

郑州市轨道交通 6 号线盾构穿越南水北调 总干渠段技术控制及措施

Technical Control and Measures of Shield Tunneling Through the Main Canal Section of South-to-North Water Transfer Project for Zhengzhou Rail Transit Line 6

关占明¹,王立平²,黄晶¹,梁敬超¹,刘海彬¹,侯志勇¹

(1.平煤神马建工集团有限公司,河南 平顶山 467000;2.河南理工大学土木工程学院,河南 焦作 454003)

GUAN Zhan-ming¹, WANG Li-ping², HUANG Jing¹, LIANG Jing-chao¹, LIU Hai-bin¹, HOU Zhi-yong¹

(1.Pingmei Shenma Construction Engineering Group Co. Ltd., Pingdingshan 467000, China;

2.School of Civil Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

【摘 要】针对郑州轨道交通 6 号线冯湾站—昆仑路站区间穿越南水北调总干渠段极易导致渠底及堤坝开裂、渗漏以及临近淮铁路桥桩破坏的施工风险,从盾构设计及施工参数控制、设备保障及人员管理、突发事件预防及监测实施等方面做了详细的阐述,有效保证了隧道的正常施工和总干渠及临近桥桩的安全,技术方案和措施可为盾构施工穿越既有河道提供施工经验。

【Abstract】In view of the construction risk that the section from Fengwan station to Kunlun Road Station of Zhengzhou rail transit line 6 crosses the main canal section of the South-to-North Water Transfer Project, which is very easy to lead to the cracking and leakage of the canal bottom and dam and the damage of bridge piles near Huaihe Road, this paper expounds in detail from the aspects of shield design and construction parameter control, equipment guarantee and personnel management, emergency prevention and monitoring implementation, so as to effectively ensure the normal construction of the tunnel and the safety of the main canal and adjacent bridge piles. The technical scheme and measures can provide construction experience for shield construction crossing the existing river.

【关键词】轨道交通;南水北调工程;盾构;技术控制;监测

【Keywords】rail transit; South-to-North water transfer project; shield; technical control; monitor

【中图分类号】U231.3;U443.15

【文献标志码】A

【文章编号】1007-9467 (2023) 04-0078-05

【DOI】10.13616/j.cnki.gcjsysj.2023.04.024

1 引言

作为一种绿色交通模式,地铁能很好地缓解城市交通拥堵和减少环境污染,进行地铁建设利国利民。随着城镇化建设的推进,地铁建设发展迅速,地铁隧道数量与规模增长迅速^[1-3]。盾构法作为地铁施工的首选,具有技术先进、安全经济、对地层扰动小等诸多优点^[4-6]。但是,盾构施工不可避免地会穿越各种既有河道,给隧道正常施工及河道的安全均带来了一定的风险。

南水北调工程是我国战略性工程,主要解决我国北方地区尤其是黄淮海流域的水资源短缺问题。中线工程始于丹江口水库,以明渠通水为主,处理好地铁盾构施工与干渠的关系至关重要。在盾构隧道下穿南水北调干渠的案例中,杨喜^[7]等采用数值分析得到随覆土厚度和左右线间距增加,干渠受盾构施工影响较小。李新臻^[8]等利用数值模拟分析了大直径盾构隧道施工对地层沉降以及干渠结构的影响。晏成^[9]利用数值模拟方法对国内首例城际铁路下穿南水北调干渠沉降控制进行了研究,确定了城际铁路下穿干渠的施工工法和盾构隧道埋深。张延^[10]从管片防水和结构加强措施等方面,研究了大直径盾构下穿南水北调干渠的设计方案。贾晓凤^[11]等通过对盾构

【基金项目】河南省住房城乡建设科技计划项目(J-2101);河南理工大学博士基金(B2019-34)

【作者简介】关占明(1975~),男,河南襄城人,高级工程师,从事城市轨道交通工程施工与管理研究。

隧道下穿南水北调干渠时沉降现场监测数据和数值模拟结果的分析,得到克泥效工法能够有效减少干渠结构及地表沉降量。本文针对郑州轨道交通6号线冯湾站—昆仑路站区间穿越水北调总干渠制定了详尽的技术及和防范措施,方案可为同类工程提供参考。

2 工程概况及下穿南水北调干渠风险源描

郑州市轨道交通6号线一期工程冯湾站—昆仑路站区间位于郑州市中原区,左线长度1569.684 m,右线长度1570.8 m,线间距13.0~16.2 m,向东敷设,地形起伏较大,且79°斜交下穿南水北调干渠,重要性分级为极重要。穿越南水北调工程保护区范围左线长度388.754 m,右线长度392.580 m。区间侧穿淮河路跨南水北调总干渠桥桩,隧道距离桥桩最小水平距离为13.17 m,综合判定该处属于一级环境风险源。桥梁为三跨预应力混凝土变截面连续箱梁结构,距离区间最近的桥桩为桥台下方的桩,隧道底部距离桩底11.5 m,侧穿处位于桩基中下部位置。南水北调河底埋深约22.32 m,下穿处隧道埋深35.47 m左右,隧道结构边缘距离河底最小距离约为13.37 m。该段总干渠一级马道以下全断面采用混凝土板衬砌,隧道穿越干渠地段主要为粉质黏土,含较多钙质结核,夹黏质粉土,局部分布有不连续钙质胶结层,坚硬,岩芯呈块状或短柱状,钻进困难。本段隧道全部位于地下水位之下,地下水为第四纪松散岩类孔隙潜水。

盾构隧道穿越南水北调总干渠道,设计或施工参数不当不仅导致隧道本身面临风险,而且极易引起河底及堤坝开裂、渗漏,甚至可能造成邻近桥桩倾斜、断裂等不良状况发生。

3 穿渠段盾构设计及施工参数控制

3.1 盾构选型

施工采用中铁装备型号CTER259/R260两台土压平衡式盾构机,根据郑州地铁地质专门进行改造。开挖直径6480 mm,前盾盾体直径6462 mm,全长83 m。充分考虑标段地质情况,为有效应对钙质结核对刀具带来的磨损,采用耐磨性能和冲击性能好的KE13硬质合金。刀盘开口率52%,以软土刀具为主。

3.2 管片设计及安装质量

管片强度等级C50,采用通用型衬砌环,环宽1500 mm,外径6200 mm,内径5500 mm,厚度350 mm,管片楔形量

40 mm,分块为6块。抗渗等级P12,迎土面裂缝宽度不大于0.2 mm。管片环纵缝面有弹性密封垫槽及嵌缝槽并设传力衬垫。控制管片安装质量,允许偏差:隧道轴线平面位置 ± 100 mm,隧道轴线高程 ± 100 mm,衬砌环直径椭圆度 $\pm 6\%$,相邻管片径向错台10 mm,相邻管片环向错台15 mm。管片采用III型加强管片,每环管片注浆孔增加到16个。防水等级为一级,全环设置膨胀止水带。在干渠富含地下水的特殊地段,接缝外侧加贴氯丁海绵橡胶,加强管片防水材料粘贴质量控制。

3.3 试验段及穿渠段施工参数控制

3.3.1 试验段掘进

盾构机到达干渠工程保护范围前100 m建立试验段。对掘进参数及地面沉降情况进行统计,确定合理的施工参数。试验段初拟掘进参数:上部土仓压力351~462 kPa,掘进速度30~50 mm/min,排土控制值59.34~64.28 m³。刀盘转速1.0~1.2 r/min,扭矩1800~3500 kN·m,铰接千斤顶行程50~70 mm,行程差0~40 mm,水平及垂直允许偏差 ± 20 mm,俯仰角与设计轴线趋势小于4 mm/m,发泡剂百分比3%~5%,溶液与空气的混合比18%~20%,环注浆量5.82 m³,单环注浆压力0.2~0.4 MPa。

3.3.2 穿渠段掘进

1) 土仓压力控制

为获得土仓压力与地层压力平衡,结合监测情况严格控制土仓压力、刀盘转速及出土量。穿越干渠时,通过计算对土仓压力进行设定,并加设20~30 kPa的附加压力。掘进中保持土仓压力平衡,控制波动值在设定值的 $\pm 5\%$ 范围内。

2) 推进速度和姿态控制

盾构推进匀速进行,速度控制在30~50 mm/min。控制盾构机姿态变化,不宜过大或过频,避免盾构上浮、叩头和后退等现象发生,严格控制中线平面位置偏差、盾构切口与盾尾平面以及高程偏差均不超过 ± 5 mm,达到 ± 30 mm报警。施工过程中管片上浮时将轴线降低20~30 mm。若出现盾构偏移轴线过大,逐步纠正并及时调整推进速度。

3) 出渣控制

建立严格的渣土管理制度。每天分析渣土性质,严密监视渣土成分变化,对出渣量进行认真统计,比较每环出土量与邻接段的环出土量,判断前方地层情况,及时调整掘进参数。

4)克泥效工法施工控制

刀盘开挖直径大于盾体,不及时充填会造成地面沉降。为保护南水北调总干渠安全,采用克泥效工法。具体是将黏土与水玻璃作为强塑剂以适当比例混合,瞬间形成高黏度且不会硬化的可塑性胶化体,由泵送通过径向孔注入,其配比为膨润土:水玻璃为 12.5:1,水玻璃比重 1.38~1.39,膨润土用量 400 kg,凝结时间 4.5 s,混合后黏度 300 dPa·s。

盾构机掘进时同步由径向孔向盾体外注入克泥效,注入点为 11 点钟和 1 点钟位置。前盾处 4 个预留孔可接入,中盾进前盾设有超前注浆管 7 个,盾尾处设置有 5 个注入孔。台车自带二次补浆系统可用于注入克泥效混合液。通过中盾上的带阀门的预留注浆孔每环注入 0.9~1 m³ 混合液体,注入率为 120%~130%。

5)同步注浆控制

严格执行同步注浆工序,确保地层稳定。为有效充填盾尾与管片间环向空隙,确保管片不因注浆变形和损坏,同时避免注浆反窜致使盾尾刷固结失效,注浆压力控制在 0.2~0.4 MPa。根据经验,注浆量取环形间隙理论体积 1.3~1.8 倍,计算时取 1.4,一环的注浆量约为 5.852 m³。注浆速度应与掘进速度相匹配,按盾构完成一环宽度掘进的时间内完成当环注浆量来确定其平均注浆速度。

6)二次注浆控制

二次注浆采用具有较高黏度的水泥单液浆,水灰比控制在 0.8:1~1:1。因拼装需要,每块管片中央设置的吊装孔兼作注浆孔进行二次补强注浆。注浆时,应避免对盾尾刷的固结。注浆压力略大于同步注浆压力,控制在 0.3~0.5 MPa。注浆量需根据地质及注浆记录情况,在分析注浆效果结合监测情况后具体确定。

7)减震措施

为减少盾构法施工带来的振动,穿越段需设置钢弹簧浮置板道床进行减振。

4 穿渠段材料设备保障及人员管理

南水北调干渠是重要的风险源,盾构穿越地段既是重点工程,又是难点工程,应精心组织,有序可控。

1)加强设备管理。在进渠前 30 m 对注浆、推进千斤顶及监控系统等设备进行全面保养检修,有问题及时维修和更换;

盾尾密封刷应加足油脂;穿越期间严格控制铰接油缸行程及行程差;合理使用发泡剂、膨润土以改善土仓内土的和易性;防止螺旋输送机喷涌砂。

2)强化安全及质量意识。对施工人员进行培训,加强与产权部门协作,穿渠过程全程监控,地面安排专人 24 h 不间断巡视,出现异常情况及时采取措施。对地表以及淮河路桥已有裂缝或新增裂缝认真记录,有异常情况拍照进行影像资料存档。

3)做好物资及应急救援设备配备。配备应急仓库,应急物资定期检查;通信畅通,至少两套通信设备;备置 2 台 55 kW 发电机,以防施工时意外停电。

5 突发事件预防措施

1)高水压易导致盾尾密封失效,设 3 排盾尾刷及紧急止水装置;若遇输送机喷涌,立即关闭输送机阀门,并向土仓内打入稠膨润土控制土仓压力,启动螺旋机配备的保压泵啮装置。

2)若遇渠底大面积渗漏、冒浆,控制好掘进速度,保证土仓压力稳定;当干渠沉降监测指标超过预警值,应加强二次注浆;达到控制值应组织专家分析原因并制定措施,同时根据监测数据进行洞内补偿式注浆。

3)遇不良地质导致刀具损坏且地面又无加固条件,采取气压换刀;土仓无法保压时,借助超强注浆孔使用单液浆固结刀盘前方及顶部土体后开仓进行换刀。

6 加强监测工作

在盾构下穿干渠段 300 m 隧道内每 5 环设一个监测断面进行管片竖向位移和净空收敛监测,隧道外干渠围栏边线外 60 m 地表沿隧道中线每 5 环一个监测点,每 30 m 一个监测断面,加密布设 6 个断面,每个监测断面 15 个测点,除轴线测点外,在中心线外横向布置间距依次为 3 m、5 m、5 m、5 m、8 m。淮河路桥每个桥墩布设一个沉降观测点,共布设 4 个点。

随着左、右线工作面推进(左线滞后于右线),根据监测要求,按规定测读时间对工作面后方一定范围的净空收敛和管片竖向位移监测点(涉及编号 GGC-Y-625~GGC-Y750, GGC-Z-80~GGC-Z150 间所有测点)、工作面前方及后方一定范围的地表竖向位移监测点(涉及编号 DBC-Y799 至

DBC-Y891,DBC-Z179 至 DBC-Y326 间所有测点) 进行监测,分别计算各点的沉降速率及累计沉降量,并统计出诸多监测点在测读时的最大正、负方向位移累计值点(并记录此监测点的速率),最大正、负方向速率点(并记录此监测点的位移累计值)。若各项目监测结果不超过表 1 监测项目控制值,则区间自身及周边环境均处于安全稳定状态,可正常施工。

表 1 各监测项目的控制值

监测项目	控制值	
	速率/(mm/d)	累计值/mm
地表竖向位移	-4/3	-30/10
管片竖向位移	±2	±15
净空收敛	±3	±24
桥梁墩台	-2	-15

图 1 为管片竖向位移和净空收敛监测点布置。以 GGJ/C-

Z(Y)-700 为例,GGJ 和 GGC 分别代表净空收敛和管片竖向位移,Z 和 Y 分别代表左线和右线,数字 700 代表环数。管片竖向位移采用电子水准仪,利用盾构腰部管片的螺栓作为监测点。净空收敛采用激光测距仪,测点布置在每个监测断面的两侧拱腰处。

特将右线掘进 793 环至掘进 865 环管片,左线掘进 227 环至 277 环管片,工作面后方的管片竖向位移监测结果作统计如图 2 所示。

结合统计数据及图 2a 及图 2c,随着右线掘进 793 环,左线掘进 227 环(此时右线已近脱离东侧南水北调围栏边线,左线离西侧南水北调工程保护区边界距离较远),对所涉及的所有测点测值进行统计,最大正方向累计值测点 GGC-Y-700 (负方向 GGC-Z-95);右线掘进 807 环,左线掘进 236 环,最

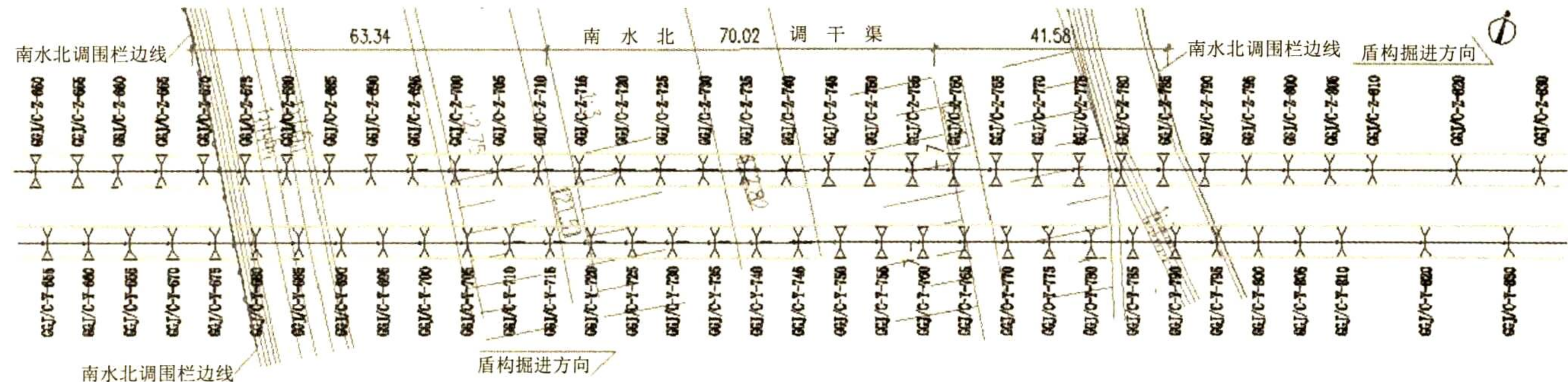


图 1 隧道内监测布点

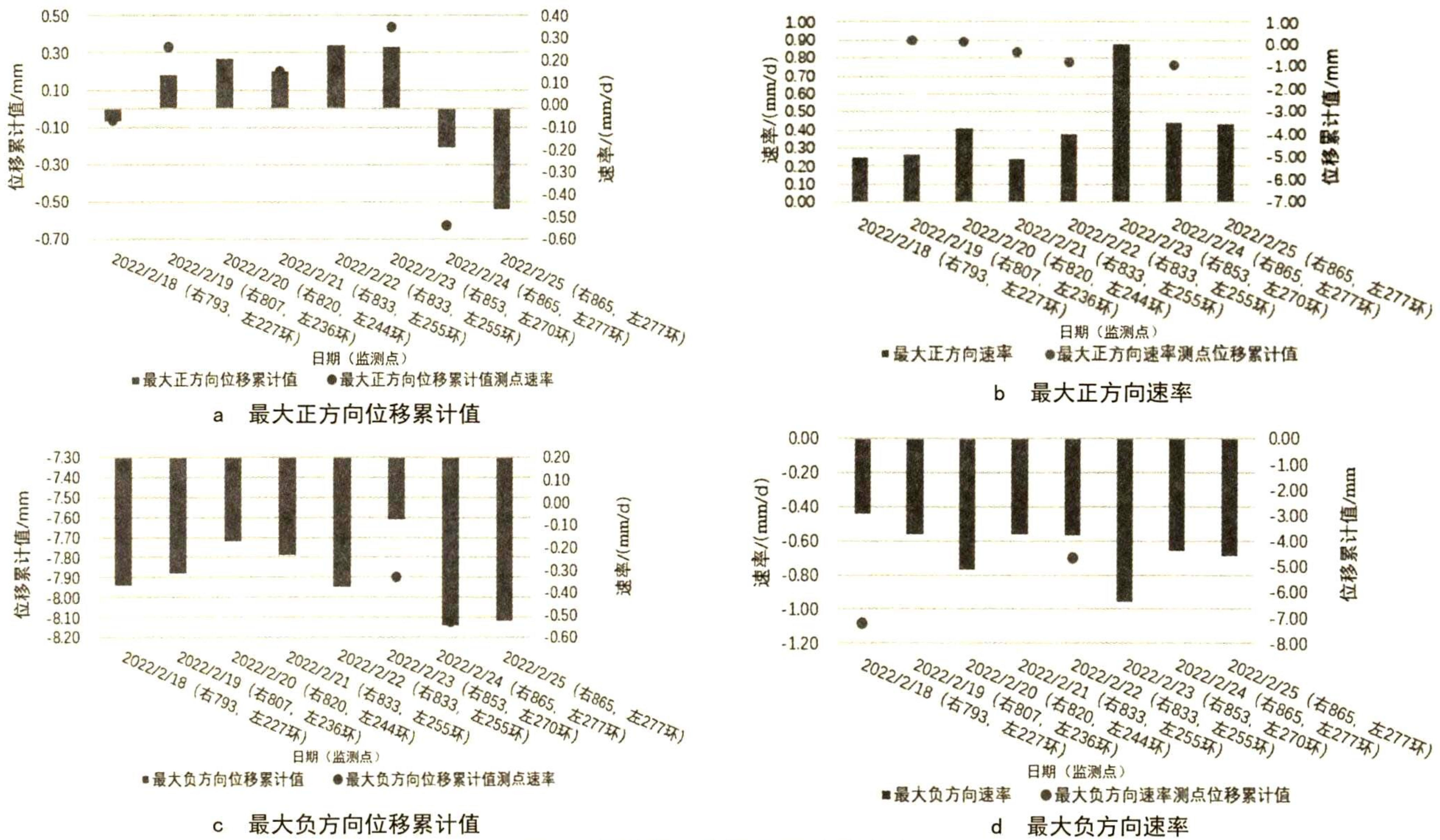


图 2 管片竖向位移监测结果统计

大正方向累计值测点 GGC-Y-680(负方向 GGC-Z-95);右线掘进 820 环,左线掘进 244 环,最大正方向累计值测点 GGC-Y-650(负方向 GGC-Z-95);右线掘进 833 环,左线掘进 255 环(1 d 未掘进),最大正方向累计值测点 GGC-Y-675 和 GGC-Y-650(负方向 GGC-Z-95);右线掘进 853 环,左线掘进 270 环,最大正方向累计值测点 GGC-Y-675(负方向 GGC-Z-80);右线掘进 865 环,左线掘进 277 环(1 d 未掘进),最大正方向累计值测点 GGC-Y-675,负方向 GGC-Z-80(GGC-Z-95)。统计得出对应监测项目的监测点会发生变化,究其原因这是由于随着工作面向前推进,测点并不一直是负向位移或正向位移,如此累计值发生变化而相应的测点会发生变化。汇总监测点数据并结合图 2a、图 2b、图 2c 及图 2d,得到诸多测点中,最大正方向位移累计值 0.34 mm,最大负方向位移累计值 8.14 mm,最大正方向速率 0.88 mm/d,最大负方向速率 0.96 mm/d,均未超过表 1 中的监测项目控制值。隧道净空收敛和地表竖向位移统计分析方法和管片竖向位移相同,限于篇幅,不再赘述,并对淮河路桥桥墩沉降观测点监测,监测结果均满足表 1 要求。

上述监测方法对所有测点能做到兼顾而不遗漏,通过监测可对施工隧道质量和环境安全进行评估,超出范围应采取必要技术措施。通过日常巡视,隧道未出现明显渗水及管片破损或错台现象。

7 结语

郑州轨道交通 6 号线冯湾站—昆仑路站区间隧道下穿南水北调干渠,紧邻淮河路跨南水北调总干渠桥桩,且整段处于地下水位以下,极易引起河底及堤坝开裂、渗漏、邻近桥桩的倾斜、断裂,给盾构施工带来了一定的风险和技术挑战。结合区段环境条件有针对性地进行盾构选型、管片设计及安装质量控制、试验段及穿渠段的施工参数控制和设备保障及人员管理有机配合,认真落实突发事件预防及监测巡视等各环节,使盾构穿渠的技术难题得到了很好的解决,技术方案和措施可为城市中盾构施工穿越既有河道提供借鉴。

【参考文献】

- [1]李保虎.城市轨道交通盾构法隧道施工工艺研究[J].工程建设与设计,2022(2):124-126.
- [2]王宇通,王新线,赵林.复合地层地铁隧道工程技术发展概述[J].现代

城市轨道交通,2021(Z1):17-20.

- [3]胡长明,张文萃,陆征宇,等.基于突变理论的盾构下穿危旧房屋及河流段风险评价与控制方法研究[J].安全与环境学报,2017,17(4):1221-1227.
- [4]赵方彬.盾构法修建地铁隧道的技术现状与展望[J].工程建设与设计,2018(20):191-192.
- [5]高延伟,翁子才,张照煌.盾构技术在隧洞施工中的应用分析[J].中国水利水电科学研究院学报,2020,18(6):502-507.
- [6]关辉辉,王军,刘中心.石家庄地铁 1 号线土压平衡盾构施工掘进参数研究[J].铁道建筑,2015(12):39-42,99.
- [7]杨喜,邹琦,王庆.地铁隧道穿越南水北调干渠施工影响分析[J].隧道建设,2013,33(7):562-566.
- [8]李新臻,杜守继,孙伟良.大直径盾构隧道下穿南水北调干渠施工影响分析[J].河北工程大学学报(自然科学版),2017,34(4):64-69.
- [9]晏成.机南城际铁路大直径盾构穿越总干渠埋深研究[J].施工技术,2019,48(11):105-110.
- [10]张延.大直径盾构隧道下穿南水北调中线总干渠设计研究[J].铁道标准设计,2019,63(9):78-83.
- [11]贾晓凤,李春剑,任磊,等.地铁盾构隧道下穿南水北调干渠的沉降控制研究[J].安全与环境工程,2022,29(1):77-84,118.

【收稿日期】2022-05-17