

盾构机穿越 SMW 工法桩遗留 H 型钢处置技术综合研究

胡浩睿

中铁十六局集团有限公司 苏州 215000

DOI:

【摘要】 结合苏州轨道交通 4 号线春申湖路站到阳澄湖路站区间对盾构机掘进过程中,遇到遗留未知 H 型钢的应急处置工程实例,介绍了相应的障碍物处理关键技术方案与具体实施措施,同时如何继续掘进完成后续盾构区间,该案例的应急处置技术可为后续类似盾构掘进发生突发情应急处置提供成功经验参考与借鉴。

【关键词】 地铁;隧道;SMW 工法桩;盾构机;刀盘卡死;磁梯度测试;切割 H 型钢;螺旋输送机卡死;刀具损伤;应急处置

引言

在城市地铁盾构施工过程中,遇到地下障碍物是经常发生的;常规处理思路在盾构始发前,对盾构区间范围障碍物(如废弃建筑物的基础灌注桩、钻杆、钢管、H 型钢)等进行清障;或者对区间的线路进行调线、调坡确保隧道线路避开障碍物。苏州轨道交通 4 号线春申湖路站~阳澄湖路站区间(建设站名)右线范围里程为 DK4+938.338 处,因 5 年前施工活力岛地下停车库时,在电梯井位置的 $\Phi 850$ SMW 工法桩围护 H 型钢($700 \times 300 \times 13 \times 24$)在拔除时断裂,侵入隧道范围。在前期物探及相关资料探寻过程中,未发现此障碍物,导致盾构机掘进过程中发生刀盘卡死及刀具损伤。本文阐述了从事故发生、事故应急处置、磁梯度测试确定型钢位置、H 型钢清障方案比选、盾构机掘进穿越 H 型钢,盾构掘进完成后续隧道的艰辛过程,为后续类似工程提供了有益参考。

1 工程地质及水文地质状况

本区域为广阔的冲湖积平原,水系发育,地势平坦,系典型的水网化平原。区间地面标高一般在 1.79~5.64m 之间,地势较平坦,局部桥稍有起伏。

盾构区间所处区域各土层依次为:①1 淤泥层、①2 杂填土层、①3 素填土层、②1 粘土层、②2 淤泥质粉质粘土层、③1 粘土层、③2 粉质粘土层、③3 粉土、④1 粉质粘土。

春申湖路站~阳澄湖路站盾构区间从春申湖路站南端头井始发后从文灵路路中转至文灵路东侧穿行,绕避文灵路隧道,下穿华元路后,在活力岛下穿越,本区间线路全长约 1279.058m(1066 环)。

2 盾构掘进遇到不明障碍物情况及周边环境

2.1 盾构掘进遇到不明障碍物发生刀盘卡死现象及盾构参数对比

盾构区间右线采用一台直径 6340 小松土压平衡盾构机施工。掘进至第 635 环(里程 DK4+938.338)的 30 厘米时,盾构机出现巨大的总推力和扭矩波动,扭矩最大时达到 4000KN·M 以上,螺旋机油压也有很大波动,刀盘出现卡死现象;盾构掘进人员立即停止掘进,检查螺旋机出土情况时发现,在螺旋机出土口附近有类似 24mm 厚钢板异物,根据当时现场的实际情况,立即停机并要求监测单位加强隧道内和地面的监测,同时将情况汇报至有关部门。

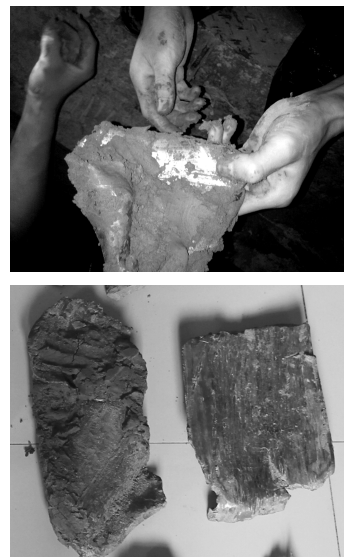


图 1 螺旋机出土口发现钢板

相同地质条件下,盾构机掘进至 635 环遇到障碍物前后的掘进参数对比如下表所示。

表 1 盾构遇到障碍物前后掘进参数对比

遇到障碍物前参数		遇到障碍物后参数	
总推力	1000~1300T	总推力	1100~3000T
刀盘转速	0.8r/min	刀盘转速	0~0.8r/min
刀盘扭矩	900~1300KN·M	刀盘扭矩	1100~4200KN·M
掘进速度	40~60mm/min	掘进速度	0~5mm/min
螺旋机转速	6~7r/min	螺旋机转速	0~1.5r/min
螺旋机油压	8~10MPa	螺旋机油压	15~25MPa
顶部土仓压力	0.16~0.18MPa	顶部土仓压力	0.16~0.18MPa
泡沫注入量	250L/min,原液比例 35%。	泡沫注入量	250L/min,原液比例 60%。
同步注浆量	3.75 m ³	同步注浆量	3.75 m ³
同步注浆压力	0.1~0.3MPa	同步注浆压力	0.2~0.3MPa

2.2 盾构机停机位置周边情况及地质环境

经查询原活力岛及文灵路隧道设计和施工单位对此地段施工的现场情况,及勘探单位的探测结果,目前盾构机切削面已经穿过活力岛南侧无名河流,

盾构停机处并无桩体记录,但距盾构切削面前方 6m 处可能仍存在未拔除的型钢,影响盾构正常掘进。

盾构机停机位置周边情况及地质环境见图 2、图 3。



图 2 盾构机停止位置环境图

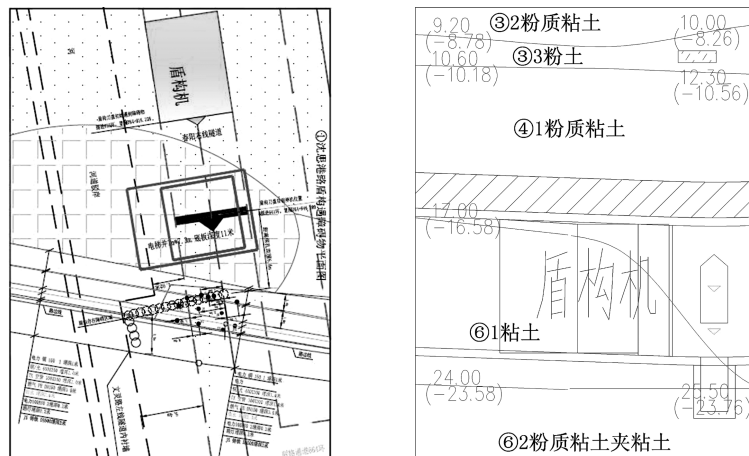


图 3 盾构机遇障碍物平面位置及纵断面位置图

3 发生事故后对可能发生的灾害的应急处置措施

盾构机停机处穿越地层为下面一半⑥1粘土层,上面一半为④1粉质粘土层,刀盘停机里程位于文灵路隧道地下室电梯间正下方,盾构机尾部位于无名河的岸边。隧道顶部距河底深度15.4米,河底距地面约4.5米,地面标高+3.5米,盾构顶标高-16.5米。由于盾构机所处位置的特殊性和危险性,长时间的停机会引起以下灾害:1)管片未达到拼装条件,油缸行程较长,导致成型隧道的浮动、管片错位;2)土仓压力异常导致地下室、地面管线发生变形量超限;3)螺旋输送机发生喷涌,导致河水倒灌,地面大面积塌陷;4)盾尾受到变形错台影响,停机时间长,容易发生盾尾渗漏。

根据现场的实际情况制定了以下应急处置措施:1)立即启动盾构停机土仓保压应急预案,对土仓内采取注入膨润土浆液的保压措施,机头部位利用超前注浆孔加注聚氨酯,防止土仓压力欠压;2)关闭螺旋输送机前后闸门,向土仓内大量注入高分子聚合材料,防止螺旋输送机喷涌;3)对已拼装完成的隧道(盾尾后10环)内立即采用双液浆进行二次注浆,稳固成型隧道,为进一步加固成型隧道,对隧道内进行型钢管片串拉;4)盾尾附近管片的注浆孔位置加

注聚氨酯,形成环箍,起到止水作用;5)在螺旋机观察孔增加应急阀门,便于检查螺旋机情况;6)加密地面建筑物及管线的监测频率,发现异常及时采取应对措施。

4 磁梯度测试确定刀盘附近是否存在其他H型钢遗留

地球的基本磁场是一个位于地球中心并与地球自转轴斜交的磁偶极子的磁场,在整个地球表面,都有磁场分布,而且磁场强度、磁倾角、偏角随地区的不同而变化,但对于某一工程,研究的是局部小范围的磁场,我们可以把地磁场在该区域看作均匀分布的。一般在无铁磁性物质的土层中,其磁场强度就是地磁场,即背景场。自然界各种物体都受地磁场的磁化作用,在其周围产生新的磁场,对铁磁性物质而言,由于其自身的磁化率非常高,它相对于其他物质而言所表现出的磁性要强得多,从而产生强磁异常。通过在型钢附近钻孔中测量型钢的磁场的磁梯度的分布规律,确定型钢的存在及大致位置。

未确定型钢的存在及大致位置,委托专业地勘物探单位对盾构刀盘附近进行磁场的磁梯度测试。场地共施工探测孔13个,对其全部进行了测试,测试结果见附图。

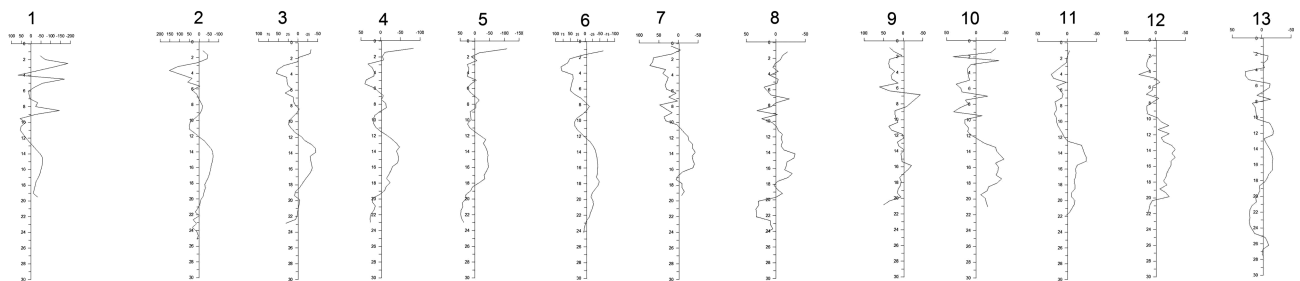


图4 磁梯度探测感应图

本测试结果将浅部的干扰体(局部的铁磁性物体)异常进行了剔除,深度修正至地面。由测试结果显示,测试孔深度大于23~24m的测试孔(2、3、4、5、6、8、13),在地面19m以下,没有明显的大的磁梯度异常显示。测试孔深度在20m左右的孔(1、7、9、10、11、12),测试结果难以确定19m以下是否存在大的磁性体异常。1号孔、2号孔3.5m左右,7号孔

6.2m、9号孔7~8m处,存在明显磁梯度异常,推断对深部不会有大的影响。(图中作为干扰处理、不显示)

结论:依据现有的测试结果推断,在测试孔周边1~1.5m范围内地面19m以下无大型的型钢存在(基于较深的测试孔推断)。

5 H 型钢清障方案比选

表 3 H 型钢障碍物处理方案比选

方案名称	方案要点	主要优点	主要缺点
明挖清障法	对既有路面进行交通疏解后,进行管线改迁,明挖法开挖竖井,深度 17m,竖井围护采用地下连续墙施工。	1. 施工风险小,可以排除其他障碍物,钻杆、锚索,钻孔灌注桩等。 2. 可以彻底清除障碍物。	1. 障碍物处地面主要有燃气、电力、自来水等管线,电力改迁周期长,费用大,需要交通疏解。地下连续墙施工工程造价大。
盾构开仓清障法	采用气压或者常规方法对刀盘前方土体进行加固(膨润土砂浆回填土仓),等刀盘前方土体达到强度后,开仓对障碍物进行清理。	1. 可以直接对刀盘前方障碍物进行清理。 2. 不需要管线改迁、交通疏解,对路面交通没有影响。	盾构开仓安全隐患大,土仓里面容易碰到有毒、有害气体,填仓加固清理完障碍物后,盾构机脱困困难。
盾构机直接掘进	不需要对障碍物处理,通过优化盾构掘进参数,配合千斤顶对螺旋输送机使盾构机通过障碍物。	不需要交通疏解、管线改迁,不需要打开仓门,人员安全作业有保障,工程造价少,节约工期。	障碍物破碎块,容易卡住螺旋输送机口,盾构机产生扭矩很大,盾构机操作难度大。

综合上述分析,盾构过障碍物阶段采用优化盾构掘进参数直接通过障碍物区。

6 盾构穿越障碍物掘进施工措施

(1)盾构穿越障碍物掘进参数

为保证盾构平稳穿越障碍物,避免受到二次伤害,严格要求按照以下参数进行掘进,总推力 $\leq 1500\text{T}$;刀盘转速 $0.6\sim 0.8\text{r/min}$;刀盘扭矩 $\leq 70\%$;掘进速度 $\leq 10\text{mm/min}$;螺旋机转速 1r/min ,根据土压平稳调整;螺旋机油压 $\leq 10\text{MPa}$;顶部土仓压力 $0.16\sim 0.18\text{MPa}$;泡沫注入量 250L/min ,发泡率 12% ,原液比例 60% ;同步注浆量 $\geq 3.75\text{m}^3/\text{环}$;同步注浆压力 $\geq 0.3\text{MPa}$ 。

(2)螺旋机卡死后的解决方法

如图 5 所示,螺旋机在工作过程中多次被型钢卡死,正反转无法恢复,螺旋机自带的伸缩油缸无法使螺旋机伸缩,经讨论研究,决定在螺旋机伸缩油缸处上下再增加 2 个 100T 的液压顶,辅助螺旋机进行伸缩。每根附加千斤顶对应的螺旋机伸缩套筒两侧各错位焊接两块 2cm 厚的撑板,以弥补附加千斤顶行程的不足,每个撑板后面焊接两个肋板,保证提供足够的支撑力。

然后,在正反转螺旋机的同时伸缩螺旋机,使机内异物发生位移,从而恢复螺旋机转动,并带出异物。



图 5 外加千斤顶辅助螺旋机伸缩示意

2.2 障碍物及盾构刀具损伤情况分析

(1)障碍物分析

盾构机在通过障碍物时,螺旋机经常堵塞,螺旋机堵塞后,拆除出土口进行清理,发现障碍物中包含大量撕碎的型钢及磨损脱落的刀具,如图 2 所示。经分析,该障碍物确定为活力岛周边建筑施工时打入的工法桩。工程结束后遗留未拔除,并未作标记说明。

(2)刀具损伤情况分析

原刀盘共配置刮刀 78 把,先行刀 78 把,周边刮刀 12 把,双刃刮刀 4 把,中心刀 1 把,共计 173 把刀具。刀盘刀具分布见图 3。

盾构机切削通过障碍物时推力、扭矩明显增大,通过障碍物后推力扭矩比较切削障碍物前明显增大。再观察分析脱落的刀具,其刀头为耐磨合金,已全部脱落,整把刀具从用以固定的 6 颗 8.8 级高强螺栓处断裂脱落。初步判定盾构刀具整体破坏严重。

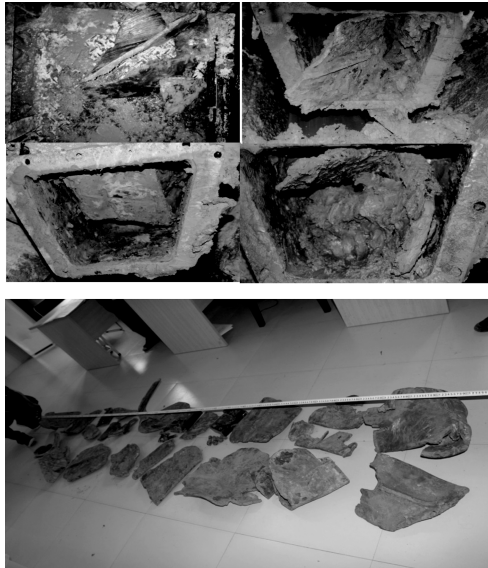


图2 从螺旋机出土口处取出的障碍物

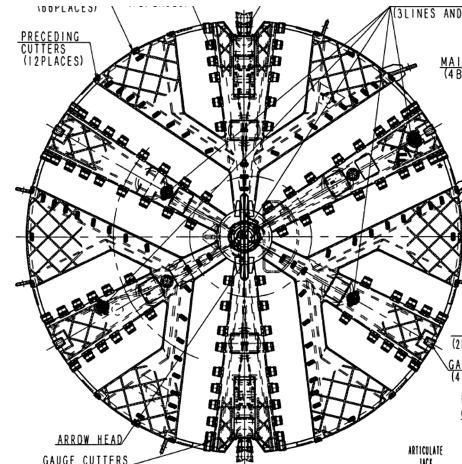


图3 盾构机刀盘刀具分布



图4 磨损脱落的刀具

2.3 盾构机刀具损坏后对后续掘进的影响评估

盾构机刀具大量损坏后,对后续掘进造成的影响主要有:盾构机开挖效率降低,土体切削量减少,导致掘进速度缓慢;部分土体通过挤压方式才能进入土仓,导致推力增大;掘进时间长,刀盘温度高,结

泥饼风险增大,且易对刀盘主轴承密封造成损害;盾构掘进过程中,开挖效率低,姿态调整困难;盾构在穿越后续桩区或到达加固区时,刀具很难破碎土体,导致掘进缓慢;且挤压进入土仓的土体尺寸偏大,导致螺旋机堵塞;掘进中刀盘剩余刀具磨损加速,易加快刀盘损坏。

2.4 掘进过程中可能遇到的问题及处理措施

表2 穿越障碍物可能遇到的问题及处理措施

可能遇到的问题	处理措施
刀盘以 0.8r/min 的转速运转过程中,扭矩发生突变或持续增大导致刀盘停转	①及时停止推进,观察刀盘扭矩的变化,并注入泡沫剂降低刀盘扭矩。如果扭矩过大导致刀盘停止转动,应变换刀盘转向,先采用低转速 0.2r/min 启动刀盘,待刀盘扭矩稳定后再加大刀盘转速至 0.8r/min; ②采用脱困扭矩启动刀盘,严防机身侧滚超限; ③盾构机刀盘在脱困扭矩下仍然无法启动,则需要采用冷冻法开仓清理异物,冻结作业区域内的土体后,开仓取出异物。

续表

可能遇到的问题	处理措施
推力稳定在 1300~1500T 情况下, 盾构机掘进速度变慢或无速度	①将刀盘扭矩稳定在 35%~50%之间, 逐渐加大推力, 如推力增加至 1800T, 掘进速度仍然为 0, 立刻停机上报。
螺旋机堵塞或卡死	①正反转螺旋机的同时伸缩螺旋机, 使螺旋机内异物发生位移, 恢复螺旋机转动; ②螺旋机无法伸缩时, 在螺旋机伸缩油缸旁增加 2 个 100T 的液压千斤顶辅助螺旋机进行伸缩; ③增设辅助液压千斤顶后, 仍然无法伸缩螺旋机时, 通过声音和热量集中判断螺旋机卡死位置, 拆除螺旋机上预留的观察口, 拆除前先注入聚氨酯或者高分子聚合物达到止水效果, 然后在需要拆除的盖板上焊接第二道安全闸门, 防止在作业过程中发生喷涌。
刀盘转动过程中土仓内有异响, 或出土过程中螺旋机内有异响	①土仓有异响时及时停止推进, 观察刀盘扭矩变化, 若变化较大, 则停机上报; ②螺旋机出土过程中有异响, 应停止螺旋机, 检查其机械部分是否有松动, 排除机械故障后反复正反转螺旋机。
刀盘温度和液压油温度超过 60℃	①往刀盘前加入适量清水降低刀盘温度; ②液压油油温过高时, 及时停机冷却并更换循环水箱内的冷却水, 冷却效果不明显时可在冷却水中加入冰块。
地面变形超标	①在通过障碍物的区域地面增设沉降监控点, 并安排专人 24 小时值班, 掘进过程中每 1 小时监测一次并上报数据; ②根据掘进速度调整注浆速度, 每环注浆量不得小于 3.75 方, 并在每次掘进完成后注入膨润土, 确保注浆管路通畅。

7 实施效果

通过上述相关措施盾构机顺利通过障碍物区, 过障碍物段, 为确保障碍物穿越安全, 盾构机穿越前进行了详细的监测方案, 监测项目包括盾构穿越范围内的地面面以及地面管线等, 根据监测结果及时对盾构掘进速度、土仓压力、注浆压力等进行修正, 通过监测数据反映盾构通过障碍物地面最大沉降 3mm。过障碍物段管片拼装质量良好, 没有渗漏水现象, 管片错台环向 5mm, 纵向 7mm, 均满足成型隧道规范及设计要求。

8 结论与建议:

本文介绍了苏州地铁 4 号线春申湖路站~阳澄湖路站区间盾构穿越障碍物的技术处理及工程措施, 得出以下几点结论:

(1)应当在盾构施工前对区间线路范围内的管线、障碍等必须进行详细的调查, 必要时走访档案馆, 查阅线路范围内主要建筑物的档案, 对区间范围内的障碍进行清障或调线, 以便后续盾构顺利掘进。

(2)盾构掘进施工过程中如果有障碍物侵入, 应结合施工周边环境并综合考虑工程造价、工期、安全、质量等方面进行多技术方案比选, 在确保安全、质量受控的条件下采用合适的方法, 确保盾构掘进顺利通过。

(3)在盾构机的选型过程中可以结合周边地质、水文地质条件, 对不明确的障碍物保守估计, 对盾构机的刀盘做耐磨锡补焊, 盾构机刀盘选择复合盾构刀盘, 增加部分贝壳刀, 配备部分单刃滚刀, 同时对盾构机的刀盘、刀具系统进行改造, 使其具备不需要打开仓门就可以更换刀具的能力。

(4)盾构穿越城市建构筑物桩基施工是一项复杂的系统工程, 不仅仅由技术条件直接决定, 同时需要严格、有效的项目组织管理水平, 对管理人员及技术人员有较高的综合素质、相关各方配合与协调顺畅要求。在具备施工方案经过一系列严密的研讨、制定及论证过程并经相关专家评审通过后实施等基本条件的前提下, 还需加强现场认真、细致的施工控制与操作方可实现既定目标。

【参考文献】

- [1]郑世兴. 盾构法隧道穿越在用桥梁桩基础施工技术[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(z2): 1619—1623.
- [2]李幸发. 广州地铁广佛线盾构隧道穿越桥梁桩基施工技术[J]. 隧道建设, 2013, 33(9): 791—800.
- [3]王安庆. 盾构隧道穿越人防隧道施工技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2012, (1).
- [4]徐前卫, 朱合华. 地铁盾构隧道穿越桥梁下方群桩基础的托换与除桩技术研究[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(7): 1217—1226.
- [5]杨晓强, 温克兵. 盾构隧道穿越历史文物的施工技术[C]. //2010 城市轨道交通关键技术论坛暨第二十届地铁学术交流会论文集. 2010: 192—194.
- [6]吴波, 刘维宁, 索晓明 等. 地铁施工方案对邻近桥基的沉降影响优化分析[J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2(3): 434—437.
- [7]邵翔宇. 地铁隧道穿越市政桥梁动态主动保护施工技术[J]. 建筑技术, 2012, 43(10): 907—912.