

Design Flood Calculation Method of Micro-Watershed in Chongqing

Jie Xu, Xuan Ling

Upper Changjiang River Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Bureau of Hydrology of Changjiang Water Resources Commission, Chongqing
Email: hydrocindy@qq.com

Received: Oct. 14th, 2020; accepted: Nov. 27th, 2020; published: Dec. 22nd, 2020

Abstract

Based on the survey and evaluation results of torrential flood calamity in Chongqing from 2013 to 2017, the concept of micro-watershed in Chongqing and the calculation method of design flood for areas without hydrological data are proposed. By comprehensively overlaying each element layer, clustering the categories and integrating the fragments, six divisions of design flood for micro-watersheds in Chongqing are confirmed. A complete set of atlas and empirical formulas for the design flood calculation of the "six divisions and five frequencies of flood" covering the entire micro-watersheds of Chongqing is formed by carrying out the design flood calculation and correction and the flood survey data is used to verify the calculation results, which can be used in the ungauged micro-watersheds and completes and subdivides the results of the design flood in Chongqing areas.

Keywords

Micro-Watershed, Design Flood, Flood Division

重庆市微型流域设计洪水计算方法

徐洁, 凌旋

长江水利委员会水文局长江上游水文水资源勘测局, 重庆
Email: hydrocindy@qq.com

收稿日期: 2020年10月14日; 录用日期: 2020年11月27日; 发布日期: 2020年12月22日

摘要

以2013~2017年重庆地区山洪灾害调查评价成果大数据为分析背景, 提出了重庆市微型流域概念与无资料地区
作者简介: 徐洁, 出生于1988年12月, 籍贯四川绵阳, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为水文分析计算与水资源应用。

设计洪水计算方法；综合叠加各要素图层，经聚类分析、碎片整合确定了重庆地区微型流域设计洪水的六个分区；通过该计算方法进行分区设计洪水计算、修正，并利用洪水调查资料进行验证，形成了一套完整的覆盖重庆市微型流域“六分区五频率”设计洪水查算图集和经验公式；弥补了重庆市微型流域缺乏水文资料的现状，补全和细化了重庆地区流域设计洪水成果。

关键词

微型流域，设计洪水，洪水分区

Copyright © 2020 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

国内外对于无资料地区设计洪水计算研究较早，通常采用由雨量或流量资料推求[1]，我国一般采用前者，英美两国更侧重于后者。英国地区考虑流域特征值法、超定量系列或移置法来计算年最大洪水中值，通过相似流域站点资料计算综合频率曲线参数，由此计算无资料地区设计洪峰流量。美国主要采用相似流域资料建立洪峰流量与流域部分特征值的回归关系，从而推算出无资料地区的设计洪峰流量，主要包括区域影响法、区域回归法[2] [3]。国内一般采用查阅当地设计暴雨洪水图集，得到设计暴雨历时和对应雨量，利用降雨径流相关图、单位线或地区经验公式[4]等产汇流计算得到无资料地区小流域设计洪水，或者通过查阅当地水文手册，得到当地设计洪水经验公式参数，进一步计算得到设计洪峰流量[5]。

山洪灾害调查与分析评价中设计洪水计算方式，主要是调查无实测降雨资料小流域的暴雨特性，查用相应暴雨图集，用于推求无实测资料小流域的设计洪水，实际分析中多采用瞬时单位线法、推理公式法、分布式流域水文模型计算等，这三种方法具备了良好的理论与应用基础[6]。业内学者对三种方法开展的研究多是从理论角度对假定条件及不足做出分析与讨论，并选用对大中型流域的设计洪水计算的结果进行对照，探讨了上述三种方法的优缺点；缺乏山区微型流域设计洪水结果合理性的验证及适用范围的研究。

微型流域因其一般洪水影响范围有限，大洪水发生时间较为久远，很难获得相对较可靠的洪痕资料；部分地区通过调查历史洪痕所得的水面线明显不合理，无法对手册计算的设计洪水成果进行验证；重庆地区山地、丘陵遍布，受山洪灾害影响的村落较多且较为分散，可划分的微型流域很多，按照传统查手册、图集方式一一计算，耗费时间、人力。因此，需要研究一种适应于重庆山区微型流域设计洪水的简易、较为合理的计算方法。

2. 微型流域概述

《全国山洪灾害防治规划》研究的山洪对象指的是山丘区的小流域(原则上面积小于 200 km²)，且由降水引起地表洪水，特征表现为突发性和陡涨陡落。然而通常情况下，我们将面积小于 50 km² 的流域称为小流域，而从山洪灾害调查评价实际工作中总结出的研究对象很多比一般意义上的小流域面积还小。重庆市由于受地理条件等因素影响，沿河村落较为零散，根据搜集到的 2013~2017 年重庆 38 个区县山洪灾害调查评价资料进行大数据统计，控制断面以上流域的集水面积一般很小，80%的设计流域面积在 50 km² 以下，接近 50%的设计流域面积仅在 10 km² 以下，甚至超过 10%的沿河村落设计流域面积小于 1 km²，统计不同流域集水面积的沿河村落数量占比结果见图 1。结合重庆市当地实际情况，我们将流域面积小于 10 km² 的流域称之为微型流域。

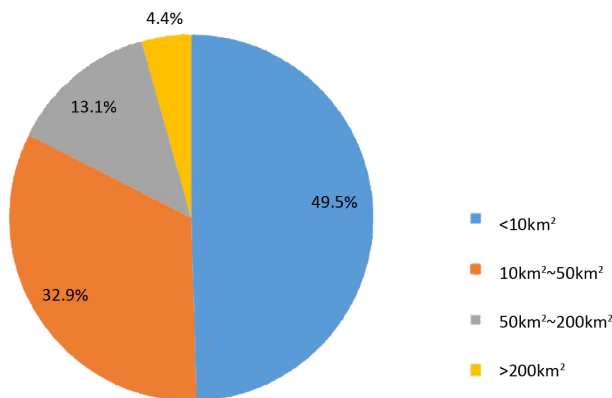


Figure 1. Proportion of the number of villages along the river on catchment area of different river basins in Chongqing
图 1. 重庆市不同流域集水面积的沿河村落数量占比

3. 基于双对数关系的微型流域设计洪水便捷计算探究

一般说来，同一个地区的各调查河段大洪水重现期比较接近，在 $Q_m \sim F$ (洪峰流量与集水面积) 相关图上点群分布具有一定的规律。当在某一流域或水文情形相近的区域进行了许多河段的洪水调查和计算以后，纵坐标取洪峰流量，横坐标取流域集水面积，在双对数纸上分区点绘其同频率的 $Q_m \sim F$ 的关系点，另一方面，收集本流域或本地区已经审查过的水文计算成果点绘到同一图纸，判断是否有突出偏离的点据，以此可以很好地起到检查作用，如图 2。彩色点据表示将重庆市部分区县山洪灾害调查中部分详查点 [7] 百年一遇洪峰流量与分析断面以上流域集水面积点绘在双对数图上，可以看出这些点据分布集中，没有系统偏差，以此复核山洪灾害调查评价成果；黑色点据为收集到的重庆市部分已经审查过的工程水文设计成果系列(一般控制断面以上集水面积较大)，与山洪灾害成果(集水面积多为 200 km^2 以下)系列无系统偏离。通过趋势分析，可以看出点群在 10 km^2 附近出现拐点。

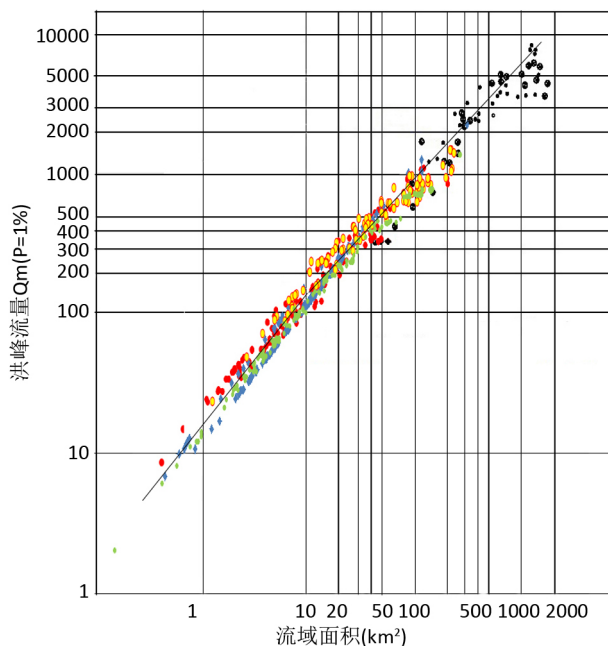


Figure 2. Double logarithmic plot of flood peak discharge and watershed area
图 2. 洪峰流量与流域面积双对数模型

由此将 10 km^2 下微型流域单独作为一个系列建立 $Q_m \sim F$ (洪峰流量与集水面积) 双对数关系模型, 通过勾绘当地 1:10,000 地形图, 或卫星地图分析计算得到微型流域集水面积, 可查阅此流域所在分区的双对数图, 得到当地设计洪水洪峰流量。因此, 通过该“ $Q_m \sim F$ 双对数关系模型”, 可实现无资料地区微型流域设计洪水的计算。

4. 重庆市设计洪水分区

4.1. 分区影响因素

设计暴雨推求设计洪水的主要影响因素有流域暴雨特征及流域下垫面条件[8], 按照主次影响程度以及重要性, 把分区的影响因素分为三个档次, 第一档为重庆市暴雨径流关系; 第二档: 暴雨损失和入渗率参数、小流域产汇流参数、暴雨时面深关系和设计雨型; 第三档: 瞬时单位线汇流参数、综合无因次单位线因素。

把上述不同类的影响因素, 分别在重庆市范围内进行分割, 形成以单一影响因素为参数的多个图层, 再叠加各个图层, 合并为一个图层, 通过聚类分析, 从较大范围内的暴雨特性分布和自然地理景观、地形地貌条件、土壤植被等存在着的明显差异着手, 考虑各个图层参数的影响程度和重要性, 第一档影响因素重要性最高, 即在聚类分析中, 更多考虑暴雨与径流特性因素, 再依次考虑第二、三档影响因子, 将每个图层中比较近似的范围设置为一个分区, 最终将重庆市划分为 8 个设计洪水计算初步分区(图 3)。

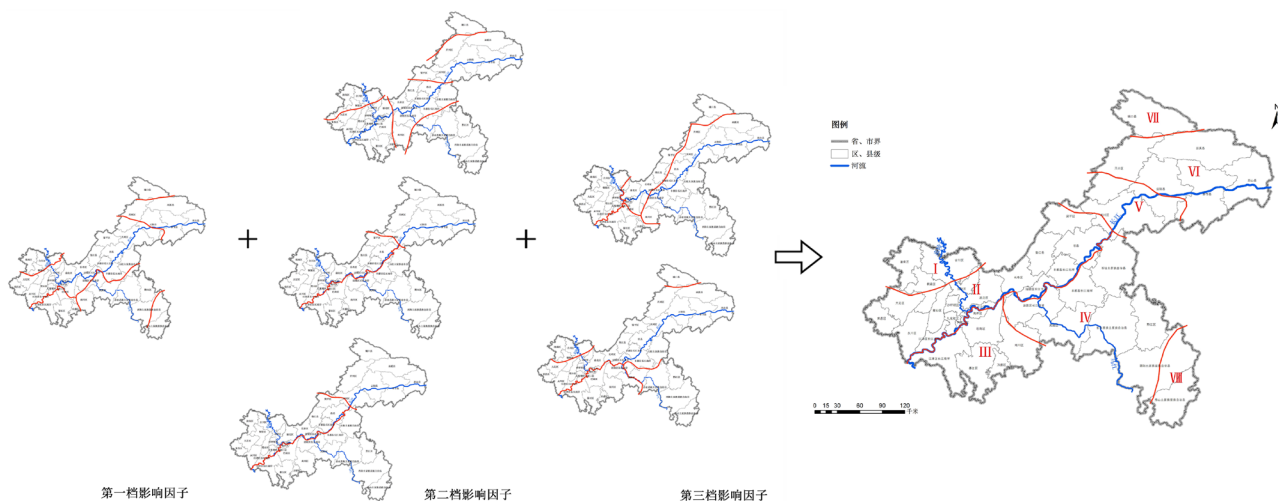


Figure 3. Preliminary divisions of design flood calculation in Chongqing (8)

图 3. 重庆市设计洪水计算初步分区(8 个)

4.2. 分区修正

收集 2013~2017 年重庆地区 38 个区县[9]微型流域山洪灾害调查分析计算成果, 纵坐标取洪峰流量, 横坐标取流域集水面积, 在双对数纸上分区点绘其同频率下的 $Q_m \sim F$ 的关系点。点据分布集中, 多数点据无系统偏离。个别点据出现了较大偏离, 经验证, 存在计算方法选择不合理、参数选取不合适、未考虑虚拟堤防、复式断面洪峰流量计算不准确、水位流量关系线不合理等多种原因, 经分析, 舍去不合理的点据。

将 38 个区县映射到上述 8 个初步分区(图 3)中, 为方便区县行政单位单独管理, 运用矛盾分析方法, 抓住主要因素, 忽略次要因素, 将分区边界的区县进行碎片整合, 尽量归类到同一分区中, 按照不同分区单独绘制 $Q_m \sim F$ 双对数图。同一分区内, 以 $Q_m \sim F$ 双对数图能集中分布, 无系统偏离为基本要求。部分区县被切分为两个分区, 经验算, 两个分区内的点据无系统偏离, 可以合并到同一分区, 如南川区、酉阳县、铜梁区、开州区、

云阳县等。部分区县如江津区、涪陵区、丰都区，其在长江南北两岸的点据形成系统偏离的两个系列，分别归并到不同的分区中。经验算，VIII区(秀山县)可以归并到IV区再作综合。V区和VI区可以合并作综合。因此，重庆市微型流域设计洪水计算分区最终可概化修正为6个分区(图4)。

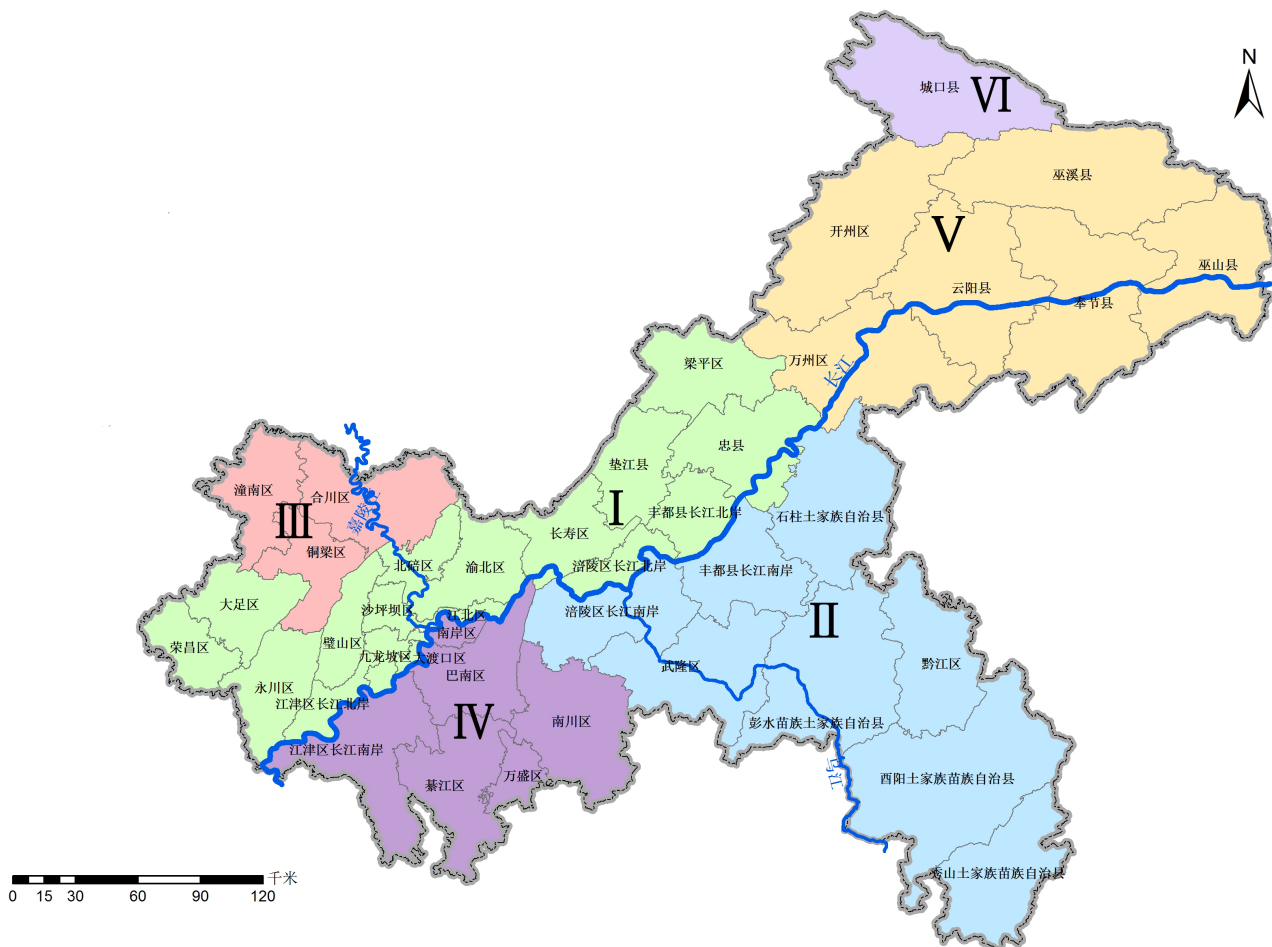


Figure 4. Six divisions of micro-watershed design flood calculation in Chongqing

图4. 重庆市微型流域设计洪水计算六分区

应当指出，分区影响因素中诸如汇流参数等并不具有地理上的连续性，而区域之间常出现差异性，如在山区会有某个流域具有丘陵区甚至近乎平原区河流的汇流特性，反过来说也可能存在，对于微型流域来说洪水成因条件更复杂。因此，上述分区实质上是分区自然地理、暴雨特征等因素的反映和综合，分区是为了获得便捷的设计洪水计算成果，以及为无资料地区的微型流域在计算设计洪水时提供计算参数的区划。在使用分区综合成果时，需注意设计流域的特点是否与本区内一般流域特点相似，若显著不同，则考虑与设计流域更近似的临近分区成果。

5. 重庆市微型流域“六分区五频率”设计洪水成果

重庆市微型流域设计洪水 I 区主要在长江沿线，包括梁平、垫江、长寿、涪陵长江北岸、江北等区县；II 区在渝东南地区，包括涪陵长江南岸、丰都长江南岸、石柱、武隆等区县；III 区在渝西北地区，包括潼南等；IV 区在渝西南和南部地区，包括南岸、江津长江南岸等；V 区在渝东北地区，包括万州、开州等；VI 区主要为城口。

重庆市微型流域设计洪水与流域面积关系可以统一用流量~面积双对数模型形式进行表示,其中 Q 为设计洪水洪峰流量,单位 m^3/s , A 为流域集水面积,单位 km^2 。举例二十年一遇设计洪水,双对数查算图见图5。

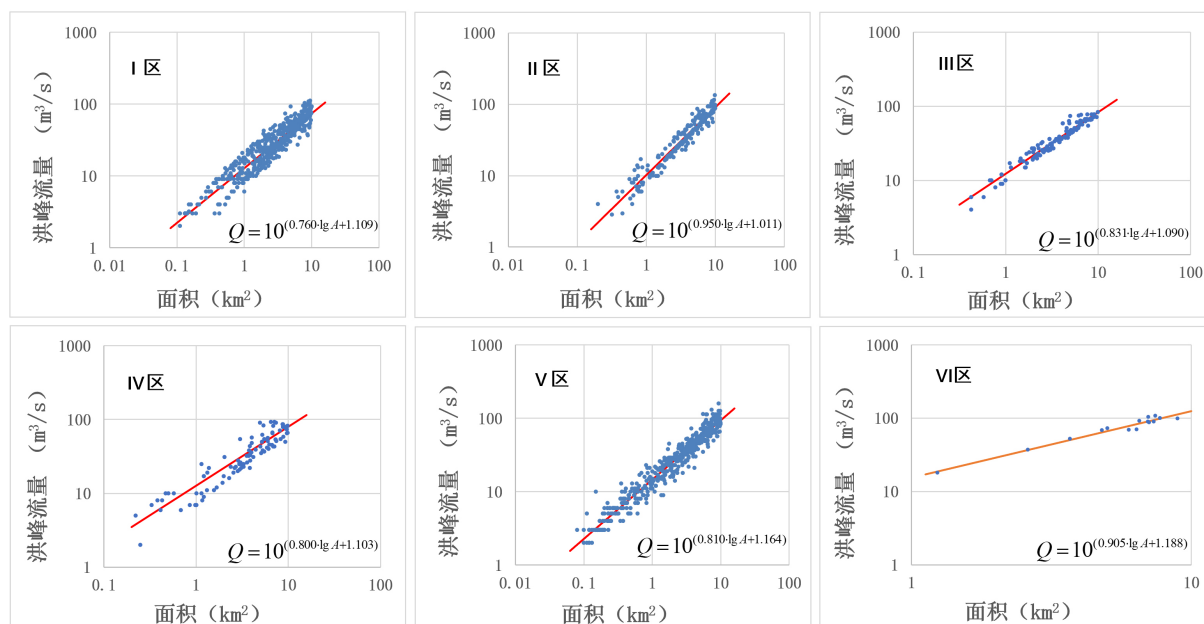


Figure 5. The calculation atlas and empirical formulas of the 20-year return period design flood on micro-watershed in six divisions of Chongqing

图5. 重庆市微型流域六个分区二十年一遇设计洪水查算图集与经验公式

6. 设计洪水成果验证

2016~2017年,我们对重庆市万州区、丰都县、城口县等区县实施了2013~2015年度山洪灾害详查点的预警指标复核,即运用近几年实际发生的较大洪水对预警指标进行检验与复核工作。采用上述“六分区五频率”设计洪水查算图集和经验公式计算详查点所在微型流域设计洪水,结合调查采集的实际发生的洪水水面线,分析并验证了前期设计洪水成果的合理性。

以2016年的万州“6.30”洪水、丰都“7.19”洪水、城口“5.31”洪水为例,此三场洪水分别为近几年较大的典型暴雨形成,多个乡镇涨水较大,部分村落成灾。针对万州区16个详查点进行预警指标的复核[7],仅有1个对象未通过,原因为上游河道较窄行洪不畅,加之该村所在地地势较陡,导致河水从上游公路沿路冲下来,形成坡面汇流,本次成灾并非溪河涨水;丰都县18个详查点通过查阅上述图集和经验公式计算得到的设计洪水与实际洪水相符;城口县22个需复核的详查点通过查阅上述图集和经验公式计算得到的设计洪水与实际洪水相符,其中2个详查点的预警指标未通过复核,原因为原水位流量关系不合理,现场对这2个详查点所在河道断面进行调查测量,重新修正了水位流量关系,再进行山洪灾害分析评价工作中的一系列计算,得到了合理的预警指标值。

7. 结语

本文研究针对重庆地区 10 km^2 以下微型流域缺乏水文资料的现状,基于“面积-流量双对数模型”对微型流域设计洪水计算进行探究,绘制了一套完整的覆盖重庆市全境微型流域“六分区五频率”设计洪水查算图集和经验公式,弥补了重庆市山区微型流域缺水文资料的现状,补全和细化了重庆地区流域设计洪水成果;以行政区划作为分区,能实现各县级无资料地区微型流域洪水的独立管理;结合沿河村落防洪现状,以及雨洪同频

的假定,为无资料地区微型流域山洪灾害预警指标计算和检验复核工作提供依据,为下一步预警工作提供依据。文中重点提出了微型流域分区设计洪水计算思路和查算图集、公式,重点验证了部分区域成果,今后可逐步收集典型暴雨洪水配套资料,进一步对公式合理性进行验证。

参考文献

- [1] 梁忠民, 钟平安, 华家鹏. 水文水利计算[M]. 北京: 水利水电出版社, 2017.
LIANG Zhongmi, ZHONG Pingan and HUA Jiapeng. Hydrological and water conservancy calculation. Beijing: Water and Power Press, 2017. (in Chinese)
- [2] 董秀颖, 刘金清, 叶莉莉. 特小流域洪水计算概论[J]. 水文, 2007, 27(5): 46-48.
DONG Xiuying, LIU Jinqing and YE Lili. Discussion on flood calculation for extraordinary small catchments. Journal of China Hydrology, 2007, 27(5): 46-48. (in Chinese)
- [3] 綦晶, 薛莲. 无资料地区特小流域设计洪水计算方法分析[J]. 黑龙江水利科技, 2017, 45(10): 33-34+42.
QI Jing, XUE Lian. Analysis on Calculation Method of Design Flood for extra small watershed in no data area. Heilongjiang Hydraulic Science and Technology, 2017, 45(10): 33-34+42. (in Chinese)
- [4] 铁道部第一设计院, 中国科学院地理研究所, 铁道部科学研究院西南研究所. 小流域暴雨洪峰流量计算[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
The First Design Institute of the Ministry of Railways, Institute of Geography of Chinese Academy of Sciences, Southwest Research Institute, China Academy of Railway Sciences. Calculation of rainstorm and flood peak discharge in small watershed. Beijing: Science Press, 1978. (in Chinese)
- [5] 李科国, 蒋汝成, 许志敏, 顾世祥. 特小流域暴雨洪水分析方法[J]. 人民长江, 2017, 48(16): 6-9+18.
LI Keguo, JIANG Rucheng, XU Zhimin and GU Shixiang. Storm flood calculation in extraordinary small basin. Yangtze River, 2017, 48(16): 6-9+18. (in Chinese)
- [6] SL 44-2006. 水利水电工程设计洪水计算规范[S]. 北京: 水利水电出版社.
SL 44-2006. Regulation for calculating design flood of water resources and hydropower projects. Beijing: Water and Power Press. (in Chinese)
- [7] 徐洁, 凌旋, 彭畅, 等. 重庆市万州区 2013 年度山洪灾害防治项目-调查评价报告[R]. 2016.
XU Jie, LING Xuan, PENG Chang, et al. Mountain torrents disaster control project in Wanzhou District, Chongqing in 2013, investigation and evaluation report. 2016. (in Chinese)
- [8] 芮孝芳. 径流形成原理[M]. 南京: 河海大学出版社, 1991.
RUI Xiaofang. Principles of Runoff Formation. Nanjing: Hohai University Press, 1991. (in Chinese)
- [9] 卢阳, 张乾柱, 秦维, 等. 重庆市山洪灾害调查评价报告[R]. 2017.
LU Yang, ZHANG Qianzhu, QING Wei, et al. The mountain torrent disaster investigation and evaluation Report in Chongqing. 2017. (in Chinese)