处理技术创造有利条件. 生物活性炭法是从饮用水中去除有机污染物的一个重要方法.

试验表明,臭氧-活性炭联合处理工艺 COD 去除率比单独活性炭处理略高, 其炭内残留的有机物较低. 但是, 臭氧预处理没有使炭柱本身 COD 去除效率明显增高,没有使去除 1 克 COD 在炭内存留的有机物 (CCE/COD) 有所降低,各炭柱微生物生长状况无明显差异. 由此可见,臭氧氧化并非是"生物活性炭法"的必要条件, 把生物活性炭法理解为臭氧-活性炭联合处理工艺则不够确切.

水中的溶解氧和有机物为好氧微生物的生长提供了必要条件, 活性炭强烈吸附有机物的特性及其粗糙的表面和发达的微孔结构是微生物栖息繁殖的良好场所. 因此,在反冲洗周期恰当的场合下,不经臭氧氧化预处理的活性炭水处理工艺同样可以构成生物活性炭法. 这样将可节省臭氧发生装置及投加设备的巨额投资,节约高价的耐腐蚀材料,减少日常电耗,简化水处理工艺及日常维护管理的复杂性.

哈尔滨市科委陆颖珠工程师、哈建工学院杨文琴讲师、范启祥讲师在试验过程中给予大力支持,谨表谢意.

参加本试验的还有松江罐头厂王一波、辛利文等六名同志.

(参考文献略)

10 公里范围大气环境容量的一个估算模式

雷孝恩 贾新媛 杨锦德 邓玉珍

(中国科学院大气物理研究所)

一、引 言

本文在 EPA[1] 具有地形订正的多源高斯模式基础上,用一大型石油化工联合企业的实例,数值分析了地形起伏、粗糙度; 风速随高度变化[4]; 不同扩散参数型[2-3]; 烟气抬升[5]; 混合层高度以及降水冲刷、沉降和化学衰减等因子对地面浓度的影响,通过实测的浓度资料对模式进行验证,最后得到 10 公里范围大气环境容量模式.

二、模式的建立

任一空间点 (x, y, z) 上的浓度 c 是由对该点有贡献的所有污染源作用之总和,即

$$c(x, y, z) = \sum_{i=1}^{N} c_i(x, y, z) \tag{1}$$

式中 c_i 为每个污染源对点 (x, y, z) 造成的浓度, N 为污染源的总数,对一单点源、坐标给成

$$x = (S_p - S_r)\cos\theta + (R_p - R_r)\sin\theta \tag{2}$$

$$y = (S_p - S_r)\sin\theta - (R_p - R_r)\cos\theta \tag{3}$$

R 和 S 分别为东西、南北方向的坐标系, x 为上风方向的距离, y 为横风方向距离, R_p 和 S_p 为每个点源的坐标, R_r 和 S_r 为接受器的坐标. θ 为风的来向. 点源扩散公式为[1,3,6]

$$c_i = \frac{Q_i}{u} \cdot \frac{g_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \cdot \frac{g_2}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \tag{4}$$

$$c_i = \frac{Q_i}{u} \cdot \frac{g_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \cdot \frac{1}{L} \tag{5}$$

$$c_i = \frac{Q_i}{u} \cdot \frac{g_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \cdot \frac{g_3}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \tag{6}$$

Q_i 为源强, u 为烟囱出口处的风速, L 为混合层高度. 对稳定大气,采用 (4) 式计算,其中

$$g_1 = \exp\left\{\left(-\frac{1}{2}\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) + \left(-\frac{0.693}{T_R}\frac{x}{u}\right) + \left[-\left(\frac{2}{\pi}\right)^{1/2}\frac{V_d}{u}\frac{2x}{\sigma_z}\right] + \left(-\frac{E_q p}{H_1}\frac{x}{u}\right)\right\} \tag{7}$$

$$g_2 = \exp\left[-\frac{1}{2}\frac{(Z-H)^2}{\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\frac{(Z+H)^2}{\sigma_z^2}\right] \tag{8}$$

T_R 为污染物的半衰期, V_d 为沉降速度, E_q 为降水清除率, H_1 为云底的高度, p 为单位时间的降水量, H 为烟气的有效排放高度.

$$H = H_0 + \Delta h \tag{9}$$

H_0 为烟囱实际高度, Δh 为热力和动力引起的烟气抬升. 对不稳定大气或中性情况, 当 $\sigma_z \geq 1.6L$ 时,

用(5)计算,当 $\sigma_z<1.6\ L$时,则用(6)式,其

$$g_3=\sum_{n=-\infty}^{\infty}\left\{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z-H+2nL}{\sigma_z}\right)^2\right]+\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z+H+2nL}{\sigma_z}\right)^2\right]\right\}\quad(10)$$

要完成上述浓度的计算,还必须知道 u、σ_y、σ_z 及 Δh 等参数. 对扩散参数,我们选取如下表达式[2,3]

$$\sigma_{y0}=a_0x^{b_0}(a_2-b_2\ln x)\bar{Z}_0^{(c_2-d_2\ln x)}\quad(11)$$

$$\sigma_{z_0}=a_1x^{b_1}[1+c_1^{(d_1+e_1\ln x)}]^{-1}\cdot(1-a_3e^{-b_3x}+c_3x^{-d_3}\bar{Z}_0^{e_3})\quad(12)$$

其中 a_0、b_0、a_1、b_1、c_1、d_1、e_1、a_2、b_2、c_2、d_2、a_3、b_3、c_3、d_3 及 e_3 为与稳定度类(本文均按 Pasquill 稳定度类[7]进行分类)有关的常数. 模式除了采用地形标高订正外[1],对反映下垫面特征的 $\bar{Z}_0$[8] 直接引入在扩散参数中.

Δh 采用 Brigys[9] 公式. 对烟气热力和动力引起的附加扩散[1]作如下订正

$$\sigma_y=(\sigma_{y0}^2+\sigma_{yH}^2)^{1/2}\quad(13)$$

$$\sigma_z=(\sigma_{z0}^2+\sigma_{zH}^2)^{1/2}\quad(14)$$

其中

$$\sigma_{yH}=\sigma_{zH}=\Delta h/3.5\quad(15)$$

对烟囱出口处的影响,当 $w_0<1.5u$ 时

$$H_0'=H_0+2[(w_0/u)-1.5]D\quad(16)$$

若 $w_0\geqslant1.5u$ 则

$$H_0'=H_0\quad(17)$$

w_0 为烟气出口速度, D 为烟囱口内径. 若 $x<x_f$ (最大烟气抬升对应的下风方距离),则

$$\Delta h=1.6F^{1/3}u^{-1}x^{2/3}\quad(18)$$

$$F=gw_0\frac{D^2}{4}\frac{T_0-T}{T_0}\quad(19)$$

F 为浮力通量, T_0 和 T 分别为烟气出口和环境的温度. 对中性和不稳定情况,若 $x\geqslant x_f$ 则

$$\Delta h=1.6F^{1/3}u^{-1}(3.5x^*=x_f)^{2/3}\quad(20)$$

其

$$x_f=3.5x^*=\begin{cases}14F^{5/8} & 对\ F<55\\ 35F^{2/5} & 对\ F\geqslant55\end{cases}\quad(21)$$

对稳定大气,最大抬升高度为

$$\Delta h=2.6[F/(us)]^{1/3}\quad(22)$$

最大抬升所对应的距离为

$$x_f=2.07us^{-1/2}\quad(23)$$

式中 S 定义成

$$s=g\frac{\partial\theta_0}{\partial Z}/T\quad(24)$$

$\frac{\partial\theta_0}{\partial z}$ 为位温垂直梯度, g 为重力加速度. 对稳定静风情况

$$\Delta h=4F^{1/4}S^{-3/8}\quad(25)$$

关于烟囱出口处的风速,本模式采用经验的爱克曼风廓线[4]

$$u=a[1-\exp(-bZ^c)\cos(bZ^c)]u_{10}\quad(26)$$

其中 a、b、c 为与稳定度类有关的常数, u_{10} 为 10 米高度处观测的风速.

除了上述的一些参数和计算公式外,本模式需要每小时的风向、风速、温度、稳定度类、混合层高度及降水量.

三、模式性能分析

为了对模式有个正确的评价,利用某大型企业的高烟囱排放及有关气象资料,对控制本模式的因子进行了数值分析.

1. 烟气抬升的影响

为了分析烟气抬升对地面浓度的影响程度,在其它条件完全一样的情况下,理论计算了有效烟气排放高度分别为 $H=H_0+\Delta h$, $H=H_0+\frac{1}{2}\Delta h$ 和 $H=H_0$ 三种情况的地面日平均浓度(c_H、$c_{\frac{H}{2}}$及 c_{H0}),其比值列于表 1.

表 1　不同烟气抬升高度时地面浓度比值

	最小值	平　均	最大值
$c_{\frac{H}{2}}/c_H$	1.09	2.59±3.00	18.28
c_{H0}/c_H	1.05	7.36±8.59	43.7

表 1 表明,不考虑烟气抬升,日平均浓度平均要比考虑烟气抬升时大 6 倍多,只考虑一半的烟气抬升,日平均浓度的平均也要比完全抬升时浓度大 1 倍半以上,其比值的离散度是相当大的.

2. 不同扩散型对浓度的影响

为比较,将扩散型(11)和(12)(I)与 Briggs 的平原[7](IV)和城市(III)扩散型[9]分别代入模式中进行计算,不同扩散型 30 个空间点的月平均浓度比值列于表 2,其 $\bar{Z}_0$ 取 0.1 米.

从表 2 看出,这三种扩散型所造成的浓度之间差异即使是月平均浓度也是很大的.

不同扩散型之间日平均浓度的差别就更大,如对一典型的计算点和计算日, III/IV = 3.95, I/IV=

表 2　各扩散型的月平均浓度比值

III/IV			I/IV			I/III		
最小值	平　均	最大值	最小值	平　均	最大值	最小值	平　均	最大值
0.88	1.67±0.835	4.13	0.89	0.99±0.0756	1.21	0.26	0.71±0.248	1.15

2.04，I/III = 0.52.

3．地形起伏及下垫面粗糙度对浓度的影响

对地形起伏本模式采用实际地形标高订正的方法[1]，在数值分析的实例中，地形起伏是明显的，其高差可达 50 米以上．为使问题简化，我们选定风向为 112.5° 的情况作为分析例子，这种情况污染源实际上只有一个，而且在其下风方的标高也有明显变化．从下风方向浓度剖面分析看出，由于地形起伏，使地面轴浓度在双对数图上不是直线．

为了解不同 $\bar{Z}_0$ 的影响，将 $\bar{Z}_0$ = 0.1、0.5、1 及 1.5 米时的浓度进行比较分析．不同 $\bar{Z}_0$ 时浓度的比值(典型时、日、月)列于表 3．

表 3　粗糙度对浓度的影响

计算点号	地形标高(米)	$c_{0.5}/c_{0.1}$			$c_1/c_{0.1}$			$c_{1.5}/c_{0.1}$		
		时	日	月	时	日	月	时	日	月
6 号	68	0.83	0.87	0.92	0.76	0.82	0.88	0.72	0.79	0.85
13号	16	6.51	2.56	1.45	12.99	4.16	1.93	20.04	5.51	2.33

从表 3 看出：①由于污染源地理分布的不同以及接受点标高的差异(约 50 米)，$\bar{Z}_0$ 对地面浓度的影响可以相反，随着 $\bar{Z}_0$ 的加大，一是地面浓度变大，一是地面浓度越来越小；② $\bar{Z}_0$ 影响造成的差别随平均时间的加大而减小，但即使是月平均浓度，这种差别也是相当大的．

4．风速对浓度的影响

本模式使用经验爱克曼风廓线(式 26)，实际部门常常使用幂指数风廓线．

$$u = u_0\left(\frac{Z}{Z_0}\right)^r \tag{27}$$

在 100 米以上，(27) 与实际观测资料匹配效果不如 (26) 好，我们在分析该企业附近高空风资料时也发现 (表 4)，实际风速分布更接近 (26) 而不是 (27)．

关于风速切变和风速随高度分布的形状对扩散参数 σ_z 和 σ_y 的影响，[10] 和 [11] 分别作过数值研究．为了解 (27) 与 (26) 计算浓度的差别，在其它条件完全一样的情况下，对其计算结果作了比较(表 5)．

表 4　(26) 与 (27) 式计算结果比较

高度(米)	8	150	300	500	600	900	1000
实测/㉖	0.84	1.10	0.99	0.98	1.00	0.91	0.90
实测/㉗	0.88	1.28	1.11	1.04	1.03	0.88	0.85

表 5　(26) 与 (27) 计算地面浓度的比值

	月平均	日 平 均			
	30个点	2 号点	2 号点	28号点	5 号点
最大值	1.00	1.13	2.02	2.09	2.07
平均	0.92±0.0579	0.96	0.90	1.27	0.53
最小值	0.75	0.013	0.26	0.91	0.13

从表 5 看出，不同风廓线，对小时浓度最大可差几十倍．

5．迁移因子的相对重要性

本模式考虑了降水冲刷，沉降和化学衰减等迁移因子，它们在中距离扩散和迁移转化研究中是非常重要的[3]．为此，我们分析了有降水的 5 天资料(最大降水量为 39.2 mm/hr，最小为 3.5 mm/hr)，分别计算了有与没有这三个因子时的每小时和每天浓度，并求其比值，平均值，最大值和最小值(表 6)．

从表 6 看出，降水情况下，这三个迁移因子以降水为最大，沉降因子次之，化学衰减最小．

6．混合层对地面浓度的影响

高空逆温层对污染物的影响通常考虑为多次反射，其具体数学表达式为 g_3．为了解实际计算范围内它的重要程度，对 $n = 1$ 与 $n = 0$ 两种情况分别作了比较分析，发现两者每小时浓度最大可差 4 倍，同时分析了 30 个计算点和三天的每小时地面浓度资料，其比值大于 1.5 的占 27%．即使在 5 公里范围内，由于高烟囱排放，混合层的影响在某些情况下也不能忽略，特别是小风情况．

表 6　有无降水、沉降和衰减因子时地面浓度比值

控制因子	小时平均浓度比值			日平均浓度比值		
	最　小	平均	最大	最　小	平均	最　大
降　水	1.05	3.78±6.086	24.65	1.00	1.15±0.291	2.50
沉　降	1.08	1.11±0.0313	1.19	1.08	1.10±0.0219	1.15
降水、沉降和化学衰减	1.13	4.32±7.156	29.87	1.12	1.30±0.372	2.77

表 7　SO_2 浓度日变化与气象条件关系

小时	风向	风速 (m/s)	稳定度类	1	2	3	4	5	6	7
8	225	1	3	0.00937	0.00001	0	0	0	0	0.1632
9	270	1	2	0	0	0	0	0	0	0
10	315	1	2	0.01619	0.00363	0	0	0	0	0.10869
12	22.5	1.3	2	0.34904	0.01013	0.00069	0.00894	0.00707	0.01471	0
13	45	1	1	0.11037	0.15202	0.06293	0.06173	0.04157	0.09261	0.0005
15	67.5	1	2	0	0.00429	0.01431	0.03979	0.14035	0.14424	0
16	112.5	2	2	0	0	0.15953	0.00307	0.05505	0.00004	0
17	90	2	3	0	0	0.01377	0.13281	0.00134	0.11009	0
18	45	2.3	3	0.03858	0.24161	0.10883	0.08456	0.01955	0.07767	0
19	112.5	2.3	4	0	0	0.13381	0.00314	0.07069	0.00002	0

表 8　年平均浓度及小时浓度 ≥0.1 mg/m³ 的频率

站　　号	1	2	3	4	5	6	7
c	0.013	0.026	0.022	0.032	0.014	0.022	0.018
≥0.1mg/m² 频率(%)	4.5	8.1	11.3	13.9	4.8	9.2	8.8

表 9　各种不同情况下实测和预报 SO_2 浓度比值

模型名称	I				II	III	IV
	$Z_0=0.1$	$Z_0=0.1$ (天气烟抬升)	$Z_0=1.5$	$Z_0=0.1$	$Z_0=0.1$		
次　数	211	189	211	155	155	211	211
比值的总体平均	1.67±1.712	0.66±0.425	1.05±0.513	1.56±1.70	1.59±1.71	1.02±0.595	1.94±2.374

7. 浓度的时空变化与气象条件关系

模式可得到小时、日平均、月平均和年平均浓度空间分布，同时也可给出不同浓度范围的频率.

为看出浓度的空间变化，我们从 30 个计算点中选取 7 个点作为分析对象，它们分布在污染源的不同方向，为看出一天中每小时浓度变化规律，我们列出一个典型日的气象条件和 7 个点计算的每小时浓度(表 7). 从中看出，由于风向，风速及稳定度的不同，使浓度发生明显的时间和空间差异. 7 个站全年的平均浓度和每小时浓度 ≥0.1mg/m³ 出现的频率列于表 8. 从表 8 看出，4 号点平均浓度最高，小时浓度≥0.1mg/m³ 出现的频率最大，一号点浓度和频率最小，这与全年风向频率有密切关系.

四、模式的实际验证

为了对模式进行检验，我们收集了 211 次资料，求出模式计算值与实测的比值(表 9). 表中 I 表示(11)和(12)扩散型加上风廓线(26); III 表示用

Briggs 的城市扩散型加上(27)风廓线，II 表示(11)和(12)扩散型加上(27)风廓线，IV 表示 Briggs 平原的扩散型加上(27)。从表 9 可以得到以下结果：

① 七种模型以 $\bar{Z}_0 = 1.5$ 米的模型 I 与实际最接近，其次是模型 III。

② 不考虑烟气抬升的情况，预报值明显比实测值大得多。

③ 在其它条件完全一样的情况下，爱克曼风廓线比幂指数更接近实际。

五、小结和结论

由实际例子对模式所作的性能分析和与实测 SO_2 浓度的比较，我们可得到如下结果：

1. 烟气抬升总是使地面浓度减小，这一因子考虑与否以及考虑得好坏可造成地面浓度量级上的差异。

2. 不同扩散参数型对地面浓度影响是明显的，(11)和(13)与 Briggs 的平原扩散型造成的月平均浓度差别也有 20% 以上，日平均浓度和小时平均浓度之间差别就更大。

3. 地形起伏使地面轴浓度在双对数图上不为直线。它和下垫面粗糙度联合作用，对较高的地形，随 $\bar{Z}_0$ 的加大，地面浓度减小，低标高的地形，则随 $\bar{Z}_0$ 的加大，地面浓度加大。

4. 由幂指数和爱克曼风廓线导出烟囱出口处风速之不同，可造成月平均地面浓度 25% 的差别，而小时浓度差别可达几十倍。

5. 5 公里范围内，降水冲刷是一重要因子，沉降因子可减小 10% 的日平均浓度，衰减因子 5 公里以内影响较小，一般在 5% 以内，但在 10 公里范围它的重要性就突出了。

6. 5 公里范围内，对 150 米以上的高烟囱污染源，高空逆温层的反射影响在 1 公里以后就不能不考虑，特别是小风情况。

7. 用(11)和(12)的中距离扩散型、Briggs 烟气抬升公式，爱克曼风廓线，正确选取地面有效粗糙度长 $\bar{Z}_0$，加上考虑地形起伏，降水冲刷，沉降，衰减和混合层影响订正后的多源高斯模式与实测浓度和气象条件有相当好的一致性。

总之，本文提出的估算大气环境容量模式，对一些大型联合企业的环境管理，环境改造工程最佳方案的制定都是十分有益的。

参 考 文 献

[1] Picerce, T. F., FPA-60018-80-016, 1—50, 1980
[2] 雷孝恩、任阵海，环境科学学报，**1**(4), 304(1981).
[3] 雷孝恩，中国环境科学，**1**(6), 26(1981).
[4] 袁素珍等，中国环境科学，**2**(3), 29(1982).
[5] Briggs, G. A., *Lectures on air pollution and environmental impact analyses*, Boston, Massachusetts, pp. 59—111, 1975.
[6] 任阵海等，中国环境科学，**1**(3), 30(1981).
[7] Gifford, F. A., *Nuclear Safety*, **17**(1), 36 (1976).
[8] 雷孝恩等，大气科学，**5**(4), 368(1981).
[9] Gifford. F. A., 同[5], pp. 5—58, 1975.
[10] 雷孝恩等，环境科学学报，**2**(1), 74(1982).
[11] 雷孝恩，大气科学，**7**(2), 171(1983).

· 学术活动 ·

《乾安平原类型大骨节病区医学地学综合研究》通过鉴定

吉林省科学技术委员会和吉林省卫生厅于1984年 6 月 11—13 日主持本课题鉴定会。参加本课题的有：吉林省地方病第二防治所、白求恩医科大学地方病研究所、中国科学院长春地理研究所、吉林省地矿局第一水文地质大队、乾安县卫生防疫站等单位。经过医学、地学的综合考察和三年改水实验的对比证明，实验点改饮第三纪 (Nt) 层孔隙裂隙承压水，水中腐殖酸、耗氧量明显降低，大骨节病病情好转率达 62.2%，无有新发病例。同行专家认为，此项研究设计严密，试验手段先进，数据可靠，结论可信，具有明显的社会效益和经济效益，居国内先进水平，为预防大骨节病，探讨病因提供了可靠的科学依据。

（本刊讯）