

黄河与长江入海沉积物中碳酸盐含量 和矿物颗粒形态特征及影响因素*

杨作升^{1,2} 王海成^{1,2} 乔淑卿³

(1.中国海洋大学地球科学学院 青岛 266003; 2.中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室 青岛 266003;
3.国家海洋局海洋沉积与地质环境重点实验室 青岛 266061)

提要 利用 X 射线物相分析、扫描电镜及能谱分析等方法分析了长江和黄河入海沉积物矿物颗粒形态特征及不同粒级的碳酸盐矿物百分含量分布。结果表明,长江和黄河入海沉积物的碳酸盐矿物含量均在 9%左右,差异不大。长江碳酸盐矿物含量在粗粒级较高,随着粒度变细波动式降低,黄河碳酸盐矿物含量则随粒度变细而逐步增加;黄河方解石含量高而白云石低,长江的情况正好相反。长江和黄河入海沉积物中的白云石颗粒大多比较完整,侵蚀沿完全解理面发生,菱面体形态明显。长江白云石上可以见到大量的磨蚀和溶蚀形态。黄河白云石保存较好,侵蚀程度较低,磨蚀和碰撞形态明显,溶蚀形态很少,发现典型的马鞍状白云石颗粒。长江和黄河的方解石均遭受强烈侵蚀。长江方解石溶蚀特征特别明显,深入矿物颗粒内部。黄河方解石侵蚀深度相对浅表,侵蚀形态多为磨蚀、碰撞和溶蚀等物理和化学综合侵蚀特征。长江某些方解石表面布满细小鲕状方解石颗粒,似为局部自由空间的胶体-陈化成因特征。黄河方解石呈现多个次生微晶集合体,显示其黄土粘粒空隙胶结物成因形态。碳酸盐矿物的菱面体形态和菱面体完全解理所特有的 60°和 120°交角,是其电镜下的最佳识别特征。长江和黄河沉积物物源、流域风化强度以及矿物晶体结构本身的特点,是两河沉积物中碳酸盐矿物含量及颗粒形态差异的主要影响因素。

关键词 长江与黄河,沉积物,碳酸盐矿物,形态特征,风化

中图分类号 P736

长江和黄河是我国最大的两条河流,多年年均向海输送泥沙 1.5×10^9 t (Milliman *et al.*, 1983; 程天文等, 1985), 约占我国主要河流入海泥沙总量 80%以上。这些物质大部分堆积在河口三角洲地区, 另有相当一部分被输送到陆架地区甚至陆坡、海槽、大洋等更远的海域。认识长江和黄河入海沉积物的矿物组成及其特点, 对了解长江和黄河沉积物在中国陆架海的时空分布、源-汇过程及环境的影响有重要的科学意义 (Milliman *et al.*, 1985; 刘敏厚等, 1987; 杨作升, 1988; 赵一阳等, 1992; Eisma *et al.*, 1995)。

碳酸盐矿物含量, 根据本文的数据, 占黄河和长江入海沉积物中全部矿物的 9%左右, 是仅次于石英

和长石的主要矿物组分。自 20 世纪 80 年代初以来, 许多学者对黄河沉积物中的碳酸盐的含量、矿物组成、结晶形态、分布和控制因素等进行了研究, 并作为黄河源沉积物的示踪指标来追踪黄河入海泥沙的扩散范围, 探讨东部陆架沉积物的来源和沉积过程 (吴世迎, 1982; Milliman *et al.*, 1985; 杨作升等, 1989; 孙白云, 1990; 杨守业等, 1999)。范德江等 (2002) 研究了长江和黄河碳酸盐矿物类型和影响因素, 认为长江和黄河碳酸盐矿物主要是生物碎屑和碎屑矿物, 其控制因素主要是风化条件和物源。孙白云 (1988) 研究了黄河口区全新世碳酸盐矿物的特征, 认为碳酸盐矿物分布受物源、环境、沉积物类型、环境对物源

* 国家重点基础研究发展(973)计划项目, 2002CB412404 号。杨作升, 教授, 博导, E-mail: zshyang@ouc.edu.cn

收稿日期: 2008-02-15, 收修改稿日期: 2009-02-14

区的改造等因素控制。孙白云(1990)研究了长江、黄河沉积物中的碎屑矿物, 杨作升(1988)、Eisma 等(1995)等研究了长江、黄河沉积物粘土粒级中的碳酸盐矿物。一些学者则从地球化学的角度对长江、黄河沉积物进行了研究(屈翠辉等, 1984; 杨守业等, 1999)。黄河入海沉积物粘土粒级中的方解石的高含量曾作为黄河物源的替代性指标分析黄、东海的黄河物源(Milliman *et al.*, 1985)。

长江流域地质背景复杂, 有大面积分布的碳酸盐岩、陆源碎屑岩及较多的中酸性侵入岩、片岩、片麻岩(张经, 1996); 黄河流域面积仅相当于长江的三分之一, 流域内岩石类型较单一, 沉积物来源也单一, 黄河沉积物 90%以上来自中游的黄土, 碳酸盐含量较高是公认的黄土组分特点之一(刘东生, 1985)。两河风化强度差异较大, 对碳酸盐矿物组分有明显影响(杨守业等, 1999), 是长江和黄河沉积物物源和流域环境不同的反映。对长江和黄河入海沉积物的碳酸盐矿物进行深入研究和对比, 将深化对沉积物性质差异特点及其影响因素的认识。

本文中作者主要利用 X 射线衍射和扫描电镜-能谱分析对两条河流沉积物不同粒级的方解石和白云石含量、颗粒形态和表面特征进行研究, 确定和对比其碳酸盐含量和形态特征的差异, 分析影响因素。

1 样品采集及研究方法

1.1 样品采集区域

本文中所用的黄河样品采自利津水文站和利津站以下河口浮桥附近黄河表层沉积物, 长江样品采自大通水文站及长江徐六泾以下河口区表层沉积物, 分别代表黄河和长江的入海泥沙样品(图 1)。长江和黄河各取得 9 个全样样品, 分粒级样品数量为长江 7 个、黄河 5 个。

1.2 实验方法

1.2.1 样品预处理 取 100—200 g 沉积物, 加入 0.083 mol/L 的六方偏磷酸煮沸静置过夜; 加入适量 5% 的双氧水去除有机质, 直到有机质去尽为止。

1.2.2 提取不同粒级区间的沉积物 通过筛分及 Stokes 沉降原理获得不同粒级区间的沉积物, 经提纯后得到 63—32 μm 、32—16 μm 、16—8 μm 、8—4 μm 、4—2 μm 和 2 μm 以下各个粒级的沉积物。

1.2.3 碳酸盐和石英矿物学分析

(1) 通过 X 射线衍射相鉴定矿物成分, 得到含量的半定量结果。X 射线衍射在青岛海洋地质研究所完

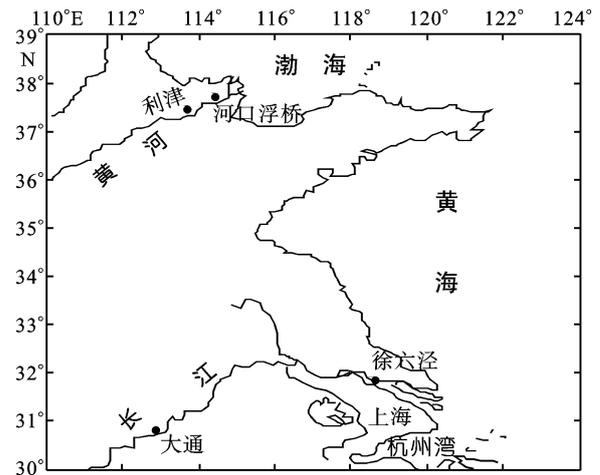


图 1 采样位置图

Fig.1 The sampling sites

成, 所用仪器为日本理学 D/max-rA 型大功率转靶 X 射线衍射仪。测试条件设置: 铜靶 $K\alpha$ 射线, 配用石墨弯晶单色器, 电压/电流为 40kV/100mA, 步进扫描, 步进长度 0.02°(2 θ), 预置时间为 0.2s, 扫描速度为 2°/min(特殊说明的除外), 扫描范围为 3°—65°, 狭缝系统 DS (入射狭缝) = SS (防散射狭缝) = 1°, RS (接收狭缝光阑)为 0.3 mm。样品中的矿物含量采用自清洗法进行半定量计算, 即样品分析中根据各矿物的特征鉴定峰高记数值乘上相应的强度因子(国家标准 GB/T 13909-92), 总和归为 100%, 即可计算出各种矿物中的重量百分含量。计算了常见矿物如云母、角闪石、各类粘土矿物、石英、钾长石、斜长石、方解石和白云石等主要矿物的百分含量(江超华等, 1984)。鉴于入海沉积物粒度均在极细砂以下, 故取 <0.125mm 以下的粒级进行分析。依据衍射强度确定矿物百分含量的分析中采用非定向片, 以避免制片过程中云母和粘土等片状矿物和解理发育的碳酸盐矿物可能产生择优取向所导致的衍射强度误差。

(2) 显微镜观察、染色实验、扫描电镜结合能谱分析等方法鉴定碳酸盐矿物颗粒和石英颗粒成分, 观察颗粒形态。扫描电镜图像是作者描述和分析碳酸盐矿物颗粒和石英颗粒形态的主要手段, 结合电镜所附的 X 射线能谱分析可以准确鉴别碳酸盐类矿物和石英(王颖等, 1985; 方小敏等, 1991; 王祥珍等, 1997; 孙有斌等, 2000; 尹雪斌等 003)。扫描电镜观测分别在胜利油田地质研究院、青岛科技大学和中国海洋大学电镜室完成, 三家扫描电镜的型号分别为 quart200, JSM-6700F 和 S25MK3。

2 实验结果

2.1 长江、黄河入海沉积物中碳酸盐矿物含量及其随粒级变化的分布

长江入海沉积物主要矿物中碳酸盐矿物的百分含量在 2%—19%之间, 平均为 9.2%。黄河入海沉积物主要矿物中碳酸盐含量在 4%—12%之间, 平均为 8.8%, 二者总量差不多(图 2)。

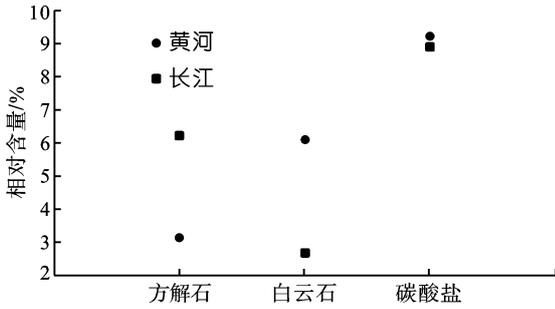


图 2 长江、黄河全样沉积物中碳酸盐矿物含量图

Fig.2 The percentage of carbonate minerals in the bulk sediment samples from the Changjiang and Huanghe Rivers

从矿物种类看, 长江入海沉积物中碳酸盐以白云石为主, 含少量方解石, 偶见有菱铁矿。在 X 射线衍射图谱上白云石峰值明显, 方解石峰值尚可辨认, 菱铁矿仅在个别样品中出现(图 3); 黄河入海沉积物中碳酸盐包括方解石和白云石两种矿物, 以方解石占优势。在 X 射线衍射图谱上方解石峰值明显, 白云石峰值较难辨认(图 3)。

长江沉积物中白云石含量约为方解石的 2 倍, 黄河沉积物中的方解石约为白云石的 2.5 倍, 二者在比例上正好相反。

长江和黄河入海沉积物的碳酸盐含量随粒级的分布变化较大, 差异明显。

长江沉积物中碳酸盐的相对含量最高为 15%左右。随着粒度变细, 碳酸盐含量逐渐降低, 在 <8 μm 粒级以后, 碳酸盐含量基本稳定在 3%—5%之间。长江沉积物中碳酸盐的相对含量大体上随粒级的变细降低, 范德江等(2002)认为是碳酸盐含量的衰变型粒级分布(图 4)。

黄河入海沉积物在 >63 μm 粗粒级部分的碳酸盐

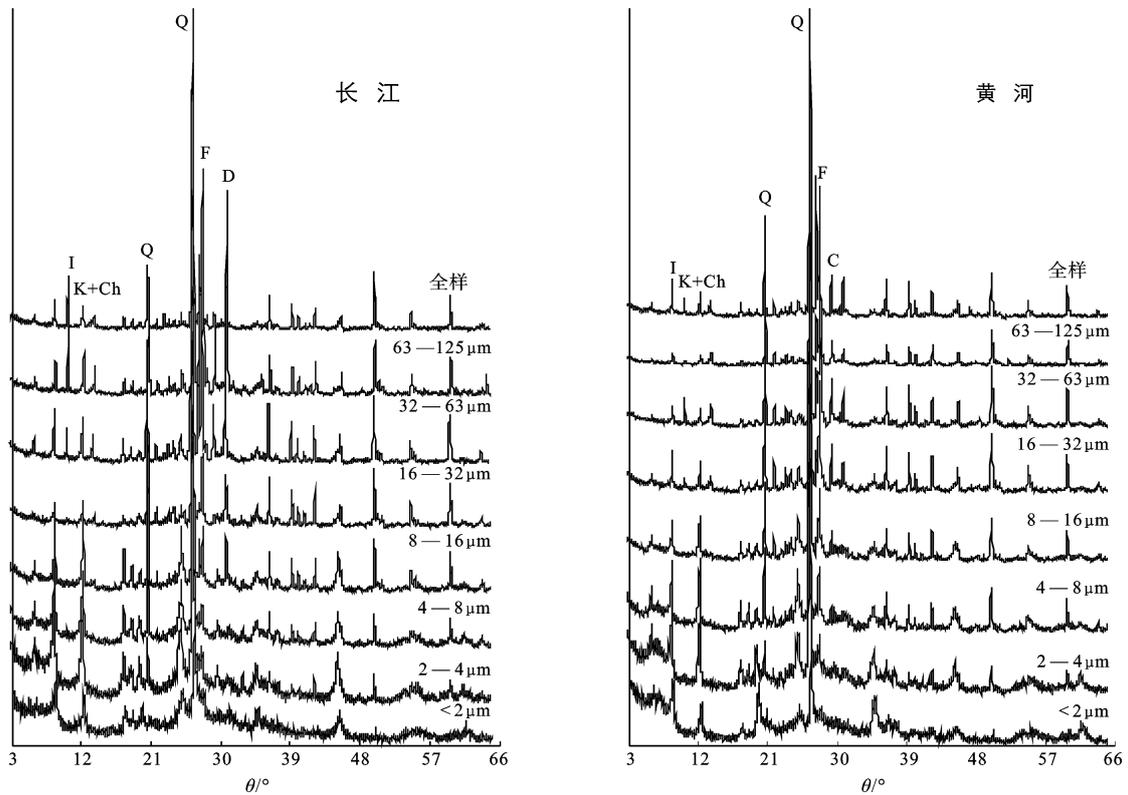


图 3 长江、黄河入海沉积物粒级 X 射线衍射图谱

I 伊利石; K 高岭石; Ch 绿泥石; Q 石英; F 长石; C 方解石; D 白云石

Fig.3 The XRD spectra of sediments in grain size of 63—32 μm from the Changjiang and Huanghe estuaries
I, illite; K, kaolinite; Ch, chlorite; Q, quartz; F, feldspar; C, calcite; D, dolomite

含量低, 为 6%左右。随着粒度变细, 碳酸盐含量逐渐增加, 至 2—4 μm 达到 20%的最高值, 至最小的 <2 μm 略有降低, 为 19%左右(图 4)。

无论是长江入海沉积物还是黄河入海沉积物, 不同样品间全样沉积物中碳酸盐相对含量的差异明显, 主要是各样品的粒度差异较大的缘故。

2.2 长江、黄河入海沉积物中碳酸盐矿物的形态特征和成因分析

扫描电镜下方解石型碳酸盐矿物的识别, 主要依据其特有的菱面体形态及完全的菱面体解理, 以及较易侵蚀的表面, 与石英和长石区分。在疑难的情况下, 采用能谱分析区分。碳酸盐类的矿物种的准确

鉴别, 主要是通过能谱分析。本文中的碳酸盐矿物颗粒, 基本上都经过能谱分析的确。

2.2.1 长江沉积物中碳酸盐矿物形态特征和成因
长江沉积物中碳酸盐主要是白云石和它生方解石, 其中方解石包括单晶方解石和多晶方解石两种类型, 偶见菱铁矿颗粒。

(1) 白云石 长江白云石颗粒比较完整, 但棱角多被磨蚀圆化, 颗粒边缘破损, 表面有碰撞痕迹。颗粒表面都遭受了不同程度的侵蚀, 相当一部分的白云石颗粒溶蚀严重, 表面见大量侵蚀、磨蚀形态, 侵蚀基本上沿完全解理面发生, 其菱面体形态及其特征的 60°和 120°交角明显(图 5a,b,c)。在不少的颗

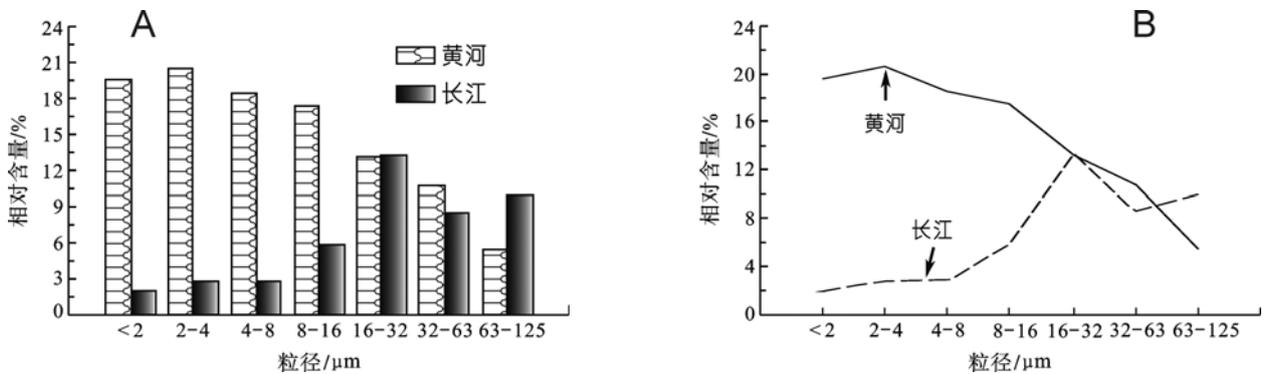


图 4 长江、黄河入海沉积物中碳酸盐矿物相对含量随粒级的变化 a:柱状变化图; b:粒级趋势图

Fig.4 The variation in content percentage of carbonate minerals in sediments from the Changjiang and Huanghe estuaries

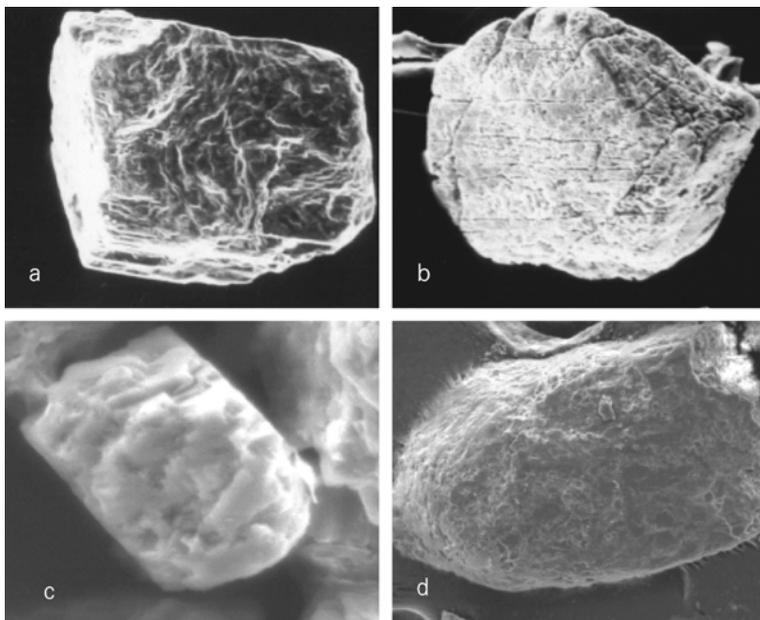


图 5 长江沉积物中白云石扫描电镜图

Fig.5 The SEM photographs of dolomite in the sediments from the Changjiang estuary

a、b、c. 菱面体颗粒形态明显, 棱角多被磨蚀圆化, 颗粒边缘破损, 表面磨蚀、侵蚀强烈, 但不深入内部; d. 溶蚀形态布满表面, 但无次生微晶

粒上可见大量溶蚀形态布满表面(图 5d),但无次生的亚晶粒, 也不深入颗粒内部, 表现了白云石较强的抗溶蚀能力。白云石中电镜下可通过能谱分析与方解石区分。

(2) 它生方解石 方解石较白云石更容易溶蚀风化, 同时, 长江化学侵蚀较黄河强烈, 方解石较黄河易被侵蚀, 因此长江方解石的侵蚀程度强烈, 形态复杂。单晶方解石多为不完整菱面体, 但 120°和 60°的解理晶棱交角仍可见(图 6a)。少数为菱面体形态, 明显为大颗粒依解理面破裂后形成的小颗粒(图 6b)。由于方解石(10.1)菱面体解理完全, 水搬运过程中的受损、破裂时, 常依解理面发生, 因此,在扫描电镜下可见明显的菱面体形态的颗粒或 60°和 120°晶棱交角, 或局部的菱面体解理, 包括受侵蚀后局部侵蚀面的菱形交角, 是电镜下识别碳酸盐矿物的重要标志。如再有能谱资料配合, 可以准确鉴别碳酸盐矿物。方解石易被侵蚀,

晶形保留较好的颗粒表面可见清晰的解理侵蚀面。一些方解石有大量沿解理发生的溶蚀小洞,显示经过较强的化学溶蚀过程。溶蚀作用强烈,一般多会深入矿物颗粒内部,而不仅仅停留在表面,这是和白云石表面形态的重要区别,溶蚀后在颗粒上留下大量具有 60° 和 120° 交角特征的微型菱形体(图 6c, e)。个别方解石颗粒表面布满大量鲕状小颗粒,类似胶体陈化的形态(图 6d)。长江沉积物中方解石颗粒通常都有明显的磨圆痕迹,表明它们经历较长距离的搬运和改造作用。

2.2.2 黄河沉积物中碳酸盐矿物形态特征和成因 黄河沉积物中的碳酸盐矿物主要是方解石,其次是白云石,也有个别的菱铁矿颗粒。

黄河白云石大多保存较好,晶形较完整,可见清晰的菱面体形态(图 7a)。偶见马鞍状形态白云石颗粒(潘兆鲁等, 1993), 其间 120° 的交角非常明显(图 7b)。

黄河沉积物中的方解石形态复杂,有单晶颗粒、多晶颗粒、似隐晶质颗粒和假象方解石。似隐晶质颗粒属于黄土中的次生碳酸盐,与黄土碳酸盐研究得到的结果一致(文启忠等, 1996; 张经, 1996)。方解石颗粒多为不规则粒状,以次圆、次棱为主。颗粒有碰撞破裂的痕迹,边缘破损,棱角多被磨蚀圆化,少见完整的柱状颗粒或菱面体,表明受到较强的物理风化。黄河方解石颗粒表面都遭受了不同程度的侵蚀,相当一部分的方解石颗粒溶蚀严重,表面呈絮状。极少数呈现完整的菱面体颗粒,颗粒表面被硅质沉淀覆盖,溶蚀孔洞发育,显示出化学风化的影响(图 8a, b, c, d)。黄河方解石形态的另一特点是出现大量表面布满条状微晶集合体的矿物颗粒,已无法看到任何原始晶面,整个颗粒看起来似乎是多个针状-条状微晶的集合体,类似隐晶体,说明方解石晶体生成条件较差,具有常温常压地表条件下由局部过饱和溶液中快速生成的形态特点,无法形成良好的晶形。但其由大量微晶集合整个颗粒的菱面体形态仍依稀可见(图 8e, f)。推测这是在一个方解石颗粒在经历淋滤过程后形成的次生颗粒集合

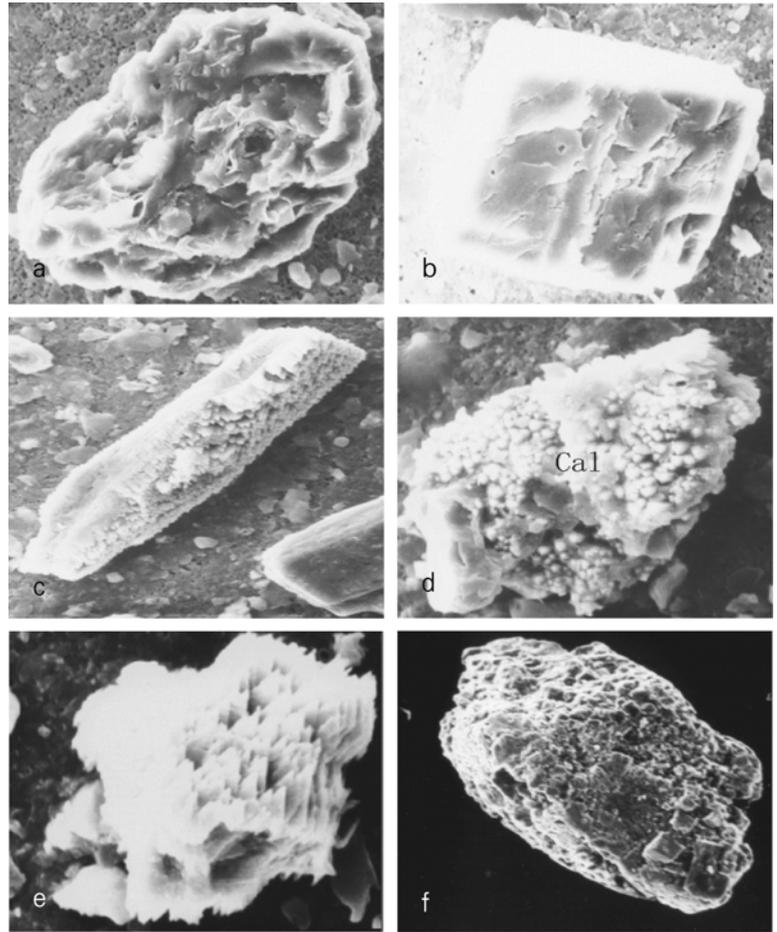


图 6 长江沉积物中方解石扫描电镜图

Fig.6 SEM image of calcite in the sediments of the Changjiang River
a. 强烈溶蚀,但颗粒形态总体仍可见菱形形态; b. 菱形晶形保持较好; c. 大量溶蚀小孔; d. 表面布满鲕状次生方解石; e. 依解理面形成的多个菱形溶蚀结构,深入颗粒内部; f. 溶蚀后表面可见次生的多个小菱面体方解石颗粒

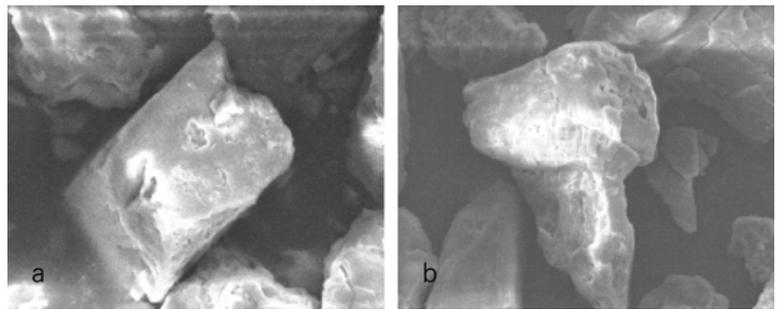


图 7 黄河沉积物中白云石扫描电镜图

Fig.7 Dolomite in the sediments of the Huanghe River under SEM observation
a. 菱面体形态; b. 马鞍状形态

体,这种形态的方解石可能与黄土碳酸盐矿物的胶结物成因有关,黄土中的碳酸盐矿物有大量是次生胶结物,通过淋滤过程形成于黄土粘粒之间的空隙中。所有黄河沉积物的 X 射线衍射谱上均仅见反射峰明锐

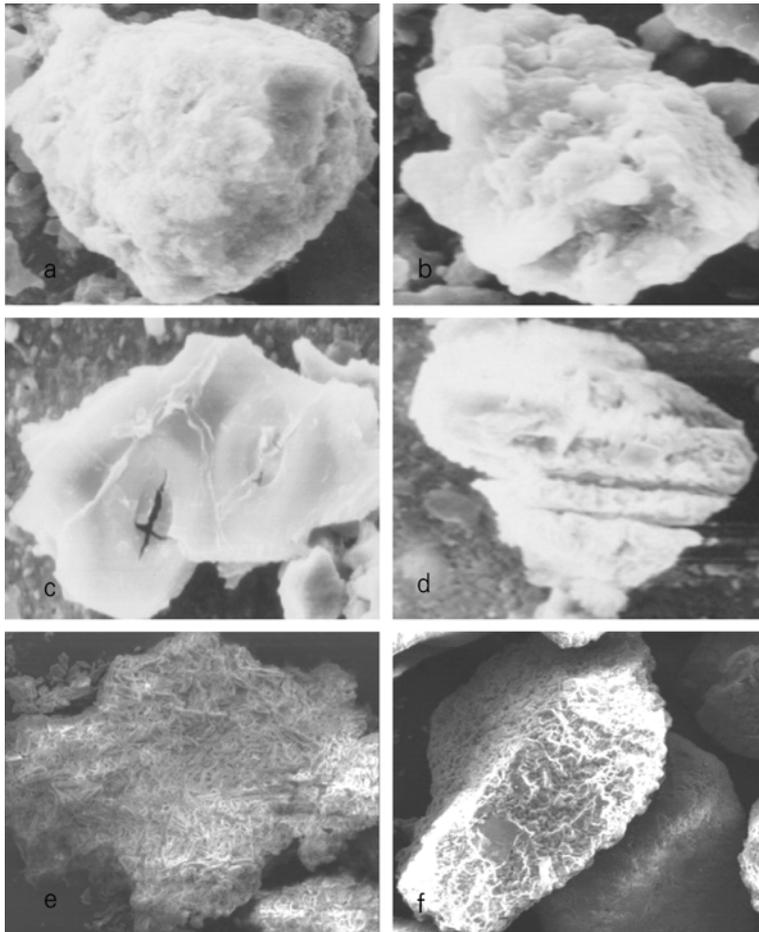


图8 黄河沉积物中的方解石扫描电镜图

Fig.8 SEM images of calcite in the Huanghe River sediments

a. 磨圆较好, 有碰撞痕; b. 次生硅质覆盖表面; c. 次棱状的方解石, 表面平坦, 形态不规则, 边缘破裂; d. 侵蚀严重, 表面呈絮状, 溶蚀明显; e、f. 表面布满次生的条状、针状方解石微晶, 整体颗粒的菱面体形态仍依稀可见

的方解石谱线, 表明次生方解石已成为结晶良好的微晶。黄河方解石侵蚀程度虽然高, 但侵蚀深度相对浅表, 说明溶蚀程度相对不强, 侵蚀形态多为搬运过程中的磨蚀、碰撞和溶蚀等数种作用产生的综合侵蚀结果。

3 讨论

3.1 扫描电镜下方解石型碳酸盐矿物的形态识别

长江和黄河入海沉积物中的碳酸盐矿物常常已被侵蚀得面目全非, 如何在扫描电镜下从大量碎屑颗粒中初步识别出方解石型(非文石型)碳酸盐矿物颗粒, 是研究其形态的前提。本文研究表明, 其菱面体形态和菱面体完全解理所特有的 60° 和 120° 交角是最佳识别特征, 即使颗粒边缘破损不全, 但从整个颗粒看, 其晶棱连线延续的交角整体上仍具有 60° 和 120° 交角的菱面体特征。其次, 在晶面上的微型侵蚀或溶

蚀形态, 其交角也大量出现 60° 和 120° 交角的菱面体特征。结合其易受侵蚀的表面, 即可作初步判定, 最终以能谱分析确认。

3.2 长江与黄河入海沉积物中方解石形态差异及可能机制

长江和黄河沉积物中方解石均遭受强烈侵蚀, 但侵蚀后的形态存在明显差异。

黄河方解石侵蚀程度虽然高, 但侵蚀深度相对浅表, 说明溶蚀程度相对不强, 侵蚀形态多为搬运过程中的磨蚀、碰撞和溶蚀等数种作用产生的综合侵蚀结果。长江方解石有大量沿解理发生的溶蚀小洞, 显示经过较强的化学溶蚀过程, 一般多深入矿物颗粒内部, 而不仅仅停留在表面, 溶蚀后留下大量具有 60° 和 120° 交角特征的微型菱形体, 溶蚀小洞则分布其间。这一差异是长江和黄河流域风化强度不同的反映。

黄河方解石另一特点是出现大量表面布满条状微晶集合体的矿物颗粒, 已无法看到任何晶面, 具有在地表条件下在黄土粘粒间隙中作为胶结物形成的多个次生微晶集合体形态, 长江方解石则无此形态。个别长江方解石表面布满大量鲕状小颗粒, 类似胶体陈化的形态, 显示了次生鲕状方解石颗粒在比较自由的空间形成。

3.3 长江与黄河入海沉积物中白云石形态差异及可能机制

黄河白云石颗粒形态保存较好, 表面侵蚀程度较低, 磨蚀和碰撞形态明显, 溶蚀形态很少, 偶见马鞍状白云石。在长江白云石颗粒上可以见到大量的磨蚀和溶蚀形态, 在不少的颗粒上可见大量溶蚀形态且布满表面, 说明长江白云石侵蚀程度比黄河高, 是长江的化学风化强于黄河的反映。

3.4 两河白云石和方解石矿物形态差异的影响因素分析

长江与黄河入海沉积物碳酸盐形态差异的影响因素主要是流域风化程度和矿物本身特点。

风化程度高不利于碳酸盐的保存, 反之则有利。长江流域与黄河流域风化指数分别为 6 和 4.5, 物理侵蚀与化学侵蚀之比分别为 2—5 和 75(文启忠等, 1996; 张经, 1996)。因此, 长江碳酸盐矿物溶蚀多, 黄河多为磨蚀、碰撞和溶蚀等数种作用产生的综合侵蚀结果。

方解石和白云石晶体结构同属方解石型。方解石基本阳离子 Ca 的离子半径 $RCa^{2+} = 0.099\text{nm}$, 在方解石型矿物系列的阳离子中处于上限, 也可以形成文石型晶格, 在该系列矿物中稳定性最差。但白云石中阳离子为 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} , 其中 Mg^{2+} 离子半径 ($RMg^{2+} = 0.078\text{nm}$) 比方解石中 Ca^{2+} 离子半径小, 白云石的晶格能要比方解石的大, 稳定程度较高, 在相同环境下不易被侵蚀。

3.5 长江与黄河入海沉积物的碳酸盐矿物含量差异及影响因素

黄河较粗粒级沉积物中碳酸盐含量较长江低, 是因为黄河入海沉积物主要来自黄土, 主要碳酸盐是在黄土粘粒空隙中形成的次生方解石胶结物, 其本身粒度较细, 在粗粒级中含量不高。随着粒级变细, 黄河方解石含量逐渐高于长江。同时, 长江流域风化程度高于黄河流域(张经, 1996; Drever *et al*, 1997), 碳酸盐粒度越细越不利于保存。上述差异是造成黄河碳酸盐含量在细粒级部分高于长江的主要原因。

长江流域广阔, 支流众多, 流域地质背景复杂, 岩石类型多样, 造成了长江沉积物中碳酸盐来源复杂, 导致碳酸盐矿物在某一粒级的集中度较低; 黄河沉积物 90% 来自于中游的黄土, 来源单一, 而黄土中碳酸盐大部分以胶结物及粉砂粒级的碎屑存在(陈骏等, 1997), 造成了其含量集中在较细的粉砂粒级。

长江化学风化强度高于黄河, 较不稳定的方解石溶蚀较多, 较稳定的白云石溶蚀较少, 使白云石相对富集, 含量升高。黄土本身富含方解石, 并在黄河较弱的风化条件下保存较多, 导致两大河方解石和白云石相对含量比例正好相反。

4 结论

(1) 长江和黄河入海沉积物的碳酸盐矿物含量在 9% 左右。长江的含量随粒级变细降低, 黄河的含量随粒级变细而增加, 二者趋势相反; 黄河方解石含量高而白云石低, 长江的情况正好相反。

(2) 菱面体形态和解理是碳酸盐矿物颗粒镜下主要识别特征。长江白云石颗粒有大量磨蚀和溶蚀形态, 侵蚀程度高于黄河。黄河白云石颗粒侵蚀程度较低, 发现马鞍状白云石颗粒。

(3) 长江和黄河方解石颗粒侵蚀都比较强烈。长江方解石化学风化较强, 溶蚀形态深入颗粒内部。黄河方解石侵蚀相对浅表, 多为物理和化学侵蚀的综合结果。

(4) 长江方解石表面可被大量次生鲕状方解石小粒覆盖, 黄河方解石常见多个次生微晶集合体, 反映了生成环境的影响。

(5) 长江与黄河流域风化程度不同和物源区特点不同, 是造成两河入海沉积物中碳酸盐矿物的含量不同、在粒级中的分布不同和形态差异的主要因素。

参 考 文 献

- 中华人民共和国国家标准(GB/T 13909-92), 1992. 海洋调查规范: 海洋地质地球物理调查. 北京: 国家技术监督局, 11—28
- 尹雪斌, 孙立广, 刘晓东, 2003. 南极无冰区典型沉积环境石英砂表面结构特征及其在沉积环境识别中的应用. 极地研究, 15(1): 1—10
- 文启忠, 吴明清, 1996. 黄土高原黄土的平均化学成分与地壳克拉克值的类比. 土壤学报, 33(3): 225—231
- 王颖, 迪纳芮尔 B, 1985. 石英砂表面结构模式图集. 北京: 科学出版社, 15—18
- 王祥珍, 吴时国, 李传荣等, 1997. 南极普里兹湾柱样中石英颗粒的表面结构. 极地研究, 19(2): 91—104
- 叶青超, 1994. 黄河流域环境演变与水沙运行规律研究. 济南: 山东科技出版社, 220
- 刘东生, 1985. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 192—201
- 刘敏厚, 吴世迎, 王永吉, 1987. 黄海晚第四纪沉积. 北京: 海洋出版社, 116—140
- 孙白云, 1988. 黄河口区全新世沉积物中的碳酸盐矿物. 海洋地质与第四纪地质, 8(4): 31—41
- 孙白云, 1990. 黄河、长江、珠江三角洲沉积物中碎屑矿物的组合特征. 海洋地质和第四纪地质, 10(3): 23—34
- 孙有斌, 安芷生, 2000. 风尘堆积物中石英颗粒表面微结构特征及其沉积学指示. 沉积学报, 18(4): 506—509
- 江超华编著, 1984. 现代海洋沉积矿物及其 X 射线衍射研究. 北京: 科学出版社, 1—63
- 吴世迎, 1982. 从黄海碳酸盐分布特征探讨黄河在黄海沉积过程中的作用. 见: 施雅风, 王靖泰主编. 第三届全国第四纪学术会议论文集, 北京: 科学出版社, 95—102
- 张经, 1996. 盆地的风化作用对河流化学成分的控制. 见: 中国主要河口的生物地球化学研究. 张经主编. 北京: 海洋出版社, 1—16
- 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—26
- 杨作升, 1988. 黄河、长江、珠江沉积物中粘土的矿物组合、化学风化特征及其与物源区气候环境的关系. 海洋与湖沼, 19(4): 578—588
- 陈骏, 仇纲, 杨杰东, 1997. 黄土碳酸盐 Sr 同位素组成与原生次生碳酸盐识别. 自然科学进展, 7(6): 731—734
- 屈翠辉, 郑建勋, 杨韶晋等, 1984. 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. 科学通报, 17: 1063—1066
- 范德江, 杨作升, 王文正, 2002. 长江、黄河沉积物中碳酸盐组

- 成及差异. 自然科学进展, 12(1): 60—64
- 赵一阳, 鄢明才, 1992. 黄河、长江、中国浅海沉积物化学元素含量比较. 科学通报, 37: 1—3
- 程天文, 赵楚年, 1985. 我国主要河流入海径流、输沙量及对沿岸的影响. 海洋学报, 7(4): 460—471
- 韩桂荣, 刘玉海, 1993. 黄河口海区沉积物柱状样中碳酸盐组分. 海洋与湖沼, 24(5): 456—466
- 潘兆鲁主编, 1993. 结晶学及矿物学 (下册). 北京: 地质出版社, 255
- Drever J I, Saether O L, 1997. Weathering processes. In: Saether O L, Caritat P D ed. Geochemical Processes, Weathering and Groundwater Recharge in Catchments. Rotterdam: A A Balkema, 3—7
- Eisma D J Z, Chen S *et al*, 1995. Clay mineral composition of recent sediments along the China coast. Netherlands Institute Voof ONderzoek der Zee (Report), 4: 1—13
- Milliman J D, Meade R H, 1983. World-wide delivery of river sediment to the ocean. J Geol, 91: 1—21
- Milliman J D, Beardsley R C, Yang Z-S *et al*, 1985. Modern Huanghe derived muds on the outer shelf of the East China Sea: Identification and potential transport mechanisms. Cont Shelf Res, 4: 175—188

CARBONATE MINERALS IN ESTUARY SEDIMENTS OF THE CHANGJIANG (YANGTZE RIVER) AND HUANGHE (YELLOW RIVER): THE CONTENT, MORPHOLOGY, AND INFLUENTIAL FACTORS

YANG Zuo-Sheng^{1,2}, WANG Hai-Cheng^{1,2}, QIAO Shu-Qing³

(1. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao, 266003; 2. Key Laboratory of Seafloor Science and Exploration Technology (KLSSET), Ocean University of China, Qingdao, 266003; 3. Key Laboratory of Sedimentation and Environmental Geology, First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao, 266061)

Abstract Sediment samples were collected in estuaries of the Changjiang (Yangtze River) and the Huanghe (Yellow River) for studying carbonate minerals, their morphologic features, and influential factors by grain size analysis, XRD, SEM with EDX. The result shows that the percentage content of carbonate minerals occupied about 9% of the total major minerals, which is similar for the two rivers. The calcite content in the Huanghe sediment is higher than the dolomite, and vice versa in the Changjiang samples. Morphological study on the carbonate minerals illustrates that the shapes of the dolomite grains from the two river sediments are mostly well crystallized in general, except for minor cleavages and erosion/dissolution in the Changjiang samples. Calcite grains in all the samples were strongly eroded. The surface morphology was mostly resulted from the joint effect of grinding and dissolving under physical and chemical weathering processes. Some Changjiang calcite grains are covered with tiny oolites of colloid origin, while Huanghe calcite grains often consist of needle-like micro-crystals as aggregates resulted from secondary viscous origin in loess vacancies. The specific rhombic shape and the rhombic cleavage angles of 60° and 120° are characteristic for identification of the carbonate grains under SEM. Differences in provenance and weathering intensity are major influential factors responsible for the differences in the carbonate contents and their grain morphological features.

Key words Changjiang (Yangtze River), Huanghe (Yellow River), Sediments, Carbonate mineral, Morphology, Weathering