

弱下沉气流对北京地区SO₂扩散的影响

李郁竹 房秀梅

(气象科学研究院天气气候研究所)

一、引言

当前，我国空气污染问题日趋严重，必须引起各方面的重视，并采取有力措施，逐步加以控制。从气象角度来说，做好污染气象预报，使有关工厂企业能及时采取措施，以减轻可能出现的严重污染，是一项迫切的任务。

气象条件在污染物的堆积和扩散过程中起着重要作用，而各种气象条件又受一定的天气形势所控制，因此在设计预报方法时，对产生污染物危险堆积的天气条件的研究是十分必要的。国外研究表明，危险空气污染往往出现在空气停滞条件下，而产生空气停滞的天气形势主要是准静止暖性反气旋天气，高空为一暖高脊。反气旋天气存在有明显的下沉气流，对污染物在铅直方向的扩散十分不利。因此，国外在预报停滞条件时，曾采用600毫巴出现下沉气流作为指标之一。

北京地区地处“北京湾口”，地势由东南向西北逐步增高，由于地形、地理位置的特点，影响SO₂扩散的天气条件具有一定的局地特点。当北京地区处于华北地形槽类（华北地形槽、华北小低压、华北小倒槽等）和变性高压边缘等弱系统控制时，SO₂往往产生有害堆积。

为了了解上述天气系统控制下高空垂直流场和水平流场的情况，我们试计算了有关物理量并与SO₂的污染状况进行对比分析。

二、气流垂直速度的计算

由于北京地区的地形特点，计算时适当考虑了地形的影响。

1. 地形因子的考虑

设近地面层垂直速度为W_s，地面风速为V_s，则

$$W_s = \vec{V}_s \cdot \nabla z_s \dots \dots \dots (1)$$

设空气密度随时间的个别变化近似等于零，即

$\frac{dp}{dt} \approx 0$ 。并对连续方程沿垂直方向积分，可以得到

$$W_o = W_s - \int_{z_s}^{z_0} \nabla \cdot \vec{V} dz \dots \dots \dots (2)$$

其中z_s为地面海拔高度；z₀为接近地面而四周又无山与之相接的高度。

将(1)式代入(2)式，得：

$$W_o = \vec{V}_s \cdot \nabla z_s - \int_{z_s}^{z_0} \nabla \cdot \vec{V} dz \dots \dots \dots (3)$$

根据含参变数积分的导数公式，(3)式可改写为：

$$W_o = -\nabla \cdot \int_{z_s}^{z_0} \vec{V} dz \dots \dots \dots (4)$$

计算时，z₀高度取1500米，1500米高度的垂直速度根据(4)式计算。考虑到北京的位置和邻近有高空风资料的台站情况，我们选用了四个站，构成两个三角形：承德—天津—张家口；保定—天津—张家口。北京地区基本处于此两三角形构成之四边形的中心附近，见附图。

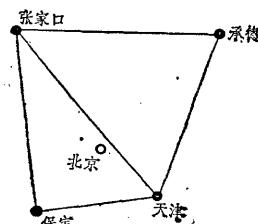
2. 1500米高度垂直速度的计算

计算步骤：

(1) 求每一测站的

$$\int_{z_s}^{z_0} \vec{U}_i dz \text{ 和 } \int_{z_s}^{z_0} \vec{V}_i dz \text{ 值}$$

$$\text{取 } \left(\frac{u_s + u_{1500}}{2} \right) \Delta z \text{ 和 } \left(\frac{v_s + v_{1500}}{2} \right) \Delta z$$



附图

分别作为 $\int_{z_1}^{z_2} \vec{U}_i dz$ 和 $\int_{z_1}^{z_2} \vec{V}_j dz$ 的近似值，记作 \bar{U} 和 \bar{V} 。式中 $u_i, u_{1500}, v_j, v_{1500}$ 分别为地面与 1500 米处风速分量， $\Delta z = 1500 - z_i$ 。

(2) 利用三点风方法求算水平散度 $\frac{\partial}{\partial x} \bar{U} + \frac{\partial}{\partial y} \bar{V}$ 。求出之散度值取负号即为垂直速度。

(3) 分别求出两三角形上空的垂直速度后，按三角形面积进行加权平均，求出北京地区 1500 米高空的垂直速度值。

3. 3000 米高度垂直速度的计算

按下式计算：

$$W_{3000} = W_{1500} - 1500 \bar{D}$$

式中 W_{1500} 为 1500 米垂直速度值， \bar{D} 表示 1500 米和 3000 米高度的水平散度的平均值。水平散度利用三点法求算。

4. 计算结果分析

计算出的高空垂直速度值与 SO_2 的污染状况进行了对比分析。分析中除利用北京市 SO_2 浓度的实测资料（取自北京市卫生防疫站）外，同时引进了描述城市空气污染程度的参数 P。其计算方法如下，设任一测点污染物的任一次浓度值为 q，整个研究时段（可以是季、月）内诸测点的平均浓度值为 q 平均。如果在某一期间观测到污染物浓度值超过 $1.5 q$ 平均的次数为 m 次，而该期间的观测总数为 n 次，则 $P = \frac{m}{n}$ 。参数 P 是一个客观相对量值，它可以减少由于

浓度变异性大及观测质量上暂时不足所造成的偶然因素影响。历年北京冬季 SO_2 日平均浓度值与按日计算的参数 P 值之间存在正相关趋势。当 SO_2 日平均浓度为 0.15 毫克/米³* 时，相应的 P 值为 0.18。分析中我们取 $P \geq 0.2$ 为北京冬季 SO_2 高污染的临界值。

表 1 为地形槽类和变性高压边缘形势下参数 P 与垂直速度值。从表中计算结果可以看出，上述天气形势下，1500 米高空存在下沉气流，P 值均超过 0.2。这说明，在高空存在下沉气流情况下，尤其是边界层顶以下层次的下沉气流作用，使存在于近地面层内的 SO_2 不易于向高层扩散。加之，气流下沉增温使低层大气稳定性有所加强，水平风速较小，往往形成不利于 SO_2 扩散的天气条件，容易加重污染。

三、地面附近水平散度的计算

一般认为，在气旋控制下，天气条件有利于污染

表 1

日期 年月日	P	垂直速度 (厘米·秒 ⁻¹)		1500米	3000米	P
		1500米	3000米			
1972.1.27	0.25	-1.3	-6.0			
1975.2.26	0.23	-1.1	-4.2			
1975.2.27	0.35	-1.2	/			
1975.12.17	0.28	-2.9	/			
1975.12.18	0.27	-0.8	-1.2			
1976.12.14	0.35	-0.12	/			
1978.2.23	0.28	-0.7	+4.3			

* 1972 年《北京市革命委员会三废管理试行办法》规定居住区大气有害物质 SO_2 日平均最高容许浓度值。

物的稀释扩散。而华北地形槽是由于西北气流沿高一千多米的蒙古高原及黄土高原下滑时，在华北平原形成的浅槽。由于有下沉作用存在，槽内天气比较晴好，常又称为“华北干槽”。当北京地区处于此浅槽控制下，不利于 SO_2 的稀释扩散。为了了解这类天气形势下的水平流场及垂直流场，我们计算了地面附近的水平散度及高空的水平散度、垂直速度。现以 1973 年 12 月 19—20 日的过程为例。

地面附近散度的计算采用地形坡度订正方法

$$(\nabla \cdot \vec{V})_I = (\nabla \cdot \vec{V})_{\text{地}} - \frac{\partial \vec{V}}{\partial z}_{\text{II}} \cdot \nabla H_{\text{II}}$$

式中 I 项称为“地面风场项”，用地面图上的测风记录求算，算法与等高面（或等压面）上散度求法相同。II 项称为坡度订正项， $\frac{\Delta H}{\Delta x}, \frac{\Delta H}{\Delta y}$ 根据平滑后的地形等高线预先算出并作成图， $\frac{\Delta U}{\Delta z}, \frac{\Delta V}{\Delta z}$ 利用当时近地面

层的测风记录求出。计算第 I 项和 $\frac{\Delta H}{\Delta x}, \frac{\Delta H}{\Delta y}$ 时，空间步长取 25 公里。共用了 20 个气象站的风速资料。1500 米和 3000 米处的散度、垂直速度计算方法同前。计算结果列入表 2。结果表明，在地形槽控制下，北京地区地面附近有弱辐合流场存在，使 SO_2 气体易于向市区方向堆积。1500 米高空的弱辐合流场及下沉气流的

表 2

日期 年月日	地面附近 散度 (10^{-6} 秒 ⁻¹)	垂直速度 (厘米·秒 ⁻¹)		水平散度 (10^{-6} 秒 ⁻¹)		P
		1500米	3000米	1500米	3000米	
1973.12.19	-0.5 - 0.0	-0.4	/	-1.6	/	0.54
1973.12.20	-0.3 - 0.0	0	0	-4.5	-8.6	0.43

存在，抑制 SO_2 气体向高层的扩散。因此，在这类天气形势控制下，极易造成近地面层的污染，计算出的 P 值明显增大。

四、结束语

1. 分析表明，北京地区高空的下沉气流对城市 SO_2 扩散的影响是明显的，我们认为，北京冬季 850 毫巴出现下沉气流可以考虑作为本区空气污染气象预报指标之一。

2. 文中考虑地形因子用实测风计算垂直速度的方法，通过与当时天气形势及 SO_2 浓度的对比分析，证明是可行的。

3. 北京地区处于地形槽控制下，地面气压系统较弱，地面附近有弱辐合流场存在，高层有弱下沉气流，极易造成污染物在近地面层内的危险堆积。

4. 由于 SO_2 监测资料的局限性，本文仅根据有浓度监测目的天气形势进行了分析。随着城市监测系统的自动化，这方面的研究将逐步深入。

5. 利用三点风方法求算垂直速度时，虽采用了大比例尺 (1:1000000) 的区域天气图，但计算中未对地图放大系数加以考虑，存在一定的误差，但此误差尚不足以影响计算结果。