

黄土颗粒分离方法试验研究

王力¹, 李喜安^{1,2}, 骆建文³, 蔡玮彬⁴

(1. 长安大学 地质与测绘工程学院, 西安 710054; 2. 国土资源部岩土工程开放研究实验室, 西安 710054;
3. 西安长庆科技工程有限责任公司, 西安 710021; 4. 四川省煤田地质工程勘察设计院, 成都 610045)

摘要:以延安新区I期工程的马兰黄土为研究对象,分别采用筛分法、离心机法和静水沉降法对其进行颗粒分离试验,并利用激光粒度仪对3种分离方法的试验结果进行跟踪对比,以研究最适用于黄土颗粒的分离方法。结果表明:筛分法主要适用于粒径大于0.05 mm的黄土颗粒的分离,对粒径小于0.05 mm的黄土颗粒分离效果较差,筛分结果的可靠性偏低。离心机法由于自身的局限性且受影响因素较多,试验结果的可靠性较低;静水沉降法主要适用于粒径小于0.05 mm的黄土颗粒的分离,颗粒分级效果显著,试验结果的可靠性较高,且试验精度满足要求,但对于粒径小于0.002 mm的颗粒分离时间较长。通过3种试验方法的对比可知,在对黄土进行颗粒分离试验时,宜采用筛分—沉降相结合的分选方法,对于大于0.05 mm的颗粒宜采用筛分,对于小于0.05 mm的颗粒宜采用静水沉降法。

关键词:颗粒分离; 筛分法; 离心机法; 静水沉降法; 粒度分析

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)06-0006-05

Experimental Study on the Loess Particle Separation Method

WANG Li¹, LI Xian^{1,2}, LUO Jianwen³, CAI Weibin⁴

(1. School of Geological Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Open Research Laboratory of Geotechnical Engineering, Ministry of Land and Resources, Xi'an 710054, China; 3. Company limited of Changqing Science and Technology, Xi'an 710021, China; 4. Sichuan Institute of Coal Field Geological Engineering Exploration and Designing, Chengdu 610045, China)

Abstract: In order to find out the most applicable separation method of loess grains, this research adopted three methods such as sieving method, centrifuge method and hydrostatic settlement method to do the particle separation experiment of Malan Loess in the first-stage project of Yan'an District and compared the results of three separation methods with the help of laser particle size analyzer. The results indicate that sieving method is mainly applicable to the separation of >0.05 mm loess grains. For <0.05 mm loess grains, the separation competence of sieving method is relatively limited and the reliability of separation results is low. On account of its own limitation and many influencing factors, the reliability of centrifuge method's separation results is relatively low. Hydrostatic settlement method is mainly applicable to the separation of <0.05 mm loess grains and the reliability of its separation results is relatively high with a remarkable effect of particle sizing. However, for <0.002 mm loess grains, the time consumption of hydrostatic settlement method is a bit long. It is concluded that a combination method of sieving method and hydrostatic settlement method is the most applicable separation method to separate the loess particles; sieving method is for >0.05 mm coarse particles and hydrostatic settlement method is for <0.05 mm fine particles.

Keywords: particle separation; sieving method; centrifuge method; hydrostatic settlement method; particle size analysis

颗粒组成是黄土的基本物理属性之一。在黄土沉积过程中,由于物源、搬运距离、沉积环境、成土作用和风化过程等方面的差异,导致不同地域的黄土其粒级组成存在着明显差异。不同粒级组成的黄土,其物理力学性质有着显著差异,而要系统深入研究由于粒级变化而导致的黄土各种物理力学性质及其微观机理的差异,实现实验室内粒组人为可控就显得十分必要,而这则必须借助有效的颗分方法。

目前,国内外最常用的颗粒分离方法有筛分法、离心机法和静水沉降法。筛分法操作简便快捷,设备简单,易于实现,被广泛的应用于各个领域,其主要应用0.05 mm以上大颗粒的提取^[1]。离心机进行土壤颗粒分离可以在短时间内取得足够数量的不同粒径的土壤颗粒,其主要应用于粒径小于2 μm 的黏粒的分离。而静水沉降法是利用粒径大于2 μm 的颗粒在水中快速沉淀的特点,用于分离粒径大于2 μm 的颗粒。Anderson^[2], Tiessen^[3], 武天云^[4], 王娟^[5], 吕慧捷^[6], 王楠^[7]等根据自身不同的需求采用离心机将土壤分为不同的粒级;刘广通等^[8]应用静水沉降将土壤分为不同的粒级用来测定组成土壤的不同直径颗粒的含量;甘宗煜等^[9]采用自制沉降筒对粒径在2~50 μm 的土壤分为不同粒级来研究放射性核素在不同土壤粒级的分布;罗义真^[10]采用沉降与离心相结合的方法将土壤分为>10 μm , 10~1 μm , <1 μm , 1~0.2 μm , <0.2 μm 。通常,利用一般方法只可将试样颗粒分为砾粒、砂粒、粉粒和黏粒,对于粒径小于2 μm 的胶粒要通过离心法实现。然而,黄土作为一种多孔隙、弱胶结的第四系沉积物,其物质组成、颗粒形态、接触及连接方式十分复杂,现存结构构造是其整个历史形成过程的综合产物,直接影响着黄土的物理力学特性。正是由于这种结构本身的独特性,目前,还没有适宜的黄土颗粒分离方法。因此,探寻黄土颗粒分离的最佳方法就显得十分的重要。

本文主要借助土壤颗粒分离的3种方法,即筛分法、离心机法和静水沉降法,对黄土颗粒进行分离,并对3种分离方法所收集的各粒级颗粒用激光粒度仪跟踪测试,最后对测试结果进行分析比较,用以探讨各种分离方法的适用范围和优缺点,以期为黄土颗粒的分离找到适宜的方法。

1 试验内容

1.1 试验材料

本试验所用的土样为Q₃ 马兰黄土,采自延安新区I期工程挖山填沟挖方工程新鲜剖面,自地表以下4 m深度处人工切取土样。试验前先将所取黄土样

碾散放置于烘箱内105℃温度条件下烘干,然后把烘干的黄土过2.0 mm筛,并使用激光粒度分析仪测得筛后土样的颗粒粒径分布曲线和累积曲线(图1)。

1.2 试验方案

1.2.1 筛分法 本次筛分试验选择1 mm(16目), 0.5 mm(35目), 0.25 mm(60目), 0.05 mm(300目)4个不同筛孔直径的标准筛,按照孔径从小到大依次叠放在一起,然后摇晃筛子一定时间,至无土粒漏下为止。收集各筛上的黄土试样。

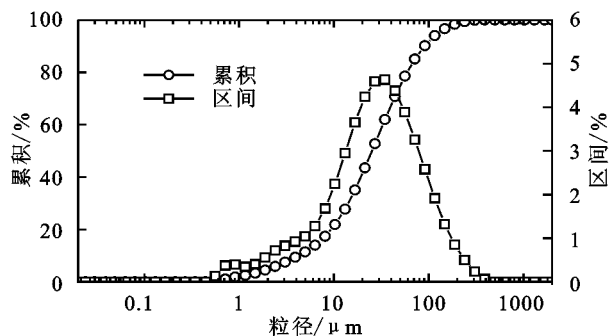


图1 土样粒径分布曲线和级配累计曲线

1.2.2 离心机法 本次离心法试验根据不同粒径的土颗粒在离心机作用下的沉淀时间不同,将10 g的土样(粒径小于0.050 mm)放入100 ml的离心管,加蒸馏水60~80 ml,摇匀制成悬浮液。

(1) 在550 rpm下离心10 min后,将悬浮液倾倒在烧杯中,然后加蒸馏水继续离心,重复此步骤5次或更多次,最后一次将离心管里的悬浮液倾出后,将留在离心管底部的固体颗粒用水洗到烧杯中,在50℃条件下烘干(0.01~0.05 mm)。

(2) 将(1)中烧杯中收集的悬浮液倒入离心管,在1000 rpm转速下,离心10 min后,将悬浮液倾倒在烧杯中,重复此步骤5次或更多次,最后将留在离心管底部的固体颗粒用水洗到烧杯中,在50℃条件下烘干(0.005~0.01 mm)。

(3) 将(2)中烧杯中收集的悬浮液倒入离心管,在1500 rpm下离心15 min后,将悬浮液倒入倾倒在烧杯中,重复此步骤5次或更多次,最后一次将离心管里的悬浮液倾出后,将留在离心管底部的固体颗粒用水洗到烧杯中,在50℃条件下烘干(0.002~0.005 mm)。

(4) 将(3)烧杯中收集的悬浮液倒入离心管,加蒸馏水50 ml,在2000 rpm下离心20 min后,将悬浮液倒入倾倒在烧杯中,将留在离心管底部的固体颗粒用水洗到烧杯中,在50℃条件下烘干(<0.002 mm)。

1.2.3 静水沉降法 本次沉降法试验是将所取黄土试样先在105℃的条件下干燥5 h,冷却后基于中国科学院南京土壤研究所等^[11]单位制定的土粒分级标准,按照室内土壤分离要求,过300目尼龙筛(筛孔尺

寸:0.050 mm),提取粒径 0.050 mm 以上的试样。对于粒径 <0.050 mm 的粒级,根据 Stokes^[12]提出的 Stokes 定律,采用沉降法通过移液管分别提取 <0.002 mm(胶粒),0.002~0.005 mm(黏粒),0.005~0.01 mm(细粉粒),0.01~0.05 mm(粗粉粒)4 个粒级的土壤颗粒,然后将包含各粒级样品的悬浮液在 40~60℃下烘干后进行收集。

在用沉降法进行颗粒分离之前,考虑到前处理过程中加水静置、加分散剂、加热、去除有机质和环境温度等步骤的不同将明显影响着粒度测量的结果,即影响试样各粒级的分布,进而影响各粒级颗粒的分级。对于如何对试样进行合理的前处理,国内外学者鹿化煜等^[13]、张红艳等^[14]、庞奖励等^[15]、任少芳等^[16]、周汶^[17]对不同的前处理方法进行了多次讨论。本文在对粒径 <0.050 mm 的颗粒进行分级之前,分析了几种不同的前处理方法对颗粒分离结果的影响,并对不同处理的结果用激光粒度仪进行测试。不同的处理方法分别为:(1)把样品放入蒸馏水中浸泡 24 h 后测量;(2)在样品中加入 15 ml 浓度分别为 2%,4%,6%,8%的 $(\text{NaPO}_3)_6$ 分散剂,然后把烧杯注满蒸馏水,静置 24 h 后测量;(3)在样品中加入 15 ml 浓度分别为 2%,4%,6%,8%的 $(\text{NaPO}_3)_6$ 分散剂,

然后把烧杯注满蒸馏水并煮沸 0.5 h 使其充分反应,静置 24 h 后测量;(4)考虑环境因素对颗粒分离造成的影响,将样品分别放置在 16℃和 21℃(两个温度为进行试验不同时间段的室温),分别取分离后 5 min,10 min,15 min 和 20 min 的试样对其进行测量。

2 结果与分析

2.1 筛分法分离结果

由图 2 可以看出,对筛分的分离结果通过激光粒度仪表征得到的 1~0.5 mm(粗砂),0.5~0.25 mm(中砂),0.25~0.05 mm(细砂)各粒级颗粒均接近 80%,分离效果显著,且具有重复性。而筛分分离的 0.05 mm 以下细颗粒中含有 40%以上的大颗粒,分离粒级区分不明显。主要是由于在筛分过程中,分离结果受到环境因素(温度和湿度),技术因素和颗粒团聚等多方面的影响。对于微细颗粒尤为明显,首先,微细颗粒在筛子摇晃过程中颗粒与金属筛网的摩擦、颗粒间的摩擦都会产生电荷,易造成凝聚成团现象;其次,微细颗粒对水较为敏感,遇水极易形成颗粒团聚现象;最后,在筛分过程中微细颗粒比表面积较大,易吸附在筛网上造成筛眼堵塞而筛不下去。因此,筛分法对于小颗粒的分离能力大大降低,严重影响了筛分法对于小颗粒分离的准确性。

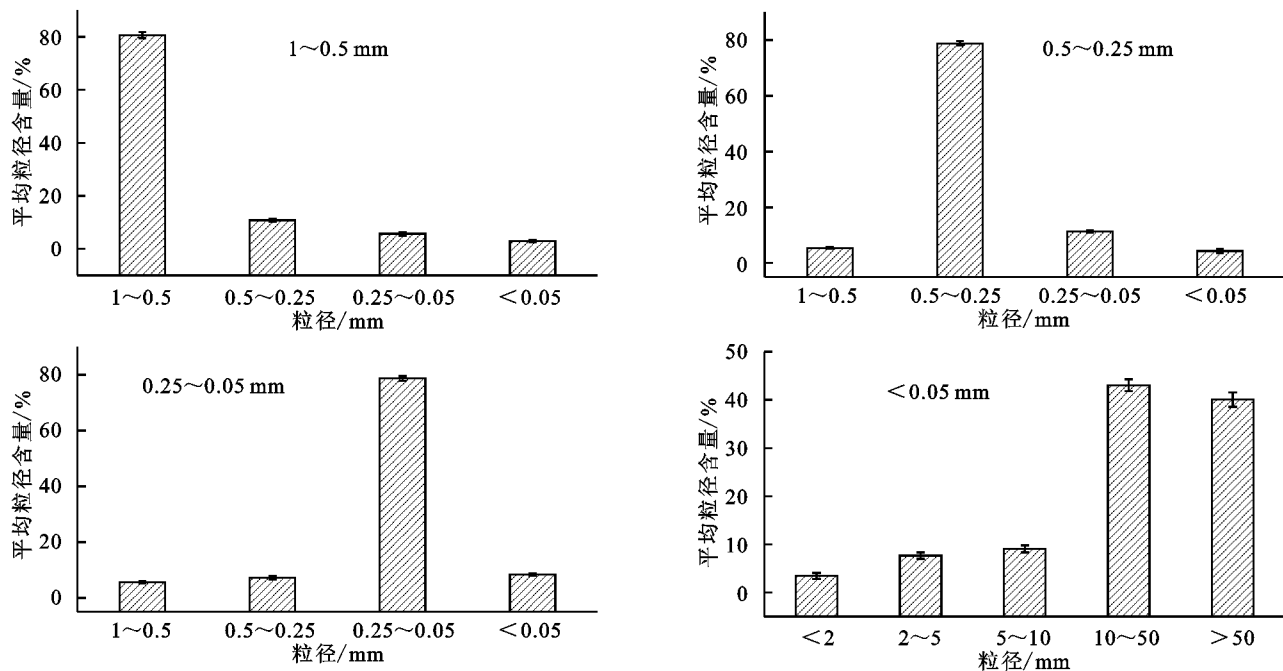


图 2 粒度分布直方图

2.2 离心机法分离结果

从表 1 中可以看出,用离心机分离 <2 μm 和 10~50 μm 粒级的粒度含量都超过 50%,而 2~5 μm 和 5~10 μm 粒级的粒度含量都未超过 50%,粒级范围区分不明显,未达到理想的分离效果。这主要是由于影响离心机分离效果的因素较多,如转鼓转速、分

离时间、转鼓直径、悬浮液高度等。另外采用离心机法在离心分离过程中,悬浮液物理特征的改变会影响到颗粒的沉降、渗透率、孔隙率等,同时悬浮液体积的不同也会导致颗粒沉降时间的不同。

2.3 静水沉降法分离结果

由表 2 可以看出,不同的前处理方法对黄土粒度

的测量结果产生不同程度的影响,也直观的反映了它们对样品分散效果的差异。方法(1)处理后中值粒径和平均粒径均减小,粒径变化在 1.4 倍;方法(2)处理后中值粒径和平均粒径均减小,中值粒径变化在 1.4~1.7 倍,平均粒径变化在 1.4~1.8 倍,大于 50 μm 的颗粒含量明显减小,变化在 2.7~4.9 倍;而方法(3)中加 4%的 $(\text{NaPO}_3)_6$ 分散剂并煮沸 0.5 h 处理后的测量数据与方法(1)、方法(2)处理后的测量数据相比,差异十分明显:(1)中值粒径的变化在 1.2~1.9 倍。(2)平均粒径的变化在 1.4~2 倍。(3)大于 50 μm ,2~5 μm 和小于 2 μm 颗粒含量的变化比较明显,其中 2~5 μm 和小于 2 μm 颗粒含量的最大值和最小值差别分别在 1.7 倍和 1.6 倍;大于 50 μm 的颗粒含量最大值和最小值差别在 7.3 倍。这表明前处理方法(3)中加 4%的 $(\text{NaPO}_3)_6$ 分散剂并煮沸 0.5 h 对黄土中的

团粒进行了较好的分散,黏粒含量增加,因而中值粒径和平均粒径降低。由图 3 可以看出,方法(4)处理后粒径小于 2 μm 的粒度含量变化明显,变化范围在 3%~24%,其他各粒径变化范围为 0.2%~8.9%。因此,本试验对黄土采用加 15 ml 浓度为 4%的 $(\text{NaPO}_3)_6$ 分散剂,然后加水煮沸 0.5 h 使样品充分分散的前处理方法。此方法为黄土类样品常用前处理方法,被众多实验室证明是目前较科学的方法。

表 1 离心机法黄土颗粒分离结果

分离 粒径/ μm	各粒级的粒度含量/%			
	<2 μm	2~5 μm	5~10 μm	10~50 μm
<2	53.68	35.63	9.31	1.38
2~5	23.52	48.07	22.48	5.93
5~10	13.19	29.48	44.61	12.72
10~50	8.54	11.89	24.21	55.36

表 2 黄土经不同方法后粒度测试结果

处理 方法	各粒级的粒度含量/%					中值 粒径/ μm	平均 粒径/ μm
	<2 μm	2~5 μm	5~10 μm	10~50 μm	>50 μm		
原状	4.72	11.03	13.73	52.84	17.68	20.89	28.65
(1)	5.70	13.84	19.16	50.40	10.90	14.96	20.04
2%	6.26	14.78	21.30	54.05	3.61	12.57	15.76
(2)	4%	5.61	13.06	18.55	56.27	6.51	14.68
6%	5.52	13.00	19.47	57.02	4.99	14.14	17.72
8%	5.65	13.02	19.29	56.71	5.33	14.21	17.84
(3)	2%	4.96	12.94	15.59	57.44	9.07	17.79
4%	7.41	18.83	20.30	51.05	2.41	11.27	14.55
6%	7.15	15.74	20.96	52.78	3.37	12.16	16.05
8%	6.60	14.35	19.47	54.95	4.63	13.41	16.86

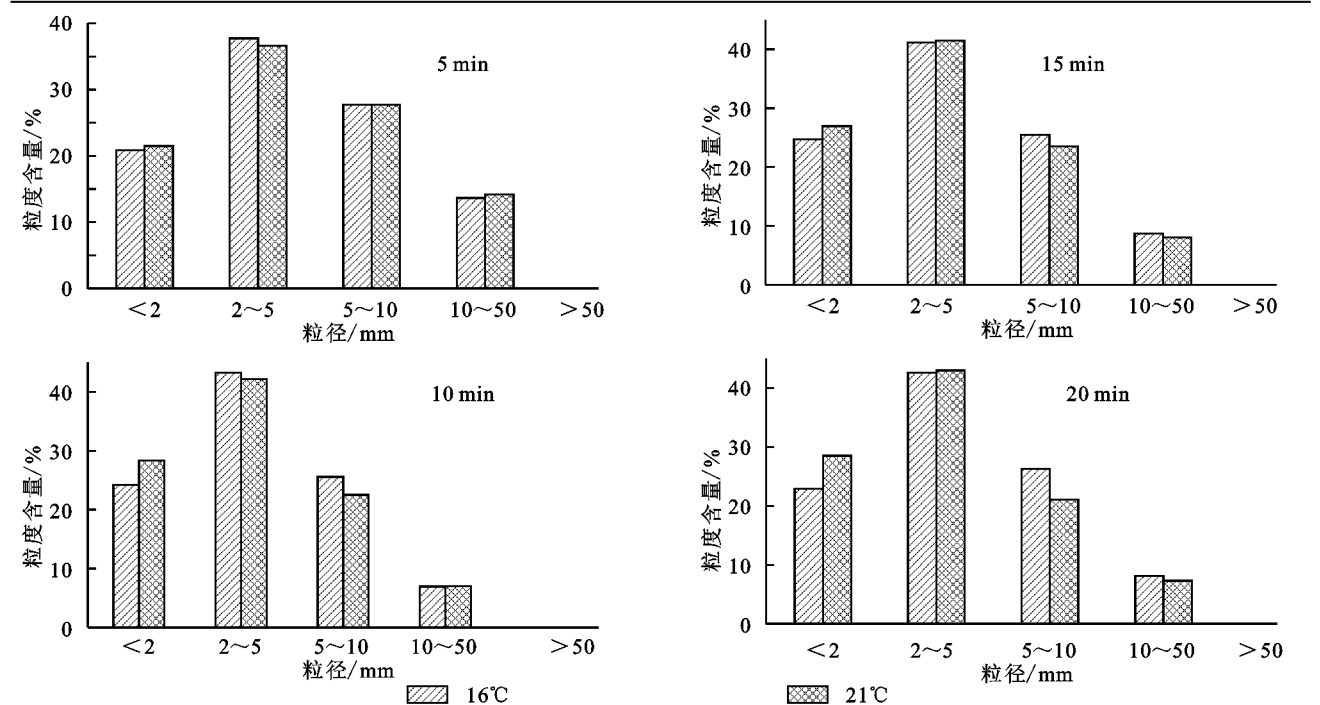


图 3 不同室温下静置黄土粒度分布直方图

从表3可见,试验样品经静水沉降法分级处理后,粒级范围明显的区分开,分级效果显著,如在 $<0.002\text{ mm}$ 粒级试样中, $<0.002\text{ mm}$ (胶粒)颗粒达到了72.43%,分离效果较好,而 $0.002\sim0.005\text{ mm}$ (黏粒), $0.005\sim0.01\text{ mm}$ (细粉粒)和 $0.01\sim0.05\text{ mm}$ (粗粉粒)分离提取颗粒也占到了65.46%,61.74%和67.91%,都超过了粒度含量的50%,但对 $<0.002\text{ mm}$ (胶粒)颗粒分离所需时间较长。同时静水沉降法在各粒级颗粒的分离过程中仍存在着不同比例的其他粒级颗粒,均会出现不同粒级颗粒的交叉现象。这也是在利用Stokes原理进行沉降法分级过程中常遇到的问题。

表3 静水沉降法黄土颗粒分离结果

分离 粒级/ μm	各粒级的粒度含量/%			
	$<2\ \mu\text{m}$	$2\sim5\ \mu\text{m}$	$5\sim10\ \mu\text{m}$	$10\sim50\ \mu\text{m}$
<2	72.43	12.29	8.72	6.56
$2\sim5$	12.52	65.46	17.68	4.34
$5\sim10$	6.86	13.93	61.74	17.47
$10\sim50$	9.07	8.55	14.47	67.91

3 结论

(1) 对于粒径大于 0.05 mm 的黄土颗粒,筛分法分离效果显著,且重复性好,宜采用筛分法进行颗粒分离。

(2) 对于粒径小于 0.05 mm 的黄土颗粒,宜采用沉降法分离,但对 $<0.002\text{ mm}$ (胶粒)颗粒分离所需时间较长。

(3) 加 15 ml 浓度为4%的 $(\text{NaPO}_3)_6$ 分散剂,然后加水煮沸 0.5 h 的前处理方法能使黄土达到最佳分散状态。

(4) 在黄土颗粒的分离过程中,宜采用筛分法—沉降法相结合的分法,对于粒径大于 0.05 mm 的颗粒采用传统的筛分法,而粒径小于 0.05 mm 的颗粒采用静水沉降法分离。

参考文献:

[1] Robertson J, Thomas C J, Caddy B, et al. Particle size analysis of soils: A comparison of dry and wet sieving techniques[J]. Forensic Science International, 1984, 24(3):209-217.

[2] Anderson D W, Saggar S, Bettany J R, et al. Particle size fractions and their use in studies of soil organic mat-

ter: I. The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen and sulfur[J]. Soil Science Society of America Journal, 1981, 45(4):767-772.

- [3] Tiessen H, Stewart J W B. Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter; II. Cultivation effects on organic matter composition in size fractions [J]. Soil Science Society of America Journal, 1983, 47(3):509-514.
- [4] 武天云,李凤民,钱佩源,等.利用离心法进行土壤颗粒分级[J].应用生态学报,2004,15(3):477-481.
- [5] 王娟,周晨亮,张跃进.离心法在土壤颗粒分级技术中的应用[J].上海环境科学,2009,28(6):246-249.
- [6] 吕慧捷,何红波,张旭东.土壤颗粒分级过程中超声破碎和离心分离的条件选择[J].土壤通报,2012,43(5):1126-1130.
- [7] 王楠,姚佳佳,高彦征,等.黄棕壤中不同粒径组分的提取分级与表征[J].中国环境科学,2012,32(12):2253-2260.
- [8] 刘广通,海春兴,李占宏.应用吸管法进行风沙土机械组成分析的试验研究[J].水土保持研究,2007,14(2):121-123,126.
- [9] 甘宗煜,李伟平,曾可,等. Stokes 沉降法则在放射性污染土壤小颗粒湿法分级中的应用[J].辐射防护,2014(4):240-243.
- [10] 罗义真.中国土壤胶体研究. II:几种土壤和黏土的颗粒分离法及其矿物组成的研究[J].土壤学报,1960(2):129-138.
- [11] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].北京:科学出版社,1978.
- [12] Stokes G G. On the composition and resolution of streams of polarized light from different sources[J]. Transactions of the Cambridge Philosophical Society, 1851, 9:399.
- [13] 鹿化煜,安芷生.前处理方法对黄土沉积物粒度测量影响的试验研究[J].科学通报,1997,42(23):2535-2538.
- [14] 张红艳,鹿化煜,赵军,等.超声波振荡对细颗粒黄土样品粒度测量影响的试验分析[J].沉积学报,2008,26(3):494-500.
- [15] 庞奖励,乔晶,黄春长,等.前处理过程对汉江上游谷地“古土壤”粒度测试结果的影响研究[J].地理科学,2016,33(6):748-754.
- [16] 任少芳,郑祥民,周立旻,等.不同前处理方法对下蜀黄土粒度测量的影响[C]//全国地貌与第四纪学术研讨会,2013.
- [17] 周汶.临汾盆地中更新世中晚期沉积环境与气候变化研究[D].山西临汾:山西师范大学,2015.