

北京地区逆温层变化规律的初步研究

吕乃平 苏立荣 谢葆良 周明煜

(中国科学院大气物理研究所)

一、引言

有害气体及各种污染物质在大气中的分布、迁移和变化规律是空气污染气象学研究的主要课题。随着现代化工业技术的发展,城市及工业区污染问题更多地受到人们的关心和重视,人们迫切要求了解造成空气污染的各种气象因子,如边界层大气中的风场、温度场、湿度场等,其中逆温层的生成、变化及消失过程以及逆温层的强度、厚度等,是造成空气污染的重要因子。

声雷达的探测资料可以直观地、连续地提供有关逆温层的变化规律,并可用于研究城市或工业区边界层大气的结构。自1968年声雷达从澳大利亚首先应用以来^[1,2],近些年已在环境科学中得到了愈来愈广泛的应用^[3-6]。德国 G. U. Spohn^[7]等人用声雷达观测了科恩的城市边界层结构。美国 P. B. MacCready^[8]提出了把声雷达及地面气象观测资料用于空气质量的模式中。B. R. Kerman^[9]提出了在自由对流边界层中用声雷达探测估计污染物地面最大浓度的方法。P. B. Russell等^[10]在美国加利福尼亚的一个地形及气象条件较为复杂的 San Francisco 海湾区,用13部声雷达布点,同时测量了该地区各个不同地点的温度层结及混合层高度,并将所得结果应用于空气质量模式的研究中。

我们于1975年12月—1976年1月在石景山工业区,1977年5月—6月和10月—11月在北京西郊机场用声雷达^[11]进行了

三次短期连续观测。本文根据这些资料,对北京地区逆温层生消过程的一些特点进行了初步分析。

二、晴天小风条件下辐射逆温的生成和破坏过程

在大气中存在着温度随高度增加或温度随高度降低以及温度不随高度改变三种温度层结。其中温度随高度增加的一层空气称为逆温层。此时,暖而轻的空气在上面,冷而重

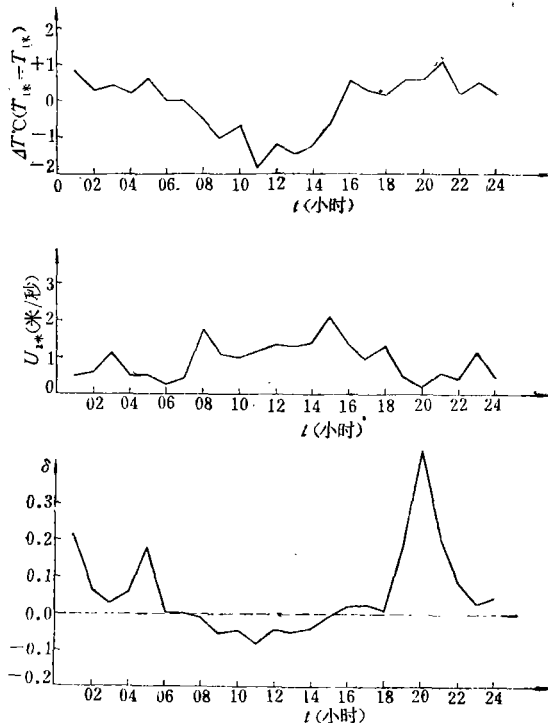


图1 1977年10月12日温度梯度、风速及稳定度日变化

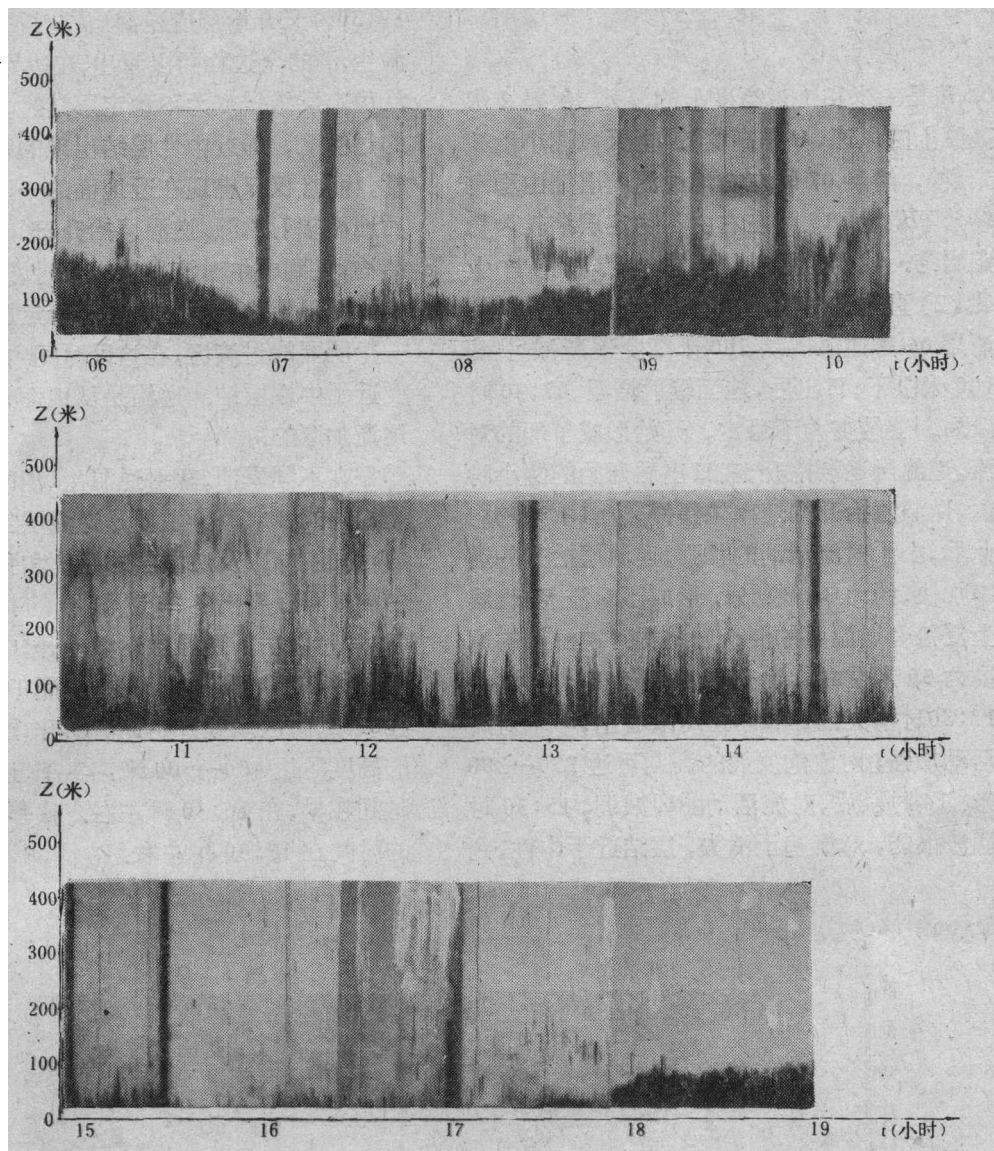


图2 1977年10月12日辐射逆温的形成和破坏过程

的空气在下面,不利于湍流交换,称为稳定层结。很显然,逆温层将抑制污染物质的输送和扩散。逆温的形成可以有各种不同的原因。在晴天小风条件下,会形成典型的辐射逆温,即由于辐射的作用,夜间地面冷却的速率比空气冷却速率快,因而上层空气比贴近地面的一层空气温度高,形成了逆温层。在晴天,小风的天气条件下经常会出现辐射逆温。

从声雷达的传真图片(图2),可以直观地获得逆温层的层次、厚度以及逆温层随空

间的分布及其随时间的变化规律,并可得到在对流活动层上复盖着逆温层的混合层厚度。图片中,黑度大的表示温度梯度大,黑度小的表示温度梯度小。其中一股股垂直向上的气柱表示不稳定层结下的对流泡,逆温层则具有水平分层的结构。

1977年10月12日全天碧空,图1中给出了西郊机场2米高度上的风速,4米及1米高度之间的温差以及稳定度参数 δ 的日变化。其中稳定度参数

$$\delta = \frac{g}{T} H \frac{\Delta T}{u^2}$$

(ΔT 是 4 米和 1 米高度上的温差, u 是 2 米高度上的风速, H 是高度)。全天风速小于 2 米/秒, 清晨 07 时左右地面温度层结由稳定转为不稳定, 15 时左右由不稳定层结转为稳定层结。我们也可以从声雷达传真图片上 (图 2) 直观地看出辐射逆温生、消的全过程。清晨 06 时逆温层从 200 米高度逐渐减小到 100 米以下; 日出后, 地面辐射增温, 07:30 时以后, 层结变为不稳定, 开始形成了弱的对流, 逆温层逐渐抬升, 在日出后开始的两小时内, 逆温层抬升的速率较缓慢, 为 1.1 米/分。此后, 由于对流活动的加强, 逆温层抬升的速率加快, 约为 3.1 米/分, 形成了对流活动层上复盖着逆温层的混合层结构。逆温层的厚度为 50 米左右, 抬升到 400 米高度, 并在 12:30 时消失。从图 2 中还可以看出, 中午对流活动加强, 对流泡发展的高度可达 250—300 米。14 时以后, 对流活动明显减弱, 15:30 时回波很弱, 对流趋于消失, 层结近于中性, 到

17:30 时又开始形成逆温。从分析上述辐射逆温生、消的全过程可以看出, 在边界层大气中, 从稳定层结转变为不稳定层结时, 没有明显的过渡区, 即近中性层结出现的时间十分短暂, 而且仅仅出现在近地面的一层内。日出后地面辐射增温, 逆温层抬升, 形成了混合层结构, 直到中午对流发展较强时, 逆温层才消失。而从不稳定层结转变为稳定层结时, 有一个明显的过渡区, 在这段时间内, 大气稳定度近于中性层结。逆温是从地面开始形成而逐渐加厚的。

在不同季节, 辐射逆温生、消的基本规律是相同的, 其差异主要是逆温层生成和消失的时间不同以及逆温层的厚度和强度不同。由图 3 可以看出冬季逆温层的抬升过程, 09:30 时以后, 逆温层逐渐抬升, 中午逆温层抬升到 200 米高度上消失。而 10 月份逆温在 07:30 时以后就开始逐渐抬升, 逆温层抬升的高度可达 400—500 米。冬季, 逆温形成的时间较早, 在 16:30 时左右。秋季, 逆温形成的时间在 17:30 时左右。

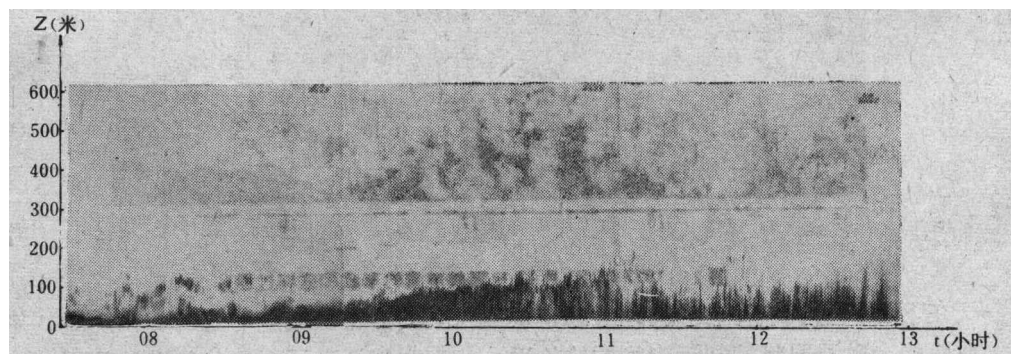


图 3 1975 年 12 月 31 日冬季逆温层的抬升

三、逆温层的多层结构

从声雷达的连续探测记录, 经常可以观测到逆温的多层结构。这种逆温层的多层结构, 在边界层大气中各个不同季节都是经常存在的, 即在 1 公里高度以下, 可以出现几层逆温 (如图 4)。有时, 甚至在 300—400 米的

高度范围内也可以出现几层逆温。逆温层的强度和厚度随时间有变化, 而且经常产生波动, 波动的幅度有时可以超过 100—200 米。这种多层逆温, 往往是在接近地面的一层逆温较厚, 而上层逆温较薄, 其厚度有时只有 30 米左右。通常采用探空气球或系留气球测温不能得到连续的或较详细的垂直分布, 而

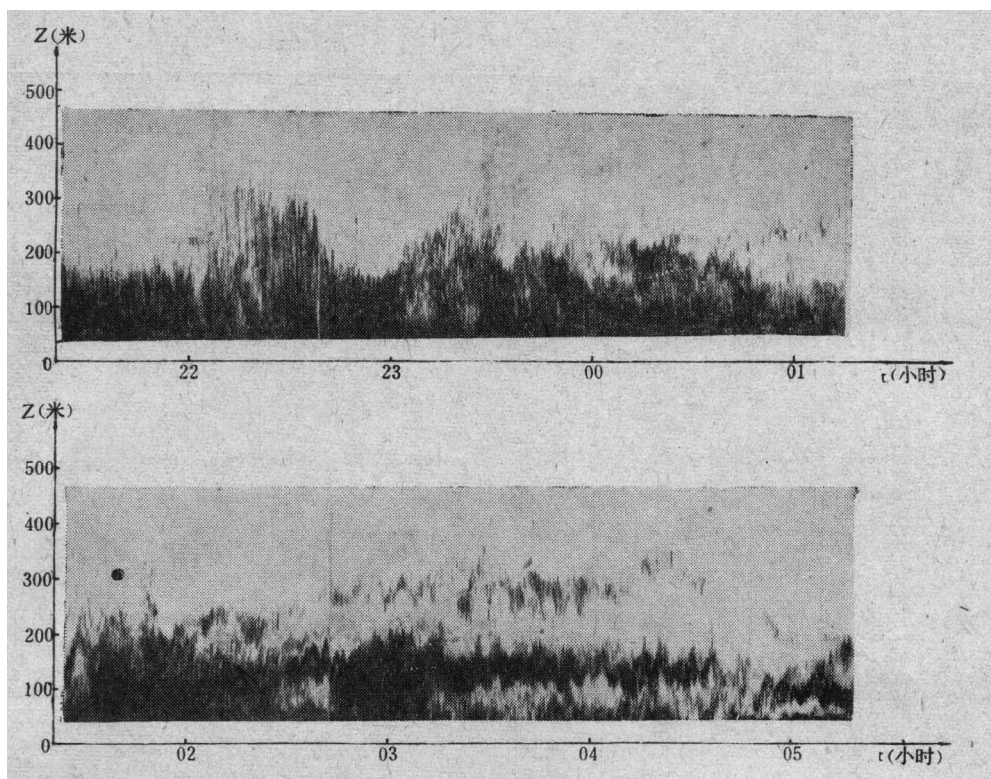


图4 逆温层的多层结构

且观测次数有限。用铁塔在不同高度上布点测温,可以获得较精确的温度梯度的垂直分布及其随时间的变化,但其探测高度受到塔高的限制。当逆温层的厚度较薄时,上述探测方法均有可能漏测。用声雷达探测时,虽然不能得到温度梯度的定量值,然而可以获得逆温层随空间的分布及其随时间连续变化的资料,这对于研究边界层大气温度场的结构是十分有效的。

多层逆温形成的物理过程及气象条件尚需做进一步的分析研究。根据我们现有观测资料的初步分析可以看出,当风速较小或天气系统发生某些变化时,容易出现多层逆温。在北京地区春末和夏季比其它季节更容易出现逆温层的多层结构。

1977年6月5日,天气晴朗,天空有少量高云,中午12时以前,西郊地面观测记录的风速基本上为静风,12时风速骤然增加到8米/秒,12时至19时之间地面平均风速为

6—10米/秒,阵风达15米/秒,20时至22时风速减小到5—6米/秒,23时地面风速记录为静风。此后,地面风速均小于2—3米/秒。6月6日06时,天空出现了中云和低云,云量开始增加,在8:44时至8:54时在机场上空出现了短促的10分钟的小阵雨,天气由晴转多云。相应地从声雷达资料(图片略)上看出,18时至19时有明显的风噪声,只在100米以下有较弱的一层逆温,19:00时至22:40时基本上是一层逆温,但逆温层加厚,强度加大。22:40时以后,即当地面风速由大风减小为近于静风时,逆温层开始分层,在500米以下,有4—5层逆温。日出后,接近地面的一层逆温消失,由于天空云量较多,只有较弱的对流活动,这时,对流活动复盖着的逆温层不止一层而是三层或更多,形成了多层逆温条件下的混合层结构。从图5中还可看到,在8:44时至8:54时有一次短促的降水,降水以后,逆温层的强度明显减弱,原来在200—300米之间的

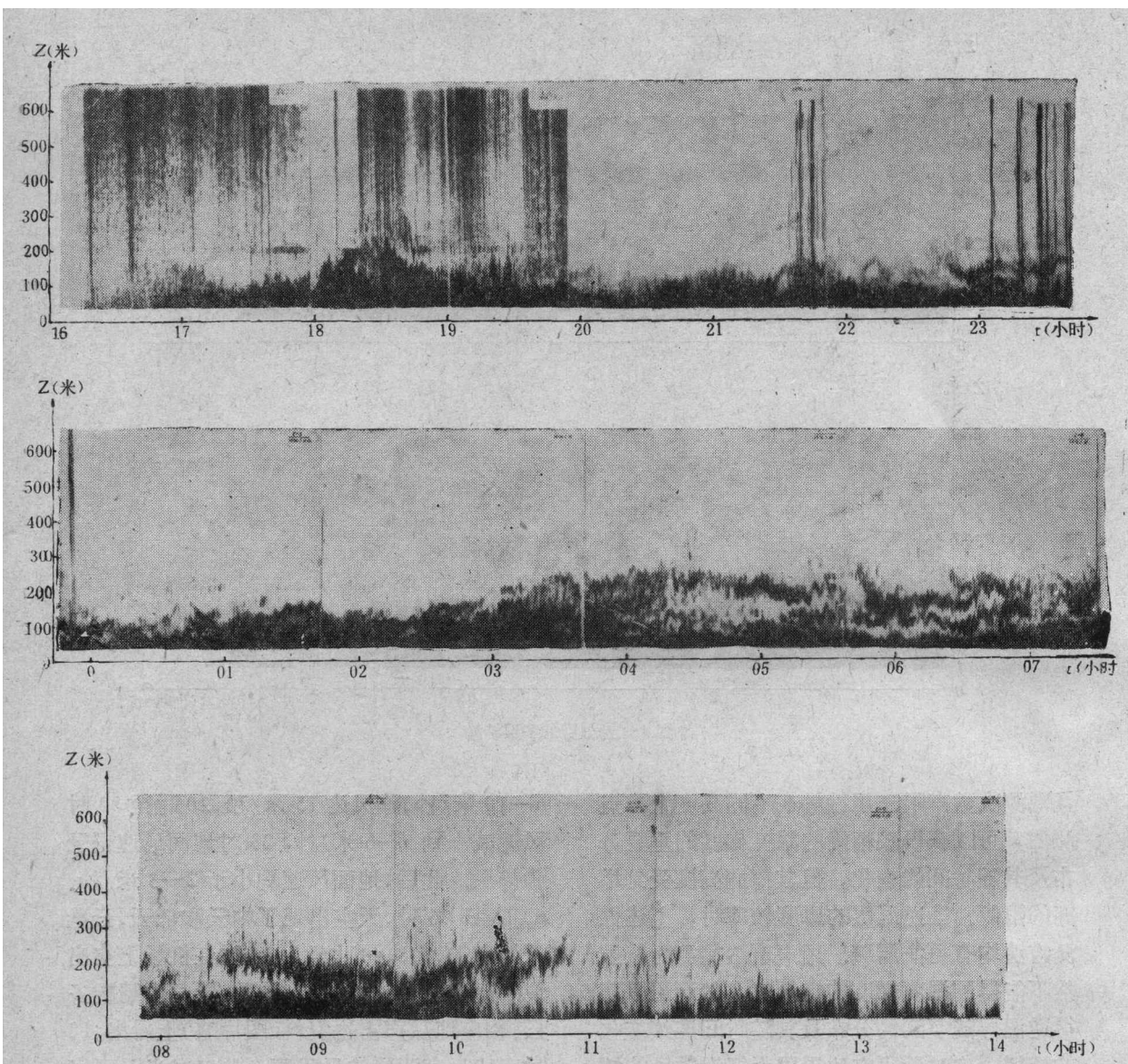


图5 1976年1月11日至12日冬季多层逆温的生成与消失过程

一层逆温于10时左右消失，在400—500米之间有一层较弱的逆温。在上述情况下，多层逆温的生成和消失过程，不仅与大气的辐射状况有关，更主要地与边界层大气中天空条件的变化有关。

图5是1976年1月11—12日在北京石景山工业区的一次观测结果。同时，在80米小塔上有风速及温度梯度的观测（如图7）。此日，天气晴朗，碧空，47米高度上的风速小于5米/秒。从图5声雷达图片上看出，逆温

形成的时间和小塔上77米与29米之间温度梯度的变化一致。21:30时逆温层开始分层，04时至07时逆温分为4—5层。9:50时从声雷达图片上看出有弱的对流产生，贴近地面的一层逆温在10:10时消失，而200米高度上的一层逆温，维持到12:30才消失。该日无明显天气变化，大气中的辐射过程是逆温层生、消的主要因子。此时，多层逆温的形成是否与石景山地区尘埃或气溶胶粒子的分布或与边界层大气中风场等气象要素的分布有

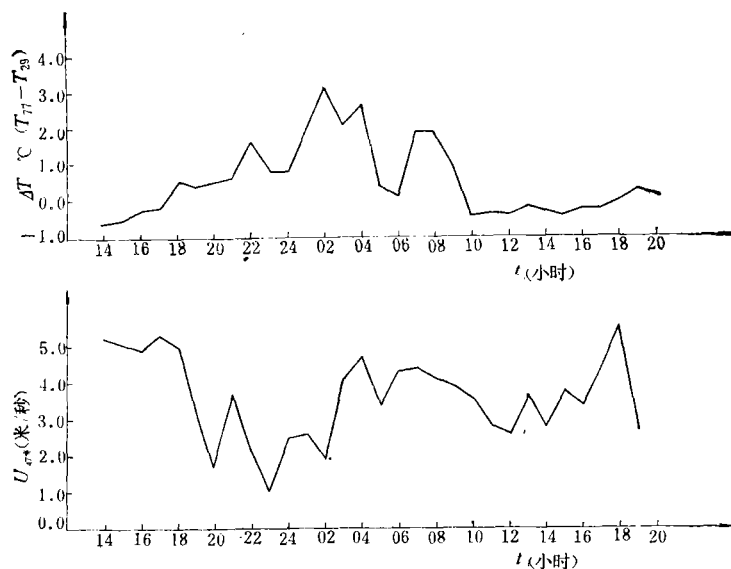


图7 1976年1月11日至12日度温梯度和风速的日变化

关,有待今后做进一步研究。

四、结 论

根据声雷达的观测资料,我们对北京地区逆温层生消过程作了初步分析,得出以下几点看法:

1. 在晴天,小风条件下,在边界层大气中会形成典型的辐射逆温。在逆温开始形成即从不稳定层结向稳定层结转变时,有明显的过渡区。而逆温层的破坏,是一个逐渐变化的过程,近中性层结出现的时间很短,并且存在一个对流活动层上复盖着逆温层的混合结构。

2. 冬季,在下午16:30左右辐射逆温开始形成,比初夏或秋季约早1小时。早晨9:30时左右开始产生弱的对流,逆温层开始抬升,比秋季或初夏约晚两小时。

3. 冬季,对流比初夏和秋季弱,辐射逆温抬升到200—300米左右消失。秋季,可抬升到400—500米左右。一般在日出后开始的两个小时内,抬升速率较慢,以后,由于对流活动加强,抬升速率加快,到中午逆温层才消失。

4. 在边界层大气中,经常出现逆温层的

多层结构。多层逆温形成的气象条件和物理过程需要做进一步研究。从初步分析看来,多层逆温通常出现在小风条件下,并与天气条件的变化有关。在我们的三次观测期间,初夏季节出现多层逆温的概率更多,结构也更明显,有时会出现重力波的波动。多层逆温消失时,会出现混合层高度的不连续变化。

边界层大气中的逆温层对污染物质的扩散是十分不利的。我们认为用声雷达的连续观测记录,与其它的气象观测和污染物浓度的监测相配合,将有助于建立合理的污染预报模式。随着我国科学技术及工业生产的发 展,对于边界层大气物理规律以及大气污染问题的研究将愈益受到重视。声雷达作为一种有效的探测手段将会迅速地 在环境科学中得到广泛的应用。

参 考 文 献

- [1] Little, C. G. *Proc. IEEE*, **57** 571 (1969).
- [2] McAllister, L. G. et al, *Proc. IEEE*, **57** 579 (1969).
- [3] Simmons, W. R. et al., *NOAA Technical Report ERL 216--WPL 17*, (1971).
- [4] Fukushima, M. et al., *Journal. of The Met. Soc. of Japan*, **52** (5), 438 (1974).
- [5] Damhevala, R. J., *AIAA Paper*, No. 1124, (1971).
- [6] Beran, D. W. et al., *Boundary Layer Meteoro-*

- logy, 4 (1-4), 133 (1973).
- [7] Spohr, G. U. *et al.*, *Fourth Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation*, P. 487, 1978.
- [8] Mac-Cready, P. M., *ibid*, P. 321, 1978.
- [9] Kerman, B. R., *ibid*, P. 371, 1978.
- [10] Russell, P. B. *et al.*, *ibid*, P. 490, 1978.
- [11] 中国科学院大气物理研究所声雷达组, 大气科学 1, (1976).

某化工厂(山区)大气污染的气象条件 与气体扩散的试验研究

温玉朴

彭贤安

蒋燕霞

(中央气象局) (中国科学院大气物理研究所) (湖南省气象局)

本文通过山区气象考察和气体扩散试验,分析研究不同气象条件下的气体扩散规律,讨论气象条件对有害气体散布范围和浓度分布的影响。

一、气象观测和大气扩散实验方法

我们使用铜电阻温度仪、自记电接风向风速仪,单经纬仪等仪器,并利用百米高的烟囱作温度和风速垂直剖面观测,观测高度分别为2米、8米、16米、30米、50米和70米。每小时观测一次,从正点开始持续记录10分钟,然后求其平均值。扩散试验时,10分钟时间内每10秒钟观测一次温度和风速。

在垂直剖面测点附近还用系留气球测量大气温度的垂直分布,并且进行云状、云量和风速的常规气象观测。

气体扩散模拟试验共分三个阶段:第一阶段在主要污染源——百米烟囱口施放烟雾剂直观观测大气污染情况,并用摄影方法在不同地点拍摄烟道轨迹,观测和分析各种不同稳定度条件下气象条件对污染物扩散的影响。第二阶段,根据生产过程中将要排放的有害气体及排放量,选择乙炔作为高架源模拟气体,在百米高烟囱口释放,在其下风方向的地面布点取样。第三阶段,为了模拟地面

源的浓度分布,我们选择乙醇蒸气作为模拟气体连续释放,在顺风方向取样分析。

二、气象特征

化工厂位于丘陵起伏的东北—西南走向的小山沟中,山沟的地势为东北高西南低,山沟平均宽度100米。偏北方向有一座百米左右的山丘。

1. 山谷风:

山谷风是山区晴天特有的气象特征。从观测资料统计得出,沟内山谷风的风向是顺着山谷的。通常山风转谷风的时间在早上07时左右,谷风转山风的时间多在午后06时左右。山风风速小于谷风风速。在风向转换期间,50米以下山谷风风向来回多变,风速较小,这时非常容易引起污染物的滞积。

风速很小时,污染物不容易扩散,厂区小于1米/秒的小风持续时间一般为10小时,最长可达17小时。

在连续排放的情况下,山风和谷风的日变化是造成山区局地大气污染的一个重要原因。为了使污染源摆脱这种局地环流的影响,在修筑高烟囱时必须考虑山谷风的厚度。为此,我们在相距约四公里的对照点,同时进行高空测风,如图1所示。从图上可以看