

桥梁跨越复杂地形问题及技术应对措施

胡文明

(安徽昌达路桥工程集团有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘 要 为了有效解决桥梁跨越复杂地形面临的诸多问题, 保障桥梁建设的安全性和可行性, 本文通过对桥梁跨越复杂地形存在的问题进行分析发现, 桥梁跨越复杂地形主要存在地形不稳定性影响基础施工、设计受地形空间和环境限制、施工难度与技术要求高、受自然灾害长期影响以及存在环境保护与资源利用冲突等问题, 并针对这些问题提出了可采用先进地质勘察技术、设计多功能结构桥梁、采用模块化施工技术、引入抗灾害设计理念以及实施绿色环保施工以减少生态破坏等技术应对措施, 旨在对提升桥梁建设质量和安全性有所裨益。

关键词 桥梁; 复杂地形; 自然灾害; 环境保护; 地质勘察技术

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.13.017

0 引言

随着交通基础设施建设的不断推进, 桥梁作为关键的交通枢纽, 在跨越江河、山谷、山脉等复杂地形时面临着诸多难题。复杂地形的不稳定性给桥梁基础施工带来极大风险, 如地基沉降、山体滑坡等, 严重威胁桥梁安全。同时, 有限的地形空间和复杂的周边环境对桥梁设计提出了严苛要求, 限制了常规设计方案的应用。此外, 恶劣的施工条件导致施工难度剧增, 技术要求远超普通桥梁建设。自然灾害频发也对桥梁长期稳定性构成威胁, 且桥梁建设过程中还需平衡环境保护与资源利用的关系。因此, 深入研究桥梁跨越复杂地形的问题及技术应对措施, 对于保障桥梁建设质量与安全、促进交通事业可持续发展具有重要意义。

1 桥梁跨越复杂地形的主要问题

1.1 地形不稳定性对基础施工的影响

在复杂地形中, 地质构造往往错综复杂, 岩土体性质差异显著。例如在山区, 岩石节理裂隙发育, 山体岩土体完整性差, 易受风化、雨水冲刷等作用影响, 导致地基承载能力不足。在河流、湖泊等水域附近, 地下水位变化频繁, 软土地基广泛分布, 地基土的压缩性高、抗剪强度低, 基础施工时极易出现沉降、不均匀沉降甚至滑移现象。像我国西南地区的一些峡谷地带, 地震活动较为频繁, 地震引发的山体震动会使地基土的工程性质恶化, 原本稳定的地基可能瞬间失去承载能力, 严重危及桥梁基础的稳定性。而且, 在地形起伏较大的区域, 进行基础施工时, 材料运输和施工设备就位困难, 施工过程中还需频繁调整施工工

艺以适应不同地段的地形条件, 这不仅增加了施工难度, 还极大地影响了施工进度和基础施工质量。

1.2 桥梁设计受限于地形空间和环境

复杂地形的空间条件对桥梁设计有着严格的约束。在狭窄的山谷中, 桥梁跨度选择受限, 难以采用常规的大跨度设计方案, 因为过大的跨度可能超出地形空间承载能力, 且会增加建设成本。而在城市密集区域, 周边建筑物林立, 桥梁设计需要考虑与既有建筑的空间关系, 避免施工过程中对周边建筑造成破坏, 同时要满足交通流线的合理组织, 这使得桥梁的平面和立面设计变得极为复杂。此外, 周边环境因素也不容忽视。在自然保护区、风景名胜区等对生态环境要求极高的区域, 桥梁设计要充分考虑景观协调性, 不能破坏当地的自然风貌。例如在一些有珍稀动植物栖息地的区域, 桥梁选址和结构形式的确定需经过大量的生态评估, 以减少对动植物生存环境的干扰, 这在很大程度上限制了桥梁设计的灵活性, 要求设计师在满足交通功能的同时, 兼顾生态与美学需求。

1.3 施工难度大, 技术要求高

在地势险峻的山区, 如高山峡谷, 施工现场交通不便, 施工材料及大型设备运输困难。例如在崇山峻岭间修筑大桥时, 必须先挖出一条临时通道, 由于地势险峻、地质不稳及路途艰险等问题, 比较耗时耗力^[1]。同时, 由于地质条件复杂, 对地基的施工提出了特殊的要求。对于深厚软土地基, 为了提高地基承载力, 必须采用搅拌桩和 CFG 桩复合地基处理工艺; 当遇到硬岩时, 常规钻孔灌注桩很难进行施工, 需采用爆破

成孔等特殊工艺,但施工安全及周边环境控制要求较高。在高空作业方面,如高桥跨越深壑,桥墩高度大,施工过程中高空作业的安全风险非常高,必须要有先进的施工设备和健全的安全防护措施,这对施工人员的技术水平和心理素质提出了很高的要求。

1.4 自然灾害对桥梁的长期影响

自然灾害是威胁桥梁长期稳定性的重要因素。地震发生时,地震波会使桥梁结构产生强烈震动,导致桥梁墩台位移、基础破坏、梁体脱落等严重病害。尤其是在地震频发的区域,桥梁遭受多次地震作用后,结构损伤不断累积,其抗震性能逐渐下降。强风也是影响桥梁安全的关键因素之一,对于大跨度桥梁,如悬索桥、斜拉桥,风荷载可能引发桥梁的振动,包括涡激振动、颤振等,长期的振动作用会使桥梁结构疲劳损伤,降低结构寿命。暴雨引发的洪水对桥梁下部结构影响巨大,洪水携带的大量泥沙、杂物会对桥墩产生冲刷作用,削弱桥墩基础的稳定性。此外,泥石流、山体滑坡等地质灾害一旦发生,可能直接掩埋桥梁、冲毁桥墩,对桥梁造成毁灭性破坏。这些自然灾害的发生具有不确定性和突发性,给桥梁的长期维护和安全运营带来了极大挑战。

1.5 环境保护与资源利用冲突

在桥梁建设过程中,环境保护与资源利用之间的矛盾较为突出。一方面,桥梁施工需要占用大量土地资源,在一些生态脆弱地区,如湿地、森林等,大规模的土地占用会破坏原有的生态系统,导致动植物栖息地减少,生物多样性降低。施工过程中产生的弃渣、废水若处理不当,会污染周边土壤和水体环境。例如,桥梁基础施工产生的泥浆若直接排入河流,会使河流水质恶化,影响水生生物的生存^[2]。另一方面,为了满足桥梁建设对材料的需求,过度开采砂石、石材等资源,可能引发山体滑坡、水土流失等地质灾害。同时,在资源运输过程中,也会增加能源消耗和碳排放,对环境造成负面影响。因此,如何在桥梁建设中平衡环境保护与资源利用的关系,实现可持续发展,是亟待解决的重要问题。

2 桥梁跨越复杂地形问题的技术应对措施

2.1 采用先进的地质勘察技术

在跨江大桥施工前期,准确地地质调查是桥梁穿越复杂地形的重要环节。先进的地质勘探技术可以对地下地质情况进行全面、深入地认识。例如,利用地质雷达技术,利用高频电磁波探测地下不同介质的界

面,可以清楚地显示地下岩土体的分层结构、空洞位置和断层分布情况,为桥梁基础的设计提供详细的依据。另外,利用人工激发地震波在不同层位的传播特征差异,对地层埋深、厚度及岩土力学参数进行准确分析。在山区复杂地形勘测中,可以利用航空物探技术,从空中获取大范围的地质信息,迅速确定可能存在的不良地质区,并有针对性地开展详细的地面调查。在此基础上,综合运用多种技术手段,精确掌握岩体风化程度、土体物理力学特性、地下水水位变化等不稳定因素,提前制定合理的地基施工方案,减少因地质问题引起的施工风险,保证桥梁地基的稳固性与耐久性。

2.2 设计多功能结构桥梁

面对复杂地形的空间限制和环境要求,设计多功能结构桥梁是有效途径。在狭窄山谷,可采用刚构—连续梁组合体系桥梁。这种结构结合了刚构桥的受力特点和连续梁桥的跨越能力,减少了桥墩数量,降低了对地形空间的占用,同时其良好的整体性和稳定性能适应山谷复杂的地质条件。在城市密集区域,双层桥梁结构较为适用^[3]。上层用于快速交通,下层可设置慢行系统或市政管线通道,既满足了交通流量需求,又合理利用了空间,还减少了对周边既有建筑的影响。在生态敏感区域,采用景观桥梁设计理念,将桥梁结构与当地自然景观相融合。例如,采用仿生学设计,让桥梁外形模仿当地的自然元素,如在有鸟类栖息地的区域,设计成类似飞鸟展翅造型的桥梁,不仅满足交通功能,还能最大程度减少对生态环境的视觉冲击,实现交通功能、空间利用和生态景观的有机统一。

2.3 采用模块化施工技术

复杂地形的施工难题可通过模块化施工技术有效缓解。在高山峡谷这类地形复杂、交通极为不便的区域,模块化施工的优势极为显著。其核心在于将桥梁整体结构拆解为多个标准模块,利用工厂环境进行预制生产。比如在桥墩施工环节,提前预制混凝土墩柱模块,随后借助直升机吊运或特制运输设备,将其快速运送至施工现场指定位置进行安装,这一过程极大地缩短了现场施工所需时间,同时大幅减少了材料运输量^[4]。梁体施工同样可采用节段预制拼装技术,每个节段在工厂内依照高精度标准制造,从源头上保证质量与精度。在现场拼装时,运用先进的定位及连接技术,使各模块之间紧密相连,确保连接的牢固可靠性。模块化施工还降低了对现场施工场地规模的要求,减少施

工期间对周边环境的干扰。恶劣天气条件下,工厂预制工作不受影响,能有效保障施工进度,整体上极大提高了施工效率,缩短工期,降低施工成本,有力推动复杂地形下的桥梁建设稳步开展。

2.4 引入抗灾害设计理念

自然灾害严重威胁着桥梁的长期安全,引入防灾设计理念已成为当务之急。地震波可引起桥梁结构的强烈振动,引起墩台位移,破坏基础,甚至破坏梁体。为了有效地解决这一问题,可以采取隔震、减震等设计方法。橡胶隔震支座可以延长桥梁的自振周期,减小地震输入。同时设置粘滞阻尼器,使其在地震作用下能有效地降低结构的自振反应,减少地震损伤。大跨径桥梁在强风作用下会产生涡激振动、颤振等现象,长期运行可导致结构的疲劳损伤。采用风洞试验技术,对不同风速和风向条件下的桥梁气动性能进行模拟,并对其进行优化设计,以提高其抗风稳定性。为应对洪涝灾害,在桥梁下部结构设计中增加了桥墩的抗冲击性。如涂上保护涂料,可以减少泥沙和杂物对桥墩的磨蚀;为了提高桥墩抗流稳定性,扩大基础尺寸^[5]。滑坡、泥石流等地质灾害也不可忽视,应合理选址,避开易发区,加强周边防护设计。全面引入防灾设计理念,从设计源头上提升桥梁抗自然灾害能力,保障桥梁的长期安全运行。

2.5 绿色环保施工,减少生态破坏

在桥梁建设中,绿色环保施工是实现可持续发展的必然要求。在土地利用环节,通过精心规划桥梁选址与设计,尽可能降低土地占用。优先选用大跨度桥梁方案,减少桥墩数量,缩小对周边土地的扰动范围。尤其在生态敏感区域,借助详细的地形分析,巧妙避开珍稀动植物栖息地,最大程度保护生态环境^[6]。施工产生的弃渣若处理不当,易造成环境污染。为此,需建立完善的分类处理机制。将可利用弃渣加工成建筑骨料,用于临时工程或周边道路铺设,实现资源循环利用^[7]。对于不可利用弃渣,依据地形与水文条件,选定合适的堆放场地,并设置挡土墙、截排水沟等防护设施,防止水土流失。废水处理同样关键。搭建专业污水处理系统,针对基础施工泥浆水、机械冲洗废水等,依次进行沉淀、过滤与净化处理。运用化学沉淀法去除重金属,生物处理技术降解有机物,确保废水达标排放,避免污染周边水体。在资源开采方面,严格遵循可持续原则,采用绿色开采技术^[8]。利用先进设备精准控制开采范围,减少对山体植被的破坏。

同时,加强生态监测,及时对开采区域进行生态修复,种植本土植被,恢复生态平衡。通过这些绿色环保施工措施,在推进桥梁建设的同时,最大程度减轻对生态环境的破坏,推动桥梁建设与环境保护协同发展。

3 结束语

桥梁跨越复杂地形面临着诸多严峻问题,地形的不稳定性、空间环境限制、施工难题、自然灾害威胁以及环保与资源利用的冲突,都给桥梁建设带来巨大挑战。然而,通过采用先进的地质勘察技术、设计多功能结构桥梁、运用模块化施工技术、引入抗灾害设计理念以及实施绿色环保施工等一系列有效措施,能够针对性地化解这些难题。这些技术应对措施不仅能确保桥梁基础稳固、结构安全,提升其抵御自然灾害的能力,还能最大程度降低对生态环境的破坏,实现桥梁建设与自然环境的和谐共生,为复杂地形条件下的桥梁建设提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 康周科.徐盐铁路跨越郟庐断裂带桥梁抗震设计[J].铁道建筑技术,2025(01):102-104.
- [2] 曹永煌.跨越敏感水体公路桥梁排水系统设计[J].工程技术研究,2024,09(19):177-179.
- [3] 李成杰,王洪洲,谢超.连续跨越多层城市运营道路匝道桥梁施工技术[C]//中国建筑金属结构协会.2023年全国建筑钢结构科技创新大会论文集.金环建设集团有限公司,2023.
- [4] 蒋丽忠,李伟,江力强.复杂地形处高速铁路轨道-桥梁系统地震响应放大效应[J/OL].铁道科学与工程学报,1-13[2025-03-03].<https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-CSTD20250114002.htm>.
- [5] 龙培.复杂地形地质条件下桥梁桩基的动态设计[J].公路交通技术,2024,40(03):55-61.
- [6] 陈杰.跨越繁忙运营铁路转体桥梁设计[C]//《施工技术》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2021年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(下册).中铁上海设计院集团有限公司,2021.
- [7] 王勇,王玉斌,马锐,等.上跨既有桥梁或跨越V字形沟谷现浇箱梁组合支架应用施工技术研究[C]//《施工技术》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2020年全国土木工程施工技术交流会论文集(下册).云南省建设投资控股集团有限公司,2020.
- [8] 胡晓斌.地形复杂山区桥梁总体设计要点分析[J].山西建筑,2024,50(04):164-166.