

可再生能源制氢经济性与市场前景分析

王 鹏

国华（宁夏）新能源有限公司 宁夏 银川 750004

摘 要：本文深入探讨了可再生能源制氢的经济性，分析了影响其成本的关键因素，并通过对比不同制氢路径的经济性，揭示了当前可再生能源制氢在成本方面面临的挑战与机遇。同时，从政策环境、市场需求、技术进步等多个维度对可再生能源制氢的市场前景进行了全面剖析。最后，针对可再生能源制氢产业面临的问题，提出了相应的政策建议与发展策略，旨在推动可再生能源制氢产业的健康、快速发展。

关键词：可再生能源制氢；经济性；市场前景；能源转型

1 引言

能源是人类社会发展的基石，然而传统化石能源的过度使用带来了严重的环境污染和气候变化问题。为了实现可持续发展，全球各国纷纷将目光投向可再生能源的开发与利用。氢能作为一种清洁、高效、可存储的二次能源，被认为是未来能源体系的重要组成部分。而可再生能源制氢，即利用太阳能、风能、水能等可再生能源产生的电力进行电解水制氢，不仅实现了能源的清洁生产，还能有效解决可再生能源间歇性和波动性的问题，促进能源的高效利用。因此，深入研究可再生能源制氢的经济性与市场前景，对于推动能源转型、实现碳达峰碳中和目标具有重要的现实意义。

2 可再生能源制氢技术概述

目前，可再生能源制氢主要有电解水制氢、光解水制氢和生物制氢等技术路径，其中电解水制氢技术相对成熟，应用最为广泛。

2.1 电解水制氢

电解水制氢是通过电解装置将水分解为氢气和氧气的过程。根据电解质的不同，电解水制氢技术可分为碱性电解水（ALK）、质子交换膜电解水（PEM）和固体氧化物电解水（SOEC）三种类型。碱性电解水制氢技术成熟，成本相对较低，是目前应用最为广泛的电解水制氢技术。其工作原理是在碱性电解质溶液中，通过电极反应将水分解为氢气和氧气。然而，碱性电解水制氢存在响应速度慢、难以适应可再生能源波动性等问题。质子交换膜电解水制氢具有响应速度快、电流密度高、氢气纯度高等优点，能够更好地适应可再生能源的间歇性和波动性^[1]。但质子交换膜电解水制氢的成本较高，主要是由于质子交换膜和贵金属催化剂等关键材料价格昂贵。固体氧化物电解水制氢在高温下运行，具有较高的能量转换效率，且可以使用非贵金属催化剂，成本有望进一步降

低。但固体氧化物电解水制氢技术尚处于研发和示范阶段，面临材料稳定性、系统集成等方面的挑战。

2.2 光解水制氢

光解水制氢是利用太阳能直接将水分解为氢气和氧气的过程，无需消耗电能。该技术具有能源利用效率高、无污染等优点，但目前光解水制氢的效率较低，距离商业化应用还有较长的路要走。

2.3 生物制氢

生物制氢是利用微生物的代谢活动将有机物转化为氢气的过程。生物制氢具有原料来源广泛、反应条件温和等优点，但目前生物制氢的产氢速率和产氢量较低，且微生物的培养和反应过程的控制较为复杂。

3 可再生能源制氢经济性分析

3.1 成本构成

可再生能源制氢的成本主要包括制氢技术成本、可再生能源成本、设备折旧与运维成本、水资源成本等。

制氢技术成本：不同电解水制氢技术的成本差异较大。碱性电解水制氢的设备成本相对较低，但运行效率也相对较低；质子交换膜电解水制氢的设备成本较高，但运行效率高、响应速度快；固体氧化物电解水制氢的设备成本目前也较高，但随着技术的进步和规模化生产，成本有望降低。

可再生能源成本：可再生能源制氢依赖于太阳能、风能等可再生能源发电，因此可再生能源的成本对制氢成本具有重要影响。近年来，随着可再生能源技术的不断进步和规模效应的显现，太阳能和风能的发电成本持续下降，但仍存在一定的波动性。

设备折旧与运维成本：制氢设备的折旧费用和运行维护成本也是制氢成本的重要组成部分。设备的寿命、维护难度和频率等因素都会影响折旧与运维成本^[2]。一般来说，质子交换膜电解水制氢设备的维护成本相对较

高,因为其关键材料较为昂贵且对运行环境要求较高。

水资源成本:电解水制氢需要消耗大量的水,水资源成本虽然相对较低,但在水资源匮乏的地区,也需要考虑水资源对制氢成本的影响。

3.2 不同制氢路径经济性对比

为了更直观地比较不同制氢路径的经济性,我们以一个年产1000吨氢气的项目为例,对碱性电解水制氢、质子交换膜电解水制氢和化石能源制氢(以煤制氢为例)的成本进行了估算。

3.2.1 碱性电解水制氢

设备投资与功率:为满足年产1000吨氢气的产量需求,碱性电解水制氢规模设定为1400Nm³/h。已知单台碱性电解槽额定功率约为5MW,可产氢1000Nm³/h(约89千克/小时),经计算,达到1400Nm³/h的制氢规模需要相应配置设备。目前市场上,1000Nm³/h规模的碱性电解槽系统(包含电解槽主体、电源系统、气体分离与纯化装置等)单台报价约为1000万元,考虑到本项目制氢规模扩大至1400Nm³/h,需增加部分配套设备及系统优化成本,综合估算电解槽设备投资约为1500万元。

设备寿命:设备寿命为20年(第10年电解槽大修),年运行时间为8000小时。

成本估算:电价为0.3元/千瓦时,年制氢成本约为2500万元,单位制氢成本约为25元/千克。

3.2.2 质子交换膜电解水制氢

设备投资与功率:同样基于年产1000吨氢气的目标,质子交换膜电解水制氢规模设定为1000Nm³/h。目前市场上,1000Nm³/h规模的PEM电解槽系统(包括电解槽、电源、气体处理及控制系统)单台造价约为2000万元。考虑到实际项目中可能涉及的系统集成、调试以及预留一定的安全冗余等因素,综合估算设备投资约为3000万元。单台PEM电解槽的额定功率为1MW,产氢量约为200-500Nm³/h(具体取决于设计),本案例按平均产氢量折算。

设备寿命:设备寿命为20年(第10年电解槽大修),年运行时间为8000小时。

成本估算:电价为0.3元/千瓦时,年制氢成本约为3800万元,单位制氢成本约为38元/千克。

3.2.3 煤制氢

设备投资与工艺:煤制氢的成本主要取决于煤炭价格和工艺水平。假设煤炭价格为800元/吨,单位制氢耗煤量约为6千克/千克氢气。设备投资方面,煤气化制氢装置(含煤气化炉、净化装置等)的投资强度约为1.25万-1.77万元/Nm³·h,若需达到高纯氢标准(如4N级),投资强

度可达3.3万元/Nm³·h。本案例按中等规模装置估算,其他成本(包括设备折旧、运维、水资源等)约为5元/千克氢气。

成本估算:单位制氢成本约为14.8元/千克,其中煤炭成本占比约44%,设备折旧与运维成本占比约30%。

从上述估算可以看出,目前可再生能源制氢的成本明显高于化石能源制氢。但随着可再生能源发电成本的进一步降低、制氢技术的不断进步以及规模效应的显现,可再生能源制氢的成本有望逐步下降。

3.3 影响可再生能源制氢经济性的关键因素

可再生能源电价:可再生能源电价是影响可再生能源制氢成本的最关键因素。随着可再生能源技术的进步和规模效应的显现,太阳能和风能的发电成本不断下降,这将直接降低可再生能源制氢的成本。此外,通过优化可再生能源发电与制氢系统的匹配,提高可再生能源的利用率,也能进一步降低制氢成本。

制氢技术效率:制氢技术效率的提高可以降低单位氢气的能耗,从而降低制氢成本。例如,质子交换膜电解水制氢和固体氧化物电解水制氢具有较高的能量转换效率,虽然目前成本较高,但随着技术的不断进步和规模化生产,其成本有望逐渐降低,并在经济性上具备竞争力。

设备寿命与可靠性:制氢设备的寿命和可靠性直接影响设备的折旧费用和运行维护成本。提高设备的寿命和可靠性可以降低单位制氢成本。因此,研发高性能、长寿命的制氢设备是降低可再生能源制氢成本的重要途径。

政策支持:政府的政策支持对可再生能源制氢产业的发展至关重要。例如,补贴政策、税收优惠政策、绿色金融政策等可以降低企业的投资成本和运营成本,提高可再生能源制氢的经济性。此外,政府还可以通过制定相关标准和规范,引导产业健康发展。

4 可再生能源制氢市场前景分析

4.1 政策环境推动市场发展

为了应对气候变化和推动能源转型,全球各国纷纷出台了一系列支持可再生能源制氢产业发展的政策。例如,欧盟提出了“氢能战略”,计划到2030年将可再生能源制氢产量提高到1000万吨;中国也发布了《氢能产业发展中长期规划(2021-2035年)》,明确提出要加快发展可再生能源制氢,推进氢能“制储输用”全链条发展。这些政策的出台为可再生能源制氢产业提供了良好的发展环境和市场机遇。

4.2 能源转型需求带来广阔市场空间

随着全球对清洁能源的需求不断增长,能源转型已

成为必然趋势。可再生能源制氢作为一种清洁、高效的能源转换与存储方式,在能源转型中具有重要作用。一方面,可再生能源制氢可以将可再生能源转化为氢能进行存储,解决可再生能源间歇性和波动性的问题,提高能源供应的稳定性和可靠性;另一方面,氢能可以作为燃料电池汽车的能源,替代传统燃油汽车,减少交通运输领域的碳排放^[3]。

4.3 工业脱碳需求促进市场增长

工业领域是全球碳排放的主要来源之一,实现工业脱碳是实现碳达峰碳中和目标的关键。在钢铁、化工、水泥等高耗能、高排放行业,氢能可以作为一种清洁的还原剂和燃料,替代传统的化石能源,实现工业生产的低碳化。例如,在钢铁行业中,利用氢气进行直接还原炼铁可以大幅降低二氧化碳排放。

4.4 交通领域应用潜力巨大

交通领域是全球能源消耗和碳排放的重要领域之一。氢燃料电池汽车具有续航里程长、加氢时间短、零排放等优点,被认为是未来交通运输领域的重要发展方向。随着氢燃料电池技术的不断进步和加氢站基础设施的逐步完善,氢燃料电池汽车的市场规模将不断扩大。这将带动可再生能源制氢在交通领域的应用,为可再生能源制氢产业带来新的市场机遇。

5 可再生能源制氢产业发展面临的挑战

可再生能源制氢产业在发展过程中面临诸多挑战:成本方面,当前可再生能源制氢成本依旧较高,尽管可再生能源发电成本持续降低,但制氢设备及运维等成本居高不下,致使该产业经济性欠佳,成为大规模商业应用的主要阻碍;技术层面,尽管取得一定进展,却仍存在瓶颈,像电解水制氢技术效率有待提升,关键材料性能与成本需优化,光解水制氢和生物制氢技术效率较低,距商业化应用尚有距离;基础设施上,氢能储存、运输和加注等基础设施建设相对滞后,加氢站数量少且分布不均,难以满足氢燃料电池汽车加氢需求,同时氢能储存和运输技术也需进一步创新完善以提高安全性和经济性;市场机制领域,产业发展需要完善的市场机制支撑,然而目前氢能市场定价机制、交易机制等尚不完善,氢能市场价值难以充分体现,且可再生能源制氢与现有能源体系的融合在制度和技术上也存在一定障碍。

6 政策建议与发展策略

6.1 加强政策支持

政府应加大对可再生能源制氢产业的政策支持力度,包括补贴政策、税收优惠政策、绿色金融政策等。通过降低企业的投资成本和运营成本,提高可再生能源制氢的经济性,促进产业发展。同时,政府还应制定相关标准和规范,引导产业健康发展。

6.2 加大技术研发投入

加大对可再生能源制氢技术的研发投入,鼓励科研机构和企业开展产学研合作,突破关键技术瓶颈。重点支持电解水制氢技术的创新和优化,提高制氢效率和降低成本;加强对光解水制氢和生物制氢等前沿技术的研究和探索,为产业发展提供技术储备。

6.3 完善基础设施建设

加快氢能储存、运输和加注等基础设施建设,提高氢能的供应保障能力。制定加氢站建设规划,加大加氢站建设力度,优化加氢站布局^[4]。同时,加强对氢能储存和运输技术的研发和应用,提高安全性和经济性。

结语

可再生能源制氢是清洁高效的能源转换方式,在能源转型、工业与交通脱碳中前景广阔。尽管面临成本高、技术瓶颈、基础设施和市场机制不完善等挑战,但随着政策支持、技术进步和设施建设,其经济性将不断提升,市场竞争力增强,未来有望成为全球能源重要组成,助力实现“双碳”目标。推动该产业发展需政府、企业、科研机构和社会协同努力。政府应加强政策引导,企业加大投资创新,科研机构强化技术研发,社会提升宣传认知。多方合力将加快可再生能源制氢发展,促进绿色转型与可持续发展。

参考文献

- [1]杨晓,姚明宇,韩伟,等.大规模可再生能源电解制氢技术现状及发展研究[J].热力发电,2025,54(05):33-43.
- [2]雷蕾,贾冰峰,张成伟,等.我国可再生能源制氢发展趋势及路径分析[J].电力勘测设计,2025,(03):1-7+89.
- [3]周雨轩,张志宇,刘洪涛,等.可再生能源大规模制氢技术现状及发展趋势[J].低温与特气,2025,43(01):15-18+33.
- [4]徐英,王晓敏,张国杰,等.中国可再生能源状况及其制氢的潜力分析[J].山东化工,2024,53(21):76-77+82.