

# 市政工程上穿地铁既有结构与轨道的安全性评估

李秀健

天津国际工程建设监理有限公司 天津 300353

**摘要：**市政工程上穿地铁既有结构与轨道时，需系统评估施工对地铁安全的影响。本文分析了上穿工程的复杂环境、地质多变性及施工干扰等特点，探讨了施工工艺、工程规模与地铁运营状态等关键影响因素。在此基础上，构建了涵盖结构安全、轨道安全及周边环境安全的多层次评估指标体系，综合运用理论分析、现场监测与模糊层次分析法进行安全性评估，并提出针对性风险管控建议，以保障地铁运营安全与工程顺利实施。

**关键词：**市政工程；地铁既有结构；轨道安全；安全性评估；风险管控

引言：随着城市化进程加快，市政工程与地铁既有设施交叉作业日益增多，上穿施工易对地铁结构、轨道及周边环境产生扰动，引发结构变形、轨道位移等安全风险，威胁地铁运营安全。当前上穿工程面临施工环境复杂、地质条件多变等挑战，若缺乏系统安全评估，易导致安全事故。因此，开展市政工程上穿地铁既有结构与轨道的安全性评估，明确风险点、建立评估体系、提出管控措施，对保障地铁运营安全、提升工程建设质量具有重要现实意义。

## 1 市政工程上穿地铁既有结构与轨道的工程特点与影响因素

### 1.1 工程特点

施工环境复杂体现在上穿工程多处于城市地下核心区域，周边密集分布地下管线与建筑物，涵盖给排水、燃气、电力等各类管线，这些设施与地铁结构、轨道距离近，施工空间被严格限制。施工中需精准避开既有设施布局，防止管线破损或地面建筑扰动，还需在有限空间内协调设备摆放、材料运输与操作流程，大幅增加施工组织难度<sup>[1]</sup>。地质条件多变使上穿施工难度与对地铁结构的影响存在显著差异，软土地层中土体承载力低、压缩性高，施工易引发地层沉降并导致地铁结构变形；岩石地层虽土体稳定性较强，但岩石开挖产生的振动易传递至地铁结构，可能破坏结构完整性；富水地层中地下水渗流会改变周边水土压力，对地铁结构防水与稳定性构成挑战。施工干扰大表现为施工产生的振动、噪声直接影响地铁正常运营，振动可能导致轨道扣件松动、几何参数偏移，影响列车行驶平顺性；噪声传播至地铁车站或隧道内部，会干扰乘客体验与工作人员操作，需通过降噪、减振措施平衡施工进度与运营需求。

### 1.2 影响因素

施工工艺对地铁既有结构与轨道的影响机制不同，

盾构法通过盾构机外壳支护周边土体，地层扰动小，对地铁结构与轨道影响较可控；明挖法需开挖大范围土体，易引发周边地层应力重分布，可能导致地铁结构沉降或水平位移；顶管法对地层扰动介于两者之间，但顶进力控制不当会对地铁结构产生局部挤压，造成结构损伤。工程规模大小与安全性关联紧密，上穿隧道长度越长，施工持续时间久，地层与地铁结构受扰动的累积效应越明显，安全风险随之上升；隧道宽度越大，开挖断面尺寸大，对周边土体稳定性要求更高，若支护不及时，会扩大地层变形范围，加剧对地铁轨道与结构的影响。地铁运营状态中，列车荷载与运行速度改变上穿工程周边受力环境，列车行驶产生的动荷载周期性作用于地铁结构，若与施工荷载叠加，可能放大结构内力变化；列车运行速度越高，对轨道平顺性要求越严，施工引发的微小轨道变形也会对行车安全造成更大威胁，评估时需充分考虑运营与施工的相互作用。

## 2 安全性评估指标体系构建

### 2.1 结构安全指标

地铁结构变形指标需重点监测沉降、位移、倾斜三类参数，结合地铁结构设计标准与材料特性确定允许值，例如根据隧道衬砌材料强度设定沉降允许范围，避免沉降过大导致结构开裂。同时需分析变形变化规律，通过追踪施工各阶段变形速率，判断变形是否处于稳定状态，若变形速率突然增大或累计值接近允许值，需及时预警以防止结构失稳<sup>[2]</sup>。结构应力指标聚焦施工过程中地铁结构内力变化，通过计算或监测隧道衬砌、车站主体等关键部位的应力值，确定应力控制标准，确保应力不超过结构材料的承载极限，避免因施工荷载叠加导致结构出现塑性变形或损伤。结构裂缝指标需明确裂缝产生原因，多与结构变形、应力集中相关，需跟踪裂缝发展规律，观察裂缝长度、宽度的变化趋势，同时制定

裂缝宽度限制标准,超过标准的裂缝可能削弱结构整体性,需评估其对结构防水与承载能力的影响,必要时提出修复建议。

## 2.2 轨道安全指标

轨道几何形位指标涵盖轨距、水平、高低、轨向等关键参数,这些参数直接影响列车行驶平顺性与安全性,需依据地铁轨道维护标准设定允许偏差。例如轨距偏差过大会增加车轮脱轨风险,高低不平顺会导致列车颠簸并加剧轨道磨损,评估时需分析各参数偏差对列车轮轨接触关系的影响,确保轨道几何形位符合行车要求。轨道结构强度指标需评估轨道在施工荷载作用下的承载能力,包括钢轨、轨枕、扣件等部件的强度验算,施工产生的振动或地层变形可能导致轨道结构受力异常,需判断强度是否满足列车荷载与施工荷载叠加后的使用要求,避免轨道部件因强度不足出现断裂或损坏。道床稳定性指标关注道床沉降、翻浆冒泥等问题,道床沉降会改变轨道高程,影响轨道几何形位;翻浆冒泥多由地下水渗入或道床材质劣化引起,会削弱道床支撑能力,评估时需分析这些问题对轨道整体稳定性的影响,确保道床能为轨道提供可靠支撑。

## 2.3 周边环境安全指标

地下管线安全指标需分析施工对周边给水管、排水管、燃气管等管线的影响,不同类型管线的材料与功能存在差异,需分别确定变形和应力控制标准。燃气管对变形敏感,过大变形可能导致管线破裂泄漏,需严格控制其位移量;给水管需监测应力变化,防止因应力集中出现接口渗漏。评估时需结合管线埋深、材质特性,判断施工引起的地层变形是否超出管线安全范围,避免管线损坏影响正常使用。周边建筑物安全指标聚焦施工对建筑物的影响,监测建筑物沉降、倾斜、裂缝等参数,依据建筑物结构类型设定允许变形值,砖混结构抗变形能力较弱,需控制沉降差以避免墙体开裂。同时需评估这些指标对建筑物使用安全的影响,沉降或倾斜过大可能导致建筑物墙体损坏、门窗变形,甚至影响结构整体稳定性,需及时采取措施控制风险,保障建筑物内人员与财产安全。

## 3 安全性评估方法

### 3.1 理论分析方法

结构力学分析需基于结构力学基本原理,针对地铁既有结构与轨道的受力特点构建计算模型。先明确施工过程中可能产生的荷载类型,如土体开挖引起的卸荷、支护结构传递的压力等,再将这些荷载代入模型,计算结构关键部位的应力分布与变形量<sup>[1]</sup>。例如对地铁隧道衬

砌,需计算施工荷载作用下衬砌的弯矩、剪力值,判断是否超出材料承载能力;对轨道系统,需分析荷载传递路径,计算钢轨、轨枕的受力情况,评估是否存在局部应力集中风险,为后续安全判断提供理论依据。有限元分析借助专业有限元软件实现,先根据工程实际情况建立“地质-地铁结构-轨道-施工设施”一体化三维数值模型,精准模拟地层分层、结构尺寸、材料参数等关键信息,模型需经过现场地质勘查数据校验以确保准确性。随后按照施工流程分步模拟,如开挖、支护、回填等阶段,追踪各阶段结构位移、应力的动态变化,还可模拟不同施工参数下的结构响应,对比优化施工方案,例如调整开挖速率、支护时机对结构变形的影响,为评估安全性与优化施工提供数据支撑。

### 3.2 监测方法

监测内容需结合安全性评估指标体系确定核心监测项目,除地铁结构变形、轨道几何形位、地下管线位移外,还需包含结构应力、轨道部件状态等关键参数。结构变形监测聚焦沉降、水平位移等;轨道几何形位监测覆盖轨距、高低、轨向等;地下管线位移监测需针对不同类型管线设置监测点,全面捕捉施工对周边关键设施的影响。监测仪器与设备选择需匹配监测精度与项目需求,水准仪用于测量结构与管线沉降,通过两点间高程差计算沉降量;全站仪可实现结构水平位移、轨道几何参数的精准测量,获取三维坐标数据;应变计粘贴于结构表面或嵌入内部,实时采集应力变化数据,这些仪器通过数据传输系统将监测结果实时反馈,确保数据及时可用。监测频率需根据施工阶段动态调整,施工关键阶段如开挖初期、支护完成前需提高监测频率,确保及时捕捉风险;施工稳定后可适当降低频率。预警值需依据评估指标允许值设定,分为一级、二级预警,当监测数据接近二级预警值时启动关注机制,达到一级预警值时立即暂停施工并采取应急措施,快速响应安全隐患。

### 3.3 综合评估方法

综合评估需先整合理论分析结果与监测数据,对比两者差异并分析原因,若理论计算的变形量与实际监测值存在偏差,需核查模型参数是否与实际地质、施工情况相符,修正后再进行后续分析。随后采用层次分析法构建评估指标体系层级结构,将结构安全、轨道安全、周边环境安全设为一级指标,下属参数设为二级、三级指标,通过专家打分确定各指标权重,突出关键指标对安全性的影响。同时结合模糊综合评价法处理评估中的模糊因素,如“轨道平顺性是否达标”这类难以精确量化的指标,通过建立模糊评价矩阵,计算综合隶属度,

最终确定安全性等级。两种方法结合可兼顾定量数据与定性分析,全面考量施工对地铁既有结构与轨道的影响,得出科学的综合评估结论,为工程安全决策提供可靠依据。

#### 4 安全性评估结果与风险管控建议

##### 4.1 评估结果整理与呈现

评估结果整理需系统汇总各项评估指标的计算数据与现场监测结果,逐一对比指标实际值与安全限值,明确各指标是否满足安全要求。例如将地铁结构沉降监测值与允许沉降值对比,轨道几何形位实测数据与规范偏差范围对比,清晰标注达标与超标指标<sup>[4]</sup>。对于超出安全限值的风险点,需深入分析风险产生的原因,如结构沉降超标可能源于地质条件复杂或施工荷载控制不当,同时界定风险影响范围,判断风险仅局限于局部结构还是已波及周边轨道或管线。呈现阶段需形成可视化评估报告,包含变形预测曲线、风险区域分布图等内容,变形预测曲线可直观展示施工各阶段结构变形趋势,风险区域分布图能明确标注高风险、中风险、低风险区域,还可补充风险点对应的应急处置优先级,让评估结论更易理解,为后续风险管控提供清晰指引。

##### 4.2 针对性风险管控措施建议

施工方案优化建议需结合评估发现的风险点制定,若评估显示结构沉降超标,可建议调整施工顺序,优先完成支护结构施工再开展开挖作业;若地层扰动过大,可优化支护参数,增加支护结构刚度或加密支护间距;若施工速率过快导致变形累积,可建议控制施工速率,设置合理的施工间隔时间,减少对周边地层与地铁结构的持续扰动。动态监测强化建议需针对风险较高的区域与指标,若某段轨道变形接近限值,可建议加密监测频次,从每日一次调整为每日两次或多次;若风险影响范围可能扩大,可建议扩大监测范围,将周边更多管线或建筑物纳入监测体系;若现有预警机制不足,可建议增设预警阈值,细化预警等级,确保风险出现时能及时触发响应。应急处置预案建议需覆盖可能出现的超标变形、结构损伤等紧急情况,明确应急响应流程与责任主体,如出现结构裂缝超标时,需立即暂停施工、组织技术人员现场勘查,同时制定处置措施,如采用注浆加固

技术控制裂缝发展,调配应急物资保障处置效率,避免风险进一步扩大。

##### 4.3 评估结果的动态应用与反馈

评估结果应用需推动其纳入市政工程施工审批与过程管控依据,施工前审批部门可参考评估结论判断工程方案的安全性,不满足安全要求的方案需优化调整后再次获批;施工过程中管控人员可依据评估指标实时核查施工行为,重点关注高风险工序的操作规范性,确保施工符合安全标准。持续跟踪评估机制需建立动态调整流程,施工中定期采集实际监测数据,与前期评估结论对比,若监测数据显示风险变化,需及时修正评估模型、调整管控措施,如地层变形规律改变时,需重新计算结构安全储备并优化支护方案,必要时组织专家论证调整后的方案可行性。评估经验总结需梳理本次评估中的关键技术要点、风险识别方法与管控有效措施,形成标准化经验文档,详细记录不同地质条件、施工工艺下的评估重点,为后续类似市政工程上穿地铁的安全性评估提供参考,帮助同类项目更高效、精准地开展评估工作,提升整体工程安全管理水平。

#### 结束语

市政工程上穿地铁既有结构与轨道的安全性评估,是确保地铁运营安全的关键环节。通过构建科学的评估指标体系,结合理论分析、实时监测与综合评估方法,能够系统识别施工过程中的潜在风险,并制定有针对性的管控措施。未来还需进一步推动评估结果的动态应用与经验标准化,提升同类工程的安全管理水平,实现城市建设与地铁运营的协调发展。

#### 参考文献

- [1]郭林峰.市政工程上穿地铁既有结构与轨道的安全性评估[J].黑龙江交通科技,2021,44(9):174-175.
- [2]左鹏.随路管线工程穿越地铁既有结构安全性分析[J].黑龙江交通科技,2021,44(10):189-190.
- [3]张学成.新建地铁隧道下穿既有地铁施工技术研究[J].商品与质量,2021,25(19):150-151.
- [4]郭林峰.道路工程穿越既有地铁结构的安全性影响评价与建议[J].黑龙江交通科技,2021,44(4):194-196.