

北京一次沙尘暴的来源及有关特性*

许黎¹ 樊小标¹ 石广玉² 冈田菊夫³ 新村典子⁴

¹(国家气候中心气候研究开放实验室, 北京 100081)

²(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

³(日本气象研究所, 日本 筑波 305)

⁴(日本筑波大学, 日本 筑波 305)

摘 要

中国北方地区的春季经常发生沙尘暴事件。本文对1991年4月的一次沙尘暴进行了跟踪采样和分析, 通过一个撞击式气溶胶采样仪将单个尘暴粒子收集在涂碳的膜片上, 4月29日在呼和浩特收集沙尘粒子, 4月30日沙尘过境北京时也采集了样品, 尘暴飘洋过海后5月1日到达日本, 在日本南部长崎再次收集了粒子, 收集的尘暴粒子样品在日本气象研究所实验室进行分析, 所用的分析仪器是装配有散能 X 射线分析仪的扫描电子显微镜, 该仪器主要分析单个粒子的形态大小和化学元素组成。用一个具有八个滤光片由计算机控制的华盖辐射计来测量尘暴天气溶胶的光学特性(整层大气气溶胶的光学厚度, 谱分布和散射相函数), 观测只在北京中国科学院大气物理研究所进行。从天气图、卫星云图资料和后向风轨迹可以追踪这次沙尘暴的起源, 分析沙尘暴沿途三地粒子的形态和化学元素组成, 也可以看到尘暴粒子在时空方面的变化, 并讨论了沙尘暴时整层大气气溶胶的光学特性。为了便于比较, 我们还选择非沙尘暴天进行观测, 1991年3月13日和5月6日是这样的个例。下面给出一些主要的分析结果。

(1) 沙尘暴的来源

图1显示了1991年4月29日-5月1日地面天气系统图⁽¹⁾, 从图1可以看到这三天有一个冷锋自西北向东南方向移动, 图2是4月29日00GMT500hPa等压面图⁽²⁾, 该区域对应的空中正好是高空脊前的上升气流区, 参照北京上空 1KM 高度处 36 小时的后向轨迹和垂直速度⁽³⁾(图3), 该区域有两个向上的垂直运动区, 这两个垂直运动的中心正处于冷锋移动的路径上, 第一个中心的下垫面是草地沼泽, 第二个中心的下垫面是浑善达克沙地, 从这次沙尘暴期间的气象要素、天气系统资料和卫星云图(图略), 及盛裴轩等人的后向轨迹图⁽⁴⁾, 这个冷锋范围大, 移动速度较快, 尽管天气已进入春季, 冷锋的强度比冬季小, 冷锋后部来自北方强大的西北偏北风驱动蒙古高原地面的沙尘进入大气, 而空中高压脊前的上升气流进一步将地面的沙尘带入空中, 在冷锋的移动过程中, 还存在一个沙地, 局部的沙尘源又加强了这次沙尘暴, 这特定的天气系统和地表状况使得空气中的含尘量增加, 构成了这一次沙尘暴的特点, 并使这次沙尘得以飘洋过海到达日本。综上可知这次沙尘暴源于乌兰巴托附近, 途经二连浩特, 大约36小时后经过北京(气象铁塔上200米处的风速为20m/s, 而

* 国家自然科学基金重点项目49635200资助

3月13日同高度上的风速是5m/s), 72小时后影响长崎, 呼和浩特也位于沙尘暴区内。影响北京的沙尘暴主要有两条路径, 一条来自西北偏北蒙古沙漠或沙地, 另一条来自西北偏西方向的新疆沙漠戈壁或者其上游地区。一般而言, 西北偏西方向的沙尘暴强度大, 影响范围广, 发生的频率也高。本次沙尘暴的势力不太强。

(2) 北京沙尘暴粒子的形态和化学组成

在沙尘暴天(4月30日)和无尘暴天(5月6日), 北京近地面粒子的形态和化学组成有明显的差异, 沙尘暴天颗粒的形态几乎都是不规则形, 而5月6日单个粒子的形态有不规则形、“卫星”滴形和球形, 显然这是因为沙尘暴天的颗粒大部分来自地壳, 而无尘暴发生时, 颗粒物由地壳物质和人为粒子共同组成, “卫星”滴形粒子主要是硫酸粒子, 球形粒子主要是硫酸铵粒子^[9]。硫酸和硫酸铵粒子主要是有化石燃料燃烧排放的SO₂在大气发生一系列反应后产生的。

沙尘暴粒子中富含土壤元素 Mg, Al, Si, K, Ca和Fe的不规则形大粒子是一些矿物粒子。综合这次沙尘暴粒子中化学元素的组成, 90% 以上的粒子含有 Al和Si; 粒子含有元素Mg, K, Ca和Fe的频率大于62%; 元素S被检测到的几率为14%, 沙尘暴粒子中元素 Na的含量很低, 只占10%, 而Cl元素没有被分析到。在无尘暴天北京近地面颗粒中, 检测到含S元素的粒子占70% 以上, 人类活动排放的元素 Zn, P, Ti分别为28%, 16% 和8%, 此外还检测到As, Sc等元素, 这些元素在沙尘暴天是检测不到的。不言而喻, 这些特征是由人类活动排放或是再生粒子带来的。

(3) 沙尘暴颗粒随时空的变化

图4-6 给出了在呼和浩特, 北京, 日本长崎捕获的1991年4月同一次沙尘暴事件沙尘暴粒子的形态和化学元素组成。比较这三个地方沙尘粒子的特性, 我们可以看到沙尘暴粒子的形态和化学元素组成有一些不同, 比较明显的特点是, 在呼和浩特的沙尘暴粒子中除了不规则形粒子外还有球形粒子, 显微镜下看到的北京沙尘暴粒子基本上是不规则形, 日本长崎近地表的粒子除了不规则形粒子外还有圆形和较多的吸附了水汽的大粒子, 我们知道, 呼和浩特受到沙尘暴的影响, 但它并不在沙尘暴移动的中心地带, 涂碳滤膜上有圆形粒子的存在, 在二连浩特和北京之间存在两个上升气流区, 其中一个上升气流区的下垫面是浑善达克沙地, 沙地的沙尘在沙尘暴移动的过程中源源不断地输送进入大气, 在北京收集的粒子没出现人为粒子, 沙尘暴向东南方向移动时经过渤海、黄海上空, 一方面沙尘暴粒子通过干沉降, 粒子浓度有所下降, 另一方面沙尘暴粒子在海洋上空与丰富的水汽结合, 使得长崎收集的沙尘暴粒子含有较多的液态滴形粒子。结合粒子元素组成, 呼和浩特沙尘暴粒子含有元素 Mg, Al, Si, Ca, Fe的检出频率大于77%, S和Na元素所占的百分比分别是42%, 13%, 但没有Cl元素。当沙尘暴移动到北京, 北京近地面颗粒的化学元素组成为, 62%以上的粒子含有 Mg, K, Ca和Fe, S和Na元素分别为14%和10%, 由于没有Cl元素, Na元素像呼和浩特一样, 可能来自土壤而不是海盐粒子。沙尘暴粒子被传输到长崎, 粒子的元素组成又有些变化, 含有 Na和Cl元素粒子的百分比上升到58%以上, 这在中国大陆地区是没有这么高的比例的, 而土壤元素Mg, Ca, K和Fe的粒子大于45%, 据第二位, 这说明即使在沙尘暴天, 由于沙尘粒子在传输过程中与海盐粒子混合, 使沙尘暴粒子具有海盐成分, 1991年5月1日在长崎收集的沙尘暴粒子有60%与海盐粒子相混合。这是三地遭受沙尘暴侵袭时, 沙尘暴粒子的基本情况。

(4) 光学特性

气溶胶的光学特性诸如整层大气气溶胶的光学厚度、谱分布和散射相函数通过华盖计测量368, 500, 600, 675, 762, 817, 870 和 938nm波长上太阳直接和太阳周围华盖光的辐射强度反演获得。

波长500 nm处的尘暴气溶胶的光学厚度为0.82, 其数值随波长的增加有所下降。这意味着在尘暴期间大粒子有明显的增加。在无尘暴天气(3月13日, 非晴空万里)同波长上的光学厚度为0.6, 并随波长迅速下降(图7)⁽⁴⁾。需要说明的是, 华盖计的观测是对太阳和华盖辐射的光强进行测量, 当沙尘暴强盛时, 空气遮天蔽日, 仪器无法跟踪太阳测量, 所以, 这里给出的尘暴天大气气溶胶光学特性参数是在沙尘暴刚侵入当地, 仪器还能自动跟踪太阳时测量后计算得到的。所以这两天气溶胶光学厚度的差别不很大。

粒子半径在10-8000 nm的柱气溶胶的谱分布通过改进的反演算法得到。根据我们多次测量结果发现, 北京地区整层大气柱气溶胶的谱分布经常呈现出双模态形, 用光学粒子计数器测量的气溶胶谱分布随高度的变化表明, 从近地面到对流层大气的气溶胶谱分布以双模态为主, 只有进入平流层, 大气气溶胶的谱分布才满足Junge谱⁽⁵⁾。尘暴天时的气溶胶谱分布更是双峰分布, 第一个峰接近 100nm, 另一个峰大约在 5000 nm处。比较尘暴天和沙尘暴天柱气溶胶谱分布(3月13日峰值位置250, 2500nm)可以得知, 沙尘暴时, 由于大粒子浓度的明显增加, 第二个峰的数值上升一个数量级, 峰值的位置往大粒子方向移动, 而第一个峰小粒子的浓度似乎有所减少, 峰值位置往小粒子方向移动。

比较沙尘暴天和沙尘暴天柱气溶胶的散射相函数, 1991年4月30日前向散射相函数远大于3月13日, 显然这是由大粒子增加所造成的。

参 考 文 献

1. Fen Xiaobiao et al., "Mral Particles Collected in China and Japan during the Same Asian Dust-storm Event", *Atmospheric Environment*, Vol.30, No.2, 1996.
2. Sheng Peixuan, Meng Guangli, Dou Wenyu and Qin Yu, "Trajectory Analyses of the Duststorms over East Asia ACTA METEOROLOGICA SINICA, Vol.8 No.2, 1994.
3. 许黎, 樊小标等人 "对流层平流层气溶胶粒子的形态和化学组成", 气象学报已接收, 待刊。
4. 石广玉, 许黎等人 "北京地区1991年春夏之交的大气气溶胶光学特性测量", 《第四届全国气溶胶学术会议论文集》, 1992, P33.
5. 石广玉, 许黎等人 "大气臭氧与气溶胶垂直分布的高空气球探测", 大气科学, 第20卷, 第4期, 1996.

Some Characteristics and Source of a Dust Storm over Beijing

Li Xu¹, Xiaobiao Fan¹, Guangyu Shi², Kikuo Okada³ and Noriko Niimura⁴

¹(National Climate Center, Beijing 100081, China)

²(Institute of Atmospheric Physics, Beijing 100029, China)

³(Meteorological Research Institute, Tsukuba, 305 Japan)

⁴(University of Tsukuba, Tsukuba, 305 Japan)

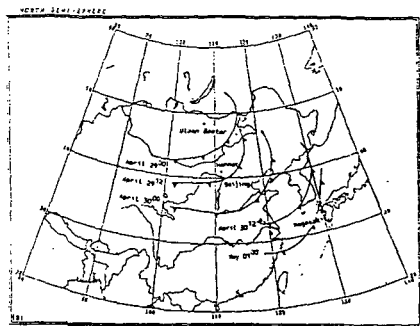


图 1. 1991 年 4 月 29 日—5 月 1 日(GMT)冷锋移动路径

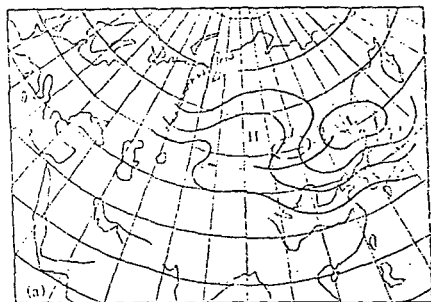


图 2. 1991 年 4 月 29 日 00 GMT 500hPa 等压面图

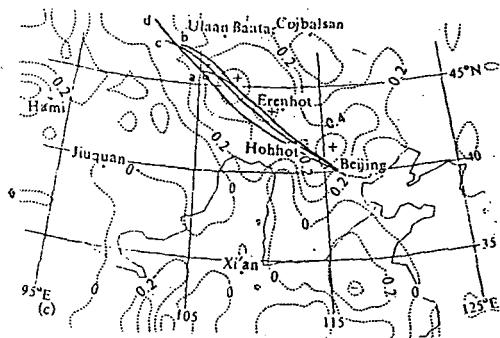


图 3. 北京上空 1KM 处 36 小时后向轨迹和垂直速度

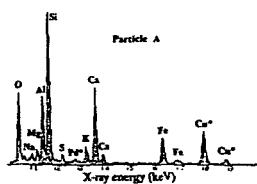


图 4. 1991 年 4 月 29 日 0:02-0:12 GMT 在呼和浩特收集的粒子形态和元素组成

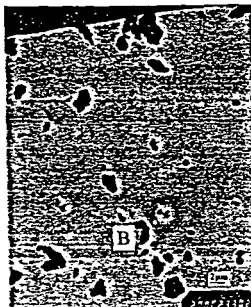
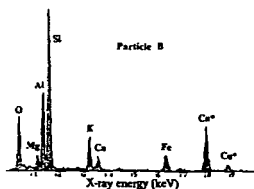


图 5. 1991 年 4 月 30 日 10:13-10:23 GMT 在北京收集的粒子形态和元素组成

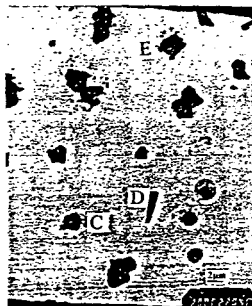
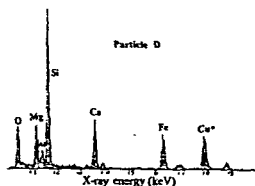
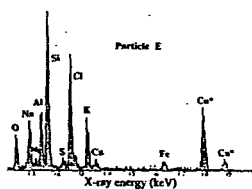
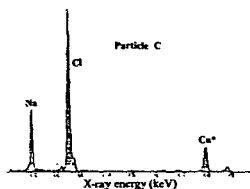


图 6. 1991 年 5 月 1 日 7:49-7:59 GMT 在长崎收集的粒子形态和元素组成

构施工期设计基本风速进行结构施工期抗风验算的结构物在施工期的风险有时可能偏大, 而有时又可能偏小。这就可能在有时导致结构物在施工阶段的抗风标准过低, 使结构物出现一定的破坏, 而有时又可能造成结构物的抗风标准过高, 而又造成一些浪费。所以对于结构施工阶段的设计基本风速的发生概率或风险率需要进行更加深入的研究, 以满足实际工程的需要。

1 基本方法

当我们假设某地区在连续出现达到某一风速 v_d 的间隔时间服从某一概率分布 $f(\tau)$ 时, 由此可得出 v_d 风速大风的平均重现期 T_d 为:

$$T_d = \int_0^{\infty} \tau f(\tau) d\tau \quad (1)$$

设某一风速 v_d 的重现期为 τ 时的概率密度为:

$$\bar{f}(\tau) = \frac{\tau}{T_d} f(\tau) \quad (2)$$

而相应的概率分布函数为:

$$\begin{aligned} \bar{F}(T) &= \int_0^T \bar{f}(\tau) d\tau \\ &= \frac{1}{T_d} \int_0^T \tau f(\tau) d\tau \end{aligned} \quad (3)$$

则令:

$$\begin{aligned} \bar{R}(T) &= 1 - \bar{F}(T) \\ &= \frac{1}{T_d} \int_T^{\infty} \tau f(\tau) d\tau \end{aligned} \quad (4)$$

这里引用可靠度分析中常用的故障率的概念和方法^[2]: 当从已经发生的最近一次达到 v_d 风速的大风开始, 经过 t 年以后仍未出现超过 v_d 风速的大风, 而在下一年出现超过 v_d 风速的大风的风险率 $p(t)$ 为:

$$\begin{aligned} p(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t P(t > t)} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} \bar{f}(t) dt}{\int_t^{\infty} \bar{f}(t) dt} \\ &= \frac{\bar{f}(t)}{\bar{R}(t)} \end{aligned} \quad (5)$$

将公式 (2)、(4) 代入公式 (5) 中, 则可得:

$$p(t) = \frac{f(t)}{\int_0^{\infty} f(t) dt} = \frac{f(t)}{T_d - \int_0^t f(t) dt} \quad (6)$$

由此即可以求得某一具体年份出现达到某风速大风的危险率。

2 算例

设某地区十年一遇大风的风速为 v_{10} ，按照目前常规的计算方法可知每一年出现达到该风速大风的概率（或危险率）均为 0.1。而按照本文方法计算得出每一年中出现该风速大风的危险率 $p(t)$ 则是按年度变化的，由于现有资料的限制我们在本文中假设某地区发生超过风速为 v_{10} 的大风的间隔时间服从正态分布，且出现该风速大风的平均间隔时间为 $T_d = 10$ 年、而标准差分别为 $\sigma = 2.5$ 年和 $\sigma = 3.0$ 年时，而前一年已经出现过达到 v_{10} 风速的大风。按本文方法分两种情况对这个地区未来 11 年出现达到风速为 v_{10} 的大风的年度危险率 $p(t)$ 的计算结果见表 1。

表 1 某地区十年一遇大风发生概率的计算结果

时间 (年)	$p(t)$	
	$\sigma = 2.5$	$\sigma = 3.0$
1	2.444370E-05	1.475446E-04
2	1.904848E-04	7.589760E-04
3	9.488253E-04	2.621148E-03
4	3.581265E-03	7.205268E-03
5	1.080833E-02	1.663619E-02
6	2.673189E-02	3.305839E-02
7	5.493157E-02	5.729115E-02
8	9.458147E-02	8.727274E-02
9	1.371260E-01	1.173969E-01
10	1.677531E-01	1.397883E-01
11	1.731751E-01	1.474848E-01

从计算结果可以看出在已经发生了一次达到风速为 v_{10} 的大风后，其后 11 年内每一年发生达到风速为 v_{10} 的大风的危险率是逐年增长的，前几年其发生的危险率是比较小的，直到第 8 年其发生的危险率才接近 0.1，而在第 9 年以后其发生的危险率则比较大的超过了 0.1。另外标准差 σ 的大小对于年度发生大风的危险率有比较大的影响，这也说明准确的确定发生超过风速为 v_{10} 的大风的间隔时间的概率分布的重要性，这有待于进一步的研究。

从计算结果还可以知道由于发生大风的风险率是随着时间 t 而递增的,而相对而言结构物的施工期一般不是很长,因此在确定结构物施工期抗风验算的设计基准风速时,可以考虑按距离发生大风的时间来确定施工期抗风验算的设计基准风速,如近期发生过大风则可以适当的降低设计基准风速,而比较长时间没有发生大风时则应当适当的提高设计基准风速,特别不能因为连续多年没有发生大风而随意降低施工期抗风验算的标准。至于如何将本文所提出的方法应用于实际工程则有待于进一步深入的研究。

3 结论

由于目前常用的最大风速的概率统计方法只考虑到了在一段时间内出现某风速的大风的概率,而没有考虑发生某风速大风的间隔时间,而发生某风速大风的间隔时间也是有一定的概率分布的。一般来说多数结构的施工周期只有几个月或者几年的时间,而每一年度出现达到结构施工期抗风验算的设计基准风速的大风的风险是不同的,从本文中可以看出在有些年度风险率大一些,而有些年度的风险率则比较小,有时的差别还比较大,因此在结构施工期的抗风验算时如果不考虑某风速的大风出现的间隔时间是有一定的局限性的,但是由于这个问题比较复杂需要进行更加深入的研究。另外对于大风出现的间隔时间的研究,目前还进行的很少,这里有资料缺乏等原因。本文的研究是非常初步的,还有大量的很基本的问题没有解决。还有待于进一步深入的研究。

参考文献

- 1、项海帆等,公路桥梁抗风设计指南 人民交通出版社 1996。
- 2、肖焕雄等,施工导流标准与方案优选,湖北科技出版社 1996。
- 3、张相庭,结构风压和风振计算,同济大学出版社 1985。
- 4、朱瑞兆,风压计算的研究,科学出版社 1976。