

上海地区SO₂的观测研究

邹有所 洪钟祥 周乐义 沈剑青*

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

1986年6月中旬到7月中旬,采用飞机与地面定点测量,对上海地区SO₂空间及地面的分布、变化进行了观测研究,得出了如下结果:1.在降水较频繁的观测期间,上海近郊地面(龙华机场)SO₂的平均日变化呈一峰一谷分布,峰值在08时,约34ppb,谷值在02时,约10ppb,全天平均为18ppb.但在连续的晴天状况下,SO₂日变化呈二峰二谷分布.2.SO₂空间分布有两大特征.一是不稳定大气层结(晴天)下的向上递减型,1500m以下,城市比郊区大10ppb左右,1500m以上,市区、郊区的浓度趋于一致,相差只1—2ppb.二是层状云中SO₂浓度垂直分布先向上递增,约在1500m高度上达极值,然后又向上递减.3.资料分析发现,云中SO₂浓度越高的地方,云水的酸度也越大.4.冷锋、准静止锋天气过程,每次都伴随SO₂日均浓度分布曲线上的一个峰值.

关键词:降水冲洗;SO₂;上海.

一、引 言

1986年6月中旬到7月中旬,大气物理研究所与上海市环境保护研究所、上海气象研究所合作,进行了一次大规模的酸雨地面与空间观测研究.本文通过对测量数据和测量过程的分析,企图搞清上海地区SO₂的空间垂直分布及地面浓度随时间的变化规律,并结合气象条件进行综合研究,探讨上海地区SO₂分布与酸雨的来源和机制问题.

二、测量概况

测量分飞机空间飞行观测和地面定点观测两种方式进行.地面及空间均采用美国MONITOR LABS公司的8850型SO₂荧光分析仪进行测量.仪器量程为0—10ppm,最小分辨率为1ppb.

地面测量点设在龙华机场候机室楼上,时间从6月21日至7月13日共23天.仪器日夜连续采样,经荧光反应输出的SO₂浓度信号再经单板机处理后打印记录.记录分5秒和5分钟平均值两种选择,我们选5秒钟平均值打印记录.测点周围的环境是:东南面的水泥厂高烟囱排放对测量的可能影响最大,西面有火葬厂的烟囱排放,北面是市区.此外停机坪上飞机发动时产生的SO₂对测点也有直接影响.

1988年6月10日收到,1989年5月30日收到修改稿.

* 大气物理研究所周义祥、罗卫东等同志担负了现场观测工作.

空间测量是租用一架双水獭飞机在高空飞行观测，测量时将8850型SO₂分析仪置于机舱内，采样进气口放在飞机腹部的减压舱中。SO₂数据连续打印，5秒钟打印一个值，每小时可获720个空间数据。试验期间共飞行十七架次，每次飞行约2小时，飞行速度平均为174 km/h，飞机高度为500 m—5000m，选择几个特定高度作持续水平飞行测量。SO₂的测量高度最低为500 m，其余为1000，1500，2000、2500、3000、3500 m等。飞行具体线路：一是环绕市区和贯穿市区上空的测试路线，二是嘉定—市区—南汇、松江—市区—崇明、青浦—松江—奉贤和金山—南汇路线。

三、资料分析及结果

根据文献[1]、[2]的实验研究，水汽含量及气压变化均对SO₂的测量浓度值有较大影响，因此无论地面或是空间的SO₂测量都必须考虑大气相对湿度的影响，对于空间测量，我们还要考虑气压随高度的变化及其对测量值的影响。为了排除水汽对测量的影响，一般在仪器的进气口装配排水（如汽水分离器）部件，但8850型荧光SO₂分析仪内部已装有驱水汽部件，不需另加除水装置就能保证SO₂的正常测量，所以在资料处理时没有考虑水汽的订正。飞机在不同高度上的气压变化，在资料处理时已按文献[2]中的实验订正曲线采用内插法对SO₂测量值进行了订正，然后再进行统计处理。下面将资料分析的一些结果简要叙述如下。

1. 地面SO₂浓度随时间的变化特征

上海近郊（龙华机场）地面SO₂浓度随时间的变化如图1所示。图1(a)是对6月23日至7月13日中17天的有效数据平均得到的。

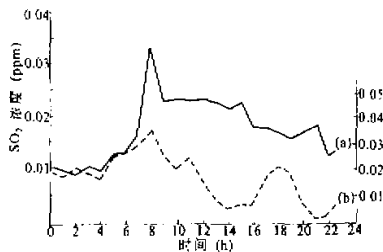


图1 上海近郊(龙华机场)地面SO₂浓度日变化

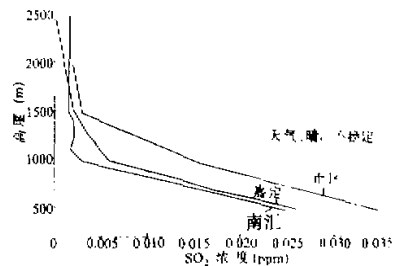


图2 上海市区与郊区SO₂浓度随高度变化
(1986年7月12日14:00—17:00)

从图上看，SO₂浓度在夜间02时左右达全天最低值，约10ppb，06时上升较快，到08时达全天峰值34ppb，一直到下午15时，SO₂浓度值的变化都较缓慢，呈一条近水平的直线，维持稳定在23ppb上下。15时后开始下降，至19时已达16ppb，然后略有上升，21时为19ppb，22时又降至13ppb。在平均曲线上，SO₂日变化的两峰两谷趋势不明显，因为这期间天气系统（冷锋、准静止锋）较多，阴雨也较多，但白天与夜间的SO₂浓度差别明显，白天平均为21ppb，夜间为12ppb，日均浓度18ppb。总趋势为一峰一谷。但持续的晴天条件下，SO₂日变化有很好的二峰二谷趋势。如图

1(b)所示, SO_2 浓度的最大值出现在上午 08 时, 约 37ppb, 次大值在下午 18 时, 为 21 ppb 左右. 两个谷值, 一个在 04 时, 16 ppb, 另一个在 14 时, 约 7 ppb.

2. SO_2 空间分布的特征

气象条件对 SO_2 的空间分布影响十分显著, 在晴天大气层结不稳定的情况下, SO_2 空间浓度随高度的分布如图 2 所示. 这时, 无论是市区还是郊区上空, SO_2 浓度都是向上递减的, 在 500 m 的高度上市区比郊区浓度约大 10 ppb, 这个差值一直保持到 1500 m 高度, 再向上, 市区和郊区上空的 SO_2 浓度趋于一致, 相差约 1—2ppb.

图 3 显示了上海 SO_2 空间分布的另一特征. 当存在深厚的云时, 特别是降水层状云的存在, SO_2 浓度廓线就常常出现一个极大值, 其高度常在 1500m 上下, 如图 3(a) 所示, 但极大值的高度并不全是 1500 m, 例如图 3(b) 就是一个例子, 它的 SO_2 极大值出现在 1100 m 上下. SO_2 空间浓度的极大值能否出现, 以及出现的高度应同云的高度、厚度及含水量的分布有关.

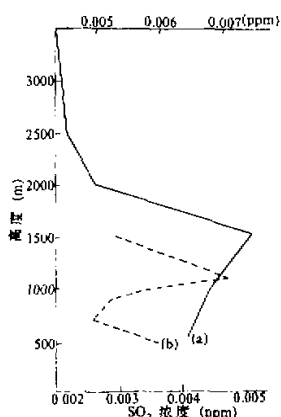


图 3 层状云存在时, 上海 SO_2 的空间垂直分布

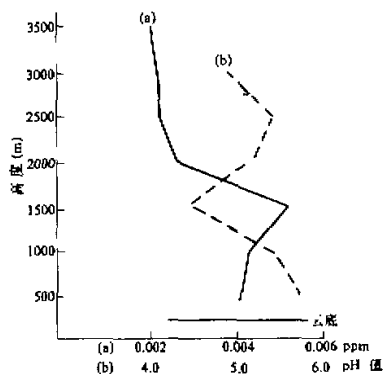


图 4 SO_2 浓度与云水酸度随高度变化的对比 (1986 年 7 月 8 日 09:45—11:52 同机同时测量值)

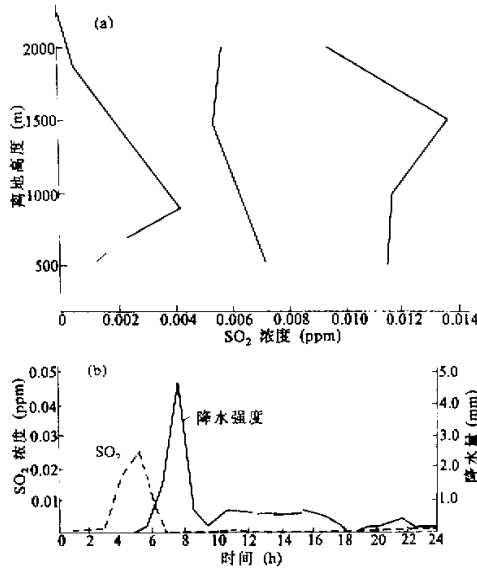
3. SO_2 空间浓度分布与云水酸化的关系

图 4 是 1986 年 7 月 8 日同一飞机上同时测出的 SO_2 空间浓度和云水 pH 值随高度分布的结果. 比较图 4(a) 和 (b), 我们不难看出: SO_2 浓度从 500 m 高度上开始向上逐渐增加, 至 1500 m 高度达极大值, 然后浓度就随高度向上递减; 在完全对应的高度上, 云水 pH 值变化趋势却和 SO_2 的变化相反, 即云水 pH 值越小的地方 SO_2 浓度越高. 云水的 pH 值从 500 m 高度向上减小, 到 1500 m 高度达极小值 (最酸), 再向上, pH 值就逐渐加大, 这种好的对应关系一直保持到 2500 m 的高度.

4. 降水冲洗对 SO_2 时空分布的影响

表 1 1986 年 6 月 20 日—25 日上海地面降水量及 SO_2 空间浓度比较

日期 (6 月)	20 日	21 日	22 日	23 日	24 日	25 日
当日降水量 (mm)	62.3	13.5	25.2	3.5	13.8	0
累积降水量 (mm)	62.3	75.8	101.0	104.5	118.3	118.3
SO_2 空间浓度 (ppm) (上午 10:00—11:00)		0.01—0.014	0.005—0.008			<0.005

图5 降水对SO₂的冲洗

(a) 6月21日、22日、25日市区上空SO₂的空间浓度 (b) 降水对地面SO₂的冲洗(1986年7月4日)

表1给出了SO₂浓度与降水强度关系的一些测量结果。表中给出了1986年6月20日至25日上海地面(龙华机场气象站资料)逐日降水量及累积降水量,并且将6月21日、22日及25日三天的10:00—11:00市区上空SO₂浓度值范围也列在表1中,供比较分析。这三天的SO₂空间垂直浓度的分布如图5(a)所示。将图5(a)与表1中的降水资料比较一下,我们可以看出:6月21日上午,从500m到2500m的上空,SO₂的空间浓度在10—14ppb之间,到6月22日上午同样的时间同样的高度范围内SO₂空间浓度只有5—8ppb。这期间地面降水30多毫米,冲洗是明显的。再到6月25日上午同样时间同样高度范围内,SO₂空间浓度只有5ppb以下,这期间又降水20多毫米,进一步清洗了地面及空间的SO₂。当然,空间SO₂的减少,不仅与降水冲洗,还和扩散及平流输送等因子有关,我们也不能将图5(a)中SO₂空间浓度的变化完全归因于降水冲洗,但可以明显看出降水的冲洗作用。降水对地面SO₂的冲洗作用见图5(b)。实线代表降水强度随时间的变化,虚线代表地面SO₂浓度的变化。在图5(b)中,地面降水从05时开始,地面SO₂为25ppb左右,到07时,降水强度增加到4.8mm/h,这时地面的SO₂浓度为0(小于仪器探测能力),全部被冲洗了。随后降水强度减弱,但SO₂一直维持在0ppb上下。这是由于测点近处无排放源,远处排放的SO₂还来不及扩散输送到测点就被雨水清洗了。由图5(b)的数据,我们计算一下降水冲洗率。按降水冲洗率 Λ 的定义:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\Lambda n,$$

积分后:

$$\Lambda = \frac{1}{\Delta t} \ln \left[\frac{n(t=T_0)}{n(t=T)} \right].$$

式中 n 为 SO_2 浓度, Δt 为时间间隔, 取

$$t = 5 \text{ 时,}$$

$$n(T_0) = 25 \text{ ppb,}$$

$$t = 7 \text{ 时,}$$

$$n(T) = 0 \text{ ppb.}$$

算得当时的平均冲洗率为:

$$\Lambda = 4.47 \times 10^{-4} / \text{s.}$$

5. 冷锋、准静止锋天气系统对 SO_2 浓度的影响

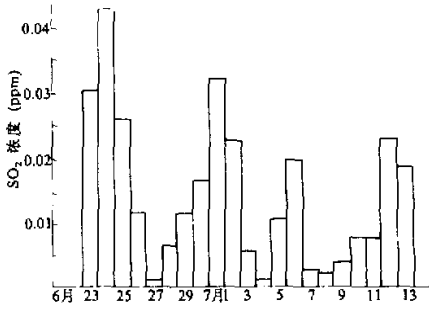


图6 上海地面(龙华机场) SO_2 日均浓度逐日变化图

表2列出了观测期间过境的天气系统及每天的天气状况, 图6又给出了此期间每天的 SO_2 日均浓度值, 比较一下图6和表2就可看出 SO_2 日均浓度随时间的变化及受天气系统影响的情况, 不难看出, 观测期间共经历了四次冷锋、准静止锋天气过程, 而每一次天气过程正好对应图6曲线上的一个高峰, 每次天气过程都给地面带来阴或雨天气, 并且每次冷锋、准静止锋天气过程都伴随一个 SO_2 日均浓度逐日变化曲线上的峰值。

表2 1986年6月23日—7月13日上海天气状况及过境的天气系统

日期	6月23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	7月1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日
天气状况	雨 8.5 mm	雨 13.5 mm	多云	晴	多云	多云	雨 11.6 mm	阴 雾	晴 有雾	多云	多云 大风	雨 11.6 mm	阴	雨 25.8 mm	雨 10.2 mm	雨 14.2 mm	多云	晴 大风	雨 19.0 mm	阴	阴
过境的天气系统	准静止锋	准静止锋					冷锋	冷锋				准静止锋	准静止锋	准静止锋	准静止锋				冷锋		准静止锋

四、小 结

通过对上海 SO_2 的观测研究, 我们获得了一批宝贵的 SO_2 时空分布资料, 积累了实验、观测的经验, 也为进一步开展理论工作及定量研究提供了依据, 并对一些重要的课题, 如 SO_2 在酸雨形成中的地位, 冷锋及准静止锋天气系统中酸雨酸性加重、酸化频率变大^[3] 的物理化学机制等, 给出了一定的实测论据, 现将上述资料分析的结果小结如下:

1. 观测期间, 地面 SO_2 平均浓度日变化呈一峰一谷趋势, 峰值在 08 时 34 ppb, 谷值在 02 时 10 ppb 左右, 全天平均浓度 18 ppb.

2. 晴天条件下, 地面 SO_2 日变化曲线呈二峰二谷分布, 峰值在 08 时 (37 ppb) 和 18 时 (21 ppb), 谷值在 04 时 (16 ppb) 和 14 时 (7 ppb).

3. 上海 SO_2 空间分布有二种类型, 一是不稳定大气层结(晴天)条件下的向上递减型, 1500 m 高度以下市区比郊区大 10 ppb 左右, 1500 m 以上市区与郊区 SO_2 空间浓

度趋于一致，相差只有1—2 ppb；二是层状云存在时，SO₂浓度垂直分布出现极值，极大值出现高度多在1500 m上下。

4. 云中SO₂和云水pH值同步测量结果显示，SO₂浓度越高的地方，云水越酸。
5. 降水冲洗、风向风速及温度廓线均对SO₂的时空分布产生明显影响。
6. 冷锋、准静止锋天气过程每次伴随SO₂日均浓度分布曲线上的一个峰值。

参 考 文 献

- [1] Lusia, M.A., 1978, The effect of sample humidity on the response characteristic of SO₂ and NO_x analyzer systems: Aircraft plume dispersion studies, *J. Air Pollution Control Association*, **28**(1), 26—29.
- [2] D'ottavio, T. R., Garber, R.L., Tanner and L. Newman, 1981, Determination of ambient aerosol sulfur using a continuous flame photometric detection system, II: The measurement of low-level sulfur concentrations under varying atmospheric conditions, *Atmospheric Environment*, **15**, 197—203.
- [3] 邵德民、张维、沈爱华、何珍珍, 1987, 上海地区酸雨酸度与天气背景的关系, *大气科学*, **11**(1), 79—87.

THE MEASUREMENTAL STUDY OF SO₂ IN SHANGHAI AREA

Zou Yousuo, Hong Zhongxiang, Zhou Leyi, Shen Jianqing

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Measurements for spatial and temporal distributions of SO₂ were made both at the surface and in the space of Shanghai area by using airplane and Fluorescent SO₂ Analyser 8850 from June 21 to July 13, 1986. Upon the datum analysis the diurnal average variation of SO₂ of the concentrations distributions at the surface and in the space in the area is given in the paper. The daily average concentration of SO₂ in Longhua airport is 18 ppb or so. In sunny days the diurnal variation of SO₂ is a curve with two peakvalleys. The spatial distribution of SO₂ in Shanghai area is divided into two types. One is that SO₂ decreases with height in unstable atmospheric condition. The other is that SO₂ increases with height at first (below 1500 m) and decreases with height later (above 1500 m), a maximum concentration usually appears at 1500 m or so. In stratus somewhere the higher the SO₂ concentration is, the stronger the acidity of cloud-water appears. It also shows that each weather process of cold front and quasi-static front corresponds to one peak value of the curve of diurnal average concentration of SO₂.

Key words: Rainfall washout; SO₂; Shanghai.