

黄河平渡关段全新世古洪水滞流沉积物研究

刘涛, 黄春长, 庞奖励, 查小春, 史兴民, 张玉柱, 李晓刚, 范龙江

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 通过对黄河中游晋陕峡谷段的深入调查研究, 在山西省大宁县平渡关基岩峡谷河段左岸沟口岩棚内发现了全新世古洪水滞流沉积层剖面。根据野外宏观特征及沉积环境, 鉴别出平渡关(PDG)剖面夹有 4 层古洪水滞流沉积物。结合粒度成分、磁化率、烧失量、 CaCO_3 含量等室内分析测定结果, 确定为河流悬移质和跃移质在高水位滞流环境当中的沉积物, 是典型的古洪水滞流沉积物。不同层次沉积物是不同古洪水事件的客观记录, 既有细沙质粉沙, 也有细沙或者中沙, 反映出其物质来源的不同或者水动力大小的差异。粒度自然分布频率曲线为正偏和极正偏, 主峰高且尖锐, 表明其分选良好, 其粒度概率累积分布曲线为典型的两段式。沉积物磁化率和烧失量均低于全新世风成黄土和古土壤, CaCO_3 含量介于古土壤和黄土之间, 说明在黄河晋陕峡谷段, 洪水所携带的悬移质泥沙是流域内黄土区和风沙区水土流失物质的混合物。

关键词: 黄河中游; 古洪水; 滞流沉积物; 全新世

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)06-0216-06

中图分类号: P539. 6

Sedimentary Studies of Holocene Flood Slackwater Deposits in Pingduguan Reach of Yellow River

LIU Tao, HUANG Chun-chang, PANG Jiang-li, ZHA Xiao-chun,

SHI Xing-min, ZHANG Yu-zhu, LI Xiao-gang, FAN Long-jiang

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

Abstract: Field investigation was carried out along the Shaanxi-Shanxi Gorges in the middle reaches of the Yellow River. Typical palaeoflood slackwater deposits of the Holocene age were found at the Pingduguan sites. They were identified by sedimentary criteria during fieldwork initially, sampled and invested in detail. Analysis of the grain-size distribution, loss-on-ignition and CaCO_3 content indicated that these slackwater deposits consisted of sandy silt, silt fine sand and sand. They were classified as sandy silt, silt fine sand and sand in contrast to loess and paleosoil which were classified as clayey silt on the loess tableland in the middle reaches of the Yellow River. The magnetic susceptibility of the slackwater deposits was very low because they were newly deposited and unaffected by weathering and pedogenesis. The CaCO_3 content of the slackwater deposits was between paleosoil and loess indicated that the suspended sediment load is mixture of aeolian loess and sand, which came from the windy and sandy areas. They were well sorted because of long distance transportation in floodwater. The shape of particle-size distribution curves of the slackwater deposits was high and thin. It represented a low turbulence deposit.

Keywords: middle reach of the Yellow River; palaeoflood; slackwater deposits; holocene

古洪水水文学是全球变化科学领域一门新兴交叉学科, 它主要是通过对于古洪水滞流沉积物(slackwater deposits, SWD)的鉴别, 利用光释光(optical stimulated luminescence, OSL)和 ^{14}C 测年、地层学和考古学等方法断代, 利用多种方法恢复古洪水的洪峰水位, 采用水力学模型推求全新世古洪水的洪峰流量, 延长洪水水文学数据序列到万年尺度^[1-5]。

国际国内, 许多家学者都已经在古洪水研究方面取得了显著成果, 并得出相应的古洪水水文学数据资料^[4-17]。本项目组在黄河中游对干支流开展了一系列的古洪水水文学研究, 并取得了一些新的进展^[18-26]。

黄河流域洪水灾害十分严重, 特别是在全新世中期大暖期结束, 全新世晚期干旱期开始的气候转折期

收稿日期: 2012-12-12

修回日期: 2013-02-26

资助项目: 国家自然科学基金重点项目“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: 刘涛(1988—)男(汉族), 山西省吕梁市人, 硕士研究生, 主要从事土地资源开发与环境演变研究。E-mail: liu499169@163.com。

通信作者: 黄春长(1954—)男(汉族), 陕西省彬县人, 教授, 博士生导师, 主要从事土地资源开发与环境演变研究。E-mail: cchuang@snnu.edu.cn。

段,由于气候恶化,洪水频繁发生^[9]。在全球变化的影响下,流域内水资源短缺、生态环境恶化等重大问题也日益凸显。因此,在黄河中游晋陕峡谷段开展全新世古洪水研究显得尤为重要。古洪水滞流沉积物(SWD)是古洪水信息的主要载体。在河流中下游峡谷河段勘察和鉴定全新世古洪水滞流沉积物,研究其沉积学特征是进行古洪水研究的第一步。本研究结合野外宏观沉积学特征和室内试验分析结果,论证了黄河中游平渡关段全新世古洪水滞流沉积物的沉积学特征,为该区段古洪水水文学研究提供了基础。

1 研究区环境与研究河段概况

黄河晋陕峡谷段指黄河中游河口镇至龙门区间,干流长 723 km,流域集水面积 $1.11 \times 10^5 \text{ km}^2$,占黄河流域面积的 14.8%,谷坡陡峻,谷道狭窄,除河曲、府谷河谷段河槽较宽外,其余河段河槽宽度多在 400~600 m,干流落差为 607 m,河道平均比降 0.84‰。河槽深切入黄土高原的基岩之中,大部分河段由二叠纪和三叠纪沙页岩组成。晋陕峡谷区域大部分属于黄土高原地区,属温带大陆性季风气候,该区年平均降水量在 300~550 mm,从东南向西北递减。全年的降水量高度集中在 7—9 月,占年降水量的 61.6%,故暴雨强度大,历时短,雨区呈带状分布,常形成暴涨暴落,峰形尖瘦,历时短,含沙量大的突发性大洪水^[27-29]。例如 2012 年 7 月 26—28 日陕西北部接连 3 次出现历时短,强度高,量级大的暴雨过程,暴雨中心区陕西佳县和山西临县 24 h 降雨量超过 200 mm,黄河吴堡站形成 $10\,600 \text{ m}^3/\text{s}$ 的大洪水。

该区域地处黄土高原,其土层深厚,土质疏松,地形破碎,植被覆盖差,暴雨集中且雨量大,为输送大量泥沙提供了有利条件。同时该区域土地开发历史悠久,人类活动频繁,影响深远,森林植被覆盖率不断降低,水土流失严重,增加了该区域对黄河泥沙的贡献率。黄河晋陕峡谷段汇入较大支流 30 条,呈树枝状水系网。由于支流大量泥沙特别是粗泥沙的加入,使得

黄河泥沙颗粒组成在该区间发生了较大变化。该区间既是黄河洪水的三大来源区之一,也是黄河泥沙特别是粗泥沙最主要的来源区,区间汇入的水量占黄河水量的 42.5%,增加沙量占整个黄河沙量的 92%^[28-29]。

2 研究剖面与研究方法

2.1 研究剖面

通过对黄河中游吴堡—龙门峡谷段野外考察,发现了多个含有全新世古洪水滞流沉积层的沿河地点。这些古洪水滞流沉积层多形成在支流沟口的回水湾内部,岩豁内的岩棚之下,夹在坡积石渣土或者土壤层之中。本研究选择平渡关(PDG)开展古洪水沉积学研究。该地点位于黄河东岸山西省大宁县平渡关村下游 3 km 处一无名沟口的岩棚之下,全新世古洪水滞流沉积物剖面出露完整,未经人类扰动。其顶层由现代表土覆盖,各古洪水滞流沉积层之间均被薄层坡积石渣土层分隔开来。由于受到微地貌的影响,呈现出清晰的平行状层理,沿坡向上逐渐尖灭。依据古洪水滞流沉积物判别标准^[29],即沉积物的质地、颜色、结构和构造,与其它沉积物的关系等,从剖面中准确鉴别出 4 层古洪水滞流沉积物(SWD₁₋₄)。它们由古洪水在沟口内回水滞流情况之下沉积,每个单层厚度介于 10~90 cm,为浊黄橙色,致密块状构造,下部含有较多细沙,清晰地显示出沉积过程当中的分选特征,故而各层之间沿层界横向裂开,且在各层界均有厚度约 10~20 cm 的坡积石渣土夹层,向坡下方向尖灭。这充分表明两个洪水事件之间有一定的时间间隔,整个剖面记录了 4 次古洪水事件。剖面顶部海拔高程 498.5 m,高于河流平水位 14.5 m。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,对该剖面进行了地层划分和描述(表 1),并且自下而上在各古洪水滞流沉积层采取样品以备沉积学分析。为了更好地说明黄河平渡关段全新世古洪水滞流沉积物的沉积学特征,选择陕西省白水縣尧和村典型全新世黄土—古土壤剖面^[25]进行对比研究。

表 1 黄河晋陕峡谷大宁县平渡关全新世古洪水滞流沉积物剖面地层划分及描述

深度/cm	地层名称	地层符号	土壤学和沉积学特征描述
30—0	现代表土层	MS	浊橙色,团粒结构,多孔隙,含有密集的植物根系
90—30	古洪水滞流沉积层	SWD ₄	浊黄橙色,中沙,质地均匀,疏松,上下界面清晰
100—90	坡积层	SD _上	灰色坡积石渣土,大小混杂,无分选
160—100	古洪水滞流沉积层	SWD ₃	浊黄橙色,细沙,质地均匀,疏松,上下界面清晰
170—160	坡积层	SD _中	灰色坡积石渣土,大小混杂,无分选
180—170	古洪水滞流沉积层	SWD ₂	浊黄橙色,细沙质粉沙,质地均匀,疏松,上下界面清晰
200—180	坡积层	SD _下	灰色坡积石渣土,大小混杂,无分选
290—200	古洪水滞流沉积层	SWD ₁	浊黄橙色,细沙质粉沙,质地均匀,疏松,上下界面清晰
>290	坡积层	SD _底	灰色坡积石渣土,大小混杂,无分选,未见底

2.2 研究方法

为了确保试验结果能够真实反映每次洪水滞流沉积物所代表的水文泥沙特征,对于采集的洪水滞流沉积物样品,在实验室内首先刮去表层,在块体内部均匀取样分析测试。分别进行了磁化率、粒度、烧失量和碳酸钙等指标的测定。磁化率采用英国 Bartington 公司生产的 MS-2 型磁化率仪测定,测量精度为 0.1。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,然后采用美国 Beckman Coulter 公司生产的 LS 系列激光粒度仪测量。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 $550\text{ }^\circ\text{C}$ 灼烧 4 h,冷却称量,计算求得土样损失率。 $CaCO_3$ 含量采用荷兰 Eijkelkamp 公司生产的 08.53 型碳酸钙测定仪测定。

3 结果分析

3.1 磁化率、烧失量和 $CaCO_3$ 含量分析

磁化率、烧失量和 $CaCO_3$ 含量这 3 种指标是研究黄土高原地区成壤和环境变化的重要代用指标^[29-30]。由表 2 可知,黄河 PDG 剖面 4 层古洪水 SWD 的磁化率介于 $3.85 \times 10^{-7} \sim 5.47 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$,均值为 $4.46 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$;而白水黄土台塬全新世古土壤与黄土的磁化率值显著高于古洪水 SWD,其中古土壤磁化率值高达 $1.60 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ 。这说明古洪水 SWD 中铁磁性矿物含量明显低于黄土和古土壤,而与黄土高原典型黄土剖面中的全新世马兰黄土 L_1 较为接近。显然,这是河流作用后的新鲜沉积物。尤其是它们作为悬移质泥沙,在洪水水流当中,经侵蚀、搬运、分选后,其中的矿物成分得到充分混合。古洪水 SWD 烧失量介于 $1.03\% \sim 2.22\%$,平均值为 1.71% ,但仍低于古土壤和黄土,这同样说明沉积物形成后很少受风化成壤作用改造。PDG 剖面 4 层古洪水 SWD 的 $CaCO_3$ 含量介于 $7.32\% \sim 10.54\%$,平均值为 8.8% ;古土壤和黄土的 $CaCO_3$ 含量分别为 4.06% 和 14.23% ;可见古洪水 SWD 的 $CaCO_3$ 含量介于古土壤和黄土之间。这可能是由于白水县黄土台塬剖面地处黄土高原东南部的关中盆地,其全新世沙尘暴堆积物受到次生风化成壤影响深刻,古土壤中碳酸钙淋溶强烈,使得古土壤中碳酸钙含量较低。

3.2 粒度成分分析

粒度成分是反映沉积物性质、来源、搬运动力和沉积环境最有效的手段之一^[31]。由表 3 可知,黄河 PDG 剖面 4 层古洪水 SWD 粒度成分有所不同,其中 SWD_{1-2} 颗粒以粉沙($2 \sim 63\text{ }\mu\text{m}$)为主,其含量分别为 53.92% 和 63.63% ;其次为细沙粒($63 \sim 125\text{ }\mu\text{m}$),其

含量分别为 26.91% 和 20.75% ;黏粒($<2\text{ }\mu\text{m}$)含量最少,分别为 3.68% 和 4.53% ; SWD_3 和 SWD_4 则分别以细沙($63 \sim 125\text{ }\mu\text{m}$)和中沙($125 \sim 1\,000\text{ }\mu\text{m}$)为主,其值分别为 44.08% 和 70.18% ,其次为粉沙,其含量分别为 34.22% 和 16.88% 。据土壤学分级标准作出粒度成分三角图,是以沉积物黏土($<5\text{ }\mu\text{m}$)、粉沙($5 \sim 50\text{ }\mu\text{m}$)、沙($>50\text{ }\mu\text{m}$)含量为指标绘制的图形,常用于对沉积物粒度成分的命名,或对不同沉积物的粒度成分进行比较(图 1),在黄河 PDG 剖面中,古洪水 SWD_{1-2} 为细沙质粉沙,古洪水 SWD_3 为细沙,古洪水 SWD_4 为中沙。这与黄河晋陕峡谷马头关段佛堂村沟(FTG)地点、壶口段马粪滩(MFT)和冯家集(FJJ)地点、禹门口段乡韩桥(XHQ)地点^[15,23-25]类似,其全新世古洪水滞流沉积物是以细沙质粉沙和粉沙质细沙为主。这是因为发生在晋陕峡谷的大洪水,主要是由发生在晋陕蒙三角地带的暴雨形成,而这里也正是黄河粗泥沙的主要来源地^[27-28]。而北洛河、漳水河、泾河、渭河、漆水河全新世古洪水 SWD 则相对较细,以粉沙、黏土质粉和粉沙质亚黏土为主^[10-14,18-22]。因为这些河流流域内大面积被黄土覆盖,河流悬移质泥沙主要是黄土地区水土流失的产物。

表 2 黄河中游平渡关全新世古洪水滞流沉积物磁化率、碳酸钙和烧失量及其与黄土古土壤的对比

地层层位	磁化率/ ($10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	$CaCO_3$ / %	烧失量 / %
古洪水 SWD_1	38.5	7.32	1.03
古洪水 SWD_3	41.5	9.81	1.97
古洪水 SWD_2	43.7	7.53	2.22
古洪水 SWD_4	54.7	10.54	1.60
全新世古土壤 S_0	159.8	4.06	3.14
马兰黄土 L_1	113.5	14.23	2.42

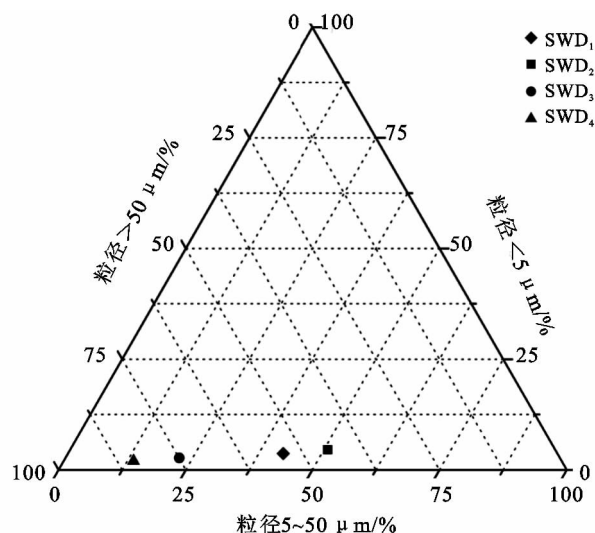


图 1 平渡关全新世古洪水滞流沉积物粒度成分图式

表 3 黄河中游平渡关全新世古洪水滞流沉积物与白水黄土塬黄土—古土壤粒度特征值对比

地 层	$<2\ \mu\text{m}/\%$	$2\sim63\ \mu\text{m}/\%$	$63\sim125\ \mu\text{m}/\%$	$>125\ \mu\text{m}/\%$	$M/\mu\text{m}$	$M_z/\mu\text{m}$	σ	SK	K _g	S
古洪水 SWD ₄	2.01	16.88	10.93	70.18	275.84	279.00	1.78	0.52	1.16	1.12
古洪水 SWD ₃	2.68	34.22	44.08	19.02	76.73	82.00	1.21	0.31	1.75	0.58
古洪水 SWD ₂	4.53	63.63	20.75	11.09	45.67	52.00	1.67	0.28	1.73	0.76
古洪水 SWD ₁	3.68	53.92	26.91	15.49	54.25	64.00	1.74	0.29	1.50	0.87
全新世古土壤 S ₀	9.86	83.55	2.17	4.42	12.00	16.00	1.65	0.15	0.90	1.20
马兰黄土 L ₁	10.23	86.79	3.00	0.00	14.00	17.00	1.59	0.23	0.96	1.10

注:σ 为标准偏差,SK 为偏度,K_g 为峰度,S 为分选系数。

3.3 粒度自然分布频率分析

沉积物粒度自然分布频率曲线可以直观地反映沉积物样品的性质、成因和物源等。由图 2 所示,PDG 剖面 4 层古洪水 SWD 曲线都呈单峰且很尖锐。其中古洪水 SWD₁₋₂ 曲线的主峰出现在粗粉沙段(16~63 μm),峰值分别为 43.70 和 57.77 μm,SWD₃ 曲线的主峰出现在细沙段(63~125 μm),峰值为 76.42 μm,而 SWD₄ 曲线的主峰则出现在中沙段(125~1 000 μm),峰值为 373.14 μm。

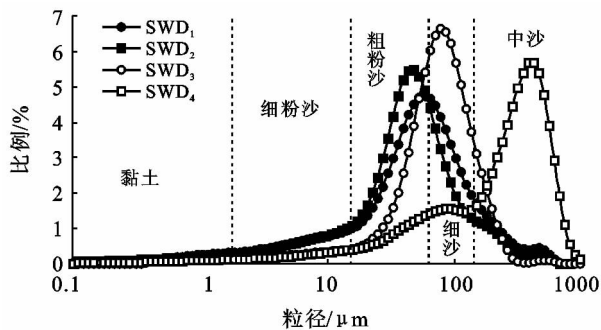


图 2 黄河晋陕峡谷平渡关全新世古洪水滞流沉积物粒度分布频率曲线

粒度参数可以进一步解释上述曲线特征。由表 3 可以看出,PDG 剖面古洪水 SWD₁₋₂ 的中值粒径(M_d)和平均粒径(M_z)都在 46~64 μm 之间变化,主要是粉沙,SWD₁₋₂ 的中值粒径(M_d)和平均粒径(M_z)都较大,主要是细沙和中沙;黄土和古土壤的中值粒径(M_d)和平均粒径(M_z)均很小,属于细粉沙。可见古洪水 SWD 的颗粒总体上比黄土和古土壤粗。平渡关(PDG)剖面古洪水滞流沉积物的标准偏差在 1.21~1.78,分选系数在 0.58~1.12,表明其分选较好。总体来看,黄土和古土壤的分选性要比古洪水 SWD 差。偏度(SK)表示沉积物粗细分布的对称程度,古洪水滞流层的偏度(SK)分别为 0.52(SWD₄)和 0.31(SWD₃),偏态表现为极正偏,0.28(SWD₂)和 0.29(SWD₁),同古土壤和黄土一样,偏态表现为正偏。峰

态是衡量频率曲线尖峰凸起程度的参数,SWD₁ 和 SWD₄ 的峰度分别为 1.50 和 1.16,为尖锐,SWD₂ 和 SWD₃ 的峰度分别为 1.73 和 1.75,为很尖锐,古土壤和黄土的峰态为中等。古洪水滞流沉积物与黄土堆积物在粒度成分上的明显差异是其搬运介质和搬运动力的不同造成的。古洪水滞流沉积物是洪水水流当中的悬移质和跃移质沉积形成,黄土是沙尘暴过程当中的悬移质沉积形成。晋陕峡谷黄河特大洪水的搬运动力远大于沙尘暴,因而,黄土的性质为粉沙,而黄河晋陕峡谷洪水 SWD 的性质为细沙质粉沙、细沙甚至中沙。粒度参数与粒度分布频率曲线特征一致,表明黄河平渡关(PDG)剖面中的古洪水滞流沉积物形成在高水位回水湾内,水流流速缓慢,所以悬移质泥沙和跃移质逐渐沉积,故分选性很好,粒度分布曲线上主峰高而且狭窄。

3.4 粒度成分概率累积分析与 CM 图式

粒度成分概率累积曲线能够有效地区分流沉积物当中的推移质、跃移质和悬移质组分^[31]。图 3 为黄河晋陕峡谷 PDG 地点大洪水滞流沉积物粒度概率累积曲线图。如图 3 所示,4 层古洪水 SWD 概率累积曲线都呈现明显的两段式,截点在 2~5 φ 附近,下段斜率大,上段斜率小,表明其主要由跃移质和悬移质成分组成。跃移质粒级分布在 1~5 φ 范围内,含量为约 50%,由中沙和细沙组成,线段斜率大,分选较好;悬移质粒级范围为 3~9 φ,由粉沙和黏土组成,含量占 40%~50%。可以看出,主要来源于黄河中游黄土地区和晋陕蒙三角地区风沙带的黄河洪水,其携带的跃移质和悬移质泥沙,是流域内黄土区和风沙区水土流失物质的混合物。

CM 图式反映了沉积物粒度分布总体特征,间接地指示了沉积环境。图 4 为黄河中游 PDG 剖面全新世古洪水滞流沉积物 CM 图,根据 Passega 等^[32]的研究成果,即将 CM 图分为 9 个区,每个区代表不同的沉积环境。从图 4 可知,黄河 PDG 古洪水滞流沉积物投影在 CM 图的 I 区(SWD₄)和 VI(SWD₁₋₃)区,即

除 SWD_{1-3} 为悬浮沉积环境。 SWD_4 为滚动颗粒,缺乏悬浮沉积物,与其它层不同。这一方面与 CM 图的 9 区划分为统计界线划分有关,另一方面说明 4 次古洪水的含沙量及水动力是有差异的,体现了古洪水 SWD 沉积环境的多样性和复杂性。

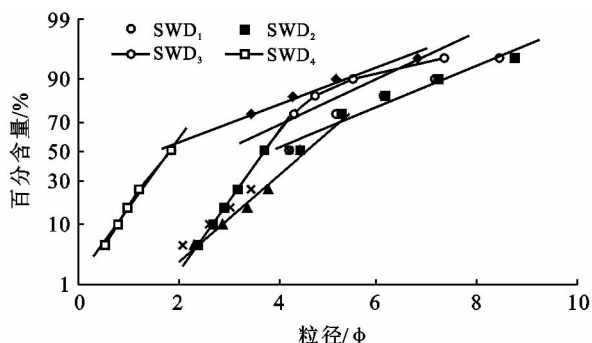


图 3 黄河中游平渡关全新世古洪水滞流沉积物粒度概率累积分布曲线

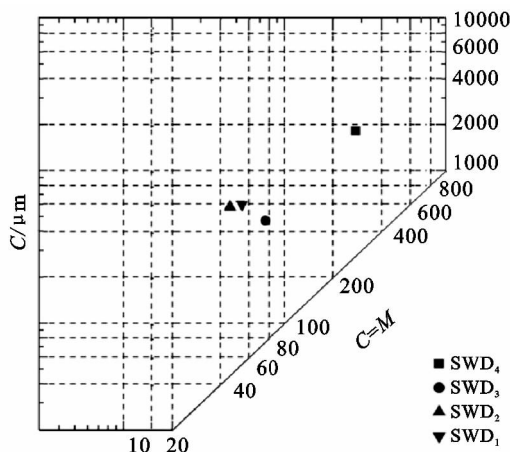


图 4 黄河中游平渡关全新世古洪水滞流沉积物 CM 图式
注: C 为最粗粒径, M 为中值粒径。

4 结论

全新世古洪水 SWD 是河流洪水泥沙及其搬运运动状况演变的地质记录。通过野外实地考察,根据古洪水 SWD 的野外宏观沉积学特征,在黄河晋陕峡谷大宁县平渡关地点一无名沟口岩棚之下发现了 4 层古洪水 SWD,它们呈浊黄橙色,质地均匀,块状构造,平行状层理,各层之间均被薄层坡积石渣土所分隔开,表明每一层古洪水滞流沉积物记录了一次特大洪水事件。

从磁化率、烧失量、 $CaCO_3$ 含量指标分析来看,这些古洪水滞流沉积物与古土壤和黄土有着显著的差异,古洪水所携带跃移质和悬移质泥沙为黄土高原北部沙质黄土地区和晋陕蒙三角风沙区水土流失物质的混合物。从粒度分析来看,平渡关(PDG)剖面四层

古洪水滞流沉积物分别为细沙质粉沙、细沙和中沙。与渭河流域古洪水 SWD 相比,其中沙和细沙颗粒含量较多,但其粒径分布集中,分选较好,是典型的古洪水悬移质沉积物。粒度概率累积分布曲线和 CM 图式表明 PDG 剖面 4 层古洪水滞流沉积物中不仅含有悬移组分,同时存在有跃移组分,其沉积环境主要为均匀悬浮出现的滞流环境,说明 4 次古洪水的含沙量及水动力状况是有一定差异的。总体上说,黄河晋陕峡谷平渡关地点古洪水滞流沉积物是流域内黄土区和风沙区水土流失物质的混合物,在高水位滞流环境下沉积的产物,记录了黄河晋陕峡谷段发生在全新世时期的 4 次特大古洪水事件。

[参 考 文 献]

- [1] Baker V R. Palaeoflood hydrology in a global context [J]. Catena, 2006, 66(1/2): 161-168.
- [2] Kochel R C, Baker V R. Palaeoflood hydrology[J]. Science, 1982, 215(4531): 353-361.
- [3] 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.
- [4] Alpa S. A mid-late Holocene flood record from the alluvial reach of the Mahi River, Western India[J]. Catena, 2007, 70(3): 330-339.
- [5] 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.
- [6] James C K. Sensitivity of modern and Holocene floods to climate change[J]. Quaternary Science Reviews, 2000, 19(1/5): 439-457.
- [7] 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.
- [8] 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[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2010, 289(3): 1-9.
- [9] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, 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(17/18): 2247-2264.
- [10] 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.
- [11] 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.

- [12] 李晓刚,黄春长,庞奖励,等. 关中西部漳水河全新世古洪水滞流沉积地层研究[J]. 地层学杂志, 2009, 33(2): 198-205.
- [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] 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.
- [15] 魏海燕,黄春长,查小春,等. 黄河中游晋陕峡谷段全新世晚期洪水滞流沉积研究[J]. 地质论评, 2010, 56(5): 745-752.
- [16] 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.
- [17] 谢悦波,杨玉荣,王辉. 三峡河段古洪水滞流沉积指标体系[J]. 人民长江, 1999, 30(8): 4-6.
- [18] Huang Chun Chang, 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, 22(6), 675-686.
- [19] Huang Chun Chang, 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, 27(5), 485-493.
- [21] Huang Chun Chang, 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[J]. Quaternary Science Reviews, 2011, 30(3/4), 460-468.
- [22] 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:以周原漆水河谷地为例[J]. 中国科学, 2011, 41(11): 1658-1669.
- [23] 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.
- [24] 郝高建,黄春长,邢莹莹等. 黄河晋陕峡谷吉县段全新世古洪水滞流沉积特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(3): 106-112.
- [25] 王夏青,黄春长,庞奖励,等. 黄河壶口至龙门段全新世古洪水滞流沉积物研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(4): 781-787.
- [26] 黄河中游水文水资源局. 黄河中游水文—河口镇至龙门区间[M]. 河南 郑州:黄河水利出版社, 2001: 1-207.
- [27] 徐建华,李晓宇,陈建军,等. 黄河中游河口镇至龙门区间水利水保工程对暴雨洪水泥沙影响研究[M]. 河南 郑州:黄河水利出版社, 2009: 1-340.
- [28] 黄河水利委员会. 黄河干支流主要断面 1919—1960 年水量、沙量计算成果[M]. 河南 郑州:黄河水利委员会, 1962: 30.
- [29] 张文河,穆桂金. 烧失法测定有机质和碳酸盐的精度控制[J]. 干旱区地理, 2007, 30(3): 455-459.
- [30] 刘秀铭,刘东生,John S. 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.
- [31] 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.
- [32] Passega R, Via B. Grain-size Image of Clastic Deposits [J]. Sedimentology, 1969, 13 (3/4): 233-252.

(上接第 215 页)

- [9] Maas E V, Hoffman G J. Crop salt tolerance in current assessment[J]. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 1977, 103(2): 115-134.
- [10] Zhang H, Schroder J L, Pirman J J, et al. Soil salinity using saturated paste and 1:1 soil to water extracts [J]. Soil Science Society of America Journal, 2005, 69(4): 1146-1151.
- [11] Amente G, Backer M J, Reece C F. Estimation of soil solution electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity in sandy soil[J]. Soil Sci. Am., 2000, 64(6): 1931-1939.
- [12] 魏复盛. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002.