



新型生态航道护岸消波结构研究

金勇, 王爽, 李柱, 林玉叶

(上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200434)

摘要: 针对目前航道护岸结构存在的问题, 提出了一种新型直立生态航道护岸消波结构, 该结构可有效减弱水流和船形波对岸边植物的冲刷, 并保持水生植物区与行洪通航区的水体连通和生物通行, 构建河滨带自然生境, 改善航道生态系统。通过对平板格栅型、平直孔洞型、圆柱格栅型3种直立墙体消波构造形式开展试验研究, 结果表明: 平直孔洞型、平板格栅型和圆柱格栅型消波结构透射系数范围分别为0.15~0.40、0.40~0.60、0.40~0.80, 消波能力平直孔洞型>平板格栅型>圆柱格栅型。新型直立生态航道护岸消波结构可为航道护岸设计提供参考依据。

关键词: 生态航道护岸; 消波结构; 试验研究

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)11-0153-07

New type of ecological waterway revetment and wave dissipation structure

JIN Yong, WANG Shuang, LI Zhu, LIN Yuyue

(Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai, 200434)

Abstract: This article proposes a new type of upright ecological waterway revetment and wave dissipation structure to address the existing problems in the current waterway revetment structure. This structure can effectively reduce the erosion of water flow and ship shaped waves on shoreline plants, while maintaining water connectivity and biological passage between aquatic plant areas and flood navigation areas, constructing natural habitats in the riparian zone, and improving the waterway ecosystem. Through experimental research on three types of vertical wall wave dissipation structures, namely flat grid type, flat hole type, and cylindrical grid type, the results show that the transmission coefficients of flat hole type, flat grid type, and cylindrical grid type wave absorption structures are in the range of 0.15-0.40, 0.40-0.60, and 0.40-0.80, respectively. The wave absorption capacity from high to low is flat hole type, flat plate grid type, cylindrical grid type. The new upright ecological channel revetment and wave dissipation structure can provide reference basis for the design of channel revetments.

Keywords: ecological waterway revetment; wave dissipation structure; experimental research

在我国综合运输体系中, 内河航道运输具有体量大、耗能小、成本低等优点。目前我国约有内河航道12万 $\text{km}^{[1]}$, 是国家和区域经济发展的重要资源, 尤其是长江中下游平原河网密集区域社会经济发展水平较高。根据新时代国家发展战略, 对航道的通航等级提出了更高的要求^[2], 航道建设中在重视航运功能时, 对航道生态建设与保护应优先给与高度重视^[3-4]。原始河道的土质

边坡透水透气性好, 岸边生物群落容易生存, 但易被冲刷侵蚀, 极不稳定。为保护岸坡免受水流冲刷, 防止水土流失, 保障河道稳定, 通航河道护岸通常采用硬质航道护岸形式。这种护岸形式虽然能够保障河道的行洪和通航安全, 但坡面封闭, 存在隔绝水循环、侵占和破坏水生动植物生存环境的问题, 导致河流生态系统退化和崩溃、河流自净能力降低、河道景观效果变差^[5-6]。为适

收稿日期: 2024-02-18

作者简介: 金勇 (1973—), 男, 高级工程师, 从事施工组织设计工作。

应我国生态文明建设的战略背景,走绿色发展之路,本文针对传统航道存在的问题,提出一种新型生态航道护岸结构,确保墙前墙后水体连通,有效消除船行波对墙后植物的影响。

1 传统航道护岸结构

目前,传统硬质航道护岸在岸坡稳定性、河流防洪排涝等方面发挥着重要作用,但在河道生态维护方面还存在以下问题:

1) 破坏岸边湿地结构,造成水体封闭化、河流渠道化,各种水生生物失去河道两侧的自然生存环境,削减了河道生物多样性^[7]。

2) 垂直光滑的硬质航道护岸表面不利于植物生长,微生物亦难以附着繁殖,导致水体自净能力降低,河道生态系统脆弱,水环境质量下降。

近年来,生态航道护岸逐渐发展起来,直立式生态护岸被广泛应用^[8]。因可在直立墙后方填土种植植物,一定程度上改善了河岸上部边坡的生态条件。如图1所示,但直立墙过高,将阻断水陆连通性,使得水陆两栖动物无法生存,还存在行船触底、堤防边坡淘刷及人员溺水等安全问题;若直立墙过低,则无法有效削弱船行波,使得墙后植物难以生存。

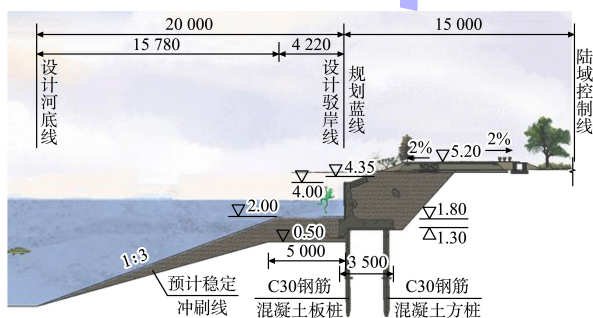


图1 传统直立式生态航道护岸(高程:m;尺寸:mm)

为适应河流生态系统和谐发展,在满足航道传统要求的基础上,迫切需要一种新型生态航道护岸,以实现水系循环连通,消除船行波对水生植物定植的不利影响,恢复和重建河道水生生物

群落,净化河道水质,保护河流生态系统等目标。

2 新型生态航道护岸结构

2.1 生态航道护岸功能

1) 削弱船形波功能。护岸要能够阻挡船在航道中行驶时产生的船行波,使得墙后植物不受水流波浪冲刷。

2) 减小航道行船事故功能。生态航道护岸需避免行船触底,堤防边坡淘刷等作用,使航道与堤岸界限清晰,保障通航、护岸及河流生态系统安全。

3) 防洪补枯功能。高水位时,生态航道护岸要具有渗透能力,河道洪水可以向堤岸渗透,减轻洪水危害;低水位时,堤岸中的水分可以渗透到河道中,以补给河道水资源。

4) 具有生态功能。生态护岸需要克服水陆隔绝的缺点,实现水生动物水陆活动的过渡通道,保证河道与堤岸的一体化功能。

5) 具有自净能力。当污染的土壤成分渗透到河道时,可通过水生植物的吸附功能^[9],减小污染物的扩散,以及吸附河道中的污染物,达到水质净化的功能。

6) 景观兼顾功能。满足植物净化功能的同时,在植物的选择上可兼顾景观效果,从河流到绿地自然过渡,达到人与自然和谐的美好生活功能。

2.2 设计思路

综合上述功能,本文提出一种新型直立式生态航道护岸结构(图2),直立式前墙上部设置消波孔,确保墙前墙后水体连通,并可有效消除船行波对墙后植物的影响。且前墙后部生态区域略低于设计通航低水位,保证水陆两栖动物的生存和水生植物的生长,有效解决行船触底、堤防边坡淘刷及人员溺水等安全问题;另外由于护岸结构位于水下,受力小、投资省;新思路设计的生态航道具有更安全、经济、生态、美观等特点。

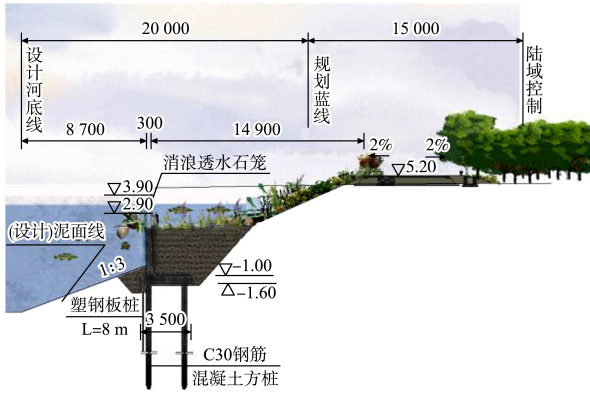


图 2 新型直立式生态航道护岸 (高程: m; 尺寸: mm)

船行波是影响河滨带生境的最主要因素之一^[10-11], 为探究直立式前墙上部消波孔消波效果, 本文提出不同的消波构造形式, 对其进行优化研究。

2.3 研究方案

2.3.1 消波构造形式

生态航道消波结构设计为重力式倒 T 形混凝土结构, 由竖直墙体和水平底板组成, 采用 3 种

消波构造, 包括平板格栅型、平直孔洞型、圆柱格栅型直立墙体结构。采用规则波作用下的物理模型试验, 研究不同形式消波结构的消波特性和参数影响规律。不同形式模型见图 3。

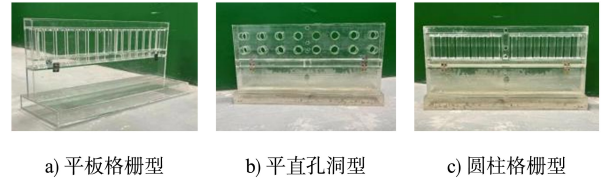


图 3 3 种消波构造型式模型

2.3.2 物理模型试验

物理模型试验在波浪水槽中进行。波高仪及波压力计布置见图 4、5。其中水槽宽 1 m, 在消波结构前后各布置 5 个浪高仪, 在消波结构迎浪面布设 5 个波压力传感器、底面埋设 3 个波压力传感器, 用于测量不同波要素及结构形式影响下的消波效果。模型参数包括波高、水深、格栅形状、间距与宽度、开孔孔径等。

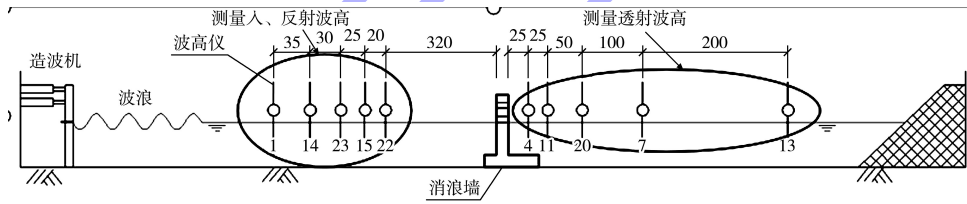


图 4 波高仪布置 (单位: mm)

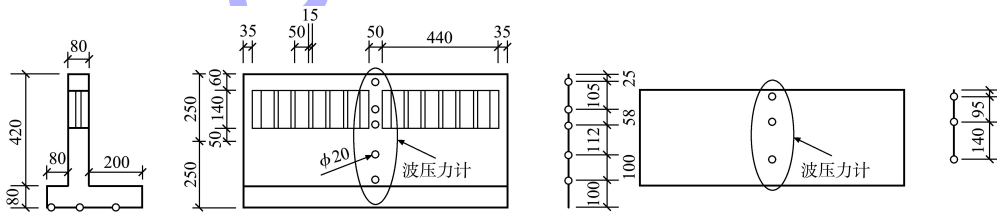


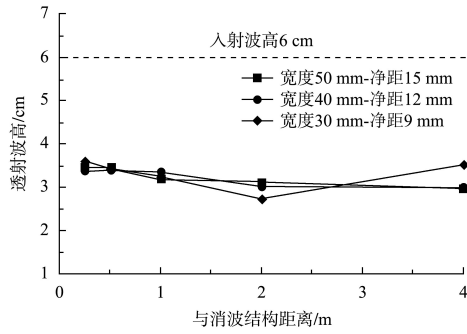
图 5 波压力计布置 (单位: mm)

2.4 结果分析

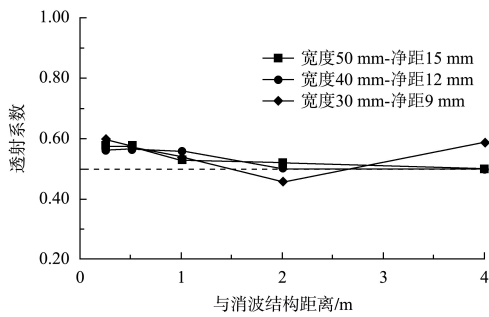
2.4.1 平板格栅型消波结构

不同格栅宽度及格栅净距消浪效果, 见图 6。由图 6 可知, 不同格栅宽度、相同透空率下, 消波结构的透射系数为 0.40~0.60, 消浪效果明显; 相同格栅宽度、不同透空率下, 透空率越大, 透

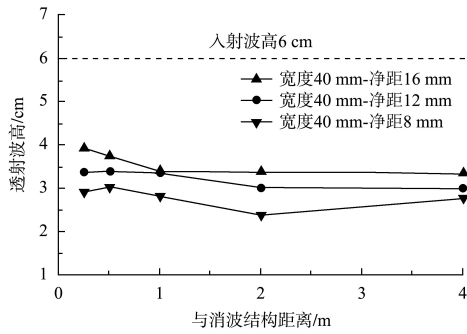
射系数越大, 消波效果越差。特别是在消波结构后 1 m 范围内, 40% 透空率时透射波高削减约 40%, 消波效果相对较低。值得注意的是水生植被一般在消波结构后近距离种植生长, 因此格栅净距是影响这一区间透射波高的关键因素, 在消波结构设计时需着重考虑。



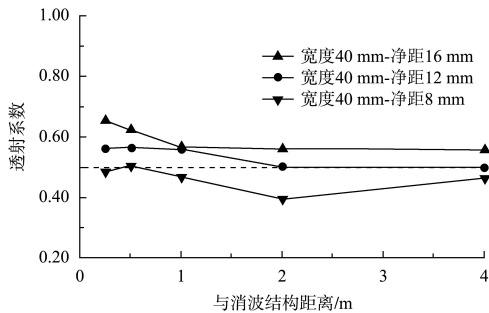
a) 不同格栅宽度下的透射波高变化



b) 不同格栅宽度下的透射系数变化



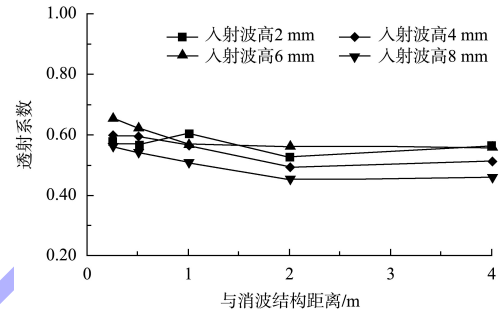
c) 不同格栅净距下的透射波高变化



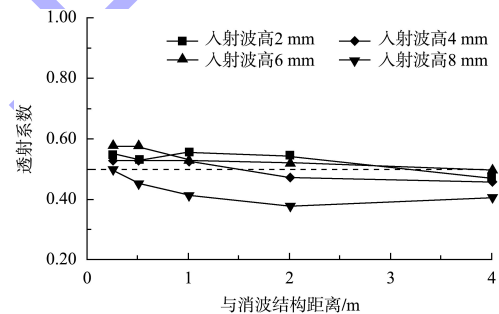
d) 不同格栅净距下的透射系数变化

图6 不同格栅宽度及格栅净距对透射波高和透射系数的影响

不同波高消浪效果,见图7。由图7可知,随着入射波高的增大,透射系数逐渐减小,当入射波高增至8 cm时,透射系数降至约0.40,可见在遭遇较大船行波时,平板格栅型消波结构的消浪效果更为明显;随着与消波结构距离的增大,透射波高轻微下降并趋于平稳,最大可降至40%的入射波高,消波结构后水域较为平稳,有利于护岸稳定和水生植被生长。



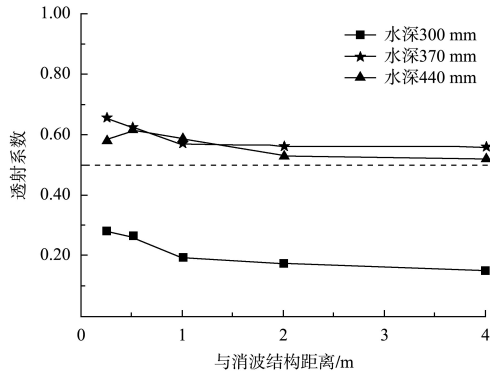
a) 宽度40 mm、净距16 mm



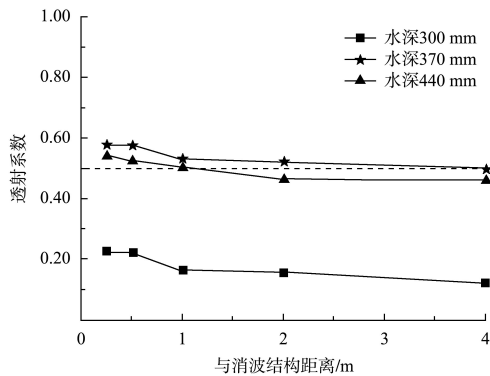
b) 宽度40 mm、净距15 mm

图7 不同波高对透射系数的影响

不同水深消浪效果,见图8。由图8可知,水深300 mm时的透射系数远小于水深370、440 mm的工况,后者约为前者的2~3倍。主要原因为当水深300 mm时,水面约在格栅区间的下边缘,部分波浪被下部墙体挡住,不能透射到消波结构后方,消浪效果极大提升。因此,可通过优化设置消波结构格栅区间下边缘高程,较好地利用下部实体墙消浪功能,在消波结构设计时应兼顾水体连通和消浪功能。



a) 宽度40 mm、净距16 mm

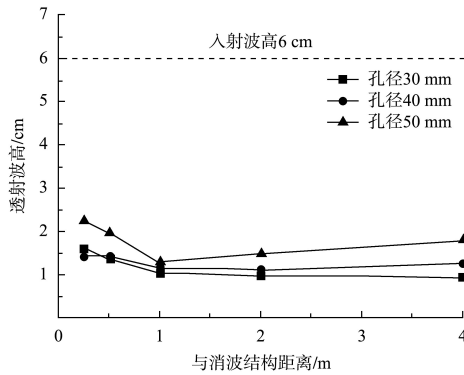


b) 宽度40 mm、净距15 mm

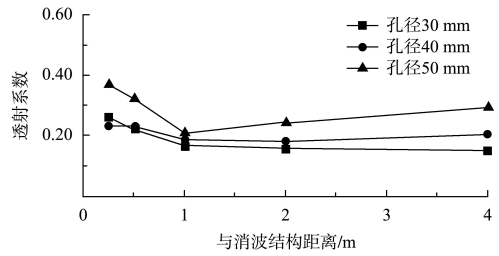
图 8 不同水深对透射系数的影响

2.4.2 平直孔洞型消波结构

不同孔径的消波结构消浪效果, 见图 9。由图 9 可知, 随着孔径增加, 透射系数逐渐增加, 尤其是孔径 50 mm 时增幅更为明显; 当孔径增加时, 被阻挡的波浪减少, 因此波浪的透射系数增加。采用平直孔洞型消波结构时需重点关注开孔孔径与间距, 以减小波浪作用对水生植物的影响。



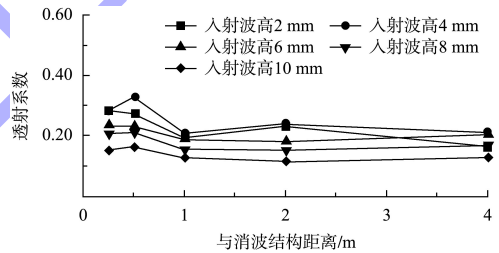
a) 透射波高变化



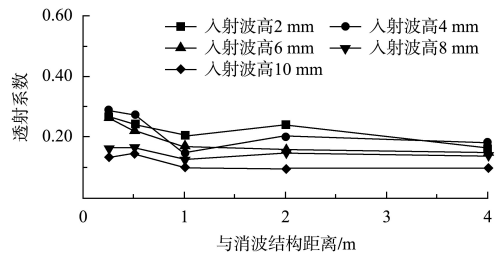
b) 透射系数变化

图 9 不同孔径对透射波高和透射系数的影响

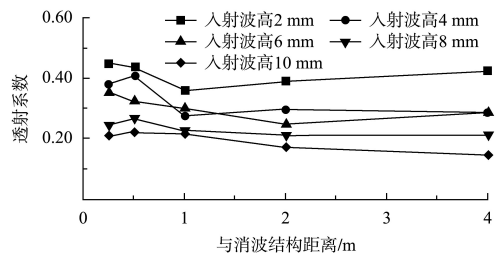
不同波高消浪效果, 见图 10。由图 10 可知, 随着入射波高增大, 透射系数呈逐渐减小的趋势。主要是由于平直孔洞型的透空率较低, 波浪仅从孔洞通过, 大部分波浪被消波结构阻挡; 同等透空率下, 孔径在 30、40 mm 时透射系数基本不变, 但孔径增至 50 mm 时, 所有波高下的透射系数都明显增大, 特别在波高 4 cm 以下时, 增幅更显著。可见, 孔径为透射特性的重要影响因素。



a) 孔径40 mm



b) 孔径30 mm



c) 孔径50 mm

图 10 不同孔径下入射波高对透射系数的影响

不同水深消浪效果，见图 11。由图 11 可知，与平板格栅规律类似，平直孔洞型在水深 300 mm 时的透射系数要远小于其他水深的工况；水深 440 mm 时，水面位于上排孔中心位置，两排孔均能透波，从下排孔透过的波浪一定程度加大了后方水体的波动，导致透射系数增大、墙后透射波浪衰减较缓。因此，在水位差较大时，应考虑消波结构多排孔布置方式对船行波消波效果的影响。

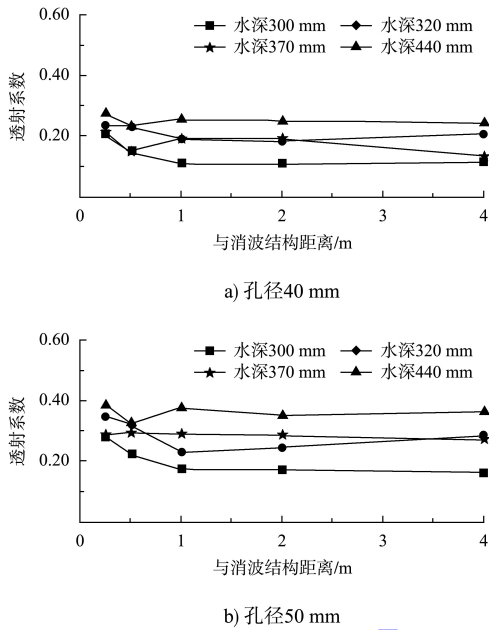
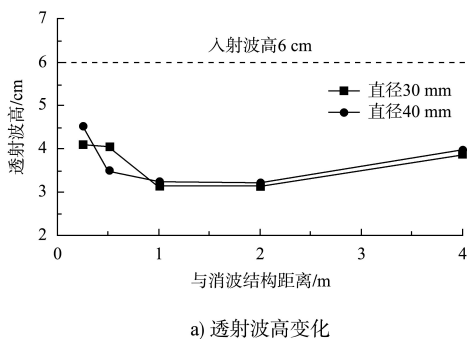


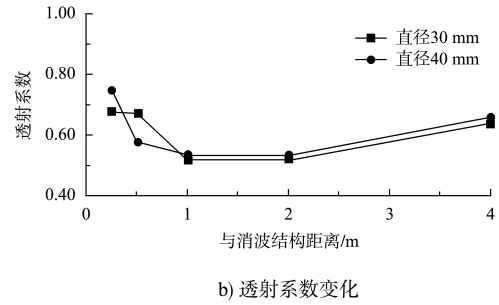
图 11 不同水深对透射系数的影响

2.4.3 圆柱格栅型消波结构

不同直径的消波结构消浪效果，见图 12。由图 12 可知，圆柱格栅型消波结构的消浪效果相对较差，透射系数总体都大于 0.50，特别在消浪墙后 0.5 m 范围内，透射系数甚至高达 0.70；同等透空率下，圆柱直径对透射系数影响较小，特别在消波结构后方 1 m 以外几乎没有影响。采用该消波结构形式不能提供良好生长环境，应用需要慎重考虑。



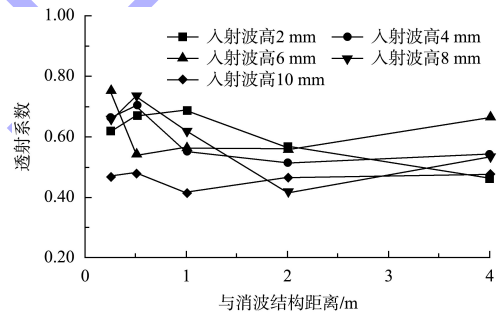
a) 透射波高变化



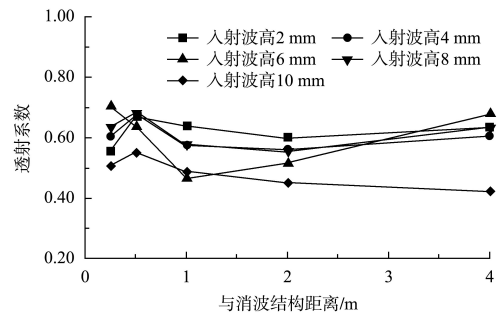
b) 透射系数变化

图 12 不同直径对透射波高和透射系数的影响

不同波高消浪效果，见图 13。由图 13 可知，入射波高对透射系数的影响较大，而且随波高的变化规律较为离散，主要是由于圆柱形格栅前方为喇叭口状连通形态，该位置会发生束水引导，导致结构后方水体紊动加重，透射波浪变化不规则；值得注意的是，入射波高 10 cm 时的透射系数最小，总体低于 0.50，可能由于部分波浪超出格栅区，被上下方实体墙阻挡，透射波高下降。



a) 直径40 mm、间距12 mm



b) 直径40 mm、间距16 mm

图 13 不同入射波高对透射系数的影响

不同水深消浪效果，见图 14。由图 14 可知，与平直孔洞型、平板格栅型消波规律类似，水深 300 mm 时，圆柱格栅型消波结构的波浪透射系数远小于其他水深工况；水深 300、370 mm 时，墙

后 1 m 范围内的透射系数快速下降, 这是由于水流通过圆柱格栅后产生较明显的汇聚绕射, 导致水面抬高, 传递一定距离后又趋于平稳; 水深 440 mm 时, 水位较高, 部分波浪被透空区域上部实心墙所阻挡, 因此圆柱格栅引起的波浪透射绕流影响较小。

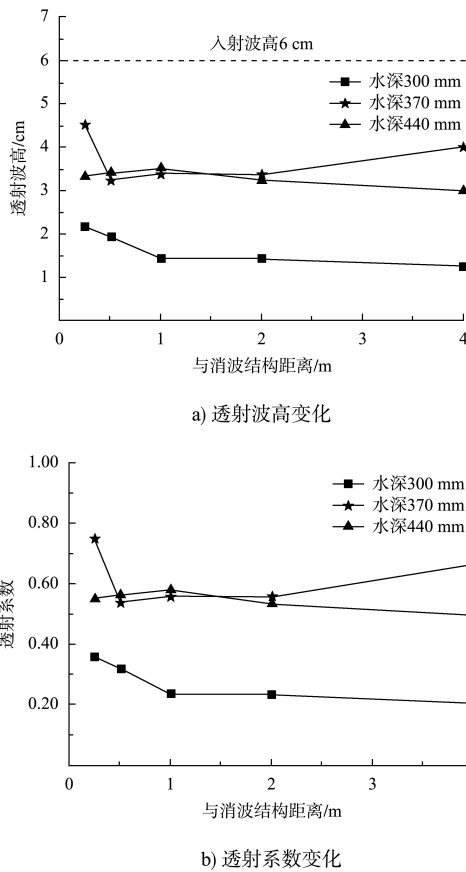


图 14 不同水深对透射波高和透射系数的影响

3 结论

1) 新型生态航道护岸结构, 前墙后部生态区域略低于设计通航低水位, 可保证水陆两栖动物的生存和水生植物的生长, 具备自净与生态功能, 兼顾景观功能。

2) 新型生态航道护岸结构, 下部为重力式倒 T 形直立墙结构, 可避免行船触底, 堤防边坡淘刷, 具有减小航船事故功能。

3) 新型生态航道护岸结构, 上部设置消波孔, 可确保墙前墙后水体连通, 具备防洪补枯功能, 并可消除船行波对墙后植物的影响。

4) 新型生态航道护岸结构采用 3 种消波构造, 包括平直孔洞型、平板格栅型和圆柱格栅型消波结构, 其透射系数分别为 0.15~0.40、0.40~0.60、0.40~0.80, 消波能力平直孔洞型>平板格栅型>圆柱格栅型。

5) 在实际工程中, 建议采用孔径 200 mm (模型 40 mm) 的平直孔洞型消波结构, 这种孔径条件兼具良好的水体连通功能和消波效果。

参考文献:

- [1] 韩晓瑜. 加快建设交通强国背景下提升交通文化软实力思考[J]. 交通企业管理, 2023, 38(2): 17-19.
- [2] 杨靓, 袁其军, 李歌清, 等. 内河航道发展规划技术等级评定[J]. 水运管理, 2021, 43(5): 23-25.
- [3] 王文渊, 赵亮. 内河航道建设及治理的解决措施[J]. 珠江水运, 2023(17): 90-92.
- [4] 庞正芳, 王付杰, 谢齐. 内河航道建设和航道治理工程措施研究[J]. 建材与装饰, 2019(26): 276-277.
- [5] 徐笛熙, 郑伊君. 新形势下的内河航道生态护岸工程技术初探[J]. 中国水运, 2018(5): 70-71.
- [6] 李珂. 新型生态护岸在内河航道中的运用[J]. 中国水运(下半月), 2017, 17(12): 157-158.
- [7] 汤渭清. 航道硬质护岸生态修复技术应用研究[J]. 中国水运(下半月), 2014, 14(6): 150-151, 175.
- [8] 王宝永. 生态护岸在航道整治工程中的应用[J]. 工程与建设, 2020, 34(2): 323-324.
- [9] 邱从维. 生态格网生物护岸的探索与实践[J]. 亚热带水土保持, 2009, 21(2): 39-41.
- [10] 严登华, 窦鹏, 崔保山, 等. 内河生态航道建设理论框架及关键问题[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2018, 54(6): 755-763.
- [11] 吴志龙, 阚得静, 汤建宏, 等. 运河航道开发过程中生态带建设技术方案[J]. 水运工程, 2021(10): 256-259.

(本文编辑 赵娟)