

# 基于区域回归分析法的浙江省洪水计算分区

伍远康,陶永格,刘福瑶

(浙江省水文局,浙江 杭州 310009)

**摘要:**以浙江省122个水文站历年最大洪峰流量与不同时段雨强、流域面积、河长、河床比降为指标,建立区域回归方程,利用该回归方程计算各水文站历年最大洪峰流量,并与实测值比较,结果表明计算值与实测值相关关系的分区规律明显,可将浙江省分为两个洪水计算区,计算值大于实测值的站点相对集中于钱塘江中上游、甬江中上游、浦阳江、曹娥江等区域,占该区全部站点的69.5%;计算值小于实测值的站点相对集中于天目山、会稽山、四明山、天台山、大盘山、括苍山、南北雁荡山等呈“7”字形分布区域,占该区全部站点的73%。该分区结果与浙江省梅雨、台风雨以及土地利用、植被等分区总体吻合,表明分区结果是合理的,该分区方法具有可行性。

**关键词:**洪水计算分区;水文分区;最大洪峰流量;区域回归分析;浙江省

**中图分类号:**TV122

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-7647(2015)04-0039-05

**Flood zoning calculation in Zhejiang Province based on regional regression analytical method//**WU Yuankang, TAO Yongge, LIU Fuyao (*Hydrological Bureau of Zhejiang Province, Hangzhou 310009, China*)

**Abstract:** Taking the annual maximum flood peak flow, rainfall intensity, drainage area, river length, and river slope at different periods of 122 hydrological stations in Zhejiang Province as indicators, the regional regression equation is established. Then, the regression equation is used to calculate the annual maximum flood peak flow at those hydrological stations. Comparing the calculated values with observations, the results show that the relation between them significantly follows the regionalization rules. Therefore, Zhejiang Province can be divided into two flood calculation zones. Points where the calculated value is bigger than the measured focus on the areas such as the middle and upper reaches of the Qiantang River, the middle and upper reaches of the Ou River, the Puyang River, and the Cao'e River, and the points account for 69.5% of whole points in the zone; points where the calculated value is smaller than the measured focus on the areas such as the Tianmu Mountain, Kuaiji Mountain, Siming Mountain, Tiantai Mountain, Dapan Mountain, Kuocang Mountain, and the North and South Yandang Mountain, distributing as “7” glyph, and the points account for 73% of whole points in the zone. The result matches the zonings of plum rains (East Asian rainy season), typhoon rain, land utilization, vegetation, etc., in Zhejiang Province, which reveals that the zoning result is reasonable and the zoning method is feasible.

**Key words:** flood zoning calculation; hydrologic zoning; maximum flood peak flow; regional regression analysis; Zhejiang Province

基于水文资料和流域水系及气候等特征值的区域回归分析法是一种常用的分析计算中小流域设计洪水的方法,其相对于降雨径流法能够得出具有更好有效性和不偏性的设计洪峰<sup>[1]</sup>。为满足浙江省无资料流域设计洪水和洪水预报研究项目中水文分区的需要,达到相同水文分区内设计洪水计算、产汇流模型参数综合的目的<sup>[2-3]</sup>,本文将区域回归分析法用于浙江省洪水计算分区,以浙江省现有水文站实测历年最大洪峰流量为因变量,将与洪峰流量具有明显成因联系的同场雨的不同时段雨强、流域面积、河长、河床比降等作为自变量建立回归方程,根据实测值与回归计算值相关关系的分布,结合浙江省的

流域、气象、土壤、植被等的分区规律,对浙江省洪水计算进行了分区划分。

## 1 浙江省水文分区现状

水文现象是自然地理和气候因素综合影响的产物。按照水文现象的相似性与差异性进行分区,目的在于建立水文气象和自然地理的均匀一致区,使得在相同水文分区内各项水文特征值能够移用,以解决无资料地区的水文问题<sup>[4-6]</sup>。中华人民共和国成立以后,为了适应水利建设事业发展的需要,在基础资料十分短缺的情况下,浙江省水文技术人员参考1952—1955年平均年径流模数等值线和多年平

均降水量等值线,综合考虑土壤、地质、气候特征以及流域完整性,将浙江省分成5个水文分区,16个水文副区,如图1所示。受当时所积累资料的限制,对水文气象规律和自然地理特征的认识都较为肤浅,在分区上又缺乏成熟、统一方法,区域分割较为零碎,在实际工作中难以应用。近年来,随着信息技术、生物技术和计算机技术的飞速发展,一些新技术和新方法,如人工神经网络(ANN)和模糊聚类法等已被广泛用于模型识别和水文、气象、流域下垫面等特征的分类<sup>[7-8]</sup>,这些技术和方法为深入探索水文分区规律提供了全新的分析手段。

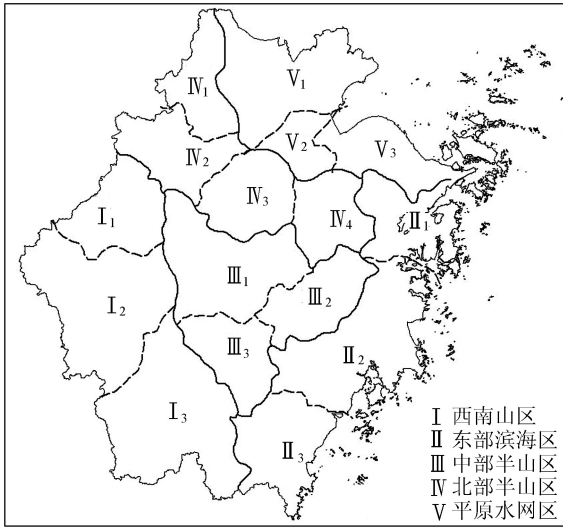


图1 浙江省水文分区现状

## 2 区域回归分析

无论是流域的防洪减灾还是涉水工程的规划、设计,更多涉及的是洪峰流量(或洪量)计算问题。本文选择反映流域的水文气象条件和自然地理特征,并与洪峰流量分析计算目的具有一定成因联系的时段雨强、流域面积、河长、主河道比降等作为备选特征变量,建立回归方程,探索水文分区规律。本文采用的流域面积、河道比降、河长等地理特征数据是以1:50000国家基础地理信息数据库中的DEM数据为主,通过计算机自动提取、多源数据综合比对分析获得<sup>[9]</sup>,并与人工量算复核,数据可靠;时段雨强和洪峰流量资料均来源于浙江省水文年鉴,时段雨强是洪水要素摘录表中与所选洪峰流量对应的流域不同统计时段最大面平均雨强。

### 2.1 相关性判别与显著性检验

在进行回归分析时,因变量的变化与自变量之间相关关系好坏以及每个自变量与因变量的线性关系是否显著都需进行统计检验,以确定回归方程的有效性。本文采用复相关系数 $R$ 评价回归方程与实测数据的拟合程度,用统计量 $F$ 检验回归方程的

显著性:

$$R = \sqrt{\frac{S_{\text{回}}}{S_{\text{总}}}} = \sqrt{1 - \frac{S_{\text{剩}}}{S_{\text{总}}}} \quad (1)$$

$$F = \frac{S_{\text{回}}/m}{S_{\text{剩}}/(n-m-1)} \quad (2)$$

其中  $S_{\text{总}} = S_{\text{回}} + S_{\text{剩}} \quad (3)$

式中: $S_{\text{回}}$ 为回归平方和; $S_{\text{剩}}$ 为残差平方和; $n$ 为样本个数; $m$ 为自变量个数。

### 2.2 自变量筛选

本文根据提取的全省122个水文站断面以上的流域面积、河流长度、主河道比降,122个水文站历年最大洪峰流量以及与之相应的787个雨量站资料,统计计算各站6个不同时段最大面雨强特征,进行自变量筛选。

#### 2.2.1 洪峰流量与时段雨强、流域面积、河流长度及主河道比降关系

将122个水文站历年实测最大洪峰流量与对应的0.5h、1h、3h、6h、12h以及24h最大雨强进行回归分析表明,洪峰与这6个时段雨强的相关性均较差,因此根据流域面积大小,选用相应时段最大雨强,经6种不同方案分析筛选出表1的组合,建立洪峰与不同流域面积对应时段最大雨强的回归关系,该组合的时段雨强与洪峰流量的相关性最优。

表1 流域面积与汇流时间组合方案

方案	流域面积/km <sup>2</sup>	汇流时间/h
1	0~50	0.5
2	>51~100	1
3	>101~300	3
4	>301~500	6
5	>501~1000	12
6	>1000	24

根据表1可得到的不同流域面积对应的时段最大雨强 $I$ 与历年最大洪峰流量 $Q_{\text{max}}$ 的关系式:

$$Q_{\text{max}} = 0.27I^{1.87} \quad (R = 0.83, F = 266.92) \quad (4)$$

对全省122个水文站断面以上的流域面积、河流长度、主河道比降与历年最大洪峰流量进行回归分析,得到流域面积 $A$ 、河流长度 $L$ 、主河道比降 $S$ 与历年最大洪峰流量 $Q_{\text{max}}$ 的关系式分别为

$$Q_{\text{max}} = 10.76A^{0.82} \quad (R = 0.92, F = 674.85) \quad (5)$$

$$Q_{\text{max}} = 8.61L^{1.33} \quad (R = 0.90, F = 534.88) \quad (6)$$

$$Q_{\text{max}} = 2.49S^{-1.20} \quad (R = 0.76, F = 162.19) \quad (7)$$

统计检验表明,以上4个变量分别与历年最大洪峰流量存在显著的相关关系。

#### 2.2.2 剔除优选法选择自变量

4个变量分别与历年最大洪峰流量存在显著相关关系,并不表明所有自变量与因变量( $Q_{\text{max}}$ )的相

关关系都是显著的,因为各自变量之间可能存在相关关系,这些变量同时加入到回归方程中就会影响回归模型的稳定性,换言之,加入回归方程的自变量应都与因变量存在显著相关且各自变量之间应是相互独立的。为了判别各个自变量的贡献大小,在确认回归方程显著之后,还必须对各个自变量进行显著性检验,把不显著的自变量从方程中剔除掉。

仍取 122 个水文站资料进行历年最大洪峰流量与 4 个自变量关系的回归分析,并依次剔除水文站断面以上河流长度、主河道比降、水文站断面以上的流域面积以及时段雨强这 4 个自变量,分别计算他们对回归方程的贡献。首先剔除河流长度,计算得  $R=0.052, F=0.3126$ ;采用显著性水平  $\alpha=0.05$ ,查表得到  $F(3,118)=2.682$ ,远大于计算值,故河流长度对回归方程没有显著贡献,综合考虑河流长度与流域面积的相关性,剔除该自变量。对因变量和剩余的 3 个自变量建立回归方程,并依此剔除这 3 个变量:首先剔除主河道比降,计算得  $R=0.23, F=6.3588$ ;再剔除流域面积,计算得  $R=0.74, F=138.668$ ;最后剔除时段雨强,计算得  $R=0.43, F=26.749$ ;采用显著性水平  $\alpha=0.05$ ,查表得到  $F(2,119)=3.072$ ,可见这 3 个变量都对回归方程有显著贡献,且流域面积对回归方程的贡献最大。

### 2.3 回归方程计算

以表 1 组合对应的时段最大雨强、流域面积和主河道比降作为回归方程自变量,与历年最大洪峰流量  $Q_{\max}$  的复相关关系式如下:

$$Q_{\max} = 3.63I^{0.63}A^{0.73}S^{0.25} \quad (R = 0.94) \quad (8)$$

根据式(8)可计算得到回归洪峰流量,将各水文站回归洪峰流量(计算值)和实测洪峰流量(实测值)数据点绘如图 2 所示。

## 3 洪水计算分区

从图 2 可知,45°线以上的圆点(代表计算值大于实测值的站点)共 58 个,45°线以下的星点(代表计算值小于实测值的站点)共 64 个。在全省 122 个站点的空间分布图上,按各站点点据的形状属性进行标注,并根据相同形状点据的集中程度,结合考虑水系的完整性,即主要保持一级支流完整的原则进行洪水计算分区,如图 3 所示。

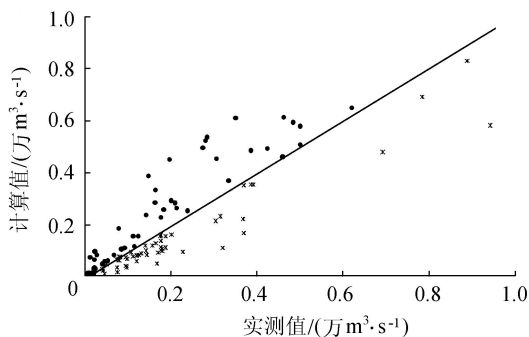


图 2 洪峰流量计算值与实测值相关关系

### 3.1 分区规律

由图 3 可见,圆点相对集中于钱塘江中上游、甬江中上游、浦阳江、曹娥江地区,这一区域与浙江省的梅雨区基本吻合,按保持钱塘江的一级支流衢江、金华江、浦阳江、曹娥江和甬江一级支流大溪、小溪等的完整性进行分区,在这一区域的全部 59 个站点中,圆点共 41 个,占该区总站点数的 69.5%,称之为 A 区,该区面积 4.294 万  $\text{km}^2$ ,占全省总面积的 41.4%。星点相对集中于天目山区、会稽山、四明山、天台山、大盘山、括苍山、南北雁荡山的余下区域,呈“7”字形分布,这一区域与浙江省的台风雨区基本吻合,在这一区域的全部 63 个站点中,星点共 46 个,占该区总站点数的 73.0%,称之为 B 区,该区面积 6.086 万  $\text{km}^2$ ,占全省总面积的 58.6%。

### 3.2 分区回归方程

对 A 区 59 个站点和 B 区 63 个站点分别进行回归分析,得到 A 区和 B 区的回归方程如下:

$$Q_{\max} = 3.62I^{0.50}A^{0.79}S^{0.24} \quad (R = 0.97) \quad (9)$$

$$Q_{\max} = 6.93I^{0.58}A^{0.81}S^{0.37} \quad (R = 0.93) \quad (10)$$

据此可以初估两个分区的洪峰流量。

### 3.3 区域特征统计

为了比较 A、B 分区主要水文气象和流域(河流)特征,分别统计了区域内最大 1 h、6 h、12 h 面雨量和平均洪峰模数,结果如表 2 所示。可见,B 区不同历时最大面雨量、流域平均形状系数以及平均洪峰模数都大于 A 区,尤其是面雨量和洪峰模数相差较大;而 B 区的流域平均面积和河流的平均长度、河流平均比降都小于 A 区。这主要是因为 B 区所处浙江沿海,受台风影响较大,降雨强度大,河流长度及面积较小,洪峰模数远大于 A 区,符合水文分区的差异性和成因分析的原则。

表 2 A、B 分区主要水文气象和下垫面特征

分区	最大 1 h 面雨量/mm	最大 6 h 面雨量/mm	最大 12 h 面雨量/mm	流域平均 面积/ $\text{km}^2$	河流平均 长度/km	河流平均 比降/%	流域平均 形状系数	平均洪峰模数/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ )
A 区	29.6	96.8	130.7	641.43	49.88	1.78	0.251	2.327
B 区	38.5	125.6	184.0	399.82	37.41	1.35	0.268	4.426

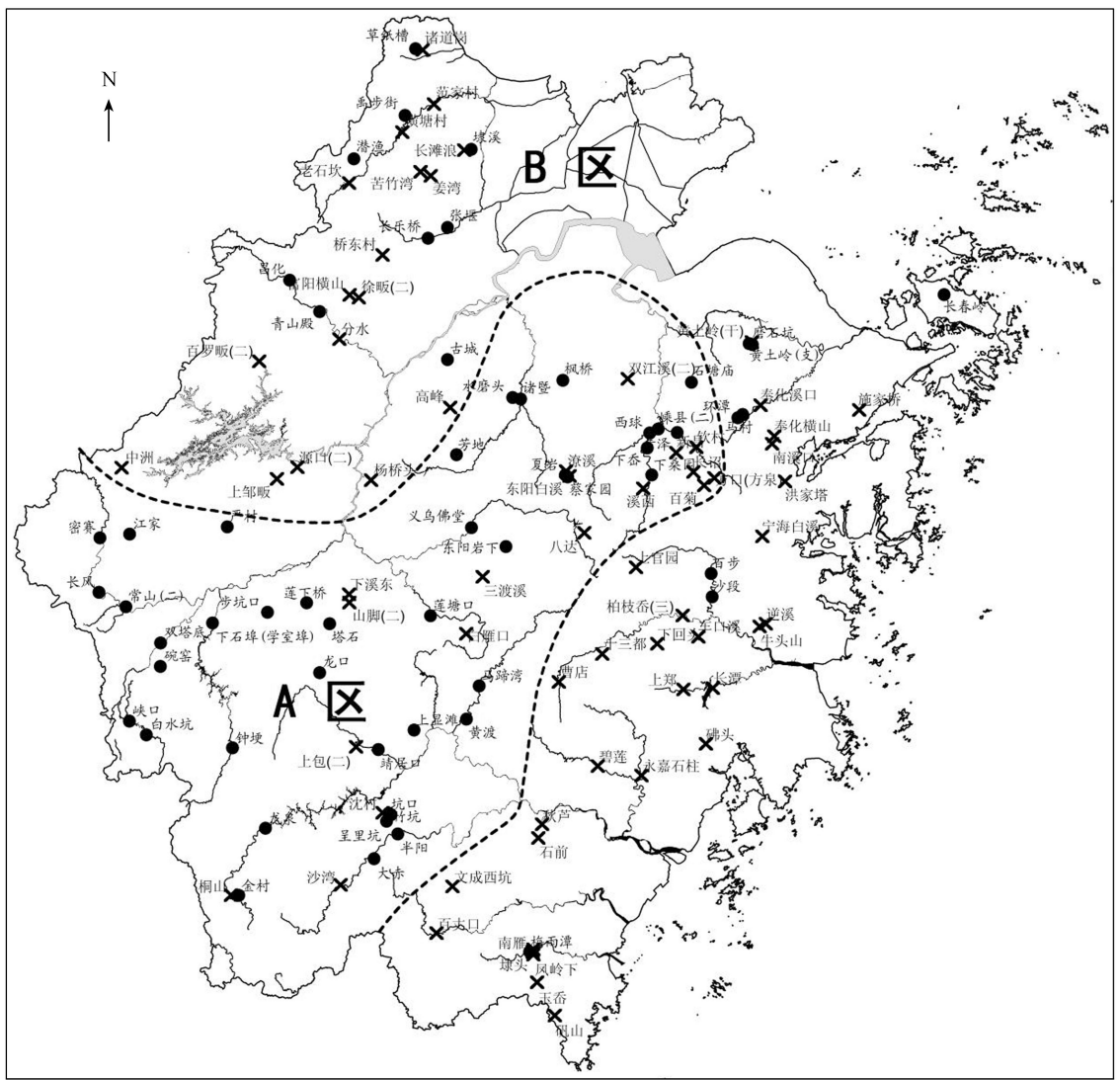


图3 浙江省洪水计算分区

### 3.4 与相关分区的一致性

#### 3.4.1 与土壤改良利用分区的一致性

浙江省土地利用类型多样。全省农业以种植业为基础,为农林牧和种养相结合的综合性农业经济结构,生产门类繁多、集约化水平高,多种经营比较发达;平原地区农业用地开发程度和生产水平较高;全省土地利用结构地域差异明显。有关部门根据土地改良利用特点将全省分为7个区<sup>[10]</sup>,其中Ⅲ、Ⅳ、Ⅵ区与洪水计算分区A区吻合,其余4个区与洪水计算分区的B区吻合。

#### 3.4.2 与植被类型区划的一致性

浙江省植物种类繁多,初步统计约有4422种,其中蕨类约418种,裸子植物约83种,被子植物约392种,大多与我国南方的植物区关系密切,也有不少与北方植物有显著联系。有关部门结合浙江省生态环境条件与优势植物群落组合分布特点,将全省分为3个植被区<sup>[10]</sup>。A区基本与浙闽山丘甜槠、木荷植被区一致;B区则与浙皖山丘、青冈苦槠林栽培区,

浙南、闽中山丘栲类、细柄蕈树林植被区基本一致。

#### 3.4.3 与中国水文区划的一致性

A区与《中国水文区划》<sup>[11]</sup>浙江省部分中的武夷、南岭山地水文分区IV<sub>2</sub>基本一致,B区与中国水文区划中湘、赣、浙西水文分区和浙、闽、粤沿海水文分区基本一致。

## 4 结语

本文选择相对独立、能够充分反映流域水文气象条件和自然地理特征,且以与计算任意地区洪峰流量成因有联系的时段雨强、流域面积、河流长度、主河道比降指标作为分区依据,采用区域回归分析方法,将浙江省分为A、B两个洪水计算区,该分区方法符合水文分区应遵循的综合分析原则、相似性与差异性原则、成因分析原则,分区间主要水文气象和流域(河流)特征存在成因联系,与浙江省土壤改良利用分区、植被分区和中国水文分区浙江省部分基本吻合,表明分区结果是合理的,该分区方法具有

可行性。

## 参考文献:

- [ 1 ] 郭生练. 设计洪水研究进展与评价[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
- [ 2 ] 庄广树. 基于地貌参数法的无资料地区洪水预报研究[J]. 水文,2011,31(5):68-71. (ZHUANG Guangshu. Flood forecasting in ungauged area based on geomorphic parameter method [J]. Hydrology, 2011, 31(5):68-71. (in Chinese))
- [ 3 ] 胡凤斌,沈言贤,金柳文,等. 流域水文模型参数的水文分区法[J]. 水文,1989(1):34-40. (HU Fengbin, SHEN yanxian, JIN Liuwen, et al. Hydrological regionalization method based on hydrological model parameters [J]. Hydrology,1989(1):34-40. (in Chinese))
- [ 4 ] 朱冀军,华鹏年,刘新生. 全国水文分区体系现状与指标体系[J]. 公路,2012(4):1-3. (ZHU Jijun, HUA Pengnian, LIU Xinsheng. The hydrological regionalization system and index system [J]. Highway, 2012(4):1-3. (in Chinese))
- [ 5 ] 冷荣梅. 四川省水文分区及川西水文站网规划方法建议[J]. 水文,1998(2):48-53. (LENG Rongmei. Hydrological regionalization and suggested hydrologic network planning method of Sichuan Province [J].

- Hydrology, 1998(2):48-53. (in Chinese))
- [ 6 ] 刘晓凤,李艳华,肖英华. 黑龙江省水文分区[J]. 黑龙江水专学报,2002(1):29-31. (LIU Xiaofeng, LI Yanhua, XIAO Yinghua. The hydrological regionalization in Heilongjiang Province [J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 2002(1):29-31. (in Chinese))
- [ 7 ] HALL M J, MINNS A W. The classification of hydrologically homogeneous regions [J]. Hydrological Sciences Journal, 1999,44(5):693-704.
- [ 8 ] ZHANG JINGYI, HALL M J. Regional flood frequency analysis for Gan-Ming River basin in China [J]. Journal of Hydrology,2004,196:98-117.
- [ 9 ] 宋晓猛,张建云,占车生,等. 基于DEM的数字流域特征提取研究进展[J]. 地理科学进展,2013,32(1):31-40. (SONG Xiaomeng, ZHANG Jianyun, ZHAN Chesheng, et al. Advances in digital watershed features extracting based on DEM [J]. Progress in Geography, 2013,32(1):31-40. (in Chinese))
- [ 10 ] 浙江省农业区划委员会办公室. 浙江省农业区划图集[M]. 北京:测绘出版社,1989.
- [ 11 ] 熊怡,张家桢. 中国水文区划[M]. 北京:科学出版社,1995.

(收稿日期:2014-03-31 编辑:熊水斌)

(上接第9页)

- [ 4 ] XIE Zuotao, YANG Fangli, FU Xiaoli. Mathematical model for flood routing in Jingjiang River and Dongting Lake network [J]. Water Science and Engineering, 2012, 5(3):259-268.
- [ 5 ] 茅泽育,相鹏,黄江川,等. Preissmann 四点隐格式对计算混合流动的适定性分析[J]. 科学技术与工程,2007,7(3):343-347. (MAO Zeyu, XIANG Peng, HUANG Jiangchuan, et al. Study on the invalidity of preissmann scheme for transcritical flow [J]. Science Technology and Engineering, 2007, 7(3):343-347. (in Chinese))
- [ 6 ] DJORDJEVIC S, PRODANOVIC D, WALTERS G A. Simulation of transcritical flow in pipe/channel networks [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 130(12):1167-1178.
- [ 7 ] 杨开林,白正裕. 调水渠网非恒定流的线性变换求解方法[J]. 水利学报,2004,35(3):35-41. (YANG Kailin, BAI Zhengyu. Linear transformation method for calculation of unsteady flow in water diversion networks [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 35(3):35-41. (in Chinese))
- [ 8 ] ETORO E F. Riemann solvers and numerical methods for fluid dynamics: a practical introduction [M]. 3rd ed. Berlin:Springer-Verlag,2009.
- [ 9 ] 谭维炎. 计算浅水动力学:有限体积法的应用[M]. 北京:清华大学出版社,1998:153-172.

- [ 10 ] 向小华,吴晓玲,王春艳,等. 基于通量差分裂的圣维南方程组离散方法[J]. 河海大学学报:自然科学版,2012,40(1):59-62. (XIANG Xiaohua, WU Xiaoling, WANG Chunyan, et al. Discrete for Saint-Venant equations based on flux difference splitting scheme [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2012, 40(1):59-62. (in Chinese))
- [ 11 ] 向小华,吴晓玲,王船海. 通量与源项和谐的一维浅水方程离散方法[J]. 河海大学学报:自然科学版,2009,37(6):721-726. (XIANG Xiaohua, WU Xiaoling, WANG Chuanhai. Well-balanced discrete method for determining flux and source terms in 1-D shallow water equations [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2009, 37(6):721-726. (in Chinese))
- [ 12 ] 向小华,吴晓玲,牛帅,等. 通量差分裂方法在一维河网模型中的应用[J]. 水科学进展,2013,24(6):894-900. (XIANG Xiaohua, WU Xiaoling, NIU Shuai, et al. An application of flux difference splitting scheme in river-network model [J]. Advances in Water Science, 2013, 24(6):894-900. (in Chinese))
- [ 13 ] VAZQUEZ-CENDON M E. Improved treatment of source terms in upwind schemes for the shallow water equations in channels with irregular geometry [J]. Journal of Computational Physics, 1999, 148(2):497-526.

(收稿日期:2015-01-04 编辑:熊水斌)