

复杂环境上跨既有输水隧洞大断面隧道施工控制研究

吴旺 王文进

浙江交工金筑交通建设有限公司 浙江杭州 310000

摘要:在复杂环境下跨越既有输水隧洞的大断面隧道施工面临诸多挑战,如地质条件多变、空间交叉干扰大等问题,既有隧洞的存在对新建隧道施工提出更高的控制精度与安全要求,稍有不慎易引发结构变形、水源污染或运营中断。因此,开展跨既有输水隧洞大断面隧道施工控制研究,对于保障工程安全、降低施工风险、提高施工效率具有重要意义,为类似工程提供技术支撑和经验借鉴。

关键词:复杂环境;输水隧洞;空间交叉

一、复杂环境上跨既有输水隧洞大断面隧道施工控制的概述

复杂环境上跨既有输水隧洞的大断面隧道施工控制,是指在地质条件复杂、空间受限、工程交叉干扰强的背景下,确保新建隧道在穿越既有输水隧洞过程中施工安全、结构稳定及运营系统不受影响的全过程技术管理。该类施工需综合考虑原有隧洞结构状况、水流运行特点及周边环境敏感性,采取有效的监测、加固、控制爆破与信息化施工等措施,实现对施工变形、沉降、振动及应力变化的动态掌控,确保既有隧洞正常运行与新建工程同步推进^[1]。该技术的研究不仅涉及岩土工程、结构力学、施工工艺与风险管理的多学科融合,还对施工组织设计、设备选型与应急响应能力提出更高要求。通过科学的施工控制,可有效降低对既有设施的干扰,为城市地下空间开发和类似复杂条件下交叉工程建设提供可借鉴的技术路径。

二、复杂环境上跨既有输水隧洞大断面隧道施工控制分析

(一)上跨隧道对既有隧道影响关键参数分析

在复杂情形下开展上跨既有输水隧洞的大断面隧道施工的时候,第一步必须对影响既有隧洞安全的关键参数进行系统的研究分析,以此制定出科学合理、高效的施工控制对策,上跨施工对既有输水隧洞的主要影响指标有地层沉降状况、围岩扰动的范围、隧洞结构应力的再次分布、接缝渗漏的潜在风险以及振动的作用等。对于既有隧洞变形与安全性能的判断,沉降量是关键参考,应凭借地质勘查以及数值模拟,结合诸如盾构、暗挖法等施工方法的选取,预估施工造

成的地层位移及沉降走向,围岩扰动范围对施工时加固范围与支护设计方案起到决定作用,精准的超前支护及注浆加固方式可有效阻止扰动扩大^[2]。隧道上跨时出现的应力重分布状况,会对既有结构产生不同程度的后果,需运用三维有限元模拟等途径对隧洞衬砌受力态势进行剖析,可对既有隧洞予以临时支撑,或开展结构加固操作,从震动控制的维度看,采用微振控制爆破和机械破岩相关手段,可让传导至既有结构的振动速率下降,降低结构陷入疲劳与破损风险的几率。

就上述关键影响因素而言,得给出针对性的施工控制手段,保障上跨工程安全稳步开展,施工开始前应实施细致的工程地质勘查和既有隧洞结构检测工作,结合BIM跟GIS技术建造三维协同模型,精准测算施工扰动对隧洞产生的影响态势。当工程项目进入施工阶段,宜采用信息化实时监控途径,以实例而言,布设多点位移监测部件、应力计、渗压计及振动传感器,实时把控结构响应与地层动态,完成由数据驱动的施工纠偏,按照模拟结果恰当地优化施工方案,比如采取逐次开挖、先期加固、主洞跟辅助洞共同施工等方式,缩减扰动区域,降低对结构的影响。就高风险地段而言,能借助地面注浆、冻结法、拱顶管棚支护等手段强化围岩稳定性,防范塌方、突水这类问题产生,加大与输水隧洞运营主体的沟通配合,施工期间宜设置联动应急的机制,维持隧洞平稳运行,若监测数据超出了预警所设数值,应马上启动应急响应预案,改变施工参数或者暂停作业保障施工安全,依靠上述多维度、整体性的关键参数鉴别与调控策略,足以有效抗衡复杂环境下上跨施工引出的安全问题,保证既有隧洞结构平稳与输水功能正常开展。

(二) 上跨隧道既有隧道结构变形控制分析

在复杂环境的背景下,开展大断面隧道上跨既有输水隧洞作业,结构变形控制对保障工程安全起着关键作用,现存的既有隧洞多数能正常运行,长期处于荷载、水压及周边应力环境,结构已走向稳定,上跨施工一旦控制不到位,很容易引发衬砌开裂、接缝张开、出现渗漏,乃至结构遭受破坏^[3]。要依据结构变形的产生原理开启,恰当制定调控方案,开挖造成的围岩卸载、土体疏松与地应力重新分布,会在既有隧洞上方或周边岩体引发附加变形传递,由此引发对衬砌结构的附加荷载作用,施工时的振动干扰(例如爆破震动)、地下水干扰以及支护滞后,同样会引发结构变形加重。就上述影响因素而言,应开展结构变形控制的相关分析,界定沉降控制阈值、变形敏感区域与隧洞结构承载能力的对应态势,采用三维数值模拟方式可对结构响应作出预测,恰当区分风险等级,为精准调控供给数据方面的支撑,为有效约束既有隧洞结构的变形趋势,需搭建“预测—控制—验证—反馈”的闭环体系,采用多维度、分阶段的控制方式。

在复杂环境中,进行上跨既有输水隧洞的大断面隧道施工时,结构变形控制是保障既有隧洞安全运行的核心,以某输水隧洞为例,隧洞为圆形断面,内径 3.2m,衬砌为 C30 钢筋混凝土,厚度 0.4m,埋深约 15m,设计耐水压 0.6MPa。为控制施工过程对既有结构的影响,隧道采用“中导洞+双侧壁导洞”分步开挖工艺,最大限度减小扰动范围;爆破方案上,通过采用微差控制爆破技术,限制单段炸药装药量不超过 1.5kg/m,装药孔间距控制在 0.6m 以内,并严格控制爆破震动峰值速度小于 2cm/s。施工过程中实施 24 小时自动化监测系统,实时监控既有隧洞的周边位移,根据有限元模拟及现场反馈数据,优化支护参数与开挖顺序,动态调整施工节奏,确保既有结构变形控制在 2mm 以内。

工程施工前阶段,要将地质勘察结论和既有隧洞结构图纸相结合,营造多工况三维数值仿真模型,分析多样施工参数,如开挖的先后顺序、台阶的具体高度、爆破所涉参数、支护的延时情况,对结构变形的效应,实现设计方案的优化目标,且制定按区按阶段的施工管控标准。施工期间需严格把控开挖产生的扰动,不妨优先选用机械开挖以及控制爆破等低扰动工艺,施工进尺宜采用较小值,支护要及时达成闭合,同时加强对既有隧洞关键之处(例如接头、衬砌薄弱段落)的实时监测工作,着重布置沉降、结构内力变化、裂缝、

地下水位相关监测点,完成对结构响应全时段的掌握。一旦监测数值逼近预警临界值,要迅速改变施工步调、支护样式,或是实施超前加固操作,就已有裂缝或老化的区域而言,可采用碳纤维加固、钢板包覆等局部加固方式,增强隧洞应对变形的承载能力,借助细致的前期审查、动态进程把控以及快速的应急响应机制,保证上跨施工对既有隧洞结构变形的影响能控制在安全稳定范围,实现工程安全、效益跟长期稳定运营的协同成果。

(三) 上跨既有输水隧洞大断面隧道施工稳定性分析

在复杂环境中着手实施上跨既有输水隧洞的大断面隧道施工,稳定性分析是把控施工安全、降低风险的核心要点,上跨施工区域往往面临地质构造繁杂、围岩力学特性差异显著、水文状况多变等诸多不利情形,既有输水隧洞多处于运行阶段的结构形式,对扰动敏感度极高^[4]。隧道开挖引发的诸如围岩松动、应力二次分布、水流扰动以及振动效应之类情况,均有破坏原先地层与隧洞结构平衡状态的几率,进而引起下沉、滑动现象,造成衬砌破裂,直至隧洞破坏,有必要贯穿施工前、施工中、施工后整个过程进行隧道稳定性分析,筛选关键影响要点,评测不稳定隐患,制定具靶向性的稳定调节策略。于施工前期,需开展细致入微的地质调查及物理探测,结合工程区岩石的性质、节理构造的特征、水文的特点以及既有隧洞埋深、结构尺寸等条件,打造地质力学仿真模型,以三维有限元数值模拟方法,对施工阶段围岩与结构响应进行分析,预估潜在失稳的样式,为施工组织实施与支护设计提供决策凭据。

为保障上跨施工阶段隧道整体与部分的稳定性,需就施工组织的设计规划、施工采用的工艺方式、支护体系的构建情况与风险响应的应对策略等实施系统化控制手段,从施工组织相关领域讲,宜采取“分区、分段、分步”的推进方案,把上跨段按风险等级的不同划分为若干区域,根据岩体稳定性情况、与既有隧洞的距离远近及运行状态表现,妥善规划开挖顺序及进尺的距离,规避掌子面长时间呈现暴露情形^[5]。优先采用的是机械开挖法,减少爆破所致的震动以及围岩干扰;可采用微差控制爆破模式,还应应对单响药量与爆破频率实施限制,从支护结构这一维度看,首选初期支护和二次衬砌相结合的支护模式,支护体系应具有迅速反应及高承载的能力,及时让围护结构完成闭合,阻止围岩进一步形变。

三、结语

复杂环境里上跨既有输水隧洞的大断面隧道施工，实际上是系统性强、技术要求高、安全风险极大的工程任务，为保证施工全时段的安全与稳定水平，应当围绕前期方案设计规划、施工组织有序管理、技术措施精准落实到监测反馈及时响应等方面展开，实施全周期、多领域的精准式管控。经合理选定施工方式、改良开挖次序、加强支护架构、实施动态监测预警与应急响应举措，可明显降低施工扰动施加于既有隧洞结构及周边环境的影响，维护原有输水系统安全平稳运作，本领域研究成果除了为实际工程提供技术支撑之外，还为未来相似复杂状况中的隧道交叉施工供给理论依据与工程实践经验，伴随城市地下空间开发持续演进，上跨既有核心结构的隧道工程会日趋普遍，需持续总结实践感悟、革新施工方法、提高监测分析质量，促使隧道施工技术朝着

智能化、安全化、高效化迈进，最终让工程安全与城市功能实现协调共立的目标。

参考文献：

- [1] 邵永刚. 大断面隧道上跨既有输水隧洞施工控制技术[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(6):2.
- [2] 王鹏. 长距离输水隧洞施工中的关键问题及应对措施[J]. 水电水利, 2021, 5(1):114-115.
- [3] 苏江川. 新建隧道上穿既有输水隧洞近接施工静动力研究[J]. 福建建设科技, 2020(1):5.
- [4] 张鑫. 长管棚施工技术在输水隧洞下穿既有高速公路工程中的应用[J]. 四川水泥, 2024(10):172-174.
- [5] 张建博, 龙云帅, 李学德. 输水隧洞浅埋段下穿既有高速公路技术研究[J]. 东北水利水电, 2021.