

文章编号: 2096-1618(2025)01-0072-07

一次典型高原低空风切变的成因和发展演变特征研究

王鑫洋, 郑佳锋, 黄轩, 陈杨瑞雪, 任涛

(成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

摘要:低空风切变是航空飞行的重大威胁。为研究高原低空风切变的成因和发展演变特征,利用激光测风雷达资料、机场自动气象站资料和欧洲中期天气预报中心 ERA5 再分析资料,对 2022 年 2 月 14 日发生在西宁机场的低空风切变过程进行分析和研究。结果表明,高空动量下传与冷空气活动是当天低空风切变的主要成因。在高空动量下传主导期间,上升和下沉气流交替出现,超过 16 m/s 的偏西风迅速从 500 m 高度下降到地面,强偏西风触地后与原偏南风形成了风向切变,切变随偏西大风逐步向东偏南,进而影响机场。冷空气主导期间,上升气流明显,东偏南的冷气流与先前的偏西风形成“弧形”风向切变,切变随东偏南风的逐渐增厚和动量加强,逐步向西偏北推进,进而影响机场。

关键词:激光测风雷达;低空风切变;动量下传;演变特征

中图分类号:P425

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2025.01.011

0 引言

低空风切变是指地面至 600 m 范围内,风速或风向在短时间内发生显著变化的天气现象^[1]。低空风切变具有生命期短、突发性强、隐蔽性高等特点,对航空飞行和地面交通等都有重大影响。尤其在飞机起降等关键阶段,低空风切变很容易使飞机失速,进而导致复飞或安全事故^[2]。因此,加强低空风切变的监测和机理研究是民航气象关注的重点。

过去,国内外民航机场的风场监测通常采用多普勒天气雷达、风速仪和微波风廓线雷达等。多普勒天气雷达具有探测范围广、时效性长等优点,但主要捕捉云雨内部风场结构,对晴空下的风场探测能力有限^[3]。地面风速仪具有稳定性高、风速测量精准等优点,但只能获取空间中某一点的风矢信息,且也仅能测量地面的风场,无法满足低空风切变三维监测的需求^[4-5]。微波风廓线雷达可以同时测量风场、大气折射率和结构常数等湍流参量,但无法进行方位扫描,因此也无法监测水平低空风切变^[6]。

近年来,多普勒体制的激光测风雷达因测量精度高、实时性强、探测模式多样以及灵活便捷等优点逐渐被应用于风场及风切变的监测与研究中。如黄轩等^[7]利用激光测风雷达对一次冷空气活动导致的顺风切变与逆风切变进行分析,发现两类风切变在演变过程中存在显著差异。代冰冰等^[8]利用该雷达资料分析了一次晴空低空风切变,发现该风切变主要受地

面变压风、地面增温导致的湍流加强、动量下传等因素的影响而诱发。范琪等^[9]研究表明,激光测风雷达在高海拔地区具有较好的适用性,可以在不同天气条件下为机场提供必要的风场信息,如晴天、多云或阴天等干性天气下,激光测风雷达的探测范围能够完全覆盖下滑道区域,当遇到雨、雾等高饱和水汽天气时,激光测风雷达也可为机场现有的测风设备提供补充。李肖雅等^[10]利用激光测风雷达资料对大风背景下首都机场的低空风切变特征进行了统计。

关于民航机场的低空风切变,国内外现有研究大部分集中在平原机场,这些研究为平原机场的运营制定了相关的安全标准和准则,促进了飞行安全的提升。然而,相比于平原机场,高原机场低空风切变的研究还较少。高原地区的气象环境与平原地区存在明显差异,如大气密度较低、气压较小、湍流活动更为复杂,因此低空风切变的监测更为困难。随着西部大开发和经济发展,高海拔机场日益增长,如何利用激光测风雷达等新型设备,进一步加强对高原机场低空风切变的监测和研究是亟待解决的问题。2022 年 2 月 14 日,西宁曹家堡机场发生低空风切变过程,致使航班发生复飞与备降,本文利用安装在机场的三维激光测风雷达资料,结合再分析资料和机场自动观测站资料,对此次低空风切变的成因、风场结构及变化进行研究。研究思路和方法为:首先利用机场自动气象站的温度、气压、湿度和风场资料,对当天风切变较明显时段的气象要素进行分析;其次利用再分析资料分析当天的环流形势以及风切变的成因;最后利用高分辨率激光测风雷达资料分别从时间-高度、水平面、垂直剖面以及固定角度 4 个方面研究风切变的结构与演变特征;整体从中大尺度背景至本场实况,再至小尺度的雷达

资料,对该低空风切变进行综合分析和研究。

1 设备和资料

西宁曹家堡机场(以下简称:西宁机场)位于西宁市东偏南方向约28 km,是一座4E级民用国际机场,机场跑道总长3800 m,宽45 m,平均海拔2184 m。该机场是青藏高原重要的交通枢纽和青海省的主要对外门户。西宁机场修建于青海省湟水流域河谷盆地,被起伏的山脉环绕,形成了典型的峡谷地形。受太阳辐射日变化的影响,机场周围经常出现山谷风转变现象,并频繁遭受地形乱流的影响;当西风或东风进入机场时,地形特征会引发狭管效应,使风速递增形成低空大风和风切变。此外,机场以西约200 km为庞大的青海湖区,湖陆地之间的局地环流也会导致机场风场的变化。

本文采用的激光测风雷达是一部由中国兵器工业集团第209研究所研制的FC-III型全光纤相干多普勒激光测风雷达,雷达安装于机场跑道南侧(图1)。FC-III型激光测风雷达通过发射稳频激光,探测大气中气溶胶粒子的散射回波信号,与雷达本振光进行相干混频,利用数字鉴频技术得到多普勒频移,再进一步结合光机扫描得到大气风场结构^[12]。该雷达精度高且安全可靠,适合用于机场和气象等相关部门对风场的监测,尤其对微小尺度及干性天气过程,该雷达测量性能优势显著^[13]。雷达的工作波段为1.55 μm,功耗不超过250 W,探测距离为30~10000 m,风速探测范围0~75 m/s,风向探测范围0°~360°,空间分辨率30~200 m,时间分辨率3 s~10 min。雷达采用混合模式

扫描,一次混合模式扫描包括:平面位置显示模式(plan position indicator, PPI),距离高度显示模式(range height indicator, RHI),多普勒光束摆动模式(doppler beam swinging, DBS)以及下滑道模式(glide path, GP)。一次混合模式扫描耗时12 min,雷达以混合模式全天候不间断运行,雷达探测数据包括径向速度、信噪比、水平风向风速和垂直风向风速等。

本文还使用了位于西宁机场11号跑道与29号跑道的自动观测站资料,其中风速风向数据的时间分辨率为30 s,温度、压强、湿度数据的时间分辨率为60 s;欧洲中心(ECMWF)ERA5的再分析资料,水平分辨率为0.25°×0.25°,资料包括200 hPa、500 hPa、700 hPa的温度场、高度场、风场以及海平面气压场信息。

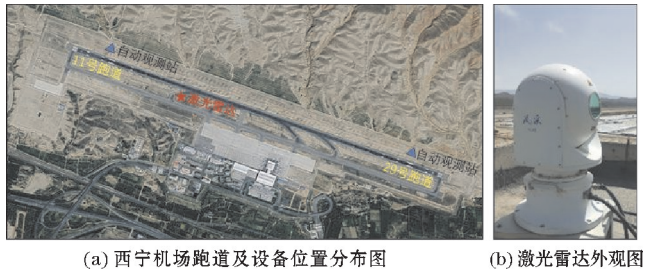


图1 西宁机场跑道和设备位置分布及激光测风雷达外观图

2 天气背景和实况

2.1 天气形势

为了解此次低空风切变的天气背景,图2给出了

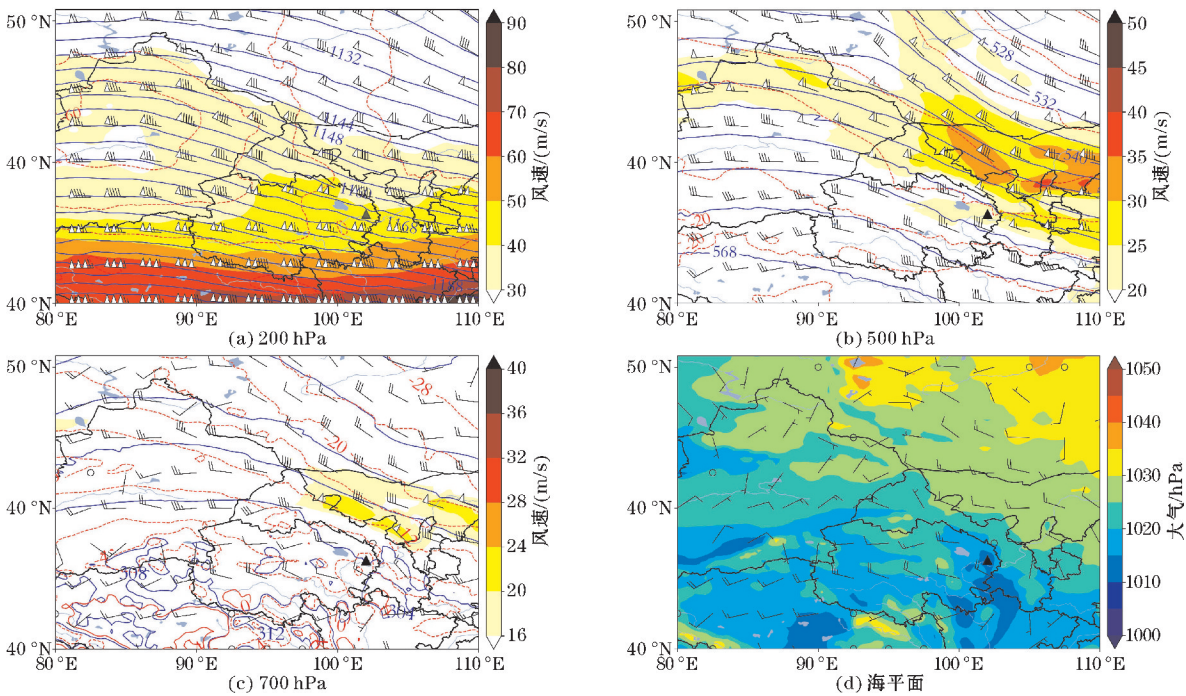


图2 2022年2月14日14:00环流形势(图a~c的填色为风速,红色等值线为等温度线,蓝色等值线为等位势高度线,图d的填色为大气压强,黑色三角为机场位置)

2022年2月14日14时200 hPa、500 hPa、700 hPa和海平面的环流形势(时间均为北京时间,下同)。可见,200 hPa(图2a)上,20°N~45°N有高空急流通过,急流轴从西藏延伸到日本南部,急流中心位于日本南部沿岸,最大风速超过90 m/s。500 hPa(图2b)上,中高纬呈现出“两槽一脊”的环流形势,东北地区有一冷涡,与其配合的冷中心温度低至-46℃并逐渐南压,乌拉尔山以东的西西伯利亚平原地区有低压槽并向东南延伸,冷涡南部与乌拉尔山以东的低压槽前等高线均发散有利于槽增强,西宁机场上空受到脊前西北气流控制。700 hPa(图2c)上,存在西北低空急流由河西走廊延伸至黄海地区,西宁机场位于低空急流右侧同时又处在高空脊前,因此其上空盛行下沉气流,有利于高空风的下传。从海平面气压场(图2d)可见,东路冷空气由内蒙古中东部向华北入侵并深入南下,冷高压中心达1050 hPa,云南至青海湖地区为低压区,且当天大风天气发生前天空晴朗少云,地面受太阳辐射升温迅速,有利于浅薄热低压形成。

2.2 机场自动观测站实况

根据美国机场低空风切变警报系统的水平风切变强度标准,风切变强度:

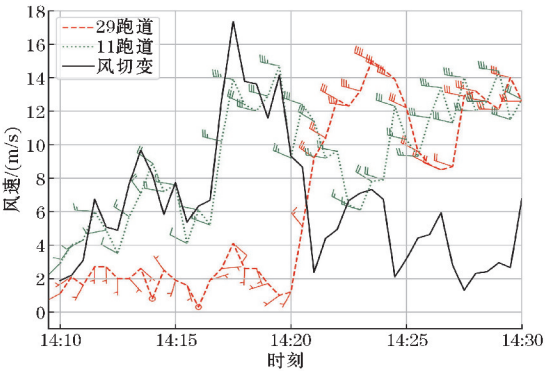
$$\beta = \text{SQRT}(U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2\cos\theta)$$
 (1)

式中: U_1 、 U_2 分别代表跑道两端风速, θ 为跑道两端风向差。当 $\beta \geq 7.72 \text{ m/s}$,即相当于水平风水平切变达到 $2.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$,可作为风切变的预警阈值,即风切

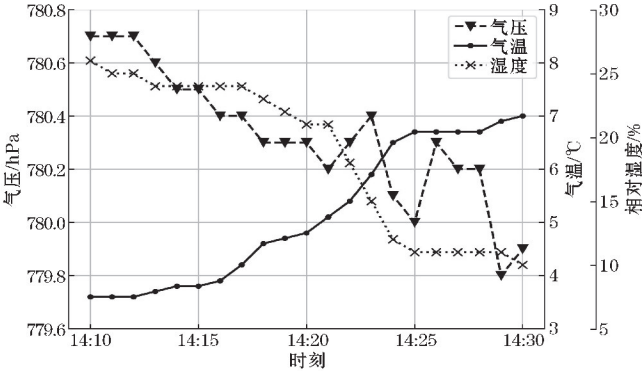
变对飞行可构成威胁。

2022年2月14日机场地区午后大风突增并伴有扬沙,14:10~14:30和18:25~18:45两个期间,机场附近风切变尤为明显,图3为两个期间29跑道和11跑道的自动观测站测量的水平风向风速、风切变、气压、温度和湿度的时间变化。对于第一个期间(图3a),14:16前风切变较小,29号跑道以2 m/s偏南风为主11号跑道以4~8 m/s的西北风为主;14:16~14:21风切变迅速增大并超过了安全阈值7.72 m/s,其间11号跑道风速突增至12 m/s以上且风向转为偏西风,最大风速超过14 m/s,60 s内风速变化超过9 m/s,而29号跑道从14:20开始风速风向才开始转变,风速切变较为明显。14:25后两跑道的风速风向逐渐趋于一致,以风速13 m/s的偏西风为主,风切变呈现出波动下降趋势。14:16~14:25 29号跑道气温上升2.5℃,湿度下降13%,气压略有下降,这与风切变较大的时间段相对应(图3b)。

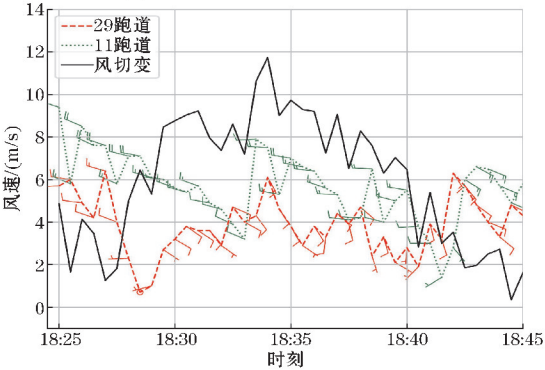
对于第二个期间(图3c),18:28前两跑道以偏西风为主,风速维持在6~8 m/s,随后2 min内29号跑道风速迅速降低并转变为东偏南风,11号跑道的风速缓慢降低风向不变,与此同时风切变逐渐增大。18:29~18:39风切变基本超过了安全阈值,在此期间11号跑道为4~8 m/s的偏西风,29号跑道为2~8 m/s的东偏南风,可见两跑道间风向差异较大,风向切变较为明显。同时,29号跑道的气温下降5℃,相对湿度上升20%,18:40后11号道风向逐渐转为东偏南,风切变也逐渐降低到阈值以下(图3d)。



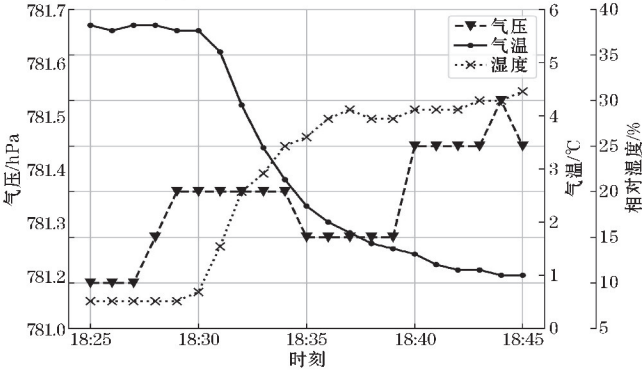
(a) 11、29号跑道14:10~14:30风速信息



(b) 29号跑道14:10~14:30气象要素



(c) 11、29号跑道18:25~18:45风速信息



(d) 29号跑道18:25~18:45气象要素

图3 2022年2月14日14:10~14:30和18:25~18:45 西宁机场自动气象站观测资料与风切变的时间变化

综上所述,西宁机场当日有两次明显的风切变过程。第一次过程是由于机场位于高空脊前与低空急流右侧,该区域上空盛行下沉气流,同时由于陆地受热不均匀,青海湖东部午后有热低压存在,热低压的形成有利于近地面形成上升运动,两者结合使得西宁机场在午后高低空能量频繁地交换从而引发动量下传,进一步引发机场偏西大风与风速切变过程。第二次过程是由于冷空气进一步南下并从东侧平流到机场地区,且机场处在西北至东南走向的峡谷之中,进而出现东偏南风,同时傍晚开始动量下传减弱并消失,偏西大风逐渐从地面离开,东偏南风与偏西风形成风向切变过程。

3 低空风切变发展演变过程和特征分析

利用激光测风雷达高空间分辨率和多种扫描模式的优势,分别从风廓线随时间变化、水平风场时空变化、风场剖面时空变化和下滑道风场特征等方面对此次低空风切变的发展演变过程和特征做进一步研究。

3.1 风廓线随时间变化分析

图 4 为 2022 年 2 月 14 日水平风场和垂直风场的时间-高度图。可见,0:00-3:00,1000 m 以上为偏西风,1000 m 以下为东偏南风,1000 m 附近明显存在水平风的垂直切变。3:00-14:00,由于上层较大西风向地面缓慢伸展,风切变区域由 1000 m 逐渐下降到 500 m 附近。14:00 开始垂直气流逐渐活跃(黑色虚线

圈出),上升与下沉气流交替出现,强劲的偏西风迅速向下传播,切变区域也急速下移,在 14:25 大风抵达地面,此刻整层风速均在 16 m/s 以上,较为明显的风切变区域由于大风下传至地面而消失。15:00-16:00,深厚的下沉气流(超过 3 m/s)使得地面到 3000 m 的偏西大风维持在 12 m/s 以上,紧随其后的上升气流(超过 3 m/s)使之后的低层风速稍有减弱。偏西大风维持到 18:00 后,超过 2 m/s 的上升运动开始出现并维持近 2 h,同时 12 m/s 的东偏南风开始由地面出现并在 18:00-24:00 逐渐向 1000 m 高度发展,偏西大风回到 1000 m 以上,低层东风与高层西风形成水平风垂直切变,切变区域从地面逐渐抬升到 1000 m 附近。

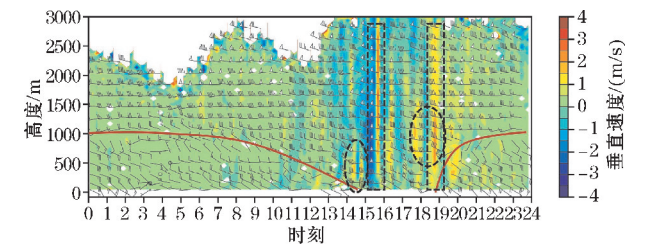


图 4 2022 年 2 月 14 日水平风场和垂直风场的时间-高度图
(填色为垂直速度,风羽为水平风,红色线条表示风切变高度,黑色虚线内表明垂直气流较活跃)

3.2 水平风场时空变化分析

利用激光测风雷达不同时刻的 PPI 模式径向速度资料,进一步分析低空风切变发生发展过程的水平风场特征。图 5 给出了两个不同阶段低空风切变过程的

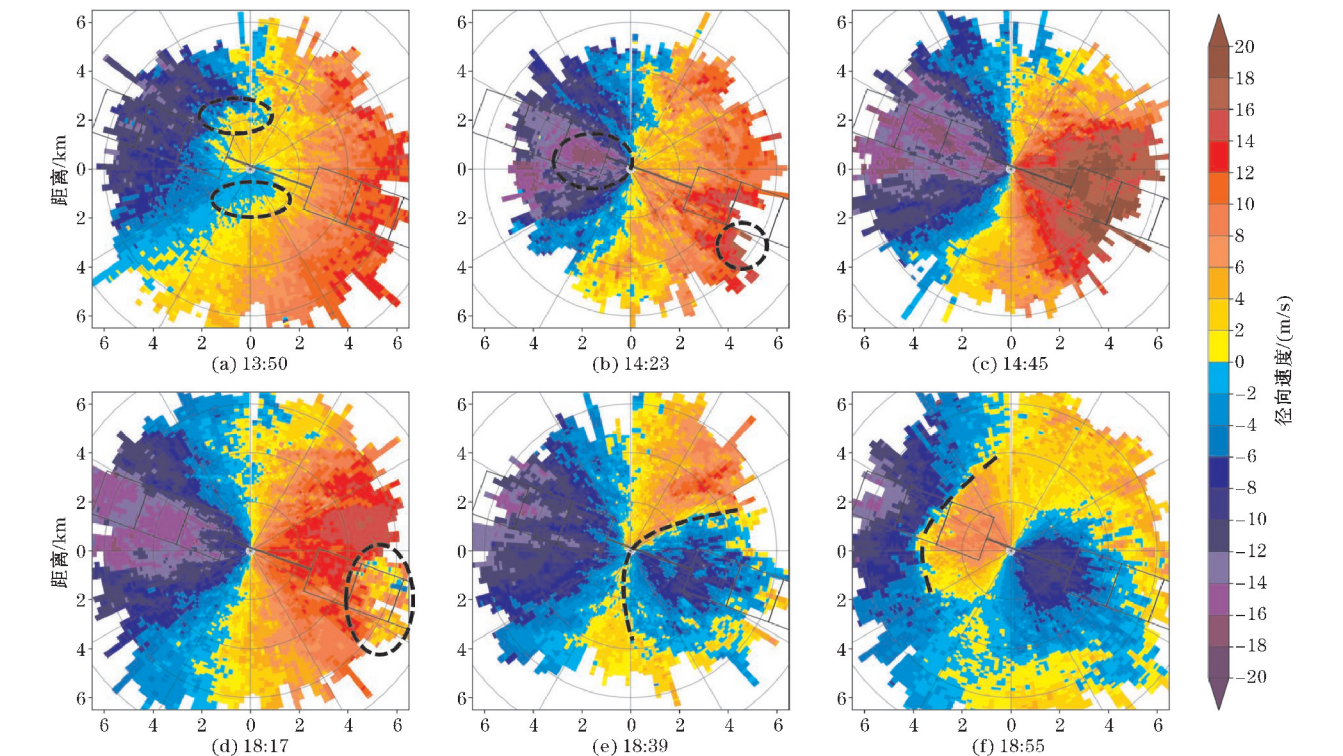


图 5 不同时刻的 PPI 径向速度图

径向速度探测结果,图中黑色粗线代表机场跑道,西侧是11号跑道入口,东侧为29号跑道入口,黑色细线框为代表正方形边长为1 nm的下滑道区域。对于第一阶段的风切变过程(图5a),13:50,距离雷达2 km范围内为偏南风,偏南风与2 km外的西北风分别在西北与东南2 km附近形成了辐合与辐散区域(黑色虚线圈出);4 km以外的偏西风达12 m/s以上,该时刻在跑道附近存在偏南风与西北风的风向切变。14:23,偏西大风下传导致雷达附近的南风消失,6 km范围内均为偏西风,西侧0.5~1.5 km范围内风速超过16 m/s(黑色虚线圈出),东南侧4 km外风速超过20 m/s(黑色虚线圈出),风速核的不对称导致跑道区域存在风速切变(图5b)。14:45,径向速度两侧分布变得均匀,机场跑道区域已被偏西大风完全覆盖(图5c)。

对于第二阶段的风切变过程(图5d),18:17,环境风以12 m/s的偏西风为主,但由于冷空气引发的东偏南风开始向跑道区域靠近,29号跑道入口1 nm外风速较弱并出现负的径向速度(黑色虚线圈出),下滑道区域存在风速切变。18:39,东偏南风向西北方向推进,大风前沿到了雷达附近并与偏西风对峙形成了辐合

线,12 m/s的偏西风与8 m/s的东偏南风形成了风向切变,切变呈现出弧形(黑色虚线段)(图5e)。18:55,东偏南风进一步向西北方向推进,切变区域移动到了雷达西北侧2 km处(黑色虚线段),另外径向速度随着高度增大先增加后减小,可以看出此刻东偏南风较为浅薄,较高处仍以偏西风为主(图5f)。

3.3 风场剖面时空变化分析

利用激光测风雷达 RHI 模式沿着跑道方向的剖面扫描资料,进一步对跑道上空风场的特征进行分析。图6给出了两个不同低空风切变阶段的 RHI 径向速度图。对于第一阶段的风切变过程(图6a),13:57,200 m下方存在风速小于2 m/s的弱气流,而200 m之上为12 m/s以上的强西风,风速随高度的增加快速加大,200 m高度附近存在风切变(黑色虚线段),风速大值区在1 km以上。14:18,强西风快速下传,西风完全占据了跑道上空,但此刻西侧的大风速区位于近地面处(黑色虚线圈出);而东侧的风速大值区位于500 m以上,跑道上空在水平方向上仍存在一定的风切变(图6b)。14:40,径向速度分布比较对称,风切变逐渐消失(图6c)。

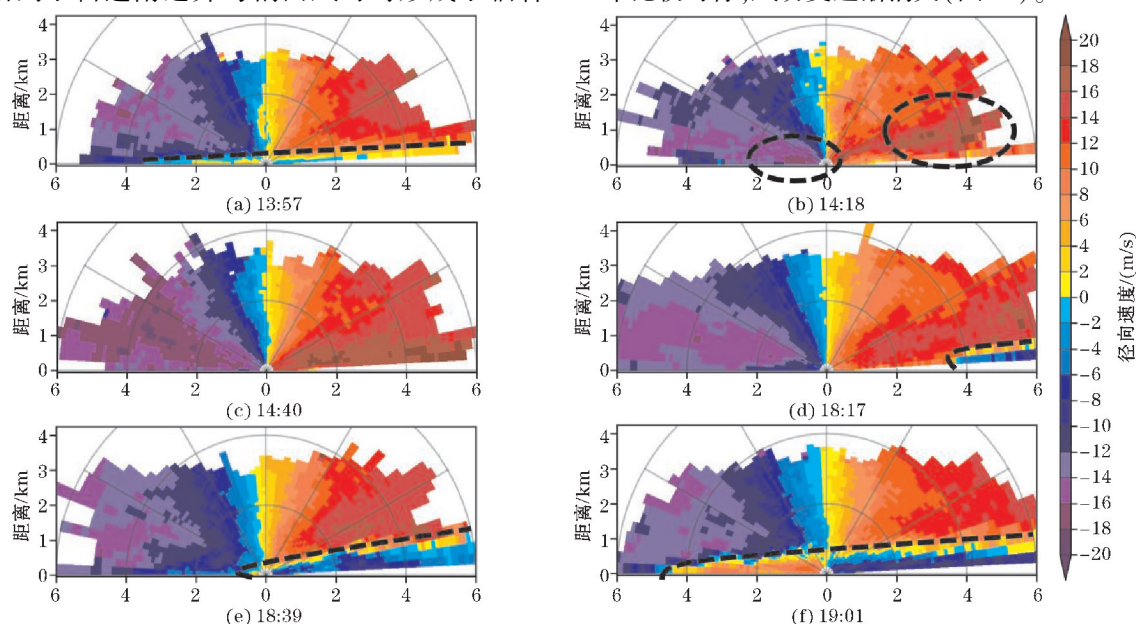


图6 不同时刻的 RHI 径向速度图

对于第二阶段的风切变过程(图6d),18:17,跑道上空大部分区域为14 m/s的西风,雷达东侧4 km外出现了8 m/s的东风(黑色虚线段以下),东风与西风在东侧4 km附近形成水平风切变。18:39,东风推进至雷达处,跑道上空东风与西风相对,风切变由地面向东倾斜地延伸至500 m附近(图6e)。19:01,东风前缘移动到了雷达西侧4 km处,跑道上空风切变维持在500 m附近(图6f)。

3.4 下滑道风场特征分析

通过激光测风雷达下滑道模式提供的径向风信息

可以直观地观察到飞机降落过程中风速的变化情况,进而分析风切变。图7为两个不同阶段风切变过程11号道端下滑道区域的径向速度廓线。由图7(a)可见,14:02,随距离增加顺风风速增大,表明高层风速大于低层,此刻大风还没有接触到地面;距离降落点3800 m处(高度约200 m)的顺风风速为10.11 m/s,1800 m(高度约100 m)处顺风风速为1.33 m/s,2000 m内风速差为8.78 m/s,超过了风切变阈值7.72 m/s,因此,随飞机降落顺风风速减小,从而导致有逆风风切变。14:02和14:24时刻,风速的波动随时间推移逐渐减小,表明动量下传已将大风带至地面。

傍晚东偏南风开始入侵(图7b),18:45,距离降落点1000 m处(高度约50 m)的顺风风速为2.31 m/s,300 m处(高度约15 m)逆风风速为5.94 m/s,700 m内风速差为8.25 m/s,超过了风切变阈值,顺风转为逆风,从而导致逆风风切变。18:45和19:07时刻,在东偏南风逐渐推进的过程中切变区域也逐渐远离降落点,偏西风逐渐向上层收缩。

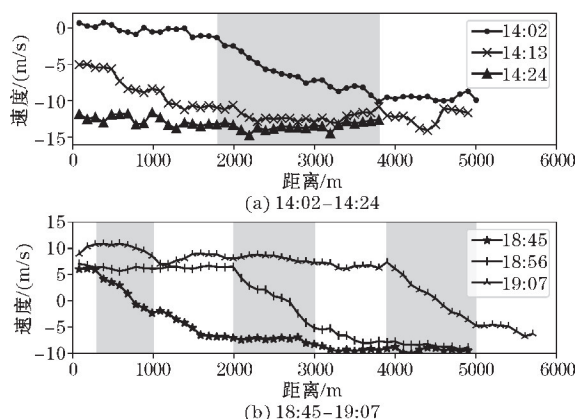


图7 下滑道径向速度廓线

(阴影部分表示该区间内风切变超过了阈值7.72 m/s)

综上所述,0:00-14:00存在水平风的垂直切变,切变区域从1000 m逐渐降到500 m附近。14:00-14:25垂直气流活跃,强大的西风快速地从500 m下传至地面,先前的切变区域也同步下降到了地面。大风下传过程中,机场地面先发生了风向切变后发生了风速切变,14:02在11号跑道着陆点1800~3800 m(高度100~200 m)范围内有逆风切变,风速差8.78 m/s,大风完全覆盖机场区域后,风切变减轻。14:25-18:00机场上空偏西大风维持,15:30-16:00较强的下沉与上升气流先后出现。18:00-24:00期间前两小时有明显上升运动,同时东偏南风从地面出现并逐渐扩展到1000 m处,东偏南风与偏西风形成了倾斜的切变区,在地面形成的风向切变区域从雷达东南角进入并向西北角移动,18:45-19:07形成的逆风切变逐渐远离11号跑道着陆点。

4 结论

通过利用激光测风雷达资料,结合机场地面自动站数据以及ERA5再分析数据对2022年2月14日影响西宁机场的低空风切变的成因与发展演变特征进行了研究,得出如下结论:

(1)西宁机场当天有高空急流通过且机场位于高空脊前与低空急流右侧,午后地面有热低压,傍晚有冷空气从东侧进入机场。当天有两个阶段的低空风切变较明显,第一阶段是午后高空动量下传,给机场区域带来了强劲偏西风并引发了低空风切变,第二阶段是傍晚冷空气入侵,引发的东偏南风与偏西风对峙的低空

风切变。

(2)两个阶段的低空风切变有明显差异。第一阶段的低空风切变突变性较强,14:00-14:25,500 m以下的风速风向急剧转变,同时上升与下沉气流交替出现;14:02距离11号跑道着陆点1800~3800 m存在明显逆风切变,10 min后切变明显减弱。第二阶段相比较为缓和,18:00开始,东偏南风与偏西风形成了倾斜的切变区域,并向西偏北方向推进,同时上升气流明显,水平风垂直切变在21:00左右才到达1000 m高度附近;18:45-19:07形成的逆风切变区域缓慢远离着陆点。

(3)14:00-14:25,由于动量下传强劲的偏西风向地面发展,水平风的垂直切变区域从500 m高度快速移至地面。机场跑道区域强偏西风与弱偏南风形成了风向切变。随着偏西风进一步下传,跑道区域风向均为偏西风,但14:23风速分布不均匀,仍有风速切变。14:45机场被风速超过18 m/s的偏西风覆盖。

(4)18:00后,动量下传减弱同时冷空气从河谷地区倒灌,东偏南风入侵机场地区。近地面的东偏南风与偏西风形成风向切变并逐渐向西北方向推进,垂直方向上东偏南风与偏西风形成了水平风的垂直切变,切变区域逐渐由地面向上传播。

(5)通过激光测风雷达可以很好地获取高原地区低空风切变的发展演变规律与细致结构,结合大气环流可以找寻风切变的触发因素,并对低空风切变进行较为全面的预报与预警。

参考文献:

- [1] International Civil Aviation Organization. Manual on low-level wind shear [M]. Ottawa, Canada: International Civil Aviation Organization, 2005: 5-27.
- [2] Lilly D K. Observations of mountain-induced turbulence [J]. Journal of Geophysical Research, 1971, 76(27): 8-65.
- [3] 张培昌,多普勒天气雷达探测原理简述[J]. 山东气象, 2000(3): 9-13.
- [4] 刘艳华,李富余,张宏升,等. 超声风速仪与三轴风速仪测风的比较研究[J]. 气象水文海洋仪器, 2003(3): 7-16.
- [5] Anfossi D, Oetli D, Degrazia G, et al. An analysis of sonic anemometer observations in low windspeed conditions [J]. Boundary-Layer Meteorology, 2005, 114(1): 179-203.
- [6] Armijo L. A theory for the determination of wind and precipitation velocities with Doppler radars [J]. Journal of Atmospheric Sciences, 1969, 26(3): 570-573.
- [7] 黄轩,郑佳锋,张杰,等. 西宁机场一次低空风切

- 变的结构和特征研究[J]. 激光技术, 2022, 46(2): 206–212.
- [8] 代冰冰, 何敏, 杨靖新, 等. 利用激光雷达判别机场晴空风切变事件成因[J]. 气象科技, 2021, 49(4): 589–596.
- [9] 范琪, 朱晓林, 周鼎富, 等. 激光测风雷达分析典型高原机场风场特征[J]. 激光技术, 2020, 44(5): 525–531.
- [10] 李肖雅, 禹智斌, 刘冬, 等. 大风背景下首都机场两条跑道低空风切变特征统计[J]. 红外与激光工程, 2021, 50(12): 294–302.
- [11] 李策, 赵培娥, 彭涛, 等. 3维激光测风雷达技术研究[J]. 激光技术, 2017, 41(5): 703–707.
- [12] 张涛, 黎倩, 郑佳锋, 等. 激光测风雷达研究微下击暴流引发的低空风切变[J]. 激光技术, 2020, 44(5): 563–569.
- [13] 王青梅, 郭利乐. 激光雷达在机场低空风切变探测中的应用[J]. 激光与红外, 2012, 42(12): 1324–1328.
- [14] Campbell S D, Olson S H. Recognizing low-altitude wind shear hazards from Doppler weather radar: An artificial intelligence approach[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1987, 4(1): 32–34.
- [15] 张开俊, 伏龙延, 李兰倩, 等. 基于激光测风雷达的两种低空风切变告警算法对比研究[J]. 干旱气象, 2021, 39(4): 652–661.
- [16] 熊兴隆, 陈楠, 李永东, 等. 基于卷积神经网络的低空风切变类型识别[J]. 系统工程与电子技术, 2019, 41(4): 772–779.
- [17] 刘喆, 白洁, 张文军. 危险天气导致航空飞行事故的统计分析[J]. 中国民航飞行学院学报, 2022, 33(1): 23–27.
- [18] Uyeda H, Zrníc D S. Automatic detection of gust fronts[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1986, 3(1): 36–50.
- [19] Evans J E, Ducot E R. The integrated terminal weathersystem (ITWS) [J]. Lincoln Laboratory Journal, 1994, 7(2): 449–474.
- [20] Wang N, Liu L P, Xu B X, et al. Recognizing low-altitude wind shear and convergence line with doppler radar[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2007, 18(3): 314–320.
- [21] Yan W H, Huang X Y, Li Y Y, et al. Research on shear detection algorithm based on Doppler weather radar for low-elevation Doppler velocity[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2019, 35(2): 253–261.
- [22] Wang L, Wei M, Yang T. An advanced algorithm for recognizing wind shear using airborne Doppler weather radar[J]. Journal of Aerospace Engineering, 2015, 229(14): 2547–2558.
- [23] Chan P W. Application of LIDAR-based F-factor in wind shear alerting [J]. Meteorologische Zeitschrift, 2012, 21(2): 193–204.

Study on the Causes and Evolution Characteristics of a Typical Low-Level Wind Shear in Plateau Regions

WANG Xinyang, ZHENG Jiafeng, HUANG Xuan, CHEN Yangruixue, REN Tao
(College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: Low-altitude wind shear is a major threat to aviation flight. To study the causes and evolution characteristics of low-altitude wind shear on the plateau, the low-altitude wind shear process at Xining Airport on February 14, 2022 was analyzed and studied by using laser wind radar data, airport automatic weather station data, and ERA5 reanalysis data of European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. The results show that the downward transfer of high-altitude momentum and cold air activity are the main causes of low-level wind shear during the day. During the period of high-altitude momentum downward transmission, the updraft and downdraft alternated, and the westerly wind of more than 16 m/s rapidly dropped from 500 m to the ground. After the strong westerly wind touched the ground, it formed a wind direction shear with the original southerly wind, and the shear gradually moved eastward and southward with the westerly wind, which affected the airport. During the period dominated by the cold air, the updraft was obvious, and the cold air flowed from the east to the south and the previous westerly wind formed an ‘arc’ wind direction shear. With the gradual thickening and momentum enhancement of the East-South wind, the shear gradually advanced to the west and north, which in turn affected the airport.

Keywords: laser radar wind; low-level wind shear; momentum transportation downward; evolution characteristic