

科尔沁沙地西部响水河悬移质泥沙粒度分析

朱孟娜, 韩广, 刘宇慧, 肖涛, 王勇

(湖南师范大学 资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410081)

摘要: [目的] 对科尔沁沙地西部响水河的悬移质泥沙粒度特征进行研究, 以便更好地认识该河流泥沙特征及侵蚀产沙规律, 为沙漠区河流—沙丘相互作用研究提供基础素材与例证。[方法] 通过野外实地考察, 选择科尔沁沙地西部响水河 3 个典型河段对河水中的悬移质进行采样, 然后进行室内激光粒度仪测试与分析。[结果] (1) 在上游河段 I 和下游河段 III 处, 河水侧蚀弯道凹岸流动沙丘基部, 由其上游断面至下游断面泥沙粒径变细, 分选变差。(2) 河段 II 河水侧蚀由 Q_3 河湖相地层构成的陡坡, 弯道环流对凹岸的冲刷作用较明显, 泥沙粒径由其上游断面向下游断面变粗, 分选变好。(3) 悬移质泥沙粒度呈现从上游至下游粒径显著变粗, 分选变好的趋势。[结论] 该河的水源主要是其南侧石质残丘区泉水和河谷沿线流动沙丘或 Q_3 河湖相地层的侧向渗出水, 随着沿途流动沙丘数量增加, 集水面积扩大, 流速和流量显著增加, 河水的挟沙和冲刷能力随之增强; 河流上、下游河段的悬移质主要来自被侵蚀的沙丘基部, 中游河段的悬移质主要来自凹岸坍塌的 Q_3 地层砂。

关键词: 响水河; 悬移质泥沙; 粒度组成; 粒度参数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)05-0016-06

中图分类号: TV141

文献参数: 朱孟娜, 韩广, 刘宇慧, 等. 科尔沁沙地西部响水河悬移质泥沙粒度分析[J]. 水土保持通报, 2017, 37(5): 16-21. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.003; Zhu Mengna, Han Guang, Liu Yuhui, et al. Grain-size characteristics of suspended load sediments in Xiangshui River of Western Korqin sandy land [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(5): 16-21. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.003

Grain-size Characteristics of Suspended Load Sediments in Xiangshui River of Western Korqin Sandy Land

ZHU Mengna, HAN Guang, LIU Yuhui, XIAO Tao, WANG Yong

(College of Resources and Environmental Sciences, Hunan Normal University, Changsha, Hunan 410081, China)

Abstract: [Objective] The grain-size characteristics of suspended load sediments of the Xiangshui River situated in the western Korqin sandy land were investigated in order to better understand the characteristics of sediments in desert river and erosion sediment regularities, and to provide basic information and examples for the study of the interaction between rivers and sand dunes in the desert area. [Methods] Through field investigation, the suspended water samples of three typical sections in the Xiangshui River situated in the western Korqin sandy land were collected, and then the grain-size characteristics of sediments were studied in laboratory. [Results] (1) At the river section I and section III, as laterally the mobile dunes on the concave bank of the curved river channel are eroded, the grain size of the sediments becomes thin, and sorting tends to be poorer. (2) At the section II, as laterally the Q_3 fluvio-lacustrine strata of the steep slope is eroded, the effect of bend circulation scouring the concave bank is obvious and the silt grain size becomes coarser and sorting. (3) From the upper reaches to the lower reaches of the river, the grain size of silts in the river is significantly coarser, and the sorting becomes better. [Conclusion] The sources of the river derive mainly from the

收稿日期: 2016-05-07

修回日期: 2016-11-24

资助项目: 国家自然科学基金项目“西辽河平原河岸沙丘带形成演化模式的研究”(41271025); 湖南省重点学科(地理学)建设项目(2012001)

第一作者: 朱孟娜(1991—), 女(汉族), 湖南省双峰县人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail: zhumsd@163.com。

通讯作者: 韩广(1964—), 男(汉族), 内蒙古自治区包头市人, 博士, 教授, 主要从事地貌学及水土保持等方面的研究。E-mail: hanguang@hnnu.edu.cn。

springs of the southern rocky denuded mountains and hills, and the lateral seepages of mobile dunes and Q_3 sandy fluvio-lacustrine strata along the river valley. With the whole drainage area increases, flow velocity and flow flux are continuously augmenting and river erosion and sand carrying capacity are enhancing due to the increasing number of mobile dunes along the stream. The sediments of the upper and lower reaches of the river coming from the base of the sand dunes are eroded by the water and the sediments of the middle reaches of the river derived from the Q_3 fluvio-lacustrine strata in the collapse of the concave bank.

Keywords: Xiangshui River; suspended load sediments; grain size composition; grain size parameter

粒度作为各类沉积物的重要特征之一,被广泛用于分析搬运营力、搬运方式、沉积环境、沉积过程、物源等的分析与判别,是沉积物特征分析中最基本、最简单且不可缺少的内容^[1]。河流沉积物粒度特征反映了水动力的状态与强度、流域侵蚀及输沙量的大小、指示区域气候的干湿变化等^[2]。通过对泥沙粒度特征的研究,对于探讨沙物质来源、反映流域物质组成相关特性、反射水动力条件、以及揭示泥沙的冲、输、淤行为等都具有十分重要的意义^[3]。目前,对河流沉积物粒度特征的研究已经取得丰硕的成果,如:河流沉积物粒度特征对水动力的响应,以及对水动力环境的指示^[4-6];泥沙粒度特征分析与计算方法研究^[7-9];河流泥沙粒级级配时空变化规律研究^[10-11];河流悬移质泥沙粒度与流量、含沙量关系的研究^[12-14];沉积特征与沉积物输运趋势研究^[15-16];河流沉积物粒度特征与沉积环境的研究^[17]等。在众多研究中,以黄河、长江河口及三角洲泥沙粒度特征的研究居多,对沙漠(沙地)中的河流泥沙粒度特征方面的研究还非常有限。

本文拟采取野外考察和室内分析方法,对科尔沁沙地西部响水河3个典型河段河水中的泥沙进行系统采样,并对其粒度特征进行分析,以期能更好地认识该河流沉积物特征及变化规律,河水与河岸相互作用的方式与强度,为沙漠河流泥沙特征和侵蚀产沙规律提供基础素材与例证。

1 区域概况

响水河位于科尔沁沙地的西缘、内蒙古自治区赤峰市的翁牛特旗中北部,地理坐标为 $43^{\circ}03'—43^{\circ}15'N$, $119^{\circ}15'—119^{\circ}21'E$,属于西拉木伦河南侧一条支流,流域的径流年内分配主要集中在6—8月。6—8月经流量所占比例分别为12.2%,25.3%,16.7%。9—11月经流量随降水量的减少而骤减,径流量比例为3.5%~6.5%。12—2月由于河水结冰,径流分配比例都不足1%,3,4月经流量受凌汛影响呈迅速增加趋势,流域径流的年际变化较为强烈^[18]。在此次野外调查中,对研究区3个典型河段的瞬时流量、平均及最大流速、集水面积进行了测量,其中,河段I、

河段II、河段III的瞬时流量分别为0.34,0.51,2.13 m^3/s ,平均流速分别为0.25,0.28,0.45 m/s ,最大流速分别为0.5,0.6,0.9 m/s ,集水面积分别为274.83,303.33,764.89 km^2 。其上游少郎河近年来年内大部分时间断流,因而响水河主要靠南侧石山区泉水和沿途沙层渗出水补给,常年不干。沿途两岸以流动沙丘、半固定以及固定沙丘、丘间低地和平沙地等地貌类型为主。

气候属于温带半干旱大陆性季风气候,年均气温 $6.2^{\circ}C$,年平均降雨量为284.4 mm ,降雨多集中在6—8月,年蒸发潜力2000~2500 mm 。常见植物有榆(*Ulmus pumila*)、小黄柳(*Salix gordejewii*)、乌丹蒿(*Artemisia wudanica*)和小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)等,主要土壤类型为栗钙土、草甸土、风成土^[19]等。该区的生态环境比较脆弱,属于典型的农牧交错带地区。

2 研究方法

2.1 样品采集

2015年7月26日至28日在对响水河的野外调查中,选取了3个典型河段的6个断面进行了系统考察,选用150 ml 的塑料采样瓶对各断面进行悬移质水样的采集。其中,在较浅河床处仅采集表层的悬移质水样,在较深处则采集表层、中层、底层的悬移质水样,共采集悬移质水样29个。其中,河段I上游和下游断面各取3个水样,河段II上游和下游断面分别取3和4个水样,河段III上游和下游断面各取7和8个水样。

2.2 粒度分析

所采集水样的粒度测试采用标准的处理方法:将水样充分静置沉淀,用吸管吸出上部清水,直至剩余最后一层水膜;然后将浓缩后的水样,倒入烘杯内,放入烘箱内进行烘干处理;冷却后,将沙样取出;最后用Microtrac S 3500型激光粒度仪对取出的沙样进行粒度测试。

对于试验数据的处理方面,有关粒级的划分标准,本文按照《河流泥沙颗粒分析规程》(SL 42-92)分

级标准进行,即:黏粒(<0.004 mm)、粉砂($0.004\sim 0.062$ mm)、砂粒($0.062\sim 2.0$ mm)。平均粒径(M_z)、标准偏差(σ)、偏度(SK)和峰度(KG)等粒度参数值是利用通用程序 MATLAB 的函数功能进行百分位数求解,根据 $\Phi = -\log_2 d$ (d 为泥沙粒径, mm),再采用 Folk and Ward 公式计算粒度参数。本文中采用的粒度参数分级标准如表 1 所示。

表 1 Folk and Ward 粒度参数分级标准表(Φ 值)

分选程度(σ)		偏度(S_K)		峰度(K_G)	
分选程度	范围	偏度	范围	峰度	范围
分选极好	<0.35	极负偏	$-1\sim-0.3$	很宽平	<0.67
分选很好	$0.35\sim 0.5$	负偏	$-0.3\sim-0.1$	宽平	$0.67\sim 0.9$
分选较好	$0.5\sim 0.71$	近对称	$-0.1\sim 0.1$	中等	$0.9\sim 1.11$
分选中等	$0.71\sim 1$	正偏	$0.1\sim 0.3$	尖窄	$1.11\sim 1.5$
分选较差	$1\sim 2$	极正偏	$0.3\sim 1$	很尖窄	$1.5\sim 3$
分选很差	$2\sim 4$			极尖窄	>3
分选极差	>4				

2.3 计算方法

为了更好地分析泥沙在河流中的搬运与沉降情况,了解河水掏蚀弯道凹岸流动沙丘基部与河谷东侧陡坡的 Q_3 河湖相地层之后,泥沙的自由沉降速度以及河水搬运泥沙物质输移距离的远近。对于沉降速度公式的选取,通过假设某种流型,并用相应公式计算出 u_t ,再校核雷诺数 Re 的值,从而判断假设流型是否正确。通过计算,发现沉降处位于过渡区(Allen 区),因此,采用过渡区沉降速度公式,即 Allen 公式来表示^[20]:

$$u_t = \left[\frac{4g^2(\rho_p - \rho)^2}{225 \cdot \rho \cdot \mu} \right]^{1/3} \cdot d_p$$

式中: u_t ——泥沙颗粒的沉降速度(m/s); ρ_p 、 ρ ——泥沙颗粒与水的密度(kg/m^3); g ——重力加速度

(m/s^2); μ ——水的运动黏滞性系数($\text{Pa} \cdot \text{s}$); d_p ——泥沙的粒径(mm)。

3 结果与分析

3.1 河段 I 粒度组成及特征

河段 I 上游断面 I_1 的泥沙粒度组成中,粉砂的含量最高,平均含量为 66.20%;其次为砂粒含量,平均值为 27.49%;黏粒含量最少,平均为 6.31%。下游断面 I_2 泥沙粒径以粉砂为主,平均含量为 72.77%;其次为砂粒,平均含量为 22.83%;黏粒含量最少,平均含量仅为 4.41%(表 2)。可见,上游断面 I_1 与下游断面 I_2 的泥沙级配均以粉砂为主,但下游断面 I_2 的粉砂含量较上游断面 I_1 高,其他粒级含量均偏低,说明下游断面 I_2 的粉砂含量最为显著,细粒级泥沙沉积较多,而砂粒等较粗粒级的泥沙含量比上游断面 I_1 少,上游断面 I_1 至下游断面 I_2 泥沙粒径变细,以粉砂为主,砂粒次之。上游断面 I_1 泥沙的平均粒径介于 $0.018\sim 0.037$ mm,平均值为 0.028 mm;标准偏差介于 $1.666\sim 2.009 \Phi$,平均值为 1.888Φ ,属于分选较差至分选差;偏度均为近对称;峰度介于 $0.732\sim 0.977$,平均值为 0.856 ,其中 67%属于宽峰态,33%属于中等峰态。下游断面 I_2 泥沙的平均粒径介于 $0.023\sim 0.028$ mm,平均值为 0.025 mm;标准偏差介于 $1.693\sim 1.808 \Phi$ 之间,平均值为 1.769Φ ,属于分选较差;偏度均为负偏;峰度介于 $0.912\sim 1.059$,平均值为 0.964 ,全部属于中等峰态(表 2)。与上游断面 I_1 相比,下游断面 I_2 的平均粒径变细;标准偏差增大;偏度由近对称趋向于负偏;峰度由以宽峰态为主,变为中等峰态的趋势。表明由上游断面 I_1 至下游断面 I_2 ,泥沙粒径变细,以细组分为主,分选性也变差。

表 2 河段 I 泥沙粒度组成及粒度参数

河段 I	粒级/%			粒度参数				
	黏粒 <0.004 mm	粉砂 $0.004\sim 0.062$ mm	砂粒 $0.062\sim 2.0$ mm	平均粒径 M_z/mm	标准偏差 σ/Φ	偏度 S_K	峰度 K_G	
I_1	最小值	4.72	58.51	14.11	0.018	1.666	-0.030	0.732
	最大值	8.21	77.68	36.77	0.037	2.009	0.025	0.977
	平均值	6.31	66.20	27.49	0.028	1.888	-0.010	0.856
I_2	最小值	4.31	70.19	21.23	0.023	1.693	-0.184	0.912
	最大值	4.58	74.46	25.48	0.028	1.808	-0.126	1.059
	平均值	4.41	72.77	22.83	0.025	1.769	-0.150	0.964

由各粒级百分含量及粒度参数均表明,河段 I 上游断面 I_1 至下游断面 I_2 的泥沙粒径变细,分选变差。这是由于上游断面 I_1 的流速较大,有利于较粗

泥沙颗粒在此沉积;而下游断面 I_2 ,河道分汊,流速及流量均较上游变小,在弱水动力条件下,粗粒级泥沙无法被搬运,细粒级泥沙被搬运沉积,分选变差。

河水经弯道凹岸冲刷流动沙丘基部后,泥沙粒径变细,这是因为下游河道展宽变浅,侧向环流不明显,水流无法将冲刷后的泥沙带入凸岸沉积,而是推动其顺水流沿同侧河岸向下移动,由于该河段下游流速变小,流水的搬运能力减弱,加之下游断面离弯道凹岸冲刷处约 25 m 左右,根据 Allen 公式计算可知,在下游弱水动力条件下,泥沙仅能顺水流向下搬运 3 m 左右的距离,可见,河水侧蚀携带的沙粒在到达下游断面之前就已全部沉积完毕。

3.2 河段 II 粒度组成及特征

河段 II 上游断面 II₁ 泥沙粒径以粉砂为主,平均含量为 74.15%;其次为砂粒,平均含量为 19.97%;黏粒含量最少,平均为 5.88%。下游断面 II₂ 泥沙粒径以粉砂为主,平均含量为 59.20%;其次为砂粒平均含量为 37.35%;黏粒平均含量仅为 3.45%(表 3)。由上可知,河段 II 上、下游断面泥沙的粒级级配主要

以粉砂为主,黏粒含量较低,上游断面 II₁ 的黏粒及粉砂含量高于下游断面 II₂,而砂粒含量低于下游断面 II₂,下游断面 II₂ 的泥沙较上游断面 II₁ 粗。

上游断面 II₁ 泥沙的平均粒径介于 0.020~0.025 mm,平均值为 0.023 mm;标准偏差介于 1.511~1.863 Φ 之间,平均值为 1.675 Φ ,属于分选较差;偏度均为近对称;峰度介于 0.971~1.001,平均值为 0.987,全部属于中等峰态。下游断面 II₂ 泥沙的平均粒径介于 0.032~0.047 mm,平均值为 0.037 mm;标准偏差平均值为 1.748 Φ ,介于 1.581~2.056 Φ 之间,属于分选较差至分选差;偏度为近对称至极正偏;峰度介于 0.738~0.882,平均值为 0.829,全部属于宽峰态(表 3)。可见,上游断面 II₁ 至下游断面 II₂,平均粒径变粗;分选变好;偏度由近对称趋向于正偏;峰度由中等峰态转变为宽峰态,说明上游断面 II₁ 至下游断面 II₂ 泥沙粒径变粗,以粗组分为主,分选变好。

表 3 河段 II 泥沙粒度组成及粒度参数

河段 II	粒级/%			粒度参数				
	黏粒 <0.004 mm	粉砂 0.004~0.062 mm	砂粒 0.062~2.0 mm	平均粒径 M_z /mm	标准偏差 σ/Φ	偏度 S_K	峰度 K_G	
II ₁	最小值	3.43	68.41	16.70	0.020	1.511	-0.019	0.971
	最大值	7.25	77.99	24.63	0.025	1.863	0.073	1.001
	平均值	5.88	74.15	19.97	0.023	1.675	0.021	0.987
II ₂	最小值	2.20	50.56	31.68	0.032	1.581	-0.009	0.738
	最大值	4.97	65.07	46.05	0.047	2.056	0.312	0.882
	平均值	3.45	59.20	37.35	0.037	1.748	0.124	0.829

综合以上分析可知,河段 II 上游断面 II₁ 至下游断面 II₂ 泥沙粒径变粗,分选变好。这是由于上游河道窄而深,流速较大,沉积了较多的粉砂和极细砂;下游断面 II₂ 处,流速和流量均变大,水流流经由 Q₃ 河湖相地层构成的陡坡,发生明显的冲刷和凹岸坍塌,经弯道后泥沙粒径变粗,主要是因为侵蚀东岸 Q₃ 松散沙的河段 II,流速增大,侧蚀强烈,河水冲刷陡坡坡脚,使沿岸陡坡上大量较粗的 Q₃ 地层砂发生坍塌,顺坡进入河道,同时,由于下游断面 II₂ 离凹岸坍塌处太近,仅为 11 m 左右,根据 Allen 公式可知,河水冲刷凹岸携带的 Q₃ 沙能顺水流向下搬运 8 m 左右,致使较粗的 Q₃ 地层砂没有经过分选便就近就地在下游断面沉积下来,因此,经弯道凹岸冲刷后的下游断面泥沙粒径变粗,分选较好。

3.3 河段 III 粒度组成及特征

河段 III 上游断面 III₁ 泥沙粒径以砂粒为主,平均含量为 49.57%;粉砂平均含量与砂粒平均含量相差不大,为 45.98%;黏粒平均含量较少,为 4.45%。下

游断面 III₂ 泥沙粒径以粉砂为主,平均含量为 49.74%;其次为砂粒,平均含量为 45.49%;黏粒最少平均含量为 4.77%(表 4)。综上可知,河段 III 上、下游断面泥沙的粒级级配分别以砂粒、粉砂为主,黏粒、粉砂及砂粒的含量相差不大,但总体来看,下游断面 III₂ 的黏土和粉砂含量均较上游断面 III₁ 偏高,而相对较粗的砂粒含量低于上游断面 III₁,因此,下游断面 III₂ 的泥沙较上游断面 III₁ 细。

上游断面 III₁ 泥沙的平均粒径介于 0.025~0.116 mm,平均值为 0.050 mm;标准偏差介于 1.443~1.979 Φ 之间,平均值为 1.775 Φ ,均属于分选较差;偏度为正偏至极正偏;峰度介于 0.804~1.354,平均值为 0.972,57%属于宽峰态,14%属于中等峰态。下游断面 III₂ 泥沙的平均粒径介于 0.026~0.081 mm,平均值为 0.045 mm;标准偏差介于 1.667~2.100 Φ ,平均值为 1.912 Φ ,属于分选较差至分选差;偏度为近对称至极正偏;峰度介于 0.743~0.929,平均值为 0.830,75%属于宽峰态,25%属于

中等峰态(表 4)。与上游断面Ⅲ₁相比,下游断面Ⅲ₂的平均粒径变细;标准偏差增大,分选变差;偏度由极

正偏趋向于正偏;峰度由中等峰态转变为宽峰态。上游断面Ⅲ₁至下游断面Ⅲ₂泥沙粒径变细,分选变差。

表 4 河段Ⅲ泥沙粒度组成及粒度参数

河段Ⅲ	粒级/%			粒度参数				
	黏粒 <0.004 mm	粉砂 0.004~0.062 mm	砂粒 0.062~2.0 mm	平均粒径 M_z/mm	标准偏差 σ/Φ	偏度 S_K	峰度 K_G	
Ⅲ ₁	最小值	1.51	19.56	26.04	0.025	1.443	0.173	0.804
	最大值	7.27	66.69	78.93	0.116	1.979	0.586	1.354
	平均值	4.45	45.98	49.57	0.050	1.775	0.317	0.972
Ⅲ ₂	最小值	2.53	33.29	27.87	0.026	1.667	-0.082	0.743
	最大值	7.79	64.34	64.18	0.081	2.100	0.523	0.929
	平均值	4.77	49.74	45.49	0.045	1.912	0.222	0.830

综合以上分析可知,河段Ⅲ上游断面Ⅲ₁到下游断面Ⅲ₂泥沙粒径变细,分选变差。这是由于该河段上游处为迎水面的加速区,水深较大,且流速较快,水流的挟沙能力强,将黏粒和粉砂等较细粒径的泥沙携带至下游,而沉积下较粗粒径的泥沙颗粒,同时,下游断面Ⅲ₂处水深较浅,河道较上游略宽,流速变缓,在弱水动力条件下,该处的泥沙粒级较细,分选变差。

河水侧蚀凹岸流动沙丘基部,下游断面Ⅲ₂距凹岸冲刷处约为 30 m 左右,根据 Allen 公式计算得知,泥沙能顺水流向下搬运 22 m 左右,搬运距离较远,将上游处的悬移质泥沙带入下游断面Ⅲ₂处,凹岸冲刷结果在下游反映较为明显。

3.4 不同河段粒度特征的对比

由泥沙粒级百分含量可知(图 1),3 个河段的泥沙粒径均以粉砂含量最高,表明粉砂是最主要和最稳定的组成成分;黏粒和粉砂含量均由河段Ⅰ向河段Ⅲ递减;与之相反,砂粒含量由河段Ⅰ向河段Ⅲ递增;河段Ⅲ的砂粒含量最大,河段Ⅰ的黏粒和粉砂含量最高,说明河流泥沙粒径总体上由河段Ⅰ向河段Ⅲ逐渐增大,粗组分泥沙含量不断增加。从泥沙粒度参数来看(图 2),河段 1 至河段 3 的平均粒径分别介于 0.018~0.037,0.020~0.047 和 0.025~0.116 mm,其分布规律与泥沙粒径级配基本一致,都是由河段Ⅰ至河段Ⅲ逐渐变粗;分选性由河段Ⅰ向河段Ⅲ逐渐变好,说明粒径分布越集中;同样,偏度也由河段Ⅰ至河段Ⅲ递增,由近对称变为正偏,反映了粗颗粒泥沙的增加;峰度由中等峰态趋向宽峰态。

泥沙粒度特征由于水动力条件、周围环境、植被状况、河道特性等因素的变化而变化。由于黏土颗粒一旦随流水起动,便以悬浮状态随水流向下,差别不大,而粉砂、砂粒等泥沙颗粒的含量随着以上各个因素的不同,而呈现出较大的差别。

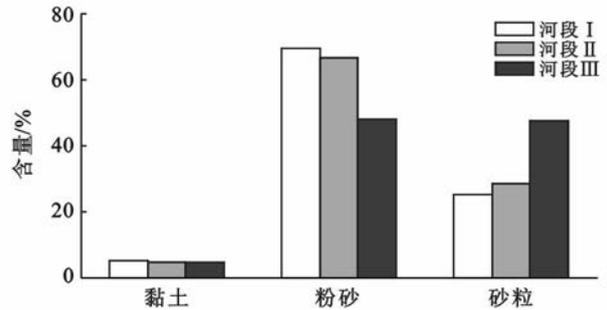


图 1 不同河段泥沙的粒度组成

总体来看,由上游河段Ⅰ至下游河段Ⅲ河水的泥沙粒径显著变粗,分选变好。究其原因,上游河段Ⅰ河道分叉,流速及流量均较小,水流平缓,冲刷作用相对较弱,并且由于该河的水源主要是南侧石质残丘区泉水和河谷沿线流动沙丘或 Q₃ 河湖相地层的侧向渗出水,上游河段流动沙丘分布少,使得上游流速和流量相对较小,分别为 0.5 和 0.34 m³/s,水动力条件较弱,在此沉积环境下,细沙容易发生沉积,泥沙粒径较小;中游河段Ⅱ处有多个弯道,河道窄而深,水流较急,加之 Q₃ 河湖相地层的侧向渗出水,流速和流量较上游河段Ⅰ增大至 0.6 和 0.51 m³/s,河道侵蚀冲刷现象明显,并发生凹岸坍塌,使得较粗的 Q₃ 砂在下游断面淤积,导致泥沙粒径变粗;下游河段Ⅲ随着沿途流动沙丘数量增加,集水面积由河段Ⅰ处的 274.83 km² 加大至河段Ⅲ的 764.89 km²,流速和流量均显著增加,分别为 0.9 和 2.13 m³/s,均达到最大值(图 2),河水的携沙和冲刷能力显著增强,下游河段Ⅲ泥沙粒径明显粗化,较中游河段Ⅱ泥沙粒径增大更明显。

河水侧蚀携带的沙粒,由于河水较浅,侧向环流不明显,大部分是顺水流向同岸下游输送,当条件改变(流速变缓、水量较小、沙粒较粗等)时,水流的搬运能力减弱,沙粒便发生沉积。当发生中到大雨时,地

表径流发育,河水水位、流速及流量迅速增加,使得沙丘基部和陡坡 Q_3 松散地层砂受到强烈的侵蚀和搬运,从而为下游河段提供大量的泥沙颗粒,粗颗粒泥沙便随水流向下输移,流速与流量越大,粗沙粒被冲

蚀的距离越远。另外,由于整个河谷都存在放牧的情况,河水易受到牲畜的扰动,出现河水连泥带沙往下输送的现象。由此可知,该河流泥沙主要来自被侵蚀的沙丘基部和侵蚀凹岸坍塌的 Q_3 地层砂。

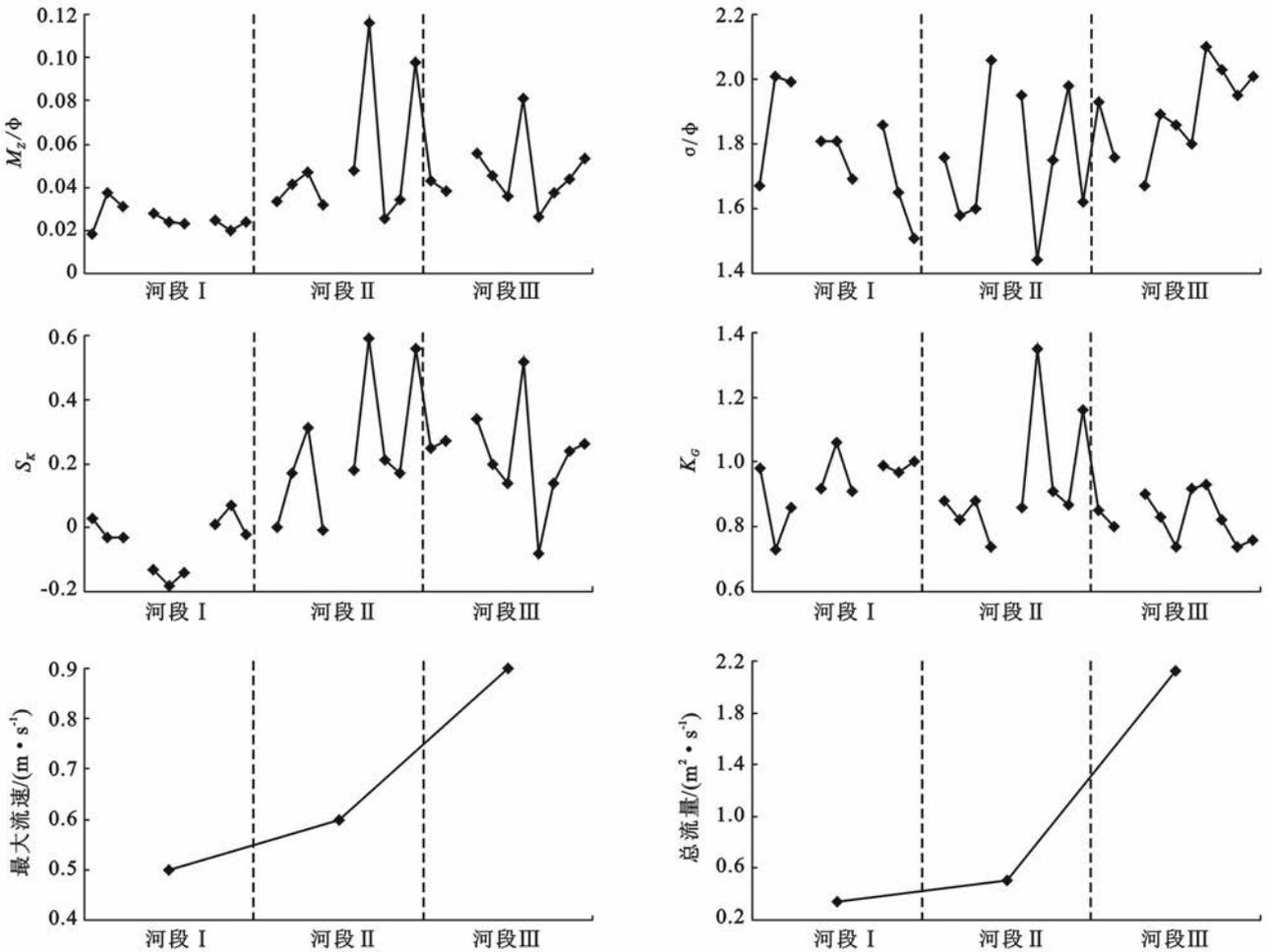


图 2 不同河段流速、流量和泥沙的粒度参数

目前,在弯道凹岸冲刷问题上,本文主要分析了凹岸冲刷前后泥沙的粒度特征变化,对于河水侵蚀冲刷后的泥沙颗粒到底是如何输移的问题,还需要通过加密断面线、采集推移质的样品等途径来进行对比分析,弄清其主要过程和规律。

4 结论

(1) 受沙丘前移影响的上游河段 I 和下游河段 III,流速从其上游断面向下游断面减小,泥沙由粗到细递变,分选变差,而侵蚀东岸 Q_3 松散地层的河段 II,流速增大,侧蚀强烈,且下游断面离凹岸坍塌处太近,致使较粗的 Q_3 砂在下游断面淤积,泥沙粒径变粗,分选变好。

(2) 悬移质粒度呈现从上游河段向下游河段粒径显著变粗,分选变好的趋势。究其原因,主要是响水河

的水源主要是其南侧石质残丘区泉水和河谷沿线流动沙丘或 Q_3 河湖相地层的侧向渗出水,随着沿途流动沙丘数量增加,集水面积扩大,流速和流量显著增加,水动力沿程变大,河水的挟沙和冲刷能力随之增强。

(3) 该河流上、中游河段的悬移质主要来自被侵蚀的沙丘基部,下游河段的悬移质主要来自侵蚀凹岸坍塌的 Q_3 地层砂。

[参 考 文 献]

[1] 赵澄林. 沉积学原理[M]. 北京:石油工业出版社,2001: 43-57.
 [2] 刘红,何青,王元叶. 长江口表层沉积物粒度时空分布特征[J]. 沉积学报,2007,25(3):446-447.
 [3] 钱宁,万兆慧. 泥沙运动力学[M]. 北京:科学出版社, 1983:182-415.

沟壑区植被建设和生态恢复中,应以恢复生态学和景观生态学原理为指导,广泛乔灌草相结合的方式进行植被恢复。因地制宜,以种植乡土灌木和牧草为主,引进抗旱和强适应性品种,乔灌草结合,但不宜大面积栽植乔木,逐步改善区域生态环境。通过自然和人工植被恢复,进行小流域综合治理,减少水土流失,培肥地力,逐步改善区域生态环境条件,促进生态环境建设的经济、生态和社会效益的统一,最终建立具有较高生态、社会、经济效益的可自我维持的生态系统,促进全球生物圈的可持续发展。为此,必须进一步长时期地对不同植被恢复后土壤的理化性质、土壤侵蚀及气候效应进行系统测定分析研究,从而为该地区的植被恢复措施做一个客观的评价。使得半干旱黄土丘陵区生态恢复治理真正做到以恢复生态为中心,发展经济为基础,实现生态效益、经济效益和社会效益的协调发展和综合效益的稳步提高。

[参 考 文 献]

[1] 杨朝飞. 加强禽畜粪便污染防治迫在眉睫[J]. 环境保

护,2001(2):32-35.

- [2] 据彤军,刘普灵,郑世清,等. 黄土丘陵区生态恢复重建过程中流域降雨及其水沙变化特征研究[J]. 水土保持学报,2005,19(2):57-60.
- [3] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(12):2292-2296.
- [4] 李生宝,王占军,王月玲,等. 宁南山区不同生态恢复措施对土壤环境效应影响的研究[J]. 水土保持学报,2006,20(4):20-22.
- [5] 李庆康,吴雷,等. 我国集约化养殖场粪便处理利用现状及展望[J]. 农业环境保护,2000,19(4):251-254.
- [6] 郝仕龙,安韶山,李壁成,等. 黄土丘陵区退耕还林(草)土壤环境效应[J]. 水土保持研究,2005,12(3):29-30.
- [7] 曾昭霞. 半干旱黄土高原不同景观位置下不同退耕还草方式对土壤质量的影响[D]. 兰州:兰州大学,2009.
- [8] 许明祥,刘国彬,卜崇峰. 黄土丘陵区人工林地土壤肥力评价[J]. 西北植物学报,2003,23(8):1367-1371.
- [9] 李生宝,季波,王月玲. 宁南山区不同恢复措施对土壤环境效应的综合评价[J]. 水土保持研究,2007,14(1):51-53.

(上接第 21 页)

- [4] 彭晓彤,周怀阳,叶瑛,等. 珠江河口沉积物粒度特征及其对底层水动力环境的指示[J]. 沉积学报,2004,22(3):488-493.
- [5] 吴创收,黄世昌,罗向欣. 瓯飞浅滩及附近海域表层沉积物粒度特征及其水动力响应[J]. 海洋通报,2015,34(4):400-406.
- [6] 刘红,何青,孟翊,等. 长江口表层沉积物分布特征及动力响应[J]. 地理学报,2007,62(1):82-90.
- [7] 程鹏,高抒,李徐生. 激光粒度仪测试结果及其与沉降法、筛析法的比较[J]. 沉积学报,2001,19(3):449-455.
- [8] 张明义,孙娟,戚印鑫. 悬移质模型沙级配的模拟计算方法探讨[J]. 泥沙研究,2003,12(1):75-78.
- [9] 赵连军,谈广鸣,韦直林. 天然河流床沙级配的计算[J]. 武汉大学学报,2005,38(2):26-29.
- [10] 刘静玲,包坤,李毅,等. 滦河流域水库对河流表层沉积物粒度空间分布影响的研究[J]. 农业环境科学学报,2015,34(5):955-963.
- [11] 陈沈良,杨世伦,吴瑞明,等. 杭州湾北岸潮滩沉积物粒度的时间变化及其沉积动力学意义[J]. 海洋科学进展,2004,22(3):300-304.

- [12] 梁志勇,李文学. 论黄河干支流悬移质粒径与含沙量关系[J]. 泥沙研究,2004(7):51-54.
- [13] 吴月英,彭立功. 长江入海悬移质泥沙粒度与流量、含沙量的关系[J]. 泥沙研究,2005(1):26-31.
- [14] 许炯心. 黄河中游支流悬移质粒度与含沙量、流量间的复杂关系[J]. 地理研究,2003,22(1):40-47.
- [15] 高抒. 沉积物粒径趋势分析:原理与应用条件[J]. 沉积学报,2009,27(5):826-836.
- [16] 戴志军,陈吉余,程和琴,等. 南汇边滩的沉积特征和沉积物输运趋势[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(6):736-739.
- [17] 何华春,丁海燕,张振克,等. 淮河中下游洪泽湖湖泊沉积物粒度特征及其沉积环境意义[J]. 地理科学,2005,25(5):590-596.
- [18] 吴建华,安娜,季颀. 西拉木伦河流域降水和径流特征分析[J]. 内蒙古气象,2014,23(4):23-24.
- [19] 谢花林,李波,刘黎明,等. 基于空间统计学和 GIS 的农牧交错带土壤养分空间特征分析:以内蒙古翁牛特旗为例[J]. 水土保持学报,2006,20(2):73-76.
- [20] 王妍春,左剑恶,肖晶华. EGSB 反应器内厌氧颗粒污泥性质的研究[J]. 中国沼气,2002,20(4):3-7.