

# 大型光伏电站 EPC 总承包模式下的进度成本质量协同控制

李春晓 朱章松 陈 燕

浙江天音管理咨询有限公司 浙江 杭州 310000

**摘要：**“双碳”战略推动下，以光伏发电为代表的可再生能源产业高速发展，大型地面光伏电站建设规模扩大、技术复杂度提升。EPC总承包模式因其“交钥匙”特性，成为大型光伏电站项目管理主流。但该模式对项目管理要求更高，进度、成本与质量协同控制问题凸显。本文先剖析大型光伏电站EPC项目特点及管理难点，探讨进度、成本、质量三者对立统一关系。接着构建以BIM和数字化项目管理平台为核心支撑的“三位一体”协同控制体系，并阐述其在设计、采购、施工等关键阶段的实施路径。研究表明，打破传统“孤岛式”管理思维，建立动态、集成、数据驱动的协同机制，是实现大型光伏电站EPC项目成功交付、达成业主目标的关键。

**关键词：**大型光伏电站；EPC总承包；进度控制；成本控制；质量控制；协同管理

## 引言

在全球气候变化与能源安全挑战下，发展清洁可再生能源成国际共识。中国提出“双030、2060”目标，为光伏产业带来巨大机遇。截至2025年底，我国光伏累计装机容量超800GW，大型地面集中式光伏电站占主导。这类项目投资大，通常数亿至数十亿元；建设周期长，从立项到并网需12-24个月；涉及专业多，涵盖电气、土建等多领域；供应链复杂，设备种类繁多。为整合资源、明确责任、缩短周期，EPC总承包模式被广泛应用，业主将设计、采购、施工全委托给总承包商。但实践中，总承包商常面临进度、成本、质量三重约束困境，三大目标相互制约，缺乏协同控制机制易致项目失败。因此，如何在EPC框架下实现三者协同优化是业界难题，本文将深入研究并提出有效策略与方法论。

## 1 大型光伏电站EPC项目特点与管理难点

### 1.1 项目特点

一是技术集成度高：大型光伏电站是集光能转换、电力电子、自动控制、电网接入于一体的复杂系统工程。其核心在于高效、可靠地将太阳能转化为电能并安全并入电网，对系统设计的合理性、设备选型的匹配性、施工安装的精确性均有极高要求。二是外部依赖性强：项目成败高度依赖于外部环境。一方面，受光照资源、地形地貌、气象条件等自然因素影响巨大；另一方面，政策变动（如补贴退坡、土地使用政策调整）、电网接入批复进度、关键设备（如高效组件）的市场供应状况等，均构成重大不确定性<sup>[1]</sup>。三是供应链管理复杂：光伏电站所需设备材料种类繁多，且价值集中。光伏组件、逆变

器、箱变等核心设备占总投资的60%以上。这些设备的生产周期、物流运输、到货验收等环节环环相扣，任何一个环节的延误都可能引发连锁反应，打乱整体计划。

### 1.2 管理难点

(1) 设计与施工脱节：传统模式下，设计院完成图纸后移交施工单位，双方沟通不畅易导致设计意图无法在现场准确实现，或施工中发现设计缺陷需返工，造成成本增加和进度延误。(2) 成本动态监控困难：光伏设备价格波动剧烈，加之现场签证、设计变更频繁，使得项目成本处于高度动态变化中。传统的静态预算管理难以及时捕捉成本偏差，无法为决策提供有效支持。(3) 质量风险点多面广：从基础施工（如桩基垂直度、混凝土强度）、支架安装（平整度、防腐处理），到组件安装（隐裂、热斑）、电气接线（绝缘、接地），再到系统调试（IV曲线测试、保护定值校验），质量控制点贯穿全过程，任何一个微小疏漏都可能埋下长期运行的安全隐患。

## 2 进度、成本、质量的内在逻辑关系

进度（Schedule）、成本（Cost）、质量（Quality）是项目管理的“铁三角”，三者之间存在着深刻的辩证关系。(1) 对立性：在资源有限的前提下，三者常呈现此消彼长的关系。例如，为追赶严重滞后的进度，可能需要投入更多的人力、物力（赶工费），导致成本超支；或者为了压缩成本，在材料采购上选择低价劣质产品，或在施工中偷工减料，必然损害工程质量；反之，追求极致的质量标准，往往意味着更严格的工艺要求、更多的检验环节和更长的施工时间，从而拖慢进度、推高成本。(2) 统一性：从项目全生命周期和整体效益来看，三者又是

统一的。高质量的工程可以减少后期运维成本和故障率，带来长期稳定的发电收益；合理的进度安排能够规避因延期并网而错失电价补贴的风险；精准的成本控制则确保了项目的财务可行性<sup>[2]</sup>。因此，成功的项目管理并非简单地在三者间做取舍，而是寻求一个最优的平衡点，实现项目综合价值的最大化。在EPC模式下，总承包商作为唯一的责任主体，必须摒弃割裂看待三者的传统观念，转而建立一种系统性的、集成化的协同控制思维。

### 3 “三位一体”协同控制体系的构建

为有效应对上述挑战，本文提出构建一个以“目标统一、过程集成、数据驱动”为核心的“三位一体”协同控制体系。该体系旨在通过顶层设计、流程再造和技术赋能三个层面，系统性地解决进度、成本、质量协同难题。在顶层，项目启动之初，就必须基于合同条款和业主的核心诉求，共同制定出一套清晰、量化且相互关联的进度、成本、质量综合目标，并将这些总体目标科学地分解到项目的各个管理层级和实施阶段，确保所有参与方心往一处想、劲往一处使。在中层，关键在于打破设计、采购、施工等传统专业部门之间的壁垒，建立起一套跨职能、跨专业的集成化协同工作流程。这套流程的核心是确保信息能够在不同环节间无缝、高效地流转，并支持项目团队对突发问题做出快速、准确的集体决策。而在底层，则需要强大的数字化技术作为支撑。通过充分利用建筑信息模型（BIM）、物联网（IoT）、大数据分析等现代信息技术，构建一个集成化的数字项目管理平台，使其成为整个协同控制体系的“神经中枢”，负责汇聚、处理和分发项目全生命周期的所有关键数据。

#### 3.1 核心支撑技术：BIM与数字化平台

在众多数字化技术中，BIM技术对于大型光伏电站EPC项目而言具有得天独厚的优势。它首先能够实现设计的可视化与前置化验证，通过在虚拟环境中构建精确的三维模型，直观地展示电站的整体布局、设备排布及线缆走向，并提前进行各专业间的碰撞检查，有效避免了施工阶段因空间冲突而导致的返工浪费。更进一步，BIM模型可以与项目进度计划（形成4D模拟）和成本数据（形成5D模拟）进行深度关联，管理者由此获得了一种前所未有的动态管控能力，可以直观地预演或回溯任意时间点的项目形象进度及其对应的预算消耗情况，真正实现了进度与成本的联动分析与预警<sup>[3]</sup>。最终，竣工后的BIM模型本身即是一份宝贵的数字化资产，可完整移交给业主，为后续的智慧化、精细化运维奠定坚实的数据基础。而集成化的数字化项目管理平台，则是将进度管理、成本管理、质量管理、文档管理、合同管理等多个独立的

业务模块有机整合在一起，确保所有项目活动所产生的数据都在一个统一、权威的平台生成、流转和归档，从根本上消除了信息孤岛，为“三位一体”协同控制提供了坚实的数据底座和操作环境。

### 4 协同控制体系在关键阶段的实施路径

#### 4.1 设计阶段：协同的源头

设计阶段是整个EPC项目的龙头，其成果的质量与合理性从根本上决定了后续采购和施工的效率、成本乃至最终的工程质量。因此，协同控制必须从源头抓起。在这一阶段，应大力推行价值工程（VE）分析，组织来自设计、采购、施工等不同背景的专家团队，共同对设计方案进行多轮比选和优化。这种跨专业的协同工作，可以在满足所有功能和性能硬性指标的前提下，找到最具成本效益的解决方案。例如，通过精细的日照模拟和阵列排布优化，在确保冬至日无遮挡的基本原则下，尽可能缩小组件间距，从而节约宝贵的土地资源；或者，通过论证采用标准化、模块化的设计理念，可以显著降低现场施工的复杂度和对工人技能的要求，进而缩短工期、降低成本。与此同时，应积极推行基于BIM的正向设计流程，即设计人员直接在BIM环境中进行创作，使模型本身成为设计交付的核心成果，而非仅仅是二维图纸的事后翻模，这从根本上保证了设计信息的一致性和准确性。此外，采购团队应在设计早期就深度介入，与主要设备供应商展开充分的技术交流，确保设计方案不仅技术上先进，同时也具备良好的可制造性和可采购性，并能及早锁定关键长周期设备的供货资源，为整个项目的进度计划提供强有力的保障。

#### 4.2 采购阶段：成本与进度的枢纽

采购环节是连接设计蓝图与物理建造的桥梁，也是项目成本控制最为关键的战场。有效的协同控制在此阶段体现为战略性的资源整合与精细化的过程管理。针对那些通用性强、用量巨大的材料，如光伏支架、直流电缆等，总承包商可以与行业内信誉卓越的供应商建立战略合作关系，签订年度框架协议，通过规模化采购来锁定价格、平抑市场波动风险，并确保供应的稳定性。对于逆变器、箱式变压器等核心设备，则应实施严格的驻厂监造制度，将质量控制的关口前移至生产源头，确保出厂产品完全符合技术规范。同时，可以利用物联网技术对这些高价值设备的物流运输进行全程追踪，将精确的到货预测信息实时同步给现场施工计划，从而实现“货等人”的理想状态，最大限度地减少现场窝工等待的时间。为了支撑上述决策，项目部还需建立并持续维护一个动态更新的成本数据库，其中不仅包含历史项目的结

算价格，还应整合实时的市场行情和潜在供应商的报价信息，为每一次采购谈判和成本预测提供坚实、客观的数据支持。

#### 4.3 施工阶段：协同的落地

施工阶段是将所有前期规划与设计转化为物理现实的最终环节，也是各类风险集中爆发的时期，因此是协同控制体系落地见效的关键战场。在现场管理中，应全面推广基于BIM模型的精细化施工管理。利用BIM模型进行施工工序模拟和技术交底，可以让一线工人更直观地理解复杂的安装要求；管理人员则可通过移动终端随时调阅模型，指导现场精准作业。对于升压站内GIS设备安装等技术难度极高的关键节点，甚至可以结合增强现实（AR）技术制作交互式指导手册，大幅提升一次安装的成功率，从源头上保障质量。在进度与成本的动态监控方面，应定期（如每周）应用挣值法（EVM）进行项目绩效分析。通过采集计划价值（PV）、实际成本（AC）和挣值（EV）三项核心数据，计算出进度偏差（SV）和成本偏差（CV），管理者能够迅速识别出项目执行中的异常信号<sup>[4]</sup>。例如，若分析结果显示某区域支架安装进度滞后但成本并未超支，便可初步判断问题根源在于劳动力投入不足，从而有针对性地增派施工队伍；反之，若成本超支而进度正常，则可能指向材料浪费或施工效率低下，需要加强现场的过程管控。此外，全过程的质量追溯体系不可或缺。通过为关键设备和重要工序赋予唯一的二维码或RFID身份标识，并将从原材料进场检验、隐蔽工程验收，到设备安装记录、系统调试报告等所有质量数据与之绑定，便能形成一条完整、不可篡改的质量追溯

链条，确保任何质量问题都能被迅速定位、精准追责。

#### 5 结语

大型光伏电站EPC总承包模式的成功，是进度、成本、质量三大目标深度协同的结果。本文论证了构建“三位一体”协同控制体系的必要性与有效性，该体系以统一目标为导向、集成流程为纽带、数字化技术为支撑，打破传统项目管理中的信息孤岛与管理壁垒。借助BIM、物联网、大数据等技术，打通项目全生命周期数据流，推动管理范式从“经验驱动”向“数据驱动”转变，提升管理精细化、智能化与前瞻性水平，为总承包商构筑核心优势。展望未来，随着AI、数字孪生等技术演进，大型光伏电站EPC项目协同控制将更智慧化，如利用AI智能预测与干预风险，借助数字孪生仿真推演消除潜在问题，一个更智慧高效的光伏电站建设新时代正加速到来，“三位一体”理念将成重要基石。

#### 参考文献

- [1]王文清.基于分布式光伏电站EPC模式的项目管理分析[J].大众标准化,2024,(18):111-113.
- [2]庞圣文.EPC模式下光伏电站施工进度与成本协同控制研究——基于关键链法的动态优化模型[C]//江西省工程师联合会.工程技术与新能源经济学术研讨会论文集(一).中国能源建设集团广东火电工程有限公司,2025:380-383.
- [3]顾涛.基于EPC模式下光伏电站建设过程的项目管理研究[J].建筑技术开发,2020,47(16):61-62.
- [4]叶金伟.EPC模式下光伏电站建设过程的项目管理措施研究[J].中国科技投资,2024,(19):125-127.