

# 绿氢产业技术创新体系与研发重点方向

米星儒

国华(宁夏)新能源有限公司 宁夏 银川 750000

**摘要:** 绿氢产业作为未来能源体系的重要组成部分,其技术创新体系与研发重点方向对推动能源结构的转型和实现可持续发展具有重要意义。本文将从绿氢产业的技术路线、技术支撑体系、专利技术布局、技术投资重点赛道以及未来发展趋势与目标等方面,详细探讨绿氢产业的技术创新体系与研发重点方向。

**关键词:** 绿氢产业;技术创新体系;研发重点

## 引言

随着全球对气候变化问题的日益重视,低碳能源转型已成为各国的共同目标。绿氢作为一种零排放、可持续的能源载体,能够有效替代传统化石能源,推动能源结构的转型。特别是在电力、工业、交通等高排放领域,绿氢具备巨大的替代潜力。因此,构建绿氢产业技术创新体系,明确研发重点方向,对于推动绿氢产业的快速发展具有重要意义。

## 1 绿氢产业技术路线分析

### 1.1 技术路线概述

绿氢的制备主要依赖于电解水技术,其核心原理在于利用电能将水分解为氢气和氧气。在这一过程中,绿色能源作为电源起到了至关重要的作用,通常由光伏、风电等可再生能源发出的电对水进行电解,从而产生氢气和氧气,这种氢气被称为绿氢。根据电解过程中使用的电解质和电解膜的不同,绿氢制取的技术路线可分为:碱性水电解技术(ALK)、阳离子交换膜水电解技术(PEM)、固体氧化物水电解技术(SOEC)以及阴离子交换膜电解水技术(AEM)是较为常见的几种。这些技术路线在原理、设备构成、性能特点及应用领域上各有优势。

### 1.2 技术路线比较

在绿氢产业的众多技术路线中,每种技术都有其独特的优势和局限,适用于不同的应用场景和需求。碱性水电解技术(ALK)作为最成熟、应用最广泛的技术路线,其设备价格低廉、技术稳定可靠,是当前绿氢制备的主流选择。然而,ALK技术的单位电耗相对较高,且在动态响应能力方面存在不足,难以满足快速变化的市场需求。因此,在追求高效、灵活的应用场景下,ALK技术可能并非最佳选择。阳离子交换膜水电解技术(PEM)则以其出色的动态响应能力脱颖而出。PEM技术能够迅速调整产氢量,适应市场需求的变化。然而,

PEM设备的成本较高,限制了其在大规模商业化应用中的推广<sup>[1]</sup>。尽管如此,随着技术的不断进步和成本的逐步降低,PEM技术仍具有广阔的发展前景。固体氧化物水电解技术(SOEC)以其高效率著称,是绿氢制备技术中的佼佼者。然而,SOEC系统的寿命相对较短,且目前仍处于实验室或示范阶段,距离大规模商业化应用还有一定距离。尽管如此,SOEC技术的高效性和潜力仍然吸引着众多研究者和企业的关注。阴离子交换膜电解水技术(AEM)则融合了碱性电解水和PEM电解水的技术优势,有望成为未来绿氢技术研发的热点。AEM技术既保留了碱性电解水技术的低成本和稳定性,又具备了PEM技术的动态响应能力。随着技术的不断成熟和成本的降低,AEM技术有望在绿氢产业中占据一席之地。现阶段电解水制氢主要以太阳能、风电等清洁能源作为电源,考虑电源的波动性,现阶段在AEM不成熟的情况下,研究方向主要以结合ALK与PEM制氢优势,进行混联的方式提升动态响应能力,满足生产项目需求。

## 2 绿氢产业技术创新支撑体系

### 2.1 创新单元与产业投资基金

在绿氢产业的技术创新过程中,创新单元发挥着举足轻重的作用。这些单元通常包括国家重点实验室、科研机构以及高校等,它们聚集了大量的科研人才和高端设备,致力于绿氢技术的研发与突破。例如,能源清洁利用国家重点实验室专注于清洁能源的高效利用与转化技术研究,为绿氢产业提供了坚实的理论基础和技术支撑。而汽车安全与节能国家重点实验室则从汽车产业的实际需求出发,探索绿氢在交通领域的应用潜力,推动绿氢技术的产业化进程。除了创新单元外,产业投资基金也是推动绿氢产业技术创新的重要力量。这些基金通常由政府、企业和社会资本共同出资设立,旨在通过投资绿氢产业的相关项目,促进技术的研发与转化。如张家港暨阳氢能创业投资合伙企业和长治市通惠氢能股

股权投资合伙企业等，它们不仅为绿氢项目提供了资金支持，还通过专业化的投资管理和服务，帮助项目实现快速落地和产业化发展。这些产业投资基金的设立，不仅激发了绿氢产业的创新活力，还推动了产业链上下游的协同发展。

## 2.2 标准体系与专利布局

在绿氢产业的技术创新过程中，标准体系的构建与专利布局同样至关重要。标准体系是确保绿氢产业健康发展的基础，它规范了氢能制、储、输、用等全产业链的技术要求和质量标准。国家层面已经系统构建了氢能全产业链的标准体系，并加强了氢能标准化工作的顶层设计。这一举措不仅提高了绿氢产业的技术水平，还促进了国际间的技术交流与合作<sup>[2]</sup>。在专利布局方面，绿氢技术领域的专利数量和质量均呈现出快速增长的态势。特别是质子交换膜电解水制氢（PEM）技术，作为当前绿氢制备技术的热点和重点，其专利申请总量高达21831项，申请人数量达9825个。这一数据不仅反映了PEM技术在全球范围内的广泛关注和深入研究，也彰显了其在绿氢技术领域的重要地位。除了PEM技术外，中国在碱性电解水制氢（ALK）、固体聚合物阴离子交换膜电解水制氢（AEM）等领域也拥有较多的专利数量。这些专利不仅涵盖了绿氢技术的各个环节，还体现了中国在绿氢技术领域的创新能力和技术实力。通过加强专利的申请、审查和维护工作，中国不仅保护了自身的技术创新成果，还构建了技术壁垒，提升了产业竞争力。

## 3 绿氢产业研发重点方向

### 3.1 ALK与PEM混联制氢技术

绿氢产业的研发重点方向之一是ALK（碱性电解槽）与PEM（质子交换膜电解槽）混联制氢技术。这一技术路线结合了ALK和PEM各自的优势，旨在提升可再生能源发电的利用率和制氢效率，同时降低成本。ALK技术是目前电解水领域中最成熟的技术，其优势在于技术成熟度高、设备成本低，且单槽大功率，适合大规模制氢。然而，ALK技术对电力波动的适应性较差，限制了与可再生能源发电耦合发展的空间。相比之下，PEM技术响应速度快、绿电耦合性好，能够适应可再生能源的波动性、间歇性和周期性特征，但其成本较高，且技术有待进一步突破。将ALK与PEM技术进行混联，可以充分发挥两者的优势，实现互补。具体来说，通过ALK技术的大规模、低成本制氢能力，结合PEM技术的快速响应和高耦合性，可以在兼顾成本的基础上，获得更好的波动适应性。这种混联制氢技术不仅适用于大规模可再生能源制氢项目，还能在风光发电波动较大时，

通过PEM电解槽的快速响应，提高制氢系统的稳定性和效率。在实际应用中，混联制氢技术已经在多个大型绿氢项目中得到验证。例如，吉林省生态环境厅发布的中能建松原氢能产业园项目，就采用了碱性和PEM两种电解槽的组合制氢方式。此外，内蒙古华电达茂旗20万千瓦绿氢示范项目等也采用了类似的组合制氢模式。随着PEM制氢核心部件的技术提升、PEM制氢设备规模化应用的扩大以及价格的逐步降低，ALK与PEM混联制氢技术的应用前景将越来越广阔。未来，这种混联制氢技术有望成为绿氢项目的主流，推动绿氢产业的快速发展。在研发重点上，应关注ALK与PEM电解槽的优化设计、系统集成、控制策略以及成本降低等方面。通过技术创新和工程实践，不断提升混联制氢系统的性能和经济性，为绿氢产业的可持续发展提供有力支撑。

### 3.2 光催化制氢技术

在开发新型高效光催化剂方面，未来的研发将致力于提高光催化剂对太阳光的吸收效率和转化效率。这包括探索具有更宽光谱响应范围的光催化剂材料，如改性的半导体材料、金属有机框架化合物等。通过调整光催化剂的能带结构、表面形貌和晶体结构等参数，可以优化其对太阳光的吸收和转化能力<sup>[3]</sup>。同时，研发具有更高稳定性和耐用性的光催化剂也是未来的重要方向。这包括探索新型的光催化剂合成方法、表面修饰技术以及催化剂的再生和循环利用技术等。

除了开发新型光催化剂外，构建合理的光催化反应体系也是提高光催化制氢性能的关键。未来的研发将探索多组分复合催化剂的制备方法和作用机制。通过引入助催化剂、电子传输介质等组分，可以形成具有协同催化效应的光催化体系，提高光生电荷的分离和传输效率。此外，研究光催化反应过程中的电荷复合机制及其抑制方法也是未来的重要方向。通过优化反应体系的组成和结构、调整反应条件如光照强度、温度等参数，可以减少电荷复合损失并提升光催化制氢的性能。

### 3.3 生物制氢技术

在优化微生物菌种方面，未来的研发将利用基因工程、代谢工程等手段对微生物进行改造。通过筛选和培育具有高产氢能力、高耐受性的微生物菌株，可以优化其代谢途径并提高产氢效率。同时，探索新型微生物资源也是未来的重要方向。通过挖掘自然界中的微生物多样性，可以发现更多具有产氢潜力的微生物菌种，并丰富生物制氢的菌种库。

提高氢气产量和纯度是生物制氢技术商业化应用的关键。未来的研发将探索新型生物制氢工艺和技术路

线。例如,连续流发酵技术可以实现微生物的持续培养和产氢过程的高效控制,从而提高氢气产量并降低生产成本。此外,研究氢气分离和纯化技术也是未来的重要方向。通过开发高效的氢气分离膜、吸附剂等材料和技术手段,可以实现生物制氢过程中氢气的有效分离和纯化,提高氢气的纯度和品质。

### 3.4 氢储运技术

在开发新型高效储氢材料方面,未来的研发将致力于提高储氢密度和储氢效率。金属有机框架材料、碳纳米管等新型材料具有高的比表面积和孔隙率,可以实现氢气的高密度储存。同时,研究储氢材料的稳定性和安全性也是未来的重要方向。通过优化材料的组成和结构、提高其热稳定性和化学稳定性等措施,可以确保储氢过程的安全可靠<sup>[4]</sup>。此外,探索低成本、可再生的储氢材料也是未来的研究方向之一。通过利用生物质资源、废弃物等资源制备储氢材料,可以实现资源的循环利用和绿色储氢的目标。

除了储氢技术外,氢运输方式也是氢储运技术的重要组成部分。未来的研发将探索多种氢运输方式,并根据不同应用场景的需求选择合适的运输方式。高压气态运输是目前较为成熟的氢运输方式之一,但受限于运输距离和成本压力。因此,研发更高压力、更轻量化的储氢容器将是未来的重要方向。液态运输作为一种具有潜力的氢运输方式,其优势在于液态氢具有高的能量密度和便于储存的特点。然而,液态氢的制取和保存条件较为苛刻。制取液态氢通常需要通过冷却和压缩氢气至极低温度(通常为-253℃左右),这要求具备高效的制冷技术和设备。同时,液态氢的储存也需要维持极低的温度,以防止其迅速气化。因此,未来研发将致力于优化液态氢的制取工艺,提高制冷效率,并开发更可靠的液态氢储存技术。固态运输则通过利用储氢材料将氢气以固态形式储存并运输,具有安全性和便捷性的优势。在国内,固态储氢技术已经取得了一定进展。目前采用的固态储氢方式主要包括金属氢化物储氢、化学储氢和纳米材料储氢等。其中,金属氢化物储氢是一种较为常见的方式,它利用金属与氢气反应形成氢化物的性质来储存氢气。这种方式的优点在于储氢密度相对较高,且安

全性较好。然而,金属氢化物储氢也存在一些缺点,如循环稳定性有待提高、材料成本较高等。因此,未来的研发将致力于提高固态储氢材料的储氢密度和循环稳定性,降低材料成本,并探索其在长距离、大规模氢运输中的应用潜力。

## 4 绿氢产业技术投资重点赛道

在绿氢产业的技术投资版图中,碱性电解水制氢(ALK)技术与质子交换膜电解水制氢(PEM)技术无疑占据了核心地位,成为资本市场竞相追逐的热点。ALK技术以其成熟稳定、成本相对可控的特点,成为了绿氢产业中的重要支柱。随着电极材料、电解液以及电解槽设计的不断优化,ALK技术的电解效率正在逐步提升,为绿氢的大规模生产奠定了坚实基础。而PEM技术则以其高效、灵活的特点吸引了众多投资者的目光。尽管目前成本相对较高,但随着质子交换膜、催化剂等关键材料的研发突破,以及系统集成技术的不断进步,PEM技术的成本正在快速下降,未来有望在绿氢产业中占据一席之地。随着技术的持续进步和成本的进一步降低,ALK与PEM技术将携手共进,共同推动绿氢产业的蓬勃发展,为全球能源结构的绿色转型贡献力量。

### 结语

绿氢产业作为未来能源体系的重要组成部分,其技术创新体系与研发重点方向对于推动能源结构的转型和实现可持续发展具有重要意义。通过构建完善的技术支撑体系、明确研发重点方向以及加强政策支持和市场拓展等措施,将推动绿氢产业的快速发展和广泛应用。

### 参考文献

- [1]苗乃乾,黎妍,张蕾蕾.石化产业发展绿氢炼化的技术创新与建议[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(19):135-137.
- [2]宋平.加大科技研发力度推动绿氢产业做大做强[N].河北日报,2023-03-07(002).
- [3]谭镛.未来氢能绿氢制造迭代技术与装备研发持续突破[N].上海证券报,2024-09-10(005).
- [4]李玲.我国绿氢制备关键技术研发提速[N].中国能源报,2024-03-25(001).