

# 基于不同雨型的裴河小流域山洪灾害临界雨量分析

沈天元<sup>1</sup>, 马细霞<sup>1</sup>, 郭 良<sup>2</sup>, 张李川<sup>3</sup>

(1. 郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044;  
3. 河南省水利勘测设计有限公司, 河南 郑州 450003)

**摘 要:** 临界雨量是山洪灾害预警的重要指标, 为分析小流域雨型对临界雨量的影响, 首先对流域降雨过程按照雨峰出现位置的不同进行归类和划分, 定性分析流域常出现的各种典型雨型; 在此基础上, 采用 Pilgrim&Cordery 法定量确定流域各种典型雨型的时程分配, 并通过试算法计算其相应的临界雨量; 利用流域近期发生的成灾洪水, 采用临界雨量偏离度指标进一步分析论证雨型对临界雨量的影响。以河南省新县裴河典型小流域为实例进行应用研究, 结果表明: 设计雨型不能完全代表该流域的降雨类型, 其属于雨峰偏后式雨型, 由此确定的临界雨量与该流域常出现的雨峰偏前式雨型临界雨量相差33%, 与多峰雨型临界雨量差异较大, 相差43%。实时预警时, 根据实时雨型类型, 采用相应的临界雨量, 可以提高山洪灾害预警预报水平。

**关键词:** 雨型; 临界雨量; 偏离度; 山洪预警

中图分类号: TV877

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2018)06-0037-05

## 1 前言

山洪灾害是我国较为严重的自然灾害之一。小流域山洪灾害调查、分析评价和预警预报工作, 取得了一定效果。其中, 临界雨量的确定是分析评价工作的关键环节, 通常根据防灾对象所在河道控制断面处的成灾流量及小流域设计雨型, 采用产汇流计算方法, 经反推或试算得出<sup>[1-3]</sup>。而小流域设计雨型通常借用地区水文手册或水文图集中的设计雨型, 不具有小流域针对性; 且主要从工程安全考虑, 为主雨峰偏后的雨型, 这种单一的设计雨型能否代表小流域大多数暴雨的分布特征? 不同雨型对临界雨量影响程度如何? 为实时指导山洪预警工作, 提高预警精准度, 有必要在分析小流域降水特性的基础上, 概括多数降雨过程的变化规律, 选定代表性雨型, 计算不同雨型下临界雨量, 分析其对于临界雨量的影响程度, 为小流域山洪灾害预警提供依据。

目前, 雨型的研究方法很多, 主要基于国外的研

究成果。前苏联的包高马佐娃等提出了模式雨型, 并把统计分析的降雨分为7类<sup>[4]</sup>; Pilgrim&Cordery 采用每场降雨不同时段降雨量百分比的平均值来分配降雨过程<sup>[5]</sup>; Yen&Chow 提出不均匀雨型(非对称三角形雨型)<sup>[6]</sup>; Keifer 和 Chu 主要针对管道排水设计提出芝加哥雨型<sup>[7]</sup>。以上设计雨型国内均有应用, 王敏等对北京市的暴雨及雨型进行研究, 为北京市城郊区水利工程提供设计依据<sup>[8]</sup>; 王家祁提出同频率分析雨型法, 在水文水利计算中应用较多<sup>[9]</sup>; 岑国平等将模糊识别法应用到城市设计暴雨雨型中研究, 为城市排水找出一种比较合适的雨型<sup>[10]</sup>。上述设计雨型的研究较多用于工程规模确定中, 而在山洪灾害防治方面, 设计雨型代表性及其对临界雨量的影响等方面的研究较少。本文以河南省新县裴河小流域为研究实例, 采用统计方法对该流域降雨过程按雨峰出现位置的不同进行归类和划分, 定性分析该流域降雨时程分布特征; 对该流域常出现的雨型采用 PC 法确定其时程分配比例<sup>[11]</sup>; 在此基础上, 采用试算

收稿日期: 2017-12-11

作者简介: 沈天元(1994—), 男, 河南虞城人, 硕士研究生, 主要从事水文学及水资源方面的研究。E-mail: 573690268@qq.com

通讯作者: 马细霞(1963—), 女, 河南叶县人, 教授, 研究生导师, 主要从事水文学及水资源方面的教学与科研工作。E-mail: maxx@zsu.edu.cn

法确定其不同前期雨量下的临界雨量,并用流域近期发生的成灾洪水,通过临界雨量偏离度指标,进一步分析雨型对临界雨量的影响,为实时预警提供科学依据。

## 2 研究方法

### 2.1 基础数据资料的选取

#### 2.1.1 降雨场次划分

采用《山洪灾害分析评价技术要求》推荐的短时间间隔的雨场划分方法,以4mm作为降雨场次划分的界限:即在一场实际降雨过程中,降雨开始时刻为1h雨量大于4mm时刻,降雨结束时刻为小时雨量连续3h小于4mm时刻。

#### 2.1.2 降雨选择

目前,我国在暴雨资料选择方面主要采以下3种方法:

(1)年多个样法:即在年系列实测降雨资料中,挑选每年时段雨量最大的若干组降雨过程,组成样本容量系列。

(2)年最大值法:即在年系列实测降雨资料中,选取每年的一个时段雨量最大值,组成样本容量系列。

(3)超定量法:根据当地年系列实测降雨资料及降雨特性,选定时段雨量下限值,选取超过此下限值的次暴雨过程,组成样本容量系列。

引起山洪灾害的降雨多具有短历时强降雨等特点,因此,采用超定量法进行降雨选择。

### 2.2 雨型确定

根据雨峰所在各场次降雨位置的不同,对各场次降雨过程进行分类,定性分析流域各种典型雨型,如雨峰偏前,雨峰居中,雨峰偏后,多峰等。采用Pilgrim&Cordery法定量确定各种典型雨型时程分配比例<sup>[1]</sup>,具体过程如下:

(1)根据实际降雨资料 and 山洪预警时段需要,选取降雨历时和降雨过程,并将每场降雨按单位时段分成 $n$ 个时段。

(2)统计各场次降雨的时段雨量,根据雨量从大至小的原则来确定每个时段的序号,同时计算各个时段雨量占次降雨总量的百分比。

(3)计算所有场次降雨不同时段序号平均值,将序号取值最大的时段作为雨峰最可能出现的位置。

(4)根据(3)中雨量序号,对应计算所有场次降雨序号上降雨量百分比的平均值,得到雨量在每个时段

的分配比例,即为该场降雨的雨型。

### 2.3 不同雨型临界雨量分析计算

根据Pilgrim&Cordery法降雨时程分配结果,采用试算法计算不同雨型相应的临界雨量。对任一种雨型,其临界雨量计算具体步骤如下:

(1)对某一预警时段,假定一个初始雨量;

(2)按典型雨型时程分配比例进行雨量分配,推求时段降雨过程;

(3)采用适合当地的产汇流方案计算防灾对象控制断面洪峰流量;

(4)比较计算所得的洪峰流量与该断面成灾流量。若二者接近,则该雨量即为临界雨量;否则,重新假定初始雨量,重复(2)~(4)步,直至计算所得的洪峰流量与防灾对象的成灾流量差值小于预定的允许值为止。

### 2.4 利用成灾洪水检验典型雨型临界雨量

根据近期成灾洪水雨量资料,计算预警时段特征雨量偏离各种典型雨型临界雨量的程度,分析雨型对临界雨型的影响。具体过程如下:

#### (1)特征雨量计算

滑动统计成灾洪水成灾时间之前防灾对象不同预警时段的最大雨量作为该时段的特征雨量。

#### (2)不同前期影响雨量下的临界雨量计算

根据山洪灾害调查评价成果中湿润、一般、干旱等不同前期影响雨量下的临界雨量,插值计算与该场洪水相同前期影响雨量下的临界雨量。

#### (3)偏离度计算

按下式(1)计算成灾洪水特征雨量与典型雨型临界雨量的偏离度:

$$\text{偏离度} = \left| \frac{\text{临界雨量} - \text{成灾洪水特征雨量}}{\text{成灾洪水特征雨量}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

对于成灾洪水,偏离度分布在10%范围内,则认为临界雨量合适。

## 3 应用实例

裴河位于河南省新县,控制流域面积21km<sup>2</sup>,属大陆性湿润季风气候,雨量充沛。地处大别山腹地,河床坡降陡,比降一般在0.4%以上,最大达到3.0%,其岭谷高差大,成“V”字形分布,坡度大多在30°以上,地表植被覆盖率较低,是山洪灾害的高发地带。2016年7月1日新县遭遇历史上罕见的特大暴雨,裴河流域当日降雨历时16h左右,降雨量累积达269mm,强降雨

导致部分乡镇山洪暴发,道路,农田,房屋等被冲毁。本次选取裴河小流域为研究实例,分析小流域设计雨型的代表性,并以流域内新集镇蔡畈组为典型防灾对象,分析雨型对临界雨量的影响。

3.1 裴河流域雨型分析

根据裴河流域内裴河水文站和杨湾雨量站1982~2013年汛期暴雨资料,采用降雨场次划分和超定量选择方法,选取暴雨量级以上以及记录较好的69场降雨。按照《山洪灾害分析评价技术指南》建议,可以选取流域汇流时间作为预警指标的最长时段,充分考虑到研究区小流域属大陆性湿润季风气候,是南北气候过渡地带,雨水充足,为了获得更长的预见期,在流域汇流时间的基础上适当的延长,将研究区预警时段定为1h、2h、3h和6h。本次研究针对不同雨型对临界雨量的影响分析,而小流域设计雨型通常借用地区水文手册或水文图集的设计雨型,图集中给出的雨型一般为24h雨型,裴河流域面积不超过50km<sup>2</sup>,分析计算较短历时6h以满足山洪灾害预警时段要求,亦更有利于与图集中设计雨型对比。因此对小流域6h雨型分析,按照单峰降雨(前峰、中峰、后峰)和多峰降雨对各场次降雨进行分类。结果如表1所列。

表1 裴河流域雨型统计结果

Table1 The statistical results of the rain patterns in the Peihe river watershed

雨峰位置	雨峰偏前	雨峰居中	雨峰偏后	多峰
出现次数	31	16	14	8
所占比例/%	42.86	23.38	20.78	12.99

由表1可知,单峰降雨出现次数较多,多峰降雨较少。在单峰降雨中,雨峰偏前出现次数最多,雨峰居中次之,即雨峰出现在前部和中部的次数较多。《河南省中小流域设计暴雨洪水图集》<sup>[12]</sup>(简称《图集》)推荐的设计雨型属于雨峰偏后式雨型,与流域其他三类常出现的雨型有着较大区别。为进一步分析不同典型雨型对山洪灾害临界雨量的影响,采用Pilgrim&Cordery法定量确定流域4种典型雨型的降雨时程分配,结果见表2。

3.2 不同雨型下的典型防灾对象临界雨量分析

根据外业调查,流域内典型防灾对象—新集镇蔡畈组成灾水位为91.20m,成灾流量为70m<sup>3</sup>/s。采用试

表2 不同雨峰位置6h雨型分配表

Table2 The 6h rain distribution with different rain peak positions

时间/h	1	2	3	4	5	6
雨峰偏前/%	28.8	42.0	13.4	6.1	5.1	4.7
雨峰居中/%	9.4	15.1	38.3	19.3	14.4	3.5
雨峰偏后/%	7.1	9.0	14.4	40.0	21.4	8.1
多峰式/%	35.5	9.5	27.6	15.7	10.4	1.3

算法计算蔡畈组四种不同典型雨型、不同前期影响雨量下的临界雨量。《图集》主要根据气候和流域下垫面特点将河南省山丘区划为6个分区,本次研究区域属于河南省水文分区Ⅲ区,该区属于淮河干流、淮南山丘区,年雨量丰沛,植被良好,多水稻田。产流计算采用《图集》中 $P+Pa\sim R(\quad)$ 曲线,其中 $Pa$ 以 $W_m$ 为基准衡量, $Pa$ 为前期影响雨量, $W_m$ 为流域最大蓄水量,《图集》中给出Ⅲ区 $W_m$ 为50mm;汇流计算采用标准化单位线。为便于分析不同雨型对预警指标的影响,表3同时列出了《图集》中设计雨型下的临界雨量。

在表3中,列出了三种不同前期影响雨量情况下,通过试算法计算出不同雨型相应的临界雨量。根据《图集》中设计雨型推求的临界雨量不能完全满足其他四种雨型情况下山洪灾害预警的需要。《图集》中雨型相当于雨峰偏后式雨型,所以在预警时段内临界雨量相差较小,范围在13%内。雨峰偏前式雨型推求的临界雨量与《图集》中雨型推求的临界雨量,在预警时段2h中,相差较小;预警时段3h、6h中,相差较大,范围在33%内。雨峰居中式雨型推求的临界雨量与《图集》中雨型推求的临界雨量,在预警时段3h内,相差较小;预警时段2h、6h中,相差较大,范围在24%内。多峰式雨型推求的临界雨量与《图集》中雨型推求的临界雨量,在预警时段3h相差较小;预警时段6h中相差较大,范围在43%内。当预警时段较短时,不同雨型对于临界雨量的影响较小;随着预警时段的增长,不同雨型间的差异性越加明显,对临界雨量的影响越大。

3.3 临界雨量检验分析

2016年7月1日新县裴河流域山洪灾害中,新集镇蔡畈组成灾时间为7月1日14:00左右,成灾时间前的1h、2h、3h、6h特征雨量分别为90mm、102mm、

表3 研究区不同情况下临界雨量结果表  
Table3 The critical rainfall results under different conditions in the research area

Pa/Wm	时间/h	临界雨量/mm								
		设计雨型	雨峰偏前型	相差/%	雨峰居中型	相差/%	雨峰偏后型	相差/%	多峰雨型	相差/%
0.2	1	114	120	5	121	6	118	4	123	8
	τ(2)	122	130	7	135	11	130	7	131	7
	3	137	156	14	145	6	141	3	142	4
	6	156	186	19	173	11	162	4	196	26
0.5	1	99	102	3	106	7	102	3	105	6
	τ(2)	107	113	6	121	13	114	7	118	10
	3	121	145	20	130	7	120	-1	127	5
	6	137	169	23	161	18	149	9	181	32
0.8	1	83	90	8	93	12	88	6	91	10
	τ(2)	92	100	9	108	17	98	7	104	13
	3	103	128	24	119	16	106	3	117	14
	6	118	157	33	146	24	133	13	169	43

表4 特征雨量与不同雨型模式下的临界雨量对比结果表  
Table4 The comparison results of critical rainfalls between characteristic rainfall and different rain patterns

Pa/Wm	时间/h	特征雨量/mm	临界雨量/mm									
			设计雨型	偏离度/%	雨峰偏前雨型	偏离度/%	雨峰居中雨型	偏离度/%	雨峰偏后雨型	偏离度/%	多峰雨型	偏离度/%
0.5	1	90	99	10	102	13	106	18	102	13	105	17
	τ(2)	102	107	5	113	10	121	19	114	12	118	16
	3	142	121	15	145	2	130	8	120	15	127	11
	6	174	137	21	169	3	161	7	149	14	181	4

表5 2016年7月1日典型降雨雨型  
Table5 The typical rainfall pattern on July 1, 2016

时间/h	1	2	3	4	5	6
比例/%	6.7	51.7	20.6	10.3	6.5	4.2

142mm、174mm,该场次洪水前期影响雨量与前期影响雨量 0.5Wm 相近,因此采用预警时段特征雨量与前期影响雨量 0.5Wm 所对应的典型雨型临界雨量进行对比分析,结果如表 4 所列。

2016 年 7 月 1 日新县裴河流域大暴雨为雨峰偏前型雨型(见表 5),其预警时段特征雨量与雨峰偏前型雨型临界雨量偏离度在 10%左右,能够比较准确的进行实时预警。

该场大暴雨雨型与其他几种典型雨型有一定差

别,预警时段特征雨量与临界雨量偏离度较大,若用于该场山洪灾害的预警,存在空报或漏报风险。

可见,小流域不同雨型对于临界雨量具有一定的影响,使用单一雨型确定的临界雨量不能完全适用于山洪灾害实时预警。

4 结论

(1)不同雨型对临界雨量有影响。根据对裴河小流域暴雨特性的研究可知,该流域降雨多以单峰形式出现,与《图集》中的单峰设计雨型相似但雨峰位置有所不同。图集中雨型相当于雨峰偏后式雨型,其推求的临界雨量不能完全满足山丘区降雨形成山洪灾害的预警,且随着预警时段的增长,对临界雨量的影响越显著。



(2)从实际出发,根据流域降雨特性推求其临界雨量。建议不同地区在资料允许的情况下,应对小流域的雨型进行研究,当地《图集》是根据大流域综合推求的设计雨型未必适应于山洪灾害所针对的小流域。具体作业中,应根据近期天气预报,选择相应雨型模式下的临界雨量进行预警。由于我国降雨具有多变性,极端降雨的事件频发,影响山洪灾害临界雨量的因素也较多,为了提高山洪预警精度,我们对山洪灾害预警技术的研究任重而道远。

#### 参考文献:

- [1] 全国山洪灾害防治项目组. 山洪灾害预警指标检验复核技术要求 [R]. 2016. (National Flood Disaster Prevention and Control Project Team. Technical requirements for inspection and verification of forewarning indexes of mountain torrent disasters [R]. 2016. (in Chinese))
- [2] 李昌志. 山洪灾害分析评价要点及流程 [J]. 中国水利, 2015, 11: 62-64. (LI Changzhi, Analysis and evaluation of flash flood disaster points and processes [J]. China Water Resources, 2015, 11: 62-64. (in Chinese))
- [3] 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 (试行) [Z]. 2003-12. (Leading Group Office of National Mountain Flood Disaster Control Planning. Calculation rules for critical rainfall analysis of mountain flood disaster (trial) [Z]. 2003-12. (in Chinese))
- [4] 莫洛可夫, M.B., 施果林, 等. 雨水道与合流水道 [M]. 北京: 建筑工程出版社, 1956: 17-19. (MO, M.B., L.K., et al. The Rain Water and Confluent Channel [M]. Beijing: Architectural Engineering Press, 1956: 17-19. (in Chinese))
- [5] Pilgrim, D. H., Cordery. Rainfall temporal patterns for design floods [J]. J. of the Hydraulics Division, 1975, HY1: 81-95.
- [6] Yen, B. C., and V. T. Chow. Design hyetographs for small drainage structures [J]. J. of the Hydraulics Division, ASCE, 1980, 106 (HY6): 1055-1076.
- [7] Keifer, C. J., H. H. Chu. Synthetic storm pattern for drainage design [J]. J. of the Hydraulics Division, ASCE, 1957, 83 (HY4): 1-25.
- [8] 王敏, 谭向诚. 北京城市暴雨和雨型的研究 [J]. 水文, 1994, (3): 1-6+64. (WANG Min, TAN Xiangcheng. A study on storm and rainfall pattern in Beijing city [J]. Journal of China Hydrology, 1994, (3): 1-6+64. (in Chinese))
- [9] 王家祁. 中国暴雨 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002. (WANG Jiaqi. Rainstorm of China [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2002. (in Chinese))
- [10] 岑国平, 沈晋, 范荣生. 城市设计暴雨雨型研究 [J]. 水科学进展, 1998, (1): 42-47. (CEN Guoping, SHEN Jin, FAN Rongsheng. Research on rainfall pattern of urban design storm [J]. Advances in Water Science, 1998, (1): 42-47. (in Chinese))
- [11] 牟金磊. 北京市设计暴雨雨型分析 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2011. (MOU Jinlei. Design Storm Pattern Analysis in the City of Beijing [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2011. (in Chinese))
- [12] 河南水利勘测设计院. 河南省中小流域设计暴雨洪水图集 [Z]. 1984. (Henan Water Conservancy Survey and Design Institute. Design storm flood atlas of small and medium basins in Henan Province [Z]. 1984. (in Chinese))

## Critical Rainfall Analysis of Flash Flood Disaster in Peihe River Watershed Based on Different Rainfall Patterns

SHEN Tianyuan<sup>1</sup>, MA Xixia<sup>1</sup>, GUO Liang<sup>2</sup>, ZHANG Lichuan<sup>3</sup>

(1. Department of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China;

3. Henan Water Conservancy Survey & Design Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China)

**Abstract:** Critical rainfall is an important indicator of flash flood disaster early warning. In order to analyze the effect of rainfall pattern on the critical rainfall in small watershed, this paper classified and divided the rainfall process in the basin according to the different locations of the rain peaks, and qualitatively analyzed all kinds of typical rainfall patterns. On this basis, the Pilgrim&Cordery method was used to quantitatively determine the various typical rain basin type distribution of the schedule, and through the test algorithm to compute the corresponding critical rainfall. Taking advantage of the recent floods in the basin, the influence of the rainfall pattern on the critical rainfall was further analyzed and demonstrated by using the critical rainfall deviation index. This paper studied the application of the small watershed of the Peihe River in Xinxian County, Henan province. The results show that the design of rain patterns can not fully represent the type of rainfall in the basin, which belongs to the rain peak in the back form, the critical rainfall determined should be 33% different from the rain peak in the former form that is often present in the river basin, there is a large difference in critical rainfall of multi peak rain type, with a difference of 43%. According to real-time rainfall type, the corresponding critical rainfall can be used to improve the warning level of flash flood disaster.

**Key words:** rain pattern; critical rainfall; deviation degree; flash flood warning