

生态护岸效果综合评价

金彬彬¹ 李佳玮¹ 宋凯² 张陆陈²

(1. 浙江数智交院科技股份有限公司 杭州 310030;

2. 水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院 南京 210029)

[摘要] 通过现场原型观测,对比了生态护岸与传统护岸近岸水流特性,以及航道内水体与岸边地下水的水质情况。结果表明:生态护岸对波浪有一定的削弱作用,相对于常规护岸,最大波幅平均减幅10.7%,近岸流速平均减幅17.8%;生态护岸的透水性较好,而传统护岸的隔断能力强;生态护岸对水质净化效果非常显著,但护岸内外水体交换偏少导致溶解氧偏低,建议适当增加开孔率,并在生态护岸后选择一些生长旺盛、自我繁殖和更新能力强的植物品种进行种植,以促进水陆动植物及微生物能与周围环境物质能量交换。

[关键词] 重力式生态护岸;水质净化;内河航道;近岸流速;船行波

0 引言

随着人们对生态环境系统的保护意识的不断提高,人们对于“发展”的理解已经不仅仅局限于改善生活水平,提高物质条件。对于工程建设的目标早已实现从生存到生活的伟大革新,明确了“生态优先、绿色发展”^[1]的新理念。

河道护岸是城市建设和航运建设中最重要内容之一。所谓河道护岸,是指通过对江河堤岸进行加固修筑,以减轻水流、风浪的侵袭和冲刷破坏。传统的护岸技术^[2]主要通过大面积的将石块和钢筋混凝土覆盖于岸堤土壤之上,常用的传统护岸技术^[3]主要有:干砌块石护岸技术、浆砌块石护岸技术、混凝土护岸技术等。其硬化化结构的特点不仅能够满足防洪排涝的要求,也可以保证河岸边坡的稳定性,但是也在一定程度上隔断了河水与岸堤之间的连通性,破坏了土壤中生物的生存环境,减弱了水体的自净能力,对河流生态健康造成极大地影响^[4-5]。

因此,寻求既能满足功能性要求,又不减弱河道生态功能的护岸技术势在必行,生态护岸技术^[6]开始被众多专家所关注。生态护岸技术主要以天然或人工材料为基础,在传统护岸技术所具有的抗冲蚀和稳定性能上,还可以为河道内外的生物提供适宜的生存环境,达到人类发展与生态环境和谐共存的目标^[7-8]。目前对生态护岸技术的研究已有较多的成果,各类型护岸技术在江河整治中都得到了很好地应用^[9-11]。但是对其护岸形式的选择多以材料结构形式^[12]为主要因素,护岸效果的评价以造价、清淤和绿化景观等方面^[13-16]来控制。对于护岸的水动力条件与生态条件的改善作用研究较少。本文拟通过现场原型观测,对比重力式生态护岸与传统护岸的水力特性,分析重力式生态护岸的优化效果,为内河航道重力式生态护岸设计标准化提供技术支撑。

1 研究方法

1.1 试验航道选取

试验航道选取一段生态护岸和常规护岸作

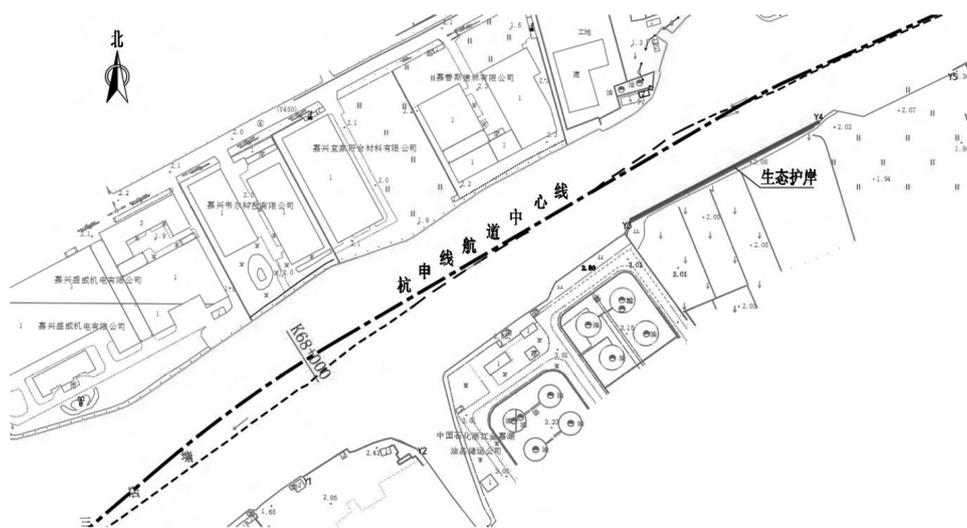
收稿日期:2023-01-12

作者简介:金彬彬(1989-),男,工程师,主要从事港口航道及海岸工程工作。

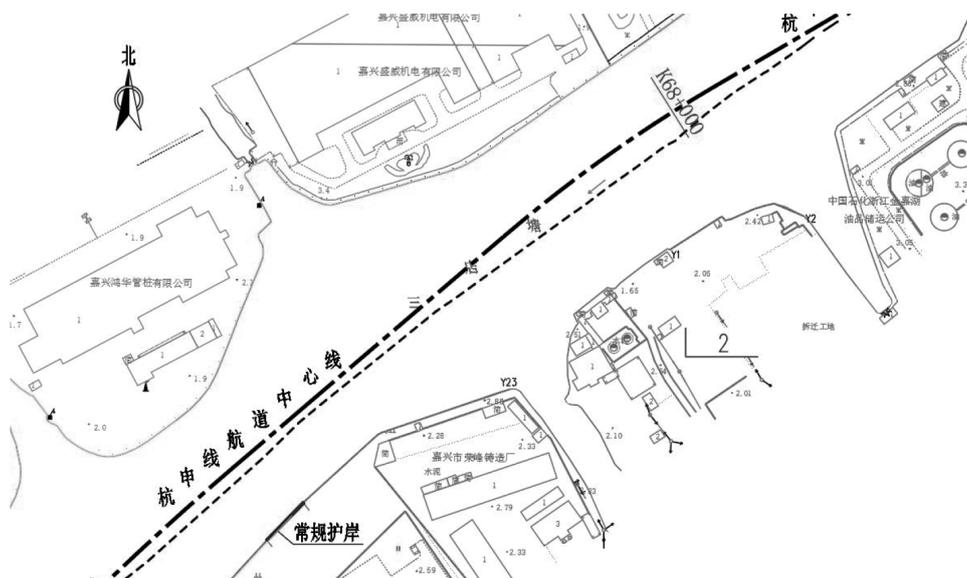
为对比，护岸分别位于杭申线杨庙至杨树浜段航道养护工程的上下游，如图1所示。该段航道底高程-2.74m，设计最低通航水位0.46m，设计最高通航水位1.96m。生态护岸长172m，桩号范围约K68+289~K68+461；常规护岸位于生态护岸以西，长37m，桩号范围约K67+595~K67+632。

生态护岸采用新型圆筒护岸+T型板结构，体型结构如图2所示。圆筒直径1.5m，与C25钢筋混凝土基础以钢筋深入30cm连接，圆筒底

高程-0.54m，顶高程2.66m。为便于交换水体，分别在圆筒-0.24m、0.06m和0.36m高程处设置直径0.15m的透水生态孔，其中-0.24m和0.36m高程处各设置3个孔，0.06m高程处设置2个孔，孔水平间距为0.375m。圆筒间距3.0m，圆筒之间用T型板连接，T型板通过迎水侧凸榫与护岸底板相连。常规护岸体型结构如图3所示。常规护岸基于原有护岸改建而成，采用浆砌水工砼劈离块护面，护面坡度4:1；护岸底高程0.13m，顶高程也为2.66m。



(a) 生态护岸



(b) 常规护岸

图1 试验航道平面图

常规护岸测点布置示意如图4所示, 船行波波高也布置4个测点, 为便于对比, 4个测点间距与生态护岸一致, 其桩号分别为 K67 + 611.81、K67 + 612.68、K67 + 614.32、K67 + 615.43。常规护岸后方布置1个地下水位观测孔, 距离护岸3.5m。

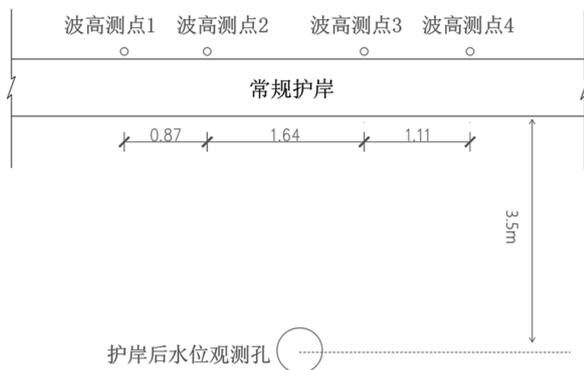


图4 生态护岸测点布置示意图

1.3 试验船舶

本观测不指定特定船舶, 直接利用航道上过往船舶开展研究, 真实反映现状通航条件下不同护岸类型对近岸水流特性的影响。对统计的过往船舶进行数据筛选, 剔除船舶交汇、离岸距离、船舶航速等相差较大特殊情形, 共计184组次。

船舶平均航速5.0~14.4km/h, 重载船舶航速



(a) 船行波波态

多为6~8km/h, 空载船舶航速多为10~12km/h。船舶离岸距离16.5~50.0m, 因测站位于航道南侧, 故航行东北方向(常规护岸向生态护岸)时船舶离岸距离较近, 多为25~35m; 航行西南方向(生态护岸向常规护岸)时船舶离岸距离较远, 多为35~45m。

2 近岸水流特性

2.1 船行波形态

船行波^[17-18]产生的原理是船舶在行进时, 船身的压力对水体的压缩作用形成船行波。被挤压的水体向岸边扩散, 形成浪花冲击护岸, 因此船行波是破坏护岸的重要因素之一。图5显示典型船舶在行进过程中引起的水面波动。波动过程大致可分为三段: 水面平稳段、大波幅段和小波幅段。在船舶到达测点断面之前, 水面相对平稳, 存在波动是风生波所致; 在船艏到达测点断面时, 水体受船舶顶推局部受阻产生壅水, 大部分受挤压绕过船头, 流速急剧增大, 水面快速下降, 水面呈大幅波动; 随后水面快速回升, 待船艉驶过测点断面时, 水面基本恢复并由于惯性作用而波动, 期间与航行过程不断产生的船行波叠加, 形成小幅波动形态。

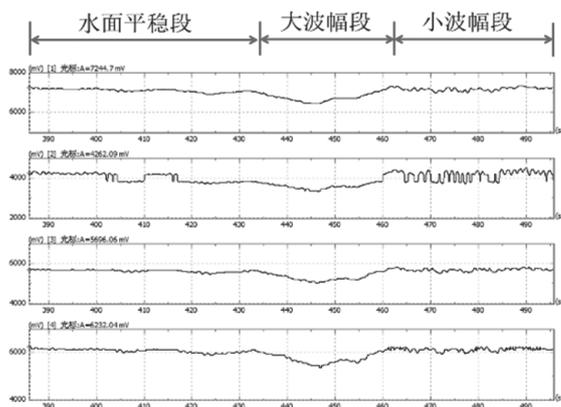


图5 典型船舶行进过程水面波动

2.2 最大波幅

因航道较宽, 船行波对近岸水面波动的影响总体较小, 小波幅幅值较大波幅幅值相差较大, 且易受风生波、航道余波干扰, 故采用最

大波幅(最高水位-最低水位)对近岸水流波动进行分析。在试验中, 最大近岸波幅为45.8cm, 由船舶江淮油568引起, 该船重载, 东北向航行, 离岸距离26.3m, 航速高达13.9km/h。

近岸水流波动的影响因素较多，与船舶行驶速度、吃水深度、船舶型号、离岸间距、护岸结构等密切相关。船舶重载和空载时生态护岸近岸最大波幅与航速关系见图6。显然，不论船舶是否载物，越靠近护岸，引起的水面波动越大；船舶重载与空载引起的最大波幅集中分

布在5~15cm范围内，这是由于虽然重载船舶的吃水深度大，但是空载船舶的行驶速度约为重载船舶的2倍，可以说波幅受到吃水深度与航行速度的双重影响。此外，对于同为重载或者空载船舶而言，行驶速度的增大会也会影响水面波动的幅度。

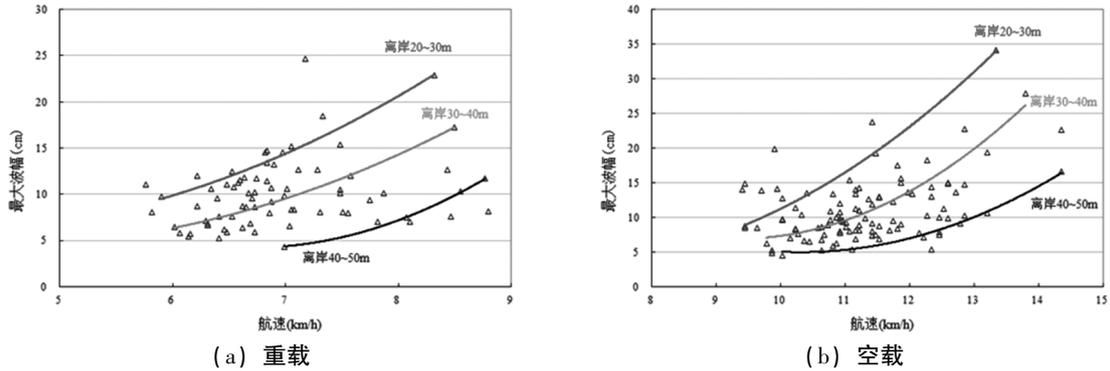


图6 近岸最大波幅与航速关系

3 生态护岸与常规护岸水力特性对比

3.1 护岸对波幅的影响

以1号测点为基准，生态护岸和常规护岸其余测点与1号测点的对比分别示于图7(a)和图7(b)。生态护岸各测点中，位于最外缘的1号测点波幅相对最大，其次为位于圆筒与预制T型板右交接处的4号，再次为位于圆筒与预制T型板左交接处的2号，位于凸樨内缘的3号测点最小；而常规护岸各测点相差较小，

未见显著规律性。由图可见，生态护岸圆筒及凸樨结构对波流有一定的削弱作用。

为分析生态护岸总体消波效果，对生态护岸与常规护岸各测点最大波幅取平均值进行对比。在184组次中，生态护岸各测点最大波幅平均值有148组次(占比80%)小于常规护岸，进一步证明生态护岸消波的有效性；各组次生态护岸最大波高减幅0.9%~28.8%，平均减幅10.7%。

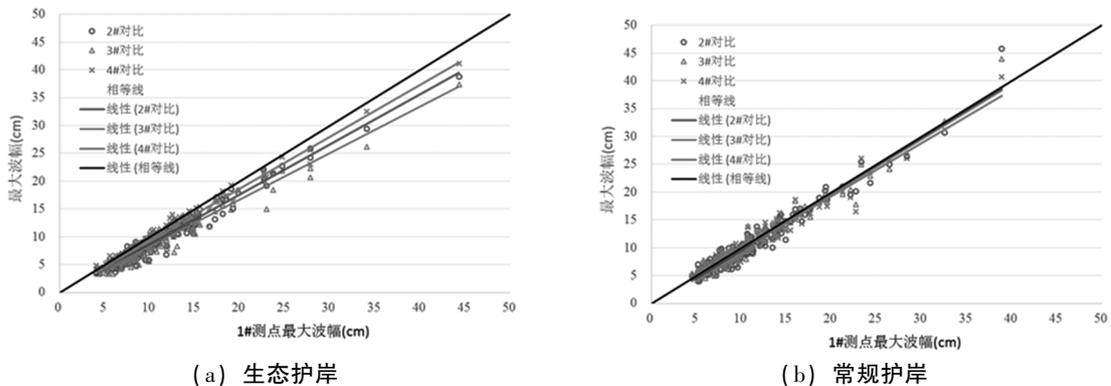


图7 测点间最大波幅比较

3.2 近岸流速

在限制性航道中，典型的近岸流速过程线如图8所示，由图可知，各流速过程线上均存在一个明显的半正弦的单独波，该单独波起点对应于船舶到达测量断面，终点对应于船艉驶

过断面，与水面出现大降幅的过程完全一致，也即水面降低是产生岸边回流的直接原因。

近岸水流观测采用旋桨流速仪测量，其启动流速0.05m/s，由于航道较宽，近岸水位降幅较小时无法观测到流速值，可观测到生态护岸

与常规护岸近岸流速对比共计 86 组次。结果表明，生态护岸近岸流速有 74 组次（占比 86%）小于常规护岸，与生态护岸最大波高小于常规护岸的占比基本相当，各组次生态护岸近岸流速减幅 3.4%~36.7%，平均减幅 17.8%。



图8 限制性航道典型近岸流速过程线

3.3 透水性对比

为了对比生态护岸与传统护岸的透水性，分别对下雨前、下雨时以及下雨后的河道水位、护岸岸边的地下水位进行测量。结果如图 9 所示。航道内水位在下雨前后的变化范围为 1.042~1.131m；生态护岸岸边地下水位为 1.036~1.135m，与航道水位基本一致，表明生态护岸的通透性较好；而传统护岸后岸边地下水位为-0.037~0.055m，虽有增加，但是与河道内水位相差巨大，表明透水性能差。

另外在观测生态护岸岸边地下水位时发现，船舶航行时，生态护岸后水位波动较小，航道内水位大幅波动时，岸边地下水位波动仅 2~4cm；航道内水位小幅波动或产生风生波时，岸边地下水位波动小于 1cm。分析认为主要与透水孔的开孔率及透水孔后片石填心、抛石棱体有关。

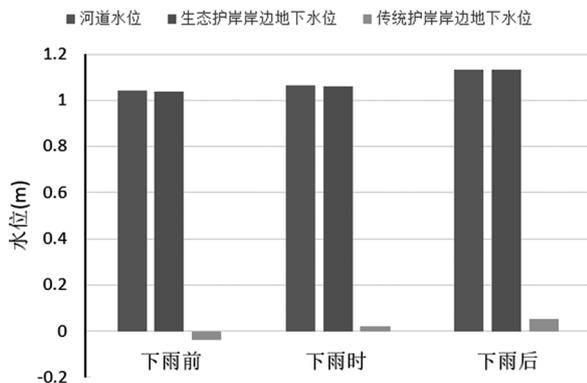


图9 水位对比

4 生态护岸水质净化效果

生态护岸作为连接水体与陆地的生态交接带，在维持水体生态平衡、控制水土流失、净化水质等方面具有重要价值。本文采用浊度、溶解氧及其饱和度、PH 值等参数对比生态护岸的水质净化与生态效果。

浊度是反映水中悬浮物和胶体物导致水体浑浊的指标。晴天和雨天生态护岸前后水样浊度列于表 1。航道内水样浊度 186~239NTU，生态护岸后水样浊度 37~82NTU，较之航道内水样浊度下降了 65.7%~80.1%，表明生态护岸的净化效果非常显著。

表1 生态护岸前后水样浊度对比

观测工况	航道内水样浊度 (NTU)	生态护岸后水样浊度 (NTU)	影响程度 (%)
晴天	239	82	65.7
雨天	186	37	80.1

晴天和雨天生态护岸前后水样 PH 值列于表 2。晴天水样 PH 值 7.62~7.78，雨水水样 PH 值 7.36~7.48，均为弱碱性；生态护岸后水样 PH 值较航道内略高 2%左右，生态护岸对水样 PH 值影响不明显。

表2 生态护岸前后水样 PH 值对比

观测工况	航道内水样 PH 值	生态护岸后水样 PH 值	影响程度 (%)
晴天	7.62	7.78	2.1
雨天	7.36	7.48	1.6

晴天和雨天生态护岸前后水样溶解氧及其饱和度值列于表 3。晴天水样溶解氧 3.50~7.56、饱和度 35.6%~78.7%，雨水水样溶解氧 3.11~7.28、饱和度 31.5%~74.0%，雨天溶解氧略小于晴天，生态护岸对水样溶解氧影响较大，生态护岸后溶解氧较航道内小 54%~57%，主要原因一是因生态护岸后均为回填土，未充分接触空气，另一方面是由于护岸内外水体交换偏弱所致。

表3 生态护岸前后水样溶解氧及其饱和度对比

观测 工况	溶解氧 (mg/L)		影响 程度 (%)	溶解氧饱和度 (%)		影响 程度 (%)
	航道内水样	生态护岸后水样		航道内水样	生态护岸后水样	
晴天	7.56	3.50	53.7	78.7	35.6	54.8
雨天	7.28	3.11	57.3	74.0	31.5	57.4

综上,生态护岸在透水孔后填充了片石填心、抛石棱体,对水质净化效果非常显著,但减少了护岸内外水体交换导致溶解氧偏低,建议适当增加开孔率,并在生态护岸后选择一些生长旺盛、自我繁殖和更新能力强的植物品种进行种植,可有利于水陆动植物及微生物能与周围环境物质能量交换,增强微生物净化水体功能,使河道水质得到一定改善。

5 结论

本项目通过现场试验研究,对比重力式生态护岸与传统护岸近岸水流特性,观测护岸后地下水位,分析生态护岸水质净化效果,提出了生态护岸优化建议,为内河航道重力式生态护岸设计标准化提供技术支撑。取得成果如下:

(1) 对比研究了生态护岸与传统护岸近岸水流特性。对波幅的影响因素较多,总体而言,船舶航速越大、载重越大、离岸越近,近岸波幅越大。生态护岸各测点最大波幅平均值有148组次(占比80%)小于常规护岸,生态护岸圆筒及凸樁结构对波流有一定的削弱作用,最大波高减幅0.9%~28.8%,平均减幅10.7%;观测生态护岸与常规护岸近岸流速对比共计86组次,生态护岸近岸流速有74组次(占比86%)小于常规护岸,近岸流速减幅3.4%~36.7%,平均减幅17.8%。

(2) 观测了护岸后水位。将下雨前后航道内水位与岸边地下水位对比,两者水位基本一致,表明生态护岸的通透性较好;而传统护岸边地下水位较之差距较大,表明未与航道水位联通;

(3) 对比分析了生态护岸水质净化与生态效果。生态护岸地下水样浊度较之航道内水样浊度下降了65.7%~80.1%,生态护岸的水质净化效果非常显著;PH值较航道内略高2%左右,均为弱碱性,生态护岸对水样PH值影响不明显;水样溶解氧较航道内小54%~57%,生态护岸对水样溶解氧影响较大。

参考文献

- [1] 黄贤金. 长江经济带资源环境与绿色发展 [M]. 南京大学出版社, 2019.
- [2] 陈丹, 杨文健. 浅谈传统护岸向生态护岸之转变 [J]. 科技资讯, 2020, 18 (02): 81-83.
- [3] 黄小鹏, 谢军. 河道整治中常用生态护岸类型 [J]. 水运工程, 2017 (11).
- [4] Morgan R P, Rickson R J. Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach [M]. London: Taylor & Francis, 2003: 288.
- [5] Nakamura K, Tockner K, Amano K. River and wetland restoration: Lessons from Japan [J]. Bioscience, 2006, 56 (5): 419-429.
- [6] 朱胜辉. 试论生态护岸在航道整治工程中的应用 [J]. 中国水运 (下半月), 2014, 14 (02): 188-189.
- [7] 夏继红, 严忠民. 国内外城市河道生态型护岸研究现状及发展趋势 [J]. 中国水土保持, 2004 (3): 20-21.
- [8] Xiong Z Q, Li S C, Yao L, et al. Topography and land use effectson spatial variability of soil denitrification and related soil propertiesin riparian wetlands [J]. Ecological Engineering, 2015, 83: 437-443.
- [9] 王捷. 浅析上海市几种常用生态护岸型式的设计思路 [J]. 水资源开发与管理, 2019 (11).
- [10] 吴永昊, 王振红. 城市防洪河道生态护岸形式设计 [J]. 陕西水利, 2020, (12): 65-66.
- [11] 赵通阳, 符强, 邵肇悦. 城市防洪河道生态护岸形式选择与设计 [J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2017, 29 (01): 11-13+16.
- [12] 缪欣欣. 几种新型材料在我市水利工程中的应用 [J]. 广东水利电力职业技术学院学报, 2010, 8 (01): 22-25.
- [13] 郑斌, 唐德善, 史兹国. 基于综合集成赋权法的河道整治方案优选研究 [J]. 水电能源科学, 2010 (4): 113-116.
- [14] 徐国宾. 论城市河道整治与景观生态设计 [J]. 城市环境与城市生态, 2008 (4): 9-13.
- [15] 余玉龙. 解析现代城市河道的生态景观设计 [J]. 中国水运, 2008 (8): 39-40.
- [16] 王兵, 高甲荣, 王越, 等. 北京市永定河生态护岸效果评价 [J]. 中国水土保持, 2014 (4): 10-13.
- [17] 潘宝雄, 王清泉. 船行波的研究和研究趋势 [J]. 第九届全国海岸工程学术讨论会, 1999.
- [18] 王水田. 关于船行波问题的研究 (续完) [J]. 水道港口, 1981 (Z1).