

公路隧道施工技术难点与解决方案研究

张成武

福建省南平市公路事业发展中心政和分中心 福建南平 353600

摘要: 随着我国公路交通网络的不断拓展与完善,公路隧道建设日益增多。国道 G528 线政和县林屯至石屯段公路工程作为地区重要的交通基础设施项目,其隧道施工具有典型性与复杂性。深入研究该工程隧道施工技术难点并探索有效解决方案,对顺利推进国道 G528 线工程建设、提升公路隧道施工技术水平以及保障公路交通事业可持续发展具有极为重要的意义。基于此,本文章对公路隧道施工技术难点与解决方案进行探讨,以供相关从业人员参考。

关键词: 公路隧道施工技术; 难点; 解决方案

引言

国道 G528 线政和县林屯至石屯段公路工程作为重要的交通建设项目,其分离式林屯隧道的施工是整个项目的关键环节。该隧道工程面临着诸多技术挑战,为了确保隧道施工的顺利进行,保障工程质量和安全,有必要对公路隧道施工技术难点进行深入研究,并提出切实可行的解决方案。

1. 隧道在整体工程中的地位与重要性

林屯隧道作为国道 G528 线的重要组成部分,其地位举足轻重。它的建设缩短了两地之间的行车里程,有效提高了公路的通行效率,减少了车辆绕行带来的时间与能源消耗。从工程整体布局来看,隧道的贯通为路线的连贯性提供了保障,使得路线能够更为顺畅地穿越山脉等复杂地形,避免了大规模的高填深挖,降低了对周边生态环境的破坏程度,有利于保持区域生态平衡。隧道的质量与安全状况直接关系到整个公路工程的运营效益和使用寿命,在长期的交通运输服务中承担着极为关键的角色,是保障道路安全畅通的核心环节之一。

2. 公路隧道施工技术的难点分析

2.1 地质勘察与围岩稳定性评估

国道 G528 线所在区域地层岩性多样,存在多种岩石交错分布,其物理力学性质差异大。地质构造复杂,褶皱、断层频繁出现,改变了地层的连续性和完整性,增加了施工难度。水文地质条件多变,地下水位不稳定,水量大小不一,水质成分复杂,对隧道结构产生侵蚀作用,且地下水的流动还引发围岩失稳等问题。现有的勘察手段难以全面精准地获取地质信息,如一些隐蔽的地质构造被遗漏。围岩分级方法

受主观因素和现场局部情况影响较大,对于复杂地质条件下的围岩分级容易出现偏差,导致对围岩稳定性的判断失误,进而影响后续施工方案的合理性与安全性。

2.2 隧道开挖技术难题

在硬岩开挖时岩石硬度高,普通钻爆法难以有效破碎,且易造成超挖和围岩损伤。软岩则自稳能力差,开挖过程中极易发生坍塌,需采取谨慎的开挖方式并及时支护。破碎带、断层等不良地质段,围岩破碎松散,地下水丰富,开挖时出现涌水、塌方等灾害,如何安全高效地穿越这些地段是一大挑战。超挖会使隧道开挖轮廓超出设计范围,增加出渣量和衬砌工作量,还会导致围岩暴露面积增大,降低其稳定性。欠挖会使隧道净空不足,影响后续衬砌施工,需要二次爆破或人工处理,不仅耗费时间和成本,还对围岩造成进一步扰动。

2.3 隧道支护技术难点

隧道支护技术存在诸多难点,初期支护体系里,锚杆支护的长度、间距、锚固力设计及施工钻孔、锚固易出问题,影响加固效果。喷射混凝土支护,配合比与喷射工艺不佳,会使强度、耐久性、粘结力受影响,还会有厚度不均、回弹量大等情况。钢拱架安装时,加工精度和位置偏差会致拼接不紧密、受力不均、难密贴围岩。二次衬砌施工中,衬砌台车设计要适配断面变化,定位精度不够会影响衬砌厚度与外观。混凝土浇筑振捣不密实、养护不到位会有空洞、裂缝,衬砌背后排水系统施工复杂,堵塞破损会引发积水、渗漏等问题。

2.4 通风与照明技术难点

通风方面,其方式选择受隧道长度、断面大小、施工

方法等因素制约,各方式利弊共存,不当选择会致通风不佳。通风设备选型与数量配置需契合风量、风压要求,否则施工区域空气质量难保障,且施工中通风效果随作业面推进与条件变化而变,监测与参数调整实操难以精准把控。照明上,需依隧道路段与作业要求定合适照度,过高或低均影响行车与施工。灯具选型要综合多因素,布置要均匀无明暗交替与眩光,节能优化时设计合理控制系统难,难以达成节能目的。

2.5 施工安全与风险管理

坍塌风险因地质、开挖及支护因素频发;在特定地层中,瓦斯等有害气体的浓度监测与通风控制困难重重,易引发泄漏爆炸;复杂水文地质致使涌水突泥风险高,可瞬间淹没作业区。施工机械与人员方面,隧道空间局限使机械作业受限,交叉作业频繁,碰撞、坠落事故隐患大。风险评估时,因施工复杂不确定,风险因素权重与概率难精确定,评估模型准确性待提升。监测数据采集受传感器位置、数量、精度影响,传输分析易延迟或出错,预警指标无统一标准,信息发布难及时有效,应急处置易滞后。

3. 公路隧道施工技术难点的解决方案

3.1 地质勘察与围岩稳定性评估改进措施

3.1.1 综合地质勘察技术应用

在国道 G528 工程中,采用多种先进的物探技术与钻探相结合的综合勘察方法。利用地震波反射法对隧道沿线进行大面积快速探测,初步确定地层结构和潜在地质异常区域;再结合地质雷达对隧道掌子面前方短距离内的地质情况进行精细探测,精准识别诸如空洞、含水带等不良地质体。增加钻探的深度和密度,获取更准确的岩芯样本,分析岩石的物理力学参数。通过这些手段获取的多源数据,利用地理信息系统(GIS)技术进行整合分析,建立三维地质模型,直观呈现隧道区域的地质全貌,为施工方案制定提供全面、精确的地质依据,有效降低地质不确定性带来的风险。

3.1.2 动态围岩分级与监测

在施工过程中依据隧道掌子面实时揭露的围岩情况,及时调整围岩分级。设立专门的围岩监测小组,在隧道周边布置多种监测设备,如多点位移计、应力计等,实时监测围岩的变形和应力变化。采用自动化监测系统,数据通过无线传输至监控中心,实现 24 小时不间断监测。一旦监测数据出现异常波动,立即组织专家进行分析评估,根据评估结果对施工方案进行优化调整,如加强支护措施、改变开挖进尺

等,确保施工过程中围岩始终处于稳定状态,保障隧道施工安全顺利进行。

3.2 隧道开挖技术优化方案

3.2.1 个性化开挖方案制定

针对国道 G528 隧道不同围岩段的特性制定详细且个性化的开挖方案。在硬岩段,优先选用光面爆破技术,通过精确计算爆破参数,如炸药类型、装药量、炮孔间距和深度等,实现对硬岩的高效破碎,同时最大限度减少对围岩的扰动。在软岩段,采用机械开挖辅以微震爆破的方式,如利用悬臂式掘进机进行初步开挖,对于局部坚硬岩石采用小剂量、低振速的微震爆破进行破碎。对于破碎带、断层等不良地质段,先进行超前预支护,如采用超前小导管注浆、管棚支护等手段加固围岩,然后采用短进尺、弱爆破、多循环的开挖方式,每循环进尺控制在 0.5-1 米,并及时跟进初期支护,确保施工安全通过不良地质段。

3.2.2 超欠挖控制技术与措施

为控制超欠挖,在隧道开挖前,利用高精度全站仪进行精确测量放线,确定隧道开挖轮廓线,并在掌子面标注关键控制点。采用先进的隧道断面仪对开挖轮廓进行实时监测,将测量数据与设计数据进行对比分析,及时调整开挖参数。在施工管理方面,建立严格的超欠挖考核制度,对施工班组的超欠挖情况进行量化考核,与经济利益挂钩。加强对施工人员的技术培训,提高其操作技能和质量意识,确保按照设计要求进行精准开挖,减少超欠挖现象,提高隧道开挖质量和施工效率,降低施工成本。

3.3 隧道支护技术完善策略

3.3.1 初期支护质量提升措施

在锚杆支护方面,选用自钻式锚杆或中空注浆锚杆等新型材料,其具有安装方便、锚固力强的特点。施工时,采用专用锚杆钻机确保钻孔角度和深度符合设计要求,严格控制注浆压力和注浆量,保证锚杆与围岩的锚固效果。对于喷射混凝土支护,优化配合比设计,添加适量的纤维材料以增强混凝土的韧性和抗裂性,采用湿喷工艺,通过混凝土喷射机将搅拌好的混凝土均匀喷射到围岩表面,控制喷射距离和角度,减少回弹量,确保喷射混凝土的密实度和平整度。在钢拱架安装过程中,采用工厂化加工,利用数控设备确保加工精度,在隧道内安装时,使用定位模具和激光指向仪保证安装位置准确,拱架与围岩之间采用楔块和喷射混凝土紧密

贴合,使钢拱架能够均匀受力,有效发挥初期支护作用。

3.3.2 二次衬砌施工质量保障措施

衬砌台车采用液压全自动高精度台车,在每次衬砌前,对台车进行全面检查和校准,确保模板的平整度和定位精度。在混凝土浇筑过程中,采用分层浇筑、分层振捣的方式,振捣棒插入下层混凝土5-10厘米,确保混凝土振捣密实,避免出现空洞。加强混凝土的养护工作,在衬砌表面覆盖土工布并洒水保湿,养护时间不少于14天。对于衬砌背后排水系统,采用优质的排水管材,严格按照设计要求铺设,在施工过程中加强保护,防止其被损坏或堵塞。在衬砌完成后,利用无损检测技术如地质雷达对衬砌质量进行检测,如发现缺陷及时进行处理,确保二次衬砌的结构强度、防水性能和耐久性满足设计要求。

3.4 通风与照明技术优化方案

3.4.1 通风系统优化与智能控制

综合隧道长度、断面尺寸、施工进度等因素优化设计,通风方式选用混合式,进口端以压入式为主,出口端辅以抽出式,合理确定通风机安装位置与数量。选用高效节能轴流通风机,依计算明确功率与风量,通风管道采用新型材料如玻璃纤维增强塑料风管降阻。同时建立智能通风控制系统,在隧道内不同位置设置空气质量、有害气体、风速等传感器,实时采集环境数据,经数据传输系统传至控制中心。控制中心依预设通风标准与算法,自动调节通风机转速、开启台数及通风方向,保障隧道内空气质量佳、有害气体浓度达标,为施工人员营造健康环境,实现通风系统节能运行。

3.4.2 照明系统节能与人性化设计

隧道照明系统节能与人性化设计要点如下:依不同路段功能与视觉需求规划照明标准,入口段用高照度、高显色性灯具助力驾驶员适应光线变化,中间段选节能的LED灯具。灯具双侧对称布置,经精准计算间距与高度,保障光线均匀无暗区与眩光。设计智能照明控制系统,借光照传感器感知洞外光照强度,依时间和交通流量自动调光,闲时或无车时自动降亮节能。隧道内配备应急照明系统,以独立电源供电,在突发停电时提供充足照明,保障人员与车辆安全疏散。

3.5 施工安全与风险管理强化措施

3.5.1 安全风险预控与防范措施

在坍塌防范方面,加强地质超前预报工作,采用多种预报方法如TSP、地质雷达等提前探测围岩情况,根据预报结

果优化开挖和支护方案。对于瓦斯风险,在瓦斯存在的地段,加强通风换气,采用瓦斯检测仪实时监测瓦斯浓度,一旦浓度超标,立即停止施工并采取相应的通风稀释和防爆措施。在涌水突泥防范上,提前进行水文地质勘察,对的涌水突泥区域进行预注浆加固,设置排水系统和防水闸门等设施。加强对施工人员的安全培训和技术交底工作,定期组织应急演练,提高施工人员的安全意识和应急处理能力,确保在风险发生时能够迅速、有序地进行应对。

3.5.2 安全监测与预警系统完善

完善国道G528隧道安全监测与预警系统,首先构建全面覆盖隧道周边、拱顶及衬砌等关键处的监测网络,安置位移、应力、渗压等多种传感器,实时收集隧道与围岩的变形、应力、渗流数据。借助先进无线传输,数据快速稳定传至监控中心信息化平台。在监控中心依靠专业软件分析数据并构建风险评估模型,依此设定多级预警阈值。一旦监测数据超限,系统自动以短信、警报等形式向相关人员及时发送预警,精准指明预警位置与风险等级。相关人员接警后即刻启动应急预案,实施如加强支护、人员疏散等风险处置手段,最大程度降低安全风险,确保隧道施工安全无虞。

结束语

综上所述,国道G528线政和县林屯至石屯段公路隧道施工技术难点的攻克是一个系统而长期的过程。通过对地质勘察、开挖、支护、通风照明以及安全风险管理等关键环节的深入分析与针对性解决方案的制定实施,在保障隧道施工质量、进度与安全等方面取得了显著成效。公路隧道施工技术仍在不断发展进步,未来还需持续关注新技术、新材料在隧道施工中的应用,进一步优化施工工艺与管理流程。

参考文献:

- [1] 张同文. 高速公路隧道洞口施工技术研究 [J]. 江西建材, 2022, (12): 279-280+283.
- [2] 刘玉骞, 王寅辰, 姜涛. 公路隧道下穿施工对既有隧道的影响 [J]. 河北建筑工程学院学报, 2022, 40(04): 39-44.
- [3] 许朝枝. 高速公路隧道施工技术与管理控制研究 [J]. 运输经理世界, 2022, (34): 95-97.
- [4] 张建民. 高速公路隧道施工技术及管理控制要点分析 [J]. 运输经理世界, 2022, (26): 104-106.
- [5] 吴建军. 公路隧道工程施工中的难点与技术探讨 [J]. 智能城市, 2021, 7(07): 69-70.