

北黄海西部与南黄海中部泥质区岩芯敏感粒级及其环境意义^①

沈星^{1,2} 褚忠信^{1,2} 王玥铭¹ 李应坤^{1,2} 苗安洋^{1,2} 梁玉蕾^{1,2}

(1.中国海洋大学海洋地球科学学院 山东青岛 266100;2.海底科学与探测技术教育部重点实验室 山东青岛 266100)

摘要 用激光粒度仪对南黄海中部(YSZD01孔)与北黄海西部(B45孔)泥质区沉积物短柱样进行高分辨选样(0.5 cm)的粒度测试与分析,并对柱样进行²¹⁰Pb测年分析。B45孔柱样沉积时间为1913~2010年,沉积物以粉砂为主,粒度参数垂向波动较大。YSZD01孔柱样沉积时间为1909~2012年,沉积物为泥与砂质泥,粒度参数垂向变化较小。两孔在1958年、1971年、1980年左右砂含量突增,很可能归因于强度大的寒潮,其增强了黄海两泥质区的水动力环境,导致两孔在这些年份左右的粗颗粒沉积物含量突增。用粒级—标准偏差法得到B45孔沉积物敏感粒级组分为15.6~71.8 μm,YSZD01孔沉积物敏感粒级组分为23.7~500.0 μm,用其作为东亚季风变化的指标,显示自1910年代以来东亚冬季风强度增强,两孔在1925~1935年、1955~1964年、1974~1977年、1982~1986年这四个时期敏感粒级含量出现增加趋势,对应冬季风强度增强较为明显。从岩芯粒度来看,季风强度的变化体现为敏感粒级组含量变化,季风频率的变化体现为敏感粒级含量波动的程度。

关键词 黄海 泥质区 粒度 敏感粒级 东亚季风

第一作者简介 沈星 男 1990年出生 硕士研究生 海洋沉积与工程环境 E-mail: stcnpt@163.com

通讯作者 褚忠信 男 副教授 E-mail: zhongxinchu@ouc.edu.cn

中图分类号 P736 **文献标识码** A

0 引言

中国东部边缘大陆拥有众多河流入海并输入巨量陆源物质,陆架沉积物记录了海陆变迁、海平面变化、河流输入物质和气候变化等信息^[1]。国内外众多学者已对黄海沉积物来源^[1-3]、矿物组成^[3-4]、粒度特征^[1,5]、地球化学特征^[6-8]、生物特征^[9-11]、黄海冷水团^[12-14]及其对应的环境意义等进行了很多研究,并取得了丰富的成果。现代和地史时期的沉积物粒度特征往往记录着沉积物源和沉积环境等信息,受搬运和沉积过程的动力条件控制,因其与沉积环境密切相关,所以常被用来反演沉积环境、沉积过程、搬运过程和搬运机制^[15]。但在运用沉积物粒度特征来对复杂的沉积动力条件和沉积物源分析时,由于影响沉积物粒度特征因素的多样性和复杂性,往往只能采用近似的替代指标^[16-17]。近年来对沉积物粒度资料进行数据处理,并提取对沉积环境变化敏感的粒度组分或端元组分^[18],据此重建地质历史时期的古气候、古环境已成为研究热点。然而受环境影响的沉积物敏感

粒级范围往往很小,因此对粒度数据中响应特定环境粒度组分的提取在研究不同沉积环境中不同组分构成及各组分所指示的沉积学意义中变得十分重要^[19]。

以往对沉积物岩芯的粒度分析,岩芯选样时一般>2 cm,本文对北黄海西部与南黄海中部泥质区沉积物短柱样进行高分辨选样(0.5 cm),用激光粒度仪开展粒度测试,分析沉积物粒度概率分布特征及粒度参数特征,并对沉积物短柱样进行室内²¹⁰Pb测试。探讨黄海不同海域沉积物的粒度特征对某一时期沉积环境和水动力条件的响应。在此基础上,提取并分析泥质体陆源物质中对环境变化较为敏感的粒度组分,讨论两孔柱样敏感粒级对东亚季风的响应,以期更好地了解沉积区的沉积环境变化。

1 区域背景

陆架泥质区是细颗粒物质的“汇”,高分辨记录了陆架海复杂的沉积动力特征及海洋环境的演化。在黄、东海陆架存在多个呈斑块状分布的泥质沉积

^①国家自然科学基金资助项目(批准号:41376052,41030856,40906024)资助
收稿日期:2014-01-08;收修改稿日期:2014-05-12

区,在这些泥质区形成的泥质沉积体的沉积记录保存完整且分辨率高,是研究近代海洋环境变化最为理想的场所之一。黄海是典型的冰后期海侵形成的陆架海,在全新世期间接受了大量陆源物质而形成了三块规模较大的泥质沉积区,即北黄海西部泥质沉积区、南黄海中部泥质沉积区和黄海东部泥质沉积区。同时黄海又具有复杂的海洋动力系统,包括风、浪、环流系统(黄海暖流、沿岸流、冷水团)和潮流^[20](图 1)。对上述各泥质体的成因尚未有统一的认识,Hu 等^[21]认为泥质区的形成与气旋或反气旋型涡旋有关,高抒等^[22-23]则认为山东半岛东北端附近的泥质区是黄河的远端沉积,南黄海中部泥质区受弱潮流影响,在一定程度上与涌升—下沉流体系有关^[24]。各泥质体的成因不是本文的重点,这里不予以详细讨论。

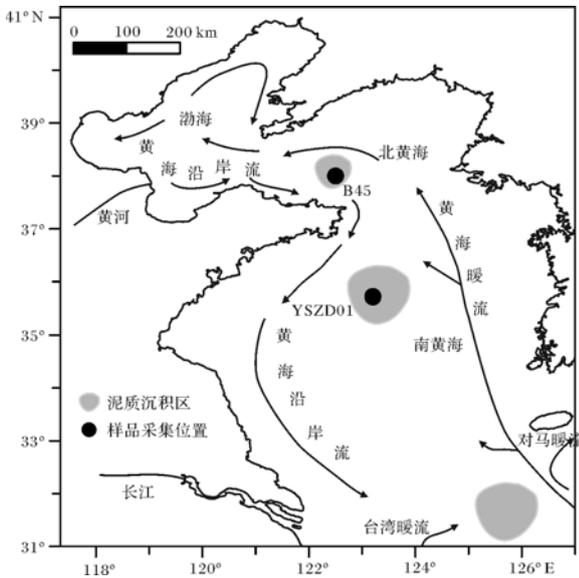


图 1 黄东海流系示意图(据管秉贤,1982)及柱状样采集位置

Fig.1 The oceanic circulations pattern (according to Guan Bingxian, 1982) and sampling locations

2 材料与方法

本研究所用样品 B45 和 YSZD01 分别系国家自然科学基金委 2010 年渤黄海秋季开放航次(“东方红 2”号船)和“南黄海泥质区”国家自然科学基金重点项目 2012 年春季调查航次(“润江”号船)中获得。B45(38°0' N, 122°30.0' E)孔位于北黄海西部,山东半岛北部,长 47.5 cm,站位水深 49.9 m;YSZD01(35°43.3' N, 123°12.1' E)孔位于南黄海中部,长 28.0 cm,站位水深 73 m,柱样采集位置见图 1。采用箱式取样器采集

海底沉积物,再用插管法取得 B45 和 YSZD01 柱样,后竖直放置于冷冻箱内保存。

粒度测试在中国海洋大学海底探测技术教育部重点实验室完成。样品处理过程如下:将两岩芯柱状样以 0.5 cm 等间隔分样, B45 共取 96 个样品, YSZD01 共取 57 个样品,每份样品 10~15 g。从每个样品中取适量沉积物湿样(约 2 g),放入小烧杯,加适量 30%的 H_2O_2 溶液和 0.25 mol/L 的 HCl 溶液分别去除有机质和贝壳等钙质成分,直到不起泡为止。然后加 4% ($NaPO_3$)₆ 溶液以分散沉积物颗粒,样品静置 24 小时以上。然后将处理好的样品放入超声波分散器,震荡 10~15 min,用英国产的 Mastersizer2000 激光粒度仪进行测试。测试范围为 0.02~2 000 μm ,分辨率为 0.01 ϕ ,重复测量的相对误差小于 3%,粒级标准采用尤登—温德华氏(Udden-Wentworth)等比制 ϕ 值粒级标准,采用 Folk 沉积物分类法^[25]划分沉积物类型,采用 McManus 矩法^[26]进行沉积物粒度参数的计算,在下文中用 McManus 的定性描述术语^[26]描述相应粒度参数。

室内²¹⁰Pb 测试所用样品间隔为 2 cm,共 39 个(B45 孔 24 个,YSZD01 孔 15 个)样品,同时进行了详细的岩性描述。样品测定在中国科学院南京地理与湖泊研究所完成。

3 结果

3.1 B45 和 YSZD01 柱样²¹⁰Pb 测年

²¹⁰Pb 是环境地球化学过程中的有效示踪剂,因其在百年尺度沉积计年的重要价值,被广泛用于有关海洋沉积物的研究中。原始状态下,现代海洋沉积的²¹⁰Pb 放射性活度随沉积物深度增加而发生衰减,并最终趋于稳定。陆架海沉积物中的²¹⁰Pb 主要来自沉积物源输入、沉积物母体²²⁶Ra 的衰变及大气中的沉降。当²¹⁰Pb 沉积通量及沉积速率恒定、²¹⁰Pb 未发生迁移或未受到扰动且沉积物中由母体中²²⁶Ra 补给的²¹⁰Pb 值不变时,可以通过沉积物中剩余²¹⁰Pb 的强度来计算沉积物沉积速率。在此基础上,文章对 B45、YSZD01 两孔柱状样沉积物进行²¹⁰Pb 放射性活度的分析。

从 B45 与 YSZD01 柱状样沉积物中²¹⁰Pb 活度垂向分布(图 2)中看出, B45 岩芯 2.5~40.5 cm 层段为²¹⁰Pb 衰减层,衰减层之上 0~2.5 cm 沉积物略有混合。采样及保存过程中引起的样品混合可能性很低,推测混合层可能是底栖生物活动或水动力变化对表

层沉积物的扰动结果。YSZD01 孔从表层到柱样底部未见混合层。对两岩芯的²¹⁰Pb 的活度值进行拟合并计算出两孔的沉积速率分别为 0.49 cm/a(B45 孔)和 0.27 cm/a(YSZD01 孔)。据此计算出 B45 柱样沉积时间为 1913~2010 年,共 97 年;YSZD01 柱样沉积时间为 1909~2012 年,共 103 年。两泥质区附近柱状样中的²¹⁰Pb 活度值垂直分布很有规律且相对较高,表层²¹⁰Pb 活度值最大达 17.3 dpm/g(B45,2.5 cm 处)和 22.0 dpm/g(YSZD01,0.5 cm 处)。齐君^[27]等人认为,黄海中的²¹⁰Pb 的富集是因为²¹⁰Pb 易被黏土等细颗粒物所吸附,两孔表层的高²¹⁰Pb 活度值及低沉积速率,恰好反映了采样海区相对稳定的沉积环境。

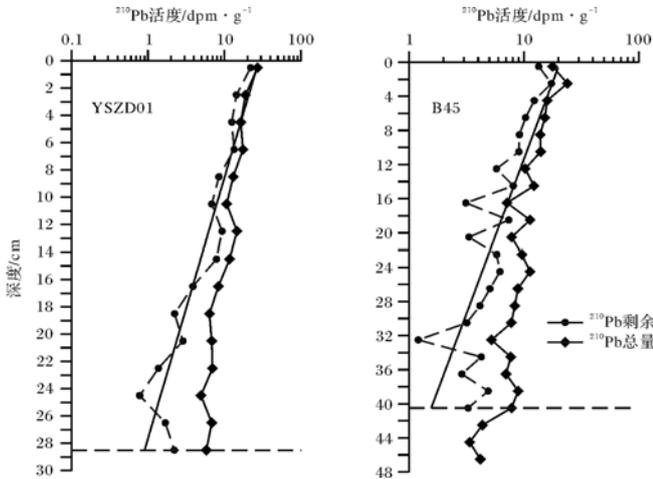


图2 YSZD01 和 B45 岩芯²¹⁰Pb 活度垂直分布

Fig.2 Vertical distributions of ²¹⁰Pb in Cores YSZD01 and B45

3.2 B45 岩芯沉积物沉积特征及粒度参数的垂向变化

B45 孔柱状样长 47.5 cm,0.5 cm、3.0 cm、18.0 cm 及 23.0 cm 处可见生物碎片或完整贝壳,6.0 cm 处虫孔发育;14.5 cm、19.0 cm、25.5 cm、36.0 cm 处为砂质粉砂,其余均为粉砂;砂、粉砂和黏土含量分别为 0.6%~17%、61%~74%和 22%~30%,沉积物成分以粉砂为主(69.42%±2.13%),黏土次之(26.39%±1.56%),砂最少(4.19%±2.77%);砂和粉砂的含量变化比较大,黏土含量变化较小,总起来看,砂、粉砂、黏土的含量有一定变化,但变化较小。

B45 孔粒度参数波动较大(图 3),平均粒径变化范围在 6.15~7.01 φ 之间,平均值为 6.79 φ,粒度较细,属粉砂质沉积,沉积物粒度及其参数整体增减趋势不明显,0.0 cm 至 9.0 cm 平均粒径增大,粒度逐渐

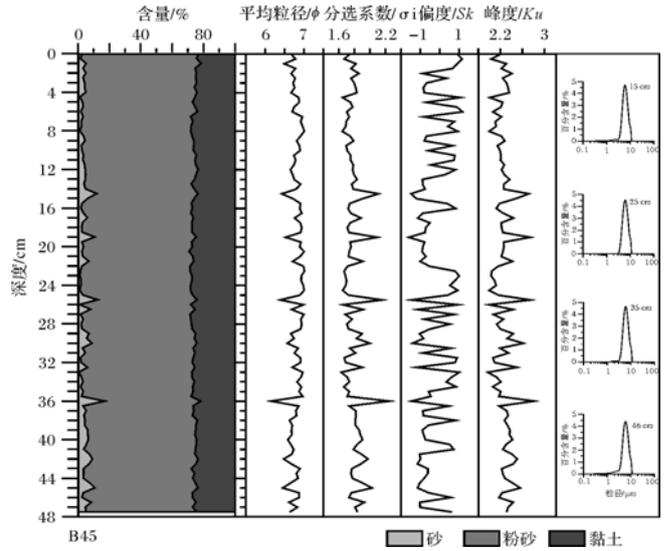


图3 B45 孔岩芯粒度参数变化及岩芯典型代表部位(如 15 cm)粒度频率曲线

Fig.3 Grain-size parameter of the Core B45 and grain-size frequency of the representative positions (e.g. 15 cm)

变粗。在 14.5 cm、19.0 cm、25.5 cm、36.0 cm 处砂含量突然增加,黏土含量减小,推测可能是沉积水动力环境增强所致;B45 沉积物平均粒径变化范围在 6.15~7.01 φ 之间,平均值为 6.79 φ,属于细粒沉积;分选系数在 1.63~2.25 之间,平均为 1.79,分选差;偏度变化范围在(-1.58)~(+1.18)之间,平均值为(+0.2),为正偏,B45 孔沉积物正偏粗化;峰度值变化范围在 1.97~2.81 之间,平均值为 2.27,沉积物粒度频率曲线为单峰,具宽峰态,为平缓型。

3.3 YSZD01 岩芯沉积物沉积特征及粒度参数的垂向变化

YSZD01 柱样长 28.0 cm,沉积物以暗色泥与砂质泥为主;在 8.0~9.5 cm、18.0 cm 及 23.0 cm 处可见生物碎片;砂、粉砂和黏土含量分别为 0.1%~30%、42%~61%和 27%~42%,沉积物粒级组成与 B45 孔相似,以粉砂为主(54.18%±3.65%),黏土次之(36.35%±3.22%),砂最少(9.48%±6.64%),与 B45 孔相比,YSZD01 孔砂含量波动较强(图 3,4);YSZD01 孔沉积物粒度参数波动比较明显,沉积物平均粒径变化范围在 5.99~7.70 φ 之间,平均值为 7.11 φ,与 B45 孔相似,属于细粒沉积;分选系数在 1.35~2.66 之间,平均值为 2.01,分选较差;偏度波动范围在(-2.26)~(-0.59)之间,平均值(-1.78),负偏细化;峰度值变化范围在 1.69~3.17 之间,平均为 2.69,沉积物粒度频率曲线双峰型。

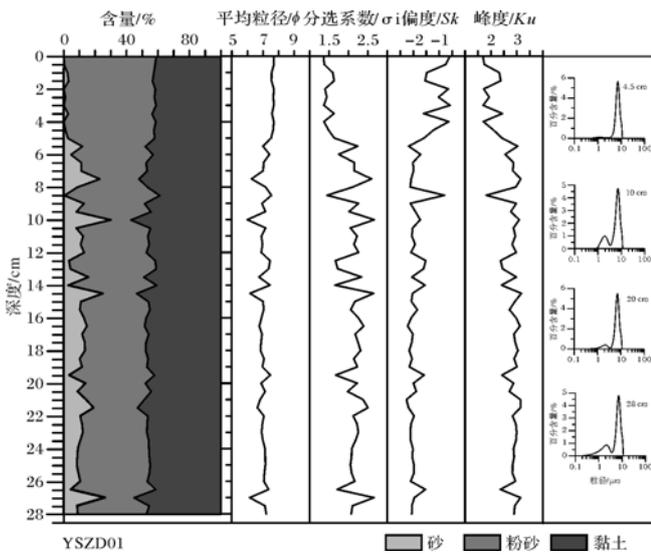


图 4 YSZD01 孔岩芯粒度参数变化及岩芯典型代表部位 (如 4.5 cm) 粒度频率曲线

Fig.4 Grain-size parameter of Core YSZD01 and grain-size frequency of the representative positions (e.g. 4.5 cm)

YSZD01 孔在 5.0 cm 处明显分为上下两部分,从平均粒级、分选系数、偏度和丰度参数也可看出在 5.5 cm 处发生明显变化,上部沉积物粒度细,频率分布曲线为单峰型(图 4);下部沉积物砂含量增加,粒度变粗,频率分布曲线为双峰型,频率分布曲线在尾部有一小的峰出现,分选变差。YSZD01 孔与靠近黄海冷水团冷涡中心的 H-106 孔(35°30' N, 123°0' E)^[28] 粒度概率曲线相似,黏土和粉砂含量都很高。

3.4 B45 和 YSZD01 岩芯沉积物敏感粒级组分特征

运用沉积物粒度数据进行古环境分析时,通常把沉积序列中不同物质来源或不同动力条件下的粒度进行组分分离,再研究不同组分代表的地质环境意义,从而根据其在沉积序列中的变化推断气候环境的演化历史^[15]。粒级—标准偏差变化曲线主要反映不同样品的粒度含量在各粒级范围内的差异性,高的标准偏差值反映了不同样品的粒度含量在某一粒径范围内差异大,低的标准偏差值则反映了粒度含量在某一粒径范围内差异较小^[18]。根据沉积物所包含的粒度组分的含量和分布范围,追索沉积物输运过程和沉积环境变化已在阿拉伯海和中国南海得到成功的运用^[29-31]。图 5 是用粒级—标准偏差法获得 B45 和 YSZD01 岩芯的各粒级组分标准偏差随粒级的变化关系图,图中标准偏差高值所对应的粒级即对沉积环境敏感的粒度众数^[18]。B45 孔有三个明显的标准偏差峰值和两个标准偏差低值,对应为 7.8 μm、35.9 μm、164.9 μm 和 3.9 μm、15.6 μm、71.8 μm、329.9 μm;YSZD01 孔有两个明显的标准偏差峰值,对应为 5.9 μm 和 217.6 μm。两个粒度组分的分界线约在 23.7 μm 处,对应的沉积环境的敏感粒级为 1.5~23.7 μm 和 23.7~500.0 μm,这里分别称之为组分 A 与组分 B。

μm、164.9 μm 和 15.6 μm、71.8 μm;YSZD01 孔有两个明显的标准偏差峰值和一个标准偏差低值,对应为 5.9 μm、217.6 μm 和 23.7 μm。两孔沉积物对应的标准偏差峰值和低值反映了其所处泥质区沉积物粒度含量在特定粒级范围内差异的大小,其值的大小及出现峰值和低值的个数能反映出泥质区内粒度变化发生明显差异的粒级组分范围和个数。B45 和 YSZD01 两孔沉积物粒度组分的明显差异与沉积动力条件变化密切相关。B45 孔对应的粒度组分为 3.9~15.6 μm(组分 1)、15.6~71.8 μm(组分 2)和 71.8~329.9 μm(组分 3)。组分 1 和组分 3 对应的标准偏差值比较接近,且明显低于组分 2 对应的标准偏差值。说明组分 2 对应粒级可能具有特殊沉积环境特征意义。YSZD01 孔有两个明显的标准偏差峰值,对应为 5.9 μm 和 217.6 μm。两个粒度组分的分界线约在 23.7 μm 处,对应的沉积环境的敏感粒级为 1.5~23.7 μm 和 23.7~500.0 μm,这里分别称之为组分 A 与组分 B。

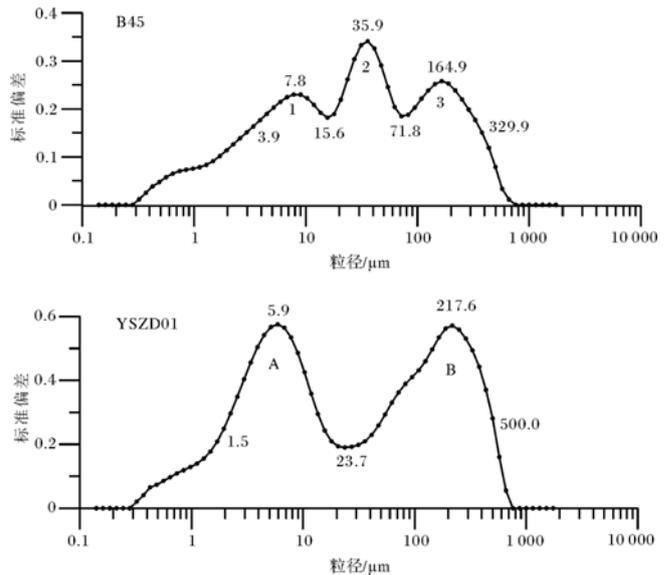


图 5 B45 和 YSZD01 孔标准偏差随粒级的变化曲线
Fig.5 Standard deviation distribution along with grain size of Cores B45 and YSZD01

4 讨论

平均粒径指示了沉积物粒度分布的集中趋势,反映了沉积介质的平均动能。两根柱状样沉积物均以细粒物质(粉砂和黏土)为主,YSZD01 孔黏土含量(27%~42%,平均 36.35%)明显高于 B45 孔(22%~30%,平均 26.39%)(图 3,4);YSZD01 孔沉积物平均粒径(7.1 φ)小于 B45 孔(6.79 φ),指示了二者虽然都是在低能环境下沉积而成,但 YSZD01 孔较 B45 孔

具有更弱的沉积水动力环境。

黄河陆源物质经渤海进入黄海后,在沿岸流、潮流和黄海暖流等影响下,一部分在山东半岛北岸近海和北黄海中部发生沉积,其余则进入南黄海,并大多在南黄海中部沉积,北黄海西部、南黄海中部的泥质沉积主要为现代黄河物质^[2]。黄河陆源物质随着运移距离的增加,由于粒度分选作用,粒度也相应的减小。南黄海中部细粒粉砂质黏土、黏土沉积物平均粒径为 8.7ϕ ,黏土含量往往 $>70\%$,呈斑块状分布^[20],该泥质区对应于黄海暖流西侧分支与黄海沿岸流形成的冷水团环流体系,是弱潮流区^[32]。对海底沉积物而言,无论是沉积稳定区或沉积动荡区,其沉积特征主要取决于两点^[33]:一是其沉积物质来源特征及丰度,二是其所处沉积环境条件。黄河具高入海泥沙通量,尽管自上世纪70年代初其入海泥沙通量开始明显减少,但其1950~2002年入海泥沙量仍高达 $8.13 \times 10^8 \text{ t/a}$,为黄、东海陆架沉积提供了丰富的物质来源^[34]。黄河泥沙入海后,需要海洋动力系统将其输运至黄、东海陆架,如环流(黄海暖流和沿岸流体系)和潮流等,其悬沙的长距离输运更是与陆架环流格局密切相关,黄海现代泥质体即是众多海洋动力综合作用的结果。近百年来,黄河入海沉积物通量和粒度虽然存在一定变化,但推测其对研究岩芯的粒度不起主导作用。对两泥质区而言,其所处的水动力环境条件控制其沉积物各主要粒度组分特征变化。此外,台风、寒潮等事件也会对沉积物沉积特征产生影响,而这种极端事件的发生对沉积环境往往有很大的研究意义。在西太平洋,风暴潮通常由台风(又叫热带风暴)引起,冯士箎认为,在北黄海和渤海存在着由寒潮和冷空气引起的一种独特的风暴潮^[35]。

B45孔和YSZD01孔分别位于黄海两泥质区内,自1913年以来B45孔柱样中沉积的砂含量较小,沉积物平均粒径为 6.79ϕ ,在14.5 cm(1980年)、19.0 cm(1971年)、25.5 cm(1958年)和36.0 cm(1937年)处砂含量增加(图2)。YSZD01孔平均粒径波动不大,平均粒径为 7.1ϕ ,黏土含量27%~42%,5.0 cm以深(1909~1993年)砂含量较大,且波动变大(图4),0~5.0 cm(1993~2012年)砂含量较少,粒度变细,5.0 cm(1993年)处明显分为上下两部分,在8 cm(1982年)、10.5 cm(1973年)、15 cm(1956年)和27.5 cm(1910年)处砂含量突然增加。对比黄海两泥质区的柱状样特征可以看出,两孔沉积物砂含量在1980年、1971年、1958年左右突增,表明在1958年、

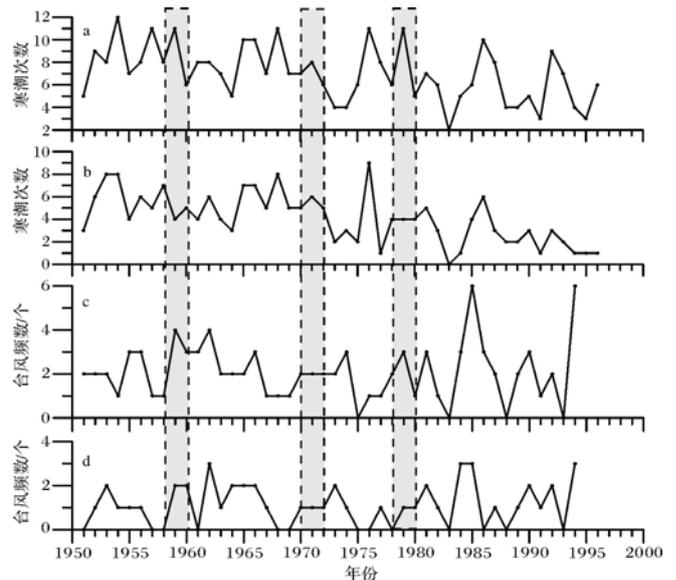


图6 近半个世纪的寒潮与台风频数统计

全国总寒潮次数(a)、北方总寒潮次数(b)、进入 30°N (c)及 35°N (d)以北海区台风频数(据文献[36-37])

Fig.6 Time series of the frequency of the countrywide and regional cold-air outbreaks and typhoons from 1951 to 1994. Total cold-air outbreaks (a), cold-air outbreaks impacting northern China (b), typhoons over 30°N (c) and 35°N (d) (from references [36-37]).

1971年、1980年左右,黄海海区水动力可能存在突出或极端变化,导致两泥质的沉积物粒度突然增大。图6为1951~1996年寒潮发生次数及区域台风频数^[36-37],图上看出,在1958、1971、1979年左右总寒潮与台风属于高峰期,寒潮更是明显,这种极端气象事件的发生往往会增加风暴潮发生的概率,增强沉积区水动力强度,继而导致沉积物砂含量突然增加。一般时期,B45孔和YSZD01孔处于较弱的水动力环境;但当台风与寒潮极端事件发生时,研究岩芯区沉积环境发生强烈波动,高能水动力环境导致两孔较粗沉积物含量突然增加,使粗颗粒沉积物垂向波动明显增大。因此,研究岩芯沉积物砂含量垂向分布突然增大的原因,很可能是由于寒潮或台风大范围或区域性极端气象事件影响。从图6的寒潮与台风多年统计资料看,在有些年份,如1966年,寒潮频数大,但研究岩芯粗颗粒沉积物含量没突增,分析如下。在有的年份,虽然寒潮或台风频数大,但其强度相对弱,对影响区沉积物粒度影响不明显;在有的年份,虽然寒潮或台风频数小,但其强度强,对影响区沉积物粒度影响十分明显。在我国东部海区,台风一般从东南沿海进入,对东南海区影响较大,对北方的黄海影响较小。

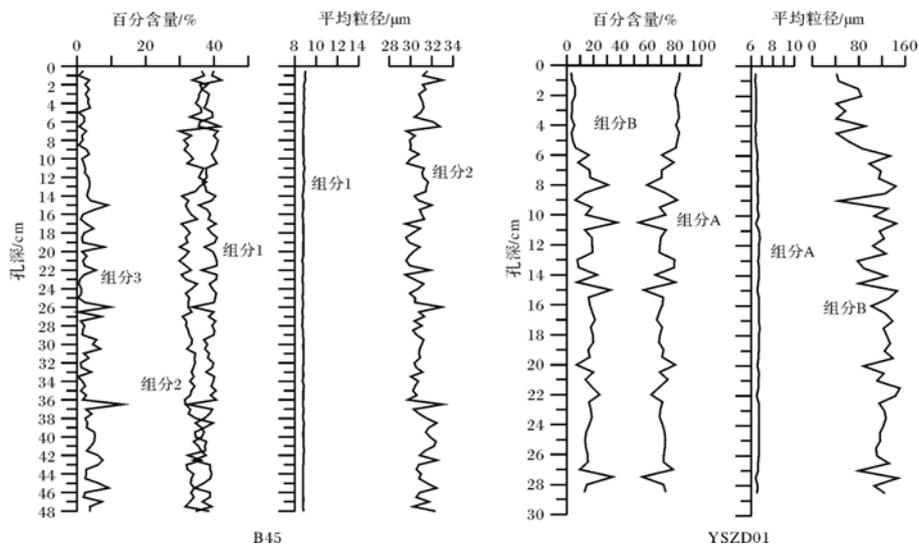


图7 B45 和 YSZD01 孔粒度组分的含量和平均粒径变化

Fig.7 Percentage of main grain groups and mean grain size of Cores B45 and YSZD01

因此,文中黄海的研究岩芯的砂含量突增很可能不是台风造成的。综上,我们推测,研究岩芯在 1958、1971、1979 年左右砂含量的突然增加,是由强度大的寒潮控制的;研究区岩芯中砂含量的突然增加很可能具有寒潮强度的指示意义,有待将来进一步研究。

图 7 中显示两孔的各敏感粒度组分的含量及平均粒径的垂向变化趋势。B45 孔粗粒组分(组分 3: $71.8 \sim 329.9 \mu\text{m}$)的平均含量约为 3%,远小于其余两种细组分(组分 1: $3.9 \sim 15.6 \mu\text{m}$,组分 2: $15.6 \sim 71.8 \mu\text{m}$)对应粒级的平均含量(组分 1: 38%,组分 2: 34%),只在个别层位较大。就是说,B45 孔细粒组分总含量达 95%以上,在整个 B45 孔中占绝对主导,因此,这里主要考虑 $<71.9 \mu\text{m}$ 的细粒度组分的特征意义。B45 孔中两种细组分(组分 1: $3.9 \sim 15.6 \mu\text{m}$ 和组分 2: $15.6 \sim 71.8 \mu\text{m}$)的平均百分含量为 38%和 34%,各组分含量变化较大,且二者大致呈负相关关系($r = -0.62$)。组分 1 粒径变化范围为 $9.0 \sim 8.7 \mu\text{m}$,平均粒径为 $8.8 \mu\text{m}$,平均粒径垂向变化不大(图 7),且该组分所对应的敏感组分的标准偏差值与组分 3 标准偏差值相近,均相对(组分 2)较低。而组分 2 对应的平均粒径为 $30.9 \mu\text{m}$,变化范围为 $29.5 \sim 33.0 \mu\text{m}$,波动比组分 1 要大(图 7),所以组分 1 含量的波动是因为组分 2 含量变化引起的,即组分 2 ($15.6 \sim 71.8 \mu\text{m}$)是 B45 孔的敏感粒级组分。对于 YSZD01 孔,组分 B ($23.7 \sim 500.0 \mu\text{m}$)平均粒径变化范围为 $40.8 \sim 150.8 \mu\text{m}$,平均 $107.3 \mu\text{m}$,波动较大;而组分 A ($1.5 \sim 23.7 \mu\text{m}$)平均粒径变化范围 $6.3 \sim 6.8 \mu\text{m}$,平均 $6.6 \mu\text{m}$,波

动较小。前文指出 YSZD01 孔沉积物粒度上部细下部粗,从粒度分布曲线上可以看出上部有明显单峰,下部为双峰(图 7),体现为细组分和粗组分的混合。且从图 7 上也可以看出 YSZD01 孔两细粒组分含量具明显的负相关性($r = -0.99$),但组分 A ($1.5 \sim 23.7 \mu\text{m}$)粒径变化很小($6.3 \sim 6.8 \mu\text{m}$),因此组分 A 含量的变化是因组分 B 含量变化引起的。范德江等^[32]的数据显示,长江、黄河入海沉积物中均匀悬移载荷分别为 $<18 \mu\text{m}$ 与 $<22 \mu\text{m}$ 。据此推测,组分 A 应该是黄海沿岸流与黄海暖流分支相互作用形成的弱沉积水动力环流所携带的悬浮体沉降。B45 孔 ($15.6 \sim 71.8 \mu\text{m}$,组分 2)和 YSZD01 孔 ($23.7 \sim 500.0 \mu\text{m}$,组分 B)的敏感粒级组分是两泥质区重要的环境指代指标。

沉积物敏感粒级所指示的沉积学意义,早已在古环境研究中得到应用。孙有斌等^[38]通过计算粒级—标准偏差方法对冲绳海槽和琉球海沟沉积物的敏感粒级进行提取,分析指出敏感粒级与水动力环境密切相关;肖尚斌等^[39-41]、向荣等^[15,18]认为东亚冬季风强弱变化影响沿岸流沉积水动力,其变化进一步反映在沉积物中敏感粒级的变化情况;万世明等^[34]通过对南海沉积物敏感粒度组分之间含量比值的计算来研究东亚冬季风相对夏季风强度变化等,进而据其沉积序列进一步反演区域气候变化、地质历史时期构造事件(如青藏高原阶段性隆升)等。因此,敏感粒级用来指示季风变化的方法看来是可行的。通过敏感粒级指示东亚季风的变化多集中于千年尺度范围

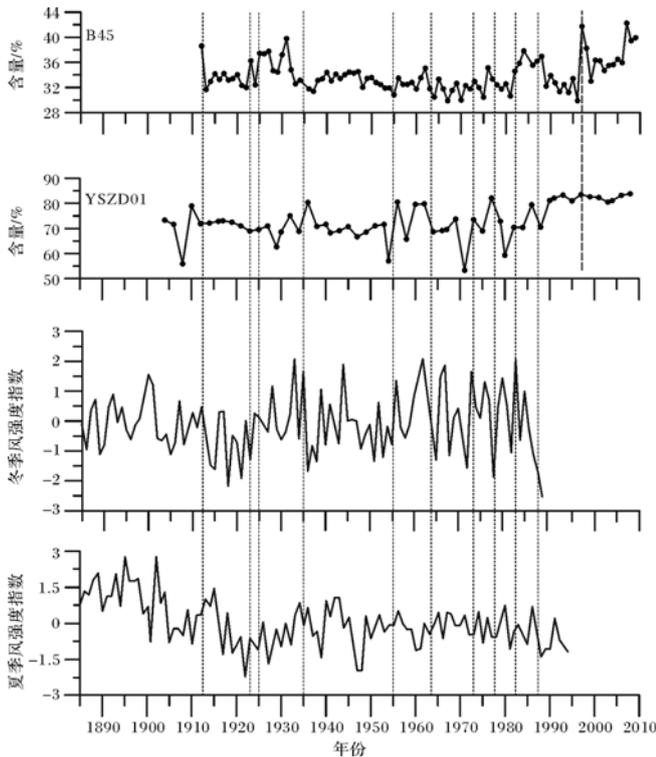


图8 B45和YSZD01孔的敏感粒级含量与东亚季风强度对比
(季风资料据文献[46])

Fig.8 Comparison of East Asian monsoon index
(from references [46]) with content change of sensitive grain
size group of B45 and YSZD01 Cores

内^[15,18,39-41],且侧重讨论东亚冬季风的变化。本文尝试在百年尺度内用敏感粒级来指示东亚冬季风强弱。图8是两孔敏感粒级含量变化与百年来东亚季风强度对比。近百年来东亚冬季风强度存在递增趋势^[43];1884~1902年处于正常期,1902~1924年有所减弱,1928~1954年冬季风比前一段时期有所增强,1958~1982年处于上世纪最强的冬季风时期。将两孔敏感粒级组分含量变化与东亚冬季风强度对比发现,1913~1924年两孔敏感粒级组分含量降低对应东亚季风减弱期;两孔在1925~1935年、1955~1964年、1974~1977年、1982~1986年这四个时期敏感粒级含量出现增加趋势,与东亚季风1928~1954年、1958~1982年增强期对应较好,个别剖面年龄稍有偏差,可能与测年误差或海洋沉积环境的不稳定性有关。夏季风强度在19世纪末20世纪初和20世纪后半期减弱^[44],而对应两孔沉积物平均粒度(图3,4)及敏感粒级组分平均粒度(图7)均呈现增大趋势,变化特征与东亚冬季风强度递增趋势相符。东亚季风影响和控制中国地区气候^[45],夏季风由海洋吹向陆

地,湿润多雨,黄、东海沿岸流系统弱化,使大量细颗粒沉积物在海域周边沉积;冬季风由陆地吹向海洋,干燥少雨,沿岸流系统能量增强,促进沿岸流对细颗粒沉积物向外海的搬运。东亚季风强度变化改变沉积时水动力条件,对沉积物中敏感粒级含量变化产生影响,用敏感粒级来指示东亚冬季风较为可靠。两孔沉积物对东亚冬季风的响应因其位于泥质区附近的相对稳定沉积环境而变得较为敏感。1910年至今(2010年),两孔对应敏感粒度组分含量整体有递增的趋势,自1981年以来,敏感粒度组分含量明显高于两孔对应的平均含量值,说明1981年以来东亚冬季风整体上增强趋势最为明显,使得黄海海区水流搬运沉积物的能力增强,敏感粒度组分含量变大。敏感组分含量变化体现了季风强度的变化;1932~1981年敏感粒度组分含量多在平均值附近摆动,但波动强烈,说明在1932~1981年期间东亚季风虽然强弱变化较为频繁,但其影响海区的水体搬运能力没有明显的变化,敏感粒度组分含量处于一个较为平衡的水平。因此东亚冬季风强弱变化的频率体现为敏感粒级含量波动的程度。

5 结论

对现场获取的南黄海中部与北黄海西部泥质区的短柱沉积物样品以0.5 cm高分辨率间隔取样,进行了粒度测试与统计分析,并对短柱样进行了²¹⁰Pb测年,旨在通过分析沉积物粒度及沉积年代的垂向分布特征,探讨南黄海中部与北黄海西部泥质区近现代沉积物的差异及在沉积环境方面的意义。结果表明,位于北黄海西部泥质区的B45孔柱样沉积时间为1913~2010年,共97年;沉积物各粒度参数垂向相对变化较大;正偏及单峰为主,分选差;沉积物粒度频率曲线具宽峰态;粒度较细,沉积物以粉砂为主。YSZD01孔位于南黄海中部泥质区,柱样沉积时间为1909~2012年,共103年;沉积物各粒度参数垂向变化较小;负偏及双峰分布为主,分选较差;沉积物粒度频率曲线具宽峰态;粒度较细,沉积物为泥、砂质泥。B45孔和YSZD01孔,在1958年、1971年、1980年左右,可能发生强度大的寒潮,其增强了黄海海区的水动力环境,导致两孔在这些年份左右的沉积物砂含量突增,同时粒度参数变化均较为明显。用粒级—标准偏差法得到B45和YSZD01孔沉积物敏感粒级组分分别为15.6~71.8 μm和23.7~500.0 μm,两孔沉积物敏感粒级组分是两泥质区重要的环境替代指标,可

以用其指示东亚季风的变化,并认为自1910年代以来东亚冬季风强度增强,两孔在1925~1935年、1955~1964年、1974~1977年、1982~1986年这四个时期敏感粒级含量出现增加趋势,对应冬季风强度增强较为明显。季风强度的变化体现为敏感组分含量变化,季风强弱变化的频率体现为敏感粒级含量波动的程度。

致谢 于增慧在测年数据处理等方面给予指导,宗统、刘晓锋、胡志洲、黄慧文、蒋玉昕、刘潇在样品处理测试分析中给予帮助,两位审稿人给予了有益的评论与建议。

参考文献(References)

- 1 杨旭辉,冯秀丽,褚忠信,等. 中国东部陆架表层沉积物粒度特征及其沉积环境浅析[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版,2012,42(7/8):126-134.[Yang Xuhui, Feng Xiuli, Chu Zhongxin, et al. Surface sediment distribution and sedimentary environment on the east China continental shelf[J]. Periodical of Ocean University of China: Natural Science Edition, 2012, 42(7/8): 126-134.]
- 2 蓝先洪,张训华,张志珣. 南黄海沉积物的物质来源及运移研究[J]. 海洋湖沼通报,2005(4):53-60.[Lan Xianhong, Zhang Xunhua, Zhang Zhixun. Material sources and transportation of sediments in the southern Yellow Sea[J]. Transaction of Oceanology and Limnology, 2005(4): 53-60.]
- 3 周晓静,李安春,万世明,等. 东海陆架表层沉积物粘土矿物组成分布特征及来源[J]. 海洋与湖沼,2010,41(5):667-675.[Zhou Xiaojing, Li Anchun, Wan Shiming, et al. Clay minerals in surficial sediments of the East China Sea shelf: distribution and provenance[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2010, 41(5): 667-675.]
- 4 李正刚,初凤友,张富元,等. 南海西北部内陆架表层沉积物的重矿物分布及其控制因素[J]. 海洋地质与第四纪地质,2011,31(4):89-96.[Li Zhenggang, Chu Fengyou, Zhang Fuyuan, et al. Distribution pattern of heavy minerals in the surface sediments on inner shelf, northwest South China Sea and controlling factors[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2011, 31(4): 89-96.]
- 5 王中波,杨守业,张志珣,等. 东海陆架中北部沉积物粒度特征及其沉积环境[J]. 海洋与湖沼,2012,43(6):1039-1049.[Wang Zhongbo, Yan Shouye, Zhang Zhixun, et al. The grain size compositions of the surface sediments in the East China Sea; indication for sedimentary environments[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(6): 1039-1049.]
- 6 梅西,张训华,李日辉. 南黄海中部泥质沉积区 DLC70-3 孔稀土元素及环境意义[J]. 地质科技情报,2011,30(4):21-28.[Mei Xi, Zhang Xunhua, Li Rihui. REE of DLC70-3 core sediments from mud areas in the central south Yellow Sea and its environmental significance[J]. Geological Science and Technology Information, 2011, 30(4): 21-28.]
- 7 胡利民,石学法,郭志刚,等. 南黄海柱状沉积物中烃类化合物的地球化学特征及其对沉积环境的指示[J]. 沉积学报,2013,31(1):108-119.[Hu Limin, Shi Xuefa, Guo Zhigang, et al. Geochemical characteristics of hydrocarbons in the core sediments from the south Yellow Sea and its implication for the sedimentary environment[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(1): 108-119.]
- 8 王飞飞,丁璇,刘健. 南黄海西部陆架氧同位素 3 期以来的古沉积环境演化[J]. 微体古生物学报,2012,29(3):235-252.[Wang Feifei, Ding Xuan, Liu Jian. Paleoenvironmental evolution in the western shelf of the southern Yellow Sea since the marine isotope stage 3[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2012, 29(3): 235-252.]
- 9 蓝先洪,申顺喜. 南黄海中部沉积岩芯的微体古生物组合特征及古环境演化[J]. 海洋湖沼通报,2004(3):16-21.[Lan Xianhong, Shen Shunxi. Micropaleontological assemblage characteristics of sediment cores from the centre of the southern Yellow Sea and palaeoenvironmental evolution[J]. Transaction of Oceanology and Limnology, 2004(3): 16-21.]
- 10 王飞飞,王红,刘健,等. 南黄海西北部 SYS-0803 孔第四纪晚期底栖有孔虫群落特征及其古环境意义[J]. 海洋地质与第四纪地质,2011,31(4):113-123.[Wang Feifei, Wang Hong, Liu Jian, et al. Late Quaternary benthic foraminifera of Core SYS-0803 from the northwestern south Yellow Sea and their paleoenvironmental significance[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2011, 31(4): 113-123.]
- 11 孙荣涛,李铁刚,常凤鸣. 全新世北黄海泥质区环境演化的底栖有孔虫记录[J]. 海洋地质与第四纪地质,2010,30(5):83-90.[Sun Rongtao, Li Tiegang, Chang Fengming. Distribution of benthic foraminifera and its bearing on marine environmental factors in the north Yellow Sea surface sediments[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2010, 30(5): 83-90.]
- 12 于非,张志欣,刁新源,等. 黄海冷水团演变过程及其与邻近水团关系的分析[J]. 海洋学报,2006,28(5):26-34.[Yu Fei, Zhang Zhixin, Diao Xinyuan, et al. Analysis of evolution of the Huanghai Sea cold water mass and its relationship with adjacent water masses[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2006, 28(5): 26-34.]
- 13 姚志刚,鲍献文,李娜,等. 北黄海冷水团季节变化特征分析[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版,2012,42(6):9-15.[Yao Zhigang, Bao Xianwen, Li Na, et al. Seasonal evolution of the northern Yellow Sea cold water mass[J]. Periodical of Ocean University of China: Natural Science Edition, 2012, 42(6): 9-15.]
- 14 苏纪兰,黄大吉. 黄海冷水团的环流结构[J]. 海洋与湖沼,1995,26(5):1-7.[Su Jilan, Huang Daji. On the current field associated with the Yellow Sea cold water mass[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1995, 26(5): 1-7.]
- 15 向荣,杨作升,郭志刚,等. 济州岛西南泥质区粒度组分变化的古环境应用[J]. 地球科学,2005,30(5):582-588.[Xiang Rong, Yan Zuosheng, Guo Zhigang, et al. Paleoenvironmental implications of grain-size component variations in the mud area southwest off Cheju Island, ECS[J]. Earth Science, 2005, 30(5): 582-588.]
- 16 孙东怀,安芷生,苏瑞侠,等. 古环境中沉积物粒度组分分离的数学方法及其应用[J]. 自然科学进展,2001,11(3):269-276.[Sun Donghuai, An Zhisheng, Su Ruixia, et al. Mathematical approach to sedimentary component partitioning of polymodal sediments and its ap-

- plications[J]. *Progress in Natural Science*, 2001, 11(3): 269-276.]
- 17 Sun Donghuai, Bloemendal J, Rea D K, et al. Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and Aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components[J]. *Sedimentary Geology*, 2002, 152(3/4): 263-277.
- 18 向荣, 杨作升, Satio Y, 等. 济州岛西南泥质区近 2300a 来环境敏感粒度组分记录的东亚冬季风变化[J]. *中国科学(D 辑): 地球科学*, 2006, 36(7): 654-662. [Xiang Rong, Yan Zuosheng, Satio Y, et al. Variation of East Asia winter monsoon according grain-size component records in the mud area southwest off Cheju Island for 2300 year recently[J]. *Science China (Seri. D): Earth Sciences*, 2006, 36(7): 654-662.]
- 19 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. [Xiao Shangbin, Li Anchun. A study on environmentally sensitive grain-size population in inner shelf of the East China Sea[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(1): 122-129.]
- 20 石学法, 申顺喜, Yi H I, 等. 南黄海现代沉积环境及动力沉积体系[J]. *科学通报*, 2001, 46(增刊): 1-6. [Shi Xuefa, Shen Shunxi, Yi H I, et al. Modern sedimentary environments and dynamic depositional systems in the southern Yellow Sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(Suppl.): 1-6.]
- 21 Hu Dunxin. Upwelling and sedimentation dynamics [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1984, 2(1): 12-19.
- 22 Liu J P, Milliman J D, Gao Shu, et al. Holocene development of the Yellow River's subaqueous delta, north Yellow Sea[J]. *Marine Geology*, 2004, 209(1/4): 45-67.
- 23 Liu J P, Milliman J D, Gao S. The Shandong mud wedge and post-glacial sediment accumulation in the Yellow Sea [J]. *Geo-Marine Letters*, 2001, 21(4): 212-218.
- 24 高抒. 中国东部陆架全新世沉积体系: 过程—产物关系研究进展评述[J]. *沉积学报*, 2013, 31(5): 845-855. [Gao Shu. Holocene sedimentary systems over the Bohai, Yellow and East China Sea region: recent progress in the study of process-product relationships[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2013, 31(5): 845-855.]
- 25 Folk R L, Andrews P B, Lewis D W. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand[J]. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1970, 13(4): 937-968.
- 26 McManus J. Grain size determination and interpretation[C]//Tucker M. *Techniques in Sedimentology*. Oxford: Blackwell, 1988: 63-85.
- 27 齐君, 李凤业, 宋金明. 黄海和渤海沉积物²¹⁰Pb 活度的分布特征[J]. *地球化学*, 2005, 34(4): 351-356. [Qi Jun, Li Fengye, Song Jinming. Distribution of ²¹⁰Pb activity of sediments in the Yellow and Bohai seas [J]. *Geochimica*, 2005, 34(4): 351-356.]
- 28 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 黄海地质[M]. 北京: 海洋出版社, 1989: 289. [Qin Yunshan, Zhao Yiyang, Chen Lirong, et al. *Geology of the East China Sea* [M]. Beijing: Science Press, 1989: 289.]
- 29 Prins M A, Postma G, Weltje G J. Controls on terrigenous sediment supply to the Arabian Sea during the Late Quaternary: the Makran continental slope [J]. *Marine Geology*, 2000, 169(3): 351-371.
- 30 Wang L, Samthein M, Erlenkeuser H, et al. East Asian Monsoon climate during the Late Pleistocene: high-resolution sediment records from the South China Sea [J]. *Marine Geology*, 1999, 156(1/4): 245-284.
- 31 Boulay S, Colin C, Trentesaux A, et al. Mineralogy and sedimentology of Pleistocene sediment in the South China Sea (ODP Site 1144) [C]// Prell W L, Wang P, Blum P, et al. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 2003, 184(211): 1-21.
- 32 董礼先, 苏纪兰, 王康培. 黄渤海潮流场及其与沉积物搬运的关系[J]. *海洋学报*, 1989, 11(1): 102-114. [Dong Lixian, Su Jilan, Wang Kangshan. Tidal current field and its effect on sediment transport within Yellow sea and Bohai Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1989, 11(1): 102-114.]
- 33 郭志刚, 杨作升, 雷坤, 等. 东海陆架北部泥质区沉积动力过程的季节性变化[J]. *青岛海洋大学学报: 自然科学版*, 1999, 29(3): 507-513. [Guo Zhigang, Yang Zuosheng, Lei Kun, et al. Seasonal variation of the sedimentary dynamic processes for the mud area in the northern East China Sea [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao: Natural Science Edition*, 1999, 29(3): 507-513.]
- 34 Chu Z X, Sun X G, Zhai S K, et al. Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) subaerial delta, China: Based on remote sensing images [J]. *Marine Geology*, 2006, 227(1/2): 13-30.
- 35 冯士筵. 风暴潮的研究进展[J]. *世界科技研究与发展*, 1998, 20(4): 44-47. [Feng Shizuo. The advance of researches on storm surges [J]. *World Sci-Tech R & D*, 1998, 20(4): 44-47.]
- 36 王遵娅, 丁一汇. 近 53 年中国寒潮的变化特征及其可能原因[J]. *大气科学*, 2006, 30(6): 1068-1076. [Wang Zuiya, Ding Yihui. Climate change of the cold wave frequency of China in the last 53 years and the possible reasons [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2006, 30(6): 1068-1076.]
- 37 张秀芝, 黄秀芬, 李江龙, 等. 一百多年来影响黄渤海热带气旋天气气候分析[J]. *海洋预报*, 1997, 14(4): 11-21. [Zhang Xiuzhi, Huang Aifeng, Li Jianglong, et al. Weather and climatic analysis of tropical cyclone in the Yellow and Bohai Sea within more than one hundred years [J]. *Marine Forecasts*, 1997, 14(4): 11-21.]
- 38 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. [Sun Youbin, Gao Shu, Li Jun. Preliminary analysis of grain-size populations with environmentally sensitive terrigenous components in marginal sea setting [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(1): 83-86.]
- 39 肖尚斌, 张京穗, 陈木宏, 等. 从陆架泥质沉积中寻找高分辨率的全新世东亚季风记录[J]. *三峡大学学报: 自然科学版*, 2007, 29(4): 342-347. [Xiao Shangbin, Zhang Jingsui, Chen Muhong, et al. Exploring high-resolution records of the Holocene East Asian Monsoon from mud sediments on shelves of China marginal seas [J]. *Journal of China Three Gorges University: Natural Sciences*, 2007, 29(4): 342-347.]
- 40 肖尚斌, 李安春, 蒋富清, 等. 近 2ka 来东海内陆架的泥质沉积记录及其气候意义[J]. *科学通报*, 2004, 49(21): 2233-2238. [Xiao Shangbin, Li Anchun, Jiang Fuqing, et al. The 2 ka record and its climate significance of the mud area of inner shelf of the East China

- Sea [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(21): 2233-2238.]
- 41 肖尚斌, 李安春, 陈木宏, 等. 近 8ka 东亚冬季风变化的东海内陆架泥质沉积记录 [J]. 地球科学, 2005, 30(5): 573-581. [Xiao Shangbin, Li Anchun, Chen Muhong, et al. Recent 8 ka mud records of the East Asian Winter Monsoon from the inner shelf of the East China Sea [J]. Earth Science, 2005, 30(5): 573-581.]
- 42 万世明, 李安春, Jan-Berend W S, 等. 南海北部 ODP1146 站粒度揭示的近 20Ma 以来东亚季风演化 [J]. 中国科学(D 辑): 地球科学, 2007, 37(6): 761-770. [Wan Shiming, Li Anchun, Jan-Berend W S, et al. East Asia Winter Monsoon change of recent 20Ma from grain size analysis of ODP1146 site from north of South China Sea [J]. Science China(Seri. D): Earth Sciences, 2007, 37(6): 761-770.]
- 43 徐建军, 朱乾根. 近百年东亚冬季风的突变性和周期性 [J]. 应用气象学报, 1999, 10(1): 1-8. [Xu Jianjun, Zhu Qiangen. Sudden and periodic changes of East Asian Winter Monsoon in the past century [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 1999, 10(1): 1-8.]
- 44 郭其蕴, 蔡静宁, 邵雪梅, 等. 1873~2000 年东亚夏季风变化的研究 [J]. 大气科学, 2004, 28(2): 206-215. [Guo Qiyun, Cai Jingning, Shao Xuemei, et al. Studies on the variations of East-Asian Summer Monsoon during A D 1873~2000 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2004, 28(2): 206-215.]
- 45 陈隆勋, 朱乾根, 罗会邦, 等. 东亚季风 [M]. 北京: 气象出版社, 1991: 1-347. [Chen Longxun, Zhu Qiangen, Luo Hui bang, et al. The Monsoon of East Asia [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1991: 192-244.]
- 46 施能, 鲁建军, 朱乾根. 东亚冬、夏季风百年强度指数及其气候变化 [J]. 南京气象学院学报, 1996, 19(2): 168-177. [Shi Neng, Lu Jianjun, Zhu Qiangen. East Asian Winter/Summer Monsoon intensity indices with their climatic change in 1873 - 1989 [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1996, 19(2): 168-177.]

Sensitive Grain Size and its Environmental Significance of Modern Mud Patches in Southern and Northern Parts of the Yellow Sea

SHEN Xing^{1,2} CHU ZhongXin^{1,2} WANG YueMing¹ LI YingKun^{1,2}
MIAO AnYang^{1,2} LIANG YuLei^{1,2}

(1. Ocean University of China, College of Marine Geosciences, Qingdao, Shandong 266100;

2. The Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ministry of Education, Qingdao, Shandong 266100)

Abstract: High resolution (0.5 cm) grain size analysis by laser particle size analyzer and ²¹⁰Pb dating of two short cores collected from the mud patches of central part of the southern Yellow Sea (Core YSZD01) and western part of the northern Yellow Sea (Core B45) were performed. Our results show that Core B45, which was deposited from 1913 to 2010, is mainly composed of silt, and its grain size parameters fluctuate vertically. The main sediment of Core YSZD01, which was developed from 1909 to 2012, is mud and sandy mud, and its grain size parameters change little along the core length. Sand fractions in the two cores around 1958, 1971 and 1980 are abruptly increased. We argue that strong cold-air outbreaks probably occurred in the study area, which enhanced ocean hydrodynamics and thereby resulted in abrupt increase in coarse fraction. By the grain size-standard deviation method, we got the environmental sensitive grain size components of Cores B45 and YSZD01, 15.6~71.8 μm and 23.7~500.0 μm, respectively, which are used to indicate variations of the East Asian Monsoon since 1910. The increased percentages of sensitive components during four periods of 1925~1935, 1955~1964, 1974~1977, and 1982~1986, are consistent with significant increase of the East Asian winter monsoon. It seems that the changes in content and fluctuation of sensitive grain size component in the mud patches of the Yellow Sea can be used to indicate variations in intensity and frequency of the East Asian Winter Monsoon.

Key words: Yellow Sea; mud patch; grain size; sensitive grain size component; East Asian Monsoon