

污染系数、污染指数和污染机率的评介

曹文俊

提 要

本文对污染系数的三种定义式,从数学、物理概念作了对比分析,并应用扬州十年的风资料,对三种污染系数的玫瑰图和风向频率玫瑰图作了对比,建议采用徐大海的污染系数定义式。文中除了介绍污染指数、污染机率的观念外,还把污染系数与污染机率作了对比。并建议在城市规划设计等工作中,采用污染机率玫瑰图。但文中 I' 的取舍标准及各参数(S 、 p 、 u_i 、 h)的相对值,使用时应谨慎。

污染物排放出来后随平均风向下风方向输送,因此,在城市规划及工厂选址时,一般均需根据当地的风向频率玫瑰图,把污染源置放在最小频率风向上侧,而把居民区安置在其下风一侧。利用风向频率玫瑰图安排城市区划(或工厂的总规划)的优点是:可使居民区受污染的时间最少。但是,因污染物的浓度还与风速大小等因子有关,故上述风向频率仅能说明受污染的时间最少,并不能说明污染的严重程度。为了使常规风资料能在城市规划、工厂布局等方面起到更好的作用,在污染气象学中曾先后引进了污染系数、污染指数、污染机率等概念。本文对此作扼要介绍,并提出作者的看法。

一、关于污染系数

由污染气象学知,在污染物排放量一定的情况下,某一地点空气中污染物的浓度与平均风速成反比,也与风向有关。因此在考虑城市规划时,常用到风的风频与风速。污染系数这个概念,从解放后由苏联引入后,其含义正在逐渐变化。最初从苏联引入的污染系数,其定义式为

$$\beta_i = \frac{f_i}{u_i} \quad (1)$$

其中 β_i 是 i 方位的污染系数, f_i 、 u_i 分别是 i 方位的风向频率与平均风速。(1)式可认为是

1985年2月9日收到,5月8日收到修改稿

污染系数的第一种定义。按此定义所求得的污染系数，有一定的指标意义，因它既已考虑了风向、也考虑了风速的影响。因此，这样定义的污染系数，曾在实际工作中得到较广泛的应用。

在上述污染系数的定义式中，存在两个缺点，从物理角度来看， β_i 的量纲欠妥；从数学上来看，当 u_i 趋于“0”时， β_i 趋于 ∞ 。这表明污染系数的上述定义式并不理想。1979年杨吾扬等^[1]提出了污染系数的新概念。他们主张用下式作为污染系数的定义式

$$\lambda_i = \frac{U}{U + u_i} f_i \quad (2)$$

上式中 λ_i 代表i方位的污染系数， f_i 与 u_i 分别代表i方位的定向风频与平均风速， U 代表该地全年平均风速。(2)式可认为是污染系数的第二种定义。在此定义式内，除具有污染是与风速的一次方成反比的这一基本要求外，其量纲合理(即 λ_i 已变成是一个无量纲的纯数)。另外，即使平均风速趋于零， λ_i 也不趋于 ∞ ，这较合理。可见，用上述表达式当作污染系数的定义式，已有了改进。

在杨吾扬等人的污染系数的定义式中，不足之处是：对静风效应考虑得欠细致。徐大海等人^[2]对此问题又作了改进，他们考虑高架连续点源的情况。污染源在某方位内造成的污染物长期平均浓度，可对高斯扩散公式进行横向积分，然后按一定风频比率均分于该方位而得到，如下式

$$\overline{q}_i = \left(\frac{2}{\pi}\right)^{1/2} \cdot \frac{f_i(Q)}{\sigma_z u_i \cdot r \theta_i} \cdot e^{-H_e^2/2\sigma_z^2} \quad (3)$$

上式中 \overline{q}_i 为地面上第i方位内污染物的平均浓度， Q 为源强， H_e 是有效源高， σ_z 为大气垂直扩散参数， r 为离开点源的水平距离， f_i 为第i方位的风向频率(%)， u_i 为i方位的平均风速， θ_i 是i方位的夹角。

若是静风，此时可设污染物浓度在水平方向的分布仅是距离的函数，而与方向无关；在垂直方向上呈高斯分布。令(2)式中的 $\theta_i = 2\pi$ ， $f_i = f_0$ (静风频率)。另外，根据我国各气象台站所记录的静风，实际上是表示风速在0~1.5米/秒、风向不定的情况，故可令(3)式中的 $u_i = 0.75$ 米/秒。忽略污染物的沉降作用和化学变化。以这些条件代入(3)式后，可得静风时的浓度(平均值) \overline{q}_0 为

$$\overline{q}_0 = \left(\frac{2}{\pi}\right)^{1/2} \cdot \frac{f_0 \cdot Q}{1.5\pi \cdot r \cdot \sigma_z} \cdot e^{-H_e^2/2\sigma_z^2} \quad (4)$$

显然，(3)式与(4)式之和即为全年各方位的污染物的平均浓度。

再令(3)式中的 $u_i = 1$ 米/秒， $f_i = 100\%$ ， $\theta_i = 2\pi$ ，代入(3)式后可得

$$\overline{q}_N = \left(\frac{2}{\pi}\right)^{1/2} \cdot \frac{Q}{2\pi r \cdot \sigma_z} \cdot e^{-H_e^2/2\sigma_z^2} \quad (5)$$

上式中的 \overline{q}_N 代表当风速为1米/秒、不出现静风、并设浓度在各方向呈均匀分布时的浓度值。可把 \overline{q}_N 值当作是衡量浓度相对大小的一种标准。令

$$\alpha_i = \frac{\overline{q_i} + \overline{q_s}}{\overline{q_N}} \quad (6)$$

上式中的 α_i 值代表某一地点污染物长期平均浓度的无量纲的相对值，实质就是污染系数。故(6)式是污染系数的第三种定义方法。若风向采用16方位，则 $\theta = \frac{\pi}{8}$ 。把(2)、(3)、(4)式代入(6)式后可得

$$\alpha_i = 16 \frac{f_i}{u_i} + \frac{1}{0.75} f_s \quad (7)$$

(7)式是徐大海等提出的计算污染系数 α_i 的表达式。按(7)式求得的污染系数，其优点是物理概念清楚；若某方位的 α_i 值大，则该方位的下风向的污染物的长期平均浓度就大。又因此式较好地考虑了静风效应，这才使不同地区的污染系数的比较具有实际意义。

二、污染指数与污染机率

污染系数虽然考虑了风向、风速对污染物浓度的影响，但并未考虑大气稳定度、混合层厚度、降水等对污染物浓度的影响。为做好城市规划工作，近年来提出了污染指数、污染机率等概念。

(一)污染指数

污染指数的概念是张景哲等^[3]于1980年提出的。其定义式为

$$I_i = \frac{S p}{u_i h} \quad (8)$$

其中 I_i 是方位为 i 的污染指数， S 为大气稳定度， p 为降水量， u_i 代表风速， h 为混合层厚度。 S 、 p 、 u_i 、 h 在计算时均需转换成无量纲的相对值，故 I_i 是一个无量纲的相对值。据张景哲等的研究，因大气污染程度随大气稳定的程度而增加，故可把稳定度的 F. Pasquill 分类法中的 A、B、C、D、E 等级别的 S 值，分别取相对值 1、2、3、4、5 等数值。降水的冲洗作用，一般随降水强度的增大而增强，但当降水强度增大到一定值后，冲洗作用的增强就不明显了。降水量 p 的相对量取值法见表 1^[3]

表1 不同降水强度下降水的相对值

降水强度 (毫米/12小时)	0	0.1~4.9	5~14.9	≥15
p (相对值)	1	0.3	0.2	0.1

对 u_i 值言，因污染物浓度与风速成反比，但当风速大于6米/秒后，大气污染程度的减轻就不明显了。风速为 1、2、3、4、5、≥6米/秒时， u_i 的相对值可分别取为 1、3、4、4、5、6^[3]。根据国外研究表明，城市混合层厚度一般是白天比夜间约大1倍，夏季比冬季约大2倍，风速 ≥6米/秒或阴天(云量 8~10时)，白天混合层比晴~多云或风速小于6米/秒时略低，夜间略高。又因大气污染的程度与混合层厚度成反比，故 h 值的相对值可按表

2 取值^[3]。在污染源排放量不变的情况下，若由(8)式算得的 I_i 越大，表明污染越严重。

表2 城市混合层厚度的相对值

晴~多云		(云量0~7)或 风速<6米/秒		阴天(云量8~10)或 风速≥6米/秒	
昼	夜	白昼	夜间	白昼~夜间	
季	夏	6	3	4.5	
	春、秋	4	2	3	
节	冬	2	1	1.5	

(二)污染机率

根据对北京、呼和浩特、长沙等地1978年的气象资料统计分析的结果^[3]，发现当 $I_i \leq 0.80$ 时，大气比较清洁，故可把 $I_i \leq 0.80$ 时的大气称为清洁型；而把 $I_i > 0.80$ 的大气定为污染型。显然，凡是 $I_i \leq 0.80$ 时的风是不会造成污

染的，故在城市规划设计时，不必考虑 $I_i \leq 0.80$ 的风，仅需考虑 $I_i > 0.80$ 的风，为此原因，张景哲等^[3]又提出了污染机率的概念。其定义式为

$$F_i = \frac{\sum_{i=1}^n I'_i}{\sum_{i=1}^N I'_i} \times 100(\%) \quad (9)$$

上式中 F_i 是风向为 i 方位的污染机率； I'_i 是 I_i 值中大于0.80的污染指数； n 是风向为 i 时出现的 $I_i > 0.80$ 的次数； I' 是各风向下的 $I_i > 0.80$ 的污染指数； N 是各风向下的 $I_i > 0.80$ 出现的总次数。

污染机率的优点在于：它已除去了不形成大气污染的那部分风。它不仅考虑了每种风向下能形成大气污染的风的频率，也考虑了每个风向可能出现的污染的程度。

三、风向频率、污染系数、污染机率的比较

(一)风向频率与污染系数的比较

笔者根据扬州市1971~80年各风向下的平均风速、风向频率等资料^[4]，按(1)式、(2)式、(7)式分别计算了污染系数 β_i 、 λ_i 、 α_i 的值。如表3所示。为便于比较，在图1中，分别绘制了扬州市的风向频率玫瑰图和污染系数(λ_i 、 α_i 、 β_i)玫瑰图。通过对比可知：第一，风向频率玫瑰图与污染系数玫瑰图的形状并不全同。例如，扬州市的风频最多的方向是ENE与ESE，但污染系数(λ_i 或 α_i 或 β_i)最大的方向只有ENE；扬州市风频极少的方向是S、SSW、SW、W、WNW，而污染系数(λ_i 或 α_i 或 β_i)最小的方向是WNW。从表3、表4^[3]中，同样也可看出风向频率与污染系数(β_i)间存在一些差别。第二，就污染系数言，

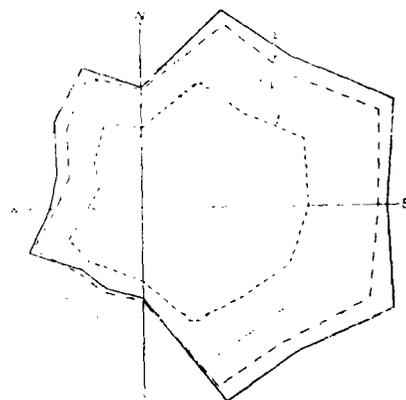


图1 扬州风向频率玫瑰图与污染系数玫瑰图
a 扬州风向频率玫瑰图 b 扬州污染系数(λ_i)玫瑰图 c 扬州污染系数(α_i)玫瑰图 d 扬州污染系数(β_i)玫瑰图

表3 1971~80年扬州市各风向下的平均风速、风向频率、污染系数

风 向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
年平均风速	3.0	3.1	3.1	3.2	3.0	3.4	3.3	3.3	2.6
年平均风向频率	4	7	7	9	8	9	7	7	3
β_i 值	1.3	2.3	2.3	2.8	2.7	2.6	2.1	2.1	1.2
λ_i 值	3.9	6.6	6.6	8.4	7.7	8.1	6.4	6.4	3.1
α_i 值	42.7	57.4	57.4	66.3	64.0	63.7	55.3	55.3	39.8

风 向	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
年平均风速	2.7	2.5	3.0	3.2	3.6	3.6	3.3	0.0
年平均风向频率	3	3	4	3	3	4	5	16
β_i 值	1.1	1.2	1.3	0.9	0.8	1.1	1.5	
λ_i 值	3.1	3.1	3.9	2.8	2.9	3.5	4.6	
α_i 值	39.1	40.5	42.7	36.3	34.7	39.1	45.6	

由三种不同的定义方法所决定出的污染系数 λ_i 、 α_i 、 β_i 也存在一些差别,其中尤以 α_i 与 β_i 、 λ_i 的差异较大。因 α_i 的定义方法较合理,故建议今后宜采用徐大海等的污染系数定义式。

(二)污染系数与污染机率的比较

考虑到目前较多采用的污染系数还是由定义一所得的 β_i ,下面把污染系数(β_i)与污染机率(F_i)作对比。资料可见表4^[3]。在图2中绘出了污染机率玫瑰图和污染系数玫瑰图。由图2可知:污染机率玫瑰图与污染系数玫瑰图存在较大差异。然而从表4来看,虽然风向频率、污染系数(β_i)、污染机率(F_i)之间各不一致,但相对而言,风向频率与污染机率之间的一致性要比风向频率与污染系数之间的一致性要好一些。再从理论上讲,污染机率也比污染系数更好些。

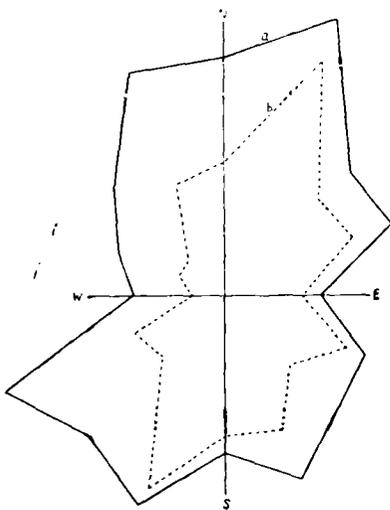


图2 a 北京污染机率(F_i)玫瑰图
b 北京污染系数(β_i)玫瑰图

因此,城市规划等工作中最好采用污染机率玫瑰图作为设计的依据。

表4 1978年北京的风向频率、污染系数、污染机率

风 向	N	NN	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NNW	W	C	
项 风向频率	7	10	4	5	3	5	4	6	6	11	4	4	1	2	3	11	14
项 污染系数(β_i)	2.1		2.2	3	1.3	2.2	1.6	2.4	2.3	3.4	1.4	1.6	0.5	0.8	0.8	2.0	
目 污染机率(F_i)	7.8	9.9	5.9	6.0	3.2	5.1	5.3	6.6	5.2	7.5	6.4	7.9	3.0	3.7	5.1	8.0	

但应注意：(9)式中 I_i 的取舍标准(0.80)及(8)式中所取的各项参数(S、p、 u_i 、h)的相对值，并非对各地一定适用，最好再利用更长的气象资料以及大气污染监测资料，进一步进行统计分析和验证，然后作出抉择，这点是十分重要的。

参 考 文 献

- [1] 杨晋扬等,关于风象在城市和工业布局中的应用,中国科学,1979,11,1101—1107.
- [2] 徐大海等,我国陆地大气污染系数的分布,中国环境科学,1982,1,1—7.
- [3] 张景哲等,风的污染指数和不同风向的污染机率——城市总体规划中风和大气污染问题新探,环境科学3卷,6期,15—19,1982.
- [4] 成小全,略谈扬州市区地面风的变化与大气污染的关系,扬州师院学报(自然科学版),1984,1,80—83.

◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇ 气象学名词咨询服务 ◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇

近年来,随着我国“四化”建设的迅速发展,在体制改革和对外开放形势下,科学技术水平不断提高,新技术不断应用到气象领域,给气象事业的发展带来新局面。同时,与气象学有关的新的和外来的名词术语也大量出现,如果使用不当,势必会出现混乱局面,给今后的学习和研究带来不便。为此,全国气象学名词审定委员会感到有必要开展气象学名词咨询活动,决定在全国范围内开展气象学名词义务咨询服务。各位气象学专家、学者、气象工作者和其它系统的科技工作者均可来函咨询,咨询时请注意以下几点:

1.原则上只解决有关气象方面的新的名词术语,对现有名词在使用中有较大争议的也可提出咨询。

2.咨询外来语译法时请注明出处,并附上咨询者建议译名。

3.全国气象学名词委员会由全国28位气象学专家、教授组成,要求咨询者用下列地址:

北京气象出版社转气象学名词审定委员会办公室

全国气象学名词审定委员会

1986年5月