

基于大数据与人工智能背景下的统计建模——以氢能产业为例

陈洁铭 李政希
南京工程学院

DOI:10.12238/ej.v7i12.2107

[摘要] 本文旨在深入剖析在人工智能和大数据背景下,氢能的生产、储存、运输、使用及后续处理等关键环节的影响,并探讨氢能和光伏发电对经济和环境的积极效应。通过运用生命周期评价(LCA)方法,本文建立了早期氢相关数据小模型和应用人工智能大数据后的详细数据模型,以比较不同制氢方式的环境影响和经济效益。同时,本文还深入探讨了氢能生产、储存、运输、使用及后续处理等环节中人工智能技术的应用,以及其对氢能产业的巨大助力。以南京工程学院为例,研究了光伏发电的数据和经济效益。此外,本文对未来氢能产业的发展趋势进行了分析。

[关键词] 氢能,人工智能; 大数据; 生命周期评价; 未来趋势

中图分类号: P413 文献标识码: A

Statistical Modelling Based on Big Data and Artificial Intelligence Background – A Case of Hydrogen Energy Industry

Jieming Chen Zhengxi Li
Nanjing Institute of Technology

[Abstract] The aim of this paper is to provide insights into the impacts of key aspects of hydrogen production, storage, transport, use and subsequent treatment in the context of AI and big data, and to explore the positive economic and environmental effects of hydrogen and photovoltaic power generation. By applying the Life Cycle Assessment (LCA) methodology, this paper establishes a small model of early hydrogen-related data and a detailed data model after applying AI big data in order to compare the environmental impacts and economic benefits of different hydrogen production methods. Meanwhile, the paper also delves into the application of AI technology in the production, storage, transport, use and subsequent processing of hydrogen energy, and its great help to the hydrogen energy industry. The data and economic benefits of photovoltaic power generation are studied with the example of Nanjing Engineering Institute. In addition, this paper analyses the future development trend of the hydrogen energy industry. The in-depth discussion of this study can provide useful theoretical and practical guidance for promoting the sustainable development of hydrogen energy industry.

[Key words] hydrogen energy; artificial intelligence; big data, life cycle assessment; future trends

引言

随着人工智能和大数据技术的迅猛发展,以及全球对可持续能源的迫切需求,氢能和光伏发电作为清洁、高效的能源形式正逐渐引起世界各国的广泛关注。黄仁勋先生曾指出,人工智能的尽头将在于光伏和储能技术的发展。这一言论引发了对于人工智能与清洁能源之间关系的深入思考。在这一背景下,人工智能大数据与氢能发展密不可分,两者相互交织、相互促进,为实现可持续发展目标提供了新的动力与机遇。政策层面的支持也进一步推动了氢能技术的创新与应用,尤其是在人工智能和大数据的推动下,氢能产业正经历着前所未有的发展潜力。

本研究旨在深入剖析在人工智能和大数据背景下,氢能的

生产、储存、运输、使用及后续处理等关键环节的影响,并以南京工程学院为例,探讨氢能和光伏发电对经济和环境的积极效应。通过运用生命周期评价(LCA)方法,我们将建立早期氢相关数据小模型和应用人工智能大数据后的详细数据模型,以比较不同制氢方式的环境影响和经济效益。同时,我们还将深入探讨氢能生产、储存、运输、使用及后续处理等环节中人工智能技术的应用,以及其对氢能产业的巨大助力。

1 问题重述

1.1 问题背景和意义

1.1.1 问题背景

当今世界,人工智能和大数据技术正以前所未有的速度迅

猛发展。同时，全球范围内对于可再生能源和清洁能源的需求也日益迫切，以缓解传统化石能源对环境的不良影响。在这样的大环境下，氢能等一些可再生能源作为一种高效、清洁的能源被普遍看好，并受到了各国政府的重点支持和政策倡导。

政策层面上，各国制定了相关的支持和鼓励政策，以推动人工智能、大数据与可再生能源的紧密结合。中国政府发布了《新能源汽车产业发展规划(2021-2035年)》，其中包括了氢能汽车在内的新能源汽车的发展规划和政策支持。该规划明确提出了发展氢燃料电池汽车产业的目标，包括推动氢燃料电池汽车技术创新、建设氢燃料电池汽车充电基础设施等^[1]。日本政府支持氢能技术的研发和应用，积极推动氢能技术的商业化应用，以实现氢能作为清洁能源的大规模使用^[2]。德国政府通过《氢战略》等文件，提出了未来氢能技术发展的规划和政策措施。德国的氢战略旨在推动氢能技术的发展，并将氢能作为未来能源系统的关键组成部分^[3]，同时，德国政府也通过《可再生能源法》等政策支持光伏发电的发展，其智能电网和智能能源管理系统在世界范围内具有一定影响力，人工智能和大数据技术被广泛应用于光伏发电系统的运行优化和智能监控^[4]。美国能源部设立了氢能和燃料电池技术办公室，致力于推动氢能和燃料电池技术的创新与商业化应用。这些政策的实施，为人工智能、大数据与氢能的深度融合提供了良好的政策环境和政策支持^[5]。

2 文献综述

2.1 氢能发展现状

2.1.1 全球氢能政策与发展状况

全球氢能政策和发展呈现出积极的趋势，许多国家已制定了战略计划以推动氢能的普及。国际能源署(IEA)的报告指出，氢能的生产成本在降低，尤其是来自太阳能光伏和风能的电解水制氢成本(IEA)(IEA)。全球氢能政策的主要目标包括：

①技术创新与示范项目：各国纷纷启动大规模氢能示范项目，以验证技术的可行性和经济性。例如，欧盟的“绿色协议”将氢能视为实现气候中立的重要工具(IEA)。日本和韩国在氢能燃料电池汽车(FCEV)领域取得了显著进展，通过政策支持和市场激励措施促进了氢能技术的发展(KPMG)。

②基础设施建设：各国加快了氢能基础设施的建设，如氢气加注站和电解设备，以支持氢能的广泛应用(KPMG)。从商业层面看，迄今全球已经启动了680多个大型氢能项目，包括埃克森美孚在得克萨斯州开发的全球最大低碳制氢设施、西班牙伊比德罗拉电力公司在普埃托里亚诺建设的欧洲最大工业用氢能工厂，法国企业Lhyfe正在筹建的全球首个海上氢气工厂等。数据显示，截至2022年年底全球氢能领域的直接投资额近2500亿美元^[7]。

③国际合作与市场推广：国际合作在推动清洁氢能技术应用方面发挥着越来越重要的作用。例如，澳大利亚和新加坡之间的合作旨在加速清洁氢能技术在海事和港口运营中的应用。这种合作有望促进清洁能源在海上交通和港口管理中的广泛应用，为减少碳排放和保护海洋生态环境做出贡献^[8]。

2.1.2 国内氢能政策

国家层面的《氢能产业发展中长期规划(2021-2035年)》明确了氢能作为中国未来低碳能源系统的重要组成部分的地位，强调了氢能在减少碳排放、提升能源安全中的作用^[9]。

表1 综合传统化石燃料发电投资成本输入

符号	说明
Cap_t	第t年的资本投资
FO_t	第t年的固定运营成本
VO_t	第t年的可变运营成本
E_t	第t年的功率输出
ΔP_t	价格波动修正系数
ΔQ_t	产量变化修正系数
t	年份
x	是太阳能光伏弃电成本或氢能产量
y	太阳能光伏弃电成本或氢能产量
β_0	待拟合的系数
β_1	待拟合的系数
β_2	待拟合的系数
β_3	待拟合的系数
x_1	太阳能发电量
x_2	太阳能装机容量
x_3	清洁能源占比
P	政策支持指数
M	光伏材料更新指数
y	太阳能光伏弃电成本或氢能产量
$y_{discard}$	太阳能光伏弃电成本
$y_{hydrogen}$	氢能产量(万吨)

2.2 人工智能与大数据在氢能中的应用

在氢能的生产与应用中，AI和大数据技术扮演了重要的角色。在氢能生产方面，数据收集与分析已成为提高生产效率和降低成本的关键。通过大数据技术，我们能够实时收集氢气生产设备的所有数据，包括温度、压力等参数。利用人工智能技术对这些数据进行分析，我们可以优化生产过程，提高能源利用效率。更为重要的是，AI算法能通过分析设备运行数据，能够提前预测设备可能出现的故障，并提出维护建议，从而减少停机时间，提高生产效率^{[10][11]}。

表2 综合传统化石燃料发电投资成本输入

年份	煤炭经济寿命年数	石油经济寿命年数	天然气经济寿命年数	煤炭平衡电价 (\$/MWh)	石油平衡电价 (\$/MWh)	天然气平衡电价 (\$/MWh)	煤炭功率输出 (MW)	石油功率输出 (MW)	天然气功率输出 (MW)	煤炭资本投资 (\$/kW)	石油资本投资 (\$/kW)
2001	40	25	30	45	60	50	500	200	300	2000	1500
2002	40	25	30	46	61	51	510	205	307	2050	1530
2003	40	25	30	47	62	52	520	210	314	2100	1560
2004	40	25	30	48	63	53	530	215	321	2150	1590
2005	40	25	30	49	64	54	540	220	328	2200	1620
2006	40	25	30	50	65	55	550	225	335	2250	1650
2007	40	25	30	51	66	56	560	230	342	2300	1680
2008	40	25	30	52	67	57	570	235	349	2350	1710
2009	40	25	30	53	68	58	580	240	356	2400	1740
2010	40	25	30	54	69	59	590	245	363	2450	1770
2011	40	25	30	55	70	60	600	250	370	2500	1800
2012	40	25	30	56	71	61	610	255	377	2550	1830
2013	40	25	30	57	72	62	620	260	384	2600	1860
2014	40	25	30	58	73	63	630	265	391	2650	1890
2015	40	25	30	59	74	64	640	270	398	2700	1920

在氢能储存与运输方面,氢能源产业中,大数据技术被用于监控氢气储罐的状态,以确保其安全性和稳定性。同时,人工智能技术的运用也为氢气运输带来了新的优化方案,通过智能算法优化路线和运输方式,提高了效率并降低了成本,这无疑是推动氢能源产业可持续发展的重要举措之一^[12]。

3 模型建构思路

模型一:早期氢能相关数据模型

该模型主要通过文献回顾获取历史时期氢能生产的数据。分析方法结合定量分析和定性分析,评估早期氢能生产的环境影响。通过对历史数据的分析,可以了解早期氢能技术的环境影响特点,为现代技术的改进提供参考^[12]。

模型二:现代人工智能和大数据下氢能详细数据的LCA模型

现代LCA模型的目标是评估现代氢能生产技术在大数据和AI支持下的环境影响。范围涵盖从原料获取到使用的全生命周期,包括生产、运输和使用阶段^[15]。不同制氢方式的环境影响对比包括电解水制氢和蒸汽甲烷重整(SMR)制氢。电解水制氢使

用可再生能源电力,具有较低的碳排放,需要优化水资源管理,减少消耗^[14]。蒸汽甲烷重整技术虽然成熟,但碳排放高,依赖化石燃料,需要改进碳捕获技术^[15]。大数据时代下利用光伏弃电进行电解水制氢的研究对象确定为分析利用光伏发电弃电进行电解水制氢的案例。数据分析通过实时数据监测,优化光伏电力的利用,提高电解水制氢的效率,并利用机器学习算法预测光伏发电量,优化电解水制氢过程。

4 早期制氢成本分析模型

4.1化石燃料原材料成本

4.2化石燃料LCOE生命周期成本分析与公式

4.2.1 LCOE生命周期成本公式拟合

据表3拟合出LCOE公式

$$LCOE = P = \frac{\sum_{t=0}^T [(Cap_t + FO_t + VO_t + \Delta P_t)(1+r)^{-t}]}{\sum_{t=0}^T [E_t \cdot \Delta Q_t \cdot (1+r)^{-t}]} \quad \text{公式1}$$

4.2.2 影响因素分析及公式修正

为了将战争等因素对国际能源价格以及能源产量的影响纳入LCOE公式,我们可以引入价格波动和产量变化的修正系数。修正后的LCOE公式:

$$LCOE = P = \frac{\sum_{t=0}^T [(Cap_t + FO_t + VO_t + \Delta P_t)(1+r)^{-t}]}{\sum_{t=0}^T [E_t \cdot \Delta Q_t \cdot (1+r)^{-t}]} \quad \text{公式2}$$

5 人工智能和大数据下氢能详细数据的LCA模型

5.1 模型二: 现代人工智能和大数据下氢能详细数据的LCA模型

5.1.1 生产方式对比分析

据图1显示,四种制氢方式的有害气体排放存在显著差异。图中展示了各种制氢方式在ADP(资源消耗)、GWP(温室气体排放)、AP(酸化潜力)、EP(富营养化潜力)、POCP(光化学氧化物形成潜力)、HTP(人体毒性潜力)等多个环境指标下的表现。显而易见,不同制氢方式在这些指标上差异明显,部分制氢方式在某些指标上表现出较高的排放值,特别是在资源消耗和温室气体排放方面。通过对比我们得出结论:选择光伏电解水方式对环境与人体的危害最小。

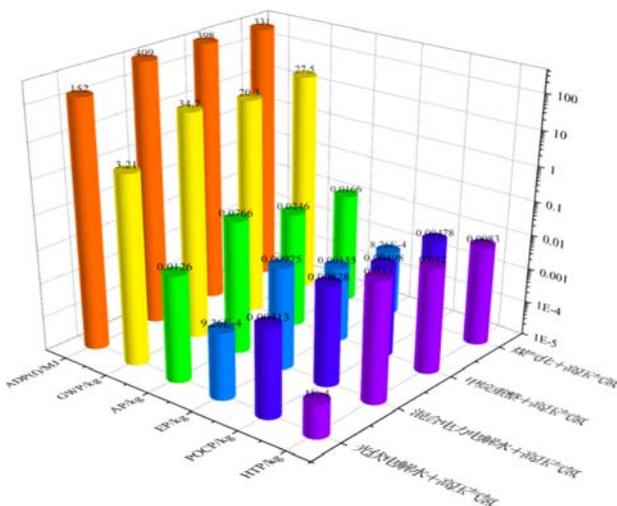


图1 四种制氢方式有害气体排放对比柱状图

5.1.2 原材料采集: 电力与水

当进行电解水制氢时,电力是至关重要的原材料之一。电力通过电解设备,通过将电流传递通过水中的电解质,如氢氧化钠电解。在电解过程中,水分子被分解成氢气和氧气。另一个重要的原材料是水。水是水电解的基础,因此需要足够的水供应来满足生产需求。优质的水资源对于产生高纯度的氢气至关重要,因为任何杂质都可能影响氢气的纯度和品质。水资源的可用性和质量直接影响着氢气生产的效率和成本。

5.1.3 氢电极

标准氢电极被定义为在标准状态下(温度为298K,即25℃,压力为1 atm,即1 bar时),氢气在铂电极上的反应,产生氢离子

和电子的半反应。标准氢电极的电势被定义为零,并被用作其他电极电势的参考点。其图解如下:

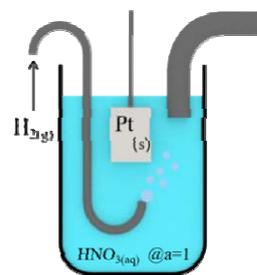


图2 电解水制氢示意图

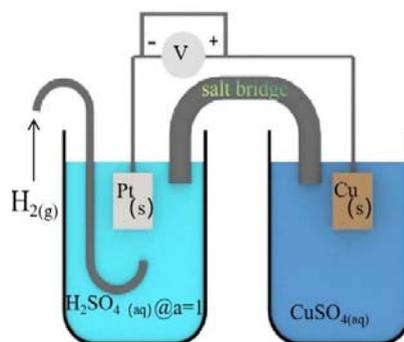
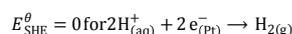
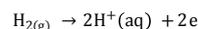
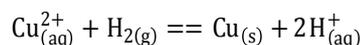


图3 氢电极



关于氢电极有两点说明:第一,电极的绝对Φ0难以确定,在实践中,它通过与参比电极配对来测量;第二,通常选择标准氢电极(SHE)作为参考,其自身的Φ0被认为是零。

5.1.4 生产规模的评估

国际能源署预测,到2028年,中国将安装24GW的可再生能源产能用于制氢,远高于预计所需的1GW。这将为中国政府到2025年实现每年10万~20万吨可再生氢的目标提供动力。氢气生产规模评估需考虑技术、市场需求、原材料供应、基础设施和环境影响等因素。提高电解效率、保障电力和水资源供应、完善基础设施、进行环境影响评估及优化经济效益是关键。政府政策的支持对扩大生产规模也至关重要。

5.2 储存与运输分析

5.2.1 氢能的能源密度对储存和运输的影响

我们统计了各种气体和燃料的体积密度和重量密度数据,绘制了如下模型:

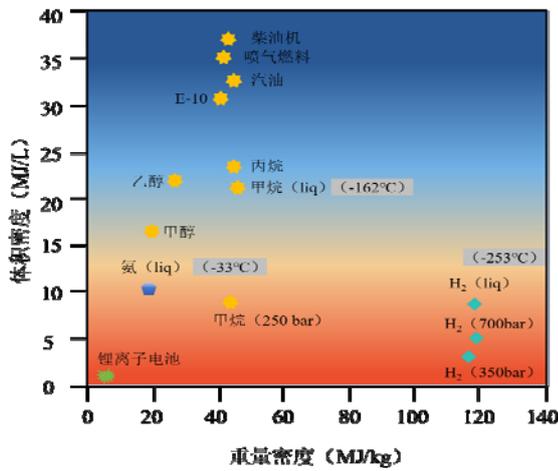


图4 常见能源重量密度

由图4, 氢气具有非常低的能量密度, 直接储存或运输比较困难。由于氢气的低密度和轻量特性, 相比于传统燃料, 需要更大的容器来存储相同能量的氢气。这可能导致储存设施和运输车辆的体积增加, 增加成本和复杂性。氢气的低能量密度使得其储存和运输具有挑战性。通常的解决方案包括将氢气压缩成液态或通过化学方法转化为更易于储存的形式, 如与氨或甲醇形成的氢化合物。这些方法提高了能量密度, 但增加了技术复杂性。

综上, 氢能的低能源密度对其储存和运输系统带来挑战, 需要综合考虑安全、成本和效率等因素来选择适当的储存和运输方案。为克服氢气的低密度问题, 一种常见的方法是将氢气压缩成液态氢(液态压缩氢, LH2)。虽然液态氢具有更高的能量密度, 但是液态氢的低温要求和储存容器的绝缘需求增加了存储和运输系统的复杂性。

5.2.2 成本分析公式

对于氢能储存成本的公式:

$$C_{\text{储存}}(t) = C_{\text{储存}}(0) \cdot (1 + g_{\text{储存}})^t \quad \text{公式(4)}$$

同样地, 氢能运输成本的公式:

$$C_{\text{运输}}(t) = C_{\text{运输}}(0) \cdot (1 + g_{\text{运输}})^t \quad \text{公式(5)}$$

通过这些公式, 我们可以计算出未来任何给定时间点的氢能储存和运输成本, 这对于制定长期的能源策略和预算规划至关重要。它们提供了一个量化的方法来考虑成本随时间的增加, 帮助决策者和分析师在考虑未来投资和运营成本时作出更有信息的选择。

5.3 使用阶段分析

5.3.1 氢燃料电池的使用与效率分析

氢燃料电池是一种将氢气与氧气转化为电能的装置, 过程中水是唯一的产品。这种电池的工作原理基于电化学反应而非燃烧, 所以不产生污染物。氢燃料电池的主要组成部分包括阳

极(氢气侧)、阴极(氧气侧)以及电解质膜, 其中电解质膜仅允许质子通过, 不允许电子通过。当氢气进入电池时, 在阳极处被催化剂催化分解为质子和电子。质子通过电解质膜向阴极移动, 电子则通过外电路移动产生电流, 最终在阴极与进入的氧气结合生成水。其原理如图:

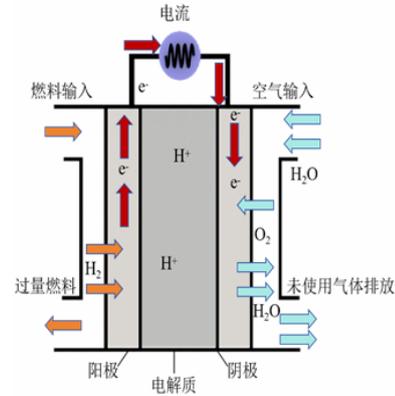


图5 酸性燃料电池反应示意图

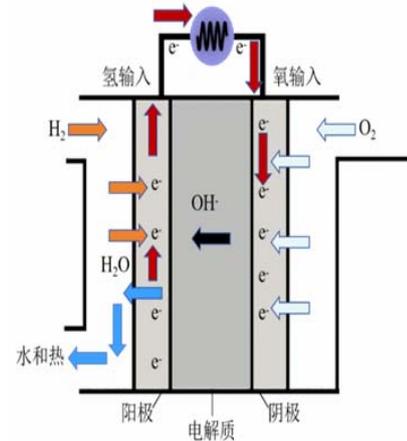
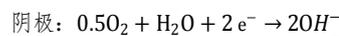
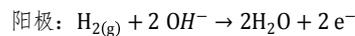


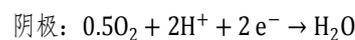
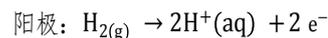
图6 碱性燃料电池反应示意图

碱性燃料电池



$$E_{\text{cell}} = \varphi_{\text{red}} - \varphi_{\text{ox}} = E_{\text{cell}}^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{H_2O}}{a_{O_2(g)}^{0.5} a_{H_2(g)}}$$

$$E_{\text{cell}}^0 = \varphi_{\text{red}}^0 - \varphi_{\text{ox}}^0 = 0.401 - (-0.838) = 1.229V$$



$$E_{\text{cell}} = \varphi_{\text{red}} - \varphi_{\text{ox}} = E_{\text{cell}}^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{H_2O}}{a_{O_2(g)}^{0.5} a_{H_2(g)}}$$

$$E_{\text{cell}}^0 = \varphi_{\text{red}}^0 - \varphi_{\text{ox}}^0 = 1.229 - 0 = 1.229V$$

5.3.2 水电解反应的技术评估(氢燃料电池的效率分析)

水电解的总体反应: $H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

H_2 消耗速率 (mol/s): $m = 1/(2 \cdot F)$

上述假设100%的 H_2 消耗用于电流生成。如果考虑电流效率(也称为法拉第效率) (<100%): $m = 1/(2 \cdot F) \cdot \eta$

燃料电池效率可以根据消耗的每摩尔 H_2 产生的电量来计算:

$$\eta_{FC} = V \cdot I / m = V \cdot 2 \cdot F \cdot a \quad \text{公式6}$$

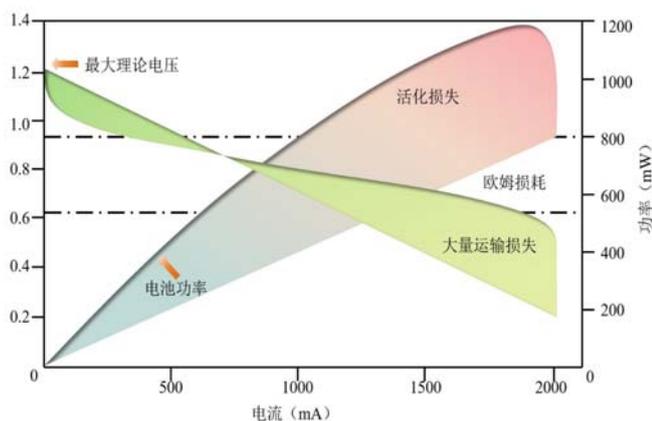


图7 电流大小与功率消耗

由于极化导致 V 随着 I 的增加而增加, 因此当电解器以更高的电流运行时, η_{ELY} 会降低。但是, 与燃料电池的情况类似, 当电流过低时, 所考虑的设备产生的 H_2 输出非常低, 这意味着需要更多(或更大型)的设备(因此设备成本更高)来满足高 H_2 需求。而电解器效率则可用能量输入输出比表达: H_2 的低热值 (Lower Heating Value, LHV) = 240 千焦/摩尔 $\eta_{ELY} = m \cdot LHV_{H_2} / (V \cdot I)$ 。

5.3.3 应用领域: 交通与工业

氢能作为一种清洁、高效、可再生的能源, 在交通和工业领域展现出广阔的应用前景。

交通领域, 氢能主要用于燃料电池汽车 (Fuel Cell Vehicles, FCVs)。燃料电池通过氢气和氧气的电化学反应产生电能, 驱动电动机, 从而实现车辆的行驶。这一过程不产生二氧化碳和有害气体, 仅排放水蒸气, 因此被视为未来清洁能源的重要方向之一。氢燃料电池汽车具有续航里程长、加氢速度快的优点, 在重型和长途运输方面, 氢燃料电池卡车因其高能量密度和快速加氢特性, 相较于传统电池电动车, 更能满足高频次长距离运输的需求。

工业领域, 氢能同样扮演着重要角色。传统工业生产大量使用化石燃料, 导致高碳排放和严重的环境污染。氢作为一种清洁能源, 能够替代煤炭、石油和天然气等化石燃料, 减少工业生产的碳足迹。在钢铁行业, 氢气可作为还原剂代替焦炭进行铁矿石还原, 从而大幅降低二氧化碳排放。化工行业中, 氢气被广泛用于合成氨、甲醇等化学品生产, 未来随着绿色氢能(利用可再生能源电解水制得的氢气)的应用, 可以进一步降低化工产品的碳排放。

5.4 模型对比与结论分析

在模型一和模型二的对比中, 我们可以明显看到人工智能和大数据技术的应用对氢能生产带来的优势和改进。通过使用先进的预测模型和机器学习算法, 可以更准确地预测氢气生产需求和优化能源使用效率。AI可以在实时监控系统中使用, 对设备性能进行持续分析, 及时发现并修复效率低下的问题, 减少能源浪费; 模型二中, 通过优化生产过程和增强能源管理, AI能够减少不必要的能耗和相应的温室气体排放。氢能作为一种清洁能源, 其生产过程中的碳排放本身就低于传统化石燃料, 结合AI技术进一步降低排放; 同时, 氢能生产过程对水资源消耗与土壤污染降低, 通过AI系统的优化, 能够实现更高效的水资源管理和循环使用。由于氢能生产较少依赖于化学处理和有害物质的使用, 相比传统化石燃料, 土壤污染也显著减少。

通过详细对比两个模型, 我们可以得出结论, 现代人工智能和大数据技术的应用在氢能生产中不仅能够提高能源效率和生产效率, 还能显著降低环境影响。未来, 随着AI和大数据技术的进一步发展和优化, 其在能源领域的应用潜力巨大, 尤其是在促进氢能及其他可再生能源的广泛应用中。

6 案例研究

6.1 光伏制氢案例分析(光伏弃电)

6.1.1 案例背景

为了更好的通过电解水的方式制取氢, 我们想到了利用另一种绿色能源——太阳能来提供电力。光伏发电作为一种可再生能源技术, 具有显著的环境和经济好处。如图所示, 用传统的煤, 每发出1度电, 分别产生834、19、2、3克的二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物以及灰尘, 但是, 光伏在运行时, 不产生污染物, 相对煤电实现减排4993吨的污染物。因此, 相比于其他化石能源, 它能够产生清洁、可持续的电力, 几乎不产生温室气体排放。

光伏制氢结合了光伏发电的环境优势和氢能的高效能量存储特性, 提供了一种创新的解决方案, 用于增强能源系统的可持续性和灵活性。通过使用光伏系统产生的电力直接电解水来制氢, 这种方法不仅能够有效利用太阳能这一洁净、无尽的能源, 还能减少传统能源生产过程中的碳排放。同时, 光伏制氢可以将过剩或时段性的电力转换为氢气, 这种能量的形式易于储存和运输, 可以在无需电网的情况下供应能源, 或者用于燃料电池车和其他工业用途。这种方式通过减少弃电现象, 优化了整个电力系统的效率, 为实现低碳经济和推动清洁能源的广泛应用开辟了新道路。

6.1.2 光伏数据量化分析(以南京工程学院为例)

以江苏省南京市南京工程学院为例, 为实现校园“双碳”目标, 南京工程学院分布式光伏发电系统项目是积极响应国家《绿色学校创建行动方案》, 推进校企产学研深度融合的重要合作项目, 建设光伏面板5.47万平方米, 打造“光伏+”智慧能源示范, 预计平均每年可为学校提供约595.8万千瓦时绿电, 年均减少4993吨二氧化碳排放。

南京工程学院项目位于中国东部, 该地区日照充足, 是安装

光伏电站的理想地点。该项目的光伏板年利用小时数可达到990至1100小时,此外,项目预计寿命可达25年,每年可为学校提供5950兆瓦时的绿色电力。然而,由于电网容量限制,平均每天有约20%的电能成为弃电,即1190兆瓦时的电能未被利用。如果通过引入光伏制氢系统,这部分电能被用于电解水,每天大约能够生产200吨氢气。这一量级的氢气生产可减少约600吨的二氧化碳排放(假设氢气替代了相同热值的煤炭发电),显著降低了碳足迹。

6.1.3经济效益分析

经济效益方面,光伏制氢能够提高光伏电站的电能利用率,减少经济损失。同时,氢能作为一种高价值的能源载体,其销售可以为电站带来新的收入来源。此外,氢能的产生和使用还有助于促进相关产业链的发展,如氢燃料电池汽车和其他氢能应用技术,从而推动地方经济增长和产业升级。

7 结论与展望

7.1研究结论

本研究通过全面生命周期评估(LCA)方法详细分析了氢能的生产应用成本在未来能源转型中的作用,突出了其在促进可持续能源发展方面的潜力。以南工程项目为例,深入探讨了光伏弃电制氢的应用实践,该技术不仅有助于减少电能浪费,还能显著提升清洁能源的利用效率。此外,随着全球范围内对低碳经济的持续推进,氢能预期将在新能源体系中占据更加突出的位置。因此,进一步优化氢能的生产和应用技术,以及加强相关政策支持 and 市场激励措施,将是未来氢能发展的关键。

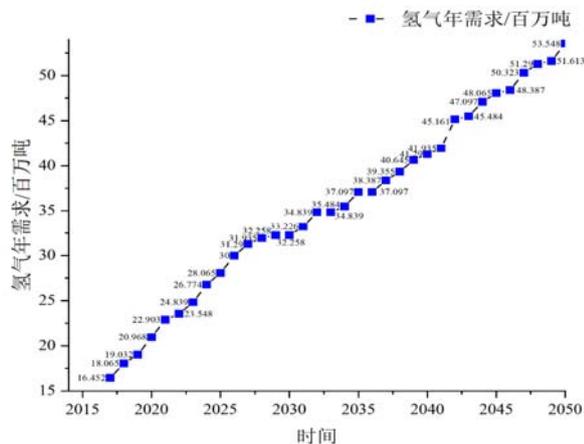


图8 氢气年需求量

7.2未来展望

7.2.1现有数据初步汇总

通过对国际能源署和欧洲能源局等国际官方网站相关文献和数据的整理,我们得出以下数据:

7.2.2初步假设

如果假设新政策对太阳能和氢能产业按现在趋势提供资金补贴、税收优惠、研发投入等多方面的政策支持,同时加大对清洁能源的推广力度。在未来30年,太阳能光伏效率将达到30%,氢能电解效率将达到80%,特别是在2030年之后,由于环保压力

和碳排放减少目标的提升,对太阳能和氢能等清洁能源的需求将进一步增加。根据现有数据,我们将预测2030年至2050年间每年的太阳能光伏弃电成本。假设弃电成本逐年下降,我们使用相同的线性插值方法进行估算。

表3 2018至2023年,太阳能光伏弃电与氢能产量数据汇总

污染物	CO ₂	SO ₂	NO _x	灰尘
光伏(g/kWh)	0	0	0	0
燃煤电力的排放强度(g/kWh)*	834	19	2	3
年减排量(tons)	4,993	111	12	21
总减排量(tons)	124,821	2,785	290	521

7.2.3已知数据:

2030年: 假设弃电成本为0.05美元/千瓦时

2040年: 假设弃电成本为0.03美元/千瓦时

2050年: 假设弃电成本为0.01美元/千瓦时

我们将通过线性插值法计算2030至2050年每一年的具体数据。假设每一年之间的数据变化是线性递增的。对于两个已知点(1, 1)和(2, 2),我们可以使用线性插值公式来估算中间点的值:

$$y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \times (x - x_1) \quad \text{公式6}$$

具体计算:

①太阳能发电量(TWh):

$$\text{增量} = \frac{700 - 350}{2040 - 2030} = 35 \text{ TWh} / (2030 \text{到} 2040)$$

$$\text{增量} = \frac{1200 - 700}{2050 - 2040} = 50 \text{ TWh} / (2040 \text{到} 2050)$$

②太阳能装机容量(GW):

$$\text{增量} = \frac{1400 - 700}{2040 - 2030} = 70 \text{ GW} (2030 \text{到} 2040)$$

$$\text{增量} = \frac{2400 - 1400}{2050 - 2040} = 100 \text{ GW} / \text{年} (2040 \text{到} 2050)$$

③氢能产量(万吨):

$$\text{增量} = \frac{1000 - 500}{2040 - 2030} = 50 (2030 \text{到} 2040)$$

$$\text{增量} = \frac{2000 - 1000}{2050 - 2040} = 100 (2040 \text{到} 2050)$$

④清洁能源占比(%):

$$\text{增量} = \frac{65 - 45}{2040 - 2030} = 2\% (2030 \text{到} 2040)$$

$$\text{增量} = \frac{85 - 65}{2050 - 2040} = 2\% \text{ (2040到2050)}$$

$$Y_{\text{discard}} = 0.1500 - 0.0001x_1 + 0.00002x_2 - 0.001x_3 - 0.02P - 0.03M$$

根据合理预测,到2040年,太阳能发电量将增至700TWh,太阳能装机容量将增至1400GW,氢能产量将增至10百万吨,清洁能源占比将达到65%。到2050年,太阳能发电量将达到1200TWh,太阳能装机容量将达到2400GW,氢能产量将达到20百万吨,清洁能源占比将达到85%。通过初步假设,我们认为其应当是一个多元线性回归模型,接下来我们将在此基础上进行拟合。

7.2.4数据拟合

通过使用Matlab进行拟合,我们得出了以下多元线性回归模型:

$$Y_{\text{hydrogen}} = 50 + 0.1x_1 + 0.05x_2 + 2x_3 + 10P + 5M$$

7.2.5影响因素及修正

考虑到由于政策的变化,以及光伏材料在不断更新,初步拟合公式存在一定的缺陷。为进一步精确地拟合太阳能光伏弃电成本和氢能产量的计算公式,我们需要考虑政策支持、光伏材料更新等因素。假设这些因素可以通过以下变量表示:

①政策支持指数(P):假设其值从2018年的1逐渐增加到2050年的3。

②光伏材料更新指数(M):假设其值从2018年的1逐渐增加到2050年的2。

表4 2018-2023政策支持指数与光伏材料更新指数

$$Y_{\text{hydrogen}} = 50 + 0.1x_1 + 0.05x_2 + 2x_3 + 10P + 5M$$

7.2.6数据代入和趋势分析

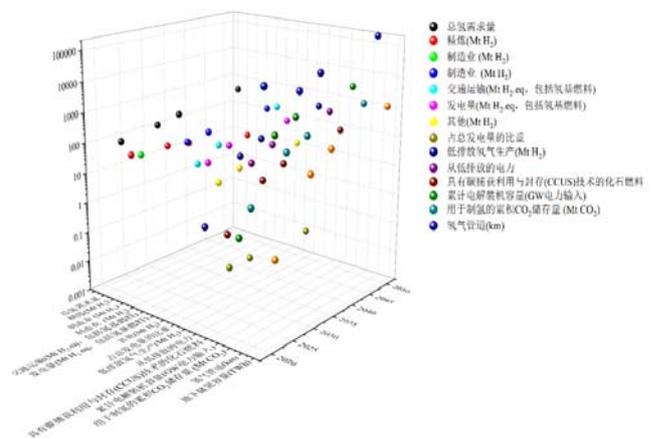
假设在2030-2050年间,为了预测太阳能发电和氢能产量的发展趋势,我们引入了两个关键指标:政策支持指数(P)和光伏材料更新指数(M)。在此期间,政策支持指数从1.5增加到3,而光伏材料更新指数从1.5增加到2。基于这些假设,我们可以逐年计算两个指数的增量,其中政策支持指数的年增长量为 $(3-1.5)/(2050-2030)=0.075$,光伏材料更新指数的年增长量为 $(2-1.5)/(2050-2030)=0.025$ 。

表5 太阳能发电前景初步假设预测表

年份	政策支持指数 (P)	光伏材料更新指数 (M)
2018	1	1
2019	1.1	1.1
2020	1.2	1.2
2021	1.3	1.3
2022	1.4	1.4
2023	1.5	1.5

年份	太阳能发电量 (TWh)	太阳能装机容量 (GW)	清洁能源占比 (%)	太阳能光伏弃电成本 (美元/千瓦时)	氢能产量 (万吨)
2018	200	400	20	0.1	200
2019	220	440	23	0.092	230
2020	240	480	26	0.084	260
2021	260	520	29	0.076	290
2022	280	560	32	0.068	320
2023	300	600	35	0.06	350

7.2.7政策建议与实践启示



年份	太阳能发电量 (TWh)	太阳能装机容量 (GW)	氢能产量 (百万吨)	清洁能源占比 (%)
2020	100	200	1	20
2030	350	700	5	45
2040	700	1400	10	65
2050	1200	2400	20	85

图9 国际能源署对氢能未来的应用状况的预测

通过对光伏弃电制氢成本和和应用趋势扩大的预测,我们认识到大数据时代必须有更好的政策机制才能更好地发展绿氢产业,因此我们据上面的预测提出了几点建议:首先,建议加大对光伏弃电制氢技术的研究与投入,利用大数据分析优化制氢过程,提高技术成熟度和经济可行性;其次,政府应出台政策支持措施,如补贴、税收减免和低息贷款等,建立市场激励机制,鼓励企业和个人投资氢能项目,并通过人工智能技术提升投资决策的精准度;第三,完善氢能基础设施建设,包括生产、储存和运输设施,利用物联网和智能监控系统,制定相

我们将这些因素引入到模型中,并调整拟合公式。

$$Y_{\text{discard}} = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4P + \beta_5M$$

$$Y_{\text{hydrogen}} = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4P + \beta_5M$$

将待拟合部分进行拟合后得出以下公式

关标准和规范,确保供应链安全高效运行;第四,化环保和安全监管,制定严格的政策确保氢能产业的绿色发展和安全运营,通过人工智能技术实时监控和预测环境及安全风险;最后,加强公众宣传和教育,利用大数据分析公众反馈,优化宣传策略,提高公众对氢能的认知和接受度。通过这些措施,氢能有望在未来的能源体系中占据重要位置,助力全球低碳经济的发展,实现碳中和目标。

[参考文献]

- [1]《新能源汽车产业发展规划(2021-2035年)》http://www.gov.cn/zhengce/2021-11/17/content_5650668.htm.
- [2]Japan's Basic Hydrogen Strategy(Revised)https://www.meti.go.jp/english/press/2019/0613_002.html.
- [3]Germany's National Hydrogen Strategy - <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Dossier/hydrogen-strategy.html>.
- [4](German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy(BMWi)-<https://www.bmwi.de/Navigations/EN/Home/home.html>).
- [5]U.S.Department of Energy's Hydrogen and Fuel Cell TechnologiesOffice-<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-and-fuel-cell-technologies-office>.
- [6]国际能源署.全球氢能回顾 2022.IEA(IEA).
- [7]IRENA.绿色氢能政策.IRENA(IRENA).
- [8]KPMG.国家氢能战略.KPMG(KPMG).
- [9]Columbia University SIPA.中国的氢能战略:国家与区域计划.Columbia University(CGEP).
- [10]Mishra,M.,& Zio,E.(2023).AI and Digital Twins Technolo-

gies for Hydrogen(H₂) Production Power Plants.Energies.Retrieved from MDPI(MDPI).

[11]EY.(2023).Hydrogen and artificial intelligence to play 'critical role' in scaling up renewables.PV Tech. Retrieved from PV Tech(PV Tech).

[12]International Energy Agency(IEA).Global Hydrogen Review.Availableat:<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>.

[13]Elgowainy,A.Review of Emerging Hydrogen Production Technologies.Hydrogen Energy Program.

[14]Valente,A.,Iribarren,D.,& Dufour,J.Life Cycle Assessment of Hydrogen Energy Systems:A Review.Environmental Science & Technology.

[15]Frontiers.Life-cycle assessment of hydrogen utilization in power generation: A systematic review of technological and methodological choices.

[16]李跃娟,华子清,冯倜龙,等.基于GREET软件的不同能源城市客车的燃料全生命周期环境影响评估.客车技术与研究,2022(01):52-55.

作者简介:

陈浩铭(2003--),男,汉族,江苏盐城人,本科在读,研究方向:氢能产业的经济分析。

李政希(2005--),男,汉族,广东揭阳人,本科在读,研究方向:氢能产业的经济分析。