

Analysis of Flood Fluctuation Rate and Loop-Type Relationship between Water Level and Discharge

Zhangnei Dong, Jin Wang, Xirun Chen

Upper Changjiang River Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, Changjiang Water Resources Commission, Chongqing
Email: 904083590@qq.com

Received: Mar. 20th, 2020; accepted: Apr. 21st, 2020; published: May 18th, 2020

Abstract

Based on the observed flood data from 2014 to 2017 at the Shigu hydrological station, the water level discharge relationship under different flood fluctuation rates of several typical flood processes is analyzed. The middle and high water level is supported by the water level of the lower bend, the relationship between the water level and flow rate becomes counterclockwise loop curve. The larger the fluctuation rate is, the greater the flow rate and the wider the amplitude are in the cross section by comparison with the stable water level. On the contrary, the thinner the loop curve, the narrower the amplitude is; at a certain water level, the flood fluctuation is relatively slow and the loop curve will disappear gradually.

Keywords

Fluctuation Rate, Water Level and Discharge Relationship, Loop Curve, Shigu Hydrological Station

洪水涨落率与绳套型水位流量关系分析

董章内, 王进, 陈细润

长江水利委员会水文局长江上游水文水资源勘测局, 重庆
Email: 904083590@qq.com

收稿日期: 2020年3月20日; 录用日期: 2020年4月21日; 发布日期: 2020年5月18日

摘要

选取石鼓水文站2014年~2017年收集的水文资料进行整理, 对多次典型洪水过程不同涨落率条件下的水位流量
作者简介: 董章内(1991-), 男, 云南宣威人, 大学本科学历, 助理工程师, 从事水文勘测、水文水资源分析、河道勘测等工作。

关系对比分析可知,石鼓水文站中高水时受下游弯道顶托水位流量关系呈逆时针绳套,且涨落率越大,断面上的流量与同水位稳定的流量相比越大,水位涨落急剧时,洪峰绳套线型越矮胖,幅度越宽,反之,绳套越尖瘦,幅度越狭窄;在一定水位级下,洪水涨落比较缓慢时将不出现绳套。

关键词

涨落率,水位流量关系,绳套曲线,石鼓水文站

Copyright © 2020 by author(s) and Wuhan University.

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

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



Open Access

1. 概述

水文站是水文预报预警的尖兵耳目,承担着水位、流量、泥沙、降水等数据的收集与报送,也是服务经济社会发展和生态文明建设的重要基础性工作。要让预报的数据更加精准,掌握整个涨退水过程水位流量关系(Z-Q关系)显得尤为重要。对测站水流特性进一步合理分析,可更好地布控测量时机、提升测报精度及水文监测能力。

河道水位流量关系类型可分为稳定型和非稳定型[1]。稳定型水位-流量关系为一条单一曲线,而非稳定型的水位流量关系由于受到河床冲淤、洪水涨落、变动回水、结冰等多种因素的综合影响,常表现为更为复杂的绳套型曲线形态,其可进一步分为顺时针绳套曲线和逆时针绳套曲线[2]。研究表明:定床状态下,一次洪水受附加比降影响形成的Z-Q关系曲线通常呈逆时针绳套型[3]。

2. 测站及控制断面基本特征

石鼓水文站设立于1939年,是国家基本水文站,也是中央报讯站,位于玉龙县石鼓镇大同村金沙江干流上,隶属长江委水文局,流域集水面积214,184 km²,主要水文测报测验项目有水位、水温、流量、含沙量、降水、蒸发、地下水等。测验河段位于两弯道之间顺直段内,断面近似矩形,左岸为岩石较陡,右岸为沙质,河床稳定。断面下游300 m处河道靠左中间有一大石坝,起低水控制作用。下游约200 m左岸有一毛石护堤向河心延伸至碛石坝,断面水位超过1823 m时,护堤和碛石坝被淹没,控制作用逐渐被下游的弯道代替,下游2 km弯道处有冲江河从右岸汇入,2000年初,汇口下弯道处修建一长约200 m的码头护堤,中高水有一定顶托。洪水涨落率较大时,中高水将出现绳套曲线水位流量关系。

3. Z-Q关系曲线特性分析

本次选取石鼓站2014年、2016年、2017年三次洪水过程,通过实测水位流量数据计算涨落率,并勾画高水Z-Q绳套关系线叠图对比,进一步分析石鼓站在洪水涨落率变化情况下的Z-Q特殊关系。

3.1. 实测数据分析

由表1看得出,洪水在涨水过程涨落率为正,退水为负值,因洪水波传播所引起涨落率的不同,使断面上的流量与同水位稳定的流量相比产生有规律的增大或减小。

石鼓站2014年、2016年、2017年水位流量关系如图1所示,一般洪水石鼓站水位级在1821.50 m以下为单一水位流量关系,在此水位级以上受下游弯道顶托影响,会出现绳套。2014年08月11日~31日出现洪水涨退过程,水位在1822.30~1823.82 m为绳套,平均涨水率为0.010 m/h,平均退水率-0.019 m/h,涨落率约为0.014

m/h; 2016年07月10日起涨水, 水位在1821.50~1823.58 m为绳套, 平均涨水率为0.031 m/h, 平均退水率为-0.033 m/h, 涨落率约为0.032 m/h, 结合图1可知, 出现绳套时涨水率越大, 断面上的流量与同水位稳定的流量相比越大, 退水率越大, 则断面上的流量与同水位稳定的流量相比越小, 反映在水位流量关系上, 便形成了有规律的逆时针的绳套曲线。另一方面也反映了绳套幅度的大小, 与洪峰的涨落率大小有关, 从2014年、2016年Z-Q关系看得出, 水位涨落急剧时, 洪峰绳套线型越矮胖, 幅度越宽, 反之, 绳套越尖瘦, 幅度越狭窄。根据2016年与2017年Z-Q关系, 2016年水位在1821.50 m便开始出现绳套曲线, 而2017年水位在1822.50 m以上才出现绳套曲线, 说明一般的洪水过程, 洪峰高且涨落率较小时, 流量偏移在允许误差范围内, 为了方便整编推流Z-Q关系可以单值化处理后拟合为单一线。

Table 1. The measured data of several typical floods from 2014 to 2017

表 1. 2014年~2017年多次典型洪水实测数据

日期	测次	水位(m)	流量(m ³ /s)	涨落率(m/h)	日期	测次	水位(m)	流量(m ³ /s)	涨落率(m/h)
2014.08.11	14	1821.76	3240	0.013	2014.08.20	21	1823.35	4460	-0.022
08.12	15	1822.30	3800	0.015	08.20	22	1823.09	4260	-0.035
08.13	16	1822.82	4280	0.025	08.21	23	1822.59	3890	-0.023
08.14	17	1823.31	4690	0.005	08.22	24	1822.26	3690	-0.021
08.16	18	1823.45	4760	0.001	08.24	25	1823.01	4410	0.010
08.18	19	1823.74	4790	0.010	08.26	26	1822.87	4160	-0.011
08.19	20	1823.82	4820	0.004	08.31	27	1822.46	3750	-0.003
2016.07.08	5	1821.87	3320	0.019	2016.07.19	11	1823.34	4300	-0.038
07.10	6	1822.38	3850	0.017	07.23	12	1822.82	4070	-0.051
07.11	7	1822.61	4040	0.021	07.27	13	1822.24	3520	-0.022
07.15	8	1822.76	4390	0.073	07.28	14	1821.70	3110	-0.027
07.15	9	1823.30	4630	0.035	07.29	15	1820.92	2310	-0.018
07.16	10	1823.58	4700	0.021					
2017.07.08	16	1822.80	4250	0.051	2017.07.10	22	1825.00	5680	-0.010
07.08	17	1823.03	4380	0.028	07.11	23	1824.59	5140	-0.043
07.09	18	1823.38	4800	0.041	07.11	24	1824.20	4970	-0.032
07.10	19	1823.98	5210	0.091	07.12	25	1823.78	4730	-0.038
07.10	20	1824.41	5640	0.067	07.12	26	1823.35	4520	-0.024
07.10	21	1824.83	5720	0.064	07.13	27	1822.96	4160	-0.011

根据洪水实测资料, 作各年Z-Q关系绳曲线, 如图2, 因2018年11.3白格堰塞湖溃坝洪水属于特殊洪水千年一遇, 来势凶猛涨幅大历时短, 漂浮物多, 根据堰塞湖溃坝下的水位流量关系线可看出, 非天然河道自然洪水不适用本站的多年Z-Q单一线; 但受下游弯道顶托, 依然出现绳套曲线, 涨水面在1818.50 m就出现了绳套走势, 退水面在1819.50 m附近才回归单一线, 绳套曲线幅度较宽, 洪峰却比较尖瘦, 因此今后类似的特殊洪水应施测涨退水过程, 随时修正Z-Q关系, 确保报讯流量的准确度。

3.2. 极值出现时间

洪水涨落影响时各水力因素极值的出现顺序依次为最大比降(涨率)、最大流速、最大流量、最高水位。现以

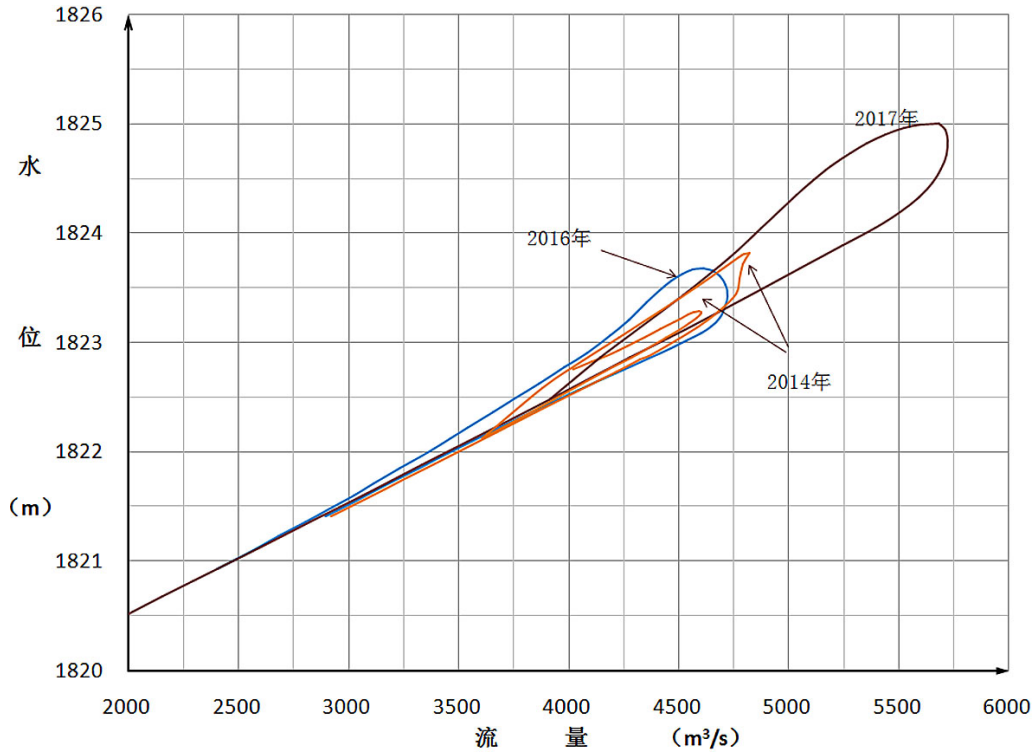


Figure 1. Relationship of water level and discharge loop curve of three flood peaks in 2014, 2016 and 2017 at Shigu station

图 1. 石鼓站 2014 年、2016 年、2017 年三次洪峰水位流量关系绳套曲线

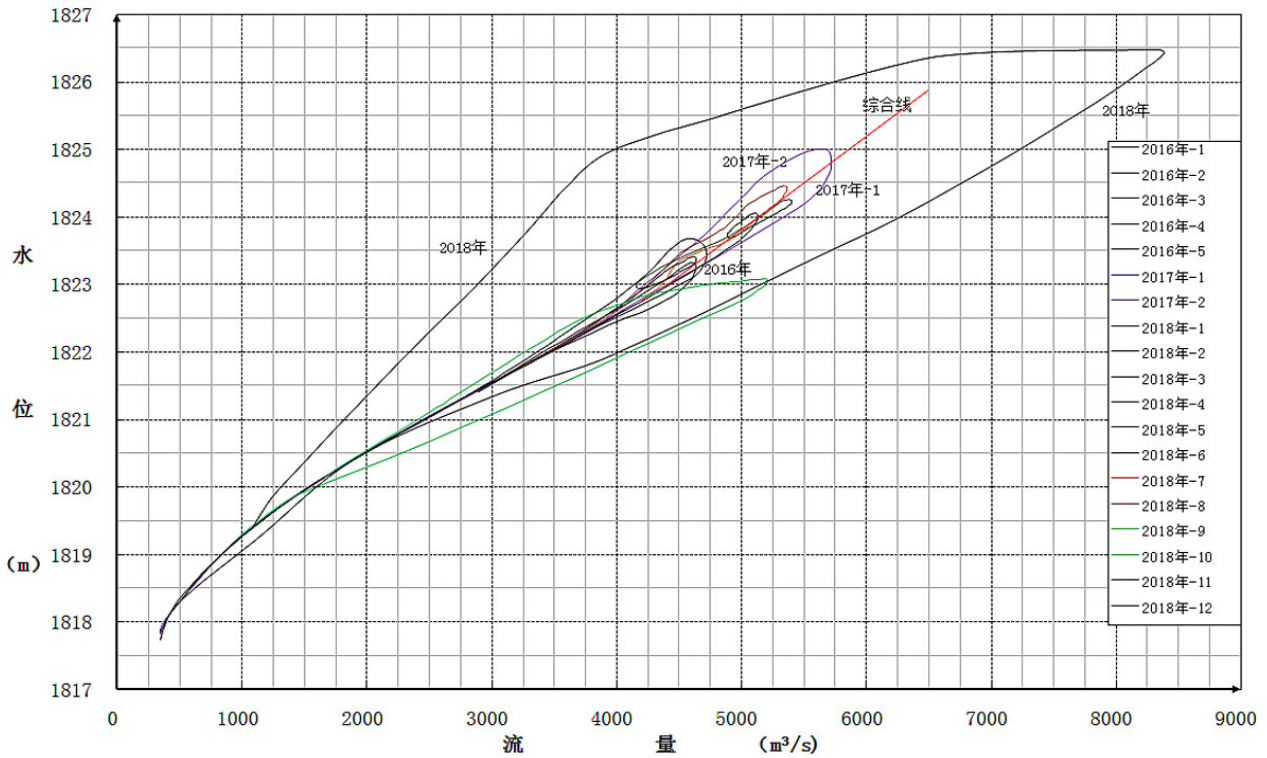


Figure 2. Relationship of water level flow and discharge loop curve over the years at Shigu station

图 2. 石鼓站历年水位流量关系绳套曲线

石鼓站 2017 年 7 月 7 日至 14 日一次洪峰过程加以验证。对于本次洪峰各因素出现的时间见表 2，从上表中可以看出，洪峰各因素出现的顺序，完全符合逆时针洪水绳套曲线的特征。

Table 2. Time sequence of flood peak factors at Shigu station from July 7 to 14, 2017

表 2. 石鼓站 2017 年 7 月 7 日~14 日洪峰因素出现时间顺序

出现顺序	洪峰因素	出现时间	数值
1	最大涨率	10 日 01:00	0.110 m/h
2	最大流速	10 日 02:54	3.34 m/s
3	最大流量	10 日 13:04	5720 m ³ /s
4	最高水位	10 日 19:00	1825.00 m

3.3. 弯道控制水力特性分析

测站控制有突起的石梁、急滩、卡口、人工堰坝、弯道等，测站控制多数情况下使得水力因素在同一水位下保持不变或虽然有变化但可以相互补偿，随水位的变化而变化，从而保持单一性。

石鼓站测验断面高水时受下游弯道控制，奔子栏站与石鼓站及其类似，高水均受弯道控制。奔子栏断面设在约 600 m 较顺直河段的下段，最大水面宽约 155 m，靠左岸起点距约 112 至 115 m 有一突出孤石，河床右岸为乱石夹沙，左岸有较大乱石。右岸高程在 2011.00 m 以上有农作物，断面下游约 70 m 河床开始向右扩散，逐渐形成卵石浅滩起低水控制作用，滩尾紧接急弯为高水控制；左岸约 2004 m 以上为碎石夹块石，暴雨时有局部坍塌，对断面影响不明显。水位流量关系较稳定。

图 3 为奔子栏站近几年水位流量关系，奔子栏站建站以来均为 Z-Q 单一线，而在 2018 年 11.3 白格堰塞湖溃坝洪水过程中，该站出现逆时针绳套 Z-Q 关系，溃坝洪水暴涨暴落，最大涨水率达到 8.75 m/h，退水率 1.91 m/h，洪水至河湾处受阻，泄洪不畅，水力条件改变，产生用水壅水，最后影响 Z-Q 单一线关系，形成绳套曲线。所以受弯道控制作用的测站，石鼓站、奔子栏站在洪水涨落率较大的水流过程，均出现逆时针绳套 Z-Q 关系。水文工作者，在今后新建水文站选址时，应尽可能与下游弯道间隔足够长的距离或选择其它测站控制条件，避免出现绳套，增加水文测验、整编工作量。

4. 结语

1) 一般洪水过程，石鼓站水位在 1821.50 m 以上应该加密测次，若实测流量偏移同水位级稳定流量，则应按照绳套曲线布控测点；反之，测点按照稳定的单一线布控。

2) 本站在一定水位级下依然呈单一曲线关系，而随着涨落率的变化就可能出现逆时针绳套关系，根据水位涨落率，方便水文测站职工合理科学的布控测验时机，较好地区辨别水位流量关系线型，避免漏测以及没必要的多测流量。

3) 在有水位流量关系线条件下，水情室预报员可以根据涨落率判断用绳套曲线还是综合单一线查相应水位对应的流量报讯，减少报讯误差；为洪水测报积累经验。

4) 掌握洪水过程可以更准确地计算日均流量及年径流量，寻找最佳整编方法。

5) 当绳套线型较狭窄，流量偏移同水位稳定流量较小时，可通过点群中心把绳套曲线作单值化处理拟合为单一线，以便推流。

6) 新建水文站应尽可能与下游弯道间隔足够长的距离或选择其他测站控制条件，有利于建立稳定、简单的水位流量关系。

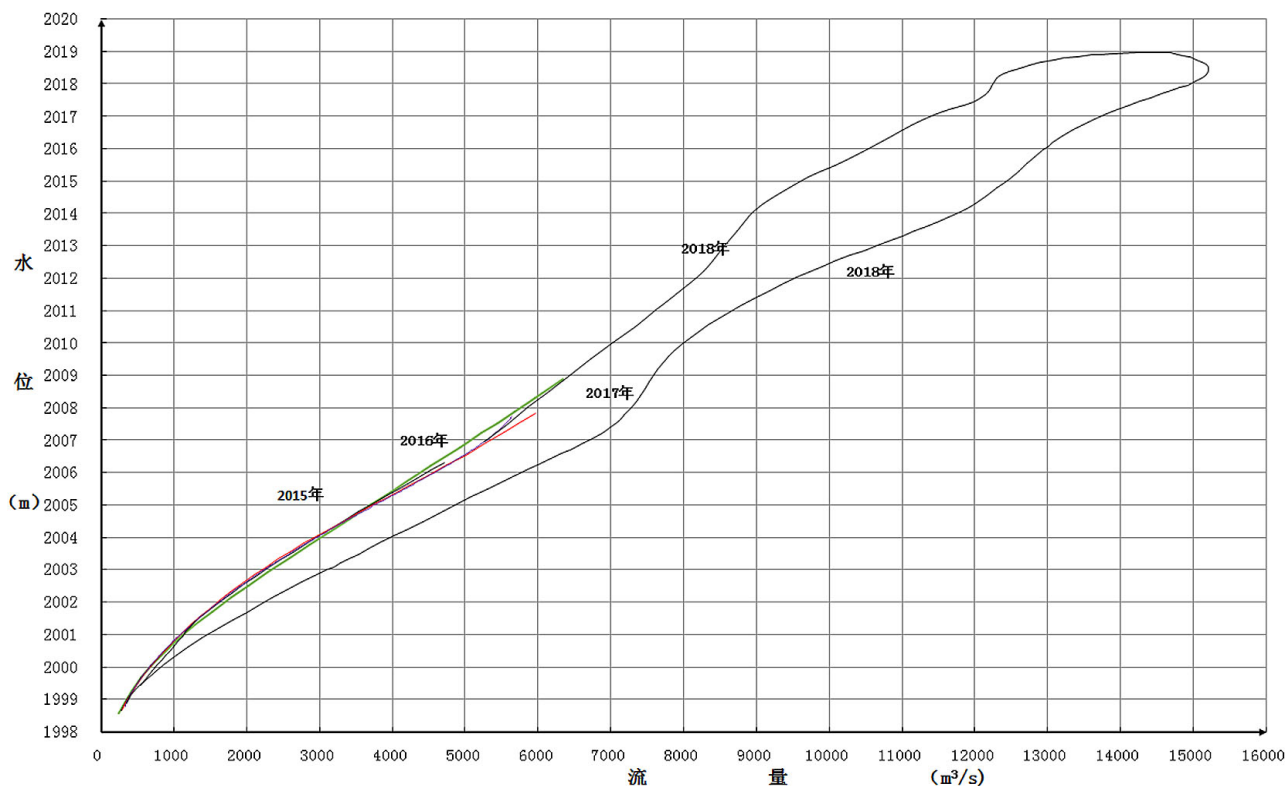


Figure 3. Relationship of water level flow and discharge loop curve over the years in Benzilan station

图 3. 奔子栏站历年水位流量关绳套曲线

参考文献

- [1] 程银才, 范世香. 基于门限回归的稳定水位流量关系线定线方法[J]. 水文, 2013, 33(4): 22-24.
CHENG Yincui, FAN Shixiang. Line alignment method of steady water level flow relation based on threshold regression. Hydrology, 2013, 33(4): 22-24. (in Chinese)
- [2] 杨清伟, 廖翔, 包文君, 等. 汛期连续洪水情形下长江下游 Z-Q 关系曲线分析[J]. 重庆交通大学学报, 2018, 37(1): 62-65.
YANG Qingwei, LIAO Xiang, BAO Wenjun, et al. Z-Q curve analysis of the lower reaches of the Yangtze river under the situation of continuous flood in flood season. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2018, 37(1): 62-65. (in Chinese)
- [3] 孙赞盈, 曲少军, 魏向阳, 等. 用水位变化判断冲淤存在的问题[J]. 人民黄河, 2008, 30(8): 52-53.
SUN Zanyin, QU Shaojun, WEI Xiangyang, et al. Judge the problem of scouring and silting by the change of water level. Yellow River, 2008, 30(8): 52-53. (in Chinese)