

芜湖市春夏季大气干降尘的粒径特征及其环境意义

杨立辉^{1,2}, 顾李颖^{1,2}, 苏 优^{1,2}

(1. 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241003;

2. 安徽省自然灾害过程与防控研究省级重点实验室, 安徽 芜湖 241003)

摘 要:通过对芜湖市春夏季大气降尘的粒度测试表明, 大气降尘以小于 50 μm 为主, 除 6 月份外, 都达到了 70% 以上, 其中 10~50 μm 颗粒含量在 50% 左右; 小于 10 μm 颗粒除 4 月份外均未超过 30%, 4 月份含量高达 37%, 各月份中均含有大于 350 μm 粗粒组分。说明芜湖大气降尘以近源为主, 春季受北方沙尘暴影响, 使细粒组分增加。另外, 芜湖大气受到人类生产活动的影响较重, 含有较多的粗粒组分。

关键词:芜湖市; 大气降尘; 粒度特征

中图分类号: X51

文献标识码: A

文章编号: 1009-9735(2014)02-0111-04

大气降尘是指自然降落于地表的空气颗粒物。大气降尘作为一种物质与能量传输的重要媒介, 是气候变化研究的重要组成部分, 其不但可以直接或者间接地对气候系统施加影响, 而且对气候变化的响应也极为敏感^[1-4]。春季是中国沙尘暴频发季节, 沙尘可以被输送到长江中下游地区, 随雨水降落地表, 形成大气降尘。统计显示, 每年由我国西北及内蒙古、蒙古国等地的沙尘越过秦岭抵达长江中下游地区所形成的浮尘天气在 5 d 以上^[5], 并且在上海的大气湿降尘中含有较多来自西北干旱、半干旱区远源输入的颗粒物^[6]。芜湖位于长江下游地区, 其大气降尘的来源及其动力特征尚未见详细报道。

1 样品采集和分析方法

1.1 样品采集

采样点位于安徽省芜湖市安徽师范大学校园内, 采样点在距离地面 12 m 高的楼顶, 周围有高层楼房施工, 无大型工厂及烟囱。使用乙二醇($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$)水溶液进行湿法收集, 乙二醇的加入量为 60~80 mL, 根据不同季节的蒸发量与降水量, 酌情加蒸馏水 50~200 mL。

1.2 分析方法

用美国贝克曼公司生产的 LS200 激光粒度分析仪测量, 测量区间为 0.4~2 000 μm 。前处理为: 将收集到的样品称取 2~3 g 放入烧杯内, 加入 10 mL 浓度为 10% 的双氧水(H_2O_2)煮沸, 使其充分反应除掉有机质。然后冷却再加入 10 mL 浓度为 10% 的盐

酸(HCl)煮沸除掉碳酸盐, 冷却后再注入蒸馏水静置 24 h。用注射器抽出上层蒸馏水, 加入 10 mL 浓度为 0.05 mol/L 的六偏磷酸钠作为分散剂, 用超声波振荡 10 min 后上机测量。粒度参数计算参考国家海洋局编写的《海洋地质调查技术规范》^[7], 规定粒度参数的矩法数学计算公式。计算公式如下:

$$M_z = \frac{\sum_{i=1}^n x_i f_i}{100}$$
$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_z)^2 f_i}{100}}$$
$$S_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_z)^3 f_i}{100 S_d^3}}$$
$$K_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_z)^4 f_i}{100 S_d^4}}$$

x_i 为粒级组中值(φ), f_i 为频率百分数, M_z 为平均值, S_d 为分选系数, S_k 为偏度, K_u 代表尖度。

• 收稿日期: 2013-10-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(41201008); 国家级大学生创新创业训练计划项目(201210370072)。

作者简介: 杨立辉, 男, 安徽寿县人, 实验师, 博士研究生, 研究方向: 环境变化与区域响应。

2 结果与讨论

2.1 降尘的粒度特征

粒度分析结果见表 1。从表 1 中看出,春夏季大气降尘以小于 50 μm 为主,除 6 月份外,都达到了 70% 以上。其中 10~50 μm 颗粒含量都在 50% 左右,与马兰黄土、下蜀黄土和宣城网纹红土较为接近;

小于 10 μm 颗粒除 4 月份外均未超过 30%,4 月份含量高达 37%,与马兰黄土接近;大于 50 μm 颗粒含量较马兰黄土、下蜀黄土、宣城网纹红土高得多,特别是马兰黄土、下蜀黄土、宣城网纹红土几乎不含大于 100 μm 粒径的颗粒,而芜湖大气降尘中含量较多。

表 1 各月粒径参数平均值

	<10 μm	10~50 μm	50~100 μm	>100 μm	平均值 $Mz/\mu\text{m}$	标准差 Sd	偏度 Sk	尖度 Ku
3 月	29.74	50.81	8.74	10.72	42.56	2.04	0.62	1.32
4 月	36.99	50.45	6.40	6.16	29.17	1.94	0.64	1.31
5 月	26.62	48.52	11.87	12.99	49.66	2.08	0.68	1.32
6 月	21.69	41.97	19.07	17.27	58.85	2.06	0.84	1.33
7 月	27.71	46.83	11.84	13.62	50.54	2.13	0.68	1.31
8 月	25.45	45.48	14.00	15.07	55.31	2.14	0.73	1.31
马兰黄土	42.68	50.1	5.56	1.33	12.2	2.96	—	—
下蜀黄土	43.91	47.87	7.23	0.99	19.84	2.11	0.32	—
宣城红土	54.46	43.89	0.78	0.86	13.78	1.81	0.37	2.44

据风洞研究成果^[8],一个颗粒被风启动后,会以蠕移、跃移和悬移 3 种形式移动,其中悬移搬运距离最远。50~10 μm 是悬移搬运的“基本粒组”,主要以短期悬浮形式移动,搬运距离较短。在中性大气的中等风暴里,20 μm 的颗粒不可能迁移到离源区 30 km 以外的地方,而小于 10 μm 的颗粒则可以长期悬浮状态被搬运到数千千米之外的其他地区。

被启动的颗粒在移动一定距离后,在合适的条件下发生沉降。粗粒灰尘(约>20 μm)主要通过重力作用或者颗粒与粗糙的、湿性的或带相反电荷的地表碰撞而被俘获。细粒灰尘(约<20 μm)主要以 2 种形式发生沉降,一是颗粒通过相互碰撞和吸附或者静电吸附等作用形成大颗粒后通过重力沉降,该形式的主要影响因素是粉尘颗粒在空间的浓度;二是由降水直接把颗粒从大气悬浮态中淋洗下来^[9]。由于本次实验样品采用干法收集,排除降水及地面因素的影响,本次实验样品可视为重力沉降灰尘。因此推断,在芜湖大气降尘中占大多数的大于 10 μm 组分应当来自芜湖周边地区,在风力作用下,通过蠕移、跃移和短期悬移方式移动,并在重力作用下沉降;小于 10 μm 的颗粒其来源与下属黄土、马兰黄土相似,为一种搬运距离和搬运高度相对较大的常态粉尘物质;对于芜湖 4 月份大气降尘中小于 10 μm 颗粒组分的大幅增加,则是因为大气中 10 μm 颗粒的浓度增加。在周围环境及气候条件未发生重大变化的前提下,高浓度的细粒浓度的增加只能由其他风尘源地输送而

来。北方沙尘暴研究表明,4 月份为我国沙尘暴高发月份,北方沙尘有能力通过风力到达长江下游的芜湖并逐渐沉积。强风吹起西部和北部荒漠地区的沙尘,有时可进入 3 500 m 的高空,达到西风急流带。在 3 500~7 000 m 高空,西风急流在青藏高原以北的一支,从西北沙漠、戈壁地区偏向东南,携带这些高空粉尘向东南搬运,并主要在黄土高原一带(东南边界最远可达长江下游)飘落下来,形成扬沙降尘的天气现象。张德二等通过对历史资料的细致梳理发现,历史时期中国东部沙尘天气记录的南界大致沿长江流域南侧分布,最南位置可达到 23.5°N,北方干旱时段,沙尘南界在 28°N,在湿润期北移到 31°N 沿长江一线甚至更北^[10],台湾大鬼湖的沉积物中也保留有源自大陆的沙尘记录^[11]。

此外,长江中下游地区广泛分布的第四纪网纹红土,其成因一直有水成和风成之争,较多的研究支持其风成成因并且认为其物源区与北方典型黄土相似,本次研究也佐证了,长江中下游地区第四纪网纹红土风成成因的可能性。

平均粒度(Mz) 在 29.17%~58.85% 之间,4 月份最小,均大于马兰黄土、下蜀黄土、宣城网纹红土,这一指数表示样品平均粒度的大小,反映搬运介质的平均动能;分选系数(Sd)用标准偏差表示,是分选性的指标,用来区分沉积物颗粒大小的均匀程度,数据越小,代表粒度分布越集中,分选越好。芜湖大气降尘在 1.94%~2.04% 之间,马兰黄土最高为 2.96,反

映了马兰黄土距离源区较近,分选较差。下蜀黄土与宣城网纹红土则与芜湖大气降尘较为接近;偏度(Sk)是用来表示沉积物粒度频率曲线对称性的参数,反映了芜湖大气降尘较马兰黄土、下蜀黄土、宣城网纹红土粒度分布更加不对称;尖度或峰度(Ku)是刻画数据在平均粒度两侧集中程度的参数,芜湖大气降尘的峰态较网纹红土窄,说明样品粒度分布集中,也说明至少有一部分沉积颗粒物是未经环境改造而直接进入环境的。

2.2 降尘的粒度频率分布曲线

粒度模拟研究表明,单峰的频率曲线通常出现在只有单一碎屑物质来源、而且经过较长距离搬运的沉积物中,多峰及过渡型的粒度分布是由 2 个或更多粒度“终极成分分布型”叠加而成^[12]。在频率分布曲线图(图 1)上,芜湖大气降尘,主要呈现多峰分布,其粒度分布第一众数不突出、正偏态、有一较长的细尾为特征,且粒度集中在粗粒端。这种特征说明粉尘在沉积之前,未经过充分混合分选较差。但从频率曲线不难看出,由众数值向两端粒度变化速度不同。由众数值向粗粒端,粒径迅速减小,曲线平滑而陡峭;由众数值向着细粒端,粒径的减小速度缓慢。在细粒部分出现了一个明显的平台。这可能是大气降尘中一种常

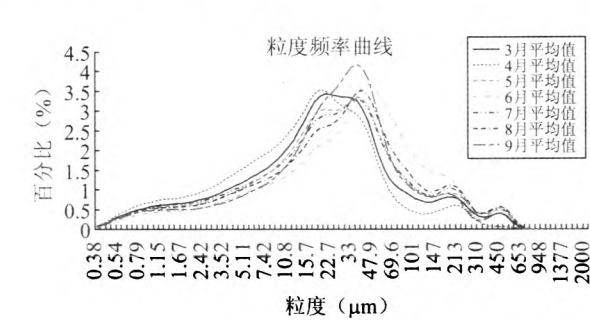


图 1 不同月份之间粒径频率分布对比图

态化的远源高空沉积。比较而言,三、四月份的频率累计曲线上,第一众数较其他月份小。另外,大气降尘通常粒径在 $350\text{ }\mu\text{m}$ 以下,而芜湖市大气降尘却包含了小部分的 $350\text{ }\mu\text{m}$ 以上的组分,说明人类的生产活动对大气降尘有着很重要的影响。

2.3 粒度结构参数散点图

在粒度研究中经常采用结构参数散点图来区分不同成因的沉积物以及它们形成或搬运时的不同沉积环境类型。结构参数散点图有平均粒径对分选系数标准差,平均粒径对偏度,平均粒径对峰态,标准差对偏度,标准差对峰态,偏度对峰态等。从芜湖大气降尘粒度结构参数散点图(图 2)可以看出,4 月及部分 3、5 月份的粒度参数与其他月份的粒度参数并有

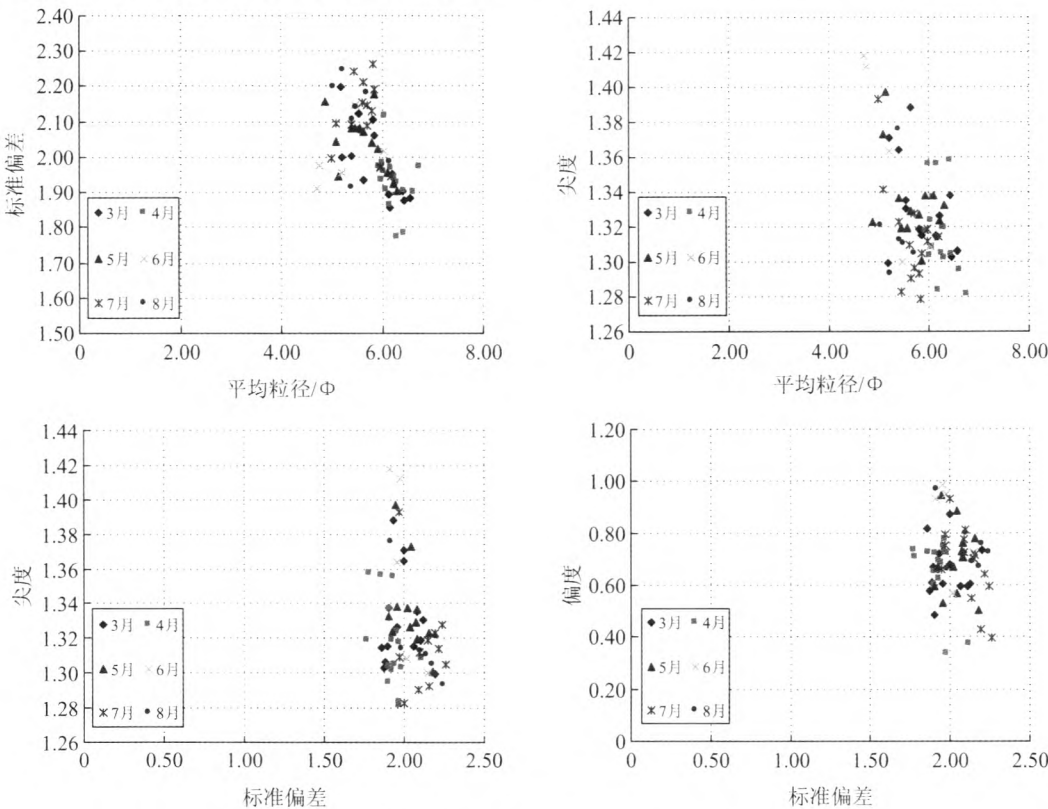


图 2 芜湖市大气降尘粒度结构参数散点图

明显界限,而又与其他月份发生相对分离。这说明 4 月及部分 3、5 月份的大气降尘的沉积动力类型是一致的,均为粉尘沉积,而 4 月及部分 3、5 月份的降尘来源与其他月份有差异。

3 结论

综上所述,研究区域的大气降尘粒度变化规律及环境意义可概括为:

(1)以 4 月份为代表的春季大气降尘的粒度组成特征与其他月份有显著差异,表现为细粒组分的突然增加及粒度结构散点图的分离。究其原因,可能为北方沙尘天气下,扬尘中的细粒组分通过西风急流被输送到远在长江下游地区的芜湖,导致芜湖大气中粒径 $< 20 \mu\text{m}$ 灰尘颗粒含量增加,由布朗运动、层流剪切、紊流运动或通过双极性静电荷出现而发生碰撞和聚合而被沉积。

(2)芜湖大气降尘中以本地尘源为主。表现为粗粒径含量多,分选差,其中跃移或短时悬浮 $> 20 \mu\text{m}$ 颗粒物占到了总含量的 46.74%~78.31%,除 4 月份外,均超过 50%。

(3)芜湖大气降尘的粒度中粗粒含量较高。大气降尘通常粒径在 $350 \mu\text{m}$ 以下,而芜湖市大气降尘却包含了小部分的 $350 \mu\text{m}$ 以上的组分,说明人类的生产活动对大气降尘有着很重要的影响。

参考文献:

[1]Arimoto R. Eolian Dust and Climate: Relationships to Sources, Tropospheric Chemistry, Transport and Deposition

[J]. Earth Science Reviews, 2001, 54(1): 29-42.

[2]Kohfeld K E, Harrison S P. DIRTMAP: The Geological Record of Dust[J]. Earth-Science Reviews, 2001, 54(1): 81-114.

[3]Jickells T D, An Z S, Andersen KK, et al. Global Iron Connections between Desert Dust, Ocean Biogeochemistry, and Climate[J]. Science, 2005, 308(5718): 67-71.

[4]Maher B A, Prospero J M, Mackie D, et al. Global Connections between Aeolian Dust, Climate and Ocean Biogeochemistry at the Present Day and at the Last Glacial Maximum[J]. Earth-Science Reviews, 2010(99): 61-97.

[6]钱广强,董治宝. 大气降尘收集方法及相关问题研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(6): 779-82.

[5]师育新,戴雪荣,宋之光,等. 上海春季沙尘与非沙尘天气大气颗粒物粒度组成与矿物成分[J]. 中国沙漠, 2006, 26(5): 780-785.

[7]国家海洋局 908 专项办公室. 海洋底质调查技术规范[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.

[8]刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985.

[9]Pye K. Aeolian Dust and Dust Deposits[M]. Academic Press, 1987.

[10]张德二,孙霞. 我国历史时期降尘记录南界的变动及其对北方干旱气候的推断[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 1-8.

[11]陈镇东. 中国台湾大鬼湖沉积物所保留之降尘记录[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 18-28.

[12]Syvitski J P M. Factor Analysis of Size Frequency Distributions. In: Syvitski J P M, ed. Principle, Methods, and Application of Particle Size Analysis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.

Grain Size Characteristics of the Atmospheric Dust Fall at Wuhu City in Spring and Summer

YANG Lihui^{1,2}, GU Liying^{1,2}, SU You^{1,2}

(1. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241003, China;

2. Anhui Key Laboratory of Natural Disaster Process and Protection Research, Wuhu 241003, China)

Abstract: Through the grain size tests of Wuhu atmospheric dust fall in spring and summer show that, the dominated component part is less than $50 \mu\text{m}$, except June, reached more than 70%. The $10 \sim 50 \mu\text{m}$ particle concentrations were about 50%; less than $10 \mu\text{m}$ particles, except April, did not exceed 30%, the April was up to 37 percent. Each month contains the coarse fraction particle, is greater than $350 \mu\text{m}$. All of these demonstrated that Wuhu atmospheric dust was nearly source-based, spring dust storms in northern China, increased the fine fraction. In addition, Wuhu atmosphere impacted heavily by human activities.

Key words: Wuhu; atmospheric dust fall; grain size characters