

大型集中式光伏电站流水施工的实践应用

林 峰

浙江华业电力工程股份有限公司 浙江 宁波 315800

摘要：随着“双碳”目标的深入推进，我国新能源产业快速发展，大型集中式光伏电站作为清洁能源的重要组成部分，其建设规模和速度持续提升。然而，传统施工模式在面对大规模、高复杂度的光伏电站建设任务时，暴露出工期紧张、资源浪费、管理混乱等问题。流水施工作为一种高效、有序、资源优化的施工组织方式，在大型集中式光伏电站建设中展现出显著优势。本文以某200MW集中式光伏电站项目为研究对象，系统探讨流水施工在光伏电站建设中的实践路径，包括施工过程与施工段的科学划分、节拍方案的选择与优化、技术路线的实施步骤以及实际应用效果。通过现场实践验证，流水施工不仅显著提升了施工效率和资源利用率，还有效保障了工程质量和安全，为今后同类项目提供了可复制、可推广的施工组织范式。

关键词：集中式光伏电站；流水施工；施工段划分；节拍优化；施工组织

引言

在全球能源结构转型与我国“碳达峰、碳中和”战略目标推动下，光伏产业迎来发展机遇，截至2024年底我国光伏发电累计装机容量已突破800GW，大型集中式光伏电站占比超60%，这类电站具有规模大等特点，传统“平行作业+突击施工”模式难以满足建设要求，亟需科学系统的施工组织方法^[1]。流水施工是将工程划分后合理安排专业队伍作业的方式，核心是“连续性、均衡性、节奏性”，虽在建筑工程领域广泛应用，但在光伏电站应用尚处探索阶段，而光伏电站施工的模块化特征为流水施工提供了条件，引入流水施工理念具有理论可行性与实践价值。本文以某200MW集中式光伏电站项目为案例，梳理流水施工在光伏电站建设中的应用路径，重点解决施工过程与施工段划分、流水节拍方案选择与优化等问题，研究成果将为后续大型光伏电站项目提供可操作的施工组织模板，推动行业施工管理水平标准化与现代化。

1 大型集中式光伏电站施工特点分析

1.1 工程结构与施工流程

大型集中式光伏电站主要由光伏阵列区、升压站、集电线路及辅助设施四大部分构成。其中，光伏阵列区是工程的核心，包含支架系统、光伏组件、直流汇流箱等，其工程量通常占整个项目的70%以上。升压站负责将直流电转换为高压交流电并接入电网，集电线路则连接各阵列单元与升压站，辅助设施包括围栏、巡检道路、监控系统及防雷接地等。典型的施工流程遵循严格的逻辑顺序：首先进行场地平整与测量放线，随后开展支架基础施工（多采用螺旋桩或混凝土灌注桩），继而进行

支架安装、光伏组件铺设、直流侧接线、电缆敷设、逆变器与汇流箱安装，最后完成升压站建设与全系统调试并网。这一流程环环相扣，任一环节的延误都可能引发连锁反应，影响整体进度。

1.2 施工难点与挑战

大型集中式光伏电站的施工面临多重挑战。首先是工程规模庞大与工期高度紧张的矛盾。一个200MW的项目通常要求在6至8个月内完成，这意味着日均需安装数万块组件，对施工组织提出极高要求。其次是作业面极度分散，电站占地可达数千平方公里，施工队伍需在广阔区域内高效协同，避免资源冲突与路径拥堵。此外，虽然各工序高度重复，但彼此之间存在严格的工艺依赖关系。例如，支架安装必须在基础施工完成后进行，组件安装又依赖于支架的稳定性，这种前后衔接的刚性约束使得施工节奏难以灵活调整。同时，施工高峰期需投入数百名工人，而人员技能水平参差不齐，进一步增加了管理难度。加之项目多位于西北地区，风沙大、昼夜温差显著、有效施工天数有限，自然环境对施工连续性构成严峻考验。这些因素共同决定了传统粗放式施工模式已难以为继，亟需引入更为科学、系统的组织方法。

2 流水施工方案设计

2.1 研究方法

根据集中式光伏电站建设工程施工的特点和需求，确定科学、合理的流水施工方案后，需要对施工方案中的施工段进行科学划分。流水施工方案的制定主要分为两大部分：

2.1.1 施工过程的划分

施工过程的划分主要依据时间逻辑与工艺逻辑，将

整个建设周期分解为若干具有明确技术标准和作业内容的阶段。在本项目中，主要施工过程包括支架基础施工、支架安装、光伏组件安装、直流电缆敷设与接线、逆变器与汇流箱安装，以及系统调试与并网^[2]。这些过程彼此衔接，构成完整的作业链条。主要施工过程包括：

P1：支架基础施工（PHC管桩、混凝土灌注桩或螺旋桩）；

P2：支架安装；

P3：光伏组件安装；

P4：直流电缆敷设与接线；

P5：逆变器与汇流箱安装；

P6：系统调试与并网。

每个过程具有明确的技术标准和作业内容，且前后过程存在逻辑依赖关系。

2.1.2 施工段的划分

施工段按空间平面进行划分。以某200MW项目为例，总占地面积约4500亩，可依据地形、道路、电网接入点等因素，划分为10个20MW的施工区块（BlockA-J）。每个区块进一步细分为若干“作业单元”（如每单元5MW），作为流水施工的基本单元。划分原则包括：各施工段工程量基本均衡；便于机械与人员进出；减少交叉干扰；与电网接入规划相匹配。

2.2 流水节拍方案选择

在流水施工中，节拍（TaktTime）指相邻两个施工段开始同一工序的时间间隔。根据项目特点，可选择以下两种主流方案：

2.2.1 固定节拍流水施工

适用于各施工段工程量高度一致、施工队伍稳定的情况。节拍值T由关键工序决定，如组件安装。假设每5MW区块需2天完成组件安装，则 $T = 2$ 天。优势是节奏清晰、计划性强、便于资源调度。挑战是对施工队伍技能一致性要求高，若某段延误易造成“连锁反应”。在本项目中，初期采用固定节拍方案。管理人员根据人力资源、队伍技术水平、天气因素等，确定 $T = 2.5$ 天/5MW单元。通过计算所需人数：

$$N = \frac{Q}{T \cdot R}$$

其中，Q为单段工作量（如组件数量），R为人均日效率。据此配置每支组件安装队30人，确保节拍稳定。

2.2.2 全等节拍流水施工

即各施工过程节拍相等（ $T_1 = T_2 = \dots = T_n$ ），适用于多工序协同要求高的场景。该方案要求各专业队伍具备“多工艺”能力，或通过“复合型班组”实现工序

无缝衔接。在本项目后期，为提升整体效率，尝试组建“支架-组件一体化施工队”，使其能在完成支架安装后立即转入组件安装，减少等待时间。此即全等节拍思想的变通应用。

2.3 施工队伍组织与资源配置

基于流水节拍，项目部组建专业化施工队伍：

基础施工队（2支）：负责打桩作业；

支架安装队（4支）：每队负责1个区块；

组件安装队（5支）：采用“滚动推进”模式；

电气施工队（3支）：负责电缆与设备安装。

所有队伍按流水节拍依次进入各施工段，例如，当支架安装队完成BlockA的作业后，立即转入BlockB，而组件安装队则紧随其后进入BlockA。这种“滚动推进”模式形成了前段施工、中段安装、后段调试的连续作业流，有效避免了传统模式下“大兵团扎堆”造成的资源浪费与管理混乱。同时，项目建立了动态资源调度机制。通过每日进度会与数字化管理平台，实时监控各队伍的实际效率与节拍偏差，及时调整人力或设备配置^[3]。例如，当某支组件队因天气原因效率下降时，可临时抽调其他区块的预备人员进行支援，确保整体节拍不被打破。这种灵活而有序的资源配置方式，是流水施工得以顺利实施的重要保障。

3 技术路线与实施路径

3.1 总体技术路线

本项目采用“试点先行、迭代优化、全面推广”的技术路线，强调实践与反馈的闭环管理。具体路径为：首先系统收集项目基础资料，编制专项技术方案；随后在首个20MW区块开展流水施工试点；根据试点中暴露的问题进行针对性改进；将优化方案应用于新增20MW地块进行验证；再回溯优化首个区块的剩余施工；最终在其余所有区块全面推广成熟方案，并固化形成标准化成果。这一路线避免了“一步到位”的风险，确保了方案的可操作性与适应性。

3.2 实施步骤详解

3.2.1 步骤一：资料收集与方案编制

项目启动阶段，团队系统收集了地形图、气象数据、设备技术参数及施工规范等资料，并联合设计、施工、监理单位共同编制了《光伏电站流水施工专项方案》。该方案不仅明确了施工段划分、节拍设定与资源配置，还制定了应对设备延迟、极端天气等突发情况的应急预案，为后续实施提供了制度保障。

3.2.2 步骤二：首个区块（BlockA，20MW）试点

在BlockA实施固定节拍流水施工（ $T = 2.5$ 天/5MW单

元)。设置4个5MW单元,依次推进:

第1-2.5天:单元1支架安装;

第2.5-5天:单元1组件安装,单元2支架安装;

第5-7.5天:单元2组件安装,单元3支架安装……以此类推。

通过BIM+进度管理平台实时监控各工序完成情况。

3.2.3 步骤三:问题识别与改进

试点中发现以下问题:(1)节拍失衡:支架安装快于组件安装,导致组件队“等待”;(2)物流滞后:组件运输未按节拍配送,造成现场停工待料;(3)人员技能差异:新组建队伍效率低于预期。针对这些问题,项目团队迅速调整策略:将节拍延长至3天,增加缓冲时间;建立“节拍配送”机制,要求物流部门按施工计划提前24小时将材料送达指定单元;同时开展全员岗前培训与技能考核,实行末位淘汰机制。

3.2.4 步骤四:新增20MW地块(BlockB)验证

在BlockB应用改进后方案,节拍稳定性显著提升,组件安装效率提高18%。

3.2.5 步骤五:首个区块技术回溯优化

对BlockA剩余单元采用新节拍与新流程,实现“边施工边优化”。

3.2.6 步骤六:全面推广至其余8个区块

形成标准化《流水施工作业指导书》,在BlockC-J全面推行。各区块间设置“节拍协调员”,确保整体节奏一致。

3.2.7 步骤七:成果固化

总结形成《大型集中式光伏电站流水施工工法》,申报省级工法,并纳入企业标准。

4 实践效果分析

4.1 工期效益

流水施工的实施带来了显著的综合效益。在工期方面,项目实际用时168天,较传统模式预估的210天缩短了20%,提前42天实现并网发电。按当地上网电价0.35元/kWh测算,仅此一项即增加发电收益约1200万元。

4.2 资源利用效率

在资源利用方面,人力资源峰值从650人降至520人,机械设备闲置率下降35%,材料损耗率由3.2%降至1.8%,资源效率全面提升。

4.3 质量与安全管理

在质量与安全方面,由于作业流程标准化、工序衔接有序,组件安装一次合格率从96%提升至99.5%,质量问题返工率降低75%。同时,施工区域划分清晰、人员流

动有序,安全事故率同比下降60%,未发生任何重大安全事件。

4.4 经济效益

经济效益方面,综合测算显示,流水施工使项目总成本降低约8.5%,投资回收期缩短3个月,充分体现了其经济价值。

5 经验总结与推广建议

5.1 成功关键因素

本项目的成功实施表明,流水施工在大型集中式光伏电站建设中具有强大的生命力。其成功关键在于科学的施工段划分、动态的节拍调整、供应链与施工节奏的深度协同、专业化与复合型队伍的有机结合,以及数字化管理工具的有力支撑。这些要素共同构成了流水施工有效落地的系统保障。

5.2 推广建议

为进一步推广该模式,建议在行业层面制定《光伏电站流水施工技术导则》,为企业提供统一标准;在企业层面建立流水施工人才库与标准化流程库,提升组织能力;在项目层面,应在EPC合同中明确流水施工要求,并预留优化调整空间;在技术层面,可探索“智能节拍”系统,利用人工智能预测天气、人力状态与设备可用性,动态生成最优施工节拍,推动流水施工向智慧化演进^[4]。

6 结论

本文以某200MW集中式光伏电站为案例,系统论证了流水施工在大型光伏项目中的可行性与优越性。研究表明,通过科学划分施工过程与施工段、合理选择节拍方案、实施“试点—优化—推广”技术路线,流水施工能够显著提升工程建设效率、降低成本、保障质量与安全。该模式不仅适用于光伏电站,也可推广至风电、储能等其他新能源基础设施项目。未来,随着数字化、智能化技术的深度融合,流水施工将向“智慧流水”演进,为新能源高质量发展提供更有力度的工程支撑。

参考文献

- [1]张玺.谈大型地面集中式光伏电站的方案设计[J].红水河,2022,41(03):62-65.
- [2]刘魁华.大型集中式光伏电站的施工关键技术[J].中国战略新兴产业,2024,(30):73-75.
- [3]郑仕超,翟梓良.潮间带复杂环境下大型集中式光伏电站施工技术研究[J].北方建筑,2023,8(03):12-15.
- [4]温荣久.集中式光伏发电项目建设与运行技术[J].通讯世界,2025,32(06):100-102.