

李琦炜,龚志军,罗明,等.鄱阳湖沙山两处具有平行层理砂层的粒度分析及其对沉积环境的指示意义[J].中国沙漠,2023,43(3):152-159.

鄱阳湖沙山两处具有平行层理砂层的粒度分析及其对沉积环境的指示意义

李琦炜,龚志军,罗明,彭花明,王瀚,王威

(东华理工大学 地球科学学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 鄱阳湖是中国最大的淡水湖。目前,鄱阳湖周边分布着若干沙山,如湖口至彭泽一带沙山、吴城镇松门岛沙山等。此前研究多认为这些沙山为风力堆积的产物,特别是沙山的中上部。然而,我们通过野外调查发现,鄱阳湖周边沙山的中上部普遍保存有水成沉积构造的砂层/粉砂层,而且这些砂层/粉砂层的吴淞高程显著高于1949年以来鄱阳湖的最高水位(22.63 m,星子水文站)。本研究选取了鄱阳湖沙山两处代表性的具有平行层理的砂层为研究对象,并采集了两个样品开展粒度分析:一个样品(XZ-1)位于星子沙岭吴淞高程~36.5 m处,而另一个样品(HGDS-7)位于湖口县沙洲村沙山吴淞高程~40.3 m处。此次样品的粒度具有以下特征:(1)样品XZ-1分选性一般,而样品HGDS-7分选性差;(2)样品XZ-1粒度频率分布曲线有一个明显的主峰和一个不明显的次峰,而样品HGDS-7粒度频率分布曲线呈现明显的双峰型;(3)样品XZ-1和样品HGDS-7的概率累积曲线分别呈现六段式和八段式;(4)如采用萨胡判别公式进行计算,样品XZ-1与样品HGDS-7的Y值分别为3.71和8.89。以上粒度分析结果和沉积构造解译一致,即此次选取的两处具有平行层理的砂层均为水成沉积层。本研究表明虽然鄱阳湖周边沙山的中上部明显高于鄱阳湖自1949年以来的最高水位,但是这些沙山的中上部并不能全部解释为风成沉积物,至少有部分夹层是水成沉积过程的产物。未来需要在鄱阳湖不同沙山开展更多研究,以进一步论证这些沙山的成因,这一方面有利于了解鄱阳湖环境演变过程,另一方面为今后江西省鄱阳湖周边的供水安全、防洪安全和生态安全提供重要科学参考依据。

关键词: 鄱阳湖;沙山;平行层理;粒度分析;水成沉积物

文章编号: 1000-694X(2023)03-152-08

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2023.00003

中图分类号: P931.3

文献标志码: A

0 引言

鄱阳湖(28°22'—29°45'N, 115°47'—116°45'E)位于长江以南,江西省北部,上承赣江、抚河、信江、饶河、修水五大河流来水,经调蓄以后通过九江市湖口县注入长江,是中国面积最大的淡水湖^[1-2]。在江、湖、河三者相互作用下,该地区形成各环境因子相互影响而统一的水陆相生态系统——鄱阳湖湿地。鄱阳湖在维护区域生物多样性、调蓄控制长江中下游洪水以及促进国民经济生产等方面具有十分重要的作用。值得注意的是,虽然鄱阳湖地处亚

热带湿润季风气候区,但在湖滨地带却发育了许多沙山沙岭。这种地貌现象很早就吸引了国内学者的广泛关注^[3-12]。

在此前的研究中,鄱阳湖湖滨沙山多被视为风成堆积的产物^[7,12]。杨达源^[7]对长江中下游沿江一带的主要沙丘进行系统研究,分析了其分布、沉积特征、成因和时代等,认为这些沙山主要为风成堆积的产物。吴艳宏等^[13]认为九江-彭泽一带沙山的物质来源主要为古长江和古赣江的河道沉积砂,即当湖水水位下降后,沉积砂裸露并经过强劲的冬季风吹扬搬运作用,进而在鄱阳湖沿岸堆积成沙山。

收稿日期:2022-10-08; 改回日期:2023-02-11

资助项目:国家自然科学基金地区科学基金项目(42062013);地震灾害科学研究与科学普及项目(G20200002);江西省教育厅科学技术研究资助项目(GJJ160573);东华理工大学核资源与环境重点实验室开放基金项目(NRE1607)

作者简介:李琦炜(1997—),男,山西太原人,硕士研究生,研究方向为第四纪地质学。E-mail: tynlqw@126.com

通信作者:龚志军(E-mail: 13697082584@163.com)

任黎秀等^[14]进一步将鄱阳湖沙山分为4个风成沙山期,即95 ka BP的老红沙山期、46 ka BP的红沙山期、27 ka BP至15 ka BP的黄沙山期、240 a以来的近代沙山期。Han等^[15]对鄱阳湖庐山市(原星子县)的沙岭剖面开展了详细的光释光年代学研究,发现沙山的沉积年代与Henrich事件存在一定对应关系,且处于末次冰期的相对较冷时期,故认为星子沙山为风成沉积的产物。Zhang等^[16]从沉积年代学的角度,发现鄱阳湖北部的沙山大部分属于MIS2阶段(气候上属于干冷时期),从而认为鄱阳湖沙山为风成沉积(图1)。除了以上“风成说”,也有学者认为鄱阳湖湖滨沙山绝大部分是水成成因,而且沙山后期经历了构造抬升作用^[10]。

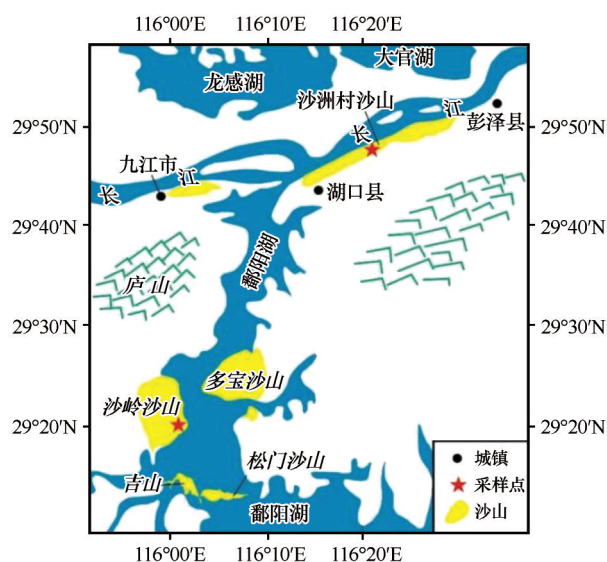


图1 鄱阳湖中、北部主要沙山分布图^[16]

Fig.1 The sand hills in the central-north part of Poyang Lake^[16]

我们在对星子沙岭、湖口至彭泽一带的沙山野外调研时发现,在不同沙山的中上部,部分层位保存有水成沉积构造的砂层、粉砂层,如具有水平层理的粉砂层、青灰色的块状泥质粉砂层,还有平行层理的砂层等(图2、图3)。值得注意的是这些水成沉积构造的沉积层并不是局限在沙山的某一点,而是分布在不同沙山的较大范围。因此,尽管这些水成沉积构造的沉积层要显著高于1949年以来鄱阳湖的最高水位(22.63 m,星子水文站),但是从沉积构造的角度,这些砂层都不应该被解译为风成沉积物。

粒度特征是反映沉积物沉积环境的重要指标。碎屑颗粒的分选性、粒度频率分布曲线、概率累积

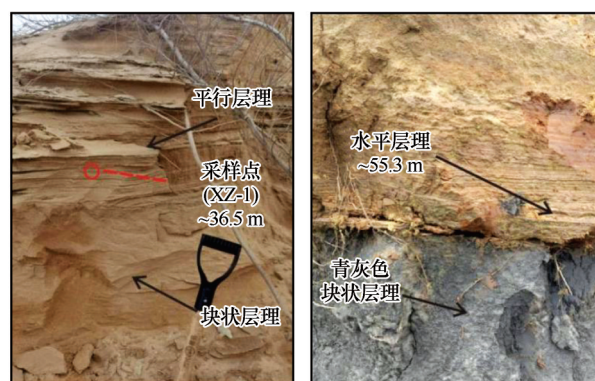


图2 沙岭沙山部分代表性的水成沉积层(图中高程数据已通过星子水文站矫正到吴淞高程)

Fig.2 Representative sedimentary layers with water-lain sedimentary structure at Shaling in Lushan city (previous Xingzi county, all the elevation data were calibrated into Wusong elevation)

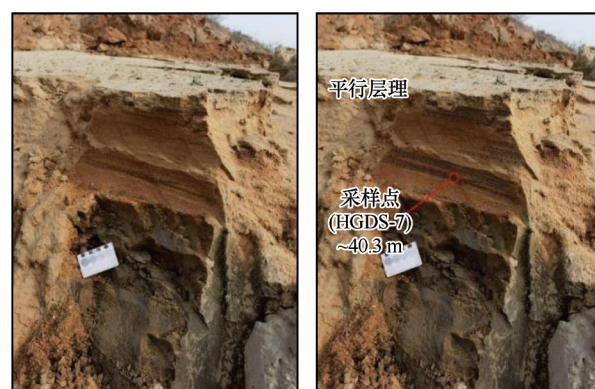


图3 沙洲村沙山中的平行层理

Fig.3 Parallel bedding in sand hill of Shazhou Village

曲线与萨胡判别公式等可对沉积物的沉积环境提供重要的判别参考^[17]。本次研究选取了星子沙岭沙山和湖口县沙洲村沙山的两处代表性的具有平行层理的砂层为研究对象,通过详细的粒度分析,并结合砂层的沉积构造特征,以进一步论证这些砂层的成因。

1 研究区概况与采样剖面

鄱阳湖位于江西省北部,是中国最大的淡水湖^[18]。鄱阳湖地区年降水量可达1 500 mm。此外,该地区降水季节变化较大,降水集中在4—7月,这也导致了鄱阳湖具有明显的枯水期与丰水期变化,有着“枯水一条线,丰水一大片”的特点。目前,鄱阳湖周边分布着若干沙山,如吴城镇吉山沙山、松门岛沙山、庐山市(原星子县)沙岭沙山、都昌县多宝沙山,以及湖口至彭泽一带沙山等(图1),沙山中

可见砂层、粉砂层和淤泥质夹层交替出现^[19]。

此次研究共采集 2 个粒度样品。一个粒度样品 (XZ-1) 位于沙岭沙山 (29° 21' 17.12"N, 116° 01' 12.72"E)。该剖面上下两层呈现明显不同的沉积构造。剖面的顶部为粗细分离而水平的砂质纹层 (即平行层理, 图 2), 而底部为砂质块状层理 (无层理)。粒度样品 XZ-1 位于平行层理的砂层内, 其高度为 ~36.5 m。另一个粒度样品 (HGDS-7) 位于湖口县沙洲村的一个沙山 (29° 50' 10.35"N, 116° 22' 59.6"E)。同样, 我们在沙洲村沙山吴淞高程为 ~40.3 m 处观察到粗细分离而水平的平行层理 (粒度样品 HGDS-7 采样位置见图 3)。

2 方法

将 XZ-1 样品和 HGDS-7 样品在 60 °C 的烘箱中放置 24 h 烘干, 而后称取 5 g 左右样品。将称取的样品放入烧杯中, 加入 20 mL 浓度约 10% 的稀盐酸并放置于设定温度为 80 °C 的电加热板上加热 10 min 左右以去除碳酸盐。用虹吸法将酸液用清水清洗至少 3 遍后再加入浓度约 10% 的双氧水, 再次放置于设定温度为 80 °C 的电加热板上加热直到没有气泡产生以去除有机质。同样用虹吸法将双氧水清洗 3 遍后向烧杯中加入 10 mL 的六偏磷酸钠分散剂 (0.01 mol·L⁻¹) 并在超声波振荡器中振荡约 10 min 以充分分散。上机测试在东华理工大学核资源与环境国家重点实验室进行。所用仪器为英国 Malvern Mastersizer 2000M 型激光粒度仪, 测试时样品溶液的遮光率应在 10%~20%。

3 结果

3.1 粒度组成及分选性

首先, 将所有粒径均转化为 Φ 值, 转换公式为 $D = -\log_2 d$ (D 为直径, Φ ; d 为直径, mm)。本研究采用的粒度分类按照伍登-温特沃斯提出的分类方法^[20], 将粒径分为 7 个粒度, 分别是极粗砂 (1~0 Φ)、粗砂 (0~1 Φ)、中砂 (1~2 Φ)、细砂 (2~3 Φ)、极细砂 (3~4 Φ)、粉砂 (4~8 Φ) 和黏粒 (8~11 Φ)。XZ-1 样品和 HGDS-7 样品中各粒度砂组分如表 1 所示。XZ-1 样品中中砂含量最高, 占 51.97%, 其次为粗砂, 占 38.15%; 粉砂组分包含粗粉砂、中粉砂、细粉砂和极细粉砂, 共占 1.27%; 黏粒所占比重为 3.59%,

表 1 XZ-1 样品和 HGDS-7 样品粒度组成 (%)

Table 1 Grain size composition of XZ-1 and HGDS-7 (%)

样品 编号	粒度						
	极粗砂	粗砂	中砂	细砂	极细砂	粉砂	黏粒
XZ-1	0.32	38.15	51.97	3.96	0.74	1.27	3.59
HGDS-7	1.34	25.99	38.23	10.17	3.39	18.56	2.32

极细砂所占比重为 0.74%, 极粗砂所占比重为 0.32%。该样品的分选性系数为 0.835, 表明该砂层的分选性一般。对于 HGDS-7 样品, 中砂含量仍然最高, 占 38.23%, 其次为粗砂, 占 25.99%; 粉砂组分共占 18.56%; 极粗砂、极细砂和黏粒所占比重相对较少, 分别为 1.34%、3.39% 和 2.32%。该样品的分选性系数为 1.904, 表明该砂层的分选性差。前人的研究表明风成砂的分选性一般为较好或一般^[20-22], 此次的研究发现, XZ-1 分选性一般, 而 HGDS-7 分选性差。因此从分选性的角度, 至少 HGDS-7 不应该被解释为风成沉积物。

3.2 频率分布曲线

频率分布曲线是沉积物粒度分布的常用表达方式。XZ-1 样品和 HGDS-7 样品粒度的频率分布曲线如图 4 所示。从频率分布曲线看出 XZ-1 样品有一个明显的主峰, 粒度 158~1 002 μm , 峰值粒径为 448 μm , 除此之外还有一个不明显的次峰, 粒度 31~89 μm , 峰值粒径在 56 μm 处。HGDS-7 样品则呈现出至少两个明显峰态, 其中一个主峰的粒度 112~1 003 μm , 峰值粒径为 399 μm , 对应的 Φ 值约为 1.3 Φ ; 另一个明显的次峰粒径 13~100 μm , 次峰的峰值粒径为 45 μm , 对应的 Φ 值约为 4.5 Φ 。此次两个样品的粒度频率分布曲线不同于典型的风成沉积物主要体现在两个方面: ①两个样品的主峰峰值均比典型的风成砂粗, 例如范天来等^[23]发现乌兰布和沙漠风成砂丘砂频率分布曲线峰值仅在 200~300 μm , 毛乌素沙地东部风成砂频率分布曲线主峰峰值仅为 250 μm ^[24]。相比之下, XZ-1 样品主峰在 448 μm , 而 HGDS-7 样品主峰的峰值在 399 μm 。②典型的风成沉积物多为单峰态, 如李志星等^[25]在对昌黎海岸风成沙丘进行研究时发现频率分布曲线呈现单峰且开度窄、峰值高的特点; 呼伦贝尔沙地风蚀坑后沙丘风成砂粒径频率分布曲线主要为正态或稍正偏的单峰^[26]; 辽宁中部晚第四纪黄土的频率分布曲线也为单峰^[27]。而此次研究的样品中, XZ-1 样

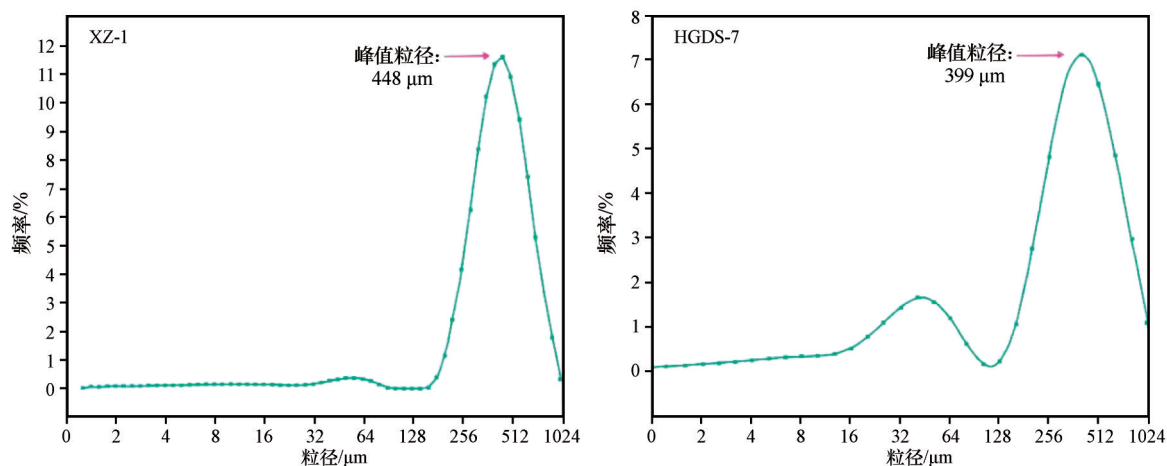


图4 XZ-1样品和HGDS-7样品粒度频率分布曲线

Fig.4 Grain-size frequency curves of XZ-1 sample and HGDS-7 sample

品表现为一个明显的主峰和一个不明显的次峰,而HGDS-7样品频率分布曲线则呈现出明显的双峰态。

3.3 概率累积曲线

相较于频率分布曲线,概率累积曲线更能反映出包括各组分含量等在内的更多信息^[23]。沉积物粒径不同,搬运的方式也不一样,主要的搬运方式有悬移、跃移和推移3种^[28]。XZ-1样品和HGDS-7样品粒度的概率累积曲线如图5所示,整个曲线均为明显的多段式。此次研究中,我们将概率累积曲线的不同区间严格按照直线拟合,对于XZ-1样品,以 6.9Φ 作为跃移组分和悬移组分的切分点,以 0.9Φ 作为推移组分和跃移组分的切分点,整个概率累积曲线可以被划分为6个直线段,其中推移组分1个,含量约占35%,跃移组分3个,含量约占63%,悬移

组分2个,含量约占2%。同理,通过对HGDS-7样品概率累积曲线进行直线拟合后,一方面将 8Φ 作为跃移组分和悬移组分的切分点^[29],另一方面将 0.6Φ 作为推移组分和跃移组分的切分点,整个概率累积曲线可以被分为8个直线段,其中推移组分1个,含量可占到15%左右;跃移组分共有5个,含量占到了近82%;悬移组分有2个,含量约占3%。从此特征可以看出,此次研究砂层的概率累积曲线并非风成沉积物的典型二段式或三段式^[24,27,30-32],例如华南海岸风成沙概率累积曲线基本为三段式^[32];毛乌素沙地沙丘中,风成砂粒径概率累积曲线主要为两段式或三段式^[24];辽中晚第四纪黄土概率累积曲线中基本也为三段式^[27];腾格里沙漠不同区域的样品概率累积曲线为二段式或三段式^[31]。相比之下,样品(XZ-1)和样品(HGDS-7)的概率累积曲线分别呈现六段式和八段式。

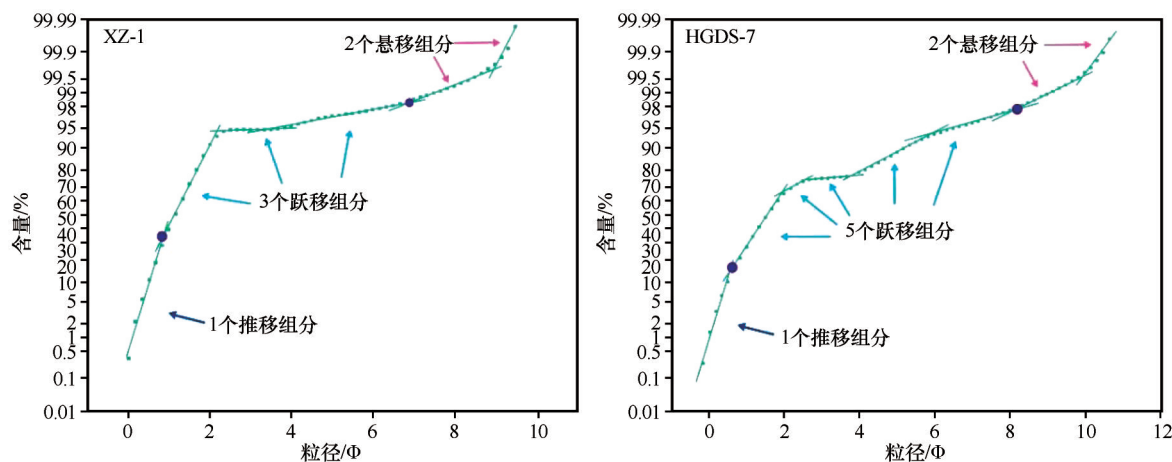


图5 XZ-1样品和HGDS-7样品粒度概率累积曲线

Fig.5 Probability cumulative curves of particle size of XZ-1 sample and HGDS-7 sample

除此之外,前人研究表明典型风成沉积物的堆积过程以跃移组分为主,推移组分仅占少量^[25,33-34]。例如 Yu 等^[34]归纳了典型风成沉积物的推移组分含量在 0~2%(表 2),昌黎海岸风成横向沙脊表层沉积物跃移组分占到了 97%^[25];海南岛东段风成砂推移组分仅为 0~4%^[33]。但是 HGDS-7 样品的推移组分达 15%,XZ-1 样品推移组分更是高达 35%,表明此次研究的砂层在沉积时,有相当部分的颗粒经历了推移搬运过程。

表 2 不同沉积物各搬运方式所占比重(% ,据 Yu 等^[34])

Table 2 Proportion of different sediment transport methods^[34]

搬运方式	风成砂	海滩	河流砂	冲积平原	浊流
悬移组分	1~3	0~10	2~35	60~100	30~100
跃移组分	97~99	50~99	65~98	0~30	0~70
推移组分	0~2	0~50	不定	0~5	0~40

3.4 萨胡判别公式计算

目前,萨胡判别公式^[35]已经广泛应用于沉积物成因判定^[17,22,36-38]。该方法也被用于鄱阳湖地区沙山研究中^[14]。该公式根据沉积物样品的平均粒径(M_z)参数、分选性(σ)参数、偏度(SK)参数、峰度(K_g)参数^[38],计算得出判别指数 Y 值。

$$M_z = \frac{(\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})}{3} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{(\Phi_{84} - \Phi_{16})}{4} + \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{6.6} \quad (2)$$

$$SK = \frac{(\Phi_{84} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50})}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{(\Phi_{95} + \Phi_5 - 2\Phi_{50})}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)} \quad (3)$$

$$K_g = \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})} \quad (4)$$

$$Y = -3.5688M_z + 3.7016\sigma^2 - 2.7066Sk + 3.1135K_g \quad (5)$$

XZ-1 样品和 HGDS-7 样品的粒度参数如表 3 所列,XZ-1 样品平均粒径(M_z)为 1.178 Φ ,主要为中砂,分选性(σ)为 0.835 Φ ,偏度(SK)为 0.290,正偏,峰度(K_g)为 1.907,极尖峰。HGDS-7 样品平均粒径(M_z)为 2.240 Φ ,主要为中砂,分选性(σ)为 1.904 Φ ,

表 3 XZ-1 和 HGDS-7 样品粒度参数

Table 3 XZ-1 and HGDS-7 grain size parameter

样品编号	M_z/Φ	σ/Φ	SK	K_g
XZ-1	1.178	0.835	0.290	1.907
HGDS-7	2.240	1.904	0.574	1.495

偏度(SK)为 0.574,极正偏,峰度(K_g)为 1.495,尖峰。Sahu^[35]认为当 $Y > -2.7411$ 时,沉积物为水成沉积物;当 $Y \leq -2.7411$ 时,沉积物为风成沉积物。XZ-1 样品的判别值 $Y=3.71$,HGDS-7 样品的判别值 $Y=8.89$ 。因此,如按萨胡判别公式,此次研究的砂层也不应该解释为风成沉积物。值得注意的是,除了本次研究,桑亚伟^[39]在研究湖口地区的柘矶沙山时也发现沙山的中上部有多期夹层的 Y 值大于 0。

4 讨论

在此前的研究中,鄱阳湖湖滨沙山普遍被认为是风成堆积的产物,特别是沙山的中上部。沙山中上部的砂层常被用于指示干旱的气候环境^[8-9,12]。然而,此次研究以鄱阳湖沙山两处具有平行层理的砂层为对象,通过粒度的分选性分析、频率分布曲线特征分析、概率累积曲线特征分析以及萨胡判别公式计算,表明尽管此次研究的砂层明显高于鄱阳湖 1949 年以来的最高水位(22.63 m,星子水文站),但是其不应该解释为风成沉积物,更不应该解释为干旱气候的指标。需要强调的是,除了粒度分析结果,本次研究的另一个重要证据就是沉积构造。根据国内外经典沉积学教材,平行层理为水成沉积环境下的产物^[34,40-41]。此外通过粒度分析还发现此次研究的两个砂层具有明显的推移组分,其中 XZ-1 样品粒径 2 000~1 000 μm 的颗粒组分占总颗粒组分的 0.32%,而粒径 1 000~500 μm 颗粒组分占总颗粒组分的占比高达 38.15%,HGDS-7 样品粒径 2 000~1 000 μm 的颗粒组分占总颗粒组分的 1.35%,而粒径 1 000~500 μm 颗粒组分占总颗粒组分的占比也高达 25.99%,这些粗颗粒组分特征表明颗粒沉积前处于搬运能力较强的水动力沉积环境,即粒度分析结果与沉积构造解译一致。

在鄱阳湖周边的沙山,除了平行层理,还有其他水成沉积构造的沉积层,如水平层理、青灰色泥质块状层理等。这些沉积层的吴淞高程也显著高于鄱阳湖 1949 年以来的最高水位 22.63 m。因此,这些沉积层位可能对鄱阳湖的古水位具有一定的水文指示意义。值得一提的是,鄱阳湖古称彭蠡泽或彭泽^[42]。唐初著名诗人王勃(公元 675 年)在《滕王阁序》中,在南昌市滕王阁上看到并写下了“落霞与孤鹜齐飞,秋水共长天一色。渔舟唱晚,响穷彭蠡之滨”的景色,表明鄱阳湖在初唐时期可能淹至南昌城外,即鄱阳湖在初唐时期的水位可能显著高

于1949年以来的水位,而水域范围也比现在鄱阳湖的水域范围明显要大。今后需要在鄱阳湖湖滨沙山的不同地点开展更为详细的研究,以进一步论证沙山与鄱阳湖古水位关系。这些研究不仅有助于进一步了解鄱阳湖环境的演化,更为重要的是可对今后江西省鄱阳湖周边的供水安全、防洪安全和生态安全提供重要的科学参考依据。

5 结论

对鄱阳湖沙山两处代表性具有平行层理的砂层开展粒度分析,综合样品的分选性、频率分布曲线、概率累积曲线和萨胡判别公式等手段,得出此次研究的两个样品均为水成堆积过程的产物,而非风成堆积。此次研究的粒度结果与沉积构造解释一致,即鄱阳湖沙山的中上部存在水成沉积的砂层,尽管这些砂层的吴淞高程要显著高于1949年以来的最高水位。

鄱阳湖湖滨的不同沙山的中上部广泛分布着具有明显水成沉积构造的沉积层位。这些沉积层可能对鄱阳湖晚第四纪时期的古水位具有一定的指示意义,而非指示干旱环境。

参考文献:

- [1] Huang C, Wei G J, Li W X, et al. A geochemical record of the link between chemical weathering and the East Asian summer monsoon during the late Holocene preserved in lacustrine sediments from Poyang Lake, central China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2018, 154: 17–25.
- [2] 杨达源, 李徐生, 张振克. 长江中下游湖泊的成因与演化[J]. *湖泊科学*, 2000(3): 226–232.
- [3] 景存义, 邱淑彰. 湖口、彭泽沿江地区第四纪地层与砂山[J]. *南京师大学报(自然科学版)*, 1980(2): 37–42.
- [4] Liu J, Wu X H, Li S Q, et al. The last glacial stratigraphic sequence, depositional environment and climatic fluctuations from the aeolian sand dune in Hongguang, Pengze, Jiangxi (China) [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1997, 16(6): 535–546.
- [5] 邹学勇. 赣江下游地区的风成沉积物[J]. *中国沙漠*, 2001, 21(4): 25–30.
- [6] 韩志勇, 李徐生, 张兆干, 等. 鄱阳湖湖滨沙山垄状地形的成因[J]. *地理学报*, 2010, 65(3): 331–338.
- [7] 杨达源. 江南的晚更新世风成砂丘[J]. *中国沙漠*, 1985, 5(4): 40–47.
- [8] 洪伟君, 蒋梅鑫, 贾玉连, 等. 鄱阳湖沙山高分辨率沙质地层及其冬季气候信息记录的初步探究[J]. *江西师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 41(3): 319–325.
- [9] 贾玉芳. 末次冰期以来鄱阳湖沙山沉积及其环境意义研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2012.
- [10] 林承坤. 第四纪古长江与沙山地形[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 1959(2): 93–106.
- [11] Hu C L, Zhang Y F, Jiang Z X, et al. Development of large-scale sand bodies in a fault-bounded lake basin: Pleistocene-Holocene Poyang Lake, Southern China [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2021(3): 1–22.
- [12] 李徐生, 韩志勇, 杨达源, 等. 末次冰期鄱阳湖西南缘地区的风尘堆积[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2006(1): 101–108.
- [13] 吴艳宏, 羊向东, 王苏民, 等. 九江-彭泽一带沙山研究存在问题探讨[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2000(2): 103–106.
- [14] 任黎秀, 和艳, 杨达源. 鄱阳湖湖滨十万年来沙山的演化[J]. *地理研究*, 2008(1): 128–134.
- [15] Han Z Y, Li X S, Yi S W, et al. Extreme monsoon aridity episodes recorded in South China during Heinrich Events [J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2015, 440: 467–474.
- [16] Zhang Z, Jia Y L, Wang Y Q. Enhanced aeolian activities in the middle Yangtze River Basin during MIS2: evidence from radiocarbon dating of sand hills and loess sediments [J]. *Radiocarbon*, 2020, 62(5): 1475–1488.
- [17] 何清, 杨兴华, 霍文, 等. 库姆塔格沙漠粒度分布特征及环境意义[J]. *中国沙漠*, 2009, 29(1): 18–22.
- [18] 吴琼, 张超美, 许彬, 等. 鄱阳湖区域关键气候要素变化特征[J]. *干旱气象*, 2020, 38(3): 371–379.
- [19] Jia Y L, Lai Z P, Zhang J R, et al. Chronology and provenance of aeolian sediments from Poyang Lake area in the middle reaches of the Yangtze River in China [J]. *Quaternary Geochronology*, 2012, 10: 44–49.
- [20] Wentworth C K. A scale of grade and class terms for clastic sediments [J]. *The Journal of Geology*, 1922, 30(5): 377–392.
- [21] 陈方, 李祖光. 海坛岛风沙表层沉积物的粒度分布特征[J]. *台湾海峡*, 1993(4): 385–392.
- [22] Zhang Z C, Dong Z B. Grain size characteristics in the Hexi Corridor Desert [J]. *Aeolian Research*, 2015, 18: 55–67.
- [23] 范天来, 范育新. 频率分布曲线和概率累积曲线在沉积物粒度数据分析中应用的对比[J]. *甘肃地质*, 2010, 19(2): 32–37.
- [24] 刘倩倩, 杨小平. 毛乌素沙地和库布齐沙漠风成沙粒度参数的空间变化及其成因[J]. *中国沙漠*, 2020, 40(5): 158–168.
- [25] 李志星, 李志忠, 靳建辉, 等. 河北昌黎海岸沙丘粒度参数特征的风沙环境意义[J]. *海南师范大学学报(自然科学版)*, 2020, 33(1): 92–102.
- [26] 周炎广, 陈惠中, 管超, 等. 呼伦贝尔沙地风蚀坑粒度特征及其环境意义[J]. *中国沙漠*, 2018, 38(4): 724–733.
- [27] 刘玮. 辽宁中部第四纪黄土成因及气候环境演变研究[D]. 石家庄: 河北地质大学, 2019.
- [28] 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, 1978.
- [29] Liao X X, Li S, Wang G Y. Grain-size features of aeolian sand on the east coast of Hainan Island and the revealed evolution-

- ary processes of the sedimentary environment[J]. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 2010, 2(6): 538–546.
- [30] 曹伯勋. 地貌学及第四纪地质学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1995.
- [31] 古拉依赛木·艾拜都拉, 张峰, 吴枫, 等. 腾格里沙漠沙丘沉积物粒度特征及其空间差异[J]. *中国沙漠*, 2022, 42(5): 133–145.
- [32] 唐丽, 董玉祥. 华南海岸现代风成沙与海滩沙的粒度特征差异[J]. *中国沙漠*, 2015, 35(1): 14–23.
- [33] 廖肖霞, 李森, 王贵勇, 等. 38 ka 以来海南岛东海岸风成沙的粒度特征及其反映的沉积环境演变过程[J]. *中国沙漠*, 2009, 29(6): 1086–1092.
- [34] Yu X H, Li S L, Li S L. *Research Methods of Sedimentary Facies and Sedimentation*[M]. Berlin, Germany: Springer International Publishing, 2018: 141–241.
- [35] Sahu B K. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1964, 34(1): 73–83.
- [36] 杨勇, 李长安, 胡思辉, 等. 武汉青山“砂山”粒度特征及其成因指示[J]. *沉积学报*, 2008(3): 487–493.
- [37] Qiao Y S, Guo Z T, Hao Q Z, et al. Grain-size features of a Miocene loess-soil sequence at Qinan: implications on its origin[J]. *Science in China(Series D: Earth Sciences)*, 2006(7): 731–738.
- [38] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1957, 27: 3–26.
- [39] 桑亚伟. 江西湖口地区柘矶沙山的时代、成因及气候环境意义[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
- [40] 曾允孚, 夏文杰. *沉积岩石学*[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [41] 朱筱敏. *沉积岩石学*[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [42] 董鸿彪. 我国最大的淡水湖: 鄱阳湖[J]. *赣江经济*, 1984(12): 62–63.

Grain size analysis of two sand layers with parallel bedding in the sand hills around Poyang Lake and its implication for the sedimentary environment

Li Qiwei, Gong Zhijun, Luo Ming, Peng Huaming, Wang Han, Wang Wei

(School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

Abstract: Poyang Lake is the largest freshwater lake in China. At present, there are several sand hills around Poyang Lake, such as sand hills from Hukou county to Pengze county as well as Songmen Island in Wucheng Town. Previous studies suggest that these sand hills were formed by aeolian process, especially for the middle-top part of the sand hills. However, by field investigation, it was found that several sand/silt layers in the middle-top part of sand hills around Poyang Lake exhibit clear water-lain sedimentary structures. It is interesting that the elevation of these sand/silt layers was significantly higher than the highest water level of Poyang Lake since 1949. In this study, two representative sand layers with parallel bedding were targeted and two bulk samples were collected for particle size analysis. One sand sample (XZ-1) is collected from a sand layer with the parallel bedding within Shaling (sand hill) in Lushan city. Currently, the Wusong elevation of sand sample (XZ-1) is ~36.5 m. The other sand sample (HGDS-7) is collected from another sand layer with parallel bedding within a sand hill at Shazhou village in Hukou county. Currently, the Wusong elevation of sand sample (HGDS-7) is ~40.3 m. The results are as following: (1) Sand sample XZ-1 is moderately sorted, while sand sample HGDS-7 is poorly sorted. (2) The frequency curve of XZ-1 exhibits one main peak and a small peak, while that of HGDS-7 exhibits bimodal characteristics. (3) The log-probability accumulative curve of XZ-1 can be fitted by six distinctive populations, while the log-probability accumulative curve of HGDS-7 can be fitted by eight distinctive populations. (4) If the Sahu discriminant function is applied, Y value of XZ-1 is calculated at 3.71, while Y value of HGDS-7 is calculated at 8.89. The above particle size results are consistent with the interpretations by sedimentary structure, i.e. the targeted sand layers within the sand hills should be interpreted as water-lain sediments, rather than aeolian sediments, even though the targeted sand layers are much higher than the highest water level of Poyang Lake since 1949. In the future, more research should be carried out at different sand hills around Poyang Lake, to further understand the formation of the sand hills. It not only helps us better understand the evolution of Poyang Lake, but also be very useful for government policy on sustainable water supply, flood control and ecological safety on Poyang Lake.

Key words: Poyang Lake; sand hill; parallel bedding; grain-size analysis; water-lain sediments