

# 城北高架点源对西湖风景区影响的研究

王伟平 苏高利

杨海鹏

(浙江省气象科学研究所, 杭州 310004)

(贵州省气象培训中心)

## 提 要

运用高斯扩散模式和实测扩散参数, 计算了杭州市城北工业区几个高架点源排放的大气污染物对西湖风景区的影响及其时空分布。结果表明, 在一定的气象条件下, 城北高架源排放的二氧化硫等大气污染物对西湖风景区空气质量有影响。控制和减少城北高架源的排放有利于西湖风景区空气质量的改善。

**关键词:** 高架点源 西湖风景区 空气质量 大气扩散模式

## 引 言

由于历史的原因杭州市的北部为工业区, 有半山电厂、杭州热电厂、杭钢等一大批大中型企业, 而西湖距离工业区(半山电厂)约 10~12km。从地理分布上讲西湖及西湖风景区位于城区的南面, 城市工业区的下风向。从杭州气象资料分析, 常年吹偏北风的频率较高, 据统计 NNW、N、NNE 的风向频率达 26% 以上。也就是说西湖风景区常年将有 1/4 时间可能受城北工业污染源排放的大气污染物的影响。大气环境监测结果, 西湖风景区空气质量达不到国家一级空气质量标准。本文仅讨论城北高架点源的影响, 用大气扩散模式和实测参数, 计算分析了半山电厂、杭州热电厂、杭钢等几个高架点源在不同的气象条件下排放的  $\text{SO}_2$ 、TSP 污染物对下风向地区的贡献及浓度时空分布。

## 1 资料与方法

### 1.1 计算模式

#### 1.1.1 高斯模式

高架点源下风向大气污染物的扩散分布, 可以用高斯模式计算, 对气体污染物而言其模式为:

$$C(x, y) = \left[ \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \right] \exp \left[ - \left( \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) \right] F$$

其中

$$F = \sum_{n=-4}^4 \left\{ \exp \left[ - \frac{(2nh - He)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[ - \frac{(2nh + He)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\}$$

式中:  $Q$ ——单位时间污染物排放量 ( $\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $Y$ ——该点与通过排气筒的平均风向轴线在水平面上的垂直距离 (m);  $\sigma_y$ ——垂直于平均风向的水平横向扩散参数 (m);  $\sigma_z$ ——铅直扩散参数 (m);  $u$ ——排气筒出口处平均风速 ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $h$ ——混合层厚度 (m);  $n$ ——混合层内反射次数;  $He$ ——排气筒有效高度 (m);  $He = H + \Delta H$ ;  $H$ ——排气筒距地面几何高度 (m);  $\Delta H$ ——烟气抬升高度 (m)。

#### 1.1.2 斜烟羽模式

对于粒径大于  $10 \mu\text{m}$  的气载粒子考虑重力沉降作用, 选用斜烟羽模式:

$$C_p = \frac{(1 + \alpha)Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \times \exp \left[ - \frac{Y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{\left( V_g \frac{X}{u} - He \right)^2}{2\sigma_z^2} \right]$$

式中  $V_g$  为尘粒子的沉降速度,  $V_g = \frac{d^2 \rho g}{18\mu}$ ;  
 $\alpha$ ——尘粒的地面反射系数(取 0.8 ~ 0.5)<sup>[1]</sup>;  $d$ ——粒子直径( $\mu\text{m}$ );  $\rho$ ——粒子真密度( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ );  $g$ ——重力加速度( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ );  
 $\mu$ ——空气动力粘性系数( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )。

### 1.1.3 多源叠加模式

由于涉及多个源,在计算接受点浓度的贡献时必须进行叠加。在区域内选一原点,以平均风的上方为正  $x$  轴,各个源(坐标为  $x_r, y_r, 0$ ) 对区域内任一地面点( $x, y$ ) 的浓度总贡献  $C_n$  按下式计算:

$$C_n(x, y, 0) = \sum C_r(x - x_r, y - y_r)$$

式中  $C_r$  是第  $r$  个点源对( $x, y, 0$ ) 点的浓度贡献,并将坐标( $x, y, 0$ ) 变换( $x - x_r, y - y_r$ )。

### 1.1.4 烟气抬升高度计算模式

由于排气筒排出的烟气,自身有动量和温度,烟气进入大气后会产生一定的抬升高度,其大小与烟气的温度、烟气初始速率及环境风速等有关。根据烟气热释放率的不同可用以下模式计算。

(1)有风( $U_{10} \geq 1.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )中性和不稳定条件,当烟气热释放率  $Q_h$  大于或等于  $2100\text{kJ} \cdot \text{s}^{-1}$ ,且烟气温度与环境温度的差值  $\Delta T$  大于或等于  $35\text{K}$  时,  $\Delta H$  采用下式计算:

$$\Delta H = n_0 Q_h^{n_1} H^{n_2} U^{-1}$$

$$Q_h = 0.35 P_a Q_v \frac{\Delta T}{T_s}$$

式中:  $n_0, n_1, n_2$ ——分别表示烟气热状况及地表系数、烟气热释放率指数、排气筒高度指数(见表 1);  $Q_h$ ——烟气热释放率( $\text{kJ} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $P_a$ ——大气压力( $\text{kPa}$ );  $Q_v$ ——实际排烟率( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ );  $\Delta T$ ——烟气出口温度与环境温度差,  $\Delta T = T_s - T_a$  ( $\text{K}$ );  $T_s$ ——烟气出口温度( $\text{K}$ );  $T_a$ ——环境大气温度( $\text{K}$ );

$U$ ——排气筒出口处平均风速( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )。

表 1  $n_0, n_1, n_2$  的取值

	地表状况	$n_0$	$n_1$	$n_2$
$Q_h \geq 21000$	城市及近郊区	1.303	1/3	2/3
$2100 \leq Q_h < 21000$ 且 $\Delta T \geq 35\text{K}$	城市及近郊区	0.292	3/5	2/5

(2)有风( $U_{10} \geq 1.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),稳定条件

$\Delta H$  采用下式计算:

$$\Delta H = Q_h^{1/3} \left( \frac{dT_a}{dZ} + 0.0098 \right)^{-1/3} U^{-1/3}$$

式中,  $\frac{dT_a}{dZ}$  为烟囱几何高度以上的大气温度梯度,  $\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$ 。计算风速  $U_{10} \leq 1.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  时一律取  $1.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

## 1.2 参数确定

高斯扩散模式在使用时有一些假定条件,但只要模式参数选取得当仍有较好的效果,是目前国内外公认的大气浓度计算模式之一。为了提高模式的计算精度,扩散参数和风速幂指数取半山地区进行大气扩散试验(平衡球扩散试验)和边界层小球测风获得的实测值<sup>[2]</sup>。

### 1.2.1 扩散参数

根据大气扩散试验实测获得的各类稳定度扩散参数结果如下:

不稳定(B类)

$$\sigma_y = 0.7272065 X^{0.7737696}$$

$$\sigma_z = 0.6210701 X^{0.770286}$$

中性(D类)

$$\sigma_y = 0.3023697 X^{0.8330560}$$

$$\sigma_z = 0.2806647 X^{0.767913}$$

稳定(F类)

$$\sigma_y = 0.1561641 X^{0.8632505}$$

$$\sigma_z = 0.0945061 X^{0.8236108}$$

### 1.2.2 风速幂指数

在计算烟气抬升时需计算各污染源排放口高度处风速,本文采用半山地区小球测风

实测得到的风速幂指数值计算,风速幂指数值见表2。

表2 各类稳定度风速幂指数(m)

稳定度	B	C	D	E	F
实测值	0.16	0.20	0.35	0.42	0.54
国际值	0.15	0.20	0.25	0.30	0.30

1.2.3 其它气象参数

应用本文模式计算浓度时所需的其它气象参数,是根据杭州市气象台1997~1999年三年逐日四次观测的风向、风速、总云量、低

云量资料统计计算的“风向风速稳定度联合频率”中的结果,混合层高度根据徐大海推荐的方法计算<sup>[3]</sup>,见表3所示。

表3 模式计算风速(m·s<sup>-1</sup>)和混合层厚度(m)

稳定度	B类	D类	F类
混合层厚度	745	414	101
N	1.96	3.0	1.4
风向 NNE	2.6	2.67	1.5
NNW	1.82	2.68	1.39

1.2.4 污染源参数

城北各高架点源参数和源强见表4。

表4 城北各高架点源参数和源强

源点名称	H (m)	D (m)	T <sub>s</sub> (°C)	Q <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> /s)	T <sub>a</sub> (°C)	ΔT (°C)	Q <sub>h</sub> (kJ/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	SO <sub>2</sub> (g/s)	TSP (g/s)
热电厂	150.0	4.0	82.0	91.4	16.2	65.8	6001.0	7.27	90.06	28.05
半电1	180.0	5.5	115	236.1	16.2	98.8	21298	9.94	276.11	40.22
半电2	100.0	5.0	114	154.2	16.2	97.8	13801	7.85	201.67	35.64
竖炉	80.0	2.5	150	38.9	16.2	134	4358.9	7.92	75.65	5.83
焦炉	100.0	3.9	220	23.5	16.2	204	3442.0	2.0	2.20	1.92
二热电	80.0	2.0	155	81.7	16.2	134	9386.0	26.0	10.32	4.0
烧结	80.0	2.4	150	47.8	16.2	134	5356.2	10.6	15.90	4.78

1.2.5 计算坐标

本文计算采用的坐标以正东方向为x轴,正北方向为y轴。计算网格坐标的左下角原点为(0,0),计算网格坐标的右上角的坐标为(11000,16000),左上角坐标为(0,16000),右下角坐标为(11000,0)。整个范围面积为176km<sup>2</sup>。半山电厂、杭州热电厂,杭钢的各高架点源的坐标见表5。卧龙桥、清波门等十个关心点的坐标见表6。

2 结果与讨论

(1)根据上述模式分别计算了各类稳定度不同风速下,各污染源排气筒高度处的风速(V<sub>h</sub>)、烟气抬升高度(Δh)、有效源高(H<sub>e</sub>),计算结果略。烟气的抬升受气象条件

影响明显,对同一污染源,当大气处于不稳定状态时,烟气抬升高度比大气稳定时高得多,扩散的范围大。

(2)我们计算了上述三类大气稳定度在三个风向条件下,单个源和七个源叠加情况时,下风向污染物的浓度贡献和分布图一百多份,因篇幅有限,这里只给出了各关心点叠加浓度(见表7)和在B类稳定度吹N风时,城北地区高架源排放的SO<sub>2</sub>污染物在下风向的浓度分布情况。

表5 各污染源坐标位置

坐标	半电1	半电2	热电厂	竖炉	焦炉	二热电	烧结
X	5000	4500	3000	6300	7000	7200	6800
Y	15500	15550	9400	15300	15100	15500	14800

表6 各关心点坐标位置

坐标	三潭印月	武林广场	少年宫	卧龙桥	青春门	古荡镇	清波门	植物园	卖渔桥	官巷口
X	4400	6500	5500	3500	8700	2100	6000	2500	5000	7000
Y	2400	6000	5200	3000	4500	6000	2500	4100	8700	3600

表7 关心点叠加浓度

单位:mg/m<sup>3</sup>

污染物	关心点	B 稳定度			D 稳定度			F 稳定度		
		N	NNE	NNW	N	NNE	NNW	N	NNE	NNW
SO <sub>2</sub>	三潭印月	0.0615	0.0012	0.0011	0.0380	0.0003	0.000	0.0042	0.0001	0.0000
	少年宫	0.0995	0.0006	0.0292	0.0946	0.0001	0.0190	0.0047	0.0000	0.0000
	武林广场	0.0620	0.0000	0.0013	0.0376	0.0000	0.0000	0.0081	0.0000	0.0000
	官巷口	0.0428	0.0000	0.0072	0.0277	0.0000	0.0012	0.0137	0.0000	0.0000
	卧龙桥	0.0428	0.0070	0.0000	0.0281	0.0047	0.0000	0.0003	0.0103	0.0000
	庆春门	0.0049	0.0000	0.0540	0.0017	0.0000	0.0318	0.0011	0.0000	0.0021
	古荡镇	0.0004	0.1071	0.0000	0.0000	0.1196	0.0000	0.0000	0.6253	0.0000
	清波门	0.0789	0.0000	0.0238	0.0667	0.0000	0.0235	0.0148	0.0000	0.0000
	植物园	0.0111	0.0336	0.0000	0.0023	0.0299	0.0000	0.0000	0.1443	0.0000
卖鱼桥	0.1089	0.0150	0.0000	0.0854	0.0174	0.0000	0.0000	0.0697	0.0000	
TSP	三潭印月	0.0106	0.0003	0.0003	0.0062	0.0001	0.0000	0.0014	0.0000	0.0000
	少年宫	0.0151	0.0002	0.0090	0.0147	0.0000	0.0060	0.0024	0.0000	0.0000
	武林广场	0.0091	0.0000	0.0002	0.0049	0.0000	0.0000	0.0015	0.0000	0.0000
	官巷口	0.0065	0.0000	0.0020	0.0041	0.0000	0.0004	0.0024	0.0000	0.0000
	卧龙桥	0.0105	0.0014	0.0000	0.0081	0.0012	0.0000	0.0001	0.0033	0.0000
	庆春门	0.0011	0.0000	0.0084	0.0005	0.0000	0.0051	0.0004	0.0000	0.0009
	古荡镇	0.0001	0.0219	0.0000	0.0000	0.0238	0.0000	0.0000	0.1303	0.0000
	清波门	0.0119	0.0000	0.0072	0.0099	0.0000	0.0073	0.0033	0.0000	0.0002
	植物园	0.0032	0.0055	0.0000	0.0007	0.0046	0.0000	0.0000	0.0215	0.0000
卖鱼桥	0.0171	0.0030	0.0000	0.0139	0.0046	0.0000	0.0003	0.0231	0.0000	

计算结果表明,城北高架源排放的大气污染物在一定的天气条件下完全可以影响西湖风景区空气质量。当吹偏北风时大气处于中性和稳定状态,城北高架源排放的大气污染物输送扩散的距离较远,对西湖风景区较大范围均造成影响。从关心点叠加浓度分析,各点浓度的大小与天气条件及下风距离有关。从B类稳定度吹N风时下风向二氧化硫浓度分布状态(图略)可以看出,城北几个大电厂(杭州半山电厂、杭州热电厂等)对西湖风景区空气质量的影响是明显的。据杭州市环保部门统计,城北工业区各类工厂燃煤量和燃油量分别占市区总量的75%和53%,二氧化硫和烟尘等污染负荷比分别为73%和69%。并且该地区分布着大量高度不同的污染源,特别是半山电厂、杭州热电厂、杭州钢铁厂三者排放的二氧化硫、烟尘排放总量占全市的50%以上。由此可见,城北地区各类污染源排出的二氧化硫、烟尘等大气污染物,在冬、秋季节盛行偏北风的气象条

件下,不断向南输送,对西湖风景区及城市南部地区影响是不言而喻的。我们认为上述情况是影响西湖风景区空气质量的因素之一。因此,要保护好西湖风景区空气质量,使西湖风景区空气质量达到国家一级标准,重点是控制减少城北几个大污染源(半山电厂、杭州热电厂等)的排放。首先应采用烟气脱硫工艺,可大大减少二氧化硫等的排放;同时在工业密集区域强制实行集中供热制度和“三联供”(个集采暖、生活热水、空调制冷供暖)等措施;其次对西湖风景区周围实施“煤改油”工程,减少西湖风景区周围局地二氧化硫、烟尘等大气污染物的排放。此外,还要加强对污染源的监管力度,加大对保护西湖风景区大气环境的宣传,让更多人来关注和保护西湖风景区大气环境,才能使西湖风景区山清水清天更蓝。

#### 参考文献

- 1 国家环境保护局.环境影响评价导则.1993.9发布.

2 王伟平等. 杭州半山工业区污染气象特征初探. 环境污染与防治, 1989(5).

3 国家环保局和中国环境科学研究院编. 城市大气污染总量控制方法手册, 1991.

## A Study on Influence of High Elevation Point Source of Northern Hangzhou on the Scenic Zone of West Lake

Wang Weiping Su Gaoli

(Zhejiang Institute of Meteorological Science, Hangzhou 310004)

Yang Haipeng

(Guizhou Training Center of Meteorology)

### Abstract

Using the Gauss diffusive model and actual observed diffusive parameter, the atmospheric pollutant of several high elevation point sources in the industrial park of the northern Hangzhou contributed to the scenic zone of West Lake and time-space distribution of its concentration was calculated. The study shows that the atmospheric pollutants such as  $\text{SO}_2$  which exhausted from high elevation point sources influenced on the air quality in the certain weather condition. Therefore, pollutants discharge should be controlled and reduced to improve the air quality of the West Lake.

**Key Words:** high elevation point source scenic zone of West Lake air quality influence