

技术与方法

用气候学方法计算P-T大气稳定度频率

易海涛

(冶金部建筑研究院)

把大气状况按稳定度程度分类,并统计各稳定度出现的频率,是污染气象工作的基本内容之一。其中按Pasquill-Turner用常规气象资料划分大气稳定度的方法(以下简称P-T法),由于其简便易行,应用十分广泛。但以长年观测的原始数据划分逐日逐时的大气稳定度,再统计各级稳定度出现的频率,工作量是很大的。因此寻求一种更简便的方法来得到多年平均的大气稳定度频率是有意义的。这将使我们有可能在短时间内普查大范围的P-T稳定度频率分布或迅速了解某一地区的P-T大气稳定度分布的基本特征。

一、基本思路

P-T划分大气稳定度的方法可用三个因子即:太阳高度角、云量和风速。实际上是以这三个因子将所考虑的时刻进行条件分类,然后统计其出现频率,得到条件频率分布。

以 F 表示稳定度概率密度函数,则:

$$F=F(h,n,u) \quad (1)$$

式中 h 为太阳高度角, n 为云量, u 为风速。 F 是三事件之积。假定 h 、 n 、 u 是相互独立的变量,则有:

$$F(h,n,u)=f_1(h)f_2(n)f_3(u) \quad (2)$$

$f_i (i=1, 2, \dots, N)$ 为概率密度函数。式(2)说明,在假设的前提下,只要知道了云量,太阳高度角、风速的概率分布,就可以计算出稳定度的概率分布,而不需再去作费时费工的条件分类。对于长期平均而言,太阳高度、云量、风速都有一定的统计频率分布。统计单个要素的频率分布比统计条件频率分布要容易得多。

二、方法

为了简明起见,把P-T分类方法分别列于表1、表2。我们完全遵从P-T分类法给出的临界条件。对于我们所要分析的时段计算出各级太阳高度角,各级云量,各级风速(都分成5级)出现的频率。太阳高度角是公式计算得到的,云量用台站四次定时观测资料,风速频率可用韦伯分布^[1]或其他适当的分布拟合计算出来。按表1,表2中太阳高度角,云量和风速的分级:

$$\begin{aligned} \sum_{i,j,k} F(h_i, n_j, u_k) &= \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^5 f_1(h_i) f_2(n_j) f_3(u_k) = \sum_{k=1}^5 f_3(u_k) \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 f_1(h_i) f_2(n_j) \\ &= \sum_{k=1}^5 f_3(u_k) \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 f_4(h_i, n_j) = \sum_{k=1}^5 f_3(u_k) \sum_{i=1}^6 f_5(s_i) \end{aligned} \quad (3)$$

太阳辐射等级

表 1

云 量	太 阳 高 度 角				
总云量/低云量	夜 间	$h \leq 15^\circ$	$15^\circ < h \leq 35^\circ$	$35^\circ < h \leq 65^\circ$	$h < 65^\circ$
$\leq 4/\leq 4$	-2	-1	+1	+2	+3
$5 \sim 7/\leq 4$	-1	0	+1	+2	+3
$\geq 8/\leq 4$	-1	0	0	+1	+1
$\geq 7/5 \sim 7$	0	0	0	0	+1
$\geq 8/\geq 8$	0	0	0	0	0

大气稳定度等级

表 2

地 面 风 速	太 阳 辐 射 等 级					
m/s	+3	+2	+1	0	-1	-2
≤ 1.9	A	A	B	D	E	F
2~2.9	A	B	C	D	E	F
3~4.9	B	B	C	D	D	E
5~5.9	C	C	D	D	D	D
≥ 6	C	D	D	D	D	D

式中 $f_s(h_i, n_j)$ 是表 1 以概率函数表示的形式, s 为太阳辐射等级。将表 1 中相同辐射等级的频率相加, 以 $f_s(s_i)$ 表示各辐射等级出现的频率。

$$\text{又 } \sum_{k=1}^5 f_s(u_k) \sum_{i=1}^6 f_s(s) = \sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^6 f_s(u_k, s_i) = \sum_{i=1}^6 f_r(i) = 1 \quad (4)$$

上式中 $f_s(u_k, s_i)$ 即是表 2 以概率函数表示的形式。将表 2 中相同稳定度的频率相加, 以 $f_r(i)$ 表示稳定度为 i 的频率。稳定度类 A-F, 分别以 1-6 表示。

三、计算实例

以计算包头 5 年平均的稳定度频率为例来说明上述方法应用的可行性。

统计各级云量出现的频率; 从公式计算出各级太阳高度角出现的频率; 依照表 1 得到表 3。将表 3 中相同辐射等级的频率相加, 用韦伯分布算出各级风速出现的频率, 依表 2 得到表 4。将表 4 中相同稳定度的频率相加, 结果如表 5。

各级云量—太阳高度角时的辐射强度频率

表 3

序 号	序 号	1	2	3	4	5
	等 级	夜 间	$15^\circ \geq h$	$15^\circ < h \leq 35^\circ$	$35^\circ < h \leq 65^\circ$	$h > 65^\circ$
号	频 率	0.4828	0.1401	0.1911	0.1596	0.0288
1	$\leq 4/\leq 4$	0.6184	0.2986 ⁻²	0.0866 ⁻¹	0.1182 ⁺¹	0.0178 ⁺³
2	$5 \sim 7/\leq 4$	0.0629	0.0304 ⁻¹	0.0088 [°]	0.0120 ⁺¹	0.0018 ⁺³
3	$\geq 8/\leq 4$	0.2379	0.1147 ⁻¹	0.0333 [°]	0.0454 [°]	0.0068 ⁺¹
4	$\geq 7/5 \sim 7$	0.0289	0.0140 [°]	0.0040 [°]	0.0055 [°]	0.0008 ⁺¹
5	$8 \geq \geq 8$	0.0522	0.0252 [°]	0.0073 [°]	0.0100 [°]	0.0015 [°]

我们用这种方法计算了包头 1976~1980 年 5 年平均的各月稳定度频率和贵溪 1977~1981

各级风速—辐射强度时的稳定度频率

表 4

序 号	序 号		1	2	3	4	5	6
	等 级	频 率	+3	+2	+1	0	-1	-2
			0.0196	0.1087	0.1757	0.1678	0.2317	0.2986
1	$u \leq 1.9$	0.4797	0.0094 ^A	0.0521 ^A	0.0843 ^B	0.0805 ^D	0.1111 ^E	0.1432 ^F
2	$1.9 < u \leq 3$	0.1894	0.0037 ^A	0.0206 ^B	0.0333 ^C	0.0318 ^D	0.0439 ^E	0.0566 ^F
3	$3 < u \leq 5$	0.1946	0.0038 ^B	0.0212 ^B	0.0342 ^C	0.0327 ^D	0.0451 ^D	0.0581 ^E
4	$5 < u < 6$	0.0508	0.0010 ^C	0.0055 ^C	0.0089 ^D	0.0085 ^D	0.0118 ^D	0.0152 ^D
5	$u \geq 6$	0.0858	0.0017 ^C	0.0093 ^D	0.0151 ^D	0.0144 ^D	0.0199 ^D	0.0256 ^D

用两种方法得到的包头五年平均的P—T稳定度频率

表 5

	A	B	C	D	E	F
P-T计算值 (已修正)	4.5	13.0	7.6	31.6	21.3	22.0
P-T统计值	2.9	13.8	10.5	29.3	20.8	23.1

年5年平均的各月稳定度频率。经与统计结果比较,发现A、F类偏差较大且有规律。原因是 h , n , u 相互独立的假定不真。以风速来说,在各太阳高度下就不是等概率分布的。中午太阳高度最高风速往往达到全天中最大值。所以我们必然高估了不稳定类而低估了稳定度的频率。为此,考虑风速日变化根据事后的分析结果设计一个简单的修正方法。令修正前的值以相应的字母带“'”号。

$$A=A'-A'\Delta/\bar{u} \tag{5}$$

$$F=F'+A'\Delta/\bar{u} \tag{6}$$

式中 Δ 表示风速日变化振幅(可用平均风速的日较差的一半代替), $\bar{u}$ 为平均风速。在A类没有的时段,以B类作同样修正。由于所研究的例子有限,还没有合适的方法修正其他类别。

对于包头、贵溪的资料,各月统计得到的稳定度频率与依概率计算并经式(5)、(6)修正后得到的稳定度频率的比较结果于表6,均方误差是按下式计算的。

$$\text{均方误差} = \left[\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\text{统计的实际值} - \text{理论计算值})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{7}$$

[包头, $M=13$, 贵溪 $M=12$],

从表6中看出,计算结果与统计结果的偏差不大。

四、各稳定度时平均风速

在划分稳定度时已经考虑了风速,但由于其他条件的不同,相同的风速可导致不同的稳定度,不同的风速也可有相同的稳定度。所以在污染气象的研究中,常常还需统计各稳定度时的平均风速。我们从表4中得到启发,若已知各风速段的平均风速,则以表中各稳定度的频率作加权平均,可求得各稳定度时的平均风速。

$$\bar{u}_i = \sum_{j=1}^N u_j H_{ij} / \sum_{j=1}^N H_{ij} \tag{8}$$

式中 $\bar{u}_i$ 为稳定度 i 时的平均风速, H_{ij} 为风速为 u_j 时稳定度 i 的频率。 N 为表4中 i 稳定度

的项数。各风速段的平均风速根据所用的风速分布函数可以求出。我们用韦伯分布拟合风速，所算各月及全年小于6米/秒的各风速段的平均风速变化不大。 $u \leq 1.9$ 米/秒时， $\bar{u} = 0.95$ 米/秒； $1.9 < u \leq 3$ 时， $\bar{u} = 2.5$ ； $3 < u \leq 5$ 时 $\bar{u} = 3.8$ ； $5 < u \leq 6$ 时 $\bar{u} = 5.5$ ，但计算的 $u \leq 1.9$ 米/秒风速段的平均风速与实际值有较大偏差，用式(8)时取 $u \leq 1.9$ 米/秒段的平均风速为1.3米/秒。这样，各月小于6米/秒的各风速段的平均风速都可取定值

在计算各月稳定度频率的基础上，依式(8)也计算了包头5年平均的各月及全年各稳定度时的平均风速。与实际统计结果的比较见表6。

两种方法得到的P-T稳定度频率及平均风速的比较

表 6

	A	B	C	D	E	F
包头稳定度频率均方误差(%)	1.3	2.5	3.2	3.6	1.8	2.1
贵溪稳定度频率均方误差(%)	0.7	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4
包头平均风速均方误差(米/秒)	0.14	0.48	0.27	0.31	0.14	0.07

注：贵溪用统计方法得到的P-T稳定度频率是用4次定时观测资料得出的

五、小 结

用气候学方法计算P-T大气稳定度频率及各稳定度时平均风速，比起逐日逐时的分类统计大大减少了工作量。而所得结果误差不大。在大气扩散的环境评价工作中可满足精度要求。

按文献[1]的提示，用平均风速和最大风速即可得到风速韦伯分布的参数，从而确定具体函数形式。计算中，唯一需要统计的是云量，可用台站的4次定时观测来统计。

造成的误差可能来源于几个方面：平均时段欠长，云量观测不密，风速概率模式欠佳，三个变量不独立等。在计算包头的稳定度频率时，统计与计算两种方法所用云量不一样（统计分用包头民航站云量观测资料，并内插补齐到每小时都有值；计算时用包头台4次定时观测云量），可能是产生偏差的主要原因。在计算贵溪的稳定度频率时，因统计与计算所用云量相一致且都是4次观测。故其结果比前者要好。这种气候学的计算方法还有一个优点，即求取平均稳定度的平均时段愈长，不仅结果愈精确，且不增加多少工作量。

参 考 文 献

- [1] 屠其璞，气象教育与科技，(4)，19~24(1980)。