

# 双层黄土公路隧道各施工方案的模拟与研究

牛泽林<sup>1,2</sup>, 谢永利<sup>1</sup>, 宋战平<sup>2</sup>

(1. 长安大学公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:**以弹塑性有限元法为基础, 利用大型的仿真模拟软件(ANSYS 中的土木模块), 分析了该隧道在长台阶施工方法和分部开挖施工方法中各施工阶段围岩和衬砌在空间的受力状态, 变形状态, 考虑材料的非线性特征, 采用 DP 屈服准则, 并对这些结果加以分析和总结, 为以后的具体的结构设计和施工提供有力的理论支持。

**关键词:**弹塑性; 有限元分析; 围岩; 衬砌

**中图分类号:** U455.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2011)02-0198-04

## 1 工程概述

随着经济技术的发展, 隧道的断面形式越来越多, 功能也越来越强。双层隧道作为地下结构的一种新的形式有其特有的优点, 尤其在立交和洞口地形比较狭窄的情况下能够比较好布置上下行线路。对于这种高跨比较大的双层隧道, 边墙是其薄弱部分, 通常隧道边墙的应力较大, 所以在设计和施工时要求支护一定要到位, 防止其变形过大造成隧道塌方, 影响其后续工作。目前在国内外修建的双层隧道还较少, 经检索知道, 在国外, 巴塞罗纳最长的地铁 9 号线就是采用盾构法施工的双层地铁隧道<sup>[1]</sup>。在国内, 深圳有一条采用台阶箱型法施工单洞双层地铁隧道<sup>[2]</sup>, 在上海也有一条已建成的双层越江公路隧道<sup>[3]</sup>。它们的主要施工方法也都是盾构法, 而对于在黄土地区修建双层隧道目前世界上还没有, 无论是其结构设计、开挖方案、隧道衬砌支护和相关施工经验都需要进行深入的分析和总结。为此, 并结合实际情况选择兰州市南山双层公路隧道的初步设计方案进行分析比较和研究, 进一步分析双层隧道的受力与变形特性。此处由于地形问题, 在此做一孔四车道隧道有困难, 做两孔分离式隧道场地展不开, 做连拱式施工有难度, 隧道出口就要跨越雷坛河河谷等原因, 故计划采用双层隧道方案。

## 2 双层隧道的三维有限元分析

### 2.1 有限元模型建立及网格划分

计算采用大型有限元软件 ANSYS 进行三维开挖分析<sup>[4]</sup>, 计算模型尺寸为长 150 m, 宽 100 m, 高 100 m 的三维模型, 经过优化后的网格<sup>[5]</sup>如图 1 所示, 共有 29 080 个单元, 30 324 个节点, 计算所使用的是 ANSYS 所提供的 Solid45 三维 8 节点等参单元。

计算模型约束条件为左右两侧水平约束(即  $X$  方向), 前后两侧也施加水平方向(即  $Y$  方向), 下侧施加全约束, 上侧为自由端, 也就是地面。施加荷载为重力荷载,

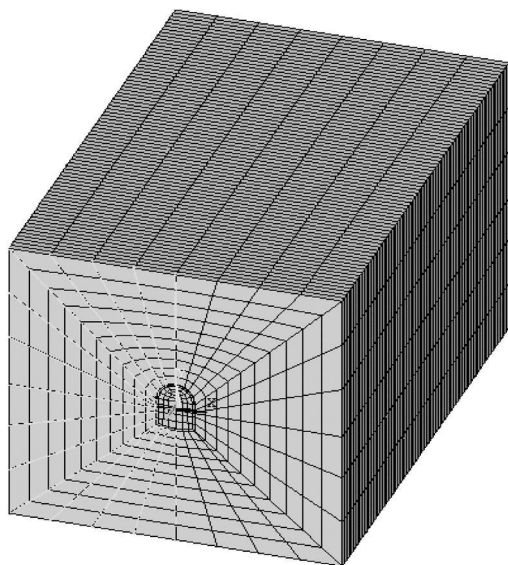


图 1 有限元模型网格

Fig. 1 Finite element mesh

根据 ANSYS 软件的规定<sup>[67]</sup>, 具体为施加向上加速度. 采用的材料参数如表 1 所示.

2.2 开挖模拟及结果分析

2.2.1 隧道开挖模拟.

本文利用大型的商业软件 (Ansys) 对这种双层隧道结构分别进行了长台阶开挖施工方法, (如图 2, 以后称之为方案一) 和分部开挖施工方法<sup>[8]</sup>, (如图 3, 以后称之为方案二).

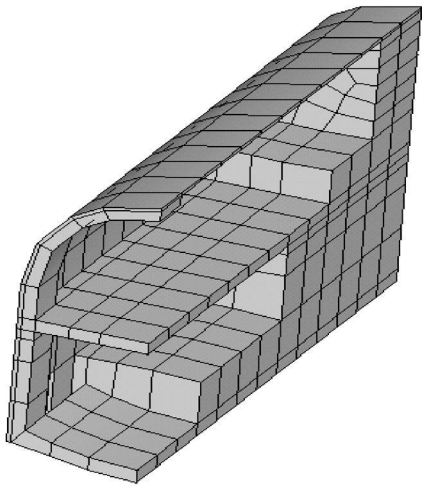


图 2 长台阶开挖示意图  
Fig. 2 The sketch map of long-step excavation

表 1 地层和材料参数					
Tab. 1 The parameters of stratum and material					
	$\gamma / \text{t} \cdot \text{m}^3$	$E / \text{MPa}$	$\mu$	$C / \text{kPa}$	$\varphi / ^\circ$
Q <sub>2</sub> 黄土	2.0	160	0.42	90	27
初期支护	2.3	35 000	0.16	6 000	60
二次衬砌	2.3	28 000	0.17	4 000	60
加固区	2.1	1 000	0.35	130	30

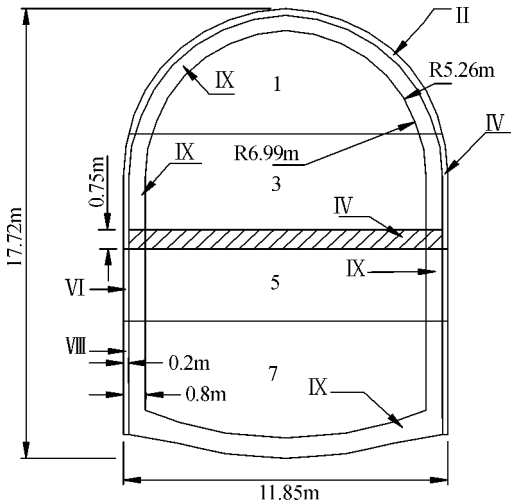


图 3 开挖步骤及支护示意图  
Fig. 3 The sketch map of excavation step and support

2.2.2 结果分析比较

1) 各工法应力比较及其分析

当隧道施工完毕后(即最后一个开挖时间步完成后), 从应力和位移等几个方面来讨论开挖方案的合理性, 并绘出了第一和第三主应力在  $z = -24 \text{ m}$  (1 号截面, 即最不利截面) 处的横截面应力云图, 如下图.

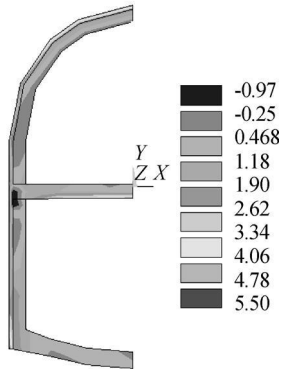


图 4 方案 1 (1 号截面) 第一主应力  
Fig. 4 The first grinding stress of No. 1 section of Method 1

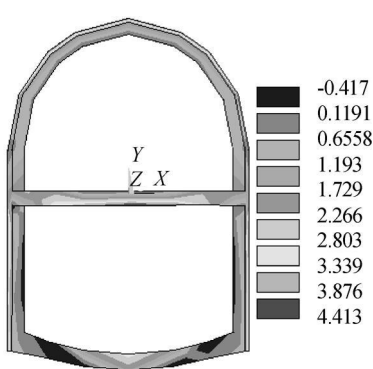


图 5 方案 2 (1 号截面) 第一主应力  
Fig. 5 The first grinding stress of No. 1 section of Method 2

此 1 号截面第一主应力(即最大拉应力)从最小到大, 依次为分部开挖法、长台阶法. 方案 1 与方案 2, 其相差  $1.087 \text{ MPa}$ , 并且它们的最大值发生在横隔板中下部.

此 1 号截面第三主应力(即最大压应力)从最小到大, 依次为长台阶法、分部开挖法. 方案 1 与方案 2, 其绝对值相差  $0.19 \text{ MPa}$ , 并且最大值发生在横隔板下部.

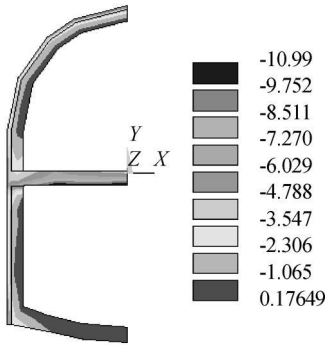


图 6 方案 1 (1 号截面)第三主应力

Fig. 6 The third grinding stress of No. 1 section, Method 1

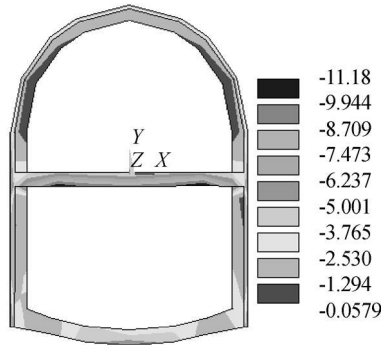


图 7 方案 2 (1 号截面)第三主应力

Fig. 7 The third grinding stress of No. 1 section, Method 2

从应力云图上判断, 方案二要优于方案一. 尤其是在结构受拉方面, 方案二的应力要小很多, 这使得这种设计和施工方案更加合理、经济、安全.

2)应力曲线图比较及其分析

图 8 和图 9 分别绘出了这两种方案在整个开挖过程中的应力变化曲线.

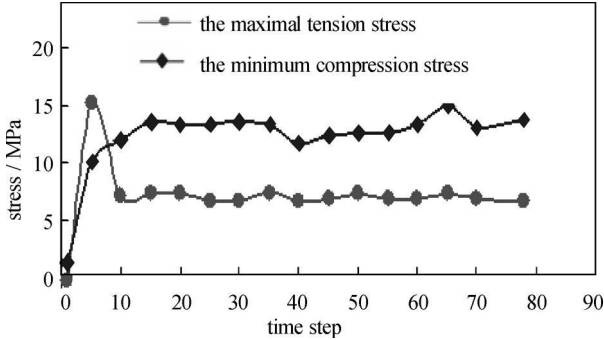


图 8 方案 1 拉、压应力曲线

Fig. 8 Tension and compression stress curves, Method 1

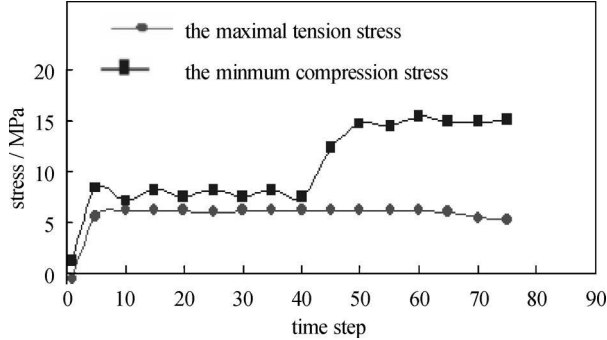


图 9 方案 2 拉、压应力曲线

Fig. 9 Tension and compression stress curves, Method 2

从应力图来看, 最大拉应力最理想的曲线是方案 2 的曲线(即分部开挖法), 而方案一在开挖过程中有一个突变; 就最大压应力来说, 方案一的压应力一直在 15 MPa 上下浮动, 方案二的压应力在时间步为 40 (开始落底)时, 开始增大到 15 MPa, 并在其上下浮动, 而之前隧道开挖过程中压应力是非常小的, 从施工安全的角度考虑, 方案二更加合理和安全.

3 结 论

通过大量计算得到了关键截面的应力云图和整个开挖过程中拉、压应力曲线图. 并根据拉、压应力云图研究分析, 建议兰州市南山伏龙平双层公路隧道的具体施工方案为分部开挖法(即方案二). 同时根据应力图分析, 为了确保安全施工, 在开挖过程中做好洞内的收敛量测工作, 做到信息化施工, 以便对开挖步骤和方法作有效的调整, 以便能够有效地控制围岩变形. 通过分析可得以下几点结论:

- (1)建议兰州市南山伏龙平双层公路隧道的具体施工方案为分部开挖法(即方案二);
- (2)隧道在施工过程中, 拉应力最大值出现在开挖时间步的第五步, 即掌子面距洞门距离不长, 其值为 5.3 MPa. 当隧道施工到此段时, 应注意应力监控量测和型钢加固;
- (3)隧道在施工过程中, 压应力最大值出现在开挖时间步的第五十步, 其值为 15.03 MPa. 当隧道施工到此段时, 应加强收敛量测和提高支护参数;
- (4)从应力图还可以看出, 此双层隧道的上层隧道的应力值较下层隧道的应力值要大, 应加强上层隧道拱部的围岩变形量测和初期支护的施做;

- (5) 拱顶沉陷最大值发生在拉应力最大处, 即在上层隧道靠近洞门处, 说明围岩自稳能力较强;
- (6) 横隔板上的应力应给予足够的重视, 必要时加大布筋密度;
- (7) 施工用水和围岩渗水要及时排除, 不要淤积在拱脚和墙脚;
- (8) 避免超欠挖, 尽可能的使开挖断面圆顺, 以减少应力集中. 在施工全过程中, 注意施工质量, 严格按设计图施工.

## 参考文献 References

- [ 1 ] 马 琪. 单管隧道内的双层地铁[ J ] . 城市轨道交通研究, 2003(5): 86-87.  
MA Qi. Double the subway in the single pipe tunnel[ J ] . Urban Mass Transit, 2003(5): 86-87.
- [ 2 ] 朱益涛. 地铁双层隧道试验研究[ J ] . 中国铁道科学, 2001(6): 84-86.  
ZHU Yi-shou. Experimental study in the single pipe tunnel[ J ] . China railway science, 2001(6): 84-86.
- [ 3 ] 王德毓, 李家城. 复兴东路南线 "破门" 而出双层隧道施工展开[ N ] . 东方网-劳动报, 2003-04-26(1).  
WANG De-liu, LI Jia-cheng. East Fuxing road downtown "break " double-decked tunnel construction spread out [ N ] . Eastday-Lao Dong, 2003-04-26(1).
- [ 4 ] 马朝晖. ANSYS 8.0 结构分析及实例解析[ M ] . 北京: 机械工业出版社, 2009.  
MA Zhao-hui. Structure analysis and examples to analyze of ANSYS 8.0 [ M ] . Beijing: Machinery industry press 2009.
- [ 5 ] 任 重. ANSYS 操作命令与参数化编程[ M ] . 北京: 机械工业出版社, 2003.  
REN Zhong. Operation command and parametric programming of ANSYS[ M ] . Beijing: Machinery industry press 2003.
- [ 6 ] 易 日. ANSYS 6.0 进行静力分析[ M ] . 北京: 北京出版社, 2004.  
YI Ri. Static analysis of ANSYS 6.0 [ M ] . Beijing: Beijing press, 2004.
- [ 7 ] 李 围. 隧道与地下工程 ANSYS 实例分析 [ M ] . 北京: 中国水利水电出版社, 2007.  
LI Wei. The example analysis of ANSYS for Tunnel and underground engineering[ M ] . Beijing: China Water Conservancy and Hydroelectricity press 2007.
- [ 8 ] 牛泽林, 李德武. 黄土地区单洞双层公路隧道有限元分析与研究 [ J ] . 公路, 2007(11): 221-223.  
NIU Ze-lin, LI De-wu. The Analysis And Study Of Sole Hole Double-Decked Highway Tunnel With Elasto-plastic Finite Element In Loess Area[ J ] . Railway, 2007(11): 221-223.

## Simulation and research on different construction method of the double-decked loess highway tunnel

NIU Ze-lin<sup>1,2</sup>, XIE Yong-li<sup>1</sup>, SONG Zhan-ping<sup>2</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract** Based on the elasto-plastic finite element method, the article, by the large-scale simulation software (the engineering module of ANSYS software), analyzes the spacial load conditions and deformation states of the surrounding rocks and lining in the different construction projects in the construction method of tunnel long step and partial excavation method. In the analysis, DP's yield criterion was employed for the elasto-plastic characteristics of materials. The results were analyzed and summed up for the structural design and construction on the strong theoretical support.

**Key words** elasto-plastic; finite element analysis; surrounding rocks; liner