

Collaborative optimization analysis of cost management and construction technology in highway engineering

Xiaoyan Chen

Xinjiang Road and Bridge Construction Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

The level of coordination between cost management and construction technology in highway engineering directly determines the project investment benefits, construction quality, and schedule efficiency. There is a structural contradiction in the current industry that prioritizes safety over economy in technology selection, and there is a disconnect between cost control and construction practice, resulting in frequent problems such as cost overruns, technological waste, and project delays. Based on practical experience in highway engineering construction and cost control, and combined with case studies of highways, expressways, rural roads, and other projects, the author systematically analyzes the deep-seated problems of the imbalance between the two: lack of coordination mechanism, disconnection between technology selection and cost estimation, lagging coordination in process control, and insufficient application of digital collaboration tools. Propose an optimization path of “collaborative decision-making dynamic control intelligent empowerment” from four dimensions: mechanism construction, technology integration, process reengineering, and tool innovation, establish a full lifecycle management mechanism for cost and technology collaboration, and provide partial reference for high-quality construction of highway engineering in the new era.

Keywords

highway engineering; Cost management; Construction technology; Collaborative optimization; Digital Collaboration

公路工程造价管理与施工技术协同优化分析

陈晓燕

新疆路桥建设集团有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

公路工程造价管理与施工技术的协同水平直接决定项目投资效益、建设质量与工期效率。当前行业普遍存在“技术选型重安全轻经济、造价管控与施工实践脱节”的结构性矛盾,导致造价超支、技术浪费、工期延误等问题频发。本文笔者基于公路工程施工与造价管控实践经验,结合高速公路、快速路、农村公路等项目案例,系统剖析二者协同失衡的深层次问题:协同机制缺失、技术选型与造价测算脱节、过程管控协同滞后、数字化协同工具应用不足。从机制构建、技术融合、流程再造、工具创新四个维度,提出“协同决策-动态管控-智能赋能”的优化路径,建立造价与技术协同的全生命周期管理机制,为新时代公路工程高质量建设提供部分参考。

关键词

公路工程; 造价管理; 施工技术; 协同优化; 数字化协同

1 引言

公路基础设施建设作为国民经济发展的的重要支撑,近年来呈现“规模化、复杂化、智能化”发展趋势。2024 年年末全国公路里程 549.04 万公里,比 2023 年年末增加 5.35 万公里,总投资 2.5774 万亿元^[1],公路建设行业仍面临“造价超支率高、技术应用不经济”的双重挑战。据交通运输部 2024 年统计数据,全国 35.7% 的公路项目造价超概算,其中因施工技术选型不合理、造价与技术协同失效导致的超支

占比达 42%^[2]。

造价管理与施工技术的协同优化,核心是实现“技术可行性、经济合理性、工期可控性”的三者平衡^[3]。

2 公路工程造价管理与施工技术协同失衡的关键问题

2.1 协同机制缺失: 决策分离, 责任边界模糊

1. 协同决策机制不完善: 项目决策阶段缺乏“造价-技术”联合评审机制,多数项目采用“技术先定、造价后算”的模式。例如,某山区高速公路项目前期仅由技术部门确定隧道施工方案(采用钻爆法),未开展造价经济性评估,后期发现采用 TBM 掘进机虽初期设备投入增加 15%,但工期缩短 6 个月、综合成本降低 8%,因决策不可逆造成投资增

【作者简介】陈晓燕(1979-),女,中国山东潍坊人,本科,副高,从事公路工程成本管控、工程造价、全过程造价、精细化管理等研究。

加达 2300 万元^[4]。

2. 责任划分不清晰：未建立“技术 - 造价”协同考核体系，设计人员仅对技术安全性负责，造价人员仅关注投资控制，导致出现“技术冗余导致造价超支”“造价压缩影响技术质量”的极端情况。某快速路项目因造价部门过度压缩成本，取消桥梁预制拼装技术采用现浇方案，导致工期延长 40%，后期养护成本增加 12%^[5]。

3. 沟通协调渠道不畅：设计、造价、施工三方缺乏常态化沟通机制，技术方案变更未及时同步造价管控，造价调整未充分考虑技术实现难度。某跨江大桥项目施工中因地质条件变化调整基础施工方案，未提前与造价部门沟通，导致签证争议持续 3 个月，影响工期进度。

2.2 设计阶段：技术选型与造价测算脱节

设计阶段是造价与技术协同的关键环节，其成果决定项目 70% 以上的造价与技术路径，但当前协同失衡问题突出：

1. 技术选型缺乏造价约束：设计人员“重安全、轻经济”，过度依赖传统技术方案，未开展多技术方案的造价对比分析。例如，某一级公路路基施工采用传统填土路堤方案，未考虑泡沫轻质土回填技术，虽技术成熟但造价增加 18%，且后期沉降风险更高。

2. 造价测算未结合技术特点：造价人员缺乏施工技术专业知识，采用通用计价标准，未考虑特殊施工技术的成本构成。某公路隧道项目采用新奥法施工，造价测算仍按传统矿山法计价，未计入初期支护的锚杆、喷射混凝土增量成本，导致预算偏差达 15%。

3. 限额设计与技术优化脱节：限额设计仅对总造价进行控制，未将造价指标分解至各技术方案环节，导致技术优化缺乏方向。某农村公路项目因限额设计未明确路面结构造价指标，设计采用造价较高的水泥混凝土路面，未考虑当地沥青的资源优势，采用沥青路面可降低造价 12% 且养护更便捷。

2.3 施工阶段：过程协同滞后，动态管控失效

施工阶段是造价与技术协同的执行核心，但当前存在“技术变更随意、造价管控被动”的问题：

1. 技术方案调整未同步造价核算：施工单位因现场条件变化调整技术方案时，未提前开展造价影响评估，导致造价超支。某高速公路项目施工中，因雨季施工将路基碾压工艺由“静压 + 振动压”调整为“强夯法”，未及时核算强夯增加的机械台班与人工成本，导致每公里造价超支 28 万元。

2. 造价管控干预技术合理应用：部分项目造价部门为控制投资，盲目压缩技术投入，影响工程质量与安全。某二级公路项目造价部门以控制投资为由，取消路基边坡的生态防护技术，采用浆砌片石防护，虽初期造价降低 8%，但通车 3 年后出现边坡滑坡，重新补做超原造价 30%。

3. 协同管控工具应用不足：仅 25% 的项目采用 BIM、智慧工地等数字化工具，多数项目过多依赖人工沟通与纸质记录，技术变更、现场签证的造价核算滞后。某特大桥项目因未采用 BIM 技术进行施工模拟，钢箱梁安装方案不合理

导致吊装机械闲置 15 天，增加租赁成本 120 万元。

2.4 竣工结算阶段：协同追溯不足，争议频发

1. 技术资料与造价结算脱节：施工单位提交的结算资料缺乏技术方案变更的详细说明，造价审核难以核实技术变更的合理性与必要性。某项目因未提供隧道二次衬砌增厚的地质检测报告，造价审核时核减该部分造价，引发双方争议。

2. 技术签证造价核算标准不统一：对新技术、新工艺的计价缺乏明确标准，导致结算时双方分歧。某项目采用再生沥青混合料路面施工技术，因行业未明确统一计价规则，施工单位按新工艺报价，造价审核按传统沥青路面计价，争议金额达 420 万元。

3. 协同责任追溯机制缺失：竣工阶段发现的造价超支或技术问题，难以界定设计、造价、施工三方的协同责任，导致追责困难。某项目通车后出现路面早期破损，经查是设计技术参数不合理与造价部门压缩成本共同导致，但因缺乏协同考核机制，不能核实相关责任。

2.5 数字化协同工具：应用浅层化，融合度不足

1. BIM 技术协同应用不深入：中国公路学会 2023 年调研显示，投资额 10 亿元以上项目中，30% 在设计阶段应用 BIM 技术；但施工阶段应用率不足 15%，未实现“设计 - 造价 - 施工”协同。如某快速路项目 BIM 模型未关联造价数据，技术方案优化后无法实时测算造价变化，协同效率低下。

2. 智慧工地系统功能单一：多数智慧工地系统仅实现施工进度与安全监控，未集成造价管控模块，无法实时采集技术施工的成本数据。某项目智慧工地系统可监测混凝土浇筑量，但未同步核算浇筑成本与预算偏差，导致超浇筑 1200m³ 未及时发现。

3. 数据共享平台缺失：设计、造价、施工三方的数据分散存储，未建立统一的协同管理平台，技术变更、材料价格、施工工艺等数据无法实时共享，导致造价核算与技术实施不同步。

3 公路工程造价管理与施工技术协同优化对策

3.1 构建协同决策机制，明确责任边界

1. 建立联合评审制度：在项目决策与设计阶段，组建由设计、造价、施工、监理组成的协同评审小组，对技术方案开展“技术可行性 - 经济合理性”双维度评估。例如，山区公路隧道施工方案需对比钻爆法、TBM 掘进机的造价、工期、安全风险，选择最优协同方案。

2. 完善协同考核体系：将“造价 - 技术协同效果”纳入各方考核指标，设计单位考核技术方案的造价控制率，施工单位考核技术实施的成本偏差率，造价单位考核造价测算的技术匹配度，考核结果与合同价款挂钩。

3. 搭建常态化沟通平台：建立“周沟通、月协调、季评审”的协同机制，利用协同管理软件实现设计图纸、技术变更、造价文件的实时共享，确保信息同步。

3.2 设计阶段：推行“技术 - 造价”一体化优化

1. 建立协同设计模式：推广“限额设计 + 技术优化”

双约束机制，将造价指标分解至各技术分项，设计人员在满足技术标准的前提下，开展多方案造价对比。例如，桥梁施工方案可对比预制拼装与现浇施工的造价差异，结合工期要求选择最优方案。

2. 强化造价人员技术参与：要求造价人员全程参与设计评审，针对技术方案的经济性提出优化建议。例如，某跨江大桥设计阶段，造价人员提出将满堂支架施工改为钢管桩支架，既满足技术安全要求，又降低支架搭设成本15%。

3. 构建技术-造价数据库：整合不同施工技术的造价指标（如强夯法与静压法的单位造价、预制拼装与现浇的成本差异），建立区域化、标准化的协同数据库，为设计阶段技术选型提供数据支撑。

3.3 施工阶段：构建动态协同管控体系

1. 技术方案变更协同审批：建立“技术变更-造价核算”联动审批流程，施工单位提出技术变更时，需同步提交造价影响分析报告，经设计、造价、监理三方联合审核后方可实施。单项技术变更导致造价超出原造价5%以上的，需重新开展协同评审。

2. 推广数字化协同工具，深化BIM技术应用：构建5D BIM模型（3D+时间+成本），实现技术方案施工模拟与造价动态核算的一体化，技术方案调整后自动更新造价数据。例如，某高速公路项目通过BIM模型优化路基填料调配方案，缩短运输距离30%，降低造价12%。

3. 借助大数据，升级智慧工地系统：集成技术施工与造价管控模块，实时采集施工技术参数（如混凝土浇筑量、钢筋绑扎密度）与成本数据，利用AI算法分析造价与技术的协同偏差，超3%自动预警。

4. 材料技术与造价协同选择：建立“材料技术性能-价格-寿命周期成本”三维评价模型，避免盲目追求高端技术或低价材料。例如，选择沥青材料时，综合考虑高温稳定性、低温抗裂性与价格，结合当地气候条件选择性价比最优的产品。

3.4 竣工结算阶段：完善协同追溯与争议解决

1. 建立协同结算资料体系：要求结算资料包含技术方案变更报告、施工日志等技术资料，造价审核时结合技术资料核实造价的合理性。

2. 制定新技术计价标准：由省级交通造价部门牵头，编制新技术、新工艺的造价计价指南，明确再生沥青路面、预制拼装桥梁等技术的计价规则，减少结算争议。

3. 构建协同责任追溯机制：利用BIM模型与项目管理平台，追溯各阶段技术方案决策、造价核算的参与人员与审批流程，明确协同责任，为竣工考核与追责提供依据。

3.5 强化人才培养与技术创新

1. 培养复合型协同人才：开展造价人员与技术人员的交叉培训，造价人员需掌握公路施工核心技术（如路基、桥梁、隧道的施工工艺），技术人员需了解造价构成与管控要点，提升协同工作能力。

2. 推动协同技术创新：鼓励研发“技术-造价”一体化协同软件，集成BIM、AI、大数据等技术，实现技术方案优化与造价测算的智能化协同；推广绿色施工技术与造价协同应用，如生态护坡、再生建材的成本优化技术。

4 案例分析：某山区高速公路造价与技术协同优化实践

4.1 项目概况

某山区高速公路全长68公里，设计时速80km/h，总投资42亿元，包含隧道3座（总长12公里）、桥梁18座（总长8公里），地质条件复杂（含不良地质区域3处）。项目初期因造价与技术协同不足，隧道施工方案不合理导致1公里造价超支18%，工期延误2个月。

4.2 协同优化措施

1. 建立联合评审小组：组建由设计、造价、施工、地质勘察专家组成的协同团队，对隧道施工方案进行重新评估，将原钻爆法改为“TBM掘进机+局部钻爆”组合方案。

2. 应用BIM协同平台：构建5D BIM模型，模拟TBM掘进机施工流程，实时核算机械租赁、人工、材料等成本，优化掘进参数，降低机械能耗12%。

3. 材料技术-造价协同选择：针对不良地质区域的路基处理，对比水泥搅拌桩与泡沫轻质土两种技术，结合当地材料价格与施工条件，选择泡沫轻质土方案，每公里造价降低23万元。

4. 动态协同管控：利用智慧工地系统，实时监控隧道支护的钢筋用量与混凝土浇筑量，结合造价预算动态调整施工参数，钢筋损耗率控制在2%以内。

4.3 优化效果

通过协同优化，项目隧道工程每公里造价降低15%，总造价超支率从18%控制在5%以内，工期缩短3个月，通车后1年养护成本降低22%，实现了技术、造价、工期的三维平衡。

5 结论

公路工程造价管理与施工技术的协同优化是一项系统性、全生命周期的工作，其核心在于打破“技术与造价分离”的壁垒，构建“协同决策-动态管控-智能赋能”的管理体系。本文指出协同机制缺失、设计阶段脱节、施工阶段滞后、数字化应用不足是当前面临的核心问题。

参考文献

- [1] 交通运输部.2024年交通运输行业发展统计公报[R].2025.
- [2] 中国公路学会.公路工程造价管理发展报告(2023)[R].2024.
- [3] 住房和城乡建设部.建设工程造价管理规范(GB/T 51262-2017)[S].2017.
- [4] 王军.山区高速公路施工技术造价协同控制研究[J].中国公路学报, 2023, 36(6): 312-320.
- [5] 李娟.城市快速路桥梁施工技术选型的造价协同优化[J].桥梁建设, 2022, 52(4): 168-174.