

新型电力系统下新一代煤电建设及改造技术路线研究

任子明¹, 范飞飞¹, 宋嘉祺^{2,*}

1. 国家能源投资集团有限责任公司, 北京, 100034

2. 国家能源集团新能源技术研究院有限公司, 北京, 102200

摘要: 为应对风电、光伏等可再生能源大规模并网带来的挑战, 煤电机组的功能正在从传统的“基荷主力”向“兜底保障与灵活调节”转变。基于当前电力系统需求, 本文探讨新一代煤电体系的核心特征, 包括深调峰、快调节、强支撑等关键特征意义。进一步提出针对新一代煤电新建及现役机组的建设和改造路线。对于新建机组, 提出构建灵活调节、快速变负荷、宽幅高效与清洁低碳并具备综合能源供应能力的技术路线。对于现役机组, 提出分级改造路径: 提升调峰与快调能力、扩大宽幅高效区间、推进热电解耦与低碳示范, 并强调因地制宜与经济性评估。本文为煤电在新型电力系统中的高效调节与低碳转型提供借鉴。

关键词: 新型电力系统; 煤电转型; 灵活调节; 低碳清洁; 技术改造

The Research on the Technological Path for the Construction and Renovation of the New Generation of Coal-fired Power Plants under the New Power System

Ziming Ren¹, Feifei Fan¹, Jiaqi Song^{2,*}

1. China Energy Investment Corporation Limited, Beijing, China, 100034

2. China Energy New Energy Technology Research Institute, Beijing, 102200

Abstract: To address the challenges posed by the large-scale grid integration of renewable energy sources such as wind power and photovoltaic power, the function of coal-fired power units is shifting from the traditional "base-load mainstay" to "bottom-line guarantee and flexible regulation". Based on the current requirements of power systems, this paper explores the core characteristics of the new-generation coal-fired power system, including the significance of key features such as deep peak regulation, rapid response capability, and strong grid support. Further, it proposes transformation and construction routes for newly-built and existing new-generation coal-fired power units. For newly-built units, a technical route is put forward to establish systems with flexible regulation, rapid load change, wide-range high efficiency, cleanliness and low carbon emissions, as well as comprehensive energy supply capacity. For existing units, a hierarchical transformation path is proposed: enhancing peak regulation and rapid response capabilities, expanding the wide-range high-efficiency operating interval, promoting heat-electricity decoupling and low-carbon demonstration, while emphasizing local adaptation and economic evaluation. This paper provides a reference for the efficient regulation and low-carbon transformation of coal-fired power in the new power system.

Keywords: new power system; coal-fired power transformation; flexible regulation; low-carbon and clean energy; technical

transformation

近年来,党和国家多次就新型电力系统建设做出部署,对其高质量发展提出了更高要求。2023年7月,习近平总书记在中央全面深化改革委员会第二次会议上提出构建新型电力系统的“清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能”20字方针^[1],为电力系统改革确立了顶层方向。2025年3月,国家发展改革委、国家能源局印发《新一代煤电升级专项行动实施方案(2025—2027年)》,围绕“清洁降碳、高效调节、安全可靠、智能运行”等四个方面提出完善技术指标、推进试点示范与标准体系建设^[2]。2025年9月,习近平总书记在联合国气候变化峰会上宣布,到2035年我国将实现温室气体净排放较峰值下降7%-10%、非化石能源占比超过30%、风光装机容量较2020年提升约6倍等新一轮气候行动目标,进一步强化了对电力系统与煤电转型的约束与时间表^[3]。

随着风电、光伏等可再生能源大规模并网^[4],电力系统时空波动性和不确定性显著增加,系统对调峰^[5]、调频与备用^[6]的即时需求快速上升。当前我国以煤为主的能源结构^[7]决定煤电在保障电力安全、承担兜底调节方面仍不可或缺,其功能正从“基荷主力”转向“兜底保障+灵活调节^[8]”。因此,煤电机组需提升机动性^[9](缩短启停与爬坡时间)、扩大经济负荷区间^[10](提高宽负荷效率)、增强深度调峰能力并严格控制排放与碳强度^[11]。“十四五”期间,通过“三改联动”有序推进煤电机组改造,取得了显著成效^[12],为煤电机组灵活性提升和能源结构优化奠定了坚实基础。当前,在“有序推进、因地制宜、厂网协同、试点先行”的原则指引下,需进一步推动煤电在新型电力系统中精准发挥兜底保障与支撑调节作用,以新一代煤电技术创新发展助力传统能源产业的转型升级。

基于上述背景,本文明确了新一代煤电体系的关键特征。通过系统分析“深调峰、快调节、强支撑”等核心特性,探讨通过技术创新、设计优化与管理提升,推动煤电机组更好地适应未来电力系统多重需求的新路径。此外,本文还将重点研究新一代煤电体系下煤电机组的新建与改造技术路线,旨在为煤电行业的转型升级提供切实可行的技术路线和建议。

1 新一代煤电体系特征与意义

新一代煤电体系需统筹目标导向、问题导向、需求导向。建设以安全可靠电力供应为基本前提,以适应未来新型电力系统的发展需求为首要目标,以深度灵活、低碳清洁、宽负荷高效能力建设为主线任务,以建设综合能源供应体系、实现全社会能源供应提质增效为责任担当,以数字化、智慧化为关键支撑,以设计优化、技术创新和管理创新为基础保障的新时代煤电机组。

基于新型电力系统对煤电功能的新要求,新一代煤电体系机组形成了“深调峰、快调节、强支撑、宽负荷、高韧性、低排放、智能智慧、煤电+综合能源供应”八大核心特征(如图1所示),具体意义如下:

一是深调峰:满足“尖峰顶得上、低谷压的下”的新型电力系统调节能力需求,必要时应具备启停调峰能力。

二是快调节:提升机组变负荷能力,包括一次调频、快速变负荷等,平抑新能源出力的随机性和波动性。

三是强支撑:提供稳定转动惯量和电压支撑,维持电力系统的稳定运行。

四是宽负荷:提升机组中低负荷的运行效率和经济性,实现机组全负荷高效运行。

五是高韧性:具备长期稳定运行的能力,提升机组等效可用系数,减少或不发生非计划停运。

六是低排放：全负荷满足大气污染物超低排放要求，降低碳排放强度。

七是智能智慧：通过自动化、信息化、智能化技术，实现智能发电、智能管理，提升智能电站自主化率。

八是煤电+综合能源供应：建立以煤电为中心的综合能源供应体系，实现煤电机组提质增效。

文件《新一代煤电升级专项行动实施方案（2025—2027年）》^[2]中给出了具体指标。新一代煤电技术指标涵盖安全可靠、清洁低碳、高效调节、快速变负荷和启停调峰等范畴。煤电机组深度灵活是新一代煤电机组最鲜明的特征，尤其以快速变负荷速率、深调能力、低负荷能耗指标为重点。



图1 新一代煤电机组核心特征

Fig. 1 Core Technical Characteristics of New-Generation Coal-Fired Power Units

2 新一代煤电体系下新建机组建设路线

为科学制定新一代煤电体系下新建机组的建设方案并使其性能适配新型电力系统要求，基于对灵活调节、快速变负荷、宽幅高效与清洁低碳等关键技术路径、成熟度及应用效果的考量，本文研究并提出的新建机组建设路线（见图2），构建以下能力：

（1）灵活调节能力：采用锅炉燃烧器稳燃技术、制粉系统优化设计、大小磨煤机配置、一次风粉在线监测及调平、二次风配风系统优化技术等实现锅炉侧低负荷稳燃；采用深度调峰模式配汽优化技术、小机汽源优化技术等实现汽轮机侧辅机灵活性提升；采用低压缸微出力供热技术、汽机旁路供热技术、熔盐储热技术、电极锅炉蓄热技术等，实现供热机组热电深度解耦；采用精准混配煤技术、抽汽蓄能技术、高加切除顶峰技术等，提高机组顶峰出力能力。

（2）快速变负荷能力：采用机组全负荷快速灵活调峰智能控制技术、高加抽汽调频技术、柔性回热优化控制技术、快速给粉技术等实现机组快速变负荷；通过耦合储热或其他储能形式可实现机组快速变负荷能力的进一步提升。

（3）宽幅高效能力：采用宽幅高效主辅机选型技术、烟气余热深度利用技术、柔性回热系统、双机回热技术、汽电双驱技术、背压机梯级利用技术、增设外置式蒸冷器、全周进汽滑压+补汽调节技术、冷端综合节能提效技术等，实现机组宽负荷区间高效运行。

(4) 清洁低碳与综合能源供应能力：采用环保岛智能控制和设计优化技术，实现全负荷超低排放和环保系统低能耗；拓展多类型用能，建设“发电+”综合能源供应体系，实现机组节能减排降碳；结合资源条件，开展生物质等零碳燃料掺烧或碳捕集利用与封存（CCUS）系统建设，探索富氧燃烧等多种碳捕集路线。

以上技术方向应在系统性经济性评价、安全性与可靠性验证以及电网协同基础上分步实施，以确保新建煤电机组在支撑电网灵活性、提高运行效率与实现低碳目标方面的综合效益最大化。

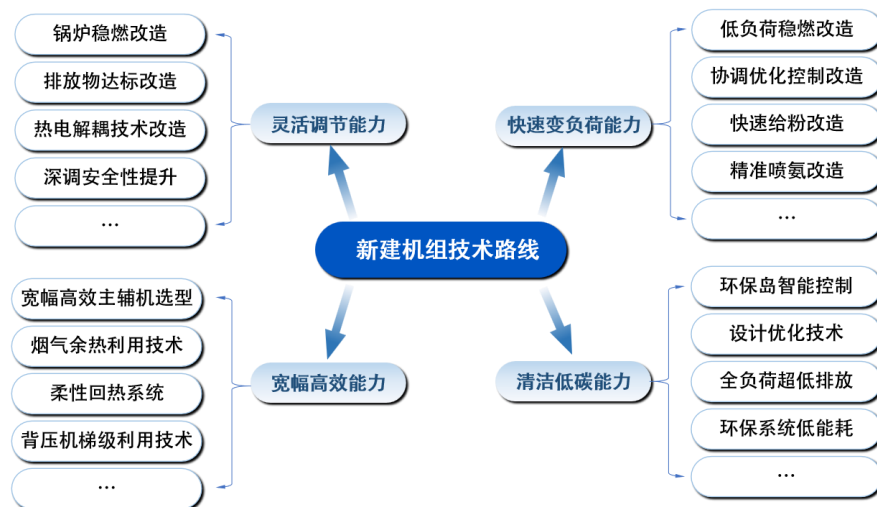


图2 新一代煤电技术路线

Fig. 2 New-Generation Coal-Fired Power Generation Technology Route

3 新一代煤电体系下现役机组改造路线

面向新一代煤电机组指标要求^[2]，对于具备实施条件的机组，在总结和评估现役机组“三改联动”实施成效的基础上，统筹考虑电力系统需求、煤电机组的实际状况以及企业经营情况等因素，合理确定现役机组的改造升级路径。改造路线如下（见图3）：

(1) 调峰能力升级改造：通过锅炉稳燃能力改造、锅炉受热面改造等技术提升主机及其附属系统调峰能力；实施宽负荷工况氮氧化物达标排放改造保障机组深调时的环保指标达标；供热机组实施低压缸零微出力、高低旁联合供热改造等热电解耦技术改造，降低供热期最小技术出力；采取直流炉转态措施、风机运行优化措施等，提升深度调峰时机组运行安全性。

(2) 快调能力升级改造：通过低负荷/快速变负荷稳燃改造、风煤水动态匹配及协调优化控制改造、快速给粉改造、精准喷氨改造、优化主再热汽控制、增加机组干湿态切换自动控制等改造措施，提升机组的快速变负荷运行能力。

(3) 宽幅高效升级改造：通过能量梯级利用改造、汽机宽负荷运行优化技术改造、冷端优化及节能技术改造、风机/水泵调速节能改造等，实现现役机组全年综合运行能效提升。

(4) 低碳化升级改造：具备条件的煤电机组开展生物质等低/零碳燃料掺烧试点、碳捕集利用与封存（CCUS）技术预留与示范等改造，构建可逐步实现碳排放强度下降的技术路径。

(5) 综合能源供应升级改造：开发拓展综合能源供应市场，充分利用自有资源，提供电、热、冷、气、水、汽等产品多联供、城市固废协同处置服务、资源共享服务等，实现发电企业提质增效。

上述各项改造应以安全与环保为前提,结合机组原有工况与区域能源结构,制定分级实施方案并配套经济性评估与运行策略,以确保改造工作的可行性与系统效益。

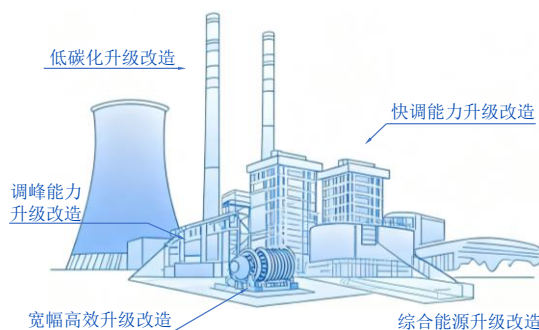


图3 现役机组煤电升级改造技术路线

Fig. 3 Technical Routes for Upgrading and Transformation of In-Service Coal-Fired Power Units

4 结论

(1) 明确了新一代煤电体系“深调峰、快调节、强支撑、宽负荷、高韧性、低排放、高智能、综合能源供应”的核心特征与实现路径。

(2) 基于关键技术路径与成熟度系统评估,提出新建机组建设路线,通过构建灵活调节能力、快速变负荷能力、宽幅高效运行能力以及清洁低碳与综合能源供应能力,实现不同运行场景下机组性能优化。在经济性、安全性、可靠性评估及电网协同仿真基础上分阶段实施,最大化提升煤电机组对电网灵活性、效率与低碳目标的支撑作用。

(3) 基于“三改联动”实施成效系统评估,对具备条件的在役机组提出分级分类改造方案,包括调峰能力升级改造、快调能力升级改造、宽幅高效升级改造、低碳化升级改造以及综合能源供应升级改造等方法的系统化升级方案。

参考文献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 习近平主持召开中央全面深化改革委员会第二次会议强调: 建设更高水平开放型经济新体制推动能耗双控逐步转向碳排放双控[EB/OL]. (2023-07-11)[2025-10-15]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202307/content_6891167.htm
- [2] 国家发展改革委, 国家能源局. 关于印发《新一代煤电升级专项行动实施方案(2025-2027年)》的通知[EB/OL]. (2025-03-26)[2025-10-15]. <https://www.nea.gov.cn/20250418/5c9e2108eefc4e7d8c9931de4456dda9/c.html>
- [3] 中华人民共和国中央人民政府. 习近平在联合国气候变化峰会上的致辞(全文)[EB/OL]. (2025-09-25)[2025-10-15]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202509/content_7042184.htm
- [4] 滕孟杰, 陈晨, 赵宇鸿, 等. 不确定风电接入下计及煤电机组深调和储能的电力系统分布鲁棒优化日前调度方法[J]. 电网技术, 2024, 48(08):3122-3132.
- [5] 蒋寻寒, 邵飞. 煤电机组宽负荷运行与节能技术研究[J]. 热力透平, 2022, 51(03):147-154.
- [6] 刘玉华, 吕清刚, 高政南, 等. 煤电机组灵活性指标对风光发电调节作用的量化研究[J]. 煤炭学报, 2025, 50(05):2752-2760.
- [7] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 统筹推进新一代煤电转型升级加快构建新型电力系统[EB/OL]. (2024-08-08)[2025-10-15]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/jd/202408/t20240808_1392307.html
- [8] 杨秀勇, 田智宇, 刘赫川. 新形势下创新转型金融工具支持我国煤电绿色低碳发展的思考与建议[J]. 中国能源, 2024, 46(12):39-46.
- [9] 郭馨, 殷亚宁, 赵广播, 等. 浅析适应高负荷变化率锅炉炉型比选[J]. 锅炉制造, 2023, (06):4-6.

- [10] 卢浙安, 肖凯, 朱珂, 等. 宽负荷工况传递增益下超临界机组自动启停闭环协调控制方法[J]. 微电机, 2024, 57(12):34-39.
- [11] 杨若朴. “双碳”目标下构建新型电力系统的挑战与对策[J]. 中外能源, 2022, 27(07):17-22.
- [12] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 全国煤电机组改造升级实施方案[EB/OL]. (2021-10-29)[2025-09-22]. <https://zfxgk.ndrc.gov.cn/wap/iteminfo.jsp?id=18322>

¹ **第1作者简介:** 任子明, (1979-), 男, 河北邯郸人, 高级工程师, 从事火电工程建设管理工作。E-mail: 12056924@ceic.com

***通讯作者简介:** 宋嘉祺, (1994-), 男, 内蒙古赤峰人, 博士研究生, 从事火电工程建设管理工作。E-mail: songjq0726@163.com