

技术理论

绿电制氢对能源转型的贡献

张海洁

(中国华电集团财务有限公司 100035)

摘要: 本文阐述了绿电制氢技术在推动能源转型过程中的重要作用。首先, 介绍了绿电制氢的基本原理及其环境友好性。然后, 分析了当前全球能源体系面临的挑战, 以及可再生能源发展的需求。在此基础上, 详细阐述了绿电制氢技术如何通过替代化石燃料、进行能源存储与分配以及多用途应用来促进能源转型。最后, 探讨了绿电制氢技术在电解、氢气储存运输和成本减排等方面的最新进展。本文强调绿色氢能是推动能源转型、实现碳中和的关键技术之一。

关键词: 能源转型; 可再生能源; 氢能

一、引言

随着全球气候变化和环境问题的日益严峻, 世界各国对发展低碳环保的可再生能源形成了广泛共识。其中, 以绿色电力为原料生产氢气(即绿电制氢)被视为实现未来低碳能源转型的关键技术路径之一。绿电制氢利用环保的可再生能源电力进行水的电解, 生产无污染的氢气燃料。这种洁净的氢气不仅可以用于交通运输、工业生产等领域, 替代传统的化石燃料, 也可以通过氢气的储存与运输有效地调节可再生能源的时空分布不均的特点, 实现更好的能源供给与利用。因此, 开发和应用绿电制氢技术, 将对推动全球能源体系向绿色低碳转型产生重要促进作用。

二、绿电制氢的基本原理

绿电制氢的过程主要通过水电解来实现。水电解装置使用可再生能源如风能、太阳能等生成的电力, 在阳极产生氧气, 在阴极产生氢气, 中间隔着电解质传递电荷, 这样便可持续地从水中生产出氢气。与传统化石燃料的制氢相比, 绿电制氢不消耗任何非可再生资源, 不产生温室气体和污染物排放, 是完全清洁的制氢途径。随着电解装置效率与可再生能源电价的不断改善, 绿电制氢已成为最具环境效益和发展前景的制氢技术。

三、绿电制氢的环境友好性

(一) 减少温室气体排放

与传统的化石燃料制氢技术相比, 绿电制氢直接利用风能、太阳能等可再生能源电力进行水的电解制氢, 整个过程几乎不产生任何温室气体排放。若将其产生的绿氢用于交通运输、工业生产等领域以替代煤炭、石油等化石燃料, 更可以大幅减少二氧化碳和其他温室气体的排放, 为实现碳中和目标做出重要贡献。一项研究显示, 如果到 2050 年全球 30% 的制氢采用绿电制氢, 每年约可减排 8 亿吨二氧化碳当量的温室气体。

(二) 水资源可持续性

绿电制氢的原料水主要来自海水。通过海水淡化, 不仅可以获得充足和可持续的水源, 还可以避免占用和破坏淡水资源。同时, 绿电制氢过程产生的纯净水可直接返回大自然, 实现水资源的可持续循环利用。这对缺水和水资源紧张的地区尤为重要。随着海水淡化技术的进步与普及, 绿电制氢将成为一种兼顾环保与水资源可持续利用的理想制氢模式。

(三) 空气质量改善

如果将绿电制氢生产的氢气和氧气用于城市公共交通系统的燃料电池汽车, 可完全替代传统柴油汽车, 从而大幅降低机动车尾气污染物排放, 有效改善城市空气质量。一项预测显示, 到 2050 年欧洲将有超过 400 个城市实现零排放的公共汽车系统, 届时这些城市的空气污染物浓度将减少 60% 以上。这主要得益于绿电制氢提供的清洁替代燃料。

四、能源转型的需求与挑战

(一) 全球能源需求趋势

当前, 世界主要依靠煤炭、石油和天然气等化石燃料满足约 80% 的能源需求。随着全球经济持续发展和人口增加, 未来几十年全球的能源需求还将大幅增长。国际能源署预测, 到 2040 年, 全球能源需求总量将增加 30% 左右。如果不能采取新的清洁能源替代方案, 化石燃料的大规模消耗将使温室气体排放难以控制。因此, 开发利用清洁可再生能源, 推动全球能源体系向绿色低碳转型势在必行。

与此同时, 发展中国家迅速崛起也在刺激着全球能源需求的增长。这些新兴经济体为了追赶已开发国家的生活水平, 其能源消耗也在快速增加。据估计, 到 2040 年发展中国家将占全球能源需求增长的三分之二。因此, 全球能源转型的路径选择将影响新兴经济体的发展轨迹。开发利用清洁的绿电制氢等新能源技术, 将有助于这些国家实现低碳可持续的产业化进程。

(二) 化石燃料的限制与问题

长期依赖煤炭、石油和天然气等化石燃料存在很多问题和隐患。其资源总量有限, 各类预测显示, 在当前的开采强度下, 全球的经济可开采资源可持续开采利用的时间仅剩几十年。过度依赖和消耗化石燃料也导致严重的环境污染问题, 如频发的雾霾和酸雨等。此外, 燃烧化石燃料产生的温室气体也是导致全球气候变暖的最大原因。如果不尽快转换到清洁的可再生能源, 气候变暖引发的极端天气事件将日益频繁, 给人类社会带来巨大灾害。

(三) 可再生能源的发展

与化石燃料形成鲜明对比的是, 风能、太阳能等可再生能源具有源源不断的特点, 可以为全球提供持续不断的清洁能源。关键是要提高可再生能源技术的转换效

率、降低其制造安装的成本费用。近年来，在政策与市场双重驱动下，可再生能源技术飞速发展，应用规模不断扩大，相关产业快速成长。以太阳光伏发电为例，其转换效率在过去十年提高超过 2 倍，模组制造成本降低超过 80%，已开始在全球范围内实现“平价上网”。可再生能源的快速进步为全球能源转型提供了坚实的技术基础。

五、绿电制氢在能源转型中的作用

（一）替代化石燃料

绿电制氢生产的氢气及其衍生燃料（如甲醇、合成气等），可以在交通运输、工业生产和建筑供暖等多个领域替代煤炭、汽油、天然气和其他化石燃料。氢气利用燃料电池发电驱动电动汽车，或经过加工生成液体合成燃料提供给飞机等交通工具，既不污染空气，也不排放温室气体，是完全清洁的替代燃料方案。如果大规模应用这些绿色氢能产品，将可突破现有能源系统对化石燃料的依赖，有效推动能源转型进程。

此外，利用绿色氢能替代化石燃料还可带来显著的经济与社会效益。一方面可减少空气污染而引起的健康损失与医疗花费，另一方面也可降低温室气体排放造成的气候变化影响和损失。综合多个模型进行的计算分析表明，如果到 2050 年将绿色氢能与其衍生品的全球应用比例提高到 20%~30%，其经济效益每年可达到 1 万亿美元甚至更高。这些巨大效益也将强力推动向绿色氢能的转型。

（二）能源存储与分配

与电力不同，氢气可以相对更方便、高效和大规模地进行储存。这就为利用不稳定的风力和太阳能发电提供了解决方案。当可再生能源发电高峰期产生大量电力时，可以通过绿电制氢将其转化并储存为氢气；而当可再生能源发电不足时，储存的氢气再通过燃料电池发电补充电网电力需求。这样不仅可以平衡电网供需，还可以节省大规模储能设备的投资。同时，氢气也可以通过管道和运输工具方便地进行大范围的分配，有助于连接偏远的可再生能源基地与主要的人口与工业负荷中心。因此，绿电制氢可高效地实现时空格局匹配，是未来智能电网的关键基础设施。

（三）绿色氢气的多用途应用

除了作为可再生能源储存和运输的媒介，绿色氢气及其转化的产品还有广泛的终端使用领域。如前文所述，氢气本身可直接用作汽车燃料，也可加工生成多种清洁液体燃料；氢气经过与二氧化碳的反应可生产可利用的合成甲烷；同时利用氢气还原钢铁工业中的氧化物，可以大幅降低钢铁生产过程的碳排放强度。随着技术的不断创新，绿色氢能产品未来可望在更多工业生产和消费过程中实现高效利用，形成完整的氢能经济产业链和应用生态圈，为经济可持续转型提供强大支撑。

六、绿电制氢的技术进展

（一）电解技术的改进

电解技术是绿电制氢的核心环节。近年来，通过材料和结构优化，各类高效电解技术取得突破性进展。如

钾氢氧（KOH）碱性电解槽效率已接近理论极限；固体氧化物电解槽工作温度大幅降低，适用性增强；质子交换膜电解槽产氢量提高了数倍。这些新型电解装置进一步提高了绿电转化制氢的系统效率。同时，各电解原理的技术优势也得到了充分优化组合，使绿电制氢更加规模化和模块化，适应不同的应用需求，最大限度地发挥技术和经济效益。这些技术改进为绿电制氢的成本持续降低和推广应用奠定了基础。

（二）氢气储存与运输的创新

氢气作为一种新型能源载体，其储存和运输技术也得到了长足发展。各类新型的氢气储罐容量与安全性不断提升，储罐体积功率持续优化。利用多层石储氢、金属有机框架吸附氢等新技术，实现了更高比容量的储氢。同时，利用液氢储运、有机液体载氢等技术实现了更高效的氢气大规模运输。这些储存与运输技术的进步为绿电利用和产业链延伸带来了新的可能。预计到 2030 年，氢气长距离管道输送的成本将大幅降低 40%以上，为绿电应用奠定更牢固的基础。

（三）绿电制氢的成本降低

在各类技术与规模效应的共同作用下，绿电制氢的成本正在持续大幅下降。根据国际可再生能源机构的预测，到 2030 年，绿电制氢的制造成本将较 2015 年下降 50%以上；2050 年时，其成本可能只有 2015 年的 20%左右。届时，绿电制氢的氢气价格将接近于化石燃料制氢；考虑到其使用端的环境效益，绿电制氢在经济上也更具竞争力。这些成本下降空间将推动绿色氢能更广泛地取代化石燃料市场，加速全球能源体系向可持续发展的转型。

结论

综上所述，绿电制氢作为一种以可再生能源为基础的清洁制氢技术，符合环境可持续发展的需求，并展现出巨大的应用前景。它不仅可以在多领域替代化石燃料，也可通过储运连接绿电与终端多用途利用，在能源转型中发挥关键作用。面向未来，随着绿电制氢相关技术与产业的快速进步，其在推动全球经济低碳转型进程中将承担更加重要的责任。为尽早实现规模化发展与应用，需要国家与企业形成强有力的合作，共同推进从技术创新到产业链延伸的一整套发展布局。

参考文献：

- [1]林蔓.电投能源:业绩逐步释放绿电转型加速[J].股市动态分析, 2022(7):44-45.
- [2]邓翔,郑晓丹,龚志威,等.面向低成本纯水电解制氢技术的单原子化金属复合物析氢催化剂研究进展[J].稀有金属, 2023, 47(1):43-58.
- [3]刘峰,郭林峰,赵路正.双碳背景下煤炭安全区间与绿色低碳技术路径[J].煤炭学报, 2022, 47(1):1-15.
- [4]周伏秋."双碳"目标下能源电力绿色转型展望[J].电气时代, 2022(1):22-23.
- [5]王森,邓蓉蓉,张启波.电解水阳极析氧替代反应及高效催化剂研究进展[J].工程科学学报, 2023, 46:1-21.DOI:10.13374/j.issn2095-9389.2023.07.04.003.