

沈阳地铁隧道开挖方案技术优化研究

王铁男¹ 杨青潮² 郝哲²

(1. 北京市勘察设计研究院有限公司, 北京 100038; 2. 沈阳大学建筑工程学院, 辽宁沈阳 110044)

【摘要】 依托沈阳地铁工程项目, 以青年大街—怀远门区间段的地铁隧道施工为背景, 应用 FLAC 软件进行数值模拟分析。针对沈阳的地质情况以及各种开挖方式的适用范围和特点, 主要采用全断面法、双侧壁导坑法、保留核心土台阶法三种方案进行模拟分析, 并根据监测点位移、围岩的弹塑性状态、锚杆轴力及衬砌内力等对开挖方式的合理性进行研究。

【关键词】 数值模拟; 开挖方式; 优化分析

【中图分类号】 U 455

【文献标识码】 B

doi: 10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2012. 03. 003

The Excavation Scheme of Shenyang Subway Optimize Technology Research

Wang Tienan¹ Yang Qingchao² Hao Zhe²

(1. BGI Engineering Consultant Ltd, Beijing 100038, China;

2. School of Architectural Engineering, Shenyang, Shenyang 110044, Liaoning, China)

【Abstract】 This paper based on shenyang subway project. Conceiving the weekend interval period metro tunnel construction as the background and the application of FLAC numerical simulation analysis software. According to the geological conditions, various of shenyang excavation method applicable range and characteristics of main adopts full section method, double meshshotcreting firstly method, retain earth steps method are simulated and analyzed in three ways. and also according to the monitoring displacement, the surrounding elastic-plastic state, anchor axial force and lining of internal rationality of such excavation methods.

【Key words】 numerical simulation; excavation way; optimization analysis

0 引言

随着国民经济和建设事业的发展, 以及国家城市化的加快, 导致了城市人口的快速增长, 从而给城市的交通系统带来了很大的困难, 而仅仅依靠地面交通已经无法从根本上解决这种拥挤的状况, 迫切需要发展地下铁道来解决这种困境。城市地铁隧道的修建对于解决交通拥堵的现象固然可行, 但是在修建地铁隧道时, 可能消耗过多的资源或是引起其他的不利因素, 所以在修建隧道之前必须对所修建的隧道有一个清楚地认识, 无论是在经济上还是技术上都要达到万无一失的地步。在经济条件允许的情况下, 还需要对地铁隧道做进一步的优化分析, 使工程在施工中能够更加的安全。

本文主要是针对地铁隧道施工过程中开挖方式的优化分析, 隧道开挖方式选取的正确性与否直接会对工程的质量、进度以及经济造成重大的影响。

所以对地铁隧道进行开挖方式的模拟, 对于解决隧道开挖遇到的问题具有重要的理论意义和工程价值。

1 工程概况

沈阳地铁是沈阳城建史上投资最多、规模最大的重点工程。当前已经建设完的一号线是东北第一条地铁线, 位于沈阳地铁线路网规划的中段, 东西走向, 正线长 22.05 km, 全部为地下线路, 总投资 94.8 亿元。沈阳地铁一号线开挖方法包括明挖法、新奥法和盾构法等。本文的主要分析区间为沿大西路向东北延伸, 下穿杏林街路口、奉天街路口、万寿寺路口至怀远门站。隧道上方的大西路为城市交通主干道, 交通流量非常大。区间采用浅埋暗挖法施工, 区间全长 1137.350 m, 双线, 区间线间距为 13~17 m, 线路坡度为东高西低单面坡, 区间正洞宽 6.28 m, 高 6.45 m。断面为五圆心的马蹄形断面形式。隧道横断面图见图 1。

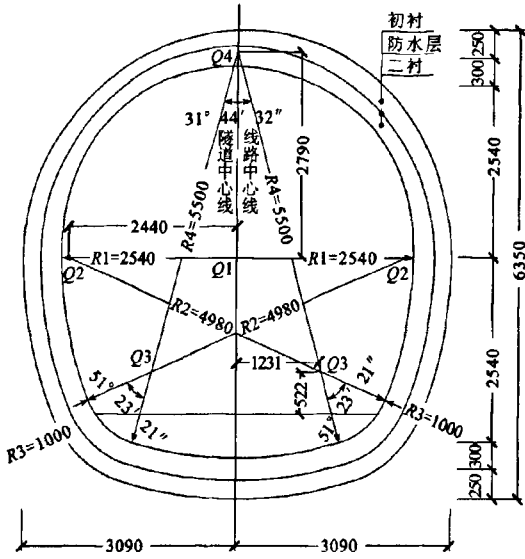


图1 隧道横断面

2 隧道施工方案的数值模拟

2.1 计算模型与参数

采用 Mohr-Coulomb 屈服准则。

岩土体采用各向同性弹塑性材料,四边形单元^[1];小导管注浆的扩散区域根据扩散半径(0.65 m)划定,也采用弹塑性材料;锚杆采用 cable 结构单元;喷混凝土采用 Liner 单元;二次衬砌采用 Beam 单元;喷层与二衬接触面采用无厚度的 Goodman 单元;回填土采用弹塑性材料。

围岩、喷层(含钢拱架)、锚杆和衬砌等材料的计算参数依据实验室试验以及地质报告提供的数据取值。模型中输入的初始参数值见表1—表3。

在隧道现场施工中,地下水位已降至结构底板以下,隧道开挖处于“无水”作业状态,因此在数值模拟中没有考虑地下水渗流的影响。

表1 模拟区围岩物理力学参数

地层编号	地层特征	地层平均厚度/m	E/MPa	μ	$\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	$\varphi/(\text{°})$	c/kPa	R_t/kPa
1	第四系全新统人工填筑层	2.3	5.19	0.35	18.1	21.0	0	0.06
2	第四系全新统浑河高漫滩及古河道冲积层	5.2	33.3	0.31	19.5	22.0	6.1	0.04
3	第四系全新统浑河新扇冲洪积层	11.8	151	0.26	20.6	24.3	10.4	1.5
4	第四系上更新统浑河老扇冲洪积层	10.7	632	0.24	22.9	28.2	82.0	65.0
平均值(按地层厚加权)		7.5	290.98	0.27	21.04	25.04	34.39	23.78
5	小导管加固区	0.65	8460	0.23	2880	31	281.2	98.1

表2 支护参数

支护类型	E/MPa	A/m ²	$\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$
锚杆	207000	0.20	23.5
喷层	20100	0.26	23.1
二衬	25500	0.70	23.2

表3 喷层与二衬间接触面

R_s $/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$	K_n $/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$	γ $/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	c $/\text{kPa}$	φ $/(\text{°})$	V_m	R_t $/\text{kPa}$
1250000	1250000	20	30	21.8	0.02	0.7

2.2 隧道开挖方案建立

目前,隧道的开挖方法主要有:全断面法、上下台阶法、单侧壁导坑法、双侧壁导坑法、CD法以及CRD法等^[2],每种施工方法都有最适合的地质条件。所以,在进行隧道施工模拟计算或是现场实际施工时,都要对地质条件进行勘测,以了解此类围岩的力学特性,从而决定在该地质条件之下采用何种施工方法是最优的选择。

根据实测资料显示,沈阳的地质情况主要以砂土为主,所以适合此地质条件的开挖方法主要有台阶法、双侧壁导坑法、CD法等。本文只是在技术上进行了优化,并没有考虑经济上的因素,所以本文主要选了三种开挖方法作为优化方案,即:

方案一:全断面法,此法主要相对来说并不是特别适合沈阳的地质情况,但是全断面法是一种应用较为广泛并且开挖方便的方法之一。

方案二:台阶法,适用范围最广,并且非常适合在沈阳的地质条件下开挖施工。

方案三:双侧壁导坑法,主要适用于单线隧道VI、V级围岩;双线隧道VI、V级围岩。

3 开挖方案技术优化分析

根据上节的方案建立结果,本章主要对三种开挖方式进行数值模拟,针对每种开挖方式进行各个阶段的应力-位移分析,以此来判断隧道在此开挖方法之下的稳定情况。之后对三种开挖方式进行总结,根据围岩应力、监测点位移情况、锚杆

轴力以及衬砌内力来判断在此地质情况下,哪种开挖方法是最优方案。

根据王建宇《隧道工程监测和信息化设计原理》^[3],为了能够全面细致地分析各种开挖方式的对隧道施工的影响,本文选举了4个点来进行位移监测这四个点与实际监测的位置相同。分别用A、B、C、D来代表,其中C与D的差别在于沈阳地铁是双线隧道,所以在D点右侧还会有一条线路对其造成影响,使其周围的围岩应力与C点的不同,从而导致位移也会有一定的差别。具体分布见图2。

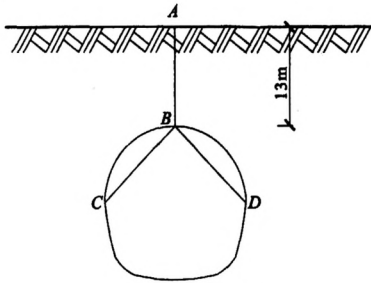


图2 测试点分布

3.1 监测点位移分析

各监测点的位移云图见图3—图8。

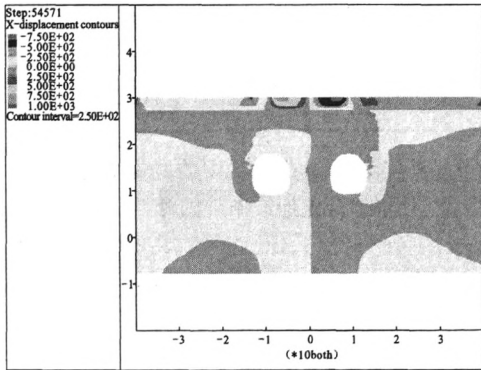


图3 全断面法下 x-disp

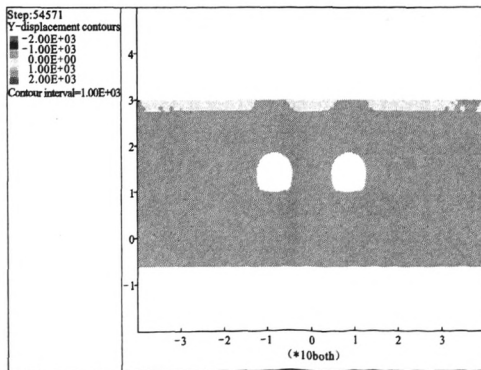


图4 全断面法下 y-disp

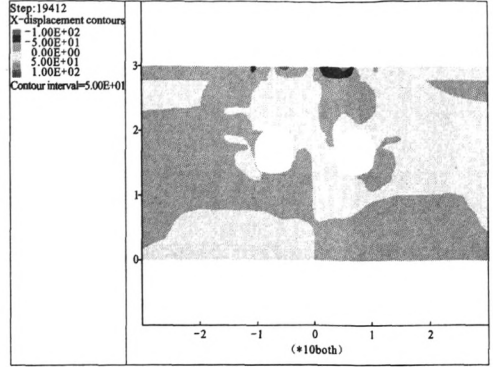


图5 双侧壁导坑法下 x-disp

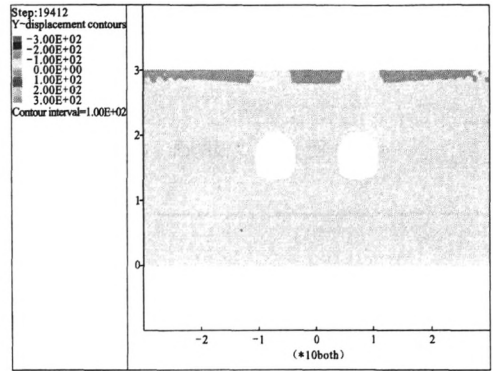


图6 双侧壁导坑法下 y-disp

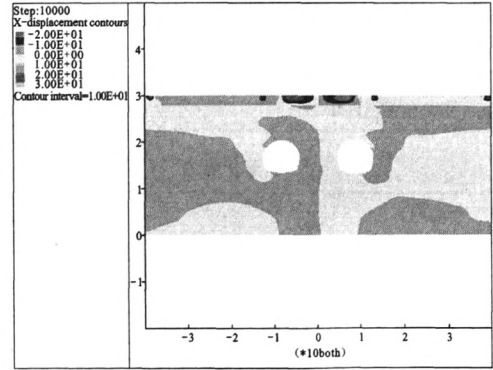


图7 台阶法下 x-disp

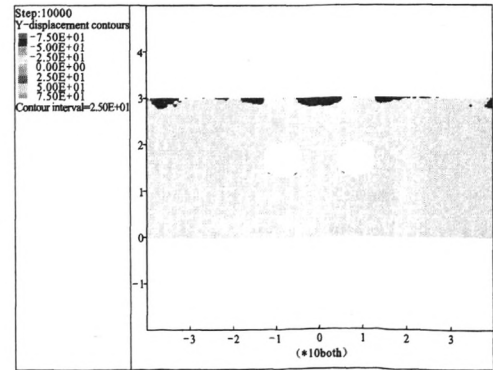


图8 台阶法下 y-disp

从图3—图8和表4可知,A、B两点的竖向位移值要明显地大于水平方向的位移值,B、D两点的水平方向的位移值都要比C点的大,从而得出A、B两点的竖向位移的影响为主要的因素,C、D两点水平位移的影响为主要因素^[4]。且从表中可看出台阶法开挖的条件下,无论是竖向位移值还是水平向位移值相对于其它的两种方法来说,在变化幅度和值的大小方面都比较合理,所以在阶段台阶法相对于其它两种方法,在此地质条件下更加的合适。

表4 各开挖方法下监测点位移值 mm

监测点	全断面法	台阶法	双侧壁导坑法
A	$u_x = -14.8$	$u_x = -13$	$u_x = -13.6$
	$u_y = -15.6$	$u_y = -15.2$	$u_y = -62$
B	$u_x = -0.2$	$u_x = -0.3$	$u_x = 0.4$
	$u_y = -1.2$	$u_y = -1.3$	$u_y = -7.9$
C	$u_x = -4.8$	$u_x = 0.4$	$u_x = -1.25$
	$u_y = -1.3$	$u_y = -2.8$	$u_y = -4.71$
D	$u_x = 6.2$	$u_x = 1.9$	$u_x = 0.6$
	$u_y = -1.5$	$u_y = -0.9$	$u_y = -7.4$

3.2 围岩弹塑性分析

图9—图11充分反映了围岩在各种开挖方法之下围岩的弹塑性状态,由于全断面法属于一次性对隧道进行开挖,所以对于围岩的扰动非常大,同时由于软件在数值模拟过程并没有及时地进行初期的支护和锚喷,导致围岩发生塑性的区域范围增加,双侧壁导坑法进行施工时围岩的塑性区域相对于全断面开挖时要稍好一点,在隧道周围以及双线隧道之间围岩的塑性区域都有明显地减少,这主要是与双侧壁导坑法的施工有关。在双侧壁导坑进行施工时,并没有对隧道进行整体地开挖,同时都是进行开挖之后立即进行隧道的支护,这就使隧道围岩的稳定性进一步得到了加强,从而减少了其塑性区的范围。而台阶法施工时围岩的塑性区域明显地要好于前面两种方法的施工,其主要是先对拱顶部位进行开挖,所以其双线隧道之间的部位的影响要小得多,而经过加固支护其塑性区域就会进一步的缩小^[5]。虽然三种方法的塑性区域都在合理的范围之内,但是对于工程施工还是要求对隧道影响较小的方法,所以相对于其它两种方法,台阶法施工无论是在应力值还是对于围岩的影响方面都是比较合理的选择。

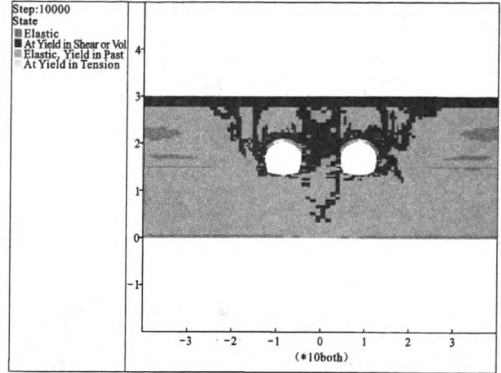


图9 全断面法塑性区

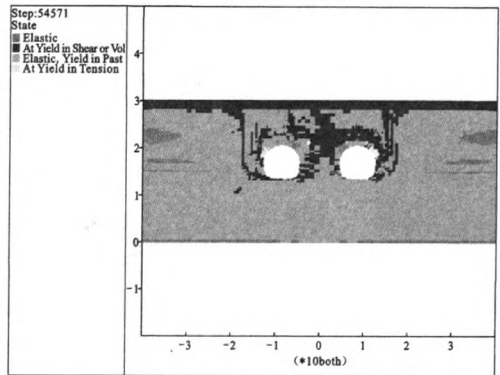


图10 双侧壁导坑法塑性区

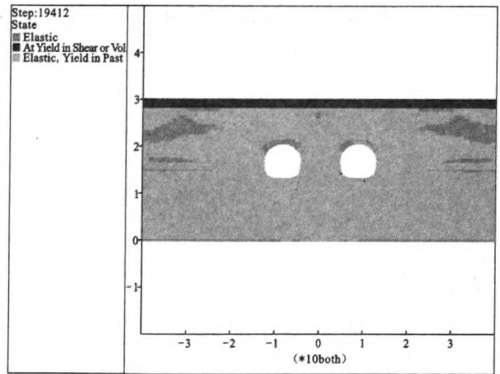


图11 台阶法塑性区

3.3 锚杆轴力及衬砌内力分析

三种开挖方法下施加了支护和喷混情况下锚杆的轴力图以及衬砌的内力图见图12—图17。

下图为在三种开挖方法下,隧道的内力都是在侧墙处达到最大值,且在两条隧道之间的锚杆轴力或是衬砌内力都要大于两侧处的内力值。三种施工方法下,锚杆的轴力的内力值分别为:全断面法 211.6 kN、双侧壁导坑法 147.8 kN、台阶法 156.4 kN,而相对于计算的锚杆轴力 234 kN 来说,都是在合理的计算范

围之内,全断面中的锚杆即将达到屈服的状态,而双侧壁导坑法与台阶法相对来说要小些,虽然台阶法的值比双侧壁导坑法的值要大,但是由于施工工艺以及经济效益的原因,在本工程中台阶法施工还是合理地选择。

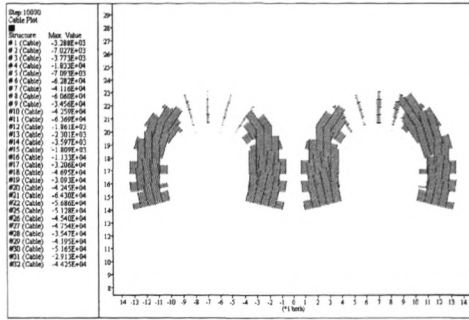


图 12 全断面法锚杆轴力

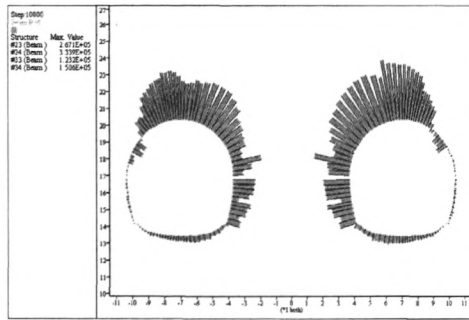


图 13 全断面法衬砌内力

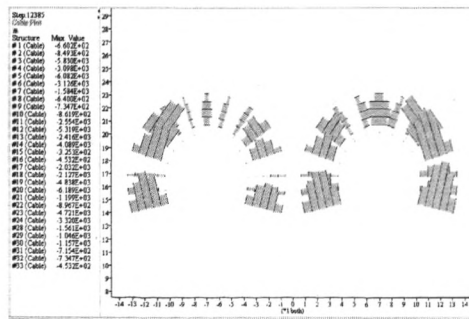


图 14 双侧壁导坑法锚杆轴力

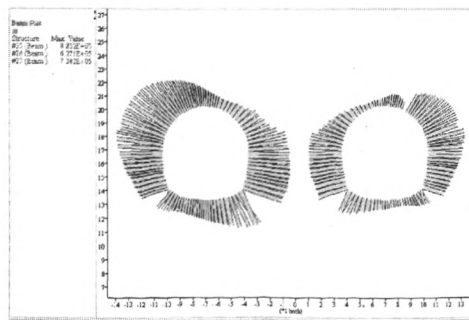


图 15 双侧壁导坑法衬砌内力

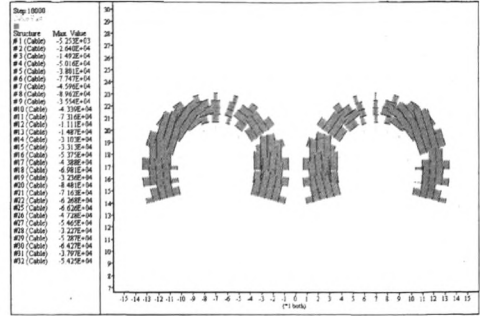


图 16 台阶法锚杆轴力

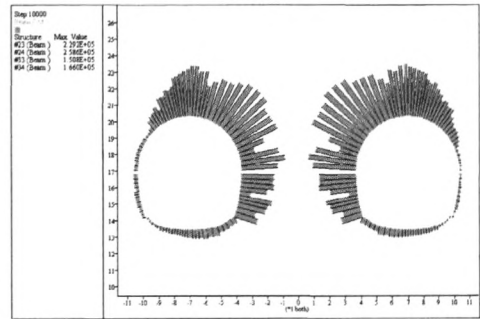


图 17 台阶法衬砌内力

4 结论

本文采用FLAC差分软件对沈阳地铁隧道进行优化分析,针对各开挖方式的特点及适用范围采用了全断面法、双侧壁导坑法以及保留核心土台阶法三种开挖方式进行优化模拟。在监测点位移的分析中,得出隧道开挖在竖向位移方向对于拱顶的影响要大于拱腰和侧墙,而在水平位移方向对侧墙的影响要明显的大于拱顶。围岩弹塑性区域分析中可知,围岩的稳定与开挖面的区域以及锚喷支护的时间有着直接的关系,一次性开挖面越小并及时地进行锚喷支护隧道围岩就会更快地达到稳定状态。在锚杆轴力和衬砌内力分析中,锚杆的加固时间、位置对隧道的开挖有着至关重要的影响,针对不同的开挖方式锚杆的受力方式完全不同,从而决定了隧道围岩的受力特性和变形的区别。

参 考 文 献

- [1] 陈育民,徐鼎平. FLAC/FLAC3D 基础与工程实例[M]. 北京:中国水利水电出版社,2009.
- [2] 陈秋楠. 隧道工程[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [3] 王建宇. 隧道工程监测和信息化设计原理[M]. 北京:中国铁道出版社,1990.
- [4] 郝 哲,刘向峰,王来贵. 大跨度公路隧道开挖过程力学特性研究[M]. 北京:地质出版社,2010.
- [5] 周玲芳. 大型地下洞室群开挖方案优化数值模拟[D]. 北京:北京交通大学,2006.