

西安北郊草店村河漫滩沉积与洪水变化

赵景波^{1,2)}, 温震军¹⁾, 马延东¹⁾, 黄小刚¹⁾, 宋友桂²⁾

1) 陕西师范大学旅游与环境学院, 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, 西安, 710061

内容提要:根据野外考察、粒度分析及历史文献资料,研究了西安北郊草店村剖面在距今900~660 a形成的渭河漫滩沉积和洪水变化。结果表明,在距今900~660 a形成的草店村剖面洪水沉积分层明显,能够指示洪水事件和洪水深度。草店村剖面洪水沉积厚度为5.25 m,可划分为26个沉积层,指示了26次规模不同的洪水事件。洪水沉积厚度和粒度成分显示,草店村剖面的26个洪水事件发生时河漫滩上的洪水深度均大于2.2 m;剖面下部第17~第26层沉积时漫滩上的洪水深度为4.0~7.0 m,河床水深为6.2~8.5 m;中部第8~第16层沉积时漫滩上的洪水深度为3.0~5.0 m,河床水深为6.6~9.0 m左右;上部第1~第7层沉积时漫滩上的洪水深度为2.2~3.0 m,河床水深为7.2~8.6 m。草店村剖面中部和下部的洪水沉积以中砂和细砂为主,剖面上部以粉砂和极细砂为主,指示的洪水规模比距今120 a来西安渭河洪水显著大。草店村剖面中的第12、16~26层代表的是特大洪水事件。西安北郊渭河在距今900~660 a发生的大洪水主要是由当年降水量的明显增加引起的。

关键词:河漫滩沉积;洪水事件;洪水深度;洪水成因;西安渭河

环境变化是人们研究的热点问题,很多学者对我国的环境变化问题进行了研究,其中包括气候变化(孔凡翠等,2013)、土壤水变化(赵景波等,2015)、湿地变化(王启栋等,2014;顾效源等,2016)、洪水变化(庞奖励等,2014)、滑坡等灾害变化(殷志强等,2013;洪婷等,2014)等方面。近年来,对洪水的研究逐渐增多。经过多年研究,现已认识到我国现代大洪水的发生常是降水量增加导致的持续性降雨的结果(邢大韦等,2004),有时与降水量集中有关。国内对第四纪洪水和历史时期的河流洪水也进行了一定的研究(葛兆帅等,2004),并取得了重要成果。长江三峡和江汉平原的研究表明,全新世有4个洪水频发期,共发生特大洪水168次,洪水的发生主要与气候变化有关(朱诚等,2005)。关中西部漆水河全新世洪水沉积物研究显示,在距今4650~3000 a发生了20次大洪水(查小春等,2007)。黄土区的滑坡形成的湖泊沉积研究显示,公元1953年~2013年间发生了42次洪水(颜艳等,2014)。根据兰州—银川段黄河沉积的地质记录研究得出,在末次冰盛期的20~18 ka间该区共

发生了106次大洪水事件(李长安等,2002)。湖泊沉积物的粒度成分与矿物组成也能反映洪水的发生与变化(张灿等,2015)。关于关中地区渭河河道与水文演变,前人也进行过一定研究(李令福,1999;史念海,1999)。据历史文献研究得出,渭河在2000 a前还适于作为运输的航道,在唐代仍然能够通航,到了宋代以后渭河就失去了作为航道的功能(史念海,1999)。这指示秦代—唐代渭河水深较大,流量大,宋代之后水深变浅,流量变小。国内以往对洪水研究的不足是对洪水流量、流速、水位高度和规模方面的定量研究较少。

在国外,对洪水研究较多,也取得了许多重要成果(Knox,1994; Macklin et al., 2006; Piotret al., 2016)。其中,研究较多的是洪水事件、洪水流量变化和洪水成因等(Knox,1994; Macklin et al., 2006; Sandra et al., 2015)。国外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,洪水事件的发生对气候变化反应敏感,气候变化是引发洪水的主要因素(Knox,1994; Macklin et al., 2006; Starkel et al., 2006; Gerardo et al., 2015),洪水的

注:本文为中国地质调查局西安地质调查中心“关中盆地第四系形成与演化”地质调查项目(编号:水[2016](4))、国家自然科学基金国际合作项目(编号:41210002)和中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室项目(编号:SKLLQG1626)的研究成果。

投稿日期:2016-10-12;改回日期:2017-01-12;责任编辑:刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2017.02.006

作者简介:赵景波,男,1953年生。博士,教授,博士生导师,主要从事环境变化研究。Email: zhaojb@snnu.edu.cn。

发生也与太阳活动有关(Wirth et al., 2014)。国外一些学者研究表明,不仅河流沉积可用于洪水研究,湖泊沉积也能够指示洪水的发生与变化(Jenny et al., 2014; Schillereff et al., 2014)。

1 研究区概况与方法

所研究的剖面位于西安市草店村附近,属于西安市灞桥区,距西安市中心北东约6 km。剖面所在的西安市为温带大陆性季风气候,气候特点是温暖湿润、四季分明。该区年平均气温约13℃,年均降水量为600 mm(陕西师范大学地理系,1988)。降水主要发生在6~9月,占全年的57.21%,12月至翌年2月,降水仅占全年的4.14%。因此,洪涝灾害多集中在夏、秋两季(陕西师范大学地理系,1988)。草店村剖面位于渭河南岸的河漫滩后缘,河漫滩呈东西分布,滩面平坦,微向河床倾斜。草店村剖面海拔约380 m。

该剖面厚5.25 m。对整个剖面从上向下进行高密度系统采样,采样间隔为3.0 cm,共采样品172个。利用野外实地调查和粒度分析法确定粒度成分代表的洪水深度。粒度成分利用英国Malvern公司生产的Mastersizer 2000激光粒度仪进行分析。粒度分析前用酸碱对样品进行分散处理,对于超出激光粒度仪分析的粗粒样品,先用筛析法分析,然后用激光粒度仪测定。对所有样品测定3次,取3次的平均值。粒度成分划分标准是<0.002 mm的为胶粒,0.002~0.005 mm为粘粒,0.005~0.010 mm为细粉砂,0.01~0.05 mm为粗粉砂,0.05~0.10 mm为极细砂,0.10~0.25 mm中砂,0.5~2.0 mm为粗砂。

2 结果与分析

2.1 研究剖面的宏观分层特征

根据野外现场考察得知,草店村剖面位于高河漫滩后缘,高漫滩平坦开阔,表面土质优良,农田广泛分布,也有人工林和建设的村庄存在。该剖面宏观分层较为清楚,剖面总体特征是中一下部较粗,上部较细(图1a)。上部多为粉砂、细砂层,下部多为粗砂、中砂层。剖面中沉积分层表现主要有三个方面。一是粒度粗细变化显示的分层(图1a、b)。当相邻两层的粒度差异较明显时,粒度分层就很清楚。粗粒层较松散,呈现向内凹进的特点,细粒层较坚硬,呈现向外凸出的特点(图1b)。二是层间界面显示的分层。当存在沉积间断时,常显示较清楚的分

层界面(图1b)。三是在研究的剖面中可见少数层是矿物或岩石碎屑矿物差异表现的颜色不同而显示的分层。在剖面的上部,有时可见积水形成的褐黄色针铁矿薄膜发育(图1c)。在草店村剖面中部和下部,粒度成分较粗,以粗砂、中砂层为主,有时可见少量细砾石出现(图1d)。

2.2 研究剖面的年代

草店村剖面与有历史文献记载年代的相家巷村处于渭河南岸高河漫滩后缘相近位置,可以根据相家巷的年代确定草店村剖面的沉积年代。据历史文献资料记载(李键超,1980)可知,该区渭河2000多年来一直向北移,在南侧形成了宽2~5 km的河漫滩与一级阶地。根据高陵县耿镇发现的唐代开元九年(公元721年)修建的东渭桥桥址可知,该区渭河每年向北迁移2 m左右(李键超,1980)。秦昭襄王时曾建渭桥连接咸阳宫与渭河南的兴乐宫,秦始皇时重修。西汉在兴乐宫的基础上修建了长安城,承秦之制重建渭桥。因西汉时又修了东渭桥和西渭桥,故将原渭桥改为中渭桥。中渭桥后经战乱及渭河北移的影响,曾多次重修,其中唐贞观十年(公元636年)至开元十三年(公元725年),中渭桥有两次重修。据现代考古发现,汉唐时中渭桥位置在今六村堡乡相家巷北约1 km处(李键超,1980),而相家巷正处在渭河一级阶地前缘。即唐渭河河道应在一级阶地前缘相家巷北1 km处,与春秋渭河河道位置相比,唐代渭河已北移了约1 km。而现代河道与唐代河道相比,又北移了约4 km(高陵县地方志编纂委员会,2000)。唐开元十三年(公元725年)渭河还在相家巷村北1 km处(高陵县地方志编纂委员会,2000),相家巷村位于一级阶地前缘,据此可推断相家巷村的河漫滩沉积开始形成于唐开元年间之后,即距今约1200 a开始沉积。本文研究的草店村剖面比相家巷剖面更靠近河床,其年代显然小于1200 a,根据其位置确定为距今900 a开始沉积。根据该区8.7 a左右发生1次洪水(袁林,1994)分析,该剖面中的26次洪水是在距今900~660 a形成的。

2.3 草店村剖面粒度组成

根据各粒级在剖面中的含量变化,做出粒度累积含量图(图2)。根据图2粒度组成变化,可将草店村剖面洪水沉积划分为26个层次(图2)。剖面中各粒级组成具有如下特征。

胶粒组分(<0.002 mm)在剖面各层均出现,含量低,变化范围在1.15%~8.03%,平均为3.33%。

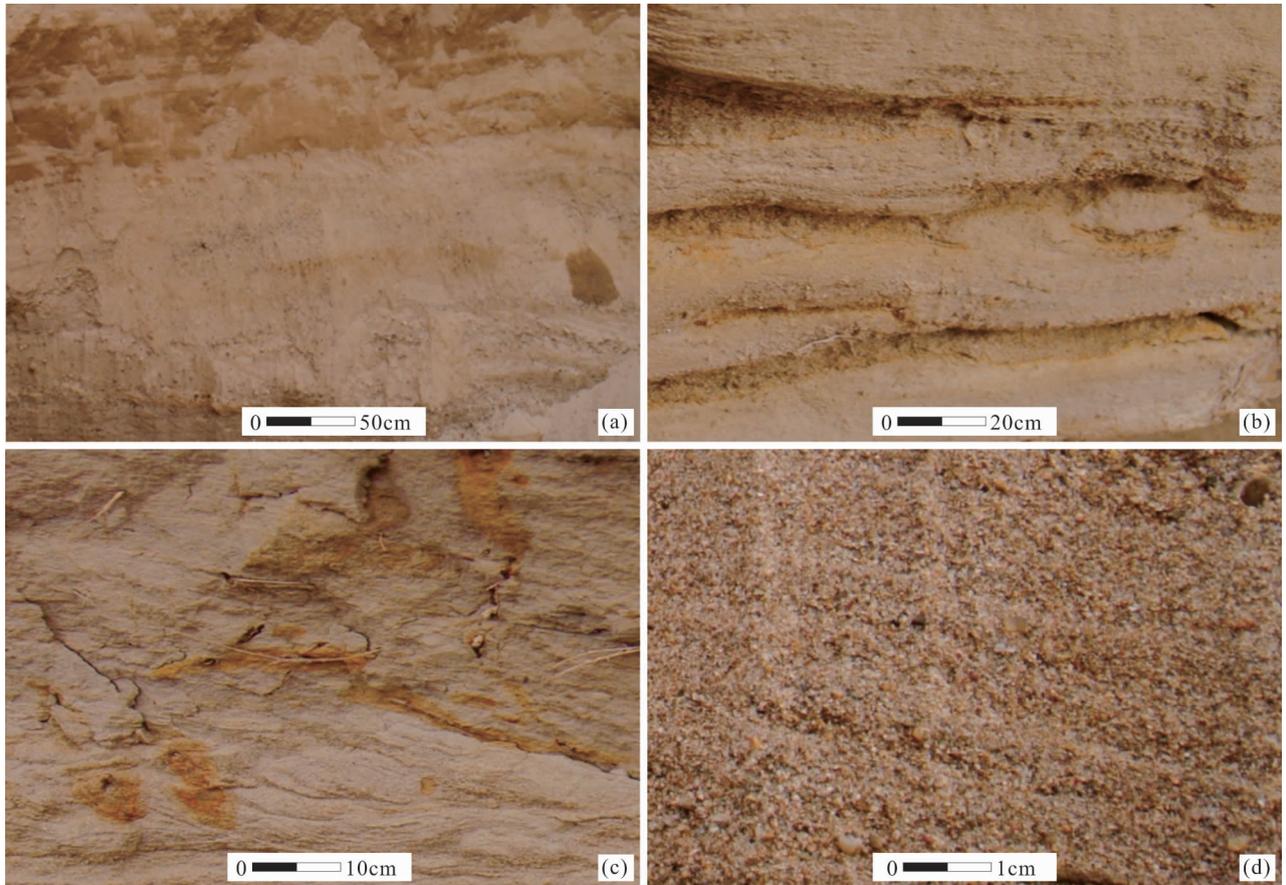


图1 西安北郊草店村剖面的部分层位和结构特征

Fig.1 Partial layers and structural characteristics in Caodian village profile in the north suburb of Xi'an

(a) 上部为粉砂、细砂层,下部为粗砂和中砂层;(b) 剖面中的粗粒层和细粒层;(c) 剖面上部粉砂、细砂层中的褐黄色针铁矿斑点;(d) 剖面下部含有细砾石的粗砂、中砂层

(a) Upper silt, fine sand layer and lower coarse sand, medium sand layer; (b) Coarse grain layers and fine grain layers; (c) Yellow-brown spots in fine grain layer in upper section; (d) Lower coarse and medium sand layer with fine gravels

粘粒组分(0.002 ~ 0.005 mm)平均含量为 4.29%, 变化范围为 2.12% ~ 8.61%。细粉砂(0.005 ~ 0.010 mm)平均含量为 4.85%, 变化范围为 2.52% ~ 11.14%。粗粉砂组分(0.01 ~ 0.05 mm)含量很高, 平均含量为 22.14%, 变化范围为 9.89% ~ 62.33%, 含量变化大。极细砂(0.05 ~ 0.10 mm)在各层中都存在, 平均含量为 9.32%, 变化范围为 2.19% ~ 30.88%。细砂(0.10 ~ 0.25 mm)含量平均为 19.46%, 变化范围为 0.52% ~ 37.08%。中砂(0.25 ~ 0.50 mm)平均含量为 27.07%, 变化范围为 0 ~ 46.64%。粗砂(0.50 ~ 2.00 mm)平均含量为 8.67%, 变化范围在 0 ~ 26.11% 之间。砾石(> 2.00 mm)在整个剖面中含量极少, 仅在剖面第 18、19、22、23、24 层有少量存现, 最大值为 0.30%, 平均含量为 0.03%。

由此可知,草店村剖面粒度组成以中砂、细砂、粗粉砂为主,粗砂和极细砂占有一定数量,胶粒、粘粒、细粉砂和砾石含量都很低,整个剖面洪水沉积具有粗细变化特点,这反映了沉积时期洪水动力的变化。

2.4 草店村剖面粒度分层

将草店村剖面粒度数据分析、计算后绘制成百分含量图(图3)。各层粒度成分含量见表1。图3中由下到上各层粒度成分有较大不同,指示了洪水与动力变化。根据剖面中的粒度成分分析得知,在剖面中的第8层及其以下的3.8 m 厚度范围内,粒度成分较粗,比通常的河流下游漫滩洪水沉积明显粗,以中砂、细砂和粗砂为主,极细砂、粉砂与粘粒含量低,而且有时含有少量砾石。这充分表明在剖面中部和下部层位沉积时,洪水动力强。在剖面上部

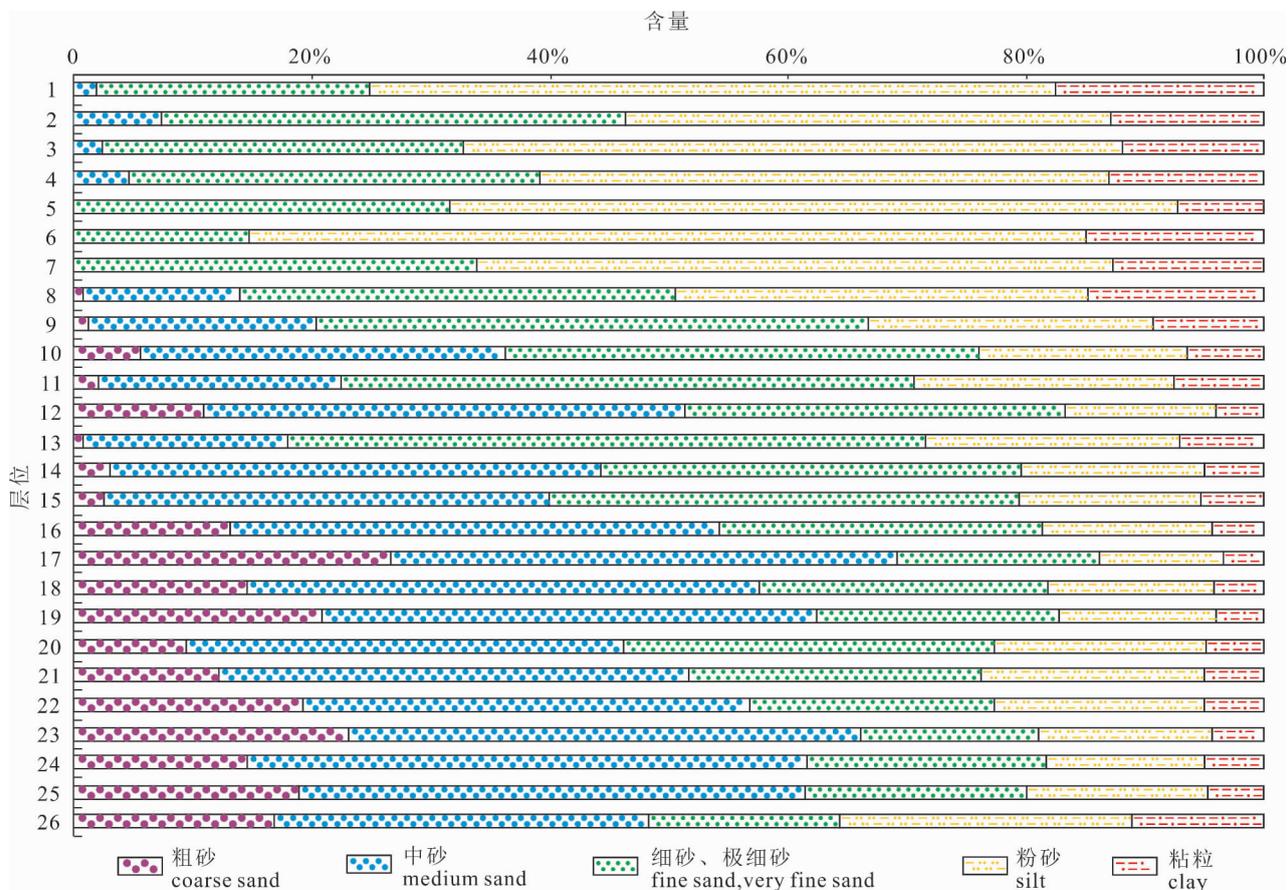


图2 西安北郊草店村剖面不同层位粒度积累含量

Fig. 2 The grain size accumulation content in different layers in Caodian village profile in the north suburb of Xi'an

约1.4 m厚度范围内的第7层及其以上各层,粒度成分较细,以粉砂和极细砂为主,中砂、细砂和更粗粒的成分含量低,表明这些层位沉积时洪水动力较弱。虽然上部洪水沉积粒度成分较细,但这与这些层位沉积时河漫滩因沉积比中部和下部增高了约14.0~3.8 m有关,不表明这些层位沉积时洪水规模小,具体规模将在后面讨论。

还需要值得说明的是,根据粒度成分划分洪水频次时,除了考虑粒度成分的粗细差异之外,还要考虑洪水沉积分层界面,具有清楚分层界面的洪水沉积即使沉积层的粒度成分粗细很接近,也代表了不同期次的洪水。如剖面中第14层与第15层、第20层与第21层粒度成分差别很小,但是他们之间存在明显的分层界面,因此代表了不同次的洪水。因此,在划分洪水期次时,除了主要考虑粒度成分的差异之外,还必须结合野外现场观察,要充分考虑分层界面代表的粒度可能相同而实际上是不同期次的洪水。

2.5 草店村剖面粒度参数的变化

为查明草店村剖面粒度分布规律与洪水动力之间的关系,对草店村剖面粒度特征值进行计算,由粒度特征值得出的各层粒度参数中值粒径(Md)、平均粒径(Mz)、标准偏差(σ)、偏度(Sk)、峰态(Kg)见图4。草店村剖面粒度参数的计算结果(图4)表明,渭河漫滩沉积物平均粒径(Mz)均较小,说明河漫滩组成物质总体较细;标准偏差变化不大,分选性为较差一差,反映了搬运营力的单一性。然而,第1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、13、14、15层粒度成分较第12、16、17、18、19、20、21、22、23、24、25、26层细,分选较差,偏度小,峰态值偏低。这些粒度参数指示了第1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、13、14、15层沉积时洪水动力较第12、16、17、18、19、20、21、22、23、24、25、26层弱。粒度参数的差异也反映了洪水的多次变化。

3 讨论

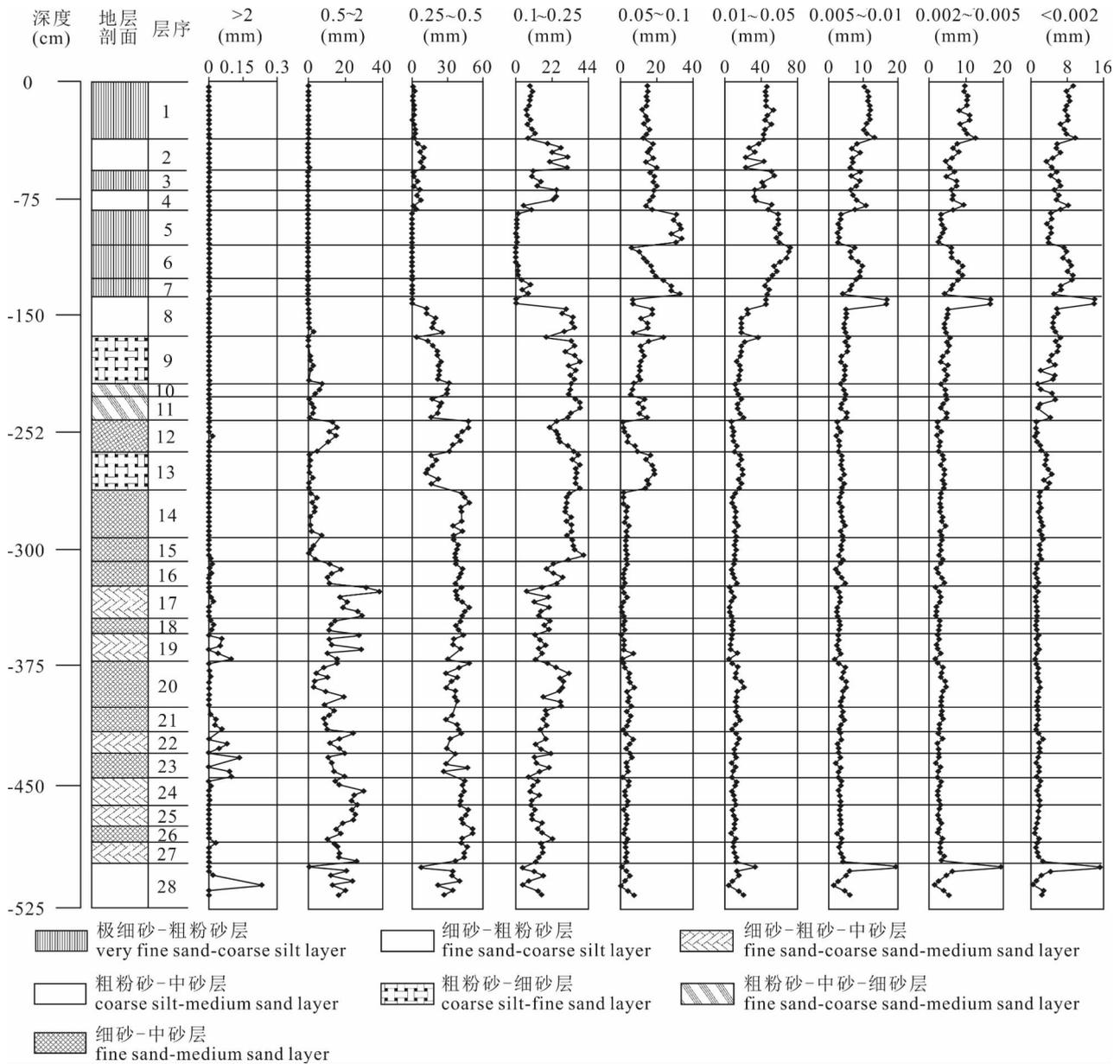


图3 西安北郊草店村剖面粒级百分含量变化

Fig. 3 The grain size content from profile in Caodian village profile in the north suburb of Xi'an

3.1 河漫滩沉积物指示的洪水深度、动力与规模

不论洪水规模大小,河漫滩相沉积总厚度小于洪水深度。洪水水位高,形成的河漫滩相粒度粗,反之,则粒度细。因此,可以根据河漫滩相沉积总厚度与粒径大小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洪水的动力条件,水动力越强,携带颗粒的粒径越大,反之越小。由河流动能计算公式($E = 1/2M \cdot V^2$) (谢又予,2000),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控制。对同一

河段而言,降水量多,流量大,水动力强,洪水规模大,反之,则小。流速既取决于流量变化,又取决于构造运动引起地形变化,流量多,地形坡度大,流速快,反之,则慢。对同一河段较短时间来说,构造运动引起地形坡度变化很小,可忽略它的影响。因此,根据河漫滩沉积物粒度成分能够确定洪水规模。

根据洪水沉积物的粒度差异对比和当时的地形高度变化,能够确定洪水的规模。在河床宽度基本不变的情况下,洪水的深度大,持续时间长(沉积厚

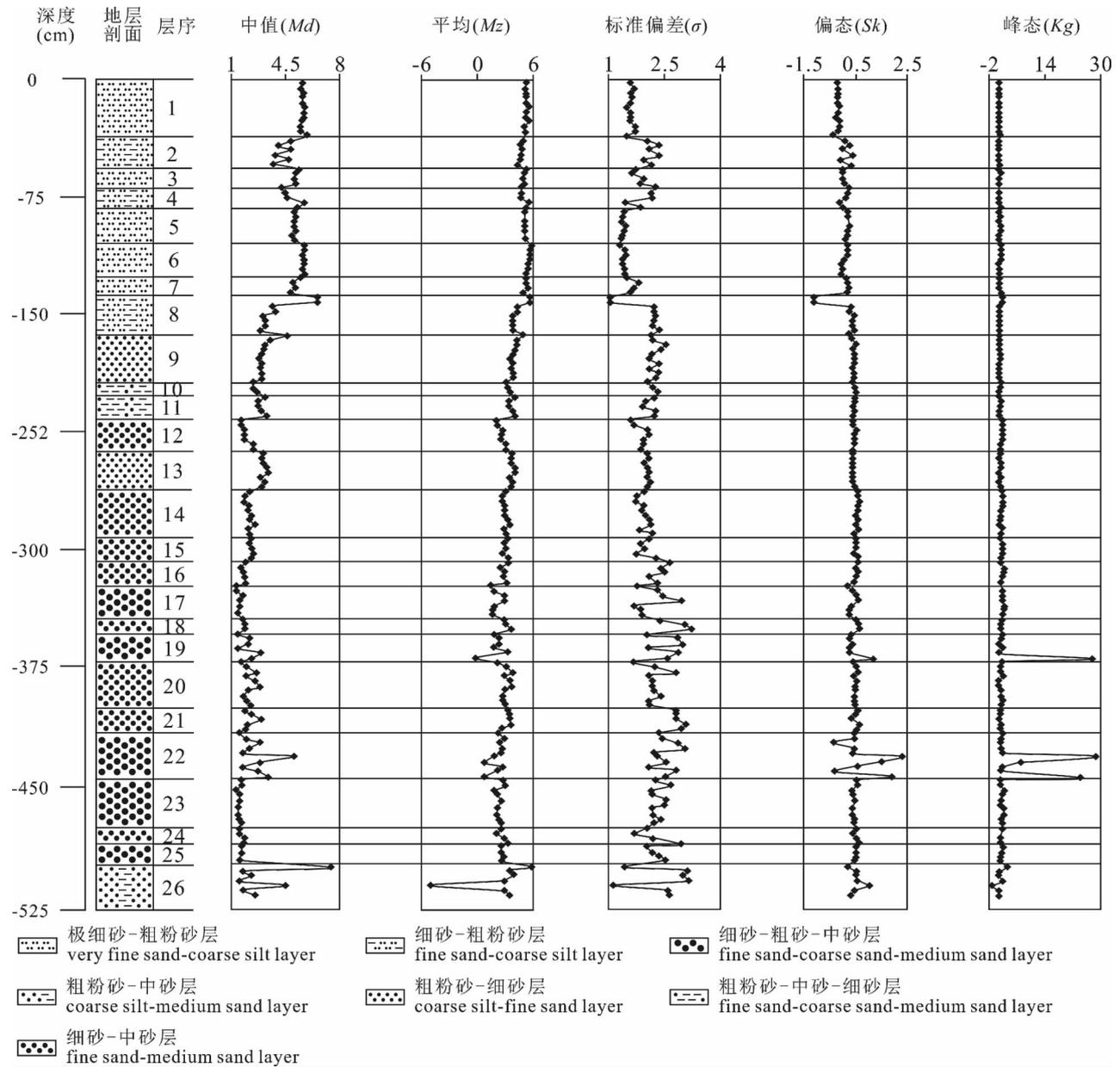


图 4 西安北郊草店村剖面粒度参数变化(各层名称同图 2)

Fig. 4 Change of the grain size parameter in Caodian village profile in the north suburb of Xi'an (Legend name with figure 2)

度大), 指示洪水规模大。根据沉积学原理, 我们曾提出 6 条确定洪水深度的标准(赵景波等, 2007)。根据这 6 条标准, 并充分考虑了沉积厚度引起的河漫滩地形增高对粒度成分的影响之后, 可以确定草店村剖面 26 个洪水事件发生时河床洪水深度和规模由大到小的变化顺序依次为第 17 次洪水 > 第 19 次洪水 > 第 18 次洪水 > 第 12 次洪水 > 第 10 次洪水 > 第 16 次洪水 > 第 23 次洪水 > 第 14 次洪水 > 第 15 次洪水 > 第 21 次洪水 > 第 20 次洪水 > 第 22 次洪水 > 第 25 次洪水 > 第 26 次洪水 > 第 24 次洪

水 > 第 9 次洪水 > 第 8 次洪水 > 第 11 次洪水 > 第 13 次洪水 > 第 2 次洪水 > 第 4 次洪水 > 第 3 次洪水 > 第 1 次洪水 > 第 7 次洪水 > 第 5 次洪水 > 第 6 次洪水。我们对 2003 年渭河高陵段河漫滩沉积的粒度成分与洪水深度的关系进行了研究(赵景波等, 2007)。根据对高陵 2003 年高漫滩上洪水沉积物粒度分析结果可知, 2003 年漫滩上的洪水沉积中的粗粉砂平均含量为 69.0%, 极细砂平均含量为 10.5%, 细粉砂平均含量为 10.1%, 粘粒平均含量为 9.9%, 砾石和粗砂缺失(赵景波等, 2007)。洪水

表1 草店村剖面各层粒度成分平均含量(%)

Table 1 The grain size content in different layers in Caodian village profile in the north suburb of Xi'an (%)

| 层序 | 各层名称 | 厚度(cm) | 粗砂 | 中砂 | 细砂 | 极细砂 | 粗粉砂 | 细粉砂 | 粘粒 | 胶粒 |
|----|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 1 | 极细砂、粗粉砂层 | 33 | — | 1.75 | 8.61 | 14.47 | 46.51 | 11.14 | 8.61 | 7.86 |
| 2 | 极细砂、细砂、粗粉砂 | 21 | 0.11 | 7.13 | 22.63 | 16.45 | 32.83 | 7.99 | 7.13 | 5.71 |
| 3 | 极细砂、粗粉砂层 | 12 | — | 2.44 | 12.02 | 18.23 | 47.42 | 7.94 | 6.42 | 5.25 |
| 4 | 极细砂、细砂、粗粉砂层 | 15 | — | 4.54 | 17.42 | 17.22 | 40.00 | 7.82 | 6.76 | 6.25 |
| 5 | 极细砂、粗粉砂层 | 21 | — | — | 0.69 | 30.88 | 58.39 | 2.82 | 3.16 | 4.05 |
| 6 | 极细砂、粗粉砂层 | 21 | — | — | 0.52 | 14.13 | 62.33 | 7.87 | 7.12 | 8.03 |
| 7 | 粗粉砂、极细砂层 | 12 | — | 0.04 | 6.01 | 27.87 | 47.37 | 6.07 | 5.85 | 6.78 |
| 8 | 细砂、粗粉砂层 | 24 | 0.71 | 13.24 | 24.19 | 12.45 | 26.97 | 7.64 | 7.41 | 7.39 |
| 9 | 粗粉砂、细砂层 | 30 | 1.19 | 19.10 | 33.12 | 13.23 | 19.44 | 4.55 | 4.43 | 4.49 |
| 10 | 粗粉砂、中砂、细砂层 | 9 | 5.46 | 30.59 | 32.99 | 6.88 | 13.25 | 4.08 | 3.84 | 2.75 |
| 11 | 粗粉砂、中砂、细砂层 | 15 | — | 20.43 | 35.19 | 12.41 | 17.47 | 5.27 | 4.06 | 3.48 |
| 12 | 细砂、中砂层 | 21 | 10.87 | 40.33 | 26.97 | 5.01 | 9.89 | 2.72 | 2.45 | 1.37 |
| 13 | 粗粉砂、细砂层 | 24 | 0.78 | 17.10 | 37.08 | 16.46 | 17.63 | 3.81 | 3.63 | 3.51 |
| 14 | 细砂、中砂层 | 30 | 2.86 | 41.19 | 31.88 | 3.34 | 11.83 | 3.61 | 3.13 | 2.04 |
| 15 | 细砂、中砂层 | 15 | 2.51 | 37.04 | 35.51 | 3.83 | 11.81 | 3.54 | 3.05 | 2.06 |
| 16 | 细砂、中砂层 | 15 | 12.70 | 39.75 | 23.36 | 3.03 | 10.61 | 3.28 | 2.86 | 1.26 |
| 17 | 细砂、粗砂、中砂层 | 21 | 26.11 | 42.01 | 14.47 | 2.19 | 7.73 | 2.52 | 2.12 | 1.15 |
| 18 | 细砂、中砂层 | 9 | 14.45 | 43.14 | 20.91 | 2.99 | 10.59 | 3.36 | 2.48 | 1.67 |
| 19 | 细砂、粗砂、中砂层 | 18 | 20.80 | 41.68 | 16.87 | 3.61 | 10.18 | 3.02 | 3.40 | 1.44 |
| 20 | 细砂、中砂层 | 30 | 9.42 | 36.41 | 25.69 | 5.03 | 13.77 | 3.89 | 3.41 | 1.43 |
| 21 | 细砂、中砂层 | 20 | 12.17 | 39.49 | 19.42 | 5.11 | 14.82 | 3.96 | 3.81 | 1.22 |
| 22 | 细砂、粗砂、中砂层 | 30 | 17.66 | 37.74 | 17.02 | 5.71 | 13.52 | 3.43 | 3.21 | 1.75 |
| 23 | 粗砂、中砂层 | 30 | 22.82 | 42.90 | 10.98 | 3.92 | 11.98 | 3.14 | 2.51 | 1.61 |
| 24 | 细砂、中砂层 | 12 | 14.31 | 44.64 | 16.43 | 3.15 | 10.30 | 5.13 | 3.75 | 1.21 |
| 25 | 粗砂、中砂层 | 12 | 18.28 | 42.61 | 15.07 | 3.62 | 11.63 | 3.53 | 3.09 | 1.63 |
| 26 | 粗砂、粗粉砂、中砂层 | 21 | 16.91 | 31.28 | 11.65 | 4.37 | 17.75 | 6.99 | 6.61 | 4.47 |

注:砾石因含量较小,未在表中列出。

位的测定得知,2003年高漫滩上洪水沉积的粉砂层顶面之上的洪水位为2.2m(赵景波等,2007)。以此为标准我们可以看出草店村剖面中26个沉积层的粒度成分都大于2003年洪水沉积物粒径,表明这26个阶段高漫滩上的洪水深度均大于2.2m。根据我们对2003年对西安地区渭河的调查和粒度分析可知,粗砂为主的粗砂层沉积时漫滩上的洪水深度为6m左右,中砂为主的中砂层沉积时漫滩上的洪水深度为4m左右。由此推断,草店村剖面下部第17层至第26层各层位沉积时漫滩上的洪水深度为4~7m。剖面中部第8层至第16层沉积时漫滩上的洪水深度为3~5m。上部第1层至第7层沉积时漫滩上的洪水深度为2.2~3.0m。漫滩洪水深度加上该洪水位出现时形成的漫滩相沉积层顶面到河床相沉积层顶面之间的垂直距离就是河床洪水位的高度。草店村剖面最下层还不是以砾石为主的河床沉积层,砾石为主的河床沉积的顶面应在6m深。根据漫滩洪水深度和漫滩沉积到河床顶面的距离可以确定,剖面下部为第17层至第26层沉积时河床

水深为6.2~8.5m,中部第8层至第16层沉积时的河床水深为6.6~9.0m,上部第1层至第7层沉积时的河床水深为7.2~8.6m。

3.2 洪水沉积物指示的降水量

河流水动力条件的强弱变化在主要由降水补给的河流中反映很明显,当气候变暖湿时,降水量增多,导致河流流量增大,流速变快,此时水动力往往增强,形成的沉积物以粗粒为主(Knox, 1994; Macklin et al., 2006; Starkel et al., 2006);反之,当气候变冷变干时,降水量减少,导致河流流量变小,流速变慢,水动力较弱,形成的沉积物以细粒为主。

渭河主要由降水补给,洪水的发生常常是当年降水量明显增加引起的。如2003年的洪水是渭河中下游年降水量增加到了880mm多造成的(黄修山等,2004;邢大韦等,2004)。在2000~2002年等正常降水年份,高漫滩上无洪水沉积。因此,高漫滩上的洪水沉积特别是漫滩剖面中、上部的洪水沉积指示了大洪水的存在,也反映了渭河流域部分地区降水量的明显增加。这种降水的增加一般代表一年

的降水增多,不代表一个湿润的气候阶段。当然,如果能够确定连续多年有大洪水的发生,则能够代表湿润气候阶段的存在。由于渭河一次大洪水一般代表了一年的时间,所以上述26个洪水阶段在距今900~660 a中所占时间很短,而与这26个阶段相间的无大洪水的时期则是降水量正常或偏少的阶段。根据近代渭河大洪水发生年的降水量推断,研究剖面中的26个阶段洪水发生时的年降水量一般为800~900 mm。

3.3 洪水事件发生的主要原因

影响洪水发生的因素很多,包括流域内的气候、地形条件以及人类的社会经济行为等。其中,气候是最主要的因素(Knox, 1994; Macklin et al., 2006; Starkel et al., 2006; Gerardo et al., 2015)。太阳活动影响地球气候,太阳活动与洪水也有联系(Wirth et al., 2014)。气候对洪水的影响主要表现在以下三个方面。一是气候在数年或更长时期内降水量明显增加引发的洪水,这种洪水指示气候在数年或更长时期内变得湿润。这种情况一般发生在研究时段较长,气候发生了阶段性的明显变化。根据历史文献记录,关中地区距今996a以来共发生较大洪涝灾害114次(袁林, 1994),平均每8.66 a发生1次洪涝灾害,因此研究剖面的洪水一般不是在连续多年降水量明显增加条件下发生的。二是气候没有发生连续几年的降水增加,仅在当年降水量明显增加引起的洪水。在一年内持续时间较长的大洪水常常是持续较长的强降雨过程造成的,这种强降雨过程常常持续数十天,这种原因引起的洪水指示了当年气候变得湿润。如2003年陕西关中地区的渭河出现1981年以来最大洪水。这次洪水的发生表现为洪水水位高,洪水持续时间长。这一年的降水量为883 mm,比正常年均降水量600 mm多283 mm(赵景波等, 2007),引起了大洪水灾害的发生。1954年和1981年的大洪水也是当年降水量增加的结果。当年降水量显著增加是造成该区洪水发生的主要的和普遍的原因。三是当年降水量基本没有增加,而是降水量的集中造成了洪水的发生。渭河流域属于大陆性季风气候,该区降水的年内变化较大,降水主要集中在夏、秋季,降水量的分配很不均匀。在这种情况下,年降水量不增加甚至略有减少有时也会有洪水发生。小规模短暂洪水常常是降水量集中和暴雨形成的结果。上述表明,研究剖面中的大洪水一般是年降水量增加造成的。

3.4 洪水沉积物指示的特大洪水事件

草店村剖面洪水沉积物的特点是大部分层位的粒度成分较粗,比近120 a的洪水沉积粒度成分(赵景波等, 2007)明显要粗。近120 a以来关中渭河下游漫滩洪水沉积以粉砂、细砂与极细砂为主,而草店村剖面的洪水沉积以中砂、细砂和粗砂为主。草店村剖面1.5 m以下到剖面的底部,洪水沉积物以粗砂和中砂为主,其次为细砂,粉砂与更细粒的成分含量少。在剖面中部的3.2 m到1.3 m之间,洪水沉积物以中砂和细砂为主,极细砂含量次之,其它细粒成分少量。在剖面上部的1.3 m到顶面之间,以粗粉砂、极细砂为主,细砂与细粉砂次之。虽然从剖面的下部到中部再到上部粒度成分有变细的显示,但这与沉积物增厚而引起的地形增高有很大关系。由于剖面中从下向上粒度成分一般是逐渐变细的,所以该剖面中的洪水规模总体差异不大。但从粒度成分分析可知,该剖面各层中第12、16~26层代表的洪水规模比近120 a来的大洪水显著大,所以剖面中的第12、16~26层代表特大洪水事件。

4 结论

(1)西安北郊渭河段草店村剖面在距今900~660 a形成的洪水沉积分层明显,对洪水的发生和降水量变化反映清楚,分辨率高,能够指示洪水发生频次与洪水深度。草店村剖面洪水沉积厚度分别约为5.25 m,可划分为26个沉积层,指示了26次大小不同的洪水事件。

(2)在充分考虑了沉积厚度引起的漫滩地形增高对粒度成分的影响之后,可以确定草店村剖面26个阶段河床洪水深度和规模由大到小的变化顺序依次为第17次洪水>第19次洪水>第18次洪水>第12次洪水>第10次洪水>第16次洪水>第23次洪水>第14次洪水>第15次洪水>第21次洪水>第20次洪水>第22次洪水>第25次洪水>第26次洪水>第24次洪水>第9次洪水>第8次洪水>第11次洪水>第13次洪水>第2次洪水>第4次洪水>第3次洪水>第1次洪水>第7次洪水>第5次洪水>第6次洪水。

(3)草店村剖面中的26个洪水事件发生时河漫滩上的洪水深度均大于2.2 m。该剖面下部第17层至第26层沉积时漫滩上的洪水深度为4~7 m,河床水深为6.2~8.5 m。中部第8层至第16层沉积时漫滩上的洪水深度为3~5 m,河床水深为6.6~9.0 m。上部第1层至第7层沉积时漫滩上的洪

水深度为 2.2~3.0 m,河床水深为 7.2~8.6 m。

(4)草店村剖面的洪水沉积以中砂、细砂和粗粉砂为主,指示当时的洪水规模较近 120 年来关中渭河洪水大,其中第 12、16~26 层代表特大洪水事件。

(5)渭河西安段在距今 900~660 a 间发生的大规模洪水主要当时夏季风活动加强,且年降水量增加到了 800~900 mm 造成的。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

高陵县地方志编纂委员会. 2000. 高陵县志. 西安:陕西人民出版社,12~36.

葛兆帅,杨达源,李徐生,任朝霞. 2004. 晚更新世晚期以来的长江上游古洪水记录. 第四纪研究,24(5):555~560.

顾效源,鲁青原,叶思源,赵广明,丁喜桂,袁红明,杨士雄,何磊,王锦. 2016. 黄河三角洲进积与滨海湿地地质环境演替模式. 地质论评,62(3):682~692.

洪婷,白世彪,王建. 2014. 树轮地貌学重建滑坡事件研究进展. 地质论评,60(3):635~645.

孔凡翠,杨瑞东,沙占江. 2013. 贵州草海赵家院子晚更新世泥炭层地球化学特征及其环境意义. 地质论评,59(4):716~730.

李键超. 1980. 一千五百年来渭河中下游的变迁. 西北历史资料,(3):68~78.

李令福. 1999. 从汉唐渭河三桥的位置来看西安附近渭河的侧蚀. 中国历史地理论丛,14(增刊):260~283.

李长安,黄俊华,张玉芬,郭广猛. 2002. 黄河上游末次冰盛期古洪水事件的初步研究. 地球科学,27(4):456~458.

庞奖励,黄春长,周亚利,查小春,乔晶,张玉柱,周亮. 2014. 汉江上游 I 级河流阶地形成及对东亚季风变化的响应. 地质论评,60(5):1076~1084.

陕西师范大学地理系. 1987. 西安市地理志. 西安:陕西人民出版社,90~126.

史念海. 1999. 黄河流域诸河流的演变与治理. 西安:陕西人民出版社,315~320.

王启栋,宋金明,李学刚,袁华茂,李宁,曹磊. 2014. 黄河口新生湿地沉积物放射性核素及其对沉积过程变化指示作用解析. 地质论评,60(4):755~764.

谢又予. 2000. 沉积地貌分析. 北京:海洋出版社,3~4.

辛鹏,吴树仁,石菊松,王涛,石玲. 2015. 降雨诱发浅层黄土泥流的研究进展、存在问题与对策思考. 地质论评,61(3):485~493.

邢大韦,张玉芳,栗晓玲. 2004. 对 2003 年陕西渭河洪水的思考. 水利与建筑工程学报,2(1):1~4.

颜艳,岳大鹏,李奎,刘鹏. 2014. 1953~2010 年黄土洼天然淤地坝内洪水沉积物粒度旋回特征. 水土保持通报,34(6):349~354.

袁林. 1994. 西北灾荒史. 兰州:甘肃人民出版社,102~106.

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.

张灿,周爱锋,张晓楠,吴锋,郝盛吞. 2015. 湖泊沉积记录的古洪水事件识别及与气候关系. 地理科学进展,34(7):888~908.

赵景波,蔡晓薇,王常燕. 2007. 西安高陵渭河近 120 年来的洪水演变. 地理科学,27,(2):225~230.

赵景波,罗小庆,刘瑞,陈宝群,岳应利. 2015. 关中平原黄土中第 1

层古土壤发育时的土壤水分研究. 地质学报,89(12):2389~2399.

朱诚,于世永,卢春成. 1997. 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. 地理学报,52(3):268~278.

Gaoling County Chorography Compilation Committee. 2000#. Chorography Geography Records of Gaoling County. Xi'an: Shaanxi People Publishing House,12~36.

Ge Zhaoshuai, Yang Dayuan, Li Xusheng, Rene Zhaoxia. 2004#. Paleoflooding record along the up-reaches of the Changjiang River since the Late Pleistocene epoch. Quaternary Sciences, 24(5):555~560.

Gerardo Benito, Mark G Macklin, Christoph Zielhofer, Anna F Jones, Maria J Machado. 2015. Holocene flooding and climate change in the Mediterranean. Catena, 130:13~33.

Gu Xiaoyuan, Lu Qingyuan, Ye Siyuan, Zhao Guangming, Ding Xigui, Yuan Hongming, Yang Shixiong, He Lei, Wang Jin. 2016#. Deltaic progradation and geo-environmental succession of coastal wetlands in the Yellow River Delta. Geological Review, 62(3):682~692.

Hong Ting, Bai Shibiao, Wang Jian. 2014#. A review on study of landslide activities using dendrogeomorphological Methods. Geological Review, 60(3):635~645.

Jenny J P, Wilhelm B, Arnaud F, Sabatier P, Covex C G, Melo A, Fanget B, Malet E, Ployon E, Perga M E. 2014. A 4D sedimentological approach to reconstructing the flood frequency and intensity of the Rhône River (Lake Bourget, NW European Alps). Journal of Paleolimnology, 51(4):469~48.

Knox J C. 1994. Large increases in flood magnitude in response to modest changes in climate. Nature, 361:410~437.

Kong Fancuil, Yang Ruidong, Sha Zhanjiang. 2013#. Geochemical characteristics and sedimentary environment of the epipleistocene peat on Zhaojiayuanzi sediment column in Caohai Basin, Guizhou Province. Geological Review, 59(4):716~730.

Li Changan, Huang Junhua, Zhang Yufen, Guo Guangmeng. 2002#. Preliminary study of paleoflood of last glacial maximum in upper reaches of the Yellow River. Earth Science—Journal of China University of Geology, 27(4):456~458.

Li Jianchao. 1980#. Changes in the middle and lower reaches of Weihe River in the one thousand and five hundred years. Northwest history research, (3):68~78.

Li Lingfu. 1999#. Side erosion in Weihe River On the basis of three bridges of Han—Tang Dynasty. Journal of Chinese historical geography, 14(supplementary issue):260~283.

Macklin M G, Benito G, Gregory K J, Johnstone E, Lewin J, Michczyn´ Ska D J, Soja R, Starkel L, Thorndycraft V R. 2006. Past hydrological events reflected in the Holocene fluvial record of Europe. Catena, 66:145~154.

Pang Jiangli, Huang Chunchang, Zhou Yali, Zha Xiaochun, Qiao Jing, Zhang Yuzhu, Zhou Liang. 2014#. Formation of the first river terraces of Hanjiang River and its response to the East Asian monsoon change. Geological Review, 60(5):1076~1084.

Piotr Gebica, Andrij Jacyszyn, Marek Krapiec, Anna Budek, Natalia Czumak, Leszek Starkel, Wiaczeskaw Andrejczuk, Bogdan Ridush. 2016. Stratigraphy of alluvia and phases of the Holocene floods in the valleys of the Eastern Carpathians foreland. Quaternary International, 415:55~66.

Records of Xi'an Geography. 1987#. Xi'an: Shaanxi people's Publishing House. 90~126.

- Sandra Raúl Siteo, Jan Risberg, Elin Norström, Ian Snowball, Karin Holmgren, Mussa Achimo, João Mugabe. 2015. Paleo-environment and flooding of the Limpopo River-plain, Mozambique, between c. A D 1200 ~2000. *Catena*, 126:105 ~116.
- Schillereff D N, Chiverrell R C, Macdonald N, Hooke J M. 2014. Flood stratigraphies in lake sediments: a review. *Earth-Science Reviews*, 135: 17 ~37.
- Shi Nianhai. 1999#. The evolution and control of the rivers in the Yellow River basin. Xi'an: Shaanxi People Publishing House. 315 ~320.
- Starkel L, Soja R, Michczyn D J. 2006. Past hydrological events reflected in the Holocene history of Polish rivers. *Catena*, 66: 24 ~33.
- Wang Qidong, Song Jinming, Li Xuegang, Yuan Huamao, Li Ning, Cao Lei. 2014#. Radionuclides in the sediments of the newly formed wetlands of Yellow River estuary and its indication to environmental change. *Geological Review*, 60(4):755 ~764.
- Wirth S B, Glur L, Gilli A, Anselmetti F S. 2013. Holocene flood frequency across the Central Alps: solar forcing and evidence for variations in North Atlantic atmospheric circulation. *Quaternary Science Reviews*, 80: 112 ~128.
- Xie Youyu. 2000#. Sediment Geomorphology Study. Ocean Publishing House. 3 ~4.
- Xin Peng, Wu Shuren, Shi Jusong, Wang Tao, Shi Ling. 2015#. Comment on the Progress in, Problems and Countermeasure on Mudflow Induced by rainfall. *Geological Review*, 61(3):485 ~493.
- Xing Dawei, Zhang Yufang, Su Xiaoling. 2004#. Thought about flood of Weihe River in Shaanxi in 2003. *Journal of Water Resources and Architectural Engineering*, 2(1): 1 ~4.
- Yan Yan, Yue Dapeng, Li Kui, Liu Peng. 2014#. Grain size cycle characteristics of flood sediments at loess depression check dam during 1953 ~2010. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 34(6):349 ~354.
- Yuan Lin. 1994#. The famine history in northwestern Region. Lanzhou: Gansu People Publishing House. 102 ~106.
- Zha Xiaochun, Huang Chunchang, Pang Jiangli. 2007#. *Acta Geographica Sinica*, 62(3): 291 ~300.
- Zhang Can, Zhou Aifeng, Zhang Xiaonan, Wu Duo, HaoShengtun. 2015#. Identification of paleoflood events by lacustrine archives and their links to climatic conditions. *Progress in Geography*, 34(7): 888 ~908.
- Zhao Jingbo, Luo Xiaoqing, Liu Riu, Chen Baoqun, YueYingli. 2015#. Research in soil moisture during development of S1 palaeosol in Guanzhong Plain. 2015. *Acta Geologica Sinica*, 89(12):2389 ~2399.
- Zhu Cheng, Zhong Yishun, Zheng Chaogui. 1997#. Relationship of archaeological sites distribution and environment from the paleolithic age to the Warring States Time in Hubei Province. *Acta Geographica Sinica*, 52(3): 268 ~278.

The Sediment on Floodplain and Flood Changes at Caodian Village in the Northern Suburb of Xi'an

ZHAO Jingbo^{1,2)}, WEN Zhenjun¹⁾, MA Yandong¹⁾, HUANG Xiaogang¹⁾, SONG Yougui²⁾

College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, 710062;

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

Objectives: The purpose of the study is to reveal the scale and the depth of floods in historical periods, so that to provide a scientific basis for the prediction of flood scale and to reduce the losses caused by flood disasters.

Methods: Methods used in the study are field investigation, grain - sizedistribution analyses and compilation of historical data.

Results: The flood deposition of the study section, lying in Caodian Village at northern suburb of Xi'an, was formed during 900 to 600 years ago. It is 5.25 meters thick and can be divided into 26 layers. It has a significant reflection and resolution on the occurrence of floods and short - term change of precipitation, and an indication of the frequency and depth of floods. There are some special characteristics of the floodplain sediments in this section, including coarse grain composition, high content of medium sand and fine sand, and less content of clay and silt. The content of colloidal particles (< 0.002mm) ranges from 1.15% to 8.03% with an average of 3.33%. The average content of clay particles (0.002 ~ 0.005mm) is 4.29%, ranging from 2.12% to 8.61%. The fine silt (0.005 ~ 0.01mm) content ranges from 2.52% to 11.14%, with an average content of 4.85%. Coarse silt (0.01 ~ 0.05mm) has a high content but great range from 9.89% to 62.33%, with an average of 22.14%. There is a certain amount of very fine sand (0.05 ~ 0.10 mm) in each layer, ranging from 2.19% to 30.88% with an average content of 9.32%. The content of fine sand (0.10 ~ 0.25mm) ranges greatly from 0.52% ~ 37.08%, with an average content of 19.46%. The content of medium sand (0.25 ~ 0.50 mm) is high but, again, ranges greatly from 0 to 46.

64% with the average 27.07%. The content of coarse sand(0.50 ~ 2.00 mm) changes rapidly from 0 to 26.11%, with an average content of 8.67%. The content of gravel(>2.00 mm) is very small in the whole profile, and only appears in the 18th, 19th, 22nd, 23rd, 24th and 26th layers. And they display a maximum content of 0.30% and with an average of 0.03%.

Conclusions: The sediment records 26 flood events on Weihe River in the northern suburb of Xi'an between 900 and 660 years ago. According to the thickness and grain-size distribution of flood sediment, the flood depth over the floodplain and the river bed was about 4 ~ 7 m and 6.2 ~ 8.5 m respectively when the 17th ~ 28th layers formed. When the 8th ~ 16th layers occurred, the flood depth over the floodplain and the river bed were 3 ~ 5 m and 6.6 ~ 9.0 m respectively. When the 1st ~ 7th layers occurred, the flood depth over the floodplain and the river bed was 2.2 ~ 3.0 m and 7.2 ~ 8.6 m respectively. And it indicates that the flood of Weihe River at that time in the study area was significantly greater than it was in recent 120a. Among the layers, the 12th and 16th ~ 28th layers represented extraordinary flood events. And fundamentally, between 900 and 660 years ago, the great flood occurring at Weihe River in the northern suburb of Xi'an mainly resulted from a significant increase in precipitation. After a full consideration of the grain-size distribution due to the increase floodplain topography and the variation of deposit thickness, the order of the flood depth and scale of the riverbed flood in the 26 flood events of the section can be determined as follows: the 17th flood > the 19th flood > the 18th flood > the 12th flood > the 10th flood > the 16th flood > the 23rd flood > the 14th flood > the 15th flood > the 21st flood > the 20th flood > the 22nd flood > the 25th flood > the 26th flood > the 24th flood > the 9th flood > the 8th flood > the 11th flood > the 13th flood > the 2nd flood > the 4th flood > the 3rd flood > the 1st flood > the 7th flood > the 5th flood > the 6th flood.

Keywords: sediment on floodplain; flood event; flood depth; flood causes; Weihe river in Xi'an

Acknowledgements: This research was funded by the Project [The formation and evolution of the Quaternary in the Guanzhong Basin (No. Water[2016]4) of Xi'an Geological Survey Center of China Geological Survey, Project of the National Natural Science Foundation (No. 41210002) and Project of the State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Chinese Academy of Sciences (No. SKLLQG1428)].

First author: ZHAO Jingbo, male, born in 1953. professor, Mainly engaged Quaternary Environment. Address: No. 199, Changan Street, Xia'an City, 710062. Email: zhaobj@snnu.edu.cn
Manuscript received on: 2016-10-12; Accepted on: 2017-01-12; Edited by: LIU Zhiqiang.

Doi: 10.16509/j.georeview.2017.02.006