

# 氢能与新能源电力系统的耦合机制及电气接口技术展望

王伟

国能国华(广西)新能源有限公司

DOI:10.32629/bd.v9i6.4540

**[摘要]** 氢能作为二次能源,与新能源电力系统耦合意义重大。本文首先阐述了氢能与新能源电力系统耦合的必要性,接着从电源侧、储能侧、电网侧、负荷侧四个方面详细介绍了耦合机制,然后对电解水制氢、氢燃料电池发电的电气接口技术,电气接口标准化与规范化,以及智能控制与优化技术进行了展望,为氢能与新能源电力系统的高效耦合提供理论参考。

**[关键词]** 氢能; 新能源; 电力系统; 耦合机制; 电气接口技术

**中图分类号:** TM61 **文献标识码:** A

## Coupling Mechanism Between Hydrogen Energy and New Energy Power Systems and Prospects for Electrical Interface Technology

Wei Wang

CHN Energy Guohua (Guangxi) New Energy Co., Ltd.

**[Abstract]** As a secondary energy source, the coupling of hydrogen energy with new energy power systems is of great significance. This paper first elaborates on the necessity of coupling between hydrogen energy and new energy power systems. Then it provides a detailed introduction to the coupling mechanism from four aspects: power source side, energy storage side, power grid side, and load side. Subsequently, it discusses prospects for electrical interface technology for electrolytic water hydrogen production and hydrogen fuel cell power generation, standardization and normalization of electrical interfaces, as well as intelligent control and optimization technology, providing theoretical references for efficient coupling between hydrogen energy and new energy power systems.

**[Key words]** hydrogen energy; new energy; power system; coupling mechanism; electrical interface technology

### 引言

在全球能源转型与碳中和目标驱动下,新能源大规模开发利用成为必然趋势。然而,新能源电力系统面临诸多挑战,如波动性、不同时间尺度储能需求及深度脱碳难题等。氢能凭借其独特优势,与新能源电力系统耦合展现出巨大潜力。深入研究氢能与新能源电力系统的耦合机制及电气接口技术,对于推动能源系统优化升级、实现可持续发展具有重要的现实意义。

### 1 氢能与新能源电力系统耦合的必要性

氢能与新能源电力系统耦合,对保障电力系统稳定、满足储能需求及实现深度脱碳目标意义重大。在应对新能源电力系统特性挑战方面,新能源大规模并网使电力系统呈现“双高”“双峰”“双随机”的复杂局面。高比例新能源接入与高电力电子设备应用,增加了系统复杂性与控制难度;夏、冬季负荷高峰给电力供应带来巨大压力;供给侧和需求侧的随机性,让电力供需平衡难以把握<sup>[1]</sup>。传统灵活性资源调节能力有限,而氢能作为二次能源,构建电氢耦合体系可推动多能源互联互通,实现源网荷储

深度协同。新能源过剩时将电能转化为氢能储存,不足时再将氢能转化为电能补充电网,有效应对新能源波动性和不确定性,保障电力系统安全稳定运行。在满足不同时间尺度储能需求上,新能源成为主体电源后,保障不同时间尺度电力电量平衡是关键。电化学储能适用于超短周期和短周期调节,但在大容量、长周期调节场景中存在不足。氢储能以氢气为存储介质,存储方式多样,规模可达百万千瓦级,时间跨度从小时到季节不等。在大容量长周期调节场景中更具经济竞争力,能实现电能跨季节、大规模、长时间储存,弥补电化学储能短板,提高能源系统灵活性和可靠性。在助力深度脱碳目标实现方面,我国工业和交通领域能源消耗大、碳排放高,且难以单纯依靠电气化实现深度脱碳。氢能具有能源和工业原料双重属性,可作为还原剂替代化石燃料,减少工业生产碳排放;液态氢能高能量密度,可作为清洁燃料应用于交通领域,降低交通运输碳排放。在能源消费侧广泛应用氢能,有助于我国实现深度脱碳目标,推动碳中和目标早日达成。

## 2 氢能与新能源电力系统的耦合机制

### 2.1 电源侧与制氢耦合

先进电制氢技术具有高度可调节负荷特性,能够根据电网的需求灵活调整制氢功率。在风力或光伏发电高峰期,新能源发电量大幅增加,当电网无法完全消纳这些富余电量时,通过电解水制氢装置将电能转化为氢能储存起来。在西北地区的大型光伏电站,白天光照充足时,光伏发电量远超当地电网的消纳能力,此时利用电解水制氢设备将多余的电能用于制氢,不仅减少了弃光现象,提高了新能源的利用率,而且生产的氢气可以满足当地化工厂的生产需求,或者运输到加氢站为氢燃料电池汽车提供燃料。当新能源发电量不足时,采用氢燃料电池将储氢罐中的高压氢能转化为清洁电能并网。在用电低谷期,利用新能源发电的富余电量或电网的低谷电制氢并储存起来;到了用电高峰期,新能源发电无法满足需求时,启动氢燃料电池发电系统,将储存的氢能转化为电能补充到电网中,实现电网的削峰填谷。这种模式提高了电力系统的灵活调节能力,增强了电网的稳定性和可靠性。

### 2.2 储能侧与储氢耦合

氢储能被纳入“新型储能”范畴,在能量密度、储能时长和地域转移等方面具有显著优势。与传统的电化学储能相比,氢储能的能量密度更高,能够存储更多的能量;储能时长可以从小时到季节不等,满足不同时间尺度的储能需求;而且氢气可以通过管道、槽车等方式进行长距离运输,实现能源的地域转移。通过建设大规模储氢设施,如液化储氢站、压缩储氢库和金属氢化物储氢装置等,可以实现电能的大规模、长周期存储。在新能源发电过剩时,将多余的电能转化为氢能储存起来;在发电不足时,将储存的氢能释放出来发电或供热,保障电力系统的电力电量平衡<sup>[2]</sup>。在风能资源丰富的地区,建设大型压缩储氢库,在冬季风力发电高峰期制氢储存,到了夏季用电高峰或风力发电不足时,将氢气输送到发电厂发电,提高能源利用效率。

### 2.3 电网侧与输氢耦合

我国绿氢经济性资源与氢能需求呈现出地理逆向分布的特点。西北地区风、光资源丰富,新能源发电成本低,绿氢制取具有经济优势;而东南沿海地区经济发达,工业和交通领域对氢能的需求旺盛。因此,涉及绿氢的长距离输送问题。目前主流的绿氢运输模式有“源侧绿电制氢+管道输氢”和“特高压输绿电+负荷侧制氢”两种。“源侧绿电制氢+管道输氢”模式是在新能源资源丰富的地区建设制氢厂,利用当地的绿电制取氢气,然后通过管道将氢气输送到需求地区。这种模式的优点是能够直接利用当地的绿电资源,减少能源传输过程中的损耗,但管道建设成本较高。“特高压输绿电+负荷侧制氢”模式是通过特高压输电线路将西北地区的绿电输送到东南沿海地区的负荷侧,然后在当地建设制氢厂制取氢气。随着电力市场机制的成熟,这种模式的经济性竞争力逐渐提升,能够实现新能源电力与氢能需求的有效对接,促进区域间的能源平衡和优化配置。

### 2.4 负荷侧与用氢耦合

氢燃料电池热电联产技术能够同时为建筑提供电能和热能,具有高效、清洁、环保等优点。在城市居民用户和海岛、边防等偏远地区居民用户中应用该技术,可以助力建筑业实现低碳发展。在冬季等供暖需求高峰期,氢燃料电池在发电的同时,利用余热为建筑供暖和生活热水供应,减少了对传统化石能源的依赖,降低了碳排放。在一些北欧国家,已经将氢燃料电池热电联产系统应用于居民建筑中,取得了良好的节能减排效果。在现有充电站基础上增设电氢双向转换及储能一体化设备,构建“充电站+加氢站”合建站模式,能够为汽车用户提供多能源服务。当公共电网不能满足电动汽车负荷需求时,采用氢燃料电池装置发电,为电动汽车提供应急充电服务;当氢需求较高时,采用电解槽装置利用电网的低谷电制氢,为氢燃料电池汽车加注氢气。这种模式促进了交通领域的能源转型,降低了碳排放,推动了氢燃料电池汽车的发展。在一些城市的交通枢纽附近建设“充电站+加氢站”合建站,方便了电动汽车和氢燃料电池汽车的使用,提高了能源利用效率。

## 3 氢能与新能源电力系统电气接口技术展望

### 3.1 电解水制氢电气接口技术

电解水制氢主要有碱性电解、质子交换膜电解和固体氧化物电解三种类型。质子交换膜电解在效率和动态响应方面表现最为优异,其效率可达95%以上,动态响应时间小于10秒,能够快速适应新能源发电的波动。然而,目前质子交换膜电解技术的成本较高,主要是由于质子交换膜、催化剂等关键材料的价格昂贵。碱性电解技术相对成熟,成本较低,在工业制氢中应用较为广泛,但与质子交换膜电解相比,其效率和动态响应能力较差<sup>[3]</sup>。固体氧化物电解在高温下运行,具有较高的效率,能够实现热电联产,但目前技术成熟度较低,还存在一些关键技术问题需要解决。未来电解水制氢电气接口技术将朝着提高效率、降低成本、增强动态响应能力的方向发展。研发新型电极材料和催化剂是提高电解槽性能的关键,通过寻找更高效、更廉价的材料,可以降低电解槽的能耗和成本。开发非贵金属催化剂替代目前的贵金属催化剂,能够显著降低制氢成本。同时,加强与可再生能源发电的耦合控制也是重要的发展方向,通过优化控制策略,实现电解水制氢系统对新能源发电波动的快速响应和高效消纳,提高新能源的利用率。

### 3.2 氢燃料电池发电电气接口技术

质子交换膜燃料电池通过氢气和氧气的电化学反应直接生成电能,具有能量转换效率高(可达60%~65%)、低排放等优点,被认为是最有发展前景的燃料电池技术之一。然而,目前燃料电池的成本较高,关键材料如质子交换膜、催化剂等主要依赖进口,导致燃料电池的价格居高不下。此外,燃料电池的耐久性和可靠性也有待提高,在实际运行过程中,容易出现性能衰减和故障等问题,限制了其大规模应用。提高燃料电池性能和降低成本是未来氢燃料电池发电电气接口技术的关键发展方向。研发高性能、低成本的关键材料是解决成本问题的关键,开发新型质子交换膜材料,提高其质子传导性能和稳定性,同时降低材料成本;寻

找替代铂基催化剂的非贵金属催化剂,减少对贵金属的依赖。优化燃料电池结构和制造工艺也能够提高功率密度和耐久性,采用先进的膜电极制备技术和双极板设计,提高燃料电池的整体性能。加强燃料电池发电系统与电网的接口技术研究,实现燃料电池发电的高效并网和灵活调节,提高电力系统的稳定性和可靠性,也是未来发展的重要方向<sup>[4]</sup>。开发智能并网控制器,能够根据电网的需求自动调整燃料电池的输出功率,实现与电网的友好互动。

### 3.3 电气接口标准化与规范化

目前,氢能与新能源电力系统电气接口缺乏统一的标准,不同厂家生产的设备接口不兼容,这给系统的集成和运行管理带来了很大的困难。在构建氢能与新能源电力系统耦合项目时,由于电解水制氢设备、氢燃料电池发电设备和储能设备等的电气接口标准不一致,需要进行大量的接口改造和调试工作,增加了项目的成本和建设周期。同时,电气接口的安全性和可靠性缺乏明确的规范,存在一定安全隐患。在设备运行过程中,由于接口问题可能导致电气故障、火灾等事故,威胁到人员和设备的安全。加快制定氢能与新能源电力系统电气接口相关标准是当务之急。标准应涵盖接口类型、电气参数、通信协议等方面,实现设备之间的互联互通和互操作性。规定电解水制氢设备、氢燃料电池发电设备和电网之间的接口标准和通信协议,使不同厂家的设备能够无缝对接,方便系统的集成和运行管理。加强电气接口安全性和可靠性规范制定,明确安全要求、测试方法和认证程序,保障系统安全稳定运行。

### 3.4 智能控制与优化技术

氢能与新能源电力系统耦合涉及多种能源形式和设备,包括新能源发电设备、电解水制氢设备、氢燃料电池发电设备、储能设备等,需要智能控制与优化技术实现系统的高效运行。通过对这些设备的实时监测和智能控制,根据新能源发电预测和电网负荷需求,优化系统运行策略,提高能源利用效率和系统经济

性。根据风力和光伏发电的预测数据,合理安排电解水制氢设备的运行时间和功率,使制氢过程与新能源发电相匹配;同时,根据电网负荷需求,调整氢燃料电池发电设备的输出功率,实现削峰填谷。结合人工智能、大数据、物联网等技术,开发智能控制系统和优化算法是未来的发展方向,利用大数据分析和机器学习算法,对新能源发电和系统负荷进行精准预测,为系统运行优化提供依据<sup>[5]</sup>。通过收集历史气象数据、新能源发电数据和电网负荷数据,建立预测模型,实现对新能源发电和系统负荷的准确预测。通过物联网技术实现设备之间的信息交互和协同控制,提高系统智能化水平和运行效率。在设备之间建立无线通信网络,实现实时数据传输和远程控制,使系统能够根据实际情况自动调整运行参数,实现最优运行。

## 4 结语

氢能与新能源电力系统的耦合是应对能源挑战、实现可持续发展的关键路径。通过电源侧、储能侧、电网侧和负荷侧的耦合机制,以及电解水制氢、氢燃料电池发电等电气接口技术的不断发展和完善,再加上电气接口标准化与智能控制优化技术的助力,将有效提升能源系统的灵活性、可靠性和经济性,推动我国能源向清洁低碳方向转型,助力碳中和目标早日实现。

### [参考文献]

- [1]张炳涛,吕博超,刘志远,等.采用电氢储能系统提高电力系统惯量的方法[J].电气开关,2025,63(4):7-12.
- [2]王涵啸,厉富超,王磊,等.在新型电力系统下氢能的发展研究[J].能源与节能,2022(6):36-39.
- [3]王强.新能源电力系统中的储能技术探析[J].电力设备管理,2025(4):120-122.
- [4]许传博,刘建国.氢储能在我国新型电力系统中的应用价值、挑战及展望[J].中国工程科学,2022,24(3):89-99.
- [5]宋震,张龙,徐广强,等.耦合氢储能的火电机组在新型电力系统中的应用研究[J].热力发电,2022,51(11):140-147.