

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.06.006

夏峰, 陈一梅, 王宗传, 等. 多因素耦合的内河限制性航道维护底宽确定方法[J]. 水利水运工程学报, 2018(6): 48-54. (XIA Feng, CHEN Yimei, WANG Zongchuan, et al. A method for determining maintenance bottom width of a restricted channel using coupled multi-factors[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(6): 48-54. (in Chinese))

多因素耦合的内河限制性航道维护底宽确定方法

夏峰, 陈一梅, 王宗传, 毛礼磊

(东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 航道维护底宽是内河航道养护管理工作的重要指标之一。为探究限制性航道维护底宽的确定方法, 基于航海学和可靠性理论, 分析计算了满足通航标准、船舶运动特性、航行可靠性的航道底宽, 构建了内河限制性航道维护底宽的效益-费用模型。其中效益模型由船舶运输、节能减排、替代公路运输以及防洪等效益构成, 费用模型由一次性疏浚及日常维护等费用构成。在此基础上, 耦合多因素综合分析计算了京杭运河镇江段的航道维护底宽, 结果表明该航段 40 m 维护底宽较为合理。该限制性航道维护底宽确定方法较好地考虑了内河限制性航道多因素多目标需求, 具有较高实用价值。

关键词: 效益费用模型; 航行可靠性; 限制性航道; 维护; 底宽

中图分类号: U611

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2018)06-0048-07

航道维护底宽是船舶安全航行的重要指标之一, 一方面关系着航道管理部门的维护工作量和资金投入, 另一方面又影响着航道的通过能力。国内外对航道维护的研究主要集中在维护方法和维护手段。Cowan 研究了通过遗传算法来改进航道网络的维护方案^[1]; Prather 等以莫农加希拉河为例, 对航道长期运行和维护进行经济性分析^[2]; 德国的 Kuehni 等研究了基于 IT 的 e-maintenance 系统(EMS), 从定期检查和各种数学模型中获得数据, 结合该系统来确定德国水路网络中的相关基础设施是否需要预防性维护^[3]。国内一些学者从影响船舶航行安全、船舶阻力等单因素分析出发提出计算航道底宽的方法^[4-7], 但对维护尺度与效益及费用等方面研究尚少。

本文以内河限制性航道为对象, 从多因素角度探索航道维护底宽确定方法, 指导航道维护断面构建, 具有实用价值, 符合科学管理、绿色发展理念。

1 研究区域和方法

京杭运河镇江段按三级限制性航道整治, 两岸为直立式护岸, 航道底宽 45 m, 水面宽 90 m, 设计时采用的 1 000 t 级标准船型: 驳船为 65.0 m×10.8 m×2.2 m(船长×船宽×型深), 货船为 68.0 m×10.8 m×2.6 m。研究中实际抽样调查了京杭运河镇江段船舶载重吨位、船型尺度, 统计回归得到 1 000 t 级实际船型: 驳船为 48.0 m×10.0 m×2.7 m, 货船为 56.0 m×11.0 m×2.8 m。京杭运河镇江段谏壁船闸 2016 年通过船舶数量、吨位及占比见表 1。

表 1 谏壁船闸船舶过闸分析

Tab. 1 Analysis of Jianbi shiplock throughput capacity

船舶吨级	船舶数量/艘	船舶数量占比/%	吨位/10 ³ t	吨位占比/%
大于 1 000 t	6 796	4.2	4 544	6.9
800~1 000 t	22 058	13.8	12 724	19.4
500~800 t	60 422	37.8	27 371	41.8
300~500 t	47 056	29.3	15 897	24.3
小于 300 t	23 784	14.9	4 940	7.6
合计	160 116	100.0	65 476	100.0

收稿日期: 2018-01-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51479035)

作者简介: 夏峰(1993—), 男, 江苏南通人, 硕士研究生, 主要从事航道工程方面的研究。

E-mail: seuxiafeng0628@163.com

根据水位资料统计分析,京杭运河镇江段每年枯季时间约为60天,洪季约为60天,常水位时间约为240天。

耦合多因素的内河限制性航道维护底宽确定步骤如下:

(1)分别对设计标准船型和实际统计船型,从满足船舶操纵性和航行可靠性目标出发,基于船舶运动特性和可靠性理论,计算不同条件下所需的航道宽度。

(2)计算航道维护底宽。根据内河限制性航道断面形态,航道维护底宽与航道宽度的关系如下式所示:

$$B_b = B - 2m(H - T) \quad (1)$$

式中: B_b 为航道底宽; B 为航道宽度; H 为航道水深; m 为航道边坡比; T 为船舶吃水。

(3)建立效益-费用模型。在(1)和(2)计算得到的航道底宽范围基础上,进行航道效益和维护费用分析,确定满足最佳效益费用比的航道维护底宽。

(4)以通航安全为底线,确定安全可靠、效益费用佳的内河限制性航道维护底宽。

2 满足不同条件的内河限制性航道维护底宽

2.1 满足船舶运动特征的航道维护底宽

船舶行驶时,受风、流等自然条件及航道断面、助航设施、船舶操纵性和人为因素的影响,其航行轨迹会在航道中线左右摆动,需要不断地操舵来校正航向、纠正偏航。船舶航行时,所需航宽为航迹带在航宽方向的投影与航道富裕宽度之和^[8]。在各种风、流影响情况下,双线航道船舶(队)航行所需航宽主要考虑风致漂移量及流致漂移量,可采用下式进行计算^[9],即:

$$B = B_{Fd} + B_{Fu} + B_{ad} + B_{au} + B_{wd} + B_{wu} + d_1 + d_2 + C \quad (2)$$

$$B_a = K \cdot \sqrt{\frac{B_A}{B_w}} \cdot e^{-0.14V_s} \cdot V_a \cdot S \cdot \frac{\sin \alpha_f}{|V \cos \beta + U \cos \alpha|} \quad (3)$$

$$B_w = S \cdot \frac{V \sin \beta + U \sin \alpha}{|V \cos \beta + U \cos \alpha|} \quad (4)$$

式中: B_{ad}, B_{au} 分别为船舶下行和上行时的风致漂移量; B_{wd}, B_{wu} 分别为船舶下行和上行时的流致漂移量; K 为风致漂移系数; B_A 为船体水线上侧受风面积; B_w 为船体水线下侧面积; V_s 为风中航速; V_a 为相对风速; α_f 为真风作用方向与船舶首尾线的夹角; S 为计算河长; V 为船速; U 为流速; α 为流向角; β 为航行漂角。

京杭运河镇江段常年水位变幅较小、水流平稳,流速 U 为0.5 m/s,船舶航速 V_s 为8 km/h, K 一般取0.038~0.041,流向角 α 为2°,航行漂角 β 为3°,计算河长 S 取3倍船队长度。由式(1)和(2)得,标准船型和实际船型下考虑船舶运动特性的航道底宽分别为42和39 m。

2.2 满足通航标准的航道维护底宽

根据GB 50139—2014《内河通航标准》,直线段航道宽度包括航迹带宽度、船间距离和船离岸距离,航迹带主要包括船舶航行中在航迹线左右的偏移量及船舶本身占用的航道空间,而航行漂角的取值则决定航迹线的左右偏移量,双线航道水深和宽度的计算方法^[9-10]见下式:

$$B = B_{Fd} + B_{Fu} + d_1 + d_2 + C \quad (5)$$

$$B_{Fd} = B_{sd} + L_d \sin \beta \quad (6)$$

$$B_{Fu} = B_{su} + L_u \sin \beta \quad (7)$$

式中: B 为直线段双线航道宽度; B_{Fd}, B_{Fu} 分别为下行和上行船舶或船队航迹带宽度; d_1 为下行船舶或船队外舷至航道边缘的安全距离; d_2 为上行船舶或船队外舷至航道边缘的安全距离; C 为船舶或船队会船时的安全距离; β 为航行漂角。

航行漂角值对船舶航行安全影响较大,GB 50139—2014《内河通航标准》中航行漂角为3°,各项安全距离之和 $d_1 + d_2 + C$ 为上行和下行航迹带宽度之和的50%~60%。将标准船型和实际船型代入式(5),得到标准船型和实际船型所需的航道底宽分别为45和44 m。

2.3 满足航行可靠性的航道维护底宽

船舶航行可靠性是指在一定的外界条件和环境下保证船舶安全航行的能力。对航道宽度的可靠性分析,根据对不同船舶宽度在不同航道宽度情况下航行事故的统计进行分析,得到航道宽度与事故数或事故百分比间的回归方程^[11]为:

$$K_c = a \left(\frac{B_c}{B_s} - 1 \right)^{-b} \quad (8)$$

式中: B_c 为航道宽度; B_s 为船宽; K_c 为事故数; a, b 为回归方程参数。统计得出,一般双线航道宽度应大于5倍的船宽才能保证船舶航行的可靠性, K_c 值应越小越好。

设计标准船型船宽 B_c 为 10.8 m, 实际船型船宽 B_s 为 11.0 m; 由式(1)及式(8)统计规律得, 标准船型和实际船型下考虑航行可靠性的航道底宽分别为 39 和 40 m。

2.4 不同条件下京杭运河镇江段航道维护底宽

综合前述各种情况,以标准船型和实际船型为研究对象,京杭运河镇江段在满足通航标准、运动特征和航行可靠性时,航道维护底宽分别为标准船型 45, 42, 39 m 和实际船型 44, 39, 40 m。

3 基于效益-费用模型的航道维护底宽确定

3.1 航道维护的效益模型

航道维护涉及的效益主要有船舶运输效益、节能减排效益、替代公路运输效益。

3.1.1 船舶运输效益 载体船舶的千吨每千米油耗量指在完成单位运输周转量的时候船舶所消耗的能源总量,用来反应航运对能源的利用程度,也侧面反映出航运的能源配置合理程度以及船舶运输效益。因此,不同吨级船舶千吨千米能耗强度计算公式如下:

$$H_n = eq = eQ_{\text{油}} / (Gd) \quad (9)$$

式中: H_n 为第 n 类船舶千吨千米能耗强度; q 为内河船舶千吨千米的油耗强度; $Q_{\text{油}}$ 为年燃油消耗量(kg); G 为年载货量(t); d 为航距(km); e 为燃料能耗强度(kcal/kg)。

内河船舶千吨千米能耗强度与单位能耗及单位能耗价格乘积即单位运输成本 E_n 。据调研,1 000 t 级、800 t 级、500 t 级、300 t 级货船所对应的 E_n 分别为 63.68, 76.64, 93.82 和 124.26 元/(kt·km)。

在分析论证运输船舶的营运经济效益时,大多采用 RFR(必要运费率)和 AAC(单位运输成本)两个主要考核指标^[12-13],这里以运输成本为指标,分析不同底宽条件下,影响不同等级的船舶航行时所产生的总的船舶运输效益。

综合研究航段船舶等级及对应单位运输效益,船舶运输总效益公式如下:

$$F_1 = \sum_n E_n a_n \quad (10)$$

式中: F_1 为每年每千米运输总效益; E_n 为第 n 类船舶对应单位运输成本; a_n 为第 n 类船舶吨级对应的运输总量。

当航道底宽变小时,相应等级的船舶航行受到影响,在水深条件满足的情况下,航道底宽仅影响双线船舶交汇,根据京杭运河镇江段实地观测及船舶流量资料,货运影响量为航道枯季上下行货运量的各 10%。

由式(10),结合表 1 及各等级船舶单位运输成本,所产生的运费效益见表 2。

3.1.2 节能减排效益 船舶航行节能减排效益主要分为直接效益和间接效益两部分,直接效益是指航行阻力减小带来的节能效益,间接效益则是公路与水运之间货

表 2 镇江段航道每年每千米运费效益

Tab. 2 Transport benefit per kilometre per year of Zhenjiang reach

航道维护底宽/m	受影响船舶	每年每千米运输效益/元
45	无	6 421 682
43	1 000 t 级以上	6 419 754
42	1 000 t 级以上	6 417 826
41	1 000 t 级以上	6 415 897
40	1 000 t 级以上	6 413 969
39	1 000 t 级以上	6 412 040
37	800 t 级以上	6 379 530

运量的转移而产生的碳排效益。

(1) 船舶航行节能效益:航行阻力是影响船舶节能减排效益的直接因素,主要与船舶航速以及航道断面有关,航道断面系数增大,航行阻力减小,能耗减小,从而实现节能效益,因此,节能减排直接效益计算式为:

$$F_2 = \sum_n \left(\frac{K_n}{K_0} - 1 \right) c_n a_f \quad (11)$$

式中: F_2 为确定底宽下每年每千米节能减排直接效益; c_n 为第 n 类船舶平均每千米耗油(kg); K_n 为定底宽下不同吨级船舶对应的航道断面阻力系数; K_0 为航行阻力不影响船舶通行时的阻力系数; a_f 为每千克耗油单价(元/kg)。

据镇江段实地调研,船舶航行经济船速为 8 km/h,当断面系数 $n > 7$ 时,航行阻力不影响船舶通行时的阻力系数 $K_0 = 1.8$ (见图 1)。不同吨级船舶平均每千米每千吨消耗柴油为:100 t 级船舶 10.2 kg,200~300 t 级船舶 8.4 kg,300~500 t 级船舶 6.2 kg,500~1 000 t 级船舶 2.9 kg。考虑到江苏省内柴油价格为 6.81 元/kg,则不同维护底宽条件下镇江陵口段每年每千米节能减排直接效益见表 3。

(2) 节能减排间接效益:当航道维护底宽不同时,航道断面则会影响相应等级船舶通航,从而使得部分船舶货运量转移到公路运输,由于公路运输相比水路运输碳排放量大量增加,因此,需计算该类碳排放所带来的社会效应。

根据《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》^[15],可采用交通运输方式的燃料单位里程消耗量与行车里程的乘积得到碳排放量,再乘以每种燃料的排放系数。节能减排间接效益计算公式如下:

$$F_3 = \sum_n P_n \beta_1 r_0 \quad (12)$$

式中: F_3 为每年每千米节能减排间接效益; P_n 为第 n 类船舶载质量 (10^3 t); β_1 指交通方式碳排放因子(β_1 的取值为公共汽车 0.066,轨道交通 0.042,私家汽车 0.239,出租车 0.276,货运车 0.141); r_0 为单位体积碳排放量造成的社会效益。

目前,碳排放量价格为 77~93 元/t^[16],这里取 85 元/t,碳排放增量间接效益见表 4。

表 4 镇江段航道每年每千米节能减排效益

Tab. 4 Benefit of energy saving and emission reduction per kilometre per year of Zhenjiang reach

航道维护底宽/m	受影响船舶	受影响货运量/ 10^3 t	公路运输转移量/ 10^3 t	碳排放量/t	碳排放增量社会效应/元
45	无	0	0	0	0
43	1 000 t 级以上	30.28	15.14	2 134.72	-181 452.88
42	1 000 t 级以上	60.56	30.28	4 269.44	-362 905.76
41	1 000 t 级以上	90.84	45.42	6 404.16	-544 358.64
40	1 000 t 级以上	121.12	60.56	8 538.88	-725 811.52
39	1 000 t 级	151.40	75.70	10 673.60	-907 264.40
37	800 t 级以上	575.60	287.80	40 579.80	-3 449 283.00

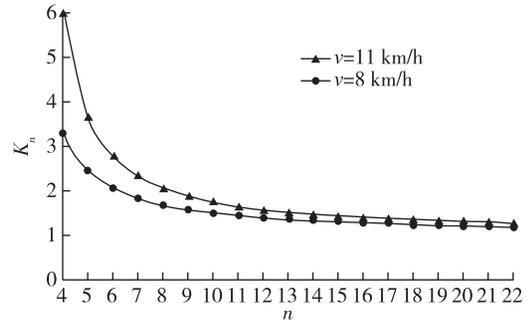


图 1 船舶阻力换算系数与断面系数之间的关系^[14]

Fig. 1 Relationships between ship resistance conversion coefficient and section coefficient^[14]

表 3 镇江段航道每年每千米节能减排直接效益

Tab. 3 Direct benefit of energy saving and emission reduction per kilometre per year of Zhenjiang reach

航道维护底宽/m	受影响船舶	节能减排每年每千米直接效益/元
45	无	0
43	1 000 t 级以上	-4 855.52
42	1 000 t 级以上	-9 711.04
41	1 000 t 级以上	-14 566.56
40	1 000 t 级以上	-19 422.08
39	1 000 t 级以上	-24 277.60
37	800 t 级以上	-30 137.40

3.1.3 替代公路运输效益 当航道进行疏浚施工时,受到施工区域水域的限制,部分水路货运量会改走陆运。水运和陆运相比,转移运量使得总耗油量增加,替代公路运输效益公式如下:

$$F_4 = W \times L \times (q_2 - q_1) \times a_f \tag{13}$$

式中: F_4 为替代公路运输效益; W 为年货运量(10^3t); L 为运距(km); q_2 为公路单位运输油耗(kg); q_1 为水运单位运输油耗(kg); a_f 为每千克耗油单价(元/kg)。

根据镇江市交通统计资料,公路水路的柴油消耗量差为 $25.3 \text{ kg}/(10^3\text{t} \cdot \text{km})$,由式(13)计算得每年每千米节约资金见表 5。

3.2 航道维护费用模型

航道维护费包括疏浚作业及日常维护两方面,主要以疏浚量为指标,即计算实际断面与维护标准之间的回淤量,每米航道疏浚费用计算式如下:

$$C_0 = C_1 \times V_s + C_2 \tag{14}$$

式中: C_0 为每延米航道疏浚费用; C_1 为每立方米疏浚费用; V_s 为每延米航道疏浚量(m^3); C_2 为航道日常维护费用。

江苏内河疏浚主要采用液压抓斗式挖泥船,抓斗容量一般为 $0.75 \sim 1.00 \text{ m}^3$,镇江段疏浚单价为 $17 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。根据《疏浚工程技术规范》(JTJ 319—1999),各挖泥船的每边计算超宽、超深分别为 2.0 和 0.3 m 。由式(14)计算不同维护底宽条件下航道每千米疏浚量及疏浚费用见表 6。

3.3 效益费用比

最佳养护时机应是在费用较小而效益较大时,即效益费用比 F_{BCR} 最大时,采用有效性指标 F_{BCR} 计算:

$$F_{\text{BCR}} = B_i / C_i \tag{15}$$

式中: B_i 为不同情况下的总效益; C_i 为不同情况下的总费用。

通过比较 F_{BCR} 的大小,当 $F_{\text{BCR}} < 1$ 时,认为航道维护总效益小于总费用,此时航道维护不合理,因此选择最大 F_{BCR} 值对应的航道底宽即是预防性养护措施最佳时机。

由式(15)计算京杭运河镇江陵口段不同维护底宽效益费用比见表 7。

表 7 运河镇江段航道不同维护底宽下效益费用比

Tab. 7 Ratio of benefit and cost under different maintenance bottom widths in Zhenjiang channel

航道维护底宽/m	每千米疏浚费用/元	每千米船舶运输效益/元	每千米节能减排效益/元	每千米替代公路效益/元	F_{BCR}
45	337 280	6 421 682	0	0	19.04
43	282 880	6 419 754	-181 452.9	-2 608.52	22.04
42	255 680	6 417 826	-362 905.8	-5 217.03	23.66
41	228 480	6 415 897	-544 358.6	-7 825.55	25.66
40	201 280	6 413 969	-725 811.5	-10 434.10	28.21
39	174 080	6 412 041	-907 264.4	-13 042.58	31.55
37	119 680	6 379 530	-3 449 283.0	-49 585.92	24.07

表 5 镇江段航道每年每千米替代公路运输效益

Tab. 5 Benefit of substitutes for highway per kilometre per year of Zhenjiang reach

航道维护底宽/m	受影响船舶	公路运输转移量/kt	替代公路运输效益每年每千米效益/元
45	无	0	0
43	1 000 t 级以上	15.14	-2 608.52
42	1 000 t 级以上	30.28	-5 217.04
41	1 000 t 级以上	45.42	-7 825.56
40	1 000 t 级以上	60.56	-10 434.08
39	1 000 t 级	75.70	-13 042.60
37	800 t 级以上	287.80	-49 585.90

表 6 镇江段航道不同维护底宽下疏浚量及费用

Tab. 6 Dredging amount and cost under different maintenance bottom widths at Zhenjiang reach

航道维护底宽/m	每千米疏浚量/ m^3	每千米疏浚费用/元
45	19 840	337 280
43	16 640	282 880
42	15 040	255 680
41	13 440	228 480
40	11 840	201 280
39	10 240	174 080
37	7 040	119 680

由图2可见,当航道维护底宽大于39 m时,航道总效益与总维护费用的比值随维护底宽的增大而减小,维护底宽取39 m时,效益费用比 F_{BCR} 最大最经济。本研究航段满足实际船型航行可靠性的航道维护底宽需要40 m。因此,综合效益与费用及航行安全性,研究航段维护底宽定40 m较为合理。

4 结 语

通过建立的限制性航道维护底宽的效益-费用模型,可计算航道效益费用比最大条件下的维护底宽。综合运用效益-费用模型以及船舶运动特性、航行可靠性分析法等,最终确定限制性航道的维护底宽,并应用到京杭运河镇江段实例计算中。分析研究结果表明,该方法能较好地考虑到限制性航道的通航因素及经济需求,具有较高实用价值。

参 考 文 献:

- [1] MITCHELL K N, WINTON C, COWAN M. Improved waterway network maintenance strategies via geneticalgorithms [J]. Transportation Research Board Annual Meeting, 2015.
- [2] PRATHER L J, WISE H. Economic analysis for long-term operation and maintenance of a waterway: the case of the Monongahela River[J]. Economic Analysis, 1989(1222): 46-53.
- [3] KUHNI K, BODEFELD J, KUNZ C, et al. EMS-WSV-EinErhaltung management system fürVerkehrswasserbauwerke [J]. Bautechnik, 2008, 85(8): 514-520.
- [4] 刘娜. 天津港水深动态维护应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2010. (LIU Na. Applied research on dynamic maintenance of water depth in Tianjin port[D]. Tianjing: Tianjing University, 2010. (in Chinese))
- [5] 刘琦. 内河航道维护水平评价研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013. (LIU Yu. Study on evaluation of inland waterway maintenance level[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2013. (in Chinese))
- [6] 丁坚, 姚建卫, 李安中, 等. 江苏省内河航道养护和管理规划研究[J]. 水运工程, 2009(10): 102-106. (DING Jian, YAO Jianwei, LI Anzhong, et al. Conservation and management planning of inland waterway of Jiangsu Province [J]. Port and Waterway Engineering, 2009(10): 102-106. (in Chinese))
- [7] WOHL E. Particle dynamics: the continuum of bedrock to alluvial river segments[J]. Geomorphology, 2015: 192-208.
- [8] 曹民雄, 马爱兴, 王秀红, 等. 内河航道横流对船舶航行的影响[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(1): 61-67. (CAO Minxiong, MA Aixing, WANG Xiuhong, et al. Influence of cross current on ship navigation in inland waterway [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(1): 61-67. (in Chinese))
- [9] 饶思梁. 内河航道尺度与通航能力关系研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011. (RAO Siliang. A study on the relationship of inland waters channel dimensions and navigation capacity[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2011. (in Chinese))
- [10] GB 50139—2014 内河通航标准[S]. (GB 50139—2014 Navigation standard of inland waterway[S]. (in Chinese))
- [11] 甘浪雄. 航道条件对船舶航行可靠性的影响[J]. 中国航海, 2001(2): 55-57. (GAN Langxiong. The effect of channel conditions on ship navigation[J]. Navigation of China, 2001(2): 55-57. (in Chinese))
- [12] 张国民. 黄河中游100吨级浅吃水船型及单船运输效益的研究与分析[J]. 山西交通科技, 1997(6): 53-57. (ZHANG Guomin. Research and analysis of 100 t shallow water ship model and single ship transportation benefit[J]. Shanxi Traffic Science and Technology, 1997(6): 53-57. (in Chinese))
- [13] 刘灿齐, 樊建林, 徐瑞华. 城市轨道交通成本、效益及其利益转移分析[J]. 上海铁道大学学报, 2000, 21(2): 56-60. (LIU Canqi, FAN Jianlin, XU Ruihua. Analysis of cost, benefit and inner transference of urban rail-transit[J]. Journal of Shanghai Tiedao University, 2000, 21(2): 56-60. (in Chinese))
- [14] 周华兴, 郑宝友. 关于深水、浅水与限制性航道界定的探讨[J]. 水运工程, 2006(1): 53-58. (ZHOU Huaxing, ZHENG

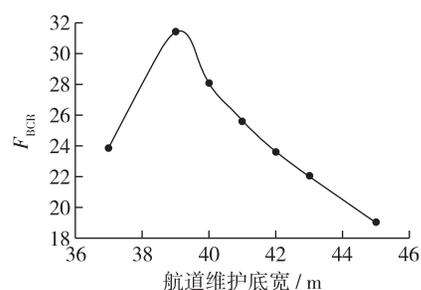


图2 镇江段航道 F_{BCR} 值与航道维护底宽关系

Fig. 2 Relationships between F_{BCR} value and maintenance bottom width in Zhenjiang reach of Beijing-Hangzhou Canal

- Baoyou. Discussion on defining deep water, shallow water and restricted channel[J]. Port and Water Engineering, 2006(1): 53-58. (in Chinese))
- [15] PAUSTIAN K, RAVINDRANATH N H, AMSTEL V A, et al. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [M]. Hayama: IGES, 2006.
- [16] 陈晓红, 王陟昀. 碳排放权交易价格影响因素实证研究——以欧盟排放交易体系(EUETS)为例[J]. 系统工程, 2012(2): 53-60. (CHEN Xiaohong, WANG Zhiyun. Empirical research on price impact factor of carbon emission exchange: evidence from EUETS[J]. Systems Engineering, 2012(2): 53-60. (in Chinese))

A method for determining maintenance bottom width of a restricted channel using coupled multi-factors

XIA Feng, CHEN Yimei, WANG Zongchuan, MAO Lilei
(School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The maintenance of the channel bottom width is one of the important indicators for maintenance and management of the inland waterway. Reasonable maintenance of the width of the waterway is an important guarantee for the scientific management of the waterway and the green development. In order to explore the method of determining the bottom width of the restricted channel maintenance, and to guide the channel maintenance and management, and based on the theory of navigation and reliability, and the width of the channel bottom which should meet the requirements of the *Inland River Navigation Standard*, the characteristics of the ship motion and the reliability of the navigation are analyzed and calculated. A cost-benefit model for the inland river restrictive channel maintenance is also developed. The benefits in the model include ship transportation, energy saving, emissions reduction, alternative highway transportation and flood control. The costs in the model include one-time dredging and daily maintenance expenditures. Based on this model, a comprehensive coupled multi-factors analysis was carried out to assess the channel maintenance width for the Zhenjiang reach of the Beijing-Hangzhou Canal. The analysis results show that the 40 m width of the waterway is reasonable. The method of determining the bottom width of the restricted channel has taken into account the multi-factors and multi-targets demand of the inland river restricted channel and has a high practical value.

Key words: benefit-cost model; navigation reliability; restrictive channel; maintenance; channel bottom width