

沙尘暴对兰州市空气污染的影响

丁瑞强 王式功 尚可政 杨德保 李建红

(兰州大学大气科学系 兰州 730000)

摘要 利用 2000 年 1—12 月兰州市区平均 TSP 浓度资料和榆中 TSP 浓度资料, 2000 年 6 月日—2001 年 5 月一年兰州市区的 PM₁₀、SO₂、NO₂ 的日均质量浓度资料, 分析了甘肃河西沙尘暴对兰州城区空气质量的影响。结果表明: 1) 夏、秋、冬三季, 兰州各月 PM₁₀ 与 SO₂ 浓度的比值为 3 左右, 而 3 月份达到了 7.6, 4 月份高达到 12.4, 因此, 可以推断外来源的输送是造成兰州市春季 PM₁₀ 浓度偏高的重要原因; 2) 沙尘暴对兰州市区颗粒物污染的影响主要在春季, 夏、秋、冬三季颗粒物污染主要是由本地源引起的; 3) 春季河西发生沙尘暴后, 次日兰州市的空气污染会大大加重, 有沙尘暴影响与无沙尘暴影响兰州市区 PM₁₀ 平均浓度之比为 2.2—5.93。强的沙尘暴过程可对兰州质量造成非常严重的污染, 不容忽视; 4) 影响兰州市空气质量的沙尘源与沙漠及其边缘地区有关。河西东部及腾格里沙漠以南到兰州 (36.1—40.0 °N、100—105 °E) 是距兰州最近、对兰州影响最大的沙尘源区, 其次是河西走廊西部及巴丹吉林沙漠 (40—45 °N、92.5—100 °E), 腾格里沙漠北区 (40—45 °N、100—105 °E), 柴达木沙区 (35—40 °N、90—100 °E) 对兰州影响较小。建议有关部门采取措施, 如在民勤与兰州市之间建造防护林带, 禁止放牧, 保护植被, 以减轻沙尘暴对兰州空气污染的影响。

关键词 沙尘暴 可吸入颗粒物 PM₁₀ 空气污染

1 引言

70 年代以来开始的沙尘暴研究指出, 河西沙尘暴的发生发展与强冷锋与强低压发展相伴随^[1]。南疆盆西部和甘肃河西东部民勤一带是西北沙尘暴的多发地区^[2, 3]。一年之中, 沙尘暴主要发生在春季; 一日之中, 沙尘暴主要发生午后至傍晚。黑风暴的形成和发展与一个中尺度气旋性涡旋在低层大气内的生成和急剧发展密切相关^[5-9], 该涡旋垂直向涡柱的有利配置是驱动黑风暴剧烈发展的一种重要动力机制, 而在对流层中、下部的极强斜压性与 PBL 内的暖心结构是黑风暴强烈发展的热力与对流不稳定条件。研究表明, 沙尘暴的形成必须具备三个条件: 强风、沙源和不稳定的大气层结。甘肃的河西走廊区域, 不但具备这三个条件, 而且狭管效应明显。近年来人口增长, 人为对生态环境的破坏加剧了这些地区沙漠化进程, 从而导致近年来沙尘暴频繁发生。兰州市位于甘肃河西走廊的下游, 是我国颗粒物污染最严重的城市之一。造成这种状况的原因, 除了当地大量污染源的排放、特殊的地形及兰州周围地区地表多裸露、缺少植被保护易起沙尘等因素外, 每年冬、春季节河西地区沙尘暴的频繁发生, 导致大量沙尘向该地区的输送也是重要原因。王式功等^[10]对甘肃河西地区沙尘暴与兰州空气污染的关系进行了分析, 分析结果表明: 甘肃河西沙尘暴的多发年份正好与兰州同期 TSP (总悬浮颗粒物) 的高污染浓度期相对应; 在沙尘暴频繁发生的春季, 两者的正相关性更加显著。

由于河西地区沙尘暴发生时, 兰州城区 PM₁₀ 会大幅增加, 它可通过呼吸道直接进入人体, 对人体健康造成很大危害。空气污染对人体的危害, 国外已作了大量的研究^[11-12], 开展了医疗气象服务, 但在国内还没有开展这方面的工作。

利用 1999 年 10 月—2000 年 12 月兰州市区平均 TSP 浓度资料和榆中 TSP 浓度资料, 2000 年 6 月 5 日—2001 年 5 月 31 日近一年的 PM₁₀、SO₂、NO₂ 的日均质量浓度资料, 我们进一步研究了沙尘暴对兰州空气污染的影响的大小, 为开展医疗气象服务和提高兰州市空气质量预报准确性奠定条件。

2 资料和方法

2.1 资料

①、2000 年 1—12 月兰州市区平均 TSP 浓度资料和榆中 TSP 浓度资料。

¹资助项目: 甘肃省中科院合作项目—兰州市大气污染及对策研究 (SZ991—A25—002)、国家重点基础研究发展规划项目 (G2000048703)
作者简介: 丁瑞强, 男, 1977.3 生, 山东安丘人, 硕士研究生, 主要从事空气污染与医疗气象研究工作; E—mail: zhaors@lzu.edu.cn

②、兰州市环境监测中心站监测的 2000 年 6 月 5 日—2001 年 5 月 31 日一年的 PM₁₀、SO₂、NO₂ 的日均质量浓度资料。

③、甘肃河西巴里坤、哈密、伊吾、野马街、安西、玉门镇、梧桐沟、酒泉、鼎新、敦煌、拐子湖、老东庙、巴彦毛道、祁连山、张掖、山丹、阿拉善右旗、永昌、民勤等 26 个站点 2000 年 6 月 1 日—2001 年 5 月 30 日逐日地面气象观测资料。

1. 2 方法

采用文献^[13]中的有关统计方法。相关系数的表达式为

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

3 兰州市区 PM₁₀、SO₂、NO₂ 三种污染物时间变化特征分析

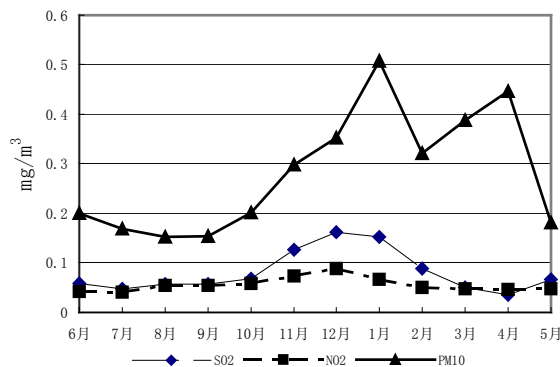


图 1 兰州市 PM₁₀、SO₂、NO₂ 月均浓度 2000 年 6 月—2001 年 5 月年变化曲线

Fig.1 The annual variation of monthly mean concentrations of PM₁₀、SO₂、NO₂ pollutants over Lanzhou city during June 2000 to May 2001.

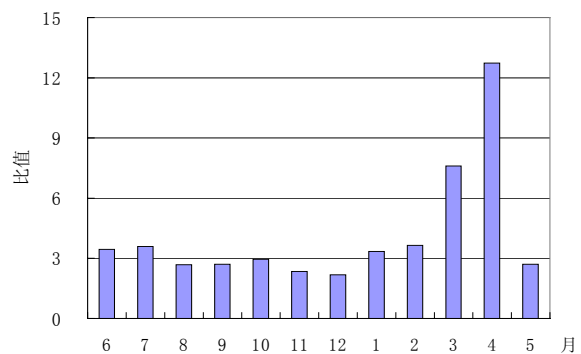


图 2 2000 年 6 月—2001 年 5 月兰州市区 PM₁₀ 与 SO₂ 月均浓度比值

Fig.2 Ratio of monthly mean concentrations of PM₁₀ and SO₂ over Lanzhou city during June 2000 to May 2001.

图 1 为兰州市 PM₁₀、SO₂、NO₂ 月均浓度 2000 年 6 月—2001 年 5 月变化曲线。可以看出，PM₁₀ 月均浓度值远远高于 SO₂、NO₂ 的月均浓度值，说明 PM₁₀ 对兰州市空气污染的影响比 SO₂、NO₂ 的大得多，因此兰州城市空气质量日报的首要污染物基本上都为 PM₁₀。从图 1 还可以看出，PM₁₀ 月均浓度最高值出现在 1 月份，并在沙尘暴多发月份 4 月又出现一个峰值；这有别于 SO₂、NO₂ 的月均浓度仅在 12 月份出现单峰值的年变化特征。

造成城市颗粒物污染和 SO₂ 污染的人为源主要是由燃煤引起的，如果没有外来源影响的话，两者的年变化趋势应该是一致的。有关对兰州市区八种主要污染物浓度相互关系的研究结果^[14]也表明，SO₂ 与颗粒物（TSP）浓度的正相关性最显著。因此纯粹由本地污染源引起的 PM₁₀ 与 SO₂ 浓度各月的比值应该基本恒定，偏大的部分，可以归咎于外来源的影响。基于这一思路，我们计算了各月 PM₁₀ 与 SO₂ 浓度的比值（图 2）。可以看出，夏、秋、冬三季，各月 PM₁₀ 与 SO₂ 浓度的比值为 3 左右，而 3 月份达到了 7.6，4 月份高达到 12.4，因此，可以推断外来源的输送是造成兰州市春季 PM₁₀ 浓度偏高的主要原因。

4 甘肃河西沙尘暴对兰州城区 PM₁₀ 污染浓度影响的分析

4. 1 沙尘暴与兰州 TSP 年变化的对比分析

1954~1998 年平均的我国北方地区扬沙、浮尘、沙尘暴天气月平均发生频数的年变化（图 3），最高值均出现在 4 月份；最低值出现在 9—11 月份。2000 年甘肃河西沙扬沙、浮尘、沙尘暴发生频数的年变化（图 4），与我国北方地区多年平均变化基本一致。

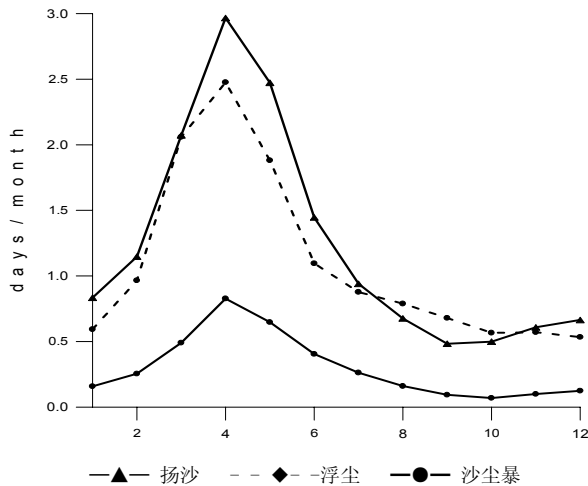


图3 1954~1998年我国北方沙尘天气发生频数的年变化
Fig.3 The inter annual variation of sand-dust weather occurred frequency in Northern China during 1954-1998

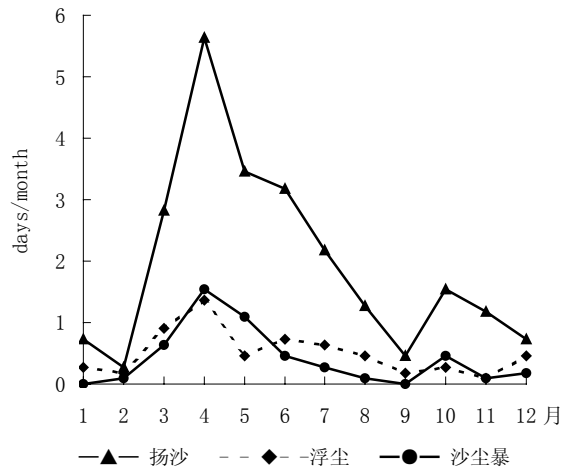


图4 2000年甘肃河西沙尘天气发生频数的年变化
Fig.3 The inter annual variation of sand-dust weather occurred frequency in HeXi corridor in 2000

因为环境监测站 TSP 浓度的监测数据不连续,缺乏代表性,我们仅根据环境监测站 2000 年 1—12 月较连续的 TSP 浓度资料,给出兰州城区和近郊榆中 TSP 月平均浓度值的年变化曲线(图 5)。可以看出:兰州城区和榆中的 TSP 月均浓度值都在 4 月出现峰值,这与春季沙尘天气频繁发生,在 4 月出现峰值是一致的。兰州城区 12 月出现又一峰值,榆中并未出现明显峰值,这是城区冬季采暖燃煤,排放大量颗粒污染物造成的;8 月出现谷值,是因为此时既无沙尘暴的影响,污染排放又轻,且气象条件有利于污染物扩散。由于榆中人口少,空气污染物排放小,其 TSP 污染主要是外来源引起的。从大范围天气背景看,沙尘暴对兰州城区和榆中的影响应该是相同的,因此可用榆中的 TSP 浓度去近似兰州 TSP 浓度的沙尘暴贡献部分。分析榆中 TSP 浓度变化,可以认为,沙尘暴对兰州市区颗粒物污染的影响主要在春季,夏、秋、冬三季颗粒物污染主要是由本地源引起的。

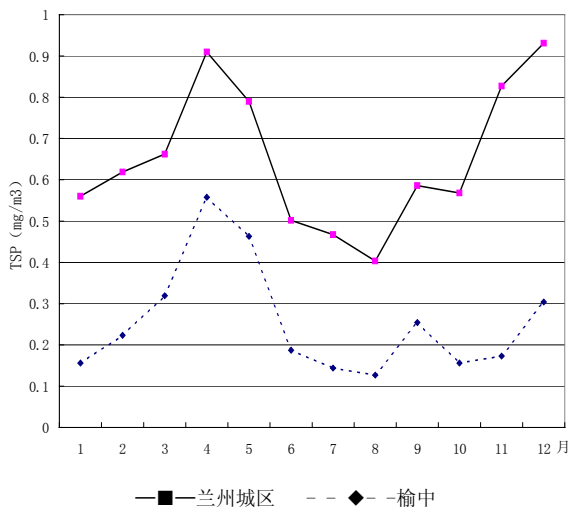


图5 2000年兰州城区和榆中 TSP 月平均浓度值年变化
Fig 5 The annual variation of monthly mean concentration of TSP over Lanzhou city and YuZhong in 2000

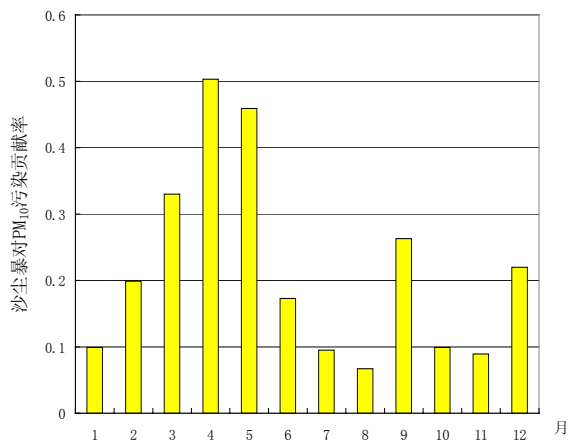


图6 2000年兰州市区各月 TSP 浓度外来源贡献率估计
Fig 6 The monthly estimate of the contribution of output resource to the concentration of TSP over Lanzhou city in 2000

4.2 2001年 1—4 月份河西沙尘暴对兰州市的 PM₁₀ 污染影响的分析

2001 年上半年(1—4 月份)河西地区共出现沙尘日数 32 次,其中沙尘暴 12 次。我们统计了 1—4 月份河西发生沙尘暴次日和无沙尘暴期间兰州市的 PM₁₀ 平均浓度(分别用 P₁、P₂ 表示)(表 1)。从表 1 可以看出,河西发生沙尘暴后,次日兰州市的空气污染将会大大加重,有沙尘暴影响与无沙尘暴影响兰州市区 PM₁₀ 平均浓度之比为 2.2—5.9。

表1 2001年1—4月份河西发生沙尘暴次日和无沙尘暴期间兰州市的PM₁₀平均浓度统计表

Table 1 The mean concentrations of PM₁₀ in Lanzhou city in the next days when sandstorms occurring and when no sandstorms occurring from January to April 2001

月份	河西沙尘暴发生次数	P ₁ (mg/m ³)	P ₂ (mg/m ³)	P ₁ /P ₂
1月	3	1.845	0.314	5.9
2月	2	1.231	0.272	3.5
3月	3	0.769	0.354	2.2
4月	4	1.324	0.246	5.4

4.3 两次典型沙尘暴影响分析

通过以上分析,我们得出了甘肃河西沙尘暴对兰州市区的PM₁₀质量浓度影响的大致情况,但是河西沙尘暴对兰州市区PM₁₀逐日浓度的影响,还与具体的沙尘暴天气过程有关。下面利用2000年12月31日—2001年1月1日和2001年4月6日—4月8日甘肃河西地区两次沙尘暴天气过程资料,来进一步分析甘肃河西沙尘暴对兰州城区PM₁₀污染浓度的影响。

2000年12月31日河西出现较大范围的沙尘天气,共有3站出现沙尘暴,最小能见度小于100米,这次沙尘天气一直持续到1月1日。沙尘暴发生一天后即1月1日,兰州市出现了浮尘天气,能见度从12月31日的11km降到1.2km,PM₁₀的日均浓度也从31日的0.432 mg/m³骤升到1日的2.561 mg/m³(见图2)。这次浮尘天气一直持续到5日,这期间由于河西地区向下游输送尘埃颗粒物的减少,PM₁₀的日均浓度在1月1日达到最高浓度后,也呈下降趋势,但均高于1月份PM₁₀日均浓度的平均值0.508 mg/m³。兰州市出现浮尘天气时(1—5日)PM₁₀日均质量浓度与中华人民共和国环境质量空气标准相比较,则其日均质量浓度全部超过PM₁₀质量浓度日均值的三级标准(0.25 mg/m³),最大超标倍数为9.2倍(1月1日)最低超标倍数也达到1.4倍(1月5日)。

4月6日河西地区再次出现大范围的沙尘天气,共有23个站出现沙尘暴,最小能见度为0米,此次沙尘暴天气是甘肃省2001年影响范围最大的一次,一直持续到8日。7日兰州市出现浮尘天气,能见度从6日的50km降到7日的8km,PM₁₀的日均浓度也达到最高值1.535 mg/m³(见图3),8日兰州市出现沙尘暴天气,能见度降到10m,但PM₁₀的日均浓度有所降低。9、10日兰州市能见度升高(都大于10km),PM₁₀的日均浓度也随之降低。兰州市出现浮尘天气时(7—8日)PM₁₀日均质量浓度也全部超过PM₁₀质量浓度日均值的三级标准,最大超标倍数为5.5倍(4月6日),最低超标倍数也达到2.4倍(4月7日)。

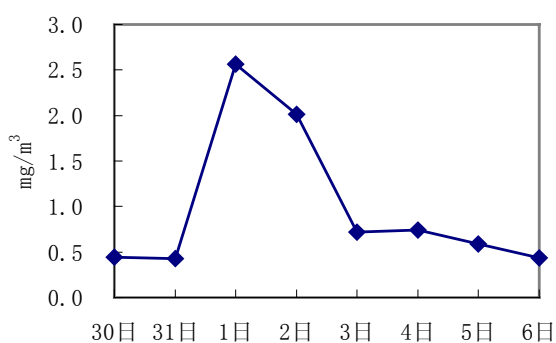


图7 2000年12月30日—2001年1月6日兰州市PM₁₀污染浓度的变化曲线

Fig.7 The variation of daily mean concentrations of PM₁₀ from 30 December 2000 to 6 January 2001

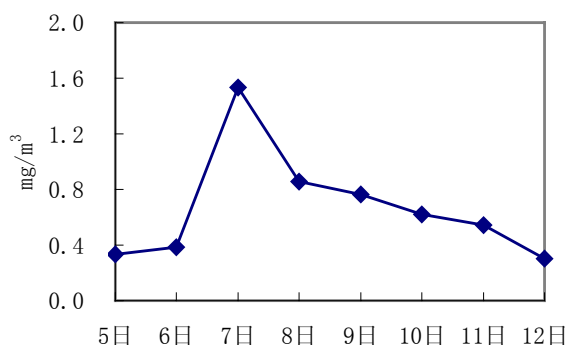


图8 2001年4月5日—12日兰州市PM₁₀污染浓度变化曲线

Fig.8 The variation of daily mean concentrations of PM₁₀ from 5-12 April 2001

以上两次个例分析表明,强的沙尘暴过程可对兰州质量造成非常严重的污染,不容忽视。

4.4 沙尘暴与兰州市区PM₁₀浓度的相关分析

根据冷空气活动路径和沙源的分布,以及沙尘暴的空间分布情况,将兰州市周围的沙尘暴易发地分为四个区。I区(位于40—45°N、92.5—100°E的河西走廊西部及巴丹吉林沙漠)、II区(位于35—40°N、90—100°E的柴达木沙区)、III区(位于40—45°N、100—105°E的腾格里沙漠北区)、IV区(位于36.1—40.0°N、100—105°E,河西东部及腾格里沙漠以南到兰州区域)。利用地

面气象资料,计算出各个区沙尘(扬沙、浮尘、沙尘暴)的站次数。2001年1—4月I、II、III、IV区的沙尘与兰州市区PM₁₀浓度的复相关系数分别为:0.4252、0.2140、0.3184、0.5946,分别通过了 $\alpha=0.01, 0.05, 0.01, 0.01$ 水平的相关显著性检验。II区沙尘与兰州PM₁₀的浓度的相关程度最低,这可能由于II区沙尘暴的发生频率较低,沙尘向东传输较少,不易影响到兰州。IV区沙尘指数与兰州市区PM₁₀的浓度的相关程度最高,这因为,(1)IV区离兰州最近,沙尘易传输到兰州外,(2)发生在I、III区并且最终能够影响到的沙尘暴天气过程向东南、向南移动过程中,都要经过IV区。因此影响兰州市区PM₁₀污染的沙尘源主要在IV区。建议有关部门采取措施,比如在IV区与兰州市之间建造防护林带,禁止放牧,保护植被,以减轻沙尘暴对兰州空气污染的影响。

5 小结

1) 夏、秋、冬三季,兰州各月PM₁₀与SO₂浓度的比值为3左右,而3月份达到了7.6,4月份高达12.4,因此,可以推断外来源的输送是造成兰州市春季PM₁₀浓度偏高的重要原因。

2) 沙尘暴对兰州市区颗粒物污染的影响主要在春季,夏、秋、冬三季颗粒物污染主要是由本地源引起的。

3) 春季河西发生沙尘暴后,次日兰州市的空气污染会大大加重,有沙尘暴影响与无沙尘暴影响兰州市区PM₁₀平均浓度之比为2.2—5.93。强的沙尘暴过程可对兰州质量造成非常严重的污染,不容忽视。

4) 影响兰州市空气质量的沙尘源与沙漠及其边缘地区有关。河西东部及腾格里沙漠以南到兰州(36.1—40.0 °N、100—105 °E)是距兰州最近、对兰州影响最大的沙尘源区,其次是河西走廊西部及巴丹吉林沙漠(40—45 °N、92.5—100 °E),腾格里沙漠北区(40—45 °N、100—105 °E),柴达木沙区(35—40 °N、90—100 °E)对兰州影响较小。建议有关部门采取措施,如在IV区与兰州市之间建造防护林带,禁止放牧,保护植被,以减轻沙尘暴对兰州空气污染的影响。

参考文献

- [1] 徐国昌,陈敏连,吴国雄. 甘肃省“4·22”特大沙尘暴分析. 气象学报, 1979, 37(4): 26~35.
- [2] 王式功,杨德保,金炯等. 我国西北地区黑风暴的成因和对策. 中国沙漠, 1995, 15(1): 19~30.
- [3] 王式功,杨德保,周玉素等. 我国西北地区“94·4”沙尘暴成因探讨. 中国沙漠, 1995, 15(4): 332~338.
- [4] 付有智,刘坤训,丁荣. 甘肃河西黑风暴成因及预报. 甘肃气象, 1993, 3: 40~42.
- [5] 程麟生,西北地区黑风暴灾害及成因的分析与数值模拟研究,《西部资源环境与可持续发展文集》兰州大学出版社, 1998年: 186--195.
- [6] 程麟生,马艳. “93.5”黑风暴发展结构和不同模式分辨率的数值试验,应用气象学报, 1996, 7(4): 386--395.
- [7] 陈伟民,陈敏连,王强,李荣庆. “93.5.5”黑风暴过程中- β 尺度爬线的初步数值模拟,中国沙尘暴研究,北京:气象出版社. 1996: 128--133.
- [8] 张玉林,赵光平,杨淑萍. 宁夏强沙尘暴形成机制的探索和研究. 中国沙漠, 1996, 16(4): 351—355.
- [9] 申绍华,陈受钧,沙尘暴辐射强迫的锋生过程分析,气象学报, 1993, 51(4): 425--433.
- [10] 王式功,杨民,祁斌,辛春兰,杨明芳. 甘肃河西沙尘暴对兰州市空气污染的影响. 中国沙漠. 1999, 12(4).
- [11] Maynard, R. L, Particulate air pollution. In: The urban atmosphere and its effects. Imperial College Press. 2001, 179.
- [12] BéruBé, K. A., Jones, T. P., Williamson, B. J., Winters, C., Morgan, A. J., Richards, R. J., Physicochemical characterization of diesel exhaust particles: Factors for assessing biological activity. Atmospheric Environment, 1999, 35, 1599—1614.
- [13] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法,北京:气象出版社, 2000: 9-25.
- [14] 王式功,杨德保,黄建国. 兰州城市八种主要空气污染物浓度分布类型及其相互关系,兰州大学学报(自然科学版), 1996, 32(1): 121-125.

The Effect of Sand-dust Storm on the Air Pollution over the city of Lanzhou

Ding ruiqiang Wang shigong Shang kezheng Yang debao Li jianhong

(Department of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou, 730000)

Abstract Based on the monthly mean concentration data of TSP pollutant over Lanzhou cities and Yuzhong during 2000, the day-by-day mass concentration data of PM₁₀, SO₂, NO₂ pollutants over the city of Lanzhou from 5 June 2000 to 31 May 2001, the effects of sandstorms in Hexi region on air quality of Lanzhou have been analysed. The results are as follows: 1) With the sand-dust storm effects, the monthly mean mass concentrations of PM₁₀ are further high in the sand-dust storm frequently occurring months. So the monthly mean mass concentrations of PM₁₀ have two peak values, while those of SO₂, NO₂ have both one peak occurring in December. The ratio of PM₁₀ to SO₂ is about 3 in summer, autumn and winter, while 7.6 in March and 12.4 in April. So it can be concluded that sandstorms are the basic cause for concentrations of PM₁₀ further high in Spring. 2) The contribution ratio of sandstorms to TSP pollution over Lanzhou is above 30 percent in , while above 50 percent in April, about between 20 and 30 percent in September and December and below 20 percent in other months. So the effects of sandstorms on particulate matter pollution of Lanzhou are primarily in Spring. Above 70 percent of particulate matter pollution in Summer, Autumn and Winter are caused by local pollution sources. The daily concentrations of PM₁₀ are seriously affected by the sandstorms occurring in the Hexi region. Visibility decline and the daily concentration of PM₁₀ increase over the city of Lanzhou in the next day when sandstorm occurring in the Hexi region. 3) The effects of sandstorm on air quality of Lanzhou city based on the distance between the sandstorm occurring place and Lanzhou. The east part of Hexi region and the south part of Tenggeli desert is the main sand-dust region, which has the least distance with Lanzhou city, so it has the most effect on air quality of Lanzhou city.

Key Word: sand-dust storm particulate matter PM₁₀ air pollution