

细沙多河流桥墩附近冲刷及其模拟*

张淑英 邵苏梅

(兰州铁道学院) (黄委会水利科学研究院)

摘 要: 本文根据细沙多河流的原型河床边界条件,通过物理概化模型试验,较系统地研究了细沙河床桥墩附近水位变化、冲刷过程及冲刷坑形态等问题后,发现当局部冲刷停止时,床沙中径相应变粗 1.5--2.5 倍,而且实验曲线进一步反映了桥墩冲深随行进流速增加而加大的变化趋势。此外文中还对多沙细沙河流工程附近的局部河床冲刷的试验模拟充法进行了深入探讨,并对有关计算公式进行了检验与分析。

关键词: 桥墩,冲刷,沉淀,河流

中图分类号: U422

本文以细沙多沙河流为原型,采用物理模拟的方法,研究了细沙河床桥墩附近冲刷过程及冲坑形态等一系列问题,并对多沙河流局部冲刷的模拟方法进行了探讨。此外,文中对有关计算公式进行了检验,以便设计部门使用参考。

1 问题的提出

桥墩基础的埋置深度直接影响桥渡的安全及造价,如何准确地预估桥墩附近将出现的最大冲刷深度是十分重要的研究课题,因而受到了工程和科研部门专家的高度重视,取得了很大的进展。但是对于复杂的多沙细沙河床的局部冲刷问题,已有成果尚与实际有较大差异,即使是室内水槽实验,其床沙粗度及桥墩尺度等条件也难以反映天然状况。为此本文以细沙多沙河流为原型,通过局部物理模型试验,研究了细沙河床桥墩附近冲刷问题。

2 模型设计

2.1 桥墩尺度及模型河宽

由于本项研究的重点是局部变形问题,试验需采用正态模型,对于水流条件,试验时主要控制水流流向和流速(或单宽流量)的大小并只考虑对桥墩有直接影响的主流带的流

* 收稿日期: 1993-05-15

动状态。

参照细沙多沙河流桥渡基础处理时常用的钻孔灌注摩擦桩方案及其尺寸, 我们拟取原型桩径为 1.8m, 分两排布置, 共 16 根桩, 承台尺寸为 40m × 8m (平面图见图 1)。根据试验条件, 取几何比尺 $\lambda_L = \lambda_b = 100$, 因此模型桥墩承台宽度 $b_m = 8m / \lambda_L = 8cm$ 。

为在局部模型试验过程中能真实反映墩旁水流流态及河床冲淤变形, 所确定的局部模型河宽除包括墩宽外, 还必须大于墩体对周围水流的影响宽度与模型边壁影响宽度之和, 即

$$B_m > B_c + B_s + b_m \quad (1)$$

式中 B_m 为模型河宽; B_c 为墩体对周围水流的影响宽度; B_s 为模型边壁影响宽度 (在所影响的宽度范围内不能视为二维流区), 可由下式计算^[1]:

$$B_s = 4.7H \left(\frac{n_w}{n_b} \right)^2 \quad (2)$$

式中 n_w 为边壁糙率, 本模型试验 $n_w = 0.013$; n_b 为河床糙率, 本试验模型沙糙率 $n_b = 0.015$; H 为平均水深; 预估试验最大平均水深, $H_{\max} = 10cm$, 依次代入式 (2), 可求得模型边壁影响的最大宽度为 35.1cm。

至于 B_c , 参考张红武对于丁坝影响宽度的研究结果^[2], 取 $B_c = 2 \times 3.5b_m = 56cm$ 。于是由式 (1) 知 B_m 应大于 99.3cm, 本试验的模型河宽控制为 14m, 满足式(1)所给的限制条件。

2.2 模型沙选择及比尺计算

由水流的重力相似条件, 求得流速比尺 $\lambda_v = \sqrt{\lambda_h} = 10$ 。

为确定原型底沙的起动流速, 我们利用黄河下游河道及引黄渠系不冲流速与床沙质含沙量资料, 点绘 $h = 1$ 时不冲流速与含沙量的关系, 得清水时的不冲流速 $V_{cl} = 0.85m/s$, 再有如下关系式:

$$V_c = V_{cl} h^{\frac{1}{6}} \quad (3)$$

可定出黄河下游原型水深为 3—10 米时的起动流速 $V_c = 1.02—1.23m/s$, 同文献[3]中确定的清水时壤土土质渠槽不冲流速值 $V_c = 1.05—1.39m/s$ 基本相近。于是综合上述分析, 取原型沙起动流速 $V_{cp} = 1.02—1.39m/s$ 。

预备试验结果表明, 采用 $D_{50} = 0.04mm$ 的郑州热电厂粉煤灰作为模型床沙可满足起动相似条件, 由得到的起动流速曲线查出相相应水深条件下的模型沙 $V_{cm} = 0.11—0.14m/s$, 于量可求出: $\lambda_{vc} = V_{cp} / V_{cm} = 9.27—9.93$, 显然与流速比尺 $\lambda_v (= 10)$ 接近。

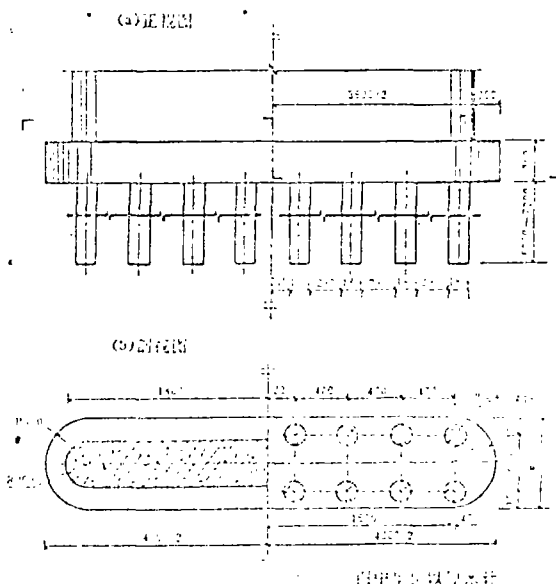


图 1 桥墩平面图

黄河下游采用正态模型,其悬移质的模拟极为困难,不过,由于本试验主要研究最不利条件下的主流带冲刷过程,因此可以着重考虑参与造床作用的床沙质。文献^[4]提出的床沙质及冲泻质分界粒径公式为

$$d_c = 1.276 \frac{V^{\frac{5}{8}}}{\sqrt{g}} \left(\frac{u_*^3}{Kh} \right)^{\frac{1}{8}} \quad (4)$$

取卡门常数 K 为 0.35, $v = 0.01 \text{ cm}^2/\text{s}$ (水温 20°C), 并根据主流带 $h = 3.5\text{—}4\text{m}$, $J = 2.5\text{—}5\%$, 代入式(4)求得 $d_c = 0.029\text{—}0.033\text{mm}$, 为了进一步确定床沙质粗度, 我们点绘了 80 年代汛期 7—8 月份悬沙级配资料, 定出悬沙平均粒配曲线, 再由上述分界粒径求出主流带床沙质中径为 $0.046\text{—}0.051\text{mm}$, 设计时取 $d_{50} = 0.05\text{mm}$, 黄河下游悬沙细可近似用滞流区公式计算其沉速, 因此, 可推得悬沙粒径比 R 关系式为:

$$\lambda_d = \left(\frac{\lambda_w \lambda_v}{\lambda_{r_1} - r} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

模型沙比重 $r_m = 2.10$, 原型沙比重取 $r_s = 2.65$, 则 $\lambda_m - r = 1.65 / 1.1 = 1.5$; 原型 7—8 月份水温平均为 28°C , $v = 0.00839 \text{ cm}^2/\text{s}$, 模型水温测得为 4°C , $V_m = 0.0157$, 此时 $\lambda_v = 0.534$, 代入式(5)得 ($\lambda_w = 10$) $\lambda_d = 18.87$.

本模型采用经过沉沙池处理后的中径为 $0.025\text{—}0.03\text{mm}$ 的电厂煤灰, 模拟主流带悬沙床沙质的造床作用。

对于原型挟沙力, 若着重考虑大水少沙不利条件下的情况, 可用下式计算^[5]:

$$S_* = 0.14 \left(\frac{V^3}{hg\omega} \ln \frac{h}{6D_{50}} \right)^{0.6} \quad (6)$$

将床沙质水力粗度 $\omega = 0.25 \text{ cm/s}$ ($d_{50} = 0.05\text{mm}$) 代入上式, 可近似得床沙质挟沙力。主流带水力条件若取 $h = 0.35\text{m}$, $V = 3.2\text{—}3.5 \text{ m/s}$, $D_{50} = 0.1\text{mm}$, 则由式(6)得: $S_{*p} = 18.13\text{—}21.30 \text{ kg/m}^3$, 预备试验得模型挟沙力 $S_{*p} = 8\text{—}14 \text{ kg/m}^3$ 。若取 $S_{*m} = 11 \text{ kg/m}^3$, 求得 $\lambda_s = S_{*p} / S_{*m} = 1.65\text{—}1.94$, 试验时近似取 $\lambda_s = 1.8$ 。

模型沙干容重 $r_{om} = 0.78$, 原型主流带床沙干容重 $r_o = 1.45$, 得 $\lambda_r = 1.86$, 与 λ_s 非常接近。因此由河床变形相似条件可知 $\lambda_{i_2} = \lambda_{i_1} = 10$, 因此说明在模型中河床变形与水流运动的过程是一致的。

3 试验结果

正式试验前, 首先采用黄河京广铁桥实测资料对模型试验进行了验证比较 (图 2)。

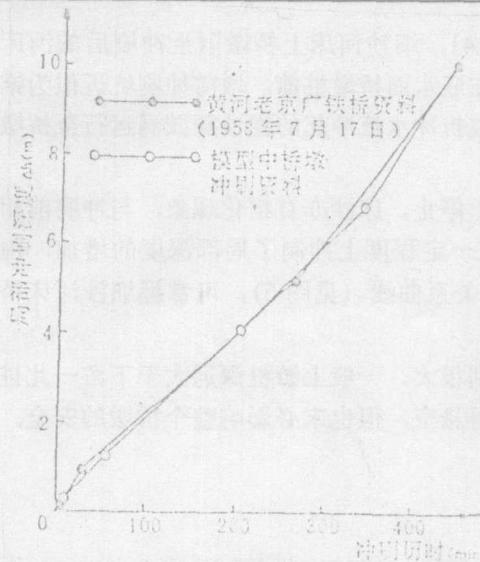


图2 局部冲刷过程的验证结果

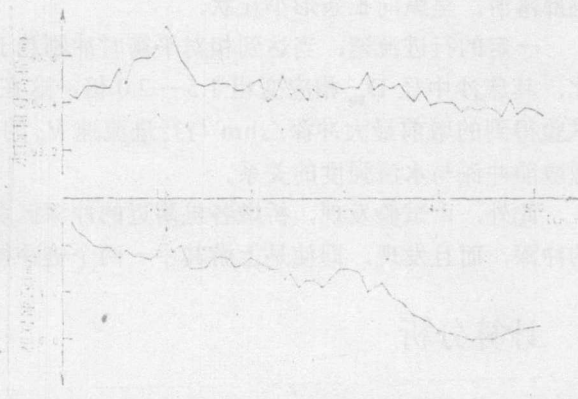
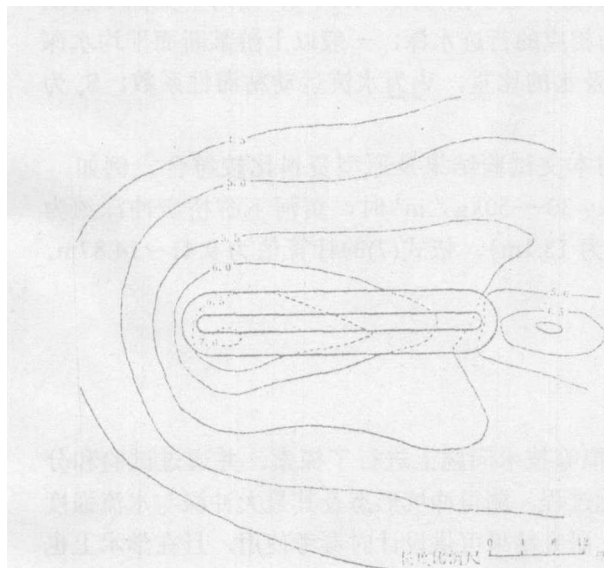
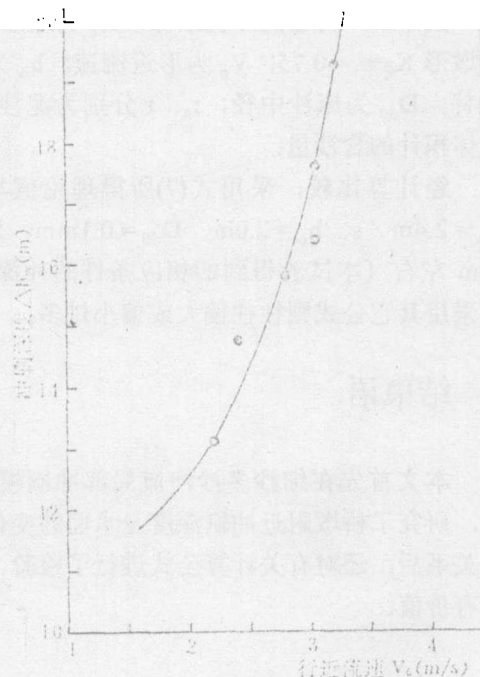


图3 墩前水面及河床高程的变化过程

由图可以看出,模型局部冲刷深度及冲刷过程均与原型实际接近,因而表明上述模型设计是正确的,能真实地反映黄河下游河滩中局部冲刷情况。

试验中我们采用了WH100型水位跟踪仪,对墩前水位变化进行了测试,测点时间间隔为5秒,整理后的测验结果绘在图3之中。同相应的冲刷过程比较后可以发现,在冲刷初期墩前壅水后,其河床出现游积后水位有所抬升,但很快随着河床的冲刷,水面随即有所下降。尽管随沙波动移使水面时升时降,但水面降低的趋势是明显的。不过水面降低与河床冲刷过程并不是完全同步的。由图中曲线来看,尽管8小时后河床高程仍出现明显的变化,但水面变化却不太多。

图4 桥墩附近冲坑等深线($V_0=2.8$ / s)图5 Δh_m 与 V_0 的试验曲线

由停水后测得的河床等深线图可以看出(图4),细沙河床上桥墩附近冲刷后的河床形态与一般情况下是一致的。即最大冲深点出现在迎水面桥墩桩前,墩前冲刷坑近似为锥形,边坡接近泥沙在水下的休止角。且墩前那些被折冲水流冲起的泥沙随漩涡运行至桥墩尾部落游,呈纵向长条形小丘状。

一定的行进流速,当达到相对平衡时冲刷趋于停止,床沙亦有粗化现象,与冲刷前相比,其床沙中径 D_{50} 相应变粗 1.5—2.0 倍,这在一定程度上抑制了局部深度的增加;由试验得到的墩前最大冲深 Δhm 与行进流速 V_0 的关系曲线(见图5),可掌握细沙河床桥墩墩前冲深与水流强度的关系。

此外,由试验发现,桥墩各桩附近的冲深区别很大,一般上游桩深远大于下游一此桩的冲深,而且发现,即使是上游其中一两个桩冲得悬空,但也未必影响整个桥墩的安全。

4 计算分析

对于桥墩附近的河床冲刷,以往研究往往视为两部分组成,即由建桥挤压水流而产生的一般冲刷和由于墩、台阻水使水流结构变化而引起的局部冲刷⁽⁶⁾。而事实上两者不是各自独立存在的,而是相互影响、相互关联的。在以往桥渡冲刷计算时,首先确定一般冲刷深度,再计算局部冲刷深度,最后以两者之和作为确定桥墩埋置深度的主要依据。显然这种概化处理与实际尚有较大出入。张红武综合起来考虑桥渡冲刷,根据墩旁水流集中情况推导的公式形式为:

$$hm = K_{\zeta} \left[\frac{h_0 V_0 \sqrt{D_{50}}}{\left(\frac{r_s - r}{r} g \right)^{\frac{2}{3}} V^{\frac{5}{3}}} \right]^{\frac{6}{5}} \frac{1}{1 + 1000 S_v^{\frac{5}{3}}} \quad (7)$$

式中 hm 为墩前冲坑水深; K_{ζ} 为墩形系数,对于园形墩, $K_{\zeta} = 1$,而对于如图1所示的墩形 $K_{\zeta} = 0.75$; V_0 为形近流速; h_0 为相应的行进水深;一般以上游某断面平均水深代替; D_{50} 为床沙中径; r_s 、 r 分别为泥沙及水的比重; V 为水流运动粘滞性系数; S_v 为以体积计的含沙量。

经计算比较,采用式(7)所得理论值与本文试验结果及原型资料比较符合。例如, $V_0 = 2.4 \text{ m/s}$ 、 $h_0 = 2.0 \text{ m}$ 、 $D_{50} = 0.1 \text{ mm}$ 、 $S = 30 \sim 50 \text{ kg/m}^3$ 时,黄河下游桥墩冲深约为 12m 左右(本试验得到的相应条件的冲深为 13.1m),依式(7)的计算值为 9.41~14.87m。而采用其它公式则往往偏大或偏小过多。

5 结束语

本文首先在细沙多沙河流局部冲刷模拟等技术问题上进行了探索,并通过试验和分析,研究了桥墩附近冲刷深度及水面的变化过程,测得冲坑形态及其最大冲深与水流强度的关系后,还对有关计算公式进行了检验,研究结果可供设计时参考使用,且在学术上也颇有价值。

参 考 文 献

- (1) 张红武. 河工模型变率及弯道环流问题的研究. 黄科所科研论文集. 河南科学出版社. 1989.
- (2) 张红武. 汪家寅. 黄河丁坝冲刷及根石走失的试验研究. 第四届中日河工坝工议论文集(东京). 1988
- (3) 徐正凡. 梁在潮. 李炜. 黄克中等. 水力计算手册. 水利出版社. 1980
- (4) 张红武. 床沙质及冲泻质区划问题的探讨. 武汉水利电力学报. 校友专辑. 1984
- (5) 张红武. 河流力学选讲. 黄科所讲义. 1987
- (6) 武汉水利电力学院. 河流泥沙工程学. 下册. 水利电力出版社. 1983

The scour and Its simulation hear Bridge piers in the River with Fine and more Sediment

Zhang Shuying Shao Sumei

(Lanzhou Railway Institute) (Institute of Hydraulic Research, YRCC)

Abstract: In this paper, firstly, according to the bed conditions of mototype river with fine and more sand, by means of the physical model tests, there were to investigate systemafically the variation of water level, scouring proless and configuration of local scour. Based on this, it has been found out that the medium diameter of bed sand is relately 1.5—2 times courser than that originally, when the local scour stops. Furthermore, the experimental curves progressively indicates that the scouring depth hear bridge piers increases with the increasing of the approach velocity. In addition, the modeling methods, in the tests for local bed scour hear the river projects, deeply discussed. Evenfually, some relevant callulating formulas are verified and analyzed.

Keywords: Bridge piers, scour, sediment, river