

电力技术中实时电力调度系统研究

车旭珍 何健安

国网甘肃省电力公司平凉供电公司 甘肃 平凉 744000

摘要：随着新能源大规模接入与电网形态演变，实时电力调度系统成为保障电网安全稳定运行的核心。本文聚焦系统构成、关键技术、运行机制及优化方向，阐述数据采集、通信传输、调度决策等核心技术支持，分析系统面临的数据预测误差、通信瓶颈、多目标优化等挑战，提出从算法创新、架构升级、模型轻量化等路径提升数据处理效率与系统适配能力，为构建智能化、自适应的实时调度体系提供理论参考。

关键词：实时电力调度；新能源消纳；多目标优化；数字孪生；强化学习

引言：电力系统的安全稳定运行依赖于高效的调度机制。传统调度方法难以适应新能源高比例接入与电网形态复杂化趋势，实时电力调度系统通过整合多源数据、优化决策算法与动态调整策略，成为应对不确定性的关键工具。系统需兼顾安全性、经济性与适应性需求，但数据预测误差、通信时延、算法复杂度等问题制约其效能发挥。深入研究实时调度系统的技术架构与优化路径，对提升电网运行灵活性、推动能源转型具有重要意义。

1 实时电力调度系统的构成与运行基础

1.1 系统核心构成模块

实时电力调度系统作为保障电网安全稳定运行的中枢，其架构设计需满足多维度数据交互与动态决策需求^[1]。系统核心模块涵盖数据采集层、通信传输层、智能分析层与控制执行层。数据采集层通过部署于电网各节点的传感器网络，实现电压、电流、频率、功率等基础参数的实时捕获，同时集成气象信息、设备状态等环境数据，为调度决策提供全面信息支撑。通信传输层依托高速光纤网络与无线通信技术，构建低时延、高可靠的数据传输通道，确保海量数据从采集终端高效汇聚至调度中心。智能分析层是系统决策能力的核心载体，融合大数据处理、机器学习与优化算法，对实时数据进行清洗、建模与预测，生成包含发电计划调整、负荷分配优化等在内的多场景调度方案。控制执行层则通过自动发电控制、自动电压控制等子系统，将调度指令精准下发至发电机组、无功补偿装置等执行单元，实现电网运行状态的闭环调控。

1.2 系统运行的核心需求

实时电力调度系统的运行需满足三方面核心需求。安全性需求要求系统具备对电网拓扑变化、设备故障等突发事件的快速响应能力，通过实时安全校核与预防控制，

确保系统运行始终处于N-1安全准则约束范围内。经济性需求驱动系统在满足安全约束的前提下，通过优化机组组合、调整发电出力等方式降低运行成本，同时兼顾可再生能源消纳与碳排放控制目标。适应性需求则体现在对新能源出力波动、负荷需求变化的动态跟踪能力上，系统需通过滚动预测与实时修正机制，持续调整调度策略以应对不确定性因素影响。三方面需求相互制约又协同统一，共同构成实时调度系统设计的目标函数体系。

1.3 系统运行痛点

当前实时电力调度系统面临多重技术挑战。数据层面，新能源出力的间歇性与负荷需求的随机性导致数据预测误差显著，传统基于确定性模型的调度方法难以适应高比例可再生能源接入场景。通信层面，海量终端设备的接入使数据传输带宽与处理时延成为瓶颈，尤其在极端天气等特殊工况下，通信中断风险可能引发调度指令执行延迟。算法层面，多目标优化问题的求解复杂度随电网规模扩大呈指数级增长，现有算法在计算效率与解质量间难以取得平衡。此外，系统安全防护机制需应对日益复杂的网络攻击手段，传统边界防护模式已无法满足调度系统对数据完整性与指令可信性的严苛要求。这些痛点制约了实时调度系统向智能化、自适应方向的进一步发展。

2 实时电力调度系统的关键技术支撑

2.1 数据采集与处理技术

数据采集是实时电力调度系统的基础环节，需通过高精度、广覆盖的传感器网络实现电网运行状态的全面感知。针对传统SCADA系统采样频率低、数据维度单一的问题，现代调度系统集成多类型智能终端，同步采集电气量、环境量与设备状态量，形成包含稳态数据、暂态数据与动态数据的多元数据集。数据预处理环节采用分布式计算框架，通过数据清洗、特征提取与异常值修

正，消除噪声干扰与量测误差^[2]。为应对新能源出力的强不确定性，基于卡尔曼滤波与粒子滤波的混合预测模型被广泛应用于短期功率预测，通过融合数值天气预报与历史运行数据，提升预测精度与鲁棒性。

2.2 实时通信与数据传输技术

实时通信网络是调度指令与监测数据高速流转的通道，其性能直接影响系统响应速度与决策时效性，不同通信技术的性能对比如表1所示。

表1 不同通信技术性能对比表

通信技术类型	传输带宽	传输时延	可靠性	应用场景
光纤通信	100Gbps以上	1-5ms	99.999%	骨干传输通道
5G通信	10Gbps以上	1-10ms	99.99%	终端接入、指令传输
电力线载波通信	10Mbps以下	50-100ms	99.9%	偏远地区终端接入

5G通信技术凭借低时延、高可靠与大连接特性，成为支撑调度系统升级的关键基础设施，通过切片技术为不同优先级业务分配专属资源，确保控制指令在毫秒级时延内送达执行终端。光纤通信网络则通过波分复用与光放大技术，构建覆盖调度中心与变电站的长距离骨干传输通道，满足海量数据实时汇聚需求。针对偏远地区通信覆盖不足问题，电力线载波通信与无线专网技术形成互补方案，通过信道编码与自适应调制技术提升抗干扰能力。此外，软件定义网络技术通过逻辑集中控制与网络功能虚拟化，实现通信资源的动态分配与路径优化，有效应对突发流量冲击与网络故障。

2.3 调度决策与协同控制技术

调度决策技术需在安全约束、经济目标与环保要求间寻求动态平衡。基于模型预测控制的滚动优化框架，通过构建包含机组约束、线路潮流与备用容量的多变量优化模型，生成未来数小时的发电计划调整方案。分布式优化算法将全局问题分解为局部子问题，通过迭代协调机制降低计算复杂度，适用于大规模电网的实时调度场景。协同控制技术则聚焦于源网荷储多主体的互动协调，通过需求响应机制引导用户侧可调节资源参与系统调峰，利用储能系统的充放电特性平抑新能源出力波动。此外，自动发电控制与自动电压控制通过分层分区控制策略，实现区域电网频率与电压的精准调节，保障系统运行稳定性。

2.4 异常识别与处置技术

异常识别技术通过构建电网正常运行状态的数字孪生模型，实时比对实际运行数据与模型预测结果，快速定位设备故障、网络攻击等异常事件。基于深度学习的

图像识别技术被应用于变电站设备巡检，通过分析红外热成像与可见光图像，自动检测绝缘子裂纹、接头过热等缺陷。针对数据注入攻击等新型威胁，区块链技术通过分布式账本与加密算法确保数据不可篡改，结合零信任架构实现调度系统访问权限的动态管控。异常处置环节采用事件驱动的自动化 workflow，根据异常类型与严重程度触发预置处置策略，如隔离故障区域、调整发电计划或启动备用电源，最大限度减少异常事件对系统运行的影响。

3 实时电力调度系统的运行机制

3.1 数据实时交互机制

数据实时交互是调度系统与物理电网动态耦合的核心纽带。系统通过部署于发电侧、电网侧与用户侧的智能终端，构建覆盖全环节的分布式数据采集网络^[3]。各终端设备依据预设采样周期持续上传电气量、状态量与环境量数据，经边缘计算节点完成初步校验与压缩后，通过专用通信通道传输至调度中心。调度中心采用数据总线架构实现多源异构数据的统一接入，通过消息队列机制保障数据按优先级有序处理，避免高价值信息被低优先级数据阻塞。为应对通信中断风险，系统内置数据缓存与补传机制，当网络恢复后自动重发缺失数据段，确保历史数据完整性。此外，调度中心与上级调度机构、交易中心等外部系统通过标准化接口实现数据共享，支撑跨区域电力协同与市场交易决策。数据交互全程采用加密传输与身份认证技术，防止敏感信息泄露或恶意篡改。

3.2 调度决策生成与执行机制

调度决策生成依托多层次优化模型实现全局与局部目标的协同。在日前调度阶段，系统基于负荷预测、新能源出力预测与机组可用状态，构建包含经济性、安全性与环保性的多目标优化模型，通过分解协调算法生成基础发电计划。进入实时调度阶段，系统每分钟滚动更新运行状态预测，结合最新量测数据修正调度方案。决策生成过程采用“预测-优化-校核”闭环框架，先通过机器学习模型预测未来数分钟电网状态，再利用混合整数线性规划求解最优调度策略，最后通过安全约束校核排除越限方案。决策执行环节通过自动发电控制、自动电压控制等子系统，将调度指令分解为机组级控制信号，经专用通信网络下发至执行终端。执行结果通过反馈通道实时回传，系统对比指令值与实际值差异，自动触发补偿控制或告警提示，形成完整的决策-执行闭环。

3.3 系统动态调整机制

动态调整机制赋予调度系统应对不确定性的自适应能力。当新能源出力突增或负荷需求骤降时，系统通过

调整备用容量分配策略,优先调用灵活性资源平抑功率波动。针对设备故障或线路过载等安全事件,系统自动激活预防控制模块,通过调整发电机出力或改变电网拓扑消除越限风险。在市场环境变化场景下,系统根据实时电价信号动态优化购电策略,在保障供电可靠性的前提下降低购电成本。动态调整过程采用分层控制架构,区域调度层负责局部优化与快速响应,上级调度层统筹全局资源协调与长期目标规划。调整策略生成依赖强化学习算法,通过持续学习历史运行数据与调整效果,逐步优化控制参数与决策逻辑,提升系统对复杂工况的适应能力。

4 实时电力调度系统的技术难点与优化方向

4.1 系统运行核心技术难点

实时电力调度系统面临多重技术挑战。新能源大规模接入导致源侧不确定性显著增强,光伏出力的昼夜波动与风电的间歇性特征,使传统基于确定性模型的调度方法难以精准匹配供需平衡^[4]。电网形态演变带来拓扑复杂性提升,分布式能源、微电网与柔性交流输电装置的广泛应用,使潮流分布呈现多向流动特性,传统安全校核算法的计算效率无法满足实时调度需求。此外,系统安全防护需求升级,调度数据网与控制指令传输通道成为网络攻击重点目标,传统边界防护模式难以应对高级持续性威胁,需构建涵盖数据加密、访问控制与异常检测的纵深防御体系。多时间尺度耦合问题同样突出,日前调度计划与分钟级实时调整需无缝衔接,避免因时间尺度脱节引发控制冲突或经济性损失。

4.2 数据处理效率优化

数据处理效率提升需从算法创新与架构升级双路径突破。针对海量量测数据,采用分布式流处理框架替代集中式批处理模式,通过数据分片与并行计算降低单节点负载,结合内存计算技术缩短数据读写时延。在特征提取环节,引入轻量化深度学习模型替代传统统计方法,利用卷积神经网络自动识别数据中的时空关联特征,减少人工特征工程依赖。针对预测任务,开发基于注意力机制的时序预测模型,通过动态权重分配强化近期数据影响力,提升新能源出力预测精度。存储层面,采用分层存储策略将热数据保留在高速固态硬盘,冷数据迁移至低成本机械硬盘,结合数据压缩算法降低存储

空间占用。计算资源调度方面,构建容器化微服务架构,根据任务优先级动态分配CPU与内存资源,避免资源闲置或过度竞争。

4.3 系统性能与适配能力优化

系统性能优化需聚焦于模型轻量化与控制策略自适应。在调度决策环节,将复杂全局优化问题分解为多个局部子问题,通过分布式算法降低单次迭代计算量,结合模型简化技术剔除非关键约束条件,在保证解质量前提下缩短求解时间。针对设备异构性,开发通用化控制接口标准,屏蔽不同厂商设备的通信协议差异,通过中间件实现指令无缝转换。适配能力提升依赖数字孪生技术,构建包含物理模型、数据驱动模型与业务规则的混合仿真平台,通过虚拟电网实时映射实际运行状态,提前验证调度策略在多种工况下的有效性。此外,引入强化学习机制实现控制策略动态进化,让系统在持续交互中学习最优响应模式,提升对极端天气、设备故障等突发事件的应对能力。性能评估体系需从单一经济性指标扩展至包含安全性、灵活性与环保性的多维度指标,引导系统向综合最优方向演进。

结束语

实时电力调度系统通过数据采集、通信传输、决策控制等环节的协同,实现了电网运行状态的实时感知与动态调控。面对新能源不确定性、电网拓扑复杂化等挑战,系统需从数据处理效率、模型轻量化、控制策略自适应等方向持续优化,构建覆盖数据、算法、安全的多维度技术体系。通过强化数字孪生、强化学习等技术的应用,系统对复杂工况的适应能力将显著提升,为保障电网安全、经济、高效运行提供坚实支撑。

参考文献

- [1]刘琴.含储能电力系统实时调度技术研析[J].电力设备管理,2025(12):159-161.
- [2]车彩玲.基于5G通信技术的电力调度系统实时数据传输与处理研究[J].通信电源技术,2024,41(12):76-78.
- [3]刘鑫.基于云计算技术的电力系统能量实时调度技术研究[J].电气技术与经济,2023(8):48-50,53.
- [4]陈志鹏,田浩,温胜寒.云计算技术在电力调度控制系统中的应用[J].电气技术与经济,2026(2):414-416.