

Design Flood Estimation Methods and Application in Small Watersheds

Xintian Zhang, Haijin Guo, Jun Shao

Hydrology Bureau, Yangtze River Water Resources Commission, Wuhan Hubei
Email: zhangxt@cjh.com.cn

Received: Oct. 21st, 2017; accepted: Nov. 2nd, 2017; published: Nov. 9th, 2017

Abstract

Design floods in small watersheds are important in prevention and control of mountain disaster. Since most of the small rivers in mountain areas are lack of measured flow data, the design flood of small watershed is estimated based on rainfall data. At the same time, rainfall is also an important indicator in prevention and control of mountain disaster. This paper summarizes the main design flood estimation methods in mountainous and small river reaches, and discusses the issues that need to pay attention. The study will provide a reference for the design floods in small watershed for mountain disaster prevention and control.

Keywords

Hydrology, Mountain Disaster, Small Watershed, Design Flood

小流域设计洪水计算方法及应用

张新田, 郭海晋, 邵 骏

长江水利委员会水文局, 湖北 武汉
Email: zhangxt@cjh.com.cn

收稿日期: 2017年10月21日; 录用日期: 2017年11月2日; 发布日期: 2017年11月9日

摘 要

在山洪灾害预警防治中, 山丘区小流域设计洪水是其中重要环节。目前大多数山丘区溪河缺乏实测流量资料, 因而根据雨量资料是推求山丘区小流域设计洪水的重要途径, 同时降雨量也是山洪灾害预警防治的重要指标。本文归纳总结了山洪灾害防治中小流域设计洪水的主要计算方法, 并对山洪灾害预警防治中设计洪水计算的相

作者简介: 张新田(1962-), 男, 湖北武汉人, 高级工程师, 研究方向: 水文学及水资源。

关问题进行了探讨和实例分析, 为山洪灾害防治中小流域设计洪水提供了借鉴。

关键词

水文, 山洪灾害, 小流域, 设计洪水

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国是一个多山的国家, 山丘区面积约占全国陆地面积的三分之二, 远高于世界平均水平, 约 70% 的河流因受降雨、地形及人类活动影响, 经常发生山洪灾害。在山洪灾害预警防治中, 会遇到山丘区小流域暴雨洪水问题, 需要推算洪峰流量、洪水总量和洪水过程线。山丘区小流域一般指集水面积不超过 1000 km² 的小河流, 其设计洪水是山洪灾害预警、治理、水利、交通、城镇和工矿企业防洪等工程中广泛遇到的问题。

近几十年来不少山丘区小流域陆续兴建了大量的水利工程及水土保持工程, 使河流流量资料系列的一致性遭到不同程度的破坏, 还原计算比较困难。根据降雨特征值和设计值进行地区综合或作短距离移用和内插, 限制条件比流量资料要少。目前绝大部分山丘区溪河缺乏实测流量资料, 而山洪灾害预警防治, 需分析河流设计洪水, 从而根据雨量资料是推求山丘区小流域设计洪水的重要途径, 同时降雨量也是山洪灾害预警防治的重要指标。

山丘区小流域暴雨洪水计算, 是在深入分析山洪灾害防治区暴雨特性、小流域特征、研究历史山洪灾害情况, 分析小流域洪水规律, 采用各地设计暴雨洪水计算方法和水文模型等分析计算方法计算设计洪水。设计暴雨资料推求设计洪水的过程就是重现流域降水、蒸发、产流、汇流的自然过程, 总结各阶段各有关因素的变化规律, 并进行地区综合, 用于设计条件, 其计算过程主要包括设计暴雨计算、产流计算、汇流计算。无论产流计算还是汇流计算, 基本思路都是先从实际降雨径流资料出发, 分析产流或汇流的规律; 然后用于设计条件, 由设计暴雨推求设计洪水。

2. 小流域设计洪水计算方法概述

山丘区小流域用暴雨推算设计洪水的计算方法主要有推理公式法, 单位线法, 水文模型法等。

2.1. 推理公式法[1]

推理公式是基于暴雨形成洪水的基本原理推求设计洪水的一种方法, 是在对流域上产汇流条件均化(全面产流、净雨强度不变、流域概化为矩形)的基础上, 按线性的径流成因理论, 直接推算出口断面处最大洪峰流量的一种计算方法。推理公式是最早根据暴雨资料间接推求设计洪水最大流量的方法之一, 在实际应用过程中, 我国水利水电、铁路、公路、市政的科研设计部门以及有关高等院校, 都分别对推理公式法进行了大量系统的研究工作。在其发展过程中, 形成了许多由基本形式派生的不同形式, 并形成了不同的理论。

现在较常用的推理公式主要有水科院通用公式法、铁道部第一勘测设计院公式法、铁道部第二勘测设计院公式法、林平一法、地区经验公式法等。

推理公式的通用公式为:

$$Q_m = 0.278 \frac{h}{\tau} F \quad (1)$$

当 $t_c \geq \tau$ 时, 为全面汇流,

$$Q_m = 0.278 \left(\frac{S_p}{\tau^n} - \mu \right) F \quad (2)$$

当 $t_c < \tau$ 时, 为部分汇流,

$$Q_m = 0.278 \left(\frac{S_p t_c^{1-n} - \mu t_c}{\tau} \right) F \quad (3)$$

其中: $\tau = 0.278 \frac{L}{mJ^{1/3} Q^{1/4}}$, $t_c = \left[(1-n) \frac{S_p}{\mu} \right]^{1/n}$ 。

应用推理公式计算最大洪峰时, 多配以概化的设计洪水过程线, 而概化洪水过程线的方法有多种, 以采用简单的等腰三角形概化过程线的方法比较简便实用。概化三角形洪水过程线是根据当地的设计暴雨时程分配雨型, 并假定一个时段均匀降雨产生一个三角形洪水过程线, 且洪水总历时为降雨历时与流域汇流时间之和。对于小流域设计洪水过程线, 主雨峰洪水可拟定为五点概化过程线, 一般可用最大 24 h 设计雨量的概化雨型, 将其分为三个时段的均匀降雨形成的三个三角形洪水过程线叠加而成。

2.2. 单位线法[2]

流域汇流特征一般概化为一维线性时不变集总式系统, 即假定它的参数不随时间变化, 降雨、产流的空间分布均匀, 满足倍比和叠加原则的线性系统。把净雨量过程 $I(t-\tau)$ 作为输入, 出流过程 $Q(t)$ 作为输出, 汇流过程视为系统响应, 从而构成一个流域汇流系统。可以用下列卷积公式表示

$$Q(t) = \int_0^t U(t) I(t-\tau) dt \quad (4)$$

$U(t)$ 为系统脉冲响应函数的核函数, 即汇流曲线, 瞬时入流强度为一个单位时段所形成的出流过程。使用时可将其转换成单位时段响应函数, 所谓单位线就是在单位时段内, 由流域上空分布均匀的单位净雨在流域出口断面处形成的地面径流过程线(包括地表径流与壤中流)。单位时段则依流域特性而定, 可取 1 h、3 h、6 h、12 h、24 h 等, 当时段趋于零时, 则相应的单位线称为瞬时单位线。单位净雨量一般取 10 mm, 也可取 1 mm。

在实际工作中, 单位线法可分为经验单位线、瞬时单位线和综合单位线三种。

(1) 经验单位线

经验单位线, 即 L.K.谢尔曼单位线, 是根据水文资料直接分析而得的单位线, 其基本原理亦适用于坡面汇流和河道汇流。

通常净雨量为离散值, 经验单位线的出流过程为

$$Q_t = \sum_{j=1}^m I_{jq_{t-j+1}} \quad (1 \leq (i-j+1) \leq m), i=1, 2, 3, \dots, n; j=1, 2, 3, \dots, m \quad (5)$$

(2) 瞬时单位线

瞬时单位线是指流域上分布均匀、历时趋于无穷小(即 $\Delta t \rightarrow 0$)、强度趋于无穷大、总量为一个单位的地面净雨在流域出口断面形成的地面径流过程线。

J.E.纳希把流域对净雨的调节作用视作等效于 n 个串联的线性水库的调节作用。一个单位的瞬时入流通过 n 个水库演进, 即可导出瞬时单位线基本公式。

$$u(0, t) = \frac{1}{K\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k} \right)^{n-1} e^{-\frac{t}{k}} \quad (6)$$

(3) 综合单位线

为了应用于无资料的地区,就需要对其进行地区参数综合,一般是通过建立单位线要素或瞬时单位线参数与流域自然地理因子之间的相关关系,对单位线进行地区综合。根据流域自然地理特征及降雨特征,来间接求得单位线各要素或参数并推算设计洪水的一种方法称为综合单位线法(又称地貌单位线)。

对于无实测资料的小流域,用综合瞬时单位线法推求设计洪水过程的步骤大体如下:

- ① 根据产流计算方法,由流域的设计暴雨推求设计净雨过程;
- ② 将流域几何特征代入瞬时单位线参数地区综合公式求 $m_{1,10}$ 及 n (或 m_2);
- ③ 按设计净雨由 $m_{1,10}$ 求出设计条件的 m_1 ,并由上一步得到的 n 求 K ($K = m_1/n$);
- ④ 选择时段单位线的净雨时段 Δt ,由 n 、 K 求时段单位线。 Δt 应满足 $\Delta t = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}\right)t_p$ 的条件, t_p 为时段单位线的涨洪历时;
- ⑤ 由设计净雨过程及时段单位线求得设计地面径流过程;
- ⑥ 按各省(自治区、直辖市)水文手册、暴雨径流查算图表或暴雨洪水计算等手册或有关设计单位建议的计算方法确定设计条件下的地下径流流量;
- ⑦ 地面、地下径流过程按相应时刻叠加,即得设计洪水过程。

2.3. 分布式水文模型[3] [4]

分布式水文模型是通过水循环的动力学机制来描述和模拟流域水文过程的数学模型。分布式模型用严格的数学物理方程表述水文循环的各个子过程,充分考虑了流域地理要素对水文过程的影响,还考虑到流域内不同水文过程之间的相互作用和联系,采用偏微分方程对水量和能量过程进行模拟,从而能够更加真实地模拟流域降雨径流形成的物理过程。

分布式水文模型计算设计洪水主要分 4 部分进行:

(1) 基于 DEM 的子流域划分及特征提取:划分子流域,一方面是为了在降雨径流计算过程中充分考虑降雨和下垫面等特征在空间分布的不均匀性,更重要的是为了考虑到山洪防御需要的中、小流域出口等重要断面。最理想的划分方法是将研究流域按自然子流域划分,因为这种划分的计算单元内和单元间的水文过程十分清晰。

(2) 无资料小流域单位线分析:根据径流形成的“粒子说”,流域中水质点汇流时间的概率密度分布函数等价于瞬时单位线,以此为依据分析单位线的基本思路为:首先分析计算流域(包括离散后的形状不规则的计算单元和中、小子流域)各点的径流到达其出口断面的汇流时间;然后推求汇流时间的概率密度分布(横坐标为汇流时间,纵坐标为与其对应的面积占流域面积的比例)——瞬时单位线,然后转换成净雨为 1 mm 的时段单位线。

(3) 无资料河段马斯京根模型参数:分析马斯京根模型是河道洪水演算的主要方法,目前主要是利用实测水文资料确定其参数,不能用于无实测水文资料河段,这限制了马斯京根模型在分布或半分布式水文模型中的应用。马斯京根模型参数与河段地貌特征以及洪水特征有关,可以通过建立各参数与河段地貌特征间的关系,解决无资料河段马斯京根模型的应用问题,同时,通过建立模型参数与洪水过程间的关系,实现不同洪水过程采用不同的模型参数。

(4) 根据所划分的小流域进行流域水文模型空间关系建模,形成小流域之间的上下游关联;基于 DEM 数据分析每个小流域的地貌单位线,作为小流域汇流计算的基础;对流域中的水库进行建模,自动分析查找历史洪水资料,并根据历史降雨资料构建数字雨量模型,同时计算某场洪水的前期影响雨量,进行分布式流域产汇流计算、河道演算及水库调蓄演算,对模型演算结果进行分析。

3. 山丘区小流域设计洪水计算中的相关问题探讨

山洪灾害预警防治所涉及的河流基本处在无实测水文资料地区,绝大多数只能选择暴雨途径推求设计洪水,可采用推理公式、瞬时单位线、分布式水文模型等多种方法进行计算,分析对比后选择使用。由于无实际观测数据进行验证,设计成果的合理性分析显得尤为重要,在山洪灾害分析评价中要引起足够重视。

设计暴雨是洪水计算的基础,受地形地势影响,暴雨时空分布差异较大,宜采用山洪灾害治理区域的实测暴雨推求,受资料系列长度和历史特大暴雨资料缺乏的限制,可参考各省(市)暴雨等值线图等相关资料进行修正。

采用暴雨推求设计洪水的前提,是假定某一频率的设计暴雨可推求出同一频率的设计洪水过程即雨洪同频,而洪水的形成,不仅与暴雨的量级大小有关,还与暴雨的时程分配、空间分布、前期影响雨量、下垫面条件等有着密切的关系,同样的暴雨量因时空分布不同,可形成不同量级的洪水[5]。

对于无实测流量资料的流域,产汇流方案只能通过区间综合的方法而得,其区间综合的产汇流方案亦是由大量邻近流域的实测流量资料总结出来的。但由于各流域下垫面条件、植被、人类活动等一系列因素各不相同,使得产汇流方案的移用有较大的任意性。且现有的产汇流方案是根据实测暴雨流量资料总结出来的,方案所能适应的范围应在实测资料的范围之内,若超出适用范围外延使用,可靠程度将会有所降低,所推算的洪水成果精度亦有限。在可能的条件下,应在山洪灾害治理区域开展实际流量测验,推求本流域的产汇流方案。

流域几何特征和下垫面条件,与设计洪水计算方法密切相关。目前,各省暴雨洪水水文手册中,大部分是 50 km^2 以下流域推荐采用推理公式法, $50\text{ km}^2\sim 100\text{ km}^2$ 的较多采用推理公式,也可采用单位线法,流域面积 $100\text{ km}^2\sim 1000\text{ km}^2$ 推荐采用瞬时单位线法。流域下垫面条件不同,产汇流特性也存在较大差异。例如长江流域岩溶地区分布较广,云、贵、桂、川、湘等五省区均有分布,岩溶地区地表与地下河系重叠,地表、地下水转换频繁,设计洪水计算不仅需要水文气象资料,还需要可靠的水文地质资料,并开展必要的水文地质调查工作。岩溶地区的明流区和伏流暗河区产汇流特性有很大差异,暗河区洪水受地下水系通道和溶洞的调蓄作用,洪峰滞后、峰型平缓、退水历时长,故设计洪水计算时需要将明流区和暗河区分别计算再进行叠加[6]。

随着经济社会的发展,人类活动逐渐向河流上游和源头区域拓展,兴建了众多的水利工程,这在一定程度上改变了河流的产汇流条件,对天然洪水过程产生影响。以水库工程为例,修建以后一般可对洪水起到拦蓄洪峰洪量的作用,但当降雨量和降雨强度增大到一定程度时,有可能超过自身设计标准而发生损毁,存在人为增大洪水的可能性。下游控制断面的设计洪水计算,需要划分为水库坝址以上和水库坝址至控制断面区间分别进行。坝址以上流域的天然洪水过程,按照水库的调度规则,经过调洪计算后形成下泄洪水,再采用马斯京根等方法进行河道汇流演算,和下游区间相应时刻的洪水过程相叠加,方为控制断面的设计洪水,与天然洪水过程存在明显差异。在估算水利工程对设计洪水的影响时,应重点估算已建和在建的中小型水库对洪水的影响,特别是自身损坏时产生的负面影响。

设计洪水成果合理性分析检验是山洪灾害分析评价中的一个重要环节,一般采用以下方法:①暴雨资料是设计洪水计算的重要依据,应结合最新的实测资料,尤其是新近发生的特大暴雨对设计暴雨成果进行复核;②应采用推理公式、瞬时单位线、数学模型等多方法计算,对洪水成果进行比较分析后,采用合理成果;③点绘本区域洪水模数图,检验分析本次设计洪水成果的合理性。

4. 典型实例分析

本实例以贵州省东部某小流域为典型,产流计算采用当地暴雨洪水计算手册推荐的初损-后损法,产流模式为蓄满产流型,汇流计算采用雨洪法。

典型流域属亚热带季风湿润气候区,气候温和,四季分明,热量充足,水热同季。流域内岩溶现象较普遍,计算流域山洪灾害防治断面以上集水面积 147.2 km^2 ,主河全长 27.5 km ,河道坡降 12.3% 。

典型河流山洪灾害防治断面以上流域包括了明流区、伏流区两个分区,两个分区的集水面积分别为 79.6 km^2 (占 54%)、 67.6 km^2 (占 46%)。山洪灾害防治断面设计洪水,采用明流区设计洪水与伏流区经过地下暗河调蓄后的洪水组合成果。

(1) 设计暴雨

根据典型流域邻近的某水文站实测暴雨资料,通过频率适线法适线后该站最大 24 h 降水量均值为 85.2 mm , $C_v = 0.42$, $C_s = 3.5C_v$ 。另据该站地理位置,由贵州省降雨及暴雨统计参数及等值线图中查得测站最大 24 h 降水量均值为 85.0 mm , $C_v = 0.45$, $C_s/C_v = 3.5$ 。两种方法计算成果接近,从偏安全角度选用暴雨等值线图查算值。

根据典型流域山洪灾害防治断面以上明流区、伏流区重心位置,在贵州省降雨及暴雨统计参数及等值线图上查两区暴雨参数,可以查得明流区 $\bar{H}_{24h} = 87.0 \text{ mm}$, 伏流区(闭溶区) $\bar{H}_{24h} = 88.0 \text{ mm}$, C_v 均为 0.46, C_s/C_v 均为 3.5。采用公式 $\Phi = 1.32F^{-0.084}$ 分别计算出计算明流区、伏流区暴雨点面折减系数,据此可以计算两区其不同频率的设计面雨量值,结果见表 1。

(2) 明流区设计洪水

按照《贵州省暴雨洪水计算实用手册》中推荐的集水面积为 $25 < F \leq 300 \text{ km}^2$ 、 $\theta > 30$ 的设计洪峰流量计算方法,明流区采用的标准计算式基本式为:

$$Q_{p,\bar{n}} = 0.357 \cdot \gamma^{0.922} \cdot f^{0.125} \cdot J^{0.082} \cdot F^{0.834} \cdot [C \cdot K_p \cdot \bar{H}_{24}]^{1.23} \quad (7)$$

$$\tau_p = 0.278 \cdot F^{0.32} / [\gamma \cdot J^{0.09} \cdot f^{0.13} \cdot Q_{p,\bar{n}}^{0.25}] \quad (8)$$

通过 $Q_{p,\bar{n}}$ 换算系数计算出经过修正的各频率设计洪峰流量。山洪灾害防治断面以上明流区设计洪峰、24 h 暴雨产生的地面洪量计算成果见表 2。设计洪水过程线采用矩形概化线法计算。

(3) 伏流区设计洪水

山洪灾害防治断面上游伏流区设计洪水计算分两部分进行,① 计算出地表设计洪水过程;② 估算经地下河调蓄后的出流过程。

1) 伏流区地表设计洪水

伏流区地表的设计洪水计算方法、明流区大部分一致。根据伏流区计算出特征参数,采用 $25 < F \leq 300 \text{ km}^2$ 、 $\theta \leq 30$ 的设计洪峰流量计算方法,伏流区采用的标准计算式基本式为:

$$Q_{p,\bar{n}} = 0.357 \cdot \gamma^{0.922} \cdot f^{0.360} \cdot J^{0.240} \cdot F^{0.716} \cdot [C \cdot K_p \cdot \bar{H}_{24}]^{1.23} \quad (9)$$

$$\tau_p = 0.278 \cdot F^{0.32} / [\gamma \cdot J^{0.09} \cdot f^{0.13} \cdot Q_{p,\bar{n}}^{0.25}] \quad (10)$$

通过 $Q_{p,\bar{n}}$ 换算系数计算出经过修正的频率设计洪峰流量。山洪灾害防治断面以上伏流区设计洪峰、24 h 暴雨产生的地面洪量计算成果见表 3。设计洪水过程线采用矩形概化线法计算。

2) 经地下河调蓄后的出流过程

根据洪水调查,伏流区的大洪水,经过地下卡口、蓄水池等调蓄拦截,由黑洞洞口流出时,因受地下阻拦严重,洪峰流量受到大幅度削减。2011 年 11 月在黑洞洞口下游河坪村调查时,多位村民一致反映:一次大水要 5 d、多时 7 d 才完全消退,每次大水刚淹至路上石块就不再上涨,只是要持续几天,原因是上游黑洞最多只能出这大流量。根据实测洪痕、大断面、水面比降和现场根据河道情况选定的糙率,采用水力学方法计算出洪痕高程的断面流量为 $52.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

根据地下河调蓄后出流的情况,伏流区各频率设计洪水过程,采用最大流量以 $52.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 为控制,在起涨段小于 $52.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 的采用原设计流量,采用水量平衡法调蓄地表洪水过程,计算出伏流区经地下河调蓄后设计洪水过程线。

(4) 山洪灾害防治断面设计洪水

典型河流山洪灾害防治断面设计洪水过程线,由明流区各频率设计洪水过程与伏流区相应频率设计洪水过程经地下河调蓄后的洪水过程叠加(成果见表 4)。山洪灾害防治断面设计洪水过程线见图 1。

据贵州省 26 个水文站的设计洪峰流量成果及本次设计洪水成果,点绘出洪峰模数图见图 2,由于山洪灾害防治断面以上流域位于暴雨值较低的地区,山洪灾害防治断面以上的设计洪峰模数在带状点群范围略偏下。说明山洪灾害防治断面以上设计洪水成果符合实际,是合适的。

5. 结论

在山洪灾害预警防治中,山丘区小流域设计洪水是一重要环节。目前大多数山丘区溪河缺乏实测流量资料,

Table 1. Design 24 h rainfall of surface runoff and underground flow in typical watershed**表 1.** 典型流域明流区、伏流区设计 24 h 雨量表

| 位置 | 类别 | 1% | 2% | 5% |
|-----|---------|-------|-------|-------|
| 明流区 | 点雨量(mm) | 222.8 | 198.4 | 180.2 |
| | 面雨量(mm) | 203.6 | 181.3 | 151.3 |
| 伏流区 | 点雨量(mm) | 225.4 | 200.7 | 167.5 |
| | 面雨量(mm) | 208.8 | 185.9 | 155.2 |

Table 2. Design flood peak and volume of surface runoff in typical watershed**表 2.** 山洪灾害防治断面以上明流区设计洪峰、洪量计算成果表

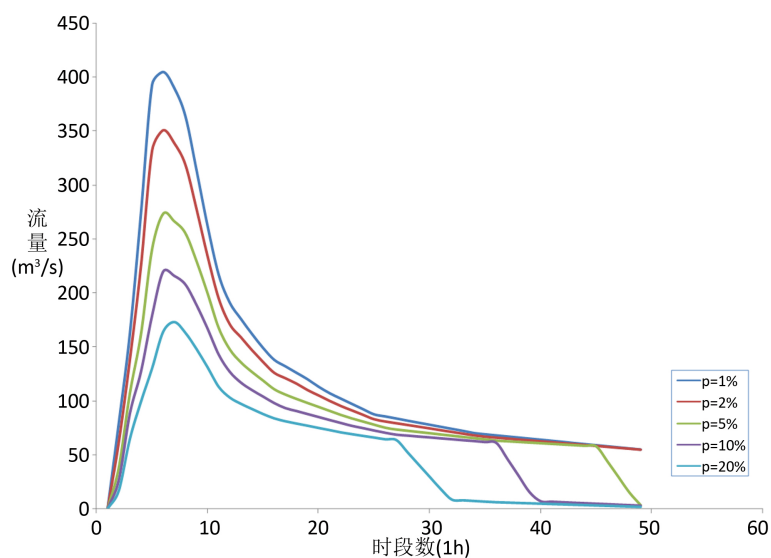
| 项目 | 1% | 2% | 5% | 10% | 20% |
|-----------------------|------|------|-----|-----|-----|
| 洪峰(m ³ /s) | 353 | 299 | 222 | 168 | 121 |
| 洪量(万 m ³) | 1362 | 1156 | 887 | 674 | 458 |

Table 3. Design flood peak and volume of underground flow in typical watershed**表 3.** 山洪灾害防治断面以上伏流区设计洪峰、洪量计算成果表

| 项目 | 1% | 2% | 5% | 10% | 20% |
|-----------------------|------|------|-----|-----|-----|
| 洪峰(m ³ /s) | 628 | 524 | 406 | 307 | 220 |
| 洪量(万 m ³) | 1031 | 1028 | 842 | 668 | 506 |

Table 4. Design flood peak and volume in typical watershed**表 4.** 山洪灾害防治断面设计洪峰、洪量计算成果表

| 项目 | 1% | 2% | 5% | 10% | 20% |
|-----------------------|------|------|------|------|-----|
| 洪峰(m ³ /s) | 405 | 351 | 274 | 220 | 173 |
| 洪量(万 m ³) | 2393 | 2184 | 1729 | 1342 | 964 |

**Figure 1.** Design flood hydrographs in typical watershed**图 1.** 典型河流山洪灾害防治断面设计洪水过程线

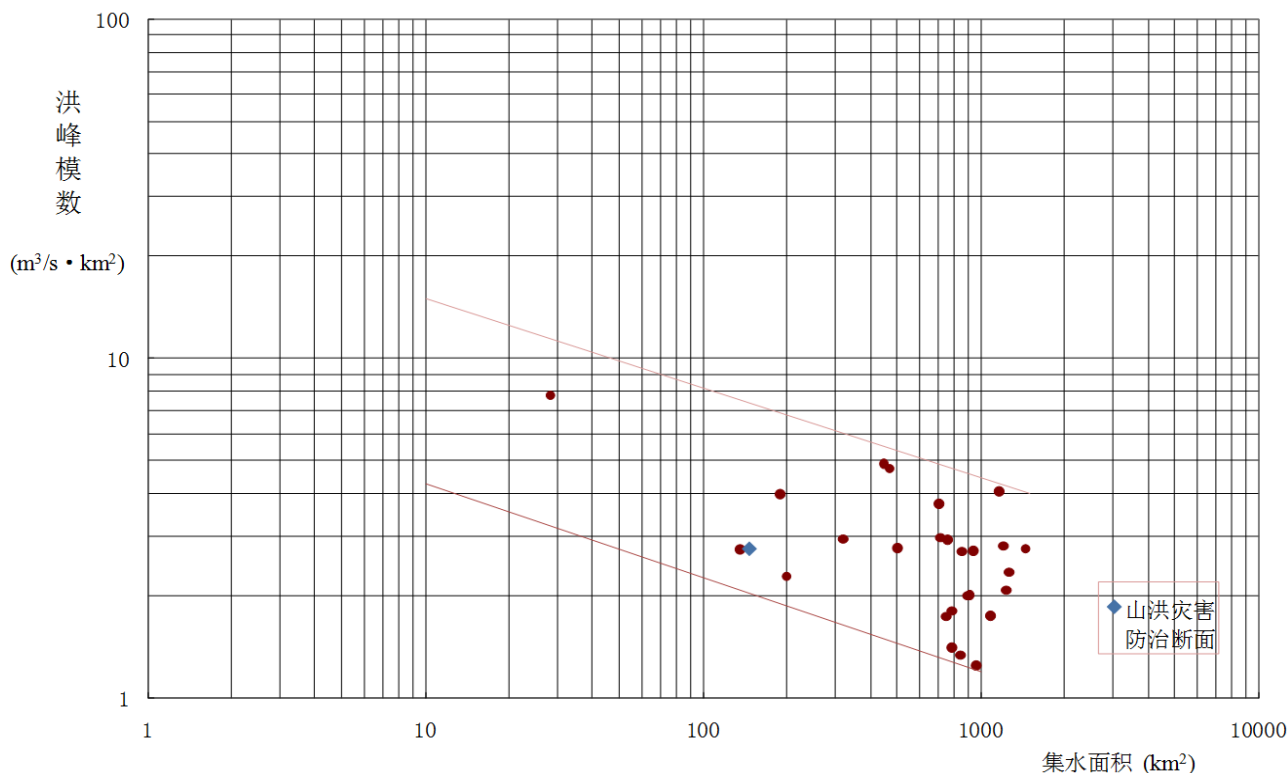


Figure 2. Flood peak modulus diagram of some hydrological stations in Guizhou Province

图 2. 贵州省部分水文站 $P = 1\%$ 洪峰模数图

从而根据雨量资料是推求山丘区小流域设计洪水的重要途径，同时降雨量也是山洪灾害预警防治的重要指标。本文归纳总结了山洪灾害防治中小流域设计洪水的主要计算方法，并对山洪灾害预警防治中设计洪水计算的相关问题进行了探讨和实例分析，为山洪灾害防治中小流域设计洪水提供了借鉴。

参考文献 (References)

- [1] 中国电力工程顾问集团中南电力设计院. 电力工程水文气象计算手册[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2011.
China Electric Power Engineering Consulting Group Zhongnan Electric Power Design Institute. Handbook of hydrological and meteorological calculations for electric power engineering. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 2011.
- [2] 季学武, 王俊, 等. 水文分析计算与水资源评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
JI Xuewu, WANG Jun, et al. Hydrological analysis and water resources evaluation. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 2008.
- [3] 郭良, 唐学哲, 孔凡哲. 基于分布式水文模型的山洪灾害预警预报系统研究及应用[J]. 中国水利, 2007(14): 38-41.
GUO Liang, TANG Xuezhe and KONG Fanzhe. Studies on mountain flood warning system based on distributed hydrological model and its application. China water resources, 2007(14): 38-41.
- [4] 罗文兵, 洪林, 时元智. 国内外分布式水文模型研究和应用综述[J]. 中国科技论文在线, 2009.
LUO Wenbin, HONG Lin and SHI Yuanzhi. Research and application of distributed hydrological model at home and abroad. Chinese Science and Technology Papers Online, 2009.
- [5] 中华人民共和国水利行业标准: 水利水电工程设计洪水计算规范[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
Regulation calculating design flood of water resources hydropower projects. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 2006.
- [6] 水利部长江水利委员会水文局. 水利水电工程设计洪水计算手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
Hydrology Bureau, Yangtze River Water Resources Commission, Ministry of Water Resources. Water resources and hydro-power engineering design flood calculation manual. Beijing: Water Resources and Hydropower Press, 1995.