

# 涉河工程对丹江口坝下河段水文特性的影响

林云发, 张洪霞, 高鹏程, 左建, 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  
Email: Hjlinyf@cjh.com.cn

收稿日期: 2021年4月28日; 录用日期: 2021年6月17日; 发布日期: 2021年6月30日

## 摘要

工程的修建对河段水文特性影响较大, 黄家港水文站作为丹江口水库出流控制站, 其观测项目齐全、资料系列冗长。本文根据黄家港水文站及上下游相关站点的水文系列资料, 就丹江口建库前后、王甫洲电站蓄水后、环库公路桥建成后及近期中线调水后等各种客观影响因素, 对比分析了上述工程修建前后对本河段水文要素的影响, 总结了本河段河床冲刷下切及水流特性等变化情况, 同时确定出不同时期、不同影响因素下本站水位流量综合关系线, 较好地代表了本河段水文特性变化情况。

## 关键词

丹江口水库, 坝下, 水文特性

# Influence of the River-Wading Project on the Hydrological Characteristics in the Downstream of Danjiangkou Dam

Yunfa Lin, Hongxia Zhang, Pengcheng Gao, Jian Zuo, Ying Chen

Han River Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Bureau of Hydrology of Changjiang Water Resources Commission, Xiangyang Hubei  
Email: Hjlinyf@cjh.com.cn

Received: Apr. 28<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jun. 17<sup>th</sup>, 2021; published: Jun. 30<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

**The construction of the river-wading project has a great influence on the hydrological characteristics of the river reach. Huangjiagang station is the outlet control station of Danjiangkou reservoir and has**

作者简介: 林云发(1972-), 男, 吉林柳河人, 教授级高级工程师, 主要从事水文水资源研究工作。

long-term observed series. According to the hydrological data of this station and the upstream and downstream related stations, the changes of riverbed erosion and flow characteristics are summarized, and the comprehensive rating curves under different periods and factors are determined, this curve represented well the changes of hydrological characteristics of the reach.

## Keywords

Danjiangkou Reservoir, Downstream of the Dam, Hydrological Characteristics

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

水库蓄水后, 将改变河流原有的水文水力特性, 进而改变河流原有的水量平衡和能量平衡。黄家港水文站位于丹江口水库坝下游 6.8 km 处, 是丹江口水库的重要出库控制站, 也是汉江干流丹江口河段的中央报汛站。近年来, 随着所在河段上下游涉河工程的修建, 黄家港水文站水文特性再次发生改变, 河段基本情况如图 1 所示, 由图可见, 主要工程和水文站点分别为: 丹江口水库、丹江口大坝下游约 0.75 km 的王家营水位站、下游约 1.1 km 的水都大桥、下游约 3.1 km 的步行桥、下游约 6.1 km 的均州大桥、下游 6.2 km 的黄家港水文站和下游 7.1 km 的环库公路桥。坝下游 29.9 km 处的王甫洲电站虽然不在本河段内, 但受其回水影响, 本河段水位流量关系也随之发生改变[1]。

本文根据黄家港水文站实测资料, 分析涉河工程的修建对丹江口坝下河段水文特性的影响。

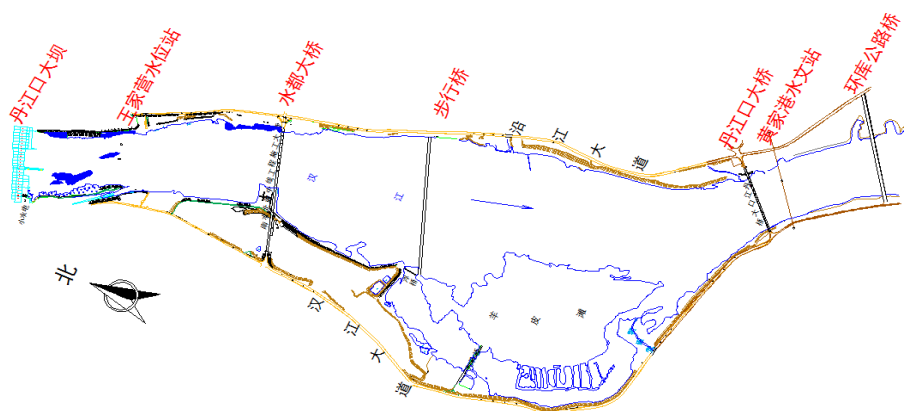


Figure 1. Sketch map of the downstream river reach of Danjiangkou dam

图 1. 丹江口坝下游河段基本情况示意图

## 2. 黄家港水文站综合水位流量关系

依据黄家港站历史资料, 区分丹江口建库前后、王甫洲蓄水运用后、环库公路桥建成及近期中线调水后等不同时期各种因素影响情况, 并据上游王家营、下游老河口站实测水文资料进行分析, 从而确定出本站不同时期综合水位流量关系, 如图 2 所示[2]。

其中, “天然河道”线——即丹江口水库建库前综合线, 采用 1958 年资料做典型年分析之; “建库后”线——即丹江口水库蓄水运用后截止于 2000 年王甫洲电站蓄水前综合线, 主要依据 1975、1983 两年资料分析之; “王甫洲蓄水后”线——即下游王甫洲电站 2000 年蓄水运用后综合线, 主要依据 2003、2005 和 2011 年三年资

料分析；“近期(环库公路桥建后)”线——即环库公路桥建设期及 2107 年建成后，据黄家港实测成果分析，较大洪水时壅水明显发生，本次依据 2017、2019 两年资料将综合线进行了修订。

以下就不同时期所确定的综合线情况进行分析说明。

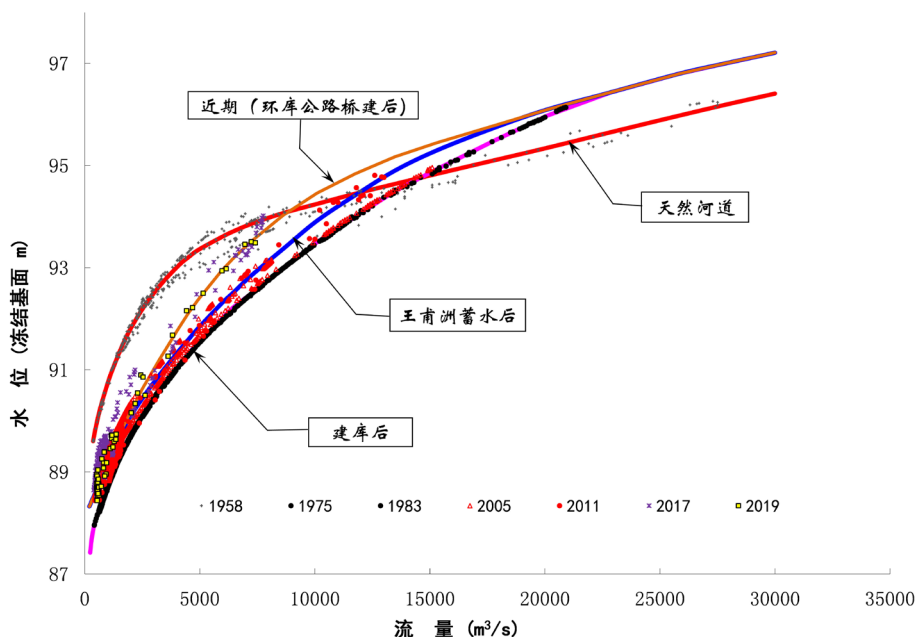


Figure 2. Relationship between integrated water level and flow discharge relationship at Huangjiagang Station [3] [4]

图 2. 黄家港站不同时期综合水位流量关系[3] [4]

图 2 显示黄家港站在经历滞洪期河床冲刷下切过程中，Z~Q 关系以趋向单一线发展；至 70 年代蓄水初期，Z~Q 关系线已为一条稳定的单一线，至 2000 年王甫洲电站蓄水前，关系曲线多年未变。

## 2.1. 建库前天然河道时水流特性

丹江口水库建库前，本河段属天然河道，黄家港水文站单一受汉江上游来水影响。

现选用建库前 1958 年资料作为典型年，分析本站 Z~Q 关系。本年实测最高水位为 96.05 m，相应流量为 27,500  $\text{m}^3/\text{s}$ ，最低水位为 88.53 m，相应流量为 124  $\text{m}^3/\text{s}$ 。全年发生大于 10,000  $\text{m}^3/\text{s}$  流量洪水过程有 4 次，其中，7 月 3 日~7 月 11 日为最大一次洪水过程。

图 3 为汛前、汛后低枯水及最大洪水过程相应 Z~Q 关系。图中看出，大水洪水过程的 Z~Q 关系受涨落水影响，呈逆时针绳套线型，其同水位(93 m 以上)涨水面流量较落水大 2000  $\text{m}^3/\text{s}$  左右，同流量级下涨水面水位较落水低 0.5 m 左右；低枯水 Z~Q、Z~A 关系点群较为集中。

当年洪水过程中断面发生的冲淤变化，可在汛后至次年汛前得以调整、恢复。需要说明的是，与图 3 列出的 1960 年线比较就可以看出，1958 年线同水位下流量偏大，这与当年无堤防状态下的漫滩及下游水情有关，以此代表建库前天然河道水文特性，有可能高水时流量偏大[5]。

## 2.2. 建库后各时期特性分析

### 2.2.1. 丹江口水库蓄水运用后

丹江口水库蓄水运用至今，改变了下游来水来沙过程，使得黄家港站测验河段的河床持续发生冲刷变化。黄家港站测验断面历年冲淤变化分析如表 1 及图 4、图 5 所示。

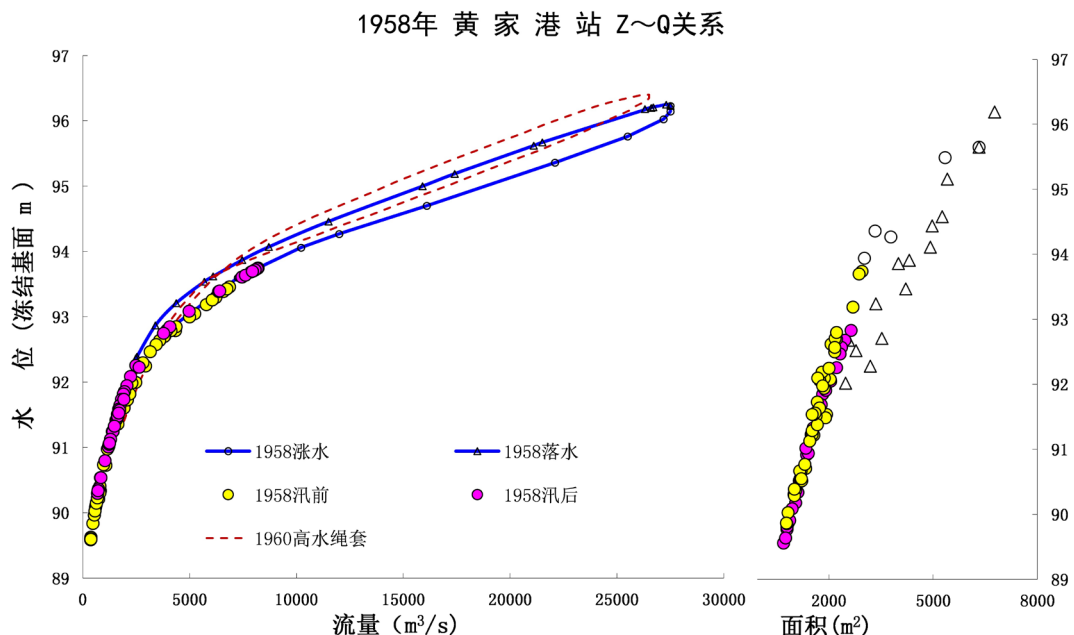


Figure 3. Relationship Z~Q at Huangjiagang Station in 1958 [6]

图 3. 1958 年黄家港站 Z~Q 关系[6]

由表 1 可知：随着清水下泄历时增加，断面面积逐步增大，河床平均高程也逐步减小，河床发生冲刷冲深，其中八十年代之前，冲刷下切较明显，八十年代之后，冲刷逐渐减弱。

Table 1. Annual cross-section changes of Huangjiagang Station

表 1. 黄家港站历年断面变化统计表

年份	断面面积(m <sup>2</sup> )		平均河底高程(m)	
	水位 93.50 m 下	相对增大值	水位 93.50 m 下	冲刷深度
1960	3234		87.74	
1968	4735	46.4%	85.06	-2.68
1970	5194	60.6%	84.33	-3.41
1975	5338	65.1%	84.07	-3.67
1979	5295	63.7%	84.15	-3.59
1980	5465	69.0%	83.84	-3.90
1981	5505	70.2%	83.88	-3.86
1983	5430	67.9%	83.97	-3.77
2005	5554	71.7%	83.64	-4.10
2010	5490	69.8%	83.79	-3.95
2011	5739	77.5%	82.92	-4.82
2012	5646	74.6%	83.02	-4.72
2014	5793	79.1%	83.84	-3.90
2017	5410	67.3%	83.22	-4.52
2018	5450	68.5%	82.42	-5.32

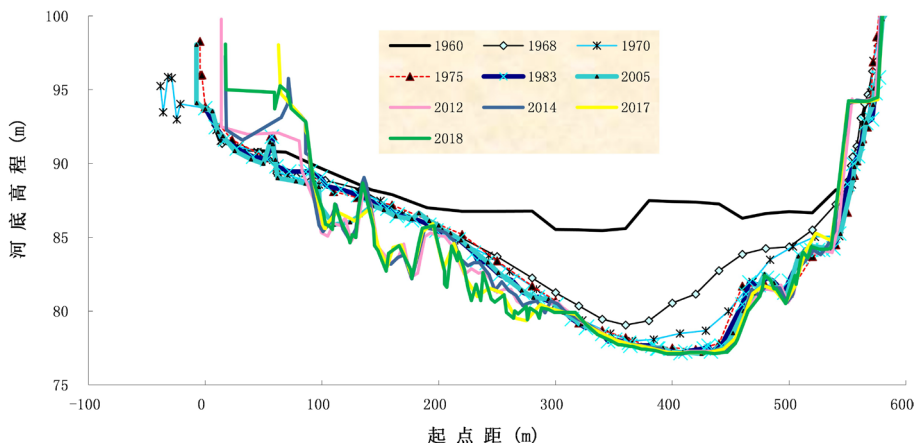


Figure 4. Annual cross-section changes of Huangjiagang Station  
图 4. 黄家港站历年断面冲淤变化图

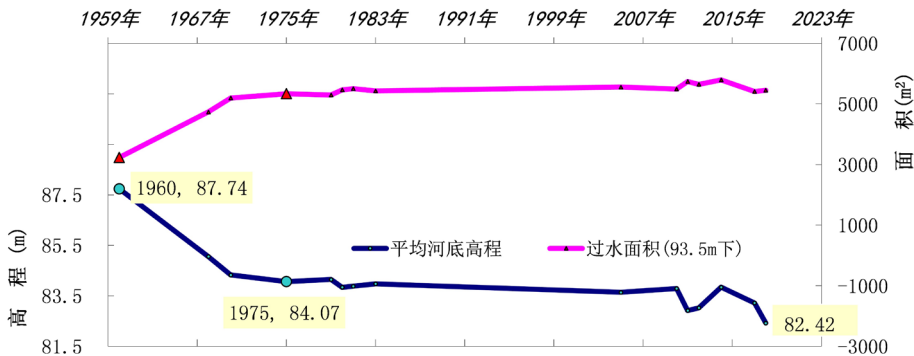


Figure 5. Variation of average river bottom elevation at Huangjiagang Station  
图 5. 黄家港站平均河底高程变化图

由图 4 和图 5 可知，丹江口水库滞洪期，黄家港断面受到剧烈冲刷，以 93.50 m 水位计，其平均冲深为 2.68 m、过水面积增大 46.4%；在蓄水运用初期(至 1970 年)冲刷有强变弱；1975 年后，随着河床表层细沙被水流带走，河床抗冲层已基本形成，大水年也仅发生微冲微淤变化。如 1983 年，水库下泄流量达 20,000 m<sup>3</sup>/s，测验断面也未发生明显冲淤变化。2005 年后，因采砂石、修路等人类活动影响，断面局部发生冲淤变化。

### 2.2.2. 王甫洲电站蓄水运用后

王甫洲电站蓄水运用后，本站受回水顶托影响，顶托幅度随枢纽坝前水位变化而变化。当丹江口水库出流小于 5000 m<sup>3</sup>/s、王甫洲坝前水位在一定时期维持基本不变时，黄家港站 Z~Q 关系线为临时曲线型，且在原单一线左侧，并与原关系线趋势一致。王甫洲坝前水位抬高或降低运用，其 Z~Q 关系线随之向左或向右摆动。

丹江口水库建库后、王甫洲电站运用后相应黄家港站的 Z~Q 关系线，在水位 94.90 m 附近均与建库前 1958 年关系线发生交叉情况。通过对黄家港测验河段上下游河道地形进行分析，上游 2 km 有羊皮滩、下游 1.2 km 左岸向下有 5 km 长的边滩，当黄家港水位在 94.80~95.00 m 时，水流漫滩。由图 4 左侧可看出，丹江口建库后，坝下游历年在布设并调整堤防，堤防束水抬高水位，加之丹江口水库拦蓄作用，中低滩地过水几率减小，滩上的自然植物茂盛、人类活动也较为频繁(如种植林木、高秆作物等)，滩地的糙率将自然增大，相应过水能力随之减小。鉴于上述两因素，当黄家港站水位达 94.80 m 以上时，较之建库前，同流量级水位有所抬升。

上述黄家港河段这些水位变化情况如表 2 所示，反映在不同时间段同流量级水位关系的变化情况。由于王甫洲电站蓄水后改变了本河段天然水流属性，故 2000 年之后未再统计分析。

**Table 2.** Water level variation of the same discharge level at Huangjiagang Station**表 2.** 黄家港站同流量级水位变化值统计表

时段	流量级(m <sup>3</sup> /s)						备注
	500	2000	5000	7000	15000	20000	
1958~1967	-1.25	-1.92	-1.65	-1.25	-0.12	0.20	建库前后
1968~1983	-0.06	0.04	0.00	0.03	-0.04	0.00	蓄水期
1984~1999	-0.64	-0.21	-0.22	-0.15	0.19	0.42	蓄水至王甫洲运用前

说明：表内数据为水位变化值，负值为下降 m 数，正值为抬升 m 数。

从表 2 可以看出，丹江口水库建库后，黄家港同流量级水位整体呈下降趋势，以中低水变化最为明显，高水时变化不大，流量为 20,000 m<sup>3</sup>/s 时略有上升；而在蓄水期的时候，黄家港同流量级水位几乎无明显变化；丹江口水库蓄水运行后至王甫洲电站运行之前，中低水(Q = 500~7000 m<sup>3</sup>/s)时，同流量级水位仍呈下降趋势，变化量明显小于滞洪期，高水时水位呈抬升趋势，20,000 m<sup>3</sup>/s 时抬升了 0.42 m。

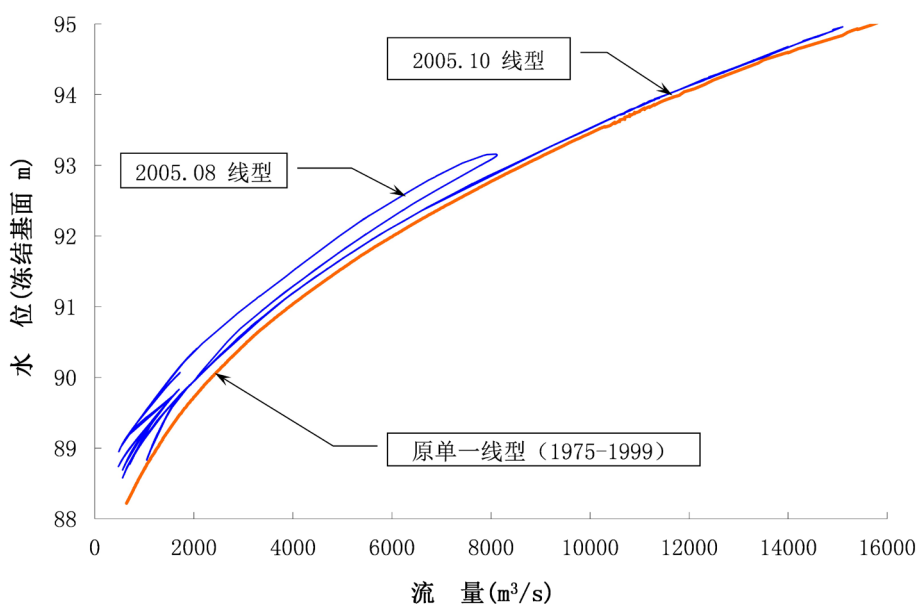
### 2.2.3. 环库路桥修建后

由图 4 可以看出，环库公路桥通车后的水位流量关系曲线抬升，小于 15,000 m<sup>3</sup>/s 的同流量级水位呈抬高趋势，位于王甫洲运用后关系线左侧。

受下游王甫洲电站及环库路桥顶托影响时，黄家港站水位流量关系，见图 6 及图 7 所示。

从图 6 可以看出，丹江口水库若多次开闸泄洪，且第一次开闸泄洪流量达 800 m<sup>3</sup>/s 以上时，其开关闸过程的 Z~Q 关系为顺时针绳套线型，落水流量接近原单一线，即二次及以后泄洪过程，其 Z~Q 关系趋向单一，且紧邻原单一线，分析 2005、2010、2011 年丹江口开闸泄洪过程均如此。

以上现象符合本站水流特性，分析原因主要是在第一次开闸泄洪过程中，黄家港测验河段上下游相关滩地杂草、高秆作物及河道中水生植物等均有被冲刷情况，河槽糙率将随之相应减小，从而增大了本河段的过水能力，涨水时同水位的流量低于落水时的流量，形成了顺时针绳套的关系线，且由于二次泄洪后的水位流量关系趋向单一线。



**Figure 6.** Relationship Z~Q at Huangjiagang Station after operation of Wangfuzhou Power Station [7]

**图 6.** 王甫洲电站运用后黄家港站 Z~Q 关系[7]

见图 7，通过对黄家港站 2005 年及 2017 年的水位流量关系进行分析，可以看出，丹江口水库较大洪水下泄时，2017 年关系线较 2005 年的线偏左、偏上，说明环库公路桥修建后对黄家港站顶托较大，在做综合定线时需要考虑，近期关系线已经充分考虑了此影响因素。

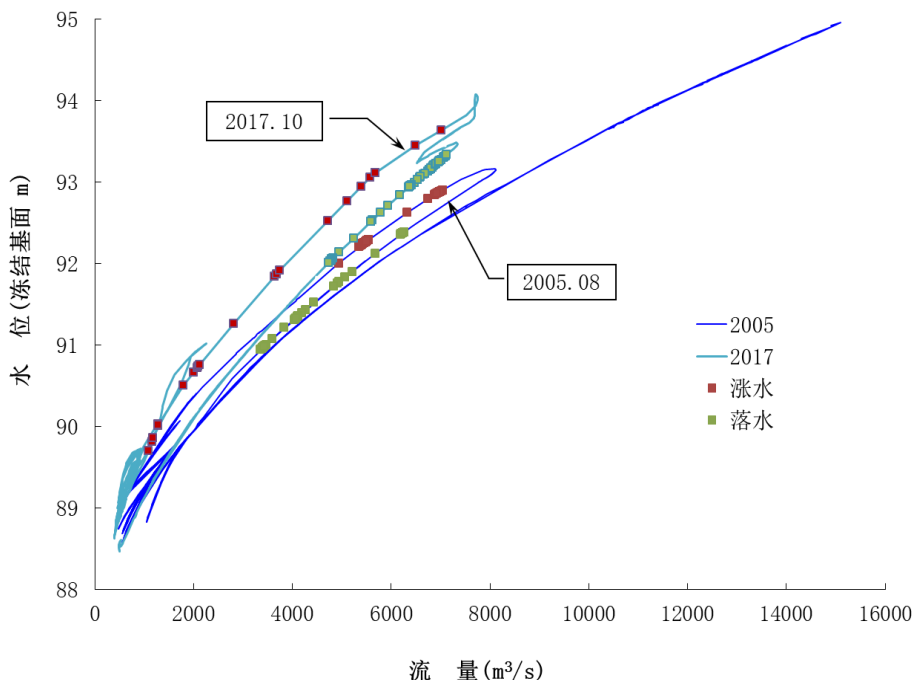


Figure 7. Relationship between the Water Year Z~Q Huangjiagang Station [8]

图 7. 黄家港站大水年时期 Z~Q 关系[8]

#### 2.2.4. 近期低枯水流量下泄时水位流量确定

综上所述，在确定黄家港近期低枯水的综合水位流量关系时，分析了 2008~2019 年共计 12 年的枯水资料。当下泄流量在  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  以下时，环库公路桥顶托影响因素较小。因此，修订后的近期综合关系线，在此流量以下与“王甫洲蓄水后”线一致。

另外，根据王甫洲电站库水位调度资料分析，在丹江口下泄流量  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  以下时，王甫洲电站库水位均在  $86.23 \text{ m}$  (黄海)左右，上下调幅最大也在  $0.2 \text{ m}$  左右，未曾发生  $85.48 \text{ m}$  死水位情况。鉴于此，本文分析确定黄家港水位流量关系时，王甫洲顶托水位只考虑正常蓄水位一种情况。

### 3. 结论

本文分析了近年来丹江口坝下河段受工程影响下水文特性，得出如下结论：

- 1) 丹江口水库对坝下河段影响较大，河床发生冲刷下切，流量在  $15,000 \text{ m}^3/\text{s}$  以下，同流量下水位有所下降。
- 2) 近年来，涉河工程的修建对丹江口坝下河段影响较大，其中王甫洲电站和环库公路的修建对黄家港水文站产生顶托作用，与工程修建前相比，水位流量关系线偏左偏上。
- 3) 王甫洲电站蓄水运用后，当黄家港站水位达  $94.80 \text{ m}$  以上时，与建库前相比，同流量级别的水位有所抬升[9][10]。

### 基金项目

国家自然科学基金资助项目(U20A20317)。

## 参考文献

- [1] 李平, 苏晓, 李凯, 杨鑫. 黄家港站受王甫洲回水顶托影响分析[J]. 长江工程职业技术学院学报, 2014, 31(4): 7-9.  
LI Ping, SU Xiao, LI Kai and YANG Xin. Analysis of influence of Wangpuzhou backwater on Huangjiagang station. Journal of Changjiang Institute of Technology, 2014, 31(4): 7-9. (in Chinese)
- [2] 张洪霞, 吴学文, 林云发. 王甫洲水利枢纽蓄水对黄家港水位流量关系的影响分析[J]. 江西水利科技, 2002, 28(4): 225-229.  
ZHANG Hongxia, WU Xuewen and LIN Yunfa. Influence of the water level-flow relationship of the Huangjiagang Hydrology Station after the Wangpuzhou hydraulic project impounded. Jiangxi Hydraulic Science and Technology, 2002, 28(4): 225-229. (in Chinese)
- [3] 武汉水利电力大学. 河流水文学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.  
Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering. River Hydrology. Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1993. (in Chinese)
- [4] 卢金友. 水利枢纽下游河道水位-流量关系的变化[J]. 水利水运科学研究, 1994(S1): 109-117.  
LU Jinyou. Variation of stage-discharge relationship of hydro-junction. Journal of Nanjing Hydraulic Research Institute, 1994(S1): 109-117. (in Chinese)
- [5] 连雷雷, 赵学军, 甄治军. 落差指数法在水位流量关系推求中的应用[J]. 人民长江, 2013, 44(23): 70-72.  
LIAN Leilei, ZHAO Xuejun and ZHEN Zhijun. Application and analysis of fall index method in determination of water level-discharge relation. Yangtze River, 2013, 44(23): 70-72. (in Chinese)
- [6] 中华人民共和国水利部. SL/T 247-2020 水文资料整编规范[S]. 北京: 中国水利水电出版发行社, 2021.  
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. SL/T 247-2020 Code for hydrologic data processing. Beijing: China Water & Power Press, 2021. (in Chinese)
- [7] 中华人民共和国水利部. SL 195-2015 水文巡测规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2016.  
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. SL 195-2015 Specification for hydrological tour gauging. Beijing: China Water & Power Press, 2016. (in Chinese)
- [8] 中华人民共和国水利部. GB/T 50138-2010 水位观测规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.  
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. GB/T 50138-2010 Standard stage observation. Beijing: China Planning Press, 2010. (in Chinese)
- [9] 于国荣, 夏自强, 蔡玉鹏, 等. 河道大型水库水力过渡区及其生态影响研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2006, 34(6): 618-621.  
YU Guorong, XIA Ziqiang, CAI Yupeng, *et al.* Hydraulic transitional region and ecological effects of river type large-scale reservoirs. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2006, 34(6): 618-621. (in Chinese)
- [10] 李帆, 夏自强, 王跃奎. 葛洲坝水利枢纽工程对宜昌河段水文水力特性的影响[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2010, 38(1): 36-40.  
LI Fan, XIA Ziqiang and WANG Yuekui. Influence of Gezhouba project on hydrological and hydraulic characteristics of Yichang river reach. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2010, 38(1): 36-40. (in Chinese)