

当代人的“理想国”，在浙江乡村里

——国网浙江电力在深入践行“千万工程”上走前列作示范

■ 张悦 杨佳慧 吕琳轶 王姝晏

二十二年潮起潮落，浙江乡村换了人间。

从“七山一水二分田”的先天约束，到富庶鲜活的一方热土、我国城乡发展最均衡的省份之一，这份由表及里的变化，源自浙江持之以恒实施了20余年的“千万工程”。

以乡村人居环境改善为切入口，20余年间，“千万工程”持续丰富新内涵，从浙江走向全国，由一项民生工程转化为推动中国乡村全面振兴的一项战略工程。

11月18日至19日，全国学习运用“千万工程”经验推进乡村全面振兴现场会在浙江嘉兴召开。作为较早一批投身“千万工程”建设的非政府单位，国网浙江电力20余年的赋能之路清晰可见。

■ 连城乡，让乡村生活与城市同频

“101”这个数字，对于此次现场会的第一站——嘉兴南湖区凤桥镇三星村来说，有着特殊的意义。

21年前，时任浙江省委书记习近平同志搭乘嘉兴首批城乡公交线路——101路城乡公交车，来到三星村，调研统筹城乡发展工作。

彼时的浙江，正面临一道亟待破解的不等式。地区生产总值年均增长13%以上，但1997年至2003年，城乡居民收入比从2:1扩大到2.43:1，人居环境、基础设施的差距肉眼可见。仅从用电看，尚存“无电户”近3000户，涉及无电人口7786人，大都位于偏远山区和偏僻海岛。

101路公交，让城与乡渐行渐近，城乡一体化发展的维度却不止于此。

2003年“千万工程”启动之初，刚成立不久的国家电网公司便明确农电发展战略，将示范村、整治村优先列入电气化建设名单，持续加大农村电网投资力度。

2006年，浙江比全国提前4年实现“户户通电”，成为全国首个完成该工程的省份。2014年，所有行政村完成电气化改造，每一户乡村家庭都接入发展的快车道。

22年深耕，城乡电力鸿沟逐渐消弭。截至2024年，浙江乡村供电可靠率达99.988%，超国内城市平均水平，户均停电时间降至1.05小时，与城市差距仅41分钟，较2021年降幅达70.4%。山区、海岛与杭甬都市圈的年户均停电时间差，从2021年的5小时收窄至1.5小时。

这份“同频”，还在生活便利度的“城乡等值”。

如今，101路公交车也早已迭代升级为碳纤维新能源客车。村里建成的“光储充”一体化幸福充电站，正为101路公交、周边居民车辆及网约车提供稳定补给。截至今年7月，浙江已累计投运乡村新能源汽车充电站6193个、充电桩4.82万个，乡镇充电桩覆盖率达99.6%。

此外，国网浙江电力构建“1+N”供电服务网络，345个“村网共建”服务点让“办电不出村”成为常态。“跨省通办”免去村民奔波之苦，跨省重大项目的办电时长大幅减少50%以上。

电力+关爱老人、电力+返乡指数、电力+绿色出行等电力大数据从村间院落、乡野大地中汇入乡村智慧能源服务平台，与乡村治理的方方面面深度融合。

■ 赋千行，让乡村产业与时代同步

从三星村一路向西，桐乡崇福农创园里，一片繁盛。直播间大棚里灯火通明，数十名主播对着镜头热情推介，摄像机、恒温展示架、专业收音设备全天无休，后台订单提示音不断，特色花卉借电力东风销往全国。

“现在直播就是农活，手机成了新农具！”被大家亲切称作“种花王大爷”的80后创业者王鼎笑着说。如今他全网圈粉400万，单天销售额最高超60万元，日子过得愈发红火。

20年前，浙江乡村产业多是“小作坊”模式，水产养殖怕断电，农产品加工缺动力。如今，国网浙江电力正让乡村产业从“靠天吃饭”走向“智慧赋能”。

自2016年桐乡农创园建设之初，当地供电公司便量身定制电网升级方案。投建8台400千伏安配变，新建及改造线路7.6公里，满足育苗恒温控制、冷链存储、直播设备高负荷运转等复合需求。客户经理定期上门用电“体检”，排查线路老化、设备过载等隐患，用专业服务筑牢产业发展的电力底盘。

从“小打小闹”到“全链共富”，电力赋能让乡村产业焕发新生。青莲未来牧场的“嘉兴黑猪”全产业链，处处可见电力的身影：智能耳标靠电传输采食、体温数据、电动饲喂机精准投料，绿电冷链车保障运输，消费者扫码即可溯源。牧场每头猪养殖用工从25人降至3人，人力成本降低超80%。

万千乡村，“电力+产业”的故事遍地



▲图为国网嘉兴供电公司员工来到凤桥镇三星村水蜜桃品控中心开展用电检查。 倪圆圆/摄

开花。绍兴新昌县整合103座小水电站实现梯级集群调控，为350家规模以上企业定制“一企一策”能效方案，这个仅41万人口的山区县，如今已培育出16家A股上市公司；温州泰顺茶企依托稳定电力深耕深加工，茶叶远销欧洲市场；台州玉环文旦基地以电力驱动智能分拣机，精准分级让产品价值直接翻番。

抱团强村，连锁共富。截至目前，浙江省已建成单产超10亿元农业全产业链126条、总产值3216亿元，全产业链吸纳从业人员470万人。2024年，浙江农村居民人均可支配收入达42786元，同比增长6.1%，连续40年领跑全国。

一组用电量数据同样印证。2021—2024年，浙江乡村居民生活用电年均增速15.3%，超过城镇8.4个百分点，乡村与城镇户均用电量差距从1813.0千瓦时/户持续收窄。2023年，乡村户均用电量首次反超城镇。

老房子、新业态，原乡人返乡、新乡人入驻。浙江的乡村，正逐步回归一种自信的生产生活状态。

■ 焕新绿，让乡村现代化满是奔头

党的二十届四中全会提出，加快农业农村现代化，扎实推进乡村全面振兴。推进宜居宜业和美乡村建设，提高强农惠农

富农政策效能。农业农村现代化的底色，藏在浙江乡村的绿意里。国网浙江电力搭建的“绿电生产—高效消纳—价值变现”生态闭环，因地制宜推动农业新质生产力发展，让农业发展有了新路子。

湖州安吉县余村的李师傅最近总爱翻看手机银行，看着账户里新增的400多元，嘴角忍不住上扬。“以前屋顶大多闲着，当初装光伏也就是赶个潮流，哪能想到现在既能卖电，还能‘卖碳’！”

今年年初，余村实现居民光伏普惠全覆盖，将2022年以来乡村居民屋顶光伏发电量折算成碳减排量，集中汇集后到碳交易市场统一交易。“绿水青山就是金山银山”理念，在浙江人民的幸福日子里生根发芽、开花结果。

作为全省首个全域绿电供应乡村，村里的民宿换上了“绿电标识”，客房卡片上“绿电供应100%”格外显眼。“住零碳民宿、吃绿色农产品”成了乡村旅游新潮流。2024年，余村接待游客达122万人次，实现村集体经济收入2205万元。

同样尝到绿色甜头的，还有舟山登步岛的养殖户们。鱼塘上12.7万块光伏板在阳光下泛着粼粼蓝光，板下的青蟹膘肥体壮，最大单只重量超2斤。“水上发电、水下养殖”的渔光互补模式，让一亩地生出“双倍价值”。项目年输送绿电0.85亿千瓦时，

减少碳排放6.91万吨。养殖户们既卖蟹赚钱，又能分光伏红利。

而在“千万工程”源起地——杭州市梅林村，绿色发展的图景添了几分智慧底色。俯瞰村落，屋顶分布式光伏、小型风力发电机、绿色充电桩、智慧健康小站、数字公交站、数字跑道等现代化绿色场景随处可见。村里所有低碳项目均已接入“双碳大脑”数智平台，629户农户的用电通过平台即可实现智能分析和预警管控。

乡村现代化的奔头，不止于收入增长，更在于均衡发展的底气。

浙江“七山一水二分田”的格局，曾让“浙北强浙南弱”的差异难以避免，但电力正成为穿越山海的纽带，让山区的生态优势逐步变成经济优势。在衢州，80%的光伏渗透率让这里成了浙江的“青海”，1万余户分布式光伏项目散落乡村山野，每年为村民增收约4000万元。全国首个水光氢生物质近零碳示范工程在丽水缙云投运，低(零)碳试点村在全省铺开，光能、风能、氢能、生物质能等新能源布局乡间，让绿色能源在乡村流淌自如。

观念一变天地宽，浙江万千“绿色经济”不断丰富着“千万工程”的内涵。截至2024年，浙江城乡居民收入比从2003年的2.43缩小至1.83。

生态美、产业兴、百姓富。每一份奔头，都藏在青山绿水间，掷地有声。

36亿千瓦！数字孪生电网将如何托举？

■ 孙世明 朱虹璇

9月24日，国家主席习近平在联合国气候变化峰会上发表视频致辞，宣布中国新一轮国家自主贡献：到2035年，中国全国范围温室气体净排放量比峰值下降7%-10%，力争做得更好。非化石能源消费占能源消费总量的比重达到30%以上，风电和太阳能发电总装机容量达到2020年的6倍以上、力争达到36亿千瓦。

36亿千瓦！这一令世人瞩目的数字，是中国向世界作出的“绿色承诺”，是推动构建人类命运共同体的大国担当。新能源的蓬勃发展，将是一场能源体系向低碳转型的深刻变革，也是一次驱动社会绿色、可持续、高质量发展的重大机遇。随着清洁能源“走进”千家万户，每个人都能用上更安全、更清洁、更实惠的“绿色”电力。

优化电网运行控制体系是提高国家能源安全和保障能力的题中之义。数字孪生技术的探索与应用以其精准推演、全局仿真、智能调控的优势，有望成为有效支撑36亿千瓦绿色装机目标落地的关键举措之一。

■ 新能源“成长的烦恼”

据测算，未来十年，我国将每年新增超2亿千瓦的新能源装机。电力系统向“新”而行，新能源大规模并网，带来了波动性大、支撑力弱、互动性强等考验，对电网运行控制体系的挑战与日俱增。

一是波动性掣肘，电网供需难平衡。我国资源禀赋与负荷中心呈逆向分布，“发电在西北、负荷往东南”的格局，导致新能源发电需要特高压大规模远距离输送。在36亿千瓦的新目标下，新能源必将成为满足负荷增长需求的核心电源、煤电的功能定位相应由基础电源转向调节与保障性电源。与传统电源“因需而动”不同，新能源“靠天吃饭”，输出时有时无，而电力本身高速传输、无法储存、发用瞬时平衡，导致供需易错开、难匹配。特别是高温、寒潮等极端天气和自然灾害频发，空调等调温负荷规模大、攀升快，电力供需极易形成巨大

“剪刀差”，成为电网系统面临的新难题。

国家能源局公布的数据显示，截至2025年8月底，我国太阳能、风电装机已达约17亿千瓦，风光装机占比超过46%。业内普遍认为，新能源装机容量占比超过50%时，电网将面临出力波动性、间歇性等系统性风险，平衡难度大。

而现在，我国青海、甘肃等地电网新能源最大出力占比已经超过80%。若要在2035年实现36亿千瓦的目标，未来十年需新增约19亿千瓦，相当于100多座三峡电站的总装机。在新型电力系统加快建设的背景下，新能源装机比例必将继续攀升，电网安全面临前所未有的挑战。

二是支撑力不足，电网安全换机理。传统同步发电机保障电网安全的关键在于“转动惯量”，这是风力发电所不具备的能力。新能源场站并网需要变流器、逆变器等大量电力电子设备，这些电力电子设备以微秒级速度开关，导致发电出力骤升骤降，给电网安全稳定带来严重威胁。

这一本质差异让电网出现故障的形式和故障连锁反应的特点发生根本改变。系统抗干扰能力变差，频率、电压的稳定性弱，小故障可能引发快速的连锁反应，传统安全防御体系面临失效，在部分实际运行场景下，现有稳定分析与控制理论及技术体系的有效性边界已逐渐显现。今年西班牙、葡萄牙新能源出力骤然爬升至70%，系统安全裕度降低，局部故障引发的大停电蔓延至整个伊比利亚半岛，给我们敲响了警钟。

三是互动性升级，调度控制变复杂。36亿千瓦的装机推动新能源产业快速发展，除了大规模集中式新能源场站之外，分布式电源、电动汽车、储能设备等也将快速增长。这直接导致电网的调度对象从过去的几百个大型电厂，变成了千万级分散的电力设备。配电网从“只用电不发电”的无源网络，变成了“又用电又发电”的有源网络。电流潮流方向也从过去的“单向输送”变成了“双向流动”。

相应地，电网调度模式将从“发电跟着用电走”变为“源网荷储”协同优化，调度员的角色会从安排发电的“键盘手”变为协调

各方资源的“乐队指挥家”。这必须依靠智能数字平台、超强算力与先进算法的支撑才能实现，整个调度系统的复杂程度大幅提高。

■ 数字孪生电网“未来已来”

简单来说，数字孪生就是为物理世界的实体在数字空间构建一个1:1的“双胞胎”——既能实时反映物理实体的状态，又能推演未来变化，为新型电力系统运行控制技术发展带来重大机遇。

数字孪生电网，不是简单的3D示意图，也不是传统的离线仿真工具，而是一个“会思考、能决策”的智能系统。随着新能源占比的逐年提升，电网呈现出结构更加复杂、设备更加繁多、技术更加庞杂的发展趋势，数字孪生电网通过全方位采集电网实时数据，进行数字化映射模拟，利用通用技术建模预测，推动电网运行控制从经验调度向智慧调度发展。

超前推演：风险早预防，保用电无忧。夏季停空调、冬季断暖气，是大家遇到就会闹心的用电问题。数字孪生电网就像“预言家”，通过挖掘过往发电、用电规律，结合气象预测、地理数据等信息，采用人工智能计算，能提前数小时甚至数天，精准预测新能源发电量与民众用电量，确保电网发电与用电之间的供需平衡。无论是平常日子，还是台风、高温等极端天气，数字孪生电网可以评估电网的承载能力、最大供电量等，帮助工作人员提前准备，防范风险。

如遇高温天，它会提前发出此类预警：“下午2点云量增多，光伏发电预计减少20%，用电负荷预计增长30%。”工作人员据此及时调配储能、开启备用电源，同时可以向公众展示调度原理，让大家明白保障措施的目的，从而舒舒服服吹空调，完全不用担心中途“拉闸”。

基于精准预测，36亿千瓦新能源能得到更合理地利用。这将减少化石能源消耗与污染物排放，给地球“减负担”。

仿真验证：试错低成本，护电网安全。传统电网若直接开展试验，无论是设备升级小偏差，还是政策调整小疏漏，都可能引

发居民停电、企业停产，既费钱又危险。比如2024年的欧洲电网，因软件升级导致交易所脱离市场，引发多国电价极端波动。这类风险在数字孪生电网应用后，完全可以避免。

数字孪生电网搭建了高保真的“虚拟试验场”，能像显微镜一样观察电网波动、识别潜在规律，精准模拟设备故障、负荷波动、极端天气等各类复杂场景。深度分析高比例新能源电网的运行趋势，最大限度避免类似于西班牙、葡萄牙经历的大停电事件。无论是新设备测试、调度方案策划，还是电价效果推演，都能在虚拟空间无限试错：提前摸清风险，不用花“冤枉钱”，不用担心引发安全事故，甚至还能帮助大家推算出更经济的用电方案。

闭环控制：调分散资源，赚补贴双赢。如今，许多家庭都拥有家用光伏板、电动汽车电池、小型家用储能等“碎片化”电力资源。以往，这些资源产生的电力要么白白浪费，要么在用电高峰时充电加重电网负荷，难以发挥实际价值。

数字孪生电网则将这些分散的电力资源全面“纳入麾下”，实时监测家用光伏发电量、电动汽车电池剩余容量、家用储能设备储电状态，再结合区域用电负荷，精准判断电网供需情况。一旦面临用电高峰、电网缺电，系统可以通过电力服务平台实时向用户发送邀请：“当前区域用电紧张，您家可向电网输送2度电，还能获得补贴。”

用户点击“确认”后，家中的电力平稳输送至电网，且可以实时查看电力输送进度、补贴到账情况，整个过程透明可追溯。这既有效缓解了区域用电压力，又让用户赚取了额外福利，实现妥妥的双赢！

■ 筑牢能源安全“国之大者”

电网运行控制系统，既是高效稳定的“指挥大脑”，又是构建数字孪生电网的“智慧内核”。国电南瑞始终立足“国之大者”，以自主创新为核心驱动力，长期深耕电网运行控制核心技术，其发展历程与我国电网的升级迭代同频共振，循着清晰的时间轴线，正走着一条从技术突破到场

景落地的进阶之路。

从研制新中国第一套电网监控系统起步，历经长期技术积累与迭代，国电南瑞以自主创新成功实现从“跟跑”“追赶”“并行”到“超越”“领跑”的变化，高比例新能源电网运行控制、城市电网多时空联合预警与超前控制等多项核心技术处于国际领先水平。

肩负“提高国家能源安全和保障能力”重大使命，国电南瑞聚焦数字孪生电网的“技术研发”，将产业创新和科技创新相融合，努力实现规模化应用“场景落地”。目前，国电南瑞依托电力行业重大问题联合攻关团队，牵头开展中国电机工程学会“基于数字孪生电网的新型电力系统运行控制体系研究布局与技术实现路径”课题研究，加快建设数字孪生实验室，全力构建基于数字孪生电网的新型电力系统运行控制体系，在统一数据底座、电力调度科学智算、全过程在线仿真、多时序全要素平衡等方向发力，推动电网控制模式向“以虚预实、以虚优实、虚实共生”的高级形态演进。

未来，数字孪生电网全面投入运行，电网调度中心将呈现出全新的场景：调度大厅巨大弧形屏幕上不再是静态的电力线路图，而是与实体电网完全同步的动态镜像——每一台风机、每一座铁塔、每一台变压器……都在虚拟空间中以流光溢彩的数字化展现，实时闪烁着电压、电流、功率等关键运行数据。

可以想见这样的场景：调度员轻触屏幕，界面即刻切换至区域新能源运行看板。读罢数据，只见他将手指向右拖拽，数字孪生电网瞬间“穿越”到黄昏时刻，快速计算并显示发电和用电负荷情况。调度员盯紧屏幕上的动态仿真曲线，确认储能电站、备用电源的调节能力是否可完全覆盖缺口。待到日落时分，实体电网的实际运行数据与数字孪生镜像中的预测结果完全吻合，无需人工核算，数字孪生电网已提前完成所有决策与验证。

这美好的时刻，正是数字孪生电网默默守护的成果——它以科技的力量，让绿色能源平稳流淌，让每一盏灯都明亮如初，让36亿千瓦目标下的美好生活照进现实。