

国内外非粘性土桥墩局部冲刷 计算方法综述

董年虎

段文忠

(黄委会水利科学研究院, 郑州 450003) (武汉水利电力大学, 430072)

摘 要 本文总结了国内外非粘性土桥墩局部冲刷的计算方法。国外众多计算方法在国内使用中有其局限性。国内计算方法主要以 65-1 式为主, 近年来, 在 65-1 式基础上又出现一些改进的计算方法, 使得计算方法更趋于合理。对多沙细沙河流, 张红武公式形式较为简捷。

关键词 桥墩 局部冲刷

中图分类号: TU431

桥墩局部冲刷系由于桥墩阻流产生的水流冲击和涡流作用, 在桥墩周围形成的局部河床变形。桥墩附近水流结构十分复杂, 国内外许多科技工作者力图从理论上建立描述物理现象的数学模型, 目前尚有不少困难。因而人们将模型试验、天然实测资料、调查资料、因次分析及多变量相关分析等方法与理论研究相互结合相互补充, 从不同途径获得桥墩局部冲刷计算方法。

1. 国外桥墩局部冲刷主要计算方法

1.1 经验公式

经验公式类型较多, 从建立经验公式的方法来看, 主要有以下几种^[1]。

(1) 由模型试验资料建立的经验公式。如 Jain. c. c 公式:

$$\frac{h_B}{b} = 1.86 \left(\frac{h}{b} \right)^{0.5} (F_r - F_{rc})^{0.25} \quad (1)$$

(2) 由现场实测资料建立的经验公式。如由印度河流实测资料而得出的 Lacey 公式:

$$h_p + h_B = 0.95 \left(\frac{Q}{f} \right)^{1/3} \quad (2)$$

(3) 由因次分析及多变量相关分析结合试验资料得出的公式。如 HINCUI 公式:

$$\frac{h_B}{b} = 3.3 \left(\frac{D}{b} \right)^{0.2} \left(\frac{h}{b} \right)^{0.13} \quad (3)$$

以上各式中, h_B 为桥墩局部冲刷深度 (m); h_p 为一般冲刷深度 (m); h 为水深 (m);

收稿日期: 1997-01-20

b 为墩宽 (m); $Fr = \frac{u}{\sqrt{gh}}$, $F_{rc} = \frac{u_c}{\sqrt{gh}}$, u , u_c 分别为墩前行进流速及床沙起动流速; Q 为设计流量 (m^3/s); D 为床沙平均粒径 (mm); $f = 1.76D^{1/2}$ 。

1.2 半经验半理论公式

这类公式是以一定的理论为基础, 通过某些假定, 进而推导出桥墩局部冲刷公式, 并结合试验资料确定公式中的一些参数。

(1) 由能量转化方法推出的公式^[2]

亚罗斯拉夫采夫认为, 当水流流向桥墩时, 由于桥墩阻碍, 使动能转化为势能, 引起墩前水位抬高并产生下降水流, 下降水流能量在床面转化为涡流能量并形成冲刷坑。由此而得出如下公式:

$$h_B = k_\xi k_u (a + K_H) \frac{u^2}{g} - 30d \quad (4)$$

式中, k_ξ —墩形系数; k_u 由 $lg k_u = -0.283 \sqrt{u^2/gb_1}$ 计算, b_1 计算墩宽; a —垂线流速分布系数; K_H 由 $lg K_H = 0.17 - 0.35h/b$ 计算; d —泥沙计算粒径 (m)。其余符号同前。

(2) 墩周挤压水流学说建立的公式

Г. А. АРХАНЧОВ 认为, 桥墩的冲刷是由桥墩挤压水流, 墩两侧流速增大处首先引起冲刷, 冲刷逐步发展到墩正面。他利用试验资料分析得出^[1]:

$$\frac{h_B}{b} = K \left(\frac{u}{u_0} \right)^\alpha \left(\frac{h}{b} \right)^\beta K_\phi K_\alpha \quad (5)$$

式中 K 、 α 、 β 与 $\frac{u}{u_0}$ 的变化有关; u_0 为开始冲刷流速; K_ϕ 为墩形系数, K_α 为行进流速与墩斜交系数; 其余符号同前。

此外, 还有用马蹄形旋涡理论, 用墩周清水环流切线流速理论, 用墩周旋涡束紊流理论等建立的公式, 限于篇幅, 这里不再介绍。

1.3 其它类型公式

(1) 包尔达可夫公式^[3]

包尔达可夫公式结构简单, 使用方便, 为迄今常用的外来方法。其公式形式为:

$$h_B = h_p \left[\left(\frac{V_p^n}{V_{\text{不冲}}} \right) - 1 \right] \quad (6)$$

式中, h_p —一般冲刷水深; V_p —设计流速; $V_{\text{不冲}}$ —不冲刷流速; n —墩台形状指数。 $V_{\text{不冲}}$ 及 n 均可有相应的图表查得。

(2) 1972 年苏联《桥渡勘测设计规程》局部冲刷公式^[3]:

$$\begin{aligned} \text{①有底沙补给时: } h_B &= (h_0 + 0.014 \frac{V - V_0}{\omega} b) M \cdot K \\ \text{②无底沙补给时: } h_B &= h_0 \left(\frac{V - V_H}{V_0 - V_H} \right)^{3/4} M \cdot K \end{aligned} \quad (7)$$

上两式中, h_0 —圆柱桥墩极限局部冲刷深度 (m), $h_0 = 6.2\beta H / (V_0/\omega)^\beta$, $\beta = 0.18 (\frac{b}{H})^{0.36}$; b —桥墩计算宽度 (m); H —墩前水深 (m); v_0 —泥沙起动垂线平均流速 (m/s), 由 $V_0 = 3.6 (H d_{cp})^{1/4}$ 计算; V_H —床面泥沙始冲流速 (m/s), 由 $V_H = V_0 (\frac{d_{cp}}{b})^y$ 计算; y —指数; M —墩形系数; d_{cp} —床沙平均粒径 (m); ω —泥沙沉速 (m/s); K —水流斜交系数; y , ω , M ,

K 均可由相应图表查得。

2 国内桥墩局部冲刷计算方法

2.1 国内广泛采用的 65-1 式和 65-2 式^[4]

从 50 年代后期起,我国铁路和公路系统广泛协作,对非粘性桥墩局部冲刷进行了研究。根据我国有关局部冲刷的实测资料,并参考国内外一些试验数据,在 1964 年的全国桥渡冲刷汇总工作会议上,制定了 65-1 式和 65-2 式。两公式收集的资料范围较广,因而具有一定的可靠性,经观测验证,证明两式的精度均比较好,因而可任意选用。

①65-1 式:

$$\text{当 } V \leq V_0 \text{ 时, } h_B = k_\xi k_\eta b_1^{0.6} (V - V'_0) \quad (8)$$

$$\text{当 } V \geq V_0 \text{ 时, } h_B = k_\xi k_\eta b_1^{0.6} (V_0 - V'_0) \left(\frac{V}{V_0}\right)^{n_1}$$

②65-2 式:

$$\text{当 } V \leq V_0 \text{ 时, } h_B = k_\xi k_\eta b_1^{0.6} h 0.15 \left(\frac{V - V'_0}{V_0}\right) \quad (9)$$

$$\text{当 } V \geq V_0 \text{ 时, } h_B = k_\xi k_\eta b_1^{0.6} h 0.15 \left(\frac{V - V'_0}{V_0}\right)^{n_2}$$

式中: h_B —桥墩局部冲刷坑深度 (m); k_ξ —墩型系数,可查有关表; b_1 —桥墩计算宽度 (m); V —一般冲刷后垂线平均流速 (m/s); h —一般冲刷后水深 (m); V_0 —床沙起动流速 (m/s); V'_0 —始冲流速 (m/s); $k_\eta = \left(\frac{2.16}{d^{0.4}} + \frac{0.11}{d^{1.9}}\right)^{1/2}$; $k_\xi = \frac{0.0023}{d^{2.2}} + 0.375d^{0.24}$; $n_1 =$

$$1 / \left[\left(\frac{V}{V_0}\right)^{0.2d^{0.15}}\right]; n_2 = 1 / \left[\left(\frac{V}{V_0}\right)^{0.23+0.19\lg d}\right]; d$$
—床沙平均粒径 (mm);

$$65-1 \text{ 式中 } V_0 = \left(\frac{h}{d}\right)^{0.14} (29d + 0.000000605 \frac{10+h}{d^{0.72}})^{1/2}, \text{ 其中 } d \text{ 以 } m \text{ 计。}$$

$$65-2 \text{ 式中 } V_0 = 0.28 (d + 0.7)^{1/2}, \text{ 其中 } d \text{ 以 } mm \text{ 计。}$$

$$65-1 \text{ 式中, } V'_0 = 0.376 \left(\frac{d}{h}\right)^{0.1} \frac{V_0}{\sqrt{k_\xi}}, d \text{ 以 } mm \text{ 计。}$$

$$65-2 \text{ 式中, } V'_0 = 0.12 (d + 0.5)^{0.55}, d \text{ 以 } mm \text{ 计。}$$

2.2 在 65-1 式基础上改进的计算方法

近年来,我国铁路等交通科技工作者根据已有的观测和实测调查资料以及模型试验资料做了大量分析研究,发现 65-1 式和 65-2 式对卵石、大漂石等河床局部冲刷深度计算值偏大,因而提出了改进的计算方法。这些计算方法在公式的结构上进一步趋向合理。

(1) 铁道部第四勘测设计院公式

在总结 65-1 式存在的问题后,根据实测及试验资料提出了改进的公式:

$$h_B = 0.5 k_\xi b_1^{0.6} L^{0.2} h^{0.1} d^{0.1} \left(\frac{V_0}{V_0 - V'_0}\right)^m \left(\frac{V - V'_0}{V_0 - V'_0}\right)^n$$

式中: L —计算墩长 (m); d —河床平均粒径 (mm); m, n 为无量纲指数; 其中 V_0 用张瑞

瑾公式计算; $V'_0 = \frac{0.35V_0}{k_\xi \sqrt{1+d}} \left(\frac{d}{h}\right)^{0.14}$; $m = 0.12h / [(dL)^{0.1} b^{0.3}]$, 当 $m > 1.3$ 时取 $m = 1.3$;

$n=1-3\left(\frac{1}{Fr_0}-\frac{1}{Fr}\right), Fr_0=\frac{V_0}{\sqrt{gd}}, Fr=\frac{V}{\sqrt{gd}};$ 其余符号意义同 65-1 式。

(2) 铁道部科学研究院公式^[5]

$$h_B=k_\xi k_\eta b_1^{0.6}(V_0-V'_0)\left(\frac{V-V'_0}{V_0-V'_0}\right)^n$$
 (11)

式中, V_0 用张瑞瑾公式计算; $V'_0=0.699\left(\frac{d}{b_1}\right)^{0.06}V_0$; $K_\eta=0.8\left(\frac{1}{d^{0.45}}+\frac{1}{d^{0.15}}\right)$; 当 $V\leq V_0$ 时, 取 $n=0$, 当 $V\geq V_0$ 时, $n=1/(V/V_0)^m$, $m=0.25d^{0.19}$ 。上述 d 的单位均取 mm。其余符号单位同 65-1 式。该式已定为我国《铁路桥渡勘测设计规范》公式。

2.3 适用黄河下游多沙细沙河流的张红武公式

张红武在分析原型实测资料及模型试验资料的基础上, 结合黄河下游游荡型河道多沙细沙河流桥墩冲刷情况, 认为桥渡一般冲刷和局部冲刷实际上并不是独立存在的, 而是相互影响, 相互关联的。因此, 在建立公式时最好一同考虑。根据桥墩墩旁水流集中情况, 考虑过水断面冲刷后的变化, 并同时引用细颗粒泥沙起动流速公式, 得出墩旁最大冲刷水深公式^[6]:

$$h_B=k_\xi\left[\frac{h_0V_0\sqrt{D_{50}}}{\left(\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}g\right)^{2/9}\nu^{5/9}}\right]^{6/7}\cdot\frac{1}{1+1000S_v^{5/3}}$$
 (12)

式中, h_B 墩前冲坑水深, 包括一般冲刷和局部冲刷; k_ξ —墩形系数; V_0 —行近流速; h_0 —行近水深; D_{50} —床沙中径; γ_s 、 γ —分别为泥沙及水的比重; ν —水流运动粘滞性系数; S_v —以体积计的含沙量。公式单位取 $kg\cdot m\cdot s$ 制。

该式在黄河有关桥渡工程问题的应用情况表明, 其计算值与实测结果及试验资料结果均比较接近^[7]。

此外, 还有其它有关桥墩局部冲刷的计算方法, 如蒋焕章公式和铁科院尹桂莲公式以及铁科院其它在 65-1 式基础上的修正公式等, 限于篇幅, 这里不做介绍。

3. 国内外各公式计算结果分析

利用上述各公式对黄河下游京广铁桥河道流量 $Q=22300m^3/s$ 进行局部冲刷计算。所得结果见表 1。由表 1 计算结果可以看出, 国外各公式 h_B 的计算值最小值为 1.6m, 最大值为 15.3m, 计算结果相差近 10 倍。而国内各公式计算结果则比较一致。

根据 1958 年 7 月黄河下游实际发生的 $Q=22300m^3/s$ 洪水实测结果而得出的京广铁桥桥墩最大局部冲刷值为 6.5m, 与国内公式计算值比较接近。

表 1 h_B 计算结果表

| | 国外公式计算结果 | | | | | | | 国内公式计算结果 | | | | | 实测 |
|-----------|----------|------|-----|-----|-----|------|------|----------|-----|------|------|------|-----|
| 公式 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) | 6.5 |
| h_B (m) | 15.3 | 14.9 | 3.5 | 1.6 | 1.7 | 12.1 | 10.5 | 8.3 | 7.2 | 12.5 | 9.1 | 7.5 | |

国外公式计算结果差别较大的原因, 一是因为经验公式中考虑因素少, 不够全面。二

是因为半经验半理论公式在推导过程中有许多假定条件,加之未知的参数大都用试验资料确定,而试验资料的范围及试验条件有限,因而实际应用时难免出现较大的误差。

国内公式的计算结果比较一致,与实际情况比较相符的原因,是因为公式建立在大量的试验及实测资料的基础上,所取资料范围较广,考虑因素比较全面,因而尽管公式带有一定的经验性,但计算结果与实际则比较一致。特别是张红武公式,在建立公式时结合黄河下游水流多沙的特性,抓住对黄河冲淤变化影响较大的主要因素并结合黄河实测资料,建立与 65-1 等式形式不同的公式,使得在计算黄河下游桥墩冲刷时,开辟了一条新的途径,计算方法也较为简捷,计算结果也与实际比较接近。

国外公式(6)及(7)的计算结果与国内公式比较接近,也是因为公式中的参数建立在大量的实测资料基础上,因而这两个公式在我国桥渡设计中经常使用。

从国内公式的计算结果来看,其计算值均比实测值大,这是因为在制定这些公式时除了天然实测资料外,还采用了大量的实验室试验资料,而试验资料大都是在恒定流的条件下冲刷达到平衡时的结果,在确定公式中的参数时,考虑到工程的安全,又往往采用外包线的形式,因而使得计算值比实测值偏大。实际上天然洪水是一个非恒定流过程,根据笔者对非恒定流桥墩局部冲刷的试验研究,发现其局部冲刷与洪水类型及洪峰持续时间长短有关,一般情况下,在恒定流流量等于非恒定流洪峰流量时,非恒定流的局部冲刷深度要小于恒定流的局部冲刷深度。这与表 1 的计算结果是一致的。

4. 小结

(1) 国外公式由于大多属经验性公式,考虑因素较少,加之其野外观测资料的河流与我国河流存在差异,因而在我国河流的使用上受到局限。

(2) 国外以理论为基础的计算方法对提高我国桥墩局部冲刷研究具有指导意义。

(3) 我国交通部门推荐的 65-1 和 65-2 式是国内使用最广泛的公式。近年来,交通部门的科技工作者对 65-1 式提出了改进,得到了量纲和谐和无因次的改进计算方法,使计算方法趋近合理。

(4) 对多沙细沙河流,尤其是黄河下游游荡性河流,国外公式计算结果精度低,偏差大;国内各公式的计算结果偏差小,与实测值基本一致;从国内公式的结构看,以张红武公式的形式较为简捷。

(5) 国内公式计算结果一般是最大冲刷的极限状况,其计算结果偏于安全。公式中许多参数的确定往往由野外实测资料和实验室试验资料拟合确定。实验室资料大部分是在定常流条件下冲刷平衡的结果,而野外资料,则大都取之洪水之后或水毁之后的测量结果,掩盖了局部冲刷过程的变化。目前对非恒定流以及黄河下游高含沙洪水桥墩局部冲刷的研究仍是一个空白,增加这方面的研究将有十分重要的现实意义。

参 考 文 献

- 1 朱炳祥. 国外桥墩局部冲刷计算研究的主要成果与进展.《国外公路》.1985 年第 5 期
- 2 武汉水利电力大学.《河流泥沙工程学》.水利出版社.1982.2
- 3 铁道部科学院.大中桥孔设计.1981.8
- 4 阙译.桥渡设计.铁道部科学研究院.1981.8

5 钱宁等. 泥沙手册. 中国环境科学出版社. 1992

6 张红武等. 河流桥渡设计. 中国建材工业出版社. 1993. 7

7 张淑英, 邵素梅. 细沙多沙河流桥墩附近冲刷及其模拟. 郑州工学院学报. 1993 年第 4 期

Synthetical Review of Calculation Methods for

Non—clay Local Scour Around Bridge Pier

Dong nianhuDuan Wenzhong

(Institute of Hydraulic Research, YRCC, 450003) (Wuhan University of Hgdraulic and electric, 430072)

Abstract In this paper, the calculation methods for non—clay local scour around pier have been sumed up. The methods used in other countries have limit in China. In China the 65—1 formula is a common method, and Zhanghongwu formula is batter for much fine sediment river.

Keywords bridge pier local scour

上接 82 页

参 考 文 献

1 杨基芳、黄高年译. 物理学发展简史. 知识出版社. 1983 年

2 张华夏、杨住曾《自然科学发展史》. 中山大学出版社. 1985 年

3 乔治·伽莫夫. 物理学发展史. 商务印书馆. 1981 年

4 玻思. 我这一代的物理学家候德彭等译. 商务印书馆. 1964 年

5 Mas Jammer The Conceptual Dere copment of Quantum Mechanics, McGraw—Hill, New York 1966.

6 L. I 席夫. 量子力学. 李淑婧、陈崇光译. 人民教育出版社. 1982 年

7 郭土. 理论力学 (下册). 高等教育出版社. 1982 年

8 Van der Waerden Sources of Quantum Mechanics Amsterdam, North-Holland, 1967

9 薛定谔. 关于波动力学的四次讲演. 代山译. 商务印书馆. 1965 年

10 E. U. 康登. 量子物理的发展. 物理通报. 1964 年第 10 期

on the Theoretical Intuitive Judgement on

the Inferring Process of Schrodinger Equation

Tian Zhen

(Dept of physics, Jinan University, 510632, Guanzhou)

Abstract The paper discusses the function of the theoretical intuitive judgement on the scientific discovery by reviewing the inferring process in particular the positive and negative reflection of the judgement on the erection of a new theory by the different influ-ences of logical and non-logical factors contained in the judgement and by the comparison to the deducting backgrownd of matrix mechanics.

Keywords Matter wave theory intuition.