

史丹妮, 周东旭, 胡荣章, 等. 2009. 3. 23 东京成田机场坠机的气象条件分析与数值模拟[J]. 气象, 2010, 36(9): 9-13.

# 2009. 3. 23 东京成田机场坠机的气象条件分析与数值模拟

史丹妮<sup>1</sup> 周东旭<sup>2</sup> 胡荣章<sup>2</sup> 李秀连<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871

<sup>2</sup> 民航华北空管局气象中心, 北京 100621

**提 要:** 2009 年 3 月 23 日美国联邦快递公司的一架飞机在东京成田机场坠毁, 事故发生的原因与当时的气象条件密切相关。利用美国新一代非静力平衡中尺度数值预报模式(WRF V2.2)对该次过程进行数值模拟, 着重分析事故发生前后各种物理量的水平分布和垂直配置, 并诊断分析了该时段内位温平流的分布特征。结果表明, 强风发生在位温平流梯度区。强冷空气影响下形成的低空水平风的垂直切变、低层强下沉速度引起的侧风切变和地面强风是造成此次事故的主要气象原因。

**关键词:** 低空风切变, 数值模拟, 垂直速度

## Simulation and Analysis of the Weather Conditions for the 23 March 2009 Accident at Tokyo Narita Airport

SHI Danni<sup>1</sup> ZHOU Dongxu<sup>2</sup> HU Rongzhang<sup>2</sup> LI Xiulian<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Atmospheric Sciences, Peking University, Beijing 100871

<sup>2</sup> Meteorological Center, Air Traffic Management Bureau of North China, CAAC, Beijing 100621

**Abstract:** A US FedEx cargo plane crashed and burst into flames as it landed at Tokyo Narita airport on March 23, 2009. The weather conditions of the crash are simulated and analyzed in this article. A new generation of WRF (Weather Research & Forecasting, designed in the United States) nonhydrostatic model 2.2 is used in simulating this process. The horizontal and vertical distributions of several critical physical elements before and after the crash are analyzed. Particularly, the horizontal distribution of potential temperature is diagnosed and analyzed. The result shows that strong surface wind is formed in the region of potential temperature advection gradients, and that the strong surface wind, the strong downdraft caused by the surface wind in the low level and the low-level wind-shear are the main meteorological causes of this accident.

**Key words:** low-level wind shear, numerical simulation, vertical velocity

## 引 言

2009 年 3 月 23 日清晨 21:50 UTC(世界时,下同), FedEx 公司一架自中国广州出发的 MD-11 货机在东京成田机场跑道着陆失败后起火, 飞机上有机长和副驾驶共两人遇难。事故发生后对当时失事原因有多种说法。当时机场附近有强风, 最大瞬间风速达  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 日本航空地方气象台还发布了强风切变警告。

风切变是一种客观存在的天气现象, 是由于风在空间不均匀分布引起的, 特别是发生在低层(500 m)的风切变对航空器的起降影响更大。在美国, 航空管理局(FAA)研发的低空风切变告警系统(LLWAS)可以判断机场周围是否存在低空风切变, 但却无法预报低空风切变。NCEP 已经使用集合预报的方式输出低空风切变产品。在我国香港机场建成了包括多种探测手段的集成式低空风切变业务警报系统, 是全球为数不多的先进系统, 预警低空风切变准确率达到 90% 以上。我国对风切变的认识虽

然起步比较晚,但是不断有学者提出自己对风切变的识别和分析方法。如王楠等<sup>[1]</sup>研究了利用多普勒雷达径向速度资料识别低空风切变和辐合线的方法。盛春岩等<sup>[2]</sup>根据青岛黄岛新一代天气雷达和浮标站等观测资料,对国际帆船赛期间一次赛场风速突然减小的多普勒雷达特征进行了分析。结果发现,新一代天气雷达 VAD 风廓线产品可以较好地反映出雷达站附近风切变层以及风速的垂直变化。张银昌等<sup>[3-6]</sup>就影响飞行的中小尺度天气进行分析,对飞行和航管人员都具有重要意义。还有一些学者应用数值模拟技术模拟风场环境。如唐灵等<sup>[7]</sup>运用 MM5 模式对 2001 年 3 月 6—9 日华东和华南地区一次冷锋天气系统进行了模拟。李佳英等<sup>[8]</sup>利用北京加密探空资料检验北京市气象局 3 km 分辨率的 MM5 模式。均取得一定的成果。

本文应用 NCEP 再分析资料对当日东京成田机场的天气形势进行分析,并应用非静力平衡中尺度数值预报模式(WRF V2.2),对本次过程进行数值模拟并诊断分析,意在寻找本次事故的天气成因。

## 1 天气实况

2009 年 3 月 22 日后半夜,东京成田机场(35.7°N、140.3°E)有一地面锋面过境,风向转为西北,风速逐渐加大,2030 UTC 风速达到  $9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,2033 UTC 开始出现  $13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的瞬时风速,2041 UTC 风向突然发生改变,风速减小为  $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。说明在锋后的西风气流中风的时间和空间分布很不均匀。21 UTC 风向又转为西北,风速继续加大,2130 UTC 平均风速达到  $13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  并伴有  $21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的瞬时风速,当地气象部门发布了风切变警告,2150 UTC 飞机降落过程中不幸坠毁,瞬时风速在 2200 UTC 后略有减小。

## 2 天气尺度形势分析

2009 年 3 月 22 日,日本海有一地面低压形成,东移过程中加强。06 UTC 地面低压中心位于本州岛西侧  $135^\circ\text{E}$  附近,低压中心强度为 992 hPa,在低压内有一锋面形成,东京成田机场位于锋面前部。在锋面的前部和后部均有一明显大风区,风速  $12 \sim 18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,锋面前部大风区为西南风,后部大风区为西北风。12 UTC 地面低压中心向东北移动,中心气压变化不大,低压中心后部西北大风区风速有所加大,且前沿已经临近本州岛。之后低压中心和

锋面继续向东偏北移动,中心气压进一步降低。18 UTC 低压中心气压达到 990 hPa(图 1),此时地面锋面已过成田机场,成田机场风向  $300^\circ$ 、风速  $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。23 日 00 UTC 低压中心东北移到北海道以北区域,锋后西北大风区位于  $140^\circ \sim 145^\circ\text{E}$  之间区域,成田机场位于大风区中心。

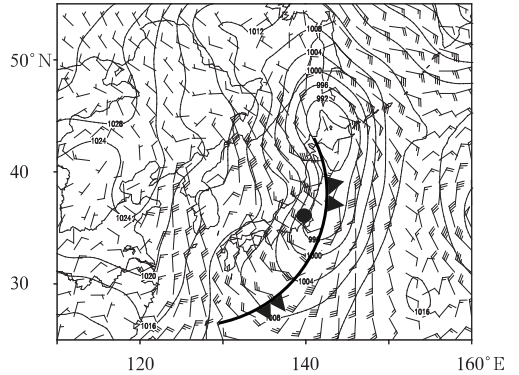


图 1 2009 年 3 月 22 日 18 UTC 地面气压场和 10 m 高度风场  
(图中粗实线为锋面,黑点位置为东京成田机场)  
Fig. 1 Surface pressure and 10-m-level wind fields at 1800 UTC March 22, 2009  
(Frontal surface is shown as heavy solid line and the black circle is Tokyo Narita International Airport)

图 2 是 2009 年 3 月 22 日 18 UTC 1000 hPa 风场和温度图。图中有一气旋位于北海道上空,有高空槽与之配合,槽线正好划过成田机场,机场以东为槽前西南气流,机场以西为槽后西北气流,风向风速有明显气旋式切变。同时次的 850 hPa 和 700 hPa 风温图(图略)均与 1000 hPa 的形势相似,成田机场已经受西北气流控制,说明低层槽线已经划过机场。与低层的槽线位置不同,18 UTC 500 hPa 风场和温度图上槽线分为南北两段(图略),北段槽线位于中国东北的东部,南部的槽线在成田机场西部,成田机

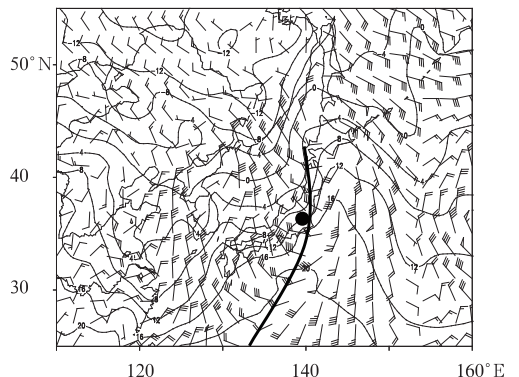


图 2 2009 年 3 月 22 日 18 UTC 1000 hPa 风场和温度场  
(图中粗实线为槽线,黑点位置为东京成田机场)  
Fig. 2 The 1000 hPa wind and temperature fields at 1800 UTC March 22, 2009  
(The trough line is shown as heavy solid line and the black circle is Tokyo Narita International Airport)

场位于槽前,为西南气流。槽线的后部为一急流,风速达  $42 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。从槽线结构的垂直配置来看,中低空槽线位置比较一致,600 hPa、500 hPa 及其以上槽线相对滞后,从低层到高层槽线为后倾结构。在槽线后部,500 hPa 以下各层均有一大风速核。23 日 00 UTC 风温图上,500 hPa 槽线已过成田机场,风向转为西北,且各层风速明显加大。

### 3 物理量场分析

锋面过境时,其后风速的大小还决定于与之配合的高空各层的温度平流的大小,冷平流的强度愈强、厚度愈大,地面风速愈大。从 NCEP 再分析资料分析结果表明:12 UTC 低层冷平流区位于日本岛中部和西部,从低层到高层呈后倾结构,中低层的冷空气较为接近东京地区,高层冷平流偏后,东京地区为锋前暖气团控制。其后随着锋面过境,冷空气到达东京上空,图 3 给出了 18 UTC 850 hPa 的温度平流。由图可见,东京成田机场上空冷平流强度达到  $5.0 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ ,所在区域的中心强度为  $8.0 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 。18 UTC 700 hPa 东京成田机场上空冷平流强度达到  $2.5 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ (图略),而此时 500 hPa 及其以上层次的温度平流为正值,说明高层冷空气还没有到达。00 UTC 500 hPa 温度平流转为负值,冷空气接近。

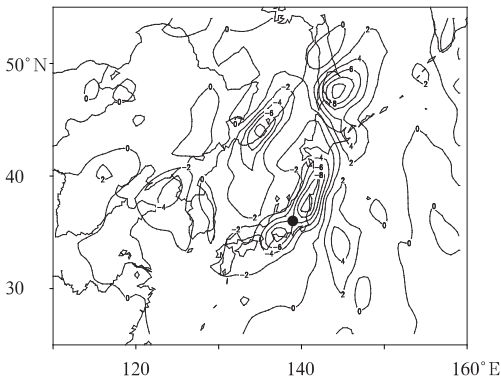


图 3 2009 年 3 月 22 日 18 UTC  
850 hPa 温度平流

(黑点位置为东京成田机场)

Fig. 3 Temperature for 850 hPa level  
at 1800 UTC March 22, 2009

(The black circle is Tokyo Narita International Airport)

在强冷空气来临时,冷空气愈强,其下沉的垂直速度愈大,空气到达近地层的水平风速也愈大。同时冷空气的下沉也有利于高空的动量下传,当高空风速加大,由于动量下传,地面风速也会加大。图 4 是 22 日 18 UTC 沿  $35.7^{\circ}\text{N}$ 、 $120^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$  垂直速度的垂直剖面图。由图可见,1000 hPa 成田国际机场

( $140.3^{\circ}\text{E}$ )处在下沉速度区,下沉速度为  $4.0 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,900 hPa 的下沉速率明显比低层大,为  $5.6 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,850 hPa 以下下沉速度都较大,700 hPa ~ 500 hPa 机场处于下沉速度中心的前沿。

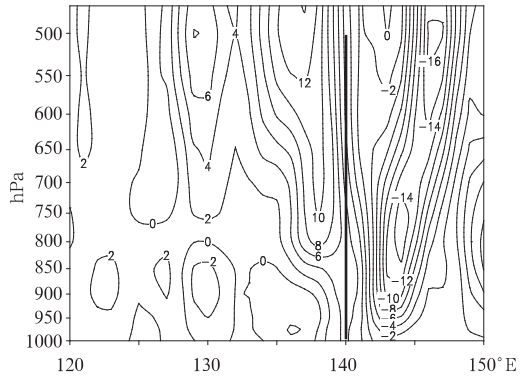


图 4 2009 年 3 月 22 日 18 UTC 沿  $35.7^{\circ}\text{N}$  的  
 $120^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$  垂直速度的垂直剖面图  
(黑线位置为成田机场)

Fig. 4 The vertical profile of vertical velocity  
between  $120^{\circ}\text{E}$  and  $150^{\circ}\text{E}$  along latitude  
 $35.7^{\circ}\text{N}$  at 1800 UTC March 22, 2009  
(The black line represents Tokyo Narita)

以上是应用 NCEP 再分析资料,对 22 日 06 UTC 至 23 日 00 UTC 的大尺度天气条件分析,飞机 2150 UTC 在东京成田国际机场降落时失事,但 NCEP 资料为每 6 小时一次的整点资料,不能满足此时间尺度的要求,为探求事故发生时以及前后天气条件的详细情况,将此次过程进行了模拟分析。

### 4 数值模拟分析

应用非静力平衡中尺度数值预报模式(WRF V2.2)对该过程模拟,模拟区域为  $30^{\circ}\sim 47^{\circ}\text{N}$ 、 $125^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$ ,分辨率为 1 km。模拟时间为 2009 年 3 月 22 日 12—24 UTC。

为了检验数值模拟的效果,首先对模拟的形势场、温压场特征与实况进行对比分析。考虑到积分初期产生的计算不稳定,18 UTC 前的形势场没有参加对比。18 UTC、00 UTC 各层风场及温度场与实况基本吻合,槽线的后倾结构和槽线的位置大致相同。可以说模式对此天气过程的大尺度环流背景及影响系统的模拟是比较成功的。

图 5 是当日 18—22 UTC 850 hPa 的位温平流模拟图。从图中东京成田国际机场(黑点位置)位温平流的值可以看出:18—20 UTC,850 hPa 位温平流的负值逐渐增大,能量降低,表明有干冷空气侵入;20 UTC 位温平流达到  $-6.0 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 5c);21 UTC(图 5d)东京成田机场位温平流的值变

化不大,但梯度加大,西部平流中心的负值也在增加; 2150 UTC 和 22 UTC 东京成田机场维持在强位温平流梯度区。配合当时天气实况发现,21 UTC 位温平流梯度增加时,地面风力加大,瞬时风速达到

$18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,表明位温平流梯度的增大比位温平流本身增大对瞬时风速的作用更大,强风发生在位温平流梯度区。

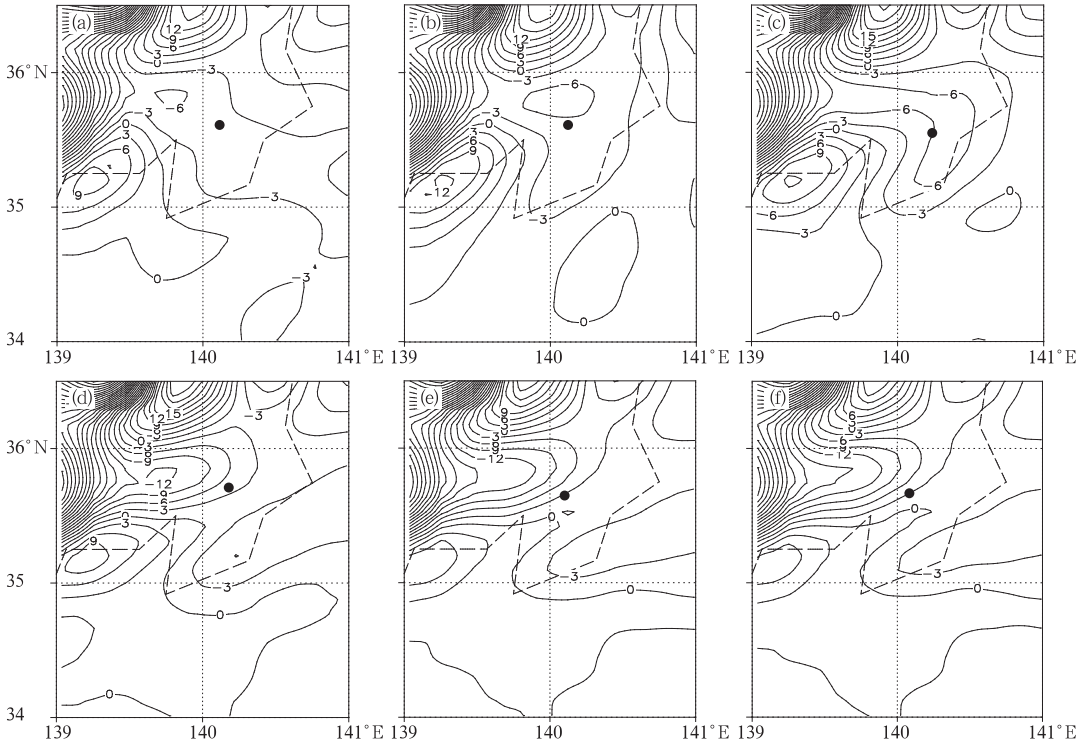


图 5 2009 年 3 月 22 日 18—22 UTC 850 hPa 温度平流模拟图

(a) 18 UTC; (b) 19 UTC; (c) 20 UTC; (d) 21 UTC; (e) 2150 UTC; (f) 22 UTC

Fig. 5 Temperature fields for 850 hPa level during 1800—2200 UTC March 22, 2009

(The black dot is Tokyo Narita international airport) at different times;

(a) 18 UTC, (b) 19 UTC, (c) 20 UTC, (d) 21 UTC, (e) 2150 UTC and (f) 22 UTC

由模拟输出的东京成田国际机场 18—22 UTC 垂直方向水平风的时间序列图(图略)可见,18 UTC 700 hPa 以下层次为槽后西北气流,700 hPa 以上为槽前西南气流,19 UTC 后 700 hPa 以上各层转为西北气流,比地面西北风加大的时间提前 1 个小时。图 6 是东京成田国际机场上空垂直速度 18—23 UTC 时间序列图。由图 6 可见,18—20 UTC 850 hPa 以下均为下沉速度但速度较小,20 UTC 后下沉速度的值和垂直厚度都在增加,22 UTC 前后低层垂直速度达到最大值。其中 975 hPa(接近地面高度)垂直速度 2030—2130 UTC 下沉速度处于增大阶段(图 7),2130—2200 UTC 最大下沉速度达到  $10.5 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$  左右,随后有所减小。可见在飞机发生事故时的 2150 UTC,强且不稳定的下沉气流,是飞机失事的原因之一。

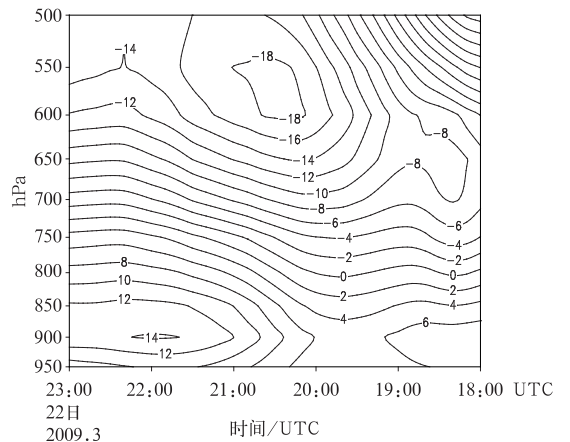


图 6 2009 年 3 月 22 日 18—23 UTC 东京成田国际机场 950~500 hPa 垂直速度时间序列图

Fig. 6 Vertical velocity distribution between 950 and 500 hPa during 1800—2300 UTC March 22, 2009 at Tokyo Narita International Airport



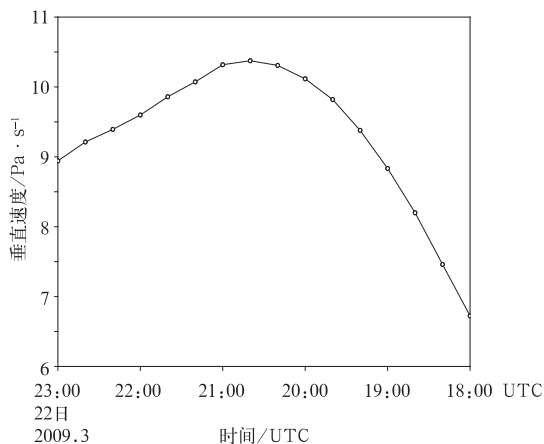


图 7 2009 年 3 月 22 日 975 hPa 东京成田国际机场 20—23 UTC 垂直速度图

Fig. 7 The 975 hPa vertical velocity variation during 2000—2300UTC March 22, 2009 at Tokyo Narita International Airport

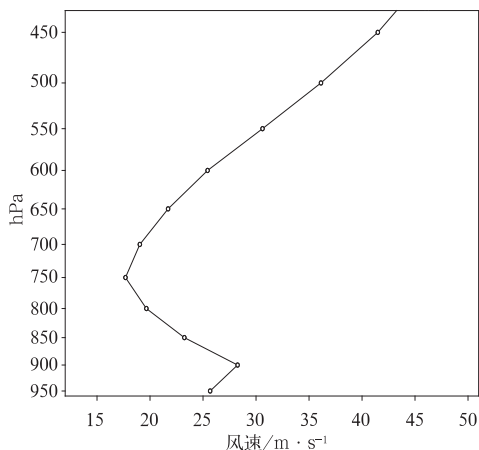


图 9 2009 年 3 月 22 日 2150 UTC 东京成田国际机场模拟风廓线图

Fig. 9 Simulated wind profile at 2150 UTC March 22, 2009 at Tokyo Narita International Airport

在强冷空气侵袭下,东京成田机场 2108 UTC 风速明显增大(图 8),西北风平均风速达到  $13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,阵风  $18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,2130 UTC 阵风达  $21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,在飞机发生事故时的 2150 UTC,阵风维持在  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  之上,说明强冷空气影响下的强风是飞机失事的又一原因。

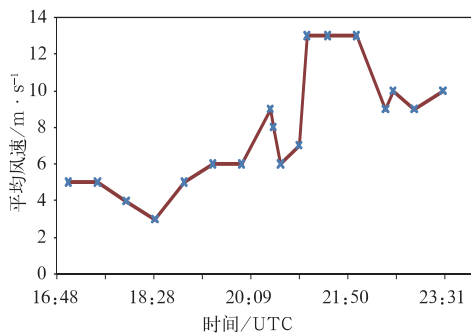


图 8 2009 年 3 月 22 日 1700—2330 UTC 东京成田机场平均风速时间序列图

Fig. 8 Average wind speed during 1700—2330 UTC March 22, 2009 at Tokyo Narita International Airport

图 9 是 2009 年 3 月 22 日 2150 UTC 东京成田国际机场模拟风廓线图。从水平风的垂直分布可见,低层存在风速的不连续,尤其在 900 hPa 高度,是一风速从低到高先增大后减小的尖点,有较大的风速切变,而且切变发生在如此低的高度上,可能是当时飞机失事的主要原因。

### 5 结 论

由上述分析我们可以得出以下结论:

- (1) 2009 年 3 月 22 日东京成田机场的冷锋过境天气过程,从低层到高层系统呈后倾结构,冷锋后西北风速大,冷平流强。
- (2) 位温平流代表了干冷空气的能量平流,地面强风发生在低层位温平流梯度区。
- (3) 强冷空气影响下形成的低空水平风的垂直切变、低层强下沉速度引起的侧风切变和地面强风是造成此次事故的主要气象原因。

### 参考文献

[1] 王楠,刘黎平,徐宝祥,等.利用多普勒雷达资料识别低空风切变和辐合线方法研究.应用气象学报,2007,18(3):314-320.

[2] 盛春岩,刁秀广.一次对流系统引起奥帆赛场风速突然减小的多普勒雷达特征.气象,2008,34(5):89-93.

[3] 张银昌,黄菲.一次低空水平风切变的小尺度特征分析.气象,2007,33(2):10-14.

[4] 钟加杰,李萍,刘峰.一次热带气旋外围飊线对广州白云机场的影响[J].气象,2009,35(6):70-76.

[5] 张德林,马雷鸣.“0730”上海强对流天气个例的中尺度观测分析及数值模拟[J].气象,2010,36(3):62-69.

[6] 唐民,梅珏.上海浦东机场一次连续出现的强对流天气对比分析[J].气象,2009,35(10):25-31.

[7] 唐灵,林嘉仕,詹杰民,等.MM5 中尺度模式对一次冷锋天气系统模拟结果的评价[J].中山大学学报,2007,46(6):115-119.

[8] 李佳英,俞小鼎,王迎春.用探空资料检验中尺度数值模式对强对流天气的诊断分析能力[J].气象,2006,32(7):13-17.