

复杂地形下道路工程设计的安全性与经济性研究

李旭

重庆晨彬建筑设计咨询有限公司, 重庆 400000

DOI:10.61369/ME.2025050034

摘要 : 复杂地形条件下的道路工程建设既是现代交通基础设施发展的必然趋势, 也是工程技术领域面临的重大挑战, 本文基于安全性与经济性双重目标导向, 系统分析了山区陡坡、软土地基、跨河跨谷以及防灾减灾等复杂地形条件下道路工程设计的技术要点与优化策略。通过采用智能化路线设计、创新性地基处理、模块化桥梁结构以及预防性防灾工程等技术手段, 能够在确保行车安全的前提下显著降低工程造价与运维成本, 为复杂地形道路工程的可持续发展提供理论支撑与实践指导。

关键词 : 复杂地形; 道路工程; 安全性设计; 经济性优化

Research on the Safety and Economy of Road Engineering Design in Complex Terrain

Li Xu

Chongqing Chenbin Architectural Design Consulting Co., LTD, Chongqing 400000

Abstract : Road engineering construction under complex terrain conditions is an inevitable trend in the development of modern transportation infrastructure. It is also a major challenge in the field of engineering and technology. Based on the dual goal orientation of safety and economy, this paper systematically analyzes the technical key points and optimization strategies of road engineering design under complex terrain conditions such as steep slopes in mountainous areas, soft soil foundations, crossing rivers and valleys, and disaster prevention and mitigation. By adopting intelligent route design, innovative foundation treatment, modular bridge structure and preventive disaster prevention engineering and other technical means, the project cost and operation and maintenance cost can be significantly reduced under the premise of ensuring driving safety, providing theoretical support and practical guidance for the sustainable development of complex terrain road engineering.

Keywords : complex terrain; road engineering; safety design; economic optimization

引言

随着国家“一带一路”倡议的深入推进与区域协调发展战略的全面实施, 我国道路交通网络建设正向纵深发展。越来越多的工程项目不得不穿越山川峡谷、跨越江河湖泊、贯通丘陵台地等复杂地形区域, 这些地质条件复杂、地貌形态多样、气候环境恶劣的区域, 不仅给道路工程设计带来前所未有的技术挑战, 更对工程安全性与经济性提出了严苛要求, 传统的道路设计理念往往侧重于技术可行性分析。而忽视了安全性与经济性的协调统一, 面对新时代高质量发展的客观要求与人民群众对安全出行的迫切期盼, 如何在复杂地形条件下实现道路工程设计的安全性与经济性双重优化, 已成为当前道路工程领域亟待破解的重大课题。

一、复杂地形下道路工程设计安全性与经济性的意义

(一) 保障行车安全减少事故风险

复杂地形条件下道路工程安全性设计的首要目标在于最大程度保障行车安全, 有效降低交通事故发生概率与伤亡损失。山区

道路因其坡陡弯急、视线受阻、气候多变等特点, 历来是交通事故高发区域, 据统计数据显示, 山区道路交通事故率比平原地区高出35%以上, 其中因道路线形不良、防护设施缺失、排水系统不完善等设计缺陷导致的事故占总数的48%, 软土地基路段由于地基承载力不足、路面沉降不均等问题。极易引发路面开裂、桥

作者简介: 李旭(1990.05-), 男, 大学本科, 中级工程师, 研究方向: 道路工程设计。

头跳车等安全隐患，严重威胁行车安全，跨河跨谷桥梁作为道路工程的控制性构筑物，其结构安全性直接关系到整条道路的通行能力与服务水平，一旦发生结构性损坏或功能性失效，不仅会造成巨大的经济损失，更可能导致重大人员伤亡。

（二）降低工程建设与维护成本

复杂地形道路工程经济性优化不仅体现在初期建设投资的合理控制，更重要的是通过全生命周期成本管理实现长远经济效益的最大化。在山区陡坡路段，传统的大挖大填施工方式不仅破坏生态环境，更会大幅增加土石方工程量与边坡防护成本，而采用桥隧结合、顺应地形的设计理念，虽然初期投资相对较高，但能够显著减少后期维护费用与环境治理成本。软土地基处理方面，盲目采用高强度地基处理方案会造成投资浪费，而通过精准的地质勘察与科学的处理方案选择，能够在满足承载力要求的前提下实现成本优化^[1]。

（三）提升道路使用寿命与效益

道路工程作为重要的基础设施投资，其使用寿命与综合效益直接影响国民经济发展与社会民生福祉。复杂地形条件下，恶劣的自然环境与频繁的气候变化对道路结构性能提出了严峻考验，如何通过科学的设计理念与先进的技术手段延长道路使用寿命、提升综合效益，是衡量工程设计水平的重要标准，在材料选择方面，针对不同地质条件与气候特点选用适宜的路面结构与材料组合。能够有效提高路面抗疲劳性能与耐久性^[2]。通过合理的荷载分析与应力计算，确保结构在设计使用年限内保持良好的服务状态；在排水系统设计方面，建立完善的路面排水与路基防护体系，有效防止水损害对道路结构的侵蚀破坏。

二、复杂地形下道路工程设计技术种类

（一）山区陡坡路段设计技术

山区陡坡路段作为复杂地形道路工程的典型代表，其设计技术的核心在于通过科学的线形设计与合理的工程措施。在确保行车安全的前提下最大程度适应地形条件，减少工程量与环境影响，现代山区道路设计技术主要包括三维线形优化设计技术、智能化选线技术以及生态适应性设计技术等，三维线形优化设计技术通过建立数字化地形模型与约束条件数据库，运用遗传算法、粒子群算法等智能优化方法，在满足技术标准与安全要求的前提下寻求土石方工程量最小、工程造价最低的最优线形方案^[3]。该技术能够综合考虑纵坡、平曲线半径、竖曲线长度等多重约束条件，通过多目标优化实现安全性与经济性的协调统一，智能化选线技术基于地理信息系统(GIS)与遥感技术，构建包含地质条件、水文环境、生态敏感区等多维信息的空间数据库，通过人工智能算法自动识别最优路径走向，避开地质灾害易发区、生态保护区等敏感区域，降低工程建设风险与环境影响成本。

（二）软土地基处理设计技术

软土地基因其含水量高、压缩性大、强度低、渗透性差等不良工程特性，给道路工程建设带来沉降控制、稳定性保证、工期延长等诸多技术难题。现代软土地基处理设计技术体系日趋完

善，主要包括预压固结技术、复合地基技术、置换技术以及加筋技术等多种处理方式，预压固结技术通过在软土地基上施加预压荷载并设置排水系统，加速土体固结过程，提高地基承载力并减少工后沉降，该技术具有处理效果可靠、工程造价相对较低的优点^[4]。但处理周期较长，适用于工期要求不紧迫的工程项目，复合地基技术通过在软土中设置桩体、置入加劲材料等方式，形成由桩体、加劲材料与天然软土组成的复合承载体系，显著提高地基承载力与变形控制能力，该技术处理效果显著、适应性强，但技术复杂、造价相对较高，适用于承载力要求高、沉降控制严格的重要工程。

（三）跨河跨谷桥梁设计技术

跨河跨谷桥梁作为复杂地形道路工程的关键控制性构筑物，其设计技术水平直接决定工程的安全性、经济性与美观性。现代桥梁设计技术呈现出大跨径化、轻型化、标准化、智能化的发展趋势，主要技术类型包括高性能材料应用技术、先进结构分析技术、施工工艺创新技术以及全寿命周期设计技术^[5]。高性能材料应用技术通过采用高强度混凝土、高性能钢材、新型复合材料等，在保证结构安全的前提下减少材料用量、降低结构自重，提高桥梁的跨越能力与经济性，先进结构分析技术基于有限元方法、非线性分析理论以及动力学分析技术，能够精确计算复杂载荷条件下桥梁结构的应力分布与变形特征，为优化结构设计、确保安全储备提供科学依据，施工工艺创新技术包括节段预制拼装、顶推法施工、支架现浇等多种施工方法，通过优选施工工艺能够缩短建设工期、降低施工风险、减少环境影响。

（四）防灾减灾工程设计技术

复杂地形条件下道路工程面临的自然灾害风险类型多样、影响程度严重，包括滑坡、泥石流、洪涝、冰雪、地震等多种灾害类型。防灾减灾工程设计技术的完善程度直接关系到道路的安全运营与可持续发展，现代防灾减灾工程设计技术体系包括灾害风险评估技术、工程防护技术、监测预警技术以及应急管理技术等多个层面，灾害风险评估技术基于历史灾害数据、地质勘察资料、气象水文信息等多源数据，运用概率统计方法、数值模拟技术、专家评判系统等手段，定量评估不同灾害类型的发生概率、影响范围与危害程度，为防灾工程的标准确定与方案选择提供科学依据^[6]。工程防护技术针对不同灾害类型采取相应的工程措施，如边坡防护工程、排水防涝工程、雪崩防护工程、抗震加固工程等，通过主动防护与被动防护相结合的方式，最大程度降低灾害对道路工程的破坏影响。

三、复杂地形下道路工程设计优化策略

（一）山区陡坡路段的安全性设计与经济性优化方案

山区陡坡路段的安全性设计与经济性优化必须建立在深度融合现代信息技术与传统工程经验的基础之上^[7]。通过构建多维度、多层次的设计决策体系实现双重目标的协调统一，在安全性设计方面，应当基于驾驶行为学理论与交通心理学原理。针对山区道路视距受限、纵坡较大、弯道密集等特点，采用渐进式线形

设计理念，通过合理设置缓和曲线长度、优化超高设置、完善视线诱导设施等措施，为驾驶员提供连续、舒适、可预期的行车环境，同时，结合山区气候多变、路面对着条件复杂等实际情况，在路面材料选择方面应优先考虑抗滑性能优异、耐久性强的高性能沥青混合料，并设置完善的路面排水与防滑设施，确保恶劣天气条件下的行车安全。应当充分运用数字化设计技术与大数据分析方法，建立包含地质条件、水文环境、生态因素、社会经济条件等多维信息的综合数据库，通过多目标优化算法寻求在满足技术标准与安全要求前提下的最优解。

（二）软土地基处理的技术创新与成本控制策略

软土地基处理技术的创新发展与成本控制策略的制定必须紧密结合工程实际需求与技术发展趋势。通过系统性的技术集成与管理创新实现处理效果与经济效益的双重优化，在技术创新方面，应当积极推广应用新材料、新工艺、新设备，如高效固化剂、智能压实设备、数字化监测系统等，通过技术手段的不断升级提升处理效果与施工效率。应当加强产学研合作，深入开展软土地基处理机理研究与技术攻关，重点突破深厚软土处理、复杂环境条件下施工、处理效果长期稳定性等关键技术问题，在成本控制方面，应当建立精细化的成本管理体系，通过优化设计方案、改进施工工艺、加强质量控制等手段降低工程造价，具体而言，在方案设计阶段应当充分利用既有地质勘察资料与相似工程经验，通过数值模拟分析与现场试验相结合的方式，精确确定地基处理范围、处理深度与处理参数，避免过度设计与重复处理。

（三）跨河跨谷桥梁的结构优化与投资效益提升

跨河跨谷桥梁的结构优化与投资效益提升是复杂地形道路工程经济性优化的关键环节，需要通过系统性的技术集成与管理创新实现结构性能与经济效益的协调发展。应当基于现代桥梁设计理论与计算方法，充分考虑地形条件、地质特征、水文环境、施工条件等多重因素，通过多方案比选与多目标优化确定最优的桥型方案与结构参数，具体而言，对于跨径较小、地质条件较好的河谷地段，可采用简支梁桥、连续梁桥等常规结构形式，通过标准化设计与工厂化预制降低建设成本。对于跨径较大、地质条件复杂的深谷地段，可采用拱桥、斜拉桥、悬索桥等大跨径结构形

式，通过结构优化与材料创新实现跨越能力与经济性的统一，在投资效益提升方面，应当建立基于全生命周期成本分析的投资决策模型，综合考虑建设投资、运营维护、更新改造、残值回收等各阶段成本与效益，通过量化分析确定最优的投资方案^[1]。

（四）防灾减灾工程的系统规划与成本效益平衡

防灾减灾工程的系统规划与成本效益平衡是确保复杂地形道路工程安全运营与可持续发展的重要保障，需要通过科学的风险评估与精准的投资配置实现安全目标与经济效益的有机统一。应当建立基于多灾种耦合分析的综合风险评估体系，通过历史灾害统计、数值模拟计算、专家咨询评判等多种手段，定量评估不同灾害类型的发生概率、影响程度与损失规模，为防灾减灾工程的标准确定与方案选择提供科学依据。应当统筹考虑工程防护与生态防护的协调发展，通过采用生态护坡、植被恢复、生物工程等绿色防护技术，在实现防灾减灾目标的同时促进生态环境的修复与改善，在成本效益平衡方面，应当建立基于风险分析的投资决策模型，通过量化分析防灾减灾工程的投资成本与预期效益，确定最优的投资规模与配置方案，具体而言，对于发生概率较高、影响程度较大的灾害类型，应当采用高标准的工程防护措施，确保道路运营安全。对于发生概率较低、影响程度有限的灾害类型，应当采用经济适用的防护措施，避免过度投资与资源浪费。

四、结语

复杂地形下道路工程设计的安全性与经济性研究是当代交通基础设施建设领域的前沿课题，其理论探索与实践创新对于推动我国道路交通事业高质量发展具有重要的战略意义。通过本文的系统分析可以看出，安全性与经济性并非对立的两极，而是相互促进、协调发展的统一整体，科学合理的设计理念与先进适用的技术手段，不仅能够有效保障道路运营安全，更能够在全生命周期内实现投资效益的最大化。随着新材料、新工艺、新设备的不断涌现，人工智能、物联网、大数据等新兴技术的深度应用，复杂地形道路工程设计将迎来更加广阔的发展空间。

参考文献

- [1] 聂士达, 刘辉, 廖志昊, 等. 考虑复杂地形的越野环境无人车辆路径规划研究 [J]. 机械工程学报, 2024, 60(10): 261–272.
- [2] 刘承, 刘憬. 贵州农村客运交通运输安全风险分析与对策措施探究 [J]. 中国水泥, 2024(S01): 143–145.
- [3] 叶文坤, 欧泽锋. 复杂地形区域水利工程进场道路和桥隧方案设计研究 [J]. 广东水利水电, 2023(10): 102–105.
- [4] 黄佳威, 王永前, 吴小娟. 顾及地形差异的高速公路结冰预报模型研究 [J]. 大气科学, 2024, 48(4): 1499–1510.
- [5] 陈思齐. 浅析复杂地形下道路与桥梁工程的挑战与对策 [J]. 汽车周刊, 2024(6): 0095–0097.
- [6] 宋贞金. 湿陷性黄土地区深V形沟路基填筑技术 [J]. 中国地名, 2024(5): 0133–0135.
- [7] 孟家玮, 沈嘉铖, 刘勇, 等. 山地风电场路堑边坡稳定性影响因素分析 [J]. 中阿科技论坛(中英文), 024(11): 93–97.
- [8] 刘锋刚, 张为, 罗进, 等. 复杂地形污水管网工程设计案例 [J]. 给水排水, 2024, 50(7): 130–135.