智能大坝建设推动我国迈入建坝强国行列

■本报记者 苏南



卫星筛查、无人机详查与地面复核示意图。　自动监测、专业研判与现场复核示意图。　“天空地水工”一体化监测场景示意图。
水利部大坝安全管理中心/供图

水库大坝是国家水网建设的关键节点，随着“数智化”转型深入推进，智能大坝已进入全面实践阶段，为保障国家水安全、能源安全、生态安全提供重要支撑。今年以来，国家在水库大坝和水电领域进行战略性部署，水利部更是加快推进“安全大坝、生态大坝、智能大坝”建设。

■■承担国际水利水电招标工程70%以上

我国拥有世界上规模最大的水库大坝工程体系，注册大坝数量占全球50%以上，其中200米以上的高坝中国超过1/3，装机300万千瓦以上的水电站，中国也占多数。这些水库大坝不仅是国家水网的关键节点，也是新型电力系统必不可少的调节载体，在保障防洪安全、供水安全、粮食安全、能源安全和生态安全中发挥着无可替代的作用。

当前，我国大坝事业发展态势良好：一方面国内大量工程在建设，另一方面我国承担了全球水利水电招投标工程70%以上的份额，遍及东南亚、南美、非洲等地区。国际大坝委员会现有30个专业委员会，其中6个专委会主席由中国专家共同担任；今年新成立的智能大坝专委会，也由中国专家担任主席。这意味着我国水利水电行业的创新不仅助力自身发展，也对世界具有重大意义。

“世界范围内，在大坝发展过程中都曾发生过重大工程建设与运行管理事故。中国拥有如此庞大数量的大坝，却未发生特别重大溃坝事故。”中国大坝工程学会理事长、中国工程院院士贾金生表示，“但也需要注意，我国老旧水库多，工程老化、病害突出，叠加极端暴雨频发，大坝工程安全运行管理面临新挑战。今年广西4座水库险情发出警示，设计标准不等于安全工作标准，即便历经多年，‘四预’建设，实现连续多年未垮坝，超标准洪水下的安全风险不容忽视。需要加快构建涵盖监测评价、修复管理、风险核算的全链条技术体系，构建全面感知、全过程智慧建设与运行的大系统。”

■■“数智化”转型赋能大坝建设

在业内人士看来，智能大坝建设是应对现实水库水电挑战、筑牢安全底线的必然选择。随着数字孪生水利与AI的深度融合，坝工领域“数智化”转型和智能大坝建设正从单点应用走向系统集成，建设环节走向全生命周期。尤其是梯级水库群联合调度研究，推动水库、水电站的生态调度从经验型向规律型、从单目标向多目标、从单个枢纽向梯级协同跃升。

水利部总规划师于琪洋在近日召开的中国大坝工程学会2026学术年会上强调，水利部已部署推进“安全大坝、生态大坝、智能大坝”建设，正在组织制定“三个大坝”建设指导意见、实施方案、技术规范，推进试点建设。智能大坝通过“数智化”转型，推动大坝工程从经验驱动向数据驱动、模型驱动转变，是培育水利新质生产力的重要抓手。

“三个大坝”不是抽象理念，而是破解当前水利水电发展难题的行动方案。例如，智能大坝建设的核心是构建覆盖感知、建造、运维、支撑的完整数智体系，让大坝实现“能感知、会思考、可进化”。

如今，我国的水库水电大坝已经向“智能”转型。以长江构建“天空地水工”一体化感知网络监测预报为例，自投运以来，长江干流梯级水库群持续安全稳定运行，综合效益显著。累计拦洪2400亿立方米、补水5000亿立方米、发电超4万亿千瓦时，成功应对2020年流域特大洪水、2021年罕见秋汛、2022年百年大旱、2025年最强华西秋雨等极端天气事件，有力保障长江防洪、供水、生态、航运和国家能源安全。

在风险管控层面，智能大坝推动安全监测从“事后研判”向“事前预警”转型。贾金生强调：“我们要将本质安全的理念贯穿到工程建设运行管理始终，把气候变化风险评估和应对大坝韧性理念、老化病害长期评估纳入大坝设计。我们还要把生态约束贯穿规划、建设、改造、调度全周期，依托生态调度等技术手段，维系河流自然水文节律和联动性，统筹防洪、供水、发电、生态多元目标。”

■■水利水电日趋融合发展

谈及智能大坝建设未来发展，业内专家指出，“仍面临诸多挑战”。一是水利水电大坝的标准规范体系亟待完善。浙江在试点基础上构建了“1+1+N”省级规范化指导体系，为智能大坝建设提供了清晰的路线图，但全国范围内的标准规范体系仍需加快完善。

二是系统集成与数据治理难度颇大。智能大坝建设要打通“感知—诊断—决策—反馈”的闭环，推动其与AI深度融合，但目前数据标准、接口协议等方面仍需加强互联互通。

三是水利水电行业的复合型人才短缺。既懂水利水电又懂数智技术的复合型人才严重不足，制约智能大坝的建设进程。贾金生呼吁：“要加快梯级人才培育，依托重大工程培养青年骨干、国际专家和领军人才。”

业内专家认为，当前，水利水电工程正向更宏观、更微观、更交叉和更融合的方向发展，要牢牢抓住“五大热点”，针对新需求新条件解决关键技术问题；遵循“本质安全+数智赋能+防灾减灾”的原则，追求水工建筑物和工程的长寿安全运维的目标；要推进试验、理论、仿真、数据全方位的工作，突破五个核心关键科技难题，共同推进水利水电新质生产力的发展。

上接1版

储气库为今冬保供增底气

要让动态快速响应能力落实落地，库存能力真正可计算、可调度，光靠“经验”管库远远不够。“需要构建储气库的大脑，提高智能化配产配注水平，因此数字化转型成为保供刚需。今年我们每一口注采井的油压、套压、温度、流量，每座库的库存量和日注采气能力，都被标准化、结构化地录入数据平台。数据的价值不在‘大’，在‘准’和‘快’。寒潮来后，调度指令需要在几小时内下达到几百口井，靠翻纸质台账是来不及的。把数据治好、把平台搭稳，是为了让‘满仓’的静态储备，变成‘可计算、可调度、可预判’的动态能力。”上述负责人说。

从调度实践看，库群不再是一组可以互换的储气罐，哪座库先顶、哪座库留着后手、哪座库适合频繁切换，调峰的质量取决于这套分工在真实波动中是否能被准确执行。

单一“节奏”松动

过去行业考虑是否有气可注，现在讨论的是“注进去之后如何用得更巧”，储气库所承载的功能本身也在被重新定义。

中国工程院院士孙焕泉表示，储气库已从季节性调峰设施升级为国家能源安全战略储备基石、新型能源系统重要支撑和深地空间开发利用核心载体。

方向在规划层面已经落定。《石油天然气发展“十五五”规划》明确要求加快地下储气库建设，提升已投产储气库规模和尖峰保供能力，加快海上地下储气库论证实施，同时探索地下储氢、二氧化碳等新业态，推进新型地下储能产业发展，充分利用枯竭油气藏、盐穴和管道等地下空间资源，探索发展压缩空气储能。地下的空间正在从“存天然气的库”变成“存多种能源的枢纽”。

从保障天然气供应，到平抑新能源发电波动、支撑风电光伏并网，再到实现绿氢跨季节跨区域存储、打破不同能源子系统之间的壁垒，地下空间综合利用的发展方向也变得更加具体。

实践层面也有探索。4月，我国首个百万方级盐穴储氢示范工程在河南平顶山投产，完成150万标准立方米氢气储存，攻克了临氢材料腐蚀、设备密封等技术难题。苏盐井神依托地下盐穴资源，建成世界首座连通井盐穴储气库，同时落地百兆瓦级压缩空气储能示范项目，正在推动“盐穴储气”向“盐穴储能”跨越。金坛盐穴压缩空气储能项目两台350兆瓦机组在9月完成整组启动，总装机规模位居世界盐穴压缩空气储能项目之首。虽然目前项目规模有限，但储气库积累的地质评价能力、井筒工程经验和安全监测体系，正在不断复制到储氢、储能、碳封存等新场景中。

目前，储气库硬件规模已上新台阶，运行规则和商业模式的调整还需同步跟上。未来，注采周期安排、库群功能划分、商业调峰与储备的边界界定，以及新的地下储能业态的运营规则这些制度安排能否逐步到位，将决定储气库从调峰设施走向战略基石的进度。

上接1版

中国为全球气候治理提供宝贵的稳定性和确定性

生态环境部副部长李高介绍，今年将举行全国碳市场数智科技成果展，动态展示全国碳市场信息系统数智监管功能，展示碳排放巡检机器人、高精度传感器等智能设备，并首次设置“中国角数字图书馆”，扫描二维码就能查阅和下载“中国角”发布的倡议、报告、典型案例。

与此同时，中国企业也带着各自的绿色产品和技术解决方案亮相COP31。据《中国能源报》记者不完全统计，隆基绿能、金风科技、天合光能、涂鸦智能等多家企业纷纷亮相，借助COP31这一国际气候治理平台进一步打开海外市场。

作为中国光伏企业代表，隆基绿能在COP31期间围绕光储融合、能源普惠等议题分享方案，并联动伙伴探索面向非洲等地区的可落地、可融资气候适应项目模式。“从能源普惠到AI协同，从技术方案到零碳实践，我们在COP31的每一步都指向同一个方向——让清洁能源公平可及。”隆基绿能相关负责人表示。

金风科技副董事长兼总裁曹志刚表示，新增电力由什么能源来满足，决定着温控承诺的成色。风电要让自身减排经得起核验，让转型红利留在当地，让绿电走出电网、推动工业和航运深度脱碳。他建议，促进能源系统与风电双向支持，推动碳足迹与绿色认证国际互认，加强ESG领域国际合作。

气候预警催生高韧性市场机遇

面对日益严峻的全球气候风险，COP31主题边会紧扣能源系统与气象风险防范的深度融合，设置多项核心议题展开讨论，包括如何将气候预警信息转化为能源系统的可操作决策参数、如何在高气候风险地区规模化部署“预警—响应行动”解决方案等。同时，分享《从气候预警到能源行动2026年度进展报告——中国企业行动与协同实践》成果，并就“气候领导力计划”相关工作进行交流。

在COP31主题边会圆桌论坛讨论环节，天合光能副总裁、集团ESG及风控管理负责人吴肖表示，极端气候已经成为未来10年最严峻的全球风险，正在重塑新能源行业的底层逻辑和资产价值评估体系，也催生了气候韧性强的光储系统应用场景的结构性市场机遇。

天合光能从高层治理、经营管理、项目运营和业务创新层面前瞻性体系化搭建气候风险与能源系统韧性的深度融合，建立“识别 评估 应对 复盘”全面气候风险管理框架，将气候风险洞察和评估纳入公司战略转型和经营决策，将气候数据通过AI技术赋能和优化清洁能源系统运营，联合供应链价值链合作伙伴，共同打造“源网荷储”一体化韧性能源生态，让气候韧性成为支撑产业可持续发展的核心能力。

针对气候引发的极端天气事件持续影响能源系统发、输、配、用全过程，涂鸦智能欧洲企业及战略大客户业务负责人王劲表示，极端天气常态化的今天，“气象+能源”的融合，不能停留在“只预警、不响应”的阶段，更要打通预警信号到终端能源设备的执行闭环，把气象预报转化为可落地、可调度的能源行动。

上接1版

“十五五”新型储能定位愈发清晰

未来发展重心是场景拓展

对比“十四五”，《方案》变化在于任务排序的调整。《方案》将“构建多元应用场景”列为六大任务之首，其后依次是大力推动科技创新、完善行业管理、健全市场机制、推动产业健康发展和深化国际合作。

过去5年，国家通过鼓励科技创新和试点示范推动新型储能技术多元化发展。“十五五”时期，新型储能在多种场景中的应用成为行业关注重点。

在新型储能功能定位上，《方案》制定也在与时俱进。过去更多关注新能源消纳和支撑电力系统稳定运行，如今新型储能的顶峰保供功能也得到体现。江苏、浙江、重庆、云南、山东等地实践证明，新型储能在特殊时段可以发挥重要的保供作用。因此，《方案》提出，“十五五”要新增可承担顶峰保供功能的新型储能8000万千瓦以上，总量达到1.4亿千瓦。

储能技术路线方面，锂离子电池储能目前占比约97%，成本和性能优势明显。《方案》明确，要推广钠离子储能电池应用，同时结合不同技术路线特性，持续推动各类储能技术路线从试点应用向商业化应用过渡。

长时储能领域，压缩空气储能技术在4小时以上、有转动惯量需求、抽水蓄能及火电替代场景下具有较好的规模化应用前景；液流电池则适用于安全性要求高的场景；飞轮储能在调频领域具备发展优势。

“十五五”时期，新型储能应用场景将进一步拓展。按照《方案》要求，一方面，重点探索零碳园区、虚拟电厂、算力枢纽等创新应用；另一方面，深度融入绿电直连、“源网荷储”一体化等新模式。尤其是新建算力中心要求80%绿电比例，这恰好为储能以集群共享备用创造了参与空间。

让容量价值“看得见、算得清”

目前，新型储能行业盈利模式是业内最关心的话题。《方案》要求，“十五五”时期健全新型储能发展市场机制，包括推动新型储能参与电力市场和加快完善新型储能价格机制。

国家发展改革委、国家能源局相继出台的136号文件（《关于深化新能源上网电价市场化改革 促进新能源高质量发展的通知》）和114号文件（《关于完善发电侧容量电价机制的通知》）均为《方案》出台奠定了制度基础，特别是容量电价机制，被业内形象称为给储能发“底薪”。

“114号文”给出国家框架，独立储能容量电价以当地煤电容量电价为基准，按“满功率连续放电时长/全年最长净负荷高峰持续时长”折算。但具体给多少、按几小时折算，各省差异很大。同时，独立储能充电需缴纳系统运行费，意味着充电成本抬升，挤压储能收益空间。为此，《方案》提出“研究优化系统运行费分摊方式”，为后续价格政策调整留出了空间。

国家新型储能创新中心首席科学家、副总经理刘石对《中国能源报》记者表示，《方案》相对于“十四五”的最大亮点，是推动新型储能从“规模化发展”正式迈入“市场化发展”。在2030年装机3亿千瓦、平均时长3小时的目标下，首次从国家层面建立电网侧独立新型储能容量电价机制，形成“容量电价+电能量套利+辅助服务”的收益模式，从根本上改写储能盈利逻辑。

在刘石看来，2026年的“114号文”首次在国家层面为电网侧独立储能建立容量电价，核心是“同工同酬”。这意味着储能电站只要能在系统最缺电的时段稳定顶上来，就能获得一笔与火电可比较的固定收益，从根本上改变了过去单纯依赖峰谷价差、收益极不稳定的局面。容量收益预计可覆盖独立储能项目约三成的收益需求，成为项目投资的“稳定器”。

《方案》规划的方向是，待电力现货市场连续运行后，有序转向发电侧可靠容量补偿机制。刘石指出，届时不再区分技术类型，而是对所有能在全年顶峰时段持续稳定供电的容量，按统一原则进行补偿。储能的“可靠容量”与煤电、气电在同一标尺下衡量，谁在关键时刻真正顶得上，谁就获得补偿，更彻底体现容量价值的本质。建立后，相关机组不再执行原有容量电价，实现机制并轨。

“容量价值的兑现并非‘普惠式’，而是通过清单制管理精准锁定那些真正服务于系统安全运行，且未参与强制配储的独立储能电站，避免过度补偿和无效投资。”刘石表示，容量电价是“保底”，不是“包办”，储能仍需通过电能量市场（充放电价差）和辅助服务市场（调频、备用等）获取增量收益，形成“容量保底+市场增益”的复合收益结构，激励储能提升实际运营效率，而非仅仅“持有容量”。“未来保障新型储能的容量价值，核心是构建一套‘容量电价保底、可靠容量补偿演进、清单制精准管理’的多层次机制，让储能的‘顶峰保供’能力获得稳定且可预期的制度性回报。”

在业内专家看来，储能必须学会在市场里“游泳”。伴随全国统一电力市场逐步建成，各地都将储能明确为参与主体，可自主参与中长期、现货和辅助服务市场。电源侧储能与新能源一体化参与市场也被列为方向。展望“十五五”，让储能在市场中找到可持续的商业模式，将是未来5年的主旋律。