

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyf.2023.02.039

特大跨隧道在双侧壁岛坑法施工下的数值模拟

李海鹏¹, 彭 辉²

(1.长沙市市政工程有限责任公司, 湖南 长沙 410000; 2.中铁第六勘察设计集团有限公司, 广东 广州 510030)

摘 要: 依托实际项目, 运用 FLAC3D 进行后处理, 模拟双侧壁导坑法用于 V 级围岩的施工, 全面展示了暗挖隧洞右洞的分步开挖对左洞初期支护应力、右洞周围围岩变形的变化规律。结果表明: 对于开挖洞在既有洞初期支护上产生的支护轴向应力规律, 双侧壁导坑法和全断面开挖理论规律基本一致。开挖洞在双侧壁导坑工法下, 地表沉降会出现下导坑较上导坑对地表沉降影响更大的规律。在偏压工况下, 开挖对于地面沉降量在大偏压侧较小偏压侧更明显。导坑法对地面沉降会产生 peck 曲线的叠加效应, 但最终沉降曲线满足 peck 沉降理论。

关键词: 特大跨隧道; 双侧壁导坑法; 数值模拟; FLAC3D

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)02-0154-03

1 工程概况

深圳市葵涌环城西路, 道路等级为城市快速路, 设计速度 80 km/h, 道路标准宽度 24 m, 双向六车道。在比亚迪小区西侧设置连拱隧道穿越山体, 隧道全长 753 m。暗挖隧道浅埋偏压, 隧址区洞口段穿越砂性粘质土、全风化花岗岩, 洞身段主要穿越全风化、强风化花岗岩层, 围岩等级为 V 级, 开挖跨度达分别达到 20 m, 属特大跨度隧道。

对 K2+040 ~ K2+210 段 V 级围岩浅埋偏压段, 衬砌采用二层初期支护 + 二次衬砌结构。初支系统锚杆采用 D25 中空注浆锚杆, $L=4.5$ m, 纵、环向间距 50 cm × 100 cm 梅花型布置; 第一层采用 C25 喷射混凝土厚 30 cm、I25a 工字钢, 纵向间距 50 cm, 第二层采用 C25 喷射混凝土厚 20 cm、 $\phi 25$ 格栅钢架, 纵向间距 50 cm。二次衬砌采用 70 cm 厚 C35 防水钢筋混凝土。隧道内轮廓见图 1。

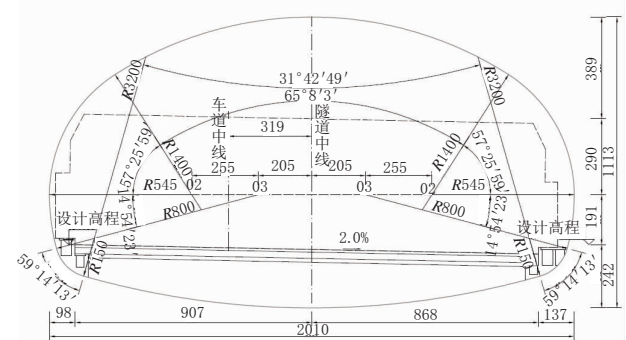


图 1 隧道内轮廓(单位: cm)

2 数值模拟

2.1 模型及边界条件

岩土本构模型: Mohr-Coulomb。

数值模型范围选取为: 上部取至地表, 下部取至隧道仰拱以下 20 m。左右沿左右辅路隧道开挖边界向两侧扩展 30 m, 模型纵向计算范围 30 m 的典型区间。隧道左右有水平约束, 下部有垂直约束, 上表面为自由面, 前方和后方均有垂直其面的约束^[1-2]。

计算中, 采用 4 面体实体单元模拟围岩, 用 shell 单元模拟初期支护、二次衬砌支护。计算模型中实体单元总数为 48 311, 总节点数为 3 994 个; 结构单元总数为 4 360 个, 总节点数为 2 715 个。隧道数值整体模型见图 2, 衬砌结构模型见图 3。

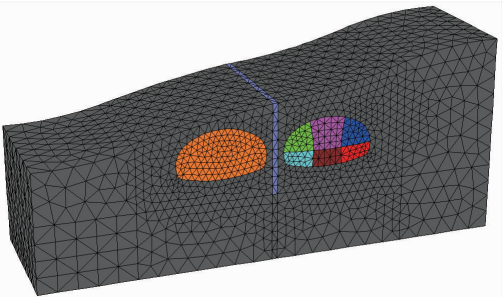


图 2 隧道整体数值模型

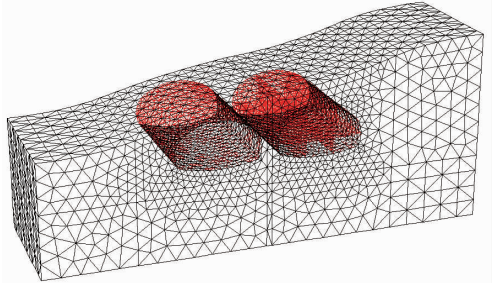


图 3 衬砌结构模型

收稿日期: 2022-03-25

作者简介: 李海鹏(1988—), 男, 硕士, 工程师, 从事市政路桥设计工作。

2.2 开挖模拟

由于本项目二次衬砌主要是作为安全储备作用^[3],本次重点分析右洞分步开挖对左洞初期支护的影响规律,以及右洞开挖对地面沉降的影响规律。

(1)左洞先行施工模拟

隧道整体模型中,左洞先行施工,采用开挖后对模型整体位移清零进行模拟^[4]。

(2)右洞浅埋暗挖模拟

对于特大跨的开挖方式及支护工艺,多采用双侧壁导坑法开挖。本次设计吸取双侧壁导坑法成功经验,隧道采用导坑分 6 步开挖,左右侧导坑先行,而后开挖中部导坑上台阶,最后开挖中部导坑下台阶,初期支护及时封闭、落底^[5]。

双侧壁导坑法用于 V 级围岩右线隧道施工,描述如下:一个全断面中分 6 个台阶分步开挖,循环开挖进尺按 3 m 进行,初期支护紧跟掌子面施工,循环进尺按 3 m 进行。左下台阶滞后左上台阶 3 m 开挖,右上台阶滞后左下台阶 3 m 开挖,右下台阶滞后右上台阶 3 m 开挖,中上台阶滞后右下台阶 3 m 开挖,中上、中下台阶依次滞后上一台阶 3 m 开挖,之后以 3 m 的循环进尺依次跟进施工,开挖顺序见图 4。

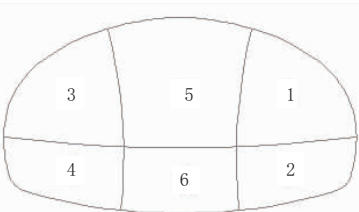


图 4 双侧壁导坑法开挖顺序

2.3 初支轴力及位移分析

随着隧道施工推进,隧道初期支护轴向应力经历了一个先增大,而后增大幅度逐渐减小,最后轴力趋于稳定的一个变化过程。由于土体偏压作用,暗挖隧道拱顶靠近高填土方一侧的数值较大,左隧道拱顶应力在第最后一步开挖后达到最大值 10.6 MPa。左洞初期支护轴向应力云图,见图 5~图 7。

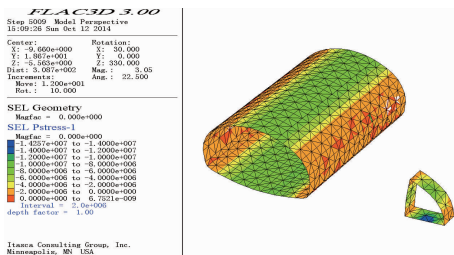


图 5 第 1 步开挖支护最大主应力

右洞完成分布开挖后,对左洞周围既有应力会产生二次影响,计算表明左洞隧道拱顶靠近高土方一

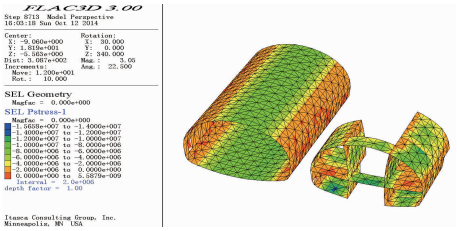


图 6 第 8 步开挖支护最大主应力

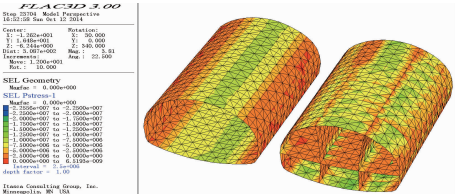


图 7 最后一步开挖支护最大主应力

侧的数值较大,拱顶初期支护最大轴向应力值为 10.6 MPa 位于拱顶,最小轴向应力值为 5.2 MPa 位于拱腰。

右洞分布开挖完成后,左洞衬砌位移以拱腰处最大为 3.57 cm,本隧道考虑了 5 cm 的开挖预留变形量,因此说明设计预留变形量是可以满足要求的。

经对左洞初期支护模拟计算,分析整理后得到左洞初期支护计算结果见表 1。

表 1 计算结果表

位置	初支轴向应力 /MPa	初支位移 /cm		
		水平位移	竖向位移	总位移
拱顶	10.6	1.18	2.1	2.41
拱腰	5.2	3.02	1.9	3.57
拱脚	6.3	1.69	3.1	3.53
拱底	7.5	1.23	1.32	1.80

2.4 地表沉降及塑性区分析

由于左洞已完成施工,地面主固结沉降已经完成。现模拟右洞,在双侧壁岛坑法下对地表沉降的影响。典型的围岩位移场计算云图见图 8~图 10。

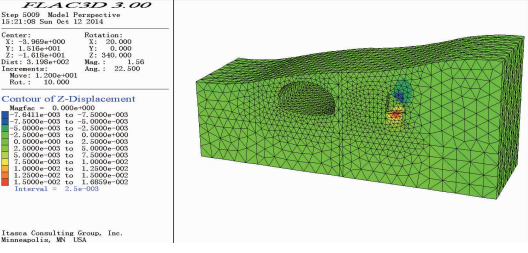


图 8 第 1 步开挖土体位移

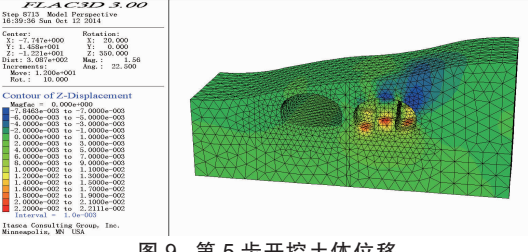


图 9 第 5 步开挖土体位移

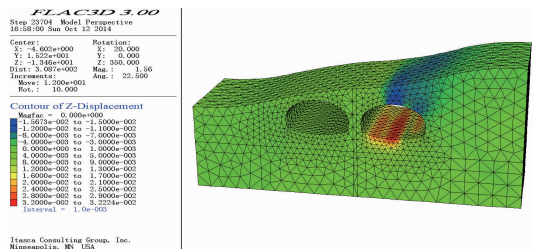


图10 第12步开挖土体位移

在模型中设置11个监测点(以隧道右洞中心线为轴心监测点,两边每隔3m各设置一个监测点)。右侧1号导坑开挖后,在围岩自然坍落拱效应下沉降未传递到地面。右侧2号导坑开挖后地面沉降基本符合Peck沉降理论。但是当左侧3号导坑开挖后+6m、+9m处的沉降反而减小,说明左侧3号导坑的开挖对1、2号导坑地面的沉降有卸载回弹效应。3、4号导坑的开挖并没有在上方围岩产生明显沉降,一方面是由于左洞完全开挖后的地面沉降漏斗内已经发生过一次固结,其次是由于地面偏压效应下,开挖产生的应力释放在偏压侧显现更显著。5号导坑开挖后,基本呈现双Peck沉降曲线叠加的曲线图。6号导坑的开挖加剧了双Peck沉降曲线。当全断面挖开后,再开挖双Peck沉降曲线又会逐渐形成标准的Peck沉降,如从第8步开挖到第12步开挖(最终挖通一个模拟段)。隧道施工完毕后,地表土体最大位移1.35cm出现于右洞正上方,根据沉降云图变形规律符合Peck沉降曲线,紧贴拱顶上覆土体最大位移1.7cm。双侧壁导坑法开挖对地表围岩沉降的影响见图11。

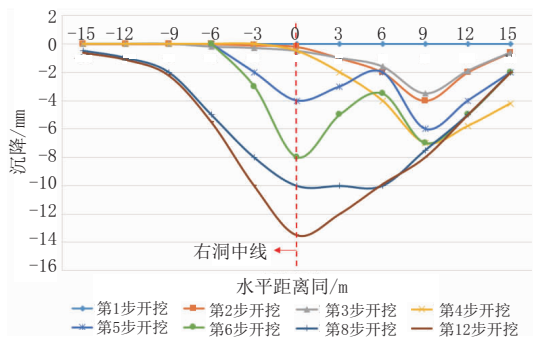


图11 右洞分步开挖地面沉降图

开挖后,隧道边一定范围内的围岩均会出现塑性区,见图12。图12中蓝色表示围岩没有进入塑性屈服状态,其它非蓝色区域表示围岩在隧道开挖过程前后曾经或者正在进行塑性屈服状态。在隧道施工过程中,选取全断面初支封闭的第6步开挖,分析

可知各个台阶的掌子面前方2~3m范围内将出现塑性区。

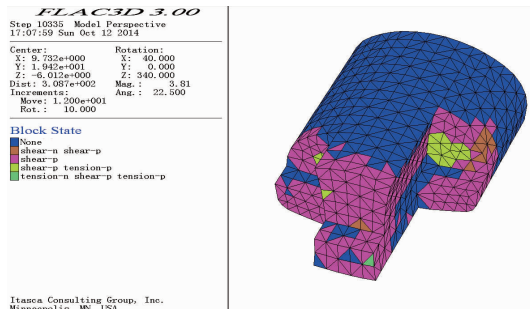


图12 土体纵向塑性开展分析图

由于FLAC3D塑性区是按照分割单元显示,我们只需要关注开挖周边的塑性区范围。由监测结果可知,隧道周边围岩塑性区范围基本在3.6~4.6m左右,而设计的锚杆长度为4.5m,可见锚杆能充分发挥作用,锚杆长度设置合理。

3 计算结果分析

本文对大跨径隧洞进行数值模拟(基于FLAC3D),直观而真实地表现了隧道开挖时所产生的初支应力、初支位移、围岩地表位移变化情况,并有以下结论:

对于右洞开挖在左洞初期支护上产生的支护轴向应力规律,双侧壁导坑法和全断面开挖理论规律基本一致。根据有限元模拟的初支总位移可以有效的验证设计预留的留变形量留的是否足够。

右洞在双侧壁导坑工法下,地表沉降会出现下导坑较上导坑对地表沉降影响更大的规律。在偏压工况下,开挖对于地面沉降量在大偏压侧较小偏压侧更明显。导坑法对地面沉降会产生peck曲线的叠加效应,但最终沉降曲线满足peck沉降理论。通过模拟的塑性区开展范围可以有效验证初支锚杆设计长度是否合理。

参考文献:

- [1] 张海波,殷宗泽,朱俊高.近距离叠交隧道盾构施工对老隧道影响的数值模拟[J].岩土力学,2005,26(2):282-286.
- [2] 魏纲,袁新谷,魏新江,等.邻近建筑物的暗挖隧道施工数值模拟[J].岩土力学,2009(2):6.
- [3] 俞琳.软岩隧道开挖与支护数值分析[D].大连:大连理工大学,2005.
- [4] 邓少军,阳军生,张学民,等.浅埋偏压连拱隧道施工数值模拟及方案比选[J].地下空间与工程学报,2005(6):4.
- [5] 沈铭杰,张子新,蒋华钦.盾构法隧道地表变形影响因素多尺度数值模拟[J].地下空间与工程学报,2013,9(2):8.