



城市分汊型河道环保疏浚深度 设计关键要素

葛高岭, 何攀, 孙涵, 郑子昂, 郭翠双

(中交(天津)生态环保设计研究院有限公司, 天津 300202)

摘要: 城市分汊型河道进行环保疏浚的边界条件较复杂, 具有水质较差、流态复杂、淤积严重、过河建筑物较多的特点。提出环保疏浚深度应从污染层深度、河床演变、构筑物的安全等多角度考虑的设计理念: 1) 在单一河段复式断面以平滩高程控制疏浚深度。2) 为了稳定河床, 疏浚深度应控制过水面积的比例, 并保持主河道与自然坡度一致。3) 在堤防及构筑物处, 疏浚深度应考虑与其安全距离及疏浚后冲刷深度的影响, 从而在河床稳定和构筑物安全的前提下, 最大限度挖除污染底泥。此理念已成功应用于某河段环保疏浚工程。

关键词: 城市分汊型河道; 疏浚深度; 河床演变; 构筑物安全

中图分类号: U 616

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)S2-0058-06

Key elements in depth design for environmental dredging of urban braided rivers

GE Gao-ling, HE Pan, SUN Han, ZHENG Zi-ang, GUO Cui-shuang

(CCCC(Tianjin) Eco-Environmental Protection Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300202, China)

Abstract: The boundary conditions for the environmental dredging of urban braided rivers are complex due to poor water quality, complex flow patterns, serious siltation, and large numbers of river-crossing buildings. This paper proposes a concept that the design of the environmental dredging depth should unfold from the perspectives of pollution layer depth, riverbed evolution, and structure safety, and the concept involves the following three aspects: 1) Controlling the dredging depth with the bankfull elevation is advisable at the compound section of a single river section. 2) for the stabilization of the riverbed, the design of the dredging depth presupposes controlling the proportion of the cross-sectional area and keeping the main channel consistent with the natural slope. 3) At dikes and structures, the design of the dredging depth should consider the influences of the safety distance from the dikes and structures and the scouring depth after dredging to excavate the polluted sediment to the maximum extent on the premise of stable riverbeds and safe structures. The proposed concept has achieved successful application to an environmental dredging project in a river section.

Keywords: urban braided river; dredging depth; riverbed evolution; structure safety

环保疏浚是水环境内源治理应用广泛的工程措施之一, 而疏浚深度的确定是环保疏浚的关键, 对水环境的治理质量、河道形态、工程投资有重要影响, 大量学者进行了环保疏浚深度的研究。Olsen 等^[1]利用三维流体动力学(CFD)模型,

模拟了长周期疏浚与淤积共同作用时的工况, 通过模型确定了泥砂颗粒的沉降速度和黏聚性是塑造水下地形的敏感因素; Mellor 等^[2]在浚前、浚中、浚后对红树林周边环境进行监测, 指出疏浚悬浮物在红树林区沉降速度小于等于 30.5 mm/a,

收稿日期: 2022-07-11

作者简介: 葛高岭(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 注册咨询师(投资), 一级建造师, 从事河道生态治理工程设计研究。

对红树林的的健康无明显影响;姜霞等^[3]利用潜在生态风险指数法结合拐点法对竺山湾底泥中的重金属污染厚度进行推算和评估,以确定环保疏浚的深度;周小宁等^[4]依据太湖内沉积物中磷的形态、吸附动力学以及潜在的可交换性磷随深度变化趋势,推算环保疏浚深度;文献[5]从疏浚成本和营运成本两个方面论证了经济的疏浚深度;Wang 等^[6]利用马尔桑地上游水库水沙过程分析,得出在洪水季节流量大于200 m³/s且蓄水流速不应超过进入水库的1/10时应进行清淤,以避免泥沙在坝址附近蓄水期间沉积;张鑫等^[7]提出利用污染过渡层清除程度综合系数改进生态清淤深度的设计方法。

大量的研究表明,环保疏浚对削减内源负荷、提高水质具有重要作用,但是均未对水流约束性较强的河道提出疏浚深度的研究。本文基于污染层深度、河床演变及防洪构筑物的安全,分析了锦江河道高攀东路—绕城高速段环保疏浚深度,提出以下建议:在单一河段边滩处疏挖高程不应低于平滩高程,即污染层在平滩高程之上的区域疏挖至污染层,而污染层在平滩高程之下时,挖至平滩高程,减少浚前、浚后河面跨度和过水断面的变化;在主河槽处应控制疏挖深度,保持河道天然坡降,以实现冲淤平衡;在堤防、桥梁构筑物处,疏浚深度应考虑与其安全距离及疏浚后冲刷深度的影响。

1 工程概况

项目位于成都市高新区锦江中环路高攀东路—成都绕城高速段河道,水质为V类,位于V类水质和劣V类水质转折处(图1)。锦江绿道规划建设按照“统一规划、流域治理、集中收储、分项建设、公司运营”的原则,遵循“治水、筑景、添绿、畅行、成势”的路径,实现“一年治污、两年筑景、三年成势”,率先启动锦江绿道水环境

治理,锦江河道环保清淤工程项目为锦江绿道水环境治理的重要一环。

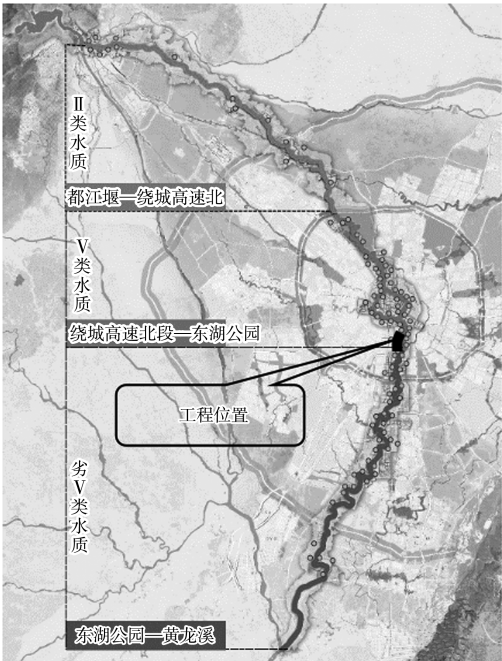


图1 工程位置

锦江多年平均悬移质沙量约为41.1万t、多年平均推移质沙量约为3.7万t,治理分汉段长约3.685 km,河面宽为100~200 m,落差约8 m,平均比降3.4‰;有较丰富的生境类型,沿河形成了各具特色的生物群落,作为连接上中下游及河口等湿地生态单元的“廊道”,是维持河流水生生物和洄游鱼类栖息、繁殖的重要基础。河道为复式断面,滩槽不一,表现为凸岸淤积(K3+500—K3+950段右岸)、凹岸冲刷(图2),分单一段A、支汉段B、主汉段C共3段(图3)。其中A段K2+600—K3+950,平均比降5‰,接近分汉河段较宽约188 m,出现明显的滩槽分离,滩槽比0.45,淤积严重;B段K0+00—K1+324,平均比降1.1‰,宽约100 m,左岸出现明显的滩地,淤积较为严重;C段K3+960—K4+961,平均比降2.5‰,宽约100 m,滩槽变化不明显,淤积较少。

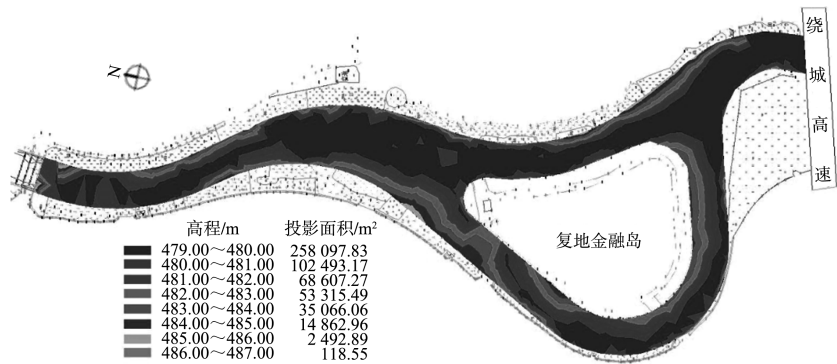


图 2 河道淤积现状

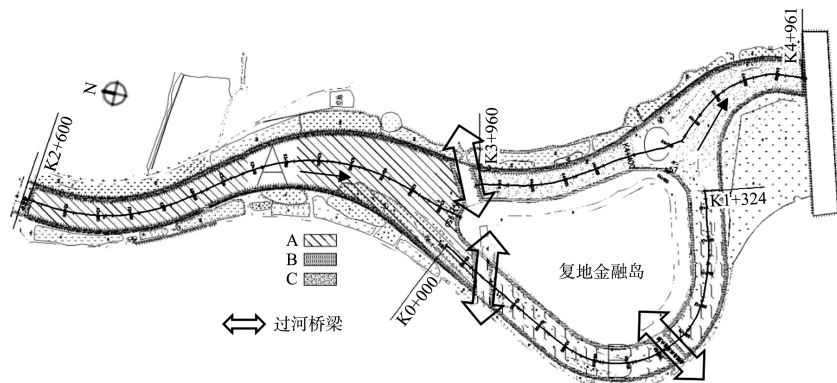


图 3 分汊型河道清淤范围

此河段防洪标准为抵御 200 a 一遇洪水，洪峰流量为 1 580 m³/s，堤防为混凝土护面，冲刷比较严重，堤防设置有 4~6 m 的护脚，该区段过河桥梁 3 座(图 3)，长度为 150~200 m，对河道疏浚有一定的影响。

2 疏浚深度分析

2.1 污染层深度分析

目前国内没有疏浚污染土的评判标准，环保疏浚污染层深度确定的方法有视觉法、经验分析法、背景比较法、含量分析法、释放风险法。其中视觉法、经验分析法为定性分析方法，多用于初步判定；而释放风险法涉及到模拟目标水质、流速、水温等，边界条件较为复杂，多用于实验室研究；目前工程实践多利用背景比较法和含量分析法的结合来判定疏浚污染层的深度。

通过钻孔取样，本工程为氮磷污染，重金属含量风险较低。参照以往工程经验，选取本工程区域的正常土层中总氮 TN、总磷 TP 含量分别为

1 500、800 mg/kg 作为土壤污染物质量标准值。

目前较多采用内梅罗污染指数法分析底泥 TN、TP 的含量，判别是否为污染物，其计算公式为：

$$P_i = C_i / S_i \tag{1}$$

式中： P_i 为土壤单项污染指数； C_i 为土壤污染物实测值； S_i 为土壤污染物质量标准。

$$P_N = \{ [(P_{i均}^2) + (P_{i最大}^2)] / 2 \}^{1/2} \tag{2}$$

式中： P_N 为内梅罗污染指数； $P_{i均}$ 和 $P_{i最大}$ 分别为平均单项污染指数和最大单项污染指数。计算结果见表 2。

表 1 土壤内梅罗污染指数评价标准

等级	内梅罗污染指数	污染程度
I	$P_N \leq 0.7$	清洁(安全)
II	$0.7 < P_N \leq 1.0$	尚清洁(警戒限)
III	$1.0 < P_N \leq 2.0$	轻度污染
IV	$2.0 < P_N \leq 3.0$	中度污染
V	$P_N > 3.0$	重污染

根据污染层厚度的分布范围(图 4)，本工程治理河段污染物深度 0~2.4 m，单一段分汊前、汊道中间及汇聚段污染较为严重。

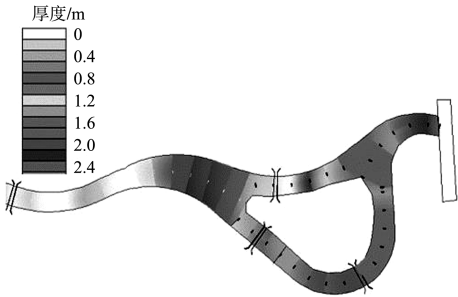


图 4 污染层厚度分布

2.2 河床演变分析

2.2.1 水动力

从水力条件来看, 汉道进口段河道渐宽、流速减缓、水流携沙力减弱, 泥沙在汉口淤积下来, 揭示了分汉必淤的规律(图 2)。

分汉进口 2+600—3+960 段, 河道污染层较厚(2~3 m), 多分布于边滩附近; 主河槽处于深泓线, 流速大, 不容易落淤, 大多不会存在污染层。

如果边滩疏挖至污染层, 河道边滩高程将低于原河道主槽 0.5~1.0 m(图 5), 此时, 深泓线移至边滩处, 即河道主河槽改为边滩处, 改变了水流状态。此处位于弯道, 洪水期会出现主流傍岸, 水流加速了对堤防处的冲刷, 岸滩面出现崩塌现象, 影响堤防构筑物的安全, 同时因横断面水沙分布变化会对下游冲淤变化产生一定的影响。

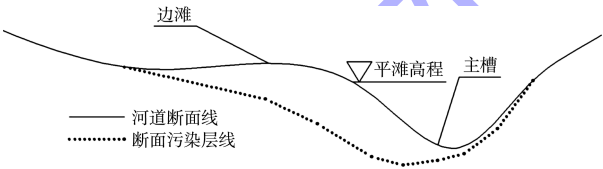


图 5 典型河道断面

因此, 在边滩处疏挖高程不应低于平滩高程(塑造主河槽流量时的水位高程), 即污染层在平滩高程之上的疏挖至污染层; 污染层在平滩高程之下时, 挖至平滩高程, 减少疏浚前后河面跨度和过水断面的变化; 而在主河槽处应尽量挖除污染底泥, 减少底泥对水质的影响。

疏浚后主、支汉的水面宽度及过水断面面积应与单一段保持一定比例, 避免主支汉的兴衰交替, 导致复地金融岛变化。丁君松等^[8]曾对分汉河道的形态、水流流态、泥沙运动以及分流分沙进行研究, 通过理论计算, 得出“河道分汉后两汉的过水面积的变化不可能是任意的, 过水断面

面积最多增加 13.4%” 的结论, 其表达式为:

$$A_0 < A_m + A_n \leq 1.134A_0 \tag{3}$$

式中: A 为河道过水断面(m^2); 脚标 0、m、n 分别代表单一段、主汉、支汉。此式说明了分汉河道不能自由发展。

本工程为约束性河段, 河道宽度疏浚前后变化不大, 仅以疏浚深度对过水断面面积及河床的影响进行分析(表 2)。

表 2 疏浚前后过水断面变化

疏浚前后	A_0/m^2	A_m/m^2	A_n/m^2	断面增加百分比/%
浚前	187.57	107.97	99.13	10.41
浚后	237.45	148.56	114.77	10.90

当单一段疏浚深度达到 1.3 m、主汉疏浚深度达到 0.9 m、支汉疏浚深度达到 0.5 m 时, 过水断面面积增加百分比变化为 10.41%~10.90%, 基本不变, 遵循了丁君松的理论, 即: 本次疏浚对分汉河段水流流态、分流比不会产生较大变化, 满足设计要求。

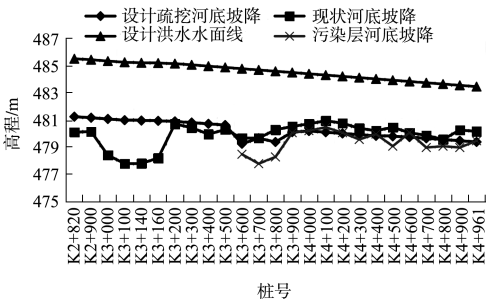
2.2.2 主河槽坡降

河槽在经历一段时间的塑造后会取得一定坡降, 使上游来水和来沙都能畅通地输往下游, 此时水流具有最好的流速场形式, 泥沙处于输沙平衡状态, 河道达到冲淤平衡时, 存在以下关系^[9]:

$$i = J \tag{4}$$

式中: i 为河道疏浚坡降(%); J 为侵蚀坡降临界值(%). 当 $i < J$ 时河道淤积, $i > J$ 时河道冲刷。因此, 在河道环保疏浚时, 应整体保持河道的天然比降不变: A 段(单一段)平均比降 5‰, B 段(支汉)平均比降 1.1‰, C 段(主汉)平均比降 2.5‰, 以达到冲淤平衡。

以 A、C 段为例, 2+820—3+500 段主河槽是冲刷状态, 设计疏挖坡降是通过整个河道坡降拟合的, 未发现污染底泥, 此段主河槽不需要疏挖; 3+600—3+900 段为单一河段向分汉段过渡, 现状河底首先经过冲刷, 因复地金融岛出现, 主河槽分汉, 坡降逐渐抬起(图 6), 污染层基本随现状河底线滞后起伏, 为保护复地金融岛头部, 设计疏挖层高于污染层; 4+000—4+961 段, 流路归顺, 现状河底坡降、污染层坡降及设计疏挖层基本一致。



注：K2+600—K3+950 为 A 段，K3+960—K4+961 为 C 段。

图 6 主河槽纵向断面

$$K = \frac{\sum \{ [((W \pm V) \sec \alpha - ub \sec \alpha) \tan \varphi' + c' b \sec \alpha] / [1 / (1 + \tan \alpha \tan \varphi' / K)] \}}{\sum [(W \pm V) \sin \alpha + M_c / R]} \tag{5}$$

式中： W 为土条重力(kN)； V 为垂直地震惯性力(向上为负,向下为正)(kN)； u 为作用于土条底面的空隙压力(kN/m²)； α 为条块重力线与通过此条块底面中点半径之间的夹角(°)； b 为土条宽度； c' 、 φ' 为土条底面的有效黏聚力(kN/m²)和有效内摩擦角(°)； M_c 为水平地震惯性力对圆心的力矩(kN·m)； R 为圆弧半径(m)。

2.3 堤防、桥梁等构筑物安全性分析

2.3.1 堤防安全性分析

对于护脚顶高程以上的污染土，绞吸船采用只吸不绞的施工工艺，堤脚附近淤泥自然塌落至绞吸船作业区。对护脚附近的污染土的疏挖应控制疏浚高程，避免疏浚土的塌滑造成岸坡和护脚的不稳定。

采用简化毕肖普法^[10] 进行抗滑稳定性计算，抗滑稳定系数 K 为：

经计算，保证安全距离为 6 m 的情况下，挖深到 1.30 m 护岸抗滑稳定性系数达到临界值 1.108(安全系数控制在 1.1 以上)，从安全角度考虑，设置了距离护坡底 10 m 的安全距离(图 7)，因此疏挖需严格控制清淤后泥面高程，保证岸坡和护脚的稳定性。

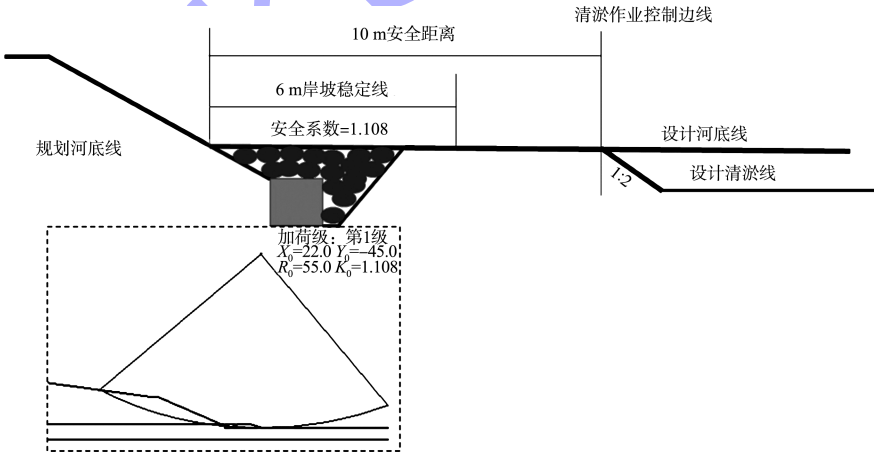


图 7 堤防护底及稳定性结构计算

2.3.2 桥梁安全性分析

在桥梁上游主槽疏浚可扩大主槽过流能力，发生大洪水时将增加桥下冲刷深度，为保障桥墩结构的安全，其基脚底面应在冲刷线以下至少 0.5 m^[11] (稳定、次稳定河段)；在桥梁下游主槽疏浚，除了增加河道的过流能力外，还会加大河道

比降，引起河道的冲刷，也可增加桥下冲刷深度。因此疏浚时建议沿河道方向预留 2 倍的河宽作为保护范围，保持河道原有比降，还应对桥梁进行安全监测，确保不会对桥梁产生影响。

本次实施的清淤工程河道长度为 2.36 km，在河床相对稳定和防洪能力提高的基础上，清淤工程

量约 16.04 万 m³, 去除量 TN、TP 分别为 2 159.18、285.84 t, 有效去除了内源污染物。

3 结语

1)本工程内源污染物为输入型污染底泥, 应用背景法和含量分析法能很好地确定其疏浚深度(0~2.4 m), 其中于单一段分汉前、汉道中间及汇聚段污染较为严重。

2)疏浚深度应减少对河演的影响。在边滩处疏挖高程不应低于平滩高程, 即污染层在平滩高程之上的疏挖至污染层, 而污染层在平滩高程之下时挖至平滩高程, 减少疏浚前后过水断面的变化导致下游河床的变化。在主河槽处应尽量挖除污染底泥并保持河道天然比降, 减少底泥对水质的影响。

3)疏浚深度应考虑与堤防、桥梁构筑物的安全距离, 以及疏浚后冲刷深度的影响, 以保护堤防护坡、护脚及桥墩的安全。

参考文献:

[1] OLSEN N R B, HILLEBRAND G. Long-time 3D CFD modeling of sedimentation with dredging in a hydropower reservoir[J]. Journal of soils and sediments, 2018, 18(9): 3031-3040.

[2] MELLOR P, WILLSON N, CLAYDON N, et al. Using a

sedimentation scanner to determine mangrove health responses to sedimentation derived from dredging: an example from northwestern Australia [J]. Environmental technology, 2018, 39(12): 1497-1504.

[3] 姜霞, 王雯雯, 王书航, 等. 竺山湾重金属污染底泥环保疏浚深度的推算[J]. 环境科学, 2012, 33(4): 1189-1197.

[4] 周小宁, 姜霞, 金相灿, 等. 太湖梅梁湾沉积物磷的垂直分布及环保疏浚深度的推算[J]. 中国环境科学, 2007(4): 445-449.

[5] 汪懋先译, 朱振华校. 内河水道的最佳疏浚深度[J]. 水运工程, 1979(7): 29-34.

[6] WANG D W, DENG A J, JI Z W, et al. Siltation and desilting practices in a runoff reservoir on heavy sediment-laden river[C]// MATEC Web of Conferences. Beijing: ISWSO, 2018.

[7] 张鑫, 张彬, 齐彦博. 河湖污染底泥环保疏浚设计深度研究[J]. 水运工程, 2020(1): 6-10, 51.

[8] 丁君松, 杨国禄, 熊治平. 分汉河段若干问题的探讨[J]. 泥沙研究, 1982(4): 39-51.

[9] 葛高岭, 李广一. 多沙河道中的泥沙治理[J]. 水运工程, 2018(S1): 117-121.

[10] 水利水电规划设计总院. 堤防工程设计规范: GB 50286—2013[S]. 北京: 计划出版社, 2013.

[11] 河北省交通规划设计院. 公路工程水文勘测设计规范: JTG C30—2015[S]. 北京: 人民交通出版社有限公司, 2015.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 52 页)

参考文献:

[1] 中交天津航道局有限公司. 水运工程测量规范: JTS 131—2012[S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.

[2] 中交第一航务工程局有限公司, 福建省交通基本建设工程质量监督监测站. 水运工程质量检验标准: JTS 257—2008[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.

[3] 天津市航浚科技服务有限公司. 绞吸挖泥船泥泵输泥计算手册[R]. 天津: 天津市航浚科技服务有限公司, 1996.

[4] 胡冀元. 泥泵基本理论特性与管路特性的运用[R]. 天津: 天津航道勘察设计研究院, 2000.

[5] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 中交天津港航勘察设计研究院有限公司. 疏浚与吹填工程设计规范: JTS 181-5—2012[S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.

(本文编辑 赵娟)