

DOI:10. 3880/j. issn. 1004 - 6933. 2019. 03. 009

基于导向标准断面法的受冲淤影响洪峰水位预报模型

张幼成¹, 李 琼¹, 徐汪洋², 彭 薇¹, 李永凯¹

(1. 宜昌市水文水资源勘测局, 湖北 宜昌 443003; 2. 黄冈市水文水资源勘测局, 湖北 黄冈 438000)

摘要:为有效解决受冲淤影响洪峰水位预报问题,以巴水流域主要控制站马家潭水文站为例,在分析水文站水位-流量关系特性的基础上,采用导向标准断面法建立了受冲淤影响的洪峰水位预报模型。实例验证结果表明,模型水位预报精度较高,能满足马家潭水文站预报精度要求,可以较好解决受冲淤影响洪峰水位预报的难题。

关键词:冲淤影响;洪峰水位预报;导向标准断面法;巴水流域;马家潭水文站

中图分类号:TV122⁺. 5;P338 **文献标志码:**A **文章编号:**1004 - 6933 (2019)03 - 0053 - 04

Forecasting model of flood peak water level affected by scour and silt based on guide standard section method// ZHANG Youcheng¹, LI Qiong¹, XU Wangyang², PENG Wei¹, LI Yongkai¹ (1. *Yichang Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Yichang 443003, China*; 2. *Huanggang Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Huanggang 438000, China*)

Abstract: In order to effectively solve the problem of flood peak water level forecasting under the influence of scour and silt, taking Majiatan Hydrological Station as an example, the main control station of Bashui River Basin, based on the analysis of the characteristics of water level-discharge relationship of the hydrological station, a forecasting model of flood peak water level affected by scour and silt was established by using the guided standard section method. The results of case study show that the prediction accuracy of water level is high, which can meet the prediction accuracy requirement of Majiatan Hydrological Station and solve the problem of flood peak water level forecasting affected by scour and silt.

Key words: scour and silt effect; flood peak water level forecast; guiding standard section method; Bashui River Basin; Majiatan Hydrological Station

目前,水位预报主要采用相应水位法、水位流量关系曲线法,但此类方法只能解决水流条件简单或河槽稳定的断面。受冲淤影响时,水位-面积关系曲线发生变动,从而使水位-流速、水位-流量关系曲线发生变动,加大了受冲淤影响的洪水水位预报难度。对于水位预报,著名水文学家 Todini^[1] 提出了采用 Muskingum-Cunge 进行流量演算、水量平衡进行水位计算的方法;芮孝芳^[2] 采用水文学与水-沙关系相结合的方法,建立冲淤河道水位预报模型,计算冲淤河道的水位,提供了具有物理概念的技术路线;霍世青等^[3] 在分析小浪底以上来水来沙特性的基础上,建立了高含沙洪水与一般洪水的水位涨率预报模型;袁永生等^[4] 在分析水沙要素的基础上,结合水位拟合模型,建立了黄河下游水位预报模型;谢邵平^[5] 在分析西江中下游河床下切的基础上,建立了

洪水预报模型并提出了实时校正方法;许珂艳^[6] 分析了黄河下游水位影响因素,并建立了洪峰水位多元回归预报模型;黄国如等^[7] 基于时间序列分析的 ARMAV(2,1)模型,建立了水位预报模型并应用于黄河下游的漫滩冲淤河道;朱星明等^[8] 利用人工神经网络技术建立了洪水水位预报模型并应用于珠江三角洲河网地区;张泽宇等^[9] 基于物理模型试验及数值模拟,研究了不同洪峰及洪峰持续时间对地下水水位波动的影响;李璇等^[10] 在建立水文地质结构三维模型的基础上,对石川河地下水位进行了动态预测。部分模型在建模阶段效果不错,但在作业预报资料条件下,使用受到一定限制,能达到预报精度要求的模型较少,需依靠预报员进行经验处理以达到预报精度要求。

为了有效解决受冲淤影响洪峰水位预报问题,

基金项目:国家自然科学基金(41130639, 51679061)
作者简介:张幼成(1973—),男,高级工程师,主要从事水资源管理研究。E-mail:23691243@qq.com
通信作者:李琼,高级工程师。E-mail:815857639@qq.com

本文以马家潭水文站为例,基于导向标准断面法研究流量系数 K 分布规律,确定现断面水位-流量关系,建立了冲淤影响下流量-水位转换模型。

1 研究区概况

1.1 流域概况

巴水是长江中游下段北岸一级支流,发源于大别山南麓,自麻城东古城向南流经麻城、罗田、浠水、团风、黄州五县市区,于浠水县巴河镇下巴河注入长江。流域位于东经 $115^{\circ}03' \sim 115^{\circ}46'$ 、北纬 $30^{\circ}34' \sim 31^{\circ}19'$,集水面积 $3\,697\text{ km}^2$,流域内地形变化较大,总趋势北高南低,上游是山区,山高林密;中、下游是丘陵、平原区,土壤肥沃,人烟稠密。流域主要是沙质土壤,植被良好。巴水流域水文站网见图 1。



图 1 巴水流域水文站网示意图

1.2 马家潭水文站简况

马家潭水文站始建于 1953 年 10 月,位于湖北省团风县上巴河镇马家潭村,集水面积 $2\,979\text{ km}^2$ 。2009 年 1 月 1 日水文站上迁 1.5 km 到上巴河镇车站村,流域集水面积 $2\,974\text{ km}^2$,全长 117 km ,至河口距离 35 km 。该站属国家重要水文站,测验河段顺直(顺直长度约 500 m),最大河宽为 478 m ,河床由细沙组成,河道受上、下游采沙影响显著,河床逐年下切,断面冲淤为普通冲淤,总体趋势冲大于淤。2009—2016 年河底累计下切 5 m 以上,平均每年下切 0.72 m 。汛前实测大断面同级水位所对应的平均河底高程见表 1,可见,断面年际变化较大。

表 1 马家潭大断面平均河底高程年际变化

时间	平均河底高程/m	年际变化/m
2009 年	26.91	
2010 年	26.75	0.16
2011 年	26.23	0.52
2012 年	25.67	0.56
2013 年	24.49	1.18
2014 年	23.51	0.98
2015 年	22.84	0.67
2016 年	21.90	0.94

1.3 马家潭水文站水位-流量关系变化特点

水位-流量关系主要受断面冲淤影响,断面年际变化较大,年内变化较小,高水部分水位-流量关系年内呈单一曲线关系,年际水位-流量关系随着河床下降而下移(图 2)。

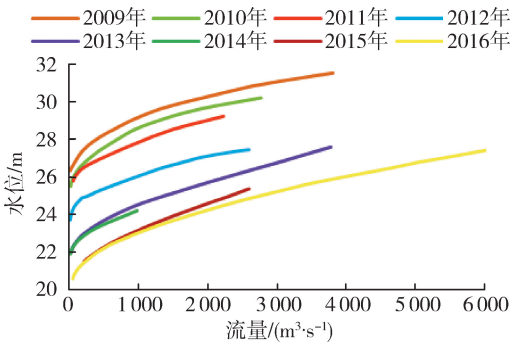


图 2 马家潭水文站 2009—2016 年水位-流量关系

2 导向标准断面法原理

导向标准断面法^[11]是校正断面冲淤变化的一种方法,以特定的断面作为标准断面,将多次实测断面与之比较得到反映断面冲淤变化的面积差值,并换算成流量差值,与原有的实测流量叠加,使水位-流量关系成为或接近单一曲线关系。图 3 为断面冲淤变化引起水位-面积、水位-流量变化示意图。

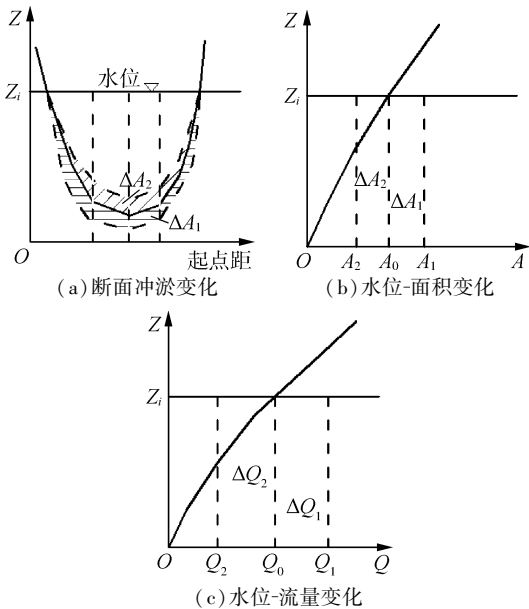


图 3 断面冲淤变化引起水位-面积与水位-流量变化示意图

选定一个标准断面,则任意水位 Z_i 在标准断面(实线)以上相应的面积为 A_0 、流量为 Q_0 。发生冲刷后断面面积增加,流量增加;淤积后断面面积减小,流量相应减小。

假设断面面积增量为 ΔA ,流量增量为 ΔQ ,则有:

$$\Delta Q = \Delta A v_d \tag{1}$$

其中

$$v_d = R v_{cp} \tag{2}$$

式中: v_d 为底部流速,m/s; v_{cp} 为断面平均流速,m/s; R 为河底相对流速系数。

实测流量 Q 叠加 ΔQ 即为导向标准断面后的流量,将 $Q + \Delta Q$ 换算成断面实际流量,即可得出标准断面的单一水位-流量关系曲线。

3 模型的建立

3.1 建模思路

由于马家潭水文站河段主要受冲淤影响,冲淤前后整个控制河段(包括测流断面)呈纵移状态,河段底坡基本保持不变,根据此特点,采用导向标准断面法原理,选定现断面(即需要做洪水预报的年份)的汛前实测大断面为标准断面,将上一年实测流量成果导向标准断面,推求水位-流量关系,按最小二乘法求出回归方程建立流量-水位转换模型,此模型即为当年洪峰水位预报模型。在实时作业预报时可根据实测数据对拟合的水位-流量关系进行复核或修正。由于洪水预报只预报中高洪水,选用流量大于 $1\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水资料进行分析。

3.2 导向标准断面计算步骤

以 2009 年实测流量资料和 2010 年汛前大断面实测资料建立 2010 年洪峰水位预报模型为例,其计算步骤为:

步骤 1:摘录 2009 年流量大于 $1\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 的实测流量资料,包括施测号数、水位 Z 、流量 Q 、面积 A 、断面平均流速 v_{cp} 。

步骤 2:选定 2010 年汛前实测大断面作为标准断面,用水位 Z 在 2010 年汛前实测标准断面的水位-面积曲线中查得标准面积 A_0 ,由 $\Delta A = A_0 - A$ 计算得 ΔA 。根据实测资料分析,马家潭站 $R = 0.15$,根据式(1)有 $\Delta Q = 0.15 \Delta A v_{cp}$,计算得到 ΔQ ,则导向标准断面后流量为 $Q + \Delta Q$ 。

步骤 3:推求流量系数 K 。假定 K' ,利用 $Q' = K'(Q + \Delta Q)$ 计算导向标准流量 Q' ,建立 $Z \sim Q'$ (导向标准断面)水位-流量关系,采用试错法选定与 2010 年实测的水位-流量系列拟合最优的 K' ,即为所求的流量系数 K 。经过试算,图 4 采用的 K 为 1.35(图中导向值为实测水位与导向标准流量 Q' 的水位-流量关系点系列,实测值为实测水位与实测流

量的水位-流量关系点系列)。

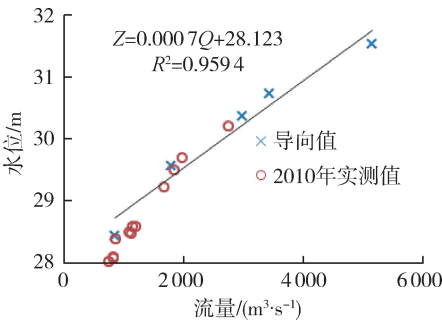


图 4 2010 年导向标准断面水位-流量关系

3.3 流量系数规律分析

按照导向标准断面计算步骤,分别建立 2011 年、2012 年、2013 年、2014 年、2015 年及 2016 年洪峰水位预报模型,求出流量系数 K 分别为 1.35、2.6、1.35、1.35、1.35、1.35,其中各年导向标准断面水位-流量关系的确定系数 R^2 分别为 0.9669、0.9876、0.9942、0.9765、0.9889 和 0.9251,均在 0.90 以上,相关关系良好。2011 年和 2012 年导向标准断面水位-流量关系如图 5、图 6 所示。

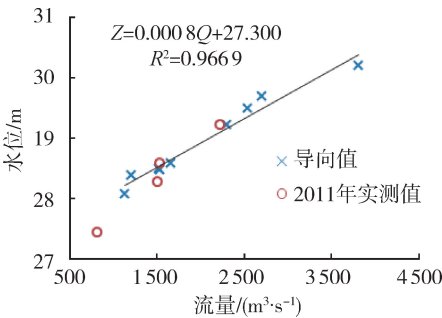


图 5 2011 年导向标准断面水位-流量关系

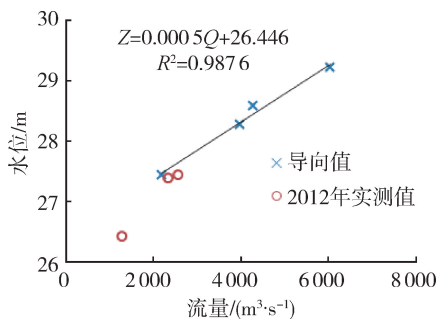


图 6 2012 年导向标准断面水位-流量关系

上一年流域发生较大洪水时,挟沙水流与河床相互作用,达到新的水沙平衡,经实测资料拟合流量系数 K 均为 1.35(图 5);如果连续两年没有发生较大洪水,其 K 值是有较大洪水 K 值的 2 倍,如 2011 年枯季挖沙后,2012 年没有发生较大洪水,在计算 2012 年导向标准断面水位-流量关系时, K 为 2.6(图 6)。可见,流量系数 K 具有较好的规律性。

利用导向标准断面法建立预报当年的水位流量关系曲线,按最小二乘法求出每年的回归方程,可得

到各年洪峰水位预报模型分别为

$$Z_{2010}=0.0007Q+28.123(R^2=0.9594) \tag{3}$$

$$Z_{2011}=0.0008Q+27.300(R^2=0.9669) \tag{4}$$

$$Z_{2012}=0.0005Q+26.446(R^2=0.9876) \tag{5}$$

$$Z_{2013}=0.0006Q+25.258(R^2=0.9942) \tag{6}$$

$$Z_{2014}=0.0009Q+23.178(R^2=0.9765) \tag{7}$$

$$Z_{2015}=0.0010Q+22.716(R^2=0.9889) \tag{8}$$

$$Z_{2016}=0.0008Q+27.468(R^2=0.9251) \tag{9}$$

4 模型验证

选取 2009—2016 年洪水资料来验证模型。采用历史整编资料,挑选洪峰流量超过 1 500 m³/s 的 8 场洪水进行验证。由于实际预报时仅已知预报洪峰流量,在此采用实测洪峰流量与合格预报洪峰流量(预报流量与实测流量误差在 20% 以内)同步进行验证,计算预报值与实测值的误差,结果见表 2。

表 2 模型验证精度评价结果

洪 号	实测洪峰值		实测洪峰流量模型验证	
	水位/m	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	预报水位/m	误差/m
20090630	31.53	3 810	31.52	-0.01
20100708	30.21	2 770	30.25	0.04
20100712	29.52	1 890	29.55	0.03
20120713	27.46	2 600	27.65	0.19
20130707	27.60	3 780	27.63	0.03
20150515	24.31	1 550	24.33	0.02
20160702	28.21	7 380	28.23	0.02
20160706	27.16	4 380	26.94	-0.22

洪 号	合格预报洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	合格预报洪峰流量模型验证	
		预报水位/m	误差/m
20090630			
20100708	3 130	30.55	0.34
20100712	1 770	29.40	-0.12
20120713	2 169	27.40	-0.06
20130707	4 281	27.89	0.29
20150515	1 379	24.18	-0.13
20160702	6 788	27.80	-0.41
20160706	4 680	27.21	0.05

以预报洪峰水位和实测洪峰水位的差值小于 0.3 m 作为合格标准,由表 2 可知,用实测洪峰流量验证的合格率为 100%,最大水位误差 0.19 m;用合格预报洪峰流量验证的合格率为 71.4%,洪峰水位预报的误差均值为 0.20 m。可见洪峰水位预报精度较高,满足马家潭水文站预报精度要求,可应用于本河段洪水预报。

5 结 语

本文以马家潭水文站为例,基于导向标准断面法建立了受冲淤影响洪峰水位预报模型,模型验证结果表明,采用实测洪峰流量进行预报精度达到

100%,较好解决了受冲淤影响洪峰水位预报的难题,可推广应用于类似河流的洪峰水位预报研究。

参考文献:

[1] TODINI E. A mass conservative and water storage consistent variable parameter Muskingum-Cunge approach [J]. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2007(11):1645-1659

[2] 芮孝芳. 水文学研究进展[M]. 南京:河海大学出版社, 2007

[3] 霍世青,吕光圻. 黄河花园口站洪峰水位预报方法研究[J]. 人民黄河,1996(5):20-23. (HUO Shiqing, LYU Guangqi. Study on the forecasting method of flood peak water level in Huayuankou Station of Yellow River[J]. Yellow River,1996(5):20-23. (in Chinese))

[4] 袁永生,朱庆平,赵学民,等. 黄河下游水位过程预报中的非线性分析[J]. 水利水运工程学报,2002(4):44-48. (YUAN Yongsheng,ZHU Qingping,ZHAO Xueming, et al. Nonlinear analysis of stage forecasting in lower reaches of Yellow River [J]. Hydro-Science and Engineering,2002(4):44-48. (in Chinese))

[5] 谢绍平. 西江中、下游河床下切变化及洪水预报改进研究[D]. 武汉:武汉大学,2004.

[6] 许珂艳. 黄河下游洪峰水位预报多元回归方法研究[D]. 南京:河海大学,2006.

[7] 黄国如,朱庆平,马骏,等. 水位演算模型及其在水位预报中的应用[J]. 水文,1999(2):2-7. (HUANG Guoru, ZHU Qingping,MA Jun,et al. The stage routing model and its application in stage forecasting [J]. Hydrology, 1996(2):2-7. (in Chinese))

[8] 朱星明,卢长娜,王如云,等. 基于人工神经网络的洪水水位预报模型[J]. 水利学报,2005(7):806-811. (ZHU Xingming, LU Changna, WANG Ruyun, et al. Artificial neural network model for flood water level forecasting[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2005(7):806-811. (in Chinese))

[9] 张泽宇,余夏杨,辛沛. 洪水过程对河岸带地下水水位波动的影响[J]. 水资源保护,2017,33(2):22-30. (ZHANG Zeyu, YU Xiayang, XIN Pei. Impact of flood process on groundwater level fluctuation in a riparian zone [J]. Water Resources Protection,2017,33(2):22-30. (in Chinese))

[10] 李璇,束龙仓,鲁程鹏,等. 石川河地下水库建库条件分析及地下水位动态预测[J]. 水资源保护,2017,33(3):13-18. (LI Xuan,SHU Longcang,LU Chengpeng,et al. Analysis of groundwater reservoir construction conditions and prediction of groundwater level variation in Shichuan River groundwater reservoir [J]. Water Resources Protection,2017,33(3):13-18. (in Chinese))

[11] 苏传宝,王学义. 导向现断面法及其在报讯中的应用[J]. 水文,1999(3):46-47. (SU Chuanbao, WANG Xueyi. Guiding current section method and its application in hydrologic data collection and transmission[J]. Journal of China Hydrology,1999(3):46-47. (in Chinese))

(收稿日期:2018-05-25 编辑:熊水斌)