 2024,(12):1887-1894.

[12] 高亚, 孙龙龙. 山东省氢能港口产业发展对策研究[J]. 中国科技产业, 2023,(07):56-59.

[13] 董格, 许广健, 吴胜男等. 燃料电池汽车整车技术现状与发展趋势[J]. 汽车工业研究, 2024,(02):32-39.

作者简介: 朝士美(1998.09-), 女, 汉族, 安徽合肥人, 硕士, 研究方向: 项目经济技术评价。