

水平泥砂互层隧道围岩稳定性研究

常 伟

(中铁十二局集团 第三工程有限公司, 山西 太原 030024)

摘要:以大梁峁特长公路隧道为依托,针对水平层状岩体隧道,采用ANSYS数值分析软件将水平泥岩砂岩互层岩体等效为正交各向异性的方式,对隧道开挖过程中围岩稳定性进行了数值试验分析,通过分析围岩塑性区、围岩应力、隧道变形、锚杆轴力、初支及二衬内力,得出施工采用支护参数的合理性和水平泥岩砂岩互层隧道围岩变形和初支、二衬应力的分布特征。

关键词:公路隧道;水平层状围岩;数值模拟;正交各向异性;围岩稳定性

中图分类号:U452 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-0373(2013)02-0061-06

0 引言

随着我国隧道施工技术和机械化作业程度的不断提高,我国公路特长山岭隧道越来越多,但是在长高速公路隧道建设中的水平泥质砂岩地质条件下的隧道围岩稳定性还没有一个较深的认识。详细了解特殊地质条件下的围岩稳定性,是确保建设施工及工程运行安全以及节省工程投资的关键^[1]。

从力学角度来说,普遍认为围岩的失稳是由于围岩应力水平达到或者超过围岩的强度范围,从而形成一个连续贯通的塑性区和滑动面,是围岩产生较大变形,最终导致失稳^[2-3]。所以隧道围岩稳定性的研究实际是分析及评价围岩应力和变形^[4]。以大梁峁特长公路隧道为依托,针对水平泥砂交互层状岩体隧道,利用正交异性有限元分析方法,分析了隧道在开挖过程中的围岩塑性区、围岩应力、隧道变形、锚杆轴力、初支及二衬内力变化,据此评价隧道围岩稳定性,并验证支护参数的合理性^[5-6],对类似工程具有借鉴作用。

1 工程概况

1.1 工程地质

大梁峁隧道为山岭区双洞单向交通分离式长大隧道,左线K79+030~K83+308,长4 278 m,进口高程约为1 466.144 m,出口高程为1 430.75 m;右线YK79+048~YK83+355,长4 307 m,进口高程为1 466.342 m,出口高程为1 430.6 m。

隧道围岩由第四系新黄土及白垩系下统环池河组,以砂岩为主的泥砂岩互层组成,呈可塑-硬塑状态,属松软土。洞口边坡较陡,围岩稳定性差,岩体为中风化,岩石垂直节理发育,隧道洞室埋深较浅,开挖时易坍塌。并在ZK82+540~ZK82+580与YK82+570~YK82+610段有断层,围岩由白垩系下统环池河组,以砂岩为主的泥砂岩互层组成,中薄-中厚层状构造,水平层发育,风化类型为中风化,岩体较完整,雨季降水沿节理、裂隙下渗,开挖过程中存在漏水现象,对洞室稳定性影响较大。

1.2 施工方案支护参数

- (1) 喷射混凝土。强度C20,拱、墙厚200 mm。
- (2) 锚杆。拱部160°范围采用 $\Phi 22$ mm早强砂浆锚杆, $L=3.5$ m,间距1 200 mm $\times$ 1 000 mm。
- (3) 钢筋网。拱墙铺设,环 $\Phi 8$ $\times$ 纵 $\Phi 8$,网格间距200 mm $\times$ 200 mm。
- (4) 钢拱架。格栅钢架,纵向间距1 000 mm。

收稿日期:2012-12-18

作者简介:常伟 男 1980年出生 工程师

(5) 混凝土衬砌。C25 拱、墙、仰拱 400 mm。

(6) 预留变形量为 6 cm。

2 水平泥砂互层稳定性影响因素分析

隧道围岩稳定性取决于多种因素的综合影响,这些因素主要有围岩的工程地质特征、围岩的结构完整程度、受地质构造的影响程度、地下水的影响、岩体所受的静动力荷载、隧道几何尺寸及施工方案的选择^[3]。

大梁峁隧道水平泥岩砂岩互层围岩稳定性影响因素主要有三种类型。工程地质因素:包括岩体物理力学性质、岩体结构状态、地下水影响及其受构造影响因素;工程因素:包括隧道断面的大小和形状;施工因素:包括隧道施工的方法手段、支护时间和支护手段等。其中地质因素是影响围岩稳定性的最主要的因素。

2.1 工程地质因素

(1) 围岩的力学特性。强度和屈服值是围岩重要的力学特性。岩体受力后,其变形发展过程中岩块的强度是表征岩块抵抗变形的能力,实际反映岩块的物理力学性质。大梁峁隧道工程穿越泥砂岩互层,泥质粉砂结构,中薄-中厚层状构造,强风化层节理裂隙发育,岩体破碎,岩芯主要为散体状,岩体力学性质相对较弱,不能承受或仅能承受很小的拉应力,这是隧道拱部稳定性较差、容易产生掉块的主要原因。

(2) 围岩的岩体结构特征。结构面的存在破坏了岩体的完整性,成为岩体强度薄弱部位。大梁峁隧道发育的水平层状围岩以泥砂互层、泥质粉砂结构为主,岩质相对较软,砂岩以钙质为主,岩质相对较硬,岩性软硬相间,层间黏结力相对较差,节理发育,围岩完整性较差,且在隧道开挖后围岩应力调整时间较长,是容易产生拱部掉块、超挖、甚至塌方的主要原因之一。

(3) 地下水影响。大梁峁隧道洞身通过地层大部分地下水不发育。根据目前隧道开挖揭示的实际情况,隧道内地下水一般为点状或面状渗水,没有发现大量涌水,但这些少量的地下水致使围岩层间或结构面结合力降低,进而影响拱部围岩的稳定性。在大雨后或因其他原因地表水入渗,特别在隧道通过沟谷位置,地下水对围岩稳定性的影响较大,水使泥岩等软弱岩体软化,强度降低,增加了水压力,影响围岩的强度和结构面的抗剪强度。

2.2 工程及施工因素

主要为隧道的断面大小和形状,大梁峁双车道高速公路隧道开挖断面积为 107.64 m²,为大跨度隧道,洞形更为扁平(如图 1 所示),导致围岩稳定性变差。

施工因素包括开挖方法、炸药用量、支护方式等。大梁峁隧道Ⅳ级水平层状围岩边墙稳定较好,采用上下台阶法进行开挖,上台阶采用光面爆破,部分下台阶采用破碎锤开挖,尽量减少开挖扰动次数,避免多次放炮震动造成顶部岩板层间强度明显降低。支护方式及支护时机的选择对水平围岩稳定也有较大的影响,水平层状围岩拱部开挖后应力调整时间较长,塌方易发生在工作面后方,所以应尽快紧跟仰拱使结构尽早封闭,并尽快施工二次衬砌。

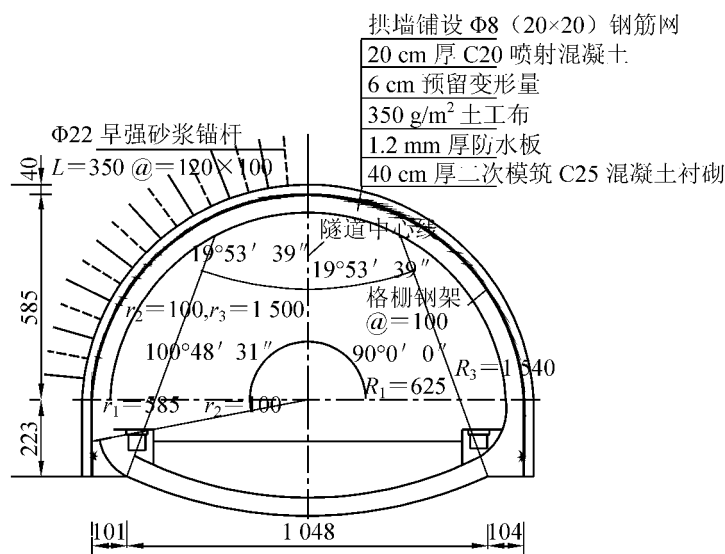


图 1 Ⅳ级水平泥岩砂岩互层段隧道断面设计图(单位:cm)

3 水平泥砂互层稳定性数值分析研究

3.1 计算分析模型及边界条件

计算分析用 ANSYS 数值分析软件建模,采用模型地层—结构模型进行模拟,围岩计算宽度范围左右为9倍开挖宽度,上表面到地面,隧道埋深按200 m进行考虑,隧道底板下部围岩深度为2倍开挖高度,隧道围岩、初支喷混凝土及二衬混凝土均采用平面四边形单元 Plane42 模拟,围岩材料为正交各向异性弹塑性材料,围岩屈服采用 DP 屈服准则,初支及二衬采用弹性材料模拟。锚杆采用 link1 连接单元模拟,弹性材料。约束条件为模型左右边界约束水平位移,模型底面边界约束竖向位移,地表面为自由表面。采用上下微台阶法开挖,施工过程采用单元的“生死”进行模拟。初支承担70%围岩压力,二衬承担30%围岩压力。计算模型及有限元网格划分如图2所示。

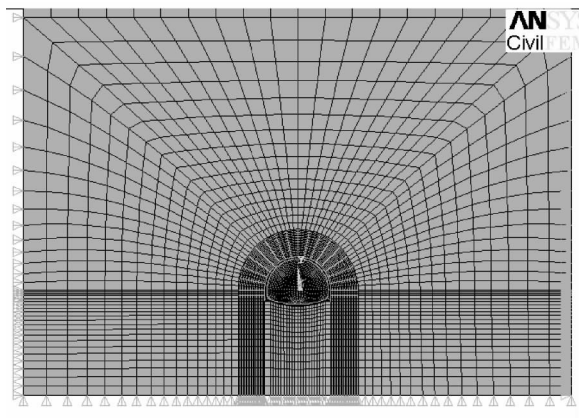


图2 计算模型及有限元网格划分(隧道局部)

3.2 计算参数

根据工程地质勘测报告及相关规范,计算中围岩及结构采用的物理力学参数见表1。

表1 围岩及结构物理力学参数

材料	重度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	内摩擦角/($^{\circ}$)	弹性模量/GPa	粘聚力/kPa	泊松比 μ
新黄土	19.5	19.4	0.043	250	0.30
老黄土	20.0	25.6	0.045	350	0.30
泥砂岩互层	23.0	35.0	12.9	500	0.22
中风化水平层状砂岩	23.5	37.0	15.0	800	0.20
C20 初支喷混凝土	22.0	—	21.0	—	0.20
C25 二衬混凝土	23.0	—	29.5	—	0.20
锚杆	77	—	210.0	—	0.31

注:其中泥砂岩互层和中风化水平层状砂岩弹性模量和泊松比为水平方向的数值。其具体参数见表2。

表2 正交各向异性围岩物理力学参数

材料	重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	内摩擦 角/($^{\circ}$)	粘聚力/ kPa	弹性模量/GPa			泊松比 μ			剪切模量 G /GPa		
				E_X	E_Y	E_Z	μ_{xy}	μ_{yz}	μ_{xz}	G_{xy}	G_{yz}	G_{xz}
泥砂岩互层	23.0	35.0	500	12.9	11.4	12.9	0.22	0.22	0.22	4.5	4.0	4.5
中风化水平层状砂岩	23.5	37.0	800	15.0	13.5	15.0	0.20	0.20	0.20	5.4	4.8	5.4

3.2 计算结果及分析

(1) 围岩应力、塑性区及变形特征。采用现场施工支护参数,计算得到围岩主应力如图3所示,围岩应力强度如图4所示,围岩塑性区如图5所示。

由图3可以看出,围岩主应力以压应力为主,在拱顶和仰拱部分第一、第二、第三主应力均为拉应力,最大拉应力为0.9 MPa,拉应力值虽不大,但水平泥岩砂岩互层隧道拱顶拉应力大于层间抗拉强度时,由于重力的作用,会发生掉块。围岩最大压应力产生在墙脚位置,最大值为13.0 MPa。

由图4可以看出,围岩主应力强度拱顶和仰拱底最小,最小值为0.08 MPa;在拱顶约3 m范围、仰拱底约8 m范围,最大深度7 m范围,应力强度值在1 MPa以下。

由图5可以看出,围岩塑性区位于拱脚、边墙和仰拱中心1~2 m的范围内,最大塑性应变发生在墙脚部位,最大值为173 $\mu\epsilon$ 。由此也可以看出,系统锚杆设置3.5 m的长度,大于围岩塑性区的范围,是较合理的。围岩位移如图6所示。

由图6可以看出,围岩竖直方向位移和水平方向位移均较小,围岩最大竖直方向位移在拱顶,即拱顶沉降,值为4.8 mm;水平方向最大收敛值在墙脚位置,收敛值为1.8 mm。

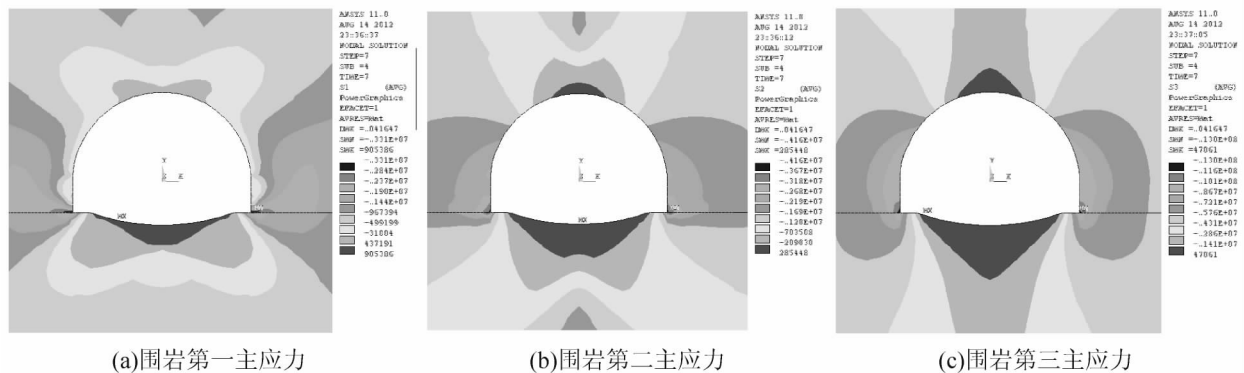
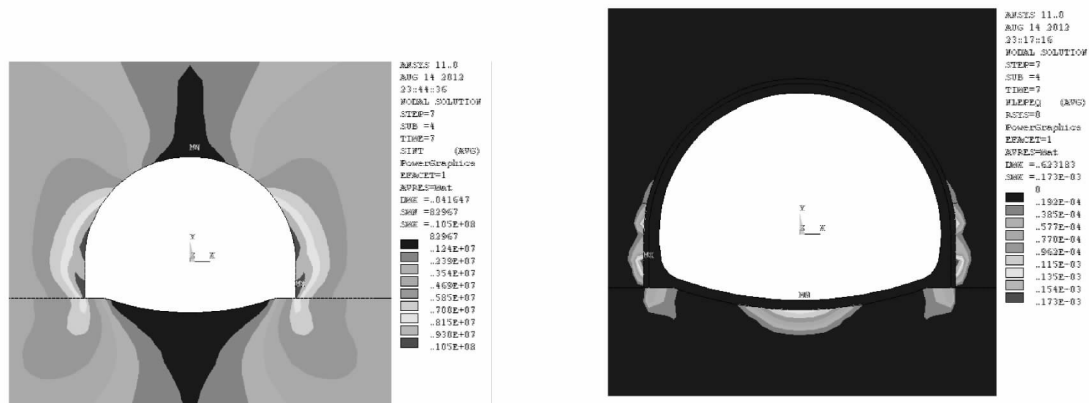


图 3 围岩主应力



(a) 围岩 Y 方向位移

(b) 围岩 X 方向位移

图 6 围岩位移

(2) 初支及二衬内力。计算得到初支最大及最小主应力如图 7 所示。

由图 7 可以看出, 初支主应力以压应力为主, 最大值 16.2 MPa, 发生在墙脚底部; 在拱顶和墙脚部位出现较小的拉应力, 最大拉应力值为 0.6 MPa, 发生在拱顶。初支结构是稳定的。

系统锚杆轴力如图 8 所示。

由图 8 可以看出, 系统锚杆轴力均为拉力, 拱顶锚杆轴力最大, 最大值为 10.2 kN; 拱部 120° 范围锚杆轴力较大。锚杆的最大轴力远远小于锚杆的设计轴力。

二衬最大及最小主应力如图 9 所示。由图 9 可以看出: 二衬主压应力最大值为 7.4 MPa, 发生在墙脚位置, 最大主拉应力值为 1.2 MPa, 远小于二衬混凝土的强度, 衬砌结构是稳定的。

3.3 计算分析结论

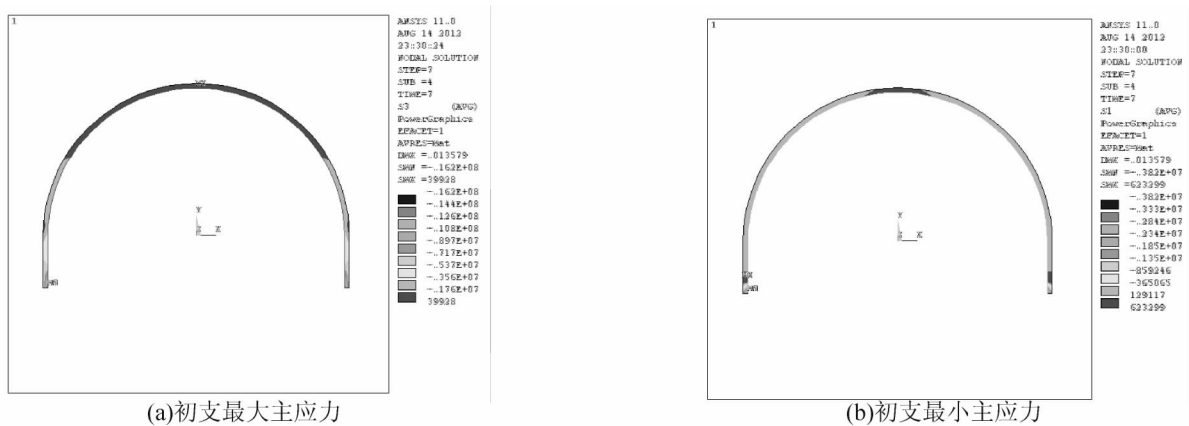


图7 初支最大、最小主应力

从以上分析可以看出: 施工采用的支护方案, 隧道开挖后围岩应力、塑性区及变形、初支及二衬应力、锚杆轴力均在设计范围内, 隧道围岩和结构均是稳定的, 支护参数比较合理, 但要施工中要注意隧道拱部围岩的受拉而产生掉块。

4 结论

(1) 大梁岭隧道水平泥岩砂岩互层围岩稳定性影响因素主要有工程地质因素、工程因素及施工因素, 其中地质因素是影响围岩稳定性的最主要的因素。

(2) 通过分析围岩塑性区、围岩应力、隧道变形、锚杆轴力、初支及二衬内力, 得出施工采用支护参数的合理性。

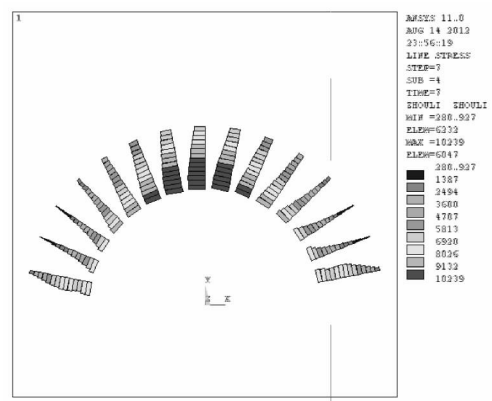


图8 系统锚杆轴力

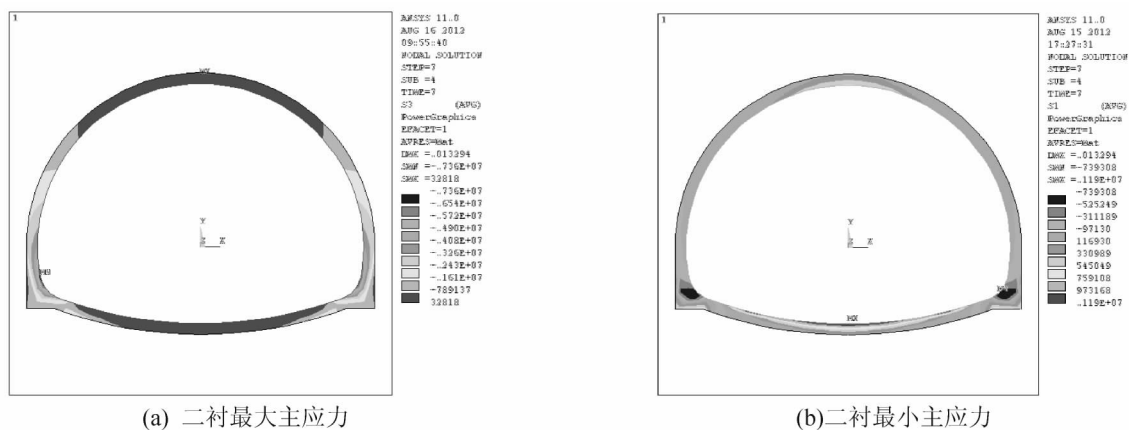


图9 二衬主应力

和水平泥岩砂岩互层隧道围岩变形和初支、二衬应力的分布特征。

(3) 由于水平泥砂互层围岩裂隙发育且较为软弱, 且计算结果显示开挖后拱部支护由拉应力产生, 易使拱部产生塌方及掉块, 在施工中需要注意。

参 考 文 献

- [1] 徐志英. 岩石力学[M]. 北京: 水利水电出版社, 1986.
- [2] 许传华, 任青文. 地下工程围岩稳定性分析方法研究进展[J]. 金属矿山, 2003(2): 34-37.
- [3] 廖明. 层状砂岩隧洞围岩的稳定性研究[D]. 长沙: 中南大学土木工程学院, 2008.

- [4]徐平,张风,周述达.三峡工程地下厂房洞室群围岩稳定性及加固效果数值分析[J].岩石力学与工程学报,2000,19(增刊):952-956.
- [5]冯文凯,石豫川,王兴平,等.高速公路隧道水平层状围岩支护优化[J].中国公路学报,2009,22(2):65-70.
- [6]刘泮兴,任秋儒,朱永全.锚杆支护在整治高地应力软岩隧道大变形的效应分析[J].石家庄铁道学院学报,2006(1):27-29.

Stability Study of Tunnel with Surrounding Rock of Inter-layered Mudstone and Sandstone

Chang Wei

(The 3th Engineering Co., Ltd. of China Railway 12th Bureau Group, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Based on the horizontally bedded surrounding rock of the Da-Liangmao extra-long highway tunnel, the stability of surrounding rock has been studied by the numerical simulation. The horizontally mudstone and sandstone inter-layered rock mass is equivalent to the orthogonal anisotropic material in ANSYS. Through the analysis of the surrounding rock plastic zone, surrounding rock stress, tunnel deformation, the inner force of an anchor and internal force of lining, the rationality of the support parameter and the distribution characteristics of the tunnel deformation and internal force of lining are studied.

Key words: highway tunnel; horizontally bedded surrounding rock; numerical simulation; orthotropic; stability of surrounding rock

(责任编辑 刘宪福)

(上接第 55 页)

- [8]姚振凯,黄运平,彭立敏.公路连拱隧道工程技术[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [9]庄宁,朱苦竹,李伟军.偏压连拱隧道施工的动态模拟及最优化分析[J].岩土力学,2009,30(9):2875-2880.
- [10]王军,夏才初,朱合华,等.不对称连拱隧道现场监测与分析研究[J].岩石力学与工程学报,2004,23(2):267-271.
- [11]朱正国.连拱隧道围岩压力计算方法与动态施工力学行为研究[D].北京:北京交通大学土木工程学院,2007.
- [12]朱青峰.不稳定地层大跨度双联拱隧道综合施工技术[J].铁道标准设计,2009(2):104-105.

Numerical Simulation Study on Subsurface Excavation Method of Large Cross-section and Multi-arch Tunnel

Li Huaijian, Zhang Guiyang

(Urban Mass Transit Division of the 3rd Railway Survey & Design Institute Group Co. Ltd. Tianjin 300251, China)

Abstract: For shallow double-arch tunnels, plenty of excavation steps and supports are often required, resulting in complex interactions between surrounding rocks and structure, and ground displacements somewhat deviate from the results of classical settlement trough theory, so the selection of construction method always depends on engineering experiences. In view of the above problems, based on the project of Shijiazhuang six-lane double-arch tunnel going under Shijiazhuang-Taiyuan railway, plane strain finite element method is adopted to simulate three kinds of construction methods, and the results of rock stresses, plastic zone distributions, supporting member forces and ground surface settlement are studied to reveal the characteristics and differences among three methods. Valuable conclusions are obtained for future reference in similar shallow double-arch tunnel projects.

Key words: double-arch tunnel; construction method; finite element method; plane strain; settlement trough

(责任编辑 车轩玉)