

Analysis and Calculation of Design Discharge of Hydrological Section in the Scarce Data Basin

Ping Wang¹, Jiangpeng Meng², Xiao Tian¹

¹Overseas Branch of China Communications Road and Bridge Construction Co., Ltd., Beijing

²CCCC First Highway Survey and Design Institute Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

Email: 312110633@qq.com

Received: Jul. 13th, 2020; accepted: Jul. 28th, 2020; published: Aug. 4th, 2020

Abstract

The hydrological calculation in the scarce data basin is very difficult at present. Based on the collection and analysis of hydrological data along Siran, and on the condition that the characteristic water level of river channel is obtained through field survey, the design peak flow of local bridge of small watershed is calculated. The flood in small watersheds has a short period of time, leaving few obvious traces, which often does not attract people's attention. Therefore, it is difficult to investigate more reliable historical flood data, and there is no observation data from hydrological stations. The calculation method of discontinuous hydrological observation data and the rainstorm rational formula are used to design peak discharge. The results show that the rainstorm rational formula is more reasonable and suitable for the bridge design of the project. The research results can provide a reference for the hydrological calculation of Indus River Basin in Pakistan.

Keywords

Scarce Data, Design Discharge, Rainstorm and Flood, Reasoning Formula, Indus River Basin

缺资料流域的水文断面设计流量分析计算

王平¹, 蒙江鹏², 田晓¹

¹中交路桥建设有限公司海外分公司, 北京

²中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安

Email: 312110633@qq.com

收稿日期: 2020年7月13日; 录用日期: 2020年7月28日; 发布日期: 2020年8月4日

摘要

缺资料流域的水文计算是目前工程项目应用中的难点。本文在对Siran沿线水文资料的收集与分析基础上, 并在
作者简介: 王平(1974.11), 男, 本科毕业于北京交通大学, 路桥工程师。

实地调查测量获取河道特征水位的情况下, 计算桥梁设计洪峰流量。小流域洪水暴涨暴落, 历时短, 很少能留下明显的痕迹, 往往不会引起人们的注意, 故难以调查到较为可靠的历史洪水资料, 且没有水文站的观测资料。采用非连续水文观测资料推算法和暴雨推理公式计算法进行流量计算, 结果表明暴雨推理公式计算法较合理, 研究结果可用于指导本项目的桥梁设计, 为巴基斯坦印度河流域水文计算提供了参考依据。

关键词

缺资料, 设计流量, 暴雨洪水, 推理公式, 印度河流域

Copyright © 2020 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

无(缺)资料流域往往是山洪灾害、泥石流灾害的易发、易成灾区域, 因此无(缺)资料流域的水文预报对灾害预警来说至关重要。国际水文协会曾经致力于加强通过对不确定性预报方法的研究, 改进现有水文模型在无资料地区的预测准确度[1]; 中外研究者虽然已经取得了一些研究成果, 提出了一些理论和解决途径; 但是目前能够较好地指导无(缺)资料流域预警预报的途径依旧是一个难点。

程卫帅[2]对临界雨量的求解方法和不确定分析进行了综述性的研究讨论, 总结了临界雨量指标具有动态临界雨量和暴雨临界曲线 2 个拓展方向。刘志雨等[3]提出了以动态临界雨量作为中小河流山洪预警预报的指标, 为无(缺)资料地区的水文预报提供了一个很好的衡量准则。叶金印等[4]应用新安江水文模型理论计算, 提出了基于土壤饱和度为基础的动态临界雨量计算方法, 应用于山洪预警系统中。江锦红等[5]从河道安全行洪的角度提出了最小临界雨量和临界雨力的概念, 推导临界雨量曲线作为山洪预警的判断标准。无论是动态临界雨量, 还是临界雨量曲线, 都需要首先确定雨量的时段长度, 比如 1 h、3 h、6 h 和 12 h 是我们常用雨量时段指标。在实际流域管理过程中对于无资料地区中小流域来说, 雨量对于流域的作用时间域一般是不会超过流域汇流时间。有的小流域其汇流时间不超过 6 h, 采用 12 h 雨量作为临界雨量指标肯定是不恰当的; 而采用 1 h 雨量指标往往只能代表流域最大雨量强度, 却不能完整地反映降雨过程对流域汇流过程的累积效应。

因此, 本文依托巴基斯坦 KKH 二期 Havelian-Thakot 段项目, 在对项目沿线水文资料的收集与分析基础上, 经研究采用两种方法进行流量计算: 一是根据收集的非连续水文观测资料推算设计流量; 二是采用我国交通部公路科学研究所推理公式推求设计洪水流量。经计算分析后表明暴雨推理公式推求设计流量较为合理, 其计算结果可用于指导本项目的桥梁设计, 为巴基斯坦印度河流域缺资料水文计算提供了参考依据。

论文所依托的巴基斯坦 KKH 二期 Havelian-Thakot 段项目(118.057 km) (以下称本项目)起于 Havelian, 途径 Abbottabad、Mansehra 和 Shinkiari, 终于 Thakot, 主要经过 Abbottabad, Mansehra 和 Battagram 地区。坐标范围: 东经 73°8'4.42"~72°55'47.16"、北纬 34°3'45.92"~34°46'29.34", 项目区域海拔范围 860~1880 m, 位于印度河流域。

项目区域内气候呈现典型的亚热带湿润气候[6], 可分为 5 个季节, 冬季(11 月~2 月), 春季(3, 4 月), 夏季(5, 6 月), 雨季季风(7, 8 月)和秋季(9, 10 月)。一年最热的月份是 6 月, 平均高温可达到 38℃。最潮湿的季节是 7 月, 通常会下大雨, 夜间有雷雨或暴雨。最凉爽的是 1 月, 温度随所处区域变化。在伊斯兰堡, 气温从寒冷到温暖, 气温会降至零下, 在山岭地区还会有少量降雪。气温从 1 月最低温度 3.9℃, 到 6 月最高温度可达 46.1℃。1 月平均最低温度是 2℃, 6 月平均最高温度达到 38.1℃。据记录, 该地区 6 月份最高温度达到 46.5℃, 1 月最低温度低至零下 4℃。

巴基斯坦印度河流域区内年平均日照时数 2947 小时,降水量年际变化较大[7],多年平均降水量在 1142.1 mm,丰水年降水量在 1759.4 mm,早年降水量在 354 mm,且降水年内分布不均,7 至 8 月降水量较大,10 月至翌年 1 月降水量最小。本项目路线通过区段地表水系较为发育,多呈树枝状展布。

本项目区内水系主要为印度河支流,主要河流为 Siran 河。Siran 河发源于项目区上游山区,受降水和裂隙水补给,洪水多由暴雨形成[8] [9] [10]。在 Shinkiri 镇河流与路线交叉,此段落地形较平缓,河道中多漂石,水流相对较缓,之后 Siran 向南流汇入印度河。全线无水库,无通航河流。巴基斯坦印度河流域沿线水系图如图 1 所示。

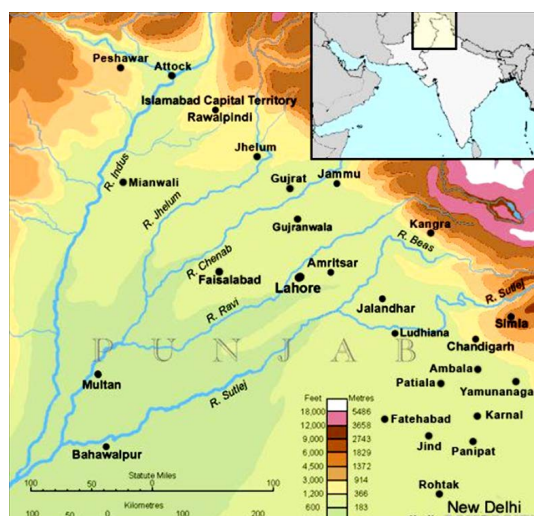


Figure 1. Water system map along the line
图 1. 沿线水系图

2. 沿线水文资料的收集与分析

2.1. 水文资料收集

在测设阶段进行了较为细致的水文资料收集工作,分别在巴基斯坦公路局、巴基斯坦气象局、阿伯塔巴德哈扎拉灌溉部等单位收集到如下资料:

- 1) Feasibility and detailed design for four (04) lane expressway from Havelian to Manshera including Abbottabad bypass.
- 2) Detail design for four lane press way from Havelian to Mansehera hydrology and hydraulics study report.
- 3) Upgradation and relocation of KKH for Basha Diamer dam project hydrological study report.
- 4) 巴基斯坦国内最大月平均降雨、气温等资料: MONTHLY CLIMATIC NORMALS OF PAKISTAN.
- 5) Kakul 观测站 1964~2013 年月降雨量: Monthly amount of precipitation.
- 6) Siran river 1992, 1997 和 2014 年最大流量观测资料: Siran river 水文观测资料。

通过以上收集的降雨资料和项目区内其他公路建设项目的水文报告等,再根据与巴方专家及公路设计院沟通中了解到,巴方公路项目水文计算多采用暴雨推理公式推算设计流量。其中,已收集项目区内 Kakul 雨站的日最大降雨和 Shinkiri 小时最大降雨资料, Kakul 位于阿巴塔巴德东北部 5 km 的山区,海拔高度 1300 m,距离线位最近距离约 9 km。Shinkiri 位于 Kakul 沿线,降雨资料均适用于本项目。

2.2. 水文资料分析

沿线桥梁水文分析: 沿线跨越小河、溪流、沟壑小流域桥梁,所经河沟,均为 V 型河谷,因地形控制,均

采用大中桥跨越；项目路线所经低山丘陵(小冲沟发育)地带时，对于因地形受控而布置的大中桥，大部分的桥梁均不受水文控制。

设计流量分析：设计流量计算方法主要有根据流量观测资料推算设计流量，根据历史洪水调查资料推算设计流量，利用暴雨资料推算设计洪水流量等方法。

沿线桥梁水文分析洪峰流量计算主要为小流域流量计算。小流域洪水暴涨暴落，历时短，很少能留下明显的痕迹，往往不会引起人们的注意，故难以调查到较为可靠的历史洪水资料，且没有水文站的观测资料。其次因项目区位置原因，水文分区经验公式无法使用。

根据已收集的暴雨资料，本项目采用中国交通部公路科学研究所推理公式推求设计洪水流量。

$$Q_p = 0.278 \left(\frac{S_p}{\tau^n} - \mu \right) F \quad (1)$$

其中： $\mu = K_2 S_p^{\beta_2} F^{-\lambda}$ ， $\tau = K_4 \left(\frac{L}{\sqrt{J}} \right)^{\alpha_2} S_p^{-\beta_3}$

式中： Q_p 为设计频率 p 时的洪峰流量(m^3/s)， S_p 为设计频率 p 的雨量，参见降雨资料分析(mm/h)， μ 为损失参数(mm/h)， n 为暴雨递减指数(0.55)， τ 为汇流时间， F 为流域面积(km^2)， L 为主河沟长度(km)， J 为主河沟平均坡度($\%$)， K_2 、 K_4 为系数， $K_2 = 0.742$ ， $K_4 = 3.67$ ； β_2 、 λ 、 α_2 、 β_3 为指数， $\beta_2 = 0.542$ 、 $\lambda = 0.222$ 、 $\alpha_2 = 0.516$ 、 $\beta_3 = 0.203$ ；

根据洪峰流量计算结果确定合理的洪峰流量作为设计流量。

3. 桥位处设计水位、流量、流速计算

在桥位处测量出河床的形态断面；测量桥位处河流纵向水面(河床)比降 i ；根据河流类型及调查资料选用合适的糙率系数 n ；然后假定此处水位，在假定的基础上绘出天然河道过水面积 A 、湿周 p 、水面宽度 B ；求出水力半径 $R = \frac{A}{p}$ 、平均水深 $h = \frac{A}{B}$ ；再按照谢才 - 满宁公式 $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}}$ 计算出流速； $Q = AV$ 即假定水位下的流量。若 Q 与靠近桥位的代表性形态断面的流量接近，即假定水位为设计水位 H_p 、流速为设计流速、流量为设计流量。

3.1. 桥孔最小净长度

由现场勘察桥位河段的地貌特征和调查的相关资料，根据《河段分类表》将桥位河段分类，根据各类河段上桥位总体布设的一般要求，确定桥梁孔径的布设依据和桥长的计算方法。桥孔最小净长度计算方法按经验公式法计算，其公式介绍如下：

- 1) 峡谷河段，可按河床地形布孔，不宜压缩河槽，可不作桥孔最小净长度计算。
- 2) 开阔、顺直微弯、分汊、弯曲河段及滩、槽可分的不稳定河段，桥孔最小净长度计算公式为：

$$L_j = K_q \left(\frac{Q_p}{Q_c} \right)^{n_3} B_c \quad (2)$$

式中： L_j 为桥孔最小净长度(m)， Q_p 为设计流量(m^3/s)， Q_c 为河槽流量(m^3/s)， B_c 为河槽宽度(m)， K_q 、 n_3 为系数和指数，按《公路工程水文勘测设计规范》(JTG C30-2002)表 6.2.1 采用， $K_q = 0.84$ 、 $n_3 = 0.9$ 。

计算原则：桥孔最小净长度计算不需要逐桥计算，只计算压缩河槽的桥梁。桥梁设计方案实有桥孔净长度应 \geq 计算结果 L_j ，否则应重新设计桥孔方案，直到符合要求为止。

3.2. 桥面最低高程

本项目所跨河流均无通航要求，桥面最低高程计算方法如下：

不通航河流的桥面设计高程计算:

$$H_{\min} = H_s + \sum \Delta h + \Delta h_j + \Delta h_0 \quad (3)$$

式中: H_{\min} 为桥面最低高程(m), H_s 为设计水位(m), $\sum \Delta h$ 为考虑壅水、浪高、波浪壅高、河湾超高等因素的总和(m), 结合现场调查情况取值 1 m, Δh_j 为桥下净空安全值(m), Δh_0 为桥梁上部构造建筑高度(m), 应包括桥面铺装高度。

3.3. 墩台冲刷

桥梁墩台冲刷包括河床自然演变冲刷、一般冲刷和局部冲刷三部分。因河床演变资料缺乏, 根据现场调查情况, 结合项目区内既有桥梁的冲刷情况, 对于逐年自然下切变形的河床, 统一取河床自然演变冲刷 1 m。

对于岩石河床, 根据调查显示项目区主要为软质岩, 墩台冲刷不进行计算, 统一采用 1.0 m。

对于不受水文控制的桥梁, 汇水面积一般不超过 10 km², 流量较小且桥跨基本不压缩河道, 因此墩台一般冲刷值较小。故不受水文控制桥梁不再进行单独冲刷计算, 结合项目其他桥梁冲刷计算, 取一般冲刷和局部冲刷合计值为 1 m, 河床自然演变冲刷 1 m, 总冲刷深度 2 m。

墩台一般冲刷: 项目区域河床都属于非粘性土河床, 利用简化公式计算墩台一般冲刷, 公式介绍如下:

$$h_p = 1.04 \left(A_d \frac{Q_2}{Q_c} \right)^{0.90} \left(\frac{B_c}{(1-\lambda)\mu B_{cg}} \right)^{0.66} h_{cm} \quad (4)$$

$$Q_2 = \frac{Q_c}{Q_c + Q_{t1}} Q_p, \quad A_d = \left(\frac{\sqrt{B_z}}{H_z} \right)^{0.15}$$

式中: h_p 为桥下一般冲刷后的最大水深(m), Q_p 为频率为 $P\%$ 的设计流量(m³/s), Q_2 为河槽部分通过的设计流量(m³/s), Q_c 为天然状态下河槽部分的设计流量(m³/s), Q_{t1} 为天然状态下桥下河滩部分的设计流量(m³/s), B_{cg} 为桥长范围内的河槽宽度(m), 当河槽可能扩宽至全桥时取用桥孔长度; B_z 为造床流量下的河槽宽度(m), 对复式河床可取平滩水位时河槽宽度; λ 为设计水位下, 在 B_{cg} 宽度范围内, 桥墩阻水总面积与过水面积的比值; μ 为桥墩水流侧向压缩系数; h_{cm} 为桥下河槽最大水深(m); A_d 为单宽流量集中系数; 当 $A_d > 1.8$ 时, 可采用 1.8; H_z 为在造床流量下的河槽平均水深(m), 对复式河床可取平滩水位时河槽平均水深。

墩台局部冲刷: 项目区域河床都属于非粘性土河床, 利用修正公式计算墩台局部冲刷: 当 $V \leq V_0$ 时,

$$h_b = K_\xi K_{n1} B_1^{0.6} (V - V_0') \quad (5)$$

当 $V > V_0$ 时,

$$h_b = K_\xi K_{n1} B_1^{0.6} (V - V_0') \left(\frac{V - V_0'}{V_0 - V_0'} \right)^{n_1} \quad (6)$$

其中:

$$V_0 = 0.0246 \left(\frac{h_p}{d} \right)^{0.14} \sqrt{(332\bar{d}) + \left(\frac{10 + h_p}{\bar{d}^{0.72}} \right)}, \quad K_{n1} = 0.8 \left(\frac{1}{\bar{d}^{0.45}} + \frac{1}{\bar{d}^{0.15}} \right)$$

$$V_0' = 0.462 \left(\frac{\bar{d}}{B_1} \right)^{0.06} V_0, \quad n_1 = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.25\bar{d}^{0.19}}$$

式中: h_b 为桥墩局部冲刷深度(m), K_ξ 为墩形系数, B_1 为桥墩计算宽度(m), h_p 为一般冲刷后的最大水深(m), \bar{d} 为河床泥沙平均粒径, V 为一般冲刷后的墩前行近流速(m/s), V_0 为河床泥沙起动流速(m/s), V_0' 为墩前泥沙

起冲流速(m/s), K_{n1} 为河床颗粒影响系数, n_1 为指数。

对于大漂石河床, 考虑漂石对一般冲刷和局部冲刷影响, 统一再加 0.5 m。

沿线汇水面积 $> 20 \text{ km}^2$ 大桥水文计算分析: 本项目桥梁汇水面积 $F > 20 \text{ km}^2$ 主要有 K83 + 298.0 大桥、K97 + 640.0 大桥、K105 + 852.0 中桥、K109 + 440.0 大桥、K110 + 898.0 大桥、以及 Siran 河上的 K118 + 797.0 大桥、K123 + 596.0 大桥及 K125 + 846.0 大桥。

Siran 河流域面积较大。其中 K125 + 846.0 大桥处有一水文观测站, 故采用两种方法进行设计流量计算。一是根据收集的非连续水文观测资料推算设计流量; 二是采用交通部公路科学研究所推理公式推求设计洪水流量。两种方法计算结果相差不大, 说明暴雨推理公式推求设计流量较合理。其余桥梁无观测资料, 因此设计流量计算均采用推理公式一种方法进行, 水文计算过程不再单独叙述。

4. K125 + 846.0 大桥水文分析计算

4.1. 流域概况

Siran 河为印度河支流, 发源于 Shinkiri 北部山区, 到桥位处河沟长度 57 km, 汇水面积 352 km^2 。

调查时, 河道有流水, 水流较大, 河流水深为 0.2~1.5 m, 河床由卵石、漂石组成。洪水形成主要为降雨补给, 每年 7~9 月为汛期, 洪水易涨易落, 水流较急。高、中水位时流向一致, 本河流无通航要求。

4.2. 流量计算

1、不连续水文观测资料推算设计洪峰

外业期间通过巴公路局收集了桥位水文观测资料, 但提供的洪峰流量仅为近年洪峰较大年份的流量观测资料。收集洪峰资料见表 1。

Table 1. Peak data

表 1. 洪峰资料表

洪峰编号	发生年	观测流量(m ³ /s)	初拟相应重现期
1	1992	1950.7	50
2	2014	258.7	20
3	1997	114	10

洪峰资料采用皮尔逊 III 型曲线分布, 根据《降雨资料分析》, 采用 Shinkiri 降雨资料分析取 $C_v = 0.2$, $C_s = 0.4$, 查皮尔逊 III 型曲线模比系数 K_p 值得, $K_{1\%} = 1.523$, $K_{2\%} = 1.452$, $K_{5\%} = 1.35$, $K_{10\%} = 1.263$, 推算百年一遇设计流量 $Q_{1\%}$: $Q_{1\%} = 1.523/1.452 \times Q_{2\%} = 2046.0 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{1\%} = 1.523/1.35 \times Q_{5\%} = 291.9 \text{ m}^3/\text{s}$;

$Q_{1\%} = 1.523/1.263 \times Q_{10\%} = 137.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

各个基数计算的百年一遇设计流量相差较大, 采用较大者较符合现场调查情况, 取 $Q_{1\%} = 2046.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

4.3. 设计流量计算结果

流域面积 $F = 352 \text{ km}^2$, 河沟比降 $J = 15\text{‰}$, 河沟长度 $L = 57 \text{ km}$ 。具体计算过程如下:

$$Q_p = 0.278 \left(\frac{S_p}{\tau^n} - \mu \right) F = 0.278 \times \left(\frac{64.4}{6.31^{0.55}} - 1.93 \right) \times 352 = 2099.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\mu = K_2 S_p^{\beta_2} F^{-\lambda} = 0.742 \times 64.4^{0.542} \times 352^{-0.222} = 1.93$$

$$\tau = K_4 \left(\frac{L}{\sqrt{J}} \right)^{\alpha_2} S_p^{-\beta_3} = 3.67 \times \left(\frac{57}{\sqrt{15}} \right)^{0.516} \times 64.4^{-0.203} = 6.31$$

Table 2. Calculation of design flow

表 2. 设计流量计算表

流域面积 F (km^2)	河沟比降 J (%)	河沟长度 L (km)	推理公式: $Q_p = 0.278(S_p/\tau^n - \mu)F$				
			S_p	μ	τ	n	$Q_{1\%}$
			设计频率雨力 (mm/h)	损失参数 (mm/h)	汇流时间	暴雨递减指数	流量 (m^3/s)
1	2	3	4	5	6	7	8
352	15	57	64.4	1.93	6.31	0.55	2099.1

详细计算结果如表 2 所示。

2、计算结果

不连续水文观测推算的设计流量 $Q_{1\%} = 2046.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。暴雨推理公式推算的设计流量 $Q_{1\%} = 2099.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 。比推理公式推算结果稍大，但基本相同，说明推理公式基本适用于本项目，结果可信，取百年一遇设计流量 $Q_{1\%} = 2099.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

4.4. 设计水位计算

1、形态断面

百年一遇设计流量形态断面计算图如图 2 所示。

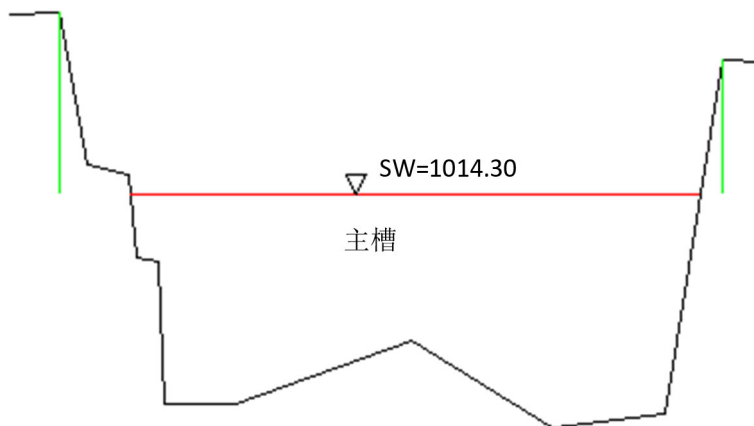


Figure 2. Calculation diagram of flow form section

图 2. 流量形态断面计算图

2、计算参数及计算结果

形态断面流量(水位)计算结果 K125 + 846.003;

计算水位 $H_{DF} = 1014.3 \text{ m}$; 主槽粗糙系数 $M_C = 40.0$; 洪水坡度 $P_{D0} = 0.01$; 主槽水面宽度 $K_{DC} = 80.721 \text{ m}$; 主槽湿周 $S_{ZC} = 84.318 \text{ m}$; 主槽面积 $M_{JC} = 256.167 \text{ m}^2$; 主槽水力半径 $B_{JC} = 3.038 \text{ m}$; 主槽平均水深 $H_{PJC} = 3.173 \text{ m}$; 主槽水深 $H_{\max} = 4.037 \text{ m}$; 主槽流速 $V_C = 8.391 \text{ m/s}$; 主槽流量 $Q_C = 2149.399 \text{ m}^3/\text{s}$; 全断面流量合计 $Q = 2149.399 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3、桥面最低高程计算

根据设计水位计算桥面最低高程，如下式：

$$H_{\min} = H_s + \sum \Delta h + \Delta h_j + \Delta h_0 = 1014.30 + 1 + 1.5 + 1.94 = 1018.7 \text{ m} \tag{7}$$

4、桥长及冲刷计算

墩台一般冲刷计算:

$$h_p = 1.04 \left(A_d \frac{Q_2}{Q_c} \right)^{0.90} \left(\frac{B_c}{(1-\lambda)\mu B_{cg}} \right)^{0.66} h_{cm} \quad (8)$$

其中:

$$Q_2 = \frac{Q_c}{Q_c + Q_{t1}} Q_p, \quad A_d = \left(\frac{\sqrt{B_z}}{H_z} \right)^{0.15}$$

详细简化公式计算墩台一般冲刷如表 3 所示。

Table 3. Calculation of general scour of piers and abutments

表 3. 墩台一般冲刷计算

最小桥长(m)	造床流量下的河槽宽度 B_z (m)	造床流量下的河槽平均水深 H_z (m)	河槽部分设计流量 Q_c (m ³ /s)	天然河槽宽度 B_c (m)	桥长范围内的河槽宽度 B_{cg} (m)	阻水过水比 λ	桥墩水流侧向压缩系数 μ	河槽最大水深 h_{max} (m)	一般冲刷后最大水深 h_p (m)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
75.6	90	3.2	2099.1	90	90	0.06	0.95	4	5.19

墩台局部冲刷计算:

$$h_b = K_\xi K_{\eta_1} B_1^{0.6} (V_0 - V'_0) \left(\frac{V - V'_0}{V_0 - V'_0} \right)^{\eta_1} \quad (9)$$

其中:

$$V_0 = 0.0246 \left(\frac{h_p}{d} \right)^{0.14} \sqrt{\left(332\bar{d} \right) + \left(\frac{10+h_p}{\bar{d}^{0.72}} \right)}, \quad K_{\eta_1} = 0.8 \left(\frac{1}{\bar{d}^{0.45}} + \frac{1}{\bar{d}^{0.15}} \right)$$

$$V'_0 = 0.462 \left(\frac{\bar{d}}{B_1} \right)^{0.06} V_0, \quad \eta_1 = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.25\bar{d}^{0.19}}$$

详细修正式计算墩台局部冲刷如表 4 所示。

Table 4. Calculation of local scour of piers and abutments by modified formula

表 4. 修正式计算墩台局部冲刷计算

墩形系数 K_ξ	系数 K_{η_1}	桥墩计算宽度 B_1 (m)	泥沙平均粒径 d (mm)	参数 E	平均流速 V (m/s)	起动流速 V_0 (m/s)	始冲流速 V'_0 (m/s)	指数 n	局部冲刷深度 h_b (m)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.53	1.5	80	0.46	2.86	2.73	1.60	1.06	0.84

考虑河道演变冲刷 1.0 m。另外考虑河床大漂石对墩台局部冲刷影响, 取 0.5 m。综上, 冲刷总深度 $h_s = (5.19 - 4) + 0.84 + 1 + 0.5 = 3.54$ m。

5. 结论

本文依托巴基斯坦 KKH 二期 Havelian-Thakot 段项目, 在对项目沿线水文资料的收集与分析基础上, 得出沿线桥梁水文洪峰流量计算主要为小流域流量计算的结论。而小流域洪水暴涨暴落, 历时短, 很少能留下明显

的痕迹, 往往不会引起人们的注意, 故难以调查到较为可靠的历史洪水资料, 且没有水文站的观测资料。其次因项目位置原因, 水文分区经验公式无法使用。

因此, 经研究采用两种方法进行流量计算: 一是根据收集的非连续水文观测资料推算设计流量; 二是采用我国交通部公路科学研究所推理公式推求设计洪水流量。两种方法计算结果相差不大, 说明暴雨推理公式推求设计流量较为合理, 其计算结果可用于指导本项目的桥梁设计, 为印度河流域水文计算提供了参考依据。

参考文献

- [1] 刘苏峡, 夏军, 莫兴国. 无资料流域水文预报(PUB 计划)研究进展[J]. 水利水电技术, 2005, 36(2): 9-12.
LIU Suxia, XIA Jun, MO Xingguo. Research progress of hydrological forecast (pub plan) for non data basins. Water Conservancy and Hydropower Technology, 2005, 36(2): 9-12. (in Chinese)
- [2] 程卫帅. 山洪灾害临界雨量研究综述[J]. 水科学进展, 2013, 24(6): 901-908.
CHENG Weishuai. A review of the study on critical rainfall of mountain torrents. Advance in Water Science, 2013, 24(6): 901-908. (in Chinese)
- [3] 刘志雨, 杨大文, 胡健伟. 基于动态临界雨量的中小河流山洪预警方法及其应用[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010, 46(3): 317-321.
LIU Zhiyu, YANG Dawen, HU Jianwei. Early warning method and application of flash floods in small and medium rivers based on dynamic critical rainfall. Journal of Beijing Normal University (Natural Science Edition), 2010, 46(3): 317-321. (in Chinese)
- [4] 叶金印, 李致家, 常露. 基于动态临界雨量的山洪预警方法研究与应用[J]. 气象, 2014, 40(1): 101-107.
YE Jinyin, LI Zhijia, CHANG Lu. Study and application of flash flood warning method based on dynamic critical rainfall. Meteorology, 2014, 40(1): 101-107. (in Chinese)
- [5] 江锦红, 邵利萍. 基于降雨观测资料的山洪预警标准[J]. 水利学报, 2010, 41(4): 458-163.
JIANG Jinhong, SHAO Liping. Early warning standard of mountain flood based on rainfall observation data. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(4): 458-163. (in Chinese)
- [6] GUPTA, V. K., SOROOSHIAN, S. The relationship between data and the precision of estimate parameters. Journal of Hydrology, 1985, 81: 55-77. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(85\)90167-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(85)90167-2)
- [7] WANG, Q. J. The genetic algorithm and its application to calibrating conceptual rainfall runoff models. Water Resource Research, 1991, 27: 2467-2471. <https://doi.org/10.1029/91WR01305>
- [8] DUAN, Q. J., SOROOSHIAN, S., GUPTA, V. K. Optimal use of SCE-UA global optimization methods for calibrating watershed models. Journal of Hydrology, 1994, 158: 265-284. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90057-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90057-4)
- [9] HAPUARACHCHI, H. A. P., LI, Z. J., WANG, S. H. Application of SCE-UA method for calibrating the Xinanjiang watershed model. Journal of Lake Sciences, 2001, 12: 333-341.
- [10] LI, H. X., ZHANG, Y. Q., CHIEW, F. H. S., et al. Predicting runoff in ungauged catchments by using Xinanjiang model with MODIS leaf area index. Journal of Hydrology, 2009, 370: 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.003>