

汉江下游干流受顶托影响河段蓄泄能力研究

陈楚天, 李林娟*, 贾建伟

长江水利委员会水文局, 湖北 武汉

收稿日期: 2021年10月21日; 录用日期: 2021年11月27日; 发布日期: 2021年12月9日

摘 要

汉江干流上中游河段洪水来量大, 中下游中干流河道河槽泄流能力小, 其中仙桃以下的干流河道泄流能力与长江干流顶托影响密切相关。本文采用河道槽蓄量分析方法分析了汉江下游干流泽口~仙桃河段受到汉江下游顶托影响下的槽蓄曲线特征, 并结合平面二维水流数学模型分析了汉江中下游仙桃以下干流河段受顶托影响下水动力特性, 揭示了汉江上游来水较大情况下下游段受长江干流的顶托影响程度。研究结果表明: 汉江下游河段由于受到两岸堤防约束, 河道槽蓄能力有限, 在遇到长江干流高水位顶托时, 会显著减小下泄流速, 与不顶托的情况相比, 河道内最大流速量级可由3 m/s减小至1.2 m/s, 受顶托严重时会明显抬高仙桃河段的洪水位, 水位抬高值可达到2 m左右, 对汉江中下游两岸堤防稳定和下游防洪安全产生较为不利的影响。

关键词

顶托影响, 泄流能力, 槽蓄量, 数值模拟

Study on Storage and Discharge Capacity of Main Stream Affected by Backwater in Lower Reaches of the Hanjiang River

Chutian Chen, Linjuan Li*, Jianwei Jia

Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei

Received: Oct. 21st, 2021; accepted: Nov. 27th, 2021; published: Dec. 9th, 2021

Abstract

There are a large amount of flood in the upper and middle reaches, and small discharge capacity in the middle and lower reaches of the Hanjiang River. The discharge capacity of the main channel below Hua-

作者简介: 李林娟(1986-), 女, 长江水利委员会水文局高级工程师, 主要从事水文水资源分析及河流水力影响数值模拟。

*通讯作者 Email: 289721025@qq.com

文章引用: 陈楚天, 李林娟, 贾建伟. 汉江下游干流受顶托影响河段蓄泄能力研究[J]. 水资源研究, 2021, 10(6): 600-608.

DOI: 10.12677/jwrr.2021.106065

ngzhuang is closely related to the backwater effect of the Changjiang River. In this paper, channel storage analysis method is used to analyze the characteristics of channel storage curve from Zekou to Xiantao under the influence of the lower reaches of the Hanjiang River. Combined with the two-dimensional flow model, the hydrodynamic characteristics of the lower reaches under the influence of the upper reaches of the Xiantao are analyzed. In case of large inflow in the upper reaches of the Hanjiang River, the influence degree of the backwater of the lower reaches of the Hanjiang River is revealed. The results show that due to the embankment constraints on both sides of the lower reaches of the Hanjiang River, the channel storage is limited, then the high water level backwater of the mainstream of the Changjiang River will significantly reduce the discharge velocity and raise the flood level of the downstream channel, which is unfavorable to the flood control of the middle and lower reaches of the Hanjiang River.

Keywords

Backwater Effect, Discharge Capacity, Channel Storage, Numerical Simulation

Copyright © 2021 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

汉江发源于秦岭南麓,于武汉市注入长江,干流全长 1577 km,流域面积约 15.9 万 km²,钟祥以下为下游,长 382 km,占干流总长的 24%,集水面积约 1.7 万 km²。汉江下游河床比降小,平均比降为 0.06‰,河道弯曲,洲滩较多,两岸筑有堤防。汉江河道的安全泄量远小于洪水来量、且上大下小,下游干流加上东荆河的泄量仅为中游皇庄河段的 1/2~1/3,加之汉江出口河段的泄量还受长江水位的严重顶托影响,致使泄洪不畅,洪水灾害频繁,特别是下游洪灾频繁而严重。在长江干流高水位遭遇汉江上游来水较大情况下,仙桃以下河段顶托明显,形成低流速高水位,不利于河道行洪泄洪,导致汉江仙桃以下河段超警戒水位频发且持续时间长,本文将针对汉江下游干流河段受顶托的影响,对蓄泄能力做进一步的分析和研究。

2. 汉江中下游防洪形势

2.1. 防洪现状

为了有效解决汉江上中游洪水来量大与中下游河道泄量小的防洪矛盾,在上游修建水库以调节洪水是一种有效途径,因此汉江流域总体防洪采取“上蓄下疏、蓄泄兼筹”的策略。现状汉江中下游防洪体系以丹江口水库为核心,以堤防为基础,干流堤防防御洪水标准为 1964 年实际洪水(相当于 20 年一遇),结合蓄滞洪区,可防御 1935 年同大洪水(约 100 年一遇)。丹江口水库加高后,中下游防洪应对仍采取补偿调节、分期预留防洪库容及下游杜家台分洪工程、中游民垸分洪配合运用的洪水调度方式。但汉江河道受两岸堤防约束,当遇长江高洪水位时,仙桃以下干流河道的泄流能力将明显减小,洪水来量与泄洪能力不足的矛盾十分突出。

2.2. 河道允许泄量

丹江口水库加高运行后,汉江下游入口控制段皇庄水文站为丹江口水库补偿调度控制站,下游出口控制段设仙桃水文站距汉江出口约 157 km(见图 1)。汉口水文站为长江中游干流控制站,设在汉江入汇长江后下游附近。汉江干流仙桃以下泄流能力与长江干流顶托情况有关,根据相关规划[1],仙桃水位 36.20 m(冻结基面,本文水位基面下同)、汉口水位 29.73 m 时河道允许泄流能力为 5250 m³/s。

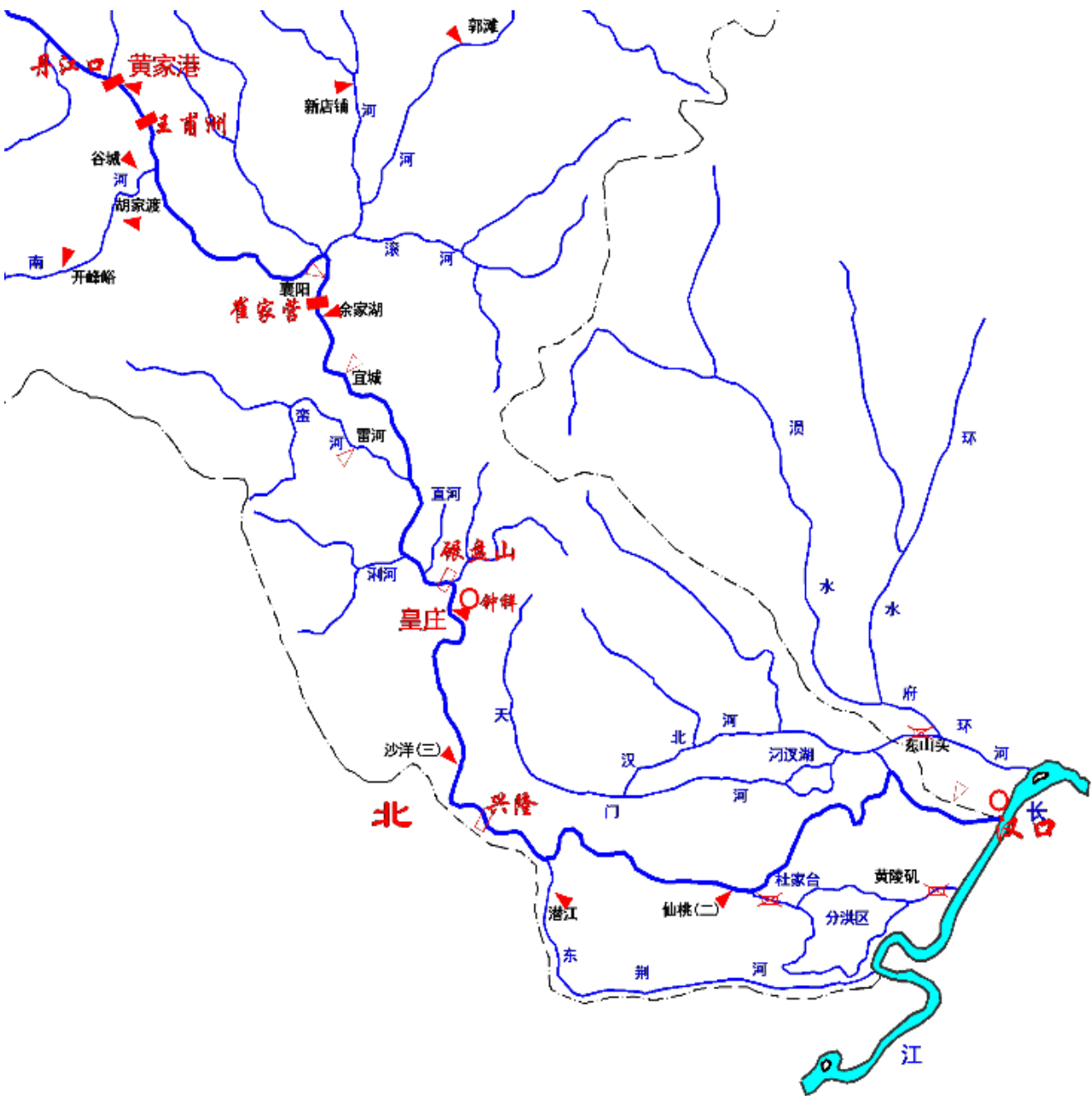
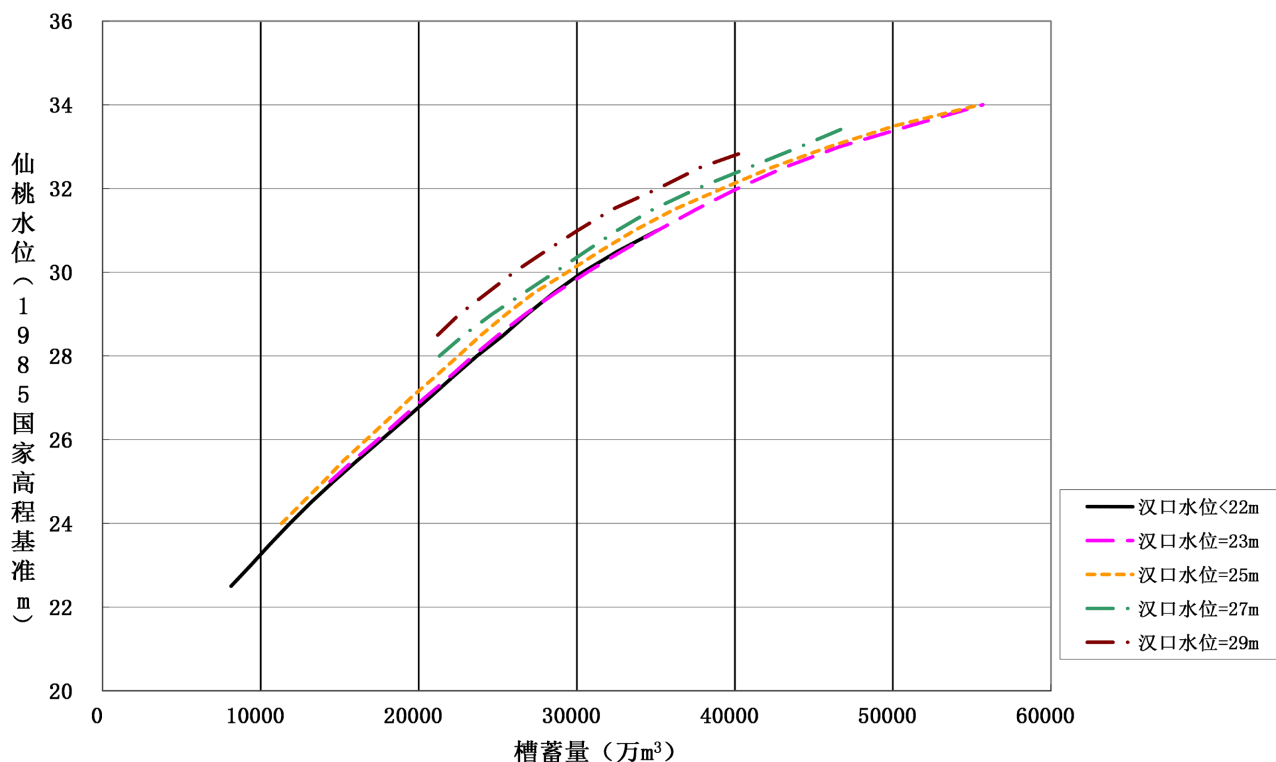


Figure 1. Diagram of middle and lower reaches of the Hanjiang River and water system
图 1. 汉江中下游河段及水系分布示意图

3. 河道槽蓄量

近几十年来，由于泥沙淤积、堤防修建、围垸造田等人类活动的影响，汉江中下游行洪及调蓄洪水的能力发生了一定的变化，为了分析汉江中下游河段行洪能力和蓄泄关系，根据河道地形资料分析计算了考虑汉口水位顶托影响下的泽口~仙桃河段槽蓄量变化情况。槽蓄量计算了在不同回水条件下(汉口水位变幅范围为小于 22 m~29 m 内)的河道槽蓄量进行对比分析，采用 ARCGIS 软件计算出相应水位下的河道槽蓄量[2]。根据泽口~仙桃河段槽蓄曲线(图 2 所示)，汉江中下游仙桃以下河段受到长江干流水文顶托影响比较明显，汛期水位受顶托影响抬高，一定程度地影响了中下游河道断面的泄流能力。



注：仙桃站 1985 国家高程基准以上米数 = 冻结基面以上米数 - 2.108 m

Figure 2. Channel storage curve of the lower reaches of the Hanjiang River affected by backwater (Zekou~Xiantao)

图 2. 汉江下游受顶托影响河段(泽口~仙桃)槽蓄曲线

4. 下游干流河道泄流能力分析

4.1. 控制断面过流能力

皇庄水文站为汉江下游入口控制站，也是丹江口水库补偿调度控制站，位于汉江河道主河槽左岸，右岸有一级阶地，主河槽冲淤变化较为明显，滩地相对稳定。皇庄断面近年实测大断面变化见图 3。由图可见：1) 当皇庄站水位达到 45.24 m，相应流量超过 4500 m³/s，河水开始漫过右岸河滩；2) 皇庄站水位达到 47.78 m，相应流量达到 11,000 m³/s，河水淹没汉江左岸堤脚。

仙桃水文站为汉江下游出流控制站，距离汉江与长江交汇口大约 150 km，上游约 75 km 右岸有东荆河分流，下游约 4 km 右岸有杜家台分洪闸。仙桃河段两岸有堤防，水下均有砌石护岸，河床主要由沙质和壤土组成。根据相关资料分析，仙桃河段年内冲淤变化主要表现为汛期冲、汛前汛后淤，中低水在汛期时局部冲淤较大，汛后断面开始淤积，逐步恢复到汛前水平；年际变化主要表现在高水变化较小，多年冲淤变化基本平衡；断面冲淤变化主要发生在河床，水位在 27 m 以下河槽局部冲淤变幅较大，最深可达 3~4 m，断面面积变化对中高水影响较小。

4.2. 河道泄流能力

丹江口水库加高后，中下游防洪应对仍采取补偿调节、分期预留防洪库容及下游杜家台分洪工程、中游民垸分洪配合运用的洪水调度方式。汉江下游入口段的皇庄水文站也是丹江口水库补偿调度控制站，皇庄河段下游处行洪能力仅 20,000 m³/s 左右，当超过行洪能力时，则采取分蓄洪措施。根据相关资料，汉江中下游不同洪水皇庄水文站的允许泄量如表 1 所示[1]。

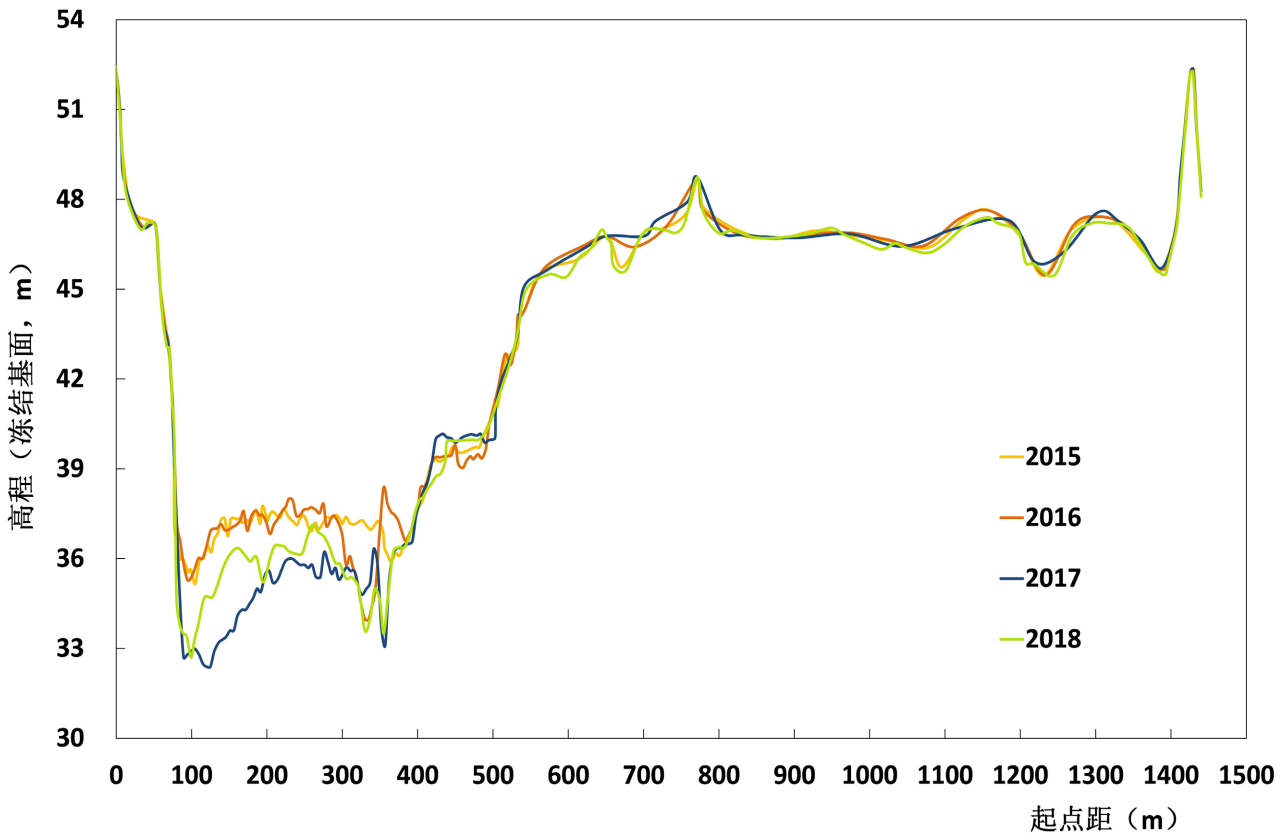


Figure 3. The measured section map of Huangzhuang hydrological station of the Hanjiang River
图 3. 汉江河道皇庄水文站实测大断面图

Table 1. Allowance discharge of Huangzhuang hydrological station in the middle and lower reaches of the Hanjiang River
表 1. 汉江中下游不同洪水皇庄水文控制站允许泄量表

重现期	>1935 年	1935 年同大	20 年一遇洪水	10 年一遇洪水	5 年一遇洪水
允许泄量(m^3/s)	超标准运用	20,000~21,000	16,000~17,000	11,000~12,000	11,000~12,000

皇庄站综合水位流量关系线需考虑高水分蓄洪的影响，洪水量级分为两种情况：1) 下游河道未分洪时，主要依据“84.9”皇庄站实测洪水资料，高水部分洪水量级为 $10,000 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 20,000 \text{ m}^3/\text{s}$ ；2) 下游河道分洪时，主要依据“83.10”皇庄站实测洪水资料，高水部分洪水量级为 $Q > 20,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。本文主要研究下游干流河段受长江干流顶托影响下的蓄泄关系，因此皇庄水位流量关系只分析河道天然情况下的泄洪能力，即在高水不分洪的洪水量级情况。图 4 给出了几个典型大水年水位流量关系曲线。在丹江口水库补偿皇庄以下河段洪水下泄的情况下，下游不分洪的常遇洪水年份，仙桃以下河段的受长江干流顶托影响的河道泄流能力不足皇庄站的洪水量级的一半，汉江下游洪水来量大与泄流能力小的矛盾仍然十分突出。

仙桃站的水位流量关系分析以汉口站顶托水位为参数，对不同汉口水位分别定线，然后根据不同汉口水位级下的仙桃水位流量关系线间关系和变化趋势进行调整综合。据实测资料，汉口站顶托水位为 22~29 m。根据仙桃站水位流量关系(图 5)，在仙桃站同流量情况下，汉口水位越高，仙桃站水位抬高幅度越大。当仙桃站流量接近于河道允许泄量 $5250 \text{ m}^3/\text{s}$ 时，汉口水位 = 29 m 顶托影响明显时仙桃站水位约为 34 m，汉口水位 = 23 m 基本不顶托时仙桃站水位约为 32 m，由此可见，受顶托严重时会明显抬高仙桃河段的洪水位，水位抬高值可达到 2 m 左右。

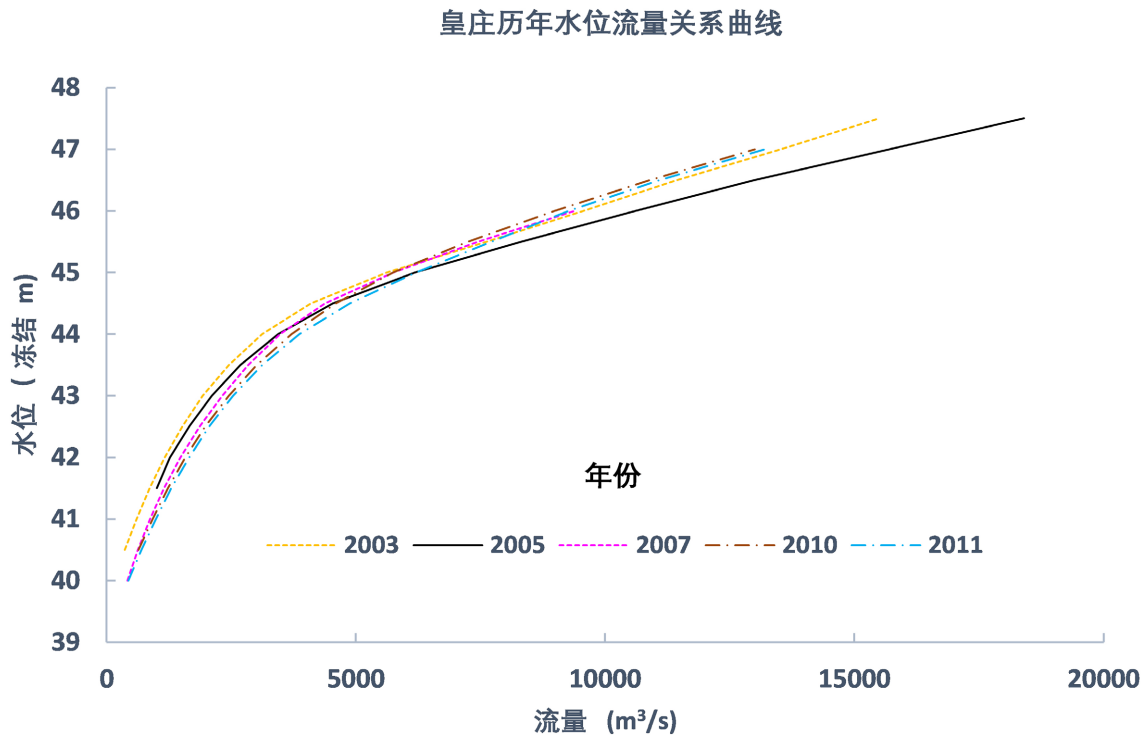


Figure 4. H~Q curve of the Huangzhuang hydrological station in the lower reaches of the Hanjiang River

图 4. 汉江下游皇庄站水位流量关系

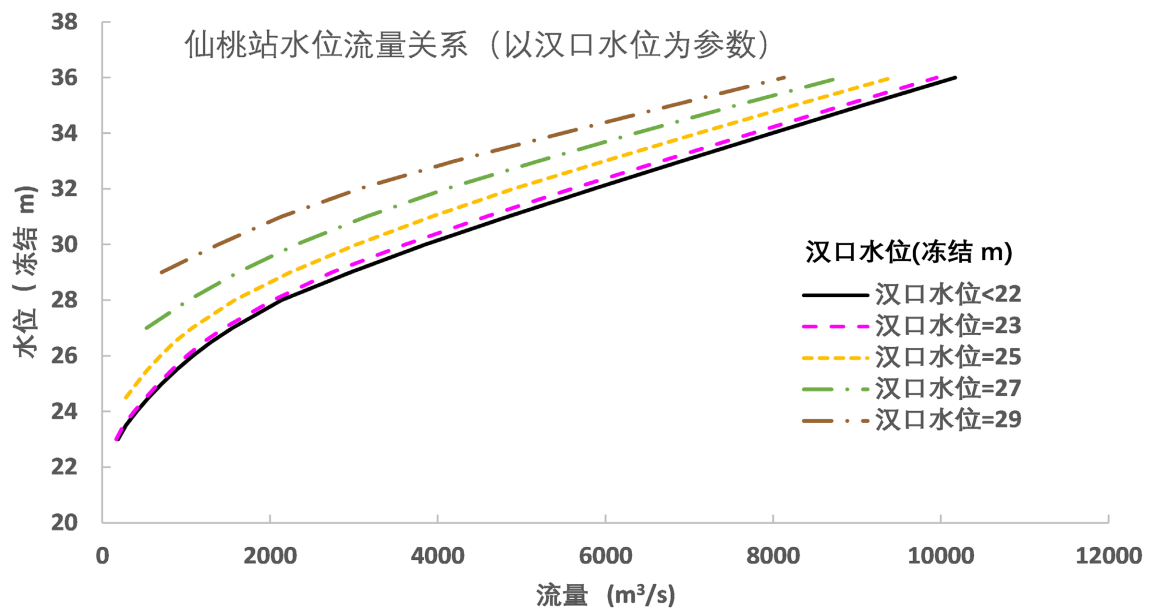


Figure 5. H~Q curve of the Xiantao station in the lower reaches of the Hanjiang River

图 5. 汉江下游仙桃站水位流量关系(以汉口水位为参数)

5. 下游河道泄流能力数值模拟

5.1. 边界条件及模拟工况

由于丹江口水库运行后, 上游来水来沙条件发生变化导致下游河势有所调整, 另一方面由于汉江河道在仙

桃以下极为狭窄，而秋季洪水时，长江水位很低，高落差形成大流速，对河床和堤防基础形成强烈冲刷和淘刷，极易导致崩岸，危及堤防安全。本次数值模拟分析方法采用 DHI-Mike21FM 软件水动力模块[3]，建立分析河段的平面二维水流数学模型，对汉江下游河段受顶托影响的流场变化进行模拟分析。设定两种边界条件：

- 1) 不顶托情况下：2011 年 9 月 21 日，仙桃站实测最大洪峰流量为 $10,800 \text{ m}^3/\text{s}$ ，相应水位为 34.12 m ，同时汉口水位偏低为 17.27 m 。
- 2) 顶托情况下：当仙桃水位 36.20 m 、汉口水位 29.73 m (长江干流堤防设计洪水位)时泄流能力为 $5250 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

5.2. 模型验证

本次模型率定采用相关经验取值，河段的糙率取值范围为：主槽糙率 $0.015\sim0.03$ ，滩地糙率 $0.03\sim0.045$ 。模型验证采用所在分析河段历史实测水位、流速资料(2013 年 8 月)进行模型的验证，河段进口流量为 $1350 \text{ m}^3/\text{s}$ ，出口水位为 18.74 m ，选取了 5 个水文测验断面(DM01 至 DM05)，验证的测验断面布置情况见图 6。测验断面流速值与模型模拟流速值对比情况见图 7 所示，断面模拟流速分布与实测流速值验证较好。

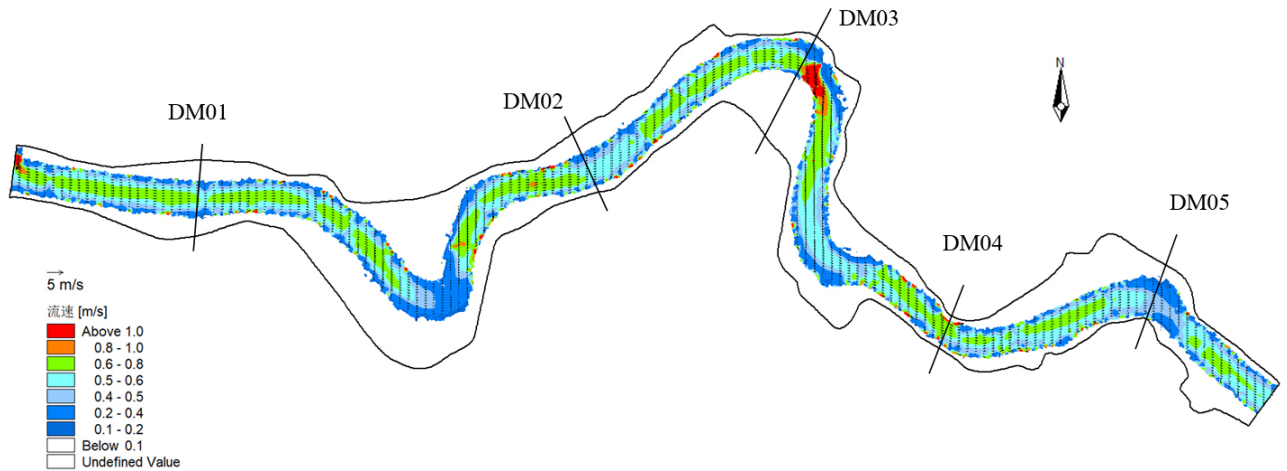
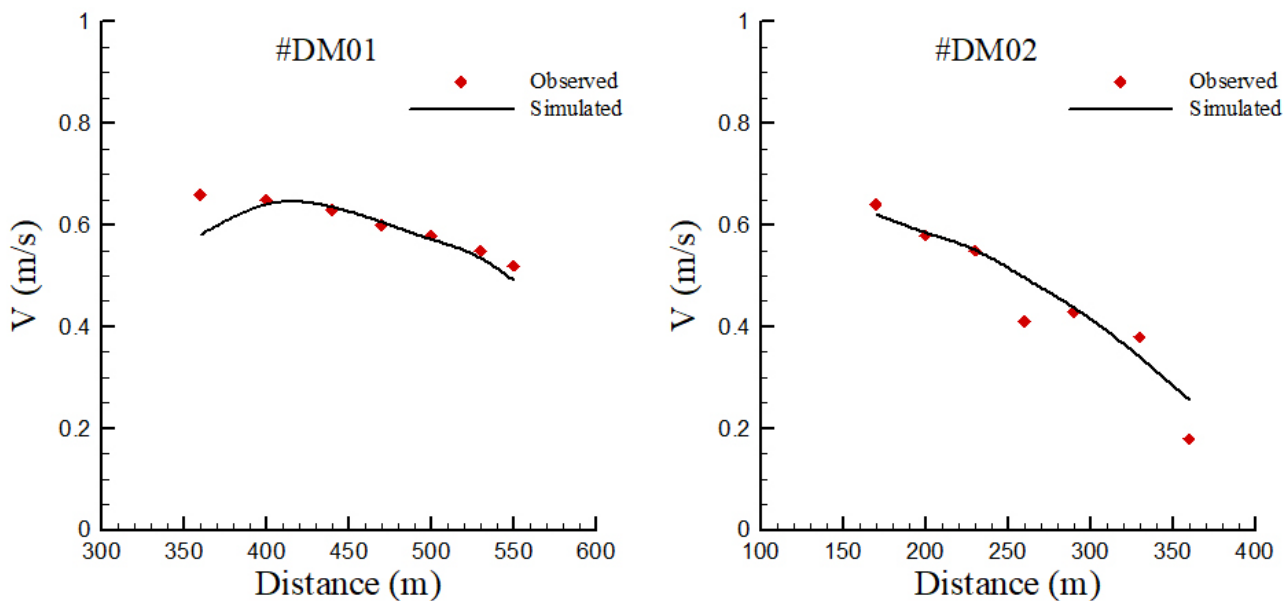


Figure 6. Verification for flow field diagram downstream Xiantao of the Hanjiang River
图 6. 汉江下游仙桃以下分析河段验证流场图



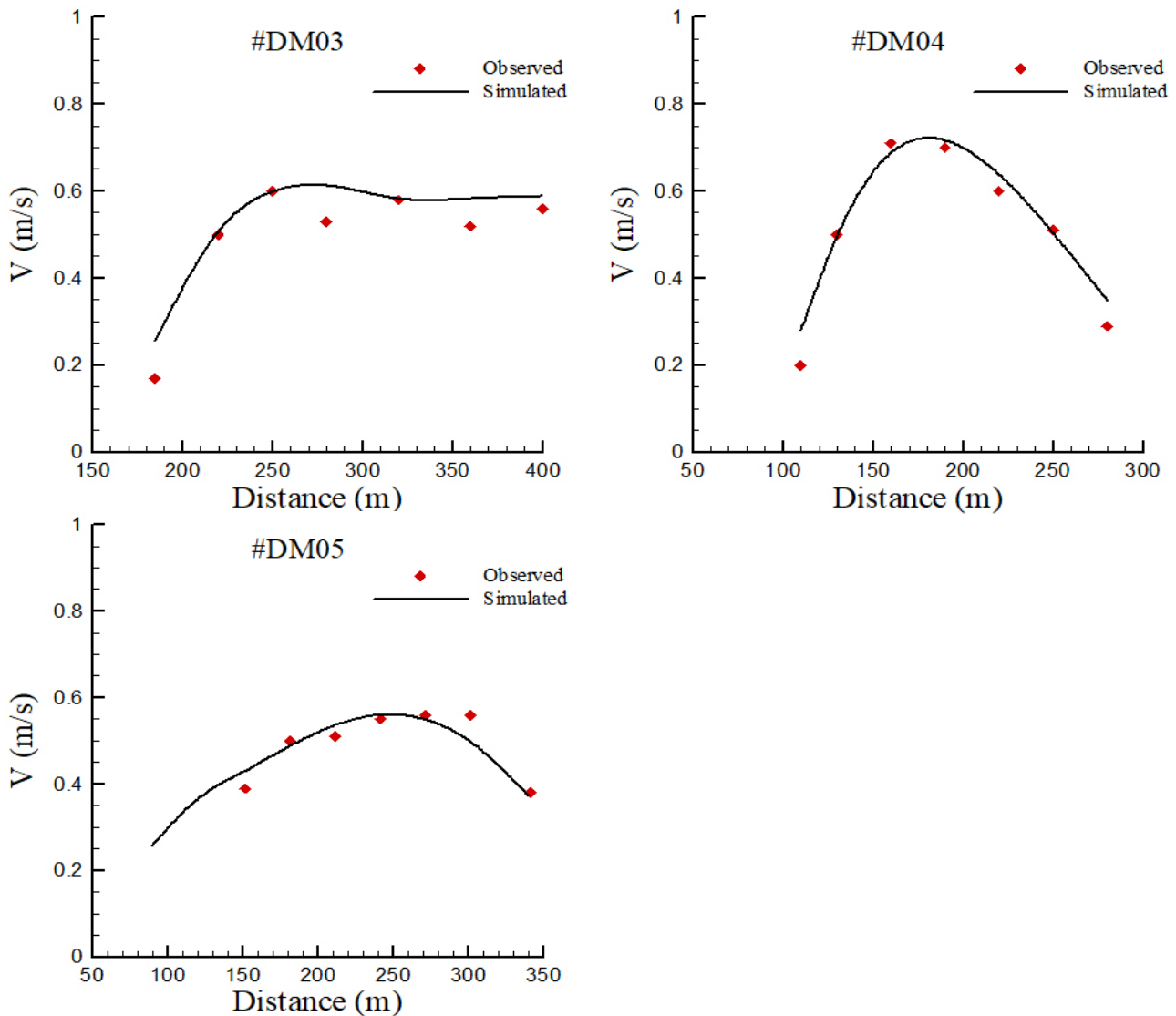


Figure 7. Verification for cross section velocity downstream Xiantao of the Hanjiang River

图 7. 汉江下游仙桃以下分析河段流速验证图

5.3. 模拟结果分析

1) 在长江干流汉口水位偏低不顶托情况下(图 8(a)), 当仙桃站实测最大洪峰流量为 $10,800 \text{ m}^3/\text{s}$, 相应水位为 34.12 m 时, 下游河段最大流速量级达到 3 m/s , 高流速对下游河道的主河槽产生强烈的冲刷, 泄流能力有所增强。

2) 在受长江干流堤防设计洪水强烈顶托条件下(图 8(b)), 仙桃水位较实测最大实测流量时相应的水位抬高了约 2 m , 允许泄流能力为 $5250 \text{ m}^3/\text{s}$, 泄流能力较最大实测流量减小约 51% , 下游河段流速显著减小, 最大流速量级减小至 1.2 m/s , 减大幅度约为 60% 。由此可见, 相比较不顶托的情况, 汉江下游干流的泄流能力在长江干流高水位顶托的情况下显著减弱。

6. 结语

汉江中下游目前建成了以丹江口水库为核心, 两岸堤防为基础, 中游民垸及下游杜家台分洪工程配合运用的综合防洪体系, 能有效解决汉江上中游洪水来量大与中下游泄量小的矛盾, 但是中下游由于受到两岸堤防约束的

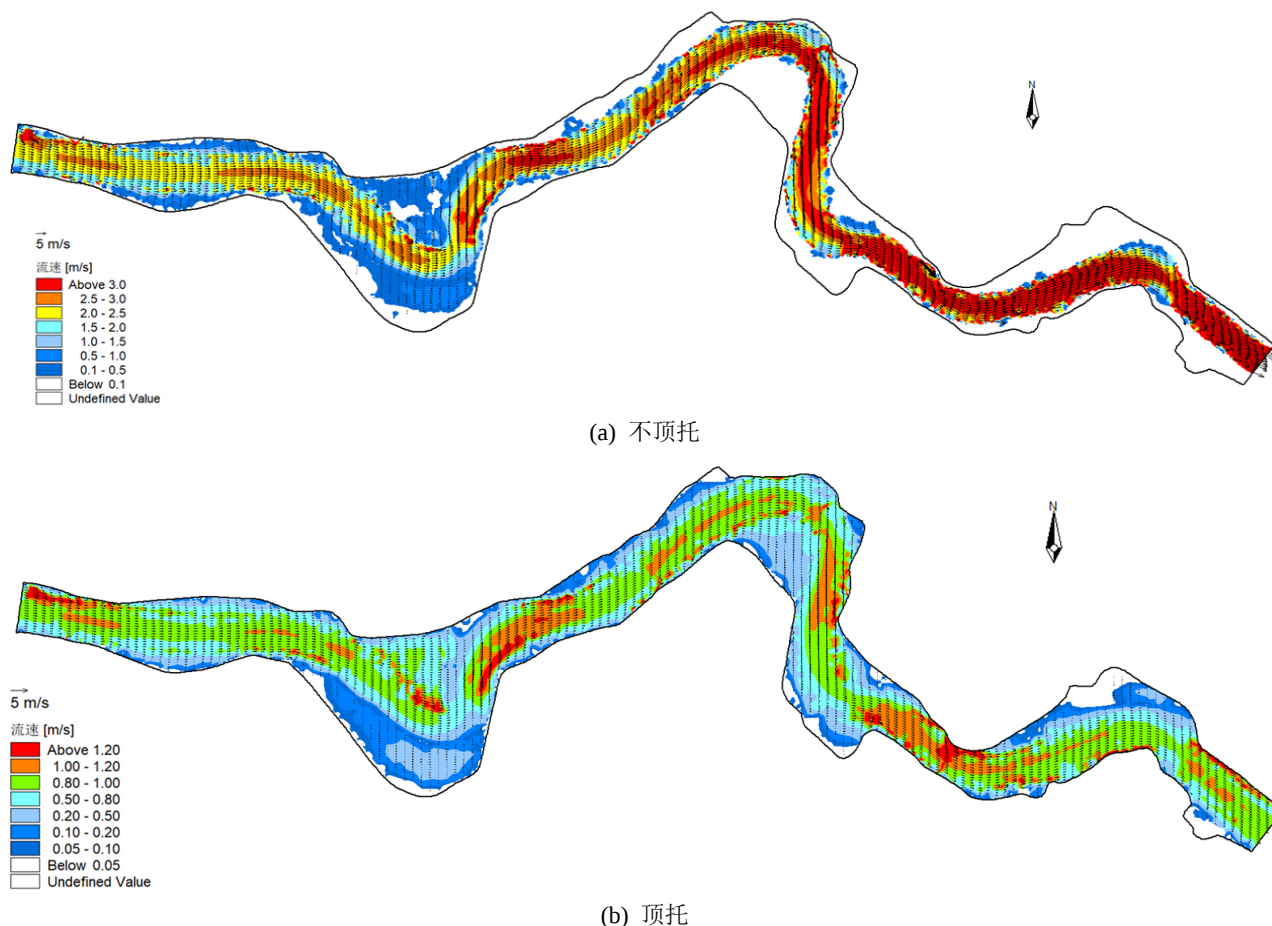


Figure 8. Simulation flow field downstream Xiantao of the Hanjiang River

图 8. 汉江下游仙桃以下河段模拟流场图

影响,通过槽蓄曲线分析和控制断面冲淤变化分析可知下游河道槽蓄量有限。汉江下游干流皇庄以下的河道泄流能力与长江干流顶托影响密切相关,模型分析结果表明:当遇到长江干流高水位顶托的影响时,会显著减小下游河道的下泄流速,与不顶托的情况相比,河道内最大流速度级可由 3 m/s 减小至 1.2 m/s,受顶托严重时会明显抬高仙桃河段的洪水位,水位抬高值可达到 2 m 左右,会对两岸堤防稳定和下游防洪安全产生明显不利的影响。

基金项目

国家重点研发计划 2016YFC0400901 不同气候区雨洪可利用性评价理论与方法。

参考文献

- [1] 长江水利委员会. 汉江干流综合规划报告[R]. 武汉: 长江水利委员会, 2018.
Changjiang Water Resources Commission. Integrated planning report of Hanjiang River. Wuhan: Changjiang Water Resources Commission, 2018. (in Chinese)
- [2] 张洪刚, 徐德龙, 林凯荣, 吕孙云. 基于 GIS 的碾盘山-新城河段槽蓄量计算[J]. 水利水电快报, 2006, 27(4): 16-18+23.
ZHANG Honggang, XU Delong, LIN Kairong, and LYU Sunyun. Calculation of channel storage in Nianpanshan-Xincheng river section based on GIS. Express Water Resources & Hydropower Information, 2006, 27(4): 16-18+23. (in Chinese)
- [3] 衣秀勇. DHI MIKE FLOOD 洪水模拟技术应用与研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
YI Xiuyong. DHI MIKE FLOOD simulation technology application and research. Beijing: China Water & Power Press, 2014. (in Chinese)