

# 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<sup>[1]</sup>;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<sup>[2]</sup>;杨 锋针对饱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<sup>[3]</sup>;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<sup>[4]</sup>;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<sup>[5,6]</sup>。

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,以期为工程实际提供指导。

#### 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-Column 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。

					-	
材料 名称	重度 (kN/m3)	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	5.0×107	0.3	/	/	/
初期 支护	23	2.1×107	0.2	/	/	/
中隔 墙/板	25	2.7×107	0.2	/	/	/
二衬	25	2.9×107	0.2	/	/	/

表1 材料物理力学参数

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竖直方向的平动自 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157.665m<sup>2</sup>;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34.74m<sup>2</sup>,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)。



## 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。



图 4 土体竖直方向位移云图(单位: mm)



(a) 万杀 1 (b) 万杀 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。

## Engineering Technology Research 工程技术研究 第4卷第4期 2022 年





### 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。



(a)大断面先行(b)小断面先行图 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。