

文章编号:1671-8879(2014)01-0070-06

泥质粉砂岩山岭公路隧道围岩变形

马一跃^{1,2}, 董辉^{1,3}, 胡自然¹, 王敏¹

(1. 湘潭大学 土木工程与力学学院, 湖南 湘潭 411105; 2. 浙江广厦建设职业技术学院 建筑工程学院, 浙江 东阳 322100; 3. 湘潭大学 流变力学研究所, 湖南 湘潭 411105)

摘要:为分析不同围岩级别对泥质粉砂岩隧道的影响,依托贵州沙家坪隧道不同围岩级别的拱顶沉降和周边收敛进行分析;同时考虑隧道浅埋段多为破碎岩体,是隧道开挖工程中最危险地段;结合沙家坪隧道进出口地表浅埋段埋深数据,分析浅埋段埋深深度对拱顶沉降的影响。研究结果表明:泥质粉砂岩隧道相对其他岩类(峨眉山玄武岩、灰岩)隧道在低围压下流变滞后现象较明显,不易发生瞬态破坏,洞口段与中间深埋段围岩变形相差不大;拱顶沉降主要集中在距离洞口100~200 m地下水和煤层较发育地段,平均沉降为-7 mm,累计沉降在-8 mm上下波动,同时煤层对隧道围岩的变形存在重大安全隐患;距离洞口0~60 m隧道的累积周边收敛值及波动较大;对于泥质粉砂岩隧道,浅埋段埋深厚度对隧道围岩变形影响较弱。

关键词:隧道工程;泥质粉砂岩;拱顶沉降;周边收敛;地表浅埋

中图分类号:U451.2

文献标志码:A

Surrounding rock deformation of argillaceous siltstone tunnel in mountain road

MA Yi-yue^{1,2}, DONG Hui^{1,3}, HU Zi-ran¹, WANG Min¹

(1. School of Civil Engineering and Mechanics, Xiangtan University, Xiangtan 411105, Hunan, China;
2. College of Construction Engineering, Zhejiang Guangsha College of Applied Construction Technology, Dongyang 322100, Zhejiang, China; 3. Institute of Rheological Mechanics, Xiangtan University, Xiangtan 411105, Hunan, China)

Abstract: In order to analyze the impact of different levels of surrounding rock on argillaceous siltstone tunnel, the information of vault subsidence and surrounding rock convergence of Shajia-ping tunnel in Guizhou province was used for analysis. The shallow-buried segment of tunnel was the most dangerous area with fractured rock. The data of shallow-buried segment of entrances and exits were used to analyze the influence of shallow-buried depth on vault subsidence. The results show that relative to other rock (Emeishan basalt, limestone) tunnels argillaceous siltstone tunnel in low confining pressures is easy to have rheological lagging but not easy to have transient damage, and surrounding rock deformations in the tunnel mouth segment and intermediate buried section have on difference. Vault subsidence mainly concentrates in the groundwater and coal seam development area 100 to 200 m around the mouth of the tunnel, the average settlement is -7 mm and cumulative settlement is fluctuating around -8 mm. At the same time the coal seam

收稿日期:2012-04-10

基金项目:国家自然科学基金项目(51108397);湖南省教育厅计划项目(10C1285)

作者简介:马一跃(1988-),男,浙江东阳人,浙江广厦建设职业技术学院教师,湘潭大学工学硕士,E-mail:510791004@qq.com。

is a hidden trouble for the deformation of surrounding rock. About 0~60 m from the mouth the accumulation of peripheral convergence value changes obviously for the argillaceous siltstone tunnel, the depth of shallow-buried segment has little influence on the deformation of the surrounding rock. 2 tabs, 9 figs, 11 refs.

Key words: tunnel engineering; argillaceous siltstone; vault subsidence; surrounding rock convergence; shallow-buried segment

0 引 言

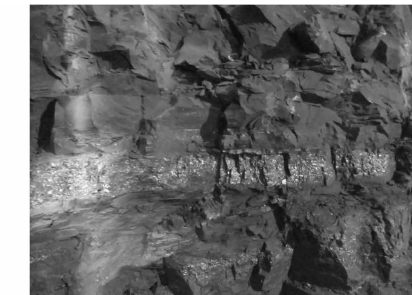
泥质粉砂岩是指泥质成分占到粉砂岩总质量 25%~50% 的一种软质岩石,大量分布于中国各地^[1-2]。周峙等对中国各地区的泥质粉砂岩力学性能和特性进行了研究,该类岩石具有承载力低、变形模量小、节理发育、岩芯多呈碎块状,遇水浸泡后极易风化软化,曝晒后开裂等特征^[2]。泥质粉砂岩组成的山体受到隧道开挖的扰动极易发生坍塌,Oku 等利用真三轴分析了沙泥岩在外力作用下断层和断层角的形成,但在隧道施工现场,只有及时地了解隧道围岩的变形情况,才能正确的预测事故或险情^[3-5]。另外,隧道开挖过程中浅埋段为最危险地段,该地段地层较薄,多属于强风化带,围岩一般较破碎并夹有土层,稳定性差,在开挖时岩体难以形成承载拱,围岩形变过大易导致隧道塌方等隧道灾害^[6-8]。

为此,本文结合贵州沙家坪隧道的拱顶累积沉降值和累积周边收敛值,重点分析围岩级别与泥质粉砂岩隧道变形的相互关系;依托隧道进出口浅埋段拱顶沉降数据,分析不同浅埋深度对拱顶沉降的影响。

1 工程概况及检测方案

1.1 工程概况

沙家坪隧道位于贵州省境内晴隆至兴义高速公路建设项目 T1 合同段内,该工程段分布有峨眉山玄武岩(登攀隧道、陈芋头隧道)、泥质粉砂岩、灰岩、砂岩(沙家坪隧道、扒三田隧道)等多种岩体。其中,沙家坪隧道出露地层有:覆盖层为第四系残坡积层含碎石粉质粘土,下覆二叠系上统龙潭组泥质粉砂岩、粉砂岩、泥灰岩与泥岩互层,间夹煤层(图 1)。场区地下水类型主要为基岩裂隙水,富存于泥质粉砂岩风化裂构造裂隙中,属上层滞水。场区地下水主要靠大气降水补给,雨水渗入砂泥岩风化裂隙中,径流距离较短,多就近出露。地下水对弱透水层有酸性强腐蚀性,同时出口处洞体顶板有上层滞水存在。



(a) YK10+414 灰色弱风化泥岩与煤互层(岩质较软)



(b) ZK10+732 灰色~灰黑色、薄层~中层状中风化泥质粉砂岩、泥岩

图 1 沙家坪隧道泥质粉砂岩图片

Fig. 1 Argillaceous siltstone of Shajiaping tunnel

沙家坪隧道左洞起讫桩号为:ZK9+690~ZK10+823,全长 1 133 m;右洞起讫桩号为:YK9+645~YK10+822,全长 1 177 m。隧道左右幅均为上坡,左幅进口段纵坡坡度为 0.45%,右幅进口段纵坡坡度为 3.44%,洞身及出口段纵坡坡度为 0.5%(图 2)。

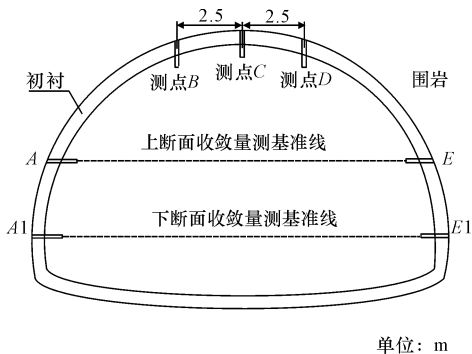


图 2 周边收敛与拱顶沉降测点布置

Fig. 2 Surrounding rock convergence and vault subsidence's measuring points

1.2 检测方案

沙家坪隧道采用新奥法分上下台阶开挖,现场变形监控时布置 7 个测点,测点分别布置在拱顶及两侧,收敛量测上断面(A-E)和下断面(A1-E1),各布置一条水平基线,基线高度分别位于拱腰及边墙上 1.0~1.2 m 处;拱顶下沉布置 3 个测点(B、C、D),间距 2.5 m,见图 2。测点埋设后 15 d 内每天量测 1~2 次,15~30 d 内 1~2 d 量测一次,1 月后 3~7 d 量测一次,特殊地段视具体情况加密监测频率。

2 不同围岩级别对拱顶沉降的影响

为了研究不同围岩级别对隧道拱顶沉降的影响,采用沙家坪隧道左线 51 个断面 153 个测点;右线 56 个断面 168 个测点的累积拱顶沉降数据与左、右线围岩级别进行对比(图 3、图 4)。最终数据截止日期满足围岩位移值(回归速率值或 3~5 d 平均值)小于 0.2 mm/d,此时可判断围岩达到基本稳定,周边收敛值的稳定标准与此相同。

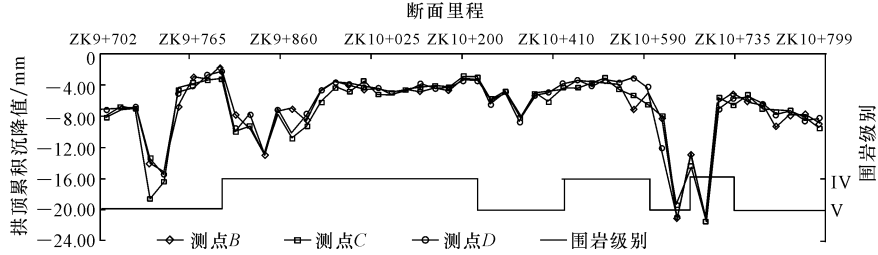


图 3 左线围岩拱顶累积沉降值与围岩级别关系

3 Relationship between cumulative vault subsidence and level of surrounding rock in left tunnel

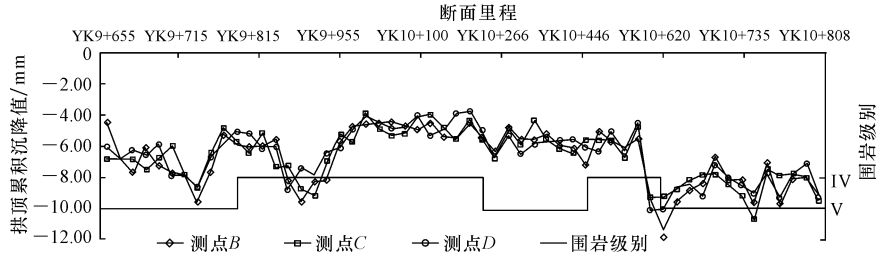


图 4 右线围岩拱顶累积沉降值与围岩级别关系

4 Relationship between cumulative vault subsidence and level of surrounding rock in right tunnel

根据图 3、图 4,分析得到以下结论。
(1)整体观测,左、右线较大的拱顶沉降基本上都分布在 V 级围岩段(基本上累积沉降值均在一 10 mm 左右波动),而同为 V 级围岩的洞口处,拱顶沉降明显大于中间深埋段,这是由于洞口处地下水较发育泥质粉砂岩遇水极易软化水解。与本标段其他岩类(峨眉山玄武岩、灰岩)隧道在低围压下流变滞后现象较明显,不易发生瞬态破坏,能及时监测到隧道变形为支护提供工程参照。

(2)在距离洞口 100~200 m 左右区段,隧道沉降量、波动相对较大,但从整体观察,隧道拱顶沉降基本上在一 7 mm 上下波动,整条隧道在塑性变形过程中无明显空间效应。而本标段其他以硬岩为主要围岩的隧道,洞口处拱顶沉降、波动明显较中间深埋段大,累积沉降值达到-30 mm(图 5),中间深埋段基本上为一 10 mm。

(3)在左线个别断面出现较大的拱顶沉降值达到-20 mm,这主要是受左线煤层与地下水影响,属特殊情况。

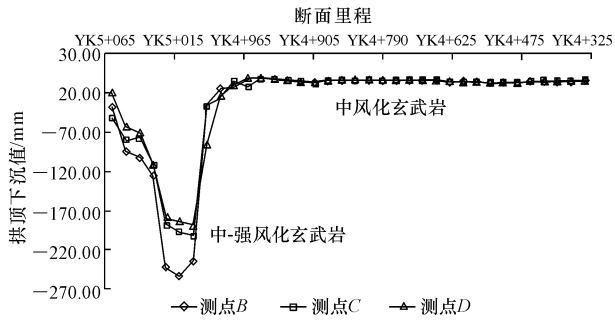


图 5 玄武岩隧道拱顶沉降
Fig. 5 Vault settlement of basalt tunnel

3 不同围岩级别对周边收敛的影响

采用沙家坪隧道左线 51 个断面上下台阶各 51 个测点;右线 56 个断面上下台阶各 56 个测点的累积周边收敛值与左、右线围岩级别进行对比,如下页图 6、图 7 所示。根据图 6、图 7,分析得到以下结论。

(1)隧道中间深埋段上下台阶收敛值变化趋势

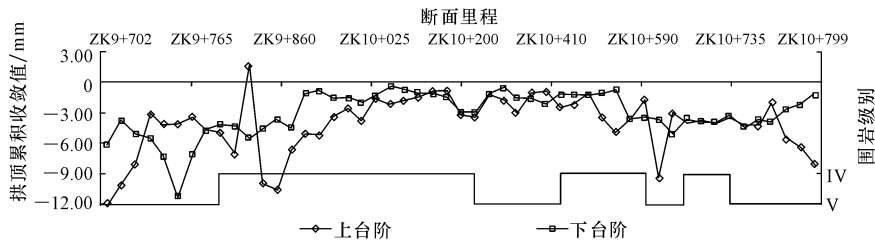


图 6 左线围岩拱顶累积周边收敛值与围岩级别关系

Fig. 6 Relationship between cumulative surrounding rock convergence and level of surrounding rock in left tunnel

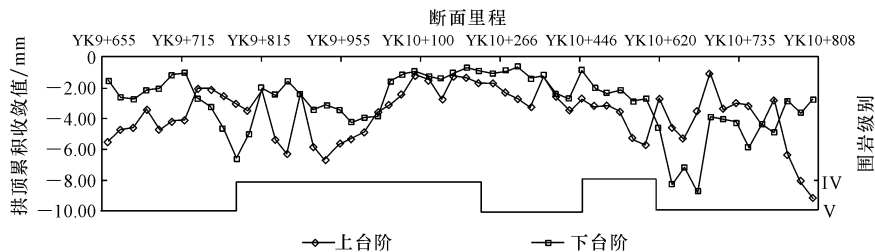


图 7 右线围岩拱顶累积周边收敛值与围岩级别关系

Fig. 7 Relationship between cumulative surrounding rock convergence and level of surrounding rock in right tunnel

吻合度较好,而隧道两边洞口段吻合性较差。整条隧道上下台阶收敛值较小,围绕在-4 mm 上下波动,而本标段其他岩类(峨眉山玄武岩、灰岩)隧道洞口处周边收敛值及波动明显大于中间深埋段,中间深埋段基本上只有-1.5 mm。

(2)隧道周边收敛值受上行与下行洞之间的相互影响较小,而受上下断面开挖影响较大,尤其是上断面在受掌子面和下断面开挖的双重扰动下,整体收敛值较下断面大。

(3)单洞的周边收敛规律与围岩级别和裂隙水精密相关,尤其在距离进、出洞口 0~60 m 左右的 V 级围岩区段,上断面的周边累积收敛值均较大,最大收敛值也分布于此,这是因为该处围岩破碎且有地下水和裂隙水发育。

(4)单个断面收敛变化与掌子面的时空关系在掌子面开挖后一周时间内、下断面及仰拱开挖前后 3 d 时间内波动较大,随后逐渐趋于平缓,最后达到稳定;空间上,在据掌子面 20 m 以内、下断面开挖及仰拱开挖前后 20 m 内波动较大,20~50 m 处于正常变形阶段,50~100 m 趋于稳定,100 m 以后基本稳定。

(5)从整体上看右线上、下断面的收敛波动均较左线大,这主要是因为右幅出水现象比较频繁,裂隙水较多。

4 拱顶沉降和周边收敛波形图的分析

为了进一步分析围岩的变形波动情况,本文选用计量经济学软件 Eviews 对特殊区段进行研究^[9]。

如上节分析,在距离洞口 200 m 左右区段,波动和沉降量均相对较大,因此选用该区段 C 点(3 个拱顶沉降最中间的一点)的沉降值作为作为研究对象,分析其波动的情况,见表 1;周边收敛值波动较大的区段位于距离进、出洞口 60 m 左右的区段,而下断面的波动较上断面大,因此本文选用该区段下断面的周边收敛值作为研究对象进行分析,分析结果见下页表 2。

表 1 拱顶沉降波动曲线

Tab. 1 Vault settlement fluctuations curve

参数	左线		右线	
	进口	出口	进口	出口
平均值/mm	-8.83	-9.13	-6.65	-8.30
中位数/mm	-8.18	-7.24	-6.69	-8.15
最大值/mm	-18.69	-21.63	-8.66	-10.72
最小值/mm	-3.35	-4.60	-4.77	-4.74
标准差/mm	4.52	5.19	1.02	1.32
偏 度	-0.75	-1.52	0.08	0.90
峰 度	2.90	3.93	2.75	5.01

从表 1 可以发现,左右线进出洞口处拱顶沉降的平均值与中位数相差不大,这说明该区段的拱顶沉降一般为-8 mm 左右。表中偏度是分布偏斜方向和程度的度量,正态分布的偏度为 0;峰度是描述分布形态的陡缓程度,正态分布的峰度为 3。从表 1 可以发现,拱顶沉降曲线接近于正态分布;从下页表 2 的数据可以发现,周边收敛受各方面的影响较大,在隧道开挖过程中并没有一个明确的波动范围,但周边收敛值波动较拱顶沉降小。

表 2 周边收敛波动曲线

Tab. 2 Surrounding rock convergence fluctuations curve

参数	左线		右线	
	进口	出口	进口	出口
平均值/mm	-6.55	-3.00	-1.90	-4.07
中位数/mm	-6.08	-3.17	-2.02	-4.21
最大值/mm	-11.32	-4.40	-2.80	-5.89
最小值/mm	-3.73	-1.21	-1.01	-2.69
标准差/mm	2.43	1.12	0.70	1.15
偏 度	-1.01	0.33	0.01	-0.20
峰 度	3.26	1.95	1.55	2.00

5 浅埋段浅埋深度与拱顶沉降关系

隧道进出口、浅埋段由于埋置深度较浅,爆破施工引起的岩层位移会波及地表无法形成天然承载,围岩受扰动或者破坏,易发生坍塌、冒顶事件^[10-11]。为了寻找浅埋地段埋设深度的大小对围岩的影响,本文选用沙家坪隧道进出口 4 个浅埋地段的拱顶累积沉降数据,与地表浅埋深度进行分析,如图 8、下页图 9 所示。地表埋深小于隧道的两倍直径为隧道的浅埋地段,沙家坪隧道采用直径为 11.1 m 的单心圆,因此沙家坪隧道浅埋段最大埋深为 22.2 m。

隧道拱顶沉降的大小受地球引力、围岩级别、地下水的发育程度和施工过程等各方面的影响,不同地层条件下的差异也较大。通过图 8、图 9 对比沙家坪隧道浅埋段地表埋深与拱顶沉降的关系,可以发现浅埋段地表埋深深度对拱顶沉降影响不大,进出洞口处泥质粉砂岩隧道拱顶沉降主要受地下水的影 响。造成以上现象主要有以下几个原因:①洞内监控得到的拱顶沉降数据多为隧道初支之后围岩的变形情况,而非拱顶土体实际下沉量,所测得的拱顶沉降更多的由于土体松散所引起;②受洞内施工环境的影响,拱顶的埋设及初次量测不及时,围岩前期的变形监测会受到一定的损失;③图 8 中出现较大的拱顶沉降达到-20 mm,这主要是受该处的地下水和煤层的影响,属于个别现象,与地表埋深无明显关系。

由上可见:拱顶沉降与周边收敛,更多地反映支护结构和围岩的局部稳定情况。虽然浅埋段多为强风化破碎岩石,但只要加以足够强度的初支就能有效地抑制土体的变形。

6 结 语

(1)相对于本标段其他岩类隧道,泥质粉砂岩隧道在低围岩下流变滞后现象更明显,不易发生瞬态

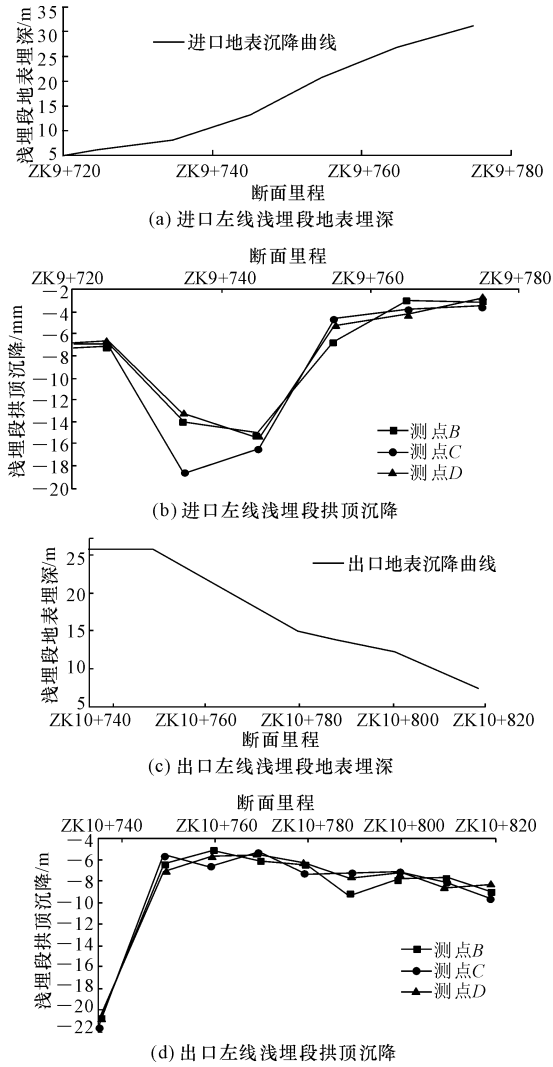


图 8 沙家坪隧道左线进出口地表浅埋深度与拱顶沉降关系
Fig. 8 Relationship between depth of shallow-buried segment and vault subsidence in left tunnel

破坏,隧道变形主要受地下水软化影响,在施工时应重点注意地下水的控制。

(2)隧道洞口处与中间深埋段变形无明显界限,其中拱顶沉降主要发生在距离洞口 100~200 m 区段,沉降量在-8 mm 上下波动,同时在含煤量较多地段,通常围岩变形较严重,在类似隧道施工时应重点对该区段进行监测;在隧道开挖过程中周边收敛受各方面影响较大,在距离洞口 0~60 m 区段累积周边收敛值及波动均较大,且当隧道分台阶开挖时,上断面开挖对下断面的收敛影响较大。

(3)泥质粉砂岩隧道地表浅埋段埋深深度对拱顶沉降影响较弱,在类似岩体隧道施工时应重点控制地表水的流向以免渗入隧道。

(4)泥质粉砂岩作为软岩中的一种,以该类岩石组成的隧道受地表水的影响较大,因此在后续研究中应进一步分析地表水对泥质粉砂岩隧道的影响。

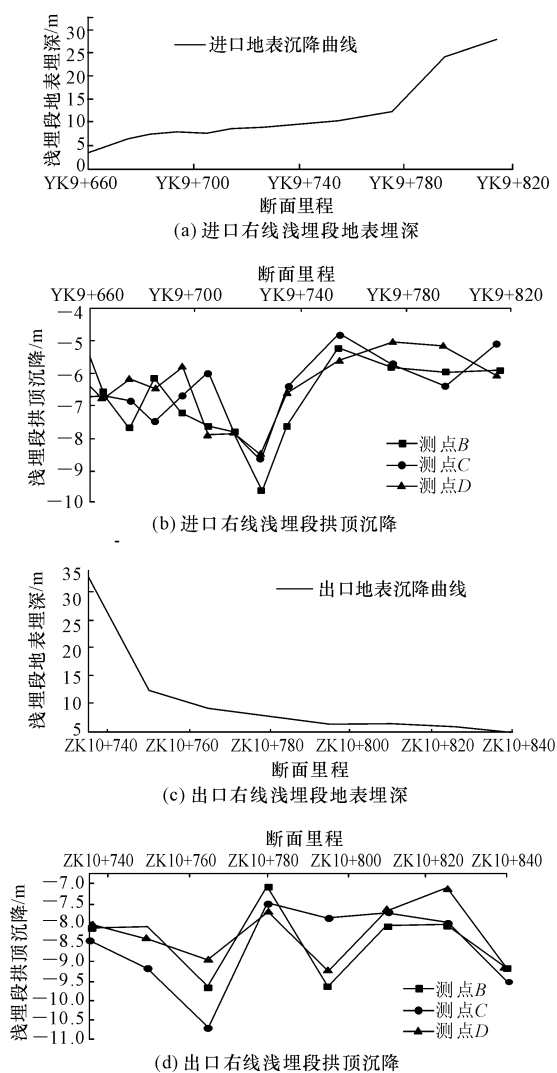


图9 沙家坪隧道右线进出口地表浅埋深度与拱顶沉降关系

Fig. 9 Relationship between depth of shallow-buried segment and vault subsidence in right tunnel

参考文献:

References:

- [1] 熊亮,朱杰勇,朱林生,等.滇东北铅锌成矿带会泽金牛厂筇竹寺组含矿层的发现及意义[J].矿产与地质,2010,24(6):507-512.
XIONG Liang, ZHU Jie-yong, ZHU Lin-sheng, et al. Discovery of ore bearing layer in Qiongzhu group of Jin-niuchang in Huize along northeast Yunnan lead and zinc ore belt and its significance[J]. Mineral Resources and Geology, 2010, 24(6): 507-512. (in Chinese)
- [2] 周峙,张家铭.巴东组紫红色泥质粉砂岩损伤特性三轴试验研究[J].水文地质工程地质,2012,39(2):56-73.
ZHOU Zhi, ZHANG Jia-ming. A triaxial testing study of the damage characteristics of purple argillaceous siltstone of the Badong formation[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2012, 39(2): 56-73. (in Chinese)

- [3] Oku H, Haimson B, Song S R. True triaxial strength and deformability of the siltstone overlying the Che-lungpu fault (Chi-Chi earthquake), Taiwan[J]. Geophysical research letters, 2007, 34(9): 1-5.
- [4] Haimson B, Rudnicki J W. The effect of the intermediate principal stress on fault formation and fault angle in siltstone[J]. Journal of Structural Geology, 2010, 32(11): 1701-1711.
- [5] 侯龙清,胡明华,陈韧.泥质粉砂岩点荷强度与单轴抗压强度对比研究[J].路基工程,2008(6):26-27.
HOU Long-qing, HU Ming-hua, CHEN Ren. Argilla-ceous siltstone point load strength and comparative study on the uniaxial compressive strength[J]. Sub-grade Engineering, 2008(6): 26-27. (in Chinese)
- [6] 黄宗英.隧道浅埋偏压段数值模拟和监控量测技术研究[D].西安:长安大学,2009.
HUANG Zong-ying. Study on numerical simulation and monitoring technology of the shallow bias tunnel [D]. Xi'an: Chang'an University, 2009. (in Chinese)
- [7] 王喜华,赵志明,尹建勋,等.雅鲁藏布江峡谷段盆因拉隧道岩爆预测[J].地球科学与环境学报,2013,35(2):115-119.
WANG Xi-hua, ZHAO Zhi-ming, YIN Jian-xun, et al. Rockburst prediction of Penyinla tunnel in brahmapu-tra valley section[J]. Journal of Earth Sciences and Enviroment, 2013, 35(2): 115-119. (in Chinese)
- [8] 吕远强,苏生瑞,安光明,等.云南思小高速公路白花山隧道围岩稳定性研究[J].地球科学与环境学报,2005,27(2):86-89.
LU Yuan-qiang, SU Sheng-rui, AN Guang-ming, et al. Surrounding rock stabilization of Baihuashan tunnel of Si-Xiao express way in Yunnan province[J]. Journal of Earth Sciences and Enviroment, 2005, 27(2): 86-89. (in Chinese)
- [9] 肖林萍,李永树.连拱隧道拱顶沉降数值分析[J].测绘工程,2008,17(5):16-18.
XIAO Lin-ping, LI Yong-shu. Numerical analysis on the top of double-arch tunnel[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2008, 17(5): 16-18. (in Chinese)
- [10] Granger C W J, Huang B N, Yang C W. A bivariate causality between stock prices and exchange rates: evidence from recent Asian flu[J]. The Quarterly Review of Economics and Finance, 2000, 40(3): 337-354.
- [11] 张顶立,黄俊.地铁隧道施工拱顶下沉值的分析与预测[J].岩石力学与工程学报,2005,24(10):1703-1707.
ZHANG Ding-li, HUANG Jun. Analysis and prediction of vault crown settlement in metro tunneling at shallow depth [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(10): 1703-1707. (in Chinese)