

郑玉峰,贾晓鹏,王远征.黄河宁蒙段河道粗细双组分泥沙分选沉积特征[J].中国沙漠,2022,42(3):233-240.

# 黄河宁蒙段河道粗细双组分泥沙分选沉积特征

郑玉峰<sup>1</sup>,贾晓鹏<sup>2</sup>,王远征<sup>2</sup>

(1.鄂尔多斯市气象局,内蒙古 鄂尔多斯 017000; 2.中国科学院西北生态环境资源研究院 沙漠与沙漠化重点实验室,甘肃 兰州 730000)

**摘要:**黄河宁蒙段河道淤积严重,阐明近源粗泥沙和远源细泥沙分选沉积规律对于河道淤积治理有重要意义。本研究基于120根河道钻孔泥沙样品,通过粒径分布和元素矿物组成,分析了河道 $>0.05\text{ mm}$ 、 $>0.08\text{ mm}$ 和 $>0.1\text{ mm}$ 粗泥沙沿河分选沉积变化特征,并定量评估了近源粗泥沙和远源细泥沙沉积对于河道泥沙淤积的贡献。结果表明:黄河宁蒙段河道淤积的主要是来源于近源沙漠及其下伏砒砂岩区 $>0.08\text{ mm}$ 的粗泥沙,而来源于上游黄土区 $<0.05\text{ mm}$ 的细泥沙主要沉积在河道滩地,对河道淤积的贡献小于30%。因此,风水复合侵蚀引起的沿黄沙漠和下伏砒砂岩粗泥沙入黄是黄河宁蒙沙漠河段河道淤积的根源,也是该河段“悬河”的治理重点。

**关键词:**分选沉积;粗泥沙;细泥沙;宁蒙河道;黄河

文章编号:1000-694X(2022)03-233-08

DOI:10.7522/j.issn.1000-694X.2022.00073

中图分类号:TV851

文献标志码:A

## 0 引言

黄河之患,根在泥沙。粗泥沙对黄河河道的淤积尤其是黄河“悬河”、洪泛、决口等洪水灾害的根源<sup>[1-2]</sup>。黄河下游淤积的泥沙主要是来源于黄河中游黄土高原区大于 $0.05\text{ mm}$ 的粗泥沙<sup>[1-5]</sup>。在1960年三门峡水库建成前,每年约有16亿t泥沙从黄河中游黄土高原粗泥沙区输送到下游,1/4淤积在黄河河道,3/4输送入海。黄河上游河道淤积严重区段主要出现在黄河宁蒙沙漠宽谷区段。从20世纪80年代至今,围绕该河段的风沙入黄量估算<sup>[6-7]</sup>、粗泥沙来源<sup>[8-12]</sup>、河岸坍塌<sup>[13-15]</sup>、河床演变<sup>[16-19]</sup>和水沙过程<sup>[20-23]</sup>等,国内外学者开展了大量的研究,对该河段风沙、水沙和河道过程的研究取得了丰富成果。

沙漠及其下伏砒砂岩向河道输送粗泥沙,是黄河宁蒙段河道淤积的主因<sup>[8-12]</sup>。然而,黄河上游黄土高原区的支流,如洮河、湟水、祖厉河等也向宁蒙河道悬移输送平均粒径约为 $0.02\text{ mm}$ 的细泥沙。这两种泥沙进入宁蒙沙漠宽谷河段后如何淤积,目前

尚未有相关报道。黄河宁蒙段比降低(约为 $1/10\ 000$ — $2/10\ 000$ ),已发育200余km的“悬河”。阐明近源粗泥沙和远源细泥沙分选沉积规律对于宁蒙河段“悬河”治理有重要意义。

## 1 区域概况与研究方法

### 1.1 研究区域

黄河穿越乌兰布和沙漠和库布齐沙漠约620 km,发育200余km的“悬河”。区域风蚀水蚀、风沙水沙过程交错,强沙尘暴和高含沙洪水频繁发生。乌兰布和沙漠,位于内蒙古后套平原的西南部,黄河沿沙漠东侧绕流100余km。该区大风频繁,广布流动沙丘,每年向东平均前移5—10 m。乌兰布和沙漠风沙入黄主要有3种形式<sup>[6]</sup>,即风沙流搬运入黄、沙丘前移入黄和河水淘蚀引起的塌岸入黄。由于沙漠的东移,乌兰布和沙漠东缘的流动沙丘直接进入河道的长度达46 km<sup>[24]</sup>,在巴音木仁阎王鼻子段,大量沙漠沙涌入河床,迫使黄河河道局部东移<sup>[19]</sup>。发

收稿日期:2022-03-12; 改回日期:2022-04-18

资助项目:科技兴蒙重点专项(KJXM-EEDS-2020006);阿拉善盟科技计划项目(AMYY2021-19);内蒙古自治区科技成果转化专项(2021CG0046)

作者简介:郑玉峰(1979—),男,内蒙古鄂尔多斯人,本科,高级工程师,主要从事水土保持与荒漠化防治及生态气象服务研究。

E-mail:294789383@qq.com

通信作者:贾晓鹏(E-mail:jiaxp@lzb.ac.cn)

源于鄂尔多斯高原的十大孔兑,从南到北横穿库布齐沙漠汇入黄河。孔兑上游为广泛分布质地松软的砒砂岩,遇水易崩解,以水力侵蚀为主;中游为库布齐沙漠,以风力侵蚀为主。冬春时节,8级以上的大风频繁发生,风力作用下携带大量风沙直接进入孔兑;至夏秋时节,该区又是暴雨的高频区,洪水携带沟道中的砒砂岩和风沙涌入黄河,突发性地堵塞河道,形成沙坝<sup>[25]</sup>。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 样品获取与测试

为研究河道泥沙分选沉积,在黄河宁蒙沙漠宽谷河段河道钻取120根3—4.5 m深度的沉积岩心(图1),并按每5 cm分割样品;同时获取黄河上游河道表层河床泥沙样品以及主要输沙支流塌岸和风沙样品。选取部分样品,使用筛析法和激光粒度仪

测试样品粒径组成,对钻孔样品计算其粒径特征值的算术平均值,得到每根钻孔 $>0.1$  mm、 $>0.08$  mm、 $>0.05$  mm粗泥沙质量百分含量,分析黄河河道泥沙纵向分选沉积特征;应用X射线衍射仪与X荧光仪测量 $>0.08$  mm粗泥沙和 $<0.05$  mm细泥沙的矿物元素组成,测试误差常量元素在5%以内,微量元素在25%以内,矿物在30%以内。

### 1.2.2 河道粗细泥沙来源端元分析

为定量研究河道粗细泥沙来源,应用黄河宁蒙河段河道120根3—4.5 m深度钻孔泥沙样品,通过测定的粗细泥沙元素矿物指标,应用端元分析方法定量分析河段上游和当地粗细泥沙对于河道淤积的贡献率。设某段河道中沉积泥沙量为 $w_r$ ,来源于其上游河道泥沙量 $w_u$ ,来源于当地泥沙量为 $w_l$ ,则有: $w_r = w_u + w_l$ ,另设泥沙中某元素或矿物 $i$ 的百分含量分别为 $p_r^i$ 、 $p_u^i$ 、 $p_l^i$ ,则有: $w_r p_r^i = w_u p_u^i + w_l p_l^i$

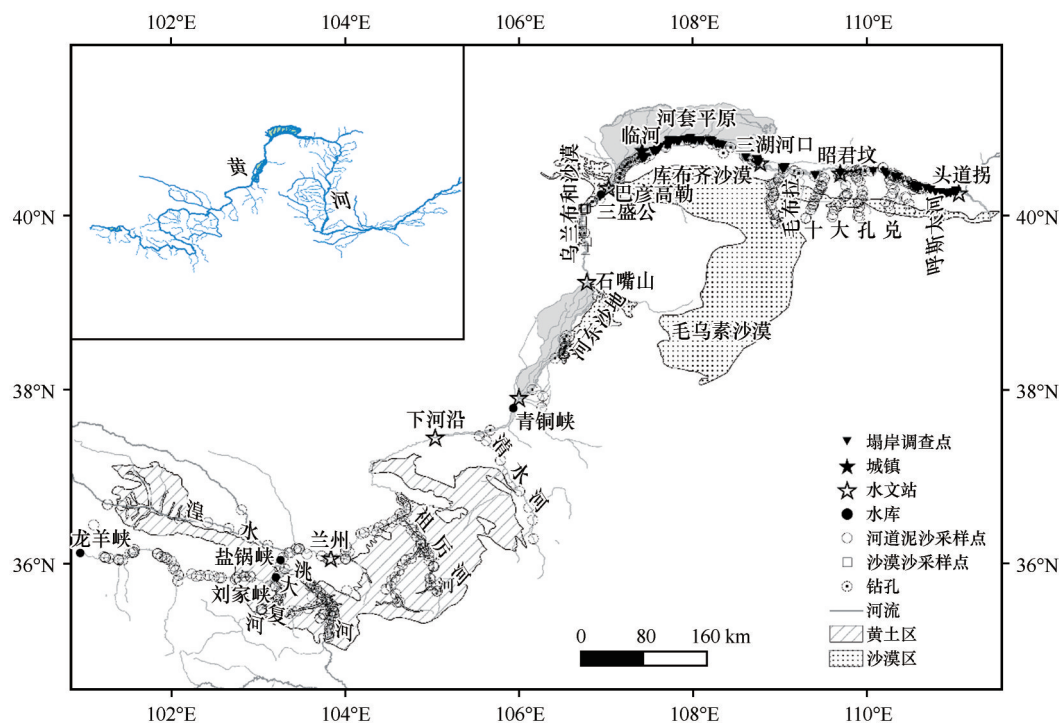


图1 黄河上游流域泥沙采样点分布

Fig.1 Location of sampling sites distributed in the upper reach of the Yellow River

设上游及当地泥沙源对河道粗细泥沙的贡献率分别为 $\delta_u$ 及 $\delta_l$ ,则有: $p_r^i = \delta_u p_u^i + \delta_l p_l^i$

## 2 结果

### 2.1 宁蒙河道粗泥沙粒径分布特征

在宁蒙河道河心沙滩采取的3—4.5 m深120根

钻孔资料显示,河床泥沙粒径在垂直方向上的分布呈典型的二元结构,即表层细沙组分与底层的粗泥沙组分。表层细沙较薄,一般 $<50$  cm,个别1—2 m,粒径组分72%左右 $<0.05$  mm。这一细沙表层极不稳定,常随径流的变化而变化。枯水季节,径流减少,心滩出露,由于受浅水环境的控制,心滩表层沉积了一层粗的悬移质成分,形成了心滩细沙表层。

洪水时期,径流增加,心滩淹没,已沉积的细沙表层重新被水蚀成为悬移质成分,心滩表层由此变薄或者缺失。与表层细沙组分相对照,底层粗沙层深厚,67%组分粒径>0.08 mm,偶尔在粗沙层中可见夹有细沙薄层。尤其在宁夏河东沙地与乌兰布和沙漠河段,70%以上组分粒径>0.1 mm,80%以上>0.08 mm(表 1)。

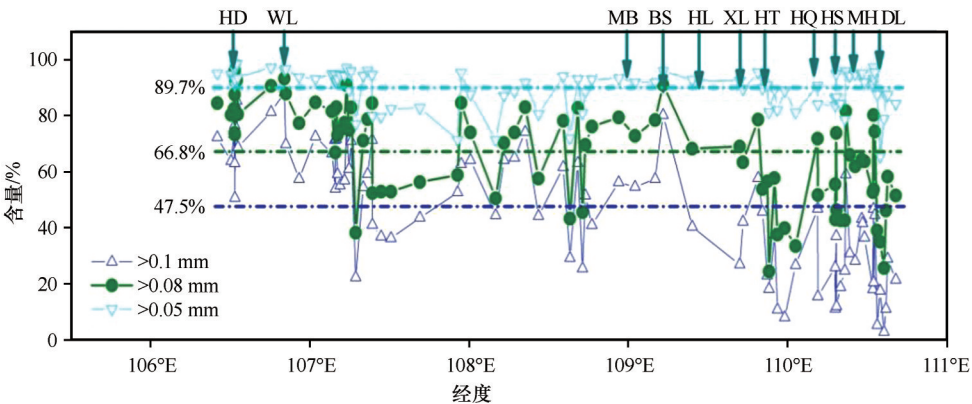
2.2 宁蒙河道粗泥沙纵向分选沉积特征

黄河宁蒙河道河床泥沙>0.08 mm 及>0.1 mm

粗泥沙百分数纵向变化表现出显著的纵向细化现象与不连续的间断分布特性(图 2)。与之相对照,>0.05 mm 泥沙的百分数纵向变化较少。3 m(或 4.5 m)厚度钻孔>0.1 mm 及>0.08 mm 粗泥沙平均含量在河东沙地及乌兰布和沙漠河段分别为 74.04%—74.16%、84.29%—87.25%,在库布齐沙漠影响下的三盛公—毛不拉孔兑沟口河段分别为 55.25%、70.2%,在十大孔兑影响下的河段分别为 30.99%、57.09%。在沙漠沙入黄与十大孔兑入黄沟口处,河床泥沙都表现出跳跃式的增粗现象。

表 1 黄河宁蒙河道河床泥沙粗泥沙含量(%)  
Table 1 Percentage content of coarse sediment in riverbed of Ningxia-Inner Mongolia reach of the Yellow River

河 段	粒径 /mm	位置		
		河心滩钻孔 HC(0—300 或 450 cm)	河心滩表层 SF(0—50 cm)	河心滩表层以下 SB(100—300 或 450 cm)
河东沙地河段	>0.1	63.76	27.81	73.04
	>0.08	75.28	39.62	84.29
	>0.05	91.1	74.58	95.0
乌兰布和沙漠河段	>0.1	68.08	58.73	74.16
	>0.08	81.40	72.61	87.25
	>0.05	92.9	88.73	95.94
巴彦高勒—三湖河口河段	>0.1	49.65	33.0	55.25
	>0.08	64.37	46.03	70.2
	>0.05	84.00	68.63	88.38
十大孔兑河段	>0.1	27.93	17.49	30.99
	>0.08	52.8	36.80	57.09
	>0.05	85.72	72.89	88.81



HD:宁夏河东沙地, WL:乌兰布和沙漠, MB:毛不拉孔兑, BS:布日色太沟, HL:黑赖沟, XL:西柳沟, HT:罕太川, HQ:壕庆河, HS:哈拉川, MH:母哈河, DL:东柳沟

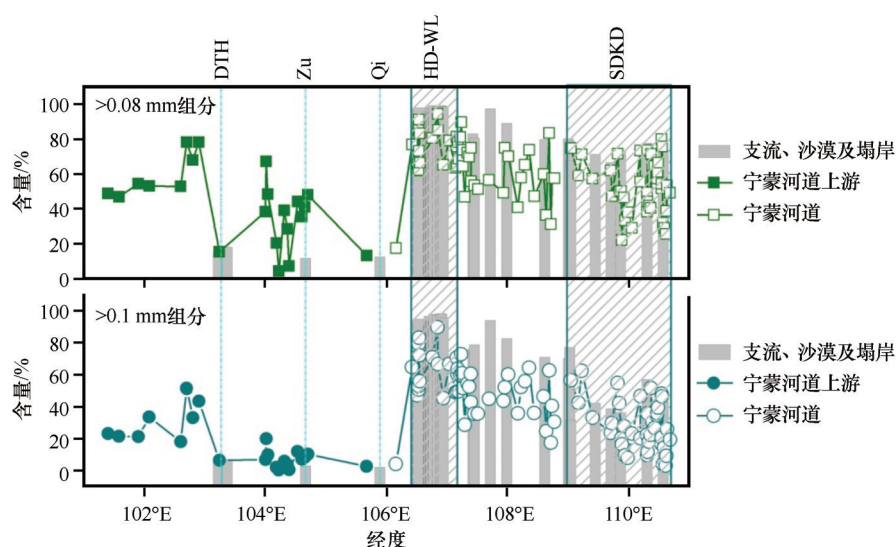
图 2 黄河宁蒙河道 3—4.5 m 厚度河床粗泥沙含量沿程纵向分布

Fig.2 Downstream change of the coarse sediment content in the Ningxia-Inner Mongolia reach of the Yellow River

图 3 是黄河上游河道>0.1 mm 和>0.08 mm 河床泥沙百分含量与支流、沙漠及宁蒙河岸塌岸泥沙对

比。在宁蒙河段上游,河道窄、比降大,砾石质河床,泥沙沉积相对较少。仅在河道转弯处形成一些





DTH: 大夏河、洮河及湟水, Zu: 祖厉河, Qi: 清水河, HD-WL: 河东沙地与乌兰布河沙漠, SDKD: 十大孔兑

图3 黄河上游河道 $>0.1$  mm和 $>0.08$  mm河床泥沙百分含量与支流、沙漠及宁蒙河岸塌岸泥沙对比

Fig.3 Comparison of the coarse sediment contents between the upper reach of the Yellow River and its lateral sediment supplies

零星边滩,河心沙洲很少。该段河床泥沙 $>0.08$  mm或 $>0.1$  mm泥沙含量在顺流方向上呈减少趋势。至宁夏中卫—青铜峡区段,河道比降逐渐变缓,个别河段沉积粗悬移质成分形成1 m左右厚度的浅心滩,心滩泥沙粒径与河道粗悬移质成分有关,80%以上小于0.08 mm。在宁夏河东沙地与乌兰布和沙漠河段,受风沙入侵和塌岸的影响,大量沙漠沙进入河道,引起该段河床泥沙快速增粗。宁夏河东沙地区段河道主槽 $>0.1$  mm的粗泥沙平均含量达到73%, $>0.08$  mm的粗泥沙平均含量达到84%;乌兰布和沙漠河段河道主槽 $>0.1$  mm的粗泥沙平均含量达到74%, $>0.08$  mm的粗泥沙平均含量达到87%。随后,河道河床泥沙 $>0.08$  mm的粗泥沙呈缓慢的下降趋势,直到乌兰布和沙漠下游近100 km的临河,降低到50%左右。在临河—三湖河口河段,河道河床泥沙 $>0.1$  mm的粗泥沙含量降低到55%左右, $>0.08$  mm粗泥沙的含量降低到70%左右。该段河道与库布齐沙漠表现出间断性交汇与分离状态。受沙漠沙入黄的影响, $>0.08$  mm粗泥沙的平均含量表现出显著的波动状态。河道与沙漠交汇河段,河道河床泥沙 $>0.08$  mm的含量高达83%左右,而在分离河段,河道河床泥沙 $>0.08$  mm的含量下降到40%左右。在十大孔兑河段,河床泥沙的粒径进一步变小,明显低于宁夏河东沙地与乌兰布和沙漠河段。 $>0.1$  mm的粗泥沙含量降低到31%左右, $>0.08$  mm粗泥沙的含量降低到57%左右。但是,由于十大孔兑携带大量的库布齐沙漠与鄂尔多斯梁地砒砂岩粗沙进入河道,在

每个支流的汇入口附近,河道河床泥沙都表现出不同程度跳跃式的粗化现象, $>0.08$  mm的粗泥沙含量可达60%—80%。

### 2.3 宁蒙河道河床泥沙粗细泥沙元素矿物特征

黄河上游河道河床泥沙 $>0.08$  mm的粗泥沙主要元素是Si,其氧化物的含量为70%以上(图4)。黄河河道河床泥沙 $>0.08$  mm的粗泥沙元素 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 含量与当地支流、沙漠及塌岸 $>0.08$  mm的粗泥沙对应元素一致,在空间分布上表现出显著的局地特性。与上游大夏河、洮河、湟水河床泥沙元素特征相对应,黄河甘肃河道河床泥沙表现出低 $\text{SiO}_2$ 与高 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 的含量分布特征;而受宁蒙区段内沙漠沙高 $\text{SiO}_2$ 含量的影响,宁蒙河道河床泥沙表现出高 $\text{SiO}_2$ 含量与低 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 含量的分布特征。黄河甘肃河段,受上游大夏河、洮河、湟水河床泥沙元素特征的影响,河道河床泥沙 $>0.08$  mm粗泥沙的 $\text{SiO}_2$ 含量约为75.4%, $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 的含量约占18.2%。至宁夏河东沙地与乌兰布和沙漠区段,受高含量 $\text{SiO}_2$ (82%—83%)沙漠沙的影响,黄河河道河床泥沙 $>0.08$  mm粗泥沙 $\text{SiO}_2$ 的百分含量在该河段成为高值中心,平均约81%,而 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 的百分含量平均13%—14%。在十大孔兑黄河河段,河道 $>0.08$  mm粗泥沙 $\text{SiO}_2$ 的百分含量略为降低,平均79%—80%, $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 的百分含

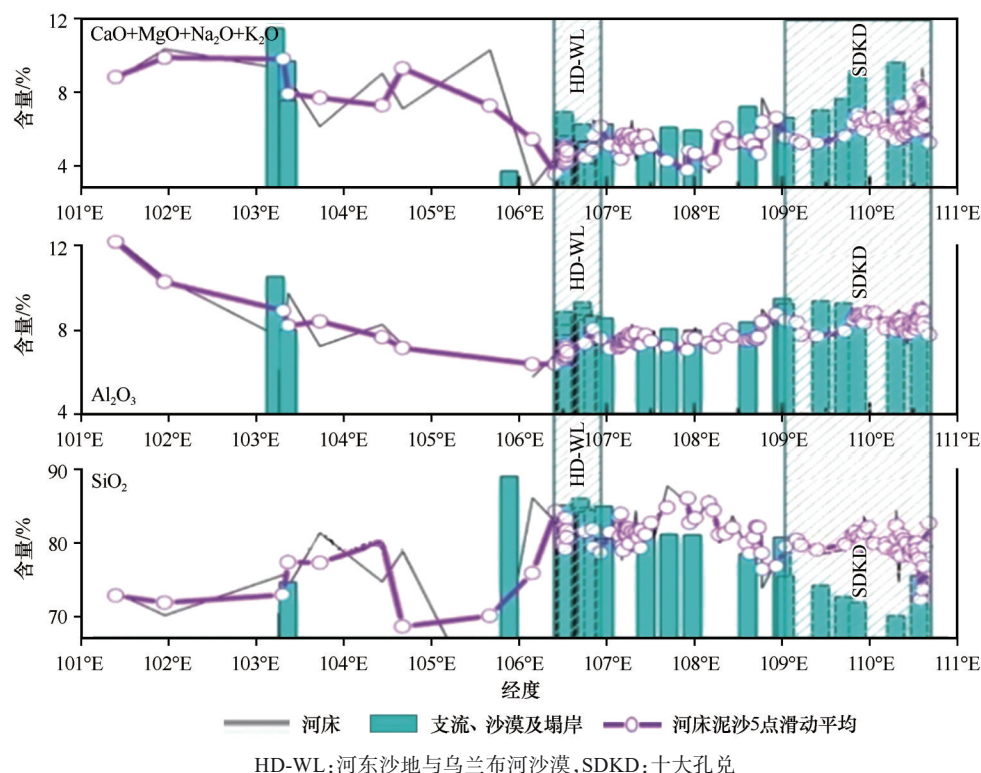


图4 黄河上游河道 $>0.08\text{ mm}$ 粗泥沙元素与支流、沙漠及塌岸 $>0.08\text{ mm}$ 粗泥沙元素含量对比

Fig.4 Comparison of elements of the coarse sediments between the upper reach of the Yellow River and its lateral sediment supplies

量增高到16%左右。黄河河道元素这一空间分布格局显示,河道 $>0.08\text{ mm}$ 的河床泥沙主要受控于当地的粗泥沙源:宁夏河东沙地黄河河道 $>0.08\text{ mm}$ 河床泥沙受控于河东沙地的沙漠沙;乌兰布和沙漠黄河河道 $>0.08\text{ mm}$ 河床泥沙受控于乌兰布和沙漠沙;十大孔兑黄河河道 $>0.08\text{ mm}$ 河床泥沙受控于十大孔兑的粗泥沙。

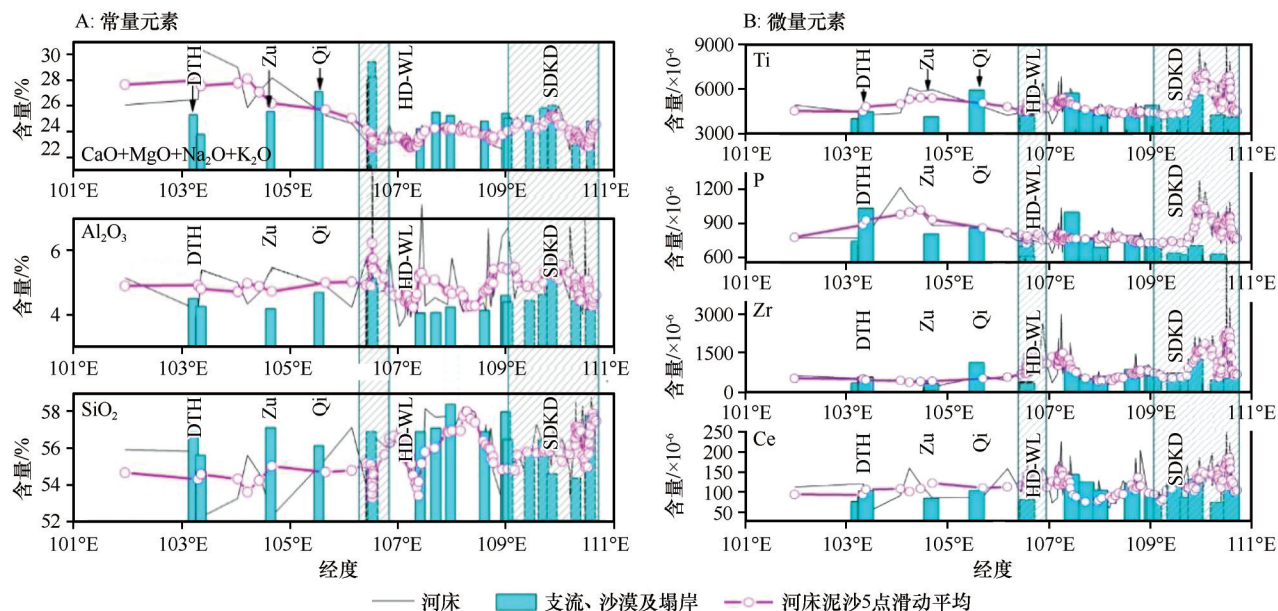
与 $>0.08\text{ mm}$ 粗泥沙元素特性不同, $<0.05\text{ mm}$ 细泥沙元素特征主要表现在大部分元素沿河顺流方向上变化相对平缓(图5),表明细颗粒泥沙相对于粗颗粒泥沙具有较高的混合度;而部分元素,如Si、Ti、Zr和Ce等含量呈现相对增加的变化趋势,且在河东沙地、乌兰布和沙漠及十大孔兑河段表现出明显的峰值,对于河道 $<0.05\text{ mm}$ 细泥沙源区有很好的指示意义,可以作为重要的示踪元素。

一般来说,矿物如石英/长石,沿河顺流方向经过长距离搬运,如果没有外源入汇,成熟度比率呈增加的变化趋势,是物源区地质条件和搬运距离的反映<sup>[26]</sup>。黄河宁蒙段河道粗泥沙石英与长石含量比率的结果显示,在该河段石英/长石呈现高低波动变化的趋势,并没有呈现单一增加的趋势,而且与

物源区石英含量的变化相一致(图6)。该结果也进一步证明黄河宁蒙河段沙漠风沙和砒砂岩是该河段河道淤积粗泥沙的主要来源。

#### 2.4 宁蒙河道 $>0.08\text{ mm}$ 粗泥沙及 $<0.05\text{ mm}$ 细泥沙源区及其贡献率

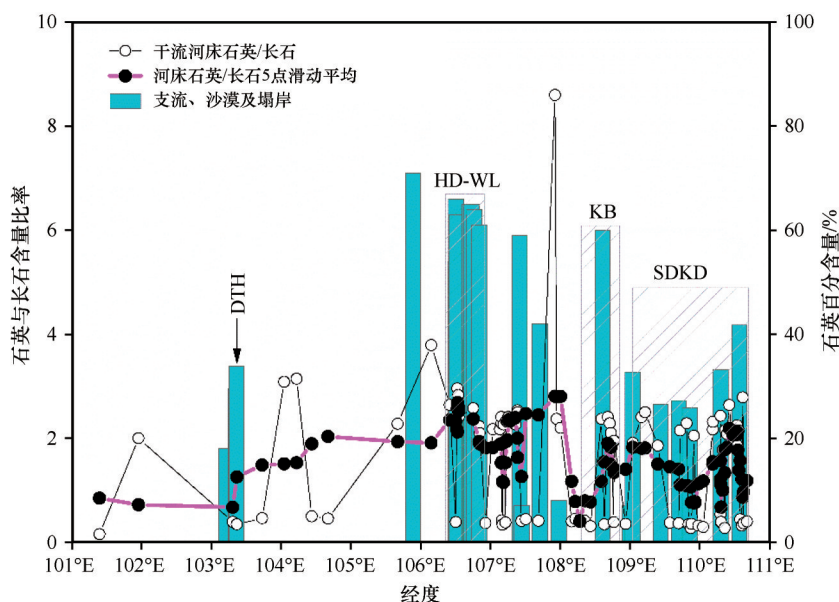
矿物与元素含量在河道顺流方向的变化,是定量辨识河道泥沙来源的可靠证据。图7是应用X衍射仪测量的石英含量与X荧光仪测量的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、CaO、MgO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O含量计算的宁蒙河道 $>0.08\text{ mm}$ 粗泥沙源地及其相对贡献率。黄河流经宁夏河东沙地及乌兰布和沙漠区段时,河东沙地及乌兰布和沙漠对河道贡献 $>0.08\text{ mm}$ 粗泥沙约97%,上游干流输沙沉降贡献约3%;在三盛公至三湖河口河段,库布齐沙漠贡献 $>0.08\text{ mm}$ 粗泥沙约61%,河东沙地及乌兰布和沙漠粗泥沙向下游输送贡献37.8%,上游干流输沙贡献仅约1.2%;最后,黄河流经十大孔兑区段,十大孔兑贡献 $>0.08\text{ mm}$ 粗泥沙约62%,河东沙地及乌兰布和沙漠粗泥沙向下游输送贡献14.4%,库布齐沙漠区段泥沙向下游输送贡献约23.2%,上游干流输沙贡献仅约0.4%。



DTH: 大夏河、洮河及湟水, Zu: 祖厉河, Qi: 清水河, HD-WL: 河东沙地与乌兰布河沙漠, SDKD: 十大孔兑

图5 黄河上游河道河床泥沙及其支流河床泥沙、沙漠沙与宁蒙河岸塌岸<0.05 mm细泥沙元素含量沿程分布对比

Fig.5 Comparison of elements of the fine sediments between the upper reach of the Yellow River and its lateral sediment supplies



DTH: 大夏河、洮河及湟水, HD-WL: 河东沙地与乌兰布河沙漠, KB: 库布齐沙漠, SDKD: 十大孔兑

图6 黄河上游河道河床泥沙及其支流河床泥沙、沙漠沙与宁蒙河岸塌岸>0.08 mm粗泥沙矿物特征对比

Fig.6 Comparison of mineral compositions of the coarse sediments between the upper reach of the Yellow River and its lateral sediment supplies

细泥沙源区判定采用  $\text{SiO}_2$  与 Ti 元素含量作为示踪元素。结果显示:黄河流经宁夏河东沙地及乌兰布和沙漠区段时,河东沙地及乌兰布和沙漠对河道贡献<0.05 mm 细泥沙约占 29%,上游干流输沙沉降贡献约 71%;在三盛公至三湖河口河段,库布齐沙漠贡献<0.05 mm 细泥沙约 38%,河东沙地及乌兰

布和沙漠粗泥沙向下游输送贡献 18%,上游干流输沙贡献约 44%;最后,黄河流经十大孔兑区段,十大孔兑贡献<0.05 mm 细泥沙约 90.5%,河东沙地及乌兰布和沙漠粗泥沙向下游输送贡献 1.7%,库布齐沙漠区段泥沙向下游输送贡献约 3.6%,上游干流输沙贡献仅约 4.2%。



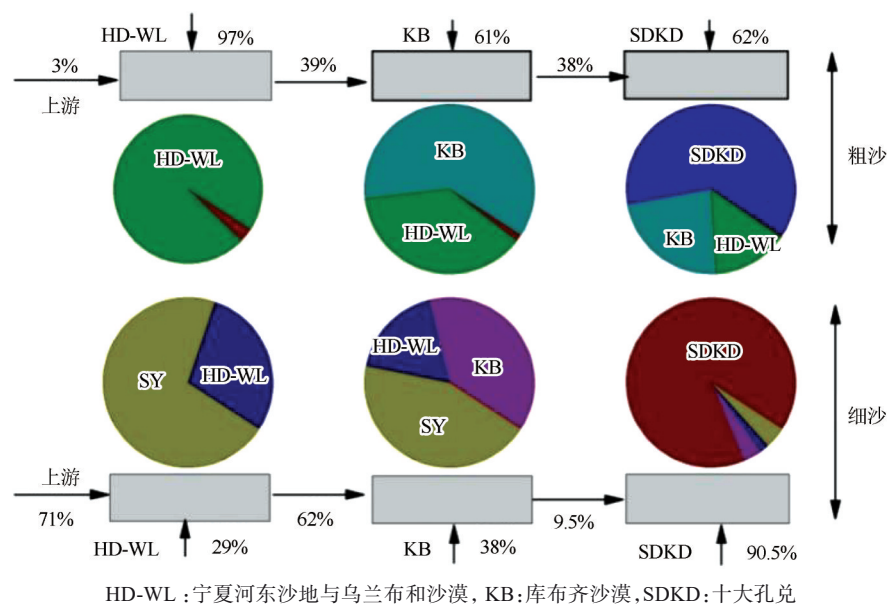


图7 泥沙源对宁蒙河道 $>0.08\text{ mm}$ 粗泥沙及 $<0.05\text{ mm}$ 细泥沙的相对贡献率

Fig.7 Relative contribution of sediment supplies from the local deserts and upstream Loess Plateau to the coarse and fine sediments deposited in the Ningxia-Inner Mongolia reach of the Yellow River

### 3 结论

黄河宁蒙河道的粗泥沙与黄河下游河道 $>0.05\text{ mm}$ 的粗泥沙不同,不是来源于上游黄土高原支流,如大夏河、洮河、湟水、祖厉河及清水河等支流,而是来源于宁夏河东沙地、内蒙古乌兰布和沙漠、库布齐沙漠及支流十大孔兑 $>0.08\text{ mm}$ 的粗泥沙。风沙、塌岸及当地支流洪水携泥沙入黄是宁蒙河道粗泥沙的重要来源,对河道淤积起了决定作用。上游黄土高原区输入的 $<0.05\text{ mm}$ 的细泥沙主要沉积在滩地,对河道淤积也有一定的贡献。因此,黄河宁蒙沙漠河段风水复合侵蚀引起的粗泥沙入黄是该河段河道淤积的根源,也是重点治理的方向。

#### 参考文献:

- [1] 钱宁,王可钦,闫林德,等.黄河中游粗泥沙来源区对黄河下游冲淤的影响[M]//钱宁.钱宁论文集.北京:清华大学出版社,1990:615-621.
- [2] 龚时旸,熊贵枢.黄河泥沙来源和地区分布[J].人民黄河,1979(1):7-17.
- [3] 徐建华,吕光圻.黄河粗泥沙定界论证[J].人民黄河,1999,21(12):6-8.
- [4] 郑新民.黄土高原粗泥沙集中来源区治理问题探究[J].中国水土保持,2005(12):5-6.
- [5] 韩鹏,倪晋仁.黄河中游粗泥沙来源探析[J].泥沙研究,1997(3):48-56.
- [6] 杨根生,刘阳宣,史培军.黄河沿岸风成沙入黄量估算[J].科学通报,1988,13:1017-1021.
- [7] Tian S, Yu G A, Jiang E. Reevaluation of the aeolian sand flux from the Ulan Buh Desert into the upper Yellow River based on in situ monitoring[J]. Geomorphology, 2019, 327: 307-318.
- [8] Ta W Q, Wang H B, Jia X P. Downstream fining in contrasting reaches of the sand-bedded Yellow River[J]. Hydrological Processes, 2011, 25: 3693-3700.
- [9] Jia X P, Wang H B, Xiao J H. Geochemical elements characteristics and sources of the riverbed sediment in the Yellow River's desert channel [J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 64: 2159-2173.
- [10] Jia X P, Li Y S, Wang H B. Bed sediment particle size characteristics and its sources implication in the desert reach of the Yellow River[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75: 950.
- [11] Pan B T, Pang H L, Zhang D, et al. Sediment grain-size characteristics and its source implication in the Ningxia-Inner Mongolia sections on the upper reaches of the Yellow River[J]. Geomorphology, 2015, 246: 255-262.
- [12] 石晓萌,贾晓鹏,王海兵,等.黄河宁蒙河段粗泥沙重矿物特征及其指示意义[J].中国沙漠,2013,33(4):1143-1149.
- [13] Wu B S, Li L Y. Delayed response model for bankfull discharge predictions in the Yellow River[J]. International Journal of Sediment Research, 2011, 26: 445-459.
- [14] 舒安平,张科利,余明辉,等.塌岸淤床动力过程[M].北京:科学出版社,2017.
- [15] Yu M H, Wei H Y, Wu S B. Experimental study on the bank erosion and interaction with near-bank bed evolution due to fluvial hydraulic force[J]. International Journal of Sediment Research, 2015, 30: 81-89.
- [16] 吴保生,王平,张原锋.黄河内蒙古河段河床演变研究[M].北

- 京:科学出版社,2016.
- [17] 李永山,彭文昌,任亮,等.近50年黄河乌兰布和沙漠段辫状河道演变[J].中国沙漠,2016,36(6):1689-1694.
- [18] 侯素珍,常温花,王平,等.黄河内蒙古河段河床演变特征分析[J].泥沙研究,2010,35(3):44-50.
- [19] Ta W Q, Xiao H L, Dong Z B. Long-term morphodynamic changes of a desert reach of the Yellow River following upstream large reservoirs' operation[J]. *Geomorphology*, 2007, 94 (3/4):249-259.
- [20] Ta W Q, Wang H B, Jia X P. Suspended sediment transport response to upstream wash-load supply in the sand-bed reach of the Upper Yellow River, China[J]. *Journal of Hydrology*, 2015, 528:562-570.
- [21] Wang H B, Jia X P, Li Y S, et al. Selective deposition response to aeolian-fluvial sediment supply in the desert braided channel of the upper Yellow River, China[J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2015, 15:1955-1962.
- [22] 汪宏芳,贾晓鹏,王海兵.黄河内蒙古段淤积泥沙洪水冲刷效应[J].中国沙漠,2014,34(4):1143-1149.
- [23] Shi C X. Decadal trends and causes of sedimentation in the Inner Mongolia reach of the upper Yellow River, China[J]. *Hydrological Processes*, 2016, 30(2):232-244.
- [24] 李炳元,葛全胜,郑景云.近2000年来内蒙古后套平原黄河河道演变[J].地理学报,2003,58(2):239-246.
- [25] 杨根生.黄河石嘴山-河口镇段河道淤积泥沙来源分析及治理对策[M].北京:海洋出版社,2002.
- [26] Pettijohn F J. *Sedimentary Rock* [M]. New York, USA: Harper & Brothers, 1957.

## Selective deposition of coarse and fine sediments in the Ningxia-Inner Mongolia reach of the Yellow River

Zheng Yufeng<sup>1</sup>, Jia Xiaopeng<sup>2</sup>, Wang Yuanzheng<sup>2</sup>

(1. *Ordos Meteorological Bureau, Ordos 017000, Inner Mongolia, China*; 2. *Key Laboratory of Desert and Desertification, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*)

**Abstract:** The accumulation of silt in some sections of the Yellow River from Ningxia to Inner Mongolia is serious. It is of great significance to clarify the sorting and deposition law of near-source coarse-grained sediment and far-source fine-grained sediment for the control of accumulated silt in Ningxia-Inner Mongolia section of Yellow River. In this study, based on the 120 sediment samples obtained by drilling hole in the river, the variation characteristics of coarse-grained sediment content along the river with  $d>0.05$  mm,  $d>0.08$  mm and  $d>0.1$  mm were analyzed through particle size distribution and mineral and element composition of coarse and fine sediment. And the contribution of near-source coarse sediment and far-source fine sediment sorting deposition to river sediment deposition was quantitatively evaluated. The results show that the main deposition of the river channel in the Ningxia-Inner Mongolia section of the Yellow River is the coarse sediment ( $d>0.08$  mm) from the near-source desert and its underlying Pisha sandstone area, while the fine sediment ( $d<0.05$  mm) from the upstream loess area is mainly deposited in the river beach, contributing less than 30% to the deposition of the river channel. Therefore, the coarse-grained sediment entering the Yellow River along the desert near Yellow River and underlying Pisha sandstone induced by the process of wind and water erosion should be the focus of river deposition and 'suspended river' control in the Ningxia-Inner Mongolia section of the Yellow River.

**Key words:** selective deposition; coarse sediment; fine sediment; Ningxia-Inner Mongolia reach; Yellow River