

天津地铁某盾构隧道透水事故的修复技术

王 昂

(天津国土资源和房屋职业学院建筑工程学院, 300270, 天津//工程师)

摘 要 介绍了天津地铁某盾构隧道发生透水事故后的修复技术。分析了设计中的重点难点及解决方案,其中涉及管片切割方案、临近隧道位移控制方案、冷冻施工方案、修复段衔接处接缝防水等关键内容。通过对盾构隧道透水事故后的修复技术的探讨,并根据施工实际情况,对修复方案进行总结,最终得出修复方案总体可行的结论,特别是对临近隧道的位移控制效果显著。同时也总结了设计及施工过程中遇到的问题,给出了相应的解决方案及建议。

关键词 地铁; 盾构隧道; 透水事故; 修复技术; 冷冻施工

中图分类号 U457+.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.06.024

Repair Technology of a Shield Tunnel for Water Penetration Accident in Tianjin Metro

WANG Ang

Abstract The repair technology used in a shield tunnel in Tianjin Metro after a water penetration accident was introduced, and the difficulties and solutions in the design were analyzed, relating to crucial content such as the cutting plan of the segment scheme, the adjacent tunnel displacement control scheme, the freezing construction scheme, and the joint water-proof of the repair section. Through discussion of the repair technology towards the shield tunnel water penetration accident, and according to the actual construction situation, the repair scheme was summarized, and the conclusion confirming the feasibility of the repair scheme was obtained in the end, the effect of which was especially significant on the adjacent tunnel displacement control. At the same time, the problems encountered during the design and construction process were also summarized, and corresponding solutions and suggestions were provided.

Key words metro; shield tunnel; water penetration accident; repair technology; frozen construction

Author's address Department of Architectural Engineering, Tianjin Land Resource And House Vocational College, 300270, Tianjin, China

当采用盾构法施工时,由于其较复杂的施工工艺及对周围环境影响较敏感,施工过程中更容易出现各种事故^[1]。本文介绍了天津地铁某盾构隧道在发生透水事故后采取的修复方案,并结合实际施工过程中遇到的问题,归纳总结了该方案的优缺点。

1 工程概况

天津地铁某盾构隧道右线在施工至埋深 17.7 m 时,由于施工单位操作不当,造成盾构机扭力过大,将拼装完成的盾构管片顶裂,使相邻两环盾构管片发生差异沉降约 40 cm,导致隧道内发生涌水涌沙。为安全起见,施工单位在距离施工地点约 200 m 处设置混凝土坝将隧道密封,盾构机留在事故现场被水淹没。此时盾构隧道左线尚未施工至右线事故里程,相距约 400 m。事故地点的左右线线间距为 15 m。

右线事故地段自上而下主要土层及厚度分别为:杂填土①₁,厚度 3 m;粉质黏土④₁,厚度 3.5 m;黏质粉土⑥_{1a},厚度 2.1 m;粉质黏土⑥₄,厚度 6.4 m;粉质黏土⑦,厚度 1.4 m;粉质黏土⑧₁,厚度 4.1 m;粉质黏土⑨₁,厚度 4.0 m;砂质粉土⑨_{1a},厚度 1.4 m;粉质黏土⑨₁,厚度 6.4 m;粉质黏土⑩₁,厚度 6.3 m;粉质黏土⑩₃,厚度 6.4 m。

静止水位埋深 2.7 m,承压水层⑨_{1a}距离盾构隧道下部约 1.4 m,承压水头埋深为 6.80 m。

2 修复方案介绍

由于天津为软土地区,地质情况与上海类似。在参考上海轨道交通类似案例的基础上^[2-3],经多方论证后确定了最终的修复方案:为方便移除盾构管片并拆解吊出盾构机,事故段隧道由盾构法施工改为明挖法施工,明挖段长度 75 m,基坑深度 24.7~28.3 m;围护结构采用地下连续墙+混凝土内支撑方案;明挖段隧道与已施工的盾构隧道之间的过渡段在冻结后采用矿山法施工。修复方案总

在软土地区修建地铁,风险要高于其他地区。

平面图如图 1 所示。

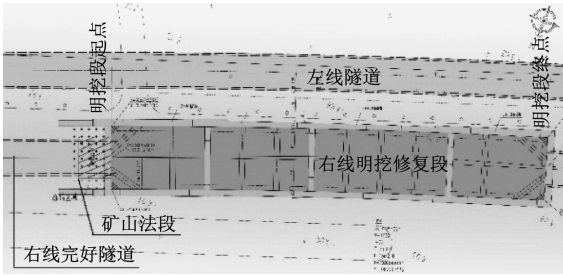


图 1 修复方案总平面图

通过三维数值模拟分析,得出该修复方案围护结构的最大水平位移约为 23 mm。围护结构水平位移仿真模拟结果如图 2 所示。

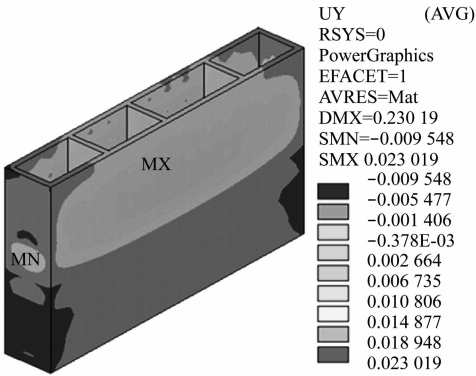


图 2 围护结构水平位移仿真模拟结果

该修复工程施工重点难点如下:

1) 为保证明挖段围护结构闭合,需对部分已施工盾构管片进行破除。在破除管片施工时,把对周围管片的影响降到最低是本工程的难点。

2) 为保证尽量缩短工期,在右线明挖段地下连续墙施工完成基坑开挖之前,左线盾构机继续掘进通过右线事故地段。左线隧道距离地下连续墙最近处距离为 5.31m。在右线明挖基坑开挖过程中,保证左线隧道的变形控制满足要求是本工程的重点。

3) 保证矿山法施工段与盾构段接头处安全可靠并防止地下水渗漏同样也是本工程的难点。

经过调查并多方讨论,最终确定该工程施工步骤如下:

1) 采用全回转钻机切割右线已施工完成的盾构管片,为后续明挖围护结构的施工做准备;

2) 施工明挖段地下连续墙,左线盾构机掘进通过右线事故段;

3) 逐层开挖右线明挖段至基坑底,开挖过程中

及时架设支撑,破除损坏盾构管片,拆分吊出盾构机;

4) 施工明挖段隧道结构;

5) 对矿山法施工段采取冷冻处理,达到冻结强度后施工矿山法施工段隧道结构;

6) 回填覆土,恢复地面。

3 特殊安全保证措施

1) 为保证全回转钻机切割管片时不发生塌陷,在全回转钻机切割前,在切割部位往隧道内部注入混凝土形成保护坝,如图 3 所示。

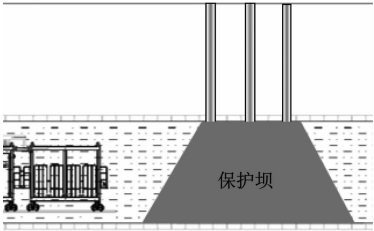


图 3 切割部位隧道内填筑坝体示意图

2) 左线盾构机通过后,为保证右线明挖段施工时对左线影响尽量减小,右线明挖基坑围护结构采用三道横隔墙进行分仓处理。三道横隔墙墙底位于盾构管片上方。在靠近左线的地下连续墙接缝处采用 RJP(双高压旋喷)工法进行 180°摆喷加固,防止地连墙渗水,以此来减小右线基坑开挖时对周围环境产生的影响。经三维数值模拟计算,在右线明挖段基坑开挖过程中,左线隧道的最大位移约为 4.96 mm。三维数值模拟结果如图 4 所示。

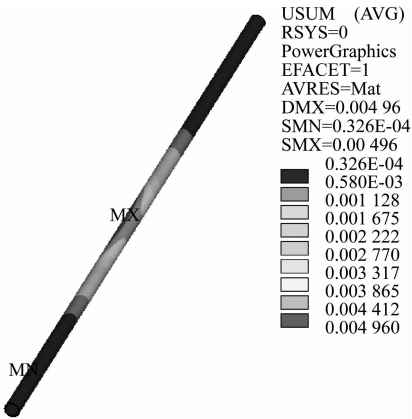


图 4 右线开挖后左线隧道最大位移三维数值模拟结果

3) 明挖段基坑最大深度为 28.3 m,该段隧道采用拱顶结构以减小顶板厚度,并在拱肩位置设置中板来抵抗两侧土压力。明挖段隧道结构的标准

断面如图 5 所示。

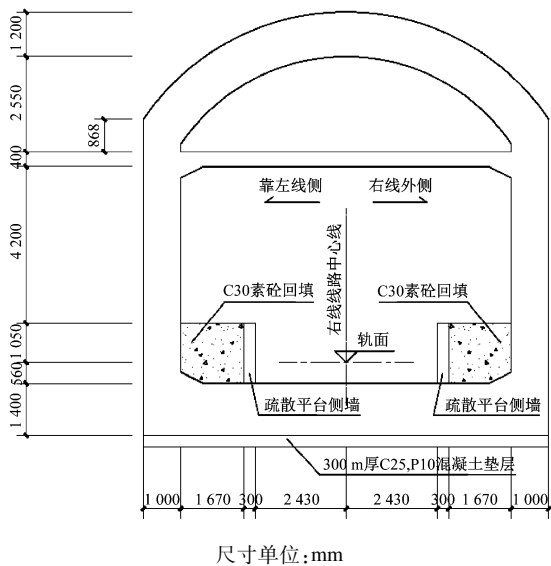


图 5 明挖段隧道结构标准断面示意图

4) 矿山法施工段采用冻结法施工,右线隧道明挖段结构与既有隧道结构的对接设计采用水平冻结。冻结壁设计有效厚度为 3.0 m,平均温度小于 -15°C ,冻结壁弯折强度和抗剪强度取 2.0 MPa。冻结壁长度已超过拟拆除隧道管片 2 环多(约 3.5 m),由于基坑最大有效净宽度为 9.2 m,故在隧道腰部仅能布置单圈冻结孔,在隧道顶、底板仅能布置 2 圈冻结孔。因此腰部冻结壁强度无法满足设计要求,需将连续墙向外侧延伸,利用连续墙强度承载。进行三维数值模拟,暗挖过程中冻结壁应力分布云图如图 6 所示,冻结壁位移分布云图如图 7 所示。图 6 和图 7 表明,改进方案满足设计要求。

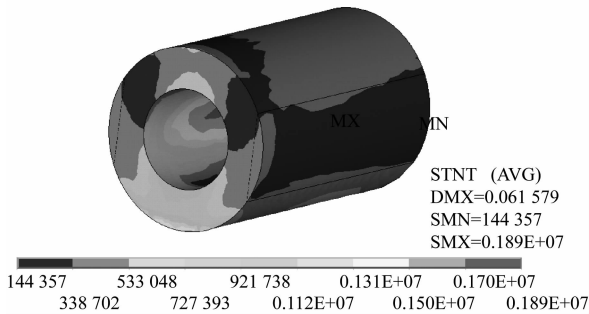


图 6 冻结壁应力分布云图

5) 矿山法施工段与未损坏盾构段相接,为保证接头可靠,凿除连接处盾构管片混凝土保护层,将矿山法施工段钢筋与盾构管片钢筋可靠焊接,并在交界处设置后张钢环。连接处构造如图 8 所示。

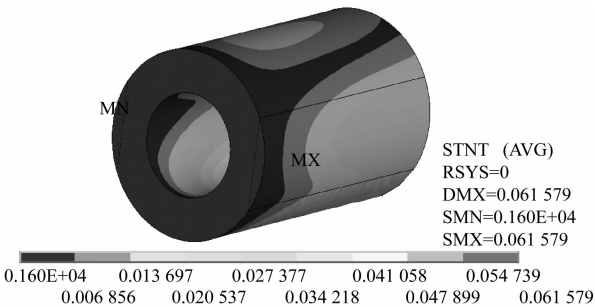
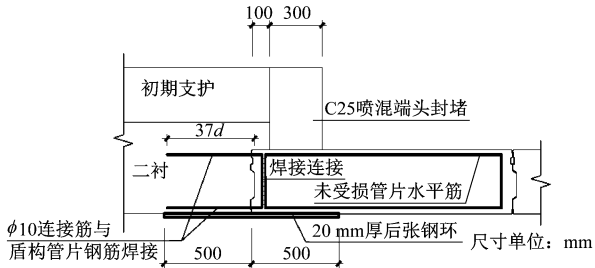


图 7 冻结壁位移分布云图



注: d 为二衬水平钢筋直径
图 8 矿山法施工段与盾构管片连接处结构示意图

6) 为保证防水效果,在参考了当地成熟的经验后^[5],在矿山法施工段与未损坏盾构段相接处采用了多项防水措施,防水构造如图 9 所示。

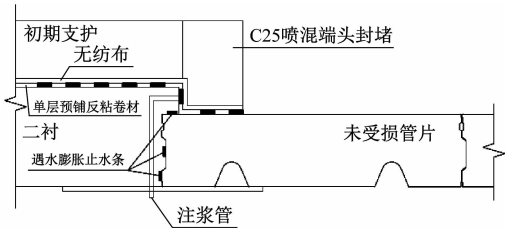


图 9 矿山法施工段与盾构管片接头处防水构造示意图

4 结语

1) 地下连续墙设置分隔墙分仓,能有效减小基坑对周边环境的影响,对限制左线位移有着重要作用。在右线明挖基坑施工工程中,左线最大水平位移为 5.34 mm,满足设计要求。然而实际施工过程中的监测数据较数值模拟结果稍大,究其原因,可能是在数值模拟过程中地层参数取值与实际地质情况有所偏差,或者数值模拟过程中未考虑施工偏差的影响而造成了数值偏小。然而,因分隔墙下部悬空,为保证分隔墙的安全,在基坑开挖过程中,要求随着基坑开挖,逐步凿除分隔墙混凝土保护层,将分隔墙水平钢筋焊接连接,施工十分繁琐,可以优化。

2) 由于分隔墙的存在,使得基坑支撑腰梁闭合困难,需要在分隔墙钢筋中预留支撑腰梁的钢筋连接条件。对横隔墙钢筋笼吊装标高控制要求较高。在施工过程中发现,在腰梁与横隔墙连接处因混凝土分期浇筑易出现裂缝。

3) 根据地质勘察报告,基坑底部的砂质粉土层⑨_{1a}为承压水层,承压水头埋深为 6.80 m。实际施工过程中发现,该层承压水尽管距离基底很近,但由于地下连续墙阻断了其同外界承压水的联系,在坑内抽水后开挖基坑并不会产生风险。

4) 矿山法施工段采取冻结法施工。冻结法在软土富水地区已经具有成熟的经验,可以取得良好的效果^[6]。本工程先期设置地下连续墙目的是为了该段盾构管片的安全,但预留宽度稍小,造成后期冻结时对冻结质量要求较高。根据实际施工情况,若将该处地下连续墙取消,则能够方便冻结施工,增大冻结范围,对工程安全反而有利。

5) 明挖段隧道结构采用拱形顶板能有效减小顶板厚度。中板的设置能有效增强侧墙抵抗两侧土压力的能力,但需在设计时详细考虑后期预留检修通道及排水措施。

6) 矿山法施工段与盾构管片采用后张钢环连接具有一定的优势^[7],可以供类似工程借鉴。

7) 在矿山法施工段两侧设置地下连续墙,目的是减小矿山法施工过程中对左线隧道的影

响,但地下连续墙预留冷冻空间不足,造成了后期冷冻施工时隧道中部的冷冻壁厚度不足,施工危险程度增高。建议类似工程在施工过程中加大矿山法施工段两侧地下连续墙间距离,为后期的施工留出余量。

8) 在矿山法施工段与盾构管片连接处尽管采用了多重防水措施,但由于该连接部位空间狭小,防水质量难以保证,造成后期该处出现少量渗水。对于类似工程,可在盾构管片中设置注浆孔,通过后期注浆来达到防水效果。

本文介绍的盾构隧道修复方案总体可行,在保证安全的前提下可以缩短总体工期。同时,该方案中的一些做法存在进一步改进的可能。后续若遇到类似工程案例,可参照该方案并进行改进后实施。

参考文献

- [1] 崔玖江. 盾构隧道施工风险与规避对策[J]. 隧道建设, 2009, 29(4): 377.
- [2] 陆明, 秦灏, 朱祖熹. 上海轨道交通 9 号线盾构区间隧道抢险修复工程介绍[J]. 中国建筑防水, 2007(1): 27.
- [3] 沈国红. 上海轨道交通 11 号线盾构隧道损坏调查及修复[J]. 中国市政工程, 2010(5): 29.
- [4] 刘玉琦, 李养平, 王宝来, 等. 天津地铁 1 号线隧道渗漏治理[J]. 中国建筑防水, 2004(9): 23.
- [5] 李凯, 程桦. 天津地铁隧道修复工程冻土力学性能试验研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2013, 33(2): 67.
- [6] 罗昭明, 董志超. 地铁盾构隧道管片破损修复技术研究[J]. 人民长江, 2015, 46(24): 59.

(收稿日期: 2018-11-08)

(上接第 102 页)

后隧方案通过采用门式钢架封闭隔离设计,可解决车站、区间施工的相互干扰问题。

3) 通过采取管片背后注浆、洞内同步支撑台车、合理控制掘进参数等综合手段,可保障小净距 TBM 隧道的施工安全。采用上述措施,西镇站—青岛站区间 TBM 隧道最小净距达到 0.58 m,创造了国内 TBM 施工最小净距记录。

4) 区间正线上方不具备设置工作井的条件下,可采取平移始发技术,完成 TBM 始发作业。但该方案的 TBM 出渣效率相对较低,应对出渣方案进行针对性设计。

参考文献

- [1] 刘小刚. TBM 在岩石城市轨道交通建设中的应用研究[J]. 现

代隧道技术, 2012, 49(5): 15.

- [2] 吕瑞虎. 城市地铁 TBM 施工适应性评价研究[J]. 现代隧道技术, 2017, 54(1): 31.
- [3] 王杜娟, 宁向可. 城市地铁双护盾 TBM 设计及应用[J]. 隧道建设, 2018, 38(6): 1052.
- [4] 罗勇, 吴圣智, 王明年, 等. 城市轨道交通隧道双护盾 TBM 施工适应性研究[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(2): 525.
- [5] 齐梦学. 垂直皮带机用于地铁 TBM 施工的可行性探讨[J]. 隧道建设, 2016, 36(8): 1004.
- [6] 司玉迪. 双护盾 TBM 在青岛地铁的适应性研究[J]. 隧道建设, 2017, 37(增 1): 212.
- [7] 黄舰. 青岛地铁区间隧道双护盾 TBM 地质适应性分析[J]. 现代隧道技术, 2016, 53(3): 42.
- [8] 林刚, 史宣陶, 陈军. 双护盾 TBM 在青岛城市轨道交通工程中的应用与实践[J]. 隧道建设, 2019, 39(12): 2020.

(收稿日期: 2020-02-20)