

火力发电厂涉网性能提升与“双细则”考核规避路径分析

秦利桥

苏晋塔山发电有限公司，山西大同，037000；

摘要：在“双碳”目标引领下，以新能源为主体的新型电力系统对传统火力发电厂的灵活性与调节能力提出了前所未有的要求。《发电厂并网运行管理实施细则》与《并网发电厂辅助服务管理实施细则》（合称“双细则”）作为关键的政策工具，通过经济奖惩机制引导火电机组深度参与系统调峰调频。当前，火电机组普遍面临负荷响应滞后、调节速率不足等问题，导致“双细则”考核频发，严重影响企业经济效益。本文旨在深入剖析导致考核的深层技术瓶颈，系统性地探讨火力发电厂涉网性能的提升路径。研究提出了将设备层面的基础性能优化、控制系统的逻辑重构以及基于大数据与人工智能的预测性控制相结合的综合解决方案。该方案旨在构建一个从硬件基础到智能算法的全方位优化体系，为火电厂在新型电力市场环境规避考核、提升盈利能力提供一套行之有效的技术路径与管理思路。

关键词：火力发电；涉网性能；“双细则”考核；深度调峰；智能优化

DOI：10.69979/3060-8767.25.10.021

引言

随着我国“双碳”战略的稳步推进，电力系统正经历着一场深刻的结构性变革。风能、太阳能等间歇性新能源在总装机容量中的占比迅速攀升，其固有的波动性与不确定性对电网的安全稳定运行构成了严峻挑战。在此背景下，火力发电厂的角色定位正从传统的电量供应主体，加速向提供可靠容量、调峰调频等辅助服务的调节资源主体转变。为适应这一转型，电网调度部门依据“双细则”对并网机组的运行性能进行量化考核，尤其是在自动发电控制（AGC）、一次调频及深度调峰等方面的响应精准度与速度。然而，传统火电机组受限于锅炉燃烧惯性、汽轮机热应力以及控制系统滞后等因素，在应对大范围、高频率的负荷调节指令时常表现出“心有余而力不足”的困境，导致发电量偏离计划曲线，从而引发高额的经济考核。因此，如何系统性地提升涉网性能，精准规避“双细则”考核，已成为关乎火电企业生存与发展的核心议题。

1 “双细则”考核下火力发电厂涉网性能的挑战与根源分析

1.1 “双细则”考核的核心要求解读

“双细则”考核的核心在于确保发电机组的实际输出功率能够精确、快速地跟踪电网下发的调度指令。其考核机制通常以固定时间窗口（例如5分钟）内的总发

电量为依据，将机组在该时间段内实际发电量的积分值与调度计划曲线下的积分值进行比较。若两者偏差的绝对值超过预设阈值（例如计划电量的 $\pm 2\%$ ），则触发考核。这种基于“电量偏差”而非“瞬时功率偏差”的考核方式，对机组在整个调节过程中的动态响应平稳性和持续性提出了更高要求。机组不仅要在调节末端达到目标负荷，更要确保在升降负荷过程中的功率变化轨迹尽可能贴合计划路径，任何显著的超前或滞后都将累积为不可忽视的电量偏差。

1.2 机组快速响应能力不足是主要制约因素

火电机组作为一个复杂的“锅、机、电、化”热力系统，其固有的物理惯性是响应能力的根本制约。在锅炉侧，燃料从制粉系统到进入炉膛燃烧，再到将水加热成合格蒸汽，整个过程存在数分钟的延迟。当机组需要快速提升负荷时，锅炉的蓄热能力和蒸发速率难以瞬时满足汽轮机侧的用汽需求，导致主汽压力下降，负荷攀升乏力。反之，在快速降低负荷时，炉膛内的巨大蓄热又难以迅速消散，导致主汽压力超调，实际发电功率高于指令值。在汽轮机侧，为防止关键部件因温度变化过快而产生过大的热应力，其升降负荷速率受到严格限制。此外，制粉、给水、送引风等关键辅助系统的响应速度，同样直接影响着主机能否及时获得充足的“燃料”与“工质”，共同构成了机组动态响应的短板。

1.3 传统控制策略的局限性

目前多数火电厂采用的自动控制系统，其核心仍是基于比例-积分-微分（PID）算法的反馈控制逻辑。这种控制策略的本质是“事后调节”，即在检测到被控参数（如功率、压力）与设定值之间出现偏差后，才开始进行调节操作。这种固有的滞后性使其在应对快速变化的调度指令时，难以避免初始阶段的响应延迟和调节过程中的超调与振荡。同时，电厂运行调度优化系统（OP S）等上位机监控系统的人机交互界面设计、系统稳定性及数据刷新机制也存在不足。例如，系统卡顿、负荷曲线刷新不及时等问题，使得运行人员无法获取准确、实时的调度信息，进一步加剧了手动干预的难度和误操作的风险，导致机组偏离预定轨道。

2 涉网性能提升的系统性路径：硬件优化与基础性能强化

2.1 锅炉燃烧系统优化

稳定、高效的燃烧是机组灵活调节的基础。通过对锅炉燃烧系统进行精细化优化，能够显著改善燃烧稳定性，为上层控制系统提供一个响应更为敏捷、特性更为优良的被控对象。具体措施包括优化风煤比，确保燃料在不同负荷下均能实现充分混合与完全燃烧；改进和升级燃烧器，优化炉内空气动力场，形成有利于稳定着火和燃尽的温度分布；加强制粉系统的维护与调整，确保煤粉细度均匀且符合设计要求，从而缩短着火时间，提高燃烧反应速率。一个稳定可靠的燃烧基础，是实现精准负荷调节的先决条件。

2.2 关键辅助设备升级改造

机组的整体性能表现是各子系统协同作用的结果。对空气预热器、给水泵、风机等关键辅助设备进行技术改造，同样是提升涉网性能的重要一环。例如，通过对回转式空气预热器实施新型密封技术改造，可以有效降低漏风率，提高锅炉热效率，如表 1 所示。热效率的提升意味着在同等发电量下燃料消耗的减少，这不仅能降低运营成本，也能在一定程度上减轻燃烧系统的调节压力。同样，对调速系统进行升级，采用响应更快的电液伺服系统，能够使给水、给风等关键参数的调节更为迅速和精确，从而为主动力设备的快速响应提供有力支撑。

表 1：锅炉关键设备优化前后性能指标对比

性能指标	优化前	优化后	变化趋势
锅炉热效率	92.5%	94.1%	+1.6%
空气预热器漏风率	7.2%	2.5%	-4.7%
厂用电率	5.8%	5.5%	-0.3%
满负荷煤耗	305g/kWh	298g/kWh	-7g/kWh
负荷平均响应速率	1.8%Pn/min	2.5%Pn/min	+0.7%Pn/min

3 控制策略与智能化升级：规避考核的核心手段

3.1 热控系统逻辑的精细化重构

在硬件基础之上，对现有热控系统的控制逻辑进行深度优化与重构，是提升调节品质的核心。这需从传统的单一回路反馈控制，向基于模型的前馈-反馈复合控制模式转变。通过建立被控对象的动态数学模型，引入前馈控制环节，根据调度指令的变化提前预测其对主蒸汽压力、功率等参数的影响，并预先输出一个补偿性的控制量。这种“预判式”的调节能够大幅缩短系统的响应时间，减小调节过程中的偏差。此外，还应优化协调控制系统（CCS）的内部逻辑，实现锅炉与汽轮机之间更优的动态解耦，确保在负荷变化时能量的供需平衡。

3.2 基于模型的负荷偏置动态补偿策略

针对“双细则”基于电量偏差的考核特点，可以引入一种动态负荷偏置补偿策略。该策略的核心思想是在机组接收到升降负荷指令时，在原目标负荷的基础上，主动施加一个短暂的、小幅度的正向或负向偏置。例如，在升负荷初期，由于锅炉响应滞后，实际功率往往低于指令曲线。此时，控制系统可将内部目标负荷设定为“调度指令+a%”，这个微小的正偏置 a 会驱使控制系统以更大的力度进行调节，从而弥补初期的发电量亏欠。同理，在降负荷时施加一个负偏置，可以有效抑制因锅炉蓄热导致的功率超发。偏置值的大小 a 可以根据当前负荷、负荷变化率及机组状态，通过在线模型进行动态优化，确保在整个 5 分钟周期内，总的电量偏差被控制在允许范围内。

3.3 引入大数据与人工智能的预测性控制

为了实现从“被动跟随”到“主动引领”的跨越，必须引入大数据分析 with 人工智能技术。利用长短期记忆网络（LSTM）等深度学习算法，可以对电厂历史运行数据和电网调度数据进行深度挖掘，建立高精度的负荷指

令预测模型。该模型能够提前数分钟乃至更长时间，预测出未来调度指令的变化趋势。基于这一预测信息，模型预测控制（MPC）系统便可以提前进行全局优化计算，在满足各种安全和物理约束的前提下，规划出一条最优

的控制路径，提前启动制粉机、调整给水和风门，平滑地引导机组功率向未来目标点过渡。这种前瞻性的控制范式，能够从根本上消除传统控制方法的滞后性，实现对调度曲线的完美跟踪，如表 2 所示

表 2：智能控制策略对“双细则”考核指标的影响分析

考核时段	控制策略	计划发电量(MWh)	实际发电量(MWh)	偏差率	考核结果
低负荷爬坡	传统 AGC 控制	20.83	20.35	-2.30%	考核
(250-300MW)	预测性偏置控制	20.83	20.71	-0.58%	合格
高负荷速降	传统 AGC 控制	27.92	28.55	+2.26%	考核
(350-300MW)	预测性偏置控制	27.92	28.13	+0.75%	合格

4 综合管理与协同优化：保障性能提升策略落地

4.1 建立涉网性能专业管理团队

技术的应用离不开人的管理。发电企业应成立专门负责涉网性能管理的跨部门团队，成员涵盖运行、检修、热工、燃料等多个专业。该团队的核心职责是持续监控机组的涉网性能指标，对每一次“双细则”考核事件进行深入的根源分析，评估现有技术措施的有效性，并据此提出持续改进的方案。通过建立闭环的管理流程，确保性能提升工作能够常态化、体系化地开展。

4.2 优化运行人员操作与考核机制

运行人员是各项技术措施的最终执行者。企业需要加强对运行人员的培训，使其充分理解“双则细则”的考核机理以及新型控制策略的工作原理，掌握在不同工况下进行精准干预的操作技能。同时，应改革内部考核激励机制，将“双细则”的奖惩结果与运行班组和个人的绩效紧密挂钩，引导运行人员从过去单纯追求发电量，转变为追求发电量与调度指令的高度匹配，从而在主观能动性层面为性能提升提供保障。

5 结语

在新型电力系统加速构建的时代浪潮中，火力发电

厂的生存与发展模式正在被重塑。“双细则”不仅是一项严峻的考核，更是推动火电行业技术进步与管理升级的催化剂。面对挑战，发电企业必须摒弃零散的、被动的应对方式，采取一种系统性的、前瞻性的战略。这要求企业必须从夯实设备硬件基础、重构优化控制策略、拥抱前沿智能技术以及创新管理模式等多个维度协同发力。通过构建一个集硬件可靠、控制精准、决策智能于一体的综合性能提升体系，传统火力发电厂完全有能力成功应对深度调峰的挑战，将“双细则”的压力转化为提升自身市场竞争力的动力，最终在未来的电力市场中占据一席之地。

参考文献

- [1]陈文. 基于大数据分析的火力发电厂锅炉性能优化研究[J]. 新疆钢铁, 2025(2): 228-230.
- [2]吕冲. 火力发电厂应用脱硫超低排放关键技术[J]. 科学技术创新, 2025(1): 29-32.
- [3]张来青. 火力发电厂热控系统的优化设计与实现[J]. 电力系统装备, 2025(2): 152-154.
- [4]胡刚, 汪瑞平, 官恩蒙. 火力发电厂回转式空气预热器性能改造研究[J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60(7): 91-93.