

汉江上游沉积记录的东汉时期古洪水事件考证研究

查小春,黄春长,庞奖励,姬 霖,王光朋

(陕西师范大学地理科学与旅游学院 地理学国家级实验教学示范中心,西安 710062)

摘要: 总结近年来在汉江上游古洪水研究成果的基础之上,采用文献资料分析和洪水模拟计算方法,对汉江上游6个沉积剖面纪录的东汉时期古洪水事件进行了年代考证和洪水模拟计算。结果表明,通过分析文献记载的汉江上游东汉时期洪水影响范围、强度和程度,以及结合洪痕沉积规律,在时间上考证认为这6个沉积剖面记录的东汉时期古洪水事件可能是东汉建安二年(197年)九月的一次特大洪水事件。选取合适的河槽横断面和糙率系数,采用HEC-RAS模型对距离较近的4个沉积面记录的东汉时期古洪水事件进行洪水模拟计算,模拟洪水位与各剖面依据古洪水SWD恢复的洪水位误差在 $-0.18\%\sim 0.25\%$,而且模拟的1983年洪水位与剖面及其附近发现的1983年洪痕水位误差小于 0.25% ,说明洪水模拟计算选取的河槽横断面和水文参数准确、可靠,从洪水模拟计算的角度也说明了汉江上游沉积记录的东汉时期古洪水事件可能为一次特大洪水事件。该研究结果不仅延长了汉江上游洪水序列,而且也能为汉江上游水利工程建设、水资源管理和防洪减灾等提供重要的水文资料。

关键词: 古洪水事件;沉积记录;东汉时期;汉江上游;考证研究

DOI: 10.11821/dlxb201709008

古洪水是指发生在历史时期及其以前而被沉积物所记录的特大洪水事件^[1-3],它是水文过程对极端性气候事件的瞬时响应。开展古洪水研究,不仅能挖掘出河流超长时间尺度特大洪水序列信息,弥补现代水文观测资料的不足,而且也能揭示区域水文变化对全球气候变化的响应^[3-5]。目前,国内一些学者^[5-22]对部分河段开展了大量的古洪水研究,其中一些河段古洪水研究时段涉及到历史时期^[15-22],但由于受测年技术手段的限制,即使采用地层年代框架、文化遗物考古以及测年数据综合断代,对历史时期古洪水事件年代的确定也只是一个范围,没有一个确切的年代值。中国拥有丰富的历史文献记载,特别是特大灾害事件记载往往与极端气候事件发生密不可分,相关记载史不绝书^[23],并有确切的年代值。如果将沉积记录的历史时期古洪水事件与文献记载的特大洪水灾害事件结合起来进行综合研究,考证其确切的年代值,具有重要的科学价值。本文在总结和整理近年来汉江上游古洪水研究成果基础上,依据中国丰富的历史文献记载,对汉江上游沉积记录的东汉时期古洪水事件进行了年代考证,并采用HEC-RAS水文模型进行了洪水模拟计算。该研究结果不仅延长了汉江上游洪水序列,而且也能为汉江上游水利工程建设、水资源管理和防洪减灾等提供了重要的水文资料。

收稿日期: 2017-02-08; 修订日期: 2017-07-06

基金项目: 国家社会科学基金项目(14BZS070); 国家自然科学基金项目(41471071, 41271108); 中央高校基本科研业务费专项(GK201601006) [Foundation: National Social Science Foundation of China, No.14BZS070; National Natural Science Foundation of China, No.41471071,41271108; Fundamental Research Funds for Central Universities, No.GK201601006]

作者简介: 查小春(1972-), 男, 陕西南郑人, 教授, 中国地理学会会员(S110005775M), 主要从事土地资源开发与环境演变研究。E-mail: zhaxch@snnu.edu.cn

1 研究区域概况

汉江是长江中游北岸最大的支流,发源于秦岭南麓米仓山西端的陕西省宁强县潘家山。干流流经陕西、湖北两省,于武汉市汇入长江,全长1577 km,流域面积 $15.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。丹江口大坝以上为上游,流经秦岭和大巴山之间,河长925 km,占汉江总长的59%,控制流域面积 $9.52 \times 10^4 \text{ km}^2$,涉及陕西、湖北和河南部分区域(图1)。上游主要为中低山,占79%,丘陵占18%,河谷盆地仅占3%^[24]。这里属北亚热带边缘湿润季风气候区,由于受秦岭、米仓山、大巴山地形的影响,同时兼有暖温带和中温带山地气候的特征,气候温和,四季分明,雨量充沛,无霜期长,多年平均气温约16℃。年平均降水量700~1000 mm,呈上游向下游递增趋势,而且降水量年内分配严重不均。汛期一般从5月份开始,10月份结束。特别是在7月、8月、9月之间,由于太平洋副热带高压发展强盛,加上西南低涡及强台风影响,造成该流域降雨集中,易形成洪水灾害^[25]。据文献统计^[26],汉江上游在公元前208年至2010年发生洪水灾害336次,平均每6.6年发生1次。1983年汉江上游发生建国以来特大洪水,安康水文站实测最大洪峰流量为31000 m³/s,安康市遭遇200年一遇的特大洪水,经济损失巨大,导致安康老城区基本被毁^[25]。历史最大洪水发生在明万历十一年(1583年)四月,推算出洪峰流量为34800 m³/s^[27]。

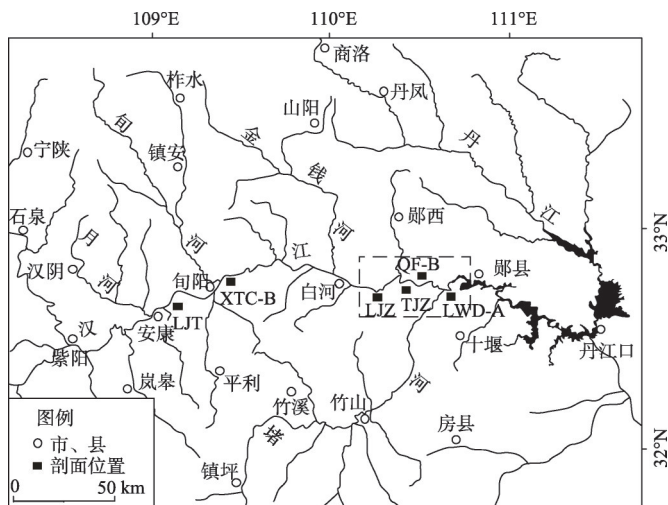


图1 汉江上游6个纪录东汉时期古洪水事件的黄土—古土壤剖面位置图

Fig. 1 Map showing the location of the 6 loess-palaeosol profiles which recorded the palaeoflood events during the Eastern Han Dynasty in the upper reaches of the Hanjiang River

2 汉江上游东汉时期古洪水事件的沉积记录

1982年, Kochel等^[28]首次提出了“古洪水水文学”概念,它是全球变化研究领域的一门综合性交叉学科,涉及第四纪地质学、沉积学、年代学、环境考古学和水文学等多学科理论和方法,研究历史时期及以前发生的而被沉积物所记录的特大洪水事件^[1]。古洪水滞流沉积物(slackwater deposits, SWD)是研究古洪水事件的重要依据^[2]。通过对古洪水SWD系统深入的研究,可以挖掘出河流已发生过的特大洪水序列信息,进而获得河流超长时间尺度洪水发生频率和规模等数据资料。

近年来,研究团队在汉江上游进行了一系列的野外实地考察,在T1阶地前沿发现多处含有古洪水SWD的黄土—古土壤沉积剖面,并对古洪水SWD沉积剖面进行了野外采样、室内理化性质测试分析、OSL测年,以及古洪水水位和流量重建等研究工作^[5-8, 12-22]。其中,发现汉江上游安康市至郧县之间的LJT^[15]、XTC-B^[16]、LJZ^[17]、TJZ^[18-19]、QFC-B^[20]、和LWD-A^[21-22]6个沉积剖面上部的古洪水SWD,通过地层年代框架对比、文化遗物考古、释光测年等方法,在时间上确定记录了东汉时期(1900 a BP-1700 a BP)古洪水事件(图1,图2)。而且,对这6个沉积剖面采集的古洪水SWD样品进行磁化率、粒度等

一系列沉积学特征分析和对比,说明1900 a BP-1700 a BP东汉时期确实有古洪水事件发生^[15-22]。从空间范围来看(图1),这6个剖面均处于汉江上游T1阶地前沿,涉及陕西、湖北两省,而且有些沉积剖面位置相距不远(如图1中LJZ、TJZ、QFC-B和LWD-A剖面),说明这6个沉积剖面记录的东汉时期古洪水事件可能为一次洪水事件,但是具体发生在东汉时期哪一年,需要从历史文献中进行综合考证。

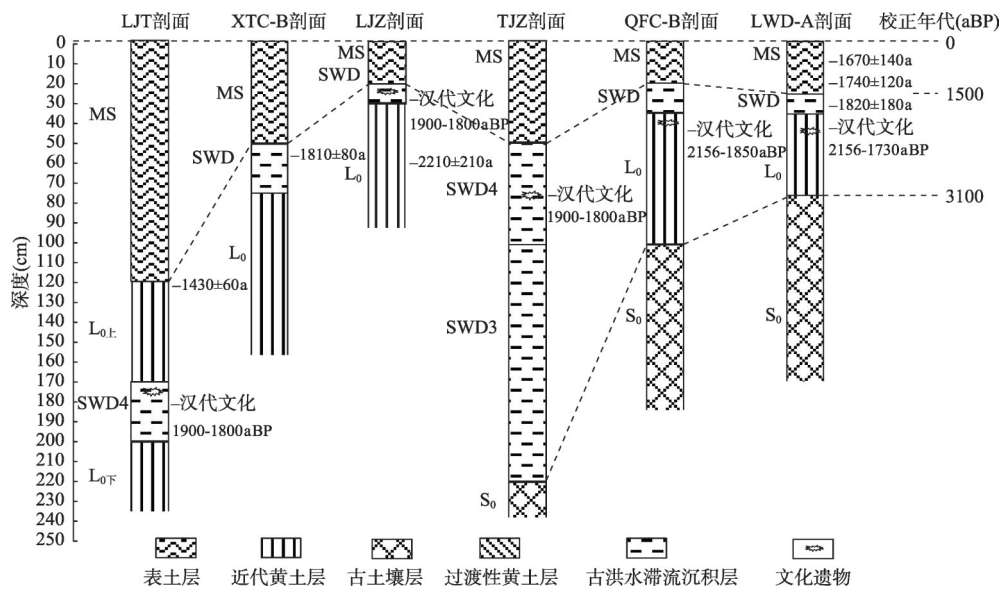


图2 汉江上游LJT、XTC-B、LJZ、TJZ、QFC-B和LWD-A沉积剖面地层和年代对比
Fig. 2 Pedo-stratigraphy correlations among the LJT profile, the XTC-B profile, the LJZ profile, the TJZ profile, the QFC-B profile and the LWD-A profile in the upper reaches of the Hanjiang River

3 汉江上游沉积记录的东汉时期古洪水事件年代考证

中国拥有丰富的历史文献资料,文献蕴含的气候事件信息极其丰富,其独特的科学价值,使当代中国在气候变化研究领域中崭露头角。本文收集和整理了《中国气象灾害大典(综合卷)》^[29]、《中国气象灾害大典(陕西卷)》^[30]、《中国气象灾害大典(湖北卷)》^[31]、《中国气象灾害大典(河南卷)》^[32]、《中国三千年气象记录总集》^[33]、《后汉书》^[34]、《西北灾荒史》^[35]、《陕西历史自然灾害简要纪实》^[36],以及汉江上游宁强、勉县、汉中、南郑、城固、石泉、安康、白河等各县志^[37-47]有关洪水灾害的文献资料,凡是涉及汉江上游所在地区的洪水灾害都统计在内。

3.1 汉江上游历史文献记载的洪水灾害发生频率和等级分析

首先,以朝代为单位,统计了汉江上游秦朝至隋朝(公元前221-公元618)840年间历史洪水灾害发生次数(图3)。图3a表明,汉江上游秦朝到隋朝共发生有年代记录的洪水灾害33次,其中东汉时期洪水灾害最多,为13次,明显高于其他朝代,超过秦朝到隋朝洪水灾害总数的1/3,说明汉江上游东汉时期为洪水灾害的频发时期,这与王尚义^[48]从全国角度分析两汉时期水患结果,以及彭维英等^[26]分析汉江上游历史时期洪水灾害结果一致。东汉时期洪水灾害发生频率统计表明(图3b),汉江上游东汉中期和末期的洪水灾害记录比较多,特别是193年以后洪水灾害发生频次相对频繁。

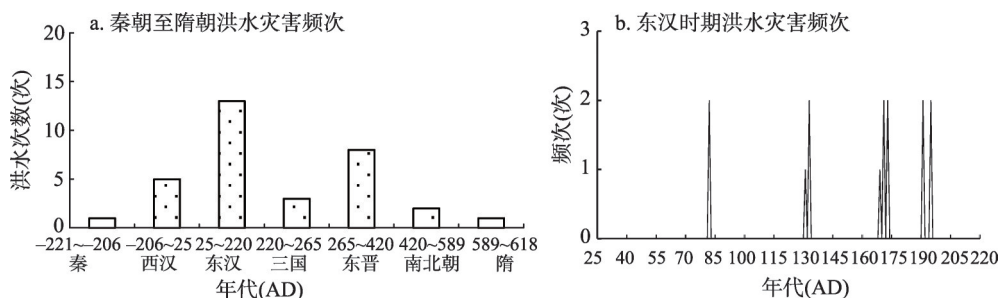


图3 汉江上游历史洪水灾害频次统计

Fig. 3 Statistical results of historical flood frequency in the upper reaches of Hanjiang River
(a. From Qin Dynasty to Sui Dynasty; b. During the Eastern Han Dynasty)

其次, 依据卢越^[49]、姬霖等^[50]按照历史文献中对洪水灾害发生情况、洪水灾害影响范围、灾害持续时间长短, 以及洪水灾害危害程度等方面的描述, 将汉江上游东汉时期洪水灾害级别划分为轻度、中度和重度三个级别(图4)。由图4可见, 汉江上游东汉时期13次洪水灾害中, 轻度和中度洪水灾害次数分别占46.2%和15.3%, 这与洪水灾害发生的一般规律一致。而重度洪水灾害5次, 占洪水灾害总数的38.5%, 分别发生在东汉永寿三年(157年)七月、东汉建安二年(197年)九月、建安二十年(215年)夏、建安二十年(215年)九月和建安二十四年(219年)八月。但是, 东汉永寿三年(157年)七月、东汉建安二十年(215年)夏、建安二十年(215年)九月的洪水灾害在文献中均仅有一处记载, 例如《中国气象灾害大典(河南卷)》^[32]记载东汉永寿三年(157年)“浙川七月壬午爆发水盛, 许多池塘受灾, 堤坝被冲跨, 灌渠被冲断”;《宁强县志》^[40]记载东汉建安二十年(215年)“夏, 汉水溢, 漂6000余家”;《南郑县志》^[44]记载东汉建安二十年(215年)“秋九月, 汉水泛滥, 人民被冲若干”, 说明这3次洪水灾害可能是局地性灾害事件。而东汉建安二年(197年)九月和建安二十四年(219年)八月的洪水灾害, 在各地的文献记载中均有记载。例如, 东汉建安二年(197年)九月的洪水灾害, 有10处文献记载, 如《汉中地区志》^[37]记载“九月, 汉水流害人民”、《安康县志》^[41]记载“秋九月汉水溢, 流人民”、《中国气象灾害大典(湖北卷)》^[31]记载“郧县: 秋, 九月, 汉水溢, 害民人”等。东汉建安二十四年(219年)八月的洪水灾害, 文献记载有11处, 如《中国气象灾害大典(陕西卷)》^[30]记载“秋, 大霖雨, 汉水溢, 平地数百丈”、《安康县志》^[41]记载“秋八月, 大霖雨, 汉水溢”、《汉中地区志》^[37]记载“八月, 汉水流害民人”、《中国气象灾害大典(河南卷)》^[32]记载“八月汉水爆发洪水, 高出水面数丈, 危害老百姓”等, 这说明汉江上游东汉建安二年(197年)九月和建安二十四年(219年)八月的洪水灾害应为区域性的灾害事件, 影响范围广。

3.2 汉江上游沉积记录的东汉时期古洪水事件年代考证

一般而言, 灾害等级越低的洪水灾害, 因其强度弱、灾情小, 对当时的社会经济影响程度就小, 影响范围就越窄; 而等级越高的洪水灾害, 因其强度高、规模大, 则会给社会经济发展带来严重的灾难和损害, 对社会经济影响范围就越广。从汉江上游6个记

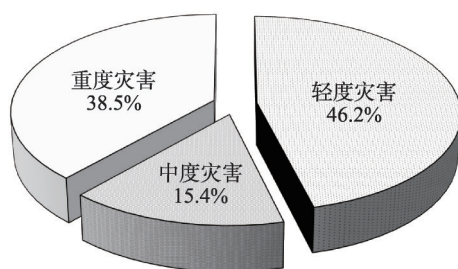


图4 汉江上游东汉时期洪水灾害等级

Fig. 4 Flood grades during the Eastern Han Dynasty in the upper reaches of Hanjiang River

录东汉时期洪水事件的剖面分布地点来看,涉及陕西、湖北两省,说明要考证这次洪水事件,就应从重度灾害等级中东汉建安二年(197年)九月和建安二十四年(219年)八月这两次影响范围广的洪水灾害中进行考证分析。

从洪水灾害影响范围来看,《中国气象灾害大典(综合卷)》^[29]、《中国气象灾害大典(陕西卷)》^[30]、《中国气象灾害大典(湖北卷)》^[31]、《中国气象灾害大典(河南卷)》^[32]、《汉中地区志》^[37]、《勉县志》^[40]、《安康县志》^[41]等均记载有东汉建安二年(197年)九月的洪水事件,说明这次洪水灾害,涉及汉江上游的陕西、湖北、河南三省。而东汉建安二十四年(219年)八月的洪水灾害,仅在《中国气象灾害大典(河南卷)》^[30]以及陕西省的宁强、汉中、南郑、城固、安康、石泉等县志有所记录,在湖北省的文献中未见记载,涉及范围仅限河南省和陕西省的南部地区,表明东汉建安二十四年(219年)八月的洪水灾害比东汉建安二年(197年)九月的洪水灾害影响范围小。

从洪水灾害影响强度来看,文献中均有东汉建安二年(197年)九月和建安二十四年(219年)八月洪水灾害影响到当地人民生命安全的记载,如《中国气象灾害大典(湖北卷)》^[31]记载东汉建安二年(197年)“郢县:秋,九月,汉水溢,害人民”、《汉中地区志》^[37]记载东汉建安二年(197年)“九月,汉水流害民人”等;《中国气象灾害大典(河南卷)》^[32]还记载东汉建安二十四年(219年)“八月汉水爆发洪水,高出水面数丈,危害老百姓”等。但是仅有《城固县志》^[47]记载东汉建安二年(197年)“九月,汉水涨溢,淹没两岸村舍、农田”,说明东汉建安二年(197年)九月的洪水灾害,不仅“害人民”,而且还漫上河道,淹没了河岸周围的农田和村落。而文献中未见东汉建安二十四年(219年)八月洪水灾害对农田、村落影响的记载,说明东汉建安二年(197年)九月的洪水灾害比建安二十四年(219年)八月的洪水灾害影响强度要大。

最后,从洪水灾害影响程度来看,《中国气象灾害大典(综合卷)》^[29]记载东汉建安二年(197年)“九月汉水爆发洪水,危害老百姓,当时天下大乱”,以及《中国气象灾害大典(河南卷)》^[32]记载东汉建安二年(197年)“九月汉水溢,危害民人,是时天下大乱”,说明东汉建安二年(197年)九月洪水灾害,不仅严重危害到人民的正常生活和生命安全,而且造成社会“大乱”。而在文献中未见东汉建安二十四年(219年)八月洪水灾害这方面的记载,表明东汉建安二年(197年)九月的洪水灾害比建安二十四年(219年)八月的洪水灾害造成的社会影响程度更大。

此外,东汉建安二年(197年)九月的洪水灾害在汉江上游之外的其它地区也有记载。如《中国气象灾害大典(湖北卷)》^[31]中记载东汉建安二年(197年)九月,汉阳、宜城、襄阳、汉口、光化、江陵、安陆等地“汉水溢”,说明这次洪水灾害遍及整个汉江流域;《中国三千年气象记录总集》^[33]中记载东汉建安二年(197年)“九月,汉水溢。是岁饥,江淮间民相食”,说明这次洪水灾害引发严重的饥荒现象,甚至还出现了“民相食”的现象。而东汉建安二十四年(219年)八月洪水灾害未见相关记载。这说明东汉建安二年(197年)九月的洪水灾害,不仅影响范围广,而且也是一次全流域、灾情极其严重的洪水灾害。

河流发生洪水时,往往会在河流岸边遗留下泥沙、水印、杂草,或者群众设置指水碑,以及其他一切能够代表洪水位所能到达最高位置的标记物,即洪痕,都可作为推求洪水位的依据^[51]。一般来说,洪水流量越大,对应的洪峰水位就越高,洪水过后在河流岸边遗留下的洪痕也就越高。而且,大流量洪水对应的高水位洪水往往会把前期发生的流量比较小的低水位洪痕冲刷掉或覆盖掉,而后期流量小、水位低的洪水难以到达该位置而使高水位洪痕得以保留下来。如果后期被高处崩塌的基岩风化物、坡积石渣土、风

成黄土所掩埋,或者因处于洞穴、岩棚下(岩石下凹处)而不易被风雨侵蚀和生物扰动破坏,这些洪痕就可以长期保存下来^[4]。古洪水SWD即为历史时期及其以前特大洪水发生过后遗留下的洪痕^[1-2]。汉江上游安康至郧县之间T1阶地前沿LJT、XTC-B、LJZ、TJZ、QFC-B和LWD-A沉积剖面的古洪水SWD,在沉积之后即被后期的风成黄土所掩埋而得以长期保留,剖面最上部的古洪水SWD,则是东汉某个时间特大洪水的沉积纪录。

综合上述分析可知,发生在东汉建安二年(197年)九月的洪水灾害,其洪水规模、影响范围、影响强度和程度均为最大,再结合洪痕沉积规律可以认为,汉江上游沉积记录的东汉时期古洪水事件可能是东汉建安二年(197年)九月的一次特大洪水事件。

4 汉江上游东汉时期古洪水事件的洪水模拟计算

古洪水研究中,依据河流阶地沉积剖面发现的古洪SWD,就可以重建古洪水水位和流量。既然从历史文献考证认为汉江上游LJT、XTC-B、LJZ、TJZ、QFC-B和LWD-A沉积剖面记录的东汉时期古洪水事件可能是发生在东汉建安二年(197年)九月的一次特大洪水事件,那么依据这6个剖面古洪水SWD重建的洪峰流量应该一致或相差较少。但是,通过整理这6个剖面古洪水重建结果发现,学者们^[15-22]依据各剖面所在位置,用“古洪水SWD厚度与含沙量关系法”恢复了洪水位,然后选取合适的河槽断面和水力参数,采用面积—比降法,重建了各沉积剖面东汉时期古洪SWD所对应的洪峰流量,其值在58450~65420 m³/s之间,并利用现代洪痕验证了洪水计算的可靠性。从重建的洪峰流量结果来看,变化范围较大,其原因可能是在计算洪峰流量时,是依据各个沉积剖面所在河段特征,采用面积—比降法,从单个沉积剖面的角度,选择相应的水文参数来重建洪峰流量,较少从整个河段考虑一次洪水发生过程。

为此,选择距离较近的LJZ、TJZ、QFC-B和LWD-A沉积剖面所在的湖北省郧西县至郧县之间近50 km的河段作为研究河段(图1虚线框内),采用HEC-RAS模型对东汉时期古洪水事件进行洪水模拟计算。该模型是由美国陆军工程兵团水文工程中心开发,能够对天然的或人造的河网进行一维恒定流和非恒定流的河道水力推演。目前在古洪水研究广泛应用^[17, 19, 53-55]的恒定流水面线计算模块,基于一维恒定总流能量方程能量方程,采用水面曲线推流法逐断面推求水面线,可对整个河网、树枝状河系或单河道模拟,也可应用于缓流、急流和混合流3种流态的水面线模拟^[52]。此外,HEC-RAS模型的HEC-GeoRAS扩展模块,能够与ARC/INFO软件有效耦合,利用ArcGIS工具强大的地理信息分析处理功能,为重建古洪水洪峰流量提供三维地形数据、概化河网几何资料等。而且,采用HEC-RAS模型重建的古洪水流量,可以减少河道糙率系数对计算结果的影响,使古洪水流量计算结果更为可靠^[53]。

古洪水研究中河道的稳定性是关键性问题。汉江上游为基岩峡谷河段,河槽两岸均为古老变质岩,岩性硬度大,抗蚀能力强,河槽长期稳定,形态规则^[56]。对LJZ、TJZ、QFC-B和LWD-A剖面所在的河段实地考察也发现,河谷形态均以峡谷为主,河宽大致相近,岩性类似。而且从河流地貌学和水文学角度来看,该段河槽在全新世时期已经发育形成均衡断面,没有明显的下切和沉积,断面变化小,水流状态稳定,适合开展古洪水研究。由此,首先在研究河段上选取100个河槽横断面,河槽横断面尽量与水流方向保持垂直,并用激光测距仪和高精度GPS实测各横断面形态,结合1:10000地形图校准测量结果。为了提高计算精度,减少计算误差,在生成的TIN数据中又内插了123个横断面,使河槽横断面总数达到223个。然后,利用ArcGIS对研究河段地形图进行数字化,

耦合成 HEC-GeoRAS 模块, 将其导入 HEC-RAS 模型中。

导入 HEC-RAS 模型后, 参考《水力学》^[57]中糙率表所描述天然河道的特征, 确定主槽糙率系数 n 为 0.03。根据研究河段两岸坡度的实际情况, 选取缓坡糙率系数 n 为 0.055、陡坡糙率系数 n 为 0.05, 上下调整幅度值为 0.005。选用河床比降 ($S = 0.0005$) 代替能量坡度。研究河段水流属缓流状态, 河槽逐渐收缩或扩张, 故收缩和扩张系数取值分别为 0.1 和 0.3。给定边界条件后, 确定起始断面, 输入不同洪峰流量的洪水, 运用 HEC-RAS 模型可得到相应的洪水水面线, 其中与由古洪水 SWD 恢复的洪水水位高程配合最佳的水面线所对应的流量, 即为洪水洪峰流量, 由此得出洪峰流量为 $60800 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

从模拟水面线结果 (图 5) 分析发现, 模拟的 LJZ、TJZ、QFC-B 和 LWD-A 剖面的东汉时期古洪水水位分别为 186.03 m、185.16 m、168.3 m 和 159.92 m, 与这 4 个剖面采样“古洪水 SWD 厚度与含沙量关系法”恢复的洪水水位 (4 个剖面采用“古洪水 SWD 厚度与含沙量关系法”恢复的洪水水位分别为 185.8 m、184.7 m、168.5 m 和 159.8 m) 相比^[15-22], 误差介于 $-0.18 \sim 0.25\%$ 之间。同时, 采用相同的河槽横断面和水文参数, 依据在沉积剖面及其附近发现的 1983 年洪痕, 运用 HEC-RAS 模型也模拟模拟出了 1983 年洪水水面线 (图 5), 与 1983 年洪痕水位相比较, 误差小于 0.25% , 模拟洪水位与洪痕水位吻合较好, 说明模拟计算汉江上游东汉时期古洪水洪峰流量时选取的地形数据和水文参数准确、可靠, 同时也从洪水模拟计算的角度表明汉江上游沉积剖面记录的东汉时期古洪水事件可能为一次特大洪水事件。

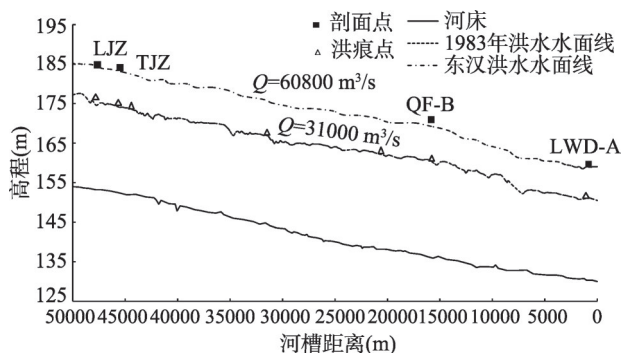


图 5 HEC-RAS 模型模拟的汉江上游沉积记录的东汉时期古洪水水面线与 1983 年洪水水面线

Fig.5 Simulated flood line of the palaeoflood during the Eastern Han Dynasty and 1983 flood using HEC-RAS model in the upper reaches of the Hanjiang River

5 结论

(1) 对汉江上游古洪水研究成果的整理和分析发现, 汉江上游安康市至郧县河段的 LJT、XTC-B、LJZ、TJZ、QFC-B 和 LWD-A 沉积剖面最上部的古洪水 SWD, 通过地层年代框架对比、文化遗物考古和释光测年等方法, 记录有东汉时期 (1900 a BP-1700 a BP) 古洪水事件。

(2) 整理分析汉江上游历史文献中秦朝至隋朝洪水灾害记载表明, 东汉时期是汉江上游洪水灾害的频发时期; 对东汉时期洪水灾害的等级分析表明, 东汉建安二年 (197 年) 九月的洪水灾害和建安二十四年 (219 年) 八月的洪水灾害不仅灾情严重, 而且影响范围广; 从文献记载的洪水灾害影响范围、强度、程度, 以及洪痕沉积的规律综合分析表明, 汉江上游沉积记录的东汉时期古洪水事件可能为东汉建安二年 (197 年) 九月九月的一次特大洪水事件。

(3) 在距离较近的 LJZ、TJZ、QFC-B 和 LWD-A 剖面所在湖北省郧西县至郧县之间河段上选取 100 个河槽横断面, 并内插了 123 个河槽横断面, 选择合适的糙率系数, 采用

HEC-RAS模型,对这4个剖面最上部古洪水SWD记录的东汉时期古洪水事件进行了模拟计算,模拟水位与采用“古洪水SWD厚度与含沙量关系法”恢复的洪水误差在-0.18%~0.25%之间。采用相同的河槽横断面、水文参数和水文模型,模拟得到的1983年洪水位与在各剖面及其附近发现的洪痕水位相比较,误差也小于0.25%,说明用于洪水模拟计算选取的河槽横断面和水文参数准确、可靠,同时也从洪水模拟计算的角度表明汉江上游沉积记录的东汉时期古洪水事件可能为一次特大历史洪水事件。

参考文献(References)

- [1] Baker V R. Paleoflood hydrology: Origin, progress, prospects. *Geomorphology*, 2008, 101: 1-13.
- [2] Baker V R. Palaeoflood hydrology in a global context. *Catena*, 2006, 66(1/2): 161-168.
- [3] Knox J C. Sensitivity of modern and Holocene floods to climate change. *Quaternary Science Reviews*, 2000, 19: 439-457.
- [4] Zhan Daojiang, Xie Yuebo. *Palaeoflood Study*. Beijing: China Water & Power Press, 2001. [詹道江, 谢悦波. 古洪水研究. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.]
- [5] Zha Xiaochun, Huang Chunchang, Pang Jiangli. Holocene extreme floods and environmental change of Qishuihe River in western Guanzhong Basin. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(3): 291-300. [查小春, 黄春长, 庞奖励. 关中西部漆水河全新世特大洪水与环境演变. *地理学报*, 2007, 62(3): 291-300.]
- [6] Zha Xiaochun, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. The holocene palaeoflood events in the Yunxi reach in the upper reaches of Hanjiang River. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(5): 671-680. [查小春, 黄春长, 庞奖励, 等. 汉江上游郧西段全新世古洪水事件研究. *地理学报*, 2012, 67(5): 671-680.]
- [7] Zha Xiaochun, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. Reconstructing the extraordinary palaeoflood events during 3200-2800 a BP in the upper reaches of Hanjiang River Valley, China. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(3): 446-456.
- [8] Zha Xiaochun, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. Reconstructing the palaeoflood events from slackwater deposits in the upper reaches of Hanjiang River, China. *Quaternary International*, 2015, 380/381: 358-367.
- [9] Zhu Cheng, Ma Chunmei, Wang Huilin, et al. Characteristics of palaeoflood deposits archived in unit T0403 of Yuxi Site in the Three Gorges Reservoir areas, China. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(Suppl. I): 1-16. [朱诚, 马春梅, 王慧麟, 等. 长江三峡库区玉溪遗址T0403探方古洪水沉积特征研究. *科学通报*, 2008, 53(增刊I): 1-16.]
- [10] Yang Dayuan, Xie Yuebo. A preliminary study on palaeoflood deposit and its level in Yellow River valley near Xiaolangdi village. *Journal of Hohai University*, 1997, 25(3): 86-89. [杨达源, 谢悦波. 黄河小浪底段古洪水沉积与古洪水水位的初步研究. *河海大学学报*, 1997, 25(3): 86-89.]
- [11] Xie Yuanyun, Li Changan, Wang Qiuliang, et al. Sedimentary records of palaeoflood events during the last 3000 years in Jiangnan plain. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(1): 81-84. [谢远云, 李长安, 王秋良, 等. 江汉平原近3000年来古洪水事件的沉积记录. *地理科学*, 2007, 27(1): 81-84.]
- [12] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, et al. Extraordinary floods related to the climatic event at 4200 a BP on the Qishuihe River, middle reaches of the Yellow River, China. *Quaternary Science Reviews*, 2011, 30: 460-468.
- [13] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, et al. Extraordinary floods of 4100-4000 a BP recorded at the Late Neolithic ruins in the Jinghe River gorges, middle reach of the Yellow River, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2010, 289: 1-9.
- [14] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, et al. Prehistorical floods in the Guanzhong Basin in the Yellow River drainage area. *Science China: Earth Science*, 2011, 41: 1658-1669. [黄春长, 庞奖励, 查小春, 等. 黄河流域关中盆地史前大洪水研究. *中国科学*, 2011, 41(1): 1658-1669.]
- [15] Zhang Yuzhu, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. Holocene paleofloods related to climatic events in the upper reaches of the Hanjiang River valley, middle Yangtze River basin, China. *Geomorphology* 2013, 195: 1-12.
- [16] Guo Yongqiang, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. Comparative study on flood discharge restoration at 10000-years time scale in Xunyang-Baihe section of Hanjiang River. *Journal of Natural Disasters*, 2014, 23(3): 41-49. [郭永强, 黄春长, 庞奖励, 等. 汉江旬阳至白河段万年尺度洪水流量恢复比较研究. *自然灾害学报*, 2014, 23(3): 41-49.]
- [17] Liu Tao, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. Hydrological reconstructions of the prehistorical great floods in the Wufeng reach of Yunxian county in the upper Hanjiang River. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(11): 1568-1577. [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. 地理学报, 2013, 68(11): 1568-1577.]
- [18] Bai Kaixia, Zha Xiaochun, Huang Chunchang, et al. Holocene palaeoflood hydrological events of upper reaches of Hanjiang river in Tuojiazhou of Yunxian county. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013, 23(4): 295-301. [白开霞, 查小春, 黄春长, 等. 汉江上游郧县庾家洲河段全新世古洪水研究. 水土保持通报, 2013, 23(4): 295-301.]
- [19] Liu Ke, Zha Xiaochun, Huang Chunchang, et al. Reconstruction of the palaeoflood discharges at Tuojiazhou section in upper reaches of Hanjiang River by HEC-RAS model. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(10): 184-190. [刘科, 查小春, 黄春长, 等. 基于 HEC-RAS 模型的汉江上游庾家洲河段古洪水流量重建研究. 干旱区资源与环境, 2014, 28(10): 184-190.]
- [20] 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. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(5): 533-539. [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. 长江流域资源与环境, 2012, 21(5): 533-539.]
- [21] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, et al. Extraordinary hydro-climatic events during the period AD 200-300 recorded by slackwater deposits in the upper Hanjiang River valley, China. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2013(374): 274-283.
- [22] Wu Shuaihu, Pang Jiangli, Huang Chunchang, et al. Palaeoflood study in Liaowadian site of Yunxian county in upper reaches of Hanjiang River. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012, 32(6): 182-186. [吴帅虎, 庞奖励, 黄春长, 等. 汉江上游郧县辽瓦店全新世古洪水研究. 水土保持通报, 2012, 32(6): 182-186.]
- [23] Huang Yuan, Li Beibei, Li Zhongming. Review of climate reconstruction based on ancient diary. Progress in Geography, 32(10): 1545-1554. [黄媛, 李蓓蓓, 李忠明. 基于日记的历史气候变化研究综述. 地理科学进展, 2013, 32(10): 1545-1554.]
- [24] Wang Wei, Chen Min. Thought about flood dispatching in 3 October 2005 in Hanjiang River. Yangtze River, 2006, 37(8): 105-108. [王威, 陈敏. 2005 年汉江“10.3”洪水调度思考. 人民长江, 2006, 37(8): 105-108.]
- [25] Li Wenhao. Hydrologic characteristics analysis in the upper reaches of Hanjiang River. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2004, 15(2): 54-58. [李文浩. 汉江上游流域水文特性分析. 水资源与水工程学报, 2004, 15(2): 54-58.]
- [26] Peng Weiyang, Yin Shuyan, Zhu Yongchao, et al. Flood disaster in upper reaches of Hanjiang River during historical period. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013, 33(4): 289-294. [彭维英, 殷淑燕, 朱永超, 等. 历史时期以来汉江上游洪水灾害研究. 水土保持通报, 2013, 33(4): 289-294.]
- [27] Yang Yongde, Zouning, Guo Xiwang, et al. Analysis and calculation of design flood at Baihe gauge station in Hanjiang River. Journal of Water Resources Research, 1997, 18(3): 36-38. [杨永德, 邹宁, 郭希望, 等. 汉江白河水文站设计洪水分析计算. 水资源研究, 1997, 18(3): 36-38.]
- [28] Kochel R C, Baker V R. Paleoflood Hydrology. Science, 1982, 215: 353-361.
- [29] Ding Yihui, Wen Kegang. Eyclopedia of Meteorological Disasters in China (Comprehensive). Beijing: China Meteorological Press, 2008. [丁一汇, 温克刚. 中国气象灾害大典(综合卷). 北京: 气象出版社, 2008.]
- [30] Zhai Youan, Wen Kegang. Eyclopedia of Meteorological Disasters in China (Shaanxi). Beijing: China Meteorological Press, 2008. [翟佑安, 温克刚. 中国气象灾害大典(陕西卷). 北京: 气象出版社, 2008.]
- [31] Jiang Hairu, Wen Kegang. Eyclopedia of Meteorological Disasters in China (Hubei). Beijing: China Meteorological Press, 2008. [姜海如, 温克刚. 中国气象灾害大典(湖北卷). 北京: 气象出版社, 2008.]
- [32] Pang Tianhe, Wen Kegang. Eyclopedia of Meteorological Disasters in China (Henan). Beijing: China Meteorological Press, 2008. [庞天荷, 温克刚. 中国气象灾害大典(河南卷). 北京: 气象出版社, 2008.]
- [33] Zhang Deer. Compendium of Meteorological Records of China the Last 3000 Years. Nanjing: Phoenix Publishing House, 2004. [张德二. 中国三千年气象记录总集. 南京: 凤凰出版社, 2004.]
- [34] Fan Ye. Hou Han Shou. Shanghai: Zhonghua Book Company, 2007. [范晔. 后汉书. 上海: 中华书局, 2007.]
- [35] Yuan Lin. Famine History of Northwest China. Lanzhou: Gansu People's Publishing House, 1994. [袁林. 西北灾荒史. 兰州: 甘肃人民出版社, 1994.]
- [36] Editorial Committee of Brief Report of History Natural Disasters in Shaanxi. Brief Report of History Natural Disasters in Shaanxi. Beijing: China Meteorological Press, 2002. [《陕西历史自然灾害简要纪实》编委会. 陕西历史自然灾害简要纪实. 北京: 气象出版社, 2002.]
- [37] Compilation Committee for Chorography of Hanzhong Region. Chorography of Hanzhong Region. Xi'an: Sanqin Press, 2005. [汉中地方志办公室. 汉中地区志. 西安: 三秦出版社, 2005.]

- [38] Compilation Committee for Chorography of Yangxian County. Chorography of Yangxian County. Xi'an: Sanqin Press, 1996. [洋县地方志编纂委员会. 洋县志. 西安: 三秦出版社, 1996.]
- [39] Compilation Committee for Chorography of Mianxian County. Chorography of Mianxian county. X'an: Shaanxi People's Publishing House, 1989. [勉县志编纂委员会. 勉县志. 西安: 陕西人民出版社, 1989.]
- [40] Compilation Committee for Chorography of Ningqiang County. Chorography of Ningqiang County. Xi'an: Shaanxi Normal University Press, 1995. [宁强县志编纂委员会. 宁强县志. 西安: 陕西师范大学出版社, 1995.]
- [41] Compilation Committee for Chorography of Ankang County. Chorography of Ankang County. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 1989. [安康市地方志编纂委员会. 安康县志. 西安: 陕西人民出版社, 1989.]
- [42] Compilation Committee for Chorography of Baihe County. Chorography of Baihe County. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 1996. [白河县地方志编纂委员会. 白河县志. 西安: 陕西人民出版社, 1996.]
- [43] Compilation Committee for Chorography of Danfeng County. Chorography of Danfeng County. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 1994. [丹凤县地方志编纂委员会. 丹凤县志. 西安: 陕西人民出版社, 1994.]
- [44] Compilation Committee for Chorography of Nanzheng County. Chorography of Nanzheng County. Beijing: People's Public Security University of China Press, 1990. [南郑县地方志编纂委员会. 南郑县志. 北京: 中国人民公安大学出版社, 1990.]
- [45] Compilation Committee for Chorography of Liuba County. Chorography of Liuba County. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 2002. [留坝县地方志编纂委员会. 留坝县志. 西安: 陕西人民出版社, 2002.]
- [46] Compilation Committee for Chorography of Shiquan County. Chorography of Shiquan County. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 1991. [石泉县地方志编纂委员会. 石泉县志. 西安: 陕西人民出版社, 1991.]
- [47] Compilation Committee for Chorography of Chenggu County. Chorography of Chenggu County. Beijing: Encyclopedia of China Publishing House, 1994. [城固县地方志编纂委员会. 城固县志. 北京: 中国大百科全书出版社, 1994.]
- [46] Wang Shangyi. The relationship of the Yellow River flood and the land use in the middle reaches during the Han dynasties. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(1): 73-82. [王尚义. 两汉时期黄河水患与中游土地利用之关系. 地理学报, 2003, 58(1): 73-82.]
- [49] Lu Yue, Zha Xiaochun, Huang Chunchang, et al. Extraordinary flood events recorded by historical documents in the upper reaches of the Hanjiang River in the eastern Han Dynasty. *Arid Zone Research*, 2014, 31(3): 489-494. [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. 干旱区研究, 2014, 31(3): 489-494.]
- [50] Ji Lin, Zha Xiaochun. Flood disasters and their impact on society and economy during Eastern Han Dynasty in upper reaches of Hanjiang River. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2016, 28(2): 90-95. [姬霖, 查小春. 汉江上游东汉时期洪涝灾害及其对社会经济的影响. 江西农业学报, 2016, 28(2): 90-95.]
- [51] Shi Fucheng, Yi Yuanjun, Mu Ping. Investigation, Research and Study on the Yellow River Historical Flood. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2002. [史辅成, 易元俊, 慕平. 黄河历史洪水调查、考证和研究. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.]
- [52] Gary W. HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA, 2010.
- [53] Xue Xiaoyan, Zha Xiaochun, Huang Chunchang, et al. Influence of channel roughness coefficient on the Holocene palaeoflood discharge calculation. *Arid Land Geography*, 2015, 38(2): 292-297. [薛小燕, 查小春, 黄春长, 等. 河道糙率系数变化对全新世古洪水流量计算的影响研究. 干旱区地理, 2015, 38(2): 292-297.]
- [54] Sridhar A. A mid-late Holocene flood record from the alluvial reach of the Mahi River, western India. *Catena*, 2007, 70: 330-339.
- [55] England J F, Godaire J E, Klinger R E, et al. Paleohydrologic bounds and extreme flood frequency of the upper Arkansas River, Colorado, USA. *Geomorphology*, 2010, 124: 1-16.
- [56] Shen Yuchang. Landscape and its development history of Hanjiang River valley. *Acta Geographica Sinica*, 1956, 22(4): 295-321. [沈玉昌. 汉水河谷的地貌及其发育历史. 地理学报, 1956, 22(4): 295-321.]
- [57] School of Water Resource and Hydropower. Hydraulics. Beijing: Higher Education Press, 1986. [武汉水利电力学院水力学教研室. 水力学. 北京: 高等教育出版社, 1986.]

The palaeoflood events recorded by slackwater deposits in sedimentary profiles during the Eastern Han Dynasty in the upper reaches of the Hanjiang River

ZHA Xiaochun, HUANG Chunchang, PANG Jiangli, JI Lin, WANG Guangpeng

(School of Geography and Tourism, National Experimental Teaching Demonstration Center,

Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Based on the research on palaeoflood hydrology in the upper reaches of Hanjiang River, the palaeoflood events recorded by slackwater deposits in upper layers of 6 loess-soil profiles were found to occur during the Eastern Han Dynasty. In this paper, the flood time of the palaeoflood events during the study period was examined textually by the historical literature analysis, and the flood simulation was made using the HEC-RAS model. The study results showed that the palaeoflood during the Eastern Han Dynasty might be an extraordinary flood event that occurred in September (lunar month), the second year of the Jian'an period (197) in terms of the influence scope, degree, intensity, and the deposit rule of the floodmarks. Then selecting reasonable channel sections and roughness coefficient, and setting the river boundary conditions and initial conditions, we used the HEC-RAS model to conduct the flood simulation of the palaeoflood events. The errors between the simulated and the calculated flood stages were $-0.18\% \sim 0.25\%$. Moreover, the errors of the simulated flood stages in 1983 were 0.25% less than those of the floodmark stages in 1983 found near the profiles. The flood simulation results showed that the selected channel sections and hydrological parameters were accurate and reliable, indicating that the palaeoflood events during the Eastern Han Dynasty might be an extraordinary flood event. The study results not only prolonged the flood sequences, but also provided the important hydrological data for the hydropower project construction, water resource management and the flood control and disaster mitigation in the upper reaches of the Hanjiang River.

Keywords: the palaeoflood events; sedimentary record; Eastern Han Dynasty; the upper reaches of Hanjiang River; textual research