

沈阳地区大气边界层内风随高度变化规律分析*

袁国恩

(辽宁省气象科学研究所)

一、引言

研究风的时空变化规律与边界层中大气污染物的扩散与输送,对分析某一地区大气污染状况是必不可少的步骤。

由于大气总是处于湍流运动状态,一般风速越大,则湍流脉动速度也越大,而污染物的湍流交换作用和混合作用也就越强,越有利于污染物的扩散。风速的平流输送作用远大于该方向的湍流作用。

二、资源来源与处理

本文所使用的资料取自辽宁省气象局气象台(即沈阳市南湖气象台)。地面风得自地面观测场的测风记录。高空风是每日07时和19时两个时次的雷达测风,以及01时的小球测风。资料年代从1975年至1977年。01小球测风高度取地面(10米,下同)、100米、300米、500米、600米、700米、900米和1000米共八个高度。07时与19时雷达测风取地面、200米、300米、500米、600米、900米和1000米共七个高度。风速单位为1米/秒,风向采用360度。统计时,平均风速取小数一位,风向按N、NE、E、SE、S、SW、W、NW八个方位。

另外,对沈阳市地面风基本特征的分析中,还使用了1961年到1970年十年的平均值。在风随高度变化分析中使用的地面风资料,是以1975年到1977年高空风观测时地面01时、07时和19时的资料统计分析的。

三、地面风的基本特征

从沈阳1、4、7、10这四个代表月份平均风速的日变化曲线图1中可以看出,无论哪个季节,平均风速均是白天大于夜间,都在13时达到日最大值。从晚间19时到次日08时平均风速变化较小,且其值远远小于白天的数值。春天,白天平均风速的最大值可等于晚间最小值的2.5倍左右,而冬、夏、秋三季约为2倍左右。因此,就一日之中风速变化而言,白天,特别是中午前后,对大气污染物的扩散与输送是有利的,而傍晚、夜间和清晨均是不利的。

为了分析风的季节变化,我们绘制了地面月平均风速的年变化曲线图2及1、4、7、10月和年的风向频率图3,统计了各月最多风向及频率表1。从图2中我们可以看出,曲线的两个峰值是4月和11月,也就是说,春秋两季的平均风速较强,春季最大,秋季居次,而冬夏两季的平均风速较小,其峰谷之间达1.7倍左右,这也说明了单就风速而言、冬

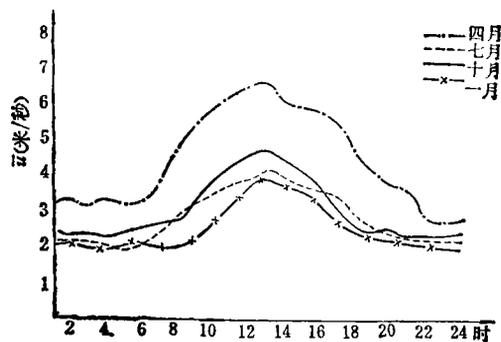


图1 地面平均风速日变化曲线

* 官福久、单成军、李文生同志参加了部分工作。

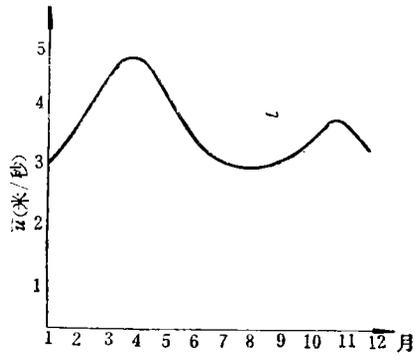


图2 地面月平均风速的年变化曲线

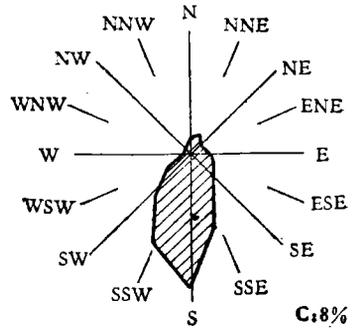


图3c 七月地面风向频率图

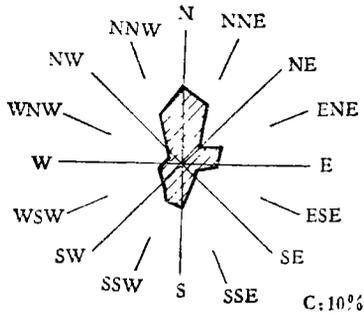


图3a 一月地面风向频率图

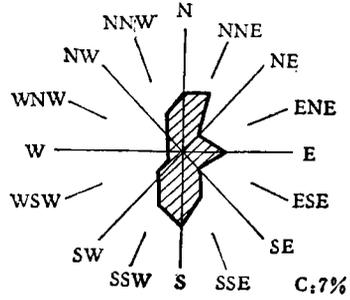


图3d 十月地面风向频率图

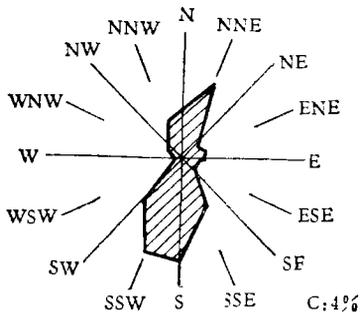


图3b 四月地面风向频率图

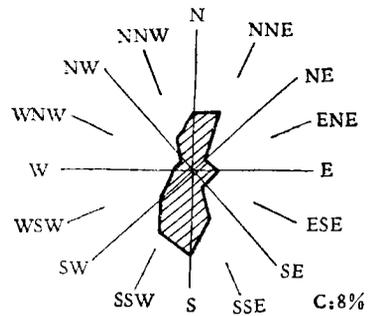


图3e 全年地面风向频率图。

表1 地面各月最多风向及频率(%)

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
最多风向	N	N	N S	S SSW	SSW	S	S	S	S	S NNE	N	N	S
频率(%)	12	15	12	16	17	19	21	15	13	11	14	13	14

表2 沈阳地区静风、小风频率(%)

项目 \ 时	1			2			3			4			5			6		
	01	07	19	01	07	19	01	07	19	01	07	19	01	07	19	01	07	19
静风(%)	20.4	11.8	16.1	21.4	9.5	12.9	14.0	5.4	10.1	10.2	2.2	8.9	14.4	3.2	3.2	21.6	8.9	11.1
小风(%)	38.7	53.8	43.0	35.7	48.8	42.4	37.6	49.5	35.5	46.6	47.8	34.4	40.0	25.6	30.1	42.0	45.6	43.3
静风、小风(%)	59.1	65.6	59.1	57.1	58.3	55.3	51.6	54.9	46.3	56.8	50.0	43.3	54.4	29.0	33.3	63.6	54.5	54.4

项目 \ 时	7			8			9			10			11			12		
	01	07	19	01	07	19	01	07	19	01	07	19	01	07	19	01	07	19
静风(%)	17.4	11.0	19.4	23.1	8.6	18.3	20.5	4.4	13.3	25.3	7.5	8.6	19.3	8.9	17.0	25.0	6.5	8.6
小风(%)	44.4	47.3	40.9	45.1	53.8	48.4	40.9	51.1	38.9	35.2	40.9	34.4	48.9	56.7	44.3	48.9	49.5	55.9
静风、小风(%)	61.8	58.3	60.3	68.2	62.4	66.7	61.4	55.5	52.2	60.5	48.4	43.0	68.2	65.6	61.3	73.9	56.0	64.5

夏两季不利于大气污染物的扩散与输送。

从风向频率图3和表1中,我们可以看出沈阳地区近地层中大气污染物的输送是以南北向交替输送为主,但向北的输送稍大于向南的输送,这一点对沈阳市城市的规划和工厂的座落是十分重要的。

另外,在静风和小风的情况下(以风速≤2米/秒为小风)是最不利于大气污染物的扩散与输送的。沈阳地区1、4、7、10月静风出现的频率各为10%、4%、8%和7%,全年平均是8%。我们还利用1975年到1977年的资料,统计了沈阳地区01、07、19时的静风,小风频率,列于表2中,从中可以看出,沈阳地区此三个时刻的静风频率一般在10%左右,小风频率在40%左右。无论哪个季节和时刻,小风与静风的频率之和一般都在50%以上,最高者可达73.9%(12月)。

四、风随高度的变化

在大气边界层内,无论是风向、风速随高度都有很大的变化,造成这一变化的原因是由于摩擦力随高度的变化而引起的。到某一高度,地面摩擦影响基本消失,其高度就是大气边界上层的上界,它的高度约1000米左右。我们讨论的就是这一层内风的变化。

(一) 风速随高度的变化

在大气边界层内,平均风速随高度增加而明显地增大。一般来说,在几十米到100米以下,用对数公式去拟合平均风速廓线效果较好,而在几百米高度之内,一般都采用赫尔曼(Helmann)的指数公式来表示平均风速廓线:

$$\bar{u}(z) = \bar{u}(z_1) \left(\frac{z}{z_1} \right)^m$$

这里 $\bar{u}(z_1)$ 是指标准高度的风速,一般

表3 参数 m 对粗糙度 z_0 的依赖关系

z (米) \ z_0 (厘米)	0.2	1	2	10	20	50	100	200
50	0.107	0.132	0.143	0.186	0.214	0.267	0.329	0.431
100	0.104	0.126	0.137	0.176	0.201	0.247	0.301	0.386

表4 沈阳地区各月及年平均风速铅直分布的 m 值

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
m 值	0.33	0.27	0.31	0.31	0.28	0.33	0.31	0.32	0.32	0.31	0.33	0.32	0.32

表5 各高度月及年平均风速 (单位: 米/秒)

月 份 \ 高度(米)	地面	100	200	300	500	600	700	900	1000
1	2.2	5.1	6.4	6.6	7.6	8.2	8.5	9.2	9.4
2	2.8	5.2	7.4	7.6	8.3	8.5	8.9	9.1	9.0
3	2.9	6.5	8.4	9.0	9.5	10.0	9.7	10.1	10.1
4	2.9	6.4	8.1	9.1	9.7	10.2	10.2	10.4	10.5
5	3.6	7.3	9.0	9.8	10.7	11.2	11.4	11.3	11.4
6	2.3	5.3	6.7	7.5	8.3	8.8	9.3	9.3	9.3
7	2.3	5.4	5.9	7.1	7.5	7.9	8.5	8.0	7.9
8	2.0	4.8	5.9	6.3	6.7	6.9	7.0	6.9	6.8
9	2.3	5.8	6.9	7.4	7.5	7.8	7.6	7.8	7.7
10	2.6	5.7	7.6	8.2	8.7	9.0	8.8	9.2	9.3
11	2.2	5.2	6.8	7.3	7.9	8.4	8.3	8.5	8.6
12	2.3	4.8	6.8	7.1	7.7	8.1	9.5	8.7	9.0
年 平均	2.5	5.6	7.2	7.8	8.4	8.9	9.0	9.0	9.1

采用气象站观测的距地面 10 米高度的风速。指数 m 是一个较复杂的参数,它与温度层结、地面粗糙度、风速的大小均有关,它随不同的大气状况和不同的地点而变化。实验指出, m 值随地面的粗糙度增大而增大,随风速的增大而减小。然而,对 m 影响最大的是地面粗糙度,有人就 m 值对粗糙度 z_0 的依赖关系做过统计,列成表 3。该表是在 $z_1 = 10$ 米, $z = 50$ 米和 $z = 100$ 米时的计算结果。

由于城市的地面粗糙度比乡村大得多,城市里的 m 值远大于乡村平坦地面的 m 值。许多人的实验结果指出,乡村平坦草地上的 m 值一般从 0.07—0.25。关于城市里的 m 值, Davenport (1968) 根据世界一些城市高度为 40 米到 400 米之间观测求出的 m 值如下:巴黎为 0.45、列宁格勒为 0.41、纽约为 0.39、莫

斯科为 0.37、哥本哈根为 0.34、伦敦为 0.36、基辅为 0.35、东京为 0.34、蒙特利尔为 0.28、圣路易斯为 0.25。我们计算的沈阳地区的 m 值列于表 4 中。其值一般均在 0.30 左右,全年平均为 0.32,与世界上其它一些城市的结果很相近。沈阳地区的地面粗糙度 z_0 约在 1.0—2.0 米之间,同许多人对城市地面粗糙度的估计结果相近。

表 5 是沈阳地区各高度月及年平均风速,表 6 是各高度上平均风速随高度增大的系数。从表 5 和表 6 中可以明显地看出,在低层,平均风速随高度增加很快,而在较高的层次,风速增加很慢。一般说来,在近地面层,即从 10 米到 100 米之间,风速的增加最为迅速。从统计结果看,平均风速可增加至地面值的 2.0 至 2.5 倍左右,其平均风速递增率

表6 风随高度增大系数 [$u(z)/u(z_1)$]

月份 \ 高度(米)	100	200	300	500	600	700	900	1000
1	2.3	2.9	3.0	3.5	3.7	3.9	4.2	4.3
2	1.6	2.6	2.7	2.9	3.0	3.2	3.3	3.3
3	2.2	2.3	3.1	3.3	3.4	3.3	3.5	3.5
4	2.2	2.8	3.1	3.3	3.5	3.5	3.6	3.6
5	2.0	2.5	2.7	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2
6	2.3	2.9	3.3	3.6	3.8	4.0	4.0	4.0
7	2.3	2.6	3.1	3.3	3.4	3.7	3.5	3.5
8	2.4	3.0	3.2	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5
9	2.5	3.0	3.2	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4
10	2.2	2.9	3.2	3.3	3.5	3.4	3.5	3.5
11	2.4	3.1	3.3	3.6	3.8	3.8	3.9	3.9
12	2.1	3.0	3.1	3.3	3.5	4.1	3.8	3.9
全年	2.5	5.6	7.2	7.8	8.4	8.9	9.0	9.0

$\Delta\bar{u}/\Delta z$ 的数值,就年平均情况计算,可达每10米平均风速增加0.34米/秒,300米高度处平均风速可达地面的3.0倍左右。从100到300米处,平均风速随高度的增加也较为迅速, $\Delta\bar{u}/\Delta z$ 的值可达每10米增加0.11米/秒。而300米到1000米之间,平均风速随高度的变化与下层相比要小得多,其值在1000米高度上才达到地面值的4.0倍左右。这层间的 $\Delta\bar{u}/\Delta z$ 值每10米才增加0.02米/秒。

从沈阳地区地面、300米、600米和900米不同高度上各月平均风速的年变化曲线图4上可以看出,无论在哪个高度上,趋势几乎

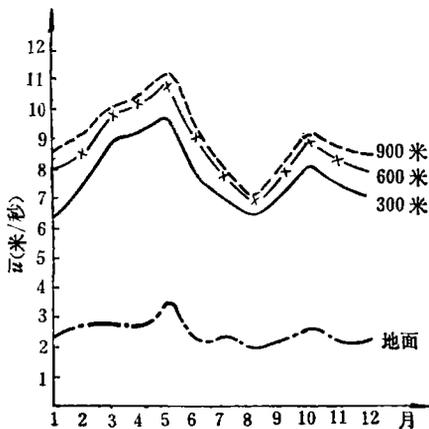


图4 各高度月平均风速年变化曲线

完全一致。如同前面讨论的地面风一样,各高度上春秋两季的风处于峰值上,冬夏两季处于谷值,春季最大值可相当冬夏季节值的1.5倍左右。同样可以得出,在较高的高度上,也是春秋两季比冬夏两季有利于大气中污染物的扩散与输送。

(二)、风向随高度的变化

在大气边界层中风向也随高度而改变。

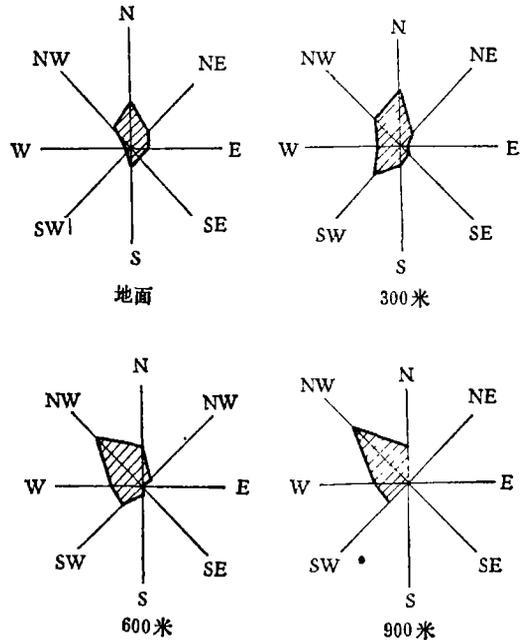


图5 一月份不同高度风向频率图

表面粗糙度越大,摩擦力越大,风向随高度而改变的幅度就越大。

为了考察和分析沈阳地区地面风向随高度的变化规律,我们绘制了1、4、7、10四个月份的地面、300米、600米和900米四个高度上的风向频率图5(4、7、10三个月份省略),从中我们可以十分明显的看出,无论任何季节最多风向随高度明显的向西偏转。例如1月份,地面的最多风向为北风,且东北风的频率也较大,而到了300米时,虽然最多风向仍是北风,但西北风的频率有了增加,到600米时由西北风取代北风而成为最多风向。到了900米高度时,西北风的频率又比600米时有了很大的增加。7月份最多风向随高度的改变趋势,同1月份几乎完全一样,只是由上层的西南风取代了低层的南风为最多风向。4月和10月也同样,最多风向随高度明显偏西且频率不断加大。

沈阳地区大气边界层中最多风向随高度逐渐向西偏转和频率不断加大这个特性,在

分析大气中污染物浓度随高度分布与较高层次中污染物的扩散输送规律时,应予以特殊的注意。如果忽视这一点,可能得出一些不符合实际的结论。

五、结 论

通过以上分析,我们对沈阳地区大气边界层内风随高度的变化,可以得出以下几点结论:

1. 在风速廓线指数分布模式中,其指数 m 的数值约为 0.32 左右。
2. 100 米高度的平均风速大约是 10 米高度平均风速的 2.0—2.5 倍、300 米处约是 3.0 倍,1000 米处约是 4.0 倍。
3. 地面 10 米、300 米、600 米和 900 米各高度处的月平均风速年变化趋势完全一致。
4. 各季最多风向随高度的增加都向西偏转且有频数不断加大的特征。

碳酸平衡和 pH 调整计算(下)

汤 鸿 霄

(中国科学院环境化学研究所)

四、封闭溶液平衡体系

把含碳酸水质系设想为封闭溶液体系,是把 CO_2 看作不挥发性气体,与大气之间没有交换,同时,也不产生碳酸盐沉淀,溶液处于未饱和状态。由于在气液界面上 CO_2 传质过程缓慢,这种体系实际上大量存在。

1. 碳酸化合态含量

环境水化学的实际问题中,常是已知 pH 值和总碱度,要求定不同碳酸化合态 H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} 等。传统的计算式为:

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{[\text{碱}] + [\text{H}^+] - K_w/[\text{H}^+]}{1 + 2K_2/[\text{H}^+]} \quad (42)$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{K_2}{[\text{H}^+]} \left(\frac{[\text{碱}] + [\text{H}^+] - K_w/[\text{H}^+]}{1 + 2K_2/[\text{H}^+]} \right) \quad (43)$$