

基于挣值分析的石化工程项目进度与成本集成控制研究

侯 瑞 (中海油石化工程有限公司, 山东 济南 250100)

摘要: 石化工程项目因其技术复杂性、高投资强度与多风险因素,亟需突破传统进度与成本割裂管理的局限。本文以挣值分析法为核心工具,系统构建了石化工程进度与成本集成控制模型,通过量化耦合与动态反馈机制实现双维目标的协同优化。研究表明:基于工作分解结构(WBS)与风险权重因子设计的动态基准计划,能够有效应对工艺变更与外部环境扰动;通过多源数据融合(物联网、BIM与ERP系统)与扩展指标(风险调整挣值、质量关联绩效指数),可精准识别进度超前-成本超支等非均衡矛盾;建立的“基准规划-偏差诊断-策略迭代”闭环控制体系,支持资源再平衡、基线动态更新与合同协同优化等策略的动态生成与验证。该模型不仅解决了传统挣值法在石化工程中面临的基准僵化与风险忽视问题,更通过覆盖“进度-成本-质量-安全”的全要素管控框架,为复杂工程项目的集成化管理提供了理论支撑与实践路径。未来研究可进一步探索数字孪生与机器学习技术在该模型中的深度集成应用。

关键词: 石化工程项目; 挣值分析; 进度与成本集成控制; 绩效指标

1 引言

石化工程项目作为国家能源与化工产业的重要支撑,具有高度的技术复杂性和管理挑战性。这些项目通常涉及巨额投资、复杂工艺和严格的安全环保要求,使得其管理过程尤为复杂。然而,传统的进度与成本管理方法往往将两者分开考虑,导致在实际操作中难以全面、准确地反映项目的真实状况。因此,探索一种有效的集成控制方法,以实现进度与成本的协同管理,成为石化工程项目管理领域亟待解决的问题。挣值法作为一种先进的项目管理工具,通过引入挣值这一中间变量,将项目的进度与成本紧密结合,为管理者提供了更为准确、全面的项目状态信息。在石化工程项目中,挣值法的应用不仅能够及时发现并纠正进度与成本的偏差,还能够优化资源配置,提高项目管理效率和效果。此外,进度与成本的集成控制有助于提升项目的整体绩效,确保项目按时、按预算、高质量地完成。

2 挣值法的基本原理

挣值法是一种综合项目进度与成本的管理方法。其核心理念在于通过对比三个关键指标来评估项目的执行效果:计划工作的预算费用(BCWS)、已完工作的预算费用(BCWP,也称挣值)和已完工作的实际费用(ACWP)^[1]。具体而言,BCWS反映了在特定时间点,按照项目计划本应完成的工作的预算成本;BCWP则代表了同一时间点实际已完成工作的预算成本;而ACWP则是指同一时间点实际已完成工作的实际花费。通过计算成本误差(CV,即BCWP减去

ACWP)和进度误差(SV,即BCWP减去BCWS),可以清晰地看出项目在成本和进度上的偏差。同时,利用成本绩效指数(CPI,即BCWP除以ACWP)和进度绩效指数(SPI,即BCWP除以BCWS),可以进一步量化项目的效率和进度情况。这些数据和指数共同为项目管理者提供了直观、准确的评估工具,帮助他们及时发现项目执行中的问题,并据此作出相应的管理决策。

3 挣值法在石化工程项目进度与成本集成控制中的应用

3.1 石化工程项目进度与成本集成控制的必要性

石化工程项目中,进度与成本紧密相连、相互制约,集成控制对于实现项目目标至关重要。进度偏差会影响资源占用和成本,而成本分配和使用效率则直接影响施工节奏。传统分割管控模式易导致决策片面,难以识别进度与成本的复合影响,削弱风险预警和纠偏措施的时效性。集成控制通过统一量纲实现数据同步监控与交叉分析,能精准定位矛盾状态,支持平衡多重目标的决策^[2]。此外,石化工程的技术复杂性和外部不确定性要求管理模型具备动态适应能力,集成控制体系通过基线联动调整,可系统性规避次生风险,确保项目整体绩效最优。因此,进度与成本的集成控制是石化工程管理的必然范式。

3.2 挣值法在石化工程项目进度控制中的应用

挣值法通过将项目进度量化为货币价值,构建了基于计划工作的预算成本(BCWS)与实际完成工作的预算成本(BCWP)的动态对比机制,为石化工程

进度管理提供客观量化依据。进度偏差 (SV) 与进度绩效指数 (SPI) 的引入, 突破了传统进度管理中仅依赖时间节点或物理完成率的局限, 尤其适用于石化项目多阶段交叉推进的复杂场景。例如, 在长周期设备采购与现场施工并行的过程中, 挣值法通过 SPI 的实时监测, 能够识别关键路径上的潜在延误风险, 并量化进度偏差对整体工期的影响程度。相较于甘特图等工具, 该方法不仅能反映工序完成状态, 还可通过预算成本与实际产值的关联性分析, 揭示资源分配效率对进度的间接作用, 从而支持管理者在动态调整中优化工序衔接与资源配置, 避免因局部延误引发的连锁反应。

3.3 挣值法在石化工程项目成本控制中的应用

挣值法通过对实际完成工作的预算成本 (BCWP) 与实际发生成本 (ACWP), 形成成本偏差 (CV) 与成本绩效指数 (CPI) 的核心评价体系, 实现了成本消耗与价值创造的动态匹配。石化工程的成本结构具有显著的阶段性特征, 如设备采购阶段的高资本集中投入、施工阶段的人工与机械费用波动、调试阶段的隐性风险成本等^[3]。挣值法通过将各阶段成本统一纳入货币化评价框架, 能够精准定位超支环节并追溯其根源。例如, 当某一工艺单元的 CPI 持续低于基准值时, 需结合技术规范与合同条款, 分析其超支是否源于材料损耗异常、施工效率低下或供应链管理失效, 而非简单归因于外部市场价格波动。这种细粒度分析能力尤其适用于石化工程中高价值设备与特种材料的成本控制, 可有效避免因局部成本溢出对整体预算的侵蚀。

3.4 挣值法在进度与成本集成控制中的综合应用

挣值法的核心优势在于其通过交叉分析进度偏差 (SV)、成本偏差 (CV) 及绩效指数 (SPI、CPI), 构建多维度决策支持框架, 实现进度与成本的协同优化。石化工程中常出现的“进度超前但成本超支”或“成本节约却进度滞后”等非均衡现象, 本质上源于资源分配效率与工序逻辑的冲突。集成控制模型通过建立绩效矩阵, 可识别此类矛盾的诱因——例如过度赶工导致的资源浪费, 或成本压缩引发的工期牺牲——并据此提出优先级调整策略, 如动态再分配预算、优化关键链资源缓冲或协商合同变更。此外, 针对石化项目对质量与安全的严苛要求, 可扩展传统挣值法框架, 引入质量挣值 (EQV) 或安全绩效指标 (SPI-Safety), 形成覆盖“进度 - 成本 - 质量 - 安全”的全要素集成

控制体系。

4 基于挣值法的石化工程项目进度与成本集成控制模型构建

4.1 模型构建思路

基于挣值法的集成控制模型构建聚焦于破解石化工程项目中进度与成本割裂管理的核心矛盾, 通过量化耦合与动态反馈机制实现双维目标的协同优化。该模型以挣值管理理论为根基, 紧密结合石化工程多阶段嵌套推进、高风险作业密集、资源动态配置复杂等特点, 构建符合项目管理内在规律的数学逻辑框架, 确保分析工具的科学性与系统性。在此基础上, 针对石化工程长周期设备采购、工艺调试风险集中等现实约束, 设计可无缝嵌入现有管理流程的操作模块, 强化模型在实际场景中的落地能力。同时, 通过构建基线动态调整机制, 增强模型对外部环境扰动的响应能力, 有效化解设计变更、法规更新等因素对基准计划的冲击。模型的核心价值在于突破传统定性描述的局限性, 将进度与成本的关联性转化为货币化量纲下的定量分析体系, 借助计划价值 (PV)、挣值 (EV) 与实际成本 (AC) 的动态交互验证, 结合进度绩效指数 (SPI) 与成本绩效指数 (CPI) 的多维度交叉诊断, 精准识别资源分配效率与工期约束间的矛盾节点, 从而为管理者提供兼顾效率与风险的平衡决策依据, 推动项目整体绩效向预期目标收敛。

4.2 模型构建方法

该模型以挣值法为方法论内核, 通过融合石化工程管理特性构建闭环控制体系。首先基于工作分解结构 (WBS) 与资源负荷曲线, 编制与工艺逻辑深度绑定的进度 - 成本综合基线, 如将长周期设备采购节点嵌入施工关键路径, 形成兼具技术可行性和经济合理性的基准框架。其次通过打通施工日志、物资管理系统与财务核算平台的数据壁垒, 实现进度完成量、成本消耗值及质量验收结果的多源数据同步采集与标准化映射, 确保信息流的实时性与完整性。在指标计算层面, 突破传统挣值法的静态假设, 引入基于 HAZOP 分析的关键作业风险权重因子, 对高风险工序的进度与成本偏差进行敏感性修正, 使绩效指标更贴合石化工程的安全管理需求。最后基于偏差根源的多维度诊断结果 (如资源冲突、技术返工或供应链中断), 构建兼顾进度追赶与成本控制的协同策略库, 例如通过非关键路径资源动态再分配实现局部赶工成本的最优化, 形成“数据驱动分析 - 多目标决策 - 反馈式调整”

的闭环控制机制，推动项目管理从被动响应向主动预防的范式转型。

4.3 模型构建步骤

4.3.1 确定项目进度与成本的基本计划

基于石化工程 EPC 总承包模式，采用层级化 WBS 分解项目至可监控的工作包层级，同步编制资源驱动的进度计划（如考虑特种设备租赁周期）与成本预算（含应急储备金）。基准计划需明确工艺逻辑约束（如反应器安装需在压力测试完成后启动）与资源依赖关系（如焊工班组跨区域调度成本），形成兼具刚性约束与柔性缓冲的综合基线。

4.3.2 收集项目实际进度与成本数据

依托物联网传感器（如施工机械作业状态监测）、BIM 模型进度模拟与 ERP 系统成本流数据，构建多源异构数据的标准化清洗与对齐机制。例如，通过 RFID 技术追踪模块化设备到场进度，并将其自动转换为 BCWP 的增量更新，避免人工填报的滞后性与误差。

4.3.3 计算挣值及相关指标

在计算挣值及相关指标的过程中，除了依据传统的指标，包括计划工作预算费用（BCWS）、已完工作预算费用（BCWP，亦称挣值）、已完工作实际费用（ACWP）、进度偏差（SV）、成本偏差（CV）、进度绩效指数（SPI）以及成本绩效指数（CPI）之外，还根据石化工程的特性增设了两个扩展指标。其中，风险调整挣值（RA-EV）是通过对高风险作业，例如高空焊接和危化品试压等，赋予相应的风险系数，并据此加权计算得出的实际挣值。这一指标旨在更准确地反映石化工程项目在高风险环境下的实际绩效。另一个扩展指标是质量关联绩效指数（QPI），它将质量验收合格率作为挣值释放的先决条件。这一做法旨在确保项目在追求进度和成本效益的同时，不会忽视质量标准，从而避免为追求短期目标而牺牲长期的质量保障。

4.3.4 分析进度与成本偏差

在分析进度与成本偏差时，采用根因分析法（RCA）和趋势预测模型来区分偏差的性质。系统性偏差，例如由设计缺陷引发的连锁返工，通常需要触发基准计划的重新构建，以确保项目能够顺利推进。而随机性偏差，如短期的天气延误，则可以通过资源缓冲池进行局部补偿，以减轻对整体进度的影响。此外，通过 SPI（进度绩效指数）与 CPI（成本绩效指数）的象限分析，可以识别出进度与成本的冲突模式。

例如，当 SPI 大于 1 且 CPI 小于 1 时，表示项目在赶工过程中产生了超支现象，这被称为“赶工超支”象限。这种象限分析为策略的制定提供了明确的方向，有助于项目团队在应对偏差时采取更加精准和有效的措施。

4.3.5 制定调整策略并实施

在制定调整策略阶段，需依据偏差性质与影响优先级动态匹配应对措施：针对资源错配导致的局部滞后，可通过非关键路径冗余资源向瓶颈工序的定向调配实现工效提升，或启用备用供应商缩短采购周期以平抑供应链风险；面对因工艺变更或法规升级引发的系统性基准偏离，则需启动基线迭代机制，按照变更管理流程重构进度 - 成本综合基线并同步更新挣值计算参数，确保控制体系与项目实际范围保持一致；此外，通过合同条款的协同优化设计，例如与分包商协商浮动单价支付机制，将材料价格波动风险部分转移至绩效挂钩的结算模式，可在不破坏合作关系的前提下实现成本超支风险的分摊。策略实施后需嵌入 PDCA 循环进行效果验证，形成从偏差识别到策略反馈的闭环管控链路。

5 结论

本研究通过探讨挣值法在石化工程项目进度与成本集成控制中的应用，证明了挣值法在石化工程项目管理中的有效性和实用性。通过构建基于挣值法的集成控制模型，实现了进度与成本的协同优化，提高了项目管理的效率和效果。未来，随着石化工程项目管理要求的不断提高和挣值法理论的不断完善，基于挣值法的集成控制方法将在石化工程项目管理中发挥更加重要的作用。同时，也需要继续深入研究挣值法在石化工程项目管理中的应用细节和优化策略，以进一步提高项目管理水平。

参考文献：

- [1] 白晶晶. 基于关键路径挣值法的工程成本控制研究 [J]. 四川建材, 2023, 49(1):217-219.
- [2] 杜琳硕. 基于多级挣值法的煤气发电施工项目成本管理应用案例分析 [J]. 工程造价管理, 2023(3):52-59.
- [3] 陈小波, 王馨玉, 钱希坤, 等. 基于 EVM 的项目动态进度成本集成管理两阶段模型构建研究 [J]. 项目管理技术, 2022(10):1-3.

作者简介：

侯瑞（1985-），男，汉族，山东陵县人，本科，研究方向：工程造价，项目管理。