

# 哈尔滨沙尘暴的化学特征及其物质源探讨

谢远云<sup>1,2</sup>, 何 葵<sup>2</sup>, 周 嘉<sup>2</sup>, 康春国<sup>3,4</sup>

(1. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061; 2. 哈尔滨师范大学, 哈尔滨 150080;

3. 中国地质大学, 地球科学学院, 武汉 430074; 4. 哈尔滨学院, 哈尔滨 150080)

**摘要:** 对哈尔滨 2002 年 3 月 20 日的沙尘沉降物进行了收集。地球化学元素分析表明, 哈尔滨沙尘暴沉降物化学成分以  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  为主, 三者之和达 77.8%, 比兰州沙尘暴沉积物高 8.72%, 比兰州黄土高 7.06%。V、Rb、Nb、Ba 等微量元素含量要明显高于兰州沙尘, 而 Ni、Cu、Pb、Zn、As、Sr 则低于兰州沙尘。 $\text{Ca}$ 、 $\text{Na}$ 、 $\text{Sr}$  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、Ni、V 等元素的富集因子都在 1 左右, 主要是地壳来源, 来源于地表土的风力起尘。 $\text{Cu}$ 、 $\text{Pb}$ 、 $\text{Zn}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Se}$  等元素有一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, 为大气污染来源。沙尘的化学组成及富集因子、判别函数、物源指数、地表土的粘粒率、化学风化指标等分析表明, 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, 哈尔滨沙尘源区不同于西北黄土及兰州沙尘, 其气候生物状况和化学风化程度要明显好于或高于西北沙尘源区。

**关 键 词:** 哈尔滨沙尘; 化学组成; 沙尘源区

**文章编号:** 1000-0585(2006)02-0255-07

沙尘暴是一种危害极大的灾害性天气, 它的发生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表现<sup>[1]</sup>。国外从 20 世纪 20 年代就开始了沙尘暴时空分布、成因与结构以及监测与对策方面的研究, 国内 20 世纪 70 年代开始对沙尘暴天气进行研究<sup>[2]</sup>。从 20 世纪 80 年代起, 从沙尘物质成分的角度去分析沙尘暴的源地、输送量和沉降机制日渐成为沙尘暴研究重点<sup>[3]</sup>。杨东贞对 1988 年北京沙尘的化学特性进行了研究<sup>[4]</sup>。蔡晨霞根据江苏常州、南京及陕西西安沙尘的化学特征对其源地进行了探讨<sup>[5]</sup>。张仁健<sup>[6]</sup>、孙业乐<sup>[7]</sup>、王玮<sup>[8]</sup>、庄国顺<sup>[9]</sup>等报道了 2000 年与 2002 年北京沙尘暴的理化特性及物质来源。中国华北及西北地区沙尘暴问题已引起社会广泛关注<sup>[9~14]</sup>。

当前大多数学者主要研究华北和西北地区的风沙暴<sup>[10,13,14]</sup>, 对于东北特别是黑龙江地区的关注明显不够。对哈尔滨沙尘暴沉降物、沙尘源区及潜在源区地表沙尘土理化特性研究在黑龙江省尚属空白。哈尔滨的沙尘天气缘于西北、内蒙古, 这一观点已成为人们的思维定势。实际上, 近几年来哈尔滨的浮尘、扬沙、沙尘暴天气呈上升趋势。西南、西北、东北三大块沙化带已对哈尔滨起包围态势。沙尘从何处来? 我们近期对哈尔滨 2002 年沙尘暴沉降物进行了采样测试, 并对其粒度特征及意义进行了初步研究<sup>[15]</sup>。本文作为该项研究的一部分, 拟提供该沉降物的化学特征分析结果, 并对其物质来源进行探讨。

**收稿日期:** 2005-05-11; **修订日期:** 2005-08-26

**基金项目:** 黑龙江省自然科学基金项目 (G0213)、黑龙江省教育厅科学技术研究项目 (10531075) 资助。

**作者简介:** 谢远云 (1971—), 男, 江西省瑞金市人, 副教授。主要从事第四纪地质研究工作。

Email: xyy0451@sina.com

## 1 材料与方法

2002年3月20日，哈尔滨遭遇了沙尘天气。到傍晚时分，哈尔滨上空已弥漫着一片灰黄色粉尘物质，能见度降到100m以下，风力虽不大，但可呼吸到明显的尘土味。沙尘过后，所有建筑物上以及树叶上都布满了厚厚的沙尘沉降物。作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了这些沙尘样品。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得较干净，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，使得这次尘暴过程的降尘更多地保持了源区特性。对收集到的沙尘暴沉积物在国土资源部黑龙江省中心实验室用X射线荧光法进行了元素含量测试。

为与其他地区沙尘对比，我们利用兰州1993年5月5日尘暴的化学组成<sup>[16]</sup>，该尘暴样品的取样方法及化学测试方法与本文完全相同，故对哈尔滨及兰州两地沙尘样品的对比是比较可行的。

## 2 沉降物的化学成分

哈尔滨沙尘沉降物化学组成的分析结果列于表1和表2。沙尘暴沉积物主要化学成分（表1）为SiO<sub>2</sub>（58.53%）、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（13.91%）和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（5.36%），其次为K<sub>2</sub>O、MgO、CaO、Na<sub>2</sub>O、TiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、MnO等，含量分别为2.78%、2.15%、2.11%、1.72%、0.84%、0.23%、0.12%。其中，SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>三者之和达77.8%，比兰州沙尘暴沉积物高8.72%，比兰州黄土高7.06%（表1）。由于Al、Fe、Si在暖湿气候条件下相对富集，而在干冷条件下相对含量则降低<sup>[17]</sup>，这种富硅铝铁现象表明哈尔滨沙尘源区的环境状况要明显好于兰州沙尘源区。

表1 哈尔滨沙尘暴沉降物主要化学成分（%）及其与其他地区对比

Tab. 1 Main chemical components of the dustfall deposits and a comparison with other areas

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
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
兰州沙尘暴 <sup>[16]</sup>	52.88	11.36	4.84	8.57	3.71	2.33	0.55	0.66	0.16	0.09
兰州黄土 <sup>[18]</sup>	54.28	11.61	4.85	8.34	2.74	2.41	1.70	0.67	0.17	0.09

表2 哈尔滨沙尘暴沉降物微量元素分布（ppm）及其与其他地区对比

Tab. 2 Microelementary distribution of the dustfall deposits 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	81.0	30.0	33.7	36.4	117.7	21.5	109.5	14.3	198.3	28.6	231.0	19.7	605.1
兰州沙尘暴 <sup>[16]</sup>	77.0	83.0	42.4	57.4	59.9	135.0	14.6	96.0	17.7	318.0	25.6	229.0	15.1	538.0
兰州黄土 <sup>[18]</sup>	87.0	75.0	33.0	29.5	20.3	70.9	14.6	96.0	12.5	285.0	24.1	212.0	15.3	539.0

微量元素分析结果（表2）为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, Ba 605.1。与兰州沙尘暴沉积物相比，沙尘暴沉积物中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。

### 3 物源分析

#### 3.1 元素的富集因子分析

元素的富集因子 (enrichment factor, EF), 是指沉积物中的元素相对于地壳丰度的富集程度。其计算方法为:  $EF = [X/\text{Ref}]_{\text{样品}} / [X/\text{Ref}]_{\text{地壳}}$ 。式中,  $[X/\text{Ref}]_{\text{样品}}$  表示某一感兴趣的元素与参考元素在样品中的含量比,  $[X/\text{Ref}]_{\text{地壳}}$  表示某一感兴趣的元素与参考元素在地壳中的含量比。由于元素 Al 在沉积过程中相对稳定, 而且大多数元素在沉积物的不同粒级中具有相近的富集规律, 因此, 元素与 Al 的比值可以消除沉积物化学成分的粒度效应, 为此, 在富集因子的计算中常采用元素/Al 的比值。因此 EF 又可写成:  $EF = [X/\text{Al}]_{\text{样品}} / [X/\text{Al}]_{\text{地壳}}$ 。元素的富集因子 (EF) 可以指示沉积物中元素的地壳或非地壳来源。富集因子接近于 1 表示地壳来源, 大于 10 为非地壳来源。因此富集因子 EF 常用于沉积物物源追踪<sup>[9]</sup>。

计算结果表明大部分元素的富集因子接近于 1 (图 1), 总体表明沉降物为大陆地壳来源。根据计算结果, 可把所分析的 22 种元素分成 3 类: (1) 为亏损元素, 富集因子小于 1, 在 0.6 左右, 包括 Ca、Na、Sr 等, 亏损的原因可能是沙尘沉降过程中的分异; (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, 在沉降物中, 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之外的其它污染源。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, 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。这些数据形象地说明了 As、Cd 和 Sb 元素主要来自于污染源。哈尔滨的生活及工业用煤应该是 As、Cd 和 Sb 这三种元素污染源的主要贡献者。

与兰州沙尘元素富集因子相比 (图 1), 哈尔滨中的 Na、K、Si、Fe、Mn、Ti、P 等元素的富集因子与兰州相近, 但兰州中的 Ca、Mg、Cu、Pb、As 等元素的富集因子则大大高于哈尔滨。Ca 是迁移能力最强的元素, Mg 的迁移能力也较强, 它们在化学风化时非常活跃, 表现出明显的淋失, 只是在干旱一半干旱环境中相对富集。表明哈尔滨沙尘源区的化学风化程度要明显高于兰州。兰州 Cu、Pb、As 元素富集因子高于哈尔滨, 说明兰州地区的大气污染程度要高于哈尔滨。

#### 3.2 判别函数分析

在沉积物物源判别中, 常用判别函数 DF 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<sup>[10]</sup>。

判别函数  $DF = |(C_{x1}/C_{x2})/(C_{\text{Ref1}}/C_{\text{Ref2}}) - 1|$ , 式中:  $(C_{x1}/C_{x2})$  表示待判采样点沉积

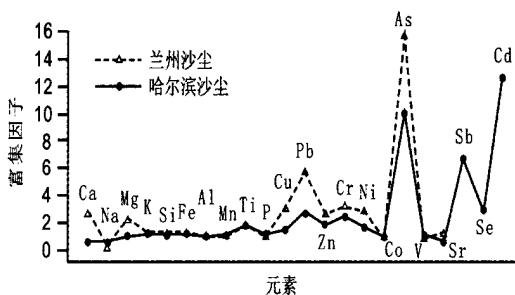


图 1 哈尔滨沙尘暴沉降物元素富集因子

Fig. 1 Elements enrichment factor of the Harbin dustfall deposits

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。一般来讲 DF 的绝对值小于 0.5 即认为两种沉积物接近。

过去认为, 哈尔滨乃至太平洋海域的降尘缘于西北和内蒙古的风力起尘<sup>[20]</sup>。鉴于此, 我们选择沉积物元素与 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 2), 探讨哈尔滨沙尘、兰州沙尘及兰州黄土之间的关联性。从图 2 中可知, 兰州沙尘与兰州黄土之间的 DF 值普遍要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外, 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。从表 1 中也可看出, 兰州沙尘与兰州黄土常量元素的含量十分接近, 而哈尔滨沙尘常量元素的含量与兰州黄土有明显差异。兰州沙尘是西北地表土的风力起尘, 其沙尘主要源于黄土粉尘, 所以兰州沙尘与兰州黄土元素含量接近, 而哈尔滨不同于兰州的沙尘源区决定了其与兰州黄土元素含量的差异。

### 3.3 物源指数分析

物源指数 PI 的计算如下<sup>[21]</sup>:

$$PI = \frac{\sum |Cix - Ci1|}{(\sum |Cix - Ci1| + \sum |Cix - Ci2|)}$$

式中:  $Cix$  为待判沉积物中元素  $i$  的质量分数;  $Ci1$  为端员沉积物 1 中元素  $i$  的质量分数;  $Ci2$  为端员沉积物 2 中元素  $i$  的质量分数。PI 计算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 和 1 之间, PI 小于 0.5, 则表明待判沉积物与端员沉积物 1 化学组成相近; 而 PI 大于 0.5, 则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。

### 3.4 硅铝率和硅铝铁率分析

表 3 沙尘和西北土壤的硅铝率和硅铝铁率比较

Tab. 3 Comparisons of  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  between duststorm and Northwest soils

	哈尔滨沙尘	常州沙尘 <sup>[22]</sup>	西安沙尘 <sup>[22]</sup>	南京沙尘 <sup>[22]</sup>	黑垆土 <sup>[23]</sup>	黄绵土 <sup>[23]</sup>	娄土 <sup>[23]</sup>
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	4.21	3.51	3.58	3.45	3.58	3.52	3.41
$\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$	3.04	2.80	2.83	2.41	2.78	2.77	2.61

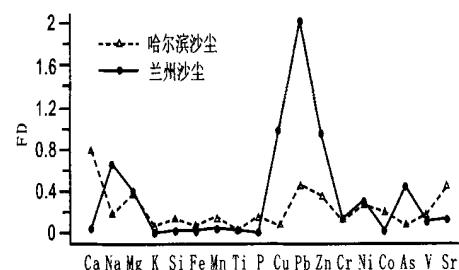


图 2 哈尔滨沙尘暴及兰州沙尘暴沉降物跟兰州黄土元素之间的 FD 值比较

Fig. 2 Comparison of FD in Harbin, Lanzhou dustfall deposits and Lanzhou Loess

物的硅铝率和硅铝铁率可用于判别其沉积物源<sup>[24]</sup>。我们收集到南京、西安、常州等地沙尘的这两个比率(表3),同时还列出了我国西北若干地表土壤相应的比率。

由表3可见,哈尔滨沙尘与兰州、西安等地的沙尘以及黑垆土、黄绵土、娄土等土壤的硅铝率和硅铝铁率差别较大,而西安、南京、常州沙尘三者的这两个值很相近,且也与黑垆土、黄绵土、娄土等土壤的比值相近。黑垆土、黄绵土、娄土分别分布于新疆、甘肃、内蒙和宁夏及陕西等地<sup>[23]</sup>,是西安、南京、常州等地沙尘的主要源地<sup>[22]</sup>。在西北风的携带下,西北地表土容易通过风力起尘,向东南诸省输送粉尘。哈尔滨沙尘的粒度特征显示出其不太可能是高空气流携带而来的西北粉尘堆积,而是低空气流搬运的近源物质堆积<sup>[15]</sup>。

### 3.5 化学风化指标分析

沉积物中的 $\text{Al}/(\text{K}+\text{Na}+\text{Ca})$ 、 $\text{K}/\text{Na}$ 、 $\text{K}/\text{Ca}$ 、 $\text{Al}/\text{Na}$ 、 $\text{Fe}/\text{Mg}$ 、 $\text{Al}/\text{Si}$ 、 $(\text{Al}+\text{Fe})/\text{Si}$ 、 $\text{Rb}/\text{Sr}$ 等比值经常被用作地表沉积物化学风化强弱的指标,比值高化学风化强,比值低化学风化弱<sup>[25]</sup>,原因在于化学风化时 $\text{Ca}$ 、 $\text{Sr}$ 、 $\text{Na}$ 最易迁移淋失, $\text{Mg}$ 在强烈化学风化时也易活动,而 $\text{Fe}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{K}$ 、 $\text{Rb}$ 元素则多保存在风化形成的粘土中而产生富集。这些参数的共同运用可很好地反映化学风化情况。

表4 哈尔滨沙尘与兰州沙尘及兰州黄土的化学风化程度对比

Tab. 4 Comparisons of chemical weathering among Harbin duststorm and Lanzhou duststorm and Lanzhou Loess

	$\text{Al}/(\text{Ca}+\text{Na}+\text{K})$	$\text{Al}/\text{Si}$	$(\text{Al}+\text{Fe})/\text{Si}$	$\text{K}/\text{Ca}$	$\text{Fe}/\text{Mg}$	$\text{Rb}/\text{Sr}$
哈尔滨沙尘	1.48	0.28	0.43	1.53	3.0	0.55
兰州沙尘 [16]	0.71	0.25	0.39	0.33	1.51	0.3
兰州黄土 [18]	0.67	0.24	0.38	0.34	2.05	0.33

哈尔滨沙尘中这些元素比值明显要高于兰州沙尘和兰州黄土(表4),表明哈尔滨沙尘源区的化学风化要比兰州粉尘源区强。西北地区气候干冷,植被稀疏,降水量也少,土壤松散,物理风化严重而化学风化微弱,造成粉尘堆积物中 $\text{Ca}$ 、 $\text{Sr}$ 、 $\text{Mg}$ 相对富集。而哈尔滨沙尘源区的化学风化强于物理风化,使得粉尘堆积物中 $\text{Ca}$ 、 $\text{Sr}$ 、 $\text{Mg}$ 等元素淋失, $\text{Fe}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{Rb}$ 等元素相对富集。

对沙尘暴沉降物进行的粒度研究显示<sup>[15]</sup>,沙尘沉降物含有大量粗颗粒物质,其中 $>63\mu\text{m}$ 砂粒组分含量达21.7%,远高于黄土以及兰州、敦煌、武威、北京等地的沙尘粒度。由于粗颗粒物质扬起高度和搬运距离有限,哈尔滨沙尘物质不太可能是高空气流携带而来的中国西北远源物质,真正影响哈尔滨地区沙尘物质是低空气流搬运的近源物质。哈尔滨沙尘沉降物的化学特征也显示其物源区明显不同于中国西北地区黄土及沙尘。

## 4 结论

(1) 哈尔滨沙尘暴沉降物主要化学成分以 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 为主,三者之和达77.8%,比兰州沙尘暴沉积物高8.72%,比兰州黄土高7.06%。这种富硅铝铁现象表明了哈尔滨沙尘源区的气候生物状况要明显好于兰州沙尘源区。

(2) 哈尔滨沙尘中的V、Rb、Nb、Ba等微量元素含量要明显高于兰州沙尘,而Ni、Cu、Pb、Zn、As、Sr则低于兰州沙尘。

(3) 哈尔滨沙尘中的 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, 主要是地壳来源, 来源于地表土的风力起尘。但 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; As、Cd 和 Sb 元素的富集因子大于 10, 为大气污染来源。

(4) 从判别函数 DF 的值来看, 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; 从物源指数 PI 为 0.75 来看, 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; 从硅铝率和硅铝铁率来看, 哈尔滨沙尘的比值要明显高于兰州、西安等地以及西北地表土; 从表征地表土化学风化程度的指标来看, 哈尔滨沙尘中的这些指标值要明显高于兰州沙尘和兰州黄土。

(5) 沙尘的化学组成及富集因子、判别函数、物源指数、地表土的粘粒率、化学风化指标等的综合分析表明: 哈尔滨沙尘源区不同于西北黄土及兰州沙尘, 其气候生物状况和化学风化程度要明显好于或高于西北沙尘源区。(6) 由于沙尘沉降物大量的粗颗粒物质扬起的高度与搬运的距离有限, 综合沙尘粒度反化学组合特征哈尔滨沙尘不是高空气流携带而来的西北粉尘堆积, 而是低空气流搬运的近源物质堆积。

致谢: 沙尘样品的化学分析由国土资源部黑龙江省中心实验室完成, 在此表示感谢!

#### 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. 地理学报, 2001, 56(3): 316~322.
- [2] 王炜, 方宗义. 沙尘暴天气及其研究进展综述. 应用气象学报, 2004, 15(3): 366~381.
- [3] 范一大, 史培军, 王秀山, 等. 中国北方典型沙尘暴的遥感分析. 地球科学进展, 2002, 17(2): 289~294.
- [4] 杨东贞. 一次黄沙天气过程. 气象学报, 1991, 49(3): 334~342.
- [5] 蔡晨霞, 蒋维楣, 等. 我国东南沿海两次沙尘的化学特征及其源地探讨. 高原气象, 2000, 19(2): 179~186.
- [6] 张仁健, 王明星, 浦一芬, 等. 2000 年春季北京特大沙尘暴物理化学特性的分析. 气候与环境研究, 2000, 5(3): 259~266.
- [7] 孙业乐, 庄国顺, 袁蕙, 等. 2002 年北京特大沙尘暴的理化特性及其组分来源分析. 科学通报, 2004, 49(4): 340~346.
- [8] 王玮, 岳欣, 刘红杰, 等. 北京市春季沙尘暴天气大气气溶胶污染特征研究. 环境科学学报, 2002, 22(4): 494~498.
- [9] 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. 科学通报, 2001, 46(3): 191~197.
- [10] 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. 地理研究, 2004, 23(1): 38~44.
- [11] 张德二, 陆风. 我国北方的冬季沙尘暴. 第四纪研究, 1999, 19(5): 441~447.
- [12] 王涛, 朱震达. 中国北方沙漠化的若干问题. 第四纪研究, 2001, 21(1): 56~65.
- [13] 王赞红, 夏正楷. 北京 2002 年 3 月 20~21 日沙尘暴过程的降尘量与降尘粒度特征. 第四纪研究, 2004, 24(1): 95~99.
- [14] 戴雪荣, 师育新, 薛滨. 兰州现代特大沙尘暴沉积物粒度特征及其意义. 兰州大学学报(自然科学版), 1995, 31(4): 168~174.
- [15] 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. 地理科学, 2005, 25(5): 597~600.
- [16] 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. 沉积学报, 1995, 13(3): 76~82.
- [17] 李徐生, 杨达源, 鹿化煜. 皖南风尘堆积序列氧化物地球化学特征与古气候记录. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(4): 75~82.
- [18] 陈发虎, 张维信. 甘青地区的黄土地层学与第四纪冰川问题. 北京: 科学出版社, 1990. 107~121.

- [19] 杨守业,李从先. 长江与黄河沉积物元素组成及地质背景. 海洋地质与第四纪地质,1999,19(2):19~25.
- [20] 张小曳,张光宇,朱光华,等. 中国源区粉尘的元素示踪. 中国科学(D辑),1996,26(5):423~430.
- [21] 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. 古地理学报,2000,2(2):65~72.
- [22] 蔡晨霞,蒋维楣,黄世鸿,等. 我国东南沿海两次沙尘的化学特征及其源地探讨. 高原气象,2000,19(2):179~186.
- [23] 熊毅,李庆逵. 中国土壤. 北京:科学出版社,1990. 39~162.
- [24] 曹伯勋,等. 地貌学及第四纪地质学. 武汉:中国地质大学出版社,1995. 96~121.
- [25] Sawyer E W. The influence of source rock type, sorting on the geochemical weathering of clastic sediments from the Quatico metasedimentary belt, Superior Province, CANADA. Chemical Geol.,1986,55:77~95.

## Chemical characteristic of duststorm deposits in Harbin and its matter origin

XIE Yuan-yun<sup>1,2</sup>, HE Kui<sup>2</sup>, ZHOU Jia<sup>2</sup>, KANG Chun-guo<sup>3,4</sup>

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, 130061, China;

2. Geography Department of Harbin Normal University, Harbin 150080, China;

3. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 4. Harbin Institute, Harbin 150080, China)

**Abstract:** The sand dust precipitation was collected in Harbin city on Mar. 20, 2002. The paper deals with chemical composition of Harbin dustfall deposits. The result shows that the major elements of SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, predominate the dustfall Harbin, occupied 77.8% altogether. The contents of the trace elements such as V, Rb, Nb and Ba evidently are higher than those in Lanzhou dustfall, and the elements of Ni, Cu, Pb, Zn, As and Sr are lower than Lanzhou dustfall. The enrichment factor of Ca, Na and Sr is below 1 being deficit elements, and that of Mg, K, Si, Fe, Mn, P, Ti, Co, Ni and V elements is around 1, derived mainly from lithosphere. Part of Cu, Pb, Zn, Cr and Se is derived from other pollution sources. The enrichment factor of As, Cd and Sb is above 10, derived from pollution sources. The elemental compositions of Lanzhou dustfalls are closer to Lanzhou Loess than Harbin dustfalls, judged from discriminant function (DF) and PI. The Si/Al and Si/(Al+Fe) ratios of Harbin dustfalls are greater than the Earth's surface soils of Northwest China, and chemical weathering degrees of Harbin dustfalls are obviously higher than Lanzhou Loess and Lanzhou dustfalls. Based on the analysis of the chemical composition, discriminant function, PI, cosmid ratio of surface soils and chemical weathering index, the results indicate that element compositions of Northwest Loess are similar to Lanzhou dustfall deposits, while they are obviously different from Harbin sand-dust. The source areas of Harbin sanddust differ from Northwest Loess and Lanzhou sand-dust, and the status of climate and biology and the degree of chemcial weathering are much better than sanddust sources in Northwest.

**Key words:** Harbin sanddust; chemicl composition; sanddust resource