

黄土地层中非对称小净距隧道施工优化分析

赵 辉

中铁建大桥工程局集团第五工程有限公司 成都 四川 610015

【摘要】：黄土是一种力学性质非常敏感的土，在黄土地层中进行隧道施工需要特别关注施工安全。本文依托西安地铁4号线雁南四路站一大唐芙蓉园站存车区间，采用数值方法对非对称小净距隧道施工工序进行数值模拟优化分析，研究结果可为实际工程提供指导。

【关键词】：黄土；小净距隧道；数值模拟

引言

黄土地层在我国分布非常广泛，黄土地层与常规土体相比具有特殊的工程性质，如具有大孔隙和明显的结构性，因此在黄土地层中进行工程建设需要特别关注黄土力学性质的影响。目前在黄土地层中进行工程建设已经屡见不鲜，黄土地铁隧道工程也越来越多，目前关于黄土地铁隧道的研究也比较丰富，如任建喜等研究了黄土地区大断面隧道不同施工方法的施工效果，并给出了施工建议^[1]；卫建军以黄土地铁隧道为例，研究了施工过程中围岩和地表变形规律^[2]；杨锋针对饱和和软黄土地层中地铁隧道施工沉降分析开展分析，并提出了控制技术^[3]；王二磊等结合黄土地层的湿陷性，研究了不同浸水方式对黄土地铁隧道变形的影响规律，并给出了控制建议^[4]；张玉伟等针对湿陷性黄土地层中地铁隧道衬砌力学问题，采用试验手段分析了不同浸水情况对地铁隧道结构受力的影响，并提出了地基处治对策，进一步通过试验对处治效果进行了验证^[5,6]。

通过以上可以看出，黄土地层中地铁隧道施工仍存在不少问题。黄土地层中非对称小净距隧道是存车线区间的一种特殊断面型式，大小断面先后施工会存在相互扰动问题，但目前关于此问题还研究不足，尤其对于黄土地层中这种断面型式的相互影响问题更加突出，需要开展系统研究，本文依托西安地铁4号线针对黄土地层中非对称小净距隧道施工开展优化分析，以期工程实际提供指导。

1 数值计算模型及参数

西安地铁四号线工程中雁南四路站一大唐芙蓉园站存车区间紧邻大唐芙蓉园，地铁左右线存在246m的小净距施工问题，本计算选取距大唐芙蓉园车站100m处断面，隧道断面形式如图1所示。按照设计要求的暗挖施工法进行全过程二维数值模拟。采用专业有限元软件MIDAS/GTS NX建立有限元模型，假定地表和各土层均质且水平层状分布，岩土体采用Mohr-Columb本构模型，支护和大断面中隔墙假采用小变形弹性梁单元按弹性考虑，梁单元宽度为单位宽度，梁

高按结构实际厚度考虑，具体材料参数和勘察材料相同，详见表1。

表1 材料物理力学参数

材料名称	重度 (kN/m ³)	弹性模量 (kPa)	泊松比	内摩擦角(°)	粘聚力 (kPa)	厚度 (m)
杂填土	18	2000	0.25	1	5	1.5
新黄土	18.5	50000	0.3	22.5	25	10.6
老黄土	19.6	160000	0.3	22.5	32	40
管棚	25	5.0×10 ⁷	0.3	/	/	/
初期支护	23	2.1×10 ⁷	0.2	/	/	/
中隔墙/板	25	2.7×10 ⁷	0.2	/	/	/
二衬	25	2.9×10 ⁷	0.2	/	/	/

整体计算分析模型在X方向的尺寸为80m，在Y方向上的尺寸为62.1m，共划分单元数为3802。分别约束计算模型两侧水平方向上的平动自由度以及底部垂直方向的平动自由度。在模拟过程中通过改变单元属性来模拟模型中管棚和超前小导管的加固区，在静力状态下进行模拟时，只需考虑在自重条件下隧道开挖对岩土体及支护结构的影响整体计算模型见图2。

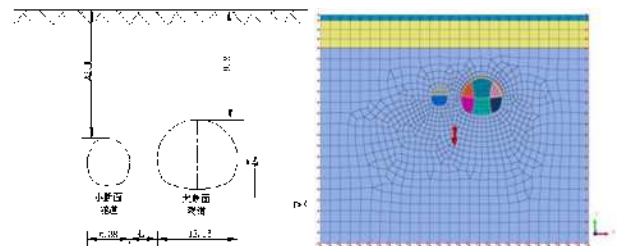


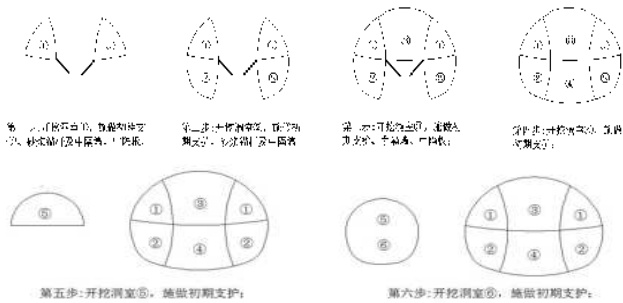
图1 隧道断面形式 (单位: m) 图2 隧道整体有限元模型

2 数值模拟方案设计

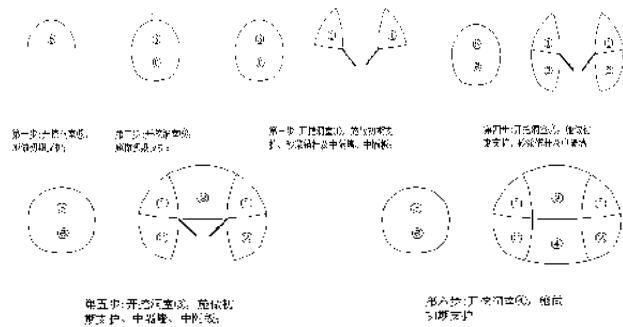
根据工程实际情况,大断面隧道采用双侧壁导坑法施工,断面尺寸为12.13m×10.49m,面积157.665m²;小断面隧道采用上下台阶法施工,断面尺寸为6.38m×6.7m,面积34.74m²,大小断面净距4.1m。提出以下两种施工方案。

方案1:第一步:开挖洞室①,施作初期支护、砂浆锚杆及中隔墙、中隔板;第二步:开挖洞室②,施作初期支护、砂浆锚杆及中隔墙;第三步:开挖洞室③,施作初期支护、中隔墙;第四步:开挖洞室④,施作初期支护;第五步:开挖上台阶⑤,施作初期支护;第六步:开挖下台阶⑥,施作初期支护(如图3a)。

方案2:第一步:开挖上台阶⑤,施作初期支护;第二步:开挖下台阶⑥,施作初期支护;第三步:开挖洞室①,施作初期支护、砂浆锚杆及中隔墙、中隔板;第四步:开挖洞室②,施作初期支护、砂浆锚杆及中隔墙;第五步:开挖洞室③,施作初期支护、中隔墙;第六步:开挖洞室④,施作初期支护(如图3b)。



(a) 方案1



(b) 方案2

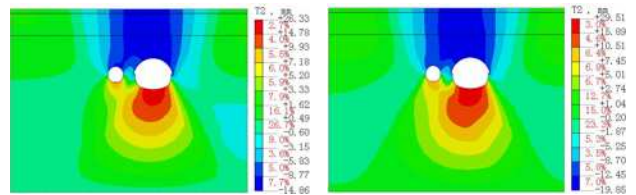
图3 隧道施工顺序

3 数值计算结果及分析

3.1 地层位移分析

对不同开挖方案进行数值模拟所得的土体竖直方向位移和水平方向位移的云图如图4、图5所示。由图可知:隧道开挖完成后受上部土体重力的影响,在隧道拱顶出现较大沉降,仰拱部位则出现较为明显的隆起现象,其中最大沉降

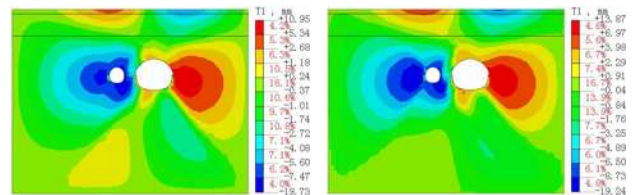
和隆起分别位于大断面拱顶和仰拱的中间位置,最大水平位移出现在小断面的左侧,方向为沿X轴负方向。方案1最大沉降值为-14.03mm,最大隆起值为26.33mm,最大水平位移19.73mm;方案2最大沉降值为-19.82mm,最大隆起值为29.51mm,最大水平位移19.24mm。



(a) 方案1

(b) 方案2

图4 土体竖直方向位移云图(单位:mm)



(a) 方案1

(b) 方案2

图5 土体水平方向位移云图(单位:mm)

两种不同施工方案完成后支护结构变形值相差较大,而方案1中支护结构的变形值明显小于采用方案2进行隧道施工所导致的支护结构的变形。虽然两种施工方法都没有超过相关规范所规定的最大变形值,但是为了提高隧道的稳定性,建议采用大断面先行的开挖方式。

3.2 支护结构受力

以隧道的初支结构为研究对象,得到两种施工方案支护结构的轴力和弯矩云图如图6、图7所示。由图可知:大断面隧道的初支结构拱腰、墙角、仰拱处的轴力主要以压应力为主,而拱顶上方及周围出现较小的拉应力区;小断面隧道的初支结构的轴力全部为压应力,而且分布较为均匀。支护结构最大正负弯矩分别位于大断面隧道初支结构的仰拱和墙角处,这将导致仰拱出现较为明显的隆起现象。当采用方案1进行隧道开挖时,大断面隧道的最大拉力值为274.67kN位于拱顶附近,最大压力值为1548.85kN,位于右侧墙角处,小断面隧道的最大压力值为485.13kN;支护结构的最大弯矩值为210kN·m。当采用方案2进行隧道开挖时,大、小断面支护结构的力的分布和方案1相同,其中,大断面隧道的最大拉力值为531.12kN,最大压力值为1580.41kN,小断面隧道的最大压力值为348.69kN;支护结构的最大弯矩值为196.26kN·m。

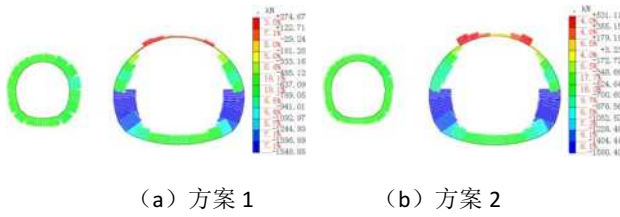


图6 初支结构轴力云图 (单位: kN)

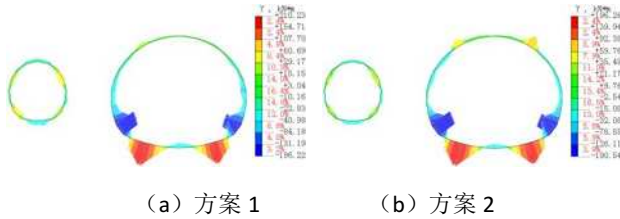


图7 支护结构弯矩云图 (单位: kN·m)

3.3 塑性区分析

对两种施工方案进行数值模拟,开挖完成后土体的塑性区发育如图8所示,由图可知,隧道开挖完成后大断面隧道的塑性区主要分布在墙角和仰拱处,小断面隧道的塑性区主要位于拱腰两侧。通过对两种施工方案完成后塑性区的分布情况进行对比可以发现,方案1中隧道周边塑性区的面积明

参考文献:

- [1] 任建喜,陈旭,曹西太郎.大断面黄土地铁隧道不同浅埋暗挖施工方法比较分析[J].城市轨道交通研究,2020,23(01):120-123.
- [2] 卫建军.黄土地铁隧道施工围岩及地表变形规律[J].科学技术与工程,2018,18(11):287-292.
- [3] 杨锋.饱和软黄土地铁隧道施工地表沉降特性及其控制技术[D].西安科技大学,2017.
- [4] 王二磊,梁庆国,王飞,向亮.不同浸水方式对黄土地铁隧道变形影响研究[J].铁道科学与工程学报,2018,15(01):156-162.
- [5] 张玉伟,宋战平,翁效林,段宇昕.黄土地铁隧道湿陷性基底地基处治优化模型试验[J].岩石力学与工程学报,2020,39(09):1912-1920.
- [6] 张玉伟,宋战平,翁效林,谢永利.大厚度黄土地层浸水湿陷对地铁隧道影响的模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2019,38(05):1030-1040.

显小于方案2,而且方案2中两个断面之间的塑性区出现了连通的现象,非常不利于保持中岩柱的稳定。

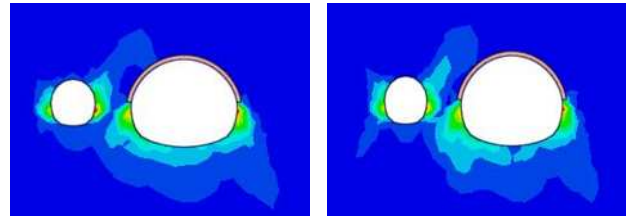


图8 塑性区分布云图

4 结论

通过对两种施工方案进行数值模拟,并对计算结果进行对比分析,可以得出,不同施工方案所得到的围岩及支护体系的位移及内力结果有所不同,但是围岩和支护结构的位移和内力均在可控制范围内。虽然以上两种工法均满足安全的要求,但是采用大断面先行的开挖方式显然更有利于控制围岩和支护结构的变形和受力,而且采用大断面先行进行隧道开挖时的塑性区分布范围较小。所以对于本工程建议采用先开挖大断面后开挖小断面的施工顺序。