

大型地面光伏电站支架基础施工工艺比选与经济性分析

朱晓轲

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

摘要: 在大型地面光伏电站建设中, 支架基础施工工艺的选择至关重要。本文对静压桩、螺旋桩、混凝土灌注桩、预制管桩及地锚基础等常见工艺的分类与特性展开分析, 从材料成本、人工与机械投入、施工周期与效率、质量风险与维护成本等维度进行技术经济性对比, 构建经济性分析方法与指标体系, 提出多目标决策框架、敏感性分析及优化路径探索, 为光伏电站支架基础施工工艺的比选与经济性分析提供参考。

关键词: 大型地面光伏电站; 支架基础; 施工工艺; 经济性分析; 决策模型

引言: 随着全球能源需求的增长与能源结构的转型, 大型地面光伏电站作为重要的清洁能源供应形式, 其建设规模不断扩大。支架基础作为光伏电站的关键组成部分, 其施工工艺的选择不仅影响电站的建设质量与施工效率, 更直接关系到项目的经济性与长期稳定性。不同施工工艺在地质适应性、施工难度、成本构成等方面存在显著差异, 因此, 对大型地面光伏电站支架基础施工工艺进行全面比选与经济性分析具有重要的现实意义。

1 施工工艺分类与特性分析

1.1 静压桩基础

静压桩基础依托静力压桩机将桩体平稳压入地基。其施工原理基于桩机自重与配重施加竖向压力, 使桩体克服土体阻力逐渐下沉。这种工艺适用于软土、黏性土及粉土等地质条件, 在这些土层中, 土体强度相对较低, 桩体更易压入, 且能较好发挥承载性能。技术参数方面, 桩径选择需综合考虑地质条件与上部结构荷载^[1]。一般而言, 在软土地区, 桩径可适当增大以增强承载能力; 桩长则依据设计要求的桩端持力层深度确定, 确保桩体能够深入稳定土层。承载力与桩径、桩长、桩端土层性质等因素密切相关, 需通过详细地质勘察与计算确定合理数值。施工设备方面, 静力压桩机是核心装备, 其性能直接影响施工效率与质量。不同型号压桩机在压力、行程等方面存在差异, 需根据工程规模与地质条件合理选型。作业效率上, 静压桩施工过程相对平稳, 无振动与噪声污染, 且施工速度较快, 在适宜地质条件下, 每日可完成一定数量桩体施工。

1.2 螺旋桩基础

螺旋桩基础结构形式独特, 桩体带有螺旋叶片, 安装时通过专用设备将桩体旋转钻入土体。这种结构使桩体与土体紧密结合, 增强桩侧摩阻力, 提高承载能力。地质适应性方面, 螺旋桩基础在软土、砂层等地质条件中

表现良好。在软土中, 螺旋叶片可有效切割土体, 减少施工阻力; 在砂层中, 叶片能增加桩体与砂粒间的咬合力, 提升桩体稳定性。施工周期较短, 安装过程简便快捷。可操作性方面, 螺旋桩基础对施工场地要求较低, 无需大面积开挖, 且施工过程中可根据实际情况灵活调整桩体位置与角度, 适应复杂地形条件。

1.3 混凝土灌注桩基础

成孔工艺多样, 旋挖成孔利用旋挖钻机旋转切削土体, 形成桩孔, 具有成孔速度快、质量高的特点; 冲击成孔则通过冲击钻头反复冲击土体, 使土体破碎成孔, 适用于较硬土层与岩石地层。钢筋笼制作需严格按照设计要求进行, 确保钢筋规格、数量、间距符合标准。混凝土浇筑要求连续进行, 避免出现施工缝, 保证桩体整体性。养护周期对桩体强度发展至关重要。在适宜湿度与湿度条件下, 混凝土强度随时间增长逐渐提升。一般早期强度增长较快, 后期增长趋于平缓, 需根据设计要求确定合理养护时间, 确保桩体达到设计强度。

1.4 预制管桩基础

桩体生产需在专业工厂进行, 严格控制原材料质量与生产工艺, 确保桩体尺寸精度与强度符合标准。运输过程中需采取有效保护措施, 防止桩体损坏。沉桩工艺有锤击与静压等方式。锤击沉桩利用锤击设备将桩体打入土体, 施工速度快, 但噪声与振动较大; 静压沉桩则通过静力压桩机将桩体压入土体, 无噪声与振动污染, 对周边环境影响小。接桩方式多样, 常见有焊接接桩与机械连接接桩。质量控制要点包括接桩部位清洁、焊接质量检验、机械连接紧固程度检查等, 确保接桩部位连接可靠, 不影响桩体整体承载能力。

1.5 地锚基础

锚固形式分为垂直与斜向等。垂直锚固适用于对抗拔力要求较高且土质均匀的场地; 斜向锚固则可根据实

际受力情况调整角度,更好适应复杂受力环境。抗拔力设计依据地质条件、锚固体尺寸与材料性能等因素综合确定^[2]。通过理论计算与经验分析,确保地锚基础在承受设计拉力时保持稳定。施工精度对地锚基础性能影响显著。需严格控制锚孔位置、深度与角度,确保锚固体准确安装。施工过程中配备调整机制,如采用可调节锚具,便于根据实际情况对锚固体位置与角度进行微调,保证施工质量。

2 施工工艺技术经济性对比维度

2.1 材料成本构成

不同施工工艺在桩体材料选用上存在显著差异,由此导致钢材、混凝土等用量各不相同。例如,静压桩基础与预制管桩基础多采用预制桩体,桩体材料用量主要取决于桩径、桩长及设计承载要求。而混凝土灌注桩基础则需现场浇筑混凝土,材料用量受成孔直径、深度及混凝土配合比等因素影响。辅助材料方面,连接件用于桩体之间的连接,防腐涂料用于保护桩体免受环境侵蚀,不同工艺对这两类材料的消耗也存在对比空间。连接件的数量与规格因桩体连接方式不同而有所差异,防腐涂料的使用量则与桩体表面积及防腐要求相关。材料运输与存储成本同样不容忽视,桩体材料体积大、重量重,运输距离、运输方式以及存储场地的选择都会对成本产生影响。长距离运输会增加运输费用,而存储场地若不具备合适条件,可能导致材料损坏,进而增加额外成本。

2.2 人工与机械投入

各施工工艺所需工种配置与工时需求各不相同。静压桩基础施工主要需要压桩机操作工、桩体搬运工等,工时需求取决于桩体数量与施工速度。螺旋桩基础施工则侧重于螺旋桩机操作工与辅助安装工,安装过程的复杂程度会影响工时。施工机械类型、数量及租赁费用是成本的重要组成部分。不同工艺适用的机械差异较大,如静压桩基础依赖静力压桩机,螺旋桩基础使用螺旋桩机,混凝土灌注桩基础需要旋挖钻机或冲击钻机等。机械数量根据工程规模确定,租赁费用则与机械型号、租赁时长相关。机械进出场与转场成本也需纳入考量,大型机械的进出场需要专业运输设备,转场过程中可能因场地条件限制产生额外费用。

2.3 施工周期与效率

单桩施工时间是影响整体工期的关键因素。静压桩基础单桩施工相对较快,在适宜地质条件下,短时间内可完成多根桩体施工;螺旋桩基础安装过程简便,单桩施工时间也较短;混凝土灌注桩基础成孔与浇筑过程较为复杂,单桩施工时间相对较长。工序衔接对总工期有

着重要影响,合理的工序安排能够避免施工过程中的等待与窝工现象,提高施工效率。若工序衔接不畅,可能导致部分工序停滞,延长总工期。气候条件对施工效率的制约不可忽视,雨天可能导致场地泥泞,影响机械作业与桩体安装;高温天气可能影响工人作业效率,降低施工速度。

2.4 质量风险与维护成本

不同施工工艺存在不同的沉降、倾斜等质量隐患。混凝土灌注桩基础若成孔质量不佳或混凝土浇筑不密实,可能出现沉降问题;螺旋桩基础在复杂地质条件下可能因土体不均匀导致倾斜。后期运维频率与成本差异明显,质量隐患多的工艺需要更频繁的运维检查与维修,增加运维成本^[3]。耐久性对全生命周期成本影响重大,耐久性好的工艺在长期使用过程中能够减少维修与更换费用,降低全生命周期成本;反之,耐久性差的工艺则需不断投入资金进行维护,增加成本负担。

3 经济性分析方法与指标体系

3.1 成本构成分解

在施工项目经济性分析中,精准的成本构成分解是基础。直接成本涵盖材料、人工与机械费用。材料成本取决于各类建材的采购价格、用量及运输损耗,不同施工工艺对材料需求差异显著,如混凝土灌注桩需大量水泥、砂石,而预制管桩则侧重于钢材与预制构件成本。人工成本与工种配置、工时消耗紧密相关,技术含量高的工种费用相对较高。机械成本涉及设备购置、租赁及维护费用,大型复杂机械的使用会大幅增加此部分支出。间接成本包含管理、保险与临时设施费用。管理费用涉及项目管理团队的薪酬、办公开支等,项目规模与复杂程度影响管理成本高低。保险费用为项目抵御风险提供保障,不同险种的保费因项目特点而异。临时设施费用涵盖施工场地内的临时建筑、道路搭建等,其规模与使用时长决定费用多少。隐性成本常被忽视却影响重大。质量事故会导致返工、赔偿等额外支出,破坏企业声誉。工期延误可能引发合同违约赔偿、资金周转困难等问题,增加财务成本。

3.2 动态成本分析

施工阶段成本并非一成不变,受多种因素波动影响。材料价格受市场供需、产地政策等因素影响频繁变动,如钢材价格波动可能使桩基础成本大幅增减。人工费用也随市场行情、技能水平要求变化,技术工人短缺时工资水平可能上升。资金时间价值对成本影响不容小觑。资金在不同时间点具有不同价值,前期投入资金若无法及时回收利用,会产生机会成本。考虑资金时间价

值,能使成本分析更贴合实际经济运行规律。建立成本动态监控与调整机制至关重要。通过实时跟踪成本数据,对比预算与实际支出,及时发现偏差并分析原因。依据分析结果调整采购计划、施工安排等,确保成本控制在合理范围内。

3.3 全生命周期成本考量

全生命周期成本分析需平衡初始投资与后期运维成本。初始投资低的项目,若后期运维成本高昂,整体经济性未必理想。如某些新型施工工艺初始投入大,但后期维护简单、能耗低,长期来看更具经济优势。残值回收对经济性有积极贡献。施工设备、临时设施等在项目结束后若能合理回收残值,可降低项目总成本。准确评估残值并纳入成本分析,能使经济性评价更全面准确。技术更新对成本结构产生深远影响。新技术的应用可能提高施工效率、降低材料消耗,从而改变成本构成。持续关注技术发展动态,适时引入新技术,有助于优化成本结构,提升项目经济性。

4 施工工艺比选决策模型构建

4.1 多目标决策框架

技术可行性、经济合理性与环境适应性构成决策框架的三大支柱,三者权重分配需结合项目具体特征动态调整。技术可行性评估需聚焦工艺成熟度、施工精度控制能力及地质条件适配性,通过专家打分法量化技术参数达标率。经济合理性分析需建立全要素成本模型,涵盖直接材料消耗、机械台班效率、人工工时利用率及隐性质量成本,运用价值工程理论对成本构成进行功能系数分解。环境适应性评价应纳入施工期碳排放强度、生态扰动范围及资源循环利用率等指标,通过生命周期评价法量化环境影响^[4]。决策矩阵构建需统一指标量纲,采用极差标准化法消除数据离散性,通过加权求和模型生成综合得分,为方案排序提供量化依据。

4.2 敏感性分析

材料价格波动对经济性的影响呈现非线性特征,钢材、混凝土等主材价格变动会通过成本传导机制改变工艺比较优势。工期参数敏感性分析需考虑时间成本与机会成本的叠加效应,施工周期延长将导致管理费用增加与发电收益延迟的双重损失。风险偏好与决策稳健性存

在负相关关系,保守型决策者倾向于选择技术成熟度高但成本略高的工艺,而激进型决策者可能接受创新工艺带来的成本波动。通过蒙特卡洛模拟可生成不同风险偏好下的成本分布区间,为决策者提供风险容忍度与经济性平衡的量化参考。

4.3 优化路径探索

工艺组合创新通过功能互补实现性能跃升,螺旋桩的快速安装特性与地锚的抗拔优势结合,可形成适用于复杂地质条件的混合基础系统。标准化设计通过统一构件尺寸与连接方式降低模具开发成本,模块化施工通过预制构件工厂化生产缩短现场作业周期,二者协同作用可显著削减全生命周期成本^[5]。智能化施工技术应用潜力巨大,基于BIM的施工模拟可优化工序衔接,物联网设备实时监测可实现成本动态管控,人工智能算法驱动的决策支持系统能提升资源分配效率。这些技术路径的融合将推动施工工艺向精细化、智能化方向演进,为经济性优化提供新的突破口。

结束语

大型地面光伏电站支架基础施工工艺的比选与经济性分析是一个复杂且系统的过程,需综合考虑技术、经济、环境等多方面因素。通过构建科学合理的决策模型,深入分析各工艺的优缺点与成本构成,能够为项目决策提供有力支持。在实际工程中,应根据具体项目特点与需求,选择最适合的施工工艺,以实现项目建设质量、效率与经济性的最佳平衡,推动光伏电站建设行业的持续健康发展。

参考文献

- [1]王凯,邓艳军,戴桂兴,等.山地光伏电站方阵支架及基础设计与施工[J].红水河,2024,43(4):98-101,105.
- [2]武朝平,孙二卫,谢雪庆,等.光伏电站组件安装与支架防腐施工工艺[J].四川建材,2024,50(10):238-240.
- [3]欧阳效木.农光互补光伏支架基础微孔灌注桩施工关键技术与工程实践[J].红水河,2025,44(3):83-89.
- [4]李保红.大型地面光伏电站施工中支架安装关键技术与优化策略[J].工程建设与设计,2025(18):158-160.
- [5]赵麟.基于光伏电站主要工序施工工艺及质量控制要点解析[J].中国设备工程,2024(21):111-113.