



盾构机下穿某公共建筑物施工技术的研究

陈凯

成都轨道交通集团有限公司

摘要: 随着城市地铁建设的快速发展, 盾构技术在地铁隧道施工中得到了广泛应用。然而, 当盾构需要穿越下穿建筑物时, 会面临许多挑战和风险。本文对盾构穿越下穿某公共建筑物的施工技术进行了分析, 探讨了相关技术和管理方法, 从危险源辨识、盾构穿越加固措施、盾构穿越掘进控制措施、掘进参数优化措施等方面进行优化, 确保盾构机能顺利穿越某公共建筑物, 为以后盾构穿越公共建筑物提供了可行的施工方案。

关键词: 盾构技术, 下穿建筑物, 沉降控制, 现场管理, 地铁隧道

随着城市地铁建设的快速发展, 盾构技术在地铁隧道施工中得到了广泛应用。然而, 当盾构需要穿越下穿建筑物时, 会面临许多挑战和风险。下穿建筑物可能是公共建筑物、道路、河流或其他地下设施, 因此需要采取一系列的技术和管理方法来确保施工的安全和顺利进行。首先, 盾构工程在穿越下穿建筑物时需要进行详细的勘察和设计, 这包括对下穿建筑物的结构、地质条件、地下水位等进行全面的调查和分析。此外通过建立合理的地质模型和结构模型, 可以对施工过程中可能出现的问题进行预测和评估, 从而制定出相应的施工方案(应宏伟等, 2022)。盾构施工需要采用一系列的技术手段来应对下穿建筑物的挑战, 例如, 在施工过程中可以采用先进的盾构机和掘进方法, 以减小对下穿建筑物的影响(李棋等, 2023), 可以结合使用地下注浆、地下冻结等技术(李增理等, 2017), 增强下穿建筑物的支护能力, 防止地层沉降和结构损坏。盾构施工还需要严格的管理和监控措施, 施

Shuangqing Academic Publishing House Limited All rights reserved.

Article history: Available online November 16, 2023

To cite this paper: 陈凯 (2023). 盾构机下穿某公共建筑物施工技术的研究. 雙清學術預印本, 第3卷, 第1期, 90-100.

Doi: <https://doi.org/10.55375/preprints.2023.3.7>

[提醒] 本文为预印本文章, 未经过编辑的审核, 同时也未经过同行评议流程。因此, 本文的研究过程、结论、数据的质量等无法提供学术意义上的保证, 甚至可能存在明显的偏颇、夸大、或者误导。如您需要引用本文的数据、观点、结论等任何信息, 请谨慎参考。

工过程中，应建立完善的安全管理制度，确保施工人员的安全和施工质量的可控性，另外应加强对施工现场的监测和检测，及时发现和解决施工过程中可能出现的问题，保证施工的顺利进行。

1 工程概况

1.1 工程基础资料

成都地铁某线全长约 7.7km，为双孔圆形隧道，单孔隧道外径 8.6m，采用盾构法施工，区间隧道拱顶埋深 22.4~40.1m，最大坡度 28%，最小平面曲线半径 $R=420\text{m}$ ，工程拟采用盾构隧道管片内径 7500mm，外径 8300mm，管片厚度 400mm，采用标准环管片，每环 7 块模式拼装。其中区间左线隧道下穿某公共建筑物，该公共建筑物始建于 20 世纪 70 年代，下穿段隧顶埋深约 12.9m，距离该公共建筑物基础底部约 9.8m，盾构下穿影响范围内共涉及 9 个杯型基础以及 15 个新建独立基础，杯型基础为 $5.4\text{m}\times 4\text{m}\times 2.75\text{m}$ 的三台阶扩大基础；新建独立基础按结构尺寸分为 5 类。

1.2 水文地质资料

根据相关地勘资料，该公共建筑物位置地层情况自上而下分别为<1-2>杂填土、<2-9-2>稍密卵石土、<2-9-3>中密卵石土、<2-9-4>密实卵石土、<5-1-3>中风化泥岩。基础持力层为 1.6m 厚的<2-9-2>稍密卵石土层，承载力特征值 $f_{ak}=300\text{Kpa}$ ，岩土施工工程分级为 III 级硬土。区间下穿该公共建筑物段洞身位于密实卵石土与中风化泥岩层岩土分界面，场区主要位于平原区水文地质单元，其第四系松散堆积层分布广、厚度大。根据成都地区区域水文地质资料和已建工程水文地质勘察资料，按地下水含水介质岩类和含水空隙特征，场地地下水主要有三种类型：一是赋存于人工填土层中的上层滞水，二是第四系松散岩类孔隙水，三是基岩裂隙水。

1.3 危险源辨识及分析

1.3.1 与改造工程同期施工协调难度大

该公共建筑物目前正实施一期改造工程，下穿该公共建筑物和新建柱下独立基础的加固方案与一期改造工程存在交叉作业，且改造工程工期紧，双方同期施工的协调难度较大。

1.3.2 施工工期紧，任务重

地铁隧道工程通常规模巨大，施工任务复杂。包括隧道开挖、施工材料运输、隧道衬砌等多个施工环节，需要协调和组织大量的人力和物力资源，以保证工期的顺利进行，面临施工工期紧，任务重。

1.3.3 风险点重叠

区间出洞段下穿该公共建筑物范围内主要穿越<2-9-4>密实卵石土地层，覆土深度约 12.5m。该段范围由于拱顶埋深较浅、穿越卵石地层沉降不易控制，加之盾构穿越该公共建筑物为特别危大风险源，该段处于盾构出洞段，两个风险点重叠施工，沉降控制要求高，总体难度较大。

1.3.4 大卵石、大漂石处理

从地勘资料揭示，本工程盾构开挖面主要位于密实卵石层，故仍必须考虑大粒径漂石、卵石破碎问题，确保盾构顺利掘进。根据区间地层特点，需要盾构机具有良好的掘进性能、能保持长期高质高效施工，满足施工进度和沉降控制等各方面经济、质量控制要求。

综上分析，盾构通过引起隧道周围土体扰动，可能会造成该建筑物产生有害性沉降和位移变形。为保障该公共建筑物及周边道路安全，盾构通过前后必须采取严格有效的措施，避免该公共建筑物发生基础沉降、位移。

2 盾构穿越加固措施

2.1 盾构通过前加固措施

2.1.1 与地面预注浆加固程

对需加固的既有基础及周边一定范围地层采取地面袖阀管注浆加固，改良地层物理力学性能，增加土体承载能力和抗扰动能力，降低后期盾构下穿对该公共建筑物的影响。袖阀管注浆选用直径 42mm 的袖阀管，施工可根据现场情况选用合适的打管方式，注浆管间距 $0.75\text{m} \times 0.75\text{m}$ ，注浆压力初定上限 0.2MPa。注浆参数，包括注浆孔的布置、浆液配比、注浆压力、注浆持续时间和注浆量等，在注浆施工过程中根据监测反馈信息进行优化，防止地面冒浆以及对管片临时封堵措施产生影响。为了保证浅层袖阀管注浆质量，计划钻孔完成安装袖阀管孔口标高位于垫层以上，袖阀管注浆于垫层施工完成后进行。

2.1.2 独立基础加固

分别对该公共建筑物的独立基础以及外部承重框架的独立基础施做两块筏板，增强其基础整体性以及抗扰动能力。

2.1.3 监控量测

在预注浆加固与基础加固施工的施工全过程中对该公共建筑物进行系统全面的监控量测。监控量测项目主要包括该建筑物结构的竖向位移、水平位移、倾斜以及裂缝等。监测点位置应布设在结构对沉降敏感的位置，如承重柱、外墙转角等位置。根据监测反馈信息，及时对该建筑物基底进行注浆加固或架设临时支撑等措施，以确保结构的安全。当发生异常时应即刻上报有关部门，并采取应急措施。

2.2 盾构通过前加固建筑物

2.2.1 基坑开挖

根据设计图纸，结合现场该建筑物现场实际情况开挖一期基坑。

2.2.2 地面预注浆加固

根据设计要求，对地层进行地面袖阀管注浆加固，注浆材料采用对环境污染较小的水泥单液浆，特殊紧急情况下建议采用速凝材料(宋帮红等，2022)。注浆参数，包括注浆孔的布置、浆液配比、注浆压力、注浆顺序、注浆时间和注浆量等，经试验效果确定，并在注浆施工过程中根据监测反馈信息进行优化，防止地面冒浆以及对该公共建筑物既有基础产生影响。经加固处理后的地层应具有良好的整体性和均质性。

2.2.3 一期基坑范围基础加固

先对一期基坑范围内的既有基础进行检查，若存在局部缺陷，应进行补强或加固处理；然后对既有基础表面进行凿毛与植筋，对既有基础底面钢筋的植筋采用剥开局部基础底部混凝土后，将植筋钢筋与原基础钢筋用双面焊接的方式进行连接，剥开混凝土后需对原基础钢筋露出部分进行除锈、阻锈处理；植筋完成后按施作垫层、内环筏板基础、部分外环筏板基础的时序进行施工。

2.2.4 二期基坑范围基础加固

待一期施作的筏板结构达到设计强度后，开挖二期基坑，对剩余既有基础进行植筋、凿毛以及界面处理后，施作剩余部分，具体要求与一期基坑范围基础加固一致。待二期筏板结构达到设计强度后回填覆土至开挖前标高，并在该公共建筑物外侧预埋注浆管，为后期跟踪注浆预留条件。基坑开挖均采用坡率为 1:0.5 的挂网喷砼放坡。植筋钢筋与筏板钢筋连接采用机械连接。

2.3 地面袖阀管注浆加固

2.3.1 袖阀管施工工艺

本次施工袖阀管采用 $\phi 42\text{mm}$ 的袖阀管，施工可根据现场情况选用合适的打管方式，注浆管间距 $0.75\text{m} \times 0.75\text{m}$ ，实际孔距按照现场钻孔与注浆情况做适当调整。注浆压力初定上限 0.2MPa 。注浆参数，包括注浆孔的布置、浆液配比、注浆压力、注浆持续时间和注浆量等，在注浆施工过程中根据监测反馈信息进行优化，防止地面冒浆。

2.3.2 施工工序

(1)基本要求

注浆加固圈固结范围为该公共建筑物独立基础底部以下 3m ，注浆孔扩散半径 1.0m 。钻孔和注浆顺序先外围，后内部，从外围进行围、堵、截，内部进行填、压，同一排间隔施工。

(2)钻孔施工

钻孔孔径为 $\phi 108\text{mm}$ ，钻孔采用潜孔钻机。钻孔深度为该公共建筑物独立基础底部以下 3m 左右，成孔检验合格后钻机移至下一孔位。

(3)插入袖阀管

阀管采用内径 $\phi 42\text{mm}$ 的塑料管，每隔 30cm 钻一组射浆孔，地面以下 3.0m 布设注浆孔，外包橡皮套，插入钻孔，管端封闭，管内充满水下管。为使套壳料的厚度均匀，尽量使袖阀管置于钻孔的中心。

(4)浇筑套壳料

套壳料为泥浆，要求收缩性小，脆性较高，早期强度高。套壳料的作用是封闭袖阀管与钻孔壁之间的环状空间，防止灌浆时浆液流窜，套壳在规定的灌浆段范围内受到破碎而开环，逼使灌浆浆液在一个灌浆段范围内进入地层。

(5)注浆施工

待套壳料有一定强度后，在袖阀管内放入带双塞的灌浆芯管进行分段灌浆。注浆浆液采用水泥浆，水泥浆水灰比 $0.8:1 \sim 1:1$ ，注浆效果为渗透注浆，注浆压力为 0.2MPa (据现场实际情况调整)，加固后的地层应具有良好的均质性和自稳性。

2.4 筏板基础加固

根据现场条件，先开挖内侧基坑并施工范围内的筏板，待新建筏板达到设计强度后，回填至该公共建筑物场改造场平高度，再开挖外侧基坑并施作范围内的筏板。基坑开挖采用坡率 1:0.5 的挂网喷砼放坡，回填采用机械+人工回填。

2.4.1 施工工序

(1)基坑开挖

根据设计要求，内圈筏板厚度为 0.6m、外圈为 1.5m，基坑开挖深度为 3m，开挖宽度根据筏板及原独立基础边缘尺寸两侧各外放 0.7m，为预留基坑内安装钢筋和模板支撑提供足够空间；根据地质断面图和现场探挖得知在开挖深度范围内地层大部分为杂填土层，开挖边坡采用 1:0.5 的挂网喷砼放坡方式，机械开挖至距离原基础底 0.2m 位置后用人工进行清底，基坑开挖过程中不断刨除边坡松动的泥土，对于局部削坡后仍不稳定的部位采用砂浆抹面的方式稳定边坡。

(2)垫层施工

基坑机械开挖到设计筏板底位置后用人工进行清底，然后采用打夯机对基底进行夯实整平，整平后的标高符合设计要求。按照设计要求对需要预注浆加固的原基础和新建独立基础钻孔注浆，完成后再施作基坑底部垫层。先铺设一层 150mm 厚的 C20 素混凝土垫层，待混凝土终凝后再在其上铺设一层 50mm 厚的细石混凝土防水层。

(3)钢筋制安

筏板与原独立基础、新建独立基础相接位置为加固工程中的关键部位，根据设计图纸，在筏板和原独立基础、新建柱下独立基础结合处的混凝土界面采用凿毛和植筋处理。

3 盾构穿越掘进控制措施

3.1 盾构掘进施工控制

根据成都地铁盾构安全通过建(构)筑物及管线的施工经验，盾构安全通过建(构)筑物及管线的首要措施是加强掘进参数的控制，使盾构以最佳状态通过，最大程度地减小对建(构)筑物及管线的影响。盾构掘进时的控制主要遵循以下原则：加强施工设备管理，确保盾构连续穿越；严格控制出渣量；保证注浆(含二次注浆)回填饱满；加强地面监测分析；做好应急措施准备。

依据以上原则，盾构施工时，采取以下措施：

(1)选择试验段

选择具有代表性的区间段作为试验段，为盾构下穿风险源提供较为成熟的掘进参数和施工模式，降低区间下穿风险源的风险。

(2)合理确定停机位置

盾构不停机快速通过建(构)筑物及管线，减小掘进对地层的扰动。根据以往施工经验，匀速通过能减小对地层的扰动。因此掘进速度控制在 40~50m/min。为保证掘进速度，盾构在通过建(构)筑物及管线前，盾构及后配套系统要进行仔细全面检修，确保通过时不出现机械故障，并对可能产生的故障预先做好修理准备，备足主要零配件，减少过建(构)筑物及管线段停机检修的风险。刀盘刀具在通过适当位置进行检查及更换新刀具，避免在通过建(构)筑物及管线附近进行检查或更换，减少长时间停机造成地面较大沉降的风险。根据地表建筑物、管线调查资料，并考虑适当的掘进距离，拟在合理地段进行停机，对刀具进行检查、更换(王非等，2023)。

(3) 严格控制出渣量

多出渣土会在隧道以上地层形成空洞，必然会引起地表松弛甚至塌陷(郭自敏，2019)。在整个盾构掘进施工期间，派专人监控出土量，每环出渣量控制在 131m^3 以内，在通过建(构)筑物及管线时采用渣土称重和体积双控对比方法判断出渣量是否准确。穿越期间尽量减少盾构纠偏量，使盾构机均衡匀速施工，以减少盾构施工所产生的风险影响。

(4) 保证同步注浆饱满

注浆量控制在 12m^3 以上，注浆压力 2bar 以上。确保管片背后注浆密实。同步注浆以注浆量控制为主，注浆压力控制为辅。

(5) 二次注浆

盾构掘进同步注浆的同时，跟踪进行单液或双液二次注浆。在同步注浆时进行二次注浆跟踪洞内注浆，确保填充效果，浆液根据情况采用单液浆或二次浆液。跟踪注浆位置管片在盾尾后 5~9 环的位置(深孔注浆)。注浆点位主要在拱顶和邻接块，按照注浆压力和注浆量双控。

(6) 洞内环向封堵

针对下穿该公共建筑物特点，在盾构下穿段(包括前后一倍隧道埋深范围)进行洞内环向封堵。施工中，在盾尾后方第三环位置采取“水泥+水玻璃”双液浆进行环向封堵，并在环封完成后开展洞内二次注浆，以保证下穿段同步注浆、洞内二次注浆施工浆液注入饱满，保证注浆质量，降低地层沉降率，保障上方建筑物安全。

(7) 合理纠偏

盾构掘进过程中轴线纠偏要做到“勤纠、少纠”，避免大幅度纠偏。同时要做好盾构推进过程中铰接千斤顶的使用，以此来减少因轴线纠偏而形成的土体超挖量，避免因超挖造成土体损失、引起沉降。

(8) 提前预判性能

盾构长距离掘进需重点关注刀盘和土仓结泥饼的情况，尤其在穿越风险源一定距离前根据掘进渣温提前预判刀盘的工作性能，是否存在结泥饼现象，若有需及时采取措施于下穿前消除。

(9) 加强监控量测

加强地面及建(构)筑物监控量测，及时反馈信息，指导调整施工。

(10) 做好应急措施

按应急预案内容做好各项应急准备工作，发生应急事件及时进行处理。

3.2 针对性施工处置措施

为确保盾构穿越该公共建筑物时的安全、有效弥补地层损失，计划在穿越期间对影响范围内的管片上部进行盾体径向注浆、深孔注浆和地面跟踪注浆，以保证穿越段地层的稳定。

3.2.1 盾体径向注浆

盾构机配备有独立的中盾径向注浆系统，盾构在掘进过程中，可向盾体上方注入膨润土或脲性浆液，以有效控制地表沉降。

(1) 注膨润土

一般在盾构下穿风险源期间若出现渣土改良不理想，掘进速度缓慢现象，此时极易超

方(曾长女等, 2023)。掘进前可预先在台车膨润土储存箱中储存一定量充分膨化后的膨润土, 待出现以上现象时, 掘进过程及时在中盾位置整个圆周范围内注入适量膨润土, 以起到改善掘进状态的作用, 减少由于渣土改良不理想造成的超方。

(2) 注惰性浆液

盾构下穿风险源期间刀盘前方出现超方后, 为了尽早弥补地层损失, 减少盾体穿越期间地层的沉降, 在掘进过程中可在中盾上部注入一定量的惰性浆液, 待盾体完全脱出沉降区域后采取洞内和地面补充注浆。

3.2.2 管片深孔注浆

洞内加固通过在盾构隧道管片上增设注浆孔, 利用注浆孔(包括吊装孔)打设注浆管, 对隧道上半圆范围内土体注浆加固。注浆管采用 $\phi 42 \times 3.5\text{mm}$ 的钢花管, 其长度一般不小于 3m, 现场可根据实际情况而定。

3.2.3 洞内二次注浆

(1) 二次注浆的目的

① 充分填充管片背面空腔控制地面沉降

同步背后注浆结束后, 浆液在凝固的过程中会有 1.4% 左右的体积收缩, 还有因浆液发生流失, 在管片背面会形成空腔。由于空腔的存在, 此处地层易发生坍塌变形, 随围岩松动范围扩大, 会引起地面沉降、隧道上浮。用二次注浆及时填充管片背面的空腔, 缩小地层发生变形的空间, 有效地控制地面下沉、隧道上浮。

② 提高隧道抗渗能力

盾构隧道成形之后, 由于同步注浆不饱满或因浆液凝固体积收缩, 管片背面形成空腔, 在富水地层里, 地下水会在此汇集形成水囊, 如果管片止水条松动或止水条处混凝土开裂掉块, 形成渗水通道。水囊里的水就会从渗水通道进入隧道, 即造成隧道渗水。通过二次注浆, 用浆液完全填充空隙, 把水囊缩小或消灭, 使管片背面的空隙水压减小, 可有效控制渗水, 达到防水目的。

(2) 二次注浆浆液配比与施工方法

二次注单液浆的水灰比取 1:1 或 1:1.2。二次注双液浆配比必须适应注浆目的和注浆条件。根据水泥和水玻璃性能来确定双液浆配比。水玻璃的用量由注浆浆液初凝时间确定, 在二次注浆前将进行浆液配比试验。

① 二次注浆控制地面沉降施工方法

二次注浆视情况采用水泥单液或双液浆。双液浆注浆时, 注浆压力控制在 2.5bar 以内。在硬岩里控制沉降, 建立止浆帷幕, 用水灰比 1:1.2 的水泥浆液把双液浆的凝固时间调整到 20~23s, 止浆帷幕建好停止 10min 后, 开始用初凝固时间较短(凝固时间在 3~5min)的液浆填充满止浆帷幕中间的空隙, 注浆压力控制在 2.5bar 以内。注完浆后封孔, 封孔时浆液凝固时间调整到 15s。

② 二次注浆控制管片上浮方法

由于下穿段处于卵石和泥岩的交界地层中, 管片上浮发生的概率较大。因此, 采取措施让管片和顶部的围岩较快结合成一个整体, 利用围岩的约束力来控制管片上浮是根本途径。用双液浆可在管片与围岩之间形成块状结合体, 在同步注浆的浆液未凝固之前, 双液浆凝固的块状结合体镶嵌在管片和围岩之间, 达到控制管片的上浮的目的。双液浆选用水

泥浆和水玻璃，二次注浆的压力控制在 2.5bar 以内，浆液凝固时间调整在 20s 左右。

(3)注浆设备

二次注浆设备采用盾构机上配套的双液注浆泵，预备一套可移动式双液注浆系统，保证前者在出现故障时能第一时间启用预备注浆泵。

(4)注浆压力

注浆压力控制在比该位置水土压力增加 1-2bar，使浆液具有一定的扩散能力，又不至于对周边土体和注浆体产生较大影响。

3.2.4 地面超方处理

(1)局部少量超方

根据以往经验大直径盾构在砂卵石地层与泥岩地层交界面处掘进时，沉降不易控制。根据盾构掘进每环出渣情况结合地面沉降监测数据，可在地面适当位置选择探挖钻孔，对局部出现地层松散处进行袖阀管注浆，以补充地层损失。注浆时机选择在盾体完全拖出超方沉降区域时进行。注浆完成后及时覆盖钢板，待检测数据稳定后撤除。

(2)局部大量超方

盾构掘进下穿风险源期间若出现局部超方较多时，可于第一时间设置警戒带，组织交通疏导。在超方位置探挖钻孔寻找空洞，钻孔期间提前与商砼站取得联系，保证混凝土的供应。待钻孔探明空洞后根据空洞深度和盾构机掘进超方数据估算混凝土的回灌量(考虑富余量)，联系运送混凝土及时回填。待第二天混凝土终凝后可在混凝土回灌周围探挖钻孔补充注浆，保证回填的密实性。注浆完成后及时覆盖钢板，待监测数据稳定后撤除。

3.2.5 特殊地层下掘进控制

(1)砂层掘进控制

①盾构下穿该公共建筑物之前已将根据地勘资料结合现场选择合适的点位进行补充地质勘探，进一步核实砂层的性状。

②砂层地段掘进由于其自稳性极差，掘进过程需保持较高的土仓压力保压掘进，以尽量减少由于掌子面失稳造成的沉降超限。

③为了避免盾体被包裹影响掘进，砂层地段掘进必须沿中盾上方的注浆孔注入膨润土，以减小盾体穿越该地段时的摩阻力，防止盾体被砂层包裹。

(2)复合地层分界面掘进控制

盾构下穿该公共建筑物基本位于卵石和泥岩地层的交界面处，沉降不易控制。实际施工中除遵循本方案中要求的其他控制措施，还需重点采取以下措施。

①盾构掘进时需密切关注土仓压力的变化，分析刀盘前方掌子面的情况，适时调整掘进参数。

②盾构下穿该公共建筑物拱顶以上为砂卵石地层，由于砂卵石地层孔隙率较大，同步注浆时需加大上部注浆压力和注浆量，保证拱顶上方空隙回填的饱满性。

③复合地层掘进拖出盾尾的管片上方必须回填补充水泥单液浆(无论超方与否)，以减少滞后沉降引起的风险。

(3)大卵石、孤石处置

①从地勘资料得知，本区间卵石中漂石含量较少，约占 4%，最大粒径约 22cm。不排除

遇到大卵石和孤石的风险，所以在盾构下穿该公共建筑物之前将在该公共建筑物基础周边选择合适的点位进行补充地质勘探，进一步核实地层的性状。

②若在掘进过程中遇到较大卵石时，可通过频繁适度更换刀盘转向的方式破碎大卵石，保证破碎后的卵石能通过螺旋输送机顺利输出。在实际操作过程中可加大刀盘前方、土仓以及螺旋输送机内膨润土和泡沫剂的注入量。

③若在掘进过程中遇到孤石无法解决时，可采取人工进仓破碎的方式消除障碍，进仓前需对刀盘一定范围进行注浆加固和降水，保证人员进仓除障的安全。

3.3 掘进参数优化措施

3.3.1 掘进参数优化

(1)采用以滚刀、齿刀、周边刮刀为主的刀盘切削土层，以低转速、大扭矩推进。

(2)适当提高掘进土压力，并在掘进中不断调整优化。

(3)土仓压力通过采取设定掘进速度、调整排土量或设定排土量、调整掘进速度两种方法建立，并应维持切削土量与排土量的平衡，以使土仓内的压力稳定平衡。

(4)盾构机的掘进速度主要通过调整盾构推进力、转速(扭矩)来控制，排土量则主要通过调整螺旋输送机的转速来调节。在实际掘进施工中，应根据地质条件、排出的渣土状态，以及盾构机的各项工作状态参数等动态地调整优化。

(5)掘进时采取渣土改良措施增加渣土的流动性和止水性，密切观察螺旋输送器的堵塞和出土情况以调整添加剂的掺量。

(6)在盾构掘进速度一定的情况下，主要通过调整螺旋输送机的转速，调整出土量的大小，以达到维持土仓压力的平衡。做好土量管理工作，对每环出土量进行测定，出土量控制在一定范围内。保持盾构机良好的姿态。

3.3.2 盾构推进

(1)盾构机推进由操作司机在中央控制室内进行。开始施工时，打开出土闸门，依次开启皮带输送机，螺旋输送机和大刀盘，推进千斤顶，调整好各千斤顶的油压，此时大刀盘切削土体，盾构机前进。盾构机根据设定的正面土压力自动控制出土速度或掘进速度。盾构机的行程、上下左右四个区域千斤顶压力、螺旋输送机转速、盾构扭转、俯仰等参数将在显示屏上显示，盾构机司机及时做好参数记录，并参照仪表显示以及其他人工测量和施工经验调整盾构机姿态和各项施工参数，使盾构机始终按设计的轴线推进。

(2)盾构应根据当班指令设定的参数推进，推进出土与注浆同步进行。在盾构施工中要根据不同土质和覆土厚度、地面建筑物，配合监测信息分析，及时调整平衡压力值的设定，同时根据推进速度、出土量和地层变形的监测数据，及时调整注浆量，从而将轴线和地层变形控制在允许的范围内。

(3)盾构掘进过程中，推进坡度要保持相对的平衡。严格控制好推进里程，将施工测量结果及时地与计算的三维坐标相校核，及时调整。对初始出现的小偏差应及时纠正，应尽量避免盾构机走“蛇”形，控制每次纠偏的量，盾构机一次纠偏量不宜过大，以减少对地层的扰动，并为管片拼装创造良好的条件。

(4)由于地层对刀具有磨损，因此掘进一段距离后需开仓换刀。施工中保持土仓压力的稳定以保证前方开挖面的稳定至关重要。

(5)本工程盾构掘进处于卵石+泥岩地层中，需向刀盘、土仓或螺旋输送机内注入添加剂以使

开挖土体应具有良好的流塑状态、低的透水性和低的内摩擦角。

(6)为防止盾构掘进时，地下水及同步注浆浆液从盾尾窜入隧道，须在盾尾钢丝刷位置压注盾尾油脂，确保施工中盾尾与管片的间歇内充满盾尾油脂，以达到盾构的密封功能。施工中须不定时地进行集中润滑油脂的压注，保持盾构机各部分的正常运转。

(7)掘进中的沉降控制措施：

①沿线的地面沉降观测点建立以后，在掘进开始以前应取得初始数据；

②掘进过程中，盾构机机头前 20m 后 30m 范围内，每天早晚至少测量一次，范围之外每周测一次，直至稳定为止；

③盾构机掘进适当选用千斤顶和推力，根据地面沉降观测成果确定土仓压力，随时调整掘进方向，尽量减少蛇形和超挖；

④掘进过程中及时进行回填注浆，保持适当的注浆压力和注浆量，及时进行二次注浆。

⑤施工人员应逐项、逐环、逐日做好施工记录。记录内容：盾构掘进姿态、管片拼装、同步注浆、隧道渗漏水情况等。

3.3.3 管片选型及拼装

盾构下穿该公共建筑物时，区间隧道位于 R5000 的缓和曲线和圆曲线上，拼装采用幅宽 1.5m 管片。在盾构掘进过程中值班工程师根据盾构机姿态、盾尾间隙、油缸行程等做好管片选型工作，管片供应严格按指令供应合格管片。管片采用错缝拼装，为先下后上、先纵后环、左右交叉、纵向插入、封顶成环工艺。

3.3.4 同步注浆

在管片衬砌环脱出盾尾后，立即同步注浆并适当加大注浆量，充分地填充管片与地层之间空隙。盾构通过该公共建筑物时，同步注浆采用可硬性浆液，即水泥砂浆作为同步注浆材料，具有凝结时间较短、强度高、耐久性好和抗腐蚀性好等特点，可硬性水泥浆液能有效填充管片外侧间隙，有利于防止和减少地层变形，减少对建筑物地层的扰动。

3.4 盾尾密封

为了能安全并顺利地完成后穿该公共建筑物的掘进任务，配备良好的盾尾密封系统并切实地做好盾尾油脂的压注工作。本工程采用的盾构机的盾尾密封系统具有良好的可靠性和耐久性，施工过程中可在各道密封刷之间利用自动供给油脂系统压注高止水性油脂，确保高水压作用下的止水可靠性。

(1)保持好盾构姿态，控制好盾尾间隙；

(2)采用较好耐磨性能的材料制作盾尾钢刷，提高盾尾钢刷的耐磨性；

(3)采用优质的盾尾油脂，确保盾尾密封性能。

4 结论

盾构穿越下穿公共建筑物是一项风险较大的工程，盾构机可能会引起地面沉降、振动和噪音等问题，对建筑物的结构和使用产生不利影响。为了减小这种风险，在施工前，需要进行详细的勘察和设计，全面了解下穿建筑物的结构、地质条件和地下水位等信息，以制定合理的施工方案。在盾构施工过程中，应采用先进的盾构机和掘进方法，以减小对下

穿建筑物的影响。同时,可以使用地下注浆、地下冻结等技术,增强下穿建筑物的支护能力,防止地层沉降和结构损坏。施工过程中应加强对施工现场的管理和监控,建立完善的安全生产管理制度,确保施工人员的安全和施工质量的可控性。加强施工现场的监测和检测,及时发现和解决施工过程中可能出现的问题。采取有效的噪音和震动控制措施,减少对周边居民的干扰。综上所述,通过合理的勘察和设计、先进的施工技术、严格的管理和监控措施,可以确保盾构穿越下穿某公共建筑物的施工顺利进行,并最大程度地减小对下穿建筑物的影响。

参考文献:

[1] 应宏伟,姚言,王奎华等. 双线平行顶管上跨地铁盾构隧道施工环境影响实测分析[J/OL]. 上海交通大学学报:1-18[2023-11-14].

<https://doi.org/10.16183/j.cnki.jsjtu.2022.290>.

[2] 李棋,闫富华. 盾构下穿既有铁路安全技术措施及参数控制[J]. 山西建筑, 2023, 49(19):130-134+188. DOI:10.13719/j.

cnki.1009-6825.2023.19.033.

[3] 李增理,王炜. 运营期地铁联络通道融沉注浆治理技术[J]. 隧道建设, 2017, 37(08):1032-1036.

[4] 王非,陈红兵,韩凯杰等. 盾构掘进长时间停机引起的地表沉降预测研究[J]. 广东土木与建筑, 2023, 30(09):70-74.

DOI:10.19731/j.gdtmyjz.2023.09.018.

[5] 曾长女,王子正,曹硕倩等. 盾构渣土改良为流动化回填土的工程性能研究[J/OL]. 隧道与地下工程灾害防治:1-14[2023-11-14].

<http://kns.cnki.net/kcms/detail/37.1516.U.20231102.1041.002.html>.

[6] 宋帮红,闵凡路,张建峰等. 三乙醇胺和快硬硫铝酸盐水泥对盾构壁后注浆浆体性能的影响[J]. 硅酸盐学报, 2022, 50(11):2886-2896.

DOI:10.14062/j.issn.0454-5648.20220195.

[7] 郭自敏. 漂卵石地层盾构掘进出渣量控制及超方判断技术[J]. 铁道建筑技术, 2019(08):104-108.