

# 渤海南部早—中更新统湖相沉积的粒度特征 及其对沉积环境的指示

吕文哲<sup>1,2</sup>, 易亮<sup>3,4\*</sup>, 付腾飞<sup>1,2</sup>, 陈广泉<sup>1,2</sup>, 徐兴永<sup>1,2</sup>, 于洪军<sup>5</sup>

(1. 国家海洋局第一海洋研究所 海洋沉积与环境地质重点实验室, 山东 青岛 266061;  
2. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室, 山东 青岛 266061;  
3. 同济大学 海洋与地球科学学院, 上海 200092; 4. 海洋地质国家重点实验室, 上海 200092;  
5. 国家深海基地管理中心, 山东 青岛 266237)

**摘要:**通过对莱州湾南岸 Lz908 孔下部 47 m 沉积物的粒度分析, 揭示了该地区沉积物的粒度特征: 平均粒径介于  $3.2 \Phi \sim 7.4 \Phi$ , 大部分为黏土质粉砂, 少部分为砂质粉砂, 亦含有少量粉砂质砂; 分选系数介于 1.1~2.5, 分选较差; 偏度绝大多数介于 0.7~2.4, 表现为正偏和极正偏; 峰度介于 1.9~3.4, 表现为平坦和正态。通过粒级组成、粒度象特征、粒度结构散点图等综合分析, 表明: 钻孔下部沉积物与上部沉积物相比, 指示了相对低能稳定的水动力环境; 莱州湾南岸地区在早—中更新统处于浅湖相与深湖相交替存在的沉积环境。因此, 本文认为对渤海莱州湾南岸地区沉积物粒度特征的研究可以有效的判断沉积环境, 提取古环境信息, 是沉积环境的重要替代指标。

**关键词:**莱州湾南岸; 粒度; 沉积环境; 河湖相

**中图分类号:** P736.21<sup>+</sup>3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-3682(2017)01-0034-09

**doi:** 10.3969/j.issn.1002-3682.2017.01.004

不同地区沉积物的组成、形态和沉积颗粒特征因为沉积环境的不同而有所差别, 沉积物的不同特征往往对应不同的沉积环境。在对沉积物进行分析时, 其粒度特征是恢复沉积环境的一个重要代用指标。孙东怀等<sup>[1]</sup>、陈敬安等<sup>[2]</sup>、肖尚斌等<sup>[3]</sup>分别通过对风尘、湖泊、海洋等不同环境中沉积物粒度特征的研究, 提取了其中所蕴含的古环境信息。所有通过粒度特征恢复古环境的应用中, 利用黄土—古土壤推演第三纪以来的环境变化最为典型。鹿化煜和安芷生<sup>[4-5]</sup>的研究表明, 黄土中较粗颗粒的含量, 对于东亚冬季风强度有很好的指示作用。通过对沉积物粒度特征的分析, 可以了解沉积物组成, 对不同的沉积类型加以区分, 并且获取物源信息, 恢复沉积环境。

最近几十年来, 人类对海岸带地区的开发活动日益增多, 如围海造田、港口建设、海洋堤坝建设等。海岸带地区各种工程的选址和建设往往需要对该地区的地质背景进行充分的调查与研究。海岸带的发育过程同时受到陆地、海洋、大气等多重因素的影响, 对全球变化的反响较为敏感。在海洋动力、全球气候变化、区域地质构造等各种因素的交互影响下, 海岸带地区形成了复杂多变的海岸地貌形态, 并且记录了丰富的环境变化信息<sup>[6-8]</sup>。海岸带地区的沉积物则是记录这些环境变化信息的有效载体, 其特征对海岸带的发育过程具有很好地指示意义<sup>[9]</sup>。粒度是进行沉积物分析的常用指标, 对粒度特征的分析可以有效地提取其中蕴含的古环境信息, 为海岸带地区工程建设提供丰富的地质背景资料。

**收稿日期:** 2017-01-10

**资助项目:** 国家重点研发计划——沿海地区海水入侵现状调查评价(2016YFC0402801); 国家海洋局海域管理技术重点实验室开放基金——基于 Ra 同位素的莱州湾南岸海水入侵灾害示踪(201503); 国家自然科学基金项目——莱州湾南部晚新生代海—陆相沉积的磁性地层学研究(41402153); 海洋公益性行业科研专项——典型海岛生态脆弱性评估及综合调控技术研究与示范(2015418012)

**作者简介:** 吕文哲(1992-), 男, 硕士研究生, 主要从事海洋地质方面研究. E-mail: lvwenzhe@fio.org.cn

\* **通讯作者:** 易亮(1982-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事海洋地质方面研究. E-mail: yi.liang82@gmail.com

(王佳实 编辑)

渤海属新生代沉积盆地,沉积了厚达 2 000~3 000 m 的湖相、河流相、海相等地层,记录了第四纪以来气候、环境变化的信息<sup>[8-10]</sup>。作为渤海的三大海湾之一,莱州湾成为渤海研究的重点区域<sup>[11-13]</sup>。而莱州湾南岸地区沉积物沉积速率快、样品连续、保存较好,为研究沉积环境演化提供了丰富的地质材料。但是,目前对莱州湾南岸地区的研究,往往集中于区域地质构造、海水入侵、海岸带地貌等的研究<sup>[14-20]</sup>,对蕴含丰富古环境信息的沉积物粒度特征的研究较为缺乏。Yi 等<sup>[21]</sup>建立了 Lz908 孔的年龄框架,其结果表明该孔下部 47 m 的沉积物对应于周边早一中更新统地层。因此,本文对取自莱州湾南岸地区的 Lz908 钻孔沉积物进行粒度测试,获取不同粒度参数,通过对粒度特征的分析总结,提取其中蕴含的早一中更新世时期沉积环境信息,探讨该地区的沉积环境演化。

## 1 研究区域概况

莱州湾南岸位于渤海南部,背依鲁中及鲁东低山丘陵,西面为现代黄河三角洲,东接胶莱平原。区内地形自南向北由高到低,地势平坦广阔,地形坡度为 1/2 000~1/3 000 以下,周边地面高程一般在 50 m 以下,地貌属滨海堆积平原。莱州湾南岸主要为缓慢淤进或冲(堆)积的粉砂、淤泥质海岸,潮间带面积 233.845 km<sup>2</sup><sup>[8-9,22]</sup>。区内自西向东分布有小清河、弥河、白浪河、潍河、胶莱河等河流<sup>[10]</sup>。其中,弥河是钻孔周边主要的沉积物输运河流<sup>[13]</sup>。前人研究表明,研究区在构造位置上横跨 2 个四级构造单元,分别为东营浅陷和潍坊浅陷。莱州湾夹于沂沭断裂带的东西两支之间,在中新世中晚期以后整体基本处于稳定的沉积环境,没有产生较大的不整合面<sup>[8,15,22-24]</sup>。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

Lz908 孔位于渤海莱州湾南岸(37°09'N,118°58'E),于 2007 年钻井取心(图 1)。钻孔长度为 101.3 m,取心率约 75%。钻孔上部 54 m 研究结果已由李琰等<sup>[9]</sup>另文发表,本次研究以 20 cm 间隔对钻孔下部沉积物进行取样,共获得 136 个样品。

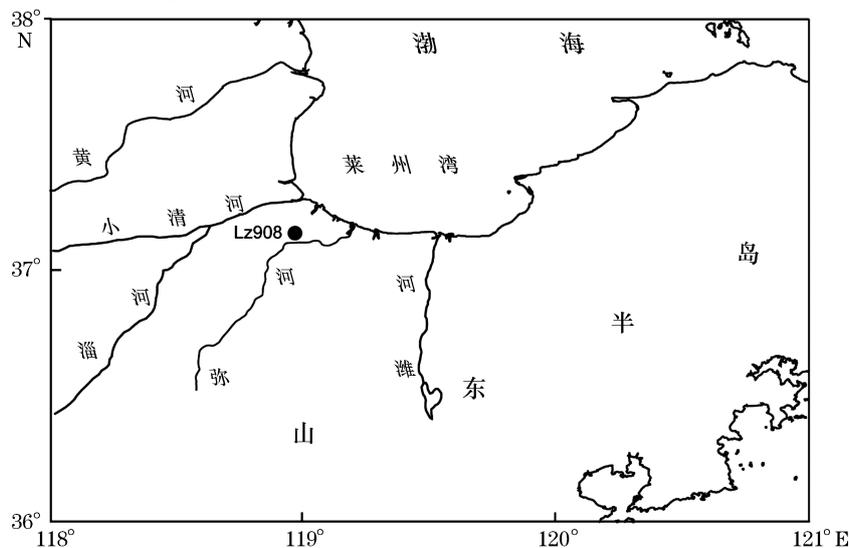


图 1 研究区地理位置

Fig.1 Geographical location of the study area

## 2.2 粒度测试

样品的前处理和上机测试均在国家海洋局第一海洋研究所海洋沉积与环境地质重点实验室完成。所用仪器为英国 MALVERN 公司生产的 MASTERSIZER-2000 型激光粒度仪,该仪器的测量范围为  $0.02 \sim 2\,000\ \mu\text{m}$ ,重复测量误差小于 3%。每份沉积物样品取约 0.5 g 放入烧杯中,烧杯中加入 10~15 mL 质量分数为 30% 的  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,静置 24 h,使其充分反应;烧杯中注满蒸馏水,静置 24 h 后抽去蒸馏水;用超声波清洗机震荡后测量<sup>[9]</sup>。

## 2.3 粒度参数计算

常用的粒度参数有平均粒径、分选系数、偏度、峰度等,其计算方法有多种,本文采用 McManus<sup>[25]</sup> 提出的矩值法进行计算:

$$\bar{x}_\phi = \frac{\sum f m_\phi}{100}, \quad (1)$$

$$\sigma_\phi = \sqrt{\frac{\sum f (m_\phi - \bar{x}_\phi)^2}{100}}, \quad (2)$$

$$Sk_\phi = \frac{\sum f [m_\phi - \bar{x}_\phi]^3}{100\sigma_\phi^3}, \quad (3)$$

$$K_\phi = \frac{\sum f [m_\phi - \bar{x}_\phi]^4}{100\sigma_\phi^4}. \quad (4)$$

式中,  $m_\phi$  为粒径;  $\bar{x}_\phi$  为平均粒径,单位为  $\Phi$ ;  $\sigma_\phi$  为分选系数;  $Sk_\phi$  为偏度;  $K_\phi$  为峰度;  $f$  为各粒级的百分含量,  $\sum f = 100$ 。粒度参数的判别标准见表 1。

表 1 粒度参数的判断标准

Table 1 Criteria for the judgement of grain size parameters

分选系数		偏 度		峰 度	
极 好	<0.35				
好	0.35~0.50	极正偏	>1.30	极平坦	<1.70
较 好	0.50~0.70	正 偏	0.43~1.30	平 坦	1.70~2.55
中 等	0.70~1.00	正 态	-0.43~0.43	正 态	2.55~3.70
较 差	1.00~2.00	负 偏	0.43~-1.30	尖 锐	3.70~7.40
差	2.00~4.00	极负偏	<-1.30	极尖锐	>7.40
极 差	>4.00				

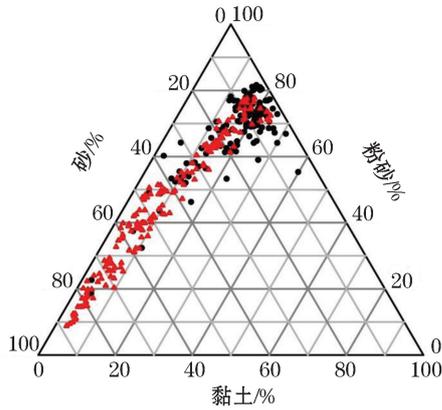
## 3 结 果

### 3.1 粒度特征

根据谢帕德三角图(图 2)定名方法,测得 Lz908 孔下部沉积物样品大部分为黏土质粉砂,少部分为砂质粉砂,含有少量粉砂质砂。通过与钻孔上部沉积物对比发现,Lz908 孔下部沉积物粒度较细,在谢帕德三角

图中投点集中,分选较好,反映水动力条件相对稳定;而钻孔上部沉积物的投点分散,分选差,水动力条件变化较大。

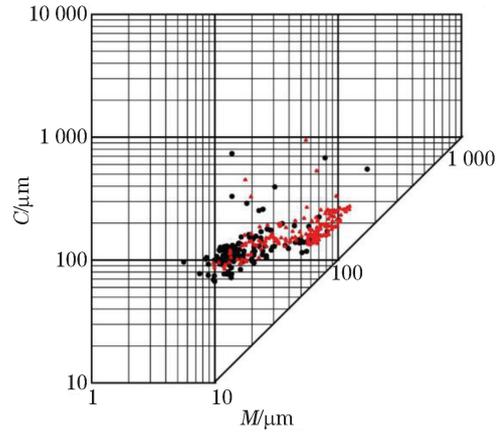
为详细研究 Lz908 孔沉积物所代表的水动力条件,我们根据粒度参数  $C$ (累计含量为 1% 的沉积物粒径值)和  $M$ (累计含量为 50% 的沉积物粒径值)作沉积物粒度象  $C-M$  图(图 3)。其中, $C$  值代表样品中最粗颗粒的粒径,可以反映搬运介质能量的上限,即最大水动能; $M$  值反映搬运介质的平均水动能<sup>[26]</sup>。



● 下部沉积物粒度测量结果 ▲ 上部沉积物粒度测量结果

图 2 Lz908 孔三角图投点示意图

Fig.2 Ternary diagram for Borehole Lz908



● 下部沉积物粒度测量结果 ▲ 上部沉积物粒度测量结果

图 3 Lz908 孔沉积物粒度象  $C-M$  图

Fig.3 The grain-size  $C-M$  diagram of the sediments in Borehole Lz908

由  $C-M$  图反映 Lz908 孔下部沉积物样品投点较为集中: $C$  值相对稳定,主要表现为  $60 \mu\text{m} < C < 200 \mu\text{m}$ ,略小于钻孔上部沉积物的  $C$  值; $M$  主要表现为  $10 \mu\text{m} < M < 100 \mu\text{m}$ ,与钻孔上部不同的是,下部投点多集中于  $10 \mu\text{m} < M < 20 \mu\text{m}$ 。

据 Passessa<sup>[27-28]</sup>判断,该地区下部沉积物的搬运形式主要为均匀悬浮,反映该地区在所研究地质历史时期内可能为湖相或海相沉积环境。根据钻孔下部沉积物样品在  $C-M$  图中投点的离散程度以及  $M$  值的变化,可以划分为两个投点区域,区域一: $60 \mu\text{m} < C < 150 \mu\text{m}$ , $10 \mu\text{m} < M < 20 \mu\text{m}$ ;区域二: $100 \mu\text{m} < C < 200 \mu\text{m}$ , $20 \mu\text{m} < M < 100 \mu\text{m}$ 。两个区域均反映该地区初始水动能较大,在物质搬运的初期动能较强;但不同的是,区域一投点更为集中,而且由  $M$  值反映其平均水动能较小,说明沉积后期水动能变弱,初始水动能对平均动能贡献较小,反映低能、稳定的沉积环境;而区域二反映平均水动能较大,初始水动能对平均水动能的贡献较大,反映相对高能、不稳定的沉积环境。

根据李琰等<sup>[9]</sup>的研究,钻孔上部沉积物样品在  $C-M$  图中的投点也可以划分为两个区域,但  $M=60 \mu\text{m}$  的区域分界线明显高于下部,且  $M$  高值区域投点更为集中,在沉积物所代表的地质历史时期内初始水动能与平均水动能通常呈正相关关系,这与该地区常年受到弥河的影响有直接关系。

根据 Passessa<sup>[27-28]</sup>,选取粒度参数: $A$ : $<4 \mu\text{m}$  组分的百分含量; $L$ : $<31 \mu\text{m}$  组分的百分含量; $F$ : $<125 \mu\text{m}$  组分的百分含量。分别以  $A$  对  $M$ 、 $L$  对  $M$ 、 $F$  对  $M$  作  $A-M$ 、 $L-M$ 、 $F-M$  图(图 4)。通过对这些图的分析,可以提取出沉积物组分的变化信息,并据此判断沉积物可能的搬运模式和形成环境<sup>[29]</sup>。

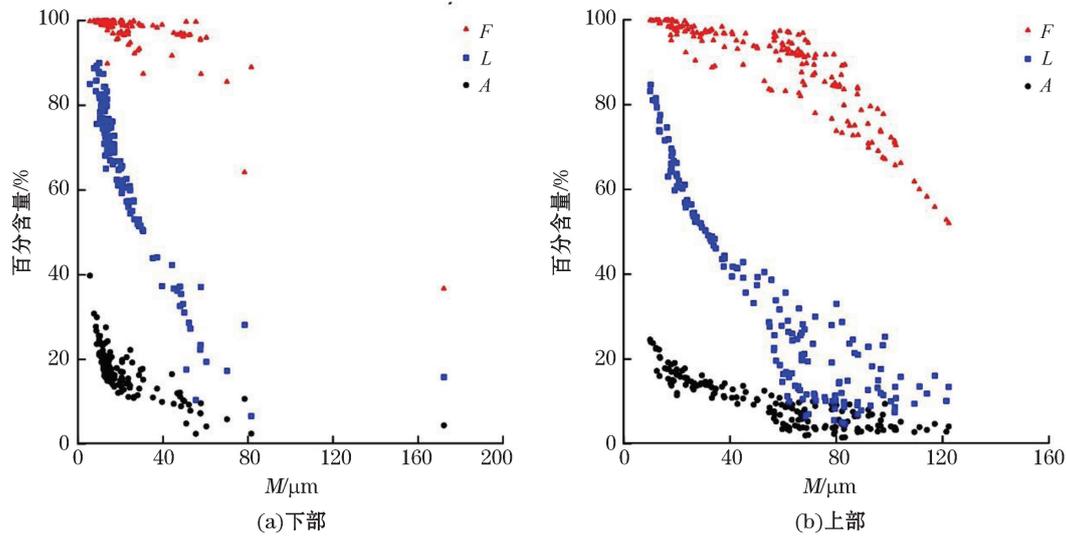


图4 Lz908孔下部、上部沉积物粒度象 A-M, L-M, F-M 综合图

Fig.4 The A-M, L-M and F-M diagrams of the sediments in the lower and upper parts of Borehole Lz908

由粒度象综合图可以看出,对于Lz908孔下部沉积物, $M$ 介于 $5\sim 80\ \mu\text{m}$ 。小于 $4\ \mu\text{m}$ 组分整体所占比例较小,随着 $M$ 的增大,该组分含量逐渐减少;小于 $31\ \mu\text{m}$ 组分含量随着 $M$ 的增大急剧减小,从 $90\%$ 降低到 $10\%$ 左右;小于 $125\ \mu\text{m}$ 组分含量随 $M$ 的变化不明显,随 $M$ 增大,大体呈减小趋势。当 $M < 20\ \mu\text{m}$ 时,样品沉积物颗粒中细粒组分含量相对较高, $4\sim 31\ \mu\text{m}$ 组分为优势组分;当 $M > 20\ \mu\text{m}$ 时, $31\sim 125\ \mu\text{m}$ 组分成优势组分,细粒组分含量较低, $M$ 的增加主要由 $31\sim 125\ \mu\text{m}$ 组分控制。整体来看,细粒组分并不占据优势组分, $M$ 的增加主要由 $31\sim 125\ \mu\text{m}$ 组分控制。

相比于上部沉积物,钻孔下部沉积物 $M$ 值有所减小,沉积物中小于 $4\ \mu\text{m}$ 组分含量有所增大,大于 $125\ \mu\text{m}$ 的组分明显减小。与下部不同,上部沉积物中大于 $125\ \mu\text{m}$ 的组分也对 $M$ 的增加起到一定的控制作用。钻孔上部沉积物分选更差,所反映的初始水动能更大。

### 3.2 粒度结构

粒度结构散点图可以较为有效的区分沉积环境<sup>[28]</sup>。由图5a可见,样品粒度全部为正偏,分选较差。Lz908孔下部沉积物平均粒径介于 $3.2\ \Phi\sim 7.4\ \Phi$ ;分选系数介于 $1.1\sim 2.5$ ;偏度绝大多数介于 $0.7\sim 2.4$ ,表现为正偏和极正偏。分选和偏度大体呈正相关关系,随分选变差,偏度向极正偏变化。

钻孔沉积物平均粒径和分选系数的相关关系可以划分为两个阶段:当平均粒径值小于 $5.5\ \Phi$ 时,平均粒径与分选系数呈正相关关系;当平均粒径值大于 $5.5\ \Phi$ 时,分选系数与平均粒径呈负相关关系(图5b)。具体的,对于下部沉积物,粗粒部分分选相对较好,但是投点较少且分散,而且连续性差、分异度较大,指示了高能不稳定的水动能;细粒部分分选则较差,投点集中,指示了较稳定的低能环境。而对于上部沉积物,粗粒部分投点较多,但分异度较大;细粒部分投点少且分选较好。综合来看,钻孔上部沉积物反映沉积环境多为高能不稳定阶段,而下部沉积物则反映沉积环境多为低能较稳定阶段。

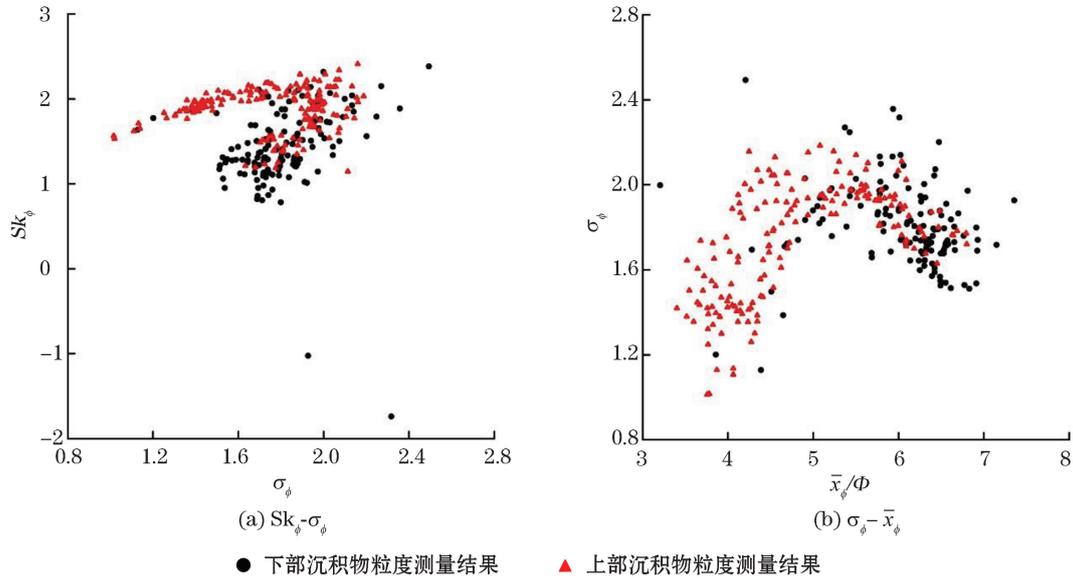


图5 Lz908孔沉积物粒度结构散点图

Fig.5 The grain-size structural scatter diagram of the sediments in Borehole Lz908

## 4 讨 论

相比于钻孔下部沉积物,上部 54 m 沉积物样品粗粒组分含量显著增加,平均粒径变大,分选变差,偏度向极正偏变化,所代表的水动力条件更强。初始水动能较大,反映物质来源稳定,对弥河巨大的搬运能力是很好的响应。平均水动能变化较大,投点集中于高值部分,揭示了沉积环境的高能性,而低值部分则反映了一定程度的静水环境。由图 4 可见,粗粒组分始终为优势组分,控制沉积物粒度,且分选较差,结合粒度结构散点图对高能不稳定沉积环境的指示,进一步证实了高能的弥河对该地区的显著影响。

图 6 示出了钻孔下部沉积物黏土、粉砂、砂的体积分数随深度的变化。可以看出,沉积物样品中黏土粒级( $<4 \mu\text{m}$ )含量较低,相比其他粒级含量变化较小,只在个别层位出现较为显著的变化,整体变化趋势与砂粒级( $>63 \mu\text{m}$ )存在一定的相关性。整体来看,粉砂( $4\sim 63 \mu\text{m}$ )粒级含量明显大于砂粒级含量,但是个别层位砂粒级含量显著增加,可能与当时水动力条件突然增强有关。

综合以上分析,并且结合前人的研究<sup>[21,30-32]</sup>与钻孔岩性特征,判断莱州湾南岸地区在钻孔沉积物所代表的早一中更新世时期主要为湖相沉积,并且分为明显的浅湖相和深湖相。研究区的湖相沉积受到弥河所携带的物质沉积的影响,表现为粉砂含量在整体粒级含量中占主导。在长时间尺度内,粗粒沉积物指示了湖泊收缩、水位降低;细粒沉积物指示了湖泊扩张、水位升高<sup>[2]</sup>。Yi 等<sup>[32]</sup>指出在早一中更新世,研究区经历了浅湖相—深湖相的多次变化。砂粒级含量在个别层位的剧烈增加,可能反映了水位的突然降低,而且降低幅度较大,对应湖泊收缩的干旱环境;亦或是弥河水动力条件改变、河道变迁以及湖泊水位降低等的综合作用。砂粒级含量低的层位,粉砂与黏土含量明显增加,对应湖泊扩张的湿润环境。

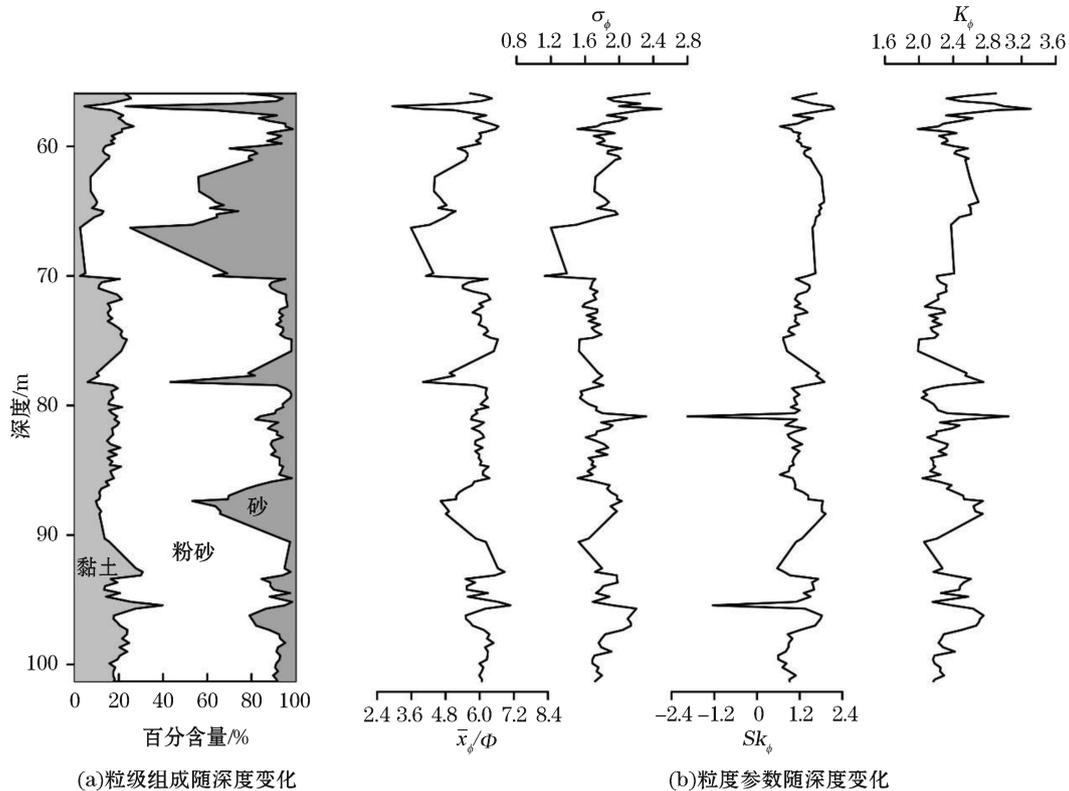


图6 Lz908孔下部沉积物粒度组成与粒度参数随深度变化

Fig.6 Changes of grain size compositions and parameters with the depth in the lower sediments of Borehole Lz908

## 5 结 论

本文通过对莱州湾南岸 Lz908 孔沉积物粒度特征的测定和分析,得出以下几点结论:

1) Lz908 孔下部沉积物样品平均粒径介于  $3.2 \Phi \sim 7.4 \Phi$ , 大部分为黏土质粉砂, 少部分为砂质粉砂, 含有少量粉砂质砂; 分选系数介于  $1.1 \sim 2.5$ , 分选较差; 偏度绝大多数介于  $0.7 \sim 2.4$ , 表现为正偏和极正偏; 峰度介于  $1.9 \sim 3.4$ , 表现为平坦和正态。与上部沉积物相比, 下部沉积物粒径明显偏细, 分选较好, 指示相对低能稳定的沉积环境。

2) 研究区下部早一中更新统沉积物反映了一种湖相沉积, 但浅湖相和深湖相沉积变化明显, 并且在沉积过程所处的地质历史时期内经历了浅湖相—深湖相的交替变化。同时, 研究区内弥河对湖相沉积环境也存在一定影响。

### 参考文献 (References):

- [1] 孙东怀, 鹿化煜, DAVID R, 等. 中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义[J]. 沉积学报, 2000, 1(3): 327-335.
- [2] 陈敬安, 万国江, 徐经意. 洱海沉积物粒度记录与气候干湿变迁[J]. 沉积学报, 2008, 18(3): 341-345.
- [3] 肖尚斌, 李安春, 蒋富清, 等. 近 2 ka 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.
- [4] 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义[J]. 中国科学: D 辑 地球科学, 1998, 28(3): 278-283.
- [5] 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原红粘土与黄土古土壤粒度特征对比——红粘土风成成因的新证据[J]. 沉积学报, 1999, 17(2): 226-232.
- [6] 冯士筴, 李凤岐, 李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 25-78.

- [7] 刘潇. 港口工程影响下莱州湾南岸海洋沉积环境演变研究[D].青岛:中国海洋大学,2014.
- [8] 姚菁. 渤海南岸 LZ908 孔海陆交互相地层气候代用指标及沉积环境研究[D].青岛:中国科学院研究生院(海洋研究所),2014.
- [9] 李琰,于洪军,易亮,等. 渤海南部 Lz908 孔海陆交互沉积的粒度特征及其对沉积环境的指示[J].海洋科学,2014,38(5):107-113.
- [10] 中国科学院海洋研究所 海洋地质研究室.渤海地质[M].北京:科学出版社,1984:6-11,204-210.
- [11] LIU J, SAITO Y, WANG H, et al. Stratigraphic development during the Late Pleistocene and Holocene offshore of the Yellow River delta, Bohai Sea[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 36(4-5): 318-331.
- [12] YAO Z, SHI X, LIU Q, et al. Paleomagnetic and astronomical dating of sediment core BH08 from the Bohai Sea, China: Implications for glacial-interglacial sedimentation[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2014, 393: 90-101
- [13] 薛春汀,丁东. 渤海莱州湾南岸淮河—弥河三角洲:沉积序列和沉积格架[J].地理科学,2008,28(5):672-676.
- [14] 韩美,孟庆海.莱州湾沿岸的地貌类型[J].山东师大学报(自然科学版),1996,11(3):63~67.
- [15] 吴时国,余朝华,邹东波,等.莱州湾地区郯庐断裂带的构造特征及其新生代演化[J].海洋地质与第四纪地质,2006,26(6):101-110.
- [16] 姚菁,于洪军,徐兴永,等.莱州湾地区含卤层系沉积特征与卤水的形成[J].海洋科学进展,2010, 28(4):473~477.
- [17] 王强,田国强. 中国东部晚第四纪海侵的新构造背景[J].地质力学学报, 1999, 5(4): 41-48.
- [18] 丰爱平,谷东起,夏东兴. 莱州湾南岸海水入侵发展动态和原因[J].海岸工程,2006,25(3):7-13.
- [19] 孙云华,张安定,王庆,等. 最近 30 年来人类活动对莱州湾南岸地貌过程及海水入侵的影响[J].海洋地质与第四纪地质,2011,31(5): 43-50.
- [20] 苏乔,于洪军,徐兴永,等. 莱州湾南岸海水入侵现状评价[J].海岸工程,2009,28(1):9-14.
- [21] YI L, DENG C L, XU X Y, et al. Paleo-megalake termination in the Quaternary: paleomagnetic and water-level evidence from south Bohai Sea, China[J].Sedimentary Geology, 2015, 319(1): 1-12.
- [22] 李琰. 28 ka 以来莱州湾南岸的沉积学记录及环境意义[D].北京:中国地质大学(北京),2014.
- [23] YU Z, WU S, ZOU D, et al. Seismic profiles across the middle Tan-Lu fault zone in Laizhou Bay, Bohai Sea, eastern China[J].Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 33(5):383-394.
- [24] ZHANG Y, DONG S, SHI W. Cretaceous deformation history of the middle Tan-Lu fault zone in Shandong Province, eastern China[J]. Tectonophysics, 2003,363(3-4):243-258.
- [25] MCMANUS J. Grain size determination and interpretation[C]// TUCHER M. Techniques in Sedimentology. Oxford: Wiley-Blackwell, 1988:63-85.
- [26] 成都地质学院陕北队.沉积岩(物)粒度分析及其应用[M].北京:地质出版社,1976:44-54,66-106.
- [27] PASSEGA R. Texture as characteristic of clastic deposition[J].Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 1957,41 (9):1952-1984.
- [28] PASSEGA R. Grain size representation by C-M pattern as a geologic tool[J].Journal of Sedimentary Petrology,1964,34(4):830-847.
- [29] FAUGÈRES J C, MÉZERAIS M L, STOW D A. Contourite drift types and their distribution in the North and South Atlantic Ocean basins[J].Sedimentary Geology,1993,82(1-4): 189-203.
- [30] 赵强,王乃昂,程弘毅,等. 青土湖沉积物粒度特征及其古环境意义[J].干旱区地理,2003,26(1):1-5.
- [31] 董延钰,金芳,黄俊华. 鄱阳湖沉积物粒度特征及其对形成演变过程的示踪意义[J].地质科技情报,2011,30(2):57-62.
- [32] YI L, YU H J, ORTIZ J D, et al. Late Quaternary linkage of sedimentary records to three astronomical rhythms and the Asian monsoon, inferred from a coastal borehole in the south Bohai Sea, China[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2012, 329-330: 101-117.

## Grain-size Characteristics of Early-Middle Pleistocene Lacustrine Sediments and Their Indication of Sedimentary Environment in the Southern Bohai Sea

LV Wen-zhe<sup>1,2</sup>, YI Liang<sup>3,4</sup>, FU Teng-fei<sup>1,2</sup>, CHEN Guang-quan<sup>1,2</sup>, XU Xing-yong<sup>1,2</sup>, YU Hong-jun<sup>5</sup>

(1. *Key Laboratory of Marine Sedimentology and Environmental Geology, The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China;*

2. *Laboratory for Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266061, China;*

3. *School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China;*

4. *State Key Laboratory of Marine Geology, Shanghai 200092, China;* 5. *National Deep Sea Center, Qingdao 266237, China*)

**Abstract:** Grain-size analysis of the lower 47 m sediments in Borehole Lz908 drilled at the southern coast of the Laizhou Bay reveals that the mean grain diameter of the sediments ranges from  $3.2 \Phi$  to  $7.4 \Phi$ , indicating that they are mainly composed of clayey silt, followed by a small amount of sandy silt and silty sand. The sorting of the sediments is poor, with the sorting coefficient being  $1.1 \sim 2.5$ . The skewness and the kurtosis of the sediments are mostly  $0.7 \sim 2.4$  and  $1.9 \sim 3.4$ , respectively, showing a positive and/or very positive skewness and a flat and/or normal distribution, respectively. The comprehensive analyses of grain size compositions, grain-size *C-M* diagrams and grain-size structural scatter diagrams of the sediments indicate that compared with those in the upper part of the borehole, the sediments in the lower part of the borehole reflect a relatively lower-energy and more stable hydrodynamic environment, and that the southern coastal area of the Laizhou Bay was in a sedimentary environment in which the shallow and deep lacustrine facies were formed alternately in the Early-Middle Pleistocene. It is, therefore, considered that the grain size characteristics of the sediments in the southern coastal regions of the Laizhou Bay can be used effectively for determining the sedimentary environment and extracting the paleoenvironmental information, and could be the important proxies of sedimentary environment.

**Keywords:** southern coast of the Laizhou Bay; grain size; sedimentary environment; lacustrine facies

**Received:** February 10, 2017