

公路隧道偏压大角度斜交进洞施工技术探讨

焦亮

深圳市政集团有限公司

摘要: 本文阐述偏压隧道斜交进洞的适用条件, 超前支护、初期支护、二次衬砌的施工方法, 并结合三维数值模型、施工监控量测等手段, 确保隧道边坡、洞口稳定, 减少对周边环境的影响。

关键词: 偏压隧道; 斜交进洞; 数值模型

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.17.071

随着国内加大基础设施的建设, 山区的高速公路的修建越来越多, 隧道工程大多依山傍水, 受地形、地质条件的影响有多种进洞方式。本文详细介绍香溪长江公路大桥工程吴家沟隧道斜交进洞施工方法, 对以后类似工程施工提供参考, 本隧道已投入使用。

一、工程概况

湖北香溪长江公路大桥工程是拟建的湖北省骨架公路网中第六纵的第二条支线跨越长江的节点工程, 路线全长5.419km。其中吴家沟隧道为分离式隧道, 左幅长960m, 右幅长865m。隧道净空尺寸为9.75×5.0m, 最大埋深186m。洞门原设计根据洞口的地形和地质条件, 采用小开挖的进洞方案, 减少洞口边仰坡开挖, 保证岩(土)体的稳定性, 尽可能保持了原地形的绿色植被坡面, 隧道进口端左、右线洞门均采用端墙式洞门, 且均为偏压隧道, 设置5m明洞。

二、工程地质情况

隧道地层为第四系坡积层(Qd1)、基岩侏罗系下统聂家山组(J1-2n)、香溪组(J1x), 各层岩性地质特征从新到老如下: 坡积层(Qd1): 含碎石粉质黏土, 厚度0.5m~4.0m, 零星分布于广石包山体地表与柑桔园地段。侏罗系下统聂家山组(J1-2n): 灰绿色、部分紫红色粉砂质黏土层、黏土质粉砂岩。夹青灰色、灰绿色细砂岩、长石石英砂岩, 主要分布于香溪河西岸山体中上部, 吴家沟除进口段处绝大部分洞段在地层中穿越。侏罗系下统香溪组(J1x): 灰绿色、部分红褐色粉砂质黏土岩、青灰色、灰绿色细砂岩、黏土质粉砂层, 主要分布于香溪河西岸山体中下部, 吴家沟隧道仅进口洞段在此岩层穿越。隧道地区地下水类型主要为基岩裂隙水及少量孔隙水。

隧道进口洞口段围岩级别为V级围岩。

三、隧道洞口施工情况

隧道右洞洞门施工过程中经开挖揭示隧道左侧地层为第四系坡积层(Qd1), 主要为粉质黏土、碎块石, 层厚5~15米, 其自稳能力和成洞条件极差, 在边坡开挖过程中出现多次坍塌。如按照原设计进行边、仰坡开挖和支护, 受雨水冲刷易造成大面积坍塌, 同时原设计暗洞段坡积层中存在较大孤石, 超前支护和暗挖施工困难, 特别是洞口上方多块巨石, 不彻底处理, 存在重大

安全隐患。隧道右侧地层岩性主要为侏罗系下统聂家山组粉砂质黏土岩和黏土质粉砂岩夹细砂岩, 围岩整体性较好。

经过对坡积层清除, 吴家沟隧道洞口的隧道轴线与岩层走向呈39°32'斜交, 山体对洞口偏压。隧道左右侧相差14.3米如图1所示。

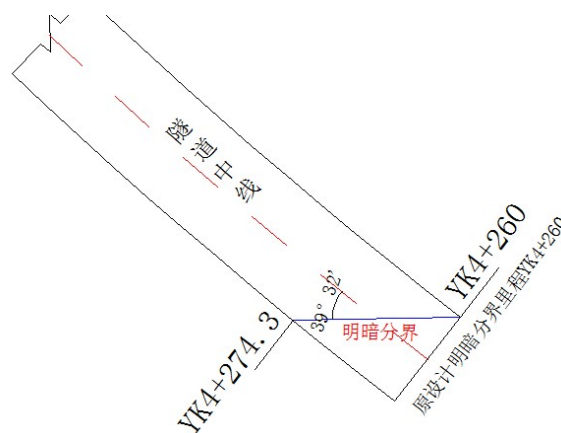


图1 隧道轴线与岩层走向示意图

四、隧道进洞方案确定

隧道原设计为正交进洞, 后根据现场实际情况并通过三维数值模型确定采用斜交进洞方式, 斜交进洞可以减小了对山体大面积开挖, 尽可能保持原地形的绿色植被坡面, 拓宽施工场地, 对坡积层的清除, 确保了后序施工及运营期安全。

三维数值模型以吴家沟右洞为对象开展分析(见图2)。衬砌利用实体单元模拟, 结构示意图(见图3)。模型坐标系X轴正方向, 指向东为正; Y正向指向正北, 铅直方向为Z轴, 向上为正; 模型区域x向280m, y向180m。

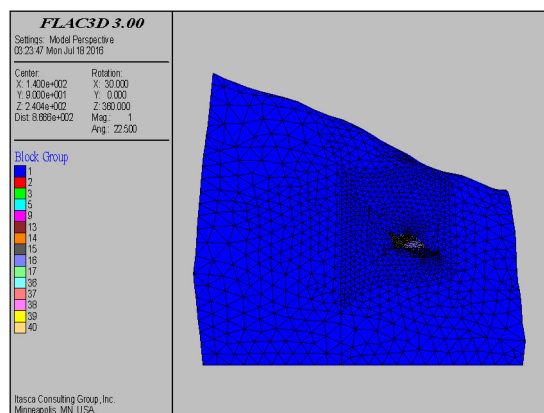


图2 三维模型

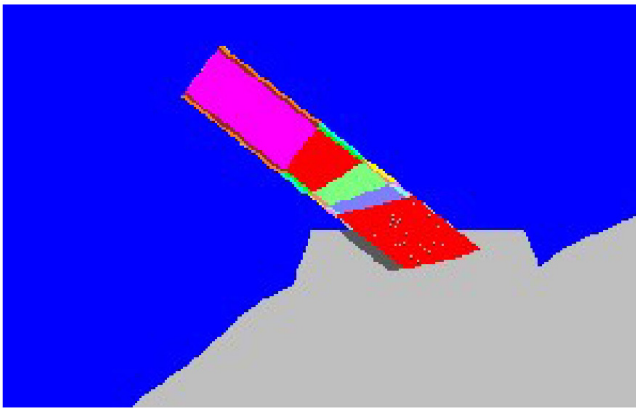


图3 开挖隧道及衬砌结构单元俯视图

计算条件：洞口段5m开挖—洞口衬砌—洞身5-14m开挖—洞身14-30m开挖，上台阶法施工，开挖前将拱顶0.5m范围岩体强度提高20%，以模拟超前支护的作用。

位移结果：拱顶位移10mm，边墙位移4.47mm。收敛位移/洞径比值小于1%，洞身处于总体稳定状态。

塑性区结果：拱顶塑性区主要为拉伸破坏，通过超前支护和注浆，提高岩体拉伸强度，以防止塌方。两帮主要为剪切破坏。塑性区延伸范围约3m左右。

衬砌受力：衬砌末端存在一定的弯矩和应力集中现象，尤其拱角处最大，最大弯矩达到1MN·m，最大主应力达到20MPa、拉应力达到4MPa；衬砌位置相对较小，因此衬砌总体上满足要求。

明暗交接处衬砌顶拱和底板均分布较大拉应力3MPa。主要是因为明暗交接处岩体位移和应力突变，同时因偏压，未形成拱效应，所以存在拉应力。

结论：根据分析计算结果，隧道斜交进洞方案可行，但局仰拱、边墙、明暗相接处局部应力集中明显，应加强局部施工质量控制。对于右洞洞口左侧段YK4+269.3~YK4+274.3及时施工明洞偏压墙，以保证洞口成拱效应，偏压墙地基承载力不低于300Kpa。

五、隧道进洞施工方法及工艺流程

(一) 坡积层处理

对坡积层开挖采用挖掘机自上而下，分层分台开挖，分层高度不大于2m，并坚持“逐级开挖、逐级防护”的原则。开挖后及时对坡面进行锚网喷防护，采用Φ22药卷锚杆，长度4m，间距1.0m×1.0m梅花型布置；挂设Φ8钢筋网片，网格间距0.2m×0.2m；喷射C20砼，厚度15cm。锚网喷支护完成后，安设Φ42小导管对土体进行注浆加固，采用1:1水泥浆，注浆压力为0.5~1.0Mpa。

(二) 套拱及管棚施工

套拱施工：依据隧道进洞山体切面与隧道轴线斜交角度，加工钢拱架，拱架尺寸满足隧道正交形式下的衬

砌轮廓线。在隧道进洞山体切面前搭设支撑套拱的钢拱架，钢拱架的架设方向与隧道轴线斜向39°32'角度安装见图4，钢拱架采用锁脚锚杆固定，各榀钢架间焊接环向间距1m的Φ25连接钢筋，在钢拱架上沿隧道线路前进方向呈间隔距离安设导向管；搭设临时钢管支架并逐层安装套拱模板，采用拉杆对拉固定套拱模板，套拱前、后端上部的模板左右不对称的部分采用钢管支架进行支撑以保证模板整体结构的平衡稳定；在拱模板上分层浇筑C25混凝土形成混凝土进洞套拱；

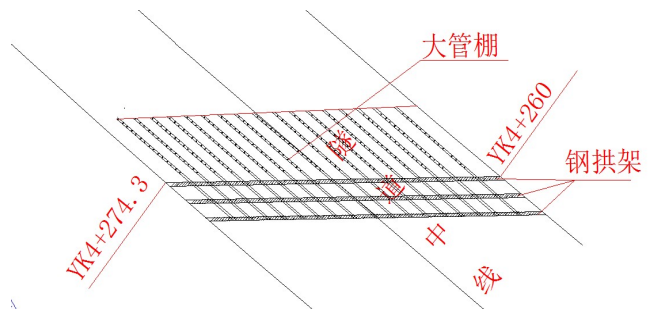


图4 钢拱架安装示意图

大管棚施工长度均为28m，采用钻孔顶入法施工。

①钻机就位。钻机以开挖的台阶作为平台，钻机底部垫方木以调节钻机高度，同时用全站仪和线锤、钢卷尺调节钻杆的角度，使钻杆的角度与导向钢管的角度一致，钻机的高度及角度调节好后，用抓钉将钻机底部与方木抓牢，防止钻机在钻进时移动。

②钻孔。钻孔时从两侧向中间顶部进行，左右对称施工，两台钻机同时作业。钻孔深度达到设计长度后，钻杆低速退出，并往复扫孔，为保证不坍孔，可注入水泥浆。

③下管。钻杆完全退出后，立即将Φ108钢管顶入孔内。采用钻机或挖掘机顶入，注意保护好孔节丝口。钢管分为3m、6m两种长度，钢管的两端有5cm长的外丝，钢管的连接采用15cm长的连接套连接，连接套两端为5cm的内丝，钢管壁上间隔15cm梅花型布置Φ12孔。

钢管顶入时采用特制顶杆套在钻杆前部，钻机不开旋转，将钢管低速逐节顶入孔内，钢管的长度伸出导向管20cm，以焊接进浆口和溢浆口阀门。首节钢管长度分3m和6m两种，单号管长3m，偶数管长6m，以后接长按每根6m进行接长，相邻两根钢管的接头相互错开。

④注浆。Φ108超前管棚注浆采用水灰比为1:1的水泥浆液，有水源时采用水玻璃双液浆，注浆前先进行注浆现场试验，注浆参数应通过现场试验按实际情况确定，地下水量较大，注浆浆液内添加5%水玻璃。采用两台2TG2-60/120型双液注浆专用泵注浆，在入浆口附近5m处设一混合器，混合器设两进浆孔，一个排浆孔，一

个出浆孔，出浆孔与管棚相连。

注浆时，根据进浆压力及进浆量调节水泥浆的水灰比，注浆持续一定时间后，当没有气泡持续冒出时，即可完全关闭溢浆口阀门。

注浆结束后及时清除管内浆液，并用M30水泥砂浆紧密填充，增强管棚内的刚度和强度。

(三) 洞口段偏压墙施工

在隧道左侧施作偏压墙，偏压墙共计长度为19.3米，为保证洞口安全，达到隧道进洞条件，洞口段偏压墙施工长度暂施工5米。

偏压墙总高度11米，在施工中分三次浇筑完成：①在套拱砼外侧，进行隧道下台阶开挖，挖至偏压墙基础后进行第一次偏压墙施工，施工高度为3.18米，为明洞衬砌直墙段；②在进行明洞衬砌时，依靠明洞衬砌组合钢模板进行关模施工，施工高度为3.72米；③明洞衬砌完成后施工，施工高度4.1米。在偏压墙施工完成后对左侧拱顶进行回填并及时喷浆护面、根据现场需要注浆处理对右侧山体形成反压。

(四) 隧道洞口段施工

隧道洞口段开挖长度为隧道左侧10.4米，右侧20.74米。采用上下短台阶法施工，以机械开挖为主，局部弱爆破为辅。钢拱架间距按左侧0.4米，右侧0.8米（参照模拟计算结果），钢拱架右侧纵向连接钢筋进行加密，环向间距按60cm施工。钢筋网、锚杆、喷射砼按设计进行施工。

(五) 明洞衬砌施工

隧道洞口段开挖完成后及时进行明洞衬砌施工，施工长度为8米。如图5所示，其中仰拱主筋须进行加强处理，间距为15cm。

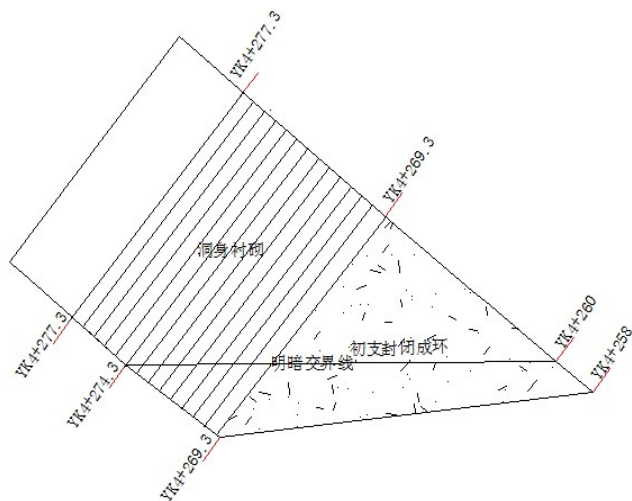


图5 明洞衬砌施工范围示意图

(六) 隧道洞身施工

① 洞身开挖

在明洞衬砌施工完成后进行隧道洞身施工，开挖方式采用上、下台阶施工：以机械开挖为主，局部弱爆破为辅。为防止围岩发生较大变形，上、下台阶步距12~15米，下台阶左右两侧错开施工，每循环进尺不大于一榀钢拱架间距。施工中加强监控量测，如果发现围岩变形量过大时，上台阶增加竖向临时支撑。

② 洞身初期支护

初期支护由锚喷挂网及钢拱架构成，在钢拱架连接处施作2根下插角为20°的锁脚锚管并注浆加固，克服周边围岩对边墙初期支护径向压力的水平分力，降低上部岩体对边墙的压力，系统锚杆采用Φ22药卷锚杆加固，开挖后应立即封闭挖后的周边围岩，构成第一层柔性支护层，限制松弛带的发展，使围岩自承能力尽快形成。

隧道进洞后，采用隧道左侧各钢拱架间距保持不变，加大隧道右侧各钢拱架间距的方法进行调整，遵循循环微调的方法渐渐由斜交调整为正交，严格控制微调的尺寸，在隧道右侧钢拱架连接钢筋按60cm施工。

六、结束语

在隧道施工中进洞施工是关键工序，必须保证超前支护与初期支护措施到位；施工过程中加强洞内收敛变形观测、拱顶下沉观测以及初期支护钢支撑应力观测，以指导施工；结合监控量测变形情况，适当调整施工步距，必要时增加横向、竖向临时支撑。衬砌明暗交接处岩体未形成拱效应，所以存在局部拉应力。应及时施工明洞及偏压墙，以保证洞口成拱效应。

参考文献

- [1] 姜高勇, 王进, 周甲强, 等. 浅埋偏压隧道进洞施工稳定性分析及控制[J]. 交通科技, 2023(3): 106-112.
- [2] 何伟华. 隧道洞口偏压段斜交套拱施工技术及其弹性数值模拟分析[J]. 广东水利电力职业技术学院学报, 2022, 20(02): 6-9.
- [3] 李玉章, 廖巧玲, 黄伟伦. 顺层地质隧道斜交进洞施工技术[J]. 西部交通科技, 2022(3): 62-65.
- [4] 乔跃林. 洞口浅埋段施工技术在公路隧道工程中的应用[J]. 交通世界, 2024(Z1): 276-278.
- [5] 李鹏, 包永超, 惠亚强. 高寒公路隧道施工技术研究[J]. 科技与创新, 2023(21): 134-136.

作者简介：焦亮（1981.10-），男，籍贯：四川省绵阳市，汉，学历：本科，中级工程师，单位：深圳市政集团有限公司，研究方向：隧道施工。