

Current Status, Challenges and Prospects of Key Application Technologies of Hydrogen Energy Storage in Power System

Xuanyu Guo

Three Gorges Materials Bidding Management Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610094, China

Abstract

Hydrogen energy storage technology has gradually moved from the laboratory to the forefront of application in recent years, and is known as an important part of the future energy system. Different from traditional energy storage methods, hydrogen energy storage can not only store excess electricity, but also convert electricity into hydrogen through technologies such as water electrolysis to produce hydrogen, so as to achieve energy supply across time and space. At present, the demand for flexible and clean energy storage technology in the power system is becoming more and more urgent, especially in the context of the rapid development of renewable energy, the unique advantages of hydrogen energy storage technology are gradually highlighted. The production, storage, safety and economy involved in hydrogen energy storage technology are still hot and difficult topics in research in various countries. It is of great practical significance and long-term strategic value to study the application technology of hydrogen energy storage in the power system to improve the flexibility of the power grid and achieve the goal of carbon neutrality.

Keywords

power system; hydrogen energy storage application technology; status quo; challenge; prospect

电力系统氢储能关键应用技术现状挑战及展望

郭譔瑀

三峡物资招标管理有限公司, 中国 · 四川 成都 610094

摘 要

氢储能技术, 近年来逐渐从实验室走向应用前沿, 被誉为未来能源体系的重要一环。与传统储能方式不同, 氢储能不仅能够存储多余的电力, 还能通过电解水制氢等技术将电力转化为氢气, 从而实现跨时空的能源供给。当前, 电力系统对灵活、清洁的储能技术需求愈发迫切, 尤其在可再生能源快速发展的背景下, 氢储能技术的独特优势逐渐凸显。氢储能技术涉及到的生产、存储、安全性和经济性等问题, 这仍然是各国研究的热点和难点。研究电力系统中氢储能的应用技术, 对于提升电网灵活性、实现碳中和目标具有重要的现实意义和长远的战略价值。

关键词

电力系统; 氢储能应用技术; 现状; 挑战; 展望

1 引言

氢储能技术, 简单来说, 就是把电能转化为氢气储存起来, 需要的时候再把氢气转化为电能或热能使用。这种“以氢为媒”的技术路线为解决可再生能源发电波动性和不稳定性问题提供了一种新思路。如今, 电力系统对氢储能技术的需求正在快速增长, 尤其是面对风能、太阳能等可再生能源发电不稳定的问题时, 氢储能的灵活性和高效性正逐渐显现出其独特的优势。当前, 全球各国在氢储能技术领域的竞争激烈, 技术创新和政策扶持并行, 目的在于抢占未来能源市场的制高点。因此, 深入探讨电力系统中氢储能的关键技术、挑战及未来方向, 显得尤为重要。这不仅有助于推动技术的

成熟和规模化应用, 也为未来低碳能源体系的构建提供了新的路径。

2 电力系统氢储能技术现状分析

2.1 国内外氢储能技术发展概况

氢储能技术作为一种颇具前景的清洁能源储存方式, 近年来在国内外得到了广泛关注和探索。在国际上, 欧美等发达国家在氢储能领域已形成了一定的技术优势, 特别是在氢能制取、储存和应用的全产业链布局上, 这些国家凭借其雄厚的科研实力和资金投入率先在技术研发上取得了重大突破。与此相比, 中国的氢储能技术尽管起步较晚, 但发展势头迅猛。中国凭借其庞大的市场需求和政策支持正在迅速缩小与发达国家的技术差距。中国的科研机构和企业正在氢能制取成本控制、储存效率提升等关键技术上取得了显著进展, 尤其是在可再生能源制氢领域已经具备了一定的技术

【作者简介】郭譔瑀 (1986-), 男, 中国吉林公主岭人, 硕士, 工程师, 从事新能源项目开发建设运维研究。

积累。不过，中国在氢储能基础设施建设和产业链的全面协调上仍存在明显不足。当前，制氢、储氢以及氢能的应用场景尚未形成有效的闭环，产业链上下游协同发展仍需时间。尽管如此，国内外氢储能技术的发展也面临着共同的挑战。技术上的高成本和低效率问题依然存在，特别是在长距离输送和大规模储存方面的技术瓶颈尚未完全突破，加上氢能的安全性问题也对大规模应用构成了隐患。在这一背景下，虽然国内外都展现了积极的研发态势，但距离氢储能技术的全面商业化应用仍有很长的路要走。

2.2 氢储能技术的关键设备与材料

在电力系统氢储能的广袤蓝图中，关键设备与材料的选择就像是奠基石般的重要。氢储能系统的核心设备之一是电解槽，这是将电能转化为氢气的关键装置。电解槽根据电解质的不同可分为碱性电解槽、质子交换膜电解槽（PEM）以及固体氧化物电解槽（SOEC）。碱性电解槽因其成本较低、技术成熟而广泛应用，然而其效率较低、体积较大，且需要高浓度的碱性溶液作为电解质，这在操作和维护上增加了复杂性。而质子交换膜电解槽以其高效率和响应速度快的特点逐渐成为主流选择，其核心是质子交换膜，这种材料需要具备高导电性、高化学稳定性和优异的机械强度。与之相配套的电催化剂大多采用贵金属如铂或铱，这些材料虽然性能卓越，但高昂的成本也让研究人员不断探索更为经济的替代品。储氢技术中，压缩氢气储存和液态氢储存是目前较为成熟的两种方式。压缩氢气储存通过高压容器将氢气压缩到 350~700 巴，材料一般采用高强度的碳纤维复合材料，这类材料具有重量轻、耐压高等优点，确保了储存系统的安全性和可靠性；而液态氢储存需要将氢气冷却至 -253℃，超低温条件下材料的选择显得尤为重要。低温储罐通常采用多层真空绝热技术，内罐材料一般选用奥氏体不锈钢或铝合金，这些材料在极低温下仍能保持优良的机械性能和抗腐蚀能力^[1]。

3 电力系统氢储能技术的关键应用

3.1 电网调峰与负荷平衡

随着新能源的快速发展，特别是风电和光伏等间歇性可再生能源的比例逐渐增大，电网面临的调峰和负荷平衡挑战也愈发严峻。在这种背景下，氢储能技术作为一种新兴的解决方案逐渐走向了电力系统的前沿。氢储能的原理相对简单，主要是通过电解水将电能转化为氢气，并在需要时通过燃料电池或燃烧方式将氢气重新转化为电能。它的最大优势在于存储时间长，且存储容量几乎无限，这对于电网调峰尤其有意义。在实际操作中，当电网处于低谷负荷时，电力系统可以利用富余的电力进行电解制氢。这能有效利用多余的电力避免浪费，同时降低弃风弃光的现象。到了用电高峰期，通过燃料电池发电或者氢气燃烧发电的方式释放电能，缓解高峰负荷的压力。为了应对电网频繁的波动，氢储能系统的

启动和停止必须具备快速响应的能力，氢燃料电池在这一点上具有明显优势，其启动时间通常在数分钟内，远快于传统的化石燃料发电机组。这种快速响应能力使得氢储能能在应对突发负荷波动时表现出色，能够迅速调节电力输出，保障电网的稳定运行。在参数选择上，氢储能系统的容量和功率设置直接影响其调峰效果。具体来说，储氢罐的容积决定了氢储能系统的能量容量，而电解槽和燃料电池的功率则影响着系统的功率输出能力。为了达到理想的调峰效果，通常需要综合考虑电网的负荷波动特性、可再生能源的发电曲线以及储能系统的经济性，合理配置这些参数。

3.2 可再生能源的消纳与存储

现如今，风能和太阳能等间歇性可再生能源的渗透率不断提高，电网的稳定性和调度灵活性面临前所未有的考验。这些能源由于其不可预测性和间歇性，使得传统电力系统难以应对其波动，氢储能技术正是在这种背景下成为了重要的技术选择。氢气作为一种储能介质，具有高能量密度和长时间储存的特点。利用电解水制氢技术将多余的可再生能源转化为氢气存储起来，是当前电力系统中解决可再生能源消纳问题的关键实践之一。通过将电解效率高达 60%~80% 的电解槽与电网进行动态结合，可以有效地将风电或光伏发电高峰期的多余电力转化为氢气，这些氢气在电力需求低谷或风光发电不足时，再通过燃料电池或氢燃气轮机将其重新转化为电能。由于氢气可以长时间储存，因此可以跨季节、跨周期地平衡可再生能源的供需不匹配问题。在实际操作中，电力系统的氢储能技术应用面临多重挑战。电解槽的反应速率、氢气的压缩和存储系统的安全性以及氢燃料电池的转化效率，都是直接影响系统整体性能的关键因素。比如说，在大规模风电场的应用场景中，为了保证电解槽能够快速响应风电输出的波动性，通常需要设置智能化的控制系统，实时调整电解槽的工作状态，这其中涉及到电解槽瞬态响应时间的精确计算和风电预测精度的不断提升。氢储能技术在大规模电力系统中的应用还需要考虑氢气运输的成本和风险，特别是在远距离输电和分布式能源网络中。这些问题要求对氢气的制备、储存、输送、再利用全生命周期进行优化，以实现技术的经济性和可靠性^[2]。

3.3 氢能在分布式能源系统中的应用

分布式能源系统依托的是多点布局、小型化的发电与存储设备，旨在提升能源利用效率和供电可靠性。氢能在这领域的应用正在悄然改变着能源的格局。分布式能源系统往往依赖太阳能、风能等间歇性能源，而氢能作为一种灵活的储能介质，能够高效地应对这些能源的不稳定性。比如，在一个由风力发电为主的分布式系统中，氢气可以通过电解水制氢技术，在风电过剩时，将多余的电能转化为氢气存储起来，待电力需求高峰时，通过燃料电池将氢气转化回电能，从而实现能源的平稳输出。电解水制氢的效率已经可以达到 70% 以上，而燃料电池的发电效率也接近 60%，这意味着

整体系统的能量利用率在40%左右。在实际操作中,控制氢气的制备与使用时间是关键,要根据负荷预测与能源供应情况,合理安排制氢和放电的时段,以最大化系统的经济效益与技术效益。尤其是在小型微电网或离网系统中,氢能的应用具有独特的优势,因为它能够为那些难以接入大电网的地区提供可靠的电力支持,同时又不依赖化石燃料,符合当前碳中和的目标。

4 电力系统氢储能技术的挑战

电力系统氢储能技术的挑战不可谓不多,尤其是在氢生产与储存的技术难题、氢储能系统的安全性问题以及氢储能技术的成本效益分析这三大方面,问题尤为棘手。氢作为最丰富的元素,其生产过程却远非简单。氢气的生产主要依赖于水电解技术,但当前的电解效率仍然较低,需要大量电能。这意味着在追求低碳环保的目标下,我们不得不面对电解制氢所消耗的巨额电力成本和二氧化碳排放,如何提高电解效率、降低电力消耗,这是摆在科研人员面前的一道难题。氢气的体积密度小,储存时需要极高的压力或者极低的温度,这导致了高昂的储存成本和技术难度。尤其是在大规模储能的场景下,这些挑战更加突出。如何在不增加能量消耗的情况下实现氢气的安全、低成本储存,仍然是科学家们急需解决的技术瓶颈。氢气极易燃爆,储存和运输过程中的泄漏问题可能引发严重的安全事故。即便是微小的氢气泄漏,也可能导致难以预料的灾难后果。这就要求氢储能系统在设计 and 运行中必须具备极高的安全标准,配备先进的泄漏检测和防护技术,这无疑增加了系统的复杂性和成本。针对这些挑战,技术突破是当务之急。提升电解制氢效率可以通过开发更高效的电解材料和改进电解工艺来实现;而在氢气储存上,研究更安全的储氢材料以及改进现有的高压储存技术或许能够降低成本和提升安全性。至于安全问题,则需加强氢气泄漏检测技术,研发更可靠的防护措施都是必不可少的;同时要实现氢储能技术的经济可行性,政府和企业应加大研发投入,通过技术创新来降低成本,探索更多氢气的应用场景,扩大市场需求以实现规模效应^[1]。

5 电力系统氢储能技术的创新方向

电力系统的未来正在被氢储能技术点燃新的希望之光。电解水制氢与光催化制氢技术在创新领域中逐渐崭露头角,

电解水制氢作为当前技术路线的主力军,正朝着更高效、更低成本的方向发展,尤其是在提高电解效率和降低电解槽成本方面的进展令人瞩目;而光催化制氢则在减少能源消耗和环境影响方面展现出巨大的潜力,未来一旦实现大规模应用,必将为电力系统提供更加绿色的氢气来源。氢燃料电池与氢内燃机技术的创新同样不容小觑,氢燃料电池技术已经在电力供应的稳定性和持续性上展现了其独特优势,尤其是在应对大规模电力负荷波动时,氢燃料电池能够迅速响应并提供稳定的电能输出。氢内燃机技术的潜力同样不可忽视,这种技术不仅能作为备用电源,更能在特定的应用场景下与氢燃料电池形成互补,共同提升电力系统的韧性与灵活性。在氢储存与运输技术方面,现有的技术正在逐步突破瓶颈。高压储氢与低温液氢技术的逐步成熟,为大规模氢气储存提供了可靠保障,而新型固态储氢材料的开发,也为氢气在电力系统中的分布式存储和运输创造了更多可能。未来,通过在输电网中嵌入氢气储运系统,电力系统的弹性和适应性将进一步提高,不仅能有效应对可再生能源发电的不稳定性,还能在能源供需间实现更灵活的调度。

6 结语

氢储能技术正处于从理论到实际应用的关键时期,在电力系统中的应用前景广阔。现阶段的挑战不容忽视,氢的生产与储存仍面临高成本和安全性难题,技术成熟度也有待提升。但挑战与机遇并存,随着电解水制氢、氢燃料电池等技术的不断突破,氢储能的成本有望逐渐下降,安全性也会得到更好的保障。未来,电力系统氢储能的应用不应仅限于调峰和负荷平衡,还应进一步探索其在分布式能源系统、工业用能等多领域的深度应用。对于氢储能的推广还需要更多的政策引导和技术创新,同时也要加强国际合作,形成共赢的发展格局。

参考文献

- [1] 王士博,孔令国,蔡国伟,等.电力系统氢储能关键应用技术现状、挑战及展望[J].中国电机工程学报,2023,43(17):6660-6681.
- [2] 朱正印,刁智伟,毕素玲,等.新能源电力系统中储能技术的应用探究[J].电工技术,2023(S1):253-255.
- [3] 金阳.新能源电力系统中的储能技术研究[J].低碳世界,2023,13(11):49-51.