

# 大西客运专线忻州隧道自进式管棚施工技术

郭峰, 刘安, 郭宝海

(河南省地矿局第五地质勘查院, 河南 郑州 450000)

**摘要:**大西客运专线忻州隧道斜穿大运高速公路, 洞顶至高速路面土层较浅, 且土体具湿陷性, 沉降控制要求极高。施工采取自进式管棚进行一次性超前支护, 既保证了高速公路的安全运营, 又有效的控制了路面沉降。施工实践充分证明了自进式管棚具有一次性施做距离长、精度可控性强、对地面沉降影响小、注浆饱满度可控等优点, 为自进式管棚技术的推广应用提供了借鉴经验。

**关键词:**湿陷性土层; 自进式管棚; 超前支护; 隧道施工; 大西客运专线; 忻州隧道

**中图分类号:** U455.49 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2013)04-0081-04

**Construction Technology of Self Drilling Pipe Shed in a Tunnel in Shanxi/GUO Feng, LIU An, GUO Bao-hai** (No. 5 Geological Exploration Institute, Henan Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Zhengzhou Henan 450000, China)

**Abstract:** Xinzhou tunnel section of Datong - Xi'an is oblique crossing Dayun expressway, the tunnel top is near the collapsible soil of expressway, so settlement control requirements are very strict. By one-time advanced support using self drilling pipe shed, the safe operation of expressway was ensured and pavement settlement was effectively controlled. The construction practice shows that self drilling pipe shed has advantages of one-time long distance construction, precious constructability, less ground settlement and controllable grouting fullness, and can be the reference to the application of self drilling pipe shed technology.

**Key words:** collapsible soil; self drilling pipe shed; advanced support; tunnel construction; Datong - Xi'an railway line for passenger traffic; Xinzhou tunnel

## 1 自进式管棚简介

自进式管棚是将管棚钢管加工成钻杆, 通过水平钻机直接钻入地层后进行注浆填充形成的超前支护刚性体。自进式管棚的钢管不设溢浆孔, 钻头直接利用管棚钢管加工成敞口、楔形或三翼等形状, 后端通过变径同钻机连接; 其钻头内可安设专用导向仪进行精度控制, 同时作为钻具的钢管通过丝扣同轴连接, 使自进式管棚具备了超长性(超 100 m)的前提; 自进式管棚注浆时浆液先填充管棚内部, 内部充满后沿安设在孔口的溢浆管溢出, 关闭溢浆管后浆液开始填充管棚外部, 整体刚度更具优越性。

## 2 工程概况

大(同)西(安)客运专线忻州隧道 DK206+700~820 段斜穿大(同)运(城)高速公路, 公路与隧道洞身夹角  $48^{\circ}11'37''$ , 隧道穿越段位于  $R=8000\text{ m}$  的圆曲线上, 拱顶至路面高度约 26 m。隧道地层表覆新黄土, 下伏老黄土。老黄土浅棕红色, 坚硬~硬塑, 土体紧密, 含钙质结核层和洪积碎石类土和砂

土; 新黄土分布广泛, 部分具湿陷性, 局部为 IV、V 级湿陷性, 系数  $\delta_s=0.017\sim0.080$ 。为确保大运高速公路正常运营及隧道安全开挖, 采取自进式长管棚进行一次性超前预支护。

## 3 方案设计

### 3.1 管棚孔位布设

在隧道 DK206+700~820 拱部  $150^{\circ}$  范围沿开挖轮廓线外偏 30 cm 布设一环  $\varnothing 159\text{ mm}$  自进式管棚, 一次性打设长度 120 m, 共设自进式管棚 52 根, 具体详见图 1。

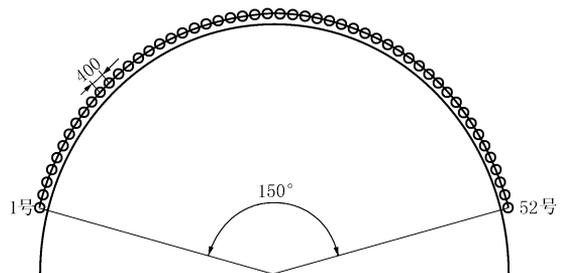


图 1 自进式管棚孔位布设图

收稿日期: 2012-05-15; 修回日期: 2013-04-02

作者简介: 郭峰(1975-), 男(汉族), 河南驻马店人, 河南省地矿局第五地质勘查院工程师、一级注册建造师、注册造价师, 岩土工程专业, 从事地基与基础、地质灾害防治及地下岩土工程工作, 河南省郑州市高新区莲花街 56 号 1020 室, 307982880@qq.com。

### 3.2 管棚各项参数设定

钢管壁厚 6 ~ 8 mm, 支护范围 150°, 管棚间距 400 mm, 设计偏角 0.5° ~ 1.0°, 管棚外偏 300 mm, 打设精度  $\pm 5\%$ 。

### 3.3 自进式管棚连接

管棚采取  $\varnothing 159$  mm 无缝钢管, 钢管每节长度 4.0 ~ 5.0 m, 管棚连接采取公母扣丝扣连接, 公扣采取壁厚 8 ~ 10 mm  $\varnothing 152$  mm 无缝钢管加工, 接头长度  $\leq 12$  cm, 即单侧  $\leq 6$  cm, 丝扣紧固后采取 3 ~ 4 片钢板进行加固, 以避免在钻进时滑扣。

### 3.4 注浆

单根自进式管棚完成后直接封孔注浆, 浆液选用水灰比 0.8 ~ 1 的水泥浆, 注浆压力 0.8 ~ 1 MPa, 注浆速度 20 ~ 100 L/min, 注浆方式为一次注浆。

## 4 工艺流程及主要施工工艺

### 4.1 施工工艺流程(见图2)

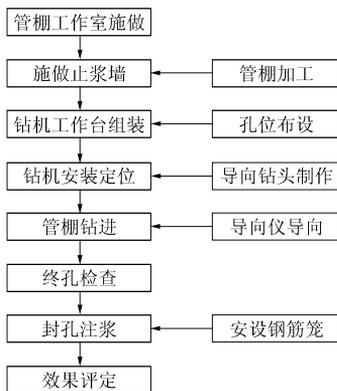


图2 自进式管棚施工工艺流程图

### 4.2 施工工法

结合该项目情况及以往施工经验, 采取水平导向自进式管棚钻进, 采用楔子板导向钻头、SE-1型导向仪。

### 4.3 主要施工工艺

#### 4.3.1 管棚工作室施做

管棚施做前应沿开挖轮廓线外扩挖 1 m, 扩挖长度  $\leq 6$  m, 以保证钻机作业空间。工作室开挖面应保证平直、圆顺, 以保证管棚施做过程中的安全性及角度的可控性。

#### 4.3.2 止浆墙施做

止浆墙施做首先应保证密闭性, 对出现的局部裂隙应进行喷浆处理; 其次, 止浆墙应保证有足够的强度, 以能抵御来自注浆的压力, 厚度  $\leq 1.0$  m, 砼强度  $\leq C20$  级为宜, 以保证管棚注浆效果。

#### 4.3.3 孔位布设

孔位布设应根据设计孔向间距、外偏距采取电脑模拟办法确定出各孔位位置, 然后采取全站仪定位。如现场条件限制, 可先测定出隧道中心线及开挖轮廓线, 然后根据孔向间距现场采用 5 m 钢尺进行喷漆定位。对预先计划实施管棚的项目, 亦可提前安设管棚导向架。

#### 4.3.4 钻机工作台组装

钻机安装前首先进行工作台组装, 钻机工作台主要用来支撑钻机作业, 控制钻机移动设置, 因此必须具有一定刚度、稳定性。工作台采用 H 型钢高强度螺栓连接而成, 四周采用钢管斜拉稳定, 型钢规格 250 mm  $\times$  250 mm, 螺栓  $\varnothing 16$  mm, 钢管采用  $\varnothing 48$  mm 脚手架管。

工作台组装前首先平整铺设场地, 并进行夯实、硬化处理, 以避免作业过程中出现沉降。选用 2 根 H 型钢做底轨, 底轨铺设要求水平误差  $< 3$  mm (水平尺控制), 两轨平行误差  $\pm 3$  mm (对角找方控制), 底轨长度依据管棚施做范围外扩 1.0 m 设置。立架采取 4 根 H 型钢, 并采用高强度螺栓通过垫板与底轨连接, 搁置钻机的横担采用 2 根 H 型钢与立柱连接, 连接亦采用高强度螺栓通过垫板固定。钻机通过手动葫芦可在底轨上左右移位, 在立柱上下移动。

#### 4.3.5 导向钻头制作、安装

自进式管棚采用楔子板钻头, 钻头采用厚度为 10 mm 钢板作为导向板, 导向板旋转直径略大于管棚直径 5 ~ 10 mm, 导向板与管棚或钻具夹角 20° 为宜, 导向板与管棚间隙部分用钢板封堵, 中间设置  $\varnothing 8 \sim 12$  mm 的射水孔。

导向仪前端的探棒固定在楔子板钻头内, 固定既要保证探棒在钻进过程中的稳定性, 又要保证在钻进结束时便于取出。通常采取弯钩钢丝焊接方法固定, 钢丝绳牵引连接, 信号线路依附钢丝绳设置。具体如图 3 所示。

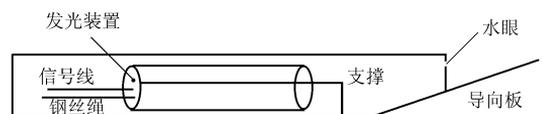


图3 楔子板导向钻头

#### 4.3.6 钻机安装定位

钻机安装就位主要是将各路油管、动力管等正确可靠连接, 并接通电源后调试钻机, 对出现的破损管路及时更换。

钻机定位是开钻前的主要工作, 也是确保钻进角度精确的关键一环。钻机安装后首先将钻杆对准

开孔孔位,随后采取中线偏量法控制外插角度,通过左右移动钻机方式或底轨将钻机移动到位,角度误差控制在5‰后将钻机焊定在钻机台架上。中线偏量法控制外插角是测量中线距钻杆前后段距离 $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$ ,测量钻杆前后距离 $L(L \leq 3 \text{ m})$ ,则外插角 $\delta = (\Delta_1 - \Delta_2) / L \times 100\%$ 。

外插角调整后采用电子水平尺测量钻机仰角,仰角通过提升吊链升降钻机底轨进行调整,误差控制在5‰。角度调整后将钻机稳固,并将加工好的钻头人工送入已开好的孔位内,开动钻机将钻杆与钻头连接一体,并进行首次导向测角,导向测角与事先测量的外插角、仰角应对照一致,并做好记录。

#### 4.3.7 管棚钻进

管棚钻进前应先调整循环液,循环液主要起到护壁及润滑作用。本次采用钠基膨润土循环液,循环液配比1:0.4,循环液经沉淀过滤后可重复利用,但要保证配比浓度符合要求。钻进时,循环液泵压应控制在0.6~1.0 MPa,泵量为10~30 L/min为宜。钻进应保持中低压力,匀速中速钻进。

自进式管棚通过钻机采取丝扣连接方式逐节打设完成,每节长度根据施做空间而定,本次采用4~5 m,并保证同一断面接头数 $>50\%$ 。每节打设完成后通过采用导向仪进行打设角度测量,并在下一节管棚打设时进行调整,确保每节管棚角度符合设计要求。每根管棚加尺后,须先空钻2圈稳固后再进行丝扣接缝密闭焊接,并根据钻进中扭矩大小加设帮片(3片或4片),以增加扭矩,防止在钻进过程中出现断管现象。管棚进尺通过钻机旋转、推进完成,钻渣通过循环液排出。

每根管在安装前必须进行质量检查。管材不得有弯曲,丝扣四周壁厚均匀,丝扣完好合格。管材内的铁屑、脏物等必须清除干净。安装时避免与硬物相碰,以免损伤管扣。

导向仪连接线应选用导电性能好,外壳绝缘性能好且耐磨的电线。接头处要用2层热缩套管套好,并注意不得将异物遗留或掉入打设管棚内。

钻进时,导向人员随着进尺,须时刻观察探头角度变化情况,当角度偏差 $>0.2^\circ$ 时,应及时纠偏。当纠偏无效、偏差 $>0.6^\circ$ 时,应停止钻进,并及时报告项目经理,研究对策后再施工。现场须及时记录每次导向数据及每次加管长度,并在办公室实施三维模拟,以保证钻进质量。

#### 4.3.8 封孔注浆

##### 4.3.8.1 自进式管棚注浆优点

自进式管棚注浆时浆液首先填充管棚内部,内部充满后通过端口填充管棚外部空间。浆液充满管棚体内时孔口处的溢浆管开始溢浆(溢浆时证明管棚体内压浆已饱满,浆液开始填充管棚外部空间)。浆液从溢浆管连续溢出后关闭闸阀,浆液开始填充管棚外部空间,当压力达到设计标准时(一般0.8~1.0 MPa),证明整个管棚及其外部空间均已填充密实,此时持续3~5 min即可终止,待浆液稍有沉淀失水后(一般30~60 min)打开溢浆管闸阀排出浆液中泌出的清水,通溢浆管可进行二次补注浆,以确保整个管棚体及周围空间密实度达到预定标准。由此,自进式管棚注浆既规避了传统长管棚或空洞体地层管棚注浆不饱满的缺陷,又可通过溢浆孔进行多次注浆填充多空洞地层。

##### 4.3.8.2 自进式管棚封堵

管棚打设至设计深度后取回安装在楔子板钻头的导向仪探棒,采取锚固剂或速凝水泥对管棚周围空隙进行锚固封堵,封堵时应事先将带有闸阀的溢浆管埋入,以利注浆过程中空气、水的排出及二次注浆使用。孔口封堵完成后将带注浆管节的钢板作为孔口板焊接在管棚上,以便于注浆,孔口板要求焊接牢固、密闭。

##### 4.3.8.3 自进式管棚注浆

用BW-250型泵把拌制好的浆液通过高压注浆管路输送到孔口,注浆管与孔口事先焊接的管节通过闸阀连接。浆液按照设定的水灰比(0.8~1)进行配置,拌制时间 $<2 \text{ min}$ ,并经过滤网至储浆桶。

当准备启动注浆泵时应事先征得孔口注浆人员同意后方可开泵注浆,以免误伤前方施工人员。注浆时打开溢浆管闸阀,以利管棚内空气溢出,待浆液自溢浆管持续溢出后关闭溢浆管闸阀,此时持续注浆应密切注意注浆压力的变化及掌子面及隧道上方地面的变化,防止浆液外泄及地面起鼓现象。

注浆达到设计要求并停待30~60 min后打开溢浆管闸阀,持续注浆,此时注浆量一般很小,应根据压力变化情况及时停注。注浆应逐孔做好记录,待整个断面完成后进行总结分析。

## 5 自进式管棚施工难点及解决措施

### 5.1 施工难点

(1)一次性施做120 m长管棚在国内实属罕见,如何确保管棚自身在较大扭矩作用下能以同轴钻进而不出断管报废是施工中控制的难点。

(2)超长管棚如何能将打设精度控制在1%而

规避倾斜超标是施工中的难点和要点。

(3)在上穿高速公路情况下,如何控制高速公路路基沉降及正常安全运营是施工中的要点。

(4)对于超长管棚,如何确保管棚体及周围空隙注浆饱满度是施工的难点和要点。

## 5.2 解决措施

(1)自进式管棚采取公母扣内接头连接确保了管棚同轴钻进,同时管棚钢管在连接时通过加设3~4片钢板来增大扭矩,有效的规避了断管的发生。

(2)在施工前首先根据设计图逐孔计算偏角(仰角和外插角),在开孔及钻机就位时严格按照打设参数进行角度调整,钻进中采取管棚专用导向仪对钢管逐节进行角度量测与修正,从而确保打设精度,规避管棚倾斜超标。

(3)自进式管棚采取钻孔和下管一次完成,对地层扰动控制到最小,加上自进式管棚钻头与管棚体基本同径的特点,在粘土质地层钻进中排渣量几乎为零,从而有效控制高速公路路基沉降及安全运营。

(4)由于自进式管棚钢管为实管,浆液进入管棚体后先填充管棚体内,只有管棚体内填充饱满后浆液才自溢浆管溢出,此时关闭溢浆管开始填充管棚体外。由此可通过溢浆管控制注浆饱满度,同时还可通过排气管进行二次注浆。

## 6 管棚施工效果总结分析

(1)该项目采取2台HTG-200型水平钻机历时39天完成,平均80m/台班,功效极高;

(2)施做长度达到设计长度120m的49孔(设计52孔),施钻成功率达94.2%,成功突破了长管棚施工技术(地层中的钙质结核体是导致断管的关键);

(3)高速公路在管棚施工及隧道开挖期间正常

运营,整体沉降未超出设计值(-20mm),有效确保了沉降;

(4)据开挖揭示的现场情况来看,除左下角3号孔(隧道处于左偏的圆曲线上)在75m位置后出现侵线外,其它精度均满足设计要求;

(5)据单根管棚理论注浆量为 $Q = \pi R^2 L \eta$ 及注浆压力为0.8~1.0MPa的双控指标对自进式管棚注浆饱满度进行评测,注浆饱满度均符合要求。

## 7 结语

本工程的实践表明,自进式管棚具有以下特点。

(1)自进式管棚对地层扰动小。自进式管棚施工采取成孔和下管一次完成,对地层的扰动减少到最小,尤其对于自稳性差的地层或土质地层更具优越性。

(2)自进式管棚打设距离长、精度可控性强。自进式管棚可通过楔子板钻头进行导向纠偏,能予确保一次性长距离打设(超100m)的高精度要求。

(3)自进式管棚注浆饱满度更有保证。自进式管棚设有注浆排气管,可通过注浆排气管掌控管棚体注浆饱满度,同时还可进行二次注浆。

## 参考文献:

- [1] 王梦恕,等.中国隧道及地下工程修建技术[M].北京:人民交通出版社,2010.
- [2] 张民庆,彭峰.地下工程注浆技术[M].北京:地质出版社,2008.
- [3] 龚晓南.地基处理技术发展及展望[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
- [4] 叶观宝.地基加固新技术[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [5] 冯劲,林廷松,周红升.超长管棚施工技术在山岭隧道软弱围岩中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11).
- [6] 赵宪富,施泽龙,台沐礼.长春火车站南北地下通道管棚支护施工工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(3).

(上接第80页)

根据抽水试验结果进一步检验渗透系数取值的准确性,以确保降水的成功。

(3)在准确计算基坑涌水量的基础上,合理布置降水井,选取适当的泵型,制定有效的排水方案。

(4)由于傍河深基坑地下水位恢复速度很快,因此必须做好应急处置方案,用以应对停电等突发事件可能造成的重大损失。

总之,该工程创造了该区域排水量最大,却地下水位控制最为准确稳定的成功案例,可为该区域乃至类似工程场地的降水工程提供宝贵的借鉴经验。

## 参考文献:

- [1] 吴志华,杨强,丁伟翠.某基坑降水的设计与施工[J].山西建筑,2009,(7).
- [2] 孙国辉.深基坑降水施工技术[J].黑龙江科技信息,2009,(12).
- [3] 张卫国,肖长来,张冬冬.深基坑工程降水技术设计和地面沉降控制措施[J].中国市政工程,2011,155(5).
- [4] 瞿成松.邻近多条地铁的基坑降水技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(2):29-35.
- [5] JGJ 120-99,建筑基坑支护技术规程[S].
- [6] JGJ 8-2007,建筑变形测量规范[S].