

# 南京机场20130625低空风切变天气过程分析

聂颖<sup>1</sup> 余星源<sup>2</sup> 戴维士<sup>3</sup>

(1 民航江苏空管分局气象台, 南京 211113; 2 南京信息工程大学, 南京 210044; 3 江苏省气象局, 南京 210008)

**摘要:** 2013年6月在南京机场发生了一起多机组报告遭遇风切变并采取中断起飞或进近操作的天气过程。此次过程使得多架次飞机采取中止进近或紧急避让, 对飞行安全造成较严重影响; 而因为风切变的隐蔽性和突发性, 气象服务在当天未能提前做出预报。本文通过对过程中观测资料、机场当地的雷达及其反演产品以及物理量场的资料总结, 从低层理查森数计算结果发现本次过程中低空的风切变情况与地面观测上一次简单的风向切变不同, 中低空切变线过境的低层切变线辐合引发的机场进近区域低空强烈湍流, 使低空飞行即将降落的航空器产生强烈颠簸, 从而操作困难。中低层的切变线过境时可以激发持续较长时间近地面低空风切变, 此种类型的低空风切变的开始和结束时间与中低空切变线的移动情况相关。在探讨此次风切变机制时, 发现地面观测资料多要素的转折性变化、多普勒雷达产品和WAFS (Weather Area Forecast System) 数值预报产品的再分析资料对风切变预报有一定的参考作用, 可以帮助预报员做出判断, 从而保障飞行安全。

**关键词:** 风切变, 多普勒雷达产品, 理查森数, 低层切变线辐合机制

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.06.009

## Research of the Low-Level Wind Shear Process in 20130625 in Nanjing Airport

Nie Ying<sup>1</sup>, She Xingyuan<sup>2</sup>, Dai Weishi<sup>3</sup>

(1 Jiangsu Air Traffic Management Bureau, Nanjing 211113 2 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044 3 Jiangsu Meteorological Bureau, Nanjing 210008)

**Abstract:** In June 2013, there was a report that many flight units encountered wind shear and their take-off was interrupted due to the weather process in operation at Nanjing airport. This process urged several planes to take emergency avoidance, and caused a serious effect on the safety of flight. Besides, because of the hidden and sudden wind shear, meteorological service agencies failed to make an advance prediction that day. This paper summarizes the data of the process of observation, products of local radar in the airport and data of the physical quantity field. From the low-level Richardson number of wind shear, we find that its direction was different from the last simple process of low altitude in surface observation and that the convergence of the shear line caused a strong turbulence near the airport, shaking low flying airplanes strongly, thus making them difficult to operate. From the analysis of the long-time wind shear weather process, we think that low layer shear line transit can cause a long-time low-level wind shear, and when it occurs in the approaching area, the wind shear will be very dangerous for flights. In the discussion of the wind shear mechanism, we find that slight changes of ground observation data, Doppler radar products and the Weather Area Forecast System (WAFS) numerical forecast products have some reference function to the prediction of wind shear, and it can help forecasters use their judgment, so as to ensure flight safety.

**Keywords:** wind shear, radar products, Richardson number, low-level convergence

### 0 引言

在航空飞行过程中, 起飞和降落阶段的风切变是造成飞行事故的主要杀手。因低空风切变天气的突发性、隐蔽性较强, 气象保障过程中, 对风切变天气的预报始终是难点。国外研究<sup>[1-2]</sup>指出形成风切变的一些

天气学和地形因素。赵鸣等<sup>[3]</sup>观测并研究了天津250m气象铁塔的观测资料, 发现风随高度变化值夜间大、白天小, 高度越高越明显; 风速切变存在随温度梯度增加而增加的现象, 同样越高越明显。李秀莲等<sup>[4]</sup>阐述了风切变对飞行的影响及其预报时效分析, 认为各种风切变存在的时间和空间尺度不同, 高度也不同, 对飞行影响程度各异, 可预报的时效差异也较大。高空槽和急流风切变时间和空间尺度大, 可预报的时效达十几个小时; 中层急流空间尺度次于前者; 逆温层

收稿日期: 2014年3月11日; 修回日期: 2014年9月2日  
第一作者: 聂颖(1969—), Email: 18936881669@126.com  
资助信息: 民航江苏分局2014年气象服务项目

顶附近以及跑道面上的风切变不仅空间尺度小、存在时间短且变化大，预报时效只能是临近预报。

本文中探讨的这次多机组报告风切变天气过程，发生在近地面区域，但隐蔽性强，持续时间长且影响的航班数量多，在当地较为罕见。文中使用机场当天观测记录，通过常规资料分析、去量纲值比较、反演资料分析和再分析预报数据来探讨预报方法，使用湍流数据分析还原飞机的大气动力影响情况，希望找出此次过程发生的特点，为未来预报提供帮助。

## 1 探测资料概况

南京机场地面观测使用Vaisala公司生产的自动观测设备，提供风、气压、温度和天气现象等的24h观测数据，每小时向世界航空组织发布一次各种气象要素的天气报告。南京地区的雷达探测资料包括各种降水天气强度、高度、速度回波资料以及雷达反演风廓线资料(velocity azimuth display, VAD)风场资料。因近地面风切变现象的发生区域常常很小，在地面观测设备中常常探测不到，很多情况下机组报告也成为探测的主要途径。

## 2 过程分析

### 2.1 天气过程

2013年6月25日11:13—13:32(北京时间，下同)，南京机场进近区域范围收到四次航空器报告的天气(表1)。

表1 2013年6月25日南京机场四次航空器报告资料

时间/BT	地点	天气现象
11:13	24号跑道滑行区域	风切变
12:02	06号跑道进近区域	强上升气流
12:51	06号跑道, 600英尺高度附近	风切变
13:31	距06号跑道6km, 高度为300~400m	强颠簸(或垂直方向风切变)

通过表1航空器的报告可见在11:13—13:30南京机场近地面附近发生了水平方向和垂直方向风切变，最先出现在地面附近，之后位置稍高。当天气象观测记录(表2)显示当时机场小雨伴轻雾天气，09:00—10:00地面风速较小，而风向开始变化，10:00—12:00风向出现了很大的改变，风速也有所增加，达到了特殊天气变化的标准。为了较清楚地表现变化过程，对全部观测值相对于均值的变化程度进行计算，使用各物理量和09:00—14:00的物理量均值进行比值计算，利用这种无量纲方法对观测资料的演变进行分析(图1)，综上可见09:00—14:00南京机场的风向从西南风转为东北风，发生了降温，同时能见度迅速好转，显示一次低空切变线经过机场并最终受冷气团影响的天气过程。11:00—12:00各项要素变化最

为激烈，而在次期间滑行中和进近区域的飞机同时观测到地面和超低空的风切变或气流紊乱情况，并认为可能对飞行造成影响而中止了起飞。

表2 2013年6月25日南京机场观测资料

时间/BT	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
平均风向/°	140	170	50	50	70	60
平均风速/(m/s)	3	3	4	5	4	4
主导能见度/m	1300	1600	8000	7000	8000	7000
天气现象	-RA, BR	-RA, BR	-RA, BR	-RA, BR	-RA, BR	-RA, BR
云/m	5Fn210 8Sc1200	6Fn210 8Sc1200	2Fn150 6Fn210 8Sc1200	6Fn210 8Sc1200	6Fn210 8Sc1200	6Fn210 8Sc1200
温度/°C	25.9	26.3	23.1	22.1	22.8	22.8
湿度/%	94	94	94	95	95	95
修正海平面气压/hPa	1001.7	1001.4	1001.6	1001.3	1001.1	1000.8

注: -RA代表雨; BR代表轻雾; Fn代表碎雨云; Sc代表层积云。

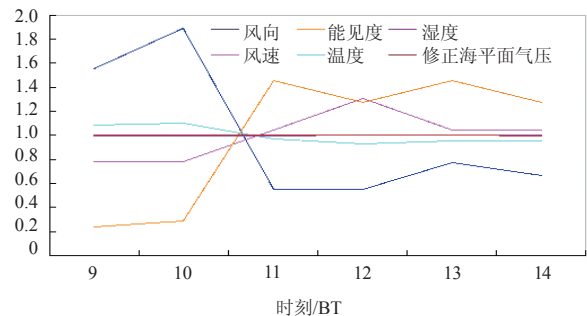


图1 2013年6月25日各观测分量均值去量纲化的演变  
横坐标时间(北京时间), 纵坐标比值

为了找到这次风切变天气过程持续较长时间的原因，发现预报规律，查找以下几个方面的资料，并进行了探讨分析。

### 2.2 天气形势

对当时的天气形势进行分析后发现，地面上南京地区处于一个鞍形场中，北侧有一低涡，雨区成东西带状分布于本场北侧(图略)。高空850hPa上在本场附近有一个低涡切变线，气旋性切变明显。在700和500hPa上均处于槽线的槽前偏西南气流之中，暖湿气流输送条件好，在机场及周围地区形成降水(图略)。在切变线影响及持续性较弱降水的期间，机场地面及近地面上空出现了持续两个多小时的低空风切变及乱流天气过程。

### 2.3 雷达资料

#### 2.3.1 低空风切变发生和消散时段的降水天气的不同特征

在雷达图像上，风切变报告的初始时段(图2a)，机场处于降水回波带中，飞机报告位置的西北侧和北侧以及东北都有较强降水。强回波中心顶高达到12km左右。之后，降水回波略南压，机场受这次中低空的切变线影响造成的降水持续了近10h，强降水在移动靠近机场时渐渐分散，之后的时段机场逐渐被数块较

强的降水回波包围，且周围回波越来越趋于零散。最后一次机组报告时（图2b），降水已较之前零散，位置在第一次报告位置的南10km的小块降水区中。显示

受切变线南下影响，地面和近地面上空气流紊乱。发生自北向南的多起机组报告水平和垂直方向的风切变现象。

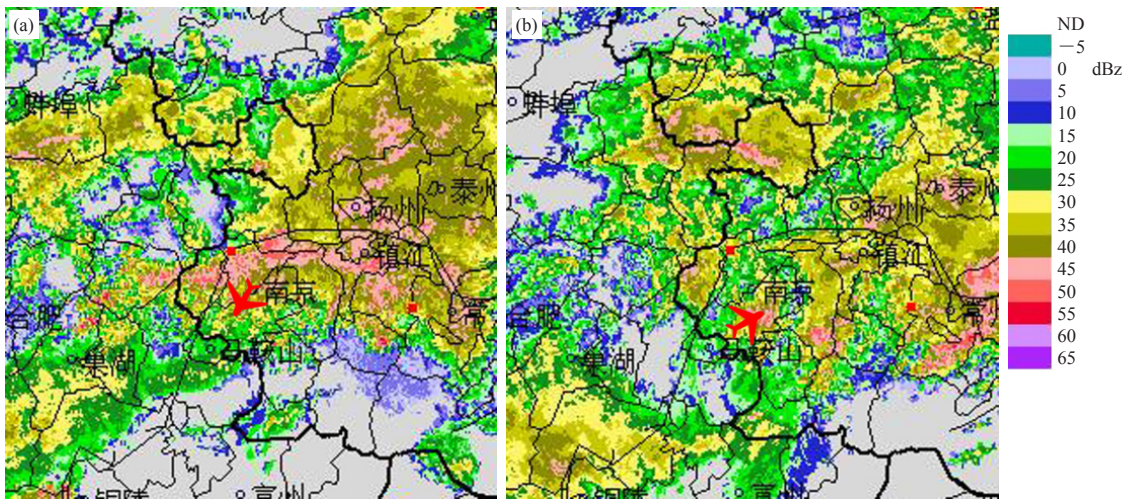


图2 2013年6月25日南京机场两次风切变报告时的雷达回波（单位：dBz）  
（a）11:13第一次机组报告，（b）13:31第四次机组报告

### 2.3.2 低空风切变发生和消散时段的雷达速度图分析

雷达基本反射率回波图上能较好地探测降水和强对流的情况，在雷达的风场资料上可以直接探测风的变化情况。

图3a是对风切变报告阶段11:13多普勒雷达速度回波图的计算反演结果，图中代表了11:00—13:30阶段的速度图像。可见四次风切变报告时的风场情况。图3a上的零速度线反映的风场旋转和切变特性明显，

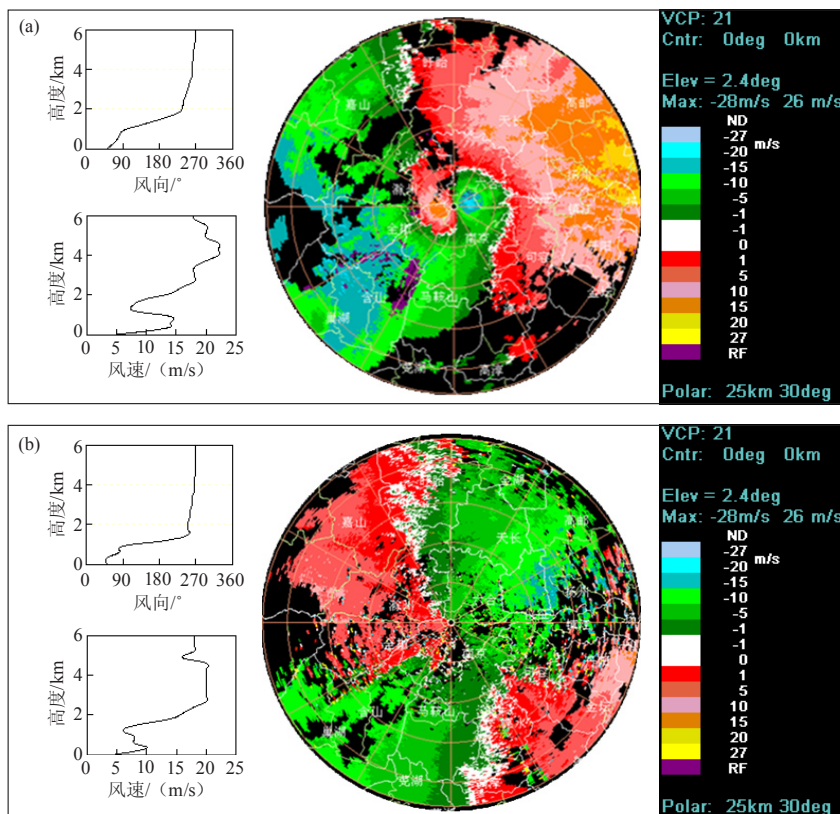


图3 2013年6月25日11:13（a）和14:49（b）南京机场的雷达速度和反演计算

零速度线的S形旋转缺口绿区正对南京机场所在的位置。风向随高度顺转，在中低层有一个突变的过程。风速图上随高度在低层有两个风速突变的特性，即在2km以下低层到中层有一个突增的大值区域，之后迅速减小再增加。显示在多次风切变的报告阶段的低层风切变特征。图3b显示了风切变密集报告阶段结束后，风场的探测情况。可见在低层2km以下的风向仍然顺转，而风速的变化远小于之前，之后风切变报告消失。

### 2.3.3 低空风切变发生时段的风速反演风廓线资料风场特征

详细分析四次风切变发生时段的风速反演风廓线资料 (velocity azimuth display, VAD)，在四次报告过程中显示，300~2100m的狭窄高度空间里，风向从50°~100°的偏东风转为200°~250°的偏西风，垂直方向的风向变化在100°以上。为了更清楚地分析风向风速在垂直方向上的变化，对风廓线资料做进一步研究计算。图4可以更清楚地看到在垂直方向上的风向风速的变化特征：在垂直方向上风速呈V型变化，300~2100m风速存在一个低谷，风向的变化曲线也在这一高度区间出现了折角；而根据航空器的报告，风切变也大致发生在这一高度区间。

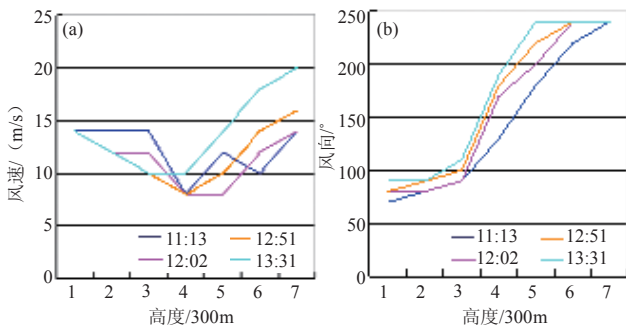


图4 2013年6月25日机组报告四次时次过程的风切变的风速(a)和风向(b)随高度的变化

## 2.4 数值预报再分析产品

在对数值预报产品的比较后发现此次风切变过程中，江苏省气象台对Weather Area Forecast System (WAFS) 数值预报产品的再分析资料在大尺度范围以及发展趋势上有较好的参考作用，图5中WAFS数值预报风切变产品显示出区域性的0~3km强风切变区域的东移南下过程，南京以北的淮河流域在垂直方向上存在着密实强风切变中心区域，未来的2h内强风切变中心随时间自北向南移动，强风速中心渐趋疏散，但仍保持一定强度，而在消散之前机场出现了密集报告的风切变天气。同时，这种大值区的范围也与当天的

降水区域有很好的吻合度。说明低空风切变的形成和切变线降水之间的关系，以及风切变的存在对区域性降水的维持的有利作用。在上空切变线降水天气过程中，降水范围可以辅助制作风切变区域预警。但是，由于范围较大，精确预报需要结合其他资料作出判断。

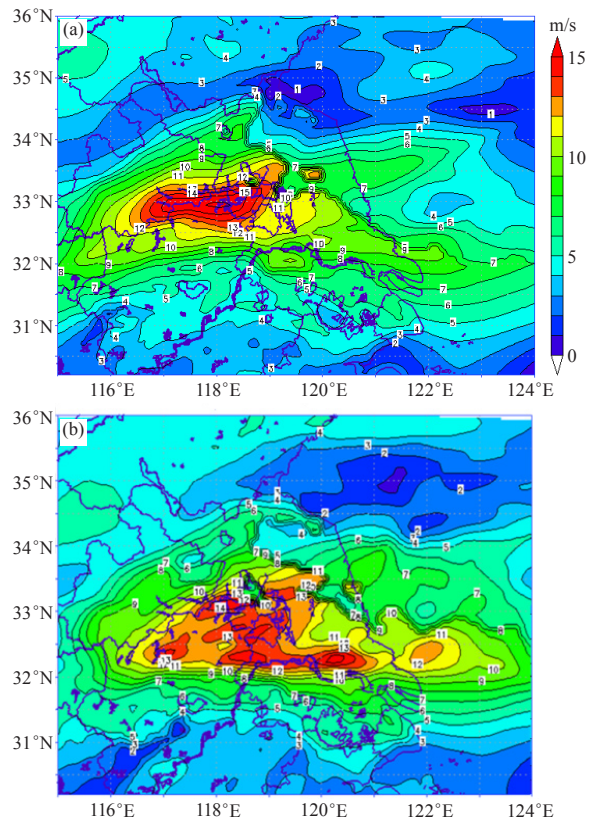


图5 2013年6月25日11:00 (a)和13:00 (b) WAFS数值预报产品的0~3km风切变再分析资料

## 3 飞行器的环境湍流影响指数

为更加深入地研究此次低空风切变过程的内在机制，对过程的湍流物理量进行了计算。因为风切变产生的湍流是影响飞行安全的要因，所以通过对湍流指数的分析可以判断机组报告风切变时飞行中气层的风切变现象造成的湍流对飞机飞行姿态和动力的影响情况。理查森数 (Ri) 的计算如下：

$$Ri = \frac{g}{T} \cdot \frac{\gamma_d - \gamma}{\left(\frac{\Delta u}{\Delta z}\right)^2}$$

式中， $\bar{T}$ 为气层的平均温度， $g$ 为重力加速度， $\frac{\Delta u}{\Delta z}$ 为单位高度速度的变化率， $\gamma_d - \gamma$ 为干湿空气温度递减率的差值。越小，湍流发展越强烈<sup>[5]</sup>，一般来说，颠簸也越强。根据经验，当 $4 > Ri > 0.5$ 时，一般飞机有轻度颠簸；当 $Ri < 0.5$ 时，有中度或强烈颠簸。根据自动观测系统的记录和多普勒雷达的反演风资料，计算了地

面到2100m高度的 $Ri$ ，并对比机组遭遇的四次风切变时 $Ri$ 随高度的变化（图6）。

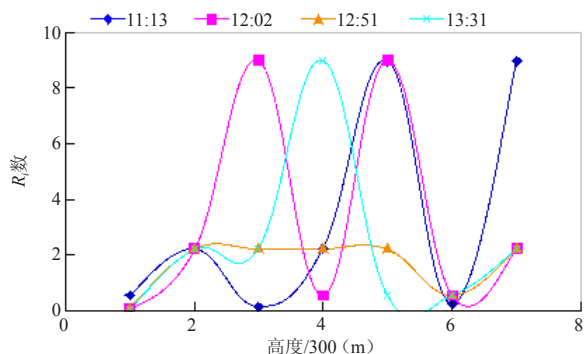


图6 2013年6月25日南京机场机组报告四次时次过程的风切变的高度- $Ri$ 图

可见四次过程在300~1800m高度上均有小于1.0的值出现，这两个存在湍流较强的区域也是几次风切变的报告区域，即300m左右和进近区域 $Ri$ 基本维持在4以下，也就是机组会有轻度以上的颠簸感，四次过程在0~300m高度上 $Ri$ 数均小于0.5，有中度到强烈的颠簸，飞机在如此低高度上出现强烈的上下波动，对飞行危害极大，而此次过程持续时间之长，影响飞行数量之多，也较罕见。初始阶段的第二次飞机报告过程中垂直方向2000m的距离里，低 $Ri$ 数有3个之多，说明大气在飞机降落区域湍流极不稳定，使飞行受到极大地影响。

#### 4 结论

分析2013年6月25日一次多机组遭遇低空风切变过程，机场当时正处于区域性的切变线辐合降水之

中，低层切变线在移动过程中产生了较长时间的低空风切变，包括水平和垂直方向的风切变。持续近2h的低空风切变对飞机的飞行动力环境产生了一定影响，微小的操作失误都有可能造成灾难性的后果。此次过程同以往认识中大多数的风切变生消快、移动快和范围不大等特征不同，需要在预报中引起注意。

在雷达的资料图中，风向和风速切变变化预示着风切变的发生和发展，但预报时效较短，只能在临近预报中使用。WAFS资料的风切变再分析预报资料提供了较长的预判时间和大范围的风切变信息，但提高精确性需要结合其他资料。当地面观测系统探测到风向和风速的变化时，需要结合上述资料分析判断未来风切变的发生和维持情况，如出现大于 $60^\circ$ 的风向变化，即便是5m/s左右的风速，也需要引起注意，在稍高区域里可能存在影响航空器飞行的低空切变线，需要及时发布风切变警报。中低层切变线位置和移动情况是机场未来可能发生和消散低空风切变的直接原因。

#### 参考文献

- [1] Bencatel R, Sousa J. Shear Wind Estimatio. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference. 08-11 August 2011, Portland, Oregon.
- [2] Chan P W. Atmospheric turbulence in complex terrain: Verifying numerical model results with observations by remote-sensing instruments. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 2009, 103: 145-157.
- [3] 赵鸣, 唐有华, 刘学军. 天津塔层风切变的研究. *气象*, 1995, 22(1): 7-12.
- [4] 李秀连, 付强, 王科, 等. 风切变对飞行的影响及其预报时效分析. *气象科技*, 2010, 38(2): 170-173.
- [5] 赵树海. 航空气象学. 北京: 气象出版社, 1994, 144-158.