

Application research of hydrogen energy coupling technology in peak regulation and low carbon transformation of thermal power plants

Jianbo Li

Inner Mongolia Mengtai Bulian Gou Coal Industry Co., Ltd. Coal Gangu Thermal Power Plant, Ordos, Inner Mongolia, 017100, China

Abstract

With the transformation of global energy structures, reducing greenhouse gas emissions and promoting sustainable development have become important goals for countries around the world. In thermal power plants, due to their sensitivity to fluctuations in electricity load, peak regulation has always been a major challenge constraining their development. Hydrogen, as a clean, efficient, and renewable energy source, has attracted widespread attention in recent years. This paper explores the application of hydrogen coupling technology in peak regulation and low-carbon transition in thermal power plants, analyzes the feasibility and advantages of coupling hydrogen with thermal power systems, and examines the energy storage and regulation roles of hydrogen in power systems, as well as its role in driving the low-carbon transition of thermal power plants. Through detailed case studies and technical evaluations, it proposes practical approaches and future directions for the application of hydrogen coupling technology in thermal power plants.

Keywords

hydrogen energy; thermal power plant; peak regulation; low carbon transition; energy transition

氢能耦合技术在火力发电厂调峰及低碳转型中的应用研究

李剑波

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司煤矸石热电厂, 中国·内蒙古 鄂尔多斯 017100

摘要

随着全球能源结构的转型, 减少温室气体排放, 促进可持续发展成为各国发展的重要目标。在火力发电厂中, 由于其对电力负荷波动的敏感性, 调峰问题一直是制约其发展的一大难题。氢能作为一种清洁、高效、可再生的能源, 近年来引起了广泛关注。本文探讨了氢能耦合技术在火力发电厂调峰及低碳转型中的应用, 分析了氢能与火力发电系统耦合的可行性及其优势, 研究了氢能在电力系统中的储能与调节作用, 以及其对火力发电厂低碳转型的推动作用。通过详细的案例分析和技术评估, 提出了氢能耦合技术在火力发电厂中的实践路径及未来发展方向。

关键词

氢能; 火力发电厂; 调峰; 低碳转型; 能源转型

1 引言

随着全球气候变化问题日益严重, 降低碳排放、提高能源利用效率成为全球各国共同面临的重要课题。火力发电作为传统的能源形式, 虽然占据了全球电力生产的重要份额, 但其高碳排放和环境污染问题也备受关注。在这一背景下, 推进火力发电厂的低碳转型, 不仅是响应全球环保需求的必然选择, 也是实现能源结构优化的关键步骤。尤其是火力发电厂的调峰问题, 一直是电力系统运行中的难题。传统火电机组的调峰能力有限, 难以应对可再生能源的波动性和

不稳定性。

氢能作为一种绿色、低碳的能源形式, 为解决这些问题提供了新的思路。氢气的储存、运输、转化等特性使其在电力调峰中具有独特的优势。通过氢能耦合技术, 可以有效地提高火力发电厂的调峰能力, 减少化石能源的消耗, 从而加速火电机组的低碳转型。因此, 研究氢能耦合技术在火力发电厂中的应用, 具有重要的理论价值和实践意义。

2 氢能耦合技术的基本概念与发展

2.1 氢能的基本特性与优势

氢能是指通过氢气的生产、储存、运输和应用所产生的能量。氢气在燃烧过程中不产生二氧化碳等温室气体, 是一种理想的清洁能源。氢气的能源密度较高, 且可通过电解

【作者简介】李剑波(1990-), 男, 中国内蒙古巴彦淖尔人, 本科, 工程师, 从事动力工程研究。

水、天然气重整等多种途径生产。此外，氢能可以与多种能源形式进行耦合，如风能、太阳能、火力发电等，从而实现能源的高效利用。

氢能的主要优势包括：①清洁性：氢气燃烧产生的唯一副产物为水，极大减少了温室气体的排放；②可再生性：氢气可以通过多种方式生产，并可持续利用；③储能性：氢气具有较强的储能能力，可用于调节电网的负荷波动，解决可再生能源的间歇性和不稳定性问题。

2.2 氢能与火力发电厂的耦合模式

氢能与火力发电厂的耦合主要指在火力发电系统中引入氢能作为辅助能源或储能系统，通过氢能的高效利用，提高火电机组的调峰能力。具体而言，氢能可以通过以下几种方式与火力发电厂耦合：

氢能储能与调峰：氢气作为储能介质，可通过电解水等方式存储电能，在电网负荷低时将多余的电能转化为氢气储存，在需求高峰时通过燃料电池或氢气燃烧发电提供电力，从而平衡电网负荷，解决电网调峰问题。

氢气与燃煤机组耦合：氢气可以直接与燃煤机组进行耦合，通过混合燃烧等方式替代部分煤炭，实现减少碳排放，降低火力发电厂的污染。

氢气与燃气机组耦合：氢气可以作为燃气机组的辅助能源，与天然气一起燃烧，提高燃气机组的效率并减少碳排放。

2.3 氢能耦合技术的研究现状

随着氢能技术的不断发展，氢能在火力发电中的应用研究也逐渐深入。国内外学者对氢能在火力发电中的调峰和低碳转型应用进行了大量研究，主要集中在氢能的生产、储存、运输、转化过程中的技术创新和优化。目前，氢能耦合技术的研究方向主要包括氢气生产技术的优化、氢气储存与运输技术的提升、氢能发电技术的创新等。尽管氢能耦合技术在火力发电领域具有巨大的潜力，但仍面临着技术成熟度、成本、基础设施建设等挑战。

3 氢能耦合技术在火力发电厂调峰中的应用

3.1 氢能储能技术的应用

氢能储能技术是利用氢气的生产、储存和释放来调节电力供应的一种新兴技术。在火力发电厂调峰过程中，氢能储能技术具有重要应用。当电网负荷较低时，电力需求减少，火力发电厂常常会面临发电过剩的情况。此时，利用多余的电力通过水电解过程将水分解为氢气，并将电能转化为氢气储存。储存的氢气可以在电网负荷较高时，通过燃料电池或氢气燃烧发电的方式释放出来，将储存的氢气转化为电力，供电网使用，满足电网的需求波动。

这种调节机制有效解决了火力发电厂调峰能力不足的问题。当电网负荷快速变化时，传统火电机组常常需要较长时间才能调整输出功率，且响应速度较慢。氢能储能系统能

够提供更快速的响应，并且可以灵活调节电力输出，确保电网的稳定性。同时，氢能储能技术可以使得发电过程中的能量损失最小化，提高电力系统的整体效率和经济性。

3.2 氢能与火力发电厂的耦合优化

火力发电厂的传统调峰能力主要依赖于煤炭和天然气的燃烧，但由于燃烧过程的滞后性，传统火电机组的调峰效率较低，且在负荷波动较大的情况下，调节过程较为缓慢。通过将氢能与火力发电厂的燃煤或燃气机组进行耦合，可以显著提升调峰能力。氢气作为一种清洁能源，具有较高的能量密度和良好的燃烧特性，可以与传统燃料一起使用，提供额外的能源供应，从而使得发电厂在负荷波动时更加灵活地调整能源输出。

例如，在低负荷时，火力发电厂可以减少传统燃料的燃烧，而通过氢能储能系统将氢气转化为电力，保障电力的平稳输出。此外，氢气还可以作为备用燃料，为火电机组提供应急电力保障。在机组发生故障或进行维护时，氢气可以提供替代电力，避免因传统燃料供给中断而导致的电力供应不稳定。

3.3 氢能在火力发电厂中的环境效益

氢能作为一种清洁能源，具有显著的环境效益。通过引入氢能，火力发电厂能够显著减少碳排放。传统燃料如煤炭和天然气的燃烧会产生大量的二氧化碳（CO₂）排放，是温室气体的主要来源之一。通过将氢气与传统燃料混合燃烧，能够有效降低CO₂的排放量，减少温室气体对环境的污染。

氢能的应用不仅仅限于减少CO₂排放，在储能和调峰过程中，它还减少了对化石能源的依赖，推动了能源结构的低碳转型。当电力需求高峰时，氢气可以作为清洁的备用能源来保障电网供应，减少对煤炭等化石能源的消耗，从而推动煤炭火力发电厂向更加环保、低碳的方向转型。此外，氢能在调峰过程中的应用，提高了电力系统的稳定性和可靠性，使得整体能源系统更加智能和灵活，有助于减少能源浪费和过度依赖传统能源。

综上所述，氢能储能技术的引入，不仅提升了火力发电厂的调峰能力和应急电力保障能力，也为火力发电厂提供了更多清洁能源替代的机会，减少了碳排放，推动了能源转型，具有重要的环境和经济意义。

4 氢能耦合技术在火力发电厂低碳转型中的作用

4.1 低碳转型的战略意义

低碳转型是实现可持续发展的关键战略，尤其在火力发电领域具有重大意义。随着全球气候变化问题的日益严峻，各国逐渐加强了对温室气体排放的管控。火力发电厂是碳排放的主要来源之一，长期以来依赖化石燃料的燃烧来满足电力需求，导致大量CO₂等温室气体的排放。因此，实

现火力发电厂的低碳转型，不仅是应对气候变化的重要措施，也对国家和地区能源安全、环境保护以及绿色经济的发展具有深远影响。

氢能的引入，是推动火力发电厂低碳转型的一个重要途径。通过氢能储能、燃烧和燃料电池等技术，火力发电厂能够逐步替代传统的煤炭和天然气等高碳能源，从而提高能源使用效率，减少碳排放。氢能不仅可以作为清洁能源直接用于发电，还可以在电网负荷波动时进行储存，平衡供需，提高电力系统的稳定性。通过这种方式，火力发电厂可以有效降低温室气体排放，朝着低碳化、可持续化的方向迈进。

4.2 氢能与可再生能源的耦合

氢能与可再生能源的耦合是低碳转型的另一关键技术。可再生能源，如风能和太阳能，因其波动性和不稳定性，给电网调度带来了较大挑战。风力和太阳能发电的输出受天气和昼夜变化的影响，往往存在供电过剩和供电不足的现象。在这种情况下，氢能作为一种灵活且高效的储能方式，能够有效平衡电网负荷并解决可再生能源波动的问题。

具体来说，在电网负荷较低时，使用可再生能源产生的过剩电能进行水电解制氢，将多余的电能转化为氢气储存起来。这样，在需求高峰时，储存的氢气可以通过氢能发电或燃料电池转换为电能，供电网使用，从而平衡电力供应和需求。这一过程不仅能够缓解可再生能源的波动性问题，还能减少火力发电厂的碳排放，帮助能源系统实现低碳化。

通过氢能与可再生能源的耦合，可以优化能源结构，减少对化石能源的依赖，为实现全球能源的绿色转型提供强有力的技术支持。

4.3 氢能技术的经济性分析

尽管氢能技术在环境保护和低碳转型中具有显著的优势，但其经济性仍然是推广过程中的一大瓶颈。氢能的生产、储存和运输成本相对较高，尤其是水电解制氢和氢气压缩、液化等过程需要消耗大量的能源和资金。此外，氢能相关的基础设施建设，如氢气储存设施、氢气输送管道和加氢站等，需要巨额的投资，进一步提高了其经济负担。

因此，在火力发电厂进行低碳转型时，必须综合考虑氢能的生产成本、设施投资、运行效率等多个因素，制定合理的经济性评估方案。随着氢能技术的不断成熟和规模化生产，氢能的成本有望逐步下降，从而使其在电力行业的应用更加经济可行。例如，技术的进步可能会提高电解水制氢的效率，降低电力消耗；同时，氢气储存和运输的技术创新也

可能会减少相关的基础设施投资。

总体而言，氢能技术的经济性随着技术的进步和市场的成熟，将逐步改善，为火力发电厂的低碳转型提供更加有利的经济条件。通过政策支持、资金投入以及产业链的协同发展，氢能将在未来发挥更大的作用，助力实现全球能源低碳转型的目标。

5 氢能耦合技术面临的挑战与未来展望

5.1 技术成熟度与市场接受度

氢能耦合技术的应用仍处于发展阶段，面临着技术成熟度不高、市场接受度有限等问题。虽然氢能储能、燃烧和发电技术已经取得了一定进展，但在大规模应用过程中，还需克服氢气的生产效率、储存安全性和运输成本等技术难题。

5.2 政策支持与产业链建设

氢能的发展不仅需要技术突破，还需要政策的支持与产业链的完善。政府应出台相应的政策，鼓励氢能技术的研发与应用，加大对氢能产业链的投资力度，促进氢能与火力发电厂的深度融合。

6 结语

氢能耦合技术在火力发电厂调峰及低碳转型中的应用前景广阔。通过氢能储能、与火力发电系统的耦合，可以有效提高电网的调峰能力，减少碳排放，促进能源结构的低碳转型。然而，技术的成熟度、成本问题及政策支持等方面仍需进一步努力。未来，随着氢能技术的不断发展和相关政策的推动，氢能耦合技术有望成为实现火力发电厂低碳转型的关键技术。

参考文献

- [1] 张吉苗,郝秀强,李会强,等.双碳目标下六个一体化高质量协调发展新型能源工业体系[J].洁净煤技术,2024,30(S2):781-786.
- [2] 黄鑫.含碳捕集机组的虚拟电厂优化调度研究[D].广西大学,2024.
- [3] 王雪妍.基于电-碳-绿证联合交易的多能互补系统优化运行研究[D].西安理工大学,2024.
- [4] 强圣婷.基于源-网-荷协同的电力系统低碳经济优化调度研究[D].兰州交通大学,2024.
- [5] 陈晨霖.氨与煤粉掺混燃烧过程的试验与机理研究[D].浙江大学,2024.