

文章编号: 1000-694X(2004)01-0047-04

沙尘暴沉降物的粒度特征及其环境意义

杨前进

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 近年有些研究者尝试用黄土中更为敏感的粒度指标指示冬季风的强度. 笔者列举、分析了若干不同强度、不同源地的沙尘暴事件, 总结了沙尘沉积物粒度与风力、源区覆被状况、距源区距离等因素的关系, 认为沙尘粒度组成是由多因素决定的. 作为地史上沙尘暴活动产物的黄土, 其粒度组成并不是冬季风的单一函数. 黄土粒度中包含了冬季风强度、源区覆被、距源区远近等多方面信息. 因此, 在用黄土粒度恢复冬季风强度时, 必须结合其他代用指标.

关键词: 沙尘暴; 粒度; 冬季风; 地表覆被; 搬运距离

中图分类号: P532

文献标识码: A

用黄土粒度指示东亚季风区古气候变化, 历来为人们所重视. 传统的代用指标有中值粒径、平均粒径和 K_d 值(即黄土中粒径 $0.05 \sim 0.01$ mm 的粉砂含量与 <0.005 mm 的粘粒含量之比). 前二者用于指示冬季风强度, K_d 值则指示黄土来源区的干湿状况或黄土堆积后的风化成壤强度^[1]. 随着激光粒度仪的出现, 人们可以对选定的粒径范围进行更快更准确的测量. 因此, 有可能获取更为敏感的冬季风代用指标. 鹿化煜等在研究洛川黄土剖面时, 把 $0 \sim 200$ μm 的黄土古土壤粒径分布区间等差分为 42 个粒级进行测量, 发现 >30 μm 的颗粒含量曲线与代表全球冰量变化的深海氧同位素变化曲线 (SPEC-MAP) 有很好的对应关系, 认为 >30 μm 粒级的含量可指示东亚冬季风强度变化^[2]. 汪海斌等测量了黄土高原西部兰州九州台和西宁土巷道两个剖面的黄土古土壤粒度, 运用主成分分析, 认为 >40 μm 粒径的颗粒含量可作为黄土高原西部冬季风强度变化指标^[3].

上述各种指示冬季风强度的粒度代用指标都是很有价值的尝试, 因为冬季风强度的确可以影响黄土粒度的组成. 但是, 黄土粒度并不完全受控于冬季风, 或者说, 粒度组成并不是冬季风的单一函数. 因为干旱区地表覆被是多样化的, 有沙漠、戈壁、盐碱壳等, 即使戈壁也有软、硬戈壁之分^①. 此外, 尚有正在发展的沙化草原. 同样的风力, 在不同的地表覆被

下扬起的沙尘的粒度可相差悬殊. 丁仲礼先生在“中国科学(D 辑)”1999 年第一期上发表的“联系沙漠-黄土演变过程中耦合关系的沉积学指标”一文中, 明确指出“在过去的研究中, 黄土的粒度变化一般被解释为受控于风力强度的改变, 即它是冬季风变化的替代性指标. 从本工作的观察结果看, 以前的结论可能有些简单化”, 并总结了黄土粒度组成的三个控制因素: 源区范围, 风力强度和风化作用^[4].

笔者在收集、分析不同等级沙尘天气(代表不同风力)、不同源地(代表不同地表覆被)、不同沉降地点(代表不同搬运距离)的沉积物粒度的基础上, 总结了沙尘堆积粒度的控制因素, 并对黄土粒度在指示东亚冬季风强度的应用上提出一些认识.

1 沙尘天气沉降物的粒度特征

1.1 我国沙尘暴的空间特征

由于下文多次用到沙尘暴、浮尘等术语, 先对这些术语的含义作一介绍.

沙尘暴是沙暴和尘暴两者兼有的总称^[5]. 沙暴指强风把大量沙粒吹入近地面气层所形成的挟沙风暴^[5,6]. 真正的沙漠沙暴指正在运移的沙粒所形成的低云, 通常只上升到地面以上几个厘米, 最多离地面 2 m 左右. 据报道, 一个直立的人, 头和肩可以完全出露在沙云界线之上. 沙粒不能升得更高的原因, 是

收稿日期: 2002-07-16; 改回日期: 2002-08-19

基金项目: 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(10501-105); 教育部人文社会科学研究基地重大招标项目(01JJDJAZ770014); 教育部重点项目(02069)

作者简介: 杨前进(1966—), 男(汉族), 博士研究生, 主要从事自然资源开发与环境变迁研究. E-mail: yang3018@sina.com

①软、硬戈壁是长期在戈壁滩工作的人对不同质地戈壁滩的描述, 硬戈壁指基岩直接出露地面, 强风经过时只能扬起一定量沙子, 粉尘数量较少. 软戈壁则指冲积物覆盖的地面, 质地松散, 汽车甚至人行走上面就有一定下陷, 强风经过时, 沙尘同时扬起, 对人危害更大.

因为每个颗粒都在做跳跃运动^[5]. 这里跃移沙粒的粒径下限一般取 0.07 mm. 而尘暴则指大风把大量尘埃及其他细粒物质卷入高空(一般可高达 3~4 km 甚至 9 km 或更高)所形成的风暴. 在沙漠表面、半干旱草原上, 在地表因耕作或放牧而导致植被保护层被破坏的地方均可产生尘暴^[5].

我国对沙尘暴的界定有二个标准: 风速 $\geq 10\text{ m s}^{-1}$, 水平能见度小于 1 km. 另外, 瞬时风速 $\geq 25\text{ m s}^{-1}$, 水平能见度小于 50 m 者, 称特强沙尘暴. 而浮尘则指无风或风力较小情况下, 尘土、细砂均匀地浮游在空中, 水平能见度小于 10 km 的天气^[7]. 可见尘暴发生地区的覆被与沙暴是有一定区别的.

邱新法等通过研究 1971—2000 年我国的沙尘暴, 认为入侵我国的沙尘暴路径有二条, 即北路和西路. 其中, 西路(西北欧→西西伯利亚→新疆西部地区→河西走廊→河套地区、内蒙古东部)沙尘暴影响范围大, 而北路(泰米尔半岛→西伯利亚中、西部→蒙古国→新疆东部及内蒙古地区→华北地区)沙尘暴次数更多. 入侵我国的沙尘暴的源地虽有国外的, 但主要还是国内的(占 70% 以上)^[8]. 徐启运等认为, 中国沙尘暴源地均分布于八大沙漠或其边缘地区, 即古尔班通古特沙漠、塔克拉玛干沙漠、库姆塔格沙漠、柴达木盆地沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、毛乌素沙漠、乌兰布和沙漠. 沙尘暴最常见的运移路线为哈密—张掖—中宁—线, 沿河西走廊运移的沙尘暴是黄土高原粉尘的主要输送者^[9].

表 1 不同沙尘天气沉降物的粒度组成

Tab. 1 Variety of sand-dust weather and their grain-size composition of deposits				
沙尘天气类型*	特大沙尘暴 ^[10]	尘暴 ^[10]	尘暴 ^[11]	浮尘 ^[12]
时间	1996 年 5 月 30 日	1995 年 5 月 16 日	1993 年 5 月 5 日	2000 年 4 月 6 日
源地	敦煌	额济纳旗拐子湖	金昌	内蒙古中西部、河北西北部
取样地点	敦煌	武威	兰州	北京
距源区距离/km		380~400	300~310	200~1 000
粒度组成/%	<5 μm	33.71	20.77	57.4
	5~10 μm	23.93	10.08	19.5
	10~30 μm	34.96	69.07(10~50 μm)	
	30~100 μm	6.26		
	>10 μm	42.36	69.15	23.1
源区覆被状况	琵琶柴砾漠 ^[14]	沙拐枣沙漠与琵琶柴砾漠过渡 ^[14]	琵琶柴砾漠与山地沙生针茅、矮半灌木草原 ^[14]	沙化草地和旱作耕地 ^[7]

* 沙尘天气类型指取样点的沙尘天气.

2 讨论

基于以上资料, 可以看出沙尘沉降物粒度与如下因素有关:

(1) 风力数据
沙尘沉降物粒度总体与风力正相关.

1.2 沙尘暴沉降物的粒度特征

为了查明粒度的控制因素, 笔者收集了最近 10 年发生在我国不同源地、不同等级沙尘天气的沉降物的粒度资料(表 1).

1996 年 5 月 30 日敦煌发生特大沙尘暴, 现场采集样品的粒度测试结果为: 100~30 μm , 占 39.47%; 30~10 μm , 占 51.12%; 10~5 μm , 占 9.41%^[10]. 沉降物粒度主要集中在 30~10 μm 和 100~30 μm 的粒径段上.

1995 年 5 月 16 日源于内蒙古额济纳旗拐子湖的沙尘暴, 进入武威时演变为尘暴. 武威沉降物粒度测定结果为: 300~100 μm , 占 1.13%; 100~30 μm , 占 6.26%; 30~10 μm , 占 34.96%; 10~5 μm , 占 23.93%; 5~1 μm , 占 33.71%^[10]. 粒径主要集中在 30~10 μm 和 5~1 μm 区间.

1993 年 5 月 5 日, 甘肃金昌发生强沙尘暴, 进入兰州演变为特大尘暴. 兰州地区沉降物粒度测定结果为: >50 μm , 占 0.08%; 50~10 μm , 占 69.07%; 10~5 μm , 占 10.08%; <5 μm , 占 20.77%^[11]. 粒度主要集中于 50~10 μm 和 <5 μm 范围.

2000 年 4 月 6 日, 北京地区发生的浮尘天气, 源于内蒙古中西部和河北西北部^[7], 北京沉降物粒度组成为: >10 μm , 占 23.1%; 10~5 μm , 占 19.5%; <5 μm , 占 67.4%^[12]. 粒度主要集中于 <5 μm 范围.

特强沙尘暴天气, 如敦煌, >30 μm 粒径的含量占 39.74%.

尘暴天气, 如武威, >30 μm 粒径的含量仅占 7.33%; 兰州, >50 μm 粒径的含量仅占 0.08%.

浮尘天气, 如北京, 沙尘粒径一般 <10 μm .

(2) 沙尘暴源地地表覆被状况. 沙尘沉降物粒度与沙尘暴源地的自然植被与土地利用状况密切相关.

兰州尘暴和武威尘暴, 二者距沙尘暴源地的距离较接近, 但二者的粉砂与粘粒含量明显不同. 武威尘暴降尘中, 粉砂占 41. 14% (包括 6. 2% 的 30 ~ 100 μm 的颗粒), 粘粒占 33. 71%. 而兰州尘暴降尘中, 粉砂占 69. 07%, 粘粒占 20. 77%.

造成二者粒度组成上的差异, 笔者认为, 武威尘暴的源地在内蒙古额济纳旗拐子湖地区, 地处巴丹吉林沙漠北缘, 自然植被类型为沙拐枣沙漠^[13]. 兰州尘暴源地在金昌, 处于腾格里沙漠南缘, 自然植被类型较拐子湖地区复杂, 以山地沙生针茅、矮半灌木草原为主, 辅以琵琶柴砾漠^[13]. 可以说, 拐子湖地区植被覆盖不及金昌, 地表物质松散程度较金昌高. 当西北风经过时, 拐子湖被剥蚀的深度必大于金昌, 因此, 拐子湖地区的粘土质也会被更多地“被挟持”. 故武威尘暴的粘粒含量 (33. 71%) 高于兰州尘暴 (20. 77%), 相应地其粉砂含量 (41. 44%) 就低于兰州 (69. 07%).

再看发生在北京的浮尘天气.

1958 年 3 月 19 日的浮尘天气, 源地在南疆、敦煌, 自然植被类型为琵琶柴、麻黄、沙拐枣砾漠. 北京浮尘沉积物中粉砂含量 56% ~ 71%^[11], 也就是说粘粒含量不会超过 45%. 2000 年 4 月 6 日的浮尘天气, 源地在内蒙古中西部、河北西北部, 沙尘途经地处于我国北方干草原地带, 土地利用以牧草地和旱作耕地为主, 壤质和沙质土壤比例较高^[7], 因此北京浮尘中粘粒含量高, <5 μm 的粘粒多达 57. 4%.

以上两组例子说明, 同样的风力, 由于沙尘暴源地的地表覆被不同, 所沉降的沙尘粒度组成会有较大差异.

(3) 气旋条件. 形成沙尘暴的动力条件是冬季风与气旋活动的有机结合. 如果只有冬季风而无气旋, 气流表现为低空水平运移, 只能在局地形成沙尘暴, 而不形成远离源区的浮尘. 如 1983 年 4 月 27 日宁

夏、陕北发生特大沙尘暴, 但北京却未见浮尘天气.

但冬季风一旦辅以气旋, 足以将干燥地面的沙尘扬到高空, 为沙尘的长途搬运揭开序幕^[1]. 如 1958 年 3 月、1980 年 4 月北京降尘事件. 说明: ①黄土沉积有可能缺失某些冬季风活动记录; ②同样强度的冬季风, 若伴随的气旋强度不同, 对远源地区的影响可能大不相同.

(4) 搬运距离. 风洞实验表明, 粗砂粒不能在空气中悬浮搬运, 只能在地面跳跃迁移; 细砂可以进入地面以上 2 m 高度, 但不能做长途悬浮搬运; 粉砂颗粒是易浮动的, 易分散的, 为风沙的基本粒组, 可被带入 1 500 m 以上的高空, 作较长距离的搬运; 粘粒可悬浮于对流层中并被搬运到几千公里以外^[1, 14]. 张宁等研究了甘肃的沙尘暴降尘状况, 认为靠重力自然沉降的沙尘最远输送距离约为 400 ~ 2 500 km, 而粘粒在无湿沉降机会时, 被输送距离会更远^[14]. 主要物质源于腾格里、乌兰布和、库布齐和毛乌素等沙漠的黄土高原马兰黄土, 其粒度组成具区域分布规律, 自西北向东南趋细^[1], 也反映了粉尘堆积粒度与其搬运距离密切相关. 由于北京远离西北沙漠戈壁, 因此沉降物中粘粒含量较武威、兰州的高.

(5) 对第四纪沙尘沉积物——黄土而言, 其粒度除受上述四个因素控制外, 尚受沉积后成壤强度的影响. 孙有斌等^[15]研究发现, 原始粉尘经风化成壤改造后粒度发生细化. 这无疑给用粒度判断冬季风强度增添了不确定因素.

(6) 目前所处的冰后期与第四纪冰期的气候有很大差异, 如现代蒙古高压较冰期偏北^[16], 现代沙漠南界向北收缩^[4], 这都使得中国境内现代沙尘暴跟末次冰期有很大差异. 作为一个对比, 表 2 给出了现代沙尘暴沉积物与马兰黄土的粒度组成对比. 不难看出, 黄土中粗粒 (>0. 05 mm 的极细砂) 含量远大于现代尘暴沉积物, 但跟现代特强沙尘暴的粗粒组成相似. 说明末次冰期的冬季风强度、地表覆被、沙漠范围等与现代有很大差异.

表 2 马兰黄土与现代沙尘沉积物的粒度对比

Tab. 2 Grain-size comparison between Malan loess and the present sand - dust deposits

陇西马兰黄土 ^[11]		洛川马兰黄土 ^[11]		敦煌特大沙尘暴 ^[10]		兰州沙尘 ^[11]		北京浮尘 ^[12]	
粒度/ μm	含量/%	粒度/ μm	含量/%	粒度/ μm	含量/%	粒度/ μm	含量/%	粒度/ μm	含量/%
>50	23. 47	>50	6. 8	>30	39. 74	>50	0. 08	>10	23. 1
50 ~ 10	47. 40	50 ~ 10	53. 3	30 ~ 10	51. 12	50 ~ 10	69. 07	10 ~ 5	19. 5
10 ~ 5	7. 78	10 ~ 5	12. 5	10 ~ 5	9. 41	10 ~ 5	10. 08	5 ~ 1	27. 38
<5	20. 37	5 ~ 1	12. 9			<5	20. 77	<1	30. 02
万方数据		<1	14. 5						

3 结论

(1) 沙尘暴的形成需具备三个条件: ①地表上有丰富的沙尘物质——沙尘暴形成的物质基础; ②持续大风——沙尘暴形成的大尺度动力条件; ③气旋活动——沙尘暴形成的局地热动力条件^[6]. 由于形成沙尘暴的多因素性, 其沉降物粒径就不能单由冬季风强度决定. 风力一定时, 源区植被越好, 扬起的沙尘中细粒越少, 相应地粗粒越多; 源区沙化程度越高, 植被越差, 地表物质越松散, 扬起的沙尘中细粒越多, 相应地粗粒越少. 在源区地表覆被相似情况下, 风力强度决定沙尘的粒度组成.

(2) 我国境内的现代沙尘暴源地, 既有地质时期就已存在的沙漠和戈壁, 也有我国北方半干旱—半湿润地带因不合理的人为活动(如滥垦、滥牧、人口负荷过重等) 引起的沙漠化土地^[7, 17, 18]. 这是现代沙尘暴的一大特点. 表明人类活动已成为现代沙尘暴的影响因素之一. 目前, 我国北方土地沙漠化面积和发展速率仍在加大^[17, 18], 因此, 加强土地沙漠化治理, 正确协调人地关系, 是当前迫在眉睫的任务.

(3) 用黄土粒度指示冬季风变化时, 必须结合其他指标, 如有机碳、磁化率等, 才可能做出较正确的判断.

参考文献(References):

[1] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 197, 309 – 320.
[2] 唐化煜, 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.

[3] 汪海斌, 陈发虎, 张宗武. 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.
[4] 丁仲礼, 孙继敏, 刘东生. 联系沙漠-黄土演变过程中耦合关系的沉积学指标[J]. 中国科学(D 辑), 1999, 29(1): 82 – 87.
[5] A N 斯特拉勒, A H 斯特拉勒. 现代自然地理学[M]. 北京: 科学出版社, 1983. 397, 403.
[6] 王式功, 董光荣, 陈惠忠, 等. 沙尘暴研究的进展[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 349 – 355.
[7] 叶笃正, 丑纪范. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 513 – 521.
[8] 邱新法, 曾燕, 缪启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 316 – 322.
[9] 牛生杰, 章澄昌, 孙继明. 贺兰山地区沙尘暴若干问题的观测研究[J]. 气象学报, 2001, 56(2): 196 – 205.
[10] 张宁, 陆荫. 沙尘暴降尘的化学组份和粒径分布特征[J]. 甘肃环境与监测, 1998, 11(1): 3 – 7.
[11] 师育新, 戴雪荣. 兰州“930505”特大尘暴沉积物特征研究[J]. 沉积学报, 1995, 13(3): 76 – 82.
[12] 庄国顺, 郭敬华. 2000 年我国沙尘暴的组成、来源、粒径分布及其对全球环境的影响[J]. 科学通报, 2001, 46(3): 191 – 197.
[13] 中国自然地理图集编委会. 中国自然地理图集[Z]. 北京: 中国地图出版社, 1997. 199.
[14] 张宁, 黄维, 陆荫, 等. 沙尘暴降尘在甘肃的沉降状况研究[J]. 中国沙漠, 1998, 18(1): 32 – 37.
[15] 孙有斌, 周杰, 鹿化煜, 等. 风化成壤对原始粉尘粒度组成的改造[J]. 中国沙漠, 2002, 22(1): 16 – 20.
[16] 黄春长. 环境变迁[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 94 – 95.
[17] 王涛, 朱震达. 中国北方沙漠化的若干问题[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 56 – 63.
[18] 乌云娜, 裴浩, 白美兰, 等. 内蒙古土地沙漠化与气候变化和人类活动[J]. 中国沙漠, 2002, 22(3): 292 – 297.

Grain Size Distribution Characteristics of Deposits from Recent Sand-dust Storms and Its Environmental Significance

YANG Qian-jin

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Some cases of recent sand-dust storm with variety of intensity and origination area were cited in this paper, and the relationship between sand-dust grain size and the other three factors including wind force, land cover and distance away from origination area was discussed. It is thought that grain size characteristics of deposits are controlled by no less than wind force. Grain size of the loess (as the product of paleo-sand-dust storm) is not the single function of winter monsoon. The grain size of loess includes much information such as winter monsoon, land cover of origination area and distance away from origination area etc. So we should connect grain size with other proxies of environment to recover paleoclimate.

Key words: 沙尘暴; dust storm; grain size; winter monsoon; land cover; distance away from origination area