

文章编号: 1000-0550(2008) 03-0494-07

超声波振荡对细颗粒黄土样品粒度 测量影响的实验分析¹

张红艳^{1,2,4} 鹿化煜² 赵军^{1,2,4} 赵存法^{1,2,4} 张平³

(1 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室 西安 710075

2 南京大学地理与海洋科学学院 南京 210093

3. 兰州大学资源环境学院 兰州 730000 4 中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 在使用常规的前处理方法对细粒黄土(粘黄土)样品进行粒度测量时,发现结果不稳定。为了调查原因,分别选取黄土高原东南缘河南卢氏、秦岭地区陕西洛南和陕西洛川三个地点的黄土、古土壤样品,进行对比实验,分析前处理方法对细颗粒黄土样品粒度测量结果的影响。结果发现,在进行细粒黄土的粒度测量过程中,激光粒度仪上的超声波振荡分散时间对测量结果影响很大,一般应控制在 2 min 以上。作者用河南卢氏乔家窑黄土—古土壤剖面的连续粒度测量结果对改进后的前处理方法进行可行性验证,结果表明,采用改进后的前处理方法所得的结果,与野外地层划分及磁化率值的变化有较好的相关性,表明改进后的前处理方法更适用于细颗粒黄土样品的粒度测量。

关键词 粘黄土 超声波振荡分散 前处理 粒度测量

第一作者简介 张红艳 女 1982 年出生 硕士 环境演变与沉积学 E-mail huayuk@nju.edu.cn

中图分类号 P512 **文献标识码** A

0 引言

沉积物粒度变化受搬运动力和沉积环境等控制^[1],粒度分析是重建古气候、古环境的重要方法之一,其已经在深海沉积^[2-3]、湖泊沉积^[4-6]、泥炭沉积^[7]、尤其是黄土^[8-15]和红粘土沉积^[16-18]等的研究中得到广泛的应用。

由于前处理方法是粒度测量中误差的主要来源之一,国内外研究者从对样品的去碳酸盐、去有机质和分散等过程进行过多次讨论^[19-24]。适用于黄土的粒度测量前处理方法^[20]在湖泊^[23]、海洋^[21]、红粘土^[22]及南方红色风化壳^[24-26]等样品中都得到不同程度的应用。但是,我们最新的实验工作表明,通用的前处理方法可能对细颗粒的黄土样品的粒度测量带来较大的误差。对陕西洛南、河南卢氏等受成壤作用改造较强烈的粘黄土样品采用传统前处理方法进行粒度测量时,发现数据很不稳定,有时重复测量的粒度参数可以发生数倍的变化。因此,如何针对较细的沉积物样品采取合适的前处理方法,使其测量结果既能保证实验的可靠性和可重复性,又能准确反映沉积环境信息,是粒度测量中面临的新问题。

本文从前处理方法(尤其是超声波振荡)对细颗粒黄土粒度测量结果影响较大的问题入手,进行对比实验研究,进而对黄土高原东南缘河南卢氏地区的一个黄土粒度序列进行测量和方法验证。

1 样品及实验步骤

关于粒度测量前处理过程中去碳酸盐、去有机质和加分散剂等步骤对样品测试结果的影响已经有较多的讨论。但是,超声波清洗仪振荡分散对粒度测试结果的影响程度以及应该选取多长的振荡时间还不清楚。有的研究者认为振荡 1 min 就可以达到分散的效果^[24],有些则提出 7 min 可以达到最佳效果^[27-29],还有一些学者主张更长时间^[25-26]。

我们分别选取黄土高原中部洛川(LG:黄土高原标准黄土)、黄土高原东南缘河南卢氏乔家窑、庄子村(QJY, ZZC:黄土高原粘黄土)、秦岭地区陕西洛南上白川(SBC:风化成壤改造较强的粘黄土^[30])三个地点黄土古土壤样品各一个。样品编号分别为:LG-L, LG-S, QJY-L, QJY-S, ZZC-L, ZZC-S, SBC-L, SBC-S 共 8 个样品。全部样品前处理及测量过程均在中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪重点实验室完

¹ 国家科技基础性工作专项(2006FY110800)和澳大利亚研究理事会基金项目(ARC 编号: DP0665250)联合资助。

收稿日期: 2007-08-22 收修修改稿日期: 2007-10-27

成。采用英国 Malvern 公司的 Mastersizer S 型激光粒度仪进行了粒度测量, 测量范围为 0.05~880 μm, 分辨率为 0.15φ, 相对误差 < 3%。实验步骤如下:

根据样品颗粒粗细取 0.25~0.4 g 放入烧杯, 加 10 mL 浓度为 10% 的 H₂O₂ 静置一小时, 之后加热煮沸, 使其充分反应。冷却后加入 10 mL 浓度为 10% 的 HCl 并加热煮沸, 使其充分反应。给烧杯注满去离子水并静置 24 h, 抽去上清液, 加入 10 mL 浓度为 0.05 mol/L 的 (NaPO₃)₆ 分散剂。

每个样品以相同的方法制样 7 份, 并对 7 份子样分别在非激光粒度仪的超声波清洗机 (KQ-600 型超声波清洗器, 工作电源 220 V, 50 Hz, 工作频率 40 kHz, 超声波电功率 600 W) 上预振荡 0 min, 1 min, 2 min, 3 min, 5 min, 7 min 和 10 min 分别记为 LC-L⁰, LC-L¹, LC-L², LC-L³, LC-L⁵, LC-L⁷, LC-L¹⁰, …… SBC-S⁰, SBC-S¹, SBC-S², SBC-S³, SBC-S⁵, SBC-S⁷, SBC-S¹⁰, 共得到样品 56 份。

对前处理后的样品进行测试, 使用激光粒度仪较高的搅拌速度 (第 7 档, 共 0~10 档) 不断搅拌。首先在激光粒度仪超声波未开启的状态下进行 3 次重复测量, 保留 1 次较稳定的粒度数据。之后, 开启激光粒度仪的超声波到 7 档 (共 0~10 档) 并进行计时, 记录 1 min, 2 min, 3 min, 4 min, 5 min 时的粒度测量数据, 6 次记录的记录号分别标为 LC-L₀⁰, LC-L₁⁰, LC-L₂⁰, LC-L₃⁰, LC-L₄⁰, LC-L₅⁰, LC-L₀¹, …… SBC-S₀¹⁰, SBC-S₁¹⁰, SBC-S₂¹⁰, SBC-S₃¹⁰, SBC-S₄¹⁰, SBC-S₅¹⁰, 得到数据记录 336 个。

2 结果

所得到的平均粒径数据见表 1 和图 1。结果表明: 1) 同一样品经不同时间非激光粒度仪的超声波清洗机预振荡制成的 7 份子样, 在进入测试仪器的样品槽并开启仪器的超声波振荡 0 min, 1 min, 2 min, 3 min,

表 1 平均粒径对比表 (μm) (横排是超声波清洗机预振荡分散时间, 竖列是激光粒度仪自身超声波的振荡分散时间)

Table 1 Comparison of the mean granularity of samples with different ultrasonic pretreatments

SBC-L	SBC-L ¹⁰	SBC-L ⁷	SBC-L ⁵	SBC-L ³	SBC-L ²	SBC-L ¹	SBC-L ⁰	SBC-S	SBC-S ¹⁰	SBC-S ⁷	SBC-S ⁵	SBC-S ³	SBC-S ²	SBC-S ¹	SBC-S ⁰
SBC-L ₀	22.81	25.75	18.37	14.85	23.58	25.57	16.33	SBC-S ₀	30.43	29.89	36.97	37.25	29.84	33.98	27.90
SBC-L ₁	10.61	11.49	11.04	11.02	12.11	10.73	10.91	SBC-S ₁	14.39	15.04	16.33	13.183	14.80	14.54	13.49
SBC-L ₂	10.19	11.27	10.72	11.14	11.43	10.29	10.15	SBC-S ₂	13.82	14.61	13.80	12.988	14.09	14.00	12.72
SBC-L ₃	10.29	11.25	10.53	11.00	11.13	10.27	9.89	SBC-S ₃	13.66	14.41	13.70	12.645	14.19	13.58	12.63
SBC-L ₄	10.01	11.18	10.32	11.35	11.01	12.43	9.67	SBC-S ₄	13.37	14.33	13.53	12.508	13.49	13.63	12.46
SBC-L ₅	10.07	10.97	10.52	11.06	10.85	10.39	9.60	SBC-S ₅	13.61	14.32	13.59	12.408	13.56	13.24	12.47
ZZC-L	ZZC-L ¹⁰	ZZC-L ⁷	ZZC-L ⁵	ZZC-L ³	ZZC-L ²	ZZC-L ¹	ZZC-L ⁰	ZZC-S	ZZC-S ¹⁰	ZZC-S ⁷	ZZC-S ⁵	ZZC-S ³	ZZC-S ²	ZZC-S ¹	ZZC-S ⁰
ZZC-L ₀	15.09	16.03	15.45	16.51	15.71	15.79	16.43	ZZC-S ₀	24.76	15.32	22.50	21.209	25.07	24.35	19.13
ZZC-L ₁	14.58	14.98	14.71	14.80	14.39	14.26	14.24	ZZC-S ₁	15.94	13.13	13.91	13.422	13.51	14.44	12.49
ZZC-L ₂	14.27	15.05	14.81	14.28	14.41	14.51	14.37	ZZC-S ₂	14.47	12.40	13.09	12.548	12.31	13.43	11.55
ZZC-L ₃	14.15	14.98	14.80	14.19	14.33	14.14	13.77	ZZC-S ₃	13.85	12.40	12.71	12.071	11.87	12.82	11.18
ZZC-L ₄	13.94	15.04	14.77	13.95	14.04	14.17	13.65	ZZC-S ₄	13.54	12.33	12.43	11.814	11.56	12.42	11.01
ZZC-L ₅	13.98	14.97	14.56	13.89	14.15	14.06	13.78	ZZC-S ₅	13.29	12.22	12.21	11.747	11.41	12.17	11.17
QJY-L	QJY-L ¹⁰	QJY-L ⁷	QJY-L ⁵	QJY-L ³	QJY-L ²	QJY-L ¹	QJY-L ⁰	QJY-S	QJY-S ¹⁰	QJY-S ⁷	QJY-S ⁵	QJY-S ³	QJY-S ²	QJY-S ¹	QJY-S ⁰
QJY-L ₀	14.82	14.11	14.78	14.26	14.07	14.48	14.62	QJY-S ₀	21.93	20.16	25.07	23.546	23.11	22.92	23.37
QJY-L ₁	13.91	13.44	13.73	13.29	13.37	13.46	12.92	QJY-S ₁	15.62	14.50	17.25	16.405	15.84	16.28	16.04
QJY-L ₂	13.82	13.10	13.70	13.23	13.25	13.38	12.81	QJY-S ₂	15.11	14.25	16.41	15.71	15.17	15.59	14.99
QJY-L ₃	14.03	13.34	13.89	13.12	13.05	13.24	12.57	QJY-S ₃	15.06	13.81	16.05	15.372	14.84	15.26	14.47
QJY-L ₄	13.58	13.10	13.72	13.07	12.99	13.30	12.91	QJY-S ₄	14.81	13.98	15.84	15.198	14.68	15.01	14.07
QJY-L ₅	13.67	13.27	13.81	13.02	13.01	13.22	12.48	QJY-S ₅	14.77	13.84	15.56	15.031	14.32	14.90	14.15
LCL-L	LCL-L ¹⁰	LCL-L ⁷	LCL-L ⁵	LCL-L ³	LCL-L ²	LCL-L ¹	LCL-L ⁰	LCS-S	LCS-S ¹⁰	LCS-S ⁷	LCS-S ⁵	LCS-S ³	LCS-S ²	LCS-S ¹	LCS-S ⁰
LCL-L ₀	18.71	17.30	19.19	18.57	18.97	18.58	20.19	LCS-S ₀	18.25	18.33	18.04	18.293	18.37	18.60	18.23
LCL-L ₁	17.19	16.87	17.35	17.54	17.74	17.33	17.23	LCS-S ₁	16.78	16.83	17.44	17.696	17.70	17.40	17.12
LCL-L ₂	16.99	16.74	16.99	16.82	16.89	17.10	17.01	LCS-S ₂	16.70	16.56	17.47	17.486	17.43	17.03	16.85
LCL-L ₃	16.79	16.77	16.82	16.62	16.75	17.06	16.09	LCS-S ₃	17.36	16.55	17.27	17.655	17.34	17.01	16.91
LCL-L ₄	16.93	16.68	16.71	16.63	16.54	16.89	16.08	LCS-S ₄	16.77	16.50	17.37	17.562	17.13	16.90	16.89
LCL-L ₅	16.93	16.65	16.51	16.42	16.52	16.92	16.07	LCS-S ₅	16.39	16.50	17.43	17.529	17.29	16.91	17.03

4 m in, 5 m in 后所记录的 6 次测量结果与预振荡的时间无明显关系。2) 同一样品的每份子样在进入仪器样槽后随粒度仪的超声波振荡时间延长平均粒径均减小, 其中, 洛川黄土、古土壤, 乔家窑黄土, 庄子村黄土减小幅度小, 一般不超过 $2 \mu\text{m}$; 乔家窑古土壤, 庄子村古土壤, 上白川古土壤平均粒径减小幅度大, 一般都在 $6 \mu\text{m}$ 以上。以上白川古土壤样品经过粒度仪自身的超声波清洗机振荡 1 m in 的子样 (SBC-S¹) 为例, 样品在进入样品槽振荡 0 m in 时所记录平均粒径值为 $33.98 \mu\text{m}$, 在经过仪器的超声波振荡 2 m in 后平均粒径基本趋于稳定, 为 $14.00 \mu\text{m}$, 同一样品的两次测量结果可相差两倍多。3) 同一样品的各个子样在粒度仪上随仪器的超声波振荡时间增加, 平均粒径减小的速率基本相当, 且在第 1 m in 内减小最快, 前 2 m in 内减小幅度占总减小量的 74.4% 以上。2 m in 之

后平均粒径基本趋于平稳。4) 对于不同地区的样品, 在经历相同时间仪器超声波振荡后, 上白川古土壤样品粒度减小速率最快, 幅度最大。其它样品的平均粒径减小的速率由快到慢, 变化幅度由大到小依次是: 上白川黄土样和古土壤样 > 乔家窑和庄子村古土壤样 > 乔家窑和庄子村黄土样 > 洛川黄土样和古土壤样。从粒度分布曲线上也可以明显看出, 上白川黄土—古土壤样品的分布曲线发生了明显的细偏, 而洛川黄土古土壤变化不大 (图 2)。5) 除洛川外, 同一地区的古土壤样品 (或其子样品) 与相对应的黄土样品 (或其子样品) 相比, 古土壤样品在激光粒度仪自身的超声波振荡下平均粒径减小的速率以及减小幅度总是大于与其对应的黄土样品, 而洛川黄土和古土壤平均粒径变化幅度很小。

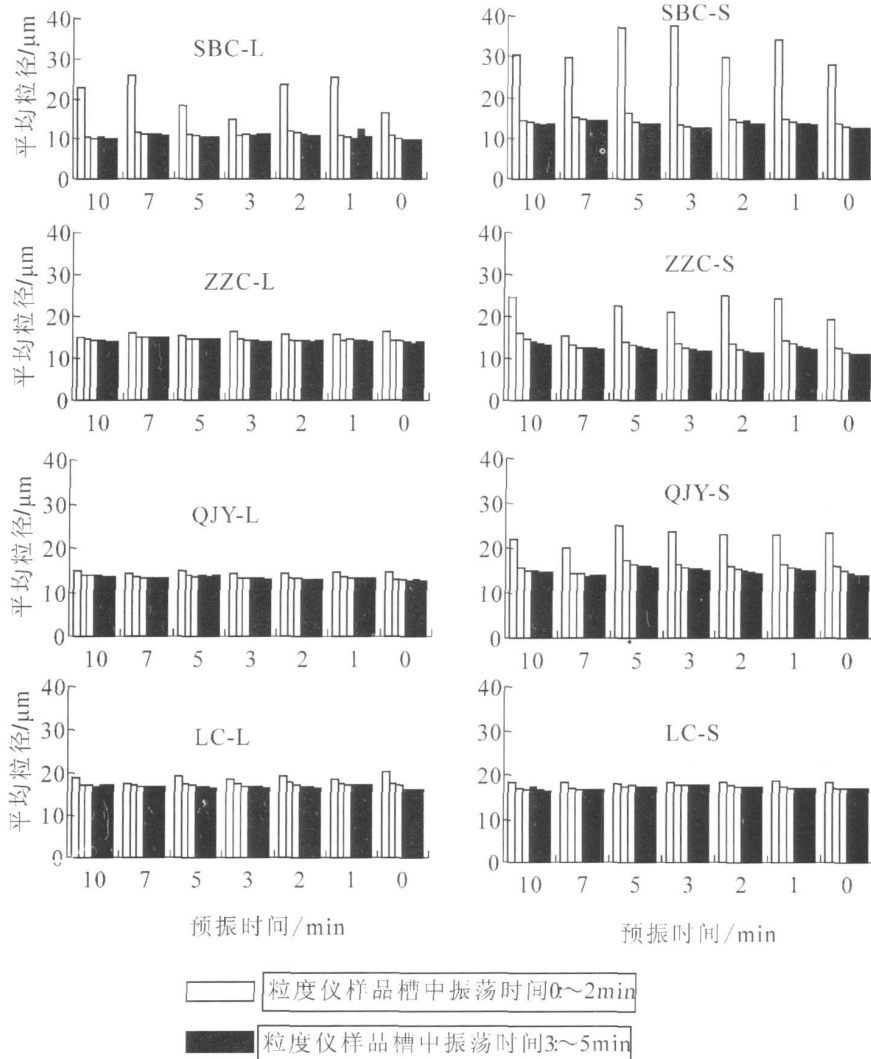


图 1 平均粒径对比图

Fig 1 Bar-chart of the mean granularity of different samples with different ultrasonic pretreatments

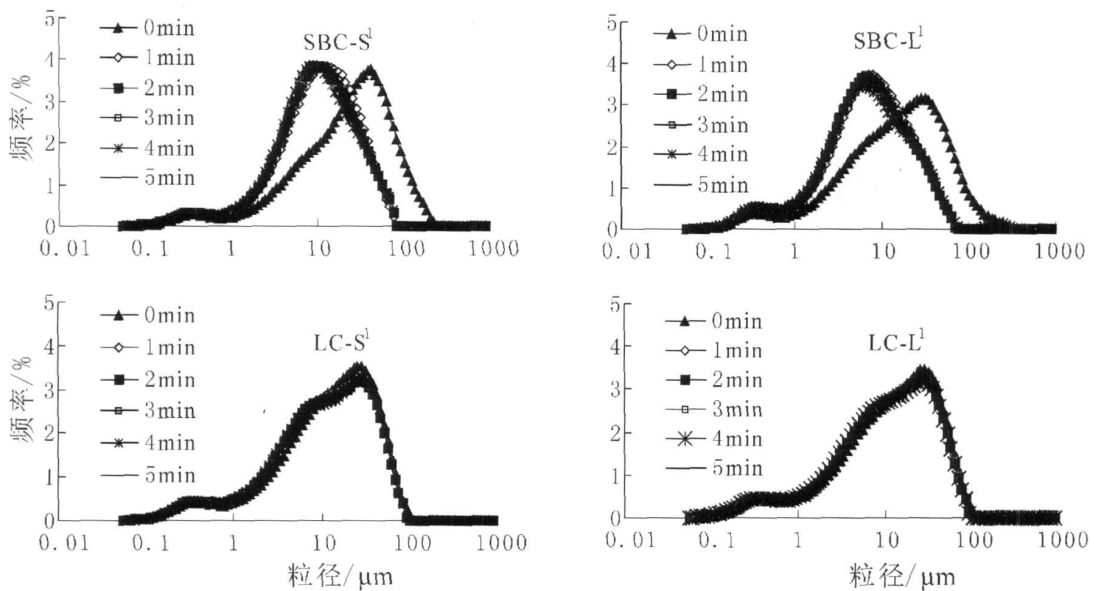


图 2 洛川、上白川黄土、古土壤粒度分布对比图 (超声波清洗机振荡 1 min)

Fig 2 Comparison of grain-size distribution among loess and paleosol samples from Luochuan and Shangbaichuan (With 1 min ultrasonic dispersion)

3 讨论

我们的实验结果表明, 对于细颗粒的黄土—古土壤样品, 样品经过去碳酸盐、去有机质和加分散剂的前处理之后, 基本达到了分散的目的, 非仪器自带的超声波预振荡对粒度测量影响不大。在测量时, 平均粒径之所以随粒度仪自身的超声波振荡时间增加而减小, 极有可能是在前处理之后等待测量的短暂时间内发生了再凝聚。其原因可能有二: 1) 卢氏和洛南黄土样品在沉积后都经历了较强程度的风化成壤作用, 其中含有较多细粒的土壤胶粒物质, 这些细粒物质的比表面能大, 吸附能力强, 极易发生凝聚; 2) 在前一步去碳酸盐过程中加入过多量的盐酸后, 洗酸不够完全的情况下, 低的 pH 值使土壤胶粒的电动电位降低, 土壤溶胶也容易发生凝聚^[31]。由结果 2、5 都可以看出, 样品发生再凝聚与成壤程度有关, 且成壤程度越强样品再凝聚程度加剧。

有一种假设认为, 样品在经过一定时间超声波分散后, 可能因部分粗颗粒被振碎而使样品的平均粒径减小, 这样会使不同样品的粒度在经历超声波振荡时不断减小, 尤其是粗颗粒含量相对较高的洛川样品, 平均粒径减小的幅度和速度应该更大。而结果 4 表明, 洛川地区黄土—古土壤样品无论有没有经过预超声波分散, 平均粒径变化都不大; 相反地, 平均粒径相对较小的洛南黄土—古土壤样品平均粒径变化不论

是幅度还是速度都比洛川的大很多。并且, 所有样品的平均粒径并没有随振荡时间延长而不断减小, 而是在 2 min 后基本趋于稳定。这充分证明, 在所控制的时间和强度下, 超声波振荡并不会对样品原始颗粒造成明显的破坏。表 1 也可以从另一方面说明样品发生再凝聚与成壤化有关, 且成壤化越强样品再凝聚加剧, 而与样品整体的平均粒径大小关系不大。

表 1 说明, 要保证实验数据的可靠性和可重复性, 对于成壤作用较强地区的细颗粒黄土和古土壤样品, 在粒度测量过程中, 仪器样品槽中超声波振荡的时间非常重要, 一般应该控制在 2 min 以上。因此, 在对成壤作用较强地区黄土样品进行粒度测量时, 推荐将前处理步骤修改为: 采用常规前处理步骤去有机质和碳酸盐, 在超声波清洗机上振荡 1 min, 上仪器测试时, 在粒度仪的样品槽中再振荡 2 min, 重复测量三次以上, 保存一个稳定记录。

为验证修改后的前处理方法的可靠性和可重复性, 对所选取的 8 个样品分别用前述方法制样多份, 同时非仪器的超声波清洗机上振荡 1 min, 再经粒度仪自身的超声波振荡 2 min 后测试。结果显示, 大多数样品重复测量结果相对于稳定后的平均粒径最大偏差都在 $\pm 4\%$ 以下, 82% 以上的测量最大偏差小于 $\pm 8\%$, 只有极个别子样品偏差较大达到 12.6%, 原因暂时还不明确, 有待进一步研究。

为了验证新推荐方法的可行性, 选取河南卢氏乔

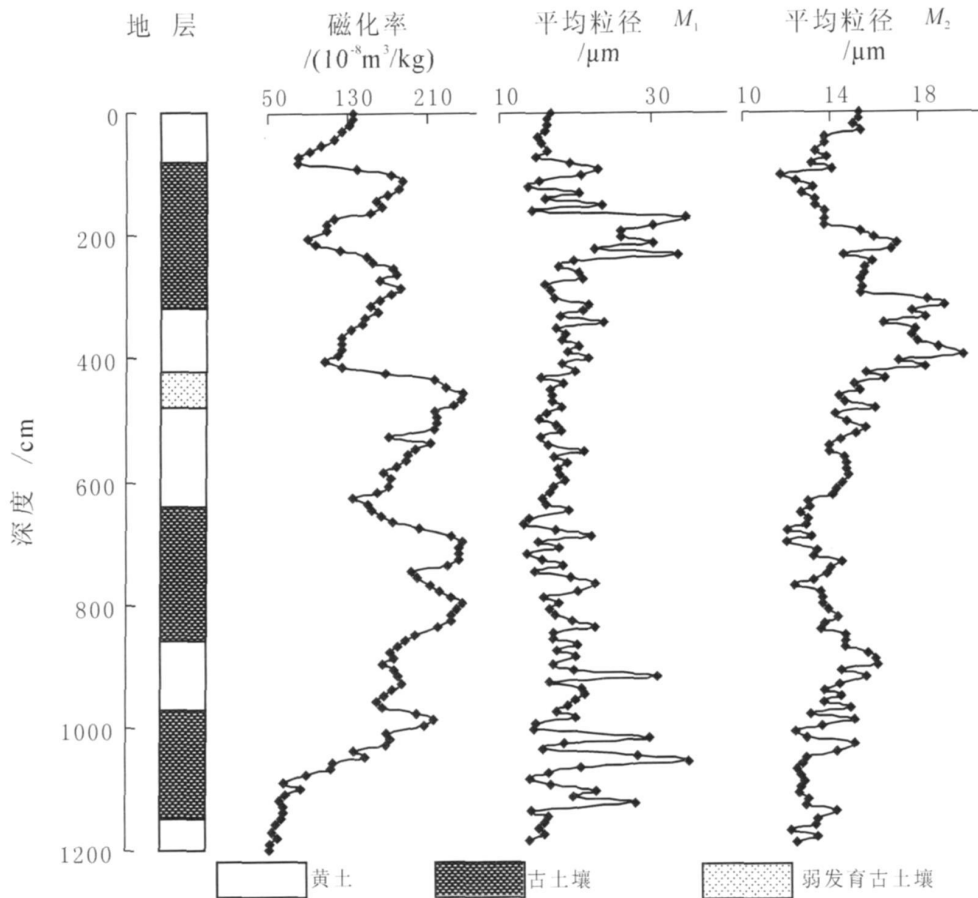


图 3 乔家窑剖面粒度、磁化率图

Fig 3 Grain size and magnetic susceptibility of Qiaojayao bess-paleosol section, the southeast Loess Plateau

家窑黄土—古土壤剖面连续采样 120 个, 利用新旧前处理方法对其测量, 所获得的粒度数据分别用 M_1 和 M_2 代表, 所得结果见图 3。

研究表明, 在古土壤发育时, 冬季风强度相对减弱, 气候温暖湿润, 因而沉积物遭受风化成壤作用较强, 对应磁化率高值。同时, 由于季风动力的减弱和源区性质的变化, 风尘物质中所携带的粗颗粒组分减少; 并且较强的风化成壤作用也使原有不稳定矿物变细, 粘粒组分增加。因此, 古土壤形成时期, 对应粒度低值。相反, 在黄土发育时期, 粗颗粒含量高, 受风化作用改造弱, 对应磁化率低值和粒度高值。采用修改后前处理所得粒度数据 M_2 的变化与磁化率值所反映的地层变化以及野外地层划分基本一致。即 M_2 低值, 磁化率高值和古土壤地层相对应, M_2 高值, 磁化率低值与黄土地层相对应。其中有些层位 M_2 值与磁化率及野外地层划分对应不是很好, 可能是野外没有精确代用指标情况下地层划分比较粗略引起的, 例如, 在 2 m 左右磁化率表现为低谷, M_2 表现为峰, 而

野外地层划分为古土壤, 极有可能说明在第一层古土壤中隐含着一层不明显的黄土层。 M_1 与地层划分及磁化率值对应不好, 甚至在古土壤层位大部分样品都表现为相反的值, 说明了旧方法对于成壤强度较高的细粒黄土样品不能够充分分散, 而修改后的前处理方法对细颗粒黄土样品更加适用。另外, 研究地区的黄土堆积个别层位可能受到土壤潜育化的影响^[32, 33], 磁化率值与黄土—古土壤的变化不能一一对应, 也影响到粒度与地层和磁化率变化的对比。但是, 对比 M_1 和 M_2 的测量结果, 证明我们推荐的前处理方法有效可行。

4 结论

在成壤作用改造强烈的细粒黄土的粒度测量中, 常规的前处理方法并不能使样品充分分散而获得稳定的测量值。测试仪器的超声波振荡分散时间对测量结果影响很大, 在进行测量时应经过粒度仪自身的超声波振荡 2 min 以上开始测量。样品在等待测量

时,发生的颗粒再凝聚与样品遭受成壤改造的强度有关。

致谢 感谢王社江、Richard Cosgrove、张小兵等的野外帮助,感谢孙有斌和王先彦对实验工作的建议。

参考文献 (References)

- 1 成都地质学院陕北队编. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 北京:地质出版社, 1976 55-103 [Shanbei Team of Chengdu Institute of Geology. Grain Size Analysis of the Sedimentary Rock (Sediment) and Its Application[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1976 55-103]
- 2 Read K. The paleoclimatic record provided by eolian deposition in the deep sea: the geologic history of wind[J]. Reviews of Geophysics, 1994, 32: 159-195
- 3 Santhein M, Tetzlaff G, Koopmann B, *et al*. Glacial and interglacial wind regimes over the eastern subtropical Atlantic and North-West Africa[J]. Nature, 1981, 293: 193-196
- 4 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[J]. 自然科学进展, 2000, 10(3): 253-259 [Chen Jingan, Wan Guojiang, Tang Degui *et al*. Climate change from sediment particle size and isotopes record during modern times in Lake Erhai [J]. Natural Science Progress, 2000, 10(3): 253-259]
- 5 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 [Sun Qianli, Zhou Jie, Xiao Jule. Grain-size characteristics of lake Dahai sediments and its paleoenvironment significance [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2001, 21(1): 93-95]
- 6 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, 2006, 24(6): 877-882 [Jiang Qingfeng, Liu Xingqi, Shen Ji. Grain-size characteristics of Wulugu lake sediments and its paleoclimate and paleoenvironment implication [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(6): 877-882]
- 7 于学峰,周卫健,刘晓清,等. 东部全新世泥炭炭分的粒度特征及其古气候意义[J]. 沉积学报, 2006, 24(6): 864-869 [Yu Xuefeng, Zhou Weijian, Liu Xiaqing *et al*. Grain size characteristics of the Holocene peat sediment in Eastern Tibetan Plateau and its paleoclimatic significance [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(6): 864-869]
- 8 Ding Z L, Yu Z W, Rutter N W, *et al*. Towards an orbital time scale for Chinese loess deposits[J]. Quaternary Science Reviews, 1994, 13: 39-70
- 9 Porter S C, An Z S. Correlation between climate events in the North Atlantic and China during the last glaciation[J]. Nature, 1995, 375: 305-308
- 10 鹿化煜,安芷生. 洛川黄土粒度组成的古气候意义[J]. 科学通报, 1997, 42(1): 66-69 [Lu Huayu, An Zhisheng. Paleoclimatic significance of grain size in Luochuan loess-paleosol series [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 4(1): 66-69]
- 11 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), 1998, 28(3): 278-283 [Lu Huayu, An Zhisheng. Paleoclimatic significance of grain size of loess-paleosol deposit in Chinese Loess Plateau [J]. Science in China (Series D), 1998, 28(3): 278-283]
- 12 Govert N, Vandenberghe J, Huissteden J *et al*. A Quaternary climate record based on grain size analysis from the Luochuan loess section on the Central Loess Plateau, China [J]. Global and Planetary Change, 2004, 41: 167-183
- 13 Govert N, Vandenberghe J. Spatial climatic variability on the Central Loess Plateau (China) as recorded by grain size for the last 250 kyr [J]. Global and Planetary Change, 2004, 41: 185-206
- 14 Prins M A, Mirjan V, Govert N, *et al*. Late Quaternary aeolian dust input variability on the Chinese Loess Plateau: inferences from unmixing of loess grain-size records [J]. Quaternary Science Reviews, 2007, 26: 230-242
- 15 孙东怀,鹿化煜. 晚新生代黄土高原风尘序列的粒度和沉积速率与中国北方大气环流演变[J]. 第四纪研究, 2007, 27(2): 251-262 [Sun Donghui, Lu Huayu. Grain-size and dust accumulation rate of late Cenozoic Aeolian deposits and the inferred atmospheric circulation evolutions [J]. Quaternary Science Reviews, 2007, 27(2): 251-262]
- 16 Ding Z L, Sun J M, Liu T S *et al*. Wind-blown origin of the Pliocene red clay formation in the central Loess Plateau, China [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1998, 161: 135-143
- 17 Ding Z L, Rutter N W, Sun J M, *et al*. Re-arrangement of atmospheric circulation at about 2.6 Ma over northern China from grain size records of loess-paleosol and red clay sequences [J]. Quaternary Science Reviews, 2000, 19: 547-558
- 18 Lu H Y, Vandenberghe J, An Z S. A eolian origin and paleoclimatic implications of the Red Clay (north China) as evidenced by grain-size distribution [J]. Journal of Quaternary Science, 2001, 16(1): 89-87
- 19 Nelsen T A. Time- and method-dependent size distributions of fine-grained sediments [J]. Sedimentology, 1983, 30: 249-259
- 20 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[J]. 科学通报, 1997, 42(23): 2535-2538 [Lu Huayu, An Zhisheng. Pretreatment methods and influences of different pretreatments on grain-size measurement of Loess [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(23): 2535-2538]
- 21 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[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(6): 665-671 [Sun Youbin, Gao Shu, Lu Huayu. Influence of different pretreatment procedures on the particle-size distribution of surficial sediments in the Northern Yellow Sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2001, 32(6): 665-671]
- 22 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[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(3): 129-135 [Lu Huayu, Miao Xiaodong, Sun Youbin. Pretreatment methods and their influences on grain-size measurement of aeolian "Red Clay" in North China [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2002, 22(3): 129-135]
- 23 王君波,朱立平. 不同前处理对湖泊沉积物粒度测量结果的影响[J]. 湖泊科学, 2005, 17(1): 17-23 [Wang Junbo, Zhu Liping. Influence of different pre-treatments on grain-size measurement of lake

- sediments [J]. *Journal of Lake Sciences* 2005, 17(1): 17-23]
- 24 冯志刚, 王世杰, 罗维均, 等. 不同前处理方法对红色风化壳粒度测试结果的影响 [J]. *矿物学报*, 2006, 26(1): 1-7 [Feng Zhigang Wang Shijie Luo Weijun *et al* The influence of different pretreatment method on grain-size distribution of red weathering crusts [J]. *Acta Mineralogica Sinica* 2006, 26(1): 1-7]
- 25 朱丽东, 叶玮, 周尚哲, 等. 中亚热带第四纪红粘土的粒度特征 [J]. *地理科学*, 2006, 26(5): 586-591 [Zhu Lidong Ye Wei Zhou Shangzhe *et al* Grain-size Features of Red Earth in Mid-subtropics [J]. *Scientia Geographica Sinica* 2006, 26(5): 586-591]
- 26 朱丽东, 叶玮, 周尚哲, 等. 金衢盆地第四纪红土沉积粒度组成特征 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2006, 26(4): 111-116 [Zhu Lidong Ye Wei Zhou Shangzhe *et al* Grain-size features of Quaternary red earth in Jinhu-Quzhou Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology* 2006, 26(4): 111-116]
- 27 汪海斌, 陈发虎, 张家武. 黄土高原西部地区黄土粒度的环境指示意义 [J]. *中国沙漠*, 2002, 22(1): 21-26 [Wang Haobin Chen Fahu Zhang Jiawu Environmental significance of grain size of loess-paleosol sequence in western part of Chinese Loess Plateau [J]. *Journal of Desert Research* 2002, 22(1): 21-26]
- 28 徐树建, 潘保田, 陈莹莹, 等. 陇西盆地晚更新世风成堆积物粒度参数的对比 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2005, 25(3): 145-150 [Xu Shujian Pan Baotian Chen Yingying *et al* A comparative study on grain size parameters of Aeolian deposits in the Longxi Basin during Late Pleistocene [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology* 2005, 25(3): 145-150]
- 29 徐树建, 潘保田, 高红山, 等. 末次间冰期一冰期旋回黄土环境敏感粒度组分的提取及意义 [J]. *土壤学报*, 2006, 43(2): 183-189 [Xu Shujian Pan Baotian Gao Hongshan *et al* Analysis of grain-size populations with environmentally sensitive components of loess during the Last interglacial-glacial cycle and their implications [J]. *Acta Pedologica Sinica* 2006, 43(2): 183-189]
- 30 鹿化煜, 张红艳, 王社江, 等. 秦东岭南洛河上游黄土地层年代的初步研究及其在旧石器考古中的意义 [J]. *第四纪研究*, 2007, 27(4): 559-567 [Lu Huayu Zhang Hongyan Wang Shejiang *et al* A preliminary survey on loess deposit in Eastern Qinling Mountains (Central China) and its implication for estimating age of the Pleistocene lithic artifacts [J]. *Quaternary Sciences* 2007, 27(4): 559-567]
- 31 朱鹤健, 何宜庚, 编. *土壤地理* [M]. 北京: 高等教育出版社, 1992, 60-69 [Zhu Hejian He Yigeng. *Soil Geography* [M]. Beijing Higher Education Press 1992, 60-69]
- 32 尹秋珍, 肖国桥, 郭正堂, 等. 风尘堆积常见的同沉积和沉积后改造特征及其环境意义 [J]. *第四纪研究*, 2007, 27(2): 295-302 [Yin Qiuzhen Xiao Guoqiao Guo Zhengtang *et al* Syn- and post-depositional modification of loess deposits and their paleoenvironmental significance [J]. *Quaternary Sciences* 2007, 27(2): 295-302]
- 33 刘秀铭, 夏敦胜, 刘东生, 等. 中国黄土和阿拉斯加黄土磁化率气候记录的两种模式探讨 [J]. *第四纪研究*, 2007, 27(2): 210-220 [Liu Xiuming Xia Dunsheng Liu Dongsheng *et al* Discussion on two models of paleoclimatic records of magnetic susceptibility of Alaskan and Chinese Loess [J]. *Quaternary Sciences* 2007, 27(2): 210-220]

Effects of Ultrasonic Dispersion on Granulometry of Fine-grain Loess

ZHANG Hong-yan^{1,2,4} LU Hua-yu² ZHAO Jun^{1,2,4} ZHAO Cun-fa^{1,2,4} ZHANG Ping³

(1 SKLLQG, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075;

2 School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 21009;

3. School of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000;

4 Graduate University School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract The common pretreatment method has caused divergent results of grain size measurement of the fine loess samples. In order to understand effects of pretreated method on the fine-grain loess grain-size distribution, samples from three sites which are located in Luochuan of central Chinese Loess Plateau, Lushui of southern margin of the Loess Plateau and Shangbaichuan of eastern Qinling Mountains in central China were collected and pretreated under different ultrasonic dispersion conditions. The results indicate that time of ultrasonic disaggregating by the laser grain-size equipment just before measuring is very important for granulometry of the fine loess samples. On the basis of the different experiments, we recommend a new pretreatment method for the grain-size measurement for fine-grain loess samples: over 2 minutes are required for dispersing the samples by ultrasonic of the laser grain-size equipment just before measuring. This step is neglected in the previous measurement so that the divergent results are presented in granulometry of the fine loess samples. In addition, samples from a loess-paleosol section at Qiaojiaoyao of the southeast Loess Plateau are measured by the traditional and the new methods, respectively. The results show that our recommended pretreatment method is more reliable to obtain grain-size distribution of the fine-grain loess deposit than that of the other one.

Key words fine-grain loess, pretreatment method, ultrasonic dispersion, grain-size measurement