

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2025.01.024

引用格式:张星宇,刘鹏.套壳法处治浅埋段隧道技术应用[J].公路与汽运,2025,41(1):122-124.

Citation:ZHANG Xingyu, LIU Peng. Application of shell-in-shell method for treating shallow buried section tunnel[J]. Highways & Automotive Applications, 2025, 41(1): 122-124.

套壳法处置浅埋段隧道技术应用

张星宇¹, 刘鹏²

(1.江西高速石化有限责任公司,江西 南昌 330006;2.江西省交通设计研究院有限责任公司,江西 南昌 330022)

摘要:以宜遂(宜春—遂川)高速公路新建工程B2标彭坊隧道工程施工为例,阐述该隧道穿越ZK84+500—530浅埋段的施工处置措施,采用套壳法处置隧道浅埋段。监控测量结果表明处置后套壳稳定且工期缩短、工程造价降低,套壳法可用于隧道浅埋段处置。

关键词:隧道;套壳法;浅埋段;处置措施

中图分类号:U455.4

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2025)01-0122-03

高速公路隧道工程施工中,浅埋段制约隧道的稳定性及整体性。由于浅埋段地层覆盖层较薄,若施工处置措施不合理,很容易导致隧道产生冒顶及塌方事故。张建军等通过有限元数值模拟建立隧道塌方区地质模型,分析了隧道洞口浅埋段塌方冒顶机制,提出了处置措施^[1];孟令德等采用套壳法处理隧道浅埋段,取得了不错的效果^[2];杨文平等从开挖、支护、仰拱监控量测及超前地质预报等方面对隧道浅埋段施工技术进行了阐述^[3];夏凌提出了隧道浅埋段塌方冒顶的处置措施^[4];任涛提出采取超前中管棚支护与周边注浆等措施对隧道浅埋段进行处理^[5];周露对浅埋隧道发生塌方冒顶前的地质超前预报及监控量测进行了回顾性分析研究^[6];张军等建立二维数值模型,分别采用上下台阶法、三台阶法、三台阶预留核心土法模拟公路隧道浅埋暗挖段的开挖过程,分析围岩衬砌的应力和位移变化及塑性区分布,确定了三台阶预留核心土法的开挖方式^[7];李忠等为解决洞口浅埋段软岩隧道变形控制难题,对不同施工方法下围岩变形进行对比分析,确定采用三台阶临时仰拱法进行洞口浅埋段施工^[8]。本文以宜遂(宜春—遂川)高速公路新建工程B2标彭坊隧道为例,基于多方现场勘察,对左线浅埋段进行变更处置方案设计,使隧道成功穿越浅埋段。

1 项目概况

宜遂高速公路新建工程路线全长194.549 km,双向四车道。其中B2标彭坊隧道位于吉安市安福

县彭坊乡附近,为分离式隧道,左线(ZK83+560—ZK84+695)长1 135 m,右线(YK83+590—YK84+745)长1 155 m,V类围岩占总长的50%,设计速度100 km/h。隧道进口和出口均采用端墙式,采用电力照明、机械通风。

隧道位于陈山隆起带,工程地质条件复杂。为剥蚀低丘山岭构造,山体连绵不断,起伏较大,植被发育,主要为杉树、杂木等,地下水较丰富。地层为寒武系中统高滩群下组,岩性为灰绿色长石石英砂岩夹板岩、砂岩与板岩互层、砂质板岩。隧道区内褶皱断裂构造发育,风化裂隙发育~较发育,岩体破碎~较破碎,发育有多个断层破碎带。地下水发育,地下水在山体低洼处多以散排的形式出露。隧道区内地震动峰值加速度为0.05g,对应地震设防烈度为Ⅵ度,对应中硬场地地震动加速度反应普特征周期为0.35 s,属于抗震不利地段。隧道区内暂未发现大的滑坡、泥石流、崩塌、岩堆、危岩、溶洞及采空区等不良地质。

隧道区不良地质主要为进出口浅埋段,施工过程中可能产生顺层滑塌、冒顶、坍塌等事故,开挖中应遵循短进尺、强支护的原则,对出洞口山体进行注浆加固,同时对洞口边坡进行混凝土锚杆骨架植草防护,并做好洞口和洞顶的截水、排水措施。隧道穿越一处浅埋段和多条推测裂隙发育带,岩体较破碎,围岩极不稳定,施工过程中易产生掉块、冒顶等不良现象。该处浅埋段长近70 m,其中左洞浅埋段约30 m开挖轮廓线已基本外露。图1为左洞施工现场。



图 1 彭坊隧道左洞施工现场

2 浅埋段隧道处置方案设计

由于盖挖法施工工艺复杂且工序流程较多,成本不易控制,经过多次现场勘察及专家论证,决定采用套壳法进行施工,暗挖施工通过浅埋段。

2.1 套壳法施工原理

套壳法施工采用拱结构原理进行受力,找出隧道两侧壳体拱脚的受力支撑点,确定隧道混凝土套壳施工轮廓和桩号段落,制作土膜作为拱框架的底膜,在支撑点处将钢拱框架锁脚锁紧,并通过喷射混凝土及钢筋网对钢拱架进行加固。待混凝土具有一定强度时,施作二次衬砌,逐级分层回填土体。

2.2 处置方案设计及施工注意事项

左洞 ZK84+480—540、右洞 YK84+470—530 段原施工图设计埋深为 0~9 m, V 级围岩,采用 FS5-1 支护方式。由于原设计高程与实际测量高程相差较大,最大相差近 8.7 m,其中左线浅埋段部分开挖轮廓线已基本外露,经多次现场勘察,对浅埋段提出以下处置方案:

(1) 对 ZK84+500—530 段进行清除和整平,开挖深度按拱架顶标高控制。

(2) 对 ZK84+500—530 段采用工字钢和钢筋网片进行处置,设置 120°套拱,地基采用 60 cm 高承台,设置间距为 0.75 m 的 $\phi 108$ mm 钢花管并注浆,钢花管嵌入岩层至少 2 m(见图 2),钢花管施作与注浆按管棚要求实施。混凝土拱壳内钢架(I18 mm 工字钢)根据现场实际情况施作,钢拱架间距为 0.75 m,各榀钢架之间采用 $\phi 22$ mm 钢筋连接(环向间距 1.0 m)。拱壳内外侧设置 D10 mm 焊接钢筋网,混凝土净保护层厚度为 2.5 cm。二次衬砌施工完成后,拱顶区域采用黏土回填,回填厚度为 1.5 m,并增设 2 层土工膜,土工膜按相关规范要求实施^[9-10]。

(3) ZK84+500—530 段采用原设计 FS5-1 支护方式,取消超前小导管。

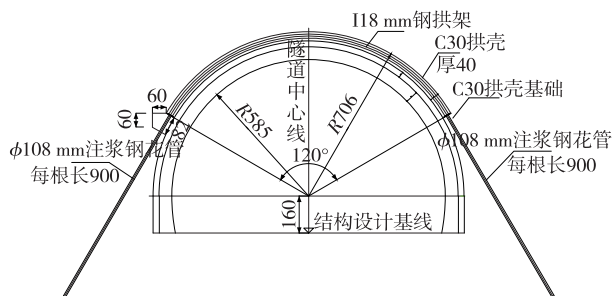


图 2 彭坊隧道 ZK84+500—530 段混凝土拱壳设计(单位:cm)

(4) 将 YK84+470—530 和 ZK84+480—540(ZK84+500—530 除外)段原设计单排超前小导管改为双排超前小导管,每榀拱架增加上台阶锁脚锚管,即每榀拱架设置 8 根锁脚锚管(见图 3)。

1) FS5-1 型衬砌范围的超前支护设计中,超前小导管纵向间距为 3.0 m,采用复合式衬砌,初期支护按照设计文件及有关规范^[9]进行,并加强监控量测,及时根据信息反馈调整支护参数,确保工程质量。其中超前小导管前端呈尖锥状,管壁四周钻 6 mm 压浆孔,尾部 0.6 m 不设压浆孔。超前小导管保持至少 1 m 的搭接长度,其尾部焊接于钢架上,同时对导管注浆。注浆方式为单液注浆,当岩体止浆效果不好时,改用水泥、水玻璃双液注浆,水泥浆的水灰比为 1:1,注浆压力为 0.5~1.0 MPa。采用该工艺,有利于浆体向拱顶方向快速扩散,使浆体更加紧密,对后期隧道防渗具有很强的作用。

2) FS5-1 钢支撑纵向间距为 50 cm,钢支撑由 20a 工字钢组成,段与段之间采用螺栓连接,20a 工字钢焊接在 220 mm×220 mm×10 mm 钢板上,纵向采用 $\phi 22$ mm 钢筋在钢架内外缘交错布置并焊接固定。钢支撑均采用双面焊接,焊接厚度不小于 4 mm。钢支撑设计时已考虑拱部、边墙 12 cm 的预留变形

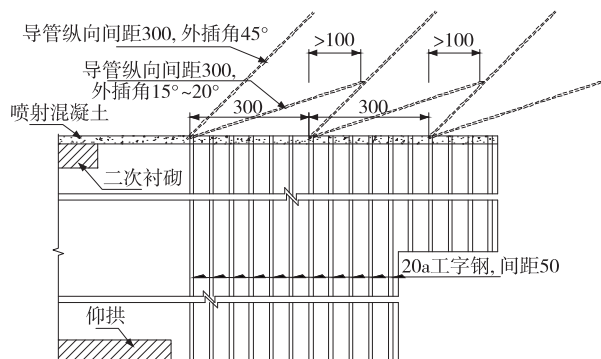


图 3 彭坊隧道 FS5-1 型衬砌超前双层小导管设计(单位:cm)

量,钢支撑安装前先喷射 4 cm 混凝土。仰拱不计预留变形量,施工中可根据实际变形予以调整。钢支撑架设按有关规范^[9]执行,每榀拱架设置 8 根锁脚锚杆,与钢支撑焊接在一起,必要时可设置槽钢托梁,把钢支撑焊接在一起。钢支撑架设后与超前锚杆焊接。

(5) 施工中加强监控测量和超前地质预报等,为后续动态设计及施工提供数据支撑^[10]。

(6) 隧道浅埋段开挖施工采用三台阶临时仰拱法,根据 V 级围岩的承载能力,开挖完成后立即施作钢拱架及混凝土衬砌支护体系,以快速形成整体支护结构共同受力。

(7) 拆除混凝土套壳底膜,待混凝土强度指标满足要求时,对 ZK84+500—530 段进行拱顶回填,逐级分层回填,保证回填土能自然密实,并增设排水设施(见图 4)。

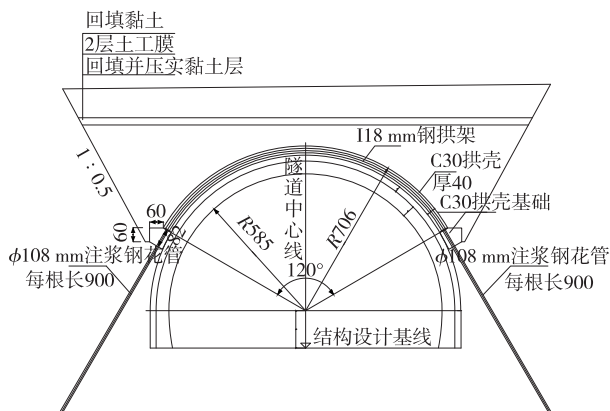


图 4 彭坊隧道浅埋段拱顶回填设计(单位:cm)

3 浅埋段处置方案的实施

浅埋隧道的地质灾害主要表现为隧道冒顶、初期支护开裂、仰坡垮塌及钢拱架严重受弯变形,影响因素主要有地形地貌及地质条件、气象及施工等,采用地表回填覆盖碾压、隧道内增设临时钢支撑、中隔壁法施工开挖掌子面及小导管注浆加固等措施可有效避免地质灾害的产生^[11]。

为确保彭坊隧道顺利穿越浅埋段,消除安全隐患,根据隧道冒顶情况,结合以往处理经验,先进行洞顶截水和排水、隧道周边松散土体及孤石处理,待周围环境稳定后再实施套壳法处置方案。主要施工流程为测量→施作洞顶环形截水沟→支点选择→施工混凝土套壳→地基注浆加固→隧道掌子面开挖掘进→分层回填套壳上部土体。对浅埋段设置 120°

混凝土套壳,采用 $\phi 108$ mm 钢花管注浆加固地表,套拱的支撑保护可保证施工人员的安全。严格按照“管超前、严注浆、短开挖、强支护、早封闭、勤量测”的原则进行隧洞施工,稳扎稳打,经过近 20 d 的精心施工,顺利穿越左洞浅埋段。

4 结语

本文以宜遂高速公路彭坊隧道为例,从设计方案及施工监控量测、超前地质预报等隧道施工辅助措施方面阐述浅埋段隧道施工技术。施工效果表明,采用套壳法加固隧道浅埋段,能避免隧道大范围冒顶及塌方,有效保证工程质量及施工进度,经济、社会效益显著。隧道浅埋段的施工风险是多方面的,施工方案应具有针对性,同时施工中应加强监控量测和超前地质预报,为动态设计及施工提供数据支撑。

参考文献:

- [1] 张建军,马吉倩.高速公路隧道洞口浅埋段塌方冒顶分析与治理[J].公路工程,2017,42(2):187-190.
- [2] 孟令德,冯海暴,张骏,等.套壳法在隧道浅埋段冒顶处理中的应用[J].科技创新导报,2010,7(11):105.
- [3] 杨文平,刘新立,周大兵.隧道浅埋段施工技术[J].中国港湾建设,2012,32(2):55-59.
- [4] 夏凌.隧道浅埋段塌方冒顶的处理及预防探讨[J].黑龙江交通科技,2014,37(10):126.
- [5] 任涛.隧道浅埋段施工技术分析[J].居舍,2021(14):27-28+32.
- [6] 周露.浅埋隧道塌方冒顶后 TSP 及监控量测回顾性分析研究[J].公路与汽运,2021(2):147-149.
- [7] 张军,廖鑫捷.公路隧道浅埋暗挖段施工方法的数值分析[J].公路与汽运,2019(2):140-143+148.
- [8] 李忠,王伟,林玉刚,等.浅埋段软岩隧道施工工法优化模拟应用分析[J].中外公路,2021,41(3):230-236.
- [9] 中交一公局集团有限公司.公路隧道施工技术规范:JTG/T 3660—2020[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2020.
- [10] 河南省栾卢高速公路建设有限公司,长安大学.公路隧道施工地质预报技术规范:DB41/T 2139—2021[S].郑州:河南省市场监督管理局,2021.
- [11] 宋青会.浅埋偏压隧道洞口段施工地质灾害分析及处治[J].公路交通科技(应用技术版),2019,15(3):93-96.

收稿日期:2023-07-10