Analysis of Optimization Methods for Route Scheme Comparison and Survey Design of Mountainous Highways

Chuanlin Qing

Chongqing Jiaotong University Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Chongqing, 400074, China

Abstract

The terrain and geological conditions in mountainous areas are complex, and the ecosystem is fragile. The rationality of highway route planning and survey design directly affects engineering safety, economy, and ecological benefits. Traditional comparison and design methods have problems such as strong subjectivity and insufficient accuracy. Based on this, the core constraints of mountainous road construction are sorted out, and a route scheme comparison and selection system covering safety, ecology, technology and economy is constructed. Traditional experience analysis process standards, multi-objective quantitative model optimization, and technology integration and collaboration comparison and optimization strategies are proposed. At the same time, survey and design optimization methods are established from four dimensions: survey technology, route alignment, roadbed, bridges and tunnels, and ecological environmental protection, providing scientific support for mountainous road construction.

Keywords

mountainous highway routes; Scheme comparison and selection; survey and design; optimization method

山区公路路线方案比选与勘察设计优化方法分析

秦川林

重庆交通大学工程设计研究院有限公司，中国·重庆 400074

摘　要

山区地形地质条件复杂，生态系统脆弱，公路路线方案与勘察设计的合理性直接影响工程安全、经济与生态效益，传统比选与设计方法存在主观性强、精准度不足等问题。基于此，梳理山区公路建设核心约束条件，构建涵盖安全、生态、技术经济的路线方案比选体系，提出传统经验研判流程规范、多目标量化模型优化、技术融合协同的比选优化对策，同时从勘察技术、路线线形、路基桥隧、生态环保四个维度建立勘察设计优化方法，为山区公路建设提供科学支撑。

关键词

山区公路路线；方案比选；勘察设计；优化方法

1 引言

山区公路是区域交通网络的重要组成部分，对促进偏远地区经济发展、提升交通可达性具有关键作用。但山区高差大、不良地质集中，公路建设面临施工难度高、安全风险大、生态保护压力突出等挑战。

2 山区公路路线方案比选体系构建原则

2.1 安全优先原则

山区的地形地质状况复杂，不良地质现象较为集中，路线方案合理与否会直接决定公路建设以及运营整个生命周期的安全水准。在方案比选进程中，要借助科学的路线布局来避开重大安全风险，着重关注路线与不良地质区域的空间关联，保证路线走向可远离潜在的灾害源头。要充分考虑路线线形设计对行车安全产生的影响，合理设定线形指标，以保障行车过程中视线清晰以及行驶稳定。施工安全同样不能被忽视，路线方案应尽可能降低施工过程中的作业难度，减少高风险施工环节的出现。安全优先原则并非仅仅追求绝对安全，而是凭借系统的风险规避与防控，为公路建设与运营奠定坚实可靠的安全基础。它作为比选体系的前置性原则，会直接决定后续各项比选指标的合理性与可行性[1]。

2.2 生态友好原则

山区生态系统一般呈现出脆弱性的特点，公路建设期间的路线开挖以及工程作业很容易对沿线生态环境产生干扰。生态友好原则要贯穿于路线方案比选的整个过程。此原则要求路线方案在设计时充分依照自然地形地貌，降低对原生植被的破坏以及对地表的扰动。在路线走向的选择方面，要避开生态敏感区域，最大程度保护生物栖息地和自然生态廊道。要考虑路线建设可能引发的生态问题，借助合理的路

【作者简介】秦川林（1978–），男，中国四川安岳人，本科，高级工程师，从事公路路线、路基研究。

线布局减少水土流失等生态风险。生态友好原则并非否定工程建设的必要性，而是寻找工程建设与生态保护的平衡之处，依靠对生态影响的预先判断与规避，达成公路建设与自然环境的和谐共处，为公路的长期稳定运营提供良好的生态环境支持。

2.3 技术经济协同原则

技术可行乃是路线方案的一项基本前提条件，这意味着方案要可充分地适应山区的地形地质状况，并且符合公路设计的相关规范和标准。在进行比选的过程当中，需要对路线方案所涉及到的工程技术难度加以考量，以此来保证所选用的技术方案可有效地解决山区公路建设过程中出现的复杂问题，保障工程质量以及建设效率。经济合理要求路线方案在契合技术要求的基础之上，达成建设成本与运营效益的优化平衡，需要全面地考量路线建设过程中的各项成本支出，同时还要兼顾长期运营维护的经济性，防止因为片面地追求降低建设成本而致使后期运营维护成本急剧增加。技术经济协同原则并非单纯的技术与经济指标的简单相加，而是经过系统性的统筹考量，达成技术先进性与经济合理性的有机融合，保证所选的路线方案在有实施可行性的可实现全生命周期的效益最大化。

3 山区公路路线方案比选方法优化对策

3.1 规范传统经验研判流程，构建经验传承体系

传统经验研判法进行优化的关键之处在于减少主观方面的局限性，提高流程的规范性以及经验的传承性。要构建起标准化的研判流程，清晰确定实地踏勘的主要内容以及关键节点，详细划分地形地质适配性研判的具体依据，防止研判过程出现随意性。针对经验传承不够的问题，可以搭建行业内部的经验共享平台，全面梳理同类山区公路项目的比选案例以及研判要点，提炼出可复用的研判指引。加强技术人员的专业培训，把理论知识和实地研判实践结合起来，提高研判人员对复杂地形地质条件的识别能力以及方案筛查的精准程度。借助流程规范与经验传承这两方面的优化，保留传统方法快速高效的长处，又切实降低主观误判的风险，为后续的比选工作奠定坚实基础。

3.2 优化多目标量化模型，提升评价精准度

指标体系构建要提高针对性，紧密结合山区公路建设的核心约束条件，补充生态风险预判、施工安全难度等关键指标，同时去除关联性较弱的冗余指标，以此实现全面性与精简性的平衡。权重分配应突破单一分配模式，依据项目建设定位采用分层权重设定方式，对于生态敏感区域项目提高生态协调性指标权重，对于投资受限项目强化经济合理性指标考量。另外，引入动态修正机制，结合比选过程中的实际状况与后续勘察数据，对指标权重与量化标准进行适时调整，防止评价模型僵化。借助模型的系统性优化，提高量化评价结果的精准度与可靠性，更有效地支撑方案决策 [2]。

3.3 深化技术融合应用，建立协同保障机制

技术融合协同法的优化方向在于拓展技术应用场景与构建全流程协同机制，应推动地理信息系统、遥感、三维建模等技术的深度融合，打破技术应用壁垒，实现数据资源的互联互通，提升数据采集与分析的一体化水平。强化技术在风险预判中的应用深度，通过三维地质建模精准识别隐蔽性不良地质体，借助动态模拟技术预判方案实施后的生态影响与安全风险。同时，建立技术与管理的协同保障机制，明确技术应用的责任主体与流程规范，加强技术人员与工程管理人员的沟通协作，确保技术成果能够有效转化为方案优化的实际依据。通过技术融合深化与协同机制构建，充分发挥现代技术的支撑作用，提升比选工作的智能化与精准化水平。

4 山区公路勘察设计优化方法

4.1 勘察技术体系优化

勘察工作是山区公路设计的基础前提，其成果精度直接决定路线方案的合理性与工程建设的安全性。山区地形地质条件复杂，传统勘察技术易存在数据覆盖不全面、隐蔽性地质体识别不足等问题，因此亟需构建更为系统高效的勘察技术体系。优化勘察技术体系需立足山区勘察的核心痛点，通过技术融合与流程完善双轮驱动，提升勘察成果的精准度与可靠性，为后续设计优化提供坚实的数据支撑。

其一，推动多源勘察技术深度融合。整合遥感地理信息系统全球定位系统等先进技术的优势，构建空天地一体化勘察数据采集网络。遥感技术可实现大范围地形地貌与生态敏感区域的快速识别，为路线初步选线提供宏观数据支撑；地理信息系统能够对多类型勘察数据进行整合分析与空间可视化呈现，助力技术人员精准把握地形地质空间分布规律；全球定位系统则可实现勘察点位的精准定位，保障实地勘察数据的空间准确性。通过多技术协同应用，打破单一勘察技术的局限性，实现对山区复杂地形地质条件的全方位精准勘察。

其二，完善勘察流程动态优化机制。建立分层递进的勘察流程，先通过宏观勘察明确路线走廊带内的核心约束条件，再针对重点区域开展精细化勘察。强化初步勘察与详细勘察的衔接联动，将初步勘察成果作为详细勘察的依据，聚焦不良地质区域、生态敏感点等关键地段，合理调整详细勘察的范围与深度。同时，引入勘察成果动态校验机制，结合后续施工勘察反馈数据，对前期勘察成果进行复核修正，及时弥补勘察漏洞，确保勘察数据能够持续适配设计优化需求。

4.2 路线线形精准优化

路线线形精准优化需立足山区地形地质特征，以技术规范为遵循，实现线形指标与自然地形的有机融合，兼顾安全性能与经济效益的双重提升，为公路全生命周期运营奠定良好基础。

其一，强化平面线形地形适配性优化。平面线形设计应充分顺应自然地形走势，避免盲目追求直线指标而产生大规模填挖工程。优化过程中需重点考量不良地质区域的规避需求，通过合理设置曲线半径与缓和段长度，使路线平滑衔接地形起伏。同时注重线形指标的连续性与协调性，避免相邻线形指标突变导致驾驶风险提升，确保平面线形既满足技术标准要求，又能最大程度降低对自然地形的扰动 [3]。

其二，聚焦纵断面线形安全与经济平衡优化。纵断面设计需严格控制纵坡坡度与坡长，结合山区行车动力特性，合理设置坡段衔接方式，减少制动热衰退等安全隐患。优化高程控制方案，充分结合桥隧洞口位置与路基排水需求，避免高填深挖路段增多。同时加强平纵组合协调性优化，确保视线通透驾驶顺畅，实现纵断面线形在安全保障、工程成本与运营效率之间的最优平衡。

4.3 路基桥隧协同优化

路基桥隧是山区公路工程的核心组成部分，其协同性直接决定工程整体稳定性、安全性与经济性。山区地形地质复杂，路基与桥隧结构的衔接部位易成为工程薄弱环节，传统设计中各结构单独设计的模式往往导致衔接不畅、受力不均等问题。路基桥隧协同优化需立足系统工程理念，统筹考量各结构与地形地质的适配性，强化结构间的协同联动，通过设计统筹与技术协调，提升工程整体性能，降低安全风险与全生命周期成本。

其一，强化路基与桥隧衔接部位优化。衔接部位是路基与桥隧受力传递的关键节点，需重点优化过渡段设计。针对桥隧洞口与路基的衔接，合理确定过渡段的长度、填料类型及压实标准，确保衔接部位的刚度渐变，减少沉降差异引发的路面病害。同步协调桥隧基础与路基基底的受力状态，避免基础开挖对路基稳定性产生扰动，通过优化施工顺序与工艺，保障衔接部位施工质量，提升路基与桥隧结构的连续性和整体性。

其二，统筹路基桥隧结构与地质条件适配优化。结合沿线地质分布特征，统筹规划路基与桥隧的选型与布局。在不良地质区域，优先采用桥隧结构替代深挖高填路基，减少对地质环境的扰动；在地质条件较好区域，合理优化路基断面形式与桥隧跨度，实现工程规模与地质条件的适配。同时优化路基边坡防护与桥隧基础形式，使路基防护措施与桥隧基础承载力相匹配，桥隧结构选型与路基稳定性要求相协调，形成结构互补、受力均衡的协同体系 [4]。

4.4 生态环保设计优化

山区生态系统具有脆弱性和敏感性，公路建设过程中的地形扰动、植被破坏等行为易引发生态失衡问题。生态环保设计优化是山区公路践行可持续发展理念的核心举措，需立足生态系统保护需求，将环保理念贯穿勘察设计全过程，通过科学的设计手段平衡工程建设与生态保护的关系，实现公路建设与自然环境的和谐共生，降低工程对生态系统的不利影响。

其一，强化生态避让与修复一体化设计。选线阶段需精准识别生态敏感区域，优先避让自然保护区、水源涵养地、珍稀植被生长区等关键生态节点，通过优化路线走向减少对原生生态系统的占用。对于不可避免的生态扰动区域，同步设计生态修复方案，结合区域植被类型选择适宜的乡土物种进行植被重建，构建与周边生态环境相适配的植被群落。同时注重生态廊道的保留与构建，保障生物迁徙通道的连续性，维护区域生物多样性 [5]。

其二，推进水土保持与污染防控系统设计。针对山区降水集中易引发水土流失的特点，优化路基边坡、沟谷路段的水土保持设计，合理设置截排水系统、拦挡工程和植被防护措施，减少工程建设引发的水土流失。同步统筹施工与运营阶段的污染防控设计，优化施工场地布局减少扬尘扩散，在临近居民区路段优化路线设计降低交通噪音影响。针对路面径流污染，设计生态缓冲带和净化设施，降低污染物对周边水体的影响，构建全流程生态环保防护体系。

5 结语

山区公路路线方案比选与勘察设计优化需立足地形地质特征与生态保护需求，通过科学构建比选体系、优化比选方法，可有效提升方案决策的合理性；从勘察到生态环保的全维度设计优化，能够保障工程安全稳定性与综合效益。未来应进一步推动智能化技术与比选设计工作的深度融合，完善动态优化机制，强化绿色低碳设计理念的实践应用，不断提升山区公路建设的精细化与可持续化水平，为山区交通基础设施高质量发展提供更全面的技术保障

参考文献

[1] 莫建兴,凌达勇,陆海丽,等. 复杂山区高速公路路线方案设计与比选分析[J].西部交通科技,2025,(11):40-42.

[2] 罗宇峰. 地质地形条件对山区低等级公路路线布设的限制性因素研究[J].交通科技与管理,2025,6(22):119-121.

[3] 杨孟坤. 区域交通品牌建设与标准化体系建构——以盆周山区公路路线设计为例[J].中国品牌与防伪,2025,(11):152-154.

[4] 饶纪锋. 山区小交通量农村公路路线安全设计综合分析和应用[J].中国公路,2025,(18):101-103.

[5] 辛凯业. 山区公路路线设计原则及关键要点[J].四川水泥,2025,(07):220-222.