

引黄水库沉沙条渠沉积物的组成及理化特征^{*}

胡康博¹ 王毅力^{1**} 冯晶¹ 李俊清² 桂萍³ 蒋艳灵³

(1. 北京林业大学环境科学与工程学院, 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京, 100083;

2. 北京林业大学林学院, 北京, 100083; 3. 中国城市规划设计研究院, 北京, 100044)

摘要 研究了济南市引黄供水鹤山水库沉沙条渠6个地理位置泥沙沉积物的组成及理化特征, 并分析了沉积物的组成及理化特征参数间的相关性. 结果表明, 沉沙条渠内的泥沙沉积物在组成成分上与黄河沉积物基本相同, 但含量及理化性质上有一定的差异. 泥沙沉积物颗粒主要以粘粒、粉砂和细砂粒为主, 颗粒粒度分布在0.3—125 μm之间; 沉积物的矿物主要由轻矿物(以石英、长石、方解石为主)和粘土矿物(以蒙脱石、伊利石、绿泥石为主)组成. 与其它沉积物相比, 泥沙沉积物存在高Ca和低Al的现象. 泥沙的活性态Fe的含量远高于活性态Al的含量. 泥沙沉积物属于中性偏碱沉积物, 其有机质含量很低, 极少超过1%; 颗粒表面带有一定量的负电荷, 其絮凝能力较小, 甚至为零. 此外, 泥沙沉积物各参数间存在较好的相关性, 沉积物的理化特性主要受沉积物的化学组成所影响, 并且沉积物颗粒的各种矿物组成比例与颗粒粒径有密切的关系.

关键词 黄河, 沉沙条渠, 沉积物, 组成, 理化特征, 相关性分析.

近年来, 国内外众多研究者^[1-4]对湖泊、河流沉积物中的有机物污染、重金属污染、营养盐等在水-固微界面上的相关过程以及对水体的影响开展了很好的研究工作, 但他们大多是局限于沉积物中各种污染物的总量分布、形态分布和吸附、降解方面, 而沉积物颗粒的组成特征、理化特征以及各特征参数间的相互关系等方面的研究较少. 已有研究表明, 沉积物的组成、结构、理化性质等对污染物的迁移转化、滞留和再生等过程有着重要的影响^[5-6].

引黄供水调蓄水库的沉沙条渠过水断面较大, 水流流速缓慢, 水中泥沙颗粒极易沉降, 使吸附在泥沙表面的污染物随着泥沙颗粒一起迁移到沉沙条渠底部形成泥沙沉积物, 从而使供水水质得到改善. 目前, 针对引黄供水调蓄水库沉沙条渠沉积物上述特征的研究依然极少, 为此需要进一步开展研究. 济南市鹤山水库是引黄供水调蓄水库, 其供水量占济南饮用供水总量的1/3. 因此, 考察引黄水库沉沙条渠泥沙沉积物的组成及理化性质, 对进一步研究水源水质与泥沙沉积物的关系具有重要意义.

本文采用鹤山水库沉沙条渠泥沙沉积物作为研究对象, 较全面地研究了沉沙条渠泥沙沉积物的组成和理化性质特征, 试图揭示引黄水库沉沙条渠水体沉积物颗粒各特征参数间的内在相互关系.

1 材料与方法

1.1 样品的采集与分析

表层沉积物及其水样于2009年11月沿济南市引黄供水鹤山水库沉沙条渠采集, 共选取6个采样断面, 样品编号为H1—H6, 其中H1为条渠引水口黄河处断面, 各采样点特征描述见表1. 每个断面的泥沙沉积物混合样品装入聚乙烯塑料桶中密封带回实验室, 置于背光通风处自然风干, 剔出杂物后粉碎、研磨及混匀, 过120目标准筛. 筛下沉积物置于棕色广口瓶中, 保存备用.

1.2 沉积物组成及理化参数的测定

沉积物颗粒的全元素分析采用XRF-1800型X-射线荧光光谱仪(岛津公司, 日本)测定, 矿物组成采用D/Max-RC型X-射线衍射光谱仪(Rigaku公司, 日本)测定; 金属含量采用硝酸-氢氟酸-高氯酸高温消

2010年6月21日收稿.

^{*} 水体污染控制与治理科技重大专项课题(2008ZX07422-002-004); 国家自然科学基金资助项目(20977008); 国家863探索导向类课题(2007AA06Z301).

^{**} 通讯联系人, E-mail: wangyilimail@126.com

解后,取溶液用 ICP-AES(利曼-徕伯斯公司,美国)测定;活性态 Fe 和 Al 含量分析采用酸性草酸铵溶液溶出后,取溶液用 ICP-AES 测定.有机官能团采用 Spectrum-JXFTIK 型红外光谱仪(铂金-埃尔默公司,美国)测定,有机质采用外源铬酸容量法测定,烧失量(LOI)采用 950 °C 灼烧测定.

表 1 采样点分布及特征

Table 1 Distribution and characteristics of sampling sites

采样点 编号	采样点位置		水深 /m	沉沙条渠水质指标			
	东经	北纬		pH	含沙量/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	电导率/ ($\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$)	$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
H1	116°57.031′	36°44.577′	2.67	8.30	0.600	75.10	22.00
H2	116°58.316′	36°44.840′	0.75	8.33	0.251	76.35	13.80
H3	116°57.833′	36°44.516′	1.43	8.33	0.011	76.20	10.00
H4	116°58.168′	36°44.507′	2.27	8.41	0.009	76.40	9.38
H5	116°58.575′	36°44.798′	3.90	8.39	0.005	76.60	15.00
H6	116°59.026′	36°44.618′	2.31	8.48	0.003	76.80	8.98

沉积物颗粒的粒度分布采用 Malvern MS2000 激光粒度仪(Malvern Instruments 公司,英国)测定,pH 值采用 PHS-3B 型精密 pH 计(上海雷磁仪器厂,上海)测定,阳离子交换容量(CEC)采用醋酸氨法测定,Zeta 电位采用 Zetasizer-2000 型 Zeta 电位测定仪(Malvern Instruments 公司,英国)测定;表面电荷密度采用胶体滴定法测定,絮凝能力采用分散再絮凝法测定.

2 结果与讨论

2.1 沉积物颗粒的粒度分布

对泥沙沉积物颗粒的粒度分布特征进行分析,结果见表 2.按照水利部颁布的《河流泥沙颗粒分析规程》(SL42-92)规定的河流泥沙分类来划分,泥沙沉积物主要以粘粒(粒径为 $<4\ \mu\text{m}$)、粉砂(粒径为 $4-62\ \mu\text{m}$)和细砂粒(粒径为 $62-200\ \mu\text{m}$)为主,颗粒粒度分布范围为 $0.3-125\ \mu\text{m}$,平均粒径在 $18.88-82.33\ \mu\text{m}$ 之间.H1、H2、H5 和 H6 样品颗粒的粒径分布比较集中,其中粒径大于 $32\ \mu\text{m}$ 的颗粒依次占 98.24%、89.00%、72.80% 和 62.46%;而 H3 和 H4 样品颗粒的粒径分布比较均匀,且颗粒平均粒径在 $20\ \mu\text{m}$ 左右,主要以细粉砂和粘粒(约占 60%)为主.

表 2 沉积物颗粒的粒度分布

Table 2 Particle size distribution of sediment particles

样品	各粒度区间内的百分数 /%					中值粒径 / μm	平均粒径 / μm
	$<4\ \mu\text{m}$	$4-16\ \mu\text{m}$	$16-32\ \mu\text{m}$	$32-62\ \mu\text{m}$	$62-125\ \mu\text{m}$		
H1	0.00	0.00	1.76	30.35	67.89	76.20	82.33
H2	0.00	0.35	10.65	39.13	49.87	61.90	67.71
H3	17.93	38.72	24.81	12.84	5.70	14.57	21.00
H4	22.91	41.47	22.92	8.37	4.33	13.68	18.88
H5	3.41	12.18	11.61	28.27	44.53	56.22	61.14
H6	3.93	14.29	19.32	32.52	29.94	42.18	48.26

从表 2 可以看出,沉沙条渠引水口处黄河泥沙沉积物 H1 的粒径较大,且条渠内泥沙沉积物的粒径有沿程变小的趋势,但 H5 和 H6 样品颗粒的粒径却比 H3 和 H4 样品大许多.结合表 1 沉沙条渠水中含沙量的沿程变化可知,水中含沙量沿着沉沙条渠逐渐减少,从 H2 断面的 $0.251\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 锐减至 H3 断面的 $0.011\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.这说明沉沙条渠内泥沙淤积已到 H4 断面,黄河来水中大部分极易沉降的大颗粒悬移质在 H3 断面前沉降完全,悬移质中小部分极易长距离输移的细颗粒在 H3 和 H4 断面沉降,而 H5 断面以后的沉积物为沉沙条渠原来的底质.这一结论与多次现场实地调查所得资料相一致.

2.2 沉积物颗粒的组成特性

2.2.1 沉积物的矿物组成

衍射强度数据通过归一化处理,以最大值作为 100%,H2—H6 的 X-Y 轴都依次递增 10 个单位,在

此基础上用 IGOR Pro 软件作 X-射线衍射图谱见图 1. 从图 1 可以看出, 泥沙沉积物各样品的图谱较为相似, 在相应的衍射角处都有尖锐的衍射峰存在, 只是其探测强度比有所不同. 由此可以说明, 泥沙沉积物都具有晶体结构, 物相成分具有很大的相似性, 但其相对含量有所不同.

若仅对样品的 X-射线衍射图谱进行解析, 则很难准确地鉴定出样品的物相组成及含量, 因此, 采用 X-射线荧光光谱仪做全元素分析, 通过两者相互结合确定泥沙沉积物颗粒的矿物组成. 由全元素分析可知, 沉积物以铝硅酸盐为主, 其余主要组分的含量: $\text{CaO} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{TiO}_2 > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{ZrO}_2 > \text{BaO} > \text{MnO} > \text{Cr}_2\text{O}_3$. 沉积物样品主要由轻矿物(相对含量为 83.1%—69.8%) 和粘土矿物(相对含量为 16.9%—30.2%) 组成, 其中轻矿物主要是石英(相对含量为 39.7%—50.3%)、钾长石(相对含量为 3.5%—7.8%)、斜长石(相对含量为 15.2%—21.3%)、方解石(相对含量为 8.7%—11.9%) 等; 而粘土矿物主要为蒙脱石(相对含量为 6.1%—13.5%)、伊利石(相对含量为 4.8%—9.3%)、绿泥石(相对含量为 1.9%—3.3%) 为主. 上述结论与张宪伟^[3]、王晓丽^[7] 等人的研究结论相一致.

结合图 1 和表 2 对沉积物不同样品颗粒的粒径分布和矿物组成进行分析. 结果发现, 粘土矿物的含量在 H3 与 H4 样品中远高于其余 4 个样品, 各矿物组分的含量与颗粒粒度存在较大关系. 随着沉沙条渠内沉积物颗粒粒径的减少, 其石英、长石等轻矿物的含量有所减小, 而蒙脱石、伊利石等粘土矿物的含量明显上升. 这是因为黄河来水中的泥沙颗粒主要源于黄河中游由岩石风化而来的黄土, 其中粗颗粒是物理风化的产物, 其矿物成分基本保持不变, 而细颗粒则是化学风化的产物, 基本上以粘土矿物为主^[8]. 由于沉沙条渠引水流量较小、过水断面较大, 导致沉沙条渠内水流流速变缓, 使引黄来水中悬移质产生逐步沉降, 粗颗粒因其重力势能较大、迁移能力小则先沉降, 而细颗粒则相反, 从而在 H1 到 H4 断面间产生泥沙沉积物样品颗粒的粒径沿程减小的现象.

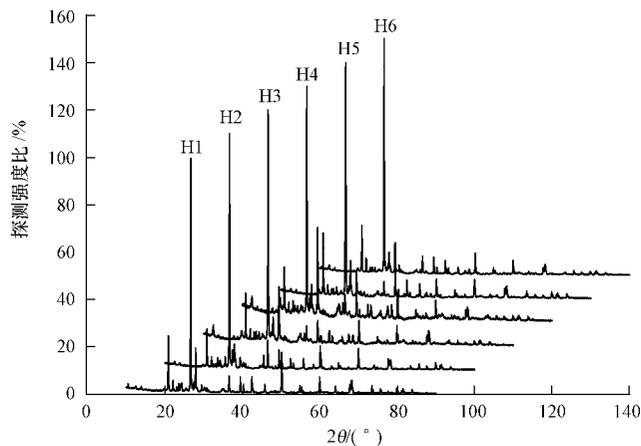


图 1 沉积物颗粒的 X-射线衍射图谱

Fig. 1 X-ray diffraction patterns of the sediment particles

2.2.2 沉积物中的金属元素

不同断面沉积物的金属种类、含量及活性态铝(Al_{act})、活性态铁(Fe_{act}) 含量见图 2. 引水口处黄河沉积物 H1 与沉沙条渠内沉积物各样品的金属元素含量规律大致相同: $\text{Al} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{Mn} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Co}$; 其中, 常量元素 Al、Ca、Fe 含量较高, 依次为 $41.11\text{—}58.60 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $28.62\text{—}30.14 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $16.15\text{—}23.51 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$; 而微量元素 Pb、Zn、Cr 的含量较高, 依次为 $40.31\text{—}77.96 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $36.85\text{—}84.01 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $33.01\text{—}82.26 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. 对于活性态 Al、活性态 Fe 而言, 其含量分别在 $0.17\text{—}0.86 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $0.80\text{—}2.55 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间, 占总铝、总铁的百分比为 0.37%—1.53% 和 3.64%—11.53%. H3 与 H4 样品的活性态 Al、活性态 Fe 含量相近, 远高于其余 4 个样品. 另外, 沉积物颗粒中重金属元素 Mn 的含量也较高, 这可能是受化学丰度的影响, Mn 的活动性弱, 容易在沉积物中富集^[9].

沉积物颗粒的全元素分析和金属元素含量分析结果表明, 与其它河流沉积物(长江、珠江沉积物中钙含量依次为 $24.77 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $6.73 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 铝含量依次为 $70.73 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $94.85 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 相比^[10], 黄

河泥沙颗粒存在 Ca 含量(26.63—30.14 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 偏高和 Al 含量(41.11—58.60 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 偏低的现象. 黄河泥沙主要来自黄土高原的第四纪沉积物, 其矿物组成、有机质含量等特征与黄河中游地区的黄土有很大的相似性^[11]. Zhang 等^[12] 研究表明, 在黄河中下游流域广泛分布着富含碳酸盐的黄土, 其碳酸钙含量高达 9%—20%, 比其它流域的土壤中碳酸钙含量要高. 由此可以说明, 泥沙沉积物的化学组成受来水中泥沙颗粒的矿物组成所支配, 从而产生高 Ca 和低 Al 的现象. 沉积物颗粒高 Ca 和低 Al 的特征会影响其对磷的吸附、滞留能力, 一般来说, 沉积物中对磷的吸附主要以铝铁氧化物对磷的专属吸附作用最为强烈, 非石灰性沉积物对磷的滞留能力要大于石灰性沉积物^[13]. 本实验中发现, 泥沙条渠内沉积物的活性态 Al 的量远低于活性态 Fe, 所以, 可以推断其对磷的主要持留因素是活性态 Fe.

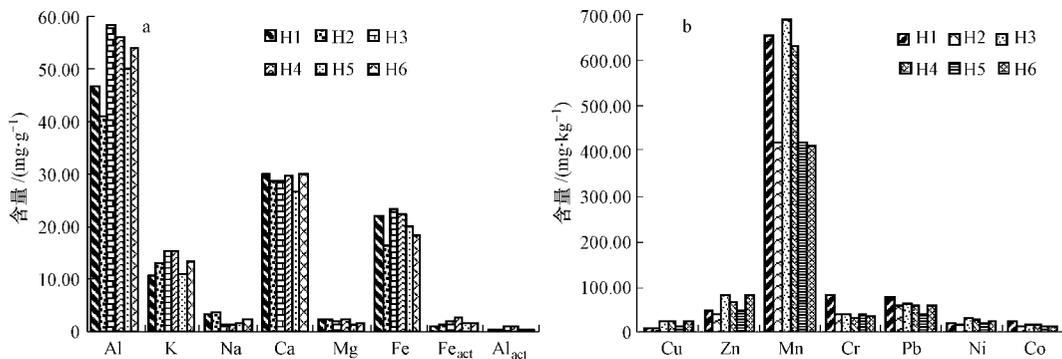


图 2 沉积物颗粒的金属元素含量

Fig. 2 Metal element content of the sediment particles

2.2.3 沉积物的有机组成分析

引水口处黄河沉积物 H1 和泥沙条渠内沉积物各样品的红外图谱基本相似(图 3), 主要存在 6 个特征吸收峰. 根据文献[14—15]可将主要吸收峰与有关结构特征相联系: (1) 位于 3621 cm^{-1} 和 3419 cm^{-1} 附近强吸收峰($3700\text{—}3000\text{ cm}^{-1}$), 由酚、醇或羧酸类的 O—H 或酰胺的 N—H 产生; (2) 位于 2515 cm^{-1} 附近强吸收峰($2700\text{—}2300\text{ cm}^{-1}$), 由炔烃的 C≡C 产生; (3) 位于 1798 cm^{-1} 附近强吸收峰($1885\text{—}1550\text{ cm}^{-1}$), 由芳香族 C—C、羧酸类 COO^- 或类蛋白质产生; (4) 位于 1435 cm^{-1} 附近强吸收峰($1550\text{—}1200\text{ cm}^{-1}$), 由脂肪族 C—H、酚类 O—H 或羧酸类 COO^- 产生; (5) 位于 1030 cm^{-1} 附近强吸收峰($1200\text{—}900\text{ cm}^{-1}$), 由醇类、多糖类 C—O 或平行层 Si—O 产生; (6) 位于 778 cm^{-1} 附近强吸收峰($900\text{—}600\text{ cm}^{-1}$), 由烯烃、炔烃取代基或芳环中的 C—H 产生. 泥沙沉积物中有机组分主要包括醇、酚、羧酸类、脂肪族、芳香族、多糖、蛋白质及烃类等.

由图 4 可知, 沉积物的有机质和烧失量(LOI) 都很低, 有机质在 0.18%—1.01% 之间, 烧失量在 1.11%—4.52% 之间. 因为泥沙条渠内的表层沉积物主要源于黄河来水中的泥沙沉降, 众多研究^[3,7,16] 表明, 黄河颗粒物中的有机质含量很低, 一般极少超过 1%. 同时, 研究发现沉积物的有机质和烧失量在 H3、H4 断面较高, H5、H6 断面次之, H1、H2 断面最低, 而且颗粒的有机质含量与烧失量两者变化较为相似(pearson 相关系数为 0.883, 存在显著正相关) 这一结论验证了众多学者^[17—18] 在研究河流、湖泊沉积物时发现烧失量与有机质存在显著相关性的研究结果.

2.3 沉积物颗粒的理化特性

沉积物对水环境水质的影响较大, 而且这种影响具双重性和复杂性^[19]. 为了更好地揭示沉积物与污染物之间的深层次关系, 仅仅考察沉积物的组成特性是不够的, 还需考察沉积物本身的理化特性. 测试了泥沙沉积物的 pH、阳离子交换容量(CEC)、Zeta 电位、表面电荷密度和絮凝特性, 结果见表 3. 由表 3 可以看出, 沉积物的 pH 值在 7.94—8.39 之间, 属中性偏碱沉积物; 与湖泊沉积物(CEC 在 $54.0\text{—}100.4\text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间^[20]) 相比, 泥沙沉积物颗粒的 CEC 很小, 在 $0.10\text{—}2.25\text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 其中 H3 和 H4 样品的 CEC 远大于其余 4 个样品. 泥沙沉积物颗粒表面带有一定的负电荷, Zeta 电位约为 $-0.8\text{—}-7.2\text{ mV}$, 表面电荷密度约为 $-2.42\times 10^{-3}\text{—}-3.96\times 10^{-2}\text{ meq}\cdot\text{g}^{-1}$, 其中 H1 和 H2 样品的表面电荷密度较其余 4 个样品低 1 个数量级.

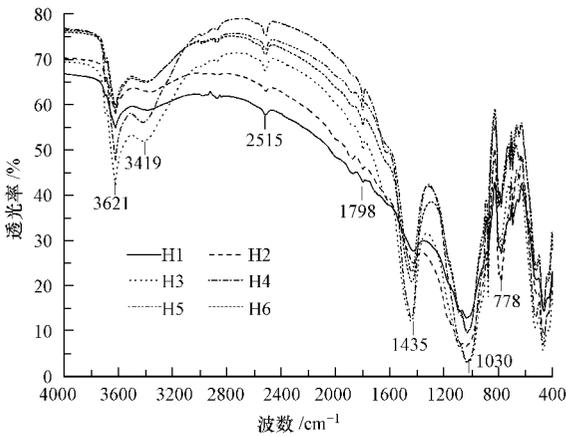


图 3 沉积物颗粒的红外图谱

Fig. 3 FTIR spectra of the sediment particles

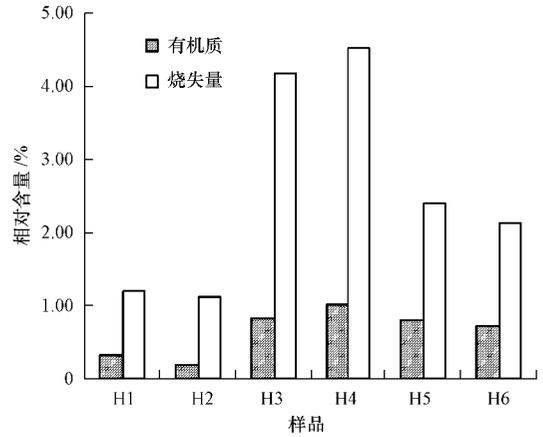


图 4 沉积物颗粒的有机质含量及烧失量

Fig. 4 Organic matter and LOI of the sediment particles

此外,泥沙沉积物颗粒的絮凝能力较差,H1和H2样品的絮凝能力为0,其余在17.35%—27.16%之间,这可能与其颗粒的组成特性相关,H1和H2样品颗粒中石英含量高达50%,粒径较大(约75 μm左右),粘土矿物含量(约17%左右)和有机质含量(为0.25% ± 0.07%)较低,使重力作用超过了范德华引力^[8],从而不利于颗粒絮凝.杨铁笙^[8]等人研究表明,泥沙粒径是影响絮凝能力的一个重要参数,粒径过大,重力作用超过范德华引力而不利于絮凝.由此可见,只有当泥沙颗粒小到一定程度,粘结力对颗粒絮凝特性的影响才能超过重力,絮凝现象才能凸显出来.沉积物颗粒絮凝能力的影响因素不单单是颗粒的粒径,还有其它因素,需要进一步的深入研究.

表 3 沉积物样品的理化参数

Table 3 Chemical-physical parameters of sediments

样品	pH	CEC /(mmol·kg ⁻¹)	Zeta 电位 /mV	表面电荷密度 /(meq·g ⁻¹)	絮凝能力 /%
H1	8.38	0.29	-6.8	-2.42 × 10 ⁻³	0.00
H2	8.39	0.51	-7.2	-3.08 × 10 ⁻³	0.00
H3	8.00	1.21	-0.8	-3.96 × 10 ⁻²	27.16
H4	7.98	2.25	-2.7	-3.58 × 10 ⁻²	18.70
H5	8.13	0.77	-2.9	-1.78 × 10 ⁻²	17.35
H6	7.94	0.10	-1.7	-3.75 × 10 ⁻²	22.69

2.4 沉积物颗粒的组成及理化性质的相关性分析

对上述泥沙沉积物的组成和理化特性进行相关性分析.结果见表4.通过表4中各参数之间的相关性系数可以发现,颗粒粒径与其余参数间都有较好的相关性,尤其与有机质、活性态Al、活性态Fe存在显著负相关,与pH、表面电荷密度存在显著正相关;而且,有机质与活性态Al、活性态Fe,活性态Al与活性态Fe之间存在显著正相关.王兆印^[21]等人研究发现,黄河泥沙的性质与其粗细颗粒所占的比例有直接关系,泥沙颗粒中粒径较小的细颗粒基本上都是由层状铝硅酸盐组成的粘土矿物组成,其中铝、铁含量较高.孙莉英^[14]等人研究表明,颗粒粒径对沉积物有机质含量的影响较大,有机质主要吸附粘土矿物表面^[22],沉积物中总有机碳含量随着粘土矿物含量的增加而增加.由此可见,本研究中颗粒粒径较小的沉积物中,粘土矿物所占比例较大,对沉积物颗粒的理化特性产生了一定的影响.

泥沙沉积物颗粒的pH、Zeta电位和絮凝能力三者间存在显著相关性.泥沙细颗粒表面因同晶置换、晶格缺陷及水体电化学条件等影响而产生固有的负电荷^[23],从而导致颗粒表面吸附一定量的正电荷,形成扩散双电层.Zeta电位是颗粒剪切面的电位,其大小随着扩散层厚度的增加而变大,主要受溶液中pH、离子浓度、温度等条件的影响^[8].依据DLVO理论,Zeta电位绝对值越高,颗粒间斥力越大,体系越稳定.本研究中Zeta电位绝对值高的泥沙颗粒,其絮凝能力较小;同时,研究发现颗粒的絮凝能力与表

面电荷密度、有机质、粒径、活性态 Al、活性态 Fe 等参数存在一定的相关性。

泥沙沉积物颗粒的阳离子交换量(CEC)是由颗粒表面性质所决定的,其大小主要受粘土矿物晶体结构、粒度、金属氧化物比例、溶液 pH 值等因素的影响^[10]。通过相关性分析,发现泥沙沉积物颗粒的 CEC 与粒径、有机质、活性态 Fe 存在一定的相关性,而与活性态 Al 存在显著正相关。由此可以认为,泥沙沉积物中铝硅酸盐矿物和有机质的含量是影响其 CEC 的主要因素。同时,表 4 中颗粒表面电荷密度与有机质、活性态 Al、活性态 Fe、Zeta 电位存在显著负相关,而与粒径、pH 存在显著正相关,其可能原因是粒径的大小影响了颗粒的组成特性,进而对表面电荷密度产生影响。

表 4 沉积物样品不同参数间的相关性分析

Table 4 Coefficients of correlation among different parameters of sediments

	粒径	有机质	活性态 Fe	活性态 Al	pH	Zeta 电位	CEC	表面电荷密度
有机质	-0.820*							
活性态 Fe	-0.886*	0.945**						
活性态 Al	-0.966**	0.891*	0.924**					
pH	0.825*	-0.906*	-0.861*	-0.791				
Zeta 电位	-0.791	0.880*	0.787	0.767	-0.955**			
CEC	-0.772	0.674	0.790	0.867*	-0.433	0.364		
表面电荷密度	0.892*	-0.862*	-0.831*	-0.833*	0.978**	-0.946**	-0.469	
絮凝能力	-0.810	0.874*	0.795	0.777	-0.954*	0.999**	0.378	-0.951**

注: ** 表示在 0.01 水平上显著相关; * 表示在 0.05 水平上显著相关。

3 结论

(1) 沉沙条渠引水口处黄河沉积物的矿物组成、金属种类及有机物种类与沉沙条渠内的泥沙沉积物基本相同,但物质组分的含量及沉积物的理化性质具有一定的差别。

(2) 泥沙沉积物主要以粘粒、粉砂和细砂粒为主,颗粒粒度分布在 0.3—125 μm 之间;其中, H3 和 H4 样品颗粒的平均粒径约 20 μm ,粘粒和细粉砂约占 60%。沉积物的矿物主要由轻矿物(以石英、长石、方解石为主)和粘土矿物(以蒙脱石、伊利石、绿泥石为主)组成。各样品的金属元素含量规律大致相同: $\text{Al} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{Mn} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Co}$;与其它沉积物相比,泥沙沉积物存在高 Ca 和低 Al 的现象,而且活性态 Fe 的含量远高于活性态 Al 的含量。

(3) 泥沙沉积物属于中性偏碱沉积物,其有机质含量很低,极少超过 1%;沉积物颗粒表面带有一定量的负电荷,其絮凝能力较小,甚至为零。

(4) 泥沙沉积物各参数间存在较好的相关性,尤其颗粒粒径、有机质、活性态 Al、活性态 Fe、表面电荷密度、pH 这 6 个参数彼此之间存在显著相关性。沉积物的理化特性主要受沉积物的化学组成所支配,并且沉积物颗粒的各种矿物组成比例与颗粒粒径具有密切的关系。

参 考 文 献

- [1] 夏星辉,张菊,沙玉娟.邻苯二甲酸酯在河流沉积物上的不可逆吸附行为[J].环境科学,2010,31(4):969-975
- [2] 王沛芳,邹丽敏,王超,等.玄武湖沉积物中重金属的垂直分布[J].长江流域资源与环境,2010,19(5):547-553
- [3] 张宪伟,潘纲,王晓丽,等.内蒙古段黄河沉积物对磷的吸附特征研究[J].环境科学,2009,30(1):172-177
- [4] Capilla X, Schwartz C, Bedell J P, et al. Physicochemical and biological characterisation of different dredged sediment deposit sites in France [J]. Environmental Pollution, 2006, 143(1): 106-116
- [5] 张雷燕,李柯,刘正文.太湖不同污染程度底泥对磷滞留能力的比较[J].农业环境科学学报,2010,29(3):546-550
- [6] Novak J M, Watts D W. Phosphorus sorption by sediments in a southeastern coastal plain in-stream wetland [J]. Environmental Quality, 2006, 35(2): 1975-1982
- [7] 王晓丽,潘纲,包华影,等.黄河中下游沉积物对磷酸盐的吸附特征[J].环境科学,2008,29(8):2137-2142
- [8] 杨铁笙,熊祥忠,詹秀玲,等.粘性细颗粒泥沙絮凝研究概述[J].水利水运工程学报,2003,2:65-77
- [9] 郑乐平,刘玉梅,钱显文,等.太湖、巢湖沉积物中重金属污染的总量特征及其区域性差异[J].环境化学,2009,28(6):883-888
- [10] 范成新,秦伯强,孙越,梅梁湖和五里湖水-沉积物界面的物质交换[J].湖泊科学,1998,10(1):73-78

- [11] 刘东生. 黄河中游黄土 [M]. 北京: 科学出版社, 1964
- [12] Zhang J, Huang W W, Liu M G, et al. Drainage basin weathering and major element transport of two large Chinese rivers (Huanghe and Changjiang) [J]. *Journal of Geographical Research*, 1990 95(8) : 13277-13288
- [13] Hansen J, Reitzel K, Jensen H S, et al. Effects of aluminum, iron, oxygen and nitrate additions on phosphorous release from the sediment of Danish Softwater Lake [J]. *Hydrobiologia*, 2003 492: 139-149
- [14] 孙莉英, 倪晋仁, 孙卫玲. 不同粒径黄河沉积物中可提取腐殖质的含量分布及光谱特性 [J]. *环境科学* 2007 28(6) : 1324-1331
- [15] Baddi G A, Hafidi M, Cegarra J, et al. Characterization of fulvic acids by elemental and spectroscopic (FTIR and ^{13}C -NMR) analyses during composting of olive mill wastes plus straw [J]. *Bioresource Technology*, 2004 93(3) : 285-290
- [16] 韩凤朋, 张兴昌, 郝纪勇, 等. 黄河中游土壤有机质与氮磷相关性分析 [J]. *人民黄河* 2007 29(4) : 57-58
- [17] Beaudoin A. A comparison of two methods for estimating the organic matter content of sediments [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2003 29: 387-390
- [18] Santisteban J I, Mediavilla R, Lopez P E, et al. Loss on ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments [J]. *Journal of Paleolimnology* 2004 32(3) : 287-299
- [19] 林春野, 周豫湘, 呼丽娟, 等. 松花江水体沉积物汞污染及其生态风险 [J]. *环境科学学报* 2007 27(3) : 466-473
- [20] 邢友华, 董洁, 李晓晨, 等. 东平湖表层沉积物中磷的吸附容量及潜在释放风险分析 [J]. *农业环境科学学报*, 2010 29(4) : 746-751
- [21] 王兆印, 王文龙, 田世民. 黄河流域泥沙矿物成分与分布规律 [J]. *泥沙研究* 2007 (5) : 1-8
- [22] Wang X C, Zhang Y X, Robert F C. Distribution and partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in different size fractions in sediments from Boston Harbor, United States [J]. *Marine Pollution Bulletin* 2001 42: 1139-1149
- [23] 王飞越, 陈静生. 中国东部河流沉积物样品表面性质的初步研究 [J]. *环境科学学报* 2000 20(6) : 682-687

COMPOSITION AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SEDIMENTS IN DESILTING BASIN FROM YELLOW RIVER DIVERSION RESERVOIR

*HU Kangbo*¹ *WANG Yili*¹ *FENG Jing*¹ *LI Junqing*² *GUI Ping*³ *JIANG Yanling*³

(1. College of Environmental Science and Engineering, the Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education and Beijing, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, China; 2. Forestry College, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, China; 3. China Academy of Urban Planning and Design, Beijing, 100044, China)

ABSTRACT

Composition and physicochemical characteristics of sediment samples collected from 6 different geographical sites in desilting basin of Queshan reservoir were determined, and the correlation between their composition and physicochemical properties was analyzed. The results showed that the sediments collected from desilting basin and the Yellow River had similar composition but some differences in content and physicochemical characteristics. The sediment particles were mainly composed of clay, silt and fine sand, and their size distribution was 0.3—125 μm . The main minerals of sediments were light minerals (mainly quartz, feldspar and calcite) and clay minerals (mainly montmorillonite, illite and chlorite). Compared with the sediments in other water bodies, higher Ca and lower Al content were observed in the sediments from desilting basin. There was much more active Fe than active Al in these sediments. In addition, these sediments with neutral or slightly alkaline pH contained very low content of organic matters, which seldom exceeded 1%. There were some negative charges on the surface of sediment particles, and low or even zero flocculating ability was observed among these sediment particles. Furthermore, good correlations existed among the parameters of these sediments. Their chemical compositions played a major role in determining the physicochemical characteristics, and the composition proportion of various minerals correlated closely with their particle sizes.

Keywords: Yellow River, desilting basin, sediment, composition, physicochemical characteristics, correlation analysis.