

大型商用建筑临近运营地铁施工结构安全评价

杨渊

从江县建设工程质量安全站

摘要:新建工程临近运营地铁施工不可避免对既有隧道盾构管片内力和变形产生影响,需要结合现场情况开展结构安全性评价,保证地铁运营安全。本文针对大型商业建筑临近地铁施工过程中对隧道内力和变形影响进行安全验算与评价,分析表明,方案中隧道B型管片不能满足规范要求,更换为C型管片后,结构内力、变形、裂缝、配筋均满足规定。

关键词:大型建筑;地铁;临近;安全评价

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.17.114

一、概况

某项目北侧接地铁站区间盾构隧道,隧道长度为130m。区间隧道距离项目地下室较远,约15.24m,地下室在现状地坪上清除表土后修建,不进行基坑开挖。隧道上方为景观绿化,需进行人工填土,填土产生的自重附加应力不可避免对新建地铁线盾构隧道结构内力与变形产生影响。下穿景观平台的地铁线盾构隧道衬砌环外径8300mm,内径7500mm,管片幅宽1800mm,管片厚度400mm。根据景观设计,需在原盾构隧道上方进行填土,左线位置填土厚度约5.9m,右线隧道位置填土约7m。填土后隧道左线埋深约15.7m,隧道右线埋深约16.5m。区间隧道主要位于中风化泥岩地层,上覆地层主要为强风化泥岩层和砂卵石地层。

原设计方案中盾构隧道采用B型管片进行拼接,B型

管片的配筋图及配筋量具体如下:

表1 B型管片受拉钢筋大样表(1-1~18为内侧钢筋)

钢筋编号	直径(mm)	单长(mm)	数量(根)	总重(kg)
1-1、1-2、1-17、1-18	20	4280	4	42.22
1-3、1-5、1-7~12、1-14、1-16	18	4280	10	85.5
1-4、1-15	16	5678	2	17.92
1-6、1-13	16	3882	2	12.25

二、荷载结构法安全评价

荷载结构法与地层结构法最显著的区别是前者将围岩和支护结构分开考虑,由于计算较为简便、受地层参数变化的影响较小,且计算结果相对保守,是当前设计人员常采用的方法。盾构隧道原始埋深约9.5~9.8m,景观区域填土后隧道左线埋深约15.7m,隧道右线埋深约16.5m。结合景观平台施工前后隧道的埋深情况以及荷载考虑模式分为以下四种工况进行分析:

表2 计算工况表

计算工况	工况1	工况2	工况3	工况4
隧道埋深(m)	10	10	16.5	16.5
荷载模式	土压	土压+水压	土压	土压+水压

根据《铁路隧道设计规范》《地铁设计规范》及施工图确定计算参数,其中管片衬砌采用C50混凝土,围岩级别偏安全的取V级,具体如表3所示。

表3 计算参数表

围岩级别	参数	管片衬砌力学指标				围岩力学指标	
		衬砌重度 γ (kN/m ³)	衬砌弹性模量 E_c (GPa)	衬砌极限抗压强度 R_a (MPa)	衬砌极限抗拉强度 R_t (MPa)	衬砌泊松比 μ	弹性抗力系数 K (MPa/m)
V级		25	35.5	36.5	3.1	0.2	150

根据《铁路隧道设计规范》TB10003,等效高度应按式2-1计算:

$$h_a = 0.45 \times 2^{s-1} \omega \quad (2-1)$$

式中: s —围岩级别; ω —宽度影响系数, $\omega = 1+i$ ($B < 5$); B —隧道宽度(m); i —隧道宽度 B 每增减1m时的围岩压力增减率:当 $B < 5$ m时,取 $i = 0.2$; $B > 5$ m时,取 $i = 0.1$ 。根据公式2-1,等效高度:

$$h_a = 0.45 \times 2^{s-1} \omega = 0.45 \times 2^{5-1} \times \{1 + 0.1 \times (8.3 - 5)\} = 9.576 \text{ m}$$

工况1:

埋深 $h_a < 10 \text{ m} < 2.5 h_a$,属于浅埋隧道,拱顶围岩压力计算:

$$q_1 = 19 \times 2 + 21 \times 3 + 22 \times 3 + 24.8 \times 2 = 216.6 \text{ kPa}$$

$$e_1 = \lambda q_1 = 0.333 \times 216.6 = 72.13 \text{ Pa}$$

$$e_2 = \lambda (q_1 + \gamma h) = 0.333 \times (216.6 + 24.8 \times 8.3) = 140.67 \text{ kPa}$$

其中侧压力系数 λ 的计算方法如公式(2-2)、(2-3)所示

$$\lambda = \frac{\tan \beta - \tan \varphi_c}{\tan \beta [1 + \tan \beta (\tan \varphi_c - \tan \theta) + \tan \varphi_c \tan \theta]} \quad (2-2)$$

$$\tan \beta = \tan \varphi_c + \sqrt{\frac{(\tan^2 \varphi_c + 1) \tan(\varphi_c)}{\tan \varphi_c - \tan \theta}} \quad (2-3)$$

式中: φ_c —围岩计算摩擦角($^\circ$); θ —洞顶土柱两侧摩擦角($^\circ$), $\theta = 0.5 \varphi_c$; λ —侧压力系数; β —产生最大推力时的破裂角($^\circ$),各工况荷载如表4所示。

表4 各工况荷载计算表(单位: kPa)

单位(Kn/m)	工况1	工况2	工况3	工况4
竖向土压 q	216.6	216.6	324.6	324.6
上侧水平土压 e_{q1}	72.13	72.13	108.19	108.19
下侧水平土压 e_{q2}	140.67	140.67	176.64	176.64
上侧竖向水压 q_w	/	75	/	75
上侧水平水压 e_{w1}	/	75	/	75
下侧水平水压 e_{w2}	/	158	/	158

统计所得各工况最大内力、变形、裂缝、配筋情况 一览表如下:

表5 盾构管片计算结果一览表

工序	弯矩 (kN·m)	轴力 (kN)	剪力 (kN)	隧底变形 (mm)	配筋	裂缝 (mm)
工序1	-143.84	647.4	-77.52	1.0	5Φ20	0.18
工序2	-136.67	987.46	-69.2	1.2	4Φ18	不需检算
工序3	-242.73	1004.95	-124.01	2.1	6Φ25	0.19
工序4	226.61	1345.01	-115.7	1.9	4Φ18	不需检算

各工况隧道最大配筋位于拱顶位置, 最不利工况中管片每延米采用6Φ25钢筋即可, 按1.8m折算共计配筋面积5400mm², 满足C型管片的配筋要求, 如表6中C型管片的要求。

表6 C型管片受拉钢筋大样表 (1.8m标准管片)

钢筋编号	直径 (mm)	单长 (mm)	数量 (根)	总重 (kg)
1-1、1-2、1-17、1-18	22	4280	4	42.22
1-3、1-7~12、1-16	20	4280	10	85.5
1-5、1-14	18	4280	10	85.5
1-4、1-15	16	5678	2	17.92
1-6、1-13	16	3882	2	12.25
钢筋面积合计	8009.7 mm ²			

各工况最大裂缝宽度为0.19mm, 结果均小于0.2mm, 满足要求。各工况隧道底部最大变形发生于工况3, 变形值为2.1mm, 变形量未超出允许范围 (沿线路方向每10m的轨道变形量超过4mm)。

三、地层结构法安全评价

采用基于FLAC3D有限差分数值分析软件, 模拟分析盾构开挖、平台填土等施工过程对盾构管片内力及变形的影响。根据现场地质条件、地铁隧道、景观平台的三维空间关系建立三维数值分析模型。为清楚展示模拟过程, 提供科学有效的数据, 本次模拟给出关键节点施工步过程结算结果, 并截取代表性阶段进行分析, 具体施工工况如表7所示。

表7 模拟工序

工序	关键施工步	过程	说明
1	初始应力平衡	形成原始地应力	按实际地质条件形成初始应力
2	隧道施工	开挖一层支护一层	先施工左线, 再施工右线, 左右隧道共50个施工步
3	周边建筑施工	桩基础+上部荷载	桩基础传递的荷载影响
4	观景平台施工	一次性铺设人工填土	普通土

工序一: 初始应力平衡

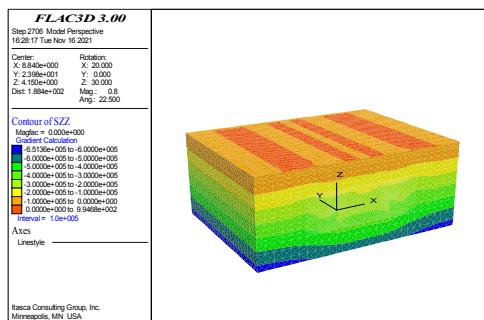


图1 工序一应力计算图

初始应力计算结果表明, 模型地表应力基本为0, 底部最大竖向应力651.36kPa, 应力分层明显, 由上至下逐渐增大, 符合地应力分布的基本规律, 且与理论计算结果 (19×2+21×3+22×3+24.8×20=663 kPa) 较为接近, 可进行后续模拟。

工序二: 运营隧道开挖

每个施工步进尺1.8m, 开挖一层支护一层注浆一层, 每侧隧道各25个施工步共50步。这里分析关键施工步如下: 1) 施工步1~施工步3: 左线隧道分别进尺3.6m、21.6m、45m; 2) 施工步4~施工步6: 右隧道分别进尺3.6m、21.6m、45m。以施工步1为例, 如图1所示。

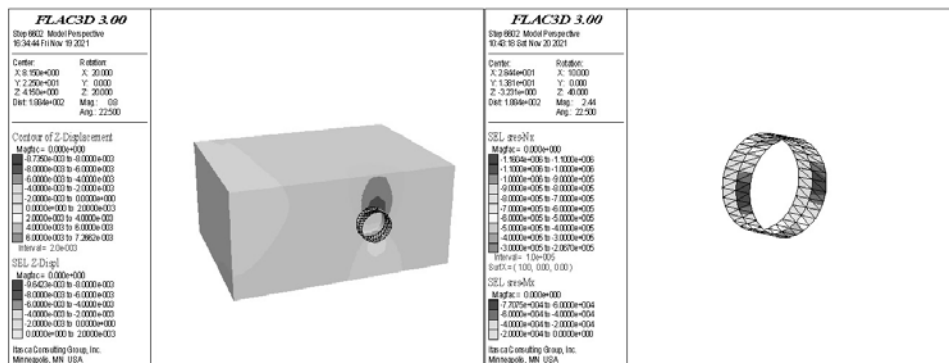


图2 工序二应力计算图

由图可知，施工步1左线盾构隧道施工2个进尺后，隧道拱顶轴力527kN，拱顶弯矩62.3 kN·m，拱顶两侧最

大负弯矩-77.1 kN·m。

工序三：周边建筑施工

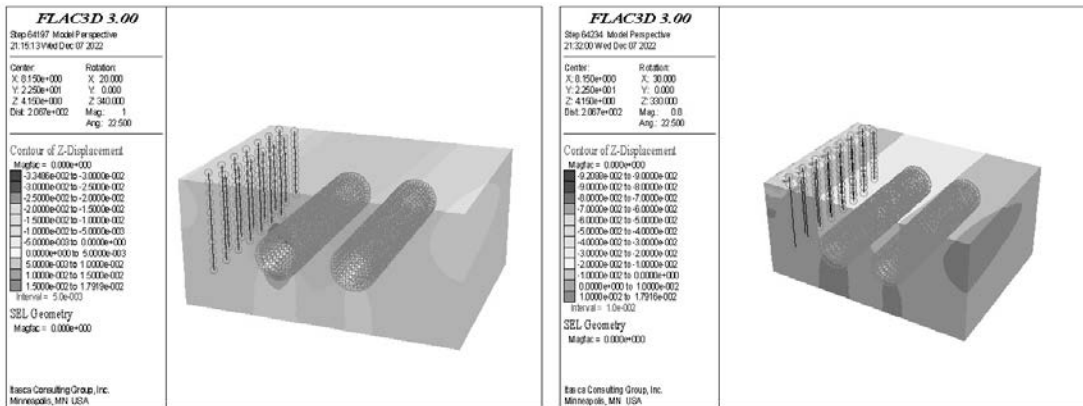


图3 工序三应力计算图

由图可知，工序3周边建筑施工完毕后，隧道内力与变形几乎不受影响，其原因是因为桩基础把上部荷载传递至深层岩土体，由隧道下方地基承担，外部桩基同

时作为隔离桩，阻隔外部附加应力向隧道方向传递。

工序四：景观平台填筑

由图可知，工序4景观平台施工完毕后，隧道拱顶

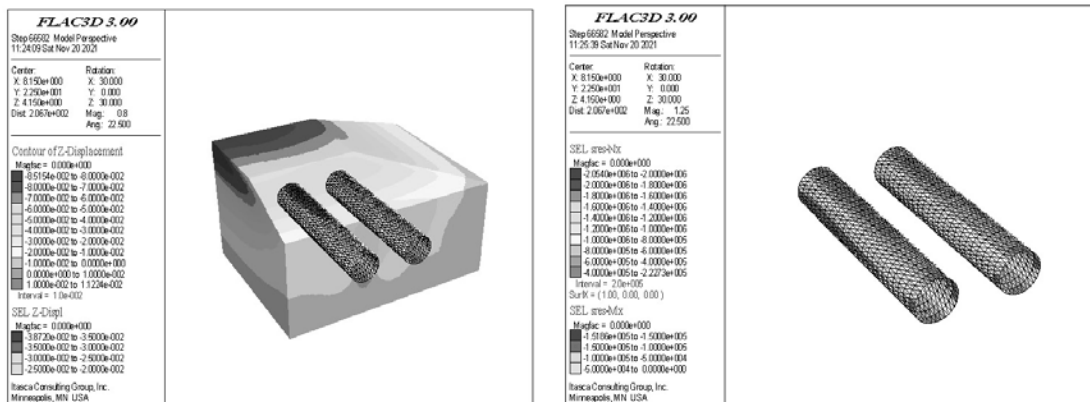


图4 工序四应力计算图

轴力884.2kN，拱顶弯矩139.7 kN·m，拱顶两侧最大负弯矩-151.9 kN·m。通过三维数值分析的地层结构法对盾构隧道施工全过程进行了数值仿真分析，得到隧道结构内力随施工过程的变化情况，如表8所示。

表8 盾构管片内力计算结果一览表

工序	拱顶弯矩 (kN·m)	拱顶轴力 (kN)	拱顶两侧负弯矩 (kN)
工序1	103.8	601.9	-106.7
工序2	133.7	722.5	-119.0
工序3	139.7	884.2	-151.9
工序4	155.8	944.4	-161.5

由表可知，地层结构法计算结果较荷载结构法偏小，经对工序1~工序4隧道最不利截面检算，盾构管片配筋、裂缝等均满足规范要求。

四、结论

根据项目设计文件、地勘报告等相关资料，以及《铁路隧道设计规范》《地铁设计规范》的要求对运营地铁十九号线结构内力、变形等结构设计指标进行了检算，并结合有限元软件仿真计算结果进行验证性评估分析，得到结论如下：1) 建筑荷载通过桩筏基础将上部

荷载传递至基岩对隧道结构影响可忽略不计，景观平台填筑对隧道结构内力变形产生较大影响；2) 荷载结构法计算结果大于地层结构法，根据荷载结构法计算结果，原方案中右线盾构隧道采用B型管片不能满足规范要求，需采用C型管片替换；3) 本研究可为类似工程检算提供依据。

参考文献

[1] 杨万理 吴文博 张育智 陈秀 田达光 杨雁君 旋挖钻孔施工对临近地铁隧道结构影响的研究. 公路 2023 (03).

[2] 张铎 惠海峰 王飞 李龙 谢忠 偏压荷载下临近地铁深基坑变形特性数值模拟研究. 建筑结构 2022. 52 (S2).

[3] 陈明 文建鹏 石伟明 临近地铁车站超深基坑非常规支护方法的应用. 土工基础 2022. 36 (05).

[4] 张程 临近地铁隧道加固施工非原位试验分析研究. 岩土工程技术 2022. 36 (03).

[5] 刘阳 张丽华 基坑开挖对临近地铁附属结构安全影响分析. 华北科技学院学报 2022. 19 (01).

[6] 张旭群 隋耀华 林沛元 基坑开挖对临近地铁隧道安全运营评估. 广东土木与建筑 2021. 28 (12).