

# 深基坑支护体系与邻近地铁隧道相互影响研究

张庆文 王兵 朱金林 张俊浩

江苏地质基桩工程有限公司, 江苏镇江, 212000;

**摘要:** 深基坑支护体系和邻近地铁隧道的相互影响问题是本论文关注的焦点, 本研究采用理论分析、数值模拟和实际工程案例相结合的方法, 深入探讨深基坑施工影响地铁隧道的机制以及地铁隧道对深基坑支护体系的反馈作用, 研究发现深基坑开挖会使土体位移和应力重分布从而影响地铁隧道的结构安全和运营, 且地铁隧道的存在会改变深基坑周边土体力学特性进而影响支护体系的受力状态, 本研究为深基坑工程与地铁隧道安全协同建设提供理论依据和技术支持。

**关键词:** 深基坑支护体系; 地铁隧道; 相互影响

**DOI:** 10.64216/3080-1508.25.04.002

## 1 引言

城市化进程加速使城市地下空间开发愈加频繁, 深基坑工程和地铁工程大量出现且两者距离不断缩短。深基坑开挖时土体应力状态改变, 会产生土体位移和沉降, 这使邻近地铁隧道的结构安全与正常运营面临潜在威胁, 而且地铁隧道也会影响深基坑周边土体力学性能, 从而改变深基坑支护体系受力特性, 深入研究深基坑支护体系与邻近地铁隧道相互影响对保障二者安全建设与运营意义重大, 城市中心区域统计表明约 30% 深基坑工程距地铁隧道在 50 米内, 相互影响问题突出, 相关研究急需深入开展。

## 2 深基坑支护体系与邻近地铁隧道相互影响机制

### 2.1 深基坑施工对地铁隧道的影响

土体原有的应力平衡状态被深基坑开挖打破后周围土体因应力释放向基坑内移动, 这种土体位移会对邻近地铁隧道产生拉伸、压缩和剪切等作用从而使隧道结构变形、产生裂缝甚至遭到破坏, 基坑开挖深度、开挖顺序、支护结构刚度、土体力学参数以及基坑与隧道的距离等是主要影响因素, 开挖深度和土体位移量显著正相关, 多个深基坑工程监测数据显示在同等地质条件下开挖深度每多 1 米距离基坑 20 米处的土体水平位移平均多 1.2-1.5mm 且垂直沉降多 0.8-1.0mm, 支护结构刚度不够就不能有效限制土体变形这也会加大对隧道的不利影响, 像某工程由于用了刚度低的支护结构当基坑挖到 15 米深时邻近地铁隧道就有明显裂缝而后续工程用刚度加大的支护结构隧道变形就得到有效控制。

### 2.2 地铁隧道对深基坑支护体系的影响

周边土体的力学特性被地铁隧道这一地下构筑物改变了, 隧道结构存在时会约束周围土体从而使土体变形受限; 深基坑开挖时, 这种约束会让基坑周边土体应

力分布改变, 导致深基坑支护体系承受的荷载分布不均匀, 进而加大支护体系设计和施工的难度, 就拿某邻近地铁隧道的深基坑工程来说, 现场应力监测发现, 深基坑支护结构靠近地铁隧道一侧所受土压力比远离隧道一侧高大概 20%-30%, 并且地铁隧道运营时的振动对深基坑支护体系的稳定性或许也有一定影响, 研究显示, 地铁列车运行振动频率在 1-30Hz 之间, 长期振动可能使土体密度改变, 从而使支护结构受力状态受影响。

## 3 深基坑支护体系与邻近地铁隧道相互影响的研究方法

### 3.1 理论分析

土力学、结构力学等相关理论被拿来建立深基坑-土体-地铁隧道相互作用的力学模型, 并用弹性力学、塑性力学等方法对模型求解, 从而分析土体位移、支护结构受力、隧道变形等参数。在弹性力学模型里, 土体被当作弹性体, 拉普拉斯方程和泊松方程用于描述土体应力-应变关系。对于复杂的土体-结构相互作用问题, 有限差分法或者有限元法使用较多, 其中有限差分法是把求解区域划网格, 通过微分方程差分离散求解, 有限元法是将连续体离散成有限个单元, 通过单元分析加上整体分析解决问题。以有限元法为例, 在分析深基坑开挖对地铁隧道影响时, 可将土体、支护结构、隧道结构划分成不同类型单元, 考虑材料非线性特性, 从而较为准确地模拟深基坑施工过程中土体和结构的力学行为。

### 3.2 数值模拟

专业的岩土工程数值模拟软件像 FLAC3D、Plaxis 等被用来建立深基坑与地铁隧道的三维数值模型, 并且土体的非线性特性、支护结构和土体的相互作用以及施工过程的动态变化都要在模型中被考虑到。拿 FLAC3D 软件来说, 建模时得先详细勘察工程场地, 土体物理力学参数如下表 1 所示, 之后按照深基坑和地铁隧道设

计图纸精确构建模型几何形状，支护结构相关参数设置见表 2。

表 1 土体物理力学参数

土层名称	弹性模量 (MPa)	泊松比	粘聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)	重度 (kN/m <sup>3</sup> )
粉质黏土	8.5	0.32	18	16	18.5
淤泥质土	3.2	0.40	12	10	17.8
砂层	15.0	0.28	5	30	19.2

表 2 支护结构参数

支护结构类型	材料参数	单元类型	尺寸参数
钻孔灌注桩	C30 混凝土，弹性模量 30GPa	桩单元	直径 1.0m，桩长 25m
内支撑	Q235 钢材，弹性模量 206GPa	梁单元	截面尺寸 0.6m×0.8m

模拟的时候严格照着实际施工顺序分步开挖和支护，每步开挖 3m 深，开挖完就马上施加内支撑，地铁隧道各开挖阶段的沉降与水平位移数据如下表 3 所示。

表 3 不同开挖阶段地铁隧道变形数据

开挖阶段	开挖深度(m)	隧道顶部最大沉降量 (mm)	隧道水平位移最大值 (mm)
第一步	3	2.1	1.5
第二步	6	4.8	3.2
第三步	9	7.5	5.0
第四步	12	9.8	6.5
第五步	15	11.2	7.8
第六步	18	12.0	8.0

深基坑开挖完后模拟结果表明地铁隧道顶部最大沉降量有 12mm 且其水平位移最大值达 8mm，从沉降和位

移分布云图能看出隧道离基坑越近变形越大且在横断面方向上顶部沉降多于底部、靠基坑一侧水平位移比远离基坑一侧大。

### 3.3 现场监测

深基坑支护体系和地铁隧道在实际工程里被实时监测，监测涵盖基坑周边土体沉降、水平位移，支护结构内力、变形，地铁隧道收敛变形、沉降等内容，现场监测往往多种手段相结合，土体沉降与水平位移监测常用全站仪、水准仪等设备测量，支护结构内力监测可在其中预埋钢筋计、土压力盒等传感器，地铁隧道收敛变形监测用收敛计测量就行，自动化监测系统一建立就能实现数据实时采集、传输和分析，当监测数据超预警值时，系统会及时警报，给施工风险预警和控制提供依据。

## 4 工程案例

### 4.1 工程概况

某城市商业中心区的深基坑工程及其邻近地铁隧道项目被选为研究对象，深基坑周边环境复杂且地下管线多，开挖深度达 18 米，平面尺寸为 80 米乘 60 米，支护体系是钻孔灌注桩加内支撑，地铁隧道距基坑最近仅 12 米、埋深 15 米、外径 6 米、内径 5.4 米、衬砌厚 0.3 米，采用盾构法施工且混凝土为 C50，此区域地质条件复杂，主要土层有粉质黏土、淤泥质土和砂层，地下水位高且处于地表下 2 米处。

### 4.2 数值模拟分析

通过 FLAC3D 软件建立三维数值模型以模拟深基坑开挖过程对地铁隧道造成的影响，在模型里土体运用 Mohr-Coulomb 本构模型、支护结构运用弹性模型，模拟结果如图 1 所示，深基坑开挖完毕后地铁隧道顶部沉降量最大可达 12mm 且隧道水平位移最大值达 8mm。

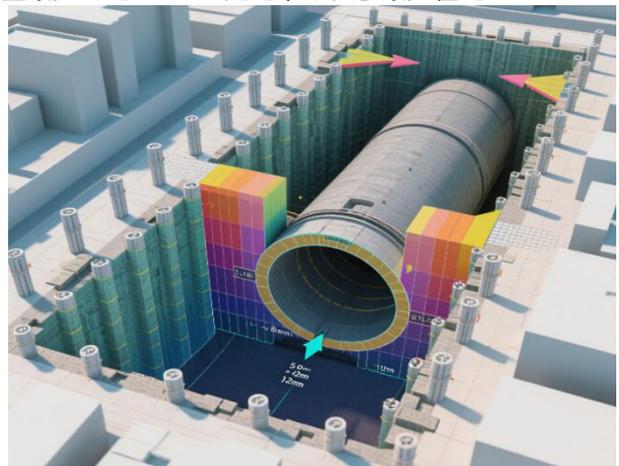


图 1 深基坑开挖后地铁隧道沉降与水平位移分布

### 4.3 现场监测结果

工程施工时要对地铁隧道实时监测，监测点沿隧道

纵向每5米设一个且各点测量隧道顶部沉降与水平位移,监测数据表明隧道顶部最大沉降量10毫米、水平位移最大值7毫米,这与数值模拟结果相近进而数值模拟方法的有效性得到验证,监测数据还显示深基坑开挖初期隧道变形增长快,挖到9米深时隧道顶部沉降达6毫米为总沉降量的60%,支护结构逐步施工变形增长速率就渐渐减缓,分析监测数据可知降雨天气使土体含水量增多、强度降低会让隧道变形小幅增加。

## 5 深基坑支护体系与邻近地铁隧道相互影响的控制措施

### 5.1 优化深基坑支护设计

支护结构类型与参数的合理选择对提高其刚度和稳定性极为关键,实际工程中支护方案要综合地质条件、基坑深度、周边环境等因素确定,软土地层且基坑较深时可采用地下连续墙加内支撑的支护体系,中等深度基坑则钻孔灌注桩结合预应力锚杆的支护方式适用性较好,土体变形可通过增加内支撑数量和强度、采用预应力锚杆等措施有效限制从而减少对地铁隧道的影响,某工程将内支撑间距从3米减到2.5米并对锚杆施加预应力,基坑周边土体位移量就降低了30%-40%,基坑开挖顺序和方法也需要优化即分层分段开挖以尽量减少土体应力释放对隧道的影响,分层分段开挖时每层开挖深度一般控制在2-3米且每段长度按现场实际情况通常为15-20米。

### 5.2 加强土体加固处理

深基坑和地铁隧道之间采用高压旋喷桩、深层搅拌桩之类的方法进行土体加固,可提高土体强度和稳定性、减小土体位移,土体加固后能形成隔离带以降低深基坑施工对地铁隧道的影响;高压旋喷桩靠高压喷射水泥浆跟土体混合,造出有一定强度的加固体,在某工程里,基坑和隧道间设置了两排桩径800毫米、桩间距1.2米且桩长穿透软弱土层的高压旋喷桩,监测数据表明设置旋喷桩后隧道沉降量减少了大概25%;深层搅拌桩是搅拌机械把水泥浆和土体强制搅拌形成柱状加固体,实际应用时按土体性质和加固要求选择合适的加固方法和参数即可。

### 5.3 实施动态监测与预警

深基坑支护体系和地铁隧道的安全保障关键在于建立完善的监测体系进行实时、全方位监测,其涵盖监测点合理布置、监测设备选型安装、数据采集分析等环节,监测点布置要遵循重点部位重点监测原则,在基坑周边、地铁隧道关键节点等部位应多布置监测点,监测设备要高精度、稳定性好,如土体位移监测可用自动化

全站仪,支护结构内力监测可用光纤光栅传感器,监测预警值要设定合理,一旦监测数据超预警值就得赶紧采取处理措施保证工程安全,地铁隧道沉降速率若连续3天超1mm/天就得马上停止基坑开挖、分析原因并采取加固措施。

### 5.4 控制地铁隧道运营影响

合理安排地铁列车运行速度和间隔以使深基坑支护体系少受运营振动影响,通过监测分析地铁列车运行振动能确定合理的运行速度范围,某工程把地铁列车运行速度从80km/h降到60km/h时深基坑支护结构振动响应明显变小,必要时对地铁隧道进行隔振处理可降低振动传递,常见的隔振措施有设隔振沟、铺隔振垫等,隔振沟挖好后回填砂石之类的松散材料能有效阻断振动波传播,隔振垫铺在隧道底部靠弹性材料缓冲减小振动。

## 6 结论

深基坑支护体系与邻近地铁隧道的相互影响被本论文经由理论分析、数值模拟和工程案例研究深入探讨,研究显示地铁隧道受力状态会因深基坑施工而改变且深基坑支护体系受力状态也会被地铁隧道的存在改变,数值模拟和现场监测相结合的法子能较准确地分析二者相互作用规律,在相互影响的问题面前提出了优化支护设计、土体加固加强、动态监测预警实施以及地铁隧道运营影响控制等一系列控制措施,这些研究成果对深基坑工程与地铁隧道安全协同建设指导意义重大。

城市地下空间开发不断深入以后,深基坑和地铁隧道相互影响的问题在未来会变得更复杂,相关研究得进一步开展,完善深基坑与地铁隧道相互影响的理论和技术体系,研究新型支护结构和土体加固技术在复杂环境中的应用效果,探索更精准的数值模拟方法和监测技术,这样才能更好地保障城市地下工程安全建设与运营。

### 参考文献

- [1] ZUODian-jun, 左殿军, SHILin, 等. 深基坑开挖对邻近地铁隧道影响数值计算分析[C]//全国基坑工程研讨会. 中国建筑学会建筑施工学术委员会基坑工程专业委员会;武汉土木建筑学会, 2014. DOI: 10.11779/CJGE2014S2068.
- [2] 栗晓龙. 超宽深基坑开挖对邻近既有地铁隧道安全影响研究[J]. 交通科技, 2023(1): 84-87.
- [3] 徐健. 基坑开挖施工对邻近既有隧道影响的机理及控制措施研究[D]. 华东交通大学, 2023.
- [4] 石伟国, 邵正俊. 邻近地铁的深基坑咬合桩结合内支撑支护体系施工及监测[J]. 建筑技术, 2013, 44(5): 5. DOI: 10.3969/j.issn.1000-4726.2013.05.013.