

浅谈新建地铁隧道下穿既有地铁施工技术

王 洋

天津国际工程建设监理有限公司 天津 300000

摘要：随着城市地铁网络化建设推进，新建隧道下穿既有地铁成为常见工程场景，其施工安全直接关乎既有线路运营与结构稳定。本文以新建与既有地铁隧道工程概况为基础，系统分析下穿施工中的既有隧道结构变形、轨道系统失效及运营连锁三类核心风险，介绍数值模拟、层次分析与风险矩阵结合的评估方法，重点阐述地层预处理、精准开挖支护、既有隧道主动保护及监测动态调控四大关键技术，同时构建风险分级响应、应急资源配置与突发事件处置的预案体系。研究成果为新建地铁隧道下穿既有地铁施工提供技术参考，可有效降低施工扰动风险，保障工程安全与运营稳定。

关键词：新建地铁隧道；下穿既有地铁施工；关键技术

引言：近年来新建隧道下穿既有地铁工程日益增多，此类工程面临地层条件复杂、既有结构保护要求高、施工与运营时空交叉等挑战，若管控不当易引发既有隧道变形、轨道失效等安全事故，威胁乘客安全与运营秩序。当前行业内对下穿施工技术的研究多聚焦单一环节，缺乏系统的“概况-风险-技术-预案”体系梳理。鉴于此，本文从工程实际需求出发，系统分析下穿施工的工程基础、风险特征、关键技术与应急处置方案，旨在为同类工程提供全面的技术支撑，推动下穿施工安全水平提升。

1 新建与既有地铁隧道工程概况

1.1 工程地质与水文地质条件

工程地质与水文地质条件是新建地铁隧道下穿施工方案设计与风险管控的基础依据。地层分布明确区域内地层的纵向连续性与横向岩性变化，不同岩性地层的物理力学性质差异，直接影响施工过程中地层的自稳能力与扰动后恢复特性。围岩等级需结合地层完整性、结构面发育程度及岩体强度等指标划分，等级高低决定了施工中临时支护的强度要求与开挖方式的选择，高等级围岩对施工扰动的耐受度更高，低等级围岩则需更严格的防护措施。地下水影响分析其赋存状态、水头压力及补给条件，地下水易软化软弱地层、降低围岩稳定性，还可能引发管涌、流砂等问题，进而对既有隧道结构及新建隧道施工安全形成威胁，需在施工前明确其对工程的作用机制。

1.2 既有地铁隧道结构特征

既有地铁隧道结构特征是确定下穿施工保护标准的关键参考。断面形式依据隧道功能需求确定，不同断面形式对应不同的结构受力模式与空间利用效率，直接

关系到结构抵御外部扰动的能力，合理的断面形式可优化结构内力分布，提升抗变形性能。支护体系由初期支护与二次衬砌等部分组成，初期支护主要承担施工期荷载，二次衬砌则作为永久承载结构，两者的材料强度、厚度及连接方式，共同决定了既有隧道的整体稳定性与耐久性。运营参数涵盖行车密度、运行速度及列车轴重等核心指标，这些参数反映了既有隧道在运营期间的荷载特征，对新建隧道施工的时空约束具有直接影响，需以此为基础控制施工对既有隧道的扰动范围^[1]。

1.3 新建隧道设计参数

新建隧道设计参数要兼顾功能需求与既有隧道安全，实现施工影响的最小化。埋深需综合考虑地层条件、地面建（构）筑物荷载及既有隧道位置，埋深过浅易受地面荷载与地层扰动影响，埋深过深则会增加施工难度与成本，同时需满足结构受力平衡要求。断面尺寸需根据通行能力、设备安装空间及施工机械规格确定，尺寸设计需在保障功能的前提下，减少对周边地层的扰动面积，降低施工对既有隧道的间接影响。与既有隧道的空间关系包括平面距离与竖向高差，两者共同决定了新建隧道施工对既有隧道的扰动程度，空间距离越近、夹角越小，相互影响越显著，需通过精准设计控制两者的相对位置，为施工安全提供保障。

2 新建地铁隧道下穿既有地铁施工风险识别与评估

2.1 主要施工风险类型

新建地铁隧道下穿既有地铁的风险类型有：（1）既有隧道结构变形风险，施工引发的地层应力重分布会导致既有隧道衬砌出现开裂、错台或渗漏，打破原结构受力平衡，低强度地层中此类风险更突出；（2）轨道系统失效风险，结构变形会传导至轨道，引发轨道沉降、轨

距偏差或平顺性下降,直接影响列车行驶稳定性;(3)运营连锁风险,施工扰动可能导致列车限速、运营延误,若遇涌水涌砂等突发情况,还可能损坏隧道设备,甚至引发人员安全问题。

2.2 风险评估方法

需通过多方法协同实现精准评估。数值模拟法通过构建地层-新建隧道-既有隧道耦合模型,纳入地质、结构及施工参数,模拟地层位移与结构内力变化,为风险定量分析提供依据;层次分析法将评估拆解为目标层、准则层与指标层,通过专家打分确定指标权重,解决多因素叠加的风险判定问题;风险矩阵法以“风险发生可能性”与“影响程度”为轴构建矩阵,结合规范与经济损失估算,将风险对应至不同象限,快速划分风险优先级,适配下穿施工的复杂场景^[2]。

3 新建地铁隧道下穿既有地铁施工关键技术

3.1 地层预处理技术

地层预处理通过针对性技术手段提升地层稳定性,为后续开挖创造安全环境,主要包括以下两类技术:

(1)地层加固技术。需根据地层岩性选择适配的加固方式,对于软土、砂层等软弱地层,优先采用注浆加固技术,明确注浆材料的配比(如水泥-水玻璃双液浆的浓度比例)、注浆压力(控制在不破坏既有地层结构的阈值范围内)及加固范围(需覆盖新建隧道开挖轮廓外一定深度,形成稳定加固圈);对于富水地层或特殊岩地层,可采用冻结加固技术,严格控制冻结温度(确保形成强度达标的冻土帷幕)、冻结管布置间距(保证冻结均匀性)及冻结时间(避免冻土圈过度扩展影响既有隧道),同时需监测加固后地层的物理力学指标(如压缩模量、黏聚力),确保满足施工要求。(2)地下水控制技术。需结合水文地质条件制定控水处理方案,当地下水埋深较浅且渗透性较强时,采用降水技术,合理布设降水井(确定井深、井距及过滤层设置参数),控制降水深度(确保开挖面下方形成稳定干作业环境,且避免过量降水导致既有隧道沉降);当地层含水量高但渗透性差时,采用止水技术,可通过深层搅拌桩、高压旋喷桩形成止水帷幕,控制帷幕的搭接宽度(保证止水连续性)及施工精度(避免桩体侵入既有隧道或新建隧道设计范围),同时需实时监测地下水位变化,防止水位骤升骤降引发地层变形。

3.2 精准开挖与支护控制技术

开挖与支护通过精准控制减少地层扰动,同步保障新建隧道自身稳定与既有隧道安全,关键技术包括:

(1)开挖方式优化与参数控制。根据工程条件选择适

配开挖工法并细化参数,采用盾构法时,需精准设定土压平衡值(匹配地层压力,避免超压导致地层隆起或欠压引发坍塌)、推进速度(控制在与地层变形速率适配的范围,避免过快或过慢扰动地层)及刀盘转速(结合岩性调整,减少刀具磨损与地层切削扰动);采用矿山法或浅埋暗挖法时,需严格控制开挖步距(根据围岩等级确定,一般不超过初期支护循环进尺)、分层开挖厚度(避免单次开挖面积过大导致地层失稳)及开挖顺序(如采用CRD法、CD法时的分步开挖逻辑),确保开挖过程对地层的扰动持续处于可控范围。(2)支护体系同步施工技术。强调支护与开挖的“时空协同”,初期支护需紧跟开挖面,控制支护滞后时间(软岩地层中一般不超过24小时),明确支护结构的材料参数(如喷射混凝土强度等级、钢拱架型号与间距)及施工质量要求(如喷射混凝土的平整度、钢拱架的连接牢固度);对于大断面隧道或复杂地层,需增设临时支护结构(如临时仰拱、中隔壁),确定临时支护的拆除时机(需待永久支护强度达标且地层变形稳定后),避免过早拆除引发结构失稳;同时需监测支护结构的内力与变形(如钢拱架应力、喷射混凝土裂缝发展),及时调整支护参数。

3.3 既有隧道结构主动保护技术

针对既有隧道的保护需提前介入、主动防控,通过技术手段增强既有结构抗扰动能力,减少施工影响,主要包括:

(1)既有隧道结构预加固技术。根据既有隧道结构状况与施工扰动程度选择加固方式,对于结构强度不足或老化的隧道,可采用内部加固技术,如增设钢支撑(确定钢支撑的布设位置、间距及与原结构的连接方式)、粘贴碳纤维布(控制碳纤维布的层数、粘贴工艺及固化时间)或喷射混凝土加厚(确保新老混凝土结合紧密);对于浅埋或地层条件差的既有隧道,可采用外部加固技术,如通过新建隧道施工前的超前注浆,对既有隧道周边地层进行加固,形成保护屏障,控制注浆范围(避免浆液侵入既有隧道结构)及注浆压力(防止压裂既有隧道衬砌),同时需检测加固后既有隧道的结构性能(如衬砌强度、整体刚度),确保满足运营安全要求。(2)既有隧道运营荷载协同控制技术。需协调新建隧道施工与既有隧道运营的相互影响,明确运营荷载的控制指标,如限制列车运行速度(根据施工扰动程度确定限速值,避免高速行驶产生的振动叠加施工扰动)、调整发车频率(减少列车通过时的荷载累积效应);在施工关键时段(如新建隧道开挖至既有隧道正下方时),可采取临时停运或单线运营措施,确定停运时长(需结合施工进度计划,尽量缩短影响时间);同时需

监测既有隧道轨道的平顺性（如轨距、水平高差）及结构振动响应（如衬砌振动加速度），及时处理轨道偏差，避免影响列车运行安全^[3]。

3.4 施工监测与动态调控技术

依托监测数据实现施工全过程的动态调整，形成“监测-分析-调控”闭环，保障施工安全，关键技术包括：（1）多维度监测体系构建技术。确定监测指标体系，涵盖地层、新建隧道、既有隧道三大类监测对象，地层监测包括地层沉降、水平位移及孔隙水压力；新建隧道监测包括隧道拱顶沉降、周边收敛及支护结构内力；既有隧道监测包括衬砌沉降、收敛、裂缝发展及轨道变形，明确各监测指标的控制阈值（根据规范要求及既有隧道运营标准确定）；选择适配的监测设备（如自动化沉降仪、光纤传感器、全站仪），确定监测点布置原则（如既有隧道沿纵向的监测点间距、新建隧道开挖面周边的监测点密度）及监测频率（施工关键期加密至每小时1次，稳定后可适当降低频率），构建数据实时传输与存储系统，确保监测数据的及时性与完整性。（2）监测数据驱动的动态调控机制。建立监测数据的实时分析流程，采用专业软件（如监测数据处理系统、数值模拟软件）对数据进行处理，识别数据异常（如沉降速率突增、内力超限），分析异常原因（如施工参数不当、地层条件变化）；设定预警等级（如蓝色、黄色、红色预警），明确不同预警等级对应的响应措施，蓝色预警时调整监测频率并分析数据趋势，黄色预警时暂停施工并核查施工参数，红色预警时启动应急预案；根据分析结果动态调整施工参数，如当既有隧道沉降接近阈值时，减小新建隧道开挖步距、增加同步注浆量或调整盾构推进速度，确保施工始终处于安全可控状态，同时记录调控措施的实施效果，为后续类似工程提供参考。

4 新建地铁隧道下穿既有地铁施工应急预案与处置

4.1 风险分级响应流程设计

一般风险由施工项目部主导，启动现场应急小组，通报监理与运营单位，通过调整监测频率、微调盾构注浆量或开挖步距控风险；较大风险由总包单位统筹，暂停新建隧道施工，联合设计单位定专项方案，运营单位同步启动轨道巡检与限速准备，每小时互通信息；重大

风险需立即上报建设主管部门，启动含施工、运营、应急管理部的跨单位指挥部，运营单位视情单线停运或临时闭站，施工方优先护既有隧道防风险扩散，全程留存记录供复盘。

4.2 应急资源专项配置

物资上，储备速凝混凝土、钢支撑组件等加固材料，止水条、注浆液等防渗材料及便携式沉降仪等备用设备，存于下穿段附近临时仓库，确保15分钟内调运到位；人员上，组建含地质/结构工程师、运营协调员及抢险人员的复合型队伍，每月至少1次下穿专项演练；设备上，配应急注浆机、移动式抽水设备、应急照明及通信中继设备，规避信号盲区影响协同^[4]。

4.3 突发事件处置核心要点

既有隧道沉降超限时，先内部架设临时钢支撑、喷速凝混凝土控变形，再调新建隧道推进速度、注浆压力，运营单位同步监测轨道平顺性，必要时临时限速；施工区域涌水时，以“堵排结合”处理，掌子面注浆筑止水帷幕并强化排水，监测既有隧道衬砌渗漏，若波及则启应急排水防设备损坏与运营中断，处置后需第三方检测确认结构稳定方可申请复工。

结束语：本文围绕新建地铁隧道下穿既有地铁施工技术展开研究，通过梳理工程概况明确施工基础条件，依托多方法评估厘清风险谱系，提炼关键技术解决施工核心难题，构建预案体系应对突发情况，形成覆盖施工全流程的技术框架。研究表明，科学的工程分析、精准的风险管控与系统的技术应用，是保障下穿施工安全的关键。

参考文献

- [1]关翔宇.新建地铁隧道下穿既有地铁施工技术[J].安家,2025(2):0052-0054.
- [2]李懿哲.新建地铁隧道下穿既有地铁施工技术[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(2):0165-0168.
- [3]田敬军.新建地铁隧道下穿既有地铁施工技术要点分析[J].工程建设与设计,2022(20):194-196.
- [4]杨武林.新建地铁隧道下穿既有地铁施工技术[J].四川建材,2021,47(4):151-152-161.