科学导报
2025年4月9日 星期三
责编：麻亚琼
邮箱：kxdbstsx@163.com

山西省运城市芮城县

让每一束光都成为乡村振兴的绿色密码

在黄河岸边的山西省运城市芮城县庄上村，一排排农户屋顶上，蓝色的太阳能光伏板熠熠发光，借助“光储直柔”直流配电新技术，村民的生活方式悄然改变；而在县城北部的光伏领跑基地内，深褐色的荒山披上了湛蓝“铠甲”。光伏板下，连翘与牡丹次第铺展。这里不仅是光伏产业的热土，更是乡村振兴的生动实践。

近年来，芮城县积极探索光伏产业发展新模式，将荒山荒坡变为“金山银山”。通过光伏领跑基地和零碳村庄的建设，芮城不仅重构了人与土地的共生关系，更用科技之光点亮了乡村振兴的绿色未来。现就探寻一下芮城逐“光”前行的故事。

庄上村屋顶的光伏项目。 ■ 资料图

小小“日光宝盒” 让村民生产生活发生巨变

从中条山隧道穿越而出，“生态芮城欢迎您”几个红色大字十分醒目。芮城县北依中条山，南临黄河，到处是青山绿水和乡野村落。不一会儿，一个屋顶上成片的蓝色光伏板的村落冲进大众视野，这里就是“中国零碳示范村”庄上村。

这个位于黄河岸边的芮城县陌南镇庄上村，仅有200多户人口，“偏远”“古老”是人们对这个村庄以前的基本印象，千百年来，村民烧火做饭、下地种粮，日出而作日落而息，而如今它却因“零碳”被人们津津乐道，还在第28届联合国气候变化大会上荣获“能源转型变革者”奖项。

做饭不用炭、农机不冒烟、屋顶能发电、多余还卖钱……这是庄上村新能源生产消费新模式的生动体现，其背后离不开山西国臣直流配电工程技术有限公司（以下简称“山西国臣”）研发的“光储直柔”直流配电技术做保障。

“这一技术简单来说就是在老百姓的屋顶铺上光伏板，实现直发直用，同时与电网之间形成柔性互动。”山西国臣办公室负责人韩宇飞说，2019年，借助山西能源革命综合改革试点的契机，他们分批在庄上村建立了“分布式光伏+储能+直流配电+柔性负荷+智能充电桩”的新型电力系统，在农村屋顶开展光伏发电，构建农宅、车辆和生产生活设施需求侧响应模式用电体系。

如今，在村民家中这项技术的运用随处可见。走进“能源革命先行户NO.3”许大娘的家中，她正在厨房里张罗着午饭，只见灶台上摆放着功能不一的各种家电，墙上挂的石墨烯取暖器干净整洁。电源插口下方，顺着电源线连接着一个黑色长方体装置。韩宇飞介绍，这是安装“光储直柔”配电系统针对纯阻性电器专门研发附带的配件——灭弧模块，可以保障村民家庭电器安全使用。

“我们在村民家中安装了多端口能量路由器，大家亲切称它为‘日光宝盒’。”韩宇飞说，现在70%以上的家电可以实现交直流通用，传统的配电系统，村民屋顶铺设光伏发出的直流电，要先逆变成交流，再送进居民家使用，如今，通过这个盒子可以不需转换直发直用，减少交直流转换的损耗。同时，安装了就地储能设备，还可以将用不完的电能储存起来供村民家里使用。

“过去都用灶火做饭，屋里搞的乌烟瘴气的，现在厨房干净多了，直流电用起来还省不少钱。”许大娘笑着说道，自从屋顶安了光伏后，她在自家门口的商店也装上了直流电空调，还将割草机、三轮车等燃油农具和交通工具换成了充电版，现在一年下来能节约电费2000多元。不仅如此，自家屋顶安装的光伏，一年也有1200元租金。

“‘零碳村’建设分三期推进，目前已完成两期，三期计划于2027年前实现全村覆盖。”据韩宇飞介绍，首批试点27户村民，在其使用反响良好后，二期进行了商业化模式2MW项目。同时，还修缮废弃窑洞打造光伏庭院，并将村里荒沟改造成光伏廊道，供增加应用场景展示。

值得一提的是，该系统因具有独特的电网柔性接入、负荷柔性控制的特点，还可实现电力现货交易，增加可观的投资收益。

“经专业检测，二期光伏发电系统所发电量全额并网，年发电约280万千万时，除去庄上村自用约40万千万时电，可向电网反送约240万千万时电，实现‘农村供给城市’的能源新模式。”山西国臣技术人员刘澳洋说，这种模式下每年还可降低燃煤耗费800吨，削减二氧化碳排放约2500吨，每年实现发电收益约96万元。

如今，通过“技术革命”，芮城县的农村屋顶正成为“双碳”战略的重要资源，农村也正成为实现“双碳”目标的主战场。

光伏基地“领跑”， 盘活荒山带动村民就业

庄上村的屋顶光伏发电项目，是芮城县新能源发展的一个缩影。在芮城县，新能源不仅走进了寻常百姓家中，“太阳花”还开满了山麓，将荒山变为了“金山银山”。

在芮城县以北沿山山体，只见成片深蓝色的光伏板在中条山南麓沿山脉走向铺展开来，在阳光下熠熠生辉，恰似一片片竞相绽放的“太阳花”，这里便是芮城县光伏领跑技术基地。

“荒山种地需靠天吃饭，以前这片地种啥都不行，连最耐活的柏树也活不了。”谈及过往，中条山山脚下的村民们有着深刻的体会。如今，这里建起了光伏基地，村里的荒山以每年每亩400余元的价格流转给了光伏企业，不仅可以有效盘活荒坡荒地，村集体每年还多了不少收入，村民日子越过越有奔头。

芮城县位于山西省最南端，中条山横亘于北部。县域地势北高南低，单面阳坡呈阶梯状分布，多为沿山连片的未开发荒山、荒坡。因太阳辐射差异，北坡植被茂盛，南坡则植被稀少，呈山体原貌。阳光资源丰富但略显荒芜的南坡，恰是光伏发电较为理想的天然场所。

近年来，芮城县抢抓能源革命新机遇，兴建光伏领跑技术基地，项目的实施不仅利于推进能源转型，落实可持续发展战略，而且对改善黄河金三角区域能源消费结构、推进县域经济社会发展具有重大而深远的意义。

据芮城县光伏领跑技术基地工作人员赵月明介绍，该项目总投资59亿元，装机容量97万千瓦，涉及芮城县7个乡镇。可实现年产值12亿元，增加县财政收入1.5亿元。同时，该项目也是获国家能源局于2016年6月批复的全国八大光伏领跑基地唯一县级获批项目。

“整个项目分为东区和西区，共60个方阵，每个方阵约安装1.66兆瓦容量，采用平单轴和固定可调式支架两种建设形式。”赵月明说，项目建设为农、林、光互补模式，并且对土地使用异常谨慎，要求严格执行“不减产、不伤地、不伤农”的硬性标准，同时还要实现综合利用土地价值最大化。

基于此，基地将光伏发电与中药材、灌木林业相结合，形成“上面发电、下面育苗、科学开发、综合利用”的农光互补、林光互补等生态互补建设模式，综合利用空间资源发展新能源，实现土地生态经济效益的最大化，带动农业农村经济持续健康发展。

“结合当地的气候和土地条件，我们选择在山上的光伏板下种植连翘，在山下较平的区域种植油用牡丹。”赵月明介绍，油牡丹喜阴、耐旱、耐贫瘠，适合荒山治理，其籽榨油价值高。连翘也有很高的药用价值，还是水土保持和生态绿化的优良树种。

如今，每到9~10月份，闪着银蓝色光芒的电池板与红白相间的油牡丹花相互掩映，现代科技的硬朗线条与植物生长的柔然之美在此完美融合，为芮城又添了新景。光伏领跑技术基地周边还建了凉亭、观景台、停车场等硬件设施，让新能源产业焕发出景观效应和旅游价值。

不仅如此，光伏项目的建设、维护以及板下作物的种植、管理等都需要大量的人力投入，这也为当地村民提供了丰富的就业机会。赵月明介绍，“仅油牡丹种植管护就解决了400名村民就业，项目建设流转土地租金加上劳务用工，可为沿山村民增加年收入达1600余万元。”中条山的石山荒坡彻底变成了“致富山”。

从屋顶到山脊，从零碳村庄到农林光互补光伏领跑技术基地，这座黄河边的小城正将灼灼日光转化为源源不断的动能——当阳光流过光伏板，也流进了千家万户的钱袋。在这里，每一束光都是解开乡村振兴的绿色密码。

董亚楠

黄河口湾区绘就海洋经济“发展线”

山东东营黄河口湾区宛如一颗璀璨的明珠，镶嵌在渤海之滨。作为生态环境部新确定的第三批美丽海湾之一，不仅自然景观令人叹为观止，更在近年来积极探索，以美丽海湾建设为抓手，深度融入经济社会发展全面绿色转型大局，将海湾的高颜值“风景线”绘就成沿海地区海洋经济高质量的“发展线”。

筑牢绿色根基

眼下，山东黄河三角洲国家级自然保护区内，芦苇摆荡，候鸟嬉戏，万里黄河从这里奔腾入海。前不久，自然保护区放飞6只经过野化放归训练的朱鹮，其中4只佩戴了卫星追踪器。放飞后，朱鹮们在野外找到了新的栖息地，在黄河口湾区安了家。

近年来，东营市生态治理的思路从防污控污，逐渐向恢复重要自然生态系统的原真性、完整性和生物多样性转变，以黄河口美丽海湾保护与建设为主线，陆海统筹，精准施策，全面加强生态保护治理。

黄河口湾区拥有得天独厚的生态资源，广袤的滨海湿地是世界上暖温带保存最完整、最年轻的湿地生态系统。“为保护好这片湿地，保护生物多样性，我们坚持以‘水系’为脉、以‘湿地’为基、以‘生物’为重，在黄河口湾区科学保障湿地用水，长效呵护物种栖息，引活水、修湿地、筑家园，海湾生态持续向好。”东营市生态环境局相关负责人表示，坚持“刈割+围淹”“刈割+翻耕”系统施治与长效管护相结合，攻坚突破外来入侵物种治理技术，建立互花米草复发预防监测预警机制，实现互花米草动态清零。

如今，这里已是众多珍稀鸟类的天堂，每年数百万只候鸟在此停歇、繁殖，享有“鸟类国际机场”的美誉。海湾生态环境质量持续改善，2024年海湾优良水质面积比例较“十三五”期间平均增长超过30%，黄河入海断面水质稳定达到Ⅱ类，以往几近绝迹的黄河刀鱼、江豚重现黄河入海口；国家一级重点保护野生动物朱鹮也成为黄河口湾区的常客；截至目前，保护区鸟类已增加到374种……这些生态修复成果不仅为黄河口湾区带来了良好的生态效益，更为经济发展奠定了坚实的基础。

释放经济潜力

春节前，黄河入海口广阔的湿地上空频现“鸟浪”壮观景象，最大“鸟浪”群由花脸鸭、罗纹鸭等野鸭组成，数量最多时达15万只，吸引了大批摄影爱好者纷至沓来。每逢假日，来自全国各地的鸟友们的车停在路边，队伍绵延数公里。他们把拍摄到的图片、视频发到网络平台后，观看点赞和评论转发量剧增，东营再次凭生态“出圈”。

环境适宜性评价结果为“适宜”，98.5%的群众对黄河口湾区治理成效满意，年吸引游客突破百万人次。黄河口湾区独特的生态景观和深厚的文化底蕴，为文旅产业的发展提供了得天独厚的条件。近年来，东营市充分挖掘这些资源，大力推进文旅融合发展，将黄河口湾区打造成独具特色的生态亲海空间。

“一直以来，我们抓供给、提服务、塑品牌，加快推进文旅融合高质量发展。”东营市文化和旅游局相关负责人表示，按照“月月有活动、季季有特色、全年可持续”的思路，充分链接消费趋势和优质资源，布局特色文旅活动，推出冰雪嘉年华、槐林赏花季、河海音乐节等文旅活动百余场。

文旅产业的发展不仅带动了当地旅游业的繁荣，还促进了相关产业的协同发展。餐饮、住宿、交通等服务业迎来了发展的黄金期，2024年，东营市游客接待量、旅游总收入创历史新高，文化、体育和娱乐业增加值增速14.7%，增速位居全市服务业榜首。

产业发展起势

“黄河口湾区入选美丽海湾，让大家对东营的生态环境有了进一步认识，咱的‘黄河口大闸蟹’吃起来就更放心了。”东营市垦利区海洋发展和渔业局局长张瑞瑞说。

一直以来，东营市在逐步改善生态环境的基础上，积极推动产业转型升级，将海洋经济与绿色发展理念深度融合，培育出一批具有竞争力的绿色产业集群。为实现渔业可持续发展，东营市引导渔民转变养殖方式，发展生态健康养殖。在现代渔业示范区，一个个标准化的养殖池塘整齐排列，配备了先进的循环水养殖系统。这种养殖模式通过对养殖水体的净化和循环利用，大幅减少污染物排放，提高了水产品的质量和产量。如今，黄河口的大闸蟹、海参等优质水产品畅销全国各地，渔业产值逐年攀升。

除了渔业，海洋新能源产业在黄河口湾区也呈现出蓬勃发展的态势。近年来，东营市立足沿海资源优势，创新科技资源配置机制，在东营经济技术开发区规划建设了海上风电装备产业园，落地了一批海上风电装备产业龙头项目，全产业链体系渐趋成型，产业发展全面起势。

在东营海上风电装备产业园东营天能重工有限公司生产基地，随着最后一道焊接工序完成，一台约50层楼高的白色“大块头”——中国中车“启航号”20MW海上漂浮式风电塔筒正式下线。“这个塔筒是我们公司生产的，总高度达141.15米，最大直径达12米，重量达1576吨，是目前全球直径最大、重量最重的塔筒型号，也是全球最大功率的漂浮式风电机组配套塔筒。”东营天能重工有限公司项目负责人段春江说。

截至目前，东营经济技术开发区签约落地海上风电产业链项目35个，计划总投资268亿元，已投产运营项目达20个。东营海上风电装备产业园已引进中船海装、金雷重装、天能重工等一批海上风电产业链龙头企业，正式投用省内首个大型风电设备专用码头。头部企业集聚成势，带动了一批产业链上下游项目相继落地，逐步构建起从主轴、轮毂、底座、连体轴承座到桩机塔筒再到主机、整机组装的全产业链。在“链主”企业带动下，开发区海上风电产业“串珠成链”，全链条风电产业集群加快崛起。

从盐碱荒滩到生态绿洲，从油城变绿城，这座年轻的城市，将更加用心地守护黄河入海的生态底色。

王金虎

亮马河蝶变 重塑绿水青山

——北京朝阳区水环境治理缩影

亮马河国际风情水岸，水面倒映着两岸的银杏与玻璃幕墙，皮划艇爱好者划破粼粼波光，咖啡馆的露天座位坐满了享受滨水时光的市民。

这片曾经水质黑臭的河道，如今已成为首都“亲水经济”的新地标。

亮马河的蝶变，正是北京市朝阳区水环境治理的缩影。

朝阳区创新水生态环境治理模式，在科技赋能与全民共治中，探索出一条超大城市核心区水环境治理的创新路径。

“水质提升”与“生态修复”并重

“过去，我们的河道治理方式主要依赖硬质化护坡，导致生态功能丧失。”朝阳区生态环境局水生态环境科胡新跃回忆道。近几年，朝阳区政府通过生态修复与水质提升“双管齐下”，推动河道治理理念的根本性转变。

来到通惠河南段，一条横跨河道的透水坝引起笔者的注意。胡新跃说，透水坝看着普通，底下却藏着“生态黑科技”。透水坝如同“水质净化器”，利用火山岩滤料和挺水植物等构建起了三级过滤系统。“初期雨水冲刷地表污染物浓度高，透水坝能截留40%以上的COD和氨氮。汛期闸门自动开启，既保行洪、又控污染。”

雨污分流与管网溢流是汛期水污染的另一重要来源。朝阳区生态环境局还推动落实“清管行动”“清河行动”，最大程度减少污水未经处理直接排放入河的情况。据了解，2024年，北京市朝阳区共疏通雨水管线127条、污水管线54条。完成27处雨污错接混接点位治理。

科技赋能，构建智慧水环境管理体系

治理水环境，离不开科技的支撑。朝阳区建立了一套集成监测、分析、预警与治理的智慧水环境管理体系，其中，朝阳区生态大脑综合指挥中心发挥了重要作用。

走进指挥中心，巨型屏幕上跳动着1822个排口、27个监测站的实时数据。每两小时，分布在400公里河道上的传感器就会传回COD、氨氮、溶解氧等9项指标，系统自动生成“水质健康指数”。“我们给每条河都建立了全生命周期档案。”朝阳区生态环境局副局长郭昊演示着报警功能，当坝河沙窝断面氨氮值异常，预警信息会立即反馈至属地网格员手机上，15分钟内就有人在现场核查预警点位的具体情况。

数字化变革重塑了朝阳区的治水逻辑，更催生了“数据驱动决策、智能动态调控、社会协同共治”的新型治水生态。这种转变使朝阳区水环境治理从末端截污向全过程智慧管控跃升，为大城市精细化治水提供了可借鉴的数字化转型样本。据了解，2024年主汛期，这套系统提前预警了90%以上的水质波动事件，处置效率比人工巡查时代提升6倍。

多方共建，共绘清水蓝图

水环境治理仅靠政府是远远不够的，还需要社会各界的共同参与。朝阳区通过“政府主导、企业参与、公众共建”的方式，形成治水合力。

一方面，政府积极引导企业履行环保责任。例如，一些工业企业主动升级污水处理设备，确保达标排放；部分企业则参与河道治理项目，提供技术支持。另一方面，政府通过社区活动、志愿者巡河等形式，提升公众环保意识。

值得一提的是，“朝阳小河长”项目已招募5500余名青少年志愿者，累计巡河13万公里，志愿服务总时长超过5.7万小时。如今，青少年不仅成为“治水监督员”，还向身边人传播环保理念，让生态保护理念深入人心。

水环境治理的成效已逐步显现。2024年，朝阳区8个国考、市考断面水质全部达到Ⅲ类以上，其中2个断面达到Ⅱ类，创下历史最好成绩。未来，朝阳区将持续深化水环境治理模式，进一步优化科技治理手段，推进全区主要河道水质稳定达到Ⅲ类及以上，打造更加宜居的生态环境。“让水更清、岸更绿、人更亲水，是我们不变的目标。”在朝阳区，清水蓝图正逐步变为现实。

邢彭 项惟适