

文章编号: 1008-2786-(2016)2-173-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000115

黄河上游靖远金坪段全新世古洪水沉积物特征

赵雪如, 黄春长*, 庞奖励, 查小春, 郭永强, 胡贵明

(陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘 要: 通过对黄河上游靖远—景泰峡谷段进行系统地全新世古洪水沉积学和水文学考察, 确定金坪村剖面含有一组 14 层古洪水滞流沉积层。同时在该河段多处发现 2012 年大洪水洪痕和滞流沉积物的尖灭点。对两种沉积物进行采样和分析测试, 结果表明古洪水滞流沉积物粒度成分分类为粘土质粉沙和细沙质粉沙。其粒度分布集中, 分选性良好, 与现代大洪水滞流沉积物完全相同, 明显不同于晚更新世马兰黄土和全新世中期古土壤。这些特征表明他们是黄河上游古洪水悬移质泥沙在高水位滞流环境下缓慢沉积的产物, 记录了黄河上游靖远—景泰峡谷段一期 14 次特大古洪水事件。该剖面全新世古洪水滞流沉积物的磁化率很低、烧失量小、 CaCO_3 含量低, 与现代洪水滞流沉积物对应指标相似。说明这组古洪水滞流沉积物在沉积之后很快被坡积石渣土覆盖保存, 没有受到地表风化成壤作用的影响。并且经过 OSL 测年, 本期特大古洪水事件发生在 3 200—3 000 a B. P., 这些研究结果对于揭示黄河上游特大洪水沉积物性质和泥沙来源、开展黄河流域全新世古洪水水文学研究, 揭示黄河上游洪水水文泥沙过程对于全球变化的响应规律具有重要的意义。

关键词: 环境变迁; 古洪水滞流沉积物; 沉积特点; 黄河上游; 全新世

中图分类号: P512.2, P539.6

文献标志码: A

黄河的洪水灾害和泥沙问题由来已久。目前受到全球变化的影响, 该问题日益突出, 掌握超长时间尺度的黄河水文气候变化规律对评估全球变化对区域水文气候系统的影响有重要意义^[1-2]。古洪水事件尤其是古洪水水文学的研究致力于恢复万年尺度特大洪水发生的年代和洪峰水位、流量等水文信息, 从而精确的判定黄河某特定地点古水文古气候状况, 最终为各类工程的洪水设计提供可靠依据^[3-17]。

勾晓华等^[18]利用树木年轮重建了黄河上游过去 1 234 a 的流量变化, 树轮资料与气候水文要素相关度高且定年准确, 但所能触及的时间尺度有限, 若

要研究发生年代更为久远的古洪水事件, 还需要另外选取研究介质。在古洪水研究领域, 李长安等^[19]在兰州—银川段发现了 20—18 ka B. P. 末次盛冰期时 18 次多次洪峰叠加的复合型大洪水地质记录, 但未见相应古洪水流量的后续报道。目前对黄河上游古洪水的考证工作较少, 亟需开展系统的古洪水研究。本文借助野外考察和实验室分析, 对黄河干流靖远—景泰峡谷河段金坪村(JPC)地点所发现的沉积物进行分析论证, 确定是全新世古洪水滞流沉积物, 这为该区段下一步的古洪水水文重建工作提供基础。同时, 本文将古洪水沉积物与古堰塞湖沉积

收稿日期(Received date): 2014-11-03; 修回日期(Accepted): 2015-01-03。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(41471071), 教育部博士点基金优先发展领域项目(20110202130002)。[Supported by the National Natural Science Foundation of China (41471071), and the priority development projects which provided by doctoral fund from the ministry of education (20110202130002).]

作者简介(Biography): 赵雪如(1990-), 女(汉), 河北唐山人, 硕士研究生, 研究方向为资源开发与环境演变。[Zhao Xueru(1990-), female (Han), born in Tangshan, Hebei, graduate student from Master Degree, major in resource development & environment evolution.] E-mail: zhaoxr1990@163.com

* 通信作者(Corresponding author): 黄春长, (1953-), 男, 陕西彬县人, 教授, 博导, 主要从事全新世环境变化与人地关系演变研究。[Huang Chunchang (1953-), male, born in Shannxi, professor, research fields cover climate change during the Holocene, and human-natural relationship evolution study.] E-mail: cchuang@snnu.edu.cn

物从沉积环境和沉积特征两方面进行了细致的对比,从而更加全面地认识并论证了本文所指沉积物确为古洪水滞流沉积物。

1 研究区环境与研究河段概况

黄河上游指内蒙古托克托县河口镇以上区间,河段全长 3 472 km,流域面积 $38.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,流域面积占全黄河总面积的 51.3%。上游河段总落差 3 496 m,平均比降为 1‰;本河段年来沙量只占全河年来沙量的 8%,多年平均径流量占黄河来水量的 54%,水多沙少,是黄河的清水来源。而黄河上游来水来沙地区分布不均匀,水沙异源。其中上游 90.7% 的水量来自兰州以上^[20],流入黄土高原后沙量明显增多。上游河道受阿尼玛卿山、西倾山、青海南山的控制而呈 S 形弯曲。黄河上游根据河道特性的不同,又可分为河源段、峡谷段和冲积平原三部分。其中峡谷段指从青海龙羊峡到宁夏青铜峡河段,本文研究的白银市靖远县金坪村即处于峡谷段,两岸为坚硬的变质岩和火成岩,谷坡陡峻,河床宽度相对狭窄。该区位于中温带半干旱区向干旱区过渡地带,年平均气温 6~9℃,年降水量 180~450 mm,多集中在 7、8、9 三个月,年蒸发量达 1 500~1 600 mm。据统计,1904—1989 年的 80 a 间,黄河兰州站发生 8 次洪峰流量高于 $5 000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的大洪水^[20],其中 1981 年 $7 090 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水导致 20 万人受灾,约 6 667 hm^2 农田被淹没,经济损失惨重。

2 研究地点和古洪水 SWD 样品采集

黄河上游靖远—景泰段河道顺直规整,为典型的基岩峡谷河槽。其左岸为基岩陡壁,局部见第一级阶地为基座阶地,高出平水位 25~30 m,前沿为直立的崖壁。右岸地势相对平缓,基岩斜坡之下为坡积物构成的缓坡地。河底为基岩,未出现明显淤积(图 1)。通过对这一河段开展全新世古洪水沉积学考察,于黄河南岸靖远县北部金坪渡口以东路堑边坡旁厚层坡积石渣土之下发现一组厚达约 3.0 m 的典型全新世古洪水滞流沉积层,剖面新鲜,保存完好(图 2)。其顶沿海拔为 1 312 m,高出黄河平水位达 17 m。该剖面主要沉积学特征如下:1. 呈现出一组 14 层浊黄橙色、细沙质粉沙或粘土质粉沙质地、致密块状结构、水平波状层理的松散沉积物。2. 每

个单层厚度在 0.1~0.6 m,下部含有较多细沙,上部含有粘土质盖层,上下层界限清晰呈现龟裂构造,明显地表达出沉积过程当中的分选特征。3. 两个古洪水事件形成的 SWD 层之间具有明显的沉积间断。层与层之间夹有坡积石渣土层,其大小混杂,多棱角状石块。根据古洪水 SWD 的野外判别标准,发现 JPC 地点的沉积地层,完全符合黄春长等总结的古洪水 SWD 野外宏观沉积学特征^[2,12,21]。

在关键地层层位采集沉积样品 6 个,以便进行磁化率、烧失量和粒度成分的测定,利用直径 5 cm 不锈钢管采集了 OSL 测年样品 3 个,以进行断年研究。

同时于该河段多处发现 2012 年 7 月大洪水洪痕和厚度达 80 cm 的新鲜滞流沉积物及其接近洪峰水位处的尖灭点。在金坪村以西陈家滩宽阔的黄河第一级阶地地面发现风成黄土与古土壤覆盖层。首先,现代洪水与古洪水虽然发生时代、规模及沉积的保存状况等可能会有比较大的差别,但是在洪水的形成、沉积的生成机理及沉积的物质成分和其结构构造特征等方面是完全一样的。因而现代洪水的研究,对古洪水沉积的沉积相、沉积属性的判断,古洪水水文学指标恢复研究具有重要作用^[21]。其次,黄土高原的马兰黄土是风力搬运的产物,古土壤是全新世中期大暖期风成沉积物受强烈风化成壤作用的产物。将三者与我们在 JPC 地点发现的沉积物做对比研究,可以更好地认识古洪水悬移质泥沙在高水位滞流环境下沉积形成滞流沉积物的过程。我们在金坪村地点古洪水滞流沉积物剖面,分别采集 SWD1、SWD2、SWD5、SWD7、SWD11 和 SWD12(粘土质盖层)进行分析研究。同时采集了 2012 年大洪水的滞流沉积物样品,和黄河第一级阶地风成黄土和古土壤样品进行对比分析研究。

3 研究方法

将采集的沉积物样品室内自然风干后,于陕西师范大学环境变迁实验室进行磁化率、粒度成分、烧失量含量和光释光年代的测定,以更准确的界定古洪水滞流沉积物的基本性质。磁化率采用英国 Bartington/MS-2 型磁化率仪测定,测量精度为 0.1,分别测量其低频和高频磁化率。粒度成分测定先用 10% H_2O_2 和 10% HCL 去除样品中有机质和次生碳酸盐,再加入适量 $(\text{NaPO}_3)_6$ 充分分散,最后采用美国 Beckman coulter 公司生产的 LS13320/ULM2 型激



图1 黄河上游靖远-景泰峡谷段金坪村(JPC)地点位置图

Fig.1 Location of the study JPC site in upper reaches of the Yellow River

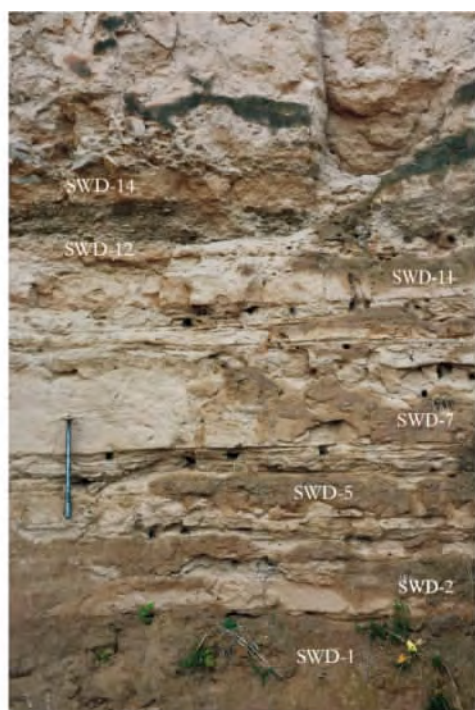


图2 黄河上游JPC地点全新世古洪水滞流沉积层

Fig.2 Holocene palaeoflood slackwater deposits at the JPC site in the upper reaches of the Yellow River

光粒测定。烧失量测定采用燃烧失重法,将研磨后粒径 $<0.074\text{ mm}$ 的干燥样品置于马弗炉中,在 550°C 灼烧4 h,冷却称量,计算求得土样损失率。年代测定中,所有样品的等效剂量测量步骤按照单片再生剂量法(SAR),用丹麦里瑟(Risø)国家实验室生产的Risø TL/OSL DA-15型全自动释光仪测量。铀、钍和钾含量是在中国原子能研究院通过中

子活化法得到,通过对样品含水量进行校正,最后根据相关转换参数获得样品的环境剂量率。

4 实验结果分析

4.1 磁化率、烧失量

磁化率、烧失量含量分别表征沉积物和土壤中铁磁性矿物含量和有机质成分含量,他们是研究黄土高原地区风化成壤和环境演变的重要代用指标^[20-21]。由表1可知,黄河JPC地点古洪水SWD的磁化率很低,介于 $(21.90 \sim 35.70) \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$;2012年现代洪水SWD的磁化率也呈现低值,为 $39.00 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 。JPC地点古洪水SWD的烧失量呈现低值,介于 $0.40\% \sim 1.32\%$;现代洪水SWD烧失量也呈现低值,为 0.90% 。而风成黄土 L_1 和古土壤 S_0 的磁化率值(分别为 $30.80 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 和 $31.20 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)与烧失量值(分别为 0.84% 和 1.43%)均大于JPC地点洪水SWD磁化率与烧失量的平均值(分别为 $28.58 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 和 0.81%)。这不仅说明古洪水悬移质同现代洪水悬移质一样所含的铁磁性矿物含量少,长距离的搬运作用使得较多的有机质被分选掉,故其烧失量值较低,而且说明了这组古洪水滞流沉积物形成不久便有坡积石渣土覆盖其上,使其没有受到地表风化成壤作用的影响。故野外观察呈现出剖面新鲜、保存完好的特征。而作为沙尘暴沉积物的黄土和古土壤,其沉积后受到了较强风化成壤作用的影响,故有机质含量较高。

表 1 黄河上游 JPC 地点全新世洪水滞流沉积物
与黄土古土壤理化指标对比

Tab.1 A comparison of the physical and chemical indicators between the palaeoflood and modern flood slackwater deposits at the JPC site and eolian loess-soil in the upper reaches of the Yellow River during the Holocene

地层层位	磁化率(X -lf) /($\times 10^{-8}$ m ³ /kg)	频率磁化率(X -fd) /%	烧失量 /%	粘粒 粉沙比
SWD - 12	21.90	3.20	1.32	0.25
SWD - 11	25.30	0.00	0.70	0.12
SWD - 7	35.70	1.40	0.58	0.10
SWD - 5	30.00	3.67	0.71	0.09
SWD - 2	26.80	2.24	0.40	0.12
SWD - 1	31.80	1.89	1.17	0.09
SWD - 2012	39.00	0.51	0.90	0.08
S ₀	31.20	0.64	1.43	0.15
L ₁	30.80	0.32	0.84	0.13

4.2 粒度成分

粒度分析是反映沉积物性质、来源、搬运动力和沉积环境最有效的手段之一^[22-24]。从表 2 可看出 SWD12、SWD11、SWD7、SWD5、SWD2、SWD1 和 SWD2012 均以粉沙(2 ~ 63 μm) 含量最多, 介于 67.89% ~ 86.80%, 极细沙(63 ~ 125 μm) 含量次之, 粘粒(< 2 μm) 含量很少。据土壤学分级标准做出粒度成分三角图(图 3), 以用于对沉积物粒度成分的命名。在 JPC 剖面中, 古洪水 SWD7、SWD5、SWD1 和 SWD2012 为细沙质粉沙, 古洪水 SWD12、SWD11、SWD2 为粘土质粉沙。其中, 由于 SWD12 采自粘土质盖层, 故其粘粒含量(10.10%) 极高而粗粉沙含量(86.80%) 最少, 这在粘粒/粉沙比值中也清晰的表现出来。粘粒/粉沙比值可反应当地受到生物气候环境制约的次生风化成壤改造强度。由表 1 可知, 采自粘土质盖层处的 SWD12 粘粒粉/沙比值极高, 为 0.25, 可见古洪水滞流沉积层顶层沉积物颗粒很细。除此以外, 该组古洪水 SWD 的比值为 0.09 ~ 0.12, 数值较小, 且变化幅度很小, 说明古洪水 SWD 统一具有粘粒含量少, 粉沙较多的特点; 这在数值上与 JPC 地点的现代洪水 SWD(0.08) 近似, 而明显低于古土壤 S₀ 与马兰黄土 L₁(分别 0.15 和 0.13)。造成此种差异的原因依然在于古洪水滞流沉积物与古土壤、马兰黄土所受风化成壤改造强度的不同。这些分析表明, 该地点的古洪水滞流沉积物很典型, 属于河流古洪水悬移质在滞流环境下的沉积物。

4.3 粒度参数

JPC 地点古洪水 SWD 中值粒径(M_d) 和平均粒径(M_z) 均值介于 30 ~ 40 μm 。马兰黄土 L₁ 和全新世中期古土壤 S₀ 中值粒径(M_d) 和平均粒径(M_z) 均值介于 31 ~ 46 μm 。这是因为古洪水滞流沉积物是水流对其中呈悬浮状态的物质进行搬运沉积而成, 而黄土和古土壤是气流对其中呈悬浮状态下的物质进行搬运沉积而成, 二者的搬运动力均为流体, 故二者的平均粒径和中值粒径差别不大。标准离差(O) 和分选系数(S) 均是表示分选程度的参数。JPC 地点古洪水 SWD 的标准离差(O) 和分选系数(S) 均较小, 分别介于 1.46 ~ 1.69 和 0.66 ~ 1.07, 数值上近似于 SWD2012(分别为 1.39、0.65), 而明显低于古土壤 S₀(1.95) 和马兰黄土 L₁(1.84), 说明古洪水 SWD 在搬运过程当中的分选性较好, 属河流悬移质沉积物。其粒度成分分布的偏度(SK) (介于 0.30 ~ 0.44) 表现为正偏态和极正偏态; 古洪水 SWD 粒度分布的峰度(Kg) , 介于 1.11 ~ 1.78 为尖锐, 近似于 SWD2012 的峰度(Kg) 值(为 1.74), 而明显大于古土壤(S₀) 和马兰黄土(L₁) 的峰度值(分别为 1.07 和 1.10)。以上粒度参数表明, 黄河上游 JPC 地点 14 层古洪水 SWD 明显不同于黄土和古土壤, 而与沉积动力、沉积来源和形成环境相似的现代洪水 SWD 相似, 具备河流沉积物的特征。

4.4 粒度自然分布频率

沉积物粒度自然分布频率曲线能够直观地反映不同沉积物颗粒峰值范围、峰的形态、沉积物的性质、成因和物源等。JPC 地点古洪水滞流沉积物粒径组分中, 前、后尾部含量较少, 粗粉沙含量最多, 峰值粒径出现在 22.73 ~ 47.94 μm , 且其所占的百分含量介于 3.98% ~ 6.37%, 故可见古洪水 SWD 粒径分布相对集中, 接近正态分布。在自然分布频率曲线中表现为主峰单一且狭窄, 其中 SWD5、SWD1、SWD2012 表现为极狭窄。这与现代洪水 SWD 所呈现的特点一致而与全新世中期古土壤 S₀ 和晚更新世马兰黄土 L₁ 明显不同。古土壤 S₀ 和马兰黄土 L₁ 峰值粒径(介于 43.67 ~ 57.77 μm) 高于古洪水滞流沉积物, 但其所占的百分含量(介于 3.73% ~ 4.77%) 明显低于古洪水滞流沉积物, 且曲线在细粉沙处有凸起, 更加体现出古土壤和黄土粒径分布的分散性(图 4)。以上结论均符合表 2 粒度参数中峰度、标准离差和分选系数反映出的情况。

4.5 CM 图式

CM 图式反应了沉积物的搬运方式及其沉积环

表 2 黄河上游 JPC 地点全新世古洪水与现代洪水 SWD 和黄土古土壤粒度特征值对比

Tab.2 Grain-size index of the flood slackwater deposits at the JPC site in comparison with that of the aeolian loess and soil in the upper reaches of the Yellow River during the Holocene

地层层位	粒级比例/($\mu\text{m}/\%$)					Md	Mz	σ	SK	Kg	S
	<2	2~16	16~63	63~125	>125	/ μm	/ μm				
SWD-12	10.1	45.6	41.20	3.00	0.10	13.81	16.41	1.69	0.30	1.11	1.07
SWD-11	6.86	27.94	55.00	8.70	1.50	23.72	26.76	1.66	0.33	1.34	0.92
SWD-7	5.23	16.97	53.10	20.30	4.40	38.14	45.25	1.65	0.37	1.40	0.88
SWD-5	4.94	12.76	57.00	24.10	1.20	42.63	43.96	1.47	0.44	1.66	0.69
SWD-2	6.45	25.95	54.20	11.30	2.10	26.00	31.08	1.69	0.32	1.29	0.96
SWD-1	4.91	11.49	56.40	23.90	3.30	44.51	45.99	1.46	0.42	1.78	0.66
SWD-2012	4.95	13.75	66.00	13.80	1.50	35.59	39.97	1.39	0.39	1.74	0.65
S_0	6.45	26.65	43.00	17.20	6.70	31.88	39.68	1.95	0.32	1.07	1.28
L_1	5.46	20.94	42.00	25.90	5.70	43.07	45.94	1.84	0.46	1.10	1.16

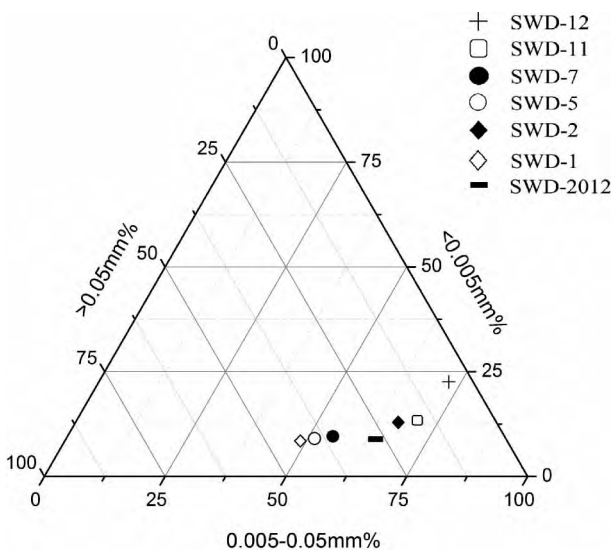


图 3 黄河上游 JPC 地点全新世古洪水与现代洪水滞流沉积物粒度成分图

Fig.3 Triangle diagram showing the grain-size distribution of the flood slackwater deposits at the JPC site in the upper reaches of the Yellow River during the Holocene

境特点。 C 是从累积曲线粗端算起含量为 1% 处的颗粒直径 (μm), 即样品的最大粒径值, 代表搬运的最大动能; M 是累积曲线 50% 处的粒径值 (μm), 代表其搬运营力的平均动能。Passegga^[25] 等根据 C 值与 M 值的不同将 CM 图分为 9 个区, 每个区分别代表不同的沉积环境。因为沉积过程中, 颗粒粗的先沉积, 颗粒细的后沉积, 故取自粘土质盖层的古洪水 SWD12 最大粒径值 C 和中值粒径值 M 更小, 故其投影于Ⅷ区。其余全新世古洪水 SWD 连同现代洪水 SWD 均投影在 CM 图Ⅵ区的 RS 段^[21], 表明其沉积于均匀悬浮态, 即粒径和密度不随深度而变化的

完全悬浮状态, 其中的悬浮物质主要为粉沙和泥质混合物(图 5)。

5 讨论

由于古洪水滞流沉积物与古堰塞湖沉积物均为河流所携带的物质在壅水状态下发生缓慢沉积的产物, 故本文专门从地貌学和沉积学的角度讨论 JPC 地点所发现的这一组沉积物与古堰塞湖沉积物的不同, 以更为确凿的定义本文所研究的沉积物为古洪水滞流沉积物。

JPC 地点处的河槽宽度 160~220 m, 右岸的基岩崖壁虽属陡峻, 但其拔河高度未超过 200 m, 这些特征与发生古堰塞湖沉积的条件是不同的。首先, 堰塞湖沉积与构造活动直接相关, 多位于断裂带上。以唐家山堰塞湖^[26] 的形成为例, 其位于青藏高原东缘映秀-北川断裂带上, 地处强烈隆升区, 河流下切作用显著, 形成高山峡谷地形, 两侧山坡相对高度以千米计, 而其中河槽宽仅数十米, 如此深切 V 型的河槽绵延 1~2 km, 为堰塞湖的形成创造了有利的地形条件。也正因如此, 堰塞湖沉积物在沉积地点上具有连续性。而因河槽比降有限, 故其沉积物仅在短距离内是连续的。而我们在 JPC 地点路堑边坡所发现的这组沉积, 其两岸山坡高度已制约了可能发生的滑坡崩塌泥石流灾害的规模, 加之 >100 m 的河槽宽度使得即使发生滑坡亦不足以堵塞河道, 且本课题组驱车沿河谷行驶数十公里, 仅在此一处发现具有本文所描述特征的沉积物, 而非向上游绵延几公里范围内发现多处此类沉积物, 故而从对地

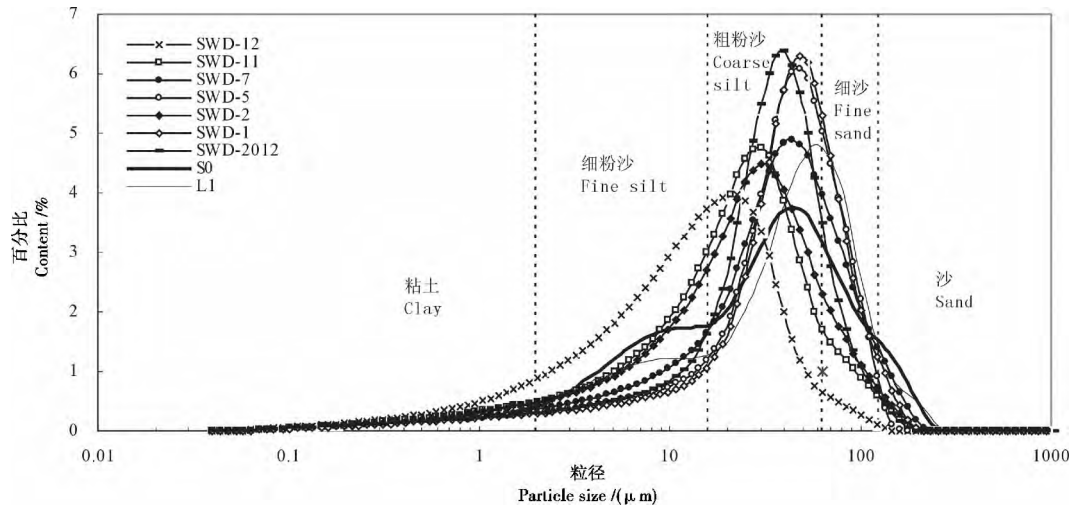


图4 黄河上游 JPC 地点全新世古洪水与现代洪水 SWD 和风成黄土古土壤粒度分布频率曲线对比

Fig.4 Particle-size distribution of the flood slackwater deposits at the JPC site in comparison with that of the aeolian loess and soil in the upper reaches of the Yellow River during the Holocene

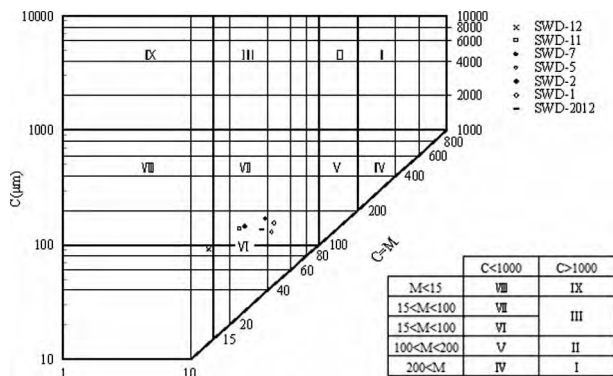


图5 黄河上游 JPC 地点全新世古洪水滞流沉积物 CM 图式

(注: C 为最大粒径值, M 为中值粒径)

Fig.5 CM diagram of the flood slackwater deposits at the JPC site in the upper reaches of the Yellow River during the Holocene
(Note: C represents the one percentile of the grain size distribution while M represents the Median of the grain size distribution.)

貌的分析角度,我们再次认为本文所发现的沉积物为古洪水滞流沉积物。

就所发现沉积物的颜色而言,其为典型的浊黄橙色。这是大洪水退去之后,洪水所携带的悬移质泥沙沉积于阶地前缘并暴露在空气中,于氧化状态下沉积而导致的结果。这与堰塞湖沉积物的沉积环境是不同的。堰塞湖沉积物是在水下还原状态中发生的沉积,潜育化作用使得高价铁、锰转化为低价故沉积物呈现出的青灰色、灰绿色。

此外,且据野外观察 JPC 地点单个沉积层厚度 0.1 ~ 0.6 m,上下层之间有明显的龟裂构造,界限极为清晰。且结合实验室工作,单个沉积层顶部的粘

土质盖层如古洪水 SWD12 的粘土成分为剖面中最高(表 2),颗粒粒径明显细于其他古洪水滞流沉积层,生动反应出沉积过程中上粗下细的韵律。此种沉模式辅以其所呈现的龟裂构造,原因唯有泥沙沉积后便暴露在了空气中发生干燥脱水,层与层之间颗粒粗细的不同使得各自收缩率不同,从而使得薄至数厘米的沉积层发生龟裂现象,这是堰塞湖沉积中未曾出现的。

通过对本地点进行地貌学与沉积学的论证,并辅之以实验室工作成果,即拿 JPC 地点黄河古洪水 SWD 与现代洪水 SWD、第一级阶地风成黄土 L_1 和古土壤 S_0 进行沉积学指标的实验室分析,总结出: 1. 古洪水 SWD 的磁化率很低、烧失量和粘粒粉沙比值小,这与现代洪水 SWD 对应指标相似,而与黄土古土壤略有不同。2. 古洪水 SWD 整体粒径分布集中,分选良好。特别是其粒度自然分布曲线呈独有的单峰、尖窄或很尖窄的特征,而黄土古土壤粒度自然分布频率曲线主峰的百分比含量略低,且在细粉沙处有凸起。这与现代洪水沉积物的具有相似性与黄土古土壤具有差异性。3. JPC 地点全新世黄河大洪水滞流沉积物 CM 图中 SWD12 因采自粘土质盖层而投影到 VIII 区,其余各点均投影在 VI 区的结论都表明黄河泥沙主要由跃移质和悬移质成分组成且其沉积于受扰动程度低的均匀悬浮沉积环境。

为探究大洪水事件与气候变化的响应关系,特选择 JPC 剖面的关键层位进行光释光测年研究(表 3)。其中,剖面最底部的古洪水 SWD1 断代结果为

表 3 黄河上游 JPC 地点全新世古洪水滞流沉积物光释光测年数据表

Tab. 3 OSL dating results of the palaeoflood slackwater deposits from the JPC site in the upper Yellow River

样品编号	深度/cm	U/ppm	Th/ppm	K/%	含水量/%	等效剂量 De/Gy	环境剂量率 Dy/(Ga/ka)	OSL 年龄/a
SWD1	470	2.46 ± 0.10	10.3 ± 0.30	1.93 ± 0.06	12.8	9.81 ± 0.39	3.08 ± 0.07	3 180 ± 150
SWD5	370	2.56 ± 0.10	9.85 ± 0.30	1.75 ± 0.06	12.6	8.99 ± 0.43	2.82 ± 0.61	3 190 ± 170
SWD12	260	3.10 ± 0.12	11.1 ± 0.31	2.07 ± 0.06	12.6	10.13 ± 0.38	3.31 ± 0.63	3 070 ± 130

3 180 ± 150 a ,最顶部的古洪水 SWD12 的断代结果为 3 070 ± 130 a ,充分表明以古洪水滞流沉积层组 SWD1 ~ 12 为代表的大洪水 ,发生在 3 300—3 000 a B. P. 前。正直全新世大暖期彻底结束 ,季风气候状态转变 ,气候变率增大 ,现代黄土堆积取代古土壤发育时段。

6 结 论

全新世古洪水滞流沉积物是古洪水事件的地质记录 ,是开展古洪水水文学研究的前提。对黄河上游靖远—景泰峡谷段进行广泛地野外考察 ,在靖远多处发现全新世古洪水滞流沉积物。以上从野外调查到沉积学指标的分析 ,种种特征都表明 JPC 地点 14 层古洪水 SWD 记录了黄河上游曾经发生的一组 14 次特大古洪水事件。经过地层对比和 OSL 测年 ,断定此 14 次全新世特大古洪水事件发生在 3 300—3 000 a B. P. ,正值我国商末—西周初期 ,东亚季风发生转折 ,气候变率大 ,旱涝频发。

以上探讨 ,对于揭示黄河上游特大洪水沉积物性质 ,区分黄河流域泥沙来源及其沉积学特征 ,开展全新世古洪水水文学研究 ,揭示黄河上游水文过程对于全球变化的响应规律具有重要的现实意义。

参考文献(References)

[1] Huang Chunchang ,Pang Jiangli ,Zha Xiaochun ,et al. Extraordinary records of extraordinary floods at the ending of the mid - Holocene climatic optimum along the upper Weihe River ,China[J]. The Holocene 2011 22(6) : 675 - 686

[2] 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]

[3] Baker V R. Palaeoflood hydrology and extreme flood evnts [J]. Journal of Hydrology ,1987 96: 79 - 99

[4] Baker V R. A bright future for old flows: Origins ,status and Future of paleoflood hydrology [G]//Thomdycraft V R ,Benito G ,Barriendos M ,et al. eds. Plaeofloods ,historical data and climatic variabili-

ty: Applications in flood risk assessment (proceedings of the PHE-FRA international workshop held in Barcelona. Madrid: CSIC , 2003: 13 - 18

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

[6] Kochel R C ,Baker V R. Palaeoflood hydrology [J]. Science ,1982 , 215(4531) : 353 - 361

[7] Baker V R. Paleoflood Hydrology: Origin ,progress ,prospects [J]. Geomorphology 2008 ,101: 1 - 13

[8] 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 [Zhan Daojiang ,Xie Yuebo. New advance in flood calculation: Paleoflood study [J]. Journal of China Hydrology ,1997 (1) : 1 - 5]

[9] Gerardo B ,Alfonso S ,Yolanda S ,et al. Palaeoflood record of the Tagus River(Central Spain) during the late pleistocene and Holocene [J]. Quaternary Science Reviews 2003 22(15/17) : 1737 - 1756

[10] 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 [J]. 河海大学学报 ,1997 ,25(3) : 86 - 89 [Yang Dayuan ,Xie Yuebo. A preliminary study on paleoflood deposit and its level in Yellow River valley near Xiaolangdi village [J]. Journal of Hohai University ,1997 25(3) : 86 - 89]

[11] 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 vally ,China [J]. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology ,2013 ,374: 274 - 283

[12] 黄春长 ,庞奖励 ,查晓春 ,等. 黄河流域关中盆地史前大洪水研究——以周原漆水河谷底为例 [J]. 中国科学 2011 41(11) : 1658 - 1669 [Huang Chunchang ,Pang Jiangli ,Zha Xiaochun ,et al. Prehistorical floods in the Guanzhong Basin in the Yellow River drainage area: a case study along the Qishuihe River valley over the Zhouyuan loess tableland [J]. Sci Sin Terrae ,2011 41: 1658 - 1669]

[13] Huang Chunchang ,Pang Jiangli ,Zha Xiaochun ,et al. Palaeoenvironmental implications of the prehistorical catastrophes in relation to the Lajia ruins within the Guanting Basin along the upper Yellow River , China [J]. The Holocene 2013 23(11) : 1 - 12

[14] Huang Chunchang ,Pang Jiangli ,Zha Xiaochun ,et al. Extraordinary floods related to the climatic event at 4200a B. P. on the Qishuihe River ,middle reaches of the Yellow River ,China [J]. Quaternary Science Reviews 2011 30: 460 - 468

[15] Huang Chunchang ,Pang Jiangli ,Zha Xiaochun ,et al. Extraordinary floods of 4100 - 4000 a B P 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
- [16] Huang Chunchang ,Pang Jiangli ,Zha Xiaochun ,et al. Sedimentary records of the extraordinary floods at the ending of the mid – Holocene climatic optimum along the upper Weihe River ,China [J]. *Holocene* 2012 2(6) : 675 – 686
- [17] Huang Chunchang ,Pang Jiangli ,Zha Xiaochun ,et al. Holocene Palaeoflood Events recorded by slackwater deposits along the Lower Jinghe River Valley ,Middle Yellow River Basin ,China [J]. *Journal of Quaternary Science* 2012 7(5) : 485 – 493
- [18] 勾晓华 ,邓洋 ,陈发虎. 黄河上游过去 1 234 年流量的树轮重建与变化特征分析 [J]. *科学通报* 2010 55(33) : 3236 – 3243 [Gou Xiaohua ,Deng Yang ,Chen Fahu ,et al. Treeing based stream flow reconstruction for the upper Yellow River over the past 1 234 years [J]. *Chinese Science Bull* 2010 55(33) : 3236 – 3243]
- [19] 李长安 ,黄俊华. 黄河上游末次冰盛期古洪水事件的初步研究 [J]. *地球科学: 中国地质大学学报* 2002 27(4) : 456 – 458 [Li Changan ,Huang Junhua. Preliminary study of paleoflood of last Glacial maximum in upper reaches of the Yellow River [J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences* 2002 27(4) : 456 – 458]
- [20] 张世军 ,余卫平. 黄河上游径流泥沙特性及变化趋势分析 [J]. *水资源与水工程学报* ,2005 ,16(3) : 57 – 61 [Zhang Shijun ,Yu Weiping. The sediment characteristics and trend analysis in the upper Yellow River [J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering* 2005 ,16(3) : 57 – 61]
- [21] 詹道江 ,谢悦波. 古洪水研究 [M]. 北京: 中国水利水电出版社 ,2001: 17 – 27 [Zhan Daojiang ,Xie Yuebo. *Palaeoflood study*. Beijing: China WaterPower Press ,2001: 17 – 27]
- [22] 刘秀铭 ,刘东升 ,Shaw J. 等. 中国黄土磁性矿物特征及其古气候意义 [J]. *第四纪研究* ,1993 ,13(3) : 281 – 287 [Liu Xiuming ,Liu Dongsheng ,Shaw J. et al. Magnetic mineral characteristics of Chinese loess and its palaeoflood significance [J]. *Quaternary Sciences* ,1993 ,13(3) : 281 – 287]
- [23] 任明达 ,王乃良. 现代沉积环境概论 [M]. 北京: 科学出版社 ,1981: 8 – 26 [Ren Mingda ,Wang Nailiang. *Introduction to the modern sedimentary environment* [M]. Beijing: Science Press ,1981: 8 – 26]
- [24] 鹿化煜 ,安芷生. 洛川黄土粒度组成的古气候意义 [J]. *科学通报* ,1997 42(1) : 66 – 69 [Lu Huayu ,An Zhisheng. The palaeoclimatic meaning from the Luochuan loess grain size composition [J]. *Chinese Science Bulletin* ,1997 42(1) : 66 – 69]
- [25] Passega R ,Via B. Grain-size image of clastic deposits [J]. *Sedimentology* ,1969 ,13(3/4) : 233 – 252
- [26] 崔鹏 ,韩用顺. 汶川地震堰塞湖分布规律与风险评估 [J]. *四川大学学报(自然科学版)* ,2009 41(3) : 35 – 42 [Cui Peng ,Han Yongshun. Distribution and risk analysis of Dammed lakes reduced by Wenchuan earthquake [J]. *Journal of Sichuan University(Engineering Science Edition)* 2009 41(3) : 35 – 42]

Sediment Characteristics of the Palaeoflood Slackwater Deposits at Jingyuan – Jinping Site in the Upper Reaches of the Yellow River

ZHAO Xueru ,HUANG Chunchang ,PANG Jiangli ,ZHA Xiaochun ,GUO Yongqiang ,HU Guiming
(College of Tourism and Environmental Sciences ,Shaanxi Normal University ,Xi'an 710062 ,China)

Abstract: Field investigation was carried out along Jingyuan – Jingtai Gorges in the upper reach of the Yellow River. Typical palaeoflood slackwater deposits of the Holocene age were identified at the base of the bedrock valley slopes in the Jinpingcun(JPC) site. According to its sedimentary features during our fieldwork ,14 beds palaeoflood slackwater deposits are confirmed. Meanwhile ,several modern flood slack water deposits and its end points were found in the same reach. These deposits were consisted of the sandy silt and silt fine. The particle-size distribution of the palaeoflood SWD was centralized and well sorted ,which was totally same with modern flood slack water deposits but different from loess and palaeosoil. All these characteristics indicated that the palaeoflood slackwater deposits were actually suspended sediment load in flood flow deposited in areas of flow separation and preserved after the flood recession. 14 extraordinary palaeoflood events were recorded by these newly deposited and unaffected deposits in Jingyuan – Jingtai Gorges in the upper reaches of the Yellow River. Besides ,the magnetic susceptibility ,loss-on-ignition of palaeoflood slackwater deposits were particularly low ,which similar with modern flood slack water deposits. This indicated that they were not much affected by weathering and pedogenesis after deposition. Though OSL dating ,this events occurred in 3 200 ~ 3 000 a. B. P. . Our study has great significance to reveal the flood slackwater characteristic ,distinguish the origin of sediment and provide important data in understanding the interactions between regional hydro-climatic systems and global change in semi-arid and sub-humid regions.

Key words: upper reach of the Yellow River; holocene; palaeoflood; slackwater deposits; the Palaeo