



风“光”这边独好

——云南省昆明市宜良县稳步推进光伏发电建设

■ 本刊编辑部 耿立宏 冯义华
南方电网公司战略规划部 黄震宇
云南电网公司宜良供电局 李兴龙

宜良县位于云南省中部、昆明市东部，地处昆明市、曲靖市、玉溪市的三角中心，县城距离昆明市区 52 千米，是滇中城市经济圈的核心连接地带。属于亚热带高原季风气候，年平均气温 16.3℃，是云南省太阳能资源较丰富的地区之一。地势北高南低，东西两面环山，中部地势平坦，南盘江（属珠江流域西江水系）、贾龙河、麦田河、摆依河、阳宗海的水灌溉着宜良坝子，成就了宜良百年“滇中粮仓”的美誉。宜良县自古交通发达便利，是昆明通往滇东、滇南的交通要塞，也是其旅游业发展的坚实基础。宜良县旅游资源丰富，如诗如画的美景吸引着四海八方宾朋。

近年来，农业大县宜良深入贯彻落实习近平生态文明思想，把党的创新理论学习成果转化为高质量发展成效，抢抓国家大力推进绿色低碳发展机遇，转

型发展，聚焦“双碳”目标，打好“绿色能源牌”，立足区域资源禀赋和产业优势，积极探索风光、储能新模式，着力打造百万千瓦级新型能源基地。目前，全县规划清洁能源装机总容量 136 万千瓦，其中风电场址 3 个，总装机容量 53 万千瓦；光伏场址 7 个，总装机容量 71.5 万千瓦；全县屋顶分布式光伏 11.5 万千瓦。2021—2023 年，全县获得新发“药光互补”光伏发电、中营风电、张官营复合光伏等 8 个新能源项目，已建成并网发电项目 2 个、在建集中式光伏发电项目 4 个、拟建项目 2 个。这些规划的新能源项目全部建成投产运营后，预计每年产值将达到 10 亿元以上，税收约 1.5 亿元。

宜良县供电局介绍，截至 2023 年 12 月，宜良县已投产 1 个集中式光伏电站。耿家营乡石子村委会、玉鼓社区“药光互补”光伏电站，总装机容量

120 兆瓦，于 2023 年 3 月并网，采用“一地多用、药光互补”的新型特色农业发展模式，具有发电能力，又能为中草药提供适宜生长的环境，每年可节约标煤 60 700 吨，减少二氧化碳排放约 162 800 吨。月度上网电量约 60 万千瓦·时，年上网电量约达 1.5 亿千瓦·时。

宜建尽建 合理配置 统筹推进光伏项目规划建设

宜良县供电局介绍，宜良县委、县政府高度重视光伏项目开发建设，专门成立了“碳达峰、碳中和”分布式光伏规模化开发试点工作，由宜良县发改、工信、自然资源、生态环境、住建、农业农村、有关乡镇街道、供电企业等单位组成，按照《云南省能源局关于印发整县（市、区）屋顶分布式光伏试点工作推进方案的通知》（云

能源水电〔2021〕213号)要求,全面统筹协调县资源,摸排屋顶情况,指导项目业主依法依规办理申请、备案、接入、并网验收及运行、环评等报批手续,保障试点工作快速落地。

2021年,国家能源局公布整县(市、区)屋顶分布式光伏开发试点名单,云南省昆明市宜良县被列为国家级试点县以来,宜良县供电局高度重视新兴产业布局,以光伏发电为代表的新能源产业,迸发出前所未有的生机与活力。

根据“宜建尽建”、合理配置原则,宜良整县分布式光伏项目整体规划建设四期项目,分步实施。按照党政机关不低于50%,公共建筑不低于40%,工商业屋顶不低于30%,农村居民房不低于20%。四期总装机容量201.61兆瓦。

一期30个乡镇学校、行政办公建筑屋顶,总装机容量4.4兆瓦,已全部投产并网;二期96座党政机关、社区、村委会屋顶,总装机容量6兆瓦,计划2024年6月30日前并网投产;三期工业园区建筑物屋顶,总装机容量76.21兆瓦,计划2024年12月30日前并网投产;四期农户农用屋顶,规划2.2万户,总装机容量115兆瓦,计划2025年12月30日前并网投产,2024年12月30前预计并网投产9000余户。

截至2023年12月,宜良县已并网228个光伏安装点,其中居民家庭分布式光伏191个,总容量4.5兆瓦,其他分布式光伏37个,总容量4.6兆瓦,合计9.1兆瓦。

宜良县供电局介绍,目前已并网分布式光伏系统建设前均没有安装储能装置,所发电力就近消纳,其中接入交流220伏85个,接入380伏143个,接入公变197个,接入专变31个。已投产居民家庭分布式光伏月度发电量约35.03万千瓦·时,上网约33.55万千瓦·时,消纳约1.48万千瓦·时;

累计发电量1100.55万千瓦·时,上网1067.98万千瓦·时,消纳32.57万千瓦·时。已投产其他分布式光伏月发电量约36.18万千瓦·时,上网约19.61万千瓦·时,消纳约16.57万千瓦·时;累计发电量311.12万千瓦·时,上网电量149.97万千瓦·时,消纳约161.15万千瓦·时。

风“光”这边独好

宜良县供电局介绍,宜良县中营风电场是华润电力在云南投运的首个风电场,总投资5.3亿元,装机容量8万千瓦,安装13台风力发电机组,目前已全部并网发电。结合风力、光电优势,宜良县在全省率先与华润集团合作建设清洁能源开发项目。华润电力云南公司获得云南省能源局批准在宜良县建设新能源项目8个,装机79.5万千瓦,总投资37.42亿元。项目全部建成投产后,年发电量约21亿千瓦·时,年产值约6.4亿元,年缴税约1.1亿元。

除了在风电领域布局,宜良县还狠抓光伏项目。新发“药光互补”项目是云南省内首个“光伏+中药种植”的发电项目,按照“公司+产地公司(合作社)+基地”和“公司+种植大户+基地”的模式,一次性流转土地25年,农户在土地流转时可获得租地收入和地上附着物补偿,中药材种植时就可以就地务工获得收入,中药材销售后可获得集体分红。该项目通过一地两用、工农结合,提高了单位面积土地综合效益,拓宽了当地村民致富路径,同时,农村土地经营权流转还壮大村集体经济,光伏产业成为乡村振兴的助推器。

目前,全县正在稳步推进整县屋顶分布式光伏发电项目,总投资约5.5亿元,规划总装机容量11.5万千瓦。截至2023年12月,宜良县已率先实

现国家整县屋顶分布式光伏开发试点项目分期投产。位于耿家营乡的华润宜良新发“药光互补”光伏发电项目总投资约6.25亿元,工程装机容量为12万千瓦,目前已实现全容量并网发电。投产运营后年产值达4000万元,每年可为地方纳税约600万元。

科学应对县域电网面临的困难和挑战

配电网承受能力面临重大的考验。由于宜良配电网架基础相对薄弱,随着高比例分布式光伏“井喷式”增长,电网出现反相重过载、三相不平衡情况,对县城台区配变及网架承载能力将造成极大压力,同时由于承载能力评估及预警不能有效及时收集分布式光伏发电侧数据(逆变器厂家不同、通信规约受限等),造成评估不精准,难以实现可观、可测、可控。目前,宜良供电局中压反向重过载线路占比10.5%;公用反向重过载配变占5.2%,三相不平衡台区占比9.8%。预计随着分布式光伏井喷式发展,2025年中压反向重过载线路、公用反向重过载配变、三相不平衡台区占比均将超过20%。

难以有效平衡、抬高系统电压。宜良局目前接入公变的197个光伏安装点,其中100余台公变电压不同程度受光伏上网影响,抬高电压明显的公变有50余台(多为农村台区,光伏发电效能与农村负荷消纳不能同步,负荷消纳能力有限,同时发电侧无储能装置等),低压用户约10000多户,户表最高电压超260伏以上占比10%,超250伏以上占比72%,超240伏以上占比18%,对电压质量造成较大影响。

分布式光伏自用比例低,需多级升压送出,电量损耗大。宜良县分布式光伏以上网为主,自用比例较低,已投产分布式光伏用户平均自用电量

约 8.1%，其中户用分布式光伏自用比例仅为 4% ~ 7%。导致分布式光伏大量电量须多级升压送出消纳。经初步统计，以 380 伏接入电网的分布式光伏，升压为 10 千伏损耗电量 5% ~ 7%，如再升压为 35 ~ 110 千伏，损耗电量将达到发电量的 10% ~ 15%。

难以开展电网规划。电网规划是在负荷预测、电源规划之后，而目前宜良分布式光伏采用整县备案、分散开发的形式，即在分布式光伏具体开发地点以及每个地点开发容量还不确定的情况下，整县分布式光伏打包为一个项目进行备案，县域内哪里分布式光伏开发条件成熟，就开发哪里分布式光伏。导致只能分布式光伏外部开发条件成熟一处后，研究明确一处接入方案，无法整体考虑分布式光伏接入电网规划，给电网系统的负荷预测和规划带来许多未知因素。

配网电能质量问题各类多，调控设备难以兼容多种问题。宜良供电局介绍，随着电能替代设备的增多，配电网可能在不同时段面临过载、过电压、三相不平衡、低电压等问题，不同的问题需要不同的治理控制策略与运行方式，而当前配网治理手段及装置多针对某一类型问题设计，难以兼容实现低电压治理、过载治理、三相不平衡、分布式光伏上网造成电网波动等问题治理。

由于分布式光储系统分布范围广，难以实现人工巡查，无法实时监测分布式光伏面板、储能电池、逆变器的的工作状态，设备管理上存在极大的难度。而且，由于配网设备种类多，光伏、储能厂家众多，多类型通信方式混合并存，单独对每个产品进行定制化的数据采集和调控算法软件开发必将增加时间以及硬件成本，分布式光储设备难以进行人工巡查，面板、电池、逆变器等设备状态难以实时分

析查看，设备运维难度大。

目前采取的有效措施

据介绍，在云南电网公司和云南电科院指导下，以宜良供电局为试点，通过开展分布式光——储系统边缘自治控制的论证研究，在骆家营 2 号公变采用“配变监测终端+分布式储能系统”方式，配置储能，管理平台云边协同，实时监测台区配变线路运行状况。提升了就地就近消纳能力，还解决了配变、低压支线反向重过载和用户过电压问题，同时提升了单台配分布式光伏接入容量。

10 千伏线路：通过配自开关实现了线路运行数据（电流、电压、有功等数据）的实时监测、实现可观、可控。

低压台区：通过配置配变监测终端，实现了对电流、电压等数据进行监测和转发，通过电压监测系统、计量系统对配变台区负荷、三相平衡度、线路设备运行情况等实时监测。

实研结果

台区内当储能有功功率 50 千瓦放电时，台区节点电压可以升高大概 2.4 ~ 3.1 伏；当储能满功率 50 千瓦充电时候，可以造成大概 2.7 ~ 3.2 伏的电压降低。

当储能满容量无功补偿 50 千伏·安时候，可以造成大概 5.9 ~ 6.5 伏的电压升高；当储能满容量吸收无功时候，可以造成大概 5.2 ~ 5.6 伏的电压降低。

在含有分布式光伏并网的台区，储能系统的投入，能够对台区电压起到调节作用，试点台区由于光伏容量偏大，储能容量为光伏容量的一半，并不能在用电低谷时段全部消纳光伏发电容量，储能吸收和发出相同容量的无功功率调节电压比有功功率充放调节电压效果更明显，提供削峰填谷、无功支撑、三相不平衡治理等服务。

有关农村电网发展的建议

调研采访中，面对当前清洁能源建设快速发展的新形势，云南电网宜良供电局结合先行先试取得的经验，对科学推动光伏等清洁能源发展提出了合理的建议和措施。

科学有序发展。因地制宜制定分布式光伏发展规划，统筹考虑地区经济发展、用电需求和电网承载能力评估当地分布式光伏接纳能力，有序接入，高效利用。

鼓励光储一体化。通过政府相关政策引导鼓励，明确相关分布式光伏安装并网的光伏配套储能规定，完善科学统一的政策体系和并网技术标准，鼓励光储一体化，充分利用精准负荷控制、用户终端负荷、分布式储能，提高电网灵活性，实现不同场景下分布式光伏发电高效友好消纳、台区电能质量和供电能力提升，提升能源利用效率，助力清洁能源消纳。

调控的规范统一。面对设备种类多、分布广，多类型通信方式混合并存，云端平台缺乏有效的协同策略，应逐步规范统一，建立多种应用场景，通用性强、轻量化，成本低的智能终端以及全景监控运维系统，实现对配网可调可控设备的有效调控。

市场化机制调配。对分布式上网电价实施“峰谷”电价，通过合理的电价差，鼓励分布式电源在电力系统高负荷时段提供更多清洁能源，促进能源消费的合理分配和电网的平衡运行。

试点示范应用。对于高比例分布式光伏配网面临的光伏功率预测、保护控制、光伏消纳、线损抑制等问题亟需研究解决，由于大量的分布式光伏处于台区的管控盲区，难以得到有效的管理，应加大相关研究及试点示范应用的政策支持和资源帮扶。■