

浅埋四孔小净距隧道施工方案研究

刘海涛

珠海交通集团路桥开发建设有限公司

摘要：以珠海兴业快线大镜山隧道群为研究对象，采用工程类比法结合三维数值仿真手段，对浅埋四孔小净距公路隧道群的支护参数、施工工法开展研究。研究表明：（1）四孔小净距隧道近接施工相互影响较为显著，合理施工工序为先开挖左右线大断面主洞，后开挖左右线小断面支洞，且主洞施工错距应不小于10m；（2）合理开挖方式为大断面主洞采用CD法开挖，小断面支洞采用台阶法开挖；（3）初期支护弯矩和轴力较小，最小安全系数满足规范要求，验证了拟定方案的科学性和合理性。

关键词：四孔小净距隧道；支护参数；施工工法；数值模拟

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.04.014

一、工程背景

珠海兴业快线大镜山隧道群主线采用双向6车道、支线双向4车道方案，隧道起于大镜山公园西侧山脚，向北穿越凤凰山，于现状里神前西侧山谷处接地。主线隧道长约2.2km、支线隧道长约0.2km于山中接入主线，如图1所示。小净距大断面隧道群与其他隧道相比，具有洞形高跨比小、扁平率低、施工开挖分步多、施工工序及结构受力相互影响复杂等显著的特征，给隧道建设造成诸多技术难题。本工程洞口段主洞隧道净距约7m；支线隧道与主洞隧道最小净间距约15m，如图2所示，净间距远小于规范中分离隧道最小净距限值，属四孔小净距隧道，对于其设计、施工常常采用工程类比法或经验

法进行实施，如何针对该大断面小净距隧道群这一特殊工程进行科学合理的设计、施工，确保工程建设安全，具有重要的现实意义。

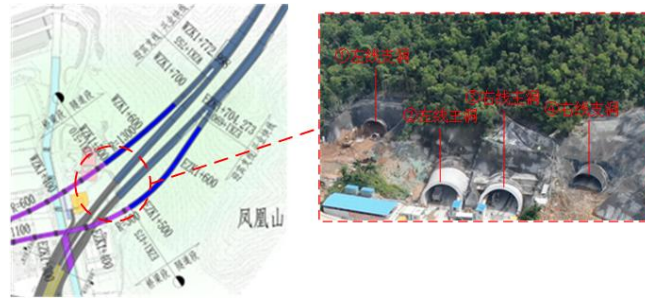


图1 大镜山四孔小净距隧道平面图

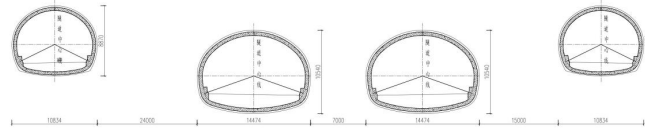


图2 大镜山四孔小净距隧道横断面布置图

二、施工方案研究

（一）支护参数

依据超大断面隧道设置特点，采用工程类比法对隧道洞口浅埋段支护参数进行初步拟定，同时辅以工程实践经验，洞口支护参数考虑相互影响效应，采用对围岩降级处理措施进行拟定。以调研获取的大断面小净距隧道群支护结构参数特征为基础，结合本隧道工程实际，制定隧道支护结构参数方案，具体见下表1。

表1 大镜山四孔小净距隧道支护结构参数

| 隧道名称 | 初期支护 | | | | 预留变形 | 二次衬砌 | 开挖方式 | 超前支护 |
|------|-----------------------------------|-------------|------------------|-----------------|-------|------------------|------------|----------------------------|
| | 系统锚杆 | 钢筋网 | C25喷射混凝土 | 钢拱架 | | | | |
| 左线支洞 | Φ25中空注浆锚杆，L=3.0m，间距0.7m×1m（纵×环） | Φ8 @20×20cm | 拱墙50cm 仰拱50cm | I20a 间距100cm | 100mm | 50cm C35钢筋混凝土 | 台阶法 | Φ42×4 L=5.0m小导管 @400 |
| 左线主洞 | Φ25中空注浆锚杆，L=4.0m，间距0.5m×0.8m（纵×环） | Φ8 @20×20cm | 拱墙50cm 仰拱50cm | I20a 间距50cm | 140mm | 65cm C35钢筋混凝土 | 中隔壁（CD）台阶法 | Φ108×6 大管棚@400 |
| 右线主洞 | Φ25中空注浆锚杆，L=4.0m，间距0.5m×0.8m（纵×环） | Φ8 @20×20cm | 拱墙50cm 仰拱50cm | I20a 间距50cm | 140mm | 65cm C35钢筋混凝土 | 中隔壁（CD）台阶法 | Φ108×6 大管棚@400 |
| 右线支洞 | Φ25中空注浆锚杆，L=3.0m，间距0.7m×1m（纵×环） | Φ8 @20×20cm | 拱墙50cm 仰拱50cm | I20a 间距100cm | 100mm | 50cm C35钢筋混凝土 | 台阶法 | Φ42×4 L=5.0m小导管 @400 |

（二）开挖工法

依据我国现行公路隧道设计规范中对于各级围岩自稳性的描述可知，各级围岩处于基本稳定状态时所对应的毛洞跨度值为：III级围岩10-20m，IV级围岩5-9m，V级围岩小于5m。因此，在各级围岩中，应选择一次开挖跨度尺寸不超过上述毛洞自稳跨度要求的施工工法。

当然，围岩自稳性也可以通过采用一些其他措施进行提高，此时应根据提高后的围岩自稳性性能进行相应施工工法的选择。从施工现状及技术水平来看，本隧道洞口浅埋段为V级围岩，亚分级为V_b，为了提高施工开挖围岩稳定性，确保施工开挖安全，针对不同围岩地段拟定了相应的辅助工程措施，超前长管棚设置于隧道进出洞口

(V_b)，在主线隧道 V_a 级围岩地段设置双层小导管，支线隧道 V_a 级围岩地段设置单层小导管。结合大镜山隧道工程实际情况及地质条件，采用如下开挖方案：

- (1) 开挖左线三车道主洞，采用中隔壁（CD）法台阶法；
- (2) 开挖右线三车道主洞，采用中隔壁（CD）法台阶法，掌子面开挖滞后左洞10m；
- (3) 开挖左线两车道支洞，采用台阶法；
- (4) 开挖右线两车道支洞，采用台阶法。

三、数值模拟分析

(一) 计算模型及参数

为验证上述开挖工法和支护措施的合理性，采用FLAC^{3D}进行三维数值模拟分析，计算模型如图3所示。围岩采用实体单元模型，本构模型采用莫尔库伦，初期支护和临时支护采用壳单元，本构模型采用弹性，初支中锚杆加固效应采用将围岩强度参数提高30%考虑。参考《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1—2018）选取围岩及衬砌物理力学参数取，详见下表。隧道开挖工序按照2.2中选取。

表2 计算参数

| 材料 | 重度 (kN/m ³) | 弹性模量 E (MPa) | 泊松比 | 摩擦角 (°) | 粘聚力 (kPa) |
|--------|----------------------------|-----------------|------|------------|--------------|
| 围岩 (V) | 20 | 1500 | 0.35 | 25 | 100 |
| 围岩加固区 | 20 | 1500 | 0.35 | 33 | 130 |
| 初期支护 | 23.0 | 29500 | 0.2 | / | / |
| 临时支护 | 23.0 | 29500 | 0.2 | / | / |

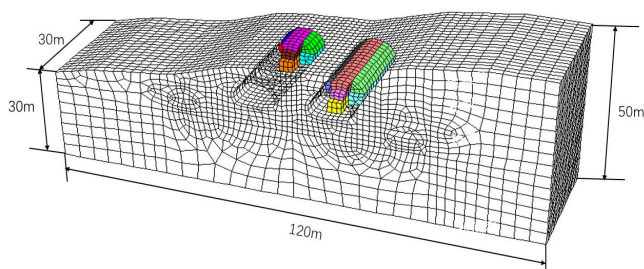
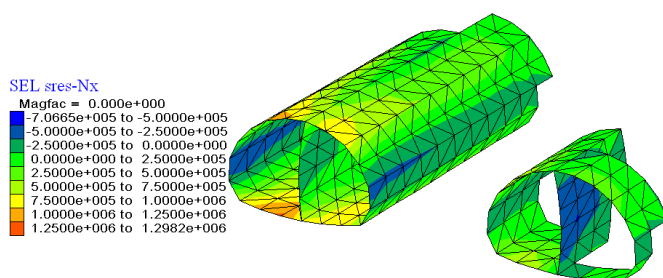


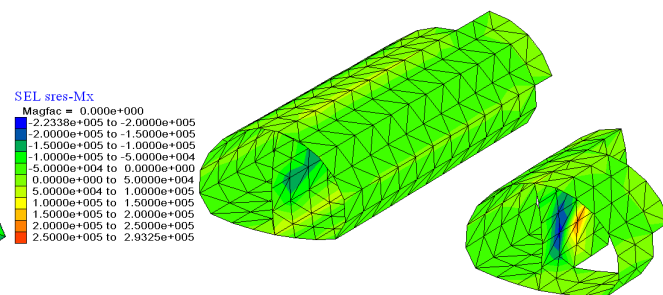
图3 三维数值模型

(二) 计算结果分析

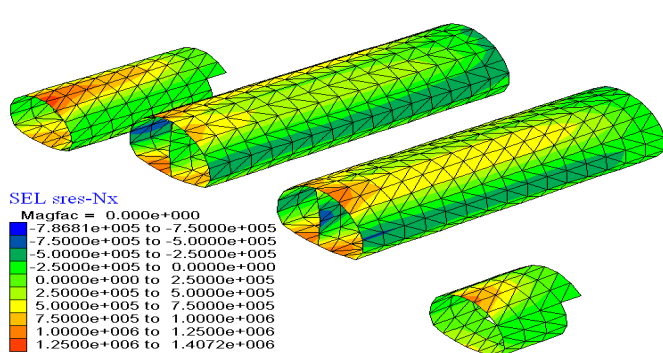
由于四座隧道先后开挖，各个隧道在空间上开挖面不一致，因此施工步较多，为了全面展示初期支护及临时支护在各个施工阶段的受力状态，分析时取主洞和辅洞左、右线隧道开挖开始阶段、中间阶段及最终阶段的典型开挖步结果进行分析。图4为各施工过程中支护结构内力，由图可知，随着隧道施工推进，主线隧道及支线隧道初期支护及临时轴力经历了一个先增大，而后增大幅度逐渐减小，最后轴力趋于稳定的一个变化过程。从轴力量值分布来看，初期支护边墙及临时竖撑中部轴力最大，计算轴力最大值-814kN，拱顶部分位置受拉，最大轴力125kN。而隧道临时支护弯矩与工法的转换关系密切，从临时支护弯矩变化过程可以看出，其内力存在一个先增大后减小，最终稳定的过程。从轴力量值分布来看，初期支护拱顶及临时竖撑中部弯矩最大，计算弯矩最大值-208kN·m；其余位置初期支护及临时支护弯矩计算值较小，均在142kN·m以内。临时竖撑由于承受较大压力，因此临时竖撑中部水位位移较大。



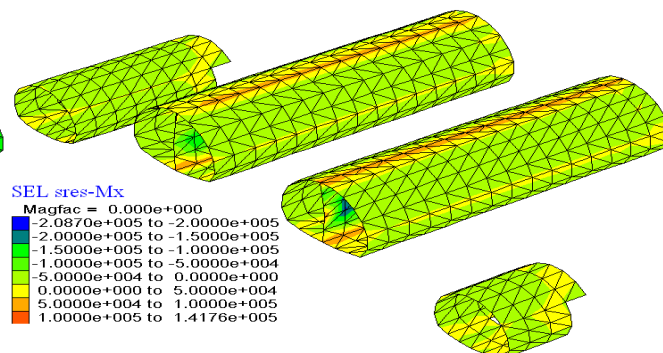
(a) 主线左洞、右洞施工支护轴力 (单位: N)



(b) 主线左洞、右洞施工支护弯矩 (单位: kN·m)



(c) 支线左洞、右洞施工支护轴力 (单位: N)



(d) 支线左洞、右洞施工支护弯矩 (单位: kN·m)

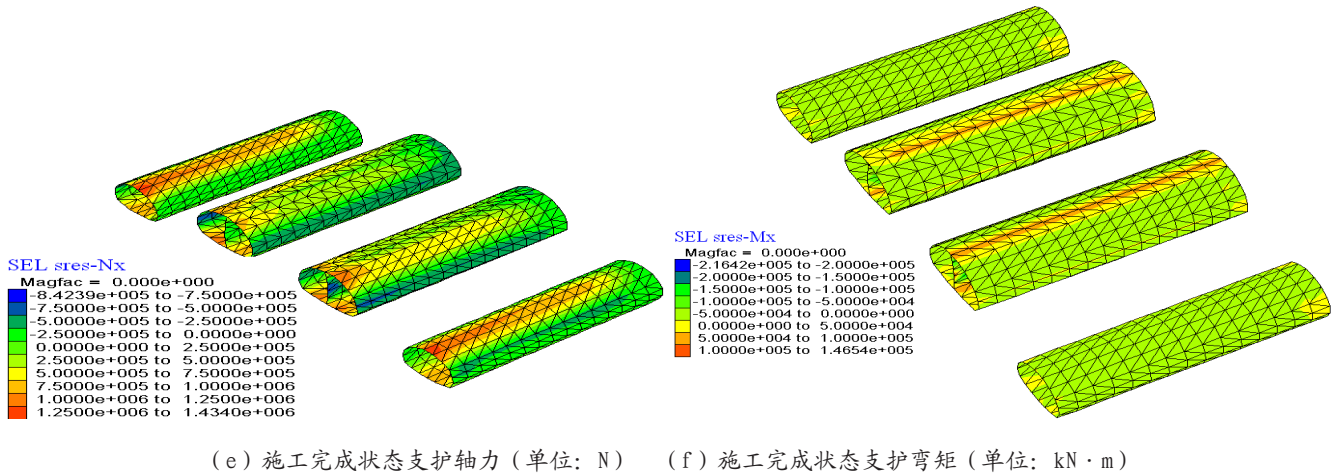


图4 四孔小净距隧道施工过程初期支护内力图

为了避免边界约束条件对计算结果的影响，取主线隧道及支线隧道洞身支护为研究断面，分析该断面支护内力及安全系数，以评价隧道初期支护及临时支护设计参数的合理性。研究断面在模型中的位置关系如下图所示。由图可知，主洞隧道右导坑初期支护最小安全系数为2.1；左导坑初期支护最小安全系数为2.4，受压力控制；临时支护最小安全系数1.1，受拉力控制；支线隧道初期支护拱顶最小安全系数为3.5；右边墙与拱部相接位置最小安全系数为3.2；左边墙与拱部相接位置最小安全系数为2.8；仰拱最小安全系数为4.5，受压力控制，均满足规范要求，说明拟定的支护参数和开挖工法能够保证隧道施工安全。

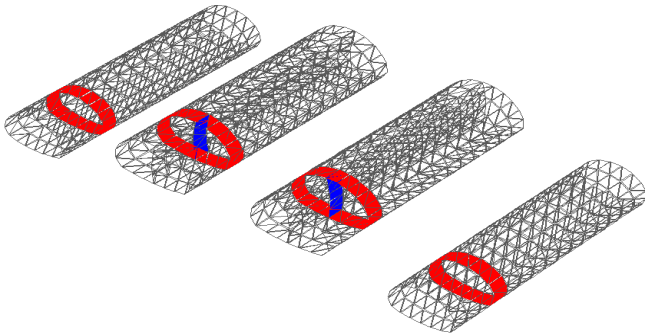


图5 分析断面在整体模型中的位置关系

四、结论

本文以珠海兴业快线大镜山隧道群为研究对象，采用工程类比结合三维数值分析，得到以下结论：

(1) 四孔小净距隧道近接施工相互影响较为显著，合理施工工序为先开挖（CD法）左右线大断面主洞，后开挖（台阶法）左右线小断面支洞，主洞施工错距应不小于10m。

(2) 数值结果表明，随着隧道掌子面推进，主线隧道及支线隧道初期支护及临时轴力经历了一个先增大，而后增大幅度逐渐减小，最后趋于稳定的变化过

程。临时支护弯矩与工法的转换关系密切，其内力也存在一个先增大后减小，最终稳定的过程。

(3) 初期支护拱顶，临时竖撑中部弯矩和轴力最大，其余位置弯矩和轴力较小，初期支护和临时竖撑最小安全系数满足规范要求，验证了拟定方案的科学性和合理性。

参考文献

- [1] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京：人民交通出版社，2011.
- [2] 李然. 深埋三孔小净距隧道施工力学行为及其控制[D]. 北京交通大学，2022.
- [3] 陈鹏. 平行三孔小净距隧道相互影响分析及围岩稳定性研究[D]. 中南大学，2012.
- [4] 刘耀星. 四孔小净距隧道力学特性及设计优化[D]. 福建工程学院，2023.
- [5] 马军秋. 平行三孔大断面小净距隧道施工技术与其力学特性研究[D]. 中南大学，2011.
- [6] 姚志雄，刘耀星，张忠星等. 四孔小净距隧道浅埋下穿高速公路施工力学特性[J]. 地下空间与工程学报，2022，18（06）：2052-2061.
- [7] 李然，张顶立，房倩等. 深埋三孔小净距隧道围岩压力计算方法及其工程应用[J]. 中国铁道科学，2020，41（02）：81-90.
- [8] 马梁. 三孔小净距隧道后行洞施工对先行洞的变形影响及加固对策研究[D]. 济南大学，2020.
- [9] 赵镇林. 三孔小净距隧道合理净距确定与爆破振动响应研究[D]. 中南大学，2012.
- [10] 吴开华，石恩岭，俞洪政等. 非对称三孔小净距隧道围岩压力分析[J]. 地下空间与工程学报，2022，18（S1）：65-73.

作者简介：刘海涛（1981-9），男，汉族，山东德州，大学本科，中级工程师，主要从事公路、房屋建筑和市政工程等基础设施项目前期工作和建设管理工作。