

超浅埋隧道挖孔桩帷幕暗挖施工工法

(TGJGF-03·04-34)

中铁二十三局集团有限公司

一、前言

我集团承建的浙江上(虞)三(门)高速公路任胡岭隧道是上三线的“咽喉工程”,超浅埋段左线 FK86+862~FK86+885、右线 K86+880~K86+926,为两条并行隧道,中心间距 35m,地表为一山间凹地,覆盖层为浅坡积和波洪积,层厚 0~5m,岩性为碎石黏土岩,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,岩体为角(砾)碎(石)状松散结构,设计为Ⅱ型衬砌结构。地下水分布为第四系松散孔隙水和基岩裂隙水,比较丰富。设计为明挖,我们考虑到明挖会为山体的滑动创造条件,对环境的影响以及基坑的稳定性很难保证,可能带来隐患,提出了挖孔桩帷幕暗挖施工方案,并通过弹性平面有限元法进行施工模拟分析,提供可行性方案,在国内首次应用,就取得很好效果。在总结施工经验的基础上形成本工法。

二、工法特点

从外部环境、建筑技术、经济、安全方面进行了分析比较,挖孔桩帷幕暗挖施工工法较明洞开挖有如下特点。

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. 占地较少,施工方便,易于操作。对附近居民以及施工便道影响较小。
3. 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。
4. 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。
5. 不需要增加大型的机械设备。可减少直接投资 10 万元。
6. 挖孔桩帷幕可先期开工,不影响洞内的掘进。

三、适用范围

适用于较差围岩、地面施工场地狭窄的超浅埋隧道及其它类似地下工程。

四、工艺原理

挖孔桩帷幕暗挖法施工即沿隧道建筑限界设四排人工挖孔桩作为侧壁支护,桩顶作纵、横向联系压梁(见图 1),每座隧道两排桩之间用系梁联接构成门式刚构,系梁之上浇筑厚 15cm 钢筋混凝土,以此来抵御隧道开挖时的侧壁及山体压力;为防止地下水从侧墙侵入隧道影响隧道施工,采取地表预注浆,形成地下止水帷幕。为了对施工工况进行详细的分析,应用弹塑性平面有限元方法进行施工模拟分析。

五 施工工艺

施工工艺流程见图 2。

(一)挖孔桩

挖孔桩桩径为 120cm,左右线共设 58 根,平均桩长 21.10m,锚固深度为 4m,间距为 2~3m。

1. 测量放样

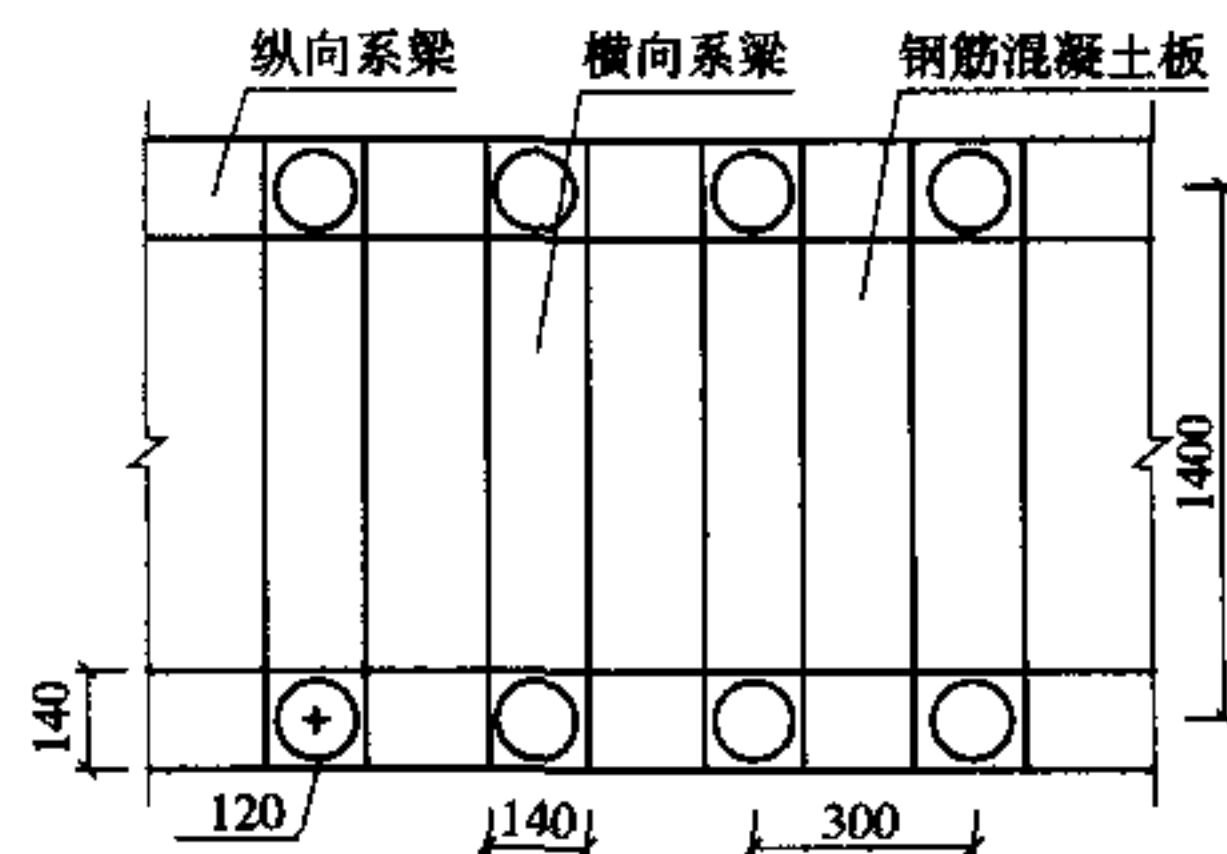


图1 挖孔桩平面布置(单位:cm)

根据桩的轴线位置,引出每个桩位的中心线,中心线两端用小钉钉牢于桩附近的木桩上,然后按照设计图纸放出混凝土护壁外径灰线。

2. 钢筋混凝土护壁设计

采用锥形台阶式护壁,护壁上口厚 20cm,下口厚 12.5cm,错台宽 7.5cm,下段护壁将上段护壁封脚,封脚高度 10cm,厚 7.5cm。护壁用 C15 级混凝土浇注,护壁内配直径 10mm 的竖向钢筋 20 根,适当布置横向环筋,护壁第一节高出地面 30cm,每段竖向钢筋插入下节护壁 10cm,并互相勾连。

3. 人工挖掘成孔

(1) 根据地质情况,采用短掘短护的方法,即孔深超过 1m 后即应支护,为使护壁尽早起到支护作用,在混凝土中掺加水泥用量 3% 的复合早强剂。

(2) 地下水挖掘时应在桩孔中超前挖掘集水井,抽水降水,边降水边开挖,在土质不好的情况下应不停地抽水,使水位随掘进深度保持稳定,防止水位反复变化扰动土层引起塌孔。

(3) 挖孔进入基岩时,在技术人员的指导下爆破开挖。

(4) 挖孔桩应间隔开挖,浇注桩身混凝土应待第二批桩孔做好护壁后进行,使第二批桩孔开挖时,能在第一批孔中继续抽水降水,减少地下水对第二批桩孔的压力,避免坍孔等问题的发生,依次类推。

(5) 护壁混凝土的配合比严格按照规范及设计要求的标准。

4. 成孔检查

成孔后,必须对孔底浮渣、孔深、孔径、垂直度以及持力层进行检查。

5. 钢筋笼的制作安装

所有挖孔桩的钢筋笼均在钢筋加工厂内加工成型,现场绑扎焊接,并使钢筋接头相互错开,使之符合接头要求,钢筋笼上绑上 3~4 根杉木杆(或十字木架),以防变形。钢筋笼主筋上每隔 2m 设置四个“钢筋耳环”或混凝土垫块。

6. 灌注混凝土

混凝土灌注视孔底渗水情况而定,当渗入的地下水小于 6mm/min,采用在空气中灌注混凝土,其混凝土灌注要求按有关规定执行。若孔底渗水大于 6mm/min,进行水下混凝土灌注。

水下混凝土的灌注采用 30cm 钢导管,导管用法兰连接,使用前经过水密及抗拉强度试验合格后,分段拼装,然后用吊车装入孔内拼成整体,上部安装储料漏斗,底部离孔底 0.3m,隔水栓采用橡胶球胆。水下混凝土用强制式搅拌机拌合,掺高强减水剂,以保证混凝土有足够的坍落度和良好的和易性。

混凝土灌注过程中,用吊车吊提混凝土和灌注导管。灌注时要随时检查孔内混凝土面的位置,使导管埋入混凝土内的深度保持在 2~6m。混凝土要一次连续灌注成桩,桩顶要高出设计桩顶标高 80cm,高出部分在基坑开挖后凿除。

(二) 系梁施工

系梁断面为 120cm×140cm,用组合钢模浇注成型,搅拌机拌合混凝土,吊车吊运,插入式震动棒振实。

(三) 顶板施工

系梁施工完毕后,平整系梁之间场地,夯实后,做砂浆平台,待系梁混凝土强度达到设计值的 80% 时,绑扎顶板钢筋,浇注顶板混凝土。

(四) 地下止水帷幕

止水帷幕包括地面向下注浆和隧道拱顶注浆,隧道拱顶注浆除达到止水目的外,更重要是固结拱顶开挖轮廓线外和顶板之间的土石方。

1. 注浆参数

(1) 注浆帷幕厚取 1m;

(2) 注浆压力与围岩的裂隙发育程度、涌水压力、浆液材料及胶凝时间有关,一般为涌水压力加 2~

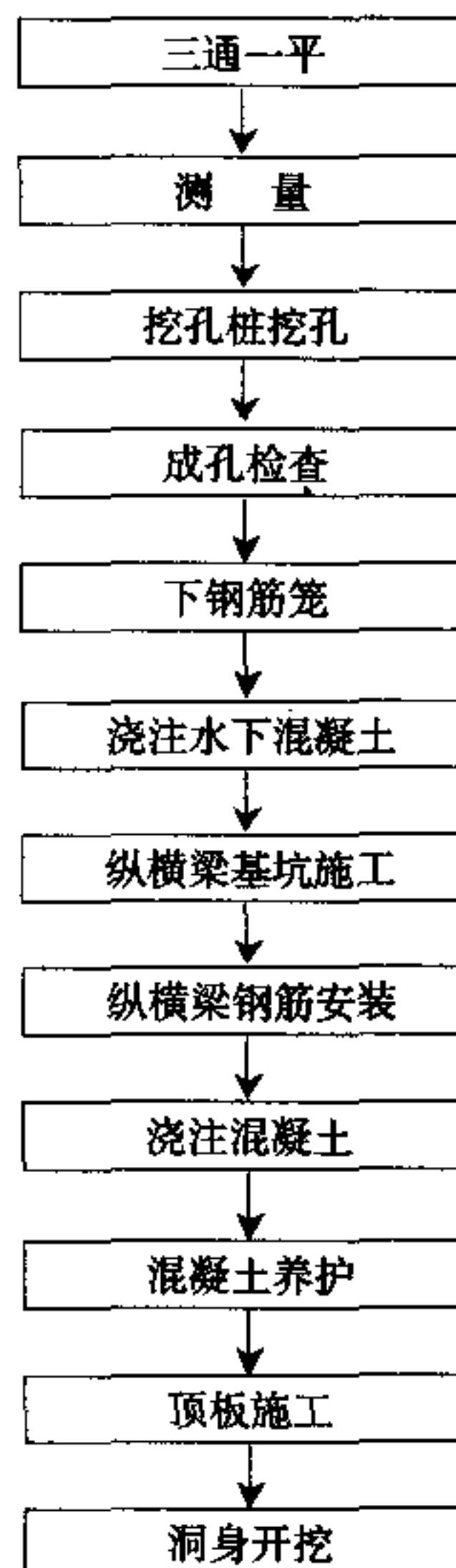


图2 施工工艺流程

4MPa。

(3) 注浆量按下式计算:

$$Q = \pi R^2 L n a \eta$$

式中 Q ——注浆量;

R ——注浆扩散半径;

L ——注浆段长;

n ——岩层裂隙率;

a ——浆液在岩石裂隙中的充填系数,视岩石情况取 $a = 0.3 \sim 0.9$;

η ——浆液消耗率。

(4) 全封闭注浆就是要使浆液扩散到注浆帷幕范围内的所有岩石裂隙中,所以,注浆孔的布置要以浆液扩散不出现空白为原则,据此,采取沿两侧距桩外缘 30cm、纵距 30cm 设注浆孔,孔径 $\phi 120$,以减少桩身岩土侧压力。

(5) 浆液配合比的选择要考虑岩石裂隙情况及浆液的扩散半径,一般是由试验室通过试验确定,一般情况可选择水泥浆:水玻璃浆 = 1:0.5 (体积比),水泥浆的水灰比 = 0.8 ~ 1.2。

2. 注浆施工工艺流程(见图 3)。

3. 钻孔

钻孔位置要准确,施钻时确保钻机竖直,换钻杆时要注意检查钻杆是否弯曲,有无损伤,中心水孔是否畅通等。

4. 注浆

根据选定的参数配制浆液,水泥浆配好后需用 1mm 孔筛过滤一遍。注浆管须先检查,确认畅通后再接入注浆系统。注浆系统与孔口混合器接好后,开阀门,启动注浆泵按照先稀后稠、(注浆量)先大后小、先注水泥单液浆再注双液浆的程序注浆。

当注浆压力达到设计值时,维持 2 ~ 3min,进浆量达到设计数量则停止注浆,关闭球阀,随即卸下注浆混合器及注浆系统,并用清水清洗干净。所有注浆孔都注满后,钻取岩芯对注浆效果进行检查,对浆液扩散较为薄弱、钻孔渗水量大于 0.2L/min · m 或一处漏水量大于 10L/min 的部位,加孔补注浆,直至达到要求指标。

(五) 开挖

隧道开挖采用上下台阶法,上下台阶间距 20m,两隧道掌子面错距 30m,临时支护为锚喷网加钢筋拱架。开挖前沿拱顶布设超前小导管,将拱顶土石方进行固结,确保开挖过程中不致有大量的土石方下落。为减小对围岩的扰动和不破坏注浆帷幕,采用微震爆破开挖,主要措施是控制同段起爆的药量,减少爆破震动波叠加,原则上采取短进尺、密布眼、小药量、弱爆破,同时加强爆破震动监测。

六、机具设备和材料

(一) 机具设备

除隧道洞身暗挖外所用的机具设备见表 1。

(二) 主要材料

1. C25 级水下混凝土用料

水泥用新鲜的 R32.5 号普通硅酸盐水泥;砂和碎石采用级配良好的符合规范的材料。

2. 钢筋

用合格的直径为 25、22、12mm 的 II 级钢筋和直径为 10mm 的 I 级钢筋。

3. 注浆材料

水泥用新鲜的 R32.5 号普通硅酸盐水泥;水玻璃浓度 35 ~ 45Be',模数 2.4 ~ 3.4;缓凝剂用磷酸氢二钠。

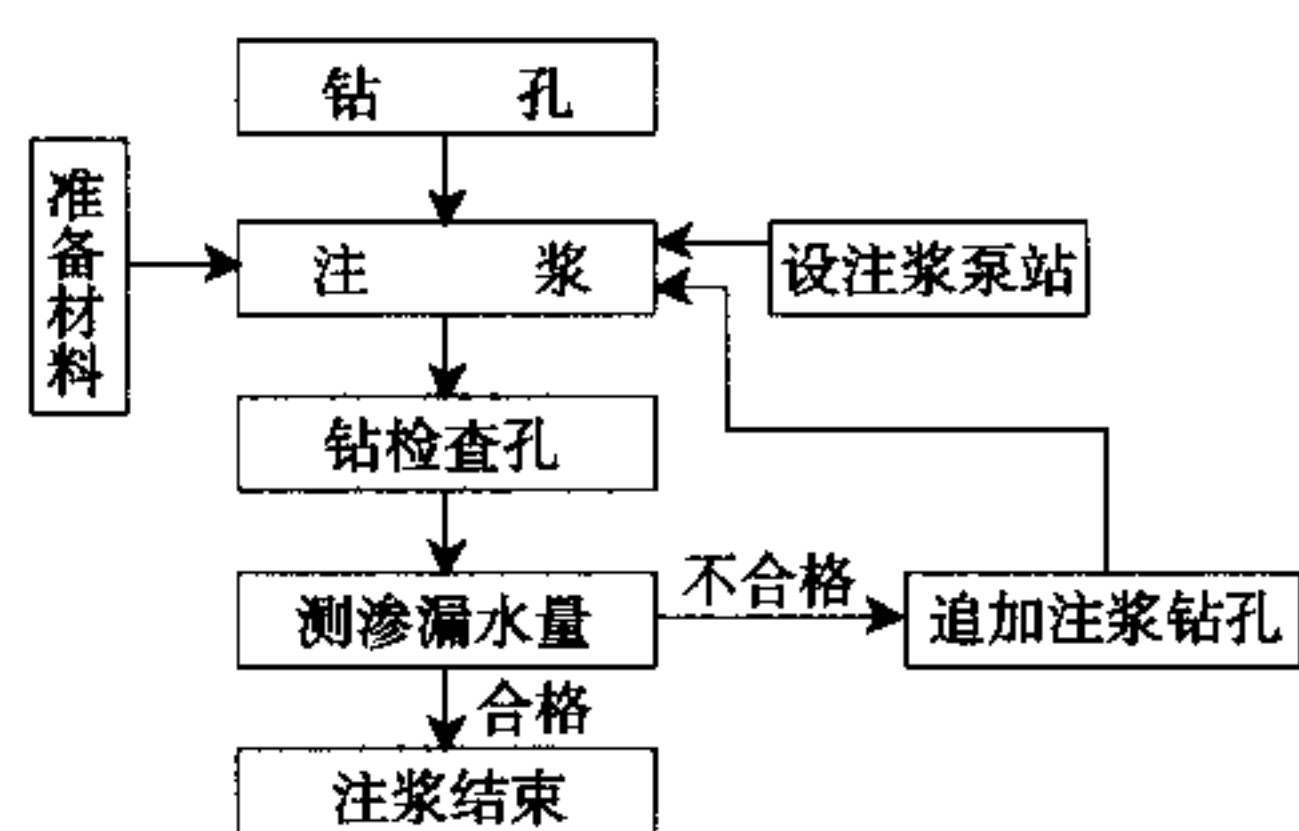


图 3 注浆施工工艺流程

表1 机具设备

序号	名 称	规格型号	单位	数量	用 途
1	提升架	自制	架	29	挖桩提渣
2	汽车吊	250kN	辆	1	吊装钢筋笼
3	搅拌机	JW750	台	2	拌合混凝土
4	插入式震动棒	2×150	套	5	浇注混凝土
5	导管、漏斗	自制	套	3	浇注混凝土
6	电焊机	ZXG-500	台	2	钢筋加工
7	钢筋调直机	CF-16	台	1	钢筋加工
8	钢筋切断机	CJ4-1	台	1	钢筋加工
9	钢筋弯曲机	CW40-1	台	1	钢筋加工
10	空压机	20m ³ /min	台	1	提供高压风
11	钻机	TXU-75A	套	2	钻注浆孔
12	注浆泵	2TGZ-60/200	台	2	注浆
13	通风机		台	5	挖孔时通风

七、劳动组织

本工法除洞内施工外共需 104 人,分成四个专业组,经专业培训后上岗。各组人数及分工如下:

1. 挖孔组 60 人,其中组长 2 人,技术指导 2 人,爆破工 5 人,运输车司机 4 人,混凝土振捣工 2 人,挖孔 45 人。
2. 钢筋组 12 人,其中组长 1 人,电焊工 2 人,钢筋工 4 人,吊车司机 1 人,杂工 4 人。
3. 混凝土组 15 人,其中组长 1 人,技术指导 1 人,振捣工 4 人,搅拌机司机 2 人,混凝土灌注记录人员 1 人,杂工 7 人。
4. 钻孔注浆组 17 人,其中组长 1 人,技术指导 2 人,钻机司机、钻孔记录和机电维修各 1 人,接换钻杆 8 人,其他 3 人。

八、质量控制

本工法应达到以下标准:

1. 桩孔中心位置允许偏差不大于 5cm;孔径不小于设计桩径;倾斜度小于 1/100;桩孔内沉渣厚度不大于 5cm;混凝土强度不小于设计值;钢筋间距允许偏差 $\pm 5\text{mm}$;骨架长允许偏差 $\pm 10\text{mm}$;双面焊接焊缝长度 $\geq 5d$ 。
2. 注浆孔位平面误差小于 5cm;钻孔角度误差小于 0.5° ;注浆帷幕厚度不小于 1m;堵水率不低于 90%;注浆结石体的 7d 单轴抗压强度不小于 4MPa;注浆量不少于设计量的 80%,全部注浆孔都要符合单孔注浆标准。

九、安全措施

1. 本工法执行《公路桥涵施工技术安全规则》、《公路隧道施工技术安全规则》及有关施工安全操作规程。
2. 对全体施工人员进行安全教育,树立安全第一的思想,不得盲目追求进度。
3. 认真做好超前地质预报和已开挖段桩孔的量测工作。
4. 认真做好桩孔内二氧化碳含量的检查工作,并做好通风。
5. 爆破要由专业的爆破员操作,采用浅眼爆破法,严格控制炸药用量,并在炮眼附近加强支护,防止振坍孔壁,桩孔较深时采用电引爆,爆破后孔内要通风排烟,经检查无毒气后,施工人员方可下井继续作业,孔口还必须设警戒线,确保无哑炮时方可撤除警戒。
6. 挖孔桩护壁必须严格按设计施工,确保挖孔安全。
7. 浇注水下混凝土时,认真计算并作好混凝土浇注量记录,确保导管底口距混凝土面 2~6m。
8. 注浆钻孔时严禁无关人员触摸钻机,作业过程中接换钻杆严禁开机回缸,钻进时要保证水压达到 0.8MPa 以上,严禁低水压及无水作业,注意钻机的运转情况,发现电机过热,应停机冷却、检修。
9. 注浆时,作业人员要戴口罩、防护眼镜和胶手套,并与注浆孔口位置保持 5m 以上距离。观察人员

应站在注浆混合器的侧面,以防浆液喷出伤人。注浆过程中不得停泵,如确需停泵且时间较长,应重新钻孔再行注浆。

10. 各种管、线布局要合理、规范,夜间要有好的照明条件。

十、效益分析

(一)经济效益

本工法无需专用机械设备和特殊材料,较明挖施工可减少直接投资 10 万元。

(二)社会效益

通过施工方案的技术经济分析及有限元模拟计算,确定了在隧道超浅埋段采用挖孔桩帷幕暗挖方案施工的可行性;其施工可在隧道洞身开挖前施作,不影响工期,与明挖比较,施工工序简单、工期短,避免了明挖对周围景观的破坏和明挖所带来的施工、运营隐患;本工法在国内是首次应用,通过本隧道的应用,其安全性、经济性和可行性得到了充分的证实,为超浅埋隧道的施工提供了一种新的技术方法,具有较强的应用推广价值。

十一、工程实例

浙江上(虞)三(门)高速公路任胡岭隧道(被称作上三线的“咽喉工程”)超浅埋段设计为明挖,影响明挖的有附近房屋拆迁、地表水无水路、左侧山体的不稳定等不利因素,经比选后采用本工法施工。质量通过各级部门鉴定,总变形量小,最大拱顶沉降 66mm,最大洞底隆起 65mm,最大地表沉降 39mm,达到设计要求。

执笔:袁 松 许京华