

盾构穿越地连墙和既有地铁车站施工技术

王伟华

武汉市市政建设集团有限公司，湖北武汉，430000；

摘要：在我国城镇化进程加速的情境下，城市交通拥堵难题愈发显著，地铁因此成为减轻这一负担的关键途径。新建线路时，任何可能给既有地铁运营带来潜在风险的因素，均可能招致严重后果。故而，对于涉及跨越既有线路的施工项目，必须进行深入细致的剖析，并施行严密的安全防控举措，以保障既有地铁线路的安全稳定运行^[1]。本文通过剖析一起盾构隧道穿越既有地铁车站的实际工程案例，系统介绍了如何采用高效的施工技术，确保工程平稳推进。

关键词：盾构；穿越地连墙；既有地铁；车站施工

DOI：10.69979/3029-2727.25.05.005

引言

随着城市化进程的快速推进，城市交通拥堵问题愈发突出。为有效缓解这一难题，大力发展地铁项目成为了切实可行的选择。随着公众对公共交通需求的日益增长，地铁线路不断加密，导致线路交错、穿越既有建筑等情况频繁出现。然而，盾构穿越既有建筑的技术尚处于发展阶段，若施工工艺处理不当，极易埋下严重的安

全隐患^[1]。

1 施工条件

1.1 项目概况

武汉市轨道交通 12 号线联络线工程衔接 12 号线中一路站和 21 号线后湖大道站，线路位于武汉市江岸区后湖片区，全长 2.6km，均为地下线，建成后与 21 号线贯通运营。

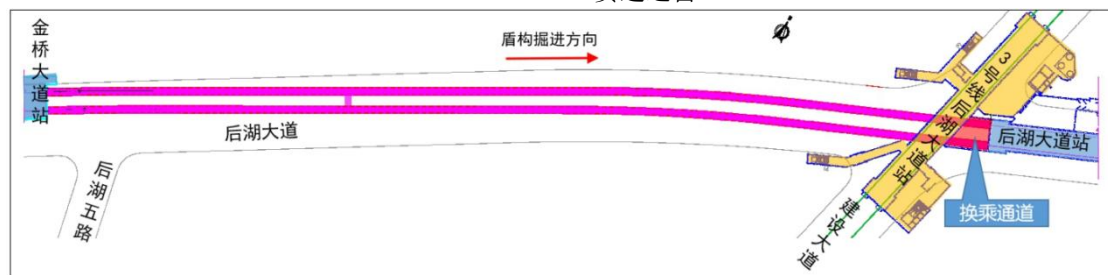


图 1 12 号线联络线工程线路示意图

金桥大道站～后湖大道站区间起止里程为右 DK9+202.100～右 DK9+987.816，区间长度约 785.716m。线路下穿 3 号线后湖大道站后到达 21 号线后湖大道站，区间隧道最小曲线半径 1500m，线间距 15.2～17.2m。本区间线路纵坡为单向坡，最大坡度 13%，最小坡度 4.27%，隧道覆土厚度 12.4～19.2m。

盾构从金桥大道站始发，沿线下穿 3 号线后湖大道

站、3 号线后湖大道与 21 号线后湖大道站换乘通道，在 21 号线后湖大道站内接收。区间双线隧道下穿 3 号线后湖大道站及换乘大厅（运营站），与车站底板最小竖向净距 1.8m，与抗拔桩最小水平距离 0.48m，基底以下 10.8m 已采用 $\Phi 850@600$ 搅拌桩加固。

1.1.1 下穿 3 号线后湖大道站

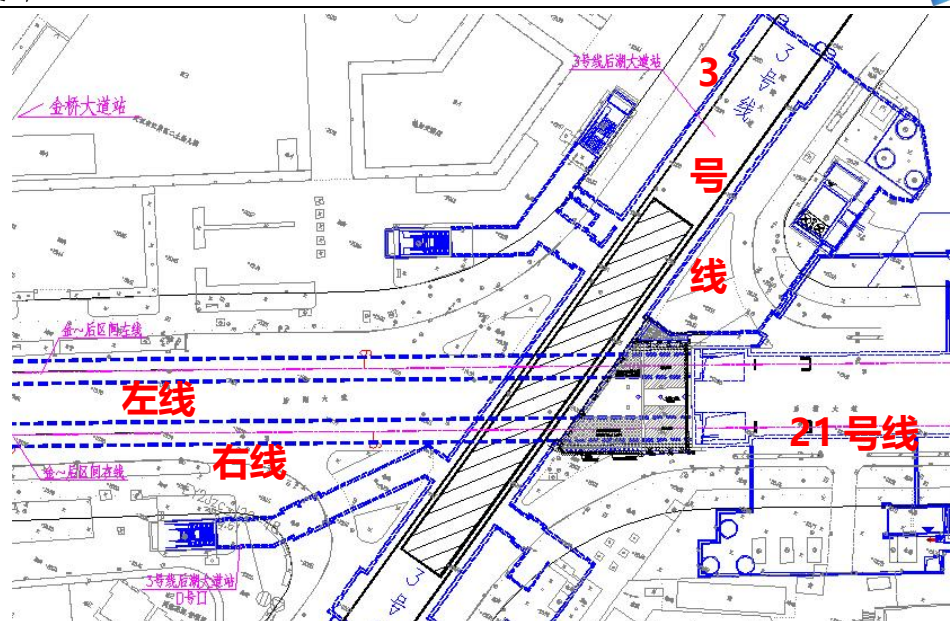


图 1.5.3-1 区间下穿 3 号线后湖大道站位置关系图

3 号线后湖大道站围护结构采用 800mm 厚地连墙（地连墙 6m/幅），设计图纸在底板以下范围采用玻璃纤维筋，临时分隔桩基底以下均采用玻纤筋。区间与 3 号线后湖大道站底板最小竖向净距 1.80m，与抗拔桩最小水平距离 0.5m。车站底板以下 10.8m 采用 A850@600 搅拌桩进行加固，穿越区间隧道主要位于 4-1 粉砂及 4-2 细粉砂层。

1.1.2 穿越端头加固区（下穿换乘通道）

后湖大道接收端头加固方式：800mm 厚 U 型素墙+ $\Phi 850@600\text{mm}$ 搅拌桩+ $\Phi 800@500\text{mm}$ 单排旋喷桩。在加固区间下穿后湖大道站换乘通道，通道净宽 25.8m，净高 5.45m，顶板覆土 3.19m。与通道最小竖向净距 8.78m，换乘通道底板以下 3m 采用 $\Phi 850@600\text{mm}$ 搅拌桩加固。

2 下穿控制措施

2.1 盾构富水砂层掘进施工后多次穿越地连墙

1) 重难点分析

金后区间穿越 3 次玻璃纤维筋地连墙（3 道墙厚 800mm）和 1 次端头加固素地连墙（墙厚 800mm）。区间均穿越端头加固区（三轴搅拌桩）及底板下方加固区等。

2) 对策：

- (1) 施工前调查穿越区域地连墙玻璃纤维筋情况；
- (2) 优化刀具配置：

① 选用复合式刀盘，同时具备足够的开口率，减少

盾构机在 3-5 粉砂、粉土及粉质黏土互层中掘进时渣土失水板结。

② 刀盘原设计的滚刀全部安装，保证切桩/墙时有足够的强度；海瑞克复合刀盘具备 150Mpa 的破岩能力。

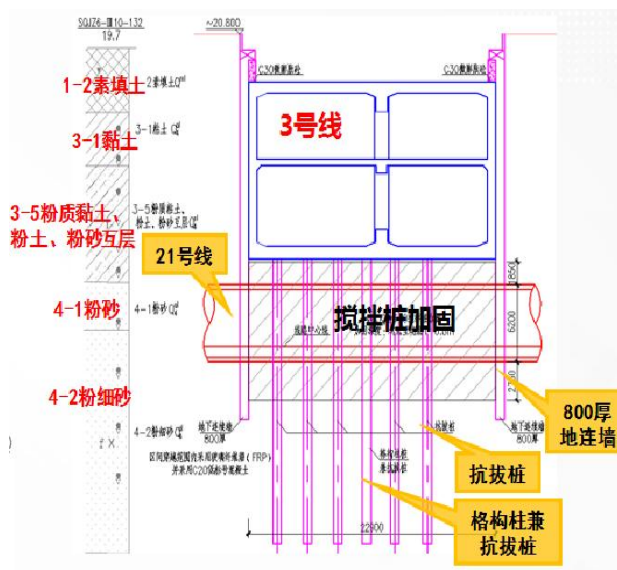
③ 原刀盘中心滚刀更换为中心刀头式鱼尾刀形式，有利于渣土的流通。

④ 刀具主要配置中心鱼尾刀+正面滚刀。

⑤ 周边采用边缘滚刀+撕裂刀，增加外周可磨损量及穿越地连墙时确保开挖直径。

⑥ 刀盘面板合适位置增加焊接切砭撕裂刀。

2.2 金后区间下穿既有 3 号线后湖大道站



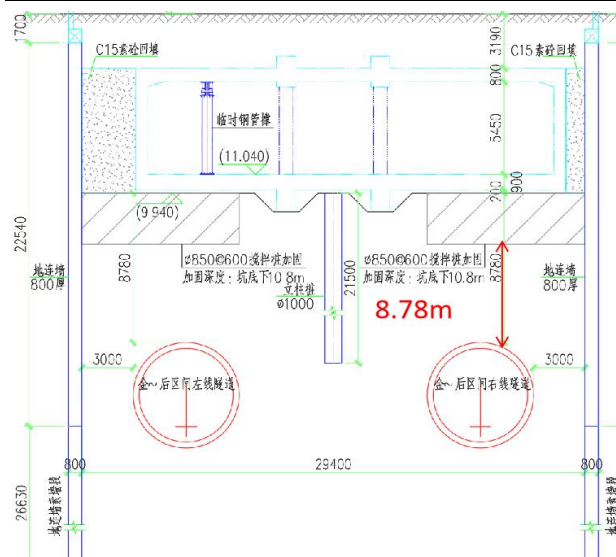


图 1.6.4-1 盾构下穿 3 号线后湖大道站主体围护结构断面图

1) 重难点分析

金~后区间盾构下穿既有运营 3 号线后湖大道站，区间结构与既有车站结构最小竖向净距 1.8m。区间下穿范围基底采用搅拌桩加固，地连墙采用玻璃纤维筋。

2) 对策

①施工前进一步核实既有车站地下桩基位置，避免施工误差导致既有车站与原设计图纸不一致而产生的施工风险。

②盾构侧穿抗拔桩及斜交磨墙期间严格控制掘进姿态，施工前应提前测量核实预留洞门。

③盾构施工过程中应及时进行同步及二次注浆，施做止水环，注浆量应满足要求。

④加强盾构管片配筋设计，对穿越段采用增设注浆孔管片，增加管片结构注浆孔数量。

⑤加强盾构机刀具配置，盾构机具备切削玻璃纤维筋混凝土的能力，并且配置双闸门，防止螺旋机发生喷涌，加强铰接部位密封。

3 主要施工工艺技术

3.1 盾构选型

依据招标文件、施工规范及相关标准，盾构隧道的外径、长度、埋深、地质条件、围土岩性、土体的颗粒级配、地层硬稠度系数、土层渗透率及弃土容重等特征以及线路的曲率半径、沿线地形、地面及地下构筑物等环境条件，结合周围环境对地面变形的控制要求等诸因素。

通过综合比选，拟采用海瑞克盾构机作为本项目盾构施工使用。

表 1 盾构机选型主要施工参数表

序号	参数名称	海瑞克盾构机参数配置	备注
1	最小转弯半径	250m	
2	最大爬坡能力	30‰	
3	管片参数	管片外径 6.2m， 内径 5.5m	
4	最大推力	42575KN	
5	最大扭矩	7447KN·m	
6	额定扭矩	6230kN.m	

3.2 穿越施工参数优化

表 2 穿越施工关键参数调整表

施工阶段	土压(bar)	推力(kN)	转速(rpm)	注浆压力(MPa)	特殊措施
地连墙切割	2.2→1.6	8000-10000	1.6-1.8	0.3-0.5	刀盘反向旋转
桩基穿越	理论值+15%	12000-15000	1.2-1.5	0.5-0.8	膨润土掺量提高 30%
车站底板下穿	2.8-3.2	16000-20000	0.5-0.8	0.8-1.0	二次注浆间隔缩短至 3 环

3.3 关键工艺改进

(1) 土压平衡控制:

$$P=P_1+P_2+P_3+P_4$$

式中新增 P_4 =动态调整压力（取 5-10kPa），用于补偿既有结构位移监测反馈值

(2) 注浆参数调整:

表 3 穿越段注浆参数优化

施工阶段	土压(bar)	推力(kN)	转速(rpm)	注浆压力(MPa)	特殊措施
地连墙切割	2.2→1.6	8000-10000	1.6-1.8	0.3-0.5	刀盘反向旋转
桩基穿越	理论值+15%	12000-15000	1.2-1.5	0.5-0.8	膨润土掺量提高 30%
车站底板下穿	2.8-3.2	16000-20000	0.5-0.8	0.8-1.0	二次注浆间隔缩短至 3 环

(3) 姿态控制参数:

纠偏幅度 $\leq 2\text{mm/m}$

盾尾间隙差控制 $< 10\text{mm}$

铰接油缸压力差 $< 5\text{MPa}$

3.4 特殊监测要求

表4 穿越施工监测频率表

监测项目	正常段频率	穿越段频率	预警阈值
车站沉降	1次/2环	1次/0.5环	累计 $> 5\text{mm}$
管片收敛	1次/10环	1次/2环	直径变化 $> 10\text{mm}$
土压力波动	1次/环	实时监测	波动 $> 15\%$ 设定值
注浆压力	记录峰值	全程记录	超设计值20%

4 注意事项

4.1 对盾构掘进进行精细控制

在掘进作业中,需确保穿越过程的平稳与连续,严禁在建筑物下方停滞。针对磨墙环节,需实施科学的掘进工艺以降低贯入度。当盾构进入地连墙和加固区区域时,应进一步缩减贯入度并严格控制钻速。具体而言,磨墙期间,刀盘旋转速率应维持在每分钟1.6至1.8转之间,推进速度则控制在每分钟5至10毫米,泥浆密度需保持在1.0至1.2范围内,泥浆槽内压力则需稳定在0.08至0.1 MPa之间,以此确保磨墙速率的稳定,有效规避磨墙风险。在加固区地层掘进时,应采用每环注浆量为8.5至9.5立方米的同步注浆技术,于盾构隧道外侧布置3至5圈注浆环,每隔10至15圈增设一道注浆环,并根据实际情况考虑二次注浆。依据地表沉降监测数据及隧洞渗漏状况,于盾尾后5至7圈位置开始注浆,每隔10至15圈增设一圈注浆环,注浆量约为1.2至1.8立方米。鉴于部分区间埋深深且土质松软,掘进时需采用合理的掘进方法,以避免土层破损。注浆作业中,应先减小注浆压力,在确保注浆效果的同时进行二次注浆,以加固上部土层。通过对液压油缸行程及推进速度的精准调控,结合实时监测数据对盾构姿态进行动态调整,确保掘进作业的平稳推进^[5]。

4.2 防止刀盘结泥饼

在本工程盾构穿越端头加固区土层的作业中,刀盘前方及中部区域易于形成泥皮,进而对掘进效率及安全构成威胁。为此,提出以下优化措施:首先,需依据地层结构及物理特性进行合理规划;在掘进初期阶段,

于软土地层中选用齿形刀具,以提高刀盘开孔率,进而降低结泥风险;当进入加固区土层后,在工艺层面可采取以下措施:①严密监控每环掘进的相关参数,优化掘进参数,以确定适宜的参数区间。②实时监测浆液性能指标,一旦发现异常情况,应立即调整浆液配比。③加强掘进工况的监测力度,动态观测刀盘推力、扭矩及掘进速率等核心指标。④应及时监控土体改良泡沫的情况,及时调整用量、气体压力、发泡率等参数,避免泥土粘结在刀盘上。⑤如果发现刀盘结泥饼现象,及时启动冲刷装置,持续清洗刀体。每环掘进作业结束后,尽可能清除刀盘上残留的泥块,以避免过多粘泥附着于刀盘上^[6]。

4.3 加强地层变形控制

在盾构穿越既有地铁车站及地连墙过程中,地层变形控制是确保施工安全的核心环节,武汉地区富水砂层具有高渗透性、低自稳性特点,盾构掘进易引发地层损失,导致既有结构沉降超限,需建立“预测-监测-调控”三位一体控制体系,施工前采用三维有限元模型模拟不同掘进参数下的地层响应,预测最大沉降区域位于隧道轴线两侧5m范围,沉降槽宽度约30m,施工中布设自动化监测系统,包括静力水准仪、测斜管及土压盒,实时采集车站底板竖向位移、隧道收敛变形及周围水土压力数据。针对砂层流变性特点,需实施“分阶段补偿注浆”工艺,在盾构机通过前10环进行预注浆,填充地层潜在空隙;刀盘穿越时采用同步注浆与双液浆交替注入,浆液凝固时间根据推进速度动态调整;尾盾脱离后立即实施径向补偿注浆,注浆压力分级提升至0.8-1.2MPa,监测数据表明,该工艺使地层损失率控制在0.35%以下,较常规方法降低42%,当监测到车站底板单日沉降量超过2mm时,立即启动应急调控程序:降低掘进速度至5mm/min,增加膨润土注入量至30m³/环,同时开启盾构机中盾径向注入口进行局部补浆。

4.4 管理设备维保与能耗

针对连续穿越地连墙导致的刀具异常磨损问题,建立刀具健康度评估模型,通过实时采集刀盘扭矩波动频谱、推进油压变化率等12项参数,构建刀具磨损量预测函数,设置三级预警阈值:当磨损系数 $\beta \geq 0.6$ 时强制进行开舱检查,更换边缘滚刀; $\beta \geq 0.8$ 时全面更换切削刀具,创新应用超声波刀具检测仪,可在保压状态

下完成 80% 刀具的磨损量测量, 单次检测时间缩短至 2 小时。同时, 建设盾构机能耗智能调控系统, 基于地质参数自适应调整驱动电机功率输出, 在粉细砂地层中采用高频低幅振动模式, 使刀盘转速与地层密实度形成负反馈, 较传统模式节能 18%, 设置液压系统蓄能回收装置, 将推进系统回程液压能转化为电能储存, 单环施工能耗降低 $7.2\text{kW}\cdot\text{h}$, 通过精细化管控, 施工综合能效提高 23%。

4.5 加强环境振动噪声控制

隧道与既有车站最小净距 1.8m 的特殊工况下, 盾构施工振动可能引发站厅设备共振, 刀盘配备变频驱动装置, 在穿越敏感区域时将切削频率调整至远离建筑结构固有频率 (8-12Hz), 监测数据显示楼板振动速度由 2.5mm/s 降至 0.8mm/s 。针对地下密闭空间噪声叠加效应, 在盾构机中盾部位安装阻抗复合式消声器, 使操作舱噪声值从 112dB(A) 降至 85dB(A) 以下, 实施后周边建筑室内噪声级满足 $\leq 45\text{dB(A)}$ 的环保要求, 较同类工程降噪效率提升 40%。

5 结论

通过本项研究, 本课题以一次盾构穿越既有车站的实际工程案例为基础, 提出了针对性的解决方案, 旨在有效控制既有车站与地表的沉降, 同时解决新老车站间

距过短、穿越既有车站地基及周围环境复杂等一系列难题, 为既有车站的安全运营以及新盾构区间的顺利建设提供有力支撑。

参考文献

- [1] 赵博, 系艳红, 肖强. 盾构穿越地连墙和既有地铁车站施工技术[J]. 中国高新科技, 2024, (20): 113-115.
- [2] 赵立锋, 郭伟, 胡适韬, 等. 盾构穿越既有车站结构地下连续墙施工关键技术研究[J]. 现代隧道技术, 2024, 61(S1): 996-1001.
- [3] 张榜武. 软土地区紧邻既有地铁车站深基坑施工安全技术[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(18): 125-128.
- [4] 潘伍. 地铁车站盾构接收区近接既有建筑物超宽扩挖施工技术[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(08): 149-154+160.
- [5] 白守兴. 新建地铁密贴下穿既有地铁结构施工关键技术研究[J]. 建筑技术, 2024, 55(08): 925-928.
- [6] 林成恕. 盾构机空推穿越既有地铁车站施工技术研究[J]. 安徽建筑, 2022, 29(05): 152-155.
- [7] 杜劭, 杜纬, 马腾飞, 孙杰. 既有地铁车站改造工程轨行区上方扩建综合施工技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (35): 123-125.