

高落差地势土方回填对地铁盾构隧道的影响

张英杰

广州地铁设计研究院股份有限公司

摘要: 盾构隧道穿越高落差地势时, 浅埋隧道上方的覆土回填可能会导致盾构管片变形, 甚至发生破坏, 影响地铁运营安全。本文以徐州地铁4号线待施工的七里沟站~汽车南站站区间为例, 在盾构穿越高落差地势的背景下, 利用数值模拟软件, 分析了不同时序、不同回填范围等工况下, 土方回填对浅埋盾构隧道的影响, 为后期的隧道开挖提供参考和指导。

关键词: 高落差地势; 填土; 数值模拟; 浅埋隧道
【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.16.052

前言

随着城市用地的紧缺, 地铁隧道上方及沿线的土地开发不断提上日程, 从而出现隧道上方加卸载的力学行为, 对衬砌结构造成较大影响。针对既有隧道上方的施工活动, 众多学者运用模型实验、数值模拟等方法进行了深入研究, 并给出对应的处理建议。但由于隧道结构安全、差异沉降等诸多因素的限制, 既有地铁隧道上方的覆土回填及土地开发的空间较小, 产生的经济效益也相对较低。如果在前期的规划设计阶段, 便对隧道的浅覆土区域进行回填, 待土体固结沉降基本稳定后再开挖隧道, 不仅可以大幅降低覆土回填对隧道的影响, 还为地铁沿线的物业开发提供了更广阔的空间。

一、工程简介

(一) 工程概况

徐州地铁4号线七里沟站~汽车南站站区间全长约673m, 下穿区域地势为西低东高, 梨园路学校东侧的最低点与迎宾大道附近的最高点落差约8.25m, 拟建区间顶部距离现状地面最近约6.5m。目前该地块已基本整理完毕, 根据规划, 隧道上方将修建20m宽的道路并进行相应的物业开发。

(二) 工程地质条件

根据勘察报告, 区间所在区域从上到下主要地层为杂填土、粉土、粉质黏土、黏土及中风化灰岩。区间隧道主要处于黏土及中风化灰岩, 区间覆土6.5~17.6m。沿线地质纵剖面如图1所示。

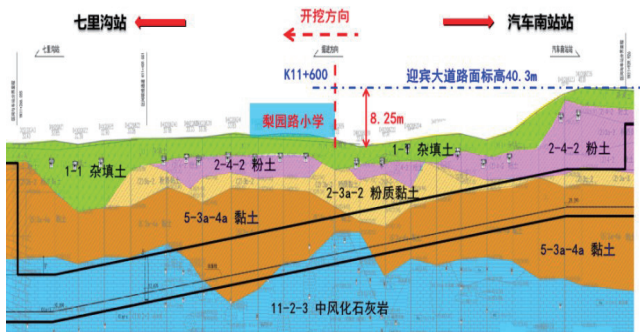


图1 七里沟站~汽车南站站区间地质剖面图

二、填土对盾构隧道的影响分析

(一) 数值分析概况

区间隧道外径为6.2m, 内径为5.5m, 采用350mm厚的C50混凝土管片。为分析填土对盾构隧道的影响, 同时减少计算量, 根据现场地形及勘察报告, 选取最不利断面进行二维数值分析。数值模拟采用MIDAS/GTS软件, 考虑到边界效应的影响, 对二维数值模型的计算区域进行放大, 最终确定模型的大小为60m×40m。混凝土衬砌管片采用线弹性本构模型, 岩土体材料采用莫尔-库伦理想弹塑性本构模型, 相关参数按勘察报告选取。在数值模型中, 岩土体及隧道网格采用三角形+四边形的德劳内网格。网格在盾构隧道周围分布较密, 往外则逐渐加大, 数值分析模型见图2, 模型总共划分了5719个节点, 5581个单元。

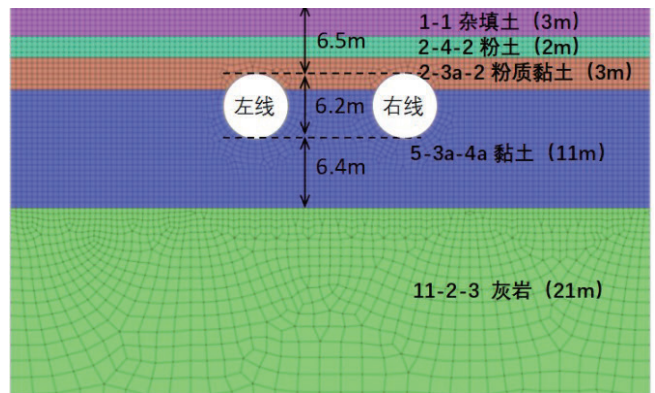


图2 二维数值计算模型

(二) 工况类型

目前拟建区间上方的地势落差最大为8.25m, 根据现有的物业开发方案及规划道路坡度, 并考虑一定的安全冗余, 回填土的厚度取7m。现阶段盾构隧道及回填覆土均未施工, 因此分为两种方案, 即:

方案一: 先开挖隧道再回填覆土。此方案可简述为: 先在土体中依次开挖左右线隧道, 施加衬砌; 然后在原地面上施加7m厚的填土, 分析覆土回填后隧道沉降变形。

方案二: 先回填覆土再开挖隧道。此方案可简述为: 先在拟开挖隧道上方的一定范围内回填7m厚的覆土, 然后依次开挖左右线隧道, 施加衬砌; 最后再回填地表两侧的覆土来模拟地铁隧道沿线的物业开发。通过对比两个阶段覆土回填后隧道的沉降变形, 来分析不同范围的前期覆土对盾构隧道的影响。方案二的施工步骤如图3所示:

三、填土对盾构隧道的影响分析

(一) 方案一的数值模拟分析

由图4可知, 当按照先开挖盾构隧道, 再回填上方覆土的方案施工时, 土体基本上呈水平带状沉降, 自

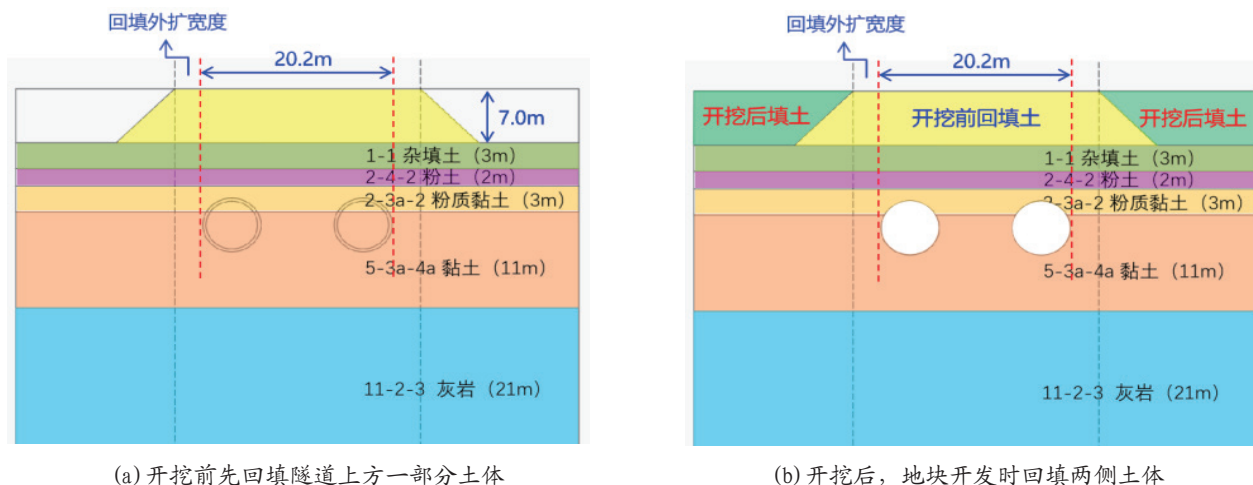


图3 方案二施工步骤示意图

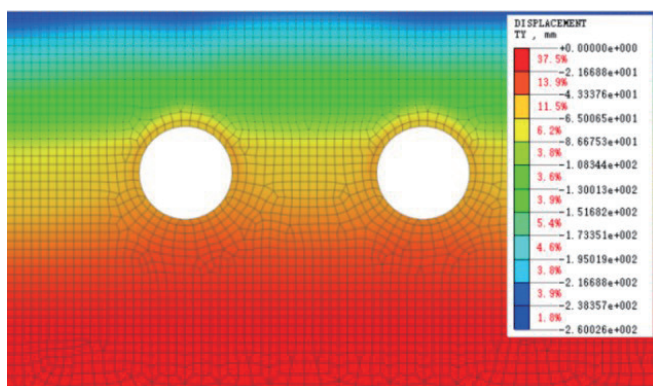


图4 方案一中隧道及土体沉降云图

上而下逐渐减小，最大值出现在回填后的地表，约为260mm。先期施工的盾构隧道也呈整体下沉的趋势，且左右位移基本对称分布。隧道各部位在覆土回填前后的变形值如表1所示：

表1 方案一中隧道各部位在覆土回填前后的变形值

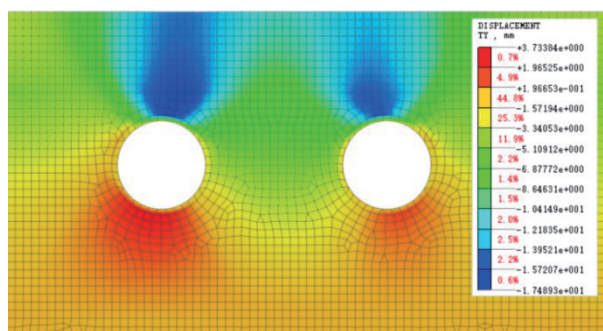
监测部位	竖直位移 (mm)		水平位移 (mm)		径向变形率 (%)	
	隧道顶	隧道底	隧道左	隧道右	竖向	水平
隧道开挖后	-0.78	-0.49	-0.23	-0.77	0.005	0.009
上部覆土回填后	-54.17	-36.4	-11.89	5.11	0.287	0.274
工后变形 (mm)	53.39	35.91	11.66	5.88	--	--

根据上表，隧道内底部的沉降变形量最大约36mm，远大于轨道专业要求的20mm限值。此外，上部覆土回填后，隧道竖向和水平的径向变形率分别为0.287%和0.274%，均大于《盾构隧道工程设计标准》(GB/T51438-2021)中隧道径向变形率0.2%的限值。隧道的不均匀沉降可能导致盾构管片的破裂，继而严重影响运营安全，故不推荐此方案。

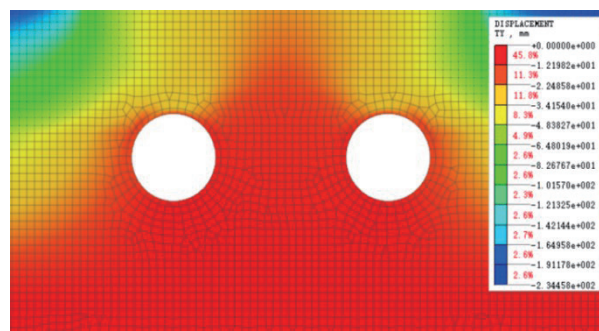
(二) 方案二的数值模拟分析

通过上述分析可知，先开挖隧道再回填覆土的方案不合理，因此需要先回填覆土再开挖盾构隧道。由于本区间高落差区域面积较大，前期全部进行覆土回填难度较大且不经济。

为研究前期覆土回填范围对盾构隧道的影响，根据2.2节中方案二的施工步骤，分别取前期覆土范围为隧道边外扩0m、3m、6m、9m、12m进行分析。需要注意的是，当施加前期覆土后，需要在软件中设置位移清零，再进行后续工况分析。



(a) 两侧覆土回填前土体及隧道沉降云图



(b) 两侧覆土回填后土体及隧道沉降云图

图5 前期覆土外扩3m时，两侧覆土回填前后土体及隧道沉降云图

由图5(a)可知,当先回填覆土再开挖隧道时,隧道上方的土体沉降呈马鞍形分布,即隧道正上方的土体沉降最大,两隧道间的土体沉降较小。同时可以发现,隧道内底部的最大沉降约0.76mm,较隧道顶的最大沉降1.56mm略有减小。根据图5(b)可以发现,当隧道开挖完成,回填地表两侧的覆土后,隧道内底部沉降由0.76mm增长到4.51mm,工后变形增加3.75mm;隧道内顶部沉降由1.56mm增长到11.79mm,工后变形增加10.23mm。这表明地表两侧覆土的回填会对隧道沉降变形造成较大影响,在施工时应引起特别注意。当改变前期覆土的回填范围时,变化规律与上文基本一致,不再重复叙述。

不同范围的前期地表覆土回填工况下,隧道底部在地表两侧覆土回填前后的变形如表2所示。

表2 隧道底部沉降与前期覆土外扩范围关系

前期覆土外扩范围 (m)	0	3	6	9	12
两侧覆土回填前 隧道底部位移 (mm)	-0.8	-0.76	-0.74	-0.73	-0.72
两侧覆土回填后 隧道底部位移 (mm)	-9.0	-4.51	-2.52	-1.62	-1.09
工后变形量 (mm)	8.2	3.75	1.78	0.89	0.37

可以发现,随着前期覆土范围的扩大,隧道内底部的沉降位移在两侧覆土回填前后处于0.7~0.8mm的范围,基本保持不变。但在两侧覆土回填后,隧道底部的位移会随着前期覆土范围的扩大而逐渐减小,工后沉降变化量也随之减小。隧道顶部及水平变形的规律与底板类似。三者的工后变形量变化曲线如图6所示:

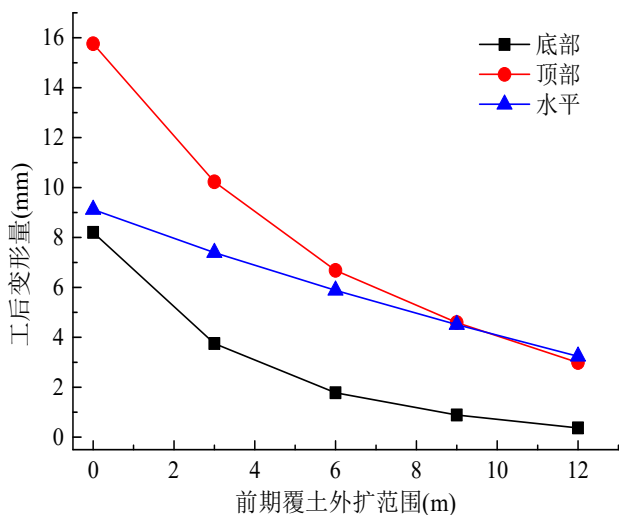


图6 不同回填范围下,隧道各部位工后变形量
根据三条变化曲线可以更加直观的看出,在两侧覆

土回填后,隧道不同部位的工后变形增量均随着前期覆土范围的扩大而逐渐减小,且曲线变化的速率逐渐减小。当前期覆土外扩范围为12m时,工后变形增量已经很小,特别是在隧道底部,两侧覆土回填对其影响可忽略不计。此外,在方案二先回填覆土再开挖隧道的情况下,各工况的隧道径向变形率均小于0.2%,满足规范要求。

根据计算结果及相关规范要求,并参考已有的工程经验,综合经济指标、施工难度等多种因素,前期覆土回填按照1倍洞径(6.2m)较为合理。

四、结论

(1) 上部填土将导致既有盾构隧道整体下沉,且在隧道原有覆土较浅时尤为明显。隧道的不均匀沉降过大可能导致盾构管片的破裂,继而严重影响运营安全,在设计施工时应引起高度重视。

(2) 盾构隧道穿越高落差地势时,应优先考虑先回填覆土再开挖隧道的方案,尽量减小后期覆土对既有盾构隧道的影响。

(3) 在先回填覆土再开挖隧道的方案中,随着前期覆土范围的扩大,隧道各部位的位移变形在两侧覆土回填前基本保持不变;但在两侧覆土回填后,各部位的变形会随着前期覆土范围的扩大而逐渐减小,工后沉降增量也随之减小。

(4) 根据计算结果及相关规范要求,并参考已有的工程经验,综合经济指标、施工难度等多种因素,本区间前期覆土回填按照1倍洞径(6.2m)较为合理。

参考文献

[1] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

[2] 仇文革. 地下工程近接施工力学原理及对策的研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2003.

[3] 黄新连. 市政道路近距离上跨运营铁路隧道方式研究[J]. 铁道建筑技术, 2019(05): 41-44.

[4] 马相峰, 龚伦, 张致心, 仇文革, 王立川, 周上进. 开挖与回填过程中隧道受力和承载拱效应研究[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(S02): 185-191.

[5] 雷开亮, 张凯. 土方回填对地铁隧道安全性影响研究[J]. 地球, 2016, 000(005): 481-481, 240.

[6] 姚捷. 新建公路施工对赣龙铁路隧道的影响分析[J]. 铁道工程学报, 2013, 30(02): 81-85.

[7] 中华人民共和国国家标准. 《盾构隧道工程设计标准》(GB/T51438-2021) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.