

隧道工程三台阶法出洞施工方案研究

罗彦明

(甘肃万泰建设工程有限公司,甘肃省兰州市,730000)

摘要 为解决山岭隧道出口端受地形条件限制、施工成本高、进度慢等施工难题,提高山岭隧道出洞施工安全和施工质量。研究结合工程实际,首先应用ABAQUS有限元软件对三台阶法开挖和顶设小导洞两种出洞方案展开仿真模拟,通过对比最终确定采用三台阶法开挖施工方案。然后对山岭隧道单向出洞施工中超前探测、超前支护、掌子面开挖、出口边坡防护等施工关键技术进行分析探讨,不仅可保证隧道围岩及边坡仰拱结构稳定,还解决了山岭地区隧道出口端施工受限的技术难题。

关键词 隧道;出洞开挖;三台阶法;小导洞;开挖施工

中图分类号:U455.4 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2024)08-0046-03

通常情况下,隧道掘进贯通指的是隧道相向掘进贯通技术,对于较长隧道或条件较好的短隧道,出于加快施工进度、确保施工安全方面的考虑,一般采用双向掘进施工工艺,并保证在中部围岩较好段落贯通^[1]。这种常规性的处理工艺又包括全断面贯通法和小导坑贯通法等,前者常用在小断面隧道,或者是地处岩石稳定地层的大断面隧道掘进开挖方面;后者则常用于岩石破碎地层大断面掘进。位于山岭地带的中短隧道工程,常面临洞口埋深浅、围岩自稳性不良、成拱不易等难题;洞口地形起伏大,不具备开挖成道的条件,机械及材料无法正常进洞,拌和站、空压机房、施工用电等如需正常布置,必将使建设费用增大。当前已有的理论成果及施工设计均集中在隧道进出口支护形式方面,对于隧道出洞方案探究较少,而常规的出洞方案主要为超前小导洞工艺,待导坑贯通后再将施工用水、用电等安排至洞外,施工方式也相应调整为进洞施工,这种较为保守的做法能保证出洞施工安全,但施工进度缓慢,工效低^[2]。

基于此背景,研究以具体的山岭隧道为例,结合地质条件及地形地貌特征,对隧道单向安全出洞

施工技术展开比选,并对单向出洞施工要点展开研究,可为同类型工程提供实践经验。

1 工程概况

某山岭隧道采用分离式设计,洞口山体陡峭,坡度在 $41\sim 56^\circ$,隧道左右洞明洞长度分别为10m和7m,隧洞右侧仰坡存在较大的切方高度,为三级高边坡,该隧道洞口地层多为碎裂状强风化泥质粉砂岩,这种软弱岩层遇水后快速裂解剥落,增大了隧道洞口坡面的稳定性风险,也使仰坡加固及防护工程量随之增大。根据原先的设计思路,在隧洞段采用长管棚防护,以确保进洞开挖安全。出口段地形复杂,施工进度缓慢,为保证施工安全及进度,尽量控制刷坡,确保山体平衡,并根据实际地形地质,从南侧端开始单头掘进贯通;待施工至与出洞口相距10~15m处时,依据围岩情况选取出洞方案。考虑到该隧道出口端路基并未完成填筑,只能单向出洞,经过工程管理部门及设计人员的多方论证,拟定出顶设小导洞和三台阶法两种出洞方案。

2 施工方案的比选

2.1 模型构建

应用ABAQUS有限元软件对三台阶法和顶设小导洞出洞展开仿真模拟,隧道围岩为弹塑性材料,服从莫尔-库仑定律;初期支护、二次衬砌以及长管棚等加固环节和相关材料均视为线弹性材料,超前小导管则按照特定厚度预支护处理,支护锚杆和支护用钢拱架等结构全部采用等效处理^[3];加固钢筋网结构主要为隧道洞口开挖施工的安全储备,建模过程中忽略不计。

作者简介:罗彦明(1989~),男,汉族,甘肃白银人,本科,工程师,研究方向:路桥施工技术及管理。

该山岭隧道出洞口有限元模型见图1,下边界均按照洞径范围的4.5倍取值,上边界则结合地表实际进行选取。隧道开挖过程中释放40%应力,初支后释放剩余的60%应力。隧道开挖进尺30m,具体而言,先通过小导洞法开挖进尺10m,再通过三台阶法开挖进尺20m后,逐渐缩短进尺。该山岭隧道出洞口围岩岩体以及拟采用的支护材料相关物理力学参数的取值详见表1。

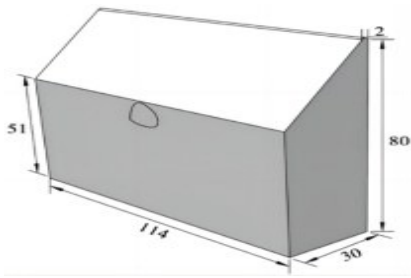


图1 山岭隧道出洞口有限元模型(单位:m)

表1 围岩岩体和支护材料物理力学参数取值

岩体/材料	容重/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	弹性模量/MPa	黏聚力/MPa	内摩擦角/ $^\circ$	泊松比
围岩	2 100	1 000	0.18	26	0.38
小导管	2 100	3 000	0.62	32	0.35
锚杆	2 100	1 070	0.35	27	0.38
管棚	2 500	5 000	/	/	0.25
初支	2 500	2 415	/	/	0.20
二衬	2 500	2 478	/	/	0.20

2.2 比较分析

基于以上所构建的有限元模型,对该山岭隧道单向出洞施工期间地层竖向位移展开模拟分析,根据分析结果,采用三台阶法以及小导洞法两种出洞施工工艺的情况下,工法转换区位移分布明显不同,故表现出十分突出的不连续现象;初支结构支护效果好,变形小,但是出洞口处的初期支护因沉降的发生而支护效果减弱。在采用三台阶开挖工法时,位移分布始终连续,洞口沉降也十分微弱。两种工法出洞施工对隧洞围岩影响的范围基本一致。

结合对不同工法下出洞施工竖向应力云图的分析可以看出,顶设小导洞和三台阶法出洞施工最大应力均位于拱脚处,应力值也大致相等;在工法转换区域由于长管棚支护作用的充分发挥,应力分布不连续;拱腰及拱顶处应力值相对较大,初支内

力小,但稳定性未受影响。

通过对顶设小导洞和三台阶法出洞施工期间洞口塑性应变区的模拟分析得出,拱脚及仰拱边缘均存在较为集中的塑性区;而采用传统小导洞法施工时,工法转换处存在较大的塑性应变变化,且不连续。

综合以上内容,顶设小导洞和三台阶法出洞的施工工效基本一致,三台阶法出洞时应力、位移分布连续,在支护及时跟进的情况下,施工安全及质量有可靠保证。故该山岭隧道选用三台阶法出洞方案。

3 单向出洞施工要点

3.1 超前探测

为减小地质条件差异性引起的施工风险,在该隧道出洞段施工过程中展开超前地质探测。当隧道正向掘进至ZK25+470m时暂停掘进,在上导坑中心处通过WEP100型潜孔钻钻设 $\varphi 127\text{mm}$ 钻孔出洞,以探测与出口的距离及前方地质情况。在ZK25+470~ZK25+490段施工期间,按照《隧道施工超前地质预报技术规程》(T/CECS616-2019)钻设孔径38mm、至少5.0m长的水平向及径向超前探测孔,孔位布置详见图2。其中,水平向超前探测孔自ZK25+480m里程开始钻设,按照1次/5m的频次探测;而径向超前探测孔则自ZK25+470m里程开始钻设,按照1次/2m的频次探测。

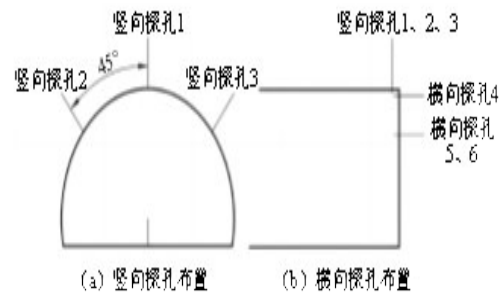


图2 超前探测孔布置

3.2 超前支护

ZK25+470~ZK25+480段超前支护不变,出口段大管棚取消后,在ZK25+480~ZK25+490段按照35cm的环向间距设置双层超前小导管,小导管长4.5m和6.0m,采用 $\varphi 42\times 4\text{mm}$ 的热轧无缝钢管,并按照至少1.0m的长度搭接;每层37根,且两层小导管的外插角度分别为 12° 和 30° 。超前小导管设置在洞口长管棚段,从洞内开始向洞外逐环施作。以水灰比1:1

的水泥浆液及0.5~1.0MPa的压力注浆。替代长管棚的双层超前支护设计情况详见图3。

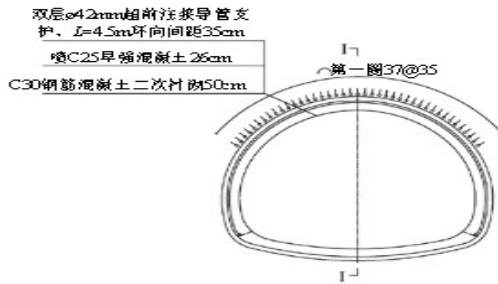


图3 超前支护小导管结构(单位:cm)

双层超前小导管的设置及注浆质量是保证山岭隧道单向安全出洞的关键性工序^[4],按照相关规范及设计要求确保超前小导管的布设位置、尺寸及数量,小导管的设置数量必须根据分离式小净距隧道V级围岩浅埋段小导管数量进行确定,并确保一致性和匹配性,从拱顶开始依次向两侧按40cm的环向间距对称设置。压浆浆液采用水灰比1:1的水泥浆,注浆压力和地层地质及注浆范围要求相关,该隧道工程单管注浆扩散范围为管周0.5~1.0m的半径以内;且当水泥浆液注入量超出设计值但孔口压力尚未达到设计压力水平时,必须停止注浆,防止出现开挖面压裂事故;等浆体达到固结状态后再恢复注浆,直至注浆压力达到设计上限后结束压浆,以保证管段内浆液密实饱满。

3.3 掌子面开挖

结合该山岭隧道地勘报告和超前探测结果,接近出洞段掌子面开挖采用环形开挖预留核心土法的施工方案(见图4),该方案能够有效地控制掌子面的岩土体稳定性和防止涌水垮塌的发生。

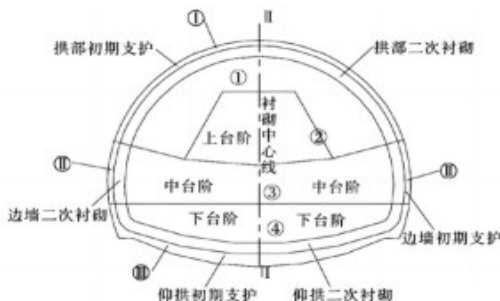


图4 环形开挖预留核心土法

3.4 出口边坡防护

3.4.1 确定边坡高度和稳定性

首先需要进行现场勘察,以确定隧道出口的边

坡高度和稳定程度。如果边坡过高或不稳定,可能需要采取加固措施,如增加支撑结构、设置锚杆等。

3.4.2 设计合理的排水系统

隧道出口附近通常会有大量的降雨,因此需要合理设计排水系统以排除积水。可以使用透水性的铺装材料,或者在边坡上开挖沟渠,引导水流排出。同时还需要注意避免雨水对边坡造成侵蚀。

3.4.3 加强监测和维护

在隧道口周围安装监测设备,及时发现边坡的变化情况并进行处理。定期检查边坡的状况,如有异常应立即采取措施进行修复。

3.4.4 注意环境保护

在进行隧道出口边坡防护时,要考虑到环境保护和生态平衡的问题。该山岭隧道从内向外出洞施工,围岩状况及边坡坡体基本稳定,综合考虑以上因素后隧道左线和右线分别在原设计基础上增长10m和5m出洞,以保证原地貌自然景观。

4 结语

工程施工效果表明,该山岭隧道出口端坡度陡峭,基本不具备从便道进入出口端的运输条件,施工机具及材料均无法顺利进场;同时,隧道洞口围岩差,不具备从洞口向洞内施工的作业面条件。结合隧道实际情况,按照早进晚出、明洞暗挖的思路,施作双层超前注浆小导管超前支护,并展开掌子面环形开挖预留核心土法开挖的施工方案,取得了较好的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1] 王波,杨学诚,张梦飞,等.偏压陡崖峭壁区隧道反向出洞的施工方法[J].云南水力发电,2021,37(04):150-152.
- [2] 黄帆,金建伟,李博.公路山岭隧道洞口“零开挖”单向出洞施工技术研究[J].公路,2021,66(04):371-375.
- [3] 唐祥春.山区高速中短隧道单向出洞的研究和应用[J].黑龙江交通科技,2022,45(10):127-129.
- [4] 韩忠磊,李腾飞.陡峭地形隧道出洞方案研究[J].交通世界,2022(17):133-135.
- [5] 龙旭日.谈桥隧相连高边坡隧道安全出洞施工技术[J].工程建设与设计,2020(13):192-194.
- [6] 罗静静.偏压无中隔墙连拱隧道出洞施工技术要点探讨——以云南华坪至丽江高速公路陆家湾隧道为例[J].工程技术研究,2022,7(08):42-45.