

深圳地铁黄机区间矿山法施工的难点及改进措施

江萍 韩帅

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

摘要：近年来城市地下空间开发与利用逐渐成为城市更新建设的新方向，其中隧道工程作为联络城市各个中心的重要交通措施也受到了城市规划设计者们的重视。在隧道工程施工过程中，根据水文地质条件、城市现有设施及构筑物情况、施工场地复杂程度等情况，选择不同的施工方式，目前常采取的施工方式主要有：矿山法（钻爆法）、TBM法、明挖法、盖挖法、浅埋暗挖法等。本文结合城市地铁隧道建设实际施工情况，并经过对矿山法城市隧道施工过程中所遇到的部分重难点问题进行调查研究，归纳出切实可行的解决措施及注意事项。

关键词：矿山法；马头门；小导管；监控措施

地铁隧道作为穿越城市地下空间，联络城市各重要区域的重要交通廊道，可能贯穿城市各类水文地质条件，与不同种类、不同规格、不同材质的管线中相互交错且又相互避让，穿行于池塘、岩石、淤泥及重要建筑物的复杂地基中而又需要保证自身及现有构筑物的安全。在实际建设过程中，当所处地质条件为硬岩及部分软弱围岩时，为降低施工成本，提高隧道钻进效率，通常采用矿山法进行快速钻进。矿山法施工工艺，其已具备技术成熟、初期投资和操作成本相对低，且施工速度快、灵活性高等优势。矿山法施工过程中，需要重点对原有管线保护、马头门施工、小导管施工以及隧洞施工偏差监控等重要施工内容进行关注。

1 隧道工程矿山法施工的主要特征

1.1 矿山法施工主要应用场景及特点

矿山法施工工艺主要运用于：岩石坚硬、节理裂隙不发育或发育较弱的地层；地层稳定、无不良地质现象（如断层、滑坡、泥石流等）发育的地区；自承能力较强的围岩地质、无大规模开挖空间地区等。在实际施工中，矿山法施工具有技术成熟且成本低、施工设备简单，施工工艺灵活易于掌握等特点。矿山法应及时关注现有建筑物沉降偏移检测，小导管超前支护不及时，隧道透水涌沙，马头门施工质量不合格导致隧道坍塌，注浆压力过大造成地面隆起，衬砌不及时引起隧洞坍塌漏水等重难点。

1.2 黄机区间现状及技术参数条件

黄机区间处于城市繁华地段，整体埋深在15m~29m范围内，地表建筑物相对较多，其中侧穿1号线既有线高架桥墩桩基最小净距仅为2.86m（#65桥墩），离深圳机场信息大楼建筑物最小净距约为23.36m；区间内地下管线错综复杂，包括机场电缆110KV、DN400给水管道、

DN200中压燃气管道、DN400雨水管道、路灯电信监控管线等（如表1，表2）。

黄机区间穿过地层及长度依次为微风化混合花岗岩、中等风化混合花岗岩、强风化混合花岗岩、全风化混合花岗岩。

表1 黄机区间左线隧道围岩情况统计表

工点名称	类型	等级	单位	长度	合计	备注
黄机区间左线	里程桩号	左ZDK25+723.664~ZDK26+984.540				
	围岩情况	II级	m	28.9	1260.876	
		III级	m	469.845		
		IV级	m	122.98		
		V级	m	534.531		
		VI级	m	104.64		

表2 黄机区间右线隧道围岩情况统计表

工点名称	类型	等级	单位	长度	合计	备注
黄机区间右线	里程桩号	左YDK25+723.664~YDK27+053.182				
	围岩情况	II级	m	/	1329.518	
		III级	m	468.858		
		IV级	m	105.83		
		V级	m	512.596		
		VI级	m	242.17		

2 黄机区间隧道施工难点

2.1 围岩突变段施工安全控制

区间隧道右线和左线隧道均存在爆破施工转人工配合机械开挖，变化较大，岩层为III、IV、V级围岩。中风化角岩转入强风化角岩段需加强爆破控制，否则容易出现坍塌风险。

2.2 小导管超前支护质量与数量控制

小导管的布置尺寸规格根据地质承载力进行验算，对

超前小导管的注浆材料、小导管规格尺寸等选择不当,可能会诱发隧洞坍塌,渗水,原有管线偏移等问题。

2.3 马头门质量控制及横通道初次开挖

马头门施工质量不合格,可能直接导致横通道开挖过程中竖井坍塌,人员机械被埋没、周边建筑物偏移裂缝等严重风险。横通道的初次开挖工艺的选择,钻进方式及装药量的控制不当,都会引起竖井坍塌风险。

2.4 正线隧道开挖及监测

正线隧道开挖过程中应及时对隧道线路偏差情况、掌子面变动、小导管超前支护与开挖、一次衬砌与二次衬砌间隔长度等进行及时监测,合理选择应对措施,出现预警偏差后,及时采取防护措施并通知人员安全撤离施工现场。

3 重难点问题应对措施及风险控制

3.1 围岩突变段应对措施

3.1.1 在围岩变化段,隧道支护形式采用围岩等级较差的对应支护措施,对于在岩层渐变、硬岩与软岩分布不均的区间等特殊地段,通过综合研究评定,确定超前加固措施。

3.1.2 在暗挖隧道开挖前,邀请检测单位对隧道全线进行超前地质预报,选择合适位置布置探测线进行检测,探测范围为掌子面钻进方向 ≤ 25 米且搭接长度 ≥ 5 米。

3.1.3 加强监控量测,采用智能监测,通过监测数据指导施工。

3.1.4 在有条件地段提前从地面进行注浆加固,充分做好前端控制。

3.1.5 隧道超前地质预报必须是具有岩土工程物探测试检测监测资质的专业单位,超前地质预报负责人应为地质类或岩土工程专业技术人员。

3.2 小导管施工质量控制措施

3.2.1 小导管中间部位钻 $\phi 10$ mm的注浆孔,注浆孔呈梅花形布置(防止注浆出现死角),间距为150mm,尾部100mm范围内不钻孔以防漏浆。

3.2.2 管内压注水泥-水玻璃双液浆,水灰比:2:1~1:1;水玻璃浓度30~50Be;水泥:水玻璃=1:1~1:0.3(体积比)。

3.2.3 施工方法:

(1)提前适用风钻将小导管顶入孔中,接下来检查导管内有无充填物,如有充填物,采用适当措施进行处理干净,在不破坏导管规格尺寸的前提下可锤击插入钢管,外插角7~15度。

(2)用塑胶泥(35Be水玻璃拌合水泥即可)封堵导管周围及孔口。

(3)严格按设计要求打入导管,管端外露20cm,以安装注浆管路。

(4)注浆压力控制在0.5MPa~1.0Mpa,根据实际操作效果进行调整。

3.2.4 小导管试验应在锚固体强度达到设计强度的80%以后进行;小导管抗拔试验数量应取总数的5%,且不少于3根。拉拔试验合格后方可进行下一步施工。

3.3 马头门施工及控制措施

3.3.1 竖井进横通道洞口施工:洞口开挖轮廓线0.12m外施作一道I10工字钢,I10工字钢通过砂浆锚杆进行固定。

3.3.2 横通道隧道洞口3榀钢架密排(采用工12型钢@250mm),形成一个较强的洞口环梁;工字钢架设时,及时按设计打设砂浆锚杆。

3.3.3 竖井往横通道进洞段采用台阶法施工,当竖井开挖至临时支撑下1m后,进行横通道上台阶开挖,在进洞之前洞口支护采用I12工字钢+I10工字钢+ $\Phi 42$ 超前小导管+角钢。同步开挖至设计里程后,在确保上下台阶6m~8m的开挖距离的前提下,按设计要求进行上台阶掌子面封闭(钢筋网 $\Phi 8 @ 150 \times 150$ 单层+I12型钢钢架+C25 P6喷射混凝土,厚度200mm)施工。

3.3.4 横通道洞口6m段爆破采用短进尺微振动控制爆破,隧道上台阶进洞段每排炮进尺控制在0.5~1.5m,下台阶每排炮进尺控制在1.5~2.0m,爆破振速按1.0cm/s控制。

3.3.5 竖井进正线隧道洞口施工:洞口轮廓外0.12m范围施作钢垫块。

3.3.6 正线隧道洞口4榀格栅钢架密排,形成一个较强的洞口环梁;格栅钢架设时,及时按设计打设砂浆锚杆。

3.3.7 竖井往隧道进洞段(Ⅲ级围岩)采用短台阶法施工,上台阶爆破开挖进尺2m~3m,在满足上下台阶间距4m~6m的长度要求后,开始下台阶施工。

3.3.8 隧道转正线施工的洞口段爆破施工,遵循“短进尺、微振动”的原则控制爆破进尺,竖井往隧道进洞段每排炮进尺控制在1.8~2m,爆破振速按1.0cm/s控制。

3.4 正线施工及控制措施

挖掘机配合装载机扒碴、装碴,自卸车出碴,及时采取喷、锚、网混合支护。全断面法适用于单线隧道Ⅲ级围岩地段,施工进尺按照围岩等级,一个循环掘进2m~3m^[1]。

具体流程如下:

(1)选择合适钻孔及装运设备,降低一次循环时间,尽量平行交叉作业布置,快速推动施工作业进程。

(2)根据地层及周边环境情况确定爆破孔深度,减

少围岩松动圈,采用非电雷管合理分段,减小最大单响药量,减小爆破振动;减少超挖。

(3)及时施做初期支护,围岩条件发生变化时及时调整方法。

根据围岩变化情况,该区间选择台阶法进行施工。台阶法适用于本区间单线隧道Ⅲ、Ⅳ级围岩。Ⅲ、Ⅳ级围岩使用简易台架配合手风钻钻孔后分次爆破开挖成型。台阶法施工流程如下;

(1)开挖按设计要求进行超前支护措施。

(2)Ⅲ级上台阶开挖每循环开挖进尺根据围岩等级控制在2m~3m,Ⅳ级上台阶开挖每循环开挖进尺根据围岩等级控制在2m~2.5m,轮廓线尽可能圆顺,以减小应力集中。

(3)在开挖后立即进行初喷砼,以便尽早封闭拱顶及掌子面暴露面。

(4)在上台阶完成支护和掌子面封闭后,且满足上下台阶4m~6m的距离差的同时,开始下台阶施工。下台阶每个循环进尺根据Ⅲ级、Ⅳ级围岩围开挖进尺视土体的稳定情况调整,但须遵循“短进尺、弱爆破”的原则,且保障下台阶落后于上台阶4-6m^[2]。

(5)初期支护:按照设计支护参数,每开挖分部开挖后及时施作周边初期支护,使每分部及早封闭成环。

(6)对于局部松垮地段开挖时,采用C25喷射混凝土封闭掌子面,必要时采取掌子面注浆的措施,保持开挖面的稳定及防止拱顶沉降。

(7)施工中,依据规范及标准图要求对工程质量进行监测纠偏,关注隧洞结构偏移渗漏等问题,及时规避各类风险事项,为工程安全可靠推进提供保障。

矿山法开挖完成后,应立即进行初次支护,初次支护采用混凝土喷锚施工工艺。

3.5 严格落实隧洞内降水、防尘、通风措施

3.5.1 洞内施工排水顺坡施工时利用两侧水沟自然排水至竖井集水井。反坡施工时,掌子面附近设集水坑,距掌子面200m左右设钢制集水箱,采用水泵通过管道抽排到集水井,主排水管径为 $\phi 150$ 。开挖工作面安装潜水泵,把工作面上的水抽排至集水坑内,再由水泵接力排到集水井^[3]。

3.5.2 施工降尘本区间主要采用机械降尘和水幕降尘两种形式。机械降尘为爆破作业完成后,使用轴流风机进行强制机械通风;水幕降尘为爆破通风降尘完成后,

向隧道爆破渣料进行洒水淋湿。

3.5.3 通风标准

(1)洞内氧气含量按体积计不得小于20%。

(2)有害气体最高容许浓度:一氧化碳含量不大于 $30\text{mg}/\text{m}^3$;二氧化碳按体积不大于0.5%;氮氧化物(NO_2)含量不大于 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。甲烷(CH_4)浓度不大于0.3%。

(3)洞内气温不得大于 28°C 。

(4)尽量增加单节通风管长度,减少接头数量,提高接头质量,控制标准为每100m漏风率 $< 1\%$,弯管平面轴线的弯曲半径 $>$ 通风管直径的3倍。

(5)隧道通风的风速全断面开挖 $\geq 0.15\text{m}/\text{s}$,分部开挖的坑道中 $\geq 0.25\text{m}/\text{s}$,但不应该 $> 6\text{m}/\text{s}$ 。

(6)隧道施工通风按人计算每人每分钟供应新鲜空气部不少于4立方。

3.5.4 柔性管道压入式通风

地下工程的主要通风方式有两种,一种是压入式,一种是吸入式。根据深圳市地区特点,该区间选择柔性管道压入式通风。受隧道断面尺寸限制、拆装方便和现场实际施工的影响,各个工作面通风均是由设置在竖井口旁的轴流风机送风,采用风筒压入式通风方式进行通风除尘。在竖井外部安装主风机将新鲜空气压入,新鲜空气将洞内正洞的污浊空气稀释或通过竖井口排出,将污浊空气排出,形成循环风流。随着隧道的开挖掘进,风筒及时接长到掌子面附近,加大送风量,确保作业面的空气环境能够满足施工要求。

结束语

城市地铁隧道施工相对复杂,目前施工工艺中主要以矿山法与盾构法施工为主。矿山法适用于硬质地层、良好地质条件、山区隧道项目、自承能力强围岩等环境,具备技术成熟且成本低、施工设备简单快速以及灵活易于管理等优点。在实际工程中,应根据具体地层条件和施工要求,合理选择施工方法,确保隧道建设的质量与效益。

参考文献

- [1]穆茜茜.道路桥梁隧道工程施工中的问题及改进措施研究[J].智能建筑与工程机械.2023.5(8):67-69.
- [2]孔恒.王梦恕.城市地铁浅埋暗挖法隧道邻近施工理论与关键控制技术[J].市政技术.2011.29(1):17-23.49.
- [3]傅志峰.左昌群.陈建平.武汉地铁2号线工程地质风险及对策[J].西部交通科技.2010.(5):88-93.