

粒级-标准偏差法和主成分因子分析法 在粒度敏感因子提取中的对比

陈 桥^{1,2}, 刘东艳², 陈颖军², 申旭红², 蒋金杰², 李 欣², 姜晓华²

(1. 山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室, 山东科技大学, 地质科学与工程学院,
山东 青岛 266590; 2. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003)

摘 要: 沉积物全样粒度参数已很难对受不同物源和不同沉积动力影响的古环境进行深入研究, 不同来源的多组分分离提取敏感粒级方法较多, 不同的方法提取的粒级兼容性及其所反映的环境意义差别值得探讨。本文利用烟台四十里湾 3 个柱状沉积物粒度分析数据为基础, 对比分析粒级-标准偏差法和主成分因子分析法提取的环境敏感因子及其反映的古环境意义。结果表明, 两种方法提取的环境敏感因子粒级一一对应, 两种方法所提取的敏感粒级含量在沉积物中存在相同的变化趋势, 这说明了两种方法均能敏感地反映沉积物相同的沉积动力特征, 但粒级-标准偏差法所提取的粒级易受端元组分影响, 粒级-标准偏差法所提取的敏感因子主要反演主控因子环境信息。

关键词: 粒级-标准偏差; 主成分因子分析; 环境敏感因子; 古环境; 沉积物; 四十里湾

中图分类号: S152.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9250(2013)03-0319-07

沉积物粒度是沉积物的基本性质, 主要受搬运介质、水动力强弱和搬运方式等因素控制, 并且与沉积环境息息相关, 因而可以通过沉积物粒度参数之间的关系进行沉积环境的判别, 推断沉积物发生沉积时的动力条件^[1,2]。利用沉积物柱状样粒度特征进行沉积速率、水动力环境与古气候变化记录、人类活动记录及污染历史记录的研究成果不断出现^[3-5], 一系列研究揭示沉积物粒度在沉积环境研究中有良好的应用前景^[6,7]。

沉积物粒度广泛运用于沉积物来源及沉积环境动力的识别, 在研究中, 往往以组分含量(粘土、粉砂、砂等)及参数(偏态、分选、峰态等)为标准来划分环境变化, 这些研究对探讨沉积物特征及恢复沉积环境等方面取得了一定的成果。然而, 沉积物受多种物源或沉积动力过程的混合作用, 用全样的粒度参数只能近似地作为沉积环境的代用指标^[8,9], 已经很难对受多种物源和不同沉积动力影响的古环境进行深入研究^[10], 甚至这些指标在指示沉积环境方面还存在不确定性^[11]。因而, 人们试图从复杂的

粒度数据中分离出单一组分的粒度特征来探讨各组分所指示的沉积学意义。

近几年来, 各国学者分别探讨了沉积物粒度不同来源的多组分分离方法, 如基于 Weibull 分布的函数拟合法^[9], 端元模型法^[12-14]和粒级-标准偏差法^[10,15,16]等。如重建北大西洋^[17], 北大平洋^[18], 中国南海^[19]、东海^[6]、阿拉伯海^[20]和非洲西南岸外^[14]沉积柱状样中地质历史时期古气候演化, 对于追溯物源、探讨季风、海流等提供了重要信息。但在进行多组分分离提取环境敏感因子时, 这些研究往往是单一运用, 很少对不同方法提取的环境敏感因子对比分析, 那么不同方法提取的因子能否兼容? 不同方法提取的因子是否具有一致性和差异性? 因此, 进行不同方法之间对比分析将有助于更为综合准确地反映古环境信息及选择合理的分析方法。

粒级-标准偏差法是依据每一粒级对应含量的标准偏差变化来获取环境敏感因子的, 它的基本思路是计算每一粒级在柱状沉积物中标准偏差值, 将标准偏差值最大的粒级作为环境敏感因子, 其敏感

收稿日期: 2012-05-25; 改回日期: 2012-10-25

基金项目: 国家自然科学基金(40901027, 41106036), 中科院知识创新工程(KZCX2-YW-Q07-04), 山东省自然科学基金(ZR2011DQ006)。

第一作者简介: 陈桥(1979—), 男, 讲师, 主要从事环境地质学和环境地球化学研究。E-mail: chenq5581@163.com。

粒级往往是单一的。主成分因子分析法旨在将不同粒级进行关联性分析,将相关联的粒级成分组合在一起构成一个综合因子,分析各个因子对粒级的贡献大小,将贡献较大的因子作为主要因子,该因子所包含的粒级范围作为沉积环境最敏感的粒级组分,是众多粒级的综合体。很显然,两种方法的原理和包含的粒级成分具有较大的差异。

基于此,本文以烟台四十里湾不同环境下沉积物柱状样粒度分析为例,详细对比分析粒度-标准偏差法和主成分因子分析法所提取环境敏感因子,讨论两种方法所提取环境敏感因子的兼容性和差异性。

1 样品来源及分析方法

烟台市四十里湾是烟台市区主要海湾,位于烟台市莱山区北部海域,隶属黄海,西北与芝罘湾相连,东邻养马岛,北面为湾口,三面邻陆,一面向海。2009年3月,在该湾采集3个站点重力柱状样,即A1(N37°39'21.64";E121°21'52.64",柱长0.95 m,离岸约100 m)、A5(N37°32'24.00";E121°33'59.00",柱长1.22 m,离岸约500 m)、C3(N37°32'52.38";E121°27'17.32",柱长1.19 m,离岸约1000 m),将采集的样品送回实验室,以1 cm间距进行子样分割,共获取样品336个。

粒度分析采用常用的粒度分析方法,取适量样品,加10 mL的10% H₂O₂,然后在60℃水浴加热2 h以去除有机质,加入少量蒸馏水,将沉积物离心,浸泡12 h,再加入0.05 mol/L 偏六磷酸钠溶液10 mL,并用超声波分散2 min。最后由德国产Masterizer 2000型激光粒度仪进行测量,每个样品重复测量5次,重复测量的误差≤1%。

粒级-标准偏差法是通过计算每一粒级所对应含量的标准偏差获得粒度组分的个数和分布范围,标准偏差计算公式

$$s = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (s_i - s)^2 \right] / n},$$

式中 s 为偏差, s_i 为样本值, n 为样本数。通过 SPSS 10 进行主成分因子分析获得各沉积物柱状样粒度主控因子。

2 结果

2.1 粒级-标准偏差法提取环境敏感因子

图1示出了用粒级-标准偏差的算法获得的每个粒级组分的标准偏差随粒级的变化,其中横坐标

采用对数表示,图中较高标准偏差值所对应的粒级即对沉积环境敏感的粒度众数。

3个沉积物柱状样粒级-标准偏差曲线均呈现出典型的“多峰分布”,表明沉积物粒度受多因素控制。对A1柱而言,2个明显的标准偏差峰值分别出现在3.9905 μm和15.8866 μm,所对应的粒度组分范围分别为0.3170~7.9621 μm,7.9621~89.3367 μm。A5柱有4个标准偏差峰值,分别出现在0.7096、7.0963、25.1785、126.1915 μm。4个粒级组分的分界线约在0.3170~1.0024 μm,1.0024~12.6191 μm,12.6191~79.6214 μm,79.6214~200 μm。而C3柱出现了5个标准偏差峰值,分别出现在0.7962、4.4774、14.1589、39.9052、141.5892 μm,其粒级组分范围分别为0.3170~1.1247 μm,1.1247~7.0963 μm,7.0963~22.4404 μm,22.4404~100.2347 μm,100.2347~502.3773 μm。3个柱状沉积物粗粒(>200 μm)含量较少,在绝大多数样品中均不含该组分,因此,>200 μm的环境敏感组分在本研究中不作考虑。

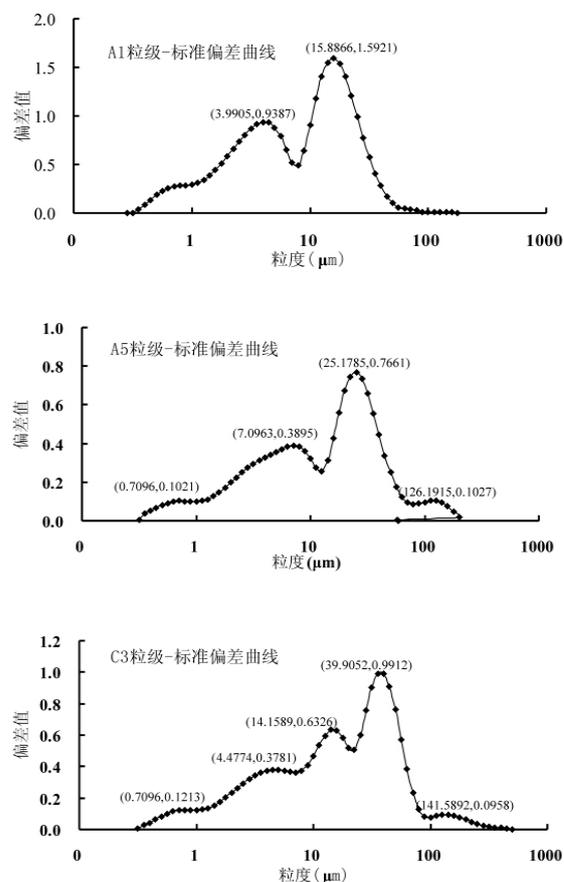


图1 柱状沉积物粒级-标准偏差曲线

Fig. 1 Sediment core grade-standard deviation curves

2.2 因子分析法提取环境敏感因子

主成分因子分析的原理是,将多个实测粒度变量转换为少数几个不相关的主控粒度,寻找隐藏在众多粒度变量中起控制作用的粒度组分。即通过探讨各粒度之间的内部关联性,将多个粒度归数到有代表性的因子中,根据各个粒度之间的共生组合状况寻找环境敏感的粒度组分。将3个柱状沉积物不同粒度的百分含量作为变量,利用SPSS 10进行主成分因子分析,获得各沉积物柱状样粒度主控因子(表1,表2和表3)。

A1柱获得两个主控因子F1和F2,0.3170~6.3246 μm 和10.0237~25.1785 μm 粒度主要反映了因子F1的特征,89.3367~178.2502 μm 粒度主要反映了因子F2的特征,其中F1控制了61.685%的粒度变化特征,F2控制了12.272%,这两个主控因子反映粒度总体特征变化的73.958%,其它3个因子贡献率相对较小。A5柱共获得4个有效的因子,其中F1和F2是主控因子,其F1所对应的粒度范围分别为0.046~0.631 μm 和15.8866~39.9052

μm ,F2所对应的粒度范围为56.3677~200.000 μm ,这两个因子分别控制51.914%和19.836%的粒度变化特征,这两主控因子基本上控制了沉积物样品的总体粒度变化特征。C3柱F1和F2因子贡献率最高,分别控制了44.056%和23.215%粒度总体特征,F1粒度范围分别为0.4477~7.0963 μm 和22.4404~28.2508 μm ,F2粒度范围为8.9337~17.8250 μm 和35.5656~70.9627 μm 。F3、F4和F5因子贡献率分别为15.744%、8.940%和5.264%,其对应的粒度范围分别为178.2502~502.3773 μm 、112.4683~141.5892 μm 和0.3170~0.3557 μm ,其中F3因子所代表的粒度范围在样品中含量较少,不予考虑,F5因子对应粒度范围为0.3170~0.3557 μm ,因子贡献率仅为5.264%。

2.3 两种方法提取环境敏感因子关系

3个柱状沉积物通过因子分析法提取的环境敏感因子F1均存在两个敏感粒度,通过相关性分析发现,这两个粒度呈负相关关系,相关系数 R^2 分别为0.99,0.96和0.94,除此之外,C3柱通过因子分

表1 A1柱状沉积物粒度因子结构分析
Table 1 Factor analysis of A1 sediment core

| 公因子 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|-----------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|---------------|-----------------|
| 因子构成(μm) | 0.3170~6.3246; 10.0237~25.1785 | 89.3367~178.2502 | 35.5656~50.2377 | 7.0963~7.9621 | 63.2456~79.6214 |
| 特征值 | 34.544 | 6.872 | 4.952 | 3.975 | 3.226 |
| 因子贡献率(%) | 61.685 | 12.272 | 8.844 | 7.098 | 5.761 |
| 累积贡献率(%) | 61.685 | 73.958 | 82.801 | 89.900 | 95.661 |

表2 A5柱状沉积物粒度因子结构分析
Table 2 Factor analysis of A5 sediment core

| 公因子 | F1 | F2 | F3 | F4 |
|-----------------------|-----------------------------------|------------------|---------------|-----------------|
| 因子构成(μm) | 0.7962~8.9337; 15.8866~39.9052 | 56.3677~200.0000 | 0.3170~0.5637 | 11.2468~12.6191 |
| 特征值 | 29.591 | 11.306 | 7.490 | 5.119 |
| 因子贡献率(%) | 51.914 | 19.836 | 13.140 | 8.981 |
| 累积贡献率(%) | 51.914 | 71.750 | 84.890 | 93.871 |

表3 C3柱状沉积物粒度因子结构分析
Table 3 Factor analysis of C3 sediment core

| 公因子 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| 因子构成(μm) | 0.4477~7.0963; 22.4404~28.2508 | 8.9337~17.8250; 35.5656~70.9627 | 178.2502~502.3773 | 112.4683~141.5892 | 0.3170~0.3557 |
| 特征值 | 28.636 | 15.090 | 10.234 | 5.811 | 3.422 |
| 因子贡献率(%) | 44.056 | 23.215 | 15.744 | 8.940 | 5.264 |
| 累积贡献率(%) | 44.056 | 67.271 | 83.015 | 91.955 | 97.220 |

析法提取的环境敏感因子 F2 也存在两个敏感粒级,通过相关性分析发现,两者也呈现相关性,相关系数 R^2 为 0.65(图 2)。这表明这两个环境敏感因子反映了相同的沉积环境和沉积动力。事实上,这是由于受某同一环境扰动,其中某一粒级随环境扰动作用加强而含量减少,而另一粒级随环境扰动作用加强而含量增加。因此,在用该粒级反映古环境时,只需对其中一个粒级含量进行分析即可。

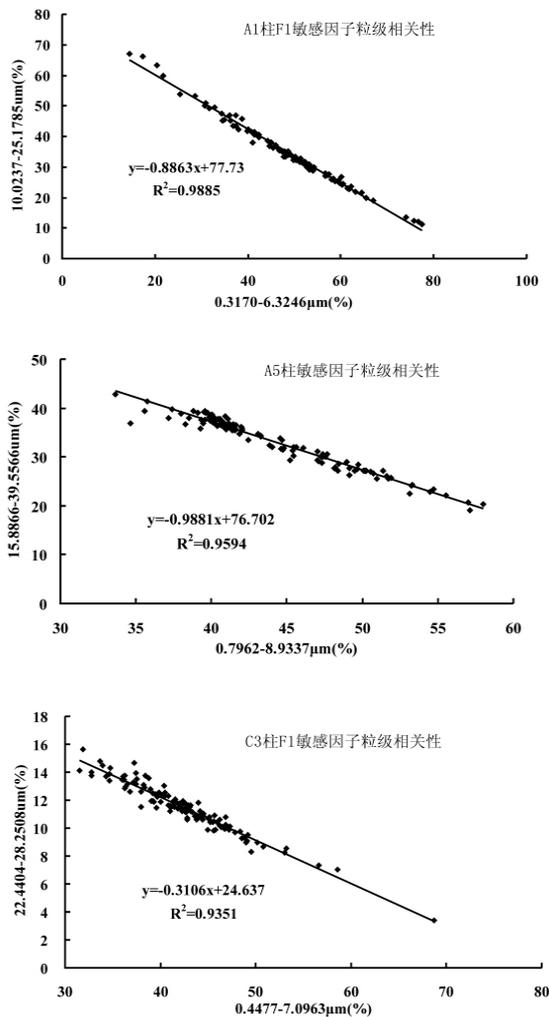


图 2 柱状沉积物粒级-标准偏差法提取环境敏感组分相关性

Fig. 2 The correlation between the sensitive grades of sediment cores by grade-standard deviation method

对比各柱状沉积物粒级-标准偏差法提取的环境敏感粒级(图 1)和主成分因子分析的主控因子对应的粒级范围(表 1,表 2 和表 3),A1 柱粒级-标准偏差法提取的敏感粒级正好落在主成分因子分析法所提取的 F1 主控因子对应的粒级范围之内,A5 柱粒级-标准偏差法提取的 7.0963 μm 和 25.1785 μm

敏感粒级正好落在主成分因子分析法所提取的 F1 主控因子对应的粒级范围之内,126.1915 μm 敏感粒级落在 F2 主控因子对应的粒级范围内,而粒级-标准偏差法提取的 0.7096 μm 落在主成分因子分析法所提取的主控因子中并未得到体现,究其原因,是因为该粒级在主成分因子分析中,对 F1 因子的相关程度和对 F3 因子的相关程度相近。C3 柱粒级-标准偏差法提取的 4 个粒级正好落在主成分因子分析法所提取的 F1 和 F2 主控因子对应的粒级范围之内。这表明粒级-标准偏差法和主成分因子分析法提取的某些环境敏感粒级具有较好的一一对应关系,两种方法所提取的这些环境敏感因子均能反映其古环境意义。

图 3 为柱状沉积物粒级-标准偏差法和主成分因子分析法提取对应环境敏感粒级含量相关性分析结果,对于同一个柱状沉积物而言,利用粒级-标准偏差法和主成分因子分析法所提取的环境敏感粒级含量具有极显著的相关性,相关系数 $R^2 > 0.65$ 。粒级-标准偏差法提取的敏感粒级含量与主成分因子分析法提取的敏感粒级含量在沉积物中存在相同的变化趋势。这表明,粒级-标准偏差法和主成分因子分析法在同一沉积物柱状样中都能提取相同的环境变化信息,两种方法具有一致性和兼容性。

3 讨论

对于粒度来说,并非所有的粒级组分都对环境敏感,如水流流速等敏感组分的粒度范围可能很小,所以需要判别沉积物中可能包含的多个粒级组分的沉积学意义。

虽然粒级-标准偏差法和主成分因子分析法是从不同的角度提取敏感粒级因子,两者在原理及包括粒级范围存在巨大差异。但从本文烟台四十里湾 3 个柱状沉积物两种方法提取的环境敏感粒度可知,粒级-标准偏差法所提取的 A1 柱 3.9905 μm , 15.8866 μm , A5 柱 7.0961 μm , 25.1785 μm , 126.1915 μm 和 C3 柱 0.7962 μm , 4.4774 μm , 14.1158 μm , 39.9052 μm 敏感粒级在主成分因子分析法中 F1 和 F2 因子中,其对应的粒级范围一致且反映的沉积环境变化趋势一致,表明两种方法所提取的因子相对应,均能敏感地反映沉积物沉积动力特征,两种方法具有一定的兼容性。

对比可知,粒级-标准偏差法提取的 A5 柱 0.7096 μm 和 C3 柱 141.5892 μm 两个敏感粒级在

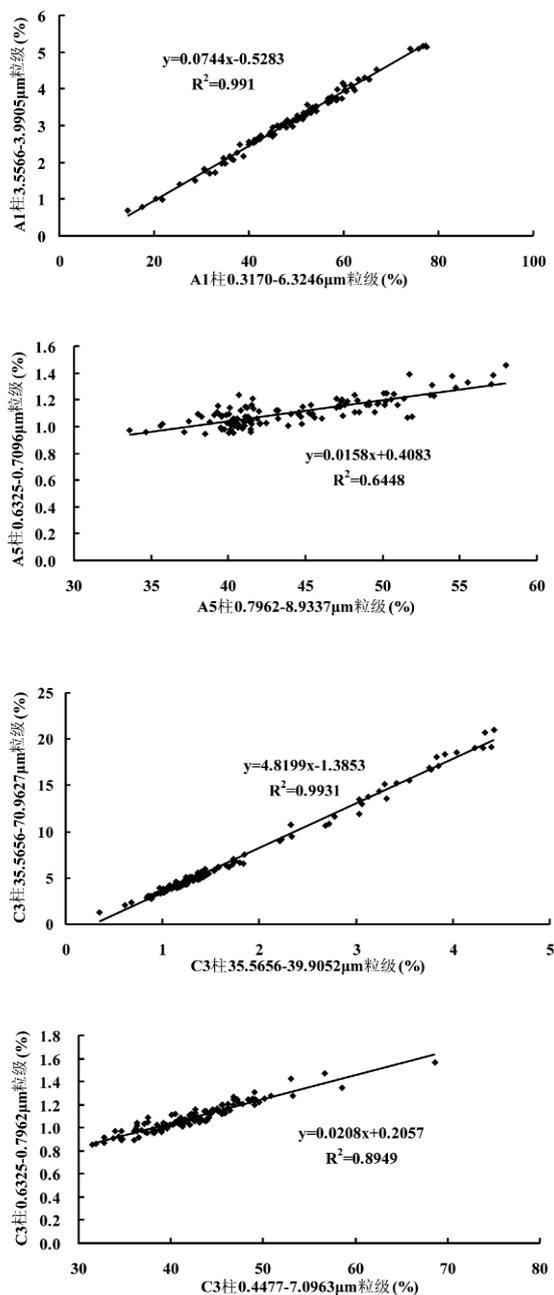


图3 柱状沉积物粒度-标准偏差法和主成分因子分析法提取环境敏感粒级含量相关性

Fig. 3 The correlation between the sensitive grade contents of sediment cores by the grade-standard deviation method and by the factor analysis method

主成分因子分析 F1, F2 因子中并未得到体现, 究其原因, 是因为这两个级均处于端元组分, 即粒级处于最细或最粗的范围之内, 这些粒级范围仅在柱状沉积物中的部分样品中存在, 在部分样品中含量为零, 导致该粒级在整个柱状沉积物中标准偏差值较高。因此, 利用粒度-标准偏差法提取环境敏感粒级时要

关注端元组分的影响。

从以上对比也可以看出, 粒度-标准偏差法所提取的这些敏感粒级均是处于主成分因子分析法提取的 F1 和 F2 主控因子粒级范围之内, 其因子贡献最大, 这两主控因子基本上控制了沉积物样品的总体粒度变化特征。也就是说, 粒度-标准偏差法提取的因子更为重要的是反演对该柱状沉积物粒度影响最为深远的环境意义。主成分因子分析法提取的其它因子在粒度-标准偏差法提取的敏感因子粒级中并未得到体现, 其环境意义尚需进一步分析。

烟台四十里湾沉积物来源及沉积动力受多环境因素的综合影响。本文 3 个柱状沉积物中, A1 柱位于排污区, C3 柱位于养殖区, A5 柱位于远岸, 但各柱状沉积物之间所提取的敏感粒级变化趋势并不相同, 表明这些敏感粒级受不同的沉积环境主控, 但对同一柱状沉积物来说, 运用粒度-标准偏差法和主成分因子分析法均能较好地而且较一致地提取这些环境敏感因子, 即两种方法的兼容性并不受沉积环境的影响而发生差异。同时, 当前的绝大多数研究中, 往往运用这两种方法来恢复沉积物沉积时的古气候 (温度, 降水, 季风等) 信息, 如东亚季风^[11,19]、油流^[16]、干旱区气候变化及沙尘活动^[10]。本文通过对比分析也表明, 该方法不仅在探讨古气候信息方面, 而且其它环境要素如河流改道, 排污, 养殖等在柱状沉积物粒度中也有较好地体现。运用该法也能成功地提取敏感粒级。

目前, 对中国边缘海柱状沉积物粒度分析的报道多集中于南海和冲绳海槽^[16], 而对黄海及邻近区域研究较少。Boulay 等^[25]检出的环境敏感粒级范围分别为 2.5~5 μm 和 20~30 μm 。王可等^[11]对东海内陆架的研究表明近 1 万年以来有两个对环境敏感的粒度组分分布范围在 4.24~6.76 μm 和 22.78~43.66 μm 。郑洪波等^[21]分析南海陆源碎屑沉积粒度敏感粒级组分为 1.52~2.92 μm 和 11.8~27.4 μm 。相比较而言, 本文所提取的黄海沉积物环境敏感粒级偏细, 这可能是缘于黄海泥质沉积是由冬季沿岸流输送的主要来自黄河在渤海的沉积物而形成的^[26,27], 但两种方法均能较好地反映出黄海沉积环境演变特征。

4 结论

本文以烟台四十里湾不同环境下沉积物柱状样粒度为例, 对比分析粒度-标准偏差法和主成分因子

分析法在同一沉积物的环境敏感因子提取中的应用。结果表明,两种方法提取的环境敏感因子一一对应,两种方法所提取的敏感粒度含量在沉积物中存在相同的变化趋势,这两种方法均能敏感地反映沉积物相同的沉积动力特征,3个柱状沉积物均表现出:粒度-标准偏差法和主成分因子分析法主控因子提取的 F1 和 F2 因子粒度范围统一且粒度变化

趋势一致,但粒度-标准偏差法所提取的粒度易受端元组分影响,粒度-标准偏差法所提取的敏感因子主要反演主控因子环境信息。这两种方法不仅能够有效地恢复沉积物沉积时的古气候(温度,降水,季风等)信息,在探讨其它一些环境要素(如河流改道,排污,养殖等)在柱状沉积物粒度中也有较好地体现。

参 考 文 献

- [1] Visher G S. Grain size distributions and depositional processes[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1969, 39(4): 1074-1106.
- [2] 陈沈良,杨世伦,吴瑞明. 杭州湾北岸潮滩沉积物粒度的时间变化及其沉积动力学意义[J]. *海洋科学进展*, 2004, 22(3): 299-305.
- [3] 张宗雁,郭志刚,张干,等. 东海泥质区表层沉积物中多环芳烃的分布特征及物源[J]. *地球化学*, 2005, 34(4): 379-386.
- [4] 段凌云,王张华,李茂田,等. 长江口沉积物²¹⁰Pb分布及沉积环境解释[J]. *沉积学报*, 2005, 23(3): 514-522.
- [5] 杨作升,陈晓辉. 百年来长江口泥质区高分辨率沉积粒度变化及影响因素探讨[J]. *第四纪研究*, 2007, 27(5): 690-699.
- [6] 肖尚斌,李安春. 东海内陆架泥区沉积物的环境敏感粒度组分[J]. *沉积学报*, 2005, 23(1): 122-129.
- [7] 张晓东,许淑梅,翟世奎,等. 东海内陆架沉积气候信息的端元分析模型反演[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2006, 26(2): 25-32.
- [8] Syvitski J P M. Factor analysis of size frequency distributions: significance of factor solutions based on simulation experiments[A]. In: Syvitski J P M. eds. *Principles, Methods and Applications of Particle Size Analysis*[M]. Cambridge University Press, 1991, 249-263.
- [9] Prins M A, Postma G, Weltje G. Controls on the terrigenous sediment supply to the Arabian Sea during the late Quaternary: The Makran continental slope[J]. *Marine Geology*, 2000, 169(3-4): 351-371.
- [10] 薛积彬,钟巍. 干旱区湖泊沉积物粒度组分记录的区域沙尘活动历史:以新疆巴里刊湖为例[J]. *沉积学报*, 2008, 26(4): 647-654.
- [11] 王可,郑洪波, Maarten Prins, 等. 东海内陆架泥质沉积反映的古环境演化[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2008, 28(4): 1-10.
- [12] Ding Z L, Yu Z W, Yang S L, *et al.* Coeval changes in grain size and sedimentation rate of eolian loess, the Chinese Loess Plateau[J]. *Geophys Res Lett*, 2001, 28(10): 2097-2100.
- [13] Stuut J B W, Prins M A, Schneider R R, *et al.* A 300-kyr record of aridity and wind strength in southwestern Africa: Inferences from grain-size distributions of sediments on Walvis Ridge, S E Atlantic[J]. *Marine Geology*, 2002, 180(1-4): 221-233.
- [14] Pichevin L, Cremer M, Griendeau J, *et al.* A 190 ky record of lithogenic grain-size on the Namibian slope: Forging a tight link between past wind-strength and coastal upwelling dynamics[J]. *Marine Geology*, 2005, 218(1-4): 81-96.
- [15] Xiao S, Li A, Liu J P, *et al.* Coherence between solar activity and the East Asian winter monsoon variability in the past 8000 years from Yangtze River-derived mud in the East China Sea[J]. *Palaeogeography Palaeoclimatol Palaeoecol*, 2006, 237(2-4): 293-304.
- [16] 孙有斌,高抒,李军. 边缘海陆源物质中环境敏感粒度组分的初步分析[J]. *科学通报*, 2003, 48(1): 83-86.
- [17] Groger M, H enrich R, Biekert T, *et al.* Glacial-interglacial variability in lower North Atlantic deep water: inference from silt grain-size analysis and carbonate preservation in the western equatorial Atlantic[J]. *Marine Geology*, 2003, 201(4): 321-332.
- [18] Rea D K, H ovan S A. Grain size distribution and depositional processes of the mineral component of abyssal sediments: lessons from the North Pacific[J]. *Paleoceanography*, 1995, 10(2): 251-258.
- [19] 陈国成,郑洪波,李建如,等. 南海西部陆源沉积粒度组成的控制动力及其反映的东亚季风演化[J]. *科学通报*, 2007, 52(23): 2768-2776.

- [20] Prins M A, Postma G, Cleveringa J, *et al.* Controls on terrigenous sediment supply to the Arabian Sea during the late Quaternary: the Indus Fan[J]. *Marine Geology*, 2000, 169(3-4): 327-349.
- [21] 郑洪波, 陈国成, 谢昕, 等. 南海晚第四纪陆源沉积: 粒度组成、动力控制及反映的东亚季风演化[J]. *第四纪研究*, 2008, 28(3): 414-424.
- [22] 战庆, 王张华, 王昕, 等. 长江口区晚新生代沉积物粒度特征和沉积地貌环境演变[J]. *沉积学报*, 2009, 27(4): 674-683.
- [23] Pejrn M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments; a new approach, in tide-influenced sedimentary environments and facies[M]. Dordrecht, D: Reidel Publishing Company, 1987, 298-300.
- [24] Liu Z F, Trentesaux A, Clemens S C, *et al.* Clay mineral assemblages in the northern South China Sea: implications for East Asian monsoon evolution over the past 2 million years[J]. *Marine Geology*, 2003, 201(1-3): 133-146.
- [25] Boulay S, Colin C, Trentesaux A, *et al.* Mineralogy and sedimentology of Pleistocene sediments on the South China Sea (ODPSite1144) [R]. Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results 2002.
- [26] Ren M E, Shi Y L. Sediment discharge of the Yellow River and its effect on the sedimentation of the Bohai and Yellow Sea[J]. *Continental Shelf Research*, 1986, 6(6): 785-795.
- [27] 董太禄. 渤海现代沉积作用与模式的研究[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1996, 16(4): 43-53.

Comparative Analysis of Grade-standard Deviation Method and Factors Analysis Method for Environmental Sensitive Factor Analysis

CHEN Qiao^{1,2}, LIU Dong-yan², CHEN Yi-jun², SHENG Xu-hong²,
JIANG Jin-jie², LI Xin², JIANG Xiao-hua²

(1. Key Laboratory of Depositional Mineralization & Sedimentary Minerals of Shandong Province, College of Geological Science & Engineering, Shandong University of Science & Technology, 266590, Qingdao, China; 2. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, 264003, Yantai, China)

Abstract: It is difficult to further study the ancient-environment influenced by different sources and deposit dynamics by sediment grain properties of total samples. Multicomponent separation methods of different sediment grain were widely discussed in recent years, but only single method was used and there was no comparative analysis of different methods. Environmental sensitive factors by grade-standard deviation method and factor analysis method and their ancient-environment significance were compared based on three column sediment grain properties in Sishili Bay, Yantai. The result shows that sensitive grade based on the two methods one-to-one correspond and has the same variation tendency in column sediment, which indicates the two analysis methods can sensitively denote the same deposit dynamics. But the sensitive factors by grade-standard deviation are affected by end member, and only main control environmental significance is inverted.

Key words: grade-standard deviation method; factors analysis methods; environment sensitive factors; ancient-environment; sediment core; Sishili Bay