文章编号:1009-3850(2016)03-0077-06

内蒙古达来诺尔湖湖泊沉积物中敏感粒度组分 沉积环境及地层分析

于瑞雪¹,李畅游¹,李文宝¹,甄志磊¹,赵胜男¹,张 帅² (1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院,内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 中国中铁投资 集团,安徽 安庆 246000)

摘要:对达来诺尔湖北岸岸边(DL-0)、湖中心(DL-1)和湖南岸(DL-2)3个点的岩心沉积物进行了详细的岩性分析、 粒度分析和粒度参数垂向分布序列分析。对沉积环境变化较为敏感的粒度组分的分析发现 DL-0 与 DL-1 和 DL-2 井 岩心沉积物敏感粒度组分的峰值有较大差别,其粒度分布范围相差较大,表明湖北岸岸边、湖中心和湖南岸的沉积 物来源和沉积环境的时空差异。敏感粒度组分含量随深度变化的初步分析表明,湖北岸岸边(DL-0)和湖中心(DL-1)两个点的沉积环境较为稳定;而位于湖南岸(DL-2)点的沉积环境变化比较大,包含了5个明显的沉积波动旋回, 并对达来诺尔湖由北至南进行了沉积地层分析。在达来诺尔湖水下 1.5m 内主要是粒径 0~200μm 的颗粒 岩性为 粘土、粉砂和砂,以粘土和粉砂为主 随着深度的增加 黏土含量增大 粉砂和砂含量减小。

关键 词:达来诺尔湖;沉积环境;粒度分析;地层分析 中图分类号: P534.63 文献标识码: A

引言

湖泊沉积物是地球陆地环境变化的自然档案, 保存丰富的环境变化和人类活动等信息,成为研究 过去环境变化的良好载体^[1,2]。沉积物粒度作为重 建古环境的重要指标,广泛应用于古环境研究之 中^[3-5]。目前主要通过对粒度组分Weibull分布的 函数拟合法^[6]、端元模型法^[7]、粒径标准偏差 法^[8-9]和因子分析法^[10]等对沉积物的物质来源进 行分析。湖区沉积物的粒度分析早就作为一个代 理指标被用于指示与区域气候和环境变化相关联 的湖泊的水文条件。湖泊沉积物以复众数分布为 特征,在一个粒度分布里,不同的粒度组成代表不 同的沉积过程。因此,湖泊沉积物中粒度参数仅被 认为是湖区水文条件的近似的指示指标^[11]。本研 究在内蒙古中东部达来诺尔湖北岸岸边、湖中心、 湖南岸分别取得 0.95m、1.50m、1.14m 的沉积物剖 面和岩心,每隔 1cm 取样,采用粒径标准偏差法区 分粒度组成。本文选择这 3 个点的沉积物岩心样品 进行粒度分析,试图依据岩心沉积物的粒度数据, 分析粒度组成特征,对这 3 个岩心环境敏感粒度组 分进行初步分析,探讨这 3 个岩心沉积环境的变化 过程^[12]。

1 研究区概况

达来诺尔湖为内陆堰塞湖,位于内蒙古克什克 腾西 90km(图1)。面积 188.48km²,最大水深为 11m,海拔 1226m。此湖位于东西走向的浑善达克 沙地的南部。湖的西侧和南侧是小山,东侧是湖积 平原。东北两条永久性河流和西南两条间断性河 流流入湖中,但没有水流出。

达来诺尔湖地处半湿润至半干旱的转变区域,

收稿日期: 2015-09-30; 改回日期: 2015-11-04

作者简介:于瑞雪(1988 -),男,硕士研究方向为水环境保护方向。E-mail:554023733@qq.com

属于中国的中温带。该湖流域的气候受东亚季风 气候和西风(图1)影响,冬季寒冷干燥,西北气流盛 行,一直从晚秋持续到春天。夏季向北迁移暖湿空 气,潮湿的气团与西北的冷空气相互作用,产生了 大部分年降雨量。该湖流域年均温度为1~2℃,年 均降雨量为350~400mm。70%的年降雨量集中在 6~8月,年均蒸发量为1287mm。从11月到次年4 月,湖面覆盖厚约1m的冰。

2 采样与分析方法

2014 年 6 月在达来诺尔湖北岸岸边(DL-0) 布 设 1m×3m×1m 取样剖面,在剖面上拍照和观察, 每隔 1cm 进行取样。2015 年 1 月在达来诺尔湖中 部(DL-1)和南部(DL-2)用自制岩心取样器分别采 集长约 1.50m 和 1.14m 的湖泊沉积物岩心(图 1、 表 1)。沉积物岩心样品封装后运回实验室,并以 1cm 间隔取样,装入自封袋密封,低温保存。

将样品自然风干 碾碎 过 24 目筛子 取沉积样 品 0.5g 左右 将样品用德国 HELOS-RODOSM 型激 光粒度仪进行粒度测试^[13]。

粒度能够反映搬运介质能量的高低和沉积环

境的变化^[14-15]。本文根据传统岩性分类将粒度分为黏土(4 μ m)、细粉砂(4~16 μ m)、中粉砂(16~32 μ m)、粗粉砂(32~64 μ m)和砂(>64 μ m)等5 类^[16]。本文采用福克-沃德提出的参数,即平均粒径(M_z)、分选系数(σ_i)、偏态(S_{ki})、峰态(K_g)、中值粒径(M_d)^[12]。



图 1 达里诺尔湖区域位置及钻孔位置图



	表1 达来诺尔湖采样点信息
Table 1	Information of the sampling sites from the Dalai Nur Lake, Inner Mongolia

样品点	经度(E)	纬度(N)	样品点属性	
DL-0	116°38′50. 26″	43°22′56. 13″	湖北岸岸边	
DL-I	116°38′00. 0″	43°18′00.0″	湖中心	
DL-2	116°38′00. 0″	43°14′00.0″	湖南岸	

3 分析结果与讨论

3.1 沉积物粒度参数特征

3.1.1 平均粒径和中值粒径

代表粒度分布的集中趋势,即碎屑物质的粒度 一般趋向于围绕着一个平均的数值分布,这个数值 就是平均粒径或中值或众数。在实际意义上,其反 映了搬运介质的平均动能。DL-0、DL-1和DL-2(图 2)3个点的岩心沉积物平均粒径分别为4.54~ 6.220、4.30~6.290和3.71~6.800,平均值分别 为5.520、5.290和5.080。从上往下 岩心沉积物 颗粒均呈变细的趋势。DL-0点在岸边,遭受不同的 风浪影响。在0~43cm的沉积物平均粒径呈上升 趋势,沉积物颗粒由粗变细,风浪动力作用减弱。 DL-1和DL-2点的0~89cm和0~58cm的沉积物平 均粒径均较为稳定,变动幅度较小,沉积物颗粒分 布较为均匀,此段应为同一物源沉积物,水动力作 用比较稳定。DL-2 在湖南岸,在 58~61cm 的沉积 物平均粒径呈明显下降趋势,在 61~78cm 趋于平 稳 58~61cm 处沉积物颗粒骤然变粗,水动力作用 变强并在 61~78cm 处稳定。DL-0 点的43cm 以下, 沉积物的平均粒径比较稳定,变化幅度比较小,沉 积物颗粒分布也比较均匀,此段应为同一物源沉积 物,风浪动力作用稳定。DL-1 和 DL-2 的 89cm 以下 和 78cm 以下,沉积物平均粒径呈明显上升趋势,沉 积物颗粒变细,水动力作用变弱。

DL-0、DL-1 和 DL-2(图 2)3 个点的岩心沉积物 中值粒径分别为 4.48 ~ 5.73 Φ、3.77 ~ 6.38 Φ 和 3.36 ~ 7.01 Φ,平均值分别为为 5.12 Φ、4.85 Φ 和 4.87 Φ。中值粒径的垂向变化规律与平均粒径极为 相似 3 个点岩心从上部向下,沉积物颗粒均呈变细 的趋势。DL-0点的 0~43 cm 处沉积物的平均粒径 呈上升趋势,沉积物颗粒由粗变细。DL-1和DL-2 点的0~89cm和0~58cm处,沉积物平均粒径均较 为稳定,变动幅度较小。DL-0.43cm以下,沉积物中 值粒径较为稳定,变动幅度较小。DL-1和DL-2的 89cm以下和78cm以下,沉积物平均粒径呈明显上 升趋势,沉积物颗粒变细。



图 2 DL-0、DL-1 和 DL-2 3 个点岩心粒度参数垂向序列变化 Fig. 2 Vertical variations of the grain size parameters for the cores DL-0, DL-1 and DL-2

3.1.2 分选系数、偏态、峰度

DL-0、DL-1 和 DL-2 点沉积物的分选系数分别 为-2.02 ~ -0.85、-2.55 ~ -1.75 和 -2.54 ~ -1.21 平 均值分别为-1.53、-2.21 和-1.73 3 个点的分选系数 均代表分选极好的特征。分选系数的垂向变化规 律与平均粒径的变化规律相反 总体上呈减小趋势。

偏态是用来表示频率曲线对称性的参数,实质 上反映粒度分布的不对称程度。DL-0、DL-1和DL-2 沉积物偏态分别为 -0.57~-0.26、-0.57~0.00 和-0.61~0.08,平均值分别为-0.43、-0.34和 -0.27。DL-0负偏,在垂向上一直很平稳;DL-1负 偏,在垂向上变动不大,但大体上有增大趋势;DL-2 很负偏,在垂直方向呈先减小后增大的趋势。

峰度是用来衡量粒度频率曲线尖锐程度的参数。DL-0、DL-1和DL-2沉积物峰态分别为0.77~ 1.84、0.71~1.11和0.65~1.35,平均值为1.22、 0.89和1.05。DL-0显示峰态为尖锐,在垂向上的 分布显示0~34cm处平稳,34~41cm处开始下降, 41cm以下处于平稳;DL-1显示峰态为平坦,在垂向 上的分布较为平稳,总体基本不变;DL-2 显示峰态 为中等(正态),在垂向上的分布较为平稳,但总体 趋势减小。

3.2 敏感粒度组分

湖泊不同区域受各方面因素影响而形成的沉 积层和粒度特征有较大差异^[17]。在进行沉积古环 境分析之前,需要对该区域的物质来源和运移的动 力过程进行调查与分析^[18],判别沉积物中可能粒度 组分的沉积意义。由于物源和沉积动力的复杂性, 现代和地质时期的沉积物普遍表现出多成因的组 分混合。这样的粒度参数没有代表性,只能近似作 为沉积环境的代用指标^[19-21]。另外,由于粒度范围 较小^[22-24],如水流流速等组分对环境没有重要的指 示意义。因此,必须进行环境敏感粒度组分的提取。

目前,国内外对敏感粒度组分提取方面的研究 颇多。Prins 等人利用端元粒度模型计算出沉积物 所包含的端元粒度组分数^[24];Boulay 等人则通过沉 积物的粒度标准偏差法来获取敏感粒度组分的个 数和分布区间^[25]。孙有斌等曾利用两种方法对同 一组粒度进行了分析与比较,发现所获得的粒度组 分的个数相同^[8]。本文采用粒级标准偏差算法提 取沉积物中的环境敏感粒度组分并对粒度分析结 果进行深入讨论^[26-27]。

粒级标准偏差的公式为:

$$S_{x} = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N} (x_{i} - \bar{x})^{2}} \bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_{i}$$
(1)

式中: S_x 为变量 x 的标准偏差(x 为平均粒径大小); x_i 为第 i 个样品的测点值(即第 i 个样品的百分 含量); \bar{x} 为全部样品的平均粒度分布;N 为样品数。

图 3 显示本文采用粒级-标准偏差的算法获得 DL-0 剖面沉积所有样品的每一个粒级组分的标准 偏差随着粒级组分变化的曲线,图中较高的标准偏 差值所对应的粒级是对沉积环境敏感的粒度组分。

从图 3 可以看出,DL-0、DL-1 和 DL-2 沉积物都 有一个标准偏差峰值,分别出现在41.08μm、 82.16μm和34.36μm处。因此,对沉积环境敏感的 粒度组分范围分别是41~42μm、82~83μm和34~ 35μm,即41~42μm、82~83μm和34~35μm是对 DL-0、DL-1和DL-2孔处沉积环境敏感的粒级。

3.3 不同粒度组分含量随深度变化

由于 DL-I 孔的岩心在湖中心 在整个湖比较有 代表性 ,DL-I 孔的岩心在标准偏差-粒级组分曲线 (图 3)上包含 2 个陆源物质的粒度组分中,细粒组 分(<82μm)部分地来自于水层中、上部悬浮物的 沉降,而其余部分(未知比率)与粗组分(>82 μ m)则是底床物质运动的产物。位于北岸岸边的DL-0孔沉积物,包含了2个明确的粒度组分(图3)。其中的粗组分(>41 μ m)不是水层中、上部悬浮物沉降的产物。位于南岸的DL-2孔的岩心,包含了2个明确的粒度组分(图4)。其中的粗组分(>34 μ m)也不是水层中、上部悬浮物沉降的产物。对比分别位于达来湖北岸岸边、湖中心和湖南岸3个岩心的粒度结果,可以看出两地的沉积物均有两种主要粒度组成构成。DL-1和DL-2孔的两种主要粒度组分标准偏差峰值相同,但明显小于DL-0孔的结果,表明DL-0和DL-2孔的两种主要粒度组分标准偏差的分布范围相同,但明显小于DL-1孔的结果,表明DL-1孔地点与DL-0和DL-2的输运方式不尽相同。





Fig. 3 Grain size vs. standard deviation diagram for the cores $DL{\mathchar}0$, $DL{\mathchar}4$ and $DL{\mathchar}2$

图4显示了 DL-0 孔粗粒(>41µm)、细粒(< 41µm)两种组分; DL-1 孔粗粒(>82µm)、细粒(< 82µm)两种组分以及 DL-2 孔粗粒(>34µm)、细粒 (<34µm)两种组分的含量随深度的变化。DL-0 孔 0~36cm 粗组分的百分比大于细组分 36~98cm 细 组分百分比大于粗组分,是由于 DL-0 点湖岸边风等 动力运移粗颗粒到岸边停止,细颗粒继续向湖里运 移,导致粗组分比细组分多。DL-1 孔的整个岩心的 两种粒度组分含量随深度的变化幅度不大,表明该 孔记录的沉积环境条件在时间上变化较小。DL-2 孔的两个粒度组成含量随深度变化较大 5 个粗组 分含量的高值分别出现在4、31、42、65 和 82cm 处 (见图 4DL-2 箭头所示),指示该孔共记录了5 个明 显的沉积波动旋回。



图 4 DL-0、DL-1 和 DL-2 孔不同粒度组分含量随深度变化 (曲线箭头为粗组分含量高值)

Fig. 4 Variation of grain sizes as the function of depths of the cores DL-0 , DL-1 and DL-2 $\,$

3.4 地层分析

将 DL-0、DL-1 和 DL-2 个点设为一个剖面进行 分析,可以划分成一个剖面。根据中值粒径垂向变 化特征 结合各粒度组分含量随深度变化特征曲线 划分出各个不同的层面,并绘制相关的地层剖面 图。DL-0 剖面沉积物在 0~36cm 深度内,主要为粒 径 4~64 µm 的粉砂和粒径 > 64 µm 的砂,在 36 cm 以下,主要为粒径0~4µm的粘土和粒径4~64µm 的粉砂; DL-I 孔沉积物深度主要为粒径 0~4μm 的 粘土和粒径4~64µm的粉砂;DL-2孔沉积物在0~ 31cm 之间, 主要为粒径 0~4 µm 的粘土和粒径 4~ 64μm 的粉砂; 31~82cm 之间 沉积物主要为粒径4 ~64µm 的粉砂,粘土和砂的含量几乎相同;82cm 以下 主要为粒径 $4 \sim 64 \mu m$ 的粉砂和粒径 $0 \sim 4 \mu m$ 的粘土 而且随着深度增加砂的含量减小。砂均见 于各层,但含量很少。所以可以将这个剖面大体分 为2层,分别是粘土、粉砂层。根据上述特征绘制了 该剖面的地层剖面图(图5)。





Fig. 5 Engineering geological section across the Dalai Nur Lake

4 结论

在达来诺尔湖北岸岸边,湖中心和湖南岸分别 取得 DL-0、DL-1、DL-2 孔 3 个岩心 其中 3 个剖面的 沉积物均以黏土和粉砂为主。从顶部向下,沉积物 粒径呈变细趋势 沉积环境变化频繁。通过粒径-标 准偏差的算法获得了 DL-0, DL-1 和 DL-2 的沉积物 环境敏感粒度组分。通过对粗细粒组分的垂向分 $\hat{\pi}_{x}$ 平均粒径(M_{z})、分选系数(σ_{i})、偏态(S_{ki})、峰态 (K_a)、中值粒径(Md)等参数分布特征的研究,代表 着细组分越高,指示离湖岸越远,DL-0孔与DL-1和 DL-2 孔的粒度运移能量不同。湖边(DL-2)沉积物 受湖滨拍岸浪和湖心(DL-4)的影响产生明显的粒 度分异规律。通过粒径-标准偏差方法结合不同粒 度组分含量随深度变化曲线的对比研究,1960年以 来,人类活动和自然灾害显著影响了湖泊的沉积特 征 粗粒度明显增加。通过对其分析确定达来诺尔 湖水下 1.5m 内主要是粒径 0~200 µm 的颗粒 岩性 主要为粘土、粉砂和砂,其中以粘土和粉砂为主,砂 含量较少,主要是来自于水层中、上部悬浮物的沉 降。其中砂粒与粉砂交替分层,第1层为活动的粉 砂 稳定性极差 随水流运动的活动量较大;第2层 为粘土 随水流的运动相对较小,只有在水流速度 一定大的时候才会发生变化,深度越深,地层越稳 定 随水流的变化越小。3 个沉积层序粒度特征的 时空差异,无疑蕴含了与沉积动力过程的古环境演 化密切相关的信息,有待于今后结合更多的资料进 行深入的分析。

参考文献:

- [1] 沈吉.湖泊沉积研究的历史进展与展望[J].湖泊科学 2009, 21(3):307-313.
- [2] 王苏民 涨振克. 中国湖泊沉积与环境演变研究的新进展[J].科学通报 1999 44(6):579-587.
- [3] 陈敬安,万国江,张峰,等.不同时间尺度下的湖泊沉积物环境
 记录——以沉积物粒度为例[J].中国科学:D辑,2003,33
 (6):563-56.
- [4] PENG Y ,XIAO J ,NNAKAMURA T ,et al. Holocene East Asian monsoonal precipitation pattern revealed by grain-size distribution of core sediments of Daihai Lake in Inner Mongolia of north-central China [J]. Earth and Planetary Science Letters , 2005 ,233 (3): 467 – 479.
- [5] NORM A J, BIERMAN P R, STEIG E J, et al. Millennial-scale storminess variability in the northeastern United States during the Holocene epoch [J]. Nature, 2002, 419 (6909):821 – 824.
- [6] SUN D ,BLOEMENDA J , Rea D ,et al. Grain-size distribution

functions of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components [J]. Sedimentary Geology ,2002 ,152 (3 - 4): 263 – 277.

- [7] WELTJE G J. End-member modeling of compositional data: numerical-statistical algorithms for solving the explicit mixing problem [J]. Mathematical Geology ,1997 29 (4) :503 – 549.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 蒋庆丰,刘兴起,沈吉,等,乌伦古湖沉积物粒度特征及其古 气候环境意义[J]. 沉积学报 2006 24(6):877-882.
- [12] 丁喜桂,叶思源,宫少军,赵广明.黄河三角洲ZK1 孔岩心环 境敏感粒度组分及沉积环境分析[J].世界地质,2010,29
 (4):575-581.
- [13] 路新成,曹景洋,HELOS/BF型激光粒度仪湿法测试条件的 优化[J].岩矿测试 2013 32(4):590-594.
- [14] 蒋庆丰,刘兴起,沈吉.乌伦古湖沉积物粒度特征及其古气候 环境意义[J].沉积学报 2007 24(6):877-882.
- [15] 孙千里,周杰,肖举乐.岱海沉积物粒度特征及其古环境意义[J].海洋地质与第四纪地质 2001 21(1):93-95.
- [16] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:科学出版社 2003.74-75.
- [17] 高抒.海洋细颗粒沉积物能量与循环过程[J].世界科技研究 与发展 2000,22(5):545-552.
- [18] 孙有斌.海洋与陆地的古气候记录对比[D].青岛:中国科学 院海洋研究所 2002.
- [19] 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.
- [20] 杨磊.内蒙古布日敦湖湖泊沉积物粒度的风沙活动指示意义 [J].沉积与特提斯地质 2014 34(4):80-85.
- [21] 李军. 冲绳海槽晚更新世以来的沉积过程与记录[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所 2003.
- [22] MCCAVE I N , MAGNIGHETTI B , ROBINSON S G , et al. Sortable silt and fine sediments size-composition slicing: parameters for palaeocurrent speed and palaeoceanography [J]. Palaeoceanographys ,1995 ,10:593 - 610.
- [23] MOERZ T ,WOLF-WELLING T C W. Data report: fine-fraction grain-size distribution data and their statistical treatment and relation to processes [C]//Barker P E ,Ramsay A T S. Proc ODP , Sci Results , 2001 ,178:1 – 27.
- [24] PRINS M A , POSTMA G , WELTIJE G. Controls on terrigenous sediment supply to the Arabian Sea during the Late Quaternary: the Makran continental slope [J]. Marine Geology , 2000 ,169: 351 – 371.
- [25] BOULAY S ,COLIN C ,TRENTESAUX A ,et al. Mineralogy and sedimentology of Pleistocene sediment in the South China Sea (ODP Site 1144) [J]. Proceedings of Ocean Program ,Scientific Results 2004 ,184:1 - 21.

- [26] LIU Z, COLIN C, FRENTESAUX A, et al. Late Quaternary climatic control on erosion and weathering in the eastern Tibetan Plateau and the Mekong Basin [J]. Quaternary Research 2005, 63(3):316-328.
- [27] GUAN Q ,PAN B ,LI N ,et al. An indicator of sand storms in the south of the Tengger Desert [J]. Theoretical and Applied Climatology 2010 ,102(1):197-203.

Sedimentary environmental and stratigraphic analysis of the sensitive grain size components from the Dalai Nur Lake deposits , Inner Mongolia

YU Rui-xue¹, LI Chang-you¹, LI Wen-bao¹, ZHEN Zhi-lei¹, ZHAO Sheng-nan¹, ZHANG Shuai² (1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, Inner Mongolia, China; 2. China Railway Investment Group, Anging 246000, Anhui, China)

Abstract: The detailed analysis of lithology, grain size and vertical distribution of the grain-size parameters are made for the samples collected from the sites DL-0 at the northern bank, DL-1 at the central part and DL-2 at the southern bank of the Dalai Nur Lake, Inner Mongolia. The peak values of sensitive grain size components are found to be quite different, indicating the spatio-temporal differences of provenances and sedimentary environments in the above-mentioned well sites. The sites DL-0 and DL-1 indicate stable sedimentary environments while the site DL-2 indicates variable sedimentary environments in which five depositional cycles are recognized. The clay, silt and sand ranging in grain size from 0 to 200 μ m occur mostly at the depth of 1.5 m below the lake level of the Dalai Nur Lake. With the increase of the depths, the clay contents increase while the silt and sand contents decrease. **Key words**: Dalai Nur Lake; sedimentary environment; grain size analysis; stratigraphic analysis