

山区公路选线中的地质选线技术应用研究

周健朗

新疆交通规划勘察设计研究院有限公司 新疆 乌鲁木齐 830006

【摘要】：山区地形复杂、地质条件多变，公路选线常面临滑坡、崩塌、软弱地层及断裂构造等不良地质因素干扰，导致线路稳定性不足、工程造价增加及施工风险加剧。针对传统选线中地质因素考虑不充分、信息整合能力不足等问题，引入综合地质选线技术，通过遥感解译、工程地质勘察与多源数据融合分析，实现地质风险分区与线路方案比选优化。应用结果表明，优化后的选线方案在避让不良地质体、降低工程扰动及控制施工难度方面表现突出，有效提升线路安全性与经济合理性。

【关键词】：山区公路；地质选线；不良地质；线路优化；工程应用

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.065

引言

复杂山地环境中，地形起伏显著，岩土结构变化频繁，构造活动影响持续存在，使公路建设面临较高的不确定性。线路布设一旦忽视地质条件约束，极易引发边坡失稳、路基沉降及工程病害等问题，直接影响工程安全与后期养护成本。传统选线多依赖经验判断与局部勘察，难以全面反映区域地质特征，导致方案合理性不足。地质选线技术的引入，使线路设计能够建立在区域地质结构分析与风险识别基础之上，通过多尺度信息整合实现路径优化，为山区公路建设提供更加可靠的技术支撑。

1 山区公路线路布设中的地质约束特征分析

1.1 复杂地形条件对线路走向的限制

山地区域地形起伏显著，坡度变化剧烈，沟谷切割密集，等高线分布呈现高密度集聚特征，直接制约线路布设的连续性与顺畅性。线路走向需在纵坡控制、平曲线半径与视距条件之间实现协调，同时规避陡坡段与深切割谷地带来的工程不稳定因素。在高差较大的地段，若线路强行穿越高陡边坡，将导致大规模挖方或高填方结构出现，增加边坡失稳风险与施工难度。结合数字地形模型与三维地形分析技术，可对坡向、坡度及地形起伏进行精细化识别，实现线路在地形条件约束下的最优路径选择，兼顾安全性与工程经济性。

1.2 岩土结构差异对路基稳定性的影响

山区岩土体类型复杂多变，不同岩性组合与风化程度差异显著，对路基承载能力与变形特征产生直接影响^[1]。软弱夹层、强风化岩体及残积土分布区域，易在荷载作用下产生不均匀沉降或剪切破坏，影响路基整体稳定性。岩体结构面发育程度、节理裂隙分布以及含水状态变化，均会改变边坡稳定条件与抗滑能力。通过引入工程地质分区评价与原位测试技术，对岩土体物理力学参数进行定量分析，可为线路选线提供可靠依据，实现避让低强度地层与高风险区段的目标，提升路基结构安全等级与长期服役性能。

1.3 构造活动区域对工程安全的制约

断裂带、褶皱构造及活动构造区具有明显的地质不稳定性，地层错动与应力集中现象频发，对公路工程构成持续性威胁。构造活动区域往往伴随岩体破碎、渗透性增强及地下水活动加剧，易诱发滑坡、崩塌及地面变形等工程灾害。线路若穿越断裂密集带，将面临结构不均匀变形及抗震性能不足等问题，增加运营期维护压力。依托区域地质构造解析与地球物理探测技术，对断裂分布及活动性进行系统识别，可在选线阶段实现高风险区段的规避或跨越优化，保障线路在复杂构造环境中的整体稳定性与运行安全水平。

2 现行选线实践中地质识别不足表现

2.1 前期勘察深度不足导致风险遗漏

现行选线阶段地质勘察多停留在宏观判读与局部点位调查层面，勘察密度与深度难以覆盖复杂山地环境中的隐伏不良地质体。浅层钻探与有限剖面布设无法全面反映深部结构特征，断裂带延伸范围、软弱夹层分布及地下水赋存条件识别不充分，易导致潜在滑移面与不稳定区段被忽视。勘察手段单一，缺乏高分辨率地球物理探测与多尺度空间分析支撑，致使地质信息呈现离散化特征，难以形成连续性评价结果。提升勘察深度需依托精细化勘测理念，强化多层次探测技术协同应用，构建覆盖表层至深部的立体识别体系，从源头降低风险遗漏概率。

2.2 多源数据整合能力薄弱影响判断精度

山区选线涉及遥感影像、地质图件、钻探资料及监测数据等多类型信息，现行实践中数据标准不统一、空间精度差异明显，导致信息融合难度较大。数据处理过程缺乏统一平台支撑，难以实现多维度信息的动态叠加与关联分析，地质条件评价多依赖单一数据源，降低综合判断的准确性^[2]。遥感解译成果与实测资料之间缺乏有效校核机制，空间误差与属性偏差未能及时修正，影响选线决策可靠性。引入数字化与信息化技术路径，通过构建统一数据模型与地理信息系统平台，实现多源数据标准化整合与实时更新，可显著提升地质识别精度与空间分析能

力。

2.3 经验主导决策削弱方案科学性

选线决策过程中仍存在依赖经验判断的现象,地质风险评估缺乏量化分析支撑,导致方案比选结果受主观因素影响较大。经验驱动模式难以充分体现复杂地质条件下多因素耦合作用,易忽视隐性风险与长期稳定性问题,影响线路整体安全水平。缺乏系统化评价模型与多指标决策机制,使得不同方案之间的优劣对比停留在定性层面,难以形成科学的优化路径。引入基于数据驱动的决策方法,构建涵盖地质稳定性、工程可实施性及经济性指标的综合评价体系,可实现选线过程的标准化与量化,推动决策模式由经验依赖向科学决策转变。

3 地质选线关键技术体系构建路径

3.1 遥感与地质调查融合识别技术

遥感影像与工程地质调查的融合应用构成山区公路地质选线的重要基础支撑,通过多源空间信息协同解译,可实现对复杂地质环境的宏观识别与精细分析。高分辨率光学影像与合成孔径雷达数据能够反映地表形态、植被覆盖及水系分布特征,结合地形起伏变化与影像纹理特征,可初步识别滑坡体、崩塌堆积区及断裂构造带的空间分布范围。地质调查成果在此基础上提供岩性组合、结构面发育及风化程度等关键参数,形成多维度信息互补关系。通过构建基于地理信息系统的空间分析平台,实现遥感解译成果与实测地质数据的叠加分析,可对潜在不稳定区进行精确定位。进一步引入无人机倾斜摄影与三维重建技术,对重点区段开展高精度地形建模与地表形态识别,有助于提升复杂边坡及隐伏地质体的识别能力。数据处理环节结合机器学习算法,对影像特征与地质属性进行分类判别,提高识别结果的一致性与客观性。通过形成“宏观筛查—局部核查—精细验证”的技术链条,使地质选线由单一调查模式转向多源信息融合模式,为线路布设提供更加可靠的空间依据与技术支撑。

3.2 不良地质体分区评价方法

不良地质体分区评价是实现选线风险控制的关键环节,通过对区域内滑坡、崩塌、泥石流及软弱地层等因素进行系统划分,可形成清晰的地质风险空间格局。评价过程基于岩性特征、地形坡度、构造条件及地下水活动等多项指标,构建多因子综合评价体系,将复杂地质环境转化为量化的风险等级分布。各类指标通过标准化处理后赋予权重,结合层次分析法或熵权法确定指标贡献度,实现不同地质要素之间的协同评价^[3]。空间分析阶段利用栅格化建模方法,将区域划分为若干评价单元,通过叠加计算得到综合稳定性指数,进而划定高风险区、中等风险区与相对稳定区。针对重点不良地质体区域,引入现场原位测试与地球物理探测手段,对评价结果进行校核与修正,提高分区结果的精确性与可靠性。结合绿色发展理念,在

分区评价过程中同步考虑生态敏感区与水土保持要求,实现工程安全与生态保护的协同约束。通过形成系统化的分区评价成果,为线路避让高风险区段提供科学依据,同时为后续工程防护设计提供基础数据支持。

3.3 多方案比选与优化决策模型

多方案比选与优化决策模型是实现地质选线科学化的重要工具,通过对不同线路方案在地质条件、工程量及施工难度等方面进行综合评价,可筛选出最优路径。模型构建以多指标决策理论为基础,将地质稳定性、边坡安全系数、路基承载力及工程造价等因素纳入统一评价框架,通过建立指标体系实现定量分析。各指标依据其对线路安全与经济性的影响程度进行权重分配,结合归一化处理方法消除量纲差异,使不同类型数据具备可比性。在计算过程中引入模糊综合评价或灰色关联分析方法,对不确定性因素进行处理,增强模型对复杂地质环境的适应能力。通过构建决策支持系统,将多方案评价结果进行排序与敏感性分析,识别关键控制因素及潜在风险区段。进一步结合数字孪生技术,对拟选线路进行虚拟仿真,分析不同方案在施工与运营阶段的表现,实现动态优化调整。该模型能够有效降低主观判断对决策结果的影响,使选线过程建立在数据驱动与系统分析基础之上,提升方案选择的科学性与可实施性。

4 针对性技术应用与问题修正机制

4.1 滑坡与崩塌区段的线路避让策略

滑坡与崩塌发育区通常表现为地形破碎、坡体结构松散及重力作用显著增强,对线路稳定性形成持续威胁。线路布设需在识别滑移边界与潜在破坏面的基础上,优先采取整体避让思路,通过调整平面走向与纵断面布置,使线路远离不稳定坡体及堆积区。对不可完全绕避的区段,应通过控制开挖深度与减少边坡扰动强度,降低诱发次生灾害的可能性。空间分析过程中结合高精度地形模型与地质分区成果,对滑坡体规模、活动性及稳定性进行分级评价,从而确定不同区段的避让半径与安全控制范围。设计阶段同步引入生态防护理念,减少大规模开挖对原有坡体结构的破坏,维持自然应力平衡状态。通过形成“识别—分级—避让—控制”的技术路径,使线路在复杂地质环境中实现安全与工程可行性的协调统一。

4.2 软弱地层条件下的路径调整方法

软弱地层区域多具有压缩性高、承载能力低及变形敏感性特征,对路基长期稳定构成不利影响。线路布设需结合地层分布特征,通过路径微调实现对低强度区域的有效规避,优先选择基岩埋深较浅、结构完整性较高的地段。纵断面设计应控制填挖平衡,避免形成高填方结构对软弱地基产生附加应力集中。对无法完全避让的区段,通过优化线路平面位置与减少跨越长度,降低不良地层影响范围^[4]。地质参数分析结合原位

测试结果,对压缩模量与抗剪强度进行精细化评估,为路径调整提供定量依据。技术应用中融入精细化设计理念,通过多轮迭代优化,实现路径与地层条件的匹配程度提升,使线路在满足工程技术标准的同时兼顾长期沉降控制与结构安全。

4.3 断裂构造区工程适应性优化措施

断裂构造区具有岩体破碎、应力集中及变形不均匀等特征,对公路工程结构安全提出更高要求。线路选线阶段需依据构造分布特征,对断裂带宽度、活动性及影响范围进行系统识别,在满足工程条件的前提下尽量减少穿越长度。对必须跨越的区段,应通过优化线路角度与交叉方式,减小构造错动对路基结构的影响程度。工程适应性设计需结合断裂区岩体力学性质,合理控制边坡坡率与开挖方式,降低扰动引发的结构失稳风险。空间布局中引入分段控制理念,对不同构造单元采取差异化处理策略,增强整体结构的协调性与稳定性。通过融合构造地质分析与工程设计优化方法,实现线路与地质环境之间的适应性匹配,确保复杂构造条件下的运行安全与结构可靠性。

5 技术应用后的工程表现与综合效益提升

5.1 线路稳定性与安全水平改善情况

地质选线技术的系统应用,使线路布设更加契合区域地质结构特征,有效避开高风险不良地质区段,整体稳定性显著增强。边坡失稳、地基变形等潜在风险得到前置识别与控制,路基结构受力状态趋于均衡,长期服役性能得到保障。通过精细化地质分析与路径优化,线路纵横断面布置更加合理,减少因地质不均匀引发的差异沉降与局部破坏。安全控制由事后治理转向源头防控,提升工程全生命周期的安全保障能力,同时为

后续结构设计与防护措施提供可靠基础数据支撑。

5.2 施工难度与工程成本控制表现

选线阶段对地质条件的精准识别与合理规避,显著降低复杂地段的施工干预强度,使施工组织更加高效有序。高边坡开挖、深基坑处理及特殊地基加固工程量得到有效压缩,施工工序复杂程度明显降低。工程量配置更加均衡,减少大规模土石方调配及临时工程投入,有助于缩短施工周期并优化资源配置^[5]。结合绿色发展理念,减少对原有地貌的破坏程度,降低环境治理与恢复成本。全过程成本控制能力得到提升,使工程投资结构更加合理,经济效益与资源利用效率同步优化。

5.3 运营阶段风险降低与养护压力变化

线路运行阶段受地质条件影响显著减弱,边坡病害、路基沉降及结构变形发生概率明显降低,运行安全水平持续稳定。前期选线优化使不良地质体影响范围被有效控制,减少突发性地质灾害对交通运行的干扰。养护工作由被动修复转向主动预防,日常维护频率与强度得到合理控制,养护资源配置更加科学。监测体系可依托前期地质数据实现精准布设,对重点区段进行动态跟踪,提高风险预警能力。运营期整体维护成本趋于下降,公路服务能力与运行可靠性保持良好状态。

6 结语

地质选线技术的系统应用,使山区公路线路布设更加契合复杂地质环境特征,风险识别与路径优化能力明显增强,工程安全性与稳定性得到有效保障。选线阶段精细化分析为施工组织与运营管理提供可靠依据,推动公路建设由经验驱动向数据驱动转变,整体技术水平与综合效益同步提升。

参考文献:

- [1] 陈亮青,李福裕.西部艰险山区公路综合勘察选线应用[J].工程建设与设计,2025,(20):41-43.
- [2] 郑大林,张力驰.浅谈山区公路选线应重点考虑的几个问题[J].低碳世界,2025,15(6):142-144.
- [3] 刘品.构造地质选线在山区高速公路建设中的运用研究[J].公路,2022,67(3):26-31.
- [4] 温影影.高地震烈度山区公路路线方案设计难点探讨[J].建筑技术开发,2021,48(8):140-142.
- [5] 刘维松.浅谈山区高等级公路地质选线的原则[J].中国住宅设施,2021,(1):16-17.