

# 南京北郊低空污染气象条件若干特征

史慧敏 沈觉成

(南京气象学院)

**提 要:** 本文根据南京北郊大厂镇地区实测低空温风资料的统计分析, 揭露了该区低空逆温、混合层顶高度、风向、风速、大气稳定度等的铅直分布规律和局地环流的某些特征。

**主题词:** 低空污染气象条件

现代城市建设趋向上层发展, 高层建筑和高架排气筒比比皆是, 人类活动早已不限于地面。城市低空气候特征和气象要素的铅直分布对大气污染物的稀释扩散有直接影响, 同时城市的发展又能改变城市低空气象条件。因此, 揭露城市低空气候特征对于城市建设规划、改善大气环境, 以及研究人类活动对气候的影响都有重要意义。

本文根据南京北郊附近气象站的常规气象资料、1983—1984年短期考察资料、梯度观测资料等对该区的低空气候特征作一初步分析。

南京北郊指位于南京市长江以北的大厂镇地区(以下简称大厂区), 面积约 $120\text{km}^2$ , 是我国主要化工基地。它与南京市区之间有长江和江中小岛——八卦洲相隔, 八卦洲面积约 $70\text{km}^2$ (见图1)。因此, 大厂区是一个相对独立的工业区。

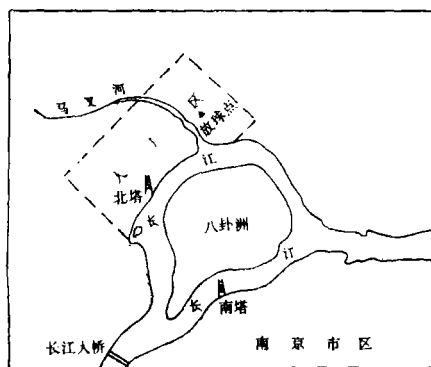


图1 大厂区地理位置图  
Geographical position of the district

## 一、逆温的时空特征

逆温是一个稳定气层, 它像一个盖子使污染物不易穿过它向上扩散, 且逆温时往往伴随着微风或静风, 污染大气很难和周围清洁大气进行交换, 从而加剧了近地层大气污染程度。

边界层内大气逆温可分为贴地逆温(从地面开始), 低悬逆温(逆温层底在500m以下)和高悬逆温(逆温层底在500m以上)。根据1983—1984年低空探测资料统计得各种逆温厚

度、强度和出现频率如表 1。本区贴地逆温出现频率年平均为 68%。秋季多高压控制有利于辐射逆温的形成，贴地逆温出现频率高达 82.9%。夏季和冬季多低悬逆温，低悬逆温的底高

表 1. 1 逆温频率 (%)      2 逆温强度 (°C/100m)      3 逆温顶和底(m)  
Inversion frequency(%), Inversion intensity(°C/100m), Lid and base of inversion(m)

时间	种类	逆温频率 (%)			逆温强度 (°C/100m)			逆温顶和底(m)		
		贴地逆温	低悬逆温	高悬逆温	贴地逆温	低悬逆温	高悬逆温	贴地逆温 (顶)	低悬逆温 (底)	高悬逆温 (底)
春		60.0	35.7	21.4	1.17	0.92	0.57	306	198	711
夏		35.9	55.3	31.6	0.53	0.65	0.50	205	241	698
秋		82.9	29.7	34.1	0.85	0.88	0.59	183	153	781
冬		69.6	39.4	42.4	1.31	0.93	0.28	345	187	812
年		68.1	36.7	29.6	0.97	0.85	0.19	259	195	751

一般在 200m 左右，高于一般烟囱的高度，抑制污染物向上扩散，易形成封闭型扩散条件。全年以冬季逆温的厚度最大，强度也最强。观测表明：贴地逆温形成时间在春、夏、秋、冬各季大致依次为 18 时、19 时、17 时和 16 时半；贴地逆温和低悬逆温的消失时间依次为 10 时、8 时半、9 时半和 10 时半。图 2 是秋季逆温的时空演变图，图中曲线为垂直温度梯度  $\Delta T/\Delta Z$  的等值线， $\Delta T/\Delta Z = 0$  的等值线反映出贴地逆温层顶高度随时间的变化。

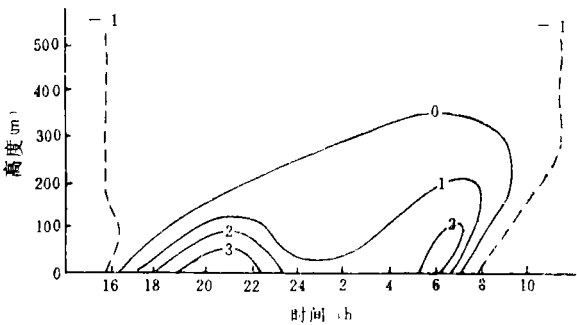


图 2 秋季  $\Delta T/\Delta Z$  (°C/100m) 时空变化图  
Spatial and temporal variation of  $\Delta T/\Delta Z$  (autumn)

二、大气稳定度随高度的变化

据文献〔4〕用各气层间气温垂直递减率与帕斯奎尔 (Pasquill) 大气稳定度级别相对应的分类法，对 1984 年秋、冬两季低空探测自记曲线进行统计，得到本区稳定度随高度的分布。由表 2 看出：该区夜间一般不出现不稳定的 A、B、C 级；无论秋季还是冬季，白天还是夜间，随着高度升高，大气稳定度均趋向中性层结 (D)，这和北京 320m 气象塔，美国 BI (Beack Island) 塔以及 OK (Oklahoma) 塔的结果是一致的。值得指出的是冬季在较高层出现稳定

表 2 秋冬季各级稳定度出现频率 (%)

The frequency of atmospheric stability at all levels in winter and autumn

时 间	高度 (m)	大 气 稳 定 度									
		夜 间					白 天				
		A、B、C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
秋 季	400—500	0	98	2	0	0	0	3	94	3	0
	300—400	0	98	2	0	0	0	0	94	6	0
	200—300	0	89	11	0	3	0	3	88	6	0
	100—200	0	64	36	0	0	0	2	82	16	0
	0—100	0	38	54	8	35	2	3	34	25	1
冬 季	400—500	0	93	0	7	0	0	4	83	13	0
	300—400	0	80	20	0	0	0	0	100	0	0
	200—300	0	73	27	0	0	0	0	53	43	4
	100—200	0	66	34	0	0	0	0	52	28	4
	0—100	0	20	47	33	13	4	17	35	9	22

类级别的频率仍比较高,夜间在400—500m气层还可有F级,白天在200—300m气层出现E、F稳定类级别的频率可达47%,这显然和上一节所说的冬季逆温的强度和厚度最大而且多低悬逆温有关。

恶劣扩散条件通常出现在上层稳定下层不稳定或中性条件下,我们也统计了恶劣扩散条件的出现频率,发现除夏季外,其它各季恶劣扩散条件的出现频率为5—10%,这种情况均发生在上午。

### 三、大气混合层顶高度

由于热力和动力的原因,边界层内的大气运动具有湍流特性,人们把具有强烈湍流混合的大气边界层称为大气混合层,其顶部高度称为大气混合层顶高度或混合层厚度,混合层顶越低,越不利于扩散,地面污染浓度越高。因此,它是衡量一地大气扩散能力和大气环境容量的重要指标。

本文采用NOZAKI公式:

$$L = \frac{121}{6}(6-P)(T-T_d) + \frac{0.168P(u_{10} + 0.25)}{12f \ln(Z/Z_0)} \quad (1)$$

根据(1)式利用地面气象要素的观测资料,即可估算出混合层厚度L。式中T为气温, $T_d$ 为

露点温度,  $Z_0$  为下垫面粗糙度, 本文取  $Z_0 = 40\text{cm}$ ,  $u_{10}$  为  $10\text{m}$  高处的平均风速,  $P$  是大气稳定度类别, 取值 1 至 6 分别相当于帕斯奎尔稳定度分类中的 A 至 F 级,  $f = 2\Omega \sin \varphi = 7.782 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  为地转参数。

由考察点一年资料计算得结果如表 3, 它表明: 秋冬两季的混合层顶高度低于春、夏两季的混合层顶高度; 各季混合层高度的日变化均以后半夜为最低, 其中冬季的后半夜(02时)到清晨(08时)混合层顶高度只有  $400\sim 500\text{m}$ 。因此, 这一时期最不利于污染物的扩散。

表 3 混合层顶高度 (m)

Mixing depth (m)

时间 季节	02	08	14	20	平均
春	615	711	1330	730	847
夏	637	737	1165	736	819
秋	548	619	961	627	698
冬	538	444	1195	556	683
年	593	628	1162	662	761

#### 四、风的铅直分布

风是污染物迁移扩散的直接动力, 边界层内风向风速的铅直分布规律对城市规划、工程设计都有重要意义。

##### (一) 风速的铅直分布

据文献(5)和我们对实测梯度观测资料及小球测风资料的计算, 本区近地层  $300\text{m}$  以内风速随高度的变化遵循幂律:

$$\frac{u_z}{u_1} = \left( \frac{Z}{Z_1} \right)^\alpha \quad (2)$$

式中  $u_z$ 、 $u_1$  分别为高度  $Z$  和  $Z_1$  处风速,  $\alpha$  为经验系数, 它与下垫面粗糙度和大气稳定度有关。

按最小二乘法原理, 用 (2) 式拟合 1983—1984 年实测梯度观测资料得到不同季节、不同稳定度下  $\alpha$  估计值如表 4。表中 A-B、C、D、E-F 分别表示采用帕斯奎尔-特纳 (Pasquill-Turner) 稳定度分类法中的不稳定、弱不稳定、中性、稳定。由表 4 可见,  $\alpha$  变化于  $0.05\sim 0.42$  之间, 在不稳定层结下,  $\alpha$  值较小, 随着大气稳定度增加,  $\alpha$  值增大。这是由于当大气层结不稳定时, 湍流运动较强, 上、下层动量交换频繁, 致使风速趋向均匀分布, 因而指数  $\alpha$  较小。

图 3 反映了各小时平均指数  $\alpha$  值的日变化情况。由图可见, 无论白天还是夜晚, 小时平

表 4 不同稳定度条件下指数  $\alpha$  值 $\alpha$  value to varying stabilities

时 间	稳 定 度			
	A-B	C	D	E-F
1 月	0.09	0.15	0.16	0.30
4 月	0.14	/	0.23	0.39
7 月	0.17	0.18	0.22	0.42
10 月	0.05	0.10	0.30	0.29
年	0.15	0.15	0.21	0.38

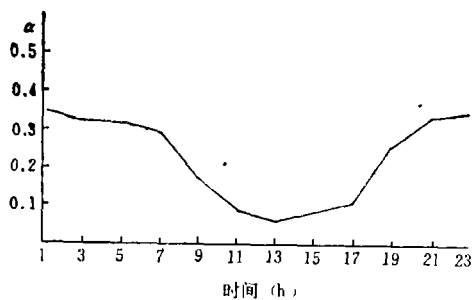


图 3 小时平均 $\alpha$ 值日变化图  
Daily variation of hourly mean  $\alpha$  value

均指数均为正值，表明贴地层内风速一般总是随高度升高而增大，一昼夜内以子夜的指数  $\alpha$  最大，午后最小。

(二) 风向随高度的变化

为了减少近地层污染危害，大型工程的烟囱往往高达百米以上，因此，研究烟气的扩散规律不仅要考虑风速随高度的变化，而且要注意风向随高度的变化。

众所周知，边界层内风向随高度升高一般是右偏的，我们对梯度观测资料和小球测风资料的统计也证实了这一规律，但一年四季有所差别。我们以4月、7月、10月、1月分别作为春、夏、秋、冬的代表月，由表5可见、夏季右偏频率较少，无偏居多；冬季右偏频率较多，而且右偏幅度也大，右偏两个方位以上的频率（44%）比右偏一个方位的频率（42%）还多。这可能是因为冬季多逆温和稳定层结，上、下气层的湍流交换弱，而夏季湍流运动较强，上、下气层充分混合，故冬季偏转多而夏季偏转少。

表 5 近地层125m以下风向随高度  
偏转频率 (%)  
Deflecting frequency of wind  
direction within 125m above  
the ground (%)

月份	左偏	0	右偏	
			22.5	$\geq 45.0$
1	3	11	42	44
4	6	28	39	27
7	8	51	34	6
10	1	22	58	19

五、复杂下垫面上的局地环流

城市热岛环流的理论模型早在60年代就有人提出，但是实际纯粹的城市热岛环流是很少见的。1980年12月冶金部建筑研究总院环保所在上海北郊的宝钢地区观测到由城市热岛环流和水陆风叠加的复合环流，据文献〔6〕报道，这种环流的单向水平尺度达8km以上，向城市辐合的气层厚度约1km。

我们在南京大厂镇地区也观测到一种特殊环流。1983年11月4日，在现场上空释放了好几个四面体等容球，发现它们的轨迹与往常很不相同。从18时52分和19时38分释放的等容球轨迹看出（见图4和图5），两球在300m上空被释放后，先自东北向西南方向飘移，并逐渐下落，在离释放点水平距离数百米，垂直高度220m左右的地方，又折回转向东北方，现场小球测风和梯度观测也表明4日17时以前为微风，17时以后近地层200m以下偏南风，并逐渐增强，300m以上恰为反向的偏北风。查天气图知，这一天南京处在高压脊控制下，在本区北方约15km处的六合县气象站为静风天气，可见当时无大型天气系统侵入。由此推知，

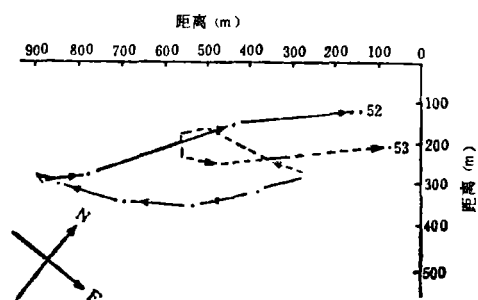


图 4 等容球飞行轨迹水平投影图  
Horizontal projection of the  
tetron flying trajectory

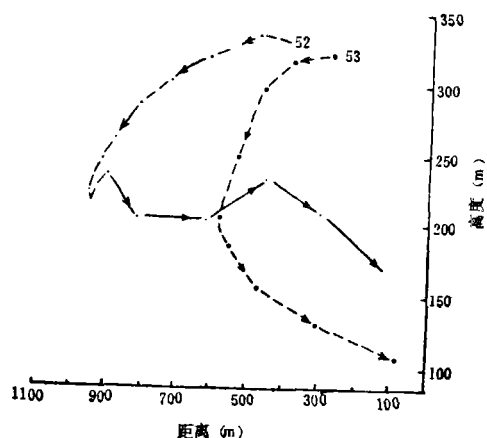


图 5 等容球飞行轨迹垂直投影图  
Vertical projection of the  
tetron flying trajectory

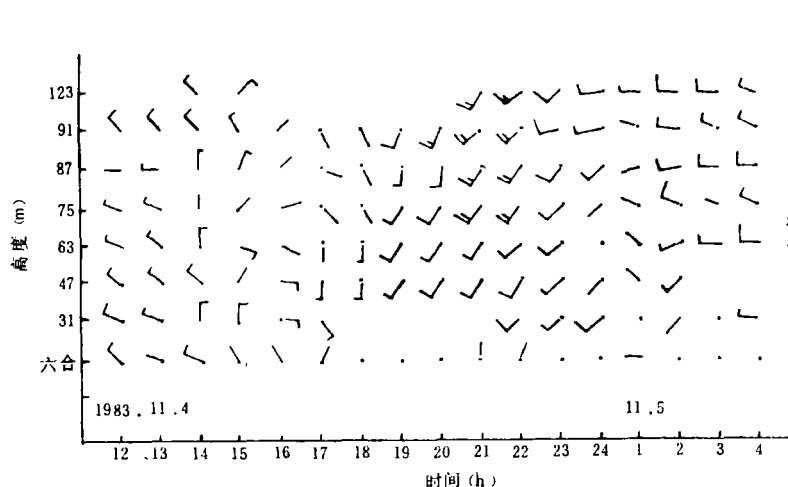


图 6 11月4日12时—11月5日04时各高度  
风时间剖面（梯度观测）  
The time cross-section of wind at all height,  
Nov. 4-5, 1983. (gradient observation)

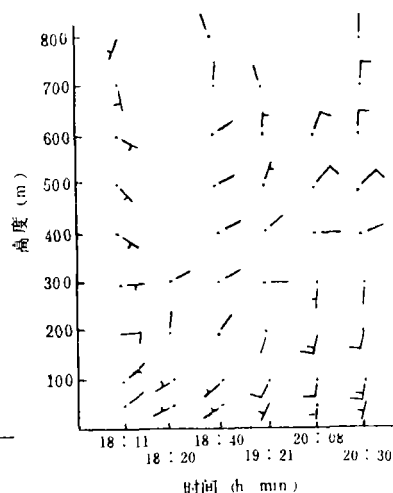


图 7 11月4日各高度风（小球测风）  
时间剖面图  
The time cross-section of wind  
at all height, Nov. 4, 1983.  
(Pilot balloon observation)

现场上空可能存在一种局地环流。

由图 1 可见，小球测风和等容球的释放点都在大厂区的东北部，梯度风观测点在它的西南部（图 1 中的北塔），它们在近地层一致吹西南风，并无向大厂区中心的辐合。因此，此次环流至少不可能纯由“热岛”引起。由于人力物力的限制，测点太少，观测时间也不长，还难以分析它的形成机制。初步认为它可能是大厂地区特殊的水陆和城乡布局造成的复杂下

垫面的产物。和其它局地流场一样,它的能量远小于大型环流。因此,只有在大环流微弱的条件下才能显示出来,1983年11月4日恰为这种条件。由于这种环流可能导致大厂区的重复污染,所以对它作进一步细仔的调查和研究是必要的。

综上所述,可以得出:

1. 本区逆温以秋季和冬季最为频繁,逆温厚度和强度以冬季最大。
2. 大气稳定度随着高度升高趋向中性层结。但冬季在较高层次仍可出现稳定类级别,冬季的白天在200—300m气层出现稳定类的频率可达47%,显然这和冬季逆温频繁有关。
3. 混合层顶高度一年之内以冬季为最低,一日之内以午夜至清晨为最低,冬季清晨的混合层顶高度平均只有444m。
4. 风速随高度升高而增大,近地层 300m 以内风速随高度变化,遵循乘幂律: $u_z = u_1 (z/z_1)^\alpha$ ,指数 $\alpha$ 随稳定度不同,其值变化在0.05—0.42之间。风向随高度升高向右偏转,冬季偏转幅度大于夏季。在近地层125m范围内平均右偏一个方位(22.5°)。
5. 从梯度风、小球测风和等容球飘移轨迹的观测表明,本区上空可能存在一种局地环流,作者认为它可能是本地区复杂的地形布局所造成。

### 参 考 文 献

- [1] J.H.Seinfeld. Air Pollution-Physical and Chemical Fundamentals. Meyraw-Hill Book Company, 1975.
- [2] 沈觉成等.大气稳定度分类的初步探讨.气象科学, 1984, (2): 69-80
- [3] G.A.Demarrais. Atmospheric Stability class Determinations on a 481 meter tower in Oklahoma. Atmospheric Environment, 1978, Vol.12, 1957-1964.
- [4] 袁素珍.雷孝恩.320 米塔上测定的大气稳定度类和风速廓线.中国环境科学, 1982, 3: 29-40
- [5] 南京气象学院气象系、江苏省气象科学研究所等.南京近300米塔层风的分析.南京气象学院学报, 1981, 1: 102-111
- [6] 王华聪、蔡存福.上海宝钢地区大气扩散规律的研究.中国环境科学, 1982, 5: 11-19

## THE FEATURES OF THE METEOROLOGICAL CONDITIONS FOR LOW-LEVEL POLLUTION IN NORTHERN SUBURBS OF NANJING, CHINA

Shi Huimin Shen Juecheng

(Nanjing Institute of Meteorology)

**Subject terms:** the meteorological conditions for low-level pollution

### Abstract

In this paper, the meteorological conditions for low-level pollution in the district situated in the northern suburbs of Nanjing, China, a base of chemical industry, are analyzed. Some major conclusions are reached as follows:

1. The frequency of inversion in the district is the highest in autumn and winter. The thickness and intensity of inversion are at their maximum in winter.

2. The atmospheric stability tends to become neutrally stratified as altitude increases. However, stable stratification is still observed at higher levels in winter. The frequency of stable stratification can reach as high a value as 47% during the day in winter, especially at heights of 200-300m. Obviously, this has much to do with the frequency inversion.

3. The mixing depth is the smallest in winter and after midnight till early morning in day. It is only about 444m.

4. Wind speed increases as height goes up and obeys the exponential law  $u_z = u_1(z/z_1)^\alpha$  within 300m above the ground. The exponent  $\alpha$  varies between 0.05-0.42, depending on stability. Wind direction turns to the right as altitude increases. The deflective angle is bigger in winter than in summer. On the average, the deflective angle is  $22.5^\circ$  within 125m above the ground.

5. By gradient wind, pilot balloon and tetraon drifting locus observations. There seem to be a local circulation in the area. The authors hold that this probably results from the combined thermodynamic difference between town and country and complex terrain in the district. It needs further investigation and research.