

关于 Doppler 雷达 VAD 技术的讨论^{*}

陶祖钰

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

提 要

Doppler 雷达 VAD 技术可以从距离圈上的 Doppler 速度随方位角的分布廓线中提取背景风场的散度. 但是, 通常 Doppler 雷达观测到的距离圈上的 Doppler 速度一般都是不完整的. 为了计算散度, 必须插补上所有缺测方位上的 Doppler 速度, 这就使应用 VAD 技术得到的散度带有不客观的成分. 该文利用 Doppler 速度随方位角的分布具有一阶简谐曲线的特点, 提出了用对称法计算散度的方法, 从而避免了对 Doppler 速度方位廓线进行人为插值.

文中还针对用 VAD 技术计算出的不同高度上不同水平面积的散度量级不同的问题, 提出了对散度进行面积修正的方法.

关键词: Doppler 雷达; VAD 技术; 散度修正.

1 问题的提出和解决方法

Doppler 雷达 VAD 技术是从在一个距离圈上的 Doppler 速度随方位角的分布廓线中提取风场的大尺度特征信息的技术^[1]. 用 VAD 技术从 Doppler 速度资料中提取出的大尺度散度的垂直分布对预报降水强度是非常有用的.

按照散度 D 的定义

$$D = \frac{1}{\sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad (1)$$

对于一个半径为 R 的距离圈, 其面积

$$\sigma = \pi R^2 \quad (2)$$

它在单位时间里的面积变化 $\delta\sigma$ 和距离圈上的经向速度 v (即 Doppler 速度) 之间有如下的关系:

$$\frac{\delta\sigma}{\delta t} = \oint v dl$$

由于 $dl = R d\theta$, 上式可以改写成

1993-06-29 收到, 1993-09-13 收到修改稿.

* 本工作受国家自然科学基金 49335062 项目资助.

$$\frac{\delta\sigma}{\delta t} = 2\pi R\bar{v} \quad (3)$$

其中 \bar{v} 为在一个距离圈上的平均 Doppler 速度:

$$\bar{v} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v(\theta) d\theta \quad (4)$$

将式(2)和(3)代入式(1)即得到从平均 Doppler 速度求散度的公式:

$$D = 2\bar{v}/R \quad (5)$$

从式(5)可见,一个距离圈中的平均散度和此距离圈上的平均 Doppler 速度成正比,而和半径成反比.在实际工作中,需将式(4)改写成差分形式.对于方位角为 1° 的 Doppler 速度资料,其差分公式为:

$$\bar{v} = \frac{1}{360} \sum_{i=1}^{360} v_i$$

1.1 关于缺测

通常 Doppler 雷达观测所得到的各个距离圈上的 Doppler 速度资料一般都是不完整的.为了计算平均 Doppler 速度,必须插补上所有缺测方位上的 Doppler 速度.但是,插补后得到的完整的 Doppler 速度廓线不可避免地带有不客观的成分.

根据 Doppler 速度随方位角的分布具有一阶简谐曲线的特点,可设

$$v(\theta) = V\sin(\theta + \theta_0) + \bar{v}$$

由于

$$v(\theta + \pi) = -V\sin(\theta + \theta_0) + \bar{v}$$

可知

$$2\bar{v} = v(\theta) + v(\theta + \pi) \quad (6)$$

式(6)表明,只要在一个距离圈上有任意两个方位角相差 180° 的 Doppler 速度,就可求出该距离圈上的平均 Doppler 速度.为了使计算出来的平均 Doppler 速度更具有代表性,可将所有的方位角相差 180° 的成对 Doppler 速度的平均值再加以平均,即

$$\bar{v} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \bar{v}_k$$

其中 \bar{v}_k 为两个方位角相差 180° 的 Doppler 速度的平均值, K 为这个距离圈上两个方位角相差 180° 的 Doppler 速度都不缺测的对数.这样,在应用 VAD 技术计算散度时,就不需在距离圈上人为地插补上缺测方位上的 Doppler 速度值,使计算所得的散度更为客观.这种从 Doppler 速度廓线计算散度的方法可以称为对称 VAD 方法.

1.2 关于散度的代表性

如前所述, VAD 技术计算出来的散度代表该距离圈内的平均散度.雷达探测的距离从 1km 左右延伸到 300km 左右.因此,用 VAD 技术计算出来的散度代表性是不同的.在近距离,其水平尺度为 10^0km ;在远距离,其水平尺度为 10^2km .公式(2)也说明,用 VAD 技术计算出来的散度与距离圈的半径大小有关.实际计算结果表明,用 VAD 技术计算出来的散度值有明显的随距离增大而减小的特点.图 1 给出了半径从 17.4km 到 101.4km 的 9 个距离圈的 Doppler 速度计算得到的散度.由于雷达的仰角为 1.7° ,这 9 个距离圈距地面的高度从 0.52km 到 3.01km .故图 1 表示了用 VAD 方法计算出来的散度垂直廓线.由图(1a)可见,

低层散度的量级为 10^{-4}s^{-1} , 而高层为 10^{-5}s^{-1} , 比低层小一个量级. 显然这和低层所反映的水平尺度为 10^1km 的散度, 高层所反映的水平尺度为 10^2km 的散度有关.

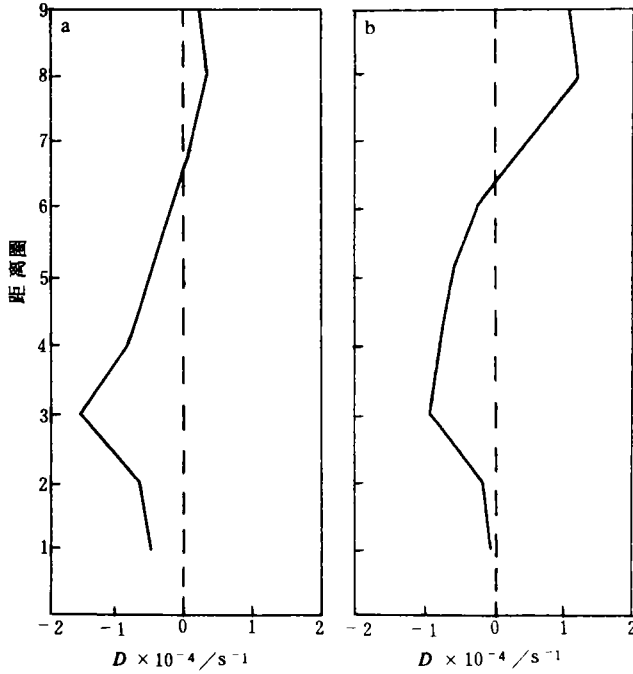


图 1 1989 年 8 月 19 日 15 时用 VAD 技术得到的散度垂直廓线
(a) 未经面积修正 (b) 经面积修正

由于造成 VAD 方法所得的散度存在系统性偏差的原因不同于天气尺度诊断分析中产生散度偏差的原因, 因此不能按 Dines 质量补偿原理进行散度订正. 此外, Dines 质量补偿原理本身也不适用于水平尺度小于 10^2km 的系统. 因此为了使 VAD 方法计算所得的散度在不同距离圈具有相同的代表性, 即代表同一水平尺度的散度, 必须对散度按距离半径的大小进行修正. 修正的方法可采用

$$D'_m = C_m D_m$$

其中 m 代表距离圈; C_m 为面积修正系数, 它与面积的大小成比例

$$C_m = \frac{\sigma_0}{\sigma_m} = \frac{\pi R_0^2}{\pi R_m^2}$$

其中下标 0 为某一标准距离圈. 文献[2]已表明对散度进行面积修正是必要的, 只有将三点风 VAD 方法求出的内接三角形的散度修正到外接圆的散度, 才能使它和用 VAD 法求出的散度的数值一致.

2 结果的比较与讨论

图(1b)给出了与图(1a)相同的但经过面积修正后的散度垂直廓线. 由图(1b)可见, 经过面积修正后, 散度廓线不再存在散度值随高度(即随距离)显著减小的现象. 低空最大

的辐合值和高空最大的辐散值具有相同的量级。

为了检验对称 VAD 方法用未经人为插补缺测资料计算散度的实际效果,我们利用 1989 年 5 月 31 日 18 时 Doppler 速度的第 1 圈到第 200 圈资料,用三种不同的 VAD 方法,即经过插补缺测后的 VAD 方法、三点风 VAD 方法以及未经插补的对称 VAD 方法进行了对比试验,相邻圈之间的距离是 0.6km。图 2(a、b、c)给出了这三种不同方法的计算结果。其中的散度都经过了面积修正,因此这三条廓线的散度值都保持相同的量级。由图可见,三点风 VAD 的结果(图 2a)与 VAD 的结果(图 2c)非常相似。这显然是因为两者都是从同样的经过插补后的 Doppler 速度廓线计算出来的。

但是,用对称 VAD 方法计算出的结果(图 2b)与前两种方法的结果有所不同。特别是在约第 80 距离圈以外,它们之间的差异相当显著。这是由于在第 80 圈之内,距离圈上的缺测点很少(每个距离圈上的缺测点不超过 50 个点)(图 3)。故三种方法的结果都很接近。但是,在第 80 圈以外,由于每个距离圈上都存在大量的缺测点,故经过插值后计算出来的散度与未经插值计算出来的散度之间就表现出明显的差异。显然,从原理上讲对称 VAD 的结果应更为可靠,因为它没有经过人为的插补。从图 2(a、b、c)中还可以看出,在第 90~100 圈之间,对称 VAD 的散度随距离圈的变化是连续的,而 VAD 及三点风 VAD 不太连续。此外,在第 120 圈附近,VAD 和三点风 VAD 的散度都有从辐合突然变为辐散

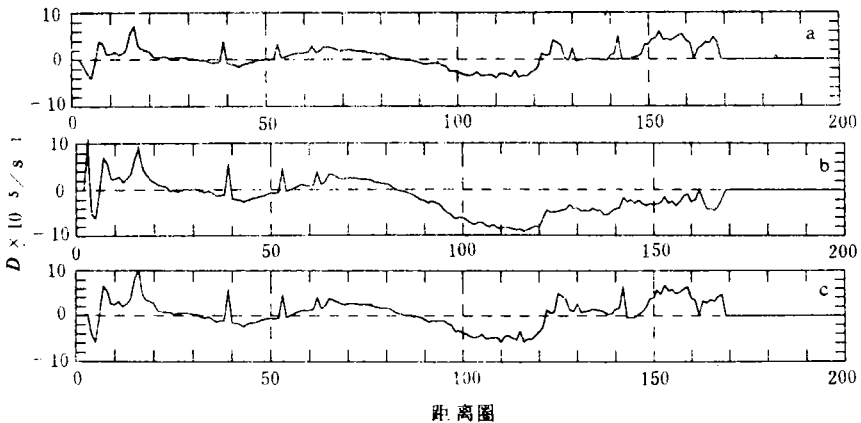


图 2 三种方法计算的 1989 年 5 月 31 日 18 时 200 个距离圈的散度 (a) 三点风 VAD 方法 (b) 对称 VAD 法 (c) VAD 法(相邻圈之间距离为 0.6km)

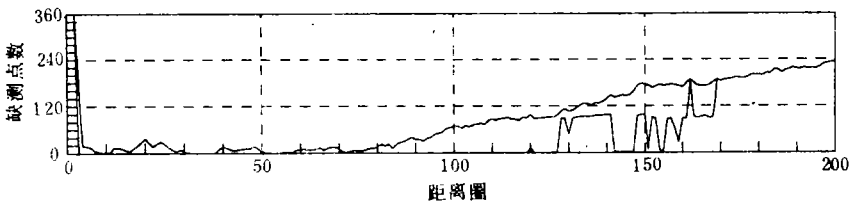


图 3 1989 年 5 月 31 日 18 时 200 个距离圈中每个距离圈上的缺测点数(上面的曲线为原始资料中的缺测点数,下面的曲线为经过插补后还存在的缺测点数)

的现象,而对称 VAD 则表现为辐合逐渐减小的趋势.从图 3 中不难发现,产生这种差异的原因是与第 120 圈以外每个距离圈上的缺测点多达 100 个以上相联系的.对比图 2 和图 3 还可以看出,即使在距离圈上的缺测点达到总数的三分之一以上时,仍可用对称 VAD 方法来计算散度,例如图 2 中第 130 圈以外.当然,当一个距离圈上的缺测点接近二分之一时,对称 VAD 方法也无法从 Doppler 速度廓线计算出散度来,如图中的第 170 圈以外.

比较上述三种方法的结果表明,即使在距离圈上存在比较多的缺测点的情况下,也可用对称 VAD 方法从 Doppler 速度随方位角的分布求出散度.它不仅可以避免对距离圈上的缺测点进行内插,而且也使计算出的散度保持其客观性.

致谢:本工作所用 Doppler 雷达资料由京津冀中尺度气象试验基地提供.

参 考 文 献

- 1 Browning K A and Wexler R A. Determination of kinematic properties of a wind field using Doppler-radar. *J. Appl. Meteor.*, 1986, **15**:1302~1306.
- 2 陶祖钰,孙丽娟.多普勒雷达 VAD 技术的扩展应用.京津冀中尺度气象试验基地文集.北京:气象出版社,1993. 12~19.

A STUDY OF DOPPLER RADAR VAD TECHNIQUE

Tao Zuyu

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

Abstract

Doppler radar VAD technique can draw the divergence of background wind field from the distribution profile of Doppler velocity with azimuth on a distance circle. But, the distribution of Doppler velocity of a distance circle is unintegral normally. In order to calculate the divergence, the data gaps on the velocity-azimuth profile have to be interpolated artificially, which would cause the calculated divergence not objective. According to the simple harmonic distribution of Doppler velocity with azimuth, the symmetric method is proposed to avoid making up the data gaps artificially. In addition, the method of area modification for calculating divergence is proposed.

Key words: Doppler radar; VAD technique; Modification for divergence.