## 南京气象学院学报

Journal of Nanjing Institute of Meteorology

Vol. 23 No. 1 Mar. 2000

文章编号: 1000-2022(2000) -01-0113-06

## 单部多卜勒天气雷达探测低空风切变方法\*

胡明宝<sup>1</sup>, 谈曙青<sup>2</sup>, 汤达章<sup>2</sup>, 谢 朴<sup>3</sup> (1.中国人民解放军理工大学气象学院, 南京 211101;

2. 南京气象学院大气科学系, 南京 210044; 3. 民航中南空管局, 广州 510405)

摘要: 利用单多卜勒天气雷达风场资料对一维径向、一维方位、二维复合风切变值进行了计算,并对机场附近飞机所受气流速度变化进行分析。所得结果旨在定量描述机场附近低空风切变区,检验对下击暴流、中气旋、阵风锋探测的结果,确定飞机起降潜在危险区。

关键词: 低空风切变; 多卜勒雷达; 探测方法

中图分类号: P412.25 文献标识码: A

历史上,曾发生有些飞机在雷暴附近失事的事件。Fujita 和 Caracena 及 Fujita 等<sup>11</sup>研究表明:在这些事故中,飞机都是在起飞或降落时遇到了较强的低空风切变。造成低空风切变有诸多原因,除下击暴流以外,还有阵风锋、快速移动的冷锋两侧、低空逆温层、低空急流等。其中阵风锋两侧的切变最大,是仅次于下击暴流对飞机航行构成严重威胁的天气现象。此外,机场周围的复杂地形,也有利于产生低空风切变。当低空风切变相对应的辐合(散)强到一定程度就会影响飞机的安全航行。因此,我们期望能够了解机场附近的风场的分布情况,为领航员或调度员提供关于机场附近航线上的风切变资料,我们以前所做的风暴识别和跟踪研究<sup>[2]</sup>,能提供该方面的有用信息,多卜勒雷达的风场资料能更为有效地解决这一问题。德国 Magnatron 雷达公司所产雷达(1996)已经提供了对一维、二维、三维风切变场进行处理的软件系统。WSR-88D(1998)提供了二维风切变软件用来确定阵风锋的位置<sup>[3]</sup>。

McCarthy 等<sup>11</sup>通过数值模式研究表明: 与飞行性能关系最大的风分量是沿着(即平行于)飞机跑道的分量;影响最大的风扰动,其尺度与飞机的长周期振动频率相对应。本文的重点是沿飞机跑道的风分量测量;因此,我们最感兴趣的是在雷达平显上与机场跑道方位相同的径向线上的速度资料。风速沿跑道的变化由多卜勒径向速度随距离的变化计算得到,计算所用距离单元应当与飞机的长周期振动频率相对应。对于波音系列的大型飞机,取 1.9 km 作为距离单元计算径向风变化。本文介绍的方法对飞机飞行所遇到的气流速度变化、一维径向风切变值、一维方位风切变值、二维复合风切变值进行了定量化处理,并以图象产品输出,使对飞机飞行再更威胁的区域、风切变的大值区域和性质一目了然。

## 1 基本理论

\* 收稿日期: 1999-06-15; 改回日期: 1999-12-15

作者简介: 胡明宝, 男, 江苏句容县人, 1964年6月生, 硕士, 副教授。主要研究方向: 雷达气象

#### 1.1 一维径向风切变值

为了减少雷达测量噪声和奇异点的影响,一般 采用N 个距离库进行最小二乘法计算雷达径向速度 沿雷达径向的变化  $\partial a/\partial d^{[3]}$ , 如图 1。距离库个数有 3~21个点数可选。计算公式如下,

$$\frac{\partial v}{\partial r} = \frac{i \cdot v_i}{i} \cdot \frac{\Delta r}{(\Delta r + Kc)}$$
(1)

 $v_i$  表示从计算点开始的第 i 点速度,  $r_i$  表示从计算点 开始的第i点距雷达的距离, N 为总点数,  $\Lambda r$  为 N个点之间的距离, Kc 为一个单位距离库长。

#### 1.2 一维方位风切变值

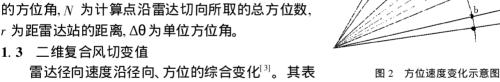
雷达径向速度沿方位的变化, 即  $\partial_{0}/(r\partial\theta)$  值。也 采用最小二乘法计算,如图 2。计算公式为

$$\frac{\partial v}{r\partial \theta} = \frac{\theta \cdot v_i}{r \cdot \Delta r \cdot \frac{N}{r} \theta^2} \cdot \frac{r\Delta \theta}{r\Delta \theta + \frac{\pi}{180} \delta}$$
(2)

其中,  $v_i$  表示从欲计算点开始第 i 点的速度,  $\theta$  表示 从欲计算点沿切向开始距雷达距离为r 的第i 个点 的方位角, N 为计算点沿雷达切向所取的总方位数, r 为距雷达站的距离,  $\Delta\theta$  为单位方位角。

达式为

$$\overline{(\partial v/\partial r)^2 + (\partial r/(r\partial r)^2)^2}$$
 (3)



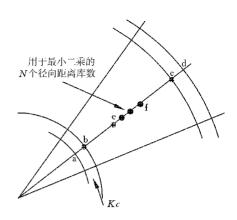


图 1 径向速度变化示意图 Fig. 1 Schemetic of radial velocity as a function of range

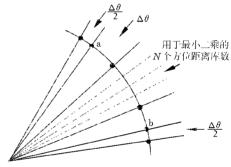


Fig. 2 Schemetic of radial velocity as a function of azimuth

其中,  $\partial_r/\partial_r$  和  $\partial_r/(r\partial\theta)$  为由(1)式和(2)式得出的一维径向风切变值和一维方位风切变值。

## 资料处理

### 2.1 滤波处理

低空风切变资料的处理是对速度资料进行的。首先需对缺测点进行填补,对奇值点进行剔 除。滤波采用中值滤波模式,操作窗口为3×3象素点,即径向取3个连续点,切向取3个连续 性方位, 共 9 点进行中值滤波。

### 2.2 距离库点数的选取及风切变值计算

在采用最小二乘法进行风切变计算时,首先要选定所需的距离库点数N。在计算一维径 向风切变时, 取同一个径向上 N 个点( 方位上 1 个点) 的滑动窗口, 用(1) 式计算。在计算一维 方位风切变时,相同距离上取方位为N个点(径向为1个点)的滑动窗口,用(2)式计算。用(1) 式和(2)式所得值代入(3)式,即可得二维风切变值。

#### 2.3 气流速度变化图

机场领航员最关心的是飞机所碰到的气流速度变化。只要把切变值乘上飞机飞行速度就可得其变化值。该图一般可直观地看出机场附近存在潜在危险的飞行区域,并能提前 10~15 min 发出警报。

#### 2.4 风速和机速随距离的变化率

假设雷达的扫描方向与飞机滑翔道的方向一致,根据以上的计算值,可直接为机场领航员提供与着陆点不同距离上的风速和机速的变化率曲线图,由此可直接看出飞机起飞或降落时所经受的是顺风还是逆风。

绘制曲线图时,用户需输入机场跑道所在方位角,然后对该径线上机场范围内的相关点平均风速进行计算,对这些径线上相关点的气流速度变化率进行计算,分别绘制到同一张图上。

## 3 实例分析

对海军航空兵东海宁波场站多卜勒天气雷达 1998 年 7 月 3 日观测的一组资料进行了处理(此组资料在计算机处理之前进行了自动判断,表明无速度模糊情况)。

#### 3.1 飞机所遇气流速度变化图

图 3 为 20 时 05 分多卜勒雷达测得一架飞机以 270 km/h 速度沿跑道起飞或降落时, 所经受的气流速度的变化, 距离每圈 12~km。假设飞机跑道(方框区) 距离雷达  $5 \sim 15~km$ ,方位在  $185~\sim 205~$  之间。由图可以看出在机场上空和附近有较强的辐散和辐合区, 位置在距雷达 8~km 处附近。较强的辐合辐散区内一般会有较为激烈的天气现象发生, 这势必会影响飞机的起降安全。

#### 3.2 风速、机速随距离变化率图

图 4 是风速、机速随距离变化率的图象。可以看出, 当飞机由远处向机场呈降落状态时, 平均风速由负值变化到正值, 说明飞机由弱顺风变成强顶风, 飞机相对大气层的速度增加。降落

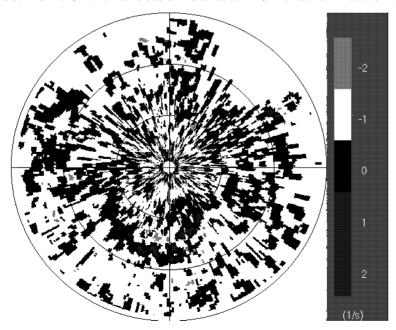


图 3 飞机所遇气流速度变化图

Fig. 3 The change of airflow velocity plane flyed through by 270 km/h

飞行一段距离后平均风速由正的大值向正小值变化,这说明飞机在降落时会遇到逐渐减弱的顶风,飞机与大气的相对速度减小,飞机向上举力减小。这种区域属于飞机飞行潜在危险区,需采取一定措施方可保障飞行的安全。

#### 3.3 一维径向风切变图

图 5 为一维径向风切变场(距离每圈  $20 \ km$ ),大值区取>  $2.0 \ s^{-1}$ 或<  $-2.0 \ s^{-1}$ ,二维复合风切变值的大值区取>  $4.0 \ s^{-1}$ 的区域。

对于一维径向、二维复合风切变值图象的使用,结合文献[5]对相同资料的下击暴流探测结果进行对比分析,可得到一些有意义的结果(表1)。

在表 1 中分别列出了 5 个中心区(或大值区) 位置,需要说明的是:表中同一行并不表示它们的 对应关系,如(1)、(4)下击暴流共同造成一维径向

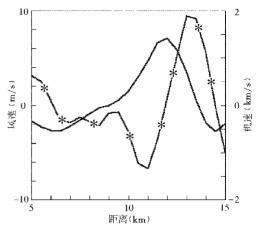


图 4 风速、机速(一\* 一) 随距离变化率图

Fig. 4 The variation of wind speed and plane speed as a function of range. Solid line:

wind speed. Curve with stars: plane speed

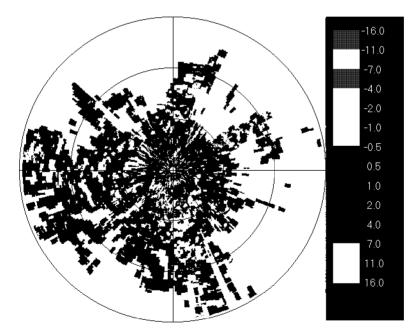


图 5 一维径向风切变图

Fig. 5 One-dimensional radial shear

风切变场中的 C 大值区, 而(2)、(3) 下击暴流共同造成一维径向风切变场中的 D 大值区。可以看出, 此个例中, 5 个下击暴流辐散区均发生于一维径向风切变场的大值区中, 即发生于强辐合辐散区中, 这与理论上解释相一致, 即下击暴流在低空风切变场中表现为强辐散区。但一维径向风切变场中的 A、B 大值区中并没有探测到下击暴流辐散区, 表明强辐散区并不能说明一定有下击暴流。因为, 下击暴流还有一定的尺度和最大最小风速差等指标的限制。一维低空风切变区对飞机起降的威胁最大, 同时距离库点数越多, 即尺度越大, 则切变值的辐合辐散区域越小。一维的大值区在二维图象中均存在, 而且二维图象中的大值区更大, 这与理论解释相吻

合。对其他个例进行分析均有类似结论。因此,将一维径向风切变场和二维复合风切变场图象 作为下击暴流的探测工具是可行的。

#### 表 1 下击暴流辐散区中心位置与一维径向、二维复合风切变大值区对照表

Table 1 The central positions of microburst and the large value areas of 1-D (radial) shear and 2-D (radial and elevation) shear

时间		下击暴流 中心位置	一维径向切变 辐合辐散大值区 (13 个距离库)	一维径向切 变辐合辐散大值区 (21 个距离库)	二维复合切变 大值区 (13 个距离库)
	(1)	155 °	A:0~20 °	A:0~20°	A: 60 ~ 70 °
	(1)	11.6 km	30 ~ 40 km	35~40 km	15 ~ 25 km
	(2)	172 °	B: 60 ~ 70 °	B: 60 ~ 70 °	B: 120 ~ 230 °
1998-07-03 Γ20: 02: 15	(2)	33.5 km	15 ~ 25 km	20~25 km	10 ~ 25 km
	(3)	177 °	C: 150 ~ 210 °	C: 170 ~ 210 °	C:160~180 °
		36. 8 km	10 ~ 25 km	15~20 km	30 ~ 40 km
	(4)	200 °	D: 170 ~ 180 °	D: 160 ~ 170 °	D: 260 ~ 270 °
		17. 2 km	30 ~ 40 km	30~40 km	35 ~ 40 km
	(5)	354 °	E: 350 ~ 10 °	E: 355 ~ 10 °	E:350~15 °
		13. 8 km	10 ~ 25 km	15~25 km	15 ~ 40 km

## 3.4 一维方位风切变图

结合文献[5]对相同资料的中尺度气旋探测结果,进行对比分析,得到下述结论(表2)。

表 2 中尺度气旋中心位置与一维方位、二维复合风切变大值区对照表

 $Table\ 2\quad The\ central\ positions\ of\ mesocyclone\ and\ the\ large\ value\ areas\ of$ 

1-D (elevational) shear and 2-D compositive shear

时间	中尺度气旋 中心位置	一维方位切变 辐合辐散大值区 (13 个距离库)	一维方位切变 辐合辐散大值区 (7 个距离库)	二维复合切变 大值区 (13 个距离库)
1998-07-03 T20: 09: 31	161 ° 32. 3 km	A: 150 ~ 170 °	A:150~210°	A: 130 ~ 220 °
		30 ~ 40 km	5 ~ 40 km	5 ~ 40 km
		B: 150 ~ 210 °	B: 260 ~ 280 °	B: 260 ~ 280 °
		5 ~ 20 km	25~40 km	20 ~ 40 km
1998-07-03 T20: 24: 58	358 ° 19.9 km	A: 170 ~ 190 °	A:170~180°	A: 340 ~ 20 °
		5 ~ 10 km	0 ~ 10 km	5 ~ 25 km
		B: 345 ~ 10 °	B: 340 ~ 15 °	B: 270 ~ 290 °
		5 ~ 25 km	0 ~ 25 km	10 ~ 40 km

表 2 中列举两个不同时刻均探测到中尺度气旋的个例。中尺度气旋一般发生于一维方位 切变的正大值区中, 即发生于气旋性的切变区中。只有那些强大、持久的才会产生中尺度气旋。 但在一维方位风切变的大值区中不一定会有中尺度气旋产生, 因为形成中尺度气旋还要满足 切变段在径向和方位上的对称性原则等条件。在二维风切变图象中有中尺度气旋发生的区域 同样是大值区。因此,使用一维方位风切变和二维复合风切变图象来验证中尺度气旋,结果是 可信的。

## 4 结 语

应用多卜勒雷达资料进行机场附近低空风切变场分析,可以作为中尺度气旋、下击暴流等强对流天气探测及警报的有效辅助工具。

无论是强辐合或辐散,还是气旋性或反气旋性切变都会在二维复合风切变场中产生大值区。因此将二维风切变场作为一维风切变场的解释和补充是必要的。

由于资料有限,为使该探测方法投入业务应用,还需进一步检验。

## 参考文献:

- [1] Browning K.A. Now casting [M]. New York: A cademic Press Inc, 1982
- [2] 肖艳娇, 汤达章, 李中华, 等. 风暴的自动识别、跟踪与预报[J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(2): 223~229
- [3] WILSON F W. Divergence estimation by single-Doppler radar[R]. International Conference on the Aviation Weather system. 1989. 112 ~ 114
- [4] GREGORY J S, ARTHUR W. The national severe storms laboratory mesocyclone detection algorithm for the WSR-88D[J]. Weather and Forecasting, 1998, 13(2): 304~325
- [5] 何 军. 单多卜勒雷达自动探测中尺度气旋、下击暴流技术: [学位论文] [D1. 南京: 南京气象学院, 1999

# A study on the method for detecting low-level wind shear over airport with single Doppler Radar

Hu Mingbao<sup>1</sup>, Tan Shuqing<sup>2</sup>, Tang Dazhang<sup>2</sup>, Xie Pu<sup>3</sup>

(1. AFIM, Nanjing 211101; 2. Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044;

3. AT AMSC, Guangzhou 510405)

Abstract: The velocity data for a single Doppler radar have been used in this paper to compute the feature values such as one-dimensional radial shear, one-dimensional elevation shear and two-dimensional radial and elevation shear, and the effect of airflow on airplanes has also been analised. The study is to recognize the areas of wind shear, verify the observations of microburst, mesocyclone and gust front, and define the potentially dangerous areas for airplane during landing and taking-off. The system can be regarded as an efficient tool to guarantee a safe flying.

Key words: low-level wind shear; Doppler radar; detecting method