

光伏电解水制氢系统设计技术探讨

杨鑫

广东卡沃罗氢科技有限公司 广东 佛山 528000

摘要: 光伏电解水制氢系统利用太阳能直接转换生成氢气,是一种清洁高效的能源转换技术。系统由供电、制氢、储氢及能量管理等部分组成,设计关键涵盖光伏阵列优化、电力转换配置、电解设备选型及氢气安全储存与利用。通过精准设计与技术创新,该系统有效提升了太阳能到氢能的转换效率与安全性,为可再生能源存储与利用提供了新途径。

关键词: 光伏电解水制氢;系统设计;技术

引言

随着全球能源需求增长与环保压力加剧,寻找清洁、可持续的能源解决方案成为迫切需求。光伏电解水制氢技术作为连接可再生能源与氢能经济的重要桥梁,正逐步走向产业化应用。该技术利用太阳能驱动电解水反应,直接将光能转化为氢能,具有无污染、储量丰富等优势。本文旨在深入探讨光伏电解水制氢系统的设计技术,分析其关键点,为推动氢能产业发展贡献力量。

1 光伏电解水制氢系统概述

光伏电解水制氢系统是一种将太阳能转化为氢能的先进能源转换技术。它融合了光伏技术与电解水技术,为实现可持续能源发展提供了有效途径。该系统中,光伏组件作为能量的采集装置,利用半导体的光电效应将太阳能转化为直流电。光伏组件的性能直接影响着系统的效率和稳定性。高效的单晶硅和多晶硅光伏组件广泛应用于该系统,具有较高的光电转换效率和较长的使用寿命。技术的不断进步,新型的薄膜光伏组件也逐渐崭露头角,如碲化镉和铜铟镓硒光伏组件,它们具有柔性、轻便等特点,适用于不同的安装场景。电力转换设备在系统中起到关键作用。将光伏组件产生的直流电进行调整和转换,满足电解槽的工作需求。常见的电力转换设备包括逆变器、直流变换器等。逆变器可以将直流电转换为交流电,以便与电网连接或为交流负载供电。直流变换器则可以调整直流电的电压和电流,确保电解槽在最佳工作状态下运行。电解槽是光伏电解水制氢系统的核心部件。通过电解水的化学反应将电能转化为氢能。根据电解质的不同,电解槽主要分为碱性电解槽、质子交换膜电解槽和固体氧化物电解槽。碱性电解槽技术成熟、成本较低,但效率相对较低;质子交换膜电解槽具有高效、快速响应等优点,但成本较高;固体氧化物电解槽可在高温下运行,效率高,但技术难度较大。系

统还包括储氢设备、控制系统等辅助部分,储氢设备用于储存电解槽产生的氢气,以便后续使用。控制系统则对整个系统进行监测和控制,确保系统安全、稳定运行。

2 光伏电解水制氢系统组成

2.1 供电系统

供电系统在光伏电解水制氢系统中起着至关重要的作用。它主要包括电解槽的直流供电系统和交流辅助供电控制系统。(1)光伏制氢系统分为并网系统和离网系统,并网系统设备相对较多,有光伏逆变器、变压器、DC/DC变换器以及整流器等。这种系统存在一些弊端,一方面效率较低,众多设备在能量转换过程中会产生一定的损耗;另一方面投入较高,购置和安装这些设备需要较大的资金成本。(2)离网系统则独立于电网,具有明显的优势。它减少了变压过程,直接使用DC-DC变换器间接连接光伏阵列与电解槽。这样降低了系统损耗,使得更多的太阳能能够有效地转化为氢能。控制更加简单,减少了复杂的电网交互,提高了系统的稳定性和可靠性。(3)DC-DC变换器在系统中发挥着关键作用。能够灵活匹配光伏阵列与电解槽的I-V曲线,确保光伏阵列输出的电能能够高效地被电解槽利用,提高系统整体效率。这提高光伏电解水制氢系统的性能和经济性具有重要意义^[1]。

2.2 制氢系统

第一,碱水电解制氢(ALK),作为历史最悠久且技术最为成熟的制氢方式,其系统复杂性主要体现在对多个子系统的精确控制上。ALK电解槽是电化学反应的场所,更是氢氧分离、碱液循环及水质管理的关键。其高效运行依赖于各子系统间的紧密配合,如氢侧与氧侧系统需确保气体纯净度与压力稳定,补水系统则需精确调控水质与流量,以维持电解过程的持续高效。第二,质子交换膜纯水电解制氢(PEM),作为近年来发

展最为迅速的制氢技术，其优势在于简化了制氢流程，实现了纯水直接电解并产出高压氢气。PEM电解槽的核心在于其高选择性的质子交换膜，该膜促进了氢离子的快速传导，还阻隔了气体与液体的混合，提升了制氢的纯度和效率。PEM系统无需碱液处理，降低了环境污染风险，并简化了维护流程。第三，固体聚合物阴离子交换膜水电解制氢（AEM）与固体氧化物电解制氢技术（SOEC）作为新兴技术，分别展示了在阴离子传导与高温操作环境下的制氢潜力。AEM技术虽尚处于初步示范阶段，但其独特的阴离子传导机制为提升电解效率提供了新的思路。SOEC技术，以其能在高温下利用热能辅助电解的优势，预示着未来在可再生能源综合利用领域的巨大潜力。这些技术的发展，丰富了电解水制氢的技术谱系，更为光伏电解水制氢系统的多元化与高效化提供了有力支撑^[2]。

2.3 储氢、充氢和运氢系统

（1）储氢系统环节是至关重要的。它用于储存电解水产生的氢气，常见的储氢方式有高压气态储氢、液态储氢和固态储氢。高压气态储氢具有技术相对成熟、成本较低的优势，但储氢密度有限。液态储氢储氢密度高，需要极低的温度和较高的压力条件，技术难度大且成本高昂。固态储氢则利用金属氢化物等材料吸附氢气，具有较高的安全性和潜在的高储氢密度，目前处于研发和改进阶段。不同的储氢方式各有优缺点，根据实际应用场景进行选择。（2）充氢系统负责将电解槽产生的氢气充入储氢装置。充氢过程需要确保安全、高效，同时要考虑氢气的纯度和压力控制。合理的充氢系统设计可以提高氢气的储存效率和安全性，减少能量损失和泄漏风险。（3）运氢系统负责氢气的运输。氢气的运输方式主要包括管道运输、车载运输等。管道运输适用于大规模、长距离的氢气输送，建设成本高且需要考虑安全和维护问题。车载运输则较为灵活，根据需求进行调配，但运输成本相对较高。选运氢方式需全面考量：短距离宜高效快捷，长距离则须经济可靠；运输量大小决定规模效益；成本控制关乎经济可行性；安全性更是重中之重，确保全程无虞。综合这些因素，方能选出最优运氢策略。

2.4 能量管理与控制系统

第一，该系统通过集成先进的智能算法，实现对多电源（如光伏阵列、储能设备等）的互补式管理。它根据实时气象数据、光伏阵列发电效率及储能设备的状态，动态调整电源输出，确保电解制氢过程获得稳定充足的电力供应。对供电系统输出功率的精准预测，系统

能够提前规划并优化电力分配，提高能源利用效率。第二，安全监测功能是能量管理与控制系统的一大亮点。该系统配备了高精度的传感器和监测设备，对电解槽、氢气储存罐等关键部件进行24小时不间断监控，实时检测温度、压力、气体纯度等关键参数，确保系统运行在安全范围内。如果发现异常情况，系统能够立即触发报警机制，采取紧急措施防止事态扩大。第三，故障应急防护是能量管理与控制系统不可或缺的一部分。该系统内置了详尽的故障诊断与应急处理预案，能够在设备故障或系统异常时迅速定位问题原因，自动或辅助操作人员进行故障隔离与恢复工作。这一机制，系统能够在最短时间内恢复正常运行，减少因故障导致的生产损失。

3 光伏电解水制氢系统设计的关键技术要点

3.1 光伏阵列设计与优化

（1）光伏组件的选型非常重要。不同类型的光伏组件具有不同的性能特点，如单晶硅组件效率较高但成本也相对较高，多晶硅组件成本较低但效率略逊一筹，薄膜光伏组件则具有柔性、轻便等特点，适用于特定安装场景。选型时，需综合考虑系统的效率要求、成本预算以及安装环境等因素，选择最适合的光伏组件。（2）阵列布局、朝向和倾角的设计也不容忽视。合理的布局减少阴影遮挡，提高太阳能的接收效率。朝向应根据当地的地理位置和太阳运动轨迹进行优化，最大化接收太阳辐射。倾角的选择需要考虑季节变化和当地的纬度等因素，保证在不同季节都能获得较好的太阳能接收效果。需关注光伏阵列的散热性能，良好的散热提高光伏组件的寿命和效率。防尘防污能力也非常重要，定期的清洁和维护保证光伏阵列的正常运行。（3）长期运行的可靠性是光伏阵列设计的要点。这要考虑光伏组件的质量、安装工艺以及系统的监测和维护。选择质量可靠的光伏组件，采用专业的安装工艺，减少故障发生的概率。建立完善的监测系统，及时发现和解决问题，确保光伏阵列的长期稳定运行。光伏阵列的设计与优化是光伏电解水制氢系统设计的重要环节，需要综合考虑多个因素，以实现系统的高效、稳定运行^[3]。

3.2 电力转换装置的选择与配置

（1）转换效率是电力转换装置选型的首要考量因素。高效能的电力转换装置能够最大限度减少电能转换过程中的损失，提高系统整体的能源利用效率。选择时需对市场上各类电力转换装置的转换效率进行细致比较，确保所选设备符合系统对效率的高标准要求。（2）功率因数作为电力转换装置性能的重要指标，也不容忽视。高功率因数意味着设备在传输电能时，能更有效利

用电网资源,减少无功功率的损耗。合理配置电力转换装置的功率因数,可以提升系统的能效,降低运行成本。(3)输出电压和电流范围也是选择与配置电力转换装置时必须考虑的关键因素。不同型号的电解水制氢设备对电力输入有着各自特定的要求,因此电力转换装置需要能够提供与之相匹配的输出电压和电流范围。光伏电解水制氢系统中,设备的稳定性和动态响应能力至关重要。当负载变化时,需确保设备能迅速调整并保持稳定,为电解水制氢提供可靠电力。这样才能在不同工况下保证系统高效运行,实现可持续的氢能生产。

3.3 电解水制氢设备的选型与匹配

第一,选择电解水制氢设备时,制氢效率是首要考虑因素。高效的制氢设备能够在相同的能源输入下产生更多的氢气,提高系统的整体效率。能耗也是重要指标,低能耗的设备降低系统的运行成本。产氢纯度直接关系到氢气的质量和后续的使用,高纯度的氢气对于特定的应用场景至关重要。设备寿命决定了系统的长期稳定性和投资回报率,较长的设备寿命减少更换设备的频率和成本。维护成本也不可忽视,易于维护的设备可以降低系统的运营成本和维护难度。第二,合理匹配电解水制氢设备与光伏阵列和电力转换装置非常重要。根据光伏阵列的发电能力,选择合适规模的电解水制氢设备,以充分利用太阳能资源。电力转换装置的输出能力也需要与电解水制氢设备相匹配,确保稳定的电力供应。如匹配不当,可能会导致系统效率低下、设备损坏或无法正常运行。第三,为了确保系统的高效运行,还要考虑电解水制氢设备的适应性和可扩展性。光伏阵列规模的扩大或系统需求的变化,电解水制氢设备应能够适应不同的工作条件,具有一定的可扩展性,以便在未来进行升级和改造^[4]。

3.4 氢气储存与利用系统的设计与安全

光伏电解水制氢系统中,氢气储存与利用系统的设计是技术上的挑战,更是确保系统整体效能与稳定性的关键。(1)选择合适的氢气储存方式至关重要。高压气态储存以其技术成熟、成本相对较低的优势成为主流选

择,需精确计算并控制储存压力与温度,以优化存储密度并防止材料疲劳。液态储存则通过极低温度下将氢气液化,提升储存效率,对保温与制冷技术要求极高。固态储存材料如金属氢化物的研究也在不断深入,为长期、安全储存提供新可能。(2)储存容器的设计与选材不容忽视。采用高强度、耐腐蚀的材料,不锈钢或特殊合金,保证在极端条件下容器的完整性与安全性。设计时充分考虑容器的密封性、耐压能力及热稳定性,降低泄漏风险。(3)安全措施的构建是氢气储存与利用系统的核心。这包括但不限于安装高效的安全阀与泄漏检测装置,以实时监测氢气状态并迅速响应潜在威胁。制定详尽的应急预案与操作规程,加强人员培训,确保在系统异常时能迅速、有序地采取应对措施,保障人员安全与环境稳定。氢气储存与利用系统的设计需综合考虑技术先进性、经济性与安全性,以实现高效、可靠的氢能利用。

结语

光伏电解水制氢系统作为未来能源体系的重要组成部分,其设计技术的持续优化与创新对于推动能源转型具有重要意义。通过不断优化光伏阵列、提升电力转换效率、精确匹配电解设备以及构建安全的氢气储存与利用系统,我们能够有效提升系统整体性能,实现太阳能到氢能的高效转换与利用。展望未来,随着技术的不断进步与成本的进一步降低,光伏电解水制氢技术必将在全球能源领域发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]鲍金成,赵子亮,马秋玉.氢能技术发展趋势综述[J].汽车文摘,2020(2):6-11.
- [2]邹才能,张福东,郑德温,等.人工制氢及氢工业在我国“能源自主”中的战略地位[J].天然气工业,2019,39(01):7-16.
- [3]中国氢能联盟.中国氢能源及燃料电池产业白皮书[R].北京:中国氢能联盟,2019.(3):45-48.
- [4]景春梅,何七香,欧训民.从日韩氢能产业看我国氢能发展[J].能源,2019(12):25-27.