

绿能消纳新路径①

# 大河奔腾

“十五五”规划纲要提出,加快构建清洁低碳、安全高效的新型能源体系。近年来,我国新能源规模快速增长,消纳压力持续增加,统筹新能源开发与消纳,已成为能源绿色低碳转型进程中的重要课题。

大河奔腾,绿电澎湃。作为全国水电装机第一大省,四川通过水风光协同开发、打造内畅外联的输送网络、推动绿电资源多场景转化等途径,实现了新能源规模化开发与高质量消纳的良性互动。

川西高原地域辽阔、天穹澄澈。金沙江、雅砻江、大渡河自雪山高原奔腾而下,浩浩向前。独特的地形地貌与气候条件,为四川开发利用清洁能源提供了天然优势。

立足资源禀赋,四川近年来以加快构建新型能源体系为主线,着力打造水、风、光、氢等多能互补的能源格局。2025年,四川省规模以上工业水风光等清洁能源发电量达4113.3亿千瓦时,居全国第一位。同时,四川还不断推进跨区跨省电力外送通道建设,持续强化电力外送能力,探索能源消费绿色转型路径,提升绿色能源就近消纳效率,为区域经济发展与全国能源安全提供了坚实支撑。

来自四川省的调查

水风光协同 优化多能互补

本报记者 丁振乾 发源于巴颜喀拉山南麓的大渡河一路南下,自四川省雅安市石棉县以西陡然折转,继续奔涌向前。这条在我国历史上留下深刻印记的大河,自雅安市汉源县乌斯河镇起,切割出一段长约26公里的险峻峡谷,既造就了旖旎风光,也带来了源源不断的清洁能源。

从成都市区出发,驱车约3个小时,便可抵达位于雅安市汉源县与凉山彝族自治州甘洛县交界处的瀑布沟水电站。横亘在大渡河之上的水电站大坝巍然耸立,奔腾的大渡河在此“歇脚”,通过电站系统调控,经由进水口驱动发电机组,水流势能转化为清洁电能。

走进瀑布沟水电站指挥大厅,大屏实时滚动的数据精准显示瀑布沟水电站及深溪沟水电站的日发电量。国家能源集团大渡河瀑布沟水力发电总厂班组长吴振国介绍,作为西部大开发的标志性工程,瀑布沟水电站建设6台混流式机组,单机容量600兆瓦,自2010年全部机组运行投产以来,累计发电量超2080亿千瓦时。

相较传统火力发电模式,水力发电效率更高,成本更低,在运行人力配置数量上也远低于同等规模的火电厂。“水力发电站配备的高度自动化系统支持一键启停,采用远程集控中心监控。如遇特殊情况,会及时通知电站中控室。”吴振国说。

与瀑布沟水电站相距不远,是全国电压等级最全、同电压等级建设周期最短的瀑布沟500千伏新能源汇集站,该汇集站是“瀑布沟水风光一体化”的枢纽工程。

“大渡河汛期,枯水期差异明显,水力发电季节性波动较大,需配合风光电源调节,才能持续稳定供电。我们冬春季节以光伏发电为主,夏秋则以水电为主。”国家能源集团大渡河瀑布沟水力发电总厂新能源处副主任花振国介绍,为保障电网稳定运行,瀑布沟水力发电总厂充分挖掘汉源县、甘洛县等地的光伏资源。

有着“攀西阳光第一城”之称的汉源县,年均日照时数1450小时,发展光伏产业得天独厚。“经前期勘察,我们在汉源片区规划了约181万千瓦的风光资源。”花振国所在的团队于2022年启动光伏电站建设,目前该厂已具备72万千瓦光伏装机容量,最终并网至瀑布沟新能源汇集站。“清溪、

甘洛二期两座光伏电站,将分别于今年6月、12月建成投用。届时将有力增强瀑布沟水力发电总厂的供电能力。”花振国说。

在推进光伏电站建设的同时,瀑布沟水力发电总厂已完成35万千瓦的风电项目装机容量确权工作。随着光伏电站、风力电站相继建成投运,光电、风电等清洁能源可在非汛期或水电站检修期间,充分利用外送通道的富余容量,提高整体外送效率,“水风光一体化”发展步伐走得越发坚实。

建成投产白鹤滩、乌东德、苏洼龙等10座大型水电站,规划建设雅砻江流域水风光一体化基地,天然气(页岩气)年产量稳居全国首位……截至“十四五”末,四川水风光及生物质发电装机容量达1.25亿千瓦,占全省装机总量的89%,其中水电装机和发电量居全国首位,风电和光伏发电装机容量分别较2020年末增长113%、758%,新型能源体系建设成效显著。

## 畅通输送通道

长期以来,我国能源资源储备与消费呈明显的逆向分布态势——储备主要分布在北部和西部地区,消费相对集中在东部和南部地区。自高山峡谷转化而来的丰沛清洁能源,如何突破山河阻隔,真正转化为经济社会高质量发展的引擎?答案就藏在特高压输电技术中。

特高压输电技术是指交流电压1000千伏、直流电压±800千伏及以上的输电技术,被誉为电力系统“超级高速公路”,可实现电力的远距离、大容量传输,在优化能源资源配置方面发挥着重要作用。

随着我国现代化产业体系发展壮大,全国多地的电力需求日益增长。作为全国优质清洁能源重要基地,“西电东送”重要送端,四川持续畅通电力外送通道。目前,四川电网以四川为起点,建成8条跨区域特高压交直流输电线路,规模居全国省级电网前列,清洁能源外送能力逐年攀升。

2024年12月,1000千伏川渝特高压交流工程正式建成投用,这是我国西南地区首个特高压交流工程。该工程让四川电网主网架实现电压等级跨越,也是四川畅通能源外送通道的有力见证。“十四五”时期,四川电网主网架实现历史性跨越,雅中—江西、白鹤滩—江苏、白鹤滩—浙江、金上—湖北4项±800千伏特高压直流工程先后建成投用,通过跨省电力外送骨干网络,与华东、华中等地电网实现互联。2025年,四川外送清洁能源电量超1700亿千瓦时,为构建全国统一电力市场、落实“双碳”目标提供坚实支撑。

特高压输电线路既搭建起清洁能源跨省调配的骨架,也成为四川省内能源调配的“大动脉”。3月底,攀西1000千伏特高压交流工程正式开工,这是“十五五”时期国家电网首个开工建设的特高压交流输电工程。建成投用后,将有力服务成都、川南等用电负荷中心,每年可输送电量约182亿千瓦时,相当于替代标煤约588万吨,减排二氧化碳约1446万吨。

在打造电力“超级高速公路”的同时,四川电网坚守生态底线,实现能源输送与生物多样性保



四川省凉山彝族自治州布拖县的特木里镇风电场。 薛世煜摄(中经视觉)



护协同,以“绿网”送绿电。国网四川省电力公司遵循飞鸟与银线共生的环保理念,将生态保护有机融入工程建设。

位于阿坝藏族羌族自治州境内的若尔盖、红原等地多为草原地貌,缺少适合猎隼等猛禽筑巢的高大林木,因此输电塔成为不少飞鸟筑巢的选择。2021年,国网阿坝供电公司探索“护线爱鸟”新路径,并成立“四川猎隼队”,邀请电力、林草等行业专家共同商讨电网与鸟类共存方式。自成立以来,四川猎隼队通过模仿自然环境,搭建人工鸟巢、布设定制藤条巢基等举措,让输电铁塔、线路与沿线高原草原生态融合共生,霞光、猎隼、银线共同绘就了一幅生态和谐的画卷。

## 拓宽消纳场景

电力是保障民生平稳、支撑产业发展的重要基础,能否合理调配电力资源,保障电力供应稳定,深层次影响着区域内的生产生活。去年夏天,四川经历了3轮大范围高温天气,省内用电负荷4次刷新历史纪录,却未出现大规模用电紧张的情况。这离不开当地对电力资源的统一调度和合理配置。

过去四川也曾经历过用电依靠外省“救济”的日子,如今随着对水电、风电、光伏等清洁能源的深入开发,四川资源储备优势日益凸显,正加快成长为全国重要清洁能源基地。在当前发电条件下,如何合理调配电力,既服务好国家战略需求,又保障自身用电需求?

“我们坚持电网‘统一调度、分级管理’,发挥全网统一调度和大电网资源配置优势,不断提升全网各类电源的调节能力和跨省跨区输电能力,协助政府部门持续深化电力中长期、现货、辅助服务市场建设,优化统筹省内、省间市场和发用两侧主体,保障新型能源的高效消纳。”国网四川省电力公司电力调度控制中心相关处室负责人说。

随着新能源装机容量进一步增长,新能源消纳压力日益凸显。国家发展改革委等部门于2025年提出支持零碳园区建设的意见,鼓励全国各地因地制宜发展绿电直连等能源供应模式,逐步减少工业园区碳排放量。

位于四川天府新区兴隆湖畔的成都科创生态岛,凭借智慧高效的能源供给系统,入选生态环境

部绿色低碳典型案例。作为四川省首批近零碳排放园区试点,该生态岛构建起多能互补的“零碳用能”系统,借助智慧微电网、集中能源站等关键要素,实现可再生能源利用率超70%的近零碳目标。岛上的能源站采用“地源热泵+热源塔热泵+冷水机组+水蓄能”复合技术,根据季节时令灵活调控,储存冷/热源,降低岛上用能成本。

当前,零碳园区等绿色能源消纳新路径仍处于蓄力起步阶段。今年3月,四川省工业环境监测研究院发布了《四川省零碳工业园区技术装备供给清单》和《四川省零碳工业园区典型场景案例》,旨在精准对接零碳工业园区建设供需双方,推动绿色低碳场景加快落地。四川省经济和信息化厅党组书记、厅长翟刚表示,当地已累计培育国省绿色工厂745家、绿色工业园100家,制造业绿色低碳转型基础底座不断夯实。

能源结构向绿向新,带动产业结构提质升级。产业结构的进阶,也进一步拓宽了新能源消纳场景。曾经以“一黑一白”(煤炭、白酒)产业为主的宜宾市,近年来形成“一蓝一绿”(数字经济新蓝海、绿色新能源)的产业格局,绿色能源产业对当地经济发展的贡献度逐年提高。依托四川省内丰富的清洁能源,宜宾市动力电池产业快速发展,生产过程中清洁能源使用占比达80%,既降低了生产成本,还可有效应对全球贸易中的碳关税壁垒,助推宜宾动力电池走向世界。如今,全球每10块动力电池中,就有1块产自宜宾。

2023年,宜宾市动力电池产业产值首次突破千亿元大关。去年,宜宾提出到2030年,全市动力电池总产量达400吉瓦时,全产业链产值达3000亿元的目标。宜宾顺利实现由传统产业向现代化产业的转型跨越,成为全国动力电池产业链最全、配套能力最强的地区之一,也大大提升了本地新能源消纳水平。

从大渡河畔水风光一体化协同发力,到特高压银线跨山越海织就能源输送网,再到零碳园区、动力电池全产业链让绿电就地高效转化,四川立足得天独厚的清洁能源禀赋,蹚出了一条契合自身的绿电消纳新路径。未来,四川将持续深耕新型能源体系建设,做强全国优质清洁能源基地。

# 起舞

## 点评

# 全链条优化电力外送通道

刘畅

作为全国首个水电装机规模突破1亿千瓦的省份,四川是我国“西电东送”战略的核心枢纽,清洁能源跨区跨省外送能力居全国首位。在新型能源体系建设加速推进的背景下,唯有以全链条优化外送通道为抓手,统筹水风光协同开发、多能互补系统调节、全场景市场化消纳,才能真正打通东西部绿色经济协同发展的价值通道。

外送通道价值的充分释放,根基在于以水电为核心锚点重构电源供给体系。四川水电装机占全国的20%,坐拥金沙江、雅砻江、大渡河三大流域梯级水群,给外送通道提供了坚实保障。当前通道利用的核心痛点,在于应对水电丰枯矛盾与气候适应性挑战。唯有持续增强电力系统的顶峰保供与互联互通能力,推动水风光协同开发,让风电、光伏依托水电的灵活调节能力实现规模化、高消纳,才能从供给端破解通道利用率不均衡的难题。此外,依托大型水电基地的调节能力配套布局流域风光资源,既能提升通道全年利用率,还能实现规模化的绿电供给,助力探索新能源与新兴产业融合互促路径,让外送通道从季节性波动送电转向全年稳定供应,最大化发挥跨省输电工程的经济效能。

外送通道价值的稳定保障,核心在于多能互补系统调节建设,筑牢外送系统韧性的安全底座。“靠

天吃饭”依然是四川水电发展亟待补齐的短板,其本质是调节能力与供给规模、外送需求不匹配矛盾。极端天气下,电源结构“水电独大”的脆弱性,既考验省内保供底线,也影响跨省电力交易的稳定性。唯有加快抽水蓄能电站建设,推进既有梯级电站扩机扩容,推动水、风、光、氢、天然气多能互补,才能充分发挥电源侧削峰填谷作用,让外送通道兼具“稳送能力”与“互济功能”。

外送通道价值的深度挖掘,关键在于完善多层次市场化体系,打通清洁能源全场景消纳的价值闭环。外送通道绝非简单的“电力输送高速公路”,更是清洁能源全维度价值跨区域流转、东西部绿色协同发展的重要载体。当前四川全口径外送电量已超1.9亿千瓦时,唯有加快完善适应新能源参与的电力市场规则,方能精准对接负荷中心的需求。同时,依托通道网络优势拓展省内就地消纳场景,实现“省内消纳提质、跨省外送增值”的双向突破,真正把四川的清洁能源资源优势持续转化为产业竞争优势和经济发展优势。

站在水电装机破1亿千瓦的新起点,以水、风、光协同开发筑牢供给根基,以系统调节夯实稳定底座,以市场化改革释放清洁能源价值,四川必将实现从“水电大省”向清洁能源强省的跨越,为全国“双碳”目标实现注入源源不断的绿色动能。

位于四川省雅安市汉源县与凉山彝族自治州甘洛县交界处的瀑布沟水电站。(资料图片)