

北京地区的烟幕与天气条件的联系

刘瑞晨 李鸿洲

提 要

本文分析了北京地区烟幕的一般规律,并讨论了影响烟幕的气象条件以及与北京地区烟幕有密切联系的几种常见的地面天气形势。

一、前 言

随着工业生产的发展,控制污染问题已成为人们所普遍注意的问题。大量排放出来的废气在近地面层的积累量及影响范围,取决于大气边界层的气象条件。因此,研究不同气象条件下污染的扩散规律,已成为气象学和环境科学所共同关心的一个重要课题。

本文将对北京地区低层大气污染扩散的某些规律,从天气学分析入手,做一初步探讨,以期对开展我国的大气污染预报的研究工作,提供天气学背景材料。

大气污染往往是由相伴出现的气体污染和微粒污染所构成。微粒污染一般是可见的,当这种污染达一定浓度时,常使能见度降低,据有关测定^[1],微粒浓度对能见度的影响如下:

能见度 14.8 公里时,微粒浓度约 100 微克/米³。

能见度 6.9 公里时,微粒浓度约 200 微克/米³。

能见度 2.8 公里时,微粒浓度约 300 微克/米³。

可见,能见度值的大小,可以大致的反映微粒污染的程度。充分利用现有气象能见度观测资料,可以弥补实际微粒污染观测之不足,来分析讨论污染形势问题。

本文以受烟幕影响的能见度观测值,做为衡量大气污染(指烟尘微粒污染,下同)的一个参考指标,从气象学的角度出发,分析讨论北京地区大气污染的某些规律,以及与污染有关的气象条件和对污染影响较大的几种常见的地面天气形势。

二、北京地区烟尘污染的一般规律

北京地区各个气象观测站所观测的烟幕(指一日内出现过受烟尘影响能见度 ≤ 6 级)的年平均日,可以概略的反映出北京地区烟尘污染的分布情况。由北京地区年平均烟幕形势图(见图1),可以看出:北京的西部远郊受烟尘影响(烟幕日 > 50 天)比东部远郊

受烟尘影响(烟幕日 < 50 天)为明显,而烟尘污染主要集中在城区与城南近郊(烟幕日 ≥ 250 天)。

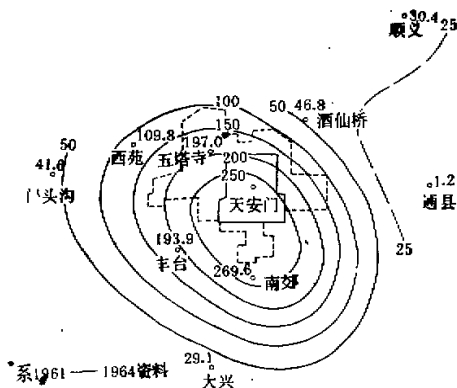


图1 北京地区烟幕形势图
(1961—70 年年平均烟幕日数)

为了便于分析问题,取接近污染中心的南郊(位于北京城南9公里)的资料,并以烟尘影响相当明显,使有效能见度在4公里以下(微粒浓度约为400微克/米³以上)为统一的比较标准,具体讨论烟尘污染的一般规律。表1是各月逐时能见度 ≤ 4 公里的月平均次数,由表1可以看到,烟尘污染有明显的日变化和季节性变化,烟尘污染主要集中在冬半年(当年9月至翌年3月),又以隆冬的9时最为严重,其具体规律如下:

(一) 烟尘污染的日变化规律: 污染严重时间是早晨到上午,图2是北京各季(取1、4、7、10月代表)逐时烟尘影响能见度 ≤ 4 公里的次数曲线,可以看到6时—8时是烟尘污染急剧增加的時刻,8—9时污染最严重,然后渐减轻,午后一般消散到很轻的程

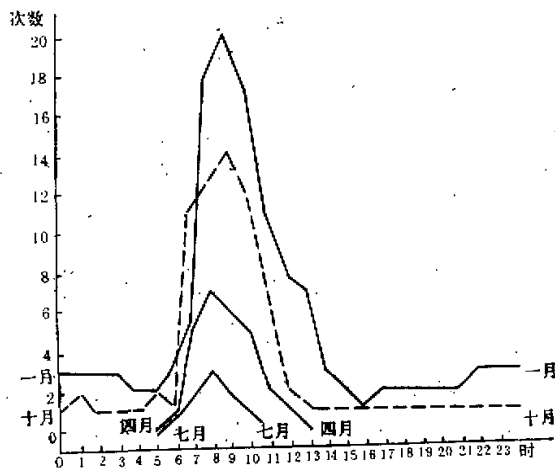


图2 北京冬季逐时烟尘影响能见度 ≤ 4 公里次数曲线

表 1 北京各月逐时能见度 ≤ 4 公里月平均次数

时 \ 月	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
0				1	2	3	3	1	1			
1				2	3	2	3	2	1			
2				1	3	2	3	1	1			
3				1	3	2	3	2	2			
4				1	3	3	2	2	2			
5				2	3	2	2	2	2			
6	1	2	7	1	5	3	3	2	3	1	3	2
7	2	3	12	11	11	7	6	11	9	5	6	4
8	3	1	12	13	15	15	18	17	14	7	8	2
9	2		8	14	14	17	21	16	14	6	6	1
10	1		3	12	12	16	17	9	11	5	1	
11			1	7	6	10	11	5	6	2		
12			1	2	4	8	8	2	2	1		
13			1	1	1	6	7	2	1			
14				1	1	4	3	1	1			
15				1	1	2	2	1	1			
16				1	1	2	1	1				
17				1	1	3	2	1				
18				1	2	3	2	1	1			
19				1	3	3	2	1	1			
20				1	3	3	2	1	1			
21				1	2	3	2	1	1			
22				1	2	3	2	1	1			
23				1	2	2	3	1	1			

注 空格为零

表 2 取暖季节逐时烟幕影响能见度 ≤ 4 公里出现次数

次 数 \ 时 项 目	6	7	8	9	10	11	12	13	14
月平均次数	3.2	8.8	15.8	16.4	13.0	7.6	5.0	3.4	2.0

表 3 各月烟尘污染日数 (指一日内有烟尘影响能见度 ≤ 4 公里数)

日 数 \ 月 项 目	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	年计
平均污染日	8	11	15	17	19	23	21	17	16	11	10	9	177

度。

(二) 烟尘污染的季节变化规律：春、夏两季烟尘污染比较轻微，秋、冬比较严重。取暖季节中(11月至翌年3月)烟尘污染更为突出，8—10时出现烟尘影响能见度 ≤ 4 公里的次数约占各月总数的一半以上(见表2)。表3、表4分别为各月的平均污染日数与严

表 4 各月严重烟尘污染日数(指一日内有烟尘影响能见度 < 1 公里的日数)

日 数 项 目 \ 月	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	年计
平均严重污染日	0.1	0.3	0.4	1.9	4.7	7.4	5.9	3.8	2.6	0.1	0.01	0.1	27.3

重污染日数。

由表 1—4 及图 2 可以看出:

1. 秋、冬季烟尘污染日多(见表 3), 9 月至翌年 3 月烟尘污染日每月平均在 15 天以上, 而又以 12、1 月最多, 平均达 20 天以上, 而 4—8 月较少, 每月平均为 10 天左右;

2. 秋、冬季烟尘污染的持续时间长, 烟尘污染从早晨开始, 往往可持续到中午, 有时甚至终日烟尘不散; 春、夏季在 10 时后一般烟尘即可明显减轻或消散;

3. 秋、冬烟尘污染程度严重, 常出现能见度恶化至 2 公里以下, 有时甚至常出现“浓烟”(能见度 < 1 公里, 相当于微粒浓度在 1800 微克/米³以上), 而“浓烟”在春、夏季是极为罕见的(表 4)。

三、影响北京地区污染的气象条件

湍流发展的情况是影响污染扩散的关键问题, 而边界层的风速廓线和温度廓线所组成的里查逊数 Ri 是标志湍流发展的重要参数, 其值可由下式确定:

$$Ri = \frac{g}{\theta} \frac{\frac{\partial \theta}{\partial z}}{\left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2}$$

式中, θ 是位温, v 是水平风速, g 是重力加速度, z 是高度。当 Ri 数为负数时, 大气层结不稳定, 湍流易于发展, 污染物质扩散较好。当 Ri 数为正值时, 大气层结趋于稳定, 湍流受到抑制, 污染物质不易扩散。北京地区, 在风速梯度很小的弱风天气, 逆温又较强时, 就经常发生严重的烟尘污染情况。

据统计, 北京地区夜间一上午常出现静风和微小(指 0—2 米/秒)的偏北风, 此时, 北京城区和南部近郊, 极易出现烟尘污染。为便于统计和实际应用, 我们取

$$\Delta T = T_{900\text{米}} - T_{地面}$$

(当有辐射逆温时, 取 $\Delta T = T_{逆温顶} - T_{地面}$) 来粗略的代表低层大气的层结特征。 $\Delta T > 0^\circ\text{C}$ 时有逆温, ΔT 越大气层越稳定。表 5 给出了北京南郊各季每日四次观测时间的 ΔT 平均值 ($\overline{\Delta T}$), 可以看出, 各季午夜和清晨的 $\overline{\Delta T}$ 值均较大, 气层稳定。各季 13 时的 $\overline{\Delta T}$ 值均为负值, 层结为不稳定, 这是各季的稳定性日变化的一般规律。层结状况日变化影响着扩散的变化, 从而在相当程度上制约着烟尘污染的日变化。以上主要是讨论了影响污染日变化的一些气象条件。下面讨论影响污染季节变化的一些气象条件。统计发现弱风的季节性变化并不明显, 但层结稳定度的季节性差异比较明显(见表 5), 这表明

表 5 各季(取 1、4、7、10 月的资料代表)各次观测时间的值 $\overline{\Delta T}(^{\circ}\text{C})$

月 份	观测 时间	01	07	13	19
1		3.0	2.8	-8.1	1.1
4		0.5	0	-8.9	-2.0
7		0	-1.6	-7.0	-2.7
10		2.5	2.9	-8.4	0.7

层结条件是影响污染季节变化气象条件的主要因素。冬季(1月为代表)除 13 时外,气层都是稳定的,不利于湍流发展,而有利于烟尘的集中;夏季(7月为代表)除 01 时外,气层都是不稳定的,易于湍流发展,而不利用烟尘集中,因此冬季污染重于夏季。春季(4月为代表)与秋季(以 10 月为代表)的层结也很不同,春季接近于夏季,而秋季与冬季相似,这种差异是春、秋污染不同的主要原因。秋、冬层结差异较小,但污染程度相差较大,这必需从污染源的某些变化去考虑。冬季生活取暖,燃烧量剧增,且遍布全城,这是冬季烟尘污染最严重的一个重要原因。也是造成城区和城南近郊是污染最严重的区域(见图 1)所不容忽视的因素。

四、影响北京地区烟污染的主要天气形势

烟尘污染最严重的季节是冬半年。下面从烟尘污染的分析预报方面着眼,着重通过对冬半年的一些有一定代表性的实例来说明污染与某些天气形势的联系。

(一) 冷锋与寒潮¹⁾

北京地区冬半年冷空气的活动占极其重要的地位,每当有冷锋过境,冷空气入侵后,烟尘明显减轻。如 1974 年 2 月 9 日,冷锋前后的能见度变化就是一个比较好的例证。图 3 是冷锋过境前后南郊天气实况:

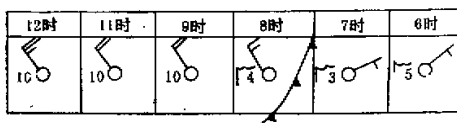


图 3 1974 年 2 月 9 日冷锋过境前后实况演变图

由实况演变,可清楚地看到,冷锋前烟尘渐浓,8 时有冷锋过境,冷空气入侵,使偏北风加大,烟尘迅速消散,污染迅速减轻,9 时以后能见度已转为 10 公里(微粒浓度约在 100—200 微克/米³),使在污染最浓的平均时刻反而出现了轻微的污染。

寒潮对污染的影响,更为明显。寒潮入侵前气团变性很深,污染严重,冷空气入侵后,可连续几天,污染明显减轻,以后随着冷空气强度减弱,风速减小,辐射逆温与日增强,大

1) 所讨论的天气形势,均系一般冷锋及寒潮形势,故天气形势图从略。

气稳定度也发生明显的变化,烟尘污染也日趋严重。例如 1974 年 2 月 20 日至 3 月 2 日就是一次寒潮暴发前后,烟尘污染起伏变化的一个全过程。图 4 是 2 月 20 日—3 月 2 日(08 时)南郊天气实况。图 5 是相应时间的北京层结变化,由图 4、5 可以看到 22—24 日一直是降温,冷空气控制着北京地区并有冷空气不断南侵,此间烟尘污染极微,25 日后,冷空气开始减弱,寒潮冷高压迅速减弱。气团迅速变性,逐渐转变成“弱风形势(图略),

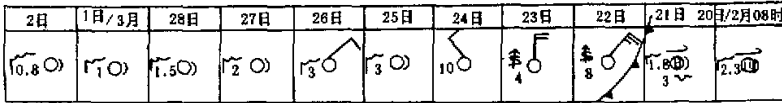


图 4 1974 年 2 月 20 日—3 月 2 日(08 时)南郊天气实况演变。

26 日以后气团变性日深,辐射逆温开始连续出现(见图 5, 28 日后略)。风速已减小转为弱风,污染日趋严重(见图 4)。表 6 给出了

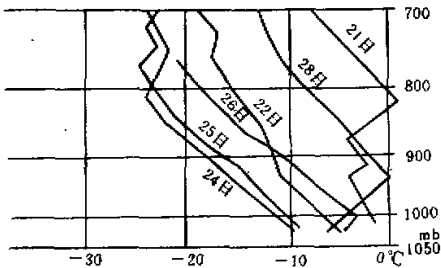


图 5 1974 年 2 月 20 日—28 日(07 时)北京底层层结。

这个过程的逐日 07 时 ΔT 及 $\left| \frac{\Delta v}{\Delta x} \right|$ 值。显见在寒潮冷锋入侵前层结是稳定的,冷锋后层结变得不稳定过几天后,冷空气变性,复而出现了稳定层结。 $\left| \frac{\Delta v}{\Delta x} \right|$ 也有一个由小突然增大而又明显变小的过程(它反映着湍流由弱→强→弱的过程。

冷空气活动的强弱对污染也有相当影响,冷空气强,活动时间长,可连续几天污染轻微,不致出现烟幕。(如上例中 2 月 22 日—24 日,接连三天没有烟幕出现。冷空气强度弱,则无烟幕或轻微污染的持续时间短,冷空气入侵后,很快就会出现较严重的污染,如 1974 年 1 月 4 日—7 日的过程,4 日 08 时已有弱冷锋过境,冷空气势力很弱,只是当日烟

表 6 1974 年 2 月 20 日—3 月 2 日逐日 ΔT 、 $\frac{\Delta v}{\Delta x}$ 8 时能见度(WW)表

日期	2月20日	21	22	23	24	25	26	27	28	3月1日	2日
能见度(公里)	3	1.8	8	4	10	3	3	2	1.5	1	0.8
(8 时)	烟	烟	扬沙	扬沙		烟	烟	烟	烟	烟	烟
(WW)											
ΔT °C	4	0	-7	-7	-9*	-7	1	2	6	7	5
$\left \frac{\Delta v}{\Delta x} \right \frac{1}{秒}$	0.017	0.017	0.037	0.033	0.027*	0.037	0.023	0.017	0.003	0.013	0.003

注: 1.*系无 07 时资料取 01 时资料代替;

2. ΔT 计算方法见第三节;

3. $\left| \frac{\Delta v}{\Delta x} \right|$ 取地面—300 米计算。

尘污染较轻,次日即出现了严重污染。

以上实例分析表明,冷空气活动与 R_i 变化有直接联系,从而影响着烟尘污染。当冬

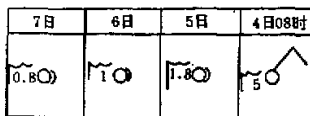


图6 1974年1月4日—7日08时南郊天气实况演变图。

半年有冷空气入侵,烟尘污染都可以减轻或变为极轻的程度,冷空气开始减弱,又无新冷空气补充时,气团迅速变性,一般1—2天后即可出现较为严重的烟尘污染。

(二) 迴流天气形势

当冷空气活动路径偏东,北京地区相应出现偏东风的所谓“迴流”形势时,尽管风速也很小,但一般烟尘污染也比较轻微,图7就是这种天气形势之一。1974年1月26日—2月3日,当偏东风刚形成时,低层层结还不是很稳定的,经过几天变性以后,气层也变得比较稳定(见图7左下),可是这种形势下,尽管风速很小时,烟尘污染并不严重,其天气实况演变,见图7右下。在这种偏东风形势下,所讨论的地区,并不在城区面污染源的下风方而不利于烟尘在城区集中。

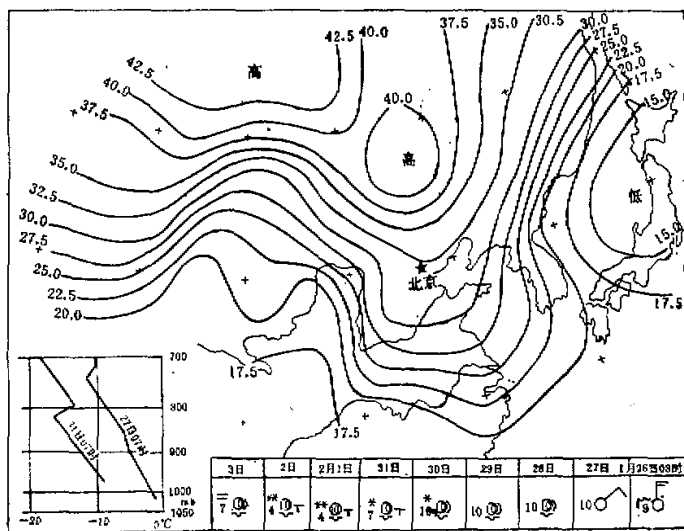


图7 1974年1月27日14时东亚部分地面天气图及1974年1月27日、31日07时北京低层层结曲线(左下),26/1—3/2 8时南郊天气实况(右下),等压线数+1000。

(三) 弱 风 形 势

北京地区出现严重污染的地面天气形势的共同特点是地面气压系统微弱,在这类气压场控制下,风多为 0—2 米/秒的偏北风(夜间—上午的地方性风)或静稳,因此可以称之为弱风形势。下例举几种:

例:华北小低压型。这种型的基本特征是华北地区气压系统微弱,北京地区受华北小低压控制(有时是均压区)。如 1974 年 2 月 12 日 08 时地面天气形势就属这类形势(见图 8)其层结见图 8 左下。

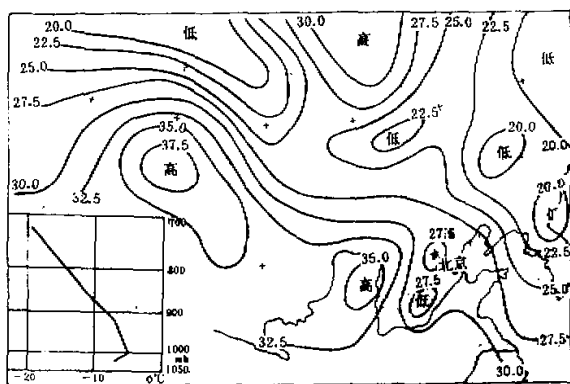


图 8 1974 年 2 月 12 日 08 时部分东亚地面天气图,及 2 月 12 日 07 时北京低层层结曲线(左下),等压线数 + 1000。

例:华北地形槽型。此型主要是冷高南下后,气团变性,在高空偏西气流控制下,在太行山东麓,河北平原北部出现了“动力槽”(此槽有时与东北低压或槽相连接),如 1974 年 3 月 22 日 20 时地面形势就是此种弱风形势(图略)。其层结见图 9。

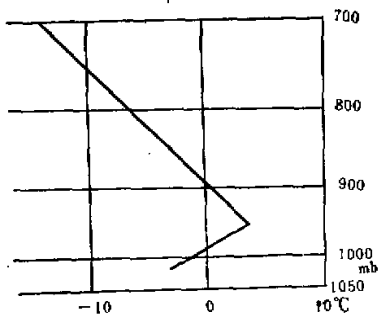


图 9 1974 年 3 月 23 日 07 时北京低层层结

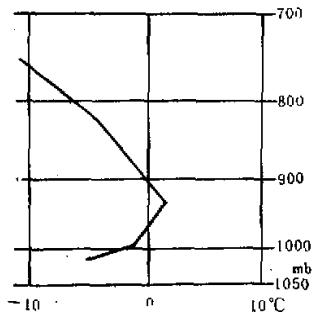


图 10 1974 年 2 月 13 日 07 时北京低层层结曲线

例:华北小倒槽型。这种型的主要特点是,气压系统较弱,沿太行山东麓自华北平原南部向东北方伸一个小倒槽,倒槽北部控制北京地区,使北京地区夜间—上午多地方性的

微弱的偏北(或东北)风,如 1974 年 2 月 13 日 08 时东亚地面形势就属这种型,(图略),其层结特征见图 10。

在冬半年,当无强冷空气入侵时,或南下冷空气变性后,这几种弱风型是经常出现的,且往往维持几天其形势可稳定少变,高空又多受暖性高脊控制,对于辐射逆温的形成极为有利,它们共同点是 ΔT 大, $\left| \frac{\Delta v}{\Delta z} \right|$ 小(见表 7),不利于湍流的发展,因此在这种天气形势下,烟尘的污染都是比较严重的,而且其维持时间也较长,与前节所讨论的北京地区烟尘污染的气候特征及其影响气象条件,基本一致。

表 7 弱风形势举例的 ΔT 、 $\left| \frac{\Delta v}{\Delta z} \right|$ 、

08 时能见度(WW)表

项 目 \ 日 期	1974 年 2 月 12 日	1974 年 2 月 13 日	1974 年 3 月 22 日
能见度(公里) (WW)	2.5 烟	1.5 烟	3 烟
$\Delta T^{\circ}\text{C}$	2	7	6
$\left \frac{\Delta v}{\Delta z} \right \frac{1}{\text{秒}}$	0.017	0.01	0.013

注 说明同表 6。

前面已经分析讨论了北京地区烟尘污染的一般气候规律和天气条件,指出烟尘污染与一定的地面天气形势有密切联系,尤其在冬半年,只要掌握好地面天气形势预报,定性的预报每日的烟尘污染形势并不是很困难的。当污染已经出现,污染预

报则成为预报它何时减轻或消散的问题,这对提供合理的污染物排放时间是有益的,要解决此问题,首先是预报低层大气稳定度的变化。影响大气层结变化的因子是很多的,它们的关系也是比较复杂的。在实际工作中,常采用经验统计方法。本文给出了 12 月份 6—15 时平均气温变化曲线(见图 11)。应用时可以根据已经测得的层结资料(如 01 时资料)和早 6 时的气温来判断,当气团无大变化时,气温上升多少度时低层层结将变为不稳定层结。按照不同的天空状况可以选用适当的曲线,再经过天气条件的订正后即可推得约在什么时刻气层可由稳定(较稳定)转为不稳定(干绝热率),这个时刻也就是污染开始减轻或消散的时间。各月的曲线会有些具体差异,实际工作中需分别进行统计。

有关烟尘污染的这几种常见的天气形势,都是与北京地区烟尘污染密切相关的环流背景。它表明不同天气形势反映出不同的层结状态和湍流参数的特征条件,只要很好地掌握了地面天气形势预报,并对各种天气形势下的低层风及层结结构以及其变化特点进行分析,联系污染源的具体条件分析,就可能做出烟尘污染的形势预报。再以此为线

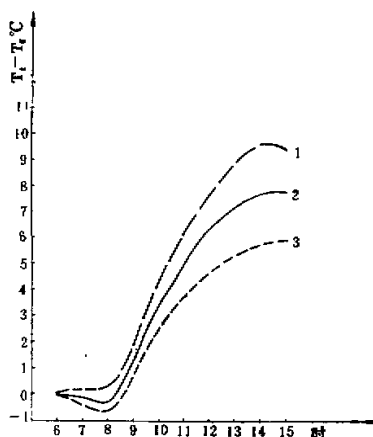


图 11 北京 12 月份 6—15 时地面气温变化 (1968—1977 年平均)
 $T_t - T_6$ 为 t 时温度减 6 时温度

- ① 高日照率 (80% 以上) 气温变化曲线
- ② 平均气温变化曲线
- ③ 低日照率 (45% 以下) 气温变化曲线

索,全面考虑影响污染的各种条件,进一步制定出北京地区烟尘污染的预报指标,将是可能的。

致谢: 本文在工作过程中,周明煜、丁一汇等同志提出了宝贵意见,仅此表示谢意。

参 考 文 献

- [1] Tohiwa Y. 和 Mueller P. K. «测量空气质量的状况». 转引自环境污染分析译文集 P. 6—16, 1974. 4, 科学技术文献出版社。

AN ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE WEATHER CONDITIONS AND THE SMOKE SCREEN IN BEIJING

Liu Rui-chen Li Hong-zhou

Abstract

In this paper some aspects of the occurrence of the smoke screen in Beijing were analyzed and the effects of weather condition on the occurrence were discussed. Some weather types favourable for the occurrences of smoke screen in Beijing are given.