

# 新能源基础设施智能运维效率提升路径

■ 杜聪

能源结构向绿色低碳转型已成为全球共识,以光伏、风电为代表的的新能源产业迎来前所未有的规模化发展机遇,大量集中式与分布式新能源基础设施快速建设。这些设施往往分布辽阔、环境复杂,传统人工巡检和事后维修的模式不仅消耗巨大的人力物力成本,难以满足实时响应的要求,更缺乏对设备早期隐患的预判能力。智能建造时代的全面来临为破解这一发展矛盾提供了思路,物联网、大数据、人工智能等前沿技术的集成应用能够实现精准设备状态评估,故障智能诊断与预警以及主动维护,从而延长设备使用寿命,为大规模、高比例新能源安全高效接入电网提供支持。基于此,本研究主要分析技术应用优化路径及其保障机制,旨在为形成更高韧性、更可持续的新能源运维新模式提供一定参考。

## 智能建造背景下新能源基础设施运维效率提升路径

第一,重构技术适配体系,破解适配性难题。智能建造背景下,推动新能源基础设施智能运维的深入发展,需建立覆盖光伏发电、风力发电、储能设施等多种能源形态的技术框架,明确光伏组件的倾角动态范围、风力发电机的喘流响应系数、储能单元的充放电循环状态等关键指标数据定义规则。采用国际通行的数据管理标准构建中心化平台架构,可彻底打通设计阶段建筑信息模型与后期运维系统之间的技术隔阂,实现跨设施的高效数据互联互通,为风光储协同调度等综合应用体系奠定技术基础。针对分布式新能源设施普遍面临的严酷环境挑战——光伏电站沙漠地

区的高温风沙、海上风电的高湿度盐雾腐蚀、高原风电的超低温环境等,需开发具有强化密封结构的传感器外壳材料,使用具备自清洁特性的探测器光学镜头,以及设计低温环境下的可靠供电解决方案,以此解决智能监测设备在极端场景下的适配难题。

对于大量服役年限较长的新能源项目,构建简便高效的轻量化建筑模型重建流程成为必然选择。可采用三维激光扫描结合点云数据处理技术,快速还原设备空间关系,避免传统测绘方式对运行设备造成干扰。在数据采集环节,针对光伏组件可使用磁吸式无线温度传感器,采集背板温度、组串电流等参数,无需拆卸组件边框或破坏封装结构;对于风电塔筒,则采用卡扣式振动传感器固定于塔筒外壁,实时监测运行振动频率与应力变化。这些传感设备可搭载低功耗LoRa通信模块,在荒漠、高原等偏远场景中实现远距离数据传输,且单设备续航可达2~3年,能为后续数字孪生建模、AI故障预警提供可靠数据支撑,进一步提升智能运维的落地效率。

第二,深化协同管理改革,化解协同不足。智能建造背景下,新能源基础设施运维效率的提升需从三方面协同发力。一是建立全行业统一的技术标准体系,详细规范各类监测指标的采集精度、记录频率、存储周期和传输格式等技术细节,明确设备健康状态的评估维度及分级判定规则,同时界定故障代码分类体系和处置流程规范,消除不同运营商在故障记录、过程描述等方面的表述差异。基于这一统一标准,不同维护团队分析问题时可遵循相同参照基准,实施更精准的预测性维护。二是构建适应智能化需求的人才培训体系,在专业教育阶段就将建筑信息建模技术、设备运行原理、物联网数据传输、智能诊断算法

等知识模块重新整合。开设新能源设备原理与智能监测课程,系统讲解光伏逆变器、风电齿轮箱的机械结构与配套传感器的工作机制;引入“岗课赛证”融合模式,联合新能源运维企业开发实训项目,让学员基于真实运维数据训练AI故障诊断模型。三是建立贯穿项目全过程的协同工作机制,项目规划阶段即组建包含三方代表的工作团队,在光伏电站布局设计环节提前考虑后续智能清洗机器人的避让空间,在风电场基建施工时同步规划传感器线路通道,设备安装阶段预留数据采集接口位置。同时,设计图纸中的设备编号规则必须与运维管理系统相匹配,施工阶段记录的设备安装参数要自动关联至运行档案;设计变更需通过平台触发相关流程并通知运维团队,避免因设计施工阶段的遗留问题导致运维障碍,为智能化系统的深度应用创造有利条件。

第三,强化外部保障建设,突破外部条件限制。为进一步提升新能源基础设施运维效率,需完善远程能源场站的通信传输网络。基于智能建造技术,可为分布式光伏和偏远风电场部署可靠性更强的混合通信架构,结合地面移动通信网络、无线自组传输网络等多种技术手段,保障数据传输通道充足且畅通。与之配套的通信设备选型,须具备防雷击、抗腐蚀、耐温差等特性。在站点侧配置具备数据预分析能力的边缘计算单元,仅将结构化处理结果及关键预警信息回传至中心平台,云端系统负责多站点数据的整合分析和模型优化,从而大幅减轻远程数据传输压力,提升故障首报响应速度。

随着智能诊断算法、数字安全监控等新技术在运维领域的深入应用,相关监管规范需及时跟进完善:一方面制定明确的技术合规指引文件,详

细规定各类智能监测设备的安全准入标准,包括电磁兼容性参数、环境测试要求、数据加密等级等技术条款;另一方面设计多元激励措施,对首台套新装备应用提供采购补贴,为企业智能化改造提供专项资金扶持,设置智能系统使用成效专项奖励等政策工具组合,有效帮助运营主体降低技术转型风险,缓解初期投入压力,形成可持续的智能化升级内生动力。

新型智能设备投运后,需建立专门的维保服务网络,确保运维类智能装备获得及时的维护响应。具体包括研发针对新型传感器的在线校验技术,这类技术能在设备不拆卸、不影响连续监测的前提下,通过注入标准信号源或实时评估传感器计量精度与运行稳定性,显著减少因传感器漂移导致的误诊风险;配套开发便携式多功能仪表接口测试工具,直接服务于现场检修,该工具需兼容主流工业总线协议(Modbus、CAN、ProfNet),具备对信号回路、通信链路的快速诊断能力,便于工程师快速定位仪表或接口模块的硬件层故障点。此外,现场维护人员应接受智能系统专修培训,掌握设备自检程序和使用规程,具备基础性硬件更换能力,以维持智能监测系统的持续可靠运行,确保新能源机组始终处于有效的安全保障范围,真正发挥智能系统在新能源基础设施运行维护中的核心支撑作用。

## 智能建造背景下新能源基础设施运维效率提升保障机制

第一,构建智能运维全流程风险防控保障机制。在智能技术应用于新能源基础设施运维的过程中,构建全流程风险防控体系能有效应对数据安全威胁与设备运行连锁故障风险。针对数据安全问题,需建立标准化管理

流程,针对核心设备参数、运行决策指令等高价值信息,在传输过程中启用端到端加密保护措施,确保各环节安全屏障无缝衔接;同时,定期组织第三方专业机构开展系统漏洞扫描和攻击模拟测试,所有接入平台的设备接口必须通过安全认证审核。针对设备运行风险,需建立区域性响应规则,当故障预判指标超过设定阈值时,系统自动切换至人工复核流程,运维工程师终端同步推送详细报警信息及处置建议清单,现场人员需在规定时限内完成核实验证。这一机制能大幅缩短异常状况处置周期,整体提升智能运维系统的可靠性与环境适应能力。

第二,建立跨主体利益协调保障机制。新能源基础设施智能运维涉及多方主体参与,因此需构建可持续协作机制,协调新能源运营企业、技术服务商、地方政府监管机构三方利益。对于技术服务商与企业间的协作,制定标准化协议范本,明确通过智能技术实现的运维成本缩减额度,按双方约定比例返还技术服务方作为持续优化激励;为保障结算透明,同步建立独立第三方审计流程,每季度核定技术应用实效数据并转化为可分配收益额度。对于运营企业与地方政府间的协作,建立绿色运维评价指标体系,将设备故障率降低比例、能效提升幅度、碳排放减少量等作为核心考核维度,达标企业可获得年度税收返还、低息贷款配额、土地使用优先权等激励,保障多元主体在技术升级周期中维持稳定合作关系,为智能运维模式的大规模推广提供制度支撑。

第三,构建智能运维标准化动态完善保障机制。在推动新能源基础设施智能运维过程中,需联合行业协会、科研单位和代表性运营企业,共同构建层级化标准框架。基础标准维度规定所有监测设备的技术性能标识这一能力,需要从三方面着手:一是加强乡村文化资源的数字化采集与整理,建立优质资源库,为IP开发奠定基础;二是通过AI技术对乡村文化进行深度挖掘和创新性表达,开发具有市场吸引力的文化产品;三是构建“文化IP+AI”的融合模式,推动乡村文化IP的产业化、市场化发展。只有不断提升乡村文化IP转化能力,才能真正实现AI赋能乡村文旅的高质量发展。

规则,数据格式规范明确时间戳精度、单位制式、采集频率三大要素,避免不同品牌设备数据融合障碍;技术标准维度重点关注智能监测设备与诊断模块的操作兼容性,制定预警响应时长、数据采样精度、通信协议转换的核心参数范围,为设备选型提供基本依据;在评价标准层面确定运维效率的测量公式和成本控制指标统计口径,使各类技术方案具备横向比较基础。标准实施过程采用渐进式推广策略,优先选择光伏电站和陆上风电场两类典型场站作为首批试点区域。试运行期间利用建筑信息模型技术构建数字孪生平台,同步接入场内真实运行的物联网监测数据流,实现对标准条款应用效果的双向验证;标准完善机制持续跟踪国际电工委员会最新技术规范动态,结合本地实际运行环境特点进行本地化调整,既保障技术规范的时效性,又避免频繁标准更新给运营方带来的成本压力。

智能建造背景下,提升新能源基础设施运维效率需构建统一技术标准框架,破除设施间数据孤岛;定向研发高环境适应性智能终端,建立全流程协同机制与行业技术公约,充分释放智能技术的协同潜力;强化通信网络韧性、健全激励政策,通过全流程风险防控、跨主体利益协调以及智能运维标准化动态完善等保障机制,为智能化升级扫除障碍。随着人工智能、数字孪生技术的深度应用,新能源设施运维将向预测更精准、响应更自主、决策更智能的方向持续发展。

(作者单位:内蒙古工业大学、内蒙古自治区土木工程绿色建筑与智能运维重点实验室)

【课题名称】本文系2025年科普教育基地服务能力提升项目:内蒙古自治区土木工程专业(BIM)技术中心(编号:JD-5)。

# 重庆市“低空+文旅”融合发展研究

■ 吕昕

重庆是国内重要的工业基地,20世纪90年代启动的区域产业结构调整和城市建设发展,产生了大量工业遗产。如何有效保护利用这些遗产成为重庆城市更新中亟待解决的问题。近年来,低空经济异军突起,为破解这一难题提供了新思路。结合低空经济产业优势与工业遗产资源特色,探索“低空+文旅”融合发展,不失为活化利用工业遗产的新出路。

## 重庆具备良好的资源基础与产业协同优势

重庆工业遗产资源禀赋优越。自晚清开埠后,历经抗战内迁、三线建设,重庆作为西南地区最重要的工业城市,留下了大量工业遗产。据统计,重庆拥有承载抗战西迁、三线建设等历史脉络的工业遗产170余处,如重钢、816核工程等,具备技术演进、劳动记忆等文化叙事价值。根据相关规划,重庆将以“一心、三带、多点”为蓝图(“一心”指中心城区,“三带”分别指沿长江、成渝公路和渝黔公路遗址带),对工业遗产进行保护利用。目前,由市经信委牵头,已公布工业遗产保护利用名录140处,利用工业遗产打造14座主题博物馆,建成8个休闲体验街区、17个文化创意产业园、8个工业遗产公园。“十五五”时期,还计划开发7条精品游线,力争打造17个工业遗产品牌。体量庞大的工业遗产资源,为重庆开辟工业遗产旅游新赛道提供了有力支撑。

重庆具有完备的制造业生产体系。发展低空经济,制造业是基础,尤其是与低空经济关系紧密的飞行技术研发、设备制造等行业。重庆市拥有国内41个工业大类的39个和所有制造业大类,具备发展低空经济的全面产业体系支撑。全市已培育引进40家低空制造重点企业,实现通航整机制造“零

的突破”,初步形成“设计研发+高端材料和部件+航空发动机+无人整机制造+机载设备+运营服务+卫星应用”的全产业链发展格局。此外,部分关键产业链具备优势,如西南铝业航空铝材位居业界领先水平,重庆宗申航空发动机制造股份有限公司的活塞航空发动机市场份额全国领先。

重庆低空经济前景广阔。2025年上半年,重庆低空飞行时长同比增长109.2%,飞行115.7万架次、同比增长67.3%,发展势头迅猛。重庆城市空间结构复杂,区域内部山河交错、地貌多样,低空应用场景十分丰富,在超大城市治理中的安全巡查、应急救援、检测检修、高空灭火等领域,以及旅游观光、短途运输、地籍测绘、农林植保、环境气象监测等行业均有广阔应用前景。作为以国际消费中心城市和世界知名文化旅游目的地为发展目标的城市,重庆在空中游览、跳伞、飞行竞赛等新消费业态上具有巨大发展潜力。以黔江、仙女山为代表的支线机场,已开通多条短途低空航线;以梁平、龙兴为代表的通用机场,轻型运动飞机驾驶培训业务量稳步增长,具备打造低空经济示范区的市场基础。

## 在地化“低空+工业遗址”的文旅融合路径

低空经济赋能工业遗产活化利用,是当前工业遗产旅游开发中一项具有创新优势、创意潜力的产业链方向,具备成为文旅融合“爆款”新品乃至蓝海新赛道的可能。如何将低空经济与工业遗产有机结合,打造文旅融合开发的新优势项目?我们试图结合重庆的在地资源做一个探索。

首先,打造低空观光与工业遗产场景联动。开发“低空观光游览工业遗址”体验项目,短途游主打直升机游览重钢旧址、嘉陵江畔工业带;中长途游以龙兴通用机场、永川

大安机场为依托,设计开发重庆工业遗址“一心”“三带”(特别是成渝公路和黔渝公路两带)空中畅游精品线路和优质产品。同时,实施数字化景观塑造,通过VR装配、无人机灯光秀等科技手段增强互动性,结合AR技术还原历史生产场景,实现“空中视角+地面叙事”的立体化开发。

其次,构建“工业遗产+低空消费”品牌。充分利用工业遗产空间开阔、场地富集的优势,举办低空飞行竞赛、航空文化节、工业记忆节等活动,串联抗战遗址、三线建设遗址形成主题旅游线路;依托工业遗产历史记录,开发航空主题文创产品,如南川飞机洞航空工业纪念馆;依托中心城区工业遗产的区位优势,举办航空模型展览,普及航空知识,激发消费者对航空领域的兴趣;包装打造飞行体验项目,吸引游客沉浸式操控低空飞行器,体验飞行乐趣;开设无人机专业培训课程,帮助爱好者获取正规合法的无人机操作资格,扩大低空经济消费群体。将航空主题活动与工业遗产旅游融合发展,形成内涵丰富、层次多样的工业遗产旅游产品矩阵。

最后,推动业态创新与区域协同发展。以激活社区活力为导向,引入低空经济企业入驻工业遗产园区,形成“科技+文化”产业闭环;依托工业遗产闲置厂房,吸引无人机设计企业、无人机表演团队、通航公司总部(区域总部)等各类低空经济市场主体落户工业遗产创意园区;打造“低空经济+工业遗产”新概念产品,如利用远地区工业遗产的闲置场地、设备,开发生产低空航空所需的生物燃料,或对低空航空产生的废弃物进行无害化处理;积极对接国家战略,立足成渝地区双城经济圈建设,推动成渝产业协同,谋划成都无人机研发与重庆应用场景的深度结合,统筹用好龙兴、永川、梁平、黔江、仙女山、巫山等机场资源,打造跨区域低空旅游产品。

(作者单位:重庆社会科学院文史研究所)

# 人工智能如何赋能乡村文旅产业发展

■ 李富林

乡村文旅产业作为激活乡村经济、传承乡土文化、重塑乡村魅力的重要路径,其高质量发展已成为重要议题。然而,传统模式下面临的产品同质化、服务效能不足、文化体验浅表化及运营管理粗放等痛点,制约了其潜力的充分释放。与此同时,AI(人工智能)技术的迅猛发展与广泛渗透,正为突破这些瓶颈提供诸多优质解决方案。本文旨在系统探讨AI技术如何通过沉浸式体验、个性化服务、智慧运营与文化IP孵化等核心场景深度赋能乡村文旅,并剖析其协同创新的实践路径,以期为推动乡村文旅产业转型升级与高质量发展提供理论参考与实践指引。

## AI赋能乡村文旅产业的核心应用场景

沉浸式文化体验场景。AI技术通过数字赋能、空间计算、多模态交互等前沿技术,重构游客对于乡村文化的感知体验。在乡村文旅场景中,AI技术可实现历史场景的数字化复原,让游客“穿越”到过去,亲身感受传统节庆、农耕文化、非遗技艺等内容。例如,综合运用虚拟现实与AI技术复原乡村历史场景,能让游客沉浸式体验传统农耕文化与乡村生活风貌,实现从“走马观花”到“深度浸润”的体验跃迁。这种体验经济的构建,为乡村文旅项目打造了“保护—利用—传播”的闭环范式。

个性化旅游服务场景。AI技术借助大数据分析游客行为与偏好,可实现“千人千面”的个性化服务。在乡村文旅中,AI能基于游客的年龄、兴趣、时间、预算等条件,生成定制化旅游行程,并精准推荐特色体验活动、乡村美食、文化活动等。例如,AI通过智能算法进行多维度匹配:为亲子家庭定制包含自然教育、萌宠互动的趣味路线;为银发族推荐康养步道、药膳餐饮的舒缓行程;为文艺青年设计非遗工坊、独立书店的探秘之旅,让不同需求的游客都能获得契合自身的旅游体验。

智慧运营管理场景。AI技术为乡村文旅的运营管理提供了科学决策支撑。通过AI客流预测与承载能力分析,乡村景区可提前预判游客流量,优化资源配置,避免过度拥挤或资源闲置。同时,AI还能对乡村文旅设施进行智能监测与维护,有效提升运营效率。例如,通过

AI分析游客行为数据,可针对性优化乡村民宿、农家乐的布局与服务内容,进而提升乡村文旅的整体运营效能。此外,AI技术的应用还能破解“数据孤岛”问题,实现景区、交通、酒店、文化等环节的数据互通与共享,为乡村文旅的智慧化管理筑牢数据基础。

乡村文化IP孵化与传播场景。AI技术为乡村文化IP的孵化与传播提供了新思路。通过AI分析乡村文化资源与市场需求,可精准定位文化IP价值,开发具有乡村特色和市场吸引力的文化IP;同时,AI还能辅助创作乡村文化内容,生成乡村文化故事、短视频、数字藏品等,显著提升乡村文化的传播力和影响力。在乡村文旅中,AI技术能够将乡村文化元素与现代审美、消费习惯相结合,创造出既保留乡村特色又符合当代审美需求的文化产品,进一步提升乡村文化IP的市场价值。

## AI赋能乡村文旅产业的创新路径

构建“政企研”协同创新机制。AI赋能乡村文旅产业高质量发展的关键在于构建协同创新机制:政府负责顶层设计、统一指导、精准规划、设定标准;企业聚焦AI大模型研发,降低使用成本,提升AI适配效能;研究部门及智库积极探究“数据孤岛”的破解方案;高等院校加强“AI+文旅”复合型人才的培养。具体来看,政府应出台专项政策,支持乡村文旅AI应用示范项目,提供资金和资源支持;企业需研发适合乡村场景的轻量化、低成本AI应用,降低乡村文旅主体的技术应用门槛;研究机构应开展乡村文旅AI应用研究,提供理论指导和解决方案,形成多方联动、协同发力的良好格局。

大力培养复合型人才。人才是乡村文旅AI应用的关键资源,而乡村文旅AI应用急需既懂乡村文化又掌握数字技术的复合型人才。对此,政府和高校应加强“AI+文旅”复合型人才培养,开设相关课程和培训项目,着力提升乡村文旅从业者的数字素养。同时,鼓励科技企业与乡村文旅主体合作,开展技术培训和实践指导,帮助乡村文旅从业者掌握AI技术应用的基本技能。唯有培养出足够的复合型人才,才能确保AI技术在乡村文旅中的有效应用和持续创新。

提升乡村文旅IP转化能力。当前,乡村文旅IP的转化能力不足,制约了AI技术在乡村文旅中的深入应用。要提升

这一能力,需要从三方面着手:一是加强乡村文化资源的数字化采集与整理,建立优质资源库,为IP开发奠定基础;二是通过AI技术对乡村文化进行深度挖掘和创新性表达,开发具有市场吸引力的文化产品;三是构建“文化IP+AI”的融合模式,推动乡村文化IP的产业化、市场化发展。只有不断提升乡村文化IP转化能力,才能真正实现AI赋能乡村文旅的高质量发展。

## 推进AI赋能乡村文旅产业高质量发展的建议

加强乡村数字基础设施建设。要提升乡村网络覆盖质量,为AI技术应用提供基础支撑;推广轻量化、低成本的AI应用解决方案,降低乡村文旅主体的技术应用门槛;建立乡村文旅数字化平台,整合乡村文化、旅游资源、游客数据等信息,为AI应用提供坚实的数据基础。

创新乡村文旅AI应用场景。鼓励乡村文旅主体与科技企业合作,开发适合乡村场景的AI应用;重点推进AI在乡村文化体验、个性化服务、智慧运营、IP孵化等领域的创新应用,打造一批可复制、可推广的AI应用案例,以点带面推动整体发展。

完善乡村文旅AI政策体系。制定乡村文旅AI应用专项扶持政策,提供资金支持与政策引导;设立乡村文旅AI应用示范项目,通过试点先行、以点带面的方式,推动AI技术在乡村文旅中的规模化应用。

促进乡村文旅产业数字化转型。推动乡村文旅产业从“经验驱动”向“数据驱动”转变,利用AI技术对乡村文旅进行全链条数字化改造;鼓励乡村文旅企业建立数据采集与分析能力,通过数据驱动优化产品设计、提升服务体验、增强营销效果,全面提升产业竞争力。

人工智能技术正不断融入乡村文旅产业,为其高质量发展注入强劲动能。AI赋能乡村文旅产业,不仅改变着传统乡村旅游的运营模式,更重塑了全新的乡村产业生态,为实现乡村振兴提供了新思路和路径。未来,AI技术的持续迭代和应用场景的不断拓展,将为乡村振兴提供更强大的支撑,为实现共同富裕贡献重要力量。

(作者单位:云南扎西干部学院)

【课题名称】本文系昭通市2025年度(第十六届)哲学社会科学课题:《昭通市“红色文化+乡村旅游”融合发展模式与路径研究》(编号:ZTZCKT2025080)。