

北京燕山地区声回波探测资料的统计分析*

吕乃平 周明煜 苏立荣** 陈炎涓

(海洋环境预报中心)

(大气物理所)

近十几年来,许多国家用声雷达长时间的连续观测资料为厂区、城区和山区污染状况的预评价和污染事件的监测和预告服务^[1,2],并进行了边界层气候和污染气候方面的研究^[3,4]。如何更有效而合理地使用声雷达的长时间连续观测资料,并从中获得有规律性的结果,是十分重要的问题。我们于 1984 年 5 月 26 日至 6 月 23 日,10 月 6 日至 12 月 12 日,1985 年 1 月 8 日至 2 月 8 日,4 月 11 日至 26 日四个季节,在北京西南郊燕山石油化工总厂环境监测站,用测温声雷达进行了连续观测。国外的实验以及我们在北京 325 m 气象铁塔观测场的实验结果表明,声雷达探测的逆温层高度,对流热羽和混合层高度与铁塔和系留气艇直接测量的结果较为一致。本文提出了根据声雷达回波结构的特征,按温度层结特性进行分类的方法。给出了不同天气条件下逆温层、对流热羽和混合层的平均高度,逆温持续时间,及其在不同季节的统计平均特性。分析了稳定、不稳定和中性层结出现的频数分布。

1. 单点声雷达回波结构的分类

单点声雷达的回波强度与温度梯度的平方成正比,温度层结不同时,回波形状不同^[5]。Thomson^[6]最早对声雷达回波进行了分类。根据我们多年来积累的声雷达观测资料及分析,按热力层结的稳定性对声雷达回波资料做如下分类,见图 1。

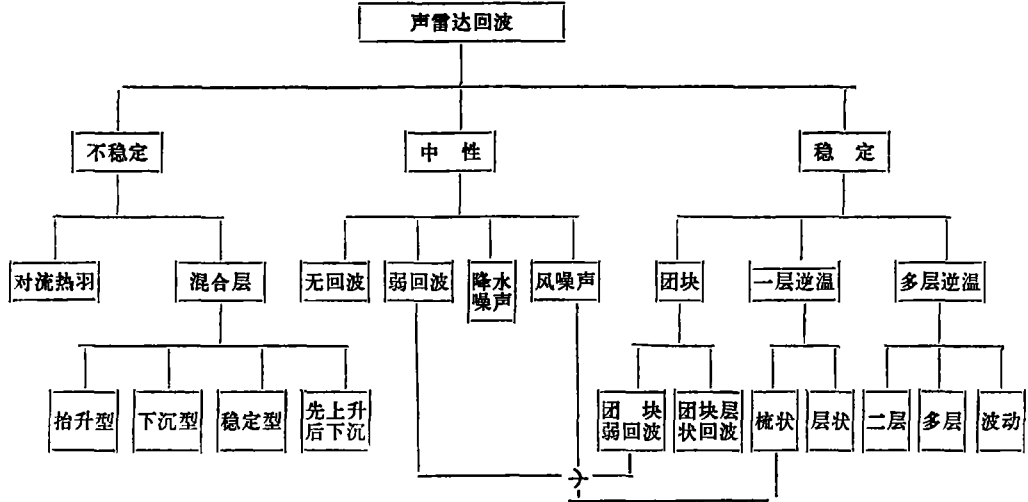


图 1 声雷达回波分类

1) 近中性层结

(1) 无回波或弱回波。出现在晴天日落后由热对流向逆温层过渡时的近中性层结,以及阴天有低云复盖的天气。

* 本文于 1986 年 7 月 7 日收到,1986 年 12 月 25 日收到修改稿。

** 本文为作者在大气物理所期间的工作。

(2) 风噪声。由强风引起的风噪声信号,或呈现为垂直梳状结构的回波。

(3) 降水噪声。有明显的强降水干扰回波信号。

2) 不稳定层结

(1) 对流热羽回波。呈现为几分钟或十几分钟周期的一股股垂直向上的回波,出现在好天气条件下,多云时回波强度较弱,高度较低。

(2) 混合层结构。在对流热羽上复盖着较薄的逆温层的回波结构。在不同天气条件下出现四种类型:(a)抬升型。好天气条件下热对流驱动逆温层抬升。(b)下沉型。在某些天气系统影响下,逆温层从较高的高度下降,近地面层热对流回波强度较弱,高度降低。(c)稳定型。对流热羽上的复盖逆温随高度无明显变化。(d)先抬升后下沉。

3) 稳定层结

(1) 近地面一层逆温。日落后,由于地面辐射冷却而形成。包括层状回波结构和垂直梳状回波结构。后者是在夜间风速较大时,使夜间形成的逆温减弱,回波呈现为一条垂直梳状结构,但区别于热对流时的回波结构。

(2) 多层逆温。经常出现在夜间小风条件下,其中包括二层逆温和多层逆温,有时,在逆温层上呈现明显的波动结构。

(3) 团块回波。通常出现在小风、湿度较大的阴雨天气及强降水前后。团块回波可以出现在无层状回波结构的各个高度上,为近中性层结;有时与层状回波结构同时出现,为弱稳定层结。

在上述对声雷达回波分类的基础上,我们对燕山石化区四个季节的观测资料进行了统计分析,从图2可以看出燕山石化区不同季节温度层结的基本特征:

冬季1—2月属于稳定层结的回波最多,占69%,秋季10月次之,春季4月最少,占46.3%。这是由于冬季晴天居多,白天日照时间短,夜间逆温持续时间长,而春季平均风速较大,逆温持续时间较短所致。

在稳定层结回波中,冬季1—2月近地面一层逆温出现的概率最大,占42.1%,在四个季节中,秋季10月份多层逆温(包括二层逆温)出现的次数最多,占28.5%,夏季为21.6%,春季4月份仅占11.3%。

不稳定层结的回波以4月和6月居多,分别为38.0%和34.3%,冬季1—2月只占21.9%。其中4月份对流热羽占31.1%,而混合层仅占6.9%。这显然是因为平均风速大,湍流混合强,复盖逆温不易维持所致。

近中性层结的回波在春季4月最多,占15.7%,6月次之,占13.3%,1—2月最少,仅占8.1%。

此外,6月是北京初夏雨季开始的时间,空气湿度较大,在夜间有雷暴和降水天气过程时,经常出现团块回波。在燕山地区观测的团块特性与周明煜等^[7]对团块回波的分析结果一致, Singal 等^[8]在印度德里也观测到类似的回波,他们称为“点状”(Dot echo)回波。在燕山石化区6月份团块回波出现次数占23.5%,其中,近中性层结时出现团块回波的次数占3.4%。在进行观测的其他几个季节内,均未出现明显的团块回波。

2. 燕山石化区不同季节温度层结变化的统计特性

1) 不同季节逆温的生成、消失过程

声雷达回波图象表明,从对流消失到逆温形成,经过一段近中性层结的过渡区,回波强度很弱;逆温消散的过程不存在明显的近中性层结的过渡区。日出后,由于辐射增温,在近地面层产生了由稳定层结向不稳定层结的转变,在热对流的驱动下,逆温逐渐抬升并被腐蚀,形成对流活动层上的复盖逆温,即混合层。随着对流活动加强,逆温逐渐消失。这是各个季节所具有的共同特点。比较四个季节的声雷达回波图,可以看出辐射逆温生成和消失的时间不同,如表1所列。6月份从逆温向对流过渡的时间最早,为

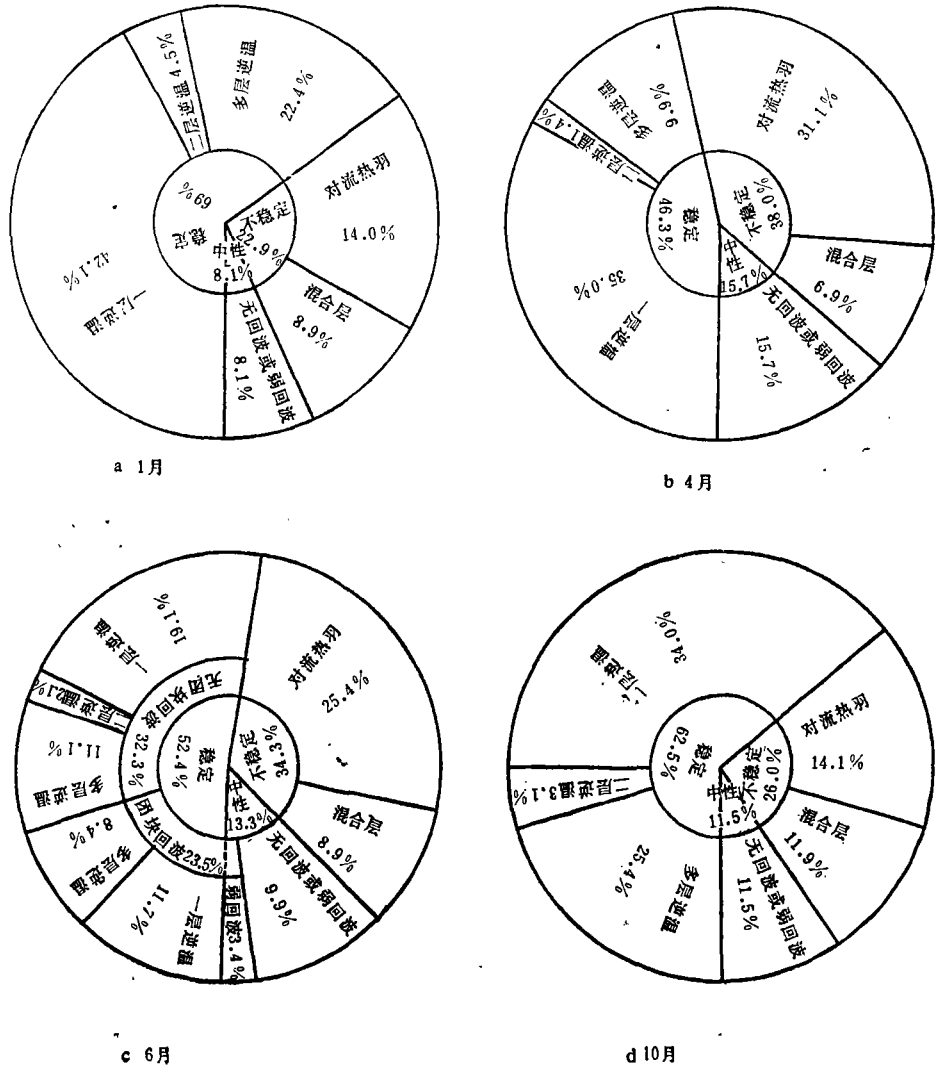


图 2 声雷达回波的统计分类

(a, 1985 年 1 月, b, 1985 年 4 月, c, 1984 年 6 月, d, 1984 年 10 月)

07:10 左右, 而从对流向逆温过渡的时间最晚, 为 18:20 左右, 冬季 1 月相反。

2) 不同季节逆温层、混合层、对流热羽的平均高度

由声雷达回波图片, 取正点前 10min 的平均值代表 1 个小时的平均值, 得出一天中每小时的逆温层, 混合层及对流热羽的平均高度, 再对一个月或一个季度逐时的资料取平均, 得出统计平均结果。文中取近地面层的逆温高度为一层逆温高度, 有二层或多层逆温存在时, 以最高一层逆温层顶的高度作为最大逆温层高度, 对流热羽平均高度为对流高度, 对流活动层上复盖逆温层底的高度为混合层高度。表 2 列出了晴天及各种天气条件下(包括晴天、多云及阴天)不同季节夜间逆温层的平均高度。可以看出, 冬季晴天 1 月份近地面层逆温高度最低, 春季 4 月份次之, 初夏 6 月份最高, 秋季 10 月与 6 月相近。各种天气条件下不同季节逆温层的平均高度与晴天时的变化趋势基本一致。春季 4 月晴天, 近地面层的逆温高度与最大逆温高度相近, 这是由于春季平均风速较大, 湍流混合较强, 近地面层逆温和最大逆温层高度的界线不明显, 其他季节, 特别是夏季和秋季有较大差异。图 3 为四个季节逐时平均的逆温层高度随

表 1 不同季节逆温形成和消散的时间(北京时)

| 逆温 状况 | 季 节 | | | |
|----------|------------|------------|---------------|-------------|
| | 春 (4 月) | 夏 (6 月) | 秋 (10—11月) | 冬 (1—2月) |
| 逆温消散 | 07:30 | 07:10 | 08:00 | 09:30 |
| 逆温形成 | 17:50 | 18:20 | 17:00 | 16:30 |
| 逆温持续时间 | 13:50 | 12:50 | 15:00 | 17:00 |

表 2 晴天及各种天气条件下不同季节逆温层的平均高度

| 天气条件 | 晴 天 | | | | 各 种 天 气 | | | |
|-------------|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|
| | 1 | 4 | 6 | 10 | 1 | 4 | 6 | 10 |
| 近地面层逆温高度(m) | 121 | 135 | 166 | 148 | 125 | 139 | 120 | 148 |
| 最大逆温高度(m) | 160 | 154 | 238 | 257 | 174 | 163 | 180 | 206 |

时间的变化。在逆温形成的最初几小时,逆温层高度逐渐增加,逆温层高度随时间的变化也是有起伏的。近地面层逆温高度随时间的变化幅度比多层逆温时最大逆温层高度的幅度变化小。其中,冬季1月变化幅度最小,有多层逆温时,夜间0点以后,逆温层高度增加较快,幅度变化也较大。夏季和秋季的最大逆温层高度明显大于春季和冬季。

图4给出了不同季节,有逆温持续存在的时段内,多层逆温出现的频数分布。春季4月份多层逆温出现的概率最小,为20.7%,其他三个季节均在30%以上,通常22点出现多层逆温的概率大。这里需要指出,当边界层大气中有持续时间较长,比较稳定的二层或多层逆温存在时,对高架源的污染扩散模式不宜采用一般常用的模式,需要考虑上述特定温度结构的影响。

表3列出了不同季节对流热羽和混合层的平均高度。冬季1月份太阳辐射弱,日照时数为7h,平均高度为125m,反之,夏季6月份太阳辐射较强,日照时间长,对流热羽出现时数为11h,平均高度为159m,比1月份高34m。表中列出的混合层平均高度是复盖逆温层底的高度。其中包括对流驱动的抬升逆温及由于天气过程而出现的下沉逆温,以及复盖逆温层高度随时间变化不大和先抬升后下沉的几种混合层结构。春季4月份混合层的平均高度低,为213m,秋季10—11月份最高,为305m。

表 3 不同季节对流热羽和混合层的平均高度

| 月 份 | 1—2 | 4 | 6 | 10—11 |
|-------------|-----|-----|-----|-------|
| 混合层平均高度(m) | 262 | 213 | 271 | 305 |
| 对流热羽平均高度(m) | 125 | 134 | 159 | 149 |
| 对流热羽出现时数(h) | 7 | 11 | 11 | 9 |

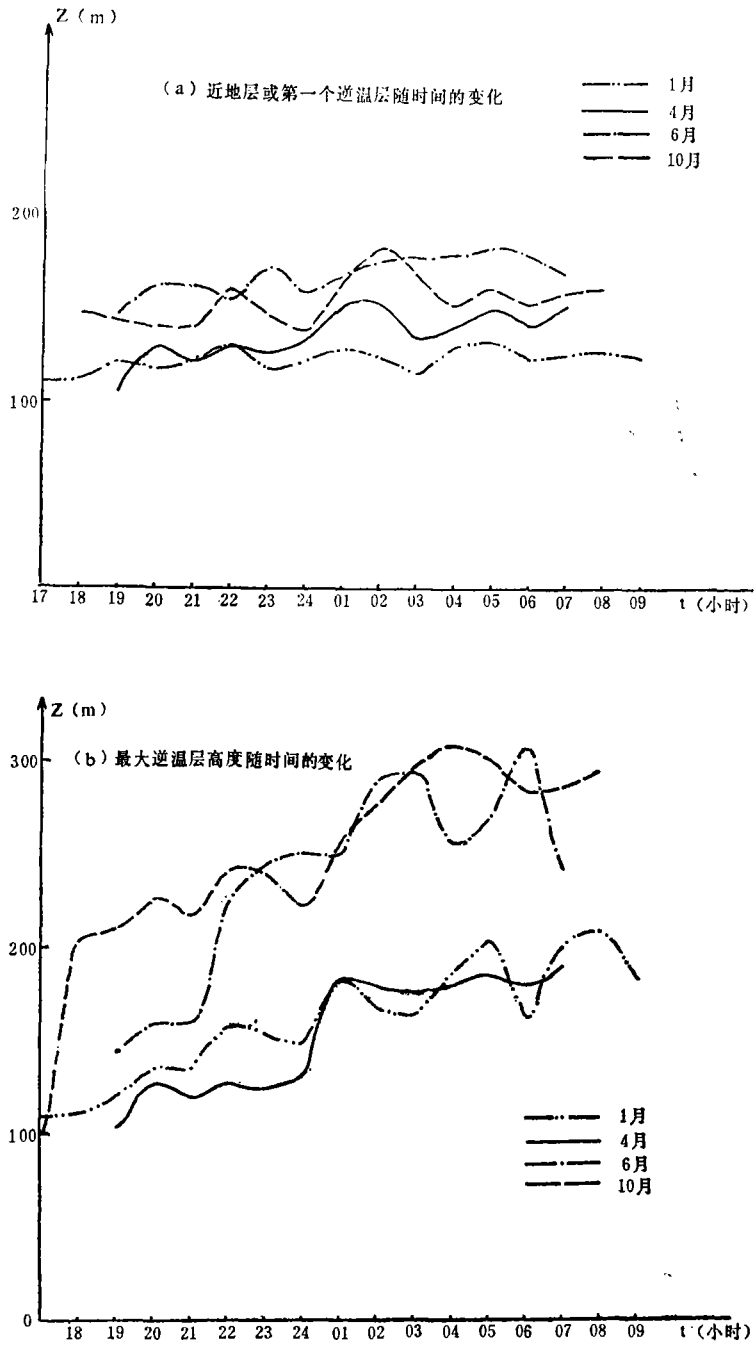


图 3 不同季节逆温层逐时平均高度随时间的变化
(a: 近地面层逆温高度, b: 最大逆温高度)

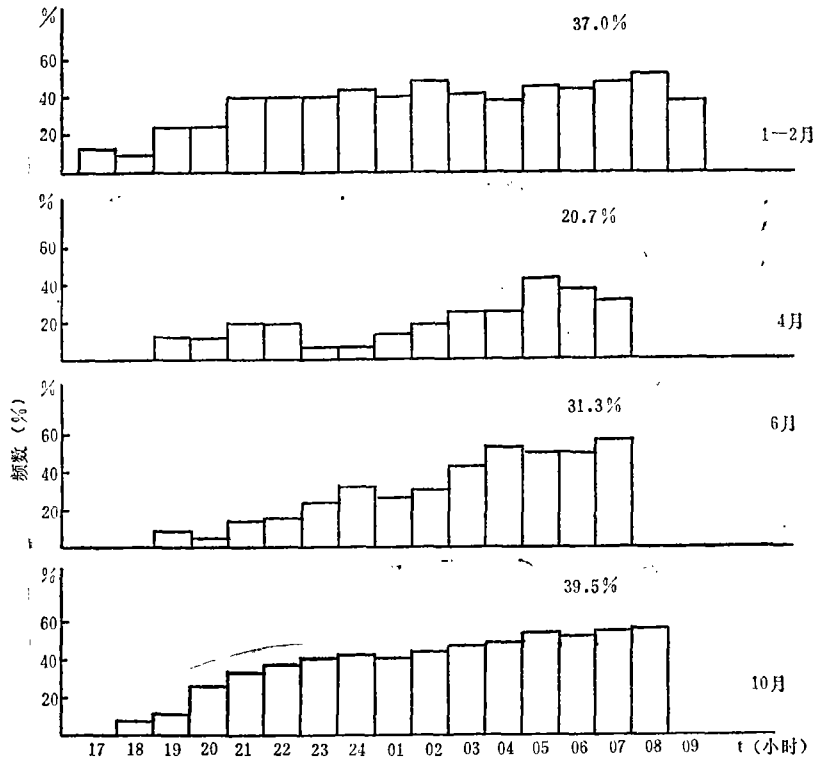


图 4 不同季节逆温层出现的频数分布

3. 结 论

上述对声雷达观测资料的统计分析结果能够较好地反映出燕山石化区四个季节温度层结的分布和变化特性,有利于研究该地区的空气污染问题。主要结果如下:

1) 燕山地区冬季 1—2 月份出现稳定层结的回波最多,占 69.0%,是造成空气污染比较严重的季节,其中,近地面一层逆温出现的概率最大,占 42.1%。这将不利于地面污染物的扩散。春季 4 月份,稳定层结出现的概率最小,对污染物质的扩散相对有利。

2) 燕山地区经常出现多层逆温,以 10—11 月和 6 月居多,分别为 29.0% 和 21.6%。对于分层结构明显,持续时间长的多层或二层逆温,对地面污染物质的扩散具有与一层逆温类似的影响,在二个逆温层之间的高架源,由于有地面逆温存在,污染物质不容易直接到达地面,但会影响较远距离的污染。

3) 在某些天气过程的影响下,会出现下沉逆温,阴雨天气也会出现混合层。这时,同样会出现污染严重的状况。对于先抬升,后下沉的混合层,不宜采用常用的扩散模式^[2]。在混合层中,由于对流活动层中的湍流交换较强,地面污染物质被混合,复盖逆温阻挡了污染物质在垂直方向的扩散。因此,在混合层内会出现较大的污染浓度。

4) 文中给出了不同季节逆温层、对流热羽、混合层的逐时统计平均高度及其随时间的变化以及逆温持续时间。这不仅反映了燕山石化区温度层结的变化规律,而且给污染扩散模式和污染气候的研究提供了必要的参数。

参 考 文 献

- [1] Thomson, D. W., Applications of sodar measurements for environmental studies, Proceedings of the international symposium on acoustic remote sensing of the atmosphere and oceans. VII, 1-10, 1981.
- [2] 肖经纬、吕乃平、周明煜, 声雷达在污染扩散问题中的应用(二)——混合层深度及对应的地面浓度, 大气科学, 8, 4, 1984.
- [3] Singal, S. P., B. S. Gera and S. K. Aggarwal, Studies of the boundary layer at Delhi using sodar, Proceedings of the second international symposium on acoustic remote sensing of the atmosphere and oceans, XXIII-1, 1983.
- [4] Walczewski J., Acoustic sounding of the atmosphere for inversion layer climatology over an urban area, Proceedings of the second international symposium on acoustic remote sensing of the atmosphere and oceans, XXII-1, 1983.
- [5] 中国科学院大气物理研究所声雷达组, 单点声雷达与边界层大气探测, 大气科学, 1, 1, 1976.
- [6] Thomson D. W., Acadar meteorology: the application and interpretation of atmospheric acoustic sounding measurements, 3rd Symposium on meteorological observations and instrumentation, AMS, 1975.
- [7] 周明煜、吕乃平、陈炎涓、李诗明, 湍流场的团块结构, 中国科学, 5, 614-622, 1981.

A STATISTICAL ANALYSIS OF SODAR DATA DETECTED OVER YAN-SHAN AREA IN BEIJING

Lu Naiping Zhou Mingyu Su Lirong

(National Research Center for Marine Environment Forecast)

Chen Yanjuan

(Institute of Atmospheric Physics, Academia sinica)

Abstract

According to the characteristics of sodar echo, a classified method for temperature stratification is given. By using sodar data observed over Yan-Shan area in Beijing, the statistical characteristics for the height of inversion layer, thermal plume, and the depth of mixed layer are compared. At last, the appearance frequency for stable, unstable and neutral stratification are analyzed.