

随着我国风光发电规模不断增大,如何构建新型电力系统、做好新能源消纳工作备受关注。作为清洁能源大省,福建省持续完善清洁能源结构,构建了“水核风光气储”多元供给体系,并实现清洁能源完全消纳,让更多绿电“供得上”“用得 好”,将能源优势转化为产业升级的澎湃动能。

截至2025年4月底

福建省电力总装机容量达
▶ 9228万千瓦

其中 清洁能源装机比重达 ▶ 56.7%

发电量占比 ▶ 53.6%

截至2024年年底

福建省海上风电装机容量达
▶ 381.8万千瓦

占总装机容量的4.25%

风电连续多年实现100%消纳

近年来,我国新能源产业发展迅速,尤其是风电、太阳能光伏发电突飞猛进。然而,随之产生的新能源消纳问题日益凸显,尤其在新能源富集区弃风弃光现象时有发生。如何将清洁能源完全消纳成为当前亟待破解的难题。

位于东海之滨的福建省是清洁能源富集区,坐拥全国第二长海岸线、年均风速超过9米每秒。依托核电、海上风电、光伏发电“三驾马车”,福建正将得天独厚的自然资源禀赋转化为源源不断的发展势能。截至2025年4月底,福建清洁能源装机比重达56.7%,发电量占比53.6%。福建如何在装机占比过半的情况下实现高效消纳? 又是如何不断完善能源结构的?

能源结构嬗变:
从单一水电到多能互补

福建省福清市兴化湾的蔚蓝海域上矗立着数十座百米高的白色风机,巨大的叶片徐徐转动,将风能转化成电能。三峡集团福清海峡发电有限公司电力生产部副经理蔡正伟介绍,这片海域上共有59台风机,年发电量达12亿千瓦时。

从这里发出的每千千瓦时电,都会实时显示在国家电网福建省电力有限公司调度控制中心的巨型屏幕上。该中心副主任宋少群说,这是掌控福建全省电网运行和发电调度的“能源大脑”,屏幕背后是一场持续多年的能源革命,从单一水电依赖到多能互补的清洁能源体系改写了福建用能“靠天吃饭”的旧叙事。

福建能源结构的嬗变,始于对自然规律的深刻认知。福建水系密布,是我国沿海水电资源密度最高的省份之一。其中,闽江是福建省最大独流入海河流,全长约577公里,流域面积约占福建省陆域面积一半,多年平均径流量达620亿立方米,水电资源丰富。

位于闽江干流中段、闽清县境内的水口水电站是华东地区最大的常规水电站,水口集团公司党委书记万美芳告诉记者,水口水电站充分利用库前的520亿立方米闽江水作为可调节水能资源,30多年来累计输送清洁电能1700亿千瓦时。水电在福建清洁能源装机中的比重达32.9%,其中水口水电站在水电装机中的比重达9.4%。

然而,当水电装机容量比例过高且多为调节能力弱的中小水电时,“绿色动脉”就成了制约发展的“双刃剑”——旱季来水锐减导致电力供应能力不足,雨季集中来水又会造成弃水浪费,暴露出单一能源结构的脆弱性。

为破此局,福建加快电力结构调整。2005年底,福建火力发电装机容量达934.54万千瓦,首次超过水电装机,改善了福建因水力发电装机容量比例高而“靠天发电、靠天吃饭”的供电局面。

党的十八大以来,福建省发挥区位优势,加快发展核、风、光、气等清洁能源,大力调整优化能源结构。

国网福建电力调控中心水电及新能源处处长王清凉梳理了福建省清洁能源发展历经的关键阶段:初期优化发展水电资源,奠定清洁能源优先发展基础;中期加速核电、海上风电规模化建设,核电装机容量居全国第二位,装机占比居全国第一位,海上风电纳入国家五大基地规划;现阶段加快新型电力系统省级示范区建设,打造东南地区清洁能源大枢纽,实现清洁能源装机、发电量占比“双过半”,并保障100%消纳。

在漳州市云霄县,全球最大“华龙一号”核电基地——福建漳州核电1号机组已投入运行。目前,2号机组处于调试阶段,3号、4号机组正在建设中。据了解,每台“华龙一号”核电机组每年发电量将超100亿千瓦时。

在云霄县隔壁的东山县,我国首个建设在高速海域的海上光伏项目——三峡集团东山杏陈180兆瓦海上光伏电站项目实现全容量并网。三峡东山能源投资有限公司董事长、总经理吴风云介绍,该项目配套建设1座110千伏陆上升压站和18兆瓦/36兆瓦时储能系统,年平均可提供清洁电能约3亿千瓦时。

一座座风机、光伏板与核电机组共同奏响绿色交响曲,曾经“靠天吃饭”的福建,将山川湖海转化为可调度、可存储、可交易的清洁能源资产。

目前,福建已形成“622”能源结构,即火电与核电构成60%的稳定基座,水电与抽水蓄能提供20%的调节弹性,风电光伏贡献20%的绿色增量。

王清凉介绍,目前福建省海上风电消纳能力位居全国前列,截至2024年年底,全省海上风电装机容量达381.8万千瓦,占总装机容量的4.25%,风电利用小时数连续多年位列国家电网系统第一,连续多年实现全额消纳。

智慧电网赋能:
从精准预测到全链条消纳

清洁能源装机占比过半的背后,是国网福建电力为破解消纳难题构建的智慧能源互联网。

通过建设“四方互联”电力枢纽和特高压环网,提升清洁能源接纳能力;深化跨区域调度互济,依托华东联网、闽粤联网等通道工程,开展省间电力余缺互补;优化智能调度与预测,构建清洁能源大数据平台,实现风电、光伏7天精准预测并通过水电、燃气电站多能互补调节波动性;建设新一代调度技术支持系统,通过AI算法提升新能源功率预测精度至95.8%。

当风电光伏全力输出的时候,其他电力让路,实现风电光伏100%消纳;当风电光伏减弱甚至归零的时候,其他电力随时补充,确保整个电网平稳运行。当广东、浙江缺电的时候,福建电力可实现外送;当广东、浙江电力富余且价格低廉的时候,福建又可及时调入,确保电网经济又安全。

在国网福建电力调度控制中心大屏幕上,福建省电力发电情况和输电线路、电力设备运行状态实时显示,调控人员正以“毫秒级”响应守护电网安全。王清凉说:“调度控制中心是电力输送、统一调度的‘中枢大脑’,电网调度控制指令在这里精确发布。”

这一智能调度体系在灾害频发的福建历经了多次实战检验。2024年迎峰度夏期间,面对高温、台风、暴雨三重冲击,国网福建电力成功应对全省最高用电负荷6次创历史新高、最高达5433万千瓦等挑战,迭代优化“137”防汛抗台风保供电力应急模式,有力应对闽西北地区极端暴雨和“格美”“康妮”台风。

在水口水电站的厂房里,7台经过国产化增容改造的机组正在高效运行。万美芳介绍:“我们历经7年完成7台机组增容改造,装机容量增加21万千瓦,相当于用最经济的方式新增1座中型水电站,有力保障了福建电网新能源消纳和安全稳定运行。”作为电力系统中重要的灵活调节电源,水电机组的黑启动能力可在电网事故恢复时优先保障关键负荷供电,成为大电网安全稳定运行的“压舱石”。特别是在新能源发电低谷期,水电机组可根据调度指令迅速增加出力,弥补电力缺口。

今年3月,国网福建电力“三全”供电服务指挥平台上线应用。该平台以可视化、数字化、智能化的技术手段,对多系统数据“分钟级”汇聚,实现供电服务的“全景、全量、全程”立体覆盖。“依托高速电力线载波智能电表末端感知、电网一张图’拓扑分析等技术成果,实现了故障定位到户。”国网福建电力营销服务中心供电服务部负责人周昆介绍。

针对新能源的波动性,以及福建省地形多样、电网末端场景丰富等特点,国网福建电力因地制宜布局了一批微电网示范项目,10个适应城镇、海岛、园区、乡村、校园等多类型的微电网(群),服务清洁能源高效利用。

在莆田湄洲岛,福建省首个“多端互联低压柔性微电网”串联起光伏风雨连廊、风光互补路灯、光能地砖等全场景绿电设施,岛上77%的用电实现清洁化,入选国家电网新型电力系统标杆项目。

在泉州市南安市翔云镇试点台区组共享储能微电网,省协调储能系统跨台区互济,实现分布式光伏100%就地消纳,配变弹性增容14.3%。

在平潭综合实验区,牵头共享储能电站并网调度,将其纳入直调电站体系,通过“集中化智慧调控系统”实现调峰调频、电力现货交易及辅助服务等多场景应用,支撑平潭从“全绿电岛”向“海上能源岛”转型。

“目前,抽水蓄能还是福建省发展的主要调节电源类别。”王清凉表示,福建山区多,抽水蓄能资源丰富。国网福建电力将持续完善省内4座抽蓄电站机组调相能力测试,提高春节等轻负荷时段系统调压能力。

从海域到山区,从城市到海岛,这套“预测精准、存储高效、互济灵活、应急迅速”的智慧电网体系,正将福建的清洁能源优势转化为产业升级的澎湃动能。

创新集群崛起:
从技术突破到产业领跑

福清江阴港畔,福建三峡海上风电国际产业园内,金风科技、东方电气、水电四局等头部企业云集,结构件、电机、叶片、整机产业链环环相扣。这里见证了福建清洁能源装备从“跟跑”到“领跑”的质变。

“产业园内聚集了风电产业的上下游产业链企业,产值约60亿元。”福建三峡海上风电产业园运营有限公司总经理盛雷告诉记者,产业园的招商工作由三峡集团负责,他们不是简单把企业堆在一起,而是让每个环节成为技术裂变的催化剂,构建起海上风电产业的完整产业链。

这种集群效应正在催生惊人的创新速度,我国自主研发的6.7兆瓦、8兆瓦、10兆瓦、13兆瓦、13.6兆瓦、16兆瓦、18兆瓦、20兆瓦、26兆瓦海上风电机组在这里相继下线。

距离产业园不远处的国家级海上风电研究与试验检测基地里,东方电气研制的海上风电机组正在传动链试验平台进行测试。“该平台是国内首套具有自主知识产权、国际技术水平最先进、测试能力最全面的风电机组地面试验平台,实现了从跟跑到领跑的突破。”国网福建电科院新能源所风机室工作人员李彪介绍,检测基地由陆上检测中心和海上试验风电场两部分构成。

“海上风电研究与试验检测基地将有助于加速风电装备新技术研发,突破大容量海上风电机组及大尺寸叶片制造技术瓶颈,进一步提升我国海上风电装备制造技术水平。”李彪说。

当视角从江阴港延伸,东山临港产业园的实践为这幅产业图景增添了新的注脚。在杏陈180兆瓦光伏项目的供应链网络中,漳州旗滨光伏新能源科技有限公司的光伏玻璃与太阳海缆(东山)有限公司的海缆形成完美组合。

太阳海缆(东山)有限公司常务副总裁黄祥光站在厂房内指着一条巨大的电缆介绍,公司拥有国内最大的立式成缆机、行业首台169盘框绞机,建设中压、高压、超高压海底电缆生产线8条,项目建成后将生产750千伏及以下海底电力电缆、海底光电复合电缆、柔性直流海底电缆和陆用110千伏及以上高压电缆。“将来,海上风电向深远海发展时,我们能提供最高电压等级、最大截面、最长长度的电缆。”黄祥光表示。

当旗滨光伏玻璃在阳光下聚焦下转化成电流,这些电流就通过太阳海缆编织的“能源动脉”奔向千家万户。为筑牢这张清洁能源输送网络,国网福建电力首创“风雷冰污涝”五防合一综合治理模式,差异化制定8类防灾建设套餐;推行“百秒自愈”技术,实现城市核心区馈线自动化100%覆盖,故障秒级隔离。2024年台风“格美”灾后复电效率较往年提升68.8%。

从光伏组件的电流涌动到底海电缆的能量奔涌,从五防体系的铜墙铁壁到自愈电网的智慧神经,福建正以技术创新重构能源基础设施的“免疫基因”。当清洁能源穿越台风带、突破技术封锁,最终点亮万家灯火,这背后是“产—研—用”深度融合的创新生态。

然而,在技术攻坚的道路上仍有险峰待攀。

面对新能源大规模开发带来的系统安全稳定性降低、电网消纳难度加大等挑战,福建电力工作者们正积极寻找破局之道。国网福建电力发展策划部主任韩钟宽表示,国网福建电力正加快构建新型电力系统规划体系,针对未来深远海风电规模化开发,加强电磁仿真等研究手段应用,防范宽频振荡、短路电流超标等安全风险;结合闽南、闽东北海上风电以及沿海核电等大规模清洁能源开发,滚动推进饱和负荷目标网架调整优化与逐步实施,加强福建省内特高压网架结构,增强系统安全性和新能源接纳能力。

绿电价值裂变:
从生态资产到经济动能

在漳州六鳌半岛,三峡集团六鳌海上风电集控中心的大屏上,实时跳动着发电量数据。更令人兴奋的是,这片风电场正在创造超出预期的生态价值。

“我们正在做一个科研项目,在风机下面养鱼,目前已经投放了第一批鱼苗。”漳浦海峡发电有限公司总经理李小清介绍,他们联合漳州市海洋与渔业局、福建省水产研究所,在三峡集团福建漳浦六鳌海上风电场二期项目开展网箱深远海养殖项目,正式开启“海上风电+海洋牧场”双轨发展新模式。

这种空间立体开发模式在漳浦旧镇狮头光伏电站升压站内得到延展。中节能(漳州)太阳能科技有限公司现场项目负责人伍鹏站在光伏阵列下,指着波光粼粼的水面介绍,这里主要利用海域上层空间,与现有海水养殖形成渔光互补模式,其特色在于因地制宜利用现有围垦养殖区建设集中式光伏电站,真正做到“水下养鱼、水上发电”,最大化综合利用阳光、水体等资源。

绿电赋能的产业变革远不止海洋。在云霄县列屿镇人家村村民委员会的屋顶上,光伏板在阳光下熠熠生辉。看似普通的屋顶,实则构建起分布式能源网络。“该项目由72块光伏板组成,装机容量有50千瓦,这些光伏板吸收光能产生直流电,再经过逆变器转化为交流电后,可以直接全额上网卖给我们电网。这样一个项目每年可发电超过6.5万千瓦时,能产生2.5万元收益。”国网云霄县供电公司营销部副主任张明煌介绍。

这种生态价值向经济价值的转化,得益于福建构建的绿电体系——一方面积极扩大参与绿电交易的项目范围,扩大省内绿电供给;另一方面积极引导企业绿电消费,扩大绿电绿证交易规模。据统计,2024年,福建全年累计成交绿电19.49亿千瓦时,绿证135万张,同比分别实现154%和495%的增长。

福建电力交易中心三级职员杨首晖告诉记者,为满足企业绿色消费需求,福建省自2022年省内绿电交易市场开市起就把补贴到期的陆上风电项目纳入省内绿电交易准入范围。绿证全覆盖政策出台后,2024年又将平价海上风电和集中式光伏项目纳入绿电交易范围。目前,福建省绿电交易实施细则已正式印发,进一步将补贴尚未到期的新能源项目引入绿电市场,丰富电源类型,提升绿电供给能力。

不仅如此,福建还积极组织省内企业参与省间绿电交易,全力拓展省内用电企业从省外购买绿电的渠道。作为外送省份,2024年首次通过省间绿电交易先后从山西、新疆购入绿电6060万千瓦时;2025年4月又组织省内充电桩用电企业从黑龙江购入夜间低谷时段绿电299.3万千瓦时,助力消纳东北新能源上网电量,实现了跨省电力资源的优化配置。

在金融端,福建电力交易中心联合中国建设银行福建省分行创新绿色金融产品,省内首笔“绿电贷”“绿证贷”先后落地。

从深海养殖到屋顶经济,从政策破冰到金融创新,福建正以绿电为纽带,编织一张覆盖山海的生态价值网络。“海上风电与核电是福建清洁能源未来发展潜力最大的领域。”韩钟宽表示,国网福建电力将积极服务海上风电开发与送出消纳,攻关汇集送出技术,提前布局谋划闽南、闽东北“海电登陆”通道;依托沿海厂址优势,服务漳州核电、霞浦核电等项目开发建设,打造千万千瓦级能源保障基地,巩固全国核电装机领先地位;着力构建东南清洁能源大枢纽,强化省际互联与市场机制创新,积极融入全国统一电力市场,优化资源配置。

点评

畅通清洁能源消纳通道

江岳文

随着清洁能源发电量急剧增长,清洁能源消纳面临的难题也日益凸显。

风光资源固有的波动性、间歇性和较强的反调峰特性,加剧了电力系统源荷功率平衡难度。电网原有的运行水平与硬件设施架构难以快速适应规模化可再生能源并入需求,火电厂灵活性改造、规模化储能调度、综合能源系统集成优化、需求侧柔性资源调控等技术尚难以达到高比例清洁能源电网灵活运行的要求。

配网分布式可再生能源消纳受限。随着分布式可再生能源大规模发展,可再生能源反送主网趋势日益明显,由于配网输变电设施容量限制及母线电压越限等原因,配网弃风弃光现象逐渐凸显。

此外,市场化手段还不能满足可再生能源的进一步消纳。面对大量难以准确预测出力、低边际成本、高电量风险的清洁能源经营主体,电力市场机制设计仍存在灵活性不足、交易品种有待丰富、电—碳—绿证市场未充分融合等问题。此外,各省份电力市场交易规则、交易品种、结算方法等存在差异,可再生能源跨省区送出与受入在一定程度上受限,阻碍可再生能源在广域范围内的消纳。

为此,要充分发挥虚拟电厂聚合需求侧资源参与调节潜力,助力提升高比例清洁能源电网运行灵活性。电力系统中可再生能源比

福清兴化湾海上风电场。

陈德钧摄

本版编辑 王薇薇 闫伟奇 美 编 王子莹