

The Construction Technology of the Underground Civil Air Defense Structure

Xiaodi Liu

The Fourth Engineering Co., Ltd. of China Railway Ninth Bureau Group, Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract

Combined with Dalian metro line 505 standard fish bay station-well station interval shield construction through both civil air defense engineering of reinforced concrete structure engineering practice, for rich water karst formation shield cutting reinforced concrete structure shield construction difficulties, considering the groundwater, both underground air defense structure, study the shield construction technology. The adaptability of shield tunneling to crossing complex karst formation and cutting reinforced concrete structures is analyzed.

Keywords

shield construction; karst formation; technical measures

富水岩溶地层盾构磨削既有地下人防结构施工技术

刘晓迪

中铁九局集团第四工程有限公司，中国·辽宁 沈阳 110000

摘要

结合大连地铁5号线05标段梭鱼湾站-甘井子站区间盾构施工穿越富水岩溶地层既有人防工程钢筋混凝土结构物的工程实践，针对富水岩溶地层盾构切削钢筋混凝土结构物盾构施工难点，考虑地下水、既有地下人防结构等因素影响，对盾构施工工艺进行研究。分析盾构对穿越复杂岩溶地层和切削钢筋混凝土结构物的适应性。

关键词

盾构施工；岩溶地层；技术措施

1 引言

在城市地铁盾构隧道施工过程中，难免会遇到盾构正穿既有地下构筑物情况，而在正穿的同时盾构又需穿越复杂地层，给地表沉降控制带来严峻挑战，对施工技术水平提出了更高要求。陈庆章等^[1]介绍了广州地铁上软下硬地层中盾构下穿基础薄弱平房群的施工关键技术。郭森华^[2]等分析了并联式双模盾构并辅以浓泥浆取石等综合技术在富水岩溶地层应用技术。但对于土压平衡盾构既要穿越富水岩溶地层，又要正穿地下人防结构的案例非常少，相应的盾构施工技术措施还不够完善^[3]。如何采取何种恰当的盾构技术措施和安全保障措施并控制地表沉降，都需进一步分析研究。

2 工程概况

大连地铁5号线05标段梭鱼湾站-甘井子站盾构区间右线以本区间小里程梭鱼湾站为起点，左线以本区间小里程停车线明挖段为起点，由南向北沿梭鱼湾商务区22号路敷

设，跨过工兴路后，下穿南甘线铁路线、老甘井子住宅区后，到达甘井子站。区间右线全长1054.78m；区间左线全长733.935m。覆土厚度9.4~18.1m，线间距12.0~18.0m，平面最小曲线半径330m。纵向坡度呈V字坡。盾构区间主要穿越素填土、中风化白云岩（属较硬-坚硬岩、饱和单轴抗压强度46.3MPa）。

3 工程难点

左线始发井口距离人防洞支线107.8m，右线始发井口距离人防洞支线429.6m；左线始发井口距离人防洞主线228m，右线始发井口距离人防洞主线553.4m；左线接收井口距离人防洞主线505.9m，右线接收井口距离人防洞主线501.3m。其中主线与两条隧道均有交叉，人防洞主线与左、右线交叉处：人防底板埋深19m，顶板埋深17m，地铁隧道埋深18.39m，人防洞侵入区间左、右线主体结构0.61m，盾构机刀盘侵入人防洞0.4m地板，0.73m空间。

下穿段隧道洞身为中风化白云岩，岩体较破碎-较完整，节理裂隙较发育，溶蚀微发育本段地下水为第四系孔隙水和岩溶水，第四系孔隙水赋存于素填土层中，水量丰富，岩溶水赋存于基岩节理、裂隙及溶隙中，贯通性好，水量中等~丰富。

【作者简介】刘晓迪（1984-），男，蒙古族，中国辽宁朝阳人，本科，高级工程师，从事地下工程研究。

4 施工工艺流程及盾构施工技术

4.1 施工工艺流程

预先采用 1 台潜孔钻（正远 500C）进行地面钻孔施工，首先施工梭鱼湾站～甘井子站区间右线与人防交叉位置，再施工左线。待混凝土达到强度后再进行盾构机施工。为避免盾构在下穿人防过程中停机维修或更换刀具，在盾构刀盘到达人防前 450 环处对盾构机以及各项配套设备进行全面检修保养，检查更换刀具。盾构穿越段定为刀盘到达人防结构至盾尾通过人防结构。下穿过程中保证匀速连续通过，如图 1 所示。

4.2 穿越前人防内部处理

根据现场实际情况，人防内部有大量积水，在施工之前需要抽水处理，准备 4 台 22kW，120m³/h 的水泵进行抽水。

抽完水之后在人防施工位置进行淤泥清理。

人防内部存在两根大连石化管线，与隧道交叉的管线截断取出放置在不影响施工的位置，另一根管线开口作为汇水通道使用，供搅拌站后期使用，对影响范围内的管线进行切割处理。

4.3 模拟确定人防最佳加固范围

盾构机磨削人防隧道，需要对已有结构进行加固，如果对人防结构进行混凝土填实加固，将大大增加施工的成本费用。采用 Plaxis 3D 岩土有限元计算软件进行盾构工程磨削人防隧道的模拟施工（见图 2），通过地层建模、结构建模、参数输入、工序排序、划分网格、分析计算，得出人防隧道的影响范围，扩大 1.2 倍系数后确定人防加固范围为单条线 8.44m（见图 3）。

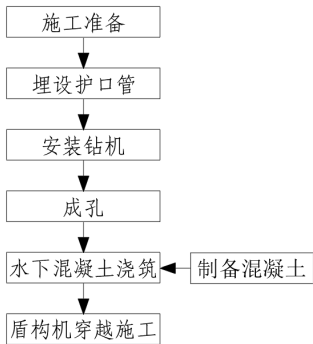


图 1 施工工艺流程图

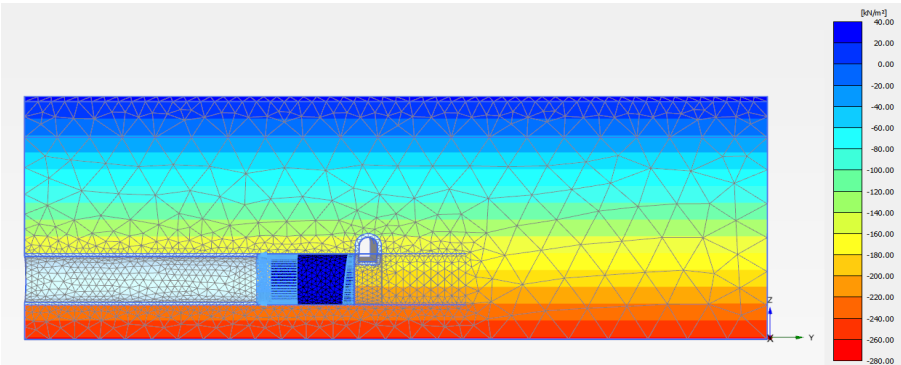


图 2 盾构磨削人防施工模拟图

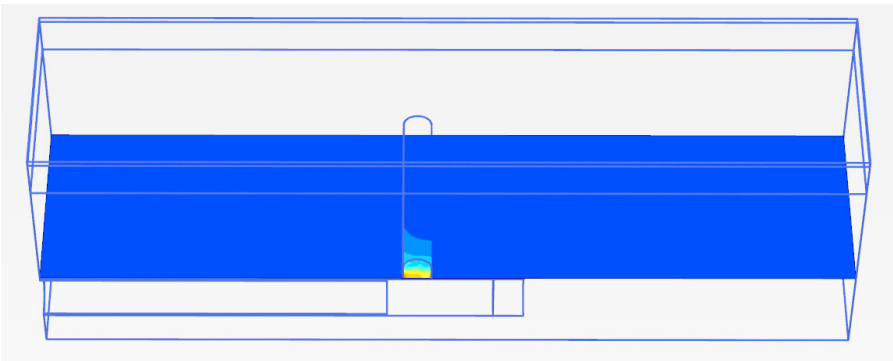


图 3 盾构掘进在人防隧道影响范围图

4.4 盾构施工技术及措施

在下穿人防前，需要对盾构机进行关键部件和系统的检查维修^[4]。主要项目如下：

①开仓检查刀具的磨损情况，磨损严重的刀具应及时进行更换。同时彻底清理已经附着在刀盘、刀具上的渣土，避免其在下穿期间的较高土压推进模式下结成泥饼。

②检查盾尾密封。对经常漏浆的地方的盾尾刷进行更换，避免下穿期间漏浆，导致上层覆土沉降，发生透水事故。

③检查螺旋机密封。螺旋机闸门是易损件，经常出现关闭不严、无法闭合等情况发生，导致螺旋机闸门漏气、漏水、漏渣，土仓压力无法保证。所以在下穿前，对螺旋机闸门进行仔细检查，发现有磨损严重的，及时更换。

④保障渣土改良系统中 6 条管路的畅通^[5]。其中 4 条用来注入泡沫、空气及水混合物，进行渣土改良、润滑刀具，1 条管路注入膨润土，1 条管路视情况注入泡沫或膨润土，以改善渣土流塑性及降低土仓温度。螺旋机处的泡沫注入管路改装成加注高分子聚合物管路，螺旋机喷涌时，注入高分子聚合物，加强渣土流塑性。

⑤其他气压设备按照 3bar 压力进行保压试验，对气压设备的气密性进行全面检查。检查铰接密封、盾尾密封，保证各部位具有良好的密封性能。螺旋输送机闸门，从土仓到螺旋输送机出土口闸门检查与保养。

盾构机穿越人防期间的主要技术措施如下：

①适当增加掘进土仓压力（考虑目前水面高度距离人防底 12m 土仓压力设定为理论值的 1.2~1.4），并在掘进中不断调整优化^[6]。

②掘进时应采取碴土改良措施增加碴土的流动性和止水性，密切观察螺旋输送机的土塞和出土情况以调整添加剂的掺量。

③推进速度控制在 5~10mm/min，并根据监测结果和排土情况调整。螺旋机转速跟推进速度相匹配。

④施工中严抓渣土管理，管片每环出土量控制在 49m³ 左右，重量在 98t 左右。及时分析填挖数据，将地层损失率严格控制在 3% 以内。盾构轴线控制偏离设计轴线不大于 ±20mm，严禁在穿越时超量纠偏、蛇形摆动。

⑤增加盾尾密封油脂的注入量，适当提高同步注浆压

力和注浆量。

⑥通过控制螺旋输送机出土速度和出土口的开口度，在出土口形成土塞，起到良好的密封、保压以及防喷的作用。停止推进时关闭闸门，紧急情况下，应立即关闭螺旋输送机出土口闸门。

试掘进段通过监测，研究地面沉降与推进参数的关系，最终确定穿越人防的施工参数，见表 1。同时在施工中，强化监控量测，对于参数不断优化调整。

表 1 盾构穿越人防试掘进参数汇总表

推力 (t)	推进速度 (mm/min)	刀盘转速 (r/min)	上部土舱压力 (bar)	出土量 (m ³)
1500~1800	5~10	1.3~1.5	1.2~1.4	48~50

5 结语

①大连地铁 5 号线 05 标段梭鱼湾站 - 甘井子站盾构左右线成功穿越既有地下人防结构的工程实践，为今后类似富水岩溶地层磨削既有结构盾构隧道的设计及施工提供了借鉴和参考，证明了采用土压平衡盾构机的可行性和安全性。

②本工程使用先进工艺、信息化控制、理论实际相融合等技术措施，避免了地表注浆加固，减少地面污染。采用混凝土回填的方式，符合绿色施工规范要求，做到了节能减排，可作为环保示范工程案例，以供同行参考。

参考文献

[1] 陈庆章.广州地铁复杂地层盾构下穿平房群施工关键技术[J].施工技术,2018,47(24):18-23+96.

[2] 郭森华,袁守谦,詹建县.富水岩溶复合地层中盾构下穿机场关键施工技术[J].建筑机械化,2023,44(11):45-48.

[3] 蒋磊,钟可,戴勇,等.穿越湘江水下岩溶发育区地铁盾构选型研究与应用[J].都市轨道交通,2019,32(2):85-90+131.

[4] 冯欢欢,陈馈,王助锋,等.大连富水复合地层盾构施工关键技术探讨[J].现代隧道技术,2014,51(1):186-191+198.

[5] 朱军武.南昌地铁区间隧道施工方法的选择及盾构选型[J].铁路采购与物流,2016,11(10):54-56.

[6] 胡梦涛,李大华,张白光.合肥地铁某盾构区间土仓压力理论计算[J].湖南工业大学学报,2021,35(6):17-23.