

2025 年 11 月 3 日

第 43 期

总第 718 期

绿氢和相关产品贸易的潜力分析

【译者按】今年 7 月，国际可再生能源署发布《绿氢和相关产品贸易的潜力分析》。报告认为，通过可再生能源驱动的电解水制氢将以安全且经济实惠的方式实现《巴黎协定》气候目标。绿氢及其商品的贸易可以通过创造获得绿氢及其衍生物的机会，以增强消费地区的工业竞争力。报告探讨了 2025 年绿氢及其相关商品交易的技术潜力，并得出如下结论：绿氢贸易以氢基商品为主导，或将推动可再生能源丰富的发展中地区成为出口主力，重塑全球能源格局。赛迪智库集成电路所、节能与环保研究所对该报告进行了编译，期望对我国有关部门有所帮助。

【关键词】 绿氢 差异化情景 贸易 潜力

一、执行摘要

国际可再生能源署（IRENA）在其《世界能源转型展望》中提出的 1.5°C 情景，展示了一条与实现《巴黎协定》目标相契合的能源转型路径。该情景确定了一系列解决方案，这些方案可通过规模化应用，在 2050 年前以安全且经济的方式将全球温升控制在 1.5°C 以内。

绿氢除作能源载体，还可作清洁原料连接可再生电力与碳密集型工业流程，不仅能为能源系统脱碳，还能助力钢铁、化工等难减排工业脱碳。绿氢及衍生物¹贸易可促进从资源丰富地区获取经济低碳燃料与原料，支持全球脱碳，同时减少化石燃料依赖、丰富能源供应方与贸易路线，增强能源安全与韧性。

绿氢及其商品贸易，可增强消费地区产业竞争力，支持生产地区经济发展与多元化，还能助力各国高效获取绿色商品，避免本地低效过度建设。

越来越多的国家正在制定与本国脱碳愿景和目标相一致的绿氢战略和政策。截至 2024 年 10 月，约有 56 个国家、西非国家经济共同体（ECOWAS）和欧盟²已出台专门的氢能政策，全球 46 个国家已制定国家（及超国家）战略，另有 8 个国家已制

¹ 其中包括：氨、电子甲醇和合成燃料，以及利用绿氢生产的低碳材料，如用于炼钢的直接还原铁（DRI）。

² 指欧盟的 27 个成员国。

定低碳氢能发展与部署路线图。同时，至少另有 21 个国家正在参与制定各自的战略和路线图。此外，诸如欧盟碳边境调节机制（CBAM）等监管措施通过为内含排放定价，积极激励清洁氢和绿色商品的生产与出口。

本报告通过对绿氢及选定相关商品潜在全球贸易模式的技术经济分析，旨在为制定契合新兴全球市场的国家及区域战略政策提供参考，推动公正包容的市场参与；分析以国际可再生能源署 2022 年研究为基础，进一步展望绿色氨、电子甲醇、直接还原铁等氢基商品的可能贸易格局，这些商品近年在助力难减排行业脱碳中作用愈发凸显。

分析结果有助初步识别绿氢及相关商品的潜在贸易伙伴与不同情景下的预期贸易流向，还能基于可再生资源可得性、预期成本及关键原材料供应，揭示绿色商品生产更具竞争力的区域，并阐述假设条件下所需的基础设施投资。

二、工作范围和方法

本分析拟用成本优化法，探究 2050 年绿氢及其相关商品（如氨、电子甲醇和直接还原铁（DRI））交易的技术经济潜力，以国际可再生能源署（IRENA）2022 年关于氢能交易的研究为基础，整合了反映不断变化的市场动态和政策发展的最新假设。

本分析不仅涉及氢能交易，还将范围扩大到由氢衍生的其他绿色商品。本分析涵盖全球 35 个地区，并考虑了可再生能源潜力、基础设施成本和特定商品的制约因素。

本分析比较了两种主要情景：所有国家均采用相同的加权平均资本成本（WACC）的“相同 WACC 情景”和每个国家采用不同 WACC 的“差异化 WACC 情景”。分析包含对相关参数的敏感性分析，如可再生能源发电和电解槽的资本成本及运输成本。

通过采用相同和差异化 WACC 情景，可以评估融资条件如何影响贸易竞争力，并将其影响与地理和资源相关优势（如可再生能源潜力、土地和水资源可获得性）的影响区分开来。

本分析基于考虑自然资源禀赋和地理位置的成本优化评估，未计入国家内部的政治稳定性、经济发展水平或国内制度框架等因素，其结果应解读为纯粹技术经济潜力，需结合微观及宏观经济、政治、社会、制度背景综合分析。

根据分析结果，2050 年绿色商品的贸易需求占比因品类而异：氨为 30%，电子甲醇为 18%，纯氢为 14.4%，直接还原铁为 14%。由于运输成本更低且效率更高，绿色商品形式的贸易将占预计等效绿氢交易总量的 73%至 80%。分析还指出，整个氢能价值链均需基础设施支持。预计投资约为 2.49 万亿美元，其中包括 4.7 太瓦（TW）的可再生能源装机容量、2.1 太瓦的电解槽以及 0.9 太

瓦时的电池储能系统。

在相同 WACC 情景下，凭借丰富的自然资源，拉丁美洲、中东、北非及撒哈拉以南非洲地区有望成为主要出口方。若按国家采用差异化 WACC，澳大利亚、中国和美国等国则有望成为出口主力。无论融资成本如何，欧洲、日本、东南亚及韩国等地区的一部分需求可通过进口绿氢及其衍生产品满足。

本分析强调，需加强国际合作、出台政策推动绿氢经济，可再生能源基础设施投资应契合国家氢能战略且优先电气化、能源普及等领域，同时需标准化认证及相关框架以促进全球贸易。

本分析凸显绿氢贸易对全球脱碳与经济发展的重要性，释放其潜力需协调政策、加大基建投资及推动国际合作；分析见解有助制定政策与投资战略以实现公正包容的能源转型，还发现潜在新氢能供应商，为各国能源多元化、提升能源安全带来机遇。

运用前文介绍的建模框架和假设，本节呈现了分析结果，并展望了 2050 年前绿氢与绿色商品贸易的可能模式。该分析比较了两种主要情景，其核心差异在于对资本成本的假设。在相同 WACC 情景中，所有国家的 WACC 相同，从而消除了其对结果的影响。在第二种情景中，各国的 WACC 有所不同，具体数值参考了国际可再生能源署先前研究中的数据。

1. 相同 WACC 情景

本情景对发电、运输和气体转换厂的成本降低持乐观预期。³ 假设全球统一资本成本为 5%，以消除差异化资本成本的影响。

所有国家和地区采用相同 WACC 时，竞争力源于优质可再生资源、铁矿石（DRI 生产用）、生物碳（甲醇生产用）的可得性及具竞争力的本地投资成本，且邻近潜在需求中心也关键，可通过降低氢及相关商品运输成本获竞争优势。

在相同 WACC 情景下，预计 2050 年绿氢及相关商品的贸易总量将占其总需求（26000 万吨氢当量/年）的 20% 左右（5300 万吨氢当量/年）。

相同 WACC 情景下，拉美、中东、北非及撒哈拉以南非洲预计成全球主要绿氢及商品出口区域；中国、欧洲、印度、日本、韩国、东南亚、美国需求旺盛。其中，中国、印度、美国因资源问题自给能力增强，减少贸易机会；而欧洲、日本、韩国、东南亚因进口与本地成本差距大，或成重要进口市场。

氢商品形式的贸易量占等效氢总贸易量的近 72%。下文将探讨每种商品及终端用途（气态氢、氨、甲醇和直接还原铁）的情况。由于效率显著降低，在亚洲，仅有少数情况下运输液态氢或液态有机氢载体具有成本效益，因此本文不对此进行详细讨论。

相同 WACC 情景下，欧洲和北非通过管道输送的压缩气态氢

³ 例如，假设太阳能光伏的资本成本将在 225-455 美元/千瓦范围内，电解槽成本将在 215-391 美元/千瓦范围内。

贸易量占全球压缩氢贸易量的大部分⁴，包括欧洲区域内通过现有综合管道网络输送的本地生产气态氢流量。北非向欧洲以及欧洲国家间的压缩氢气出口量分别为 325 和 936 万吨。除欧洲外，拉丁美洲国家间也有少量贸易，在压缩氢气合计贸易中占比很小⁵。

氨的主要出口地区为非洲、澳大利亚、拉美及中东，主要进口地区为欧洲、日本、韩国及东南亚；相较本研究分析的其他三种绿色商品，氨预计贸易量最大，其近 30% 需求将通过贸易满足。

需要注意的是，本分析未包含开发新港口所需的投资。⁶相反，本分析假设使用现有港口，重点关注航运船队的基础设施增强以及相关的仓储和装卸设施。欧盟考虑的部分港口包括阿尔赫西拉斯、汉堡、里斯本、里窝那、蒙托伊尔-德-布列塔尼和鹿特丹。俄罗斯和美国各选择了两个港口。这两个港口都具有地理位置优势，均可实现最短运输距离。

本分析考量各国生物碳可得性与成本，虽碳成本在绿色甲醇总生产成本中占比低于氢气，但对其贸易流向影响显著。部分可再生能源丰富国家受生物碳资源制约，此时从低成本地区进口甲醇，比本地用高成本直接空气捕获（DAC）技术生产更经济；结果显示，美国预计从拉美进口，欧洲从非洲进口，东南亚从非洲

⁴ 需要注意的是，由于分析粒度限制，可能未能完全覆盖区域内流动。

⁵ 相同加权平均资本成本情景下为 24 万吨，差异化加权平均资本成本情景下为 213 万吨。

⁶ 如前几节所述，本分析未考虑开发新港口，以便能够观察到分析的粒度。

及俄罗斯进口。

绿氢生产直接还原铁的主要出口地区预计为拉美、中东及撒哈拉以南非洲；虽铁矿石成本在直接还原铁总生产成本中占比预计低于氢气，但对其贸易流向仍有显著影响。拉丁美洲和撒哈拉以南非洲地区预计将有大量铁矿石流通，而中东地区则将进口铁矿石，利用自身低成本氢气资源生产直接还原铁。撒哈拉以南非洲凭借本地铁矿资源，具备直接还原铁的生产潜力，并可出口至潜在需求中心；而中东地区则需从澳大利亚及撒哈拉以南非洲进口铁矿，用于生产直接还原铁并出口至周边需求中心。如附录简要说明，需特别指出：在分析直接还原铁贸易时，铁矿石品质亦被纳入考量。相同 WACC 情景的结果显示，对于欧盟而言，在此情景下通过直接进口满足大部分直接还原铁需求，同时进口一定比例的铁矿用于本地直接还原铁生产，可能更具成本竞争力。

如前几节所述，地缘政治、社会经济及其他因素是构建贸易伙伴关系的关键。若抛开这些因素，单纯从成本优化角度分析，相同 WACC 情景的结果显示，建立欧盟-北非进出口通道具有可行性。在全球范围内，欧盟预计将成为氢及相关商品最重要的需求中心之一，而北非则可能成为其主要贸易伙伴（出口方）。根据相同 WACC 情景的分析结果，到 2050 年，北非（包括阿尔及利亚、埃及、利比亚、摩洛哥和突尼斯等国）或可供应欧盟约 18%

的绿氢及相关商品。届时，北非的出口量约为 900 万吨氢当量⁷，其中氨约占 500 万吨氢当量，压缩氢为 320 万吨，甲醇则为 80 万吨氢当量。其他可能对欧盟出口的重要潜在地区还包括拉丁美洲、中东、撒哈拉以南非洲和美国。

绿氢及相关商品的交易涉及构建贯穿整个价值链的基础设施，涵盖发电与储能、电解制氢、运输（通过管道和船舶）、储氢以及转化装置等。在假设条件下，基础设施必须从当前几乎为零的状态发展，以满足到 2050 年估计达 2.6 亿吨氢当量的绿氢及商品需求。根据分析结果，建设该基础设施大约需要 2.49 万亿美元投资。这笔投资涉及 4.7 太瓦的可再生能源装机容量（主要为光伏发电）、2.1 太瓦的电解槽以及 0.9 太瓦时的电池储能系统。

绿氢经济或助力各国实现能源安全目标，一方面降低化石燃料进口依赖，另一方面为全球增加能源供应商创造机遇。非洲、拉美等发展中地区可借丰富可再生能源，减少油气进口以满足自身需求并实现能源供应多元化；同时，氢及相关商品贸易为各国拓宽供应渠道，且分析显示潜在绿氢主要供应国与当前主要油气供应国不同。

本分析结果还强调了政策定制化的必要性和本土基础设施建设的重要性。预计全球约 20% 的氢当量需求将通过国际贸易满足，

⁷ 100 万吨氢当量等于 567 万吨氨、800 万吨甲醇和 1600 万吨直接还原铁。

其余 80%左右则由本地供应。这表明，通过稳健政策和投资举措并辅以有力金融工具来建设本地基础设施具有重要价值。

2. 差异化 WACC 情景

绿氢项目资本支出高，WACC 对其融资成本及相关产品生产竞争力起决定性作用。国际可再生能源署通过设定相同 WACC 情景（全球统一为 5%）和差异化 WACC 情景（依据各国风险特征设定）进行分析。

在可再生资源相对匮乏但资本成本较低的地区，当地生产的氢气反而可能更具竞争力。此情景下，这类国家会大幅提升氢及相关产品的本土产量以满足内需，减少对外依赖。同时，在资源禀赋相近的国家中，融资条件更优的国家将显著提升出口优势。

在差异化 WACC 情景下，澳大利亚、中国和美国等兼具丰富可变可再生能源资源与经济规模的国家，有望成为绿氢及其相关产品的主要出口方。具体而言，氨的主要出口地为中国、美国及北非地区，美国将成为最大出口商，北非因毗邻欧洲且部分国家有资本成本优势也成为主要出口地，但重要性相对较低；甲醇的主要出口方为非洲、中国、拉丁美洲及俄罗斯，潜在的贸易伙伴关系还可能包括美国与拉丁美洲、东南亚与中国及俄罗斯、欧洲与拉丁美洲及非洲；在绿氢直接还原铁生产方面，澳大利亚将成为最大出口商，其次是美国和中国，这是由于这些国家具有较低

的资本成本和丰富的原材料供应，澳大利亚和美国的绿氢直接还原铁出口量约占全球总量的 80%。中东地区此前在相同 WACC 情景中曾是直接还原铁的最大出口地，如今已实现直接还原铁自给自足，通过本地生产满足内需，同时从非洲和澳大利亚进口铁矿石。此外，预计澳大利亚、中国和美国还将是绿色商品等效氢的主要净出口方。

3. 结果与敏感性比较分析

以氢当量计算的绿色商品交易量占比受多重因素影响，其中 WACC 假设对不同商品的影响存在显著差异。

直接还原铁方面，其交易量占比从相同 WACC 的 14% 上升至差异化 WACC 的 21%。在差异化 WACC 情景中，澳大利亚和美国等经济更稳定的国家成本效益提升，导致直接还原铁生产从非洲和中东地区转移。此情景下，澳大利亚直接生产直接还原铁并出口至欧洲，不再以中东作为直接还原铁生产中间环节。与相同 WACC 情景相比，铁矿石交易量减少，而直接还原铁贸易占据主导地位，直接还原铁与铁矿石贸易比例比值从 1:4 升至 1:2.2。

气态氢方面，从相同 WACC 情景到差异化 WACC 情景，交易量占比从 14% 降至 9%。大部分压缩氢贸易预计集中在欧洲内部、欧洲与北非之间以及拉丁美洲内部。在差异化 WACC 情景下，北非与欧洲的气态氢生产成本差异缩小，促使欧洲本地绿氢

产量增加，导致从北非到欧洲的压缩氢流量减少，从而降低了压缩氢气贸易在整体贸易中的占比。

甲醇方面，从相同 WACC 情景到差异化 WACC 情景，交易量从 18% 降至 14%。一方面，北非和撒哈拉以南非洲在甲醇生产方面的相对成本优势显著减弱。由于新的甲醇供应国中国的出现（其向东南亚而非撒哈拉以南非洲出口），贸易占比降幅相对较小。另一方面，由于美国本地甲醇产量增加，减少了进口量。

氨方面，从相同 WACC 情景到差异化 WACC 情景，交易量从 30% 增至 35%，这是由于在相同 WACC 情景下原本通过本地满足需求甚至出口氨的部分国家和地区，在差异化 WACC 情景下发现从加拿大和美国进口更廉价的氨更具成本效益。

在差异化 WACC 情景中，氢当量的前三大净出口方为澳大利亚、中国和美国，而在相同 WACC 情景中，则为非洲、拉丁美洲和中东。部分主要净进口地区（如欧盟）的本土产量增加，降低了这些国家和地区的进口依赖，同时全球氢及其商品的整体贸易量略有减少。例如，在相同 WACC 情景中观察到的欧盟净进口量从 1020 万吨降至 710 万吨。欧盟的绿氢及相关商品本地产量占比显著提高，仅有约 19% 的需求通过进口满足。

本研究在相同 WACC 与差异化 WACC 两种主要情景基础上，进一步对发电、运输及电解槽成本进行了敏感性评估，以全面验

证结论并涵盖潜在不确定性。敏感性分析采用保守假设，分别将运输与电解槽成本翻倍、发电成本中光伏与风电资本支出分别提升约 20%与 10%，同时保持其他环节的乐观预期。结果显示，在保守发电成本假设下，由于本地生产成本上升、区域成本差异扩大，促使更多需求通过低成本供应满足，净贸易量在相同 WACC 与差异化 WACC 情景下分别增长 11%与 6%。相比之下，保守运输成本假设缩小了向潜在需求中心进口绿氢及相关商品的成本差异，本地产量增加，导致两种情景下净贸易量分别下降 25%与 19%。而在保守电解槽成本假设中，尽管总成本上升，但对整体贸易流向影响有限。此外，针对相同 WACC 情景应用 8% WACC 的额外敏感性分析表明，氢与商品总贸易量略有减少，但氨贸易量反而小幅上升，部分国家出口增加并出现了新的贸易路径。

三、结论

本分析旨在探索满足绿色商品需求的贸易方案，指出直接贸易氢基商品（如氨和甲醇）比长距离运输纯氢更具成本效益与可行性，预计未来 73%-80%的贸易将以商品形式进行。为实现这一潜力，政策制定者亟需稳定市场需求并发展国际市场，重点在于完善针对氢基商品本身的认证与监管框架。

绿氢贸易格局将深刻影响全球能源与经济结构。分析表明，

在相同 WACC 情景下，非洲和拉丁美洲等拥有丰富可再生能源的发展中地区将成为主要出口方，其全球经济占比虽小，却可能贡献 62% 的氢能贸易出口。这为它们提供了引领新兴全球贸易、促进经济发展并实现包容性能源转型的历史机遇。同时，贸易也有助于提升全球能源安全：一方面使日本、韩国等资源匮乏国通过进口保障供应；另一方面，新的氢能供应国（如拉丁美洲、北非部分国家及中国）的出现，将推动供应渠道多元化，降低对传统油气出口方的依赖。

然而，WACC 是影响上述前景的不确定因素。差异化 WACC 会改变具体的贸易流向与出口国名单，凸显了通过国际合作、技术转让和融资工具来降低高风险国家资本成本的重要性。最后，分析强调政策需因地制宜，因为各国对进口的依赖度差异巨大（如日韩可能高达 90%，而加拿大仅约 4%），且全球约 80% 的氢当量需求仍将由本地生产满足，因此加强本土基础设施投资与制定定制化政策同样至关重要。

译自：*Analysis of the potential for green hydrogen and related commodities trade, July 2025 by IRENA*

译文作者：赛迪工业和信息化研究院 谭力 高昆

联系方式：15011253808

电子邮件：Tanli@ccidthinktank.com

赛迪智库

面向政府 服务决策

咨询翘楚在这里汇聚

规划研究所

工业经济研究所

电子信息研究所

集成电路研究所

产业政策研究所

科技与标准研究所

知识产权研究所

世界工业研究所

无线电管理研究所

信息化与软件产业研究所

军民融合研究所

政策法规研究所

安全产业研究所

网络安全研究所

中小企业研究所

节能与环保研究所

材料工业研究所

消费品工业研究所

编辑部：工业和信息化部赛迪研究院

通讯地址：北京市海淀区万寿路27号院8号楼12层

邮政编码：100846

联系人：王 乐

联系电话：010-68200552 13701083941

传 真：010-68209616

网 址：www.ccidwise.com

电子邮件：wangle@ccidgroup.com

报：部领导

**送：部机关各司局，各地方工业和信息化主管部门，
相关部门及研究单位，相关行业协会**

编辑部：赛迪工业和信息化研究院

通讯地址：北京市海淀区紫竹院路 66 号赛迪大厦 15 层国际合作处

邮政编码：100048

联系人：袁素雅

联系电话：(010) 88559543 13263204219

传 真：(010) 88558833

网 址：www.ccidgroup.com

电子邮件：yuansy@ccidtrans.com

