

黄土隧道浅埋及下穿国道施工技术研究

钱建坤

浩吉铁路股份有限公司 北京 100010

摘要:以武家坡隧道进口段浅埋黄土及下穿307国道为例,介绍86.7m双层超前长管棚一次施做施工技术和黄土隧道三台阶大拱脚临时仰拱微台阶法施工方法,在施工过程中的运用有效的保证黄土浅埋隧道施工安全质量。

关键词:超前长管棚;三台阶大拱脚临时仰拱微台阶法;监控量测;施工

1 概述

黄土隧道在我国分布较广。黄河中上游的河南西部、山西南部、陕西和甘肃大部分地区为我国黄土和湿陷性黄土的主要分布区。随着我国铁路公路建设的发展,将会出现更多的黄土隧道施工。

黄土具有大孔隙、易冲刷冲蚀有湿陷性、垂直节理发育、整体强度差的特点。浩吉铁路武家坡隧道浅埋且下穿307国道具有超高的塌方大变形的风险。为保证隧道安全质量采取86.7m长双层超前长管棚和三台阶大拱脚临时仰拱微台阶法,避开雨季施工做好截水排水措施和临时支护。加强监控量测(洞顶下沉、周边位移、地表下沉)掌握隧道支护动态信息及超前地质预报(掌子面素描、地质调查、地表调查、加深炮孔),评价施工方案可行性及时修改施工支护设计优化施工方案确保隧道施工安全质量。

86.7m双层超前长管棚洞外一次性施工通过软弱浅埋围岩达到稳定岩层的作用,隧道施工功效高。外插角小($1\sim 3^\circ$)减低混凝土回填从而降低混凝土使用和超挖成本。

三台阶大拱脚临时仰拱微台阶法:黄土隧道采用机械开挖人工修边30cm,上台阶高度定为拱部 120° 确保开挖面积适合施工为宜(面积、开挖方量越小越安全),为稳固掌子面预留核心土方便人工施工开挖支护。加强监控量测及支护确保施工质量安全。

2 工程概况

武家坡隧道全长2671.89m,为单洞双线隧道,最大埋深168.88米。进口段DK256+693-DK256+707段下穿G307国道,与线路交角 60° 。G307国道宽度8m,为沥青路面,土路肩,车流量较大。此处隧道埋深27m,G307国道在该段处于挖方段,边坡无防护,向靖边方向为上坡。

隧道穿越G307国道时,受开挖、爆破的影响,可能

会对G307造成一定振动破坏,因此隧道施工时,沿纵向在G307国道两侧各15米范围时需采取加强支护、加强监控等措施,保证国道通行安全和隧道施工安全。

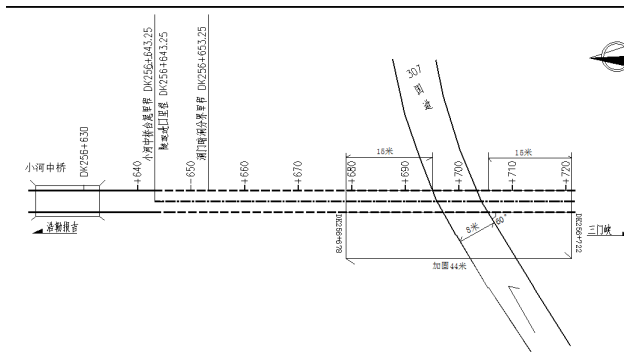


图1 武家坡隧道下穿G307国道平面交叉示意图

3 设计概况

武家坡隧道DK256+653.25-DK256+740段设计为V级围岩,支护参数Vb土型复合式衬砌,开挖方法为三台阶大拱脚临时仰拱微台阶法(原设计为双侧壁导坑法),辅助施工措施为双层 $\phi 159$ 超前长管棚,开挖预留变形量为12-15cm。超前长管棚采用钢管作纵向支撑,利用初支钢架作环向支撑,整体刚度大对整体围岩变形限制能力强,能提前承受早期压力。有效预防浅埋及下穿307国道段塌方及大变形风险,保证施工安全质量及307国道行车安全。

武家坡隧道DK256+653.25-DK256+740段共设置86.7m长 $\phi 159$ 双层超前长管棚。管棚长度86.75m一次施作。管距:环向间距40cm;倾角:钢管轴线与衬砌外缘线夹角 $0^\circ\sim 3^\circ$;钢管施工误差:径向不大于20cm,相邻钢管之间环向不大于5cm;注浆压力:0.5~2.0Mpa;压力稳定时间:10~15分钟;水泥浆液水灰比:0.5:1-2:1。

长管棚需设置导向墙,按拱部 120° 范围计算,采用C20砼,截面尺寸为 $1\text{m}\times 1\text{m}$,环向长度可根据图纸及预留变形量30cm实际情况确定,保证其基础稳定性。为保证长管棚施工精度,导向墙内设2根I18、外设两根I16工字钢,钢架外缘设1米长 $\phi 180$ 导向钢管,钢管与钢架焊接。

作者简介:钱建坤,工程师,主要从事浩吉铁路施工、安全管理工作。

钢架各单元由14mm厚连接板焊接成型，单元间由螺栓连接。

表1 穿越段主要初期支护参数

	项目	原设计	变更设计（施工参数）
初支	钢架型号	I20a	H230 格栅钢架
	φ22 连接筋	环向间距 1.0m 单排交错布置	环向间距 1.0m 单排交错布置
	C25 喷混厚度	27cm	27cm
	锚杆长度和环纵间距	3.5m、1.0*1.0m	无
	φ22 药包锚杆	3.5m、1.0*1.0m	无
	锁脚锚管	φ42、t=5mm、L=4.0m，12根/环	φ42、t=5mm、L=6.0m，8根/环上台阶 φ76、t=5mm、L=6.0m，16根/环中下台阶
	钢筋网直径、尺寸	8mm、20*20cm	8mm、20*20cm
	预留变形量	12-15cm	30cm
辅助措施	双层 φ159 超前长管棚	159mm*7mm 热轧无缝钢管	159mm*7mm 热轧无缝钢管
	临时横撑	I18a，喷砼 24cm	I18a，喷砼 24cm
	双侧壁导坑法	φ42*3.5mm 超前支护，临时钢架，φ42*5mm 锁脚锚管	三台阶大拱脚临时仰拱微台阶法

4 施工情况

使用钻杆钻孔试孔岩层易于成孔采用顶进法施工，钻孔采用间隔钻孔方法，成孔1个即安装钢管。同时钢管内置钢筋笼，避免堵孔。在全部管棚安装完成后进行注浆，采取隔二注一的方法进行。

管棚施工主要工序：准备工作（洞口开挖及坡面防护）、长管棚钢管制作、导向墙施作、搭设平台安装钻机钻孔、清孔、安装管棚钢管，管内外注浆。

5 施工遇到的问题及采取的措施

长大管棚注浆超前在大孔隙的黄土隧道施工中注浆效果较好，开挖后能看见土块渗进水泥浆胶结成整体，长管棚补注的水泥浆增大了钢管的截面模量，提高了横向荷载能力。在开挖过程中拱顶未出现塌方掉块现象增加施工安全系数。但在具体施工过程中仍遇到许多问题，应采取相应的措施及时解决。

(1) 由于钻孔长86.75m,各孔易出现漏风、无渣排除、钻不进情况，采用慢进慢出多次窜动，每钻进10m,退出20m,同时以高压风不断吹动，然后缓慢钻进，待正常排渣后，再加钻杆钻入。钻孔顺先单后双施做，为避免串孔现象。同时为保证成孔质量应钻孔后立即安装管棚钢管。

(2) 精确定位钻孔角度和方位并控制钻孔角度，尤其是接长钻杆后钻进角度应严格控制。水平钻孔难免有些弯曲，且向隧道设计断面弯曲，可以先钻不易倾入隧

道设计断面的最低的孔试钻并用测孔器探测得出下沉高差以此适当抬高。应经常测量轴线与衬砌外缘夹角。

(3) 施工中应提前做好导向墙施工准备工作，导向管的外径厚度、连接管棚钢管的套管外径厚度选择很重要，避免钻孔时钻机吹不出渣、无法钻进或无法安装管棚等现象。由于采用内丝扣应改正钢筋笼的直径并打磨好端头及接头部位确保钢筋笼能有效顺利的进入管棚钢管中。

(4) 由于地质状况原因会出现软质围岩、流塑状黏土、砂卵石或破碎带不易成孔时应改用低压钻进或者采用套管跟管钻成孔。钻进过程中应注意钻孔速度、返回介质的成分数量、地质水文等资料的收集与记录，发现异常情况及时解决。

(5) 钻孔时如出现卡钻、严重塌孔、漏风等现象，应停止钻进，注浆后再钻。

6 三台阶临时仰拱微台阶开挖支护

依据地质条件、断面大小、埋深、设备配置、经济效益比选。确定选择三台阶大拱脚临时仰拱法（微台阶）开挖施工方法，施工坚持管超前、预注浆、少扰动、短开挖（上台阶每循环进尺0.6m）、强支护、实回填、严治水、早封闭、勤量测”的原则。上台阶长度3~5m、中台阶长度5~7m、洞口段围岩整体性差时仰拱成环距掌子面距离不大于单倍洞径,依据监控量测数据可调整仰拱成环距掌子面距离不大于双倍洞径。仰拱及时成环有利于初支整体受力抑制大变形及初支衬砌变形

量。初期支护紧贴掌子面,仰拱及时封闭成环与掌子面保持距离不大于双倍洞径。

针对洞口浅埋黄土V围岩的特点(垂直节理发育、自稳能力差)及超前支护的作用。土体易顺着节理张松和剪断,如果这种节理地层在拱顶处易出现拱顶坍塌;出现侧壁则侧壁掉土处理不当易较大坍塌,超前长管棚有效的防治拱顶坍塌及有效的安全。为有效解决垂直面采取预留核心土并有利于稳固掌子面土体方便人工施工开挖支护。上台阶高度定为拱部 120° ,以武家坡进口断面为例开挖高度2.8m,最大宽度9.85m,开挖面积 19.89m^2 自稳时间3~5小时。防止拱部下沉及支护大变形采用钢架大拱脚措施并增强锁脚锚管型号及长度,上台阶采用临时仰拱横撑措施,并加强监控量测掌握支护动态信息。

(1) 三台阶(大拱脚)临时仰拱施工开挖方法

施工顺序:上台阶开挖→支护→临时仰拱→中台阶开挖→支护→下台阶开挖→支护→仰拱、填充→拱墙衬砌。

开挖方法:采用机械加人工辅助开挖方式。上台阶长度3~5m、中台阶长度5~7m、洞口段围岩整体性差时仰拱成环距掌子面距离不大于单倍洞径,依据监控量测数据可调整仰拱成环距掌子面距离不大于双倍洞径。每循环进尺按1榀(60cm)钢架间距控制。下部台阶开挖每循环交错进行错开一循环进尺。

(2) 施工遇到的问题及采取的措施

三台阶大拱脚临时仰拱法(微台阶)开挖施工方在黄土隧道施工中安全质量进度有保证。监控量测数据显示支护正常。由于隧道埋深以及地质变化影响黄土的密实和干湿变化造成围岩自稳能力持续时间长短变化,施工过程中仍遇到许多问题,应采取相应的措施及时解决。

1)施工坚持管超前、预注浆、少扰动、短开挖(上台阶每循环进尺0.6m)、强支护、实回填、严治水、早封闭、勤量测”的原则。上台阶长度3~5m、中台阶长度5~7m、洞口段围岩整体性差时仰拱成环距掌子面距离不大于单倍洞径,依据监控量测数据可调整仰拱成环距掌子面距离不大于双倍洞径。仰拱及时成环有利于初支整体受力抑制大变形及初支衬砌变形量。初期支护紧贴掌子面,仰拱及时封闭成环紧贴掌子面保持距离不大于双倍洞径。

2)黄土围岩开挖后暴露时间过长,围岩松散时,围岩周边风化及围岩压力(围岩应力场)的变化造成围岩体松弛加快,进而易发生塌方现象,因此开挖后应立即喷射C25砼封闭围岩,并添加速凝剂,短进迟、快速施工加

强支护,各部开挖时相邻部位砼强度应达到设计强度70%以上。

3)为利用三台阶大拱脚临时仰拱法施工,上台阶长度3~5m、中台阶长度5~7m,有利于临时仰拱施工及核心土的留置,有利于湿喷台车喷射上台阶初支拱架。有利于封闭成环距掌子面距离缩小。监控量测数据显示封闭成环后数值变化小、初支趋于稳定。

4)大拱脚及临时仰拱施工有力的保证拱脚下沉和收敛变形,在临时仰拱施工的断面和拆除临时仰拱的断面上数值差距明显 $2\sim 3\text{mm}$ 。由于核心土的原因不能及时施做临时仰拱施工,为确保上台阶施工安全应在靠近掌子面处及时施工临时仰拱。

5)当围岩条件差易掉块时,需要缩短进尺并紧贴掌子面,初支C25砼必须实回填,防止黄土垂直节理发育造成坍塌体积扩大。当坍塌厚度大于60cm应加强钢架支护或分层喷射避免砼压塌钢架。

6)黄土隧道内应做好防水工作,黄土在干燥情况时坚固承载力高。当受水浸湿后会呈现不同的湿陷性,会突然发生下沉现象,使开挖后围岩迅速丧失自稳能力,如果支护措施满足不了变化后的情况,易发生坍塌。隧道开挖前应按设计要求先做好洞口、洞顶防排水及防护工程,防止地表水下渗,妥善处理好陷穴、裂缝。以免地面水侵蚀洞顶周围,造成土体塌方。含有地下水的黄土层中施工,洞内做好排水设施。水量较大时,应采用井点降水等方法将水位降至隧道衬砌底部以下,改善施工条件。

7 结语

在黄土隧道洞口浅埋段施作双层超前长管棚施工有效控制拱顶塌方掉块情况以及承受307国道上行车荷载和浅埋黄土大塌方变形的影响,保证施工安全质量安全、顺利地完成了武家坡隧道进口进洞施工,洞内沉降、收敛分别控制在 25mm 内,国道沉降控制在 24mm 内,满足设计和规范要求。三台阶大拱脚临时仰拱微台阶法提高施工效率在监控量测的数据反映验证下确定的支护参数保证施工安全质量进度。为今后的黄土浅埋段施工积累施工经验,具有借鉴意义。

参考文献

- [1]隧道工程[N];罗固源;重庆大学2001年
- [2]隧道施工[N];宋秀清 刘杰;人民交通出版社,2014
- [3]铁路隧道施工关键技术研究[J];张丽娜;工程建设与设计,2023