

# 隧道穿越段长江堤防渗流原因分析及消险加固方案

朱 浩<sup>1</sup>, 谭志国<sup>2</sup>, 朱春光<sup>2</sup>, 李 益<sup>3</sup>

(1. 南京市水利投资有限公司, 江苏 南京 210012; 2. 南京市长江河道管理处, 江苏 南京 210011;  
3. 南京市滁河河道管理处, 江苏 南京 210048)

**摘要:** 某隧道穿越段江堤发生了渗流, 通过对地质条件、探测结果等方面的研究, 进行渗流产生原因的分析: 该段江堤情况复杂, 历经多次工程建设, 江堤堤身及下部堤基可能受到扰动, 堤防土质变松散, 形成了渗水通道。结合江堤实际情况, 提出了消险加固方案, 并进行了多项稳定复核。本案例总结的经验和教训, 可为其它类似江堤提供经验和参考。

**关键词:** 隧道; 堤防; 渗流; 消险加固

中图分类号: TV871.1 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839 (2018) 10-0028-06

## Causes analysis and reinforcement plan of the Yangtze River embankment seepage on tunnel crossing section

ZHU Hao<sup>1</sup>, TAN Zhiguo<sup>2</sup>, ZHU Chunguang<sup>2</sup>, LI Yi<sup>3</sup>

( 1. *Nanjing Water Conservancy Investment Co., Ltd., Nanjing 210012, Jiangsu;*  
2. *Yangtze River Management Division of Nanjing, Nanjing 210011, Jiangsu;*  
3. *Chuhe River Management Office of Nanjing, Nanjing 210048, Jiangsu* )

**Abstract:** The seepage happened in the embankment of a tunnel crossing section. Through the study of geological conditions and detection results, the causes of seepage were analyzed. The embankment conditions in this section were complicated, and the embankment body and the lower embankment foundation might be disturbed after many construction projects. The soil quality of the embankment became loose and the seepage channel was formed. Combined with the actual situation of the river embankment, a scheme for eliminating danger and strengthening was put forward, and a number of stability checks were carried out. The experience and lessons learned from this case could provide experience and reference for other similar river embankments.

**Key words:** tunnel; embankment; seepage; danger reduction and reinforcement

为了满足沿江城市交通建设的要求, 近年来我国修建的大型过江过河隧道越来越多, 但由于地质条件相对复杂、城市建设扰动增多, 经常会发生堤防建设时稳定情况满足规范要求, 实际运行过程中发生渗流的案例。

目前, 江堤运行中往往会采用多种管养机制,

但由于管理养护人员技术的不全面和对其它建设的扰动情况估计不足, 亟需一个合理的处置方案满足江堤的安全运行和应急消险的需求。

## 1 堤防概况

南京某段江堤位于三汊河口~有恒渡口段江

收稿日期: 2018-09-03

作者简介: 朱浩 (1986—), 男, 工程师, 主要从事水利工程建设和管理工作。

堤北段, 长约 630 m, 堤后原址主要为学校、船厂, 北侧为市民广场, 南侧为江边道路, 有一过江通道 N 线下穿该段堤防。

该段江堤为最早实施的南京市滨江风光带改造工程之一, 由江堤改造和环境景观改造两部分组成。主要工程为: 墙后(堤顶)建设观江步道, 墙前建设临江步道, 建设平台及附属设施, 环境景观改造等。江堤提升改造工程 2012 年 10 月开工, 2013 年 6 月基本完成。堤防断面设计图见图 1。

N 线隧道与该段江堤交叉处江堤防洪墙顶高程约 12.6 m; 堤顶高程约 12.2 m, 堤顶总宽约 11 ~ 20 m(慢行道宽 8 m), 堤后地面高程 8.4 ~ 8.5 m。N 线隧道下穿江堤段平面交角约 17°, 盾构外径 14.5 m, 盾构纵坡约 4.6%, 盾构、堤防轴线交叉点处盾构顶高程 -14 m。

## 2 渗流及应急处置情况

2016 年 7 月 3 日晚, 该段江堤背水坡堤脚(高程 8.4 m)部位发现散浸, 并有 3 处较为明显的集

中渗水, 水量较大, 期间江水位 9.3 m 左右。经立即施打养水盆、加强巡查观测等措施, 险情得到了有效处置<sup>[1]</sup>。

抢险期间堤后挡墙分缝处有渗水点; 另发现一处集中汇水出口, 一处有冒水点; 渗水点、集中水流和冒水点均为清水。局部区域地面有鼓起点(冒水点), 现场可见有多处积水区。

## 3 探测及渗漏原因分析

### 3.1 第一次探测、监测(7月抢险期间, 江水位约 9.4 m)

险情发生时, 对该段江堤开展变形监测, 高密度电法和探地雷达探测等。监测和探测结果: 堤防表面没有发生危及结构安全稳定的有害变形, 堤防整体稳定, 堤防渗流总体处于稳定状态, 没有出现明显的冲蚀和空洞; 学校操场下方(过江隧道穿越区)有脱空区。监测结果见图 2。

### 3.2 第二次探测、监测(2016 年 9 月下旬, 江水位约 4.34 m)

与 7 月初抢险期间的探测成果做比较, 9 月

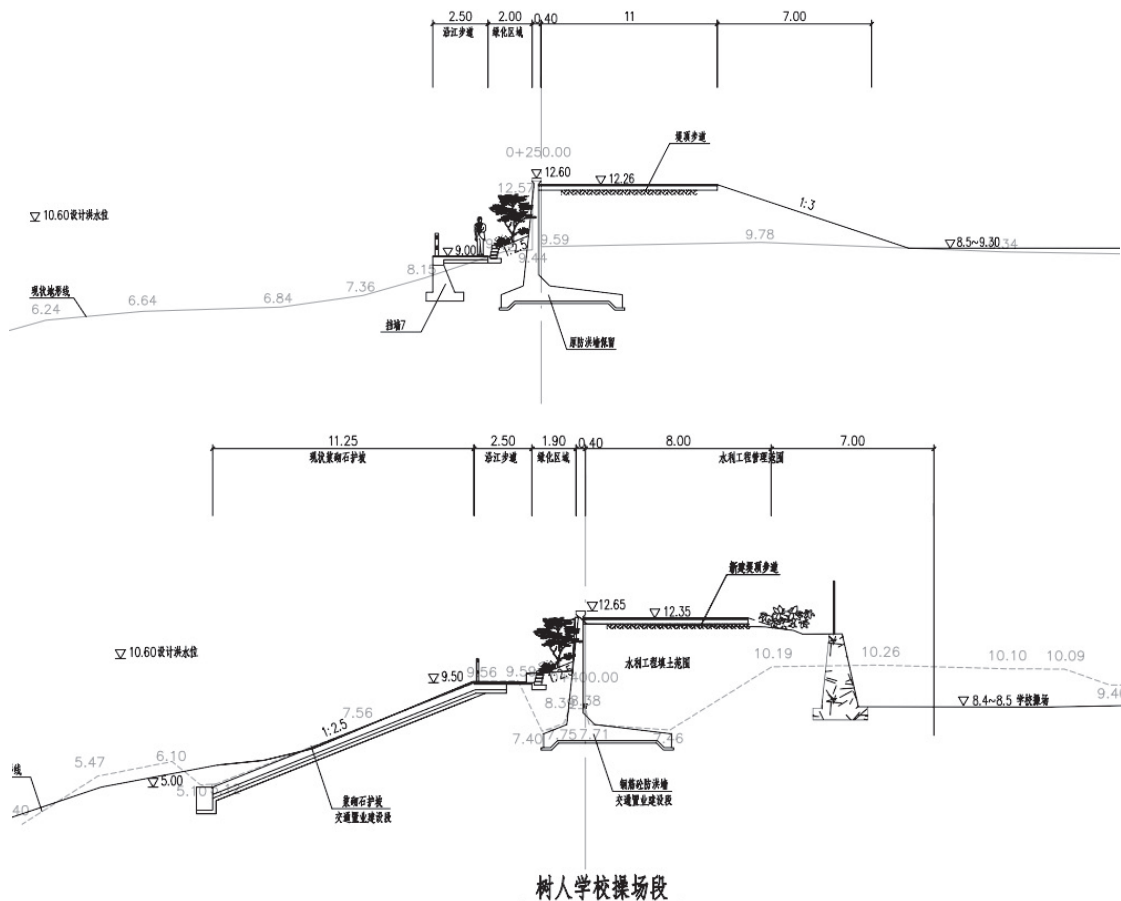


图 1 堤防断面设计图

26日~27日采用高密度电法和探地雷达(35MHz、100MHz两种天线)对该段堤防及堤后操场区域再次进行了探测。

本次高密度电法探测结果和前次比较,反演结果一致性较好,所获得的地层高、低阻分布情况基本相同,变化主要体现在低阻区域范围变小,埋深有所降低。这也说明随着长江水位降低,堤身地下水位下降,堤防浅层土体视电阻率升高,原先渗水区低阻区域埋深明显下降,高富水异常区范围减小。探测结果见图3。

探地雷达探测结果显示堤防的高富水异常和局部渗水异常消失,堤防局部地段堤身存在软弱区,主要分布在堤防的迎水面;操场地面下方的富水异常消失,但混凝土底板下方的脱空异常更明显,局部存在土体软弱区。

2次探测结果:堤防渗漏隐患的位置和范围

基本一致,基本圈定了探测范围内的渗漏隐患点。第一次探测隐患高程在7~0 m,第二次探测为7~-4 m。堤防低频雷达和高密度电法探测成果和解释剖面图像对比见图4。

### 3.3 渗漏原因分析

#### (1) 勘察资料

本次勘察揭露的江堤土层由上至下依次为堤身填土、淤泥质粉质粘土及粉质粘土夹粉砂层,分布较为稳定,与过江通道勘察成果基本一致;主要参数指标中,土体抗剪强度指标接近(本次略小);渗透系数指标勘察结果:①,层填土(混粘性土碎石,层厚1.1~9.1 m)渗透性为中等~强透水,比过江通道勘察指标略大。

#### (2) 物探成果

2次高密度电法探测结果,第一次探测,江堤存在5处渗漏高风险区域,位于堤顶以下5~12 m

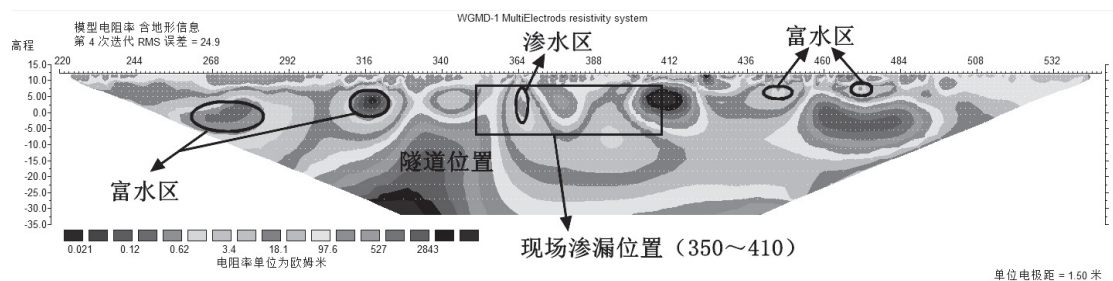


图2 高密度电法视电阻率反演云图(第一次探测,44 m测深)

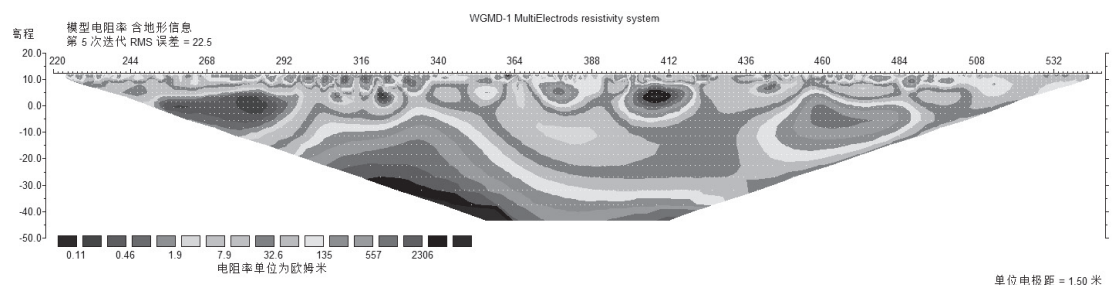


图3 高密度电法视电阻率反演云图(第二次探测,60 m测深)

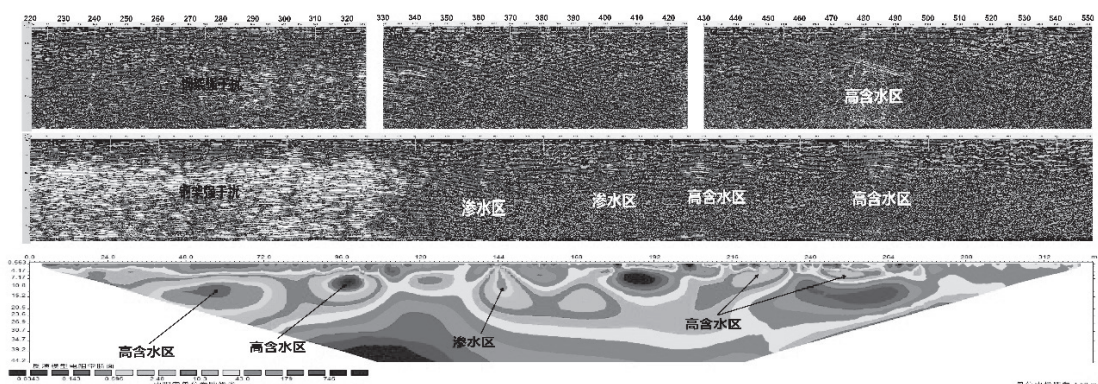


图4 堤防低频雷达和高密度电法探测成果和解释剖面图像对比

(高程 7 ~ 0 m);第二次探测,隐患位置(渗水区低阻区)与第一次基本一致,但埋深下降。雷达探测结果渗漏隐患区位置与高密度电法基本一致,隐患深度 5 ~ 16 m(高程 7 ~ -4 m)。

隧道下穿操场区域,第一次雷达探测结果操场下方地层存在 7 处脱空异常区,脱空区域的四周介质松散,平面分布在隧道中轴线向两侧各 20 m 范围以内,深度在操场地面以下 15 m 以内;第二次探测有 5 处异常区,脱空更为明显,局部有软弱区。

(3)堤防(防洪墙)安全性初步判别

根据第一次探测(抢险期间的应急监测)结果,堤顶最大沉降约 2 mm,迎水侧最大水平位移约 4 mm(位于隧道下穿江堤段,综合楼前江堤);洪水过后经多次现场查看,也未发现堤防有明显变形。初步判断堤防整体是稳定安全的。

(4)渗漏原因初步分析

本段江堤涉及隧道穿越、滨江环境整治、学校建设等,情况较为复杂。隧道下穿江堤,江堤堤身及下部堤基可能受到扰动,局部堤防土质变松散,综合险情、探测及勘察,江堤有疑似渗水通道。

4 消险加固方案

消险加固方案包括江堤消险及过江通道 N 线隧道穿越江堤沿线(隧道纵轴线方向)的土体加固两大部分<sup>[2]</sup>。

4.1 江堤消险

(1)防渗

江堤险情主要为渗水,防渗(截渗)采用垂直防渗墙型式。现状江堤堤顶总宽在 11 m 以上,防渗墙布置于堤顶。考虑险情较为复杂,且该段江堤位于城区较为重要,采用前后两道防渗墙方案,前排防渗墙采用多头小直径深搅桩成墙,后排采

用高压旋喷桩成墙。

防渗范围:隐患段,另外后方有渗水点,考虑适当往两侧延伸,堤防防渗长度 500 m。

防渗深度:按探测结果隐患深度、距盾构顶的安全距离和工艺,前排深搅桩防渗墙防渗底高程 -6.0 m;后排高喷桩防渗墙底高程 -11.0 m。前后两排防渗墙顶高程,按不低于设计洪水位,均为 11.0 m。

(2)灌浆

考虑到隧道对江堤堤基的扰动,以及岸坡整体稳定安全系数富裕度不大,对隧道、江堤交叉段堤防两侧(滩地和背水坡)堤基土体进行灌浆增加密实度,加固土体。

4.2 隧道沿线土体加固

隧道穿越江堤沿线,操场下方有脱空区,局部存在土体软弱区;拟采用灌浆方案对隧道穿堤沿线土体进行加固,包括堤前滩地及堤后操场区域。

根据物探成果,横向灌浆范围为隧道边线两侧各 15 m 范围内;加固深度由地面往下至隧道水平轴深度。

5 渗流、边坡稳定及防洪墙稳定复核

5.1 渗流稳定复核

结合地勘及地形,渗流计算按堤后地面较低的原则,选取 4 个计算断面,采取相应的土层计算指标,运用北京理正软件设计研究院编制的平面渗流分析软件,进行有限元法计算(计算工况为迎水坡设计洪水位 10.63 m 稳定渗流情况下堤防的渗流稳定,堤后地下水位按地面高程考虑),计算结果见表 1。

根据表 1 计算结果,采取垂直防渗墙截渗措施后,各计算断面设计洪水情况下,理论计算渗流量较小,计算渗流出口比降均满足规范要求。

表 1 渗流计算结果表

计算断面	理论计算渗流量 (m <sup>3</sup> /d/m)	计算渗流比降		允许水力坡降 J <sub>允</sub>
		堤坡	堤基	
断面 1	0.145	0.01	0.01	0.42
断面 2	0.193	0.03	0.03	
断面 3	0.267	0.01	0.02	
断面 4	0.219	0.01	0.02	

5.2 边坡稳定复核

土层计算指标采用本次勘察成果(填土层采用过江通道勘察成果指标打八折),选取不利工况对堤防迎水坡进行计算,具体如下:

(1) 正常运用工况

工况一: 坡前水位为长江多年平均水位,背水坡水位为相应的地面高程;

工况二: 水位降落期,坡前水位取设计洪水位降到汛期低水位 7.41 m,坡后地下水位与工况一相同。

(2) 非常运用工况

非常情况是指堤防在非常或短暂的条件下遭遇意外情况失稳,常计算地震工况或施工短暂期工况。

工况三: 地震工况,按区域设防烈度为 7°,设计基本地震加速度值为 0.10 g。采用正常工况一+地震。

工况四: 施工期,坡前水位为长江低水位,背

水坡水位为地面以下 1.5 m。计算时考虑堤顶有荷载 10 kN/m<sup>2</sup> 计。

计算工况见表 2。采用瑞典条分法进行计算,采用北京理正软件设计研究院编制的边坡稳定计算软件计算。计算结果见表 3。

由表 3 计算结果可知,抗滑稳定安全系数满足规范要求。

5.3 防洪墙稳定复核

根据地质报告及《水工挡土墙设计规范》,选取土层计算指标。通过分析只选取最不利工况进行复核<sup>[3-4]</sup>,考虑在正常和持久的条件下工作时,墙前无水、墙后地下水位为 8.5 m,计算时考虑堤顶有荷载的影响,本次计算荷载按 10 kN/m<sup>2</sup> 计。计算常水位运行期以及常水位运行期+地震作用 2 种情况,进行防洪墙抗滑、抗倾覆稳定计算,结果见表 4。

由表 4 计算结果可知,防洪墙抗滑稳定、抗倾稳定均满足规范要求。

表 2 计算工况表

水位及荷载		坡前水位 (m)	坡后水位 (m)	堤顶荷载	备注
计算工况					
正常情况	工况一	5.30	地面高程	5 kN/m <sup>2</sup>	
	工况二	10.6 降到 7.41	地面高程	无	
非常情况	工况三	5.30	地面高程	无	抗震烈度 7°
	工况四	2.50	地面高程下 1.5 m	10 kN/m <sup>2</sup>	

表 3 抗滑稳定计算结果表

计算位置	计算工况	安全系数	容许安全系数
迎水坡	正常情况		
	工况一	1.639	1.30
	工况二	1.307	1.30
	非常情况		
	工况三	1.106	1.10
	工况四	1.282	1.20

注: 计算未考虑堤前局部灌浆加固的有利影响。

表 4 防洪墙稳定计算结果

断面	荷载组合		抗滑稳定		抗倾稳定	
	类别	工况	Kc	[Kc]	K0	[K0]
标准断面	基本组合	常水位运行期	1.69	1.35	5.28	1.60
	特殊组合	地震期+常水位	1.54	1.10	5.04	1.50

## 6 结论及建议

某隧道穿越段江堤发生了渗流后, 通过对地质条件、探测结果等方面的分析, 获得渗流产生的原因: 该段江堤情况复杂, 历经多次工程建设, 江堤堤身及下部堤基可能受到扰动, 局部堤防土质变松散, 形成了渗水通道。应急处置后, 结合江堤实际情况, 提出了江堤防渗、灌浆及隧道沿线土体灌浆加固的消险加固方案, 并在实施后进行了渗流、边坡稳定及防洪墙稳定复核, 结果均满足规范要求。

江堤范围内的工程建设过程中, 堤身的垂直、水平位移监测、浸润线观测及日常巡查极为重要,

所有观测资料按规定记录、整理分析。情况出现异常时, 应立即停止施工, 分析其原因, 并采取措施及时处理, 避免事故的进一步发展。

### 参考文献:

- [1] 李铭华, 陈辉, 方绪顺, 等. 南师附中树人学校段江堤渗流监测成果分析[J]. 江苏水利, 2018(7): 29-33.
- [2] 尤红梅. 刍议江堤防加固工程中防渗技术的选择与应用[J]. 建材发展导向, 2011(11): 143-144.
- [3] 卢伟华. 黄浦江市区段防汛墙稳定性分析[J]. 城市道桥与防洪, 2015(7): 141-144.
- [4] 张家发, 孙厚才, 杨金忠. 堤防加固工程中与防渗墙有关问题的研究报告[R]. 武汉: 长江科学院, 2001.

