

# Energy Conservation and Emission Reduction of Coal-fired Power Plants Driven by The Carbon Emission Management Mechanism

Zhifang Chai Pengxin Cui

Huadian Qudong Power Generation Co., Ltd, Henan Xinxiang 453000, China

**Abstract:** With the increasingly severe climate problem, countries around the world are actively taking measures to deal with climate change. China's "dual-carbon" goal is to achieve the carbon peak by 2030 and the carbon neutral by 2060, and coal-fired power plants, as an important source of energy consumption and carbon emissions, are an important part of China to achieve the dual-carbon target. Under the background of carbon peak and carbon neutrality in the power industry, coal-fired power plants will face new opportunities and challenges. This paper analyzes the energy structure, energy consumption and energy saving and emission reduction technology of China's coal-fired power plants, and puts forward relevant policy suggestions. With the proposal of China's "dual carbon" target, various regions have issued the corresponding carbon peak and carbon neutral targets to control the total carbon dioxide emissions in China. From the perspective of energy consumption, the power industry, as one of the main sources of carbon emissions, plays a vital role in achieving the "dual-carbon" goal. How to better promote the low-carbon transformation and development of the power industry is a problem to be solved.

**Keywords:** Carbon emission; Energy; Energy conservation and emission reduction

## 碳排放管理机制推动下的燃煤电厂节能减排

柴志方 崔鹏欣

华电渠东发电有限公司, 中国·河南新乡 453000

**摘要:** 随着气候问题日益严峻, 世界各国都在积极采取措施应对气候变化。中国的“双碳”目标是在2030年实现碳达峰、2060年实现碳中和, 而燃煤电厂作为能源消费和碳排放的重要来源, 是中国实现双碳目标的重要一环。在电力行业碳达峰和碳中和目标背景下, 燃煤电厂将面临新的机遇和挑战。本文对中国燃煤电厂能源结构、能耗情况及节能减排技术进行分析, 并提出相关政策建议。随着中国“双碳”目标的提出, 各地区纷纷出台相应的碳达峰和碳中和目标, 以控制中国二氧化碳排放总量。从能源消费侧来看, 电力行业作为碳排放的主要来源之一, 在实现“双碳”目标中起着至关重要的作用。如何更好地推动电力行业的低碳转型和发展是急需解决的问题。

**关键词:** 碳排放; 能源; 节能减排

### 1 燃煤电厂节能减排的背景

根据相关部门的统计, 2022年中国能源消费总量达到54.1亿吨标准煤, 同比增长2.9%。其中, 全国非化石能源消费占比达到17.5%, 较上年提高了0.8个百分点。而在非化石能源中, 水电、风电、太阳能发电等可再生能源发电的消费量显著增加。从电力构成来看, 2022年, 煤电发电量占总发电量的65%, 油气消费在能源消费结构中占据一定比例。天然气在一次能

源消费中占比较低, 2022年占比9.4%, 远远低于世界平均水平的26.9%。此外, 周守为院士在第五届中国液化天然气大会上预计到2035年中国天然气需求超过6000亿方, 需要依赖进口LNG填补约2000亿方供气缺口。因此, 尽管可再生能源发展迅速, 但中国的能源结构仍以化石能源为主, 特别是煤炭和油气。未来需要加大可再生能源的开发和利用, 逐步实现能源结构的优化和转型<sup>[1]</sup>。

中国燃煤电厂能源结构仍以煤电为主, 煤炭作为中国最主要的一次能源资源之一, 其储量、产量、消费量均占世界首位。燃煤火电机组的运行依赖于大量

**【作者简介】** 柴志方 (1987.11—), 男, 汉族, 河南鹤壁人, 硕士, 研究方向: 节能管理。

的煤炭燃烧，因此，促进煤炭清洁高效利用，大力发展清洁低碳能源产业和清洁高效煤电技术是实现碳达峰、碳中和的重要途径之一。中国应加大对煤炭清洁高效利用的科技投入和支持力度，提升煤炭生产效率及清洁利用水平。

### 1.1 中国能源结构优化的必要性

能源结构优化是推进中国绿色发展的必然选择，是实现中国经济高质量发展的必然要求。传统化石能源的燃烧导致大量温室气体和污染物排放，严重污染环境。中国作为一个人口众多、经济大国，经济快速发展对能源的需求持续增长。在可再生能源技术快速发展背景下，非化石能源在一次能源中的占比将持续提高，但其短期内难以完全取代化石能源。因此，中国需要加快构建以非化石能源为主体的新型能源体系，提升非化石能源在一次能源中的比重。同时，随着中国经济发展进入新常态，经济结构转型升级步伐加快。“十三五”时期，中国经济增速呈现出了放缓的态势。要想保证中国经济持续稳定健康发展，就需要以可再生能源为主体、新型电力系统为载体的电力行业实现转型升级，促进新旧动能转换。因此，推进能源结构优化、提升清洁低碳能源在一次能源中比重具有重要意义<sup>[2]</sup>。

### 1.2 火电行业节能减排的重要性

火电行业是中国能源产业的支柱行业之一，2022年火电占总发电量的67%，煤炭、石油等化石能源是中国火力发电的主要能源，中国在火力发电行业一直采用的是以煤为主、多种能源互补的发电模式，这也就造成了火力发电行业对于煤炭的依赖程度较高，这也导致了火电行业在生产过程中会产生较多的二氧化碳，造成环境污染。因此，推动火电行业节能减排是减少碳排放的重要途径。根据中国环境监测总站的数据，中国二氧化碳排放总量为105.2亿吨，其中燃煤电厂排放量为35.39亿吨，占比超过三分之一，为34.11%。所以，在双碳目标下，燃煤火电机组必须通过加强节能减排力度，以减少温室气体排放<sup>[3]</sup>。

## 2 燃煤电厂节能减排的技术路线

通过技术革新，燃煤电厂的能源利用效率可以得到有效提升。燃煤火电机组的运行依赖于大量的煤炭燃烧，因此，其节能管理主要集中在提高煤炭利用率、减少能源损失、采用节能技术等方面。

从2011年到2020年，中国供电标准煤耗持续下

降。根据国家能源局发布的数据，2020年全国供电标准煤耗为305.5克/千瓦时，比2011年下降了23.5克/千瓦时。在这期间，中国燃煤机组煤耗也已经连续四年优于《电力发展“十三五”规划》中“燃煤发电机组经改造平均供电煤耗低于310克标准煤/千瓦时”的规划目标。随着能源结构的调整和电力系统的优化，未来供电煤耗仍有可能进一步下降空间。

### 2.1 进行煤炭梯级利用

煤炭梯级利用是有效利用能源的技术措施之一，其核心思想是根据能源的能量等级加以利用。以下是煤炭梯级利用的几大主要步骤：

首先，煤炭从矿井中开采出来后，会首先进行初步的破碎和清洗，以去除掉大部分的杂质。然后，煤炭会根据其品质的不同被分流到不同的利用途径中，炼焦、煤化工、燃烧发电等。同时煤炭燃烧后产生的灰渣可以作为建筑材料、铺路材料、填充材料等。对煤炭开采过程中产生的伴生气体也进行利用，煤层气可以通过管道输送到燃气发电机组进行发电，也可以作为工业燃料或生活用气。

当前，煤炭梯级利用大规模开展，作为燃煤电厂，在煤炭的梯级利用方面重点要提前做好的是以下两点：

一是热电联产：将煤炭燃烧产生的热能一部分用于发电，一部分用于供热，实现能源的阶梯利用。

燃煤电厂的热电联产对节能和环保都具有积极影响。在热电联产过程中，发电产生的热能被回收并用于供热，这样既节省了能源又提高了能源的利用效率，实现了能源的双重利用。通过回收发电过程中产生的热能进行供热，减少了额外的燃料消耗，从而不但降低了运营成本也减少废气的排放，从而降低对环境的污染。

热电联产对降低电力行业的碳排放强度具有非常积极的意义。通过提高能源利用效率，可以减少对化石燃料的依赖，从而间接实现碳减排，这是电力行业降低碳排放的重要举措。需要注意的是，虽然热电联产具有显著的节能优势，但实际应用中还需要考虑技术和经济方面的因素。燃煤电厂需要结合自身的实际情况选择适合的热电联产方案，以实现最佳的节能效果。

二是锅炉掺配掺烧：锅炉运行中根据锅炉特性，机组负荷做好掺配掺烧，提高煤炭使用效率，主要有煤炭与其他燃料掺配掺烧以及不同煤种之间掺配掺

烧。

由于无烟煤、烟煤、高硫煤、煤泥、煤矸石等各个煤种燃烧特性差别很大，在进入锅炉燃烧前需要根据锅炉的燃烧特点和不同煤种的特点，制定相应的掺烧方案进行掺配掺烧。例如，可以在燃烧器不同位置上分别投入无烟煤和烟煤、混煤，以达到最佳的燃烧效果。需要注意的是，不同种类的煤炭具有不同的燃烧特性和灰分、硫分等化学成分含量，因此在掺配掺烧时需要考虑其对锅炉燃烧稳定性和经济性的影响。同时还需要根据实际情况对掺配掺烧方案进行调整和优化。

在煤炭梯级利用过程中，不同级别的能源可以得到充分的利用，提高了能源的利用效率，同时也降低了能源的浪费和污染。这种能源利用方式对于中国的能源利用现状来说是非常有意义的，有望改变现有煤炭利用方式，促进传统产业升级改造。

## 2.2 提高煤炭燃烧效率

在采用先进的煤炭破碎、燃烧和余热回收技术，提高煤炭的燃烧效率，减少未完全燃烧的煤炭损失和排烟热损失。

通过使用先进的煤炭破碎技术，可以将煤炭破碎成更小的颗粒，从而提高煤炭的燃烧效率。例如，可以使用高压水力破碎、冲击破碎、研磨破碎等方法，将煤炭破碎成不同大小的颗粒，以满足不同燃烧设备的需要。

采用先进的燃烧技术，保持合理的过量空气系数，可以提高煤炭的燃烧效率。例如富氧燃烧可以提高燃烧温度，使煤炭更充分地燃烧；循环流化床燃烧可以将未完全燃烧的煤渣循环再利用，提高燃烧效率。

做好燃烧余热回收利用。在煤炭燃烧过程中，约有30%~50%的热量会随着废气和冷却水排出，这造成了大量的能源浪费。通过采用余热回收技术，可以将这些废热再利用，如发电、预热锅炉用水、加热空气等，从而实现能源的有效利用。

## 2.3 采用高效低氮燃烧，减少污染物排放

在煤炭在燃烧过程中，除了会产生二氧化碳，还会产生二氧化硫、氮氧化物等污染物，二氧化硫可以通过脱硫装置除去，控制氮氧化物的排放除了加装脱硝装置，利用氨气和氮氧化物在催化器的作用下进行氧化还原反应去除外，还可以利用高效低氮燃烧来控制氮氧化物的产生。

高效低氮燃烧是一种通过控制燃料中的氮和氧含量来减少氮氧化物排放的燃烧技术。近年来，中国在高效低氮燃烧技术方面取得了一定进展目前，国内已有多种低氮燃烧技术研究成果，如上海电力大学研发的基于煤粉颗粒分级的低氮燃烧技术、哈尔滨工程大学研发的基于低温空气分级的低氮燃烧技术、北京化工大学研发的基于燃料分级的低氮燃烧技术、某理工大学研发的基于燃料分级和火焰调整的低氮燃烧技术等。

高效低氮燃烧，减少氮氧化物等污染物的生成，从而大大减少了脱硝装置氨气的消耗，而氨气的生产也是化工行业消耗大量的能源得来的，减少氨气的消耗也是节能减排的表现。

同时，脱硝装置喷氨量的大幅度减少，氨气与烟气中二氧化硫反应生成的硫酸氢氨也大幅度减少。硫酸氢氨在146~207℃内为液态，液态NH<sub>4</sub>HSO<sub>4</sub>对飞灰的吸附能力极强，很容易与锅炉烟气含有的飞灰粒子相结合，然后吸附在空预器表面沉积成灰甚至板结，这样就会造成空预器被积灰腐蚀和堵塞。硫酸氢氨大幅度减少，有利于减少空预器腐蚀和堵塞，从而有助于提高空预器换热效率，进而提高锅炉效率，从而进一步减少污染物的排放。

综上，采用高效低氮燃烧，可以减少污染物排放，达到节能减排的目的。

## 2.4 汽轮机通流部分优化，提升汽轮机效率

汽轮机是火力发电厂的核心设备之一，其主要功能是将蒸汽能量转换成机械能。为了提高机组的运行经济性，汽轮机的通流部分会出现不同程度的损耗，其损耗主要分为两个方面：一是汽轮机通流部分的自身损耗，二是外界环境对汽轮机通流部分的影响。

汽轮机通流部分的自身损耗主要体现在喷嘴和叶片等部件，如喷嘴与叶片之间出现间隙，会导致蒸汽流量的降低；另外，由于喷嘴与叶片之间存在相对运动，在高速旋转的情况下会产生较大的离心力，导致蒸汽压降增大。因此，在机组运行过程中，需要通过其他措施来减小这一损耗。例如，通过减小喷嘴与叶片之间的间隙来减少其所承受的离心力；通过采用合理的设计叶型来减少汽流损失；通过对喷嘴和叶片进行结构优化来减少阻力损失等<sup>[4]</sup>。

汽轮机通流部分受到外界环境影响而导致损耗时，可以通过对通流部分进行结构优化来减少其损耗。例如，在汽轮机通流部分出现积垢时可以采用化

学清洗方法对其进行清洗；当汽轮机通流部分出现堵塞时可以采用化学除垢方法进行除垢等。

## 2.5 增加火电机组的调峰性能

在中国的提出“双碳”目标后，新能源发展迅速，清洁能源占比大幅增加，但由于光伏、风电的不稳定性，对新能源发电的消纳成为制约新能源发展的瓶颈。而火电企业可以通过采取技术措施，提高火电机组的灵活性，使其在新能源发电上网时能够发挥调峰作用，增加新能源发电的上网电量，如此可以有效地节约标准煤，减少二氧化碳的排放量。

调度机构应准确预测电网负荷、新能源出力，合理安排火电机组进行调峰，通过引入调整峰谷分布的技术手段，有效提高电网负荷易变性，更好地支持电力供应和需求温和的调整<sup>[5]</sup>。

而火电企业应积极主动对机组进行灵活性改造，使其能够更加灵活地调整其运行状态，适应电网负荷的变化，增加机组调峰能力，例如，通过改进燃烧过程、改进蒸汽循环等，以提高机组在低负荷下的运行效率。也可以加快部署外置逆变器、储能装置及分布式能源等调峰装置来提升企业的调峰能力。还可以在火电机组中增加储热系统，可以将多余的热能储存起来，并在需要时释放出来，从而调整机组的出力。

## 2.6 建立并完善能源管理体系

燃煤电厂应该建立完善的能源管理体系，强化能源监测和数据分析，及时采取针对性的节能措施。

通过完善机组经济指标评价体系，对火电厂的各个经济指标进行全面、系统的监测和分析，如燃料消耗、厂用电率、汽水损失等，以便对机组的整体经济性有全面的了解和评估，进而进行有针对性的整改，从而实现节能减排目标。通过加强运行管理，优化机组的运行方式，通过合理的调度和负荷分配，减少不必要的能源浪费。同时，加强设备的维护和检修，保证设备的正常运行。通过开展员工培训，加强员工的技术培训和管理培训，提高员工的专业素质和节能意识，推动节能减排工作的落实。制定经济指标考核制度，将经济指标纳入员工的绩效考核中，与工资挂钩，激发员工节能减排的积极性。定期开展能源审计工作，查找节能潜力，提出改进措施，并监督实施，进一步提高能源利用效率。采取有效的污染防治措施，实施清洁生产，减少燃煤电厂产生的污染物，如粉尘、硫化物等，实现绿色生产<sup>[6]</sup>。

通过以上措施的落实和执行，可以有效地提高火电厂的经济性，降低能源消耗，减少环境污染，实现可持续发展，助力双碳目标的完成。

## 3 碳排放管理形势

中国目前建立了较为完善的碳排放管理机制，通过碳市场机制、碳定价等手段控制二氧化碳排放总量。

2020年11月，中国发布《碳排放权交易管理办法（试行）》，明确了全国碳市场的总体框架、基本原则和碳排放权交易体系等内容，为全国统一的碳市场建设奠定了基础。2020年12月，全国碳市场第一个履约周期正式启动，截至2021年6月30日，全国碳市场共计上线交易24个行业、首批纳入企业478家，覆盖约40亿吨二氧化碳排放量，成交量达1.7亿吨。第二个履约周期为2021年和2022年，控排企业需要在2023年12月31日前完成这两年配额的清缴。生态环境部透露，在下一个履约周期中，碳排放管理会更加严格，并会适当收紧碳配额的发放<sup>[7]</sup>。

在新形势下，煤电企业在应对挑战的同时也迎来了机遇。从行业外部环境来看，在碳排放管理机制的推动下，燃煤电厂必须要加快转型升级，向低排放、清洁能源方向发展才能在竞争日趋激烈的市场中生存。从行业技术方面来看，煤电企业是可以通过提高机组效率、加强机组运维、降低运行成本等措施来降低煤电机组的碳排放强度<sup>[8]</sup>。从政策方面来看，政府正加快对煤电企业节能减排工作的支持力度和推广力度，引导社会资本投资清洁能源发电项目等，从而推动电力行业向低碳化转型升级。

## 4 燃煤电厂节能减排工作建议

节能减排不但减少了污染物的排放，还可以降低燃煤电厂的能耗。火力发电过程中需要大量的燃料，而节能技术可以降低能耗，减少燃料的消耗，降低火力发电的成本，从而提高生产效益。这种双重效应使得节能减排不仅必要，而且具有很高的经济性。同时，在“双碳”目标形势下，国家对火力发电的排放标也准愈加严格，对火电厂的排污量也进行了明确的限制。因此也要求火电企业积极采取节能减排措施以符合国家的政策法规。再者，采取合适的节能减排措施也可以提升火电厂的社会形象，提高公众对火电厂的信任和好感度，增强企业品牌的竞争力<sup>[9]</sup>。

所以，燃煤发电企业作为电力行业碳排放的重要来源之一，应加快转变思想观念，提高认识水平，充分发挥自身优势，积极主动开展节能减排工作，推动燃煤电厂实现低碳转型和高质量发展。

建议燃煤发电企业应积极采用先进的节能技术包括燃烧优化、汽轮机升级、变频调速等，以提高能源利用效率，减少能源浪费。同时建立完善的能源管理体系，强化能源监测和数据分析，及时采取针对性的节能措施。建立并用好节能减排监测平台，对企业内部的能源利用和排放情况进行实时监测和分析，及时发现并采取措施加以解决<sup>[10]</sup>。

推进废弃物资源化利用，如利用灰渣、脱硫石膏等废弃物进行资源再利用，减少对自然资源的依赖。在条件允许的情况下，燃煤电厂可以逐步向清洁能源转型，如发展风电、太阳能等新能源，逐步减少对化石能源的依赖。加强企业管理和员工培训：燃煤电厂应该加强企业管理，建立健全节能减排管理制度，并加强员工培训，提高员工对节能减排的意识和技能水平。

早进行，早受益，做的好，收益多。在碳排放管理日趋严格、煤炭等燃料成本价格持续高位运行的今天，燃煤火电企业的节能减排工作已经是提升燃煤火电企业核心竞争力的一项非常重要的手段。

## 参考文献

- [1] 煤电机组深度调峰灵活性改造技术分析[J]. 宋绍伟. 电力设备管理, 2020(04).
- [2] 调峰及低负荷运行对汽机侧设备的影响分析[J]. 车永强; 张彦飞; 刘玉智; 张杰; 公茂雷. 山东电力技术, 2022(05).
- [3] 考虑分散式资源互动响应的虚拟电厂智能化调峰定价[J]. 卿竹雨; 安锐; 高红均; 高艺文; 王程; 杨景茜; 刘俊勇. 电力自动化设备, 2023(05).
- [4] 百万机组 20% 负荷深度调峰实践与技术探讨[J]. 王宇; 王峰; 李德凯. 价值工程, 2022(02).
- [5] 基于需求响应的新能源电网深度调峰模型构建[J]. 叶彤. 电气技术与经济, 2023(04).
- [6] 超超临界 1000MW 机组深度调峰风险分析及措施[J]. 马云飞. 新型工业化, 2021(09).
- [7] 日前电能市场与深度调峰市场联合出清模型[J]. 张明理; 张娜; 武志锴; 高靖; 徐熙林; 李健; 吕泉. 中国电力, 2022(02).
- [8] “双碳”目标下虚拟电厂参与调峰产品交易的机制与路径探索[J]. 曾鸣; 马嘉欣; 许彦斌; 任伟理; 白保华; 周喜超. 价格理论与实践, 2021(10).
- [9] 基于二次规划的含局部调峰的深度调峰出清模型[J]. 刘洁; 吴旭; 马斌; 李有亮. 广东电力, 2022(06).
- [10] 燃煤机组深度调峰技术探讨[J]. 赵小刚. 内蒙古煤炭经济, 2022(09).