

高分子板桩在城市河道护岸工程中的应用

王雪红¹, 袁海霞²

(1. 南京市长江河道管理处, 江苏 南京 210098; 2. 扬州市勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225131)

摘要:通过比较多种型式板桩护岸的优缺点,结合工程实际根据当地工程地质、施工条件、工程造价等方面的要求选择高分子聚合物板桩护岸,并进行相应的渗流和抗滑稳定、桩顶位移、河道过流能力计算,结果表明河道边坡抗滑和渗流稳定在各个工况下均满足规范要求,桩顶位移在允许范围内,河道流速满足河道不冲不淤要求。高分子聚合物板桩护岸效果良好,可被类似工程推广使用。

关键词:高分子聚合物板桩;城市河道;护岸;抗滑稳定;渗流

中图分类号:TV85

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2021)08-0010-05

Application of polymer sheet pile in urban river bank revetment engineering

WANG Xuehong¹, YUAN Haixia²

(1. Yangtze River Management Division of Nanjing, Nanjing 210098, China;

2. Yangzhou Surveying and Design Institute Co., Ltd., Yangzhou 225131, China)

Abstract: By comparing the advantages and disadvantages of various types of sheet pile revetment, combined with actual project, according to the requirements of local engineering geology, construction conditions, project cost and other aspects, the polymer sheet pile revetment was selected, and corresponding seepage stability, anti-sliding stability, displacement of pile top and river flow capacity were calculated. The results showed that the anti sliding and seepage stability of river slope met the specification requirements under various working conditions, the displacement of pile top was within the allowable range, and the river velocity met the requirements of no erosion and deposition. Therefore, the effect of high molecular polymer sheet pile revetment was good, which could be widely used in similar projects.

Key words: high molecular polymer sheet pile; urban river; revetment; anti-sliding stability; seepage

城市河道在满足城区防洪排涝要求的同时还兼顾着景观、生态的作用,河道护岸作为滨水过渡带连接着水陆生态系统,其建设一直是城市河道设计研究的重点。护岸型式的选择应因地制宜,在保证安全性的基础上注重与环境、整体规划的协调。在河道整治建设过程中,往往由于用地条件、开挖条件、空间利用等的限制需要选择一些直立式的护岸,如,木桩、钢板桩、混凝土板桩等等。传统的桩式护岸在水利工程中的应用已屡见不鲜,但在造

价、耐久性、美观性、应用条件等方面均存在不同程度的局限性。随着新型材料的发展,近年来出现了一批新兴高分子材料,由于它具有成本低、质量轻、施工速度快、检修方便、外观型式多样等特点^[1],正被应用于一些河道工程中。本文依托具体工程计算分析高分子板桩护岸在城市河道中的应用情况。

1 项目区概况

项目区位于扬州市中心城区内,气候湿润,四

收稿日期:2021-01-15

作者简介:王雪红(1989—),女,工程师,硕士,主要从事平原区水利工程设计与水资源管理工作。E-mail:763946755@qq.com

季分明,雨量充沛,区内自然环境优美;对外交通便利,距机场、高铁站均较近;内部水系众多,有生态环境保持完好的湖泊和平原类型湿地,以七级及以下河道为主^[2]。场地地貌分区为长江三角洲平原区,地貌类型为微凸的高沙平原,地势较平坦。随着近年来城市的大力建设发展,现状河道水质及排涝能力均不能满足需求,需新开生态补水通道、扩大河道排水能力,同时提升景观环境。河道西侧为规划公路,东侧为已建高铁线路,新开河道可用地范围狭窄。河道采用自排和抽排相结合的模式,控制常水位为 4.5 m,最高水位 4.7 m,最低水位 4.0 m。20 年一遇自排模数为 $4.82 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^{-2})$,20 年一遇设计抽排模数为 $2.33 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^{-2})$,区间以上汇流面积 0.88 km^2 ,则 20 年一遇自排设计流量为 $4.24 \text{ m}^3/\text{s}$,20 年一遇抽排设计流量为 $2.05 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2 护岸设计

2.1 护岸选型

河道护岸型式的选择应根据河道的行洪要求、周边环境、人文及自然景观要求、土质和用地条件等因素综合考虑^[3]。本次工程最大的限制条件为用地条件,用地范围有限且铁路桥梁外侧 20 m 范围内严禁取土、挖砂、挖沟等;路堤坡脚、路堑坡顶或者铁路桥梁外侧起向外各 200 m 范围内禁止抽取地下水^[4]。为避免对高铁和公路的影响,河道施工时不能进行大范围开挖且不能引起基坑外降水,因此传统的需要大开挖和干法施工的护岸不适用于本工程,如:钢筋混凝土悬臂墙、加筋模块墙等。本次河道工程考虑采用桩式护岸,下面就几种桩式护岸优缺点进行比较,详见表 1。

综合以上板桩的优缺点,就本工程而言,由于

高铁和公路保护范围线^[5]的双重限制,考虑安全性、挡土高度、生态环保、工程造价等方面采用高分子聚合物板桩护岸。

2.2 护岸设计

根据前期设计阶段成果、城市水系规划要求、景观要求、地质条件,结合上述分析的各类板桩的优缺点等确定河道标准断面型式。河道底高程 3.2 m,底宽 5.5 m,两侧采用高分子聚合物板桩护岸,一板桩一方桩型式,桩顶高程 4.2 m,桩长 4.0 m,上设坡比为 1:2.5 的河道缓坡。由于河道范围内存在粉砂土,为防止河坡冲刷并保持河道生态性,河坡高程 5.0 m 以下设现浇绿化混凝土护砌,后设绿化缓坡。

2.3 河坡稳定

为了确保河道边坡的稳定,需进行河坡抗滑和渗流稳定计算分析,采用 Autobank 软件进行计算,高分子板桩桩顶位移采用理正深基坑进行计算。偏于安全起见,地质情况根据地质钻探报告采用计算断面附近最不利孔位的地质参数,各土层材料参数详见表 2。

2.3.1 抗滑稳定

河坡抗滑稳定计算采用瑞典圆弧法,计算公式为

$$K = \frac{\sum \{ [(W \pm V) \cos \alpha - ub \sec \alpha - Q \sin \alpha] \operatorname{tg} \varphi' + c' b \sec \alpha \}}{\sum [(W \pm V) \sin \alpha + M_c / R]}$$

(1)

式中: R 为滑动半径; Q 、 V 分别为水平和垂直地震惯性力(向上为负、向下为正); M_c 为水平地震惯性力对圆心的力矩; W 为土条的重量; u 为作用于土条底面的孔隙压力; α 为条块重力线与通过此条块

表 1 河道护岸方案比选

分 类	优 点	缺 点	图 片
方案一 木桩	1、与自然贴合度高,生态性好 2、施工工艺成熟,相对比较简单	1、承载力要求相对较高 2、耐久性稍差 3、施工效果难以保证	
方案二 预制桩	1、结构强度大,耐久性好 2、无泥浆垃圾,对环境影响较小	1、挤土效应明显 2、对施工人员技术要求较高 3、因目前市场石料紧缺,施工造价较高	

(续表 1)



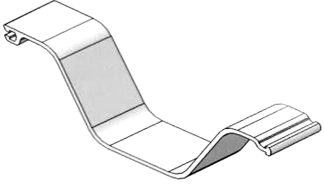
分 类	优 点	缺 点	图 片
方案三 灌注桩 护岸	1、耐久性好 2、无挤土效应,利于铁路的安全建设 3、可同时承载垂直力和水平力,单桩承载力高 4、机械化作业,施工简单,作业方便;施工速度快,工艺成熟	1、可能会产生大量的泥浆垃圾,处理难度大,对环保要求高 2、隐蔽工程及接头处,质量控制难度大 3、工程投资大	
方案四 钢板桩 护岸	1、装卸、运输、堆放方便,不易损坏 2、承载力高,抗弯性能好 3、无挤土效应,利于铁路的安全 4、施工工艺成熟,接头连接操作简单	1、造价高 2、美观性差 3、易锈蚀	
方案五 高分子聚 合物板桩	1、材料占地空间小,质量轻,易于搬运,施工器械简单,施工速度快 2、无废弃材料产生,较为环保 3、工程造价相对灌注桩、钢板桩和预制桩低 4、形式多样,景观性稍好	1、对施工工艺要求较高 2、环境稳定性较预制桩和灌注桩耐久性稍差 3、可挡土高度较小	

表 2 工程地质勘察综合成果建议采用表

层号	土层名称	土层厚度/m	重度	直接快剪		渗透系数 $K_x, K_y /$ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
				黏聚力 c/kPa	内摩擦角/($^\circ$)	
1	人工堆土	3.40	19.0	6.2	18.7	1.42×10^{-4}
2	轻粉质砂壤土夹粉砂	1.40	19.0	6.2	18.7	1.42×10^{-4}
3	轻粉质砂壤土夹粉砂	2.65	19.1	6.0	24.2	1.52×10^{-4}
4	轻粉质砂壤土夹粉砂	2.95	19.5	5.0	27.0	1.51×10^{-4}

表 3 河坡抗滑稳定计算

序号	计算工况	坡前水位/m	坡后水位/m	计算值/ $\text{Min}F_s$	规范允许值 ^[6] / $[\text{Min}F_s]$	计算图号
1	施工期	无水(2.0)	4.5	1.41	1.05	图 1
2	常水位期	4.5	5.0	1.38	1.15	图 2
3	洪水位期	4.7	5.2	1.40	1.05	图 3
4	地震期	4.5	5.0	1.19	1.00	图 4

底面中心半径之间的夹角; b 为土条宽度; $c'\varphi'$ 为土条底面的有效应力抗剪强度指标。

计算工况选取施工期、常水位期、洪水位期及正常运行期遭遇地震 4 个工况^[6-7]。计算结果详见表 3,计算简图详见图 1~4。

2.3.2 渗流稳定

符合达西定律的二维渗流场中,有限元求解渗流控制微分方程为

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x \frac{\partial \varphi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k_y \frac{\partial \varphi}{\partial y}\right) = 0 \tag{2}$$

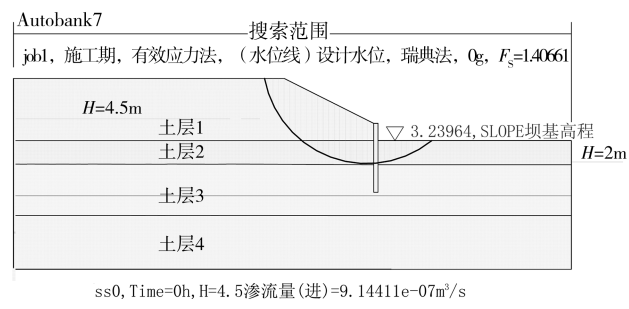


图 1 施工期抗滑稳定计算简图

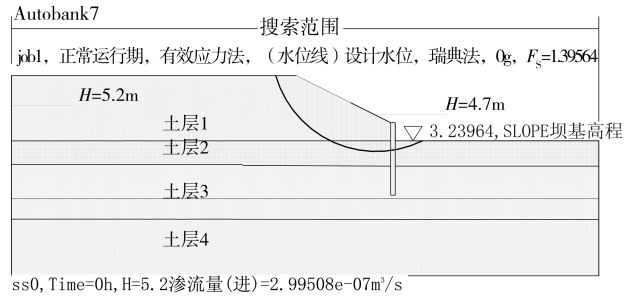


图 3 洪水期抗滑稳定计算简图

式中: φ 为水头势函数; k_x 、 k_y 为 x 、 y 方向渗透系数。
临界坡降计算方法采用太沙基公式:

$$J_c = \left(\frac{r_s}{r} - 1 \right) (1 - n) \quad (3)$$

其中, $n = \frac{e}{1 + e}$

式中: r_s 为土粒容重, 2.71; n 为土体孔隙率, 0.443;
 e 为土体孔隙比, 0.796。

计算得 $J_{\text{临}} = 0.952$, 则临界坡降允许值 $J_{\text{允}} = J_{\text{临}}/K = 0.476$

由于施工期不降水, 渗流计算主要计算洪水水位期和常水位期两种工况, 渗透稳定计算成果见表 4。

2.3.3 桩自身稳定

利用 m 法计算桩顶水平位移, 根据相关实验数据, 高分子板桩护岸材料弯曲强度 68 MPa, 拉伸强度 32 MPa, 计算得桩顶位移 2.65 mm, 最大应力 0.95 MPa。可知, 桩顶位移在允许值 6 mm 以内, 最大应力远小于板材的强度, 均满足相关规范^[8]要求。

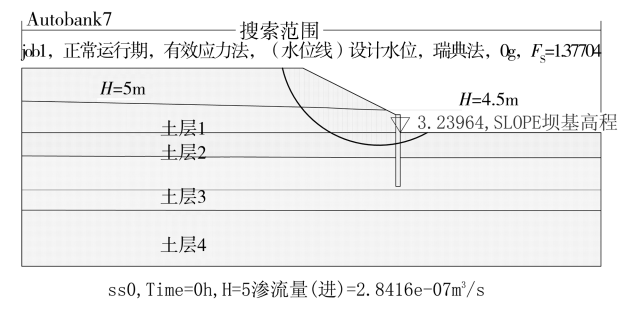


图 2 常水位期抗滑稳定计算简图

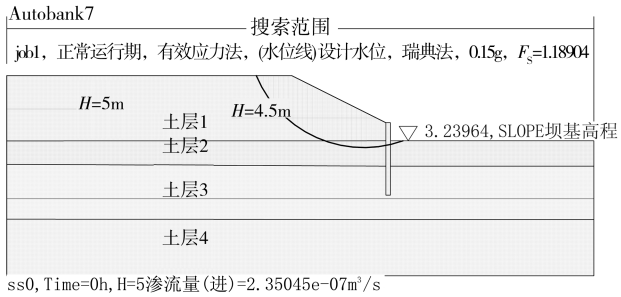


图 4 地震期抗滑稳定计算简图

3 流速复核

根据工程设计断面及其洪峰流量, 对河道泄洪期流速进行复核, 河道引水流量 $4.2 \text{ m}^3/\text{s}$, 对于流量小于引水流量段采用引水流量进行流速复核。具体复核成果详见表 5。

根据地质报告, 本次工程河道位于粉质壤土夹粉砂层, 河道允许不冲流速 0.65 m/s , 允许不淤流速 $0.2 \sim 0.3 \text{ m/s}$ 。因此, 本次工程河道在自排和抽排工况下, 河道流速可满足不冲不淤要求。

4 结 语

根据计算结果可知, 本次利用高分子聚合物板桩护岸的河道边坡抗滑和渗流稳定在各个工况下均满足规范要求, 桩顶位移较小并在允许范围内, 河道流速复核亦满足要求。可见, 高分子聚合物板桩在该工程中应用良好, 但同时要注意河道开挖时应遵循分层、对称、均衡开挖的原则, 严禁超挖; 弃土随挖随运, 不得在靠近高铁桥墩处堆放弃土、施工材料或机具, 以减小对高铁的影响; 加强对高铁

表 4 河坡渗流稳定计算

工况	坡前水位/m	坡后水位/m	$J_{\text{计算max}}$	$J_{\text{允}}$	判别
洪水期	4.7	5.2	0.43	0.476	稳定
常水位	4.5	5.0	0.38		

表 5 各段河道流速计算成果

自排工况			抽排工况		
最小过水断面/ m ²	自排流量/ (m ³ · s ⁻¹)	最大流速/ (m · s ⁻¹)	最小过水断面/ m ²	20 年一遇抽排流量/ (m ³ · s ⁻¹)	排涝流速/ (m · s ⁻¹)
6.88	4.24	0.62	4.00	2.05	0.51

桥墩变形监测,加强施工安全风险控制,做好应急预案。

另外,我国高分子材料板桩目前使用较少,设计和应用起步较西方国家晚,生产制造标准和施工工艺尚存在诸多缺陷,造成可挡土高度一般较小,本工程高分子板桩设置于常水位以下,避免日光曝晒,延缓老化,但若应用于存在长期紫外线照射的工况,可能造成耐久性不足等等一些问题,为便于在水利工程中更好的推广应用,应加大高分子材料科研开发,使其强度更高、韧性更大、耐久性更好,特别是在国家对海绵城市大力推进的大背景下亦要适应现代城市对生态性的发展要求。

参考文献:

[1] 徐西群. 基于有限元的高分子聚合物板桩结构设计与研究[D]. 扬州:扬州大学, 2019.
[2] 扬州市规划局, 扬州市生态科技新城管理委员会, 深

圳市城市规划设计研究院有限公司. 扬州市生态科技新城综合规划核心区控制性详细规划[R]. 扬州:扬州市规划局, 2016.

[3] 陈浩, 胡超, 史大为. 城市河道护岸类型及适用条件探析[J]. 工程建设与设计, 2020, 431(9):128-131.
[4] 中华人民共和国国务院. 铁路安全管理条例[S]. 北京:中华人民共和国国务院, 2013.
[5] 中华人民共和国国务院. 公路安全保护条例[S]. 北京:中华人民共和国国务院, 2011.
[6] 中华人民共和国水利部. 堤防工程设计规范: GB 50286-2013[S]. 北京:中国计划出版社, 2013.
[7] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国质量监督检验检疫总局. 河道整治设计规范: GB 50707-2011[S]. 北京:中国计划出版社, 2011.
[8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑桩基技术规范: JGJ94-2008[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2008.

(上接第 9 页)

[19] 曹薛平, 张志华, 刘建芳. 环氧涂层钢筋在沿海防腐工程中的应用[J]. 建筑技术开发, 2011, 38(4):23, 38.
[20] 董伟. 环氧涂层钢筋在海工混凝土结构中的腐蚀行为研究[D]. 西安:长安大学, 2019.
[21] 樊玮洁, 何晓宇, 徐小梅, 等. 环氧钢筋的耐腐蚀性能研究[J]. 低温建筑技术, 2020, 42(10):30-34,

38.
[22] 达波. 高强全珊瑚海水混凝土的制备技术、耐久性 & 构件力学性能研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2017.
[23] MOEN C D, SHARP S R. Bond properties between concrete and corrosion-resistant reinforcing steels[J]. ACI Structural Journal, 2016, 113(2):383.