

# 《全球氢能观察 2021》系列报告 2：全球绿氢供应趋势观察

氢能作为“碳中和”战略的重要组成部分，受到世界主要国家和地区的青睐。虽然可再生能源制氢目前仅占全球制氢量的 4% 左右，但其潜力巨大，将引领未来制氢产业的发展方向。2021 年初，国际氢能委员会和麦肯锡联合发布了《氢能洞察》报告，从全球视角观察氢能产业的发展趋势。氢能促进会将根据本报告的相关内容进行分析判断，结合国内外形势，提出氢能产业的新视角，形成 2021 年全球氢能观测系列研究报告。这是系列研究报告的第二篇，全球绿色氢气供应趋势观察，让我们开启氢能的新视野。

## 三大因素推动绿色氢气成本快速下降

可再生能源制氢的成本正在以比预期更快的速度迅速下降。2021 年，随着全球氢气工业的快速发展，我们对绿氢的生产成本预期降低。

目前，推动绿氢成本加速下降的主要因素有三个。

首先，可再生能源的 lcoe 正在下降。电力成本是制氢成本的主要组成部分，占制氢成本的 60-70%。由于世界范围内可再生能源的大规模应用，可再生能源的成本将不断降低。到 2030 年，光伏发电成本预计下降 25% 至 0.1 元/千瓦时，陆上风电成本预计下降 50% 至 0.2 元/千瓦时，海上风电成本预计下降 33%。在全球范围内，预计拥有最佳资源的地区的人均电力成本下降幅度最大，包括西班牙、智利和中东。

其次，电解槽的成本正在迅速下降。预计到 2030 年，电解槽的成本将大幅下降——系统水平（包括电解槽、电源和整流器、干燥/净化、压缩设备）将降至 200-250 美元/千瓦左右。由于电解槽供应链的加速发展，成本较去年预期大幅降低 30-50%。近期，多家电解

槽生产企业纷纷宣布扩大产能计划，累计新增电解槽产能超过 3gw。同时，大型可再生能源综合制氢项目中电解槽的利用率也在逐步提高。这一表现主要由生产集中、可再生能源（如陆上风电和太阳能光伏）耦合和系统集成优化（如扩大可再生能源装机容量和电解槽容量以实现最佳利用）推动。

第三，技术进步带来成本降低。目前，电解水制氢效率约为 55kWh/kg（即生产 1 立方米氢气需要 4.5kWh 的电能）；随着大规模制氢项目的增多，生产工艺的改进和质量控制的提高，以及其他环节（如隔膜更薄、催化剂更高效、稀有金属使用更少等）技术和材料的优化，预计未来电解槽效率将降至 40kwh/kg 氢气（即生产 1 立方米氢气约需 3.7kwh），同时由于材料和催化剂的优化，设备折旧等原材料成本预计将降低 50%以上，这将促进绿色制氢成本的持续下降（见图 1）

#### 全球绿氢规模效应逐渐显现

世界上在建的绿氢项目约有 70 个，其中 22 个千兆瓦项目，主要分布在欧洲（11 个）和澳大利亚（7 个），中东和南美也有很大的潜力。从绿色制氢产能来看，全球规划的 GWA 绿色制氢项目总产能为 144.1gw，其中欧洲和澳大利亚占比近 93%，绝对领先。按照欧盟此前制定的 2024 年电解槽达到 6Gw、2030 年达到 40gw 的目标，如果目前规划中的绿氢项目能够顺利投产，将大大超标。

随着全球绿色氢能项目的快速扩张，产业规模效应将逐步显现。到 2030 年，可再生能源制氢项目的电解槽、电源及整流、干燥/净化（纯度 99.9%）、压缩设备（压缩至 30bar）等核心设备的投资成本预计将从目前的 1120 美元/千瓦降至 230 美元/千瓦。同时，设备运输、安装组装（并网）、施工成本（室内安装）、项目开发、现场服务、试运行等间接成本也将随着行业规模的发展而降低。融资成本也包含在绿色氢气项目的总投资成本中。满足项目加权平均资本成本（WACC）要求的边际收益应与其他资本支出要素成比例。例如，将 WACC

从 7%降低到 5%，将使项目的总投资成本降低近 20%。

目前，我国电解水制氢总产能约 70 万吨，市场总投资约 38.5 亿元。预计 2025 年至 2030 年，制氢技术将主要以碱水制氢和质子交换膜制氢技术为主，在技术创新和规模化发展下，电解槽综合成本将逐步降至 5000 元/kW。2025 年，国内电解水制氢总产量达到 300 万吨，市场投资约 1022 亿元；到 2030 年，国内电解槽总容量将达到 75gw，投资将增加到 3750 亿元。

到 2030 年，绿氢的价格将与灰氢相同

灰氢和蓝氢的碳排放成本是加速绿氢和灰氢等价的重要因素之一。如果引入碳排放成本，绿氢在 2028 年可能达到与灰氢相同的价格。假设碳排放成本到 2030 年将增加到 50 美元/吨（二氧化碳当量），到 2040 年将增加到 150 美元/吨，到 2050 年将增加到 300 美元/吨，实现绿氢和灰氢同等价格的时间可以提前到 2028-2034 年，具体时间将取决于各地区的资源禀赋和政策要求。

在可再生资源最好但天然气成本较高的国家（如智利），绿氢最早将于 2028 年与灰氢价格相同。在可再生能源和天然气资源普遍存在的地区（如德国），绿氢和灰氢在 2032 年的价格可能相同。到 2034 年，可再生能源和天然气资源丰富的地区（例如，美国的一些地区）可以实现绿氢和灰氢的同等价格（见图 2）。

综上所述，与国际氢能委员会 2020 年的预测相比，这些因素将共同使绿氢成本预测曲线在平均成本区间降低 20%，在最优成本区间降低 30%。

例如，中欧海上风电制氢项目（或具有类似共同资源的绿色制氢项目）的制氢成本将从 2020 年的 5.4 美元/千克下降到 2030 年的 2.3 美元/千克，lcoe 的下降对绿色制氢成本的影响最大。由于电力成本的相关性较高，在可再生能源成本较低的地区，绿氢的成本降低趋势将更快。例如，中东的光伏制氢项目（或类似的低成本可再生能源绿氢生产项目）将将氢

气生产成本降低到 1.5 美元/公斤 2030，在这种情况下，与海上风力发电制氢项目相比，电解槽投资成本的降低对绿氢成本的降低影响较大。

同时，也可采用风电-太阳能耦合或一体化设计，对两类项目的制氢系统进行优化，在可再生能源产能过剩造成的电能损耗和降功率造成的制氢系统利用率低之间取得平衡。澳大利亚、智利、沙特阿拉伯等风景资源丰富的国家将从这一综合资源优势中受益（见图 3）。

在中国，大约 97%的氢是由化石能源或副产品氢产生的。为实现碳减排和化石能源替代的目标，未来应发展蓝氢和绿氢，逐步替代灰氢。发展蓝氢是我国特有的竞争优势，但利用 CCUs 化石能源制氢和副产氢气只能减少碳排放高达 80%，可以作为从灰氢向绿氢过渡的阶段。

未来十年，我国风电和光伏发电年新增装机容量预计分别为 5000 万千瓦和 7000 万千瓦左右。可再生能源发电成本将进一步下降，到 2030 年，绿氢潜在产能有望超过 400 万吨；在国内电解水制氢设备方面，随着技术的发展和自主性的提高，随着电解槽生产规模的扩大和自动化水平的提高，预计到 2030 年电解水制氢设备的固定成本将降低 50%-60%。

据氢促会预测，“十四五”期间，我国将积极利用工业副产氢，大力发展可再生能源电解水制氢示范。制氢平均成本降低到 20 元/公斤；到 2030 年，国内电解水制氢规模将达到 75gw 左右，平均制氢成本约 15 元/公斤；从长远看，到 2050 年，我国将以可再生能源制氢为主，副产氢得到有效补充，化石能源制氢结合 CCUs 技术，生物制氢和太阳能光催化分解水制氢。制氢的平均成本将降低到 10 元/公斤。

请期待《全球氢能观察 2021》系列第三期研究报告：全球氢气储存、运输和供应链趋势观察