

Research on Method of Live Surface Rainfall in Zishui Basin Based on Grid Precipitation Products

Jingyu Xu¹, Changqing Zhou^{1*}, Jingjing Chen¹, Hongzhuan Chen², Xiaofeng Ou²

¹Hunan Meteorological Observatory, Changsha Hunan

²Huaihua Meteorological Bureau, Huaihua Hunan

Email: *691531339@qq.com

Received: Sep. 26th, 2019; accepted: Oct. 10th, 2019; published: Oct. 17th, 2019

Abstract

This paper uses the hourly precipitation grid live product and DEM elevation data of China ground and CMORPH fusion in 2008-2018 to study the calculation method of the actual surface rainfall in Zishui Basin. Firstly, the GIS technology is used to model the DEM elevation data of the Zishui Basin, calculate the sink information and establish a grid river network, and then generate the river watershed, use the reverse search technology to search the upstream of the river basin from the outlet of the basin. The scope of the water area, the boundary of the area occupied by all the found grids is delineated to determine the total basin boundary, and the water basin is divided into 6 sub-basins. Secondly, using the Hunan-based precipitation grid product, the precipitation grid is mapped to the scope of the watershed by its GIS technology, and the index between the grid and the basin is established. Finally, using the grid point averaging method, the average rainfall value of all grid points in each basin is calculated one by one, and then the basin surface rainfall in the basin is obtained.

Keywords

Zishui River Basin, Surface Rainfall, Grid Point Average Method, Grid Precipitation Reality

基于网格降水产品的资水流域实况面雨量计算方法研究

徐靖宇¹, 周长青^{1*}, 陈静静¹, 陈红专², 欧小锋²

¹湖南省气象台, 湖南 长沙

²怀化市气象局, 湖南 怀化

*通讯作者。

Email: *691531339@qq.com

收稿日期: 2019年9月26日; 录用日期: 2019年10月10日; 发布日期: 2019年10月17日

摘要

本研究利用2008~2018年中国地面与CMORPH融合逐小时降水网格实况产品与DEM高程数据开展资水流域实况面雨量计算方法研究。首先利用GIS技术对资水流域DEM高程数据进行建模, 计算汇流信息并建立栅格河网, 进而生成河流分水岭, 利用反向搜索技术从流域的出口沿河道向上游搜索每一条河道的集水区范围, 对搜到的所有栅格所占区域的边界进行勾画确定总的流域界限, 将资水流域划分为6个子流域。其次利用湖南范围降水网格产品, 通过GIS技术将降水网格映射到其所属流域范围, 建立网格与流域之间的索引。最后利用格点平均法, 逐一计算各流域内所有网格点的降雨量平均值, 进而得到该流域的流域面雨量实况。

关键词

资水流域, 面雨量, 格点平均法, 网格降水实况

Copyright © 2019 by author(s) 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

资水位于湖南省中部, 流域形状南北长而东西窄; 地势西南高而东北低。流域上游和下游以丘陵、盆地为主, 中游主要分布山丘, 其余为平原湖区。资水两源(左源赧水发源于城步苗族自治县北青山, 右源夫夷水发源于广西资源县越城岭)于邵阳县双江口汇合, 流经邵阳、新化、安化、桃江、益阳等市县, 于益阳市甘溪港注入洞庭湖, 全长 653 公里, 流域面积 28,142 平方公里。流域内地形条件复杂, 降雨时空分布都极不均匀, 暴雨洪涝灾害多发, 防洪和水库调度工作面临着严峻挑战。长期以来, 资水流域洪水预测一直是气象和水文研究的重要课题, 而流域面雨量作为流域洪水预报的关键参数, 是进一步计算径流、预报水位和流量的基础, 也是各级政府组织防汛抗洪以及水库调度等决策的重要依据。

目前, 我国对流域面雨量实况的计算主要依靠气象和水文雨量站数据来进行。由于地面雨量站空间分布不均匀, 人们发展出了多种针对站点降水观测资料的空间插值方法来估算面雨量, 最常用的有泰森多边形法、等值线法和格点平均值法等。泰森多边形法广泛应用于站点分布稀少且不均匀的流域。网格平均值法适用于高精度网格降水实况产品和站点稠密且分布较为均匀的区域。蔡敷川等基于 GIS 技术分析了东江流域面雨量的算法、流域的划分、面雨量监测系统等功能[1]; 袁定波等在泰森多边形方法的基础上考虑地理空间要素对降雨空间分布的影响对雅砻江流域面雨量进行了估算[2]; 王增凯等比较了不同量级降水推算面雨量的算法, 得出算术平均法计算的面雨量在中雨等级下较等值线法偏大, 随着降雨等级增加, 逐渐小于等值线法, 泰森多边形法计算的面雨量一般比等值线法偏小[3]; 张晓鑫通过多源降水资料对江西省流域面雨量计算方法的对比分析, 得出泰森多边形法和算术平均法对面雨量计算结果的一致性较高, 同时指出站点越密集, 两种计算方法越接近[4]。

中国地面与 CMORPH 融合降水网格实况产品是采用概率密度匹配 + 最优插值(PDF + OI)两步数据融合算法, 对该技术在 1 小时、0.1°分辨率下的核心参数进行重新调试和改造, 生成的 10 KM 分辨率逐小时降水融合产品。本研究利用 2008~2018 年降水网格实况产品开展资水流域实况面雨量计算方法研究, 采用格点平均法, 生成 2008~2018 年逐 1 小时、3 小时、6 小时流域面雨量实况产品。为进一步开展流域洪水预报方法研究、建立科学合理的流域面雨量阈值、增强中小河流洪水监测和预警能力提供支撑。

2. 资料和方法

2.1. 数据资料

利用本方法计算流域面雨量实况产品所应用的资料主要有: 中国地面与 CMORPH 融合逐小时降水网格实况产品、资水流域 1:5 万 DEM 高程数据等。中国地面与 CMORPH 融合逐小时降水网格实况产品, 由经过质量控制后的全国 3 万多个自动气象站观测的小时降水量观测数据和美国气候预测中心研发的全球 30 min、8 km 分辨率的 CMORPH 卫星反演降水产品, 在引入概率密度匹配加最优插值(PDF + OI)两步数据融合概念模型[5], 并对该技术在 1 小时、0.1°分辨率下的核心参数进行重新调试和改造[6] [7], 所生成的 2008~2018 年的逐小时融合降水量产品。其空间范围为: 70°E~140°E, 15°N~60°N; 采用 GrADS 标准格式(即: 二进制无格式直接存取), 每小时一个数据文件。

2.2. 技术方法

2.2.1. 资水流域提取

流域是指由分水线所包围的河流集水区。分地面集水区和地下集水区两类。如果地面集水区和地下集水区相重合, 称为闭合流域; 如果不重合, 则称为非闭合流域。平时所称的流域, 一般都指地面集水区。数字河网生成是构成流域水系的基础, 也是中小河流流域确定的前期条件。根据中小河流域形成的原理可知, 流域洪水主要发生在降水后的一段时间内, 影响地区主要集中在河道或其两侧。因此, 在提取流域之前首先进行数字河网提取, 然后对降水数据与地形数据进行综合叠加, 以确定强降水发生时洪水形成的区域。

本研究基于 TOPAZ 算法来实现流域水系的构建, 基本思路是通过地表产汇流分析, 实现数字化河网的构建, 根据水流由地势较高的地方向地势低的地方流动的原理, 在一个计算单元内计算出相邻单元格中高程最小值, 将其确定为水流的方向, 依次循环; 对出现洼地的区域采用高程增量叠加填平来处理断流的问题, 从而形成合理的汇流区域(图 1)。当流域河网生成以后, 可确定整个流域界限并进行子流域的划分。利用反向搜索技术从流域的出口沿河道向上游搜索每一条河道的集水区范围, 对搜到的所有栅格所占区域的边界进行勾画就可确定总的流域界限。子流域确定后, 可以得到子流域内的河道长度、平均坡降、子流域面积、最大高程、最小高程、平均高程等流域特征值。

在提取时, 首先利用 GIS 的资水流域 DEM 数据进行建模[8], 对 DEM 数据进行循环填挖, 去除其中产生断流的信息, 计算汇流信息并建立栅格河网, 在实际水流分析过程中, 利用设置的阈值与水系的调查资料进行比较[9], 将水流阈值设置为 20 K, 较符合实际情况。利用计算的汇流信息与和河网信息可直接生成河流的分水岭, 即可视为流域边界的信息。通过对比实际流域地表径流信息, 共将资水流域划分为 6 个子流域(图 2)。

2.2.2. 流域面雨量实况计算方法

本研究利用 2008~2018 年中国地面与 CMORPH 融合 10 km 分辨率逐小时降水网格实况产品, 采用算数平均法[10] [11]计算资水流域实况面雨量。通过指定流域范围, 计算各流域范围中降水网格实况的平均值即为该流域面雨量。计算公式如下:

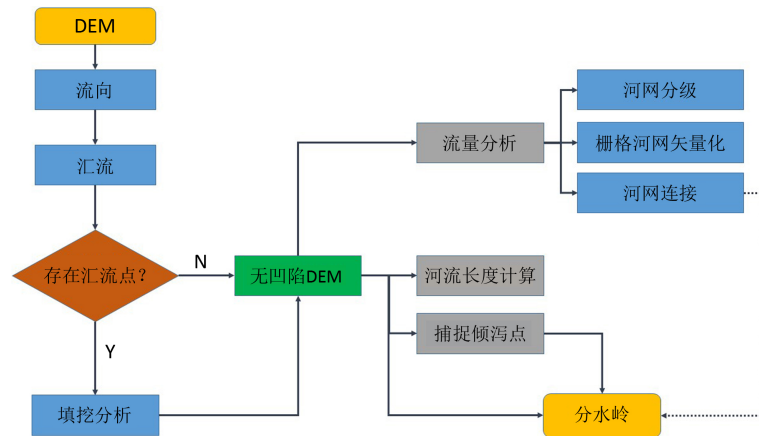


Figure 1. Flow chart of watershed division based on DEM
 图 1. 基于 DEM 高程数据的流域划分流程图

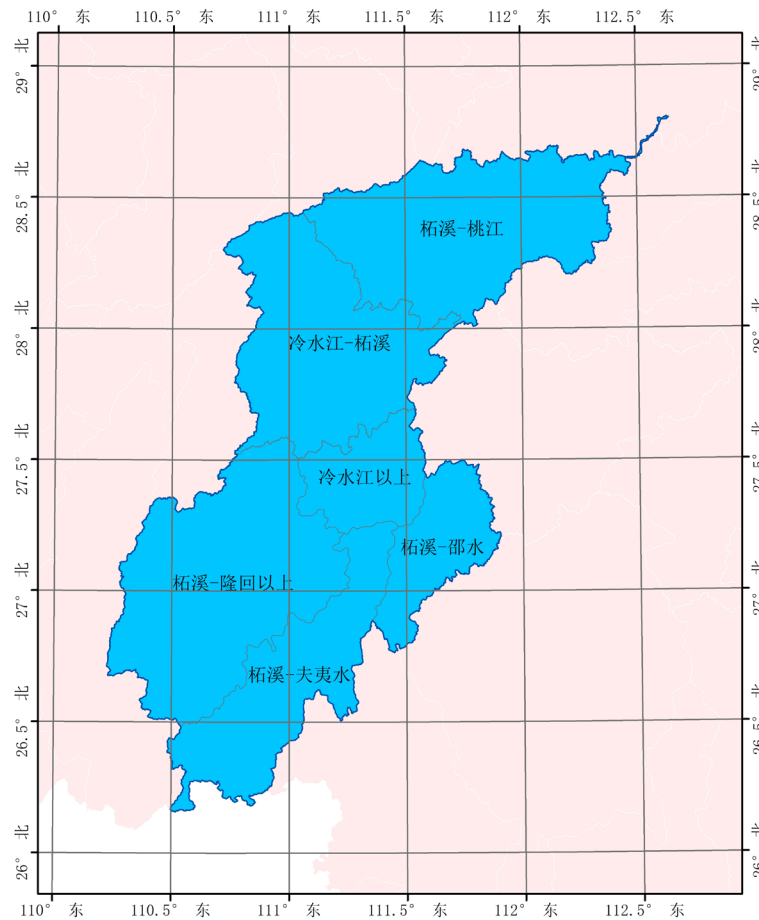


Figure 2. Boundary division of small rivers in Zishui Basin
 图 2. 资水流域中小河流边界划分

$$A = \frac{1}{N} \sum_i^N P_i \quad (1)$$

其中 A 为面雨量, P_i 为格点降雨预报值, N 为流域范围的降雨格点个数。根据面雨量设定的警戒阈值,

生成超过警戒阈值的面雨量产品。

2.2.3. 流域面雨量计算流程

流域面雨量的计算是利用湖南范围内降水量网格产品，建立相同范围和格距的空间网格，通过 GIS 技术将网格点映射到其所属流域范围，建立网格与流域之间的索引，然后利用网格平均法，逐一计算各流域内所有网格点的平均降雨量，进而得到该流域的流域面雨量。由于所用的融合降水产品是全国范围，首先截取湖南范围的降水数据，再建立降水量空间网格，建立网格与流域之间的索引，计算各流域的流域面雨量。流程如图 3 所示：

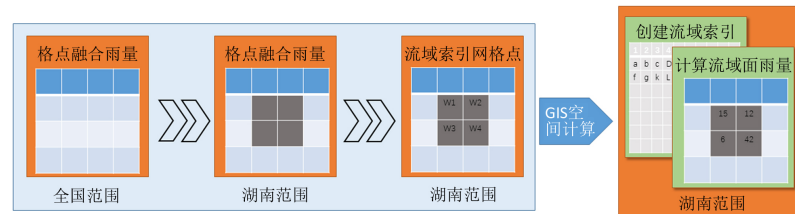


Figure 3. Historical flow basin surface rainfall calculation process

图 3. 历史实况流域面雨量计算流程

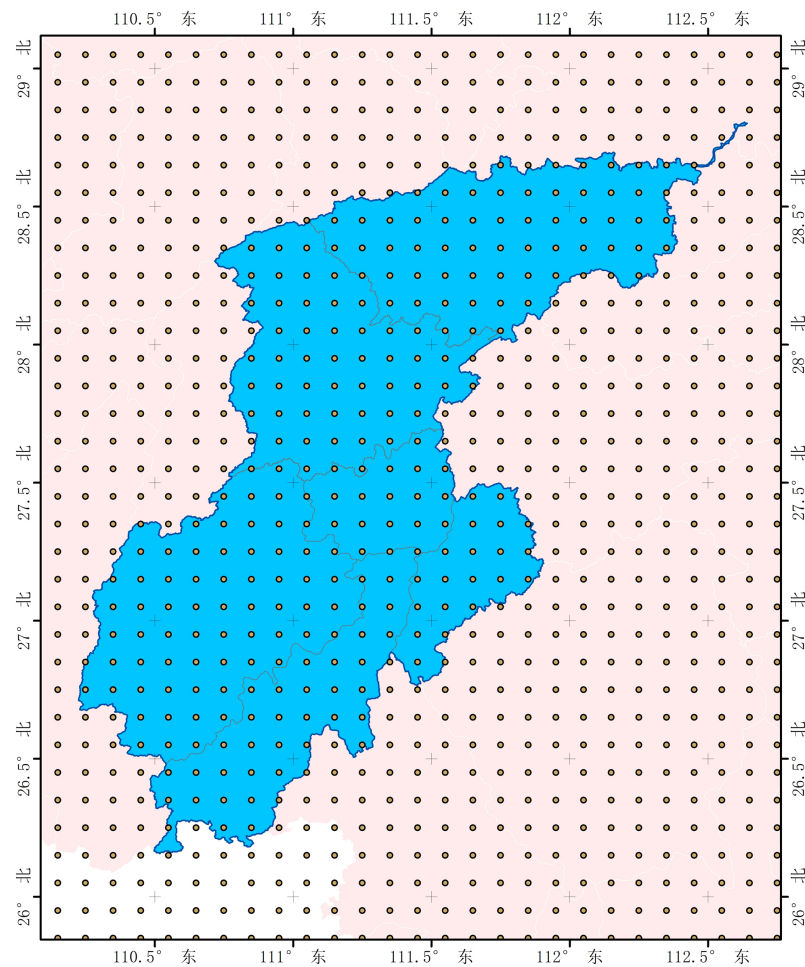


Figure 4. Mapping between grid precipitation and watershed boundaries

图 4. 网格降水实况与流域边界的映射关系

建立流域网格点索引(图 4),首先根据降水格点资料的起止经纬度、格距和经向纬向格点数量等信息,建立降水格点数据每个格点对应的空间经纬度网格,通过 GIS 技术,将降水格点空间经纬度网格与所提取的流域边界经纬度信息在空间上进行叠加,建立降水网格点与流域边界的映射关系,利用空间连接索引方法,对流域内所有网格点进行标记,最终建立降水网格与流域之间的索引。

Table 1. Actual rainfall at 00:00 on August 16, 2018 (unit: mm)

表 1. 2018 年 8 月 16 日 00 时资水流域面雨量实况(单位: mm)

| 流域名称 | 映射网格数 | 1 小时(单位: mm) | | | 3 小时(单位: mm) | | | 6 小时(单位: mm) | | |
|---------|-------|--------------|--------|-------|--------------|---------|-------|--------------|---------|-------|
| | | 降水网格 | 降水总量 | 流域面雨量 | 降水网格 | 降水总量 | 流域面雨量 | 降水网格 | 降水总量 | 流域面雨量 |
| 柘溪-夫夷水 | 33 | 26 | 67.028 | 2.031 | 28 | 216.46 | 6.559 | 31 | 273.925 | 8.301 |
| 柘溪-隆回以上 | 68 | 25 | 58.404 | 0.859 | 59 | 331.057 | 4.868 | 68 | 526.187 | 7.738 |
| 柘溪-邵水 | 20 | 1 | 0.397 | 0.02 | 2 | 0.51 | 0.025 | 14 | 13.029 | 0.651 |
| 冷水江以上 | 19 | 0 | 0 | 0 | 12 | 11.024 | 0.58 | 18 | 164.592 | 8.663 |
| 冷水江-柘溪 | 50 | 14 | 7.036 | 0.141 | 14 | 10.752 | 0.215 | 34 | 130.84 | 2.617 |
| 柘溪-桃江 | 59 | 42 | 54.046 | 0.916 | 45 | 140.78 | 2.386 | 48 | 225.451 | 3.821 |

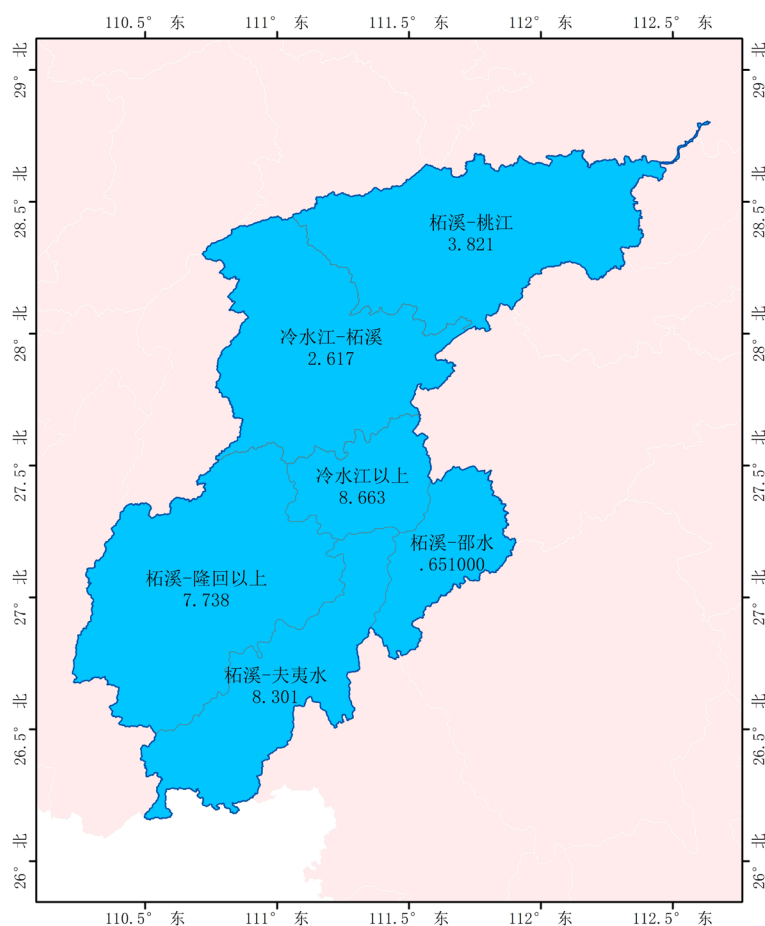


Figure 5. 6-hour surface rainfall in the Zishui Basin on August 16, 2018 (unit: mm)

图 5. 2018 年 8 月 16 日 00 时资水流域 6 小时面雨量实况(单位: mm)

3. 流域面雨量计算结果

本研究利用 2008~2018 年中国地面与 CMORPH 融合 10 km 分辨率逐小时降水网格实况产品, 和上文提取的资水流域子流域边界信息, 采用格点平均法, 生成 2008~2018 年逐 1 小时、3 小时、6 小时流域面雨量实况产品。以 2018 年 8 月 16 日 00 时为例, 所计算的流域面雨量实况如表 1、图 5 所示。

按照网格映射算法, 首先对资水流域分别计算了各子流域范围内所包含的降水实况网格的数量, 而后计算了这些网格中降水量大于 0 mm 的个数, 以及所属降水网格点的降水总量, 最后采用格点平均法最后求得各子流域面雨量实况。从表 1 可以看出, 由于降水的局地性影响, 在同一个子流域内并不是每个网格都有降水。理论上子流域范围越大所求得的面雨量实况越接近于实际情况。虽然融合网格降水实况的分辨率只有 10 km, 与雨量站点稠密地区间隔相当, 但对于雨量站点稀疏或者空间分布严重不均的地区, 具有较大的应用优势。

4. 小结

1) 中国地面与 CMORPH 融合逐小时降水网格实况产品在计算流域面雨量中的应用, 实现湖南高精度、高分辨、无缝隙的降水实况资料全覆盖, 弥补了雨量站点稀疏地区和站点分布不均地区降水实况的缺失, 能够有效提高上述地区流域面雨量实况计算的准确性。

2) 通过 GIS 技术, 将降水格点空间经纬度网格与所提取的流域边界经纬度信息在空间上进行叠加, 建立降水网格点与流域之间的索引, 使采用格点平均法计算流域面雨量的效率得到很大提升, 同时, 基于精细化智能网格降水预报产品可以快速移植到流域面雨量预报产品的计算上。

3) 由于降水的局地性影响, 由网格降水实况来计算流域面雨量, 其流域范围越大所求得的面雨量实况越接近于实际情况, 若流域面积较小所包含的网格点较少, 对流域面雨量的稳定性有一定的影响, 应用时需要注意。

基金项目

湖南省气象局重点项目(编号: XQKJ17A004)《资水流域精细化降水预报研究和应用》。

参考文献

- [1] 蔡敷川, 黄帅, 肖明丽. 基于 GIS 技术的东江流域面雨量监测系统的设计[J]. 广东水利水电, 2018(10): 61-65.
- [2] 袁定波, 艾萍, 洪敏. 基于地理空间要素的雅砻江流域面雨量估算[J]. 水利水电快报, 2019, 40(3): 5.
- [3] 王增凯, 马超, 王晓鹏, 等. 不同量级降水推算面雨量的算法浅析[J]. 地下水, 2019, 44(4): 166-167+190.
- [4] 张晓鑫. 基于多源降水资料的江西省流域面雨量计算方法对比分析[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [5] Xie, P.P. and Xiong, A.Y. (2011) A Conceptual Model for Constructing High-Resolution Gauge-Satellite Merged Precipitation Analyses. *Journal of Geophysical Research*, **116**, 1-14. <https://doi.org/10.1029/2011JD016118>
- [6] 旷达, 沈艳, 牛铮, 等. 卫星反演降水产品误差随时空分辨率和雨强的变化特征分析[J]. 遥感信息, 2012, 27(4): 75-81.
- [7] 宇婧婧, 沈艳, 潘旸, 等. 概率密度匹配法对中国区域卫星降水资料的改进[J]. 应用气象学报, 2013, 24(5): 544-553.
- [8] 吕一兵, 张斌, 陈智虎, 等. 基于 DEM 的不同地貌类型区小流域划分及分布特征研究——以贵州省赤水河流域为例[J]. 测绘通报, 2017(9): 110-115.
- [9] 张智超, 闫丹丹. 流域面雨量的计算方法[J]. 水利科技与经济, 2016(12): 34-37.
- [10] 王志, 赵琳娜, 张国平, 等. 汶川地震灾区堰塞湖流域面雨量计算方法研究[J]. 气象, 2010(6): 7-12.
- [11] 芮孝芳. 随机产汇流理论[J]. 水利水电科学进展, 2016(5): 8-12.