

基于推理公式的山洪预警雨量计算方法研究

李克先

(福建省莆田水文水资源勘测分局, 福建 莆田 351100)

摘要:基于水科院推理公式,从山洪雨量预警需求出发,解除原公式在部分汇流中对流域面积分配曲线的矩形概化,经反演得出各典型时段临界雨量计算式;同时采用等流时方法,有效解决了计算式中最大部分汇流面积的定量问题。研究提出的预警雨量计算方法,物理概念清晰,易于理解和掌握,计算便捷,且无需水文资料,可作为现行山洪预警雨量分析计算的一种新方法。

关键词:推理公式;山洪;临界雨量;预警;等流时线

中图分类号:TV122

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)01-0084-04

1 引言

山洪,广义上是指短历时局地性洪水、泥石流和滑坡的总称,狭义上一般特指小流域突发性洪水,也称骤发洪水,其汇流时间一般在6h以内^[1-3]。从成因上分析,通常认为强降雨和小流域地形特征的配置是山洪骤发的主要诱因,其中强降雨为激发和主导因素,地形则影响其特性和分布,此外,人类不合理的开发利用不同程度助长了山洪的灾害性^[4]。

山洪多发生于山丘区小流域,历时短、破坏性强,同时还具有随机性且地域分布零散的特点,因而加大了山洪预警和防御的难度。为争取时效性,山洪预警大多采用临界雨量指标,方法亦有别于常规水文预报。目前在国内应用较为广泛的有统计归纳法,主要依据历史雨洪资料进行统计分析得出若干典型历时临界雨量作为预警指标^[5-6]。另一种使用的方法为降雨分析法,在日本和我国台湾地区应用较广,国内也有类似研究,通过分析山洪灾害发生时前期有效雨量和时段雨量的相互消长规律,选取降雨驱动指标,建立有效雨量与时段雨量的临界组合关系^[7-8]。

与上述方法相比,水文模型法则在理论上较为严谨且更为可靠,因而得到更多的重视。在预警指标应用研究上,近年来国内关注较多的是分布式水文模型,并已取得一定进展^[9],但对基于小流域雨洪机制的推理

公式的应用研究并不多见。由于分布式模型的复杂性、专业性以及对流域属性信息的精细要求,很难在基层预警指标分析中广泛应用,因此笔者认为开展推理公式在这一领域的应用研究有其现实意义。基于此,本文以水科院推理公式为基础,针对山洪雨量预警实用需求,解除其部分汇流中对流域面积分配曲线的矩形概化,结合等流时方法,推演得出各典型时段临界雨量计算式,可供现行山洪预警雨量分析中使用。

2 推理公式的产汇流机制

推理公式属于集总式概念性模型,是最早用于暴雨推求洪峰的方法之一。我国于20世纪50、60年代开始进行系统研究和改进,其中最具代表性的为水科院推理公式。从维里伽诺夫水流连续方程出发,假定流域汇流速度处处均匀,根据等流时汇流原理,最大流量总是出现在汇流面积和相应净雨过程乘积之和为最大的时间(推理公式中称造峰历时),于是得流域出口断面最大流量的一般表达式^[10]:

$$Q_m = \left[\int_{t=t_m} (\partial\omega(\tau)/\partial\tau) i_{t-\tau} d\tau \right]_{\max} \quad (1)$$

式中: Q_m 为洪峰流量; t_m 为造峰历时; ω 为等流时面积; τ 为流域汇流时间; i 为净雨强度。

为了简化公式形式,推理公式假定在造峰历时

内,流域损失强度、净雨强度在时间和空间上都是均匀的。当产流时间 $t_c \geq \tau$ 时,称为全面汇流,计算时段取全流域汇流时间,推得:

$$Q_m = 0.278 \frac{h_r}{\tau} F \quad (2)$$

式中: h_r 为 τ 所对应的最大净雨量; F 为流域面积。

当产流时间 $t_c < \tau$ 时,称为部分汇流,计算时段取产流时间,推得:

$$Q_m = 0.278 \frac{h_r}{t_c} F_c \quad (3)$$

式中: h_r 为 t_c 所对应的净雨量,即总产流量; F_c 为 t_c 所对应的最大部分汇流面积。实用中由于 F_c/t_c 较难客观定量,为简化计,采用如下假定:

$$\frac{F_c}{t_c} \approx \frac{F}{\tau} \quad (4)$$

式(4)意味着计算时段内,流域面积分配曲线被概化为矩形,于是式(3)可改写成:

$$Q_m = 0.278 \frac{h_r}{\tau} F \quad (5)$$

对于流域汇流时间 τ 的定量,推理公式通过流域汇流速度与出口断面流速的关系,经概化推演得如下计算式:

$$\tau = 0.278 \frac{L}{mJ^{1/3}Q_m^{1/4}} \quad (6)$$

式中: m 为汇流参数; L 为主河道长度; J 为平均坡降。

将式(2)、式(5)分别与式(6)组合成方程组,即为水科院推理公式。当流域特征和汇流参数确定后,应用该公式可以方便地从暴雨推求出洪峰流量及汇流时间。

推理公式由于结构简单、计算便利,在小流域设计暴雨洪水计算中得到广泛应用,但也因其“过于简单粗略”的概化,难以适应复杂多变的实时水情状况,故很少用于常规洪水预报。然而山洪预警与洪水预报思路不同,前者以洪水反求暴雨,且无暴雨过程和明确的预见期要求,因而结构简单的推理公式有其应用的可行性。

3 临界雨量计算式的推演与计算

3.1 临界雨量计算式

根据《山洪灾害分析评价技术要求》,山洪雨量预警指标一般为流域汇流时间内相应于预警水位的若干个典型时段临界雨量组成^[11]。预警水位有一个对应流量,本文将其定义为临界流量,表示为 $Q_{\text{临}}$ 。预警水位确

定之后,可通过建立控制断面水位流量关系查得临界流量 $Q_{\text{临}}$,将 $Q_{\text{临}}$ 代入式(2)或式(5),可推得临界雨量计算式,即:

$$h_{\text{临}} = \frac{Q_{\text{临}}}{0.278} \cdot \frac{\tau}{F} \quad (7)$$

式中: $Q_{\text{临}}$ 为临界流量; $h_{\text{临}}$ 为临界雨量。

由于 $Q_{\text{临}}$ 为已知,将其代入式(6)可求得流域汇流时间 τ ,故利用式(7)可直接求出临界雨量。但这样求出的临界雨量只能是唯一的,无法得出不同典型时段临界雨量(或不同典型时段临界雨量均为同一雨量),原因是部分汇流条件下,推理公式对流域面积分配曲线作了矩形概化。

3.2 问题讨论

为了满足雨量预警需求,所采用的分析方法必须能得出流域汇流时间内各典型时段的临界雨量,为此有必要对部分汇流条件下的推理公式型式作进一步讨论。如果不考虑式(4)的假定,将 $Q_{\text{临}}$ 代入式(3),则当 $t_c < \tau$ 时,临界雨量计算式为:

$$h_{\text{临}} = \frac{Q_{\text{临}}}{0.278} \cdot \frac{t_c}{F_c} \quad (8)$$

式中: t_c 可根据预警需要取不同典型时段值,即 $t_c = 1, 2, \dots, \tau$ 。当 $t_c = \tau$ 时, $F_c = F$,为全面汇流,式(8)变成式(7),临界雨量可求;当 $t_c < \tau$ 时,为部分汇流, t_c 所对应的最大部分汇流面积 F_c 为未知数值,必须设法定量,方可由式(8)求出各典型时段临界雨量。

3.3 最大部分汇流面积 F_c 计算

仍采用推理公式所依据的等流时汇流原理,对计算流域作等流时划分,以求取 F_c 。步骤如下:

(1)首先将 $Q_{\text{临}}$ 代入式(6)求得流域汇流时间 τ ,选取适当的计算时段 Δt ,将流域划分成 $n = \tau/\Delta t$ 个等流时单元;

(2)在比例合适的地形图或卫星影像图上,绘制等流时线^[12],并量算各等流时单元面积;

(3)制作流域面积分配曲线和不同时段最大部分汇流面积累积曲线;

(4)根据预警各典型时段历时(部分汇流条件下该值与产流历时 t_c 相同),查得各相应最大部分汇流面积 F_c 。

3.4 临界雨量 $h_{\text{临}}$ 计算

将查算出的 F_c 代入式(8)即可求出各典型时段临界雨量。但必须指出,以上得出的临界雨量 $h_{\text{临}}$ 为净雨量,实用时还应根据各地推理公式使用的特殊规定,

考虑损失量和入渗量。

综上所述,采用本方法计算预警临界雨量无需任何水文资料,只需流域图及其特征参数、产汇流参数,即可完成分析计算,十分便捷。由于推理公式应用广泛,各地均有与公式配套的分区或分类产汇流参数,因此本方法具备了充分的实用性基础。

4 应用示例

本研究选择福建省顺昌县蛟溪流域郑坊村作为应用示例。郑坊村控制断面以上流域特征为: $F=55.2\text{km}^2$ 、 $L=14.0\text{km}$ 、 $J=32.8\text{‰}$,流域地貌类型单一;该村山洪灾害较为频繁,根据现场勘察的成灾水位 244.5m,经分析确定预警水位为 243.7m,并查算得临界流量为 $223\text{m}^3/\text{s}$;同时,采用福建省推理公式汇流参数分区综合计算式求得 $m=0.055$,一并代入式(6),计算得流域汇流时间 $\tau=5.7\text{h}$,可近似取为整数 6h。

选取计算时段 $\Delta t=1\text{h}$,得 $n=6$;在流域卫星影像图上,按水系和地形特征勾绘等流时单元,并制作流域面积分配曲线和不同时段最大部分汇流面积累积曲线(见图 1~3)。

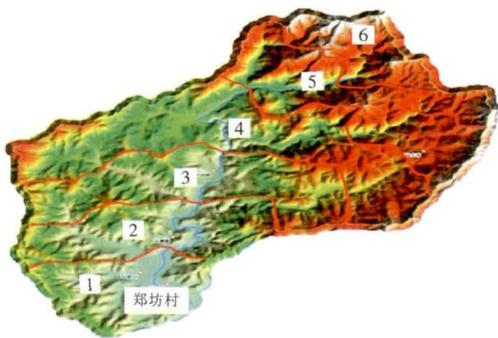


图 1 郑坊村以上流域等流时线图

Fig.1 Isochrones for the watershed above the Zhengfang village

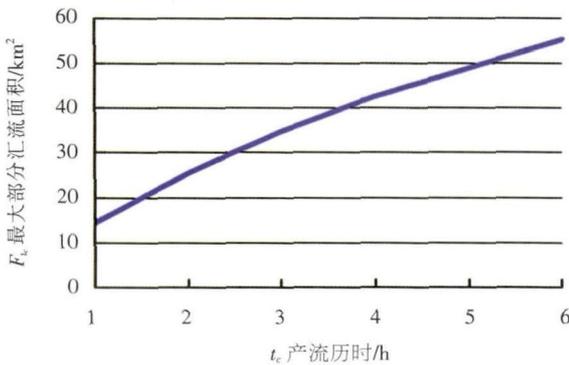


图 3 最大部分汇流面积累积曲线图

Fig.3 Cumulative curve of the most concentration flow area

将相关数据代入临界雨量计算式(8),计算得郑坊村山洪各预警时段临界雨量 h_{lim} 。考虑推理公式在福建的应用情况,在不计前期雨量损失的条件下,实用预警临界雨量(用 P_{lim} 表示)应加上净雨稳渗量(2.6mm/h),分析计算成果详见表 1、图 4。

5 结语

推理公式的经典产汇流机制和简单结构形式同样适用于山洪预警,基于该公式的山洪预警雨量分析方法物理概念清晰,计算便捷,易于理解和掌握,可作为现行山洪预警雨量分析计算的一种新方法。

采用本方法分析计算临界雨量无需水文资料,只需流域图及其特征参数、产汇流参数即可完成。由于推理公式应用广泛,各地均有与公式配套的分区或分类产汇流参数,因此本方法具备了充分、普适的实用性基础。但应用时必须注意,临界雨量计算式求出的是净雨,各地应根据推理公式在当地的使用规定,考虑损失量和入渗量。

解除原推理公式在部分汇流中对流域面积分配曲线的矩形概化,是本研究的关键突破,但最大部分

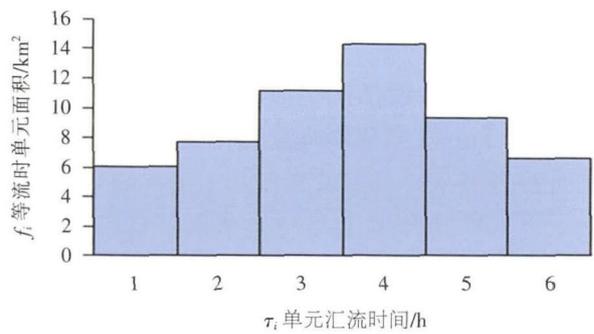


图 2 流域面积分配曲线图

Fig.2 Distribution of the watersheds

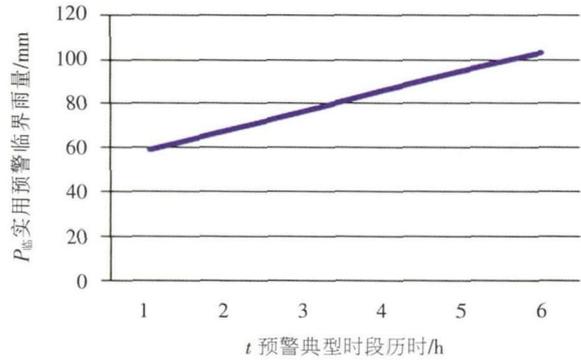


图 4 实用预警临界雨量线图

Fig.4 Critical rainfall graph for the warning

表1 郑坊村山洪临界雨量分析计算成果表

Table1 The analysis and calculation results of the critical rainfall of the flash flood at the Zhengfang villege

等流时单元汇流时间 τ_i/h	等流时单元面积 f_i/km^2	产流历时 t_i/h	最大部分汇流面积 F_i/km^2	临界流量 $Q_{临}/m^3s^{-1}$	临界雨量 $h_{临}/mm$	实用预警临界雨量 $P_{临}/mm$
1	6.1	1	14.3	223	56.1	59
2	7.7	2	25.5		62.9	68
3	11.2	3	34.8		69.2	77
4	14.3	4	42.5		75.5	86
5	9.3	5	49.1		81.7	95
6	6.6	6	55.2		87.2	103

汇流面积 F_i 却是一个不易定量的要素。本研究中暂采用传统习用的等流时方法解决这一问题，而更为可靠客观的解决方案则是利用现有数字地图的分析技术，这有待日后进一步深化。

参考文献:

[1] 水利部水文局.水文情报预报规范培训教材[R]. 2001. (Bureau of Hydrology, MWR. Standard for hydrological information and hydrological forecasting training materials [R]. 2001.(in chinese))
 [2] 李红霞, 覃光华, 王欣, 等. 山洪预报预警技术研究进展 [J]. 水文, 2014,(5):12-15. (LI Hongxia, TAN Guanghua, et al. Advances in study on flash flood forecast and warning [J]. Journal of China Hydrology, 2014,(5):12-15. (in Chinese))
 [3] 世界气象组织(WMO). 水文实践指南第二卷[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988. (WMO. Hydrological Practice Guidelines (Volume II)[M]. Beijing: Water Conservancy Electric Power Press, 1988. (in Chinese))
 [4] 任红玉, 邹翔, 张平仓, 等. 我国山洪灾害成因分析 [J]. 中国水利, 2007,(14):18-20. (REN Hongyu, ZOU Xiang, ZHANG Pingcang, et al. An elementary study on causing-factors Chinese mountain torrent disaster [J]. China Water Resources, 2007,(14):18-20. (in Chinese))
 [5] 全国山洪灾害防治规划领导小组办公室. 山洪灾害临界雨量分析计算细则 [R]. 2003. (Leading Group Office of China Flash Flood Disaster Prevention Project. Details of critical rainfall analysis and calculation of flash flood [R]. 2003. (in Chinese))
 [6] 陈桂亚, 袁雅鸣. 山洪灾害临界雨量分析计算方法研究 [J]. 人民长江. 2005,36(12):40-44. (CHEN Guiya, YUAN Yaming. Research on

critical precipitation amount computation method the of mountain torrential flood disaster [J]. Yangtze River, 2005,36(12):40-44. (in Chinese))
 [7] 李昌志, 郭良. 山洪临界雨量确定方法述评 [J]. 中国防汛抗旱. 2013,23(6):23-28. (LI Changzhi, GUO Liang. Methods of rainfall indicator for flash flood [J]. China Flood Drought Management, 2013,23(6):23-28. (in Chinese))
 [8] 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):458-463. (JIANG Jinhong, SHAO Liping. Standard of mountain flood warning based on the precipitation observation data[J]. Jouanal of Hydraulic Engineeing, 2010,41(4):458-463. (in Chinese))
 [9] 郭良, 唐学哲, 孔凡哲. 基于分布式模型的山洪灾害预警预报系统及其应用 [J]. 中国水利, 2007,(14):38-41. (GUO Liang, TANG Xuezhe, KONG Fanzhe, et al. Stady on mountain flood warning system based on distributed hydrological model and its application[J]. China Water Resources, 2007,(14):38-41. (in Chinese))
 [10] 陈家琦, 张恭肃. 小流域暴雨洪水计算[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985. (CHEN Jiaqi, ZHANG Gongsu. Small Watershed Storm Flood Computation [M]. Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1985. (in Chinese))
 [11] 全国山洪灾害防治项目组. 山洪灾害分析评价技术要求[R]. 2014. (Group of China Flash Flood Disaster Prevention Project. Details for flash flood disaster analysis and evaluation technology requirements [R]. 2014. (in chinese))
 [12] 长江水利委员会. 水文预报方法(第二版)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993. (Changjiang River Water Resources Commission. Hydrological Forecasting Method (2nd edition) [M]. Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1993. (in Chinese))

Calculation Method of Flash Flood Warning Rainfall Based on Reasoning Formula

LI Kexian

(Putian Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Fujian Province, Putian 351100, China)

Abstract: Based on reasoning formula, according to the flash floods rainfall warning requirement, the study removed the rectangular generalized of watershed area distribution in some concentration flow from the original formula, and made an inversion to obtain the critical rainfall calculation formula for the various typical durations, and then used isochrones method to solve the quantitative problem of the most concentration flow area in the calculation formula. The proposed calculation method of the rainfall warning has a clear physical concept, is easy to understand and master, is convenient for calculation, and is unnecessary to use hydrological data, which can be used as a new method for analysis and calculation of the flash flood warning rainfall.

Key words: reasoning formula; flash flood; critical rainfall; warning; isochrones