

Practical application of power system and its automation in power grid dispatching

Jinxing Li

State Energy Technology (Zhengzhou) Group Co., Ltd., Kaifeng, Henan, 475000, China

Abstract

As the core infrastructure supporting the social operation, the stability of the modern power system is directly related to the efficiency, economic development and the security of people's livelihood. Under the situation of accelerating energy structure transformation, challenges such as high proportion of renewable energy access and multi-level load fluctuation, so the requirements for power grid dispatching are higher. In the past, the scheduling mode relying on manual experience is difficult to adapt to the real-time response requirements under complex working conditions, and the automation technology has gradually become the key path to solve this problem. Through the intelligent algorithm and the digital platform, the automation of the power system to reconstruct the dispatching decision mechanism is realized. On the basis of ensuring the safe operation of the power grid, the economy and environmental friendliness of energy transmission have been significantly improved. At the current stage, the breakthrough made in smart grid technology is driving the evolution of the dispatching system from local optimization to the direction of regional coordination, and thus building a solid technical foundation for the construction of a new power system.

Keywords

power system; automation; power grid dispatching; practical application

电力系统及其自动化在电网调度中的实际应用

李金星

国能科技（郑州）集团有限公司，中国·河南 开封 475000

摘要

作为支撑社会运转的核心基础设施，现代电力系统的稳定性与效率和经济发展与民生保障有着直接关系。能源结构转型加速的态势下，高比例可再生能源接入以及多层级负荷波动等挑战，因此对电网调度的要求更高。以往依赖人工经验的调度模式，在复杂工况下难以适应实时响应需求的状况逐渐凸显，而自动化技术则逐步成为破解这一难题的关键所在路径。通过智能算法与数字化平台来实现重构调度决策机制的电力系统自动化，在保障电网能够安全运行的基础之上，对能源传输的经济性与环境友好性实现了显著提升。当前阶段，智能电网技术所取得的突破，正推动着调度体系从局部优化朝着全域协同的方向演进，进而为构建新型电力系统筑牢了坚实的技术基石。

关键词

电力系统；自动化；电网调度；实际应用

1 引言

电网调度作为电力系统的神经中枢，承担着平衡供需、优化资源配置的核心职能。在能源消费结构深度调整的背景下，电网调度系统既要应对风光发电的随机性波动，又需满足多元用户对电能质量的差异化需求，这对调度决策的精度与时效形成了双重考验。自动化技术的引入突破了传统人工调度的认知局限，通过数据驱动的智能分析实现了对电网状态的动态感知与前瞻预判。本文聚焦自动化技术在调度领域的实际应用，系统解析 SCADA 系统如何构建全域感知网

络，EMS 平台如何实现多目标优化决策，AGC 与 AVC 系统如何协同维持频率电压稳定等重要议题。

2 电网调度的重要性

2.1 电网调度的目标与任务

电网调度如同电力系统的精密导航仪，其核心目标在于确保电能从发电端到用户端的传输过程始终处于可控状态（如图 1 所示）。在复杂且多变的运行环境之下，对于发电机组出力与负荷需求之间动态关系的实时追踪，是调度系统所需要完成的任务，借助先进的状态估计算法来构建全网运行态势的数字化镜像也是其职责所在。调度任务得以实现，依靠的是多时间尺度的协同优化，这既包含日前计划层面面对火电、水电等常规电源的启停安排，也涉及分钟级自动

【作者简介】李金星（1989-），女，中国河南濮阳人，本科，工程师，从事电力系统及其自动化研究。

发电控制对风电光伏波动的快速平抑。随着电力市场改革的不断深化,在满足安全约束的前提下兼顾经济调度目标,成为调度体系需要去完成的任务,通过机组组合优化以及潮流计算去寻得全网运行成本最低的解决方案。作为电网安全重要维度的电压稳定,要求调度系统对无功补偿装置与变压器分接头进行精准控制,以维持各节点电压处于允许偏差范

围之内。面对极端天气或设备故障引发的连锁反应,调度决策必须快速隔离故障区域并重构供电网络,这种在线安全校核能力需要结合实时量测数据与预想故障集进行动态评估。当前新能源高渗透率带来的转动惯量缺失问题,正推动调度策略从传统源随荷动向源网荷储互动模式转变,这要求调度算法在惯量监测与虚拟同步控制领域实现技术突破^[1]。

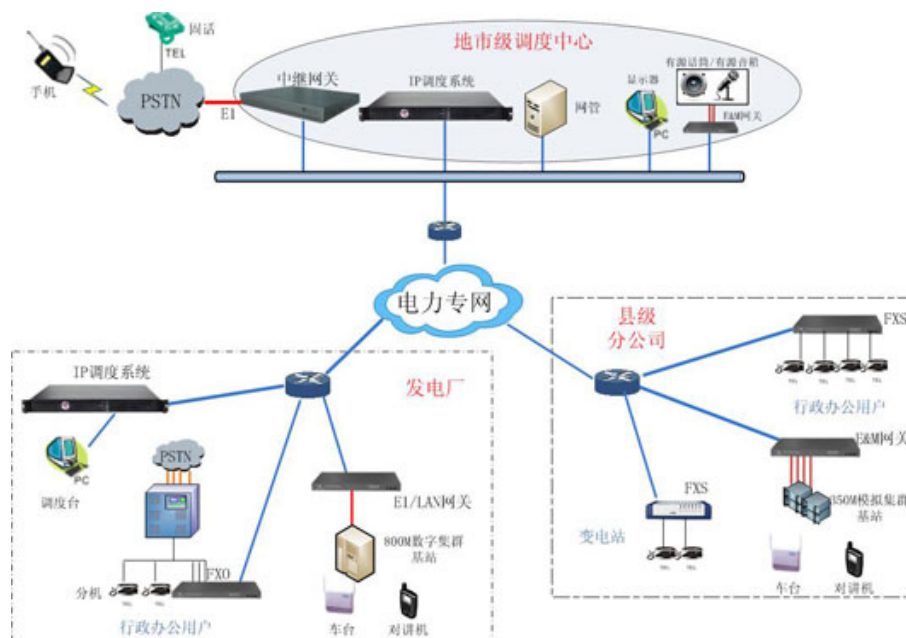


图1 电网调度示意图

2.2 电网调度在电力系统中的地位

电网调度系统在电力网络架构中扮演着中枢神经的角色,其技术定位源于对发输变配用全环节的实时协同控制能力。调度中心依托广域量测系统构建的同步相量数据网络,持续追踪从发电机组转子转速到配网末端电压的数千个运行参数,这种全景感知能力使得调度系统成为维系电力供需动态平衡的核心枢纽。在物理层面对电网运行状态的精确掌控,使得调度算法能够基于动态拓扑分析预判线路过载风险,并及时触发预防性控制策略。调度系统与变电站继电保护装置的深度联动机制,确保在发生接地故障时既能快速切除故障元件,又能通过设备自投装置重构供电电路,这种毫秒级响应特性是维持大电网完整性的技术基础。面对新能源机组并网引发的谐波污染问题,调度平台需要综合滤波装置投切指令与逆变器控制参数调整,形成多层次电能质量治理方案。随着柔性直流输电技术的推广应用,调度系统还需解决多端直流网络功率协调控制难题,这种控制模式要求将换流站损耗计算纳入全局优化模型。当前调度系统正在探索将区块链智能合约应用于分布式电源交易结算,这项技术尝试可能重塑传统调度中心与微网之间的交互范式^[2]。

3 电力系统及其自动化在电网调度中的应用

3.1 自动化监控与数据采集(SCADA)系统

自动化监控与数据采集系统构成电网调度的感知末梢,

其技术架构涵盖从变电站智能终端到调度主站的完整数据链条。SCADA系统依托分布式远程终端单元持续采集发电机出力、线路潮流及断路器状态等关键参数,这些实时数据经过规约转换后经由光纤网络传输至调度中心前置服务器。主站系统采用时序数据库对海量量测信息进行压缩存储,其数据断面刷新频率通常保持在秒级以满足动态监测需求。调度员工作站的人机界面将电气接线图与实时数据融合展示,拓扑着色功能可自动识别电网解列或孤岛运行状态。系统内置的告警处理模块根据预设阈值触发事件通知,当检测到母线电压越限时自动弹出相关场站单线图供人工确认。控制功能允许具备权限的调度员远程操作断路器分合,执行这类命令前系统会启动防误闭锁逻辑校验操作序列的合规性。与传统遥测遥信系统相比,现代SCADA平台增加了对PMU高频数据的兼容处理能力,能够捕捉机组功角摆动的暂态过程。系统安全防护体系采用纵向加密认证技术,在调度数据网边界部署的加密网关有效阻止了网络攻击渗透。

3.2 能量管理系统(EMS)

EMS平台从SCADA系统获取全网量测数据后,状态估计模块基于加权最小二乘法消除测量误差,重构出符合物理定律的电网运行状态。调度员工作站的潮流计算界面能够模拟不同运行方式下的电压分布,最优潮流算法根据煤耗微增率自动调整机组出力计划。静态安全分析功能扫描预想故障集,针对可能引发线路过载的N-1故障自动生成预防控

制策略。自动发电控制模块比较区域控制偏差与计划值,向电厂下发调节指令维持频率稳定。与传统的离线计算不同,在线安全预警系统每五分钟刷新一次风险评估结果,将暂态稳定裕度以热力图形式叠加在电网地理结线图上。EMS的拓扑分析器自动识别厂站电气连接关系,当检测到母线分裂运行时同步更新网络模型参数。系统维护人员每月校核发电机耗量特性曲线,确保经济调度模块的优化计算结果符合实际运行成本。面对风电场功率预测的不确定性,滚动优化算法将超短期预测数据纳入机组组合计算,动态修正启停计划降低备用容量需求。系统安全防护采用基于角色的访问控制策略,操作指令执行前需通过双人复核与五防逻辑验证^[3]。

3.3 自动发电控制 (AGC) 系统

自动发电控制系统维系着电网频率稳定的生命线,其技术核心在于将抽象的频率偏差转化为具体的机组调节指令。控制策略模块根据机组响应速率和调节容量,将总调节量按等微增率原则分配给具备 AGC 功能的发电单元。火电机组协调控制系统接收目标负荷指令后,锅炉—汽轮机—发电机组的联动控制回路开始调整燃料供给量与蒸汽参数,这个过程需要克服大惯性环节带来的滞后效应。水电站监控系统在收到 AGC 指令时,优先调节具有快速响应特性的机组导叶开度,利用水锤效应的时间窗口实现功率的分钟级调整。风电场站端控制系统通过调节有功功率设定值参与 AGC,其功率变化率限制功能避免了因风速波动导致的频繁指令切换。光伏电站逆变器群控系统根据 AGC 指令调整运行模式,在最大功率点跟踪与功率控制之间实现平滑切换。系统每四秒刷新一次机组实际出力与目标值的偏差统计,对持续超调的机组启动自动替换逻辑。与调度员互动的人机界面展示着各控制区域的调节性能指标,不同颜色标注的机组状态帮助运行人员快速识别异常单元。控制指令执行前必须通过安全约束校核,防止因调节量叠加引发线路过载。闭环控制过程中,动态性能评估模块持续跟踪机组调节精度,将长期不达标的单元移出可用资源列表。

3.4 自动电压控制 (AVC) 系统

AVC 系统实时采集各变电站母线电压量测数据,状态估计模块融合 SCADA 量测与 PMU 相量数据,构建出全网动态电压分布图谱。变电站内智能终端接收主站下发的控制指令后,并联电抗器的机械操作机构在确保散热条件允许的前提下完成分接头切换,这个动作产生的暂态过程被快速阻尼电路有效抑制。风电场集电线路的静止无功发生器根据 AVC 指令调整输出容量,其 IGBT 功率模块的开关频率精准匹配电网电压波动周期。光伏逆变器在参与电压调节时,控制系统自动切换至电压—无功控制模式,通过调节功率因数角实现无功功率的柔性输出。主变压器分接头自动调节装置执行指令前,需校验相邻节点电压变化率不超过预设阈

值,防止调节动作引发连锁反应。电压控制安全校核模块扫描预定义的安全约束集,当检测到某区域备用无功不足时自动触发控制策略重构。与调度员协同工作的可视化界面呈现着电压越限预警信息,三维色温图谱直观展示不同层级的电压质量指标。历史数据回溯分析模块记录着每次调节动作前后的电网状态,这些数据样本为控制参数的自整定提供了训练基础。面对新能源场站接入带来的电压波动挑战,系统引入基于模型预测控制的前馈补偿机制,提前计算分布式电源出力变化对关键节点电压的影响量。

3.5 智能电网调度技术

调度主站大数据平台处理着每秒数十万量级的 PMU 相量数据,基于改进卡尔曼滤波算法的状态估计模块持续修正电网运行断面。动态安全域计算引擎采用并行计算架构,在拓扑变化三分钟内完成暂态稳定极限的在线评估。新能源场站群控系统与调度主站保持毫秒级通信,光伏逆变器调压指令与风电机组无功补偿量的协同计算缓解了午间光伏大发时段的电压越限问题。配电网量测数据通过边缘计算节点预处理后,与输电网模型进行联合状态估计,这种输配协同的态势感知方式显著提升了全网可观性。调度员使用的三维可视化平台将线路负载率与气象信息叠加显示,积雨云移动路径预测数据被纳入输电断面热稳定裕度计算。动态网络等值算法将外部电网简化为戴维南等效模型,在保证计算精度的条件下将跨区联络线分析耗时压缩了 40%。安全防护体系采用量子密钥分发技术,调度指令在光纤通道中传输时具备抗量子计算破解的特性。数据异常检测算法对比历史同期断面与实时运行数据,当辨识出负荷突变模式异常时自动触发防误操作闭锁。

4 结语

自动化技术通过重构调度决策范式,有效解决了大规模电网运行中的多维约束难题,实现了安全性与经济性的动态平衡。建议电力企业进一步强化数据治理体系建设,打破信息孤岛对调度智能化的制约,并注重人工智能算法与实际业务场景的适配性优化。未来,能源互联网的深化建设将推动调度系统突破物理电网边界,实现跨区域、多能源的协同优化,最终构建出弹性更强、包容性更广的智慧能源生态系统。

参考文献

- [1] 周豪,夏咏荷. 电力系统及其自动化在电网调度中的实际应用[J]. 模具制造, 2023, 23 (10): 202-204+207.
- [2] 张林强. 电气自动化技术在电力工程中的运用分析[J]. 电气技术与经济, 2023, (06): 95-97.
- [3] 王开元. 电力系统及其自动化在电网调度中的实践[J]. 电气技术与经济, 2022, (05): 49-51.