

蓄山河之气 擎绿色动能

中铁十五局30万方级空气储能“地下气仓”建设纪实

■ 赵纯杰 雷晓珂

初夏时节,大别山层峦叠嶂,云涛涌动。在地处河南信阳新县沙窝镇的大山腹地,机械轰鸣刺破寂静,一座国内最大在建300MW级全人工洞室储气库,正迎着春光拔节生长。作为我国首个30万方量级大型储气工程,项目建成后年发电量可达4.2亿千瓦时,足以满足35万个普通家庭一年的用电需求,一场向山河要动能、向险境要精品之攻坚战,正在大别山深处火热上演。

■ 破局攻坚 “台阶法”步步为营

“项目总库容约31万立方米,相当于130个奥运会标准泳池的蓄水体积。体量巨大,挑战同样巨大。”5月7日,在中国铁建首席专家、重大专项负责人雷升祥,中国铁建中原区域总部党总支书记、总经理王中岐一行到项目调研时,谈及

项目初期的“难”,项目负责人张贵仓依然感触颇深。

作为中铁十五局进军大别山的“开山之作”,项目无成熟经验可循,全靠团队“摸着石头过河”。其中,15米正圆形洞径的储气洞室施工,成为横亘在建设者面前的第一道难关。与常规隧道相比,这一超大洞径在初期支护完成、二次衬砌施工前,凌空面完全暴露,围岩稳定性大幅下降,坍塌风险陡增;加之通风与储气洞室交叉区域截面变化复杂,对爆破精度要求极高。

为破解这一难题,技术团队反复论证,前后优化了多套方案,最终敲定“台阶法开挖”工艺,每完成一个台阶立即跟进找顶和初期支护,以“步步为营、边挖边护”的思路,牢牢守住围岩安全底线,为30万方“地下气仓”建设扫清关键障碍。

4月29日,项目迎来又一重大节点:储气洞室首仓二衬混凝土浇筑顺利完成。这不仅验证了前期施工方案的可行性,更标

志着工程正式从地下洞室开挖、支护阶段,全面迈入高压密封结构成型核心环节。

■ 质效并举 “零模糊”贯穿始终

“进度和质量缺一不可。”这是项目团队始终坚守的原则。

对压缩空气储能项目而言,精度就是“生命线”,密封性能直接决定项目运行效率与长久安全,而这份精度,就藏在每一道工序“零模糊”的严苛管控里。

交通洞向储气洞室挑顶施工时,大断面开挖极易引发围岩应力“洗牌”,稍有疏忽就可能引发围岩失稳坍塌。建设者们提前谋划、精准破局,在交叉口加密支护点位,用高强度锚杆搭配喷射混凝土,为围岩“穿上铠甲”。同时精细调控爆破参数,最大限度降低爆破对围岩的扰动,化解大断面施工风险。

单环钢架组对焊接与混凝土浇筑,是保障密封性能的“关键一战”。15米直径

的钢环笨重且操作空间狭窄,组对时毫米级偏差就会导致环间错位,焊接热量集中更会加剧变形。团队引入高精度激光测量仪,每道焊接前反复校准,确保对接零偏差。

首仓二衬混凝土浇筑中,团队亮出“精准组合拳”,分层对称浇筑,附着式振捣等先进工艺齐上阵,破解多项行业痛点,全程双线管控,逐车核原料,实现一次成型、指标超标,为后续施工立起标杆。

从挑顶围岩把控到钢板焊接、混凝土浇筑,“零模糊”的坚守,让每一处细节都经得起高压与时间的检验。

■ 安全筑盾 “网格法”一路护航

大断面开挖可能引发坍塌涌水,高处作业暗藏坠落风险,爆破作业需精准把控……面对诸多隐患,项目推行的“一岗四格”制度,纵向上,形成“项目经理—分管领导—职能部门—施工班组—一线作

业人员”的五级责任体系,横向上,将方案、作业、管理、应急四大安全责任落实到每一个人。每一位建设者既是施工执行者,也是安全守护者。通过项目负责人、执行经理、现场技术负责人、安全总监分级监管,全员、全过程、全方位、全天候的全覆盖管控,定期综合检查和不定期专项检查相结合的常态化巡查,及时排查整治各类安全隐患,做到早发现、早提醒、早处置,把风险扼杀在萌芽状态。

严管之下必有成效。截至目前,项目始终保持零安全伤亡事故,先后两次获评“安全生产先进单位”。

从深山洞室的艰苦掘进,到关键工序的顺利突破;从无经验可循的摸索前行,到核心技术的全面攻克,中铁十五局建设者们扎根大别山腹地,日夜兼程。建成后,它将充分发挥电网“削峰填谷”核心作用,助力新能源消纳,推动区域绿色低碳转型,让绿色动能在大别山深处澎湃涌动。

匠心践初心 科创护绿行

——记全国五一劳动奖章获得者陈瑶姬

■ 邓思佳 童茜 王璐玲

从燃煤机组超低排放攻坚,到深远海风电科技领航,这是一条能源绿色转型的升级之路,也是全国五一劳动奖章、全国五一巾帼标兵、浙江省劳动模范获得者、浙江海风新能源科技发展有限公司研发中心主任陈瑶姬深耕能源领域十余载的奋斗之路。

省属企业“五个一”人才工程、省部属企事业单位名师高徒、能工巧匠、浙江电力优秀科技工作者、浙能劳模、浙能工匠……这一路走来,陈瑶姬不断提升自身的能力提升,更以智慧和汗水诠释着大国工匠的奋斗风采。

■ 一线担使命,诠释科研初心

绿色是能源高质量发展最鲜明的底色。作为能源绿色转型一线的技术领军者,陈瑶姬始终在产业升级的蓝海里探路前行、上下求索。2011年,浙能集团在全国率先提出“烧煤要和烧天然气一样清洁”理念,如何将蓝图落地于实践,这其中少不了陈瑶姬的倾力担当。

2013年,刚休完产假的她主动请缨回归工作岗位,全力投身相关研发工作,将研发中心转移到更趋向实际应用的施工设计。2014年7月,她正式担纲嘉兴电厂二期超低排放改造项目工艺主设,在密密麻麻的工程图纸中反复推演方案,常常伏案数十小时不眠不休;项目安装攻坚期,她扎根现场全程值守,为设备运行“精准把脉”;项目移交后,她持续跟踪系统状态,迭代优化技术路径,为同类项目推广奠定坚实基础。十余年来,她始终扎根生产科研一线,不分昼夜钻研攻关,把爱岗敬业融入每一次实验、每一项攻关,以高度的责任担当,践行着能源科研工作者“守护蓝天、赋能绿色”的初心使命。

■ 创新破难题,赋能绿色转型

陈瑶姬以技术创新为引擎,深耕能源环保与深远海风电领域,牵头攻克多项行业“卡脖子”难题,以硬核成果助力“双碳”目标落地。在能源环保领域,她牵头研发的国产湿式电除尘技术,为国家技术发明一等奖提供核心支撑,打破国外技术垄断;领衔伊犁新天煤化工VOCs(挥发性有机

物)治理项目,去除效率超99.6%,成功开拓新市场;主导浙能兰电二氧化碳捕集与矿化利用集成示范项目,技术指标达国际领先水平,入选浙江减排降碳标杆项目,已在全国20余家企业推广应用。

2025年,她跨界挺进深远海风电新赛道,参与省级深远海风电重大科技专项编制,牵头统筹集团科技专项实施方案制定工作,聚焦三大核心领域,凝练28项省级、10项集团级课题,构建完整创新路线图;联合高校及行业头部单位组建省级创新联合体,攻关导管架基础优化设计,相关课题申报浙江省2026年“尖兵领雁+X”科技计划,预计实现结构减重15%,大幅降低深海风电开发成本;提前布局26兆瓦超大风机、132千伏动态海缆等卡脖子装备自主研发,推动“赛马”“揭榜挂帅”机制创新,加速科研成果转化;同时研发监控一体化、数字化管控技术,突破波浪载荷设计、风机运维等核心难题,为浙能集团海风规模化发展筑牢技术根基。

■ 匠心传薪火,培育科技创新军

独行快,众行远。陈瑶姬从不局限于



陈瑶姬参加浙江省2026年庆祝“五一”国际劳动节暨表彰劳模先进大会。 王璐玲/摄

个人的成长,更是以师者初心倾囊相授,为后辈点亮了一盏盏前行明灯。

以劳模工匠工作室为载体,陈瑶姬将人才培养与岗位科创深度融合,获评浙江省省部属企事业单位“名师高徒”称号。她手把手传授技术经验、毫无保留分享科研心得,结合青年员工特点因材施教,在实战中锤炼队伍、培育骨干;同时深耕产教融合,她主持或参与重点项目30余项,获专利30余项、发表论文10余篇,先后受聘为多所高校的校外指导老师,搭建校企同

育人桥梁,累计培养能源领域专业人才10余名,打造出一支能打硬仗、善攻难关的科创铁军,让劳模精神、工匠精神在能源一线薪火相传。

从燃煤电厂的除尘减碳,到深远海上的追风逐绿;从潜心科研的技术攻关,到倾囊相授的育人传技,陈瑶姬始终在能源绿色发展的道路上步履不停、笃行不怠。她用实干诠释劳模精神,用创新赋能清洁能源,彰显了新时代科技工作者的责任担当,绽放出最美劳动者的夺目光彩。

聚焦出口与投资协同 深度推动国际能源转型

■ 王旭鹏 王浩宇

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》为我国以新能源推动国际能源转型作了系统部署与战略规划,强调要创新发展绿色贸易,促进贸易投资一体化,引导产业链供应链合理有序跨境布局。

当前,全球能源格局正处于地缘政治动荡加速重构、传统能源供应脆弱、绿色转型迫在眉睫的关键阶段。2026年以来,美国军事介入委内瑞拉、美以联合打击伊朗,国际地缘冲突频发,化石能源供应频繁受阻,油价面临剧烈波动,能源通道安全风险凸显,对全球各国加快能源转型、降低对传统油气资源依赖提出了迫切要求。

在此背景下,经过几十年的发展,我国绿色产业积累起来的发展经验与技术优势更加凸显。我国以光伏、锂电池等绿色产品出口和节能技术、降碳环保等绿色服务出口为重要载体,以海外清洁能源项目投资建设为主要支点,聚焦绿色出口与海外投资双轮驱动,深度参与全球能源转型,这既是对冲地缘风险、维护全球能源安全的必然选择,也是推动构建公平普惠、清洁低碳、安全高效的新型全球能源体系的大国担当。截至2026年4月30日,我国A股主要上市公司完成的年报披露显示,风电、光伏等新能源板块上市公司积极推进海外布局,境外业务表现亮眼。

以优质供给助力夯实全球能源转型根基

受海外需求增长,叠加光伏产品出口退税政策调整预期驱动,2025年,我国硅料硅片、光伏逆变器板块上市公司境外业务收入分别达188.47亿元和810.29亿元,同比增长36.89%、45.4%。2026年一季度,

我国光伏逆变器累计出口金额达24.23亿美元,同比增长43.21%,累计出口数量达1107.6万个,同比增长2%。同期,我国太阳能电池出口金额达86.1亿美元,同比增长22%,累计出口量达36.1亿个,同比增长37.7%,反映出我国太阳能电池出口单价有所下降,将助力降低全球光伏开发成本,并更好适配热带气候、高原环境等不同自然环境以及分布式屋顶、大型地面电站等不同建设需求,精准对接适配目标国的自然禀赋、产业特征与转型需要。

以东南亚为例,东盟能源中心公布的数据显示,超半数原油进口依赖中东,多数东南亚国家战略石油储备远低于国际能源署设定的90天安全标准,地缘冲突导致东南亚加快摆脱对进口油气与单一能源通道的依赖,推动以平价清洁能源替代高价传统能源。在自然条件下,东南亚主要国家年日照时长超2000小时,光照强度高、可利用小时数高,土地资源丰富,适宜大规模开发地面光伏、屋顶光伏、漂浮光伏等多种类型光伏产品。在产业特征上,东南亚成为全球制造业转移承接地,电子、纺织、家电等产业用电需求年均增长快,对稳定、低成本电力的刚性需求持续扩大。我国针对东南亚高温、高湿、台风、暴雨等气候特征,提供适配抗台风、耐湿热、自清洁的光伏产品,提升设备可靠性与使用寿命,推动光伏技术、标准、服务等一体化输出,充分对接落地东南亚制造业园区、出口加工区等各类场景应用需求。

2026年4月,中广核老挝北部互联互通清洁能源基地一期100万千瓦光伏项目正式并网投运,作为东南亚单体最大的光伏项目,在发电、减排、节约煤耗方面成效显著,反映出我国光伏产业已逐步从产品出口向技术、标准、全产业链出海能力的全面跃升。

在风电装备方面,我国聚焦风电机组、叶片、塔筒、控制系统等风电整机全产业

链,推动风电产品出口与技术标准输出,增强全球清洁能源转型的发展动能。

我国风电产业已陆续突破单机容量与叶轮直径大型化、适应海上陆上极端环境等关键技术,持续推进海上风电叶片、高功率齿轮箱、超高混塔塔架、漂浮式海上风电等关键装备投入,具备构建耐高温、抗风沙、防腐蚀等区域特性的各类定制化机型。

2025年,我国风电整机、风电零部件板块上市公司境外业务收入分别达232.81亿元和165.17亿元,同比增长79.46%和29.59%。2026年一季度,我国风力发电机组出口总额达4.85亿美元,同比增长55.4%,反映出我国风电整机出口在技术升级与高附加值产品驱动下持续强劲扩张,海外市场对我国风力发电机组需求旺盛。

以拉美地区为例,美国对委内瑞拉能源产业干预、对拉美能源市场长期操控,叠加国际油气价格剧烈波动,对墨西哥、智利、乌拉圭等能源进口国冲击明显,用能成本走高,制约当地制造业发展,迫切要求拉美能源结构向清洁化、自主化、低成本化转型。

在自然条件上,拉美风电资源丰富,阿根廷巴塔哥尼亚、巴西北部、智利南部年均风速达7—10米/秒,年利用小时数最高可达5000小时,广袤平原、高原与沿海地带为开发风电场提供良好开发条件,风电开发潜力巨大。在产业需求上,工业电气化、数据中心、绿氢等新兴负荷快速扩张,亚马逊、谷歌、微软、字节、阿里等持续在拉美加大数据中心投资,电力需求高速增长。拉美地区在整机、变频器、齿轮箱等风电核心部件方面仍依赖进口,为我国风电出口提供了巨大空间。为适配拉美高温、高湿、强风环境,重点提供抗高温、耐盐碱、防台风型风机以适应本地化布局。

2025年12月,远景科技与巴西可再生

能源公司Casa dos Ventos签署630MW风机供货及30年长期服务协议,提供定制化8.x MW伽利略AI风机,助力管理风资源波动与运维风险,更好服务本地数据中心、绿氢绿氨项目等业务需求。

以资本支撑打造全球能源转型生态

在十多年引领全球清洁能源投资、建成全球最大最完整清洁能源产业链的同时,我国还基于地理环境优势与产业发展需求,以项目直接投资的方式,助力多个国家和地区清洁能源发展。

比如,中国助力非洲地区水电资源开发利用已有多年历史。非洲虽为原油净出口大陆,但受限于炼化能力薄弱,对高比例成品油进口依存度仍较高,每年还要进口约1200亿升精炼燃料,地缘政治冲突加重本地区用能压力,民生与工业成本压力巨大,迫切要求摆脱对进口油气产品的依赖。(《2025年非洲能源状况展望报告》)显示,非洲72%的电力来自化石燃料,可再生能源发电量仅占总发电量的27%。在自然条件下,刚果河、赞比西河、尼罗河等流域水资源丰富,国际能源署数据显示,非洲水能储量占全球的比例约为12%,可开发潜能达283吉瓦。国际水电协会数据显示,非洲水电开发率仅约10%,开发潜力十分广阔。

在产业需求上,非洲铜、钴、铝等矿产资源丰富,有色冶金等高耗能产业依赖水电供电。为助力非洲水电资源开发,针对非洲高温、高湿、地质复杂等环境,我国重点输出抗高温高湿机组、生态友好型施工技术、构网型水电调节技术等适配化技术,兼顾发电效率与生态保护,结合用能需求与地理特征,推进大型水电枢纽、中小型水电分布式项目以及水电与多能互补开发,

助力安哥拉、刚果、埃塞俄比亚、乌干达、尼日利亚等地水电投资建设。

2026年3月,特变电工披露其在几内亚投资布局的阿玛利水水电站项目正有序推进,该项目总投资达11.54亿美元,装机容量300MW,运营期限40年,有力服务当地清洁电力供给体系投资建设。

我国还基于自然资源禀赋与节能降碳需求,以项目注资、投资入股等方式服务中亚地区传统能源清洁改造。哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦等国煤炭发电占比较高,机组相对老旧,地缘政治因素,叠加碳排成本约束,直接推高了民生与工业用能成本,迫切需要推进传统能源向低碳化、清洁化转型发展。

在资源条件上,中亚地区天然气储量丰富,气源充足,具备天然成本优势与供应保障。同时,天然气发电响应速度快、调节范围宽,可快速平抑风光出力波动,是电力系统安全平稳运行的重要支撑电源。在产业特征上,中亚以冶金、化工、矿产加工等产业为主导,用电负荷大、稳定性要求高,对能够提供连续稳定、可调控的清洁煤电、天然气电需求较大。

为此,我国在中亚地区重点推进投资建设重型燃气轮机电站、联合循环气电站等大型高效气电站,推动替代老旧煤电,并输出燃气机组、脱硫脱氮、智能控制系统、余热利用等先进装备与技术,提供勘测、设计、施工、运维等一体化服务,助力提升发电效率。

2026年3月,由哈萨克斯坦与华电集团合资设立的阿克套能源有限公司将投资建设一座装机容量为160兆瓦的联合循环燃气发电厂,投资规模达1080亿坚戈(约15亿元人民币),其中70%资金由中方提供,助力缓解当地电力短缺,为提升区域电力系统稳定性、降低能耗与排放水平持续注入新动能。

(作者均供职于国网能源研究院有限公司)