逆温与空气污染*

蒋瑞宾　李郁竹

污染物污染空气的程度，除污染源的强度及地形的影响外，主要取决于大气本身的扩散稀释能力。而大气稀释扩散能力的强弱又与当时大气稳定状况有关。就大气层结的稳定状况来说可以用温度随高度的变化，即温度的铅直梯度（$\gamma=-\frac{\partial T}{\partial Z}$）来判定。$\gamma$值愈小则气层愈稳定。当$\gamma<0$时就有逆温存在。如果掌握了逆温的生成条件、强度、厚度及变化规律，就有可能进一步对逆温的生消、强弱做出预报。这对于研究大气污染程度，合理进行排放有很大意义。

本文用北京地区两期试验数据，试对采暖季节逆温（辐射逆温和等温）的特点及逆温与二氧化硫浓度的关系作一些探讨。

一、辐射逆温的特点

北京地区冬季出现逆温比较频繁，尤以晴朗微风的夜晚最宜形成较强较厚的逆温层。从本次试验中07时和19时的探空资料看出，2、3月逆温出现的频率（37%）比11、12月出现的频率（78%）小。尤其是19时出现的频率（20%）更小。这主要由于第一期试验处于冬季，地面辐射冷却较强。而第二期尤其是后期，大气环流形势开始向春季转换，随着太阳高度的升高，日照时间的增长，故逆温出现频率明显减少。

11、12月的$\bar{\gamma}$值（-1.54）比2、3月$\bar{\gamma}$值（-1.03）小，这表明第一期逆温的平均强度比第二期强。表现在γ的最小值（γ_{min}）上更为突出。11、12月γ_{min}达-5.7℃/100米，而2、3月的γ_{min}仅为-2.9℃/100米，这也说明了冬季的夜晚地面辐射冷却很强。

从逆温层的厚度变化上也可看出，早晨比晚上要厚。早晨逆温层平均厚度可达400—500米，而晚上在300米以下。在一般天气情况下，晚上19时开始形成逆温，经过夜间的充分辐射冷却，至第二天早上07时形成一个较厚的逆温稳定层。

二、逆温与二氧化硫浓度的关系

1.逆温强度与二氧化硫浓度的关系

根据07时探空计算之辐射逆温资料与全市各监测点的二氧化硫浓度平均值进行了对比分析。图1为11、12月份07时浓度值与逆温强度变化曲线，从图可明显看出，随着逆温强度的增加，二氧化硫浓度值增大。二者的变化趋势基本一致。并有比较好的正相关（见图2）。其相关系数r=0.81，相关直线方程为：

---

* 本文为北京地区空气污染气象条件预报总结座谈会报告之一

$$q = -0.51\gamma + 0.21$$

在11、12月份的资料中，当$\gamma \leqslant -1.0$℃/100米时平均浓度值$q \geqslant 0.3$毫克/立方米（18次中仅有一次$q < 0.3$毫克/立方米，此次出现零星小雪故可作特殊情况处理）。当$\gamma \leqslant -2.0$℃/100米时，$q \geqslant 0.5$毫克/立方米。这说明了随着逆温强度的增加，浓度值增加，在2、3月份的资料中，当$\gamma \leqslant 0.0$℃/100米时也就是说只要有逆温或等温层生成，浓度值$q \geqslant 0.3$毫克/立方米。

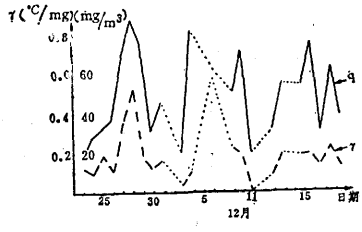


图1　11、12月份07时逆温强度与浓度变化曲线

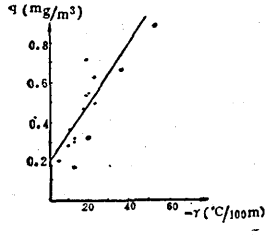


图2　11、12月份07时Y与q点聚图
$q = -0.51Y + 0.21$　$r = 0.81$

从上述分析可以看出，逆温层的存在对二氧化硫的扩散，尤其是在垂直方向上的扩散，起着重要的抑制作用。而逆温强度的不同，对浓度的影响亦不同，强逆温的抑制作用更为明显。

2.逆温层厚度与二氧化硫浓度的关系

逆温对污染物扩散的影响，不能单从逆温强度来衡量，还应考虑逆温层的厚度及逆温维持时间。根据

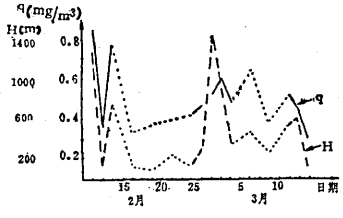


图3　2、3月份07时逆温层厚度与浓度变化曲线

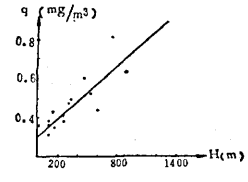


图4　2、3月份07时浓度与逆温层厚度点聚图
$q = 0.0004H + 0.31$　$r = 0.89$

第二期试验资料，分析了逆温层厚度与二氧化硫浓度之间的关系。分析表明，2、3月份浓度值与逆温层的厚度（H）不仅有比较一致的变化趋势（见图3），而且有较好的正相关（图4）。其相关系数$r = 0.89$，相关直线方程为：$q = 0.0004H + 0.31$

3.逆温强度、厚度及浓度类别的关系

为了寻求有预报意义的点聚图，我们试点绘了逆温强度、逆温层厚度与表征全市二氧化硫浓度水平的三种类别**的三要素点聚图(见图5、图6)。从图5、图6看出，逆温的强度和厚度达到一定值时，就可能出现一定强度的污染。同时也看出，即使逆温强度不很强，甚至是等温，只要逆温层达到一定厚度，（本试验中表现为500—600米以上）也会出现一定强度的污染。逆温强度大、厚度小与逆温强度小、厚度大对污染物稀释扩散的抑制可能起到相同的作用。当然逆温强度强、厚度厚更易于造成严重污染。因此在污染气象条件预报中，逆温是一个很重要的参数。

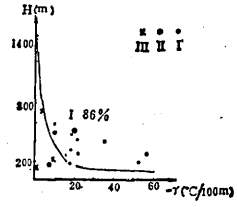


图5　11、12月份07时Y、H及浓度类别点聚图

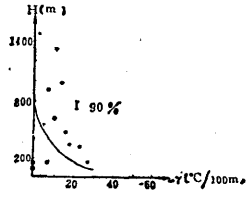


图6　2、3月份07时Y、H及浓度类别点聚图

三、强逆温形成过程与其它气象因素的关系

逆温形成的过程是多种多样的。这里仅就辐射逆温进行讨论。

由于地面的强烈辐射冷却而形成的辐射逆温，它的生成与哪些气象因素有关呢？下面根据本次试验中的几次强逆温（逆温强度$\gamma < -2.0$℃/100米或者逆温层厚度$H > 500$米的逆温）过程进行分析。

1.逆温与风速的关系

辐射逆温的生成与地面风速关系十分密切，风大时，大气的垂直混合强，不利于近地面气层的冷却；无风时，冷却作用又不能扩展到比较高的气层中去，也不利于逆温层的加厚。只有在风速适当时，才能使逆温层既有相当的厚度而又不至于因乱流混合作用使逆温破坏。

从本次试验看出，出现强逆温时风速小于3米/秒的频率为95%，风速小于2米/秒的频率为76%，进一步证明了小风的存在有利于强逆温的生成。

2.逆温与各高度上变温的关系

逆温与地面的降温：用当天的最低气温与前一天20时的气温之差来表示它的前期降温情况。在17次强逆温过程中，二者之差小于－5℃的占90%左右，说明辐射逆温的生成主要取决于地面的辐射冷却作用。但在它的上层如有暖平流或下沉增温等现象发生时，

** 污染类别标准请参看《气象》1981年第11期27页

有可能使逆温层的厚度向上延伸得比较高。我们计算了300米、500米、900米和1500米各高度上的24小时变温，当逆温层厚度大于500米时，各高度上24小时变温绝大部份为正值。并且从300米到1500米高度愈向上，24小时变温愈大。这说明深厚的逆温层的形成可能是几种原因同时作用的结果。

3.逆温与混合层高度的关系

大气混合层的产生主要是温度层结的不连续，混合层高度可以看作是干绝热递减率的上限高度。具体地指示出污染物在铅直方向能够被热力湍流所扩散的范围。因此混合层的高低可以影响污染物在铅直方向的扩散。根据美国求混合层高度的方法，在温度-对数压力图上，以最低气温加3度（考虑北京城市热岛效应）的温度为起始温度，沿干绝热上升，与早晨温度探空曲线的交点到地面的几何高度为早晨时段的混合层高度。如果有逆温存在，混合层高度均比较低，如果γ值比较大，则混合层高度就高。在此次试验中，当$\gamma<-2.0$℃/100米时，混合层高度一般低于70米，随着γ值的增大，混合层高度相应有所增加，当$\gamma<-1.0$℃/100米时，混合层高度一般低于150米。

4.逆温与天气形势的关系

大量的探测和试验表明，逆温的形成要求一定的天气条件，即晴夜微风。但其强弱、维持时间还有不同。强逆温一般出现在高压控制或低层具有弱辐合的华北倒槽、两高之间的辐合带、鞍形场的均压区以及具有地方性的华北小低压等天气形势下。

在高压控制的地区，天气一般晴好，夜间有利于地面的辐射冷却，再加上大范围的空气下沉运动，往往在1—2公里的高度上可能出现逆温。加上地面的辐射冷却作用，使逆温加强。

当出现华北倒槽、两高之间的辐合带、鞍形气压场及华北小低压时，一般天气形势比较稳定，气压梯度比较小。再加上低层有弱的辐合上升使地面的冷却作用影响到比较高的高度，故使逆温层达到相当的厚度。

四、逆温预报

北京地区的冬季如无强冷空气伴随大风或降水时，极易形成辐射逆温，在逆温层中由于大气层结相当稳定，阻碍大气垂直运动的发展，因此常在逆温层中聚集着大量烟尘和有害物质，造成污染。在空气污染气象预报中逆温预报是一个很重要的方面。

在本次试验中，根据北京地区辐射逆温形成的条件，并参照苏联逆温预报的经验，利用点聚图方法对试验期间的辐射逆温进行了预报。

1.预报参数的选取

统计分析表明，定性预报有无辐射逆温可参考两个参数。一个是夜间冷却和白天增温的温度变化量，另一个是夜间冷却和白天增温前期的近地层500米内平均温度垂直递减率。在存在弱平流或无平流情况下，第一个参数表征近地层空气冷却或增暖的程度。第二个参数则表征夜间冷却与白天增温前的大气低层的稳定程度。

2.预报点聚图的制作

本次预报用点聚图是根据北京市气象局观象台1976—1980年5年的地面和探空资料点绘，点聚图分上、下午点绘，共点绘了1、2、12三个月。上午逆温预报点聚图的横坐标取日最低气温与前一日20点气温之差（$T_{min}-T_{20}$），纵坐标取前一日19时500米内平均温度垂直递减率（$\bar{\gamma}_{0-500}$），逆温出现的实况取自当日08时探空资料。以12月份的图为例(图7)，下午逆温点聚图的横坐标取当日最高气温与02时气温之差（$T_{max}-T_{02}$），纵坐标取当日01时500米的平均温度垂直递减率（$\bar{\gamma}_{0-500}$）。逆温出现的实况取自当日19时探空资料（图略）。

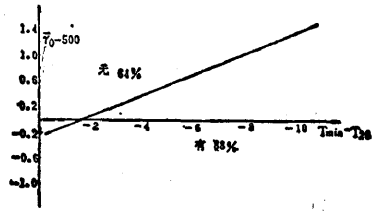


图7　12月份07时逆温点聚图
纵座标有γ_{0-500}

3.点聚图的使用和验证

根据每日预报的最低和最高气温，求出$T_{min}-T_{20}$和$T_{max}-T_{02}$，并根据探空实况计算出$\bar{\gamma}_{0-500}$，就可从相应月分和时段的点聚图上查找是否有逆温形成。点聚图验证结果列于附表。

附表　点聚图验证情况表

准确率 / 逆温 / 时间		有辐射逆温			无辐射逆温		
时	月	出现次数	报对次数	准确率(%)	出现次数	报对次数	准确率(%)
07	11—12	22	17	87	9	6	67
	2—3	16	12	75	14	11	79
19	11—12	26	24	90	5	4	80
	2—3	6	5	83	24	22	92

4.几点说明

（1）基于本图的制作原则，只能在没有特殊的天气情况下使用。如遇有寒潮、大风、锋面过境、降水等不利于形成辐射逆温情况时，此图不宜使用。

（2）目前此图只是定性得出逆温的有无，对逆温的强度、厚度不能给出定量预报。

（3）通过本次试报发现，当逆温形成前三小时内如风速小于3米/秒，会出现辐射逆温。由于高云形成的阴天，将不影响辐射逆温的形成。当低云阴天时，则辐射逆温不会出现。逆温形成前期的降温（用$T_{min}-T_{20}$表示）低于－3℃时将会有辐射逆温形成，若低于－5℃时，则可能形成较强的辐射逆温。