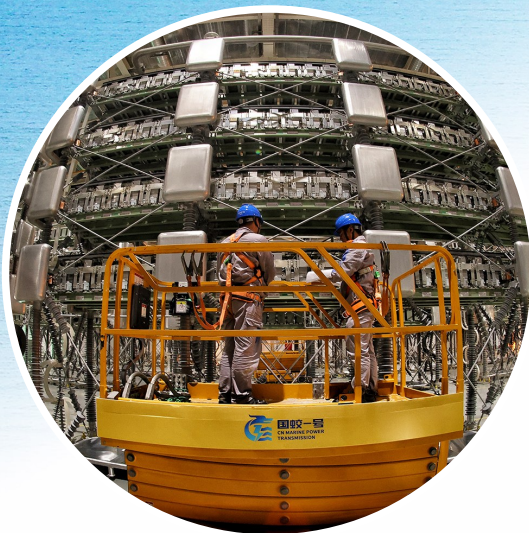


# 让更多绿电穿越山海、点亮万家灯火

## ——写在舟山柔直工程安全运行12周年之际



□记者 刘浩 通讯员 周晓炜 吴嘉腾



东海之滨，风起云涌；银线飞架，穿云入海。

在群岛舟山，这里有独步全球的示范工程——浙江舟山±200千伏五端柔性直流输电示范工程（简称“舟山柔直工程”）。

2014年7月4日，作为世界上首个五端柔性直流输电工程，舟山柔直工程正式投运，填补了国内多端柔直运检技术的空白，前瞻绘就了海岛电力璀璨蓝图，让舟山拥有了一张“刚柔并济”的独特海岛电网。

依托这项标杆工程，国网舟山供电公司“国蛟一号”国家海洋输电技术品牌，深耕海洋输电核心技术攻关，破解海岛输电、绿电消纳等行业难题，以自主创新技术筑牢海岛电网安全稳定运行根基。

安全运行12年以来，国网舟山供电公司电力人始终发扬“耐得住清苦”的精神，秉持“有我在柔直行”的信念，努力实现从“守得住”到“守得好”转变，并将柔直工程从“五端”正式迈向“六端”，让更多海岛绿电接得住、送得出、用得好，穿越山海、点亮万家灯火。

## 面对新能源接入“关卡” 舟山柔直工程应运而生

舟山既是一个能源小市，也是一个能源大市。这里没有丰富的矿产资源，但有终年不歇的习习海风，以及充足的阳光照射。在那些年，众多新能源项目纷至沓来，不断掀起一轮轮建设热潮。

“无污染、可再生，新能源发电很好，就是不太稳定，特别是在电网主设备检修等电网接线薄弱状态下，风电的过大波动，极有可能给电网安全运行带来严重威胁。”当时，电力部门相关负责人的话，一语道破了电力人对新能源接入的顾虑。

正因如此，舟山柔直工程应运而生，而且是一次“当惊世界殊”的大手笔。

舟山柔直工程于2012年11月2日取得国家电网公司可研批复，2013年3月开始全面施工，2014年7月4日正式投运，是当时世界上端数最多、容量最大、

电压等级最高的多端柔性直流输电示范工程，也标志着我国在世界柔性直流输电技术领域走在了前列。

工程动态总投资41.4亿元，共建设舟定、舟岱、舟衢、舟泗、舟洋五座换流站，合计总容量1000兆瓦，五座换流站通过四段±200千伏的直流电缆相连，电缆总长度283公里（海缆总长度260.7公里）。

舟山柔直工程将舟山海岛电网结构由原先辐射馈线式供电模式转变为环网手拉手的供电模式。截至2025年12月31日，舟山柔直系统已累计运行3590天，累计输送电量达57.65亿千瓦时，供电可靠性超99%。

据了解，柔性直流依托功率传输双向性以及有功、无功功率独立可调的两大优势，对电网的安全稳定和电能质量进行调节，可以在系统不停电的情况

下实现功率传输的反转，在弱电网互联、风电场并网、孤岛供电等特殊应用场合下具有比较显著的技术优势。

“柔性直流输电技术，通过对新能源发电进行全方位控制，使其间歇性特点不会扰乱电网，这就像是给小水池装了一个拦水坝，能减少水的波动，为新能源提供了新的解决方案。”舟山柔直工程有关负责人形象地将该工程称为新能源入网的“减震器”，通过这个“减震器”可以随时调整准备入网电能的相关参数，使之与主网参数一致。

工程多年实际运行成果表明，舟山柔直输电系统为大型风电场并网提供了一个良好的技术手段，有效改善了风电场并网运行的可靠性和故障穿越能力，大大提升了舟山电网接纳风电的能力。

## 夯基固本保障供电 攻坚克难全面验证

夯基固本保障设备安全可靠运行，是做好保供工作的重要基础。

作为舟山柔性直流工程的属地化运检单位，国网舟山供电公司精心运维、精益检修，在应用实践中，通过多个“首次”，成功验证了柔性直流输电技术的独特优势：

2014年国内首次成功实现多站同时进行有功和无功功率独立解耦控制，2015年世界首次成功实现多端柔直输电系统某一换流站由联网向孤岛在线平稳切换，2017年国内首次成功实现柔直输电系统功率传输方向在线双向调整；

2018年成功实现国内柔直输电最长距离孤岛供电、世界首次成功实现多端柔直输电系统某一换流站由孤岛向联网在线平稳切换以及世界首个运行中柔直系统发生直流故障后直流断路器正确隔离故障、快速恢复健全系统；

2019年世界首次直流现场双极极间短路试验圆满成功，2021年国内首次区域电网全停时柔直系统黑启动圆满成功，2023年国内首套宽频快速保护装置成功投运。

值得一提的是，之前基于舟山北部诸岛较低的用电负荷，柔直系统自2014年投运以来未满载功率运行。而随着绿色石化基地的投产运行，鱼山岛上用电负荷呈指数型增长，输电通道压力进一步增加，对系统运行安全提出了更高要求，提升柔直工程的传输功率势在必行。2021年3月，舟山柔直工程顺利完成大功率试验，这是柔直系统的自我革新与历史性突破，充分证明了柔直系统满载功率运行的可靠性。这个先例，为国内外柔直输电工程提供经验借鉴，也为全球柔直科技进步作出了技术示范。

与此同时，舟山柔直工程已逐渐成为海岛电网“防护罩”，自投运以来在关键时刻屡次大显身手。

2014年8月16日至17日，岱山与定海主网110千伏交流海缆联络通道故障停运，柔直系统紧急提升输送功率，满足了岱山、嵎泗的供电需求；2014年11月15日至24日，岱山与舟山本岛间220千伏双回联络通道同时检修，柔直系统承担了岱山70%的供电负荷；2015年春节期间，柔直工程发挥技术优势，最大吸收电网无功功率7万千瓦，有效控制了舟山电网高电压问题，确保春节低负荷期间舟山220千伏主网的电压合格率由投运前的99.98%提高到100%、110千伏电压合格率由投运前的99.96%提高到100%。

“直流与交流电网混联运行，原先的辐射馈线式供电模式已经转变为环网供电模式，哪怕其中一路出现故障，另一路也能及时替补供电。”据有关人士介绍，柔直工程投运后，舟山北部海岛电网，特别是岱山、嵎泗电网比以前更坚强。

## 强化示范迈向六端 技术反哺树立标杆

今年2月，浙江省舟山市六端柔性直流输电工程构网型技术应用项目入围国家能源局新型电力系统建设能力提升试点名单（第一批）。这也意味着，舟山柔直工程将从“五端”正式迈向“六端”。

今年3月15日到6月14日，历时三个月时间，国网舟山供电公司圆满完成舟山六端柔性直流输电示范工程舟定、舟岱、舟衢换流站系统调试任务。其中，舟衢换流站成功实现了全国首次在柔直系统带大容量风电场景下，孤岛与联网模式的无缝互转，为即将到来的台风季供电加装了一道“安全锁”。

而在国产化方面，舟山柔直工程也不断刷新着进度表。去年年底，在舟洋换流站，基于国产芯片和操作系统的柔性直流控制保护系统和阀控设备首次实现带电解锁，这标志着该核心装备实现了从底层硬件到基础软件的全面自主可控。

面对国内外无经验可循、无章法可依的舟山柔性直流工程建设工作，在摸着石头过河的生产筹备

和10多年运检工作中，建设人员和运检团队不断克难攻坚，创造了多端柔性直流输电工程设计、施工、试验、运维、检修技术体系，使得柔性直流输电技术实现了从基础理论研究到高压大容量成套设备研制的巨大飞跃。

建立起国家电网公司首个柔直换流站运维管理体系，自主编制国内首套柔直输电领域换流站运行管理规定、运行典型操作票、标准化巡视作业指导书，起草电力行业标准《柔性直流输电换流站运行规程》，出版国内首套运检岗位培训教材——《柔性直流输电运维技术》和《高压直流断路器运维检修技术》，总结多端柔性直流输电运维技术成果，受邀前往张北、厦门、渝鄂等柔直工程以及杭州、台州换流站建设支援9人次，授培200余人次，为国内柔直运维技术的广泛应用提供第一手资料，彰显了示范工程的角色定位。

同时，与参建单位建立技术协作长效机制，开展

示范工程建设运行后评价，将运行中出现的各类问题及时反馈给设计、设备厂家及施工调试等参建单位，通过技术反哺，助力我国柔直输电系统成套装备能力日臻成熟，使得我国在柔性直流输电技术领域走在了世界前列。“酒香不怕巷子深”，自舟山柔性直流工程投运以来，接待国内参观交流1000余次，英国、法国、德国、希腊、泰国、印尼、葡萄牙、澳大利亚等十余个国家外宾慕名前来“取经”，树立起国网柔直“金名片”。

站在新起点上，国网舟山供电公司将有序推进嵎泗7#风电直接入、柔直控保及阀控改造等重点项目，进一步吃干榨尽五端柔性直流输电系统的技术优势，深挖其科技价值，高质量推进高弹性海岛智慧电网建设，助力舟山新型电力系统示范城市建设，为舟山经济高质量发展和海岛共同富裕贡献柔直力量。