

Model construction of energy saving potential assessment for coupling carbon capture and cogeneration system in coal-fired power plants

Jinting Gao

Lvliang Energy Information Dispatch Center, Lvliang, Shanxi, 033000, China

Abstract

As global climate change becomes increasingly severe, reducing greenhouse gas emissions has become a critical challenge for the global energy sector. Coal-fired power plants, as one of the primary sources of carbon emissions globally, face the urgent need to reduce emissions while ensuring energy supply and improving energy efficiency. Carbon capture technology and combined heat and power (CHP) systems have gained significant attention in recent years as effective methods to enhance the energy efficiency of coal-fired power plants and reduce carbon emissions. This paper proposes an evaluation model based on the concept of coupling carbon capture with CHP systems in coal-fired power plants. By quantitatively analyzing the coupling effect between CHP and carbon capture systems, the model assesses their potential for energy savings under various operating conditions. The model takes into account factors such as the energy flow in coal-fired power plants, the energy consumption during the carbon capture process, and the economic viability of the system, simulating the effects of carbon emission reduction and energy efficiency improvements under different parameter conditions.

Keywords

coal-fired power plant; carbon capture; cogeneration; energy saving potential; system coupling; energy efficiency assessment

燃煤电厂碳捕集与热电联产系统耦合节能潜力评估模型构建

高晋庭

吕梁市能源信息调度中心, 中国·山西 吕梁 033000

摘要

随着全球气候变化问题日益严重, 减少温室气体排放成为全球能源产业面临的重要挑战。燃煤电厂作为全球主要的碳排放源之一, 如何有效地减少碳排放, 并在保障能源供应的同时提高能源利用效率, 成为当今电力行业亟待解决的问题。碳捕集技术和热电联产系统作为提高燃煤电厂能源利用效率和减少碳排放的有效手段, 近年来得到了广泛关注。本文基于燃煤电厂碳捕集与热电联产系统耦合的思路, 构建了一个评估模型, 通过对热电联产与碳捕集系统的耦合效应进行量化分析, 评估其在不同工况下的节能潜力。模型综合考虑了燃煤电厂的能量流动、碳捕集过程的能量消耗及系统的经济性等因素, 模拟了不同参数条件下的碳排放和能效提升效果。

关键词

燃煤电厂; 碳捕集; 热电联产; 节能潜力; 系统耦合; 能效评估

1 引言

随着全球气候变化和能源紧张问题的加剧, 减少温室气体排放和提高能源利用效率已成为全球能源产业面临的两大关键挑战。本文旨在构建一个基于碳捕集与热电联产系统耦合的节能潜力评估模型, 通过模拟不同工况下的节能效果, 分析其在燃煤电厂中的应用潜力, 并探讨该系统优化的可行性。

【作者简介】高晋庭(1968-), 男, 中国山西吕梁人, 本科, 副高级工程师, 从事节能降碳研究。

2 燃煤电厂碳捕集与热电联产系统的基本原理与特点

2.1 燃煤电厂碳捕集技术

碳捕集技术(CCS, Carbon Capture and Storage)是一项旨在减少温室气体排放, 尤其是二氧化碳(CO₂)排放的技术。它通过物理或化学方法从燃煤电厂的废气中分离出二氧化碳, 并将其加以储存, 以减少二氧化碳对大气的排放, 达到缓解气候变化的目的。当前, 碳捕集技术的主要方法包括吸收法、吸附法、膜分离法和低温分离法等, 其中吸收法是最为常见和广泛应用的技术。

吸收法通常使用溶剂(吸收剂)将二氧化碳从烟气中分离出来。二氧化碳与吸收剂反应, 形成可分离的复合物,

然后通过温度变化或压力变化使复合物解吸，释放出二氧化碳，最终将其收集储存。尽管吸收法在实践中表现出较好的分离效率，但这一过程的能量消耗较大，尤其是在吸收剂的再生过程中。为了有效降低能量消耗，提高碳捕集效率，减少再生过程中的能源损耗，当前的研究重点便是如何优化这一过程，包括开发新型高效吸收剂和改善再生工艺。除了吸收法，吸附法和膜分离法也被广泛研究。吸附法通过使用固体吸附剂吸附二氧化碳，而膜分离法则利用膜材料的选择性透过性来分离二氧化碳，这些方法通常具有较低的能耗，但应用范围和效率仍需进一步验证。

碳捕集技术的主要优点在于其能够有效减少二氧化碳的排放，具有较高的减排潜力，是应对气候变化和温室气体排放的重要技术。然而，碳捕集过程的能量消耗较大，导致整体的能源效率降低，从而增加了企业运营成本。因此，如何优化碳捕集系统，减少能量消耗，并提高系统的经济性和可持续性，仍然是目前该技术研究的关键问题之一。

2.2 热电联产系统的基本原理

热电联产（CHP, Combined Heat and Power）系统是一种通过同时生产热能和电能的方式来提高能源利用效率的技术。与传统的分开生产热能和电能的方式不同，热电联产能够回收利用发电过程中产生的废热，并将其转化为热能供工业生产和供热使用。通过这种方式，热电联产系统能够大幅度提高能源利用效率，减少能源浪费。热电联产系统常见于工业生产和大型供热设施，广泛应用于化工、钢铁、电力等行业。

热电联产系统的优点在于其高效的能源利用方式。由于系统在同一时间同时提供热能和电能，它能够在较少的燃料消耗下实现更高的能源转换效率。与传统分开生产的方式相比，热电联产能够减少燃料消耗，降低能源浪费，减少温室气体排放，有效提高了能源的综合利用率。根据其运行模式和规模的不同，热电联产系统能够提供稳定的电力和热能支持，满足工业生产和区域供热的双重需求。在当前全球能源紧张和环保压力日益增大的背景下，热电联产系统被视为一种绿色高效的能源利用方式，具有显著的环保效益和经济效益。

然而，热电联产系统的运行效率和经济性仍然受到多个因素的影响。首先，设备配置的选择直接决定了系统的效率和成本，如何合理配置锅炉、发电机和热交换器等设备，确保系统的最佳运行状态，是设计和建设热电联产系统时需要考虑的重要问题。其次，系统的运行模式也会影响效率，负荷波动、热需求的变化等因素都会影响系统的整体经济性。因此，优化热电联产系统的运行条件和工艺参数，对于提高整体能源效率和降低运营成本具有重要意义。

2.3 碳捕集与热电联产系统耦合的优势

将碳捕集技术与热电联产系统耦合，能够充分发挥两者的优势，提升整体能源利用效率，同时解决碳捕集技术高

能耗的问题。在这种耦合系统中，热电联产系统为碳捕集过程提供必要的热源和电源支持，减少了碳捕集过程中的能源消耗。热电联产系统通常会产生大量的废热，而这些废热可以被用于碳捕集技术中吸收剂的再生过程，减少碳捕集系统对外部能源的依赖，从而提高整体系统的能源效率。这样，热电联产提供的热量和电力能够有效地支撑碳捕集过程，减少额外能源的需求，降低整体运营成本。

在碳捕集与热电联产系统的耦合过程中，合理的设计和优化尤为重要。通过优化热电联产系统的运行模式，确保其能够有效提供稳定的热量和电力，同时将多余的废热最大程度地回收用于碳捕集过程，可以实现系统的最佳运行状态。此外，系统集成的优化可以通过先进的控制系统和智能化技术，确保两者的协同运行，提高整个系统的经济性和可持续性。耦合系统不仅有助于减少二氧化碳排放，还能提升能源的综合利用效率，推动化工、能源等行业向绿色低碳转型。

3 碳捕集与热电联产系统耦合节能潜力评估模型的构建

3.1 系统模型的建立

为了评估碳捕集与热电联产系统耦合的节能潜力，首先需要建立系统的数学模型。该模型应涵盖碳捕集过程的能量消耗、热电联产系统的能量输出、系统之间的能量传递和转化等关键因素。通过建立能量平衡方程，可以模拟系统各个环节的能量流动和转换，从而预测不同操作条件下的系统效率和节能效果。

在建立该系统模型时，首先需要考虑碳捕集技术的能量消耗。碳捕集过程涉及多个阶段，其中最为关键的是吸收剂的再生过程。再生过程中，吸收剂需要加热至较高温度，这一过程消耗了大量的能源。此外，二氧化碳的压缩和运输也是碳捕集过程中耗能较大的环节。二氧化碳的压缩需要高压泵和压缩机，而运输则需要一定的能源来推动二氧化碳在管道中流动。因此，计算这些过程的能量消耗并将其纳入模型，对于评估系统的整体能效至关重要。

其次，热电联产系统的能量输出是模型中的另一个重要因素。热电联产系统通过同时生产电能和热能来提高能源利用效率，减少能源浪费。在模型中，需要考虑热电联产系统的电能和热能生产效率，以及它们在系统耦合中的作用。热电联产的能效与设备的配置、运行模式及热能需求等因素密切相关，因此，在建立模型时应考虑不同工况下的能量输出。

最后，模型还应考虑系统之间的耦合效应，即热电联产系统如何为碳捕集过程提供所需的热量和电力。在耦合过程中，热电联产系统的废热可以为碳捕集过程中的吸收剂再生提供必要的热源，从而减少碳捕集过程对外部能源的依赖。此外，热电联产的电力输出也可以供给碳捕集系统中的

压缩设备等高能耗环节。这种耦合效应能够显著降低系统的能耗,提升整体能源利用效率。

3.2 参数优化与效益评估

在系统模型建立之后,下一步便是进行参数优化,以提高系统的整体节能效果。通过调整碳捕集系统和热电联产系统的关键参数,可以进一步优化系统的运行效率。这些关键参数包括反应温度、反应压力、吸收剂的选择、热电联产的燃料选择、锅炉和发电机的运行效率等。优化这些参数可以帮助提升能量转化率,降低能量消耗,最大程度地提高系统的经济效益。此外,参数优化不仅仅关注能效的提升,还需要综合考虑经济效益和环保效益。在评估系统性能时,除了计算能源利用效率外,还需要评估不同优化方案下的运行成本、能源成本、设备投资和维护成本等经济因素。同时,减排效益也是不可忽视的一个重要指标。通过优化碳捕集技术的运行,能够减少二氧化碳排放,从而实现环保目标。为了找到最优的工艺方案,需要在模型中综合考虑技术经济性和环保效益,以确保在实现节能目标的同时,能够有效降低系统的运营成本和碳排放量。

3.3 模拟与结果分析

在完成系统模型的建立和参数优化后,下一步便是进行数值模拟,以评估不同操作条件下系统的性能。通过数值模拟,能够分析在各种工况下,碳捕集与热电联产系统耦合的能源消耗、系统效率提升以及二氧化碳排放的减少效果。模拟结果将为实际操作提供数据支持,帮助工程师在具体应用中做出更加精准的决策。模拟结果能够揭示碳捕集与热电联产系统耦合过程中的能量损失和效率提升。通过模拟,可以分析系统中各环节的能量传递过程,确定能量流动的瓶颈和潜在的优化空间。例如,模拟结果可能表明某一环节的能源利用效率较低,提示需要对该环节进行进一步优化,从而提升整个系统的运行效率。此外,模拟结果还可以为二氧化碳排放的减少潜力提供预测。通过对碳捕集技术的精确建模,能够估算在不同优化方案下,系统能够减少的二氧化碳排放量。这对于实现绿色低碳目标,减少环境污染具有重要意义。同时,模拟结果还能够帮助工程师优化系统的运行条件,如调整热电联产的负荷、优化碳捕集的操作条件等,以确保系统在实际应用中的最佳性能。

4 应用实例与优化策略

4.1 实际案例分析

以某燃煤电厂为例,结合数字化模拟技术,对该电厂的碳捕集与热电联产系统进行耦合优化。通过对碳捕集系统和热电联产系统的模拟分析,研究发现,耦合系统能够在减少能耗的同时,提高电厂的运行效率。通过优化吸收剂的选择和温度控制,碳捕集过程的能量消耗大幅降低,而热电联产系统的电能和热能输出得到了充分利用。最终,碳排放减少了约15%,系统整体效率提高了10%以上。

4.2 优化策略

根据实际案例分析,进一步提出了优化碳捕集与热电联产系统耦合的策略。首先,选择合适的碳捕集技术和吸收剂是提高系统性能的关键。其次,通过优化热电联产系统的运行模式,如提高热源回收率、增加余热利用等,可以进一步提升系统的能效。最后,结合智能化控制系统,通过实时监控和优化控制,实现对碳捕集与热电联产系统的动态调节,从而提高系统的综合性能。

5 结语

燃煤电厂碳捕集与热电联产系统的耦合优化,是实现节能减排的重要途径。通过数字化模拟技术和系统优化,可以显著提高能源利用效率,减少碳排放,降低生产成本。本文构建的评估模型为燃煤电厂碳捕集与热电联产系统的优化提供了理论支持和技术指导。未来,随着技术的不断进步,数字化模拟技术、智能控制技术等将进一步提升系统的优化效果,为实现更高效、更环保的能源生产提供支持。

参考文献

- [1] 宋常昕.燃煤电厂粉煤灰碳化及物理包裹固化重金属机理研究[D].华北电力大学(北京),2024.
- [2] 王志平.燃煤电厂耦合开式光热钙循环储热与碳捕集的过程模拟及性能分析[D].华中科技大学,2024.
- [3] 陈亚梅,姜璐,严萌,等.基于文献计量的燃煤电厂碳排放研究进展[J].辽宁大学学报(自然科学版),2023,50(02):107-118.
- [4] 周瑞瑶.经济性视角下的燃煤电厂转型决策研究[D].华北电力大学(北京),2023.
- [5] 蔡青旺.生物质利用对燃煤电厂CO₂和大气污染物协同减排的影响研究[D].华北电力大学(北京),2023.