汉江上游郧县辽瓦店全新世古洪水研究

吴帅虎，庞奖励，黄春长，查小春，杨建超

（陕西师范大学 旅游与环境学院，陕西 西安 710062）

摘　要：以汉江上游谷地郧县辽瓦店全新世古洪水滞流沉积剖面为研究对象，对其进行了洪水沉积学和水文学研究，并对其粒度组成、磁化率、烧矢量等理化性质进行了测量。结果证明，辽瓦店(LWD)剖面中夹有典型的古洪水滞流沉积物(SWD)，它记录了一次特大洪水事件。利用地层学方法确定该次洪水事件发生在 AD100—300 之间(东汉—魏晋时代之间)。根据沉积学和水文学原理恢复了古洪水的洪峰水位在 159.80 m，以此计算出洪峰流量为 65 420 m^3/s。根据 2011 年 9 月 19 日汉江洪水洪峰水位痕迹高程并利用相同方法反推洪水流量，所获流量数据与实测数据误差小于 1%。

关键词：汉江上游；古洪水；辽瓦店；全新世

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2012)06-0182-05　　**中图分类号**：P331，P534.632

Palaeoflood Study in Liaowadian Site of Yunxian County in Upper Reaches of Hanjiang River

WU Shuai-hu, PANG Jiang-li, HUANG Chun-chang, ZHA Xiao-chun, YANG Jian-chao

(*College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi* 710062, *China*)

Abstract: The Holocene sediment profile was surveyed in detail and sampled systematically at the Liaowadian site on the first river terrace in the upper Hanjiang valley. Its sedimentological and hydrological characteristics were observed in the field. Particle-size distribution, magnetic susceptibility and loss-on-ignition were analyzed in laboratory. An integration of the results showed that the palaeoflood slackwater deposits of the profile are very typical, recording an extreme flood event that might occur during A D 100—300 according to stratification comparison. Based on flood level information recovered using sedimentological and palaeohydrological methods, the palaeoflood peak discharge could reach 65 420 m^3/s. The methods were further validated by the reconstruction of the modern flood event (20110919), with a very low error less than 1%.

Keywords: **Hanjiang River; Palaeoflood; slackwater deposit; Liaowadian Site; Holocene**

古洪水也称史前洪水[1]。对其的研究是以同期形成的滞流沉积物(SWD)为主要信息载体，利用第四纪地质学、沉积学、水文学和断代学的相关原理和知识，推测洪水发生的年代和有关水文参数(水位和流量)。其研究结果可得到较长时间尺度(数千年到万年)的大洪水资料，使洪水的考证期大为扩展，可以避免现行靠数学外延洪水频率曲线的弊端，为洪水计算开辟了一条新的途径[2]。国际上，美国、西班牙、印度、法国、日本、澳大利亚等国家都已经在古洪水研究方面取得了显著的成果[3]，国内的古洪水研究是从 20 世纪 80 年代开始的，主要集中在对黄河、长江、淮河、海河等河段的研究，并取得了一定的科研成果[4]，其最显著的成就是在长江三峡设计洪水以及黄河小浪底设计洪水中的应用[5-7]。汉江上游作为我国南水北调中线工程调水源头，其水利水电工程和水资源的开发调配对于国民经济都有着至关重要的作用，但对其长时间尺度上的古洪水研究尚属空白。本研究在汉江上游河谷郧县辽瓦店发现了完整清晰的全新世古洪水沉积剖面，通过对其深入的沉积学和水文学研究，获得了区内全新世内特大洪水水文资料，该资料有利于延长汉江流域洪水的水文学数据序列，为汉江上游沿岸地区城镇的防洪减灾提供重要的数据支撑。

收稿日期：2011-12-26　　**修回日期**：2012-02-18

资助项目：国家自然科学基金项目“汉江上游河谷风成黄土堆积及其成壤改造对全新世气候变化的响应规律”(41271108)，“汉江上游(南水北调水源区)万年尺度古洪水水文学研究”(41030637)；教育部博士点基金优先发展领域项目 (20110202130002)

作者简介：吴帅虎(1986—)，男(汉族)，陕西省户县人，硕士研究生，研究方向为资源开发与环境演变。E-mail：wushuaihuxiaolaoda@163.com。

通讯作者：庞奖励(1963—)，男(汉族)，陕西省西安人，博士，教授，主要从事环境演变和土地资源利用研究。E-mail：jlpang@snnu.edu.cn。

1　研究区概况

汉江发源于秦岭与米仓山之间宁强县潘冢山,由西向东流经陕西省的汉中市、安康市,于白河县出陕西省进入湖北省,经襄樊地区折向东南,在武汉市汇入长江。汉江干流全长 1 577 km,流域面积达 1.51×10^5 km^2,丹江口以上为汉江上游区,河长 925 km,流域面积 95 217 km^2,占全流域面积的 60%[8]。汉江上游年平均流量 937 m^3,年平均径流量 3.79×10^{10} m^3,白河水文站年平均输沙量 5.1×10^7 t,年平均含沙量 1.92 kg/m^3。汉江上游左岸较大的支流有沮水河、褒河、胥水河、溢水河、酉水河、子午河、池河、月河、旬河、蜀河、金钱河等;右岸主要有玉带河、漾家河、濂水河、冷水河、牧马河、任河、岚河、黄洋河、坝河等;右岸比左岸支流短小,左右岸水文特性差异较大,水系为不对称水系[9]。支流多为山溪性河流,比降大,切割侵蚀强烈,一旦出现暴雨,产汇流形成极快,往往呈现峰高量大,涨落急,峰型尖瘦的特点。属于北亚热带季风气候,具有北亚热带和暖温带两种气候特征,流域内植被良好,气候温和,雨量较为充沛,多年平均降水量 800～1 200 mm。降水量年纪变化大,5—10 月降水量占 80%左右,其中约 50%是集中在 7—9 月,且多以暴雨形式集中降落,具有雨强大、分布集中和笼罩面积广等特点。陕西省白河水文站建于 1934 年,其以上主流河长为 735 km,控制流域面积 59 115 km^2,占全流域面积的 37.2%。该站实测最大洪峰流量为 31 000 m^3/s(1983 年)。

2　材料和方法

2.1　研究材料

辽瓦店(LWD)位于湖北省郧县辽瓦店段汉江南岸,距上游白河水文站约 80 km,东、西、南三面为低山环绕,东部有一条季节性河流。剖面顶部高程 160 m,高于河流平水位 18 m。该剖面的全新世地层完整,两侧延伸较稳定,人类活动仅仅限于剖面表层(对剖面主体结构影响很弱),其间夹有典型的古洪水滞流沉积层。在对剖面进行详细土壤学、地层学和沉积学特征研究基础上,从上向下依次可划分为:(1) 0—25 cm,表土层(TS),灰黄棕(10YR6/2),黏土粉沙质地;(2) 25—40 cm,古洪水滞流沉积层(SWD),棕灰(10YR6/1),十分均匀的细粉砂,上下界限极其清楚;(3) 40—70 cm,全新世黄土(L_0),浊黄橙(10YR7/4),均质块状结构,底部见有灰色陶片(周代);(4) 70—220 cm,古土壤层(S_0),上部浊红橙(7.5YR5/4),下部为亮红棕(5YR5/4),黏土质地。(5) 220—330 cm,过渡层(L_t),浊黄橙(10YR7/4),粉砂黏土质地。(6) 330—430 cm,弱成壤改造的河流相粉砂层(T_{1-al}),淡黄色(2.5Y7/4)。(7) 430—490 cm(未见底),典型河流相沉积层,水平层理发育。

2.2　研究方法

野外用加拿大 Newcon 公司生产的 LRM1500 型激光测距仪和 GPS 对剖面所在点的河段形态参数进行精确测量,并用 1/10 000 地形图进行校正。在剖面点从上向下每隔 5 cm 连续采样,共采集样品 98 个,有关实验在陕西师范大学所属实验室完成。粒度分析方法为:向样品中加入 10% H_2O_2 和 10% HCL 以去除有机质和碳酸盐,然后加入适量$(NaPO_3)_6$ 充分分散后,采用美国 Beckman 公司生产的 LS13320/ULM2 型激光粒度仪测定。磁化率采用英国 Bartington 公司生产的 MS-2B 型磁化率仪测量,测量精度为 1%,方法为称取研磨后粒径<2 mm 的风干土样 10 g 装入无磁性塑料盒进行测量,每个样品测定 3 次,取其平均值。烧失量测量是将取研磨至 200 目以下样品(约 1 g)置于瓷舟中并精确称量其质量(精确至 0.001 g),放入烘箱中,在 105 ℃条件下烘干 8 h 以上,然后放入马弗炉中在 400 ℃下灼烧 2 h,待冷却后再次精确称量其质量,计算获得烧失量。

2.3　地层年代的确定

本研究未进行详细的地层断代工作,剖面中古洪水滞流层(SWD)断代通过地层对比方法确定。渭河谷地的全新世黄土—古土壤序列具有 TS—L_0—S_0—L_t—L_1 构型,其地层年代框架已经相当成熟,其过渡层 L_t 下界为 11 500 aBP;古土壤层 S_0 底界为 8 500 aBP,顶界为 3 100 aBP[10]。对有关资料详细分析发现,位于汉江上游一级阶地之上的 LWD 剖面的地层序列与渭河谷地的全新世黄土—古土壤序列完全一致[11],也具有 TS—L_0—S_0—L_t 构型。而古洪水滞流层 SWD 位于黄土层 L_0 的顶部,其中见含有东汉时代的陶片,结合 OSL 测年数据,确定古洪水事件发生在 AD100—300 之间,相当于东汉至魏晋时代。

3　实验结果

3.1　SWD 粒度组成特征

粒度的分布能够推断沉积物来源、搬运动力及沉积环境,从而推断沉积物的成因类型[12-13]。辽瓦店剖面中古洪水滞流沉积物(SWD)的粒度组成特征表现为(表 1):粉砂和细砂占优势,>0.063 mm 颗粒含量最多(50.19%),0.002～0.063 mm 含量次之(46.78%),<0.002 mm 含量最少(3.03%)。中值粒径 M_d(0.063 9 mm)和平均粒径 M_z(0.070 8

mm)，均是剖面的最大值，说明细砂是其主要成分。分选系数(S_0)为 1.01、峰度(K_g)为 1.16，偏态系数(SK)为0.39，这说明 SWD 的分选性极好。所得粒度参数表明，辽瓦店剖面中 SWD 具有以粉砂—细砂为主的组成特征，且具有十分良好的分选特征，其应是典型的古洪水滞流沉积物。

表 1 汉江辽瓦店(LWD)剖面沉积物粒度参数特征值

地层	深度/cm	< 0.002 mm/%	0.002～0.016 mm/%	0.016～0.063 mm/%	> 0.063 mm/%	M_d/mm	M_z/mm	S_0	S_K	K_g	σ
TS	25—0	7.76	42.69	35.85	13.70	0.0173	0.0257	1.23	0.12	1.09	1.92
SWD	40—25	3.03	14.89	31.89	50.19	0.0639	0.0708	1.01	0.39	1.16	1.66
L_0	70—40	7.74	43.54	35.00	13.72	0.0166	0.0254	1.22	0.1	1.09	1.92
S_0	220—70	9.33	46.45	38.00	6.22	0.0145	0.0189	1.2	0.21	1.03	1.79
L_t	330—220	6.29	37.79	40.38	15.53	0.0212	0.0295	1.2	0.18	1.04	1.82
2011 年洪水		1.66	13.02	38.02	47.30	0.0591	0.0701	0.97	0.24	1.11	1.53

注：M_d 中值粒径；M_z 平均粒径；S_0 分选系数；S_K 偏态系数；K_g 峰度；σ 标准偏差。

SWD 的粒度分布特征与古土壤和黄土显著不同，其粒度自然分布频率曲线呈单峰式，正偏态，主峰偏向粗颗粒一侧，显示以粉砂和细砂为主，主峰高而窄，反映很好的分选，说明该滞流沉积物是典型的悬移质沉积物。而古土壤 S_0 呈现三峰式，由一个主峰和两个低矮的次峰组成，表土层 TS 和黄土 L_0 的自然分布频率曲线重合，均呈现双峰式，过渡层 L_t 也呈现双峰式，均明显区别于滞流沉积层的频率曲线(图 1)。

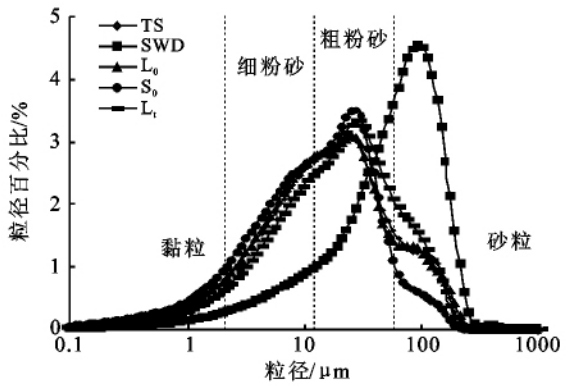


图 1 汉江上游辽瓦店(LWD)剖面沉积物不同层位粒度分布频率曲线

3.2 磁化率和烧失量

磁化率能够敏感反映沉积物中磁性矿物特别是铁磁性矿物含量的变化[14]，可作为成壤强弱重要指标，间接地反映了气温与降水量的变化。

实验数据显示(图 2)，古土壤 S_0 磁化率在 4.25～9.13×10^{-9} m^3/kg，平均 7.06×10^{-9} m^3/kg；表土层 TS 在 4.33～4.53×10^{-9} m^3/kg，平均 4.42×10^{-9} m^3/kg；黄土层 L_0 在 3.10～4.56×10^{-9} m^3/kg，平均 3.85×10^{-9} m^3/kg，显著低于古土壤 S_0；过渡层 L_t 的磁化率在整个剖面最低，2.80～4.26×10^{-9} m^3/kg，平均 3.33×10^{-9} m^3/kg；SWD 的磁化率在 6.23～4.56×10^{-9} m^3/kg，平均值为 6.57×10^{-9} m^3/kg，其显著特征是与上下相邻层成截然的突变关系，与古土壤和黄土之间的渐变关系不同，说明 SWD 是一个突发事件—洪水的产物。形成洪水的暴雨侵蚀了当时的地表土壤，河流的分选过程使洪水期间形成的滞流沉积物含有较多来自表土土壤的铁磁性矿物，导致其磁化率不同于上下层。

烧失量反映了成壤过程中生物活动强度的变化，对环境变化具有明显的指示意义[15]。LWD 剖面的烧失量在 1.23%～4.01%之间变化，平均 2.65%(图 2)。其中古土壤层 S_0 的烧失量含量为剖面最高，在 1.38%～4.01%，平均达 2.73%；表土层 TS 在 2.49%～2.71%，平均 2.57%；黄土层 L_0 在 1.81%～2.21%，平均 2.02%，明显低于古土壤 S_0；过渡层 L_t 在 2.44%～3.18%，平均 2.91%。SWD 的烧失量在整个剖面最低，在 1.23%～1.50%，平均 1.40%，表明 SWD 作为水流较长距离搬运的产物，在分选过程中较轻的有机质被分选掉，致使其含量比较低。

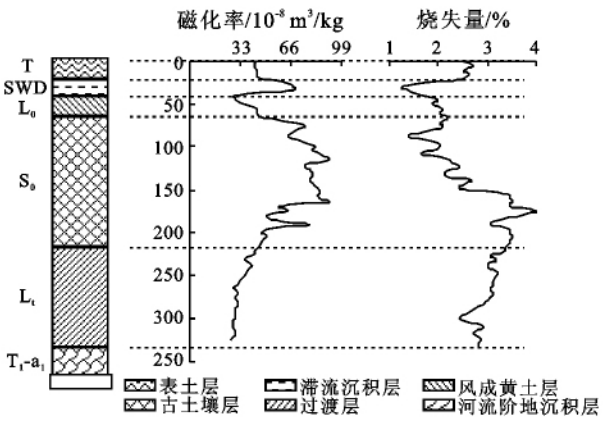


图 2 汉江上游辽瓦店(LWD)剖面沉积物磁化率、烧失量

4　古洪水的水文学恢复

4.1　古洪水水位和行洪断面

古洪水水位的判断有多种方法,其中之一是用古洪水滞流沉积层顶面高程作为洪峰水位,大量的室内模拟实验和沉积学观察研究也认为,洪水滞流沉积尖灭点高程较可靠的指示了洪水位[16]。野外观察发现,LWD 剖面中古洪水滞流沉积层向坡上方逐渐尖灭,通过追索后确定尖灭点高程为 159.80 m,即古洪水的水位为 159.80 m(表 2)。

基岩峡谷因其河槽抗蚀能力强,形态比较规整和断面变化小,水流状态稳定等特点,被认为是推算行洪断面的最佳河段[17]。LWD 剖面所在汉江河段为典型基岩峡谷(片岩),该区域晚更新世以来地壳活动微弱,河槽形态稳定,在万年尺度上河床断面变化可以忽略,因此很适合进行古洪水水文学研究,本研究在采样点附近选取两岸基岩相对距离最短处作为推求流量的断面(图 3)。

4.2　古洪水流量

目前,计算洪峰流量的方法和模型有多种,如控制断面法、回水曲线法、水位—流量关系法、比降法等[18]。研究地点(LWD 剖面)位于基岩峡谷河段,其河道稳定,糙率系数较易获得,比较后认为比降法最为合适,计算公式为:

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

式中:Q——洪峰流量(m^3/s);n——河道糙率系数;A——过流面积(m^2);R——水力半径(m);S——水面比降。其中水面比降 S 以河床比降代替,野外用红外测距仪实地测量,然后结合 1:10 000 地形图中的高程点进行校正,确定该断面所在河段水面比降为 1.0‰。LWD 断面所在的河段为基岩河床,左右岸均为凹凸不平的基岩,其上有少量杂草和灌木,河槽形状较规整,水流湍急,水声较大,且该河段为峡谷地带,无宽阔河漫滩,特大洪水发生时,洪水直接淹没全部河槽与两岸基岩。结合该地段的地表特征,根据《水力学》中糙率表所描述天然河道的特征[19],将该河道的糙率 n 确定为 0.035。根据以上参数和所确定的古洪水的水位和行洪断面面积推算出汉江辽瓦店段的古洪水洪峰流量为 65 420 m^3/s(表 2)。

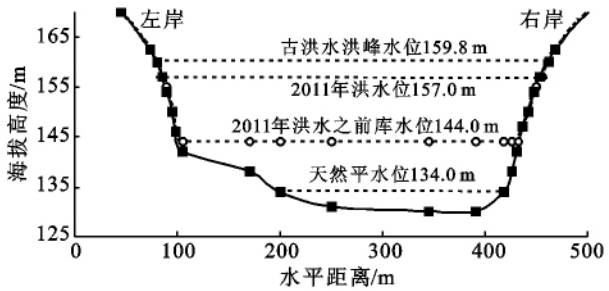


图 3　汉江上游郧县辽瓦店(LWD)古洪水和现代洪水的过水断面

表 2　汉江上游郧县辽瓦店(LWD)剖面全新世古洪水计算成果

洪水期次	洪峰水位/m	水深/m	水面宽/m	水面比降 S	糙率系数 n	过水面积/m^3	湿周/m	水力半径/m	洪峰流量/($m\cdot s^{-1}$)	流速/($m\cdot s^{-1}$)	误差/%
古洪水 SWD	159.80	29.80	379.88	0.001	0.035	8 998.63	394.27	22.82	65 420	7.27	
2011 年	157.00	13.00	369.00	0.001	0.035	4 533.00	378.73	11.97	21 430	4.73	0.14

4.3　洪水流量的验证

古洪水流量的计算结果是否可信,其关键看能否得到验证。利用有实际监测数据的现代洪水进行验证。在辽瓦店河段附近找到了“20110919”汉江最大洪水的洪痕印记,记录的水位高程 157 m。利用与古洪水推算相同的方法和相同参数及 157 m 水位高程反推其洪水发生时的流量,求得洪水流量约为 21 430 m^3/s(表 2)。

研究区域与白河水文站的距离仅有约 80 km,其沿途河段并无大的支流加入,而白河水文站也处于基岩河段,两岸也有少量杂草和灌木,河槽稳定和无宽阔河漫滩,洪水发生时会直接淹没全部河槽与两岸基岩,可认为两地的河槽环境相同,洪水流量也基本相同,即研究地点的“20110919”汉江最大洪峰流量为 21 000 m^3/s(白河水文站数据)。对比可见,实测数据与推算结果的误差小于 1%(表 2),这表明采用比降法来恢复古洪水流量的方法是合理的,恢复的古洪水流量数据是可靠的。

Baker[3] 研究认为流域面积与大洪水洪峰流量之间存在密切关系(图 4),大洪水一般位于方程 $Q=760D^{0.4}$ 和 $Q=21D^{0.73}$ 所夹的区域内(式中:Q——洪峰流量;D——流域面积)。汉江上游辽瓦店段古洪水最大洪峰流量也恰好处在此范围内,即汉江上游大洪水的洪峰流量与流域面积关系也符合此规律,这也从另一方面证明所恢复的古洪水洪峰流量是可靠的。

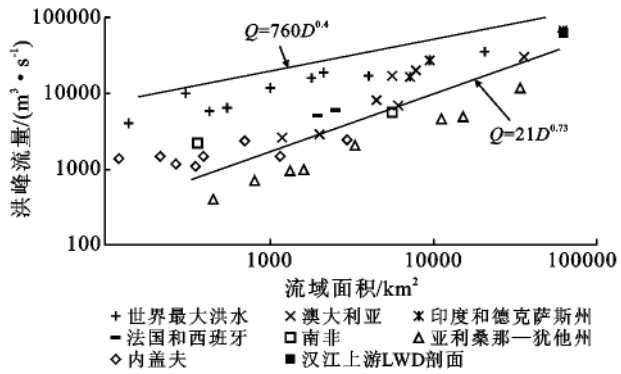


图 4 世界最大洪峰流量与流域面积的关系

5 结 论

(1) LWD 剖面中古洪水滞流沉积层(SWD)的粒度组成以细砂和粉砂占绝对优势,粒度分布范围集中,分选较好,是典型的古洪水悬移质沉积物。其磁化率和烧失量明显不同于黄土和古土壤层,SWD 的磁化率与上下相邻层呈突变关系,而烧失量明显低于黄土和古土壤层。SWD 所记录的古洪水事件发生于 AD100～300 之间(东汉至魏晋时代)。

(2) 根据 SWD 尖灭点高程确定古洪水洪峰水位为 159.80 m,用比降法恢复其记录的洪水的洪峰流量为 65 420 m^3/s。根据现代洪水(2011 年汉江洪水)进行验证,计算结果与实测洪峰流量的误差小于 1%。同时,计算的古洪水流量也符合 Baker 建立的流域面积与洪峰流量关系的规律。

(3) 本研究结果明确揭示出汉江上游辽瓦店汉江河段在全新世出现的古洪水事件并初步确定了其发生年代,可靠地恢复了古洪水发生时的水文参数,有效地延长了汉江上游洪水数据序列,为汉江上游水资源的开发利用和沿岸城镇的防洪救灾提供重要参考数据。

[参 考 文 献]

[1] 杨达源,谢悦波. 古洪水平流沉积[J]. 沉积学报,1997,15(3):29-32.

[2] 詹道江,谢悦波. 洪水计算的新进展——古洪水研究[J]. 水文,1997(1):1-5.

[3] Baker V R. Palaeoflood hydrology in a global context [J]. Catena, 2006,66(1/2):161-168.

[4] 谢悦波,杨达源. 古洪水平流沉积基本特征[J]. 河海大学学报,1998,26(6):6-11.

[5] 詹道江,谢悦波,杨玉荣. 中国的古洪水研究[C]//朱光亚,周光召. 中国科学技术文库·天文学、地球科学. 北京:科学技术文献出版社,1998.

[6] 谢悦波,杨玉荣,王辉. 三峡河段古洪水平流沉积指标体系[J]. 人民长江,1999,30(8):4-6.

[7] 谢悦波,王井泉,李里. 2360 aBP 古洪水对小浪底设计洪水的作用[J]. 水文,1998,18(6):18-23.

[8] 赵红莉,陈宁,蒋云钟,等. 汉江上游水资源时空演变及成因分析[J]. 南水北调与水利科技,2009,7(6):90-94.

[9] 张楷. 汉江上游暴雨洪水特性研究[J]. 灾害学,2006,21(3):98-102.

[10] Huang Chunchang, Jia Yaofeng, Pang Jiangli, et al. Holocene colluviation and its implications for tracing human-inducesoil erosion and redeposition on the piedmont loess lands of the Qinling Mountains, Northern China [J]. Geoderma, 2006, 136(3): 838-851.

[11] 庞奖励,黄春长,周亚利,等. 汉江上游谷地全新世风成黄土及其成壤改造特征[J]. 地理学报,2011,66(11):1562-1573.

[12] Lu Huayu, An Zhisheng. Grain size of quartz as an indicator of palaeoclimate on the Loess Plateau. Science in China(Series D), 1998, 28(3): 278-283.

[13] Zhao Chenglin. Sedimentary Petrology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001:57-71.

[14] Shi Wei, Zhu Cheng, Xu Weifeng et al. Relationship between abnormal phenomena of magnetic susceptibility curve of profiles and human activities at Zhongba site in Chongqing[J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(3): 257-267.

[15] 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.

[16] Xie Yuebo, Fei Yuhong, Shen Qipeng. Slack water deposits and flow peak level of a paleoflood[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001,22(4):320-323.

[17] Xie Yuebo, Zhang Suting, Bi Dongsheng. Palaeoflood channel cross section area estimates[J]. Journal of Hohai University, 1999,27(5):8-11.

[18] 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.

[19] School of Water Resource and Hydropower. Hydraulics [J]. Beijing: Higher Education Press, 1986:335-336.