第7卷 第6期
2013年12月
沙漠与绿洲气象
Desert and Oasis Meteorology

doi:10.3969/j.issn.1002-0799.2013.06.003

乌鲁木齐国际机场风切变颠簸天气个例分析

王春红,朱雯娜,陈阳权
(民航新疆空中交通管理局,新疆 乌鲁木齐 830016)

摘 要:利用常规天气资料、风廓线雷达探测资料、自动站资料、NCEP再分析资料及数值模拟资料，对乌鲁木齐2010年12月2—3日对飞行安全有较大影响的风切变颠簸天气进行了多角度分析。结果表明,局地性东南风层的形成和下传造成的水平方向上非东南风与东南风的切变、锋区南压过程中在北疆沿天山一带低空诱发的小范围风场扰动对东南风层短暂破坏而引起的水平和垂直方向上风向风速的迅即变化,是造成机场附近风切变颠簸的原因。中尺度数值预报模式(WRF)对此次风切变天气有较好的模拟能力,有助于在探测资料有限的情况下了解风切变的细微结构及其演变。

关键词:风切变;急流锋区;数值模拟
中图分类号:P458　　**文献标识码**:B　　**文章编号**:1002-0799(2013)06-0015-07

近年来,随着我国民航飞行总量的迅速增长,航班遭遇风切变情况呈上升趋势。发生在低空的风切变局地性特点突出,发生时间短、尺度小、强度变化大,严重危害航空安全,导致过多起机毁人亡的航空飞行事故，风切变的监测和预报已成为航空气象服务的重点和难点问题之一[1-3]。根据风切变出现的天气背景一般可将其分为雷暴型、冷锋型、逆温型、低空急流型及地形性风切变等几类。目前对于雷暴以及与其相联系的下击暴流引起的风切变研究较多,有效的探测手段及预警系统也在实际中有了有效应用,但其它几种风切变的研究相对较少[4-8]。

乌鲁木齐国际机场对飞行安全影响较突出的风切变主要是由局地性的东南风引起的，其次是与冷锋锋区影响有关的风切变。由于探测资料以及航空器报告资料的不足，预报人员对于上述风切变天气的时间空间尺度特征、形成机制、天气特点及表现形式等的认识还十分不足,预测难度很大。

本文利用常规天气资料、风廓线探测资料、自动站资料、NCEP再分析资料及中尺度数值模式模拟资料,对2010年12月2—3日乌鲁木齐国际机场一次对飞行安全有较大影响的风切变天气进行了多角度分析,希望对风切变的分析和预报有所帮助。

收稿日期:2013-03-15;**修回日期**:2013-06-15
基金项目:新疆自然科学基金(2011211A102)资助。
作者简介:王春红(1971-),女,高级工程师,主要从事航空气象预报工作。E-mail:ningning5021@shou.com

1 航空器颠簸报告及航班受影响情况

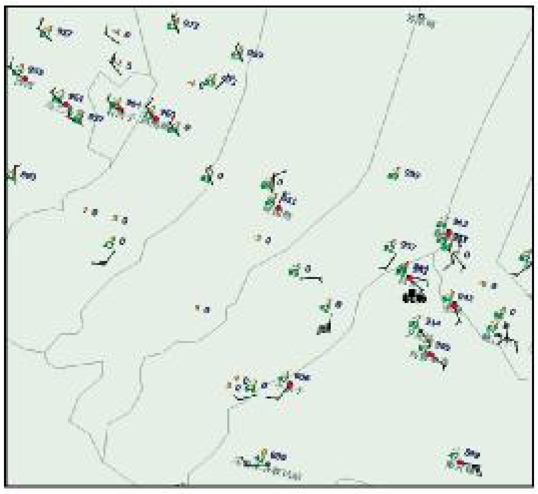
2010年12月2日傍晚至夜间，乌鲁木齐国际机场(以下简称机场)多架航班在降落阶段因风切变影响遭遇较强颠簸,机场气象台在21:27(北京时间,下同）和23:14接收到2份来自航空器关于在跑道距地面600~800 m高度遭遇中度以上颠簸和强烈颠簸的空中报告，由于颠簸强度趋于加强，后续有10个航班备降,3日凌晨02时之后，机场航班才恢复正常起降。

2 风场实况分析

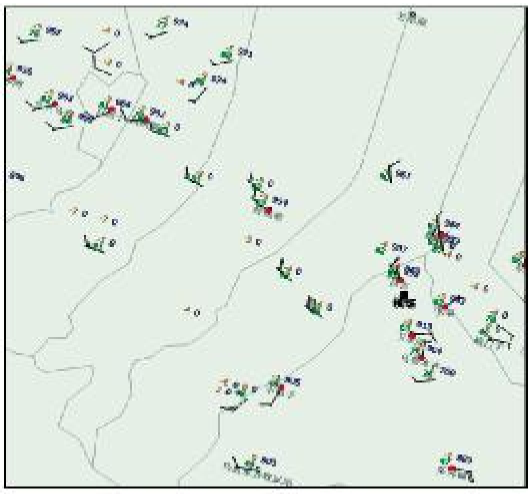
2.1 地面风场实况

12月2日,北疆沿天山一带及乌鲁木齐地区晴到少云,柴窝堡谷地一直有6~14 m/s的偏东、东南风存在，乌鲁木齐周边各测站多为2~4 m/s的偏北风。23时前后,机场以西石河子、呼图壁一带为2~6 m/s西北风,昌吉、机场、市区为2~4 m/s的东南风,西北风与东南风的交界线位于呼图壁和昌吉之间(图1a),到了3日00时,石河子一带转为2~4 m/s的西南风,呼图壁、昌吉一带出现了显著的西北风,个别测站达到了16 m/s(图1b)，机场地面风向在23:45—24:00由东南突转为西北，瞬间风速增大达到9 m/s左右,并伴有显著的气压上升和气温下降。

3日01时到02时呼图壁和机场一带地面风速减小,风向由西北渐次转为偏北、偏东,03时之后,从石河子到乌鲁木齐一带均转为稳定的偏东和东南风。



(a)2日23时



(b)3日00时

图1 2010年12月2—3日机场(位置用"■"标示)附近观测实况

2.2 风廓线雷达实时风场资料分析

在机场跑道西头,安装有一部LAP3000型风廓线雷达,有效垂直探测范围为距地面250~3 000 m。从风廓线雷达测风实况来看:12月2日,从凌晨开始机场上空距地面1 200 m以上就存在东南风层,东南风层下方为4 m/s以下的西西南风;2日白天东南风层逐渐下传到距地面500 m左右,大风层(风速>12 m/s,下同)距地面600~800 m,最大风速16 m/s,东南风层下方为4 m/s以下的偏东和东北风,入夜后东南风层继续下传,到23时前后距地面1 000 m以下整层均为东南风,大风层距地面300~500 m,最大风速14 m/s。在两次航空器报告遭遇较强颠簸的时段前后,机场上空为东南风层,颠簸高度附近分别为5~10 m/s和10~12 m/s东南风,且无显著变化。从风速大小及随其时间变化情况来看,东南风层内部因上下层风速差引起的风速切变尚不足以造成航空器中度以上的颠簸[3],造成两次航空器报告的颠簸原因还有待于进一步分析。距地面1 000 m以下的低空风场在23:45—00:30出现了较为急剧的变化,即由东南风突转为西北风,并维持了一个多小时,导致了航班的集中备降,02时之后距地面1 000 m以下又再次转为整层的东南风(图2)。

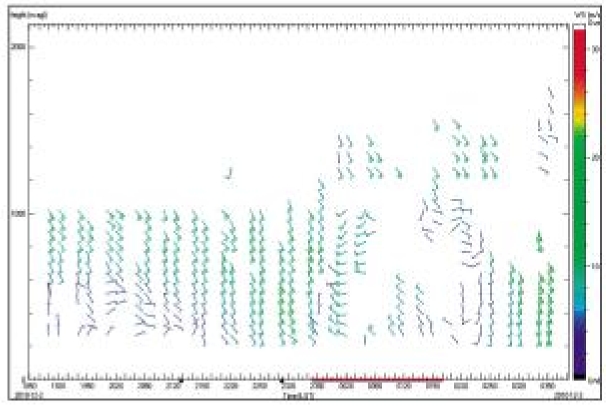


图2 2012年12月2—3日机场风廓线雷达探测的风场时间—高度(m)剖面

(两次航空器报告时刻用"▲"标示;航班集中备降时段用红色线段标示;风杆短杠代表2.5 m/s,长杠代表5 m/s,右侧色标为风速色标)

综合上述实况分析可知:此次风切变天气与乌鲁木齐地区低空局地性东南风层及其短暂被破坏之后的变化过程有关。乌鲁木齐地区的东南风刮风范围狭小[9],一般是从柴窝堡谷地到机场一线,远则能影响到昌吉、呼图壁一带,常发生在3 000 m以下的中低空。当航空器在水平或垂直方向上穿越非东南风与东南风的显著切变区域时,就有可能产生颠簸,这也是两次航空器报告较强颠簸产生的可能原因。航班的集中备降则应是由于东南风层被短暂破坏,低层风场出现急剧变化而导致的。

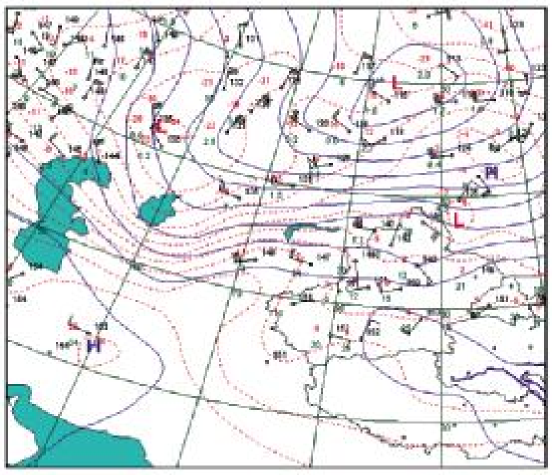
目前对于东南风导致的风切变和颠簸已有一定的分析和研究[10-11],但由于各类探测资料各有局限,使我们对风切变的详细结构仍近乎"盲人摸象",对东南风层的空间影响范围及其变化的预报仍没有实质性的帮助:地面实时观测资料可以帮助我们判断小尺度系统的影响,但无法反映空中风场的演变;风廓线资料可以反映机场空中风场的变化,但因其单

点的局限性，无从了解机场附近区域风场的水平及垂直演变特征。

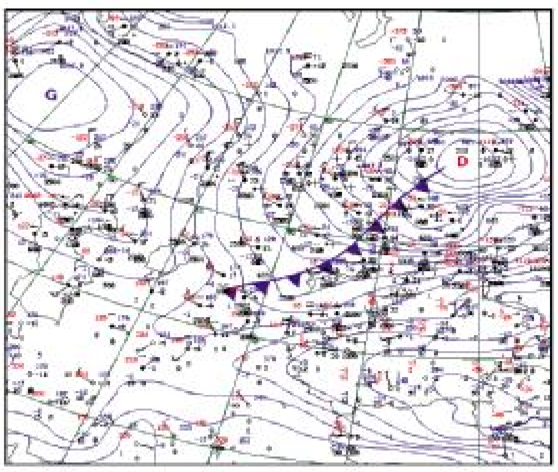
3 天气成因

3.1 有利于局地性东南风的天气形势

从12月2日08时的高空、地面天气形势来看非常有利于乌鲁木齐地区局地性东南风的形成。从高空形势演变可以看出,12月2日08—20时,500 hPa和700 hPa上，50°N以北，乌拉尔以东地区为西伯利亚低槽控制,槽前西南气流强盛,50°N以南,咸海附近为一南支槽,槽前气流偏西,南北两支低槽槽前的高空锋区位于中亚—巴湖一带，北疆地区处于高空锋区南侧的偏西、西南气流之中,850 hPa(图3a)上,高空锋区南侧巴湖—西部国境线一带为西南—东北向暖舌，乌鲁木齐—库尔勒—阿克苏一线为温度槽，乌鲁木齐以东的北疆地区基本为南风和东南风。上述高空形势的配置有利于北疆地区地面减压、南疆加压。地面图上（图3b),12月2日08—20时,乌拉尔山以东的亚洲中高纬地区受西伯利亚低值系统控制,地面锋区位于巴尔喀什湖附近,北疆地区位于低压底部，等压线相对稀疏并有显著减压,南疆气压高于北疆,形成了“南高北低”的有利于乌鲁木齐局地性东南风形成的地面气压场形势。到3日02时,乌鲁木齐附近"南高北低"的气压场形势还有所加强。



(a)850 hPa



(b)地面

图3 2010年12月2日20时天气形势实况

3.2 诱发低层小范围风场扰动的天气形势

12月2—3日,50°N附近西伯利亚—贝加尔湖一带，最显著的就是西伯利亚低槽前的高空急流锋区。

2日08时,高空锋区在70°E以西呈近东西向,70°E以东则呈西南—东北向；西风急流在250 hPa达到最大,急流核分别位于咸海以西,巴湖以北,风速超过65 m/s。

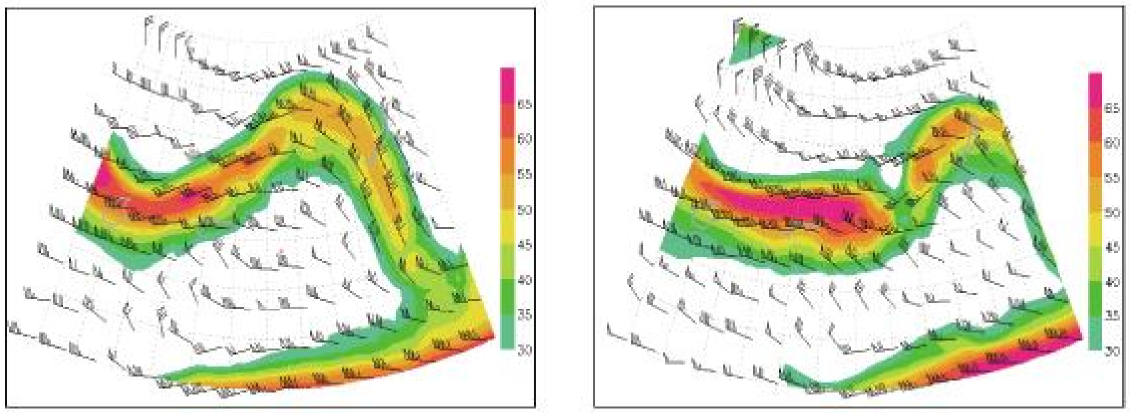
2日14时到3日08时,70°E以东的高空锋区明显南压,走向变为东西向(图4a、4b),咸海以西的西风急流核在东移过程中与巴湖附近的急流核合并、南压并迅速东移。在此过程中,2日20时开始,北疆沿天山一带西风风速自高层向低层显著增大(图4c、4d),2日20时,500 hPa上北疆地区西风达到了40 m/s，乌鲁木齐附近700 hPa以上西风迅速增大,在3日02时达到最大。

在850 hPa上，风场的变化与700 hPa以上各层有所不同,2日20时，北疆西部国境线附近西风加大到16 m/s左右，其余地区仍为偏东和东南风，使得克拉玛依和乌鲁木齐之间的北疆中部地区形成了偏西风和偏东、东南风的“对峙”。到3日02时,850 hPa上北疆沿天山一带转为一致西西南风。但西风并没有维持下去,到3日08时,除克拉玛依以西仍为西风外，乌鲁木齐及其以东地区又为偏南风控制。

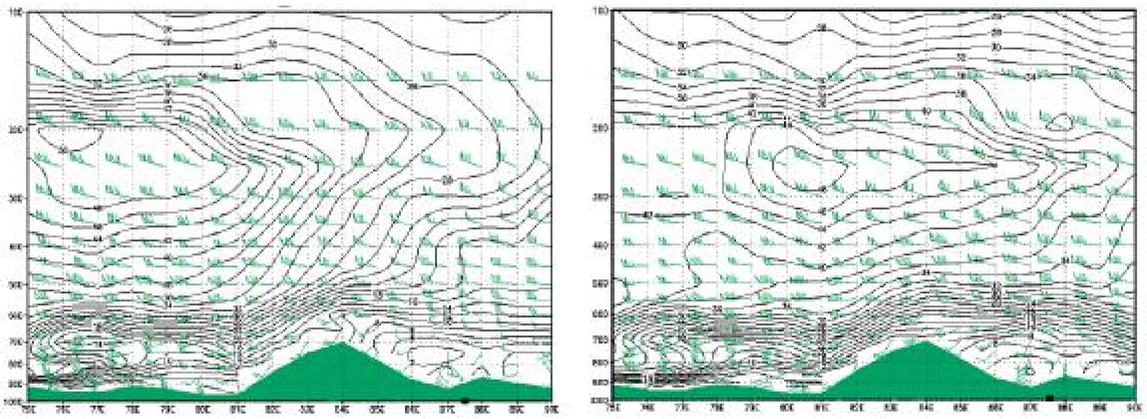
结合第一小节所述风场实况来看，北疆沿天山一带垂直风场的变化,应该与高空锋区(急流核)南压、东移过程中的动量下传的动力扰动作用有关,且在700 hPa以上表现得十分显著，而在850 hPa以下的层次,其扰动作用的时间和强度范围均有限。

3.3 高空急流锋区南压、东移的热力扰动作用

12月2—3日,北疆盆地及沿天山一带700 hPa以下存在有稳定的逆温层结(图5a),机场附近逆温在2日20时最强，逆温层顶位于800 hPa，温度5℃，在2日20时到3日02时中高层风速急速增大以及低层风向转变风速增大的时段，逆温层结虽有



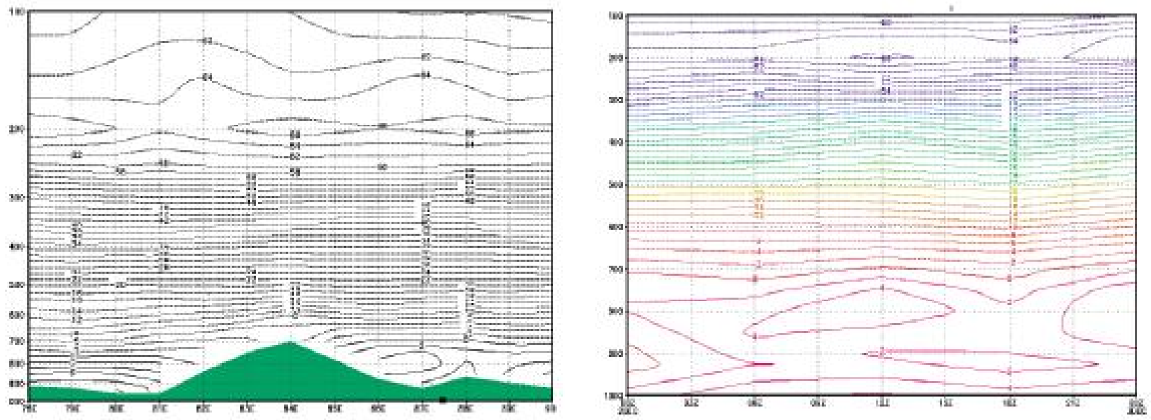
(a)2 日 08 时　　　　(b)3 日 02 时



(c)2 日 20 时　　　　(b)3 日 02 时

图 4　高空急流、北疆沿天山一带高低空风场演变(1°×1°NCEP 资料分析)

(a、b 为 250 hPa 风场,阴影区为大于 30 m/s 风速区;c、d 为沿 44°N 风场经度—高度剖面中,黑色实线为等风速线,横坐标中机场位置用“■”标示)



(a)12 月 3 日 02 时　　　　(b)12 月 2—3 日

图 5　北疆沿天山、机场温度分布及演变(1°×1°NCEP 资料分析)

(a 为沿 87°E 温度的经度—高度剖面,横坐标中机场位置用“■”标示,b 为机场温度演变时序图)

所减弱,但没有得到根本性的破坏(图 5b)。冷暖平流的分析表明,2 日 20 时到 3 日 02 时,乌鲁木齐机场附近 700 hPa 以上空中有弱冷平流存在，而 700 hPa 以下并无明显的冷空气出现。

以上分析说明,高空急流锋区南压、东移的热力扰动作用较弱。究其原因,主要是因为锋区虽有明显

的南压，冷空气有所南下，但从实况来看,2 日 20 时,500 hPa 上-24 ℃等温线仅压到塔城-阿勒泰一线，于北疆沿天山一带来讲相对偏北。冷空气在南压、东移过程中没有给北疆沿天山一带,尤其是低层带来显著的冷平流，使得北疆盆地低层稳定维持逆温层结仅仅被短暂地破坏，在急流锋区迅速东移后就很快得以恢复。

综合上述,高空锋区及其上急流核南压、东移诱发了北疆沿天山一带的小范围风场扰动，乌鲁木齐低空局地性东南风场的短暂破坏就是由此造成的。这种扰动以动力作用为主,热力作用不显著。由于锋区位置相对偏北、冷空气南下不明显,北疆盆地低层逆温层十分稳定,而急流核又快速东移等诸多因素,使得其诱发的这种低层风场扰动在时间上较为短暂,空间上范围不大。从 1°×1°NCEP 资料分析看,其对 850 hPa 风场的影响时间尺度在 6 h 左右，空间范围 300~400 km。而在地面,其影响时间尺度不足 3 h,空间范围不足 100 km。

4 风切变结构的数值模拟分析

由于利用常规天气资料、现有的探测资料和 NCEP 资料无法对风切变结构在空间和时间上进行细致的分析，本文在 WRF 中尺度数值模式对天气形势演变成功模拟的基础上，利用其输出的高时空分辨率资料进行了诊断分析。模式中心 44°N,87°E, 3 重嵌套,格距分别为 45 km,15 km 和 5 km。模式垂直分 39 层(其中 1 200 m 以下共分 12 层),采用每 6 h 一次的 1°×1°NECP 资料作为初始和侧边界条件,从 2010 年 12 月 1 日 20 时到 2010 年 12 月 3 日 08 时,共积分 36 h。

模式很好地模拟出了此次风切变颠簸天气的高低空形势演变，与实况分析和 NCEP 资料的诊断分析十分一致。模式成功地模拟出了乌鲁木齐机场低层的东南风层及其下传过程，也模拟出了中低空风场的急剧转变。只是 3 日 00 时到 02 时，距地面 250 m 左右(σ=5)层次以下模拟风场仍为东南风,与实况的偏西风不符。

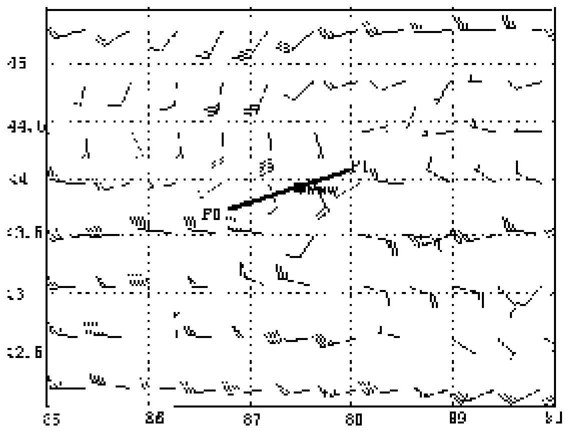
模拟结果显示,乌鲁木齐机场上空 3 日 00 时之前,偏西风与东南风层的分界线高度在距地面 1 600 m 左右(σ=14)附近,其上为偏西风,其下为东南风(图 6a),东南风水平分布呈东南—西北向,范围随着高度增加而缩小,东南风区域之外,基本为西风控制，乌鲁木齐机场以西为偏西风与东南风的切变区域。高空锋区及急流核南压、东移过程中,在北疆沿天山一带低层诱发出小范围风场扰动，使偏西风与东南风切变的气旋性逐渐增加，在低层甚至表现为气旋性涡旋，在其东移过程中乌鲁木齐机场附近东南风层从高向低,风向向西偏转,东南风层被短暂破坏,该小范围风场扰动东移减弱后,乌鲁木齐机场附近中低空东南风层恢复。

以下重点分析两次航空器报告颠簸、航班集中备降的风切变结构。从两次航空器报告颠簸位置和高度来看，颠簸点基本上位于水平方向上非东南风与东南风的切变线附近。第一次颠簸报告的航空器执行阿克苏—乌鲁木齐航班任务,按其进场航线,是直接从机场西南的阿什里附近加入长五边，在下降过程航班逐渐由较大的西风区进入弱风区，然后再进入较大的东南风层，颠簸是由水平和垂直方向上风向和风速的显著变化(逆风切变、侧风切变)造成的（图 6b、6c)。第二次颠簸报告的航空器执行西安—乌鲁木齐航班任务,按其进场航线,是从机场北侧走三边、四边后加入五边,因此在其下降进近过程中,三边从西风区下降穿越东南风区,四边经跑道西侧西风和东南风之间的弱风区进入较强的西风区,五边则是由较大的西风区进入弱风区，然后再进入较大的东南风层(图 6d、6e),风场的变化情况十分复杂。航空器的严重颠簸是由水平和垂直方向上风向风速的迅即变化(顺风切变、逆风切变、侧风切变)造成的。而在小范围风场扰动东移影响过程中,机场正好处于空中风场气旋性切变曲率最大的地方（图 6f),在垂直方向上由高层向低层穿越时,无论是风向还是风速,都有较为急剧的转变,给降落过程中的航空器带来的颠簸程度也将更为剧烈，因此导致了航班的集中备降。

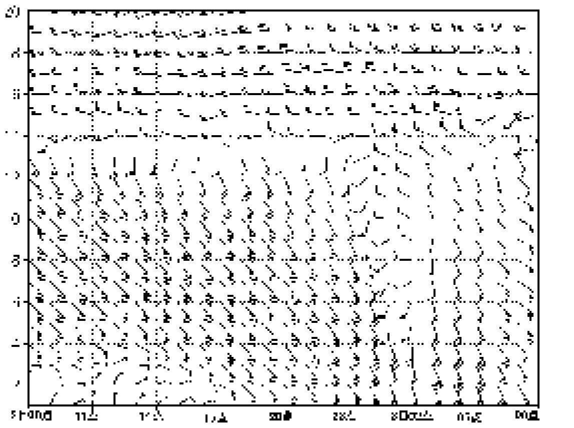
5 结论和讨论

（1）此次风切变颠簸天气与乌鲁木齐地区局地性东南风层及其短暂破坏有关。西伯利亚急流锋区南压过程中,位置偏北且北疆盆地逆温稳定维持,急流核东移过程中的动量下传作用仅在北疆沿天山一带低层诱发了小范围风场扰动，导致乌鲁木齐地区低层东南风层出现短暂而急剧向西北风的转变。

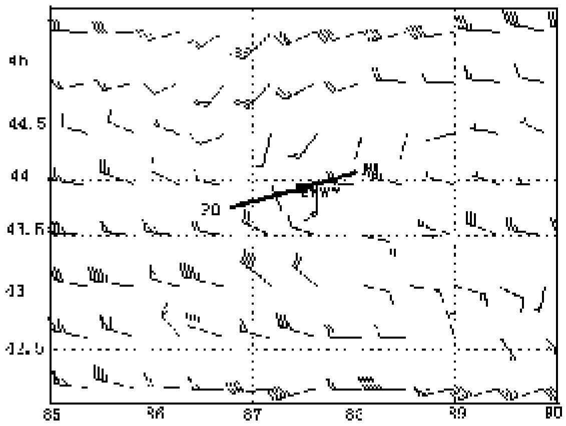
(2)常规天气资料、风廓线雷达资料在风切变的监测、分析预报上发挥的作用各有局限。中尺度数值预报模式 WRF 在边界层分层加密的条件下很好地模拟了此次风切变颠簸天气，有助于我们在探测资料有限的情况下了解风切变的细微结构及其演变，还可以为今后更加合理地布局风切变探测系统,提



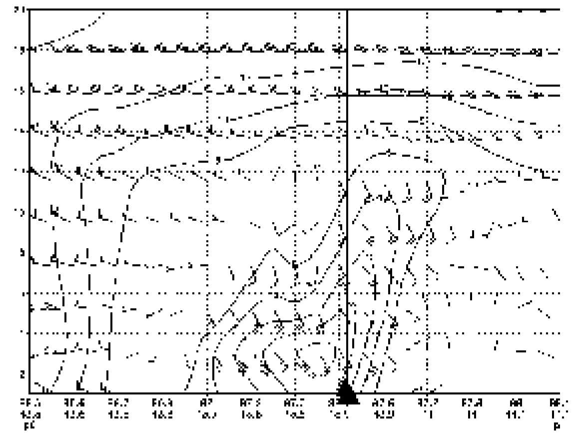
(a)2 日 20 时



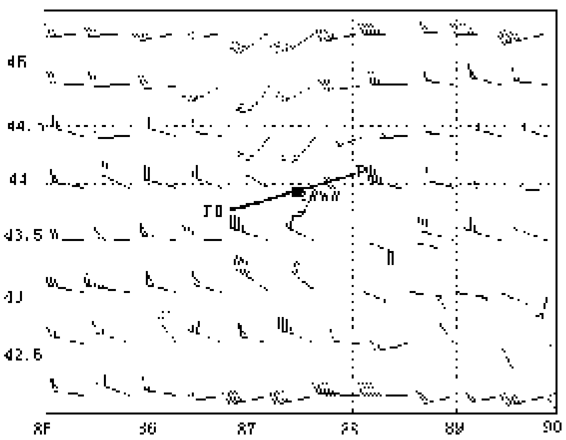
(b)2 日 08 时到 3 日 08 时



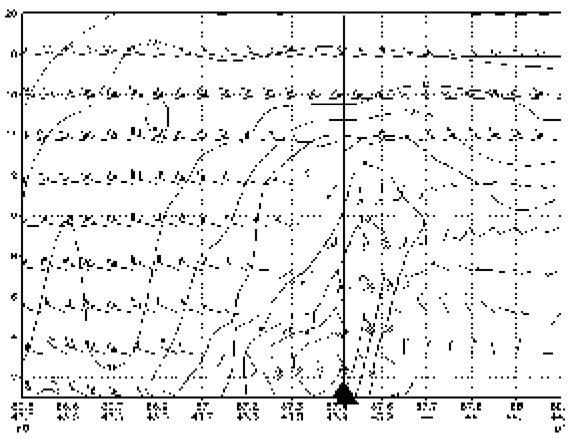
(c)2 日 23 时



(d)2 日 20 时



(e)3 日 00 时



(f)2 日 23 时

图 6　机场附近水平、垂直风场模拟

(a、c、e 为距地面高度 850 m 水平风场,机场位置用“■”标示,“zwww”为代码; p0-p1 为跑道延长线;b 为机场风的时间—高度(模式层)剖面;d、f 为沿跑道方向的风场垂直剖面,纵坐标为模式层,黑实线为等风速线,机场位置用“▲”标示)

高其有效性方面发挥作用。

（3）先进探测技术和数值预报技术的结合应该成为未来风切变的监测和预报预警技术的发展方向。

参考文献:

[1]　王学永,金维明.关于国外风切变研究现状的综述[A]//低

空风切变论文集[C].北京:北京航空学会,1985:4-8.
[2] 金长江.美国低空风切变危险性评估的研究概括[J].飞行动力,1993,11(1):1-7.
[3] 赵树海.航空气象学[M].北京:气象出版社,1994:59-89.
[4] 黄奕铭,区志中.广州新白云机场低空风切变的变化特征及其影响[J].广东气象,2006,(4):34-37.
[5] 汪青春,王振宇,朱西德,等.青海省三江源机场低空风切变的初步分析[J].青海气象,2008,(3):1-6.
[6] 金长江,张洪,朱红标.低空风切变危险尺度分析[J].航空学报,1992,13(10):481-486.
[7] 刘峰,刘式达,文丹青.广州白云机场“721”低空风切变天气过程综合分析 [J]. 北京大学学报（自然科学版),2007,43(1):23-39.
[8] 张路彤,贾东红.一次低空风切变过程的初析[J].山西气象,1991,(2):23-26.
[9] 手册编写组.新疆短期天气预报指导手册[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,1986,341-347.
[10] 王春红.乌鲁木齐机场东南大风的低空风切变特征及飞行安全保障[J].空中交通管理,2001,(5):34-37.
[11] 张利平,王春红.乌鲁木齐机场东南大风过程温压湿及水平风切变特征[J].气象科技,2007,35(5):719-722.

Analysis of a Wind Shear at Urumqi Airport

WANG Chunhong, ZHU Wenna, CHEN Yangquan
（Meteorological Center of Xinjiang Air Traffic Management Bureau, Urumqi 830016, China）

Abstract A strong wind shear case that occurred at Urumqi Airport during December 2-3, 2010 was analyzed using routine meteorological data, wind profile radar data, automatic weather station data, NCEP reanalysis data and numerical simulation results data. The results show that wind shear occurred at such weather situations as following: polar front frontal zone slowly moved southwards to Xinjiang area, the inversion in the basin of the north of Xinjiang maintained stability and there was local low-level southeast wind at Urumqi area. Because of these conditions, some small-scale disturbance was induced at the north of Xinjiang along the Tianshan Mountains and the southeast wind layer was damaged temporarily, which caused strong horizontal and vertical wind shear. Because of the limitations of the detection, the spatial and temporal characteristics of the wind shear cannot be fully revealed. so it is very difficult to conduct the fine forecast. However, mesoscale numerical prediction model WRF can simulate this wind shear case, and the results are helpful to understanding the cause of the wind shear.

Key words wind shear; local southeast wind layer; numerical model (WRF)