

# 电解水制氢技术在风光制氢项目中的应用与研究

王铁泉

吉林安装集团股份有限公司 吉林 长春 130000

**摘要：**随着全球对清洁能源需求的增加和对化石燃料排放的关注，电解水制氢技术变得越来越重要。在风光制氢项目中，电解水制氢技术发挥着关键作用。该技术利用可再生能源如风电和光伏发电产生的电能进行水电解，将电能转化为氢气，实现了可再生能源的有效存储和利用。本文探讨了电解水制氢技术在风光制氢项目中的应用现状、技术原理、经济效益以及面临的挑战，并提出了相应的解决策略，以期为推动风光制氢技术的进一步发展提供有益参考。

**关键词：**电解水制氢技术；风光制氢项目；应用

引言：随着全球能源转型的加速推进，可再生能源的开发利用成为各国关注的重点。风光制氢作为一种创新且环保的能源转换方式，通过结合风能和太阳能的发电优势与电解水制氢的高效技术，为可再生能源的储存和利用提供了新的途径。本文将深入探讨电解水制氢技术在风光制氢项目中的应用，分析其在提高能源利用效率、降低碳排放、促进氢能产业发展等方面的潜力与挑战，为推动绿色能源技术的进步贡献力量。

## 1 电解水制氢的基本原理与技术分析

### 1.1 电解水制氢的基本原理

(1) 电解水反应的过程及化学方程式。电解水制氢是一种利用电能将水分解为氢气和氧气的方法。其基本原理是在直流电的作用下，水分子在电解槽中被分解成氢离子和氢氧根离子。氢离子在阴极得到电子还原成氢气，而氢氧根离子在阳极失去电子氧化成氧气。其化学方程式可以表示为： $2\text{H}_2\text{O}\rightarrow 2\text{H}_2+\text{O}_2$ 。这个反应是氢气与氧气反应生成水的逆过程，只要提供一定形式的能量，就可以使水分解，且所得氢气的纯度非常高。(2) 电解槽的结构与工作原理。电解槽是电解水制氢设备中的核心部件。电解槽通常由阴极、阳极以及分隔两者的隔膜（或固体电解质）组成。水被送入电解槽中，在直流电的作用下发生电解反应。阴极和阳极分别产生氢气和氧气，通过管道导出。不同技术类型的电解槽在结构和材料上有所差异，以适应不同的工作原理和效率需求。

### 1.2 电解水制氢的主要技术类型

(1) 碱性电解水（AWE/ALK）。碱性电解水技术是使用碱性水溶液作为电解质，如氢氧化钾（KOH）或氢氧化钠（NaOH）溶液。在电解过程中，氢氧根离子在阳极失去电子形成氧气，而氢离子在阴极得到电子生成氢气。该技术是目前最为成熟且应用广泛的电解水制氢

技术之一。(2) 质子交换膜电解（PEM）。质子交换膜电解技术使用质子交换膜作为固体电解质，纯水作为电解原料。质子交换膜能够允许质子通过，但阻止气体和电子的穿越。这种技术具有能耗低、设备紧凑的优势，能够快速响应可再生能源电力的输入。然而，PEM电解槽的使用寿命相对较短，且设备成本较高<sup>[1]</sup>。(3) 固体聚合物阴离子交换膜电解（AEM）。AEM技术是一种新兴的电解水制氢方法，旨在结合碱性电解和PEM电解的优势。它使用固体聚合物阴离子交换膜作为隔膜材料，具有更广泛的膜电极催化剂和双极板材料选择。AEM技术目前仍处于研发阶段，尚未实现大规模商业化应用。(4) 高温固体氧化物电解（SOEC）。高温固体氧化物电解技术是在高温条件下（通常在700-1000℃）使用固体氧化物作为电解质进行水电解。这种技术具有较高的电解效率，但同样面临技术成熟度和成本方面的挑战。

### 1.3 各类技术的优缺点及适用场景

(1) AWE技术的成熟度与成本分析。AWE技术是最早发现的电解水制氢技术之一，具有较高的成熟度。它结构简单、安全可靠、运行寿命长，且操作简便、售价低廉。然而，AWE技术存在碱液流失、腐蚀、能耗高等问题，且需要处理产生的废液。尽管如此，由于其较低的成本，AWE技术仍是工业应用中的重点。(2) PEM技术的效率与响应速度优势。PEM技术具有能耗低、设备紧凑的优势，且能适应可再生能源电力的输入。其快速启停能力使得PEM技术能够匹配可再生能源发电的波动性，成为Power-to-Gas（P2G）制氢的主流技术之一。然而，PEM电解槽的使用寿命相对较短，且设备成本较高。(3) AEM与SOEC技术的研发进展与挑战。AEM技术被视为具有潜力的下一代电解水制氢技术，其目标是实现低成本、高性能的制氢过程。然而，AEM技术目

前仍处于研发阶段,面临着膜材料、催化剂等方面的挑战。SOEC技术则在高温条件下表现出较高的电解效率,但同样需要克服技术成熟度和成本方面的难题。

## 2 风光制氢项目概述

### 2.1 风光制氢的基本概念与原理

(1) 风光发电系统的并网与离网制氢方式。风光制氢是一种利用风能和太阳能发电,通过电解水的方式生产氢气的新兴技术。风光发电系统主要分为并网和离网两种方式。并网方式是指将风光发电系统与公共电网连接,当风光发电系统产生的电能超过自身需求时,可以将多余的电能送入电网,而在电网电力不足时,可以从电网中获取电能。这种方式下,风光发电系统产生的电能可以稳定地为电解水制氢设备供电。离网方式则是指风光发电系统独立于公共电网运行,通常用于偏远地区或无电网覆盖的区域。在离网方式下,风光发电系统需要配备足够的储能设备,以在风光资源不足时保证电解水制氢设备的正常运行。(2) 风光机组产生的电能如何利用于制氢。风光机组产生的电能通过变压器和整流器等设备转换为适合电解水制氢的直流电。然后,这些电能被送入电解槽中,电解槽内的水分子在直流电的作用下被分解成氢气和氧气。氢气通过后续的纯化、压缩和储存等环节,可以被用于燃料电池汽车、化工生产等多个领域。

### 2.2 风光制氢项目的典型案例分析

#### 2.2.1 内蒙古中能建敖汉旗及元宝山区风光制氢一体化项目

该项目由中能建绿色氢氨新能源(赤峰)有限公司投资建设,位于赤峰市元宝山区赤峰高新技术产业开发区元宝山产业园。项目总投资约19.5亿元,其中自有资金3.9亿元,申请银行贷款15.6亿元。项目采用可再生电力电解水制氢制合成氨技术,年产氢约2.3万吨、氨约12.79万吨。该项目的实施不仅促进了当地可再生能源的消纳和并网稳定性,还为氢能产业的发展提供了有力支撑。

#### 2.2.2 包头市吉利通工贸有限公司风光绿电电解水制氢、充装项目

该项目由包头市吉利通工贸有限公司实施,位于内蒙古包头市石拐区工业二园区。项目总投资约1.18亿元,计划建设起止年限为2024年11月至2026年11月。项目将新建一座 $6 \times 1000 \text{Nm}^3/\text{h}$ 电解水制绿氢站,设备包括电解槽、压缩机、氢气和氧气循环装置、氢气纯化装置、充装系统和其他辅助设备及相关配套设施。项目建成后,将形成年产5000吨氢气的生产规模,为当地氢能产业的发展提供有力支持。

### 2.2.3 其他国内风光制氢项目的成功经验与启示

除了上述两个案例外,国内还有许多其他成功的风光制氢项目。例如,中国石化在新疆库车建设的绿氢示范项目,实现了万吨级绿氢炼化项目全产业链贯通,每年可减少二氧化碳排放48.5万吨。这些项目的成功经验告诉我们,风光制氢不仅具有广阔的市场前景和显著的经济效益,还可以有效促进可再生能源的消纳和并网稳定性,为实现碳达峰和碳中和目标作出积极贡献。

## 3 电解水制氢技术在风光制氢项目中的应用

### 3.1 电解水制氢设备与系统的配置

(1) 电解槽、氢分离器、氧分离器等核心设备的选择与配置。电解槽是电解水制氢系统的核心组件,其性能直接影响到制氢效率与成本。根据风光制氢项目的规模和需求,应选择合适的电解槽类型,如碱性电解槽(AWE/ALK)、质子交换膜电解槽(PEM)等。碱性电解槽技术成熟,成本低,适用于大规模制氢场景;而PEM电解槽则具有启动快、响应灵活、能效高等特点,更适合与波动性大的风光发电系统相结合。氢分离器和氧分离器的作用是将电解槽产生的氢气和氧气进行有效分离,确保产品质量。这些分离器通常设计为高效的气体分离膜或分离塔结构,能够耐受电解过程中的高压和高温条件。在选择时,需考虑其分离效率、耐久性和对氢气的纯化能力<sup>[2]</sup>。(2) 氢气压缩机、氢气缓冲罐、氢气贮存罐等辅助设备的配置。氢气压缩机用于将电解槽产生的低压氢气加压至适合储存和运输的压力水平。根据氢气产量和后续应用需求,可选择往复式、螺杆式或离心式压缩机。氢气缓冲罐则用于调节氢气流量,平衡电解槽生产的不稳定输出,保证氢气供应的稳定性。氢气贮存罐是储存高压氢气的重要设备,其设计需满足安全、高效、易维护等要求。根据储存容量和压力等级,可选择金属氢化物罐、高压气态储氢罐或低温液态储氢罐等类型。对于大规模制氢项目,还需考虑氢气输送管道的布局与安全措施。

### 3.2 电解水制氢技术在不同风光制氢场景中的应用

(1) 大规模弃光消纳和储能场景。在风能、太阳能丰富的地区,由于电网消纳能力和调度限制,常常存在大量弃风、弃光现象。电解水制氢技术作为一种有效的储能手段,可以将多余的风能、太阳能转换为氢气储存起来,待需要时再通过燃料电池等方式转换为电能或热能。这种应用场景不仅解决了可再生能源的消纳问题,还提高了能源系统的灵活性和可靠性<sup>[3]</sup>。(2) 分布式制氢场景。分布式制氢是指将电解水制氢设备部署在靠近用户端或能源生产端的小型或中型规模系统中。这种

场景下,电解水制氢技术与风光发电系统相结合,为当地或特定用户提供绿色、可靠的氢气供应。分布式制氢具有灵活性高、占地面积小、建设周期短等优势,适用于工业园区、交通枢纽、数据中心等场所的能源需求。

(3) 5G基站、数据中心等数字新基建中的应用。随着数字经济的蓬勃发展,5G基站、数据中心等新型基础设施对绿色、可靠能源的需求日益增加。电解水制氢技术可以为这些设施提供清洁的能源解决方案。例如,利用风光发电系统为5G基站供电,并通过电解水制氢设备为备用电源系统提供氢气燃料,确保在电网故障时仍能持续供电。在数据中心中,氢气燃料电池可以作为备用电源或辅助电源,提高能源利用效率,降低碳排放。

### 3.3 电解水制氢技术的优化与提升

(1) 提高电解槽的效率与稳定性。提高电解槽的效率是降低制氢成本、提高能源利用效率的关键。这包括优化电解槽的材料、结构设计和操作条件,以及研发新型高效电解催化剂。此外,通过精确控制电解过程中的温度、压力和电流密度等参数,可以进一步提高电解槽的稳定性和耐久性。例如,采用先进的热管理系统,确保电解槽在高温下稳定运行,同时减少热损失;通过优化电流分布,避免局部过热和电解槽损坏,延长设备寿命。(2) 降低制氢过程中的能耗与成本。降低制氢能耗和成本是推广电解水制氢技术的关键。除了提高电解槽效率外,还可以通过以下途径实现:一是优化风光发电系统的配置和运行策略,提高可再生能源的利用率和发电效率;二是采用高效的电力转换和传输技术,减少电能损失;三是研发低成本的电解槽材料和制造工艺,降低设备成本;四是回收和利用电解过程中的余热和副产品,提高能源的综合利用效率。此外,还可以通过政策支持 and 市场机制来降低制氢成本。例如,政府可以提供税收减免、补贴和研发资金支持等政策措施,鼓励企业加大电解水制氢技术的研发投入和产业化进程。同时,

建立健全的市场交易机制,促进氢气的市场化交易和价格发现,降低制氢企业的运营成本和风险<sup>[4]</sup>。(3) 电解水制氢技术的智能化与自动化控制。随着工业互联网、大数据和人工智能等技术的发展,电解水制氢系统的智能化和自动化水平不断提高。通过集成传感器、控制器和执行器等智能设备,实时监测和控制电解槽的运行状态、氢气产量和质量等关键参数,实现制氢过程的精准控制和优化运行。智能化控制系统还可以根据风光发电系统的输出功率和氢气需求预测,自动调整电解槽的工作状态和输出功率,确保制氢系统的稳定性和经济性。此外,通过大数据分析和机器学习算法,对电解水制氢过程中的数据进行挖掘和分析,发现潜在的能效提升点和故障预警信号,为系统的优化和维护提供科学依据。

### 结束语

综上所述,电解水制氢技术在风光制氢项目中不仅推动了可再生能源的有效利用,还为氢能产业的蓬勃发展注入了新的活力。通过精确匹配风光发电系统的波动性与电解水制氢的灵活性,该技术不仅提高了能源利用效率,还为实现绿色低碳的能源转型提供了有力支撑。展望未来,我们期待电解水制氢技术能持续创新,降低成本,提升效率,为风光制氢项目的广泛应用奠定坚实基础,共同迈向更加清洁、高效的能源新时代。

### 参考文献

- [1]魏小淤,吴蓓婷,张君俊.基于混合整数线性规划的新能源电解水制氢项目容量配置优化建模[J].电力勘测设计,2024,(05):41-42.
- [2]吕功煊.利用化工废水电解制氢电极及电解槽系统[J].分子催化(中英文),2024,(02):19-20.
- [3]张丝钰,张宁,代红才,等.可再生能源电解水制氢系统规划优化与生产模拟[J].中国电力,2024,(04):52-53.
- [4]聂元弘,葛成,朱刘柱,等.电解水制氢参与调频辅助服务的经济效益分析[J].广东电力,2024,(07):69-70.