

基于氢储能的风光氢能源系统能质转换优化策略

李鹏晖

中国电建集团福建省电力勘测设计院有限公司

摘要：为减少对化石能源的依赖，中国提出了“2030年达到碳达峰，2060年实现碳中和”的双碳目标。电力行业是能源领域中的重点碳排放行业，其碳排放占比高达42%，为了早日实现双碳目标，必须将电力行业作为能源减碳的主战场。随着全球能源结构的转型和气候变化问题的日益严峻，新能源的开发和利用受到了广泛关注。风光能源作为一种清洁、可再生的能源，具有巨大的开发潜力。然而，风光能源的随机性和不稳定性限制了其在电力系统中的应用。因此，研究基于氢储能的风光氢能源系统能质转换优化策略具有重要意义。

关键词：风光互补发电；电解槽；氢储能；能质流动与转换

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.13.121

引言

目前，针对风光氢能源系统的研究主要集中在制氢技术、氢储能技术和氢能源应用等方面。在制氢技术方面，主要有电解水制氢、光解水制氢和化学制氢等方法。在氢储能技术方面，主要有高压气态储氢、液态储氢和固态储氢等方法。在氢能源应用方面，主要有燃料电池、氢气轮机和氢气内燃机等应用方式。本研究旨在提出一种基于氢储能的风光氢能源系统能质转换优化策略，提高风光能源的利用效率和稳定性，降低弃风弃光现象，为我国新能源产业的发展提供技术支持。

一、风光氢能源系统的背景和与意义

（一）风光氢能源系统的背景

风光氢能源系统是一种将风能和太阳能等可再生能源通过电解水制氢的方式转化为氢能，再通过氢燃料电池或氢动力设备将氢能转化为电能或其他形式的能源的综合能源系统。这种系统具有风光资源丰富、清洁环保、可再生等特点，被认为是未来能源发展的重要方向之一。在我国，风光氢能源系统的发展具有重要的意义。首先，我国风光资源丰富，尤其是西北地区，弃风弃光现象严重，通过风光氢能源系统可以将这些未被利用的能源转化为可储存、可运输的氢能，提高能源利用效率。其次，氢能源作为一种清洁、高效的能源，可以替代传统的化石能源，减少温室气体排放，对于实现我国碳减排目标具有重要意义。最后，风光氢能源系统的发展还可以推动我国氢能产业的发展，促进经济转型和升级。

（二）能质转换优化策略的研究目的和意义

能质转换优化策略的研究目的是为了

提高风光氢能源系统的能源利用效率，降低系统的运行成本，促进风光氢能源系统的广泛应用。具体来说，优化策略的研究可以解决以下几个问题：首先，如何合理地配置风光氢能源系统的各个组成部分，提高系统的整体性能。其次，如何优化电解水制氢和氢燃料电池发电过程中的控制策略，提高能质转换效率。最后，如何根据风光能源的随机性和不确定性，制定出适应性强、经济性好的运行策略，提高系统的稳定性和可靠性。研究能质转换优化策略的意义在于，可以为风光氢能源系统的设计、运行和管理提供理论指导和实践参考，推动风光氢能源系统的发展和

二、风光氢能源系统的基本原理和结构

（一）风光发电系统的原理和特点

风光发电系统，顾名思义，是利用风能和光能进行发电的系统。其中，风力发电系统通过将风的动能转换为电能，而光伏发电系统则是将太阳光的辐射能转换为电能。风力发电系统的原理是利用风力驱动风力发电机转动，通过转子的切割磁力线产生电流，从而实现发电。风力发电具有清洁、可再生、无噪音等优点，但也存在不稳定、地理分布限制等缺点。光伏发电系统的原理是利用光伏效应，将太阳光的辐射能转换为电能。光伏发电具有广泛的应用范围，不受地理分布限制，可以安装在建筑物的屋顶、道路、停车场等地方。然而，光伏发电的效率受到光照强度和温度的影响，且夜晚无法发电。风光发电系统的特点主要体现在其清洁、可再生的特性上。同时，风光发电系统可以根据当地的自然资源条件，实现就地取材、就地发电，减少能源传输损失。然而，风光发电也存在一定的局限性，如受天气条件影响较大，发电效率不稳定等。

（二）氢储能系统的原理和特点

氢储能系统是一种将电能转化为氢气储存，再将氢气转化为电能的系统。其核心组件包括电解槽、氢燃料电池等。电解槽是氢储能系统中的关键设备，其原理是通过电解水产生氢气和氧气。当电能充足时，将电能转化为化学能，将水分解为氢气和氧气，实现电能到化学能的转换。当需要发电时，氢气通过燃料电池与氧气反应，产生电能和水，实现化学能到电能的转换。氢储能系统的特点主要体现在其高能量密度、长寿命、环境友好等方面。氢储能系统可以实现大规模的电能储存，解决风光发电系统的波动性和不稳定问题。同时，氢储能系统的副产品是水，不会产生污染，符合可持续发展的

要求。然而，氢储能系统也存在一定的缺点，如成本较高、氢气的储存和运输安全问题等。

（三）风光氢能源系统的整体结构和工作原理

风光氢能源系统是将风光发电系统与氢储能系统相结合的一种新型能源系统。其整体结构主要包括风力发电机、光伏板、电解槽、氢燃料电池等组件。风光氢能源系统的工作原理是，在风光发电系统发电时，将多余的电能用于电解水制氢，将电能转化为氢气的化学能储存起来。当风光发电系统发电不足时，利用储存的氢气通过氢燃料电池发电，将化学能转化为电能。这样，风光氢能源系统实现了风光发电的波动性和不稳定性的调节，提高了系统的稳定性和可靠性。风光氢能源系统的整体结构和工作原理充分体现了能源的互补性和灵活性。通过风光发电系统与氢储能系统的结合，既可以充分利用风光资源，实现能源的可持续发展，又可以解决风光发电系统的波动性和不稳定问题，提高能源系统的整体性能。

三、风光氢能源系统能质转换现状分析

（一）当前风光氢能源系统中能质转换的现状和问题

当前风光氢能源系统主要通过风光发电耦合电解槽制氢的方式实现。然而，在这一过程中，能质转换存在诸多问题。首先，风光发电系统的随机性和不稳定性导致制氢速率波动较大，难以实现高效稳定的氢气产出。其次，电解槽的能质转换效率较低，大量的电能转化为热能，导致能源损失。此外，风光氢能源系统中各组件之间的协同作用尚未得到充分优化，使得能质转换效率进一步提升受限。

（二）能质转换效率低下的原因和影响因素

能质转换效率低下的原因主要可以分为以下几点：首先，风光发电系统的随机性和不稳定性使得电解槽难以实现高效稳定的氢气产出。其次，电解槽本身存在能量损失，如电解水过程中的热量损失等。此外，风光氢能源系统中各组件之间的协同作用尚未得到充分优化，如风光发电与电解槽之间的匹配问题，以及氢储能与燃料电池之间的能量流动控制等。这些因素共同导致风光氢能源系统的能质转换效率低下，影响了整个系统的能源利用效率和经济性。

（三）现有优化策略的优势和不足

针对风光氢能源系统能质转换效率低下的问题，现有优化策略主要从以下几个方面展开：（1）风光发电与电解槽的匹配优化：通过风光发电数据的预测和分析，合理安排电解槽的工作状态，实现风光发电与电解槽之间的能量流动平衡。（2）氢储能技术的优化：采用高效的氢储能技术，如液态氢储存技术，提高氢储能的能量密度和转换效率。（3）燃料电池的应用：通过燃料电池将氢气转化为电能，实现氢能源的高效利用。然而，这些优化策略仍存在一定的不足之处。首先，预测

风光发电数据的准确性仍有待提高，这关系到电解槽的工作状态安排是否合理。其次，高效氢储能技术的研发和应用尚处于起步阶段，目前尚未形成成熟的技术体系。最后，燃料电池的成本和技术成熟度仍是制约其广泛应用的主要因素。

四、基于氢储能的风光氢能源系统能质转换优化策略

（一）风光氢能源系统的能质转换过程分析

风光氢能源系统是一种将风能和太阳能等可再生能源通过电解水制氢过程转换为氢能，再通过氢燃料电池或氢燃烧发电机将氢能转换为电能的系统。在这个过程中，能质转换优化策略的研究对于提高系统效率和降低成本具有重要意义。

（1）风光互补发电系统的能质转换过程：风光互补发电系统是指将风能和太阳能两种可再生能源进行有效整合，通过风光互补发电系统将风能和太阳能转化为电能。风光互补发电系统的能质转换过程主要包括以下几个方面：①风能和太阳能的收集与转换：风力发电机和太阳能光伏板分别将风能和太阳能转化为电能。其中，风力发电机通过旋转叶片将风能转化为机械能，再通过发电机将机械能转化为电能；太阳能光伏板则将太阳光中的能量转化为电能。②电能的储存与调节：由于风光能源的随机性和不稳定性，需要通过蓄电池或超级电容器等储能设备对电能进行储存和调节，以满足负荷对电能的需求。③电解水制氢过程：通过电解槽将电能转化为氢能，实现风光能源向氢能的转换。电解槽中的电解质溶液在电解过程中产生氢气和氧气，其中氢气可以作为能源载体储存和运输。

（2）氢储能系统的能质转换过程：氢储能系统是将风光能源转化为氢能，再通过氢燃料电池或氢燃烧发电机将氢能转换为电能的系统。氢储能系统的能质转换过程主要包括以下几个方面：①氢气的储存与运输：氢气需要通过高压气瓶或液氢储存罐进行储存和运输。储存和运输过程中的安全性是氢储能系统应用的关键问题之一。②氢燃料电池的运行原理：氢燃料电池是将氢气与氧气在催化剂的作用下发生氧化还原反应，产生电能的装置。氢燃料电池具有较高的能量转换效率和较低的污染排放。③氢气的循环利用：在氢燃料电池运行过程中，产生的水蒸气可以通过冷凝器进行冷凝，回收利用。同时，可以通过电解水制氢过程将氢气重新转化为氢气，实现氢气的循环利用。

（二）制氢速率的优化策略

近年来，基于风光的新能源发电系统在我国西北地区发展迅猛。然而，由于生产力、人口等因素，该地区的电力负荷较低，加之新能源的随机性和不稳定特点，弃风弃光现象严重。为了解决这一问题，研究人员提出了新能源发电耦合氢储能技术的方案。本章将探讨风光氢能源系统的制氢速率优化策略，以提高能质转换效

率,实现风光氢能源系统的稳定运行。针对风光氢能源系统的制氢速率问题,在MATLAB/Simulink系统下建立了包括风力发电系统、光伏发电系统以及电解槽的混合架构模型。通过此模型,我们研究了在西北地区自然环境下的氢气产出特性及规律,并提出了制氢速率的优化策略。为了实现风光氢能源系统制氢速率的优化,可以通过风光互补发电,提高新能源发电系统的稳定性和利用率,为制氢过程提供稳定的电能来源。根据风光氢能源系统的发电特性,选择合适的电解槽类型和配置方案,以提高制氢效率。通过功率控制策略,实现风光发电系统与电解槽之间的动态匹配,确保制氢过程的稳定进行。优化风光氢能源系统中的能质流动与转换过程,降低能量损失,提高制氢速率。

(三) 氢储能系统的功率控制优化策略

在基于氢储能的风光氢能源系统中,氢储能系统(Hydrogen Energy Storage System, HESS)扮演着至关重要的角色。氢储能系统能够有效地平衡风光发电的波动性和负载需求的稳定性,提高系统的灵活性和可靠性。然而,氢储能系统的功率控制策略对其性能和效率具有重要影响。因此,本节将重点讨论氢储能系统的功率控制优化策略。氢储能系统的功率控制是指通过调节氢储能系统的充放电功率,使其与风光发电的功率输出和负载需求相匹配。优化功率控制策略对于实现风光氢能源系统的高效运行具有重要意义。功率控制优化可以提高系统对风光发电的消纳能力,减少弃风弃光现象,同时确保负载需求的稳定供应。此外,优化功率控制策略还有助于提高氢储能系统的使用寿命和降低运营成本。

针对氢储能系统的功率控制,研究者们提出了一系列优化策略。以下是一些常见的优化策略:(1)风光发电与负载需求预测:通过风光发电和负载需求的预测,提前制定功率控制计划。预测模型的准确性对优化结果具有重要影响。可以使用机器学习、深度学习等人工智能技术建立预测模型,以提高预测准确性。(2)能量管理策略:根据风光发电和负载需求的实时数据,动态调整氢储能系统的充放电功率。例如,在风光发电高峰期,增加氢储能系统的充电功率,以储存多余的电力;在负载需求高峰期,增加氢储能系统的放电功率,以满足负载需求。(3)功率分配策略:在多能源系统(如风光氢储综合能源系统)中,通过优化功率分配,实现不同能源之间的互补和协同作用。例如,在风光发电不足时,可以利用其他能源(如电力、天然气等)补充氢储能系统的不足。(4)储能系统状态控制策略:通过实时监测氢储能系统的工作状态,调整其充放电状态,以实现高效运行。例如,避免氢储能系统在过充或过放状态下工作,延长其使用寿命。(5)氢储能系统与外部市场的互动策略:根据外部市场(如电力市场、碳交易市场等)的实时信息,调整氢储能系统的功率控

制策略。例如,在电力市场价格较低时,增加充电功率,以降低成本;在碳交易市场,通过参与碳交易,实现低碳运行。

(四) 风光氢能源系统的整体功率控制优化策略

在风光氢能源系统中,功率控制是实现系统稳定运行和高效能量转换的关键环节。风光发电系统产生的电能波动性较大,而氢储能系统对电能的稳定性和频率要求较高。因此,研究风光氢能源系统的整体功率控制优化策略,对于提高系统运行效率、降低弃风弃光率、提升氢储能系统的能量利用效率具有重要意义。通过风光发电系统与氢储能系统的协同控制,实现风光发电系统输出功率与氢储能系统需求功率的匹配。具体方法包括:预测风光发电系统的输出功率,根据预测结果调整氢储能系统的功率需求,实现系统的稳定运行。采用先进的控制算法,如自适应控制、滑模控制等,对风光发电系统的输出功率波动进行抑制,提高电能质量。通过优化风光发电系统、氢储能系统和电解槽的运行参数,实现系统在各个时段的高效能量转换和利用。具体方法包括:制定合理的电解槽运行策略,根据风光发电系统的输出功率和氢储能系统的需求功率,调整电解槽的制氢速率和储存氢气量;在非峰值时段,利用风光发电系统为电解槽供电,提高能源利用率。考虑碳交易市场的影响,将风光氢能源系统与碳交易市场进行融合,实现系统在降低碳排放的同时,提高经济效益。具体方法包括:根据碳交易市场的价格信息,优化风光发电系统和氢储能系统的运行参数,实现低碳经济运行。

结束语

总而言之,本文深入研究了基于氢储能的风光氢能源系统能质转换优化策略,分析了当前风光氢能源系统中能质转换的现状和问题,并提出了一种有效的优化策略。随着科技的不断进步和可持续发展目标的深入实施,风光氢能源系统能质转换优化策略将发挥越来越重要的作用。未来,我们期待通过持续的研究和创新,推动风光氢能源系统的进一步优化和发展,为实现全球能源结构的转型和可持续发展做出更大的贡献。同时,政府和社会各界也应加强对风光氢能源系统的支持和投入,共同推动清洁能源的广泛应用和普及。

参考文献

- [1]李菁, 窦真兰, 王加祥等. 基于RSOC的风光氢能源系统功率分配策略研究[J]. 综合智慧能源, 2023, 45(07): 78-86.
- [2]樊宇航, 曾琴, 袁满. 氢储能系统关键技术及应用分析[J]. 电气技术与经济, 2023, (01): 66-68.
- [3]阮景昕, 王跃社, 张俊峰等. 基于氢储能的风光氢能源系统能质转换优化策略[J]. 工程热物理学报, 2023, 44(02): 413-421.
- [4]吴锋棒. 风光氢储综合能源系统优化配置[J]. 山东化工, 2020, 49(16): 135-136+138.