

· 航道及通航建筑物 ·

运河航道开发过程中生态带建设技术方案



吴志龙¹, 阚得静¹, 汤建宏¹, 米海涛², 王 锋²

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 枣庄市港航和机场建设发展中心, 山东 枣庄 277100)

摘要: 针对运河护岸经常被破坏的情况, 通过研究运河航道中船行波对岸坡的作用及破坏机理, 分析不同形式生态护坡的消波能力, 研究运河航道多功能协调的护坡关键技术。总结航道生态护坡设计原则和思路, 提出生态护坡结构应尽量设置多孔性结构, 为生物提供生长空间。护坡结构形式选择要综合考虑水岸相互作用和生态需求。在船舶通行密度高的航道, 船舶航行会对水生生物造成重大影响, 有条件时应单独开辟一块区域供水生生物栖息。

关键词: 运河航道; 生态护坡; 生态航道; 船行波

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)10-0256-04

Technical scheme of ecological belt construction in the process of canal channel development

WU Zhi-long¹, KAN De-jing¹, TANG Jian-hong¹, MI Hai-tao², WANG Feng²

(1.CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2.Zaozhuang Port and Waterway Construction and Development Center, Zaozhuang 277100, China)

Abstract: Aiming at the phenomenon that canal revetment is often damaged, through studying the action and failure mechanism of ship waves on canal slope, the wave absorbing capacity of different types of ecological slope protection is analyzed, and the key technologies of slope protection with multi-function coordination in the canal channel are developed. The design principles and ideas of the ecological slope protection of the navigation channel are summarized, and it is proposed that the ecological slope protection structure should be provided with porous structures as much as possible to provide growth space for organisms. The selection of slope protection structure should consider the requirements of water bank interaction and ecology comprehensively. In the waterway with a high traffic density of ships, the navigation of ships will have a significant impact on aquatic organisms. If conditions permit, a separate area should be opened up for aquatic organisms to inhabit.

Keywords: canal channel; ecological slope protection; ecological channel; ship wave

随着对平陆运河、湘桂运河、赣粤运河和浙赣运河等跨流域大型人工水道运河工程开展相关规划及工程可行性方案论证, 水运及水利行业对航道生态护岸建设进行了一系列的研究, 研究内容主要集中在航道生态护坡结构形式、水岸相互作用、生态环保材料等方面^[1-3], 但是这些研究并没有系统梳理和总结多功能协调的护坡关键技术。大型人工水道船舶航行时, 船行波会对岸坡造成

较大影响, 本文通过研究大型人工水道船行波对岸坡的作用及破坏机理, 研究不同形式生态护坡的消波能力, 总结了岸坡防护、消波、生态景观等多功能协调的护坡关键技术。

1 船行波对岸坡作用及破坏机理

1.1 船行波

当船舶在大型人工水道运河中航行时, 船体

会引起水面上的波动。该水面波动由分歧波和横断波共同组成, 集中在船尾一定的扇形区域范围内。波浪传播角是运河航道中船舶航线与分歧波传播方向的夹角, 船行波波峰的尖峰点形成尖峰点连线, 分歧波的波峰中心的连线和航向间的夹角值, 深水域理论解为 $19^{\circ}28'$, 见图 1。分歧波方向、大小与船型、航速等有关联。运河中分歧波的波系移动方向与波峰线相互垂直, 同时向两侧传播。运河中的动力条件可按实测资料和有关规范进行分析计算。

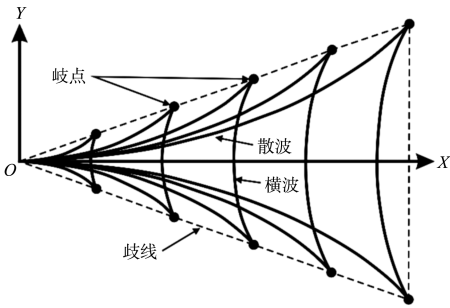


图 1 船行波示意

1.2 船行波对岸坡作用

运河中船行波传播到护岸时, 会在爬升过程中破碎, 同时岸坡会受到水作用力。运河岸坡在船行波的作用下, 岸坡会发生塌陷现象。运河岸坡在船行波作用下的破坏形式有以下几个方面: 1) 岸坡与船舶之间的水体会向后流动, 该水流会与运河岸坡产生相互作用; 2) 分歧波会在岸边重叠, 形成的波卷会随船速的增大而增大, 该波卷会对运河岸坡进行冲刷; 3) 船行波在运河岸坡上的运动会对岸坡产生一定的作用力, 并对运河岸坡结构造成破坏影响。

1.3 运河航道断面尺度对岸壁波高和岸作用力的影响

由于船行波的存在会对周围岸壁产生一定的破坏, 需要对航道两侧边坡采取一定的护坡措施, 对水流在边坡上产生的波浪作用参数进行分析很有必要。由于边坡上的波浪不是常见的正弦或余弦波, 虽然具有一些波浪特征如波峰与波谷等, 但是波峰或波谷幅值一般不是相同的, 相邻两个波峰或波谷之间的间距是变化的, 即没有固

定的周期、波长等参数。本节主要讨论船中最大水位跌落值, 并除以船长值无量纲化, 以此来定量分析边坡波浪参数随航道断面尺度的变化规律。

1.3.1 航道底宽尺度及两岸坡度系数对边坡波高的影响

边坡上最大波幅船长比是随航道底宽增加而减小的, 这个趋势逐渐平缓, 并且边坡为 1:3 时比边坡 1:2 在相同航道底宽时的波幅要大, 说明边坡坡度越平缓则边坡波浪跌落越明显, 并且 70 m 航道底宽时两种坡比的边坡上波浪幅值很接近。

1.3.2 航道水深尺度对边坡波高的影响

分析水深尺度对于边坡波浪相关参数的影响, 航道底宽固定为 90 m, 边坡波比固定为 1:3, 船舶在横向航行的位置保持 $\frac{y_f}{y_n} = 2.45$, y_f 和 y_n 分别为船舶中心线在水面处至两侧护岸的距离, 水深分别为 7、8、9、11、16.5 m, 取边坡波浪分布范围内的自由液面较静水面变化的最大幅值作为边坡波浪的幅值, 来定量分析边坡波浪的相关参数随航道断面水深的变化规律。船模试验结果表明: 船首对应边坡区域存在一个波峰, 船身对应边坡区域存在较大的波谷, 船尾对应区域的船行波逐渐衰减。边坡最大波幅 Δh 与船长比值 L 随水深变化情况见图 2。计算结果表明边坡波幅随水深增加而减小, 并且这种趋势也是逐渐平缓的。

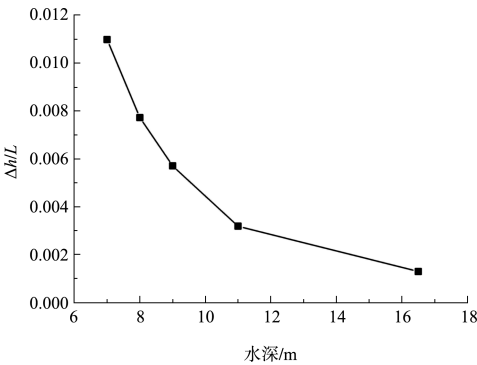


图 2 不同水深时边坡最大波幅与船长比

1.3.3 航道底宽尺度及两岸坡度系数对边坡压力的影响

由于航道的阻塞效应的作用, 导致船体周围

流速增加、压力降低，同时船行波的干扰会影响岸壁边坡上的压力分布。取边坡上压力较静水压变化最大幅值作为船体对岸壁压力影响，并定义压力变化系数 $C_{\Delta p}$ 。

$$C_{\Delta p} = \frac{\max [\text{abs}(P - P_0)]}{0.5\rho u^2} \tag{1}$$

式中： P 为岸壁边坡上的压力值 (kPa)； P_0 为静水情况下对应位置的压力值 (kPa)； ρ 为流体密度 (kg/m^3)； u 为对应船速 (km/h)。

当水深为 8 m 时，不同底宽及岸壁边坡坡比对岸壁边坡压力变化值的影响见图 3，其船舶横向位置固定为 $\frac{y_f}{y_n} = 2.45$ ，船舶航速设定为 15 km/h。岸壁压力变化系数随航道岸壁底宽增加而减小，这种趋势逐渐平缓，并且边坡坡比为 1:3 (平缓) 比边坡坡比为 1:2 上的压力变化系数大。

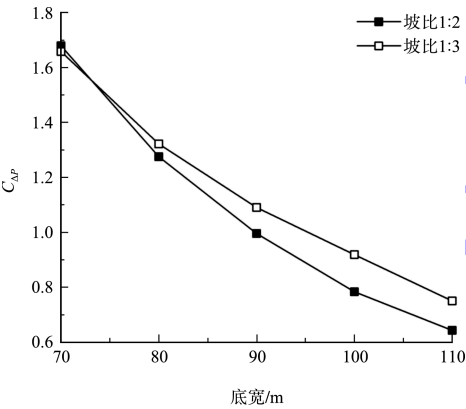


图 3 不同底宽边坡压力变化系数

1.3.4 航道水深对边坡压力的影响

为分析航道水深对于岸边边坡压力变化的影响，固定岸壁底宽值为 90 m，边坡坡比为 1:3，船舶航速为 15 km/h，船舶横向位置固定为 $\frac{y_f}{y_n} = 2.45$ 。航道水深尺度取 7、8、9、11、16.5 m 时，分析护岸边坡上水体压力变化情况。

不同水深时岸壁边坡上压力变化系数见图 4。水深越浅，岸壁边坡上压力变化值越大；水深越深，岸壁边坡上压力变化值越小。同时，随着水深增加，边坡压力变化系数减少的趋势逐渐平缓。

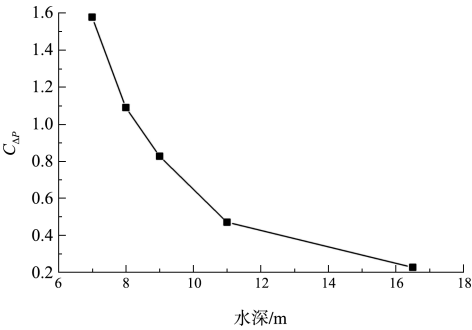


图 4 不同水深的边坡压力变化系数

3 生态护坡及生态航道设计

3.1 生态护坡设计原则

1) 总体性。生态护坡的结构形式设计应考虑运河沿线环境、地质、气候、水流等自然条件，同时考虑船型尺度、船舶密度等相关因素。为了最大程度保护运河沿线生态环境，创造自然和谐的生态环境，最终使运河可持续发展，要系统谋划、因地制宜选用生态护岸结构。

2) 耐久性。运河生态护坡结构在耐久性方面主要体现在稳定、可靠和安全方面，要对运河护岸防护、水土保持、防止岸坡冲刷和船舶撞击起一定作用。

3) 经济性。运河生态护岸要根据当地的自然、施工、材料来源等条件，充分利用原河道，减少拆迁和土方开挖，减少工程投资。

4) 亲水性。运河生态护岸设计思路中要充分加入人性化设计，人们的亲水想法应尽量实现，运河中增加亲水景观护坡。

5) 生态性。运河生态护岸要注重采用新工艺和新材料，设计中要增加体现生态功能的护岸系统。

3.2 生态护坡设计思路

根据运河特征水位、沿线生物生存环境，同时考虑河道中的水流特点，运河生态护岸断面从上往下主要分为 4 个区域，分别是景观区、亲水区、防护区和护底区。最低通航水位船行波影响范围以下主要考虑河床土质、水流流速来确定防护要求；最低通航水位船行波影响区——常水位的防护区重点考虑船行波淘刷、雨水冲刷、船舶撞击及坡内渗流对边坡的破坏，结构形式应具有相对高的结构强度和相对好的生态条件；常水位与最高通航水位间的区域，重点应该考虑亲水性、

生态性、防止被船行波冲刷等要求;景观区应重点考虑与周边生态环境相协调,最终创造适宜动植物、微生物生长的环境。

3.3 生态护坡消浪能力分析

在通航河道中,船行波通常是破坏河道岸坡稳定的主要因素,通航船舶吨级越大,船行波对岸坡的淘刷、侵蚀作用越强。要重视护坡结构的消浪能力。根据目前国内外关于生态护坡消浪能力的研究成果,主要的消浪措施有以下两类:1)植物消浪。植物具有一定的摆动、壅水和消耗波能效应,利用植物的上述效应可以起到护坡消浪作用。2)透空结构消浪。利用消浪孔、非光面预制块消浪或采用空箱与插板组合透空结构消浪。

3.4 复合型生态航道设计

航道建设中除需要研究适宜的植物外,尚需研究合适的护坡结构形式。生态护坡结构应满足河堤稳定性的要求,同时美化工程环境,尽量减少对运河沿线动植物生存的影响。考虑生物的安全生长空间,水下护坡结构应考虑设置多孔性构造。在水位变幅范围内,护坡应根据不同部位选择不同的植物。护坡结构应尽量选用自然材料,避免产生环境污染。护坡建筑物应考虑人性化,满足人们的亲水理念。

生态护坡的设计需要结合人工水道设计理论与方法,通过调整断面系数及航道断面形状,尽可能降低船行波波高,减少船舶对岸坡的影响。另外,在船舶通行密度高的航道,船舶航行会对水生生物造成重大影响,因此有必要单独开辟一块区域供水生生物栖息。生态护坡典型断面见图 5。

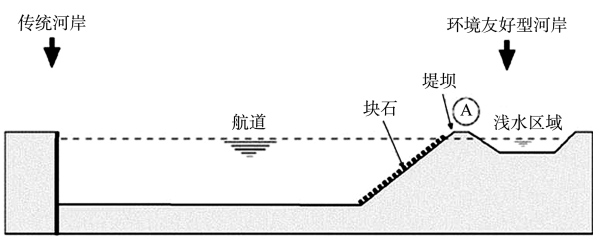


图 5 生态护坡典型断面

4 结语

- 1) 航道底宽、边坡、水深均对岸壁波高和压力有影响,其中航道水深是最关键的影响因素。
- 2) 考虑生物的安全生长空间,护坡结构应考虑设置多孔性结构。
- 3) 护坡结构形式选择要综合考虑水岸相互作用和生态要求。
- 4) 在船舶通行密度高的航道,船舶航行会对水生生物造成重大影响,有条件时应单独开辟一块区域供水生生物栖息,创造适宜动植物、微生物生长的环境。

参考文献:

[1] 李佳皓, 拾兵. 基于船行波消减功能的内河航道生态护岸的研究进展[J]. 中国水运(下半月), 2019, 19(3): 111-113.

[2] 白玉川, 杨建民, 胡媚, 等. 植物消浪护岸模型实验研究[J]. 海洋工程, 2005, 23(3): 65-69.

[3] 廖鹏, 丁天平, 郑龙, 等. 箱体与插板组合型生态护岸消浪试验研究[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2018, 48(5): 815-820.

[4] 何飞, 陈杰, 蒋昌波, 等. 考虑根茎叶影响的刚性植物消浪特性实验研究[J]. 水动力学研究与进展(A 辑), 2017, 32(6): 770-778. (本文编辑 武亚庆)

(上接第 247 页)

- 4) 改装的多功能船充分发挥现有船机设备的利用率, 节省了施工成本。
- 5) 一系列水上混凝土浇筑组合工艺应用于离岸码头工程建设, 取得了良好的应用效果, 可为后期类似工程施工提供借鉴。

参考文献:

[1] 张志明, 杨国平. 中国沿海深水港口建设技术进展和发展趋势[C] // 中国土木工程学会港口工程分会. 中国土木工程学会港口工程分会技术交流文集. 北京: 中国土

木工程学会港口工程分会, 2009.

[2] 郭中伟. 独立墩式码头水上混凝土浇筑工艺技术创新[J]. 商品与质量 建筑与发展, 2014(3): 828-828.

[3] 王兴坤, 孙国峰, 张轩维. 高桩码头施工新工艺应用[J]. 水运工程, 2019(S1): 9-11.

[4] 朱建吉. 无进场道路情况下如何采用水上浇筑混凝土[J]. 水能经济, 2016(3): 336-336.

[5] 刘振广, 孟庆宇. 水上现浇大体积钢筋混凝土墩台施工[J]. 城市建设理论研究, 2014(36): 2268-2270. (本文编辑 郭雪珍)