

# 盾构下穿浏阳河施工质量问题分析及改进措施

罗旭

长沙市轨道交通集团有限公司

**摘要:** 本文依托长沙市轨道交通3号线一期工程土建施工项目盾构下穿浏阳河段施工, 针对高压水、突水、突泥、盾尾密封失效、盾构隧道上浮、上软下硬基底等风险, 逐项改进施工工艺, 同时结合现场管片错台、隧道渗漏水、管片破损等典型的质量问题及隐患的处理, 为今后类似工程提供了实用可行的方法和经验。

**关键词:** 盾构施工; 下穿河流; 风险控制; 质量

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.02.060

## 引言

地铁因其高密度、大运量的特点而被广泛应用于城市立体交通中。其隧道工程在下穿河流时, 常采用盾构施工法, 需要克服水下高压、复杂地质等带来风险<sup>[1-4]</sup>, 施工过程中常发生管片错台、隧道渗漏水、管片破损等一系列质量问题<sup>[5-7]</sup>。本文针对长沙市轨道交通3号线一期工程土建施工项目下穿浏阳河段的盾构施工中的风险及常见质量问题及隐患, 进行原因分析, 进而提出应对方案和改进措施。

## 一、工程概况

长沙市轨道交通3号线一期工程土建施工项目SG-11标段雅雀湖站~长沙大学站区间(230环~418环)段下穿浏阳河, 该掘进段平曲线为直线段, 竖曲线为28‰下坡转4.92‰下坡。浏阳河平均深度约8m, 流速约4m/s。

本段地质情况复杂, 如下图: 从上至下依次为素填土、粉质黏土、中砂、卵石、强风化板岩。左、右线洞身为主要为强风化板岩, 存在裂隙发育; 卵石层为高透

水层, 隧道上方河床最浅覆土约10.1m(左线315环、右线281环)。

## 二、风险分析及控制措施

### (一) 高压水

高压水条件下的盾构施工风险的源头是承压水对盾构隧道施工及运营的影响, 此条件下盾构施工风险防范的要点是针对承压水采取相应的应对措施。主要如下:

(1) 盾壳应具有足够的强度和刚度, 以承受较高的水土压并不变形, 确保施工人员和设备安全和盾构设备的正常运转(盾构掘进和管片拼装等);

(2) 盾构掘进时, 壳体外的水(浆)只能通过盾尾密封圈进入盾构, 因此高压水条件下必须强化盾尾的密封性能, 要求其至少能承受1.0MPa的水压而不发生渗漏;

(3) 可以在盾构机中增加保压泵碴系统, 使土体通过保压泵碴系统的出土软管出土, 不再通过螺旋输送机输出, 由于有一定的压力控制排土, 可以保证地下水不再涌出, 从而保证施工安全。

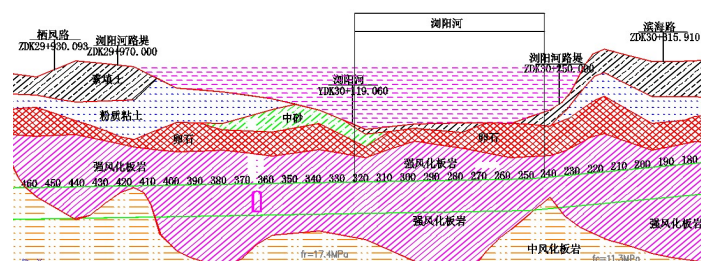
(4) 尽可能选择水位较低的时间进行施工。

(5) 尽可能保持在浏阳河中段施工的连续性和匀速性, 尽量避免出现长时间停机现象。

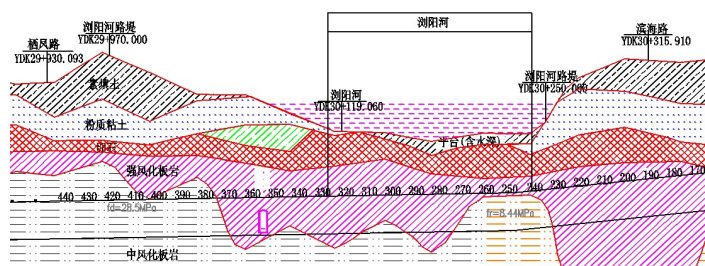
### (二) 突水、突泥

盾构下穿浏阳河施工面临最大的风险是掌子面失稳, 河水或泥砂涌入隧道, 导致灾难性事故。

防突水或突泥风险的关键保证盾尾和开挖面不进水或泥, 其风险防范措施主要有:



(a) 左线地质纵断面图



(b) 右线地质纵断面图

图1 浏阳河段地质纵断面图

(1) 盾尾密封良好，至少能够承受1.0MPa的水压而不出现渗漏现象；

(2) 盾构设备具有高水压条件下的施工技术性能；

(3) 当掌子面失稳出现突水（泥）时，盾构设备（刀盘和输泥管）具有自动关闭功能，且密封性能好，不出现渗漏现象；

(4) 江面设置监测船，监测船配有GPS系统、声纳系统、砂土袋或黏土、注浆设备等通过声纳系统可以对河床的沉降进行监测。

### (三) 盾尾密封失效

盾尾密封是过河隧道盾构施工的一个关键点，地下水、泥水、盾尾注浆是否会渗入盾尾的关键部位时也关系到掘剖面的稳定性。

其风险控制措施有：

(1) 设置四道盾尾密封并附加紧急止水装置以确保密封性能；

(2) 保证管片拼装居中，以便实现钢刷与管片间严密接触；

(3) 保证盾构的良好姿态；

(4) 在工作面设置应急泥浆泵等。

### (四) 盾构隧道上浮

由于操作或施工不当，具有一定压力的泥水从开挖面沿着盾壳窜至盾尾，甚至窜到已建成的隧道衬砌外，或浆液参数及配比不当，使已建成的隧道处于泥水的包裹中而产生上浮，将会给工程带来相当的风险。采取以下措施可以有效控制该风险：

(1) 施工期间确保盾构机的推进沿着设计轴线，每环均匀纠偏，减少对土体的扰动；

(2) 提高同步注浆质量，浆液初凝时间较短，使其遇泥水后不产生劣化，且浆液的流动性使其能够均匀的填充在隧道周边，及时充填建筑空隙；

(3) 进行纵向变形监测（采用连通管等工具）可正确地判断隧道是否稳定；

(4) 加强隧道纵向变形监测，并根据监测的结果进行针对性的注浆纠正，如调整注浆部位及注浆量，配制快凝及提高早期强度的浆液；

(5) 当发现隧道上浮量较大时应立即对已建隧道采取补压浆措施，以割断泥水继续流失路径；补压浆要求均匀，压浆后浆液成环状。

### (五) 右线部分地段上软下硬地层

在右线过浏阳河部分段，上是强风化板岩，下是中风化板岩，针对这种情况，采取以下几种措施指导施工：

(1) 为了控制盾构机出现的“头重脚轻”情况，加大盾构机下部推力，减小上部推力；

(2) 在上软下硬不均地层中掘进，局部岩石硬度较高，硬岩处刀盘的滚刀受力较大，而软岩部分只需对掌子面进行切削即可破坏土层，但局部硬岩对刀具即刀盘的损伤较大，适当降低刀盘转速，控制贯入度以使刀具受到的瞬时冲击小于安全荷载25t为准，刀盘的转速要控制在1.6r/min之内；

(3) 优化参数，防止出现沉降大，出渣量大，扭矩大等情况。

## 三、质量问题分析与施工控制改进

### (一) 盾构施工情况

盾构施工按施工组织设计，避开了浏阳河每年4~9月的汛期。盾构机通过比选，采用的是铁建重工DZ022和DZ088土压平衡盾构机，设备主要性能参数见下表1：

表1 盾构机主要性能参数

主部件名称	细目部件名称	参数配置
整体设计	适应最大坡度	50%
刀盘	开挖直径	6280mm
	开口率	大于35%
主驱动	驱动形式	液压驱动
	转速	0-2.4rpm
	额定扭矩	5000KNm
	最大扭矩	6000KNm
推进系统	推进油缸数量	32
	最大推力	42.575kN@350bar
铰接系统	铰接形式	被动铰接

### (二) 质量缺陷情况汇总

本段盾构隧道施工过程中存在质量缺陷主要表现为管片错台、渗漏水、管片破损三种，渗漏水明显，但未见明显渗漏点及破碎情况。

### (三) 质量缺陷情况原因分析

#### 1. 管片错台原因分析

(1) 管片拼装操作不当，导致管片错台；

(2) 盾构下穿浏阳河时地下水较丰富，管片在脱离盾尾时上浮较大，导致管片错台；

(3) 过浏阳河段为小半径转弯（转弯半径450m），掘进时盾构姿态易出现偏差，在纠偏时控制不当致使管片与盾尾间隙不均匀，导致管片错台；

(4) 管片在脱离盾尾时易发生螺栓松动，未及时对螺栓进行复紧，导致管片错台。

#### 2. 渗漏水原因分析

(1) 管片错台导致橡胶止水条错位，存在间隙，止水功能减弱导致渗水；

(2) 过浏阳河段地下水丰富，管片承受水头压力较大，同时同步注浆浆液被冲刷稀释，防水功能减弱导致渗水；

(3) 盾构掘进时，存在四根同步注浆管未同时打开注浆，导致管片壁厚局部填充不密实引起渗水；

(4) 二次注浆未及时跟进导致渗水；

(5) 管片破损导致混凝土存在细微裂纹，出现渗水。

#### 3. 管片破损原因分析

(1) 管片在水平及垂直运输过程中磕碰导致边角破损，且管片破损修补不到位就进行使用；

(2) 管片拼装过程中由于操作手未严格按照操作

规程进行拼装,导致破损;

(3) 盾构机纠偏过程中盾尾间隙不均匀,管片外壁受到盾尾刮擦导致破损;

(4) 过浏阳河段地层为上软下硬,盾构机推进时上下千斤顶压力不一致,管片受力不均导致破损;

(5) 由于管片上浮量较大,造成管片错台严重,管片在螺栓孔位置受力不均导致破损。

#### (四) 质量控制改进措施

在施工过程中,针对发现的质量缺陷,及时组织参建单位进行分析总结,并且在过程中采取了以下改进措施:

##### 1. 管片拼装

(1) 施工过程中应定期检查环面是否垂直于轴线,环面上下左右超前量应 $<20\text{mm}$ 。当管片超前量超过容许值时,应用楔子调整。

(2) 可运用相邻环高差来弥补衬砌与盾尾建筑空隙和轴线精度,相邻环管片高差控制在 $4\text{mm}$ 内。

(3) 严禁在封顶块安装时强行顶入把封顶块,造成接缝处管片破碎。

(4) 严查管片的进场验收,有破损、裂缝的管片不能使用。

(5) 管片进行彻底清洁再进行止水条及软木衬垫的粘贴,以确保止水条及软木衬垫粘贴牢固。

(6) 确保盾构位置在管片拼装的过程中保持不变,应精确控制盾构千斤顶的伸缩和压力。

(7) 管片安装时必须运用管片安装机的微调装置将待装的管片与已安装管片块的内弧面纵面调整到平顺相接以减小错台。每块管片不能凸出相邻管片的环面,以免邻接块接缝处管片碎裂。

(8) 应先测量隧道椭圆度后,再进行每环管片的拼装,椭圆度不达标及时纠正,纠正至椭圆度达标后才能进行下一环的安装。

(9) 控制同步注浆压力,确保注浆压力保持在限值以下,避免损坏管片。

##### 2. 洞内注浆措施

由于盾构下穿浏阳河段地质主要为强风化板岩及中风化板岩。该岩层裂缝较多、较破碎,且浏阳河水量丰富,盾构施工时,严格控制掘进速度及出土量控制。盾构穿越浏阳河过程中,严格控制出土量。根据地勘资料及前期掘进经验,强风化板岩及中风化板岩掘进速度控制在 $20\sim 30\text{mm}/\text{min}$ 。同时,施工控制加强注浆效果,以确保该段隧道在运营过程中的防水质量,具体控制点如下:

##### (1) 控制土仓压力

施工前对隧道轴线沿线浏阳河水面进行高程测量,推算出河水深度。由朗肯土压力公式计算可得,盾构穿越浏阳河段所需的理论土压力为 $1.4\sim 1.8\text{bar}$ (掘进过程中可根据实际情况作调整)。掘进时严格采取保压掘进模式,避免超挖或欠挖。

##### (2) 同步注浆及二次补浆

##### ① 同步注浆

盾构的同步注浆是指在盾构向前推进过程中,在施

工间隙形成的同时立即注浆的方式,这是使周围土体获得及时的补偿,有效防止土体塌陷,控制地表沉降的有效手段<sup>[8-9]</sup>。

盾尾油脂及时加注以避免盾尾涌水,壁后注浆压力控制为 $3\sim 4\text{bar}$ ,避免注浆压力大于盾尾密封压力时浆液残留固结在密封区。加大注浆量,根据设计图纸,应按理论值的 $1.5\sim 2.0$ 倍进行注浆。注浆压力应保证足够注浆量的最小值为准。盾构进入河床底部后,为防止隧道上浮,注浆量再根据隧道覆土厚度的变化进行调整。

##### ② 二次注浆

为了限制同步注浆浆液的流动,减小浆液流失,达到充填不密实区域的目的,本区间过浏阳河段每推进1环均进行二次注浆,根据监测数据及时进行分析并调整注浆参数及注浆量,注浆压力控制在 $0.5\text{Mpa}$ 左右。

##### (3) 止水环设置

浏阳河水量丰富,且盾构处于 $4.92\%$ 小坡。盾构下穿浏阳河施工过程中将根据实际情况加注止水环。止水环采用双液浆,水泥浆:水玻璃 $=1:1$ ,注浆位置为盾构后5环位置。

##### (4) 钢花管注浆

在同步注浆及二次注浆后,应对该段隧道进行预埋钢花管注浆。

#### 四、结论

通过采取以上措施,最终盾构顺利下穿浏阳河,并最终顺利接收,如期完成验收。通过此次施工,认为盾在穿越河沟地段时,在过程中遇到质量问题要及时进行总结和调整,特别是管片拼装质量至关重要,而工后处理补强也是有利的补充。

#### 参考文献

- [1] 宋修元. 富水砂卵石地层盾构施工风险识别与控制管理研究[D]. 西南交通大学, 2017.
- [2] 官本福, 杨志勇. 北京地铁盾构施工风险控制技术研究[J]. 铁道标准设计, 2018, 62(06):110-114.
- [3] 吕京堂. 地铁工程中盾构施工风险控制技术的探讨[J]. 中外建筑, 2019(06):256-257.
- [4] 向义雄, 张文新. 复杂地质下超大直径泥水平衡盾构施工管理与风险控制[J]. 低温建筑技术, 2021, 43(07):134-137.
- [5] 李菲. 地铁盾构施工中的安全风险和管控对策[J]. 北方建筑, 2021, 6(03):75-78.
- [6] 徐日庆, 郭忠, 丁盼, 陈文祥, 李俊虎, 朱黄鼎, 张白羚. 盾构施工振动对邻近建筑物影响与控制方法研究综述[J]. 隧道建设(中英文), 2021, 41(S2):14-21.
- [7] 臧士文. 盾构施工质量控制关键技术[J]. 广东土木与建筑, 2022, 29(03):75-78.
- [8] 张书玉. 地铁盾构隧道管片防水技术措施探索[J]. 中国新技术新产品, 2012(10):101-102.
- [9] 周吉涛, 张舵, 费瑞振. 盾构下穿运营高铁隧道应急保障措施研究[J]. 科技与创新, 2019(24):11-12+15.

作者简介: 罗旭(1986.03-),男,湖南邵阳,本科,工程师,主要从事轨道交通工程建设管理盖子。