

涉既有地铁上盖车行隧道基坑施工技术研究

周伟楠

广州市市政工程机械施工有限公司

摘要：近年来，随着市政公共设施建设的快速发展，综合市政隧道与地铁隧道两个项目的交叉施工的情况时有发生，那么需建立一种涉铁市政隧道施工工况仿真模型就非常必要，目的在于优先保证既有地铁隧道安全、稳定，指导市政隧道的现场安全施工。

关键词：车行隧道基坑工程施工技术；既有地铁隧道保护、监测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.19.044

导言

针对此种实际工况，可采用三维有限元软件对上盖既有地铁结构的车行隧道基坑施工过程进行三维动态施工数值模拟分析，得出基坑围护结构的施作、土层的分层分部开挖和支护结构的分层施作过程对地铁隧道结构的位移、沉降影响；通过模型分析数据与实施阶段监测数据进行比对，总结控制地铁隧道变形的有效措施。

一、三维数值分析计算模型的建立

由于本项目拟建隧道全长为440m，施工范围较大，因此根据隧道结构以及施工对象特点将施工区域分为三个模型进行分析：

- 1、南侧敞开段（K0+270~K0+420）；
- 2、暗埋段（K0+420~K0+560）；
- 3、北侧敞开段（K0+560~K0+710）。

模型计算区域选取，充分考虑了基坑开挖引起的边界效应，参阅相关文献，结合实际经验，以基坑主要影响范围外水平向几何尺寸取该深度的3~5倍以上，竖向向2~4倍以上为原则，因此计算模型几何尺寸见下述内容。计算模型侧向加水平约束，底部加竖向约束，顶面为自由面，不加约束。

最终确定分析三个计算模型的大小（长×宽×高）分别为：

- 1、南侧敞开段（K0+270~K0+420）151.0m×132.0m×50.0m；
- 2、暗埋段（K0+420~K0+560）140m×163.7m×51.4m；
- 3、北侧敞开段（K0+560~K0+710）152.0m×132.0m×50.0m。

以暗埋段为例：计算分析主要分为8个工况，即8个施工步，具体如下表所示。本次分析主要在于拟建项目对已建地铁盾构隧道结构的影响分析，由于考虑的是拟建项目施工过程中的影响，故对三维模型地初始应力场引起的位移进行清零，计算过程中的主要荷载为各个模型自重。

表1 开挖分析施工步

编号	工况	简述
1	初始地应力分析	本工况是岩土工程分析的第一步，在整个分析模型内只有岩、土体。
2	地铁隧道施工完成	本工况为既有区间隧道修建
3	拟建明挖隧道围护结构施工	拟建明挖隧道基坑围护结构施工
4	明挖隧道基坑开挖-1	明挖隧道基坑开挖至第一道内支撑底
5	明挖隧道基坑开挖-2并施作冠梁及第一道内支撑	明挖隧道基坑开挖至第二道内支撑底并施作冠梁及第一道内支撑
6	明挖隧道基坑开挖-3并施作腰梁及第二道内支撑	明挖隧道基坑开挖至第三道内支撑底并施作腰梁及第二道内支撑
7	明挖隧道基坑开挖-4并施作腰梁及第三道内支撑	明挖隧道基坑开挖至基坑底并施作腰梁及第三道内支撑
8	明挖隧道基坑拆撑并施作暗埋段结构	明挖隧道基坑拆除所有支撑并施作暗埋段结构

根据上述三维模拟分析结果，对于车站区间盾构隧道分析如下：在拟建明挖隧道基坑开挖至拆撑回筑过程中，区间盾构隧道最大水平位移出现在明挖隧道基坑开挖-4并施作腰梁及第三道内支撑阶段，最大水平位移值为1.25mm（沿隧道走向），最大竖向位移出现在明挖隧道基坑开挖-4并施作腰梁及第三道内支撑阶段，最大竖向位移值为3.97mm（隆起），均满足规范要求。

基坑开挖过程地铁盾构隧道的受力处于较低水平，故认为基坑开挖过程中不危及区间盾构隧道的结构安全。

二、整体施工工艺流程

（一）整体施工工艺流程

止水帷幕施工→灌注桩、竖撑桩施工→冠梁、支撑施工→第一层土方开挖→第二道钢支撑施工→第二层土方开挖→第三道支撑安装、第三层土方开挖（泵房位置）→垫层施工→隧道主体结构施工→回填土方、拆除支撑

依据本项目三维模拟分析结果，确定隧道基坑支护顺序、开挖流程如下：

（1）支护结构的施工顺序：搅拌桩、旋挖桩采用流水施工。

（2）基坑开挖顺序：采用从中间泵房位置（基坑最深处）向两端分节段（30-35m/段）进行顺序开挖。

基坑施工过程遵循分区、分块、分层、对称、限时的原则，严格控制开挖量，及各工序间的衔接，避免基坑大面积开挖、长时间暴露等现象，合理控制基坑最后一层土开挖、垫层及底板的施工时间，以减小对下方地铁隧道结构的影响。

其中，现场支护钻孔桩施工采取专用旋挖机成孔；止水搅拌桩采用专用深层搅拌桩机施工；支护钢板桩采用液压振动打桩锤施工；冠梁及混凝土支撑采用明挖现浇混凝土施工；钢管支撑拟采用汽车吊进行吊装；土方开挖采用液压挖掘机进行分段分层阶梯式开挖的方式进行。具体整套施工工艺流程如下所示：

（二）围护结构施工

围护结构采用流水施工的方式进行：搅拌桩-灌注桩（支护桩、竖撑桩）-第一道支撑（混凝土冠梁、支撑）-分节段开挖后进行钢支撑施工，上述内容在此不进行详细论述。

（三）土方开挖施工

1、依据维模拟分析结果，基坑开挖方式采用从中间泵房位置（基坑最深处）向两端分节段（30-35m/段）进行顺序开挖。根据现场的便道以及机械配置情况，对基坑土方开挖及支护分三步施工：

第一步：开挖第7节段（含泵房）土方，内支撑按随挖随撑原则同时配合进行，土方开挖至基坑底后再开挖泵房土方，再进行第7节段泵房有结构底板施工；

第二步：待第7节段底板结构完成后，再往南北向同时分别开挖第6、第8节段土方，内支撑按随挖随撑原则同时配合进行，土方开挖至基坑底后再进行第6、第8节段结构底板结构施工；

第三步：待第6、第8节段结构底板完成后，再往南北向同时退挖至第1、第14节段，底板结构按流水作业推进。

2、由于基坑长度较长，为减少基坑施工时间，根据现场的便道以及机械配置情况，对基坑土方开挖划分四区域，分1~2步施工。

（1）第三区域第七节段（K0+435~K0+470）由中心往南北方向进行开挖。计划分3步开挖，采用四台挖机开挖。

第1步：首先计划各两台挖机分别由中部向南北两方面在基坑面分段分层开挖，暂开挖至第二道钢支撑底下1米左右，进行腰梁和中间连系梁施工。出土口设在两侧施工大门位置。

第2步：在腰梁和中间连系梁施工完成后，四台挖机在第1步开挖的基坑面由中部往南北进行开挖，采用“退挖法，随挖随撑”，完善第二道钢支撑施工。（不能及时开挖端口采用放坡过渡）两台挖机在基坑底配合转土及清挖至设计标高（预留200~300mm由人工开挖）。利用东侧第1步开挖的基坑面作为第2步挖土的基坑底运输道路。出土口设在两侧施工大门位置。

里程范围K0+472~K0+496.5（7节段）泵房处区

域：

泵房位置做法：继续开挖泵房处区域土方（预留西侧部分土方反压基坑侧壁），泵房区域使用直径60cm，间距40cm水泥搅拌桩进行支护，接着开挖到第三道钢支撑底（约基坑底标高500mm左右），及时进行腰梁施工，然后继续开挖泵房集水坑土方，集水井基坑开挖完成后，开挖预留西侧反压基坑侧壁土方，然后及时进行第三道、第二道钢支撑施工。出土口设在南侧施工大门位置。

在泵房区域开挖完及腰梁和中间连系梁施工完成后，两台挖机在第1步开挖的基坑面由北往南进行开挖，采用“退挖法，随挖随撑”，完善第二道钢支撑施工。（不能及时开挖端口采用放坡过渡）两台挖机在基坑底配合转土及清挖至设计标高（预留200~300mm由人工开挖）。利用东侧第一步开挖的基坑面作为第2步挖土的基坑底运输道路。

（2）第二、四区域（K0+420~K0+435、K0+470~K0+505）分别向南北方向进行开挖。计划分2步开挖，分别采用四台挖机开挖。

第1步：首先计划各两台挖机分别由中部向南北两方面在基坑面分段分层开挖，暂开挖至第二道钢支撑底下1米左右，进行腰梁和中间连系梁施工。出土口设在两侧施工大门位置。

第2步：在腰梁和中间连系梁施工完成后，四台挖机在第1步开挖的基坑面由中部往南北进行开挖，采用“退挖法，随挖随撑”，完善第二道钢支撑施工。（不能及时开挖端口采用放坡过渡）两台挖机在基坑底配合转土及清挖至设计标高（预留200~300mm由人工开挖）。

（3）第一、第五区域（K0+270~K0+420、K0+590~K0+710）分别往北南方向开挖。计划分1步开挖，采用四台挖机开挖

四台挖机两两分别在基坑面往南北分段分层开挖，一台挖机在基坑底开挖直接开挖至设计标高（预留200~300mm由人工开挖）。出土口设在两侧施工大门位置。采用“退挖法，随挖随撑”（第二区域开挖时第一区域先开挖土方运输通道）。

3、土方开挖施工方法

（1）定位放线

根据建设单位提供的基准线及基坑开挖图，采用全站仪及经纬仪，按建筑物的定位平面图的周边相对位置做引桩，将主轴线引测到稳定的桩上，然后根据开挖深度放开挖线，边坡线。

（2）开挖土方施工工艺

1）本工程采用机械开挖，同时配备人工开挖工作。根据现场情况开挖方量及工期需要，开挖时必须分层、分段开挖，以避免扰动地基及防止超挖。分层开挖方法：每层开挖深度为1.5m~2.0m，该层基坑支护完成后，再开挖下一层。自卸汽车数量应能保证挖掘机、装

载机连续作业。

2) 浅层土方采用短臂挖掘机及长臂挖掘机直接开挖、出土, 自卸运输车运输。

3) 在条件具备的情况下, 采用两台长臂挖掘机在基坑两侧同时挖土, 一起分段向前推进, 可以提高挖土速度, 为安装支撑提供条件。

4) 深层土方当长臂挖掘机不能开挖时, 采用短臂挖掘机将开挖后的土方转运至围护墙边, 用吊车提升出土, 自卸运输车外运。

5) 基坑边角部位, 机械开挖不到之处, 应用人工配合将松土清至机械作业范围内, 再用机械运出, 且基坑阳角部位修成圆弧形或折线形式。

6) 待基坑挖至设计底标高300mm时, 进行人工清理坑底。人工清槽前, 按1.5m间距测放标高, 做好标高标志来控制基底标高和平整度。具体做法是用水准仪每4m左右设一根木桩, 标桩打入坑底约300mm深, 标桩上用红油漆做好标高标记, 浇筑垫层时即可利用该标记控制垫层厚度和表面标高。

7) 进行人工清槽时, 应用铁锹清除基坑底部30cm厚预留土方。基坑挖到设计标高后, 立即报请监理验收, 监理单位验收合格后再请建设单位组织监理、勘察院、设计院进行地基验槽, 并做好隐蔽工程验收记录。

三、总结全施工过程可采取的技术措施

(1) 质量控制应贯穿施工过程, 要严格把好工程用材料质量, 抓好工序质量控制, 认真做好质量检查检验工作, 严格按照施工规范要求精心操作, 确保施工质量。质量实时监控除了现场设置质量监督工作人员外, 还应安装远超质量监控, 获取关键技术全过程动态画面。

(2) 如果隧道结构出现受力变形突变, 应及时采取措施, 如: 1) 及时反压回填。可在地铁结构正上方范围内或地铁内部堆重物进行反压回填, 其作用是增大地铁隧道顶部的竖向附加荷载以减少隧道结构的隆起。

2) 局部注浆。可在盾构隧道内上拱部位注浆。

(3) 基坑施工期间, 须遵循先监测后施工的原则, 委托有资质和轨道交通运营监测业绩的第三方监测单位对地铁结构进行变形监测, 且应加强靠轨道交通结构侧的基坑变形、水位监测, 监测数据应及时反馈轨道公司。

(4) 施工过程中, 在地铁结构上方围护结构施工及基坑开挖过程中, 严禁采取冲桩以及火工爆破等施工工艺。

(5) 基坑内降水过程中要对地下水位进行监测, 确保地下水位经过较长时间的降水后保持在一个比较稳定的高程上, 避免过度降低地下水位引起资源浪费和地铁隧道结构的隆起。同时, 发现地下水位异常上升或降低时应迅速查找原因, 排除隐患。

(6) 由于本项目抗拔桩施工, 局部地段抗拔桩位于地铁隧道正上方, 故抗拔桩成桩时, 切实根据设计方案核准平面位置和桩底高程, 避免与地铁隧道结构冲突。

(7) 严禁基坑开挖过程中基坑外侧地下水位下降过大, 从而诱发地铁结构变形。

(8) 基坑围护结构钻孔桩施工时可以采用全套筒, 避免成桩过程中对地铁结构产生不必要的影响。

(9) 钢板桩在压桩过程中若发生较大偏斜时, 应停止压桩, 重新纠正再作业。

(10) 鉴于地铁隧道结构与正上方基坑底距离较近, 故在地铁隧道正上方区域选用体积小、无振动的施工机械, 尤其是拟建隧道结构修建完成后的回填土压实施工过程, 严格控制压实过程的振动影响。

(11) 地铁隧道正上方基坑应遵循分区、分块、分层、对称、限时的原则, 严格控制开挖量, 及各工序间的衔接, 避免基坑大面积开挖、长时间暴露等现象, 合理控制基坑最后一层土开挖、垫层及底板的施工时间, 以减小对下卧地铁隧道结构的影响。

(12) 基坑施工完, 需按规定的监测频率继续做好变形、水位、受力等各项监测工作, 基坑支撑拆除须在满足设计对结构强度的要求后才能进行。

(13) 基坑开挖时应严格按照设计方制定的监测方案进行监测, 当监测项目超过警戒值或出现突发情况时, 必须立即停止开挖, 查明原因, 对支护方案进行修改, 待加固处理后方可进行下一步开挖。一般应急措施有:

1) 迅速原位回填, 保证位移值不再增大;

2) 修改设计方案, 进行加固措施。

(14) 当基坑支护结构变形超过允许值或有失稳前兆时, 应按下列措施进行加固方案:

1) 当支护桩踢脚失稳时, 应立即停止土方开挖, 在支护桩前堆砂包反压;

2) 当坑边土体严重变形, 且速率持续增加, 应立即采用砂包或其他材料回填, 反压坑脚, 待基坑稳定后再作妥善处理。

(15) 当基坑开挖过程中, 地铁结构的监测位移值过大或发生突发情况, 应立即停止施工, 组织施工人员疏散, 并进行及时的补救, 同时上报主管部门。

参考文献

[1] 张仲行. 复杂施工环境下超深基坑土方开挖施工要点[J]. 工程技术研究, 2019(19).

[2] 高广运, 高盟, 杨成斌, 余志松. 基坑施工对运营地铁隧道的变形影响及控制研究[J]. 岩土工程学报, 2010.

[3] 欧阳顺, 陈云, 黄雪阳. 基坑开挖对下卧地铁隧道影响的数值分析与研究[J]. 四川水泥, 2022(12).