

盾构下穿既有桩基磨桩施工关键技术

杨庆伟

(上海隧道工程有限公司, 上海市 200082)

摘要: 以上海轨道交通13号线东延伸工程为依托, 针对盾构区间下穿既有厂房群桩过程中存在的桩基数量多、分布密集、基础资料不完整及软土地层条件复杂等施工难点, 系统研究并总结了盾构下穿既有桩基磨桩施工的关键技术。结合工程实践, 提出并实施了既有桩基多源判识与风险分级、磨桩前工程条件构建、盾构设备及刀具系统适应性配置、施工参数精细化控制以及全过程监测与动态风险控制等技术措施。工程中成功磨除既有桩基68根(上行线35根、下行线33根), 实现了盾构姿态稳定、地表及周边构筑物变形可控。工程效果表明, 地表沉降整体受控, 既有建筑最大沉降为-3.7 mm, 未发生结构性损伤。该技术体系有效降低了盾构下穿既有桩基施工风险, 可为类似城市轨道交通工程提供参考。

关键词: 盾构施工; 既有桩基; 磨桩施工; 风险控制; 轨道交通

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0395-05

Key Technologies for Grinding Existing Pile Foundations under Shield Machines

YANG Qingwei

(Shanghai Tunnel Engineering Co., Ltd., Shanghai 200082, China)

Abstract: Taking the east extension project of Shanghai Metro Line 13 as the background, aiming at the construction difficulties such as a large number of pile foundations, dense distribution, incomplete basic data and complex soft soil layer conditions that exist during the shield tunneling process of passing under the existing factory building group piles, the key technologies for grinding piles under existing pile foundations by shield machines are systematically studied and summarized. Combined with the engineering practice, the technical measures such as multi-source identification and risk classification of existing pile foundations, construction of engineering conditions before pile grinding, adaptive configuration of shield equipment and tool systems, refined control of construction parameters, and full-process monitoring and dynamic risk control are proposed and implemented. During the project, 68 existing pile foundations (35 on the upward line and 33 on the downward line) are successfully grinded off, achieving stable shield posture and controllable deformation of surface and surrounding structures. The engineering results show that the surface settlement is generally controlled. The maximum settlement of the existing buildings is -3.7 mm without structural damage. This technical system effectively reduces the construction risks of shield machines passing under existing pile foundations and can provide a reference for similar urban rail transit projects.

Keywords: shield tunneling; existing pile foundation; pile grinding; risk control; rail transit

0 引言

随着城市轨道交通网络不断向既有建成区延伸, 盾构隧道下穿既有建(构)筑物基础已成为常见且复杂的施工难题。受建设年代久远、基础资料缺失及周边环境条件复杂等因素影响, 既有桩基往往侵入盾构开挖轮廓, 成为制约盾构施工安全与进度

的重要风险源。据相关研究统计, 城市轨道交通盾构施工中桩基侵障问题占比可达20%~30%^[1]。

盾构磨桩技术作为处理既有桩基侵障问题的有效手段, 近年来在国内多个工程中得到应用, 但其对盾构设备的适应性、施工参数精细化控制及风险管理水平要求较高, 若控制不当, 易引发地层扰动、构筑物变形、刀具异常磨损, 甚至盾构卡机等风险^[2-3]。

本文以上海轨道交通13号线东延伸工程(以下简称13号线东延工程)为工程背景, 总结盾构下穿既有厂房群桩的磨桩施工关键技术, 以期类似工程提供借鉴。

收稿日期: 2025-01-25

基金项目: 上海隧道工程有限公司科研项目(2025-SK-13)——

软土地区土压平衡盾构磨桩施工关键技术研究

作者简介: 杨庆伟(1988—), 男, 学士, 工程师, 从事城市轨道交通施工。

1 工程概况

1.1 工程位置及区间情况

13号线东延伸线线路全长约4.52 km,全线采用地下敷设方式,共设地下车站2座,分别为高科中路站和丹桂路站,设张江路站新建工作井和中间风井各一座(见图1),其中涉及障碍物桩的为中间风井—张江路站新建工作井区间,盾构机型号为SMSC73/74,刀盘直径 $\phi 6\ 830\text{ mm}$ 。



图1 13号线东延工程总平面图

张江路站新建工作井—中间风井区间线路以直线出张江路站后,沿中科路向北偏东前行,下穿团结河、浦东新区粮食储备仓库和码头、川杨河后,区间继续向北偏西方向推进,下穿上海明彤材料有限公司厂房及小张家浜,以缓和曲线进入王家浜中间风井。上行线设2段平曲线,下行线设3段平曲线,最小平曲线半径为349.840 m。

1.2 既有建筑及桩基情况

本区间沿线分布有多处既有厂房建筑,主要为振华港机厂房(厂房1、厂房2及厂房3),均为早期工业建筑,地面结构以单层或局部排架形式为主,基础形式复杂,历史资料不完整。经资料追溯、现场探挖及物探复核,确认厂房范围内普遍存在既有桩基础。已查明厂房3局部留存施工图,其基础采用预制钢筋混凝土方桩,桩型为300 mm $\times$ 300 mm,单桩桩长约25 m,三桩共用一承台,桩心间距约1.0 m,承台尺寸约1.6 m $\times$ 1.6 m,承台中心间距约6.0 m。厂房1、厂房2虽无完整施工图资料,但通过现场拔桩、探挖揭露及施工反馈,证实其桩型、桩长及布置形式与厂房3基本一致,呈群桩分布,为300 mm $\times$ 300 mm和400 mm $\times$ 400 mm方桩,桩长约25 m,局部存在桩位偏差及桩接头进入隧道断面范围的情况。总体来看,该区域既有建筑年代久远,桩基分布密集,部分桩位与区间

隧道结构发生交叠,对盾构施工安全及地层稳定性影响显著,为区间施工的主要风险源之一。

1.3 工程难点

本工程主要难点包括:

- (1)既有桩基数量多、分布密集,直接侵入盾构开挖轮廓。
- (2)基础资料不完整,桩基判识及风险评估难度大。
- (3)区间地层以淤泥质黏土、粉质黏土为主,对施工扰动敏感。
- (4)桩基上方地下管线密集,改排条件受限。
- (5)工程位于建成区,沉降控制标准严格(地表沉降 $\leq 10\text{ mm}$,既有建筑沉降 $\leq 5\text{ mm}$)。

经综合比选绕避、拔桩等方案后,最终确定采用盾构磨桩施工方案。

2 盾构磨桩施工关键技术

2.1 既有桩基判识与风险分级

采用“历史资料核查+物探复核+现场开挖确认”多源判识方法,系统识别桩基位置、数量及侵入程度。根据桩体与盾构轮廓的空间关系,分为直接侵入型和临界接触型两种情况。直接侵入型的桩基侵入断面,位于中间部位,30根;临界接触型的桩基与轮廓间距 $\leq 0.2\text{ m}$,48根。

盾构穿越断面共识别桩基78根,已拔除10根,剩余须磨除68根(上行线35根、下行线33根)。桩基与区间的平面和剖面位置关系如图2、图3所示。



图2 桩基与区间平面位置关系图

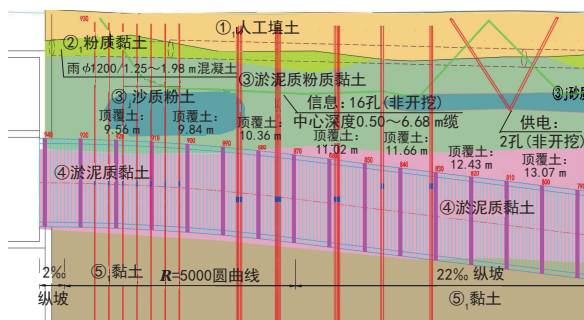


图3 桩基与区间剖面位置关系图

根据探测情况可知,桩基长度约25 m,发现的桩基位于地下80 cm左右,为300 mm $\times$ 300 mm方桩,2

桩承台,钢筋采用4角 $\phi 18$ 螺纹钢,4周 $\phi 16$ 螺纹钢,箍筋 $\phi 8$,混凝土实测强度48 MPa。

根据现场拔桩情况,发现上半部单节桩12 m长,推断出整根桩由12 m和13 m桩基组成25 m桩,方桩的钢帽接头钢板为5 mm钢板,钢帽长度18 cm,4个角采用角钢连接钢筋,桩与桩端头采用叠加焊的方式连接,推断钢帽接口在隧道断面内。桩体配筋情况如图4所示。

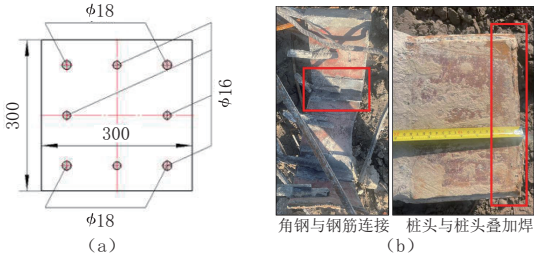


图4 桩体配筋图(单位:mm)

2.2 磨桩施工前工程条件构建

针对直接侵入型及临界接触型桩基区域,在磨桩施工前实施工程条件构建措施:

(1)在桩顶浇筑混凝土承台,承台范围覆盖桩基外50 cm,以增强桩周约束(见图5)。



图5 承台加固现场图

(2)在管线影响区域采用MJS(高压旋喷)工法对桩周土体进行加固^[4],加固深度为地表以下3 m至隧道底板以下3 m,加固桩径 $\phi 2\ 400$ mm(见图6)。

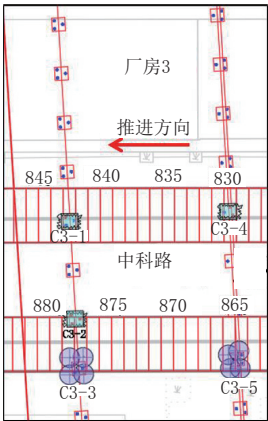


图6 MJS工法加固图

(3)对邻近构筑物及管线实施专项保护措施。

通过上述措施,为磨桩施工创造稳定的地层条件。下面对加固效果进行分析。

桩顶混凝土承台检测混凝土设计强度等级为C30,浇筑完成28 d后采用回弹法进行抗压强度检测,检测结果显示混凝土抗压强度平均值37.6 MPa,最小值35.1 MPa,均高于设计强度标准(见图7)。承台与原桩基桩顶结合面密实,无空鼓、裂缝,边缘无剥落,整体成型质量良好,实现了对桩基顶部的有效包裹和周向约束,达到了增强桩周土体协同性、防止磨桩时桩基偏斜碎裂的设计目标。



图7 承台加固强度监测

对MJS高压旋喷加固体进行钻芯取样检测,加固体水泥土芯样连续、完整,无松散夹层,芯样天然抗压强度平均值2.8 MPa,隧道开挖面附近核心加固区芯样强度为3.2~3.5 MPa,远高于原淤泥质黏土地层0.3~0.5 MPa的天然强度,地层整体性和承载能力显著提升(见图8)。



图8 MJS工法加固取芯

2.3 盾构设备及刀具系统适应性配置

针对既有桩基混凝土强度高、钢筋密集的特点,对盾构刀盘及刀具系统进行优化配置。在原配置基础上,将4把撕裂刀更换为2把强化滚刀,将47把先行刀更换为重型撕裂刀,并增配耐磨保径滚刀,同时对螺旋输送机驱动扭矩及排渣参数进行优化(见图9)。优化后刀盘切削能力显著提升,能够满足钢筋混凝土磨削工况需求^[5]。

2.4 磨桩施工参数控制

磨桩区段施工遵循“高转速、低贯入、分级推进”

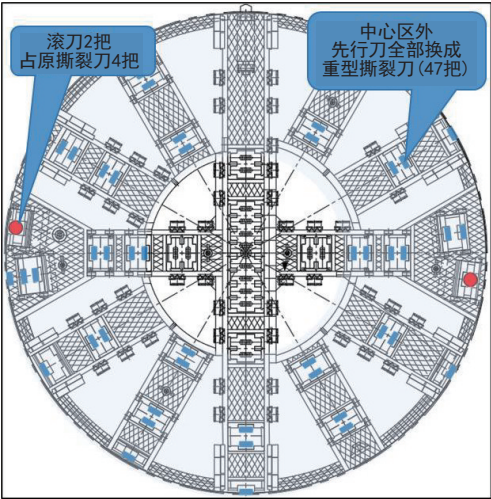


图9 盾构刀盘改制图

的控制原则^[5],推进速度控制在5~10 mm/min,刀盘转速约1.5 r/min。施工过程中重点监控刀盘扭矩、土压、排渣量及盾构姿态变化。当出现扭矩异常升高或排渣异常时,及时降低推进速度,加强同步注浆,必要时暂停推进,以确保施工安全。

2.5 施工监测与风险控制

磨桩施工期间实施全过程信息化监测,对地表沉降、构筑物变形及地下管线位移进行动态跟踪。桩基周边增设测斜管,实时监测土体水平位移(见图10),并将盾构施工参数与监测数据进行联动分析(见图11)。当监测值接近预警阈值(地表沉降≥8 mm、构筑物沉降≥4 mm)时,立即调整施工参数或暂停施工,确保风险处于可控状态。

3 工程效果分析

磨桩施工期间地表、构筑物及盾构姿态的良好控制效果,与前期承台浇筑、MJS加固等工程条件构建措施的有效实施直接相关。

桩顶承台的约束作用使磨桩过程中桩基呈“整体切削”状态,避免了钢筋混凝土桩体无约束断裂成

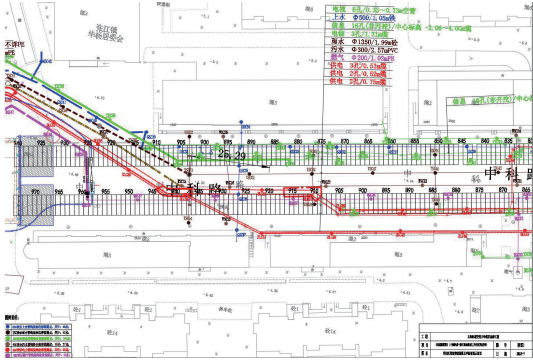


图10 监测点布置示意图

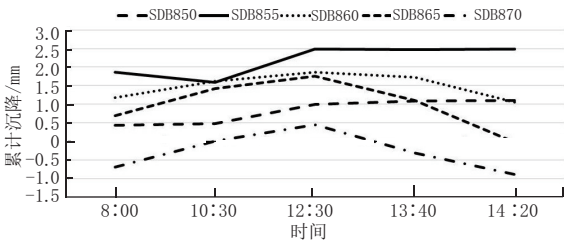


图11 典型沉降曲线图

块无序进入盾构开挖仓,有效减少了刀盘卡滞、扭矩突变的风险,保障了“高转速、低贯入”施工参数的稳定执行,全程未出现刀具异常磨损及盾构卡机事故。

MJS加固形成的 $\phi 2\ 400\ \text{mm}$ 水泥土加固圈,将磨桩施工的地层扰动范围严格控制在加固区内,有效阻隔了扰动向周边地层及地下管线传递,为桩基形成有利的后靠,使得磨桩过程中地层竖向及水平位移均处于可控范围,即便出现局部瞬时值,也能通过微调施工参数快速收敛,未形成持续性累积沉降。

施工过程中,地表最大沉降为17.42 mm(局部瞬时值),施工参数及时调整后沉降速率迅速收敛达到7.8 mm,未形成持续性累积沉降。既有建筑最大沉降为-3.7 mm,地下管线变形均在允许范围内,未发生结构性损伤(见图12)。盾构姿态偏差控制在 $\pm 30\ \text{mm}$ 以内(见图13),刀具磨损可控,未出现卡机事故,验证了所采用技术措施的有效性。

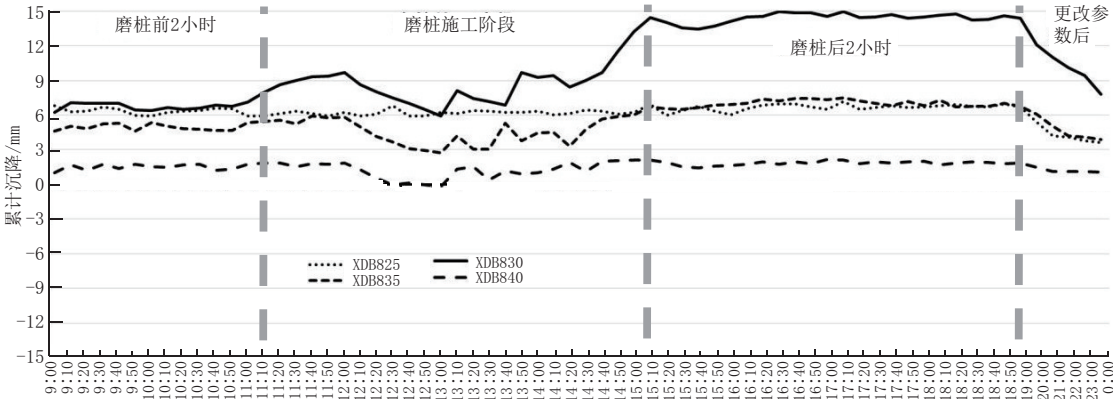


图12 磨桩前后沉降对比图

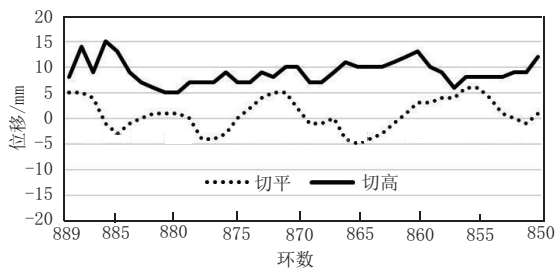


图 13 盾构姿态变化曲线图

相较于正常掘进阶段,本工程磨桩施工阶段推进速度大幅降至 0~10 mm/min,刀盘转速适度提升至 1.5 r/min 以强化钢筋混凝土桩基的切削效果,切桩瞬间刀盘扭矩骤增并突破 1 000 kN/m。施工中通过同步优化总推力、土压力等核心掘进参数,同时维持稳定的同步注浆量,既有效克服了磨桩施工的掘进阻力,又将地层扰动严格控制在允许范围内,最终稳定至 7.8 mm,满足地表沉降 ≤ 10 mm 的控制标准,保障了磨桩施工的安全有序开展。

对刀具磨损进行统计:撕裂刀总计 63 把,其中合金轻微磨损 39 把(见图 14),无磨损 24 把,无严重磨损;刮刀总计 50 把,其中合金轻微磨损 5 把、合金磨损严重 9 把(见图 15),无磨损 36 把;滚刀总计 2 把,全部无磨损。



图 14 撕裂刀轻微磨损



图 15 刮刀合金严重磨损

本次盾构切削桩基施工的刀具磨损实测数据表明:撕裂刀为磨桩工况下的主要磨损部件,整体呈现出刀盘边缘区域磨损严重、中心区域磨损相对轻微的非均匀分布特征;刮刀仅在边缘区域出现少量严重磨损;滚刀作为保径刀切削较少,基本无磨损。通过对不同类型刀具的磨损状态统计与实物分析,明确了磨桩施工对刀具的损伤规律,验证了现有刀具配置的适配性,为后续类似复合地层盾构切削桩基

工程的刀具选型、掘进参数优化及磨损防控提供了重要的实测依据与工程参考。

4 结 论

(1)在既有桩基资料不完整条件下,采用多源判识与风险分级方法可有效识别并降低施工风险。

(2)磨桩前工程条件构建、刀具系统适应性配置及施工参数精细化控制是保障盾构磨桩施工安全的关键。

(3)磨桩工况下,整体刀具磨损状态可控,为后续同类工程的刀具选型与配置优化提供了实测依据。

(4)通过精细化管控,盾构姿态偏差控制在 ± 30 mm 内,既有建筑最大沉降仅 -3.7 mm,周边环境变形满足规范要求,未发生安全事故,为同类盾构磨桩工程提供了可靠的技术参考与实践依据。

该技术体系在 13 号线东延工程中成功应用,实现了 68 根既有桩基的安全磨除,为城市轨道交通盾构下穿既有桩基工程提供了成熟经验。

参考文献:

[1] 王哲,吴淑伟,姚王晶,等.盾构穿越既有桥梁桩基磨桩技术的研究[J].岩土工程学报,2020,42(1):117-125.

[2] 薛豪,马学军,陈蕾,等.全盘滚刀盾构切削钢筋混凝土桩现场试验研究[J].水利与建筑工程学报,2024,22(3):127-135.

[3] 苏明,尹志清.盾构下穿高架桥桩基托换和切削施工技术[J].城市轨道交通研究,2020(9):175-179.

[4] 刘洋,赵志刚,孙磊.盾构下穿铁路及同步切削既有桩基施工技术[J].工程建设,2024(8):112-120.

[5] 王磊,张俊,陈涛,等.盾构近接施工对摩擦桩基承载性能影响机制及控制技术研究[J].岩土工程学报,2023,45(增刊2):35-42.

[6] 李亮,张宏,吴迪.软土地区盾构磨桩施工数值模拟与现场验证[J].隧道建设(中英文),2022,42(5):821-829.

[7] 陈峰,刘勇,王丽.盾构滚刀切削钢筋混凝土桩磨损机理试验研究[J].施工技术,2023,52(11):68-73.

[8] 赵军,黄伟,陈明.广州地铁盾构下穿既有工业厂房桩基磨桩施工技术[J].城市轨道交通研究,2021,24(8):165-169.

[9] 孙健,周敏,吴刚.既有桩基预处理与盾构磨桩协同施工控制技术[J].岩土工程技术,2024,38(2):132-137.

[10] 朱凯,田瑞,张莉.盾构磨桩施工动态风险预警系统研发与应用[J].中国铁道科学,2022,43(3):45-52.

[11] 王强,刘辉,马超.大直径盾构磨除密集桩基施工参数优化研究[J].地下空间与工程学报,2023,19(增刊1):368-375.

[12] 陈晓,林波,张宇.冻土地区盾构下穿既有桩基磨桩施工技术探讨[J].铁道标准设计,2021,65(7):108-113.

[13] 高磊,吴涛,李明.盾构磨桩施工对周边土体扰动特性及控制措施[J].岩土力学,2023,44(增刊2):289-296.

[14] 周洋,赵亮,陈丽.盾构姿态控制与磨桩施工参数耦合优化技术[J].施工技术,2022,51(18):59-63.

[15] 吴俊,沈浩,张丽.既有桩基与盾构隧道空间冲突优化设计及磨桩实践[J].城市轨道交通研究,2024,27(4):187-191.