

钱江隧道穿越防汛堤坝施工控制及监测分析*

赵义诚

(上海奉贤建设发展(集团)有限公司, 上海 201446)

摘要: 该文结合钱江隧道工程, 对穿越堤坝的关键控制点进行了分析, 对穿越堤坝过程中的盾构推进控制技术进行了研究, 并对穿越引起的堤坝变形进行了监测分析, 有针对性地提出了盾构穿越堤坝的沉降控制措施, 可为类似工程施工提供参考。

关键词: 钱江隧道; 穿越堤坝; 砌体结构; 施工控制; 监测分析

中图分类号: U455 **文献标志码:** B **文章编号:** 1008-0112(2014)01-0060-05

防汛堤坝是整个防洪体系的重要组成部分, 其抗洪能力直接关乎堤防保护范围内人民的生命财产安全^[1], 防汛堤坝周边的土建工程在施工中通常设置保护界限以减小堤坝变形和维持堤坝稳定。然而, 随着隧道工程建设的蓬勃发展, 越来越多的过江、过海峡隧道必然穿越河堤、海堤等防汛工程, 如上海长江隧道、武汉长江隧道、南京长江隧道工程等^[2-4]。盾构机对正面土体具有挤压作用, 且对土体扰动较大^[5], 极易导致盾构穿越过程中造成堤坝变形过大, 对堤坝的正常使用和安全性能产生影响。

研究表明, 通过优化盾构掘进参数, 可以减少盾构施工对周围土体的扰动, 降低堤坝沉降^[6], 因此, 盾构穿越防汛堤坝时采取必要的施工控制措施并进行变形监测成为保障堤坝安全的重要举措。然而, 目前对盾构隧道穿越防汛堤坝的研究主要采用数值分析和现场监测手段, 探讨穿越施工引起的堤坝变形机理。张忠苗等^[6]对杭州庆春路过江盾构隧道施工的地表沉降监测数据进行了分析, 探讨了穿越堤防引起地表沉降较大的产生原因。吴建国等^[7]对盾构隧道穿越新建海堤工程的结构设计与沉降观测结果进行了研究, 分析了盾构施工时的底层沉降规律。蒋建平^[8]采用数值模拟方法对隧道穿越堤防时的堤顶沉降规律进行了研究, 分析了各影响因素与堤坝变形趋势的相关性。

钱江隧道江北堤坝为砌体结构, 盾构穿越施工难度极大。鉴于此, 本文结合钱江隧道工程, 对穿越堤坝的关键控制点进行了分析, 对穿越堤坝过程中的盾

构推进控制技术进行了研究, 并对穿越引起的堤坝变形进行了监测分析。结果表明, 采用适当的盾构推进控制技术可以有效地减少穿越施工对既有堤坝变形的影响, 可为类似工程施工提供参考。

1 工程概况

1.1 盾构工程概况

钱江隧道是目前世界上最大直径的软土盾构法隧道工程之一。盾构穿越段主要为透水性强的粉砂层和强度低、含水量高、灵敏度高的淤泥质粘土, 如图 1 所示。盾构段采用圆形断面、单层衬砌结构形式, 衬砌环外径为 15.00 m, 内径为 13.70 m, 管片厚度为 0.65 m, 环宽度为 2.0 m, 管片混凝土等级为 C60。衬砌环分块采用“9+1”通用楔形环的方式(B1-B7、L1、L2、K)、错缝拼接、斜螺栓连接, 如图 2 所示。K 块采用半纵向插入方式(先径向搭接 1.20 m, 后纵向插入)。

1.2 穿越堤坝概况

钱江隧道两次穿越江北大堤。西线隧道由江南向江北掘进, 穿越江北大堤; 东线隧道由江北向江南掘进穿越江北大堤。该大堤前身为明清时期的鱼鳞石塘, 后建为标准海塘。鱼鳞高达 5 m 多, 下有木桩支撑, 石塘外侧设有二级砌石护坡及木排桩护脚防冲, 如图 3 所示。标准海塘建成后, 土埧顶面高程为 8.87 m, 顶面宽为 4 m, 外口设有浆砌条石防浪墙, 墙顶高程为 9.67 m,

收稿日期: 2013-11-27; 修回日期: 2013-12-27

作者简介: 赵义诚(1981), 男, 硕士, 国家注册一级建造师, 主要从事岩土工程、地下工程、公路工程等领域的施工。

* 基金项目: 交通部科技项目(2009-353-333-340)

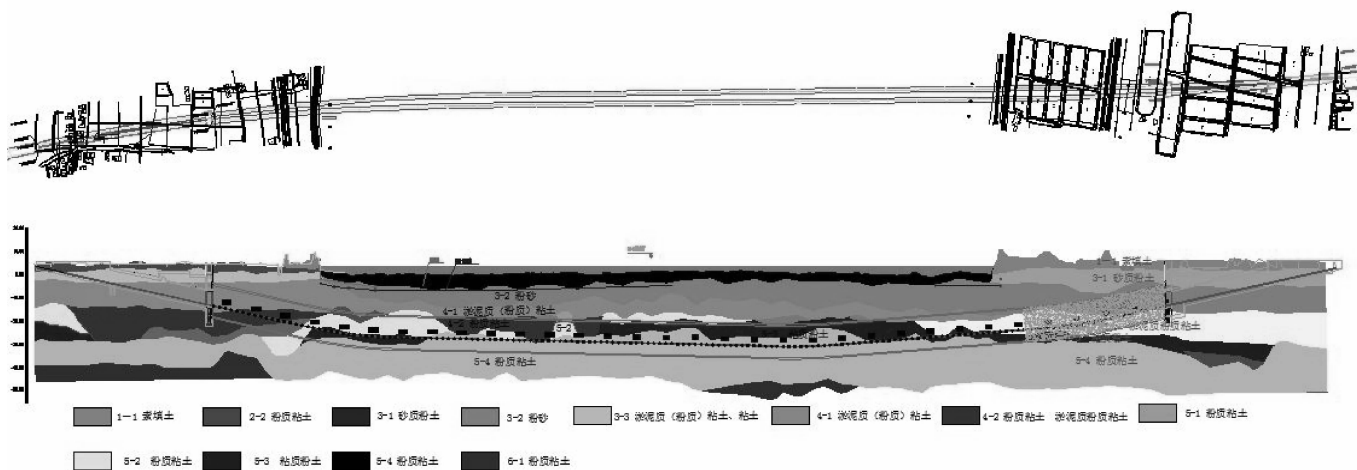


图1 钱江隧道位置和穿越地层

靠内侧建有4 m宽的防汛道路。盾构穿越堤坝的地质剖面如图4所示,穿越区域内各土层的物理力学指标如表1所示。

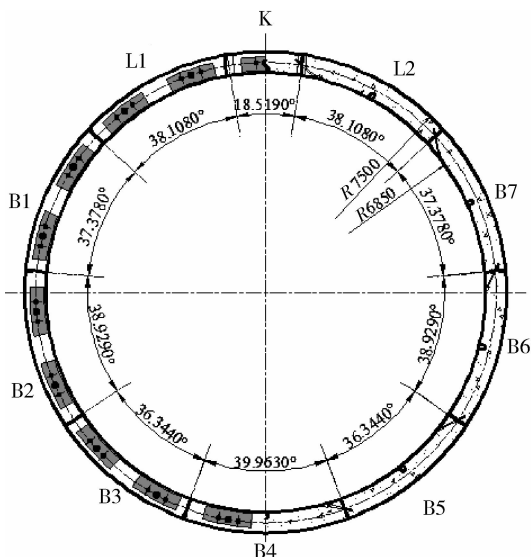


图2 钱江隧道管片尺寸(单位: mm)

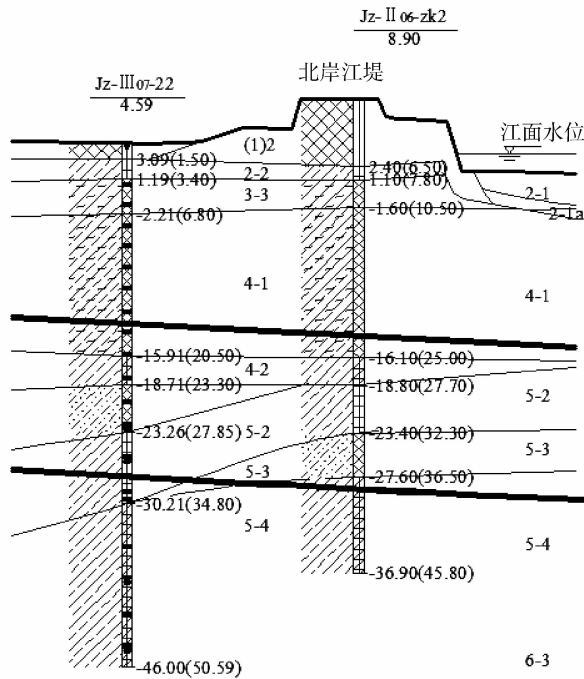


图4 盾构穿越江北大堤地质剖面(单位: m)



图3 钱塘江江北大堤

土埧内坡为坡比1:2.5的土坡及植草保护。鱼鳞石塘内侧塘面宽约为11 m, 高程在6.88~7.37 m之间,

2 盾构穿越大堤关键施工技术

2.1 穿越大堤过程中的关键控制点

1) 盾构穿越大堤覆土厚度变化梯度大, 盾构施工参数控制困难, 给地面沉降控制带来困难。

2) 盾构先后穿越大堤时东、西线隧道之间净距离较小, 最小不足10 m, 穿越施工造成的土层二次扰动可能对大堤变形产生一定的影响。

3) 钱塘江潮汐特征突出, 潮差较大, 从而给盾构施工参数控制带来困难。

表1 各土层土的物理力学指标

层号	土层名称	天然含水量 /%	天然容重 γ /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	孔隙比	渗透系数		压缩模量 E_{s1-2} /MPa	承载力特征值 f_a /kPa
					垂直 K_v /($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	水平 K_h /($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)		
2-1	砂质粉土	26.4	19.5	0.76	1.40E-4	1.95E-4	11.7	140
2-2	粉砂	23.8	19.9	0.67	3.13E-4	3.58E-4	11.9	160
3-3	淤泥质粘土	38.4	18.3	1.09	2.08E-7	4.17E-7	2.8	70
4-1	淤泥质粉质粘土	40.5	18.0	1.15	2.87E-7	4.10E-7	2.9	75
4-2	粉质粘土	33.9	18.3	1.03	3.66E-7	5.25E-7	3.8	100
5-2	粉质粘土	28.4	19.5	0.82	7.75E-7	3.70E-7	6.2	170
5-3	粘质粉土	31.0	19.0	0.88	4.30E-7	3.27E-7	6.4	150
5-4	粉质粘土	34.5	18.7	0.96	2.51E-7	3.27E-7	6.7	135
6-3	粉质粘土	33.4	18.8	0.97	—	—	6.5	140

2.2 盾构穿越大堤关键推进技术

考虑大堤处隧道的覆土情况,结合盾构施工对地表构筑物的影响规律,确定盾构机切口到达大堤前30 m(15环)和盾尾通过后20 m(10环)为盾构穿越大堤施工的重点控制施工段。穿越施工时对本施工区段内的各项施工参数做严格的规定,切口水压、盾构推进、泥水控制、同步注浆和密封油脂压注等各工序必须严格按照要求进行操作。

1) 切口水压:切口水压力波动太大,会增加正面土体的扰动,导致正面土体的流失,因此应尽可能减少切口水压的波动。施工过程中将通过气泡仓压力和泥水液位作用,将切口水压波动值控制在 $\pm 0.02 \text{ kg/cm}^2$ 范围内,保证正面稳定。原则上根据切口水压的理论计算值进行控制(考虑到隧道上部覆土厚度和荷载变化,需计算每环切口水压值),实际施工中按照地面沉降结果进行微量调整。

2) 泥水质量指标:在盾构机穿越大堤施工期间采用高质量的泥水输送到切口,使其能很好地支护正面土体。一般情况下,泥水密度控制在 $1.2 \sim 1.3 \text{ g/cm}^3$ 范围内,粘度控制在20 s以上。在大堤垂直投影影响范围内盾构推进时,泥水中加入HS-2(新型堵漏剂),增加泥水的自身堵漏功能,保证泥膜的质量,进一步提高正面土体的稳定性。

3) 推进速度和纠偏控制:此阶段推进速度不宜太快,一般控制在20 mm/min以下。采用匀速推进,使土体被盾构推进所产生的应力得到充分释放,避免由于总推进力过大或过于集中而造成盾构内部系统破坏。另外,考虑到大堤下部可能存在不明障碍物,推进时需密切注意刀盘扭矩的变化。严格控制盾构推进轴线,避免过多、过量的盾构纠偏,以减少盾构推进对土层的扰动,控制地表变形。

4) 加强同步注浆管理:同步注浆是防止地层沉降的重要措施,同步注浆控制包括注浆量和注浆压力控

制。盾构推进过程中主要以注浆量为控制指标,该段注浆量设为建筑空隙的120%~140%,即总的注浆量为24~29 m^3 。如果在盾构穿越过程中出现大堤沉降偏大,应及时进行地面跟踪注浆处理。

5) 密切注意盾尾漏浆,充分压注盾尾油脂。

6) 确保管片压浆闷头的紧密和牢靠,防止压浆孔产生漏浆。

此外,盾构穿越防汛大堤施工前,提前2个月对江北大堤采用船抛块石混合料作镇压平台,抛石范围为隧道轴线中心段(约50 m)及其相邻上下游岸段(各100 m),共长约为250 m,抛石宽度为塘脚至塘前10~15 m,抛石厚度为1~1.5 m。

3 盾构穿越大堤监测设计

为及时掌握盾构穿越防汛堤坝造成的地表隆陷,防止地表出现过大大变形,沿江北大堤共布设了6条监测断面,每条断面共计25个监测点。每个断面在推进轴线中心处布1点,左右32 m范围内各布置8点。其中,距中心线20 m范围内监测点间距为3 m,20~32 m范围内监测点间距为6 m,如图5所示。

4 监测结果分析

4.1 西线隧道盾构穿越江北大堤

2011年3月29日西线隧道盾构推进到达江北大堤鱼鳞石塘1442环(断面1),2011年4月9日通过土埭北坡角。鱼鳞石塘在盾构通过时隆起20 mm,之后逐渐恢复,断面1在西线隧道轴线点沉降曲线如图6所示。其他测点也有不同程度的后期沉降现象,初始沉降速率每天大于1 mm,10 d后沉降速率每天约0.5 mm,两个月后始终保持平均日变化量为0.1 mm左右的沉降趋势。直至2012年2月最后1次监测数据出现变化为正值,说明大堤已趋于稳定。

各监测断面最终累计沉降最大点基本对应盾构轴线正上方,两侧对称,盾构对地表沉降的影响半径约为33 m,断面1沉降曲线如图7所示。

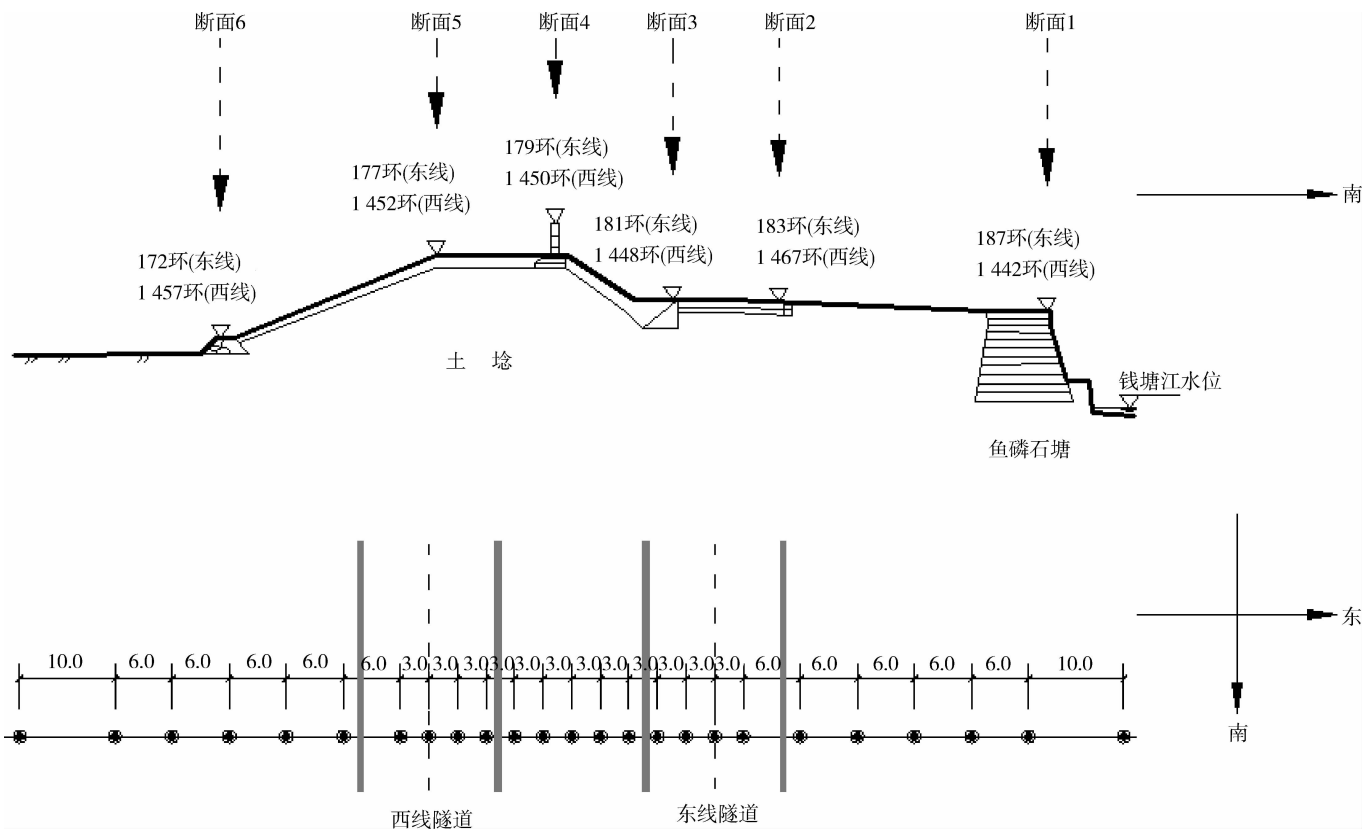


图5 北岸测点布置(单位: m)

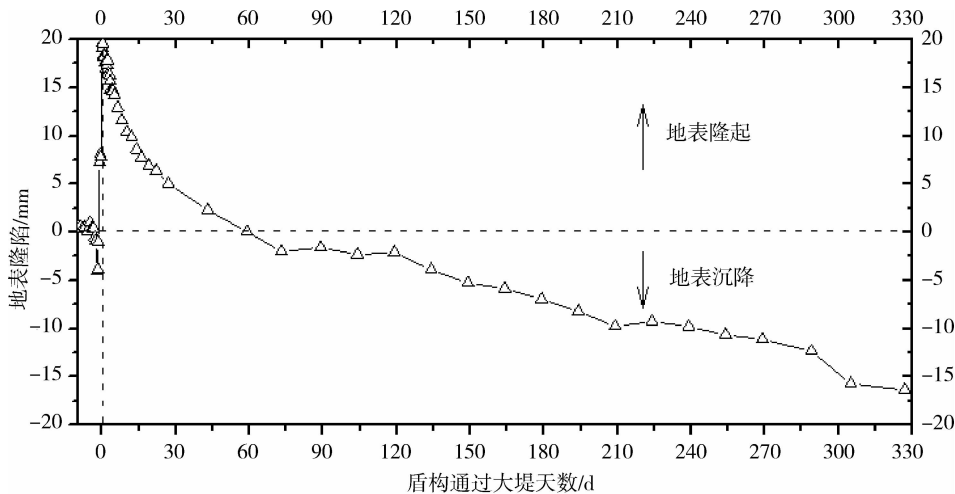


图6 西线盾构穿越江北大堤沉降时程曲线

4.2 东线隧道盾构穿越江北大堤

2012年3月16日东线隧道盾构推进到达江北大堤土埭北坡角172环(断面6), 2012年3月20日通过鱼鳞石塘187环(断面1)。鱼鳞石塘在盾构通过时上台22 mm, 之后逐渐恢复, 断面1在东线隧道轴线点沉降曲线如图8所示。其他监测断面也有不同程度的

后期沉降现象, 变化趋势与西线盾构时基本相同。

各监测断面最终累计沉降最大点基本对应盾构轴线正上方, 西侧受已建成的西线隧道的影响, 沉降量偏小, 影响范围偏大; 东侧距轴线27~33 m处地表有隆起现象, 隆起量约为3~4 mm, 断面1沉降曲线如图9所示。

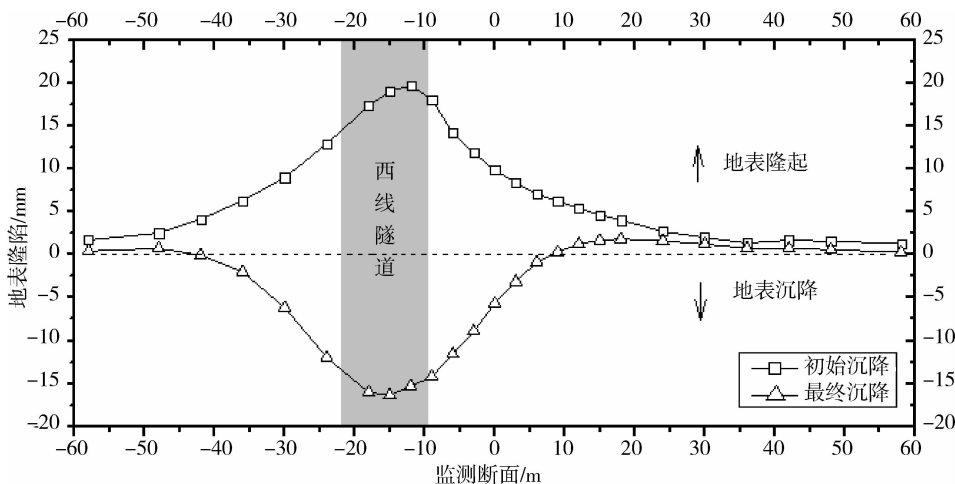


图7 西线盾构穿越江北大堤沉降曲线

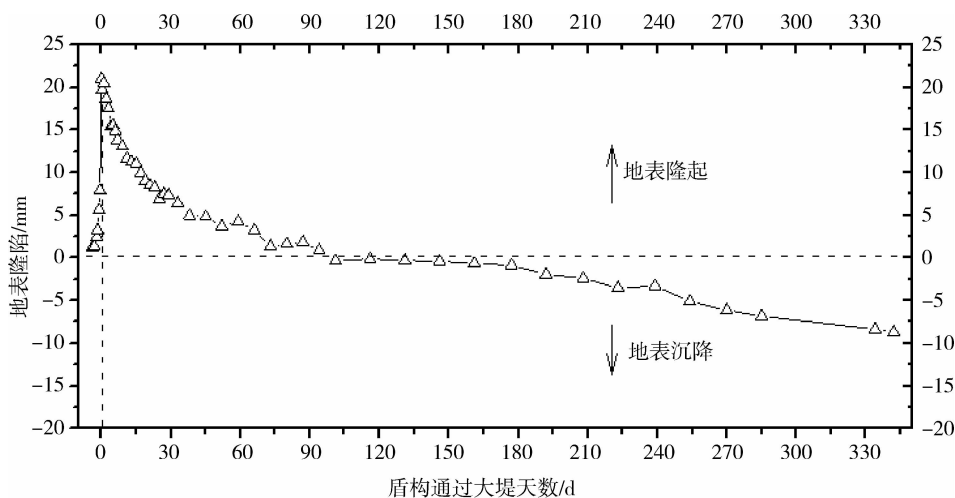


图8 东线盾构穿越江北大堤沉降时程曲线

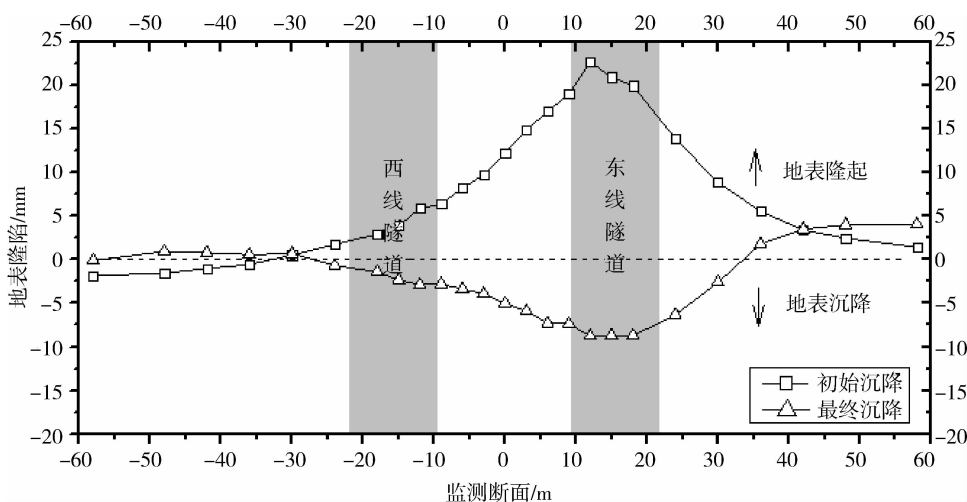


图9 东线盾构穿越江北大堤沉降曲线

5 结论

并制定针对性监测方案、设定监测预警值；

1) 盾构穿越防汛堤坝施工前, 应进行充分调研, 明确穿越施工的关键控制因素, 确定重点控制工段,

(下转第70页)

2) 高监测频次是获得完整监测数据的前提, 本项目驻点监测基本按照《意见》要求的监测频次开展, 获得了较为准确的扰动土地面积、土石方数量和水土保持工程量等动态序列数据, 直观地反映出工程造成的水土流失状况。

3) 由于工程处于快速施工变化中, 且目前生产建设项目水土流失量监测手段有限, 驻点监测也难获得准确的水土流失量数据。笔者认为生产建设项目水土保持监测应注重存在的水土流失问题, 促进水土保持方案设计的各项防治措施落实, 弱化对水土流失量的监测。

参考文献:

[1] 陈三雄, 牛志鹏. 新要求下生产建设项目水土保持监测工作的实践与思考[J]. 中国水土保持, 2010(2): 15

- 17.

[2] 张小林. 关于进一步做好生产建设项目水土保持监测工作的思考[J]. 中国水土保持, 2011(11): 11 - 13.

[3] 张新和, 邓岚, 徐小飞. 浅谈广东省开发建设项目水土保持监测存在的问题及对策[J]. 广东水利水电, 2008(8): 59 - 61.

[4] 杨帆, 舒若杰. 浅谈西部沿海高速珠新段主线公路的水土保持监测[J]. 广东水利水电, 2009(4): 69 - 72.

[5] 赵晨辉. 关于开发建设项目水土保持监测管理的浅见[J]. 亚热带水土保持, 2008, 20(1): 63 - 64.

[6] 徐小飞, 邓岚, 张新和, 等. 铁路建设项目水土流失特点及原因分析[J]. 广东水利水电, 2009(4): 67 - 68.

[7] 姜德文. 开发建设项目水土保持监测与监控探讨[J]. 中国水土保持, 2010(5): 10 - 12.

(本文责任编辑 王瑞兰)

(上接第 64 页)

2) 盾构穿越防汛堤坝施工中, 应对切口水压、盾构推进、泥水控制、同步注浆和密封油脂压注等各盾构施工参数进行严格把控, 及时调整参数动态化施工, 严禁施工参数超越设定区间;

3) 盾构穿越区域内覆土受推进影响最为明显, 是穿越防汛堤坝的重点防护部位;

4) 必要时对坝体进行预加固, 如对坝脚进行抛石稳压, 对穿越区的坝体土体进行注浆加固等;

5) 盾构穿越前, 应对潮汐对坝体的变形规律进行监测, 控制在潮汐变化小的时段穿越坝体。

参考文献:

[1] 张忠苗, 林存刚, 吴世明, 等. 过江盾构隧道穿越大堤的地层沉降分析及控制[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(6): 977 - 984.

[2] Apel H, Merz B, Thieken A H. Influence of dike breaches on flood frequency estimation[J]. Computers and Geosciences, 2009(35): 907 - 923.

[3] 沈细中, 冯夏庭. 山东东明黄河标准化堤防裂缝成因数值分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(2): 347 - 354.

[4] 黄雨, 八嶋厚, 沢田和秀, 等. 堤防地基地震液化的数值模拟[J]. 工程力学, 2007, 24(12): 82 - 87.

[5] 李玲玲, 王立忠. 新建海堤下盾构隧道施工技术措施及监控[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(7): 995 - 1003.

[6] 张忠苗, 林存刚, 吴世明, 等. 杭州庆春路过江隧道施工风险控制实例分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(S2): 3241 - 3480.

[7] 吴建国, 童建国, 边学成, 等. 盾构隧道穿越新建海堤时的设计与沉降观测分析[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2009, 42(S1): 326 - 330.

[8] 蒋建平. 隧道穿越堤防时的堤顶面沉降规律研究[J]. 水运工程, 2013(3): 22 - 30.

(本文责任编辑 王瑞兰)