

# 应力释放率对超大断面小净距浅埋隧道的 开挖影响研究

但路昭<sup>1,2</sup> 罗红星<sup>1,2</sup> 邓琴<sup>3</sup> 王东英<sup>3,4</sup> 秦雨樵<sup>3,4</sup>

(1 云南省大永高速公路建设指挥部 671000 大理; 2 云南省公路开发投资有限责任公司 650200 昆明;

3 中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室 430071 武汉; 4 中国科学院大学 100000 北京)

**摘要:** 依托某高速公路隧道工程, 基于空间反向荷载法和 CRD 施工工法, 分析了不同应力释放率下浅埋隧道围岩变形及地表沉降规律。得出以下结论: ①随着应力释放率的增大, 浅埋隧道洞周竖向位移及地表沉降明显增大, 围岩塑性区范围也明显增大; ②在小净距浅埋隧道变形计算中, 应力释放率越小, 左、右幅隧道开挖引起地表相对干扰越大。当应力释放率取 50% 时, 左洞隧道开挖引起的右洞地表隆起值大于其自身开挖引起的位移值, 右洞上部地表隆起, 最终导致隧道上方公路可能出现拉裂现象。

**关键词:** 应力释放率; 浅埋隧道; 变形; 塑性区

**中图分类号:** TU43 **文献标识码:** A **DOI:** 10.11776/cjam.35.03.D089

## 1 引 言

隧道开挖过程伴随应力的释放过程, 将引起围岩应力的重新分布。围岩应力的释放并非一蹴而就, 而是伴随隧道的开挖过程逐步完成。围岩应力释放率与隧道的施工工法、初支、二衬的支护时机和支护措施密切相关。在进行隧道施工模拟时, 应力释放率的大小直接决定了初支、二衬等结构上承受的荷载大小, 也会影响隧道围岩最终变形及地表最终沉降值。因此在进行隧道开挖的设计及施工时, 必须考虑地应力释放对围岩变形及地表沉降的影响。以往对应力释放率的研究多集中于对隧道开挖过程中应力释放率的确定、应力释放规律研究、应力释放率与位移释放率的关系探讨上。文献[1]基于应力

释放率可近似等效为位移释放率的原理, 探求了通过体积损失率求解应力释放率的方法。文献[2]借助监控量测数据, 运用位移反分析法和影响线原理推导了浅埋隧道应力释放率与初衬拱圈位移间的相关关系。文献[3]基于数值分析手段探究了应力释放率与围岩类别、施工方法、侧压力系数、隧道埋深等因素间的关系。文献[4]通过分析围岩应力释放率对隧道施工的影响得出围岩应力释放率对围岩的应力影响不明显, 但位移随应力释放率的增加却明显增大的结论。文献[5]在大量数值模拟算例的基础上, 总结分析了不同施工方法开挖过程中隧道围岩径向应力释放规律, 明确了洞壁不同位置围岩径向应力的释放过程, 并在此基础上提出了隧道断面整体荷载释放率及荷载释放差异系数的概念和计算方法, 用以描述断面的整体荷载释放状态并体现同一断面

基金项目: 云交科教(2016)140(A)

收稿日期: 2016-12-21

修回日期: 2017-08-28

第一作者简介: 但路昭, 男, 1977 年生, 硕士, 云南省大永高速公路建设指挥部, 高级工程师; 研究方向——公路工程施工及建设管理。

E-mail: 796712@qq.com

不同位置围岩荷载释放过程的不同步性。对于应力释放率对隧道围岩稳定性的影响也有相关研究。文献[6]通过对 II 类围岩双拱隧道不同施工环节围岩应力释放率的研究,得出初支对释放率比较敏感而中隔墙则对其敏感程度较低的结论。文献[7]依托某导流洞探究了应力释放率与位移释放率间的关系,得出拱顶位移与应力释放率相随递增。文献[8-12]均对应力释放率对围岩稳定性的影响进行过研究,提高了对隧道应力释放率的认识水平。但对于小净距超大断面浅埋下穿公路隧道这样复杂的隧道开挖,该方面的研究较少,且已开展的研究中未考虑应力释放率对先后开挖隧道的影响。

目前通过现场实测数据反推应力释放率的研究理论及技术尚不成熟,即便有现场实测数据也无法确切地知道实测数据对应的应力释放率,也就无法对比分析释放率不同对隧道稳定性的影响。为探求应力释放率对小净距超大断面浅埋下穿公路隧道开挖的影响,依托某高速公路隧道工程,基于空间反向荷载法和 CRD 施工工法,分别假定应力释放率为 100%、75%、50%三种情况对浅埋隧道围岩变形及地表沉降进行分析,探讨了应力释放率与隧道洞

周位移及地表沉降的关系。所得结论对隧道工程的设计、施工具有一定的指导意义。

## 2 工程概况

某高速公路隧道工程为一座分离式隧道,总长为 1434.56m。隧道净宽为 17.34m,左右幅隧道中线距离为 28m 左右,隧道断面面积约 170m<sup>2</sup>,属小净距超大断面隧道。由于该隧道下穿某二级公路,且左右幅隧道和公路的交叉点埋深均在 10m 左右,即上部覆盖层厚度不足 2 倍的隧道洞跨,属于近距离交叉工程。因此隧道开挖对底面干扰相对较大,会引起交叉段公路路基路面沉降。

根据地质勘测资料,该隧道穿越区地层以二叠系玄武岩为主,属构造剥蚀地中山地貌,地形起伏较大。隧道和公路交叉段从上至下主要为人工填土、粘土、强风化和中风化的玄武岩。人工填土和粘土层厚度大概在 3m~10m。根据现场踏勘、钻孔取芯、工程类比等综合确定各土层或岩石的物理力学参数指标建议值见表 1。

表 1 岩体、土体主要物理力学指标

Tab.1 Main physical and mechanical parameters of rock and soil

岩土名称 (name)	状态 (state)	天然密度 (density) $\rho/g \cdot cm^{-3}$	粘聚力 (cohesion) $c/kPa$	内摩擦角 (friction angle) $\phi/(^{\circ})$	弹性模量 (elastic modulus)/GPa	泊松比 (Poisson's ratio)
人工填土 (artificial fill)	稍密 (dense)	1.85	15	11	0.005	0.35
粘土 (clay)	硬塑 (hard-plastic)	1.90	35	17	0.010	0.35
玄武岩 (basalt)	全风化 (fully weathered)	1.85	100	22~23	0.050	0.30
玄武岩 (basalt)	强风化 (strong weathered)	2.20	<400	26~31	0.060~0.200	0.30
玄武岩 (basalt)	中风化 (medium weathered)	2.50	400~800	31~35	0.200~0.400	0.28

## 3 数值模型建立

采用大型数值分析软件 ABAQUS,选取该隧道与某公路交叉位置建立平面计算模型,模型尺寸如图 1 所示。根据现场钻孔资料获取的地层信息,隧道周边岩土体材料自上至下依次为:碎石土、全风化玄武岩、强风化玄武岩。建立的二维数值模型如图 2 所示,模型中锚杆采用 truss 单元模拟,其余均采用平面应变单元模拟。模型侧边界和底边界法向约束,上表面自由。模型计算过程中岩土体服从弹塑性本构、摩尔库伦屈服准则。数值计算采用参数见表 2。

由于地层岩性较差,隧道自身属于小净距超大断面浅埋隧道且隧道下穿公路,为尽可能降低地表沉降,拟采用 CRD 施工工法开挖。开挖工序如图 3 所示。隧道开挖及初支、二衬施作步骤具体为:①开挖左侧岩体→②施作左侧断面初期支护 II 中间竖向支撑→③开挖右侧上部岩土体→④施作右侧上部断面初期支护 IV 及右侧中间横向支撑→⑤开挖右侧下部岩土体→⑥施作右侧下部断面初期支护 VI→⑦去除支撑并施作二次衬砌。右幅隧道开挖步骤与左幅隧道相同,记为第⑧~⑭步。在数值计算过程中首先进行了地应力平衡,再依次模拟逐步开挖、支护过程,因而整个模拟过程共分 15 步进行。

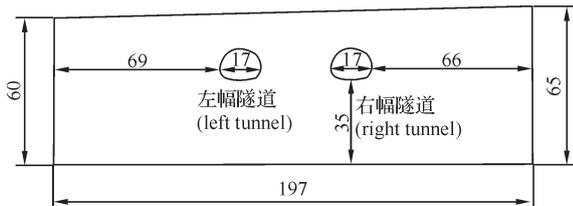


图1 二维数值计算模型示意图(unit: m)  
Fig.1 Diagram of two-dimension numerical model(unit: m)

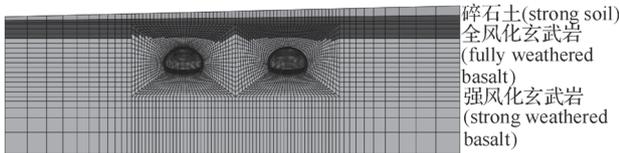


图2 地层材料分区图  
Fig.2 Different material zone

为探求应力释放率对小净距超大断面下穿公路浅埋隧道开挖的影响,拟采用空间反向荷载法模拟地应力的释放过程。所谓空间反向荷载法,就是

根据工程实际情况设定位移边界条件求解开挖面上各节点的节点反力,而后开挖时将该节点反力的 $(100-a)\%$ ( $a$ 为不大于100的实数)反作用于节点上进行计算,初支施作时释放剩余的节点力,二衬不承担节点力作用。以此实现应力的逐步释放过程。应力释放率一般介于50%~80%之间,本文根据工程场地条件、CRD施工工艺、施工进尺等情况综合初步设定50%、75%、100%三种应力释放率,即 $a$ 分别取值50、25、0。

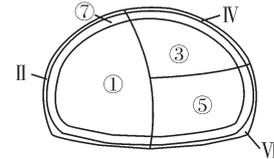


图3 CRD法施工工序  
Fig.3 Construction procedure of CRD method

表2 数值计算选取的材料参数  
Tab.2 Material parameters adopted by numerical model

岩土名称 (name)	状态 (state)	天然密度 (natural density) $\rho/g\cdot cm^{-3}$	粘聚力 (cohesion) $c/kPa$	内摩擦角 (friction angle) $\phi(^{\circ})$	弹性模量 (elastic modulus) /GPa	泊松比 (Poisson's ratio)
人工填土(artificial fill)	稍密(dense)	1.85	15	11	0.005	0.35
粘土(clay)	硬塑(hard-plastic)	1.90	35	17	0.01	0.35
玄武岩(basalt)	全风(fully-weathered)	1.85	100	22	0.05	0.3
玄武岩(basalt)	强风化(strong-weathered)	2.20	100	28	0.10	0.3
锚杆(bolt)		7.80			20	0.2
初衬(initial lining)		2.60	2000	40	20	0.20
二衬(secondary lining)		2.60	2500	45	30	0.20

## 4 结果分析

### 4.1 围岩影响分析

#### 4.1.1 位移

CRD 施工工法并非对称开挖,左右侧拱腰变形并不对称。但由于洞室中间竖向支撑和右侧中部横向支撑的存在,使得支撑与洞周接触位置存在应力集中,因此拱顶、拱底、右侧拱腰位置的变形及塑性区发展要特别关注。为分析不同应力释放率下隧道围岩变形情况,分别选取隧道拱顶、右侧拱腰、拱底三点为研究对象进行分析,对应点标号分别为1、2、3,如图4所示。

不同应力释放率下开挖过程中左、右幅隧道各点位移变化趋势见图5和图6,左、右幅隧道代表点终态应力释放率-位移曲线如图7所示。

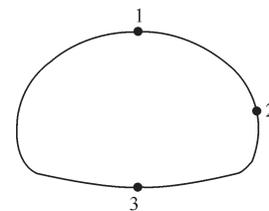


图4 数值分析关键点示意图  
Fig.4 Sketch map of key points of numerical analysis

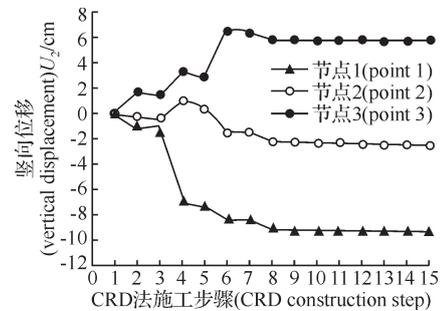


图5(a) 应力释放率100%  
(release rate 100%)

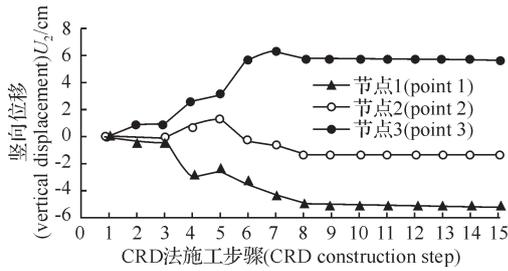


图 5(b) 应力释放率 75%(release rate 75%)

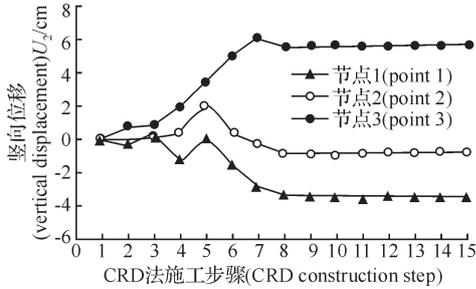


图 5(c) 应力释放率 50%(release rate 50%)

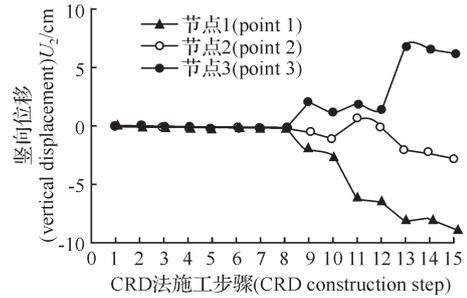
图 5 左幅隧道开挖过程代表点位移变化

Fig.5 Key points displacement of left tunnel excavation

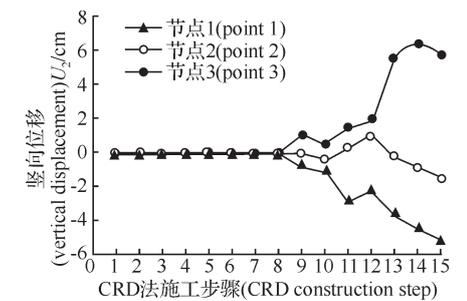
由图 5 可知，不同释放率条件下左洞在衬砌②施作完成(即第⑧步)开挖右洞时拱顶、拱底、拱腰位移均维持稳定，不受右洞开挖的干扰。由图 5(b)、图 5(c)节点 1 曲线可知在释放率较小时初支 IV 的施作有效降低了拱顶位移，同时拱腰竖向位移也被有效降低。当释放率为 100%时初支 IV 的施作没有降低拱顶开挖位移，但对位移发展的速率起到了一定的抑制作用，对于拱腰竖向位移的发展，初支、二衬的施作均起到有效降低作用。由图 5(a)、图 5(b)、图 5(c)三幅图中节点 3 曲线可知，初支、二衬的施作对拱底隆起位移起到有效的降低作用。图 7(a)给出了左幅隧道拱顶、拱底、拱腰三点的应力释放率-位移关系曲线。由各曲线知，随着应力释放率的增大，拱顶沉降位移增长较快，而拱腰竖向位移及拱底隆起位移增长较慢。当释放率为 50%时，拱顶沉降位移仅有 3.8cm，但释放率为 100%时位移达到 10cm 之多。释放率变化时拱腰竖向位移变动范围在 0.8cm~2.5cm 之间，拱底隆起值则在 5.8cm 左右，几乎不受应力释放率影响。说明应力释放率对拱顶位移影响最大，其次是拱腰，拱底隆起位移受释放率影响不明显。

图 6 为不同释放率下右幅隧道拱顶、拱腰、拱底的开挖过程位移变化曲线。由图 6 可知，开挖左洞时右洞拱顶位移仅为 0.1cm 左右，在释放率较大时相较于右洞拱顶后期位移而言该值较小，视为无变化状态。但当释放率逐渐较低时，由于空间反向荷载过度限制了开挖引起的位移沉降，大大强化了

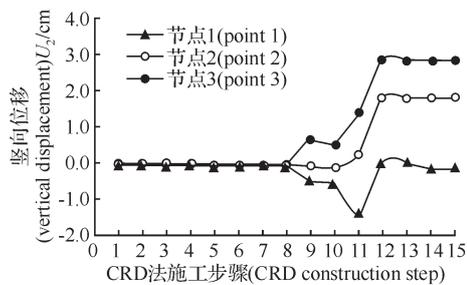
初支、二衬的支护作用，致使右幅隧道拱顶位移提前收敛；释放率为 100%时支护对拱顶位移的发展有抑制但没有减小作用，拱顶位移呈加速发展趋势；当释放率取 75%时初支 IV 的施作使拱顶位移减小 1cm 左右，其拱顶位移亦有不收敛趋势；当释放率为 50%时，隧道右侧上部岩体开挖完拱顶位移即趋向收敛。图 7(b)显示随着应力释放率的增加，拱顶和拱腰沉降位移变化明显，拱底隆起值变小。这和左幅隧道的拱底变形有所不同。



(a) 应力释放率 100%(release rate 100%)



(b) 应力释放率 75%(release rate 75%)



(c) 应力释放率 50%(release rate 50%)

图 6 右幅隧道开挖过程代表点位移

Fig.6 Key points displacement of right tunnel excavation

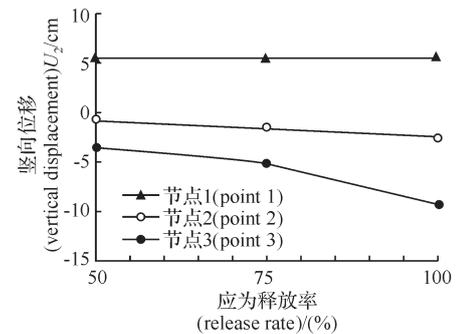


图 7(a) 左幅隧道(left tunnel)

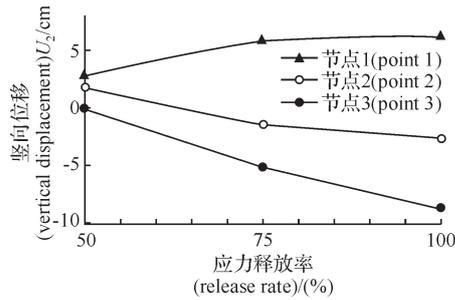
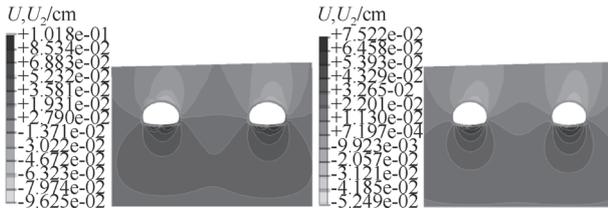
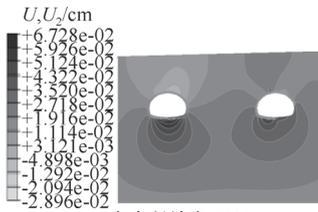


图7(b) 右幅隧道(right tunnel)  
图7 隧道代表点释放率位移曲线

Fig.7 Curve of key points stress release rate to displacement of tunnel



(a) 应力释放率 100% (release rate 100%)  
(b) 应力释放率 75% (release rate 75%)



(c) 应力释放率 50% (release rate 50%)

图8 隧道开挖围岩位移等值线图

Fig.8 Displacement contour of surrounding rock

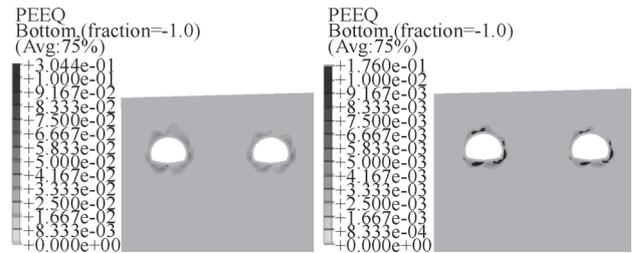
为分析不同应力释放率下左、右幅隧道位移分布规律,提取隧道周边岩体位移等值线图进行分析。图8为隧道开挖围岩位移等值线图,由图8可知:应力释放率较大时(如图8(a)、图8(b)所示)左右幅隧道围岩竖向变位区域几乎对称分布,变形量也接近相等;应力释放率较小时(如图8(c)所示),左、右幅隧道围岩变位不一致,左幅隧道竖向位移明显大于右幅隧道。由此可见,对于小净距浅埋隧道,当空间反向荷载较大时将会限制围岩变形,从而影响隧道周边岩体的变位规律,因此针对具体工程的实际情况适当选取应力释放率十分必要。

#### 4.1.2 塑性区

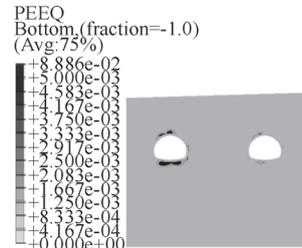
为研究应力释放率对隧道围岩变形破坏模式的影响,以不同释放率下围岩塑性区分布云图为分析对象。

图9为不同应力释放率下隧道开挖围岩等效塑性应变云图。由图9可知,随着释放率的增大,围岩塑性区分布范围也相应增大,且释放率越大,左、右幅隧道塑性区分布越接近相同。当释放率为100%时,左、右幅隧道的围岩塑性区云图对称分布,左、

右幅隧道围岩破坏模式一致,以剪切破坏为主;当释放率为75%时,左、右幅隧道围岩塑性区分布大部分区域一致,仅在右幅隧道右上拱圈出现差异;当释放率为50%时,左、右幅隧道塑性区明显不一致,左幅隧道周边围岩塑性屈服区域较大,而右幅屈服区域较小。由此可见,围岩应力释放率对小净距浅埋隧道周边岩体的变形破坏模式有重要影响,因此合理确定围岩应力释放率十分必要。



(a) 应力释放率 100% (release rate 100%)  
(b) 应力释放率 75% (release rate 75%)



(c) 应力释放率 50% (release rate 50%)

图9 隧道开挖围岩塑性区云图

Fig.9 Surrounding rock plastic zone contour

#### 4.2 地表沉降影响分析

由于研究依托工程为小净距超大断面浅埋隧道,隧道开挖必然引起地表沉降。沉降量大小直接关系到上覆交叉公路工程的安全性,因此有必要研究应力释放率对地表沉降的影响。为了反映隧道开挖过程对路面沉降的情况,将开挖岩体编号如图10所示,图中仅显示了隧道开挖过程中岩体开挖顺序。不同释放率下地表沉降终值对比见图11,图中横坐标为监测点至模型起点水平距离。

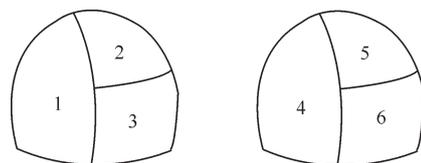


图10 隧道开挖步骤示意图

Fig.10 Sketch map of excavation procedures

图11为释放率为100%、75%、50%对应的地表沉降曲线。由图11曲线知,隧道开挖时,模型范围内地表均出现不同程度的沉降,左、右洞上方地

表位移变动较显著。不同释放率下左洞开挖时引起右洞上方地表沉降值很小, 而右洞开挖引起左洞上方地表沉降值较大。左洞 1(图 10)挖除时左洞上方地表较周围地表出现明显凸起, 且释放率越大凸起值越大, 除应力全释放外, 其他应力释放率下该处地表出现隆起, 且释放率越小隆起值越大。随着释放率的降低, 开挖 2 对应左幅隧道上方地表沉降值逐渐减小; 当释放率为 50%时该处地表出现明显隆起, 隆起值达 9mm 之多。

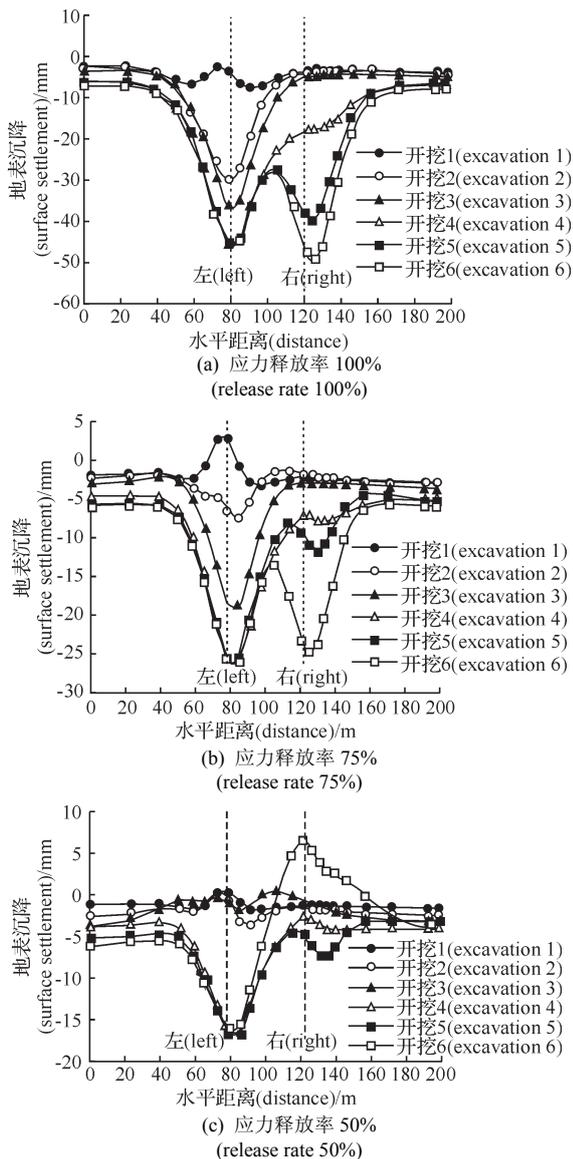


图 11 不同释放率下隧道开挖过程地表沉降对比  
Fig.11 Comparison of surface settlement under different releasing rate

随着释放率的降低, 右洞开挖引起的其上方地表沉降值逐渐减小; 当释放率为 50%时, 由于隧道开挖引起的该处位移小于左洞地表沉降对右洞地表挤压引起的隆起值, 导致右洞地表最终隆起。

图 12 为不同释放率下地表最终沉降曲线对比,

由此可知, 随着释放率的增大, 左洞地表沉降逐渐增大, 右洞地表变位也逐渐增大, 但释放率为 50%时右洞地表出现局部隆起。由此可见, 小净距浅埋隧道开挖过程中, 左右幅隧道会存在局部干扰, 左幅隧道地表沉降将会引起右幅隧道地表隆起, 当该隆起值大于隧道自身开挖引起的沉降值时就会导致该处最终出现地表隆起现象。

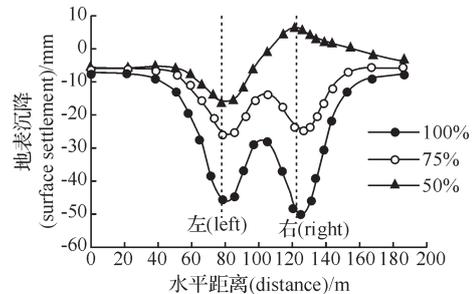


图 12 不同释放率下地表最终沉降对比  
Fig.12 Comparison of surface settlement under different release rate

## 5 结 论

隧道开挖过程中, 应力释放率的选取对小净距超大断面浅埋隧道围岩变形破坏模式及地表沉降均有较大影响, 有关结论如下。

- 1) 随着应力释放率的增大, 左幅和右幅隧道的拱顶及拱腰竖向位移值逐渐增大, 右幅隧道拱底隆起值比左幅隧道明显。
- 2) 释放率较低时, 左幅隧道位移明显大于右幅隧道且塑性区范围也大于右幅。释放率较低时, 随着应力释放率的增大, 左、右幅隧道围岩变形及塑性区发展逐渐对称化。
- 3) 随着释放率的增大, 隧道上方地表沉降值逐渐增大。当释放率较低时左幅隧道地表沉降引起的右幅隧道地表隆起值大于隧道自身开挖引起的沉降值, 导致右幅隧道地表最终出现地表隆起现象, 最终导致隧道上方公路可能出现拉裂情况(左幅隧道上部地表下沉, 右幅隧道上部地表隆起)。因此, 对于浅埋大断面小净距隧道, 控制应力释放率的大小不仅要考虑施工方法、支护时机等因素, 还要考虑地表不均匀沉降引起的公路拉裂情况。

## 参 考 文 献 (References)

[1] 杨友彬, 郑俊杰, 赖汉江, 等. 一种改进的隧道开挖应力释放率确定方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(11): 2251-2257. (YANG Youbin, ZHENG Junjie, LAI Hanjiang, et al. A revised method for

- calculating stress release ratio in tunnel excavation[J]. Chinese journal of rock mechanics and engineering, 2015, 34(11): 2251-2257(in Chinese).
- [2] 刘英荣, 张谢东, 李佳莉, 等. 基于反分析法的浅埋隧道围岩应力释放率研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2015, 39(6): 1259-1262. (LIU Yingqi, ZHANG Xiedong, LI Jiali, et al. Study on the surrounding rock release rate of shallow tunnel based on the back analysis method[J]. Journal of Wuhan university of technology(transportation science & engineering), 2015, 39(6): 1259-1262(in Chinese)).
- [3] 吴江滨. 开挖面空间效应及应力释放率的数值模拟研究[C]//城市地下空间开发与地下工程施工技术高层论坛论文集. 北京: 城市地下空间开发与地下工程施工技术高层论坛, 2004. (WU Jiangbin. The spatial effect of excavation face and the research on displacement release ratio by numerical simulation[C]//Development of Urban Underground Space and the Construction Technology of Underground Engineering. Beijing: Development of Urban Underground Space and the Construction Technology of Underground Engineering, 2004(in Chinese)).
- [4] 闫立来. 岩质隧道围岩应力释放率的确定与结构力学性状研究[D]. 西安: 长安大学, 2009. (YAN Lilai. The determination of release rate of the surrounding rock and study on the mechanical property of the tunnel structure[D]. Xi'an: Chang'an University, 2009(in Chinese)).
- [5] 赵岩. 大断面隧道施工过程荷载释放规律研究[D]. 济南: 山东大学, 2011. (ZHAO Yan. Research on the load releasing law during the construction process of large section tunnel[D]. Ji'nan: Shandong University, 2011(in Chinese)).
- [6] 夏永旭, 王文正, 胡庆安. 围岩应力释放率对双联拱隧道施工影响研究[J]. 现代隧道技术, 2005, 42(3): 1-4. (XIA Yongxu, WANG Wenzheng, HU Qing'an. Study on the effect of stress release rate to double arch tunnel excavation[J]. Modern tunneling technology, 2005, 42(3): 1-4(in Chinese)).
- [7] 曹光辉. 比较分析应力释放率对围岩位移的影响[J]. 低温建筑技术, 2012, 34(2): 91-92. (CAO Guanghui. Comparative analysis of the stress release rate impact on the surrounding rock[J]. Low temperature architecture technology, 2012, 34(2): 91-92(in Chinese)).
- [8] 张娟, 余舜, 申俊敏, 等. 公路隧道应力释放率对软弱围岩稳定性影响[J]. 土木工程与管理学报, 2012, 29(1): 35-39. (ZHANG Juan, YU Shun, SHEN Junmin, et al. Effect of stress release rate stability of soft surrounding rock in highway tunnels[J]. Journal of civil engineering and management, 2012, 29(1): 35-39(in Chinese)).
- [9] 吕钊. 基于压力拱理论及应力释放率的隧道围岩稳定性研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015. (LÜ Zhao. Research into the surrounding rock stability of tunnel based on the pressure arch theory and stress release rate[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2015(in Chinese)).
- [10] 曹光辉. 不同应力释放率对隧道位移及应力影响的数值模拟[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2012. (CAO Guanghui. Numerical simulation of the stress and displacement of tunnel in different stress release rate[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2012(in Chinese)).
- [11] 张娟. 公路隧道应力释放率对软弱围岩稳定性影响[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012. (ZHANG Juan. Effect of stress release rate on stability of soft surrounding rock in highway tunnels[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2012(in Chinese)).
- [12] 姚军, 王国才, 陈祥林. 地应力释放对隧道围岩稳定性影响的研究[J]. 浙江工业大学学报, 2010, 38(6): 629-632. (YAO Jun, WANG Guocai, CHEN Xianglin. Study on the effect of in-situ stress release on the stability of rock mass surrounding tunnel[J]. Journal of Zhejiang university of technology, 2010, 38(6): 629-632(in Chinese)).

## Effects of stress release rate on the excavation of large sections of small spacing shallow tunnel

Dan Luzhao<sup>1,2</sup> Luo Hongxing<sup>1,2</sup> Deng Qin<sup>3</sup>  
Wang Dongying<sup>3,4</sup> Qin Yuqiao<sup>3,4</sup>

(1 Yunnan Dayong Highway Project Construction Headquarters, 671000, Dali, China; 2 Yunnan Highway Development & Investment CO.LTD, 650200, Kunming, China; 3 State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, 430071, Wuhan, China; 4 University of Chinese Academy of Sciences, 100000, Beijing, China)

**Abstract:** To study the effects of stress releasing rate on the excavation of large sections of small spacing shallow tunnel, based on the spatial reverse load method and CRD construction method, the deformation of surrounding rock and the surface settlement of shallow tunnel are analyzed under different stress releasing rates for the project of Dali-Binchuan Austin tunnel. The results show that with the increase of the stress releasing rate, the vertical displacement and the surface settlement of the shallow tunnel sharply increase. And the plastic zone of surrounding rock also increases significantly. The smaller the stress releasing rate is, the bigger the disturbances between left and right are. When the rate is 50%, the uplift values of right surface from the excavation of left tunnel are bigger than the settlement result from excavation itself, the surface of right tunnel has been uplifted. Finally, cracking phenomenon may occur along the road above the tunnel.

**Keywords:** *stress releasing rate, shallow tunnel, deformation, plastic zone.*

## Influences of the pressure on freezing adhesive strength of coal on typical matrix material

Wang Chunhua<sup>1,2</sup> An Da<sup>1</sup> Qu Hui<sup>1</sup> Han Chong<sup>1</sup> He Xinghua<sup>1</sup>

(1 School of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, 123000, Fuxin, China; 2 School of Mechanic and Electronic Engineering, Shenyang Aerospace University, 110000, Shenyang, China)

**Abstract:** To investigate the influences of the pressure on freezing adhesive strength of coal on typical matrix material, the freezing adhesive strength of coal samples on hydrophilic Q235 and hydrophobic UHMWPE material under a series of different pressure are tested. The freezing adhesive strength of coal samples on the two matrix materials increase as the pressure increases on coal samples, and the freezing adhesive strength of the coal sample on Q235 material is 10 times that of the coal sample on UHMWPE material. On Q235 material, when the pressure of coal samples increases from 0MPa to 0.75MPa, the slime and ice of freezing adhesive boundary increase largely and the strength increases rapidly, the direct contact region gets closer, so the freezing adhesive strength increases rapidly. When the pressure of coal samples increases from 0.75MPa to 5MPa, the strengths of the slime and ice increase slowly, so the freezing adhesive strength increases slowly. On UHMWPE material, when the pressure of coal samples increases from 0MPa to 1.5MPa, the slime and ice of freezing adhesive boundary increase largely and the contact area with material surface increases rapidly, and the direct contact region gets closer, so the freezing adhesive strength increases rapidly. When the pressure of coal samples increases from 1.5MPa to 5MPa, the contact of the moisture of freezing adhesive boundary with material surface gets closer, so the freezing adhesive strength increases slowly. For the improvement of the freezing adhesion of mine car and belt conveyor roller, it should be avoided as possible that increasing the coal capacity of mine car or the transportation power of belt conveyor in the rapid increasing stage of the freezing adhesive strength as pressure.

**Keywords:** *pressure, freezing adhesive strength, Q235, UHMWPE.*