



# 桥墩一般冲刷计算研究

吴雪茹

(广西大学土木工程学院, 广西 南宁 530004)

**摘要:** 根据桥位河床的一般冲刷计算成果, 分析计算公式中主要参数对一般冲刷的影响, 指出公式的适用范围和不足, 提出确定一般冲刷深度的建议。

**关键词:** 桥墩; 河床; 公式; 一般冲刷

**中图分类号:** U442.4

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-4972(2007)05-0027-04

## Calculation of Bridge Pier's General Erosion

WU Xue-ru

(Department of Civil and Architecture Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract:** According to the calculation results of general erosion of riverbed of bridge, this paper analyzes the impact of the main parameters in the formula to general erosion, gives the scope of application and defects of that formula, and proposes a suggestion on determination of general erosion depth.

**Key words:** bridge pier; riverbed; formula; general erosion

桥梁工程是涉河建筑物。桥梁跨河后, 桥墩占据了部分河道的行洪面积, 引起桥墩附近水流和泥沙情势改变, 使该处河床产生冲刷变形。桥墩附近河床冲刷的影响因素可分为两大部分: 一是水沙因素, 包括流速、水深、泥沙粒径、泥沙颗粒级配、床沙黏性等; 二是桥墩因素, 包括桥墩形状、桥墩迎水面宽度、桥墩长度, 桥墩与水流方向夹角等<sup>[1]</sup>。冲刷影响因素十分复杂, 很难准确计算。我国的桥涵水文计算中, 把河床的冲刷分解成自然演变冲刷、一般冲刷和局部冲刷 3 部分, 并假定它们相继进行, 可以分别计算, 然后叠加, 作为墩台的最大冲刷深度<sup>[2]</sup>。实际设计计算时通常认为, 河道经过历史的演变, 河势基本达到冲淤平衡, 计算时采用的河道水下地形资料已经包括了河床自然演变冲刷, 即认为河床自然演变冲刷为零。因此, 只需确定一般冲刷和局部冲刷, 并将其叠加, 就得到墩台的最大冲刷深度。

本文根据广西境内 12 座大桥的河床一般冲刷计算结果, 论述桥梁墩台的一般冲刷计算公式的适用范围和不足, 分析主要参数对一般冲刷的影响, 提出确定一般冲刷深度的建议。

### 1 一般冲刷的计算公式

我国《公路桥位勘测设计规程》和《桥涵水文》推荐非黏性土河槽的一般冲刷计算有 3 类公式: 按冲止流速建立的公式, 即公式 64-1; 按输沙平衡建立的公式, 即公式 64-2; 按别列柳伯斯基假定建立的公式, 即包尔达可夫公式。

#### 1.1 公式 64-1<sup>[3]</sup>

$$h_p = \left( \frac{\xi Q_{cp}}{\varepsilon L_j E d} \right)^{\frac{3}{5}} \left( \frac{h_{\max}}{\bar{h}} \right)$$

式中:  $h_p$  为桥下河槽一般冲刷后最大水深 (m);  $h_{\max}$  为桥下河槽最大水深 (m);  $\bar{h}$  为桥下河槽的平

**收稿日期:** 2006-12-26

**作者简介:** 吴雪茹 (1954-), 女, 副教授, 主要从事水力学教学、科研工作。

均水深 (m);  $Q_{cp}$  为河槽部分通过的计算流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $L_j$  为河槽部分桥孔净长 (m);  $\varepsilon$  为桥下水流侧向压缩系数;  $\bar{d}$  为土壤平均粒径 (mm);  $E$  为与含沙量有关的系数;  $\xi$  为单宽流量集中系数,  $\xi = \left( \frac{\sqrt{B}}{H} \right)^{0.15}$ ;  $B$ 、 $\bar{H}$  为平滩水位时河槽宽度和河槽平均水深 (m)。

## 1.2 公式 64-2<sup>[3]</sup>

$$h_p = 1.04 \left( \xi \cdot \frac{Q_2}{Q_1} \right)^{0.9} \left( \frac{B_1}{\varepsilon(1-\lambda)B_2} \right)^{0.66} h_{\max}$$

式中:  $Q_1$  为桥位断面天然状态下河槽流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $Q_2$  为建桥后桥下断面河槽部分通过的设计流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $Q_3$  为桥位断面天然河槽水面宽度 (m);  $B_2$  为建桥后桥下断面河槽宽度 (m);  $\lambda$  为设计水位下, 桥墩阻水总面积与桥下过水面积的比值。其余符号意义同前。

## 1.3 包尔达可夫公式<sup>[2]</sup>

$$h_p = Ph \quad P = \frac{A_{\text{冲后}}}{A_{\text{冲前}}}$$

式中:  $h$  为冲刷前相应的垂线水深 (m);  $P$  为冲刷系数;  $A_{\text{冲后}}$  为一般冲刷后的桥下过水面积;  $A_{\text{冲前}}$  为一般冲刷前的桥下过水面积。

## 2 主要参数对一般冲刷的影响

笔者在利用上述 3 个公式对广西境内 12 座大桥进行一般冲刷计算时, 发现主要参数对一般冲刷的影响如下:

### 2.1 计算断面

计算一般冲刷时, 起主要作用的是断面形态, 也就是计算断面  $h_{\max}/\bar{h}$  比值的大小, 其比值愈大, 算出的一般冲刷水深愈大。山区河流一般水深大, 水面宽度小,  $h_{\max}/\bar{h}$  比值小于河面开阔的河流的相应值, 即一般冲刷深度小于河面开阔的河流。相对于整个河段而言, 桥址处由于边界条件改变, 水位、流速及流向变化较大, 一般用桥位断面作为计算冲刷的最不利断面。

### 2.2 泥沙粒径

在水流和泥沙互相作用过程中, 当泥沙粒径  $d=17 \text{ mm}$  时, 泥沙的起动流速最小;  $d>17 \text{ mm}$  时, 泥沙的起动流速随泥沙粒径的增大而增大, 大颗粒

泥沙的起动流速主要由克服重力来确定;  $d<17 \text{ mm}$  时, 泥沙的起动流速随泥沙粒径的减小而增大, 小颗粒泥沙的起动流速主要由克服分子的黏结力来确定<sup>[2]</sup>。泥沙的止动流速则与泥沙粒径成正比。泥沙粒径大小对于冲刷计算反映敏感, 而桥位的地质钻探一般是提供泥沙粒径的范围, 应该根据河段情况慎重选取。

### 2.3 冲刷系数

冲刷系数  $P$  表示桥下河槽的冲刷程度。桥下流速增大到一定的流速时, 桥下河床开始冲刷, 冲刷后水深增加, 流速降低, 冲刷减缓, 最终停止。别列柳伯斯基假定, 桥下过流断面扩大到桥下流速等于天然河槽流速时, 桥下冲刷停止。根据这一假定, 包尔达可夫给出了简单的计算公式, 对于山区有滩的河流, 公式中的系数  $P=1.2\sim 1.4$ 。事实上, 冲刷系数  $P$  在该范围内取值时, 计算结果明显偏大。

### 2.4 过水面积的折减系数

桥墩矗立于河中, 水流在桥墩处发生绕流, 因桥墩阻水而引起桥下过水面积折减的系数  $\lambda$  与桥墩的宽度及大桥跨度有关。进入桥孔的水流产生侧收缩, 使桥下过水面积折减, 折减系数  $\varepsilon$  与天然河槽的平均流速和大桥跨度有关。在所计算的 12 座大桥中, 罗天乐、八甫、都柳江 3 座大桥位于红水河, 其余的大桥均位于右江。红水河和右江为通航河道, 其中镇流、江坝、八甫、罗天乐 4 座大桥为一跨过江, 单孔双向通航, 其余为多跨过江, 双孔通航。因此, 过水面积的折减系数还与桥墩的布置和冲向桥孔的流速紧密相关。12 座大桥的过水面积的折减系数  $\lambda=0.011\sim 0.043$ ,  $\varepsilon=0.977\sim 0.997$ 。在水力学研究中,  $\varepsilon$  约为 0.85~0.98, 这里按冲刷计算分析  $\varepsilon$  为 0.98 左右, 分析的角度不同结果差别不大, 因此认为两系数的分析方法合理。

### 2.5 单宽流量集中系数

在有推移质运动, 冲刷过程又有上游来沙补偿的河槽中, 随着一般冲刷的发展, 桥下的单宽流量进行再分配。河槽越宽浅, 单宽流量的集中趋势越强, 单宽流量集中系数越大, 河槽的稳定性越差<sup>[2]</sup>。对于稳定性较好的山区河段, 断面的

宽深比一般为  $\alpha = \sqrt{B/H} = 2 \sim 5$ ，单宽流量集中系数  $\xi = 1.11 \sim 1.273$ 。在所计算的 12 座桥中， $\alpha = 0.53 \sim 2.2$ ， $\xi = 0.91 \sim 1.129$ （见表 1）。单宽流量集中系数小于 1 的情况显然不合理。因为，发生冲刷后，河床降低单宽流量更集中，单宽流量集中系数  $\xi$  应大于 1。 $\xi$  小于 1 时，相当于冲刷没有

发生，或者说水流反而向河滩集中，这与实际不符。

### 3 一般冲刷计算结果分析

根据公式 64-1，64-2 和包尔达可夫公式，12 座桥的一般冲刷计算结果见表 1<sup>[5-16]</sup>。

表 1 一般冲刷参数表 (100 年一遇洪水)

|       | $\bar{d}/\text{mm}$ | $\xi$ | $h_{\text{max}}/\text{m}$ | 公式 64-1        |          | 公式 64-2        |        | 包尔达可夫公式        |        |
|-------|---------------------|-------|---------------------------|----------------|----------|----------------|--------|----------------|--------|
|       |                     |       |                           | $h_p/\text{m}$ | 冲刷深度/m   | $h_p/\text{m}$ | 冲刷深度/m | $h_p/\text{m}$ | 冲刷深度/m |
| 百峰大桥  | 40                  | 1.066 | 20.213                    | 17.735         | -2.478   | 23.427         | 3.214  | 24.216         | 4.003  |
| 江坝大桥  | 50                  | 1.10  | 19.122                    | 14.285         | -4.837   | 23.205         | 4.083  | 22.946         | 3.824  |
| 金鸡滩大桥 | 25                  | 1.08  | 26.845                    | 17.203         | -9.642   | 29.932         | 3.087  | 32.214         | 5.369  |
| 田阳大桥  | 40                  | 1.129 | 21.136                    | 14.979         | -6.157   | 23.397         | 2.261  | 25.363         | 4.227  |
| 平果大桥  | 亚黏土覆盖               | 1.037 | 26.413                    | 9.086          | -17.327  | 29.18          | 2.767  | 31.70          | 5.287  |
| 花周大桥  | 40                  | 1.017 | 26.960                    | 11.528         | -15.432  | 29.274         | 2.314  | 32.352         | 5.392  |
| 那福大桥  | 50                  | 1.081 | 19.560                    | 13.583         | -5.977   | 23.316         | 3.756  | 23.472         | 3.912  |
| 镇流大桥  | 亚黏土                 | 0.97  | 36.630                    | 16.401         | -20.229  | 38.308         | 1.678  | 43.956         | 7.326  |
| 坛郎大桥  | 40                  | 1.05  | 19.084                    | 10.90          | -8.184   | 22.203         | 3.119  | 22.901         | 3.817  |
| 罗天乐大桥 | 40                  | 0.919 | 136.286                   | 12.108         | -124.178 | 136.775        | 0.489  | 163.543        | 27.257 |
| 八甫大桥  | 40                  | 0.91  | 62.946                    | 36.592         | -26.354  | 64.255         | 1.309  | 75.535         | 12.589 |
| 都柳江大桥 | 30                  | 1.024 | 30.443                    | 19.240         | -11.203  | 33.731         | 3.288  | 36.53          | 6.087  |

由表 1 可知，应用公式 64-1 进行计算时， $h_p < h_{\text{max}}$ ，冲刷深度为负值，即冲刷并没有发生，这种情况显然是不可能的。因为实际上桥墩占据了部分过流面积，桥孔处河槽流速增加，河床实际产生了冲刷。笔者认为，计算结果与实际不符的原因有二：1) 是该公式的理论根据是假定垂线平均流速降低到该垂线的冲止流速时冲刷停止，一般冲刷深度达到最大。由于水流和泥沙运动的复杂性，部分或大部分垂线平均流速降低到该垂线的冲止流速并不能代表全部垂线平均流速都同时降低到对应垂线的冲止流速。2) 是公式是根据一些实际工程和试验资料得到，部分实际工程和试验资料毕竟有一定的局限性，所以，公式 64-1 的适应性较差。

相对而言，公式 64-2 与包尔达可夫公式的计算结果比较接近，从使用的角度来说，包尔达可夫公式结构简单，方便使用。但因为结构过于简单，没有全部或绝大部分反映参与水流和泥沙运动的各主要参与因素的影响，同时准确确定冲刷系数  $P$  尚有一定的难度，因此，该公式比较粗糙。

比较 3 个公式的计算结果，认为用公式 64-2 进行河道的一般冲刷计算比较合理，但结果偏大。因为 1) 该式的理论根据由输沙平衡原理得到，即认为河道的一般冲刷是通过推移质运动来实现的，桥下河槽断面的来沙量小于水流挟沙能力时，桥下断面发生冲刷。随着冲刷的发展，桥下河槽断面的水流挟沙能力逐渐降低，上游来沙量和桥下排沙量逐渐接近以至相等，输沙达到平衡，冲刷随之停止，一般冲刷深度达到最大值<sup>[2]</sup>。12 座大桥所在的河段的输沙情况与该式的理论根据大致相符。2) 建桥后，发生 100 年一遇以下频率的洪水时，12 座桥河槽桥孔处的流速增加值在 10 cm/s 左右，流速增加值对提高水流的挟沙能力并不显著。广西境内的河流多年平均含沙量最大的是红水河，其多年平均含沙量  $\rho = 0.866 \text{ kg/m}^3$ ，泥沙系数  $E = 0.46$ ，相对于全国其它河流来说境内河流的来沙量不算大，桥位河床的冲刷理应轻于年平均含沙量较大的其它河流的冲刷。据此，笔者认为，桥位处的一般冲刷应该不会太大，不应该大于局部冲刷深度。有关资料证明，桥墩及一些建筑物的河道局部冲刷与一般冲刷之比约为 1.5~4<sup>[4]</sup>。12 座桥的

局部冲刷深度、一般冲刷深度及二者的比值见表 2<sup>[5-16]</sup>。由表 2 知, 田阳、花周、罗天乐和八甫的局部冲刷深度与一般冲刷深度比值大于 1, 其余大桥的冲刷深度比值均小于 1。12 座桥桥位所在的河段河床一般为卵石覆盖, 沿岸河床稳定, 没有发生地质灾害。根据桥位河段的地质情况, 认为局部冲刷深度是合理的。

表 2 局部冲深与一般冲深比值表

| 参数  | 局部冲深/m | 一般冲深/m | 局部/一般 |
|-----|--------|--------|-------|
| 百峰  | 2.337  | 3.214  | 0.727 |
| 江坝  | 2.596  | 4.083  | 0.636 |
| 金鸡滩 | 2.567  | 3.087  | 0.832 |
| 田阳  | 2.333  | 2.261  | 1.032 |
| 平果  | 0.295  | 2.767  | 0.107 |
| 花周  | 3.800  | 2.314  | 1.642 |
| 那福  | 1.782  | 3.756  | 0.474 |
| 镇流  | 0.675  | 1.678  | 0.402 |
| 坛郎  | 1.739  | 3.119  | 0.558 |
| 罗天乐 | 2.463  | 0.489  | 5.037 |
| 八甫  | 1.522  | 1.309  | 1.163 |
| 都柳江 | 1.522  | 3.288  | 0.463 |

可见, 对于山区河流, 在进行河道的一般冲刷计算时, 公式 64-2 的计算结果较为合理, 但计算结果仍普遍偏大。因此, 准确确定公式中各参数是非常关键的。

#### 4 结论

计算一般冲刷时, 用公式 64-1 进行计算出现负值, 与实际情况不符。用 64-2 式计算比较合理, 但计算结果偏大。局部冲刷深度大于一般冲刷深度, 两者之比为 1.5~4 是合理的。

公式中的桥墩阻水系数  $\lambda$ , 桥下水流的侧向收缩系数  $\varepsilon$  的分析方法合理, 单宽流量集中系数  $\xi$  应大于 1, 小于 1 则与实际不符。

桥墩的一般冲刷和局部冲刷几乎是同时完成的, 由于冲刷机理复杂, 影响冲刷的因素较多, 很难做到精确确定桥墩的一般冲刷深度, 即使在

固体模型上或将来大桥建成以后对实际的冲刷进行测量, 也无法区分一般冲刷和局部冲刷的界限, 因此在选择冲刷的计算公式和公式中的参数时, 应根据工程的地质和河势谨慎选择, 重要的工程最好通过水工模型试验论证。

#### 参考文献:

- [1] 齐梅兰. 采沙河床桥墩冲刷研究 [J]. 水利学报, 2005 (7): 835-839.
- [2] 高冬光. 桥涵水文 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [3] JTJ 062—91, 公路桥位勘测设计规范 [S].
- [4] 毛昶熙, 周名德, 柴恭纯. 闸坝工程水力学与设计原理 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [5] 陈光强, 燕柳斌, 吴雪茹, 等. 百峰大桥对河道防洪影响评价报告 [R]. 南宁: 广西大学土木工程学院, 2006.
- [6] 燕柳斌, 陈光强, 吴雪茹, 等. 江坝大桥对河道防洪影响评价报告 [R]. 南宁: 广西大学土木工程学院, 2006.
- [7] 莫崇勋, 吴雪茹, 燕柳斌, 等. 金鸡滩大桥对河道防洪影响评价报告 [R]. 南宁: 广西大学土木工程学院, 2006.
- [8] 吴雪茹, 燕柳斌, 张小飞, 等. 田阳大桥对河道防洪影响评价报告 [R]. 南宁: 广西大学土木工程学院, 2006.
- [9] 张小飞, 吴雪茹, 燕柳斌, 等. 平果大桥对河道防洪影响评价报告 [R]. 南宁: 广西大学土木工程学院, 2006.
- [10] 吴雪茹, 燕柳斌, 张小飞, 等. 花周大桥对河道防洪影响评价报告 [R]. 南宁: 广西大学土木工程学院, 2006.
- [11] 燕柳斌, 陈光强, 吴雪茹, 等. 那福大桥对河道防洪影响评价报告 [R]. 南宁: 广西大学土木工程学院, 2006.
- [12] 莫崇勋, 燕柳斌, 吴雪茹, 等. 镇流大桥对河道防洪影响评价报告 [R]. 南宁: 广西大学土木工程学院, 2006.
- [13] 燕柳斌, 陈光强, 吴雪茹, 等. 坛郎大桥对河道防洪影响评价报告 [R]. 南宁: 广西大学土木工程学院, 2006.
- [14] 吴雪茹, 张小飞, 莫崇勋, 等. 罗天乐大桥对河道防洪影响评价报告 [R]. 南宁: 广西大学土木工程学院, 2006.
- [15] 吴雪茹, 燕柳斌, 莫崇勋, 等. 八甫大桥对河道防洪影响评价报告 [R]. 南宁: 广西大学土木工程学院, 2006.
- [16] 吴雪茹, 燕柳斌, 莫崇勋, 等. 都柳江大桥对河道防洪影响评价报告 [R]. 南宁: 广西大学土木工程学院, 2006.