

数智赋能安全发展 产业带动乡村振兴

——走进宁德核电,探访全球能源行业首个“人才灯塔工厂”

■本报记者 苏南

清晨的闽东海畔,站在宁德核电基地88米观景平台上远眺,一幅硬核工业与山海生态奇妙相融的壮美画卷尽收眼底。一侧,一期4台在运机组巍峨矗立,稳定发电,二期5、6号机组塔吊林立,高效在建;另一侧,200多亩白茶园郁郁葱葱。

《中国能源报》记者日前走进宁德核电,感受其以“严谨细实”底色筑牢安全基石,以“绿水青山”理念书写生态答卷,以“‘核’谐共荣”带动区域经济发展的实践。

数智保障精准安全运维

安全是核电的生命线。走近宁德核电1号机组主控室,四壁屏幕闪烁。作为机组运行的“核心大脑”,这里的操纵员严格落实严守规程、精准操作的一线安全机制。不远处,空间布局、天花板照明、设备型号及生产厂家、文件系统等与主控室完全一模一样的全范围模拟机1:1全真复刻主控室标准,正在进行一场应急演练。

“我们委托的仿真公司承担模拟机开发工作,共模拟230余个工艺系统,设置约600—700个故障及异常工况。”宁德核电培训部模拟机高级教员卓孝建对《中国能源报》记者说,“核电站操纵员的培养模式与飞行员较相似,操纵员需终身学习,从新员工到取得值长授权,整个培养过程大约需要10年。”

今年6月,宁德核电获评全球能源行业首个“人才灯塔工厂”,这源于核电人极致严谨、精益求精的安全文化。截至2025年,一期4台机组WANO指标先进比例连续五年达80%以上,4号机组更是突破“零非停”连续安全运行3000天大关。

优异的成绩,离不开数智赋能。宁德核电生产指挥中心是“智慧神经中枢”的国务院国资委数字化示范标杆项目。巨大的3D维修数字化智慧屏上,三维动画可视化指导现场工序作业,实景孪生平台构建起全要素数字孪生全景,厂区风险预判智能化水平领跑行业。“运营反哺建设,新老机组一体化管控”的“宁德模式”,正在打造“华龙一号”批量化建设的行业标杆。

生态环境部华东核与辐射安全监督站现场监督员对《中国能源报》记者表示,“从监督角度看,我国核电厂安全是可控、有效的,国务院核安全监督管理部门依据核安全法律法规要求,从核电厂选址、设计、建造、调试、运行直至退役的全生命周期实施独立监管。

我们利用数智化手段对监管对象精准画像、开展风险评估,深化风险指引型监管应用,提高监管效能。”

模块化建设克服建设难题

当前,宁德核电二期5、6号机组工程建设全速推进,项目采用我国自主三代核电技术“华龙一号”,安全性能与综合指标位居国际先进水平。

由于宁德核电二期工程厂址狭小,地理条件使设备、模块进场运输和现场吊装成为难题,但这并未阻碍建设步伐,反而让“宁核方案”大放异彩——不套用通用模板,自主搭建的智慧工地管控平台实现全过程数字管控;机电三维模型AR技术在安装施工中全面普及,目前安装工人应用率基本达到100%;AI违章识别、吊装智能监护让高风险作业无所遁形;无纸化质量验收、隐蔽工程影像留存确保全过程可溯。

“我们遵循‘今天建造的高质量,就是明天运行的核安全’理念。”宁德核电土建管理模块经理胡强红告诉《中国能源报》记者,5、6号机组已搭建工程计划一体化数据管理平台,建立“统一统筹、双向循环、多方联动”管控体系,实现一至六级施工计划全部落实到位、层层落实至最小作业单元、五级数据贯通有据可查。“通过沙盘推演、重点任务每日跟进核对、信息化动态纠偏等精细化手段,对土建、安装各专业施工进度实现颗粒化、可视化、数字化管控。”

“宁德核电二期项目建设现场大量管道已通过三维建模技术,实现管道模块在车间内提前完成预制,现场仅进行管道模块的接口焊接工作,大幅减少现场焊口数量,降低焊接工人劳动强度,全面提升管道焊接质量。”中广核工程有限公司核岛安装主任工程师吴中卫介绍:“2万多道现场焊口准备在车间里集成焊接,质量比现场拼装稳得多。”

挖掘培育乡村特色产业

今年6月底,宁德核电一期4台机组累计上网电量超3563亿千瓦时,相当于累计减少标煤消耗超10703万吨、减排二氧化碳超32923万吨。

除了零碳排放,宁德核电还完整保留了厂区200多亩原生态茶园,并交由当地村民成立园林公司维护,实行规范化、生态化管护。

“建好一个项目,带动一地经济,造福一方百姓。”距离核电站不远的柏洋村多年前曾背负43万元的欠



记者手记

抱上“金娃娃” 发展“加速度”

■苏南

几天的深入探访,记者印象最深刻的,是一个能源项目落地后带给当地百姓实打实的获得感。

2017年前后,国内乡村旅游尚未热起来,高端民宿集中在云南大理等少数地区,渔井村村委委员林文斌对比发现,许多所谓海景房步行半小时都到不了海边,而渔井村坐拥天然海蚀地貌,“没有理由做不起来。”他果断返乡“试水”,开了全村第一批民宿。

彼时的渔井村名不见经传,游客只是借道前往嵛山岛,过村而不入。宁德核电帮扶修路亮灯,村容村貌一年一变,年游客量突破百万人次,在社交媒体平台搜索,村里的网红打卡点稳居前列。

最让记者动容的,是深山里的金谷村。这里资源匮乏,帮扶赋予新的发展思路——将帮扶资金入股柏洋村的核电营地二期项目,走“强村带弱村”的经济路子,让薄弱村也能分享核电发展的红利。

从大海到深山,从重工业到微民宿,帮扶不是简单的“输血”,而是因地制宜“造血”。如今,太姥山、渔井村、柏洋村与核电基地联动的“核电+生态+乡村”精品文旅线路,正成为传播“双碳”理念、展示绿色发展的窗口,吸引海内外媒体深入探访。

在宁德,核电不仅是清洁低碳的能量,更是带动一方经济、造福一方百姓的“金娃娃”。

债。核电项目落地后,村里做起营地配套、宿舍租赁的生意,2025年村集体收入突破1126万元。

在柏洋工业小区,8家核电配套企业集聚,吸纳村民就近就业;核电营地配套、振兴大酒店等服务业扩容升级,年产值超4亿元。

与核电基地隔海相望的渔井村,宁德核电实施“输血、换血、造血”战略,公司20个党支部持续下沉,开展民宿服务标准化培训、防灾减灾宣讲,2025年“五一”小长假,渔井村接待游客6万余人,旅游创收600万元。

渔井村村委委员、民兵营长林文斌介绍:“我2017年返乡创办民宿,是村里最早开办民宿的返乡人员之一。2022年起,入住人次从20多万增至50万、80万,去年突破100万。”

上接1版

“蓝色能源”开发加速挺进深远海

“针对海洋环境高水汽、高盐雾、强腐蚀等特点,我们推出兼具高效率、强防护、低衰减优势的HJT高效海光组件。”安徽华晟新能源科技股份有限公司(以下简称“华晟新能源”)董事长徐晓华告诉《中国能源报》记者,在即墨项目中,公司供应的高效异质结组件达814.9兆瓦。“海光组件还广泛应用于东南亚水面项目,并在大型矿砂船上实现实船发电并网。”

视线投向更深处的海洋能。在浙江,江厦潮汐试验电站商业化运行已超40年,累计并网发电超2.5亿千瓦时;舟山秀山岛海域,世界单台容量最大潮流能发电机组“奋进号”累计发电超690万千瓦时,其所在电站连续运行时居全球首位,岛上8000多户居民用上“潮流电”。在广东珠海万山海域,兆瓦级漂浮式波浪能发电装置“南鲲号”并入海岛电网。在南海,20千瓦温差能装置已成功海试。

截至2024年底,我国海洋能总装机规模超1.2万千瓦,居全球第四,波浪能、潮流能、潮差能运行装机规模分别居全球第一、第二、第三位。

从跟跑迈向领跑

全产业链自主可控锻造硬实力

挺进深远海,装备先行。

海洋工程装备制造业实现较快增长。今年一季度,我国新承接海工订单金额、交付订单金额、手持订单金额同比分别增长36.4%、60.0%、8.9%。其中,首艘实现国产化建造的深海型施工船“天翼领航者”号顺利下水,自主设计建设的亚洲最大圆筒型浮式生产储卸油装置(FPSO)开工建造,助力深远海资源开发。

自然资源部战略经济司有关负责人表示,海洋能规模化利用成效显著。截至目前,我国已初步建成全国海洋能资源数据库。国内首套兆瓦级潮流能发电机组“奋进号”稳定运行近4年,全球首台兆瓦级波浪能发电装置“南鲲号”日发电量等主要指标达到预期,首个半潜式波浪能养殖平台“澎湖号”运行稳定。

我国海洋石油工业不断实现新突破,油气勘探开发实现从水深300—1500米的历史性跨越,正向3000米深水目标稳步迈进。在300米以上深水装备建设领域,我国相继建成全球首座10万吨级超深水半潜式生产储油平台“深海一号”能源站、亚洲首艘圆筒型浮式生产储卸油装置“海葵一号”等一批浮式超级油气生产装备。同时,自主研发2000米级超深水打桩锤等一批深水施工利器,成功研制国内首台2500米级超深水液压打桩锤,完成海试与示范应用。

2025年,我国自主研发的全球最大单机容量26兆瓦海上风机成功并网;今年1月,20兆瓦海上风机在福建海域成功吊装,刷新全球实际海洋环境中已吊装机组单机容量最大纪录。

台风是东南沿海海上风电开发绕不开的挑战。邹荔兵介绍,基于30款机型、40次台风、100个风场的数据积累,明阳集团建立全耦合高精度多体动力学仿真分析平台,形成“预测—设计—控制—运维”一体化抗台风技术体系。“从2007年全球首台抗台风型风机投运至今,明阳抗台风能力不断向深远海漂浮式场景延伸,如今更从抵御台风走向安全利用台风。”

一根海缆,同样见证产业链的科技突围。

“聚焦超高压、大水深、长距离输电,我们攻克多项‘卡脖子’技术。”中天科技海洋产业集团技术委员会主任张洪亮介绍,公司自研的±525千伏光纤复合直流海缆系统传输容量达300万千瓦以上;66千伏三芯动态海缆综合性能国际领先,打破海外技术垄断。目前,中天科技在国内漂浮式风电动态海缆领域市场份额超40%,已在江苏、广东、山东、浙江布局五大海缆研发制造基地。

过硬的实力、高品质的产品,在全球市场得到检验。

中天科技至今累计向国际市场供应海底电缆超4000公里,其中成功承建德国50Hertz电网的220千伏海缆总包项目,为全球大型海上风电开发商沃旭能源的波兰1.5吉瓦Baltica 2项目提供275千伏铝导体高压海缆,2025年在沙特开工建设中国海缆企业首家海外工厂。

明阳智能构建起欧洲、中东非、亚太、美洲等区域业务中心,从传统出口模式转向本地化投资、产业协同和系统解决方案输出。

数字化运维为深远海开发保驾护航。明阳智能搭建“海洋智慧大脑”,以智慧平台提升风场发电及运营效率。中天科技通过智能排产系统和动态调度管理将超90公里大长度500千伏海缆交付周期缩短至4个月,创行业纪录。

从示范走向规模化

“蓝色引擎”助力能源强国建设

当前,我国海上风电开发仍以近海为主,深远海开发面临投资成本高、施工窗口期短、运维难度大等挑战,用海审批、电价机制等机制仍待完善。以波浪能、潮流能为代表的新型海洋能,初期投入大、成本高,目前大多仍处于示范阶段,真正实现商业化运营的项目有限。

近年来,海洋能技术发展迅速,海洋能进入规模化利用新阶段,对海洋能资源潜力评估工作提出更高要求。自然资源部先后启动重点海域海洋能资源调查评估和区划工作,并首次绘制全国1:25万潮流能资源区划图和重点海域潮流能、波浪能1:5万资源区划图。

同时,为进一步掌握我国管辖海域的海洋能资源情况,加强海洋能开发利用空间布局 and 要素保障,自然资源部等六部门2025年2月联合出台《关于推动海洋能规模化利用的指导意见》,分类组织开展我国海洋能资源调查评估,科学核算资源开发潜力。同时,实施百兆瓦级潮流能重点工程,推进波浪能规模化利用,推动温差能综合利用,支持海岛海洋能多能互补电站建设。

根据部署,浙江舟山将分阶段建设百兆瓦级潮流能规模化利用重点工程,电站全部建成后,单日发电量可达61万千瓦时,潮流能度电成本有望从第一代机组的106元降至0.3元以下。

《可再生能源发展“十五五”规划》也明确,面向渤海、黄海、东海、南海四大海域,重点推进深远海海上风电基地建设。推动海上风电与海上光伏、海洋能等融合开发利用;鼓励海上风电与海洋油气、海水淡化、海洋牧场、海底算力等业态融合发展,探索海上能源岛建设,打造海上绿色能源综合开发与高效利用新模式。

企业也在积极布局。邹荔兵介绍,明阳集团将推动全球首个漂浮式风电母港及关联产业集群建设,打造世界级深远海能源基地,重点布局“海上风电+制氢”“绿色氢氨醇”等新型场景,从单一电力输出迈向综合能源服务。

“未来3—5年,我们将以深远海为核心增量区域,聚焦超高压输电技术与漂浮式风电动态海缆两大增长极,并向深海油气、海洋观测等领域延伸。”张洪亮表示,中天科技已突破2000米级光电液复合深海脐带缆技术。

徐晓华透露,华晟新能源将采取“近海规模化落地、深远海技术储备、特殊场景跨界融合”战略,力争实现漂浮式系统从“样品”到“产品”的跨越,并重点关注海上钻井平台、海上制氢等远洋特殊场景。

从靠海吃海到向海图强,随着技术迭代,成本下降与政策体系不断完善,广袤海洋上的“蓝色能源”将加快从补充能源走向主力能源,为构建新型能源体系、建设能源强国注入源源不断的“蓝色动能”。

上接1版

AI算力催热光模块新赛道

国际高性能计算和人工智能咨询委员会吉拉德·沙伊纳认为,随着带宽提升,光网络已经成为AI基础设施的重要功耗来源;在同样的1.6T端口上,可插拔方案功耗约20瓦,而采用CPO可以降低至约5瓦。

TrendForce预计,CPO、NPO市场规模将从2025年的约1亿美元增长至2030年的390亿美元以上,同时认为未来不同光互联架构仍将并存,技术选择将取决于功耗、距离、成本、成熟度和供应链等因素。

我国企业正在加快从产品迭代走向系统级创新。

近日,华为发布业界首个实现量产的NPO光互联产品Hi-ONE,应用于新发布的昇腾960超节点,单引擎传输容量达7.2T,用5500个Hi-ONE替代原本需要的4.8万颗800G光模块,使系统功耗降低超过550千瓦,系统无故障运行时间提升一倍,可用度达到99.8%。华为同时在全球光互联标准组织OIF提出NPO标准立项建议。

本月,光迅科技首发全球首款6.4T硅光单模NPO模块;今年3月,该公司发布3.2T硅光单模NPO模块,并称该产品已完成国内头部云服务商全系统验证。华工科技旗下华工正源也于3月联合阿里云动态展示全球首款3.2T NPO模块,并作为创始成员首发12.8T XPO光模块。中际旭创在半年报中明确,硅光技术仍是下一代产品的关键方向,涵盖2.4T、3.2T、NPO、XPO等多条技术路线,NPO产品有望2027年实现首批出货。

预期积极,增长空间持续显现

光模块的能效问题,正在被纳入国家信息通信产业政策的顶层设计。今年6月,工业和信息化部印发《“人工智能+信息通信”创新发展实施意见(2026—2028年)》,明确提出加强高速光芯片、高速转发/交换芯片、全光交换器件、光电共封装器件等技术和产品研发验证,开展光电混合组网技术试验,加速技术方案成熟。加强智算超节点光电互联技术攻关,开展智算网络技术与产品验证。

今年9月,工业和信息化部印发《信息通信行业发展“十五五”规划》,提出推动大容量高带宽光通信设备研发。重点打造1.6Tb/s光传输系统、200G-PON光接入系统、空芯光纤光缆等超大容量全光承载产品,加快100G及以上高速星间、星地光通信设备研发。该规划同时明确,到2030年我国智能算力规模将达到9800EFLOPS。

市场机构对后续需求同样保持较高预期。LightCounting预计,今年以太网光收发模块市场将增长73%,到2031年市场销售额将达到800亿美元。该机构此前发布的中国光通信市场研究显示,中国云厂商预计在2026—2027年规模部署800G光模块,1.6T、3.2T产品随后进入部署阶段。法国市场研究机构Yole Group今年7月则预计,AI数据中心建设将推动全球光收发模块年市场规模在未来5年达到1120亿美元。高盛9月初发布的最新研报则将2026—2028年的全球光模块市场规模预测分别大幅上调至约677亿美元、1314亿美元和1485亿美元,较此前预测分别上调33%、81%、115%,并首次给予中际旭创H股“买入”评级。

需求增长已传导至产业链。新易盛9月21日在投资者互动平台回复称,公司1.6T光模块产品已进入持续放量阶段,预计出货节奏将持续加速,同时供应链仍处于相对紧张状态。LightCounting也指出,中国企业近年来在光收发模块供应商排名中持续提升,中际旭创、新易盛等厂商受益于AI数据中心需求和1.6T产品放量。从更长周期看,算力规模扩张与绿色低碳要求正在同时重塑数据中心基础设施,光模块由单纯承担数据传输功能,进一步成为兼顾带宽、能效和系统可靠性的关键环节。对中国光模块产业而言,持续提升高速光芯片、先进封装等核心能力,同时推进NPO、CPO等新技术的工程化和规模化应用,将决定产业能否把现有制造和市场优势进一步转化为技术优势。