

要实现碳达峰、碳中和目标，大规模、高比例发展零碳能源是必然趋势。以水风光为代表的零碳能源特别是风光等新能源，虽然具有清洁零碳等诸多优势，但也存在间歇性、波动性等短板。在构建以新能源为主体的新型电力系统大背景下，不稳定的新能源成为主力电源，调峰就成为世界性难题。甚至有电力专家认为，一旦风光等间歇性电源成为主力，如果没有很好的调峰手段，电网可能存在重大风险。

如何破解这一世界性难题？国家电力投资集团公司党组书记、董事长钱智民说，国家电投给出的答案是两个字——“融合”，即以融合为思路，源网荷储协同互动，通过多品种能源互补的综合智慧能源，实现电力系统的平衡和稳定。

目前，国家电投已经开展了420个综合智慧能源项目，总投资超过1310亿元。记者近日深入该企业在北京、安徽、山东、青海等省份的试验和示范项目进行了调查采访。

多能融合——

水光互补项目让原本具有间歇性、波动性和随机性的光伏电源实现平稳并网

位于青海海南藏族自治州的龙羊峡水电站是黄河上游龙青段规划中的第一座大型梯级电站，1976年开工建设，1989年4台机组全部投产发电，其库容达247亿立方米，相当于1700个杭州西湖。

2013年开始，国家电投在距离龙羊峡直线距离36公里的共和县，建设了85万千瓦装机光伏电站，由此促成了全球规模最大的水光互补发电工程。

把光伏电站建在水电站旁边，国家电投颇费了心思。

光伏发电的“软肋”是晚上不能发电，而水电的“短腿”是存在丰枯水期变化。如何让这两种零碳能源优势互补，实现“1+1>2”？

国家电投想到的方案是“水光互补”——当太阳照射强时，多用光伏发电，水电或停用或少发；当天气不好或夜晚影响到光伏出力时，则通过控制系统及时调节，让水电多出力。这样，将水电和光伏发电“打捆”送出，可使原本具有间歇性、波动性和随机性的光伏电源实现平稳并网，从而降低对电网的影响。

7月23日，记者在龙羊峡水电站看到，前一天水电和光伏发电“打捆”送出的电量是3455万千瓦时。国家电投黄河公司龙羊峡发电分公司党委书记、总经理黄青刚告诉记者：“水轮机组的调节非常方便，只需几秒钟就能对光伏发电的变化作出反应。这样就使原本间歇、随机、功率不稳定的‘锯齿’形光伏电源，调整为均衡、优质、安全的平滑稳定电源，进而可以减少电力系统为吸纳光伏电站发电所需的备用容量。”

在水光互补中，水电的可以弥补夜晚光伏发电的缺口。但是，白天光伏多出力，是否会挤占水电的效益？

黄青刚说，从近几年运行情况看，水电站送出线路的年利用小时数反而从原来的4621小时提高到5019小时，也就是说，水光“打捆”后，“蛋糕”做得更大了。即便真的出现水电出力下降，若算综合效益，仍然划算。比如龙羊峡水库，目前发电的重要性只排第四位，排在前三位的是防洪、防凌和供水。少发电就意味着多蓄水，这对于缺水的西北地区尤为重要。

不只是水光互补，新的美好蓝图正在铺展——“十四五”规划纲要提出“建设一批多能互补的清洁能源基地”，黄河上游和几字湾也被列入大型清洁能源基地。

“离这里不远处还有一座拉西瓦水电站！”指着下游方向，黄青刚难掩激动：“我们依托黄河上游清洁能源基地，探索构建新型电力系统，准备利用海拔高差建设龙羊峡清洁能源调控枢纽工程，以水电拉动新能源开发，在用电低谷时用泵把水抽上来、高峰时放水发电。依靠青海丰富的风光资源，我们有信心建成水风光多能互补调节中心。”

技术融合——

“分布式能源+信息技术+储能技术”让新能源就近就地消纳

如果说多能融合有望缓解新能源调峰压力，那么，分布式能源和信息技术、储能技术的融合，则能帮助新能源就地消纳，甚至能部分化解我国新能源资源分布和负荷中心不平衡的难题。

在闻名全国的安徽凤阳县小岗村，一场综合智慧能源试验正拉开帷幕。

“屋顶免费装上光伏板，每年能少花200多元电费，我们非常欢迎。”“大包干”带头人之一、今年70多岁的严金昌跃跃欲试。

严金昌家不远处，地源热泵为游客中心、养老中心等区域提供集中供热和供冷，光伏车棚、光伏座椅、智慧路灯等设施成为小岗村的一道新风景。“未来整个项目建成后，小岗村可实现清洁能源电量全替代。”国家电投安徽小岗村综合智慧能源有限公司总经理高阳说。

长期以来，我国新能源资源和需求一直存在逆向分布——一边是西北部地区“风光”资源丰富、自我消纳能力弱，另一边却是东中部地区资源禀赋有限、用电需求和减排压力巨大。如果能在东中部地区见缝插针，就近就地挖掘分布式新能源的潜力，实现自发自用，就可以减轻对长距离输电的过度依赖，缓解新能源送出压力。

不过，分布式能源大量接入，同样会给电力系统稳定带来挑战。打个比方，过去电网像一艘巨轮，以后分布式电源多了，可能就是无数艘小吨位货船、小船和巨轮共同组成船队，彼此之间的协调配合就显得特别重要。于是，能源与互联网、大数据甚至物联网等新技术的融合需求也浮出水面。

“10点，4847千瓦；12点，14541千瓦；18点，43623千瓦……”在小岗村“天枢一号”综合智慧能源管控与服务

平台上，记者看到一条波动的光伏日预测曲线，轻点鼠标，还能切换到用电负荷、冷热电负荷等预测曲线。

“基于历史数据和气象信息，这个‘智慧大脑’能够预测用户用能需求，并在多种能源之间进行优化配置、削峰填谷。比如光伏出力小了，可以让生物质能补上。这就相当于将点多面广、随机多变的分布式电源，‘打捆’成相对平稳、出力可控的成片电源，从而增强了新能源的稳定性。”高阳说。

分布式能源虽然前景广阔，但要真正实现自发自用，甚至最终做到离网运行，还有赖于储能技术的突破。目前，全球储能技术中最主流的技术路线是抽水蓄能和电化学储能，而用富余的“风光”电制氢，甚至利用峰谷电差储热、储冷，同样大有可为。

在位于北京昌平区的宝之谷国际会议中心，园区西侧矗立着一个10余米高的大罐子，这是国家电投自主研发的“冷热双蓄水罐”。几米外，还有一个长近4米、宽2.5米的“集装箱”，这是储能的又一种形式——超威钠盐电池储能系统，年储电量可达33万千瓦时，利用峰谷价差，每年可节省用电成本35万多元。中电智慧综合能源服务有限公司总经理张越说，去年他们拆掉了3台燃气锅炉，改成利用夜间谷电时段进行制热或制冷，白天高峰电价时段放热或放冷，再配合上空气源热泵、污水源热泵等设备，“每年可减少燃烧天然气80万立方米，换算下来每年可节省资金约280万元。”

跨界融合——

参与城市供暖和海水淡化，传统电站悄然转变

新能源异军突起的同时，水电站等传统发电企业的地位难免有所下降。近年来，一些省份的火电、核电机组已出现降功率运行的情况。资本密集的火电、核电等企业能否成功适应新趋势，既关乎自身发展，也事关我国能否顺利构建以新能源为主体的新型电力系统。

山东半岛东南部的海滨小城海阳市，三面环海的岬角顶端，两座雪白的“大圆罐”十分惹眼。这是海阳核电一期1、2号机组的核岛。在这里，反应堆把水加热，产生大量高温蒸汽，驱动汽轮机发电。目前，这两台世界最先进的第三代核电机组已累计发电超过570亿千瓦时。

让国家电投山东核电有限公司董事长吴放津津乐道的，除了先进的核电机组，还有从核电常规岛延伸出的两条白色管道。

“这两条管道不是用来输电的，而是向城区供热。”海阳核电设计管理处工程师刘宪岭解释，管道一头连着核电厂内供热首站，另一头连着厂外热力公司。在核电厂内，从核电机组抽出的高温蒸汽将管道中的水加热到120摄氏度。随后，热水被输送到热力公司换热总站，释放热量后再返回电厂，如此循环往复，实现源源不断的热量输出。

为啥一座世界最先进的核电站



深度观察

『双碳』目标倒逼『调峰』课题，国家电投积极探索

融合发展撬动能源转型

本报记者 冉永平 赵秀芹 丁怡婷 邱超英

干上了城市供暖的营生？“目前，核电站年发电小时还不错，但未来我们这样的核电站也存在给新能源发电让路的压力，因此必须居安思危，不能只做发电这一篇文章。”吴放说，他们想到的第二篇文章，是和电关系最紧密的“热”。

任何电厂都有大量余热，把余热利用起来就会提高效率。“核电站实际效率比最先进的火电机组要低10个百分点，只有36.7%。把核电的热直接拿出一部分来供暖，可以提高核电的热效率，综合效益更高。而且，减少余热排放还有利于海洋生态保护，可谓一举多得。”吴放说。

对海阳市来说，核电供热也能带来减碳红利。

“以前靠锅炉供暖，烧煤锅炉房里黑乎乎的。”站在已经停运的5层楼高大锅炉前，丰源热力临港分公司经理潘世伟细数起烧煤供暖的种种不便：“一不环保，二不经济，三不省心。燃煤锅炉故障率高，还要请工人24小时三班倒上煤，冬季光是临时招工就得20人。”

如今，在锅炉房隔壁，一座洁白小巧的板式换热器解决了各种问题。据测算，海阳实现全市核电供暖后，每个采暖季可节约原煤10万吨，减排二氧化碳18万吨、烟尘691吨、二氧化硫1188吨，相当于种植1000公顷阔叶林。“今年冬天，海阳将成为全国首个零碳供暖城市。”吴放说。

“水热同产”，是吴放他们“跨界”的第三篇文章。

“海水淡化要消耗大量热能或电能，我们与清华大学共同研发了‘水热同产’装置，利用核电站的高温蒸汽尝试海水淡化。”海阳核电设计管理处工程师张真说，经过检测，淡水品质很高，可直接饮用，且生产用能全部来自供热蒸汽，不额外耗能，实现了在零碳供暖的同时零能耗制水，“山东半岛一些地区较为缺水，未来大规模应用的前景广阔。”

推进融合——

寻求共赢，让“有钱的少花钱、没钱的不花钱”

采访中，钱智民给记者讲述了让他印象深刻的一个故事：几年前，企业想给青海三江源地区的牧民安装光伏发电设备，让他们可以用电做饭取暖。可牧民们的积极性并不高：“捡牛粪烧饭一分钱都不要，安装光伏还要花钱。”

钱智民从中敏锐地感觉到，推进融合发展，就必须找到多方共赢的路径，让“有钱的少花钱、让没钱的不花钱”，让原来想解决、解决不了的问题找到新的解决方法，这样，融合“大戏”才能唱

成、唱好。

“小岗村最头疼的事是啥？”小岗村项目开工前，国家电投安徽公司提出的第一个问题，不是要不要建光伏屋顶、智慧路灯，这让小岗村党委副书记、村委会主任周群之马上有了兴趣：“秸秆焚烧是最让我们头痛的事情，你们能帮助解决？”

原来，小岗村每年有近3万吨秸秆需要处理，因为环保要求，不能一烧了之。于是，要么深耕掩埋，但每亩成本需要30元至50元；要么送到15公里外的电厂，运输又不方便。“我们曾对不烧秸秆的村民出台了奖励政策，但有村民说，‘你别给我钱，帮我把秸秆弄走就行。’”周群之说。

针对这一痛点，国家电投在综合智慧能源项目中规划了一条2万吨的秸秆综合利用生产线，充分利用当地的秸秆、垃圾、粪便等生物质废弃物发电，实现了变废为宝。

综合智慧能源项目的探索，还为小岗村的产业发展带来了更多可能。记者来到小岗村改革大道西侧的农光互补项目，只见一间小房子正在“生产”植物。没有土壤，没有化肥，绿油油的生菜正在一层层白色栽培板中茁壮成长……

“我们打算利用光伏电源，开展水培蔬菜生产，不仅生长速度比室外快，而且能够大大减少对土地的占用。”高阳说，下一步他们还准备在光伏板下种植黑豆或洋葱，帮助小岗村兴产业、增收入。据了解，农光互补、屋顶光伏、秸秆综合利用等项目每年预计能给小岗村村集体、村民增收约530万元。

在距离小岗村2000多公里的青海塔拉滩生态光伏园里，一群绵羊在悠闲地吃草。41岁的马汉台村牧民向占魁每天骑着摩托车放养“光伏羊”，每月能有3000元收入。

“光伏板能够降低风速和水分蒸发量，非常适合草的生长。因此过去的戈壁滩，现在长出了绿草。但是，草太长了会影响发电，还有火灾隐患。后来我们干脆养羊来‘除草’，结果却创造了一个产业。”光伏园负责人吴世鹏说。现在，这片6000多平方公里的土地上已经放养了5000多只羊，为向占魁等十几户牧民带来了实实在在的收入。

未来，如何全面推进融合发展？钱智民认为，关键要从小岗村、宝之谷等综合智慧能源示范项目的探索中，找到技术路径和商业模式。

“特别是商业模式，以往电力企业不太注重，大家认为反正就是建一个电厂，投资几十亿元、上百亿元，建好后发电就行了，还要啥商业模式。但融合发展要兼顾多种利益，探索出让各参与方都受益、都有积极性的商业模式。”钱智民说，国家电投将在水火核风光气等产业融合发展基础上，积极与供给侧、用户侧以及农业、交通运输、建筑冶金等进行跨界式“大融合”发展，争取继续领跑。

记者手记

“融”出能源应用新篇章

实现碳达峰、碳中和，意义重大，任务艰巨。我国发电行业龙头企业之一的国家电投主动作为、积极探索，以多维度、深层次的融合发展思路，力争为我国未来能源应用场景树立样板。

融合，必登高望远。只有坚持高起点、高标准、高定位，着眼长远，系统谋划、整体设计，才能更好打破旧格局、开创新局面。长期以来，我国电力系统运行中源网荷储条块分明，而国家电投建设的水光互补光伏电站将水电和光伏发电“打捆”送出，成功实现平稳并网、综合效益多赢，这正是融合带来的好处。

融合，要破旧立新。构建新型电力系统的融合之路没有现成经验可

循，如何融合、与谁融合都需一步步探索。从小岗村的综合智慧能源网到戈壁滩上光伏产业园的“光伏羊”，再到核电站输送能源的首个零碳滨海新城……国家电投的“清洁能源+”融合实践探索出了新思路，也带动了新技术新产业发展，让人看到了广阔前景。

融合，靠众人拾柴。实现碳达峰、碳中和，面临诸多挑战，靠各自为战、单枪匹马不可能成功，需要更多方面相互借力、齐心协力，共同下一盘棋。从中央到地方、从政府部门到相关企业，有关方面都行动起来，才能最终建立以新能源为主体的新型电力系统，既满足全社会用能需求，又守护好祖国碧水蓝天。

图①：青海海南藏族自治州塔拉滩生态光伏园的“光伏羊”。 本报记者 赵秀芹摄
图②：龙羊峡水电站。



②