



源而变”的出力规律，与电力负荷曲线难以保持同步，使系统在高比例新能源条件下产生更复杂的平衡需求。

火电与新能源两类电源在调节速度、可控区间、惯性支撑、爬坡能力等方面的显著差异，使其在同一电力系统中的运行定位完全不同。火电承担着电网的稳定锚定功能，通过提供旋转备用、常规备用、调频和调峰能力维持系统安全边界；新能源则在资源充沛时大量上网，在资源不足时大幅下降，使系统面临更高的动态调节压力。当两者缺乏协同运行机制时，火电机组可能因频繁启停导致热应力增大，而新能源则因调节能力不足出现出力受限。在高比例新能源背景下，这种差异带来的结构矛盾愈发突出，使多源互补与协同调节成为突破系统调峰瓶颈的重要方向，为后续构建综合运行模式奠定技术基础。

### 3 多源互补条件下的协同调峰运行框架

多源互补条件下的协同调峰运行框架依托不同电源的资源属性展开，将火电的可控出力与新能源的随机波动纳入统一调度体系，使系统在负荷变化中具备更强的动态协调能力。在这一框架中，调峰过程从传统单一电源调节转向多类型电源联合响应，使火电机组不再单独承担全部调节压力<sup>[3]</sup>。系统运行需要在时间尺度、空间分布和负荷变化速率之间建立关联，通过对新能源出力特性进行短期预测、超短期修正和实时校核，使调峰需求能够在分钟级至小时级的多层次时间维度上得到匹配。新能源出力的不确定性与火电机组的调节约束形成耦合关系，因此框架的核心在于建立两类电源之间的动态协调通道，使可控资源与不可控资源形成互补。

在运行机制中，协同调峰框架以多源耦合模型为基础，对火电机组的最小技术出力、爬坡边界、启停周期等参数进行动态优化，使其能够在保障稳定性的前提下释放更高的柔性。新能源侧通过功率预测、波动识别、实时数据融合等手段构建可用出力区间，并根据气象变化调整参与深度调峰的可能性，使系统在调节过程中减少不必要的备用容量占用。在此基础上，框架将储能、负荷侧响应、电网潮流优化纳入整体结构，使各类资源在不同负荷时段形成互补链条。当新能源大量并网时，火电提供下调能力稳定系统；当新能源快速下降时，框架调配火电的上升能力与其他资源共同承担爬坡任务，使整体运行状态更加柔性化。

在系统协调流程中，协同调峰框架依托调度平台完成实时决策，平台通过对各类电源的运行状态、负荷预测、备用需求和安全约束进行综合计算，使调峰路径具备可操作性与即时响应能力。框架在运行实践中强调多源之间的耦合度，通过构建统一调度指令体系，使火电的调节响应与新能源的输出变化同步，减少频繁启动、深度降负荷等高强度操作带来的设备影响。随着新能源比重持续上升，框架的运行逻辑使系统能够在更大范围内实现功率平衡，使多源联合调节能力得到强化。协同运行框架在稳定性、灵活性和可持续性方面展现出较高适应度，

为后续机制细化与运行提升提供基础结构支撑。

### 4 协同运行机制的关键环节与实现路径

协同运行机制的关键环节与实现路径以多源调节能力的深度整合为基础，通过贯穿预测、执行与反馈的全过程控制，使火电与新能源在动态环境下保持协调响应。运行机制的首要环节在于构建高精度预测体系，利用气象数据、出力时序特征、负荷变化规律等要素，对新能源的可用功率区间进行连续更新，并同步评估火电机组的可调节空间，使系统在调度前具备对功率波动的前瞻性判断<sup>[4]</sup>。在这一过程中，各类电源的物理约束、区域电网潮流特性、备用需求分配等数据被纳入统一模型，使调节计划能够在多条件下保持可行性。火电机组的启停策略、深度调节曲线与最小稳定出力需与预测结果进行联动，以减少调节冲突并提升火电在协同体系中的灵活性。

在执行层面，协同机制需要依托实时控制系统，通过动态优化算法完成调节指令的快速分配，使各类资源在秒级至分钟级时间尺度内作出响应。火电机组在执行阶段承担平抑波动的角色，通过调整燃烧配比、汽轮机阀门开度和给水系统参数，使其出力变化符合电网需求。新能源侧的参与以功率跟踪、限发控制、无功电压支撑等方式实现，与火电的调节节奏保持一致。储能装置和可中断负荷作为辅助资源参与协同链条，使电网具备更高的缓冲能力。多资源的响应结果通过状态监测系统实时回传到调度中心，形成数据闭环，为下一周期的调节计划提供依据，使系统处于持续优化状态。

在路径构建方面，协同运行机制需要建立跨区域协调体系，使不同电源在更大范围内获得资源匹配空间。区域电网之间通过潮流分配优化与断面能力校核，使功率在不同地区间流动更加顺畅，减少局部调峰压力。火电机组的灵活化改造、深度调峰技术提升以及新能源侧的并网控制优化在路径实施中占据重要位置，使运行能力逐步向高比例新能源系统要求靠近。通过不断完善调度平台的智能化程度，使运行机制能够适应复杂多变的电力环境，使协同调节链条更加紧密，为持续提升系统灵活性提供技术基础支撑。

### 5 协同调峰模式的综合成效与启示

协同调峰模式在多源参与的运行结构中呈现出显著的综合成效，使火电机组的调节潜力与新能源的随机波动形成可控耦合，推动电网在高比例新能源条件下保持稳定运行。在这一模式下，火电机组通过灵活化技术提升了低负荷运行能力，使其在深度调节阶段仍能维持热工系统的安全边界；新能源侧通过功率预测、动态修正与并网控制，使出力波动与系统调节节奏更加匹配<sup>[5]</sup>。两类电源在统一调度平台指令下形成连续的调节链，使负荷峰谷变化得到平滑化处理。调峰资源结构由单一向多元转变，使系统在多重扰动情形下仍具备吸收波动的能力，有效降低备用占用量，提高电网对高频波动的抗扰性。

在运行表现中,协同模式显著改善了新能源的并网质量,使风电和光伏机组能够在资源充沛时段实现更高比例的能量输出。通过火电机组下调能力的释放,新能源的可消纳空间得到扩大,使弃风弃光现象从源头上获得缓解。火电机组的启停次数与深度降负荷频率因调度结构优化而减少,提升设备运行的经济性与可靠性。系统频率稳定度在协同模式下获得加强,因为火电与新能源在惯性补偿、爬坡响应和无功支持方面形成互补,使电网在短时功率突变量较大时仍能保持可控状态。此外,跨区域功率分配更加合理,使不同区域的调峰压力在更大范围内被均衡化处理,减少局部瓶颈造成的运行风险。

在实践中,协同调峰模式推动了调度理念的更新,使系统更关注资源间的动态匹配关系与实时协调能力。调度平台通过引入多源优化模型,强化了对新能源波动性的识别能力,使调峰策略从静态配置转向持续演化的动态过程。火电机组的运行策略因模式调整而具备更明确的负荷分段定位,使其在不

同工况下更有效地承担支撑任务。新能源侧的角色不再局限于资源型电源,而是成为调节链条中的关键节点,通过与储能及负荷侧资源结合,使系统具备更高的柔性。多源协同带来的运行经验对后续电力系统结构优化具有指引价值,使灵活性资源配置方向更加清晰,推动电网朝着高稳定度、高调节能力的方向持续演进。

## 6 结语

协同调峰模式在多源并存的电力系统中展现出突出的协调能力,使火电的可控特性与新能源的波动规律形成有效衔接,构建起更具弹性的运行格局。多源之间的动态匹配使系统在负荷变化、气象扰动和功率波动中保持稳定,推动调峰方式由单一资源支撑转向综合响应。火电机组的灵活化提升与新能源侧的控制优化共同强化了系统的调节深度,使电网具备更高的消纳能力与运行韧性,为高比例新能源条件下的安全运行奠定了坚实基础。

## 参考文献:

- [1] 闫亚龙,张进华,黄艳,等.火电机组深度调峰背景下储热技术应用现状及进展[J].洁净煤技术,2025,31(S1):495-506.
- [2] 蒙飞,刘一峰,李高杰,等.储能、新能源与火电多时间尺度优化调度[J].科技与创新,2025,(14):47-50.
- [3] 傅彬.火电机组深度调峰控制策略优化[J].安徽电气工程职业技术学院学报,2025,30(02):75-82.
- [4] 徐彪,孙辉,张举坤,等.火电机组深度调峰的多角度经济性研究[J].现代工业经济和信息化,2025,15(04):209-211.
- [5] 回茜.多能源协同的电力系统暂态支撑备用优化研究[D].沈阳工业大学,2024.