

推理公式简析法在小流域暴雨洪水计算中的应用

姚学斌

(黄山市歙县水文勘测队 ,安徽 歙县 245200)

摘要 :从推理公式的原理和基本关系式出发 ,导出推理公式在全面汇流时设计洪峰流量的简析式。黄山地区小流域设计洪水计算实例表明 ,推理公式简析法比图解试算法计算方便 ,计算结果与图解试算法计算结果相差小于 2.0%。该方法在黄山地区小流域暴雨洪水计算中已得到应用。

关键词 推理公式法 ;简析法 ;小流域暴雨 ;汇流 ;洪峰流量

中图分类号 :TV122+ .1 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2008)S1-0044-02

推理公式法系由暴雨直接推求设计洪水方法之一[1],适用于 300 km² 以下的小流域的洪水计算。小流域洪水计算以往多采用图解试算法和图解分析法[2]。图解分析法烦琐,查图精度对结果影响大,图解试算法工作量大。笔者从推理公式的原理和基本关系式出发,导出其简析式,使用该简析式不需要任何试算,也不必借助于图解或辅助计算,能简捷方便地计算设计洪峰流量。

1 基本关系式

在全面汇流时,推理公式法计算洪峰流量的基本公式[2]为

$$Q = 0.278 \varphi \frac{S}{\tau^n} F \tag{1}$$

其中
$$\varphi = 1 - \frac{\mu}{S} \tau^n \tag{2}$$

$$\tau = 0.278 \frac{L}{mJ^{1/3} Q^{1/4}} \tag{3}$$

或
$$\tau = \tau_0 \varphi^{-(\frac{1}{4-n})} \tag{4}$$

$$\tau_0 = \frac{0.278^{4-n}}{(\frac{mJ^{1/3}}{L})^{\frac{4}{4-n}} (SF)^{\frac{1}{4-n}}} \tag{5}$$

与洪峰流量相应的暴雨公式[1]为

$$H_t = St^{1-n} \tag{6}$$

式中 : Q 为洪峰流量 m^3/s ; φ 为洪峰径流系数 ; S 为雨力 mm/h ; τ 为流域汇流时间 h ; n 为暴雨衰减指数 ; F 为流域面积 km^2 ; μ 为产流历时内平均入渗率 mm/h ; L 为河长 km ; J 为河道坡度 ‰ ; m 为汇

流参数 ; τ_0 为 $\varphi = 1$ 时的流域汇流时间 h ; H_t 为历时 t 的设计暴雨量 mm ; t 为暴雨历时 h 。

2 简析式

联解式(2)(4)近似可得

$$(1 - \varphi) \varphi^{\frac{n}{4-n}} = \frac{\mu}{S} \tau_0^n \tag{7}$$

通过数值计算(表1[2])发现,以 n 为参数的 $\varphi \sim \frac{\mu}{S} \tau_0^n$ 在 $\varphi \geq n$ 全面汇流时,同 φ 值的 $\frac{\mu}{S} \tau_0^n$ 受 n 变化影响不明显,其变幅不大,为接近直线关系的微曲线,如图 1 所示。这就提供了一种求解设计洪峰流量的思路。

表 1 $\varphi \sim n \sim \frac{\mu}{S} \tau_0^n$ 关系

n	$\frac{\mu}{S} \tau_0^n$					
	$\varphi = 0.9$	$\varphi = 0.8$	$\varphi = 0.7$	$\varphi = 0.6$	$\varphi = 0.5$	$\varphi = 0.4$
0.4	0.098 836	0.195 102	0.288 343	0.377 929	0.462 937	0.541 921
0.5	0.098 505	0.193 719	0.285 082	0.371 822	0.452 862	0.526 320
0.6	0.098 160	0.192 288	0.281 700	0.365 519	0.442 430	0.510 420
0.7	0.097 790	0.190 750	0.278 140	0.358 920	0.431 630	0.494 010
0.8	0.097 400	0.189 148	0.274 410	0.352 040	0.420 450	0.477 160
0.9	0.096 987	0.187 450	0.270 490	0.344 860	0.408 860	0.459 850

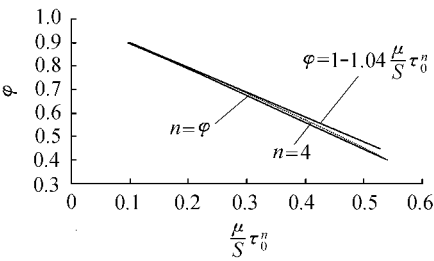


图 1 $\varphi \sim n \sim \frac{\mu}{S} \tau_0^n$ 关系曲线

表 2 用 $\frac{\mu}{S}\tau_0^n$ 数值计算结果检验式(8)

φ	$\frac{\mu}{S}\tau_0^n$ 式(8)计算结果	与表 1 相应值之比值	
		$n = 0.4$	$n = \varphi$
0.9	0.096 15	0.973	0.991
0.8	0.192 31	0.986	1.017
0.7	0.288 46	1.000	1.037
0.6	0.384 61	1.018	1.052
0.5	0.480 77	1.038	1.062
0.4	0.576 92	1.065	1.065

表 3 用 $\frac{\mu}{S}\tau_0^n$ 数值计算结果检验式(9)

φ	$\frac{\mu}{S}\tau_0^n$ 式(9)计算结果	与表 1 相应值之比值	
		$n = 0.4$	$n = \varphi$
0.9	0.098 59	0.997	1.017
0.8	0.192 61	0.987	1.018
0.7	0.284 98	0.988	1.025
0.6	0.376 29	0.995	1.029
0.5	0.466 83	1.008	1.031
0.4	0.556 75	1.027	1.027

表 4 黄山地区小流域设计洪水成果

流域名称	F/km^2	L/km	$J/\%$	m	$\mu/(\text{mm}\cdot\text{h}^{-1})$	$S/(\text{mm}\cdot\text{h}^{-1})$	n	设计洪水 $Q/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$		
								图解试算法	公式(13)	公式(14)
丰乐水库	297.00	47.00	0.542	0.126	2.0	141.0	0.64	2940.0	2904.0	2913.0
兴村河	4.49	2.24	3.185	0.034	2.0	141.5	0.64	122.0	120.2	120.4
王干小河	4.85	3.40	5.610	0.038	2.0	65.3	0.66	45.0	44.7	44.9

考虑到物理概念的合理性,即 φ 不能大于 1,且不出现 $\varphi < n$ 的非全面汇流,便有可能将 $\varphi \sim \frac{\mu}{S}\tau_0^n$ 关系加以概化,使其成为一条直线。由式(7)知 $\varphi = 1$ 时, $\frac{\mu}{S}\tau_0^n = 0$,则直线截距为 1。经计算和分析比较,当直线斜率为 -1.04 时概化结果最为接近表 1 中相应的 $\frac{\mu}{S}\tau_0^n$ 值,即

$$\varphi = 1 - 1.04 \frac{\mu}{S}\tau_0^n \tag{8}$$

若将 $\varphi \sim \frac{\mu}{S}\tau_0^n$ 关系概化为曲线,同样经分析计算可得

$$\varphi = 1 - 1.1 \left(\frac{\mu}{S}\tau_0^n \right)^{1.035} \tag{9}$$

式(8)~(9)均将 $\frac{\mu}{S}\tau_0^n$ 看为统一变量,便可得出忽略 n 影响的 $\varphi \sim \frac{\mu}{S}\tau_0^n$ 关系。

为了检验式(8)、式(9)的正确性,以表 1 为基础列表 2、表 3。由表 2、表 3 可知,相对而言,式(9)比式(8)更接近表 1 的成果,前者相差 3%,后者相差 6%,在应用条件下,不涉及 n 的变化时两公式均有十分满意的效果。但式(9)更为合理,它不会出现 $\varphi < n$ 的情况。

得到式(8)~(9)后,可进一步简化洪峰流量的计算公式。由式(1)、式(4)可得

$$Q = 0.278 \varphi^{\frac{4}{4-n}} \frac{SF}{\tau_0^n} \tag{10}$$

将式(8)代入式(10)可得

$$Q = 0.278 \left(1 - 1.04 \frac{\mu}{S}\tau_0^n \right)^{\frac{4}{4-n}} \frac{SF}{\tau_0^n} \tag{11}$$

将式(9)代入式(10)可得

$$Q = 0.278 \left[1 - 1.1 \left(\frac{\mu}{S}\tau_0^n \right)^{1.035} \right]^{\frac{4}{4-n}} \frac{SF}{\tau_0^n} \tag{12}$$

为使计算更加简便,继续简化式(11)、式(12),将式(11)、式(12)中含括号的幂次项加以简化,利用二项式展开 $(a + b)^n = a^n + na^{n-1}b + \frac{n(n-1)}{2!}a^{n-2}b^2 + \dots$,取前 2 项,其有效值可认为具有较高的精确度而不影响 Q 的计算结果,因此式(11)、式(12)可分别简化为式(13)、式(14):

$$Q = 0.278 F \left(\frac{S}{\tau_0^n} - \frac{4.16\mu}{4-n} \right) \tag{13}$$

$$Q = 0.278 \frac{SF}{\tau_0^n} \left[1 - \frac{4.4}{4-n} \left(\frac{\mu\tau_0^n}{S} \right)^{1.035} \right] \tag{14}$$

利用式(13)、式(14)即可简便计算出设计洪峰流量。

3 算 例

以黄山地区丰乐水库、兴村河、王干小河为例,采用图解试算法和推理公式简析法计算设计洪峰流量,计算结果见表 4。

4 结 语

根据推理公式的内在因素及其影响程度加以简析,推导出在全面汇流时设计洪峰流量的简析式。算例计算结果表明,推理公式简析法的计算结果与图解试算法的计算结果相差小于 2.0%,表明本文所推导简析式简单明了,计算方便且精度较高。

参考文献:

[1] SL44—2006 水利水电工程设计洪水计算规范[S].
[2] 杨远东.用推理公式计算设计洪峰流量的简析法[J].水文水资源,2000,21(3):1-4.

(收稿日期 2007-08-06 编辑 骆超)