数智电网赋能六网协同建设的战略思考

——基于“新型网络状国家关键基础设施运营者”视角

■胡荣

现代化新型基础设施体系的一体化协同升级是推进中国式现代化的关键支撑。立足“新型网络状国家关键基础设施运营者”视角,电网公司凭借独特的网架布局、法定调度权限与数智创新能力,以数智电网为引擎驱动新型六网从物理拼接走向有机协同,为现代化基础设施体系提质增效、安全稳控与绿色升级筑牢核心骨架。

■■六网基建共性特征与协同范式

六网共性特征奠定协同治理的底层基础。新型六网虽功能各异,兼具战略安全与公共服务双重属性,在底层属性和运行逻辑上存在深层同构。一是“新型”属性彰显时代内涵与崭新质态。以数字化、智能化、绿色化为本质特征,打破传统基础设施重建轻运营、重规模轻效能的路径依赖,推动运行形态向数智融合转变、调度方式向智能驱动升级、发展范式向绿色低碳转型。二是“网络状”属性界定物理形态与治理架构。各网普遍采用统一调度、分级管理、就地决策的层级治理模式,依托SCADA感知系统、市场化交易系统和AI决策系统等技术支撑,实现跨节点协同运行和实时动态响应。三是“国家”属性明确建设边界与调控归属。国家战略决定各网建设边界和战略导向,管理运营层面实行一体化统筹与属地化落实的分工协作,监管层面实施穿透式监管,实现全级次、全链条、全过程、全要素覆盖。四是“关键”属性定义战略地位与风险等级。以网络安全、数据安全、系统安全和供应链安全四重防线构筑立体化安全屏障,保障极端工况下核心功能不中断、关键数据不失守、供应链不断链。五是“基础设施”属性揭示公共产品特质与长期服务定位。以资产全生命周期管理为主线,以客户全方位服务为导向,匹配民生保障和产业发展的差异化服务需求,构建面向多网融合的基础服务体系。

“蜂巢结构”重构六网协同治理框架。各网在规划权、标准体系和运行调度上长期分置,各自在权责范围内追求最优解,导致整体运行效率损失。为突破协同落地的组织关口,南方电网创新提出“蜂巢结构”的组织逻辑:多个“蜂格”(即一个基础设施要素)在同一地理边界内聚合为“蜂巢”。一是以“蜂格”聚合实现能量梯级利用。以多站合一“蜂巢”为例,楼内变电站、5G基站、边缘数据中心、换电柜、冷链前置仓等“蜂格”同处一个地理边界。变电站可就近直供数据中心,冷链低温冷媒可用于数据中心冷却,数据中心余热经热泵提温后可输入建筑供暖,同时虚拟电厂统筹储能与微电网发电,推动“蜂巢”从能源消费者转变为能源枢纽。二是以“动态锚点”推动跨网弹性协同。各网“蜂格”均可成为聚合锚点,调度权限和灵活性资源随运行瓶颈转移,瓶颈解除后各“蜂格”回到常态运行。例如,供电紧张时,边缘数据中心降频、换电柜有序充电、冷链前置仓调节负荷,服从电力平衡;通信流量高峰时,5G基站“蜂格”为锚点,边缘数据中心调整缓存与分发策略,冷链前置仓调整信息上传时序,换电柜调整充电时序。

■■电网是六网协同的核心底座与融合枢纽

其一,共建筑基重塑六网集约建设格局。一是以变电站为公共底座推动六网设施集约布局。变电站站址、进出线通道、土地空间具有天然集中性,在城区、城乡周边均可作为多网设施共同落地的空间载体,容纳数据中心、5G基站、物流站点、充电桩、储能等多元业务,减少各自征地、各自配套的重复投入。二是以电网网架通道为共享廊道推动路由协同布局。电网网架覆盖城乡、通道资源成网,可统筹通信光缆、给排水管、燃气管等跨网路由,从源头避免重复开挖布线。

其二,共享融网重构六网协同运营体系。一是电网调节能力可跨网共享并降低运营成本。在供水、冷链、算力中心等场景中,电费占运营成本普遍在40%至70%,源网荷储协同运行,通过多能互补、需求响应、储能充放直接压降用能支出。二是梯级用能链条可跨网延伸并持续提升能效。“蜂巢”内能量按梯次流动规则逐级承接利用,综合能效随利用链条延长而持续提升,运营成本同步下降。

其三,共治创态拓宽六网融合发展空间。一是充分复用电网调度运行可靠实践。电网调度覆盖发输变配用全环节,实时性、复杂度、可靠性要求居六网之首,超大规模实时优化能力经长期验证,可为跨网共治提供秩序基础。二是多网协同可催生新业态。资源跨网复用后,可催生电碳算协同交易、灵活性资源聚合交易、多站合一综合能源服务等新业态和商业模式。三是生态开放可推动六网协同从项目合作走向生态共建。在调度衔接和规则互认基础上,开放设施、数据、平台接口,形成算力、绿色能源、智慧物流、地下管网运维等融合市场。

■■南方电网以领先能力驱动六网协同升级

南方电网率先建成能源与数字复合底座。一是能源底座支撑大规模新能源接入与多能互补。南方电网已建成西电东送大通道与区域柔性互联骨干网架,清洁能源装机占比超过六成,配电网侧分布式光伏、储能、充电桩等海量资源已实现可观可测可控,为六网协同提供了灵活调节的能源池。二是通信与算力基础设施承载六网数据传输与实时决策需求。电力通信专网覆盖输变配用全环节,光缆总长度超过百万公里,可直接承载六网数据传输;云边协同的算力体系已部署至地市层级,可就地处理多网协同的实时决策任务。三是双底座融合形成规模化支撑能力。电网在同一物理载体上实现能源流与数据流深度耦合,形成其他网络尚不具备的复合服务能力,为六网协同规模化推广奠定技术基础。

南方电网调度控制体系在六网中保持领先。一是毫秒级动态调度能力构筑能源调配核心骨架。天权求解器作为电力行业规模最大的优化求解实践,可扩展为电、算、水、物联合优化模型,完成算力负荷、物流车辆充电、水网泵站用电等多元变量的跨网最优配置。二是设备状态数字化感知支撑调度精准决策。电网构建覆盖规划、建设、运维、退役全流程的数字化管理体系,“蜂巢”内多网设备状态可统一接入调度平台,跨网调度决策基于实时设备健康度精准调整。三是零中断供电保障筑牢关键设施安全底线。配电网自动化与自愈体系可实现故障毫秒级隔离与恢复,核心城市用户基本实现停电零感知,算力交易、应急指挥等跨网业务均以供电不中断为前提。

南方电网数智化能力是六网协同价值外溢的源头。一是终端互联互通能力支撑。伏羲芯片经低压智能开关等场景验证后,可嵌入算力网边缘设备、通信网物联网终端、水网智能水表、管网压力传感器等多元场景;电鸿物联操作系统已在电网内部完成近2700款终端适配,可依托电鸿实现跨网设备互联。二是全生命周期治理能力支撑。数字孪生平台在电网内部实现全局资源布局推演与运行状态精准映射,可依托电网已有平台实现跨网复刻。三是全局智能决策能力支撑。支撑南方区域电力市场超两百万项出清变量的高效计算,“大瓦特天象”气象大模型可将AI负荷预测准确率提升至98%以上,这种超大规模实时求解能力可扩展至六网协同场景。

■■南方电网夯实六网协同落地基础

六网协同场景在南方电网形成多元实践。一是以“多站合一”提供集约承载空间。已建成6项多站合一工程,广州220千伏棠下变电站园区实现变电站、数据中心、光伏、储能、充电一体化融合,用地节约30%至40%,年省电700万千瓦时,深圳已启动三期工程并推动模式向城市节点网络延伸。二是以电碳算协同运营平台提供绿色低碳算力调度服务。已于2026年5月在贵州完成全国首批电碳算协同撮合交易集中试点,首次将电力、算力与碳排放成本纳入同一市场协同配置,综合算力使用成本降低16%至33%。三是以可信数据空间和虚拟电厂为跨行业主体提供多元服务。可信数据空间入驻生态主体累计572家、上架数据产品328款,首批供需成果覆盖充电桩智能选址、重卡交能融合、电碳能效协同等场景;虚拟电厂全网聚合容量达1794万千瓦,最大可调容量超286万千瓦。

管制与竞争业务协同提升电网侧响应能力。一是管制业务筑牢安全底座并供好电。管制业务负责电网骨架建设、电力通道保障和安全底线守护,并将电网运行数据和安全规范开放给南方电网数字集团,支撑其完善产品。二是竞争业务拓展市场触角并用好电。南方电网数字集团依托电碳算协同运营平台、可信数据空间、电鸿物联操作系统等核心能力,在算电协同、交易撮合、标准融通三个方向拓展跨网价值,并将外部项目的用能需求与选址意向反馈至电网规划,形成保底稳基、增值反哺的闭环。

集约化、标准化、市场化建设推动跨网互联。一是以设施集约化布局提供空间承载。电网设施在规划建设阶段就为多网共用预留条件,以廊道管沟为载体预留通信光缆、给排水管、燃气管的敷设空间和接入容量,避免其他五网后续重复开挖。二是以接口开放和数据共享推动跨网互联。推动电网设备接口标准开放,使其他五网设备即插即用;依托电鸿物联操作系统统一数据格式与通信协议;依托可信数据空间实现跨行业数据“可用不可见”的安全交互。三是以市场化交易撮合实现跨域要素流通。推动虚拟电厂、储能、可调节负荷等灵活资源参与跨网市场交易,形成开放公平、多方共赢的生态。

六网协同的最终落点是全面提升民生福祉。南方电网将立足国家现代化建设全局,以数智电网为引擎,锚定全域枢纽核心定位,以新型举国体制优势整合跨行业资源、打通跨域治理堵点,让每一座城市更具韧性、让每一个家庭享有更安全经济的能源,为中华民族伟大复兴筑牢坚实的能源根基。

(作者系南方电网数字电网研究院股份有限公司董事、总经理、党委副书记)

上接1版

农村能源革命试点县从“浙”里出发

浙江省首座全生命周期零碳变电站——110千伏零碳变电站坐落在安吉。这座变电站融合“两山”理念与电网建设,是电碳协同典型示范。站内采用环保气体GIS设备,该项技术已纳入国家重点推广低碳技术目录。“目前,我们正规划建设500千伏、220千伏等更多零碳变电站,持续夯实低碳发展基础。”孙琦表示。

安吉在省内率先推动县域公交车、出租车“全电化”改造,实现公共充电桩“镇镇全覆盖、村村相连通”,构建15分钟充电服务圈。全县2万余户个人充电桩接入电网,县域各类充电桩年用电量1.18亿千瓦时,助力安吉县新能源车保有量占比突破31%,远高于8.9%的全国平均水平。此外,安吉还布局了车网互动示范,重点攻关大功率V2G技术,把传统直流充换电改造为大功率交流充换电,在大幅提升充电功率的同时,将设备成本降低90%,推动电动汽车与电网双向融合互动。

“以新能源重卡为例,目前安吉全县拥有三四百台,我们持续迭代升级新能源重卡的配套电池,满电状态下新能源重卡可行驶两百余公里,能够满足县域内短途转运需求;随着电池容量进一步提升,车辆可支撑跨区域出行。”孙琦说,除本地充换电站布局外,正在推进金华至宁波沿线充换电项目,依托高速公路服务区、休息站点布设大功率充能桩,保障干线货运通行。

安吉能源革命试点最能说明问题的是电力消费的变迁。十年来,电力在能源供给中的占比从60.48%跃升至68%,是安吉县域主要能源。目前,安吉可再生能源消费占一次能源消费总量比例达30.2%,增量占比达85%,可再生能源就地消纳电量在全社会用电量中占比达40.8%。

好风景长出好经济

安吉农村能源革命的每一步,都指向同一个落脚点——绿色电力使“生态环境更绿了,百姓腰包更鼓了”。

上世纪八九十年代,浙江省湖州市安吉县天荒坪镇余村因炸山挖矿、办水泥厂成为安吉有名的“首富村”,代价是山秃了、河污了。2003年起,余村陆续关停矿山和水泥厂。如今,余村已成为浙江省首个全域绿电供应乡村,居民屋顶光伏“碳普惠”全覆盖,每年接待游客上百万人次。

春林山庄主理人潘春林,已从当年的拖拉机手转型为农家乐经营者,从一年营业额不足10万元,发展到如今最高能突破1000万元,带动余村五六十家民宿集群发展。“过去靠矿山,现在靠生态,环境好才能赚到钱。”他告诉记者,“我们已经从单一的农家乐,逐步延伸,培育起本土旅行社、客运车队、文化培训、代订景区票务等配套业态,目前已形成一套独具特色的乡村旅游经营体系。”

“2020年至今,我们进一步通过招商引资引入第三方运营主体,重点培育生态经济业态。”余村村委委员唐继龙给记者举例,比如,我们将废弃矿坑改造为瀑布咖啡,将绿水打造为漂流,依托生态旅游吸引青年返乡创业。与此同时,我们还落地余村印象图书馆、小酒馆、影院等配套设施,不断丰富乡村业态,实现新一轮跨越式发展。

2025年,余村村集体经济收入已增至约1722万元,村民人均年收入达到约7.48万元,年接待游客约125万人次。

在安吉县溪龙乡黄杜村,好风景同样长出好经济。这个曾经的贫困村,靠着白茶实现“一片叶子富了一方百姓”。茶田层层叠叠铺满群山,往里走是溪龙“白茶原野集”,一间间原木小屋沿山道错落有致的排开,巨大的弧形遮阳伞撑开,这是各家茶场的摊位。木牌上写着白茶价目,布幔上印着“让喝茶的人先富起来”“早茶晚酒,烦恼没有”“生活无解,喝茶去野”……游人们围炉煮茶。“村集体投资1500万元,建成1.3万余平方米的‘白茶原野集’,目的是把观景、拍照与喝茶、体验、消费等分散活动串联起来,让茶山不止是风景,也能停留和参与。”黄杜村党支部宣传委员严婷婷告诉记者。

数据显示,今年“五一”假期,“白茶原野集”接待游客约12万人次。仅5月1日一天,游客量便突破2.3万人次。这两年,返乡创业的人几乎达到100%。

绿电赋能贯穿产业始终,国网安吉县供电公司为整个黄杜村炒茶季统一购买绿电,颁发“绿电炒茶”证明,并贴上“分时碳足迹标签”,让茶叶出口更有绿色竞争力。安吉县溪龙乡雅思茶场负责人薛勇深有感触:“绿电用上了,电价便宜了,炒茶成本降了,茶叶更具竞争力了。”

如今,黄杜村的“白叶一号”茶苗早已走进贵州、湖南、四川3省5县37个村。国网安吉县供电公司派出技术员远赴三省,从架线、变压器安装到茶机接入全程指导,“一片叶子再富一方百姓”的故事走出了安吉。

每度电可全生命周期溯源

“好风景长出好经济”,离不开优质的用电营商环境。安吉县刚刚入选国家能源局公布的现代化用电营商环境“三个一批”建设典型案例清单。安吉创新“一村一景”村网融合模式,按基础标准型、可靠保障型、环境融合型分类建设配电网,覆盖187个行政村;探索“一叶一椅”低碳转型路径,推广电气化炒茶专变168家,全国首创“工业碳效码”,助力县域支柱产业降碳升级。

目前,安吉累计投入配网资金18.45亿元,户均供电容量超12千伏安;绿电炒茶让安吉白茶收益提升30%、户均增收超2000元;“工业碳效码”为630余家规上工业企业赋码评级。

如今,安吉农村能源革命正朝着数字化、多元化、融合化方向深度演进,数字化、智能化技术成为驱动全域发展的“最强大脑”。

去年,安吉建成浙江省首个以农村能源革命为主题的县域能源大数据中心平台,集成能源大数据中心、电力负荷管理中心、迎峰度夏应急指挥中心等五大中心功能,录入煤油气电各类能源数据超过200万条,从服务政府、电网、企业、社会四个维度,为县域碳达峰碳中和指标测算提供大数据支撑。

今年4月,浙江省绿色电力数据服务中心“两山”实践创新基地落户安吉,率先打通省市县三级电网侧与企业侧绿电消费数据壁垒,实现每一度绿电全生命周期溯源可查、可核、可证。以安吉白茶为例,从生产到销售全流程碳足迹清晰可查、精准可控。安吉供电公司为黄杜村的炒茶季统一购买绿电,并出具“绿电炒茶”证明,茶罐上贴有“分时碳足迹标签”,清晰标注每一度电力消耗对应的碳排放实时记录,可全程溯源。

“数字技术正在重塑产业生态。”孙琦介绍,安吉县传统特色转椅产业中有大量出口企业,面临欧盟碳关税等外部压力,众多企业陆续开展碳足迹核算。在核算生产用电对应的碳排放时,企业沿用的是全省平均电碳因子旧数据,该数值偏高,因此企业纷纷提出诉求,希望实时获取电碳因子数据。为此,我们积极联合国网电科院、南瑞集团,依托碳效码3.0平台,率先试点“分钟级”电碳因子,贴上碳标签的转椅,全生命周期电力碳排放仅为传统工艺产品的37%。

面对欧盟碳关税压力,安吉已完成对县域35千伏至220千伏分压电碳因子的测算,构建企业客户资源一张图。截至2025年底,安吉已实现680余家规上企业碳效管理全覆盖。如今,围绕“一片叶子、一把椅子、一根竹子、一座村子”四大特色产业,安吉构建了绿色低碳服务体系,推动乡村能源消费提质升级。

此外,安吉还开发了适用于普通百姓的探索和应用,打造积分和交易两个体系,将分布式用户的零散碳减排量聚起来,化零为整进行交易,增加农村居民收入,引导乡村低碳化发展。

◎记者手记

农村能源革命终极答案是百姓鼓起来的腰包

■苏南

再次走进安吉,慢慢品出一句话:农村能源革命终极答案,从来不是千瓦时,而是老百姓腰包有没有鼓起来。走访安吉几个村,笔者看到了“进一步全面深化改革以促进社会公平正义、增进人民福祉为出发点和落脚点”的具体实践。

潘春林,从前是拖拉机手,靠着余村矿山讨生活,如今经营农家乐,一年营收最高能达千万元。以前还要备着发电机应急,现在全村用上绿电;在黄杜村,白茶生意搭上绿电,一枚碳标签,就是打开海外市场的敲门砖。

在安吉,年轻人陆续返乡创业,老人年年领到碳汇分红。茶园、民宿、露营地、充电桩……都依仗着稳定绿电“活起来、旺起来”。

农村能源革命不是搭几个项目就一劳永逸,而是扎根乡土因地制宜帮百姓“造血”。安吉的可贵之处,在于把绿电与民宿、白茶、转椅等本土生意绑定,使生态红利转变为百姓实打实的收入。正如安吉县溪龙乡雅思茶场负责人薛勇所言,“绿电对我们来说是两件事,一是牌子,带个‘绿’字,客户第一反应是没有污染;二是成本,降了成本就是利润。现在的年轻人不泡茶,那就换产品给他们吃茶。我们已经在琢磨抹茶、煎茶、茶饮料,这些新产品的制作都离不开电。”

很多地方衡量能源革命,习惯用绿电发电量论成效,但发电量只是一个数字,让老百姓腰包鼓起来,日子过得踏实,才是农村能源革命试点真正的答卷。安吉百姓增收、可持续“造血”式发展,为全国农村能源低碳转型提供了可借鉴、可推广的样本。