

# 山区高速公路边坡支护方案动态调整触发施工成本追加机制研究

文 / 王 华 广东省南粤交通新博高速公路管理处

**摘要：**山区高速公路边坡支护工程常因复杂地质和气候条件导致设计方案在施工过程中需动态调整，从而引发施工成本的追加问题。本文基于对边坡支护动态调整触发因素的系统分析，构建了成本追加的影响机制模型，并探讨了支护调整与成本协同管理机制。通过机制优化路径的研究，提出了制度化的成本控制与风险应对建议。研究结果可为提升山区高速公路建设项目的动态管控能力提供理论依据与管理参考。

**关键词：**山区高速公路；边坡支护；方案动态调整

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.100

## 引言

山区高速公路因地形险峻、地质不确定性高，对边坡支护结构提出了极高的稳定性和适应性要求，施工中频繁出现支护方案动态调整现象，由此引发的成本追加成为项目管控的难点和重点。现行工程管理体系对该问题缺乏系统化应对机制，亟须在触发机理、成本影响与协同管理等方面开展深入研究，以保障工程安全与投资效益的有机统一，推动山区高速公路建设高质量发展。

### 一、山区高速公路边坡支护工程特点分析

山区高速公路边坡支护工程具有显著的地质复杂性和技术特殊性，其特点主要体现在边坡稳定性风险高、地质条件多变、设计与施工适应性要求强等方面。由于山区地形起伏较大，路基工程往往需穿越山体或沿山而建，导致边坡高差较大、坡度陡峭，支护工程面临岩土体力学性质差异大、软弱夹层和不良地质体发育等不确定性因素，这些因素使得边坡在天然状态下极易发生变形乃至滑坡，直接威胁到施工安全和运营期结构稳定性。边坡支护作为控制边坡变形、提高工程安全性的关键手段，必须依据地质勘察成果精细化设计，合理选择支护结构类型，如锚杆喷混、框架梁、抗滑桩、挡土墙等，并结合排水系统实现整体稳定控制<sup>[1]</sup>。

### 二、边坡支护方案动态调整的触发因素

#### （一）地质勘察误差与现场地质突变

在山区高速公路建设中，由于地形复杂、地质构造多样且不良地质发育频繁，地质勘察往往难以实现对地下岩土体状况的全面准确识别，勘察成果中常存在对软弱夹层、断层带、地下水位及岩体节理裂隙发育程度的判断误差，这些隐性地质条件在设计阶段难以完全揭示，在施工过程中则可能突发显现，从而引发边坡结构稳定性判断偏差，导致原有支护方案在实施中失去适应性，进而迫使设计单位根据现场实际揭露情况进行支护体系的补强、加固或重构，以保证工程结构安全与施工进度有序推进，这类动态调整触发机制主要源自勘察成果精度与现场实际不一致所引发的地质条件突变问题，其特征在于突发性强、处置紧急性高、成本不确定性大<sup>[2]</sup>。

#### （二）气候条件对边坡稳定性的影响

在山区环境下，气候条件变化对边坡工程稳定性具有显著影响，特别是频繁的强降雨、持续性降水、季节性冻融以及暴雨突袭等极端气象事件，会加剧边坡岩土体的孔隙水压力升高，诱发土体软化、抗剪强度降低等一系列物理化学变化，进而促使边坡在短时间内发生滑动、塌方或局部失稳现象，尤其在支护结构尚未完全形成整体受力体系时，极端天气会直接冲击初期支护构件，导致结构失稳风险剧增，此时工程管理部门往往需要基于气象预测及现场灾害演化趋势，及时对支护方案进行动态调整与加固处理，例如增加排水系统、优化支护结构布局、设置主动防护网等措施，从而实现突发气候风险的应对，这种以气象驱动为核心的动态调整触发机制具有明显的时间敏感性与过程动态性特征<sup>[3]</sup>。

#### （三）工程变更、设计优化与标准调整

在高速公路边坡支护工程推进过程中，由于施工现场的资源配置、结构适配性评估及运营期安全冗余考量等综合因素，常常出现工程变更、设计优化或上级单位技术标准更新的情形，这类调整既可能源自施工图设计优化以提升结构可靠性或经济性，也可能源于项目业主或监管单位对施工安全等级提出更高要求，抑或是相关行业技术规范或地方标准发生调整并强制执行，从而导致原有设计参数、施工工艺或材料选型不再适应新的标准体系，在此背景下，为满足技术规范、法规要求及安全冗余，边坡支护结构需在不改变总体路线和工期的前提下进行设计重构或局部调整，这类调整往往具有制度驱动性和管理指令性特征，是当前工程管理体系下较为常见的一类动态调整触发方式，需在项目执行阶段保持高度关注与快速响应能力<sup>[4]</sup>。

#### （四）施工技术、设备及工法适应性

在山区高速公路施工现场，边坡支护方案的可实施性不仅取决于结构设计的科学性，还受到施工技术水平、设备性能、工法匹配度等实际施工能力的制约，当出现设计结构在现场因地形狭窄、设备无法到位、施工工艺受限等问题时，原有支护方案即面临技术适配障碍，为

此施工单位需提出合理化建议，通过变更施工方法、优化结构参数或调整支护方式，以实现设计意图与现场条件的有机统一，这类动态调整往往是在施工组织设计阶段或施工过程中发现问题并逐步推进优化，具有工程实践主导的特点，其成本变化亦需通过现场签证、设计变更等程序予以确认并纳入成本追加机制中，从而形成以技术适应性为基础的动态支护调整路径<sup>[5]</sup>。

### （五）安全性评估与风险响应要求

边坡支护工程在施工及运营期需接受动态安全性评估与风险监测响应机制的持续监管，特别是在设有深挖高填、长大边坡或处于地质灾害频发带的路段，往往需部署多源监测设备，如位移计、测斜仪、裂缝监测器及视频监控系统等，用以实时获取边坡变形趋势与结构受力状态，当监测数据超出预设阈值或出现异常趋势时，将触发安全响应机制，督促工程技术人员组织专家评审并提出针对性加固或结构优化建议，这种基于实时监测与评估判断的动态调整机制具有显著的技术闭环特征与风险导向性，其目标在于通过精密监测与科学决策实现对潜在边坡失稳风险的前置控制与成本预警，是现代工程信息化治理在边坡支护动态调整中的重要体现，也为施工成本追加机制的制度化提供了可靠的技术支撑与数据依据，如图1所示<sup>[6]</sup>。

## 三、施工成本追加的影响机制分析

### （一）动态调整对施工量的变化影响

边坡支护方案在施工过程中因地质条件突变或施工环境变化而进行动态调整，首先会直接导致施工工程量的非线性变化，例如原设计中采用一定长度和数量的锚杆支护结构，若在现场揭示出软弱地层或滑动面范围扩大，必然要求增加锚杆密度、加深锚固深度或扩大支护覆盖范围，从而引发支护工程量的成倍增长，另外，如增加排水盲管、帷幕注浆或更换为抗滑桩等刚性支护结构，都会导致基础开挖、钢筋混凝土浇筑、材料运输等多项工程量上升，进一步引起土石方工程、临时施工便道、施工便设施布置等外围附属工程随之扩展，进而形成施工资源投入显著增加的连锁反应，而这一类由动态调整所诱发的工程量变化往往不具备前期预算中的预见性，成为施工成本追加机制触发的第一影响变量。

### （二）支护结构调整引起的材料与设备成本变动

随着边坡支护设计的动态调整，原结构形式往往被

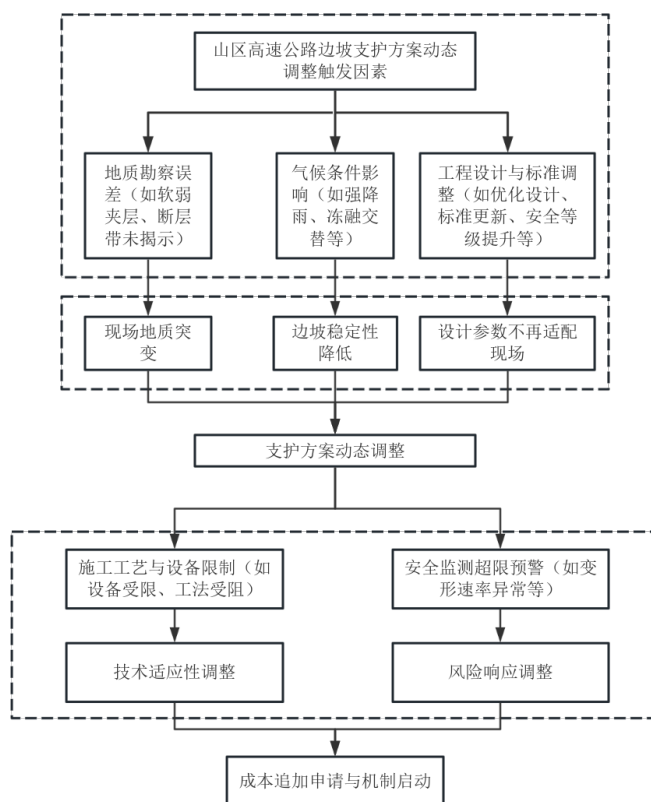


图1 山区高速公路边坡支护方案动态调整的主要触发因素示意图

替换或叠加新的结构系统，其结果直接反映在材料用量及设备配置上的显著变动，例如将锚杆喷混结构改为抗滑桩加框架梁组合支护，将导致钢筋、水泥、砂石及模板等材料需求显著增加，同时施工所需的钻孔设备、桩机、混凝土泵车及喷浆机台班数大幅提升，尤其在高边坡、大跨断面及特殊地质段，设备作业空间受限，将进一步提高施工难度及机械设备租赁成本。若调整结构涉及新型工艺材料，如土工格栅、高性能注浆材料或高强钢筋，均将超出原材料单价体系，形成造价的突增效应，而此类结构调整引发的材料与设备成本变动具有不可逆性和突发性，往往成为成本追加核算中金额最大的组成部分。为进一步明确支护方案动态调整前后施工成本构成的变化情况，见表1。

表1 边坡支护方案动态调整前后施工成本影响因素对比表

成本影响因素	动态调整前情况	动态调整后变化	成本影响趋势
支护结构类型	锚杆+喷混	增设抗滑桩+排水系统	↑
材料使用量	常规用量	大幅增加	↑
设备使用	标准设备配置	增加特种设备/台班	↑
工期安排	正常进度	延期5至10天	↑
管理与设计费用	按计划投入	增加协调与重设图纸成本	↑
风险准备金使用	未启动	部分或全部释放	↑

### （三）施工工期变化与间接费用增加

边坡支护方案的调整不仅影响直接施工内容，还不可避免地会对施工总工期造成冲击，当设计变更涉及支护

重构或施工逻辑重排时，需等待新的设计审批及材料设备进场，进而导致局部或全线暂停施工，形成工期延误，加之施工环境本身受限、边坡高差大、机械调度困难等

特征更易放大这一延误效应,使原有施工计划发生整体滞后,而随之而来的施工组织成本、现场管理费用、人员机械待工费用、临时用电用水费用等间接费用将大幅增加,同时施工企业需为延长期间维持施工现场安全防护和环保措施,导致额外投入持续增长,在部分合同中还可能因总工期变化而引发履约成本、合同索赔及工期奖惩机制的调整,形成间接费用与合同责任风险并存的多重经济压力。

#### (四) 管理成本、监理费用与设计修改成本

边坡支护动态调整后,还将显著增加工程项目全过程中的管理协同成本,例如施工单位需组织专题技术分析、方案优化论证、专家评审及报批报审流程,增加项目部技术与商务人员负担,设计单位需基于现场实况进行方案修改、图纸重绘、计算书更新及出具补充说明文件,监理单位需增加对新方案的审核频次、现场监督力度及验收程序,均引发其服务成本与时间投入的扩大,这些环节所产生的管理费用、设计修改费用和监理新增费用虽然在单项金额上或许不及材料与工程量的增加成本显著,但由于涉及多方主体、多项流程及跨周期协同,往往在项目后期形成预算外成本压力,且需通过正式的商务谈判与合同调整程序予以落实,对工程造价控制和追加机制构成深层次管理挑战。

#### (五) 风险准备金与不可预见费用的动态释放

在边坡支护工程设计与造价编制过程中通常会设立一定比例的风险准备金与不可预见费用以应对施工过程中的不确定因素,而在实际施工中,当支护方案因触发机制而调整时,这一部分费用将进入动态释放阶段,即从原本的预估性费用转变为实际支出项目,用于覆盖新增支护结构、材料差价、临时措施或因安全要求提高而配套的边坡监测系统等支出,其释放路径通常需依据调整方案的技术合理性、施工签证记录和设计单位说明文件等进行佐证,合理性论证是否充分成为是否启动追加机制的关键判断依据,而一旦实际支出超出风险准备金预设范围,将引发第二轮预算调整与资金协调,从而将不可预见费用演变为实际成本追加的重要通道,该机制在现代高速公路项目中已成为动态投资控制的关键环节之一,强调事前设防、事中管控与事后追溯的全过程闭环逻辑。

#### 四、边坡支护调整与施工成本追加的协同管理机制

在山区高速公路边坡支护工程实际推进过程中,支护方案的动态调整与由此带来的施工成本追加具有高度的同步性和复杂性,因此亟须建立一套系统的协同管理机制以实现设计优化、成本控制和施工安全的有机统一。在这一机制中,应先构建以设计、施工、监理、业主单位为核心的多主体协同工作体系,通过设立动态调整决策流程,实现信息在各参与方之间的高效传递与响应,从支护调整的技术论证、设计变更、施工方案优化到成本测算与追加审批,每一个环节均需纳入闭环管理流程,确保调整依据充分、程序合法、成本合规。在项目推进

过程中,基于施工现场的实时数据采集与变形监测结果,建立动态风险识别与响应机制,并将其纳入支护结构的调整判定依据体系中,确保方案调整具备科学支撑。同时,施工成本追加部分应与预算管理、合同管理紧密联动,推行全过程造价控制理念,通过提前预设调整触发条件、明确调整审批路径和费用认定标准,降低因调整引发的造价争议。

#### 五、机制优化建议与制度化路径探索

针对目前山区高速公路边坡支护方案动态调整过程中存在的响应不及时、成本控制不精准、责任边界不清晰等突出问题,亟须在机制层面进行系统优化,并探索可推广、可复制的制度化路径,以提升工程项目在面对复杂地质与不确定性风险时的动态管理能力。

应构建基于实际工程案例数据的动态调整判定标准体系,明确不同地质条件、支护形式和风险等级下的方案可调整性阈值,为现场调整提供科学、量化的触发依据;同时建立区域性边坡支护技术与成本数据库,借助大数据分析类比法支持方案调整的技术选型与费用测算,提高调整的准确性与决策效率。

在制度层面,应推进工程变更与成本追加管理标准的统一化和规范化,制定涵盖技术论证流程、成本核增路径、审批时限节点、费用列支原则的标准化作业规程,以减少因制度模糊引发的管理滞后与履约争议。在数字化技术支持下,可同步构建基于BIM、GIS和工程监测系统融合的智能化支护调整管理平台,实现地质数据实时更新、设计快速迭代、施工进度同步可视化、成本变化自动分析,形成“设计—施工—造价—监测”多维一体的智慧决策支撑系统。

#### 结语

本文围绕山区高速公路边坡支护方案动态调整与施工成本追加问题,系统分析了触发因素、成本影响机制及协同管理路径,提出了优化机制和制度化建设建议,旨在提升工程动态应变和成本控制能力。受限于案例数据支撑和实证研究深度,尚需在未来工作中结合典型项目开展多维度验证与系统建模,以进一步完善理论体系与实践适用性。

#### 参考文献

- [1] 梅红. 山区高速公路路堑高边坡施工技术研究[J]. 交通世界, 2025, (15): 75-77.
- [2] 王金斌. 山区建筑地基基础常见的主要问题与防治[J]. 居业, 2025, (05): 46-48.
- [3] 张潇. 山区公路边坡稳定性分析及支护设计[J]. 交通科技与管理, 2024, 5(19): 127-129.
- [4] 周仁. 山区公路项目斜坡基底高填方边坡支护探讨[J]. 山西建筑, 2024, 50(16): 131-133+170.
- [5] 袁飞. 边坡绿化技术在高速公路边坡防护中的应用[J]. 运输经理世界, 2025, (15): 95-97.
- [6] 洪小顺. 公路工程施工成本精细化管理创新路径研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(10): 169-172.