

# 豫西公路黄土隧道车行横通挑顶施工技术

周鹏<sup>1</sup>, 靳明<sup>2</sup>, 郭晶<sup>2</sup>, 黄涛<sup>1</sup>, 李翼延<sup>3\*</sup>

(1. 三门峡市国道三一零南移项目建设管理有限公司, 河南 三门峡 472000; 2. 河南省交通运输厅 公路管理局, 河南 郑州 450016; 3. 中南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410075)

**摘要:** 国道310南移项目地坑院隧道, 施工期间受地形地质影响出口端右线进度滞后左线258 m, 为确保工程按期交工, 选择变更8#人行横通为车行横通进右线正洞增加工作面。该文先对挑顶施工风险及现存问题进行探讨, 随后从交叉口处车行横洞加强、正洞内导洞挑顶及正洞三台阶法施工几个方面, 阐明地坑院隧道车行横通挑顶的施工流程及支护参数, 并进一步对施工工艺要点进行论述。

**关键词:** 黄土隧道; 挑顶施工; 车行横通; 豫西公路; 施工进度

**中图分类号:** U455.4

**文献标志码:** A

## 0 引言

豫西黄土广泛分布于中国河南西部与陕西交界地段<sup>[1-3]</sup>, 黄土层厚30~60 m, 下卧粉土、细砂及泥岩地层, 区域内塬-梁地形发育, 隧道埋深变化大, 围岩地质软弱不均, 加之黄土自身存在的大孔隙疏松、竖向节理发育及遇水软化特性, 成为近年来豫西公路隧道工程建设所面临的主要灾害地质之一, 施工中易出现掌子面涌水、大变形坍塌, 造成施工现场临时加撑、重复换拱迟滞施工进度<sup>[4-5]</sup>, 尤其对于分离式黄土隧道, 由于左右线地形地质差异, 导致两洞进度差距显著的情况不在少数, 严重延误了整体工期。此时, 增加开挖工作面成为兼可行性与有效性的做法。

中国关于挑顶施工增加隧道开挖面的成功案例较多, 邓启华等<sup>[6]</sup>依托某富水V级围岩双线公路隧道斜井进正洞施工, 就挑顶工序、导洞断面选择以及支护加强措施等进行了详细探讨; 郝才平等<sup>[7]</sup>针对某软岩公路隧道斜井进正洞施工, 提出两种扩挖挑顶方案, 并从造价及安全等方面进行了方案优选; 赵继华<sup>[8]</sup>针对浅埋条件下斜井进正洞时交叉段的施工难点, 通过采取斜井加强环、导洞套拱及垂直挑顶施工

方法, 实现斜井到正洞的安全转换; 周志强<sup>[9]</sup>依托某软弱地层隧道斜井挑顶施工, 采用大管棚注浆加固挑顶施工交叉口段的施工工艺和加固效果进行了论述。上述研究表明: 目前中国关于挑顶施工的研究多依托斜井施工, 利用车行横通道完成挑顶的相关案例相对少见, 当隧道左右洞进度差距很大时, 借助车行横通挑顶具有显著经济优势, 挑顶施工中由于车行横通与正洞交叉口段空间结构复杂, 受力转换频繁, 如何确保其围岩稳定及结构安全是挑顶设计施工的重难点, 尤其对于黄土隧道, 其在围岩加固及支护形式上均存在较大的特殊性, 研究黄土隧道车行横通挑顶施工具有较大的工程价值。

国道310南移项目新建地坑院隧道为典型豫西公路黄土隧道, 施工期间面临右线掌子面滞后左线近268 m的问题, 通过采用车行横通道进右洞挑顶施工, 顺利增加2个工作面, 大大加快了工程进度。该文结合工程实际对挑顶施工的工艺流程进行详细说明, 并总结工艺要点和注意事项, 可为类似工程提供参考和借鉴。

## 1 工程概况

国道310南移新建工程地坑院隧道位于河南省

收稿日期: 2022-08-15

作者简介: 周鹏, 男, 硕士, 高级工程师. E-mail: 19134092@qq.com

\*通信作者: 李翼延, 男, 硕士研究生. E-mail: 184812277@csu.edu.cn



矩形过渡,过渡段支护参数增强,纵向连接措施加固,过渡段左右两侧各立2榀弧形拱架,其顶部架设横梁。提高横梁后方整体刚度的同时,增强横梁位置的灵活性,避免直线拱架和局部超挖。

(4) 正洞上台阶已支护长度大于10榀拱架后方可拆除单侧竖撑,正洞单向掘进长度超过车行横通断面6 m时,再拆除另一侧竖撑。正洞两端掌子面超过60 m后立即暂停开挖,进行模板台车的拼装和二衬浇筑。

3 挑顶方案及施工工艺

3.1 总体方案

地坑院隧道里程ZK92+377处原设计为8<sup>#</sup>人行横通道,横通道与正洞交角呈90°,为满足挑顶作业要求,决议变更为车行横通标准断面,通过横通道垂直贯穿右线正洞,先形成正洞拱部轮廓,随后以三台阶法沿正洞前后逐步掘进,工艺流程如图3所示,其总体上可归为3个阶段:

(1) 车行横通施工阶段。该阶段是指未与正洞交叉前的横通道施工期,包括与普通车行横通施工一致的常规段,及横通道由曲圆形向矩形断面变化的过渡段。

(2) 导洞挑顶施工阶段。该阶段是指在横洞断

面过渡完毕后,以矩形导洞形式按一定坡度向上挑顶开挖支护,直至贯穿正洞的过程。期间导洞底部为一斜坡面,顶部为沿正洞拱部开挖轮廓外扩一定范围的弧面。

(3) 正洞施工阶段。该阶段通过在横通道与正洞交叉处架设横梁作为正洞拱部钢架支撑点,随后施作正洞拱部初期支护,确保正洞支护稳定后,先后破除导洞大、小里程端竖撑支护,并以三台阶法前后掘进形成两个互不干扰的掌子面。

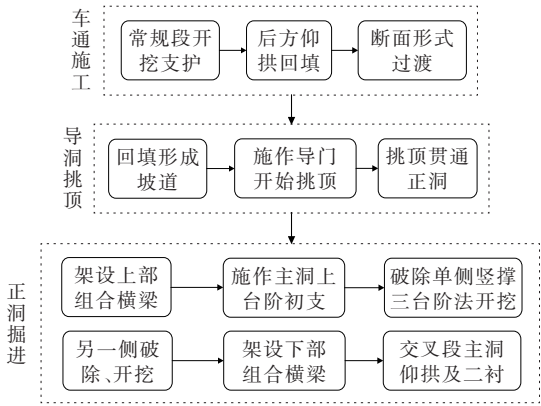


图3 地坑院隧道车行横通挑顶方案

3.2 支护参数及施工工艺

车行横通与右线正洞交叉段挑顶施工纵断面如图4所示,其右视图见图5,结合两图对挑顶施工所采用的支护参数及施工工艺进行详细介绍。

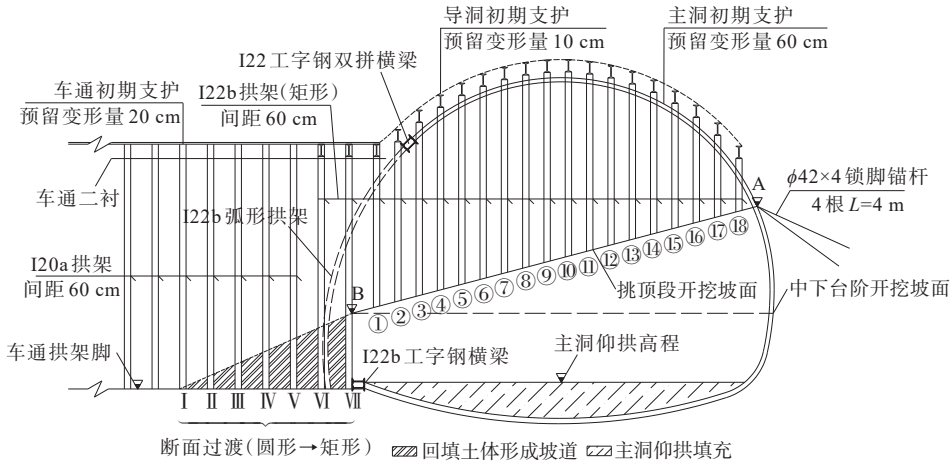


图4 交叉口段挑顶施工纵断面图

第1步:在车行横通左洞端桩号ZK92+377处二次衬砌浇筑时预留木模板,待二次衬砌达到设计强度后,拆模并破除车行横通洞口范围初支,采用两台阶法施工至与右线侧门洞段边墙相交后停止开挖,

浇筑后方仰拱及填充,并预留拱墙钢筋。

第2步:待后方仰拱填充达到设计强度后,如图4所示,对横通道进行断面过渡施工(圆形断面至矩形断面),过渡段共计7榀拱架,采用I20a工字钢加强,间







图8 交叉段正洞钢架施工现场

墙初支,采用三台阶法向出口方向逐榀开挖支护,至上台阶跨过车行横通断面6 m后,调整为标准断面支护参数,并施工后方中台阶,在中台阶达到8 m后,施工正洞下台阶,中下台阶单次循环进尺2榀拱架;在大里程端中台阶开挖同时,开始破除导洞小里程端侧墙初支,并采用相同施工步序向进口方向开挖支护。

第8步:在正洞下台阶通过车行横通断面后,开挖正洞仰拱及车行横通剩余仰拱,在Ⅶ号拱架底部架设1根 I22b型钢组合横梁,正洞仰拱钢架一端与底部横梁采用螺栓连接,另一端与边墙拱架搭接,及时喷射封闭。

第9步:待喷混凝土达到设计强度后,铺设正洞仰拱钢筋及车行横通剩余仰拱钢筋,一次性浇筑仰拱二衬,施作仰拱回填至同一水平面;在该段拼装衬砌台车,施作正洞交叉段拱墙二衬。

#### 4 施工要点及注意事项

车行横通与正洞交叉段结构复杂不对称,空间岔口跨度大,且结构间存在多重力学传递,如何确保交叉段车行横通结构、正洞内导洞结构、正洞支护结构自身稳定及相互搭接可靠是控制结构变形及围岩稳定的关键,要求现场施工期间在测量放样、质量控制及工序安排等方面实施良好,提出以下施工要点及注意事项供参考借鉴:

(1) 上台阶组合横梁位置的确定主要考虑车行横通与正洞拱顶高程及结构稳定两方面因素,宜稍高于车行横通圆形断面拱顶0.5~1 m,便于锚杆安设以及减少后方喷射混凝土回填量。

(2) 断面由圆形向矩形过渡期间,宜根据围岩情况和设计横梁高度综合确定过渡段长度、钢拱架间距以及各榀拱架尺寸,确保断面过渡圆顺,拱架纵向

协同受力可靠。

(3) 过渡段最后两榀矩形钢架断面应基本保持一致,便于后续弧形拱架安设;过渡段拱墙纵向采用 $\phi 22$ 钢筋焊接,间距适当加密,确保能稳固抵抗横梁传递的纵向荷载。

(4) 车行横通与正洞交叉段预留变形量需结合邻近段施工监测情况设置充裕,当存在大变形隐患时宜按“相邻段车行横通初支监测变形量+另一侧隧道正洞初支监测变形量+10~20 cm”设置,避免围岩变形过大侵限后扩挖形成二次扰动。

(5) 施工期间应做好车行横通过渡段、导洞挑顶段及正洞两侧开挖段支护监测工作,尤其对于正洞内导洞拱部变形,必要时应增设临时支护强撑以确保后续正洞钢拱架与导洞拱架及上台阶组合横梁良好搭接。

(6) 对于导洞超前支护,由于开挖断面较小,一般主要考虑超前小导管,超前小导管外插脚应严格控制为 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ,角度过小降低了小导管与岩土相互约束,过大则不能保证导管插入前方破裂面以外足够长度。对于地下水较大的情况,可考虑小导管补注双液浆或增设帷幕注浆。

(7) 导洞两侧竖撑可根据开挖岩土情况增设锁脚锚杆,导洞施工期间应加强监测频率,对于导洞变形速率较快的情况,应考虑临时在竖撑与顶梁间增设斜撑或底部横撑,断面调整为梯形也有利于抵抗边墙变形。

(8) 为后续导洞竖撑拆除方便,可考虑竖撑分为上下两段,上段固定长度60~70 cm,下段按导洞断面高度调整,其中上段竖撑与横梁满焊连接,竖撑上段与竖撑下段采用钢板连接,喷射混凝土时,对连接钢板采用塑性薄膜保护。

(9) 与车行横通交叉段正洞初期支护参数应遵循“宁强勿弱,宁抗勿放,宁补勿拆<sup>[4]</sup>”的设计原则,上台阶钢拱架不宜设置拱架接头,导洞内开挖坡顶高度应考虑上台阶拱架重量和开挖效率进行综合确定,宜设置在稍低于常规上台阶拱脚0.5~1 m位置。

(10) 组合横梁及弧形拱架是构建正洞上台阶拱架与车行横通过渡段拱架协同承载体系的关键桥梁,必须保证弧形拱架与车行横通过渡段边墙的搭接可靠,现场施工中,可以采用在弧形拱架翼缘表面密焊

50 cm 长  $\phi 22$  钢筋, 钢筋一端伸入车行横通边墙内部, 通过喷射混凝土将弧形拱架与车行横通边墙封闭为整体, 最后辅以足量锁脚锚杆实现弧形拱架的固定。

(11) 正洞开挖时, 不得同时破除两侧导洞竖撑, 必须在单侧上台阶支护跨过车行横通断面 6 m 以上时, 再破除另一侧竖撑开挖; 上台阶留核心土, 单次开挖 1 榀拱架, 中、下台阶左右交错开挖, 单次开挖不得超过 2 榀, 交叉段正洞各台阶拱脚应严格控制锁脚锚杆质量。

(12) 车行横通宽度范围内正洞下台阶拱架全部落底后, 应立即暂停正洞两端掘进, 进行交叉段初支封闭成环施工, 一次性开挖车行横通宽度范围仰拱土体, 快速施作仰拱钢架与过渡段Ⅶ号底部横梁搭接后喷混凝土封闭。

(13) 正洞两端掌子面开挖至相距超过 60 m 后, 应根据情况施作二次衬砌, 衬砌台车在交叉段内正洞位置进行拼装, 采用挖掘机配合起吊模板, 选用移动台车骨架作为衬砌台车安装的支撑。

## 5 结 论

地坑院隧道采用车行横通向右线正洞挑顶累计施工 55 d, 顺利安全新增两个右洞工作面, 共计贡献开挖进尺 165 m, 抢回近 2 月右洞施工时间。研究成果可为类似豫西黄土隧道挑顶施工提供以下借鉴:

(1) 对于分离式双洞隧道单线施工进度严重迟滞于另一侧的情况, 宜综合围岩条件, 选择车行横通(或人行横通变更为车行横通)向落后侧正洞挑顶以增加其工作面, 可加快施工工期。

(2) 车行横通与正洞交叉口段结构设计复杂, 空间跨度大, 施工风险高, 施工期间应遵循“超前支护、衬砌增强、预留变形、随挖随撑、及时封闭、勤于监

测”的方针, 严格控制施工质量, 根据监测结果动态补强支护措施。

(3) 该文所提出的以弧形拱架及组合横梁作为正洞上台阶拱架支撑体系的挑顶技术, 简化了交叉口受力、传力体系, 规避了常规挑顶方案中的大面积超挖, 提高了施工工效, 但对于弧形拱架的结构稳定性要求较高, 目前主要依赖锁脚锚杆与围岩约束, 尚存在进一步优化空间。

## 参考文献:

- [1] 宋陈雨, 霍继伟, 高宇甲, 等. 三门峡黄土结构性对土水特征曲线的影响[J]. 中外公路, 2020, 40(5): 245-248.
- [2] 董富强, 王荣彦, 苏巧荣. 豫西湿陷性黄土的工程地质特征及基础选型探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(3): 35-38.
- [3] 莫坤, 代家宝, 罗丽娟, 等. 厚填土平台下近邻既有线双连拱地铁隧道关键施工技术研究[J]. 中外公路, 2022, 42(3): 160-166.
- [4] 李红君, 朱兴前, 李祝文, 等. 山岭隧道初支侵限原因及换拱技术[J]. 中外公路, 2020, 40(6): 228-231.
- [5] 赵兵, 许立, 张栋, 等. 周家窑黄土隧道冒顶塌方分析与处治技术[J]. 中外公路, 2021, 41(5): 207-211.
- [6] 邓启华, 王友军, 姚日高. 富水隧道 V 级围岩双车道斜井进正洞挑顶施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2014(3): 95-98.
- [7] 郝才平, 付克俭, 周长泉, 等. 宜巴高速公路界岭隧道横洞进正洞挑顶施工方案比选[J]. 现代隧道技术, 2012, 49(3): 146-153.
- [8] 赵继华. 棚架套拱挑顶法施工软弱浅埋隧道斜井进正洞技术[J]. 铁道建筑, 2012, 52(5): 38-40.
- [9] 周志强. 软弱围岩隧道斜井进入正洞挑顶施工技术[J]. 工程技术研究, 2020, 5(8): 103-104.
- [10] 李宏晋. 无门架导洞法隧道挑顶施工技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2018(2): 82-85.
- [11] 白露. 软弱围岩隧道斜井转正洞设计与施工技术[J]. 建筑技术开发, 2016, 43(11): 54-55.