

基于多元负荷特性的 农村配电网精益化管理策略研究

■ 国网山东省电力公司威海供电公司 李 杰 陈寒冰 王 鑫 滕佳怡

随着乡村振兴战略的全面推进，现代农业、乡村旅游、农村电商等多元化产业形态的蓬勃发展，重塑了农村用电负荷的内在属性、结构与时空分布规律，以多元化、高密度、强波动为特征的新型负荷格局已然形成。威海市地处山东半岛最东端，兼具沿海、山区、岛屿等复杂地理特征，负荷多元化趋势显著。

农村配电网负荷特性变化与核心挑战

农村配电网的负荷主要为季节性尖峰负荷、增长型产业负荷、渗透式电源负荷和高品质生活负荷。作为沿海地区与乡村振兴的先进样板，威海市拥有独特的海洋经济、现代农业与蓬勃的旅游产业，负荷多元化特征尤为鲜明，电网的精益化管理挑战巨大。

负荷结构多元化，保持供需平衡难度加大。威海市农村负荷结构“传统、新兴、绿色”并存。传统负荷以海洋经济和特色农业为主，季节性强、时段集中，易在短期内形成用电高峰，冲击局部电网。新兴负荷源于乡村旅游与电动汽车的普及，用电需求呈现持续、稳定增长态势，对电网容量预留和灵活接入能力提出了更高要求。绿色负荷以分布式光伏为代表，出力具有间歇性和反调峰特性，使配电网从单向受电转变为源

荷互动的双向潮流网络。3类负荷特性迥异、相互交织，打破了传统的供需平衡，电网调度复杂性增大。

负荷时空分布不均，设备利用率差异显著。在时间维度上，日内峰谷差因光伏接入与居民生活习惯差异持续扩大，全年因旅游、空调与采暖、农业保温负荷叠加，形成了“夏冬双峰”格局，导致设备年度利用率不均衡，资产效能未能充分发挥。在空间维度上，负荷中心从均匀分布的村落向沿海旅游带、现代农业园区、中心镇等区域高度集聚，形成了“点状集聚、带状延伸”的态势。这种空间上的不均衡，要求电网规划与改造必须在符合标准的基础上更具差异化。

供电可靠性需求升级，传统运维模式滞后。现代农业和乡村旅游等新业态对电能质量和供电可靠性的依赖性极高，对电压骤降、短时中断等电能质量问题的容忍度极低。然而，威海市农村电网复杂多样，部分区域线路走廊长、联络薄弱，故障排查与负荷转移困难。传统的“故障后抢修”模式，响应时间长、影响范围广，已无法满足新兴客户“零感知”“高弹性”用电的需求，须依托数字化、智能化手段，实现配网的主动预警与智能维护。

数据价值挖掘不足，决策支撑精准性欠缺。国网山东省电力公司威海供电

公司（以下简称威海公司）的大量终端设备积累了海量的运行数据，但这些数据尚未被充分、系统地分析和利用。负荷预测仍主要依赖历史数据和经验判断，难以精准反映光伏出力、气象变化、旅游客流等动态因素的影响。电网规划、运维调度、营销服务等环节存在一定的“数据孤岛”，未能形成基于数据驱动的闭环管理，影响了决策的科学性和前瞻性。

威海市公司的探索实践

威海公司以“精致电网”建设为宗旨，聚焦多元负荷特性，创新“规划引领、数智运维、柔性调控、服务赋能”的配网精益管理体系，通过技术革新与管理升级，提升农村配电网的适应性与运行效率。

规划引领，擘画源网荷储协同新范式

开展负荷分类精准预测。利用大数据分析技术，整合农村居民生活、农业生产、光伏出力、充电桩使用等多维度信息，叠加气象因子、旅游客流指数、农业生产周期等19个动态影响变量，构建“实时数据+动态变量”的差异化负荷预测模型，对沿海、山区、城郊等不同区域负荷增长趋势进行精准预判。2025年底，农村居民生活负荷、农业生产负荷、新兴负荷预测准确率分别达

到92%、90%和88%。

推行“一所一目标一图册”网格规划。组织农村供电所开展网格规划编制，明确各网格目标网架标准，将分布式光伏、充电桩等新型负荷接入规划纳入规划体系，实现“源网荷储”一体化规划。针对每个网格，建立负荷增长台账，聚焦关键客户增长、分布式电源接入等核心指标，按季度滚动更新，实现电网基础设施建设与多元负荷发展精准匹配。乳山市下初供电所管辖的22个网格，已完成31个新型负荷接入点的预留规划，便于光伏、充电桩等设备即插即用。

数智运维，打造全景感知与智能巡检新生态

构建全维度监测网络。在农村配电网台区出线端、光伏并网点和充电桩集中区等关键节点安装电压、谐波等监测终端，实时采集电压、电流、功率因数、谐波含量等电网运行数据，并上传至公司“360度全景透明低压配电网”平台。通过该平台，运维人员可以实时查看台区运行信息，包括负荷变化、电能质量、设备状态等，实现台区运行信息全透明。同时，运维人员还可以通过“i国网”随时随地查看设备运行状态，及时发现和处理异常情况。2025年，该平台累计发出预警信息1280条，其中95%的异常情况得到了提前处置。

实施差异化智能巡检。在沿海旅游带、现代农业园区等负荷高密度区域，采用“无人机+机器人”联合巡检，应用RTK厘米级定位+AI缺陷识别技术，重点排查因负荷过载导致的设备老化、线路发热等问题，缺陷研判准确率达97%以上。在山区负荷分散区域，推行“网格化+可视化”巡检，结合负荷波动数据优化巡检路线，将巡检频次与负荷增长趋势绑定，在负荷高峰前增加1次专项巡检。2023—2025年累计完成无人机巡检里程达2.1万千米，发现并处置设备缺陷1860处，较传统巡检模

式缺陷发现率提升73%。

精准调控，实现柔性互动与多源协同新平衡

开展柔性技术适配调控。针对光伏出力间歇性导致的电压波动，在光伏装机占比超过30%的台区安装智能无功补偿装置(SVG)，根据光伏出力变化8毫秒内完成补偿容量调整，将电压偏差控制在 $\pm 2.5\%$ 以内。针对电动汽车充电、农业生产等负荷随机接入导致的三相不平衡问题，安装三相负荷均衡器，通过自动调整客户接入相序，将三相电流偏差控制在10%以内。装置安装后，相关台区电压合格率提升至99.8%，线损率降低2.8个百分点，年节约电量186万千瓦·时。

构建源荷协同调控机制。依托配电网调度管控平台，整合光伏出力预测、实时负荷监测、气象预警等多维度数据，精准预判电压波动风险。针对光伏出力高峰场景，提前15分钟开展变压器分接开关档位预调整，避免电压偏高问题；针对负荷高峰场景，依托短信、手机应用等线上渠道开展需求侧引导，推动光伏业主科学安排储能充放电时序，合理错峰使用大功率用电设备，2025年负荷高峰时段转移负荷12.8万千瓦·时。同时，以虚拟电厂为载体，整合分布式光伏、客户侧储能等分散资源，参与配电网削峰填谷调控，2025年累计参与削峰填谷186次，响应负荷23.7万千瓦·时，有效缓解了电网供需压力。

服务赋能，塑造价值共创的乡村服务新体系

推行分类服务模式。针对农业生产客户，建立“农时服务档案”，在每年3—5月和9—11月的种植、养殖高峰期，提前开展线路巡检和设备维护，并开通故障抢修绿色通道，确保2小时内响应、4小时内复电，2025年农业生产客户故障平均停电时间缩短至0.8小时，同比下降53%。针对光伏业主，提供

“一站式”并网服务，利用电子证照和共享数据，全流程线上办理并网申请、验收、结算等业务，办理时间从原来的7个工作日缩短至2个工作日。针对电动汽车客户，优化充电桩布局规划，100%覆盖乡镇充电站点，并提供充电预约、故障报修、电费查询等一体化服务。针对乡村旅游客户，推出“用电保障套餐”，提前评估民宿、农家乐的用电容量需求，提供增容改造绿色通道，同时配备应急供电设备，应对旅游旺季突发负荷增长。

强化数据赋能产业服务。打破电力数据壁垒，面向地方政府、农业园区、文旅企业等主体开放8类核心电力公共数据，包括农村地区分区域用电量、各类负荷增长趋势、季节性用电波动规律等。开发“电力看农业”智慧分析平台，通过对负荷变化规律的深度剖析，精准映射农业生产进度、产业集聚态势、旅游客流热度等核心信息，为地方政府农业生产规划、乡村旅游布局提供数据支撑。基于该平台，威海市文登区调整农业种植结构，新增高效经济作物种植面积31.33千米²，带动农民增收超2.5亿元，实现了电力服务与乡村产业发展深度融合。

研究结论

应对农村多元化、高密度、强波动的负荷挑战，关键在以数字化技术为核心，驱动配电网管理向“源网荷储协同互动”的系统性转型。通过构建“精准规划、智能运维、柔性调控、分类服务”四位一体的协同管理架构，可实现负荷资源化与运行方式从“源随荷动”到“荷随源动”的根本性转变。不仅能显著提升农村配电网的运行效能、供电可靠性与社会综合效益，更能形成“技术—管理—价值”融合的普适性解决方案，为沿海及同类区域提供可复制的理论框架与实践路径。■