

# 超大断面小净距山体隧道施工方案对比分析

史妍<sup>1</sup> 刘雨奇<sup>2</sup> 柳林齐<sup>1</sup>

1. 上海城建市政工程(集团)有限公司; 2. 福州大学土木工程学院

**摘要:** 在超大断面小净距偏压隧道施工中, 合理选用施工方案至关重要。结合福州市长乐区某隧道工程, 基于FLAC3D有限差分软件, 针对IV级围岩, 15m净距, 20m最小覆土厚度, 20°偏压角度, 超大断面浅埋偏压小净距山体隧道进行施工方案研究。选取台阶法和单侧壁导坑法两种工况, 分析不同施工方案下隧道拱顶下沉、地表沉降、中岩墙应力、结构内力的变化规律。结果表明, 在地形偏压下, 后行浅埋侧隧道位移值小于先行深埋隧道。在控制隧道拱顶下沉、地表沉降方面, 单侧壁导坑法优于台阶法。单侧壁导坑法的拱顶下沉值约为台阶法的0.5倍。

**关键词:** 小净距隧道; 有限差分法; 施工方案

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2021.23.019

## 一、引言

双线隧道因地形条件限制、线路总体线性要求或特殊的桥隧相连等情形, 左右线间距不能达到规范要求, 需用小净距隧道、连拱隧道等特殊结构形式。小净距隧道是指在应力场和位移场上存在相互影响的双洞隧道结构。一般指净距小于1.5倍洞径的双线隧道。超大断面小净距隧道具有施工工序复杂、围岩扰动大等特点。合理选用施工方案, 可以在确保隧道安全可靠的同时, 减少施工工序、节约工期造价, 对隧道建设的顺利进行具有重要意义。

龚建伍等以双向六车道鹤上大断面隧道实际工程为依托, 建立有限元分析程序, 就V级围岩, 对双侧壁导坑法、CD法和上下台阶法3种工法的施工力学性能进行了模拟分析。蒋坤等针对节理岩体, 建立离散元数值分析模型, 模拟魁岐2号双向八车道超大断面小净距隧道在双侧壁导坑法、CRD法、CD法下的施工过程, 研究3种工法对隧道稳定性的影响。侯福金等依托双向八车道大岭隧道工程, 采用数值模拟、现场实测方法, 对半步CD法、CD法、双侧壁导坑法进行了研究<sup>[1]</sup>。

本文结合福州市长乐区某双向八车道隧道工程, 针对IV级围岩、15m净距、20m最小覆土厚度、20°偏压角度、超大断面浅埋偏压小净距山体隧道进行施工方案分析。

## 二、工程概况

隧道采用新奥法施工, 采用柔性支护体系的复合式衬砌, 开挖前设置超前注浆小导管预加固, 以系统锚杆、喷射混凝土、型钢钢架等为初期支护, 模筑钢筋混凝土为二次支护。采用预应力长锚杆加固中岩墙。

## 三、三维模型和材料参数确定

### (一) 计算假定

本文着重考虑小净距隧道开挖方式引起的地表、隧道变形及应力。

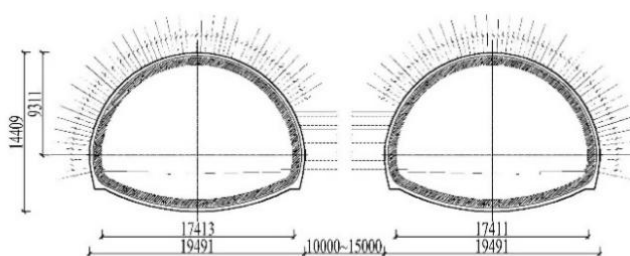


图1 隧道断面图(单位: mm)

1. 将围岩视为各向同性、均质连续介质, 采用Mohr-Coulomb屈服准则条件下的弹塑性本构模型;
2. 以自重应力场模拟地应力场, 不考虑构造应力;
3. 采取提高洞周一定范围内岩体参数的方法模拟超前支护;
4. 计算时开挖步长均按1m计算;
5. 初期支护滞后两个开挖步(即滞后2m)施加;

### (二) 计算模型与参数

隧道施工对地层的扰动和影响范围一般为3~5倍洞径<sup>[2]</sup>, 计算模型边界范围: 上边界至地表自由面, 下边界至开挖洞底距离为3倍洞高, 左右边界距洞口距离分别为4倍隧道跨度。网格划分如图2。

上边界为自由地表面, 未受任何约束; 左右边界约束水平方向位移; 下边界约束所有方向位移。

围岩和加固圈采用M-C模型模拟, 初期支护和二次衬砌采用弹性模型模拟。围岩、加固圈以及二次衬砌采用实体单元模拟, 初期支护采用壳单元模拟, 锚杆用锚索单元模拟。

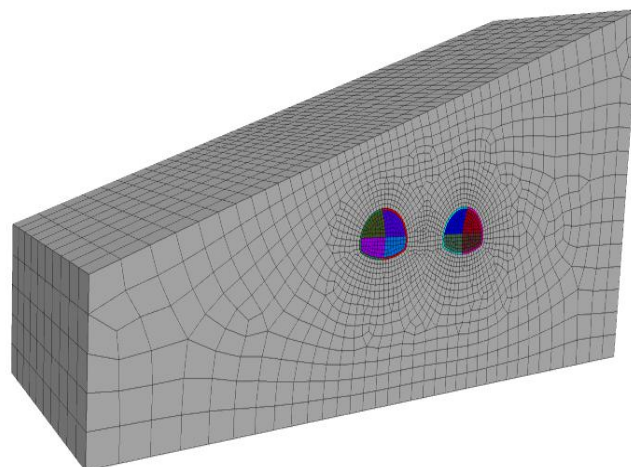


图2 计算模型及网格划分

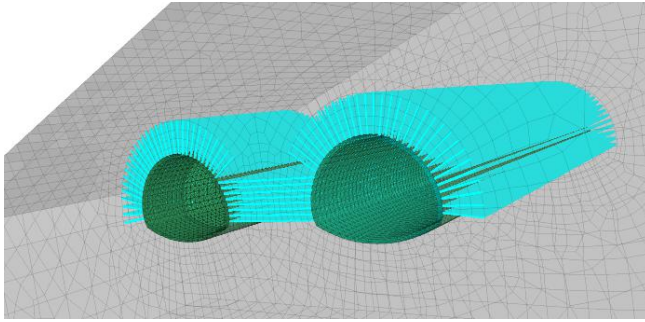


图3 系统锚杆及喷射混凝土模型

本文选取K0+820断面为计算断面，围岩级别为IV级，隧道净距约15m。具体计算参数见表1~2。

表1 实体单元计算参数表

类别	弹性模量 E/ GPa	泊松比 $\mu$	重度 $\gamma / (\text{kN}/\text{m}^3)$	黏聚力 c/ kPa	摩擦角 $\phi / (^\circ)$
IV级围岩	2.5	0.32	22	400	33
注浆加固	2.5	0.32	24	480	34
二衬	28.5	0.2	25	-	-

表2 壳、锚索单元计算参数表

类别	弹性模量 E/ GPa	重度 $\gamma / (\text{kN}/\text{m}^3)$	厚度 /m	截面积 A/ $\text{m}^2$
系统锚杆	210	78	-	0.00196
初衬	25	25	0.3	-

(三) 隧道开挖计算方案

根据工程经验及小净距隧道特点，本文选取台阶法、单侧壁导坑法进行优化比较。

台阶法。其施工工序共分10步（见图4）：开挖左洞上台阶；施工左洞上台阶初期支护；开挖左洞下台阶；施工左洞下台阶初期支护；开挖右洞上台阶；施工右洞上台阶初期支护；开挖右洞下台阶；施工右洞下台阶初期支护；左洞整体浇筑二次衬砌；右洞整体浇筑二次衬砌。

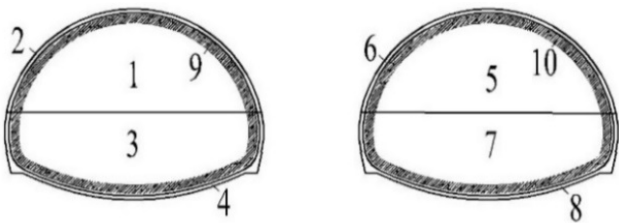


图4 台阶法施工工序

单侧壁导坑法。工序共分14步（见图5）：开挖左洞左导坑上台阶；开挖左洞左导坑下台阶；施工左洞左导坑初期支护，设置中壁墙临时支撑；开挖左洞右导坑上台阶；开挖左洞右导坑下台阶；施工左洞右导坑初期支护；开挖右洞右导坑上台阶；开挖右洞右导坑下台阶；施工右洞右导坑初期支护，设置中壁墙临时支撑；开挖右洞左导坑上台阶；开挖右洞左导坑下台阶；施工

右洞左导坑初期支护；拆除左洞中壁墙，左洞整体浇筑二次衬砌；拆除右洞中壁墙，右洞整体浇筑二次衬砌。

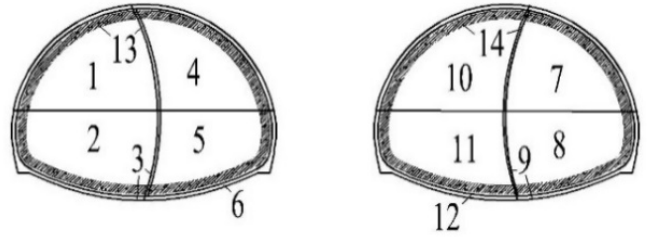


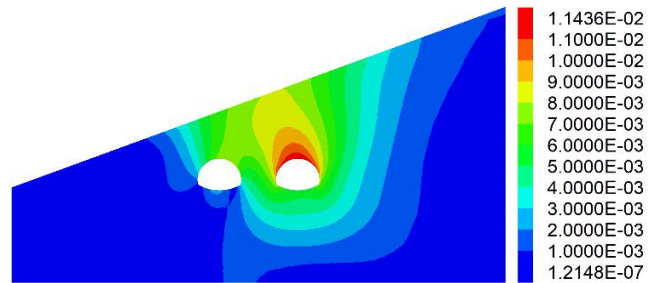
图5 单侧壁导坑法施工工序

先开挖深埋侧右洞，再开挖浅埋侧左洞，左、右洞掌子面间距45m。

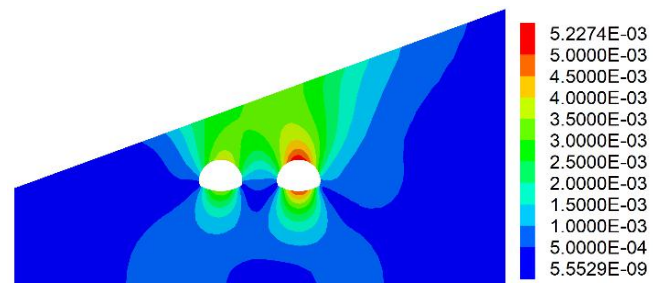
四、三维数值分析结果

(一) 围岩位移场分析

开挖后，洞室整体变形如图6，洞周围岩向隧道内部位移。洞室位移主要以竖直方向位移为主，拱顶下沉，拱底隆起。从图6可以看出，在地形偏压下，后行浅埋侧位移值小于先行深埋侧。



(a) 台阶法



(b) 单侧壁导坑法

图6 位移云图（单位：m）

(二) 拱顶下沉分析

拱顶下沉位移曲线如图7。与台阶法相比，采用单侧壁导坑法施工时拱顶下沉值更小，左、右洞拱顶最终下沉仅为台阶法的0.52和0.45。拱顶下沉值随掌子面距离的增加而减小，单侧壁导坑法位移稳定快，达到最大值的时间短。小净距隧道其本质在于两隧道应力场与位移场的相互影响。采用单侧壁导坑法施工时，右洞开挖引起左洞的拱顶竖向位移增量约为0.64mm；台阶法施工时，右洞开挖引起左洞的拱顶竖向位移增量为4.48mm。

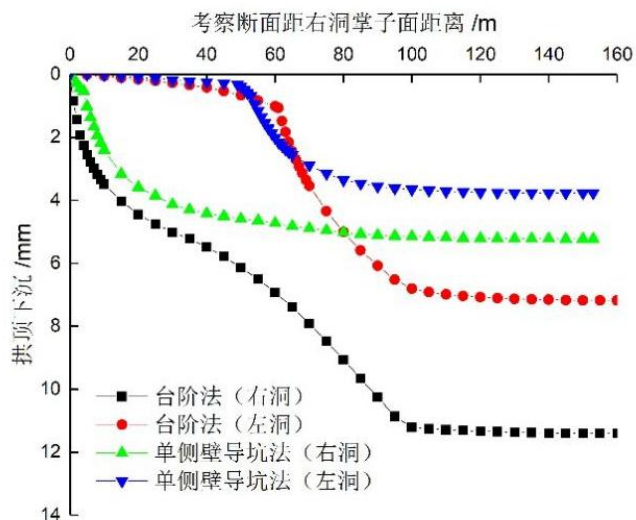


图7 拱顶下沉曲线

### (三) 地表沉降分析

图8为地表沉降槽曲线，地面沉降曲线对于隧道中心线是不对称的，深埋一侧的沉降值及沉降范围均较大。台阶法开挖产生的地表沉降大于单侧壁导坑法，台阶法施工引起的3点地表沉降分别为单侧壁法的0.56、0.50和 0.49。

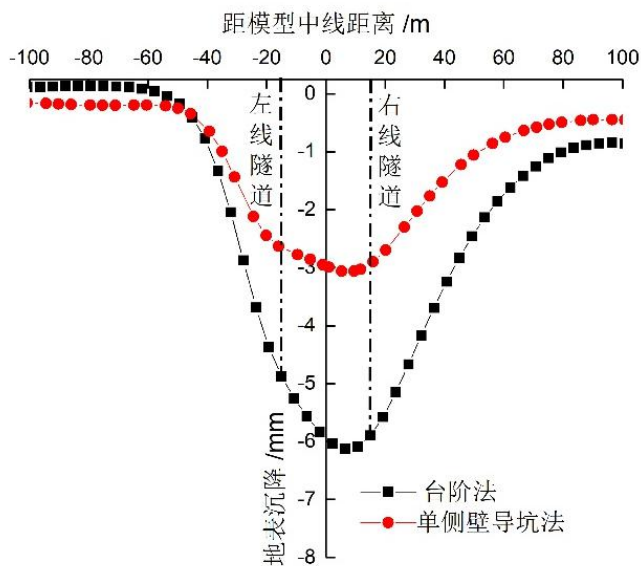


图8 地表沉降曲线

### (四) 中岩墙应力分析

中岩墙应力分析特征点如图9。由图可知：中岩墙近左右洞侧（A、C点）应力大于中岩墙中间部位（B点），A、C两点应力差距不大。台阶法开挖引起各点最大、最小主应力大于单侧壁导坑法。以A点的最大主应

力为例，采用台阶法开挖时，引起的A点最大主应力比单侧壁导坑法大385 kPa，即台阶法引起的最大主应力比单侧壁导坑法大25.3%。

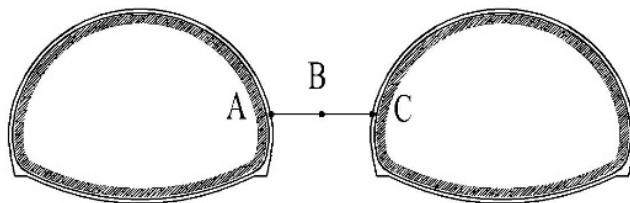


图9 中岩墙应力分析特征点

表5 中岩墙应力值（单位：10<sup>5</sup>Pa）

计算点	台阶法		单侧壁导坑法	
	大主应力	小主应力	大主应力	小主应力
A	-19.04	-2.58	-15.19	-1.87
B	-11.79	-5.18	-11.20	-4.96
C	-20.51	-2.18	-18.70	-2.69

### (五) 结构内力

轴力大小直接反映了锚杆的支护效果。两种施工方案下，锚杆轴力均为拉力，最大轴力出现在中岩墙部位。采用台阶法施工时，锚杆最大轴力为14.23kN，采用单侧壁导坑法施工时，最大轴力为6.63kN。

### 五、结论

(一) 在地形偏压下，后行浅埋侧隧道位移值小于先行深埋侧；

(二) 在控制隧道拱顶下沉、地表沉降方面，单侧壁导坑法优于台阶法。单侧壁导坑法的拱顶下沉值约为台阶法的0.5倍；

(三) 中岩墙近左右洞侧应力大于中岩墙中间部位，台阶法引起的最大主应力大于单侧壁导坑法；

(四) 锚杆轴力均为拉力，台阶法、单侧壁导坑法锚杆最大轴力分别为14.23 kN、6.63 kN，均出现在中岩墙部位。

### 参考文献

[1] 龚建伍, 夏才初, 朱合华, 等. 鹤上大断面小净距隧道施工方案优化分析[J]. 岩土力学, 2009, 30 (01): 236-240.  
 [2] 蒋坤, 夏才初, 卞跃威. 节理岩体中双向八车道小净距隧道施工方案优化分析[J]. 岩土力学, 2012, 33 (03): 841-847.

### 作者简介:

史妍(1992.8-),女,汉族,陕西省彬州市人,硕士,研究方向:市政工程方向。