

文章编号: 0455-2059(2003)05-0101-04

兰州皋兰山顶春季大气气溶胶的监测与分析

奚晓霞¹, 郭治龙¹, 姚卡玲², 杨 倩¹, 刘治国¹

(1. 兰州大学 资源环境学院西部环境教育部重点实验室; 2. 兰州大学 化学化工学院, 甘肃兰州 730000)

摘要: 对兰州皋兰山顶春季大气气溶胶连续采样, 得到了大气背景、浮尘、扬沙、沙尘暴等不同天气条件下的气溶胶质量浓度。通过沙尘天气的过程分析, 得到不同沙尘天气条件下, TSP 浓度的时间变化规律。与兰州大学小二楼顶的监测数据进行比较分析, 可以看出兰州市的污染状况和 TSP 的时空分布。通过各类沙尘天气不同粒径气溶胶粒子的浓度分析, 发现气溶胶粒子粒径的分布规律和气溶胶来源不同。

关键词: 大气气溶胶; 沙尘天气; 兰州

中图分类号: X502 **文献标识码:** A

兰州市区处于陇西黄土高原的西北部和祁连山东沿余脉相连接处, 周边为黄河及其水系所连贯, 形成哑铃型带状河谷盆地。盆地四周是山地, 中部为河谷地带, 黄河贯穿而过, 将本地区分为南北两山。总的地形为西北高, 东南低, 南高北低, 山体缓卧呈长梁, 由南向北逐渐延伸倾斜^[1]。盆地东西长 35 km, 南北约 5 km, 最宽处为 8 km, 最窄处仅为 2 km, 是一个典型的东西长、南北窄的沿河带状城市。特有的盆地地形形成了特殊的盆地气候, 是影响兰州市空气质量的直接因素^[2]。

风速小, 静风率高, 冬季逆温层厚、强度大, 大气层结构稳定, 是兰州市盆地气候的显著特征, 也是造成兰州市区大气污染物不易扩散的重要气象因素。兰州市地处黄土高原西端, 气候干燥, 冬春季降水较少, 植被覆盖率较低。春季易受西面河西沙尘暴和浮尘的影响, 造成总悬浮颗粒物严重超标, 成为一年中总悬浮颗粒物污染最严重的时段^[2]。而皋兰山正好位于兰州市城关区南面, 海拔 2 100 m 左右, 皋兰山主体相对城关区高约 600 m。兰州市区高度在 500 m 以下的贴地逆温对大气中污染物的扩散有重要影响。

1 采样与计算方法

用 TH-1000C II 型大流量采样器进行连续的采样。正常每日采时 22 h, 流量为 1.05 m³/min。同时,

在沙尘天气过程中使用 KB120-E 采样器, 对大气中的沙尘进行采样, 2 h 采样 1 次, 流量是 120 L/min, 从沙尘开始到结束, 使用 Anderson 分级采样器对沙尘进行分级采样, 流量是 28.3 L/min。采用重量法测定大气中气溶胶的质量分数, 用采样前后滤膜的质量差除以采样体积, 即得到沙尘气溶胶的质量分数。考虑到数据间的可比性还将采样的累积体积化为标准体积

$$P \cdot V/T = P_0 \cdot V_0/T_0 \quad (1)$$

其中: P_0, V_0, T_0 分别是标准状况下的压强、体积和温度; P, V, T 分别表示现场的气压、累积体积和温度。

$$c = m/V_0 \quad (2)$$

其中: m 表示样品的质量; c 为采样的质量分数。

Anderson 采样器共分为 9 级, 其粒径分布为 $>9, 5.8 \sim 9.0, 4.7 \sim 5.8, 3.3 \sim 4.7, 2.1 \sim 3.3, 1.1 \sim 2.1, 0.65 \sim 1.10, 0.43 \sim 0.65, <0.43 \mu\text{m}$ 分别称为 0~8 级^[3]。

2 监测结果分析与讨论

2.1 TSP 日平均质量分数分析

把从 2002 年 3 月 1 日~4 月 14 日这 45 天通过 TH-1000C II 型大流量采样器在皋兰山顶和兰州大学小二楼顶进行连续采样得到的 TSP 平均质量分数结果及其浓度差值列于表 1。其中沙尘天气共

收稿日期: 2002-09-16。

基金项目: 国家重大基础研究发展规划(G2000048703)和国家自然科学基金(40075025)及中国科学院 305(KZCX2-305)资助项目。

作者简介: 奚晓霞(1960-), 女, 副教授。

有12天,占总天数的26.7%。尤以3.19沙尘暴和3.27~3.30的强浮尘天气最为典型。每次沙尘天气过程中TSP平均质量分数明显增加(图1,2)。

表1 TSP浓度时间分布

Table 1 Concentrations of TSP with time

t/年·月·日	c/mg·m ⁻³		浓度差值
	兰州大学	皋兰山顶	
2002.3.1~3.2	0.913 020	0.652 735	0.260 284
2002.3.2~3.3	0.724 454	0.778 988	-0.054 053
2002.3.3~3.4	0.572 970	0.534 181	0.038 789
2002.3.4~3.5	0.961 279	0.770 470	0.190 809
2002.3.5~3.6	0.615 985	0.449 199	0.166 786
2002.3.6~3.7	1.269 239	0.936 579	0.332 660
2002.3.7~3.8	0.671 447	0.468 728	0.202 719
2002.3.8~3.9	0.578 983	0.442 449	0.136 534
2002.3.9~3.10	0.572 759	0.441 178	0.131 581
2002.3.10~3.11	0.654 812	0.469 985	0.184 827
2002.3.11~3.12	0.775 367	0.680 361	0.095 005
2002.3.12~3.13	0.410 733	0.267 311	0.143 421
2002.3.13~3.14	0.505 413	0.303 535	0.201 878
2002.3.14~3.15	0.701 793	0.497 529	0.204 264
2002.3.15~3.16	0.664 323	0.595 378	0.068 945
2002.3.16~3.17	2.315 491	1.924 038	0.391 454
2002.3.17~3.18	1.167 463	1.102 006	0.065 457
2002.3.18~3.19	0.833 343	0.531 581	0.301 762
2002.3.19~3.20	4.084 028	3.597 724	0.486 304
2002.3.20~3.21	0.781 771	0.734 314	0.047 457
2002.3.21~3.22	2.769 836	3.059 953	-0.290 120
2002.3.22~3.23	1.530 465	1.735 165	-0.204 700
2002.3.23~3.24	0.691 840	0.496 030	0.195 810
2002.3.24~3.25	0.622 127	0.405 984	0.216 143
2002.3.25~3.26	0.604 834	0.365 168	0.239 667
2002.3.26~3.27	1.398 343	1.125 388	0.272 955
2002.3.27~3.28	2.049 654	2.208 453	-0.158 800
2002.3.28~3.29	3.560 202	4.292 810	-0.732 610
2002.3.29~3.30	4.730 505	5.329 492	-0.598 990
2002.3.30~3.31	1.564 765	1.365 071	0.199 694
2002.3.31~4.1	0.923 885	0.839 960	0.083 925
2002.4.1~4.2	0.690 901	0.501 842	0.189 059
2002.4.2~4.3	0.801 079	0.685 231	0.115 848
2002.4.3~4.4	1.679 579	1.804 110	-0.124 530
2002.4.4~4.5	0.258 097	0.137 293	0.120 805
2002.4.5~4.6	0.851 451	0.596 449	0.255 002
2002.4.6~4.7	0.701 892	0.697 186	0.004 706
2002.4.7~4.8	—	0.562 602	—
2002.4.8~4.9	0.445 273	0.398 668	0.046 605
2002.4.9~4.10	—	0.244 967	—
2002.4.10~4.11	0.445 273	—	—
2002.4.11~4.12	0.796 254	0.805 765	-0.009 510
2002.4.12~4.13	0.871 994	0.581 935	0.290 059
2002.4.13~4.14	2.473 025	2.789 917	-0.316 890
2002.4.14~4.15	1.112 102	1.148 087	-0.035 980

相对于国家空气质量五级标准0.626~0.875 mg/m³而言,国家五级标准以上的天数,皋兰山顶有23天,占总天数的51.1%,而兰州大学有32天,占总天数的71.1%;相对于国家三级标准0.301~0.5 mg/m³而言,低于等于国家三级标准的天数,皋兰山顶有15天,占总天数的33.3%,而兰州大学只有4天,占总天数的8.8%;达到国家二级标准

0.121~0.300 mg/m³的天数,皋兰山顶有3天,兰州大学只有1天。两监测站点的TSP质量分数均未达到国家一级标准。由此可见,兰州市区春季空气污染相当严重。春季干旱多沙尘天气的影响是首要原因。

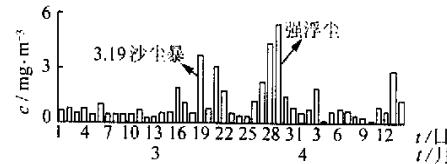


图1 皋兰山顶TSP质量分数分布图

Fig. 1 Distribute of Mass concentrations of TSP

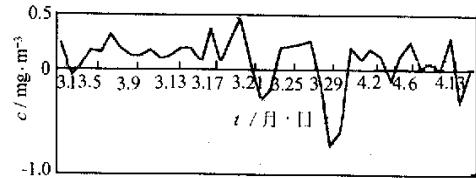


图2 皋兰山顶与兰州大学TSP质量分数差值

Fig. 2 The decrement of mass concentrations of TSP between Lanzhou University site and Gaolanshan site

兰州市区这段时间明显的沙尘天气只有12天,而兰州大学小二楼顶监测的TSP质量分数超过国家空气质量三级标准的天数竟达41天之多,占总观测天数的91.2%。说明在一般天气情况下,兰州市的TSP污染也比较严重,这主要是因为冬季采暖期还没过,典型的贴地逆温层不利于兰州市区上空污染物的扩散所致。皋兰山顶低于兰州大学小二楼顶的TSP质量分数的天数占总天数的76.2%,而TSP质量分数明显高于兰州大学小二楼顶的那几天大都是浮尘天气。

2.2 沙尘天气中TSP平均质量分数的时间分布

从2002年3月1日~4月14日共45天当中每一次沙尘天气过程,都用KB-120进行连续监测,得到几次比较完整的TSP浓度变化过程(表2),其中以2002年3月27日~30日出现的强浮尘天气最为典型。其持续时间最长,浓度高峰值也是45天来所监测到的最大浓度值。

从图3,4可看出2002年3月27日中午开始出现轻微浮尘,从12:30~14:30监测了一次(横坐标1),之后浮沉逐渐消失。28日上午又出现轻微浮尘,而且逐渐加重,从12:25开始监测就得到一高峰值,之后浮尘又逐渐消失(横坐标2~6)。但从29日上午突然出现较重浮尘天气,从10:30开始

表 2 KB-120 采样得 TSP 浓度时间分布

Table 2 Concentration of TSP with time by KB-120

	<i>t</i>	$c / \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$
2002. 3. 27 浮尘天气	12:30~14:30	0.039 583
	12:25~15:05	0.102 917
	15:05~17:05	0.048 750
2002. 3. 28 浮尘天气	17:05~19:05	0.025 000
	19:05~21:05	0.017 500
	21:05~23:05	0.031 667
2002. 3. 29 强浮尘天气	10:30~12:30	0.180 417
	12:30~14:30	0.117 083
	14:30~16:30	0.171 667
	16:30~18:30	0.113 333
	18:30~20:30	0.104 583
	20:30~22:30	0.240 833
	22:30~00:30	0.356 667
	00:30~02:30	0.275 417
2002. 3. 30 浮尘天气	02:30~04:30	0.312 917
	04:30~06:30	0.167 083
	06:30~08:30	0.200 000
	08:30~10:30	0.141 250
	10:30~12:30	0.135 000
	12:30~14:30	0.111 250
	14:30~16:30	0.076 250
	16:30~18:30	0.042 917
2002. 4. 14 扬沙天气	09:20~11:20	0.027 083
	11:20~13:20	0.059 583
	13:20~15:20	0.059 167
	15:40~17:40	0.049 583
	17:20~19:20	0.063 750
	19:20~21:20	0.015 833



图 3 2002 年 3 月 27~30 日强浮尘天气过程

Fig. 3 The process of strongly floating dust weather from 27 to March 30, 2002

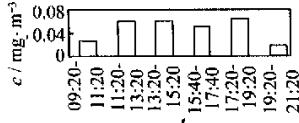


图 4 皋兰山顶 2002 年 4 月 14 日扬沙天气过程

Fig. 4 The process of blowing sand weather on April 14, 2002 at the top of Gaolanshan site

持续监测到 30 日的 18:30 浮尘消失(横坐标 7~22). 这次严重的浮尘天气从 29 日 20:30 开始逐渐增强(横坐标 12), 并在 22:30~0:30 之间达到高峰值 0.3567 mg/m^3 (横坐标 13), 此高峰值是这次强浮尘天气过程中监测到的最低值的 20 倍. 之后, 强浮尘开始缓慢回落, 到 30 日 18:30 之后消

失. 浮尘的天气过程和沙尘暴类似, 有明显的峰值, 呈“几”字型有规律的增强和回落, 没有大的波动. 而扬沙天气呈一致减少趋势, 也没有明显的峰值, 随着风速的大小和扬起沙尘的多少而直接变化.

2.3 各类沙尘天气下气溶胶粒径质量分数分析

通过表 3 所列 Anderson 采样数据, 对浮尘、扬沙、沙尘暴 3 种沙尘天气条件下不同粒径气溶胶粒子的质量分数作出分布图进行分析比较, 见图 5.

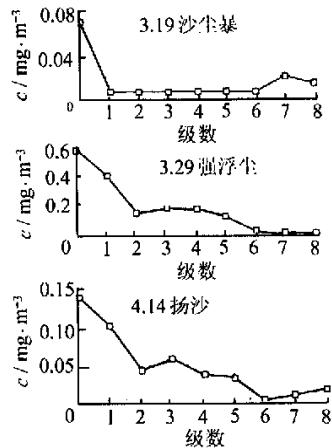


图 5 沙尘暴、浮尘和扬沙天气的粒径-质量的特征分布曲线

Fig. 5 The classic curves of particle diameter-mass concentration to dust storm, floating dust and blowing sand weather

3.29 强浮尘和 4.14 扬沙天气不同粒径气溶胶粒子质量分数分布比较相似, 第 0 级浓度值最大, 第 1 级也相对较大, 浓度回落到第 2 级后出现一个小的回升, 从第 5 级又开始回落到第 6 级的最低值, 不过 4.14 扬沙天气不同粒径气溶胶粒子质量分数的分布在第 7, 8 级又有一个小的回升. 而 3.19 沙尘暴天气不同粒径气溶胶粒子质量分数的分布与前两者有明显不同, 只有第 0 级的浓度值很高, 第 1~6 级的浓度值非常低, 且相差不多, 到第 7, 8 级有一个小的回升. 沙尘暴天气与另外两种沙尘天气的沙尘来源不同. 3.19 日沙尘暴的沙尘主要来自沙漠地区, 主要成分为沙砾, 气溶胶粒子粒径大都 $> 9 \mu\text{m}$, 第 0 级的质量分数占总质量分数的 47.6%. 而浮尘和扬沙天气的沙尘主要来自兰州市区及其周围的黄土高原, 主要成分为黄土. 浮尘天气气溶胶第 0, 1 级的质量分数分别占总质量分数的 35.3% 和 24.5%. 扬沙天气气溶胶第 0, 1 级的质量分数分别占总质量分数的 31% 和 22.5%.

表3 龙山山顶不同粒径气溶胶粒子质量分数分布表

Table 3 The table of aerosol particle mass concentrations of different size grade mg/m³

天气状况 t/月·日	粒径/μm								合计		
	>9	5.8~9	4.7~5.8	3.3~4.7	2.1~3.3	1.1~2.1	0.65~1.0	0.43~0.65			
浮尘	3.17	0.234	0.195	0.117	0.156	0.137	0.156	0.039	0.020	0.078	1.131
	3.22	0.078	0.085	0.049	0.068	0.073	0.044	0.014	0.010	0.002	0.424
	3.28	0.162	0.140	0.066	0.059	0.066	0.059	0.147	0.000	0.007	0.574
	3.29	0.561	0.390	0.142	0.174	0.172	0.120	0.022	0.005	0.005	1.591
扬沙	4.14	0.138	0.010	0.045	0.059	0.038	0.034	0.003	0.010	0.017	0.444
沙尘暴	3.19	0.069	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.021	0.014	0.144	

3 小结

兰州市春季3~4月份处在采暖期,同时易受西面河西沙尘暴和浮尘的影响,造成TSP严重超标,成为一年中TSP污染最严重的时段。

春季兰州市区TSP污染十分严重,且由于贴地逆温的作用,一般天气情况下皋兰山顶比近地面的TSP污染要轻得多。

沙尘暴和浮尘天气TSP的质量分数随时间呈低、高、低分布,有明显的高峰值,而扬沙天气呈快速降低趋势。

沙尘天气气溶胶粒子主要集中在第0级(粒径 $>9\text{ }\mu\text{m}$),且浮尘和扬沙天气不同粒径气溶胶粒子的质量分数分布十分相似,但3.19沙尘暴不同粒径气溶胶粒子的质量分数分布与其他沙尘天气有明显不同,说明气溶胶的来源不同^[4~6]。

参考文献

- [1] 朱学义,王庆梅,李磊,等.兰州市大气污染对策研究[R].兰州:兰州市环境监测站,2001.
- [2] 朱学义,王庆梅,马敏泉,等.兰州市大气污染对策研究[R].兰州:兰州市环境监测站,2001.
- [3] 奚晓霞,王世红,陈长和,等.兰州市城关区冬季不同高度大气气溶胶的测量与分析[J].高原气象,1995,14(2):221-225.
- [4] 王明星.大气化学(第二版)[M].北京:气象出版社,1999.166-179.
- [5] 钱正安,贺慧霞.我国西北地区沙尘暴分级标准和个例谱及其统计特征[A].方宗义,朱福康,江吉喜,等.中国沙尘暴研究[C].北京:气象出版社,1997.1-10.
- [6] 张鹤琛.现代气象观测[M].北京:北京大学出版社,2000.417.

Atmospheric aerosol monitoring and analysis at the top of Gaolanshan in Lanzhou in spring

XI Xiao-xia¹, GUO Zhi-long¹, YAO Ka-ling², YANG Kan¹, LIU Zhi-guo¹

(1. National Laboratory of Western China's Environmental Systems,

School of Resources and Environmental Sciences, Lanzhou University;

2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Lanzhou University, Lanzhou, 730000, China)

Abstract: The authors present the aerosol mass concentrations of background, dust storm, floating dust and blowing sand, monitored continuously atmospheric aerosol at the top of Gaolanshan in Lanzhou in the spring of 2002. After studying dust storm process, we present the rule of the atmospheric TSP (Total Suspend Particle) change with time under the different weather conditions. This paper also analyzes the TSP distribute and pollution conditions in Lanzhou by comparing data from Gaolanshan sampling site and Lanzhou University sampling site. During the study of the mass concentrations of different size grade particles that were sampled using Andeson aerosol collecting instruments under different weather, we get the distribution law of size grades of aerosol particles. The different size grade distribution may have different sources.

Key words: aerosol; dust weather; Lanzhou