

哈尔滨沙尘暴沉降物特征研究

谢远云^{1,2} 何葵¹ 周嘉¹ 张丽娟¹ 康春国^{3,4}

(1. 哈尔滨师范大学地理系 黑龙江 哈尔滨 150080 2. 吉林大学地球科学学院 吉林 长春 130061;
3. 中国地质大学地球科学学院 湖北 武汉 430074 4. 哈尔滨学院地理系 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要 从沉积学角度对哈尔滨 2002 年 3 月 20 日的沙尘暴沉降物进行了粒度组成和化学成分分析。研究结果表明, 沙尘含有大量的粗颗粒物质, 表现出明显的三峰分布特征, 说明它是由多种成因的组分构成。其粒度组成以粉砂 (4~8Φ) 为主, 占 71.18%, 大于 4Φ 的砂粒组分占 21.69%, 小于 8Φ 的粘土组分仅占 7.13%, 平均粒径 M_z 为 5.14Φ。沙尘主要化学成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 , 三者之和达 77.8%。Mg、K、Si、Fe、Mn、P、Ti、Co、Ni、V 等元素的富集因子都在 1 左右, 主要是地壳来源, Cu、Pb、Zn、Cr、Se 等元素有一部分来自于地壳源之外的其他污染源, 而 As、Cd 和 Sb 元素主要来自于大气污染源。粒度组成、化学组成及富集因子、判别函数、物源指数等分析表明, 哈尔滨沙尘的粒度及元素组成明显异于兰州黄土及沙尘, 其沙尘源区不同于西北黄土及兰州沙尘。强风作用下较粗颗粒的沙尘就地扬起, 与长距离搬运的粉尘相互混合, 形成了哈尔滨沙尘暴沉降物。

关键词 哈尔滨 沙尘暴 粒度组成 化学成分

中图分类号 P445⁺.4 文献标识码 A 文章编号 1672-0504(2007)01-0087-05

0 引言

沙尘暴天气是在特定的地质地理环境下, 由特定的大气环流背景所诱发的一种小概率大危害的灾害性天气, 它的发生与发展既是一种加速土地荒漠化的重要过程, 又是土地荒漠化发展到一定程度的具体体现^[1]。20 世纪我国沙尘天气每十年发生的频率由 50 年代的 4 次发展到 90 年代的 23 次, 呈明显上升趋势^[2]。2002 年春季, 我国北方大部分地区频发的沙尘天气使人们逐渐认识到沙尘天气不仅仅是一种自然现象, 其严重程度和频繁出现还会带来严重的生态和环境问题。

当前在沙尘暴研究方面, 多数学者把注意力集中在京津和西北地区^[3-5], 对于东北地区特别是黑龙江地区的关注明显不够。实际上, 近年来哈尔滨的沙尘天气呈上升趋势, 西南、西北、东北三大沙化带已对哈尔滨形成包围态势。哈尔滨沙尘天气缘于西北、内蒙古, 这一观点已成为人们的思维定势。笔者对哈尔滨 2002 年沙尘暴沉降物进行了采样测试, 并对其粒度特征进行了初步研究^[6]。本文主要从沉积学角度研究哈尔滨 2002 年 3 月 20 日沙尘暴沉降物的特征, 拟提供该沉降物的粒度组成与化学元素组成等, 这不仅为哈尔滨沙尘研究提供基础地质资料, 而且对研究哈尔滨沙尘暴沉积物来源、治理沙尘暴等都有重要意义。

1 研究方法

1.1 样品采集

2002 年 3 月 20 日, 哈尔滨遭遇沙尘天气。傍晚时分, 哈尔滨上空弥漫着一片灰黄色粉尘物质, 能见度降到 100 m 以下, 风力虽不大, 但可呼吸到明显的尘土味。沙尘过后, 所有建筑物甚至树叶上都布满了厚厚的沙尘沉降物。笔者于次日上午在哈尔滨师范大学行政楼楼顶处用样品刷收集沙尘样品。沉降物为干燥、松散而又十分新鲜的浅黄褐色粉末体。沙尘暴的前一天(19 日), 哈尔滨普遍降雨, 雨水将建筑物顶部表面冲刷的较干净, 因此, 沙尘过后在这些建筑物顶部平面所采集的样品纯净度较高, 使得这次沙尘暴过程的降尘更多地保持了源区特性, 是一次典型的沙尘暴过程。

1.2 粒度组成及化学成分

样品粒度分析采用英国 Malvern 公司的 Master-size 2000 激光粒度分析仪, 粒度测量范围为 0.02~2 000 μm , 重复测量误差小于 2%。样品经低温烘干后称取 1 g 左右进行前处理: 加入蒸馏水和 10% 双氧水去除样品中的有机质, 加入 10% 盐酸去除无机碳, 加入蒸馏水静置 24 h, 然后加入分散剂并用超声振荡 15 min, 形成高分散的颗粒悬浮液, 供激光粒度分析仪测定。粒级标准采用尤登—温德华氏等比制 Φ 值粒级标准。沉积物粒度参数的计算根据

文献 7] 得出。

用 X 射线荧光法对样品进行常量和微量元素测试, 其中常量元素包括 Si、Al、Fe、Ca、Mg、K、Na、Ti、P、Mn, 其含量用其氧化物表示; 微量元素为 V、Cr、Ni、Cu、Pb、Zn、Co、Rb、As、Sr、Y、Zr、Nb、Ba。

2 结果与讨论

2.1 沉降物的粒度组成及分布特征

粒度分析结果表明, 沉降物以粉砂($4\sim 8\Phi$)为主, 占 71.18%, 其中粗粉砂($4\sim 6\Phi$)和细粉砂($6\sim 8\Phi$)分别占 52.01% 和 19.17%, 其次为砂粒组分($>4\Phi$), 占 21.69%, 其中细砂($2\sim 4\Phi$)、中砂($1\sim 2\Phi$)和粗砂($-1\sim 1\Phi$)分别占 15.76%、4.44% 和 1.49%。粘土($<8\Phi$)含量最少, 仅占 7.13%, 其中粗粘土($8\sim 10\Phi$)和细粘土($<10\Phi$)分别占 4.82% 和 2.31%。沉积物的平均粒径 M_z 为 5.14Φ , 第一众数为 $4.85\sim 5.10\Phi$; 分选系数 SD 为 1.81, 显示分选差, 偏态 SK 为 0.044, 说明沉降物粒度分布属近对称形态, 峰态 KG 为 1.494, 属尖窄峰态类型, 说明沉降物粒度分布是一个很尖锐的频率曲线。

频率曲线反映了不同成因组分在沉积物中的分布特征。哈尔滨沙尘的粒度频率曲线(图 1)是一条头短而尾细长的三峰型尖锐曲线, $4.85\sim 5.10\Phi$ 的粗粉砂组成第一众数(峰), 并以这个众数(峰)为中心向粗粒及细粒减小, 但由众数粒径向粗粒端减小的速率比向细粒端快得多, 说明沙尘天气不仅带来大量粗粒物质, 还有相当多的细粒物质。在 $1\sim 1.25\Phi$ 处出现一个明显的平台, 即出现第二个众数, 接着在 $10.25\sim 10.5\Phi$ 处出现第三个众数。在沙尘暴多发区对现代降尘物粒度的多峰态分布特征有过研究^[8, 9]。

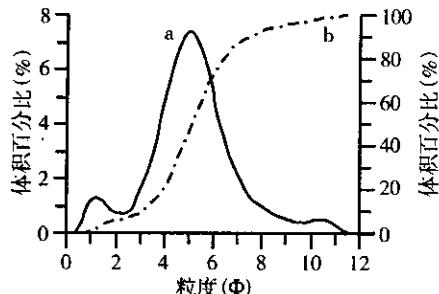


图 1 哈尔滨沙尘粒度频率曲线(a)和累积频率曲线(b)

Fig. 1 Frequency curve and cumulative frequency curve for Harbin sand-dust fallout

沉积动力学研究发现介质中由于搬运方式和搬运距离不同导致多成因组分并存, 单成因组分的频率分布为单峰光滑曲线, 多成因组分的频率曲线是多峰分布的连续光滑曲线^[10]。因此, 根据频率曲线上分布的众数(峰)即可确定不同成因的组分数, 众

数峰值的高低说明此种成因组分对样品整体贡献率的大小^[11]。Patterson 等的研究表明^[12], 大气粉尘粒子的粒度分布实际上是 3 个不同成因组分的组合, 粒径范围分别介于直径 $2\sim 20\ \mu\text{m}$ (B) $20\sim 100\ \mu\text{m}$ (A) 和 $0.04\sim 1\ \mu\text{m}$ (C), 其中 B 代表正常情况下均存在的粉尘, A 代表与中等强度搬运相关联的粉尘, 可能与尘暴搬运的粉尘关系最密切, C 代表气溶胶粒子的沉积物。哈尔滨沙尘粒度分布与 Patterson 等^[12]提出的大气粉尘的 2 个模态对应良好, 第一主峰与 A 对应, 第三主峰与 C 对应, 第二主峰应该与近源粗颗粒物质有关。因此, 哈尔滨沙尘粒度的三峰分布特征, 说明它是由多种成因组分所构成。

张小曳等研究认为^[13], 中国华北和东北地区的沙尘源于西北和内蒙古沙地的风力起尘。对比 1993 年兰州^[5]、1996 年敦煌^[14]、1995 年武威^[14]、2000 年和 2002 年北京^[2, 9]等沙尘沉积物的粒度组成发现, 哈尔滨沙尘粒度远大于上述地区, 也远高于黄土高原区的黄土(表 1)。根据粉尘动力学研究^[15, 16], 不同粒径的粉尘颗粒需要不同动力条件才能进行较长距离的搬运。在一般风暴条件下, $10\ \mu\text{m}$ 以下的颗粒在大气中可搬运百万米。在气旋性风暴条件下, $10\sim 20\ \mu\text{m}$ 以下的颗粒在空气中的搬运距离达 500 km 以上, $30\ \mu\text{m}$ 以上的颗粒很难搬运到 100 km 以外的地方。Moldvyl 的试验结果也表明^[17]: $15.6\sim 62.5\ \mu\text{m}$ 的粗粉砂在空气中极易浮动, 大于 $62.5\ \mu\text{m}$ 的砂颗粒, 随粒径的变粗, 在空气中的浮动性能越来越差。黄土粒度研究结果^[18]表明, 大于 $62.5\ \mu\text{m}$ 的砂级粒径颗粒在黄土中含量很少, 沙漠边缘地区的黄土沉积中可以发现砂级粒径的颗粒, 而在远离沙漠数十万米的黄土堆积区则以 $5\sim 50\ \mu\text{m}$ 的颗粒为主。说明粒径大于 $62.5\ \mu\text{m}$ 的颗粒很难远距离搬运。熊尚发等^[19]对红土、黄土和沙漠进行粒度对比研究, 也认为粒径大于 $62.5\ \mu\text{m}$ 的粗颗粒组分即使在强风暴条件下也很难在空气中长距离搬运。显然, 沙尘中大量的大于 $62.5\ \mu\text{m}$ 的粗颗粒组分

表 1 哈尔滨沙尘粒度组成与其他地区对比
Table 1 Comparison of grading formation of Harbin sand-dust fallout with other areas

	砂 (%)	粗粉砂 (%)	细粉砂 (%)	粘土 (%)	平均粒径 (Φ)
哈尔滨沙尘物	21.7	52.01	19.17	7.13	5.14
兰州沙尘物	0.08	69.07	10.08	20.77	6.44
北京沙尘物	1	41	43	15	6.18
民和黄土	12.02	70.53	8.94	8.51	5.59
兰州黄土	7.44	43.02	25.13	27.02	6.25
洛川黄土	5.92	46.75	12.23	34.65	6.64
西安黄土	0.53	25.93	11.48	62.07	9.17

注: 兰州和北京沙尘物粒度数据分别参考文献 5 和 9; 民和、兰州、洛川和西安黄土粒度数据分别参考文献 20~23。

不太可能来源于远离哈尔滨的中国西北和内蒙古地区的风力起尘,而且粗颗粒物质扬起高度和搬运距离也有限,沙尘中大量的粗颗粒物质只能来源于就地起沙,为低空气流搬运的近源物质堆积。

2.2 沉降物的化学成分

沙尘暴沉降物主要元素以 SiO_2 和 Al_2O_3 为主,

表2 哈尔滨沙尘主要化学成分(%)及与其他地区对比

Table 2 Main chemical components of the sand-dust fallout in Harbin and a comparison with other areas

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	a	b	c	d
哈尔滨沙尘暴	58.53	13.91	5.36	2.11	2.15	2.78	1.72	0.84	0.23	0.12	4.21	3.04	1.62	0.48
兰州沙尘暴	52.88	11.36	4.84	8.57	3.71	2.33	0.55	0.66	0.161	0.087	4.65	3.26	4.24	1.01
黑垆土 S_0	53.68	11.31	4.5	9.16	2.44	2.33	1.29	0.63	0.17	0.085	4.75	3.40	1.81	1.13
马兰黄土 L_1	55.35	11.04	4.31	8.97	2.70	2.33	1.77	0.6	0.143	0.082	5.01	3.61	1.32	1.18
古土壤 S_1	54.28	11.61	4.85	8.08	2.74	2.54	1.7	0.67	0.165	0.092	4.68	3.30	1.49	1.06

注 a 为 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, b 为 $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$, c 为 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, d 为 $(\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$; 兰州沙尘沉积物和黄土地层化学成分数据分别参考文献[21]和[24]表3同。

微量元素分析结果为(表3)V 124.8、Cr 81、Ni 30、Cu 33.7、Pb 36.4、Zn 117.7、Co 21.5、Rb 109.5、As 14.3、Sr 198.3、Y 28.6、Zr 231、Nb 19.7、

两者之和占 72.44%; 其次为 Fe_2O_3 , 占 5.36%; CaO 、 MgO 和 K_2O 含量相当(表2)。与兰州沙尘暴沉积物相比(表2)除 Ca 和 Mg 含量偏低外(特别是 Ca 含量明显偏低), 其余元素含量偏高。与黄土地层样品相比(表2), 沙尘暴沉积物具有 Si 、 Al 、 Fe 和 K 含量较高而 Ca 和 Mg 含量较低的特点。

表3 哈尔滨沙尘微量元素分布及与其他地区对比 单位: ppm

Table 3 Microelement distribution of the sand-dust fallout in Harbin and a comparison with other areas

	V	Cr	Ni	Cu	Pb	Zn	Co	Rb	As	Sr	Y	Zr	Nb	Ba
哈尔滨沙尘暴	124.8	81	30	33.7	36.4	117.7	21.5	109.5	14.3	198.3	28.6	231	19.7	605.1
兰州沙尘暴	77	83	42.4	57.4	59.9	135	14.6	96	17.7	318	25.6	229	15.1	538
黑垆土 S_0	54.6	71.1	32.7	24.6	21.7	71	15.6	98.7	14	214	25.7	229	14.4	606
马兰黄土 L_1	93	75	26.4	17.9	20.3	61.5	14.6	96	10.5	285	24.1	212	15.3	539
古土壤 S_1	87	69	33	24.4	20.2	72.9	15.3	105	15	250	28	215	15.9	491

元素的富集因子(EF)反映了沉积物中的元素相对于地壳丰度的富集程度, 常用于沉积物物源追踪^[2]。富集因子定义为: $EF = [X/\text{Ref}]_{\text{样品}}/[X/\text{Ref}]_{\text{来源}}$ 。 $[X/\text{Ref}]_{\text{样品}}$ 表示某一感兴趣的元素与参考元素在样品中的含量比。 $[X/\text{Ref}]_{\text{来源}}$ 表示某一感兴趣的元素与参考元素在来源中的含量比。常用 Al 、 Fe 或 Sc 作为地壳源的参考元素。因此富集因子又可表示为 $EF = [X/\text{Al}]_{\text{样品}}/[X/\text{Al}]_{\text{地壳}}$ 。元素的富集因子可以指示沉积物中元素的地壳或非地壳来源, 富集因子接近 1 表示地壳来源, 大于 10 为非地壳来源。将 22 种元素分成 3 类(图2): 1) Ca 、 Na 、 Sr 等元素的富集因子小于 1, 在 0.6 左右; 2) Mg 、 K 、 Si 、 Fe 、 Mn 、 P 、 Ti 、 Co 、 Cu 、 Zn 、 Ni 、 V 、 Cr 、 Pb 、 Se 等元素的富集因子都在 1 左右。表明以上元素主要是地壳来源, 来源于地表土的风力起尘。必须指出的是, Cu 、 Pb 、 Zn 、 Cr 、 Se 的含量分别为 0.00337%、0.00364%、0.01177%、0.0081%、0.000027%, 比其在地壳中的丰度 0.0025%、0.0014%、0.007%、0.0035%、0.00001% 分别约高出 25.8%、61.5%、40.5%、56.8%、63%, 这说明 Cu 、 Pb 、 Zn 、 Cr 、 Se 等元素有一部分来自于地壳源之外的其他污染源。 Pb 和 Zn 是公认的大气污染成分, 来自汽车和工厂的废气排放,

与兰州沙尘相比, 哈尔滨沙尘 V 、 Co 、 Rb 、 Y 、 Nb 和 Ba 含量较高, 与黄土地层样品相比, V 、 Cr 、 Cu 、 Pb 、 Zn 、 Co 、 Rb 和 Nb 含量偏高(表3)。

而 Se 是煤的主要杂质。3) As 、 Cd 和 Sb 元素的富集因子分别高达 10.14、12.76、6.75, 这 3 种元素主要来自于污染源, 哈尔滨的生活及工业用煤应该是这 3 种元素的主要贡献者。

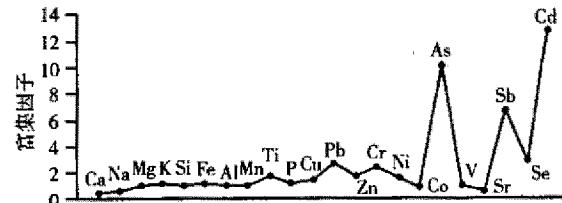


图2 哈尔滨沙尘元素富集因子

Fig.2 Element enrichment factor of the sand-dust fallout in Harbin

判别函数(Discriminant Function, DF)用来判断待判采样点沉积物与某一标准端元沉积物(来源沉积物)的接近或相似程度, 常用于沉积物物源判别^[25]。 $DF = |(C_{x1}/C_{x2})/(C_{\text{Ref1}}/C_{\text{Ref2}}) - 1| / (C_{x1}/C_{x2})$ 表示待判采样点沉积物中两种元素的比值, $(C_{\text{Ref1}}/C_{\text{Ref2}})$ 表示标准端元沉积物(来源沉积物)中这两种元素的比值。一般 DF 的绝对值小于 0.5 即认为两种沉积物接近。选择沉积物元素与 Al 的比值来计算哈尔滨沙尘与兰州黄土之间以及兰州沙尘与兰州黄土之间的 DF 值(图3), 探讨哈尔滨沙尘、兰州沙尘及兰州黄土之间的关联性。兰州沙尘与兰

州黄土之间的 DF 值普遍小于哈尔滨沙尘与兰州黄土之间的 DF 值, 兰州沙尘与兰州黄土之间的 DF 值仅污染源元素 Cu、Pb、Zn 和 As 偏高。因此, 排除沉降物后期的污染因素, 兰州沙尘的元素组成比哈尔滨沙尘更接近于兰州黄土的元素组成, 哈尔滨与兰州沙尘存在不同的沙尘源区。

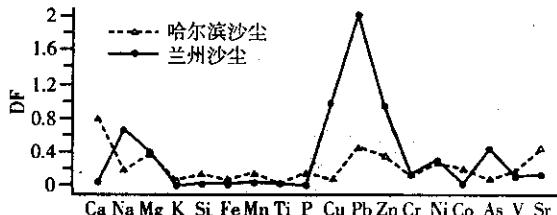


图 3 哈尔滨、兰州沙尘与兰州黄土元素之间的 DF 值比较
Fig. 3 Comparison of DF value of Harbin, Lanzhou sand-dust fallout and Lanzhou loess

物源指数(PI)常用于物源分析^[26], 其计算如下:

$$PI = \frac{\sum |C_{ix} - C_{i1}|}{(\sum |C_{ix} - C_{i1}| + \sum |C_{ix} - C_{i2}|)}$$

其中 C_{ix} 为待判沉积物中元素 i 的质量分数; C_{i1} 、 C_{i2} 分别为端员沉积物 1、端员沉积物 2 中元素 i 的质量分数。该公式中包含了大部分地球化学性质较稳定的分析元素, 因此它反映的是沉积物之间化学成分总的接近程度。PI 介于 0~1, PI 小于 0.5 表明待判沉积物与端员沉积物 1 化学组成相近, PI 大于 0.5 表明待判沉积物与端员沉积物 2 化学组成相近。本文中西北黄土为待判沉积物, 哈尔滨沙尘为端员沉积物 1, 兰州沙尘为端员沉积物 2。西北黄土的物源指数 PI($h-1$) 为 0.75, 明显大于 0.5, 表明西北黄土的元素组成非常接近兰州沙尘, 而明显不同于哈尔滨沙尘。兰州沙尘主要物源十分类似于西北黄土, 而哈尔滨沙尘主要物源显著异于西北黄土。

3 结论

(1) 哈尔滨沙尘含有大量的粗颗粒物质, 表现出明显的三峰分布特征, 说明它是由多种成因的组分构成。第一主峰代表与中等强度搬运相关联的粉尘, 可能与尘暴搬运的粉尘关系最密切, 第三主峰代表气溶胶粒子的沉积物, 第二主峰应该与近源粗颗粒物质有关。其粒度组成主要是以粉砂(4~8Φ)为主, 占 71.18%, 大于 4Φ 的砂粒组分占 21.69%, 小于 8Φ 的粘土组分仅占 7.13%; 平均粒径 M_z 为 5.14Φ, 分选系数为 1.81, 偏态为 0.044, 峰态为 1.494。

(2) 哈尔滨沙尘主要化学成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 , 三者之和达 77.8%, 比兰州沙尘高 8.72%, 比兰州黄土高 7.06%。沙尘中的 V、Rb、Nb、Ba 等微量元素含量明显高于兰州沙尘, 而 Ni、Cu、Pb、Zn、

As、Sr 则低于兰州沙尘。

(3) 沙尘中的 Ca、Na、Sr 元素的富集因子明显小于 1, 为亏损元素; Mg、K、Si、Fe、Mn、P、Ti、Co、Cu、Zn、Ni、V、Cr、Pb、Se 等元素的富集因子都在 1 左右, 主要源于地表土的风力起尘。但 Cu、Pb、Zn、Cr、Se 等元素部分来自于地壳源之外的其他污染源; As、Cd 和 Sb 元素的富集因子大于 10, 源于大气污染物。

(4) 沙尘沉降物中大量粗颗粒物质的扬起高度和搬运距离有限, 综合沙尘粒度及化学组成特征, 哈尔滨沙尘不是来源于西北和内蒙古地区的风力起尘, 而是低空气流搬运的近源物质堆积。

沙尘样品的粒度分析由南京师范大学地理系的陈晔老师完成, 化学分析由国土资源部黑龙江省中心实验室完成, 此致谢忱!

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 庄国顺, 郭敬华, 袁蕙, 等. 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.
- [3] 吕新苗, 刘惠清, 王文杰, 等. 北京周边地区沙尘暴时空分布特征及其环境背景[J]. 地理研究, 2004, 23(1): 38~44.
- [4] 刘学锋, 安月改, 田国强. 京、津、冀区域群发性强沙尘暴分析[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(6): 74~76.
- [5] 戴雪荣, 师育新, 薛滨. 兰州现代特大尘暴沉积物粒度特征及其意义[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1995, 31(4): 168~174.
- [6] 何葵, 谢远云, 张丽娟, 等. 哈尔滨 2002 年 3 月 20 日沙尘暴沉降物的粒度特征及其意义[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 597~600.
- [7] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 北京: 地质出版社, 1978. 31~143.
- [8] MCTAINSH G H, MCKLING W G, LYNCH A W. Dust deposition and particle size in Mali, West Africa[J]. Catena, 1997, 29: 307~322.
- [9] 王赞红, 夏正楷. 北京 2002 年 3 月 20—21 日尘暴过程的降尘量与降尘粒度特征[J]. 第四纪研究, 2004, 24(1): 95~99.
- [10] ASHLEY G M. Interpretation of polymodal sediments[J]. The Journal of Geology, 1978, 86(4): 411~421.
- [11] 刘艳霖, 岳乐平, 帕拉提. 陕西老高川红粘土剖面粒度磁化率特征及古环境意义[J]. 中国地质, 2005, 32(3): 496~501.
- [12] PATTERSON E M, GILLETT D A. Commonalities in measured size distribution for aerosols having a soil-derived component[J]. Journal of Geophysical Research, 1977, 82: 2074~2082.
- [13] 张小曳, 张光宇, 朱光华, 等. 中国源区粉尘的元素示踪[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(5): 423~430.
- [14] 张宁, 陆荫. 沙尘暴降尘的化学组分和粒径分布特征[J]. 甘肃环境与监测, 1998, 11(1): 3~7.
- [15] 岳乐平, 杨利荣, 李智佩, 等. 阿拉善高原干涸湖床沉积物与华

北地区沙尘暴[J].第四纪研究,2004,24(3):311-317.

[16] 岳乐平,杨利荣,李智佩,等.西北地区干枯湖床沉积粒度组成与东亚沙尘天气[J].沉积学报,2004,22(2):325-331.

[17] 胡刚,王乃昂,罗建育,等.花海湖泊古风成砂的粒度特征及其环境意义[J].沉积学报,2001,19(4):642-647.

[18] 鹿化煜,安芷生.黄土高原红粘土与黄土古土壤粒度特征对比[J].沉积学报,1999,17(2):226-232.

[19] 熊尚发,丁仲礼,刘东生.赣北红土与北京临区黄土及沙漠砂的粒度特征对比[J].科学通报,1999,44(11):1216-1219.

[20] 谢远云,张序强,何葵,等.青藏高原东北缘黄土粒度组成及物质来源分析[J].中国地质,2002,29(3):317-321.

[21] 陈发虎,张维信.甘青地区的黄土地层学与第四纪冰川问题[M].北京:科学出版社,1990.107-121.

[22] 刘东生.黄土与环境[M].北京:科学出版社,1985.185-207.

[23] 孙建中,赵景波.黄土高原第四纪[M].北京:科学出版社,1991.78-85.

[24] 师育新,戴雪荣,李节通,等.兰州930505特大沙尘暴沉积物特征研究[J].沉积学报,1995,13(3):76-82.

[25] 杨守业,李从先.长江与黄河沉积物元素组成及地质背景[J].海洋地质与第四纪地质,1999,19(2):19-25.

[26] 杨守业,李从先,张家强.苏北滨海平原冰后期古地理演化与沉积物物源研究[J].古地理学报,2000,2(2):65-72.

Feature of Sand-Dust Sediments from a Sandstorm in Harbin City

XIE Yuan-yun^{1,2}, HE Kui¹, ZHOU Jia¹, ZHANG Li-juan¹, KANG Chun-guo^{3,4}

(1. Geography Department, Harbin Normal University, Harbin 150080; 2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061; 3. College of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074; 4. Geography Department, Harbin Institute, Harbin 150080, China)

Abstract: From the sedimentologic view, this paper deals with the particle size distribution and chemical composition of sandstorm sediments, took place in Harbin on March 20, 2002. The result indicated that sand-dust sediments gave priority to silt (4~8Φ), occupied 71.18%, sand composition (>4Φ) occupied 21.69%, and clay composition (<8Φ) occupied 7.13%. The sediments granularity distribution was characterized by three-peak states, thick silt of 4.85~5.10Φ grain grade composed first main peak, medium sand of 1~1.25Φ grain grade composed second main peak, and clay composition of 10.25~10.5Φ grain grade composed third main peak. The average grain diameters of sediments (Mz) was 5.14Φ. The sand-dust contained more Si, Al, and Fe, while Ca and Mg were lower. Enrichment factor analysis showed that elements such as Mg, K, Si, Fe, Mn, P, Ti, Co, Ni and V, were mainly influenced by crustal matters, and elements of Cu, Pb, Zn, Cr and Se were not only influenced by crustal matters but also by pollutants, however, As, Cd and Sb were from pollutants. The granularity of sand-dust sediments was the coarsest in the reports so far. And at the same time sand-dust sediments was admixture, derived from different sources both far distance and short distance, and coarse particle was near-sources material that was transmitted by low altitude airflow.

Key words: Harbin sandstorm, grain-size composition, chemical composition

(上接第82页)

[38] 薛铎.黄河东段形成时代管见[J].河南地质,1996,14(2):110-112.

[39] 扬守业,蔡进功,李从先,等.黄河贯通时间的新探索[J].海洋地质与第四纪地质,2001,21(2):15-19.

[40] 刘书丹,李广坤,李玉信,等.从河南东部平原第四纪沉积物特征探讨黄河的形成与演变[J].河南地质,1988,6(2):20-24.

[41] 李有利,史兴民,傅建利,等.山西南部1.2MaB.P.的地貌转型事件[J].地理科学,2004,24(3):292-297.

[42] 潘保田,王均平,高红山,等.河南扣马黄河最高级阶地古地磁年代及其对黄河贯通时代的指示[J].科学通报,2005,50(3):255-261.

[43] 潘保田,王均平,高红山,等.从三门峡黄河阶地的年代看黄河何时东流入海[J].自然科学进展,2005,15(6):700-705.

[44] 岳乐平,雷祥义,屈红军.黄河中游水系的阶地发育时代[J].地质论评,1997,43(2):186-192.

Uplift of the Qinghai-Tibet Plateau and Formation, Evolution of the Yellow River

LIU Zhi-jie¹, SUN Yong-jun^{2,3}

(1. College of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. Institute of RS and GIS, Peking University, Beijing 100871;

3. China Aero Geophysical Survey & RS Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: The Qinghai-Tibet Plateau had experienced two stages of uplift and planation during Tertiary. It started rapid uplift from the last Tertiary. The rapid uplift was divided into three periods (Qingzang movement, phase A: 3.6~3.4 MaB.P., phase B: 2.6~2.5 MaB.P., phase C: 1.8~1.4 MaB.P.), Kunhuang movement (1.2~0.6 MaB.P.) and Gonghe movement (0.15~0 MaB.P.). A series of terraces of the Yellow River were formed because of intermittent stream downcuttings in the process of the uplift of the Qinghai-Tibet Plateau. Comparing the oldest terraces of different reaches indicates that the middle reach of the Yellow River (from Jishi Gorge to Sanmen Gorge) formed about 1.6 MaB.P. and then the Yellow River passed through the Sanmen Gorge and flowed into the sea about 1.4 MaB.P. during the phase C of Qingzang movement; it started its history of tracing to the source from 1.2 MaB.P. in which it arrived in Gonghe basin about 0.15 MaB.P. and reached Duoshi Gorge in the interstadial stage of the last glacial period (45~25 kaB.P.) and ran through the Duoshi Gorge about 11~10 kaB.P.. From then the modern Yellow River drainage system formed eventually.

Key words: Qingzang movement, Kunhuang movement, Gonghe movement, the Yellow River, terrace