

岩溶发育区深基坑施工对邻近地铁隧道结构影响分析

张荣辉

广州地铁设计研究院股份有限公司

摘要:以邻近广州地铁6号线某区间隧道的基坑开挖为例,采用有限元数值分析方法,研究岩溶发育区深基坑施工过程中开挖卸载与基坑降水对盾构隧道结构的变形和受力影响。结果表明,拟建基坑施工期间,盾构隧道结构水平位移极值为2.5mm,竖向位移极值为-0.44mm,弯矩增量为4.2kN·m,增幅为3.81%;当降水至坑底以下0.5m时,盾构隧道最大竖向位移为-4.5mm。

关键词:岩溶区;基坑开挖;盾构隧道;水位分析

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.12.056

近年来,随着我国城市建设飞速发展,城市轨道交通得到迅猛发展,伴随着地铁建设完成并运营,地铁沿线的地块开发和基础设施建设工程体量也飞速提升,邻近地铁的深基坑工程具有隐蔽性和复杂性,易引发事故,严重威胁列车的行车安全^[1]。

针对基坑施工对邻近既有隧道结构的影响,不少学者进行了分析研究。郑刚^[2]采用考虑土体小应变刚度特性的有限元方法对基坑施工对坑外既有隧道变形影响规律进行了参数分析。张治国等^[3]提出了基坑开挖对邻近地铁隧道结构纵向变形影响的两阶段分析方法。部分学者研究了岩溶发育区基坑稳定性的影响^[4]。然而,目前还鲜有针对岩溶发育区基坑施工对邻近既有隧道结构的影响分析与研究。

本文以邻近广州地铁6号线某区间隧道的基坑工程为研究背景,采用有限元方法对邻近地铁区间隧道的基坑开挖降水进行数值计算,分析岩溶发育区深基坑施工对地铁盾构隧道结构变形和内力的影响。

一、工程概况

基坑整体形状大致为正方形,坑内周长约565m,基坑开挖深度约为8.75m。基坑拟采用地下连续墙(墙厚800)+钢筋混凝土内支撑支护形式。坑外侧拟采用 $\phi 800@600$ 大直径搅拌桩进行槽壁加固,连续墙接头处采用2 $\phi 600@400$ 双管旋喷桩止水封闭。

基坑西侧紧邻地铁6号线盾构隧道,围护结构与地铁隧道结构外边线最小净距约15.60m,隧道埋深约为8.0m,隧道外径为6.0m。本项目与地铁隧道的空间位置关系如图1和图2所示。

二、场地地质

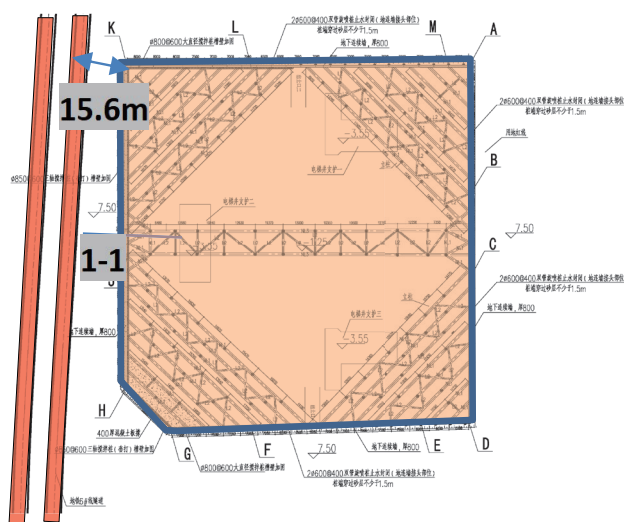


图1 拟建基坑总平面图

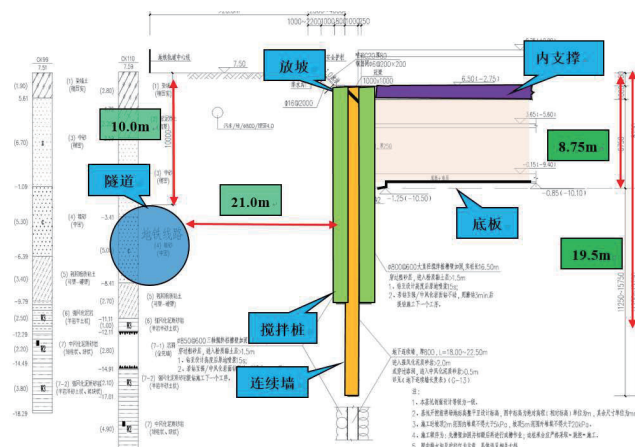


图2 拟建基坑1-1剖面图

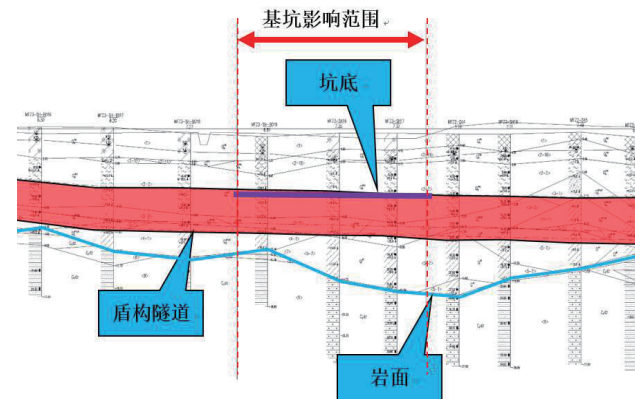


图3 地质剖面图

基坑开挖范围内的地层主要为人工填土、淤泥质土、中砂粗砂、淤泥质土夹层及粉质黏土夹层。场地地下水位较高，地下水丰富，基坑深度范围内存在一定厚度的淤泥软土层。根据拟建项目勘察资料揭露，本场地局部地段揭露有土洞，见洞率为30.23%，溶洞发育程度属中等发育。

地铁隧道洞身主要位于淤泥质粉细砂层、中粗砂层，底板位于粉质黏土层。地铁区域内溶洞发育强烈，见洞率约29.3%。隧道断面如图3所示，主要岩土层参数取值如表1所示。

表1 岩土层参数

| 土层名称 | 重度 kN/m ³ | 变形模量 MPa | 黏聚力 kPa | 内摩擦角° |
|-------|-------------------------|-------------|------------|-------|
| 杂填土 | 17.0 | 10.0 | 10.0 | 15.0 |
| 淤泥质土 | 17.6 | 2.0 | 5.6 | 4.3 |
| 淤泥质粉砂 | 19.0 | 12.0 | 12.0 | 21.0 |
| 粉质黏土 | 20.5 | 28.0 | 28.0 | 18.0 |
| 全风化岩 | 20.9 | 45.0 | 30.0 | 25.0 |
| 微风化灰岩 | 25.4 | 2500 | 1000.0 | 29.0 |
| 溶洞注浆 | 20 | 50 | 25 | 20 |
| 回填材料 | 20 | 10 | 15 | 15 |

三、三维数值模型的建立

(一) 计算模型

结合基坑开挖和支护方案及临近地铁隧道相关设计资料，采用midas GTS/NX软件建立三维整体模型，模型如图4所示。模型计算范围为长280m，宽280m，土层计算深度为50m，模型外扩范围不小于3倍基坑深度。各岩土层土体采用弹塑性本构模型。隧道管片采用弹性本构模型，材料为C50混凝土。三维数值模型见图8。

(二) 边界及荷载条件

边界条件：模型左右两面约束X方向位移，模型前后两面约束Y方向位移，模型底部约束Z方向位移。

荷载条件：荷载主要来自岩土层、主体结构、支护自重，地面超载取20kPa。

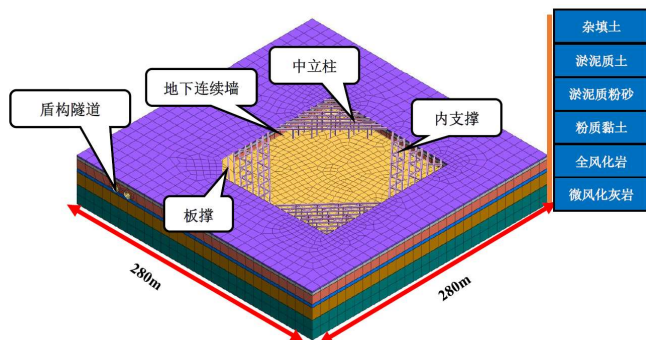


图4 三维数值模型

(三) 模拟工况

针对基坑开挖、地下室施工、拆撑的全过程分为7个施工工况进行数值模拟，具体步骤如表2所示。

表2 模拟施工工况

| 序号 | 工况 | 描述 |
|----|-----------|------------------|
| 1 | 初始地应力状态 | 考虑未开挖状态的岩土层应力状态 |
| 2 | 地铁结构施工 | 模拟地铁结构施工 |
| 3 | 围护结构施工 | 模拟地连墙、立柱施工 |
| 4 | 基坑开挖 | 模拟基坑开挖 |
| 5 | 电梯井围护结构施工 | 模拟电梯井开挖前槽壁加固 |
| 6 | 电梯井开挖 | 模拟坑中坑电梯井开挖施工 |
| 7 | 地下室回筑1 | 施工地下室底板、侧墙及负二层顶板 |
| 8 | 内支撑拆除 | 拆除内支撑和立柱 |
| 9 | 地下室回筑2 | 施工地下室顶板、侧墙 |

四、计算结果分析

(一) 基坑开挖对地铁隧道的影响

1. 隧道结构水平位移

根据数值模拟结果，拟建基坑施工期间，隧道结构水平位移随项目施工过程先增大后减小。工况基坑开挖、电梯井围护结构施工、电梯井开挖、地下室回筑1、内支撑拆除、地下室回筑2的水平位移极值分别为2.43mm、2.43mm、2.5mm、2.5mm、2.3mm、2.3mm，水平位移极值为2.5mm（基坑方向），出现在工况6（电梯井开挖）。水平位移极值位于地铁隧道靠近基坑一侧，隧道结构水平位移极值如图5所示。

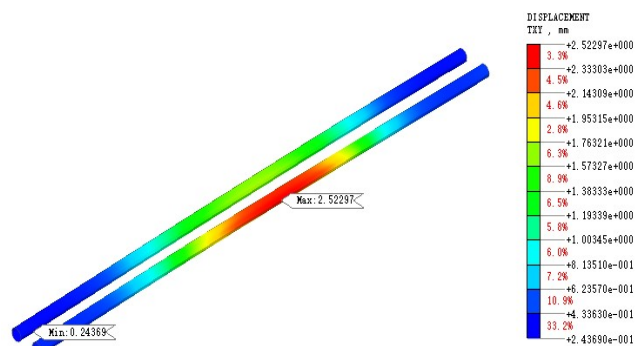


图5 隧道结构水平位移极值云图

2. 隧道结构竖向位移

拟建基坑施工期间，隧道结构竖向变形表现为沉降，隧道结构竖向位移随项目施工过程逐渐增大。工况基坑开挖、电梯井围护结构施工、电梯井开挖、地下室回筑1、内支撑拆除、地下室回筑2的竖向位移极值分别为-0.32mm、-0.32mm、-0.35mm、-0.35mm、-0.44mm、-

0.44mm，位移极值为沉降0.44mm，出现在工况8（内支撑拆除），沉降变形的竖向位移极值位于靠近基坑的位置，且位于隧道结构的顶板。隧道结构的竖向位移极值如图6所示。

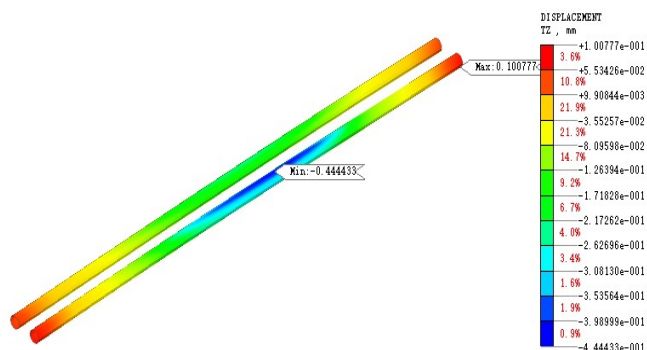


图6 隧道结构竖向位移极值云图

3. 隧道结构内力

隧道结构弯矩随项目施工过程中呈平稳态势，隧道结构初始弯矩为-110.1kN·m，工况基坑开挖、电梯井围护结构施工、电梯井开挖、地下室回筑1、内支撑拆除、地下室回筑2的弯矩极值分别为-112.3 kN·m、-113.2 kN·m、-113.5 kN·m、-114.3 kN·m、-114.2 kN·m、-113.5 kN·m。隧道结构弯矩极值为-114.3，弯矩增量为4.2 kN·m，增幅为3.81%。隧道结构弯矩极值如图7所示。

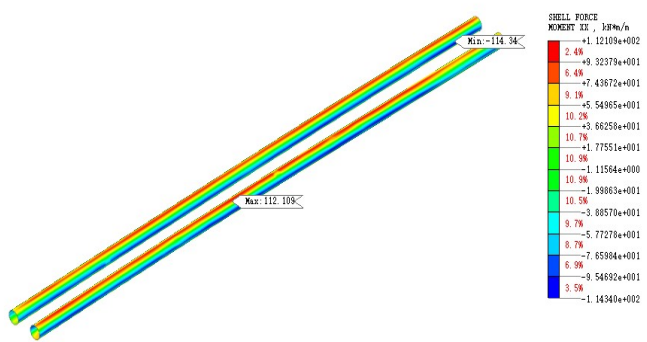


图7 隧道结构弯矩极值云图

(二) 水位变化对地铁隧道的影响

建立二维平面应变模型对基坑降水施工进行渗流分析，计算基坑降水引起坑外水位变化以及邻近隧道结构的沉降变形。

初始水位为地面以下1.0m，降水至坑底以下0.5m。杂填土、淤泥质土、淤泥质粉砂、粉质黏土、全风化岩、微风化灰岩渗透系数分别取0.1m/d、0.001m/d、

5m/d、15m/d、0.01m/d、0.1m/d、0.1m/d。荷载主要为土体自重荷载，根据各土层土体的重度进行计算。

根据有限元计算结果，当降水至基坑底以下0.5m时，左线隧道上方地下水位下降1.0m，右线隧道上方地下水位下降0.89m，考虑降水条件下基坑开挖引起地铁隧道结构竖向位移极值为-4.5mm（沉降）。

五、结论与建议

本文采用三维有限元整体模型模拟各工况条件下地铁结构的变形与内力，研究了基坑开挖与降水施工对邻近地铁区间隧道结构的影响。

(1) 拟建基坑位于岩溶发育区，地质勘察见洞率较高，基坑开挖深度大。考虑溶洞处理效果的影响，给基坑止水带来难度，在施工过程中引起邻近地铁隧道区域的水位变化较大。

(2) 通过三维数值模拟分析，计算得到拟建基坑施工期间，地铁隧道水平位移极值为2.5mm，竖向位移极值为沉降0.44mm，隧道结构弯矩极值为-114.3，弯矩增量为4.2kN·m，增幅为3.81%。

(3) 当降水至坑底以下0.5m时，地铁隧道侧水位下降最大为1.0m，隧道结构竖向位移极值为-4.5mm（沉降）。

(4) 有限元分析可以反映邻近基坑引起盾构隧道结构的受力和变形的变化规律，对基坑设计、施工和监测具有较好的过程指导意义。但由于边界条件、本构模型、岩土参数选择的差异，数值计算结果与实际仍有一定的差异，因此施工过程中需加强隧道监测。

参考文献

[1] 刘天安, 郭清锋, 张荣辉. 基坑开挖对邻近地铁车站运营安全影响研究[J]. 广东土木与建筑, 2022, 29(09): 82-85.

[2] 郑刚, 杜一鸣, 刁钰, 邓旭, 朱敢平, 张立明. 基坑开挖引起邻近既有隧道变形的影响区研究[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(04): 599-612.

[3] 张治国, 张孟喜, 王卫东. 基坑开挖对临近地铁隧道影响的两阶段分析方法[J]. 岩土力学, 2011, 32(07): 2085-2092.

[4] 孙克国, 甄映州, 魏勇, 肖支飞, 杨朋, 方纯彬, 蔡定淮, 刘广明. 富水岩溶区基坑稳定性影响规律与分析[J/OL]. 现代隧道技术: 1-10[2022-11-01].

作者简介: 张荣辉(1993-), 男, 安徽宣城人, 硕士, 助理工程师, 主要从事岩土工程勘察设计方面的研究。