

贵阳机场低空风切变气候特征分析

张亚男, 罗浩

中国民用航空西南地区空中交通管理局贵州分局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2021年12月6日; 录用日期: 2022年1月4日; 发布日期: 2022年1月11日

摘要

本文以贵阳龙洞堡机场接收到的低空风切变事件为依据, 利用贵阳机场自动观测数据、贵阳机场风廓线等资料, 对2014~2020年贵阳机场出现的低空风切变进行分型、统计分析, 结果表明: 贵阳机场出现冷锋型风切变的次数最多, 其次为静止锋型; 冷锋型和静止锋型主要出现在冬春季, 低空急流型风切变在春季易出现, 局地对流型易发生在8月; 冷锋型和局地对流型主要出现在150~400米, 低空急流型常出现在250米以下, 静止锋型集中在250~400米以及600米以上的高度上。

关键词

低空风切变, 分型, 气候特征, 贵阳机场

Analysis on the Climatic Characters of Low-Level Windshear of Guiyang Airport

Yanan Zhang, Hao Luo

Guizhou Air Traffic Control Bureau of CAAC, Guiyang Guizhou

Received: Dec. 6th, 2021; accepted: Jan. 4th, 2022; published: Jan. 11th, 2022

Abstract

Based on the low-level windshear events received by Longdongbao Airport in Guiyang, by using automatic observation data and wind profile data of Guiyang Airport, this paper classifies and analyzes the low-level windshear in Guiyang Airport from 2014 to 2020. The results show that: The type of cold front occurs most frequently in Guiyang Airport, followed by the type of stationary front; the type of cold front and the type of stationary front mainly appear in winter and spring, the type of low-level jet windshear tends to appear in spring, and the type of local convection tends to occur in August; the cold front type and local convective type mainly appear at 150 and 400 meters, the low level jet type usually appears below 250 meters, and the stationary front

type concentrates at 250 and 400 meters and above 600 meters.

Keywords

Low-Level Windshear, Classification, Climatic Characteristics, Guiyang Airport

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

航空气象上将低空风切变定义为发生在离地高度 600 米以下, 风向和(或)风速变化的现象, 它对飞机的起飞和着陆有很大的影响, 可以改变飞机航迹, 影响飞机稳定性和操作性, 严重时甚至可能引发飞行事故[1]。过去已有不少学者对风切变的特征有过研究, 黄奕铭等[2]研究广州新白云机场风传感器的探测数据表明, 白云机场低空风切变具有月变化和日变化特征, 指出风切变日变化与对流的日变化有关; 党冰等[3]分析了中川机场低空风切变发生的时间分布特征, 发现兰州中川机场的低空风切变主要出现在每年的春末夏初, 大多发生在午后和傍晚; 王海霞等[4]对银川河东机场低空风切变的气候特征及发生风切变的大气环流形势进行了统计分析, 指出该机场低空风切变易发生在春季。对于贵阳机场, 沈宏彬等[5]统计分析西南地区低空风切变事件, 指出云贵准静止锋是贵阳机场的主要影响系统; 刘开宇等[6] [7]对 2007 年至 2011 年发生在贵阳机场低空风切变的气候特征和冷锋型低空风切变案例进行了综合分析, 表明贵阳机场低空风切变主要发生在冬末和春季, 切变线和冷锋在低空风切变中起主导作用。尽管过去已有大量学者[8] [9] [10]对风切变的特征进行过研究, 但低空风切变会受多尺度天气系统的影响, 具有时空尺度小、强度大、发生和消失突然等特点[11], 所以各个机场低空风切变的时空特征也不尽相同, 且现今对贵阳机场的低空风切变并没有明确的分类标准。

本文将利用 2014~2020 年贵阳机场收到的航空器语音报告中的低空风切变事件, 对低空风切变进行分型, 并统计分析贵阳机场风切变的气候特征, 探讨各类型风切变的时空分布特点, 以期为贵阳机场风切变的归类提供依据, 并对各个类型风切变的特征认识和预报预警提供一定的参考。

2. 资料和方法

2.1. 资料

本文所选用的资料包括: 1) 2014~2020 年贵阳机场接收到的语音方式航空器空中报告的低空风切变事件, 包括风切变发生的时间、位置、高度、强度; 2) 2014~2020 年贵阳机场地面观测簿每日例行和特殊观测报告; 3) 2014~2020 年贵阳机场 R19 (跑道北端)及 R01 (跑道南端)每日逐分的风向和风速资料; 4) ECMWF 提供的 ERA-Interim 再分析数据。

本文所涉及的时间均为北京时。

2.2. 方法

以 2014~2020 年贵阳机场接收到的语音方式航空器空中报告的低空风切变事件为依据, 统计其月、季、年特征; 再逐个分析引起低空风切变事件的主要天气系统, 对贵阳机场的风切变事件类型进行分类, 最后对各个类型风切变的特征进行分析。

根据风场的不同空间结构, 风切变分为水平风的垂直切变、水平风的水平切变和垂直风切变 3 种, 西南地区低空风切变产生的主要原因有: 低空急流、热低压、锋面、高空槽、积雨云发展或雷暴云团触发的阵风锋和下沉气流, 以及乱流、航空器穿越逆温层等产生的风切变[5]。贵州位于青藏高原东南侧、云贵高原的东斜坡上, 贵阳机场是西南地区天气状况较为复杂机场之一, 虽然低空风切变发生时往往同时存在多个天气系统的配合, 但均存在直接触发而引起风场上改变的天气系统, 以引起低空风切变的主要天气系统为依据, 可以将贵阳机场的风切变事件按照以下方法分型: 1) 冷锋型: 贵阳站点有明显的冷锋过境; 2) 准静止锋型: 在云贵地区云贵准静止锋已存在至少 2 天, 此时即便中低层存在低空急流, 也判定为准静止锋型; 3) 低空急流型: 贵阳上空 850 hPa 和 700 hPa 存在急流(风速 ≥ 12 m/s), 近地面为热低压或高压后部控制, 不伴有局地对流天气; 4) 局地对流型: 受贵阳机场或机场附近的局地生成的对流产生的风切变, 通常包括低空急流左侧和副热带高压外围生成的局地对流。

Table 1. Statistics of different types of windshear in Guiyang Airport from 2014 to 2020

表 1. 2014~2020 年贵阳机场风切变事件各类型统计

类型	冷锋型	准静止锋型	低空急流型	局地对流型
次数	29	13	10	11
频次	0.46	0.21	0.16	0.17

通过以上方法将贵阳机场低空风切变事件归类的结果如表 1 所示, 七年间贵阳机场共计发生低空风切变 63 次, 其中冷锋型出现次数最多, 占比 46%; 其次为准静止锋型, 占比 21%; 低空急流型和局地对流型出现次数相对较少。

3. 贵阳机场低空风切变特征分析

3.1. 气候特征

图 1 给出了 2014~2020 年贵阳机场风切变事件逐年的分布情况, 可以看到, 贵阳机场风切变出现的次数呈现出波动增加的趋势, 平均每年出现 9 次。2014~2017 年出现次数相对较少, 平均每年出现 5 次, 2018~2020 年风切变出现次数增多, 平均每年出现 14 次; 最大值出现在 2018 年, 为 19 次, 占总数的 30%, 与其他年份发生的风切变事件相比异常偏高, 若去除极大值, 贵阳机场平均每年发生 7 次的风切变事件。

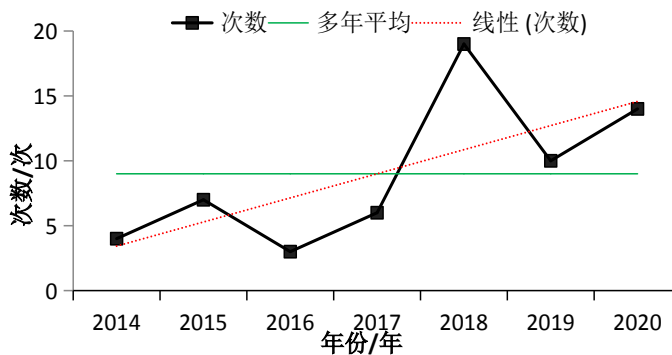


Figure 1. The annual distribution of windshear events in Guiyang Airport from 2014 to 2020

图 1. 2014~2020 年贵阳机场风切变事件逐年分布

从各个季节来看(图 2), 春季(3 月~5 月)和冬季(12 月~次年 2 月)是风切变发生的高频季节, 并且四种类型的风切变均有出现, 其中春季共计出现 24 次, 平均每年春季出现 3.4 次, 其中冷锋型和低空急流型出现次数相对较多, 分别出现 10 次和 8 次, 而局地对流型出现次数最少, 仅有 1 次; 七年间冬季出现风切变共 22 次, 平均每年出现 3.1 次, 主要以冷锋型(12 次)和准静止锋型(8 次)为主。夏季(6 月~8 月)和秋季(9 月~11 月)风切变出现的次数相对较少, 尤其是秋季仅出现 4 次, 且均为冷锋型; 而夏季共计出现 13 次风切变事件, 且主要以局地对流型为主, 低空急流型在夏季出现的概率较低, 而静止锋型在夏季几乎不可能出现。

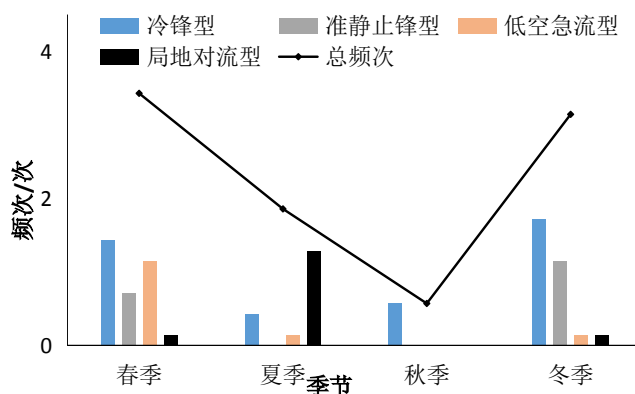


Figure 2. Frequency distribution of seasonal windshear events at Guiyang Airport from 2014 to 2020

图 2. 2014~2020 年贵阳机场各季节风切变事件频次分布

从风切变事件逐月的频次分布来看(图 3), 贵阳机场低空风切变在 12 个月中均可出现, 并且在 3 月和 8 月出现明显的峰值, 总体分布上呈现出先增加后减少, 再增加后减少的趋势。2 月、3 月、8 月是低空风切变发生的高频月份, 分别平均每年出现 1.6 次、2.0 次、1.3 次, 其中 2 月主要出现冷锋型风切变, 占比 73%; 3 月风切变的类型比较多样, 除了局地对流型仅占比 7% 以外, 其余三种类型的占比比较均匀, 冷锋型和静止锋型均占比 36%, 静止锋型占比 21%; 8 月出现的风切变类型比较单一, 均为局地对流型。6 月、9 月、10 月、11 月出现风切变的概率较小, 平均每年出现的次数在 0.1~0.3 次之间, 七年间这 4 个月发生风切变的总数也仅有 5 次。

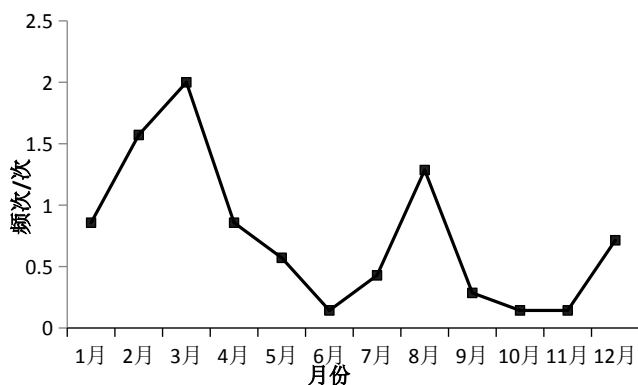


Figure 3. Monthly frequency changes of windshear events in Guiyang Airport from 2014 to 2020

图 3. 2014~2020 年贵阳机场风切变事件逐月频次变化

3.2. 各类型特征

对于不同的类型的低空风切变, 在风切变发生高度、发生时间、发生的风场情况以及伴随的天气现象均有各自的特征。

航空器离地面越近, 留给机组的可操作性时间越少, 因此高度越低的风切变对航空器的影响越大。

图 4 为各类型风切变在各高度上的频次分布, 可以看到, 对于冷锋型风切变, 出现在 150~300 米高度上的几率较大, 占总数的 46.4%; 准静止锋型主要发生在 250~400 米的高度以及 600 米以上的高度上, 在 50 米以下的几乎不会出现; 低空急流型在 50 米以下、150~250 米以及 600 米以上高度上的频次分布差别不大, 但低空急流型是四种类型中最有可能发生在 50 米以下的风切变类型; 局地对流型主要发生 150~400 米的高度上, 400 米以上的情况很少发生。总的来看, 贵阳机场的低空风切变主要出现在 150~400 米, 冷锋型和局地对流型集中在主要高度上, 各自占比 64.3%和 81.8%; 而低空急流型出现的高度相对较低, 出现在 50 米以下的几率占比 20%; 静止锋型出现的高度相对较高, 83.3%的风切发生在 250 米以上的高度。

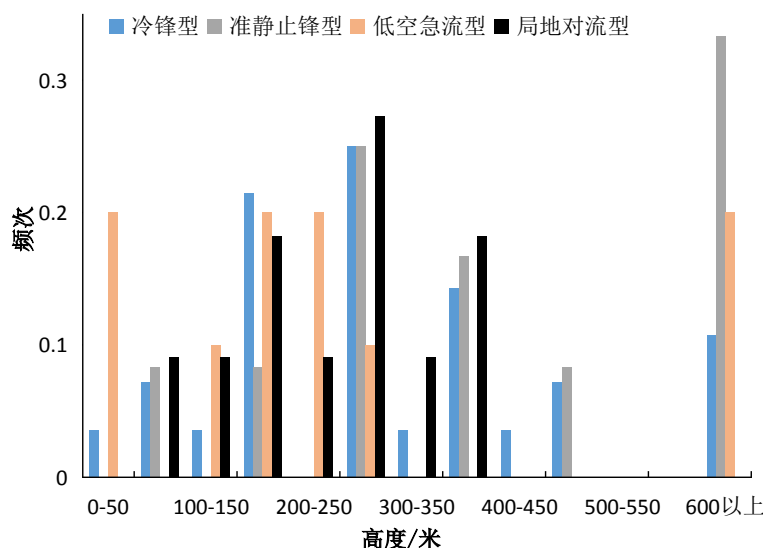


Figure 4. Frequency distribution of windshear events at Guiyang Airport from 2014 to 2020

图 4. 2014~2020 年贵阳机场风切变事件发生高度的频次分布

贵阳机场 24:00~次日 07:00 的航班较少甚至处于关闭机场的状态, 七年来出现在此时间段的风切变仅有 1 次, 因此本文主要统计 07:00~24:00 发生的风切变的时间特征。从风切变出现的时间上看(图 5), 冷锋型风切变主要出现在 16:00~20:00, 占比 64.5%, 13:00 以前和 20:00 以后出现的几率较小, 这也说明贵阳机场冷锋过境的时间大多为傍晚至夜间; 准静止锋型风切变出现在 12:00~14:00 和 16:00~18:00 的几率较大, 分别占比 30.8%和 38.5%, 19:00 以后几乎不可能出现; 低空急流型风切变主要发生在 10:00~11:00、13:00~14:00、16:00~17:00; 局地对流型风切变很可能出现 11:00~12:00, 但午后(14:00~19:00)发生的可能性更高, 概率高达 70%, 而 11:00 以前和 19:00 以后出现的概率极小。因此, 总的来说贵阳机场 74.6%的风切变发生在午后到傍晚(13:00~20:00), 其中又更集中在 16:00~19:00。

图 6 为贵阳机场 63 次风切变发生时的风向和风速分布, 对于冷锋型, 风切变发生时 70%的风向为偏北风, 21%为西南风, 极少数为东南风, 而一半以上的情况风速在 6 m/s 及以上, 说明冷锋型风切变大多发生在冷锋过境, 冷空气入侵, 贵阳机场完全转为北风以后, 并且近地面北风风速较大; 对于准静止锋

型, 风切变发生时 92% 的风向为偏北风, 并且东北风的情况最多, 69% 的风速在 4 m/s 及以下; 低空急流型风切变发生时风向全部为南风, 并且 90% 的风速在 7 m/s 及以上, 甚至达到 12 m/s; 局地对流型风切变发生时风向和风速均没有明显规律, 这与风切变发生时局地对流的位置、强度以及移动方向不一有关。

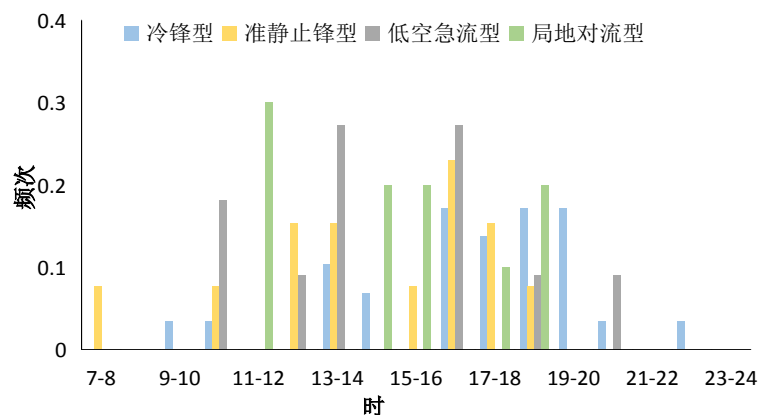


Figure 5. Diurnal variation distribution of windshear in Guiyang Airport from 2014 to 2020

图 5. 2014~2020 年贵阳机场各类型风切变的日变化分布

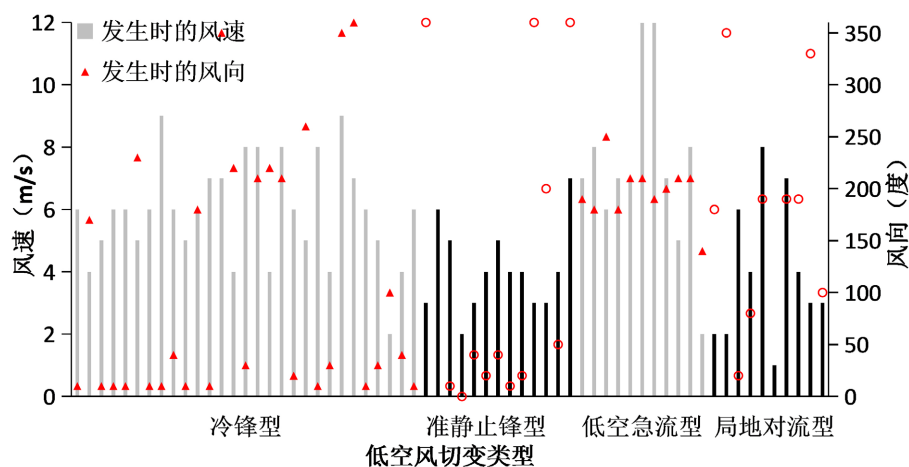


Figure 6. Distribution of wind direction and wind speed of different types of wind shear at Guiyang Airport from 2014 to 2020

图 6. 2014~2020 年贵阳机场各类型风切变发生时的风向、风速分布

表 2 能够更加直观地反映风切变发生前后贵阳机场地面盛行的风场情况及伴随的天气现象, 冷锋型风切变最明显的特征是发生前后风向有一个由南向北的转换, 而 45% 的情况下还伴随雷或中等强度及以上的降水天气; 准静止锋型低空风切变发生前后绝大多数为偏北风, 很少存在风向的转换(除地面锋线刚好在贵阳机场附近摆动的情况), 并且几乎不会伴随强烈的天气现象; 低空急流型风切变发生前后均为一致的偏南风, 并且 12 次风切变中有 6 次伴随 8 m/s 及以上的大风, 3 次 11 m/s 及以上的阵风; 局地对流型风切变发生前后为南风、北风以及风向不定的情况均有出现, 虽然并非每次都伴随强烈的天气现象, 但 5 次未伴随强烈天气的风切变中有 2 次风向不定和 2 次风向变化超过 150°, 说明当时近地面大气存在明显乱流。

Table 2. Overview of wind field and weather phenomena during low altitude wind shear events in Guiyang Airport from 2014 to 2020**表 2.** 2014~2020 年贵阳机场低空风切变事件发生时风场及天气现象概况

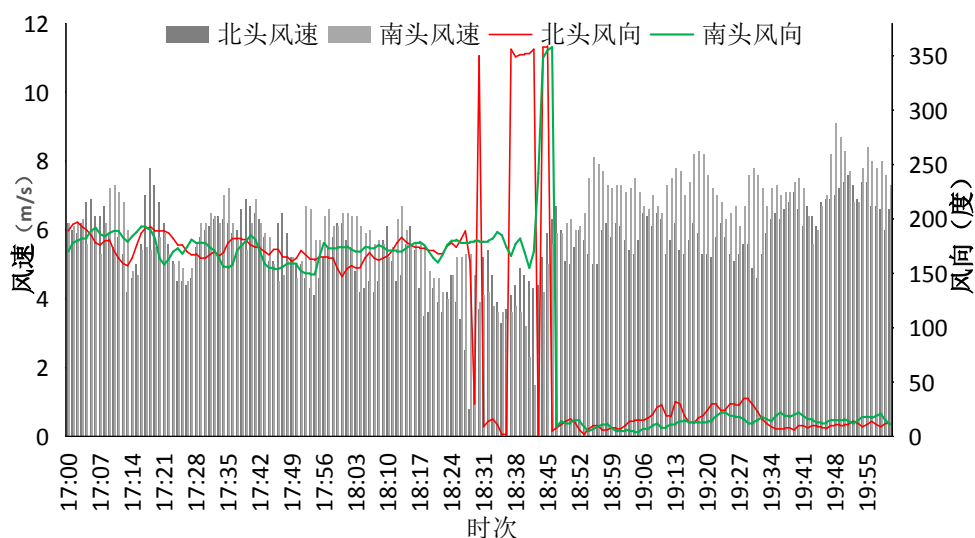
类型	发生前后 风向为一致南风	发生前后 风向为一致北风	发生前后 风向为南风 转北风	发生前后 风向为北风 转南风	发生前后 风向不定	伴随阵风/ 大风	伴随雷/中等 强度及以上 降水天气
冷锋型	0	0	29	0	0	6	13
准静止锋型	0	12	0	0	1	0	0
低空急流型	10	0	0	0	0	6	0
局地对流型	3	3	0	1	4	1	6

3.3. 各类型典型个案

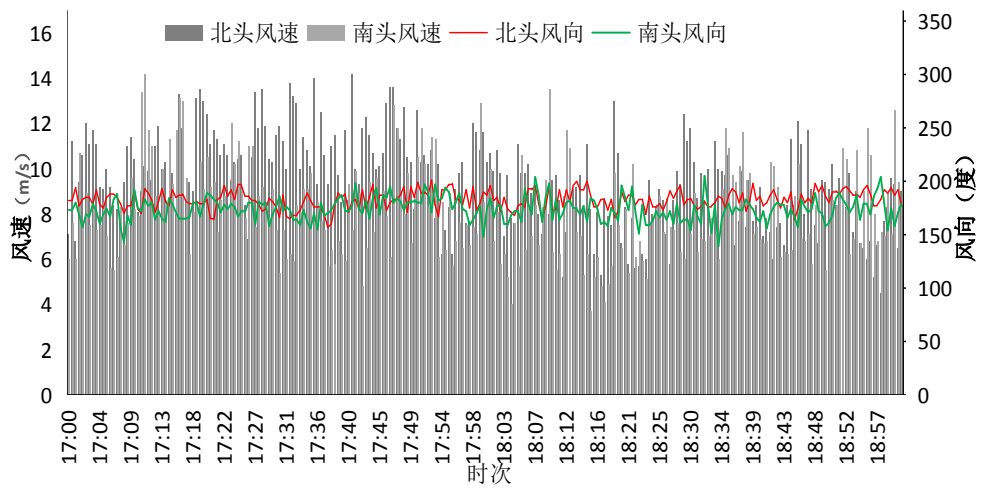
冷锋过境时往往伴随明显的风向转变, 因此极易出现低空风切变。2021 年 3 月 19 日 18:49, 某航班在贵阳机场跑道上空 20~30 米遭遇低空风切变。从贵阳机场风场的变化得知(图 7(a)), 18:29 前贵阳机场以 150°~200°的偏南风为主, 并且风速较大(6~9 m/s); 18:29 跑道北头转为偏北风, 紧接着 18:44 跑道南头转为北风, 整条跑道仅在 15 分钟内便全部由南风转为北风, 并且北风的风速也在 6~9 m/s。航空器报告风切变的时间在 18:49, 即整条跑道风向完全转为北风不久以后。

对于低空急流型切变, 2018 年 3 月 3 日 18:03, 一架航空器在起飞阶段 260 米处遭遇风切变。17:00~19:00 贵阳机场跑道南头和北头均为一致的南风(图 7(b)), 且大部分时次风速在 8 m/s 及以上, 当风切变出现时, 跑道两端的风速差达 6 m/s, 此时尽管风向一致, 飞机也易遭遇顺风切变。

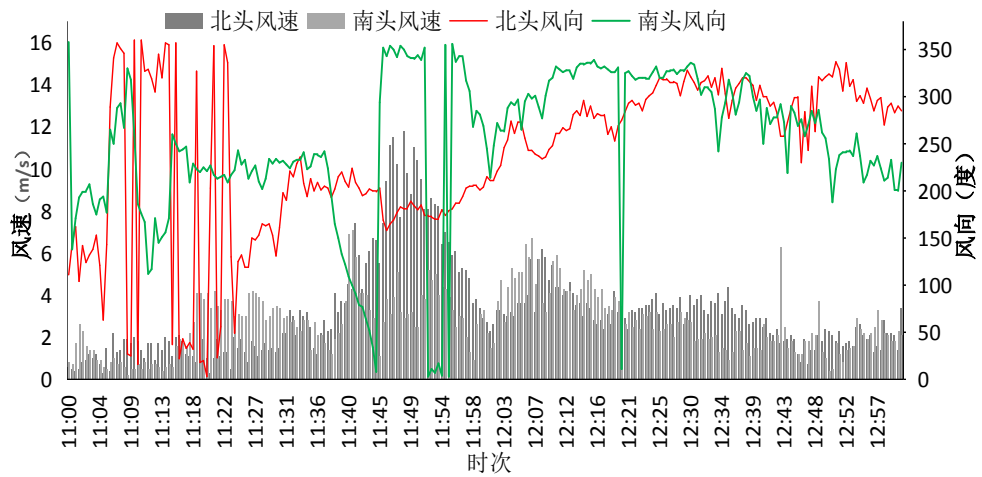
对于局地对流型风切变, 贵阳机场七年间发生的 10 次局地对流型风切变中, 有 9 次出现在 8 月份。2018 年 8 月 21 日 11:45 一架航空器在使用跑道南头起飞时的 60 米高度处遭遇风切变。受机场附近的局地对流云团影响, 11:40~11:55 跑道两头的风速急剧增加(图 7(c)), 最大瞬时风速增加到 12 m/s, 且跑道南北头的风向刚好相反, 风向上出现明显切变。



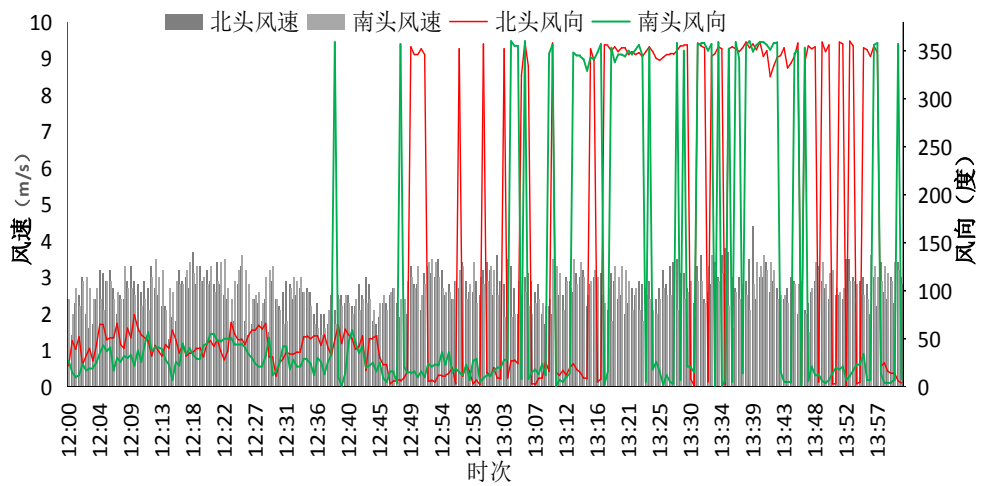
(a) 2021 年 3 月 19 日 17:00~20:00



(b) 2018年3月3日 17:00~19:00



(c) 2018年8月21日 11:00~13:00



(d) 2018年12月9日 12:00~14:00

Figure 7. Guiyang Airport wind direction (broken line), wind speed (columnar) change
图 7. 贵阳机场逐分风向(折线)、风速(柱状)变化

贵阳在冬春季常受云贵静止锋影响, 2018年12月9日12:53, 一架航空器在起飞阶段861米处遭遇风切变。从近地面的风场来看(图7(d)), 风切变出现前后贵阳机场整条跑道为一致的偏北风, 尽管存在东北风和西北风的晃动, 但在风切变出现的前后各10分钟内, 跑道南头和北头的风向差多数在 $1^{\circ}\sim 20^{\circ}$, 最大的风向差也只有 37° , 不存在明显的风向转变。从风速上看, 风切变出现期间两小时内, 风速在1~4米/秒, 并且跑道南北头的风速差95%在1米/秒及以下, 因此也不存在明显的风速切变。考虑此次风切变发生的高度在800米左右, 因此可分析近地面至中层的天气系统及风场情况, 以探求其发生原因。

从图8中可以看到, 850hPa相当位温 θ_e 密集区位于云贵交界处(图8(a)), 呈准南北向, 冷暖气团相互对峙, 贵州省大部区域位于锋区右侧, 贵阳距离锋区主体约2~3个经度, 受锋区后东北回流冷空气控制; 700hPa θ_e 等值线梯度明显减弱且转为准东西向(图8(b)), 说明静止锋锋生区向上发展较弱, 此时西南地区大部及东南地区受西南气流影响, 在贵州湖南一带存在一条准东西向的西南低空急流, 急流核位于贵州中南部及东南部, 急流强度达 $17\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 贵阳位于低空急流入口处的极大风速区内。由下至上来看, 贵阳在近地面受静止锋锋后风速较小偏北风影响, 在高度差约为2000m处转为受强西南风控制, 说明在约2000m的高度差内风速与风向均发生了急剧的变化。

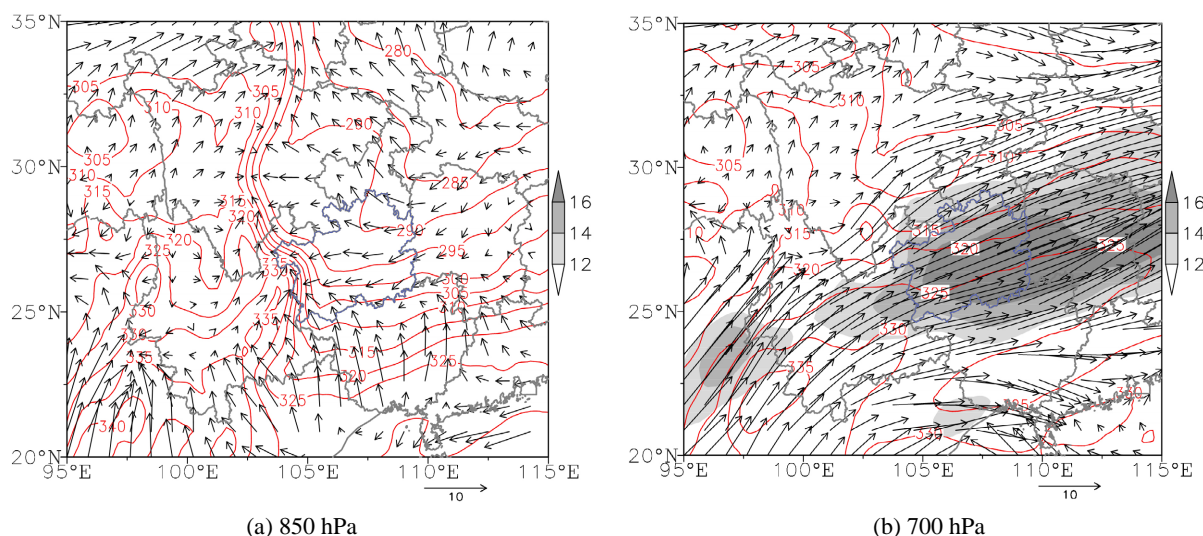


Figure 8. 8 o'clock, December 9, 2018 equivalent temperature (isoline, unit: K), horizontal wind field (wind vector, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) and low-level jet (shadow, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

图8. 2018年12月9日08时相当位温(等值线, 单位: K)、水平风场(风矢量, 单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)以及低空急流(阴影, 单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

4. 结论

通过对2014~2020年贵阳机场出现的低空风切变进行分型、统计分析可得出以下结论:

- 1) 贵阳机场风切变类型可以分为冷锋型、静止锋型、低空急流型和局地对流型四大类型;
- 2) 出现的次数呈现出波动增加的趋势, 冬春季节是贵阳机场低空风切变出现的高频季节, 秋季出现风切变的概率较低;
- 3) 冷锋型和静止锋型主要出现在冬春季, 低空急流型在春季易出现, 局地对流型易发生在夏季;
- 4) 冷锋型和局地对流型主要出现在150~400米, 低空急流型常出现在250米以下, 静止锋型集中在250~400米以及600米以上的高度上;
- 5) 贵阳机场绝大多数风切变发生在午后到傍晚, 16:00~19:00出现的概率较大;

6) 冷锋型风切变大多发生在近地面完全转为北风以后, 且北风风速较大; 低空急流型风切变发生时近地面为大南风, 风速的阵性特征明显; 局地对流型风切变是由于局地对流的影响导致地面风向出现较大变化产生; 准静止锋型风切变出现时地面为弱的东北风, 由于中低层风场的急剧变化导致。

参考文献

- [1] 于莹潇, 李嘉林. 浅谈低空风切变对民航飞行安全的影响[J]. 江苏航空, 2004(2): 30.
- [2] 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.
- [3] 党冰, 孙伟中, 王嘉媛, 等. 2004-2007 年兰州中川机场低空风切变分析[J]. 兰州大学学报(自科版), 2013(1): 63-69.
- [4] 王海霞, 张宏升, 潘江勇, 等. 银川河东机场低空风切变特征及环流背景分析[J]. 干旱气象, 2012, 30(1): 45-52.
- [5] 沈宏彬, 赵润华, 张潇, 等. 西南地区低空风切变事件分析[J]. 高原山地气象研究, 2013(3): 39-44.
- [6] 刘开宇, 张映红, 曾维. 贵阳机场低空风切变的气候特征分析[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2012(S1): 39-39.
- [7] 刘开宇, 申红喜, 成永勤, 等. 贵阳机场冷锋型低空风切变的合成分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2011, 33(S2): 392-396.
- [8] 冯彦华. 白云机场低空风切变的时空特点及其大气环流形势分析[J]. 广东气象, 2004(4): 5-6.
- [9] 马敏劲, 林超, 赵素蓉, 等. 北京首都国际机场低空风切变观测分析和数值模拟[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2013(3): 70-76.
- [10] 林莉, 袁振, 黄盛军, 等. “2.23”昆明长水机场低空风切变分析及可预报时效估计[J]. 高原山地气象研究, 2018, 38(1): 42-47.
- [11] 郭虎道. 低空风切变对飞行的影响[J]. 高原山地气象研究, 2001, 21(3): 20-21.