

# 基坑工程施工对临近地铁隧道结构的安全评价研究

范锦峰

锡澄中车(无锡)城市轨道交通工程有限公司 江苏 无锡 214175

**摘要:** 本文深入探讨基坑工程施工对临近地铁隧道结构安全的影响,分析了基坑施工与地铁隧道安全的关联性、潜在风险与危害,以及基坑开挖对周围岩土层的扰动机制和地铁隧道结构的受力特性。通过构建安全评估指标体系、采用定性与定量评估方法,建立了安全评价模型,并提出相应的安全风险管理体系,包括风险识别与评估、风险控制与管理、应急预案与事故处理等措施,以确保基坑施工过程中的地铁隧道结构安全。

**关键词:** 基坑工程; 临近地铁隧道; 安全评价

## 1 基坑工程施工与地铁隧道结构安全的关联性

基坑工程施工与地铁隧道结构安全之间存在着密切的关联性。随着城市化进程的加速,基坑施工成为城市建设中不可或缺的一环,尤其是在已建地铁隧道周边进行的深基坑开挖,其施工活动直接对地铁隧道的结构安全产生显著影响。深基坑施工过程中的土方开挖、支护结构安装、降水排水等作业,会引起周围岩土体的应力场和位移场发生显著变化。这些变化不仅可能导致基坑自身的稳定性问题,还可能通过土体传递至邻近的地铁隧道,引发隧道结构的应力和变形。特别是当基坑开挖深度大、距离地铁隧道近时,隧道结构可能受到较大的水平位移和沉降影响,严重时甚至可能导致隧道结构破坏,影响地铁的正常运营和乘客安全。另外,基坑施工期间的降水作业也可能对地铁隧道产生不利影响。过量降水可能导致地下水位的急剧下降,进而引起地层固结沉降,加大地铁隧道的竖向变形和横向挤压。这种变形不仅会影响隧道的正常使用,还可能对隧道内的轨道、电缆等设施造成损坏,增加运营风险<sup>[1]</sup>。因此,基坑工程施工与地铁隧道结构安全之间的关联性不容忽视。在基坑施工过程中,必须充分考虑地铁隧道的存在及其安全要求,采取合理的施工方案和措施,确保地铁隧道结构的安全稳定。同时,加强施工监测和预警机制,及时发现和处理潜在的安全隐患,也是保障地铁隧道结构安全的重要措施。

## 2 基坑施工对地铁隧道结构可能产生的风险与危害

基坑施工,作为城市地下空间开发的关键环节,其操作过程对周边地下结构,特别是地铁隧道,构成了不容忽视的风险与危害。第一,基坑开挖过程中土体的卸载与移动会打破原有的地层平衡,导致周围岩土体产生应力重分布。这种应力变化可能直接传递到邻近的地铁隧道结构,引发隧道产生不均匀沉降或水平位移,严重

时甚至导致隧道结构开裂、渗漏,直接影响地铁的运营安全。第二,基坑施工中的降水作业也可能成为危害地铁隧道安全的另一大因素。大规模的降水可能导致地下水位急剧下降,土壤中的有效应力增加,进而引发地层固结沉降。对于地铁隧道而言,这种沉降往往是难以预测和控制的,它不仅会导致隧道底部脱空、上部结构开裂,还可能影响隧道与轨道之间的几何关系,增加行车不平稳性,威胁乘客安全<sup>[2]</sup>。第三,基坑施工期间还可能发生意外事件,如支护结构失效、基坑坍塌等,这些事故将直接冲击地铁隧道,对其结构造成物理性破坏,后果不堪设想。因此,基坑施工对地铁隧道结构的安全构成了严重威胁,必须采取科学、合理、有效的防控措施,确保施工过程的安全可控,保障地铁隧道及其运营的安全稳定。

## 3 基坑工程施工对地铁隧道结构影响的理论分析

### 3.1 基坑开挖对周围岩土层的扰动机制

随着开挖的进行,基坑周边土体逐渐卸载,打破原有的地应力平衡状态,导致土体内部应力重新分布。这种应力的变化会向四周传播,尤其是向邻近的地铁隧道所在区域扩散,引发地层产生水平和垂直方向的位移。基坑开挖还可能导致地下水位的变化,进一步加剧岩土层的扰动程度。这种复杂的扰动机制不仅影响基坑自身的稳定性,更直接关系到邻近地铁隧道结构的安全。岩土层的位移和变形会通过地层传递给隧道结构,对隧道产生挤压、拉伸等效应,进而威胁到隧道的结构完整性和使用功能。

### 3.2 地铁隧道结构受力特性分析及基坑施工影响

地铁隧道作为城市地下交通的重要组成部分,其结构受力特性复杂而独特。隧道结构在设计时需考虑多种因素,包括土压力、地下水压力、列车动载等。在正常运营状态下,隧道结构处于相对稳定的受力状态,能

够承受各种设计荷载并保持良好的使用性能。当邻近基坑进行开挖施工时,隧道结构的受力状态将发生显著变化;基坑开挖导致的地层扰动和位移变形会使隧道结构受到额外的荷载作用,包括由于土体挤压产生的水平推力、由于地层沉降产生的垂直压力等。这些附加荷载将增加隧道结构的受力负担,可能引发隧道结构的变形和破坏。基坑施工过程中的降水、爆破等作业可能改变地下水位的分布和岩土体的物理力学性质,从而间接影响隧道结构的受力状态<sup>[3]</sup>。例如,地下水位的下降可能导致隧道下方土体固结沉降,加剧隧道结构的沉降变形;而爆破作业产生的震动波则可能直接冲击隧道结构,引发裂缝和损伤。

#### 4 基坑施工对地铁隧道结构安全评估方法

##### 4.1 安全评估指标体系建立

为确保基坑施工对地铁隧道结构安全评估的全面性和准确性,需要建立一套科学、合理的评估指标体系。该体系主要包括但不限于以下关键指标:(1)位移指标:设置位移监测点于隧道关键位置(如拱顶、拱腰、仰拱等),利用全站仪或测斜仪定期测量并记录数据。例如,位移限值设定为水平位移不超过 $\pm 15\text{mm}$ ,竖向位移不超过 $10\text{mm}$ 。实际监测数据显示,在某次基坑开挖过程中,隧道拱顶最大水平位移达到了 $12\text{mm}$ ,竖向位移为 $8\text{mm}$ ,均在安全范围内。(2)应力应变指标:在隧道内壁安装应变计,监测结构内部应力和应变变化。设定预警阈值,如应变值超过材料弹性极限的80%即视为高风险。实际监测中,隧道结构应变值稳定在安全区间内,未触发预警。(3)裂缝观测:定期对隧道内壁进行裂缝观测,记录裂缝的长度、宽度和分布情况。若发现新增裂缝或既有裂缝扩展,需及时评估其对结构安全的影响。在某次检查中,发现一条微小裂缝,长度为 $2\text{cm}$ ,宽度小于 $0.2\text{mm}$ ,经评估对结构整体安全性影响有限。(4)地下水位监测:在基坑周边布置地下水位观测井,实时监测地下水位的变化。设定水位波动范围限值,确保地下水位的稳定不会对隧道结构造成不良影响。

##### 4.2 安全评估方法论

安全评估方法论结合定性定量方法,确保评估结果的客观性和科学性。

###### 4.2.1 定性评估

基于工程经验、专家判断和文献资料,识别基坑施工可能引起的隧道结构安全风险因素,如地层扰动、地下水渗透等。通过召开专家会议,对这些风险进行初步评估,确定风险等级和优先处理顺序<sup>[4]</sup>。

###### 4.2.2 定量评估

采用数值模拟、现场试验等手段,对基坑施工引起的隧道结构变形、应力等参数进行量化分析。以有限元分析软件为例,建立隧道-地层相互作用的三维数值模型,模拟基坑开挖全过程,得到隧道结构的变形场和应力场分布。将模拟结果与实际监测数据进行对比分析,验证模型的准确性和可靠性。

##### 4.3 安全评价模型建立

为了更准确地评估基坑施工对地铁隧道结构的影响,需要建立安全评价模型。具体步骤包括:(1)数据收集与处理:收集地质勘察报告、施工设计文件、监测数据等基础资料,进行整理和分析,为模型建立提供数据支撑。(2)模型构建:根据隧道结构和地层条件,采用适当的数值模拟方法(如有限元法、离散元法等),构建基坑施工对隧道影响的数值模型。模型中应详细考虑基坑开挖顺序、支护方式、地下水条件等因素。(3)参数设定与边界条件:根据工程实际情况和模拟软件的要求,设定模型中的各项参数(如土体力学参数、结构材料参数等)和边界条件(如固定边界、滚动边界等)。(4)模拟计算与结果分析:通过模拟计算得到隧道在基坑施工过程中的变形、应力等关键响应参数。将模拟结果与实际监测数据进行对比,验证模型的预测能力,并进行必要的调整和优化,确保模型的准确性和适用性。(5)风险量化与等级划分:基于模拟结果和风险评估标准,对基坑施工引起的隧道结构安全风险进行量化评估,并划分风险等级。例如,根据隧道变形量和应力水平的超标程度,将风险等级划分为低、中、高三类,以便采取相应的风险管理措施<sup>[5]</sup>。(6)安全评价报告编制:将评估过程中的数据收集、模型建立、模拟计算、结果分析和风险量化等内容整理成安全评价报告。报告中应详细阐述评估方法、评估过程、评估结果和风险建议等内容,为施工管理和决策提供科学依据。在实际应用中,安全评价模型不仅需要考虑到基坑施工的短期影响,还应关注其长期效应。因此,在模型构建和评估过程中,需要充分考虑到地质条件的长期稳定性和隧道结构的耐久性等因素。通过实时监测系统获取隧道结构和地层的实时响应数据,并利用自动化预警系统对数据进行实时分析,一旦发现异常情况立即触发预警机制,通知相关人员采取紧急措施,确保施工过程中的地铁隧道结构安全。

#### 5 基坑工程施工对临近地铁隧道结构的安全风险管理策略

##### 5.1 安全风险识别及评估

在基坑工程施工启动之初,首要任务是进行详尽的

安全风险识别与评估工作,以全面了解并量化施工活动对临近地铁隧道结构可能带来的威胁。通过详细的地质勘察,识别地下水位、地层岩性、不良地质现象等潜在风险因素,并评估其对隧道稳定性的影响。同时,考虑周边建筑物、交通流量、地下管线等环境因素,分析它们可能引发的次生风险。结合施工方案,分析基坑开挖、支护安装、降水作业等关键施工步骤对隧道结构的直接和间接影响。利用数值模拟、历史数据对比等手段,预测隧道可能遭受的位移、应力变化等物理效应。根据风险发生的可能性及其后果的严重程度,采用定性定量相结合的方法,对各项风险进行评分和排序。依据评分结果,将风险划分为高、中、低等不同等级,为后续的风险控制策略制定提供依据。

### 5.2 风险控制与管理策略

基于安全风险识别与评估的结果,制定并实施针对性的风险控制与管理策略,是确保基坑施工安全与保护地铁隧道结构完好的关键措施:根据风险评估结果,对基坑开挖方案、支护结构设计、降水措施等进行优化调整。通过减少单次开挖深度、增强支护结构刚度、优化降水井布局等方式,降低施工对隧道的影响。建立全面的施工监测体系,对隧道结构及其周边地质环境进行实时、动态的监测。利用自动化监测技术和数据分析平台,及时发现并预警异常情况,为风险控制提供数据支持。加强施工现场的安全管理,确保施工队伍严格遵守操作规程和安全制度。加强对施工质量的监督与检查,确保施工过程符合设计要求<sup>[6]</sup>。与地铁运营单位、设计单位等相关方建立紧密的沟通协调机制,共同解决施工过程中的安全问题。针对识别出的高风险因素,制定并实施具体的风险缓解措施。如采用加固隧道结构的临时支撑、设置地下连续墙等隔离措施、调整施工时间以避免地铁运营高峰期等。

### 5.3 应急预案与事故处理

为应对基坑施工过程中可能发生的突发事件和事故,必须制定完备的应急预案,并确保在事故发生时能

够迅速、有效地进行处置:明确应急响应的组织架构、职责分工和响应流程。针对不同类型的突发事件(如隧道位移超标、支护结构失效、地下水突涌等),制定详细的应对措施和处置方案。建立由专业人员组成的应急抢险队伍,并进行定期的应急演练和培训。确保队伍具备快速响应、有效处置突发事件的能力。根据应急预案的需要,储备充足的应急物资和设备,如注浆设备、排水设备、抢修材料等。确保在事故发生时能够迅速调用资源,进行有效的抢险工作。在事故发生后,立即启动应急预案,并按照预定的响应流程进行处置。同时,及时向相关单位报告事故情况,并寻求必要的支持和协助。通过以上措施的实施,可以全面、系统地管理和控制基坑工程施工对临近地铁隧道结构的安全风险,确保施工活动的顺利进行和隧道结构的安全稳定。

### 结束语

综上所述,基坑工程施工对临近地铁隧道结构的安全影响不容忽视。通过科学的安全评估和风险管理策略,可以有效降低施工过程中的安全风险,保障地铁隧道结构的稳定与安全。未来,随着城市地下空间开发的不断深入,应进一步加强基坑施工与地铁隧道保护的理论与实践,为城市地下工程的安全建设提供有力支持。

### 参考文献

- [1]张晗,程兰婷,孙晓宇.基坑施工对邻近地铁隧道结构的影响研究[J].市政技术,2021,39(10):159-164+170.
- [2]朱永伟.基坑施工对邻近运营地铁隧道的影响分析[J].四川建材,2020,46(11):152+162.
- [3]陈鲁,周莹,程智伟.深大基坑施工对邻近地铁结构的安全性影响分析[J].建筑结构,2019,49(S1):763-767.
- [4]金子明.市政工程基坑开挖施工技术探讨[J].工程建设与设计,2019(4):110~111.
- [5]荆瑞珍.市政工程深基坑施工工艺及质量控制研究[J].工程建设与设计,2020(6):161~162.
- [6]樊金山.程伟.基坑开挖对既有道路路基变形的影响分析[J].现代交通技术,2019,16(2):5-9.