新能源并网电力系统自动化协同调控技术

蒲玉林

（四川蜀道清洁能源集团有限公司运维分公司，四川 成都 610041）

摘 要 随着我国“双碳”目标的稳步推进，风电、光伏等新能源发电装机规模持续扩张，高比例新能源并网已成为电力系统发展的必然趋势。新能源出力受气象条件直接影响，具有强随机性、波动性与间歇性特征，给传统电力系统的功率平衡、电压稳定与调度运行带来诸多挑战。本文通过搭建源网荷储多主体协同的层级化调控架构，阐述多时间尺度调度决策与故障自适应防控的运行机制，包括出力预测、资源聚合、调度优化、闭环校正四个关键技术，旨在为高比例新能源接入下的电网调控升级提供参考。

关键词 新能源并网；电力系统；自动化协同调控；源网荷储

中图分类号：TM76；TM732 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.28.002

0 引言

在能源转型的整体发展背景下，我国新能源发电产业保持高速增长态势，截至2025年底，风电与光伏累计装机容量已突破18亿千瓦，在电力系统电源结构中的占比持续提升。新能源出力依赖光照、风速等自然条件，日内波动幅度大、预测难度高，大规模并网后会显著加剧电网的功率波动，增大频率控制、电压调整与调度计划编制的难度。传统电力系统调控多以常规火电为主要调节手段，调控模式偏于被动响应，且源网荷各环节缺乏有效联动，自动化协同水平不足，难以适配高比例新能源接入后的运行需求[1]。因此，开展新能源并网电力系统自动化协同调控技术研究，对提升电网运行稳定性、促进新能源高效消纳具有重要的现实意义。

1 新能源并网电力系统自动化协同调控的体系架构

1.1 源网荷储多主体的层级化调控架构

源网荷储多主体协同调控采取三级层级化结构，从高到低依次是全局调控层、区域调控层和场站执行层，各层级权责分明，互相配合形成上下联动的分级响应机制。

全局调控层设在省级及以上电力调度中心，统筹全网新能源消纳和跨区功率调配，依靠全量电源、负荷和预测数据来制定长周期调度方案，向下发布调控目标和运行约束，保证全网功率平衡。区域调控层处于枢纽地位，将上级下达的指令传送到辖区内的场站、储能和可调负荷上，再根据辖区内的实际情况来制定出实时的调控指令，并且在本地处理局部故障，提高响应速度。场站执行层是终端单元，接到指令后利用自身自控系统执行并把运行状态、执行结果反馈给上级。

1.2 全域数据互通的自动化信息交互体系

数据互通是实现自动化协同控制的前提条件，只有各个主体运行数据能够实时准确地交流，才能达到全局最优的调控决策。目前，电力系统已经建立了覆盖主网的专用通信网络，但是配网侧、用户侧的资源数据采集和交互能力还存在不足，需要建立全域覆盖的自动化信息交互体系[2]。

该体系依靠电力光纤专网、5G电力切片等通信技术，创建起包含新能源场站、变电站、储能电站、负荷聚合商以及分布式电源在内的全域数据采集网络，从而实现新能源出力、电网潮流、节点电压、储能充放电功率、负荷可调容量等数据的秒级采集和上传。区域调控层设置边缘计算节点，对采集到的大量数据做初步的清洗、筛选和特征提取工作，减少全局调控层的数据传输以及计算量，提高数据处理速度。

体系采用统一的通信协议和数据标准，对各种厂商、各种类型设备的数据格式以及交互逻辑做标准化处理，消除各个系统之间信息化的壁垒。通过数据加密、权限控制等措施保证数据传输和存储安全，在保证数据共享的前提下防止数据泄露风险，给协同调控决策提供可靠全面的数据支持。

1.3 多时间尺度的协同调度决策机制

新能源出力的波动覆盖从毫秒级到日级的多个时间尺度，单一时间尺度的调控无法全面平抑不同频率

作者简介：蒲玉林（1993-），男，本科，工程师，研究方向：电力系统及其自动化。

的功率波动，因此自动化协同调控采用多时间尺度的调度决策机制，通过不同周期调控的相互衔接，实现对新能源波动的分层平抑。不同时间尺度的调控任务在周期、主要任务、参与主体与响应要求上存在明显差异，具体参数对比如表 1 所示。

表 1　多时间尺度自动化协同调控任务对比

时间尺度	调控周期	主要任务	参与主体	响应要求
日前调度	24 小时	编制次日发电计划与新能源消纳方案，优化储能充放电时序	常规火电、新能源场站、集中式储能	分钟级响应
日内滚动调度	15 分钟～ 4 小时	修正发电计划偏差，平抑新能源短时波动，调整区域功率分配	新能源场站、储能电站、可调负荷集群	秒级响应
实时调控	1 秒～ 15 分钟	实时调整系统功率平衡，参与一二次调频，控制节点电压	快速响应储能、工业可调负荷	百毫秒级响应
紧急防控	毫秒级	故障场景下的快速功率支撑，维持系统频率电压稳定	新能源场站、储能装置、快速切负荷装置	十毫秒级响应

适应协同防控的逻辑，调动多种主体一起参与到故障处理当中，从而加强系统对故障的抵御能力。

电网发生线路跳闸、大容量电源突然脱网等故障的时候，广域测量系统可以在几十毫秒内完成故障定位和运行状态采集，协同调控系统会自动进入应急响应模式。系统会对故障严重程度及影响范围作出判断，然后按其高低和大小自动执行相应的新能源场站低电压穿越、高频穿越能力调整，再触发储能电站的快速功率支撑功能来补偿系统的功率缺口，如果必要的话还会对一些可中断负荷进行切除，从而迅速达到系统功率的平衡。

整个故障处理过程不需要人工干涉，系统可以按照实时运行情况自适应地改变调控手段，首先使用响应时间短、供电影响小的调节手段，降低故障对用户的供电影响。故障消除之后，系统就会自动评判电网恢复情况，逐渐退出应急防控模式，重新步入正常的协同调度流程，达成故障处理的全部自动化以及最优化。

2　新能源并网电力系统自动化协同调控的关键实现技术

2.1　新能源出力超短期精准预测技术

超短期出力预测属于源网荷储自动化协同调控的前置支撑，提前知晓出力变动趋向，可以预先制订出调控策略，从而减轻实时调度的压力。目前新能源短期预测精度已经比较高，但是 15 分钟到 4 小时尺度的超短期预测受到局地气象突变的影响比较大，精度波动较大，不能满足精细化协同调控的要求。

该技术使用的是物理机理打底、AI 算法修正的双层结构，时间分辨率为 1 分钟级，每隔 15 分钟做一次全量滚动更新。光伏侧融合分钟级卫星云图、地面辐照实测数据和组件温度损耗模型，用卷积神经网络提取云团移动特征，预估云层遮挡造成的辐照衰减幅度；风电侧结合风机秒级运行数据和尾流衰减模型，修正数值天气预报的风速偏差，用长短期记忆网络捕捉局地湍流短时规律，同时给出预测置信区间。

应用后超短期出力预测准确率可以达到 92% 以上，预测结果可以和调控平台自动对接，给日内滚动调度提供可靠的输入，提高协同调控的主动性、前瞻性[3]。

2.2　分布式资源集群的自动化聚合调控技术

随着分布式光伏、用户侧储能、电动汽车充电桩等分布式资源的快速增长，配网侧已积累大量可调节资源。但这类资源分布分散、单个体量小、接入点多，无法直接接入主网调度系统参与协同调控，因此需要通过自动化聚合调控技术将分散资源整合为可统一调度的调节单元。该技术依靠区域调控平台或者负荷聚合商系统，构建“台区边缘聚合 + 区域统筹调度”的两级架构，采用 IEC 61850、MQTT 等标准化通信接口，对分布式资源进行批量接入并加以监测，单平台可实现万台级分布式设备的同步接入与管控。系统依靠标准化的通信接口自动识别接入的分布式资源，及时获取它的运行状况、可调容量以及响应速度这些参数，进而对单个设备和整个区域的调节能力做出评价，同时按照响应特性将资源划分为毫秒级调频资源、秒级调压资源、分钟级调峰资源三类资源池。当接收到上层调控指令的时候，聚合系统就会使用智能分配算法，按照各个资源的调节成本、响应速度和可用容量来把调控指令分发给每一个设备，不需要人工一一地进行

1.4　故障场景下的自适应协同防控逻辑

高比例新能源并网之后，系统转动惯量减小，抗干扰能力下降，故障之后频率、电压的波动幅度增大，传统的依靠切机切负荷的故障防控方式会造成较大的供电损失。自动化协同调控体系创建起故障场景下自

配置，指令下发时延控制在100 ms以内。聚合过程可以在几秒钟内完成，指令下达之后系统会自动检测执行结果，通过边缘终端实时回传设备运行数据，对执行偏差超过5%的设备进行自动替换或者补充调用。采用自动化聚合调控，把分布在各个地方的分布式能源集中起来形成几十兆瓦的虚拟电厂参与电网的调峰、调频、调压，充分发挥配网侧的调节潜力，扩大协同调控的资源覆盖面。

2.3 源网荷储动态优化的协同调度算法

协同调度算法是自动化协同调控的关键支撑，其作用是在满足电网安全运行约束的前提下，统筹多元调节资源，生成最优的调控指令方案，实现新能源消纳与运行成本的平衡。针对不同时间尺度的调控需求，算法采用差异化的优化逻辑，适配不同的调控场景[4]，整体形成“日前统筹—日内滚动—实时校正”的多时间尺度嵌套优化体系。针对日前调度场景，算法采用混合整数规划方法，以系统日运行成本最低、新能源消纳量最大、碳排放总量最少为多优化目标，将常规机组出力约束、储能充放电约束、线路传输容量约束、节点电压约束、机组爬坡速率约束等作为边界条件，求解得到次日各电源的发电计划、储能的充放电计划与可调负荷的调用计划，同时预留一定比例的旋转备用应对预测偏差。

针对日内滚动调度而言，用滚动优化的办法，设置4小时的前瞻优化窗口，15分钟一次更新新能源预测数据和系统运行状况，重新计算优化模型来调整后面一段时间的调度安排，平抑新能源的短时波动。实时调控情况下用模型预测控制的方法，取5分钟控制步长，根据当前系统的实时运行数据，在满足快速响应的要求下，滚动优化未来15分钟内调控指令序列，不断跟踪系统功率平衡目标。所有的算法都自带电网安全校验模块，可以自动对生成的调控方案进行潮流计算和N-1安全校核，如果方案存在线路过载、电压越限等风险就会自动修正，保证调控方案的安全性和可行性。

2.4 调控效果的在线评估与闭环校正技术

自动化协同调控要形成一个完整的闭环链条，才能不断改善调控效果，适应不断变化的系统运行环境。在线评估和闭环校正技术就是对调控执行效果进行实时监测和评价，根据评价结果自动修正之后的调控策略，从而达到调控能力不断迭代提升的目的[5]，整体构建“决策、执行、评估、校正、迭代”自优化闭环。在线评估模块依靠广域量测系统以及数据采集网络，每15分钟执行一次动态评估，每天形成调控效果日报，从新能源消纳、频率品质、电压状况、运行成本这四个层面创建评价指标体系，自动算出新能源弃电率、频率最大偏差、电压合格率、单位调节成本等关键指标，与调控目的做对比，评判调控成效是否达成预期。当评估结果出现偏差的时候，闭环校正模块就会用到偏差溯源算法，对偏差产生的原因进行分析，将时序数据的偏差特征与之对比，从而判定是由于新能源出力偏离预测、调节资源响应不足，还是算法参数设置不当等原因造成的。根据不同的原因，系统会执行相应的校正策略，即对于预测偏差，会修改后面预测权重和备用容量的比例；对于资源响应不足，会改变资源调用的优先级和补偿系数；对于算法参数问题，会触发模型参数在线自优化。依靠“决策、执行、评价、校正”的闭环运转模式，协同调控系统可以对系统运行特性发生的变化做出即时反应并加以改进，从而不断地改善调控的精确度和适应性。

3 结束语

本文围绕高比例新能源并网带来的电力系统调控难题，系统梳理了自动化协同调控技术的整体框架与实现路径，构建了三级层级化的多主体调控架构，明确了多时间尺度调度决策与故障自适应防控的运行逻辑，阐述了四项关键支撑技术的实现方式与应用价值。研究结果表明，自动化协同调控可有效整合源网荷储多元调节资源，提升电力系统对新能源波动的适配能力，在保障电网安全的同时提升新能源消纳水平。未来可进一步探索智能算法在调控决策中的深度应用，完善跨区域协同调控的交互机制，推动调控技术向更智能、更高效的方向发展，为新型电力系统的建设提供坚实的技术支撑。

参考文献：

[1] 刘昕,汪洋.新能源接入下电力系统自动化的挑战与对策[J].电子元器件与信息技术,2026,10(05):45-48.
[2] 王霄.高比例新能源并网下县级电网电力系统调度自动化方案设计与应用[J].光源与照明,2026(04):185-187.
[3] 赵劭博.新能源并网电力自动化控制系统的优化路径[J].能源新观察,2026(01):99-100.
[4] 魏滔.电力系统自动化技术在新能源并网中的应用研究[J].电气技术与经济,2026(01):119-121.
[5] 方辉.电气信息技术在集中式并网光伏电站中的集成控制方法探究[J].中国设备工程,2026(01):232-234.