

# 既有浅埋公路隧道原位扩容围岩变形

徐子良\*, 王国科, 李忠朝, 高航

(浙江佳途勘测设计有限公司, 浙江 丽水 323000)

**摘要:**针对既有浅埋公路隧道原位扩容方式对围岩变形影响程度问题,采用FLAC<sup>3D</sup>数值模拟软件,对既有浅埋公路隧道单侧扩容方式和均匀扩容方式对隧道围岩变形的影响进行数值模拟分析研究.研究表明:既有公路隧道均匀扩容方式下的顶底板收敛量大于单侧扩容方式下的顶底板收敛量,而均匀扩容方式下的两帮收敛量小于单侧扩容方式下的两帮收敛量;既有公路隧道原位扩容可导致围岩产生一定量的变形,但变形量未对隧道安全性造成明显影响.在围岩属于稳定级别时,扩容方式对围岩变形影响不明显,在施工时只需进行常规支护.

**关键词:**公路隧道;原位扩容;FLAC<sup>3D</sup>;围岩变形

中图分类号:U455.4

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2018)03-0052-06

## Deformation of Surrounding Rock with in-situ Expansion of Shallow Highway Tunnel

Xu Ziliang, Wang Guoke, Li Zhongchao, Gao Hang

(Zhejiang Jiatsu Survey & Design Co., Ltd., Lishui 323000, China)

**Abstract:** Aimed at the influence degree of the in-situ expansion of the existing shallow highway tunnel on the surrounding rock deformation, the numerical simulation software FLAC<sup>3D</sup> is applied to simulate and analyze the influence of the uniform expansion way and the unilateral expansion way of the existing shallow highway tunnel on the surrounding rock deformation. Research results show that the convergence rate of the top and bottom roof under the uniform expansion way is larger than that of the single side expansion way, while the convergence rate of the two sides under the uniform expansion way is less than that under the unilateral expansion way. The in-situ expansion of highway can lead to produce a certain amount of deformation, but it does not affect the safety of tunnel. When it is at the stable level, the expansion mode of surrounding rock deformation is not obvious. In construction, it is only necessary to carry out conventional support.

**Keywords:** highway tunnel; in-situ expansion; FLAC<sup>3D</sup>; deformation of surrounding rock

隧道在交通运输中发挥着不可替代的作用.但是目前存在大量既有隧道不能满足交通运输需求.因此,对既有隧道原位扩容改建显得尤为重要.隧道原位扩容改建是指在原有隧道的基础上,拆除原有支护结构后对周围围岩体进行扩挖,以增大隧道断面,形成符合使用要求的新隧道.与新建隧道相比,隧道原位扩容改建有很大区别.目前对隧道围岩稳定性影响的研究主要集中在新建隧道围岩稳定性研究方面,如Fang Y<sup>[1,2]</sup>、W.R. Abdellah<sup>[3]</sup>和Yang Y<sup>[4]</sup>等研究了其他岩土工程施工对隧道围岩结构稳定性的影响.而文献调研表明,现有隧道原位扩容的研究主要集中在扩容方式和施工方法方面<sup>[5]</sup>.现行隧道原位扩容的方式主要有单侧扩挖、双侧扩挖和周围扩挖3种.高干<sup>[6]</sup>通过数值模拟研究了隧道采用单侧扩建和双侧扩建、右侧小净距扩建以及左侧小净距扩建方式下隧道结构的稳定性及围岩的受力和变形情况;来弘鹏<sup>[7]</sup>结合

收稿日期:2017-07-10

\* 通信作者, E-mail: 32937190@qq.com

依托工程实际条件分析了隧道新旧衬砌结构的受力特点,研究了不同类型的扩建型式下的隧道围岩压力分布规律,并将实验结果与有限元计算结果进行了对比验证;胡居义<sup>[8]</sup>在原位扩建隧道围岩变形及力学特征研究一文中利用数值模拟手段建立新建四车道和原位扩建四车道隧道的力学计算模型,得出隧道扩建施工过程围岩的位移、应力、应变等规律;R. Das<sup>[9]</sup>等对高山区域隧道围岩结构安全稳定性进行了分析,研究结果表明山区隧道围岩受力特征更复杂,并且认为隧道围岩变形偏离了隧道轴线;C. Lin<sup>[10]</sup>等研究了隧道附近河流对隧道改扩建过程结构失稳能产生重大影响;C. Yuan<sup>[11]</sup>等研究了隧道周围其他建筑物对隧道二次施工围岩稳定性的影响,研究结果表明其他建筑物对隧道围岩稳定性影响较大;金波<sup>[12]</sup>结合某隧道扩建工程的实际研究,对四车道扩建为八车道隧道的设计、施工及扩建型式进行了分析;朱根桥<sup>[13]</sup>对原位扩建隧道围岩力学响应机理和原位扩建隧道开挖围岩变形特征进行了研究;G. Barla<sup>[14]</sup>对隧道改扩建类型、改扩建原则和改扩建形式进行了研究。

从上述分析可知,目前对既有隧道原位扩容虽有一定的研究,但还没有形成成熟的理论体系和完善的设计施工方案以及相应的配套技术,所以对隧道原位扩容方式进行研究可在一定程度上可丰富这一方面的理论.目前隧道围岩稳定性和施工的研究方法主要有数值分析法、解析法、工程地质法和模型试验法.而数值分析作为国际通用的岩土工程专业分析软件,由于其强大的计算功能和广泛的模拟能力,广泛应用于隧道施工模拟中.所以,通过专业的数值分析软件 FLAC<sup>3D</sup>对隧道原位扩容方式对隧道围岩变形影响分析具有良好的理论意义和工程前景.

## 1 工程概况

丽水市境内 330 国道塔下隧道改扩建工程,位于丽水盆地东南部,隧道全长 195 m,净宽 12 m,净高 6 m.由于原塔下隧道是按直墙圆拱式双车道隧道(宽 12 m)标准设计,不能满足日益增长的交通量、经济发展及远景规划需求,为协调公路与铁路的交叉冲突,需对其进行原位扩容,根据实际要求,扩容后隧道净宽 16 m,净高 8 m.根据地质资料可知,隧道所在地区,地貌分区属浙南中山区,属低山坡麓地貌单元.隧道沿线地面标高介于 47~115 m,最大高差约 68 m.山坡自然坡角多介于 20°~40°,局部达 60°~70°.进口地形坡角约 40°,出洞口地形坡角约 20°.山坡有松树、乔木等生长,植物层下多为崩坡积土及强风化岩,基岩出露较多.根据地质资料及实际钻探资料表明,山体表土层厚度在 5 m 左右,属粉质粘土,基本承载力约 150 kPa,表土层以下为弱风化灰岩,强度很大,岩体完整.

## 2 数值模拟

### 2.1 原位扩容方式数值模拟分析过程

根据 FLAC<sup>3D</sup>数值模拟分析过程,可将本文隧道不同原位扩容方式模拟过程分析总结见图 1.

根据实际工程中应用比较广泛的扩容方式,在本次数值模拟过程中只对 2 种原位扩容方式进行数值模拟分析:(1)周边均匀扩容方式,在既有隧道轮廓的基础上,直接将原断面沿着径向以相同尺寸大小进行扩容开挖,见图 2a;(2)单侧扩容方式,在既有隧道轮廓的基础上,只在原隧道的一侧进行扩容开挖,见图 2b.

### 2.2 原位扩容方式数值模拟分析

#### 1) 计算模型

本文采用 FLAC<sup>3D</sup>数值模拟软件对 2 种原位扩容方式进行模拟分析.2 次模拟分析除了扩容方式不同,其他所有条件都保持一致.由于分析的目的在于研究 2 种不同扩容方式对围岩变形的影响,所

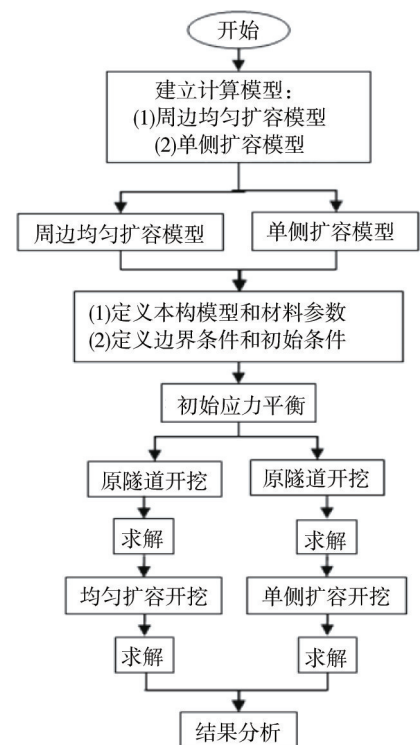


图 1 FLAC<sup>3D</sup>模拟过程

以不考虑衬砌对研究结果的影响.St.Venant原理对地下工程数值模拟时,整个模型尺寸根据开挖断面大小的3×5倍进行模拟较合适.所以,隧道埋深取50 m,整个模型尺寸为( $x \times y \times z$ )60 m×1 m×70 m,原隧道断面仰拱半径为6 m,卧底量为1.8 m,扩建后隧道断面仰拱半径为8 m,卧底量为2 m,侧压系数取1,本构模型采用Mohr-Coulomb模型,在计算过程中对模型的前后、左右和底部的边界面的位移固定为0,围岩参数见表1.模拟模型边界条件:底部和四周均施加法向约束,上边界为荷载自由边界.最终建立的2种不同扩容方式的计算模型见图3.

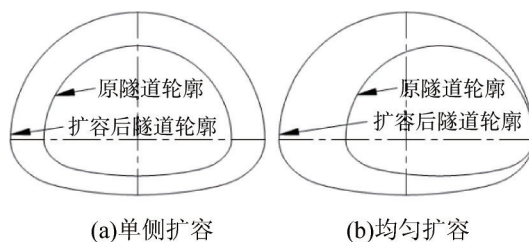


图2 2种扩容方式

表1 围岩参数

名称	重度/(kN/m <sup>3</sup> )	弹性模量/GPa	泊松比	粘聚力/MPa	内摩擦角/(°)
粉质粘土	18	0.5	0.6	0.06	20
灰质砂岩	25	1.3	0.4	0.30	27

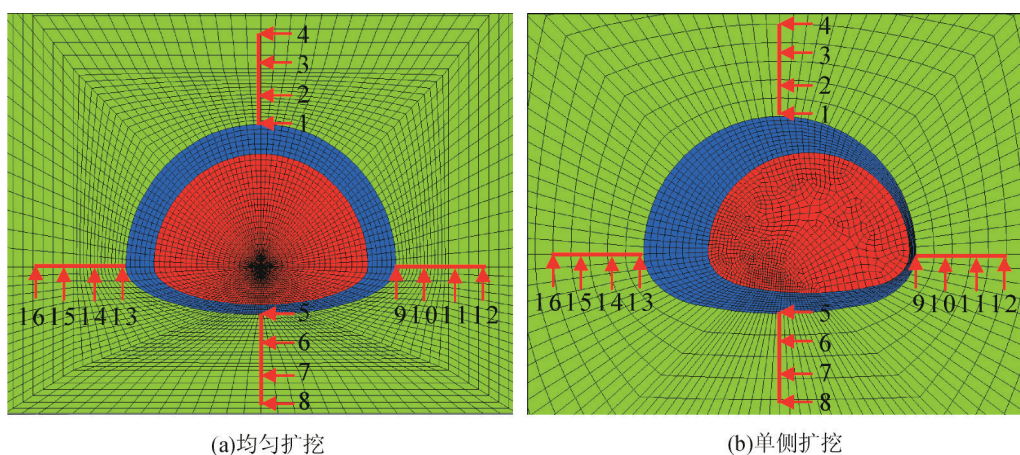


图3 2种扩容方式计算模型

## 2) 隧道围岩变形监测结果

根据图3中的既有隧道2种不同扩容方式的计算模型,对不同扩容方式进行FLAC<sup>3D</sup>数值模拟计算分析,在开挖后设置顶、底板和隧道两帮的位移监测线,见图3中的位移监测线.设置位移监测线时,从隧道壁向围岩内部监测点的距离为0.3 m,对顶底板中心部位设置垂直方向的位移监测点,对两帮设置水平方向的位移监测点,每一部位共设置4个监测点.其中,顶板垂直位移监测点号为1,2,3,4;底板垂直位移监测点号为5,6,7,8;右帮水平位移监测点号为9,10,11,12;左帮水平位移监测点号为13,14,15,16;监测点编号见图3中对应的编号.通过模拟计算,不同扩容方式的围岩位移监测结果如下:顶板的垂直位移监测结果见图4,图4a为均匀扩容方式时拱顶垂直位移监测结果,图4b为单侧扩容方式时拱顶垂直位移监测结果;底板的垂直位移监测结果见图5,图5a为均匀扩容方式时仰拱底垂直位移监测结果,图5b为单侧扩容方式时仰拱底垂直位移监测结果;对右帮的水平位移监测结果见图6,图6a为均匀扩容方式时右帮水平位移监测结果,图6b为单侧扩容方式时右帮水平位移监测结果;对左帮的水平位移监测结果见图7,图7a为均匀扩容方式时左帮水平位移监测结果,图7b为单侧扩容方式时左帮水平位移监测结果.

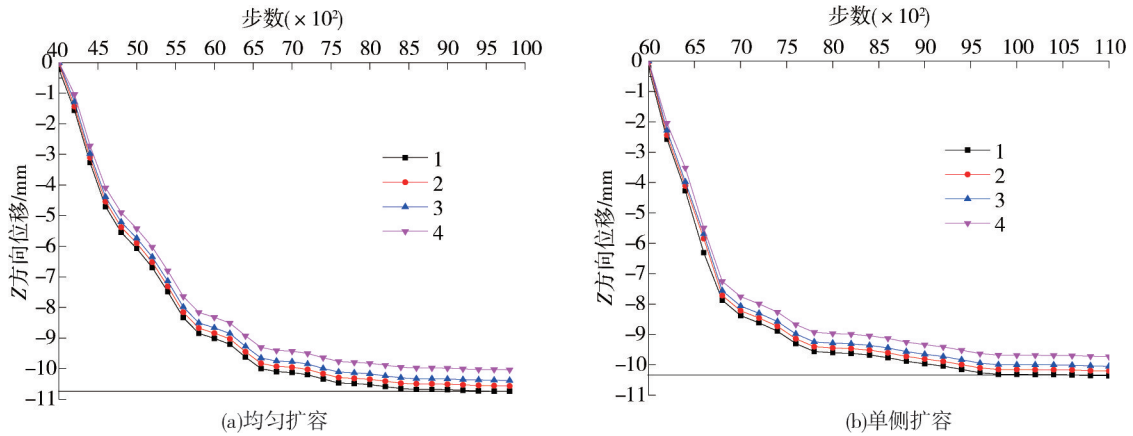


图4 2种扩容方式下顶板垂直位移监测结果

图4中2种扩容方式顶板垂直位移监测结果表明,当进行既有隧道原位扩容时,隧道顶板围岩存在一定程度的下沉,通过模拟得到下沉量最终稳定时,均匀扩容方式的顶板最大下沉量在10.7 mm左右,而单侧扩容方式的顶板最大下沉量在10.4 mm左右,略小于均匀扩容方式时顶板最大下沉量.2种扩容方式下,均经过约4 000步的计算后顶板下沉量趋于稳定状态.

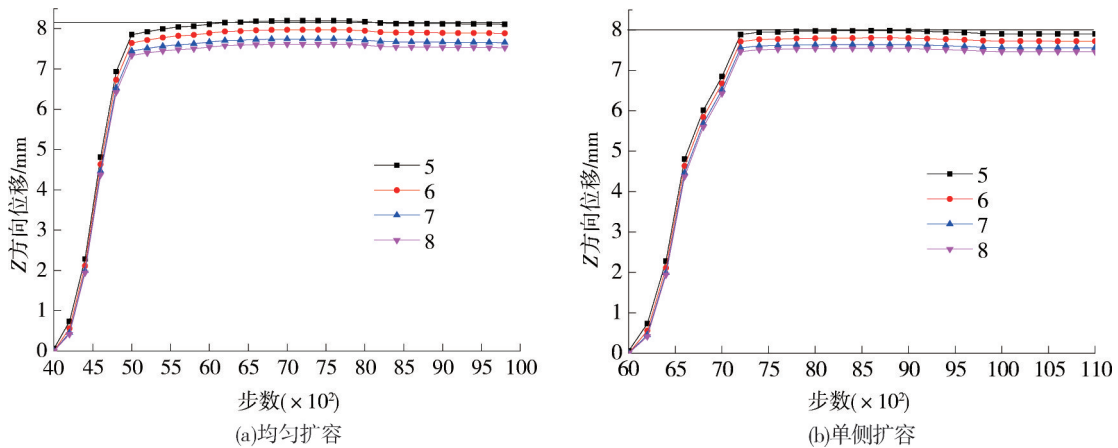


图5 2种扩容方式下底板垂直位移监测结果

图5中2种扩容方式底板垂直位移监测结果表明,当进行既有隧道原位扩容时,隧道底板围岩存在一定程度的鼓起,通过模拟得到底鼓量最终稳定时,均匀扩容方式的底板最大底鼓量在8.2 mm左右,而单侧扩容方式的底板最大底鼓量在8.0 mm左右,略小于均匀扩容方式的最大底鼓量.2种扩容方式下,均经过约1 000步的计算后底鼓量趋于稳定状态.

结合图4和图5中的顶板和底板垂直位移监测结果,可以得到2种扩容方式下的顶底板收敛量.在均匀扩容方式时,最大下沉量和最大底鼓量之和即为顶底板收敛量,可知最大收敛量为18.9 mm左右,而单侧扩容方式时顶底板最大收敛量为18.4 mm左右.

图6中2种扩容方式下隧道右帮水平位移监测结果表明,当进行既有隧道原位扩容时,隧道右帮围岩存在一定程度的向隧道内收敛,通过模拟得到右帮收敛最终稳定时,均匀扩容方式的右帮最大收敛量在2.9 mm左右,而单侧扩容方式的右帮最大收敛量在3.1 mm左右,略大于均匀扩容方式的最大收敛量.

图7中2种扩容方式下隧道左帮水平位移监测结果表明,当进行既有隧道原位扩容时,隧道左帮围岩也存在一定程度的向隧道内收敛,通过模拟得到左帮收敛最终稳定时,均匀扩容方式的左帮最大收敛量在2.8 mm左右,而单侧扩容方式的左帮最大收敛量在3.1 mm左右,略大于均匀扩容方式的最大底鼓量.2种扩容方式下,均经过约4 000步的计算后左帮收敛趋于稳定状态.

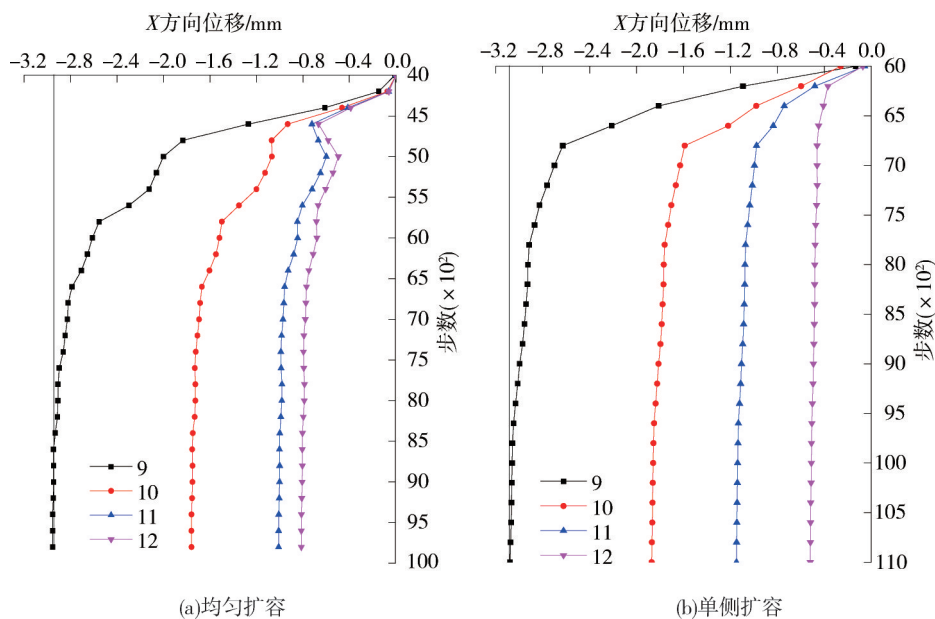


图6 2种扩容方式右帮水平位移监测结果

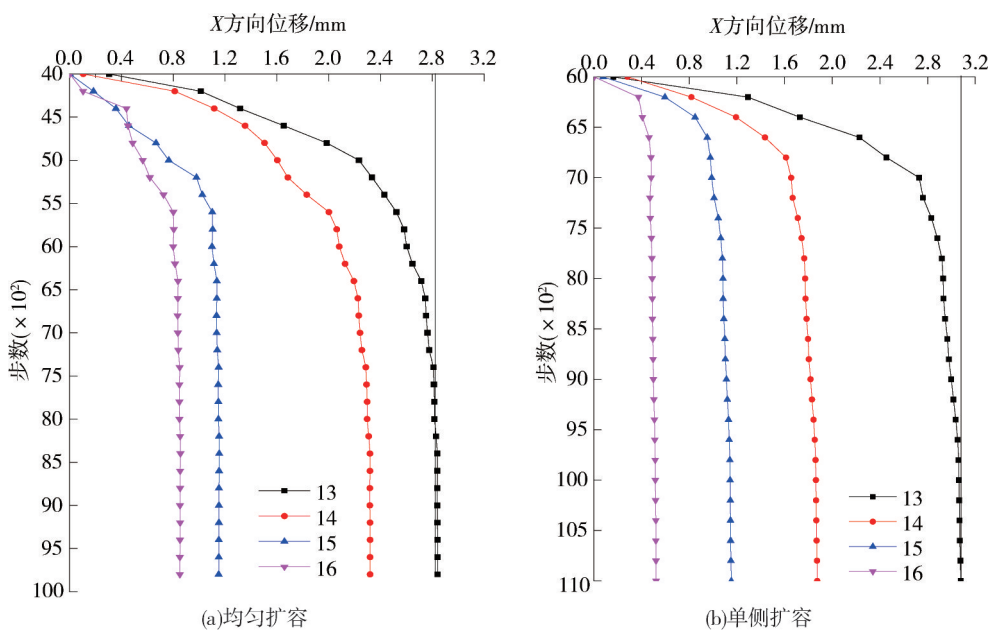


图7 2种扩容方式左帮水平位移监测结果

结合图6和图7中的右帮和左帮水平位移监测结果,可以得到2种扩容方式下的左右两帮的收敛量.在均匀扩容方式时,右帮最大水平收敛量和左帮最大水平收敛量之和即为两帮总收敛量,可知最大收敛量为5.7 mm左右,而单侧扩容方式时顶底板最大收敛量为6.2 mm左右.

### 3 结果分析

根据对隧道2种不同扩容方式对围岩变形影响的计算结果表明,均匀扩容方式下的顶底板收敛量为18.9 mm左右,两帮收敛量为5.7 mm左右;单侧扩容方式下的顶底板收敛量为18.4 mm左右,两帮收敛量为6.2 mm左右.模拟监测结果表明,既有隧道均匀扩容方式下的顶底板收敛量大于单侧扩容方式下的顶底板收敛量,而均匀扩容方式下的两帮收敛量小于单侧扩容方式下的两帮收敛量.隧道断面总体收敛量较小,是由于在原隧道开挖后已经发生了较大的变形,并且原隧道已经过长时间的运行,围岩已趋于稳定状

态,原位扩容打破了原有隧道围岩平衡状态,导致围岩在此发生变形,但由于隧道埋深较浅,所以即使再次扩容开挖导致隧道围岩失去平衡状态,也未发生较大变形,对隧道的安全稳定性影响较小.所以,当浅部隧道需要进行原位扩容时,只要进行适当的支护,完全可以保证隧道扩容后的安全性.由于分析的目的在于研究两种不同扩容方式对围岩变形的影响,所以未考虑衬砌对研究结果的影响.

## 4 结论

1)浅部隧道原位扩容可导致隧道围岩产生一定量的变形,但变形量未对隧道安全性造成明显影响.在围岩属于稳定性围岩时,扩容方式对隧道围岩变形影响不明显,在施工时只需进行常规支护即可,不同扩容方式应该考虑实际需求.

2)既有隧道原位扩容方式不同,可导致隧道顶底板和两帮收敛量产生不同的变形,均匀扩容方式下的顶底板收敛量大于单侧扩容方式下的顶底板收敛量,而均匀扩容方式下的两帮收敛量小于单侧扩容方式下的两帮收敛量.

3)本文未对隧道支护过程对隧道围岩变形的影响进行研究,可进一步研究既有隧道原位扩容方式和支护过程共同作用对隧道原位扩容围岩变形的影响.

## 参考文献:

- [1] Fang Y, Xu C, Cui G, et al. Scale model test of highway tunnel construction underlying mined-out thin coal seam [J]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2016, 56: 105-116.
- [2] Fang Y, Guo J, Grasmick J, et al. The effect of external water pressure on the liner behavior of large cross-section tunnels [J]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2016, 60: 80-95.
- [3] W R Abdellah, M A Ali, H S Yang. Studying the effect of some parameters on the stability of shallow tunnels [J]. *Journal of Sustainable Mining*, 2018, 17: 20-33.
- [4] Yang Y, Zhang W, Wang J, et al. Three-dimensional orthotropic equivalent modelling method of large-scale circular jointed lining [J]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2014, 44: 33-41.
- [5] 张海忠,李明.高速公路隧道拓宽方案研究[J].*公路交通技术*,2010(6):105-107.
- [6] 高干,刘元雪,周结中,等.地下空间扩建型式研究[J].*现代隧道技术*,2010,7(6):1-8.
- [7] 来弘鹏,徐学深,常瑞成,等.公路隧道扩建力学特征研究[J].*中国公路报*,2014,27(1):84-92.
- [8] 胡居义,黄伦海.原位扩建隧道围岩变形及力学特征研究[J].*公路交通技术*,2011(6):83-87.
- [9] Das R, Singh P K, Kainthola A, et al. Numerical analysis of surface subsidence in asymmetric parallel highway tunnels [J]. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2017, 9: 170-179.
- [10] Lin C, Wu S, Xia T. Design of shield tunnel lining taking fluctuations of river stage into account [J]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2015, 45: 107-127.
- [11] Yuan C, Wang X, Wang N, et al. Study on the Effect of Tunnel Excavation on Surface Subsidence Based on GIS Data Management [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 12: 1387 - 1392.
- [12] 金波,韩常领,王万平,等.既有隧道改建施工的安全风险及对策[J].*公路*,2008(7):269-271.
- [13] 朱根桥,林志,朱育,等.隧道原位扩建对邻近建筑物影响评估的研究[J].*岩土力学*,2012,33(s2):251-256.
- [14] Barla G. Full-face excavation of large tunnels in difficult conditions [J]. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2016, 8: 294-303.