

南瑞集团全程助建——

# 全球首个梯级水光蓄互补电站投产

■ 王雁 王舒 卢媛迪

6月17日，四川省阿坝州小金县的小金川集控中心内，南瑞集团技术人员正在进行梯级水光蓄平滑控制试验。验证春厂坝抽水蓄能电站全功率变速抽蓄机组参与新能源互补运行的控制策略，进一步优化水光蓄互补协调控制功能。此前，南瑞集团已支撑服务世界首例梯级水光蓄互补联合发电系统正式投产。

小金川河流域已建成9座水电站，该项目利用木坡、贊拉、猛固桥3个梯级小水电及周边分布式光伏电站，在原有春厂坝水电站厂区内外，新安装1台装机容量为5兆瓦的抽蓄机组，形成“195兆瓦水电+50兆瓦光伏+5兆瓦抽水蓄能”的梯级水光蓄互补联合发电系统示范工程。作为国家重点研发计划项目，该工程的顺利投运，对提升电网安全稳定水平具有显著的经济效益和社会意义。据初步测算，项目投产后，每年可增加水电消纳量975万千瓦时。

在小金川流域梯级水光蓄互补联合发电示范工程建设中，南瑞集团主要承担了梯级水光蓄互补电站联合运行控制与智能调度系统、全功率变流器、励磁系统、计算机监控系统、变速抽蓄机组协同控制器等核心控制设备的研制工作，助力攻克了梯级水光蓄互补联合发电系统联合运行控制与智能调度、变速抽蓄机组计算机监控国产化及协同控制技术、全功率变流器效率及功率密度提升、实现变速机组多工况场景下多变量解耦控制等难题。

## 联合智能调度破解互补调节难题

与一般流域梯级水电站调度控制不同，小金川流域梯级水光蓄互补联合发电工程涵盖了梯级水电调控、常规水力发电、光伏发电、变速抽水蓄能发电等多种模式。光伏出力受气候光照等因素影响会剧烈波动，而梯级水力发电又受到库容水位、运行工况、水量平衡等因素综合影响。如何实现



光伏和水电在复杂场景下多时间尺度的实时调节、优化控制和友好互补，是摆在研发团队面前的一道难题。

2018年，南瑞集团牵头的项目团队着手开展项目调研和策划。经过近4年的攻关，2022年2月，梯级水光蓄联合运行控制与智能调度系统投入闭环试运行。经测试，该系统水光送出最大功率波动率每分钟小于5%，实时调节精度偏差小于2%，各项性能指标均优于国家及行业标准，完全满足项目设计要求。

“梯级水光蓄联合运行控制与智能调度系统有效解决了光伏精细化预测、多目标多场景下梯级水光蓄互补电站实时调节与优化控制等技术难题，实现了关键技术国产化。”作为“联合运行控制与智能调度”项目团队的重要成员，南瑞集团现场技术人员单鹏珠全程参与了系统研发。

单鹏珠介绍，梯级水光蓄联合运行控制与智能调度系统基于层次化调度控制框架，分为控制层和调度层。其中，控制层可实现对梯级水光的协调控制、平滑控制和预测控制。平滑控制功能利用水电机组出力、抽蓄机组毫秒级调节特性分别平抑光伏分钟级低频波动、秒级高频波动；预测控制功能结合高精度光伏预测数据，制定短期、超短期发电计划，实现对水光出力的优化调度和经济运行。

## 变流器顶层设计攻克整机效率难题

常规抽蓄发电机组采用恒定转速机组，功率不能调整，要实现水光蓄互补发电，必须采用变速抽蓄机组。而变流器是实现变速抽蓄机组机电能量转换的核心装置。

春厂坝抽水蓄能电站应用了南瑞集团

最新研制的NES8000型中压三电平变流器，为春厂坝全功率变速抽蓄提供了定制化解决方案。

整机效率是体现变流器性能的核心技术指标。“为实现整机效率提升，我们从电气结构设计、驱动及调制三方面开展全面优化，实现了整机效率大于98%。”据南瑞集团现场技术人员庄圣伦介绍，他所在的团队通过三相一体阀串设计有效减小了回路寄生电感，降低了关断尖峰；采用总体布局设计理念，通过优化结构布局，将机网侧三相功率模组，从常规布局的三面机柜压缩为一面；通过滤波回路优化设计，极大降低了机网侧滤波回路体积。优化的驱动开关逻辑有效降低了关断时间，降低开关损耗。采用的不连续调制策略在兼顾电能质量的同时，等效降低了开关频率1.5倍。该变流器功率密度大于0.5兆瓦/立方米，处于国内领先地位。

## 多措并举解决变速抽蓄控制难题

在不同运行工况下，变速抽蓄机组全功率变流器存在不同维度的控制耦合问题。如十秒级的调速器与变流器有功超低频耦合，秒级的导叶动作与变流器转速控制间耦合，百毫秒级的变流器电压控制与发电机励磁控制间有功无功耦合等，这些耦合关系对变流器及励磁系统的控制提出了较高要求。

为保证机组全工况运行稳定，南瑞集团项目团队对变流器控制系统、水轮机等部件进行精确建模，详细计算各控制环节间的耦合关系，并设计出变流器、励磁系统解耦控制及关键控制参数校核方法。通过在实时数字仿真仪装置平台上与协调控制器间的详细测试论证，最终顺利完成现场全部试验，实现了变速抽蓄机组发电工况下快速功率及快速频率模式切换、抽水模式下转速控制平稳运行。

南瑞集团自主研发的变速抽蓄机组协同控制器是助力破解变速抽蓄控制难题的

又一“利器”。

全功率变速抽蓄机组的调速器和变流器均可调节机组有功功率和转速，控制过程中存在相互影响。协同控制器能根据有功功率设定值和工作水头，利用机组运行特性曲线，计算出最优转速和最优导叶开度，将有功功率、导叶开度和转速信号下发出给调速器和变流器，由调速器控制机组导叶开度实现机组有功功率和转速的粗调，变流器控制三相定子电压实现细调，最终达到协同控制的目的。但这项技术在国内尚无先例，国外厂商相关研究成果对国内尚未公开。

面对困难，南瑞集团项目团队迎难而上，历时两年多，通过数据分析、理论研究、算法验证等环节，成功研制出相关产品。自主研发的协同控制器攻克了全功率变速抽水蓄能机组监控系统、全功率变流器、调速器之间工况转换与协同控制难题，实现了机组发电和抽水工况下功率和转速的快速连续调节。5月20日，项目现场顺利完成了变速发电快速功率调节验证，标志着机组具备10%额定容量下的百毫秒级快速功率调节能力，为电站安全稳定高效运行提供了有力支撑。

“贵公司为国内首台全功率变速抽水蓄能机组贡献了南瑞智慧，充分展现了国有企业的责任担当。在此，特向贵公司和项目团队表示诚挚的感谢……”6月20日，国网四川电力发来感谢信，对南瑞集团和项目团队的付出表示了感谢。

全国首例水光蓄互补联合发电系统的成功运行，为流域水光蓄多能互补一体化开发提供了示范样板。“双碳”目标下，新型电力系统建设对抽水蓄能发展提出更高要求。下一步，南瑞集团将深入推进建设“一体四翼”高质量发展，持续把握能源电力技术变革趋势，整合内外部创新资源，不断提高在高端设备领域的核心竞争力，为提升流域可再生能源利用率，助力新型电力系统建设，构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系贡献南瑞力量。

# 阳泉经济绿色发展中的红色电力服务

■ 席少晨

7月2日一早，国网阳泉平定公司输电运检班班长王耀巍一行两人，整理行囊背起装备，在山间深一脚浅一脚地艰难行进着。“越是到了这节假日，越是用电的高峰，咱们的巡检就越忙、越不能马虎。”10年来，王耀巍已记不清在岗位上度过了多少个节假日。

国网阳泉供电公司太行黎明共产党员服务队共7支，队员210人。10年来，7支服务队牢记“人民电业为人民”的企业宗旨，按照“一队一特色”的思路逐年制定重点项目，常态化推进政治、抢修、营销、志愿、增容等服务，持续打造“电网情深，亮旗山城”党建品牌，在重大政治保电、优化营商环境、抗击疫情等急难险重任务中不断践行红色承诺。2022年，共收到地方政府指示批示3次，受群众表扬点赞200余次。

## “三网”融合助力全域 能源互联网建设

“老乡，这是低压智能感知装置，能帮助我们及时发现和处理供电设备隐患。”6月27日，在阳泉市一矿沙坪街道红岭湾小区的低压设备升级现场，阳泉平坦公司红

岭湾供电所台区经理崔洁荣对前来询问的刘大爷说。

今年，平坦党员服务队瞄准“阳泉矿区2023年全网不停电”目标，助力攻坚37项升级项目，全力打造具备高供电可靠性的“智慧电网特区”。以属地687个政府社区网格为基点，30名党员服务队队员协同60余名供电网格员，主动入驻社区网格开展供电服务工作，形成了1名红色网格员、2名供电网格员、N个包片负责社区网格的“1+2+N”服务模式。“三网”融合背景下，常态化入驻社区党群服务中心，建设红色网格责任田，常态化“包片走访”，让人民群众真切感受到“人在网中走，事在格中办”，共开展“点亮黑楼道 照亮回家路”等惠民服务行动49次。

## 电力义诊助力企业 绿色高效发展

“张师傅，您看电兆I厂222纵联差动保护屏931装置通道有异常告警……”6月11日，阳泉供电公司检修党员服务队深入华阳新材料科技集团有限公司电解铝分公司和兆丰铝电公司自备电厂开展“电力义诊”服务活动。

检修党员服务队始终以助推企业绿色



高效发展为目标，10年来，结合重点工作、节日特点制定“二十四节气”工作计划，有针对性地开展“电力义诊”系列活动。每月开展进企走访活动，深入了解客户用电需求，宣传最新的电力政策，为企业监测设备状态、诊断预防隐患、溯源评估故障，今年已累计走访、服务高压客户近400户。同时，进一步为企业开展能效评价并提出用能建议，从实际用电情况出发，真正为企业降本增效、节能降耗当好“电参谋”。

## 精准服务助力企业 纾困解难

“真是太感谢你们了，现在每个月我们

公司能节省电费12万元左右。”6月17日，山西同冠新材料有限公司相关负责人对前来电力义诊的阳泉公司营销党员服务队队员高兴地说。

山西同冠新材料有限公司主要产品

用于制造锂电池、合金材料等，2020年正

式被山西省工信厅列为战略新兴产业企

业。今年以来，面对复杂疫情形势，营销党

员服务队将缓解企业经营压力、降低企业

用电成本作为着力点和落脚点，组织开展

“三零”政策、“电e贷”电费融资服务推

广活动25次，全力扶持小微企业稳经营、渡

难关。截至目前，共为企业节约办电成本近

200万元，“电e贷”帮助企业交纳电费25

余万元。

国网武夷山供电公司：

# 新型电网嬗变 助力“三茶”统筹高质量发展

本报讯 6月27日，国网武夷山供电公司组织国家电网福建电力“双满意”（武夷山大红袍）共产党员服务队走进星村镇燕子窠生态茶园，对低压柔直新型电力系统互联设备进行巡视测温，确保设备正常运行。

据悉，低压柔直新型电力系统建设示范点，是武夷山供电公司对服务乡村振兴、助力茶、旅产业高质量发展的又一重要举措，也是武夷山电网建设变革的又一新兴点。

武夷山星村镇是乡村振兴的示范区，也是“三茶”统筹的基地。往年，镇区内合坪、洋头山、大布岭台区在1—3月、4—6月、6—9月等季节，大米加工、制茶、民宿等行

业存在季节性负荷峰值，同时，制茶用电负荷以每年7%的增长率增长，因此，推动茶产业能源供给清洁化、发展循环经济成为大势所趋。传统的“网随荷动”建设模式，每年都要根据负荷峰值对配电变压器进行增容或新建变压器分割负荷，投资成本大且会造成一定的生态植被破坏。

今年3月，武夷山供电公司燕子窠生态茶园建设新型电力系统柔直项目，运用低压柔直技术改变了传统网随荷动的建设模式，开辟了网荷友好互补的新局面，有效提升了配电设备利用率，缓解了季节性负荷峰值下的配变重载问题。该项目的正式投运，切实改善了星村镇区茶厂、民宿和大米加工厂等用户的供电质量，有效提高

了旅游、生产、生活的供电可靠性。

同时，武夷山供电公司紧扣地方经济发展方向，紧密围绕“推动星村生态旅游公路工程”“建设燕子窠‘三茶’统筹示范基地项目”“近零碳旅游示范区”“生态环境保护与修复”等重点任务，深化新时代电力“双满意”工程，以电网升级为导向，按“3+5”模式分批次打造新型电力系统示范场景。

在“3+5”模式中，“3”即新型电力系统融入在建工程先行先试，推动低压柔直技术在燕子窠、止止庵、仙风岭3个场景落地；“5”即10千伏前兰线大布岭、洋头山、台坪等配变低压柔直互联，武夷山绿能生态示范走廊网源荷储数字赋能，武夷山制

茶应急移动储能项目，武夷供电公司星村供电所“光储柔直充”项目，星村镇配电网自愈能力提升等5个示范项目。

随着低压柔直技术在新型电力系统中的应用推广，新型电网的嬗变将更加优质地服务当地客户。据统计，燕子窠低压柔直技术已助力节约电网建设成本10万元，每年减少碳排放18.4吨，可节约标煤6.7吨，节水28.8吨，有效减少生态保护区人为干扰，全面保护生态环境。

下一步，国网武夷山供电公司将继续投资约1500万元建设武夷山制茶共享储能设施，星村镇配电网自愈能力提升，武夷山绿色生态数字赋能等项目，助力武夷山“三茶”统筹高质量发展。（陈龙辉 陈书忠）

## 油市洞察

### 需求衰退预期重挫国际油价

■ 钟美燕

近日，国际油价出现3月中旬以来单日最大跌幅，WTI、布伦特原油期货价格相继跌破100美元重要心理支撑关口。美债避险情绪升温带动美元指数上涨，引发市场恐慌情绪，美股、风险资产应声下挫。

上半年，油价在俄乌冲突、地缘问题、OPEC减产等因素的共同作用下大幅上涨，呈现较高的波动率。SC原油整体成交活跃度进一步上升。数据显示，今年上半年，SC主力合约的日均成交量超过18万手，较2021年日均值增加43%。

地缘问题导致原油供给端的不确定性增加，市场给予欧佩克更大期待，希望其稳定供给、大幅增产。但欧佩克产量远不及预期，1—6月计划增产250万桶/日，实际增产达产率仅为20%。同时，OPEC内部供给的稳定性受到冲击，利比亚、尼日利亚等产油国受地缘问题影响，产量出现不同程度下降。美伊谈判迟迟未有定论，俄罗斯能源被制裁更是加剧了供给的紧张。

疫情影响下，全球需求错配。上半年美国需求强韧，叠加7月至9月的需求旺季，库存持续处于低位，成品油打破之前的定价边界，重心不断上移。数据显示，截至上周，美国石油战略储备约为4.98亿桶，为1980年以来最低。原油商业库存水平约为4.16亿桶、汽油库存总量约为2.22亿桶、馏分油库存量约为1.12亿桶。其中，战略石油储备较年初下降9551万桶，降幅高达16.1%；汽油库存下降1914万桶，降幅为8%；馏分油库存较年初下降1698万桶，降幅为17%。随着美国战略石油储备的不断释放，美国炼厂开工率创下疫情以来新高，产品去库存明显，验证了美国需求的坚挺。

当前，油价的深度back结构意味着实强但预期弱。关于衰退的计价让需求提前走出了旺季逻辑。目前欧元区的相关前瞻性指标显示，由于生活成本居高不下，消费者保持警惕，欧元区经济衰退迹象已然显现。相较于金属等大宗商品，油价因地缘政治博弈一直表现得比较坚挺。但复杂局势下，原油也难以独善其身。因此，油价的补跌会拖累整个能化板块，不过，下游产品的跌幅将会比原料跌幅温和。

（作者供职于光大期货研究所）