

文章编号: 1673-9469(2014)03-0035-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-9469.2014.03.009

浅埋大断面隧道核心土数值模拟与分析

余熠

(中南大学 湘雅医院 湖南 长沙 410008)

摘要: 针对浅埋大断面隧道采用双侧壁导坑法施工时核心土的预留问题,依托重庆轨道交通六号线二期北碚站工程,对浅埋大断面隧道采用双侧壁导坑法开挖时,核心土的留设进行数值模拟,比较分析了预留核心土前后围岩的变化情况。结果表明:合理的留设核心土可有效降低地层沉降速率;改善围岩受力情况;同时表明护拱法和临时回填对治理隧道塌方效果良好,对类似塌方处置有指导意义。

关键词: 浅埋大断面隧道;隧道;核心土;双侧壁导坑法;FLAC3D数值模拟

中图分类号: TU 93

文献标识码: A

Simulation and analysis of core rock in shallow buried large section tunnel

YU Yi

(Xiangya Hospital, Central South University, Hu'nan Changsha 410008, China)

Abstract: The method of double-sides-wall drift is usually adopted when shallow buried large section tunnel is excavated, and the core rock is a quite important factor to the displacement stability of the surrounding rock mass and the internal force of supporting during excavation. Based on a subway tunnel (Beibei station) in Chongqing, FLAC3d is used to simulate shallow buried large section tunnel with method for the of double-sides-wall drift and construction method for the core rock. The change of surrounding is compared and analyzed before and after reserving core rock. It was found that a reasonable design of core rock can reduce the stratigraphic sedimentation rate and improve the stress distribution of surrounding rock. Meanwhile, the arch protection method and the temporary backfill slurry method have a good effect on the reinforcement of landslide.

Key words: buried large section tunnel; double-sides-wall drift; FLAC3D numerical simulation

随着我国大城市地铁建设的兴起,浅埋大断面隧道大量涌现。城市地铁地质复杂,围岩较为软弱,且地表控制要求高,故当遇到浅埋大断面隧道时一般采用双侧壁导坑法施工^[1-2]。采用双侧壁导坑法施工时,核心土的留设对隧道的稳定起着至关重要的作用。然而由于核心土的处理与施工相互矛盾:一方面,要进行核心土加固处理,必然给施工进展带来麻烦;另一方面,若不按照设计要求施工,常常会造成诸多困难,甚至发生事故。因此,对核心土力学特性的研究十分有必要,为正确预防和处治事故、保证施工安全具有积极意义。李志刚等^[3]依托广州龙头山公路隧道,对预留核心土厚度的区别和开挖方式的不同进行了数值模拟,得出了核心土的合理厚度及较为合理的开挖

方式;黄甫明等^[4]通过有限元法分析了台阶长度和核心土长度对隧道地层沉降和应力分布的影响;谢东武^[5]对龙头山隧道核心土临时支护出现失稳问题进行研究,推导出核心土临时支护稳定性的判别准则。研究者大多致力于核心土的预留方式及对隧道稳定性影响的研究,而对隧道预留核心土的力学响应变化研究成果较少。本文针对北碚站地铁施工过程中出现的塌方事故,依据三维有限差分法,模拟分析了塌方前后核心土留设对浅埋大断面隧道塑性区变化和应力变化,得出的结论可为类似隧道设计和施工参考。

1 隧道工程概况

北碚车站位于重庆市北碚区政府对面、北碚

收稿日期: 2014-03-12

作者简介: 余熠(1988-),男,湖南岳阳人,助理工程师,从事岩土工程方面的研究。

嘉陵风情街下。车站内部采用单拱双层岛式,主体采用曲墙+仰拱的五心圆马蹄形断面,顶部覆土21.4 m,最大开挖断面宽23.16 m,高18.34 m,隧道起讫桩号为DK55+955.302~DK56+134.302,总长179 m。车站两端为复合式TBM区间,主体采用掘进通过,在车站大里程端设置复合式TBM接受导洞。车站属于特大断面暗挖隧道,IV级围岩,采用双侧壁导坑法施工。

自车站施工进入主体结构以来,由于施工时支护不及时,不按照设计要求的双侧壁导坑法及纵向施工工序进行施工,未留设核心土等原因发生坍塌事故,车站左线DK55+985~DK55+962段侧壁导坑发生冒顶,长度约23 m。

2 有限差分模型

采用FLAC3D软件模拟分析核心土留设对浅埋大断面隧道围岩的影响特性,数值分析范围取围岩尺寸大于隧道三倍洞径,跨度横向160 m,竖向80 m。约束条件取:左右边界设置为水平约束,底部为竖向约束,顶部为自由表面。结合工程实际,取隧道埋深21 m,塌方后添加核心土的宽2 m,高约8.1 m,隧道初期支护结构采用壳体结构单元(shell)进行模拟,左、右导坑拱腰处分别布置测点1、测点2。计算模型见图1。

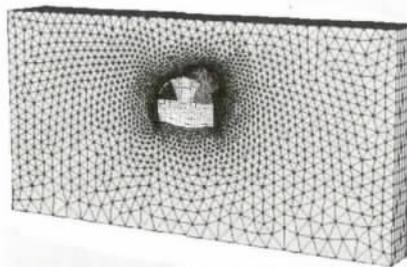


图1 有限差分元模型图

Fig.1 The finite element model figure

结合本工程地质勘察报告,围岩和支护结构计算参数见表1。

表1 计算参数取值

Tab.1 Calculation parameter selection

岩土名称	填土	粉质粘土	砂岩	砂质泥岩	初护
重度/ $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	20	20	24.9	25.6	22
弹模/Mpa	—	—	4 150	1 254	30 000
泊松比	—	—	0.11	0.35	0.2
C/kPa	—	25	2 199	735	80
$\varphi / ^\circ$	30	10	42.5	32.9	25

3 隧道开挖模拟与分析

根据上台阶施工开挖步序,以下从三种计算情况进行模拟分析:第一步左、右导坑开挖;第二步核心土开挖;第三步初支支护并增加混凝土核心柱。

3.1 开挖第一步

该情况是指隧道断面上台阶左、右导坑开挖,中间核心土未拆除。从图2可以看出:塑性区主要分布在隧道拱顶和拱肩处,隧道拱脚、边墙有少量塑性产生;隧道拱顶和拱肩处塑性区变化较大,隧道拱脚、边墙处塑性区略小;这说明隧道留有核心土对拱脚、边墙处稳定性效果显著。开挖后结果显示隧道围岩上同时分布着拉应力区和压应力区;围压与核心土交界处拉应力较大,Z向和X向应力分别为 $-3.0 \times 10^6 \text{ Pa}$ 、 $6 \times 10^5 \text{ Pa}$;随着施工面的前进,拉应力呈增加趋势,最终趋于稳定;拱脚及核心土底部围岩压应力比较集中,拱肩处较小。

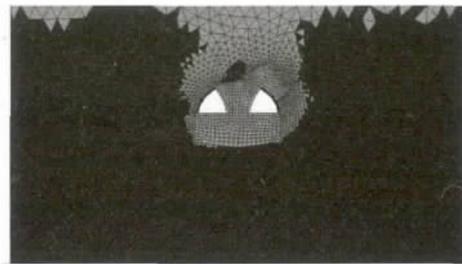


图2 围岩塑性区分布图(核心土未拆除)

Fig.2 Distribution of the plastic

隧道开挖过程中,由于左、右导洞是依次进行开挖(右导洞的开挖要比左导洞超前),初期,右线开挖过程中,测点1的变化量逐渐增大,但对左线的影响较小,测点2的沉降值几乎没有改变;随后,左线进行开挖时,测点1的变化量突然增加;拱顶沉降值随着开挖工作面距离的增加而增加,测点1和测点2的拱顶沉降值分别为 -5.28 mm 、 -7 mm ,变化速率由较大逐渐减小直至趋于稳定。这是由于隧道在开挖后,应力得到释放,破坏了原有平衡;随着支护逐渐发挥作用,应力得到重新分布,使围岩再次趋于平衡。

3.2 开挖第二步

该情况是指隧道断面上台阶左、右导坑开挖完成后,中间核心土随之拆除直至左线发生严重

塌方的阶段。从图3可以看出:核心土去除后,在围岩拱脚和边墙附近应力比较松弛;而且左、右两侧塑性区的范围不相同:左线拱脚及边墙处塑性区较大,扩展范围较深;而右线拱脚和边墙处的塑性区较小,扩展范围较浅。核心土开挖过后,围岩应力状态发生了很大的变化:隧道拱顶到直墙顶部区域受压,直墙下半部分和底部出现压应力集中现象;拱顶和拱肩部位围岩受压应力影响最大,Z向应力和X向应力分别为 $5.95 \times 10^6 \text{ Pa}$ 和 $1.2 \times 10^6 \text{ Pa}$ 。

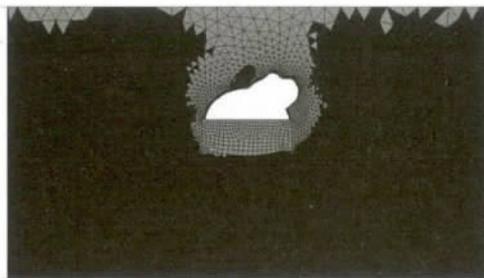


图3 围岩塑性区分布图 (塌方后)
Fig.3 Distribution of the plastic zone

核心土去除后,竖向位移在开挖范围内出现了较大范围的增加,测点1、2拱顶沉降的变化值出现大幅度增长,分别为 -16.26 mm 、 -24.82 mm ;左、右导坑变化趋势基本一致,但左侧导坑拱顶沉降明显大于右侧拱顶变化量;这与实际工程状况相吻合,也说明了核心土对隧道围岩稳定性起着重要作用。

3.3 开挖第三步

该情况是指事故发生后,施工单位采取的应急处治阶段,一方面采用护拱法进行初期支护,另一方面以混凝土核心柱对围岩进行临时加固;图4为围岩塑性区分布图,可以看出,经过处治后,塑性区明显变小,基本又重新分布到隧道拱顶和拱肩处,但塑性区范围和扩展程度逐渐减小。图5为第三步围岩支护Z向应力云图,该图显示几乎整个隧道围岩处于受压状态,核心土底部围岩应力比较集中,拱顶和拱腰处的围岩应力明显减小,Z向和X向的应力分别为 $-3.52 \times 10^5 \text{ Pa}$ 和 $2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$;隧道拱顶到直墙顶部区域受压,直墙下半部分和底部出现压应力集中现象;可见,拱顶和拱肩部位围岩受压应力影响最大。

第三步模拟结果反映了治理过程中,初期支护及增加混凝土核心柱后拱顶沉降变化量逐渐减

小,测点1和测点2的拱顶沉降值分别为 -17.84 mm 、 -34.32 mm ,拱顶沉降变化量逐渐减小,随着时间的推移趋于稳定;这也说明了留设核心土可有效地减小工作面拱顶测点的下沉,可增强隧道围岩的稳定性。

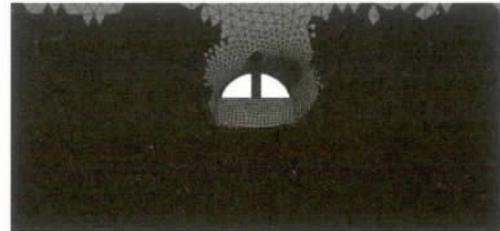


图4 围岩塑性区分布图 (增设混凝土柱)
Fig.4 Distribution of the plastic zone

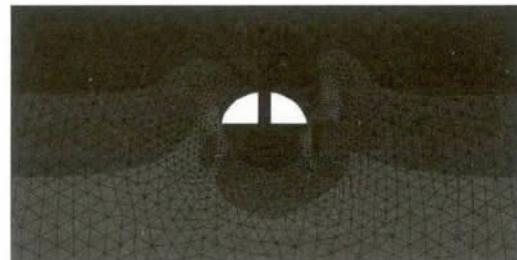


图5 第三步围岩支护Z向应力云图
Fig.5 The direction Z stress nephogram of the third step excavation

4 核心土留舍两者的比较

对测点1、测点2进行竖向位移的分析,各计算步序对应的拱顶沉降值见表2,为了研究隧道施工中拱顶沉降的变化规律,将三个不同情况的拱顶沉降曲线图放在同一坐标中进行研究,其变化趋势见图6所示。

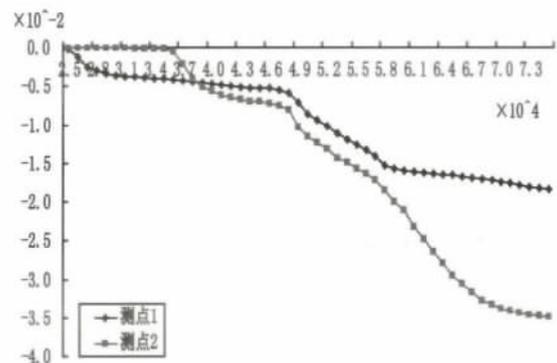


图6 数值模拟中测点拱顶变化趋势图
Fig.6 Vault subsidence displacements of tested point during numerical simulation

表2 各计算步序对应的拱顶沉降值
Tab.2 Vault subsidence displacements of the corresponding calculation steps

开挖位置		第一步:左、右导坑开挖						
计算步序		2.5E+04	3.0E+04	3.5E+04	4.0E+04	4.2E+04	4.4E+04	4.5E+04
测点1		-2 mm	-3.6 mm	-4.08 mm	-4.68 mm	-4.96 mm	-5.2 mm	-5.28 mm
测点2		-0.01 mm	-0.05 mm	-0.2 mm	-5.6 mm	-6.48 mm	-6.92 mm	-7 mm
开挖位置		第二步:核心土开挖						
计算步序		4.6E+04	4.8E+04	5.0E+04	5.2E+04	5.4E+04	5.6E+04	6.2E+04
测点1		-5.3 mm	-5.9 mm	-8.6 mm	-10.2 mm	-12 mm	-13.3 mm	-16.26 mm
测点2		-7.28 mm	-8.06 mm	-11.57 mm	-13.13 mm	-14.95 mm	-16.38 mm	-24.82 mm
开挖位置		第三步:初期支护及增加混凝土核心柱						
计算步序		6.0E+04	6.2E+04	6.4E+04	6.6E+04	6.8E+04	7.0E+04	7.2E+04
测点1		-15.95 mm	-16.26 mm	-16.45 mm	-16.79 mm	-17.05 mm	-17.44 mm	-17.84 mm
测点2		-21.12 mm	-24.82 mm	-27.98 mm	-30.62 mm	-32.74 mm	-33.79 mm	-34.32 mm

根据以上图表可知,隧道在第一步开挖工程中,拱顶沉降值逐渐增加,特别是左侧导坑要比右侧变化速率快,当左侧导坑拱顶沉降量大于5 mm时围岩趋于稳定。但在第二步核心土开挖后,拱顶围岩在没有核心土约束的情况下,测点发生明显突变现象,而且急剧增加,直至左侧沉降达到20 mm左右,发生塌方。在第三步塌方治理过程中,初期支护并增加砼核心柱临时支护,围岩拱顶变化从增长趋势又逐渐转变为平衡,围岩再次处于稳定状态。可见,留设核心土能显著改善隧道工作面的稳定性:(1)能使工作面前方土体处于三向应力状态,有效降低工作面土体的松弛范围;(2)抑止隧道围岩的垂直位移,使拱顶沉降量明显减小。

5 结论

1) 第一步左、右导洞开挖后,塑性区主要分布在隧道拱脚、边墙中部,由于留设了合理的核心土,沉降速率的变化趋势逐渐减小。

2) 第二步核心土开挖后,左线拱脚及边墙处塑性区较大,扩展范围较深;拱顶和拱肩部位围岩受压应力影响最大,核心土的开挖导致拱顶沉降突然增加。

3) 第三步处治阶段进行初期支护和增加砼核心柱,左、右两侧出现不同塑性区;拱顶和拱腰处

的围岩应力明显减小;拱顶沉降变化量逐渐减小,随着时间的推移趋于稳定。说明护拱法和临时回填对治理隧道塌方效果良好。

4) 隧道开挖过程中,需对隧道拱部围岩进行加固,边墙、核心土临时钢拱架和横向支撑需要适当加强。对大断面浅埋隧道施工而言,能否合理留设核心土,对隧道围岩稳定性影响甚为重要。

参考文献:

- [1] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [2] 陈秋南. 隧道工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [3] 李志刚, 丁文其, 杨重存, 等. 扁平特大断面公路隧道核心土模拟与分析[J]. 地下空间与工程学报, 2007(4): 627-632.
- [4] 皇甫明, 孔恒, 王梦恕, 等. 核心土留设对隧道工作面稳定性的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2005(3): 521-525.
- [5] 谢东武, 丁文其, 李志刚. 大跨隧道核心土临时支护稳定性研究[J]. 地下空间与工程学报, 2010(4): 701-706.
- [6] 陈秋南, 赵明华, 周国华, 等. 复杂层状岩层隧道塌方原因分析与加固后信息化施工技术[J]. 岩土力学, 2009, 30(3): 650-653.

(责任编辑 王利君)