

Water Level Variation Due to River Scour from Danjiangkou to Wangfuzhou Section

Xianzheng Wang, Bo Yang, Leilei Lian

Hanjiang Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, Changjiang Water Resources Commission, Xiangyang Hubei
Email: 1191463872@qq.com

Received: Sep. 24th, 2020; accepted: Oct. 6th, 2020; published: Oct. 13th, 2020

Abstract

In order to understand the influence of river scouring on river water level from Danjiangkou to Wangfuzhou section, the variation rule of river water level under medium and high water condition is clarified. Based on the measured water level and flow data of Wangjiaying, Huangjiagang and Laohekou water level stations, the watercourse roughness of different magnitudes of flood are calibrated and used to calculate the one-dimensional steady flow since 1967. The results show that the river level under the condition of medium and high water is closely related to the river scour. With the river scour, the river flood level presents a decreasing trend when the river is confronted with the same flood in 1964 and other medium and high floods, and the average lower water level of the current river section is 1.6 m lower than the actual water level in 1964. With the stabilization of channel scour, the decrease of flood level gradually decreases, from the average decrease of 0.61 m in the initial stage of operation to 0.19 m in recent years. The flood level tends to be stable with the balance of river scour and silt.

Keywords

Flood Level, River-Bed Scour, Hanjiang River, The High Flood, Water Surface Level

丹江口水库至王甫洲河段冲淤变化对水位影响

王现正, 杨波, 连雷雷

长江水利委员会水文局汉江水文水资源勘测局, 湖北 襄阳
Email: 1191463872@qq.com

收稿日期: 2020年9月24日; 录用日期: 2020年10月6日; 发布日期: 2020年10月13日

摘要

本文结合王家营水位站、黄家港水文站、老河口水位站实测水位流量资料, 对不同量级洪水河道糙率进行率定, 作者简介: 王现正, 男, 出生于 1992 年, 工程师, 主要从事水文分析计算工作。

采取率定的河道糙率、1967年以来实测水文断面以及实测中高洪峰进行河道稳定流一维计算。结果表明,河道中高水条件下水位与河道冲刷影响密切相关,随着河道的冲刷,当遭遇1964年同大洪水等中高洪水时,河道洪水水位呈现降低趋势,现状河道断面下水位较1964年实际水位平均降幅达1.6 m;随着河道冲刷趋于稳定,洪水水位的降幅逐步减小,从运行初期的平均降幅0.61 m降低至近年的0.19 m,洪水水位随着河道冲淤平衡趋于稳定。

关键词

洪水水位, 河床冲刷, 汉江, 中高洪水, 水面线

Copyright © 2020 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. 概述

汉江属于长江最长支流,发源于秦岭南麓,干流流经陕西、湖北2省,于武汉市汇入长江。汉江干流通常分为三段:丹江口以上为上游,丹江口至碾盘山为中游,碾盘山以下为下游。丹江口水库位于湖北省丹江口市,丹江口水库至王甫洲河段河道现状设计防洪标准为1964年同大洪水,堤防加固设计水位按照1964年实测洪水水位确定,丹江口水库建成至今河道已发生了明显的冲刷变化,在现状河道下发生1964年同大洪水河道水位较1964年变化程度有待进一步的研究。目前,国内外研究学者针对汉江中下游河道冲淤等方面进行了深入研究,并取得了一定的成果。林云发[1]对汉江中游近期冲刷状况研究表明丹江口水库建成后河道呈现自上游至下游冲刷变化,丹江口-襄阳河段基本达到冲淤平衡;郭海晋[2]等对汉江雅口枢纽坝下河道冲淤和水面线变化研究表明雅口枢纽坝建成后,坝下河道表现为近坝段微冲,其余河段淤积。其研究结果表明,汉江中下游河段水利工程建设均会对坝下河道产生冲刷,但随着时间变化会逐渐达到冲淤平衡状态。分析河段位于丹江口-襄阳河段,经过五十多年的河道冲刷变化,河道从冲刷状态逐渐达到冲淤平衡状态。

针对河道的冲淤变化对河道水位影响方面研究,国内外目前仅进行了定性分析,深入研究的相对较少。国内余明辉[3]等对长江中下游洪水水位河床冲淤关系研究表明,长江中下游河道淤积和河道形态变化是造成洪水水位抬高和高洪水水位持续时间加长的主要原因;郭海晋[2]等对汉江雅口枢纽坝下河道冲淤对水面线变化研究表明雅口枢纽坝下河道水位随着河道的冲刷下切而降低,随着河床淤积而抬升;宋涛[4]论文表明随着河道整治开挖能够明显降低河道水位。对丹江口-襄阳河段河道冲刷后水位变化目前尚无明确的研究,本文结合已有研究方法,对丹江口水库至王甫洲河段河道冲刷条件下中高水洪水水位变化进行分析,明确在河道冲刷情况下中高水的水位变化规律,为沿线的岸线保护、水利工程设计以及河道管理提供参考。

1.1. 河段介绍

丹江口水库枢纽位于湖北省丹江口市,是亚洲第一大人造淡水湖,也是国家南水北调中线工程水源地。丹江口水库一期工程始建于1958年,1973年底建成,坝顶高程162 m,正常蓄水位157 m,相应水库面积745 km²,库容174.5亿m³。二期工程自2005年9月开始进行,2011年7月大坝坝顶从162 m提高至176.6 m,正常蓄水位170.0 m,相应库容增加到290.5亿m³。是一座以防洪、供水为主,结合发电、航运等综合利用的大型水利工程。丹江口水库建成后,下游河道来沙量仅占建库前的0.45% [5]。

王甫洲水利枢纽位于丹江口水库枢纽下游30 km,属于湖北省老河口市,王甫洲水利枢纽1995年开始新建,于1999年并网发电,坝址设计洪水(P=2%) 18,070 m³/s,校核洪水(P=0.667%) 22,000 m³/s;丹江口大坝加高后,

王甫洲水利枢纽提高至 100 年一遇设计洪水, 设计洪水位 88.11 m, 正常蓄水位 86.23 m, 调节库容 0.28 亿 m^3 。王甫洲水利枢纽来水在 11,100 m^3/s 以上时, 全部闸门开启并按泄水闸泄洪能力敞泄。

本次以丹江口水库坝址下游王家营水位站为起始断面, 王甫洲水利枢纽库区老河口水位站为终点断面进行分析, 河段全长 26.65 km, 河段内现在无其他大的水电工程, 本次根据实测 1967~2019 年实测断面进行分析, 河段断面分布见图 1。

分析河段从 1967 年至今已建有 3 座桥梁, 在 DM1~DM6 段、DM15~DM18 段建有河道整治工程, 岸边修建有堤防, 其对河道水位变化影响有限。其他河段受人类活动影响很小, 河道变化主要影响因素为河道冲刷。

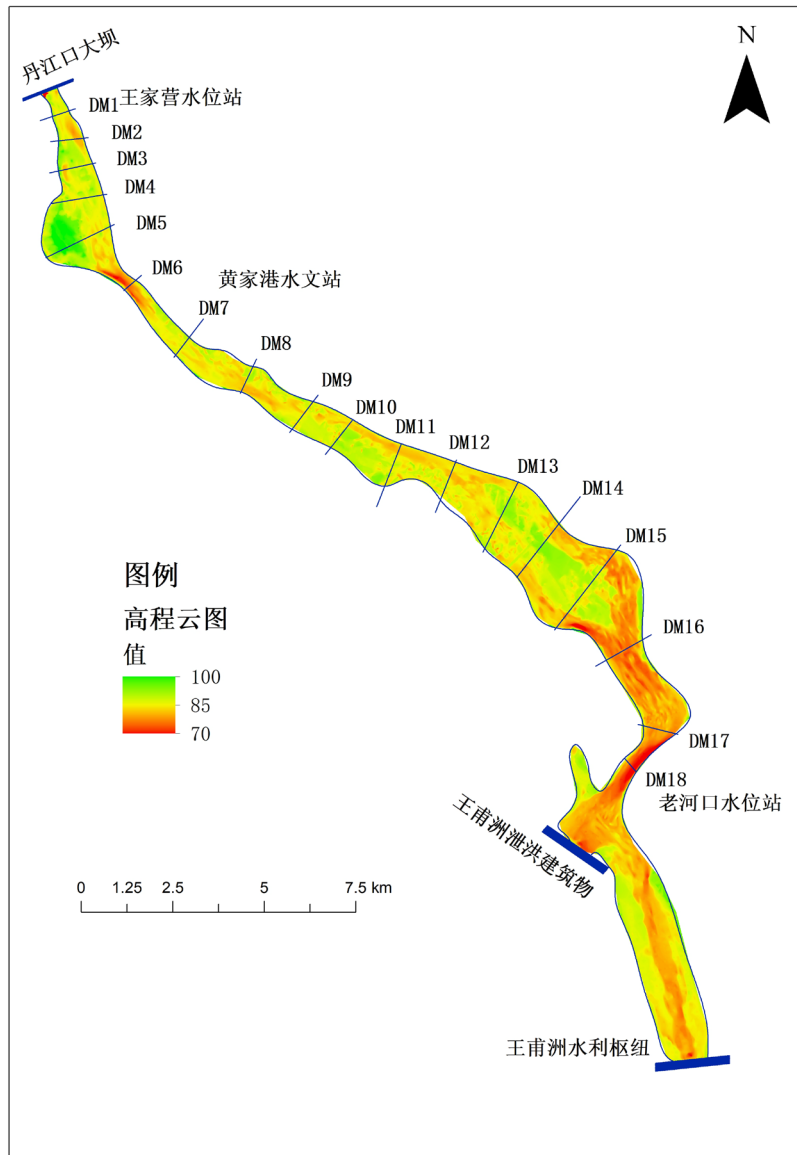


Figure 1. Network of hydrographic stations and analysis of section distribution

图 1. 河段水文站网及分析断面分布图

1.2. 河段冲淤变化

自丹江口水库建库以来河段基本呈现冲刷状态, 合计冲刷量达到 7850 万 m^3 [6], 从 1967 年~1978 年冲刷量

2761 万 m^3 、1978 年~1987 年冲刷量 1401 万 m^3 、1987 年~2005 年冲刷量 869 万 m^3 、2005 年~2012 年冲刷量 2776 万 m^3 、2012 年~2019 年冲刷量 2804 万 m^3 ，河段冲刷进入冲淤平衡阶段，此段主河槽粗化已基本完成，卵石大量出露，2005 年~2019 年冲刷量加大主要为人为采挖影响[1]。河道纵向深泓线整体呈现冲刷状态，冲刷最大深度达到 7 m，河段冲刷总体呈逐年减弱的趋势。本次将分析年份 1967 年、1978 年、1987 年、2005 年、2012 年、2019 年实测断面深泓变化进行了对比，其变化见图 2。

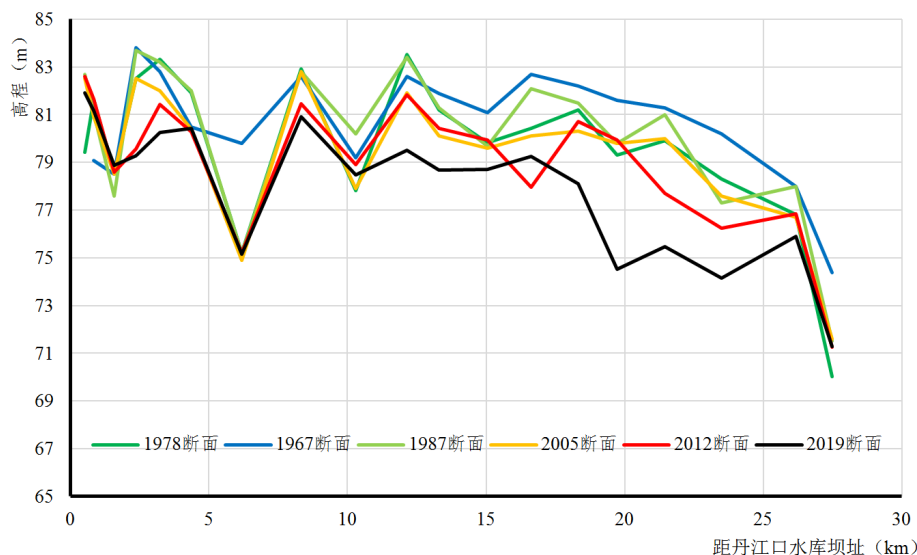


Figure 2. Variation chart of the channel line in different years

图 2. 河段不同年份深泓线变化图

2. 计算方法

本次计算采取 HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System) 进行计算[7]，该软件是由美国陆军工程兵团水文工程中心开发的水面线计算软件包，适用于河道稳定和非稳定流一维水力计算，可进行各种涉水建筑物的水面线分析计算[8]。

本次主要计算固定洪峰情况下的沿线水面线，因此采取河道稳定流进行一维计算。计算原理为伯努利能量方程并考虑流速水头损失，采用试算法求解[9]。

计算公式为：

$$Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \Delta h_f + \Delta h_j \quad (1)$$

式中： Z_1 、 Z_2 为断面 1、2 的水位(m)； V_1 、 V_2 为断面 1、2 的流速(m/s)； α_1 、 α_2 为断面 1、2 的动能校正系数； Δh_f 、 Δh_j 为沿程水头损失与局部水头损失。

3. 计算边界条件

1) 河道断面选择

根据沿线水利工程修建时间以及发生洪水的统计，本次从 1967 年至 2019 年选择 1967 年、1978 年、1987 年、2005 年、2012 年、2019 年等 6 年的实测大断面作为断面进行分析，整个河段布设 18 个断面，断面分布图见图 1。

2) 水位流量选择

河段起点建有王家营水位站、终点建有老河口水位站,区间建有黄家港水文站,河段之间无大的支流汇入。因此,进口边界流量选择黄家港水文站实测流量成果,出口采用对应时段老河口水文站实测成果作为边界。按照洪峰的大小分别选择 1964 年洪水、1974 年洪水、1983 年洪水、2005 年洪水和 2011 年洪水,洪峰流量涵盖实测中高水成果。边界成果见表 1。

Table 1. The boundary conditions of water level and flow discharge calculation
表 1. 计算水位流量边界条件

年份	进口流量(m ³ /s)	出口水位(m)
1964	23,400	87.93
1974	18,800	87.24
1983	20,000	87.76
2005	15,100	87.17
2011	13,000	86.74

3) 河道糙率选择

河道糙率是河流阻力的一个综合性参数,其值的大小与河流的水深、比降、河床质组成、断面几何形状、水流平面形态等诸多水力因素有关,为此,张秉文[10]通过对天然河道糙率影响因素的定性分析,给出了单式断面、复式断面、大小河道及滩地漫流情况下的经验糙率取值;马玉红[11]、方神光[12]等针对天然河道糙率影响因素及特点,提出了用曼宁公式反求糙率对河段及资料选样的要求,明确了确定糙率的基本原则;腾凯[13]针对目前率定河道糙率在实测洪水资料利用、控制断面水位流量关系曲线建立、复核洪水选用等方面存在的问题提出了相应对策及改进措施;张红武[14]通过对冲积河流糙率的计算提出了新的计算方法;王万站[15]、张世安提出影响糙率的主要因素;王克仁[16]等对天然河道糙率的影响因素与分析方法进行了讨论。本次分别选择其推荐的常用曼宁公式和张红武提出的新的计算方法分别计算,最终选择合适的参数。

曼宁公式计算公式如下:

$$Q = KS_f^{1/2} \quad (2)$$

$$K = \frac{AR^{2/3}}{n} \quad (3)$$

$$R = \frac{A}{\chi} \quad (4)$$

式中: Q 为流量; A 为过水断面面积; R 为水力半径; S_f 水力坡度; n 为糙率系数; χ 为湿周。

通过对王家营水位站、黄家港水文站、老河口水位站实测资料和比降分析计算,其从 1954 年至今实测资料反算河道综合糙率见图 3。

参考张红武文献提出的公式[14]如下:

$$n = \frac{0.01}{0.1 + 1.85Fr} \quad (5)$$

式中: n 为河道糙率, Fr 为傅汝德数。按照上式计算得到不同量级河道糙率成果见图 4。

通过图 3 和图 4 对比可以看出,随着流量的增加河道糙率均呈现减小的趋势,这与基本规律是相符的。河道糙率在 10,000 m³/s 以下时同一量级洪水糙率均波动变化较大,这主要原因是河道的冲刷加剧了河段的河床粗化,低水过水断面主要为主河槽,同时由于 2005 年以下王甫洲水利枢纽建成后对于低水的顶托影响。但中高水时河道糙率基本稳定,受河道冲刷影响相对较小。

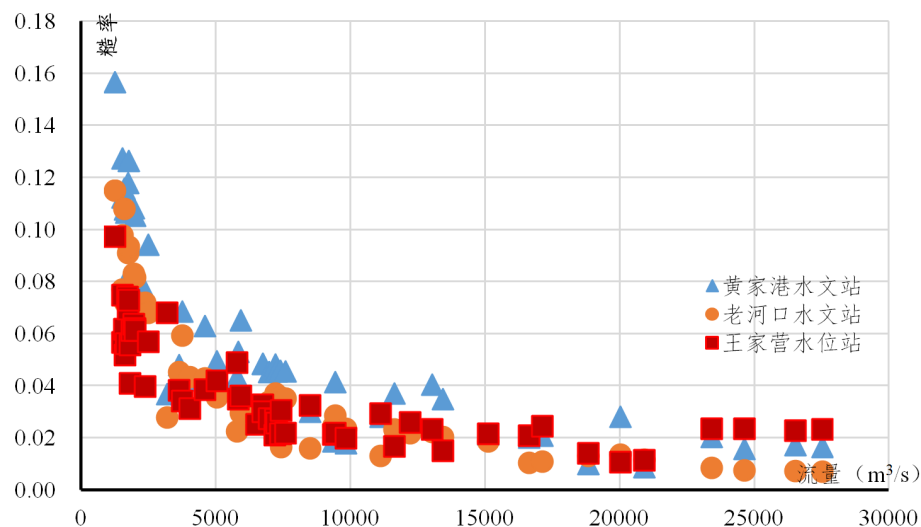


Figure 3. Calculation of flow roughness diagram using Manning formula
图 3. 曼宁公式计算流量糙率关系图

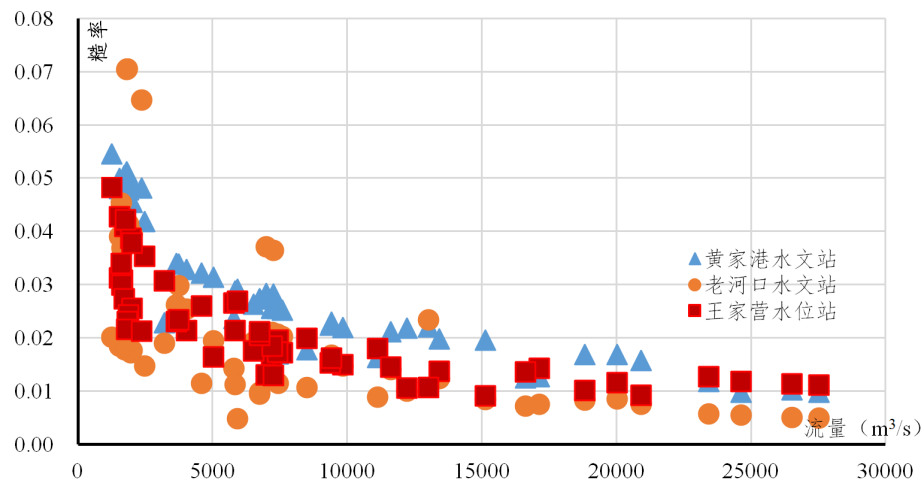


Figure 4. Calculation of flow roughness diagram using Zhang Hongwu's empirical formula
图 4. 张红武经验公式计算流量糙率关系图

对图 3 和图 4 对比分析，张红武经验公式计算出的成果在 10,000 m³/s 以上流量时河床糙率基本位于 0.02 以下，曼宁公式计算成果主要在 0.018~0.04 之间，高水时期曼宁公式计算成果偏大。通过对两个糙率带入计算与实测值对比分析，曼宁公式计算成果与实际实测成果更为接近。因此，本次采取曼宁公式计算的河道综合糙率。

通过两种方法计算对比，其均表现为 10,000 m³/s 以上流量时，同一量级洪水时，河道综合糙率基本稳定，不同量级洪水河道糙率不一致且呈现随流量增大而减小趋势。范北林[17]等在南水北调中线工程调水后对汉江中下游河势的影响中河道糙率选择同一流量对应不同组水位的方法，求得不同流下不同组水位时的糙率，本次参照这种方法在河道糙率同一量级洪水选择同一个值进行分析计算，成果见表 2。

4. 计算结果

按照上述边界条件和断面进行分析计算，计算得到同一量级洪水条件下，不同年份断面水位变化成果。通过计算对比分析，其变化规律基本一致，本次仅列出 1964 年洪水成果，成果见表 3。

Table 2. Analysis of comprehensive roughness n value
表 2. 分析工况综合糙率取值表

年份	流量(m ³ /s)	综合糙率 n 取值
1964	23,400	0.022
1974	18,800	0.027
1983	20,000	0.025
2005	15,100	0.030
2011	13,000	0.034

Table 3. Results of water surface lines in different flood years in 1964
表 3. 1964 年洪水不同年份断面水面线成果

断面	起点距(km)	1967 年	1978 年	1987 年	2005 年	2012 年	2019 年
		水面高程	水面高程	水面高程	水面高程	水面高程	水面高程
DM1	0.84	95.54	94.75	94.53	94.12	93.73	93.51
DM2	1.59	95.49	94.75	94.53	94.12	93.73	93.51
DM3	2.36	95.41	94.66	94.48	94.11	93.73	93.51
DM4	3.23	95.39	94.66	94.48	94.11	93.73	93.51
DM5	4.36	95.22	94.47	94.24	93.98	93.57	93.36
DM6	6.19	94.01	93.55	93.39	93.17	92.65	92.36
DM7	8.32	93.75	93.13	93.00	92.66	92.31	91.86
DM8	10.3	92.91	92.53	92.30	92.03	91.78	91.49
DM9	12.1	92.54	92.05	91.81	91.53	91.30	91.10
DM10	13.3	92.24	91.77	91.44	91.08	90.74	90.42
DM11	15.0	91.83	91.02	91.05	90.70	90.48	90.30
DM12	16.6	91.46	90.80	90.54	90.36	90.08	89.88
DM13	18.3	91.22	90.60	90.18	90.02	89.67	89.31
DM14	19.7	91.07	90.43	89.95	89.74	89.32	89.12
DM15	21.4	90.93	90.24	89.67	89.46	89.07	89.01
DM16	23.4	90.50	89.77	89.24	88.97	88.67	88.76
DM17	26.1	89.90	89.32	88.94	88.64	88.35	88.45
DM18	27.4	87.93	87.93	87.93	87.93	87.93	87.93

5. 对比分析

通过对 1964 年、1974 年、1983 年、2005 年、2011 年洪水不同年份断面进行对比分析，其规律基本一致。本次以其发生的最大洪水 1964 年洪水为例进行分析。

当遭遇 1964 年洪水时，河道水位不同年份断面均存在一定的降低，其不同年份断面水面线成果见图 5。

由图 5 可知，1964 年洪水在 1967 年断面水位最高，在 1978 年断面时水位出现了明显的下降，最大下降幅度达到 0.79 m，平均下降幅度 0.61 m，该段时间内河道的冲刷明显，说明河道的冲刷对水位的降低产生了显著

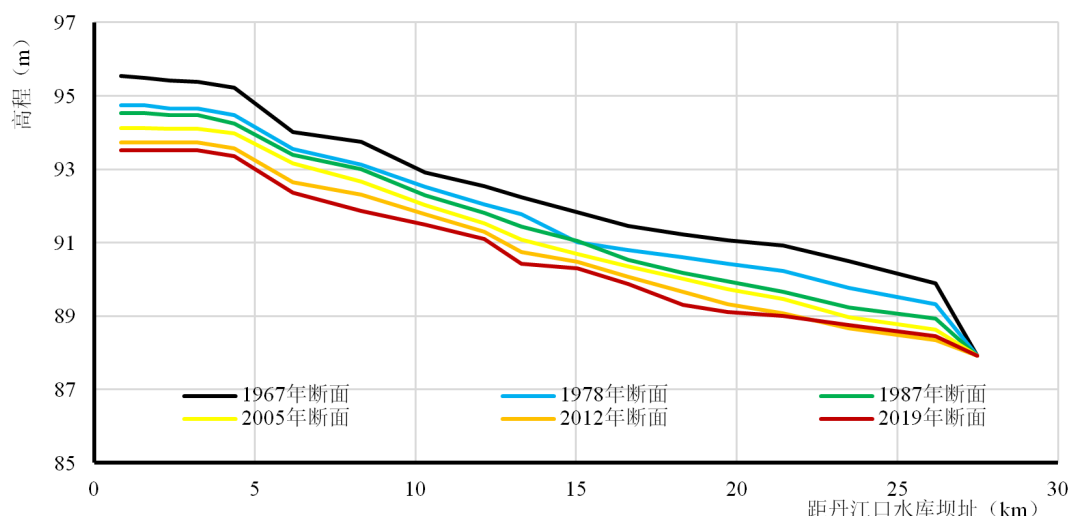


Figure 5. Results of water surface lines at different sections of the 1964 flood

图 5. 1964 年洪水不同断面水面线成果图

的作用。从 1978 年断面至 1987 年断面，河道水位变化幅度最大为 0.57 m，平均下降幅度 0.26 m，水位变化幅度出现了明显的减小，这与该段时间冲刷减弱是吻合的。从 1987 年到 2005 年断面，水位最大变幅 0.41 m，平均下降幅度 0.28 m，水位变化幅度基本稳定，这与河道基本趋于稳定是吻合的，其最大水位变化逐步减小。

从 2005 年至 2016 年河道冲刷量达到 4979 万 m^3 ，河段河道冲刷已基本达到平衡，主要因为人工采砂造成[3]。在 2016 年~2019 年，针对河道采砂进行了整治限制，河道冲刷量仅为 601 万 m^3 ，这与河道基本达到冲淤平衡是相符的。

从 2005 年到 2012 年，水位最大变幅 0.52 m，平均下降幅度 0.33 m，这与该段时间河道采砂影响有关，该段时间采砂量较水库建后时期增加一倍，这是水位变幅有所增长的主要原因。2012 年至 2019 年断面，水位最大变化幅度 0.45 m，平均下降幅度 0.19 m，水位最大变幅主要是 2012 年~2016 年人工采砂影响造成的。

综上，在丹江口水库蓄水后，下游河道的冲刷对水位降低产生了明显的作用，初期冲刷强度大，对整个河道的过洪产生明显影响，对河道的行洪有利；随着时间推移，下游河道的演变逐渐趋于向平衡方向发展，断面冲淤变化对水位影响逐步缩小，预计当下游河道冲淤达到平衡时，河道水位将逐渐趋于稳定。在 2005 年~2012 年期间，河道已达到冲淤平衡，但是人为采砂影响，河道的冲刷量接近建库初期，因此水位仍有一定幅度的变化。该结论与郭海晋[2]对汉江雅口枢纽坝下河道冲淤及水面线变化数值模拟结论雅口枢纽坝下河道水面线受河床冲刷下切而降低是基本一致的。

6. 结论

1) 河道综合糙率受河道流量影响显著，在中高水时表现的更为明显。

2) 分析河段河道受丹江口水利工程影响，河段整体呈现冲刷状态，在建库初期冲刷现象十分明显，河道的冲刷对同频率洪水水位有明显的降低作用，运行初期平均降幅达到 0.61 m，近几年平均降幅为 0.19 m，随着时间的推移，影响逐步趋于稳定。

3) 对河段防洪标准 1964 年同大洪水，现状断面情况下水位较 1964 年实际洪水水位有明显的降低，平均降幅达到 1.6 m，采取 1964 年洪水水位作为河道设计洪水水位可以抵御超 1964 年同大洪水。河道中高洪水水位均有不同程度的降低。

4) 目前河段已基本达到冲淤平衡，在对采砂后河段逐步达到新的平衡后，河道水位将趋于稳定。

5) 在实际工程中，当河道尚未达到冲淤平衡时，采取冲刷时段断面进行水面线计算将会造成计算水位偏低，

不利于工程的安全。

6) 国内对河道冲淤变化后水位变化研究相对较少,本次仅在宋涛[4]、苏程佳[18]相关文章中找到相关参考。本文分析丹江口水库建成后对下游影响,考虑 2005 年~2016 年河道受人为采砂影响严重,河道水位是否受采砂影响有待进一步的验证。

7) 随着丹江口水库的加高后运行,丹江口水库对河道泥沙的拦蓄将进一步加大,河道是否会发生新的冲刷有待监测,河道水位将会随着河道的冲刷变化而发生新的改变。

参考文献

- [1] 林云发. 汉江中游近期冲刷状况浅析[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(9): 1-5 + 20.
LIN Yunfa. Recent scouring in the middle stream of Hanjiang river. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2015, 32(9): 1-5 + 20. (in Chinese)
- [2] 郭海晋, 邴建平, 余明辉, 汪飞. 汉江雅口枢纽坝下河道冲淤及水面线变化数值模拟[J]. 人民长江, 2019, 50(11): 37-43.
GUO Haijin, BING Jianping, YU Minghui and WANG Fei. Numerical simulation of riverbed deformation and water surface profile variation of downstream reach of yakou hydro-junction on Hanjiang river. Yangtze River, 2019, 50(11): 37-43. (in Chinese)
- [3] 余明辉, 段文忠, 刘智, 余飞. 长江中下游洪水水位与河床冲淤关系初探[J]. 水利水电科技进展, 2005(3): 18-21.
YU Minghui, DUAN Wenzhong, LIU Zhi and YU Fei. Discussion on variations of flood water level and river-bed erosion and deposition for the middle and lower Yangtze river. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2005(3): 18-21. (in Chinese)
- [4] 宋涛. 河道变化对水面线的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2013.
SONG Tao. The research of river way devolvement on effect of water surface profile. Nanchang: Nanchang University, 2013. (in Chinese)
- [5] 左建, 连雷雷, 顾盼, 王现正, 陈莹. 老河口市梨花湖生态旅游项目(一期)洪水影响评价报告[R]. 襄阳: 长江水利委员会水文局汉江水资源勘测局, 2019: 13-17.
ZUO Jian, LIAN Leilei, GU Pan, WANG Xianzheng and CHEN Ying. Flood impact assessment report of Lihua lake eco-tourism project in Laohekou city (phase I). Xiangyang: Hanjiang Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, Changjiang Water Resources Commission. 2019: 13-17. (in Chinese)
- [6] 陈莹, 左建, 连雷雷, 王现正. 汉江丹江口至宜城河段近期河道演变分析报告[R]. 襄阳: 长江水利委员会水文局汉江水资源勘测局, 2020: 37-40.
CHEN Ying, ZUO Jian, LIAN Leilei and WANG Xianzheng. An analysis of the recent river course evolution of the Danjiang kou-Yicheng section of the Hanjiang river. Xiangyang: Hanjiang Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, Changjiang Water Resources Commission. 2020: 37-40. (in Chinese)
- [7] Hydraulic Engineering Center. HEC-RAS river analysis system. Version 4.1.0. 2010.
- [8] 戴文鸿, 高嵩, 张云, 唐洪武. HEC-RAS 和 MIKE11 模型河床糙率应用比较研究[J]. 泥沙研究, 2011(6): 41-45.
DAI Wenhong, GAO Song, ZHANG Yun and TANG Hongwu. Comparison of manning roughness factor simulation by HEC-RAS and MIKE11 models. Journal of Sediment Research, 2011(6): 41-45. (in Chinese)
- [9] 林立, 张翼, 程玉祥. Mike11 与 Hec-ras 水动力模型洪水计算成果分析[J]. 浙江水利科技, 2019, 47(1): 17-20.
LIN Li, ZHANG Yi and CHENG Yuxiang. An analysis of water level results based on Mike11 and HEC-RAS model. Zhejiang Hydropower, 2019, 47(1): 17-20. (in Chinese)
- [10] 张秉文. 天然河道糙率计算及取值方法[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(1): 25-28.
ZHANG Bingwen. Calculation and value selection method of the roughness of natural river channel. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012, 10(1): 25-28. (in Chinese)
- [11] 马玉红, 张静, 陈玉清, 席树峰. 天然河道糙率确定方法探讨[J]. 山西水利, 2009, 25(6): 16-17.
MA Yuhong, ZHANG Jing, CHEN Yuqing and XI Shufeng. Determination of natural channel roughness. Shanxi water resources, 2009, 25(6): 16-17. (in Chinese)
- [12] 方神光, 张文明, 张康, 徐峰俊. 西江中游干支流河道糙率研究[J]. 泥沙研究, 2016(2): 20-25.
FANG Shengguang, ZHANG Wenming, ZHANG Kang and XU Fengjun. Study on roughness in the middle reaches of xi jiang river with main tributaries. Journal of Sediment Research, 2016(2): 20-25. (in Chinese)
- [13] 滕凯, 张丽伟. 河道糙率率定方法存在问题与对策措施[J]. 西北水电, 2017(1): 1-4 + 12.
TENG Kai, ZHANG Liwei. Issues and countermeasures on river course roughness calibration method. Northwest Hydropower, 2017(1): 1-4 + 12. (in Chinese)

- [14] 张红武, 张罗号, 彭昊, 蔡蓉蓉. 冲积河流糙率由来与计算方法研究[J]. 水利学报, 2020, 7: 1-15.
ZHANG Hongwu, ZHANG Luohao, PENG Hao and CAI Rongrong. Research on cognition and calculation method of alluvial river roughness. Journal of Hydraulic Engineering, 2020, 7: 1-15. (in Chinese)
- [15] 王万战, 张世安, Jeffrey A Nittrouer. 黄河河口段河道糙率计算方法[J]. 人民黄河, 2018, 40(12): 4-8.
WANG Wanzhan, ZHANG Shian and Jeffrey A Nittrouer. A formula for channel roughness for the yellow river estuary. Yellow River, 2018, 40(12): 4-8. (in Chinese)
- [16] 王克仁, 张玉胜, 薛小吉. 浅谈天然河道糙率的影响因素与分析方法[J]. 科技风, 2015(19): 142.
WANG Keren, ZHANG Yusheng and XUE Xiaoji. A brief discussion on the influencing factors and analysis methods of natural channel roughness. Technology Wind, 2015(19): 142. (in Chinese)
- [17] 范北林, 万建蓉, 黄悦. 南水北调中线工程调水后对汉江中下游河势的影响[J]. 长江科学院院报, 2002(S1): 21-24.
FAN Beilin, WAN Jianrong and HUANG Yue. Influence of water transfer project from south to north on middle and lower reaches of Hanjiang River. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2002(S1): 21-24. (in Chinese)
- [18] 苏程佳, 陈晓宏, 唐亦汉, 赖成光. 河道地形变化对洪潮水面线的影响分析——以西北江三角洲河网为例[J]. 水文, 2018, 38(3): 13-20 + 28.
SU Chengjia, CHEN Xianhong, TANG Yihan and LAI Chengguang. Impact of river terrain change on flood tide water surface profile: A case study of river network in west and north river delta. Journal of China Hydrology, 2018, 38(3): 13-20 + 28. (in Chinese)