

北京沙尘质量浓度与气象条件关系 研究及其应用*

刘 毅

(中国科学院大气物理所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029)

周明煜

(国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

摘 要 运用多元线性回归分析的方法对北京沙尘气溶胶质量浓度观测资料和相关气象资料进行了分析, 结果表明北京沙尘气溶胶质量浓度与尘暴、浮尘、降水和大风四种气象要素密切相关。在此基础上给出利用常规气象资料计算沙尘气溶胶质量浓度的计算公式, 并进一步计算了 1971~1996 年北京春季月平均沙尘气溶胶质量浓度。结果表明, 从 1971~1989 年沙尘气溶胶质量浓度总体呈递减趋势; 1990 年以后, 沙尘气溶胶质量浓度有所增加。

关键词 沙尘气溶胶 年际变化

1 引言

沙尘气溶胶是大气气溶胶的主要成分, 每年春季大量沙尘气溶胶从亚洲大陆东北部的干旱沙漠、戈壁和黄土高原通过大气输送到东部沿海地域, 对下游地区的大气环境和地球生物化学循环过程有着重要影响。沙尘气溶胶还可通过辐射过程改变地气系统的能量平衡, 从而对区域气候产生重要影响。最近的研究得出东亚地区沙尘气溶胶作为非均相化学反应的界面可促进硫酸盐气溶胶的形成。

中国学者自从 80 年代开始对亚洲沙尘气溶胶的形成、输送和沉降过程作了比较全面的分析研究。徐国昌等^[1]对甘肃省“4.22”特大沙尘暴过程进行了分析。周明煜等^[2]研究了沙尘暴过程经过北京时大气气溶胶的主要特征。杨东贞等^[3]讨论了 1990 年 4 月发生的两次沙尘暴天气的特征及其产生的原因。游来光等^[4]研究了沙尘暴天气下大气中沙尘粒子空间分布特点及其微结构。从 80 年代中期开始, 各国学者研究了近中国海及西北太平洋上沙尘气溶胶的来源和分布特征。Duce^[5]研究认为亚洲尘暴活动是春季太平洋北部沙尘气溶胶成分的主要来源。上述研究得出中国大陆及海上沙尘气溶胶的分布特征和输送规律, 同时也揭示了沙尘气溶胶从产生、输送到沉降过程均同气象条件密切相关, 因此可以利用长期积累的气象资料来研究沙尘气溶胶质量浓度的变化趋势。目前有关亚洲大陆东部沙尘气溶胶质量浓度的长期变化趋势的研究很少。而这一长期变化趋势对研究东亚区域气候和大气环境变化都有着非常重要的意义。

1998-05-05 收到

* 本文还得到 1998 年所长择优基金资助

东亚沙尘暴多发区域主要位于 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 之间。北京 ($39^{\circ}58'\text{N}$, $116^{\circ}19'\text{E}$) 恰好位于主要沙尘源区的下风方向, 是亚洲沙尘气溶胶向下游输送的主要通道。因此本研究对了解我国东部沿海地区沙尘气溶胶的变化有着重要意义。

2 气溶胶的采样与分析

北京气溶胶采样点位于北京市区北部国家海洋环境预报中心办公楼顶部。采样仪器为美国产大容量滤膜采样器。采样时间为 1 h, 流量为 $1.1\text{ m}^3/\text{min}$ 。采用 Whatman41 滤纸 ($20\text{ cm}\times 25\text{ cm}$) 作为采样膜。气溶胶中化学元素含量用中子活化分析法获得, 沙尘总量用称重法获得。

在沙尘气溶胶中, Al 元素的相对含量非常稳定, 可将 Al 元素作为沙尘气溶胶的代表元素进行研究。本研究的观测包括两部分: 一部分从 1990 年 12 月~1992 年 4 月, 每周采样一次, 连续进行了 17 个月; 另一部分为 1993 年 3~4 月和 1995 年 3~5 月的观测, 前者采样 12 次, 后者采样 11 次。对上述资料进行算术平均后得出气溶胶中 Al 元素的月平均质量浓度。

3 北京春季沙尘气溶胶质量浓度与气象条件的关系

根据刘毅^[6]对北京沙尘气溶胶分布特征的研究, 北京沙尘气溶胶质量浓度的最大值出现在春季。因而, 应重点研究春季的质量浓度变化及其影响因子。分析得出, 沙尘气溶胶源区沙尘暴天气出现的频率、降水强弱及其分布以及大尺度天气形式是影响北京沙尘气溶胶质量浓度的三个主要因素。上述因素均属于典型的气象条件, 它们的强弱和相互作用决定了沙尘气溶胶的产生、输送及清除过程, 同时也决定了沙尘气溶胶质量浓度的变化趋势。因此可运用多元线性回归分析法来建立沙尘气溶胶质量浓度同相关气象因子间的关系式, 进而利用长期积累的气象观测资料计算沙尘气溶胶质量浓度的年际变化规律。

同沙尘气溶胶质量浓度密切相关的气象要素包括尘暴、浮尘、扬尘、霾、降水和大风。首先从北京地面气象观测资料中统计出每月上述六种天气现象出现的天数, 然后对月平均 Al 质量浓度资料和上述天气资料进行多元线性回归分析, 得出如表 1 所示的计算结果。

表 1 沙尘气溶胶线性回归分析结果

气象要素	降水	大风	霾	扬尘	浮尘	尘暴	常数
回归系数	-0.320	0.71	0.029	-0.183	1.461	3.731	9.713
偏相关系数	0.86	0.62	0.55	0.22	0.74	0.73	

由表 1 可见, 扬尘的偏相关系数为 0.22, 明显偏低, 将扬尘剔除。霾的偏相关系数为 0.55, 但回归系数很小, 其对沙尘气溶胶质量浓度的贡献不大, 霾的影响可忽略。其它气象要素的偏相关系数均大于 0.6, 应保留。降水的回归系数为负值说明了降水对气溶胶的清除作用, 尘暴和浮尘的回归系数比较大, 说明它们对沙尘质量浓度贡献

较大。为衡量回归效果,计算的复相关系数为 0.904,表明已选出的气象要素同沙尘质量浓度密切相关,计算的平均标准差为 1.53,相对沙尘气溶胶中 Al 元素平均质量浓度而言计算的相对误差约为 15%,说明线性回归的效果比较好。根据上述分析和计算得出沙尘气溶胶中 Al 元素质量浓度与相关气象要素的回归方程为

$$c_{Al} = 9.714 - 0.32x_1 + 0.71x_2 + 1.46x_3 + 3.73x_4, \quad (1)$$

其中, x_1 , x_2 , x_3 , x_4 分别为每个月中北京观测站降水、大风、浮尘和尘暴出现的天数。图 1 给出了 1990 年 12 月~1992 年 4 月北京气溶胶中 Al 元素质量浓度的观测值和利用 (1) 式得到的计算值,同时还给出降水、大风、浮尘及尘暴对沙尘气溶胶中 Al 质量浓度的相对贡献。首先 Al 元素质量浓度的计算值与观测值相差很小,说明由多元线性回归分析得出的关系式能准确地计算沙尘气溶胶月平均质量浓度的变化。其次从各种气象要素的相对贡献来看,降水的湿清除作用最显著,特别是夏季降水贡献达 $-6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。浮尘和尘暴的贡献主要出现在春季,最大值达 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$,大风的贡献分布比较均匀。

北京春季沙尘气溶胶的观测结果表明 Al 元素占沙尘气溶胶总量的 7% 左右^[6]。可利用这一比例关系通过 Al 元素的质量浓度来计算沙尘气溶胶的质量浓度。利用气溶胶中 Fe 和 Al 元素之间的拟合关系也可计算 Fe 元素的质量浓度。表 2 给出了根据上述方法计算得出 1971~1995 年北京春季(3~5 月)大气中 Al、Fe 元素及沙尘的平均值。从表 2 中看出,北京春季沙尘总的趋势是逐渐递减的。以 Al 元素为例,在 70 年代、80 年代和 90 年代平均质量浓度分别为 13.0 、 11.8 、 $11.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$,其中质量浓度高于长年平均值的年份所占比例分别为:70 年代 89%,80 年代 40%,90 年代 33%。这说明中国北方防风林带的建设对改善北京的大气环境起着重要作用。进入 90 年代,这种质量浓度递减趋势有所放缓,且有增加的趋势。这可能与近年来北京市大量的建筑工程所形成的局地沙尘有关,其原因还有待进一步研究。

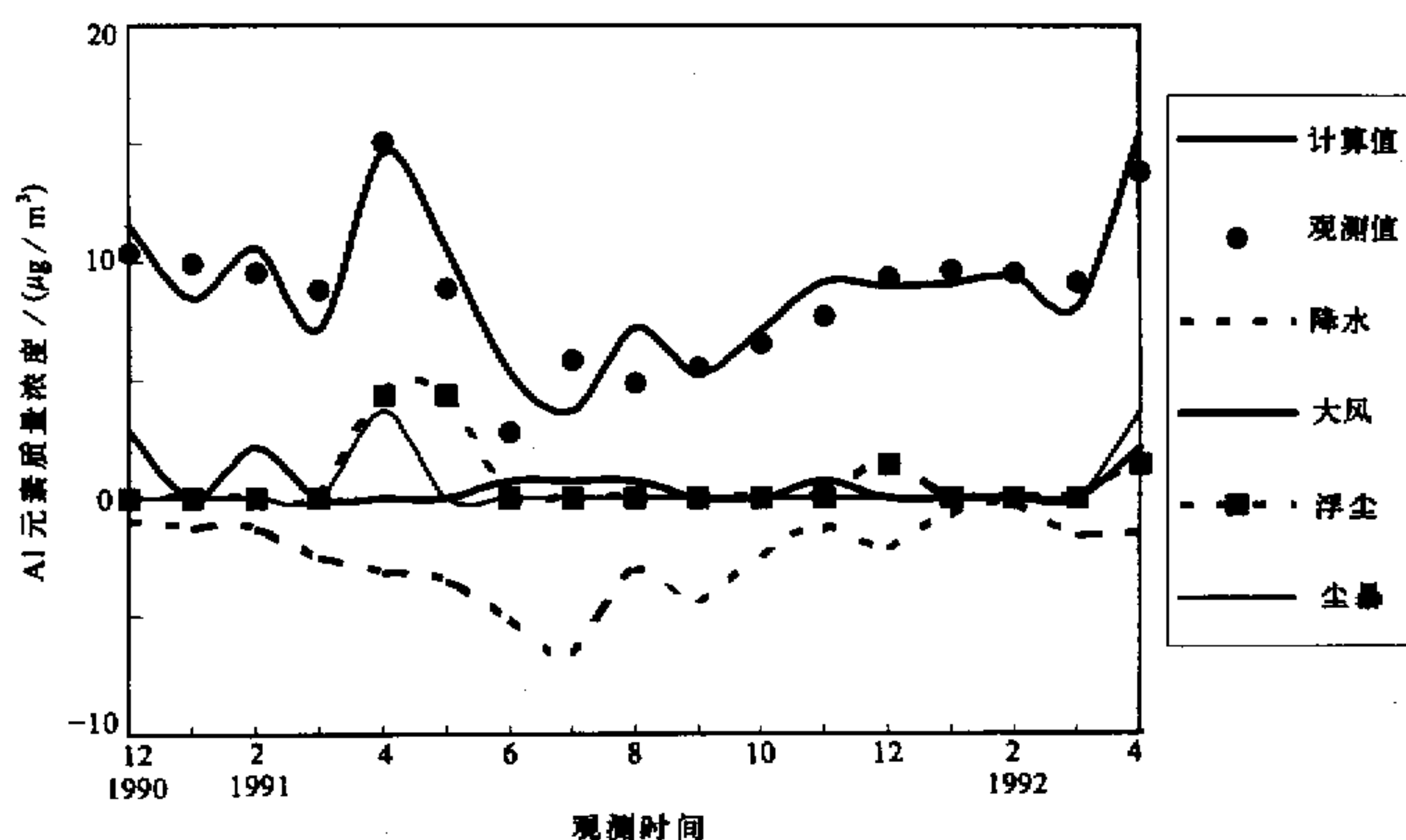


图 1 北京沙尘气溶胶中 Al 元素质量浓度与气象要素的关系

表 2 北京春季沙尘气溶胶总量及其中 Al、Fe 元素质量浓度的年际变化 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

年	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Al	14.2	14.4	12.9	13.6	13.0	12.4	10.9	12.2	13.7	12.3	13.2	11.9	14.0
Fe	10.3	10.4	9.4	9.9	9.5	9.0	8.0	8.9	10.0	8.9	9.6	8.7	10.2
总尘量	201.3	204.3	179.5	191.3	182.2	171.5	146.9	168.0	193.8	169.4	184.6	163.8	198.7

年	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Al	10.5	10.8	10.8	11.2	13.9	9.1	10.1	12.1	10.2	10.6	9.9	13.8
Fe	7.7	7.9	7.9	8.2	10.0	6.7	7.4	8.8	7.5	7.8	7.2	10.0
总尘量	140.7	145.3	145.6	152.0	195.6	117.6	134.4	166.0	136.2	142.5	129.9	194.4

图 2 给出了 1971~1995 年北京春季月平均和季平均沙尘质量浓度的年际变化。从月平均质量浓度曲线中可以看出如下特征: 1) 春季月平均质量浓度高值大多出现在 4 月, 低值一般出现在 3 月, 但进入 90 年代 3 月沙尘气溶胶质量浓度有所增加, 这可能与近年来气候变暖, 沙尘源区地表温度升高有利于冻土提前解冻形成沙尘天气有关。2) 月平均质量浓度的年际变化非常显著。例如 1988 年 4 月沙尘质量浓度高达 $363.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 而 1989 年 4 月沙尘质量浓度仅为 $117.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 前者约为后者的 3 倍。3) 季平均质量浓度的年际变化相对比较平稳, 当 4 月份沙尘质量浓度很高时, 其相邻月份 (3 月和 5 月) 的质量浓度就很低。如 1979、1983、1988 年就均属于这种情况。这可能与沙尘源区的气象和地表土壤特征有关, 即经过一年的风蚀, 可供吹起的沙尘总量维持在一个比较稳定的范围内, 如果 4 月份沙尘暴天气出现的频率高, 大量沙尘被输送到下游地区, 其结果是 3 月和 5 月份出现尘暴的概率就比较低。

4 结论

对实测气溶胶资料及气象资料的回归分析结果表明, 尘暴、浮尘、降水、大风和霾出现的频率与北京沙尘气溶胶质量浓度的变化密切相关, 利用上述气象要素资料可以计

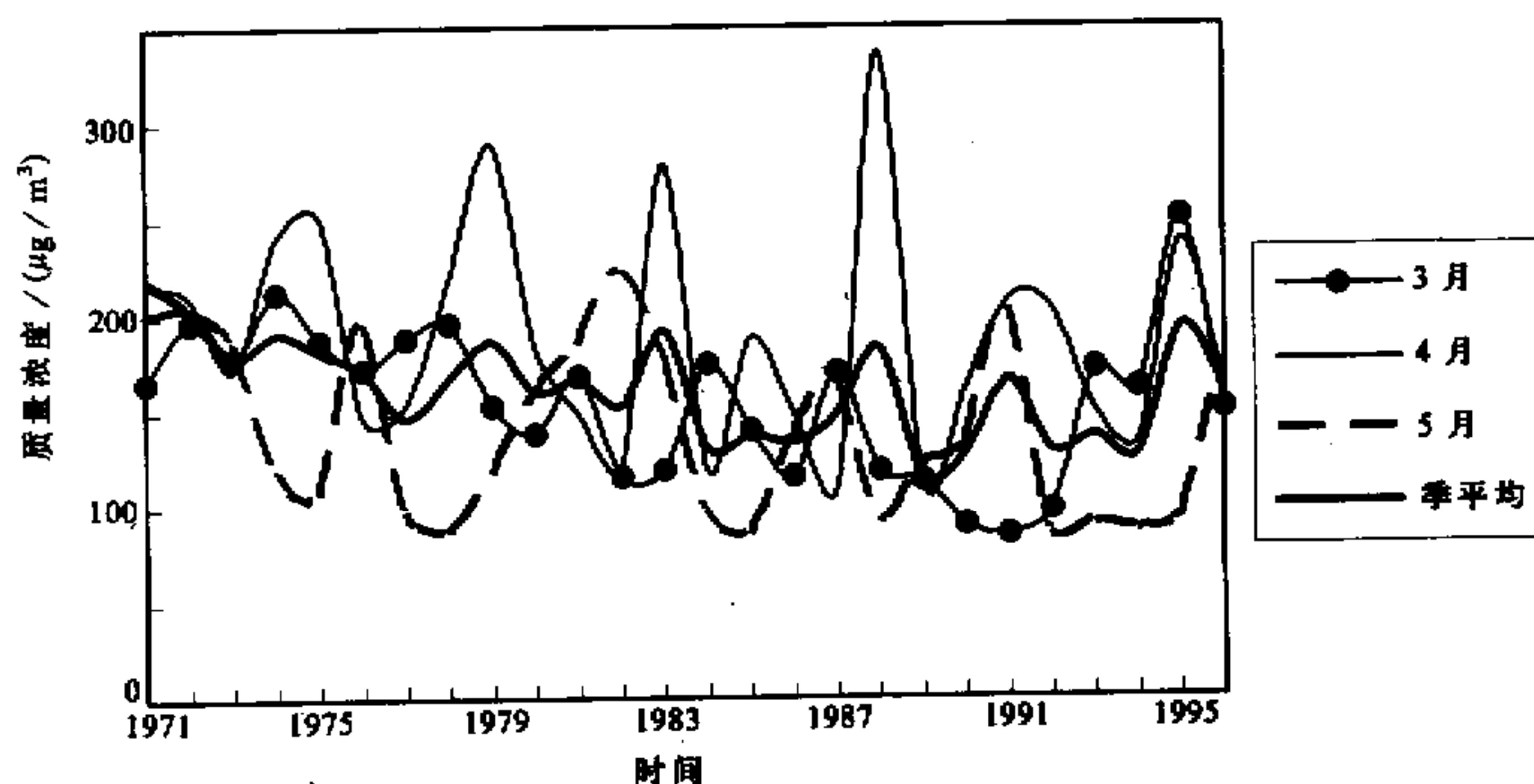


图 2 北京沙尘气溶胶春季月平均和季平均的年际变化

算出北京沙尘气溶胶月平均质量浓度的年际变化。计算结果表明, 1971~1989 年北京春季沙尘气溶胶质量浓度总体呈递减趋势, 但是进入 90 年代沙尘气溶胶质量浓度呈现增加趋势。

参 考 文 献

- 1 徐国昌、陈敏连、吴国雄, 1979, 甘肃省“4.22”特大沙尘暴分析, 气象学报, 37(4), 26~35.
- 2 周明煜、曲绍厚、宋锡铭等, 1981, 北京地区一次尘暴过程的气溶胶特征, 环境科学学报, 1, 208~219.
- 3 杨东贞、王超、温玉璞等, 1995, 1990 年春季两次沙尘暴特征分析, 应用气象学报, 6(1), 18~26.
- 4 游来光等, 1991, 沙尘天气下大气中沙尘粒子空间分布特点及其微结构, 应用气象学报, 2(1), p.13.
- 5 Duce R. A., Unni C. K., Ray B. J. et al., 1980, Long range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical North Pacific: Temporal variability, *Science*, 209, 1522~1524.
- 6 刘毅, 1996, 近中国海气溶胶的特征及其输送过程的研究, 中国科学院大气物理研究所博士论文.

Studies of the Relation between Mineral Aerosol Concentration and Meteorological Conditions over Beijing and Its Applications

Liu Yi

(State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Zhou Mingyu

(National Research Center for Marine Environment Forecasts, Beijing 100081)

Abstract Mineral aerosol data was analysed with meteorological data of Beijing by use of multiple linear regression analysis, it indicated that there was a close relation between the monthly concentrations of mineral aerosols and the frequency of relative meteorological elements. Based on the multiple linear regression equation derived in this paper, regular meteorological data can be used to estimate the concentration of mineral aerosol. Calculated results indicated that the mineral aerosol concentrations over Beijing showed a decreasing tendency between 1971 and 1989, but this tendency slowed down during the nineties.

Key words mineral aerosols interannual variation