

# 基于 HEC-RAS 模型的汉江上游 东汉时期古洪水事件研究\*

王光朋, 查小春, 黄春长, 庞奖励, 张国芳  
(陕西师范大学地理科学与旅游学院, 陕西 西安 710119)

**摘要:**通过对汉江上游古洪水研究成果的整理,发现6个黄土-古土壤沉积剖面可能记录东汉时期一次古洪水事件。选取其中分布较为集中的4个沉积剖面(LJZ、TJZ、QFC-B、LWD-A)所在河段为研究对象,根据合适的地形数据及水文参数,运用HEC-RAS模型对东汉时期古洪水事件进行了水面线计算和演进模拟研究。结果表明,4个沉积剖面的模拟水位与野外调查计算水位较好吻合,误差均小于0.25%;河段内洪峰传播时间历时约3h,洪峰流量削减1.43%,这符合汉江上游的洪水传播特性。这一方面说明基于HEC-RAS模型对于沉积记录的东汉时期古洪水事件的模拟结果较为可靠;另一方面也说明4个沉积剖面可能记录东汉时期一次古洪水事件。该研究对于充分认识汉江上游的洪水运动规律具有一定的科学意义;对于流域的防洪减灾和洪水预报具有重要的现实意义。

**关键词:** 东汉时期;古洪水研究;HEC-RAS模型;汉江上游

**中图分类号:** P532 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2018)03-0044-10

## Research on palaeoflood event in the Eastern Han Dynasty in upper reaches of Hanjiang River based on HEC-RAS model

WANG Guangpeng, ZHA Xiaochun, HUANG Chunchang, PANG Jiangli, ZHANG Guofang  
(School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

**Abstract:** The study results of the palaeoflood in the upper reaches of the Hanjiang River suggest that six loess-paleosol sedimentary profiles may record a palaeoflood event in the Eastern Han Dynasty. Four sedimentary profiles (LJZ, TJZ, QFC-B and LWD-A) located in Yunxi-Yunxian section with relatively concentrated distribution are selected as research objects. Based on appropriate terrain data and appropriate hydrological parameters, the HEC-RAS model was used to calculate the water surface line and flood routing simulation in the Eastern Han Dynasty. The results show that the simulated water level of 4 profiles is in good agreement with the estimated water level in the field survey, and the errors are less than 0.25%. The peak propagation time is about 3 h, and the peak discharge is reduced by 1.43%, which is consistent with the flood propagation characteristics in the upper reaches of the Hanjiang River. This suggests that the simulation results based on the HEC-RAS model for palaeoflood events in the Eastern Han Dynasty are relatively reliable. In addition, it also shows that four sedimentary profiles may record a palaeoflood event in the Eastern Han Dynasty. The study has scientific significance for fully understanding the flood evolution law in the upper reaches of the Hanjiang River; it has important practical significance for flood

\* 收稿日期: 2017-04-09

基金项目: 国家社会科学基金(14BZS070); 国家自然科学基金(71471071); 中央高校基本科研业务费专项基金(GK201601006)

作者简介: 王光朋(1991年生),男;研究方向:环境变化与自然灾害;E-mail:wanguangpeng@snnu.edu.cn

通信作者: 查小春(1972年生),男;研究方向:环境变化与自然灾害;E-mail:zhaxch@snnu.edu.cn

control and flood forecasting in the Hanjiang River Basin.

**Key words:** Eastern Han Dynasty; palaeoflood research; HEC-RAS model; upper reaches of Hangjiang River

我国是一个洪水灾害频繁发生的国家。据不完全统计,自公元前 206 年 - 1949 年的 2100 多年间,较大的洪水灾害共发生 1 092 次,平均每两年发生一次<sup>[1]</sup>。近年来,全球气候变化导致水资源的时空分布发生重大调整,频繁发生的极端水文事件给人们的生命财产及国民经济带来了严重的损失<sup>[2]</sup>。因此,准确的掌握洪水资料、认识洪水的运动规律以及减少洪水灾害损失,就成为流域社会经济发展的迫切需求。汉江上游作为我国南水北调中线工程的重要水源地,在河流梯级开发和防洪减灾中都急需超长尺度的洪水资料。然而,由于我国水文观测资料的局限性,现有较短尺度的洪水数据既也不能满足河流综合开发治理的需要,也不能反映长时间尺度的洪水规律。因此,为解决这一问题,在汉江上游开展了古洪水水文学研究。

古洪水是指发生在全新世以来,包括历史时期,未被人们直接观察和记录的洪水事件<sup>[3]</sup>。古洪水研究的主要信息载体是古洪水滞流沉积物 (slack-water deposits, 简称 SWD), 根据古洪水 SWD 可以恢复古洪水的洪峰水位,进而可采用水文学或水力学方法重建古洪水的洪峰流量,从而为流域的洪水设计和防洪减灾提供基础数据。古洪水研究兴起于欧美各国,美国、西班牙、法国等在古洪水研究方面已经取得了卓著的成果<sup>[4-6]</sup>,我国学者在长江、黄河、淮河等某些河段也开展了古洪水的调查研究,并取得了一定的成果<sup>[7-11]</sup>。

近年来,黄春长教授带领的团队在汉江上游开展了古洪水水文学研究,采用年代学、考古学、地貌学及第四纪地层学、古洪水水文学等方法,挖掘和重建了汉江上游沉积记录中超长尺度的古洪水事件,这为汉江上游建立更为合理的洪峰流量 - 频率关系提供了可能<sup>[7-11]</sup>。其中,罗家滩 (LJT)、新滩村 (XTC-B)、李家咀 (LJZ)、庾家洲 (TJZ)、前坊村 (QFC-B)、辽瓦店 (LWD-A) 6 个沉积剖面均记录有距今 1900 - 1800 年的东汉时期 (公元 25 - 220 年) 的古洪水事件。卢越<sup>[12]</sup>、姬霖等<sup>[13]</sup>通过地层沉积记录分析、历史文献考证等研究认为:6 个沉积剖面记录的古洪水事件可能为东汉建安二年 (公元 197 年) 9 月的一次古洪水事件。本文旨在采用国外古洪水水文学研究广泛应用且具有良好物理成因基础的 HEC-RAS 模型<sup>[14]</sup>,根据实测

地形数据和水文参数,选取郧西 - 郧县段分布较为集中的 4 个沉积剖面 (LJZ、TJZ、QFC-B、LWD-A),从洪水水面线计算与洪水演进模拟两个角度对东汉时期古洪水事件进行了研究:基于 HEC-RAS 模型的恒定流模块计算了古洪水水面线;基于 HEC-RAS 模型的非恒定流模块进行了古洪水的演进模拟研究。该研究对于充分认识汉江上游的洪水演进规律具有一定的科学意义;对于汉江流域的防洪减灾和洪水预报具有重要的现实意义。

## 1 研究区概况

汉江,又称汉水,发源于陕西省宁强县潘家山,是长江第一大支流。干流全长 1 577 km,流域面积 15.9 万 km<sup>2</sup>,年均径流量 563 亿 m<sup>3</sup>,含沙量为 2.39 kg/m<sup>3</sup><sup>[7]</sup>。丹江口以上为汉江上游,穿行于秦岭和大巴山之间,河长约 925 km,集水面积为 9.52 万 km<sup>2</sup>,约占汉江流域面积的 60%。汉江上游属于北亚热带边缘季风湿润气候区,多年平均降水量在 700 ~ 1 000 mm 之间<sup>[7-8]</sup>,降水集中且经常出现高强度局部暴雨,加上汉江上游山高谷小,支流众多,因此历来洪水灾害频发。

本文研究河段主要为郧西 - 郧县河段 (图 1),其下伏基岩主要为古生代变质岩系,岩石坚硬,河谷切入基岩之中,形成了基岩峡谷。谷宽在 400 ~ 600 m 之间,水面宽 300 ~ 500 m,研究河段内较大支流主要有天河、堵河。研究河段上游的白河水文站,其上游河长 735 km,控制流域面积约 59 000 km<sup>2</sup>,是南水北调中线工程丹江口水库的入库控制站。自 1936 年建站以来实测最大洪峰流量  $Q = 31\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  (1983 年 8 月洪水);历史调查最大洪水发生在明万历十一年 (公元 1583 年),根据蜀河口石碑题刻记录推测白河水文站洪峰流量为  $34\ 800\ \text{m}^3/\text{s}$ <sup>[15]</sup>。

## 2 汉江上游东汉时期古洪水事件的沉积记录

古洪水水文学研究的主要信息载体是古洪水 SWD,它是悬移质泥沙在高水滞流状态下沉积形成,是确定古洪水发生年代及进行洪峰流量重建最为主要的依据。通过对近几年课题组在汉江上游古洪水研究成果的整理,结合 OSL 技术测年、环境

考古、地层年代框架对比和文化层断代等,发现安康 - 郧县段 LJT、XTC-B、LJZ、TJZ、QFC-B、LWD-A 6 个黄土 - 古土壤沉积剖面中顶部古洪水 SWD 均记录了距今 1 900 ~ 1 800 a 东汉时期 (公元 25 - 220 年) 的古洪水事件<sup>[13]</sup> (图 2)。卢越等<sup>[12]</sup>根据汉江上游东汉时期古洪水 SWD 的沉积记录和历史文献统计记录,从气候变化的角度讨论了东汉时期确实是极端洪水事件的频发期。姬霖等<sup>[13]</sup>从历史文献考证和洪痕沉积规律等方面的研究认为, LJT、XTC-B、LJZ、TJZ、QFC-B、LWD-

A 6 个黄土 - 古土壤沉积剖面中顶层古洪水 SWD 可能记录了东汉建安二年 (公元 197 年) 9 月的一次特大历史洪水事件。然而,前人研究是基于单剖面、单地点的古洪水洪峰流量重建结果,却没有进行整体河段的古洪水水面线计算,更没有从水力学角度对东汉时期的古洪水进行演进模拟研究。因此,本文选取分布较为集中的 4 个沉积剖面 (LJZ、TJZ、QFC-B 和 LWD-A),基于 HEC-RAS 模型对东汉时期古洪水进行了洪水水面线计算和洪水演进研究,以期为流域的防洪减灾提供一定的科学依据。

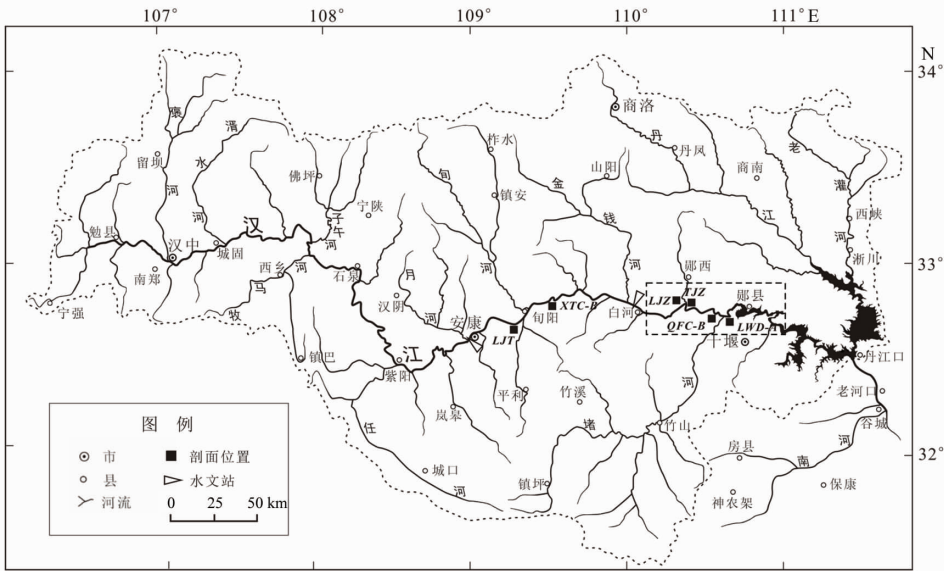


图 1 汉江上游水系和研究剖面位置图

Fig. 1 River system and the location of study sites in upper reaches of Hanjiang River

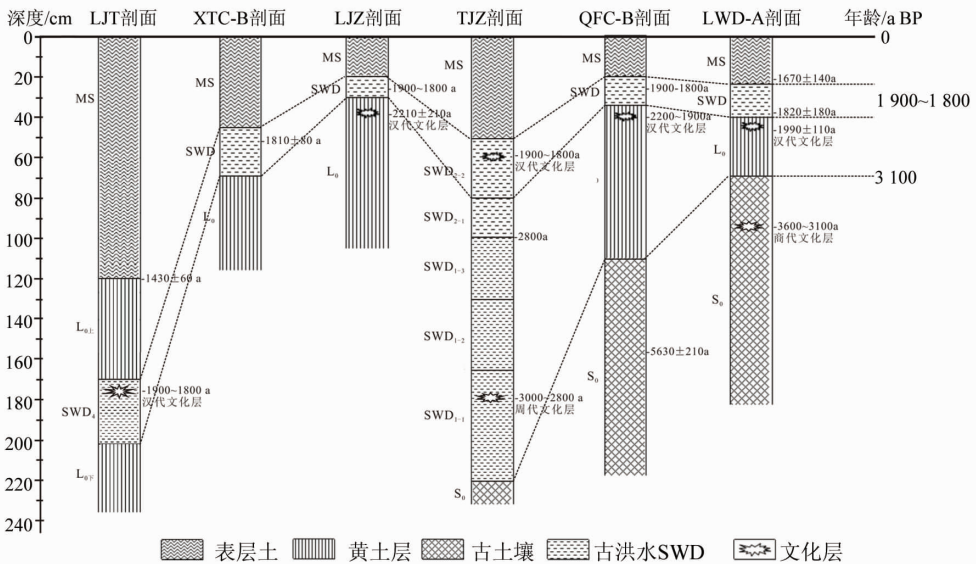


图 2 汉江上游安康 - 郧县段 7 个剖面地层年代对比

Fig. 2 Stratigraphic correlation of seven profiles in Ankang-Yunxian section of upper reaches of Hanjiang River

## 3 汉江上游暴雨洪水特性及 HEC-RAS 模型的构建

### 3.1 汉江上游暴雨洪水特性分析

文献 [16-20] 对汉江上游暴雨洪水特性的研究认为, 由于汉江上游地区受西南季风和东南季风的交互影响, 多局地暴雨天气, 且暴雨中心主要位于安康以上地区, 尤其是引起特大洪水的暴雨来源更是如此。例如明万历十一年 (公元 1583 年) 汉江上游特大洪水, 是汉江上游近 900 a 来最大的一次洪水<sup>[1]</sup>。据《陕西通志》<sup>[21]</sup> 记载“万历十一年癸未夏四月, 兴安州 (今安康) 猛雨数日, 汉江溢溺……全城淹没一空, 溺死者五千余人”, 且上游的《石泉县志》<sup>[22]</sup> 也有“四月汉水溢, 居民溺死无算”的记载, 可见 1583 年洪水给汉江流域人民带来了严重损失。《中国历史大洪水》<sup>[1]</sup> 对 1583 年洪水进行了较为详细的研究, 经查阅相关县志资料, 汉江上游的略阳、汉中、以及商南、郧西等州县地方志中均未提及该年有雨水灾情, 洪水记录仅出现在安康、石泉等县志中; 因此推断 1583 年洪水的暴雨中心位于汉江南岸大巴山区的牧马河、任河、岚河一带 (图 1), 据此估计暴雨中心在安康上游的石泉、西乡、岚皋等区域。

再如汉江上游 1983 年 8 月特大洪水, 安康、白水水文站实测洪峰流量均为 31 000 m<sup>3</sup>/s, 在实测洪水数据序列中排位第一, 是建国以来汉江上游最为严重的一次洪水灾害。这次特大洪水灾害使得安康老城区遭受了“灭顶之灾”, 损失高达 4 亿<sup>[23]</sup>。据杨之麟<sup>[24]</sup> 研究, 1983 年特大洪水的暴雨中心位于大巴山南侧, 其降水过程为: 7 月 27 日, 汉中上游西部地区开始降雨; 28、29 日汉中地区普降大雨和暴雨; 30 日安康西部的石泉、西乡县出现大雨或暴雨。从整个降雨过程来看, 洪水主要来源于安康上游的暴雨, 石泉以上流域洪量占了 58%, 石泉-安康区间占了 42%<sup>[24]</sup>。此外, 李庆宝<sup>[25]</sup> 对汉江上游历史调查洪水和实测大洪水的研究也表明, 汉江上游致灾大洪水的暴雨主要来自于安康及其以上地区, 且特大洪水的洪水过程线具有暴涨暴落、涨洪段与落洪段基本对称的特点。由此, 对汉江上游东汉时期古洪水事件的水面线计算和洪水演进模拟研究时, 假定其暴雨中心位于安康及其以上地区, 且不考虑区间支流汇入的影响。

### 3.2 HEC-RAS 模型简介及水文参数的选取

#### 3.2.1 HEC-RAS 模型简介

HEC-RAS 模型<sup>[14]</sup> (Hydrologic Engineering Center-River Analysis Sys-

tem) 是由美国陆军工程兵团 (USACE) 开发, 主要用于天然河道和人工渠道一维水流计算的水力学模型。主要包括 4 大模块: 恒定流水面线计算、非恒定流洪水演进模拟 (一维/二维)、泥沙运移和水质分析。本文主要运用 HEC-RAS 模型的恒定流水面线计算模块和非恒定流洪水演进模拟模块, 其基本原理是基于能量方程 (1)、连续方程 (2) 和动量方程 (3), 表达式为

$$WS_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e = WS_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \lambda \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (3)$$

式中  $WS_1$ 、 $WS_2$  为断面水深 (m);  $Z$  为断面河底高程 (m);  $v$  为断面平均流速 (m/s);  $\alpha$  为断面的动能修正系数;  $g$  为重力加速度 (m/s<sup>2</sup>);  $h_e$  为水头损失 (m);  $\rho$  为流体密度 (kg/m<sup>3</sup>);  $t$  为时间 (s);  $u$  为断面流速 (m/s);  $f_i$  为质量力 (m/s<sup>2</sup>);  $P$  为压力 (N/m<sup>2</sup>);  $\lambda$  为流体运动黏滞系数 (N·s/m<sup>2</sup>);  $x$  为断面之间的距离 (m); 下标 1、2 表示断面 1、2; 下标  $i$ 、 $j$  表示断面  $i$ 、 $j$ 。

#### 3.2.2 地形数据和水文参数的选取

由图 1 可知, 汉江上游东汉时期 LJZ、TJZ、QFC-B 和 LWD-A 4 个黄土-古土壤沉积剖面较为集中的分布在郧西-郧县近 50 km 的河段中, 因此本文仅选取这 4 个沉积剖面所在河段作为古洪水研究河段, 基于 HEC-RAS 模型, 从洪水水面线计算和洪水演进两个角度对东汉时期古洪水事件进行深入的研究。

##### 1) 河槽横断面的确定。

通过对汉江上游郧西-郧县河段的实地调查, 该河段谷宽在 400~600 m 之间, 水面宽约为 300~500 m, 下伏基岩为古生代变质岩, 河槽为典型的基岩峡谷, 且在全新世时期总体变化较小<sup>[26]</sup>, 适合东汉时期古洪水事件的洪水水面线计算和演进模拟研究。考察过程中使用美国生产的 Contour-XLR1-LC5279 型精密激光测距仪和高精度 GPS, 对研究河段内河槽断面形态和河床比降等进行了精确的测量, 实测了 100 个大断面, 并依据实测等高线地图 (1:10 000) 内插了 123 个河槽横断面 (图 3), 以确保古洪水研究过程中地形数据的可靠性。此外, 在 ArcGIS 软件中结合多幅高分辨率、全要素实测地形图 (1:10 000), 对汉江上游郧西-郧县河流域进行了矢量化, 保留地图原有的 1980 西安坐标系, 将投影系统设置为通用墨卡托 6°分

带投影 (Universal Transverse Mercator Projection, UTM), 最终生成了 TIN 网格。然后在 ArcGIS 中的 HEC-GeoRAS 模块下进行地形数据的提取, 包括模

型运行所需要的河网位置、中泓线、河岸线、以及必要的水工建筑物等。

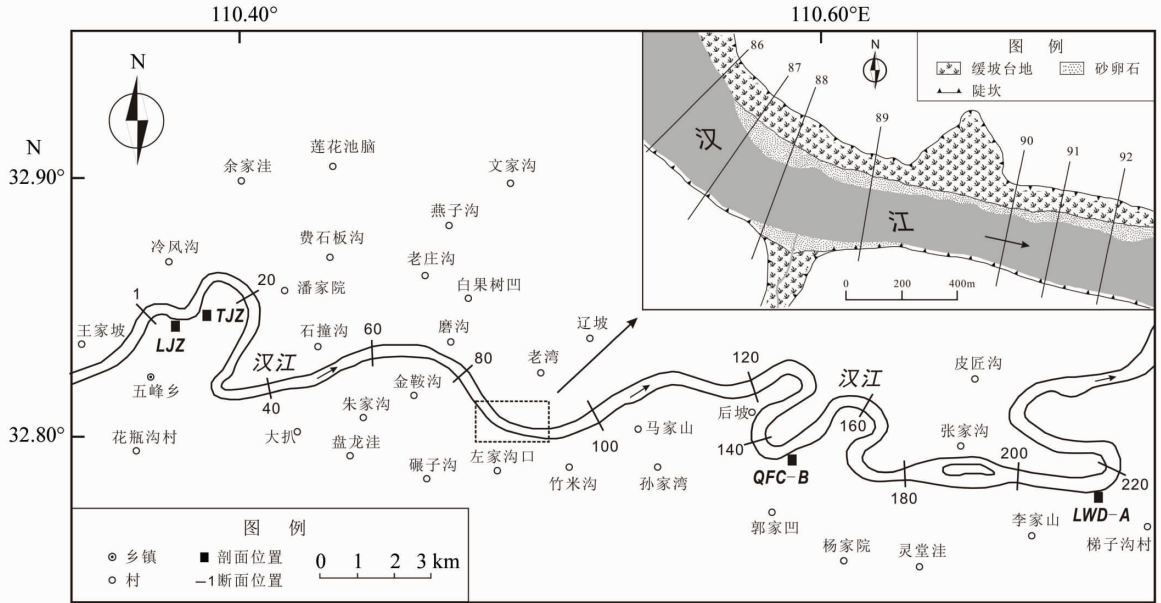


图 3 汉江上游郧西 - 郧县河段横断面分布图

Fig. 3 Cross section distribution of Yunxi-Yunxian reach in upper reaches of the Hanjiang River

## 2) 糙率系数的选取。

通过对汉江上游郧西 - 郧县段的实地考察, 发现河流两岸阶地保存相对完整, 两岸均长有杂草, 高处长有攀岩灌木和树木。参照我国水利水电工程设计中天然河道曼宁糙率的取值标准<sup>[27]</sup>, 确定主河槽曼宁糙率系数取  $n = 0.030$ , 考虑到河岸缓坡较陡坡植被茂盛, 故缓坡曼宁糙率系数取  $n = 0.055$ 、陡坡曼宁糙率系数取  $n = 0.050$ , 并根据考察记录的实际情况进行适当调整, 调整幅度为  $[-0.005, +0.005]$ 。此外, 根据河流断面形态变化情况值表设置河流的收缩、扩张系数分别为  $0.1$ 、 $0.3$ <sup>[14]</sup>。

## 3) 边界条件和初始条件。

在运用 HEC-RAS 模型的恒定流模块计算东汉时期古洪水水面线时, 上游输入重建古洪水洪峰流量, 下游选用实际调查的洪峰水位作为下游边界条件; 在运用 HEC-RAS 模型的非恒定流模块进行东汉时期古洪水演进模拟研究时, 上游入流边界输入根据水文站实测数据设计推求的汉江上游东汉时期古洪水流量过程线 (根据水文站 1983 年实测洪水过程线按峰值放大求得, 图 6), 下游出流边界选用根据实测断面数据计算的水位 - 流量关系曲线。

此外, 根据河段的实际情况设置相应的初始条件, 以保证 HEC-RAS 模型的平稳运行。

## 4 结果分析与验证

### 4.1 汉江上游东汉时期特大洪水计算研究

汉江上游记录东汉时期古洪水事件的 4 个沉积剖面, 其洪峰水位的恢复均采用了“古洪水 SWD 厚度与含沙量法<sup>[28]</sup>”计算求得。依据上文选取的地形数据和水文参数, 基于 HEC-RAS 模型的恒定流模块对 4 个沉积剖面进行了洪水水面线计算, 当模拟水位与采用“古洪水 SWD 厚度与含沙量法”所计算水位达到最佳吻合时, 此时洪峰流量的模拟值为  $60\ 800\ \text{m}^3/\text{s}$ , 介于各沉积剖面古洪水洪峰流量值的重建值之间<sup>[7,10,11,29]</sup>。由表 1 和图 4 可知, 东汉时期古洪水在 4 个沉积剖面处的模拟水位分别为:  $186.03\ \text{m}$  (LJZ)、 $185.16\ \text{m}$  (TJZ)、 $168.20\ \text{m}$  (QFC-B)、 $159.92\ \text{m}$  (LWD-A), 与采用“古洪水 SWD 厚度与含沙量法”计算的古洪水洪峰水位相对比, 误差在  $-0.18\% \sim 0.25\%$  之间。模拟水位与实测水位较好吻合, 这一方面说明基于 HEC-RAS 模型计算的汉江上游东汉时期古洪水水面线是合理的, 4 个沉积剖面中顶层古洪水 SWD 可能

记录了东汉时期一次古洪水事件；另一方面也说明东汉时期古洪水水面线计算过程中所选取的地形数

据是准确可靠的。

表 1 基于 HEC-RAS 模型的汉江上游东汉时期古洪水模拟水位与调查水位对比  
Table 1 Comparison of the simulated water and the investigated water level of palaeoflood in the upper reaches of the Hanjiang River in Eastern Han Dynasty based on HEC-RAS model

剖面地点	调查确定水位/m <sup>1)</sup>	HEC-RAS 模拟水位/m	水位误差/m	相对误差/%
LJZ	185.8	186.03	+0.23	+0.12
TJZ	184.7	185.16	+0.46	+0.25
QFC-B	168.5	168.20	-0.30	-0.18
LWD-A	159.8	159.92	+0.12	+0.08

1) 洪峰水位采用“古洪水 SWD 厚度与含沙量法”确定

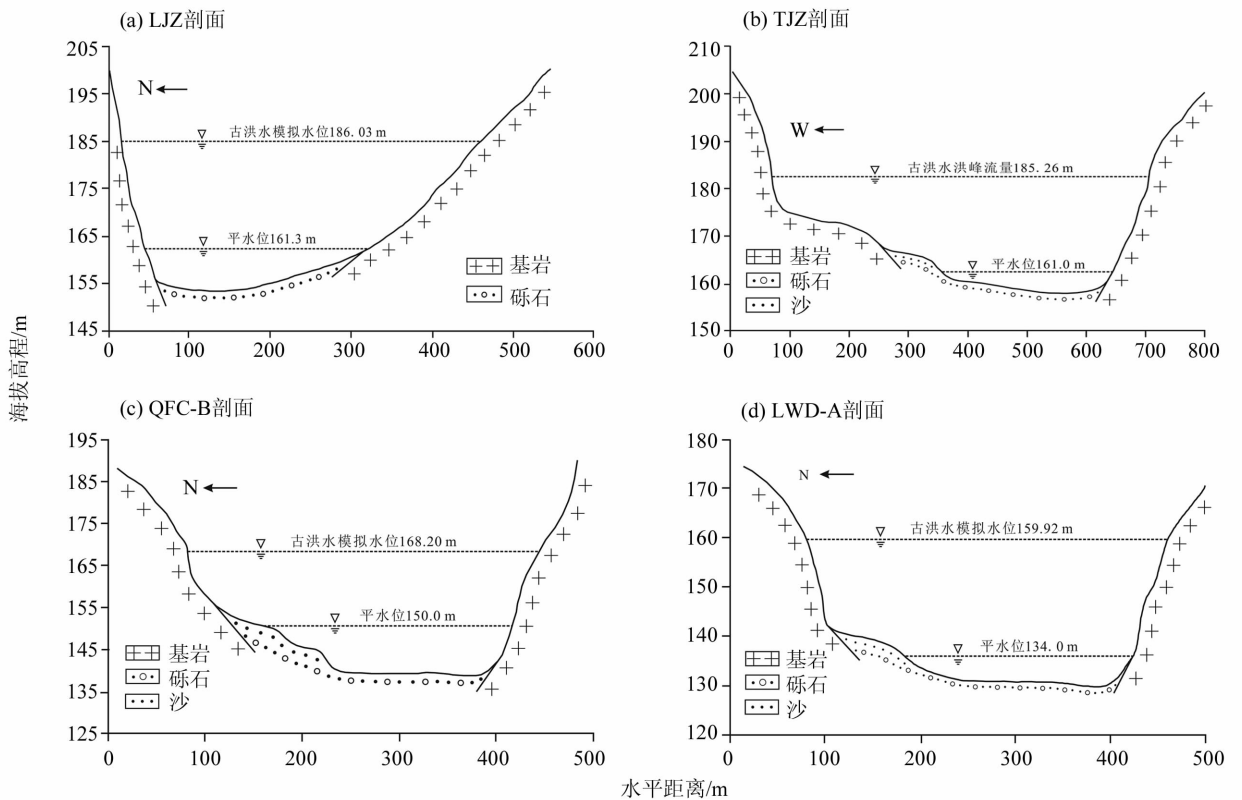


图 4 汉江上游典型河槽断面形态及古洪水洪峰水位

Fig. 4 Typical cross section and flood peak level of palaeoflood in upper reaches of Hanjiang River

为了进一步验证河槽断面数据和水文参数选取的合理性，在古洪水野外调查过程中，对沉积剖面附近的河段展开了近年来特大洪水事件的洪痕调查。通过对研究河段的实地走访调查以及群众的现场指认，共发现 1983 年 8 月特大洪水洪痕 12 处。根据水文站实测数据，采用 HEC-RAS 模型计算了 1983 年 8 月特大洪水的水面线，并与实地调查的 12 处洪痕所指示的洪水位进行了对比分析（图 5）。经计算，模拟水位与实地调查的洪痕水位

最大误差为 0.64 m，相对误差介于 -0.37% ~ 0.26% 之间，且计算得到模拟水位序列与实地调查水位序列的确定性系数 ( $R^2$ ) 大于 0.95，根据我国《水文情报预报规范》<sup>[30]</sup> 的相关规定，模拟结果较为准确。此外，由图 5 可知，基于 HEC-RAS 模型计算的东汉时期古洪水水面线与 1983 年特大洪水水面线基本平行，这也能说明基于 HEC-RAS 模型模拟的东汉时期古洪水水面线是比较合理的。

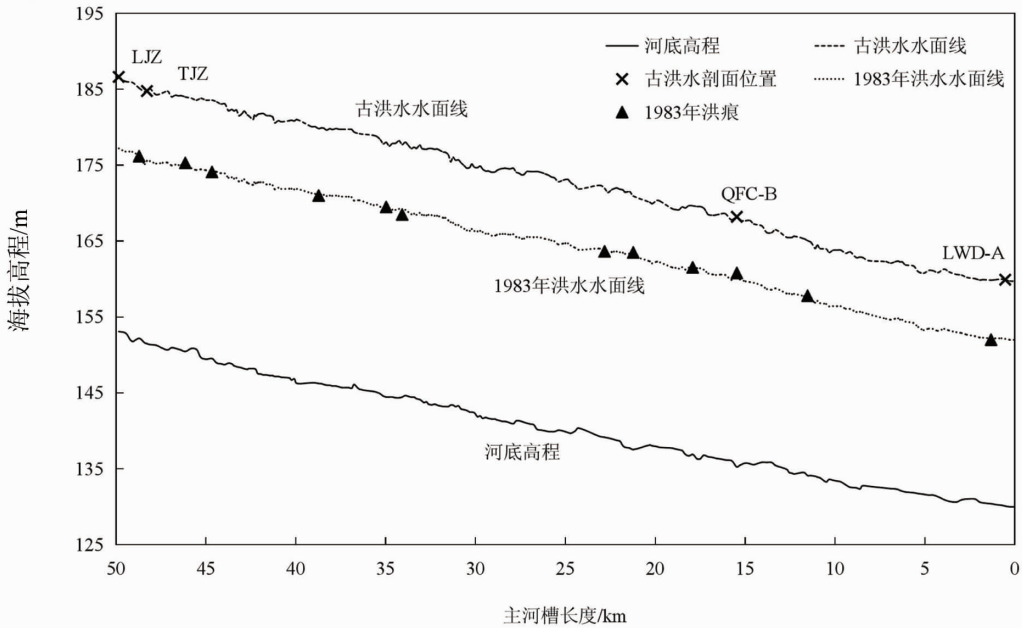


图 5 基于 HEC-RAS 模型建立的汉江上游东汉时期郧西 - 郧县古洪水水面线

Fig. 5 Calculated water surface profiles of palaeoflood in Eastern Han Dynasty by using HEC-RAS model in Yunxi-Yunxian section of upper reaches Hanjiang River

#### 4.2 汉江上游东汉时期古洪水演进模拟研究

河道洪水演进模拟是流域洪水预报与汇流计算的主要内容和关键<sup>[31]</sup>。本文根据汉江上游的暴雨洪水特性,采用《工程水文学》<sup>[32]</sup>中水利水电工程洪水设计的方法,选用白河水文站 1983 年 8 月实测洪水过程线作为典型洪水过程线,结合水文频率计算,采用同倍比放大法(按峰值放大)设计求得了东汉时期古洪水事件的流量过程线,并根据水文站实测洪水过程线的特征对古洪水流量过程线进行了修匀处理,然后采用 HEC-RAS 模型的非恒定流模块对东汉时期古洪水事件进行了演进模拟研究。模拟了古洪水在郧西 - 郧县河段的传播过程,并可视化展示了古洪水在 4 个沉积剖面处的流量过程线和水位过程线。

由图 6 可知,汉江上游东汉时期古洪水从研究河段上游的 LJZ 剖面演进到下游河段 LWD-A 剖面,其洪峰传播时间约为 3 h。以汉江上游 2010 年“7·18”洪水( $Q = 21\,400\text{ m}^3/\text{s}$ )的洪峰传播为例,洪峰从白河县传播到丹江口水库历时约 12 h<sup>[33-34]</sup>,由此估计研究河段内(郧西 - 郧县段 LJZ 剖面至

LWD-A 剖面河段)洪峰传播时间为 4.5 h 左右;经走访调查研究河段内的村民得知,1983 年 8 月特大洪水在研究河段内的洪峰传播时间约为 4 h,据此判断,东汉时期古洪水事件的演进模拟研究是合理的。

通过对比古洪水在 4 个沉积剖面处的流量过程线与水位过程线可知,汉江上游郧西 - 郧县段河道的调蓄对特大洪水的削峰作用不明显。经计算,洪水从研究河段上游的 LJZ 剖面演进到下游 LWD-A 剖面,其洪峰流量仅削减 1.43%。由该河段典型河槽断面形态可知(图 4),河槽断面形态多为“V”型或“U”型基岩峡谷,河段下伏基岩坚硬且透水能力较差,故东汉时期古洪水在河段内向下游演进过程中损失较小,基本上很少发生渗漏和漫溢现象;再加上河道蜿蜒曲折极易导致洪水下泄不畅,水位雍高。这也是汉江上游特大洪水频发的重要原因之一。综上所述,基于 HEC-RAS 模型在郧西 - 郧县段对东汉时期古洪水的演进模拟研究是科学合理的。这对于汉江上游的洪水预报、认识洪水的运动规律及防洪减灾具有重要的现实意义。

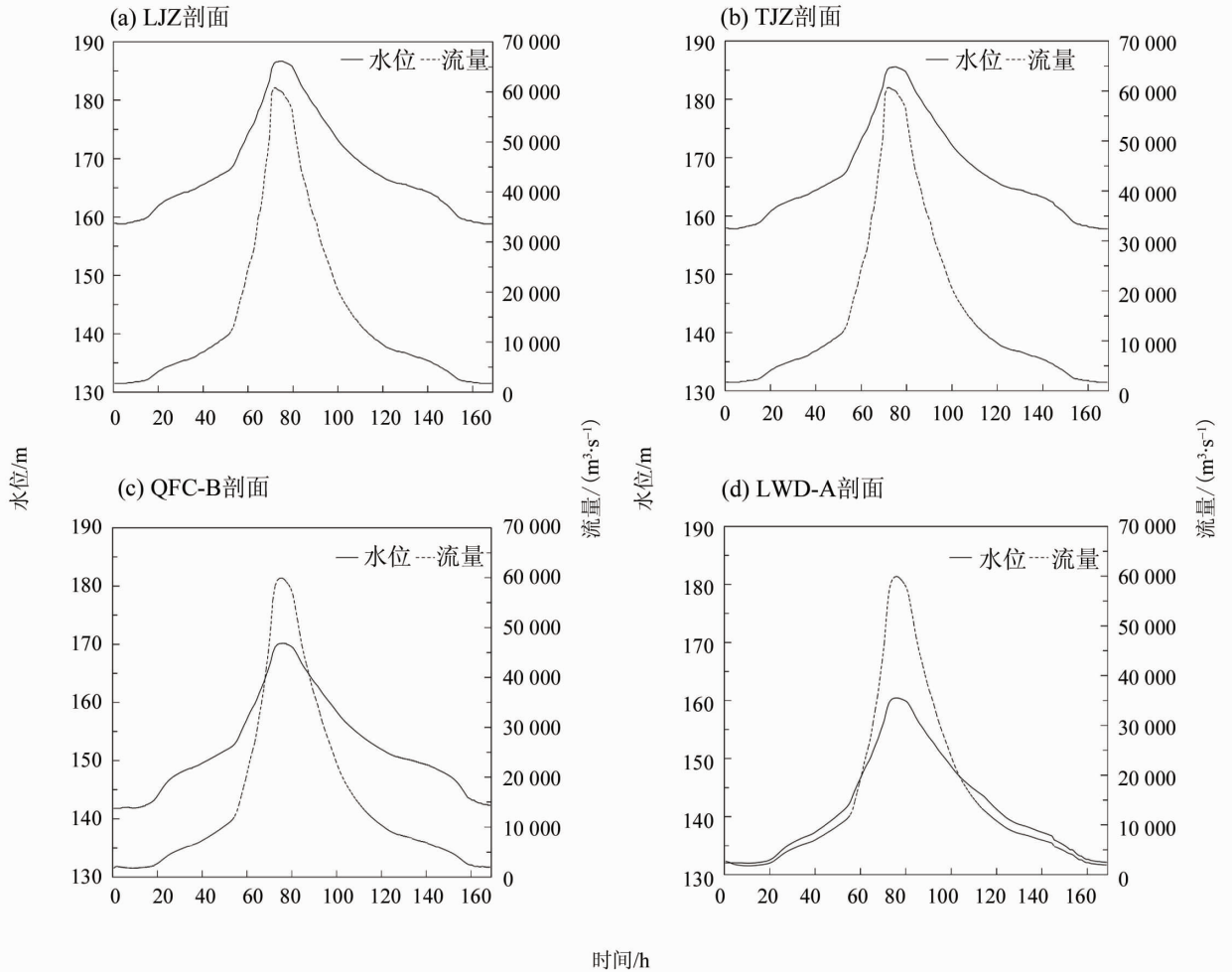


图 6 汉江上游东汉时期 4 个剖面处古洪水水位过程线与流量过程线

Fig. 6 Palaeoflood stages hydrograph and discharge hydrograph of four profiles in the upper reaches of Hanjiang River in Eastern Han Dynasty

## 5 结 论

1) 通过对汉江上游古洪水水文学研究成果的整理,并结合地层对比和光释光测年,汉江上游安康-郧县段 LJT、XTC-B、LJZ、TJZ、QFC-B、LWD-A 6 个黄土-古土壤沉积剖面中均记录有距今 1 900~1 800 a 东汉时期(公元 25~220 年)的古洪水事件。

2) 选取郧县-郧西段分布较为集中的 LJZ、TJZ、QFC-B、LWD-A 4 个沉积剖面,根据适当的地形数据和水文参数,基于 HEC-RAS 模型的恒定流模块计算了东汉时期古洪水水面线,其模拟水位分别为:186.03 m (LJZ)、185.16 m (TJZ)、168.20 m (QFC-B)、159.92 m (LWD-A)。与采用“古洪水 SWD 厚度与含沙量法”恢复的古洪水水位相对比,误差介于-0.18%~0.25%之间。此外,采用 1983 年特大洪水进行了 HEC-RAS 模型的

可靠性验证;经计算,1983 年特大洪水的模拟水位误差介于-0.37%~0.26%之间。这说明基于 HEC-RAS 模型计算的东汉时期古洪水水面线是可靠的,所选取的地形数据和水文参数合理的;同时也说明 4 个沉积剖面顶层古洪水 SWD 可能记录东汉时期一次古洪水事件。

3) 在相同的研究河段,根据相同的地形数据和水文参数,基于 HEC-RAS 模型的非恒定流模块对东汉时期古洪水事件进行了演进模拟研究。经计算,东汉时期古洪水从河段上游的 LJZ 剖面演进到下游的 LWD-A 剖面历时约 3 h,在洪水演进过程中洪峰流量仅削减 1.43%。结合汉江上游 2010 年“7·18”洪水的演进过程分析可知,这是因为该段汉江为基岩峡谷河槽,对洪水的调蓄能力较弱,这符合汉江上游的洪水传播特性。该研究对于充分认识该河段的洪水运动规律和防洪减灾具有重要的现实意义。

## 参考文献:

- [1] 胡明思, 骆承政. 中国历史大洪水[M]. 北京: 中国书店, 1989: 1-3.  
HU Mingsi, LUO Chengzheng. China's Historical Large Floods[M]. Beijing: China Bookshop Press, 1989: 1-3.
- [2] 乐嘉祥. 1949年以来中国的大洪水[J]. 防汛与抗旱, 1999(3): 78-92.  
LE Jiexiang. The great flood in China since 1949[J]. China Flood & Drought Mangement. 1999(3): 78-92.
- [3] 王恒松, 黄春长, 周亚利, 等. 关中西部千河流域全新世古洪水事件光释光测年研究[J]. 中国科学(地球科学), 2012, 42(3): 390-401.  
WANG Hengsong, HUANG Chunchang, ZHOU Yali, et al. OSL dating of the Holocene paleoflood events on the Qianhe River in the Guanzhong Basin, China[J]. Science China(Earth Sciences), 2012, 42(3): 390-401.
- [4] BAKER V R. Palaeoflood hydrology in a global context[J]. Catena, 2006, 66(1/2): 161-168.
- [5] THORNDYCRRAFT V R, BENITO G. The Holocene fluvial chronology of Spain: Evidence from a newly compiled radiocarbon database[J]. Quaternary Science Reviews, 2006, 25: 223-234.
- [6] SHEFFER N A, RICO M, ENZEL Y, et al. The palaeoflood record of the Gardon River, France: A comparison with the extreme 2002 flood event[J]. Geomorphology, 2008, 98: 71-83.
- [7] HUANG Chunchang, PANG Jiangli, ZHA Xiaochun, et al. extreme hydro-climatic events during the period AD 200-300 recorded by slackwater deposits in the upper Hanjiang River valley, China[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2013, 374(433): 274-283.
- [8] ZHA Xiaochun, HUANG Chunchang, PANG Jiangli, et al. Reconstructing the palaeoflood events from slackwater deposits in the upper reaches of Hanjiang River, China[J]. Quaternary International, 2015, 380: 358-367.
- [9] ZHA Xiaochun, HUANG Chunchang, PANG Jiangli, et al. Reconstructing the extreme palaeoflood events during 3200-2800 a BP in the upper reaches of Hanjiang River Valley, China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24(3): 446-456.
- [10] 刘科, 查小春, 黄春长, 等. 基于 HEC-RAS 模型的汉江上游麇家洲河段古洪水流量重建研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(10): 184-190.  
LIU Ke, ZHA Xiaochun, HUANG Chunchang, et al. Reconstruction of the palaeoflood discharges at Tuojiazhou section in upper reaches of river Hanjiang by HEC-RAS model[J]. Journal of Arid Land Resources & Environment, 2014, 28(10): 184-190.
- [11] 刘涛, 黄春长, 庞奖励, 等. 汉江上游郧县五峰段史前大洪水水文学恢复研究[J]. 地理学报, 2013, 68(11): 1568-1577.  
LIU Tao, HUANG Chunchang, PANG Jiangli, et al. Hydrological reconstructions of the pre-historical great floods in the Wufeng Reach of Yunxian County in the upper Hanjiang River[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(11): 1568-1577.
- [12] 卢越, 查小春, 黄春长, 等. 汉江上游东汉时期洪水事件的文献记录[J]. 干旱区研究, 2014, 31(3): 489-494.  
LU Yue, ZHA Xiaochun, HUANG Chunchang, et al. Extraordinary flood events in the Eastern Han Dynasty recorded by historical documents in the upper reaches of the Hanjiang River[J]. Arid Land Geography, 2014, 31(3): 489-494.
- [13] 姬霖. 汉江上游东汉时期特大历史洪水考证研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2016.  
JI Lin. Textual research on the Great historical flood in the Eastern Han Dynasty in the Upper Reaches of Hanjiang River[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2016.
- [14] GARY W. HEC-RAS river analysis system hydraulic reference manual[R]. USA: U S Army Corps of Engineers, 2010.
- [15] 杨永德, 邹宁, 郭希望. 汉江白河水文站设计洪水分析计算[J]. 水资源研究, 1997, 18(3): 36-38.  
YANG Yongde, ZOU Ning, GUO Xiwang, et al. Analysis and calculation of design flood at Baihe gauge station in Hanjiang River[J]. Water Resources Research, 1997, 18(3): 36-38.
- [16] 张楷. 汉江上游暴雨洪水特性研究[J]. 灾害学, 2006, 21(3): 98-102.  
ZHANG Kai. Analyses of rainstorm and flood characteristics in the upper reaches of Hanjiang River[J]. Journal of Catastrophology, 2006, 21(3): 98-102.
- [17] 苏连璧. 汉江洪水成因及其出现规律[J]. 人民长江, 1981(4): 84-89.  
SU Lianbi. Cause and regularity occurrence of flood in Hanjiang River[J]. Yangtze River, 1981(4): 84-89.
- [18] 李文浩. 汉江上游流域水文特性分析[J]. 水资源与水工程学报, 2004, 15(2): 54-58.  
LI Wenhao. Hydrologic characteristics analysis in the upper reaches of Hanjiang River[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2004, 15(2): 54-58.
- [19] 辛琛, 邓瞻. 汉江上游暴雨洪水特性浅析[J]. 水电站设计, 2013, 29(2): 54-56.

- XIN Chen, DENG Zhan. Analysis on characteristics of storm flood in upper reaches of Hanjiang River[J]. Design of Hydroelectric Power Station, 2013, 29(2):54-56.
- [20] 党红梅, 周义兵, 李定安, 等. 汉江流域致灾暴雨的天气学分析[J]. 陕西气象, 2011(5):14-17.  
DANG Hongmei, ZHOU Yibing, LI Dingan, et al. Synoptic analysis caused by disaster rainstorm in upper reaches of Hanjiang River[J]. Journal of Shaanxi Meteorology, 2011(5):14-17.
- [21] 赵廷瑞. 陕西通志[M]. 西安: 三秦出版社, 2006.
- [22] 石泉县地方志编纂委员会. 石泉县志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1991.
- [23] 来天成, 郝宗刚. 安康“83.8”洪水灾害及防汛工作简析[J]. 灾害学, 1991(3):55-60.  
LAI Tiancheng, HAO Zonggang. A brief analysis on Ankang “83.8” flood and flood control work[J]. Journal of Catastrophology, 1991(3):55-60.
- [24] 杨之麟. 汉江上游“83.7”特大洪水与安康水电站设计洪水复核[J]. 水力发电, 1987(4):6-9.  
YANG Zhilin. The “83.7” flood in the upper reaches of Hanjiang River and the review of the design flood of Ankang Hydropower Station[J]. Water Power, 1987(4):6-9.
- [25] 李庆宝. 汉江上游十大洪水气象特征分析[J]. 灾害学, 1991(2):43-48.  
LI Qingbao. Meteorological characters of the ten floods in upper reaches of Hanjiang River[J]. Journal of Catastrophology, 1991(2):43-48.
- [26] 沈玉昌. 汉水河谷的地貌及其发育历史[J]. 地理学报, 1956, 22(4):295-321.  
SHEN Yuchang. Geomorphology of the Hanshui valley[J]. Acta Geographica Sinica, 1956, 22(4):295-321.
- [27] 武汉水利电力学院水力学教研室. 水力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1986:335-336.
- [28] 黄春长, 李晓刚, 庞奖励, 等. 黄河永和关段全新世古洪水研究[J]. 地理学报, 2012, 67(11):1493-1504.
- HUANG Chunchang, LI Xiaogang, PANG Jiangli, et al. Palaeoflood sedimentological and hydrological studies on the Yongheguan reach in the middle Yellow River[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(11):1493-1504.
- [29] 乔晶, 庞奖励, 黄春长, 等. 汉江上游郧县前坊段全新世古洪水水文学研究[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(5):533-539.  
QIAO Jing, PANG Jiangli, HUANG Chunchang, et al. Palaeoflood hydrological study in the Qianfang section of Yunxian county in the upper reaches of the Hanjiang River[J]. Resources & Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(5):533-539.
- [30] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 水文情报预报规范(GB/T 22482-2008)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [31] 程亮, 王宗志, 胡四一, 等. 强烈下渗条件下天然河道洪水演进模拟方法[J]. 中国科学: 地球科学, 2015(2):207-215.  
CHENG Liang, WANG Zongzhi, Hu Siyi, et al. Flood routing model incorporating intensive streambed infiltration[J]. Science China: Earth Sciences, 2015(2):207-215.
- [32] 詹道江, 叶守泽. 工程水文学[M]. 3版. 北京: 中国水利水电出版社, 2000:234-270.
- [33] 冯宝飞, 高袁, 陈瑜彬, 等. 丹江口水库“10.07”洪水水文气象耦合预报调度[J]. 人民长江, 2011, 42(6):41-44.  
FENG Baofei, GAO Yuan, CHENG Yubin, et al. Coupling technology of hydrology and meteorology for forecast and regulation of flood of Danjiangkou Reservoir in July, 2010[J]. Yangtze River, 2011, 42(6):41-44.
- [34] 沈桂环, 李军社. 汉江上游“2010.7”特大暴雨洪水分析[J]. 甘肃科技纵横, 2011, 40(3):66-67.  
SHEN Guihuan, LI Junshe. Analysis of “2010.7” Extraordinary Storm Flood in Upper Reaches of Hanjiang River[J]. Scientific & Technical Information of Gansu, 2011, 40(3):66-67.