

编者按 羊场乡纳木村分布式智能电网示范区是南方电网重点科技项目和贵州省科技支撑计划项目，南方电网贵州电力科学研究院以数字化技术助力“分布式智能电网”在盘州市羊场乡纳木村落地示范，该示范区同步被确定为南方电网柔性配网示范区和贵州电网新型电力系统示范区。示范区主要面向农村能源绿色低碳发展转型和高品质可靠供电需求，新型网架结构、多种控制模式和系列数字化等提供重要技术支持。

因地制宜 科学打造羊场乡“柔性配网示范区”

■ 本刊编辑部 耿立宏 冯兴华

南方电网公司战略规划部 黄震宇

贵州电网有限责任公司战略规划部 贺红艳

贵州省盘州市羊场乡纳木村是国家美丽乡村、省级文明示范村、中国少数民族特色村寨，居住着布依族、白族、苗族、彝族、汉族等多个民族，少数民族占全村人口的2/3，全村共有3 520人，有10个自然村寨，辖16个村民组。羊场乡全年绿色资源丰富，拥有近千个分布式电源，包括扶贫光伏、小水电等。目前纳木村关庄新村台区（315千伏·安）用电居民81户，用户光伏发电量216千瓦·时；桥孔2号台区（50千伏·安）用电居民25户，用户光伏发电量30千瓦·时；光伏车棚的光伏板57块，其光伏发电量30千瓦时。据介绍，由于农村地区负荷具有“季节性+迁移性”特征，电网投资和设备利用率间难以平衡；丰富的屋顶资源吸引分布式光伏大量接入电网，但清洁能源消纳需求与薄弱网架结构间难以平衡；农村电能替代爆发式增长，依靠电能助力产业升级转型需求旺盛，但电网供电可靠性提升和投资受限难以平衡。针对以上问题，在南方电网贵州电网公司的统一部署和精心指导下，贵州电网公司六盘水供

电局与电科院于2022年启动六盘水羊场乡纳木村分布式智能电网示范区项目建设，2022年投入800万元、2023年投入500万元，累计总投入1 300万元。

据介绍，贵州电网公司采取“柔性互联交直流混联微网建设”的建设思路，通过南方电网4项重点科技项目和贵州省1项科技支撑计划项目，助力“分布式智能电网”在盘州羊场乡落地示范，并将盘州羊场乡确认为南方电网“柔性配网示范区”，将试点运用交直流共杆架设、台区互济、“分布式光伏+储能新技术”，以及确立含高比例光伏配电网自动化技术，重点解决电能质量、网络损耗、故障隔离、分布式台区管控等问题，大幅提升低压配网的灵活可控能力、潮流交互能力和农村电网的电压合格率，最终建成柔性交直流互联乡村智能微电网。

科学论证 破解难题 建设“柔性配网示范区”

贵州电网公司三级领军专业技术专家蔡永翔博士介绍，通过多次深入

贵州省盘州市羊场乡开展实地调研。在与当地村民亲切交流沟通中，得知了数千户农村屋顶光伏用户的用电情况以及存在的并网问题：（1）电压越限问题突出。在光伏大出力时，极有可能产生电压越限的问题，馈线末端造成过电压。当馈线末端过电压现象较为严重时，会导致用户的家用电器无法启动，从而导致用户用电体验降低，甚至烧毁家用电器，甚至可能导致用户频繁投诉。（2）变压器过载烧损。当返送功率足够大时，还会导致变压器过载现象，相同的重过载程度，但反向重载会比正向重载更容易增加配电变压器的运行铁芯饱和，造成变压器烧损的问题。（3）三相不平衡问题突出。经现场调研，屋顶光伏平均容量3~5千瓦占绝大多数，采用单相并网，并网位置和容量随机性较大，加之光伏的间歇性、随机性和波动性，三相不平衡问题极为突出。如，盘州羊场乡示范区光伏台区平均三相不平衡率为396.6%，三相不平衡率较为严重的光伏台区有12个。

针对存在的问题和难点，贵州电

网公司认真贯彻中央“发展分布式智能电网”的思路,通过科学论证和工程实践,坚持科技创新服务生产实际,在建设过程中先后采取交直流网络结构、配电台区主动支撑、分布式能源数字化技术,构建起了绿色可靠供电体系。

交直流网络结构

据介绍,在保留现有交流网架结构和用电形式不变的情况下,将直流网络嵌入现有交流台区的首末两端,实现交流直流的同通道架设,实现不新增低压配电通道的情况下,对现有交流通道进行扩容,首尾两端的换流装置可以同步参与交、直流电网潮流的优化与调节,实现电压控制、三相不平衡调节及网损优化的功能。此外,将两交流台区通过交直流装置进行互联,实现台区的功率互济,平衡不同台区的变压器负载率,进而优化台区运行条件,提高设备的利用率。以上两种交直流网络结构的直流线路部分支持分布式光伏与充电桩的直接直流并网。

交直流网络结构对于提高非化石能源的消费比重有较大优势。交直流网络结构利于将有功无功的调节责任从用户转移到电网公司,增强电网对于交、直流潮流的调节控制能力,具备对交流电网的电能质量治理功能(如高低电压控制、三相不平衡调节以及无功补偿等);交直流软隔离状态避免光伏问题从直流转移到交流,不影响现有用户用电。由于不需要新架设新通道,对台区改造的成本大大降低,通常情况下改造成本较传统交流改造可降低50%~80%。

配电台区主动支撑

主动支撑旨在利用构网装置和少量储能来解决分布式清洁能源的消纳和台区复电问题。受地理条件、基础



羊场乡纳木村屋顶光伏全貌

设施和地质灾害的影响,传统山区电网可靠性问题突出,基层工作人员复电压力极大,新建一个微电网投资较大。为了解决这些问题,贵州电网探索研制构网型储能换流器(PCS),将分布式光伏这一消纳负担转换为调节资源。通过充分利用构网型PCS的功率、电压平衡能力,实现基于分布式光伏返送电能和储能充放电的台区主动支撑,同时具备削峰填谷以及灵活调节能力,明显降低微电网的建设成本,缓解10千伏电网的复电压力和投资压力。

分布式能源数字化技术

分布式能源数字化技术旨在构建一套以数字为尺的绿色低碳价值体系,形成“数字-能量-碳排放”的立体价值标签,引导清洁能源有序并网,形成能源低碳流,促进低碳节能与收益、效率形成强相关。包括:(1)构建省域分布式光伏监控平台,支撑对全省分布式光伏的风险监测、智能评估和并网规划。(2)研制基于全国产“伏

羲”芯片新能源测控终端和智能光伏断路器,支撑台区新能源并网信息同步、边缘计算、本地控制、拓扑识别、潮流分析及智能保护等功能。(3)构建“云平台—智能测控终端—系列端设备”分层数字化体系,实现省域分布式光伏监控平台支持分布式光伏台区风险监测、智能评估和并网规划;新能源测控终端和智能光伏断路器,实现信息同步、边缘计算、本地控制等功能;通过协议转换装置,实现对分布式清洁能源的通信和柔性调节。

“云平台—测控终端—系列端设备”系列分布式能源数字化技术,实现了对全省分布式光伏的风险监测、智能评估和并网规划;新能源测控终端、智能光伏断路器和协议转换装置,实现了对分布式新能源台区的“可观、可测、可控、可调”。

积极探索 推动农村电网数字化智能化

据介绍,为了解决农村电网分布



中国南方电网柔性配网示范区展示板

式光伏消纳难题，在蔡永翔建议下，2021年在南方电网贵州电网公司组建了专业的研究团队，开展了独立自主的创新研究。通过大量现场调研实测，蔡永翔在实验室搭建了与现场1:1的数字物理仿真平台，对光伏系统和配电网运行特性的相互影响进行了深入模拟和分析。同时，还前往多个生产制造厂家调研，了解国内外光伏并网设备和技术，自主构建新型配电网数学模型和算法，设计光伏智能断路器、新能源智能网关等装备，在充分了解有关部门中长期发展规划基础上，通过采纳基层一线供电局意见，使技术方案既符合现实需求，又具有前瞻性和可持续性。

蔡永翔作为主要技术负责人全力支撑盘州市羊场分布式智能电网以及贵州电网新型电力系统示范区的建设工作。羊场乡分布式智能电网同步作为南方电网近零碳示范区、南方电网柔性配网示范区等试点。贵州电网利用大数据、云计算、物联网等先进技

术，实现了农村电网的智慧监测、智慧调度、智慧运维和智慧服务，极大提高了农村电网的供电可靠性。通过省域分布式光伏监控平台，实时监测和分析全省的光伏系统、配电网的运行状态和数据，及时发现和处理了各种异常现象和故障，避免了光伏切机和供电中断等情况。通过采用低压交直流装备、光伏智能断路器以及新能源智能网关等装备，对农村配电网进行了智能化改造和优化，使得电压波动幅度明显下降、电压合格率明显上升、线损降低、功率因数提高。通过构建综合能源系统，将多种能源形式深度融合，实现了农村能源的高效利用和清洁发展，提高了光伏新能源并网比例。

据了解，贵州电网通过省域分布式光伏监控平台，形成了“系列端设备—新能源网关—系统主站”体系化分布式新能源数字化技术，有效提高了配电网分布式光伏消纳能力和安全稳定运行水平，为我国农村区域分布

式光伏发展提供了有效的技术参考。

提升群众用电幸福感 赢得百姓广泛认可

2022年底，南方电网柔性配网示范工程正式投入使用。项目采用台区柔性互联、“分布式光伏+储能”等数字化和智能化技术，促进源网荷储充的便捷并网，实现了六盘水羊场分布式智能电网示范区“可观、可测、可控、可调”，推动了绿色低碳发展。目前纳木村年电压合格率由99.91%提升至99.99%，用户平均停电时间减少50%以上，光伏消纳能力提升30%以上，过电压率从90%降至4%以下，且过电压程度降低30%以上，满足大规模分布式新能源接入和乡村生产生活电气化需求。项目实施保障了纳木村村民安全可靠用电，极大提升了农民群众用电的幸福感、获得感，赢得了老百姓的广泛认可。该示范区是南方电网范围内以“两化协同”促“两型建设”在农村能源绿色化低碳化转型方面的典型案例。目前该示范区正在努力打造成为中央企业助力乡村“五大振兴”优秀示范案例，对巩固拓展脱贫攻坚成果、促进乡村振兴具有重要意义。

采访中我们了解到，纳木村安装了光伏发电板的366户村民，每年都能得到200多元补贴。光线充足的时候，每天最多约能发10千瓦·时，除了自用，剩下的电能上网。每发1千瓦·时可获得0.37元的可再生能源补贴。如果用户自己使用这1千瓦·时，可为用户节省0.46元；如果用户没有使用这1千瓦·时，上网后可获得0.31元购电电费。通过自发自用余量上网的方式，纳木村村民享受到了农村电网升级改造、农村清洁能源建设带来的实实在在的红利。■