

# 基于水位/流量反推法的资料匮乏地区临界雨量研究

王新宏, 唐永鹏, 张美洋, 雷赐涛, 龚立尧

(西安理工大学 陕西省西北旱区生态水利工程重点实验室, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 在易发山洪灾害而没有实测水文资料的地区, 临界雨量的计算显得尤为困难。以宝鸡陇县地区陈家河小流域为研究对象, 利用设计的当地暴雨过程, 经过产流、汇流分析计算, 得到预警对象处的洪水过程。在降雨径流同频率的假定下, 并且考虑3个典型土壤含水量  $P_a = 20$  mm(干旱)、 $P_a = 50$  mm(一般)、 $P_a = 80$  mm(湿润), 结合陈家河实测的沟道资料, 运用水位/流量反推法综合得出流域预警对象的临界雨量和准备转移雨量, 为陈家河小流域的灾害预警、人员转移提供技术支撑。

**关键词:** 水位/流量反推法; 临界雨量; 山洪灾害; 灾害预警; 陈家河小流域

中图分类号: TV125

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)04-0125-04

## Research on critical rainfall in data deficient region based on inversion method of water level/flow

WANG Xinhong, TANG Yongpeng, ZHANG Meiyang, LEI Citao, GONG Liyao

(Shaanxi Provincial Key Laboratory of Ecological Water Conservancy Project in Northwest Arid Region, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** In the absence of measured hydrological data which happen flash flood disaster, the calculation of critical rainfall is particularly difficult. The paper took the little basin of Chenjiahe river tributary in Long county of Baoji as a case study, used the design local rainstorm process, analyzed runoff and flow concentration and finally got the flood process at the early warning object. Under the assumption of rainfall and runoff at the same frequency, it considered three typical soil moistures of  $P_a$  being equal to 20mm (drought) and  $P_a$  being equal to 50mm (General) and  $P_a$  being equal to 80mm (wet) critical rainfall. According to the measured channel data of Chenjiahe and using the inversion method of water level/flow, the paper got the critical rainfall and ready to transfer rainfall of watershed early warning object so as to provide technical support for the disaster warning and person transfer in Chen Jiahe small watershed.

**Key words:** inversion method of water level/flow; critical rainfall; flash flood disaster; flash flood disaster warning; Chenjiahe small watershed

## 1 研究背景

由于我国的地形总体上呈现多山的状况, 因此, 由暴雨引起的山溪洪水、泥石流等山洪灾害常给人们的生产生活带来重大威胁。加之近些年全球气候变暖, 极端性天气频出, 山洪灾害的发生也更加频繁, 损失也日趋严重。并且, 通常小流域的面积较小, 沟道的坡度大, 因而山洪来势凶猛, 速度快, 破坏性极强, 给预防带来了很大的困难。山洪灾害的预

警是山洪灾害防治体系的重要组成部分, 是减少人员伤亡和财产损失的有效手段<sup>[1]</sup>。山洪灾害的诱发因素主要是降雨, 而降雨要达到一定的量级或者强度时才能引发山洪灾害。临界雨量是指一个流域或者区域在某一时间段内降雨量达到或者超过某一量级和强度时, 该流域或者区域将发生山溪洪水、滑坡、泥石流等山洪灾害, 把这时的降雨量或者降雨强度称为该流域或者区域的临界雨量<sup>[2]</sup>。对于有资料的地区, 临界雨量的计算显得更为方便, 结果也更

加准确。但是我国自建国以来,雨量站基本建在大江大河以及水库上,对于山区村落,雨量站分布很少且年份资料短,部分地区甚至没有,因此临界雨量的计算只能根据水文手册等资料设计完成。叶勇等<sup>[3]</sup>利用水位/流量反推法计算了浙江省小流域的临界雨量,但没有考虑土壤含水量的影响。刘媛媛等<sup>[4]</sup>利用PⅢ曲线、概率统计以及水力学的方法计算了资料匮乏地区的临界雨量。陈瑜彬等<sup>[5]</sup>利用降雨径流曲线法计算了不同土壤含水量下的动态临界雨量。李昌志等<sup>[6]</sup>采用分布式水文模型对小流域进行了临界雨量的计算,能够很好地考虑到下垫面的影响,但是对数据资料的要求比较高。黎坚等<sup>[7]</sup>则从气象的角度研究了临界雨量,得出24 h的临界雨量预警效果最好。临界雨量值对于山洪灾害的预警和防治都至关重要。通常在降雨开始后,通过雨量的检测来看是否发生灾害,当每个时段的雨量达到准备转移雨量值时,就立刻通知预警对象的人员转移;如果未达到,就看下一个时段的雨量是否达到,以这种方法来对山洪灾害预警切实可行。本文以陈家河小流域为研究对象,通过水位/流量反推法<sup>[8-9]</sup>、水文水力法来并且考虑土壤含水量来计算资料匮乏地区的临界雨量。对于山洪灾害分析评价工作的实践有借鉴意义。

## 2 临界雨量计算方法

根据全国山洪灾害防治规划山洪灾害临界雨量分析计算细则,单站临界雨量计算法和区域临界雨量计算法对于资料的要求比较高,对于资料匮乏地区或者无资料地区临界雨量的分析方法主要采用内插法、比拟法、山洪灾害实例调查法、灾害与降雨频率分析法等<sup>[10]</sup>。内插法适用于在已分析过单站临界雨量区域内有一些雨量站空白区(或有站但无降雨量实测资料);比拟法<sup>[11]</sup>适用于目标区域与典型区域在地质条件、水文条件、气象条件均很相似的情况下,目标区域直接可以利用典型区域的临界雨量;山洪灾害实例调查法是通过大量的灾害实例调查和雨量调查资料进行分析筛选而得到,但因受调查资料的可靠性和准确性影响,临界雨量初值也会存在一定的误差;灾害与降雨频率分析法需要年份相对长的灾害发生次数记录,但在计算的过程中无法将一年两次或者两次以上灾害的情况考虑在内,因此结果误差也比较大<sup>[12-13]</sup>。陈家河小流域资料匮乏,选取临近陈家河流域且有水文资料的典型流域,根据《宝鸡市水文实用手册》中流域各典型年的暴雨

资料、洪水资料,经计算有80%的流域符合暴雨和洪水同频率的假定,因此可以利用水位/流量反推法在基于暴雨洪水同频率的基本原理下来计算该小流域的临界雨量。综上考虑,本文采用水位/流量反推法结合灾害与降雨频率分析法中降雨与径流同频率的假定,并考虑土壤含水量对于临界雨量的影响<sup>[14]</sup>,综合得出陈家河小流域的临界雨量。

### 2.1 设计暴雨与产汇流计算

通过当地的水文手册与暴雨图集,根据等雨量线法,查得几个典型时段常年的平均降雨量以及对应的 $C_V$ 曲线值,计算得到不同频率的降雨过程。选择合适的产流模型,扣除潜流后得到各个时段的净雨量即为产流量,用推理公式法计算出汇流结果。但是,洪水流量的大小不仅取决于降雨的强度,而且还受下垫面的影响,尤其是下垫面的含水量对洪水流量的大小影响非常大。本文分别计算土壤含水量为 $P_a = 20、50、80$  mm 3种典型情况<sup>[15]</sup>下的洪水流量,并得到每种情况下各个典型频率下的洪峰流量,画出 $P - Q_{mp}$ 曲线图。

$$H_{tp} = H_t \cdot K_p \quad (1)$$

式中: $H_{tp}$ 为 $t$ 时段下频率为 $P$ 的点雨量值,mm; $H_t$ 为 $t$ 时段的平均降雨量,mm; $K_p$ 由皮尔逊Ⅲ型线表查得。

$$\tau = 0.278 \frac{L}{MJ^\alpha Q_{mp}^\beta} \quad (2)$$

$$Q_{mp} = 0.278 \frac{h}{t} F \quad (3)$$

$$m = 0.0614\theta^{0.75} \quad (4)$$

$$\theta = \frac{L}{J^{1/3} F^{1/4}} \quad (5)$$

式中: $L$ 为河道长度,m; $F$ 为流域面积, $m^2$ ; $J$ 为河道比降; $\alpha$ 取 $1/3$ ; $\beta$ 取 $1/4$ ; $Q_{mp}$ 为洪峰流量, $m^3/s$ ; $\tau$ 为汇流时间,h; $t$ 为时段,h; $h$ 为净雨量,mm; $m$ 、 $\theta$ 为汇流参数。

### 2.2 水力计算

根据预警对象在河道两旁所处的位置,适当的选取控制断面,以控制断面上游为汇水面积来计算洪水,并且以测出的横纵断面数据利用曼宁公式<sup>[16]</sup>来计算控制断面的水位流量关系。

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} J^{1/2} \quad (6)$$

式中: $Q$ 为流量, $m^3/s$ ; $n$ 为糙率; $A$ 为过水断面面积, $m^2$ ; $R$ 为湿周,m; $J$ 为河道比降。

### 2.3 反推流量

将预警对象的高程数据作为成灾水位,在水位

流量关系上,成灾水位对应的流量即为成灾流量。

### 2.4 计算临界雨量

将得到的成灾流量对应到  $P - Q_{mp}$  图上,可以得到一个成灾频率,在降雨与径流同频率的假定下,可利用成灾频率设计出该频率下不同时间段的降雨量,此降雨量即为所求的临界雨量。

## 3 小流域临界雨量计算实例

陈家河小流域位于宝鸡陇县西北的曹家湾镇,陈家河是渭河左岸最大支流千河的一条支流,在两河交汇处的下游不远处是段家峡水库。流域面积  $121.9 \text{ km}^2$ ,河长  $20.4 \text{ km}$ ,河道比降  $3.076\%$ ,两边均是秦岭山脉,高低起伏,就造成了一旦形成洪水,必将在极短的时间内使河道两旁的村落成灾,而且预警时间短,人员转移困难。

本文以陈家河小流域为例计算其临界雨量与准备转移雨量。为使人员转移和灾害预警更为合理,既没有人员转移遗漏,又不使过早的将人员转移到预定地点,进而失去预警的意义,将准备转移和立即转移的时间间隔定为  $30 \text{ min}$ 。

### 3.1 产汇流计算结果

根据《宝鸡市水文实用手册》,陈家河小流域在暴雨分区图上地处秦岭北麓、西部山区,设计得出  $1、3、6、12、24 \text{ h}$  在各频率下的降雨量。该区属于湿润半湿润地区,山岭面积大,土薄石多,地表植被好,以蓄满产流为主,将分析所得的产流结果代入到全面汇流公式(2)和(3)中得到的  $\tau - Q_{mp}$  和  $t - Q_{mp}$  曲线的交点值即为洪峰流量值。鉴于篇幅的考虑,此处仅给出土壤含水量为  $50 \text{ mm}$  的情况下的计算结果,各个频率下的洪峰流量计算结果如表1。土壤含水量为  $20$  和  $80 \text{ mm}$  的情况计算方法与之相同。陈家河小流域的  $P - Q_{mp}$  关系曲线见图1。

表1 洪峰流量计算结果

频率/%	1	2	5	10	20
$Q_{mp} / (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	472	364	246	168	102

### 3.2 断面水力计算

根据选定的控制断面以及它的实测数据,利用曼宁公式可以计算得出断面的水位流量关系,如表2。

预警对象的高程为  $1136.1 \text{ m}$ ,将它转化到控制断面上的高程为  $1137.2 \text{ m}$ ,此即为成灾水位,在水位流量关系曲线上内插得到成灾流量为  $364 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

表2 水位流量计算结果

$H/\text{m}$	$A/\text{m}^2$	$R/\text{m}$	$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
1135.0	0.0	0.0	0
1135.2	2.1	0.2	2
1135.4	5.6	0.3	9
1135.6	10.6	0.5	23
1135.8	16.3	0.6	40
1136.0	22.8	0.8	68
1136.2	29.7	0.9	95
1136.4	37.1	1.1	136
1136.6	44.8	1.3	184
1136.8	53.3	1.4	230
1137.0	62.3	1.6	294
1137.2	71.4	1.8	364
1137.4	81.6	1.9	431
1137.6	95.3	2.0	521

### 3.3 预警指标计算

在降雨与径流同频率的假定下,将成灾流量在  $P - Q_{mp}$  曲线上内插得到成灾频率为  $2\%$ ,得出  $50$  年一遇下  $1、3、6、12、24 \text{ h}$  的降雨量即为陈家河小流域的临界雨量。在  $50$  年一遇的洪水过程线上,将成灾流量对应的时间向前推  $0.5 \text{ h}$ ,所对应的流量即为准备转移流量,然后用同样的方法在  $P - Q_{mp}$  曲线上内插出准备转移的频率,设计出该频率下  $1、3、6、12、24 \text{ h}$  的降雨量即为准备转移雨量<sup>[17]</sup>。土壤含水量为  $P_a = 20、50、80 \text{ mm}$  3种典型情况下的准备转移雨量值在表3给出,临界雨量值(立即转移雨量)如表4。

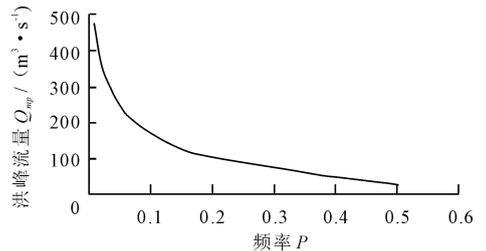


图1 陈家河小流域  $P - Q_{mp}$  关系曲线图

表3 准备转移雨量值 mm

准备转移 时间/h	土壤含水量/mm		
	20	50	80
1	63	47	42
3	110	82	73
6	125	93	83
12	148	111	100
24	174	133	120

表4 立即转移雨量值 mm

准备转移 时间/h	土壤含水量/mm		
	20	50	80
1	72	64	51
3	127	112	89
6	145	128	102
12	170	151	121
24	200	178	144

## 4 结 论

本文结合陈家河流域的基本情况以及沟道的实测资料,考虑到没有实测的雨量以及水位等水文资料,并且基于《宝鸡市水文实用手册》的规定,采用水位/流量反推法对流域的临界雨量进行了计算,综合得出以下几个结论:

(1)在选定的控制断面上当水位达到 1 137.2 m 或者流量达到 364 m<sup>3</sup>/s 时,应立刻组织人员转移。

(2)3 种典型情况土壤含水量下的临界雨量值相差甚大,在预警时务必考虑土壤含水量:土壤含水量越大,临界雨量值越小,土壤含水量越小,临界雨量值越大。

(3)水位/流量反推法对于水文资料的要求不高,对于资料匮乏地区的临界雨量计算可以借鉴使用。

总体来看,水位/流量反推法对无实测水文资料的地区来说,计算显得便捷而实用,但是资料匮乏,临界雨量的精度无法验证,因此,还需要在防洪预警的实践过程中进一步检验、补充和修正。

### 参考文献:

[1] 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): 40-43.

[2] 张红萍,刘舒,刘媛媛,等. 山溪洪水临界雨量基本概念剖析及方法分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2014,12(2):185-189.

[3] 叶勇,王振宇,范波芹. 浙江省小流域山洪灾害临界雨量确定方法分析[J]. 水文,2008,28(1):56-58.

[4] 刘媛媛,胡昌伟,张红萍,等. 资料匮乏地区山洪灾害临界雨量确定方法分析[J]. 水利水电技术,2014,45(8):15-17.

[5] 陈瑜彬,杨文发,许银山. 不同土壤含水量的动态临界雨量拟定方法研究[J]. 人民长江,2015,46(12):21-26.

[6] 李昌志,郭良,刘昌军,等. 基于分布式水文模型的山洪预警临界雨量分析——以涔水南支小流域为例[J]. 中国防汛抗旱,2015,25(1):70-76+87.

[7] 黎坚,于文杰,庞晓宇. 茂名市山洪灾害临界雨量分析[J]. 气象研究与应用,2014,35(Z2):178-180.

[8] 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.

[9] Norbiato D, Borga M, Dinale R. Flash flood warning in ungauged basins by use of the flash flood guidance and model-based runoff thresholds [J]. Meteorological Applications, 2009,16(1):65-75.

[10] 长江水利局水文局. 全国山洪灾害防治规划山洪灾害临界雨量分析计算细则(试行)[R]. 北京:全国山洪灾害防治规划领导小组办公室,2013.

[11] 陈文辉. 山洪灾害防治非工程措施中预警指标的确定——以甘肃省陇南市宕昌县为例[J]. 广东水利水电,2011,13(3):65-67.

[12] 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.

[13] 段生荣. 典型小流域山洪灾害临界雨量计算分析[J]. 水利规划与设计,2009(2):20-21+57.

[14] 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.

[15] 陕西省防汛抗旱指挥部办公室. 陕西省山洪灾害分析评价技术规定[R]. 西安. 陕西省防汛抗旱指挥部办公室,2015.

[16] 张志昌,李国栋. 水力学(上册)[M]. 北京. 中国水利水电出版社,2016.

[17] 瞿丽,杨文发,袁雅鸣,等. 基于临界雨量的山洪灾害预警技术试验研究[J]. 人民长江,2015,46(11):10-14.