

黄河中游晋陕峡谷段全新世晚期 洪水滞流沉积研究

魏海燕¹⁾, 黄春长^{1,2)}, 查小春¹⁾, 庞奖励¹⁾, 王夏青¹⁾

1) 陕西师范大学旅游与环境学院, 西安, 710062;

2) 中科院黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安, 710075

内容提要: 通过对黄河晋陕峡谷的深入调查研究, 在延长永和县河段发现了典型的全新世晚期洪水滞流沉积剖面。在野外考察中, 对沉积物的宏观特征和沉积环境及其分布特征进行观察, 并进行了系统采样。在实验室对沉积物样品进行了粒度成分、磁化率、烧失量、CaCO₃含量等测定。通过综合分析论证, 表明黄河中游晋陕峡谷全新世晚期洪水滞流沉积物以粉砂为主, 细砂含量次之, 粘粒含量很少, 分选性好, 磁化率很低。其沉积学分类为细砂质粉砂, 是黄河洪水悬移质泥沙在高水位滞流环境下的沉积物。将其与典型的全新世风成黄土和古土壤进行对比, 可知其粒度成分比黄土和古土壤更粗, 粒级分布更为集中。此外, 将其与延河郭家川全新世洪水滞流沉积物对比, 发现其粒度频率分布基本相似。该研究结果对于揭示黄河中游洪水水文泥沙特性及其历史演变具有重要意义。

关键词: 黄河中游; 晋陕峡谷; 洪水; 滞流沉积物; 全新世

在水利水电和防洪工程设计方面, 超长尺度洪水数据, 尤其是其中特大洪水数据具有十分重要的意义。但实测洪水与历史资料记录的洪水数据只有几十年或是几百年。而全新世发生的河流洪水会被洪水滞流沉积物(SWD, 即 slack water deposits)记录下来。国内外专家已经运用第四纪沉积学, 年代学结合水文学方法, 通过全新世洪水滞流沉积物研究, 获得了若干河流万年尺度的洪水数据(Yang Dayuan, et al., 2000; Baker, 2006, 2008; 姚平等, 2008; 李瑜琴等, 2009; Huang Chunchang, et al., 2010)。在全新世河流洪水研究中, 特大洪水滞流沉积物是最重要的信息载体(谢悦波等, 2001; 詹道江等, 2001; 查小春等, 2007; 万红莲等, 2010)。在河流中、下游峡谷河段勘察和鉴定全新世洪水沉积物, 是超长尺度洪水研究的第一步。研究特大洪水滞流沉积物的沉积学特征也尤为重要。在野外剖面, 全新世特大洪水滞流沉积物具有特定的产状和分层特征, 通过细致观察可以发现它们与黄土和古土壤、与其他类型河流冲积物的区别。在实验室, 通过分析沉积物的粒度、磁化率、烧失量、碳酸钙含量, 可以更进一步鉴别该沉积物是否为洪水滞流沉积物, 并且

通过地层对比和测年, 推算该沉积物所记录的洪水发生的年代等, 为全新世洪水水文分析计算奠定基础(谢悦波等, 1998; 葛本伟等, 2010)。

本项目组对于黄河晋陕峡谷进行了全面的考察。本文主要报告笔者等在黄河延长与永和县河段的考察研究结果。通过野外考察采样, 综合野外沉积学特征观察特性和实验数据分析与对比, 论证了黄河中游延长永和县段全新世晚期洪水的沉积学特征, 为该区段超长尺度洪水的水文学研究提供了基础。

1 研究区概况

黄河中游晋陕峡谷段, 河道狭窄弯曲, 水流湍急, 水力资源较丰富(图1)。除河曲、府谷河段较宽外, 其余河段宽度多数在400~600 m之间。其主要的支流有皇甫川、孤山川、岚漪河、窟野河、秃尾河、佳芦河、无定河、延水、红河、三川河、昕水河等。该河段流经黄土高原, 流域地形包括黄土丘陵沟壑区、风沙草滩区、基岩出露区等, 其中以黄土丘陵沟壑区为主。该河段所在区域地处半干旱地区, 太阳辐射强, 光照时间较长。年平均气温在3.6℃~

注: 本文为国家自然科学基金(编号40771018)、中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室基金(批准号SKLLQG 0609)、中央高校基本科研业务费专项基金(编号KG200901007)资助项目的成果。

收稿日期: 2010-02-17; 改回日期: 2010-05-21; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 魏海燕, 1983年生。硕士, 研究方向为土地资源与环境变迁。Email: why2005city@163.com。



图1 黄河晋陕峡谷永和县佛堂村研究地点位置图

Fig. 1 Location map of the studied Fotangcun site in Yonghe county, the Shanxi—Shaanxi Gorges of the Yellow River

11.8℃之间,年降水量在350~600mm,大体从西北向东南递增。降水分布不均,在进入汛期特别是7、8、9月份,暴雨频频发生,往往会形成黄河干流较大的洪水(陈先德,1996;黄河中游水文和水资源局,2005)。黄河在进入晋陕区间后,不但洪水次数增多,洪峰流量也显著增大。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(史辅成等,1997)。同时该区域土地开发历史悠久,是我国主要农牧业基地之一,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,提高了该区域对黄河泥沙的贡献率。

2 研究剖面与实验方法

在黄河晋陕峡谷发生特大洪水时的高水位情况下,在一些支沟口的回水湾内就会形成滞流环境。此时黄河洪水悬移质泥沙就会逐渐沉积下来。这种悬移质沉积物与河床河漫滩相的沉积物,与支流来的冲积物有显著的区别。本课题组在野外考察当中,在永和县佛堂村沟口内回水湾发现了黄河的两级洪积台地,也就是国际上所说的 flood bench

(Benito et al., 2003)。

这两级洪积台地含有多层水平或者波状分布的悬移质沉积层。本文选择佛堂村两级洪积台地(36°35′25.6″N, 110°29′5.8″E)为主要研究对象。其中SWD1、SWD2两层,位于低台地上,台面高程为481.7m;SWD3、SWD4两层位于高台地上,高程为485.7m(图2)。

黄河晋陕峡谷永和县佛堂村低台地全新世晚期洪水沉积层见图2。照片中可见到其水平或者波状层理明显的界限。由于洪水沉积物为悬移质,颗粒较细,与下部的粗颗粒沙层或是坡积物有显著的区别。洪水沉积之后,干燥时收缩程度不同,层与层之间开裂形成明显的

的界限。洪水的沉积夹层的结构较紧实致密,这是因为洪水颗粒细,空隙小,加上沉积时间长,沉积逐



图2 黄河永和县佛堂村地点低台地全新世晚期洪水滞流沉积层

Fig. 2 The late Holocene flood slack water deposits in the lower flood bench at the Fotangcun site in the Shanxi—Shaanxi Gorges of the Yellow River

渐压实,从而形成较紧实的结构。同时,洪水沉积层内部也会发育微薄的层理。而其上下的坡积物和沙层不具有这样的层理。从沉积物的颜色上可以清楚地看到洪水滞流沉积物与当地灰色角砾的坡积物的颜色和结构有明显的差异。这主要是因为两种物质的成因来源不同、组成成分不同所致。

经过仔细的观察分析之后,分别对高低两个台地的洪水沉积物进行了采样。首先铲去沉积物表层的风化物,然后在其原沉积层之中取样,并结合土壤学、地层学特征对两剖面进行地层划分和描述(表 1)。根据野外考察剖面的实际情况对剖面进行地层的划分。由于剖面缺乏可供测年的物质,故目前只能根据地层结构的对比,判断 SWD 层的年代。黄土高原表土层通常是最近 1.5 ka 以来形成,佛堂村的 SWD 出现在表土层以下,可知洪水滞流沉积物年代大于 1.5 ka。而 SWD 之下没有发现形成于 3.1 ka 前的全新世中期的古土壤 S_0 层,可见该地点洪水沉积物年龄小于 3.1 ka。从而初步判断为全新世晚期较早阶段的特大洪水滞流沉积物。

为了更好地说明黄河晋陕峡谷全新世晚期洪水沉积物的特征。笔者还选择陕西省白水县黄土台塬面尧和村典型全新世黄土—古土壤剖面,以及延河郭家川全新世洪水滞流沉积物,通过分析比较进行深入研究。

在实验室内主要对所采取的 SWD 沉积物的磁化率、烧失量、 CaCO_3 含量和粒度成分进行测定。各指标实验测定方法如下:样品的磁化率采用英国 Bartington 公司生产的 MS-2B 型磁化率仪测量,测量精度为 1%。每个样品分别测其高频和低频磁化率,每个样品测量三次,取其均值。烧失量的测量是先将 200 目以下的土样置于 105 °C 高温的烘箱中烘干,取 1 g(精确至 0.1mg)置于马弗炉中,以 400 °C

高温灼烧 2 h,冷却后精确称重,然后计算样品的损失率。碳酸钙的含量用荷兰 Eijkelkamp 公司生产的 08.53 型 Calcimeter 测定。在粒度成分的测量中,样品中 $>0.1\text{ mm}$ 颗粒用筛分法进行测定;对于 $<0.1\text{ mm}$ 颗粒,先用 10% 的 H_2O_2 和 10% 的盐酸除去样品中的有机质和碳酸钙,然后加入六偏磷酸钠充分分散,最后用英国 Malvern 公司的 Mastersizer-S 型激光粒度仪来测定,测量精度为 1%。

3 分析结果与讨论

磁化率是沉积物在磁场中被磁化程度的量度。它反映的是沉积物中铁磁性矿物含量的高低。沉积物磁化率值的不同主要是在风化、侵蚀、搬运、沉积和次生改造过程中铁磁性矿物再分配引起的(黄春长,2000;袁胜元等,2006)。由表 2 可知,黄河佛堂村四层 SWD 的低频磁化率值在 $34 \times 10^8 \sim 42 \times 10^8\text{ kg/m}^3$ 之间,延河郭家川 SWD 的低频磁化率为 $40 \times 10^8 \sim 49 \times 10^8\text{ kg/m}^3$ 。延河郭家川的洪水 SWD 磁化率相对较高。白水黄土台塬全新世黄土与古土壤的磁化率分别为 $113 \times 10^8\text{ kg/m}^3$ 和 $159 \times 10^8\text{ kg/m}^3$ (表 2)。可见洪水 SWD 的磁化率值远远低于黄土和古土壤。烧失量反映的是沉积物中有机质和结晶水的含量,是沉积物次生风化过程当中生物活动强度的表征。黄河佛堂村的 SWD 烧失量在 0.35% ~ 0.55% 之间波动。与表土层接触洪水 SWD 沉积受表土层成壤作用的影响,有机质含量略高。延河郭家川 SWD 中烧失量值在 0.33% ~ 0.71% 之间,全新世黄土和古土壤的值分别为 2.42% 和 3.14%。可见洪水 SWD 的烧失量明显小于黄土和古土壤。这说明烧失量也可以作为区分洪水滞流沉积物与黄土古土壤的重要指标。在黄土剖面 CaCO_3 反映的是降水量和土壤水份的含量(李晓刚等,2009)。黄河佛堂村 SWD 中 CaCO_3 含量在 4.30% ~ 7.46% 之间。延河郭家川 SWD 的值为 6.78% ~ 10.61%,黄土古土壤分别为 14.23% 和 4.06%。可见洪水滞流沉积物碳酸钙含量处于黄土和古土壤之间。从 $>0.1\text{ mm}$ 砂级颗粒百分含量可以看出,每

表 1 黄河晋陕峡谷永和县佛堂村地点全新世地层划分及沉积学特征

Table 1 Pedo-stratigraphic subdivision and sedimentologic features in the Holocene sedimentary profiles at the Fotangcun site in Yonghe county in the Shanxi—Shaanxi Gorges of the Yellow River

	深度(cm)	地层	沉积学特征
高台地	20~0	表土层	浊橙色,团粒结构,含有较多根系
	60~20	洪水滞流沉积层(SWD4)	浊黄橙色滞流沉积层,细砂质粉砂,上下界面明显
	110~60	洪水滞流层沉积(SWD3)	浊黄橙色滞流沉积层,细砂质粉砂,上下界限界面明显
	? ~110	沙层	浊黄橙色中沙层
低台地	20~0	表土层	浊橙色,团粒结构,含有较多根系
	40~20	洪水滞流沉积层(SWD2)	浊黄橙色滞流沉积层,细砂质粉砂,上下界面明显
	50~40	洪水滞流沉积层(SWD1)	浊黄橙色滞流沉积层,细砂质粉砂,上下界限界面明显
	? ~50	坡积层	灰色坡积物,含有灰色角砾石,与坡上方基岩成分相同

表2 黄河中游佛堂村全新世洪水滞流沉积物剖面磁化率、烧失量、CaCO₃和>0.1mm颗粒含量及其与延河郭家川地点全新世洪水沉积物和白水县黄土台塬黄土—古土壤对比表

Table 2 Magnetite susceptibility, loss-on-ignition, CaCO₃ and >0.1mm particle contents of the flood SWD at the Fotangcun site, and the comparison with that at the Guojiachuan site of the Yanhe River, and with loess—paleosol at the Baishui loess tableland in the middle reaches of the Yellow River

样品名	磁化率(X_{-1T}) ($\times 10^8 \text{ kg/m}^3$)	烧失量 (%)	CaCO ₃ (%)	>0.1 mm(%)
Fotangcun-SWD4	36.20	0.49	4.30	0.65
Fotangcun-SWD3	41.80	0.35	4.81	28.71
Fotangcun-SWD2	38.30	0.55	7.46	0.18
Fotangcun-SWD1	34.50	0.43	6.58	0.25
白水县古土壤 S ₀	159.80	3.14	4.06	0.39
白水县黄土 L ₀	113.50	2.42	14.23	1.52
Guojiachuan-SWD5	47.00	0.71	10.61	0.20
Guojiachuan-SWD4	47.00	0.44	7.86	5.04
Guojiachuan-SWD3	49.20	0.51	7.69	6.35
Guojiachuan-SWD2	43.70	0.33	6.78	1.31
Guojiachuan-SWD1	40.70	0.53	7.76	0.70

层 SWD 含量不稳定,有时会出现极大值。例如在黄河佛堂村 SWD3 出现了 28.7% 的极大值,这与当次洪水的来源及水动力大小有关。

全新世洪水滞流沉积物的沉积结构主要体现在其粒度方面,因此粒度分析是 SWD 研究的重要手段之一(任明达等,1981;张强等,2004)。目前国际上应用最广的粒度分级是 Udden-Wentworth

Scale。后来 Krumbein 将其转化成 Φ 值。其转化公式为 $\Phi = -\log_2 d$ 。该种粒度分级中粒级分类标准的界限都是整数,优点是便于运用各种数学统计方法计算分析,缺点是较抽象(Krumbein, 1938; 成都地质学院陕北队, 1978)。在第四纪环境和土壤学研究当中,为了使粒度分布及其特征看起来直观明瞭,故直接用 mm 值(Huang Chunchang, et al., 2010)。

依据沉积学当中粒度分级标准(McManus, 1988; 成都地质学院陕北队, 1978; 黄思静, 1999),计算出黄河永和县佛堂村全新世晚期洪水沉积物粒度特征值(表3)。

从表3可以看出,黄河永和县佛堂村洪水 SWD 颗粒成分以粉砂为主,0.063~0.002 mm 粒级含量在 52.8%~68.8% 之间。细砂 0.125~0.063 mm 颗粒含量在 24.9%~38.8% 之间。粘粒 < 0.002 mm 颗粒很少,在 2.4%~6.2% 之间。故可以将黄河永和县佛堂村的 SWD 定名为细砂质粉砂。延河郭家川与之相同(表3)。而白水黄土台塬全新世黄土古土壤中细砂含量极少,粗粉砂含量也小于洪水 SWD,属于粉砂质沉积物。

在沉积物的粒度参数中, M_d 是中值粒径,用于度量沉积物颗粒平均大小,反映沉积物沉积环境的动力条件。 M_z 为平均粒径,表示沉积物颗粒的粗细,反映沉积物的来源及沉积环境的变化(赵澄林, 2001)。表3中所显示的黄河永和县佛堂村洪水滞

表3 黄河中游永和县佛堂村全新世洪水滞流沉积物粒度特征值及其与延河郭家川地点全新世洪水沉积物和白水县黄土台塬黄土—古土壤对比表

Table 3 Grain-size characteristics of the Holocene flood SWD at the Fotangcun site and the comparison with that at the Guojiachuan site of the Yanhe River and loess—paleosol at the Baishui loess tableland in the middle reaches of the Yellow River

层位	0.125~ 0.063 mm(%)	0.063~ 0.032 mm(%)	0.032~ 0.002 mm(%)	<0.002 mm(%)	粘粒/ 粉砂	M_d (mm)	M_z (mm)	δ	SK_Φ	$K_{g\Phi}$	S
Fotangcun-SWD4	25.60	40.27	28.58	4.76	0.068	0.0446	0.0440	1.49	0.50	1.60	0.70
Fotangcun-SWD3	26.66	29.22	31.17	6.21	0.103	0.0445	0.0451	1.84	0.49	1.35	1.00
Fotangcun-SWD2	24.90	36.91	31.26	5.66	0.083	0.0422	0.0431	1.62	0.48	1.57	0.78
Fotangcun-SWD1	38.83	35.74	17.13	2.46	0.047	0.0583	0.0614	1.16	0.34	1.83	0.59
白水县古土壤 S ₀	2.17	14.28	73.69	9.86	0.112	0.0120	0.0160	1.65	0.15	0.90	1.20
白水县黄土 L ₀	3.00	16.33	70.46	10.23	0.118	0.0140	0.0170	1.59	0.23	0.96	1.10
Guojiachuan-SWD5	14.15	37.53	40.85	7.23	0.092	0.0333	0.0332	1.72	0.51	0.44	0.88
Guojiachuan-SWD4	26.24	32.17	25.97	5.37	0.092	0.0490	0.0524	1.74	0.35	0.71	0.81
Guojiachuan-SWD3	23.55	33.57	29.23	5.49	0.087	0.0447	0.0478	1.71	0.35	1.67	0.81
Guojiachuan-SWD2	27.65	38.25	25.64	5.14	0.080	0.0468	0.0483	1.47	0.43	1.78	0.68
Guojiachuan-SWD1	23.06	37.90	30.94	6.08	0.088	0.0417	0.0426	1.63	0.48	1.66	0.76

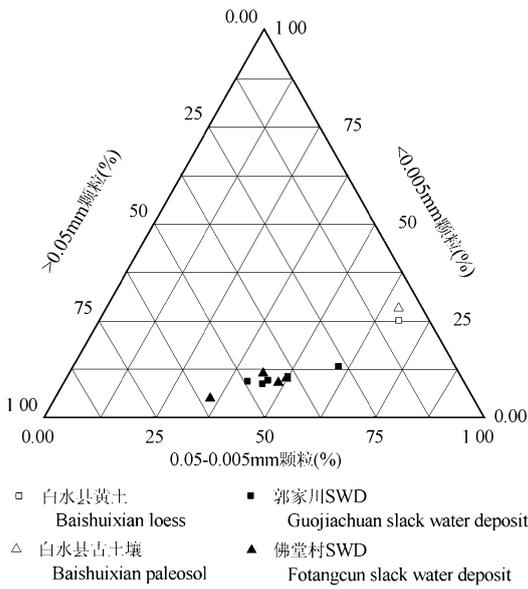


图 3 黄河中游永和县佛堂村地点、延河郭家川地点全新世洪水沉积物和白水黄土台塬黄土—古土壤粒度成分三角图

Fig. 3 Triangle diagram of the grain size distribution of the flood SWD at the Fotangcun site, the Guojiachuan site and loess—paleosol on the Baishui loess tableland in the middle reaches of the Yellow River

流沉积物的 Md 值在 0.042~0.058 mm 之间,处于粗粉砂粒组内,各层的变幅不大,但总体偏粗。 Mz 值处在 0.043~0.061 mm 之间,同样是在粗粉砂组内。标准离差(δ)用来表示沉积物粒度的物质来源和分选程度,分选系数(S)表示沉积物的分选性,其

值大小反映出沉积物颗粒均匀程度,不同成因类型的沉积物分选性不同。从表 3 中可知黄河永和县佛堂村洪水滞流沉积物的分选系数在 0.59~1.00 之间,显示出沉积物的分选性较好。由于其悬移质性质和水动力条件决定了这种沉积物具有很好的分选性,因此洪水滞流沉积物大部分分选性都较好。笔者等研究的这些洪水沉积物样品符合滞流沉积物的特点(McManus, 1988; 谢悦波等, 1999, 2000)。偏度系数(SK)衡量的是颗粒分布的对称性。在沉积学的研究中, Folk 和 Ward 提出 SK 分为五级, SWD 样品中的偏度系数处于 0.34~0.50 之间,属于极正偏分布,全新世黄土古土壤样品为正偏分布。峰态系数(Kg)在 1.35~1.83 之间,表明分布峰态

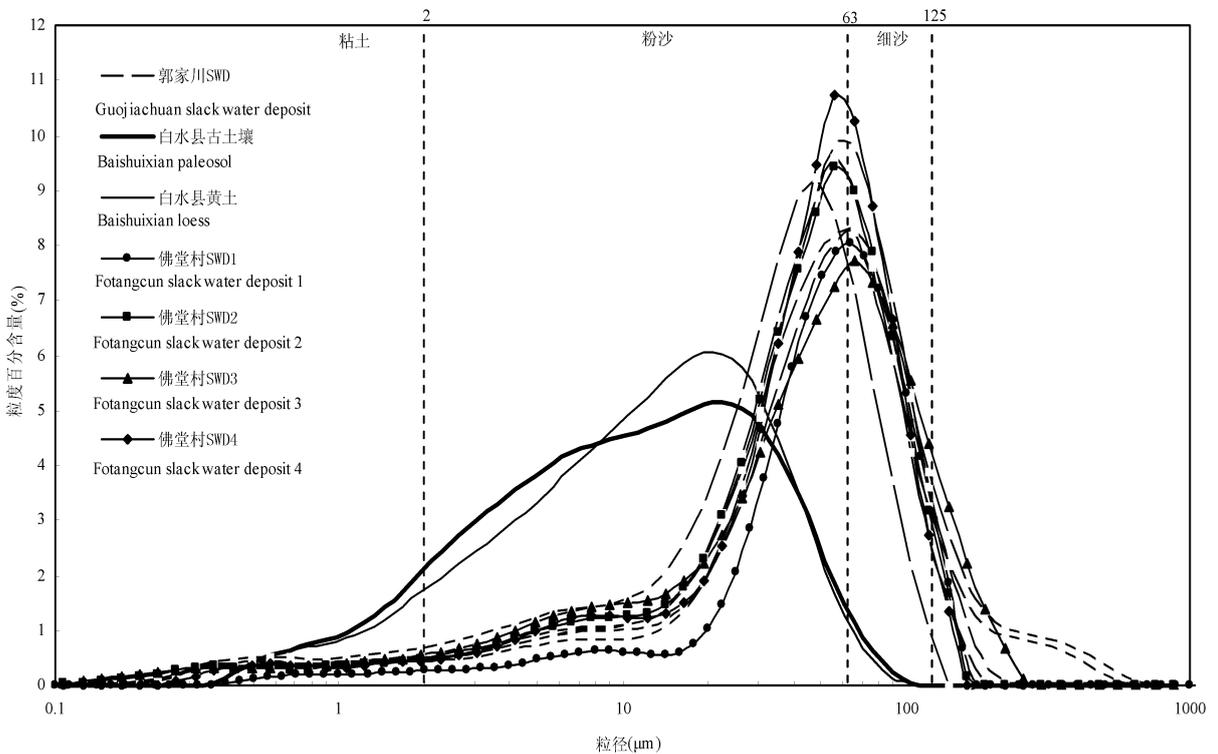


图 4 黄河中游永和县佛堂村地点、延河郭家川地点全新世洪水滞流沉积物和白水黄土台塬黄土—古土壤粒度分布频率对比曲线图

Fig. 4 Diagram showing grain-size distribution of the Holocene flood slack water deposit at the Fotangcun site, the Guojiachuan site and the loess—paleosol at the Baishui loess tableland in the middle reaches of the Yellow River

狭窄, 粒度很集中。延河郭家川的洪水滞流沉积物, 也具有相同的特点。这一点也在粒度分布频率曲线上也可以看出(图4)。全新世黄土古土壤的峰态系数显然就低得多(表4)。

与粒度分析有关的多种图解, 如三角分类图, 分布频率曲线图, 累积频率曲线图等都可以作为沉积环境分析的参考指标(赵澄林等, 2001)。笔者将黄河佛堂村, 延河郭家川的洪水滞流沉积物和白水黄土台塬黄土古土壤的粒度数据分别制成粒度成分三角图, 粒度分布频率曲线图, 累积频率曲线图, 来进一步揭示这些沉积物之间的区别, 通过对比揭示黄河佛堂村洪水滞流沉积物的特征。

沉积物粒度成分三角图被用来比较沉积物的粒度成分和进行沉积学命名(成都地质学院陕北队, 1978; 徐馨等, 1992)。将沉积物粒度按土壤学分类标准分类, 以粘粒($< 0.005\text{mm}$), 粉砂($0.005\sim 0.05\text{mm}$), 细砂($0.05\sim 0.10\text{mm}$)为指标, 将黄河永和县佛堂村和延河郭家川的SWD和白水黄土古土壤数据置于一个三角图中(图3)。可见洪水滞流沉积物均落在细砂质粉砂范围内, 黄土古土壤为粘土质粉砂。个别SWD层次的样品的投影点偏离主体, 表明该次洪水及其所携带的悬移质泥沙, 来源有所不同。

粒度分布频率曲线可以更加直观地显示沉积物的粒度分布特征(图4)。黄河永和县佛堂村和延河郭家川全新世晚期洪水滞流沉积物都表现为三峰式, 由一个突出的主峰和两个极低矮的次峰组成, 主峰偏向粗颗粒一端, 高而且狭窄, 显示出良好的分选性。白水黄土台塬全新世黄土古土壤粒度分布也为正偏态, 但主峰峰态较宽且低矮, 显示出分选性略差。从峰态上看, 黄河永和县佛堂村洪水滞流沉积物主峰在 $56.2\sim 65.5\mu\text{m}$ 区间, 延河郭家川洪水滞流沉积物主峰在 $48.2\sim 65.5\mu\text{m}$ 区间, 古土壤的主峰顶点在 $22.5\mu\text{m}$, 黄土在 $19.3\mu\text{m}$ 。全新世晚期洪水滞流沉积物主峰偏向粗颗粒方向, 这也表明了洪水沉积物具有粉砂和细砂的特点。

粒度分布累积曲线是展示沉积物粒度分布特征的一种图解方法。由图5可知, 黄河永和县佛堂村洪水滞流沉积物的S型曲线尾端细长, 极正偏, 中段陡峭, 这与分

布频率曲线有很好地对应, 表明分选性很好。延河郭家川洪水SWD曲线居中, 显示分选性略差, 黄土古土壤曲线居于图中偏左, 倾斜度较小, 可知其分选性略差。

4 讨论

全新世时期河流洪水的滞流沉积物是记录万年尺度洪水事件和水文特性信息的主要载体。鉴别河流洪水的滞流沉积物是研究超长尺度洪水的最关键一步。由于流域地形、地质、气候、天然和植被等的影响, 以及河流洪水流量大小、水位高低等因素影响, 不同河流, 甚至同一河流的不同河段, 不同时期的洪水, 其滞流沉积物都有其自身的特点。本文就黄河中游延长和永和县河段全新世晚期洪水滞流沉积物, 进行野外观测和实验分析研究, 并与黄土古土壤以及附近支流延河郭家川作了对比分析, 揭示出

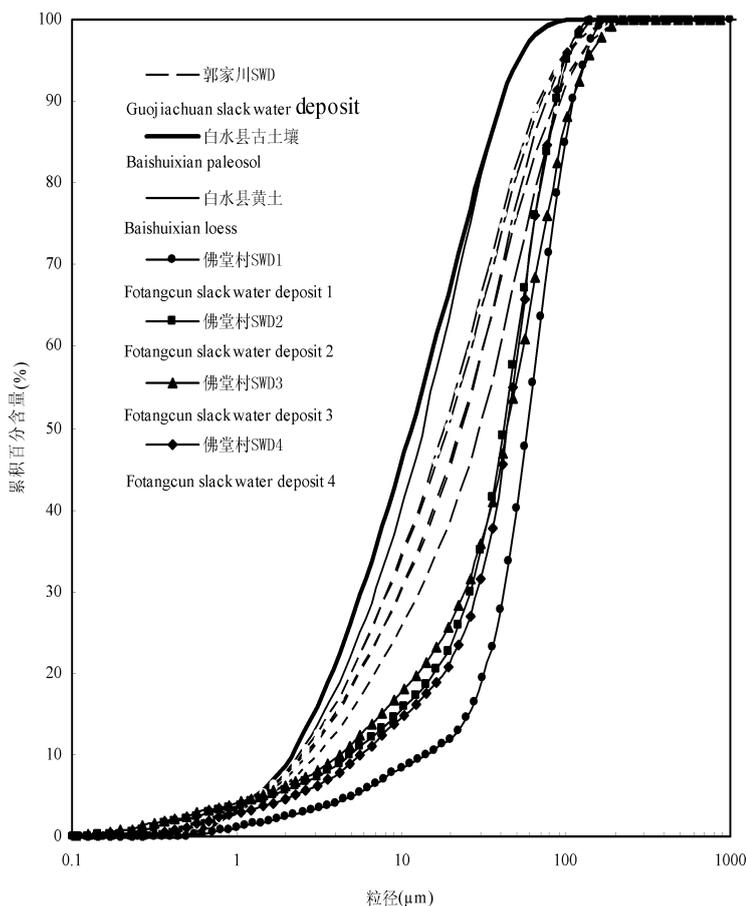


图5 黄河中游永和县佛堂村地点、延河郭家川地点全新世洪水滞流沉积物和白水黄土台塬黄土古土壤粒度累积曲线图

Fig. 5 Accumulated grain-size distribution of the Holocene flood slack water deposit at the Fotangcun site, Guojiachuan site and loess—paleosol at the Baishui loess tableland in the middle reaches of the Yellow River

该河段的特大洪水滞流沉积物的特征。

在野外剖面上,黄河佛堂村在支沟口内的回水湾,在黄河高水位洪水发生时,形成滞流环境。由于不同时期特大洪水悬移质沉积,形成两个显著的洪积台地,即所谓 flood bench。两个台地在表土层之下,各保存着两个全新世晚期洪水的滞流沉积层(SWD)。它们受到基底微地形影响,成水平或者波状层理,层与层之间界限分明。其质地以细砂质粉砂为主,结构构造与黄土和古土壤的区别很明显。

黄河佛堂村洪水滞流沉积物的磁化率值均很低,远低于全新世黄土 L_0 和古土壤 S_0 ,与马兰黄土 L_1 较为接近。这说明它们是经过流水侵蚀、搬运、分选后的新鲜的沉积物。尤其是它们作为悬移质泥沙,在洪水水流当中,长距离搬运,其中的矿物成分得到充分混合。其烧失量较低,反映沉积之后很少受到风化改造。其碳酸钙含量与黄土接近,远低于古土壤。这些都表明这种沉积物属于全新世晚期新鲜的沉积物。同时,通过与黄土高原全新世黄土剖面地层结构的对比,也说明它们的沉积时间晚于全新世中期古土壤 S_0 ,而早于现代表土层。因此判断这两组 SWD 记录的洪水事件发生在全新世晚期的较早阶段。

洪水滞流沉积物与黄土堆积物由于搬运介质的不同,所以二者在粒度成分上有显著差异。洪水滞流沉积物是洪水水流当中的悬移质沉积形成,黄土是沙尘暴过程当中的悬移质沉积形成。但是晋陕峡谷黄河特大洪水的水动力远大于沙尘暴风动力,因而,黄土的性质为粉砂,而黄河晋陕峡谷洪水 SWD 的性质为细砂质粉砂。由于永和县佛堂村黄河洪水 SWD 形成在高水位回水湾内,水流流速缓慢,所以悬移质泥沙逐渐沉积,故分选性很好,粒度分布曲线上主峰高而且狭窄。

延水郭家川的全新世洪水滞流沉积物的性质,与黄河的 SWD 基本相同,也是细砂质粉砂,具有水平或者波状层理。其磁化率和烧失量低,碳酸钙含量中等,粒度分布频率与黄河佛堂村基本平行,粒度分布主峰高而且狭窄,分选性良好。但是,无论是黄河还是延河,其记录了一组洪水事件的滞流沉积层,在不同层次之间,粒度分布有着显著的差异。这反映了这些洪水及其所携带的泥沙的来源有所不同。

这些研究结果为黄河及其支流超长尺度洪水沉积学和水文学研究奠定了基础。

5 结论

(1)黄河晋陕峡谷永和县佛堂村地点全新世洪

水滞流沉积物具有水平或波状层理,层与层之间界面明显,质地以细砂质粉砂为主,在野外的宏观沉积学特征方面与风成黄土和古土壤有着显著的区别。

(2)通过实验室分析的粒度特征对比,显示佛堂村地点黄河全新世洪水滞流沉积为悬移质沉积,分选性很好,主峰高凸且狭窄,与风成黄土古土壤区别显著。

(3)佛堂村地点黄河全新世洪水滞流沉积物磁化率较低,碳酸钙含量接近黄土,远低于古土壤,显示出全新世晚期新鲜沉积物的基本特点。通过与黄土高原全新世剖面地层结构的对比,确定其沉积时间晚于全新世中期的古土壤,早于现代表土层黄土和土壤。这说明佛堂村地点黄河洪水沉积物属于全新世晚期较早阶段特大洪水的滞流沉积物。

(4)黄河佛堂村地点全新世晚期洪水沉积物与延河郭家川全新世洪水沉积性质和结构特征基本相同。每层洪水滞流沉积物之间,磁化率和粒度成分等都有一定的差异。这反映了洪水所携带悬移质泥沙来自于流域内不同的区域。

参 考 文 献 / References

- 陈先德. 1996. 黄河水文. 北京: 黄河水利出版社, 25~72.
- 成都地质学队陕北队. 1978. 沉积岩(物)粒度分析及其应用. 北京: 地质出版社, 1~3.
- 葛本伟, 黄春长, 庞奖励, 李小平, 李胜利, 袁源, 李燕. 2010. 豫中黄土地区全新世黄土剖面成壤作用与古气候研究. 土壤通报, 41(1): 1~5.
- 黄春长. 2000. 环境变迁. 北京: 科学出版社, 85~116.
- 黄河中游水文和水资源局. 2005. 黄河中游水文. 北京: 黄河水利出版社, 2~16.
- 黄思静. 1999. 用 EXCEL 计算沉积物粒度分布参数. 成都理工学院学报, 26(2): 196~19.
- 李晓刚, 黄春长, 庞奖励, 朱美玲, 姚平, 朱向峰. 2009. 关中西部漳水河全新世洪水平流沉积地层研. 地层学杂志, 33(2): 198~203.
- 李瑜琴, 黄春长, 查小春, 庞奖励. 2009. 泾河中游龙山文化晚期特大洪水水文学研究. 地理学报, 64(5): 541~552.
- 任明达, 王乃梁. 1981. 现代沉积环境概论. 北京: 科学出版社, 9~12.
- 史辅成, 易元俊, 高治定. 1997. 黄河流域暴雨与洪水. 北京: 黄河水利出版社, 103~127.
- 万红莲, 黄春长, 庞奖励, 查小春. 2010. 渭河宝鸡峡全新世特大洪水水文学研究. 第四纪研究, 30(2): 421~431.
- 谢悦波, 杨达源. 1998. 洪水平流沉积基本特征. 河海大学学报, 26(6): 6~11.
- 谢悦波, 杨玉荣, 王辉. 1999. 三峡河段洪水平流沉积指标体系. 人民长江, 30(8): 4~6.
- 谢悦波, 王文辉, 王平. 2000. 洪水平流沉积粒度特征. 水文, 20(4): 18~20.
- 谢悦波, 姜洪涛. 2001. 洪水研究——挖掘河流大洪水的编年史. 南京大学学报, 37(3): 390~394.

- 徐馨,何才华,沈志达. 1992. 第四纪环境研究方法. 贵阳:贵阳科技出版社, 74~75.
- 姚平,黄春长,庞奖励,查小春,李晓刚. 2008. 北洛河中游黄陵洛川段全新世古洪水研究. 地理学报, 63(11):1198~1206.
- 袁胜元,赵新军. 2006. 洪水事件的判别标志. 地质科技情报, 25(4):55~58.
- 查小春,黄春长,庞奖励. 2007. 关中西部漆水河全新世特大洪水与环境演变. 地理学报, 62(3):291~300.
- 赵澄林. 2001. 沉积学原理. 北京:石油工业出版社, 22~39.
- 赵澄林,朱筱敏. 2001. 沉积岩石学. 北京:石油工业出版社, 57~62.
- 詹道江,谢悦波. 2001. 古洪水研究. 北京:中国水利水电出版社, 49~52.
- 张强,杨达源,施雅风,葛兆帅,姜彤. 2004. 川江中坝遗址5000年来的洪水事件研究. 地理科学, 24(6):715~720.
- Baker V R. 2006. Palaeoflood hydrology in a global context. *Catena*, 66(1~2):161~168.
- Baker V R. 2008. Paleoflood hydrology: origin, progress, prospects. *Geomorphology*, 101(1~2):1~13.
- Benito G, Sopena A, Sanchez-Moya Y. 2003. Sedimentology of high-stage flood deposits of the Tagus River, Central Spain. *Sedimentary Geology*, 157:107~132.
- Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, Zhou Yali, Su Hongxia Li Yuqing. 2010. 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. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2010(2):1~9.
- Krumbein W C, Pettijohn F J. 1938. *Manual of Sedimentary Petrology*. Appleton: Century Crofts, 1~549.
- McManus J. 1988. Grain size determination and interpretation. *Tucker Med Techniques in sedimentology*. Oxford: Oxford Press, 63~85.
- Yang Dayuan, Yu Ge, Xie Yuebo. 2000. Sedimentary records of the large Holocene floods from the middle reaches of the Yellow River. *China Geomorphology*, 33(1~2): 73~88.

Sedimentary Studies of the Late Holocene Food Slackwater Deposits in the Shanxi—Shaanxi Gorges, Middle Reach of the Yellow River

WEI Haiyan¹⁾, HUANG Chunchang^{1,2)}, ZHA Xiaochun¹⁾, PANG Jiangli¹⁾, WANG Xiaqing¹⁾

1) *College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, 710062;*

2) *State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, 710075*

Abstract: Field investigation was carried out along the Shanxi—Shaanxi Gorges in the middle reaches of the Yellow River. Typical flood slackwater deposit (SWD) of the late Holocene was identified at the Fotangcun site in the reach of Yonghe county. Sediment samples were taken after detailed observation of the texture and structure of the SWD profiles. Samples from the Guojiachuan site in the lower reach gorges of the Yanhe River, from the Holocene loess—soil at the Baishui loess tableland were also taken for a comparative study. Grain-size distribution, magnetic susceptibility, loss-on-ignition and CaCO₃ content were measured in the laboratory. The results show that the flood slackwater deposit of the Yellow River consist of sandy silt which were deposited from the suspended sediment in the floodwater. Therefore they were well sorted during the deposition. The flood slackwater deposit from the Yanhe River have the similar grain-size distribution to the Yellow River. However, the loess and palaeosol are much finner than the slackwater deposit and they have very high magnetic susceptibility. This indicates that the SWD of the Yellow River are fresh sediment with little weathering and pedogenic alteration. This study is of great significance to establish a long-time scale hydrological data for flood control and hydraulic engineering in the middle reaches of the Yellow River.

Key words: middle reach of the Yellow River; Shanxi—Shaanxi Gorges; flood; slackwater deposit; Holocene