

# 泾阳泾河段全新世剖面元素 地球化学特征与洪水变化

顾 静<sup>1</sup> 周 杰<sup>2</sup> 黄河清<sup>1</sup> 赵景波<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘 要:** 根据泾阳泾河一级阶地前缘沉积剖面(JYc)中 285 个样品的元素、化合物含量和粒度分析,对泾阳泾河段全新世剖面元素地球化学特征与洪水变化进行研究。结果表明,元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V、Ba、Co 和化合物  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量在剖面各层中变化明显,分辨率高,能够清晰地指示洪水以及降水量的变化;JYc 剖面分为 41 个沉积层,指示了 41 次大小不同的洪水和 41 个降水较多的年份;沉积物粒度细,元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V 和化合物  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量高,元素 Ba、Co 含量低,指示沉积时洪水强度小,洪水位低,降雨量少;沉积物粒度粗,元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V 和化合物  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量低,元素 Ba、Co 含量高,指示沉积时洪水强度大,洪水水位高,降雨量多。泾河泾阳段洪水代表的是黄土高原泾河流域的洪水,特大洪水与大洪水,来自整个泾河流域或泾河流域大部分地区,较小的洪水来自泾河流域小部分地区。泾河流域发生洪水的原因有 3 种:1. 年降水量明显增加造成;2. 年降水量没有增加,而是由短时暴雨造成;3. 年降水量没有增加,而是由于降水集中、持续时间长造成的洪水。泾河泾阳段 JYc 剖面的洪水沉积主要是由中度涝灾、大涝灾、特大涝灾形成的,轻度涝灾一般不会造成洪水灾害。

**关键词:** 一级阶地前缘沉积;洪水规模;洪水成因;洪水变化;泾河泾阳

中图分类号: X142

文献标志码: A

泾河是黄河的二级支流,发源于宁夏六盘山东麓,在泾阳县张家山界入关中平原,于高陵陈家滩与渭河汇合。泾河以洪水猛烈、输沙量大著称,是渭河和黄河的主要洪水、泥沙来源之一。因此,研究泾河流域洪水对查明黄土高原泾河流域历史时期气候变化、土壤与植被演变有重要作用。在国内,人们对现代洪水进行了大量的研究,认识到洪水发生的原因、类型、特点和造成的危害<sup>[1-5]</sup>,并注意到了人类活动对河道变化和洪水发生的影响<sup>[6-7]</sup>。国内对历史时期的洪水研究较少,主要对长江、黄河与渭河历史时期洪水进行了一定研究<sup>[8-13]</sup>,以历史文献为依据较多,对洪水沉积物研究较少。在国外,对河流洪水变

化开展了许多研究,这些研究多侧重于洪水事件、水文模拟、洪水沉积物年代、历史时期植被破坏对河流泥沙及洪水的影响等<sup>[14-21]</sup>。到目前为止,国内外利用河漫滩沉积物来研究洪水的成果较少。河漫滩是流域与河流间过渡的区域,是洪水沉积的结果<sup>[22]</sup>。洪水期是河流侵蚀、搬运与河漫滩堆积物沉积时期,也是造成河患灾害最主要的时期,所以河流洪水演变的研究具有重要的理论和实际意义。

本文根据野外考察、室内粒度组成和元素含量分析、历史文献分析并结合顶部样品光释光测年结果,探讨了泾阳泾河段洪水的特点、发生频次及其发生原因。

收稿日期(Received date): 2012 - 09 - 25; 改回日期(Accepted): 2012 - 12 - 30。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金青年科学基金项目(41202134); 国家自然科学基金项目(51179181); 科技部国际科技合作与交流专项(OS2012GR0078)。[Supported by the National Natural Science Foundation of China(41202134, 51179181); Program of International S & T Cooperation of the Ministry of Science and Technology of China.]

\* 作者简介(Biography): 顾静(1981 -),女,博士后,主要从事自然地理与第四纪环境研究。[Gu Jing(1981 -),female,Postdoctor,mainly engaged in the physical geography and Quaternary environment.] E-mail: gujing@igsnrr.ac.cn

# 1 研究地区自然地理概况、剖面选择与采样

## 1.1 自然地理概况

泾阳县地处陕西省关中平原中部,泾河下游。县境介于 $108^{\circ}29'40''\sim 108^{\circ}58'23''\text{E}$ , $34^{\circ}26'37''\sim 34^{\circ}44'57''\text{N}$ ,总面积 $780\text{ km}^2$ 。境内地势西北高、东南低,海拔 $361\sim 1\,614\text{ m}$ ,属暖温带大陆性季风气候,四季冷暖、干湿分明。年平均气温 $13^{\circ}\text{C}$ ,冬季(1月)最冷为 $-20.8^{\circ}\text{C}$ ,夏季最热(7月)为 $41.4^{\circ}\text{C}$ 。年均降水量 $548.7\text{ mm}$ ,最多降水量 $829.7\text{ mm}$ ,最少为 $349.2\text{ mm}$ 。

## 1.2 JYc 剖面选择与采样

泾河在泾阳县内自西向东流,水深 $1\sim 1.7\text{ m}$ ,河宽约 $500\text{ m}$ 。在河两侧发育了宽广的河漫滩,其中北侧河漫滩形成时代老,厚度大,南侧则形成时代新,厚度小,高漫滩之上为一级阶地。我们在距泾河大桥西侧约 $500\text{ m}$ 处河北岸的一级阶地前缘选择JYc剖面作为研究对象。该剖面顶部高出水面 $8\text{ m}$ 左右,具有明显的二元结构。一级阶地前缘与高漫滩相差 $6\text{ m}$ 左右,剖面下部为河床相砂砾石沉积,出露厚度约为 $2\text{ m}$ ,以砾石为主,为典型的河床洪水沉积,其中砾石含量 $40\%$ 左右,砾石直径多为 $5\sim 8\text{ cm}$ ,中粗砂含量为 $30\%$ 左右。该层分选较差,磨圆较好,多呈圆状或次圆状,略显层理,砾石略有定向排列,向上游西北方向倾斜。其底部基座为第三纪泥岩,水面之上出露厚度为 $0.5\text{ m}$ 。剖面为河漫滩相粉砂沉积,去掉剖面上部约 $0.4\text{ m}$ 受人为干扰的土层,整个剖面厚约 $5.6\text{ m}$ 。将河谷地貌与研究剖面绘制成图(图1)。对整个剖面进行全断面刻槽和

连续取样,共采集粒度和元素样品 $285$ 个,每个样品重约 $100\text{ g}$ 。所采样品装在塑料袋中密封,带回实验室,在通风条件好的实验室经自然风干后,使用Mastersize-S型粒度仪进行粒度成分分析。元素含量采用PW4400型X射线荧光光谱仪进行测定。

# 2 JYc 剖面的元素、化合物含量和分布特征

对实验结果进行整理分析可知,所采剖面元素和化合物含量变化明显,可分为 $41$ 层,各层中元素和化合物含量有较大波动(图2~4)。剖面中元素Mn、Ni、Cu平均含量分别为 $551.7\text{ mg/kg}$ 、 $25.9\text{ mg/kg}$ 、 $19.1\text{ mg/kg}$ ,含量变化范围分别为 $359.3\sim 785.6\text{ mg/kg}$ 、 $13.1\sim 39.7\text{ mg/kg}$ 、 $9.7\sim 37.9\text{ mg/kg}$ 。Zn、Ga、Pb平均含量分别为 $58.5\text{ mg/kg}$ 、 $12.6\text{ mg/kg}$ 、 $19.4\text{ mg/kg}$ ,含量变化范围分别为 $24.7\sim 335.3\text{ mg/kg}$ 、 $8.1\sim 17.4\text{ mg/kg}$ 、 $10\sim 83.9\text{ mg/kg}$ 。Sc、Ti、Co的平均含量分别为 $9.9\text{ mg/kg}$ 、 $3\,528.5\text{ mg/kg}$ 、 $45.1\text{ mg/kg}$ ,含量变化范围分别为 $3.8\sim 17.7\text{ mg/kg}$ 、 $2\,042.8\sim 5\,404\text{ mg/kg}$ 、 $16.6\sim 123.7\text{ mg/kg}$ 。Nb、Th、U的平均含量分别为 $13.1\text{ mg/kg}$ 、 $10.3\text{ mg/kg}$ 、 $2.1\text{ mg/kg}$ ,含量变化范围分别为 $8.3\sim 15.9\text{ mg/kg}$ 、 $3.6\sim 17.4\text{ mg/kg}$ 、 $0.1\sim 4.3\text{ mg/kg}$ 。Rb、V、Ba的平均含量分别为 $81.2\text{ mg/kg}$ 、 $70.1\text{ mg/kg}$ 、 $495.7\text{ mg/kg}$ ,含量变化范围分别为 $52.7\sim 110.7\text{ mg/kg}$ 、 $44.2\sim 97.2\text{ mg/kg}$ 、 $423.8\sim 684.9\text{ mg/kg}$ 。化合物 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 平均含量分别为 $10.5\%$ 、 $3.7\%$ 、 $2.1\%$ ,含量变化范围分别为 $6.8\%\sim 13.1\%$ 、 $2\%\sim 5.4\%$ 、 $1.6\%\sim 2.6\%$ 。

根据剖面各层中的元素与化合物含量分析结果,可以看出各元素与化合物含量在剖面的 $41$ 层中变化明显。元素Mn、Ni、Ga、Rb在剖面第 $2$ 层中最高,在剖面第 $20$ 层中最低。Cu、Zn、Pb在剖面第 $1$ 层中最高,在剖面第 $20$ 层中最低。V、Nb在剖面第 $3$ 层中最高,在剖面第 $22$ 层中最低。Th、U在剖面第 $2$ 层中最高,在剖面第 $22$ 层中最低。Sc在剖面第 $1$ 层中最高,在剖面第 $22$ 层中最低。Ti在剖面第 $33$ 层中最高,在剖面第 $23$ 层中最低。化合物 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 在剖面第 $3$ 层中最高,在剖面第 $20$ 层中最低。 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 在剖面第 $2$ 和 $3$ 层中最高,在剖面第 $22$ 和 $23$ 层中最低。 $\text{K}_2\text{O}$ 在剖面第 $1$ 、 $2$ 和 $3$ 层中最高,在剖面第 $22$ 层中最低。Ba在剖面第 $20$ 层中最高,在剖面第 $16$ 层中最低。Co在剖面第 $20$ 层中最高,在剖

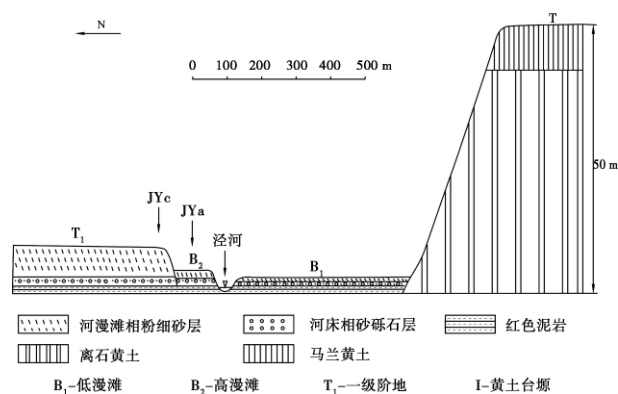


图1 泾阳泾河河谷地貌与洪水沉积剖面图

Fig.1 Valley landform and flood sediment of Jingyang reach at Jing River

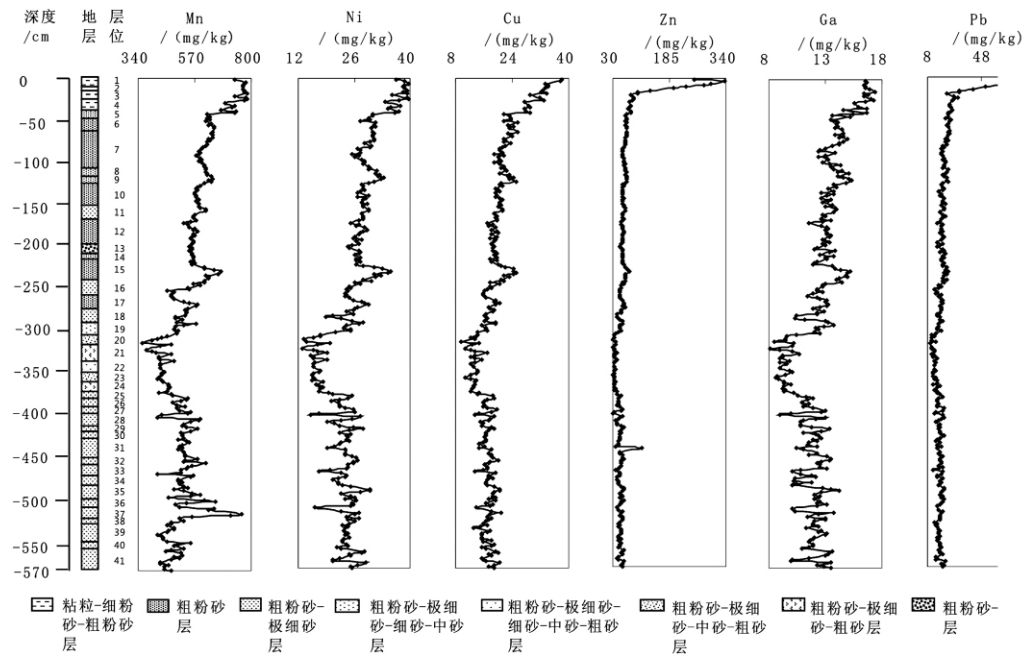


图 2 泾河泾阳段 JYc 剖面 Mn 等元素含量变化曲线

Fig.2 Vertical variation of chemical elements of Mn and others in JYc

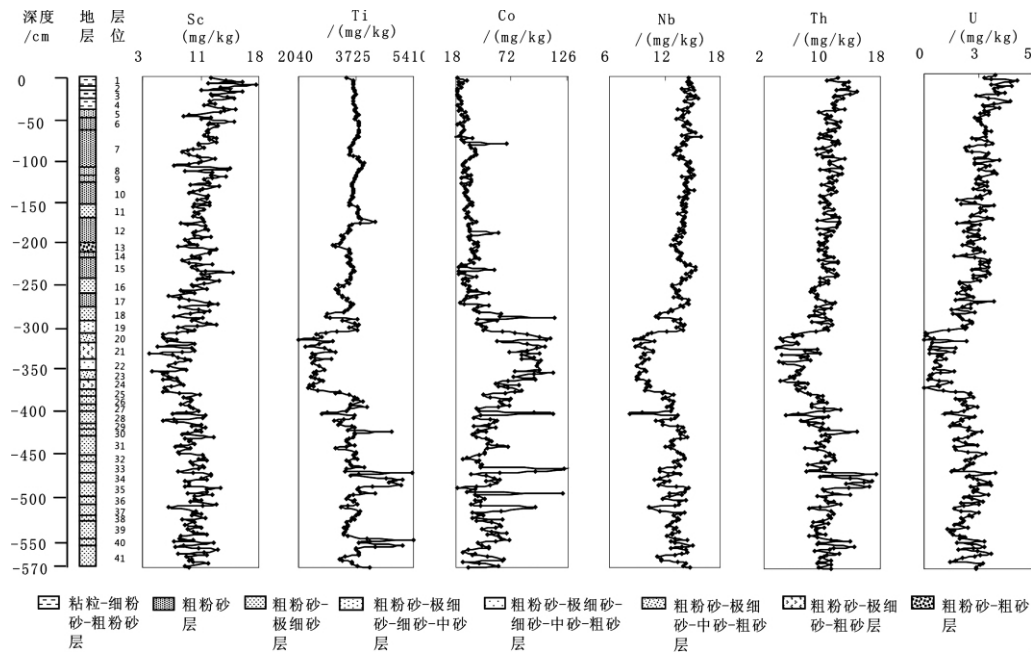


图 3 泾河泾阳段 JYc 剖面 Sc 等元素含量变化曲线

Fig.3 Vertical variation of chemical elements of Sc and others in JYc

面第 2 层中最低。其他各层中各元素与化合物含量均有明显波动。

3 JYc 剖面的粒度组成与分布特征

为查明元素与粒度组成的关系 ,在该剖面中同

样以 2 cm 的间距 ,采集了 285 个样品 ,利用 Master-size -S 型激光粒度仪进行了粒度分析。根据泾阳泾河高漫滩沉积物粒度数据分析可知( 图 5) ,泾阳 JYc 剖面粒度组成以粗粉砂( 0. 01 ~ 0. 05 mm) 和极细砂( 0. 05 ~0. 1 mm) 含量占首位 ,其中粗粉砂含量最高 ,平均含量为 48. 76% ,是泾阳 JYc 剖面的

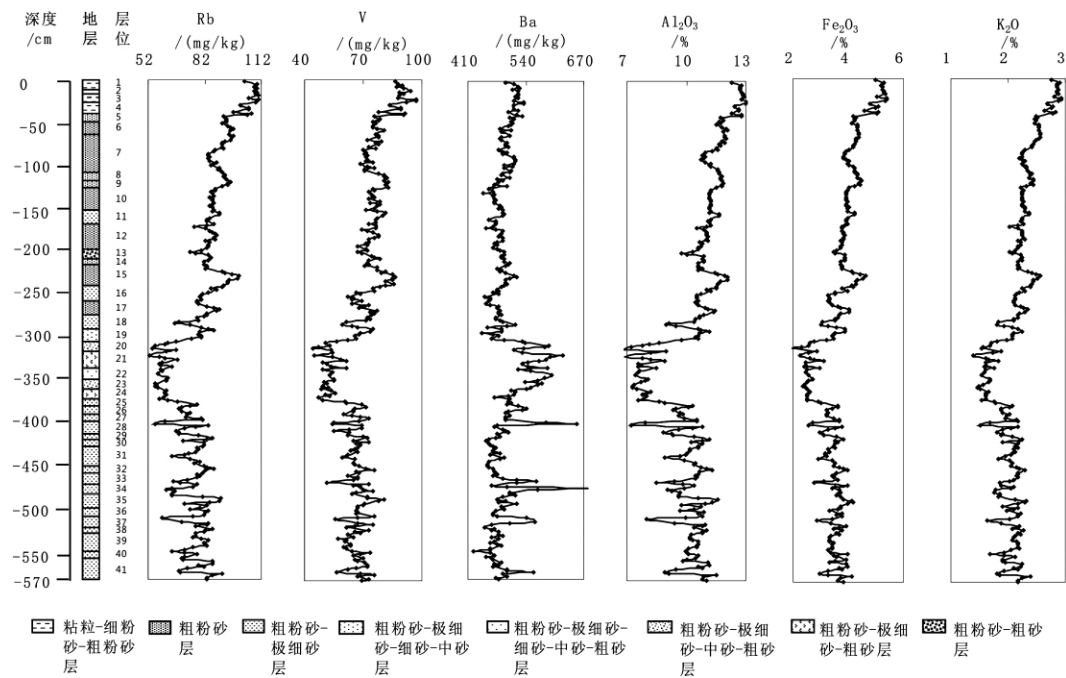


图 4 泾河泾阳段 JYc 剖面元素和化合物含量变化曲线

Fig. 4 Vertical variation of chemical elements and compounds of JYc

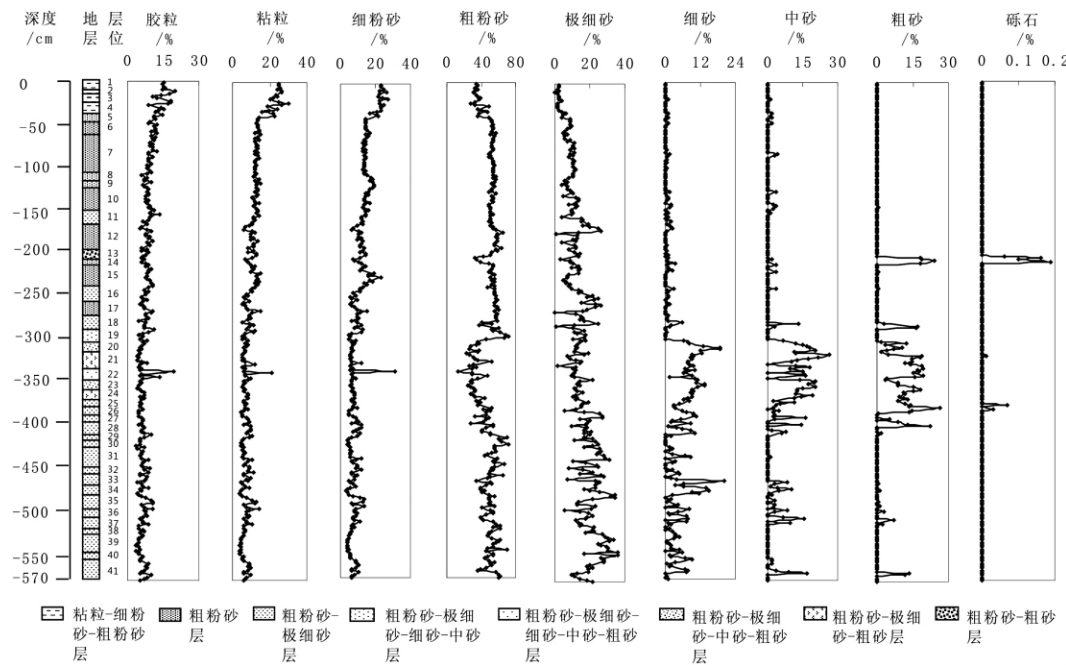


图 5 泾河泾阳段 JYc 剖面粒级百分含量变化曲线

Fig. 5 Vertical grain sizes distribution in JYc at the Jingyang reach of the Jing River

众数粒级,变化规律明显。极细砂含量较高,平均含量为 14.46%,是泾阳 JYc 剖面的次众数粒级。胶粒( $< 0.002\text{ mm}$ )、黏粒( $0.002 \sim 0.005\text{ mm}$ )、细粉砂( $0.005 \sim 0.01\text{ mm}$ )含量占第 2 位,平均含量分别为 7.92%,10.08%,10.78%,这三个粒级

的变化趋势基本一致。细砂( $0.1 \sim 0.25\text{ mm}$ )、中砂( $0.25 \sim 0.5\text{ mm}$ )、粗砂( $0.5 \sim 2\text{ mm}$ )含量占第 3 位,剖面中砾石( $> 2\text{ mm}$ )的含量最少,平均含量为 0.002%,其缺失的层位也较多。剖面上部细砂、中砂和粗砂等粗粒物质含量较少,而中部和

下部较多,各层粒度成分也有明显不同,具有粗细变化的规律。JYc 剖面这些粒度成分的分布特征,与元素和化合物的分布特征类似,也可分为 41 层。其中,剖面第 1、3 层以细粉砂、粘粒和粗粉砂为主;剖面第 2、4 层以粘粒、细粉砂和粗粉砂主;剖面第 5、6、7、8、9、10、12、14、15、17 层以粗粉砂为主;剖面第 11、16、18、25、26、27、28、29、30、31、32、33、34、35、36、37、38、39、40、41 层以极细砂和粗粉砂为主;剖面第 13 层以粗粉砂、粗砂为主;剖面第 19 层以细砂、中砂、极细砂和粗粉砂为主;剖面第 20 层以极细砂、粗砂、中砂和粗粉砂为主;剖面第 21、24 层以极细砂、粗砂和粗粉砂为主;剖面第 22 层以细砂、粗砂、极细砂、中砂和粗粉砂为主,剖面第 23 层以粗砂、极细砂、中砂、粗粉砂为主。粒度成分的这种分布特征能够反映洪水变化的多阶段性。

## 4 讨 论

### 4.1 泾河洪水沉积物元素、化合物与粒度关系分析

将剖面样品的粒度成分与元素、化合物含量作对比分析后发现二者有一定的关系,表现为细粒沉积层中元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V 和化合物  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量高,元素 Ba、Co 含量低;粗粒沉积层中元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V 和化合物  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量低,Ba、Co 含量高。JYc 剖面第 24、21、20、23 阶段粒度偏粗,以粗砂、极细砂、粗粉砂为主,对应该阶段 Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V 和化合物  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量偏低,元素 Ba、Co 含量偏高。剖面第 4、3、2、1 阶段粒度成分偏细,以粘粒、细粉砂和粗粉砂为主,对应该阶段元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V 和化合物  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量偏高,元素 Ba、Co 含量偏低。

剖面粒度成分与元素含量呈这种分布的原因如下:泾河泾阳段洪水沉积物主要是来自于泾河上游黄土高原的黄土,由于黄土的矿物组成主要是石英、长石、粘土矿物和碳酸盐<sup>[23]</sup>,其化学风化过程主要是碳酸盐的淋失,硅酸盐矿物没有发生明显的迁移<sup>[24]</sup>。Al 是硅酸盐矿物的主要组成部分,在风化过程中属于相对稳定的元素。Al 在表生环境中,即使经风化作用被解析出来,大部分 Al 也只是转变为次生的粘土矿物而不会淋失<sup>[25]</sup>,所以 Al 主要以

$\text{Al}_2\text{O}_3$  的胶体形式存在于细粒的沉积物中,粗粒沉积物中含量较少。Fe 在黄土形成过程中表现出稳定的表生行为,它只有在酸性条件下才发生淋溶迁移<sup>[26]</sup>,而黄土高原黄土堆积环境基本处于弱碱性氧化环境,不利于 Fe 的迁移,所以 Fe 也主要以  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的胶体形式存在于细粒的沉积物中,粗粒沉积物中含量较少。K 不仅是黄土中主要粘土矿物伊利石的组成元素之一,也更易于为粘粒吸附<sup>[27]</sup>,其变化趋势受到粘粒含量的影响,因此粒度细的洪水沉积层中  $\text{K}_2\text{O}$  含量高,粒度粗的层位  $\text{K}_2\text{O}$  含量低。Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V 易被粘土矿物和有机质吸附,因此它们富集于粒度偏细的沉积层中,在粒度偏粗的沉积层中含量较少。因为元素 Ba 的载体矿物为钾长石和黑云母等粗粒矿物,因此它富集于粗粒的沉积物中。富含元素 Co 的矿物为粗粒的橄榄岩和辉石,因此它也富集在粗粒的沉积物中。

### 4.2 元素与化合物指示的洪水频次与规模变化

由于河漫滩沉积物的元素和化合物含量变化主要是决定沉积物粒度大小的洪水规模造成的,因此元素和化合物含量的变化可以反映当时洪水的大小。我们研究发现,元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V 和化合物  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量高,元素 Ba、Co 含量低的层位,对应为细粒沉积层,指示沉积时洪水规模小,洪水位低,降雨量少。元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V 和化合物  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量低,元素 Ba、Co 含量高的层位,指示沉积时洪水规模大,洪水位高,降雨量多。研究剖面 JYc 元素和化合物含量分为 41 层,说明沉积过程中可能发生过 41 次大的洪水,这 41 层元素和化合物含量的节律变化反映这 41 次大的洪水在规模、动力上有较大差异。

剖面第 1、3 层以细粉砂、粘粒和粗粉砂为主,剖面第 2、4 层以粘粒、细粉砂和粗粉砂主,这 4 层是整个剖面中粒度最细的层位,其中元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V 和化合物  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量达到最高值,元素 Ba、Co 含量也达到最低值,指示这四层沉积时洪水动力最弱、洪水规模和流量最小。剖面第 5、6、7、8、9、10、12、14、15、17 层以粗粉砂为主,剖面第 11、16、18、25、26、27、28、29、30、31、32、33、34、35、36、37、38、39、40、41 层以极细砂和粗粉砂为主,这几层中元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V 和化合物  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量较第 1、2、3、4 层低,元素 Ba、Co 含量较第 1、2、3、4 层高,指示沉积时洪水动力、洪水规模和流量较第 1、2、3、4 层大。剖面第 19 层以细砂、中砂、极细砂和粗粉砂为主,剖面第 20 层以极细砂、粗砂、中砂和粗粉砂为主,这两层中元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V 和化合物  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量较剖面第 11、16、18、25、26、27、28、29、30、31、32、33、34、35、36、37、38、39、40、41 层低,元素 Ba、Co 含量较剖面第 11、16、18、25、26、27、28、29、30、31、32、33、34、35、36、37、38、39、40、41 层高,指示这几层沉积时洪水动力、洪水规模和流量较剖面第 11、16、18、25、26、27、28、29、30、31、32、33、34、35、36、37、38、39、40、41 层大。剖面第 21、24 层以极细砂、粗砂和粗粉砂为主,剖面第 22 层以细砂、粗砂、极细砂、中砂和粗粉砂为主,这几层中元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V 和化合物  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量较剖面第 19、20 层低,元素 Ba、Co 含量较剖面第 19、20 层高,指示该层沉积时洪水动力、洪水规模和洪水流量较剖面第 19、20 层大。剖面第 23 层以粗砂、极细砂、中砂、粗粉砂为主,剖面第 13 层以粗粉砂、粗砂为主,这两层是 JYc 剖面中粒度最粗的层位,元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V 和化合物  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量在这两层中达到最低值,元素 Ba、Co 含量达到最高值,指示这两层沉积时洪水动力、洪水规模和洪水流量最大。

#### 4.3 JYc 剖面表层沉积物地球化学元素含量和富集特征

表 1 列出了泾河泾阳段 JYc 剖面表层沉积物地球化学元素含量特征,所采用的背景值为中国环境监测总站主编的《中国土壤元素背景值》<sup>[28]</sup>。结果发现,剖面表层元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Pb、Sc、Co、U、V、Ba 的平均含量均高于中国和陕西省土壤背景值。其中元素 Zn、Pb 的平均含量高出中国和陕西省土壤背景值的 2~3 倍。元素 Mn、Ni、Cu、Sc、Co、U、V、Ba 的平均含量高出 1~2 倍。元素 Th、Rb 的平均含量均高于陕西土壤背景值的 1 倍,但未高于中国土壤背景值。元素 Ga、Ti 的平均含量均在中国和陕西省土壤背景值的范围内。JYc 表层沉积物地球化学元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Pb、Sc、Co、U、V、Ba 的较高平均含量反映了现代人类活动对剖面表层的影响。JYc 剖面的粒度分析结果表明(图 5)元素 Mn、Ni、Cu、Zn、Pb、Sc、U、V 主要富集于细粒的洪水沉积物中,

元素 Co、Ba 主要富集于粗粒的洪水沉积物中。

表 1 泾河泾阳段 JYc 剖面表层沉积物地球化学元素含量  
Table 1 Element concentration of JYc surface layer /(mg/kg)

元素	最大值	最小值	平均值	陕西土壤背景值	中国土壤背景值
Mn	780.46	734.81	767.35	557.00	583.00
Ni	39.68	36.38	38.55	28.80	26.90
Cu	37.93	32.06	34.37	21.40	22.60
Zn	335.33	97.11	213.88	69.40	74.20
Ga	17.43	16.38	16.67	20.00	17.50
Pb	83.87	31.29	57.84	21.40	26.00
Sc	17.65	10.53	13.83	11.66	11.10
Ti	0.37	0.35	0.36	0.38	0.38
Co	28.40	18.76	21.69	10.60	12.70
Th	14.76	10.63	12.93	12.60	13.75
U	4.32	2.79	3.47	2.72	3.03
Rb	110.31	103.10	108.59	104.00	111.00
V	94.20	86.36	89.32	66.90	82.40
Ba	526.55	494.22	516.84	516.00	469.00

#### 4.4 不同期次洪水的识别与洪峰的变化

我们划分洪水期次是根据洪水沉积层分界面的变化、结构与构造的差异。不同期次的洪水常有明显的分界面,原因是该区不同期次的洪水发生的时间间隔较长。根据历史时期洪水的统计<sup>[29]</sup>,该区较大的洪水发生周期一般为 10~20 a,较长时间的间断和植物的生长等造成了各期次洪水沉积层之间具有明显的分界,主要表现为各层之间颜色的差别、层面的存在、层间缝隙的存在、有机物与矿物含量的不同等。不同期次的洪水还存在层理构造的不同,如有的是水平层理,有的是波状层理,这些都是确定不同期次洪水的可靠证据。然而在上下分层界面之间的同一次洪水沉积层内的变化显然是不同洪峰的沉积,代表了不同的洪峰阶段。根据 JYc 剖面各层内粒度、元素和化合物含量的变化(图 2 和图 4)可知,除剖面的个别层位外,大部分层位内存在不同粒度、元素和化合物含量微小变化,这代表了不同洪水阶段内不同洪峰的变化,其中第 7、10、11、12、15、16、17、18、21、28、31、35、39、41 层内洪峰次数最多,可达 2~4 次,反映了当时各次洪水内洪峰是不同的。

#### 4.5 洪水沉积物指示的沉积年代

历史时期泾河的泛滥变迁直接影响到沿岸的水

利工程。下游沿岸引泾渠渠口不断变迁及渠身的淤崩也正可揭示泾水下切、侵蚀以及崩塌的过程。故研究历史时期泾河洪水变化就不能不探讨引泾水利工程的变化。郑国渠从秦王政元年(公元前 246 年)动工修建,用了十多年时间才告完成。今在泾阳县王桥乡船头村西北发现郑国渠渠首遗址。该渠位于县城西北约 25 km 的泾河北岸,距研究剖面西北约 20 km。渠口断面的渠底已高于现泾河河床约 14~15 m<sup>[30]</sup>,河床在此无疑发生了下切。据文献记载<sup>[31]</sup>，“初秦汉时泾河平浅”，“故引河作渠，直易易耳”，可见当时泾河河床固定，未见下切。我们研究的一级阶地前缘剖面位于郑国渠下游偏南的地方，可见在郑国渠建成时该剖面尚未沉积。据此可以确定我们所研究的一级阶地前缘 JYc 剖面中的洪水沉积开始形成的年代要晚于郑国渠建成的年代(距今约 2 300 a)。先秦至魏晋南北朝时期<sup>[32]</sup>，泾河及其诸支流变迁规模不大，上游流淌在高原间以下切为主，下游在渭河平原上易摆动侵蚀。隋唐五代，中国封建社会进入鼎盛时期，泾河流域河道变迁也日趋纷杂。泾水在平原上“回圻溜纤”，河流涨溢次数增多，河道不时迁移，河旁沙洲渐多，泾河及其诸支流变迁较前代更为甚之。宋金元时期，泾水涨溢更加频繁，是明清大规模泛滥的先声。北宋发生的水灾远较唐代规模要大，泾水在下游下切，使秦代郑国渠和汉代白渠引水口高悬于泾水河床之上。《关中水利开发与环境》记载到“秦汉时代横贯泾洛之间的郑国渠到唐后期已经完全失去效用<sup>[33]</sup>，由于各河流下切严重，河床固定，很难围堰横绝，诸川引水渠口相应地也向上移动。”由此推断，由于河床固定，泾河下游河道在平原上摆动范围不大，主要以下切侵蚀为主，泾河泾阳一级阶地前缘 JYc 剖面底部洪水沉积形成的时间大约在北宋时期(公元 960 年)。JYc 剖面顶部洪水沉积形成的时间可由其下部的河漫滩相洪水沉积 JYa 剖面(图 1)形成的年代推得。根据实地调查，JYa 剖面顶部为 2003 年的洪水沉积，其下为 2003 年以前的洪水沉积，该剖面部分层位的洪水沉积年代可由历史文献记载并结合各层位粒度组成推得。我们推断该剖面厚度最大和粒度最粗的第 14 层为公元 1841 年特大洪水形成的沉积层，剖面底部大约对应公元 1680 年的洪水沉积。由此推得，JYa 剖面上部厚约 8 m 的一级阶地前缘 JYc 剖面顶部为公元 1680 年前发生的一次特大洪水沉积，根据文献记录，该沉积形成的年代为公元 1662

年，距今约 350 a。另外，我们对 JYc 剖面顶部样品也做了光释光测年分析，结果表明顶部为  $0.5 \pm 0.2$  ka BP 形成的洪水沉积。根据剖面粒度组成和历史文献记录推断的 JYc 剖面顶部洪水沉积形成年代在其范围内，应该是较为准确的。再次，根据历史时期洪水的统计<sup>[34]</sup>，该区较大的洪水发生周期一般为 10~20 a，因此，可以确定泾河泾阳一级阶地前缘 JYc 剖面是在公元 960—1662 年间持续 702 a 形成的洪水沉积。当然对于该剖面形成的确切年代，还需要以后测年工作的进一步验证。

#### 4.6 洪水与气候变化的关系

研究剖面位于泾河下游，因为泾河下游河段较短(只有 55 km)，下游汇水面积较小，因此，在泾河下游段地区产生的降雨一般不会造成大的洪水。泾河流域主要汇水区域在黄土高原泾河中上游地区，因此，泾河泾阳段洪水沉积记录的一般是黄土高原泾河流域的洪水或与下游段同时发生的洪水。泾河流域的主要支流有马莲河、蒲河、黑河、汭河等，泾河泾阳段洪水沉积主要反映的是这几条支流和主流范围内发生的洪水。洪水的发生具有地区性，因此，泾河泾阳段发生的洪水可以是整个流域的洪水，也可以是黄土高原泾河流域中上游大部分地区或小部分地区的洪水。持续时间较长的特大洪水和大洪水应该是泾河流域大部分地区发生的洪水造成的，小规模洪水应该是小部分地区发生的洪水造成的。

泾河流域发生洪水的原因有以下几种：1. 年降水量明显增加造成的洪水。这类洪水历时长，规模大，例如 2003 年渭河流域与泾河流域均发生特大洪水<sup>[34]</sup>，关中平原几次大的降雨过程共持续了近 50 d，这一年关中平原的降水量由正常的 600 mm 左右增加到了 880 mm。历史记载中持续降雨达 50 d 或更长的年份，当年的降水量至少超过了 880 mm。2. 年降水量没有增加，而是由短时暴雨造成的洪水。如明神宗万历四十四年(公元 1616 年)<sup>[35]</sup>，泾阳、淳化、三原，“夏六月二十二日，大雨如注五六日，泾阳县口子镇峪口水须臾而下，推激大石，如万雷声，两旁山为之动，直抵云阳、至三原、越龙桥而过，淹没百里，漂七十余村，白渠以北鲜有存者，数日平地水方尽。”这类洪水历时短暂，洪水规模有大有小，在泾河流域也较常见。3. 年降水量没有增加，而是由于降水集中、持续时间长造成的洪水，这类洪水规模较小。如清世祖顺治七年(公元 1650 年)，咸阳，“雨绵不绝”<sup>[36]</sup>。

#### 4.7 泾阳地区洪水变化特征

据历史文献资料统计,泾阳地区公元960—1662年有记载的洪涝灾害发生次数总计53次,平均每13.2 a发生一次。虽然这段时间内泾阳地区洪涝灾害达到53次,但是,研究剖面的洪水沉积记录仅有41次。这是因为降雨历时不长,小范围发生的轻度涝灾一般不会造成洪水灾害,所以,研究剖面没有这种等级的洪水沉积。降雨历时较长,局部范围发生的中度涝灾会在剖面底部形成洪水沉积,但随着底部沉积层的加厚,这种动力弱、规模小的洪水不能到达一定的高度,因此,研究剖面中部和上部的洪水沉积层不是这种等级的洪水形成的。降雨历时20~30 d,受灾范围较广的大涝灾发生时的洪水动力较强、规模较大、受灾较严重,这种等级的涝灾影响范围较大,因此研究剖面中部和上部保存了部分这种等级的洪水沉积。降雨历时在50 d以上、强度大,几乎波及整个泾河流域的特大涝灾发生时洪水动力最强、规模最大、影响范围最广。历史文献记载的公元960—1662年泾阳地区特大涝灾共8次,这种等级的洪水沉积在研究剖面中保存下来的最多。另外,历史文献记录的洪涝灾害,更多侧重于农田的受害,如果是中小范围的农田涝灾,不一定能在河谷内产生洪水,也就没有洪水沉积。由此可见,洪水沉积记录的洪水频次比历史文献记录的洪水频次要明显少。此外,我们研究的洪水沉积剖面厚度较大,对于洪水位不能到达一级阶地前缘顶面的较晚时期发生的洪水,在研究剖面中也缺少沉积记录。

## 5 结论

1. 泾阳泾河一级阶地前缘沉积物中元素Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V、Ba、Co和化合物 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 含量在剖面各层中变化明显,分辨率高,能够清晰地指示洪水以及降水量的变化。

2. JYc剖面分为41个沉积层,指示了41次大小不同的洪水和41个降水增多或暴雨发生的年份。

3. 泾阳泾河一级阶地前缘沉积物粒度细,元素Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V和化合物 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 含量高,元素Ba、Co含量低,能够指示沉积时洪水强度小,洪水位低,降雨量小。沉积物粒度粗,元素Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、Sc、Ti、Nb、Th、U、Rb、V和化合物 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 含

量低,元素Ba、Co含量高,能够指示沉积时洪水强度大,洪水位高,降雨量大。

4. JYc剖面表层元素Mn、Ni、Cu、Zn、Pb、Sc、Co、U、V、Ba的平均含量均高于中国和陕西土壤背景值,反映了现代人类活动对剖面表层的影响。

5. 在这41次洪水中,在同一次洪水沉积层内形成了两个以上薄层的粒度、元素成分的微小变化,指示多数期次的洪水发生时期常有两个以上洪峰出现。

6. 根据历史文献分析,可初步确定泾河泾阳段一级阶地前缘JYc剖面大致是在公元960—1662年间持续702 a形成的洪水沉积。

7. 泾河泾阳段洪水代表的是黄土高原泾河流域的洪水,特大洪水与大洪水来自整个泾河流域或泾河流域大部分地区,较小的洪水来自泾河流域小部分地区。泾河流域发生洪水的原因有3种:1. 年降水量明显增加造成;2. 年降水量没有增加,而是由短时暴雨造成;3. 年降水量没有增加,而是由于降水集中、持续时间长造成的洪水。

8. 泾河泾阳段JYc剖面的洪水沉积主要是由降雨历时较长、发生在局部范围的中度涝灾,降雨历时在20~30 d间、受灾范围较广的大涝灾,以及降雨历时在50 d以上、强度大、几乎波及整个泾河流域的特大涝灾形成的,降雨历时不长、小范围发生的轻度涝灾一般不会造成洪水灾害。

#### 参考文献(Reference)

- [1] Gao Yuzhong, Xing Junjiang, Wang Chunli, et al. Cause and forecast of mountain flood from rainstorm [J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(4): 65–67 [高煜中, 邢俊江, 王春丽, 等. 暴雨山洪灾害成因及预报方法[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 65–70]
- [2] Wang Xuxian, Du Jiwen, Wu Maifeng, et al. Situation analysis of rain, water and disaster for catastrophic flood and waterlogging in lower reaches of Weihe River in August 2003 [J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(3): 44–50 [王旭仙, 杜继稳, 武麦凤, 等. “03.08”渭河下游特大洪涝灾害的“三情”分析[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(3): 44–50]
- [3] Yang Xiaoyan, Xia Zhengkai, Cui Zhijiu. Holocene extreme floods and its sedimentary characteristic in the upper reaches of the Yellow River [J]. Quaternary Sciences, 2005, 25(1): 80–85 [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]
- [4] Zhou Kuiyi. Large scale human activities and flood calamities [J]. Quaternary Sciences, 1999, 19(5): 423–427 [周魁一. 大规模人类活动与洪水灾害——从历史到现在[J]. 第四纪研究, 1999, 19(5): 423–427]
- [5] Zhu Cheng, Ma Chunmei, Wang Huilin, et al. The paleoflood sedi-

- ment characteristic study of Yuxi Site - T0403 in Three Gorges of Changjiang River [J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53: 1 - 16 [朱诚, 马春梅, 王慧麟, 等. 长江三峡库区玉溪遗址 T0403 探方古洪水沉积特征研究[J]. 科学通报, 2008, 53: 1 - 16]
- [6] Wang Ruobai. Northward removal channels of the Yellow River and Prehistoric disaster event [J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25 (3): 294 - 298 [王若柏. 黄河北流河道变迁与史前的灾害事件[J]. 地理科学, 2005, 25(3): 294 - 298]
- [7] Li Maotian, Ding Xia, Chen Zhongyuan. Evolution and developing trend of the Jiujiang River course of the Yangtze River in recent forty years [J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(1): 76 - 82 [李茂田, 丁霞, 陈中原. 40 年来长江九江河段河道演变及其趋势预测[J]. 地理科学, 2004, 24(1): 76 - 82]
- [8] Xia Zhengkai, Wang Zanhong, Zhao Qingchun. The abnormal flood events and climatic background of the central plain in China in 3 500 a BP [J]. Science in China: Series D, 2003, 33(9): 881 - 888 [夏正楷, 王赞红, 赵青春. 我国中原地区 3 500 a BP 前后的异常洪水事件及其气候背景[J]. 中国科学 D 辑, 2003, 33(9): 881 - 888]
- [9] Zhang Qiang, Yang Dayuan, Shi Yafeng, et al. Flood events since 5000 a BP recorded in natural sediments of Zhongba Site, Chuanjiang River [J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(6): 715 - 720 [张强, 杨达源, 施雅风, 等. 川江中坝遗址 5000 年来洪水事件研究[J]. 地理科学, 2004, 24(6): 715 - 720]
- [10] Zhu Cheng, Yu Shiyong, Lu Chuncheng. The study of holocene environmental archaeology and extreme flood disaster in the three gorges of the Changjiang River and the Jiangnan Plain [J]. Acta Geographica Sinica, 1997, 52(3): 268 - 278 [朱诚, 于世永, 卢春成. 三峡及汉江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]
- [11] 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(11): 1658 - 1669 [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——以周原凉水河谷地为例[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(11): 1658 - 1669]
- [12] Wang Jun, Gao Hongshan, Pan Baotian, et al. Pleoflood sediment of Shagou River and its response to the climate change during early Holocene [J]. Scientia Geographica Sinica, 2010, 30(6): 943 - 949 [王军, 高红山, 潘保田, 等. 早全新世沙沟河古洪水沉积及其对气候变化的响应[J]. 地理科学, 2010, 30(6): 943 - 949]
- [13] Gu Jing, Zhou Jie, Zhao Jingbo, et al. Flood sediments in floodplain and flood events of Jingyang Reach in Jing River [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(3): 561 - 571 [顾静, 周杰, 赵景波, 等. 泾河泾阳段高漫滩沉积与洪水事件[J]. 沉积学报, 2011, 29(3): 561 - 571]
- [14] Vishwas S Kale, Sheila Mishra, Victor R Baker. A 2000 - Year Palaeoflood record from Sakarghat on Narmada, Central India [J]. Journal Geological Society of India, 1997, 50: 283 - 288
- [15] C Gao, S Boreham, R C Preece, et al. Fluvial response to rapid climate change during the Devensian (Weichselian) Lateglacial in the River Great Ouse, southern England, UK [J]. Sedimentary Geology, 2007, 202: 193 - 210
- [16] Victor R. Baker. Palaeoflood hydrology in a global context [J]. Catena, 2006, 66: 161 - 168
- [17] Kyung - Duk Kim, Jun - Haeng Heo. Comparative study of flood quantiles estimation by nonparaetric models [J]. Journal of Hydrology, 2002, 260: 176 - 193
- [18] Rittenour T M. Luminescence dating of fluvial deposits: applications to geomorphic, palaeoseismic and archaeological research [J]. Boreas, 2008, 37: 613 - 615
- [19] Thomas P J, Jain M, Juyal N, et al. Comparison of single - grain and small - aliquot OSL dose estimates in < 3000 year old river sediments from South India [J]. Radiation Measurements, 2005, 39: 457 - 469
- [20] Duller G A T. Single-grain optical dating of Quaternary sediments: why aliquot size matters in luminescence dating [J]. Boreas, 2008, 37: 589 - 612
- [21] Olley J, Wasson R. Murrumbidgee catchment [G] // Abstract presented at LUCIF Workshop 20 - 22 April 2000, Germany.
- [22] Walling D E, Owens P N, Leeks G J L. The role of channel and floodplain storage in the suspended sediment budget of river Ouse, York shire, UK [J]. Geomorphol, 1998, 22: 225 - 242
- [23] Pecs M. Loess is not just the accumulation of the dust [J]. Quaternary International, 1990, 7/8: 1 - 21
- [24] Chen Jun, Li Junfeng, Chou Gang, et al. The geochemical study of the loess chemical weathering degree in Luochuan, Shaanxi Province [J]. Science in China: Series D, 1997, 27(5): 531 - 536 [陈骏, 李骏峰, 仇纲, 等. 陕西洛川黄土化学风化程度的地球化学研究[J]. 中国科学 D 辑, 1997, 27(5): 531 - 536]
- [25] Liu Yingjun. Element Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1984: 12 - 19, 50 - 101 [刘英俊. 元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1984: 12 - 19, 50 - 101]
- [26] Zhang Hucai. The characteristic and theoretical basis of element supergene geochemistry [M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1997: 2 - 18 [张虎才. 元素表生地球化学特征及理论基础 [M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1997: 2 - 18]
- [27] Zhao Jinhui, Wang Dan. Geochemical characteristics of the loess deposit at Yan'an and its implication to changes of East Asia summer monsoon during the past 130 ka [J]. Geochimica, 2004, 33(5): 495 - 500 [赵锦慧, 王丹. 延安地区黄土堆积的地球化学特征与最近 13 万年东亚夏季季风气候的波动[J]. 地球化学, 2004, 33(5): 495 - 500]
- [28] China Environment Protection Agency, the Total Station of China Environment Monitoring. Chinese soil element background values [M]. Beijing: China Environment Science Press, 1990: 87 - 90, 330 - 496 [国家环境保护局, 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 87 - 90, 330 - 496]
- [29] Zhao Jingbo, Yu Yaochuang, Zhou Qi. A study on great floods recorded by sediments on the high alluvial flat of Weihe River in Weinan, Shaanxi [J]. Geological Review, 2009, 55(2): 231 - 241

- [赵景波, 郝耀闯, 周旗. 渭河渭南段高漫滩沉积记录的洪水研究[J]. 地质论评, 2009, 55(2): 231–241]
- [30] Jinghui Channel Records Drafting Group. Jinghui Channel Records [M]. Xi'an: Sanqin Publishing House, 1991: 42 [泾惠渠志编写组. 泾惠渠志[M]. 西安: 三秦出版社, 1991: 42]
- [31] [Administration bureau of Shann'xi Province. Jing Water Diversion stele records in the past Dynasties [G]. Xi'an: Tourism Publishing House of Shann'xi, 1992: 21 [陕西省泾惠渠管理局. 历代引泾碑文集[G]. 西安: 陕西省旅游出版社, 1992: 21]
- [32] Wang Yuanlin. The study of the natural environmental change in Jing River and Luo River [M]. Beijing: Zhonghua Book Company, 2005: 120–130 [王元林. 泾洛流域自然环境变迁研究[M]. 北京: 中华书局, 2005: 120–130]
- [33] Li Lingfu. Exploitation and environment of Guanzhong water conservancy [M]. Beijing: People's Publishing House, 2004: 173–174 [李令福. 关中水利开发与环境[M]. 北京: 人民出版社, 2004: 173–174]
- [34] Zhao Jingbo, Wang Na, Long Tengwen. Research on flood disasters of Jing River valley in Tang Dynasty [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2008, 28(3): 109–113 [赵景波, 王娜, 龙腾文. 唐代泾河流域洪涝灾害研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(3): 109–113]
- [35] Chinese Local Records Series. The History of Jingyang County in Shaanxi Province [M]. Chengdu: Chenwen Publishing House, 1969: 137–142 [中国地方志丛书. 陕西省泾阳县志[M]. 成都: 中国地方志出版社, 1969: 137–142]
- [36] Yuan Lin. Famine History of the Northwest in China [M]. Lanzhou: People's Publishing House of Gansu, 1994: 676–951 [袁林. 西北灾荒史[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1994: 676–951]

## Element Geochemical Characteristics and the Flood Changes at the Holocene Profiles in Jinghe Valley of Jingyang

GU Jing<sup>1</sup>, ZHOU Jie<sup>2</sup>, HUANG Heqing<sup>1</sup>, ZHAO Jingbo<sup>3</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources, CAS, Beijing 100101, China;

2. Institute of Water and Soil Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China;

3. College of Tourism and Environment Science, Shannxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:** Based on the grain size and geochemical element from the 285 samples taken in the front of the first terrace at the Jinghe valley of Jingyang, the relationship between the element geochemical characteristics and the flood changes at the Holocene was studied. The results show that the content of Mn, Ni, Cu, Zn, Ga, Pb, Sc, Ti, Nb, Th, U, Rb, V, Ba, Co, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and K<sub>2</sub>O change obviously in the profile. Each component changes obviously in the entire profile, which can clearly reflect the variations of flood and precipitation with high resolving power. The profile may be divided into 41 sediment layers, indicating 41 flood events at different scales and 41 years with much precipitation. The finer grain size is, the higher contents of Mn, Ni, Cu, Zn, Ga, Pb, Sc, Ti, Nb, Th, U, Rb, V, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and K<sub>2</sub>O are and the lower content of Ba, Co are, which indicates small flood intensity, low flood level and less precipitation in deposition. In contrast, the coarser grain size is, the lower contents of Mn, Ni, Cu, Zn, Ga, Pb, Sc, Ti, Nb, Th, U, Rb, V, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and K<sub>2</sub>O are and the higher content of Ba, Co are, which indicates high flood intensity, high flood level and more precipitation at deposition. The floods of Jingyang reach at Jing River represent the floods of Jing River basin in Loess Plateau. Catastrophic floods and big floods came from the whole drainage basin of the Jing River or the large parts of the basin. Moderate floods came from the small parts of the basin. There are three causes to cause flooding in Jing River, i.e. drastic increase in annual precipitation, episodic rainstorm without increase in annual precipitation and concentrative and longtime rainfall without increase in annual precipitation. The flood sediments in the section of JYc were supposed to be resulted from the moderate flooding disaster, big flooding disaster and catastrophic disaster.

**Key words:** the first terrace front palaeoflood sediment; flood scale; flood causes; flood variation; Jingyang reach at Jing River