

不同前处理对湖泊沉积物粒度测量结果的影响^{*}

王君波^{1,2}, 朱立平^{1,3}

(1:中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)
(2:中国科学院研究生院, 北京 100039)
(3:中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085)

摘要:选择两个不同湖泊的沉积物为研究对象, 通过对比不同前处理后的测量结果, 比较了各种前处理方法的优劣, 并提出两种较好的前处理方法. 结果显示不同湖泊沉积物和同一湖泊的不同样品对各种前处理方法的响应并不相同, 从整体上来看, 经过去离子水浸泡后并用超声波分散的方法效果最好, 目前最常用的传统的前处理方法结果也较好. 测量结果还显示, 经过 $(\text{NaPO}_3)_6$ 处理后再用超声波分散容易使频率分布曲线出现细粒次峰, 产生双峰分布的型式, 原因也许与 $(\text{NaPO}_3)_6$ 的分散作用使颗粒絮凝作用减小, 增强超声波对颗粒的直接撞击作用, 使颗粒被击碎从而产生双峰分布有关.

关键词:湖泊沉积物; 粒度测量; 前处理方法; 超声波分散

Influence of Different Pre-treatments on Grain-size Measurement of Lake Sediments

WANG Junbo^{1,2} & ZHU Liping^{1,3}

(1: *Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, P. R. China*)
(2: *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, P. R. China*)
(3: *Institute of Tibetan Plateau Research, CAS, Beijing 100085, P. R. China*)

Abstract: As an important environmental index, grain-size character of lake sediments has been widely used in the lake sediment and environmental change studies, accurate measurement is an indispensable requisition for its application. In the depositing process of the lake sediments, chemical and physical change can be taken place and some organic matter, some carbonate may form, organic matter and carbonate can make the sediments cement, and the cementation is not helpful for the grain-size measurement, so pre-treatments is very necessary to get accurate grain-size data. There are some differences in the pre-treatments of lake sediments measurement in different laboratories. Here we present our experimental data of lake sediment grain-size measurement from two different lakes. Based on different pre-treatments, the results of the measurements were analyzed and compared, and two preferable pre-treatment methods were presented. The results indicate that the sediments from different lakes have different responds to different pre-treatment, it can be seen from the whole samples that the pre-treatment that dipping in the distilled water and dispersed by ultrasonic (method F-10 in the text) obtained the best dispersing effect, and the traditional pre-treatment (method E-3 in the text), which is also the most common use one, also got rather good results. Whereas pre-treated by $(\text{NaPO}_3)_6$ could make the sediment particles easily to be shattered by ultrasonic and then another very thin particle peak appeared, possibly $(\text{NaPO}_3)_6$, as a kind of dispersant, decreasing the flocculation effect between the particles and then the direct striking effect to the particles of the ultrasonic strengthened, under the strong striking, particles can be broken up. We believe that the bimodal distribution curves do not reflect the real condition of the samples, and this kind of abnormal distribution can bring false environmental information, more attention need to pay to this phenomena when measuring the grain-size of the lake sediments.

Keywords: Lake sediments; grain-size measurement; pre-treatment; ultrasonic dispersion

在过去全球变化研究中, 利用封闭湖泊沉积物来恢复湖区气候与环境演变已被认为是重要的手段之一^[1], 这是因为在湖泊演化过程中, 其沉积物保存了大量的气候环境变化信息, 成为过去环境变化的信息

^{*} 中国科学院知识创新工程项目 (KZCX3-SW-339) 和国家自然科学基金重点项目 (40331006) 联合资助. 2004-05-28 收稿; 2004-10-28 收修改稿. 王君波, 男, 1977 年生, 博士研究生; E-mail: wangjb@igsnr.ac.cn.

库^[2]. 在湖泊沉积与环境演变研究中, 沉积物的多种理化性质都可以作为反映环境变化的代用指标^[3], 而粒度作为沉积物一个重要的物理参数, 由于可以直接反映沉积环境水动力条件而受到研究者的广泛重视, 成为湖泊沉积与环境演变研究中较为常用的一个指标^[1, 4-15].

由于在沉积过程中沉积物中保存了大量的有机质、碳酸盐等, 而且在沉积后的压实成岩过程中不断发生各种物理化学变化, 造成沉积物的胶结, 从而不利于粒度的测量, 因而在粒度测量中, 前处理过程是必要的. 对黄土古土壤^[16]、风成红粘土^[17]、浅海沉积物^[18]、长江三角洲地区泥质潮滩沉积物^[19]以及矿渣粉体和玻璃粉体^[20]的粒度测量的试验研究, 都揭示了前处理工作及分散条件的选择对粒度测量的重要性. 并有研究者针对不同的测量对象提出了较好的前处理方法^[16, 17], 然而湖泊沉积物无论从其沉积环境还是沉积后的变化都与以上沉积物有较大的不同, 因此在其他研究中得到的较好的前处理方法在湖泊沉积物的粒度测量中却不一定是最好的. 目前不同的研究者在进行湖泊沉积物粒度测量时使用的前处理方法不尽相同, 而各种前处理方法对粒度测量的影响还未见报道. 本文选取两个湖泊的沉积物为研究对象, 分别进行不同的前处理, 对其测量结果进行分析, 并从中得到较好的前处理方法.

1 试验材料与方法

本试验所用样品分别来自内蒙古岱海和藏南普莫雍错的湖心沉积. 其中来自岱海的样品取自一个完整的重力岩芯剖面, 取样点水深 8 m, 岩芯全长 50 cm, 采于 2002 年 8 月, 以 5 cm 间隔现场分样, 共获样品 10 个 (DH1 - DH10). 来自普莫雍错的样品取自一个 2.7 m 长岩芯的底部 10 cm 段, 采于 2001 年 4 月, 采样点水深为 46 m, 每 2 cm 采集一个样品, 获取 5 个样品 (PM1 - PM5).

将这 15 个样品低温烘干后, 在研钵中轻磨至粉末状, 根据实验室原有的前处理方法并参考前人研究成果^[16-18], 本试验采用以下不同的前处理方法: (B) 取样品约 0.12 g, 加入 10% (体积分数) H_2O_2 约 8 ml, 在电热板上加热使其充分反应, 然后加入去离子水静置 24 h 以上, 抽去上层清水后测量; (C) 取样品约 0.12 g, 加入 12% (体积分数) HCl 约 8 ml, 同上; (D) 取样品约 0.12 g, 先加入 H_2O_2 反应完成后再加入 HCl 反应, 然后加水静置; (E) 取样品约 0.12 g, 先用 H_2O_2 处理后, 再用 HCl 处理, 静置 24 h 后, 抽去上层清水, 再加入 10 ml 浓度为 0.05 mol/L 的 $(\text{NaPO}_3)_6$, 加热煮沸, 冷却后测量; (F) 取样品约 0.12 g, 加入去离子水浸泡 24 h 后测量, 测量时进行不同时间的超声波振荡分散, 即没有化学方法的前处理; (G) 取样品约 0.12 g, 加入 10 ml 0.05 mol/L 的 $(\text{NaPO}_3)_6$, 加热煮沸约 30 min, 冷却后测量. 以上处理方法中, 加入 H_2O_2 是为了去除样品中混杂的有机颗粒, 加入 HCl 是为了去除碳酸盐胶结, 加入 $(\text{NaPO}_3)_6$ 是作为分散剂增强沉积物颗粒的分散效果.

测量所用仪器为英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer2000 型激光粒度仪, 其测量范围为 0.02 - 2000 μm , 进样器为 Hydro 2000 MU 型, 带有超声波分散功能, 可以方便地对样品进行不同时间的超声波分散, 并且可以在测量完某一样品后继续增加超声波时间, 这样可以用同一样品进行多次测量. 试验结果编号格式为: 样品名 - 处理方法编号 - 超声波分散时间 (分钟数), 如 DH1-E-0 代表用上述方法 E 进行前处理且没有超声波分散, 而 DH1-E-3 则代表在上述基础上增加了 3 min 的超声波分散, 依此类推.

2 结果及讨论

在以上处理方法中由于进行了不同时间的超声波分散, 使每个样品都获得了至少 16 个测量结果, 并对部分样品进行了重复测量以检验结果的重复性, 结果显示测量的重复性较好 (表 1). 在表 1 中, DH1-F-10 重复测量了 3 次, PM5-F-14 重复测量了 5 次, 其他皆为两次重复测量结果, 可以看出, 重复测量结果的误差很小, 一般都小于 3%. 在所有测量结果中, 粒度频率分布曲线出现了两种分布型式, 即单峰分布和双峰分布, 图 1 和图 2 分别是这两种分布的典型曲线, 以下分别对其进行讨论.

2.1 单峰分布及其结果对比

要对同一样品在不同前处理下的测量结果进行比较, 必须合理地选择粒度参数, 常用的粒度参数有平均粒径、中值粒径以及频率曲线上不同百分含量的粒径值等. 粒度参数的选择强烈地受频率分布曲线形状的影响, 单峰分布、双峰分布以及多峰分布情况下各参数都有较大的差别.

在单峰分布的测量结果中可以发现(图1),其频率曲线都是偏度不同的准正弦曲线,粒径分布范围主要为1-1000 μm,此时中值粒径d(0.5)可以较好地代表样品的整体分布情况,因此选取中值粒径作为参数来比较不同前处理对测量结果的影响。

根据不同方法进行样品前处理的目的是有代表性地选取了8种方法测定的结果,分别计算了其中值粒径(表2),并就每种方法测定结果的整体变化趋势进行对比(图3),可以发现:方法E-3、方法G-0和方法F-10所得到的曲线趋势非常一致,E-0和F-0有较程度上的一致,C和D有一定程度上的相似,只有方法B与其他方法差异较大。尽管从表2中可以看出方法E-3、G-0和F-10得到的同一样品的中值粒径仍有较大的差别,但是将同一前处理方法下所有样品测定结果作为一个序列从总体上来看,这种趋势上的高度相似性至少可以说明这3种方法对所有样品的分散效果较为稳定,且这3种前处理方法完全不同,却得到了极为相似的结果,因此可以认为它们得到的结果较为接近样品的真实分布状况,而3种方法下同一样品的中值粒径的差别则恰恰反映了它们对样品分散效果的不同。其他方法得到

的结果误差较大,且不可相互比较验证,反映了各个不同处理方法下的差异。这种差异除了样品代表性(如加样时的均匀性)的原因外,更主要的是不同处理方法对样品的分散效果不同所致。

表2 不同方法得到的所有样品的中值粒径(μm)

Tab. 2 The Md (μm) of all the samples under different pre-treatments								
样品	方法 B	方法 C	方法 D	方法 E-0	方法 F-0	方法 F-10	方法 G-0	方法 E-3
DH1	12.241	38.037	12.655	14.817	57.880	7.278	9.829	8.037
DH2	11.363	33.943	11.686	13.370	53.600	7.135	9.344	7.696
DH3	11.745	21.790	12.009	12.594	61.053	6.902	9.214	7.405
DH4	12.506	28.307	12.341	12.361	61.643	7.201	9.065	7.670
DH5	14.488	28.721	13.317	11.659	86.236	7.128	8.639	7.511
DH6	12.736	33.914	13.162	14.043	68.378	6.791	8.540	7.230
DH7	9.986	26.241	13.811	10.070	32.228	6.556	8.402	7.416
DH8	12.966	21.233	15.602	12.513	57.067	8.520	12.619	12.132
DH9	12.791	26.622	15.561	13.523	38.259	10.223	12.192	10.652
DH10	15.721	17.999	14.342	12.048	21.747	9.944	11.732	10.422
PM1	8.220	87.251	15.387	11.262	62.426	8.403	9.226	7.642
PM2	7.929	92.825	16.436	9.755	68.545	8.508	9.952	8.097
PM3	7.995	79.693	15.011	9.185	76.474	8.941	10.574	8.278
PM4	7.867	65.595	12.082	9.594	58.057	8.507	10.717	8.163
PM5	9.142	73.768	15.662	10.390	61.804	7.395	9.339	7.134

表1 部分样品重复测量结果比较

Tab. 1 Comparison of repeated measurement results of some samples

样品及前处理方法	测量次数	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)
DH1-F-10	第1次	2.796	7.278	22.250
	第2次	2.781	7.314	22.990
	第3次	2.741	7.200	21.904
DH2-F-10	第1次	2.763	7.135	22.454
	第2次	2.744	7.127	22.672
DH6-F-10	第1次	2.717	6.791	21.214
	第2次	2.685	6.704	21.225
PM1-F-10	第1次	3.033	8.403	29.454
	第2次	2.993	8.257	30.185
PM2-F-10	第1次	3.051	8.508	33.117
	第2次	3.011	8.364	33.863
PM3-F-10	第1次	3.206	8.941	33.819
	第2次	3.150	8.733	34.025
PM4-F-10	第1次	3.087	8.507	33.486
	第2次	3.058	8.431	34.843
PM5-F-14	第1次	0.129	4.597	22.428
	第2次	0.129	4.616	22.894
	第3次	0.128	4.600	22.590
	第4次	0.128	4.586	22.713
	第5次	0.129	4.607	22.329

对同一样品不同前处理方法下所得到的结果进行比较,以样品的中值粒径作为比较的参数,在所有的单峰

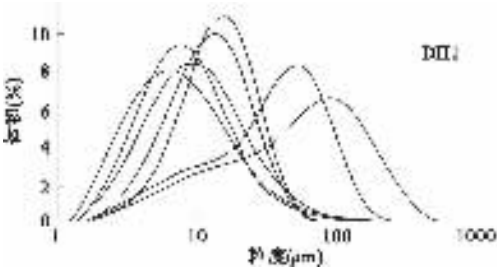


图1 典型样品的单峰频率曲线
(以 DH1 为例;图中曲线按其顶点位置从左到右依次为:
F-10, E-3, G-0, D, E-0, C, F-0)

Fig.1 Unimodal frequency curves of a typical sample
(taking DH1 as example;The curves of DH1 are
F-10, E-3, G-0, D, E-0, C, F-0 respectively
according to the vertexes from left to right)

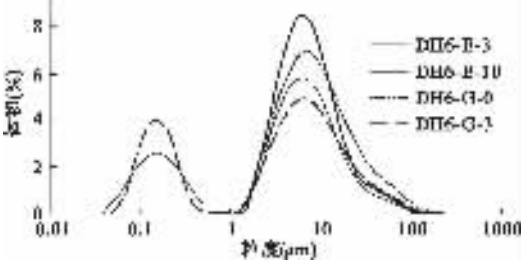


图2 典型样品的双峰频率曲线(以 DH6 为例)
Fig.2 Bimodal frequency curves of a typical sample
(taking DH6 as example)

表3 不同处理方法得到的中值粒径最小的前三种方法
Tab.3 The three pre-treatments which got the least Md
among all the pre-treatments

样品	第一最小值		第二最小值		第三最小值	
	方法	值(μm)	方法	值(μm)	方法	值(μm)
DH1	F-10	7.278	F-5	7.337	F-3	7.633
DH2	F-10	7.135	F-5	7.153	F-3	7.449
DH3	F-10	6.902	F-5	7.047	E-3	7.405
DH4	F-10	7.201	F-5	7.619	E-3	7.670
DH5	F-10	7.128	E-3	7.511	F-5	7.857
DH6	F-10	6.791	F-5	7.120	E-3	7.230
DH7	F-10	6.556	F-5	6.743	F-3	6.987
DH8	F-10	8.520	F-5	9.029	F-3	9.674
DH9	F-10	10.223	F-5	10.335	F-3	10.501
DH10	F-3	9.617	F-5	9.759	F-1	9.791
PM1	E-3	7.642	B	8.220	E-1	8.371
PM2	B	7.929	E-3	8.097	E-1	8.130
PM3	B	7.995	E-1	8.002	E-3	8.278
PM4	B	7.867	E-1	8.080	E-3	8.163
PM5	E-3	7.134	F-10	7.395	F-5	7.764

分布曲线中以中值粒径最小作为分散效果最好的方法. 从图1、表2可以看出,不同的前处理方法所得到的结果差异很大,显示出各种前处理方法对样品分散效果的差异. 表3列出了中值粒径最小的三种前处理方法. 从所有样品来看,方法 F-10 所得到的中值粒径有最小的平均值和标准偏差(表4),方法 E-3 的平均值次之,方法 G-0 再次之,说明这3种方法能够使样品得到最大程度的分散以及获得最为稳定的分散效果.

以没有经过任何前处理的序列(方法 F-0)作为基础,以各种方法所得到的中值粒径的平均值作为比较的参数(表4),可以看出除了方法 C 分散效果较差外,其他几种方法都有较好的分散效果,都能使中值粒径平均值减小到原来的 1/4 - 1/7 左右,说明在加入化学药品反应后或者在经过超声波振荡分散后,样品的原始胶结状态都在不同程度上得到了分散,从而使样品总体粒径变小,使样品粒度频率分布曲线向细粒方向移动(图1).

从表3中可以看出,对于岱海沉积物(DH1 - DH10)的最小中值粒径,除了部分产生于 E-3 方法处理外,都是方法 F 系列占据了前三位,说明这些沉积物即使在没有化学处理的情况下,凭借超声波振荡分散依然可以达到很好的分散效果. 这与鹿化煜等^[16]对黄土沉积物粒度的研究得到的结论一致,反映了岱海沉积物与黄土沉积物在某些性状上的相似性. 而在普莫雍错样品(PM1 - PM5)中,方法 B 和 E-3(都是经 H₂O₂ 处理过)比方法 F 有更好的分散效果,也许说明其颗粒的有机质胶结程度较高,只靠超声波的振荡分散作用还不足以使样品颗粒达到较好的分散效果. 这组数据说明不同湖泊的沉积物由于其有机质含量、碳酸盐含量以及颗粒胶结程度的不同,对于前处理的要求是有差异的,因此在选择前处理方法时,沉积物其他理化性状可以作为参考. 在本试验中,低温烘干磨碎后的沉积物在外观上有较大差别,岱海沉积物为淡黄色粉末状,而普莫雍错沉积物为灰黑色粉末状,这可能与沉积物物质来源以及沉积环境的差别有关.

从图3、表2中还可以看出,普莫雍错的5个样品在经过 HCl 处理后(方法 C)中值粒径没有变小,反而都有不同程度的增大,其原因可能是由于在试验过程中除去碳酸盐胶结后剩余较多的 HCl,使待测样品呈较强的酸性从而增加了颗粒凝聚的机会. 由于样品量和加入 HCl 的试剂量都有较好的控制,这一结果从一个侧面反映了普莫雍错沉积物比岱海沉积物碳酸盐含

量更少. 方法 D 比方法 B 粒径偏大同样说明了这个问题, 因此如果在前处理中使用 HCl 去除碳酸盐, 反应后的洗酸过程相当重要, 应使待测样品溶液基本上呈中性.

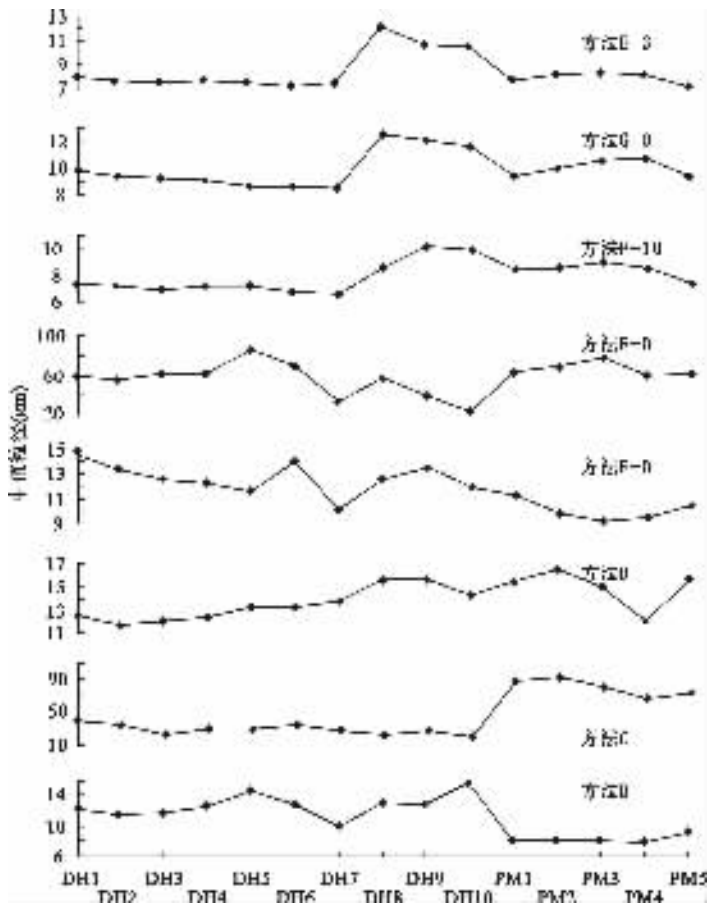


图3 不同方法所得到的所有样品的中值粒径比较(μm)
Fig.3 The comparison of Md (μm) of all samples under different pre-treatments

2.2 双峰分布及其原因探讨

可以看出,与相应的单峰曲线相比,双峰曲线的主峰位置并没有改变,只是其主峰位置的粒径百分含量明显降低,而在0.2 μm 位置处出现一个次峰,致使整体中值粒径明显减小(图2). 说明样品中含量最多的粒径组分(一般为6-8 μm)中的一部分颗粒转化为更小的颗粒,形成了一个众数在0.2 μm 左右,整体分布小于1 μm 的次总体,改变了样品总体的分布特征. 对比两条双峰分布曲线可以看到主峰位置含量高的曲线(DH6-E-10)其次峰位置含量相对较低,而主峰位置含量低的曲线(DH6-G-3)其次峰位置含量相对较高,这也说明了次峰位置细颗粒的出现是由主峰位置较粗颗粒转化而来的. 在湖泊沉积物粒度研究中,双峰分布的频率曲线比较常见,一般认为是两种不同的动力机制对沉积作用的影响造成的. 如孙千里等^[4]认为岱海沉积物粒度分布的双峰态是风力作用与流水作用的共同影响形成的;金章东等^[13]认为岱海沉积物的粗粒小峰反映了外源风生物质的输入. 然而对于本试验中出现的双峰分布,我们认为其细粒次峰的出现并不是颗粒的原始状态,而是“次生”的,究其原因可能是某种处理方法破坏了颗粒的原始状态造成了次峰的出现. 因为在所有样品的传统的前处理方法(E-3)下都没有次峰的出现,而方法 E-3 综合考虑了沉积物的有机质、碳酸盐并对其进行了化学处理,并且加入了分散剂以及超声波作为防止细小颗粒絮凝的手段,在这样的处理条件下,沉积物颗粒几乎不再可能仍处于胶结或者絮凝状态,这充分说明次峰处的细颗粒并不是样品

中的“原生”颗粒;对比孙千里等^[4]和金章东等^[13]对岱海沉积物粒度的研究,可以发现其频率分布曲线与本研究中的单峰分布曲线(图 1)无论在颗粒分布范围还是不同粒径的百分含量上都较为相似. 在所有前处理方法中,超声波分散最容易对较粗颗粒造成破坏从而导致细粒峰值的出现. 对样品 PM5 在没有任何前处理的情况下将超声波增加到 14 min 以上则出现双峰分布(数值可参见表 1),可以认为是超声波会造成双峰分布的另一个例证. 鹿化煜等^[17]在对风成红粘土粒度测量的研究中也对较多细颗粒的出现做出了同样的解释. 即当超声波强度和持续时间达到一定的程度时,可以击碎某些颗粒,导致更多细颗粒的出现,从而使样品总体粒度分布曲线呈现双峰分布模式.

双峰分布曲线的出现与样品及前处理方法强烈相关,分析所有样品在各种前处理方法下的分布曲线,可以发现在 10 个 DH 样品中有 5 个出现了双峰分布,而 5 个 PM 样品中都无一例外地出现了双峰分布,且所有出现双峰分布的前处理方法都比较集中(表 5),即在 G-3 和 E-10 方法下出现最多,只有样品 DH6 和 PM5 在方法 G-1 下也出现了双峰分布,G-1 方法下的双峰分布曲线与 G-3 形状类似,且在某些粒径范围内有较大幅度的重合,故在图 2 中没有显示. 研究双峰分布出现的样品及其方法可以发现前处理方法有一定的共性,即都是在加入(NaPO₃)₆处理后再用超声波振荡分散. 在对风成红粘土粒度测量的研究中也发现经过(NaPO₃)₆处理后颗粒易于被超声波击碎^[17]. 究其原因可能是(NaPO₃)₆作为分散剂大大降低了颗粒的凝聚性,使样品颗粒更直接地受到超声波的撞击作用,在较大的超声波强度下颗粒被击碎,在溶液中占有最大比例的颗粒被击碎的机会最多,其次是较大颗粒较容易受到撞击而被击碎,因此推测双峰的出现主要是原单峰分布的众数位置处的颗粒以及较大颗粒被击碎而产生的,这在图 2 中得到了较好的体现,图 2 中的双峰曲线相对于单峰曲线来看,不仅其主峰位置百分含量明显降低,而且大颗粒含量也都比相应的单峰曲线减小. 但是本次试验样品还比较少,对于这一解释还需要更多试验结果的佐证.

表 4 不同方法所得到的中值粒径的平均值和标准偏差

Tab. 4 The average and standard deviation of the Md under different pre-treatments

统计参数	方法 B	方法 C	方法 D	方法 E-0	方法 E-3	方法 F-0	方法 F-10	方法 G-0
平均值	11.180	45.063	13.938	11.812	8.366	57.693	7.962	9.960
标准偏差	2.522	26.575	1.592	1.737	1.481	16.478	1.144	1.337

表 5 出现双峰分布的样品及其方法

Tab. 5 The samples and pre-treatments under which the bimodal curves appear

样品	DH2	DH4	DH5	DH6	DH7	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
方法	G-3	G-3	G-3	G-1	G-3	E-10	E-10	G-3	G-3	G-1
			E-10	G-3				E-10	E-10	G-3
				E-10						E-10

3 结语

一个样品其粒度分布总有一个绝对的真实值,但是由于其粒子数过于庞大,因此任何仪器和方法都不能得到一个样品总体的真实分布,所得到的值只是基于统计基础的接近其真实值的结果,所以每次测量都存在不同程度的误差. 但是用同一台仪器测量的结果,可以忽略其系统误差的影响,因此不同前处理条件下试验结果的差异则可以反映前处理条件对样品分散效果的不同. 从本试验来看,在所有的测量结果中出现了单峰分布和双峰分布两种型式,其中双峰分布出现的频率小于 10%,且都是在前处理条件达到一定强度的时候出现的,从统计学的原理出发,可以认为单峰分布更接近于样品的真实分布,而双峰分布是一种异常结果,与前处理方法有关.

通过比较在不同前处理方法下所得到的结果可以发现,每一种单一的前处理方法及其组合都对湖泊沉积物的粒度测量结果产生较大的影响. 本次试验结果显示,方法 F-10 和方法 E-3 得到了较好的结果,方法 F-10 处理简单方便,而方法 E-3 是传统的前处理方法,也是目前被普遍采用的,通过对比试验结果,可以发现这两种方法所得到的结果其绝对值相差很小,因此在湖泊沉积物粒度测量试验中,可以根据具体试验条

件选择这两种方法.而对本试验中所用的其他方法,由于其分散效果较差,有些方法甚至会出现异常分布,使得到的粒度数据所反映的环境信息是错误的,因此不宜采用.

通过分析试验结果可以发现,在所有单一的前处理方法中,超声波的分散效果是最好的,但是其时间和强度需要很好地控制,这在每次测量之前可以通过一组不同的超声波时间和强度的组合数据获得.而使用了(NaPO_3)₆处理后颗粒容易被超声波击碎从而得到不正确的频率分布曲线,这在粒度测量试验中应该引起足够的重视.

致谢 王苏民研究员及其他三位审稿人对本文提出宝贵修改意见,在此一并表示诚挚感谢.

4 参考文献

- [1] 王苏民,李建仁.湖泊沉积—研究历史气候的有效手段——以青海湖、岱海为例.科学通报,1991,36(1):54–56.
- [2] Kelts K. 湖沼沉积——过去变化的信息库.第四纪研究,1992,(2):138–143.
- [3] 王苏民,张振克.中国湖泊沉积与环境演变研究的新进展.科学通报,1999,44(6):579–587.
- [4] 孙千里,周杰,肖举乐.岱海沉积物粒度特征及其古环境意义.海洋地质与第四纪地质,2001,21(1):93–95.
- [5] 李志民,吕金福,冷雪天等.大布苏湖全新世沉积岩芯的粒度特征与湖面波动.东北师大学报(自然科学版),2000,32(2):117–122.
- [6] 施祺,王建民,陈发虎.石羊河古终端湖泊沉积物粒度特征与沉积环境初探.兰州大学学报(自然科学版),1999,35(1):194–198.
- [7] 李志忠,海鹰,罗若愚等.乌鲁木齐河下游地区湖泊沉积物的粒度特征与沉积环境.干旱区研究,2000,17(3):1–5.
- [8] 陈敬安,万国江.云南洱海沉积物粒度组成及其环境意义辨识.矿物学报,1999,19(2):175–182.
- [9] 郭雪莲,王琪,史基安等.青海湖沉积物有机碳含量与同位素和粒度特征及其古气候意义.海洋地质与第四纪地质,2002,22(3):99–103.
- [10] 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.
- [11] 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.中国科学(D辑),2003,33(6):563–568.
- [12] 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.
- [13] 金章东,王苏民,沈吉等.岱海地区近400年来的“尘暴”事件——来自岱海沉积物粒度的证据.湖泊科学,2000,12(3):193–198.
- [14] 王君波,朱立平.藏南沉错沉积物的粒度特征及其古环境意义.地理科学进展,2002,21(5):459–467.
- [15] 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.
- [16] 鹿化煜,安芷生.前处理方法对黄土沉积物粒度测量影响的实验研究.科学通报,1997,42(23):2535–2538.
- [17] 鹿化煜,苗晓东,孙有斌.前处理步骤与方法对风成红粘土粒度测量的影响.海洋地质与第四纪地质,2002,22(3):129–135.
- [18] 孙有斌,高抒,鹿化煜.前处理方法对北黄海沉积物粒度的影响.海洋与湖沼,2001,32(6):665–671.
- [19] 王德杰,范代读,李从先.不同预处理对沉积物粒度分析结果的影响.同济大学学报,2003,31(3):314–318.
- [20] 杨玉颖,张学文,赵红等.粒度分析样品分散条件的研究.建筑材料学报,2002,5(2):198–201.