

空气中 SO₂ 浓度变化与气象因素的关系

高 书 然

空气中 SO₂ 浓度的变化除了和污染源的排放量有关之外,气象因素对于它的扩散和积聚,变浓和稀释有着十分密切的关系。大风天气有利于 SO₂ 的迅速扩散稀释,逆温层的存在则有利于 SO₂ 的积聚。所以当大气的温压场、流场以及层结状况具备了某种条件时,就会促使低层空气中 SO₂ 大量积聚,造成某一地区空气中人呼吸带高度上 SO₂ 浓度增高。而这种条件被破坏则大气中 SO₂ 就要迅

速扩散,浓度也就会迅速降低。

1978 年 3 月初北方某城市出现一次低空 SO₂ 浓度显著增高的过程。从这次 SO₂ 浓度变化的情况来看是与气象因素有密切的关系的。

该城污染源的分布与监测点和气象台的位置如图 1 所示。工业污染源集中在 IV、VI、VIII 区和城市的东南郊。从全市 36 个监测点的监测情况来看,这次 SO₂ 浓度增高是从

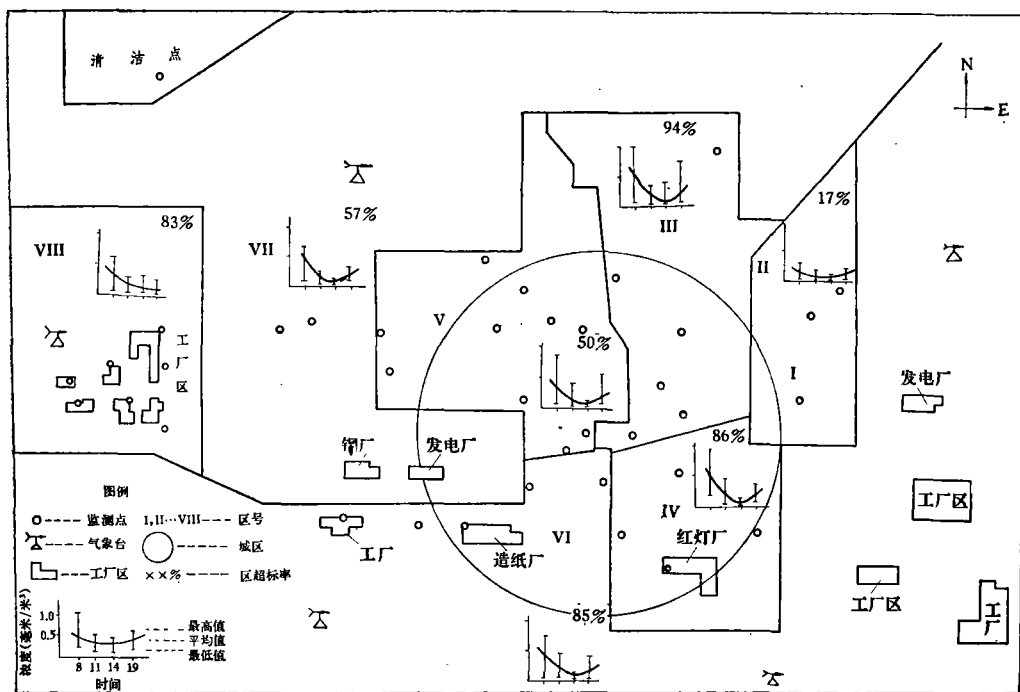


图 1 监测点、工厂区、气象台分布示意图(附有各区 SO₂ 浓度变化及区日次超标率)

3月1日开始的,2日最严重,3日开始下降(图2)。从图2可以看出,这三天市中心各区的SO₂浓度均高于清洁点的浓度,其浓度变的趋势大体上是一致的。早晨8时最高,以后逐渐下降,每日15时最低,傍晚又开始增高,日变化十分明显。

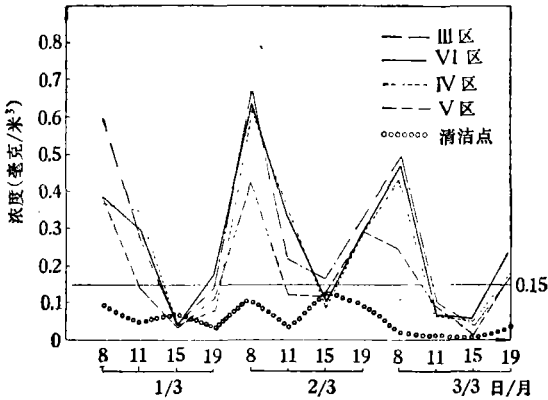


图2 城区 SO₂ 日平均浓度时间演变图

从当时的监测资料可以看出,城区日平均浓度普遍增高,3月1日有53%的监测点日平均浓度超过国家卫生标准* (以下简称日次超标率),3月2日日次超标率为100%,3月3日下降到68%,三天的日次平均值都超过了国家卫生标准(见表1)。SO₂瞬时浓度值超过国家卫生标准**的有六个区,其中以位于市中心的III、IV、V、VI等四个区瞬时浓度最大值最高(见图1)。但是在这三天当中,该城市各类污染源的排放量并没有显著增加,因此可以认为这三天SO₂浓度的增高主要是气象原因造成的。下面我们从气象要素和天气系统两方面来分析一下气象因素的作用。

表1 1—3日城区 SO₂ 浓度变化概况

日期	SO ₂ 日次 平均值 (毫克/ 米³)	日次 超标率	平均浓度(毫克/米³)			最大瞬 时浓度 (毫克/ 米³)
			早	中	晚	
1	0.20	53%	0.45	0.149	0.11	0.99
2	0.30	100%	0.57	0.179	0.30	1.00
3	0.18	68%	0.39	0.05	0.19	0.86

一、气象要素与 SO₂ 浓度的关系

低层的水平流场,逆温和混合高度对于SO₂浓度的变化有比较明显的影响。

(一) 城区 SO₂ 日平均浓度与风的关系

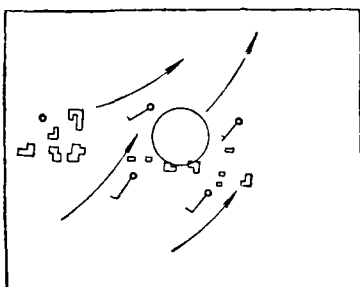
SO₂浓度变化与低层风的关系十分密切。风速增加,城市上空污染物质减少。当静风和微风时,SO₂浓度就会相应增高,但增大的幅度主要决定于排放源的特性及城、郊区低空水平流场的分布。该市城区SO₂的来源不外两种,一是城郊的工厂区,二是市内居民取暖做饭用的煤炉等(见图1)。从该城周围五个气象台的地面风记录来看,3月1日都是南南西和南西风,风速为0—3米/秒,仅14点风稍大一些。3月2日五个气象台的地面风向是向市中心辐合的,风速非常小,特别是早8时五个气象台的风速全部为静风,可以看出此时城区是位于地面弱低压辐合区,近地面有微弱辐合,

这就使城郊东南方向和西部工厂区的SO₂向城区汇集。3月2日02时流场的辐合起着将SO₂向市中心积聚作用,08时流场的静稳,又使积聚在市中心的SO₂不能很快输送出去,所以2日08时出现了三天来最大值。2日14时的流场也是向市中心辐合的,风速也不是很大,但由于混合高度较高,低层逆温减弱抬高,不利于SO₂积聚,所以14时的浓度不算太高。2日19时地面冷锋过境后,地面流场已转为偏北风,3日10时以后低空逆温被破坏。3日全日流场以西北风为主,14时风速已达到10米/秒,这时SO₂浓度迅速下降(见图3)。图4是3月2日08时瞬时浓度分布情况。如果把图3中E、F与图4配合起来还可以看出,流场中流线方向与SO₂浓度梯度方向相反。这说明SO₂浓度是沿着流线方向增高的,风向改变,SO₂浓度梯度方向也随之而变。

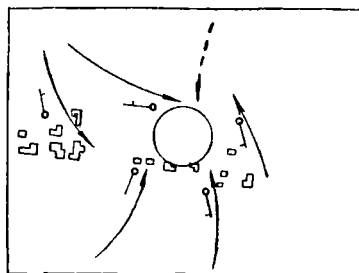
(二) 低层逆温与 SO₂ 浓度的关系

* 日平均浓度国家卫生标准为0.15毫克/立方米

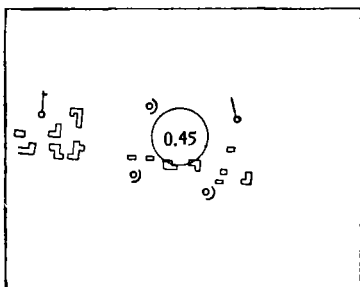
** 瞬时浓度国家卫生标准为0.5毫克/立方米



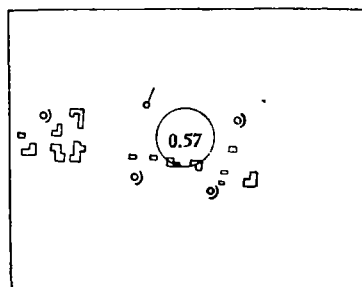
A(3月1日 02时)



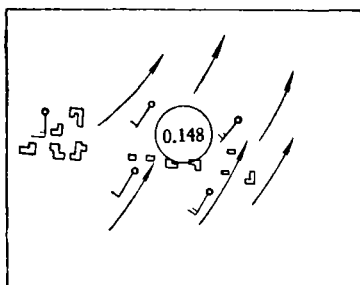
E(3月2日 02时)



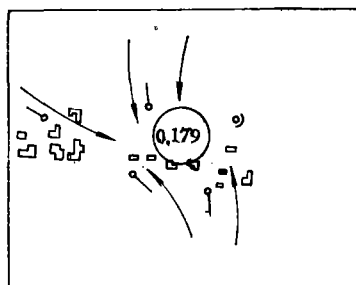
B(3月1日 08时)



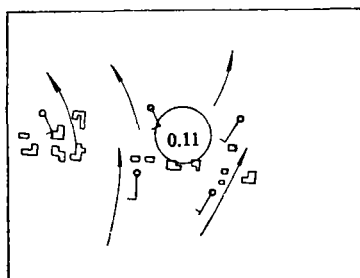
F(3月2日 08时)



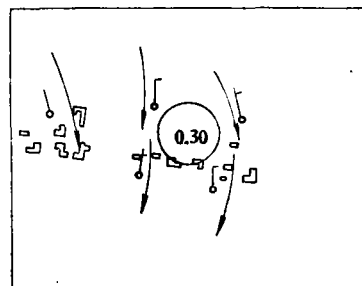
C(3月1日 14时)



G(3月2日 14时)



D(3月1日 20时)



H(3月2日 20时)

图3 水平流场图

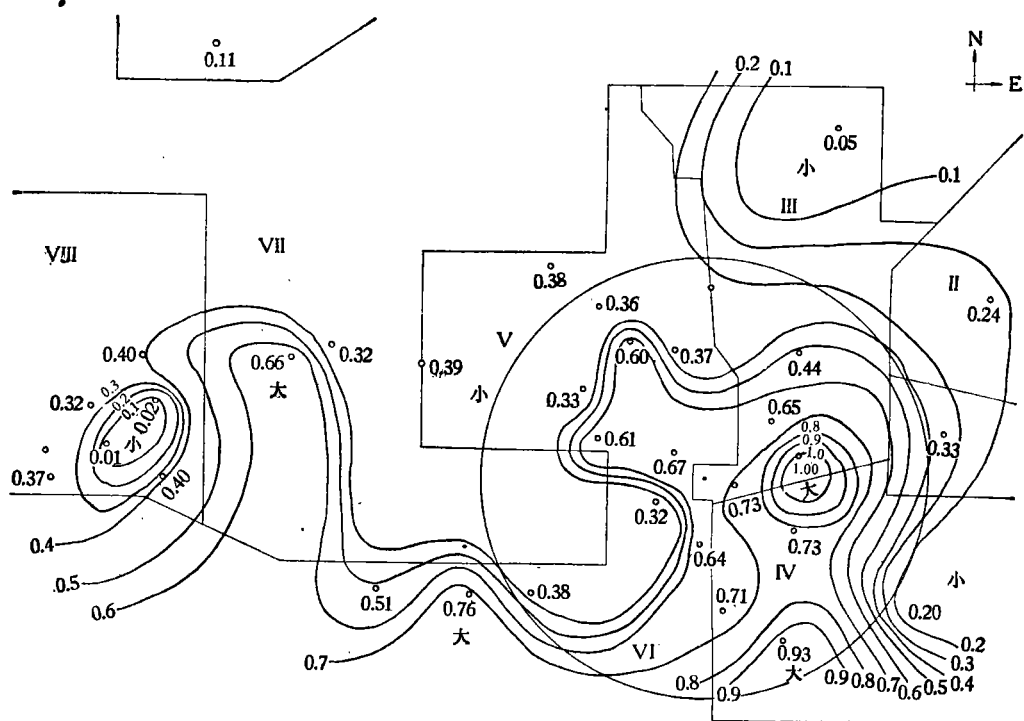


图 4 1978 年 3 月 2 日 08^hSO₂ 瞬时浓度分布图

根据郊区气象台探空资料来看, 3 月 1 日到 3 日这三天大气的层结都比较稳定, 在低空有多层温度递增现象. 从逆温层的性质来看, 有几种不同的情况 (见图 5), 对 SO₂ 浓度变化的影响也不一样.

从图 5-A 可以看出, 1 日早晨主要是贴地辐射逆温. 1 日 13 时探空表明由于 500 毫巴到 900 毫巴下沉气流比较强, 下沉增温作用, 促使在中低空形成了三层下沉逆温, 低空逆温有所加强 (见图 5-B). 1 日傍晚, 由于下沉气流的继续作用, 从 950 米到 3300 米仍有相当厚的两层下沉逆温 (见图 5-C). 这两层比较厚的逆温, 随着夜幕的降临, 地面辐射作用的加强, 再次形成贴地辐射逆温, 使 2 日早晨的逆温强度达到了最大值 (见图 5-D). 逆温层厚度厚, 持续时间长达 18 小时之久. 由于 1 日低空逆温不断加强, 大气层结非常稳定, 促使 SO₂ 能在低空大量积累. 2 日中午以后从逆温的厚度和层次来看强度

开始减弱, 而且逆温性质也有了变化, 500 米到 1440 米一层逆温为下沉逆温, 2500 米到 3280 米一层逆温为锋面逆温, 锋面逆温的出现预示着不久的未来, 要有冷气团来临, 大气层结将发生变化. 从 2 日 19 时的探空资料可以看出锋面逆温高度已经降低 (图 5-E), 说明冷锋已接近了. 从天气实况来看, 19 时以后冷锋过境. 由于 1—2 日低空相当稳定和几层逆温的阻挡作用, 动量下传的较慢, 因此冷锋过境后大风并没有马上刮起来, 仅风向有了明显的变化, 由南风转为北风. 3 日早晨低空尚未完全被冷气团代替, 低空风速仍比较小, 所以 3 日早晨城区 SO₂ 浓度值仍比较高. 从图 5 F-G 表明, 700 毫巴以下没有温度逆转现象, 10 时地面风速开始增大以后, 中午和晚上的 SO₂ 浓度就大大减小了 (见表 2). 从表 2 可以看出, 浓度增大时低层气象情况的特点是:

1. 郊区探空 500 米以下有贴地辐射逆

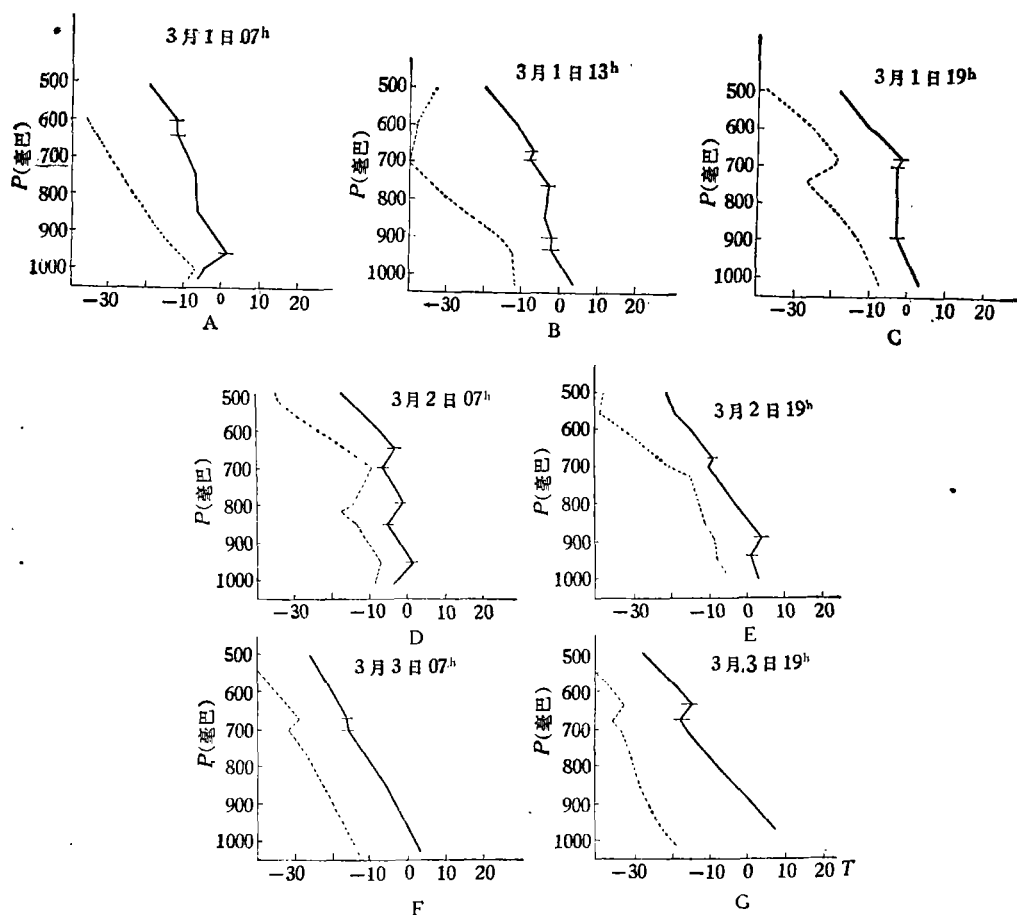


图5 1978年3月1—3日探空温压曲线图

温,而且 r 值在 $0.7^{\circ}\text{C}/100$ 米以上;

2. 500米以下平均风速 <3 米/秒,1500米风速 ≤ 10 米/秒;

3. 地面相对湿度增大在77%以上。

从表2还可以看出当低空有二层以上逆温,辐射逆温和下沉逆温同时存在,而逆温厚度和持续时间不断增加时,浓度值也要相应增大。

浓度减小时的特点是:

1. 郊区探空500米以下无辐射逆温存在;

2. 500米以下平均风速 >3 米/秒以上,1500米风速 >10 米/秒;

3. 地面相对湿度比较小,在44%以下。

(三) 城区混合高度、通风量和 SO_2 浓度

变化的关系

影响污染物质扩散的另一个重要因素就是混合高度及通风量。混合高度与 SO_2 浓度的变化呈负指数关系,也就是说混合高度高时, SO_2 浓度会迅速降低,混合高度低时相应的 SO_2 浓度会迅速增大。利用3月1日到3日郊区气象台探空资料,考虑城市热岛效应,从温度对数压力图上可以计算出混合高度(见表3)。

从表3可以看出,3月1日全天混合高度都较低,均在200米以下,实测 SO_2 日平均浓度的最高值和日次超标率的最高值均出现在混合高度平均值为最低时的次日。2日的混合高度在500米左右,3日混合高度已明显升高到1000米以上。由于3月1日到2日

表 2 1978 年 3 月 1—3 日空气污染浓度增高和降低与逆温层等情况

日期	日平均浓度	各时平均浓度	逆温出现的高度(米)		逆温厚度 (米)	逆温性质	层 次	递减率 $\gamma(^{\circ}\text{C}/100\text{米})$	500 米以下风速 (米/秒)	1500 米风速 (米/秒)	地面相对 湿度
1	0.20	0.45	早	33—620	587	贴地辐射逆温	1	0.77	1.7	10	77%
		0.149	中	720—1050	330	下沉逆温	3	0.0	6.7	14	33%
				1490—2400	910			0.18			
				3240—3400	160			0.5			
2	0.30	0.11	晚	950—2950 2950—3300	2000 350	下沉逆温	2	0.0 0.002	2.8	10	49%
		0.57	早	33—410	377	贴地辐射逆温	3	1.33	1.2	8	77%
				1050—1450	400	下沉逆温		1.0			
				2150—3600	1450			0.2			
3	0.18	0.179	中	500—1440 2500—3280	940 780	下沉逆温 锋面逆温	2	0.0 0.37	3.0	10	44%
		0.30	晚	500—1000	500	锋面逆温	2	0.6	1.0	8	63%
				2600—3150	550	下沉逆温		0.0			
				2950—3300	350	锋面逆温	1	0.0	3.2	14	23%
	0.18	0.05	中	—	—	—	—	—	10.6	16	0.7%
		0.19	晚	33—480	447	贴地辐射逆温	2	0.0	2.6	14	26%
				3200—3600	400	锋面逆温		0.75			

表 3 混合高度、通风量和 SO₂ 日次超标率的关系

日期	上 午		下 午		SO ₂ 日次 超标率
	混合高度 (米)	通风量 (米 ² /秒)	混合高度 (米)	通风量 (米 ² /秒)	
1	170	340	120	960	53%
2	500	1350	540	1080	100%
3	1040	6240	1100	8800	68%

混合高度较低,混合高度内平均风速比较小,一般 1—3 米/秒以下,只有短时风速为 5 米/秒,通风量也比较小。而到了 3 日,混合高度增高,风速加大,通风量明显增大。由此可以看出,1—2 日混合高度低,通风量小是导致城区 SO₂ 浓度增高的另一个原因。

二、SO₂ 浓度增高时的天气形势

这次城区 SO₂ 浓度增高时,正好是位于地面变性反气旋后部的微弱低压区中,高空 500 毫巴为暖高压脊后和槽前(见图 6-A),高空有较强辐散,近地面有微弱辐合,从高空资料看,1—2 日 500 毫巴到 700 毫巴下沉气流比较强,各等压面高度上普遍增温(见表 4)。表 4 中 ΔT_{24} 为负值时表示是冷平流(单

位℃); ΔT_{24} 为正值时表示是暖平流。从表 4 可以看出,3 月 1 日 ΔT_{24} 最大可达到 +16℃,低空 900 毫巴以下增温较弱,因此形成下冷上暖比较稳定的层结。2 日 02 时地面天气图上冷锋距该城市只有 600 公里,地面气压场很弱,地面风速只有 0—3 米/秒,个别短时间风速达到 5 米/秒。1 至 2 日的气象条件是有利于污染物质的集聚的,实际监测资料也证明了这一点。2 日 19 时以后冷锋过境,3 日 10 时后,500 毫巴以下风向由偏南风逐

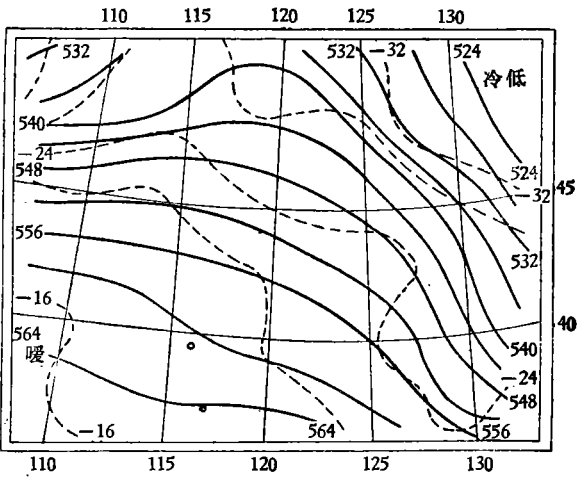


图 6-A 1978 年 3 月 1 日 20 时 500 毫巴图

表 4 3 月 1 日—3 日各标准等压面上 24 小时变温 (ΔT_{24})

日 期	1				2				3			
	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19
400 毫巴	5	10	2	0	6	4	0	1	-4	-6	-6	-8
500 毫巴	16	17	10	6	2	3	0	-1	-9	-9	-7	-7
600 毫巴	16	14	12	9	5	5	0	-5	-10	-12	-11	-3
700 毫巴	12	13	11	10	6	3	-1	-7	-8	-10	-12	-7
800 毫巴	8	10	12	8	5	6	4	0	-5	-8	-7	-4
900 毫巴	13	10	8	3	1	1	2	6	0	-1	0	-2
1000 毫巴	4	0	3	1	1	2	4	0	6	3	4	4

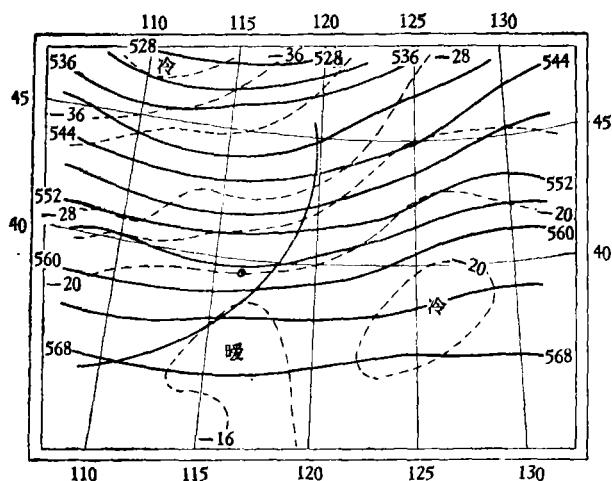


图 6-B 3 月 2 日 20 时 500 毫巴图

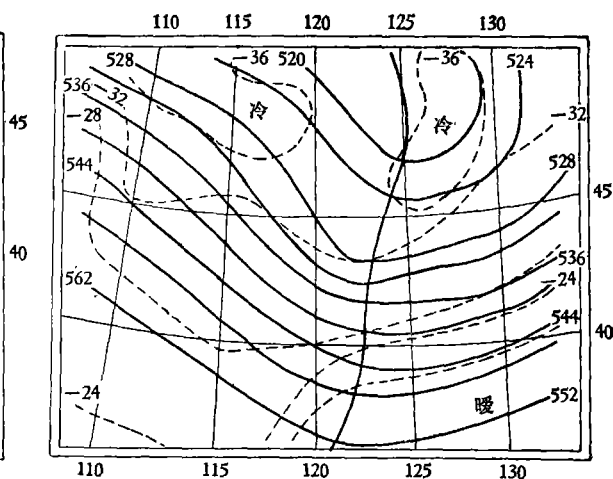


图 6-C 3 月 3 日 20 时 500 毫巴图

渐转为偏北风(见图 6-B、C),有利于集聚的气象条件逐渐被破坏。从图 6-B、C 看该城已由槽前变成槽后,地面西部冷高压已经靠近,此时 SO_2 的实测浓度也相应下降了。

三、小结

(一) SO_2 日平均浓度与低空流场和污染源的问题是一个既复杂又有十分密切关系的问题。地面风速小于 3 米/秒,为不利于 SO_2 扩散的风速,风向与污染源的关系是显而易见的。

(二) SO_2 浓度增高和低空逆温有密切关系,特别是当近地面层有辐射逆温,而低空

又有 1 到 2 层以上的下沉逆温相配合的稳定层结时,更有利于 SO_2 浓度的增高。

(三) 混合高度 $H < 500$ 米,混合高度以下平均风速 $\bar{u} < 3$ 米/秒,1500 米的风速 ≤ 10 米/秒时为不利于 SO_2 扩散的气象条件, SO_2 的高浓度是出现在 H 平均值为最低时的次日,而 $H > 500$ 米,为 SO_2 浓度开始减弱的界线。

(四) 当地面位于变性高压(暖性反气旋)后部的微弱低压辐合区附近,高空为脊后槽前,且高空地面都受移动缓慢的系统控制时,是有利于 SO_2 平均浓度增高的天气形势。

单点 SO_2 浓度与通风量、混合层高度及混合层内平均风速的统计关系

铁学熙 朱玉生 邢玉春 李俊卿

一、统计要素的分析

在城市地区,由于“城市热岛”的影响,破坏了夜间城市近地层上空的逆温层,形成了一比较浅薄的城市热岛混合层,而相应在农

村地区,则一般仍存在一贴地逆温层。白天,由于太阳辐射的增温作用,在城市区及农村区均存在一混合比较强烈的对流混合层。基于污染物质在混合层内垂直均匀分布的假设,有人提出了一简化的箱体大气扩散模