

双碳目标下煤炭供应链多周期动态调度研究

杨少国

华电集团北京燃料物流有限公司, 中国·北京 100032

摘要: 在我国“双碳”战略持续推进背景下, 煤电行业面临降碳减排、能源保供与成本管控多重压力。煤炭供应链作为煤电产业的核心载体, 具有多节点、跨区域、周期波动强的特征, 传统静态调度模式难以适配碳约束、用电负荷、运力与市场价格的动态变化。本文梳理企业煤炭供应链运营现状, 剖析双碳背景下多周期动态调度存在的现实问题, 从采购、运输、库存、数字化管控等维度分析多周期调度的影响因素, 提出适配双碳目标的煤炭供应链多周期动态调度优化路径, 为能源物流企业兼顾保供安全、降本增效与低碳转型提供实践参考。

关键词: 双碳目标; 煤炭供应链; 多周期; 动态调度; 燃料物流

Research on Multi-Period Dynamic Scheduling of Coal Supply Chains under the Dual Carbon Goals

Yang Shaoguo

Huadian Group Beijing Fuel Logistics Co., Ltd., China Beijing 100032

Abstract: Under the continuous advancement of China's "carbon neutrality" strategy, the coal power industry is facing multiple pressures including carbon reduction and emission reduction, energy supply security, and cost control. The coal supply chain, as the core carrier of the coal power industry, has characteristics such as multiple nodes, cross-regional distribution, and strong cyclical fluctuations. The traditional static scheduling model is unable to adapt to the dynamic changes in carbon constraints, electricity load, transportation capacity, and market prices. This paper examines the current operational status of the enterprise's coal supply chain, analyzes the practical problems existing in multi-cycle dynamic scheduling under the dual-carbon context, and explores the influencing factors of multi-cycle scheduling from dimensions such as procurement, transportation, inventory, and digital control. It proposes an optimized path for multi-cycle dynamic scheduling of the coal supply chain that is compatible with the dual-carbon goals, providing practical references for energy logistics enterprises to balance supply security, cost reduction and efficiency improvement, and low-carbon transformation.

Keywords: Dual-carbon goals; Coal supply chain; Multi-period; Dynamic scheduling; Fuel logistics

0 引言

我国提出碳达峰、碳中和战略目标, 推动能源结构加速转型, 煤炭作为我国基础能源, 在中长期仍承担电力保供的重要使命。煤炭供应链串联煤矿、港口、物流、发电企业等多个主体, 涵盖采购、运输、中转存储、电厂消耗等环节, 不同时间周期内供需状态差异显著。多周期动态调度, 即按照年度、季度、月度、周度、日度不同时间尺度, 动态调整煤炭采购计划、运输方案、库存水平, 实现跨周期资源统筹。

在双碳政策要求下, 企业需要在保障电厂燃料稳定供应基础上, 兼顾成本控制、物流降碳、库存动态平衡, 研究其多周期动态调度问题, 对同类能源物流企业具备借鉴意义。

1 煤炭供应链现状

企业主要业务分为长协煤采购、市场煤采购、跨区域物流调运、库存统筹管控、供应商管理, 衔接上游煤炭生产企业, 协调铁路、铁水联运等运输通道, 向下保障各区域电厂燃料需求。企业大力推进数字化转型, 自主研发煤炭供应链管理平台, 集成合同管理、采购执行、物流追踪、库存监控、市场分析、业财结算模块, 实现单车单船物流追踪, 接入数千家供应商, 为供应链调度提供数字化底座, 平台技术达到国内领先水平^[1]。

1.1 企业煤炭供应链调度业务模式

实行“年度总盘—月度分解—周度滚动—日度执行”的分级计划模式, 体现多周期调度雏形。

年度周期: 根据集团各电厂年度发电量预测, 确定全

年电煤总需求,签订年度煤炭长协合同,锁定基础资源,制定年度整体调运框架,统筹全年碳配额预期,确定长协煤与市场煤采购比例;季度周期:针对迎峰度夏、迎峰度冬用电高峰,提前储备库存,增加资源组织力度;淡季适度控制采购,降低库存积压;月度周期:把年度任务分解到月度,结合电厂月度发电计划、铁路港口运力、煤价行情,确定月度采购量、运输通道分配;周度、日度动态调整:根据电厂实际日耗、库存水位、铁路临修、港口滞港等突发情况,微调调运方案,保障电厂安全库存底线;运输方式上综合采用铁路直达、铁水联运等模式,北方煤炭基地煤炭经铁路运至港口,再通过海运送达东南沿海电厂;内陆电厂主要依靠铁路直达运输。库存分为电厂厂内库存、港口中转库存两级,不同周期库存目标动态调整。

1.2 双碳背景下企业供应链调度外部环境

碳政策约束增强。煤电机组碳排放管控趋严,碳配额交易带来额外成本,倒逼调度环节优先选择优质低灰低硫煤炭,优化运输结构,降低物流环节碳排放;用电需求周期性波动大。夏季高温、冬季供暖形成用电高峰,电厂耗煤量激增;春秋为用电淡季,耗煤回落,造成不同周期煤炭需求差异巨大,对多周期滚动调度提出高要求;市场环境双重变化。长协煤作为保供基本盘稳定资源,市场煤价格波动大,不同周期采购比例需要动态权衡。铁路、港口会出现检修、运力紧张等情况,带来供给侧扰动。

2 煤炭供应链多周期动态调度存在问题

2.1 不同周期计划衔接存在偏差,跨周期联动不足

年度计划更多基于发电量预测编制,但发电预测和实际负荷存在偏差,年度向月度分解时,部分区域计划弹性不足。部分场景下月度计划没有充分承接上一周期的库存结余或者缺口,出现上期库存积压,本期继续大量调入,或者上期库存消耗过快,本期资源补给滞后。周度、日度短期调度更多被动应对突发状况,长周期框架与短周期执行之间存在脱节。

2.2 碳约束尚未深度嵌入多周期调度决策

当前调度决策优先考虑保供、采购成本,碳排放更多作为事后核算指标,没有充分纳入多周期计划编制。年度做资源规划时,较少量化不同煤种、不同运输方式带来的碳排放量差异;月度、周度调运方案中,绿色运输方式的权重不足。铁水联运、铁路运输等低碳运输方式受港口泊位、船期约束,在高峰期优先保障运量,对物流碳排放考量有限。

2.3 不确定性扰动下动态调度抗风险能力有待提升

煤炭供应链外部扰动因素多:煤矿生产扰动、铁路线路检修、港口封航、煤价短期暴涨、极端天气,都会改

变供需状态。现有调度体系,年度、季度计划调整流程偏长;虽然数字化平台可以实现实时数据监控,但部分情景下仿真推演能力不足,缺少多情景预案。当出现突发冲击时,更多依靠人工经验调整,缺少标准化多周期备选调度方案,容易造成部分电厂库存告急,部分电厂库存高位积压并存的结构性矛盾。

2.4 库存多周期动态平衡管控难度较大

多周期调度核心目标之一就是库存跨周期平滑。迎峰度夏、迎峰度冬前需要提前增库,淡季合理去库。但各区域电厂地理分散,不同电厂机组规模、煤场库容差异大。部分高峰时期集中抢运,造成港口与电厂库存堆积,资金占用上升;淡季过度去库,一旦遇到负荷反弹,又面临补库压力。长协煤刚性到港节奏和电厂实际耗煤周期不完全匹配,加剧库存波动。

2.5 上下游协同深度有待加强

虽然数字化平台内部数据完善,但和上游煤矿、铁路部门、港口企业的数据协同仍存在壁垒。煤矿实际产出、铁路运力计划、港口泊位状态部分信息不能完全实时同步。多周期计划编制时,只能依靠历史数据和定期沟通,难以做到全链条信息实时互通,影响动态调度预判精度。

3 煤炭供应链多周期动态调度影响因素分析

3.1 需求端因素:用电负荷周期性变化

不同周期发电负荷直接决定电厂煤炭消耗速率。年度层面看电力发展规划;季度层面看冬夏用电高峰;月度、周度受气温、节假日影响。负荷的周期性波动,是驱动多周期调度的根本动因,调度计划需要跟随耗煤节奏动态调整采购调运规模^[9]。

3.2 供给端因素:煤炭资源与长协约束

长协煤是年度资源基本盘,供给稳定性强;市场煤灵活度高但价格波动大。煤矿检修、安全生产管控会改变实际可供资源。在双碳背景下,煤种品质也成为重要因素,低硫低灰优质煤有利于机组降碳减排,在不同周期资源分配中需要予以考量。

3.3 物流运输约束

铁路运力、港口吞吐能力、船舶运力存在周期变化,比如春运、重点时段铁路货运资源紧张,恶劣天气影响水运。不同运输方式碳排放差异明显,铁路运输碳排放远低于公路,在多周期调度中,运输通道选择同时影响成本、时效与碳排放指标。

3.4 库存约束

电厂、港口的仓储库容上限、安全库存下限,构成调度硬约束。库存是连接各个周期的缓冲器,上一个周期的期末库存,就是下一个周期的期初库存,库存水平直接决

定下一周期采购调运需求。

3.5 政策与市场因素

双碳相关碳配额政策、电煤保供政策、长协政策、煤炭价格政策，会从顶层约束企业调度行为；煤炭市场价格随周期波动，影响长协煤与市场煤的采购配比决策。

4 煤炭供应链多周期动态调度优化对策

4.1 构建多层级多周期滚动联动调度机制

完善“年度框架—季度校准—月度分解—周度滚动—日度执行”闭环调度体系，打通不同周期之间反馈通道。年度周期：完成全年资源总盘、长协签订，把保供目标、成本目标、碳排放目标纳入年度调度框架，设置年度库存上下限基准。季度周期：根据前一季度实际耗煤、库存、碳排放完成情况，校准后三季度资源分配，针对迎峰度夏、迎峰度冬制定预储方案。月度周期：不能简单将年度任务平均拆分，以上月期末库存作为期初条件，结合电厂发电预测、运力情况，动态调整月度调运量。周度—日度：作为短期执行层，实时反馈实际运行偏差，反向回传修正月度、季度计划，改变“长周期计划定死，短周期被动补救”的模式。建立周期传导逻辑：上一周期期末库存、剩余运力、实际耗煤数据自动作为下一周期计划输入条件，减少人工主观偏差^[9]。

4.2 将双碳低碳约束嵌入多周期调度决策体系

把碳排放指标由事后核算前置到计划编制环节。年度规划阶段，综合测算不同煤种、不同运输路径的碳排放，优化长协煤资源结构，优先保障低硫优质煤供给比例。在月度、周度调运方案决策中，将物流碳排放作为辅助优化目标，在成本可控前提下，优先选用铁路、铁水联运等低碳运输模式，减少公路转运。依托现有供应链平台，增加碳排放核算模块，实现不同周期采购—运输环节碳排放自动统计，对比调度方案的低碳效果，实现保供、成本、降碳多目标权衡。

4.3 建设多情景仿真推演，提升动态调度抗扰能力

依托现有煤炭供应链管理平台，强化多周期仿真推演功能。设置基准情景、煤价上涨情景、运力受限情景、极端用电高峰情景，模拟不同扰动下年度—季度—月度库存、调运量、碳排放变化，提前生成备选调度预案。当外部环境发生变化时，快速调用备选方案，减少完全依靠人工经验决策的局限。建立风险预警指标体系，对库存过低、运力缺口、价格异动进行分级预警，支撑多周期动态调整。

4.4 实施多周期视角下分级库存动态管控

区分港口中转库存与电厂厂内库存，建立跨周期库存

缓冲策略。在淡季适度降低整体库存，减少资金占用；在用电高峰来临前 1—2 个季度有序提升库存，做到错峰储备，避免短期集中抢运造成通道拥堵。针对不同区域电厂，差异化设置库存上下限，不搞一刀切。利用库存作为周期之间的缓冲，当市场煤价格高位的周期，更多消耗已有库存，适度压缩市场煤采购；市场条件友好周期适度补库，平滑不同周期采购成本波动，平衡库存成本与保供安全。

4.5 推进全产业链信息协同，夯实多周期调度数据

对内深化集团内部电厂数据打通，实现各电厂耗煤、库存数据实时汇聚。对外推动与上游煤矿、铁路、港口更高水平的数据协同，获取煤矿实际产能释放、铁路运力计划、港口泊位周转等动态信息，减少信息滞后。依托数字化平台打通供应链上下游数据，提升年度—月度—周度需求预测精度，为动态调度提供数据底座。同时完善供应商动态评价，将低碳指标纳入供应商评价体系，反哺多周期资源采购决策。

4.6 完善调度考核体系，兼顾保供、成本、低碳多维目标

优化绩效考核，不再单一考核调运完成量，增加跨周期库存稳定性、全链条碳排放控制、成本管控、应急保障能力等考核指标，引导调度人员兼顾长短期目标，避免短期突击调运带来后续周期库存积压、成本上升等遗留问题。

5 结语

在双碳战略背景下，煤炭供应链调度不再仅仅追求运量完成，而是需要在年度、季度、月度、周度等多个时间周期之间实现保供安全、成本控制、低碳减排的多重平衡。企业通过建立多层级滚动联动调度机制，将低碳目标前置嵌入调度决策，建设多情景仿真推演，实施分级动态库存管控，强化上下游信息协同，完善多维考核体系，可以优化周期动态调度水平，帮助企业更好适配双碳转型要求。

参考文献：

- [1] 马洋洋. 绿色供应链视角下煤炭行业物资供应管理探索[J]. 物流工程与管理, 2025, 47 (03): 65-67.
- [2] 倪晓娟. “双碳”目标背景下的企业绿色供应链管理机遇与挑战[J]. 全国流通经济, 2024(05):80-83.
- [3] 翁成波. 构建绿色低碳供应链体系[J]. 质量与认证, 2021(08):38-39.

作者简介：杨少国（1977—），男，山东沂水人，本科，高级会计师，研究方向：财务管理，煤炭供应链相关理论。