

# 问题讨论

## 风的污染指数和不同风向污染机率 实际应用的初步分析

韦 献 飞    罗 聪 彪

(广西柳州卫生学校)

北京大学张景哲、刘继韩同志于1982年对城市总体规划中风和大气污染问题进行了探讨<sup>[1]</sup>，并用北京、呼和浩特和长沙1978年的气象资料对这一新概念进行了分析，在理论上阐述了这一新概念的应用情况，但他们没有用三个城市当地实际大气污染监测结果进行验证。为进一步探讨这一新理论的实际应用价值，我们以广西柳州市20年的气象资料计算了污染指数和污染机率，并用同一时期的气象资料计算的污染指数和污染机率与连续三年实际的大气污染监测结果进行统计分析，有关结果论述如下。

### 一、分析 方法

气象资料由柳州气象局提供，按张景哲等提出的风的污染指数计算方法计算出各个风向的污染指数 [Id] 值，然后再用各风向 > 0.8 的所有污染指数值计算出各风向的污染机率 [Fd] 值。

大气监测资料由柳州市环保局提供，共选三个监测指标即 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、降尘。全市共设11个采样点(图1)，按采样点分别求出每个点各季节平均浓度、再根据污染指数及污染机率愈大的方位相应下风侧大气污染愈严重的原理，我们选择了具有代表性的7个方位及其相应下风侧连续三年大气监测结果，按季节分组与同一时期的气象资料(F、I值)进行统计分析。

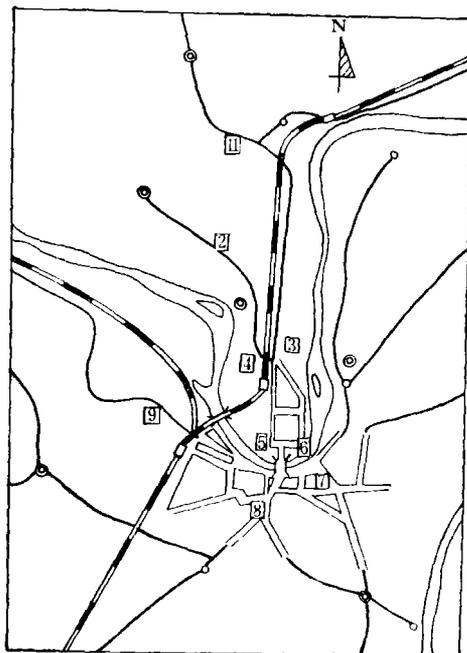


图1 柳州市大气采样点位置  
图中序号为采样点

### 二、结果分析

#### 1. 柳州市20年各风向的污染机率

我们计算了柳州市1963—1982年各风向的污染机率，并用同一时期的气象观测资料计算了风向频率和污染系数(表1)并都换算成可比的百分数(表2)利用表2数据画出风向频率、污染系数、污染机率玫瑰图(图2)。

表1、2图2表明，风向频率小的污染机

表 1 柳州市 1963—1982 年各风向的风向频率、污染系数、污染机率

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
风向频率	10.40	5.57	4.83	1.12	0.64	0.81	2.93	5.18	7.23	3.54	1.35	0.57	0.73	0.74	3.20	11.70	39.46
平均风速	2.51	3.32	2.17	2.35	1.96	1.94	1.96	2.56	3.00	2.98	2.39	2.22	1.91	1.74	2.32	2.81	
污染系数	4.14	1.68	2.23	0.48	0.33	0.42	1.49	2.02	2.41	1.19	0.56	0.26	0.38	0.43	1.38	4.18	
污染机率	20.1	13.7	10.4	2.4	1.2	2.1	5.5	7.0	6.6	3.3	1.1	0.5	0.9	1.4	6.3	17.2	

表 2 柳州市 1963—1982 年各风向频率、污染系数、污染机率值的百分数

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
风向频率	89	48	41	10	5	7	25	44	62	30	12	5	6	6	27	100
污染系数	99	40	53	12	8	10	36	49	58	28	13	6	9	10	33	100
污染机率	100	69	52	12	6	10	27	35	33	16	5	2	4	7	31	86

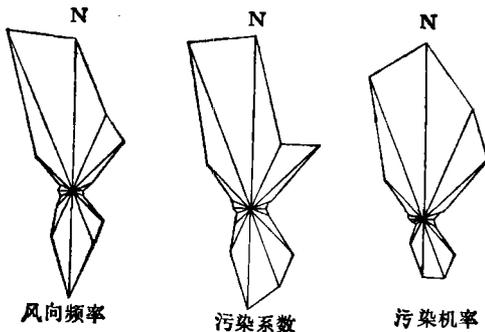


图 2 柳州市 1963—1982 年风向频率、污染系数、污染机率玫瑰图

率并不一定小,如 N、NNE 这两个方位的风向频率只有最大风向频率 (NNW) 的 89% 和 48%, 而这两方位的污染机率却分别高达最大污染机率 (N) 的 100% 和 69%。NNW、S 这二个方位的污染机率为 86% 和 33%, 而这二个方位的风向频率却为 100% 和 63%。按常规风玫瑰图柳州市盛行风向是 NNW, 而污染机率以 N 最为突出。盛行风向与最大污染机率之间相差 22.5 度。因此认为造成柳州市大气污染的主要方位是 N, 其次是 NNW。

## 2. 大气污染程度与污染指数 (I) 的关系

污染指数是综合了几个影响大气污染的重要气象因素的相对值, I 值愈大, 大气污染程度愈重。这里 I 值我们采用了各个方位的季度平均值 (包括小于 0.80 的 I 值)。分别将三项大气污染监测指标 (NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、降尘)

的实测平均浓度 ( $\bar{X}$ ) 与相应的污染指数 (I) 进行相关回归分析, 结果表明 SO<sub>2</sub> 浓度 ( $\bar{X}$ ) 与污染指数 (I) 相关性较好, NO<sub>x</sub> 和降尘与污染指数没有明显的相关性。应用统计方法<sup>[2]</sup>, 计算出 a、b 值, 因而得到回归方程:

$$\bar{X} = aI^b$$

同时求出相关系数 r (表 3、4、5)。

表 3 SO<sub>2</sub> 的  $\bar{X}$  与 I 关系式的参数值

采样点号	a	b	r	样本数	显著性检验
2 号	0.1994	1.7554	0.825	20	P < 0.05
3 号	0.2183	0.0460	0.146	20	P > 0.05
4 号	0.2260	-0.1238	-0.108	20	P > 0.05
6 号	0.3873	0.1864	0.070	20	P > 0.05
7 号	1.1969	1.8618	0.825	20	P < 0.05
8 号	0.7157	2.0386	0.881	20	P < 0.05
9 号	0.1072	0.6280	0.680	20	P < 0.05

表 4 NO<sub>x</sub> 的  $\bar{X}$  与 I 关系式的参数值

采样点号	a	b	r	样本数	显著性检验
2 号	0.0335	0.6096	0.064	20	P > 0.05
3 号	0.0192	0.0180	0.153	20	P > 0.05
4 号	0.0176	-0.4958	-0.473	20	P < 0.05
6 号	0.0324	0.3240	0.462	20	P < 0.05
7 号	0.1717	1.7467	0.719	20	P < 0.05
8 号	0.0611	-0.6871	-0.465	20	P < 0.05
9 号	0.0139	-0.9549	-0.472	20	P < 0.05

从表 3 可以看出, 除 3、4、6 号采样点相关性较差外, 其余各采样点 SO<sub>2</sub> 的  $\bar{X}$  值与 I

表 5 降尘的  $\bar{X}$  与  $I$  关系式的参数值

采样点号	$a$	$b$	$r$	样本数	显著性检验
2 号	20.5259	-0.1577	-0.264	12	$P > 0.05$
3 号	28.2985	-0.1314	-0.282	12	$P > 0.05$
4 号	35.3554	0.0185	-0.021	12	$P > 0.05$
6 号	19.0990	-0.1005	-0.059	12	$P > 0.05$
7 号	12.8178	-0.3093	-0.148	12	$P > 0.05$
8 号	34.7978	0.3136	0.273	11	$P > 0.05$
9 号	28.1874	0.1622	0.271	11	$P > 0.05$

值呈幂指数相关,污染指数愈大,大气中  $SO_2$  污染程度愈重。

表 4 说明,有的采样点  $NO_x$  与污染指数呈正相关,有的呈负相关,总之没有明显的规律性。

降尘与污染指数的关系,虽然  $t$  检验相关系数没有显著性意义,但降尘量的  $\bar{X}$  值与  $I$  值呈负相关趋势,即污染指数愈大,大气中降尘污染程度愈小,见表 5。

表 6  $SO_2$  的  $\bar{X}$  值与  $F$  值的关系

采样点号	$r$	样本数	显著性检验
2 号	0.526	20	$P < 0.05$
3 号	-0.591	20	$P < 0.05$
4 号	-0.841	20	$P < 0.05$
6 号	-0.441	20	$P > 0.05$
7 号	-0.270	20	$P > 0.05$
8 号	0.338	20	$P > 0.05$
9 号	0.138	20	$P > 0.05$

3. 大气污染程度与污染机率( $F$ )的关系  
 污染机率  $F$  是把不生成大气污染那部分风除去,单考虑可能造成大气污染的那部分风。 $SO_2$ 、 $NO_x$  和降尘量的  $\bar{X}$  值与  $F$  值的相关分析结果见表 6、7、8。

表 6 表明  $SO_2$  实测浓度与污染机率的关系,除第 2 第 8 和第 9 号采样点为正相关外,其余 4 个采样点均呈负相关,而第 3、第 4 和第 6 号采样点负相关程度较好,这说明大气污染程度不是随污染机率的增加而加重。

表 7 表明,除第 7 号采样点外,大气中  $NO_x$  实测浓度与污染机率呈明显的负相关,

表 7  $NO_x$  的  $\bar{X}$  值与  $F$  值的关系

采样点号	$r$	样本数	显著性检验
2 号	-0.609	20	$P < 0.05$
3 号	-0.694	20	$P < 0.05$
4 号	-0.822	20	$P < 0.05$
6 号	-0.737	20	$P < 0.05$
7 号	0.069	20	$P > 0.05$
8 号	-0.117	20	$P > 0.05$
9 号	-0.568	20	$P < 0.05$

表 8 降尘的  $\bar{X}$  值与  $F$  值的关系

采样点号	$r$	样本数	显著性检验
2 号	-0.620	12	$P < 0.05$
3 号	0.356	12	$P > 0.05$
4 号	0.337	12	$P > 0.05$
6 号	-0.458	12	$P > 0.05$
7 号	-0.164	12	$P > 0.05$
8 号	0.665	11	$P < 0.05$
9 号	-0.235	11	$P > 0.05$

即随着污染机率的增大,大气中  $NO_x$  污染程度减轻。

降尘量与污染机率之间的关系没有明显的规律性,有的采样点负相关,有的采样点呈正相关,见表 8。

上述结论证明污染机率大的,其相应下风侧大气污染程度不一定严重。相反,其相应下风侧大气污染程度呈减轻的趋势。由此可见污染机率在实际应用中用作城市总体规划,合理布局工业区与居住区,仍不能很好地避免或减轻城市的大气污染。

### 三、存在的问题及讨论

1. 本文的初步分析结果表明,  $F$  值在应用过程中与大气污染实际情况不相符,这一结论就否定了污染机率在城市总体规划中的实用意义,值得进一步研究的是污染指数值(包括了  $I \leq 0.8$  的数值)与大气中  $SO_2$  的污染程度存在着较好的相关性,这证明了随着  $I$  值增大污染程度也增强,那么为什么把  $I > 0.8$  的值换算成  $F$  值后,  $F$  值与大气污染就没

有明显的相关性呢?我们的分析发现,造成  $F$  值与真实污染不相符的原因有二:一是由于  $I$  的界限值定为 0.8 不合理,另一是  $F$  值计算式不合理。对于前者,我们作进一步的探讨,分别用  $I > 0.6$  和  $I > 0.4$  的污染指数值计算  $F$  值,然后再用相应方法与下风侧的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和降尘监测浓度进行比较分析,结果仍没有相关性,这说明了除去  $\leq 0.8$  的  $I$  值对  $F$  值的计算影响不大。那么造成  $F$  值与真实污染不相符的原因是否计算式不合理?从  $F$  值的计算式可以看出其设计原理与建立风向频率的计算式是基本一致的。这样污染机率也主要反映出造成某个下风侧污染频率,至于污染的程度就不能很好地反映出来了。另一方面污染机率计算式是在仅考虑可能生成大气污染的那部分风的前提下,反映污染的频率和程度,而不利于污染物扩散的气象因素在一定范围内与污染物浓度呈线性相关,超过一定范围这种线性相关就不明显了,所以污染机率在已产生污染的前提下再反映污染程度就不明显了。当  $F$  值增大,污染物浓度呈轻度增大时,浓度的增大在统计学上是没有差异的,从而导致了  $F$  值与污染实际不相符的原因。我们的分析结果也证明了这一点,当  $I > 0.8$  后污染程度随  $I$  值的增大而加重就不明显了。张景哲认为  $F$  值把不生成大气污染的那部分风除去,实质上除去了  $\leq 0.8$  的  $I$  值,而  $\leq 0.8$  的  $I$  值仍包含了容易生成大气污染的风。例如我们所分析的资料中,当风速为 1 米/秒时,相当一部分  $I$  值仍然  $< 0.8$ , 这样就把易生成大气污染的风也去掉了。这显然是不合理的。

2. 从  $I$  值的计算式  $(I_d = \frac{sP}{uh})$  可知,大气稳定度相对值  $s$  与大气污染程度成正比。而稳定度转换为无量纲的相对值  $s$  过程中<sup>[3]</sup>, 可以看出  $s$  值与大气污染程度成反比而不是正比。如按张景哲的结论,在夏季白昼晴天云量为 0—2 时,大气稳定度随风速的增大而

增大,即风速愈大  $s$  值愈大,  $s$  值越大  $I$  值(污染指数)越大、大气污染程度越重。这一结论表明,风速增大大气污染程度加重,反之风速小污染程度减轻。由此可见这一结论与实际大气污染情况是不相符的。因为风速大,排出大气中的有害物质易于稀释扩散,有害物质浓度降低,大气污染程度减轻。从柳州市  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和降尘的实测浓度与污染机率的关系也证实了这一点(见表 6、7、8)。污染机率与大气污染程度呈负相关,即大气污染程度和污染机率呈反比而不是正比。根据柳州市的实际情况,这一结论对于高架源来说,基本上仍能成立。所以我们认为在有害物质排放量排放高度和其它气象条件不变的情况下,风速大大气污染减轻,即  $s$  值应与大气污染程度成反比而不是正比,因而  $s$  值与大气污染程度成正比的结论是不正确的。

3. 根据张景哲对  $I$  值的分级,他把  $I \leq 0.8$  归于大气清洁型,  $I > 0.8$  归于大气污染类型,其根据是出现降水时计算的  $I$  值而提出的,凡出现降水时  $I$  值都很小(不会大于 0.8),以此作为划分污染与清洁的界限缺乏大气污染程度的客观依据是不够合理的。例如当降雨量为零点几毫米而降雨持续时间不长,这样的降雨对大气污染物没有明显的清除作用,这时  $I$  值仍  $< 0.8$ 。由此可见,如果降雨很少的情况下计算的  $I$  值必定忽视了其它气象因素的作用,而过分地强调了降雨作用。从我们统计的资料表明,当  $I < 0.8$  时,也存在着不同程度的污染,因此我们认为不同降水强度下的降雨相对值应加以改正。

#### 四、小 结

本文引用了柳州市 20 年的气象资料与连续三年的大气污染监测结果,对北京大学张景哲、刘继韩同志提出的“风的污染指数和风的污染机率”的实际应用进行了初步分析。分析结果表明风的污染机率与大气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和降尘实 (下转第 81 页)

但从表中也可以看出,对这两个样品选用  $A_3B_3C_2$  时的数据也是很高的(表中框出的数据)。它是所有数据中的次高值,与最高数据相差甚小,因此完全可以利用  $A_3B_3C_2$  的条件进行 Mn 的测定。

### 六、最佳条件的验证

为了验证这组最佳条件能否适用于不同地区样品的不同元素,我们选取了北京、内蒙、湖南与云南四省市六个亚类八个样品的 15 种元素进行高压法与  $HNO_3-HClO_4$  消解法的比较实验。操作按本文第一节所描述的方法进行。每个样品均作平行试验,二个平行样品的误差均在允许范围之内,所得结果列于表 3,表中数据为二个平行样品的平均数。

对表 3 中 120 对分析数据的简单统计分析表明,方法相对偏差正值出现 25 次,占 20.8%,0 值出现 40 次占 33.4%,二者合计占 54.2%,负值出现 55 次占 45.8%。总的看来,高压法略优于  $HNO_3-HClO_4$  法。

对所测定的每种元素而言,如果把 8 个样品的方法相对偏差求出均值,以说明该方法应用于各种元素所引起的平均相对偏差,则正值出现于 4 种元素: Cr (202.8%)、Ca (2.5%)、Cd(0.9%) 和 Mg(0.8%); 0 值出现于一种元素 Pb; 负值出现于 10 种元素: Ti(-35.1%)、Sb(-10.8%)、Ni(-9.2%)、Na(-6.4%)、Al(-5.4%)、K(-4.2%)、Fe(-4.1%)、Co(-3.8%)、Cu(-3.3%) 和 Zn(-3.1%)。

(上接第85页)

测浓度没有明显的相关性,这就说明了污染机率与柳州市实际应用不相符,所以污染机率在城市总体规划中不一定实用。同时指数分级、相对值的换算,  $I$  值及  $F$  值的计算式等方面还存在着不合理的地方,这些都有待于在实际应用中加以改正。污染指数和污染机

率是否可在其它类型的城市如平原、北方,气候干燥等地应用有待于进一步研究。

上述 15 个数据的总平均偏差(以中位数计算)为 -4.15%。说明对所测 15 种元素而言,总的平均偏差在 -5% 以内。

这 15 种元素,可以分为三组:

1. 高压法最宜于测定 Cr、Ca、Cd、Mg 和 Pb 五种元素,所得数据等于或高于  $HNO_3-HClO_4$  法;

2. 高压法可用于测定 Zn、Cu、Co、Fe 和 K,这时所得数据可能比  $HNO_3-HClO_4$  法低,但不低于 5%;

3. 高压法用于测定 Sb、Ni、Na 和 Al 时所得结果较差,比  $HNO_3-HClO_4$  法低 10.8—5.4%,测定 Ti 最差,低 35.1%。

上述仅系我们把高压法应用于为数不多的样品和 15 种元素时得出来的初步结论,对于更广泛的地区与更多的元素的适用性尚有待于对本法有兴趣的同行进一步验证。

### 七、结 论

1. 高压消解法能较广泛地应用于测定土壤与沉积物中的多种金属元素,并具有足够的精密度与准确度。

2. 此方法在本实验室的最佳条件为: 2.2 大气压、1:1  $HNO_3$ 、消解 4 小时。这组条件用于不同土壤样品的 15 个元素测定,得到较好的结果。

3. 高压法具有省时、设备简便、便于处理大批样品、安全、不爆沸、不需要通风设备、避免样品炭化与挥发等优点。可作为实验室的常规方法使用。

### 参 考 文 献

- [1] 张景哲,刘继韩,环境科学,3(6),15(1982).
- [2] 中国科学院数学研究所,回归分析方法,科学出版社,1975年.
- [3] Pasquill, F., Meteor. Mag., 90(1), 33(1961).