

M高速公路G标段项目施工成本管理的三阶段优化研究

赵文倩, 姚 佼

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2024年12月9日; 录用日期: 2025年2月6日; 发布日期: 2025年2月13日

摘 要

本文通过分析高速公路施工阶段成本管理优化前后的差异, 体现出闭环施工成本管理优化策略的优势, 并在分析M高速公路G标段项目施工阶段成本计划、成本控制、成本分析三阶段存在问题的基础上, 构建全闭环施工成本管理优化策略。具体而言, 成本计划阶段, 结合目标成本法进行CBS分解, 多角度分解项目成本目标; 成本控制阶段, 通过蒙特卡洛模拟形成项目风险基线图以及项目成本期望偏差基线, 进而运用融合风险指标的改进挣值法, 计算形成新的成本控制指标变化趋势, 并结合改进挣值新判断标准, 分析项目成本超支风险; 成本分析阶段, 结合ABC分析法分类分级制定成本纠偏措施。

关键词

高速公路施工, 闭环施工成本优化, 蒙特卡洛模拟, 改进挣值法

Study on the Three-Stage Optimization of Cost Management during the Construction Phase of Section G Project in Expressway M

Wenqian Zhao, Jiao Yao

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Dec. 9th, 2024; accepted: Feb. 6th, 2025; published: Feb. 13th, 2025

Abstract

This paper reflects the advantages of closed-loop construction cost management optimization strategy by analyzing the difference between before and after the optimization of cost management in

the construction phase of highway, and constructs a full closed-loop construction cost management optimization strategy by relying on the cost management problems existing in the cost planning, cost control and cost analysis links in the construction phase of the M highway G bidding section project. The optimization was carried out in three steps. In the first step, the cost planning link was combined with the target cost method to carry out CBS decomposition and decomposed the project cost target from multiple angles. In the second step, the cost control link formed the project risk baseline diagram and the project cost expectation deviation baseline through Monte Carlo simulation, and then applied the improved Earned Value (EV) method that integrated the risk indicators, calculated and formed the trend of the new cost control indicators, and analyzed the risk of cost overrun of the project by combining with the improved EV new judgement standard. The third step was to formulate corrective measures by classifying and grading with the ABC analysis method in the cost analysis process.

Keywords

Highway Construction, Closed-Loop Construction Cost Optimization, Monte Carlo Simulation, Improved Earned Value Approach

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着高速公路里程数不断增长, 其建设成本及投入也在持续上涨[1]。施工阶段是高速公路工程项目投资转化为实体工程的阶段, 做好高速公路施工阶段成本管理优化, 可节约施工单位的成本、提高企业效率, 缓解成本不断增长给企业造成的巨大压力[2]。在当前工程行业激烈竞争下, 如何通过优化施工成本管理来最大化提升施工单位的经济效益, 于实践工作中引入先进成本管理理念及实施方法, 是高速公路施工单位关注的重点。因此, 本文结合 M 高速公路 G 标段项目施工阶段的成本管理优化研究, 探讨在高速公路施工阶段成本计划、成本控制、成本分析环节的成本优化, 构建了全闭环施工成本管理优化策略[3], 为高速公路项目施工成本管理提供可行经验。

2. G 标段项目施工成本管理现状问题

2.1. G 标段项目成本计划问题

(1) 施工目标成本分解形式单一

G 标段项目在成本计划环节的成本分解形式过于单一。项目部根据测算的目标总成本, 只进行了分部分项工程成本分解, 未在施工阶段按月度或季度制定施工目标成本, 也没有根据工作任务分解结构将分部工程按成本构成要素进行费用结构分解, 如人工费、材料费等。项目在成本计划阶段, 没有为后续成本控制和成本分析环节提供足够指导性的支持, 缺少细化的成本目标分解基础, 施工过程中某项成本的花费支出没有依据可参考, 不利于进行计划成本与实际成本的对比分析。以桥涵工程为例, 由表 1 可知, 核算的已完工桥涵工程实际成本超出了标后预算, 从总体看, 这部分成本出现了超支 983.0563 万元, 超支率达到 8%, 但并不能看出其中人工费、机械及材料的成本花费。

(2) 成本风险预估不足导致成本偏差大

G 标段项目在成本计划环节编制施工计划成本时考虑不够全面, 对于成本变动的风险预估能力不足,

Table 1. Costing of bridge and culvert works for the G bid project
表 1. G 标段项目桥梁涵道工程成本核算

分部工程类别	标后成本预算(元)	开工实际成本(元)	超支(-) 节约(+)	超支率(-) 节约率(+)
桥梁、涵道工程	134,520,113	144,350,676	-9,830,563	-8%

未设置足够预算变动空间，导致在施工过程中分部工程的实际成本与计划成本偏差较大。项目部在 2022 年主体工程的材料使用上出现较多超额情况，项目在测算成本进行工程量估算时，对于风险变动因素未充分考虑，一方面，施工过程中的工程变更会新增材料的数量，新增材料还可能遇到价格大幅度上涨[4]；另一方面，受施工队伍管理水平、材料运输损耗及现场实际情况影响，也会增加资源的消耗。本项目没有针对风险变动因素预留足够的多余用量，材料计划用量估算不准确，造成主体材料出现超额使用，而工程量对成本测算影响很大，使成本测算出现较大偏差。

2.2. G 标段项目成本控制问题

(1) 纠偏控制采用方法单一

G 标段项目成本纠偏采用的方法较单一，只是以通过调差来弥补超出的成本为核心来进行纠偏，缺少高效成本控制方法的应用。对相关合同部门管理人员的访谈表明，在实际施工过程中，成本管理人员的精力、项目资源、项目执行改进措施的完成度都是有限的，施工过程要把握多个目标，而不是只用考虑成本目标，所以对项目产生的成本偏差无法都做到逐一纠偏，各部门以及现场施工人员对制定的成本纠偏措施，执行效果非常有限。要求项目部全覆盖进行成本纠偏，采用一堆纠偏方法，成本控制的效果很可能只停留在理论层面难以向下执行，但只采用单一纠偏方法而不结合更高效的方法，当成本超预算过多时，通过正常幅度调差则难以补齐差额。

(2) 风险管控能力不足

G 标段项目的成本控制还存在风险管控能力不足的问题。以项目土方问题为例，本项目设计填方多于挖方，全线挖方 244.9 万方，填方 319 万方，缺方 74.1 万方，超出部分要寻找料源质量较好的山体作为取土场以解决部分原石材料，其中，标头填方的 17.46 万方，因原方案的土方运输距离过远，因此决定采购当地土资源进行填方，但当地土资源普遍价格上涨，由于没有对应的风险管控措施可应对，只能被动接受产生的较多成本超支。项目不能及时介入控制降低成本风险，变更管理不到位导致项目延期和资源浪费，只能被动发现成本超预算过多时，才开始做出成本控制纠偏决策[5]，因此，项目成本控制效果并不好。

2.3. G 标段项目成本分析问题

G 标段项目的成本分析未进行分类分级。本项目产生的成本超支，根据现行的成本分析制度，由于未按成本类目划分人工费、材料费、施工机具使用费、间接费等[5]，不能直观查看哪一项成本花费在施工成本中占比过大，无法判断出关键成本要素，也就不能对其进行深入分析，精准制定纠偏措施。而在施工成本控制过程中，不分类分级区分重点来确立后续管控重点，难以针对性采取措施并对已采取的成本控制措施进行改进，到竣工成本分析环节时，由于未区分成本要素，也就不能分类分级汇总成本花费以及对应采取的控制措施，来丰富公司成本管理信息库，为后续项目形成有效参考。

3. G 标段项目施工成本管理优化研究

3.1. 成本计划环节的施工成本管理优化

(1) 目标成本管理和 CBS 分解

目标成本管理思想, 首先在成本计划环节以项目最终交付的工程实体为导向, 先进行 WBS 分解, 再基于工作分解结构完成 CBS 分解, 形成的施工阶段 CBS 分解结构作为后续成本管理工作的指导目标, 在成本控制和成本分析环节以此目标为导向, 不断调整优化达成项目预期目标。成本分解结构(Cost Breakdown Structure, CBS)是将项目总成本分解为更细、更便于管理的成本单元, 其作为一种层次化成本管理工具, 是按照项目的工作分解结构(Work Breakdown Structure, WBS)来组织和展示成本信息[6]。

(2) 基于 CBS 分解确立施工计划成本

基于项目 WBS 分解结构, 按项目的分解层级, 将包括桥梁及涵通工程在内的各分部工程, 按成本构成要素进行 CBS 分解可得到各分项工程。通过访谈合同部成本核算人员, 可发现人工成本、材料成本以及机械设备成本在分部工程中是主要成本支出项, 因此分项工程的施工计划成本可主要以此三项进行划分, 作为后续成本控制纠偏的参考基础。对 G 标段项目各分部工程进行 CBS 分解。在成本计划环节加强潜在风险防控意识, 基于当前 CBS 分解制定的详细目标成本计划, 预留出足够的风险费用, 避免后续再出现成本预测偏差过大。通过汇总项目直接成本、间接成本以及其他成本, 可得到本项目的施工计划成本。

3.2. 成本控制环节的施工成本管理优化

(1) 基于蒙特卡洛模拟形成成本控制基础

通过 Crystal Ball 软件进行蒙特卡洛模拟, 获取改进挣值法所涉及的指标数值和项目频率分布直方图。由于蒙特卡洛方法依赖于大数定律, 随着样本数量的增加, 样本均值的分布将趋近于正态分布[7], 以蒙特卡洛模拟预测数据为基础, 输出 G 标段项目的施工成本分布直方图及项目敏感性图, 并通过模拟直方图输出的统计值获取项目成本总方差。如图 1 所示, 整体分布趋势符合正态分布, 按项目部确定的 80% 置信水平进行调整视图, 均值左边最小值 $p_{\min}$ 为 10%, 其值 $p_{\min} = 984,632,654$ 元, 均值右边最大值 $p_{\max}$ 为 90%, 其值 $p_{\max} = 1,071,098,888$ 元, 均值为 1,027,865,771 元。

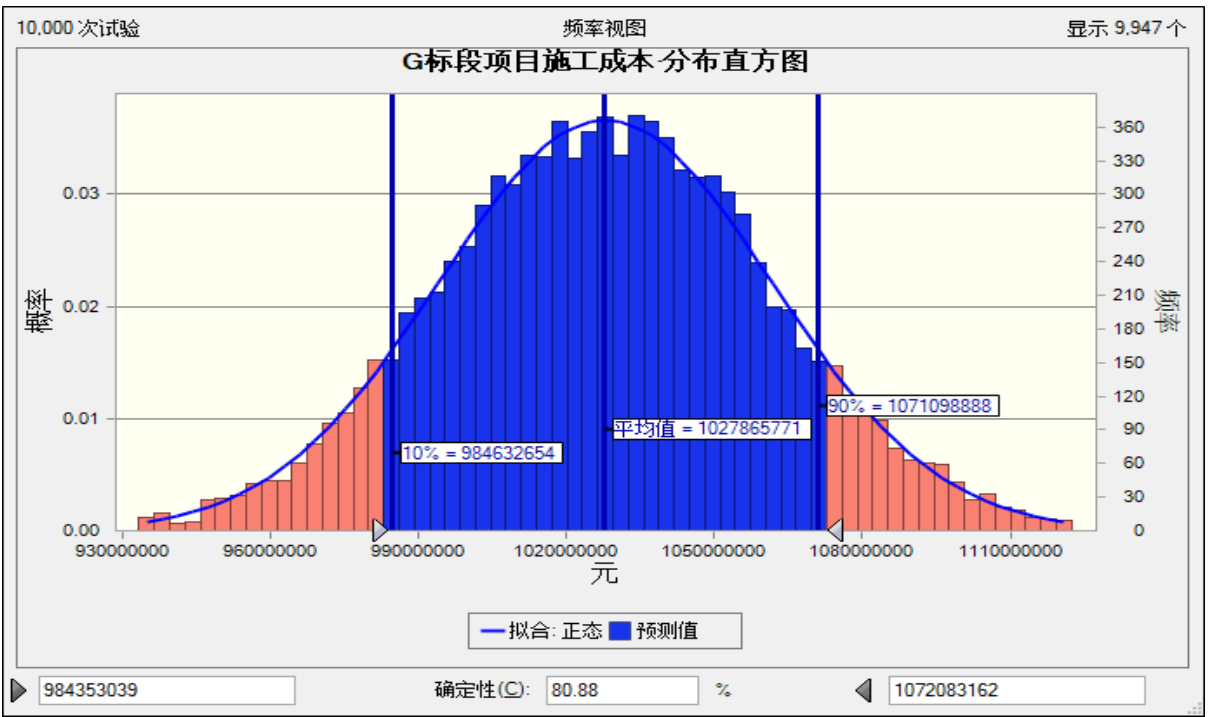


Figure 1. Histogram of the distribution of projected construction costs for the Section G project
图 1. G 标段项目施工成本预测分布直方图

图 1 中均值及其两边的区域即表示 G 标段项目施工总成本分布在此控制范围内的概率。对项目分部工程及其 CBS 分解的成本构成要素进行敏感性分析，输出的项目施工成本预测分布敏感度图，见图 2。通过对路基和桥梁涵道工程的成本构成要素再进行敏感度分析可知，材料费和措施费对其施工成本的影响程度最为明显，成本纠偏时应重点关注。通过分析模拟输出的 G 标段项目施工成本分布直方图的统计值数据，项目总方差 σ_{pc2} 为 389,118 万元。

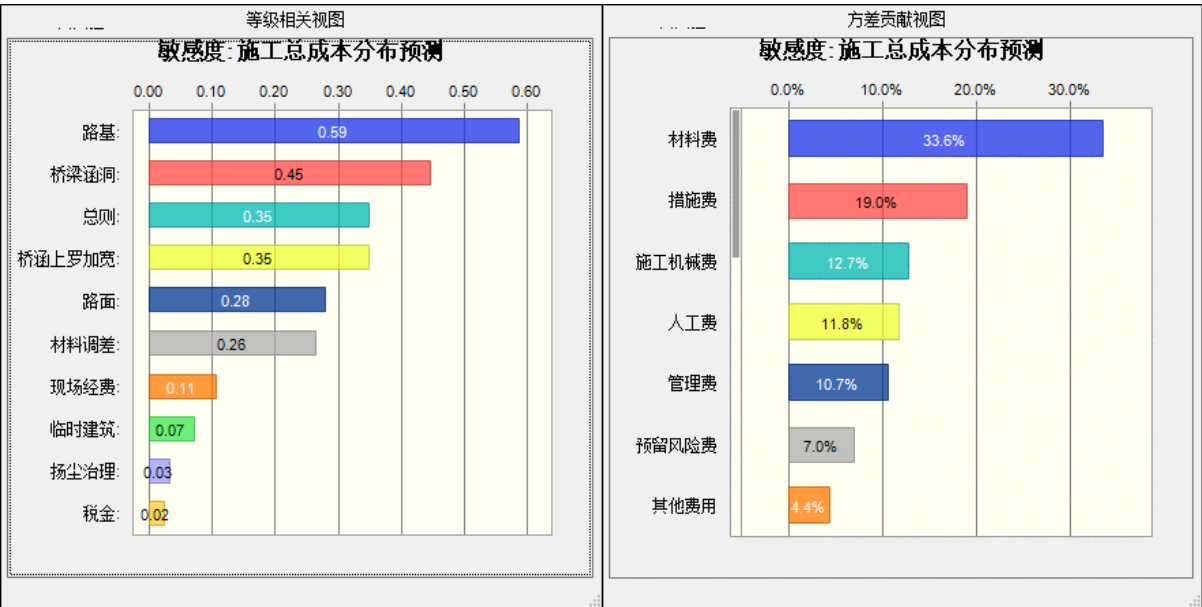


Figure 2. Sensitivity map of the distribution of projected construction costs for the G bid project
图 2. G 标段项目施工成本预测分布敏感度图

(2) 基于方差构建项目成本风险基线

通过蒙特卡洛模拟输出的方差值，可代表项目的风险高低，方差大即项目具有较大波动，说明风险较高。将项目施工周期 32 个月划分为 11 个季度，在不同季度分别进行模拟，由于随着项目实施，剩余工程量逐渐变少，剩余工程的施工总成本也在降低，根据已完成的项目工程量核减掉对应实际成本后，重新调整剩余工程的施工总成本构成，再进行蒙特卡洛模拟，进而输出项目不同季度的方差值。工程不同的完工比例对应不同的成本风险值(方差)，成本风险逐渐降低直至为 0，因此，可在项目施工周期内形成成本风险(方差)与时间呈下降趋势的关系曲线，即为项目成本风险基线。

(3) 基于成本期望偏差基线计算改进挣值成本控制指标

基于输出的频率分布直方图，得出对应置信水平下项目预计最大成本与项目预计平均成本的差值区间，表示项目预期可接受的成本总偏差范围，定义为项目的成本期望区间，再基于项目成本风险基线降低的比例分割成本期望区间，构建成本期望偏差基线。首先，计算单位时间项目风险基线降低值；其次，计算项目整个施工周期内项目风险基线总降低值，再将二者的比值与项目的期望区间相乘，来量化表示单位时间对应的成本期望偏差值；最后，计算项目随时间变化的累计成本期望偏差值，建立施工周期内 G 标段项目的成本期望偏差基线 ACB_t 。通过不同季度成本风险程度与项目成本期望区间相乘来分割区间，进而量化表示项目在施工周期内，每季度的成本期望偏差值，数据统计见表 2。

根据建立的项目成本期望偏差基线 ACB_t ，可得出项目随着施工周期每季度对应的成本期望偏差值，即项目可接受的最大成本控制偏差。通过挣值法得出 G 标段项目在各季度的成本偏差 CV，再与项目成

本期望偏差基线进行比较, 得出项目改进挣值成本控制指标 Col_t 值, 可量化表示为: $Col_t = ACB_t + CV_t = ACB_{(t=ES)} + EV - AC$ 。通过计算 11 个季度对应的改进挣值成本控制指标值, 基于 G 标段项目期望偏差基线与挣值偏差的相对关系, 形成改进挣值成本控制指标值变化趋势, 见图 3。

Table 2. Statistical table of expected deviation in project costs data for bidding section G
表 2. G 标段项目成本期望偏差值数据统计表

施工季度	风险权重值	成本风险程度	成本期望偏差值(万元)	累计成本期望偏差值(万元)
1	13682	3.52%	152	152
2	29,225	7.51%	325	477
3	136,766	35.15%	1520	1996
4	83,845	21.55%	932	2928
5	46,155	11.86%	513	3441
6	43,626	11.21%	485	3925
7	10,779	2.77%	120	4045
8	8303	2.13%	92	4137
9	4344	1.12%	48	4186
10	7378	1.90%	82	4268
11	5015	1.29%	56	4323
合计	389,118	100.00%	/	/

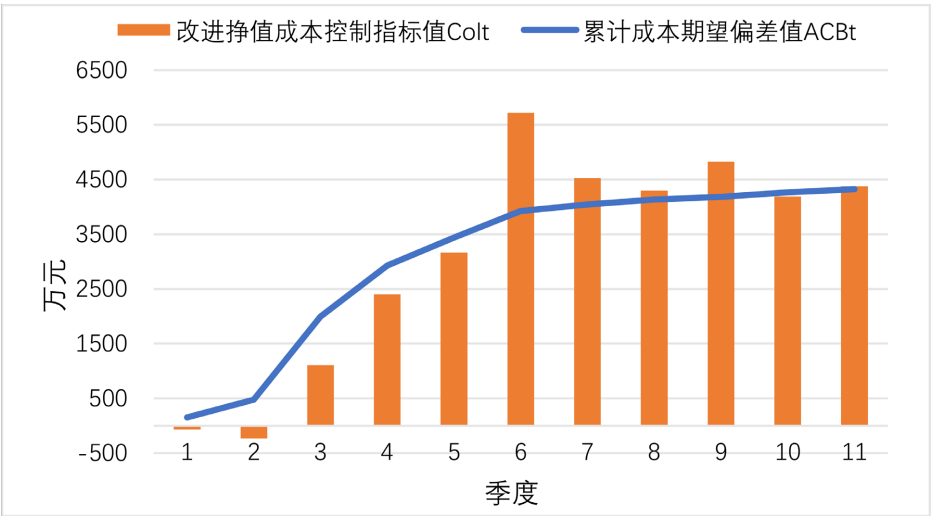


Figure 3. Trends in earned value cost control indicators for project improvement in segment G
图 3. G 标段项目改进挣值成本控制指标变化趋势

(4) 基于改进挣值应用标准分析项目成本风险

在成本控制环节运用传统挣值法可帮助管理人员确定项目是否出现超支, 但并不能识别出当前出现的偏差是否在项目预期可控偏差范围内, 无法及时检测出项目当前风险是否过高, 导致项目易出现较大问题陷入失控。而将风险管理和挣值法结合形成的改进挣值法, 是基于项目期望偏差基线, 与项目产生的成本偏差进行对比, 引出改进挣值成本控制指标, 来判断项目成本在当前时间节点是否超过了期望偏

差, 帮助管理人员了解项目在施工成本控制过程中何时处于“失控” [8], 进而及时采取控制纠偏措施, 确保项目成本控制在预算内。

根据形成的项目改进挣值成本控制指标变化趋势, 可发现 G 标段项目第 6 季度对应的 Col_t 值已远超项目成本期望偏差基线, 即引出改进挣值判断应用标准。由成本偏差 CV 值可知, G 标段项目在施工过程中成本有超支, 但也存在成本节约, 根据图 3 中 Col_t 值分布情况, 可引入置信水平下最小值与均值之间的差值区间, 此区间与项目成本期望区间 CPB_{pc} 是对称的, 即在数值上相同, 分别位于置信水平下最大值 p_{max} 的右边和最小值 p_{min} 的左边。由此, 将 G 标段项目成本预测分布图和项目成本期望偏差基线划分五个区域, 见图 4 和图 5。

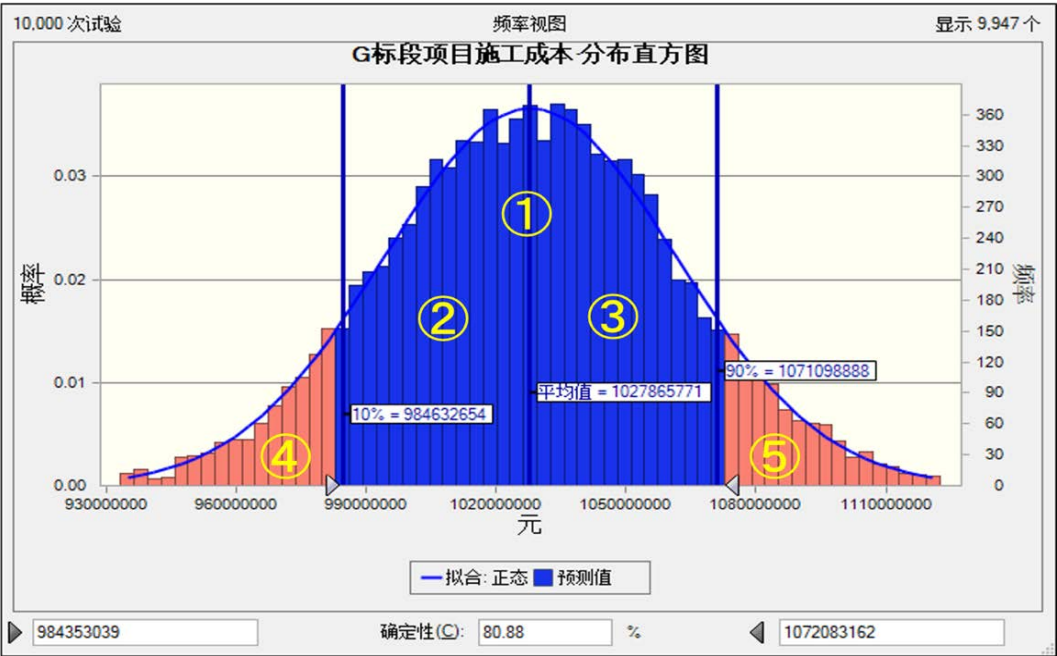


Figure 4. Segment G project cost forecast distribution map delineation area
图 4. G 标段项目成本预测分布图划分区域

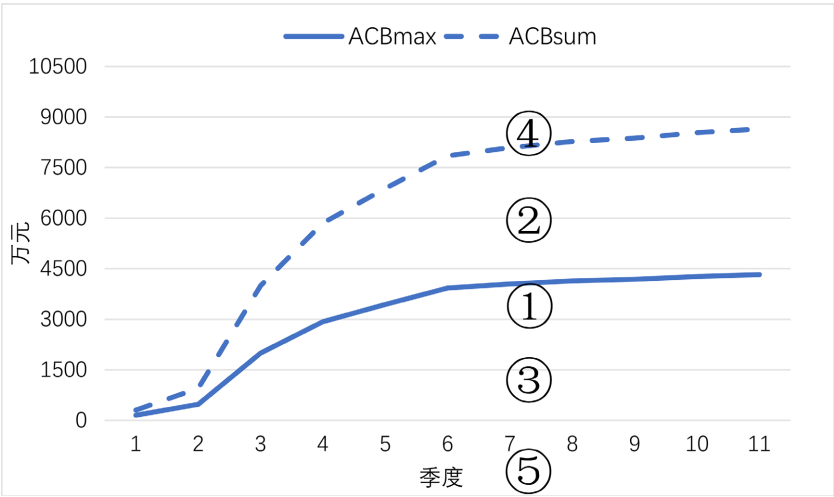


Figure 5. Project cost expectation deviation baseline delineation area for bidding section G
图 5. G 标段项目成本期望偏差基线划分区域

G 标段项目完工时, 项目累计成本期望偏差值达到最大, 此时 ACB_t 即为 ACB_{max} 。项目的施工实际成本与计划成本保持一致时, CV_t 即为 0, 此时 Col_t 与 ACB_t 相等, 即改进成本控制指标 Col_t 位于区域①处; 项目成本出现超支, CV_t 为负, 此时 Col_t 小于 ACB_t , 项目改进成本控制指标 Col_t 位于成本期望偏差基线下方, 即③或⑤处; 而当成本出现节约, CV_t 为正, 此时 Col_t 大于 ACB_t , Col_t 值在项目成本期望偏差基线上方, 即②或④处。

项目在施工的第 1 和 2 季度, 成本控制指标已位于区域⑤处, 表明此时项目施工实际成本已严重超出计划成本, 施工成本风险过高, 项目部需要重点关注。由于项目在改进挣值成本控制指标 Col_t 值出现负值时及时介入进行成本纠偏, 使得项目出现的成本超支偏差逐渐降低, 改进挣值成本控制指标开始位于③处。而从第 6 季度开始项目已位于区域②处, 此时项目施工实际花费成本已经比计划成本少, 并且持续保持成本节约。随着施工推进, 项目实际成本与计划成本逐渐趋于一致, 因此在 G 标段项目完工时改进挣值指标已位于标号①处, 顺利实现了项目成本控制目标。

3.3. 成本分析环节的施工成本管理优化

(1) ABC 分析法

对影响分部分项工程的不同类别等级的成本偏差区分管理, 重点找出 A 类影响因素, 制定针对性纠偏措施, 确保项目成本管理的高效和可控; 对 B 类影响因素进行定期差异分析, 提出优化建议; 而对 C 类影响因素进行简化分析, 寻找节约空间, 减少不必要管理成本。

(2) ABC 分析法的实际应用

根据 G 标段项目在成本控制环节形成的施工成本风险趋势, 管理班子判断出应在施工前两个季度就要开始介入纠偏, 有重点的及时进行成本管控, 并通过对施工前 2 个季度出现成本超支的分部工程进行成本构成要素敏感度分析, 可直观查看各要素成本花费对施工成本的影响程度, 进而判断出关键成本要素, 来分类分级区分要素确立项目成本管控重点, 对其再进行深入分析, 针对性制定纠偏措施。以路基工程为例, 作为本项目成本优化重难点, 针对其形成的成本构成要素 ABC 分类分级表, 见表 3。

Table 3. ABC classification and grading table of cost components of roadbed works

表 3. 路基工程成本构成要素 ABC 分类分级表

路基工程	具体影响因素	影响程度分级
成本构成要素	材料费	A
	措施费	
	施工机械费	B
	人工费	
	管理费	
	预留风险费	C
	其他费用	

3.4. G 标段项目施工成本优化结果分析

(1) 闭环施工成本优化策略结果分析

优化后的成本计划环节, 通过运用目标成本法和 CBS 分解法在施工成本计划环节的改善, 使得 G 标段项目部的目标成本意识得到提高, 施工目标成本的分解角度更加全面, 详细的成本预算编制也加强了项目部对潜在风险的防控管理意识。

通过在成本控制环节结合蒙特卡洛模拟, 并运用融入风险体系的改进挣值法, 分析 G 标段项目成本超支风险, 确保项目部及时介入进行成本纠偏, 并确定关键成本要素[8]。项目部从施工的第 2 季度开始, 就重点针对路基和桥梁涵道工程的材料费进行成本分析, 并在整个施工周期内有区分的及时对项目关键成本要素进行管控, 在 G 标段项目路基和桥梁涵道工程施工中, 再次降低成本 2308 万元, 占据总降低成本的比例达到 65%, 使项目实际施工成本与计划成本逐渐趋于一致。

通过结合 ABC 分析法的施工成本分析, 让各部门能分类分级确定关键成本要素并清楚下一步成本纠偏控制的抓手, 便于迅速做出改进。此外, 成本制度实施责任到人, 对于制定的措施安排专人监督跟进执行, 同时落实成本的奖惩考核制度, 基于成本管控结果进行考核, 对施工管理人员形成了有效约束, 提高了各部门对成本分析的执行力。

(2) 与项目原施工成本管理的对比分析

实施成本管理优化前, 本项目要求利润率为 12%。通过闭环的成本管理优化, 实现了 G 标段项目的创优目标成本, 再降低项目成本 3551 万元, 即本项目实施成本管理优化后, 最终利润率达到 15%。G 标段项目施工成本优化前成本出现严重超支, 通过运用目标成本法、蒙特卡洛模拟、改进挣值法及 ABC 分析法分别优化成本计划、成本控制、成本分析环节后, 项目施工成本超支偏差显著减小, 从第 6 季度开始已出现成本节约 1792 万元, 逐渐补齐项目前期出现的成本超支; 项目施工成本纠偏及时率显著提高, 从第 2 季度就及时进行成本纠偏, 改进挣值成本控制指标从区域⑤逐渐转为区域②处, 最终顺利实现施工成本优化目标。

4. 总结与展望

本文以 M 高速公路 G 标段项目为研究对象, 以闭环施工成本优化为主线, 在对项目原施工成本管理各环节存在问题进行原因分析的基础上, 首先, 以目标成本法和 CBS 分解法为主要工具, 多角度分解项目成本目标, 对施工成本计划进行优化; 其次, 通过蒙特卡洛模拟形成成本控制基础, 再运用将风险指标与挣值法结合的改进挣值法分析项目成本风险, 对施工成本控制进行优化; 最后, 结合 ABC 分析法区分关键成本要素进行重点管控, 对施工成本分析进行优化。通过对 M 高速公路 G 标段项目施工阶段的成本管理优化研究, 体现出闭环施工成本管理优化策略的优势, 希望为类似高速公路项目的成本管理提供相关理论依据和应用经验, 提升施工企业的项目管理水平, 实现企业可持续发展[8]。

参考文献

- [1] 梁威. 高速公路施工阶段工程造价控制[J]. 交通建设与管理, 2023(3): 101-103.
- [2] 倪丹. 高速公路工程施工项目成本管理对策研究[J]. 交通科技与管理, 2023, 4(5): 192-194.
- [3] 吴汉平. 高速公路施工项目成本控制方法与措施[J]. 运输经理世界, 2023(16): 42-44.
- [4] 彭正中. 高速公路工程施工阶段成本管理策略在清单计价模式下的应用[J]. 世界建筑, 2022, 6(5): 47-52.
- [5] 刘亚静. 新形势下高速公路项目建设全过程造价管理分析[J]. 工程技术与管理, 2024, 8(4): 89-91.
- [6] 梁军, 常自昌, 巩利军, 等. BIM5D 与挣值法在工程施工成本管理应用的研究[J]. 山西建筑, 2023, 49(23): 195-198.
- [7] 苗泽惠, 李明慧. 基于改进挣值法的建筑工程成本控制研究[J]. 安徽建筑, 2022, 29(11): 183-185.
- [8] 钟健. 广东 MZ 高速公路建设项目成本控制研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广东工业大学, 2023.