

公路工程施工管理中的风险管理框架与实证研究

付应宗

新疆北方建设集团有限公司 新疆 奎屯 833200

摘要：公路工程是国家基建核心，其施工周期长、投资大、技术复杂、参与方多且环境多变，存在高度不确定性与风险，有效风险管理是项目成功的关键。本文旨在构建系统化、可操作的公路工程施工风险管理框架，并通过实证研究验证其有效性与实用性。研究先梳理公路工程风险的内涵、特征与分类体系；接着基于 PDCA 循环理论，融合现代项目管理理念，设计包含风险识别、评估、应对与监控四个核心阶段的动态闭环风险管理框架；最后以 G 省 S35 高速公路“四改八”项目为例，阐述框架应用流程、关键工具与成效。结果表明，该框架能系统识别和量化风险，科学制定并动态调整策略，降低风险概率与影响，提升项目管理与抗风险能力，为公路工程及同类大型基建项目提供参考与范式。

关键词：公路工程；施工管理；风险管理；风险评估；PDCA循环；实证研究

引言

21世纪以来，我国经济高速发展、城镇化加速，交通基础设施需求大增，公路网建设规模与速度空前。但公路工程建设充满挑战，从立项到竣工验收，整个生命周期有诸多不确定性，施工阶段作为核心环节，面临自然、技术等多维度复杂风险。风险失控会带来工期延误、成本超支等轻则问题，甚至引发安全事故等重则后果，造成巨大损失与负面影响。近年来，我国公路工程技术与管理进步，可因风险管理不善致项目困境仍常见。传统风险管理模式碎片化、被动响应，缺乏系统性与前瞻性，难适应现代大型复杂项目需求^[1]。所以，构建科学、系统、动态且可操作的风险管理框架十分迫切。本研究理论上丰富工程项目风险管理知识体系，实践上提供实证检验的方法论，助管理者预防控制风险，推动公路建设行业高质量发展。

1 公路工程施工风险的内涵、特征与分类

1.1 风险的内涵与特征

公路工程施工管理中，风险指项目实施时，因未来事件不确定，对项目目标产生正负影响的可能性。虽风险有潜在机遇属性，但施工阶段多表现为需规避的威胁。其特征明显：一是客观性与普遍性，源于客观不确定因素，贯穿施工全程，无法彻底消除；二是多样性与复杂性，风险源多且相互交织成复杂因果网络；三是动态性与可变性，随工程进展、外部环境和管理措施变化，风险状态不断演变；四是可测性与可控性，可用科学方法识别、评估和量化风险，并有效控制；五是后果严重性，重大风险爆发或引发灾难性后果，影响深远。

1.2 风险分类体系

为便于系统管理，结合公路工程特点，施工风险分五大类：自然与环境风险，含不良地质、极端天气等不可抗力及施工引发的环境问题；技术与质量风险，涉及设计、工艺、材料等方面问题致质量不达标；经济与财务风险，如原材料价格波动等影响成本控制；组织与管理风险，涵盖组织结构不合理等内部管理问题；社会与法律风险，包括征地拆迁纠纷等外部社会法律环境的不确定性。该分类体系为后续风险识别与评估提供清晰逻辑脉络。

2 公路工程施工风险管理框架构建

基于经典的PDCA（计划-实施-检查-改进）循环理论，本文构建了一个包含四个核心阶段、并形成动态闭环的公路工程施工风险管理框架。

2.1 第一阶段：风险识别（Plan）

风险识别是风险管理的基石，其核心在于全面、系统地发现可能影响项目目标的潜在威胁或机遇。识别不全将直接削弱后续管理的有效性。为提升识别的广度与深度，可综合采用多种方法：一是组织跨专业头脑风暴会议，汇集业主、设计、施工、监理等各方经验；二是针对复杂或敏感问题，采用德尔菲法，通过匿名、多轮专家征询达成共识，避免群体思维干扰；三是依托历史项目数据库和行业通用风险清单，逐项核对常见风险点，防止疏漏；四是结合工作分解结构（WBS），将项目拆解为具体工作包，针对性排查各环节风险；五是运用情景分析法，主动设想极端但合理的情景（如“百年一遇暴雨”“关键材料断供”），推演其连锁反应，增强前瞻性^[2]。本阶段成果为《初始风险登记册》，应包含每项风险的唯一编号、清晰描述、所属类别（如技术、

环境、经济、管理等)、潜在诱因及可能后果,为后续评估提供结构化输入。

2.2 第二阶段:风险评估(Plan)

在识别基础上,需对风险进行科学评估以确定优先级。评估分为定性与定量两个层次。定性评估常用风险矩阵法:对每项风险的发生可能性(P)和影响程度(I)分别赋值(通常1-5分),计算风险值($R = P \times I$),据此划分为高、中、低等级,便于管理层快速聚焦关键风险。对于高风险或对项目成败具有决定性影响的风险,则需开展定量分析:敏感性分析考察单一变量(如钢材涨价10%)对总成本或工期的边际影响,识别“杠杆点”;期望货币值(EMV)分析通过公式 $EMV = \text{概率} \times \text{影响金额}$,量化预期损失,为风险准备金提供依据;蒙特卡洛模拟则通过数千次随机抽样模拟,综合多个风险变量的不确定性,输出项目总成本或总工期的概率分布曲线,为高层决策提供数据支撑。评估完成后,《风险登记册》将更新为包含概率、影响、风险等级、定量结果等信息的动态管理核心文件。

2.3 第三阶段:风险应对(Do)

评估的最终目的是指导行动。本阶段需针对不同风险特性制定并执行应对策略。现代风险管理提供五类基本策略:一是规避,即通过变更设计或施工方案彻底消除风险源,例如调整路线避开地质灾害区;二是转移,将财务后果转嫁第三方,如投保建筑工程一切险,或将高风险作业分包给专业单位;三是减轻,采取措施降低发生概率或弱化影响,如雨季前完善排水系统、与供应商签订价格调差协议以锁定成本;四是接受,适用于低概率低影响或应对成本过高的风险,但需在预算或进度中预留应急储备(如5%费用缓冲或关键路径时间余量);五是针对积极风险(机遇),可采用开拓(主动促成)或分享(与合作方共担共享)策略。所有应对措施应形成《风险应对计划》,明确责任人、资源需求、实施节点与预期效果,确保可执行、可追踪^[1]。

2.4 第四阶段:风险监控(Check & Act)

风险管理非一次性任务,而是贯穿项目全周期的动态过程。风险监控负责持续跟踪已识别风险状态、监测残余风险水平、及时发现新风险,并评估整个管理流程的有效性。常用工具包括:定期开展风险审计,审查流程执行合规性;通过挣值管理(EVM)等方法进行偏差与趋势分析,从成本、进度绩效中捕捉风险信号;利用技术绩效指标(如路基压实度、混凝土强度合格率)直接反映技术风险受控情况;周期性审查应急储备使用情况,判断风险准备是否充足。更重要的是,监控必须驱

动持续改进(Act):根据实际反馈,动态调整或优化应对措施;将成功处置案例纳入组织过程资产库,供后续项目借鉴;对管理疏漏进行复盘反思,完善制度与流程^[4]。正是通过“检查—行动—再计划”的闭环迭代,风险管理能力得以螺旋式提升,项目抗风险韧性不断增强。

3 实证研究:G省S35高速公路改扩建项目

3.1 项目概况

G省S35高速公路是连接省会与重要港口城市的交通大动脉,原为双向四车道。随着车流量激增,拥堵严重,亟需升级为双向八车道。本项目全长约85公里,总投资约120亿元,工期36个月。项目特点鲜明:“边通车、边施工”,交通组织极其复杂;沿线穿越多个城镇,征拆任务重;部分路段地质条件差,存在软基和高边坡;且需在既有高速公路上进行拼宽,新旧路基沉降差异控制是技术难点。这些特点决定了该项目风险极高,是检验风险管理框架的理想案例。

3.2 风险管理框架的应用

项目启动后,成立了由业主、监理、总承包商及各专业分包商代表组成的联合风险管理小组,并正式引入本文提出的四阶段风险管理框架。

3.2.1 风险识别阶段

小组通过为期两周的集中工作坊,综合运用了WBS分解、头脑风暴和历史项目检查表。共识别出初始风险事件127项。经初步筛选和合并,最终形成包含89项风险的《初始风险登记册》。其中,“交通导改期间发生重大交通事故”、“软基处理不当导致路基失稳”、“主材(钢材、沥青)价格大幅上涨”、“沿线居民大规模阻工”等被列为重点关注对象。

3.2.2 风险评估阶段

采用5×5风险矩阵(可能性和影响均分为1-5级)进行定性评估。评估结果显示,有15项风险被评为高风险(红色),32项为中风险(黄色),42项为低风险(绿色)。针对5项最高级别的风险,进行了定量分析:对于“主材价格上涨”,利用蒙特卡洛模拟,基于过去5年的价格波动数据,预测在项目工期内,钢材和沥青价格超过预算价15%的概率分别为38%和29%,预期超支总额约为1.8亿元。对于“软基沉降”,通过有限元分析软件,模拟了不同处理方案下的沉降量,量化了技术方案选择的

3.2.3 风险应对阶段

根据评估结果,制定了详细的应对计划:(1)规避:针对“高边坡失稳”风险,放弃了原设计中一处高

填方方案，改为桥梁跨越，虽然增加了初期投资，但从根本上消除了长期安全隐患。（2）转移：为项目购买了全面的工程一切险和第三者责任险，并与主要钢材供应商签订了带有价格调整公式的长期供应合同，将部分价格波动风险转移。（3）减轻：为应对“交通导改安全风险”，投入专项资金，采用智能交通诱导系统、增设物理隔离设施，并与交警部门建立24小时联动机制。为控制“软基沉降”，采用了“塑料排水板+堆载预压”的复合地基处理方案，并布设了大量沉降观测点，实行信息化动态设计与施工。为化解“征拆阻工”风险，成立了专门的群众工作小组，提前介入，透明化补偿标准，并承诺优先雇佣当地劳动力。（4）接受：对于一些低概率、低影响的风险，如小型机具故障，项目在成本预算中预留了500万元的应急储备金。

3.2.4 风险监控与改进阶段

风险管理小组每月召开例会，审查《风险登记册》。利用项目管理信息系统（PMIS），实时跟踪关键风险指标。例如：通过沉降观测数据，发现K45+200段沉降速率异常，立即启动应急预案，暂停填筑，邀请专家会诊，及时调整了预压方案，避免了可能的路基失稳事故。当钢材价格指数连续三个月超过预警线时，自动触发了合同中的价格调整条款，启动了备用供应商渠道，有效控制了成本。项目中期，通过偏差分析发现，由于雨季延长，土方工程进度滞后。风险管理小组迅速识别出“雨季延长”这一新风险，并增补进登记册，同时加强了现场排水能力和夜间施工安排。在整个项目执行过程中，共识别并处理了23项新增风险，对原有应对措施进行了17次优化调整。项目的经验教训被系统地录入公司知识库。

3.3 应用成效分析

通过系统应用该风险管理框架，S35项目取得了显著成效：一是安全绩效卓越：在“边通车、边施工”的高危环境下，实现了“零死亡”事故，远优于行业平均水平。二是成本控制良好：尽管面临主材价格上涨压力，

但通过有效的风险转移和成本管控，最终结算成本仅超出概算2.3%，远低于同类项目平均5%-10%的超支率。三是工期基本受控：项目主体工程按期完工，仅因不可抗力（特大台风）导致附属工程延期1个月，总体在可控范围内。四是质量与社会满意度高：工程质量一次性验收合格率100%，新旧路基衔接平顺，未出现明显差异沉降。良好的社区关系也赢得了地方政府和民众的高度评价。实践证明，该风险管理框架能够有效引导项目团队从被动救火转向主动防火，极大地提升了项目的整体韧性和成功率。

4 结语

本文构建了基于PDCA循环、四阶段动态闭环的公路工程施工风险管理框架，经G省S35高速公路改扩建项目实证研究，验证了其有效性。研究发现，系统性是风险管理成功的关键，能克服传统弊端；定性与定量结合的评估方法更科学，为决策提供数据支撑；动态监控与持续改进是框架生命力所在，可确保与项目实际同步。实证表明该框架对复杂高风险项目适用且优越，显著改善了项目安全、成本、工期和质量表现。不过，本研究存在局限，实证案例单一，普适性待检验，部分定量数据依赖专家主观判断。展望未来，公路工程施工风险管理将更智能、精细，BIM+GIS技术深度融合构建数字孪生工地，大数据与人工智能挖掘风险规律实现智能预警，融入韧性工程理念提升工程系统应对极端和未知事件的能力。

参考文献

- [1]潘石林.公路工程施工管理中的风险管理研究[J].运输经理世界,2025,(05):44-46.
- [2]王军.公路工程现场施工安全管理及风险预警系统的构建[J].大众标准化,2024,(18):83-85.
- [3]单大为.公路工程施工安全风险管理与防控措施[J].汽车画刊,2024,(09):200-202.
- [4]李振京,李义林,杨华.公路工程施工安全监理的风险管理与防范措施[J].建设监理,2024,(07):87-89.