

文章编号:1004-9045(2007)04-0311-05

# 江西致洪暴雨天气特征分析与流域洪涝预报研究

单九生, 尹 洁, 张延亭, 陈建萍, 刘献耀

(江西省气象台, 南昌 330046)

**摘 要:**在对 1959~1990 年的资料进行大量普查分析和统计的基础上, 指出对流层中低层形势特征在江西致洪暴雨中的特殊重要性, 分析了各个天气系统对形成致洪暴雨的作用, 并根据中低层天气形势特征来分型建立致洪暴雨的预报模式。应用水文上降水产生流量过程线的变化原理, 提出了仅用降水资料来推算流域洪涝指数, 用量化指标来预报未来流域洪涝强度的研究思路和方法。该方法思路是利用流域内测站雨量计算出流域的有效综合面雨量(考虑了前一段时间内的逐日流域面雨量的不同贡献)。复核流量(或水位)等洪涝资料与流域有效综合面雨量的关系, 最终确定出各级洪涝指数的流域有效综合面雨量的大小, 确定洪涝等级。

**关键词:**致洪暴雨; 三高一低型; 有效综合面雨量; 洪涝指数

**中图分类号:** P458.1\*21.1; P426.616 **文献标识码:** A

## 1 引言

江西属东亚季风气候, 降水丰沛, 暴雨频繁, 是长江中下游地区的三大主要暴雨区之一。境内河流水系发达, 赣、抚、信、饶、修五大江河水灾多发。建国 50 多年来, 几乎每年都发生局部洪涝灾害, 较大洪涝灾害平均 3~5 年就发生一次。进入 20 世纪 90 年代, 除 1991 年发生大旱, 其后连续发生大水, 局部遭受严重洪涝灾害。尤其是 1998 年全省五大江河和长江九江段、鄱阳湖均发生有记录以来最高洪水位, 紧接着 1999 年长江九江段和鄱阳湖又发生了仅次于 1998 年的第二高洪水位。洪涝灾害威胁一直是全省的心腹之患。如何提高暴雨预报和洪涝的预测水平, 已是防汛救灾的当务之急。

江西洪水概由暴雨产生, 而暴雨的类型和分布, 主要取决于大气环流。雨区位置与长波槽的移动和西太平洋副热带高压(简称副高)的进退有关<sup>[1]</sup>。在降水预报中, 常根据 500 hPa 形势特征来分型, 例如欧洲阻高型、乌拉尔山阻高型、中西伯利亚阻高型、槽脊移动型、平直环流型、东北低压型等, 这些环流形势有利于江西出现降水天气。但这些分型办法很难较准确地描述江西致洪暴雨的形势特点。

采用简单的数学关系概括复杂水文现象的水文预报始于 20 世纪 40 年代。1946 年, Cook 提出了下渗指数法<sup>[2]</sup>。1949 年, Linsley 等提出前期雨量指标(API)法<sup>[3]</sup>等。这些系统理论为洪水预报的发展开辟了广阔

的应用空间。洪水预报历史实践证明, 只侧重于研究微观规律(例如水质点向土壤中入渗、水质点在河道中运动等)的水文学方法, 而不解决宏观概括问题, 都不能得到好的预报效果。因而, 着眼于宏观规律(一场降雨产生径流的总水量最终集中到出口断面), 可能是洪水预报的可靠途径。因此, 如果江河流域有较长期的实测雨量和洪涝记载资料, 通过一定的方法处理, 便可建立由雨量资料来推算流域洪涝强度的方法。

本文从造成洪涝灾害危害程度的角度考虑, 以暴雨特别是大暴雨作为主要统计及分析对象, 从天气形势着手研究其触发条件, 分析江西致洪暴雨成因。统计发现, 在有限的范围内, 根据中低层环流形势的特点来分型, 仅用三种类型就可以概括江西省的全部致洪暴雨个例。这三种类型分别是三高一低型、低槽(切变)型和台风型, 据 1959~1990 年的资料统计, 它们分别概括了江西省致洪暴雨个例的 74%、20%和 6%。然后, 在降水预报的基础上, 应用水文上的降水产生流量过程线的变化原理, 研究仅用降水资料来推算流域洪涝指数, 用量化指标来预报未来流域洪涝强度。

## 2 致洪暴雨天气形势特征

### 2.1 致洪暴雨的定义

凡江西省单站 24 h 雨量 300 mm; 或三站以上 >200 mm; 或 10 站以上 100 mm 的强降水过程,

收稿日期: 2007-09-08; 定稿日期: 2007-11-10

基金项目: 中国气象局新技术重点推广项目“长江中游气象水文预报与服务系统研究”(CMATG2006Z08)资助

作者简介: 单九生, 男, 1967 年生, 高级工程师, 主要从事天气与环境灾害的预报研究。Email: jxqxjs@sohu.com

定义为一次致洪暴雨过程。

### 2.2 强暴雨典型形势特征

产生强天气现象所需的能量大都集中在 700 hPa 以下。强暴雨是强对流天气之一,在对强暴雨的研究中发现,江西省致洪暴雨主要有三种类型:三高一低型、低槽(切变)型和台风型,据 1959~1990 年的统计资料表明,上述三种类型分别概括了江西省致洪暴雨个例的 74%、20%和 6%。

#### 2.2.1 三高一低型

三高一低型是江西省最典型的致洪暴雨形势。在 40°N 以南、100°E 以东的我国东南部,对流层中低层有四个相互分离而又密切相关的天气系统。在该区域的东南部是稳定的副热带高压,脊线在 18°~25°N 之间,西北部是西风带高压,东北部是从北方南下的小高压与自西方移来的西风带高压合并而成的残留高压。将这三个高压分别简称为副高、西北高压和东北残留高压,在三个高压之间为自西(西南)向东(东北)伸展的切变线,其上多有低涡或气旋性环流存在。如图 1 是 1982 年 6 月 15 日 08 时(北京时,下同)850 hPa 形势图,它清楚地显示出三高一低型的基本特征。在该环流形势影响下,6 月 14 日 20 时至 15 日 20 时一天内江西出现了 19 站暴雨和 12 站大暴雨。引发了抚河流域的特大洪涝灾害。

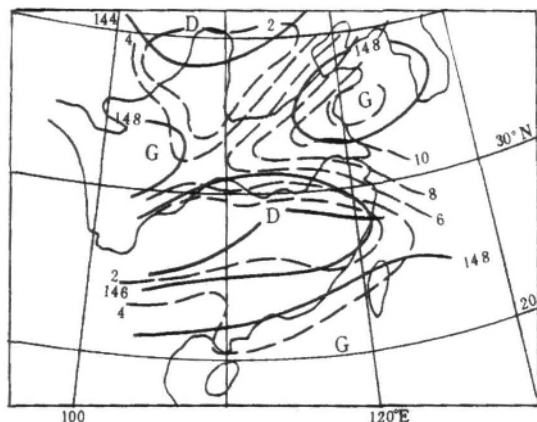


图 1 1982 年 6 月 15 日 08 时 850 hPa 形势图  
(虚线是  $T-T_d$  等值线)

副高的作用:副高是一个相对稳定的系统,其西北侧有一支稳定的西南气流,将来自孟加拉湾和南海的水汽源源不断地输送到长江中下游地区。水汽输送量的大小取决于西南气流的强弱。统计表明,只有在 850 与 700 hPa 的最大西南风速都达到 11 m/s 以上时(以下将 11 m/s 以上的西风称为西南急流),江西省才可能产生致洪暴雨。在 1982 年 6 月的连续暴雨过程中,由于 500 hPa 副高特别稳定,脊线一直维持在 18°~20°N 之间,使华南到江南的西南气流得到持续发展,在致洪暴雨开始前 12 h,即 6 月 14 日 08 时,中低

层最大西南风已达 13 m/s 以上。这支急流在致洪暴雨中起着十分重要的作用。

西北高压的作用:西北高压是推动西南低值系统东移的动力之一,由于地形的作用,在青藏高原东侧的中低层经常是低值系统活动区,当有西风带高压从高原的东北侧南下时,就会推动低值系统东移,成为江西致洪暴雨的触发系统。经验表明,在汛期的连续暴雨过程中,每次西风带高压东移都会导致一次降水加强过程。

东北残留高压的作用:东北残留高压是西风带高压东移到苏鲁沿海时与北方南下的小高压合并而成的,它具有加大降水强度和延长强降水时间两个作用。

江西省的连续暴雨过程类似于长江中下游的梅雨,其天气形势特点之一是 500 hPa 从贝加尔湖到我国东北有一个低压。图 2 是 1982 年 6 月 15 日 08 时的 500 hPa 形势图,图中给出了连续暴雨过程中低压的逐日演变情况。可以看出,这个低压深而且稳定,低压后部的西北气流持续不断地向南输送冷空气,为江南雨带的维持和加强注入新的活力。与此同时,中低层有小高压环流绕低压旋转南下,与西风带东移的高压合并,从而使高压范围加大,移速减慢,在苏鲁沿海形成东北残留高压。这样,当低值系统自西南向东北移动时,就会受到东北高压的阻挡而减速,与低值系统相伴随的降水天气在同一地区滞留的时间也随之延长,使过程雨量加大。

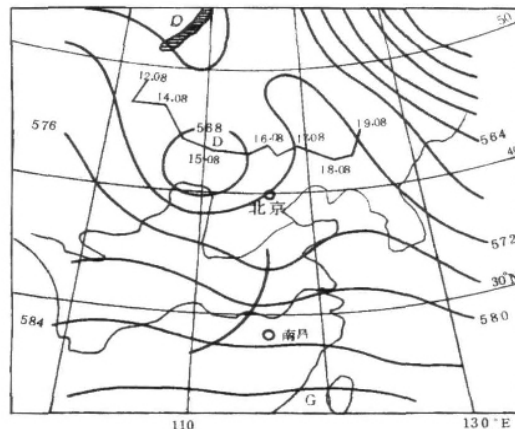


图 2 1982 年 6 月 15 日 08 时 500 hPa 形势图  
(折线是低压移动轨迹)

东北残留高压是一个辐散下沉气团,在它的南部有一支干的东风气流,它阻挡副高西北侧的西南气流向东北扩展,使西南来的水汽在东北残留高压的南侧聚集,在副高与该高压之间形成明显的露点锋区。这一点从图 1 的  $T-T_d$  分布可以清楚地看出,由于水汽的集中,在两高压之间的  $T-T_d$  锋区强度大于 2 / 100km。在这种形势下出现的冷暖、干湿对比加大,使

锋区北侧空气因干冷而加速下沉,南侧空气因暖湿而加速上升,构成了露点锋两侧的垂直正环流圈,有利于锋生,从而使降水增强。

低值系统的作用:低值系统具有辐合上升和聚敛水汽的功能,它是直接产生降水的天气系统,降水中心经常与低值系统中心相对应。

综上所述可知:副高西北侧的西南急流为降水输送水汽并持续不断地制造位势不稳定能<sup>[45]</sup>;西北高压推动低值系统东移;东北残留高压使降水强度加大并延长降水时间;低值系统直接导致降水的发生。致洪暴雨正是中低层低值系统在这三个高压之间活动的结果,虽然致洪暴雨是由低值系统直接引起的,但它离不开周围三个高值系统的密切配合。

### 2.2.2 低槽(切变)型

该类型的高空形势场为:在40°N以南、100°E以东的我国东南部,有两个高值系统,即副热带高压和西风带高压,它们分别位于该区域的东南部和西北部;在25°~35°N、105°~115°E之间有长达700 km以上的低槽或切变线。

低槽(切变)型与三高一低型相比较,副高、西北高压及低值系统在降水中的作用一致。不同的是低槽(切变)型中没有起阻滞作用的东北残留高压。这就是说,低槽(切变)型不像三高一低型那样容易产生致洪暴雨,必须有更强的西南气流,才有可能出现致洪暴雨。统计表明,对三高一低型来说,只要西南气流达11 m/s以上,就可能产生致洪暴雨,而对低槽(切变)型来说,西南气流必须达16 m/s以上,才有产生致洪暴雨的可能。

### 2.2.3 台风型

除汛期是江西的多暴雨时段外,夏季台风也是造成江西暴雨的另一个重要原因<sup>[6]</sup>,而且一旦台风靠近或进入江西省,降水强度往往较大,常有暴雨或大暴雨发生,且常伴有大风,狂风暴雨容易引发山洪爆发、局部洪涝。另外,台风降雨的另一个特点是受地形影响,高山效应明显<sup>[7]</sup>,庐山和井冈山经常出现暴雨和特大暴雨,是两个暴雨中心。如:1975年8月14日受第4号台风影响,庐山出现24 h降水量329.9 mm的特大暴雨。1976年8月11日,井冈山受13号台风影响,出现119.6 mm的大暴雨。

影响江西台风均为南海和西太平洋上生成的台风西移北上,台风除了它本身部分气流所受的地转偏向力不同所产生向北及向西移动外,还有一个外力,即气压梯度力和地转偏向力,它使台风沿台风所处的大型环流背景的地转风方向移动,即台风受基本流场引导。付热带高压与台风最近,相当大程度可决定台

风移动。所以台风影响江西的基本形势主要是指付高的基本环流特征<sup>[9]</sup>。江西省的台风暴雨与台风路径关系较大。

## 3 流域洪涝指数

### 3.1 设计思路

由降水资料计算洪涝指数,采用的方法是应用水文上的降水产生流量过程线的变化原理演变而来。设计思路是首先利用流域内测站雨量计算出流域的有效综合面雨量(有效综合面雨量是指对当日水位或流量有影响的降雨过程中等效面雨量,其值等于当日面雨量与前一段时间各日面雨量及其影响系数乘积之和);然后复核流量(或水位)等洪涝要素与流域有效综合面雨量的关系,最终确定出各级洪涝指数的流域有效综合面雨量的大小。

### 3.2 单场降水流量过程线

众所周知,一场降水对河水流量(或水位)的影响可分为涨水段、峰顶段、退水段,如图3所示。

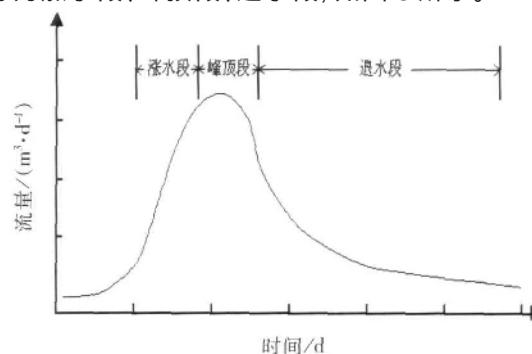


图3 一场降水过程的流量过程示意图

涨水段的形状主要受降水的特性影响,历时通常较短。退水段代表蓄水量的亏损,拐点通常认为标志着地面流停止到达河槽的时间,因此退水段外形多不依赖于致洪暴雨的特征,其结果通常不是一条直线,而是斜率逐渐变缓的曲线。这是因为水是从三种不同的蓄水量来的,即从河槽、表层土壤和地下水来的,各有不同的滞时特性。但是它们通常可用指数函数<sup>[9]</sup>(或对数函数)进行描述:

$$Q=Q_0 \cdot K_r^t \quad (1)$$

$Q_0$ 是起始时间( $t=0$ )的流量, $Q$ 是某一时段后的流量, $K_r$ 是小于1.0的退水系数,可通过对历史过程拟合求取。 $t$ 通常采用天,而在小流域也许时间坐标要取得更小些。

以上假定的是一个单独的河川径流事件,而且在直接径流全部离开流域前并无后续降水。然而在现实中经常出现连续性降水或暴雨天气,因此必须分析由复合降水过程产生的径流。

### 3.3 复合降水流量过程

对某特定流域而言,若某次降雨由两个  $t$  时段的净雨量  $P_1$  和  $P_2$  所组成,且两者出现前后错开一个时段  $t$ ,则各时段净雨量所产生的径流过程互不受干扰影响,出口断面总的地面过程线可由两者前后错开一个时段,将其纵坐标流量值叠加而成<sup>[9]</sup>(图 4)。

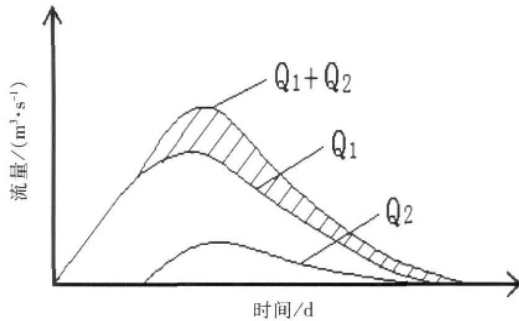


图 4 相续两时段净雨量地面径流过程线复合图

### 3.4 降水对流域流量的影响时间

一场降水的径流对出口断面流量的影响时间  $N$  如何确定 ( $N$  天以前的降水视为对河流出口断面的流量无影响),这关系着下面计算流域有效综合面雨量的精度问题。用观测若干过程线的办法也许能决定时间  $N$  值。也可通过如下经验法<sup>[10]</sup>得出:

$$N=0.8A^{0.2} \quad (2)$$

其中  $A$  是流域面积,单位为  $\text{km}^2$ 。

### 3.5 流域有效综合面雨量的计算

由图 3 可知,洪水流量过程线与横坐标(时间)所包围的面积即为该次洪水总量。从一定意义上讲洪水总量等同于流域有效综合面雨量与其面积之积。因此,同样可以用退水过程线的描述公式和复合降水过程流量的求取原理,对影响河川流量的流域有效综合面雨量进行处理,通过退水曲线函数对  $N$  天内流域面雨量进行计算,最后累计得到影响河川流量的流域有效综合面雨量  $R$ :

$$R=\sum_{i=1}^N m \cdot p_i \cdot K^{i-1} \quad (3)$$

$m$  为净雨量折算系数(雨水落到地面,一部分通过植物截流、填洼、雨期蒸发、初渗等损失掉,剩下能形成地面、地下径流的那部分降水称为净雨量)。推求净雨量的模型很多,这里应用美国土壤保持局(SCS)法<sup>[11,12]</sup>来计算净雨量折算系数。 $p_i$  为第  $i$  天的面雨量。 $K$  是退水系数,可通过对历史上降水的水位(或流量)过程曲线拟合求取。指数为  $i-1$  是因为把当天的降水视为涨洪段,其雨量全部纳入流域有效综合面雨量中。

### 3.6 洪涝指数的确定

计算出历史上每天的流域有效综合面雨量后,将其与洪涝记载和流量(或水位)等资料进行校核,通过

与历史洪涝拟合,确定出各洪涝等级的流域有效综合面雨量大小。

为了使流域洪涝指数客观定量化,这里假定  $R_0$  是流域出口流量达到警戒水位时流量的平均有效综合面雨量。 $R_m$  表示历史上流域出口最大流量时的有效综合面雨量,它对应的是历史上曾经出现的最大洪峰流量。从警戒水位流量到历史最大流量分成 3 等份,作为洪涝级差的有效综合面雨量  $R$  计算,

$$R=(R_m-R_0)/3 \quad (4)$$

根据流域有效综合面雨量与洪涝级差,可以计算出洪涝强度,即洪涝指数:

$$FW=(R-R_0)/R \quad (5)$$

根据上述公式计算结果,把洪涝指数分为 5 级:

$FW < -2$  时,为 1 级(不会发生洪涝):水位较低,不可能发生洪涝;

$-2 < FW < -1$  时,为 2 级(不大可能发生洪涝):河水位低于警戒水位,不大可能发生洪涝;

$-1 < FW < 1$  时,为 3 级(可能发生洪涝):河水位在警戒水位附近,可能发生局部洪涝;

$1 < FW < 2$  时,为 4 级(易发生洪涝):局部内涝或全流域的轻度洪涝灾害;

$FW \geq 2$  时,为 5 级(持续洪涝或极易发生洪涝):全流域持续洪涝或易出现中度或严重洪涝灾害。

## 4 检验分析

为了检验上述设计方法,对抚河临川段进行试验。利用廖家湾水位站 1959~1976 年、1978~1989 年共 29 年 4~7 月的水位与逐日流域有效综合面雨量(临川、南城、南丰、黎川、广昌、金溪、资溪的面积加权平均雨量)进行分析,发现流域有效综合面雨量与水位有较好的对应关系( $m=0.9, k=0.7$ )。

(1)假如把水位  $H \geq 41.4 \text{ m}$  时洪涝指数定义为 5 级(极易发生洪涝),其相应的流域有效综合面雨量约为  $R \geq 140 \text{ mm}$ 。29 年中流域有效综合面雨量  $R \geq 140 \text{ mm}$  共 11 次,其中 10 次抚河出现严重洪涝(8 次水位超  $41.4 \text{ m}$ , 2 次略低于  $41.4 \text{ m}$ ),另一次出现在 1961 年 6 月 12 日,为一般洪涝年。 $R \geq 140 \text{ mm}$  时,水位  $H \geq 41.4 \text{ m}$  的拟合率为 8/11。

(2)如把流域有效综合面雨量  $R$  位于  $[100 \text{ mm}, 140 \text{ mm}]$  时洪涝指数为 4 级(易发生洪涝)。历史上共出现 29 次这样的过程,其中 24 次出现大水或一般洪涝,有 5 次没有出现明显洪涝现象。

2002~2005 年汛期抚河流域多次出现连续性的区域暴雨,局部大暴雨的降水过程,部分河段出现洪涝,造成大量农房倒塌,大片农作物被淹,大面积农田被

洪水冲毁,2002年抚河流域还曾一度决堤,使工农业生产 and 群众的生命财产遭受严重损失。利用流域面雨量系统实时对江河水位及洪涝指数进行预测、计算,统计发现,抚河控制站水位超警界时,洪涝指数预报均在4级以上,即预示易发生洪涝或极易发生洪涝,取得了较为满意的预报和服务效果。

## 5 结论

(1)产生致洪强暴雨的决定因素在对流层中低层。根据中低层形势分型,可用三种类型环流形势(三高—低型、低槽(切变)型、台风型)概括江西省全部致洪暴雨两个例,预报模式简单。

(2)该文讨论的洪涝指数并非真正的洪涝强度,也不像水文部门对落地水进行精确计算所得到的洪峰流量,而是根据预测降水推算出来的可能产生的洪涝强度。

(3)该洪涝指数预报方法只是考虑流域平均面雨量的因素,但是由于降水的时空分布不同,相同的面雨量在流域出口所形成的洪峰流量会有差异。显然这种差异随着预报区的增大而增大。所以,单位降水流量过程线的概念及相应的洪涝指数计算比较适用于小流域。

(4)退水曲线可以用指数函数进行拟合,系数K作为一个常数。但也可对退水过程线进行分割,分解出

每天退水曲线的切线斜率,作为当天的退水率。

## 参考文献:

- [1] 潘根发.江西主要天气过程环流形势分析[J].江西气象科技,1981(2): 24-34.
- [2] Cook H L. The Infiltration Approach to the Calculation of Surface Runoff[M].Trans.1946:726-747.
- [3] Linsley R K, Kohler M A, Paulhus J L H. Applied Hydrology[M]. NewYork: M Cc Grow- Hill.1949:418-424.
- [4] 丁一汇.高等天气学[M].北京:气象出版社,1991:573-576.
- [5] 北京大学地球物理系教研室.天气分析和预报[M].北京:科技出版社,1976:55-59.
- [6] 张延亭,林铍德,崔莉杰.综合相似法预报台风[J].江西气象科技,1989(1):21-25.
- [7] 张延亭.山地地形对台风降水的影响[J].气象,1982(6):8-10.
- [8] R.K.林斯雷,MA冠乐,等.工程水文学[M].北京:水利出版社,1981: 226-252.
- [9] 张广志.水文与水利计算复核[M].北京:中国水利水电出版社,1994: 92-94.
- [10] 葛守西.现代洪水预报技术[M].北京:中国水利水电出版社,1999: 136-146.
- [11] Miller N, Cronshey R. Runoff Curve Numbers,the Next Step in B. C.Yen,ed.[G]//Channel Flow and Catchment Runoff ,Department of Civil Engineering, University of Virginia,Charlottesville,1989: 910-916.
- [12] Rallison R E. Origin and Evolution of the SCS Runoff Equation [C].Proc, Symp.on Watershed Management.Boise, Idaho, 1980: 912-

# Synoptic Feature of Flood-causing Heavy Rain and Study of Drainage Flood Prediction in Jiangxi Province

SHAN Jiu-sheng, YIN Jie, ZHANG Yan-ting, CHEN Jian-ping, LIU Xian-yao  
(Jiangxi Provincial Meteorological Observatory, Nanchang 330046)

Abstract: Based on analysis and statistics of the 1959-1990 data, it is shown that the situation feature in median-low layer in troposphere plays an important role in flood-causing heavy rain in Jiangxi. The effect of each kind of synoptic systems on flood-causing heavy rain is analyzed, and a prediction model for flood-causing heavy rain according to the situation feature of median-low layer is built up. Using the hydrological change principle of flow procedure lines produced by precipitation, a research method forecasting the flood and waterlogging intensity in valley with quantitative indicator, by which the flood and waterlogging index is only calculated with precipitation data, is presented. In this method, the station precipitation is used to calculate effective integrated area-averaged rainfall in valley (considering different contribution of successive area-averaged rainfall in valley during the former period). By checking the relationship between the data of flood and waterlogging such as precipitation (or water level) and the effective integrated area-averaged rainfall, the magnitude of effective integrated area-averaged rainfall of each level of flood and waterlogging index in valley is determined finally.

Key words: Flood-causing heavy rain; Model of three-high-and-one-low; Effective integrated area-averaged rainfall; Flood and waterlogging index