

光储电站AI技术白皮书


华为数字能源技术有限公司
雅砻江流域水电开发有限公司

版权所有 ©华为技术有限公司 ©雅砻江流域水电开发有限公司2026。保留一切权利。

非经华为技术有限公司、雅砻江流域水电开发有限公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

商标声明

 HUAWEI  为华为技术有限公司的商标。

  为雅砻江流域水电开发有限公司的商标。

在本手册中以及本手册描述的产品中，出现的其他商标、产品名称、服务名称以及公司名称，由其各自的所有人拥有。

免责声明

本文档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此，本文档信息仅供参考，不构成任何要约或承诺，华为技术有限公司、雅砻江流域水电开发有限公司不对您在本文档基础上做出的任何行为承担责任。

华为技术有限公司、雅砻江流域水电开发有限公司可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。

本材料是为提供一般信息的用途编制，并非旨在成为可依赖的会计、税务、法律或其他专业意见。请向您的顾问获取具体意见。

编写组

华为数字能源技术有限公司：孙其强、钟明明、黄重月、朱军卫、武磊磊、甘斌斌、王国锋、王文渊、肖日徽、陈建辉、金阳坤、杜青林、王哲、谢超、杨博宇、游少甫、刘张雷、张红莉、黄云龙、余晨曦、费东

雅砻江流域水电开发有限公司：张鹏、李占爽、刘治理、李强、钟卫华、熊开智、王林、郑确、周洪波、杨志伟、丁仁山、宿建波、周瑜、徐梓航、于海洋、陈英豪、杨晓丹、侯飞、朱成涛、冯振海、徐亮



序言一（雅砻江）

当前，我国正在坚定不移推进碳中和战略落地，新能源产业迎来规模化、跨越式发展，新能源装机容量持续攀升，已成为能源结构深度调整、绿色低碳转型的中坚力量。为深化数字技术与实体经济融合发展，国家全面部署“人工智能+”行动，出台多项指导性政策，明确人工智能赋能实体经济的发展方向，同时结合电力能源行业发展实际，对AI智能体等新技术在能源领域的落地应用、场景拓展提出具体要求，为行业智能化转型指明了实践路径。

紧随国家战略步伐，雅砻江公司作为四川省龙头发电企业与国内清洁能源领域标杆主体，亦是全国唯一实现单一主体全域开发大型流域的能源企业。依托“一个主体开发一条江”的独特体制优势、得天独厚的多能互补资源条件、强大灵活的电网调节能力以及完备扎实的产业发展根基，公司全力推进雅砻江流域水风光一体化国家级示范基地建设，主动融入新型电力系统与新型能源体系构建大局，以坚实产能保障国家能源安全，全力支持“双碳”战略有序推进。

当下，AI已不再局限于单一业务环节的辅助应用，已然升级为贯穿项目规划设计、工程建设、运营调度、运维检修全链条的核心智能引擎。本次我们携手华为公司，依托雅砻江丰富的实地应用场景，聚焦AI智能体技术赋能光储电站提质增效这一核心目标，开展联合技术攻关与协同创新，聚力搭建“全域感知—深度分析—自主决策—精准执行—闭环反馈”一体化智能体光储电站，实现系统收益、本质安全、运行效率与资产全生命周期价值的综合提升。科技创新是培育新质生产力的核心抓手，双方将以本次成果发布为纽带，共建开放协同、共建共享的产业创新生态，加速推动能源产业数字化、智能化深度变革，凝练形成可借鉴、可复制、可推广的新一代智能体光储电站实践经验，助力我国能源行业迈向全面智能、高质量发展新阶段。

序言二（华为）

当前，我国“双碳”战略纵深推进，新型电力系统建设进入规模化落地关键期，能源产业清洁化、数字化、智能化转型进入攻坚阶段。依托《国务院关于深入实施“人工智能+”行动的意见》、《智能体规范应用与创新实施意见》等国家级顶层政策指引，人工智能技术已成为破解新型电力系统高比例新能源、高电力电子化发展难题的核心支撑。光储电站作为新型电力系统的重要调峰调频载体，行业装机规模持续扩容、应用场景不断延伸，产业正式进入结构升级、技术重构、生态迭代的关键窗口期。与此同时，行业长期面临风光功率预测精度受限、储能动态调控适配性不足、场站运维自动化程度偏低、多源异构数据协同能力薄弱等技术痛点，传统人工管控、固定策略调度模式已无法适配高动态、高波动、高可靠的电网运行要求，行业亟需标准化、体系化的AI落地应用方案。

伴随光储产业规模化发展，行业技术迭代由设备硬件升级转向全域智能体系重构，AI技术正从辅助运维工具迭代为光储场站自主运行的核心底层架构。近两年，源网荷储一体化协同需求持续提升，全生命周期精细化管控成为行业核心竞争力。本白皮书创新性提出以AI技术重构光储电站规划、建设、运维、运营全生命周期管理体系，推动传统光储场站向“自智能源系统”深度演进。报告提出两类适配不同应用场景的自主智能系统架构，两套架构均以“数字孪生”为基础、“大小模型协同”为核心、“端边云融合”为手段，构建具备闭环迭代能力的场站智能体系，推动光储电站实现从被动执行、固定调控向自主感知、智能决策、全域协同、持续进化的技术跨越，定义新一代智能体光储电站的技术标准与发展范式。

本白皮书基于华为与雅砻江公司在多座大型光储电站的联合创新与规模化应用实证编写而成，系统性沉淀了AI技术在光储全场景的落地架构、专业算法、智能协同及验证成果。白皮书旨在为行业技术研发、工程落地、标准制定等提供权威、可落地的参考依据，助力光储行业智能化、规范化、高质量发展，持续赋能新型电力系统构建与国家“双碳”战略落地实施。

1 光储电站智能化演进及发展趋势

在全球新能源装机规模爆发式增长、电力系统源网荷储复杂度持续攀升以及电力市场化改革纵深推进的背景下，光储电站对全生命周期收益优化、本质安全稳定运行、电网互动友好性以及多能协同能力的核心要求显著提升。与此同时，我国“双碳”战略落地、新型电力系统建设攻坚、新能源全面参与电力市场交易，以及国家“人工智能+”行动等多重政策叠加，进一步加速了光储电站从“数字化”向“智能化”再向“智能体化”的代际演进。光储电站的智能化发展路径，已从早期单纯满足基础能量转换的功能性需求，逐步演进为融合多源数据分析、闭环智能控制、动态自主优化与全生命周期协同管理的复杂智能系统。

从产业技术与应用实践的双维度来看，全球光储电站智能化演进大致可划分为四个清晰的发展阶段，各阶段呈现出鲜明的技术特征与核心价值：

1) 2010 年以前：信息化起步阶段 —— 基础能量转换与离散信息采集

本阶段为光储产业的萌芽期，光伏逆变器与储能变流器（PCS）的核心目标是完成直流 - 交流电能变换与基础并网功能。行业技术研发与工程实践的核心聚焦于：电能变换效率提升、并网合规性保障、基础继电保护功能实现以及设备本体可靠性优化。受限于当时的通信与信息技术水平，整体系统尚未形成统一的数据采集与管理体系，电站运行与维护完全依赖人工经验与现场巡检，属于典型的“人工主导型”运营模式。

2) 2011~2015 年：数字化奠基阶段 —— 基于集中化数据的智能分析初步应用

随着移动通信技术、云计算平台与大数据处理技术的成熟，光储电站开始具备基础数字化能力。通过部署标准化的传感器与通信模块，电站设备的运行数据得以批量采集并上传至集中化云平台。行业首次实现了对电站运行状态的远程可视化监测，并开始利用大数据分析技术开展设备异常识别与故障告警。典型应用包括：设备状态在线监测、故障分级告警、电站级集中远程运维。本阶段的核心突破在于，行业运营模式开始从“单设备独立运行、人工现场运维”向“基于集中化数据的远程运营”演进，为后续智能化升级奠定了数据基础。

3) 2016~2025 年：单点智能化阶段 —— AI 算法与核心业务场景深度融合

随着人工智能、边缘计算与先进电力电子控制技术的快速发展，AI算法开始深度融入光储电站的核心业务场景，实现了从“数据呈现”到“价值挖掘”的跨越。典型应用包括：光伏组件IV扫描与故障智能诊断、智能跟踪支架自适应控制算法、储能系统充放电策略优化、电站级群控群调。本阶段的核心特征是“算法驱动单点突破”，光储电站的智能化模式逐步从“以人为主导的大数据辅助分析”向“单一场景的算法驱动型单点智能”演进，显著提升了特定环节的运行效率与管理精度。

4) 2026 年及以后：全场景智能体阶段 —— AI 贯穿光储电站全生命周期

随着新能源在电力系统中的占比突破30%，光储电站运行的多变量耦合特性与复杂度呈指数级增长，单点智能已无法满足系统全局最优的需求。AI技术开始从单一场景应用，全面扩展至地面集中式、工商业分布式、户用等全类型光储电站，并逐步覆盖电站规划设计、工程建设、运营调度、运维检修的全生命周期管理。典型应用包括：光储容量配置智能寻优、工程建设进度智能管控、超短期光功率精准预测、用户侧负荷动态预测、储能电池健康状态（SOH）评估与寿命管理、电网主动支撑与友好性优化。

本阶段AI技术的核心突破在于，不再局限于单点数据分析与辅助决策，而是开始具备自主感知、自主分析、自主决策、自主执行与持续自学习优化的闭环能力。随着大语言模型、多智能体（Multi-Agent）协同、数字孪生与自主决策技术的深度融合，AI智能体将逐步重塑光储电站的全生命周期运行模式。光储电站的智能化发展也将从“单功能智能”与“单场景智能”，全面迈向“全链路、全生命周期的自主协同智能”。

AI智能体的核心价值，不仅在于大幅提升系统自动化运行水平、降低人工依赖，更在于通过全链路自主协同实现四大核心目标：全生命周期收益持续优化、电网互动友好性显著提升、本质安全能力全面增强、资产全生命周期价值最大化。最终推动光储电站向“自智能源系统”演进，形成具备自主感知、自主决策、自主协同与持续进化能力的新一代智能体电站。



2 AI重塑光储电站全生命周期管理体系

随着人工智能、大语言模型与多智能体 (Multi-Agent) 技术的成熟落地, 光储电站正在从“单点数字化改造”向“全生命周期智能协同”的代际跨越。AI已不再是单一环节的辅助工具, 而是逐步成为贯穿规划设计、工程建设、运营调度、运维检修全过程的核心智能引擎, 推动光储电站构建“全域感知—深度分析—自主决策—精准执行—闭环反馈”的完整智能体系, 最终实现系统收益、本质安全、运行效率与资产全生命周期价值的持续优化。



2.1 规划阶段：全流程智能寻优，从源头降低投资风险

传统规划模式依赖人工踏勘、经验估算与静态方案比选, 存在效率低、精度差、风险预判不足等痛点。AI技术可全面赋能电站规划设计, 通过多源数据融合建模与全局智能寻优, 替代传统人工经验决策, 实现选址更精准、布局更合理、光储配比更经济、并网与合规风险提前预判、投资收益可量化验证, 为项目前期立项、可研决策与开发落地提供科学、高效的智能化支撑:

资源精准评估

融合卫星遥感影像、长时序气象大数据与机器学习算法, 自动甄别光伏可利用土地范围, 精准识别山体遮挡、地形坡度、朝向等关键影响因子, 计算区域年等效利用小时数; 结合历史辐照、气温、降水等多维数据, 构建高精度发电量仿真预测模型, 大幅降低资源评估误差。

多目标智能选址

整合地形地貌、土地性质、电网接入点距离、交通条件、生态保护红线等多维度约束因子, 通过多目标优化算法自动生成最优选址方案, 大幅缩短选址周期。

光储容量最优配比

基于当地电价机制、电网调峰需求、新能源出力波动特性与负荷曲线, AI动态拟合不同光储配比下的系统收益, 智能测算光伏装机容量、储能功率/容量的最优组合, 适配调峰、消纳、需量管理等不同项目定位。

智能造价测算

基于同类工程历史造价数据库, 结合项目地形条件、设备价格走势、大宗商品行情等变量, 自动完成工程量估算、投资概算编制与造价敏感性分析, 精准识别成本波动风险点。

全生命周期收益仿真

通过长时序出力模拟、电价走势预测、组件与电芯衰减曲线AI拟合、运维成本推演, 构建全生命周期发电量、营收、成本、现金流仿真模型, 量化不同场景下的IRR、回本周期等核心投资指标。

针对工商业与户用分布式光储项目分散、需求多样、标准化程度低的特点, AI技术还可实现工程方案的快速生成与精准定制, 支撑规模化推广:

光伏组件智能排布

依托卫星影像与无人机航拍数据, 自动识别屋顶轮廓、障碍物与运维通道, 结合组件规格、倾角要求与阴影遮挡分析, 智能生成最优组件排布方案, 最大化屋顶利用率, 降低后期发电损耗, 同步输出标准化电气接线设计。

光储容量智能定容

结合当地分时电价政策、并网限额、用户用电特性与负荷曲线, AI仿真多套光储配比方案, 自动推荐适配的逆变器、储能机型及功率容量组合, 实现投资成本与节电收益的最优平衡。

标准化方案一键输出

通过智能规划工具, 可一键生成电气拓扑图、平面布局图、设备清单、投资概算与收益分析报告, 大幅降低对专业设计人员的依赖, 支撑渠道与业务人员快速输出专业方案。

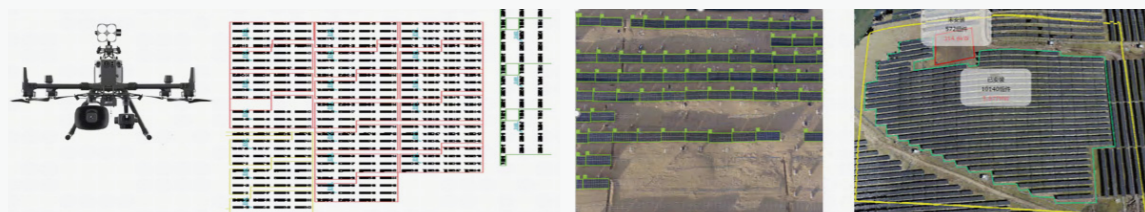
2 AI重塑光储电站全生命周期管理体系

2.2 建设阶段：数字孪生空间重建，全流程闭环管控

传统光储电站工程建设普遍存在进度管控粗放、质量检测滞后、安全监管依赖人工等痛点，导致项目时常延期、电站带病入网。基于无人机巡检与数字孪生技术的AI智能化管控体系，通过构建电站全场景三维数字空间，实现工程进度、质量、安全的全流程闭环管理，有效缩短建设周期、降低施工成本、提升工程质量：

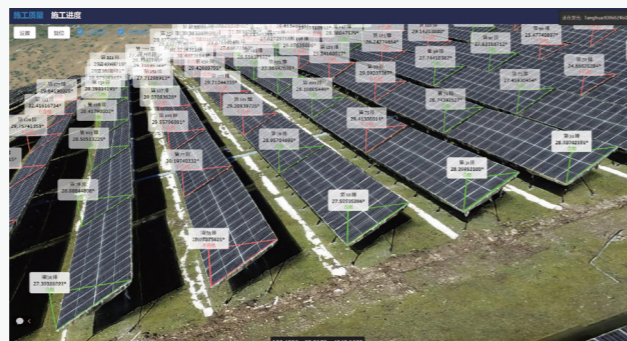
工程进度管理

通过无人机采集高精度图像信息，通过多模态图像识别、3D建模、深度学习等技术对无人机采集数据进行处理，结合CAD图纸的相关输入信息，准确识别桩体、组件、支架安装数量，投入施工设备、人员的情况，自动完成工程建设进度统计。



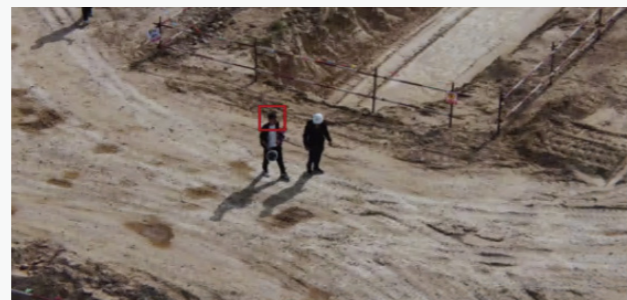
工程质量监测

通过三维空间重建技术生成电站实景建模，基于多模态图像处理技术对桩体、支架等进行实体分割，自动计算桩体垂直度、组件安装角度、桩体间距等，实现实际安装质量与设计参数的偏差对比，自动输出完善的安装质量报告，提升场站质量管理效率。



工程安全监管

基于对图像目标检测和定位实现对危险区域入侵、未戴安全帽、高处作业未系安全绳、排架缺少护栏等不安全行为进行自动识别与报警提示，对违规和危险作业行为可及时通过无人机喊话设备进行督导、劝离。同时也可依托对于组件三维结构变化的分析，实现对地势沉降的监测，进而识别山体滑坡风险并给出预警。



2.3 运维阶段：预测性主动运维，全面提升安全与效率

传统运维采用“人工巡检、事后抢修、经验决策”的模式，存在故障发现不及时、消缺周期长、运维成本高、发电损失大等问题。基于AI技术的预测性运维体系，可实现设备故障的提前预警、精准诊断、智能调度与自主处置，推动运维模式从“被动响应”向“主动预防”转变，有效降低运维人力成本、减少停机发电损失、延长设备使用寿命。

故障智能预警

融合设备机理模型与离群时序分析算法，实时监测设备运行数据，提前捕捉设备隐性异常、早期劣化与性能衰减苗头，实现故障的事前预警；可将故障发现时间提前7-30天，大幅降低故障扩大风险与停机损失，同时减少人工例行巡检的工作量。

故障智能诊断

当故障发生或出现发电量异常时，基于大模型思维链推理技术，关联气象数据、负荷曲线、设备运行参数、历史告警信息等多源数据，自动定位故障点位、研判故障根因，并推荐标准化消缺方案，将平均故障排查时间缩短60%以上。

智能作业规划与调度

综合考虑发电量损失、人工成本、备件成本、告警修复时长与整站运行工况，通过多目标优化算法自动生成经济与效率最优的运维排程方案：

- ▶ **智能排程**
基于光功率预测与设备工况预测，评估不同故障设备对整站收益的影响程度，优先安排高价值故障的消缺作业，实现运维资源的最优配置。
- ▶ **智能导航**
基于电站数字孪生三维模型与GPS定位技术，自动生成场站内最优运维巡检路径，减少无效行程，提升运维效率。
- ▶ **作业过程智能监管**
通过移动终端与计算机视觉技术融合，实现作业人员资格认证、作业区异物入侵检测、工作人员着装规范监控，确保作业过程合规安全。

自智运维协同

基于 AI Agent 技术构建电站运维智能体，可自动协同站内多系统数据，自主制定巡检策略、调度运维资源；对于光伏板自动清洁、逆变器参数自适应调节、储能系统小故障自愈等简单任务，可实现就地化自主处置，支撑电站向少人化、无人化运维转型。

2 AI重塑光储电站全生命周期管理体系

2.4 运营阶段：多智能体自主协同，最大化全生命周期收益

电力市场化改革的全面推进，使得光储电站的运营模式从“被动并网、固定收益”向“主动参与市场、多元价值变现”转变。AI技术通过高精度能量预测、动态优化调度与多市场协同决策，可充分释放光储电站的电能量、辅助服务与绿电碳资产价值，全面提升项目全生命周期资产回报率。

2.4.1 地面集中式电站智能运营

高精度光功率预测

光功率预测是电站参与电网调度、电力现货交易、计划曲线编制与偏差考核管控的核心基础。通过引入卫星云图、地基遥感、场站微气象等多源气象数据，结合大模型多模态特征提取技术，突破传统数值气象预报的精度瓶颈；基于时序大模型与时空序列网络，学习长周期气象-出力联动规律，提升多云突变等极端工况下的预测鲁棒性；同时采用概率区间预测与超短期分钟级滚动优化技术，适配电力市场不同交易时段的差异化精度要求，将偏差考核风险降低80%以上。

智能计划曲线优化

在高精度光功率预测基础上，结合储能SOC预测、电池寿命预测与调节裕度评估，叠加电网考核细则、现货市场电价、中长期合约与弃光约束等多维度数据，自动生成最优发电计划曲线；实现高价时段最大化出力、低价与考核敏感时段预留储能调节裕度，在确保合规的前提下最大化市场化收益，完成从“发好电”到“卖好电”的转变。

电力交易全流程智能决策

传统电力交易依赖人工看行情、经验报价与手动操作，存在决策效率低、风险管控能力弱等问题。基于“时序大模型 + 多智能体协同”的智能交易体系，可实现电力交易的自主感知、自主预测、自主报价、自主配比、自主风控与自主收益优化；围绕高精度电价预测、中长期/现货电量自动配比、日前/日内现货智能报价、交易风险与偏差智能管控等核心环节，实现交易全流程自智运营。

2.4.2 分布式光储电站智能运营

随着行政分时电价的逐渐取消，分布式光储运营面临电价波动剧烈、收益不确定性增加的挑战。AI技术推动分布式光储从“固定规则驱动”向“动态感知 + 实时优化驱动”升级：

三维一体化预测体系

基于时序大模型、多模态融合与时空序列深度学习技术，融合微气象、历史出力、电价数据与用户负载数据，构建“光功率-电价-用户负载”三维一体化预测体系；通过模型自学习与场景自适应能力，精准捕捉电价漂移、负载波动等非线性特征，为动态调度优化提供高精度基础支撑。

实时动态调度优化

基于多目标强化学习与边缘实时决策技术，以三维预测结果为输入，综合考虑动态分时电价、负电价时段特征、储能SOC与循环寿命约束、工商业需量阈值等多重边界条件，滚动输出站级调度优化策略；自动执行负电价限发、高价窗口最大化放电、低谷储能充电、负荷尖峰前置削峰等自适应策略，彻底替代传统固定充放电逻辑，实现光储能量利用效率、用电成本节约与运行收益的多目标最优平衡。

虚拟电厂（VPP）聚合运营

采用多智能体协同、大数据治理与分层分布式能量调度技术，对海量分布式光储站点进行全域态势感知与可调节资源数字化画像；根据资源特征统一聚类、进行可调容量精准评估、电网需求响应信号分层分解与按需下发；统筹各站点光储柔性调节、无功支撑、有序限发等行为，将零散分布式资源聚合为可观可测、可调可控的虚拟电厂资源池，既支撑配网安全调度与需求响应参与，又实现多站点能量运营策略的标准化、规模化自智落地。



3 自智光储电站系统架构

Agentic AI 时代的到来，标志着人工智能系统从“辅助人类决策的工具”正式演进为“可在特定领域独立完成感知、分析、决策与执行的智能实体”，能源行业正迎来从“数字化映射”向“自主智能化”的根本性变革。



传统光储电站依赖人工运维、固定策略与单点决策的管理模式，在高比例新能源渗透、电网动态扰动加剧、多目标协同优化的复杂场景下，逐渐暴露出响应滞后、跨系统协同不足、极端工况鲁棒性薄弱等系统性瓶颈。以认知智能与控制智能深度融合为核心特征的能源智能体，成为打通全域感知、自主决策、实时控制与闭环优化的关键载体，实现了从“被动执行的管理控制系统”到“主动进化的认知实体”的转变，推动光储电站向更自主、更安全、更高效的方向演进。

针对分布式与地面集中式光储电站的场景差异，本文提出两类差异化的自智系统架构，均以“数字孪生”为基础、“大小模型协同”为核心、“端边云融合”为手段，构建覆盖全生命周期的自主智能体系。

3.1 分布式光储电站系统架构

3.1.1 架构定义：端边云融合 + 大小模型协同的轻量化自智架构

分布式光储电站具有站点分散、单站体量小、成本敏感度高、运维极简的核心特点，其智能化架构设计需聚焦“低成本落地、低延迟响应、轻量化管控”三大目标，构建“端边云分层融合”与“大小模型任务协同”的双核心架构逻辑：



端边云融合：分层智能与全域协同

端边云融合架构通过分层智能化部署，实现各层级职能聚焦与协同联动，构建“端侧感知、边侧执行、云侧赋能”的完整智能闭环：

- ▶ **端侧**：全域实时感知单元作为数据采集与边缘执行的核心，端侧设备精准采集光伏出力、电池SOC（荷电状态）/SOH（健康状态）、用电负荷、环境温湿度等多维数据，采集频率可根据场景动态调整（最小支持毫秒级实时感知）。同时部署轻量化本地智能算法，实现设备工况实时监测、异常初步识别与简单指令就地执行，保障基础运行安全。
- ▶ **边侧**：本地实时决策核心承担数据预处理与本地智能化管控职能，完成端侧数据的清洗、去噪、标准化与特征提取，将原始数据转化为模型可用的高质量数据。部署低算力需求的时序模型与能源专业算法，涵盖能量预测、本地能量调度、设备机理预警等核心场景，实现“边端自主决策、本地闭环管控”，完美适配分布式场景对低延迟的严苛要求。
- ▶ **云侧**：全局优化与协同赋能中心聚焦数字孪生、专业算法迭代、跨站智能协同与用户智能交互四大方向，为端边侧提供远程全局优化服务。依托数字孪生技术整合端边上传的多源数据，实现系统运行状态的仿真推演与预测优化；部署高精度全局算法模型，实现跨站点能量协同调度与算法版本统一迭代；通过智能协同技术打破单点管控壁垒，最大化释放集群化分布式资源的整体价值。

大小模型协同：任务驱动的分层智能调度

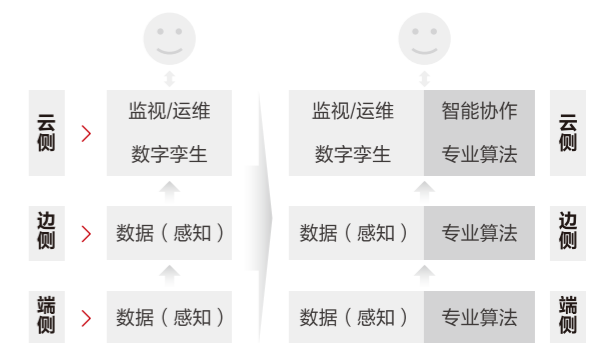
针对分布式场景算力有限但需求多样的特点，采用“小模型处理高频任务、大模型解决复杂问题”的大小模型协同架构：

- ▶ **小模型**：专注处理站点 / 设备级高频、标准化任务，包括光功率预测、用户负载预测、储能充放电控制、设备常规故障预警等，具备低延迟、低算力消耗、高可靠性的优势。
- ▶ **大模型**：以 AI Agent 形态部署于云端，专注处理自然语言意图理解、全局协同策略规划、未知故障根因推理、复杂场景决策优化等高阶任务。
- ▶ **基于“任务驱动”的统一编排机制，大小模型实现高效协同**：小模型负责实时数据处理与基础决策，大模型负责任务拆分、策略指导与异常兜底，既满足分散站点的低延迟自智需求，又实现全局资源的智能调度，推动分布式光储向集群化、自主化演进。

3.1.2 数字孪生：从“数据可视”到“AI 驱动预测优化”

数字孪生是分布式光储电站高质量智能化演进的关键基础设施。通过构建电站全要素虚拟镜像，实现从单一数据可视化向预测优化、仿真推演的升级，为各类智能化应用提供高质量数据支撑与场景模拟载体。

智能化时代的核心转变是从“数据服务于人”向“数据服务于AI”，对数据质量提出了严苛要求。数字孪生系统重点推进端边云全链路数据质量升级，建立数据采集、传输、预处理、存储、使用的全流程标准化体系，确保原始数据高效转化为AI可用的高质量结构化数据，为算法模型的精准运行奠定基础。

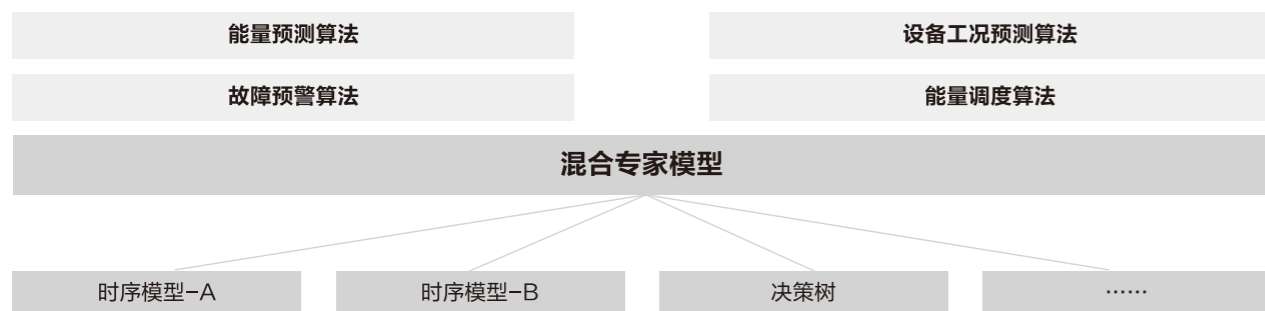
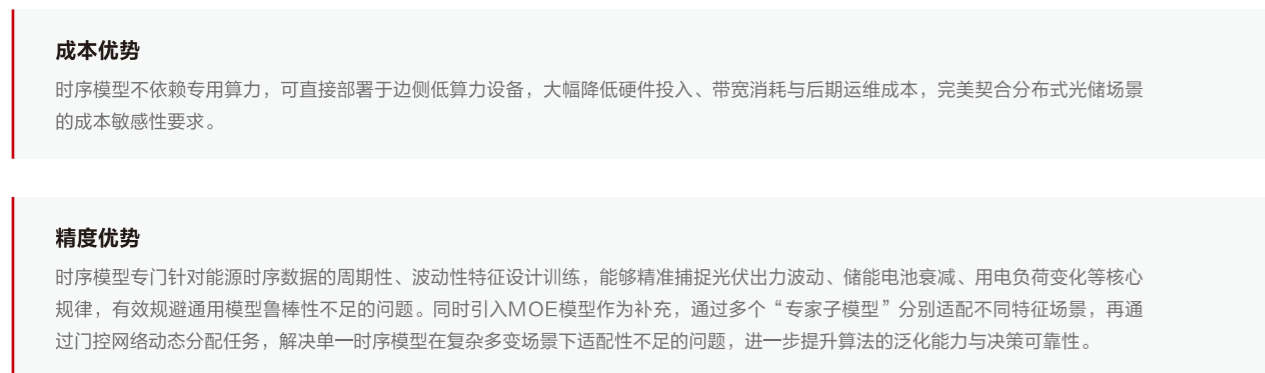


3 自智光储电站系统架构

3.1.3 专业算法：适配能源时序特征的混合算法体系

能源业务时序数据具有强周期性（光伏出力日内/季节周期、用电负荷峰谷周期）、高波动性（受光照、温度、用电需求动态影响）、高关联性（设备参数、环境数据、负荷数据相互耦合）的显著特点，传统通用模型难以精准捕捉其核心规律。

我们建议构建以“时序模型为主、MOE（混合专家模型）补位”的混合算法体系，这在成本控制与场景适配精度上有双重优势：



3.1.4 智能协同：从局部场景智能到全局智能

现有分布式光储智能化应用普遍存在“场景割裂”问题，运维系统专注设备故障处理，运营系统专注能量收益优化，两者缺乏横向协同，无法实现整站全局收益最优。例如储能充放电策略未考虑设备实际健康状态，设备异常时无法及时调整能量管理策略，导致收益损失或安全风险。

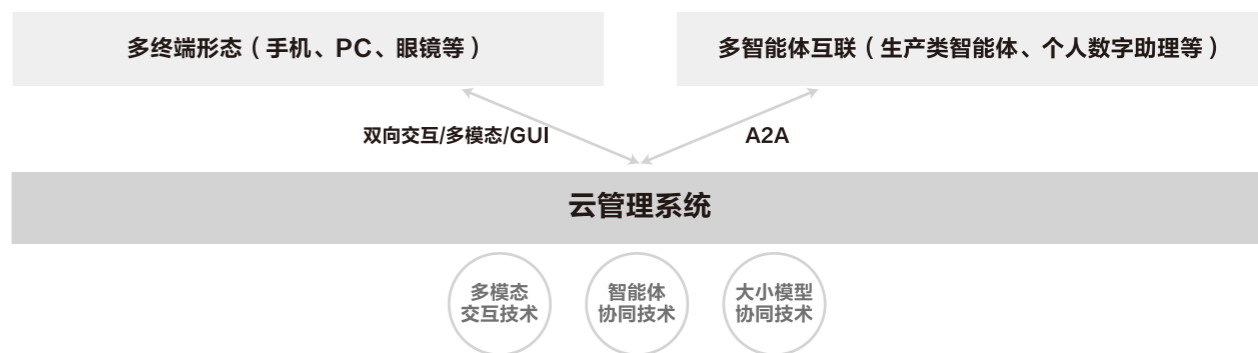
基于 AI Agent 技术构建的跨场景智能协同机制，通过动态协商与自主决策，实现运营与运维的深度融合。运维环节的设备健康数据实时反馈至运营调度系统，当设备出现异常时，运营系统自动调整调度策略，减少故障设备的经济损失；运营环节的调度计划自动同步至运维系统，合理安排作业时间，避免与高收益时段冲突。最终形成“运营调度优化 - 运维精准防控 - 数据反向赋能”的闭环协同机制，实现光储电站运营与运维的双向赋能、协同提升。



3.1.5 智能交互：GUI 与 LUI 协同的伴随式交互新范式

大语言模型与 AI Agent 技术的迭代，推动光储电站用户交互模式从传统固定图形用户界面（GUI），向“GUI+LUI（自然语言交互）”协同的伴随式交互新范式演进，兼顾专业性与易用性的平衡。

对于分布式光储场景：



AI 伴随式 GUI 交互

GUI模式在设备运维等需要精细化操作的场景仍具有不可替代性。通过将AI能力深度融入用户操作全流程，实现AI伴随式交互：当用户触发设备告警时，系统自动识别告警根源、生成标准化处置方案并同步推送，助力用户快速完成故障处置，提升运维效率与精准度。

自然语言驱动的 LUI 交互

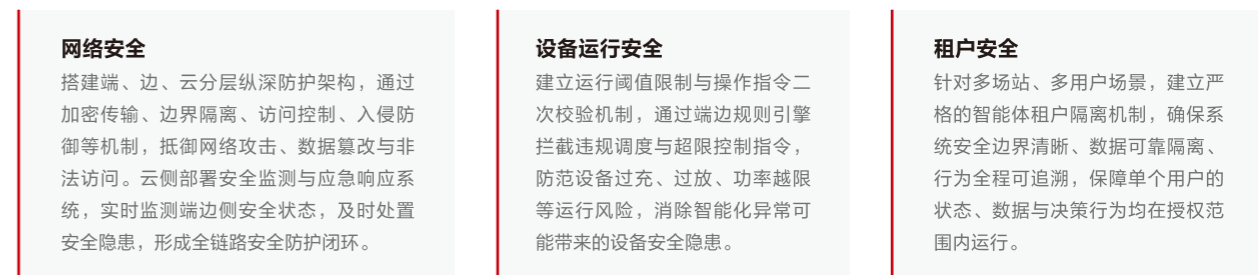
依托AI语音识别与自然语言处理技术，搭建轻量化智能交互平台，支持用户通过语音指令，完成系统状态查询、储能充放电策略调整、故障咨询等核心操作，无需掌握专业运维技能，大幅降低用户操作门槛，特别适配户用与中小工商业用户的使用需求。

多智能体互联生态

通过开放云管理系统的智能体接口，支持被第三方智能体接入（如华为小艺智能体），将光储电站的智能能力融入用户的日常生活（户用）或企业工作流（工商业），实现跨系统、跨平台的智能协同。

3.1.6 全链路安全：规模智能化的底线保障

智能化演进带来了新的安全风险，相比传统面向人的管理模式，智能系统的安全漏洞可能引发更大范围的影响。本架构构建了端边云全链路纵深安全体系，从网络安全、设备运行安全、租户安全三个维度保障系统可靠运行：



3 自智光储电站系统架构

3.2 地面电站光储电站系统

地面集中式光储电站具有单站规模大、组网结构复杂、电网调度刚性强、安全等级要求高的核心特征。针对上述特点，地面自智光储电站采用“以数字孪生为基础、多智能体协同为核心”的架构，实现从“人工经验驱动”到“数据驱动的自主智能”的转变。

3.2.1 架构定义：数字孪生筑基，多智能体协同决策



3.2.2 数字孪生：从三维可视到物理孪生

地面电站数字孪生技术已从初期的可视化展示，逐步向全要素、智能化、一体化方向深度演进，最终构建支撑“无人值守、自主优化、市场适配”的电站智能化中枢：



全要素精准建模
突破现有场站级、子阵级大颗粒建模局限，向器件级全要素精准建模升级。通过无人机点云航拍、实景重建与GIS技术，实现电站物理实体1:1数字复刻，建设设备全生命周期数字档案。同时结合地面电站安全分区要求，实现安全III区视频监控数据与数字孪生模型的联动，可通过孪生模型直接调取对应区域的实时监控画面。

AI 深度赋能
推动数字孪生与AI技术深度融合，通过整合设备运行数据、环境数据与历史数据，实现设备运行仿真预测与历史运行回放。支撑组件异常精准识别、功率预测优化、核心设备故障提前预警等核心应用，推动电站运营运维从被动响应向主动预判、自主控制转型。

3.2.3 专业算法：地面电站智能化的核心基石

小模型专业算法是地面电站智能化运营的核心支撑，贯穿光伏出力预测、储能管控、调度优化、电站运维全流程：

高精度光功率与工况预测，为电网调度与电力市场交易提供可靠依据，缓解光伏出力波动对电网的冲击；	储能故障预警与SOC/SOH精准评估，规避安全隐患、延长电池寿命、降低运维成本；	智能计划曲线优化，实现光储协同调度，平衡合规要求与收益最大化目标。
--	--	-----------------------------------

算法体系与数字孪生系统深度融合，形成“边端小模型 + 云端大模型”的大小模型协同架构。各类算法的预测结果与调控策略先在数字孪生模型中进行仿真验证与迭代优化，再下发至物理系统执行，构建“数据采集 - 算法运算 - 仿真验证 - 策略执行 - 闭环优化”的完整运营体系，为地面电站向少人/无人值守模式升级提供核心技术支撑。

3.2.4 智能协同：打破业务孤岛构筑全域协同能力

现有地面电站普遍存在运维与运营业务割裂、数据孤岛严重、检修计划与发电收益错配等痛点：运维侧重设备安全消缺，运营侧重发电收益与市场交易，双方决策脱节，协同完全依赖人工经验。

依托AI多源融合技术与智能体技术，构建全链路协同闭环：



3.2.5 智能交互：开启电站“数字员工”新范式

依托大模型与AI Agent技术，地面电站交付模式将从传统功能系统交付，转向可自主学习、可持续进化的智能体交付新模式。电站投运时同步交付覆盖运维、运营、安全、交易全业务的“数字员工”智能体，实现多业务系统自动拉通、故障智能研判、运行策略自适应优化：

“数字员工”标准化交付
交付内容不再局限于并网与监控系统，而是同步交付运营助理、运维助理、安全助理等专属智能体，内置并网调试、电站巡检、定值下发、日报生成、工单派发等标准化任务包，大幅缩短从“投产”到“最优运行”的周期。

自进化“技能库”持续迭代
电站运行过程中产生的故障处理经验、优化策略自动沉淀为可复用的技能代码，智能体能力随运行时间持续增强，交付从“一次性工程”转变为“持续增值的服务”。

自然语言驱动的语义化运营
全站支持自然语言交互（语音 / 文字），运维运营人员用日常语言即可下达指令、查询数据、调整策略，大幅降低专业门槛，减少对资深专家的依赖。

最终，通过AI Agent全链路协同驱动，实现光储电站从规划设计、工程建设、并网调试到运行优化、故障处置、资产保值的全生命周期自智化运营，迈向少人值守、自主决策、自愈恢复、收益最大化的高阶智能化形态。

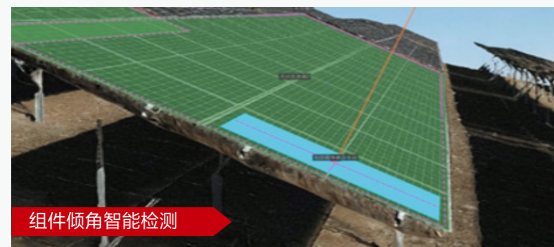
4 华为光储电站AI应用实践

依托华为十余年光储行业技术积累与AI算法研发能力，联合雅砻江公司在大型地面电站的场景优势，在电站的全生命周期管理上形成了可复制、可推广的光储智能化落地范式。

在电站设计阶段，华为SmartDesign工具以AI仿真算法为核心，将辐照资源分析、模拟真实调度与多目标优化融为一体，在多种技术方案中精准锁定最优光储容量配比。这一工具已深度服务全球9万用户，支撑超过60多万个项目的设计决策，让每一座电站从诞生之初就站在最优的起点上。

针对传统电站建设质量检测依赖人工、效率低、误差大的痛点，华为联合雅砻江公司，将黎曼实验室AI图像大模型平差对齐技术与高精度几何测量技术引入GW级电站建设现场，构建了全流程AI质量管控体系。

该体系可实现百万级光伏组件与基础桩体的全自动检测：组件倾角误差控制在 1° 以内，桩体垂直度误差小于 3° ，桩间距测量精度达到3厘米级，整体检测准确率突破99%。在某GW级地面电站项目中，AI质量管控技术将施工平均误差压降40%，避免了因安装偏差导致的发电效率损失，经测算可在电站25年全生命周期内挽回约600万度发电量损失。



电站投运后，AI的价值从“建得好”延伸到“管得好”。华为联合伙伴创新地将智能IV扫描算法与无人机视觉（CV）算法融合，融合方案不仅实现了组件级故障定位，还缩短了飞行目标范围，解决了无人机的续航问题。正常情况下，1GW电站1周内即可完成全量诊断，全程无需人工上站。



华为还将十余年电池管理系统（BMS）研发与工程经验沉淀为专用电池大模型，融合电化学机理模型与深度学习技术，可实现电芯级健康状态（SOH）精准评估与热失控风险提前预警。

该模型已在全球范围内守护超过23GWh储能电池的安全运行，实现电芯热失控风险查准率100%、查全率超95%，并可提前1-7天发出预警信号，为用户生命财产安全提供了坚实保障。



针对电力市场化改革带来的电价波动与交易复杂性挑战，华为将大模型技术引入光功率预测领域，通过全球气象大模型“盘古”与区域精细化气象模型“云羲”的协同优化，气象预测准确率较传统数值预报提升5-10个百分点。在分布式电站场景中，基于预测模型的AI光储协同调度算法，已在全球3万余座光储电站落地运行。该算法在电力市场动态电价环境下，较传统人工经验调度实现平均收益提升20%，项目整体回本周期缩短1.5年以上。

从规划设计的源头优化，到工程建设的质量管控，从智能运维的效率提升，到电池安全的本质保障，再到电力市场的收益最大化，AI技术已全面贯穿光储电站的全生命周期，成为行业构建差异化竞争力、实现高质量发展的核心驱动力。

综上，人工智能赋能光储产业，是适配新型电力系统建设、推动能源绿色低碳转型的核心路径，更是破解行业现存技术瓶颈、优化场站运行模式的关键抓手。随着能源市场化改革持续深化，智能光储技术体系将持续迭代完善，成为驱动产业升级的核心动力。

本白皮书立足产业实践与技术实证，梳理核心技术路径、剖析行业发展痛点，为智能光储电站高质量发展提供了参考指引。未来，伴随源网荷储一体化建设提速，AI将深度融入新型能源体系建设，持续释放技术价值。未来，双方将继续深化AI技术在光储领域的应用探索，携手更多行业伙伴，共同推动光储电站向全生命周期自主智能演进，为我国“双碳”目标的如期达成贡献力量。