

双地铁同步共建下既有隧道改扩建关键技术

张卓立

成都市市政工程设计研究院有限公司 四川 成都 610000

摘 要：城市轨道交通网络化建设进程中，双地铁线路同步共建工况愈发普遍，既有隧道改扩建施工面临空间受限、结构扰动叠加、变形控制难度大等技术难题。本文依托双线同步施工的复杂工况特征，梳理既有隧道改扩建的核心技术难点，从结构加固、围岩控制、施工协同、动态监测等维度剖析关键技术体系，优化适配同步共建场景的施工工艺，有效解决双线并行施工带来的结构耦合扰动问题，为同类隧道改扩建工程提供技术支撑。

关键词：双地铁同步共建；既有隧道；改扩建施工；围岩稳定；变形控制

引言：轨道交通网络加密建设背景下，多线路同步施工成为城市地铁建设的常态模式，双地铁同步共建工况下的既有隧道改扩建工程，区别于单一线路隧道改造施工。双线同步作业会产生叠加式围岩扰动，既有隧道结构长期处于应力重分布状态，极易出现衬砌开裂、沉降偏移、结构失稳等隐患。为精准把控复杂工况下的施工质量与结构安全，亟需针对性梳理适配双线同步共建场景的改扩建关键技术，破解多工序交叉、结构相互干扰的技术瓶颈，保障既有隧道改造全过程结构稳定与施工高效推进。

1 双地铁同步共建隧道改扩建工况特征与技术难点

双地铁同步施工模式下的既有隧道改造工程，整体施工环境会表现出双线空间重合、工序穿插进行、应力场互相影响的特点，整体施工的复杂程度，以及施工过程中的不确定风险，都会明显高于普通单线隧道改扩建工程。新建地铁线路往往和既有隧道呈现近距离并行、立体交叉的布置形式，狭小的现场作业空间，会约束施工设备摆放，也会影响各道工序的顺畅衔接，会进一步压缩隧道改造的作业范围。双线同步开展开挖与支护作业时，周边围岩的原始应力状态会被持续改变，既有隧道衬砌结构会持续承受双向的施工扰动作用，杂乱分布且动态变化的应力集中区域，会让传统单线施工的结构控制标准难以适用。长期运营的既有隧道，本身存在衬砌老化、细微破损、围岩固结松散等问题，结构自身的稳定性能与承载能力已经有所衰减，双线施工带来的叠加扰动，会持续放大结构原有缺陷；多工种交叉作业的施工模式，也会让新旧线路施工工序互相干扰，无序的扰动叠加会提升围岩稳定与结构变形的管控难度，传统施工技术的适配性、精准度与协同效果都存在明显不

足，也难以满足双线同步共建的复杂施工要求^[1]。

2 双地铁同步共建下隧道改扩建核心控制原则

2.1 扰动最小化控制原则

双线地铁同步施工的主要风险，来自双向施工产生的应力干扰以及围岩变形的叠加作用，隧道改扩建作业需要全程恪守扰动最小化的施工准则。施工过程可以通过调整工序安排与现场作业形式，摒弃粗放的大开挖施工模式，有效约束围岩应力的调整范围，缓解隧道结构的附加变形；衬砌拆除、围岩扩挖等关键工序，可采取分层分段的小幅作业方式，控制单次施工的扰动幅度，错开双线高风险施工的作业时段，减弱扰动叠加带来的负面影响，有效保护原有围岩与隧道承载体系。

2.2 结构动态适配原则

隧道改扩建的整个施工过程，都伴随着结构受力体系的持续调整，双线同步施工带来的持续干扰，也会让结构受力状态处于不断变动之中，动态适配的施工原则需要贯穿施工全程。施工前期可完成隧道衬砌、结构损伤、围岩松弛及应力状态的全面检测，精准定位结构薄弱区域与剩余承载性能，以此制定差异化的改造补强方案；施工阶段可依托实时监测的变形与应力数据，微调支护强度与施工节奏，及时优化风险区域的施工工艺，维持结构整体的稳定可控。

2.3 双线施工协同统筹原则

双地铁同步共建作业的主要难点，集中在双线工序交叉、现场作业互相干扰等问题，隧道改扩建施工需要突破单线独立施工的固有思路，落实双线协同统筹的管控理念。施工可对双线作业时序、施工区域、整体流程进行统一规划，明确新旧隧道施工的工序衔接节点与防

护范围,合理划分施工区段,规避工序冲突;现场可优化各类施工资源的调配方式,搭建双线联动管控模式,同步把控施工扰动与作业进度,保障工序有序衔接,维持整体施工工况的平衡稳定^[2]。

2.4 全过程动态监测预警原则

双线施工的复杂工况,会让围岩变形与结构损伤呈现突发、累积且不可逆的特点,常规的阶段性监测模式,难以全面覆盖施工中的各类安全隐患,全过程动态监测预警的模式具备较高应用价值。施工区域可布设全方位监测点位,持续采集结构沉降、断面收敛、围岩位移等核心数据,配套分级预警机制,提前识别细微的结构异常;监测数据可用于实时修正施工方案,形成完整的闭环管控流程,实现施工风险的前置处理,保障改扩建作业全程安全可控。

3 双地铁同步共建下既有隧道改扩建关键技术体系

3.1 近距双线围岩稳定精细化控制技术

近距离双线同步施工的作业环境,会在隧道周边形成复合型的扰动应力场,围岩土体容易出现松散、开裂、位移等各类病害,围岩整体稳定性的失效问题,也是隧道改扩建施工过程中最主要的安全隐患,精细化围岩稳定控制技术,也就成为双线共建施工的首要核心工艺。该项技术的实施原理,是通过调节围岩内部应力、封堵岩体裂隙、加固松散土体的方式,重新构建完整的围岩承载结构,以此抵御双线同步施工带来的叠加扰动作用。施工前期可依托精细化探测手段,精准摸排既有隧道周边岩体的裂隙分布范围、松散层厚度以及应力集中位置,清晰界定双线施工的扰动影响区间,划分出重点防护区段与常规施工区段,可实现分区化、差异化的稳定管控模式。针对岩体松散、裂隙发育的薄弱位置,施工可采用分层注浆加固工艺,搭配低扰动注浆材料,合理把控注浆压力与注浆速度,能够有效规避高压注浆带来的二次围岩损伤;工艺上可采用浅层封缝、深层固结的分层处理方式,填充岩体内部空洞,粘连破碎岩块,能够稳步提升围岩的整体性与自稳能力。双线扰动叠加的核心区域,可增设柔性防护结构缓冲施工应力,削弱应力传递效果,阻断双向扰动的叠加通道;同时优化现场开挖方式,采用微台阶、短进尺、快速封闭的作业模式,缩短围岩裸露时长,减少应力释放与变形堆积,能够持续维持围岩的动态稳定状态,为后续隧道改扩建作业提供可靠的基础保障^[3]。

3.2 既有隧道结构差异化加固技术

既有隧道长期运营产生的结构损伤与双线施工的动

态扰动叠加,导致隧道不同区段结构承载力存在显著差异,统一化加固方式无法适配复杂结构状态,需采用差异化结构加固技术,精准补强结构薄弱区域,保留完好结构的原有承载性能。首先通过结构无损检测技术,全面排查既有隧道衬砌开裂、剥落、碳化、钢筋锈蚀等损伤问题,量化评定不同区段结构完整性与承载力等级,将隧道划分为完好区段、轻微损伤区段、重度损伤区段、应力集中高危区段四类区域。

针对完好区段,以防护为主,采用薄层防渗、表层防护工艺,规避施工扰动引发的次生损伤,无需大规模加固改造,最大程度保留原有结构体系。针对轻微损伤区段,采用衬砌修补+局部补强技术,对细微裂缝进行封闭注浆,修补衬砌破损部位,增设局部支护构件,提升结构局部稳定性,抑制损伤持续扩展。针对重度损伤区段,采用套衬加固与锚杆补强结合的复合加固工艺,加厚薄弱区域衬砌结构,通过长效锚杆将衬砌结构与深层稳定围岩固结为整体,提升结构整体承载能力,抵御双向施工扰动。针对双线施工应力集中的高危区段,增设柔性刚性复合支护体系,刚性支护保障结构承载强度,柔性支护缓冲动态应力冲击,实现结构强度与变形适配性的双向提升,彻底解决不同区域结构受力不均、稳定性不足的问题。

3.3 双线同步精细化改扩建施工技术

双地铁同步建设的作业环境当中,拆除,扩挖,结构重塑,支护加固这一系列改造工序,既要把控单道工序本身的成型质量,还要协调两条线路之间的施工配合效果,精细化的施工处理方式,就是提升改造质量,削弱施工扰动作用的关键方法。衬砌拆除作业阶段,整体爆破,重型机械直接凿除这类粗放的施工方式不再适合现场工况,可以选用静态裂解,分层切割这类精细处理手段,分段施工按照先处理非受力部位,再处理承重构件,先处理外层表层,再处理内部深层的顺序开展,单次拆除的物料体量做好严格管控,防止大面积一次性破除带来岩体应力突变,或是震动诱发的结构偏移变形,临时支撑构件跟着拆除作业同步布设,拆除作业和支护施工同步落实,避免结构悬空,岩体长时间暴露而产生失稳隐患。隧道扩挖作业阶段,结合双线施工带来的扰动特点,调整开挖外形以及各项施工控制指标,使用周边修边成型的处理方式,维持开挖断面的平整状态,降低施工对岩体造成的破损与新生裂缝,单次开挖深度和作业节奏加以管控,围岩变形的实时监测数据可以用来灵活调整施工快慢,开挖完成之后及时施做初期支护,快速封闭暴露岩体,约束变形继续发展。结构重建阶

段,钢筋排布,混凝土灌注,隔水层铺设这些关键工序都可以做出优化处理,保障新旧结构紧密贴合,提升整体结构的完整程度与隔水效果;双线施工的时间安排做好统一调配,改造高风险工序和新线强扰动作业错开实施,划定安全隔离区段,减少工序之间的互相干扰,保障双线施工平稳安全推进,在满足改造质量要求的前提下,尽可能减弱两条线路施工带来的相互影响^[4]。

3.4 双线施工协同联动管控技术

双地铁同步共建施工的主要技术难题,集中在双线作业的互相干扰问题,单线施工的局部优化手段,很难改善整体施工工况的失衡状态,双线协同联动管控技术,能够统筹整体施工状态,有效规避多重扰动叠加引发的安全隐患。该技术主要从施工时序、空间布置、风险管控三个维度,搭建系统化的双线联动管理体系。时序管控层面,统一的双线施工进度规划可被落实,能够梳理隧道改扩建与新线施工的工序衔接关系,错开各类施工的扰动高峰,缓解应力叠加的不利影响;无法规避的交叉作业,可搭配专项防护措施,压缩交叉作业时长,降低工序干扰力度。空间管控层面,双线施工的作业范围、防护界限、扰动影响范围可被精准划分,现场设施与作业通道可被合理排布,还能根据施工进度动态调整布局,提升空间资源的利用效率。风险管控层面,统一的双线风险评判标准可被设立,整合全线监测数据来综合研判结构与围岩的稳定状态,完成单线管控向整体联动管控的转变,有效解决多工序交叉、多扰动叠加带来的施工难题。

3.5 动态监测与智能调控技术

双地铁同步共建的复杂施工环境,会让围岩变形和结构受力始终处于动态波动的状态,传统的静态管理模式,很难适配这类多变的施工场景,动态监测与智能调控技术,可以为施工风险闭环管理、施工质量把控提供可靠的技术支撑。该技术依靠立体化监测布置形式,在既有隧道衬砌、深层围岩以及双线施工影响范围内,

布置多维度监测点位,能够全面收集结构沉降、断面收缩、衬砌应力、围岩位移、施工震动等关键数据,可完成施工全流程的实时数据采集与传输工作。系统能够依托智能分析手段,持续整理各类监测数据的变化规律,精准捕捉数据异常波动、变形加快、应力聚集等风险特征,可提前判断结构破损与围岩失稳的发展趋势,做到风险提前预警。施工参数可以根据数据分析结果动态调整,施工进尺、支护力度、注浆指标、施工时序等内容,都能适配现场工况实时优化,变形过快、应力超限时可及时放缓施工节奏,补强支护结构,以此形成完整的施工管控闭环,稳步维持双线施工过程中既有隧道的结构稳定与施工安全^[5]。

结束语:双地铁同步共建带来的叠加扰动、工序交叉、空间受限等复杂工况,给既有隧道改扩建施工带来极大技术挑战。本文结合工况特征明确核心施工控制原则,构建涵盖围岩控制、结构加固、精细化施工、双线协同、动态调控的完整关键技术体系。该技术体系可有效弱化双线施工互扰效应,精准控制结构与围岩变形,解决复杂工况下的改扩建施工技术瓶颈,全面提升隧道改造施工的稳定性与质量精度,为城市轨道交通网络化同步施工场景的隧道改造提供可靠技术支撑。

参考文献

- [1] 王建辉,周浩贤,邓佳龙.隧道改扩建无支护开挖稳定性分析研究[J].科技与创新,2026,(8):128-130.
- [2] 陈溪宁.双侧基坑施工对既有地铁隧道变形的影响[J].工程建设,2025,57(1):37-42.
- [3] 王奥龙.超深基坑紧邻既有地铁隧道施工变形控制与微扰动技术[J].建筑技术开发,2026,53(7):43-45.
- [4] 杨富山,卢波,覃丽君,等.双线盾构下穿既有地铁隧道变形研究[J].西部交通科技,2025,(5):98-100.
- [5] 宋同伟.地铁区间隧道上跨既有运营盾构隧道设计关键技术[J].价值工程,2026,45(18):144-146.