

# 丹江口~王甫洲冲淤河道糙率变化趋势

涂进, 王现正, 连雷雷, 陈莹

长江水利委员会水文局汉江水文水资源勘测局, 湖北 襄阳

收稿日期: 2021年10月21日; 录用日期: 2021年11月26日; 发布日期: 2021年12月9日

## 摘要

为分析丹江口~王甫洲水利枢纽河段糙率随河道冲刷变化规律, 采用实测洪水位推求王家营~黄家港、黄家港~老河口河段1954~2019年河段糙率, 按照5个不同流量级分析河段糙率变化趋势。结果表明: 王家营~黄家港河段糙率整体大于黄家港~老河口河段糙率, 随着流量的增大河段糙率差异逐步减小; 从1954~2019年, 河段糙率在不同量级流量下均呈现增大趋势; 王家营~黄家港河段糙率在1000~2000 m<sup>3</sup>/s、5000~10,000 m<sup>3</sup>/s、20,000 m<sup>3</sup>/s以上量级下基本达到稳定状态; 黄家港~老河口河段糙率在20,000 m<sup>3</sup>/s以上流量下基本达到稳定状态, 其它量级下仍处于波动状态。

## 关键词

河道糙率, 冲淤河道, 糙率, 丹江口水库, 黄家港水文站

# Variation Trend of Scour and Silt Channel Roughness from Danjiangkou to Wangfuzhou

Jin Tu, Xianzheng Wang, Leilei Lian, Ying Chen

Hanjiang River Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, The Hydrological Bureau of Changjiang Water Resources Commission, Xiangyang Hubei

Received: Oct. 21<sup>st</sup>, 2021; accepted: Nov. 26<sup>th</sup>, 2021; published: Dec. 9<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

The paper is proposed to analyze the roughness variation law with river scour in the reach of Danjiangkou-Wangfuzhou water conservancy project. The roughness of Wangjiaying-Huangjiagang and Huangjiagang-Laohekou river reaches from 1954 to 2019 was calculated by using the measured flood levels. The variation trend of roughness was analyzed according to five different flow levels. The results show that: the roughness of Wangjiaying-Huangjiagang reach is larger than that of Huangjiagang-Laohekou reach, and the difference of roughness decreases gradually with the increase of discharge; the roughness

作者简介: 涂进, 湖北老河口人, 出生于1984年10月, 工程师, 研究方向为水文水资源分析计算, Email: 46002997@qq.com

of the reach showed an increasing trend under different magnitudes of discharge from 1954 to 2019; the roughness of Wangjiaying-Huangjiagang basically reaches a stable state at the orders of 1000~2000 m<sup>3</sup>/s, 5000~10,000 m<sup>3</sup>/s and 20,000 m<sup>3</sup>/s, the roughness of Huangjiagang-Laohekou basically reaches a stable state when the flow rate is above 20,000 m<sup>3</sup>/s, but still fluctuates at other orders of magnitude.

## Keywords

Channel Roughness, Scouring and Silting Channel, Roughness, Danjiangkou Reservoir, Huangjiagang Hydrology Station

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/>



## 1. 引言

河道糙率是河道整治、水文分析计算等重要的参数,其值的大小对河道水位、流态等都有显著的影响,因此,准确地确定河道糙率显得尤为重要。目前,工程上常用的主要有查糙率表、洪痕调查、实测成果等方法,张小琴[1]通过对查表法和公式法的不足分析,提出了糙率参数的反演计算和修正;张红武[2]通过大量冲积河流实验验证,提出了根据 Fr 计算河道糙率;张罗号[3]提出了曼宁公式在黄河流域分析中无法良好适用于动床阻力计算,提出了糙率计算的修正式,建立了花园口水文站糙率同流量的经验关系式;孙聪影[4]通过查表初步确定河道糙率、结合历史洪痕验证确定洛河渡槽“7·19”洪水时期河道糙率。上述公式在冲刷严重河段的计算中能否较好应用,均需要进一步研究。

糙率的影响因素方面,赵庆奎[5]通过对山西 44 个水文站实测资料分析,确定河道糙率的主要因素是河床质组成、岸壁特征、植被状况和水流的平面形态等;王克仁[6]研究表明,河道糙率主要受河床、水流的影响;李一鸣[7]通过流量、水力半径、表面粗糙度、泥沙淤积等 4 个因素方面分析对渠道糙率的影响,结果表明淤积厚度对渠道糙率影响最为显著,其次为水力半径、流量和表面粗糙度;鲁薇[8]运用室内物理模型和原体天然植被相结合的实验方式,研究表明,糙率系数随着冲刷历时和流量的增大而减小,随着植物密度和植物高度的增大而增大;王万站[9]通过对黄河口糙率的研究,表明影响糙率的主要因素是流速和河道水力半径,床沙粒径对糙率影响较小;马玉红[10]、方神光[11]、腾凯[12]等从植被、河道冲淤等方面分析了对河道糙率的影响。对糙率的影响因素总结起来主要有河床组成、壁岸特征、植被条件、泥沙淤积等方面。

丹江口~王甫洲水利枢纽河段随着丹江口水库的建成,河段呈现冲刷至逐步稳定状态[13]。与丹江口水库蓄水之前比较,河段呈现冲刷过水断面面积增大,河床粒径粗化等现象;同时,由于上游丹江口水库的建成蓄水,河段遭受大洪水的概率降低,河岸植被条件较丹江口水库建成前明显变好;河段两岸近年来修建防洪等工程对高水过水断面进行了束窄等。河段糙率受河床粗化、冲刷、水利工程建设以及岸边植被等综合影响变化趋势需要进一步的研究。

## 2. 河段概述

丹江口~王甫洲河段上起丹江口水库坝址下游王家营水位站,下止王甫洲水利枢纽坝前老河口水文站,河段长度 26.56 km。河段上游丹江口水库一期工程始建于 1958 年,1973 年底建成;二期工程自 2005 年 9 月开始,2011 年 7 月建成。下游王甫洲水利枢纽 1995 年开始新建,于 1999 年并网发电。为更加精确计算河段糙率,结合河段情况布设 18 个水文断面,河道断面及采用水文站点图分布见图 1,其中 DM1~DM7 代表王家营~黄家港

河段为基本不受王甫洲水利枢纽蓄水影响河段、DM7~DM18 为黄家港~老河口河段为受王甫洲水利枢纽蓄水影响主要河段。

在 DM1~DM7 河段主要建设的为护岸工程,建设于 2013 年,其建成后在 20 年一遇水位下水位壅高 0.07 m、1964 年同大洪水下壅高 0.10 m,其对河道水位影响较小;在 DM15~DM18 之间修建老河口汉江堤防,堤防建设于 1975~1983 年之间,目前堤防均已可防御 1964 年实际洪水,本次对建设堤防后断面分别采用不考虑堤防和考虑堤防两种工况分别计算,结果表明考虑堤防建设后堤防段河道水位有一定程度壅高,但对 DM7 位置基本无影响,因新建堤防段长度有限,计算结果对河段水位影响较小,因此计算最终不考虑堤防和护岸新建对水位的影响。

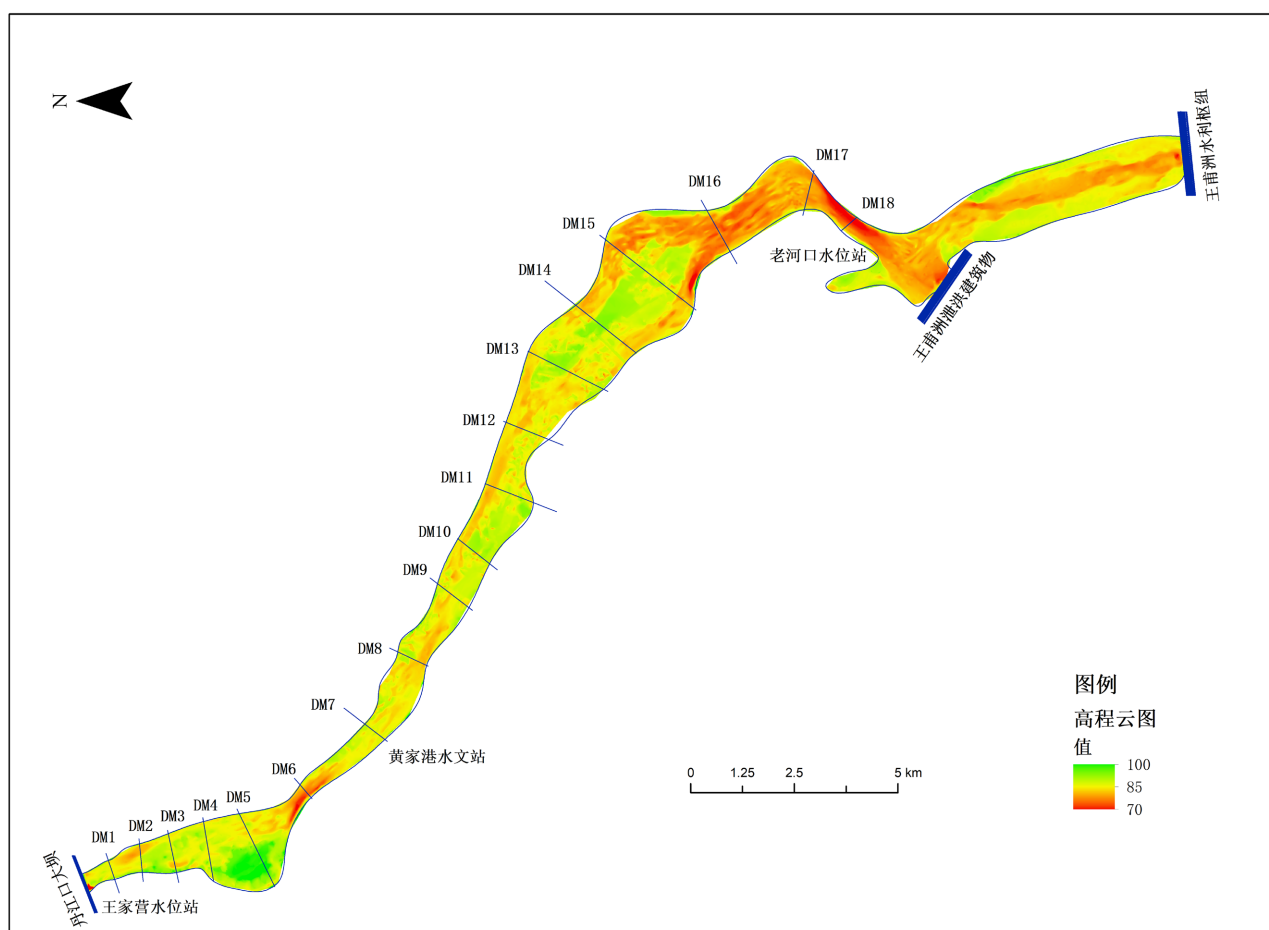


Figure 1. Network of hydrographic stations and distribution of analysis section

图 1. 河段水文站网及分析断面分布图

### 3. 糙率计算

按照水文站网分布,结合王甫洲水利枢纽影响范围,将河道分为 2 个河段进行分析,即 DM1~DM7 断面为王家营~黄家港河段、DM7~DM18 为黄家港~老河口河段。王现正[13]等在丹江口水库至王甫洲河段冲淤变化对水位影响文章对河段糙率采用曼宁公式和张红武公式分别计算表明,在  $10,000 \text{ m}^3/\text{s}$  流量以下时两个方法计算成果差异较大,且同量级河段糙率波动明显;在  $10,000 \text{ m}^3/\text{s}$  以上时河段糙率基本稳定,但两种方法计算成果也存在差异。实测洪水水面线反算糙率在相关规范计算中均有推荐,其计算成果基本在曼宁公式成果与张红武公式

成果之间,考虑水面线反算糙率方法在相关规范中均有推荐,最终选择实测洪水水面线方法成果作为推荐成果。为减少河道冲刷变化对分析的影响,从1954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计算断面。计算得到各个年份河段糙率成果见表1。

**Table 1.** Calculation results of roughness of river reaches

**表 1.** 河段糙率计算成果表

年份	河段糙率		年份	河段糙率		年份	河道糙率	
	王家营~黄家港	黄家港~老河口		王家营~黄家港	黄家港~老河口		王家营~黄家港	黄家港~老河口
1954	0.026	0.019	1978	0.065	0.036	1999	0.072	0.046
1958	0.028	0.020	1979	0.039	0.030	2000	0.058	0.034
1959	0.036	0.039	1980	0.041	0.029	2001	0.085	0.044
1960	0.028	0.022	1981	0.039	0.029	2002	0.085	0.048
1961	0.025	0.029	1982	0.040	0.030	2003	0.041	0.034
1962	0.025	0.028	1983	0.025	0.029	2004	0.040	0.036
1963	0.024	0.024	1984	0.032	0.030	2005	0.036	0.032
1964	0.028	0.027	1985	0.045	0.034	2006	0.095	0.045
1965	0.027	0.021	1986	0.060	0.040	2007	0.059	0.039
1966	0.053	0.020	1987	0.047	0.030	2008	0.095	0.045
1967	0.035	0.020	1988	0.047	0.032	2009	0.080	0.058
1968	0.036	0.031	1989	0.046	0.031	2010	0.055	0.042
1969	0.045	0.033	1990	0.044	0.031	2011	0.046	0.041
1970	0.039	0.029	1991	0.052	0.036	2012	0.062	0.045
1971	0.040	0.029	1992	0.055	0.039	2013	0.076	0.063
1972	0.044	0.029	1993	0.055	0.039	2014	0.076	0.063
1973	0.060	0.033	1994	0.055	0.039	2015	0.090	0.070
1974	0.035	0.028	1995	0.056	0.039	2016	0.102	0.102
1975	0.032	0.028	1996	0.048	0.032	2017	0.058	0.060
1976	0.069	0.037	1997	0.062	0.046	2018	0.065	0.055
1977	0.069	0.037	1998	0.047	0.031	2019	0.058	0.055

#### 4. 糙率变化趋势分析

按照河道水文统计特性,河道糙率分析按照流量分为几个区间分别进行,1000~2000 m<sup>3</sup>/s、2000~5000 m<sup>3</sup>/s、5000~10,000 m<sup>3</sup>/s、10000~20,000 m<sup>3</sup>/s、20,000 m<sup>3</sup>/s 以上 5 个量级。

##### 1) 流量 1000~2000 m<sup>3</sup>/s 量级成果

1000~2000 m<sup>3</sup>/s 量级计算年份有 18 年,占分析年份的 29.0%,时间跨度从 1976 年到 2015 年,黄家港水文站水位变化从王甫洲水利枢纽建库前的 87~88 m 到王甫洲水利枢纽蓄水后的 87.5~88.50 m。将计算成果点绘在一张图上,成果见图 2。

王家营~黄家港河段糙率在 1976~2015 年存在逐步减小的趋势,随后显著增大趋于稳定,糙率变化范围 0.04~0.095。在丹江口建成~王甫洲建设期间,河段糙率从 0.069 逐步降低至 0.055,河段糙率呈现逐步降低趋势,河段糙率此时受丹江口蓄水影响河道冲刷下切及河床粗化共同决定。王甫洲建成后 1995~2015 年,下游虽然建

成王甫洲水利枢纽,但在该数量级流量下回水影响较小,河段糙率呈现逐步上升,在0.062~0.095区间变动,该流量下河道粗化基本完成,河床冲刷也基本达到稳定,河段糙率预计趋于稳定在0.08附近。

黄家港~老河口河段糙率呈现逐步增大趋势,在王甫洲建设前,河段糙率在0.037~0.040之间逐步增大,基本处于稳定状态。1995~2008年,河道糙率在0.44~0.46之间变化,河段糙率基本稳定,但较1995年之间出现了明显的增大,这与王甫洲水利枢纽建设时间基本吻合,属于王甫洲水利枢纽建设影响。2008年至今分析有3年资料,河段糙率出现了大幅度增大,河段糙率在0.06~0.07之间变动,该段时间河道断面未发生大的冲刷、河道水位较之前未发生大的变动、水面以下植被基本未发生改变,因此认为该段时间糙率的变化主要受王甫洲水利枢纽蓄水后库区淤积的影响,因此河段糙率可能会有一个新的动态变化趋势。

从时间上看,河段糙率在王甫洲建成后河段糙率均出现了显著的抬升;在丹江口水库加高后,黄家港~老河口河段糙率又有显著的抬高。

从河段上看,上游王家营~黄家港河段综合糙率均呈现大于下游黄家港~老河口河段的趋势。上游河段的糙率变化较下游河段更为剧烈,上下游河段糙率差异随着时间的推移呈现逐渐缩小趋势。

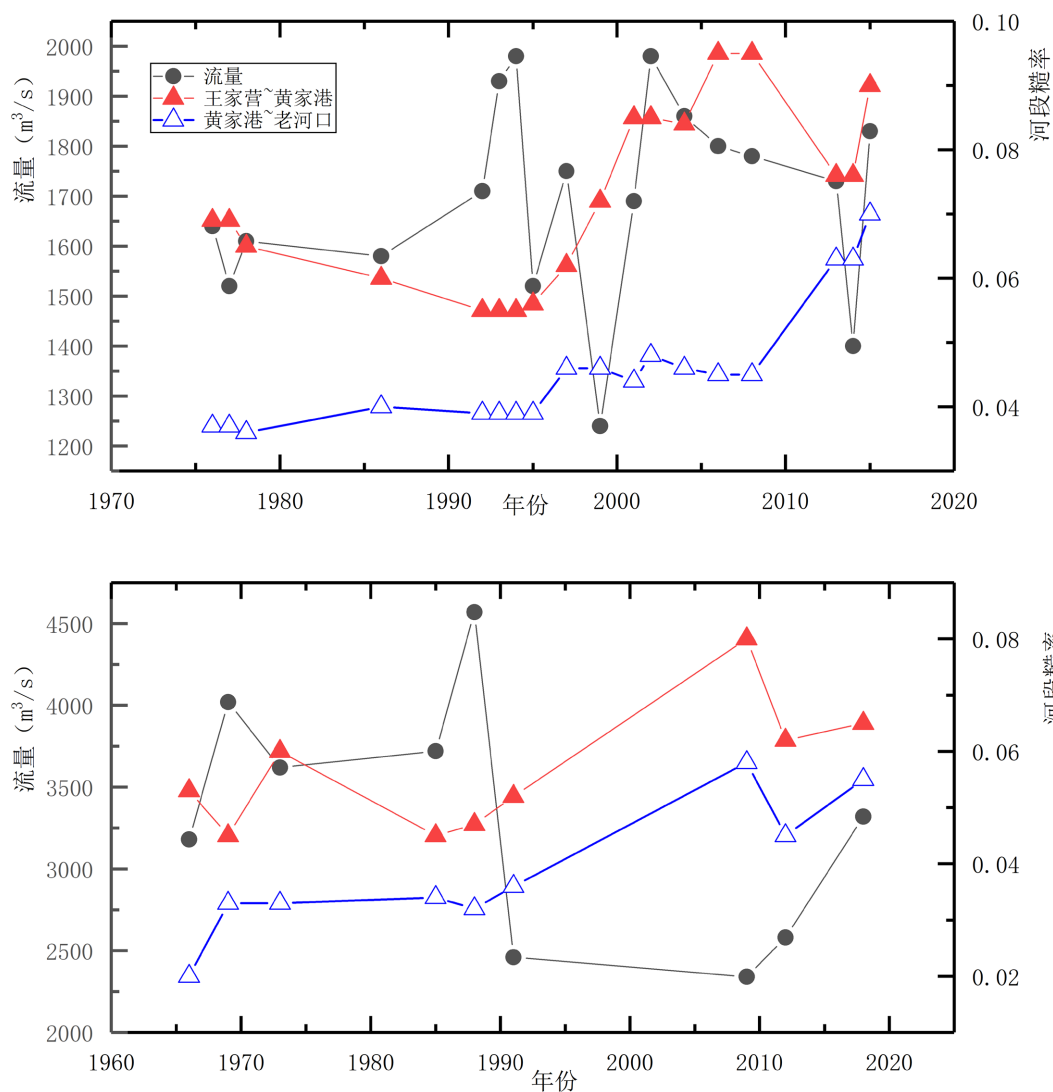


Figure 2. Roughness maps of 1000~2000 m<sup>3</sup>/s and 2000~5000 m<sup>3</sup>/s flow levels

图 2. 1000~2000 m<sup>3</sup>/s、2000~5000 m<sup>3</sup>/s 流量量级河段糙率图

## 2) 流量 2000~5000 m<sup>3</sup>/s 量级成果

2000~5000 m<sup>3</sup>/s 量级计算年份有 9 年, 占分析年份的 14.5%, 时间跨度从 1966~2018 年, 时间跨度上包含了丹江口水库建前、建后以及王甫洲水利枢纽建后几个时期, 计算成果见图 2。黄家港水文站水位变幅 88.0~89.0 m。

王家营~黄家港河段糙率整体呈现波动状态, 糙率在 0.045~0.08 之间, 但整体呈现增加的趋势。在丹江口建成后~王甫洲建设前, 河段糙率变幅不大, 糙率值在 0.045~0.06 之间变动, 但整体有所减小; 王甫洲建成至今, 河段糙率在 0.06~0.08 之间变动, 该水位下糙率逐步受到河岸植被等因素影响, 河段糙率尚未达到稳定。

黄家港~老河口河段糙率从 1966 年到 1969 年有一个显著的增大过程, 1969~1991 年基本趋于稳定, 2009~2018 年显著增大。1966 年到 1969 年为河道从天然转换为丹江口水库建成运行后过程, 河段糙率从 0.02 提高至 0.033, 主要是丹江口水库开始蓄水后河道粗化原因。1969 年~1991 年, 河道糙率基本稳定, 在 0.032~0.036 之间变动; 2009~2018 年河段糙率在 0.045~0.058 之间变动, 糙率较之前出现了明显增大, 但其值基本趋于稳定, 主要原因为丹江口水库加高等因素影响。

从时间上看, 河段糙率在王甫洲建成后河段糙率均出现了显著的抬升; 在丹江口水库加高后, 河段糙率又有显著的抬高。

从河段上看, 上游王家营~黄家港河段综合糙率均呈现大于黄家港~老河口河段的趋势。且上游河段糙率的变化幅度大于下游河段的变化幅度, 逐步出现上下游河段糙率变化趋势一致, 上下游河段的糙率随着时间变化呈现局部减小趋势。

## 3) 流量 5000~10,000 m<sup>3</sup>/s 量级成果

5000~10,000 m<sup>3</sup>/s 量级计算年份有 20 年, 占分析年份的 32.3%, 该数量级的年份占分析量级最多, 时间跨度从 1959~2019 年, 包含从丹江口水库建前、建后、王甫洲水利枢纽建成后几个时段, 黄家港水文站水位变幅 90~92 m, 成果见图 3。

王家营~黄家港段河道糙率基本呈现稳定逐步增大趋势, 在 2000 年以后基本趋于稳定。在王甫洲建成之前河段糙率基本在 0.035~0.047 之间变化, 糙率呈现稳定缓慢增大过程。河段糙率缓慢增加主要是河岸遭遇大水概率减小, 河岸植被变好, 增大了河段糙率。在王甫洲蓄水之后河段糙率出现了一个明显的增大, 然后基本稳定在 0.06 附近, 这个时间与王甫洲水利枢纽建成蓄水是吻合的, 说明糙率的明显增大主要受王甫洲水利枢纽影响。结合王甫洲建成后糙率变化, 河道糙率基本趋于稳定, 在 0.06 附近变动。

黄家港~老河口河段糙率在丹江口水库建成前呈现逐步减小趋势, 河段糙率从 0.039 逐步减小至 0.020, 随后基本趋于稳定, 河段糙率在 0.03 附近变化; 在王甫洲水利枢纽蓄水后河段糙率逐步增大, 从之前的 0.03 逐步上升至现状的 0.04。在丹江口水库建成前, 河段糙率呈现减小趋势, 期间河道受几场大洪水冲刷影响, 河道断面的冲刷变化对河道糙率产生了显著影响; 丹江口水库建成后至王甫洲水利枢纽建成前, 河道糙率整体呈现稳定状态, 稍有增大, 说明河段糙率开始受河岸植被影响; 王甫洲水利枢纽建成后河道糙率呈现逐年上升趋势, 此时该河段基本成为王甫洲水利枢纽库区河段, 因此河段的糙率呈现了逐步增大趋势。

从时间上看, 河段糙率在王甫洲建成后河段糙率均出现了显著的抬升。

从河段上看, 王家营~黄家港河段糙率整体呈现大于黄家港~老河口河段的糙率, 河段糙率呈现明显的分化趋势, 上下游河段糙率差异化增大。王家营~黄家港河段糙率的变化较黄家港~老河口河段糙率变化更为剧烈。

## 4) 流量 10,000~20,000 m<sup>3</sup>/s 量级成果

10,000~20,000 m<sup>3</sup>/s 量级计算年份有 9 年, 占分析年份的 14.5%, 时间跨度从 1961~2011 年, 黄家港水文站水位变幅 92~93.5 m, 河段糙率成果见图 3。

王家营~黄家港河段糙率呈现波动状态, 但整体呈现增大的趋势。河段糙率整体在 0.025~0.046 之间变化, 糙率明显变化主要在 1984 和 2005 年, 其中 1983 年和 2005 年均发生了超过 15,000 m<sup>3</sup>/s 流量洪水, 说明该段时

间河段糙率的降低主要受河床的冲刷及河岸植被冲洗影响。河段糙率整体呈现上升趋势，说明河段糙率在河道冲刷和河床粗化、河岸植被因素中，河床的粗化、河岸植被起到主导作用。河段糙率整体呈现增大趋势。

黄家港~老河口河段糙率在 1961~1965 年呈现减少趋势，河段糙率从 0.029 降低至 0.021，说明在丹江口水库建成时期，河段的糙率主要受河道的冲淤变化影响；丹江口水库建成后河段糙率呈现逐年上升趋势，河段糙率从 0.021 增加至 0.041，其中在王甫洲水利枢纽建成前，河段糙率增加幅度相对较小；王甫洲水利枢纽建成后，河段糙率呈现显著增大。

从时间上看，河段糙率在王甫洲建成后河段糙率均出现了显著的抬升；在丹江口水库加高后，河段糙率又有显著的抬高。

从河段上看，王家营~黄家港河段糙率整体呈现大于黄家港~老河口河段的糙率，两个河段糙率的变化趋势基本一致，上下游河段糙率差距逐步缩小。

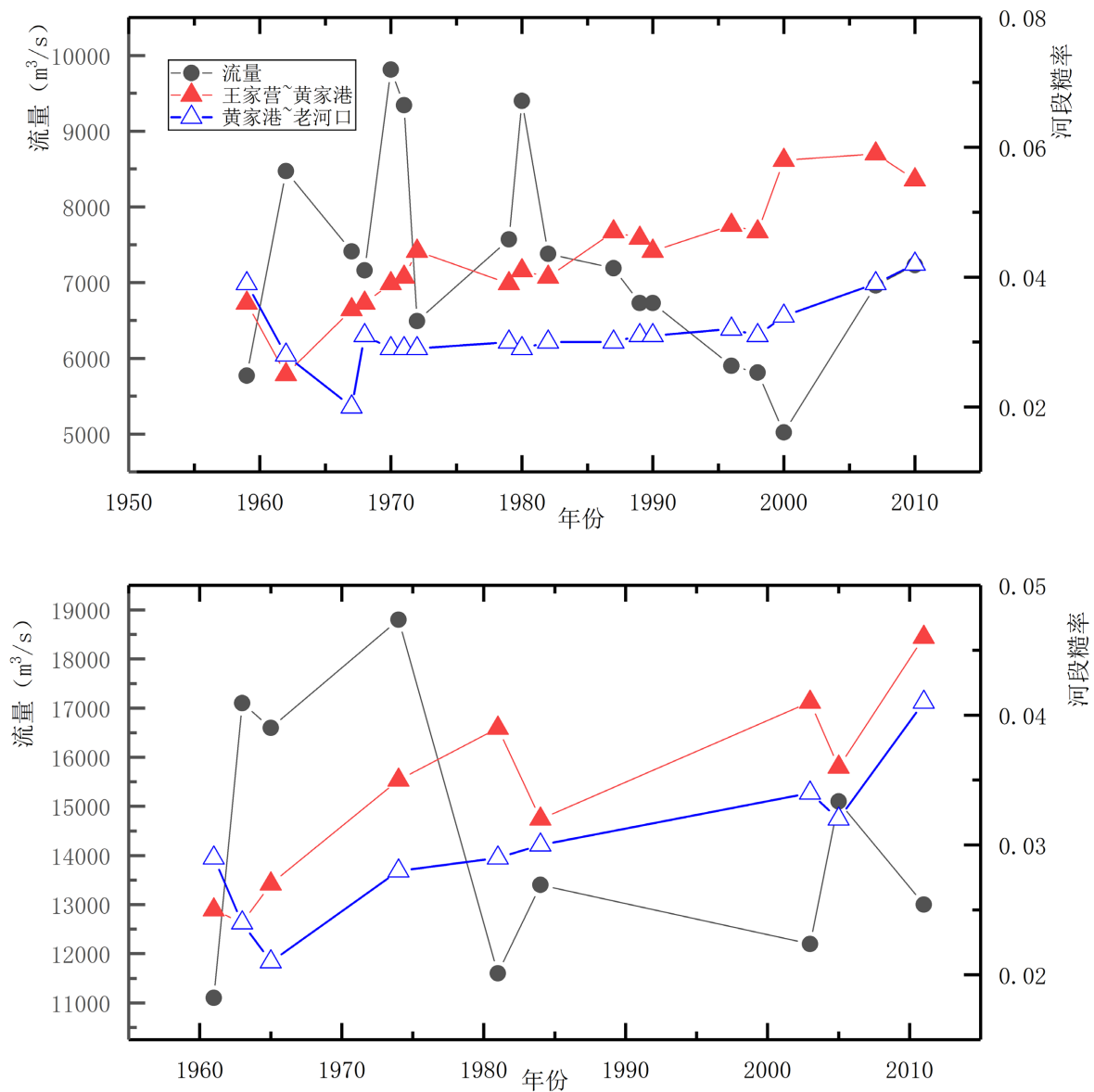


Figure 3. Roughness maps of reaches with discharge magnitudes of 5000~10,000 m<sup>3</sup>/s and 10,000~20,000 m<sup>3</sup>/s

图 3. 5000~10,000 m<sup>3</sup>/s、10,000~20,000 m<sup>3</sup>/s 流量量级河段糙率图

5) 流量 20,000 m<sup>3</sup>/s 以上量级成果

流量 20,000 m<sup>3</sup>/s 以上量级计算年份有 6 年, 占分析年份的 9.7%, 时间跨度从 1954~1983 年, 黄家港水文站水位变幅在 93.5~94.5 m, 成果见图 4。

王家营~黄家港河段糙率呈现波动状态, 糙率在 0.025~0.032 之间变化; 河段糙率在 1975 年之前稍有增大, 之后呈现稍微减少趋势。但河段糙率在该流量级整体趋于稳定, 变幅不大。

黄家港~老河口段糙率呈现逐步增大的过程, 其中在 1960~1964 年有个明显的增大过程, 随后基本稳定, 河道糙率变化范围 0.019~0.029。在丹江口水库建成后基本趋于稳定。

从时间上看, 河段糙率在丹江口水库建成后黄家港~老河口河段糙率有一定程度抬升, 王家营~黄家港河段糙率基本稳定变化较小。

从河段上看, 王家营~黄家港河段与黄家港~老河口河段河道糙率差别逐渐变小, 逐步趋于一致。

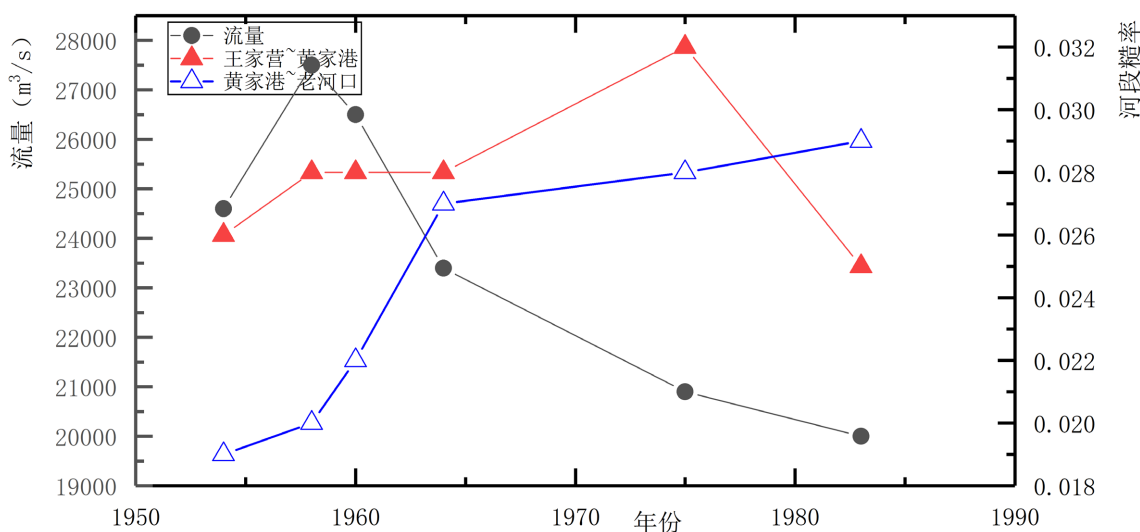


Figure 4. Roughness map of reaches with a flow rate above 20,000 m<sup>3</sup>/s  
图 4. 20,000 m<sup>3</sup>/s 流量以上量级河段糙率图

5. 结论

通过对王家营~黄家港、黄家港~老河口河段不同量级流量糙率变化分析, 可以得到以下几个结论。

- 1) 在 1000~2000 m<sup>3</sup>/s 流量级下, 王家营~黄家港河段糙率呈现先减小后增大趋势, 目前基本趋于稳定; 黄家港~老河口段糙率呈现不断增大趋势, 且在王甫洲水利枢纽建成后更为显著, 目前河段糙率仍处于增大阶段。
- 2) 在 2000~5000 m<sup>3</sup>/s 流量级下, 王家营~黄家港段河道糙率呈现波动状态, 但整体趋势增大, 目前尚未达到稳定状态; 黄家港~老河口段糙率呈现先增大, 然后稳定, 近期继续增大趋于稳定。
- 3) 在 5000~10,000 m<sup>3</sup>/s 流量级下, 王家营~黄家港河段糙率呈现先增大后趋于稳定趋势, 目前基本达到稳定状态; 黄家港~老河口河段呈现先减小后稳定增大, 目前尚处于增大趋势阶段。
- 4) 在 10,000~20,000 m<sup>3</sup>/s 流量级下, 王家营~黄家港河段、黄家港~老河口河段糙率均呈现波动增大趋势, 目前尚未达到稳定。
- 5) 在 20,000 m<sup>3</sup>/s 流量级以上, 王家营~黄家港河段糙率呈现稳中有所减小, 黄家港~老河口河段糙率呈现稳中有所增大趋势。河段糙率整体呈现稳定状态。
- 6) 从河段上看, 整体呈现王家营~黄家港河段糙率大于黄家港~老河口河段, 随着流量量级增大, 差别逐步减小。随着时间变化, 除了 5000~10,000 m<sup>3</sup>/s 量级外, 王家营~黄家港河段与黄家港~老河口河段糙率差距均随



着时间的推移不断减小。

7) 从河段水利工程建设时间看,在丹江口水库建成后、王甫洲水利枢纽建成后及丹江口水库加高后几个时间段内不同量级流量下糙率均出现了不同程度的抬升,且流量量级越小影响程度越显著。

## 基金项目

国家自然科学基金资助项目(U20A20317)。

## 参考文献

- [1] 张小琴,包为民,梁文清,黄琳煜.河道糙率问题研究进展[J].水力发电,2008,34(6):98-100.  
ZHANG Xiaoqin, BAO Weimin, LIANG Wenqing, and HUANG Linyu. Recent studies and progresses of the river roughness. *Water Power*, 2008, 34(6): 98-100. (in Chinese)
- [2] 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:2020,51(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, 51(7): 1-15. (in Chinese)
- [3] 张罗号.黄河河槽糙率异常原因及其解决途径[J].水利学报,2012,43(11):1261-1270.  
ZHANG Luohao. Reasons for the abnormal channel roughness of the Yellow River and the solution to its problems. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2012, 43(11): 1261-1270. (in Chinese)
- [4] 孙聪影,计炳生.洺河渡槽河渡槽“7·19”洪峰及河道糙率反演计算与分析[J].河北水利,2020(3):36-37.  
SUN Congying, JI Bingsheng. Inversion calculation and analysis of flood peak and channel roughness of “7·19” in Minghe Aqueduct. *Hebei Water Resources*, 2020(3): 36-37. (in Chinese)
- [5] 赵庆奎.河道糙率的影响因素分析[J].地下水,2011,33(1):176-177+181.  
ZHAO Qingkui. Analysis of influencing factors of river roughness. *Groundwater*, 2011, 33(1): 176-177+181. (in Chinese)
- [6] 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. 2015(19): 142. (in Chinese)
- [7] 李一鸣,管光华,陈琛,毛中豪.渠道糙率影响因素分析及预测模型研究[J].灌溉排水学报,2017,36(S2):155-161+189.  
LI Yiming, GUAN Guanghua, CHEN Chen, and MAO Zhonghao. Influence factors and forecasting model of canal roughness. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2017, 36(S2): 155-161+189. (in Chinese)
- [8] 鲁薇.植草河床的糙率系数试验研究[J].中国农村水利水电,2021(4):81-84+91.  
LU Wei. Experimental research on the roughness of grassed riverbed. *China Rural Water and Hydropower*, 2021(4): 81-84+91. (in Chinese)
- [9] 王万战,张世安, NITTROUER Jeffrey A. 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 NITTROUER Jeffrey A. A formula for channel roughness for the Yellow River estuary. *Yellow River*. 2018, 40(12): 4-8. (in Chinese)
- [10] 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)
- [11] 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 Xijiang River with main tributaries. *Journal of Sediment Research*, 2016(2): 20-25. (in Chinese)
- [12] 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)
- [13] 王现正,杨波,连雷雷.丹江口水库至王甫洲河段冲淤变化对水位影响[J].水资源研究,2020,9(5):493-502.  
WANG Xianzheng, YANG Bo, and LIAN Leilei. The variation of the water level due to river scour of Danjiang passage. *Journal of Water Resources Research*, 2020, 9(5): 493-502. (in Chinese)