

# 工业区大气环境容量的分析探讨

向可宗

(广东省热带海洋气象研究所)

## 提 要

工业区大气环境容量对于制定发展规划,合理布局和总量控制等都有重要意义,本文以茂名石油工业公司所在地区为例,介绍了工业区大气环境容量的分析计算方法。分析表明,计算结果基本上与实际相符,证实所提出的方法是合理的。

一般来说,工业区大气污染的排放量在整个城市工业废气污染物排放总量中占有很大的比重,因此在制定城市规划与实行总量控制过程中,人们首先要探讨的是工业区排放总量和容量问题。

当前普遍认为,在保证某一环境目标的前提下,允许排入大气的最大污染物质,即为大气环境容量<sup>[1]</sup>。环境目标通常是根据功能区不同类别,参照大气环境质量标准而确定的。据我国环境保护法规定,为控制和改善大气质量,保证经济发展与生态环境的良性循环,防止生态破坏,保护人民健康,而将大气环境质量标准分为三级。这些标准是通过大量环境医学分析研究而科学地提出的,是保证生态系统和功能正常的基本条件。如茂名石油工业公司(以下简称“茂油”)环境目标可定为三级,如条件许可也可争取达到二级。这样定义的大气环境容量不仅便于计算而且易于掌握及控制,对制定城市发展规划和环境规划有重要的参考价值。

“茂油”面积近于 $2 \times 2 \text{ km}^2$ ,可将该区域分成4个水平网格,每个网格 $1 \times 1 \text{ km}^2$ ;垂直厚度主要考虑平均混合层高度以下对人类和生态环境有重要影响的近地面层污染。

网格内的污染源可划分为两类:一类是包括重整车间、重质滑油车间的低排放源,无组织排放源及加热炉、锻工炉等锅炉窑炉在内的近地面排放源,平均源高取 $25 \text{ m}$ 。由于其排放高度较低,主要污染区常位于近源处,因此可以近似认为污染物排放与其所造成的最大近地面污染浓度皆存在于近同一网格区,于是可将同一网格内的这类源合并为面源处理,并且根据已有的研究结果,作相应的水平与垂直方向的空间(排放)订正。另一类则是排放量较大且较高的高架源,如原油车间、制硫车间、加氢裂化车间的高排放源。由于其影响范围较大,且受复杂气流影响,污染分布很不规则,故须另行处理。一个工业区或功能区的大气环境容量主要取决于:①各工业区环境目标值;②各类源所占排放比重;③大气自净能力;④污染物的沉降与转化;⑤本底污染状况。为做到经济效益与环境效益的统一,即既保证工业发展规划与城市规划的顺利实施,又保证良好的大气环境,工业区环境目标值可作适当调整,使之既不违背国家规定的大气质量分区原则,又有一定的剩余环境容量可以利用。

以下所要讨论的,主要是联系到茂名石油工业公司上述两类污染源,并适当考虑外

围迭加影响后的大气环境容量的分析计算问题。

### 一、“茂油”近地面排放源的大气环境容量

为了较准确地算出总的大气环境容量，首先必须根据污染源调查和分析，确定出这两类源污染分担率。分析表明，茂油重整、重油等车间，无组织排放等近地源污染分担率约为0.4，而加氢裂化、催化、原油、制硫等车间高架源分担率约为0.6。

其次，如前所述还须确定合理的环境目标。考虑环境容量应具有相对的稳定性，故环境目标以日均浓度为准。

由于“茂油”厂区各网格内近地源分散且有效排放高度也有差异，故必须作水平和垂直订正，使各网格的这类源成为一“等效点源”，从而得到近地面污染源浓度计算公式为：

$$C = \frac{Q}{\pi(u^2 + v^2)^{1/2}(\sigma_{y_0} + \sigma_y)(\sigma_{z_0} + \sigma_z)} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{y^2}{(\sigma_{y_0} + \sigma_y)^2} + \frac{\bar{H}^2}{(\sigma_{z_0} + \sigma_z)^2}\right]\right\} \quad (1)$$

式中C为浓度，Q为排放量，受海陆、地形等影响，各网格u，v值可能不同，在这种情况下，根据定点观测结果用下式内插求得，即

$$u = \frac{\sum_{k=1}^n (u_k r_k^{-2})}{\sum_{k=1}^n (r_k^{-2})} \quad v = \frac{\sum_{k=1}^n (v_k r_k^{-2})}{\sum_{k=1}^n (r_k^{-2})} \quad (2)$$

式中 $r_k$ 为第k个测点到格点(ij)的距离， $u_k$ ， $v_k$ 分别是第k个测点的风速分量。

茂名地区多数情况以下中性稳定度D类为主，根据平衡气球测定结果，其水平与垂直扩散参数分别为：

$$\sigma_y = 0.44x^{0.73}, \quad \sigma_z = 0.40x^{0.69} \quad (3)$$

而 $\sigma_{y_0}$ ， $\sigma_{z_0}$ 可写作如下近似表达式，即：

$$\sigma_{y_0} = d/4.3, \quad \sigma_{z_0} = \bar{H}/2.15 \quad (4)$$

式中d为格距， $\bar{H}$ 为平均有效排放高度。

(1)式为一次浓度计算式，根据容量分析要求，还须换算成日均浓度，有关研究表明二者有如下关系：

$$\frac{\bar{C}}{C} = \left(\frac{T_1}{T_{24}}\right)^a \quad \text{或} \quad \bar{C} = C/4.44 \quad (5)$$

式中 $T_1$ 为一次采样时间， $T_{24} = 24$ 小时，a为经验系数。最大浓度中心与排放源平均距离近似满足下列关系：

$$\sigma_{z_0} + \sigma_z = \alpha \bar{H} \quad (6)$$

表1给出了通过模式计算而得到对应不同源

表1 对应于不同源高( $\bar{H}$ )之 $\alpha$ 值

$\bar{H}$ (m)	100	80	60	40	20	平均
$\alpha$ 值	1.41	1.47	1.51	1.59	1.53	1.50

高之 $\alpha$ 值。从表中可以发现平均 $\alpha$ 值为1.5。

这相当于在标准中性条件下 $\bar{H} = 80$ m时， $x_m = 1980$ m； $\bar{H} = 60$ m时， $x_m = 1370$ m。这与模式计算和实际监测结果是一致的。将

(6)式代入(1)式并结合(5)式，可以得到最大日均浓度公式：

$$\bar{C}_m = \frac{0.45Q}{\pi e(u^2 + v^2)^{1/2} \bar{H}^2} \cdot \frac{\sigma_{z_0} + \sigma_{z_m}}{\sigma_{y_0} + \sigma_{y_m}} \quad (7)$$

由于

$$\begin{aligned} (\sigma_{y_0} + \sigma_y) &= (1 + \sigma_{y_m}/\sigma_{y_0})\sigma_{y_0} \\ &= (1 + A)\sigma_{y_0} \\ &= (1 + A)d/4.3 \end{aligned} \quad (8)$$

式中 $A = \sigma_{y_m}/\sigma_{y_0}$ ； $\sigma_{y_0} = d/4.3$ ；d为格距。将(6)，(8)代入(7)式；并注意当计算某一网格内环境容量或允许排放量时，

$\bar{C}_m$ 应取环境目标值，例如对于二类区， $\bar{C}_m = 0.15 \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ；三类区 $\bar{C}_m = 0.25 \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 且须考虑近地面源排放量只能占有全部容量的一定比例 $E_{w_0}$ ；如考虑沉降转化，其衰减

的浓度表达式为:

$$C_t = C_0 e^{-\epsilon t} \quad (9)$$

$C_t$  为经  $t$  时刻衰减后的浓度,  $C_0$  为初始浓度。设污染物半衰期为  $T$ , 则

$$C_0/2 = C_0 e^{-\epsilon T}$$

或 
$$\epsilon = -\frac{1}{T} \ln(1/2) \quad (10)$$

经单位时间衰减后的浓度可写作:

$$C_1 - C_0 = C_0 e^{-\epsilon} - C_0 = -(1 - e^{-\epsilon}) C_0$$

如令  $P = 1 - e^{-\epsilon}$ , 则可得

$$C_1 = (1 - P) C_0 \quad (11)$$

$P$  为单位时间衰减率。这样便可给出近地面源允许容量或允许排放量计算方程:

$$Q_{i,j} = 2.94(1 + A) E_{w_0} \bar{C}_m \bar{V}_{i,j} \bar{H}_0 d \quad (12)$$

如考虑转化率  $P$ , 则

$$Q_{i,j} = 2.94(1 + A) E_{w_0} \bar{C}_m \bar{V}_{i,j} \bar{H}_0 d / (1 - P) \quad (13)$$

如风场均匀, 即  $\bar{V}_{i,j} = \bar{V}_0$  则

$$Q_0 = 2.94(1 + A) E_{w_0} \bar{C}_m \bar{V}_0 \bar{H}_0 d / (1 - P) \quad (14)$$

式中  $Q_{i,j}$  或  $Q_0$  为单位网格地面源容量或最大允许排放量;  $\bar{C}_m$  为环境目标值;  $\bar{V}_{i,j}$  或  $\bar{V}_0$  为网格  $(i, j)$  处的平均风速;  $\bar{H}_0$  为平均有效源高;  $d$  为格距;  $E_{w_0}$  为近地面源污染分担率。在分析计算油厂近地面源允许容量时, 平均有效近地面源排放高度  $\bar{H}_0 \approx 25\text{m}$ ;  $d = 1000\text{m}$ ;  $E_{w_0} = 0.4$ ;  $P = 0.02$ ;  $\bar{V}_0 = 2.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

如要计算某一功能区的允许容量 ( $Q_{f_0}$ ), 则只要令

$$Q_{f_0} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{i,j} Q_{i,j} \quad (15)$$

即可。式中假定功能区内包含  $m \times n$  个网格;  $W_{i,j}$  为权重系数; 当网格全部包含在功能区内时,  $W_{i,j} = 1$ ; 否则按所包含的面积比例确定  $W_{i,j}$  值。如网格容量大体均匀, 则

$$Q_{f_0} = \left( \frac{S}{S_1} \right) Q_0 \quad (15')$$

式中  $S_1$  为单位网格面积,  $S$  为功能区面积,  $Q_0$  为单位网格近地面源容量。油厂面积约为  $4\text{km}^2$ 。即  $Q_f = 4 \times Q_0$ 。表3上方给出了茂名石油公司附近地区各主要污染物近地面源容量或最大允许排放量。

## 二、“茂油”高架源排放的大气环境容量

由于“茂油”高架源影响范围较宽, 对高架源允许容量, 必须先计算不同源强的迭加浓度分布, 然后对照茂名市区环境目标值及高架源排放比重确定高架源大气环境容量。P. Zannetti (1981) (2) 曾给出适用于较复杂风场的准正态烟流模式。类似于前面的讨论也可导出高架源大气容量计算式。为此先讨论几个有关的问题及参数。

1. 图1a是整个茂油厂区 ( $4\text{km}^2$ ) 高

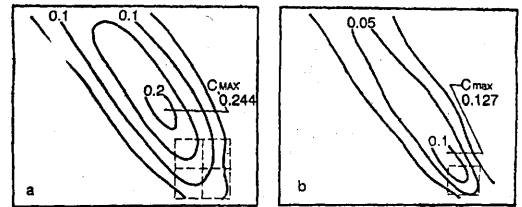


图1 茂油高架源排放所导致  $\text{SO}_2$  迭加浓度 ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-1}$ )

a. 整个厂区 ( $4\text{km}^2$ )

b. 单一网格 ( $1\text{km}^2$ )

架源排放的迭加浓度分布。图1b为油厂单一网格 ( $1\text{km}^2$ ) 内高架源排放, 根据 (1) 式计算得出的浓度分布 (取  $Q = 50\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$ )。从中看出迭加之最大浓度, 当  $\bar{H} = 80\text{m}$  时比单一网格增大了1.92倍;  $\bar{H} = 100\text{m}$  时增大了2倍。设  $C_{\text{MAX}}$  为迭加最大浓度,  $C_{\text{max}}$  为单一网格之最大浓度,  $S_1 = 1\text{km}^2$  为单一网格面积,  $S = 4\text{km}^2$  为整个厂区面积, 则可写作:

$$\frac{C_{MAX}}{C_{max}} = \left(\frac{S}{S_1}\right)^\beta \quad (16)$$

表2给出对应于不同 $\bar{H}$ 的 $\beta$ 值,从中可发现

表 2 对应于不同源高的 $\beta$ 值

$\bar{H}$ (m)	100	80	60	平均
$\beta$ 值	0.50	0.47	0.43	0.47~0.5

$\bar{\beta} = 0.5$ 。

显然对于单一网格之高架源容量( $Q_1$ ),仍可用类似(14)式的形式进行估算,但迭加的影响不能只简单乘以( $S/S_1$ ),而应为:

$$Q_f = Q_1 \left(\frac{S}{S_1}\right)^{1-\bar{\beta}} = Q_1 \left(\frac{S}{S_1}\right)^{0.5} \quad (17)$$

因为迭加影响使最大浓度增加了 $\left(\frac{S}{S_1}\right)^\beta = 2$ 倍,从而使每个网格高架源容量减少了 $\left(\frac{S}{S_1}\right)^{-\beta} = \frac{1}{2}$ 。故总面积 $S$ 虽相当于单一网格 $S_1$ 的4倍,但全区容量却只能增大 $\left(\frac{S}{S_1}\right)^{1-\beta} = 2$ 倍。

2. 对应于不同稳定度条件下,不同 $\bar{H}$ 的 $A$  ( $\sigma_{y,m}/\sigma_{y,0}$ )值各不相同,其中 $\sigma_{y,0} = d/4.3 = 1000\text{m}/4.3$ ;  $\sigma_{y,m}$ 为 $x = x_m$ 时之 $\sigma_y$ 值。例如当 $\bar{H} = 80\text{m}$ 时,  $A = 0.48 \approx 0.5$ ; 当 $\bar{H} = 60\text{m}$ 时,  $A \approx 0.4$ ; 对于近地面源 $A \sim 0$ ,可以忽略。

3. 对于高架源厂区外其它功能区的迭加影响也应予以考虑。据厂区上风方测点监测结果,内插得到其 $\text{SO}_2$ 平均浓度约为 $0.08 \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,可以近似认为是厂外污染物影响,而单纯由于厂区高架源的影响约占 $W = 30\%$ ,故在计算高架源容量时还须乘以 $(1-W)$ 。

4. 计算烟尘容量时须考虑粒子的沉降。由于烟尘的沉降作用, $\bar{H}$ 将随时间有所下降,一般可表示为

$$\bar{H}' = \bar{H} - x_m V_d / \bar{V} \quad (18)$$

式中 $V_d$ 为沉降速度,可由斯托克斯公式推算,当平均粒径为 $30\mu$ 时,可以得到 $V_d = 3.1 \times 10^{-2} \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $\bar{V} = 2.62 \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 当 $\bar{H} = 80\text{m}$ 时,  $x_m = 1980\text{m}$ ,于是得到 $\bar{H}' = 56\text{m}$ ; 类似地可以得到当 $\bar{H} = 60\text{m}$ 时,  $x_m = 1370\text{m}$ ,  $\bar{H}' = 44\text{m}$ 。

综上所述,结合(17)式,可以得到高架源容量计算式:

$$Q_f = 2.94(1+A)E_{w_1} \bar{C}_m \bar{V} \bar{H}_1 d \left(\frac{S}{S_1}\right)^{0.5} (1-W)/(1-P) \quad (19)$$

式中 $\bar{H}_1$ 为高架源平均源高,  $E_{w_1} = 0.6$ ;  $\bar{V} = 2.62 \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $d = 1000\text{m}$ ;  $S = 4 \text{km}^2$ ;  $S_1 = 1 \text{km}^2$ ;  $W = 0.3$ 。如计算烟尘容量则据上面讨论 $\bar{H}_1$ 须由 $\bar{H}'$ 代替。厂区总的大气环境容量则是二者之和,即 $Q_F = Q_f + Q_{f_0}$ 。表3

表 3 茂名石油公司工业区近地面源容量( $Q_{f_0}$ )、高架源容量( $Q_f$ )及总的大气环境容量( $Q_F$ ), ( $\bar{H} = 80\text{m}$ , 环境目标值为二级)

污 染 物	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	烟尘	非甲烷烃	酚
大气环境容量					
$Q_{f_0}(\text{kg}\cdot\text{h}^{-1})$	169	112	338	43	22
$Q_f(\text{kg}\cdot\text{h}^{-1})$	428	284	597	115	57
$Q_F(\text{kg}\cdot\text{h}^{-1})$	597	396	935	158	79
“七五”项目建成后预计排放量	566	387	930	533	63
消减量( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ )				375	

是分别根据(14)、(15)式及(19)式计算得到的茂名石油公司工业区各主要污染物

之大气环境容量 ( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ )。

为了证实该表的正确性, 我们进行如下实例分析。从表中可知当  $\bar{H}_1 = 80\text{m}$  时, 二级环境目标条件下高架源容量  $Q_f = 119 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1} = 428\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ; 而地面源容量  $Q_0 = 47 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1} = 169\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ 。以此为污染源排放参数, 用前面介绍的模式计算其迭加最大一次浓度为  $0.492\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (见图2,) 极接近二级

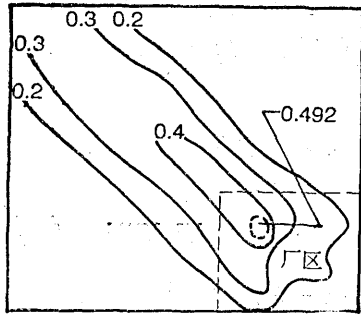


图 2 茂油各类源之迭加  $\text{SO}_2$  浓度 ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )

背景值取上风向测值内插, 源强由容量或允许排放量导出

高架源:  $\bar{H} = 80\text{m}$ ,  $Q = 119\text{g}\cdot\text{s}^{-1} = 428\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$

近地源:  $\bar{H}_0 = 25\text{m}$ ,  $Q_0 = 47\text{g}\cdot\text{s}^{-1} = 169\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$

大气环境标准, 表明所计算的容量是较准确的。

模式计算表明在非均匀风场条件下最大迭加浓度 ( $\text{SO}_2$ ) 略有减小, 为  $0.467\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (见图3), 但仍接近二级一次浓度标

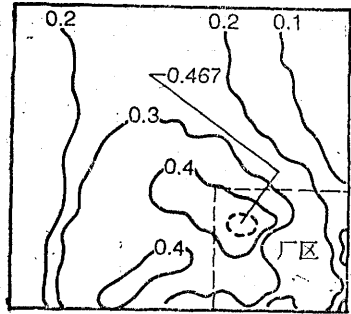


图 3 茂油非均匀风场条件下迭加之  $\text{SO}_2$  浓度 ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )  
源参数同图2

准, 表明在地势较平坦的茂名, 即使风场有时呈现某种非均匀性, 也不会对大气环境容量带来明显影响。

### 参考文献

- (1) 王彦昌等, 中等工业城市大气环境容量的综合研究, 气象科学, 第4期, 1987年。
- (2) P.Zannatti, An improved puff algorithm for plume dispersion simulation, J.Appl. Meteor., 20(10), 1981.

## An approach of evaluation of atmospheric environmental capacity in industrial area

Xiang Kezong

(Guangdong Institute of Tropical Marine Meteorology)

### Abstract

The atmospheric environmental capacity is of great significance to the planning and reasonable distribution of industry as well as the emission control of pollutants. Taking the area of Maoming Oil Industrial Corporation for example, the evaluation method of atmospheric environmental capacity is introduced. The results show that they are basically accordant with the actualities and the method proves to be reasonable.