

城市下穿隧道配套桥梁同步施工协调技术研究

余 齐

新疆北新路桥集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：城市核心区下穿隧道与配套桥梁同步施工，存在空间交叉、工序冲突、地层扰动叠加等复杂工况，传统分步施工模式难以适配市政工程高效建设需求。本文依托城市道路改造工程实际，分析隧道与桥梁的结构施工特性及同步施工管控难点，构建空间、时序、资源、作业四位一体的协同施工技术体系。针对性落实空间分区隔离、工序穿插优化、桩坑施工兼容及变形协同控制关键技术，同步完成施工风险辨识与应急处置体系搭建。研究成果可有效解决交叉施工干扰问题，控制结构变形风险，为城市同类市政同步施工工程提供实操参考。

关键词：城市；下穿隧道；配套桥梁；同步施工；施工协调；风险防控

引言：随着城市道路交通路网升级改造持续推进，下穿隧道与配套衔接桥梁的组合结构形式应用愈发广泛。城区施工场地受限、地下管线密集、周边构筑物繁杂，单一结构施工技术标准无法适配双线同步施工工况。隧道基坑开挖与桥梁桩基作业存在地层扰动叠加问题，多工序交叉作业易引发质量缺陷与安全隐患，现场统筹管控难度极大。为兼顾工程施工质量、安全与工期目标，亟需适配城市复杂工况，梳理同步施工管控难点，搭建系统化协调技术体系，规范现场施工流程，破解交叉施工各类技术与管理难题。

1 城市下穿隧道与配套桥梁同步施工工程特性分析

1.1 城市下穿隧道施工结构特点与工艺特征

城市下穿隧道多建于城市主干道下方，整体为大型封闭式地下箱体结构，结构埋深适中、断面尺寸大，对基坑支护、土体稳定性要求较高。施工过程以基坑开挖、主体结构浇筑、防水层施工及土方回填为核心工序，整体施工工序连续性强，对场地土体沉降、地下水控制要求严格。隧道施工多采用明挖法作业，施工占地面积大，基坑周边土体易受开挖扰动，且地下管线密集，施工过程需持续把控基坑变形与渗水问题。隧道主体结构为整体现浇成型，施工精度要求高，工序衔接紧密，一旦施工节奏打乱，易出现结构裂缝、防水失效等质量问题，对现场施工统筹管理有着较高要求。

1.2 配套市政桥梁施工技术特点与管控要求

配套市政桥梁多为隧道出入口衔接的高架或跨线桥梁，主要包含桩基、承台、墩柱、梁板架设等施工工序，属于高空、露天交叉施工作业。桥梁施工竖向作业特征明显，桩基施工需穿透浅层土体，易扰动周边地

层，与隧道基坑施工形成地层扰动叠加效应。相较于隧道施工，桥梁施工受天气、交通环境影响更大，梁板吊装、高空作业存在较高安全风险。施工管控中，需严格把控桩基垂直度、墩柱平整度、梁板安装精度，同时兼顾施工进度与现场安全，规范高空作业流程、机械作业范围，避免施工工序混乱影响整体工程建设。

1.3 城市复杂工况下同步施工管控难点

城市核心区域隧道与桥梁同步施工，场地空间狭小，地下管线、周边建筑物密集，两类工程施工空间交叉、地层扰动相互影响，施工干扰性极强。隧道基坑开挖造成的土体沉降，会直接影响桥梁桩基施工精度与结构稳定性，而桥梁大型吊装机械作业，又会占用隧道施工场地，打乱原有施工时序。城市施工需规避早晚交通高峰，施工窗口期有限，人机料调配难度大。两类工程施工标准、工艺体系不同，多工序交叉作业易出现衔接断层，现场安全管控、质量管控和进度统筹难度大幅提升，是同步施工管控的核心难点^[1]。

2 城市下穿隧道配套桥梁同步施工协调技术体系构建

依托空间布局、施工时序、资源配置及作业管控核心要素，构建适配城市复杂工况的同步施工协调技术体系：（1）空间交叉协调技术体系。结合施工现场场地布局、隧道基坑开挖范围及桥梁桩基作业区域，划分独立施工分区、通行通道及物料堆放区域。明确隧道地下作业、桥梁地上作业的空间边界，制定分区隔离管控标准，规避竖向与水平空间作业重叠问题，解决同步施工空间冲突问题。（2）施工时序统筹技术体系。依据隧道、桥梁施工工艺标准，梳理两类工程的关键线路与搭接工序。区分刚性衔接工序与柔性穿插工序，制定科

学化施工时序方案,明确基坑施工、桩基施工、结构浇筑、梁板安装等关键工序的先后逻辑与穿插节点,杜绝工序错乱、工期闲置等问题。(3)施工资源协同调配体系。围绕同步施工的设备、人员、物料需求,建立动态资源调配机制。根据隧道与桥梁各施工阶段的资源消耗强度,统筹调配工程机械、施工班组及建材物资,避免资源扎堆、资源闲置等分配不均问题,提升现场施工资源利用率。(4)交叉作业管控标准体系。结合市政工程施工规范,针对双线同步施工模式,制定专项作业管控标准。统一质量管控、安全防护、沉降监测标准,规范交叉作业操作流程,填补传统分步施工模式下交叉作业管控标准缺失的空白^[2]。

3 下穿隧道与桥梁同步施工关键协调技术

3.1 空间分区隔离施工协调技术

空间分区隔离是同步施工的基础管控手段,核心是通过物理分区、界面划分,实现桥梁与隧道作业面独立施工,消除交叉干扰。(1)精准划分施工功能分区。结合现场结构平面位置、覆土厚度及机械作业半径,将交叉施工区域划分为桥梁桩基作业区、桥梁吊装作业区、隧道基坑开挖区、隧道结构施工区四大独立区域。明确各区域边界控制线,标注禁入范围,杜绝跨区域违规施工,从空间上区分两类工程的作业界面。(2)设置刚性隔离防护体系。在桥梁施工区与隧道基坑边坡交界位置,搭设型钢围挡、防护栏杆及硬质隔离网,封堵人员、机械交叉通行通道。基坑周边设置封闭式防护结构,隔绝桥梁施工落物、施工振动对隧道基坑边坡的影响,同时避免隧道土方开挖、清运作业干扰桥梁桩基钢筋绑扎、模板安装精细化施工。(3)场地通道专项分区管控。单独设置桥梁施工机械通道和隧道土方运输通道,两条通道完全分离,严禁大型机械交叉穿行。合理布置临时堆场,桥梁建材、隧道施工材料分区堆放,规避场地占用冲突,保障两个工作面同步连续作业。

3.2 工序穿插衔接优化协调技术

同步施工并非完全并行作业,核心是优化工序穿插逻辑,错开关键高危工序,衔接细碎工序,最大化利用施工窗口期,杜绝工序停滞与冲突。(1)关键错峰施工管控。桥梁桩基成孔、混凝土浇筑、预应力张拉等高振动、高荷载工序,与隧道基坑大开挖、衬砌拆模、防水层施工等精细工序错峰开展。同一交叉断面内,优先完成桥梁桩基主体施工,待桩基混凝土达到规范强度后,再开展隧道主体结构施工,规避施工扰动造成的质量缺陷。(2)细碎工序穿插补位。在桥梁墩柱养护、梁板预制等待窗口期,穿插开展隧道基坑清理、垫层浇筑、模

板预处理等无干扰工序。利用隧道结构养护静置期,完成桥梁附属预埋件安装、桥面预处理作业,有效压缩整体工期,避免设备与人员闲置。(3)交接面工序闭环管理。建立交叉工序交接验收制度,桥梁基坑回填、桩基防护完成后,经现场验收合格,方可移交隧道开挖作业;隧道顶板、侧壁结构成型验收后,方可开展后续桥梁铺装施工,保证各工序衔接合规、无漏洞^[3]。

3.3 基坑与桩基同步施工兼容技术

隧道深基坑开挖与桥梁桩基施工是同步施工的核心冲突点,土体扰动、应力变化极易引发桩基偏移、基坑失稳,需采用专项兼容施工技术适配同步作业工况。(1)分层分段对称开挖技术。隧道基坑严格遵循分层、分段、对称、随挖随撑的施工原则,严控单次开挖深度和开挖跨度。靠近桥梁桩基一侧采用小幅、薄层开挖方式,禁止大断面快速掏挖,最大程度降低土体应力释放对既有桩基的侧向挤压作用。(2)桩基周边土体固化处理。对于隧道基坑近距离桥梁桩基,提前采用微型注浆、土体加固技术对桩基周边土体进行预处理,提升土体整体性与稳定性。基坑开挖过程中,保留桩基周边临时土胎支撑,待周边基坑主体开挖完成后,再精细化破除预留土体,保护桩基结构稳定。(3)支护结构兼容适配。隧道基坑围护结构与桥梁桩基保持安全净距,针对间距较小的节点,优化围护桩布设位置与深度,避免钻孔施工触碰既有桩基。两类结构支护体系统一受力验算标准,确保基坑支护、桩基防护体系相互兼容,无受力冲突。

3.4 施工沉降与变形协同控制技术

同步施工会叠加土体扰动效应,易引发桥梁桩基沉降、隧道围护变形、结构位移超标,需建立一体化协同管控体系,实现动态可控。(1)全域统一监测布设。整合桥梁、隧道监测系统,统一监测频次、精度及预警标准。在桥梁桩基、承台布设沉降、水平位移监测点,在隧道围护结构、基坑坡顶、衬砌结构布设收敛、沉降监测点,重点加密交叉核心区域监测点位,实现数据同步采集、同步分析。(2)动态施工参数调控。依托实时监测数据动态调整施工工艺参数,监测数据稳定时,维持常规施工节奏;数据接近预警值时,立即放缓基坑开挖速度、暂停桥梁吊装作业,及时增设钢支撑、补注浆加固,待变形数据回落稳定后恢复施工。(3)差异化变形管控。针对桥梁刚性结构严控不均匀沉降,针对隧道柔性围护结构严控侧向收敛变形,区分两类结构管控重点。施工全过程杜绝集中堆载、机械长时间碾压、超挖超撑等违规行为,从源头控制变形叠加风险,保障两类

结构施工精度符合规范及设计要求^[4]。

4 同步施工风险辨识与协调防控技术

4.1 同步施工安全风险识别与分类

结合隧道与桥梁交叉施工特性,对现场危险源进行全面摸排,按照风险类型划分核心隐患,实现精准靶向辨识。(1)结构变形风险。主要包含桥梁桩基不均匀沉降、墩柱水平位移,以及隧道基坑围护结构收敛变形、边坡滑移、衬砌结构开裂等隐患,多由土体多次扰动、施工荷载叠加引发,是同步施工最核心的结构性风险。(2)交叉作业安全风险。现场大型机械吊装、桩基成孔、隧道土方开挖多工种同步作业,存在机械碰撞、坠物伤人、作业面挤占、人员违规跨区施工等安全隐患,现场干扰性强、突发概率高。(3)施工工艺冲突风险。桥梁混凝土浇筑、预应力张拉的振动荷载,与隧道防水层施工、精细化衬砌施工存在工艺冲突,易造成隧道结构成型缺陷、桥梁桩基受力不均等质量安全隐患。

4.2 基于协调管控的风险防控技术措施

针对同步施工耦合风险,采用精细化协调管控技术,从空间、工序、施工工艺多维度落实防控措施,从源头遏制风险滋生。(1)空间隔离防控技术。严格落实分区施工制度,在桥梁与隧道作业区间设置硬质隔离防护结构,划分专属机械通道和作业禁区,杜绝人员、设备跨区域交叉作业,切断风险传播路径。(2)工序错峰协调防控技术。优化施工时序,高危振动作业、大型吊装作业与隧道精细施工工序错峰开展。核心交叉断面遵循“先桩基、后基坑,先结构、后附属”的施工原则,规避工序叠加扰动。(3)动态监测预警防控技术。布设一体化监测网络,统一两类工程监测标准,实时采集沉降、位移、收敛数据,设置三级预警阈值,动态把控结构状态,提前预判风险隐患^[5]。

4.3 突发工况应急协调处置方案

针对同步施工突发险情,建立专项应急协调机制,明确处置流程、责任分工,快速化解突发风险,降低

事故影响。(1)突发变形超标处置。监测数据触发预警时,立即暂停上下游所有交叉作业,封闭作业区域。通过增设钢支撑、注浆加固、堆载反压等方式稳定土体与结构,待监测数据恢复稳定、验收合格后方可复工。(2)机械及人员安全险情处置。出现机械占道、碰撞隐患及人员违规作业险情时,现场专职协调员立即叫停作业,快速疏散人员、规整设备,重新梳理作业流程,规范现场施工秩序。(3)应急联动协调机制。建立施工、监理、班组三级联动体系,突发工况第一时间上报、统一调度,杜绝各自施工、各自处置的混乱问题,确保应急处置快速、精准、有序。

结束语: 本文结合城市下穿隧道与配套桥梁施工实际工况,完成同步施工工程特性、管控难点分析,搭建了完善的协同施工技术与风险防控体系。通过落实空间隔离、工序优化、结构兼容、变形管控等关键技术,有效解决了同步施工中的空间冲突、工序错乱、土体扰动、风险叠加等核心问题。同时配套建立常态化风险防控与突发工况应急处置机制,实现施工全过程可控、可调、可防。研究形成的成套协调技术实用性较强,能够有效提升城区交叉施工管控水平。

参考文献

- [1] 吕健,张坚.城市下穿隧道主体结构混凝土刚性防水施工应用技术[J].广东建材,2026,42(1):124-128.
- [2] 何帅,卜渭航,葛爱迪,等.软土地层盾构隧道下穿邻近桥梁桩基施工影响分析[J].施工技术(中英文),2026,55(9):76-82.
- [3] 郑丛丛.城市暗挖隧道近距离下穿桥梁施工技术要点分析[J].门窗,2025,(6):52-54.
- [4] 方茂.复杂工况下明挖隧道下穿桥梁桩基托换施工关键技术应用[J].建设机械技术与管理,2026,39(1):71-73.
- [5] 张小毛,刘柱,潘海,等.综合管廊穿地铁隧道与跨道路高架桥施工技术研究[J].建筑技术,2026,57(7):822-825.