

# 泥水盾构近距离下穿既有地铁隧道施工技术研究

何建峰

中国水利水电第八工程局有限公司

**摘要:**目前我国城市轨道交通正处建设高峰期,新建盾构隧道下穿既有隧道结构的施工越来越频繁,新建盾构隧道在下穿既有隧道结构时,极易造成既有隧道结构变形过大,影响其正常运营,存在较高的安全风险;如何确保安全下穿既有线路,以及最大程度减少对既有隧道结构的扰动,是类似工程的技术难点。本文以长沙地铁6号线六沟垅站~文昌阁站泥水盾构区间近距离下穿长沙地铁1号线开福寺站~文昌阁站区间既有隧道工程为例,重点总结了泥水盾构近距离下穿既有隧道施工技术及管理措施,为类似工程提供参考。

**关键词:**泥水盾构;新建隧道;下穿施工;克泥效

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.041

## 一、引言

当前我国城市轨道交通正处于大规模建设的高峰期,地下空间越来越紧张,新建盾构隧道下穿既有隧道结构的施工将越来越频繁。泥水盾构具有施工速度快、适用范围广、施工安全性高、对周边环境影响小等优点,已被广泛应用到城市轨道交通建设中。但新建盾构隧道在下穿既有隧道结构时,极易造成既有隧道结构变形过大,影响其正常运营,存在较高的安全风险。

本文以长沙地铁6号线六沟垅站~文昌阁站泥水盾构区间近距离下穿长沙地铁1号线开福寺站~文昌阁站区间既有隧道工程为依托,介绍了泥水盾构下穿既有隧道结构的控制措施,最终确保了盾构安全下穿,为类似工程施工提供参考。

## 二、工程概况

长沙市轨道交通6号线六沟垅站~文昌阁站区间(以下简称“六文区间”)左线全长2466.271m,右线全长2462.535m。区间自六沟垅站出站后,先后下穿湘江防洪大堤、湘江、傅家洲、湘雅路南北侧多处住宅,近距离下穿既有1号线开文区间隧道,后接入文昌阁站。本区间隧道管片外径6.2m,采用泥水盾构法施工。

轨道交通1号线已于2016年开通试运营,1号线开福寺站~文昌阁站区间采用盾构法施工,隧道外径6m。6号线六文区间在接入文昌阁站西端头前需下穿1号线开福寺站~文昌阁站区间隧道,交角约82度,穿越长度约27m,下穿段位于黄兴北路与湘雅路的交叉路口,

路面交通流量较大。两隧道管片结构间最小竖向净距约为2.121m。本区间下穿轨道交通1号线开福寺站~文昌阁站区间平面位置关系如图所示。

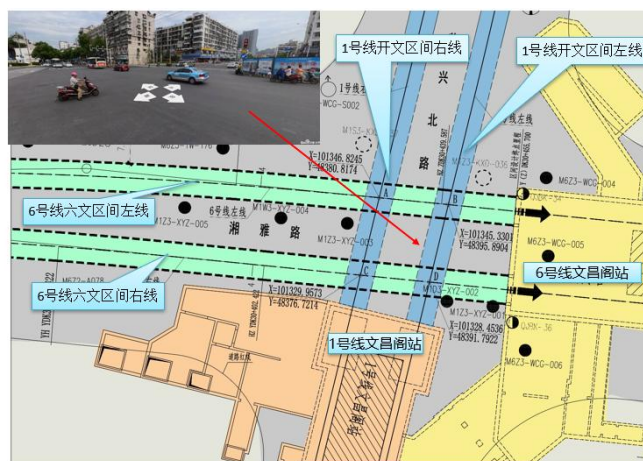


图1 六文区间与1号线开文区间平面位置关系图

轨道交通6号线下穿1号线区段地层由上至下主要土层依次为杂填土、粉质黏土、卵石(圆砾)、强风化板岩及中风化板岩,6号线穿越地层主要为强、中风化板岩;1号线隧道覆土约8m,6号线隧道覆土约18m。

## 三、控制措施

### (一) 施工前保障措施

#### 1. 提前做好协调对接工作

成立盾构下穿既有隧道施工对外协调小组,下穿前与建设单位、运营单位及其他相关单位进行对接、协调,掌握既有隧道结构详细资料,编制相关专项方案及应急预案,提前办理好地铁保护区下穿施工相关手续。

#### 2. 进行实地勘察

在下穿施工前,进行实地测量勘察,进一步核实6号线隧道与1号线隧道位置关系;联合运营单位、建设单位、监理单位对1号线隧道上下行线50环范围进行详细现状调查,对隧道漏水、管片错台破损等质量缺陷形成统计台账及影像资料;对1号线隧道上下行线50环范围所有管片螺栓进行检查,并对松动螺栓二次复紧。

### (二) 设置试掘进段

#### 1. 试掘进段目的

首先,通过对试掘进段的施工参数(掘进推力、掘进速度、刀盘转速、刀盘扭矩、注浆量、油脂使用量、

进排浆流量、进排浆密度、出渣砂石比、每环弃浆量等)监测情况分析,确定适合区间下穿1号线隧道的合理施工参数;其次,通过对刀具磨损情况分析,判断刀具选型是否合理,确保刀具能够一次性下穿完成;最后,发现设备存在的缺陷问题,及时提出整改、改进措施,提高操作手对设备的适应能力。

2. 试掘进方案

在六文区间右线DK30+278~DK30+368(1142~1202环)范围设置试掘进段:

(1)在试验段盾构隧道拱顶上方2.1m处,沿线路中心线,每隔5m布置1个深层位移监测孔。

(2)试验段前30m(1142~1161环)根据监测数据来不断调整盾构掘进参数,以确定最优掘进参数。

(3)试验段中30m(1162~1081环)以最优掘进参数进行二次深孔注浆试验,根据监测数据确定二次注浆最优注浆压力、浆液配比等关键注浆参数。

(4)试验段后30m(1081~1202环)以最优掘进参数及克尼效工法进行二次补强注浆试验,根据监测数据确定克尼效混合液的最佳配比、单位延米最佳用量等参数。

3. 试掘进结论

根据现阶段在相同地质情况下盾构掘进参数分析总结,试掘进段施工参数确定如下:

泥水仓压力设定 $1.8 \pm 0.1$ bar,刀盘转速 $1.4 \sim 1.55$ rpm,掘进速度 $15 \sim 25$ mm/min,总推力 $800 \sim 1000$ t,刀盘扭矩 $1200 \sim 1600$ KN·m,进排浆环流流量差 $30 \sim 40$ m<sup>3</sup>/h,同步注浆量 $7$ m<sup>3</sup>/环,同步注浆压力 $0.2 \sim 0.4$ Mpa,盾构轴线纠偏量不大于 $4$ mm/环,盾尾密封油脂 $60 \sim 80$ kg/环,泥浆黏度 $18s \sim 22s$ ,比重 $1.06 \sim 1.15$ ,克泥效注入量:每环注入克泥效浆液与水玻璃体积比为 $20:1$ ,每环注入克泥效浆液 $375$ kg。

(三) 下穿过程施工控制

1. 严格控制掘进参数

盾构值班工程师严格按照试掘进验证后的参数进行下穿施工,值班领导按照控制范围进行监督。施工参数主要控制要点如下:第一,盾构机推进速度控制在 $20 \sim 25$ mm/min,在强风化板岩地层不宜掘进太快,避免排浆不顺畅造成开挖仓堵仓、盾构刀盘结泥饼,计划每天掘进不少于6环,尽量保持匀速掘进、快速通过;第二,盾构推力:强风化板岩 $800 \sim 1000$ t,中风化板岩、上软下硬地层推力 $1000 \sim 1200$ t;第三,刀盘扭矩: $1200 \sim 1600$ KN·m;第四,刀盘转速:控制在 $1.4 \sim 1.55$ r/min之间;第五,控制土层压力波动不超

过 $0.1$ bar;第六,精细渣土管理,安排值班工程师对每环收集渣样进行分析,发现地质变化及时调整掘进参数。

2. 采用克泥效工法

为及时填充盾体与土层之间的间隙,更好地保障同步注浆及二次注浆效果,以最大限度降低盾构下穿施工对既有隧道结构的扰动,下穿段盾构掘进时,同步由盾构机的径向孔向盾构机的盾体外注入克泥效。

在下穿前15环,开始注入克泥效浆液;下穿结束后,继续注入10环。同步监测地面的沉降,及时调整注入量及注浆压力。

克泥效注入量:每环注入克泥效浆液与水玻璃体积比为 $20:1$ ,每环注入克泥效浆液 $320$ kg左右,注浆压力控制在 $0.2 \sim 0.4$ Mpa左右。

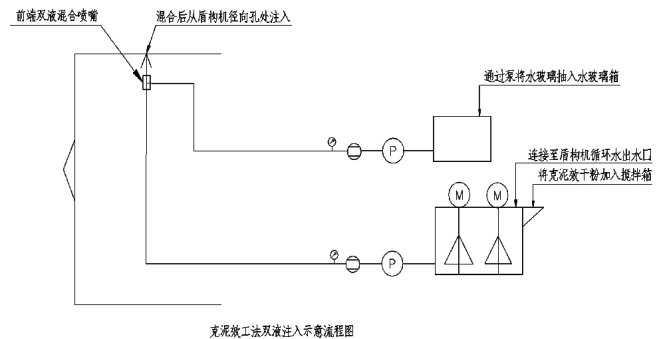


图2 克泥效工法双液浆注入示意图

3. 严格同步注浆控制

同步注浆是为及时填充盾尾空隙,加强结构自防水能力,同时使管片及时承压,防止局部土体坍塌。同步注浆采用盾构机自带的注浆泵在盾尾分4路同时注入,为确保浆液均匀压注,在各注浆口处布设压力传感器,实时监测、控制注浆压力和注浆量。

根据地质和隧道的覆土厚度情况,下穿段同步注浆压力控制在 $0.25 \sim 0.4$ Mpa之间,注浆量控制在 $6.8 \sim 7.2$ m<sup>3</sup>/环。

4. 严格二次注浆控制

同步注浆后盾尾空隙得到填充,但在局部地段可能存在浆液注入不均匀、浆液流失等情况,同步注浆完后应及时进行盾构隧道内二次注浆,以进一步控制工后沉降,提高防水效果。

在盾构刀盘正式进入下穿段前,采用水泥浆-水玻璃双液浆对盾尾后5环处通过管片注浆孔进行双液浆压浆,使其管片背后形成环箍,防止盾构下穿段同步注浆回流,确保盾构掘进过程中同步注浆的填充质量;管片脱出下穿段影响范围5环后,采取二次注浆方式确保

该地段地层稳定（采用水泥净浆），注浆压力控制在0.15~0.25Mpa。

5. 穿越后二次深孔径向注浆加固

为补偿地层损失并加大地层弹性模量，尽量减少1号线隧道沉降，在盾构穿越后，对下穿1号线区间隧道前后30m区域内实行二次深孔径向注浆加固。

管片预留注浆孔直径为52mm，二次深孔注浆孔布置范围为拱顶150°，按环向间距15°、纵向间距750mm布置。注浆管选用DN42mm、壁厚3mm的Q345无缝钢管，管身钻注浆孔，孔径Φ10mm，孔间距15cm，呈梅花形布置，前端加工成锥形，预留止浆段不小于80cm。

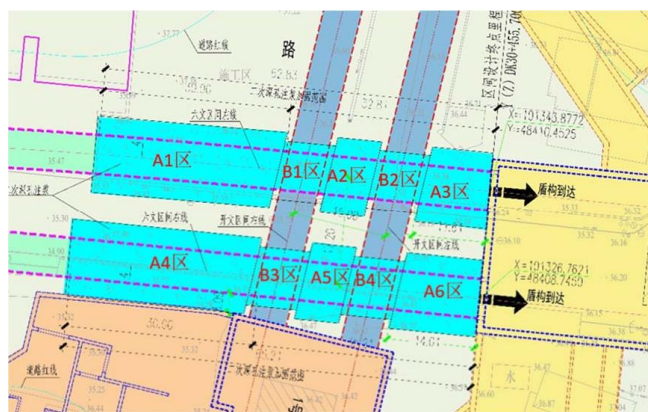


图3 二次深孔径向注浆加固范围平面图

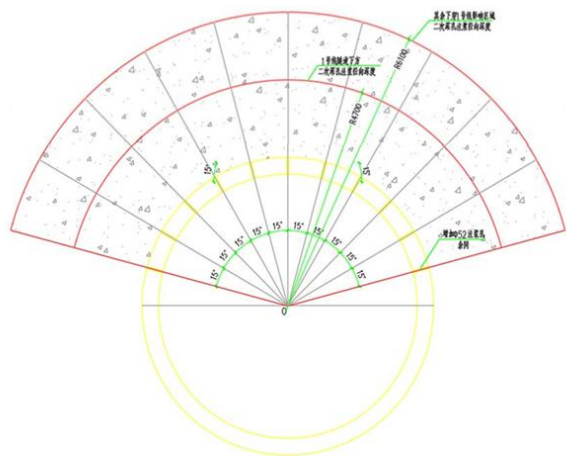


图4 二次深孔径向注浆加固剖面图

表1 二次深孔径向注浆参数表

注浆区域	浆液材质	注浆管间距	注浆孔深度	设计扩散半径	注浆配合比	单孔注浆量
A1~A6	超细水泥浆液	0.75m (纵向) ×0.72m (环向)	3m	1m	0.8~1.2	3.5m <sup>3</sup>
B1~B4	超细水泥浆液	0.75m (纵向) ×0.72m (环向)	1.6m	0.8m	0.8~1.2	1.2m <sup>3</sup>

二次深孔注浆遵循“少量、多次、低压、对称”的注浆原则，注浆浆液采用超细水泥浆液，注浆压力控制在0.3~0.5Mpa，每次注入量不大于0.5m<sup>3</sup>。

6. 既有线限速运行

为尽量减少列车动荷载在下穿期间对1号线隧道的不利影响，在盾构下穿1号线前半个月，对1号线开区间受6号线下穿影响区域的列车进行限速20km/h运营；至6号线下穿完成，监测数据稳定，并经设计单位、运营单位等各方认可后恢复正常时速。

7. 自动化监测

对既有1号线区间隧道采用自动化监测，监测断面每5m布置一个断面，每个断面布置11个测点，测点位置见图5。监测项目的初始值应在下穿前测定，且取至少连续测量3次的稳定值的平均数作为初始值；自动化监测周期为6号线隧道双线下穿完成，且监测数据稳定后3个月。

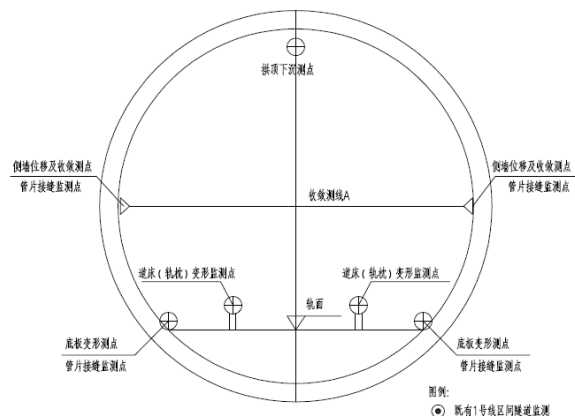


图5 既有地铁隧道自动化监测剖面图

四、结语

本文以长沙地铁6号线六沟垅站~文昌阁站泥水盾构区间下穿长沙地铁1号线开福寺站~文昌阁站区间既有隧道工程为依托，采取掘进试验、优化掘进参数、克泥效工法、严格同步注浆及二次注浆、增设二次深孔径向注浆、自动化监测等措施，安全实现了泥水盾构近距离下穿既有地铁隧道，为后续类似工程提供借鉴。

参考文献

[1] 李冀伟. 地铁隧道盾构下穿对既有隧道的影响研究. 西安科技大学, 2013年第02期: 78

[2] 祝思然. 盾构近距离下穿既有地铁隧道沉降控制技术. 隧道建设, 2016, 36(02): 234-240

[3] 尹波涛. 盾构隧道下穿既有地铁掘进参数及控制研究. 山西建筑, 2023, 49(14): 167-171

作者简介: 何建峰, 1990年7月, 男, 湖南省永州市, 汉, 大学本科, 工程师, 研究方向: 土木工程。