

小浪底2360aBP古洪水流量计算的误差分析

谢悦波

原金勇

(河海大学 南京 210098) (黑龙江省水文总站 哈尔滨 150001)

摘要 本文根据小浪底水利枢纽工程2360aBP古洪水流量的推求方法及环节,进行了误差传播的推导,并根据不同的情况对各分项因子作了误差估算,从而给定了最终提交的古洪水流量的误差范围。计算结果表明,如果以砾石层顶作冲刷控制,流量误差为13.64%;当以全新世与更新世地层的交界面砾石层作为控制,其淤积面积的40.5%作为误差范围时,流量误差达15.54%,其全部淤积面积都作为误差范围时,流量误差可达29.6%,但存在这种误差的可能性很小。

关键词 古洪水 洪水流量 流量估算 误差分析

1 古洪水流量相对均方误差计算公式

1993~1995年,小浪底水利枢纽工程古洪水研究课题组在80km的代表性河段上,考查了150个沉积剖面,对96个沉积点做了工程勘测,最终求得了该河段2500年来的最大发生洪水为2360aBP的古洪水,而在此之间排在实测洪水、历史调查洪水首位的1870年历史调查洪水降为第二位^①。

2360aBP古洪水流量的计算是在经过由古洪水悬浮质沉积物尖灭端高程推求古洪水位,并经对全新世小浪底河道断面变化与古洪水行洪断面进行了专门的研究之后,认为小浪底河段2360aBP这场古洪水时期的河势与现今一致,断面的推算成果有据,故可参照历史调查洪水推求流量的方法进行计算。

这次古洪水流量的计算分主槽和滩地两部分^[1~3]。故有

$$Q_{\text{全}} = Q_{\text{槽}} + Q_{\text{滩}} \quad (1)$$

其中, $Q_{\text{全}}$ 为全断面流量; $Q_{\text{槽}}$ 为主槽流量; $Q_{\text{滩}}$ 为滩地流量。

根据和的误差公式,有

$$m_{Q_{\text{全}}}^2 = \frac{1}{Q_{\text{全}}^2} [(m_{Q_{\text{槽}}} Q_{\text{槽}})^2 + (m_{Q_{\text{滩}}} Q_{\text{滩}})^2] \quad (2)$$

式中 m 为相对均方误差, $m = S_Q / Q$, S_Q 是流量 Q 的方差, Q 是流量 Q 的多次观测平均值。

根据黄河小浪底站实测的水文资料情况,选用 $K = I^{1/2} / n$ 值法,对主槽和滩地的部分流量进行计算。即由曼宁公式

$$V = \frac{1}{n} I^{1/2} R^{2/3} \quad (3)$$

$$\text{取} \quad K = \frac{1}{n} I^{1/2} = V / R^{2/3} \quad (4)$$

$$\text{得} \quad Q = AV = AKR^{2/3} \quad (5)$$

式中 K 为流速系数; I 为比降; n 为糙率; V 为断面平均流速, m/s; A 为过水断面面积, m^2 ; R 为水力半径, m。

对式(5)进行误差传播规律的推导:

$$\frac{\partial Q}{\partial A} = KR^{2/3}, \quad \frac{\partial Q}{\partial K} = AR^{2/3},$$

$$\frac{\partial Q}{\partial R} = \frac{2}{3} AKR^{-1/3},$$

根据乘积的误差公式,取近似计算时 $\rho = 0$ 的简化公式,代入各项因子,得

$$m_{Q_{\text{全}}}^2 = \frac{1}{Q^2} [(Qm_A)^2 + (Qm_K)^2 + (Q^2 \frac{2}{3} m_R)^2]$$

① 河海大学水资源水文系、黄委勘测规划设计研究院. 黄河小浪底水利枢纽古洪水研究报告. 河海大学, 1995.

= m_A^2 + m_K^2 + 4/9 m_R^2 (6)

2 各分项因子相对均方误差的推求

2.1 m_K 的推求

根据公式(4),用实测洪水资料的 V 与 R 值反求 K 值,点绘 R ~ K 的关系曲线,见图 1。

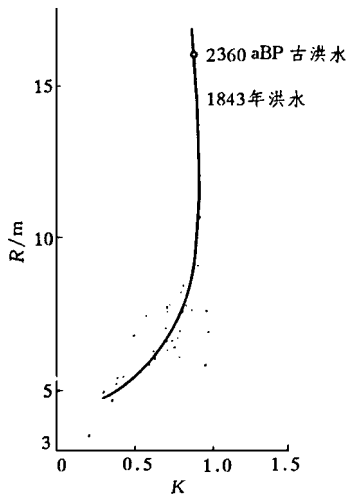


图 1 黄河小浪底站 R ~ K 关系曲线

平均水深与 K 值的关系,可分析研究平均水深与 K 值的关系,可得出如下规律:一般窄深断面, K 值在低水时较散乱,而在高水时趋于稳定;复式断面的主槽部分仍然存在上述关系,故可延长主槽 K 值,进行主槽流量计算。小浪底断面按复式断面处理。且下游 500 m 处,河道断面窄了五分之二,高水时将产生壅水现象,流速将有所减小。因此, R ~ K 关系外延至高水部分时应略呈减小趋势。故在计算 2360aBP 古洪水流量时,主槽 K 值取 0.92,变率为 0.90 ~ 0.96;而滩地部分的 K 值,参照低水时的实测值,取 0.35,变率为 0.30 ~ 0.40。并取 K 值在变率范围内均

服从均匀分布(下面 A, R 均同此分布)。计算结果见表 1。

表 1 K 值的相对均方误差计算

计算部分	K 值	变化范围	S_K	m_K
主槽	0.92	0.90 ~ 0.96	0.020248	0.0220
滩地	0.35	0.30 ~ 0.40	0.029155	0.0833

2.2 m_A 的推求

正确估算古洪水行洪断面面积 A 值是古洪水流量推求过程中一个非常重要的环节。我们对全新世时期小浪底河道断面变化与古洪水行洪断面进行了专门的研究,认为:20 万年来该地区的地壳活动基本稳定,现场勘查亦未发现地形变化迹象,所以全新世以来地壳活动对河床断面、河道比降的影响可以不作考虑,河槽特征稳定。全新世以来小浪底断面形态的变化是河床向一侧偏移且稳定,然而整个断面积的变化比较缓慢。近代断面的冲淤变化特点是:大水冲刷,小水淤积;年际间冲淤变化不大,处于相对冲淤平衡之中;主槽部分有基岩作控制,滩地部分则有砾石层顶作控制。据此推算了 2360aBP 古洪水流量的行洪断面(见表 2 和图 2 至图 5)。

方案 1 中以砾石层顶作为不冲刷层,而方案 2 则是以全新世 Q4 地层与更新世 Q3 地层界面(以下均记为 Q4/Q3 界面)的砾石层作为不冲刷层,但该界面之上的部分则是可冲刷的。将 1958 年实测洪水的大断面作为比较之用,历史调查洪水 1843 年的推算断面作为参考之用。

A 的变率,下限取 1958 年洪水实测大断面,上限则根据不同的情况分为如下三种情况:①砾石层顶界面;②Q4/Q3 砾石界面;③以 Q4/Q3 砾石界面作控制,取推求的过水断面面积的 15% 误差为其上限,即主槽部分为

表 2 小浪底 2360aBP 古洪水行洪断面面积估算表

断 面 名 称	形成年代	水位(大沽) (m)	断面面积 (m ²)	淤积面积 (m ²)	淤积速率 (m ² / 千年)	2360aBP 古洪水断面面积		
						主槽(m ²)	滩区(m ²)	全断面(m ²)
砾石层顶(方案 1)	8.61× 10 ³ aBP	151.54	8070	1240	143.8	6280	888	7170
Q4/Q3 界面(方案 2)	1× 10 ⁴ aBP	151.54	9600	2770	176.6	6440	1040	7480
现代洪水	1958 A. D.	151.54	6830			6100	735	6840
历史调查洪水	1843 A. D.	150.90	6470			5890	576	6470

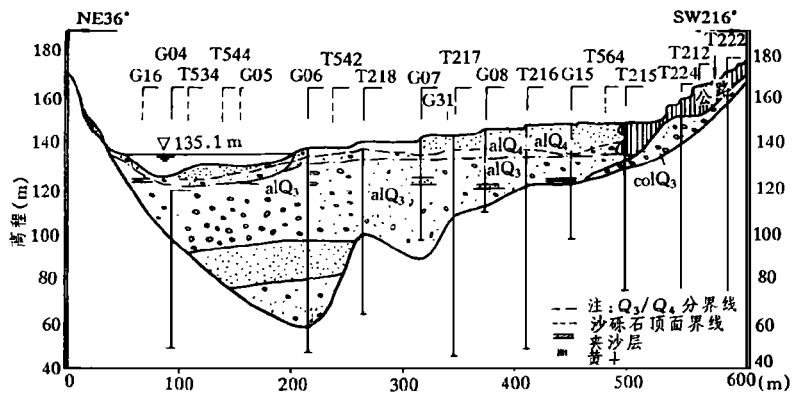


图2 小浪底站河床覆盖层剖面图(A-A剖面)

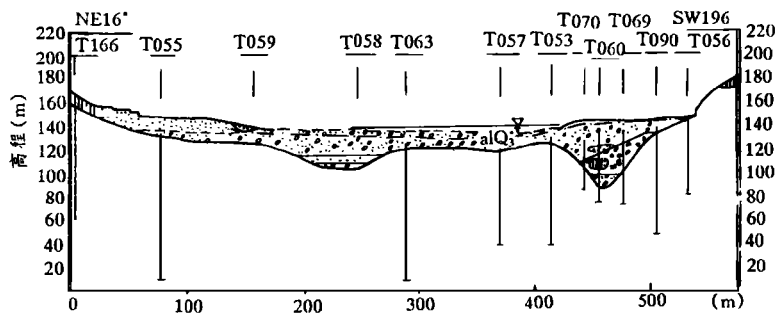


图3 小浪底河段二坝址河床覆盖层剖面(B-B剖面)

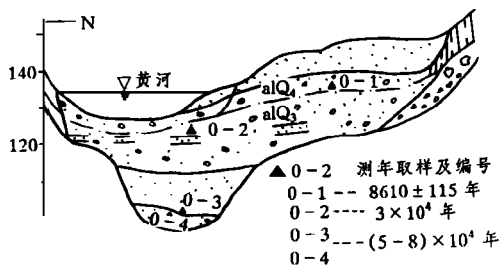


图4 小浪底河床覆盖层综合剖面图

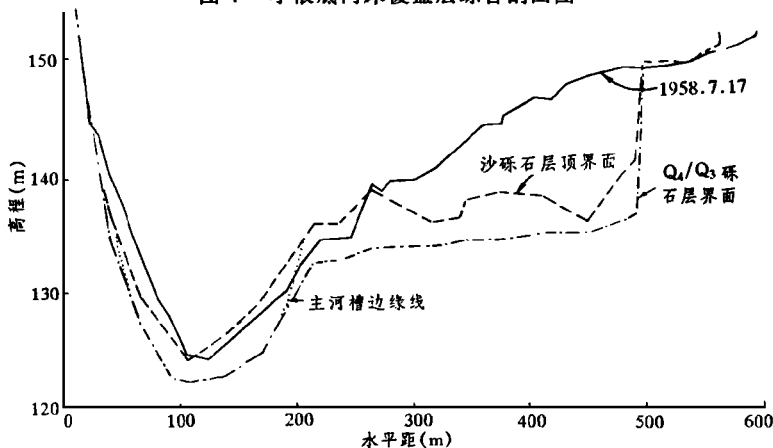


图5 小浪底 Q_4/Q_3 砾层界面、沙砾石顶界面断面与现代断面比较

— 5.32% ~ 15%，滩地部分为 — 3.0% ~ 15%。计算结果见表 3。

表 3 A 值的相对均方差计算

计算部分	上限情况	A 值	变化范围	S_A	m_A
主槽	①	6280	6100~7070	414.24	0.06596
	②	6440	6100~8260	967.86	0.15029
	③	6440	6100~7410	492.39	0.07646
滩地	①	890	730~1000	82.13	0.09228
	②	1040	730~1340	176.45	0.16966
	③	1040	730~1200	155.28	0.14931

2.3 m_K 的推求

水力半径 R 的误差, 实际上反映的是由古洪水悬浮质沉积物尖灭端的高程来确定古洪水水位时的误差, 即古洪水水深 h 的误差。因为 $R < H < h$, H 为平均水深, 所以取 R 的变化范围为 $\pm 10\text{ cm}$ 。断面计算时采用了两种不同界面作控制, 相应的水力半径也有两种情况, 计算结果见 4。

表 4 R 值的相对均方误差推求

断面情况	计算部分	R 值	变化范围	S_R	m_R
I	主槽	15.8	15.7~15.9	0.06055	0.00383
	滩地	3.9	3.8~4.0	0.06055	0.01553
II	主槽	16.2	16.1~16.3	0.06055	0.00374
	滩地	4.56	4.46~4.66	0.06055	0.01328

3 古洪水流量随机误差的推求

3.1 2360aBP 古洪水流量的推求

根据两个古洪水断面面积, 用上述选取的滩地、主槽的 K 值, 水力半径 R 值, 即可

表 5 黄河小浪底站 2360aBP 古洪水流量计算成果表

方 案	水位(大沽) (m)	断 面		水面宽 (m)	水力半径 (m)	流速系数 K	平均流速 (m/ s)	流量 (m ³ / s)
		名 称	面积(m ²)					
1	151. 54	主 槽	6280	360	15. 8	0. 92	5. 8	36500
		滩 地	888	219	3. 9	0. 35	0. 88	770
		全断面	7170	582				37200
2	151. 54	主 槽	6440	362	16. 2	0. 92	5. 89	37900
		滩 地	1040	219	4. 56	0. 35	0. 96	1000
		全断面	7480	582				38900
推荐值			5890					38000
1834 年	150. 90	主 槽	576	362	14. 9	0. 90	5. 45	32100
		滩 地	6470	213	2. 63	0. 40	0. 76	438
		全断面		575				32500

推求得这场古洪水的洪峰流量。计算成果见表 5, 表中列出了历史调查洪水推算值供参考。

3.2 2360aBP 古洪水流量全断面相对均方误差推求

依据前述公式(6), 分别计算各种情况下槽滩部分相对均方误差。然后代入公式(2), 计算出各种情况下的全部流量的相对均方误差。计算结果见表 6。

表 6 古洪水流量的相对均方误差推求

断面情况	上限情况	$m_{Q槽}$	$m_{Q滩}$	$m_{Q全}$
I	①	0.06958	0.12475	0.0682
II	②	0.15191	0.18921	0.1481
II	③	0.07960	0.17120	0.7768

3.3 2360aBP 古洪水流量的随机误差推求

采用 ISO 标准, 当置信水平为 95% 时, 河道流量随机误差计算公式为

$$X'_Q = 2m_{Q全} \tag{7}$$

式中 X'_Q 为 ISO 通用符号, 表示流量的随机误差。计算结果见表 7。

表 7 古洪水流量的随机误差推求

断面情况	上限情况	$m_{Q全}$	$X'_Q(\%)$
I	①	0.0682	13.64
II	②	0.1481	29.62
II	③	0.0777	15.54

4 结 论

古洪水流量的计算精度一般比实测洪水流量推求的精度低。在特定的河道断面, 经

过断面恢复、论证、分析工作之后,尤其是在有基岩河床作为控制的情况下,其断面的误差可控制在一定的范围内时,古洪水流量的误差还是可控制的。

本次 2360aBP 古洪水流量的误差计算结果表明:如果以砾石层顶作冲刷控制,流量的误差只有 13.64%;当以全新世与更新世地层的交界面即 Q_4/Q_3 界面砾石层作为控制,其淤积面积的 40.5%作为误差范围,推求的流量误差可达 15.54%;即使 Q_4/Q_3 界面内的全部淤积面积都作为误差范围,所推求的流量误差也只有 29.62%。虽然这第三种假设的情况也可能发生,但从断面分析的

结论来看,发生的可能性是很小的。

参考文献

- 1 严义顺. 水文测验学. 北京: 水利电力出版社, 1983. 101 ~ 115
- 2 陈宏藩. 关于水文测验误差系列的总体分布问题. 见: 长江流域规划办公室水文局. 水文测验误差研究文集. 贵阳: 贵州人民出版社, 1984. 29 ~ 38
- 3 Herschy R W. 水文测验精度. 周德家译. 见: 长江流域规划办公室水文局. 水文测验误差研究文集. 贵阳: 贵州人民出版社, 1984. 118 ~ 145
- 4 (收稿日期: 1995—08—29)
- 5 (上接第 20 页)
- 6 Huang Sh, Oelfke S M et al. Application of fraetal characterization and modelling to rock joint profiles. Int J Rock Mech Min Sci amd Geomech Abstar. 1992, 29(2): 89 ~ 98
- 7 李后强等. 分形理论及其在分子科学中的应用. 北京: 科学出版社, 1993
- 8 朱令人等. 地震多重分形标度指数谱 $f(\alpha)$ 的研究. 西北地震学报, 1992, 14(2): 30 ~ 35
- 9 辛厚文. 分形理论及其应用. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1993
- 10 Mandelbrot B B. The fratal geometry of nature. San Francisco W. H. Freeman & Co; 1983
- 11 Sarri D G. Dynamical systems and mathematical economics. Lecture Notes in Economies and Mathematical Systems 1983, 264(2): 1 ~ 24
- 12 Pun Tonu. Nonlinear economic dynamics. 2nd. Berlin; Springer—Verlag 1991
- 13 Thompson C J. Chaos in economics and management. New York; World Scientific, 1992
- 14 Day R. The emergence of chaos from classical economic growth. The Quarterly Journal of Economics 1983(5): 201 ~ 213
- 15 Barnett W et al. Deterministic chaos and fractal attractors a stools for nonparametric dynamical economitric inference. Math Comput Modelling, 1988, 10(4): 275 ~ 296
- 16 Grandment J M. Nonlinear economics dynamics. New York; Academic Press Inc. 1985
- 17 Hilfer R. Exact sdution for a class of fractal time random walks FRACTALS, 1995, 3(1): 211 ~ 216
- 18 张守一等. 对经济混沌的初步分析. 大自然探索, 1992, 11(3): 93 ~ 99
- 19 黄登仕等. 分形维数与经济弹性. 数量经济技术经济研究, 1989(12): 54 ~ 56
- 20 黄登仕等. 分形几何学、 R/S 分析与分式布朗运动. 自然, 1990, 13(8): 477 ~ 482
- 21 黄登仕. 分式布朗运动模型及其在经济预测中的应用. 预测, 1990, 9(6): 24 ~ 26
- 22 周延等. 分形几何在股票价格变动研究中的应用. 预测, 1993, 12(3): 49 ~ 51
- 23 张本祥等. 再生产过程的分形特征及其对经济波动的反应. 见: 辛厚文主编. 分形理论及其应用. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1993: 450 ~ 453
- 24 Mandelbrot B B et al. Fractional brownian motion, fractional noise and application. SIAM Rev, 1968(10): 422 ~ 437
- 25 Mcheod A I and Hipel K W. Preservation of the rescaled adjusted range. Water Resources Research, 1978, 14(3): 491 ~ 518
- 26 国家统计局工业交通司. 中国能源统计年鉴 1989. 北京: 中国统计出版社, 1990. 88 ~ 89

(收稿日期: 1995—10—12)