

# 陡坡段浅埋偏压红粘土公路隧道进洞施工技术

## Construction Technology of Shallow Buried Unsymmetrical Pressure Red Clay Highway Tunnel in Steep Slope Section

郭晓亮  
Xiaoliang Guo

中交第二航务工程局有限公司第五工程分公司 湖北 武汉 430012  
CCCC Second Harbour Engineering Co Ltd No.5 Branch Wuhan Hubei 430012

**摘要:**以云南省文麻高速公路干河隧道为背景,介绍了隧道进洞施工过程中遇到的问题及其处理方法。对采取的隧道洞口临时增加挡土墙、洞口边仰坡小导管注浆加固、套拱基础技术处理、拱顶增设临时工字钢及钢管支撑、偏压一侧径向小导管注浆、动态监控量测等综合技术措施进行分析,有效控制了围岩变形,满足隧道洞口台车拼装及桥台同时施工,又可确保边仰坡稳定及隧道施工安全。

**Abstract:** Taking Ganhe tunnel of Wenma Expressway in Yunnan Province as the background. This paper introduces the problems encountered in the process of tunnel construction and their treatment methods. The comprehensive technical measures such as the temporary increase of retaining wall at the tunnel entrance. The grouting reinforcement of small pipe on the side slope of the tunnel entrance. The technical treatment of arch foundation. The addition of temporary I-steel and steel pipe support at the vault. The grouting of radial small pipe at the bias side, and the dynamic monitoring measurement are analyzed. Which effectively control the deformation of surrounding rock. Meet the requirements of the trolley assembly at the tunnel entrance and the construction of abutment at the same time. And ensure the stability of the side wall Slope stability and tunnel construction safety.

**关键词:**公路隧道;浅埋偏压;临时支撑;径向注浆;监控量测

**Keywords:** Highway tunne; Shallow buried bias; Temporary support; Radial grouting; Monitoring measurement

**DOI:** 10.12346/etr.v3i1.3105

隧道洞口常因地质条件复杂成为制约隧道进洞的难题,并使隧道整体成为控制性工程。张效喆<sup>[1]</sup>对滑坡段隧道进洞施工进行技术研究,主要介绍了进洞施工方法、支护体系、地基加固以及滑坡治理中的排水体系设置、反压平台和抗滑桩的修建等技术问题。张晓刚<sup>[2]</sup>以山西一黄土浅埋偏压隧道为例进行施工技术及其应用介绍,因地制宜选择超前长管棚和地表锚杆支护技术,保障了施工安全和进洞效率。谷柏森等<sup>[3]</sup>以某隧道实例,介绍了洞口浅埋、山体与路线轴线斜角、偏压等条件下的进洞挂口施工技术及工艺,提出了“CD”法进洞结合反打出洞的方案,有效减少对山体及植被的破坏,缩短工期并保证施工安全。刘希亮等<sup>[4]</sup>以浅埋黄土隧道为例,对采

用三台阶临时仰拱法进洞施工中产生的沉降、裂缝较大等问题进行了原因分析,并提出了加密临时仰拱、增加临时竖撑及斜撑、洞口两侧施作反压墙等一系列措施,有效控制了围岩变形及裂缝的发展。

通过对众多国内研究成果总结分析,隧道进洞主要对浅埋、偏压、滑坡体或松散堆积体、陡坡危石体等地质条件以及以上地质条件结合的综合地质条件进行研究。针对在浅埋偏压、洞口场地狭小、洞顶及洞内为全风化红粘土等复杂地质及工期异常紧张条件下的隧道进洞综合施工技术分析较少,本隧道通过综合技术分析,使隧道快速进洞并安全顺利通过洞口浅埋段,未造成塌方等安全事故,避免了换拱等扰动土

**【作者简介】**郭晓亮(1990~),男,山东济宁人,工程师,硕士研究生,研究方向:施工技术。

体情况的发生,确保了工期进度,为同类型复杂条件进洞施工提供参考。

## 1. 工程概况及存在问题

干河隧道位于文山到麻栗坡高速公路第二标段内,左洞长 1066m,右洞长 1047m。其中,进口段上覆残坡积红黏土,厚度约 10~20m,下伏泥盆系中统古木组(D<sub>2</sub>g)灰岩,进口前发育一条季节性冲沟,沟向 28°,宽 2~5m,深 3~8m,与隧道进口高差 30m。洞口处原地面坡度约 40°,明洞洞口距离桥台直线距离约 15m,位于半坡上。洞口施工前,曾发生大面积土体垮塌,垮塌体厚度在 5~10m,面积约 3000m<sup>2</sup>。施工中要避免红黏土层因洞内开挖应力释放、山体偏压、降雨使土体完全崩解等引起拱顶滑动造成进一步垮塌,同时要满足工期洞口桥台同时施工。

## 2. 施工方案优化

### 2.1 洞口场地布置优化

为了满足隧道进洞和桥台同时施工,在桥台承台后方约 50cm 处临时设置宽 1 米、高 4 米的仰斜式挡墙,墙体坡度为 1:0.25;基础底部设 50cm\*50cm 凸榫(配连接筋);另挡墙设置泄水孔、墙背干码片石等,挡墙顶填土坡度 1:1.5,填高为 1.8 米。场地纵坡约 3%,与明洞相接处标高同仰拱回填顶齐平,低于隧道路面设计标高 53cm,满足场地排水、车辆通行及隧洞施工工艺要求。

由于原地面坡陡,且部分原状土垮塌,造成挡土墙墙背回填量大,施工过程中加大模板及设备投入,采取一次性施工奇数段挡墙后一次性施工偶数段方式进行。经过精细化施

工安排,7 天内完成长 55 米、高 4 米的挡土墙及 5300 方墙背回填施工,确保了隧道进洞与洞口桥台冲击钻孔同时施工。洞口场地布设断面图及实拍图如下所示。

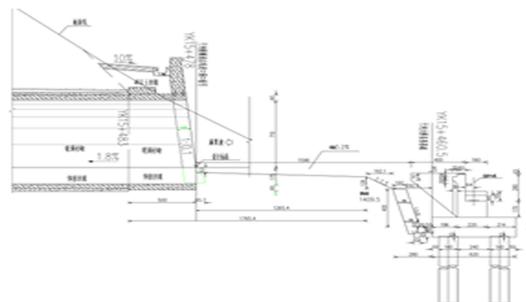


图 1 洞口场地布设断面图



图 2 洞口场地实拍图

### 2.2 截水沟及仰坡技术处理

洞顶坡陡且为红黏土覆盖,机械设备无法到达,截水沟拟采用人工开挖方式进行。为防止水沟开裂、沉降等,截水沟底板及沟身由原设计的浆砌片石改为钢筋混凝土结构,钢筋采用  $\Phi 10$  圆钢,间距 20\*20cm 布置,C25 混凝土采用天泵浇筑。

因原地面垮塌及坡陡,成洞面刷坡后已无原设计边坡,因此主要对仰坡及仰坡上方原地面进行坡面防护。土体加固采用长 4m $\Phi 42$  注浆钢花管,120\*120cm 梅花形布置;挂  $\Phi 6.5$

钢筋网片,间距 20\*20cm;喷射 10cm 厚 C25 混凝土。对仰坡至截水沟之间的原地面喷射混凝土封闭,防止雨水渗入粘土体,造成土体下沉或滑坡。

### 2.3 套拱技术处理

(1)套拱基础处理:为防止因土体松软导致成洞面开挖后垮方。对此,减小套拱一次落地高度,错开浇筑套拱两侧拱脚,其中套拱基础由原设计宽 1.2m、高 70cm,调整为宽 2m、高 80cm;拱脚基础内增设横向 18 工字钢,一侧与套拱内钢拱架焊接成整体,另一侧加工成尖角插入边坡脚土体内一定深度(约 100cm),有效减小套拱沉降及偏压造成的位移。

(2)套拱断面及预留量处理:为防止洞内拱顶沉降及洞口土体位移造成的套拱沉降或位移,对套拱断面净空放大 30cm,洞内预留相同变形量。

### 2.4 洞内初支及辅助技术处理

(1)初期支护及临时钢支撑:隧道进洞开挖采用预留核心土法,开挖进尺严格控制每循环一榀;进洞后受偏压影响,隧洞整体向右位移,且偏压一侧变形量较大,对此及时变更施工方案。对已经施工初支部分打设长 4m $\Phi$ 42 注浆钢化管,增加土体刚度;对未施工的偏压一侧径向中空注浆锚杆变更为长 4m $\Phi$ 42 注浆钢化管。另上中台阶钢拱架锁脚采用长 4m $\Phi$ 42 双排钢管进行加固,错角打设,减小隧拱整体沉降速率。

针对拱顶沉降加剧,在未施作仰拱段的上中台阶上加设临时支撑,纵向间距同初支钢拱架间距(60cm)。其中,竖向支撑采用 18# 工字钢(上中台阶钢支撑分别约为 1.7 米、4.7 米),斜向支撑采用壁厚 6mm 的  $\Phi$ 108 钢管,与型钢支撑夹角约 15-20°,支撑底部采用两根 18# 工字钢焊接成整体作为基础,以确保钢支撑底部落在坚实的基础上。上部每隔 1.5m 进行纵向及横向连接,将工字钢及钢管支撑连接成整体。

待支撑施做完毕后,自上台阶右侧开挖中导,待右侧中

导全部施工完毕,再开始开挖左侧中导。开挖过程中始终保留核心土。

在开挖仰拱前拆除 3 米范围临时钢支撑,并挖除该段预留核心土,然后开挖仰拱,开挖完毕后及时施做仰拱初支,尽早封闭成环,仰拱每循环开挖进尺为 3 米。



(a) 临时支撑 (b) 锁脚加固注浆

图 3 洞内施工技术处理现场

(2)超前支护:超前支护采用较新型双排小导管注浆方式,其中第一排采用 3.5m 长钢管注浆,环向间距 40cm,每 4 榀拱架一循环;第二排每榀工字钢施工一循环,使拱顶形成致密钢管拱结构,可有效防止洞身开挖后、初期支护前的土体塌落。

## 3. 监控量测

### 3.1 监控点布置

(1)地表沉降及套拱位移监测:地表沉降观测点设置在截水沟至洞口之间,沿隧洞纵向地表按照地形条件每隔 5-10 米设置一排,共三排;每排监控点横向间距 2-3 米,共 7 个。一排设置在截水沟内侧沟身旁,另为了监控仰坡受偏压及洞内沉降影响情况,在位于洞口至截水沟之间的坡面上动态增设两排监测点。测点整体位于在隧中及左侧偏压处,监测频率为 1 次/天。此外,在套拱外侧断面的拱顶及拱腰位置布设三个监控点,及时跟踪套拱变形,判断是否需增设内套拱,或套拱基础外侧支挡加固等措施。

通过对地表及套拱监控量测,有效预防了安全事故的发生,同时根据变形速率及趋势分析,未采取增设锚索框架梁、

地表注浆或增设外套拱等处理措施,节约了成本,提高了施工进度,通过明洞衬砌及洞门、浅埋段二次衬砌施工,整个地表已达到稳定状态。二衬施工前洞口段 YK15+490、YK15+495 沉降趋势如图 1、图 2 所示。

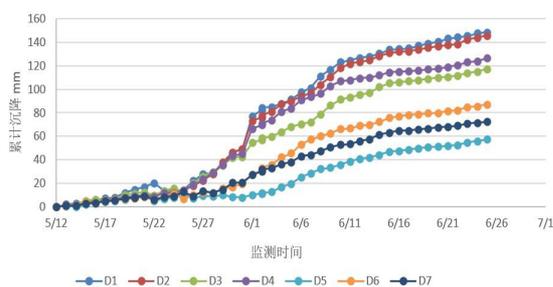


图 4 YK15+490 地表沉降

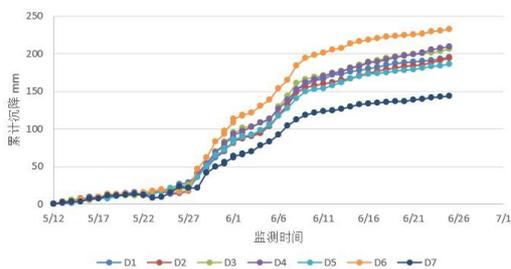


图 5 YK15+495 地表沉降

(2)洞内监控量测:洞口段 20 米受浅埋偏压最为严重,是控制的重点,进洞开始后每隔 5 米在拱顶及上中台阶拱脚布置监控点,每 1-2 次/天进行监控量测。

以洞口段变形最大的 YK15+485 拱顶监控点进行分析(收敛值相对较小,累计收敛值在 50mm 内),4 月 27 日连续降雨及中台阶开挖后以 23mm/天的速率变化,4 月 30 日施作临时钢支撑,沉降速率有所下降,但依旧以 5mm/天速率下沉,5 月 5 日采取竖向支撑两侧加斜撑的方案,施作后沉降速率为 1.2mm/天,有效证明了竖向工字钢支撑、左右两侧钢管斜撑方法对控制拱顶沉降的作用。

为避免后期降雨可能造成塌方及沉降过大导致换拱等情况,快速施工左右两侧下台阶和仰拱,5 月 8 日至 5 月 12 日开挖下导过程中,沉降速率为 9.4mm/天,与预判沉降速率

相差无几,5 月 13 日仰拱浇筑后沉降速率明显减缓,待 7 天后混凝土强度达到约 80%后,沉降趋于稳定,在 6.2 日浇筑暗洞第一板二衬时,拱顶累计沉降约 30cm,确保了二衬施工净空和厚度指标。YYK15+485 拱顶沉降如图 3 所示。

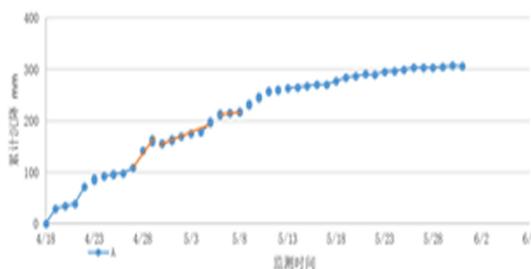


图 6 YYK15+485 拱顶沉降

#### 4.结束语

本文总结分析了陡坡段浅埋偏压红粘土公路隧道在工期异常紧张下采取的各种措施:洞口增设临时挡土墙、仰坡技术优化、套拱及洞内初支技术处理、超前支护及临时工字钢加钢管支撑辅助措施处理等,通过监控量测对技术处理措施的有效性 & 动态调整指导性进行论证,可为其它同类型隧洞进洞施工提供有效借鉴。

#### 参考文献(References):

- [1] 张效喆.滑坡段隧道进洞施工技术研究[J].国防交通工程与技术,2020,18(02):44-46+8.
- [2] 张晓刚.黄土区浅埋偏压隧道进洞施工技术及其应用[J].北方交通,2015(11):117-119+122.
- [3] 谷柏森,吴行,王伟.绵茂公路某隧道进洞挂口施工技术[J].现代交通技术,2015,12(03):54-57.
- [4] 刘希亮,杨海涛,刘招伟.浅埋黄土隧道安全进洞施工技术措施[J].施工技术,2015,44(19):106-109.
- [5] 李威,赵慧君,富志强.陡坡地段深层堆积体隧道进洞施工技术[J].公路,2018,63(09):301-304.
- [6] 谢龙.浅析超浅埋隧道下穿国道进洞施工难点及施工技术[J].公路交通科技(应用技术版),2017,13(05):11-13.