R深度观察

让更多绿电供得上用得好

——国家电网加快构建新型电力系统

本报记者　冉永平　丁怡婷

习近平总书记在党的二十大报告中强调，“加快规划建设新型能源体系”。《2030年前碳达峰行动方案》提出，构建新能源占比逐渐提高的新型电力系统，推动清洁电力资源大范围优化配置。

新型电力系统是新型能源体系的重要组成和实现“双碳”目标的关键载体。“当前，我国传统电力系统正向清洁低碳、安全可控、灵活高效、开放互动、智能友好的新型电力系统演进。国家电网争当能源革命的推动者、先行者、引领者，坚持发挥好电网‘桥梁’和‘纽带’作用，出台一系列举措推动能源清洁低碳转型。”国家电网有限公司党组书记、董事长辛保安表示。

助力实现“双碳”目标，国家电网如何推动源网荷储各环节协调联动？记者近日走进江苏、福建、四川等地进行了采访。

电源——

提升电力资源优化配置能力，支撑非化石能源高效开发利用

从成都向东驱车约两小时，记者来到四川资阳市乐至县。占地面积相当于30多个足球场的成都东1000千伏变电站建设正忙。这里，正是世界海拔最高的特高压交流工程——川渝特高压交流工程的重要组成部分。

“川西地区电量富余，川东中部地区供应紧张，我们既要打‘保供战’又要打‘消纳战’。”国网四川省电力公司董事长衣立东介绍，川西地区水能、风能、太阳能等清洁能源资源丰富，现有外送通道已满载运行，亟须新增通道。川渝特高压交流工程建成后，可进一步提高省内“西电东送”能力，既满足川西地区清洁能源高效送出需求，也提高成渝地区双城经济圈的供电保障能力。

往东千余公里，跨越长江、“北电南送”的扬州—镇江±200千伏直流输电工程同样施工火热，这是国内首个交流改直流工程。目前，江苏99%的风电和67%的光伏发电分布在苏北地区，富余电力需通过跨江通道送至苏南地区消纳。

“受生态保护、成本等因素限制，长江江苏段很难再新建其他跨江输电通道。扬镇直流工程相当于把‘小石桥’改造成‘大跨桥’，投运后将增加120万千瓦输送容量，约占镇江最大用电负荷的25%。”国网镇江供电公司副总经理马生坤说。

新型电力系统中，水、风、光等非化石能源发电将逐步成为装机主体和电量主体。然而，从全国看，这些清洁能源的资源和需求一直存在逆向分布问题，水能资源主要集中在西南地区，风光资源大部分集中在“三北”地区，而用电负荷主要位于东中部和南方地区。

与煤炭方便远距离运输不同，水、风、光等资源只能就近转化为电能，再通过电网送到负荷中心。这样一来，推动跨省跨区输电通道“联网”、省内主网架“补网”，提升电力资源配置能力就显得尤为重要。

截至2022年底，国家电网累计建成33项特高压工程。“十四五”期间，国家电网将持续完善特高压和各级电网网架，服务好沙漠、戈壁、荒漠大型风电光伏基地建设，支撑和促进大型电源基地集约化开发、远距离外送，力争2025年公司经营区跨省跨区输送电量中，清洁能源电量占比达到50%以上。

风光等新能源“靠天吃饭”，具有间歇性、随机性、波动性等特点，随着其大规模高比例接入，除了保障“送得出去”，还要着力解决弃风弃光问题、推动“消纳得了”。这就需要它们与煤电、气电等常规电源“打好配合”。比如，风电光伏出力高峰时，常规电源就需压低发电出力、为其让路，而这也意味着常规电源发电收入的减少。

那么，如何通过市场化方式激发常规电源调峰的积极性，合理补偿调峰电厂的成本？调峰辅助服务补偿机制提供了解决方案。

“今天风光发电出力较大，需要1、2号机组执行深度调峰。”这天一早，国家电投协鑫滨海发电公司当班值长李钊接到国网江苏省电力调控中心发布的调峰需求。两小时后，1、2号机组的出力负荷从50万千瓦平稳降至30万千瓦。“之前我们通过江苏调峰辅助服务系统提前申报了两台机组的调峰能力。今天响应了40万千瓦的调峰需求，预计能获得100多万元补偿。”目前江苏已有109台燃煤发电机组完成了深度调峰能力改造，装机容量占全省30万千瓦以上统调燃煤发电装机容量的93.1%。

国家能源局数据显示，2022年，通过辅助服务市场化机制，全国共挖掘全系统调节能力超过9000万千瓦，年均促进清洁能源增发电量超过1000亿千瓦时；煤电企业由辅助服务获得的补偿收益约320亿元，灵活性改造的积极性有效提升。

电网——

强化前沿技术布局，保障电网安全稳定运行

“双碳”背景下，可再生能源将大量替代化石能源，电动汽车、分布式能源、储能等交互式用能设备广泛应用，对电力系统安全、高效、优化运行提出更大挑战。作为连接电力生产和消费的关键平台，电网企业亟须强化前沿技术布局，保障安全稳定运行。为此，国家电网做了不少探索。

——应用数字孪生技术，为电网运维装上“千里眼”。

按下启动键，一架黑色无人机缓缓升至120米高空，按照预定轨迹巡检电塔。“以前运维人员拿着望远镜抬头看，难以精准发现问题，效率也不高，一座塔需要两名运维人员巡检半小时。现在有了无人机，巡检只需10分钟。”国网徐州供电公司输电运检人员王一丁介绍。

2022年，江苏电网无人机自动巡检作业量超过52万架次，提前发现、消除输电铁塔缺陷及通道隐患4.2万处，缺陷发现效率大大提升，由此可节约运维成本约2亿元。

电网运维效率提升、成本下降，离不开全息数字电网对上亿千瓦负荷的大电网进行数字化呈现。

江苏方天电力技术公司大屏上，无人机巡检坐标点、危险类别、实测水平距离等详细信息一目了然。“全息数字电网覆盖了10万多公里架空输电线路、28万多座输电杆塔以及输电通道地形地貌数据。这相当于用数字孪生的方式，给电网运维装上了精度达厘米级的‘千里眼’，能够实现输电通道环境状态智能评估报警、无人机自主巡检航迹规划等功能，提升输电线路智慧运检水平。”公司总经理张天培表示。

——配网负荷精准“画像”，调度研判时间大幅缩短。

把电网主网比作“主动脉”，连接千家万户的配电网则相当于“毛细血管”，直接关系“最后一公里”用电问题。相比主网，配网设备多而分散，出现重过载、低电压等故障后，若不及时发现处理，很容易影响可靠供电。

在四川资阳，配网负荷精准“画像”系统起了大作用。今年春节前夕，当地用电负荷大幅攀升。“配电线路负载率达89%”——1月16日傍晚，国网资阳供电公司的调度员蒋祥玲在电脑前收到异常提醒后，借助“画像”系统推荐的负荷转供方案，在1分钟内下达线路转供指令，负载率迅速下降至65%，而过去靠人工计算研判平均需15分钟以上。

“‘画像’系统基于现有调度、运检、营销等数据，通过配网状态估算等技术，可准确感知配网线路和设备的运行状态，精准定位问题、提供解决方案。”国网资阳供电公司总经理栗璐介绍。

——多端互联微电网，实现多能互补和时空互济。

搭乘轮渡登上福建湄洲岛，宫下码头的“彩色光伏”风雨廊映入眼帘。漫步岛上，充电桩、移动储能车等设施星罗棋布，周边还布局着许多海上风电机组，送出源源不断的清洁能源。

去年7月，首个多端互联低压柔性微电网在此投运。“我们选取岛上轮渡码头、宫下村、朝圣停车场等5个片区，形成环网，让不同片区间实现多能互补、时空互济。”国网湄洲岛供电公司总经理王瀚赜说。

不仅如此，过去岛上光伏发出的直流电，在并网时首先要转换为交流电，送到直流充电桩等用户侧设备时，又需再转换为直流电，由此造成电能损耗。“我们的项目创新应用了光伏、充电桩直流并网技术，减少转换环节，实现了光伏电量就地就近高比例消纳。”王瀚赜说。

国网福建省电力公司董事长阮前途说，接下来福建电力部门将年均投入近百亿元，实施配电网提升三年行动，加快建设“数字闽电”，支撑接入各电压等级、各类型电源和负荷，兼容各形态电网运行方式。

负荷——

引导更多负荷侧资源成为可生产电能的“产消者”，因地制宜推动电能替代

在新型电力系统中，工业可调控负荷、电动汽车、储能等负荷侧资源不再是单纯消耗电能的“消费者”，而是既消耗电能又可生产电能的“产消者”。比如，电力用户利用屋顶建设光伏发电，富余时可以把电卖给电网，不足时从电网买电。电动汽车可以在用电低谷时充电，在用电高峰时向电网放电。负荷侧与电网灵活互动，可使电力系统的调节能力大幅提升。

“听说这里有V2G（车网互动）技术，我过来‘尝尝鲜’。电动车放了30度电给电网，充电账户返了90度电。”在江苏常州新型站网互动示范中心，电动汽车车主蒋梦迪体验了一把“模拟需求响应”。国网常州供电公司市场及大客户服务室主任李敏介绍，借助V2G技术，电网负荷较高时，电动汽车能够反向送电给电网，可达到削峰填谷的效果。

国网江苏省电力公司董事长谢永胜介绍，接下来，江苏电力部门将坚持“需求响应优先、有序用电保底、节约用电助力”，支持各类负荷资源的全接入、全监测、全管理和全方位服务，持续提升负荷管理水平，深挖各类可调节资源，引导更多资源参与需求响应。

当前，各领域还在积极推进以电代煤、以电代油等，提升终端用能清洁化、低碳化水平。

福建武夷山，片片茶园满目青翠。来到皇龙袍茶业的加工厂，工作人员正忙着调试摇青机、热风炉、揉捻机、焙茶机等设备，为制茶季作准备。

炭焙，是制作武夷岩茶的一道关键流程，传统做法是将木炭倒入焙坑燃烧，再盖上一层细灰，将茶叶焙透。如今，工人在焙茶机的屏幕上，就能设定焙茶的空气温湿度、通风强度、翻茶状态等，确保茶叶均匀烘焙。

“过去师傅每隔半小时要翻一次茶叶，时间长的要十几个小时。1个炭焙房12个焙笼，每烘焙一次就要消耗60多公斤木炭，成本高也不够环保。”皇龙袍茶业负责人王剑锋说，目前茶厂80%的生产流程已实现电气化，较改造前增产35%，平均综合用工成本降低20%。“2020年开始，我们联合相关企业研制类炭焙工艺电焙茶设备，相比传统工艺可节省约4/5的能耗费用，减少二氧化碳排放，烘焙增香效果也很接近。”国网武夷山市供电公司副总经理吴宏涛介绍。

推进以电代煤、以电代油等，有助于增加新能源消纳能力，助力实现“双碳”目标。新型电力系统中，终端用能领域的电气化水平将逐步提升。在江苏，全省累计推动建成各类全电厨房1万余个，推广空气源热泵等粮食电烘干设备6000余台；在四川，成都空港花田打造全电景区，观光车、商业餐饮、花田浇灌等设施实现全电化；在浙江，宁波累计投资建设13套智能高压港口岸电，实现宁波港集装箱港区高压岸电全覆盖……“十四五”期间，国家电网经营区域预计替代电量达到6000亿千瓦时以上。

储能——

多技术路线发展储能，支撑电力系统实现动态平衡

“5、4、3、2、1，开始！”随着指令下达，一阵轰隆隆的声音传来，位于四川阿坝藏族羌族自治州小金县的春厂坝抽水蓄能电站正在开展变速抽水蓄能功率响应试验。

“就响应速度来说，常规抽水蓄能是分钟级，变速抽水蓄能可做到百毫秒级，而且功率可大可小，相当于可快充、可慢充。”国网四川电力科学研究院副院长丁理杰解释道，光伏发电出力跟天气紧密相关，“即便晴天时飘来一朵云，光伏发电出力也会突变，这时就需要变速抽水蓄能平抑光伏出力的快速波动。”

“十四五”时期，四川还将推进大邑、道孚及一批条件较为成熟的抽水蓄能项目建设。此前几乎没有建设过抽水蓄能电站的水电大省四川，开始大力推进储能建设，可见电力系统调峰调频的需求正在增加。

加快构建新型电力系统，需要储能这个“超级充电宝”来配合常规电源，提升电力系统调节能力和灵活性。

在国家电网经营区内，不同储能技术路线“百花齐放”。在江苏，金坛盐穴压缩空气储能电站每年可节约标准煤3万吨，减少二氧化碳排放超6万吨；在安徽，国网安徽电力投资建设的六安兆瓦级氢能综合利用示范站，首次实现了我国兆瓦级制氢—储氢—氢能发电的全链条技术贯通，为解决长时间大规模电能存储提供了技术验证；在福建，在建的宁德霞浦渔洋里储能电站，采用了全液冷电池冷却系统、全数字化模式等先进技术……国家电网表示，下一步将加快抽水蓄能电站建设，力争2025年、2030年公司经营区抽水蓄能装机分别达到5000万千瓦、1亿千瓦；支持新型储能规模化应用，预计2030年公司经营区新型储能装机达到1亿千瓦。

记者同时在采访中发现，新型储能和抽水蓄能形成足够支撑能力尚需时日，新型储能的技术安全性和经济性仍需提升，抽水蓄能虽技术相对成熟，但建设周期较长。在未来很长一段时间内，煤电仍是电力供应安全的重要支撑。支撑“双碳”目标实现和电力系统稳定运行，煤电机组还需要持续开展灵活性改造和节能减排改造。

去年夏天，四川遭遇极端高温干旱天气，平均降水量较常年同期偏少51%，部分时段电力供应出现紧张。四川电力交易中心研究策划部主任李晨介绍，四川水电装机占全省装机容量的78%，风光等新能源装机占比6%，具有顶峰兜底作用的火电装机仅占16%。受资源禀赋等因素制约，近年来四川煤电装机占比有所降低，极端天气情况下火电难以弥补水电出力不足带来的电力缺口。针对电源多能互补性不强的问题，四川已经行动起来。《四川省电源电网发展规划（2022—2025年）》提出，抓紧建设支撑性、调节性火电项目，在成都等省内负荷中心、天然气主产区新增布局一批气电项目和应急保障电源。

构建新型电力系统是一场“马拉松”。“国家电网公司将坚持‘清洁低碳是方向、能源保供是基础、能源安全是关键、能源独立是根本、能源创新是动力、节能提效要助力’的原则要求，牢牢抓住绿色低碳发展有利机遇，凝聚各方合力，积极推进能源转型。”辛保安表示。

图①：国网江苏省电力公司运用无人机进行线路及周边环境巡检。　张晓闽摄

图②：国网福建省电力公司员工帮助用户检查光伏发电板。　郑　极摄

图③：国家电网白鹤滩至浙江±800千伏特高压输电工程四川段放线现场。　卢忠东摄

本版责编：韩　鑫　版式设计：张丹峰

R记者手记

适应能源转型　增强电网韧性

萧　然

构建新型电力系统，一个重要目标是推动风光水等零碳能源逐步取代高碳的煤电，并最终成为发电主体。

在电源侧，大力发展风光水等零碳能源是大势所趋。截至2022年底，我国可再生能源装机突破12亿千瓦，占全国发电总装机的47.3%。未来，随着新型电力系统建设逐步推进，这一比重还将进一步提高。

风光水等零碳能源的好处不言自明，但也存在突出弱点，就是“靠天吃饭”、人力无法左右，存在间歇性、随机性、波动性。一旦天公不作美，纵有再多装机也只能干着急。当风光水等零碳能源发电的比重过大，甚至成为主导，电网的稳定性就会受到影响。

换言之，电网能否经受住新能源发电不够稳定带来的压力，是新型电力系统能否顺利推进的关键。

我们欣喜地看到，电网企业已经积极行动起来，提前适应变化。比如，江苏建成全息数字电网、推广无人机自动巡检，福建推动制茶环节电能替代、减少二氧化碳排放，四川探索变速抽水蓄能技术应用、促进新能源高效消纳，安徽建成虚拟电厂吸引电力用户参与削峰填谷等。有理由相信，随着“源网荷储”共同发力，电网的韧性将不断加强，构建新能源占比逐渐提高的新型电力系统目标一定会顺利实现。