

长江与黄河河口沉积物环境磁学特征及其对比研究

牛军利¹, 杨作升¹, 李云海², 乔淑卿³

(1. 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266100; 2. 海洋与海岸地质环境开放实验室, 国家海洋局第三海洋研究所, 福建 厦门 361005; 3. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘要: 对采自长江现行主河道和黄河入海口处的表层沉积样品进行了环境磁学参数的测量和对比研究。结果表明: 长江和黄河河口沉积物的磁性载体主要是亚铁磁性物质, 亚铁磁性矿物晶粒以假单畴-多畴为主, 同时亦有超顺磁晶粒的存在; 长江河口沉积物的磁性明显强于黄河河口沉积物, 特别是质量磁化率、非磁滞剩磁及饱和等温剩磁, 两者相对偏差在 40 % 以上; 在粗粒级沉积物 (> 0.063 mm) 中, 长江河口沉积物的磁化率与全样磁化率平均值差别较小, 在 4 % 左右; 黄河河口沉积物差别很大, 可达 34 %。两者的差别反映了长江和黄河沉积物中磁性矿物赋存方式的差异; 长江和黄河河口沉积物磁性特征的差异与两者粒度特征对比明显。长江和黄河河口沉积物的这些磁学方面的差别是源岩特征和气候环境差异上的反映, 可以作为判别两者物源的有效示踪剂。

关键词: 长江与黄河; 河口沉积物; 环境磁学特征; 对比研究; 物源示踪

中图分类号: P736.21

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)04-0024-07

长江与黄河是中国最大的两条河流, 每年携带着巨量的陆源物质入海, 两者的入海泥沙量之和约占中国河流入海泥沙总量的 85 %^[1], 是中国陆架海沉积物最主要的物质来源之一。这些通过长江、黄河等河流进入海洋的巨量陆源物质, 成为制约中国东部陆架乃至陆坡沉积作用的重要因素, 也是维系该海域生态平衡的重要因素之一^[2,3]。找出能有效区分长江源和黄河源沉积物的矿物学、地球化学等指标, 是识别中国东部海域沉积物物源的前提。示踪剂的研究是物源研究的难点和重点, 多年来许多学者对这一课题进行了大量的有益的研究, 取得了很多进展。如孙白云^[4]、杨守业等^[5]对长江、黄河沉积物中的碎屑矿物的比较研究, 杨作升^[1]、何良彪等^[6]、范德江等^[7]对长江、黄河沉积物中的黏土矿物和地球化学的研究, 以及范德江等^[2]、杨守业等^[8]从地球化学角度, Yang 等^[9]、孟宪伟等^[10]等从稀土元素组成上进行的研究, 另外还有一些学者从有机地球化学的角度对长江、黄河两类沉积物进行了对比研究^[3]。这些研究都显示出长江和黄河所携带的泥沙及其沉积物在物质成分上具有明显的差异, 但是由于物源差异以及泥沙输运、沉积过程的复杂性, 至今仍未得到令人满意的示踪指标。

20 世纪 70 年代中期发展起来的环境磁学^[11]在地层对比、沉积物物源分析和古海洋学研究中得到了广泛的应用并取得了长足的进展。国内的研究应用目前主要集中在黄土^[12,13]、湖泊^[14,15]、沉积盆

地^[16]、潮滩^[17]、海洋^[18~20]、海岸^[21]等的地层对比研究、环境变化、土壤学及污染物的研究中, 尤其对黄土和湖泊的研究较为详细, 而关于河流沉积物物源的研究十分缺乏。作者尝试用环境磁学的技术方法来探讨长江和黄河河口沉积物的磁性特点及其差异, 以便寻找比较理想的能反映物源的环境磁学参数。

1 样品和方法

长江样品取自河口目前是主流河道的南支河道中, 取其中 5 个做磁性测试, 黄河样品为 2003 年 6 月份取自黄河口门附近河道中, 取其中 4 个做磁性测试。为消除沉积物粒度对磁学性质的影响, 分别从长江样品中选择 2 个样品、黄河样品中选择 3 个样品按 0.063 mm 分离作对比。所有样品取 15 g 左右低温 (小于 40 °C) 烘干, 用玛瑙研钵研磨至 100 目以上, 用电子天平称取 10 g 左右干样装入聚乙烯盒内并压实, 然后按顺序依次测量: (1) 低频磁化率 (0.47 kHz) 和 高频磁化率 (4.7 kHz); (2) 非磁滞剩磁 (ARM, 交变磁场峰值为 100 mT, 直流磁场 0.04 mT); (3) 饱和等

收稿日期: 2006-05-13; 修回日期: 2007-11-29

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (902111022)

作者简介: 牛军利 (1975-), 男, 陕西凤翔人, 硕士研究生, 研究方向海洋地质, E-mail: drniu@163.com

温剩磁(强度为 1 T);(4)携饱和等温剩磁的样品在 - 100 mT 和 - 300 mT 磁场中退磁后保留的等温剩磁。

磁性测量在华东师范大学河口海岸动力沉积和动力地貌综合国家重点实验室进行,所用仪器为 Bartington MS2 磁化率仪、MolSpin 交变退磁仪、脉冲磁化仪和旋转磁力仪。根据以上测量结果,计算单位质量磁化率(χ)、ARM 磁化率(χ_{ARM})、磁化率频率系数($\chi_{fd} = [(X_{LF} - X_{HF}) / X_{LF}] \times 100\%$)、退磁参数($S_{-100} = [(S_{SIRM} - I_{100mT}) / 2] S_{SIRM} \times 100\%$)^[11],其中 S_{SIRM} 为饱和等温剩磁, I 为等温剩磁, A_{ARM} 为非磁滞剩磁。以及比值参数 S_{SIRM} / χ , χ_{ARM} / χ 和 χ_{ARM} / S_{SIRM} 等。

另取黄河、长江样品加 10 % H_2O_2 处理 24 h 后做粒度分析。粒度分析在中国海洋大学海洋地球科学学院用 Mastersize2000 型激光粒度仪进行,仪器测量范围为 0.02 ~ - 2 000 μm , 粒径分辨率为 0.01 ϕ , 重复测量的相对误差 < 3 %。

2 研究结果

沉积物的磁性特征,主要体现在磁性的强弱,磁

化和退磁的难易程度等方面,这些特征与沉积物所含的磁性矿物类型、含量和晶粒大小有关。根据磁性参数的物理意义,一般 χ , χ_{ARM} 和 S_{SIRM} 等参数和磁性矿物的含量有关,特别是与亚铁磁性矿物的含量有关; χ_{fd} , χ_{ARM} / χ , χ_{ARM} / S_{SIRM} , S_{-100} , S_{-300} 等参数主要反映了磁性矿物的晶粒特征和类型。 χ_{fd} 指示了样品中超顺磁(SP)亚铁磁性颗粒的含量多少; χ_{ARM} 则是对单畴(SD)颗粒极为敏感的参数;比值参数 χ_{ARM} / χ 可指示亚铁磁性矿物颗粒的大小,较高的比值反映了 SD 颗粒,而较低的比值则指示了多畴(MD)或超顺磁(SP)的颗粒; χ_{ARM} / S_{SIRM} 也指示磁性颗粒的粒度变化,但由于不受 SP 颗粒的影响,较低的比值则反映了较粗的 MD 颗粒; S_{-100} 主要反映了磁性矿物的类型和颗粒大小。 S_{-100} 一般反映不完整反铁磁矿物与亚铁磁性矿物的相对比例,随着不完整反铁磁性矿物比例的增加而下降^[11,22,23]。

2.1 长江、黄河全样磁性特征

长江、黄河河口沉积物磁学特征具有明显的差异(表 1)。

表 1 长江、黄河河口沉积物磁学特征

Tab. 1 The magnetic characteristics of the sediments in the river mouths of the Changjiang River and the Huanghe River

样品编号	χ ($10^{-8} m^3 / kg$)	χ_{fd} (%)	A_{ARM} ($10^{-6} Am^2 / kg$)	S_{SIRM} ($10^{-6} Am^2 / kg$)	χ_{ARM} ($10^{-8} m^3 / kg$)	χ_{ARM} / χ ($10^2 A / m$)	χ_{ARM} / S_{SIRM} ($10^{-2} m / A$)	S_{-100} (%)	S_{-300} (%)
CJ-1	135.27	3.08	164.60	21 346.43	516.97	3.82	0.02	83.57	95.58
CJ-2	78.81	3.95	147.23	12 685.08	462.40	5.87	0.04	80.68	94.68
CJ-3	79.28	4.58	151.53	10 669.83	475.92	6.00	0.04	82.67	93.40
CJ-4	122.35	2.62	140.11	16 396.97	440.05	3.60	0.03	87.07	95.66
CJ-5	137.83	3.38	148.58	22 264.13	466.64	3.39	0.02	84.84	96.06
CJ-Ave	110.71	3.52	150.41	16 672.49	472.40	4.53	0.03	83.77	95.08
CJ 标准偏差	29.50	0.77	8.98	5 126.39	28.19	1.29	0.01	2.39	1.07
CJ-CV	26.64	21.73	5.97	30.75	5.97	28.41	31.76	2.85	1.12
HH-1	52.77	5.12	89.32	6 565.36	280.52	5.32	0.04	77.04	92.55
HH-2	33.55	2.31	40.07	4 492.98	125.84	3.75	0.03	75.55	92.10
HH-3	38.37	1.11	21.50	5 614.53	67.52	1.76	0.01	71.25	93.24
HH-4	45.61	1.52	29.68	6 943.45	93.21	2.04	0.01	71.38	93.12
HH-Ave	42.57	2.52	45.14	5 904.08	141.77	3.22	0.02	73.81	92.75
HH 标准偏差	8.41	1.81	30.42	1 094.32	95.52	1.65	0.01	2.94	0.53
HH-CV	19.76	71.88	67.38	18.54	67.38	51.35	59.88	3.98	0.57
RD	44.45	16.67	53.83	47.70	53.83	16.99	12.02	6.32	1.24

注: CJ 编号的为长江样品, HH 编号的为黄河样品(表 2 同); CV 为变异系数(%); RD 为相对偏差(%), $RD = \text{长江样品平均值} - \text{黄河样品平均值} / \text{两者之和} \times 100\%$

长江河口沉积物磁性较强,磁化率平均 $110.71 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$;饱和等温剩磁值平均为 $16\,672.49 \times 10^{-6} \text{ Am}^2/\text{kg}$ 以上;非磁滞剩磁平均 $472.5 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$; S_{-300} 平均值在 95.08。以上数据表明,长江河口沉积物中影响磁性强弱的主要为亚铁磁性物质。 χ_{ARM}/χ 和 $\chi_{\text{ARM}}/S_{\text{SIRM}}$ 值都比较低,前者平均为 4.53,后者平均为 $0.03 \times 10^{-2} \text{ m/A}$,表明长江河口沉积物中磁性物质主要以假单畴-多畴颗粒为主。 χ_{fd} 值平均为 3.52,表明超顺磁晶粒的存在。从样品标准偏差和变异系数看出,长江口磁性物质含量变化较大,特别是磁化率和饱和等温剩磁及比值 χ_{fd} , χ_{ARM}/χ 和 $\chi_{\text{ARM}}/S_{\text{SIRM}}$,变异系数超过 20%。其他磁性参数变化较小,均小于 10%。表明长江河口沉积物在具有共同磁学特性的本底上在局部有差异,这些差异可能来自人为污染物质的影响^[17]以及实验误差。长江沉积物之间磁性特征有所差异,但受样品数量限制是否属于不同沉积环境尚难作出判断。

黄河河口沉积物磁性相对长江沉积物要弱,磁化率平均仅 $42.57 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$,最大也不过 $52.77 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$;饱和等温剩磁值平均为 $5904.08 \times 10^{-6} \text{ Am}^2/\text{kg}$;非磁滞剩磁平均 $141.77 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$; S_{-300} 平均值在 92.75 左右。以上数据表明黄河口沉积物

表 2 长江、黄河河口沉积物磁学特征

积物中磁性强弱也主要受亚铁磁性物质控制,但磁性矿物含量明显低于长江沉积物。 χ_{ARM}/χ 和 $\chi_{\text{ARM}}/S_{\text{SIRM}}$ 值都比较低,前者平均为 3.22,后者平均为 $0.02 \times 10^{-2} \text{ m/A}$ 。表明黄河口沉积物中磁性物质主要以假单畴-多畴颗粒为主。 χ_{fd} 值平均为 2.52,表明超顺磁晶粒的存在。黄河口沉积物磁性参数变化除磁化率、饱和等温剩磁和 S_{-300} 外都明显要高于长江口沉积物。

从相对偏差上可以看出,长江河口沉积物中所有磁性参数值都高于黄河河口沉积物的磁性参数值,其中 χ , A_{ARM} , S_{SIRM} , χ_{ARM} 的相对偏差均超过 40%,表明长江河口沉积物中磁性物质的含量明显高于黄河河口沉积物中磁性物质含量;其他参数相差小于 20%,这些参数主要是标注磁性物质晶粒大小的,说明长江和黄河沉积物中主要磁性物质颗粒大小类似。

2.2 长江、黄河不同粒级沉积物的磁性特征

为探讨不同粒级样品中磁性特征差异,随机选取个别样品按不同粒级(以 0.063 mm 为分界)进行测量,测试结果见表 2。

Tab. 2 The magnetic characteristics of the sediment in the river mouths of the Changjiang River and the Huanghe River

样品编号	χ ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)	χ_{fd} (%)	A_{ARM} ($10^{-6} \text{ Am}^2/\text{kg}$)	S_{SIRM} ($10^{-6} \text{ Am}^2/\text{kg}$)	χ_{ARM} ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)	χ_{ARM}/χ (10^2 A/m)	$\chi_{\text{ARM}}/S_{\text{SIRM}}$ (10^{-2} m/A)	S_{-100} (%)	S_{-300} (%)
CJ ⁺	120.54	1.89	107.49	16050.76	337.60	2.80	0.02	90.00	96.79
CJ ⁻	122.56	3.33	172.53	16390.53	541.86	4.42	0.03	87.33	95.88
CJ-Ave	110.71	3.52	150.41	16672.49	472.40	4.53	0.03	83.77	95.08
CJ-RD ⁺	-4.25	30.11	16.64	1.90	16.64	23.64	18.55	-3.59	-0.90
CJ-RD ⁻	5.08	-2.73	6.85	-0.85	6.85	-1.27	3.84	2.08	0.42
HH ⁺	20.90	0.47	16.51	3264.02	51.86	2.60	0.02	70.08	90.98
HH ⁻	81.24	3.66	81.00	11318.68	254.41	3.60	0.03	75.64	93.77
HH-Ave	42.57	2.52	45.14	5904.08	141.77	3.22	0.02	73.81	92.75
HH-RD ⁺	34.15	68.32	46.43	28.80	46.43	10.67	18.75	2.59	0.96
HH-RD ⁻	31.23	18.56	28.43	31.44	28.43	5.58	11.66	1.23	0.54

注:带“+”的为 0.063 mm 粒级以上样品,带“-”的为 0.063 mm 以下样品;RD 为相对偏差, $\text{RD}(\%) = \frac{\text{不同粒级样品各参数平均值与全样平均值之差与两者之和的比值}}{\times 100\%}$

从表 2 中可以看出:(1)不管是粗粒级部分还是细粒级部分,长江河口沉积物的磁性要强于黄河河口沉积物;(2)长江和黄河河口沉积物都表现出细粒级部分磁性强于粗粒级部分,粗粒级部分与全样磁

学参数的相对偏差明显高于细粒级部分,特别是黄河河口沉积物中的差别尤甚;(3)粗粒级组分中,长江河口沉积物中反映磁性物质类型的质量磁化率、 S_{SIRM} 和 χ_{ARM} 等值与全样的相对偏差都比较小,最大

不超过 17 %;黄河河口沉积物中这些参数的值与全样的相对系数值的相对偏差较大,最小达 28.8 %,最大为 46.43 %。

从以上结果可以看出,长江河口沉积物中,磁性矿物不仅赋存在细组分中,在粗组分中也有相当数量。这与人研究结果所显示的长江沉积物中特征的亚铁磁性副矿物的存在相符合^[5]。黄河河口沉积物中磁性物质主要赋存在细粒部分中,这与其磁性物质的形成特点与赋存状态有关^[24,25]。

3 讨论

3.1 沉积物环境磁学性质差异的影响因素

以上分析可知,长江河口沉积物与黄河河口沉积物在环境磁学性质上具明显的差异。这些差异主要受控于磁性矿物的类型、含量及其晶粒大小。差异的本源是源岩(流域岩石等物质组成)、构造及气候影响下的风化作用、河流水动力条件、沉积环境以及人类活动影响的污染物排放等的差别。下面将从沉积物本身、源岩及风化作用等方面对两者的差异进行重点讨论。

3.1.1 沉积物粒度对磁性差别的影响

磁性矿物晶粒的大小是影响沉积物磁性强弱的因素之一^[11,22,23]。沉积物的粒度可以影响晶粒大小,从而影响了沉积物的磁性强弱。对比长江和黄河河口沉积物的粒度特征(图 1)可以看出:长江河口沉积物的粒度要比黄河河口沉积物的粒度细。全样中, < 0.063 mm 的部分在长江沉积物中平均占 71.467 %,在黄河河口沉积物中仅占 52.817 %。反映磁性物质粒径的磁化率频率指数, X_{ARM}/X , X_{ARM}/S_{IRM} 等也显示,长江河口沉积物中磁性物质的粒径要小于黄河河口沉积物中的粒径,特别是磁化率频率指数,长江平均为 3.52 %,黄河河口沉积物中只有一个样品大于 2.5 %。所以,沉积物的粒度是造成两者磁学特征差异的原因之一。

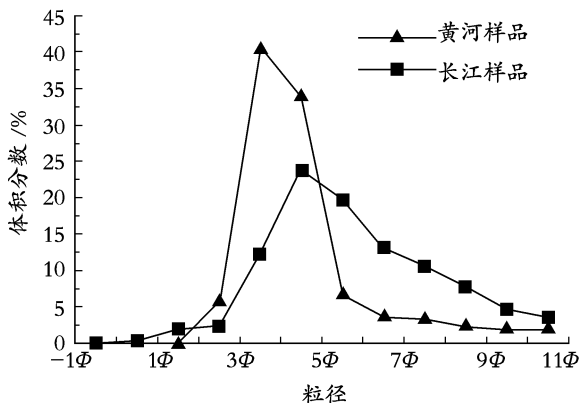


图 1 长江、黄河河口沉积物典型粒度频率曲线

Fig. 1 The typical frequency curve of sediment grain size in the river mouths of the Changjiang River and the Huanghe River

从分粒级测试中可以看出:虽然消除了粒度的影响,但是两者沉积物的磁性特征差别还是特别明显,所以磁性物质的含量和赋存方式也是影响磁性强弱的因素。

3.1.2 源岩差异对磁性差别的影响

长江泥沙主要来源于宜昌以上,汉江、鄱阳湖水系及太湖水系也有部分泥沙注入但总量较少^[26,27]。长江流域面积广,构造复杂,基岩类型复杂,广泛分布有中酸性侵入岩及变质岩类等^[28]。这种地质背景导致长江沉积物的来源众多,很难把长江沉积物组成与某种或几种基岩相对应^[7,8,29]。长江沉积物中矿物组成继承了流域内的物质组成,其中的重矿物特征组合为角闪石-绿帘石-金属矿物,金属矿物的含量大于 21 %^[30]。黄河泥沙主要来自中游的黄土高原,一般认为可占 90 %左右^[31,32]。黄河沉积物中重矿物以角闪石-黑云母-绿帘石-金属矿物为主要特征组合,但金属矿物的含量比长江中少,仅为 2 %。

由此看出,长江河口沉积物中继承了长江携带泥沙的物质组成,含有大量的金属矿物,特别是中酸性岩浆岩中的磁铁矿等金属重矿物。而黄河则继承了黄土的物质组成,其所含的金属重矿物要大大地少于长江沉积物中的含量。所以两者的源岩差别导致了长江河口沉积物中磁性物质要多于黄河河口沉积物中的磁性物质,从而其磁化率要高于黄河河口沉积物。

3.1.3 风化作用差异对磁性差别的影响

沉积物的矿物组合和化学成分与物源区气候条件具有直接的关系^[1]。长江流域绝大部分地区为暖温带湿润、潮湿气候^[33],流域内物理侵蚀与化学侵蚀之比为 2~5^[34],风化指数在 6 左右^[35],长江流域内以化学风化作用占主导。导致在表生带中较易迁移的 Na, K, Ca, Mg 等常量元素转移到水体之中而使这些元素在长江沉积物中的含量较低;而在表生带中惰性难迁移的 Fe, Mn, Ti, Al 等元素残留在沉积物之中,发生富集,它们在长江沉积物中的含量较高。黄河中、上游地处西北半干旱地区,属大陆性季风气候,下游位于暖温带半湿润季风气候区^[33],流域内物理侵蚀与化学侵蚀之比为 75 左右^[34],风化指数在 4.5 左右^[35],以物理风化作用为主,使得易迁移元素流失、难迁移元素富集都较弱,导致黄河沉积物中 Na, K, Ca, Mg 等元素含量高于长江沉积物, Fe, Mn, Ti, Al 等含量低于长江沉积物。

以上可以看出,长江沉积物中金属元素更富集,并会含有较多磁铁矿等金属副矿物;黄河沉积物中,大量的易流失元素的进入稀释了金属元素的含量,另外由于氧化作用的进行,大量磁性较强的亚铁磁性矿物转化为反铁磁性矿物,并向细粒级中转移。这些也使长江河口沉积物的磁性强度要强于黄河河口沉积物,特别是在粗组分中差异更大。

3.2 环境磁学参数的示踪意义

通过以上分析可以看出环境磁学参数在长江与黄河河口沉积物之间有明显差异,质量磁化率、非磁滞剩磁及饱和等温剩磁等参数的相对偏差在 40 % 以上。在质量磁化率和非磁滞剩磁相关图上可以明显地把两者区分开,长江沉积物集中在高质量磁化率高非磁滞剩磁的右上部,黄河沉积物集中在低质量磁化率低非磁滞剩磁的左下部(图 2)。特别是在消除粒度影响之后,长江和黄河河口沉积物的差异性更为突出。另外磁性参数的测量具有其他参数测量所不具有的特殊优势^[36]。所以可选择环境磁学参数作为示踪剂,来区分长江与黄河物质。环境磁学参数示踪剂的建立既为物源研究提供了一个新的手段,也是环境磁学应用的深入和开拓。

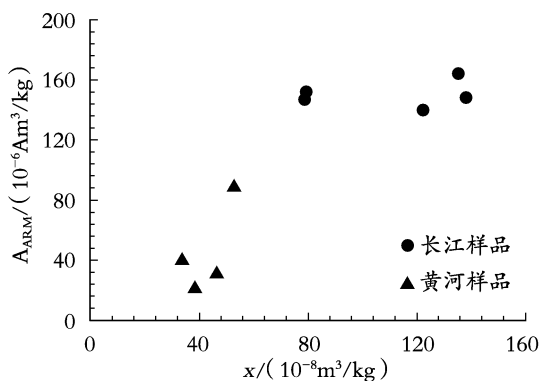


图 2 长江和黄河沉积物环境磁学特征差异

Fig. 2 The difference of the magnetic characteristics of the sediment in the Changjiang River and the Huanghe River

3.3 存在的不足

作者仅研究了作为中国东部陆架物源端元组分之一的长江和黄河河口沉积物样品的特征,有待将该研究成果运用在陆架沉积物中。尚未对利用环境磁学参数进行物源示踪的实际效果进行评价;由于样品数量的限制,在分粒级测试中只是粗略地分成两个粒级,对粒度与磁性的关系研究尚须在这方面深入。

4 结论

长江和黄河河口沉积物的磁性载体主要是亚铁磁性物质,亚铁磁性矿物晶粒以假单畴-多畴为主,磁化率频率系数显示两者亦有超顺磁晶粒的存在。长江流域与黄河流域的区域地质特征及气候类型差异决定了长江河口沉积物磁性明显强于黄河河口沉积物,特别是质量磁化率、非磁滞剩磁及饱和等温剩磁,两者相对偏差在 40 % 以上。在粗粒级沉积物 (>0.063 mm) 中,长江河口沉积物的磁化率 ($120.54 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) 与全样磁化率平均值 ($110.71 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) 差别较小,相对系数仅 4 % 左右;黄河河口沉积物差别很大,全样平均为 $42.57 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$,粗粒级部分平均为 $20.90 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$,相对系数达 34 %。二者相比,黄河是长江的 8 倍。反映了长江和黄河沉积物中磁性矿物赋存方式的差异。长江和黄河河口沉积物磁性特征的差异与两者粒度特征对比明显。长江河口沉积物粒度相对黄河河口沉积物粒度要细,这也是长江河口沉积物磁性较黄河河口沉积物强的原因之一。质量磁化率、非磁滞剩磁及饱和等温剩磁等环境磁学参数在长江与黄河河口沉积物间差异明显,可被用来作为研究长江与黄河物质在我国陆架边缘海的混合与扩散等问题的示踪剂。

致谢:华东师范大学张经教授提供了长江河口沉积物样品;华东师范大学河口海岸动力沉积和动力地貌综合国家重点实验室的张卫国老师和谢红霞研究生在磁性测量过程中给予大力协助和指导;中国海洋大学潘燕俊研究生提供了粒度测量资料,刘蔚然同学在样品前处理过程中给予帮助。在此深表感谢。

参考文献:

- [1] 杨作升. 黄河、长江、珠江沉积物中黏土矿物组合、化学特征及其与物源区气候环境的关系[J]. 海洋与湖沼, 1988, 19(4): 336-346.
- [2] 范德江, 杨作升, 王文正. 长江、黄河沉积物中碳酸盐组成及差异[J]. 自然科学进展, 2002, 12(1): 60-64.
- [3] 毛登, 范德江, 郭志刚, 等. 长江、黄河河口沉积物中生物标志化合物组成的初步研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(5): 747-754.
- [4] 孙白云. 黄河、长江和珠江三角洲沉积物中碎屑矿物的组合特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1990, 10(3): 23-34.
- [5] 杨守业, 李从先, 朱金初, 等. 长江与黄河沉积物中磁铁

- 矿成分标型意义[J]. 地球化学, 2000, 29(5): 480-484.
- [6] 何良彪, 刘秦玉. 黄河与长江沉积物中黏土矿物的化学特征[J]. 科学通报, 1997, 42(7): 730-733.
- [7] 范德江, 杨作升, 毛登, 等. 长江与黄河沉积物中黏土矿物及地化成分的组成[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(4): 7-12.
- [8] 杨守业, 李从先. 长江与黄河沉积物元素组成及地质背景[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(2): 19-26.
- [9] Yang S Y, Hoi Jang H S, Choi M S, *et al.* The rare earth element compositions of the Changjiang (Yangtze) and Huanghe (Yellow) River sediments [J]. **Earth and Planetary Science Letters**, 2002, 201: 407-419.
- [10] 孟宪伟, 杜德文, 陈志华, 等. 长江、黄河流域泛滥平原细粒沉积物⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 空间变异的制约因素及其物源示踪意义[J]. 地球化学, 2000, 29(6): 562-570.
- [11] Verosurb K L, Roberts A P. Environmental magnetism: past, present, and future [J]. **Journal Geophysics Research**, 1995, 100: 2175-2192.
- [12] 吕厚远, 韩家懋, 吴乃琴, 等. 中国现代土壤磁化率分析及其古气候意义[J]. 中国科学(B 辑), 1994, 24(12): 1290-1297.
- [13] Liu X M, Rolph T, Bloemendal J, *et al.* Quantitative estimates of palaeoprecipitation at Xifeng, in the loess Plateau of China [J]. **Palaeo, Pleaeo, Palaeo**, 1995, 113: 243-248.
- [14] Wang S M, Ji L, Yang X D, *et al.* The record of Younger Dryas event in the lake sediment from Jalai Nur, Inner Mongolia [J]. **Chinese science Bulletin**, 1994, 39(10): 831-835.
- [15] 俞立中, 许羽, 许世远, 等. 太湖沉积物的磁性特征及其环境意义[J]. 湖泊科学, 1995, 7(2): 141-150.
- [16] 刘泽纯, 黄巧华. 昆明盆地两孔岩芯的沉积特征及环境磁学分析[J]. 沉积学报, 1992, 10(2): 54-61.
- [17] 张卫国, 俞立中. 长江口潮滩沉积物的磁学性质及其与粒度的关系[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(9): 783-792.
- [18] 葛宗诗. 南黄海 QC2 孔磁化率研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1996, 16(4): 35-42.
- [19] 刘健, 朱日祥, 李绍全. 南黄海北部末次冰期棕黄色细粒沉积物的磁学特征及其地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(4): 15-20.
- [20] 刘健, 李绍全, 王圣洁, 等. 南黄海东北陆架 YS-DP105 孔冰消期以来沉积层序的磁学特征研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 17(4): 13-24.
- [21] 贾玉连, 柯贤坤, 王艳, 等. 渤海曹妃甸沙坝-泻湖海岸现代沉积的磁化率与粒度、矿物的关系[J]. 海洋通报, 2000, 19(1): 41-50.
- [22] Dekker S M J. Environmental magnetism: an introduction [J]. **Geologic en Mijnbouw**, 1997, 76: 163-182.
- [23] Mooney S D, Geiss C, Smith M A. The use of mineral magnetic parameters to characterize archaeological ochres [J]. **Journal of Archaeological Science**, 2002, 29: 1-13.
- [24] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 210-245.
- [25] 石建省, 李铮华, 魏明建, 等. 黄土与古气候研究[M]. 北京: 地质出版社, 1998. 44-55.
- [26] 万新宁, 李九发, 何青, 等. 长江中下游水沙通量变化规律[J]. 泥沙研究, 2003, 4: 29-35.
- [27] 长江水利委员会. 三峡工程泥沙研究[M]. 湖北: 湖北科学技术出版社, 1997. 185-186.
- [28] 中国科学院地理研究所, 长江水利水电科学研究院. 长江中下游河道特征及其演化[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 270.
- [29] 屈翠辉, 郑建勋, 杨韶晋, 等. 黄河、长江、珠江下游控制站悬浮物的化学成分及其制约因素的研究[J]. 科学通报, 1984, 17: 1 063-1 066.
- [30] 王腊春, 陈晓玲, 储同庆. 黄河、长江泥沙特性对比分析[J]. 地理研究, 1997, 16(4): 71-79.
- [31] 任美镠, 史运良. 黄河输沙及其对渤海、黄海沉积作用的影响[J]. 地理科学, 1986, 6(1): 1-12.
- [32] 叶青超. 黄河流域环境演变与水沙运行规律研究[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1994. 220.
- [33] 熊怡, 张家桢. 中国水文区划[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 206.
- [34] 陈静生, 李元惠, 乐嘉祥, 等. 我国河流的物理与化学侵蚀作用[J]. 科学通报, 1984, 15: 932-936.
- [35] 张经. 盆地的风化作用对河流化学成分的控制[A]. 张经. 中国主要河口的生物地球化学研究[C]. 北京: 海洋出版社, 1996. 1 216.
- [36] 姜月华, 殷鸿福, 王润华. 环境磁学理论、方法和研究进展[J]. 地球学报, 2004, 25(3): 357-362.

The characteristics of the environmental magnetism in sediment from the river mouths of the Changjiang River and the Huanghe River and their comparison study

NIU Jun-li¹, YANG Zuo-sheng¹, LI Yun-hai², QIAO Shu-qing³

(1. Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Open Laboratory of Coast & Ocean Environmental Geology, Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China; 3. First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China)

Received: May, 13, 2005

Key words: the Changjiang River and the Huanghe River; sediment in the river mouth; the characteristic of environmental magnetism; comparison study; provenance identification

Abstract: Based on the environmental magnetism measurements on the sediment samples from the Changjiang River and the Huanghe River mouths, the basic characteristics of the environmental magnetism for the sediment from the Changjiang River mouth and the Huanghe River mouth are analyzed respectively and compared with each other. The results indicated that ferrimagnetic minerals are the main magnetism carriers for both the Changjiang River and the Huanghe River sediment. Additionally the ferrimagnetic minerals are mostly composed of pseudo-single domain and multi-domain grains together with a little superparamagnetic grain. The magnetic intensity in the sediment from the Changjiang River mouth is obviously higher than that from the Huanghe River mouth, especially in terms of magnetic susceptibility, anhysteretic remanent magnetization and saturation isothermal remanent magnetization. For the samples from the Changjiang River mouth there is no significant discrepancy of susceptibility detected between the coarser-grain part and the total samples, while it is high up to 34 % for the samples from the Huanghe River mouth, indicating that such difference of susceptibility between the samples from the two river mouths is derived from the dissimilar existence of the minerals; The difference in the environmental magnetism between the sediment samples from the two river mouths is corresponding with the different distribution patterns of grain size.

The different environmental magnetism characteristics of the sediments reflect the different source rocks and the climate for the sediment generation. Therefore the parameters of the environmental magnetism can be regarded as an effective tracer for identifying the sediment provenances of the Changjiang River and the Huanghe River.

(本文编辑:刘珊珊)