

文章编号: 1000-0550(2006)06-0877-06

# 乌伦古湖沉积物粒度特征及其古气候环境意义<sup>①</sup>

蒋庆丰<sup>1,2,3</sup> 刘兴起<sup>1</sup> 沈吉<sup>1</sup>

(1 中国科学院南京地理与湖泊研究所 南京 210008 2 中国科学院研究生院 北京 100039  
3. 南通大学地理科学学院 江苏南通 226007)

**摘要** 利用乌伦古湖沉积钻孔的粒度资料,分析了粒度频率曲线、粒度参数和粒度组成等粒度特征,并探讨了乌伦古湖粒度代表的古气候意义。结果表明乌伦古湖沉积物频率曲线主要是正态单峰型,反映流水作用为主要沉积作用。岩芯下部(225~197 cm)沉积物分选较差,偏度和尖度较大,为浅水沉积环境;中部(197~103 cm)分选由差变好,物源由复杂变单一,为浅水沉积向深水沉积过渡环境;上部(103~0 cm)分选较好,物源单一,中值粒径减小,反映了湖水位的下降。沉积物粒度特征反映了乌伦古湖地区全新世降水、流水和风力作用以及湖面水位高低的变化。乌伦古湖一万年来的古气候环境演化大致经历了 10 250~7 720 cal aBP 的干旱、7 720~2 800 cal aBP 的湿润和 2 800 cal aBP 以来的偏干三个阶段。

**关键词** 粒度特征 古气候环境 乌伦古湖

**第一作者简介** 蒋庆丰 男 1976 年出生 博士研究生 自然地理学

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

位于西风带和亚洲季风环流交汇地带的中国西北干旱区湖泊,对于气候变化的响应十分敏感,成为国内外许多科学家的研究对象<sup>[1~3]</sup>。沉积物的粒度组成特征是恢复过去古气候、古环境状况的一个重要代用指标<sup>[4~13]</sup>。已有的湖泊沉积研究表明,沉积物粒径大小代表着湖泊输入水量的相对大小,在一定程度上可以反映湖区降水的变化,因而具有干湿变化的指示意义<sup>[4,10]</sup>。但由于影响因素众多,湖泊沉积物的粒度组成所反映的古气候意义可能要复杂的多。本文选择乌伦古湖沉积物粒度组成作为研究对象,对其反映的古气候环境意义进行探讨。

乌伦古湖(46°59'~47°25'N, 87°00'~87°35'E)位于新疆北部阿勒泰地区福海县(图 1),准噶尔—北天山褶皱系福海山间拗陷内。湖区面积 753 0 km<sup>2</sup>,最大水深 12.25 m,平均水深 8.0 m。气候上属温带大陆性干旱气候,年均气温 3.4℃。年均降水量 116.5 mm,最大年降水量 215.0 mm,最小年降水量 42.3 mm,蒸发量 1844.4 mm。盛行西北风,最大风速 18.0~22.0 m/s,12 月至翌年 3 月为封冻期,最大冰厚 0.7 m。湖水主要依赖地表径流补给,入湖河流为乌伦古河,长 821.0 km,流域面积 32 000 km<sup>2</sup>。全新世时期,与吉力湖原为统一湖体,湖面辽阔,后因乌伦

古河入湖河口三角洲发育,湖泊退缩,河道被沙丘阻塞,遂演变为独立的湖泊<sup>[14]</sup>。

## 1 样品采集与分析方法

2004 年 7 月,利用奥地利产的 UW IIEC 水上平台和活塞取芯设备,在乌伦古湖中部水深 12.0 m 处采得—长 225 cm 的完整岩芯(图 1)。整个岩芯均为湖相沉积,196 cm 以上为浅灰色粉砂,196~202 cm 为灰黑色粘土质粉砂,202 cm 以下为灰绿色粘土质粉砂。岩芯带回实验室按 1 cm 间隔进行样品分割共得到用于粒度分析的样品 225 个。

取少量样品(约 1.5g)放入 100 ml 烧杯内,加入 20 ml 蒸馏水和 10 ml 10% 双氧水(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)以除去有机质,待充分反应至过量的双氧水完全分解后,再加入 10 ml 10% 的 HCl 以除去碳酸盐,反应完全后加入蒸馏水至 100 ml 静置 12h 抽去上清液,洗去过量的 HCl 加入 20 ml 蒸馏水和 10 ml 0.05 mol/l 的六偏磷酸钠,超声振荡 15 分钟后,上仪器进行测量。测量仪器为英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer 2000 激光粒度仪,测量范围 0.02~2000 μm,重复测量误差小于 1%。

① 国家重点基础研究发展规划项目(2004CB720200)和中国科学院南京地理与湖泊研究所所长科研专项基金项目共同资助。  
收稿日期: 2006-03-16 收修改稿日期: 2006-04-13

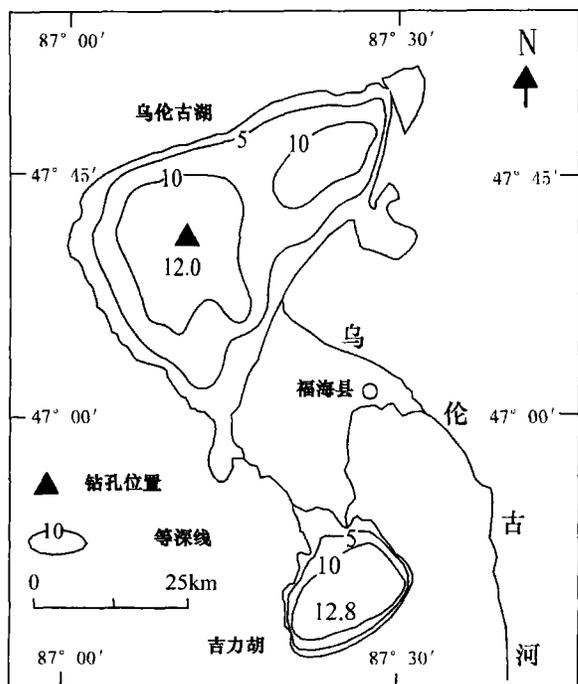


图 1 乌伦古湖等深图及采样点位置

Fig 1 Water depth and core location in Wulungu Lake

沉积岩芯的年代测定由日本名古屋大学加速器质谱实验室完成。7 个样品的测年材料为沉积物中的有机质，<sup>14</sup>C 的年代校正采用 NTCAL98<sup>[15]</sup>，年代分析结果及其年龄校正值列于表 1。其中 143 cm 深度处的年代与其余 6 个年代差异显著，故舍去。剩余 6 个样品年龄值与深度线性关系较好(图 2)，推算岩芯底部 225 cm 处年代大致为 10 250cal aBP。各采样层位年代按 6 个年龄进行内插和外推得到。

表 1 乌伦古湖沉积岩芯 AMS<sup>14</sup>C 年代

Table 1 AMS radiocarbon ages of core sediments

in Wulungu Lake					
实验室编号	深度 /m	测定年代 / <sup>14</sup> C aBP	δ <sup>13</sup> C (‰)	校正年龄 /cal aBP	平均值 /cal aBP
BNUTA 2-9319	27	1026±28	-25.6	928~958	945
NUTA 2-9328	53	1371±29	-25.5	1282~1306	1295
NUTA 2-9327	97	2466±29	-22.7	2465~2700	2560
NUTA 2-9321	115	3040±30	-26.9	3215~3325	3265
NUTA 2-9329	143	3161±30	-26.3	3361~3409	3389
NUTA 2-9322	179	5310±31	-25.2	6004~6179	6086
NUTA 2-9326	203	7432±33	-25.4	8200~8314	8262

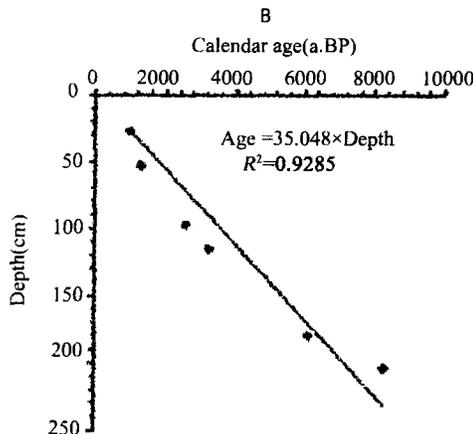
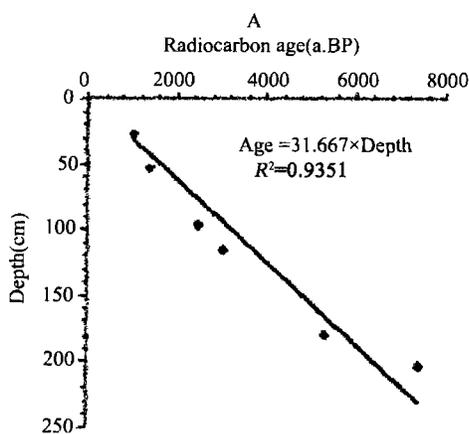


图 2 岩芯年代与深度对应图

Fig 2 Radiocarbon and calendar ages against core depth

## 2 结果与讨论

### 2.1 粒度特征

#### 2.1.1 频率曲线特征

乌伦古湖沉积物的粒度频率曲线特征如下(图 3):岩芯 125 cm 和 165~167 cm 的频率曲线基本表现为 b 曲线; 130~134 cm 的频率曲线基本表现为 c 曲线; 157~159 cm; 187~188 cm; 197~207 cm; 217

~221 cm 的频率曲线基本表现为 d 曲线; 其它层位的沉积物频率曲线基本上以 a 曲线为主。曲线 a 为单峰正态分布, 粒度组成相对集中, 粉沙粒级占绝对优势, 含量超过 70%, 粘土含量稍多于砂含量。b 为双峰形态, 两峰基本持平, 粒度组成仍以粉沙为主, 粘土和砂粒级含量基本相当; c、d 均为主次峰形, 但 c 的主峰位于粉沙粒级粗段, 接近于砂粒级端, 而 d 的主峰位于粉沙粒级细端, 粘土粒级含量高。

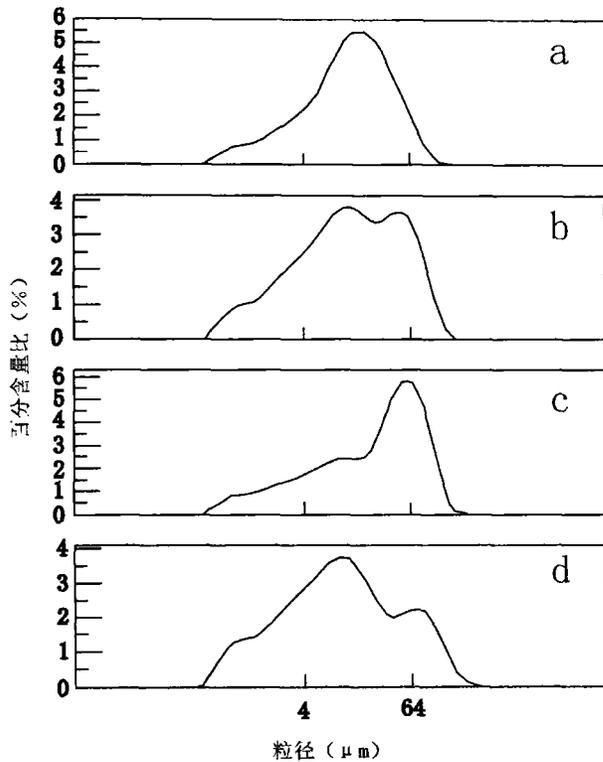


图 3 乌伦古湖沉积物粒度频率曲线特征

Fig. 3 Frequency curve of sedimentary grain size in Wulungu Lake

沉积物的频率曲线特征是判断沉积作用形式的重要手段之一, 频率曲线的峰型变化常反映沉积作用形式的变化, 从图 3 可以看出: 单峰正态分布形态表明主要受一种作用影响, 粒度组成高度集中于峰形中间的粉沙粒级, 峰形两端的粘土和砂的含量较低, 和流水沉积作用曲线变化一致, 因此可以认为曲线 a 反映的是单一流水作用沉积。曲线 b、c、d 均有两个明显的峰, 说明有其它作用参与了流水搬运沉积过程, 在中纬度干旱区主要为风力搬运作用。其中曲线 b 两峰持平说明流水与风力作用相当; 曲线 c 表明流水作用强于风力作用; 曲线 d 表明流水作用弱于风力作用。乌伦古湖沉积物的频率曲线在沉积物各层段的分布表明, 流水作用是沉积物沉积的主要动力, 从另一方面也表明了沉积物的物质来源主要是流水搬运进入湖泊的。

### 2.1.2 粒度参数特征

根据 M<sub>c</sub>Manus 的矩法公式<sup>[16]</sup>, 利用 Excel 表格<sup>[17]</sup> 计算了乌伦古湖沉积岩芯的粒度参数 (图 4)。粒度的标准差变化在 17.2~36.2 之间, 说明了沉积

物粒度分布范围广。粒度的偏态为  $-0.9 \sim 0.4$  变化范围较大, 从负偏到正偏<sup>[18]</sup> 均有分布, 总体集中在较粗粒径部分。粒度的尖度 (峰态) 变化在  $0.6 \sim 1.3$  之间, 属非常窄到中等范围<sup>[18]</sup>。

沉积物的粒度参数是反映沉积物来源和沉积环境的重要指标。湖泊沉积的分选性变化较大, 除了受其沉积环境的自然地理条件和水动力条件影响外, 还与物源有关。不同物源提供的沉积物粒度不一样, 即使是同一物源沉积物粒度也不一定连续, 这就会导致分选变差。标准差可以说是分选系数的倒数, 标准差越大, 表示分选越好, 反之分选越差。乌伦古湖沉积物 197 cm 以下层位的标准差平均为 19.4 小于 197 cm 以上层位的 27.3 表明受两种物源影响的沉积物分选性较差。偏度也与物源有关。当为分选较好的单一物源时, 频率曲线呈对称单峰形, 偏度值接近于零, 变化不大并且连续; 当有粗于或细于原有物源的新物源加入时, 分选变差, 曲线变为不对称, 为正偏或负偏; 当新物源与原有物源相当时, 频率曲线呈马鞍形双峰, 趋于对称, 偏度接近于零。乌伦古湖岩芯 157 cm 以下沉积物的频率曲线间隔呈双峰分布, 并且比 157 cm 以上层位偏度更接近于零, 说明下部分选较差, 物源来源复杂。尖度 (峰态) 值的大小与沉积环境有关。尖度值小时, 说明沉积物未经改造就进入新环境, 而新环境对它的改造又不明显。乌伦古湖沉积物 172~185 cm 以及 197 cm 以下的尖度值大于上部, 说明浅水沉积环境的动力作用大于深水沉积环境, 对沉积物的改造作用更强。

### 2.2 粒度组成与古气候环境

位于湖泊中心的沉积物粒度变化与进入湖泊的物源粗细以及湖水环境对颗粒的再改造再分布作用两个因素有关。对于大型深水湖泊, 湖心沉积物所受的风浪和湖流等引起的湖水环境的改造和再分布作用小, 对粒度变化的影响不及入湖径流变化引起的物源输入作用大, 因此可以认为位于湖心的沉积物粒度值的变化主要取决于输入物源的粗细变化, 大致反映了水流搬运能力的强弱<sup>[19]</sup>。当气候湿润时, 降水较多, 径流较大, 河流携带搬运能力较强, 进入湖泊的颗粒较粗; 相反, 气候干旱时, 降水较少, 径流较小, 河流携带搬运能力较弱, 进入湖泊的颗粒较细。粒度的粗细在一定程度上可以反映湖区降水的变化, 因而具有干湿变化的指示意义<sup>[4,9,10]</sup>。

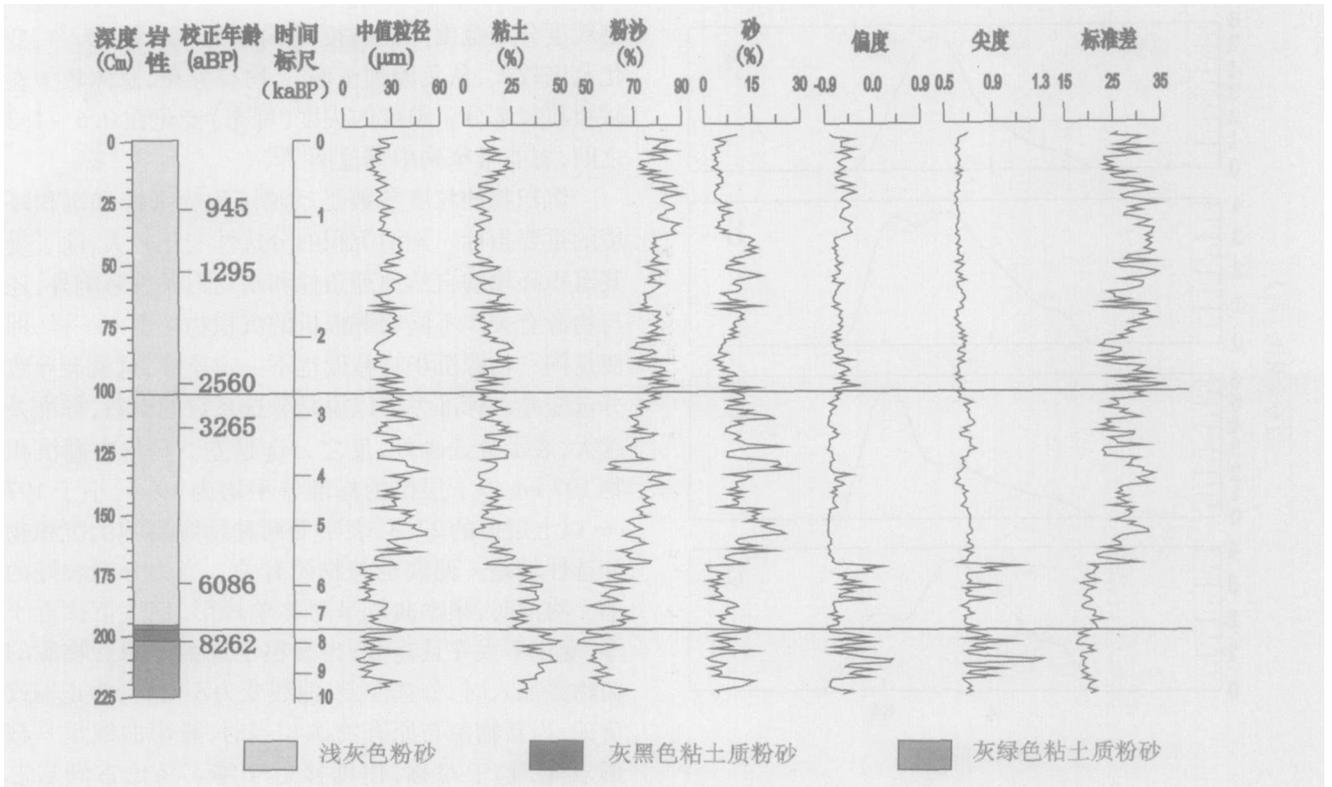


图 4 乌伦古湖沉积物粒度分布

Fig 4 Distribution of sedimentary grain size in Wulungu Lake

乌伦古湖整个沉积岩芯剖面粒度组成以粘土和粉砂为主, 其中又以粉砂含量为主(图 4), 整个剖面的粉砂含量平均达到了 72.3%, 粘土含量达到了 18.7%, 砂含量相对较少, 平均为 9.0%。尽管整个剖面中砂含量相对较少, 但其波动明显, 粒度分布曲线上呈现 2 处明显的高值, 分别在 169~145 cm 和 132~99 cm。在这些层段中砂含量变化明显, 沉积物明显变粗。此外, 剖面中粘土含量的变化趋势也很明显, 172 cm 以下层段明显高于 172 cm 以上层段, 其含量增加到 25%~45%, 有的甚至高达 50%, 沉积物明显变细, 由粉砂粒级变为粘土质粉砂粒级。

乌伦古湖沉积物粒度组成分布表明, 全新世以来大致经历了三个主要的气候演化阶段: 225~197 cm (10250~7720 cal aBP) 阶段, 中值粒径较细, 平均为 18.7 μm, 粗组分(砂)比重小, 平均不足 7.0%, 细组分(粘土)含量高, 平均达 37.8%, 反映湖区降水较少, 气候干旱, 湖泊水位较低, 为浅湖相沉积。孢粉组合<sup>[20]</sup>以滨岸湿生植物(如黑三棱(*Sparganium*)、芦苇等)为主, 也表明此时采样点离岸边较近, 水深较浅; 197~103 cm (7720~2800 cal aBP) 阶段, 中值粒径较粗, 平均为 28.9 μm, 粗粒含量高, 平均达 10.9%,

细颗粒明显减少, 平均只有 19.6%, 表明湖区降水丰富, 气候湿润, 湖泊水位较高, 为深湖相沉积环境。孢粉组合转为以蒿藜为主, 且蒿藜比值在 0.5~1 之间, 接近于 1, 为荒漠草原至草原气候, 说明降水较多, 气候较上一阶段湿润<sup>[20]</sup>; 103~0 cm (2800 cal aBP 以来) 阶段, 中值粒径平均 26.5 μm, 粗颗粒含量平均为 7.8%, 细颗粒含量平均为 12.8%, 比第二阶段均有所下降, 反映降水减少, 气候变干, 湖泊水位下降。孢粉组合仍以蒿藜为主, 但蒿藜比逐渐减小, 甚至减小到 0.5 以下, 为荒漠气候, 表明气候逐渐偏干<sup>[20]</sup>。

### 3 结论

通过对乌伦古湖沉积物频率曲线、粒度参数和粒度组成的分析, 可以得出以下初步结论:

(1) 乌伦古湖沉积物的频率曲线主要以正态单峰型为主, 说明流水作用是乌伦古湖沉积物的主要物质来源和沉积作用力, 岩芯下部间或出现的双峰和主次峰型, 说明沉积早期风力作用共同参与了物质搬运和沉积。岩芯下部(225~197 cm)沉积物分选较差, 偏度和尖度较大, 为浅水沉积环境; 中部(197~103 cm)分选由差变好, 物质来源由复杂变单一, 反映了

浅水沉积向深水沉积过渡的环境; 上部 (103 ~ 0 cm) 分选较好, 物质来源单一, 中值粒径减小, 反映了湖水水位的下降。

(2) 粒度组成反映的乌伦古湖全新世气候环境演化主要有三个阶段: 10 250 ~ 7 720 cal aBP 湖区气候干旱, 降水较少, 河流携带搬运进入湖泊的颗粒较细, 湖水水位较低, 为浅水湖相沉积, 受风沙活动和湖水动力的改造作用影响较大; 7 720 ~ 2 800 cal aBP 气候湿润, 降水较多, 湖水水位较高, 沉积颗粒较粗, 为深水湖相沉积, 其中 7 720 ~ 5 780 cal aBP 为浅水至深水的过渡阶段, 颗粒由细变粗; 2 800 cal aBP 以来, 气候重又趋向干旱, 降水减少, 湖水水位降低, 粒度变细。

### 参考文献 (References)

- Rhodes T E, Gasse F, Lin Ruifen *et al*. Late Pleistocene-Holocene lacustrine record from Lake Manas, Junggar (northern Xinjiang, western China). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 1996, 120: 105 ~ 121
- 吴敬禄, 沈吉, 王苏民, 等. 新疆艾比湖地区湖泊沉积记录的早全新世气候环境特征. *中国科学 (D 辑)*, 2003, 33(6): 569 ~ 575 [Wu Jinglu, Shen Ji, Wang Sumin *et al*. Early Holocene climate and environment characters of lacustrine records in Aibi area, Xinjiang. *Science in China (Series D)*, 2003, 33(6): 569 ~ 575]
- Herzschuh U, Tarasov B, Wünnemann B *et al*. Holocene vegetation and climate of the Alashan Plateau, NW China, reconstructed from pollen data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 2004, 211: 1 ~ 17
- Celina C. Late Holocene lake sedimentology and climate change in southern Alberta, Canada. *Quaternary Research* 1998, 49: 96 ~ 101
- 陈敬安, 万国江, 黄荣贵. 云南程海沉积物粒度研究. *环境科学进展*, 1999, 7(4): 76 ~ 82 [Chen Jing'an, Wan Guojiang, Huang Ronggui. Study of sediment particle sizes in Lake Chenhai, Yunnan Province. *Advances in Environment Science* 1999, 7(4): 76 ~ 82]
- 孙千里, 周杰, 肖举乐. 岱海沉积物粒度特征及其古气候环境意义. *海洋地质与第四纪地质*, 2001, 21(1): 93 ~ 95 [Sun Qianli, Zhou Jie, Xiao Jule. Grain size characters of Lake Dahai sediment and its palaeoenvironment significance. *Marine Geology & Quaternary Geology* 2001, 21(1): 93 ~ 95]
- 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. *干旱区地理*, 2003, 26(1): 1 ~ 5 [Zhao Qiang, Wang Na'ang, Chen Hongyi *et al*. Grain size characters of Qingtu Lake sediments and its palaeoenvironment explanation. *Arid Land Geography* 2003, 26(1): 1 ~ 5]
- 刘兴起, 王苏民, 沈吉. 青海湖 QH-2000 钻孔沉积物粒度组成的古气候古环境意义. *湖泊科学*, 2003, 15(2): 112 ~ 117 [Liu Xingqi, Wang Suming, Shen Ji. The grain size of the Core QH-2000 in Qinghai Lake and its implication for palaeoclimate and palaeoenvironment. *Journal of Lake Sciences* 2003, 15(2): 112 ~ 117]
- Peng Y J, Xiao J L, Nakanura T *et al*. Holocene East Asian monsoonal precipitation pattern revealed by grain size distribution of core sediments of Dalai Lake in Inner Mongolia of north central China. *Earth and Planetary Science Letters* 2005, 233: 467 ~ 479.
- 陈敬安, 万国江, 唐德贵, 等. 洱海近代气候变化的沉积物粒度与同位素记录. *自然科学进展*, 2000, 10(3): 253 ~ 259 [Chen Jing'an, Wan Guojiang, Tang Degui *et al*. Grain size and isotope records of modern climatic change in Erhai Lake. *Progress in Nature Science* 2000, 10(3): 253 ~ 259]
- 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. *沉积学报*, 2000, 18(3): 341 ~ 345 [Chen Jing'an, Wan Guojiang, Xu Jingyi. Sediment particle sizes and the dry-humid transformation of the regional climate in Erhai Lake. *Acta Sedimentologica Sinica* 2000, 18(3): 341 ~ 345]
- 孙东怀, 鹿化煜, David Red 等. 中国黄土粒度双峰分布及古气候意义. *沉积学报*, 2000, 18(3): 327 ~ 335 [Sun Donghui, Lu Hua-yu, David Red *et al*. Bimodal grain size distribution of Loess and its paleoclimate implication. *Acta Sedimentologica Sinica* 2000, 18(3): 327 ~ 335]
- 胡刚, 王乃昂, 罗建育, 等. 花湖湖泊古风成砂的粒度特征及其环境意义. *沉积学报*, 2001, 19(4): 642 ~ 647 [Hu Gang, Wang Na'ang, Luo Jianyu *et al*. The grain size characteristics of aeolian sand and its environmental significance. *Acta Sedimentologica Sinica* 2001, 19(4): 642 ~ 647]
- 王苏民, 窦鸿身主编. *中国湖泊志*. 北京: 科学出版社, 1998. 346 ~ 347 [Wang Sumin, Dou Hongsheng. *China Lake Records*. Beijing: Science Press, 1998. 346 ~ 347]
- Stuiver M, Reimer P J, Bard E *et al*. INTCAL98 radiocarbon age calibration 24 000 ~ 0 cal BP. *Radiocarbon* 1998, 40: 1041 ~ 1083
- McMannis J. Grain size determination and interpretation. In: Tucker M, ed. *Techniques in Sedimentology*. Oxford: Blackwell, 1988. 63 ~ 85
- 黄思静. 用 EXCEL 计算沉积物粒度分布参数. *成都理工学院学报*, 1999, 26(2): 196 ~ 198 [Huang Sijing. Calculation of grain size distribution parameters of sediments by Microsoft Excel. *Journal of Chengdu University of Technology* 1999, 26(2): 196 ~ 198]
- 贾建军, 高抒, 薛允传. 图解法与矩法沉积物粒度参数的对比. *海洋与湖沼*, 2000, 33(6): 577 ~ 582 [Jia Jianjun, Gao Shu, Xue Yongchuan. Grain size characters derived from graphic and moment methods: a comparative study. *Oceanologia et Limnologia Sinica* 2000, 33(6): 577 ~ 582]
- 孙永传, 李惠生. *碎屑岩沉积相和沉积环境*. 北京: 地质出版社, 1986. 65 ~ 81 [Sun Yongchuan, Li Hui-sheng. *Clastic rock sedimentary facies and sediment environment*. Beijing: Geological Publishing House, 1986. 65 ~ 81]
- 肖霞云, 蒋庆丰, 刘兴起, 等. 乌伦古湖全新世以来高分辨率的孢粉记录与环境变迁. *微体古生物学报*, 2006, 23(1): 77 ~ 86 [Xiao Xiaoyun, Jiang Qingfeng, Liu Xingqi *et al*. High resolution spore pollen record and environmental change since Holocene in Wulungu Lake. *Acta Micropaleontologica Sinica* 2006, 23(1): 77 ~ 86]

# Grain size Characteristics of Wulungu Lake Sediments and Its Paleoclimate and Paleoenvironment Implication

JANG Qing feng<sup>1, 2, 3</sup> LIU Xing qi<sup>1</sup> SHEN Ji<sup>1</sup>

(1 Nanjing Institute of Geography and Limnology Chinese Academy of Sciences Nanjing 210008

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences Beijing 100039

3 Geographical Science School Nantong University Nantong Jiangsu 226007)

**Abstract** Located in the westerly and arid area Wulungu Lake is sensitive to climatic and environmental change. The grain size characteristics of its sediments indicate that the variations of precipitation, hydrodynamics and wind action and the lake level changes. The grain size characteristics of Wulungu Lake sediment are analyzed in this paper including grain size distribution, grain size frequency curves and grain size parameters. Based on the analysis of the characteristics of the grain size frequency curves and grain size parameters of the lake sediments, two action and two depositions such as fluvial and windy action, low lake deposition and high lake deposition are discussed. The results indicate that the fluviation was the main action and source of sediment in Wulungu Lake. And the Wulungu Lake had experienced three main environmental evolution stages since Holocene. It was dry in 10250~7720 cal aBP, wet in 7720~2800 cal aBP, and dry again after 2800 cal aBP, respectively.

**Key words** grain size characteristics, paleoclimate and paleoenvironment, Wulungu Lake