

汉江上游白河段万年尺度洪水水文学研究

李晓刚, 黄春长, 庞奖励, 查小春, 周亚利, 王恒松

(陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要:通过对汉江上游的考察,在多个地点发现古洪水滞流沉积层夹在古土壤层与坡积石渣土层或坡积角砾层中。选择白河段JJTZ剖面进行沉积学和水文学研究。对于采集的全新世古洪水滞流沉积样品,进行沉积学分析,与2010年现代洪水滞流沉积物进行对比,结合其宏观特征确认其为汉江洪水悬移质沉积物,粒度成分分类为细沙质粉沙。它们记录了汉江上游特大古洪水事件。通过地层学对比分析和OSL测年断代,确定其发生在全新世中期一晚期转折阶段,即3 200~2 800 a B.P.。利用沉积学和古水文学原理恢复古洪水洪峰水位,采用比降法计算出两次古洪水洪峰流量为40 180 m³/s和49 170 m³/s。该结果大大延长了洪水水文数据序列,从而能够建立汉江上游万年尺度洪水流量—频率关系,对于揭示汉江上游水文过程对于全球变化的响应规律具有重要的科学意义,对于防洪减灾和水资源水能源工程建设具有重要的现实意义。

关键词:古洪水;滞流沉积物;万年尺度;全新世;汉江

中图分类号:P539.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2012)08-0971-08

汉江上游为国家重点工程南水北调中线水源区,汉江上游主流规划在建和建成的水利水电工程达7级之多。在全球变暖和环境恶化的背景之下,汉江上游流域面临水资源短缺和洪水调度管理不善的严重问题^[1]。因此,在汉江上游开展万年尺度洪水水文学研究,对于水资源调度和洪水资源化开发利用等具有十分重要的现实意义。然而,目前在汉江上游尚未见此方面研究的报道。

中国学者曾经在在黄河、长江和淮河流域某些河段开展了全新世古洪水事件和古洪水水文学研究,并取得了一系列的成果,为水利和工程防洪工程建设提供了重要的依据^[2-8]。我们在对渭河及其主要支流全新世古洪水进行系统性研究的基础上^[9-17],得到国家自然科学基金重点项目的支持,在汉江上游进行万年尺度洪水水文学调查研究。本文以汉江上游白河—郧西段为重点研究对象,通过对JJTZ剖面全新世古洪水滞流沉积物的沉积学分析,及在相应的河槽断面进行古洪水水文学恢复研究,获得全新世特大洪水水文资料,以期有效地延长汉江上游洪水的水文学数据系列。

1 研究区域概况

汉江发源于米仓山西端的陕西省宁强县潘家山,全长1 577 km,流域面积159×10³km²,多年平均流量1 640 m³/s,多年平均径流量580×10⁸m³,多年平均输沙量1.3×10⁸t。汉江丹江口水库大坝以上为上游,主流穿行于秦岭、大巴山之间,全长约925 km,流域面积95.2×10³ km²,流域多年平均降水量914 mm,多年平均流量1 200 m³/s,多年平均径流量378×10⁸m³,多年平均输沙量1.15×10⁸t,夏秋两季常出现短历时、高强度暴雨,易造成大洪水。安康水文站以上河长528 km,控制流域面积35.7×10³ km²,多年平均流量568.8 m³/s,多年平均径流量179×10⁸m³,年平均含沙量0.88 kg/m³,多年平均输沙量2 440×10⁴t。安康站实测最大洪峰流量为31×10³ m³/s(1983年7月31日),其次为25.5×10³m³/s(2010年7月18日)和21×10³ m³/s(2005年10月2日),历史调查最大洪水出现在明代万历十一年(1583年),36×10³m³/s;其次出现在清代同治六年(1867年)和1921年,洪峰流量分别为33×10³m³/s

收稿日期:2011-07-11; **修订日期:**2011-10-08

基金项目:国家自然科学基金重点项目(41030637)、国家社科基金重点项目(11AZS009)、教育部博士点基金优先发展领域项目(20110202130002)、陕西省教育厅科学研究项目(12JK0486)和陕西省软科学研究计划项目(2012KRM119)资助。

作者简介:李晓刚(1983-),男,山西吕梁人,博士研究生,主要研究方向为环境变迁。E-mail:slxlixiaogang@163.com

通讯作者:黄春长,博士,教授,博导。E-mail: cchuang@snnu.edu.cn

见坡积角砾土层之下是全新世中期形成的油红棕色、具有棱块结构的古土壤层(S_0),为北亚热带汉江上游河谷低海拔地区典型的黄褐土类型,其厚度2.0~2.5 m(图2b)。这种地层结构表明古洪水发生在全新世中期与晚期过渡阶段。通过野外宏观形态特征的观察,结合土壤学、地层学和沉积学方法,对该剖面进行地层划分(图3)。

3 研究方法

野外考察中对于汉江上游白河—郧西河段进行了河流地貌发育、土壤与沉积物地层调查,对多个古洪水滞流沉积层(SWD)地点进行对比分析,选择JJTZ地点进行古洪水和2010年7月大洪水滞流沉积物样品的采集。使用加拿大生产的LRM1500型激光测距仪和高精度GPS对该地点河槽断面和河床比降等进行精确测量,依据国家标准确定了河槽糙率数据。在室内依据1:1万地形图对于河槽断面数据作了进一步校准。

将采集的沉积物样品经室内自然风干后,在陕西师范大学环境变迁实验室进行了粒度指标的测定。沉积物粒度测定流程为先用10%的 H_2O_2 和10% HCl去除有机质和次生碳酸盐,然后采用英国Malvern公司生产的Mastersizer-S型激光粒度仪测定。样品中粒径 $>0.1\text{ mm}$ 沙级颗粒则采用筛分法测定。采用光释光(OSL)断代技术测定了古土壤

和SWD2的年代。具体步骤按照单片再生剂量法,在Risø-TL/OSL-DA-15型自动化释光仪上进行。

在利用古洪水滞流沉积层确定古洪水事件,并且恢复古洪水洪峰水位之后,对于洪峰流量的计算,则类似于采用历史洪水洪痕来推求洪峰流量。这方面的计算方法较多^[20]。由于本研究是在古洪水滞流沉积物剖面附近,选取稳定的基岩峡谷河槽过流断面,且河槽规整,流态稳定,因此采用比降法最为合适。其计算公式为:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式(1)中, Q 为洪峰流量(m^3/s); n 为河道糙率系数; A 为过流面积(m^2); R 为水力半径(m); S 为水面比降。

4 结果与讨论

4.1 古洪水事件年代确定

汉江上游河谷形成于秦岭山地南侧,其第一级阶地为基座阶地类型,阶地面二元结构沉积物之上,覆盖着晚更新世晚期黄土和全新世黄土古土壤层。在地层剖面上,其层序和时代与秦岭北侧渭河河谷第一级阶地的风成黄土古土壤完全对应(图3)。全新世大暖期(8 500~3 100 a B.P.)气候温暖湿润,秦岭南北两侧河谷成壤作用强烈,在渭河河谷形成具有暖温带特点的褐色土,在汉江谷地形成了具有北亚热带特点的黄褐土^[11,21]。晚

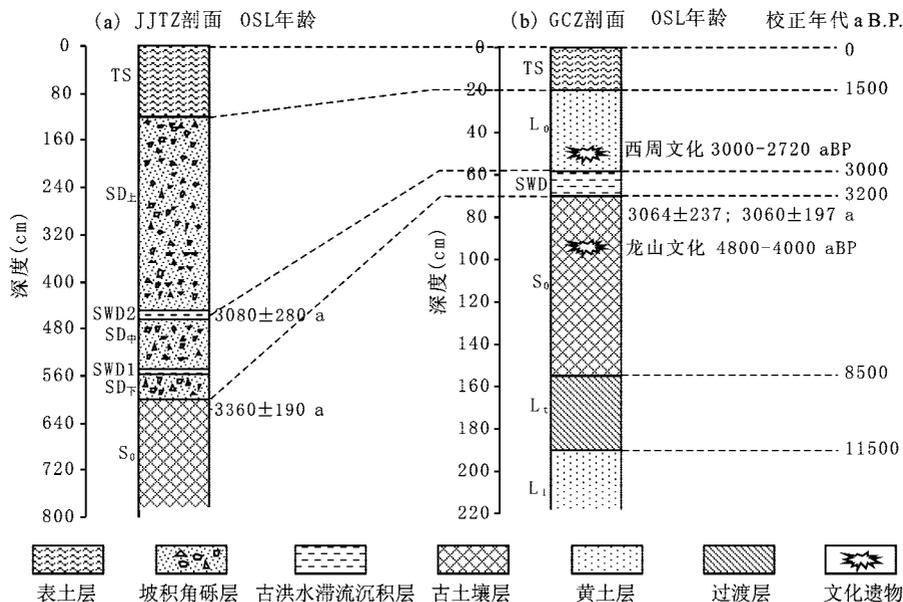


图3 汉江上游JJTZ全新世古洪水沉积剖面与渭河上游GCZ剖面^[16]地层年代对比
 Fig.3 Pedo-stratigraphy and chronology in the JJTZ profile in the upper reaches of the Hanjiang River and the correlation to the GCZ profile in the upper reaches of the Weihe River^[16]

全新世气候相对干旱,沙尘暴堆积在渭河与汉江河谷都形成了现代黄土(L₀)和表土层。在渭河河谷第一级阶地覆盖层中,在L₀/S₀界面常会发现古洪水滞流沉积层。深入研究表明这些古洪水SWD记录了发生在3 200~2 800 a B.P.的特大暴雨洪水事件^[9,12,15,18]。在汉江上游河谷多个地点,发现了古洪水的滞流沉积层,其分布高度和层位基本稳定,都位于全新世中期黄褐土古土壤之上,而且在多处发现黄褐土层中含有新石器时代文化遗物。在汉江白河段JITZ剖面,全新世晚期坡积角砾土层覆盖了全新世中期黄褐土古土壤,其顶部OSL年龄为3 360±190 a,而坡积角砾土层下部夹有古洪水滞流沉积层。其中SWD的OSL年龄为3 080±280 a。这意味着在全新世中期与晚期转折时期,汉江河谷普遍地发生了特大洪水事件。这些古洪水SWD在剖面的层位关系,表明其与渭河河谷3 200~2 800 a B.P.的洪水是同时发生的(图3)。从大气环流形势分析,汉江上游与渭河上游流域,现代暴雨洪水往往是东南季风或者西南季风大气环流异常造成。例如2005年10月、2011年9月,汉江和渭河同时发生大洪水,都是由西南季风携带来自印度洋孟加拉湾的水汽而引发的秋季暴雨造成^[22,23]。这个现实的例子表明,在秦岭南北两侧汉江上游与渭河上游,

暴雨洪水事件会在同样的大气环流形势之下同时发生。这就进一步表明,根据地层关系和气候转折对比,确定汉江上游JITZ剖面SWD记录的特大暴雨洪水事件与渭河河谷特大暴雨洪水事件的对应关系是合理的。由此确定汉江上游JITZ剖面SWD1和SWD2,记录了全新世中期与全新世晚期转折阶段的特大暴雨洪水事件,其发生年代为3 200~2 800 a B.P.

4.2 粒度分析

粒度成分分析是沉积学研究的最基本手段,也是识别和判定古洪水滞流沉积物的最主要指标之一^[24,25]。从沉积物粒度参数特征值表(表1)可见,汉江上游白河段JITZ剖面全新世古洪水和2010年大洪水滞流沉积层粒度成分都以粗粉沙为主,细沙次之,再次为细粉沙成分,粘粒含量很少。由此可将其确定为细沙质粉沙,这是基岩山地地区河流悬移质的基本特点。粒度成分标准离差(σ)和分选系数(S_0)均是表示分选程度的参数,JITZ地点古洪水和现代洪水SWD的标准离差(σ)和分选系数(S_0)均较小,说明其搬运沉积过程当中的分选性好。其粒度成分分布的偏度(SK)介于0.1~0.3之间,表现为正偏态;粒度分布曲线的峰度(K_g)为1.16和1.09,为尖锐。这些粒度参数都表

表1 汉江上游JITZ地点全新世古洪水和2010年大洪水滞流沉积物粒度特征值

Table 1 Grain-size characteristics of the palaeoflood and modern flood SWD in the JITZ profile in the upper reaches of the Hanjiang River

实验样品	粘粒<2 μ m (%)	细粉沙 2~16 μ m (%)	粗粉沙 16~63 μ m (%)	细沙>63 μ m (%)	中值粒径 $Md(\mu$ m)	平均粒径 $Mz(\mu$ m)	标准离差 σ	偏度 SK_0	峰态 Kg_0	分选系数 S_0
古洪水SWD	3.00	17.88	45.67	33.45	43.29	50.64	1.61	0.29	1.16	0.98
2010年洪水SWD	2.03	17.69	44.49	35.78	45.09	53.77	1.55	0.25	1.09	0.99

明,汉江上游JITZ剖面中的古洪水SWD,粒级集中,分选良好,且与2010年大洪水滞流沉积物的粒度特征值非常接近,充分说明是洪水悬移质泥沙成分在高水位滞流状态下沉积的产物^[26]。

粒度分布频率曲线可以直观地反映沉积物的性质、成因和物源^[27]。对在汉江上游JITZ地点采集的全新世古洪水SWD和2010年大洪水SWD,进行5次测量。从图4中可以看出,JITZ剖面古洪水SWD和现代洪水SWD频率曲线重合性良好,主峰高而狭窄,主要成分突出,也说明在洪水搬运沉积过程中分选好。这与表3中,粒度参数峰度、标准离差和分选系数反映出的情况完全一致。

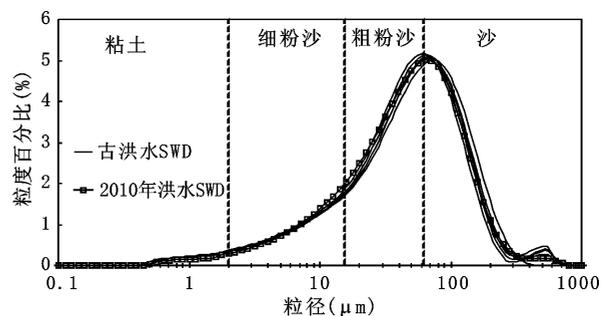


图4 汉江上游JITZ地点全新世古洪水和2010年大洪水滞流沉积物粒度分布频率曲线

Fig. 4 Grain-size distribution of the palaeoflood and modern flood SWD in the JITZ profile in the upper reaches of the Hanjiang River

5 古洪水的水文学重建

5.1 古洪水洪峰水位确定

全新世古洪水水位的确定主要依赖于古洪水滞流沉积层的高程。国内通常采用古洪水滞流沉积层顶面高程、或者滞流沉积层侧向尖灭点高程作为古洪水洪峰水位高程的最小值^[3,28]。汉江上游白河段谷深坡陡, JYTZ全新世沉积剖面处于汉江左岸古洪水滞流沉积的尖灭点位置, 所以首先依据“古洪水SWD尖灭点高程法”初步确定了两期古洪水的最低洪峰水位为196.5 m和198.0 m(表2)。同时, 为了使得古洪水洪峰水位的高程更为精确, 根据黄春长教授在黄河晋陕峡谷古洪水研究当中创设的“古洪水SWD厚度与含沙量关系法”^[12]来推算SWD的沉积水深。考虑全新世汉江上游自然景观、人类活动影响、水土流失和河流泥沙状况, 推断汉江上游古洪水水流的体积含沙量

为5%。由此推定SWD1沉积水深2.0 m, 相应的古洪水洪峰水位为198.0 m; SWD2沉积水深4.0 m, 相应的古洪水洪峰水位为201.5 m(表3)。

5.2 古洪水河槽断面确定

由于古洪水研究的是稀遇洪水满槽或者溢出河槽时的流量, 因而基岩峡谷型河道是古洪水水文学研究的理想河段。因为其河槽比较规整, 抗蚀能力强, 断面变化量小, 水流状态稳定, 在古洪水流量计算中误差较小, 有利于借助古洪峰水位推求洪峰流量^[8,29]。汉江上游白河—郧西段是典型的基岩峡谷, 基岩河槽长期稳定, 形态规则, 没有明显的冲刷和淤积, 很适合进行古洪水水文学研究。在JYTZ剖面采样点附近选取两岸基岩河岸相对距离最短处选取断面, 作为JYTZ地点推求洪峰流量的河槽断面。该断面与洪水流向基本保持垂直, 断面形态如图5所示, 根据测量结果, 可精确计算出河槽过洪断面面积(表2、表3)。

表2 汉江上游JYTZ断面全新世古洪水特征计算结果(古洪水SWD尖灭点高程法)

Table 2 Results of palaeoflood reconstruction at the JYTZ section in the upper reaches of the Hanjiang River (palaeoflood stage using SWD ending-point elevation)

古洪水期次	洪峰水位 $H(m)$	水面宽 $B(m)$	总水深 $h(m)$	水面比降 S	糙率系数 n	过水断面 面积 $A(m^2)$	湿周 $L(m)$	水力半径 $R(m)$	洪峰流量 $Q(m^3/s)$
SWD2	198.0	267.0	31.0	0.0008	0.035	6298.00	283.93	22.18	40180
SWD1	196.5	263.0	29.5	0.0008	0.035	5913.65	278.78	21.21	36620

表3 汉江上游JYTZ断面全新世古洪水计算成果表(古洪水SWD厚度与含沙量关系法)

Table 3 Results of palaeoflood reconstruction at the JYTZ section in the upper reaches of the Hanjiang River (palaeoflood stage using the Huang's Method)

古洪水期次	SWD厚度 (m)	SWD沉积 水深(m)	洪峰水位 $H(m)$	水面宽 $B(m)$	总水深 $h(m)$	水面比降 S	糙率系数 n	过水断面 面积 $A(m^2)$	湿周 $L(m)$	水力半径 $R(m)$	洪峰流量 (m^3/s)
SWD2	0.2	4.0	201.5	280.0	34.5	0.0008	0.035	7255.25	298.71	24.29	49170
SWD1	0.1	2.0	198.0	267.0	31.0	0.0008	0.035	6298.00	283.93	22.18	40180

注: *Figure out the palaeoflood slackwater depth by using SWD thickness and bulk of suspended sediment load of the floodwater.

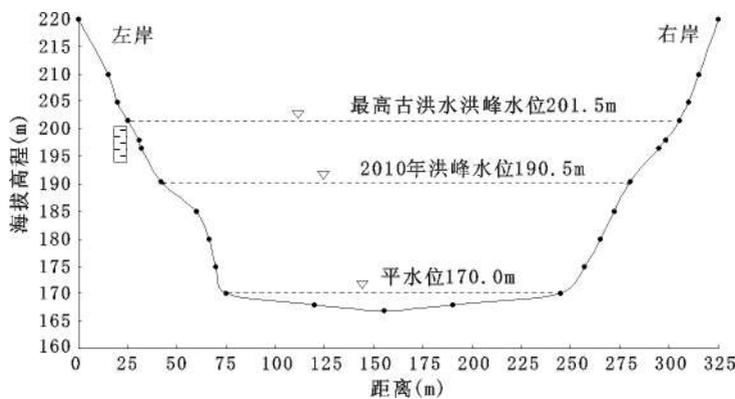


图5 汉江JYTZ地点河槽断面与全新世古洪水洪峰水位

Fig. 5 Cross-section of the channel and flood peak water level in Holocene at the JYTZ site in the upper reaches of the Hanjiang River

5.3 古洪水洪峰流量计算

在应用比降法计算恢复古洪水洪峰流量的过程当中,河流比降 S 和糙率系数 n 是很重要的水文参数。在本研究当中水面比降 S 以河床比降代替,在野外先用红外测距仪和GPS实地测量,然后结合1:10000地形图进行校正,确定汉江上游白河—郧西段在JJTZ断面河段的比降为0.8‰。

野外观察表明汉江上游白河段JJTZ断面河段为基岩河槽,河床为卵石,床面不太平整,总体比较顺直规整,两岸均为凸凹不平的基岩,其上有攀岩树木、灌木植物及杂草。河底不冲不淤,且无宽广河漫滩。水流湍急,流速较快,水声较大。当特大洪水发生时,水流直接淹没全部河槽与两岸基岩。根据《水力学》中的河道糙率标准^[30]将JJTZ断面河段河道糙率确定为V型,取河道糙率系数 n 值为0.035,变率为0.1%。

根据以上确定的比降法计算公式的相关参数,结合利用两种方法推求的汉江上游白河段JJTZ断面两期古洪水的洪峰水位和行洪断面面积,推算出JJTZ地点两层古洪水滞流沉积物记录的全新世时期汉江上游特大洪水洪峰流量。其中根据“古洪水SWD尖灭点高程法”洪峰水位求出的洪峰流量介于36 620~40 180 m³/s之间(表2)。根据“古洪水SWD厚度与含沙量关系法”洪峰水位求出的洪峰流量介于40 180~49 170 m³/s之间(表3)。

根据在黄河中游古洪水沉积物研究的经验,多泥沙河流洪水SWD尖灭点的确能够比较准确的记录洪峰水位,采用古洪水SWD尖灭点高程作为洪峰水位推求出的洪峰流量是比较准确的^[12]。但是,象汉江这样的少泥沙河流,洪水SWD尖灭点往往低于洪峰水位,况且,真正尖灭点位置的SWD沉积物极薄,在地层中难以保存下来。故我们在汉江上游白河段JJTZ断面采用SWD厚度与含沙量关系法恢复古洪水洪峰水位,计算出的洪峰流量值则更为符合汉江上游的实际情况。

5.4 水文验证计算

在野外考察当中对历史洪水和现代洪水洪痕调查,可以确定洪水的洪峰水位,为现代实测洪水洪峰流量的校核和全新世古洪水洪峰流量推算验证提供了重要的证据^[20]。我们在汉江上游白河—郧西段沿河岸多处发现现代洪水痕迹。尤其是汉江2010年7月19日大洪水的洪痕沉积物和树挂杂物,准确地标示出其洪峰水位高程在JJTZ断面为190.5 m。在该断面对2010年大洪水洪痕,应用比降法计算恢复的洪峰流量为22 430 m³/s(表4)。将其与白河水文站实测该次大洪水洪峰流量21 400 m³/s比较,误差仅为4.8%。可见采用比降法对汉江上游全新世特大洪水洪峰流量恢复的计算结果是可靠的。

目前世界上较流行的验证方法是通过采用美

表4 汉江上游JJTZ断面现代洪水洪痕水文恢复计算结果

Table 4 Results of modern flood reconstruction at the JJTZ section in the upper reaches of the Hanjiang River

洪水期次	洪峰水位 H (m)	水面宽 B (m)	水深 h (m)	水面比降 S	糙率系数 n	过水断面 面积 $A(\text{m}^2)$	湿周 $L(\text{m})$	水力半径 $R(\text{m})$	洪峰流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$
2010年7月19日	190.5	238.0	23.5	0.0007	0.035	4397.50	250.96	17.52	22430

国古洪水专家Baker V R建立的洪峰流量与流域面积关系进行验证^[31]。他研究了世界各地流域面积与大洪水洪峰流量,表明最大洪峰流量与流域面积之间存在一定的关系,即流域中发生的大洪水应介于直线方程为 $Q=760D^{0.4}$ 和 $Q=21D^{0.73}$ 之间,式中 Q 为洪峰流量, D 为流域面积。本文恢复计算出的汉江上游全新世古洪水最大洪峰流量,恰好在此范围之内,也从另一方面说明在汉江上游恢复计算出的古洪水洪峰流量是合理的。

5.5 汉江上游万年尺度流量—频率关系

将安康水文站1935~2010年的76 a观测年最大洪水数据,1583年、1867年和1921年的调查历

史大洪水数据,与JJTZ剖面记录的全新世2次古洪水的洪峰流量接续,构成了汉江上游11500 a B. P.以来长序列的洪水资料。通过“含有特大值的不完整序列频率分析方法”^[8]建立了汉江上游万年尺度洪峰流量与频率关系(图6)。从图6可知,实测洪水+历史洪水+古洪水的频率曲线稳定可靠。它使得万年一遇以内的洪水频率的读取,均由原来的外延法转变为内插法^[8,31],从而保证了数据的可靠性。黄委会水文学专家王国安教授认为,受苏联模式的影响,中国420座大型水库一半以上校核的万年一遇洪水数值太大,造成投资浪费^[32]。因此,虽然全新世古洪水水文学研究很复杂,涉及多

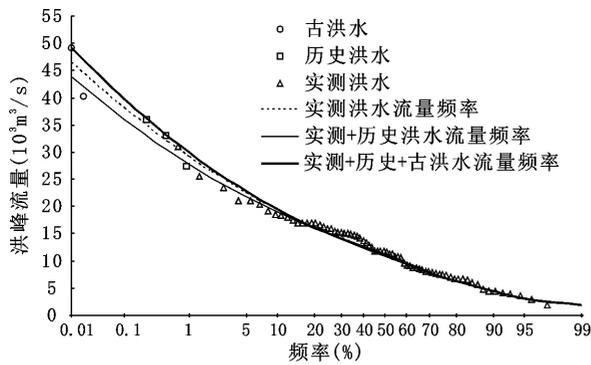


图6 汉江上游万年尺度洪水洪峰流量与频率关系曲线

Fig. 6 Flood frequency-peak discharge relationship curve at 10000-year time-scale in the upper reaches of the Hanjiang River

个学科的理论和方法,但是其研究成果对于防洪减灾、水资源和水能源开发利用具有十分重要的价值。

6 结论

1) 根据野外实地考察和沉积学分析,并与2010年7月大洪水滞流沉积物进行对比分析,确认汉江上游白河一郧西段JJTZ剖面存在两层全新世古洪水滞流沉积层。这些古洪水滞流沉积物为波状或者倾斜层理,被夹在全新世晚期坡积角砾层下部。它们的粒度成分以粗粉沙为主,分类属于细沙质粉沙。其粒级分布集中,分选较好,均匀纯净,是典型的古洪水悬移质在高水位滞流环境中的沉积物。

2) 在汉江上游峡谷白河一郧西段,在多处发现与JJTZ剖面同时期特大洪水形成的古洪水滞流沉积层。其分布高度稳定,层位关系明确。由于汉江上游第一级阶地黄土质覆盖层的层序和性质,与渭河河谷夹有古洪水滞流沉积层的全新世黄土古土壤地层完全对应。因而通过与渭河流域全新世环境变迁和水文事件年代框架对比,结合OSL测年数据,确定汉江白河一郧西段JJTZ剖面记录的两期古洪水事件,发生在在全新世中期与晚期转折阶段,即3 200~2 800 a B.P.之间。由于该时期处在气候转折期,季风气候变化剧烈,气候状态不稳定,故在汉江上游、渭河流域都有洪水和干旱事件发生。

3) 在准确地测定河槽断面和判定各种水文参数的基础上,根据古洪水沉积层厚度与含沙率关系,推算出古洪水SWD沉积水深和洪峰水位。并且利用比降法计算出白河一郧西段JJTZ断面古洪

水洪峰流量为40 180 m³/s和49 170 m³/s。利用该方法对当地2010年7月19日大洪水洪痕,进行了洪峰水位和流量恢复计算,其结果与水文站实测结果相符合。并且通过与美国学者Baker V R所提出世界各地河流流域面积与大洪水洪峰流量关系进行对比分析,表明在汉江上游峡谷段利用古洪水沉积物记录恢复计算出的全新世古洪水洪峰流量是合理的,计算结果是可靠的。

本研究结果明确地揭示出汉江上游全新世古洪水事件,确定了其发生年代,恢复了其洪峰水位,并且推求出其洪峰流量,有效地延长了汉江上游洪水数据序列,建立了万年尺度洪峰流量与频率关系。这对于南水北调中线工程、汉江上游梯级开发工程的建设和运行,具有重要的现实意义,对于揭示汉江流域水文过程对于全球变化的响应规律,具有重要的科学意义。

参考文献:

- [1] 徐志仿, 徐 铜, 浦前超. 丹江口库区及上游水资源保护与管理[J]. 人民长江, 2011, 42(2):16~20.
- [2] 杨晓燕, 夏正楷, 崔之久. 黄河上游全新世特大洪水及其沉积特征[J]. 第四纪研究, 2005, 25(1):80~85.
- [3] Yang Dayuan, Ge Yu, Xie Yuebo, et al. Sedimentary records of large Holocene floods from the middle reaches of the Yellow River, China[J]. Geomorphology, 2000, 33(1/2):73-88.
- [4] 葛兆帅, 杨达源, 李徐生, 等. 晚更新世晚期以来的长江上游古洪水记录[J]. 第四纪研究, 2004, 24(5):555~560.
- [5] 朱 诚, 郑朝贵, 马春梅等. 长江三峡库区中坝遗址地层古洪水沉积判别研究[J]. 科学通报, 2005, 50(20):2240~2250.
- [6] 谢远云, 李长安, 王秋良, 等. 江汉平原近3 000年来古洪水事件的沉积记录[J]. 地理科学, 2007, 27(1):81~84.
- [7] 展 望, 杨守业, 刘晓理, 等. 长江下游近代洪水事件重建的新证据[J]. 科学通报, 2010, 55(19):1908~1913.
- [8] 詹道江, 谢悦波. 古洪水研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001:1~83.
- [9] Huang C C, Pang J L, Zha X C, et al. Extraordinary floods related to the climatic event at 4200 a BP on the Qishuihe River, middle reaches of the Yellow River, China[J]. Quaternary Science Reviews, 2011, 30: 460-468.
- [10] Huang C C, Pang J L, Zha X C, 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 [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2010, 289(3): 1-9.
- [11] Huang C C, Pang J L, Zha X C, et al. Impact of monsoonal climatic change on Holocene overbank flooding along Sushui River, middle reach of the Yellow River, China[J]. Quaternary Science Reviews, 2007, 26: 2247-2264.

- [12] 李晓刚, 黄春长, 庞奖励, 等. 黄河壶口段全新世古洪水事件及其水文学研究[J]. 地理学报, 2010, **65**(11):1371~1380.
- [13] 李瑜琴, 黄春长, 查小春, 等. 泾河中游龙山文化晚期特大洪水水文学研究[J]. 地理学报, 2009, **64**(5): 541~552.
- [14] 姚 平, 黄春长, 庞奖励, 等. 北洛河中游黄陵洛川段全新世古洪水研究[J]. 地理学报, 2008, **63**(11):1198~1206.
- [15] 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[J]. 地理学报, 2007, **62**(3):291~300.
- [16] 万红莲, 黄春长, 庞奖励, 等. 渭河宝鸡峡全新世特大洪水水文学研究[J]. 第四纪研究, 2010, **30**(2):430~440.
- [17] 查小春, 黄春长, 庞奖励, 等. 泾河流域不同时间尺度洪水序列频率分析对比研究[J]. 地理科学, 2009, **29**(6):858~863.
- [18] 胡明思, 骆承政. 中国历史大洪水(下卷) [M]. 北京: 中国书店出版社, 1988: 181~206, 429~452.
- [19] 李幼木. 汉江安康流域洪水规律分析及水库对安康城区的防洪作用[J]. 陕西电力, 2007, **35**(10): 37~40.
- [20] 史辅成, 易元俊, 慕 平. 黄河历史洪水调查、考证和研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002:81~123.
- [21] 韦玉春, 黄春长, 孙根年. 汉中盆地全新世沉积物成因研究[J]. 干旱区地理, 2000, **23**(1):37~43.
- [22] 王旭仙, 武麦风, 吕俊杰, 等. 2005年渭河、汉江流域一次致洪暴雨过程浅析[J]. 灾害学, 2007, **22**(3):68~71.
- [23] 崔讲学, 徐双柱, 王仁乔, 等. 2005年汉江秋汛气象水文特征分析[J]. 暴雨灾害, 2007, **26**(4): 289~294.
- [24] 张 强, 杨达源, 施雅风, 等. 川江中坝遗址5000年来的洪水事件研究[J]. 地理科学, 2004, **24**(6): 715~720.
- [25] 赵澄林. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001:57~71.
- [26] 谢悦波, 王文辉, 王 平. 古洪水平流沉积粒度特征[J]. 水文, 2000, **20**(4):18~20.
- [27] 任明达, 王乃梁. 现代沉积环境概论[M]. 北京: 科学出版社, 1981:8~26.
- [28] 谢悦波, 费宇红, 沈起鹏. 古洪水平流沉积与水位[J]. 地球学报, 2001, **22**(4):320~323.
- [29] 谢悦波, 张素亭, 毕东生. 古洪水行洪断面面积的估算[J]. 河海大学学报, 1999, **27**(5): 8~11.
- [30] 武汉水利电力学院水力学教研室编. 水力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1986, 335~336.
- [31] Baker V R. Palaeoflood hydrology in a global context[J]. *Catena*, 2006, **66**(1/2):161-168.
- [32] 王国安. 关于我国水库的防洪标准问题[J]. 水利学报, 2002, **12**:22~25.

Palaeoflood Hydrological Study in the Baihe Reach in the Upper Reaches of the Hanjiang River

LI Xiao-gang, HUANG Chun-chang, PANG Jiang-li, ZHA Xiao-chun, ZHOU Ya-li, WANG Heng-song

(College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shanxi 710062, China)

Abstract: Palaeoflood hydrological studies were carried out in the upper reaches of the Hanjiang River. Palaeoflood slackwater deposit was found at the JJTZ site in the Baihe reach in the bedrock gorges. Analysis of the grain-size distribution indicates that these SWD consist of sandy silt, sourced from the suspended sediment load of the floodwater. Stratigraphic correlation with the chronological framework established in the Weihe River basin OSL dating show that these extreme floods occurred at the turn from middle to late Holocene, about 3200-2800 a B.P. at the end of the mid-Holocene Climatic Optimum. The reconstructed peak discharges of the palaeoflood range from 40 180 m³/s to 49 170 m³/s, which are much larger than the gauged largest floods. These results were further tested and proved to be reliable with reconstruction of the modern floods at the same reach with the same method. This research is of great importance in hydrological engineering and flood mitigation. And it is also very important in establishment of the relationships between extreme flood events and global climate change.

Key words: palaeoflood; slackwater deposit; Holocene; 10000-year time-scale; Hanjiang River