

# 山丘平圩混合区小流域水文分析计算方法研究

徐玲玲<sup>1</sup>, 张 巍<sup>2</sup>

(1.江苏省水利工程技术咨询有限公司,江苏 南京 210096;  
2.淮安市水利勘测设计研究院有限公司,江苏 淮安 223005)

**摘 要:**洪水灾害常常给社会造成严重的经济损失,小流域洪水汇流速度快,易对下游造成瞬时毁灭性灾害,采取有效的小流域治理措施是必须的。根据山丘平圩区小流域特点分析比较设计洪水的计算方法,推荐采用瞬时单位线法,同时对小流域分片设计洪水组合进行了研究分析。以团结河流域上段治理为例进行具体分析,计算出该流域 20 年一遇防洪设计流量为 472.60m<sup>3</sup>/s,为类似该地区的山丘、平原、圩区混合区设计洪水分析总结经验,提供参考,具有现实意义。

**关键词:**小流域;混合区;设计洪水;瞬时单位线;排涝模数

中图分类号:P333 文献标识码:A 文章编号:1000-0852(2017)01-0064-04

## 1 前言

近年来我国河流防洪工程建设数量的增加一定程度上降低了由洪水灾害造成的经济损失。但是,小流域洪水灾害依然是一个难题,小流域集水面积不大,但地形复杂、汇流速度快,水势凶猛,洪涝灾害严重,常常对下游造成瞬时性灾害,采取有效的小流域治理措施势在必行,而小流域设计洪水规模的确定是治理措施选定的先行条件,已越来越引起人们的关注。

从 20 世纪 50 年代开始,为满足中小型水利工程建设的需要,我国开展了关于小流域暴雨洪水的研究;1984 年,原水利电力部总结了我国的暴雨洪水计算经验,出版了《暴雨径流查算图表》<sup>[1]</sup>;陈家琦等<sup>[2]</sup>首次在国内提出了推理公式法,现在它是我国设计洪水计算规范中规定使用的小流域设计洪水计算方法;梁瑞驹等<sup>[3]</sup>以贵州、山西等地为例,建立了洪水频率分布模型,为推求半干旱地区设计洪水提供一种新方法;张良<sup>[4]</sup>针对张家口市小流域洪水实际情况,以安固里河为例,分别采用地区经验公式法、推理公式法、水文资料频率计算法三种方法对洪峰流量进行了计算;曾彩华<sup>[5]</sup>以茅洲河设计洪峰流量为例对城市无资料地区中小流域设计洪峰流量计算进行探讨。

目前,我国对于缺乏资料的小流域暴雨洪水研究

普遍集中在山丘或者下垫面类型单一的地区,而对下垫面情况复杂的混合区域研究较少,特别是在山丘、平原、圩区混合区小流域,不仅缺乏暴雨洪水资料,还没有成熟的水文计算方法,成果差异性大,因此,对山丘、平原、圩区混合区小流域设计洪水计算方法的研究和参数的取用具有重要的实际意义。

## 2 山丘平圩混合区小流域水文分析方法

目前我国水文站分布稀疏,密度较小,多数河流上没有足够数量的水文测站,特别是在中、小城市地区,更缺乏实测及调查的水文资料,给设计洪水分析计算带来了很大困难。本文首先根据不同下垫面类型和汇流特点将整个流域划分成小区域,针对山丘平原混合区,我们分析推理公式法、瞬时单位线法、总入流槽蓄演算法的不同适用范围,根据暴雨资料间接推求设计洪峰流量;针对圩区,我们根据下垫面类型将其细分成旱地非耕地、水稻田和水面分别进行计算,用水量平衡的原理确定圩区综合排涝模数,然后根据各片区洪水演进特点推求流域出口设计洪峰流量。

### 2.1 设计暴雨

一般选用临近的雨量站作为代表站,利用长系列点雨量资料,进行皮尔逊 Ⅲ 型频率曲线拟合,获得一

收稿日期:2016-05-26

作者简介:徐玲玲(1969-),女,江苏扬州人,高级工程师,大学本科,主要从事水利规划、水文水资源方面的研究。E-mail:278091662@qq.com

定重现期的设计暴雨。挑选典型雨型,同频率放大得到设计暴雨过程,设计暴雨的控制时段一般取1、6、24h。若无实测资料,则可通过《江苏省暴雨参数图集》(2005年)查得不同控制时段的点雨量均值、 $C_v$ 值,并根据各历时暴雨参数查得模比系数 $K_p$ ,即可求得各历时不同重现期的设计暴雨。

## 2.2 设计净雨

在计算设计净雨过程时,采用初损后损法扣损。其中最大24h净雨计算中,只扣后损,后损采用1mm/h。

## 2.3 设计洪水

常用的洪峰流量计算方法有推理公式法<sup>[6-7]</sup>、瞬时单位线法<sup>[8-9]</sup>和总入流槽蓄演算法<sup>[10]</sup>。推理公式法仅适用于集水面积10~150km<sup>2</sup>的山丘区;总入流槽蓄演算法仅适用于集水面积30~1000km<sup>2</sup>的平原区;瞬时单位线法适用范围较广,集水面积1000km<sup>2</sup>以下的山丘区、混合区和平原区均适用。

### 2.3.1 推理公式法

推理公式是一种基于半理论半经验的近似推理公式。其基本原理是在稳定的降雨强度下,当降雨历时大于或等于集水时间即汇水面积上最远点的水流到设计断面的时间时,出现的最大流量。

$$Q_m = 0.278\psi \frac{S_p}{\tau^n} F$$

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

$$\theta = \frac{L}{J^{1/3}}$$

式中: $Q_m$ 为设计洪峰流量(m<sup>3</sup>/s); $\psi$ 为径流系数; $S_p$ 为暴雨雨力(mm/s); $\tau$ 为流域汇流时间(h); $n$ 为暴雨强度递减系数; $F$ 为汇水面积(km<sup>2</sup>); $L$ 为主河槽长度(km); $m$ 为汇流参数,通过 $\theta$ 值选取; $J$ 为主河槽平均坡降。

### 2.3.2 瞬时单位线法

瞬时单位线<sup>[11]</sup>是净雨历时趋于无限小时的单位线,通常以 $u(0,t)$ 或 $u(t)$ 表示,谢尔曼单位线(原型单位线)的基本假定对它同样适用。瞬时单位线的数学公式是1960年由爱尔兰的纳什教授推导出来的,纳什把流域看作一连串的 $n$ 个相同的“线性水库”。

一个单位的瞬时入流,经过 $n$ 个调蓄作用的串联水库调节演算,依据水量平衡方程 $I(t)-Q(t)=\frac{dw(t)}{dt}$ 和近似反映动力方程的线性槽蓄方程 $W(t)=KQ(t)$ ,经过连续演算和数学处理(采用脉冲原理和拉普拉斯变换)就可以导出瞬时单位线的数学方程式:

$$u(0,t) = \frac{1}{K\Gamma(n)} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{K}}$$

式中: $\Gamma$ 为伽马函数; $n$ 为水库个数或调节次数的参数; $K$ 为水库滞时,相当于流域汇流时间的参数。

### 2.3.3 总入流槽蓄演算法

本法适用于平原地区排涝计算。基本假定:①总入流过程为抛物线型,即 $q(t)=at(\tau-t)$ ;则洪水总量 $W = \int_0^\tau q dt = \frac{a}{6}\tau^3$ ;抛物线系数 $a = \frac{6W}{\tau^3}$ ;②总入流底宽 $\tau$ 是净雨历时 $t_R$ 和流域滞时 $\tau'$ 之和,即 $\tau = \tau' + t_R$ 。

由以上假定可推出口断面流量公式如下:

$$\text{当 } t \leq \tau \text{ 时, } Q(t) = \frac{6W}{\tau^3} \left[ \left( \tau + \frac{2}{K} \right) \left( t - \frac{1}{K} \right) - t^2 + \frac{1}{K} \left( \tau + \frac{2}{K} \right) e^{-Kt} \right]; \text{当 } t > \tau \text{ 时, } Q(t) = \left( \frac{2 - \Delta t K}{2 + \Delta t K} \right) Q(\tau)$$

式中: $\Delta t$ 为退水的间隔时段长(以小时计); $K$ 为槽蓄参数,表示河网的调蓄能力。

## 2.4 圩区排涝模数

圩区分旱地非耕地、水稻田和水面分别计算净雨量,按水量平衡法计算设计排模。

(1)旱地非耕地: $R_{旱非} = ((P + Pa - C_p)^3)^{1/3} - C_i$ ,  $Pa = \alpha I_{max}$ 。 $\alpha$ 、 $I_{max}$ 、 $C_p$ 、 $C_i$ 均可由《江苏省暴雨洪水图集》(1984年)查得。

(2)水稻田: $R_{水田} = P - E_{水田} - h_{蓄}$ 。式中: $E_{水田}$ 为水稻田耗水量; $h_{蓄}$ 为净蓄水量。

(3)水面: $R_{水面} = P - E_{水面}$ 。式中: $E_{水面}$ 为水面日耗水量。

$$\text{排模 } M = [(1 \times 10^6 \times 10^{-3}) / (t \times 3600)] \times D$$

$$D = 1/T \times (\Sigma R - S_{田})$$

$$\Sigma R = X_{旱非} R_{旱非} + X_{水田} R_{水田} + X_{水面} R_{水面}$$

式中: $D$ 为排涝水量; $T$ 为排涝历时; $\Sigma R$ 为圩区日产水量; $S_{田}$ 为稻田允许净蓄水量, $X_{旱非}$ 、 $X_{水田}$ 、 $X_{水面}$ 分别为三种下垫面所占圩区的面积权重。

## 3 应用实例

盱眙县地处江苏省中西部、淮河下游,洪泽湖南岸。以团结河流域上段为例,计算该小流域20年一遇设计洪水。根据地形分布,将研究区域分为两个计算分区(圩区单独计算),分别是河洪闸以上区域(下文简称1#区)和友谊河区域(下文简称2#区)。1#区流域面积60.01km<sup>2</sup>,为山丘平原混合区;2#区流域面积120.51km<sup>2</sup>,其中友谊河流域面积42.20km<sup>2</sup>,为山丘平原混合区,圩区流域面积78.31km<sup>2</sup>。团结河流域及分区示意图见图1。

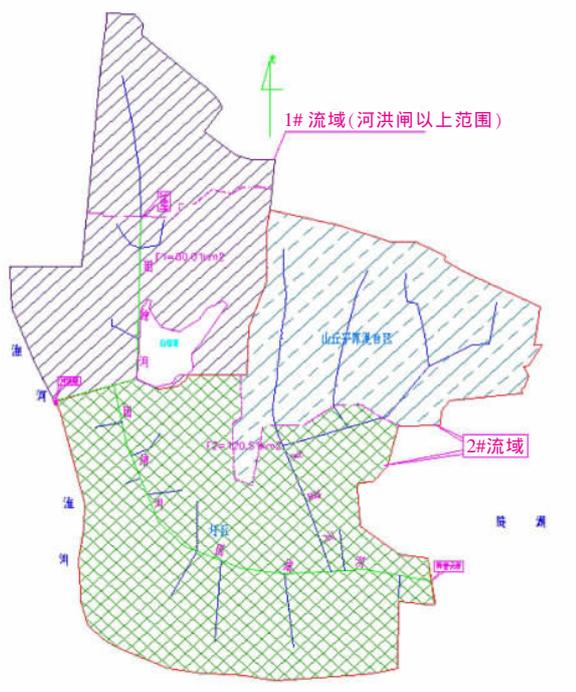


图1 团结河流域及分区示意图

Fig.1 The Tuanjiehe River basin and sub-basins

采用《江苏省暴雨参数图集》(2005年)中相应的水文数据及暴雨的点面关系,推求流域的设计面雨量,得到20年一遇最大1h、6h、24h设计面雨量分别为88.2mm、170.2mm、257.4mm,并推求出净雨过程。

### 3.1 山丘平原混合区设计洪峰流量计算

根据洪峰流量计算方法的使用范围,使用瞬时单位线法计算山丘平原混合区设计洪峰流量。在考虑1#和2#洪水汇流时,提供三种思路:

思路1:将1#、2#两条洪水过程线计算到各自流域出口,直接叠加;

思路2:将1#、2#两条洪水过程线均计算到韩巷大坝,考虑洪水演进,即洪水波的传播、坦化和变形,根据河道断面、比降、洪峰到达出口断面时间计算;

思路3:将1#、2#两条洪水过程线计算到各自流域出口,考虑洪水传播时间后错峰叠加。

根据不同桩号两两之间的设计流量和洪水传播速度,可以计算出两两桩号间洪水传播时间,将所得结果累加即可求得1#、2#从源头到各自流域出口的洪水传播时间,两者相差3h。

计算方法和步骤如下:

(1)由《江苏省暴雨洪水图集》(1984年),按苏北混合区确定参数 $m_1$ 、 $m_2$ ,计算公式如下:

$$\text{当 } P > 5\% \text{ 时, } m_1 = 4.3(F/J)^{0.28}$$

$$\text{当 } P \leq 5\% \text{ 时, } m_1 = 3.2(F/J)^{0.28}$$

$$m_2 = 1/3$$

式中: $F$ 为流域面积; $J$ 为沿程 $L$ 的平均比降。

(2)根据 $m_1$ 、 $m_2$ 取值,由《江苏省暴雨洪水图集》(1984年)表(十四),确定瞬时单位线。

(3)由瞬时单位线、时段净雨量计算出设计洪水过程。

(4)考虑沿线水库、湖泊的调蓄功能,按允许地表短期滞水12h计,计算出相应的平头设计流量。

经计算,三种思路下1#和2#两混合区20年一遇防洪设计成果见表1。

表1 三种思路下两混合区20年一遇防洪设计成果 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

	思路1	思路2	思路3
1# 混合区	252.95	230.24	252.95
2# 混合区	188.11	180.50	188.11
合计	441.06	410.74	372.24(错峰后)

### 3.2 圩区排涝模数计算

圩区区域规划为10年一遇抽排标准,计算10年一遇圩区排涝模数为 $0.79\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ ,根据圩区排涝模数和集水面积,两者的乘积即为圩区的设计洪水。

### 3.3 团结河流域上段设计洪水计算成果

三种思路下团结河流域上段20年一遇防洪设计流量见表2。

表2 三种思路下团结河流域上段20年一遇防洪设计流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

	思路1	思路2	思路3
1# 混合区	252.95	230.24	252.95
2# 混合区	188.11	180.50	188.11
2# 圩区	61.86	61.86	61.86
合计	502.92	472.60	434.10(错峰后)

1#混合区洪水在河洪圩处汇流,2#混合区洪水在友谊河干流处汇流,随后1#、2#混合区洪水与圩区洪水汇流于韩巷大坝处。思路1单纯把1#、2#混合区设计洪峰叠加,没有考虑洪水传播时间和洪水传播过程中的坦化作用,计算结果偏大,对工程有利但不符合实际;思路2将1#、2#混合区洪水统一计算至韩巷大坝处,传播时间变长,比降变缓,从洪水演进的角度,考虑了洪峰的坦化作用,计算结果较为合理;思路

3 考虑两个混合区洪水出口至汇合存在洪水传播时间,需错峰叠加。三种思路计算成果,思路1成果最大,思路3成果最小,主要原因是洪水传播时间是估算,没有实物模型验证,从工程偏安全角度,在团结河加固设计中推荐韩巷大坝处采用思路1成果。

对团结河韩巷大坝处设计洪峰进一步分析,从更切合工程实际角度,推荐思路2计算成果,即团结河流域上段20年一遇防洪设计流量为 $472.60\text{m}^3/\text{s}$ 。

#### 4 结语

对比分析计算洪峰流量常用的推理公式法、瞬时单位线法和总入流槽蓄演算法,采用瞬时单位线法以及流域分片设计洪水计算组合的三种思路分析了山丘平原混合区的设计洪峰流量,最终得到团结河流域上段韩巷大坝处20年一遇的防洪设计流量为 $472.60\text{m}^3/\text{s}$ ,为团结河河道治理以及区域防洪提供了理论性依据,同时也为类似该地区的山丘、平原、圩区混合区设计洪水分析总结经验、提供参考,具有现实意义。

#### 参考文献:

- [1] 童杨斌. 无资料地区洪水计算与不确定性研究[D]. 杭州:浙江大学, 2008. (TONG Yangbin. Flood Calculation and Uncertainty Study in Some Regions without Data [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008. (in Chinese))
- [2] 詹道江,叶守泽. 工程水文学[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2000. (ZHAN Daojiang, YE Shouze. Engineering Hydrology [M]. China Water-Power Press, 2000. (in Chinese))
- [3] 梁瑞驹,潘永新. 推求无资料地区设计洪水的一种方法[J]. 水科学进展, 1997,8(2):65-72. (LIANG Ruiju, PAN Yongxin. An approach to estimation of design flood hydrograph based on rainfall data [J]. Advances in Water Science, 1997,8(2):65-72. (in Chinese))
- [4] 张良. 浅谈张家口市小流域设计洪水计算方法[J]. 地下水, 2014,36(5):168-169. (ZHANG Liang. The brief discussion of method about calculating design flood in small watershed of Zhangjiakou city [J]. Ground Water, 2014,36(5):168-169. (in Chinese))
- [5] 曾彩华. 城市无资料地区中小流域设计洪峰流量计算方法探讨[J]. 广东水利水电, 2013,(S1):31-34. (ZENG Caihua. Discuss the method about calculating design flood discharge in middle and small watershed of urban non data area [J]. Guangdong Water Resource and Hydropower, 2013,(S1):31-34. (in Chinese))
- [6] 高明鸣,张艳霞,陆明春. 江苏省治涝水文计算方法探析[J]. 江苏水利, 2015,(6):27-29+32. (GAO Mingming, ZHANG Yanxia, LU Mingchun. Discuss the hydrologic calculation method about harnessing waterlogging disaster in Jiangsu province [J]. Jiangsu Water Resources, 2015,(6):27-29+32. (in Chinese))
- [7] 张孟晓. 城区排洪河道设计流量计算方法研究[D]. 成都:西南交通大学, 2009. (ZHANG Mengxiao. Discuss the Method about Calculating Design Discharge of Urban Rivers Used for Flood Discharge [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2009. (in Chinese))
- [8] 陈永昌. 瞬时单位线法中时段单位线的计算式 [J]. 水文, 1994,(1):44-46. (CHEN Yongchang. Calculation Formula of Unit Hydrograph in Instantaneous Unit Hydrograph Method [J]. Journal of China Hydrology, 1994,(1):44-46. (in Chinese))
- [9] 范世香,刁艳芳,高雁. 瞬时单位线法进行流域汇流计算的改进[J]. 人民珠江, 2014,(1):32-34. (FAN Shixiang, DIAO Yanfang, GAO Yan. Using a modified instantaneous unit hydrograph method to calculate watershed concentration [J]. Pearl River, 2014,(1):32-34. (in Chinese))
- [10] 阎玮. 苏南圩区城市化排水标准与最优水面率研究 [D]. 扬州:扬州大学, 2006. (YAN Wei. The Research on Urbanized Drainage Standard and Optimal Surface Ratio of the Polder Areas in Southern Jiangsu Province [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2006. (in Chinese))
- [11] 闫宝伟,郭生练,周建中. Nash 瞬时单位线推演河道汇流的完整公式[J]. 水科学进展, 2014,25(3):428-434. (YAN Baowei, GUO Shenglian, ZHOU Jianzhong. Complete formula about using Nash instantaneous unit hydrograph to deduce concentration of channel [J]. Advances in Water Science, 2014,25(3):428-434. (in Chinese))

## Study on Hydrological Calculation Methods for Small Watersheds in Mountain-Plain-Polder Mixing Zone

XU Lingling<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Water Conservancy Engineering Science and Technology Consulting Co., Ltd., Nanjing 210096, China;

2. Huaian Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Huaian 223005, China)

**Abstract:** Flood disaster brings serious pecuniary loss to people. Small basin floods usually cause instant devastating disaster to downstream because of fast concentration. Therefore, it is necessary to take effective measures to control floods in small watershed. This paper based on the characteristics of the small watershed like mountain-plain-polder mixing area to analyze and compare methods of calculating peak flow, and recommend using instantaneous unit hydrograph method and carrying on some research on a combination of design flood in small watersheds. Then, the upper Tuanjiehe River Basin was taken as an example to calculate its design flow of 20-year flood control ( $472.60\text{m}^3/\text{s}$ ).

**Key words:** small watershed; mixing zone; design flood; instantaneous unit hydrograph; drainage modulus