

复杂地质条件下浅埋隧道施工方案的研究

苏红卫, 何 华

(铁道部第十四工程局, 日照 276826)

[摘要] 结合浙江省上三线任胡岭隧道浅埋段, 对明挖和暗挖两种施工方案进行了详细的技术经济比较, 针对复杂的地质条件, 采用了挖孔桩系梁帷幕暗挖的施工方案, 并利用有限元方法对该方案进行了模拟分析, 保证了施工的顺利进行。实践证明, 该方法是成功的、可行的, 节省了投资, 缩短了工期, 为浅埋隧道的施工提供了一种新的方法。

[关键词] 浅埋 挖孔桩 有限元

[中图分类号] TU455.4 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2000)03-0075-04



1 引言

隧道的开挖方式主要分为明挖、半明挖和暗挖3类, 具体采用何种方式开挖主要从经济、安全、建造技术、外部环境等角度分析。明挖只适用于覆盖层较薄的情况, 开挖基坑在建造作业过程中的稳定性以及基坑的排水是明挖考虑的主要问题, 当区域地质构造复杂, 构造裂隙发育、地下水丰富时, 深基坑开挖很容易引起山体滑坡。半明挖主要适用于松散的地质条件下及隧道处于地下水位线以上的情况。暗挖是隧道施工的一种主要方法, 覆盖层较厚时, 一般采用此法。浅埋隧道地质条件比较复杂时, 深基坑容易引起地表滑动时, 也可以考虑暗挖的施工方式。针对任胡岭隧道浅埋段复杂的地质条件及外部环境的影响, 设计方和施工方在施工方案上出现分歧, 设计方提出了深基坑明挖的施工方案; 施工方提出了挖孔桩帷幕暗挖的施工方案, 下面对这两种方案进行技术经济比较, 得出最佳方案, 并利用有限元方法对最佳方法进行施工模拟分析。

2 工程地质概况

任胡岭隧道浅埋段, 地表为一山间凹地, 覆盖层为浅坡积和坡洪积, 层厚0 m~5 m, 岩性为碎石粘土岩, 呈松散结构; 其下为弱微风化霏细斑岩, 受两条大断层的影响, 节理(裂隙)发育, 岩体呈角(砾)碎(石)状松散结构, 设计为Ⅱ类围岩。地下水分布为第四系松散孔隙水和基岩裂隙水, 比较丰富。因此, 该区域地质构造复杂, 深基坑开挖很容易引起山体

滑坡, 而且在隧道出口已发生6万m²的山体滑坡; 在隧道进口, 由于山体的运动已造成右洞进口附近的二次衬砌的局部破坏。因此, 采用明挖, 基坑的稳定性很难保证; 而且处于山区凹地, 地下水丰富, 为山体的运动创造了条件。由于本段隧道埋深仅为2.5 m~6.0 m, 拱顶覆盖层较薄, 而且为松散的粘性土, 成拱能力差, 极易坍塌, 所以, 暗挖围岩难以围护, 为此提出了挖孔桩帷幕暗挖的施工方案。

3 施工方案的技术经济比较

明挖和挖孔桩帷幕暗挖两种施工方案在浅埋隧道施工中各有优势, 为了决定最佳方案, 下面从外部环境、建筑技术、经济、安全方面分析比较两方案的优越性。

3.1 明洞开挖的主要不利因素

1) 明洞开挖的目的, 主要是避免暗洞施工时出现的涌水、坍塌冒顶、边墙失稳灾害。但由于隧道位于山间凹地, 汇水量大(上游汇水面积大, 距其5 km处有一水库), 设计没有考虑施工时的排水问题, 开挖后水的灾害依然存在, 特别是雨水季节, 排水成为主要问题。

2) 明洞开挖后, 对前后山体的扰动较大, 如果处理不当, 极易引起山体失稳, 发生山体滑坡。

3) 从施工放样情况看, 该段开挖后, 原施工便道将彻底被破坏, 为了保证隧道出口段的施工, 必须重修便道。为此, 需拆迁村民住房约3000 m²。

4) 作业场地狭窄, 施工难以开展, 出渣困难。

根据施工现场的实际情况, 施工方经过反复研究, 提出了挖孔桩帷幕暗挖的施工方案, 即沿隧道建筑限界设置四排人工挖孔桩作为侧壁支护, 桩顶设置联系压梁, 每座隧道两排桩之间用系梁连接, 系梁

之上浇注 15 cm 厚钢筋混凝土。为了防止地下水进入隧道而影响施工,在地表进行预注浆,形成止水帷幕,以便隧道正常施工。

3.2 挖孔桩帷幕暗挖方案具有优点

1) 人工挖孔桩围护,设桩灵活,危险地段可以适当加密,并且可以单独使用,也可以与其他辅助支护措施配合使用。

2) 挖孔桩可以提前施工,且占地较少,施工方便,易于操作。

3) 对附近居民以及施工便道影响较小,不需要拆迁。

4) 对原地形地貌破坏较小,对山体的扰动也较小,有利于山体的稳定。

5) 混凝土完成后,可以按照设计要求先期做好地面截排水沟,减少地表水对隧道开挖造成的影响。

6) 可减少投资 10 万元。

因此,挖孔桩帷幕暗挖比明挖具有明显的优势,减少了对山体的扰动,缩短了工期,减少了投资,所以决定采用挖孔桩帷幕暗挖进行浅埋段的施工。

4 挖孔桩帷幕暗挖施工方案的有限元模拟

为对施工工况进行详细分析,应用弹塑性平面有限元方法进行施工模拟分析。两隧道中心间距为 35 m,采用上下台阶法施工,上下台阶间距为 20 m,两隧道掌子面间距为 30 m。临时支护为锚喷网加钢拱架支护;挖孔桩设计参数为:桩径为 1200 mm,平均桩长 21.10 m,锚固深度为 4 m,间距为 3 m,联系梁断面为 1400 mm,钢筋混凝土板为 150 mm,隧道毛洞宽度为 11.8 m,挖孔桩布置如图 1。

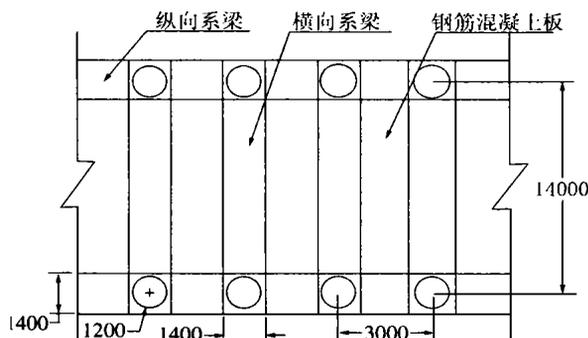


图 1 挖孔桩平面布置图

4.1 施工模拟

利用二维平面弹塑性有限元进行了模拟分析,每一隧道的开挖分两个工况,每一施工工况分两个加载阶段,第一工况开挖上台阶,然后施工锚杆、喷射混凝土;第二工况开挖下台阶,再施工锚喷结构。

由于两隧道掌子面间距较大,因此模拟分析时,两隧道分步开挖,即先开挖左洞,然后施工右洞。

4.1.1 变形分析

每一开挖结束时,隧道的拱顶沉降、地表沉降和洞底隆起的最大值如表 1,每一隧道开挖结束的洞周变形及地表变形如图 2、3。

表 1 拱顶沉降与地表变形(mm)

| | | 拱顶沉降 | 洞底隆起 | 地表沉降 |
|----|-------|-------|-------|-------|
| 左洞 | 上台阶开挖 | 28.38 | 20.31 | 23.29 |
| | 下台阶开挖 | 21.72 | 24.67 | 16.35 |
| 右洞 | 上台阶开挖 | 31.26 | 40.33 | 16.52 |
| | 下台阶开挖 | 35.27 | 25.72 | 20.00 |

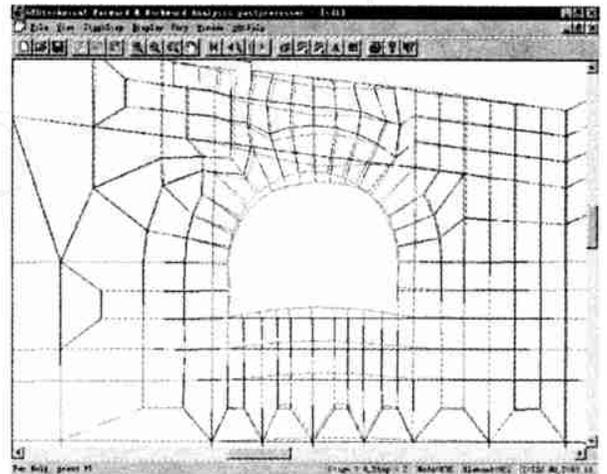


图 2 左洞开挖结束时洞周变形及地表沉降

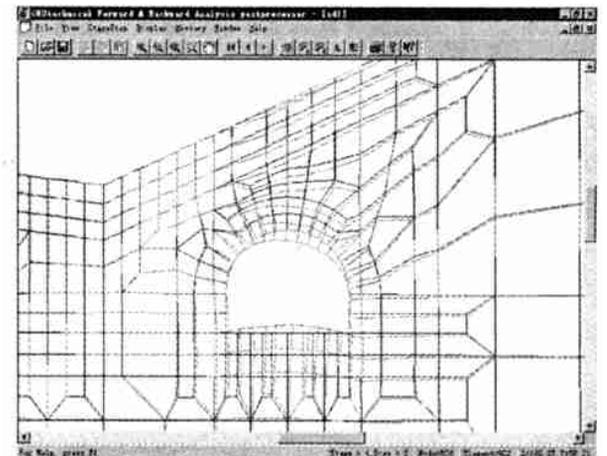


图 3 右洞开挖结束时洞周变形及地表沉降

通过上面的分析计算,右洞的开挖对左洞的影响主要表现为,拱顶沉降、地表沉降增加,洞底隆起减少;右洞开挖结束时,左洞的拱顶沉降为 23.77 mm,地表沉降为 18.73 mm,洞底隆起为 23.40 mm。

4.1.2 内力计算

左洞和右洞分别开挖结束时挖孔桩的最大剪力和最大弯矩如表 2(考虑右洞开挖对左洞的影响)。

最大剪力和最大弯矩均发生在右洞上台阶开挖结束时右洞右侧桩体上,如图 4、5、6、7。

4.2 挖孔桩强度校核

4.2.1 挖孔桩斜截面抗剪强度校核计算

将圆形截面等效为正方形,并利用以下矩形截面的斜截面承载力公式进行校核计算。

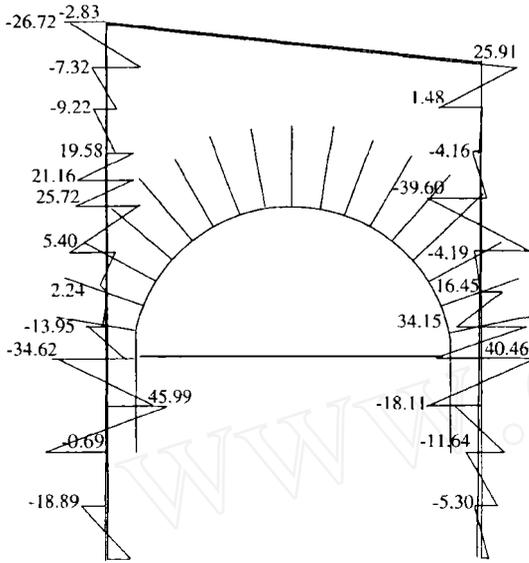


图 4 左洞桩体剪力 (kN)
(右洞上台阶开挖结束时)

表 2 挖孔桩最大剪力和弯矩

| | | 最大剪力 (kN) | 最大弯矩 (kN·m) |
|----|-------|-----------|-------------|
| 左洞 | 上台阶开挖 | 40.90 | 97.02 |
| | 下台阶开挖 | 46.51 | 71.67 |
| 右洞 | 上台阶开挖 | 75.83 | 192.62 |
| | 下台阶开挖 | 64.43 | 105.63 |

$$V_{cs} = 0.07f_c b h_0 + 1.5f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (1)$$

式中:混凝土抗压强度 $f_c = 15 \text{ N/mm}^2$;箍筋抗压强度 $f_{yv} = 210 \text{ N/mm}^2$;两肢箍筋的截面积 $A_{sv} = 157 \text{ mm}^2$;桩体等效截面积 $b h_0 = \frac{D_0^2}{4} = 1.13 \times 10^6 \text{ mm}^2$;桩体等效边长 $h_0 = (\frac{D_0^2}{4})^{1/2} = 1063 \text{ mm}$ 。

由(1)得:单桩允许最大剪力 $V_{cs} = 1149.35 \text{ kN}$

挖孔桩间距为 3 m,计算的最大剪力为 75.83 kN,则作用在每根桩上的剪力为 227.49 kN,安全系数为: $n_1 = 1149.35 / 227.49 = 5.05$

4.2.2 挖孔桩抗弯强度校核计算

混凝土抗弯强度 f_{cm} 为 13.5 N/mm^2 (考虑到施

工因素的影响,采用 C25 计算);钢筋抗拉强度 f_y 为 310 N/mm^2 ;桩的半径和主筋距桩中心的距离分别为: $r = 600 \text{ mm}$, $r_s = 570 \text{ mm}$;有效混凝土截面积 A 为 $113.1 \times 10^4 \text{ mm}^2$;主筋的截面积 $A_s = 9326.6 \text{ mm}^2$;

$$\frac{f_y A_s}{f_{cm} A} = 0.189$$

得:受压钢筋混凝土相对面积

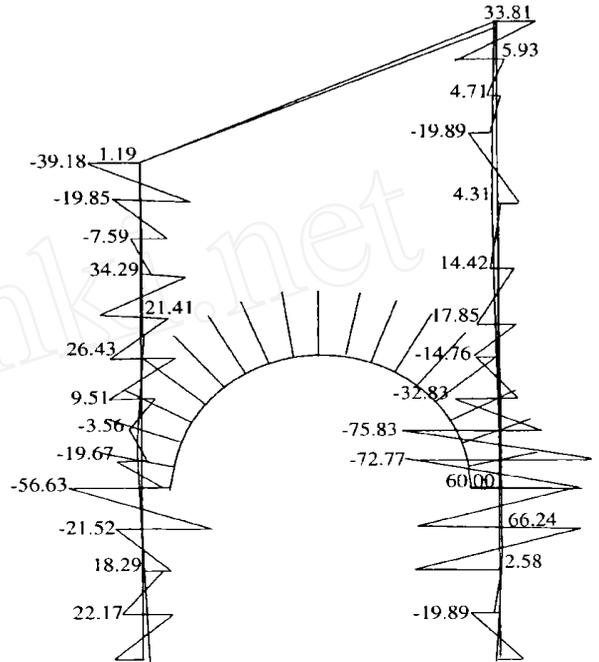


图 5 右洞桩体剪力 (kN)
(右洞上台阶开挖结束时)

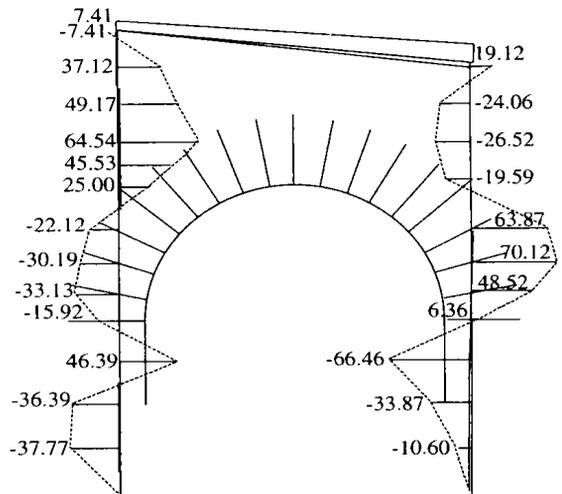


图 6 左洞桩体弯矩 (kN·m)
(右洞上台阶开挖结束时)

$$= 1 + 0.75 \frac{f_y A_s}{f_{cm} A} - \sqrt{(1 + 0.75 \frac{f_y A_s}{f_{cm} A})^2 - 0.5 - 0.625 \frac{f_y A_s}{f_{cm} A}} = 0.314$$

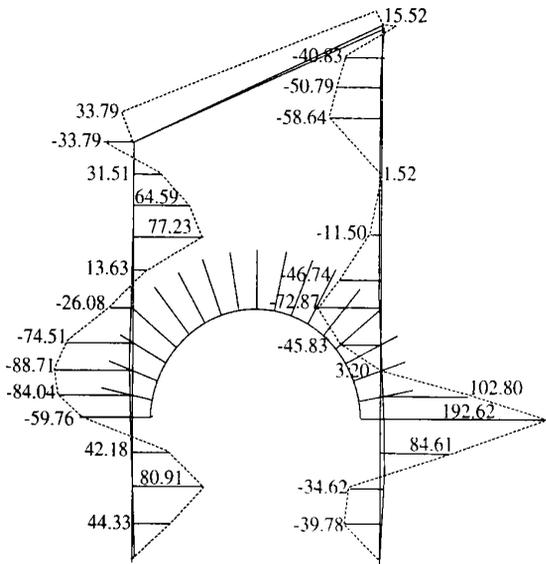


图 7 右洞桩体弯矩 (kN·m)
(右洞上台阶开挖结束时)

受拉钢筋混凝土的相对面积:

$$\rho = 1.25 - 2$$

则单桩的极限弯矩为:

$$M = \frac{2}{3} f_{cm} r^3 \sin^3 \alpha + f_y A_s r_s \frac{\sin \alpha + \sin \alpha}{\alpha}$$

$$= 2051.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

STUDIES ON CONSTRUCTION METHOD OF SHALLOW TUNNEL UNDER DIFFICULT GROUND

SU Hong - wei , HE Hua

Abstract : Together with shallow tunnel of Zhejiang Shangsang Road tunnel , the detailed technical and economical comparisons were made for the overcutting method and tunneling method . A tunneling method with the retaining structure of manmade hole pile whose tops is linked with a beam was used , and FEM was utilized so as to guarantee the safety of the engineering construction . It is demonstrated from the practical example that the construction method is not only available , but also saves a lot of project cost and reduces the period of the project .

Key words : shallow tunnel , manmade hole pile , staged construction FEM

第一作者简介:

苏红卫(1966年-),男,1989年毕业于西南交通大学工程地质专业。现任铁道部第十四工程局一处工程师、浙江上三线公路工程指挥长,主要从事桥梁、公路、市政等工程项目的施工与管理工作。

通讯地址:山东省日照市 铁道部第十四工程局一处 邮政编码:276826



式中: $\sin \alpha = 0.8314$; $\sin \alpha = 0.927$

计算得到的作用在挖孔桩的最大弯矩为

$$192.62 \times 3 = 577.86 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

则:安全系数为:

$$n_2 = 2051.9 / 577.86 = 3.55$$

从以上的计算分析可知:挖孔桩体的抗剪、抗弯安全系数都满足规范设计要求,因此,是安全的。

5 结语

通过施工方案的技术经济分析及有限元模拟计算,在隧道浅埋段采用挖孔桩帷幕暗挖的方案是可行的,在保证工期的前提下,减少了投资及对周围环境的干扰,同时避免了明挖带来的工程隐患事故。在整个浅埋段施工的过程中也证实,该方案是可行的、安全的。

[参考文献]

- [1] 朱合华,杨林德,桥本正.深基坑工程动态施工反演分析与变形预报.岩土工程学报[J].1998,20(4):30~35.
- [2] 简明建筑设计手册编委会.简明建筑设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1992.
- [3] 易萍丽.现代隧道设计与施工[M].北京:中国铁道出版社,1997.

“全国基桩及非金属结构物声波无损检测学术研讨会”在四川成都召开

“2000 全国基桩及非金属结构物声波无损检测学术研讨会”于2000年4月17日至23日在四川省成都市召开。

出席会议的有全国22个省市、自治区的110位代表。他们来自公路、铁路、建筑、市政、材料、水利、物探、煤炭等部门的60多个单位,其中包括11所高校和有关的科研、设计、施工、管理、质检等单位。会议由中科院武汉岩土力学研究所、湖北省无损检测学会联合主办。收到论文三十余篇。会上代表对岩土所智能仪器室生产的RSM-24FD桩基动测仪、RSM-SYS声波仪表示出浓厚兴趣,成交踊跃。

会议编印了“论文集”,有需要的同志,请与中科院武汉岩土所智能仪器室(地址:武汉市武昌区小洪山 邮编:430071)联系。

联系人:李 祺 联系电话:027-87884304 E-mail:rsm@dell.whrsm.ac.cn