

改扩建高速公路隧道特殊路段施工及监控量测方法研究

宋幸达

天津市赛英工程建设咨询管理有限公司 天津 300000

摘要: 针对改扩建高速公路隧道施工扰动大、空间受限、安全风险高的问题,本文识别并分类典型特殊路段,分析其工程特性与施工难点,研究冲击平原段、富水破碎带段等核心路段的专项施工方法及质量控制要点,优化监控量测总体设计、指标方法与数据处理流程,建立预警机制并验证其实用性。研究成果可有效防控施工风险、保障工程质量,解决施工与监控的核心难题,为同类改扩建隧道工程提供技术参考与实践支撑。

关键词: 改扩建;高速公路隧道;特殊路段施工;监控量测方法

引言: 随着高速公路改扩建需求激增,隧道特殊路段因地质复杂、结构特殊,施工扰动易引发坍塌、突水等安全隐患,监控量测作为风险防控的关键手段,其方法合理性直接影响工程安全与效率。现有研究对特殊路段针对性不足,难以适配改扩建工程的特殊性。基于此,本文聚焦特殊路段施工与监控量测核心问题,开展系统性研究,破解施工扰动、风险防控等难题,契合行业规范要求,具有重要的工程实践与理论价值。

1 改扩建高速公路隧道特殊路段识别与工程特性分析

1.1 特殊路段识别标准与分类

(1) 识别标准: 结合改扩建工程对既有隧道结构扰动大、施工空间受限的特点,以地质条件、结构状态、周边环境为核心识别依据,重点排查地质异常区域、结构损伤部位及对施工有显著影响的周边设施,明确识别指标与判定阈值,确保特殊路段无遗漏、无误判。(2) 分类方式: 按核心影响因素分为两类,一是按地质条件分类,包括富水段、破碎带段、岩溶段、软岩段等,明确各类路段的地质边界与分布范围;二是按结构状态分类,涵盖洞口段、横通道段、变截面段、既有衬砌破损段等,精准界定各类特殊路段的起止里程与结构特征。

1.2 典型特殊路段工程特性分析

(1) 洞口及浅埋段: 地形地貌复杂,多位于山体坡脚或沟谷区域,覆土厚度小,受地表水冲刷影响大;受力以偏压为主,既有衬砌易出现开裂、沉降;改扩建施工难点突出,易发生边坡坍塌、洞口失稳,且施工扰动易引发围岩变形。(2) 富水与破碎带段: 水文地质条件复杂,地下水丰富且水压较高,岩体完整性差、胶结程度低,稳定性极差;施工过程中易出现突水突泥、围岩大变形等风险,需重点控制排水与支护时机,避免灾害发生。(3) 既有隧道衔接段: 结构受力复杂,新旧结构衔接处应力集中明显,需满足协同工作要求;施工空间

狭小,新旧施工工序相互干扰,易导致衔接部位衬砌破损、渗漏,影响工程质量^[1]。

1.3 特殊路段改扩建施工核心难点

(1) 施工扰动控制: 改扩建施工易对既有隧道衬砌产生附加应力,导致衬砌开裂、剥落,同时扰动周边围岩,破坏其稳定性,如何精准控制爆破振动、开挖速度,减少扰动影响,是核心难点之一。(2) 安全风险防控: 各类特殊路段潜在隐患突出,洞口段易坍塌、富水段易突水、爆破施工易产生振动危害,且风险具有突发性、隐蔽性,防控难度大,需建立全方位、全过程的风险管控体系。(3) 施工效率与质量平衡: 特殊路段施工工艺复杂,需采取特殊支护、排水等措施,工序繁琐,且对施工精度要求高,如何在严格保障安全与质量的前提下,优化施工流程、提升施工效率,实现二者协同平衡,是施工过程中的关键难题。

2 改扩建高速公路隧道特殊路段施工方法研究

2.1 冲击平原段改扩建施工方法

(1) 地基加固与降水技术: 针对冲击平原段软土层厚、地下水位高、承载力低的问题,优先采用高压旋喷桩或水泥搅拌桩进行基底加固,优化桩径、桩间距与加固深度,形成复合地基,提升地基承载力;同时设置井点降水系统,在隧道两侧布置降水井,控制地下水位降至开挖面以下1.5~2.0m,减少地下水对围岩软化的影响,确保开挖面干燥稳定。(2) 开挖方法选择: 结合软土围岩特性,采用CRD工法或双侧壁导坑法进行分块开挖,严格控制单次开挖进尺不超过0.8m,减少对软土层的扰动;优化开挖工序,先加固隧道底部地基,再施工上部支护,避免基底隆起;采用机械冷开挖为主,辅以微振动控制,严禁爆破施工,防止振动引起软土触变沉降^[2]。(3) 支护结构施工: 初期支护采用“型钢拱架+钢筋网+早强喷射混凝土”联合体系,拱架基础设置扩大底板或托梁,防止

不均匀沉降；二次衬砌紧跟初期支护，缩短支护封闭时间，必要时增设临时仰拱以控制变形；新旧结构衔接处采用植筋+注浆工艺，对既有结构进行基底压浆加固，确保衔接段不发生差异沉降。

2.2 富水及破碎带段改扩建施工方法

(1) 治水排水技术：坚持“堵排结合、先堵后排”的原则，超前注浆堵水选用水泥-水玻璃双液浆，通过超前钻孔探测地下水分布，精准布置注浆孔，控制注浆范围与效果，减少地下水涌入；合理布置排水系统，在隧道两侧设置排水沟，优化排水坡度，增设集水井，提升富水段排水效率，避免地下水浸泡围岩导致岩体软化。(2) 围岩加固措施：针对破碎岩体，采用超前注浆加固工艺，优化注浆材料配比与注浆压力，增强岩体胶结程度，提升围岩整体性；优化钢拱架支护参数，选用高强度钢拱架，加密布置间距，采用锁脚锚杆固定，增强支护结构的承载能力，结合喷射混凝土与钢筋网，形成联合支护体系，有效提升围岩稳定性。(3) 开挖施工控制：严格落实“短开挖、强支护、勤封闭”的施工原则，单次开挖循环进尺控制在0.5-1.0m，开挖完成后立即施作初期支护，缩短围岩暴露时间；优化爆破振动控制技术，采用微差爆破，减少单段装药量，控制爆破振动速度在允许范围内，避免爆破扰动导致破碎岩体失稳、突水突泥灾害发生^[3]。

2.3 既有隧道衔接段施工方法

(1) 衔接部位预处理：施工前对既有隧道结构进行全面检测，排查衬砌破损、裂缝等隐患，对破损部位采用压浆、粘贴碳纤维布等方式进行加固；优化新旧结构接触面处理工艺，对既有衬砌接触面进行彻底凿毛、清理，去除浮渣与松散层，涂刷界面剂，增强新旧混凝土的粘结力，为衔接施工奠定基础。(2) 开挖与支护施工：采用分区分段开挖方案，结合衔接部位结构特点，划分多个开挖单元，逐段开挖、逐段支护，避免一次性开挖扰动过大；衔接部位支护结构施工重点把控钢筋连接、混凝土浇筑质量，确保支护结构与既有隧道衬砌紧密衔接，钢筋焊接符合规范要求，混凝土浇筑采用分层振捣，避免出现蜂窝、麻面等质量问题。(3) 施工干扰控制：若采用边通车边施工模式，合理划分施工区域与通行区域，设置安全防护设施与警示标识，安排专人指挥交通，避免施工与运营相互干扰；优化施工顺序，优先施工非通行区域衔接段，再施工通行区域，合理安排施工工序，缩短施工周期，减少对既有隧道运营的影响。

2.4 特殊路段施工质量控制要点

(1) 原材料质量控制：严格把控支护材料、注浆材料的性能要求，钢筋、钢拱架需符合设计强度标准，注

浆材料选用高强度、早强型浆液，进场前进行抽样检测，不合格材料严禁进场使用；建立原材料质量台账，定期对进场材料进行复检，确保原材料质量达标。(2) 施工工序控制：明确各施工环节的质量验收标准，制定详细的工序验收流程，对开挖、支护、注浆、衬砌等关键工序实行旁站监督，全程跟踪施工过程，及时发现并整改质量隐患；每道工序验收合格后，方可进入下一道工序施工，确保施工质量全程可控^[4]。(3) 常见质量问题防治：针对衬砌开裂、渗漏水、支护变形等常见质量问题，制定针对性预防与处理措施，衬砌开裂可通过优化浇筑工艺、设置伸缩缝等方式预防，开裂后采用压浆、粘贴碳纤维布等方式处理；渗漏水可通过完善排水系统、加强注浆堵水等措施防控，对已出现的渗漏水部位及时进行堵漏处理；支护变形可通过优化支护参数、加强监测等方式预防，发现变形及时采取加固措施，确保工程质量。

3 改扩建高速公路隧道特殊路段监控量测方法研究

3.1 监控量测总体设计

(1) 监控量测目的与原则：监控量测核心目的是实时掌握特殊路段围岩与既有隧道结构的变形规律、受力状态，及时识别施工安全隐患，保障施工人员与结构安全，同时为施工工艺优化、参数调整提供数据支撑，确保工程质量。遵循实时性、准确性、针对性三大原则，实时跟踪施工全过程，精准采集监测数据，结合不同特殊路段的工程特性，针对性设置监测指标与方法，避免盲目监测。(2) 监控量测范围与频率：结合洞口浅埋段、富水破碎带段、衔接段等不同类型，明确监控范围，洞口浅埋段涵盖地表及隧道周边30m范围，富水破碎带段延伸至围岩破碎区域外侧15m，衔接段重点覆盖新旧结构衔接部位及周边5m范围。按施工阶段制定量测频率，开挖初期每2-4小时监测1次，围岩趋于稳定后调整为每天1-2次，二次衬砌施工完成后每周监测1次，直至变形稳定。(3) 监控量测设备选型：根据监测指标选用适配设备，位移监测选用高精度全站仪、收敛计，应力监测选用钢筋弦式应力计，应变监测采用应变片，爆破振动监测选用爆破振动记录仪。设备安装需符合规范要求，位移监测点布置在拱顶、拱腰及边墙关键部位，应力计、应变片粘贴牢固、防护到位，避免施工扰动损坏设备，确保监测数据精准。

3.2 典型特殊路段监控量测指标与方法

(1) 洞口及浅埋段：重点监测地表沉降、拱顶下沉、周边位移，地表沉降采用水准测量法，在隧道轴线两侧均匀布置监测点，定期测量高程变化；拱顶下沉、周边位移采用收敛计与全站仪联合监测，每天采集数据，及

时整理分析,重点关注位移速率与累计位移量,判断围岩稳定性。(2)富水及破碎带段:核心监测围岩压力、渗水量、支护结构应力,围岩压力采用压力盒监测,埋设于围岩与初期支护之间;渗水量通过流量计实时计量,记录hourly渗水量变化;支护结构应力采用应力计监测,重点监测钢拱架与衬砌应力。同时设定突水风险预警指标,结合渗水量、水压变化划定预警阈值,及时防控风险。(3)衔接段:重点监测新旧结构衔接部位应变、位移及既有隧道结构振动,应变采用应变片粘贴于衔接部位钢筋及衬砌表面,位移采用高精度位移计监测;既有隧道结构振动采用振动传感器监测,尤其是爆破施工期间,实时采集振动数据,避免振动过大损坏既有结构^[5]。

3.3 监控量测数据处理与分析方法

(1)数据预处理:对采集的监测数据进行筛选,识别并剔除因设备故障、施工扰动导致的异常数据,采用标准化处理方法,统一数据格式与计量单位,消除系统误差,确保数据的真实性与有效性,为后续分析奠定基础。(2)数据分析:采用趋势分析、回归分析等方法,对预处理后的data进行深入分析,绘制位移-时间、应力-时间变化曲线,总结围岩与结构的变形规律、受力特性,判断施工过程中围岩的稳定状态,识别潜在安全隐患。(3)预警机制建立:基于监测数据及工程实际,设定各监测指标的安全预警阈值,分为三级预警,明确各级预警信号的发布流程,制定针对性处置措施,一旦监测数据超出阈值,立即发布预警,暂停施工,采取加固、排水等措施,隐患消除后再恢复施工。

3.4 监控量测在施工优化中的应用

(1)施工参数优化:根据监测数据反馈,及时调整开挖循环进尺、支护参数、爆破参数,若位移速率过大,缩短循环进尺、加密钢拱架布置;若爆破振动超标,优化

爆破参数、减少单段装药量,确保施工安全。(2)施工工序调整:基于监测结果优化施工顺序,结合拱顶下沉、周边位移数据,确定二次衬砌施作时机,避免过早或过晚施作导致结构变形;针对衔接段,根据监测数据调整开挖与支护顺序,减少施工干扰。(3)工程实例验证:结合某改扩建高速公路隧道特殊路段工程实例,应用本文研究的监控量测方法,采集监测数据并分析,验证该方法能够精准掌握围岩与结构状态、有效预警安全隐患,证明其有效性与实用性,为同类工程提供参考。

结束语

本文围绕改扩建高速公路隧道特殊路段施工及监控量测方法展开全面研究,明确了特殊路段识别标准与工程特性,提出了针对性施工工艺和质量控制措施,构建了科学完善的监控量测体系。研究虽取得阶段性成果,但仍存在工程实例验证不够全面等不足,后续将结合更多改扩建工程实践,优化施工与监控参数,完善技术体系,进一步提升成果的适用性与推广价值,助力行业技术升级。

参考文献

- [1]张伟,李春刚,袁斌,等.高速公路隧道施工监控量测技术应用研究[J].工程建设与设计,2024,8(18):110-112.
- [2]邹宇光.监控量测技术在高速公路隧道施工中的应用[J].建筑工程技术与设计,2022,20(14):172-174.
- [3]王芝原,罗士雅,罗天宇.监控量测技术在高速公路隧道施工的应用[J].科学技术创新,2023,33(27):165-168.
- [4]刘华,李松.高速公路隧道施工监控量测技术应用研究[J].运输经理世界,2023,10(12):117-119.
- [5]廖浩然,张青鹏.高速公路隧道施工监控量测技术应用[J].交通世界,2022,17(20):149-151.