

AI+水电，要“可用”更要“好用”

热点透视 redian toushi

近日，国家能源局发布“人工智能+”能源高价值场景清单。其中，水电领域高原大型水电工程建设安全穿透式可视化智能管控、流域水电智慧调度与智能决策等 7 个高价值场景入选。

多位受访专家说，AI 在我国水电领域的应用已从“点”上的技术验证，走向“面”上的规模化落地，其在智能建设、智慧调度等方面取得的成效尤为显著。但水电 AI 要实现从“可用”到“好用”“敢用”的跨越，还需解决数据标准统一、决策机制优化等深层次问题。

工程建设更智能

在浙江省天台抽水蓄能电站上水库大坝填筑期间，推土机、碾压机等设备组成集群，一字排开默契地进行协同作业。然而，这些机器的驾驶室里却不见一个人影。

天台抽蓄电站是典型的高水头、大容量工程，对筑坝质量和施工效率要求极高。传统筑坝方式依赖大量人力，不仅效率不高，还面临较大安全风险。对此，施工单位联合高校开展坝面无人化智能筑坝技术攻关，为推土机装上了智能作业系统，依托国产北斗导航系统实现厘米级定位，让机械自主识别作业边界、实时调整轨迹；同时，引入多智能主体协同技术，为每台设备配备独立传感器，使它们能根据周围环境自主完成路径规划与协同避障。数据显示，智能筑坝模式使人工成本减少约 50%，工期缩短 10%，质量保证率达 99.5%。

无人机械集群是 AI 技术在水电站建设领域应用的一个缩影。随着智能化技术的不断进步，水电站建设正走向全链条智能化。

位于四川省大渡河上游的双江口水电站设计高度达 315 米，是世界水电第一高坝。它集“超高心墙堆石坝、超大填筑方量、高地应力、高水头、高边坡、高寒和深基坑”等技术难点于一身，建设难度全球罕见，给传统以人力为主的施工方式带来极大挑战。为解决建设难题，项目团队依托智慧大坝协同指挥平台，综合运用智能碾压、智能摊铺、智能温控等前沿技术，全面实现填筑施工全流程数字化管控，在提升建设效率的同时大幅提升了安全性。

虽然 AI 技术在水电站建设领域已“小试牛刀”，但受访专家直言，这一技术从试点示范走向规模化推广仍面临多重挑战。

“突出问题在于数据标准不统一。不同设计院、施工单位采用各自的数字化平台，建筑信息模型格式、传感器协议互不兼容，仅协调多方数据接口就可能耗费数月时间。”浙江天台抽水蓄能有限公司工程管理部副主任周涛坦言。

复合型人才的断层问题同样不容忽视。“懂水电的不懂 AI，懂 AI 的不懂工地”现象普遍存在，算法工程师开发的模型在实验室准确率高达 95%，但到了现场，却因环境噪声干扰骤降至 70%。

此外，水电工程从设计、建设到后期运维的数据链仍未完全打通，制约着智



即将进行勘察巡检的无人机 ■ 张敏摄

能化效益的充分发挥。特别是大量工程竣工后，施工期积累的海量监测数据被封存，无法反哺后续运行优化等流程。

周涛表示，在 AI 加速落地背景下，建筑信息模型、监测传感器等数字化、信息化技术正加速打通“数据不通畅”的堵点。此外，通过建立行业制度规范、引进交叉学科人才，水电工程智慧化建设速度将持续提升。

联合调度更“聪明”

AI 不仅能使水电站建设提质增效，也让水电调度更“聪明”。

从金沙江下游至长江干流，乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝、三峡和葛洲坝 6 座大型水电站自上而下排列，构成了一条跨越 1800 公里、水位落差超 900 米的世界最大清洁能源走廊。但协同调度这 6 座巨型水电站，面对的挑战远比想象中复杂。流域巨型电站群的运营调度涉及“水、机、电”多个环节，规模巨大、时空多变、跨区跨网、结构复杂，因此需要依托 AI、大数据等先进技术，建立水电“工业大脑”。

2020 年，三峡集团所属中国长江电力股份有限公司在这条清洁能源走廊上启动“工业大脑”建设，自主研发覆盖全业务场景的工业互联网平台。2024 年，工业互联网平台在 6 座梯级水电站部署完毕，标志着世界最大清洁能源走廊“工业大脑”基本建成，水电站运营效率、运行安全可靠性和大幅提升。2025 年，中国长江电力股份有限公司启动“金沙江下游梯级水库群数字孪生系统构建”项目，研发专业模型库与多模型高效耦合平台，打造支撑联合优化调度的智慧中枢，实现“预报、预警、预演、预案”一体化功能。如今，依托数据预测等 AI 核心算法，“工业大脑”彻底覆盖测点监测盲区，改变指标计算依赖人工的传统模式，实现设备状态精准预测。

“‘工业大脑’在流域电站群应用后，电站运营效率、运行安全可靠性和大幅提升，流域电站运营成本有所下降，智能应用开发周期大幅缩短。”长江电力科技

术研究中心主任李友平说。

虽然取得了不少成果，但 AI 在水电调度领域规模化推广还有很长的路要走。三峡集团科学技术研究院信息中心副主任专业师王峥瀛在长期跟踪调研中发现，智能调度领域仍存在多目标协同困难、自然环境条件复杂、有效数据样本匮乏等众多挑战，数据驱动型 AI 算法暂无法完全取代传统机理模型。对此，王峥瀛建议，水电行业可在严守数据安全底线的基础上，充分开放多元应用场景，广泛汇聚各方力量开展技术创新，推动 AI 与调度融合应用，实现从算法研发到落地实践的全方位突破。

诊断运维更可靠

在云南澜沧江流域，世界首座 300 米级混凝土双曲拱坝——小湾水电站以 294.5 米的巍峨身姿傲立群山。3 台无人机从停机坪腾空而起，按照预设轨迹对大坝进行全面数据搜集。搭载三维激光、高分辨率相机等先进技术的无人机，不到 4 小时就完成了了一次人工无法做到的全面“体检”，这项基于 AI 的超高拱坝无人巡检技术已达到国际领先水平。

放眼整个行业，智能预警、智能检修、智能运维已经规模化铺开。

华电电力科学研究院有限公司研发的远程诊断平台，融合动态自学习 AI 算法与设备健康度分层评估模型，构建覆盖 30 多类主辅设备、200 余项典型故障的知识库，已在 68 座水电站 199 台机组成功应用。

广西桂冠电力股份有限公司形成“全息感知—数字孪生—智能诊断—预测维护—可视化决策”全链条技术能力，故障处理时间缩短 40%，运维效率整体提升 30%，试运行半年来，已多次成功预警轴承温升异常等潜在故障，平均提前预警时间达 24 小时。

AI 技术的迅猛发展，为解决水电行业痛点提供了有力支撑。但在此过程中，也暴露出一系列问题。三峡集团科学技术

研究院多能互补中心主任专业师林恩德表示，最突出的挑战是 AI 在预测性维护领域的准确率有待提高，现有模型在故障特征提取和早期预警方面的精度仍有提升空间。

此外，场景应用广度尚需拓展，技术深度有待提升。中国水力发电工程学会自动化专业委员会委员吴昊观察到，目前 AI 大部分落地在设备智能运维、水电调度等方面，尚未应用到水电各领域、各环节，距离 AI 全面赋能还有差距。以抽水蓄能行业为例，亟待推动应用范围由单一设备运维向全生命周期资产管理延伸，以更长链条、更大范围促进 AI 和能源双向赋能。

对此，行业专家开出“药方”：加强数据治理和标准化建设，打通多源异构数据通道，构建统一的水电行业数据交换标准；加大水电行业专用 AI 大模型研发力度，深化产学研用多方协同；推动传统水电技术人员的 AI 技能再培训，形成“数据采集—治理分析—智能决策”完整人才培养链条。对于大坝安全等尚未大规模应用 AI 的领域，也应加快探索利用新一代 AI 技术模拟工程师的分析、推理和决策过程。

同时，吴昊说，应同步拓展“AI+水电”应用的深度和广度，加强场景设计和场景开放，融合科技、产业、数据等多重要素，推动由单一领域向全面赋能转变；同时，加强数智技术和新能源技术的协同衔接，深耕算法质量，引入更加精准的边界条件、变量参数和逻辑关系，并在应用中不断优化，实现更加强大的集成系统和工程实践。

“从工程建设到联合调度，从状态检修到智能决策，‘AI+’正以润物无声的方式渗入水电的每一个环节。”林恩德说，“可以预见，随着数据标准不断统一，复合人才加速培养，技术迭代日益加快，‘AI+水电’将跨越从试点示范到规模化应用的‘最后一公里’，为清洁能源高质量发展贡献更多力量。”

何亮 叶青

将协同创新力化为向新展力

■ 李刚

创新杂谈 chuangxin zatan

一个机器人创业团队带着图纸来到广东深圳，能有何种“奇遇”？1 小时找齐供应链，1 天出设计方案，3 天见到样品。

走进深圳宝安安全机器人开发选品造型服务中心（以下简称“选品中心”），答案更为具象。伺服电机、减速器、传感器、关节模组……一张巨大的机器人拆解图里，数十个核心部件被逐一拆解标注，在周边 5 公里内就有供应商。

这张拆解图，拆开的是一台机器人的物理构造，照见的是一个地区对创新的独特理解。选品中心将周边已集聚的机器人核心零部件及核心材料全产业链铺成一张网，助力把“天马行空”的创意转化为产品、推向生产线。当创新链与产业链深度耦合，研发、中试、转化、出海等环环打通，新质生产力蕴藏的万千活力将喷薄而出。

当前机器人产业发展的难点，既在概念设计，又在关键技术突破，更在从原型走向工程化、再走向规模化的连续过程。科技创新与产业创新如何有效融合，是向新发展的必答题。宝安这个选品中心，提供了一个值得借鉴的路径——不是简单地为创新“搭台”，而是系统扫除从创意到产品、从实验室到生产线的障碍，推动创新成果顺畅转化。

产业的创新力，得益于区域的协同力。在世界知识产权组织发布的《2025 年全球创新指数报告》百强创新集群中，“深圳—香港—广州”创新集群首次登顶全球。活力满满的大湾区从不缺创新资源，香港有国际化的基础研究优势，深圳有强大的产业转化能力，广州有丰富的高校科研力量，东莞、佛山有深厚的制造底蕴，等等。持续激活区域创新资源活力，关键在于最大限度发挥创新要素优势。

资源分散、跨境流动存在壁垒、体制机制尚有不顺，常常让创新优势难以发挥。深圳清华大学研究院打破科研机构与市场之间的高墙，累计孵化企业 3000 余家、培育上市公司超 30 家，承担起粤港澳大湾区国家技术创新中心国际总部等国家战略平台建设任务，打造国家战略科技力量，靠的是用制度创新为科技创新松绑；河套深港科技创新合作区在 3.89 平方公里内，汇聚大量深港跨境合作平台，推动人员、物流、资金流、信息流等跨境流动。实践证明：当人才、资本、数据、技术能够在区域内高效流动，创新就不再是孤岛，而会连片成势，形成协同共生的良好生态。

推动产创融合、发展突围，考验打破思维定式的勇气。宝安的选品中心有一个工作机制，即直接请技术人员进驻，随时对接、深度服务。这意味着服务供给已从“政府配菜”转向“市场点菜”，从“有什么给什么”转向“要什么给什么”。以企业需求为中心的服务逻辑，是对传统行政管理思维的一次突破。大湾区要建设国际科技创新中心，需要的正是敢于打破部门壁垒、敢于突破条条框框、敢于为创新铺路的改革决心与智慧。

供应链的痛点被快速解决，转化平台的痛点越来越少，要素流动的堵点被制度创新疏通，企业需求的难点被主动服务破解……越是创新发展，越要注重系统协同。扫除阻碍高水平科技自立自强的痛点、卡点、堵点、难点，不断畅通创新转化之路，区域发展的协同创新力将持续转化为向新展力。

在第十四届互联网安全大会上，专家认为——

我国应形成自主可控的 AI 漏洞挖掘能力

没有专业团队，没有数月周期。在第十四届互联网安全大会开幕式上，一部完全由智能体制作的动画短片吸引与会者注意。从脚本、分镜、配音到成片，仅用 5 天时间。观众在惊叹之余，也直观感受到大会“智能体颠覆安全”主题的分量——当智能体成为自主决策、自主执行的“数字行动者”，网络安全的攻防天平正在被颠覆。

智能体已成为产业真实运转的核心组件。中国工程院院士赵春江说，2025 年是多智能体商业化应用元年，2026 年其应用将更加广泛，智能体已渗透到制造、物流等实体经济领域。世界互联网大会秘书长任贤良说，智能体不再是被动执行的工具，而是具备自主感知、决策、交互与执行能力的执行者。

能力的跃迁，伴随风险的升级。360 集团创始人周鸿祎发出警示：AI 已能自主寻找并分析漏洞、构造攻击代码，将网络攻防响应速度从人工级提升至机器级。他以美国 Mythos 模型为例分析说，全自动漏洞挖掘与攻击能力已将漏洞发现速度提升两个数量级，成本降至不足千分之一。Mythos 已从开源操作系统 OpenBSD 内核中挖出潜伏 27 年的漏洞，从全球音视频基础设施 FFmpeg 中挖出潜伏 16 年的漏洞。周鸿祎说：“这相当于 AI 时代的‘网络核武器’。”

过去 30 年，网络安全攻防平衡建立在“漏洞难找”的基础上——高价值漏洞数量有限、发现成本高昂。如今，AI 让漏洞发现更快、更便宜、更规模化。周鸿祎说，漏洞发现能力正在成为网络安全规则的改变者，形成新的战略威慑。“过去比谁更强，未来比谁更快。我国必须建立自主可控的 AI 漏洞挖掘能力。”他呼吁。

当攻击更加智能化，个人用户面临的威胁同样升级。赵春江在演讲中专门提示：数据泄露与隐私反推、深度伪造与场景化诈骗已成现实威胁。泄露的数据可能被放在暗网上交易，攻击者甚至能通过 AI 输出结果反向推断训练数据中的隐私信息；结合换脸换声技术的金融诈骗，更直接威胁个人财产安全。对此，专家给出的防范思路是坚持“零信任”理念——不预设任何系统是天然安全的，审慎授予应用权限，不向智能体输入敏感信息。

互联网安全大会名誉主席贺铨直言，“哪里着火灭哪里”的被动响应模式，在智能体集群的饱和式攻击面前永远慢半拍。智能体驱动的攻击呈现自主决策、集群协同与持续进化特征，安全范式必须从被动防御转向主动免疫，构建覆盖预测、防御、检测、响应、恢复全生命周期的体系化运营框架。

在具体实践中，360 集团交出了一份“AI+安全”双线发展的答卷。周鸿祎宣布，360 集团将 20 余年积累的攻防经验、安全数据和漏洞知识库整合成协同作战的智能体体系。截至 6 月 24 日，该集团推出的漏洞挖掘智能体“图龙锋”已累计挖掘漏洞 3432 个，其中 105 个获监管确认，多个被国家漏洞库认定为高危漏洞，防御侧同步发布网络安全自动化防御系统“仪天阵”，让安全运营从“有人驾驶”走向“自动驾驶”。

付丽雨

超高压“压”出新纪录

准一维超导材料状态实现“三级跳”

近日，笔者从宁波大学获悉，该校教授崔田、副教授黄艳萍团队联合上海前瞻物质科学研究院研究员曾桥石团队，在超高压超导材料研究领域取得重要突破。团队在相当于地球内核数倍的超高压环境下，发现了一种名叫三硫化钽的材料能接连“变身”，成为三种不同的超导状态，最高超导转变温度达到零下 255.75 摄氏度，刷新了同类材料的纪录。相关成果近日发表在国际期刊《美国化学会志》上。

超导，即某些材料在温度降到足够低的时候，电阻会突然“消失”，电流可以毫无损耗地通过。如果能找到在更高温度下就能实现超导的材料，则意味着输电线可以零损耗输电，磁悬浮列车可以更高效运行，医院核磁共振设备也可以更便宜。正因如此，寻找更高温度的超导材料一直是全球物理学家的终极目标之一。

团队选择在三硫化钽中寻找答案。在这类被称为“准一维”的奇特材料中，电子只能在一条“窄道”里跑，就像高速公路上的单行道。正因如此，这类材料充满了

有趣的物理现象，是研究低维物理的理想“试验田”。然而，由于此类材料的电子“挤”在窄道里，很难形成稳定的超导状态，所以此前这类材料的超导温度一直卡在零下 263 摄氏度以下，多年难以突破。理论计算早就预言，三硫化钽在高压下有可能“解锁”更高的超导温度，但一直没有人在实验中亲眼见证。

为了验证这一预言，研究团队把三硫化钽样品放进了金刚石对顶砧。这是一种能产生极端高压的装置，利用两颗金刚石对顶挤压来产生超高压强的实验装置。两颗金刚石的尖端之间只有极小的空间（约几分之一毫米），把力集中到这里，就像把一头大象的重量集中压在指甲盖大小的面积上。

研究人员从约 6 万个大气压开始一路加压，一直加到惊人的 210 万个大气压，同时借助同步辐射 X 射线衍射透视材料内部结构，并结合电磁输运测量追踪电阻变化。

实验中上演了一出精彩的“变形记”。

当压力加到约 6 万个大气压时，材料中的电荷密度波——可以理解成电子集体排队形成的一种有序排列被压制下去，超导电性首次“登场”，形成第一个超导相 SC-I。继续加压后，在约 29 万个大气压附近，超导忽然消失，再继续加压又重新出现，形成第二个超导相 SC-II。最精彩的转折发生在约 89 万个大气压处：材料内部悄悄发生了一次隐身的结构相变——从外面看晶体形状没变，但内部的原子排列已经重组。随之而来的是第三个超导相 SC-III 的诞生，超导温度一下子跃升到零下 263.05 摄氏度。当压力继续攀升到 210 万个大气压时，超导温度攀升至零下 255.75 摄氏度，直接刷新了同类材料的最高纪录。

更让团队兴奋的是，在这个压力下超导温度还在往上走，完全没有见顶的迹象，暗示着在更高压力下还可能创造新纪录。

“打个比方，高压就像一双无形的大手，把材料内部原本‘胖胖的’三角棱柱慢慢‘压扁’，让原子的排列从三条‘车道’并

排变成了一条更高效的‘快车道’。”研究人员解释道，正是这种结构上的“瘦身”，让钽原子的电子和硫原子的电子靠得更近，合作更加紧密，电流通过时几乎没有阻力。同时，压力还把电子的“运动轨道”调整得更整齐，电子和晶格振动之间的互动变得更频繁，进一步放大了超导效应。这些变化叠加在一起，就像多米诺骨牌一样，最终推高了超导转变温度。

该研究为通过高压调控手段提升低维量子材料超导性能建立了一种新方法，为开发更高温度的准一维超导体提供了切实可行的技术路径。

“这项研究的价值不只是破了一项纪录，更重要的是我们第一次完整地画出了这种材料在超高压下的超导地图，看清楚它在不同压力下会怎样‘变身’。”研究团队负责人介绍，该研究不仅帮助科学家更好地理解了低维材料中电荷有序排列与超导之间的微妙关系，也为今后设计新型量子功能材料提供了宝贵的路线图。

夏凡