

赵景波, 罗小庆, 黄小刚, 等. 西安周至渭河漫滩沉积特征与洪水变化[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 23–28. [ZHAO Jing-bo, LUO Xiaoqing, HUANG Xiaogang, et al. Change of Flood and Sedimentary Characteristics of Floodplain in Zhouzhi Reach of the Weihe River[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(3): 23–28. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.03.005.]

西安周至渭河漫滩沉积特征与洪水变化^{*}

赵景波^{1,2}, 罗小庆¹, 黄小刚^{1,3}, 马延东¹

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 陕西 西安 710061; 3. 山西师范大学 地理科学学院, 山西 临汾 041004;)

摘要: 揭示近120年来渭河周至段洪水发生特点与规律以及洪水产生原因。采用了野外考察、区域地貌对比法和激光粒度仪分析法。周至渭河ZZ1漫滩沉积剖面为近120年来形成的, 剖面中的洪水沉积厚度为2.2 m, 可以分为14层。该剖面中的河漫滩洪水沉积物粒径较下游明显大, 以粗砂和中砂为主, 仅在顶部30 cm厚度范围内以粉砂与粘粒成分为主。剖面中的粗砂含量一般在50%~65%之间, 中砂含量一般在15%~30%之间。周至渭河河漫滩洪水沉积物粒径比下游显著大, 指示该剖面沉积物形成时洪水动力强。该区渭河近120年来至少发生了14个洪水事件, 这14个洪水事件漫滩洪水深度和洪水规模由大到小的变化顺序依次为第9次洪水>第5次洪水>第6次洪水>第4次洪水>第7次洪水>第3次洪水>第14次洪水>第8次洪水>第1次洪水>第10次洪水>第11次洪水>第13次洪水>第12次洪水>第2次洪水。西安周至ZZ1剖面洪水沉积指示的洪水事件主要是当时夏季风活动增强和年水量增加到了800~900 mm造成的。

关键词: 河漫滩沉积; 粒度组成; 洪水事件; 洪水成因; 周至渭河

中图分类号: X43; TV143 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2017)03-0023-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.03.005

洪水常给人类社会造成重大损失, 对其研究受到了广泛重视^[1-5]。国内学者对现代洪水进行了大量研究, 已认识到我国现代大洪水常常是年降水量显著增加造成的^[6-7], 有时也与降水集中在短时间内有关。我国学者对第四纪洪水和历史时期的河流洪水也开展了许多研究^[8-10], 并取得了引人注意的成果。对湖北江汉平原和长江三峡洪水的研究得出, 全新世时期有4个洪水频发期, 共发生了168次特大洪水, 洪水的出现主要与全新世气候变化有关^[11]。对汉江上游湖北郧县晏家棚河段全新世古洪水滞流沉积物研究表明, 在1000~900年BP, 1800~1600年BP和3200~2800年BP期间分别发生了1次大洪水事件^[12]。研究显示, 洪水事件有时会造成人类活动的迁移^[13]。洪水平流沉积物能够指示洪水位的高度, 可用于建设水库堤坝时的重要参考, 这方面的研究受到了高度重视。对山区洪水平流沉积物研究显示, 峡谷洪水平流沉积物粒度组成较粗, 以沙为主^[14]。

关于关中平原历史时期渭河河道变迁与洪水变化, 前人也开展了一定研究^[15-16]。根据历史文献资料的分析得知, 渭河在1000多年前的唐代

仍然能够作为运输的航道, 到了宋代之后, 渭河就失去了运输的功能^[15], 表明唐代时期渭河流量大, 河床水深大, 宋代之后流量与水深变小。另外, 国内对洪水成因、洪水风险评估、洪水损失评估和洪水冲淤规律的研究也较多^[17-20]。新疆塔河流域洪水研究表明, 该流域洪水从1980年以来明显增加^[2], 成因主要是暴雨, 川滇地区的洪水也主要是暴雨洪水^[18]。国内以往对河流洪水研究的不足是对洪水流量、流速等的定量研究较少。

国外对洪水也开展了许多研究, 近年来的洪水研究有加强趋势。国外对现代洪水灾害评估和全新世古洪水研究较多, 并取得了很多重要成果^[21-22]。国际上对古洪水研究较多的是洪水事件、洪水流量与变化、洪水发生的气候因素以及洪水发生其他原因等^[21-22]。国外学者通过对洪水事件与气候变化及人类活动关系的研究认识到, 古洪水的发生对气候变化反应敏感, 气候变化是引起洪水的主要因素^[3,22]。国外学者的研究还表明, 不仅河流沉积物可作为洪水研究的指标, 湖泊沉积物也能够指示洪水的发生与变化^[23]。

^{*} 收稿日期: 2017-02-06 修回日期: 2017-03-21

基金项目: 中国地质调查局西安地质调查中心项目“关中盆地第四系形成与演化”(水[2016](4)); 中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室项目(SKLLQG1626)

第一作者简介: 赵景波(1953-), 男, 山东滕州人, 博士, 教授, 从事环境变化研究. E-mail: zhaojb@snnu.edu.cn

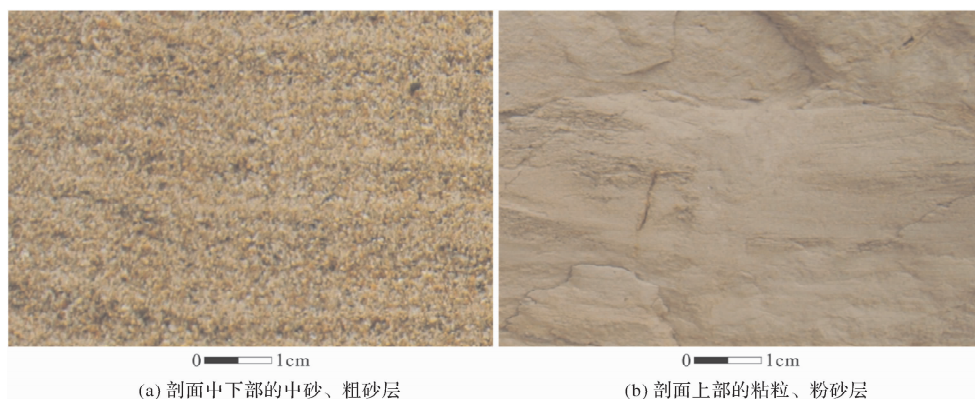


图1 周至 ZZ1 剖面洪水沉积宏观特征

为了揭示近 120 年来渭河中游末端洪水发生特点与洪水规模,我们对周至渭河河漫滩沉积剖面进行了研究。

1 研究区概况与方法

研究剖面所在的西安市周至县平原地区海拔 400 ~ 500 m,地形平坦,为温带大陆性季风气候,气候特点是温暖湿润,四季分明。该区年平均气温为 12 ~ 13.6℃,年降水量为 660 ~ 800 mm^[24]。降水主要发生在 6 ~ 9 月。因此,洪涝灾害多集中发生在夏、秋两季^[24]。

研究剖面(ZZ1)位于周至县城东约 2 km 的渭河南岸的河漫滩前缘之南 500 m 处,河漫滩呈东西分布,滩面较为平坦,微向河床方向倾斜。ZZ1 剖面分层较清楚,厚 2.2 m。沿剖面由上向下进行系统采样,采样间距为 3 cm,共采集样品 73 个。利用激光粒度仪和筛析法分析样品的粒度成分,对于超出激光粒度仪分析的成分,先用筛析法分析,然后用马尔文激光粒度仪(Mastersizer 2000)分析。

2 结果与分析

2.1 洪水沉积的宏观特征

根据野外观察可知,该剖面粒度成分较粗,与河漫滩沉积通常以粉砂和细砂为主不同。在剖面的下部和中部 1.9 m 厚度范围内,主要为含有较多中砂的粗砂层,或中砂、粗砂层(图 1a)。在剖面顶部约 30 cm 厚度范围内,粒度成分较细,以粉砂和粘土为主,为粘土粉砂层(图 1b)。河漫滩洪水沉积物的宏观特征表明,该剖面沉积时洪水动力较强。

2.2 研究剖面的年代

根据调查和观察,研究剖面最上层为 2003 年大洪水所形成的沉积层,其下的沉积层为过去的

洪水所形成的沉积。据 2000 年出版的《高陵县志》资料^[25],在清光绪七年(公元 1881 年)《高陵县续志》记载:“然自乾嘉而后,近优激荡不已……”,可知当时渭河迁移至高陵地区。由此可以推断高陵河漫滩为近 120 年来的沉积。根据渭河现代大洪水发生时间一般为 8 年左右推断,所研究的剖面大约为 110 年。因此,可以认为研究剖面是近 120 年左右洪水沉积的。

2.3 周至 ZZ1 剖面粒度组成与指示性粒度成分

根据粒度分析数据可知,该剖面中部和上部各层均以粗砂为主,其次为中砂,粒度组成差异较小,对划分沉积层次和区分洪水期次带来了一定困难。按照一般的沉积层命名方法,尽管多数层位的名称都是中砂、粗砂层,但是中砂和粗砂含量存在一定差别,由此还是能够区分洪水期次的不同。

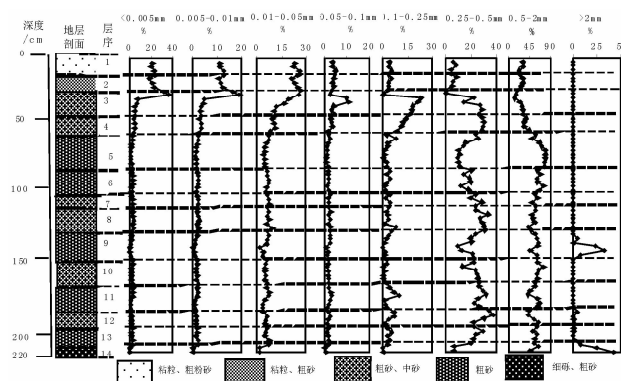


图2 周至 ZZ1 剖面粒度成分含量变化

指示性粒度成分就是能够指示洪水动力强弱和洪水变化或洪水频次的成分。根据我们的分析,指示性粒度成分一般有两个特点,一是含量较高,通常是主要粒度成分之一,代表的洪水频次变化具有可靠性;二是在剖面中含量变化较明显,能够指示动力强弱和洪水规模大小以及频次变化。指示性的粒度成分在不同地区和不同时代的剖面中是不同的,在同一时代的剖面中的不同阶段也

可能是不同的。在周至 ZZ1 剖面的中下部,指示性粒度成分主要是含量较高的粗砂和中砂,在剖面上部主要是粘粒和粉砂。根据各粒度成分在剖面中的含量变化,可将剖面中洪水沉积划分为如下 14 层(图 2)。

最下部的第 14 层为细砾石、粗砂层,厚度为 10cm。主要成分为粗砂和细砾,平均含量分别为 55.49%、24.85%,分布范围分别为 47.05% ~ 65.24%、7.98% ~ 42.2%。其次为中砂,平均含量为 10.5%,分布范围为 5.9% ~ 19.53%。该层中粘粒、细粉砂、粗粉砂、极细砂、细砂的含量很少,平均含量依次为 1.76%、1.1%、3.78%、1.13%、1.38%,分布范围对应为 0.76% ~ 3.66%、0.48% ~ 2.28%、1.99% ~ 7.31%、0.56% ~ 3.95%、0.27% ~ 3.11%。该层细砾的平均含量在整个剖面中出现最高值。

剖面第 13 层为中砂、粗砂层,厚度为 12 cm。主要成分为粗砂,平均含量为 57.58%,分布范围为 52.66% ~ 61.34%。其次为中砂,平均含量 24.78%,分布范围为 21.63% ~ 29.8%。粘粒、细粉砂、粗粉砂、极细砂、细砂和细砾平均含量依次为 3.14%、1.95%、6.12%、1.82%、3.76%、0.85%,分布范围依次对应为 2.56% ~ 3.77%、1.63% ~ 2.32%、4.84% ~ 7.91%、1.49% ~ 2.29%、2.65% ~ 5.28%、0.46% ~ 1.77%。

剖面第 12 层为中砂、粗砂层,厚度为 12 cm。以粗砂和中砂为主,平均含量分别为 51.36%、31.08%,分布范围为 41.43% ~ 65.34%、22.01% ~ 37.63%。粘粒、细粉砂、粗粉砂、极细砂、细砂和细砾平均含量依次为 2.42%、1.53%、5.22%、1.98%、4.93%、1.48%,分布范围依次对应为 1.8% ~ 2.74%、1.15% ~ 1.7%、4.39% ~ 6.38%、1.38% ~ 2.67%、1.41% ~ 7.34%、0.44% ~ 4.39%。

剖面第 11 层为中砂、粗砂层,厚度为 18 cm。以粗砂为主,平均含量为 55.75%,分布范围为 42% ~ 66.86%。中砂次之,平均含量 27.36%,分布范围为 22.91% ~ 31.84%。粗粉砂、细砂、粘粒、细粉砂、极细砂和细砾少量,平均含量依次为 5.47%、4.47%、2.56%、1.56%、2.48%、0.16%,分布范围依次对应为 3.31% ~ 7.74%、1.22% ~ 10.02%、1.42% ~ 3.74%、0.87% ~ 2.24%、1.37% ~ 3.48%、0 ~ 0.97%。

剖面第 10 层为粗砂层,厚度为 18 cm。以粗砂为主,含量很高,平均为 64%,分布范围为 56.41% ~ 75.33%。其次为中砂,平均为 22.68%,分布范围为 13.4% ~ 26.44%。粘粒、细粉砂、粗粉砂、极细砂和细砂平均含量分别为

3.00%、1.85%、5.31%、1.85%、1.26%,分布范围对应为 2.60% ~ 3.64%、1.64% ~ 2.22%、4.73% ~ 6.54%、1.40% ~ 2.21%。

剖面第 9 层为含有细砾石的粗砂层,厚度为 21 cm。主要成分为粗砂,平均含量为 59.44%,分布范围为 46.45% ~ 65.83%。其次为中砂和细砾,平均值为 18.41%、9.8%,分布范围依次为 9.74% ~ 23.22%、0 ~ 31.82%。粘粒、细粉砂、粗粉砂、极细砂和细砂的平均含量分别为 2.12%、1.34%、5.06%、1.93%、1.69%,分布范围依次为 0.90% ~ 3.29%、0.57% ~ 2.06%、1.97% ~ 7.28%、0.85% ~ 2.75%、0.18% ~ 3.47%。

剖面第 8 层为中砂、粗砂层,厚度为 18 cm。主要成分为粗砂和中砂,平均含量为 50.86%、29.4%,分布范围依次为 41.59% ~ 57.72%、24.33% ~ 33.57%。粘粒、细粉砂、粗粉砂、极细砂和细砂平均含量为 3.62%、2.26%、7.18%、2.53%、3.88%,分布范围对应为 2.94% ~ 4.44%、1.90% ~ 2.73%、5.65% ~ 9.17%、1.66% ~ 3.21%、1.42% ~ 8.03%。

剖面第 7 层为中砂、粗砂层,厚度为 9 cm。主要成分为粗砂和中砂,平均含量为 57.51%、24.28%,分布范围分别为 50.19% ~ 63.28%、19.72% ~ 29.31%。粘粒、细粉砂、粗粉砂、极细砂和细砂平均含量为 3.63%、2.28%、7.03%、2.05%、3.21%,分布范围对应为 3.28% ~ 3.85%、2.04% ~ 2.46%、6.34% ~ 7.42%、1.79% ~ 2.23%、1.55% ~ 4.76%。

剖面第 6 层为粗砂层,厚度为 18 cm。以粗砂为主,平均含量为 65.5%,分布范围为 57.32% ~ 75.1%。其次为中砂,平均含量为 17.85%,分布范围为 11.67% ~ 24.45%。粘粒、细粉砂、粗粉砂、极细砂和细砂平均含量依次为 3.31%、2.08%、6.54%、2.00%、2.71%,分布范围对应为 2.83% ~ 3.81%、1.75% ~ 2.3%、5.51% ~ 7.33%、1.42% ~ 2.56%、0.92% ~ 4.63%。

剖面第 5 层为粗砂层,厚度为 27 cm。以粗砂为主,平均含量为 71.92%,分布范围为 50% ~ 80.4%。其次为中砂和粗粉砂,平均含量为 14.19%、5.18%,分布范围为 9.75% ~ 25.79%、4.01% ~ 7.02%。粘粒、细粉砂、极细砂和细砂平均含量依次为 2.56%、1.63%、1.57%、2.96%,分布范围对应为 2.08% ~ 3.69%、1.33% ~ 2.28%、1.01% ~ 6.02%、1.34% ~ 4.01%。

剖面第 4 层为中砂、粗砂层,厚度为 39 cm。主要成分为粗砂和中砂,平均含量为 42.9%、28.3%,分布范围为 33.85% ~ 58.56%、23.85% ~ 30.4%。粘粒、细粉砂、粗粉砂、极细砂和细砂平均含量为 4.75%、3.04%、9.44%、2.92%、

8.66%，分布范围对应为 3.57% ~ 5.54%、2.35% ~ 3.52%、7.29% ~ 11.27%、1.91% ~ 4.11%、2.38% ~ 12.24%。

剖面第3层为粗砂、中砂层，厚度为 18 cm。主要含量为中砂和粗砂，平均含量分别为 27.88%、24.75%，分布范围为 13.13% ~ 36.7%、13.98% ~ 29.04%。其次为粗粉砂、细砂，平均含量为 13.19%、18.36%，分布范围为 9.63% ~ 19.23%、14.02% ~ 22.71%。粘粒、细粉砂和极细砂平均含量依次为 6.07%、3.68%、6.06%，分布范围对应为 4.52% ~ 8.03%、2.91% ~ 4.72%、3.22% ~ 10.74%。

剖面第2层为粗砂、粗粉砂、粘粒层，厚度为 12 cm，主要含量为粘粒和粗粉砂，平均含量为 28.22%、24.78%，分布范围为 21.15% ~ 36.3%、22.93% ~ 26.22%。其次为粗砂、细粉砂，平均含量为 23.39%、14.82%，分布范围为 16.5% ~ 31.59%、11.42% ~ 18.93%。极细砂、细砂和中砂的平均含量为 3.61%、2.52%、2.66%，平均范围为 2.40% ~ 4.44%、0.57% ~ 3.47%、0.07% ~ 5.5%。

剖面第1层为粘粒、粗砂、粗粉砂层，厚度为 15 cm，主要成分为粗粉砂、粘粒、粗砂，平均含量为 28.32%、21.78%、23.38%，分布范围为 23.33% ~ 31.15%、19.16% ~ 23.52%、21.00% ~ 25.89%。细粉砂、极细砂、细砂、中砂的平均含量为 11.50%、4.51%、4.38%、6.14%，分布范围为 10.54% ~ 12.62%、3.94% ~ 5.44%、3.62% ~ 5.22%、3.99% ~ 8.58%。

2.4 周至 ZZ1 剖面粒度参数的变化

在粒度参数中，中值粒径 Md 和平均粒径 Mz 是表明沉积物粒径平均大小的重要指标，它们随搬运距离的加大呈减小的变化，能够指示水动力条件的变化。 σ 能够显示沉积物粒度成分的分选，水动力较强，沉积物粒径就会较粗， σ 值较小，分选较好；反之，相反。 SK 能够指示频率曲线的对称性，也就是表明频率曲线主峰的位置。它能够反映粗细颗粒成分所占的比例，在沉积物偏粗时为负偏，在沉积物偏细时为正偏。峰态 KG 能够表明与正态频率曲线相比较时，粒度分布曲线的尖锐或钝圆程度，代表粒度分布的集中程度。

为揭示 ZZ1 剖面粒度参数变化规律与洪水动力之间的联系，对 ZZ1 剖面粒度特征值进行了计算，根据粒度特征值得出的各层位粒度参数中值粒径(Md)、平均粒径(Mz)、标准偏差(σ)、偏度(SK)、峰态(KG)见图 3。由图 3 得知，剖面中的中值粒径、平均粒径、标准偏差变化明显，和粒度粗细显示的分层具有一定的一致性，表明剖面中的洪水沉积分层较明显，洪水频次变化较为

清楚。

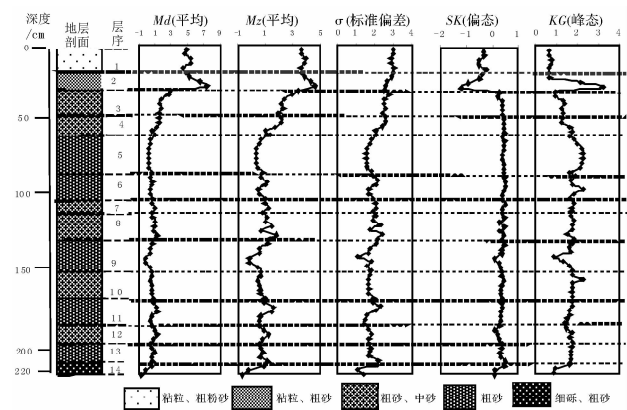


图3 周至渭河 ZZ1 剖面粒度参数变化

3 讨论

3.1 河漫滩沉积物指示的洪水规模

要知道洪水深度首先要确定洪水位，根据洪水位和河床底面就能够确定洪水深度。确定洪水的方法有多种，第一种方法是常用的根据洪水平流沉积层的分布确定洪水位高度，平流沉积层的顶面代表洪水位的高度^[14]。第二种方法是根据河漫滩相沉积层的粒度组成与洪水深度的关系确定洪水位的高度。洪水平流沉积并不是到处都能找到的，所以根据洪水沉积粒度组成确定洪水位也是重要方法^[7]。对于规模大的洪水来讲，河漫滩相沉积层的总厚度明显小于漫滩上的洪水深度；对于规模小的洪水来讲，河漫滩相沉积层的总厚度较接近于洪水深度。洪水深度高，形成的河漫滩相沉积物粒度粗，反之，则粒度细。因此，可以通过河漫滩相沉积总厚度与粒径大小可以判断洪水深度和洪水规模。洪水沉积物粒度成分主要取决于流水的水动力条件，水动力越强，携带颗粒的粒径越大，反之越小。根据河流动能计算公式($E = 1/2MV^2$)^[26]可知，河流动能(E)与流速(V)的二次方成正比，与流量(M)的一次方成正比，洪水动力受到流速和流量的共同控制。对于河床宽度与坡度相同的同一河段而言，流量大，水动力强，洪水规模大，反之，则小。洪水流速既取决于流量大小，又取决于地形坡度的大小，坡度大，洪水流速快，反之，则慢。对同一河段较短时间来说，地形坡度的变化很小，可忽略它的影响。因此，根据河漫滩沉积层的粒度组成可以确定洪水的规模。

根据我们在 2007 年曾提出 6 条确定洪水深度的标准^[8]。根据这 6 条标准，在充分考虑了沉积厚度增加引起的地形变高对粒度成分的影响之后，可以确定周至 ZZ1 剖面中 14 个洪水事件发生时的

河漫滩洪水深度和规模由大到小的变化顺序依次为第9>第5>第6>第4>第7>第3>第14>第8>第1>第10>第11>第13>第12>第2。

3.2 洪水事件发生的原因

洪水发生的因素很多,包括自然的气候、地形条件以及人类的社会经济活动等。其中,气候条件是造成洪水发生的最主要的因素^[8,21]。太阳辐射的变化影响地球的气候,进而影响洪水的变化。气候条件极其变化对洪水的影响主要表现在以下三个方面。一是气候变得湿润,在数年或更长时期内降水量明显增加,导致洪水发生或洪水增强,甚至造成洪水灾害。这种洪水的一般发生在湿润期,在关中平原是夏季风活动在一定时期内加强的结果。由于研究剖面时间段短,距今120年来仅发生了14次洪水,平均8.6年发生1次洪水,因此可以认为研究剖面的洪水一般不是连续多年降水量明显增加造成的。二是气候没有发生变化,而是降水量的年际变化造成的,也就是说在丰水年降水量增加产生了洪水。这种洪水的发生更为常见。这种洪水指示了当年降水量更显著增加,造成的洪水规模也常很大。如2003年陕西关中地区年降水量由600 mm左右增加到了880 mm左右^[7],导致渭河出现了1981年以来规模最大洪水。由于这次洪水规模大,造成了严重经济损失。关中地区在1981年和更早的1954年发生的大洪水也是当年降水量增加造成的。三是年降水量基本没有发生增减,但是降水量的季节分配很不均,降水量集中在很短时间内降落,造成了洪水的发生。渭河流域属于大陆性半湿润季风气候,冬季寒冷少雨,夏季高温多雨。该地区降水的年内变化较大,降水量分配很不均匀,主要出现在夏季和秋季,或降水集中发生在1-2个月内。在这种情况下,年降水量不增加甚至有一定减少有时也会造成洪水的发生。规模较小和持续时间短暂洪水常常是降水量集中和暴雨形成的。上述表明,周至ZZ1剖面中的洪水规模较大,一般应该是当年降水量增加造成的。

3.3 河漫滩洪水沉积物反映的降水量

在由降水补给的河流中,河流水动力强弱对气候变化反映明显,当气候变暖和降水量增多时,河流流量增大,流速加快,这时水动力增强,搬运能力增加,形成的沉积物粒度成分较粗^[7,12];反之,当气候变冷和降水量减少时,河流流量减小,流速变低,搬运形成的沉积物粒度成分较细。

所研究的渭河主要由大气降水补给,虽然洪水的发生不一定是气候长期变化引起的,但通常是降水量的年际变化或当年降水量明显增加引起的。在2003年关中地区年降水增加到了约880 mm^[6-7],导致了大洪水的发生。在该区降水正常年

份,河漫滩很少有洪水发生。因此,河漫滩上的洪水沉积特别是较高河漫滩上的洪水沉积指示了大洪水的存在,也代表了渭河流域部分地区年降水量的明显增加。近30年来发生的渭河大洪水都是短暂的,一般是年降水量当年增加引起的,所以上述14个洪水事件代表了14年的时间。分析近代渭河大洪水发生年的降水量可以确定,研究剖面中的14个洪水事件发生时的年降水量一般为800~900 mm。

4 结论

通过以上分析,可以得出以下结论:

(1)研究结果表明,周至渭河ZZ1漫滩沉积剖面的洪水沉积厚度为2.2 m,可以分为14层,指示近120年来至少发生了14个洪水事件。

(2)周至渭河漫滩洪水沉积粒度成分较下游明显粗,以粗砂和中砂为主,仅在顶部30 cm厚度范围内以粉砂与粘粒成分为主。周至渭河漫滩洪水沉积粒度成分表明,渭河中游漫滩洪水沉积与下游存在显著差异,表明中游洪水动力较强。

(3)周至ZZ1剖面中14次洪水事件漫滩洪水深度和洪水规模由大到小的变化顺序依次为第9>第5>第6>第4>第7>第3>第14>第8>第1>第10>第11>第13>第12>第2。由此可知,中期的洪水规模一般大于早期。

(4)西安周至渭河漫滩ZZ1剖面14个洪水事件主要是由当年降水量的明显增加引起的,也是夏季风活动加强的结果。而无洪水发生的时期则是降水量正常或降水量偏少的年份。

参考文献:

- [1] 程亮,王宗志,胡四一,等. 强烈下渗条件下天然河道洪水演进模拟方法[J]. 中国科学:地球科学,2015,45:207-215.
- [2] 顾西辉,张强,孙鹏,等. 新疆塔河流域洪水量级、频率及峰现时间变化特征、成因及影响[J]. 地理学报,2015,70(9):1390-1401.
- [3] Gerardo Benito, Mark G. Macklin, Christoph Zielhofer, et al. Holocene flooding and climate change in the Mediterranean [J]. Catena, 2015, 130: 13-33.
- [4] Jenny J P, Wilhelm B, Arnaud F, et al. A 4 D sedimentological approach to reconstructing the flood frequency and intensity of the Rhine River (Lake Bourget, NW European Alps)[J]. Journal of Paleolimnology, 2014, 51(4): 469-48.
- [5] Sandra Raúl Siteo, Jan Risberg, Elin Norström, et al. Paleo-environment and flooding of the Limpopo River-plain, Mozambique, between c. A D 1200 - 2000 [J]. Catena, 2015, 126: 105-116.
- [6] Saúl Gonzalez-Lemos, Wolfgang Müller, Jorge Pisonero, et al. Holocene flood frequency reconstruction from speleothems in northern Spain [J]. Quaternary Science Reviews, 2015, 127: 129-140.
- [7] 邢大韦,张玉芳,栗晓玲. 对2003年陕西渭河洪水的思考[J]. 水利与建筑工程学报,2004,2(1):1-4.

- [8] 赵景波, 蔡晓薇, 王常燕. 西安高陵渭河近 120 年来的洪水演变[J]. 地理科学, 2007, 27(2): 225–230.
- [9] 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.
- [10] 李长安, 黄俊华, 张玉芬, 等. 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.
- [11] 李键超. 一千五百年来渭河中下游的变迁[J]. 西北历史资料, 1980(3): 68–78.
- [12] 朱诚, 于世永, 卢春成. 三峡及江汉平原地区全新世环境考古与异常洪水灾害研究[J]. 地理学报, 1997, 52(3): 268–278.
- [13] 吉琳, 庞奖励, 黄春长. 汉江上游晏家棚段全新世古洪水研究[J]. 地球科学进展, 2015, 30(4): 487–494.
- [14] 吴立, 朱诚, 李枫, 等. 江汉平原钟桥遗址地层揭示的史前洪水事件[J]. 地理学报, 2015, 70(7): 1149–1154.
- [15] 朱程, 谢悦波, 成晨光. 高山峡谷大比降河段古洪水沉积物特征研究[J]. 人民长江, 2016, 47(4): 23–26.
- [16] 史念海. 黄河流域诸河流的演变与治理[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1999: 315–320.
- [17] 李令福. 从汉唐渭河三桥的位置来看西安附近渭河的侧蚀[J]. 中国历史地理论丛, 1999, 14(S1): 260–283.
- [18] 杜华明, 董廷旭. 川滇地区主汛期暴雨洪水灾害风险评价[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 27–35.
- [19] 尹卫霞, 余瀚, 崔淑娟, 等. 暴雨洪水灾害人口损失评估方法研究进展[J]. 地理科学进展, 2016, 35(2): 148–158.
- [20] 张敏, 黄河清, 张晓华. 黄河下游漫滩洪水冲淤规律[J]. 水科学进展, 2016, 27(2): 165–175.
- [21] Macklin M G, Benito G, Gregory K J, et al. Past hydrological events reflected in the Holocene fluvial record of Europe[J]. Catena, 2006, 66: 145–154.
- [22] Wirth S B, Glur L, Gilli A, et al. Holocene flood frequency across the Central Alps: solar forcing and evidence for variations in North Atlantic atmospheric circulation[J]. Quaternary Science Reviews, 2013, 80: 112–128.
- [23] Schillereff D N, Chiverrell R C, Macdonald N, et al. Flood stratigraphies in lake sediments: a review[J]. Earth-Science Reviews, 2014, 135: 17–37.
- [24] 西安市地方志编纂委员会. 西安市志(第二卷)[M]. 西安: 西安地图出版社, 2000.
- [25] 高陵县地方志编纂委员会. 高陵县志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2000.
- [26] 谢又予. 沉积地貌分析[M]. 北京: 海洋出版社, 2000: 3–4.

Change of Flood and Sedimentary Characteristics of Floodplain in Zhouzhi Reach of the Weihe River

ZHAO Jingbo^{1,2}, LUO Xiaoqing¹, HUANG Xiaogang^{1,3} and MA Yandong¹

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Environmental Institute of Earth, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710062, China; 3. College of geography Sciences,

Shanxi Normal University, Linfen 041004, China)

Abstract: The purpose of the study is to reveal the causes, characteristics and regularity of the flood in Zhouzhi reach of the Weihe River during last 120 years. Methods of field investigation, regional comparison and grain-size analysis are used. The floodplain sediment of ZZ1 profile in study area formed during the past 120 years. It's thickness is 2.2m and can be divided into 14 layers. It indicates that 14 flood events occurred during the past 120 years. The grain size of ZZ1 profile is larger than that in the lower reaches of Weihe River owing to its major components of coarse and medium sand except 30cm of silt and clay at the top. Coarse sand content is generally between 50% and 65%, and medium sand content is between 15% and 30%. The larger grain size indicates the stronger flood at the forming stage. The depth and scale of the 14 flood events in ZZ1 profile is in the order of 9th > 5th > 6th > 4th > 7th > 3rd > 14th > 8th > 1st > 10th > 11th > 13th > 12th > 2nd. The flood events were caused by the strong summer monsoon and an annual precipitation that was increased to 800-900mm then.

Key words: floodplain sediment; grain-size distribution; flood events; causes of flood; Zhouzhi reach of the Weihe River