

doi:10.3799/dqkx.2011.079

江汉平原主要河流沉积物磁学特征及其与物源区表壳岩性的响应

张玉芬¹, 李长安^{2,3}, 康春国¹, 严玲琴¹, 邵磊³, 张勇¹

1. 中国地质大学地球物理与空间信息学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

3. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

摘要: 为了建立江汉平原沉积物示踪的磁学模型, 对汇入江汉平原的主要河流现代沉积物磁学特征进行了研究, 结果表明: (1) 在江汉平原范围内, 无论长江、汉江, 还是周边的漳河、沮水、玛瑙河和清江, 它们的现代沉积物的磁学参数特征均显示出明显的差异, 而且和源区表壳岩性也显示出极好的相关性; (2) 长江和汉江现代沉积物中铁磁性矿物均以亚铁磁性矿物为主, 它们主导了样品的磁性特征, 但长江沉积物比汉江沉积物亚铁磁性矿物含量高; (3) 长江和汉江沉积物的亚铁磁性矿物晶粒都以假单畴—多畴为主, 并且长江沉积物磁性颗粒总体上要比汉江的粗; (4) 在汇入江汉平原的主要支流中, 汉江的亚铁磁性矿物含量远远高于其他支流, 且磁性矿物的晶粒也比其他支流的粗; (5) 除汉江以外的支流中, 玛瑙河沉积物中磁性矿物的晶粒比较细且不完全反铁磁性矿物含量较高, 漳河中的超顺磁物质含量较高, 而清江中不完全反铁磁性矿物含量较高且磁性矿物的晶粒相对较粗。上述结果表明, 在江汉平原利用沉积物的磁学特征可达到沉积物物源示踪的目的。

关键词: 沉积物; 磁学特征; 物源示踪; 地球物理。

中图分类号: P631.2

文章编号: 1000-2383(2011)04-0771-08

收稿日期: 2010-09-15

Magnetic Characteristics of River Sediments in Jiangnan Plain and Response to Rock Types of the Provenance

ZHANG Yu-fen¹, LI Chang-an^{2,3}, KANG Chun-guo¹, YAN Ling-qin¹, SHAO Lei³, ZHANG Yong¹

1. Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: In this paper we report the magnetic characteristics of the confluent river sediments into the Jiangnan Plain. Magnetic characteristics are obviously different between different rivers, such as the Yangtze River, Hanjiang River, Zhanghe River, Juhe River, Manaohe River and Qingjiang River, and are well correlated with rock types of the provenance. Magnetic minerals from the Yangtze River and the Hanjiang River are almost ferrimagnetic, which dominate the magnetic characteristics of the samples. Content of ferrimagnetic minerals in the Yangtze River sediments is higher than that in the Hanjiang River. Ferrimagnetic minerals have thicker crystals in the Yangtze River than that in the Hanjiang River, both of which are almost from pseudo-single to multi domain. Higher concentration of ferrimagnetic minerals and thicker magnetic particles are found in the Hanjiang River than the other tributaries of the Yangtze River flowing to Jiangnan plain. High concentration of incomplete anti-ferromagnetism minerals and superparamagnetic particles are found in the Manaohe River and Zhanghe River sediments respectively. High concentration of incomplete anti-ferromagnetism minerals are found in the Qingjiang River sediments, also with thick magnetic particles. Based on the research we conclude that magnetic characteristics of sediments in Jiangnan Plain can provide useful information on constraining sediment provenance.

Key words: sediments; magnetic characteristics; source tracing; geophysics.

基金项目: 国家自然科学基金(Nos. 40971008, 40672206, 40771213); 国家重点基础研究发展“973”计划(No. 2004CB720204); 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目(No. SKLLQG09).

作者简介: 张玉芬(1957—), 女, 教授, 博士, 主要从事环境地球物理的教学与研究. E-mail: zhyfcug@163.com

环境磁学是 20 世纪 70 年代中期发展起来的一门新兴边缘学科,在地学许多领域都得到了广泛的应用(Thomson and Oldfield, 1986; 邓成龙等, 2007; 夏敦胜等, 2007; 张卫国等, 2007; 王辉等, 2008). 目前,通过现代沉积物环境磁学的研究,探讨其在环境污染、物源判识等领域中的应用是环境磁学重点发展的领域之一(Dekkers, 1997; 张卫国和俞立中, 2002; 沈明洁等, 2007; 张春霞等, 2007), 但将环境磁学用于水系沉积物的物源示踪研究还比较少,尤其对江汉平原主要河流现代沉积物磁学特征及其与流域表壳岩系的关系研究更少(张玉芬等, 2009). 江汉平原是长江切开三峡后的第一个接受沉积的大型卸载盆地,有着巨厚的第四纪松散沉积物. 研究这个第四纪沉积物的形成与演化,以及物源的判定,对于研究长江三峡的贯通时间是至关重要的(马永法等, 2007; Zhang *et al.*, 2008). 本文通过长江、汉江及周边主要河流表层沉积物的磁性测量和分析,讨论了长江、汉江及其他支流沉积物的磁性特征,初步建立了长江、汉江和周边主要河流沉积物识别的磁学标志,并对长江、汉江及周边河流沉积物磁学特征与其流域表壳岩系的关系进行了初步探讨. 其结果对我们研究江汉平原沉积物的物源提供了可靠的依据,同时也为研究长江、汉江及江汉平原区提供了基础数据.

1 区域地质背景

江汉平原位于湖北省中南部,地处长江中游和汉江下游,是长江中下游平原的主体部分,其地理位置介于北纬 $29^{\circ}26'$ ~ $31^{\circ}10'$ 、东经 $111^{\circ}45'$ ~ $114^{\circ}16'$ 之间. 面积约 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$. 江汉平原在构造上属于新华夏构造体系的一部分,是伴随构造盆地的沉降由河流与湖泊沉积而成. 进入第四纪以来江汉平原继承了古近纪、新近纪新构造运动的特点,在中、新生代内陆河、湖相沉积盆地的基础上,仍以沉降为主体(张德厚, 1994; 杨达源和李徐生, 2000). 长江及其支流汉江、清江、沮水和漳河等带来的泥沙在此大量沉积,形成沉积厚度达 300~400 m 的第四纪巨厚沉积物(图 1).

2 样品的采集和测试

研究样品取自长江及其支流(汉江、清江、漳河、玛瑙河和沮水)的河流沉积物,采样地点均位于河流尚未进入江汉平原前砂质河漫滩. 长江共测试了 38 个样品,汉江共测试了 81 个样品,清江、漳河、玛瑙河和沮水分别测试了 15、47、28 和 47 个样品. 具体的采集位置见图 1.

样品的处理分析实验流程如下:首先将采集的样品在 40°C 的温度下烘干,用 0.5 mm 的网目筛过

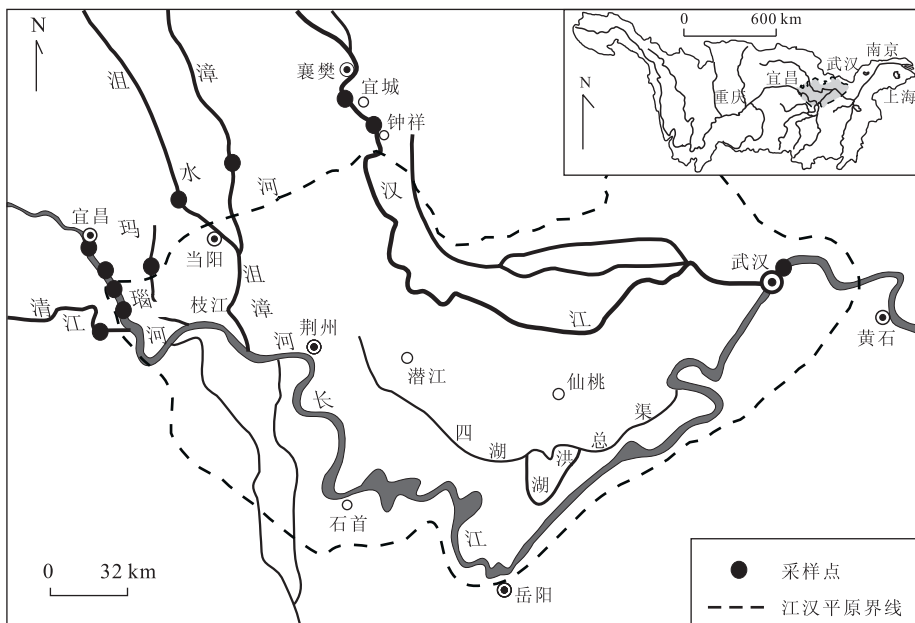


图 1 江汉平原及采样位置

Fig. 1 Sampling location in Jianghan plain

筛,以保证样品颗粒的大小统一在 0.5 mm 以下,采用同一个粒级以保证其客观性。然后将过筛后的样品称重,装入磁学专用样品盒,并压实。最后在实验室对样品进行环境磁学参数测试。样品的环境磁学参数测试是在华东师范大学河口海岸国家重点实验室完成的。使用仪器为英国 Bartingto MS2 磁化率仪、Molspin 交变退磁仪、脉冲磁化仪和 Minispin 旋转磁力仪。对所有样品进行了低频磁化率(0.47 kHz, χ_{lf})和高频磁化率(4.7 kHz, χ_{hf})、非磁滞剩磁磁化率(χ_{ARM} , 交流磁场峰值为 100 mT, 直流磁场为 0.04 mT)和等温剩磁测试,即经强度为 300 mT 及 1 T 磁场磁化后的剩磁(IRM_{300mT} 、 $SIRM$)和带饱和剩磁的样品经强度为 -100 mT 反向磁场退磁后的剩磁。利用测得的数据,计算单位质量磁参数,如磁化率(χ)、硬剩磁($HIRM$)、饱和等温剩磁($SIRM=IRM_{1000mT}$)、非磁滞剩磁(ARM)或非磁滞剩磁磁化率(χ_{ARM})以及各种比值参数,如磁化率频率系数($\chi_{fd\%}$, $\chi_{fd\%} = [\chi_{lf} - \chi_{hf}] / \chi_{lf} \times 100$)、 $SIRM/\chi$ 、 ARM/χ 、 $SIRM/ARM$ 、 S_{-100} ($S_{-100} = [SIRM - IRM_{-100mT}] / [2 \times SIRM] \times 100$)和 F_{300} ($F_{300} = IRM_{300mT} / SIRM \times 100$)等。其中 χ 、 $SIRM$ 、 χ_{ARM} 等参数主要与磁性矿物含量有关, χ_{ARM} 对单畴晶粒的亚铁磁性矿物最为敏感。 $\chi_{fd\%}$ 指示了超顺磁(SP)—单畴(SD)边界附近的细粘滞性颗粒(FV)的相对重要性, χ_{ARM}/χ 、 $\chi_{ARM}/SIRM$ 反映了亚铁磁性矿物晶粒大小特征,并随着单畴组分的比例增加而增加。 $SIRM/\chi$ 、 S_{-100} 和 F_{300} 等主要反映了磁性矿物

的颗粒大小和类型(Oldfield and Yu, 1994; 俞立中等, 1995; 张卫国等, 1995; 王永红等, 2004)。

3 结果分析

样品的磁学参数测试结果示于表 1 和图 2。由表 1 和图 2 可知,在江汉平原范围内,无论长江、汉江还是周边的漳河、沮水、玛瑙河和清江,它们的现代沉积物的磁学参数特征和沉积物磁性矿物的类型、含量和晶粒特征均存在着一定的差异,现将它们的特点分析如下。

3.1 江汉平原周边主要河流沉积物磁性矿物的类型和含量

磁学参数 $SIRM/\chi$ 值的大小可用于识别磁性矿物的类型,一般认为磁铁矿的 $SIRM/\chi$ 值主要分布在 1.5~50 $kA \cdot m^{-1}$, 赤铁矿的 $SIRM/\chi$ 值一般大于 100 $kA \cdot m^{-1}$, 含较多超顺磁颗粒物质的 $SIRM/\chi$ 值一般低于 0.4 $kA \cdot m^{-1}$ (Thomson and Oldfield, 1986)。由表 1 和图 2 可知,在进入江汉平原的主要水系中,沉积物样品的 $SIRM/\chi$ 值主要分布在 5.2~20.8 $kA \cdot m^{-1}$, 说明沉积物中磁性矿物类型主要是磁铁矿等亚铁磁性矿物。其中长江和汉江样品中亚铁磁性物质含量较其他河流要高。磁性参数 F_{300} 是样品在 300 mT 磁场中磁化后所携带剩磁与饱和等温剩磁的比值,反映了样品中亚铁磁性矿物(如磁铁矿)与不完全反铁磁性矿物(如赤铁矿)

表 1 江汉平原主要河流沉积物样品磁性参数

Table 1 Magnetic properties of main river sediments in Jianghan plain

采样位置	河流	χ	$\chi_{fd\%}$	$SIRM$	$HIRM$	$SIRM/\chi$	F_{300}	ARM	χ_{ARM}	χ_{ARM}/χ	$\chi_{ARM}/SIRM$	ARM/χ	$HIRM/SIRM$
周边支流	漳河	8.8	4.9	1 038.7	184.5	11.8	64.3	8.7	27.5	3.1	26.1	0.975	17.9
	沮水	6.9	3.8	1 042.3	194.9	15.0	62.5	9.1	28.5	4.1	27.7	1.314	18.7
	玛瑙河	7.1	3.7	1 028.7	205.7	15.8	59.1	11.7	36.7	5.4	35.1	1.706	20.4
	清江	9.4	2.6	1 428.7	207.2	15.0	71.3	6.3	19.7	2.0	13.5	0.782	14.4
	支流均值	8.1	3.8	1 134.6	198.1	14.4	64.3	9.0	28.1	3.7	25.6	1.112	17.5
汉江	汉江牛首	79.1	1.2	4 043.0	111.6	5.2	94.9	13.6	55.1	0.6	9.3	0.174	2.8
	汉江宣城	117.1	1.3	6 034.8	235.3	5.9	95.6	17.5	114.5	1.2	14.6	0.378	2.9
	汉江钟祥	104.0	2.1	7 959.4	112.4	7.9	94.7	36.7	42.8	0.6	10.6	0.175	2.2
	汉江均值	100.1	1.5	6 012.4	153.1	6.3	95.1	22.6	70.8	0.8	11.5	0.226	2.5
长江	长江宜昌	168.1	8.0	34 913.6	1 029.6	20.8	94.1	118.6	372.6	2.2	10.7	0.705	2.9
	长江红港	109.3	7.0	15 961.5	815.4	14.6	89.8	166.4	522.7	4.7	32.7	1.523	5.1
	长江云池	111.6	2.5	24 319.5	951.5	19.3	89.7	129.7	407.2	3.4	18.2	1.093	3.9
	长江均值	129.7	5.8	25 064.9	932.2	18.2	91.2	138.2	434.2	3.4	20.5	1.070	3.7

注: $\chi_{lf} = \chi$, 磁化率; χ_{ARM} , 非磁滞剩磁磁化率, 它们的单位为 $10^{-8} m^3 \cdot kg^{-1}$; $\chi_{fd\%}$, 磁化率频率系数; $SIRM$, 饱和等温剩磁; $HIRM$, “硬”剩磁; ARM , 非磁滞剩磁, 它们的单位为 $10^{-6} Am^2 \cdot kg^{-1}$; F_{300} 为样品在 300 mT 的磁场中所获得的剩磁占饱和等温剩磁的百分值(%); $\chi_{ARM}/SIRM$ 的单位为 $10^{-5} m \cdot A^{-1}$; ARM/χ 单位为 $kA \cdot m^{-1}$; $SIRM/\chi$ 单位为 $kA \cdot m^{-1}$ 。

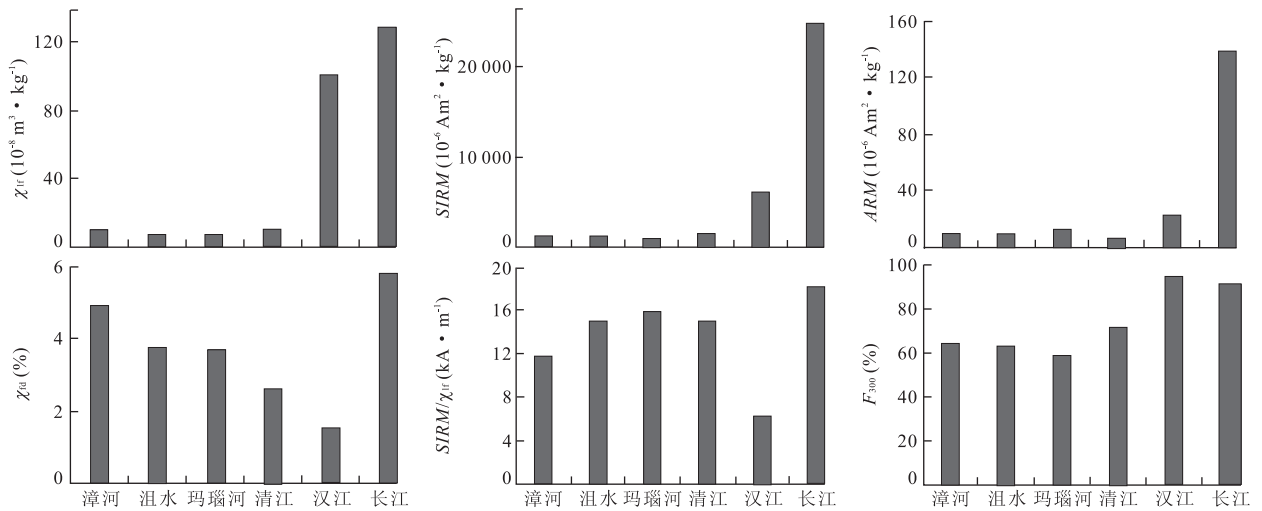


图 2 江汉平原主要河流磁性参数

Fig. 2 Magnetic properties of main river sediments in Jiangnan plain

和针铁矿)的相对比例,它一般随不完全反铁磁性矿物贡献的增加而下降.进入江汉平原的河流中长江和汉江沉积物样品的 F_{300} 平均值均达到了 90% 以上,即经 300 mT 磁场磁化后,样品所携剩磁已接近饱和,说明亚铁磁性矿物(主要是磁铁矿)主导了长江和汉江沉积物样品的磁性特征.但漳河、沮水、清江的 F_{300} 平均值在 60%~70%,玛瑙河的 F_{300} 平均值不到 60%,表明漳河、沮水、清江和玛瑙河沉积物样品中不完全反铁磁性矿物含量明显高于汉江和长江.

磁性参数 χ 、 χ_{ARM} 、SIRM 等 mainly 与沉积物中磁性矿物的含量有关.由表 1 和图 2 可知长江沉积物 χ 、 χ_{ARM} 、SIRM 的平均值均大于汉江、清江、漳河、沮水和玛瑙河的平均值,表明长江沉积物中磁性物质的含量远远高于汉江、清江、漳河、沮水和玛瑙河.主要与亚铁磁性矿物(如磁铁矿)的含量有关的磁性参数 χ 、SIRM、ARM 等.在进入江汉平原的河流中长江沉积物的平均值最大,汉江次之,其他几条支流的平均值都比较小且较接近.这表明长江沉积物中亚铁磁性物质的含量要高于支流,支流中汉江沉积物的亚铁磁性物质的含量较高.磁性参数 HIRM,即“硬”剩磁是样品在 300 mT 磁场中磁化后所携带剩磁与饱和等温剩磁的差值,指示了样品中不完全反铁磁性矿物的含量,它一般随样品中不完全反铁磁性矿物含量的增高而增大.长江沉积物 HIRM 的平均值(约为 $932.2 \times 10^{-6} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)比汉江($153.1 \times 10^{-6} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)高约 6.1 倍,比周边支流($198.1 \times 10^{-6} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)高约 4.7 倍(表 1),说

明长江沉积物中不完全反铁磁性矿物含量也高于支流的,并且汉江沉积物中不完全反铁磁性物质含量在所有支流中是最低的.

3.2 江汉平原周边主要河流沉积物磁性矿物的晶粒特征

已有研究证明磁性参数 χ_{ARM} 值的大小与样品中磁性矿物颗粒的大小密切相关,一般 χ_{ARM} 对单畴 SD($0.04 \sim 0.06 \mu\text{m}$)晶粒敏感,亚铁磁性矿物 SD 晶粒的 χ_{ARM} 显著高于超顺磁晶粒 SP($< 0.03 \mu\text{m}$)和多畴晶粒 MD($> 10 \mu\text{m}$)(Maher, 1988).由表 1 可见,长江沉积物样品的 χ_{ARM} 值分别是汉江和周边支流的 6.1 倍和 15.4 倍,表明长江沉积物中较细的单畴 SD 晶粒含量高于汉江和周边支流沉积物.磁性参数的比值 χ_{ARM}/χ 和 $\chi_{ARM}/SIRM$ 均可以指示亚铁磁性矿物晶粒的大小,而且 $\chi_{ARM}/SIRM$ 不受超顺磁 SP($< 0.03 \mu\text{m}$)晶粒的影响(Zhang *et al.*, 2001),较低的比值则反映了较粗的颗粒.测试结果表明长江沉积物样品的 $\chi_{ARM}/SIRM$ 平均值($20.5 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{A}^{-1}$)较江汉平原周边的主要支流的平均值($25.6 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{A}^{-1}$)小(图 3,图 4),表明长江沉积物的磁性晶粒总体上较周边支流的要粗.在研究的所有样品中(除一个样品外)磁性参数比值 χ_{ARM}/χ 均小于 5,绝大多数样品的 $\chi_{ARM}/SIRM$ 值都小于 $30 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{A}^{-1}$,指示沉积物样品中的亚铁磁性矿物晶粒以假单畴(PSD, $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$)—多畴为主.磁化率频率系数(χ_{fd} (%))主要用来鉴定物质中细的铁磁晶粒(SP-FV)(张卫国等,1995)的存在及其相对含量.一般当物质中 χ_{fd} (%)值为 5%

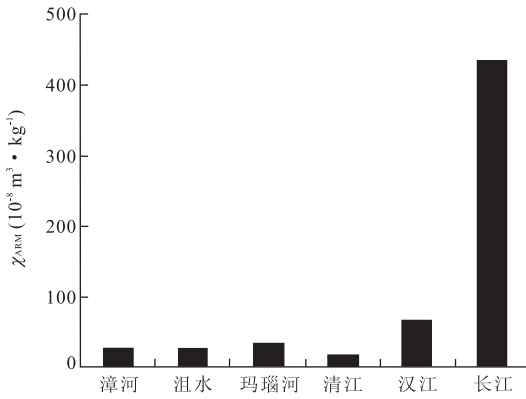


图 3 江汉平原主要河流 χ_{ARM} 对比

Fig. 3 χ_{ARM} value of main rivers sediments in Jianghan plain

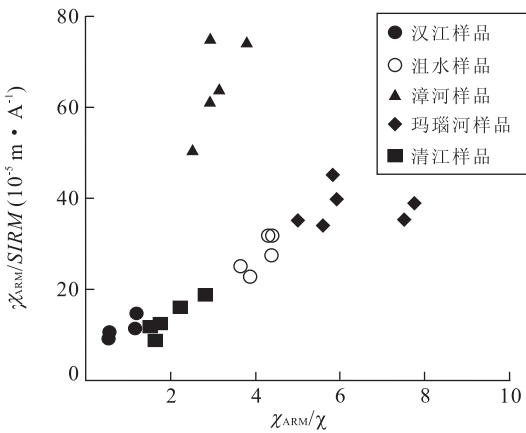


图 4 磁性参数 χ_{ARM}/χ 和 $\chi_{ARM}/SIRM$ 的散点图

Fig. 4 Plot of χ_{ARM}/χ versus $\chi_{ARM}/SIRM$

左右时,就说明超顺磁物质较多。由图 2 可以看出,汇入江汉平原的河流中只有长江样品的 $\chi_{fd}(\%)$ 值超过了 5%,说明除长江样品中含有一定量的超顺磁颗粒外,支流样品中整体上含超顺磁物质都不多。由样品的 χ_{ARM} 参数对比图(图 3)和 χ_{ARM}/χ 和 $\chi_{ARM}/SIRM$ 的散点图(图 4)可以看出,汉江样品 χ_{ARM} 的平均值达到了 $70.8 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,漳河、沮水、玛瑙河、清江的 χ_{ARM} 值都比较低,均未超过 $36.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,清江的 χ_{ARM} 值最低,只有 $19.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。说明汉江中的单畴晶粒含量较高。玛瑙河样品中的 χ_{ARM}/χ 和 $\chi_{ARM}/SIRM$ 值都比较高,说明玛瑙河样品中磁性物质颗粒较细。汉江和清江样品的 χ_{ARM}/χ 和 $\chi_{ARM}/SIRM$ 都较小,说明汉江和清江样品中磁性物质的颗粒较粗,主要以假单畴一多畴为主。

图 3 和图 4 还反映出进入江汉平原主要支流沉积物磁性物质的晶粒特征不仅与长江的不同,而且他们之间也存在着较大的差异。这种差异为物源示

踪提供了依据。

4 结论与讨论

4.1 长江与江汉平原主要支流沉积物磁性特征的主要区别

对长江和江汉平原主要支流沉积物的磁性参数研究表明:(1)相对于江汉平原主要支流沉积物,长江沉积物具有高 χ 、 χ_{ARM} 、 $SIRM$ 、 $HIRM$ 、 $\chi_{fd}(\%)$ 、 ARM 等磁性参数值和低的 $HIRM/SIRM$ 值的特点,表明长江沉积物中亚铁磁性物质的含量和不完全反铁磁性物质的含量都较高,但主导沉积物磁性特征的为亚铁磁性矿物。磁性矿物的晶粒总体上比较粗,以假单畴一多畴为主,但含有一定比例的超顺磁颗粒。(2)汉江沉积物具有较高的 χ 、 χ_{ARM} 、 $SIRM$ 、 $HIRM$ 、 ARM 等磁性参数值和低的 $HIRM/SIRM$ 、 $\chi_{fd}(\%)$ 值的特点,表明汉江沉积物中亚铁磁性物质的含量和不完全反铁磁性物质的含量也都比较高,但比长江沉积物的要低。主导沉积物磁性特征的也为亚铁磁性矿物。磁性矿物的晶粒也是以假单畴一多畴为主,超顺磁成分很少。(3)其他主要支流,如清江、漳河、沮水和玛瑙河的磁性特征与长江差异较大,相对长江而言其他沉积物具有较高的 $HIRM/SIRM$ 、 $\chi_{ARM}/SIRM$ 比值和较低的 χ 、 χ_{ARM} 、 $SIRM$ 、 $HIRM$ 、 $\chi_{fd}(\%)$ 、 ARM 、 F_{300} 等磁性参数值的特点,表明上述支流中磁性矿物含量较长江的低,磁性矿物的晶粒较长江的细。

4.2 长江与江汉平原主要支流沉积物磁性特征与物源区表壳岩系的关系

长江上游流域与汉江流域以及清江、漳河、沮水流域等在生态系统、水动能条件、流域出露的表壳岩系和沉积物的物源组成都有明显的不同(杨作升,1988;杨守业和李从先,1999;杨守业等,2000;闫百兴和何岩,2001)(图 5),这是导致它们的沉积物磁性特征差异的主要原因。主要表现在:(1)长江上游沿江分布着众多的铁矿,如有名的攀枝花钛钒磁铁矿等(水利部长江水利委员会,1999)。并且在长江上游的贵州高原、攀西地区、盐源—丽江和松潘—甘孜地区广泛分布有钛—磁铁矿含量较高的峨眉玄武岩(四川省地质矿产局攀西地质大队,1987)。在长江上游汇水区分布有大量的含有较高铁质矿物的基性和超基型岩,这正是导致长江流域沉积物中磁性参数 χ 、 χ_{ARM} 、 $SIRM$ 等值高的主要原因。另外由于长江上游沿江分布着众多的铁矿,铁矿的开采加工以

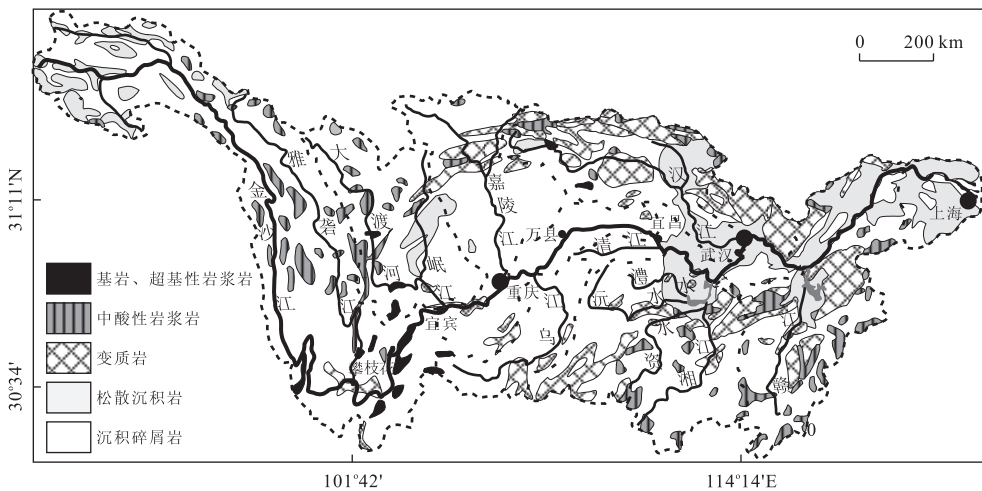


图 5 长江流域岩性分布(据中国科学院长春地理研究所,1998)

Fig. 5 Distributions of rock in the Yangtze River drainage basin

及居民点的增多,也加剧了环境的污染和沿江沉积物中磁性物质含量的增多。(2)尽管在汉江流域的陕西汉中—安康和湖北郧阳地区也有磁铁矿点出露,但相对于长江流域来说它出露面积较小。虽然流域内的地层从前震旦系到第四系均有出露,但相对于长江来说岩石类型还是比较简单。上游流经的是大面积的变质岩区,中下游全部是沉积岩区(武法东等,1996;和钟铎等,2001;向芳等,2006;王中波等,2006)。因此汉江流域沉积物的亚铁磁性物质的含量自然要比长江的低。(3)进入江汉平原的长江支流,除了汉江以外,主要还有清江、玛瑙河、沮水和漳河,其中沮水与漳河进入江汉平原后汇合为沮漳河(图1),这些河流一般来说流程都较短,即汇水区面积较小,并且流经的区域主要是沉积岩地区。如漳河流域是松散沉积岩及沉积碎屑岩分布区;沮水河源于武当山神农架地区,广泛分布的也是沉积碎屑岩;玛瑙河流程短,全长仅有几十公里,而且流量小,流速慢,是平原区内部的河流;清江流域为鄂西山地,主要是碳酸盐、碎屑岩及泥岩分布区。这是导致它们沉积物中磁性物质含量较低,磁性物质晶粒较细的主要原因。(4)由于长江上游沿江分布着众多的铁矿,铁矿的开采加工以及居民点的增多,加剧了环境的污染,这些都可能导致沿江沉积物中磁性物质含量的增多。

4.3 磁学参数作为长江流域沉积物物源示踪的意义

通过以上分析可以看出,磁性测量方法可以作为长江流域物源示踪的一种手段。因为沉积物的磁学特征与物源区出露的岩石类型有着密切的联系。

通过测量沉积物的磁性特征,就可以达到判断沉积物物源的目的。研究表明,长江、汉江及江汉平原周边河流现代沉积物具有不同的磁性特征,如长江沉积物较汉江和支流沉积物具有高的 χ 、 χ_{ARM} 、 $SIRM$ 值,表明长江沉积物中亚铁磁性物质的含量较高;长江沉积物较汉江和江汉平原周边河流沉积物具有较低的 $\chi_{ARM}/SIRM$ 、 χ_{ARM}/χ 值,表明长江沉积物样品的磁性晶粒较粗;长江沉积物较汉江及江汉平原周边河流沉积物具有较高的 $HIRM$ 的平均值,表明长江沉积物中不完全反铁磁性矿物含量也较高。上述的磁性参数可作为长江流域物源示踪的主要指标。

致谢:样品由华东师范大学河口海岸国家重点实验室测试。杨建博士,李庭、王节涛、方应波硕士参加了室内样品的整理工作,在此一并表示感谢!

References

- Changchun Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, 1998. Atlas of study on background value of aquatic environment of the Changjiang River valley. Science Press, Beijing, 4—5 (in Chinese).
- Dekkers, M. J., 1997. Environmental magnetism: an introduction. *Geologie en Mijnbouw*, 76(1—2): 163—182. doi:10.1023/A:1003122305503
- Deng, C. L., Liu, Q. S., Pan, Y. X., et al., 2007. Environmental magnetism of Chinese loess-paleosol sequences. *Quaternary Sciences*, 27(2): 193—209 (in Chinese with English abstract).
- He, Z. H., Liu, Z. J., Zhang, F., 2001. Latest progress of heavy mineral research in the basin analysis. *Geological Science and Technology Information*, 20(4): 29—32

(in Chinese with English abstract).

- Ma, Y. F., Li, C. A., Wang, Q. L., et al., 2007. Statistics of gravels from a bore in Zhoulaotown, Jiangnan plain and its relationship with cut-through of the Yangtze Three Gorges, China. *Geological Science and Technology Information*, 26(2): 40—44 (in Chinese with English abstract).
- Maher, B. A., 1988. Magnetic properties of some synthetic sub-micron magnetites. *Geophysical Journal Royal Astronomical*, 94: 83—96. doi: 10. 1111/j. 1365—246x. 1988. tb. 0342
- Oldfield, F., Yu, L. Z., 1994. The influence of particle size variations on the magnetic properties of sediments from the northeastern Irish Sea. *Sedimentology*, 41(6): 1093—1108. doi: 10. 1111/j. 1365—3091. 1994. tb01443. x
- Panzhuhua-Xichang Geological Group of Administration Bureau of Geology & Mining of Sichuan Province, 1987. Metallogenetic conditions and geologic characters of the Hongge vanadic titanomagnetite deposit. Sichuan Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Shen, M. J., Hu, S. Y., Blaha, U., et al., 2007. Mineral magnetic properties of soil profile and their application in traffic pollution measurements: a case study from the capital airport expressway in Beijing. *Quaternary Sciences*, 27(6): 1113—1120 (in Chinese with English abstract).
- The Yangtze River Water Conservancy Committee, 1999. Atlas of the Changjiang River basin. China Cartographic Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Thomson, R., Oldfield, F., 1986. Environmental magnetism. Allen and Unwin, London.
- Wang, H., Zheng, X. M., Wang, X. Y., et al., 2008. Environmental magnetic properties of sediments from middle and lower reaches of Changjiang River. *Quaternary Sciences*, 28(4): 640—648 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. H., Shen, H. T., Zhang, W. G., 2004. A preliminary comparison of magnetic properties of sediments from the Changjiang and the Huanghe estuaries. *Acta Sedimentologica Sinica*, 32(4): 658—662 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. B., Yang, S. Y., Li, P., et al., 2006. Detrital mineral compositions of the Changjiang River sediments and their tracing implications. *Acta Sedimentologica Sinica*, 24(4): 570—578 (in Chinese with English abstract).
- Wu, F. D., Lu, Y. C., Ruan, X. Y., 1996. Application of heavy minerals cluster analysis to study of clastic sources and stratigraphic correlation. *Geoscience*, 10(3): 397—403 (in Chinese with English abstract).
- Xia, D. S., Chen, F. H., Ma, J. Y., et al., 2007. Environmental magnetic investigations of surface soils along a NW-SE transect from the Chinese Loess Plateau to the Alxa Plateau. *Quaternary Sciences*, 27(6): 1001—1108 (in Chinese with English abstract).
- Xiang, F., Wang, C. S., Li, G. Z., et al., 2006. Character of heavy minerals in Quaternary sediments in Yichang area and its relationship with cut-through of the Yangtze Three Gorges, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 33(2): 117—121 (in Chinese with English abstract).
- Yan, B. X., He, Y., 2001. Distribution characteristics of rare earth elements in water, suspended solid & sediment of the Hanshui River. *Scientia Geographica Sinica*, 21(2): 130—134 (in Chinese with English abstract).
- Yang, D. Y., Li, X. S., 2000. Deposition of the Yangtze River and its indicative significance for the river development. *Journal of Nanjing Normal University (Natural Sciences Edition)*, 23(4): 230—235 (in Chinese with English abstract).
- Yang, S. Y., Li, C. X., 1999. Characteristic element compositions of the Yangtze and the Yellow River sediments and their geological background. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 19(2): 19—25 (in Chinese with English abstract).
- Yang, S. Y., Li, C. X., Zhu, J. C., et al., 2000. Provenance indicator of chemical fingerprint of magnetite from the Yangtze River and the Yellow River sediments. *Geochimica*, 29(5): 480—484 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Z. S., 1988. Mineralogical assemblages and chemical characteristics of clays from sediments of the Huanghe, Changjiang, Zhujiang Rivers and their relationship to the climate environment in their sediment source areas. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 19(4): 336—346 (in Chinese with English abstract).
- Yu, L. Z., Xu, Y., Zhang, W. G., 1995. Magnetic measurement on lake sediment and its environmental application. *Progress in Geophysics*, 10(1): 11—21 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C. X., Huang, B. C., Luo, R. S., et al., 2007. Magnetic properties of tree ring samples close to a smelting factory and their environmental significance. *Quaternary Sciences*, 27(6): 1092—1104 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, D. H., 1994. Neotectonics and Quaternary environ-

- mental changes in Jiangnan basin. *Crustal Deformation and Earthquake*, 14(1):74—80 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W. G., Dai, X. R., Zhang, F. R., et al., 2007. Magnetic properties of sediments from the Chaohu Lake for the last 7000 years and their implications for the evolution of Asian monsoon. *Quaternary Sciences*, 27(6):1053—1062 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W. G., Yu, L. Z., 2002. Relationship between magnetic properties and grain size in coastal sediments on the Changjiang River estuary. *Science in China (Ser. D)*, 32(9):783—791 (in Chinese).
- Zhang, W. G., Yu, L. Z., Hutchinson, S. M., 2001. Diagenesis of magnetic minerals in the intertidal sediments of the Yangtze Estuary, China, and its environmental significance. *The Science of the Total Environment*, 266(1—3):169—175. doi: 10.1016/S0048-9697(00)00735-X
- Zhang, W. G., Yu, L. Z., Xu, Y., 1995. Brief reviews on environmental magnetism. *Progress in Geophysics*, 10(3):95—105 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. F., Li, C. A., Han, X. F., et al., 2009. A comparative study on magnetic properties of sediments from the Yangtze River and the Hanjiang River. *Quaternary Sciences*, 29(2):282—289 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. F., Li, C. A., Wang, Q. L., et al., 2008. Magnetism parameters characteristics of drilling deposits in Jiangnan plain and indication for forming of the Yangtze River Three Gorges. *Chinese Science Bulletin*, 53(4):584—590. doi:10.1007/s11434-008-0111-1
- 附中文参考文献**
- 邓成龙, 刘青松, 潘永信, 等, 2007. 中国黄土环境磁学. 第四纪研究, 27(2):193—209.
- 和钟铎, 刘招君, 张峰, 2001. 重矿物在盆地分析中的应用研究进展. 地质科技情报, 20(4):29—32.
- 马永法, 李长安, 王秋良, 等, 2007. 江汉平原周老镇钻孔砾石统计及其与长江三峡贯通的关系. 地质科技情报, 26(2):40—44.
- 沈明洁, 胡守云, U. Blaha, 等, 2007. 土壤剖面的磁学特征及其对交通污染的指示意义——以北京首都机场高速公路为例. 第四纪研究, 27(6):1113—1120.
- 水利部长江水利委员会编, 1999. 长江流域地图集. 北京: 中国地图出版社.
- 四川省地质矿产局攀西地质大队, 1987. 四川红格钒钛磁铁矿床成矿条件及地质特征. 北京: 地质出版社.
- 王辉, 郑祥民, 王晓勇, 等, 2008. 长江中下游干流河底沉积物环境磁性特征. 第四纪研究, 28(4):640—648.
- 王永红, 沈焕庭, 张卫国, 2004. 长江与黄河河口沉积物磁性特征对比的初步研究. 沉积学报, 22(4):658—663.
- 王中波, 杨守业, 李平, 等, 2006. 长江水系沉积物碎屑矿物组成及其示踪意义. 沉积学报, 24(4):570—578.
- 武法东, 陆永潮, 阮小燕, 1996. 重矿物聚类分析在物源分析及地层对比中的应用——以东海陆架盆地西湖凹陷平湖地区为例. 现代地质, 10(3):397—403.
- 夏敦胜, 陈发虎, 马剑英, 等, 2007. 黄土高原—阿拉善高原典型断面表土磁学特征研究. 第四纪研究, 27(6):1001—1108.
- 向芳, 王成善, 李国忠, 等, 2006. 宜昌地区第四纪沉积物重矿物特征及其与三峡贯通的关系. 成都理工大学学报(自然科学版), 33(2):117—121.
- 闫百兴, 何岩, 2001. 汉水水系水环境中稀土元素的分布特征. 地理科学, 21(2):130—134.
- 杨达源, 李徐生, 2000. 长江沉积作用及其对长江演变的指示意义. 南京师范大学学报(自然科学版), 23(4):230—235.
- 杨守业, 李从先, 1999. 长江与黄河沉积物元素组成及地质背景. 海洋地质与第四纪地质, 19(2):19—25.
- 杨守业, 李从先, 朱金初, 等, 2000. 长江与黄河沉积物中磁铁矿成分标型意义. 地球化学, 29(5):480—484.
- 杨作升, 1988. 黄河、长江、珠江沉积物中粘土矿物组合、化学特征及其与物源区气候环境的关系. 海洋与湖泊, 19(4):336—346.
- 俞立中, 许羽, 张卫国, 1995. 湖泊沉积物的矿物磁性测量及其环境应用. 地球物理学进展, 10(1):11—21.
- 张春霞, 黄宝春, 骆仁松, 等, 2007. 钢铁厂附近树木年轮的磁学性质及其环境意义. 第四纪研究, 27(6):1092—1104.
- 张德厚, 1994. 江汉盆地新构造与第四纪环境变迁. 地壳形变与地震, 14(1):74—80.
- 张卫国, 戴雪荣, 张福瑞, 等, 2007. 近 7 000 年巢湖沉积物环境磁学特征及其指示的亚洲季风变化. 第四纪研究, 27(6):1053—1062.
- 张卫国, 俞立中, 2002. 长江口潮滩沉积物的磁学性质及其与粒度的关系. 中国科学(D辑), 32(9):783—791.
- 张卫国, 俞立中, 许羽, 1995. 环境磁学研究的简介. 地球物理学进展, 10(3):95—105.
- 张玉芬, 李长安, 韩晓飞, 等, 2009. 长江、汉江沉积物磁学特征比较研究. 第四纪研究, 29(2):282—289.
- 中国科学院长春地理研究所, 1998. 长江流域水体环境背景值研究图集. 北京: 科学出版社, 4—5.