

基于典型断面雨量-水位函数的中小桥水害预测

李整¹, 文雨松¹, 罗艺², 赵尊焘¹

- (1. 中南大学 土木建筑学院, 湖南 长沙, 410075;
2. 衡东县交通局, 湖南 衡阳, 421400)

摘要: 基于推理公式法和均匀稳定流概念, 借助模糊相似优先比理论, 提出一种针对既有中小桥的水害预测新方法。将实际中小桥河床断面归纳为 10 类典型断面, 建立各类典型断面的雨量-水位函数模型; 利用模糊相似优先比理论确定与实际断面最相似的典型断面, 选取雨量-水位函数模型; 借助可靠的墩台水痕和对应的雨量资料, 求解常量参数 K , 确定雨量-水位函数, 再利用现时或预报雨量资料对桥梁抗洪能力进行评估和水害预测。研究结果表明: 该方法的理论基础可靠, 只需要桥址处河床糙率系数和一组历史雨量及对应的水痕标高数据, 当地质情况已知时, 还可以进行冲刷程度预测; 避免了收集汇流方式、雨量损失、流域平均坡度、流域面积和主河槽长度等水文参数, 减少了大量的野外勘测工作和繁琐的计算量; 实例桥梁检测表明本方法使用方便, 精度满足实际要求。

关键词: 水害预测; 雨量-水位函数; 模糊相似优先比; 水痕

中图分类号: U442.3

文献标志码: A

文章编号: 1672-7207(2010)04-1597-07

Flood forecast method for middle & small bridges based on rainfall-water level functions of representative riverbed sections

LI Zheng¹, WEN Yu-song¹, LUO Yi², ZHAO Zun-tao¹

- (1. School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, Changsha 410075, China;
2. Hengdong Communication Bureau, Hengyang 421400, China)

Abstract: Based on rational formula, homogeneous flow and fuzzy similar-priority comparison theory, a new flood forecast method for existing middle and small bridges was presented. Firstly, according to shapes of actual riverbed sections, riverbed sections were reduced to 10 types of representative riverbed sections, and rainfall-water level function model of every representative riverbed section was established. Then, using the fuzzy similar-priority comparison theory, the most similar section with actual section was found, so the function model could be got. Finally, by dint of reliable water marks on piers and the corresponding rainfalls, constant K was solved. Sequentially, rainfall-water level function could be fixed and instantaneous or forecast rainfall data could be used to assess flood-resistance performance and predict flood of bridges. The results show that this new method has credible theoretic foundation. Once roughness and a couple of rainfall and water mark at bridge sites are provided, prediction can be made. Besides, when geologic condition is known, scouring can be predicted too, avoiding fussy calculation and troublesome field reconnaissance in order to collect parameters, such as ways of runoff confluence, loss of rainfall, average gradient and area of drainage basin, length of main river course, and so on. This method is easy to use and its degree of accuracy can meet the actual demand.

Key words: flood forecast; rainfall-water level function; fuzzy similar-priority comparison; water marks

收稿日期: 2009-08-11; 修回日期: 2009-11-05

基金项目: 山东省交通科技项目(2008X012)

通信作者: 李整(1982-), 女, 河南驻马店人, 博士研究生, 从事桥涵水文研究; 电话: 15073162564; E-mail: lizhengcsu@126.com

洪水水毁是世界各国桥梁共同面临的严重自然灾害^[1]。对美国 1989—2000 年毁坏的 500 座桥梁进行分析发现：洪灾和撞击引起桥梁失事频率最高，仅 1993 年洪水和冲刷毁坏的桥梁所占比例就高达 53%^[2]。我国桥梁设计规范经历了数次修改，按照不同规范设计的桥梁的抗洪能力很可能不在同一水平上。建桥后河道的水流改变，破坏了河床的输沙平衡，引起河床冲刷^[3-4]；多年的人类活动和自然演变，流域内大地植被也发生了较大变化；河道上的非法建筑、非法挖沙等都有可能影响既有桥涵的过洪能力。此外，近年来我国大多数地区气候反常，降雨量时空分布不均，暴雨活动范围广，强度大，局部地区洪涝严重。桥梁作为跨河构筑物，直接遭遇洪水的冲击，一旦发生水毁，将给铁路、公路运输生产带来严重的损失^[5]。因此，按现时桥梁所处的水文环境，对既有桥梁重新进行抗洪能力评估显得很有必要。目前，洪水预测的研究已将水文学知识及它们之间的联系进行考虑，不再局限于对观测洪峰资料进行简单统计评价^[6]。河道洪水水位的预报方法有多种，如采用水文学方法得到预报流量值，再由水位流量关系曲线得到预报水位和动力波模型等，但这些方法均需要预报断面的流量和水位资料，对无流量观测的水位站则无法应用^[7]。由于很多中小桥没有设置专门的水文观测站，很难用形态勘测方法或流量观测资料推算检定流量，因此，现行中小桥水文检定普遍采用从雨量到流量的方法，它们基本上属于推理公式法、单位线法或经验公式法。采用现行方法对既有桥梁进行水文检定时，大多需要汇流方式、雨量损失和主河槽长度等参数。在缺少资料和无资料地区，虽然有研究表明，水文参数可以应用回归方程或者采用有实测资料的相似流域资料进行估算^[8-9]，但是，这使得参数的确定更加麻烦。基于上述原因，本文作者提出一种基于雨量-水位函数的中小桥水害预测的新方法。利用既有桥梁墩台上的水痕和对应的暴雨资料，确定桥址处的雨量-水位函数，进而通过搜集到的实时雨量或预报雨量资料进行水害预测。这一方法对于中小流域桥梁特别是对于缺少水文资料的中小桥水害预测具有重要的理论意义与实践意义。

1 中小桥雨量-水位函数模型

1.1 流量计算

推理公式法认为计算流量 Q_p 与频率为 p 的暴雨强度 a_p 和流域面积 F 的乘积成正比^[10]，即：

$$Q_p = 0.278 \alpha a_p F \quad (1)$$

式中： Q_p 为通过桥址处河床断面频率为 p 的计算流量， m^3/s ；0.278 为流量和雨量强度单位统一时的乘子； α 为比例系数，与汇流方式、雨量损失、流域坡度和主河槽长度等因数有关； a_p 为桥梁汇流面积内频率为 p 的暴雨强度， mm/h ； F 为流域面积， km^2 。

汇流后能够引起桥址处高水位的暴雨，其汇流方式、汇流过程中的雨量损失差别小；1 座桥梁所在流域的流域面积、流域坡度和主河槽长度等流域参数不随雨量变化，因此，可以认为比例系数 α 和流域面积 F 基本不变。另外，对于 1 场确定的暴雨，雨量和流量都与频率无关，因此，式(1)可以简写为

$$Q = A_k a \quad (2)$$

式中： Q 为计算流量； A_k 为常量参数(为 $0.278 \alpha F$)； a 为暴雨强度。

大多数桥址处的河道常能近似地形成稳定均匀流^[11]。流量计算公式为

$$Q = \frac{1}{n} \omega^{5/3} I^{1/2} / x^{2/3} \quad (3)$$

式中： Q 为计算断面的流量； n 为糙率； I 为水力坡度； ω 为过水断面面积； x 为湿周。

1.2 雨量-水位函数模型的建立

令 $K = A_k / I^{1/2}$ ，联立式(2)和式(3)，可得单式断面对应的雨量-水位函数为：

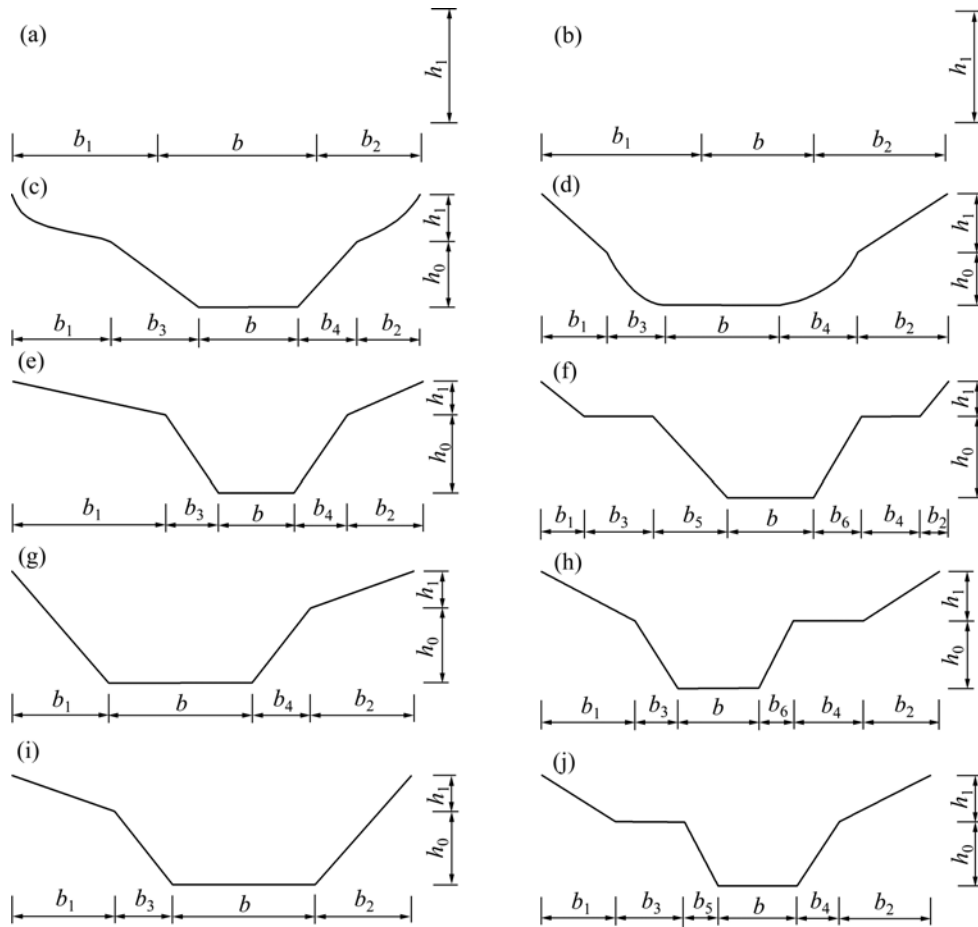
$$a = \frac{1}{nK} \omega^{5/3} / x^{2/3} \quad (4)$$

对于河床断面明显分成左河滩、主槽和右河滩三部分的复式断面，对应的雨量-水位函数为：

$$a = \sum_{i=1}^3 \frac{1}{n_i K} \omega_i^{5/3} / x_i^{2/3} \quad (5)$$

式中： n_i 、 ω_i 和 x_i 分别为河床断面各部分($i=1$ 代表左河滩； $i=2$ 代表河槽； $i=3$ 代表右河滩)的糙率、过水断面面积和湿周。

式(4)~(5)表明：暴雨强度 a 和水位 H 的关系与过水断面面积 ω 和湿周 x 有关。 ω 和 x 关于 H 的函数形式与河床断面形状有关，而自然界中河床断面形态千差万别。为避免对每座桥梁进行雨量-水位函数的繁琐推导，并得到比较统一的函数形式，本文作者通过对实际河床断面进行分析与简化，将实际河床断面归纳为 10 种典型断面，预先建立各典型断面的雨量-水位函数，应用时基于实测河床断面对其进行选择，不再需要重复推导。各典型断面示意图如图 1 所示。



样本: (a) A1; (b) A2; (c) A3; (d) A4; (e) A5; (f) A6; (g) A7; (h) A8; (i) A9; (j) A10

图 1 典型断面示意图

Fig.1 Sketches of representative riverbed sections

对于图 1(a)所示典型断面,令 $b_1 = \zeta_1 h_1$, $b_2 = \zeta_2 h_1$, 则:

$$a = k_1 \frac{[(H - H_d)^2 + k_2(H - H_d)]^{5/3}}{[(H - H_d) + k_3]^{2/3} K} \quad (6)$$

式中: H 为水位; H_d 为河床最低点高程; k_1 , k_2 和 k_3 为与断面尺寸、糙率有关的常量参数, 其中,

$$k_1 = \frac{(\zeta_1 + \zeta_2)^{5/3}}{\sqrt[3]{32n(\sqrt{1+\zeta_1^2} + \sqrt{1+\zeta_2^2})^{2/3}}}, \quad k_2 = \frac{2b}{\zeta_1 + \zeta_2},$$

$$k_3 = \frac{b}{\sqrt{1+\zeta_1^2} + \sqrt{1+\zeta_2^2}}.$$

对于图 1(b)所示典型断面, 假设曲线段线形为抛物线, 令 $a_1 = \frac{h_1}{b_1^2}$, $a_2 = \frac{h_1}{b_2^2}$, 则:

$$a = k_1 [(H - H_d)^{3/2} + k_2 (H - H_d)^{5/3} / \{ [\sqrt{(H - H_d)^2 + \frac{H - H_d}{4a_1}} + \frac{1}{4a_1} \ln(\sqrt{4a_1(H - H_d)} + \sqrt{4a_1(H - H_d) + 1}) + b + \sqrt{(H - H_d)^2 + \frac{H - H_d}{4a_2}} + \frac{1}{4a_2} \ln(\sqrt{4a_2(H - H_d)} + \sqrt{4a_2(H - H_d) + 1})]^{2/3} K \} \quad (7)$$

式中:

$$k_1 = \frac{\left(\frac{2}{3\sqrt{a_1}} + \frac{2}{3\sqrt{a_2}} \right)^{5/3}}{n}; \quad k_2 = \frac{b}{\frac{2}{3\sqrt{a_1}} + \frac{2}{3\sqrt{a_2}}}$$

同理可得其他典型断面对应的雨量-水位函数。对图 1(c)所示典型断面, 有

$$a = k_1(H - H_t)^{5/2} / \left\{ K \left[\sqrt{(H - H_t)^2 + \frac{H - H_t}{4a_1}} + \frac{1}{4a_1} \ln \left[\sqrt{4a_1(H - H_t)} + \sqrt{4a_1(H - H_t) + 1} \right] \right]^{2/3} \right\} + \left\{ k_2[(H - H_t) + k_4]^{5/3} \right\} / K + k_3(H - H_t)^{5/2} / \left\{ K \left[\sqrt{(H - H_t)^2 + \frac{H - H_t}{4a_2}} + \frac{1}{4a_2} \ln \left[\sqrt{4a_2(H - H_t)} + \sqrt{4a_2(H - H_t) + 1} \right] \right]^{2/3} \right\}$$

对图 1(d), (e), (g)和(i)所示典型断面, 有

$$a = k_1 \frac{(H - H_t)^{8/3}}{K} + k_2 \frac{(H - H_t + k_3)^{5/3}}{K}$$

对图 1(f)所示典型断面, 有

$$a = k_1 \frac{[(H - H_t)^2 + k_4(H - H_t)]^{5/3}}{(H - H_t + k_5)^{2/3} K} + k_2 \frac{(H - H_t + k_6)^{5/3}}{K} + k_3 \frac{[(H - H_t)^2 + k_7(H - H_t)]^{5/3}}{(H - H_t + k_8)^{2/3} K}$$

对图 1(h)和(j)所示典型断面, 有

$$a = k_1 \frac{(H - H_t)^{8/3}}{K} + k_2 \frac{(H - H_t + k_4)^{5/3}}{K} + k_3 \frac{[(H - H_t)^2 + k_5(H - H_t)]^{5/3}}{(H - H_t + k_6)^{2/3} K}$$

式中 : $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, a_1, a_2$ 和 $H_t(H_t = H_d - h_0)$ 等是与断面尺寸、糙率系数和河滩高程有关的参数, 为已知量 ; K 可以利用历史雨量和水痕资料^[12]求出, 为待求量。

2 典型断面的模糊相似优先对比分析

以上得到 6 种雨量-水位函数模型, 选用的雨量-水位函数模型是否与实际河床断面最接近, 可通过判断典型断面和实际断面的相似程度来实现。表征实际断面和典型断面的因素有多个, 在各因素相似程度不

同的多个断面中选择 1 个最佳断面, 使其能从多因素上综合反映实际断面的特征。这是引入模糊相似优先比进行优先相似排序的目的。

2.1 模糊相似优先比

模糊相似优先比是以成对的样本与 1 个固定的样本作比较, 确定哪一个与固定样本更相似^[13-14]。假定样本 x_i 和 x_j 与固定样本 x_k 进行比较, 其相似优先比为 r_{ij} , x_i 与 x_j 的优先判定为 :

- (1) 若 $r_{ij} \in (0.5, 1.0)$, 则表示 x_i 比 x_j 优先。
- (2) 若 $r_{ij} \in (0, 0.5)$, 则表示 x_j 比 x_i 优先。
- (3) 3 种极值情形 : 若 $r_{ij}=1$, 则表示 x_i 比 x_j 显然优先 ; 若 $r_{ij}=0$, 则表示 x_j 比 x_i 显然优先 ; 若 $r_{ij}=0.5$, 则表示 x_i 和 x_j 等价, 优先无法确定。

另外还假设 :

- (1) $0 < r_{ij} < 1$, 且 $r_{ii}=1 ; i, j=1, 2, \dots, n ;$
- (2) $r_{ij}+r_{ji}=1, i \neq j ; i, j=1, 2, \dots, n。$

若采用海明(Haiming)距离作为相似优先比中 r_{ij} 的测度, 则对样本 x_i 和样本 x_j 与固定样本 x_k 进行比较, r_{ij} 可定义为 :

$$r_{ij} = \frac{d_{kj}}{d_{ki} + d_{kj}}$$

式中 : $d_{ki} = |x_k - x_i| ; d_{kj} = |x_k - x_j|。$

对给定的样本集合 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 和固定样本 x_k , 令任意 $x_i, x_j \in X$ 和 x_k 进行比较, 计算两样本间的相似优先比, 从而得到模糊相似优先比矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

建立模糊相似矩阵之后, 一般根据 r_{ij} 的大小, 由 λ 水平评出相似程度, 计算出相应的矩阵 R_λ :

$$R_\lambda = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \dots & r'_{1n} \\ r'_{21} & r'_{22} & \dots & r'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r'_{n1} & r'_{n2} & \dots & r'_{nn} \end{bmatrix}$$

式中 : $r'_{ij} = \begin{cases} 1, & r_{ij} \geq \lambda \\ 0, & r_{ij} < \lambda \end{cases}, \lambda \in [0,1]。$

在 λ 下降过程中, 将首先出现 λ_1 , 使 R_{λ_1} 中第 i_1 行元素全部为 1, 对于特定目标样本 x_k, x_{i_1} 是第一优先相似元素。删除 R_{λ_1} 中第 i_1 行和 i_1 列, 得到新的 $(n-1) \times (n-1)$ 模糊相似优先比矩阵, 降低 λ , 同样的方法获得 x_{i_2} ,

得到新的 $(n-2) \times (n-2)$ 模糊相似优先比矩阵, 依此类推, 处理完截矩阵, 即可依次排出全部待选样本与目标样本 x_k 的相似次序。

2.2 最相似断面的选取

若每个样本有 m 个因素, 则每个因素都有 1 个对应的模糊相似优先比矩阵, 每个样本的每 1 个因素都将产生 1 个反映相似程度的序号, 将各个因素的序号相加, 其结果即为该样本与固定样本相似程度的综合反映。样本的序号越小, 表明与固定样本越相似。文中实际断面为固定样本, 记为 A_0 ; 10 种典型断面为样本集 $X = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}\}$ 。选用的主要因素集为: $\{C_1, C_2, C_3, \dots, C_7\}$, 其中: C_1 为左河滩面积; C_2 为左河滩湿周; C_3 为河槽面积; C_4 为河槽湿周; C_5 为右河滩面积; C_6 为右河滩湿周; C_7 为平均水深。

3 实例

3.1 京广线金鸡湾桥

表 1 所示为该桥历史雨量和水位记录, 表 2 所示为河床标高。左河滩、河槽和右河滩的糙率分别为 1/12, 1/20 和 1/12。河床地质情况: 标高 67.3 m 以上是粒径为 10 mm 的圆砾石, 标高 67.3~65.1 m 是粒径为 20 mm 的小卵石, 标高 65.1~58.7 m 是粒径为 100 mm 的大卵石。

基于差值最小原则确定典型断面的尺寸, 并对典型断面进行模糊相似优先比排序, 主要因素对比结果如表 3 所示, 相似程度排序结果如表 4 所示。

从表 4 可以看出: 典型断面 6(A_6)与桥址处的河床断面最相似, 断面对比图如图 2 所示。

表 1 日最大暴雨量与水位表

Table 1 Relationships between maximal 24 h rainfalls and water levels

日最大暴雨发生日期	日最大暴雨量/mm	水痕标高/m
1968-06-15	154.00	74.06
1979-06-21	99.16	73.10
1981-06-29	52.00	72.49
1984-05-31	217.40	74.51
1997-09-02	212.00	74.22

表 2 河床标高

Table 2 Riverbed elevation

编号	距起点距离/m	标高/m	编号	距起点距离/m	标高/m
1	0	75.33	7	18.09	69.47
2	4.09	72.00	8	20.74	70.73
3	5.89	72.88	9	24.44	71.55
4	9.19	71.18	10	36.44	70.91
5	11.99	69.66	11	39.84	72.27
6	14.19	69.25	12	52.20	75.68

表 3 典型断面主要因素比较

Table 3 Comparisons of main factors of representative riverbed sections

样本	C_1/m^2	C_2/m	C_3/m^2	C_4/m	C_5/m^2	C_6/m	C_7/m
A_0	20.054	10.182	82.166	16.862	67.902	20.646	3.888
A_1	0	0	156.949	45.891	0	0	3.587
A_2	0	0	177.343	46.017	0	0	4.053
A_3	22.051	9.741	133.734	27.926	19.846	8.956	4.014
A_4	16.538	9.532	153.431	30.027	11.577	7.198	4.149
A_5	14.885	8.736	150.990	31.295	9.923	6.469	4.018
A_6	23.154	9.970	76.068	15.257	69.461	22.220	3.855
A_7	14.395	8.503	152.267	31.526	9.923	6.469	4.036
A_8	13.231	7.956	89.299	18.198	62.846	20.470	3.780
A_9	9.923	6.469	160.313	33.275	11.310	7.078	4.149
A_{10}	23.154	9.970	146.676	30.540	9.923	6.469	4.108

表 4 $A_1 \sim A_{10}$ 对 A_0 的相似程度

Table 4 Similarity between A_0 and $A_1 \sim A_{10}$

样本	各因素相似程度							序数和	相似程度排序
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7		
A_1	9	9	8	9	9	9	10	63	10
A_2	9	9	10	10	9	9	6	62	9
A_3	1	3	3	3	3	3	3	19	2
A_4	4	4	7	4	4	4	8	35	5
A_5	5	5	5	6	6	6	4	37	6
A_6	2	1	1	2	1	2	1	10	1
A_7	6	6	6	7	6	6	5	42	7
A_8	7	7	2	1	2	1	2	22	3
A_9	8	8	9	8	5	5	8	51	8
A_{10}	2	1	4	5	6	6	7	31	4

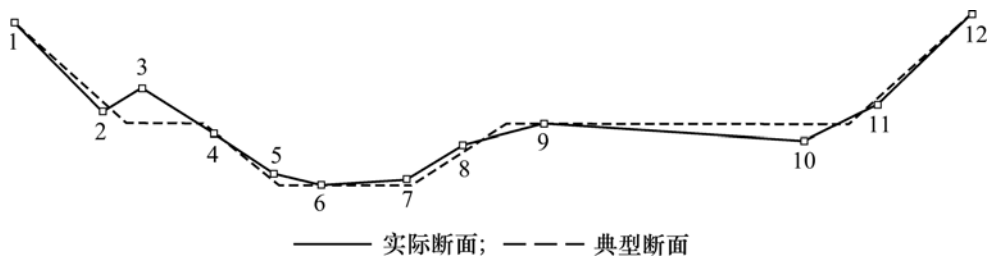


图 2 典型断面 6 与实际断面对比图

Fig.2 Comparison between representative riverbed section 6 and actual riverbed section

图 1(f)所示典型断面的几何尺寸为： $b_1=5.250\text{ m}$ ， $b_2=5.250\text{ m}$ ， $b_3=3.500\text{ m}$ ， $b_4=15.750\text{ m}$ ， $b_5=3.500\text{ m}$ ， $b_6=4.370\text{ m}$ ， $b_7=6.125\text{ m}$ ， $h_0=2.300\text{ m}$ ， $h_1=3.780\text{ m}$ ， $H_0=69.250\text{ m}$ 。计算各参数值分别为： $k_1=4.567$ ， $k_2=264.415$ ， $k_3=4.567$ ， $k_4=5.040$ ， $k_5=2.045$ ， $k_6=1.653$ ， $k_7=22.680$ ， $k_8=9.203$ 。故该桥对应的雨量-水位函数为：

$$a = 4.567 \frac{\left[\frac{(H - 71.55)^2 + 5.040(H - 71.55)}{(H - 69.505)^{2/3} K} \right]^{5/3} + 264.415 \frac{(H - 69.897)^{5/3}}{K} + 4.567 \left[\frac{(H - 71.55)^2 + 22.680(H - 71.55)}{(H - 62.347)^{2/3} K} \right]^{5/3}}$$

将表 1 中数据代入上式，得 $K=22.319$ 。查水文手册得该桥流域中心日暴雨量百年一遇强度 $a_p=217.5\text{ mm}$ ，反算得桥址水位 $H_p=74.507\text{ m}$ 。值得注意的是，本研究所得到的函数解是建立在既有桥梁的条件下，得到的 H_p 包含了桥前壅水高度和风浪高度。经计算，

桥下浪高为 0.120 m ，桥前壅水高度为 0.140 m ，则桥下静水位为 $(74.507 - 0.140 - 0.120)\text{ m} = 74.247\text{ m}$ 。传统的推理公式法计算的静水位为 74.230 m ，可见：采用本文研究方法所得计算结果与采用传统方法所得计算结果的差别较小。

水位确定后，由一般冲刷公式和局部冲刷公式修正式^[15]可计算得到基础冲刷情况：一般冲刷后的最大水深 $h_p=6.95\text{ m}$ ；局部冲刷深度 $h_b=1.76\text{ m}$ 。

以上输入的雨量数据是从当地水文手册中查到的设计频率对应的 24 h 暴雨强度，计算结果为设计洪水发生时的水害情况；当输入的雨量是雨量站即时雨情时，计算结果即为即将到达桥址处的结果。

3.2 沪昆线占卜桥和泰肥线滂河桥

通过运用与金鸡湾桥相同的计算过程，可得到占卜桥与滂河桥的计算结果。占卜桥原设计流量 $Q_p=523\text{ m}^3/\text{s}$ 。使用单位线法得其百年一遇的流量 $Q_{p1}=521\text{ m}^3/\text{s}$ ；使用本文作者提出的方法得其百年一遇流量 $Q_p^j=517\text{ m}^3/\text{s}$ ，由本文方法与传统方法所得的结果比较接近。

滂河桥原设计流量 $Q_p=910 \text{ m}^3/\text{s}$ 。使用单位线法得其百年一遇的流量 $Q_{p1}=910.6 \text{ m}^3/\text{s}$,按照铁四院使用的计算方法求得其百年一遇的流量 $Q_{p2}=936.6 \text{ m}^3/\text{s}$;使用本文作者提出的方法得百年一遇流量 $Q_p^j=918.1 \text{ m}^3/\text{s}$,与单位线法所得的结果比较接近。

4 结论

(1) 雨量-水位函数模型是在推理公式法和均匀稳定流的基础上建立的,基础理论可靠,满足均匀稳定流条件的中小流域桥梁均可采用本文作者提出的方法进行水害预测。

(2) 雨量-水位函数模型利用墩台水痕和历史雨量资料确定既有桥梁的雨量水位关系,计算得到的水位资料包含了壅水高度和波浪高度,不需要再加壅水高度和波浪高度。

(3) 预先建立了10种典型断面的雨量-水位函数模型,应用时只需基于实测河床断面对其进行选择,不需要重复推导,方便计算机编程实现。特别是应用于多座桥梁时,可减少大量的重复性工作。

(4) 本文作者提出的水害预测方法,只需要收集桥梁河床断面、糙率系数和历史雨量及对应的水痕高程即可进行水位预测;当河床地质情况已知时,还可以进行冲刷方面的预测。与现行方法相比,它避免了收集汇流方式、雨量损失、流域平均坡度、主河槽长度和流域面积等参数,减少了大量的野外工作,使用方便,且精度满足实际需要。

参考文献:

- [1] Bruce B. Analyzing bridge failures[J]. Materials Performance, 2008, 47(6): 95-95.
- [2] Wardhana K, Hadipriono F C. Analysis of recent bridge failures in the United States[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2003, 17(3): 144-150.
- [3] 文超,文雨松. 漂石河床扩大基础桥墩局部冲刷深度的人工神经网络解[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2004, 35(2): 333-336.
WEN Chao, WEN Yu-song. The artificial neural network method used to calculate the depth of local scour of the expending base piers in the boulder riverbed[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2004, 35(2): 333-336.
- [4] 文超,文雨松. 漂石河床一般冲刷的人工神经网络解[J]. 铁道学报, 2004, 26(1): 93-95.

- WEN Chao, WEN Yu-song. Solution of the artificial neuron network to general scouring in the boulder riverbed[J]. Journal of the China Railway Society, 2004, 26(1): 93-95.
- [5] 李海瑞. 桥梁水毁的预防与治理[J]. 公路, 2007(7): 209-211.
LI Hai-rui. Prevention and treatment on damage to bridges by flood[J]. Highway, 2007(7): 209-211.
- [6] Merz R, Bloschl G. Extended information basis for the determination of flood probabilities[J]. Hydrologie Und Wasserbewirtschaftung, 2008, 52(6): 300-309.
- [7] 王光生, 宁方贵, 肖飞, 等. 实用水文预报方法[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 1-55.
WANG Guang-sheng, NING Fang-gui, XIAO Fei, et al. Hydrological prediction method[M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2008: 1-55.
- [8] 谈戈, 夏军, 李新. 无资料地区水文预报研究的方法与出路[J]. 冰川冻土, 2004, 26(2): 192-196.
TAN Ge, XIA Jun, LI Xin. Hydrological prediction in un gauged basins[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(2): 192-196.
- [9] 柴晓玲. 无资料地区水文分析与计算研究[D]. 武汉: 武汉大学水文学及水资源学院, 2005: 18-28.
CHAI Xiao-ling. Hydrologic estimation method and analysis in un-gauged basins[D]. Wuhan: Wuhan University. School of Hydrology and Water Resource, 2005: 18-28.
- [10] 文雨松. 桥涵水文[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005: 83-87.
WEN Yu-song. The hydrology of bridges and culverts[M]. Beijing: China Railway Press, 2005: 83-87.
- [11] 铁道部第三勘测设计院. 桥涵水文[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1993: 41-43.
The Third Railway Survey and Design Institute. The hydrology of bridges and culverts[M]. Beijing: China Railway Press, 1993: 41-43.
- [12] 曹二星, 文雨松. 基于桥墩水痕采用水位单位线预测既有中小桥水位[J]. 铁道建筑, 2008(9): 22-24.
CAO Er-xing, WEN Yu-song. Flood forecast for existing middle & small span bridges with unit hydrograph based on water trace on piers[J]. Railway Engineering, 2008(9): 22-24.
- [13] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2006: 130-143.
XIE Ji-jian, LIU Cheng-ping. Fuzzy mathematic methods and applications[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2006: 130-143.
- [14] 王顺洪. 用模糊相似优先比关系预测工程项目投标报价[J]. 西南交通大学学报, 2001, 36(1): 96-99.
WANG Shun-hong. Forecasting the bid of engineering projects with fuzzy similar-priority comparison[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2001, 36(1): 96-99.
- [15] TB 10017—99, 铁路工程水文勘测设计规范[S].
TB 10017 — 99, Design specifications for water survey in railway engineering[S].

(编辑 刘华森)