

# 哈尔滨市特大沙尘暴沉降物的粒度分布及意义

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

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

**摘要:**对 2002 年 3 月 20 日中国黑龙江省哈尔滨市遭遇的特大沙尘天气沙尘沉降物进行的粒度分析表明, 沙尘沉降物属粉质亚砂土, 以 4~63  $\mu\text{m}$  的粉砂为主, 占 71.18%, >63  $\mu\text{m}$  的砂粒组分占 21.7%, <4  $\mu\text{m}$  的粘土组分含量最少, 仅占 7.13%。粒度为三峰态分布, 29.2~34.7  $\mu\text{m}$  粒级的粗粉砂形成第一主峰, 含量约占 7.4%, 420.5~500  $\mu\text{m}$  粒级的中砂组分形成第二主峰, 含量约占 1.29%, 而 0.69~0.82  $\mu\text{m}$  粒级的细粘土组分形成第三主峰, 含量约占 0.52%。平均粒径  $M_z$  为 28.4  $\mu\text{m}$ , 分选系数为 1.81, 偏态为 0.044, 峰态为 1.494, 粉粘比为 7.3。粒度分布显示这次哈尔滨市沙尘沉降物是迄今为止国内有见报道中最粗的, 沉降物是不同来源沙尘远距离和近距离搬运的混合物, 粗颗粒为低空气流搬运的近源物质。哈尔滨市或周缘邻近区域是这次特大沙尘暴的降尘中心, 属大气动力条件较强的中心或近中心地带。哈尔滨城市扩展区域的疏松地表裸土、河床及漫滩细粒冲积物以及市内地表建筑沙土等都可以是哈尔滨市沙尘沉降物的主要物源。因此哈尔滨地区防治沙尘暴工作的重点应放在哈尔滨市周边沙尘源区的治理上。

**关键词:**哈尔滨市; 沙尘沉降物; 粒度特征; 物质源

**中图分类号:** P594<sup>+</sup>.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2005)03-0502-05

中国西部及西北部远距离输送而来的沙尘几乎每年都形成沙尘高峰。强大的可见的沙尘高峰称之为沙尘暴。20 世纪中国沙尘天气每 10 年发生的频率由 50 年代的 4 次发展到 90 年代的 23 次, 沙尘暴发生的次数呈明显上升趋势<sup>[1]</sup>。2002 年春季, 中国北方大部分地区频发的沙尘天气引起普遍关注。逐渐认识到沙尘天气不仅仅是一种自然现象, 它的严重程度和频繁出现还会带来严重的生态和环境问题。当前大多数研究者都把注意力集中到中国华北的京津地区和中国的西北地区, 但是对于中国东北地区特别是黑龙江地区的关注明显不够。笔者从沉积学角度研究了哈尔滨市 2002 年 3 月 20 日沙尘暴沉降物的粒度分布特征, 相信这不仅对确定粉尘沉降物性质的研究工作, 也对寻找和治理哈尔滨周边地区的沙尘暴物源区工作至关重要, 它还涉及到治理沙尘暴源的重点, 对于治理沙尘暴将起到重要作用。

## 1 样品采集与分析方法

2002 年 3 月 20 日, 哈尔滨市遭遇了特大沙尘天气。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 100 m 以下。笔者于次日上午在哈尔滨师范大学行政楼

楼顶处收集沙尘样品。沉降物为干燥、松散而又十分新鲜的浅黄褐色粉末体。由于沙尘暴的前一天(19 日), 哈尔滨普降降雨, 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, 基本能代表当时的降尘情况。

沉降物粒度分析由南京师范大学完成, 采用英国 Malvern 公司的 Mastersize 2000 激光粒度分析仪, 粒度测量范围为 0.02~2 000  $\mu\text{m}$ , 重复测量误差小于 2%。

## 2 结果与讨论

### 2.1 沉降物的粒度组成

哈尔滨沙尘沉降物以粉砂(4~63  $\mu\text{m}$ )为主(表 1), 占 71.18%, 其中粗粉砂(16~63  $\mu\text{m}$ )及细粉砂(4~16  $\mu\text{m}$ )分别占 52.01%及 19.17%; 其次为较粗的砂粒组分(>63  $\mu\text{m}$ ), 占 21.7%, 其中细砂(63~250  $\mu\text{m}$ )、中砂(250~500  $\mu\text{m}$ )和粗砂(500~2 000  $\mu\text{m}$ )分别占 15.76%、4.44%和 1.49%; 粘土(<4  $\mu\text{m}$ )组分含量最少, 仅占 7.13%, 其中粗粘土(0.98~4  $\mu\text{m}$ )及细粘土(<0.98  $\mu\text{m}$ )分别占 4.82%及 2.31%。根据“砂粒组—粉砂组—粘粒组”三因分类法三角图解<sup>[2]</sup>, 该沉降物可命名为粉质亚砂土。

收稿日期: 2004-08-24; 改回日期: 2005-01-20

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目(G0213)和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, 男, 1971 年生, 博士后, 副教授, 主要从事第四纪地质学的教学科研工作; Email: xyy0451@sina.com。

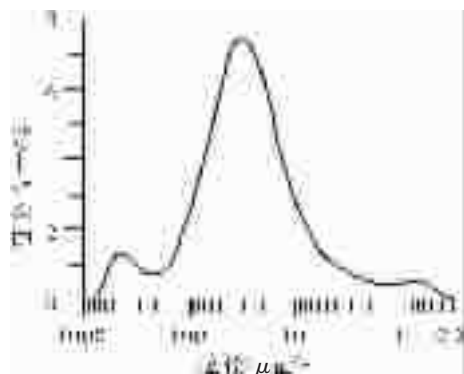


图 1 哈尔滨沙尘沉降物粒度分布的频率曲线

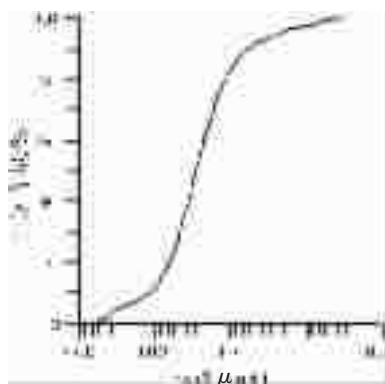


图 2 哈尔滨沙尘沉降物粒度分布的累积频率曲线

Fig.1 Frequency curve for the grain-size distribution of Harbin dust fallout Fig. 2 Cumulative frequency curve for Harbin dust fall out

从反映沉降物粒度分布特征频率曲线(图 1)中可以看到,这是一条头短而尾细长的三峰型近对称的尖锐曲线,细尾延伸的频率曲线(图 1)与细粒尾较长的“S”型累积频率曲线(图 2)所反映的特征是一致的,即粒度分布曲线由众数值向粗粒径一侧变化时较迅速,向细粒径一侧变化时有一明显过渡段。这说明沙尘天气不仅带来大量粗颗粒物,还有相当量的细颗粒物。此外沉降物粒度曲线呈明显的三峰态分布特征(图 1):29.16~34.67 μm 粒级的粗粉砂组成第一主峰,含量约占 7.4%;420.45~500 μm 粒级的中砂组分形成第二主峰,含量约占 1.29%;而 0.69~0.82 μm 粒级的细粘土组分组成第三主峰,含量约占 0.52%。现代降尘物粒度的多峰态分布特征在沙尘暴多发区有过报道<sup>[9]</sup>,其形成原因可能是远距离搬运细颗粒和近距离搬运粗颗粒的混合。沉降物概率累积曲线为 1 段式(图 3),全由悬浮组分组成,不含跳跃和滚动组分,悬浮组分的最大粒径达到 595 μm,反映极强的大气动力条件。

对比 1993 年兰州<sup>[10]</sup>、1996 年敦煌<sup>[11]</sup>、1995 年武威<sup>[12]</sup>、2000 年北京<sup>[13]</sup>、2002 年北京<sup>[14]</sup>等沙尘沉降物的粒度组成发现,哈尔滨沙尘沉降物的粒度是迄今为止国内有见报道中最粗的。例如

砂含量,1993 年兰州沙尘沉降物为 0.08%,2002 年北京沙尘沉降物为 1%,而哈尔滨沙尘沉降物砂含量竟高达 21.7%。哈尔滨沙尘沉降物的粒度也大大高于黄土高原区的黄土(表 2)。

风沙动力学表明<sup>[9]</sup>,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、易分散的,为沙尘的基本粒组,可被带入 1500 m 以上的高空,作较长距离的搬运;粘粒可悬浮于对流层中被搬运到几千千米以外。Moldvyl 的实验结果也表明:15.6~62.5 μm 粒级的粗粉砂在空气中极易浮动,>62.5 μm 的砂颗粒随粒径的变粗在空气中的浮动性能越来越差<sup>[11,12]</sup>。这与哈尔滨沙尘样品中的 15.6~62.5 μm 粒级的粗粉砂含量相对较高相吻合。

2.2 粒度参数与沉积物特征

粒度参数是综合反映沉积物特征及沉积环境的量化指标。不同方法计算出的粒度参数会有所不同,甚至相差甚远。图解法和矩直法是计算粒度参数最常用的两种方法,尽管在已有的资料中未见有比较和解释哪种方法更适合用于沙尘沉降物的研究,但有一点认识是公认的,即矩直法计算是一

表 1 哈尔滨市 2002 年 3 月 20 日沙尘沉降物的粒度累积含量

Table 1 Grain-size cumulative content for dust fallout in Harbin collected on March 20, 2002

粒径/μm	累积含量/%	粒径/μm	累积含量/%	粒径/μm	累积含量/%	粒径/μm	累积含量/%
594.6	0.44	88.4	14.03	13.1	78.24	2	95.78
500	1.49	74.3	17.34	11	81.92	1.6	96.29
420.4	2.78	62.5	21.7	9.3	84.85	1.4	96.76
353.6	4.03	52.6	27.00	7.8	87.18	1.2	97.21
297.3	5.09	44.2	33.24	6.6	89.05	1	97.69
250	5.93	37.2	40.21	5.5	90.57	0.8	98.20
210.2	6.66	31.25	47.58	4.6	91.82	0.7	98.72
176.8	7.41	26.3	54.95	3.9	92.87	0.6	99.22
148.7	8.35	22.1	61.94	3.3	93.76	0.5	99.63
125	9.66	18.6	68.26	2.8	94.53	0.4	99.9
105.1	11.5	15.6	73.70	2.3	95.19	0.3	100

表2 哈尔滨市沙尘沉降物与黄土高原黄土粒度组成对比  
Table 2 Comparison of grain-size distribution between Harbin sand-dust fall-outs and loess of the Loess Plateau

	砂 (>62.5 μm) /%	粗粉砂 (15.6 ~ 62.5 μm) /%	细粉砂 (3.9 ~ 15.6 μm) /%	粘土 (<3.9 μm) /%	平均粒径/μm
哈尔滨沙尘物	21.7	52.01	19.17	7.13	28.4
民和黄土 <sup>[7]</sup>	12.02	70.53	8.94	8.51	20.8
兰州黄土 <sup>[8]</sup>	7.44	43.02	25.13	27.02	13.1
洛川黄土 <sup>[9]</sup>	5.92	46.75	12.23	34.65	10
西安黄土 <sup>[10]</sup>	0.53	25.93	11.48	62.07	1.7

种近似的定量计算<sup>[13]</sup>,它更多地考虑了以水为介质的沉积物而不是以大气为动力介质,特别在对流层低层强烈不稳定状态下的气下堆积<sup>[13]</sup>。因此,笔者采取图解法和福克-沃德标准计算粒度参数。

结果表明,沉降物的平均粒径  $M_z$  为 28.4 μm,第一众数为 29.16~34.67 μm;分选系数  $SD$  为 1.81,介于 1~2 之间,说明沉降物分选差;偏态  $SK$  为 0.044,介于 -0.1~0.1 之间,说明沉降物粒度分布属近对称形态,峰态  $KG$  为 1.494,介于 1.11~1.56 之间,属尖窄峰态类型,说明沉降物粒度分布是一个很尖锐的曲线。由此哈尔滨沙尘沉降物可以进一步表述为一种平均粒径 28.4 μm、第一众数 29.16~34.67 μm,多峰尖窄近对称而分选差的粉质亚砂土。这与前面所论述的结论是一致的。无论从沉降物的粒度频率曲线还是粒度参数来看,均显示出哈尔滨沙尘沉降物分选差的特点,这也正是不同来源沙尘远距离和近距离搬运的混合以及不稳定的大气动力环境的反映。

### 2.3 粉砂粘粒比与物源区生物气候

粉砂粘粒比  $K_d$ ,即反映风成堆积物(黄土)中作为“基本粒组”的粗粉砂与作为“挟持粒组”的粘土之间的一种比值,最早用于黄土地层研究中指示粉尘源区的干湿状况或生物气候条件<sup>[9]</sup>。而对于现代沙尘沉降物而言, $K_d$  值的大小直接与沙尘物源区粗粉砂和粘粒的产出率及生物气候条件有关, $K_d$  值大,反映气候干冷、地表植被差或生态环境退化,有利于干燥的粗沙尘颗粒的扬起和搬运,而减少了粘土物质的产率和被撞击扬起的几率; $K_d$  值小,则相反。哈尔滨沙尘沉降物的  $K_d$  值为 7.30,这一数值远高于兰州沙尘沉降物的 2.85~3.96<sup>[9]</sup>,也远高于洛川黄土的 0.91~2.26<sup>[9]</sup>和兰州黄土的 0.8~4.2<sup>[9]</sup>,表明哈尔滨沙尘源区的生物状况和生态环境较为恶劣,这与孙继敏等<sup>[14]</sup>关于中国东北黑土地的荒漠化危机的论述是一致的。

### 2.4 哈尔滨沙尘源区的确定及意义

中国西北的沙漠沙地长期以来被认为是华北和西北地区沙尘的物源区<sup>[15]</sup>。前几年,中国科学家参与了曾被认为是“沙尘暴源区”的浑善达克沙地的调查和研究工作。在调查中发现<sup>[16]</sup>,国内所有沙漠沙地中的沙,经过长期的风力分选,粗细均一,多为 100~500 μm 粒级的细砂,约占 85.6%,而粉砂及

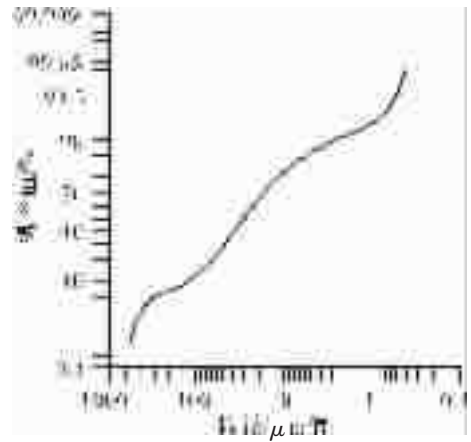


图3 哈尔滨沙尘沉降物粒度分布的概率累积曲线  
Fig.3 Probability cumulative curve for the grain-size distribution of Harbin dust fallout

粘土含量极少。即使是强风暴到来,这些较粗粒的砂被扬起的高度和搬运的距离也不会太远。

来源于中国内陆戈壁沙漠的黄土高原黄土的粒度具有自西(西北)而东(东南)趋于变细的空间分布规律<sup>[9]</sup>,如果西北的沙漠沙地和黄土高原的粉尘是哈尔滨沙尘源区,根据风尘堆积粒度与其搬运距离的相关关系,哈尔滨远离西北沙漠和黄土高原,沙尘沉降物粗颗粒含量应低于敦煌、武威、兰州、西安和北京等地,而粘粒含量应高于上述地区。但实际情况正相反,哈尔滨沙尘沉降物含有大量的粗颗粒物质,>63 μm 砂粒组分含量达到 21.7%,远高于上述地区,而粘粒含量则大大低于上述地区。这说明哈尔滨的沙尘沉降物不太可能是高气流携带而来的内陆远源物质(例如,西北沙漠沙地和黄土高原粉尘)堆积,而是低空气流搬运的近源物质堆积。另外,沙尘沉降物中大量的砂粒组分也不可能作长距离的搬运。沙尘沉降物中大量粗颗粒物质的存在表明,哈尔滨或周边邻近区域应该是这次特大沙尘暴的降尘中心,属大气动力条件较强的中心或近中心地带。哈尔滨城市扩展区域的疏松地表裸土、河床及漫滩细粒冲积物以及市内地表建筑沙土等都可以是哈尔滨沙尘沉降物的主要物质源。

确定哈尔滨沙尘沉降物的物源区对哈尔滨地区沙尘暴的治理工作意义重大,下一步治沙防沙工作的研究区域应重点放在哈尔滨周边沙尘源区上。

**致谢:** 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,在此表示感谢!

#### 参 考 文 献(References):

- [1] 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.  
Zhuang Guoshun, Guo Jinghua, Yuanhui, et al. Composition, source and grain size distribution of duststorm in 2000 in China and its influence on global environment [J]. Chinese Science Bulletin, 2001,46(3):191~197(in Chinese).
- [2] 任明达,王乃梁. 现代沉积环境概论[M]. 北京:科学出版社,1981.1~116.  
Ren Mingda, Wang Nailiang. Outline of the Modern Sedimentary Environment [M]. Beijing: Science Press,1981.1~116 (in Chinese with English abstract).
- [3] 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.  
Wang Zanhong, Xia Zhengkai. Dust flux and particle size of dustfall of the duststrom on March 20~21,2002 in Beijing [J]. Quaternary Sciences, 2004,24(1):95~99(in Chinese with English abstract).
- [4] Mctainsh G H, Mckling W G, Lynch A W. Dust deposition and particle size in Mali, West Africa[J]. Catena,1997,29:307~322.
- [5] 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[J]. 兰州大学学报(自然科学版),1995,31(4):168~174.  
Dai Xuerong, Shi Yuxin, Xue Bin. Granulometric characteristics and significance of the deposits from a recent extraordinary heavy duststorm in Lanzhou,Gansu,Northwest China[J].Journal of Lanzhou University(Natural Sciences), 1995,31(4):168~174(in Chinese with English abstract).
- [6] 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.  
Zhang Ning,Lu Yin. Chemical constituent and grain size distribution[J]. Environment and Monitoring in Gansu Province, 1998,11(1):3~7(in Chinese with English abstract).
- [7] 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.  
Xie Yuanyun, Zhang Xuqiang, He Kui, et al. Grain-size distribution and material source analysis of loess on the northeastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Geology in China, 2002,29(3):317~321(in Chinese with English abstract).
- [8] 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  
Chen Fahu,Zhang Weixin. Quaternary Glacier and Loess Stratigraphy in Ganshu-Qinghai Area[M]. Beijing: Science Press,1990.107~121 (in Chinese with English abstract).
- [9] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京:科学出版社,1985.191~208.  
Liu Dongsheng. Loess and Environments[M]. Beijing:Science Press, 1985.191~208(in Chinese with English abstract).
- [10] 孙建中,赵景波. 黄土高原第四纪 [M]. 北京:科学出版社,1991.128~143.  
Sun Jianzhong, Zhao Jingbo. Quaternary of Loess Plateau[M]. Beijing:Science Press, 1991.128~143(in Chinese with English abstract).
- [11] 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.  
Hu Gang, Wang Nai'ang, Luo Jianyu, et al. The grain size characteristics of aeolian sand and its environmental significance [J]. Acta Sedimentologica Sinica,2001,19 (4):642~647 (in Chinese with English abstract).
- [12] 胡刚,王乃昂,高顺尉,等. 花海湖泊全新世古风成砂的发现及其古环境解释[J]. 中国沙漠,2002,22(2):159~165.  
Hu Gang, Wang Nai'ang, Gao Shunwei, et al. Discovery of Holocene aeolian sand in Huahai Lake and its environmental significance[J]. Journal of Desert Research,2002,22(2):159~165(in Chinese with English abstract).
- [13] 刘宝珺. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社,1980.307~319.  
Liu Baojun.Sedimentary Petrography[M].Beijing:Geological Publishing House 1980.307~319(in Chinese with English abstract).
- [14] 孙继敏,刘东生. 中国东北黑土地的荒漠化危机[J]. 第四纪研究,2001,21(1):72~78.  
Sun Jimin, Liu Dongsheng. Desertification in northeastern China[J]. Quaternary Sciences, 2001,21(1):72~78 (in Chinese with English abstract).
- [15] 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.  
Zhang Xiaoye, Zhang Guangyu, Zhu Guanghua, et al. Element tracing of dust from Chinese source areas[J]. Science in China(series D), 1996,26(5):423~430(in Chinese).
- [16] 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.  
Yue Leping, Yang Lirong, Li Zhipei, et al. Lacustrine deposit in the Alxa Plateau and the sand dust strom in northern China [J]. Quaternary Sciences, 2004,24(3):311~317(in Chinese with English abstract).



## Grain-size distribution of fall-outs of an exceedingly large dust storm in Harbin City and its implications

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

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

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

3. China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

4. Harbin Institute, Harbin 150080, Heilongjiang, China)

**Abstract:** Grain-size analysis was performed on sand and dust fall-outs of an exceedingly large dust storm that occurred in Harbin, Heilongjiang Province, on March 20, 2002. The results indicate that sand and dust fall-outs are silty sandy loam. The silt-sized (4 - 63  $\mu\text{m}$ ) fraction predominates, making up 71.18%; the sand-sized fraction (>63 $\mu\text{m}$ ) accounts for 21.7% and the clay-sized (<4 $\mu\text{m}$ ) fraction is scarce, accounting for only 7.13%. The grains are of trimodal distribution: the coarse silt-sized (29.2 - 34.7  $\mu\text{m}$ ) fraction forms the first main peak, making up ~7.4%; the medium sand-sized (420.5 - 500  $\mu\text{m}$ ) fraction forms the second main peak, accounting for ~1.29%; and the clay-sized (0.69 - 0.82  $\mu\text{m}$ ) forms the third main peak, accounting for ~0.52%. The mean grain diameter  $M_z$  is 28.4  $\mu\text{m}$ , with a sorting coefficient of 1.81, a skewness of 0.044, a kurtosis of 1.494 and a silt/clay ratio of 7.3. The grain-size distribution shows that sand-dust fall-outs in Harbin are the coarsest ones reported ever since in China. The fall-outs were a mixture of sands and dusts derived from different sources and transported over long and short distances, and coarse particles were near-sources materials that were transported by low-altitude airflow. Harbin and its peripheral areas should be the dust fall-out center of this exceeding large dust storm and belong to the center or near-central zone with relatively strong atmospheric dynamic conditions. Nude loose soils, river beds and floodplain fine alluvium, sand-dust of city construction sites and so on in the urban expansion areas of Harbin may all be main material sources of sand and dust fall-outs of Harbin. The focus of the work for preventing sand-dust storms in Harbin should be on controlling sand-dust source areas at the peripheries of Harbin.

**Key words:** Harbin; sand-dust sediment; sand-size feature; material source

---

**About the first Author:** XIE Yuan-yun, male, born in 1971, postdoctoral research and associate professor, mainly engages in teaching and study of Quaternary geology; E-mail: xyy0451@sina.com.