

· 航道及通航建筑物 ·



姚家船闸下游深开挖航道的稳定性研究

王峰, 方向征, 刘云

(浙江省金华市港航管理局, 浙江 金华 321017)

摘要: 衢江(金华段)航道位于钱塘江中上游,姚家枢纽是衢江(金华段)航运开发项目最下游的一个梯级。为减少支流浸没影响,枢纽坝址上移,导致富春江大坝回水无法与姚家枢纽下游水位相衔接。因此,枢纽下游约7 km 航道须通过深度开挖才能满足通航水深要求。为了在山区性河流中维持人工开挖航道的稳定性,采用设置适当高度的挡沙槛来阻挡河床沙进入深开挖航道。本文通过定床和动床物理模型试验,分析船闸下游航道的水流条件、河床变化、挡沙槛挡砂效果等,充分论证航道深开挖方案和挡沙槛的设计方案,从而为减少航道维护量、确保枢纽下游衔接航道的通畅提供参考依据。

关键词: 物理模型; 深开挖航道; 航道稳定; 挡沙槛

中图分类号: U 612.1+6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)05-0077-06

Stability study on deeply excavated channel downstream Yaojia junction

WANG Feng, FANG Xiang-zheng, LIU Yun

(Harbor and Navigation Administrative Office of Jinhua City, Jinhua 321017, China)

Abstract: Qujiang channel (Jinhua section) is located on the upstream of the Qiantang River, and Yaojia junction is the most downstream cascade project of Qujiang (Jinhua section) shipping cascade development projects. The dam site was moved up in order to reduce the tributary immersion, with the consequences that the backwater of Fuchun river dam could not connect with the downstream water level of Yaojia junction. So, about 7 km downstream channel needs to be excavated deeply to meet the requirements of navigation. To maintain the stability of artificially excavated channel in the mountainous river, we set appropriate height of sand retaining sill to stop the river sand into deeply excavated channel. Based on the fixed bed and moving bed physical model test, we analyze the flow condition, bed changing, as well as the effect of sand retaining sill of the downstream channel of navigation lock, and demonstrates the design schemes of deep excavation of channel and sand retaining sill to provide reference for decreasing the channel maintenance volume and ensuring the clear waterway of the downstream channel.

Key words: physical model test; deeply excavated channel; channel stability; sand retaining sill

衢江(金华段)航道位于钱塘江中上游^[1], 浙江中西部,起自龙游县与兰溪市交界处洋港,止于兰溪马公滩。姚家枢纽是衢江(金华段)航运开发项目最下游的一个梯级,现在已完成工程初步设计。因减少支流浸没影响,坝址上移后^[2],富春江大坝回水无法与姚家枢纽下游水位相衔接。为了满足通航水深要求^[3],姚家枢纽下游约7 km 航道需开

挖。下游深开挖航道处于河道弯曲处该处河道中心线转弯约40°,并逐渐束窄。挡沙槛高度和体型设计对弯道处的水沙运动起着重要作用,影响挡沙槛外泥沙淤积厚度以及泥沙进入航道过程等。

在洪水期间,航道内斜流与挡沙槛夹角最大值约25°,出现在距挡沙槛前端450~500 m 范围内。10 a 一遇以下洪水时最大斜流流速为1.5 m/s;

收稿日期: 2013-09-11

作者简介: 王峰(1982—),男,工程师,从事公路与水运建设与管理工。

20 a 一遇洪水最大斜流流速为 1.8 m/s; 50 a 一遇以上洪水最大斜流超过 2.1 m/s, 出现壅水现象。

因此, 开展挡沙槛外河床泥沙试验, 研究泥沙进入航道情况^[4], 进而优化挡沙槛, 为工程设计提供建议。枢纽坝址位置见图 1。



图 1 姚家枢纽上、下坝址位置

1 挡沙槛挡沙效果试验

根据河道变化情况及水工模型相似要求, 姚家下游水工模型模拟枢纽至下游约 3.3 km 的河道, 横向宽 2.0 m, 包括船闸下游引航道及深开挖航道主要部分, 模型长约 52 m, 宽约 20 m。

1.1 挡沙槛高程 27.0 m 定床铺沙试验

通常情况下, 引航道导堤的高程都会高于下游最高通航水位, 因此开始设定挡沙槛顶高程为 27.0 m。试验模拟了 D_{56} 颗粒的原形沙, 铺沙范围坝址至挡沙槛末端, 铺沙顶高程约为 25 m。对 5 a 一遇以上洪水泄水闸敞泄条件下的河床推移质运动进行了相似模拟。

试验表明: 河床泥沙处于少量运动状态, 5 a 一遇、10 a 一遇、20 a 一遇、50 a 一遇洪水条件下泥沙颗粒形成沙波, 其顶部高程远低于 27 m,

各工况均未见泥沙翻过挡沙槛, 深开挖航道内无泥沙淤积。因此, 从经济角度来讲, 建议对挡沙槛的顶部高程及体型进行优化。

另外, 在挡沙槛与靠船墙相接处, 当来水超过 50 a 一遇洪水时, 有少量泥沙越过挡沙槛, 在深开挖航道内淤积 (图 2), 因此建议对挡沙槛和靠船墙结构部分进行优化。

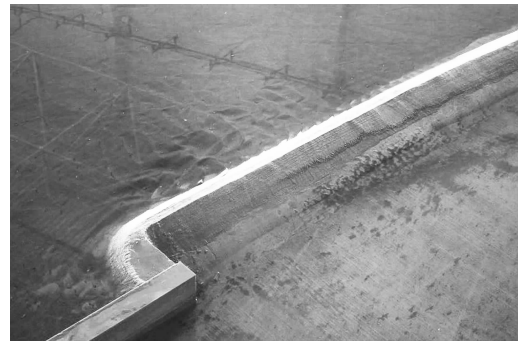


图 2 挡沙槛与靠船墙相接处泥沙冲淤地貌

1.2 优化方案设计

首先, 考虑优化挡沙槛顶高程。将挡沙槛顶高程降至 23 m, 23.5 m。

另外, 考虑优化挡沙槛体型。倒 L 形状的挡沙槛结构具有挡沙效果好、施工工艺简单且结构受力清晰等优点, 倒 L 形状可使挡沙槛外泥沙紊乱、水位发生变化, 大量泥沙被 L 型槛拦在槛外顺流而下, 可有效减少凸岸挡沙槛外的泥沙团堆积。因此, 挡沙槛优化体型考虑直立墙结构和倒 L 结构开展试验研究。

此外, 在优化体型中去掉挡沙槛与导航墙交界处的突起, 避免该处泥沙进入深开挖航道内, 图 3 和图 4 分别为挡沙槛优化体型的设计方案和倒 L 型结构的设计方案。

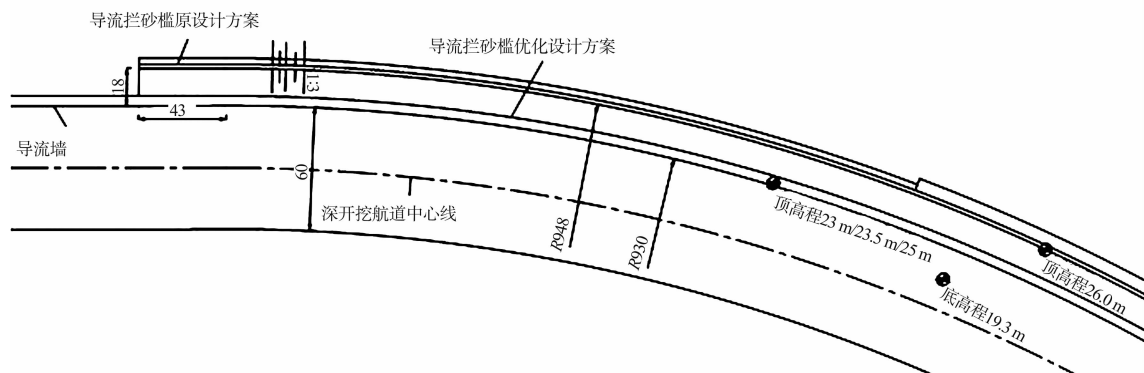


图 3 挡沙槛优化体型的设计方案

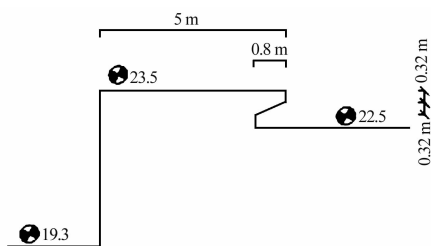


图4 倒L挡沙槛立面尺寸及设计

1.3 高程为23 m 直立墙挡沙槛动床试验

考虑冲淤变形相似,试验中采用比重为1.4的全粒级模型沙,模拟挡沙槛河段原型沙的泥沙输移情况,分析高程为23 m 直立挡沙槛的拦沙效果,对50 a一遇、20 a一遇、10 a一遇以及5 a一遇洪水敞泄工况进行了推移输沙模拟(图5)。



图5 50 a一遇洪水过后的河床地貌及泥沙淤积全景

在10 a一遇以下洪水时,细颗粒处于少量起动状态,20 a一遇至50 a一遇洪水期,细颗粒处于普遍运动状态,粗颗粒部分基本不动。细颗粒迁移距离较短,在其下游20 m 范围内。

5 a一遇、10 a一遇、20 a一遇以及50 a一遇洪水时,均未见泥沙翻过挡沙槛,深开挖航道内无泥沙堆积。

实验结果表明,高程为23 m 挡沙槛能够有效阻挡全粒级推移质进入深开挖航道。但考虑到挡沙槛布置在河道的凸岸,未来泥沙条件将产生一定的细化,仍需采用较细颗粒泥沙探索挡沙槛的高程。试验采用河床泥沙中砂砾部分(D_{40} 和 D_{38})的模型沙进行动床试验,因这部分泥沙易于起动和堆积,对航道的影 响较大,进而提出偏于安全

的挡沙槛高程和优化体型。

1.4 高程23.5 m 直立墙挡沙槛动床试验

1.4.1 D_{40} 砂砾的动床试验

考虑冲淤变形相似,试验中采用比重为1.37的合成塑料沙,模拟底沙 $D_{40} = 10$ mm 泥沙颗粒输移的情况,分析高程为23.5 m 直立挡沙槛拦截砂砾颗粒的效果。图6给出优化体型后的模型图片及铺沙范围。取数模计算结果作为上下游边界条件,对50 a一遇、20 a一遇、10 a一遇以及5 a一遇洪水敞泄工况进行推移输沙模拟。



图6 优化体型后的动床模型照片及铺沙范围

在5 a一遇和10 a一遇洪水时,河床泥沙基本处于普遍运动,河床出现连续的沙波,沙波与槛(下游边)交角为 $60^\circ \sim 90^\circ$,沙波高度低于挡沙槛顶高,未见砂砾进入深开挖航道。

在20 a一遇洪水时,河床泥沙处于普遍运动,沙波发育增大,河道转弯斜流区有少量砂砾进入深开挖航道,堆积在航道左侧挡沙槛坡脚,堆积量较少,对航道影响可以忽略(图7)。



图7 20 a一遇洪水过后的挡沙槛处泥沙淤积情况

在 50 a 一遇洪水时，河床泥沙处于普遍起动，河床出现较高的连续沙波，河道转弯斜流区砂砾翻过挡沙槛进入深开挖航道，堆积量极少，对航道影响可以忽略（图 8）。



图 8 50 a 一遇洪水过后的河床地貌及泥沙淤积全景

1.4.2 D_{38} 砂砾的动床试验

试验中采用比重为 1.22 的合成塑料沙，考虑冲淤变形相似，模拟底沙 $D_{38} = 8 \text{ mm}$ 砂砾颗粒输移的情况，分析高程为 23.5 m 直立挡沙槛拦截砂砾颗粒的效果。取数模计算结果作为上下游边界条件，对 50 a 一遇、20 a 一遇、10 a 一遇以及 5 a 一遇洪水敞泄工况进行推移输沙模拟。

在 5 a 一遇洪水时，河床砂砾基本处于普遍运动，未见砂砾进入深开挖航道。

在 10 a 一遇洪水时，河床砂砾处于普遍运动，河道转弯斜流区有少量砂砾翻过挡沙槛（图 9）。砂砾翻过挡沙槛在航道左侧挡沙槛坡脚堆积，期间少量砂砾被斜流携带到航道出口段，堆积在航道右侧边缘，堆积量较少。



图 9 10 a 一遇洪水后砂砾冲淤地貌

在 20 a 一遇洪水时，河床砂砾处于普遍运动，沙波继续发育，自挡沙槛始端至转弯斜流区末端，沿程均出现砂砾翻过挡沙槛（图 10）。挡沙槛始端部分至斜流区始端，砂砾翻过挡沙槛后在航道左侧挡沙槛底坡堆积，堆积量不大。河道转弯斜流区，砂砾堆积体沿槛法向延伸增长，堆积体呈现多股堆积，并未发生连接成片。航道右侧边缘堆积体向上游发育，较 10 a 一遇堆积体向上游延伸 50 ~ 100 m。



图 10 20 a 一遇洪水后砂砾冲淤地貌

在 50 a 一遇洪水时，大量砂砾翻过挡沙槛进入航道，航道内的砂砾堆积体迅速变大，堆积量明显增加（图 11）。挡沙槛始端部分至斜流区始端，堆积体沿槛法向延伸增长，并未发生连接成片。河道转弯斜流区，砂砾堆积体沿槛法向迅速延伸增长，延伸至航道右岸。河道转弯斜流区及航道出口段，航道全断面出现砂砾堆积体，但未连接成片。



图 11 50 a 一遇洪水后砂砾冲淤地貌

由 D_{40} 和 D_{38} 砂砾颗粒的试验结果表明，10 a 一遇以下洪水时河床砂砾基本处于普遍运动状态，

而20 a以上洪水时河床砂砾处于普遍运动状态。当10 a以下洪水时,无砂砾颗粒翻过挡沙槛进入航道。20 a一遇洪水时,河道转弯斜流区砂砾进入航道,堆积在航道左侧挡沙槛坡脚。50 a一遇洪水时,期间少量砂砾迁移到航道出口段右侧边缘堆积,总体砂砾量不大。

综上所述,高程为23.5 m的直立挡沙槛优化体型可有效拦截10 a一遇以下洪水时的砂砾颗粒运动,20 a以上洪水时,弯道斜流携带砂砾在航道内堆积。

1.5 高程23.5 m倒L结构挡沙槛的动床试验

试验采用比重为1.37的合成塑料沙,考虑冲淤变形相似,模拟底沙 D_{40} 砂砾颗粒输移的情况,分析高程为23.5 m倒L结构挡沙槛拦截砂砾颗粒的效果。取数模计算结果作为上下游边界条件,对50 a一遇、20 a一遇、10 a一遇以及5 a一遇洪水敞泄工况进行推移输沙模拟。

在10 a一遇以下洪水时,河床砂砾基本处于普遍运动,河床出现连续的沙波,未见砂砾进入深开挖航道。

在20 a一遇洪水时,河床砂砾普遍运动,河床沙波发育变大,河道转弯斜流区有少量砂砾翻过挡沙槛(图12),堆积量少,对航道影响可以忽略。



图12 20 a一遇洪水过后的挡沙槛处砂砾淤积地貌

在50 a一遇洪水时,河床砂砾处于普遍运动,河道转弯斜流区砂砾翻过挡沙槛进入深开挖航道,砂砾翻过挡沙槛后在航道左侧槛坡脚堆积,堆积量约为 300 m^3 。期间少量砂砾被斜流携带到航道出口段,堆积在航道右侧边缘,堆积量较少(图13)。

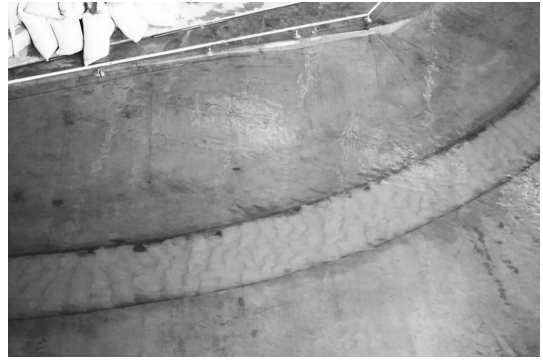


图13 50 a一遇洪水过后的河道转弯处砂砾淤积地貌

试验结果表明,挡沙槛高程为23.5 m时,与立面墙挡沙槛拦沙效果比较,倒L结构影响弯道斜流作用不明显。

1.6 高程25 m倒L结构挡沙槛的动床试验

试验中采用比重为1.37的合成塑料沙,考虑冲淤变形相似,模拟底沙 D_{40} 泥沙颗粒输移的情况,分析高程为25 m倒L结构挡沙槛拦截砂砾颗粒的效果。取数模计算结果作为上下游边界条件,对50 a一遇、20 a一遇、10 a一遇以及5 a一遇洪水敞泄工况进行推移输沙模拟。

在10 a一遇以下洪水时,河床砂砾基本普遍运动。20 a一遇至50 a一遇洪水期(图14),砂砾处于普遍运动状态,但高度仍低于挡沙槛顶高程。对于高程为25 m的倒L结构挡沙槛,倒L结构下方出现比较明显的旋流坑,可有效减少凸岸挡沙槛外的泥沙堆积。5 a一遇、10 a一遇、20 a一遇以及50 a一遇洪水时,均未见泥沙翻过挡沙槛,深开挖航道内无泥沙堆积。



图14 50 a一遇洪水后砂砾冲淤地貌

1.7 高程为 27 m 直立墙挡沙槛的动床试验

试验中采用比重为 1.22 的合成塑料沙, 考虑冲淤变形相似, 模拟底沙 $D_{38} = 8 \text{ mm}$ 砂砾颗粒输移的情况, 分析高程为 27 m 直立挡沙槛拦截砂砾颗粒的效果。取数模计算结果作为上下游边界条件, 对 50 a 一遇、20 a 一遇、10 a 一遇以及 5 a 一遇洪水敞泄工况进行推移输沙模拟。

在 10 a 一遇以下洪水时, 河床砂砾基本普遍运动, 20 a 一遇至 50 a 一遇洪水期, 砂砾处于普遍运动状态, 但高度仍低于挡沙槛顶高程。仅有极少量砂砾翻过挡沙槛, 深开挖航道内无泥沙堆积。50 a 一遇洪水后砂砾冲淤地貌如图 15 所示。

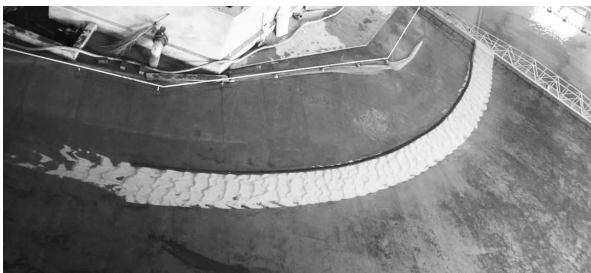


图 15 50 a 一遇洪水后砂砾冲淤地貌

2 结论

1) 在 50 a 一遇以下洪水条件下, 河床泥沙颗粒仅处于少量运动状态。高程为 23 m 挡沙槛能够有效阻挡河床泥沙进入航道。考虑到深开挖航道处于弯曲河道凸岸, 当枢纽长时间运行后, 河道的梯级开发致使河道来沙粒径细化, 挡沙槛外侧易于淤积细颗粒泥沙, 导致弯道斜流携带细颗粒泥沙进入航开挖通航。因此, 建议挡沙槛高程不低于 23.5 m, 并采用直立墙形式。

2) 高程为 23.5 m 挡沙槛能够阻挡 20 a 一遇

以下洪水时中值粒径为 8 ~ 10 mm 的砂砾进入深开挖航道, 但在 50 a 一遇洪水时, 少量中值粒径为 8 ~ 10 mm 的砂砾将翻过挡沙槛进入深开挖航道, 主要在航道左侧挡沙槛内坡脚堆积。当拦沙槛高度增加至 25 m 时能够阻止中值粒径为 10 mm 的砂砾进入航道, 再增加至 27 m 时能够阻止中值粒径为 8 mm 的砂砾进入航道。

3) 通过挡沙槛和靠船墙相切优化处理, 当 5 a 一遇至 50 a 一遇洪水时, 挡沙槛与导航墙相接处未见泥沙进入深开挖航道, 局部体型优化有效。

综合可知, 设置挡沙槛可有效阻止泥沙进入深开挖航道, 对维持人工航道的稳定性具有重要的意义, 也充分论证了航道深开挖方案的可行性。

参考文献:

- [1] 浙江省水利水电勘测设计院. 钱塘江中上游衢江(金华段)航运开发工程可行性研究报告[R]. 杭州: 浙江省水利水电勘测设计院, 2013.
- [2] 刘运化, 王峰. 钱塘江中上游姚家航运枢纽坝址方案选择研究[J]. 人民珠江, 2010(5): 42-22, 60.
- [3] 刘同宜, 黄建成, 刘运化, 等. 衢江姚家枢纽船闸上下游引航道通航水流特性试验研究[C]//中国水力发电工程学会. 水文泥沙研究新进展——中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会第八届学术讨论会论文集. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [4] 王亮, 范德江, 张喜林, 等. 人工航道疏浚对近岸沉积的影响: 以葫芦岛港为例[J]. 中国海洋大学学报, 2012, 12(10): 88-96.

(本文编辑 郭雪珍)

