

火电厂燃煤效率提升与碳排放减排策略研究

杨鹏里

国家能源集团店塔电厂，陕西 神木 719300

摘要：本研究探讨了火电厂提高燃煤效率和减少碳排放的技术和策略，通过煤炭预处理、燃烧技术改进、余热回收和智能管理显著提升燃煤效率，并采用碳捕集与封存、碳交易和碳税政策及可再生能源替代等措施大幅减少碳排放，为火电厂绿色转型提供了技术路径和政策建议。

关键词：火电厂；燃煤效率；碳排放；减排策略；可持续发展

Research on Coal Efficiency Improvement and Carbon Emission Reduction Strategies for Thermal Power Plants

Yang Pengli

Dianta Power Plant, National Energy Group, Shenmu, Shaanxi 719300

Abstract： This study discusses technologies and strategies to improve coal efficiency and reduce carbon emissions in thermal power plants, significantly improve coal efficiency through coal pretreatment, combustion technology improvement, waste heat recovery and intelligent management, and significantly reduce carbon emissions by adopting measures such as carbon capture and storage, carbon trading, carbon tax policy and renewable energy substitution, providing technical paths and policy recommendations for the green transformation of thermal power plants.

Keywords： thermal power plant; coal efficiency; carbon emissions; emission reduction strategy; sustainable development

引言

1. 研究背景

全球气候变化引发了广泛关注，碳排放已成为影响气候变化的关键因素之一。中国作为全球最大的能源消费国，燃煤火电厂在其能源结构中占有重要地位。随着经济的快速发展，对能源的需求不断增加，如何提升火电厂燃煤效率、降低碳排放成为亟须解决的问题。^[1]

2. 研究意义

提升燃煤效率不仅可以降低发电成本，提高经济效益，还能显著减少二氧化碳等温室气体的排放，对环境保护和实现可持续发展具有重要意义。碳减排对实现中国的碳中和目标也是至关重要的。

3. 研究目标和方法

本研究旨在系统分析和探讨火电厂燃煤效率提升与碳排放减排的有效策略，以期为实际操作提供理论支持和技术路径。研究方法包括文献分析、数据统计与实地调研相结合，综合评估多种技术方案和政策措施的可行性和效益。

一、火电厂现状与问题分析

1. 中国火电厂概况

中国是以煤为主要能源的国家，燃煤火电厂在全国电力结构中占据主导地位。全国范围内存在大量大型、超大型燃煤火电厂，广泛分布在各省市。尽管国家大力推动清洁能源发展，但能源需求的持续增长使得燃煤发电仍然不可或缺。

2. 燃煤效率现状

(1) 燃煤效率影响因素

燃煤效率受到多个因素的影响，包括燃煤质量、锅炉类型、燃烧技术及操作管理水平。燃煤质量较差（如高灰分、高湿度）

会显著降低燃烧效率。此外，老旧燃煤设备和技术落后也限制了燃煤效率的提升。

(2) 当前燃煤效率水平

尽管近年来通过技术改进和设备升级，一些大型现代化火电厂的燃煤效率已有显著提升，达到国际先进水平，平均热效率接近40%。但在部分地区，尤其是一些老旧火电厂，燃煤效率依旧偏低，平均热效率约为30%左右，与国际领先水平存在较大差距。^[2]

3. 碳排放现状

(1) 各类排放物及其来源

燃煤火电厂是二氧化碳、氮氧化物、二氧化硫和粉尘等多种污染物的主要来源。燃烧过程中的不完全燃烧和杂质燃烧是主要

作者简介：杨鹏里，出生年月：1998年12月8日，性别：男，民族：汉族，籍贯（陕西省神木市），学历大学本科，职称：工程师，研究方向：火力发电机组集控运行，身份证号：612722198812080754，邮箱892484463@qq.com。

的排放源：

- 二氧化碳（CO₂）：煤炭主要成分碳的燃烧产物。
- 氮氧化物（NO_x）：主要来源于高温燃烧过程中的空气氮与氧反应。
- 二氧化硫（SO₂）：煤中硫分在燃烧过程中生成的气体。
- 粉尘：燃煤中的灰分在燃烧过程中形成的固体颗粒。

（2）排放现状与趋势分析

近年来，尽管中国不断加强排放标准和治理措施，但燃煤火电厂的排放总量依然相当可观。随着环保标准的提高和治理技术的进步，SO₂和NO_x的排放量有所减少，但CO₂排放量仍保持增长态势。主要原因在于能源需求的刚性增长，使得燃煤总量难以大幅减少。^[3]

总结：中国燃煤火电厂在效率和排放方面仍存在较大改进空间。未来，通过技术创新和政策引导，有望进一步提升燃煤效率，减少碳排放，实现能源利用的绿色转型。

二、燃煤效率提升技术研究

1. 煤炭预处理技术

洗煤工艺：洗煤是通过机械手段将煤中的杂质去除，提高燃煤的热值和净煤的比例。常用的洗煤方法包括浮选、重选和磁选等。通过有效的洗煤工艺，可极大地减少燃煤过程中的杂质对燃烧效率的影响，同时降低排放。

煤炭掺配技术：煤炭掺配是将不同种类、不同品质的煤按一定比例混合，以优化燃烧性能并提高整体热效率。掺配技术不仅能降低生产成本，还能够调节燃煤的挥发性和含硫量等关键因素，从而达到更高效和更清洁的燃烧效果。

2. 燃烧技术改进

优化燃烧系统：通过调整燃烧器和锅炉的设计及其控制系统，使燃料在燃烧室内充分燃烧，从而提高热效率。改进措施包括优化风煤比、使用分级燃烧技术以及采用低氮燃烧器等。

燃烧器与锅炉改造：现代化燃烧器和锅炉改造能够显著提高燃煤锅炉的热效率。

3. 余热回收与利用

余热回收系统设计：构建高效的余热回收系统，如利用蒸汽再热装置、余热锅炉和热电联产技术，将废热回收并转化为有用能量。适当的设计和配置可以大幅度提高整体能效。^[4]

典型应用案例：例如，在某些发电厂，通过实施余热回收改造项目，不仅提高了能源利用效率，减少了燃料消耗，还显著降低了碳排放。这些案例证明了余热回收技术在实际应用中的优势和潜力。

4. 智能控制与管理

燃煤过程监控与优化：采用先进的传感技术和实时监测手段，对燃煤过程的关键参数进行实时监控和适时调整，以保证系统运行在最佳状态。这包括优化风煤比、燃烧温度和锅炉排烟温度等参数的管理。

数字化管理平台：建立基于大数据和人工智能的数字化管理平台，实现对燃煤电厂各环节的全面监控与智能管理。通过智能化的数据分析与决策支持系统，可以有效提升电厂的运行效率和管理水平，促进节能减排目标的实现。

三、碳排放减排策略研究

1. 碳捕获与封存（CCS）技术

（1）技术原理与应用

碳捕获与封存（CCS）技术是一种有效减少工业和发电过程中二氧化碳排放的方法。其基本原理是将二氧化碳从排放源捕获，然后通过压缩、运输和封存，最终存储在地下深层构造中，以避免二氧化碳进入大气。当前，CCS技术主要应用在煤炭燃烧电厂、天然气处理厂及某些工业流程中。

（2）成本分析与效益评估

CCS技术的实施成本主要包括捕获、运输和封存三个环节。捕获阶段是整体成本的最大部分，约占70%。总体而言，虽然CCS技术成本较高，但其对于降碳目标达成及应对全球气候变化具有巨大的潜在效益。评估显示，随着技术的发展和规模化应用，CCS成本有望逐步下降。

2. 碳交易与碳税政策

（1）国际碳交易机制

国际碳交易机制是通过市场手段控制温室气体排放的策略，包括欧盟排放交易体系（EU ETS）和清洁发展机制（CDM）等。这些机制允许企业通过交易碳配额或投资减排项目来实现碳排放量的减少，从而促进全球减排目标的实现。

（2）国内碳交易市场现状与前景

中国自2013年起陆续在多个省市试点碳交易市场，至2021年全国碳市场正式启动，覆盖领域主要是发电行业。当前国内碳市场尚处在探索和完善阶段，但随着政策支持和市场机制的逐步健全，其未来前景广阔，预计将扩展至更多行业，并显著促进减排效果。^[5]

3. 可再生能源替代

（1）可再生能源发电技术

可再生能源发电技术包括太阳能、风能、水力、地热和生物质能等。太阳能光伏发电和风力发电技术因其清洁高效、资源丰富的优势，近年来发展迅猛，装机容量不断攀升。其他如水电、地热和生物质能也在各自适应领域贡献显著。

（2）多能互补发电方案

多能互补发电方案通过结合多种可再生能源形式，优化各自优势，提高系统整体稳定性和效率。例如，太阳能和风能发电具有互补性，因此在资源禀赋允许的地区，往往通过建立综合能源系统实现全天候稳定供电，从而有效降低碳排放。

4. 政策与法规支持

（1）现行支持政策回顾

当前，政府在推动碳减排方面已出台了诸多政策和法规，包括对可再生能源技术研发和应用的财政支持、碳交易市场的建立及完善，以及对传统高排放行业的限额和约束政策。这些政策在推动减排目标达成方面发挥着重要作用。

（2）政策优化建议

为进一步提升碳减排效果，政策方面可以考虑以下优化建议：增加对CCS技术的研发投入和示范项目支持；完善碳交易市场机制，扩大覆盖行业和交易规模；加大对可再生能源的政策支持，特别是在分布式能源和储能系统领域；推动地方政府和企业开展减排创新，形成多层次、多元化的减排格局。此外，还需加

强国际合作，共享技术和经验，共同应对全球气候变化挑战。^[6]

四、案例分析

1. 国内外典型火电厂案例

(1) 燃煤效率提升成功案例

案例一：美国俄亥俄州煤电厂

俄亥俄州的一座主要燃煤电厂进行了一系列技术升级，包括锅炉优化、空气预热器改造和燃煤粉碎设备的引进。通过这些措施，该电厂的燃煤效率提高了4%，每年减少了约50,000吨的煤炭消耗，同时提高了整体发电效率。

案例二：中国神华集团煤炭清洁利用工程

神华集团通过引入超临界和超超临界燃煤发电技术，大幅提升燃煤效率。某特定电厂通过这项技术，煤炭利用效率提高了约7%，每年减少二氧化碳排放量超过1百万吨，成功达到了国际先进水平。

(2) 碳减排策略实施案例

案例一：德国莱茵工业区碳捕集与封存（CCS）项目

莱茵工业区通过实施CCS项目，将燃煤电厂产生的二氧化碳捕集并储存于地下。项目实施后，成功捕集了70%的二氧化碳排放，该技术在德国得到了广泛推广，极大地减轻了环境负担。

案例二：中国北京华北电力公司碳减排计划

华北电力公司采用了燃烧前脱碳技术，并结合可再生能源的辅助，显著降低了二氧化碳的排放。通过推进这些措施，北京地区空气质量显著改善，碳排放减少了20%以上，成为国内碳减排的标杆企业。

2. 成功经验总结

(1) 技术创新与应用

a 通过引进和自主研发先进的燃烧技术和污染治理设备，如超临界锅炉、脱硫脱硝系统和CCS技术，显著提升了燃煤电厂的运作效率和环保水平。

b 实施智能化和数字化改造，应用大数据和人工智能技术对电厂运行进行实时监控和优化，减少能源浪费和污染排放。

(2) 管理与政策支持

a 推动节能减排政策的出台和实施，如碳交易机制和排放标准，激励企业采取措施降低碳足迹。

b 加大环保监管力度，定期对火电厂进行环保绩效评估，督促企业持续改进。

c 提供财政和技术支持，鼓励企业投身于技术革新和环保设备的升级改造，通过政策引导实现企业与社会的双赢。^[7]

五、结论与展望

1. 研究结论

本研究通过对火电厂燃煤效率提升和碳减排策略的深入分析，得出以下结论：

- 提升燃煤效率的关键技术：在提升火电厂燃煤效率方面，关键技术包括煤炭预处理、燃烧技术改进、余热回收利用以及智能化管理。这些技术的应用能够显著提高燃煤效率，减少资源浪费。^[8]

- o 煤炭预处理：通过减少煤炭中的杂质，提高其燃烧性能。

- o 燃烧技术改进：采用先进的燃烧技术，如循环流化床和超超

临界燃烧技术，优化燃烧过程，有效提高热效率。

- o 余热回收利用：通过设备改进与系统优化，将燃烧过程中的余热进行回收和再利用，提高整体能源利用效率。

- o 智能化管理：利用大数据和人工智能技术，对生产过程进行优化管理，实现精细化操作和实时监控，进一步提升燃煤效率。

- 有效的碳减排策略：在碳减排方面，有效的策略包括碳捕集与封存技术、碳交易与碳税政策、可再生能源替代以及政策法规支持。

- o 碳捕集与封存技术：通过先进的技术手段，将二氧化碳从废气中分离并进行安全封存，减少碳排放。

- o 碳交易与碳税政策：通过市场机制与政策手段，鼓励企业降低碳排放，推动绿色发展。

- o 可再生能源替代：在可行的条件下，逐步使用可再生能源替代传统化石燃料，减少碳排放。

- o 政策法规支持：政府制定并严格执行相关政策法规，支持节能减排技术的研发和应用，促进可持续发展。^[9]

2. 发展趋势与前景

展望未来，在技术创新和管理优化的推动下，火电厂将朝着更加清洁高效的发展方向迈进，具体表现在以下几个方面：

- 技术创新与管理优化：未来火电厂将通过持续的技术创新，如高效燃烧技术、智能控制系统等，不断提升能源利用效率，大幅降低碳排放。管理方面，通过应用大数据和物联网技术，进一步优化电厂运行效率，实现精细化管理。

- 绿色转型的支撑：碳捕集与封存技术、可再生能源发电以及多能互补系统将成为火电厂绿色转型的重要支撑，这些技术的发展将大大促进火电行业的环保性能。

- o 碳捕集与封存：不断研发和完善，降低成本，提高捕集和封存效率，推广应用前景良好。

- o 可再生能源发电：如风能、太阳能与火电厂联合运行，提高整体能源系统的环保性与稳定性。

- o 多能互补系统：通过综合利用多种能源，优化能源结构，提高能源利用效率，减少环境污染。^[10]

- 政策推动与支持：政府将进一步完善节能减排相关政策，提供更多的财政和技术支持，鼓励企业进行技术研发和设备更新，加强环保监督与考核，推动火电行业朝着可持续发展的方向前进。

参考文献

- [1] 郭占春. 探讨火电厂锅炉汽轮机系统的节能环保问题[J]. 应用能源技术, 2023,(07):34-37.
- [2] 祁桂梅. 浅析电力行业节能减排影响因素及应对策略[J]. 节能与环保, 2022,(02):43-44.
- [3] 邵壮. 基于深度强化学习的火电厂运行优化[D]. 东南大学, 2021.DOI:10.27014/d.cnki.gdnau.2021.004000.
- [4] 张欣怡. 碳排放权交易政策对我国火电厂碳效率的影响规律与作用机制研究[D]. 山东大学, 2022.DOI:10.27272/d.cnki.gshdu.2022.004670.
- [5] 朱小桦. 基于环保新形势下电力工业节能减排的研究[J]. 现代工业经济和信化, 2023,13(10):286-287+290.DOI:10.16525/j.cnki.14-1362/n.2023.10.093.
- [6] 刘秀春. 湖南省工业碳减排潜力及其影响因素研究[D]. 南华大学, 2019.DOI:10.27234/d.cnki.gnhuu.2019.000928.
- [7] 孙敏. 我国各省区碳减排潜力的计量与区域经济发展策略研究[D]. 南京信息工程大学, 2017.
- [8] 钟磊. 中国采掘业碳排放核算及碳减排潜力评估[D]. 东北财经大学, 2022.DOI:10.27006/d.cnki.gdbcu.2022.002170.
- [9] 段蒙. 武汉市典型行业碳减排潜力和减排成本分析[D]. 华中科技大学, 2016.
- [10] 王钊, 王良虎, 胡江峰. 碳排放交易制度下城市减排的机会成本研究——基于中国碳排放试点城市的实证检验[J]. 中国环境管理, 2019,11(06):57-63.DOI:10.16868/j.cnki.1674-6252.2019.06.057.