

# Optimization on Co-Construction Scheme of the Traffic and Power Tunnel

Ningqiang Shi<sup>1</sup>, Tingting Ge<sup>2</sup>, Xiaoguang Jing<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>T.Y. Lin International Engineering Consulting (China) Co., Ltd., Chongqing

<sup>2</sup>Guangzhou College of South China University of Technology, Guangzhou Guangdong

<sup>3</sup>School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing

Email: \*jxgcqu@163.com

Received: Apr. 29<sup>th</sup>, 2019; accepted: May 14<sup>th</sup>, 2019; published: May 21<sup>st</sup>, 2019

---

## Abstract

Based on the theoretical analysis of the Jinzhuwan municipal traffic tunnel and power tunnel co-construction project of Tongmao Avenue in Chongqing, a two-dimensional finite element model is established for the proposed two construction schemes, and the traffic-electricity tunnel co-construction scheme is selected. The plastic zone radius of the rock, the stress at the elastoplastic interface and the elastoplastic displacement are compared and analyzed, and a better co-construction scheme is proposed.

## Keywords

Co-Construction of Tunnels, Scheme Optimization, Theoretical Analysis, Numerical Simulation

---

# 交通 - 电力暗挖隧道共建方案优化研究

史宁强<sup>1</sup>, 葛婷婷<sup>2</sup>, 靳晓光<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>林同棧国际工程咨询(中国)有限公司, 重庆

<sup>2</sup>华南理工大学广州学院, 广东 广州

<sup>3</sup>重庆大学土木工程学院, 重庆

Email: \*jxgcqu@163.com

收稿日期: 2019年4月29日; 录用日期: 2019年5月14日; 发布日期: 2019年5月21日

---

## 摘要

结合重庆同茂大道金竹湾市政交通隧道与电力隧道共建工程, 在理论分析的基础上, 针对提出的两种施工方案, 建立二维有限元模型, 对其交通 - 电力隧道共建方案下围岩的塑性区半径、弹塑性交界处的应力以及弹塑性位移进行对比分析, 提出较佳的共建方案。

---

\*通讯作者。

## 关键词

共建隧道, 方案优化, 理论分析, 数值模拟

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着山地城市交通隧道和其他公用设施隧道的快速发展, 传统的架空电力线路影响城市的空中景观及地块使用。此前国内的高压电缆隧道一般采用独立建设的模式, 不仅要新开辟通道, 而且建设代价高昂。将电力隧道和交通隧道合二为一, 不仅节约土地和成本, 而且可以共用一个监控系统。因此市政隧道和电力隧道共建的设计模式近年来在我国开始得到有效的推广、应用。目前关于共建隧道的研究方法和实际的施工经验还相对匮乏, 关于共建隧道的研究主要借鉴单孔大断面隧道及双孔近接隧道的研究成果。

张晓军[1]结合龙洲湾 2#公路隧道上跨铁路隧道工程, 对隧道净距离上下交叠设计、施工及处治措施进行了研究, 认为控制爆破可减小双洞的相互影响, 现场建立公、铁双方施工联动沟通机制及时互通信息, 可确保施工安全; 王渭明等[2]针对极小净距交叠隧道受力复杂、爆破不易控制及支护困难等特点, 对极小净距交叠隧道下行双线施工间距优化进行了研究, 认为随着两平行隧道交错开挖间距的增大, 隧道上方地表沉降、拱顶沉降和塑性区体积逐渐减小; 台启民等[3]依托北京地铁 6 号线北海北至南锣鼓巷区间隧道工程, 对暗挖重叠地铁隧道地表变形特性进行了分析, 提出了施工优化方案; 梅勇文[4]以沈阳市南北快速干道工程为例, 对明挖法施工城市隧道与综合管廊共建技术进行了探讨。阚绍德[5]结合具体工程针对电力隧道工程和地铁工程共建的关键技术进行分析总结, 为类似共建工程设计提供参考。可以看出, 对共建隧道的研究还很少, 且主要集中在对围岩变形和施工方案方面, 对城市交通隧道和其他公用设施隧道的共建方案的理论分析和研究还很少。

## 2. 共建方案的提出

金竹湾 1#隧道左线与电力隧道共建, 经综合分析提出两种方案, 一是电力隧道建在城市交通隧道仰拱的正下方(简称方案一); 二是电力隧道建在隧道仰拱的左侧(简称方案二)。如图 1 所示。市政隧道与电力隧道共建后, 共建段隧道路面以上限界及净空尺寸不变, 仅需对仰拱进行加深, 非共建段隧道仰拱半径为 21 m。方案一仰拱开挖较非共建段隧道加深 1.8 m (开挖深度达到 3.5 m), 仰拱半径为 8.89 m; 方案二仰拱开挖较非共建段隧道加深 2.8 m, 仰拱半径为 1.1 m。

## 3. 共建方案的理论分析

### 3.1. 等代圆法

在隧道围岩变形与破坏的简化理论分析中, 常把边界形状复杂的洞室, 如直墙拱形、曲墙拱形等接近圆形断面的洞室变换为形状简单的洞室形状, 即圆形洞室, 这种方法称为等代圆法。将非圆形的大跨度隧道等代为圆形隧道, 一般取等代圆半径为隧道高度  $h$  和跨度  $b$  之和的四分之一。两方案隧道的几何

尺寸分别如图 2 所示。

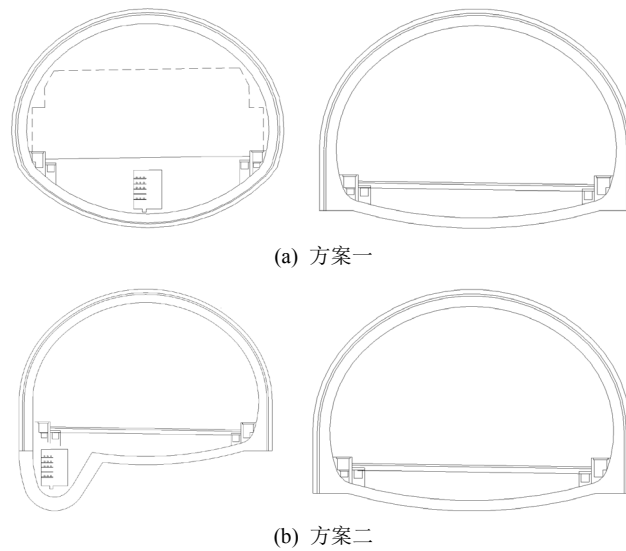


Figure 1. The sketch of traffic-electric power co-constructed tunnel  
图 1. 交通 - 电力共建隧道示意图

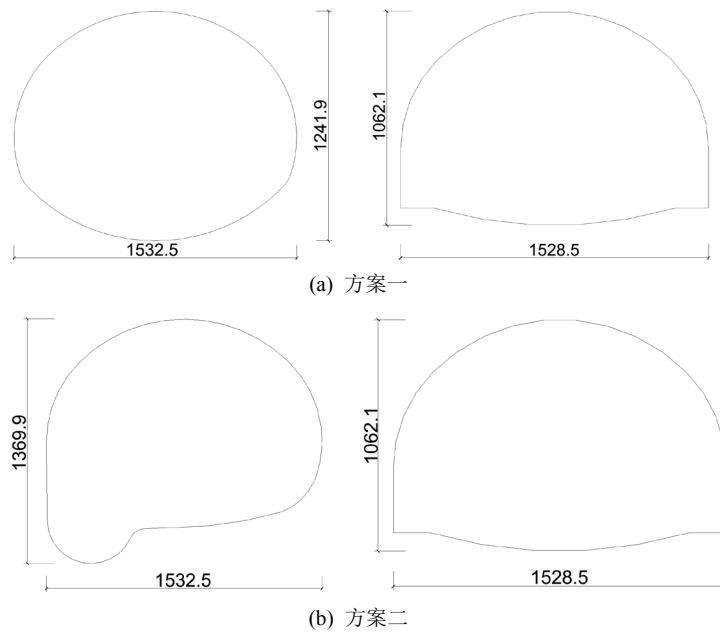


Figure 2. Geometry traffic-electric power co-constructed tunnel  
图 2. 交通 - 电力共建隧道几何尺寸(单位: cm)

### 3.2. 优化方案的提出

共建方案只在隧道左线, 右线不变。右线隧道的  $h_1 = 10.62$  m,  $b_1 = 15.29$  m。方案一和方案二中共建隧道的高度和跨度分别为  $h_2 = 12.42$  m,  $b_2 = 15.33$  m 和  $h_3 = 13.39$  m,  $b_3 = 15.29$  m。则右线隧道的等代圆半径为  $r_1 = 6.4775$  m; 方案一中共建隧道的等代圆半径为  $r_2 = 6.9375$  m; 方案二中共建隧道的等代圆半径为  $r_3 = 7.17$  m。如图 3 所示。

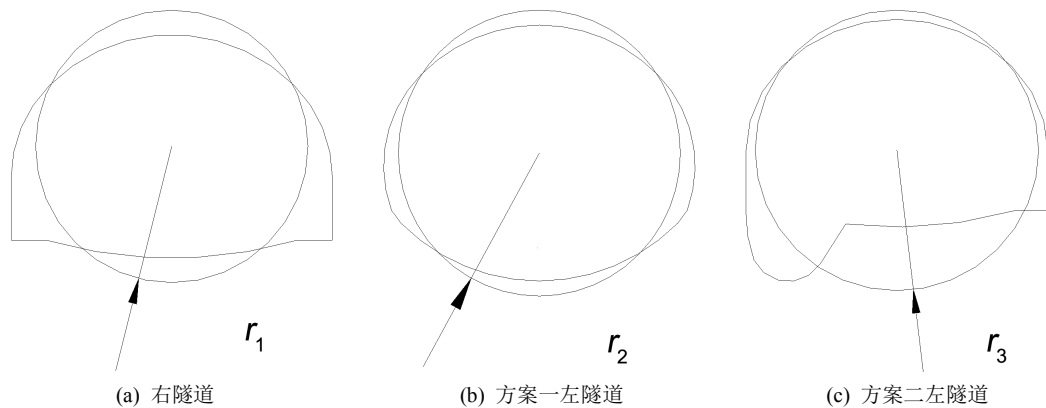


Figure 3. Geometrical figure of equivalent circles

图 3. 两方案等代圆几何尺寸

圆形洞室围岩的塑性区半径为:

$$R_0 = r_0 \left[ (1 - \sin \varphi) \frac{c \cot \varphi + \sigma_z}{c \cot \varphi + p_\alpha} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi}{2 \sin \varphi}} \quad (1)$$

圆形洞室围岩弹性区与塑性区交界处的应力公式为:

$$\begin{cases} \sigma_{rp} = (p_\alpha + c \cot \varphi)(1 - \sin \varphi) \frac{c \cot \varphi + \sigma_z}{c \cot \varphi} - c \cot \varphi \\ \sigma_{\theta p} = (p_\alpha + c \cot \varphi)(1 + \sin \varphi) \frac{c \cot \varphi + \sigma_z}{c \cot \varphi} - c \cot \varphi \end{cases} \quad (2)$$

圆形洞室围岩中的弹塑性位移为:

$$u_{R_0}^e = \frac{R_0^2 (1 + \mu)}{Er} (\sigma_z - \sigma_{R_0}), r \geq R_0 \quad (3)$$

$$u^p = \frac{R_0^2 (1 + \mu)}{Er} (\sigma_z - \sigma_{R_0}), r_0 \leq r \leq R_0 \quad (4)$$

围岩的塑性区半径和开挖半径成正比, 开挖半径越大塑性区半径  $R_0$  越大。以上三个隧道等代圆半径的关系为  $r_3 > r_2 > r_1$ , 则可得其塑性区半径的大小关系为  $R_3 > R_2 > R_1$ 。弹性区与塑性区交界处的应力只与围岩本身的物理力学性质  $c$ 、 $\varphi$  及支护抗力有关, 三个隧道的弹塑性交界处应力相同。围岩中任意一点的位移和洞室的塑性区半径成正比, 塑性区半径越大, 其径向位移越大, 则有  $u_3 > u_2 > u_1$ 。

对隧道塑性区半径、弹塑性交界处的应力及围岩的弹塑性位移进行对比分析可以看出, 方案一明显优于方案二。

## 4. 共建方案优化的模拟分析

### 4.1. 模型的确定

针对以上两种方案, 建立施工过程的二维有限元模型进一步进行分析, 以确定较佳共建方案。模型采用理想弹塑性材料, 屈服准则采用摩尔-库伦准则。方案一的数值模型有 3701 个单元, 3556 个节点; 方案二的数值模型有 3729 个单元, 3729 个节点。所有单元类型采用四边形单元, 整个模型范围为  $168 \text{ m} \times 99 \text{ m}$ , 两隧道的净距为  $19 \text{ m}$ 。喷射混凝土采用梁单元。隧道的开挖和支护通过单元的激活和钝化功能来实现。

### 4.2. 参数的选取

在有限元模型中，围岩和支护结构参数的选取依据隧道地勘报告，并结合《公路隧道设计规范》(JTGD70-2004)选取。具体的参数值见表 1 和表 2。

Table 1. Rock mass mechanical parameter

表 1. 岩体力学参数表

岩土名称	重度(KN/m <sup>3</sup> )	弹性模量(MPa)	泊松比 $\mu$	内聚力 $c$ (kPa)	内摩擦角 $\varphi$ (°)	抗拉强度(kPa)
中等风化砂质泥岩	25.6	1080	0.34	370	32.17	150
中等风化砂岩	24.9	3030	0.30	1000	40.74	382

Table 2. Physical mechanics parameter of the supporting structure

表 2. 支护结构物理力学参数表

名称	弹性模量(MPa)	泊松比 $\mu$	重度(kN/m <sup>3</sup> )	备注
喷混支护	30000	0.3	25	初期支护: C30 厚 0.22 m

### 4.3. 施工工序

隧道施工采用新奥法，台阶法开挖，主要施工步序如图 4 所示。

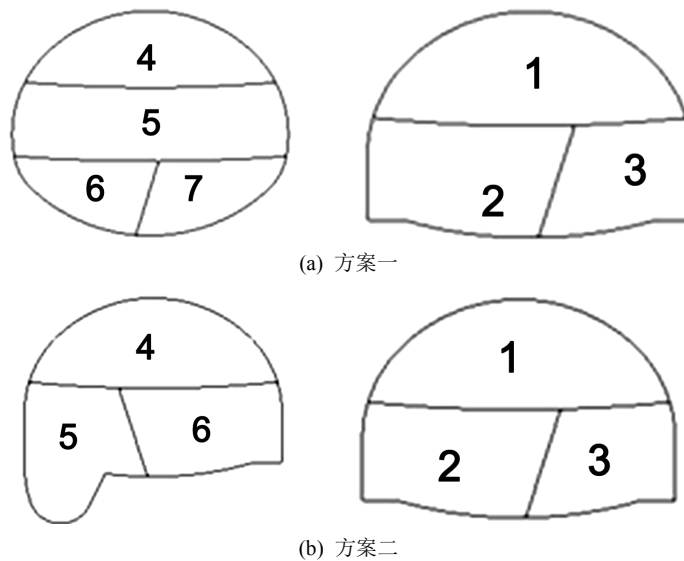


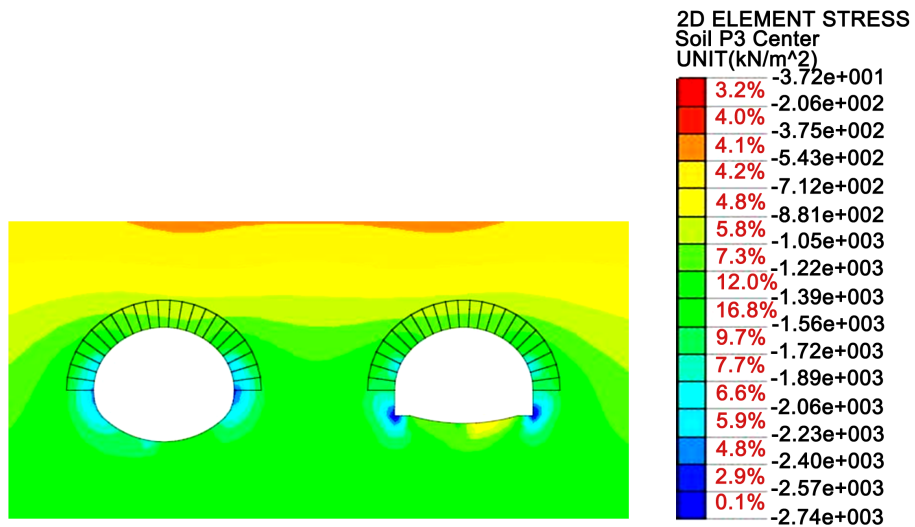
Figure 4. Schematic diagram of the co-construction tunnel

图 4. 共建隧道施工步序示意图

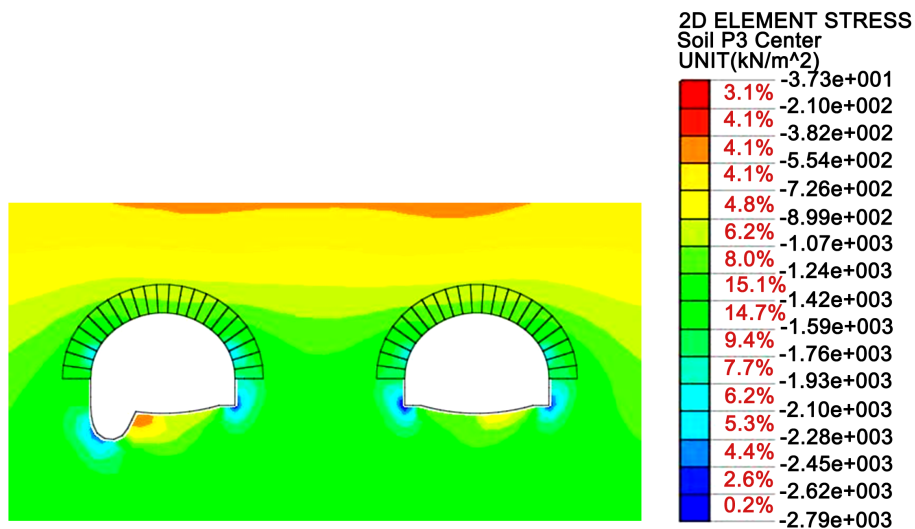
### 4.4. 模拟结果及分析

#### 1) 围岩应力特征

隧道在开挖前，围岩处在应力平衡的稳定状态中。伴随着隧道的开挖，隧道围岩位于开挖边界的部分约束被解除，围岩失去了初始的应力平衡状态，发生应力状态的改变，并逐渐形成新的应力平衡状态。隧道开挖结束后，两方案围岩应力云图如图 5~图 6 所示，可以看出，两方案围岩应力分布均在合理范围内。

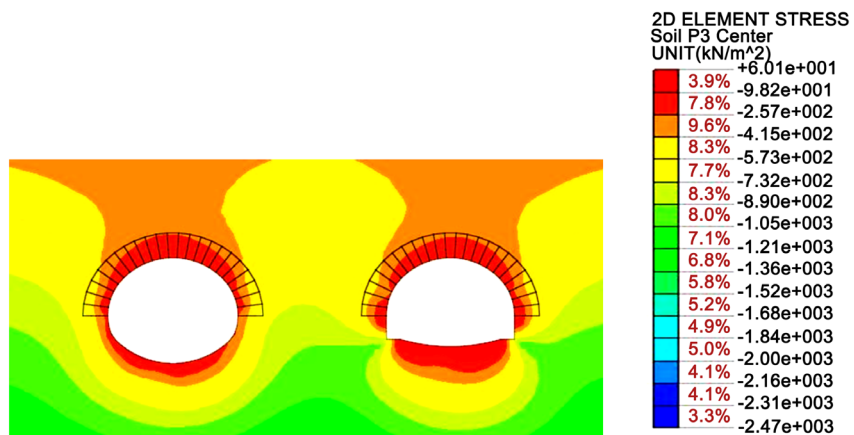


(a) 方案一

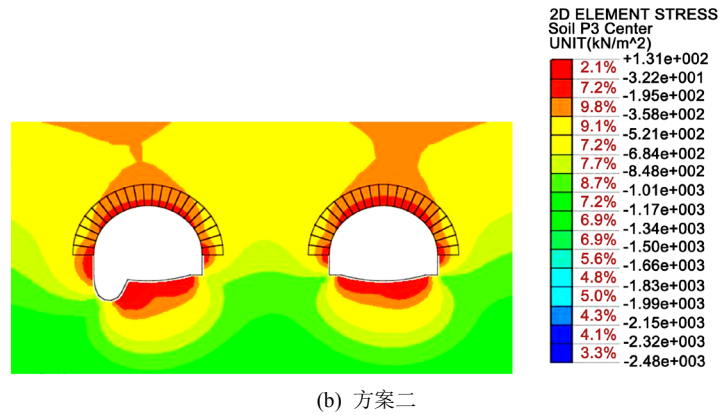


(b) 方案二

Figure 5. Maximum principal stress diagram of tunnel  
图 5. 隧道最大主应力云图



(a) 方案一



(b) 方案二

Figure 6. Minimum principal stress diagram of tunnel  
图 6. 隧道最小主应力云图

由图 5~图 6 可以看出：

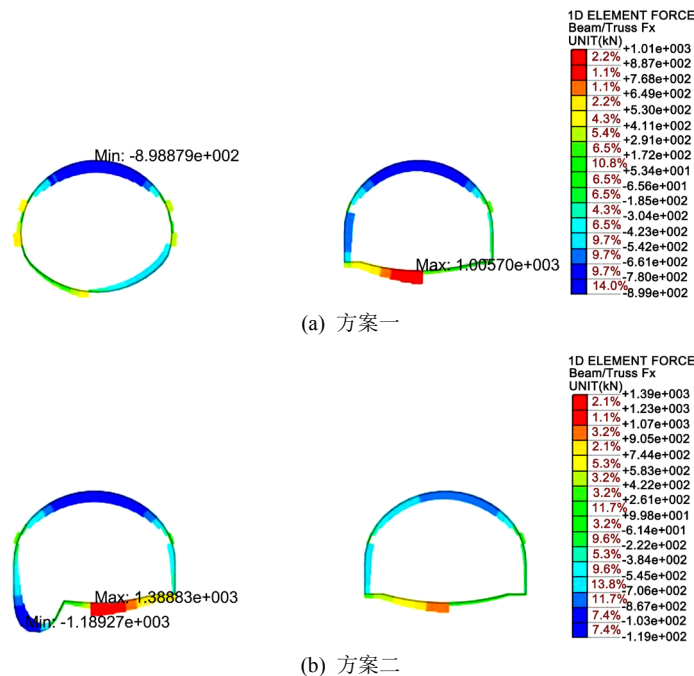
①方案一和方案二的最大主应力均为压应力，其最大值差别不大。方案一中应力集中主要发生在右隧道的拱脚和左隧道的拱腰处，其值分别达到为 2.74 MPa 和 2.47 MPa；方案二中应力集中主要发生在左隧道和右隧道的拱脚处，其值均达到 2.79 MPa。

②方案一和方案二的最小主应力中均出现了拉应力，两方案中的拉应力均分布在围岩的上部和隧道的拱底处。方案一中拉应力的最大值发生在右隧道的拱底处，其值约为 0.06 MPa，方案二中其最大拉应力出现在电力隧道和仰拱连接处，约为 0.13 MPa，此处易发生拉裂破坏。

③隧道的最大和最小主应力，总体上表现出拱脚最大，其次是拱腰，再次是拱顶和拱底。

2) 支护结构特征

隧道支护结构轴力图如图 7 所示。



(a) 方案一

(b) 方案二

Figure 7. Force of supporting structure of tunnel  
图 7. 隧道支护结构轴力图

由图 7 可以得出：两方案中右隧道的支护结构顶部和两侧受压，底部受拉；左隧道支护结构底部有一部分受压。方案一中初期支护的最大压力出现在拱顶，约为 898.9 kN，最大拉力出现在右隧道的仰拱处，约为 1005.7 kN；方案二中最大压力出现在共建处，约为 1189.3 kN，最大拉力出现在左隧道仰拱处，约为 1388.8 kN。

3) 围岩位移特征

隧道的开挖引起对围岩的扰动，图 8~图 9 分别为隧道的竖向位移和水平位移云图。

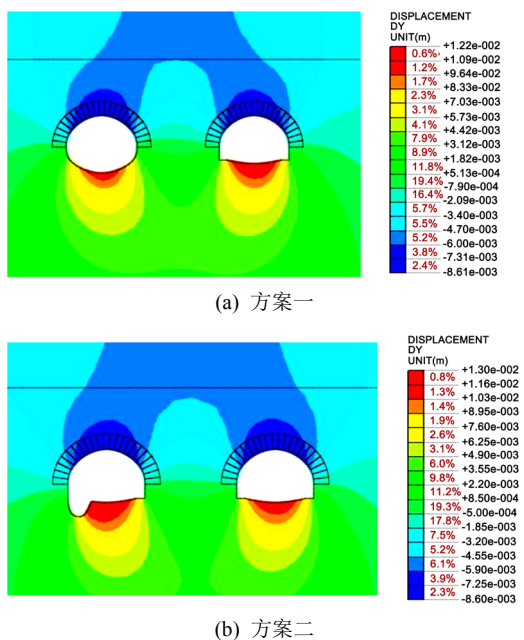


Figure 8. Cloud map of vertical displacement diagram  
图 8. 竖向位移变化云图

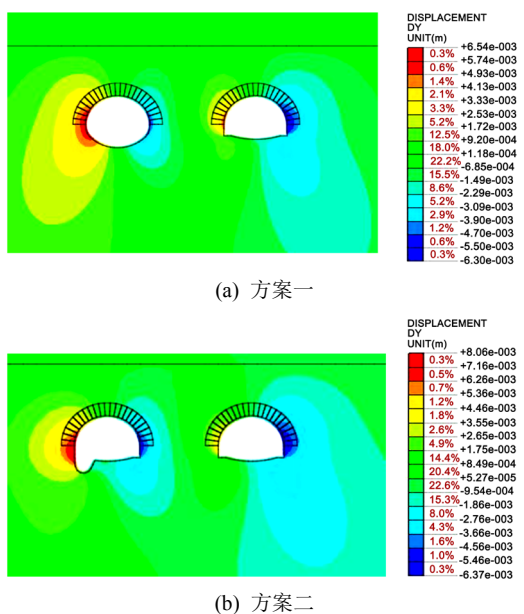


Figure 9. Cloud map of horizontal displacement diagram  
图 9. 水平位移变化云图



从图 8~图 9 可以看出, 1) 两方案中左右隧道的拱顶均发生沉降, 拱底均出现向上隆起。方案一及方案二中拱顶下沉值基本相同; 但方案一中拱底隆起最大值约为 1.22 cm, 方案二中约为 1.30 cm。2) 两方案中最大水平位移均出现在左隧道拱腰处, 方案一中最大水平位移值为 6.44 mm, 方案二中其值为 8.06 mm。

#### 4) 围岩塑性区特征

两方案隧道施工完成后围岩塑性区的特征如图 10 所示。

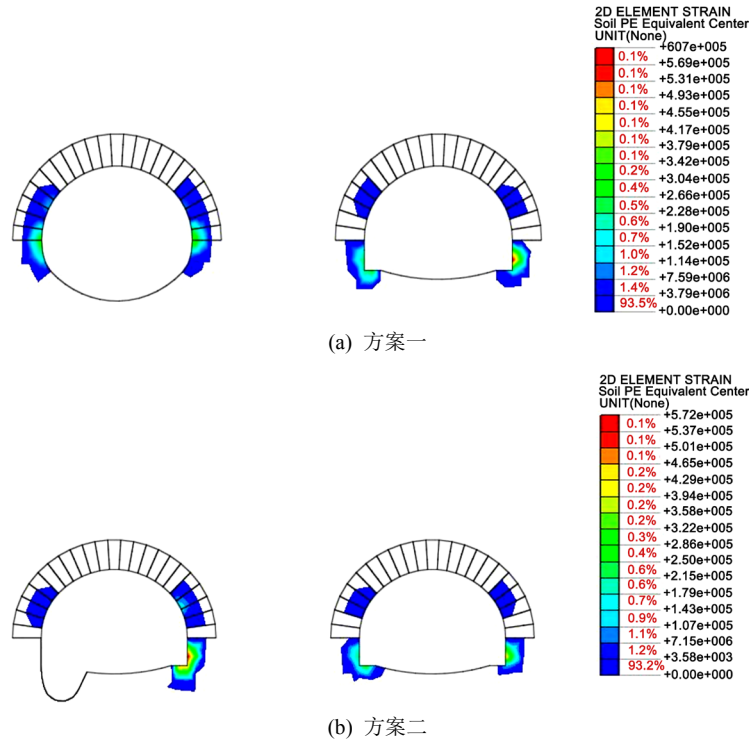


Figure 10. Plastic zone of tunnel surrounding rock

图 10. 围岩塑性区分布图

可以看出, 方案一的围岩塑性区呈对称分布, 右隧道塑性区主要分布在拱脚和拱腰处, 左隧道塑性区主要分布在拱腰处, 塑性应变最大值为  $6.07 \times 10^{-5}$ , 围岩的塑性区发展较均匀; 方案二的围岩塑性区呈不对称分布, 右隧道与左隧道的塑性区均主要分布在拱腰和拱脚处, 但共建隧道处没有塑性区分布, 塑性应变最大值约为  $5.72 \times 10^{-5}$ 。方案一和方案二的塑性应变整体较小, 且其值相差不大。

对比隧道围岩的最大和最小主应力, 方案一中最大主应力值小于方案二, 且分布较均匀; 方案二中在电力隧道和仰拱连接处出现了拉应力, 此处易发生拉裂破坏; 从两方案锚杆来看, 方案一和方案二相差不大; 从位移来看, 两方案中拱顶下沉位移基本相同, 但方案二拱底隆起位移和水平位移的最大值均比方案一大; 两方案中塑性区整体应变均较小, 且其值相差不大, 两种方案没有明显区别。

综合以上对方案一和方案二支护结构的应力, 围岩的应力、位移及塑性区的分布特征的对比分析, 可以得到共建方案一优于方案二, 即电力隧道建于左隧道仰拱的正下方的方案较优。

## 5. 结论

本文以重庆同茂大道金竹湾交通隧道与电力隧道共建工程为依托, 通过理论计算和数值模拟, 对电力隧道建在城市交通隧道左隧道仰拱的正下方及仰拱的左侧两种方案进行了系统地对比分析, 得出较佳的设计施工方案, 即电力隧道建在城市交通隧道仰拱的正下方较好。

## 致 谢

本文研究获林同棧国际工程咨询(中国)有限公司科技计划项目资助。

## 参考文献

- [1] 张晓军. 隧道净距离上下交叠设计施工处治措施[J]. 公路交通技术, 2018, 34(5): 96-101.
- [2] 王渭明, 王冲, 秦志斌, 等. 极小净距交叠隧道下行双线施工间距优化研究[J]. 现代隧道技术, 2017(5): 200-209.
- [3] 台启民, 张顶立, 房倩, 等. 暗挖重叠地铁隧道地表变形特性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(12): 2472-2480.
- [4] 梅勇文. 明挖法施工城市隧道与综合管廊共建技术探讨[J]. 北方交通, 2018(6): 138-142.
- [5] 阚绍德. 电力隧道工程与地铁工程共建设计浅析[J]. 广东土木与建筑, 2014(12): 53-55.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)