

北京冬季二氧化硫污染和气象条件的关系*

陈辉 胡非 任丽红 石立庆

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

摘要 利用 2000 年 1 月 25 日~2 月 3 日北京地区冬季二氧化硫体积分数的梯度监测资料, 结合北京 325 m 气象塔的同期气象资料, 分析了观测期间北京地区二氧化硫的体积分数变化趋势及垂直分布情况, 讨论了大气二氧化硫体积分数变化和气象条件的关系及二氧化硫的来源问题。研究表明: 二氧化硫的体积分数变化及垂直输送与风速、风向、大气稳定度密切相关。风速越小, 大气越稳定, 近地层大气的二氧化硫污染就越严重; 当北京冬季吹 SSW、SW、WSW 和 W 风时有较高的二氧化硫。

关键词: 二氧化硫; 体积分数; 大气稳定度

1 引言

随着生产的发展和人口密度的增加, 冬季北方城市大气二氧化硫的污染是大气污染中的重要问题。近年来, 北京地区国民经济的快速发展, 工业生产规模不断增大, 低品位的燃煤仍是工业和居民采暖的重要燃料来源。在这样的情况下, 每年都有大量的二氧化硫排放到大气中。通常的大气污染监测只在地面进行, 很少涉及地面以上十几米乃至几十米的情况, 然而随着 6 层以上高层建筑的兴建, 大气污染物在近地层的变化状况已成为大众日益关心的问题。针对北京 SO_2 污染严重的冬季, 我们利用北京 325 m 气象塔的常规气象观测条件, 同时对 SO_2 进行的 15、50 和 80 m 三个高度的单点多层连续观测, 并分析了各层体积分数的逐日变化及其和气象条件的关系。

2 观测

2.1 观测时间与场地

利用北京 325 m 气象观测塔和健翔桥旁的 28 层外国专家公寓, 从 2000 年 1 月 25 日~2 月 3 日, 开展了近地层二氧化硫体积分数和气象场的连续梯度观测。北京 325 m 气象塔位于北京市北三环路和北四环路之间, 距三环路约 1 km, 其东面 200 m 处为南北走向的八达岭高速公路, 北面 50 m 处为东西走向的北土城西路。气象塔共设置 15 个观测平台, 每层提供风速、风向、温度及湿度的连续观测。外国专家公寓位于气象塔附近的健翔桥东南角, 在 2、18 和 28 层三个不同的高度上分别放置一台 SO_2 分析仪进行 SO_2 的观测。

2.2 观测仪器及方法

外国专家公寓 2 层 (15 m) 的观测采用美国热电子公司生产的 43S 脉冲荧光法 SO_2 分析仪, 18 层和 28 层的观测采用美国莫尼特公司 (MONITOR LABS) 生产的 8850 荧光 SO_2 分析仪。两种仪器的参数见表 1。

表 1 观测仪器基本参数

	43S 脉冲荧光法 SO_2 分析仪	8850 荧光 SO_2 分析仪
量程	$(10, 20, 50, 100, 200) \times 10^{-9}$	$(0.25, 0.5, 1.0, 5, 10) \times 10^{-6}$
最低检测限	0.6×10^{-9}	1×10^{-9}
零漂	$< 1 \times 10^{-9} / 24 \text{ h}$	$2 \times 10^{-9} / \text{h}$
跨漂	$\pm 0.5\% / 7 \text{ d}$	$\pm 4\% / 24 \text{ h}$
响应时间	120、240 s	20 s
操作温度	20~35°C	20~35°C

观测前后对 SO_2 观测仪进行了对比观测和标定, 三台 SO_2 观测仪的同步观测结果相当一致, 测值之间的相关系数达到 0.95 以上。这说明仪器测定数据是可靠的, 可用于 SO_2 体积分数的梯度观测。三台仪器均在北京市北分仪器系统公司进行了标定。

3 数据资料的处理

由于测量到的资料常常受到场地、环境的影响, 加上仪器自身的原因, 我们得到的常常是带有野点和不符合实际情况的样本时间系列。为进一步增强数据的有效性, 我们对原始数据进行了一些加工处理。结合北京地区的实际情况, 首先对二氧化硫的原始资料进行粗选, 即先去掉体积分数值为 0×10^{-9} 和大于 500×10^{-9} 的数据点, 然后再进行野点的处理。野点一般在时间系列中间是一个很大的尖峰 (或低谷), 而野点周围的数据点都远小于 (或大于) 野点值。我们通常可以用下面的方法滤掉野点: 构造一个新的时间序列 $S = S_i - S_{i-1}$, 在野点的左边和右边必各有一个大的跳跃点并且方向是相反的。如果在时间系列中发现了野点, 则采用二次曲线拟合的方法消除时间系列中的野点, 即用拟合值代替野点值。

4 观测结果和分析

观测历时 10 天, 二氧化硫体积分数每 1 分钟记录平均值 1 次。图 1 中的断点是由于仪器标零或因停电造成的缺测以及因无效数据剔除造成的空白。

4.1 体积分数变化概况

图 1 为从 2000 年 1 月 25 日开始到 2 月 3 日观测到的 15、50 和 80 m 不同高度上的二氧化硫小时平均体积分数变化。

由图 1 可见, 在整个观测期间, 北京地区二氧化硫体积分数具有显著的逐日变化和垂直变化, 而且存在着差别很大的高值期和低值期。二氧化硫体积分数在 50 和 80 m 高度上于 1 月 27、28 日和 2 月 1 日出现了整个观测期间明显的 3 个峰值, 其中 80 m 高度上的体积分数最高值为 324.09×10^{-9} , 出现在 1 月 27 日 23 时, 约为其同高度上观

测期间的平均体积分数 (65.60×10^{-9}) 的 5 倍; 50 m 上的最高值出现在 27 日 24 时, 达 306.3×10^{-9} , 是其平均体积分数 (63.45×10^{-9}) 的 4.8 倍; 1 月 28 日和 2 月 1 日, 二氧化硫体积分数在 15 m 上出现二个峰值, 体积分数均比上两层低得多, 最高值为 186.95×10^{-9} 。而在整个观测期间, 各层上的二氧化硫体积分数的最小值都小于 10×10^{-9} 。高体积分数期的平均体积分数是低值期的 10 倍以上。

对于城市二氧化硫空气污染, 排放源分布和排放量大小的研究无疑是十分重要的。然而, 一个大的城市或一个地区排放源的情况通常是不会有大的变化的, 更不会有非常明显的日变化和逐日变化, 因此在短期内的排放源可以认为是不变的^[1]。大气扩散的理论和实验研究表明, 在不同的气象条件下, 同一污染源排放所造成的近地层污染物体积分数可相差几十倍乃至几百倍^[2], 气象条件与城市大气二氧化硫的严重污染具有非常重要的关系。

4.2 二氧化硫体积分数与气象条件的关系

气象条件对二氧化硫体积分数的影响, 主要取决于大气对污染物的扩散和输送的特征, 而这两种特性又几乎完全取决于大气边界层的风、大气稳定度和逆温层结等气象要素。本节主要研究二氧化硫体积分数分布与这些气象要素场的关系。

4.2.1 与风向、风速的关系

风向、风速主要决定着污染物的输送过程。风速随高度的分布还决定着大气的动力稳定性, 因而风况和空气污染物的扩散过程有密切关系^[3]。为了证实这个关系, 我们分别分析了不同高度上的二氧化硫体积分数随风向变化图 (图 2)。从图 2 中可以看到,

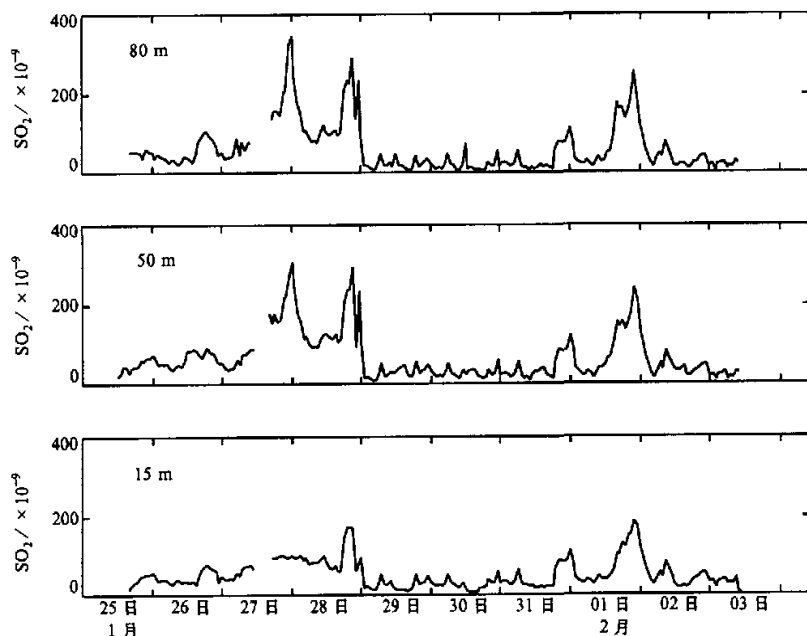


图 1 北京地区 SO_2 小时平均体积分数在不同高度上的逐日变化

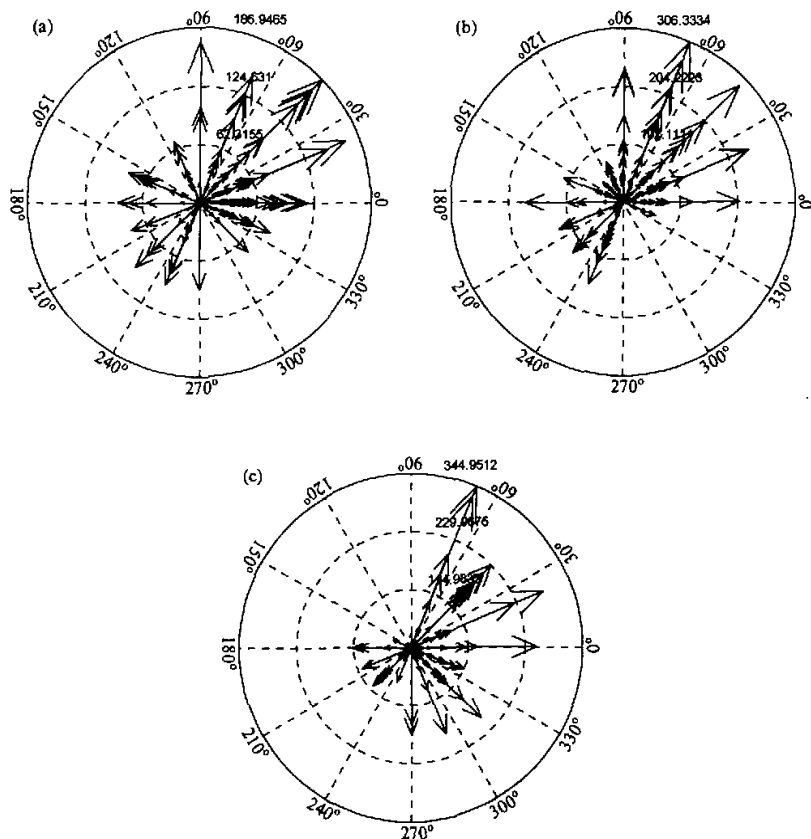


图2 各高度上 SO_2 体积分数的风向分布
 箭头方向为风向, 长度为 SO_2 体积分数的值
 (a) 15 m 高度; (b) 50 m 高度; (c) 80 m 高度

二氧化硫体积分数的最大值, 都出现在吹 SSW、SW、WSW 和 W 风的情况下。这是因为化石燃料燃烧是大气中二氧化硫的主要来源, 而对于北京地区冬季二氧化硫污染有重要影响的主要工业污染源分布在北京的西、西南方向。这表明风向与二氧化硫的关系主要表现为对二氧化硫的水平输送作用, 高值污染体积分数常出现在大污染源的下风方。

风速的大小和大气稀释扩散能力的大小存在着直接的对应关系, 从而对污染物体积分数产生影响。图3为归一化后的风速和二氧化硫体积分数的分布。

很明显, 不管在哪个高度上, 二氧化硫体积分数与风速基本上成反比关系, 即: 二氧化硫的高体积分数值均发生在小风和静风条件下, 而随着风速的加大, 二氧化硫的体积分数趋于减小。因而, 对于北京地区在以低排放源为主的情况下, 风速越小越不利于

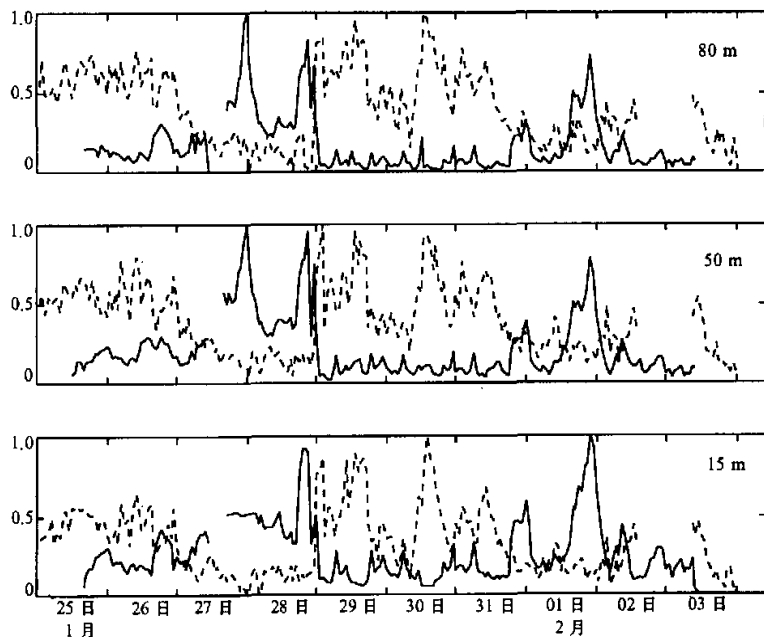


图3 二氧化硫(实线)和风速(虚线)的分布

二氧化硫的输送和扩散,越容易造成区域性严重的二氧化硫空气污染。

但是,对于一个城市或地区的空气污染来讲,风向、风速并不是经常起决定性作用的因素,尤其是对于城市空气强污染期的形成,大气稳定性和低层逆温的作用可能更大^[1]。

4.2.2 与大气稳定度的关系

湍流对污染物在大气中的迁移扩散起着重要的作用,而湍流的强弱又与大气稳定度有关,近地层大气温度和风速的垂直变化又决定了大气的稳定度^[4]。因此,为了研究大气稳定度对二氧化硫体积分数分布的影响,我们选用了1月27日17时至1月29日10时这一强污染期的资料(图4),分析了280 m以下的温度和风速的垂直变化情况(图5、6)。从图4~6我们可以清楚的看到,当夜间温度梯度处于逆温稳定状态时,二氧化硫体积分数达到高值期,此时近地层均处于小风或静风状态(风速不超过2 m/s),垂直风切变很小;而低值期则出现在白天辐射逆温消失,温度梯度属于不稳定状态时。这是因为在夜间辐射逆温和小风或静风的风场同时出现时,低层大气最为稳定,湍流混合作用最弱,水平运动几乎处于静止状态,对二氧化硫的稀释扩散作用和水平输送作用都很弱,极易造成二氧化硫在低空堆积,出现了二氧化硫的峰值。而在白天日出以后,辐射逆温通常会完全消散,湍流活动加强,混合层厚度大大增高,同时风速也会随之加大,因而大气对二氧化硫的扩散稀释作用和水平输送作用都会加强。所以,白天通常是低层二氧化硫污染得到减轻的时刻。

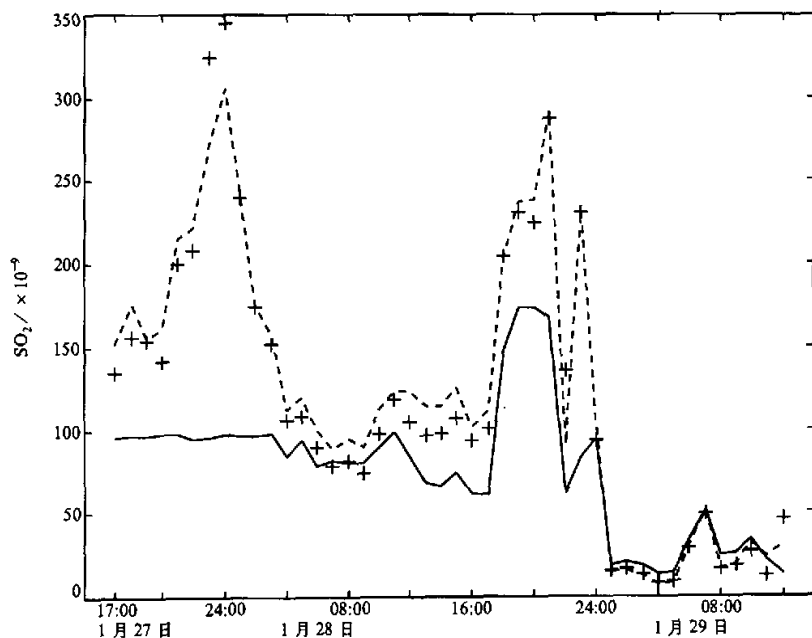


图4 1月27日17时~1月29日12时的 SO_2 体积分数分布
实线: 15 m 高度; 虚线: 50 m 高度; 加号: 80 m 高度

4.3 相关分析

为了进一步检验气象条件对二氧化硫体积分数变化的影响, 结合风速、温度、垂直方向上的风速差和温度差, 对1月28~31日的观测资料进行相关分析, 样本数为96, 计算结果列于表2。

按照5%和1%的相关显著性水平给出的检验值为0.20和0.26, 当相关系数大于检验值时, 其相关性被认为是显著的。从表2中可以看出各层的二氧化硫体积分数和气象

表2 二氧化硫体积分数与气象要素之间的相关系数

	SO_2 体积分数(15 m)	SO_2 体积分数(50 m)	SO_2 体积分数(80 m)
风速(15 m)	-0.6418	-0.5705	-0.5817
风速(50 m)	-0.6621	-0.6118	-0.6240
风速(80 m)	-0.6665	-0.6333	-0.6364
温度(15 m)	0.2394	0.4084	0.3779
温度(50 m)	0.2860	0.4518	0.4244
温度(80 m)	0.3175	0.4833	0.4564
风速差(50~15 m)	-0.3923	-0.4211	-0.4300
风速差(80~15 m)	-0.5713	-0.5969	-0.5882
风速差(80~50 m)	-0.4747	-0.4883	-0.4708
温度差(50~15 m)	0.4342	0.3849	0.4187
温度差(80~15 m)	0.5168	0.4816	0.5084
温度差(80~50 m)	0.5074	0.5057	0.5132

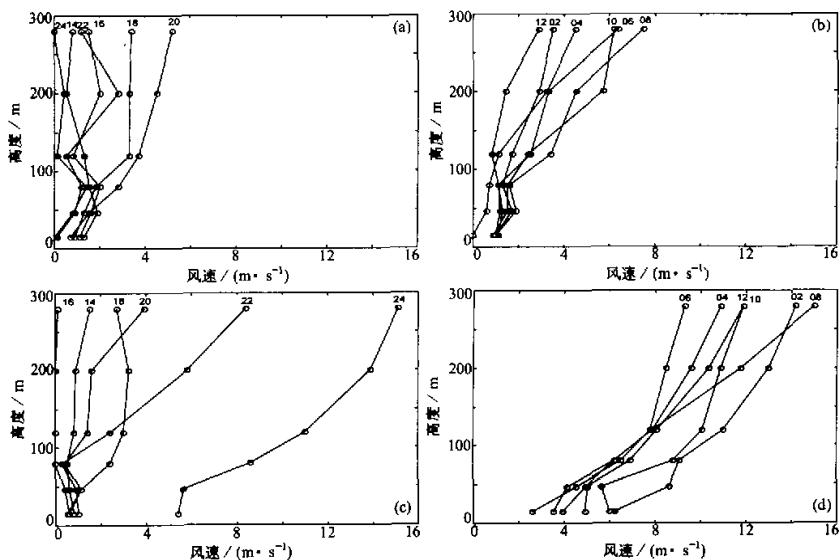


图5 1月27日17时~1月29日12时的温度廓线

(a) 1月27日14~24时; (b) 1月28日02~12时; (c) 1月28日14~24时; (d) 1月29日02~12时

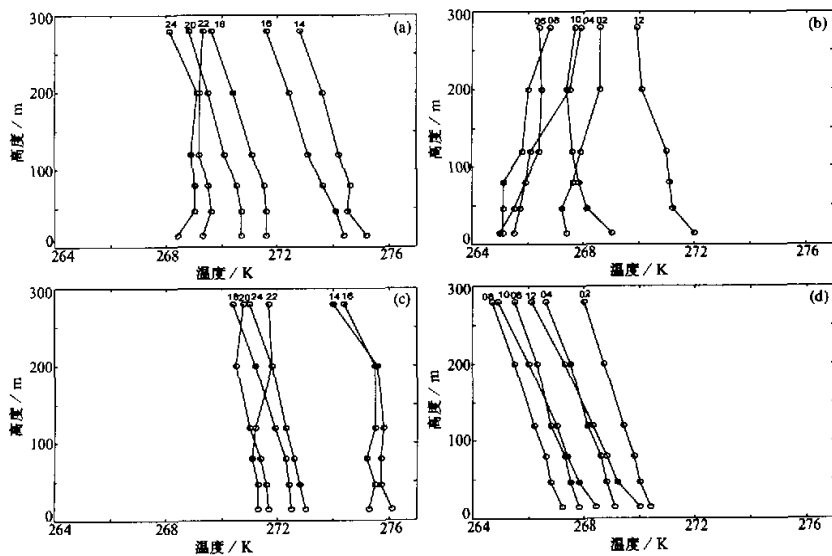


图6 1月27日17时~1月29日12时的风速廓线

(a) 1月27日14~24时; (b) 1月28日02~12时; (c) 1月28日14~24时; (d) 1月29日02~12时

要素均显著相关: 与风速和风速差成显著的负相关, 与气温和气温差成正相关, 其中与风速的负相关性最大, 相关系数达-0.57 以下, 远小于检验值 0.26, 这说明风速是造成北京地区二氧化硫污染的一个重要因子。与风速成负相关说明风速越小, 对稀释扩散不利, 易造成近地层二氧化硫的强污染。与风速差成负相关, 与气温差成正相关, 说明了风速的垂直切变小, 上层温度高, 混合层厚度减小, 易形成逆温, 大气越稳定, 越不利于二氧化硫的稀释和垂直扩散, 二氧化硫对近地层的污染就越严重。由此进一步证明, 小风或静风和大气逆温是造成二氧化硫污染的不利条件。

5 小结

本文利用北京地区冬季二氧化硫体积分数的梯度观测资料和北京 325 m 气象塔的同时气象资料, 分析了北京地区二氧化硫的逐日体积分数变化及其与各种气象条件的关系。研究表明:

(1) 二氧化硫体积分数在近地层随高度而增加 (15 m 处为 50.4414×10^{-9} , 50 m 处为 64.7432×10^{-9} , 80 m 处为 65.60×10^{-9})。

(2) 二氧化硫体积分数与风速成显著的负相关, 相关系数达-0.57 以上。这说明像北京地区这样以低排放为主的城市和地区, 风速越小, 越不利于污染物的稀释扩散和水平输送, 二氧化硫污染就越严重。

(3) 风对污染物的另一个作用是整体的输送作用, 当二氧化硫体积分数出现最大值时, 多吹 SSW、SW、WSW 和 W 向的风, 表明测站附近的二氧化硫污染主要来源于其西、西南向的工业排放源。

(4) 对整个近地层来说, 大气稳定度是造成二氧化硫污染的一个重要因子。北京地区冬季低温、微风、逆温, 大气越稳定, 混合层越低, 对污染物的稀释扩散能力减弱, 越容易造成二氧化硫的强污染。

参 考 文 献

- 1 赵德山、洪钟祥, 北京地区气溶胶及其化学元素浓度和气象条件的关系, 大气科学, 1983, 7(2), 153~161.
- 2 李宗恺、潘云仙、孙润桥, 空气污染气象学原理及应用, 北京: 气象出版社, 1985.
- 3 中央气象局研究所, 应用气候和大气污染译文集, 北京: 气象出版社, 1976.
- 4 朱毓秀、徐家骥, 近地层臭氧及氮氧化物的垂直梯度观测及其和气象的关系, 气象学报, 1993, 51(4), 499~504.

Relationship Between SO₂ Air Pollution and Meteorological Conditions in Beijing

Chen Hui, Hu Fei, Ren Lihong and Shi Liqing

(State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry,

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Based on the data of the gradient observation of SO₂ concentration in winter in Beijing from January 25, 2000 to February 3, 2000, and the meteorological data observed on the meteorological tower in Beijing at the same time, SO₂ concentration variations and the vertical variations during the observation were analyzed. The relationship of SO₂ concentration variation and meteorological conditions were discussed. The sources of SO₂ have been investigated. The results indicate that there is a close relationship between the variation of SO₂ concentration and vertical conveyance and wind speed, wind direction and atmospheric stability. The smaller the wind speed and the atmosphere stability are, the more serious the air pollution of SO₂ is in surface layer. The higher SO₂ concentration were from SSW, SW, WSW and W direction.

Key words: SO₂; atmospheric stability; concentration variation

本刊加入万方数据资源系统 (ChinaInfo) 数字化期刊群的声明

为了实现科技期刊编辑、出版发行工作的电子化,推进科技信息交流的网络化进程,本刊现已入网“万方数据资源系统 (ChinaInfo) 数字化期刊群”,所以,向本刊投稿并录用的文章,将一律由编辑部统一纳入万方数据资源系统 (ChinaInfo),进入因特网提供信息服务。凡有不同意见者,请另投它刊。本刊所付稿酬包含刊物内容上网服务报酬,不再另付。

万方数据资源系统 (ChinaInfo) 数字化期刊群是国家“九五”重点科技攻关项目,截止 1999 年底已有 1000 种期刊全文上网 (网址: <http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>; <http://www.wanfangdata.com.cn/periodical>)。本刊全文内容按照统一格式制作编入万方数据资源系统 (ChinaInfo),读者可上因特网进入万方数据资源系统 (ChinaInfo) 免费 (一年后开始酌情收费) 查询浏览本刊内容,也欢迎各界朋友通过万方数据资源系统 (ChinaInfo) 向我刊提出宝贵意见、建议,或征订本刊。

《气候与环境研究》编辑部

2000 年 6 月