

复杂地质条件下道路与桥隧协同设计与施工技术研究

金 凯

安徽宇丰土工工程咨询有限公司 安徽 合肥 230031

摘要：随着现代化建设的加速推进，复杂地质条件下的道路与桥隧工程建设面临诸多挑战。本文深入研究了复杂地质条件的类型与特点及其对道路与桥隧施工的影响，提出了道路与桥隧协同设计的理念与目标，详细阐述了协同设计的主要内容、方法与技术。同时，针对隧道、桥梁及道路施工技术，本文探讨了多种施工方法与技术优化措施。最后，分析了复杂地质条件下道路与桥隧协同设计与施工的风险管理，为相关工程建设提供了科学依据和实践指导，有助于提升工程建设的安全性和效率。

关键词：复杂地质条件；道路与桥隧；协同设计；施工技术

引言：在复杂多变的地质环境中进行道路与桥隧工程建设，是一项技术难度大、安全风险高的挑战性工作。复杂地质条件不仅影响工程的施工进度和质量，还可能引发一系列地质灾害，对工程安全构成严重威胁。因此，如何在复杂地质条件下实现道路与桥隧的协同设计与施工，成为当前工程领域亟待解决的关键问题。本研究旨在深入探讨复杂地质条件对道路与桥隧工程的影响，提出有效的协同设计与施工技术，为类似工程提供理论支撑和实践指导，推动工程技术的创新与发展。

1 复杂地质条件概述

1.1 复杂地质条件的类型与特点

在岩土工程中，复杂地质条件通常是指那些具有多种不利地质特征的区域，这些特征可能对道路与桥隧的施工造成显著影响。（1）软弱破碎带：这类地质条件通常表现为岩土体强度低、节理裂隙发育、稳定性差。在施工过程中，软弱破碎带可能导致隧道掘进困难、支护结构失效，甚至引发地面沉降和塌方事故。（2）岩溶：岩溶地区常伴随有地下洞穴、暗河等，这些地质构造对道路与桥隧的施工安全构成严重威胁。岩溶发育区域的地质勘察难度高，施工时需要特别注意地下水的处理和溶洞的稳定。（3）特殊岩层：如膨胀土、盐渍土等，这些岩层的物理力学性质特殊，对道路与桥隧的施工和长期稳定性有显著影响。膨胀土遇水后体积会急剧膨胀，可能导致路面隆起或开裂；盐渍土则可能导致基础腐蚀和承载力下降。（4）高地应力：在高地应力区域，岩土体的稳定性较差，易发生岩爆、大变形等现象。这对隧道的掘进和支护设计提出了更高要求。

1.2 地质灾害分析

复杂地质条件下，道路与桥隧施工常面临多种地质灾害的威胁。（1）地震：地震可能导致施工现场建筑

物、道路、桥梁等基础设施倒塌，造成人员伤亡和财产损失。同时，地震还可能引发次生灾害，如山体滑坡、泥石流等，进一步加剧施工难度和安全风险。（2）泥石流：泥石流具有突发性、不可预测性，对道路与桥隧的施工安全构成极大威胁。泥石流可能直接冲毁施工设施，阻塞交通线路，甚至掩埋整个施工区域。（3）地面塌陷：地面塌陷通常由岩溶、地下水过度开采等原因引起，可能导致施工场地的不稳定，影响施工进度和质量。

2 道路与桥隧协同设计原则与方法

2.1 协同设计的理念与目标

（1）优化资源配置，提升整体效能。协同设计的核心理念在于打破传统设计中各专业之间的壁垒，通过信息共享和沟通协作，实现设计资源的优化配置。在道路与桥隧工程中，这包括设计人员、资金、技术、时间等多方面的资源。通过协同设计，可以确保各专业之间的紧密配合，避免设计重复和资源浪费，从而提升整体设计效率和质量。（2）确保设计方案的可行性与安全性。协同设计还强调在设计过程中充分考虑施工阶段的可行性和安全性。通过提前预判施工过程中可能遇到的问题，并在设计阶段进行针对性的解决，可以显著降低施工风险，提高工程质量。同时，协同设计还可以确保设计方案与现场实际情况的紧密结合，避免设计脱离实际，提高设计方案的可行性。

2.2 协同设计的主要内容

（1）地质勘察与评估。地质勘察与评估是道路与桥隧协同设计的基础。通过详细的地质勘察，可以了解工程所在地的地质构造、岩土性质、水文条件等，为设计提供准确的地质参数。同时，对地质条件的评估可以判断是否存在潜在的地质灾害风险，为设计方案的制定提供依据。（2）道路与桥隧的线型与结构协同设计。道路

与桥隧的线型与结构协同设计是协同设计的核心内容。在设计阶段,需要充分考虑道路与桥隧的线形协调性、结构安全性以及施工可行性。通过协同设计,可以确保道路与桥隧的线型流畅、结构稳定,同时满足交通需求和施工要求^[1]。(3) 施工方案的协同制定。施工方案的协同制定是协同设计的关键环节。在设计阶段,需要与施工单位进行充分沟通,了解施工条件和限制,共同制定符合实际情况的施工方案。通过协同制定施工方案,可以确保施工过程的安全性和效率性,降低施工成本和风险。

2.3 协同设计的方法与技术

(1) 地质雷达、遥感技术的应用。地质雷达和遥感技术是地质勘察和评估的重要手段。地质雷达通过发射高频电磁波并接收反射回来的信号,可以探测地下地质结构、洞穴和裂缝等;遥感技术则通过卫星、飞机等平台上的传感器获取地表信息,可以实现对大范围地质条件的快速评估。这些技术的应用可以显著提高地质勘察的精度和效率,为协同设计提供可靠的地质数据。(2) BIM(建筑信息模型)在协同设计中的运用。BIM是一种集成了建筑设计、结构分析、施工管理等多方面的数字化工具。在道路与桥隧协同设计中,BIM可以提供一个共享的设计平台,使得各专业设计人员可以实时查看和修改设计方案,实现信息的无缝传递和共享。此外,BIM还可以进行三维可视化和碰撞检测,帮助设计人员提前发现潜在的设计问题并进行优化。通过BIM的运用,可以显著提高协同设计的效率和质量^[2]。(3) 数值模拟与仿真分析在协同设计中的作用。数值模拟与仿真分析是道路与桥隧协同设计中的重要技术手段。通过数值模拟,可以模拟道路与桥隧在真实条件下的受力状态和变形情况;通过仿真分析,可以评估设计方案的安全性和稳定性。这些分析结果可以为设计方案的优化提供依据,确保设计方案满足安全性和可靠性的要求。同时,数值模拟与仿真分析还可以为施工方案的制定提供指导,降低施工风险。

3 复杂地质条件下道路与桥隧施工技术

3.1 隧道施工技术

3.1.1 主要施工方法

(1) 盾构法:该方法适用于城市地铁、水下隧道等需要控制地表沉降的工程。盾构机通过刀盘的旋转切削土体,同时依靠盾构壳体的支撑,保持开挖面的稳定。盾构法的优点在于对地表的干扰小,能够实现对周围环境的较好保护。(2) 地下钻井法:也称为TBM(全断面岩石隧道掘进机)法,适用于硬岩隧道。TBM通过旋

转刀盘破碎岩石,具有掘进速度快、自动化程度高的特点。但该方法对岩石硬度有一定要求,不适用于软岩或断层带。(3) 爆破法:在硬岩或极硬岩中,爆破法常作为主要的开挖方式。通过合理设计爆破参数,控制爆破范围,实现对岩石的有效破碎。但爆破法对环境的影响较大,需严格控制振动和飞石。(4) 开挖法:包括全断面开挖、台阶开挖、分部开挖等多种方式。全断面开挖适用于稳定地层,台阶开挖和分部开挖则适用于软弱地层,通过减小开挖面跨度,提高围岩稳定性。

3.1.2 特殊地质条件下的施工技术优化

(1) 软弱围岩大变形的主动支护设计:在软弱围岩中,由于围岩强度低、变形量大,需采用主动支护技术。如预应力锚杆(索)、钢拱架支护等,通过提前施加预应力,限制围岩变形,确保隧道稳定。(2) 高地温隧道的综合降温措施:高地温隧道施工需面对高温环境对人员、设备、材料的影响。可采取的措施包括:加强通风,利用新鲜风流带走热量;采用局部制冷设备,如空调、制冷机组等,降低洞内温度;优化施工时段,尽量避免高温时段作业;选用耐高温材料,提高设备和材料的耐热性能。

3.2 桥梁施工技术

(1) 基础施工技术。桥梁基础施工是确保桥梁稳定性的关键。在复杂地质条件下,需根据地质条件选择合适的基础类型,如桩基、沉井、扩大基础等。桩基施工需严格控制桩位偏差、桩身垂直度和混凝土质量;沉井施工则需关注沉井下沉过程中的稳定性和沉井内土压力的控制;扩大基础则需考虑地基承载力和沉降变形。(2) 主体结构施工技术。主体结构施工包括梁体、桥塔、桥墩等的施工。在复杂地质条件下,需采取特殊技术措施,如悬臂施工、顶推施工、转体施工等。悬臂施工适用于大跨度桥梁,能够在不中断交通的情况下进行施工;顶推施工则能够减小施工难度,提高施工效率;转体施工则能够在复杂地形条件下实现桥梁的精确对接^[3]。(3) 复杂地质条件下的桥梁加固与支护技术。面对滑坡、泥石流等地质灾害威胁,桥梁加固与支护技术尤为重要。采用抗滑桩、挡土墙、预应力锚杆等支护措施,提高桥梁基础的抗滑移和抗倾覆能力。同时,加强桥梁结构的健康监测和维护保养,及时发现并处理潜在的安全隐患。

3.3 道路施工技术

(1) 路基施工技术。路基施工需确保路基的稳定性和承载力。在复杂地质条件下,需采取换填、预压、桩基加固等措施,提高路基的强度和刚度。同时,加强路

基排水设计,防止水害对路基的破坏。在软弱地层中,还需采取地基处理措施,如注浆加固、排水固结等,提高地基的承载能力。(2)路面施工技术。路面施工需确保路面的平整度、强度和耐久性。在复杂地质条件下,需采用高性能的路面材料,如沥青混凝土、水泥混凝土等。同时,加强路面排水设计,防止水害对路面的破坏。在寒冷地区,还需采取抗冻融措施,提高路面的耐久性。(3)复杂地质条件下的道路排水与防护技术。在复杂地质条件下,道路排水与防护技术尤为重要。需根据地形地貌和地质条件,合理设计排水系统,如边沟、排水沟、截水沟等,确保路面排水畅通;同时,采用植物防护、工程防护等综合措施,防止水土流失和边坡失稳。对于特殊地质条件,如滑坡、泥石流等,需采取针对性的防护措施,如抗滑桩、挡土墙、护坡等,确保道路的安全运营^[4]。

4 复杂地质条件下道路与桥隧协同设计与施工的风险管理

4.1 风险评估方法

(1)地质灾害风险评估。地质灾害风险评估是复杂地质条件下道路与桥隧工程风险管理的重要组成部分。首先,应通过对工程所在地的地质条件、历史灾害记录及潜在灾害因素进行综合分析,识别可能发生的地质灾害类型,如滑坡、泥石流、地面塌陷等。其次,运用定量和定性评估方法,如概率风险评估(PRA)、层次分析法(AHP)等,评估地质灾害发生的可能性和潜在损失。最后,根据评估结果,确定地质灾害风险等级,为制定针对性的预防措施提供依据。(2)施工过程中的风险评估。施工过程中的风险评估主要关注施工阶段可能遇到的各种风险,包括技术风险、安全风险、质量风险等。通过专家咨询、现场勘查、施工模拟等手段,识别施工过程中的潜在风险点,如隧道掘进中的围岩失稳、桥梁架设中的结构失稳、道路施工中的材料质量问题等。同时,结合风险评估工具,如风险矩阵、故障树分析等,评估风险的严重程度和发生概率,从而确定风险等级和优先处理顺序。

4.2 风险应对措施

(1)地质灾害预防措施。针对地质灾害风险,应采

取针对性的预防措施。如针对滑坡风险,可采取边坡加固、地表排水等措施;针对泥石流风险,可建设拦砂坝、导流沟等设施;针对地面塌陷风险,应加强地下空洞的探测与注浆充填。此外,还应建立健全的地质灾害监测预警系统,及时发现和预警地质灾害的发生。(2)施工过程中的风险控制措施。在施工过程中,应实施严格的风险控制措施。如加强施工过程的实时监控,利用现代监测技术,如地质雷达、传感器等,实时监控施工过程中的围岩变形、结构应力等关键参数。同时,加强施工人员的安全培训和技术培训,确保施工过程的规范性和安全性。此外,还应建立完善的施工质量控制体系,确保施工材料和施工工艺的质量。(3)应急预案与应急响应机制。为应对施工过程中可能出现的突发事件,应制定完善的应急预案。应急预案应明确应急组织架构、应急资源、应急流程等关键要素,确保在突发事件发生时能够迅速响应、有效应对。同时,还应定期组织应急演练,提高应急响应能力和协同作战能力。在突发事件发生后,应迅速启动应急预案,进行人员疏散、抢险救援等工作,最大限度降低损失和影响。

结束语

综上所述,复杂地质条件下的道路与桥隧协同设计与施工技术研究,对于保障工程安全、提升建设效率具有重要意义。通过深入分析地质条件特点及其对工程的影响,我们提出了协同设计的理念与方法,并探讨了针对性的施工技术优化措施。未来,随着科技的不断进步和工程实践的深入,我们将继续深化这一领域的研究,推动道路与桥隧工程建设向更高水平发展,为经济社会发展提供更加坚实的基础设施保障。

参考文献

- [1]张强,李明.道路桥梁施工技术与地质适应性研究[J].工程地质学报,2022,(12):123-124.
- [2]杨洋,赵光辉.复杂地质条件下道路工程监测技术综述[J].建筑科学与工程学报,2022,(09):98-99.
- [3]王磊,赵勇.岩溶地区道路桥梁施工安全风险评估与管理[J].岩土工程学报,2021,(06):87-88.
- [4]刘波,陈刚.软土地基道路桥梁施工技术与安全监控[J].交通工程,2023,(06):58-59.