

新能源工程建设中绿色施工技术的集成应用与管理

赵庆港

国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司 贵州省毕节市 553100

摘要: 在“双碳”目标与能源安全战略推动下,新能源工程建设规模快速增长,但施工环节的高能耗、高排放及生态扰动等问题,制约着行业可持续发展。传统“单点技术应用”模式,难以满足新能源项目环境复杂、资源约束、全周期低碳的复合需求,需“技术集成—管理协同”创新突破。本文立足新能源工程建造特殊性,构建“需求导向—技术集成—管理适配—动态优化”四维协同框架,系统阐释绿色施工技术集成逻辑与路径。从能源替代与能效提升等四大技术模块解析集成机理,结合设计前置协同等四大管理机制,探讨多技术融合策略。研究表明,多技术模块与管理环节协同,可降低施工碳排放、资源消耗及生态扰动,为绿色建造提供方向。

关键词: 新能源工程;绿色施工技术;技术集成;管理协同

全球能源结构向清洁化、低碳化转型背景下,新能源工程作为清洁能源供应的核心载体,其建设速度与规模持续攀升。然而,新能源项目多分布于生态敏感区,且施工过程涉及大型设备作业、长距离材料运输、复杂基础开挖等高风险活动,传统施工模式普遍面临“能耗高、排放集中、资源浪费、生态破坏”等突出问题。现有研究多聚焦单一绿色技术的局部优化,但对“多技术协同集成”与“全周期管理适配”的系统性研究不足。本文基于新能源工程建造的特殊需求,提出通过技术集成与管理创新的协同路径,探索绿色施工的整体性解决方案。

1. 新能源工程绿色施工的技术集成逻辑与核心构成

1.1 新能源工程的绿色需求特征:特殊性驱动集成必要性

新能源工程区别于传统基建,其核心特征决定了绿色施工技术必须通过集成化应用来满足综合性需求。首先,环境复杂性显著。新能源项目常选址于生态脆弱区,如高海拔低氧地带、强风沙侵蚀区域、盐雾腐蚀环境等,同时还需兼顾生物多样性保护,施工面临多重自然条件挑战。其次,资源约束性突出。偏远地区施工场地分散,建材运输半径常超500公里,运输碳排放占施工总排放的15%至20%;在水资源匮乏区域,施工用水依赖远距离调运,单项日年均缺水量可达数千立方米,资源获取与利用效率成为关键制约^[1]。

此外,全周期低碳性与技术迭代性进一步强化了集成必要性。新能源项目需实现“从建设到运营”的全流程低碳

目标,施工阶段的碳排放与资源消耗直接影响其“绿色认证”可行性。同时,新型施工装备与工艺快速涌现,要求绿色技术具备动态适配能力。单一技术难以覆盖“节能降耗、资源循环、生态保护、智能调控”的复合需求,唯有通过多技术集成形成互补效应,才能有效应对新能源工程建设的绿色挑战。

1.2 绿色施工技术的集成维度与核心模块

新能源工程绿色施工技术的集成,本质是基于“需求—技术—场景”的精准匹配,构建“功能互补、动态协同”的技术体系。其核心构成包括四大模块:

1.2.1 能源替代与能效提升技术:降低碳排放基础值

该模块聚焦施工能源结构的低碳化转型,通过“可再生能源替代+能效优化”双路径实现。一方面,利用项目所在地的自然资源禀赋,如高原地区的强太阳辐射、沿海地区的稳定风速,部署光伏临时供电系统以覆盖施工营地、材料堆场,设置小型风力发电装置配套于风机安装区,并与电网形成“多能互补”供电模式,可再生能源占比目标达40%及以上^[2]。另一方面,全面推广电驱动施工机械,如电动起重机械、电动装载机、电动运输车,结合智能调度系统根据工序需求动态分配设备以减少空转率,从源头降低化石能源消耗,将传统柴油设备占比压缩至30%以下。

1.2.2 低碳材料与工艺革新技术:减少生产端隐含排放

该模块通过材料选择与工艺优化的协同,降低材料全生命周期的碳排放。材料层面,优先选用本地化建材,确保

运输半径不超过 200 公里以减少运输排放,同时采用可再生或可降解材料,如以竹制脚手架替代钢管、用再生塑料模板替代木模板。此外,积极推广低碳水泥,通过掺加矿渣、粉煤灰等工业固废来降低熟料用量,以及应用相变储能混凝土来调节基础温度,进而减少空调能耗等新型建材。工艺层面,采用装配式基础结构,如预制管桩、模块化升压站部件等,通过工厂化预制减少现场湿作业量,使混凝土浇筑量减少 20% 至 30%,并降低材料损耗,确保钢筋切割损耗率不超过 1%。同时,大力推广无损安装技术,如光伏组件的免胶密封工艺、采用螺栓连接替代焊接等,避免化学粘结剂产生的 VOCs 排放以及高温作业带来的集中碳排放等环境影响。

1.2.3 资源循环与废弃物减量化技术:抑制过程消耗增量

该模块围绕废弃物产生、分类、再生、利用全链条,构建闭环管理体系。首先,建立施工废弃物分类回收标准,将金属废料、建筑垃圾、包装材料分置存放,通过现场预处理提升资源化率,如将混凝土块破碎为再生骨料、废钢材压块回收,目标资源化率不低于 85%。其次,应用 3D 打印技术,利用再生建材制备辅助构件,如临时围挡、排水沟盖板,拓展再生材料适用场景。再次,优化水资源管理方案,在降水丰富区域设置雨水收集池,用于降尘、车辆冲洗;在干旱区域推广施工废水处理系统,经沉淀、过滤后循环用于混凝土养护,单项目节水率不低于 30%。最后,针对特殊场景,如沙漠光伏项目的防尘网、海上风电的防腐蚀涂料包装,开发专用回收工艺,如防尘网的清洗再利用技术,降低固废产生量,目标较传统模式减少 25%。

1.2.4 生态保护与环境协调技术:缓解环境影响冲击

该模块针对新能源项目对生态系统的潜在干扰,研发适应性保护技术。在施工边界设置生态缓冲带,如植被隔离墙、透水铺装,减少施工活动对周边土壤与植被的直接侵占;采用低噪声施工设备,以液压打桩机替代柴油锤、电动切割机替代气动工具,控制声环境,确保昼间噪声不高于 70dB,夜间不高于 55dB;创新基础施工工艺,在生态敏感区如湿地、滩涂应用浮式基础,避免水域扰动,采用微型桩群技术,缩小开挖面,保留原生植被根系;针对生物多样性热点区域,如鸟类迁徙通道、濒危物种栖息地,设置声光屏障,降低施工灯光与噪音吸引,并实施季节性停工机制,避开繁殖期,最大限度减少生态影响^[3]。

1.3 技术集成的协同机制:功能互补与动态优化

各技术模块并非孤立运行,而是通过“接口标准化、参数动态匹配、系统智能调控”实现协同增效。在功能互补层面,能源替代技术致力于降低基础排放,使碳排放强度显著下降;低碳材料技术聚焦减少生产端隐含碳,降低材料生产过程中的碳排放;资源循环技术有效控制过程消耗,减少废弃物填埋量;生态保护技术则着重缓解环境影响,缩减生态扰动范围。各技术模块各司其职又紧密配合,共同推动新能源工程绿色施工目标的达成^[4]。

在动态适配与智能调控方面,通过施工组织设计的系统优化,如工序衔接调整、临时设施共享等,依据项目所在地的具体条件,如高原低温环境需选用耐寒电池、沿海高盐雾区域需加强设备防腐等,灵活组合技术模块。同时,依托物联网与数字孪生技术,实时监测各技术模块的运行参数,涵盖光伏供电效率、设备能耗曲线、废弃物分类准确率等,进而动态调整技术参数,如根据实时气象数据优化风光供电比例,依据材料库存状态调整再生建材使用比例,确保技术模块始终处于最优运行状态。

2. 新能源工程绿色施工的管理机制构建:适配性与系统性

技术集成的落地需依赖适配的管理体系,新能源工程因其“环境复杂、资源约束、全周期协同”的特性,要求管理机制覆盖“设计前置—过程管控—工具赋能—评价激励”全链条,形成“技术—管理”双轮驱动的协同框架。

2.1 设计阶段的绿色协同:前置嵌入与多专业融合

设计作为绿色施工的源头,需借助“三维数字孪生+全专业协同”的方式,将绿色要求深度融入工程方案。首先是多源数据集成,要构建涵盖地形地貌、生态红线、资源分布及交通条件的多源数据库,其中资源分布涉及太阳能辐射强度、水资源储量等,交通条件关注运输距离。通过 BIM 与 GIS 的融合,实现施工区域敏感要素的可视化呈现,这些敏感要素包括珍稀植物分布区、地下水位线等,为后续设计提供全面准确的数据支撑^[5]。

在数据支撑基础上开展低碳方案比选与全专业协同设计。低碳方案比选需在可行性研究阶段进行“技术—经济—环境”的多目标优化,对比不同技术组合的碳排放强度、资源消耗量、施工成本,像“光伏供电+装配式基础”与“传统电网+现浇基础”的对比,从而选择综合效益最优方案。

全专业协同设计则要打破土建、电气、机械等专业的壁垒，联合确定技术接口标准，如电驱动机械的充电接口规格、装配式基础的拼接节点设计等，确保各技术模块无缝衔接，例如光伏临时供电系统的布线路径与施工道路规划同步优化。

2.2 实施过程的动态管控：精细化与实时化

施工过程是绿色技术落地的关键环节，需通过“任务清单+实时监测+人员能力”构建动态管控体系。首先是绿色施工任务清单的制定，将技术集成方案细化为具体工序，像基础开挖、设备吊装、电缆敷设等，并为每道工序设定明确的量化指标。例如风机基础开挖的土方运输距离不超过500米，光伏支架安装的螺栓连接占比不低于90%，施工营地的生活垃圾分类准确率不低于95%，以此确保施工各环节严格遵循绿色标准。

同时，要开展实时监测与反馈并提升人员能力。应用物联网传感器监测电驱动机械能耗、水资源循环系统处理效率，利用无人机巡查施工扰动范围、临时占地植被恢复情况，通过数字看板可视化展示实时偏差，对关键参数动态跟踪。一旦超出预设阈值，如单日碳排放量超计划10%，便自动触发预警并调整施工安排。此外，构建“理论培训+模拟实训+现场指导”的三级培训体系，重点培养施工管理人员技术集成决策能力与操作人员规范执行能力，如开展装配式基础吊装精度控制、光伏组件免胶密封工艺等专项培训。

2.3 数字化工具赋能：全周期与智能化

数字化是提升技术集成与管理协同效率的核心支撑，需构建覆盖全生命周期的智能管理平台。首先是数字孪生体构建，将BIM模型、物联网实时数据与历史项目经验库进行集成，创建与实体工程同步的“数字孪生体”。借助这一虚拟模型，可预演不同技术组合的施工效果，比如研究装配式基础吊装顺序对工期与能耗的影响，评估风光互补供电方案在极端天气下的稳定性，从而为技术方案的优化提供有力辅助。

同时，要开展大数据分析支持与决策支持并应用智能工具。从海量施工数据中挖掘隐性知识，像某类地质条件下最优的桩基施工参数、特定气候区的材料损耗规律等，生成动态报表，如各标段碳排放强度排名、资源循环率对比等，为管理者精准施策提供依据，例如针对高能耗工序调整设备配置、针对低回收率区域强化分类管理。此外，开发集成电子签批、移动巡检、智能报表等功能的移动端APP，现场人员可通过APP拍照上传废弃物混投问题，系统自动推送整改通知至责

任人，有效提升管理效率。

2.4 全周期评价激励：目标导向与持续改进

通过“评价标准—激励机制—持续优化”形成闭环，推动绿色施工常态化。首先是构建多维度评价体系，制定涵盖碳排放强度、资源消耗量、生态扰动范围、废弃物循环率等核心指标的评价标准。其中资源消耗量要求材料损耗率不高于3%，生态扰动范围要求临时占地较传统模式缩减15%，废弃物循环率不低于85%。同时结合项目类型，如陆上或海上、集中式或分布式，以及区域特征，如高原或平原、湿润或干旱，制定差异化权重，确保评价的科学性与针对性。

在评价体系基础上，设计激励机制并建立持续改进机制。激励机制方面，将绿色绩效纳入合同考核，碳排放强度达标奖励合同款的1%至2%，超标则扣减0.5%至1%，并建立政府监管、企业自控、公众监督的三维责任体系，政府强制披露碳排放数据，企业设立绿色施工专项资金，公众通过施工环保信息二维码公示进行监督。持续改进机制上，定期复盘项目实施经验，针对技术模块的适配性问题、管理环节的漏洞等进行总结，将成功实践提炼为标准化模板，如高原风电绿色施工技术包、荒漠光伏资源循环方案，为后续项目提供参考，推动技术集成与管理模式迭代升级。

3. 实践启示与研究展望

本研究揭示新能源工程绿色施工核心逻辑：技术集成要基于场景适配性，管理协同需强化全周期衔接。未来可深化以下研究：跨领域技术融合，探索绿色施工技术与碳捕集、负碳材料结合以降低全生命周期碳排放；新型电力系统适配，针对源网荷储一体化项目，研究施工时储能系统临时应用及多能互补模式动态优化；完善绿色评价体系，制定分区域、分类型的差异化评价标准，推动精准化管理；数字化深度赋能，结合AI与区块链技术，实现施工数据自动采集、可信存储与智能分析，提升技术集成自主决策能力。持续创新优化，新能源工程有望成“双碳”目标下绿色建造标杆，为全球能源转型与可持续发展提供参考。

参考文献：

- [1] 孙振华. 公路工程建设中绿色施工技术的应用与管理策略[J]. 工程建设与设计, 2025, (14): 222-224.
- [2] 黄涛, 孙远来. BIM技术在绿色建筑施工中的多维化探索应用[J]. 陶瓷, 2025, (06): 194-196.
- [3] 黄小芹. 绿色施工技术在建筑装饰施工中的应用[J].

绿色建造与智能建筑 ,2024,(10):32-34+38.

[4] 梁晋源 . 绿色建筑工程装配式建筑施工技术应用 [J].
上海建材 ,2025,(03):38-40.

[5] 刘冉峥 . 绿色节能技术在建筑工程施工中应用分析

[J]. 居舍 ,2019,(08):58.

作者简介: 赵庆港 出生年月日 :1997年12月17日 性别:
男 民族 : 汉 籍贯 : 贵州 学历 : 大学本科 职称 : 助理工程
师 从事的研究方向 : 新能源工程建设