



扫码观看纪录片
《银线飞越 与天同歌》

唐悦 摄

银线跨天堑 涌跃新动能

合力攻坚 跨越天堑

——500千伏泰州凤城至无锡梅里输电工程建设纪实

巨塔入云霄，银线越天堑。7月2日，国家电力发展“十三五”规划重点项目、江苏省2023年迎峰度夏重点工程之一的500千伏凤城—梅里输电工程竣工投运。为提升我省长江以北地区丰富的新能源发电资源消纳能力而建的这个“北电南送”通道，自此每年最大将把260亿千瓦时的清洁电力输送到苏南负荷中心，为苏南地区高质量发展提供源源不断的动力。该工程建设历时近3年，新建2座385米高的世界最高输电铁塔，跨越长江段档距2550米，线路总长178千米，总投资15亿元。工程建设中，作为工程管理及监理方的国网江苏省电力工程咨询有限公司和作为工程承建方的江苏省送变电有限公司通力合作，组建技术创新攻关团队，研发新技术、新工艺，攻克多项技术难题，创造了5项世界第一和3项国内首次，代表了我国电网建设的新高度。

推进数智转型

铁塔基础是“世界第一高”跨江塔的根本，铁塔越高，地基的承载力也要越大。跨越长江的两基铁塔单基重约6500吨，需混凝土近1.4万立方米，其中单塔基础和局部连梁大体量混凝土一次性连续浇筑近1100立方米，是常规项目的30倍。而受昼夜温差影响，混凝土里温差控制难度较大。于是，实时监控塔基关键部位温度升降、风雨影响并实时调整养护策略，成为了摆在建设者面前的难题。省送变电公司技术团队反复试验，开发出了一套智能数字化云监控系统，并利用智能温度传感器量身定制了温控算法，全过程跟踪基础重要受力结构部位的温度变化，指导施工人员实时调整保温养护策略。2021年2月7日，北岸跨越塔承台混凝土首次浇筑连续施工超过16个小时，得益于应用这套云监控系统，实现了一次创优。而跨越塔结构复杂、节点多、施工难等特点，对组立施工方案合理性验算和施工过程中的智能化管理提出了新挑战。为此，国网江苏电力工程咨询公司在项目全域通过无人机搭载高清相机对登高施工人员进行实时督查监管，确保工程安全高效推进。该无人机搭载了2000万像素高清相机，最大可变焦200倍，连续飞行时长达50

分钟，能清晰捕捉肉眼难以观察到的200米高空画面并实时回传指挥部，为项目监督管理提供详实依据。“我们还积极拓展其功能应用，探索将无人机和三维激光雷达扫描、三维倾斜摄影及红外技术相结合，通过三维模型分析出铁塔倾斜度等参数并与施工图纸进行比对，在施工管理中及时纠偏。”该公司项目部总工程师张洋介绍。传统输电工程多采用2D平面图来描述施工进度及资源配置，难以实现施工方案全过程提前预演，更无法针对施工中的动态情况及时优化方案。“我们搭建了一套三维的智能虚拟平台，对工程进行三维仿真施工，并增加时间维度，形成随时间流转的4D立体信息模型，进而对施工方案和资源反复模拟优化，最终形成最佳方案。”省送变电公司项目部数字化技术专家郭天成说。

打造核心装备

“工欲善其事，必先利其器”。由于跨越塔设计高度达385米，现有的全座地抱杆无法完成如此高的塔材吊装施工，研制新的超大型座地双臂抱杆迫在眉睫。为此，省送变电公司项目部联合专业设备厂家自行研制出了超大型输电线路大跨越组塔专用的超大型座地双臂抱杆，并先后开展了10多项性能测试。立塔技术的负责人陈彬介绍，该抱杆最大全座地整体高度达446米，起重力矩达到1500吨米，起吊作业半径为50米，起吊重量达30吨，刷新了全世界同类型全座地双臂抱杆的多项纪录，不仅适用于420米以下各类特大型输电线路跨越塔的施工，还为今后更高的跨越塔组立预留了技术储备。

按照常规，超高铁塔组立过程中，施工人员每攀爬塔上塔100米需耗时15分钟并休息10分钟。以该工程385米高塔为例，单人单上塔至少需1小时，一个作业组完成塔上集塔需1.5小时以上。为解决这一难题，项目部研制出了SCQ90斜线式作业人员运输升降梯，额定载重10人，最大起升高度达332米，乘坐升降梯上下来回最多只需5分钟，不仅大大提高了工效，还减少了高空移动风险，降低了作业人员的体力消耗，保障了人身安全。这也是斜线式运输升降梯在

输电线路超高铁塔施工中的首次应用。

为解决普通牵引绳盘卷量小的问题，项目部研发了长距离牵引绳自动展放回收装置，实现了4800米大规格引绳一次性连续展放、排线和回收，减少了换盘时间，导地线展放效率提高2倍以上，解决了传统牵引绳多次分盘展放、费时费力等难题。

据测算，该工程采用创新研制的多项新型装备后，组塔工期共缩短了近5个月，减少了近9000人次的高空作业人员投入。

实施细节管控

2021年6月，施工进入组立铁塔阶段。在跨越塔主管钢骨安装的有限空间作业中，塔上钢管温度超过60℃，作业人员头戴厚重的安全帽仿若置于蒸笼之中，衣服上干了湿了，湿了干了，背上都是白花花汗渍。“要做到先通风、后检测、再施工，降温马甲和冰袋一定要提前检查好，防止中暑！”每次登塔作业前，省送变电公司南塔施工项目经理肖长生都要反复强调注意事项。这是整个工程建设中以细节管控安全和质量中的一幕。

架线施工尤其注重细节控制。导地线的线长以及弧垂控制需要精确到毫米级。“我们研制和应用了智能牵引走板、弧垂测量的小型作业机器人和划线机器人等新型施工装备，用以替代现有人工观测弧垂的方式，实现了对2550米特大跨距大截面、大张力多分裂导线弧垂的精确测量控制，大幅提升了架线工作效率，缩短了封航警戒时间，有效降低了安全风险。”该公司工程架线技术专家马昊说。

与此同时，在全过程施工安全监督中，全塔设置了垂直和斜材“生命线”、专业风偏器、水平移动扶手等，为高空作业人员配备全方位安全带和速差器等安全防护用品，确保高处作业安全。所有参建人员除了入场安全教育培训交底，还根据施工进度，分阶段进行安全技术交底，确保形成自上而下、层层压实、分工明确的作业组织保障体系，实现了“高空零落物、人员零伤亡、机械零故障”的“三零”安全目标。

王小波 马龙

500千伏凤城—梅里输电工程的五个“世界之最”

铁塔高度世界第一

工程处长江航运的“黄金水道”，导线弧垂与江面之间须留出巨轮通航高度57.8米。同时，考虑安全距离、综合误差、跨绝缘子长度、安全富余高度和塔头高度等，经过数十次优化设计完善，最终将跨江铁塔高度确定为385米，相当于128层楼高，刷新了输电铁塔的高度纪录。

为确保“擎天巨人”跨越塔结构稳定，塔身采用钢管结构，重达6500吨，塔腿197米及以下灌注混凝土，117米及以下首次应用环状钢骨构件，并在下横担连接处首次应用铸钢节点。在其设计过程中，先后建立21种模型，对100种荷载工况进行了16组迭代计算验证，对其双圈法兰、变坡节点、铸钢节点等核心部件开展了5轮优化论证，确保其结构科学、质量可靠。

铁塔根开世界第一

作为世界最高输电铁塔，其根开即铁塔相邻两根塔腿之间的距离为75米，创造了电力工程建设历史纪录。

铁塔的根开设计，既需要确保支撑塔身稳定，又要合理节约土地、混凝土、钢筋等环境和材料资源，以达到工程安全、质量与最佳经济环境效益间的平衡。因此，设计人员通过反复计算，并利用仿真模型进行验算论证，最终设计为75米见方的铁塔基础，其面积相当于13.4个标准篮球场。

每个跨越塔基础使用混凝土12500方、钢筋1690吨，由5个矩形承台、4道连梁和143根钻孔灌注桩构成，钻孔灌注桩最深达65米。施工中，先后应用了超声波、高低应变、钻芯取样等多种检测方法确保桩基质量，并严格做好环境保护和水土保持。

电梯提升高度世界第一

如此高的铁塔，运行过程中的检修和维护，对人员和工具的快速便捷上塔提出了要求。不同于此前同类工程所配备的齿条式电梯，此次大跨越铁塔采用世界输电领域最高的曳引式电梯，将之安装在直径仅3米的井筒内，提升高度为378米，并首次实现了“一梯到顶”。

运维人员乘坐电梯仅需3分钟即可直达385米高的铁塔顶部平台开展工作，检修和维护的安全性、人员舒适性和工作效率得到大幅提升。

抱杆高度世界第一

塔材运输到现场后，首先须在地面完成防腐涂装、颜色标识涂装等工序并进行预组装，再由辅助吊装设备“抱杆”将其吊装到空中，由高空作业人员配合完成铁塔组立工作。本次工程定制了全高432.4米的座地式双臂抱杆，臂展达50米，最大起吊重量达30吨，可将物件提升400米，是目前世界输电领域高度最高、工作幅度最大的电力抱杆。抱杆上安装有10组传感器和摄像头，将实时数据和图像传送至施工监控大厅，便于施工指挥员、抱杆操作员发送指令、集中控制。

利用这一抱杆，施工人员按照“顶升抱杆—地面组装—灌注混凝土”的步骤对跨越塔进行逐段施工，仅用时252天就完成了跨越塔的全部组立工作。

地脚螺栓群重世界第一

为了支撑两座合重13000吨的“巨无霸”铁塔，本次工程通过力学模型推演和仿真计算，采用了特制的内外双圈地脚螺栓群。其单腿螺栓群重量达9.2吨，每塔4条塔腿所用螺栓群重达36.8吨，创造了输电领域的又一项世界第一，确保了大跨越铁塔的安全稳定矗立。



- ①:2020年9月25日，经国家发展改革委正式核准批复，工程正式开工。
- ②:2021年5月15日，由江苏省送变电有限公司历时一年多研究设计的T2T1500大型落地双臂抱杆抵达工程长江大跨越北塔施工现场。
- ③:2021年2月7日，工程首个主塔承台——B腿承台混凝土浇筑顺利完成，比预期提前了6小时。
- ④:2021年6月22日，在工程长江大跨越北塔施工现场，主塔组立工作正式开始。
- ⑤:2022年6月13日，随着导线最后一个间隔棒安装完成，工程长江大跨越跨江架线顺利完成。
- ⑥:2023年6月下旬，施工人员正在工程江南段开展高空走线验收。

史俊 马龙 董小强 摄文

江苏省已建成的其他5条高等级过江输电通道



1988年·镇江大跨越
500千伏扬州江都—镇江梦溪(大港)线



2004年·江阴大跨越
500千伏泰(泰兴)斗(斗山)线



2005年·大胜关大跨越
500千伏南京秋藤—秦淮线



2007年·三江口大跨越
500千伏南京三汊湾—龙王山线



2019年·苏通GIL管廊
1000千伏苏通GIL综合管廊工程