

声达回波图形所反映的大气稳定度类别

董保群

范锡安

(南京气象学院)

(中国环境科学院)

康运霞 黄秉禾 康永红 李跃宇

(太原市环境保护研究所)

提 要

本文主要利用国产 HKS-1 型声达, 在北方地区进行观测所得到的资料。经分析研究, 不同类型的回波图形反映着相应的大气稳定度类别。此外, 由于声达回波图形显示了大气边界层的垂直结构状况, 因此声达回波图形也反映着大气稳定度类别的垂直变化。

一、声达回波图形的类型反映着大气稳定度的类别

声达回波图形反映着大气温度层结的状态已有很多研究结果〔1〕〔2〕〔3〕。而声达回波图形的形状与风速值的大小也有相当灵敏的对应关系〔4〕。声达回波图形既反映着温度层结又反映了风速廓线的特征, 因此, 利用回波图形分析大气稳定度的状态, 应当是可能的。

我们在我国北方的北京、太原、沈阳、承德等不同地形条件下, 多次进行声达探测, 其中也有风速廓线与温度层结的同步探空观测。选择有声达与低空探空同步探测的资料, 进一步分析, 目的是研究回波图形的类别与大气稳定度分类的相应关系。

分析方法是: 比较声达回波的各种图形, 按图形的形状分成几类基本图形。这几类基本图形可能出现在近地面的低空, 也可能出现在高空。由于大气边界层结构十分复杂, 常常在同一垂直方向的不同高度层次显示着不同类型的回波图形。分析声达回波垂直方向上出现的图形类型, 标出各类型的高度层

次, 在相应的层次内, 计算同步观测的低空探空仪测得的温度垂直递减率 γ_i (i 为不同图形类别的层次) 和该层的平均风速值 u_i 。由于低空探测每昼夜只进行 6 次, 而声达探测是每 6 秒发出一次声波探测脉冲, 从而得到连续的记录。因此分析声达的波形时, 尽量选用了靠近低空探空观测的时段, 以求得到同步对比分析效果。

按各类图形的高度层次求得各相应层次的 γ 值, 根据参考文献〔5〕所给出的温度垂直递减率 $\Delta T/\Delta z$ (本文以 γ 表示) 与大气稳定度类别 A、B、C、D、E、F、G 的相应关系, 即可得到各类图形所对应的大气稳定度类别。

在分析了相当数量资料的基础上, 综合出六类声达回波图形 (图 1—3), 并给出同步时段观测的风廓线 u 和温度垂直分布 T 。在相应层次, 分别计算了温度平均递减率 $\bar{\gamma}$ (单位: $^{\circ}\text{C}\cdot 10^{-2}\text{m}^{-1}$) 和平均风速 \bar{u} (单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)。声达回波图下方箭头处为低空探

* 王鸣宇、殷立同志承担本文图片印洗复制工作。

空仪施放时间。 T_0 , u_0 是探空仪施放时地面空气温度和风速, 单位分别为 $^{\circ}\text{C}$ 和 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

六类声达回波图形及相应的大气稳定度类别分析如下。

(1) 图 1a 表明, 约 300m 以下声达回波在垂直方向呈羽毛状, 在水平方向即时间序列方向呈现水平波纹状。在 100m 以下显示着强逆温的图形, 即呈现均匀的黑色阴影部分。这是晴天夜间, 风速小于 $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 状态下的回波图形, 所反映的大气稳定度为 F 类或 G 类。

图 1b 显示着约 600m 以下的回波图形呈多层次的水平波纹状, 根据许多资料, 如

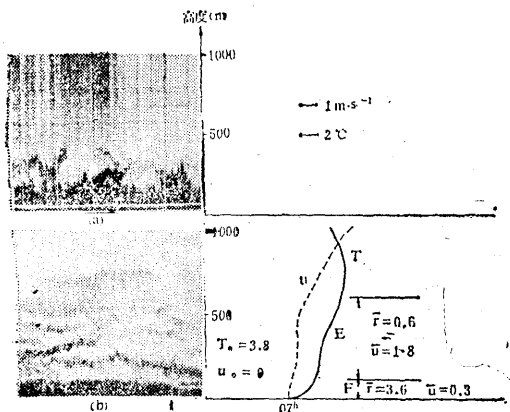


图 1 羽毛状(a)、水平波纹状(b) 声达回波图及温度、风速廓线

参考文献〔6〕、〔7〕都说明这类图形在山谷盆地条件下出现较多。分析同步的温度垂直分布探测资料, 求得上述回波所在层内的 γ_i 值所反映的大气稳定度为 E 或 F 类。在 100m 以下的高度层内呈现着均匀阴影状强逆温的图形。

另一类水平波纹状图形(图略), 约 500m 以下呈多层次水平波纹状, 但同图 1b 相比波纹稍粗密, 这是平均风速稍大的稳定层结图形, 求得的低层 γ_i 值较图 1b 的小。经计算得到此类图形仍反映着 E、F 类稳定度。

在底层 100m 以下, 显示着缓慢抬升状的均匀阴影, 这是较强逆温的图形。

(2) 图 2a 的回波图形为抬升的倾斜波纹状, 波纹模糊。这类倾斜波纹状的图形反映着平均风速较大, 一般为 $3-4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 〔4〕。由于风速较大, 在近地面层的风速梯度也相对较大, 因而垂直方向上的热交换系数也比较大, 致使近地面层内辐射冷却出现的冷空气与上空大气相互交换显著, 因此出现抬升的倾斜波纹状而且波纹模糊。这一类的 γ_i 值比水平波纹状图形的 γ_i 值小。分析温度层结曲线, 求得此类图形对应 E 类稳定度。此层以上, 没有明显回波图形, 对应的是 D 类稳定度。

图 2b 为倾斜波纹状和模糊水平波纹状回波。约在 200m 以下为均匀阴影图形, 此

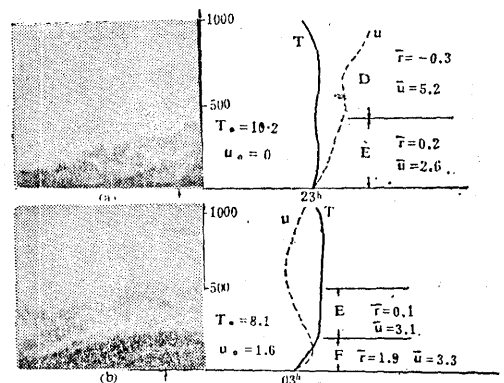


图 2 抬升倾斜波纹状(a)、倾斜波纹状和模糊水平波纹状(b) 声达回波图及温度、风速廓线

层的 γ_i 值相当于 F 类稳定度。在阴影层之上有模糊的水平波纹状图形, 相当 E 类稳定度。从总体上看, 整个图形呈抬升后趋于平坦, 这类回波的出现, 表明了风速随高度增大而后减小的变化过程, 其风速廓线的形状与图 2a 不同。图 2b 为 03^h 的大气边界层状态, 显然地面逆温层出现的时段相对较长, 其稳定度的垂直分布为 F、E 类型。

还有一种不连续水平波纹状回波(图略),其图形,在400m以下为不连续的稍呈模糊状的水平波纹状,此层对应E类稳定度;此层之上没有明显回波图形部分为D类稳定度;近地面几十米呈均匀阴影图形,其 γ_i 值相当E类稳定度。

(3) 第3类图形(图略),有絮团状,在400m以下的絮团状图形对应D类稳定度;絮团状和模糊水平波纹状回波,在200m以下呈絮团状对应于D类稳定度,200—500m呈模糊水平波纹状,相当E类稳定度;烧烟状图形出现在200—500m层内,风速约 $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,稳定度为D类。从地面到200m回波图形呈模糊状阴影,经计算 γ_i 值,得出此层为E类稳定度。

(4) 弱梳齿形回波(图略),梳齿平均高度在100m以下。属于大气边界层出现弱对流混合状态下的声达回波,此层为C类稳定度。

(5) 中梳齿状回波图形(图3a),梳齿平均高度约100—200m,对应B类稳定度。

(6) 图3b是大气边界层出现强对流混合状态下的声达回波,称为强梳齿图形。

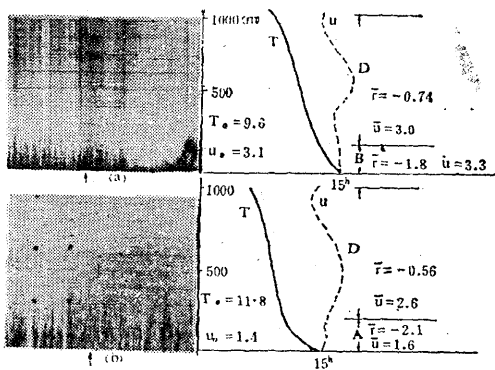


图3 中梳齿状(a)、强梳齿状(b)声达回波图及温度、风速廓线

梳齿平均高度为200m以上。属于A类稳定度。

从上述分析可以看出,声达回波的类型同大气稳定度类别具有相当灵敏的对应关系,综合归纳结果详见表1。

表1 声达回波图形与稳定度对照表

大气稳定度	回波图形特征	图形类别
F	羽毛状;水平波纹状;近地面均匀阴影状	1
E	倾斜波纹状;模糊、不连续水平波纹状;近地面模糊阴影状	2
D	絮团状;烧烟状;E类稳定度气层之上无明显回波部分	3
C	弱梳齿状;平均梳齿高度在100m以下	4
B	中梳齿状;平均梳齿高度在100—200m	5
A	强梳齿状;平均梳齿高度达200m以上	6

由于声达回波图形显示着大气边界层的垂直结构,因此回波图形也反映着大气稳定度类别在垂直方向上的变化。下面以两个典型的声达回波图(图4)为例加以说明。

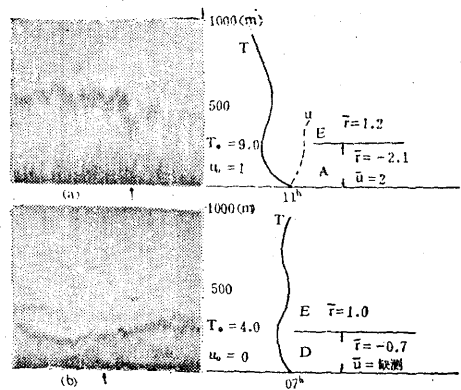


图4

图4a在近地面200m厚度层内为梳齿状回波,相当A类稳定度。500m高度却显示着有上层逆温层存在的水平波纹状回波,该层对应E类稳定度。表明大气低层已出现对流混合体,而上空仍覆盖着逆温层。这种

大气稳定度随高度变化的情况正是大气污染中造成熏烟效应的条件。

图 4b 中, 地面以上低层回波图形是工业区形成的热效应。此层 γ_i 值相当 D 类, 而上空却为 E 类稳定度。同步气象观测到有雾出现。

以上两例所显示的大气稳定度类别, 都不可能用 P 法 (即帕斯圭尔法) 得到。但这类现象又是大气边界层与大气环境研究的重要内容, 由此可见声达探测的优势。

二、声达回波图形所确定的大气稳定度的应用实例

作者依照声达回波图形确定大气稳定度的分类时, 选择了高斯烟羽模型中的扩散参数, 模拟了北方某地 SO_2 地面浓度分布。在 150km^2 范围内布设了 13 个地面浓度采样点, 以便通过检验模拟结果, 验证此分类方法的可靠程度。

为讨论此类分析方法对不同稳定度判别的准确性, 选出稳定度为 A、C、F 三种情况进行地面 SO_2 浓度的模拟计算, 具体时刻及当时地面风速见表 2。

表 2

年、月、日、时	风 向	风速 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	大气稳定度
1985, 10, 22 15 ^h	S	1.9	A
1985, 10, 23 15 ^h	SW	1.3	C
1985, 10, 23, 07 ^h	E	1.0	F

考虑到 13 个采样点所处的区域是工业、居住混合区, 污染源呈带状连续分布, 烟窗高度以 50m 以下为主, 个别的高于 100m, 呈现面源排放特征, 因此使用加面源处理的窄烟云模式:

$$c(x, y, 0, H_0) = \frac{2Q}{\sqrt{2\pi} u} \int \frac{1}{\sigma_z} \exp$$

$$\left(\frac{H_0^2}{-2\sigma_z^2} \right) dx$$

式中, $c(x, y, 0, H_0)$: 某地面采样点 SO_2 浓度;

σ_z : 垂直方向布里格斯城市扩散系数;

u : 现场风速; Q : 源强。

点源的落地浓度与面源迭加, 使用高斯模式计算并考虑一次地面反射

$$c(x, y, 0, H_0) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp \left(\frac{H_0^2}{-2\sigma_z^2} \right) \exp \left(\frac{y^2}{-2\sigma_y^2} \right)$$

面源和点源的源强分别用以下两式计算

$$Q = \frac{2kk_1k_2sG}{T} \quad (1)$$

$$Q = \frac{2kk_1sG_i}{T} \quad (2)$$

式中, k : 燃料中 S 转到 SO_2 中的系数, 本文取 0.8; k_1 : 日排放不均匀系数; k_2 : 开工系数; s : 燃煤 s 分; G 、 G_i : 用煤量和第 i 计算网格的用煤量; T : 排放源运行时间。

对于有效高度 (H_0), 点源用实际抬升高度, 面源的 H_0 分别以 10m, 25m, 35m, 50m, 100m 统计源强并进行计算。

计算结果见图 5、6、7 (图中实线为实测值、虚线为计算值)。从 SO_2 浓度分布趋势看, 计算值与实测值十分接近 (A 类稳定度稍有出入)。由此可见, 用声达回波图形的分类确定大气稳定度类别具有一定的实用价值。

三、小结

1. 利用声达回波图形能够判定出大气稳定度的类别。如果再辅以地面风、云等气象要素的观测, 并注意回波的时间特点等, 可

以得到相当准确的大气稳定度类别。

2. 由于单点声达使用简便，探测记录是连续的，可以长时间进行观测。因此，根据回波图形便能得到大气稳定度类别的日变

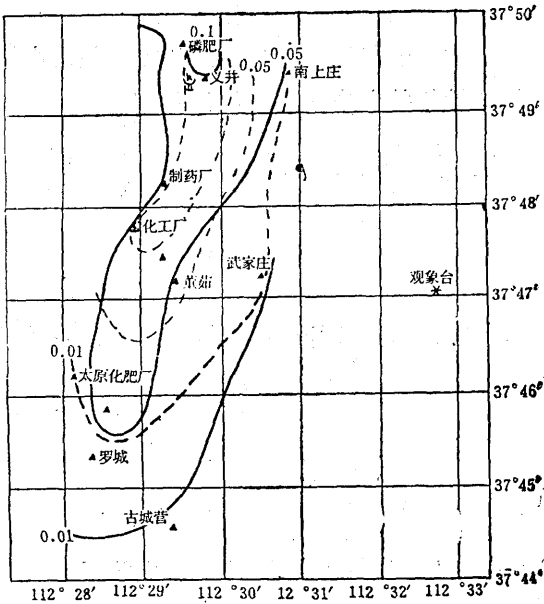


图5 A类稳定度地面SO₂浓度分布
实线，实测值；虚线，计算值；三角形，采样点，
地面南风1.9m·s⁻¹

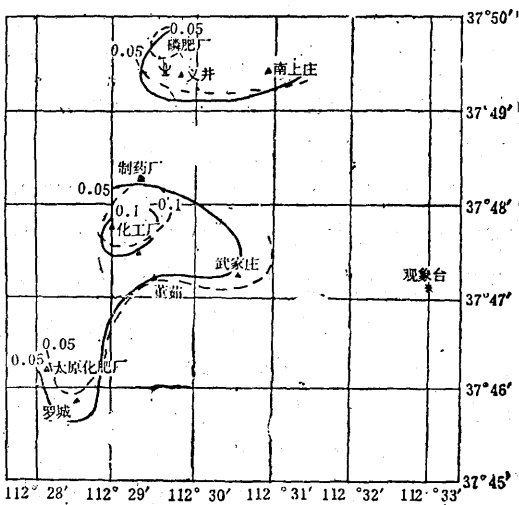


图6 C类稳定度地面SO₂浓度分布
地面西南风1.3m·s⁻¹

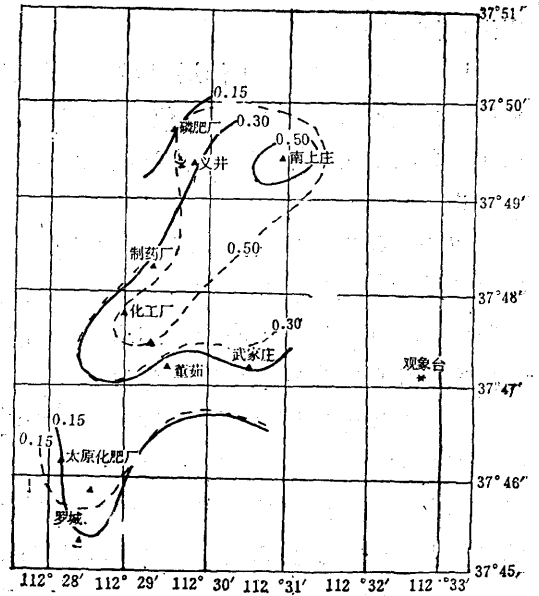


图7 F类稳定度地面SO₂浓度分布
地面东风1.0m·s⁻¹

化、不同地形条件和不同天气形势下的大气稳定度特征。

3. 声达能够探测大气边界层的垂直结构，因此可以分析出稳定度类别的垂直变化。这是大气环境的高架源排放污染及中尺度输送等问题的重要参数。这也是仅用P法求稳定度无法得到的。

4. 利用声达图形的类型，判定大气稳定度类别的方法，具有一定的实用价值。按照我国环境管理条例，我国的建设工程都必须进行大气环境影响评价工作。对一定规模的建设工程，可以使用本文提出的方法，取得较为系统的该地区大气稳定度资料进行大气环境影响的分析。

本文只是在我国北方几个地区工作的探索总结。在其它地区，如南方亚热带地区，仍需做系统地研究工作。

参考文献

- [1] S. P. Singal, S. K. Aggarwal, D. R. Pahwa and B. S. Gera, 1985, Stability studies with the help of Acoustic Sounding, Atmos. Environ, Vol. 19, No. 2, pp. 221—228.
- [2] D. N. Asimakopoulous, R. S. Cole, S. J. Caughey, S. H. Moss and C. J. Readinge, 1975, A Comparison between Acoustic Radar Returns and the direct Measurement of the Temperature Structure of the Atmosphere, Atmos. Environ, Vol. 9, pp. 775—776.
- [3] F. F. J. R. Hall, J. G. Edinger and W. D. Neff, 1975, Convective Plume in the Planetary Boundary layer Investigated with an Acoustic Echo Sounder, J. Appl. Met, Vol. 14, pp. 513—523.
- [4] 董保群、范锡安, 近山地区大气边界层声雷达回波的季节特征, 气象, 1987年第7期。
- [5] 李宗恺、潘云仙、孙润桥, 空气污染气象学原理及应用, 气象出版社, pp. 249.
- [6] 山区空气污染与气象, 科学出版社, 1978。
- [7] 彭贤安, 山谷辐射逆温多中心现象分析, 环境保护科学, 1984, No. 2.
- [9] Atmospheric turbulence and air pollution modelling, 1981.

Analysis of the atmospheric stability classification with sodar echo

Dong Baoqun et al.

(Nanjing Meteorological College)

In this paper, some kinds of sodar echoes associated with certain atmospheric stability classification taken from north China are discussed. Moreover, the vertical variations of atmospheric stability classification in boundary layer are also shown.