

贵阳机场冬季不利天气条件及预报思路

杨凤婷

民航贵州空管分局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年7月17日; 录用日期: 2023年8月30日; 发布日期: 2023年9月7日

摘要

文章利用常规观测资料、机场自观数据及机场气候志资料, 分析贵阳机场冬季发生的典型天气个例, 结果表明: 受西风带槽、云贵准静止锋和西南热低压的影响, 冬季贵阳机场出现的不利天气有雨雪冰冻、低云、雾、霜、大风、雷暴, 造成的影响各有不同, 预报思路也存在差异。

关键词

贵阳机场, 冬季, 不利天气, 飞行, 预报思路

Adverse Weather Conditions and Forecast Ideas for Guiyang Airport in Winter

Fengting Yang

Guizhou Sub-Bureau of Southwest Air Traffic Management Bureau of Civil Aviation of China, Guiyang Guizhou

Received: Jul. 17th, 2023; accepted: Aug. 30th, 2023; published: Sep. 7th, 2023

Abstract

This paper uses datasets of conventional observation, airport self-observation and airport climatology, analyzing the typical weather cases of Guiyang Airport in winter. The results show that: it is affected by westerly trough, Yungui quasi-stationary front and southwest thermal low, the adverse weather of Guiyang airport in winter includes rain and snow freezing, low cloud, fog, frost, strong wind and thunderstorms. The effects are different, and there are differences in forecasting ideas.

Keywords

Guiyang Airport, Winter, Adverse Weather, Flight, Forecast Ideas



1. 引言

贵州地处云贵高原东侧，贵阳机场位于贵州省中部贵阳市东郊。冬季，不断南下的北方冷空气受到高原地形阻挡，与南方暖湿空气在西南地区交汇形成准静止锋并长时间维持，导致贵州各地常发生低温、高湿和连绵的阴雨[1][2]，而贵阳机场易出现雨雪冰冻、低云、低能见度、雷暴等威胁航空运行安全的不利天气。研究表明，强降雪天气可导致飞机机身部件积冰，影响飞机性能，还可造成跑道道面严重积雪，影响机场的正常作业[3]。低云或低能见度使得机场各方向明暗不均或使可视距离变短，造成飞行困难[4]。雷暴的发生常伴有雷电、短时强降水、冰雹等恶劣天气，严重威胁飞行安全[5]。而大风可以产生颠簸和低空风切变，使驾驶员操纵飞机困难[6]。学者认为，做好冬季不利天气的预报预测，不仅从理论上要对时空分布特征和临近环流指标进行分析，还可深入探讨造成影响的多种气候要素[7]。

文章利用常规观测资料、机场自观数据及机场气候志资料，选取近年来贵阳机场冬季(12月至次年2月)发生的典型天气个例，探讨贵阳机场冬季的大气环流形势特征、不利天气类型、对运行的影响情况，总结冬季不利天气的预报思路，以期提升机场预报预警服务水平提供帮助。

2. 冬季高空及地面形势综述

2.1. 高空主要环流形势

贵阳机场气候志指出，冬季东亚大陆上空受西风带系统控制，东亚大槽发展强盛并且稳定在平均位置，副热带高压脊线南退到 20°N 以南，入侵贵州的冷空气活跃。西风在翻越青藏高原过程中分裂为南北两支，南支气流绕过高原并在高原东侧形成槽，稳定少动。贵州处于西风带槽前，能在机场引起降水。

2.2. 地面主要天气系统

冬季地面蒙古冷高压强大且稳定，冷空气南下频繁，冷锋入侵贵州时，机场会出现明显降水天气过程，冷空气强时还会出现寒潮天气。当冷空气取东北路径影响贵州时，常因地形原因演变为云贵准静止锋，锋后多稳定性降水，冬季机场约有一半的时间受其影响。2月西南热低压影响频次增多，受其控制机场可出现冬季少有的晴好天气。

3. 冬季不利天气及预报思路

冬季影响贵阳机场运行的不利天气主要有：雨雪冰冻、低云、雾、霜、大风、雷暴，其中雨雪冰冻和低云较常出现，雷暴偶有发生。

3.1. 雨雪冰冻

冬季贵阳机场的雨雪冰冻天气主要表现为降雪、雨夹雪、冻雨。低温易导致飞机机翼、发动机、机身等部件结冰，威胁飞行安全，强的雨雪天气使跑道道面出现积冰或积雪，可能会导致机场关闭[8]。

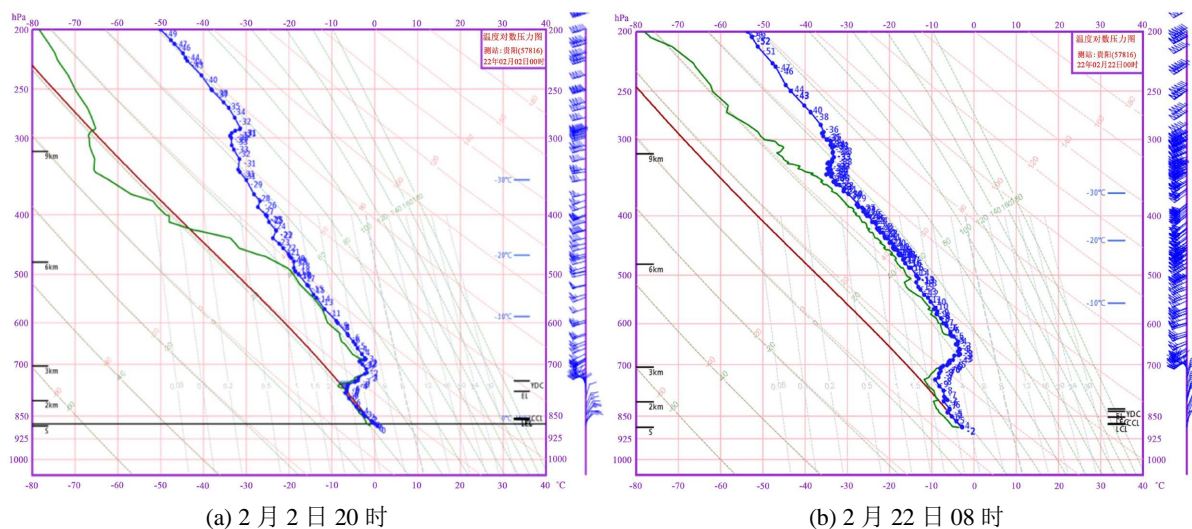
2022年初贵阳机场出现了三次低温雨雪冰冻天气过程，对机场运行造成了不同程度影响(如表1所示)。其中，1月29日~2月2日出现间歇性小到中雪、短时冻雨，过程时间长，跑道道面因被积雪污染致使多架航班延误；2月7~9日雨夹雪与冻雨交替出现，早晨出港航班均需除冰；2月20~22日降温幅度大，出

现小到中雪天气，导致大面积航班延误。此轮低温雨雪冰冻天气中，欧亚中高纬度环流由两槽一脊形势向阻塞环流形势演变引起大规模冷空气南下，南支槽、700 hPa 低空急流、850 hPa 切变提供了抬升和水汽运输条件，地面锋面活动影响天气的发生，孟加拉湾和南海是水汽源地。值得一提的是，湿层厚度、云顶温度、逆温层结等的差异造成三次过程降水相态的不同(如图 1 所示)，降雪时湿层可至 500 hPa，云顶气温低于-16℃，冻雨时湿层在 600 hPa 以下，云顶温度不高于-6℃，雨夹雪时湿层至 600~550 hPa，云顶温度约-12℃。降雪时不一定有逆温，逆温层温度约-4℃。冻雨时有逆温，逆温层温度约 0℃。

Table 1. Observation and statistics of the three freezing rain and snow event in Guiyang Airport (Beijing time, the same as below)

表 1. 贵阳机场三次雨雪天气过程观测统计(北京时，下同)

日期	雨雪天气演变	对机场运行的影响
1月29日~2月2日	小雪: 29日 01:00~08:00 30日 19:10~20:40、22:10~31日 06:36 31日 08:45~10:22 1日 01:50~08:25 2日 05:00~12:00、22:04~23:35	29~30日: 35个航班除冰延误, 1个航班因跑道湿滑备降 31日: 15个航班备降 1日: 3个航班延误 2日: 3个航班延误
	中雪: 30日 23:42~31日 00:04 冻雨: 1日 22:00~2日 05:00	
	雨夹雪: 7日 03:45~04:42 8日 11:44~12:21	7日: 3个航班因换跑道延误 8日: 航班除冰
	冻雨夹雪: 8日 04:00~10:10 冻雨: 8日 23:51~9日 07:49	9日: 16个航班除冰, 其中1个航班延误
	小雪: 20日 00:50~02:30、03:25~07:40 21日 12:00~14:00、16:00~22日 11:12 22日 13:22~17:36	20日: 航班除冰 21~22日: 62个航班延误
2月20~22日	中雪: 22日 15:33~15:46、16:18~16:42 霰: 20日 20:25~20:42 冻雨: 21日 05:00~06:42	



(a) 2月2日 20时

(b) 2月22日 08时

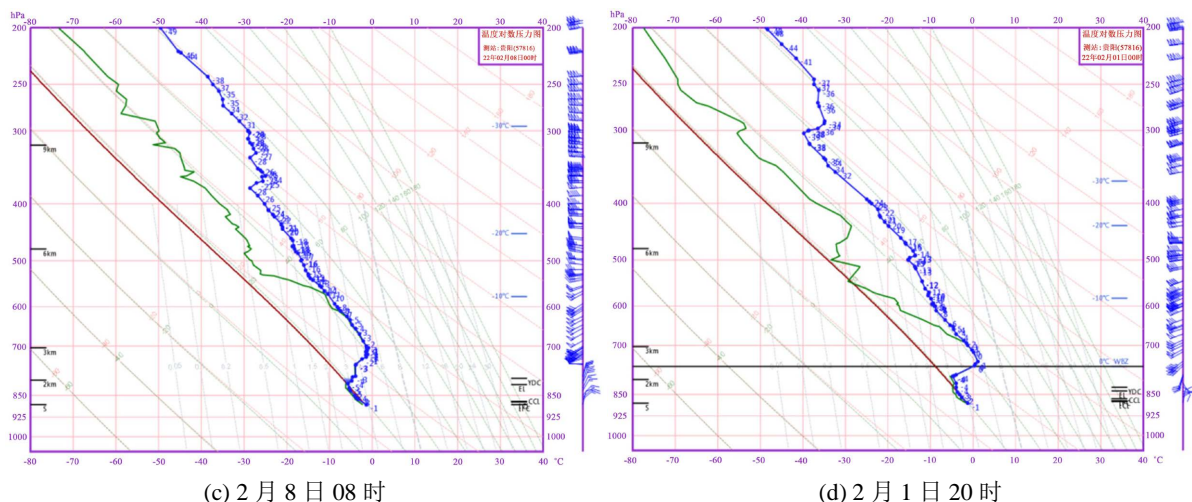


Figure 1. Real T-logP diagram of four precipitation phases ((a) Light snow; (b) Moderate snow; (c) Sleet; (d) Freezing rain)
图 1. 四类降水相态贵阳站 T-logP 图((a) 小雪; (b) 中雪; (c) 雨夹雪; (d) 冻雨)

可见，中高纬度稳定的阻塞环流、低层切变线影响、地面冷锋过境或稳定持久的准静止锋、孟湾和南海持续输送暖湿气流等，对贵阳机场冬季雨雪冰冻天气的出现十分有利。阻塞环流将带动北方冷空气南下影响我国，而低层切变线的出现则为雨雪冰冻的发生提供动力条件，若地面冷空气不断补充，或准静止锋长时间维持少动，有利于雨雪冰冻天气的维持。通过分析探空层结条件，判断近地面层大气的冷暖、云的伸展高度、云中暖层是否存在及强弱、低层冻结层的强弱及干湿，有助于降水相态的预报。

3.2. 低云

贵阳机场的低云是指云底高在 60 m 以下的云。低云会影响飞行员对地物的识别，影响飞机着陆的准确性。

2023 年 2 月 3 日 15:00~4 日 07:00 贵阳机场出现 30~60 m 低云，云量 0~2 个量，未影响运行。图 2 为 3 日 20 时高低空形势综合图及地面准静止锋位置图，可见 850 hPa、700 hPa 在贵州南部边缘有强盛的西南低空急流，暖湿气流输送增强，低层湿度大。准静止锋位置有明显日变化，当白天暖势力发展，准静止锋由贵州西南部北抬至贵州中部，夜间有弱冷空气加入，准静止锋由贵州中部缓慢南压至贵州西南部。准静止锋影响贵州中部的过程中，机场出现低云。

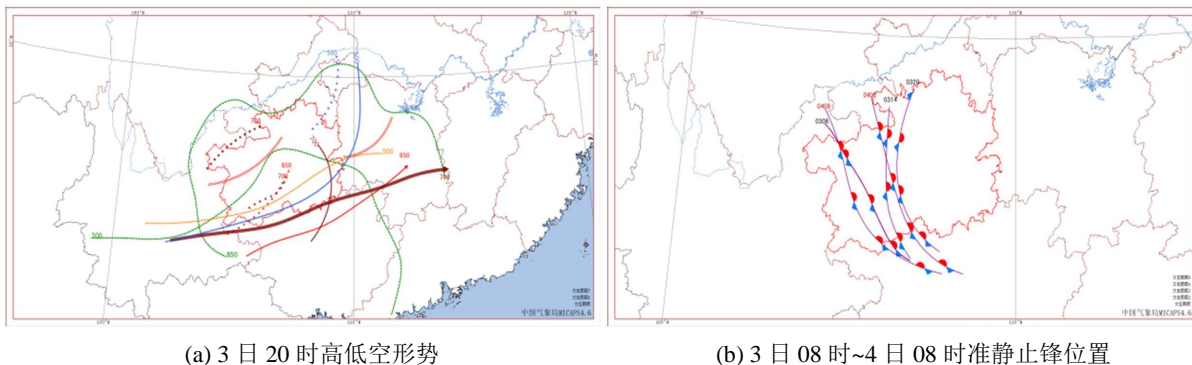


Figure 2. Altitude situation and ground quasi-stationary front position on February 3, 2023
图 2. 2023 年 2 月 3 日高低空形势及地面准静止锋位置

冬季贵阳机场的低云多由云贵准静止锋引起,此时大气中低层多有低空急流或切变线,长时间降水导致近地面水汽含量大,易出现低云。准静止锋在机场以北时,冷空气南下锋面将南压,当准静止锋在机场以南时,冷空气减弱或暖空气增强锋面将北抬,所以低云的预报关键点在于预报准静止锋的移动趋势。实况地面变压值、上游观测站风向风速、天气现象等,可辅助预报低云的发生。

3.3. 雾

雾是近地面空气中的水汽凝结成微小水滴而使能见度 $< 1000\text{ m}$ 的天气现象。雾的出现使能见度降低,飞行员看不清跑道方向,大大增加飞机对准跑道的难度。从雾的形成条件来看,冬季贵阳机场易发生辐射雾和锋面雾,其中辐射雾次数较多。

3.3.1. 辐射雾

2022年1月18日01:40~11:27贵阳机场出现辐射雾,导致16个航班延误,1个航班备降。此次天气中(如图3所示),500 hPa槽快速过境后贵州转西北气流,700 hPa和850 hPa为脊前偏北气流,地面位于高压前部。由T-logP图可见800 hPa、700 hPa有逆温层存在,大气层结稳定,近地面温度露点差 $< 4^{\circ}\text{C}$ 。17日白天降雪结束后天空迅速转为少云,地面水汽大量蒸发,空气湿度大,夜间降温迅速,地面风速小,均有利于辐射雾的形成。

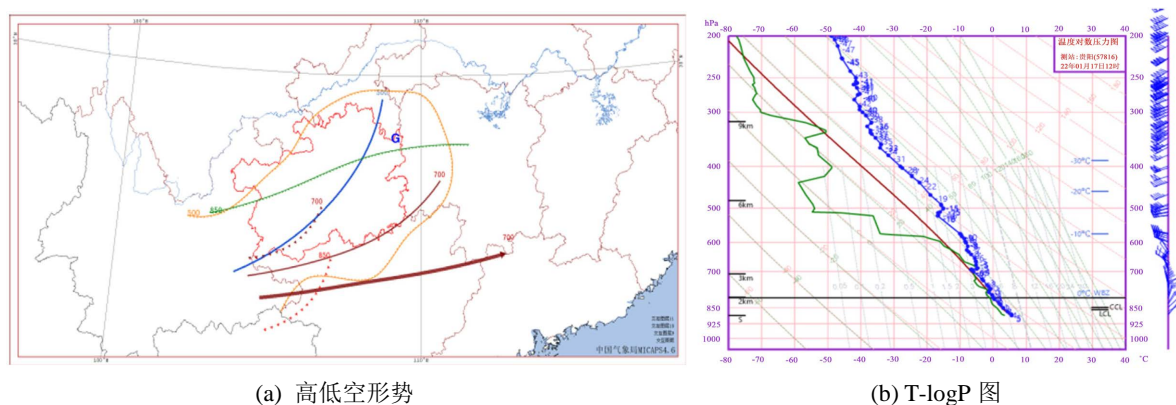


Figure 3. Altitude and altitude situation and T-logP diagram of Guiyang Station at 20:00 on January 17, 2022
图 3. 2022年1月17日20时高低空形势及贵阳站 T-logP 图

辐射雾是由强烈的辐射降温致使近地面空气中的水汽大量凝结而形成,所以要关注有利于辐射降温形成的大气环流条件、逆温层的建立,以及近地面有充足的水汽。贵阳机场辐射雾一般发生在清晨,日出时能见度达到最低,日出后能见度在剧烈波动中快速上升。由于冬季日出较晚升温较慢,辐射雾一般于10时左右才可消散。

3.3.2. 锋面雾

2019年12月29日07:27~08:42贵阳机场出现了锋面雾。500 hPa为平直西风带,700 hPa低空急流输送水汽,850 hPa切变线在贵州中部维持,较弱的冷暖空气在贵州中部交汇对峙形成准静止锋(图略),稳定少动。在准静止锋的影响下,机场不仅出现了持续性降水伴低云,能见度还一度降低至低至800 m。但由于此次锋面雾持续时间短,未对运行造成影响。

可见,冬季贵阳机场锋面雾多因云贵准静止锋导致连续性弱降水引起。锋面雾的出现时间与准静止锋影响的时段基本一致,直到有冷空气的加入准静止锋南压或冷势力减弱准静止锋北抬后,能见度开始

平稳缓慢的好转。锋面雾预报难度较大，常通过预报准静止锋的移动趋势帮助判断。

3.4. 霜

霜是地面的水汽遇冷在地面或物体上凝华而成的白色冰晶。飞机机身表面出现霜会削弱飞机的动力性能，严重时可导致飞机的重要设备出现使用故障。

2023年1月7日06:00~08:00贵阳机场出现霜，早晨出港航班均需除霜。贵阳机场上空整层位于脊前，地面位于冷高压前沿(图略)。图4为贵阳探空站的T-logP图，可见贵阳上空大气层结稳定，中低层有逆温层存在，水汽饱和层位于900 hPa附近，地面风速小，不利于水汽扩散。机场5日早晨降水结束后天空转晴，但由于蒸发时间较长，停留在低层水汽量变少。

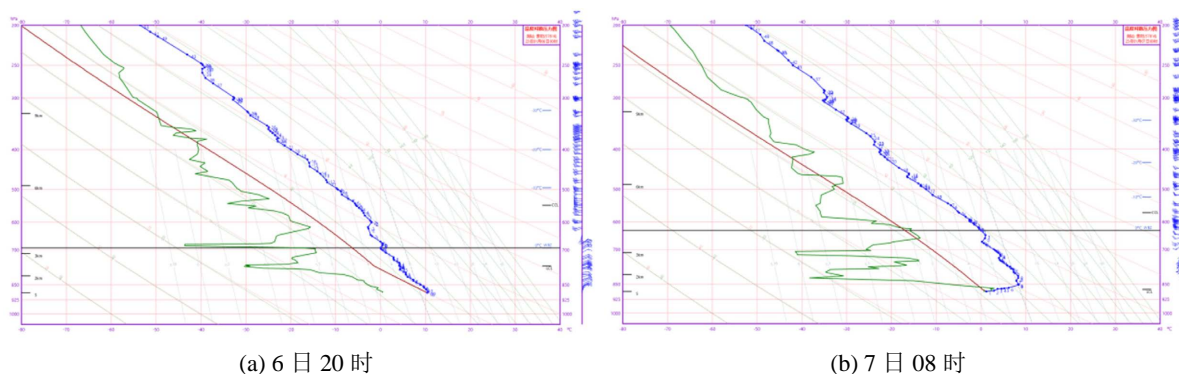


Figure 4. T-logP diagram of Guiyang Station from 20:00 on January 6 to 08:00 on January 7, 2023

图4. 2023年1月6日20时~7日08时贵阳站T-logP图

水汽集中在贴地层，是形成霜而非辐射雾的重要指标。从贵阳机场气候特点看，当强冷空气迅速过境，机场处在变性冷高控制之中，天气将由阴雨转晴，此时若空气中的水汽得到充足蒸发和扩散，仅在贴地层留存一定水汽，则早晚易有霜冻现象出现。发生霜的高空形势与辐射雾近似。

3.5. 大风

贵阳机场将风速 $\geq 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的地面风定义为大风。大风天气易伴有强烈颠簸和低空风切变，还有可能破坏地面设施。冬季贵阳机场偏北大风和偏南大风都有可能出现。

3.5.1. 偏北大风

2022年12月20日13:40~21:00贵阳机场出现约 $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 偏北大风，未造成影响。如图5所示，贵州500 hPa有西北气流有冷平流加入，700 hPa切变过境引导冷空气南下，850 hPa和地面均有较强偏北冷空气加入。地面风速自冷空气过境时开始加强，傍晚逐渐减小。

冬季产生偏北大风的主要系统是冷锋或冷高压前部。当冷锋过境或有强冷空气南下时，偏北大风风速一般可达 $10\sim 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，持续时间一般为5~8 h。当冷空气接连影响时，偏北大风可连续出现多日。冬季冷空气的强度及移动趋势、影响时段，对偏北大风的出现有重要指示作用。

3.5.2. 偏南大风

2023年2月27日11:30~18:00贵阳机场出现 $14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 偏南大风，未造成影响。如图6所示，贵州位于500 hPa南支槽前，700 hPa有西南低空急流，最大风速达 $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，850 hPa有偏南急流，最大风速达 $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，地面热低压主体位于云南，机场在热低压前部。急流的动量下传，热低压发展东进，导致机场出现偏南大风。

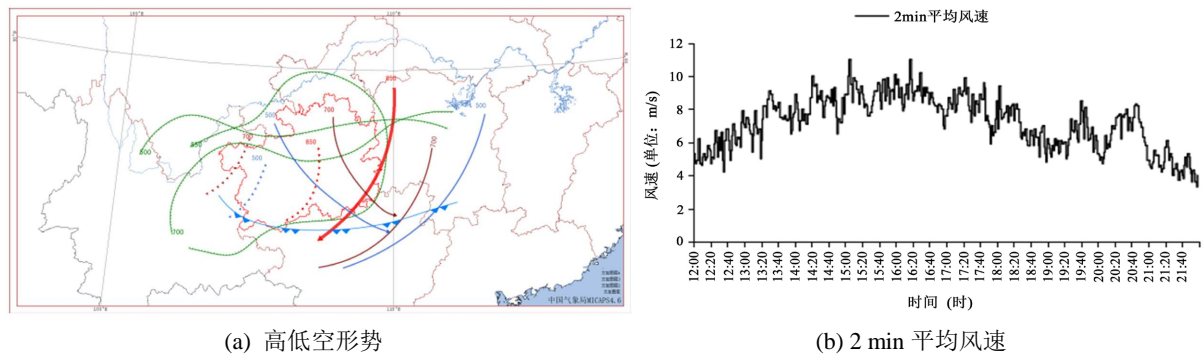


Figure 5. Altitude and altitude situation at 20:00 and the 2 min average wind speed changes from 12:00 to 22:00 on December 20, 2022

图 5. 2022 年 12 月 20 日 20 时高低空形势及 12~22 时自观 2 min 平均风速变化

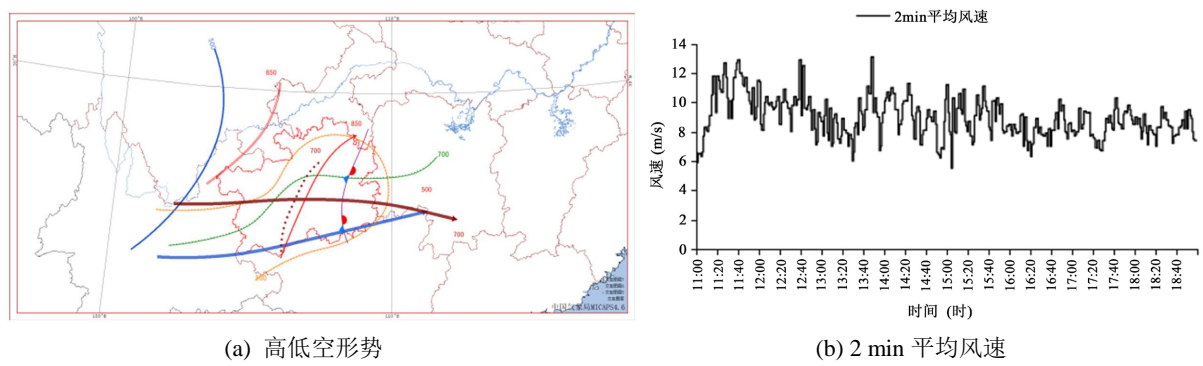


Figure 6. Altitude and altitude situation at 08:00 and the 2 min average wind speed changes from 11:00 to 19:00 on February 27, 2023

图 6. 2023 年 2 月 27 日 08 时高低空形势及 11~19 时自观 2 min 平均风速变化

冬季引起贵阳机场产生偏南大风的主要系统是昆明热低压。热低压发展具有明显的日变化，一般 11 时逐渐增强，午后 14~15 时最强，傍晚前后开始减弱，所以偏南大风多出现在白天，风速可达 $15\sim 17\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，持续时间一般为 6~10 h。当暖空气势力持续偏强时，偏南大风可维持几天甚至一周时间。西南低空急流长时间维持及热低压增强，对偏南大风的出现有重要指示作用。

3.6. 雷暴

普通雷暴是大气层结不稳定时产生的一种强对流天气，而高架雷暴是对流自大气边界层以上被触发，二者的对流发生高度略有不同。相对于其它三个季节，冬季贵阳机场雷暴的发生概率明显降低，但也偶有出现。雷暴云中飞行会引起强烈的颠簸和积冰，雷暴伴随的雷电、冰雹、短时强降水等天气还会影响飞机的性能和正常起降[9]。

3.6.1. 普通雷暴

2022 年 1 月 4 日 18:37~19:35 贵阳机场出现弱到中雷雨、短时阵风 $17\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，21 个航班延误，1 个航班备降。由图 7(a)，500 hPa、700 hPa、850 hPa 贵州中部相继受槽及切变线过境影响，地面有辐合线和准静止锋摆动。多日的晴好天气使得气温回升。由图 7(b)，大气低层有暖平流输送促使不稳定层结发展，767 hPa~671 hPa 假相当位温随高度上升而降低，层结不稳定，SI 指数达 -0.14。贵州位于 200 hPa 高空急流右后侧，700 hPa 低空急流左侧，水汽充足。高低层系统过境及地面辐合线、准静止锋的共同作用，有利于触发对流。

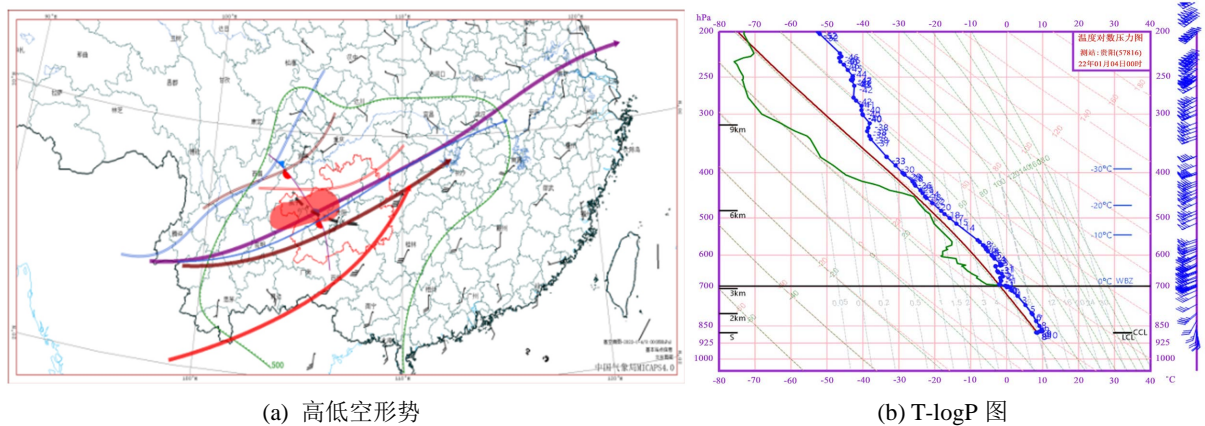


Figure 7. Altitude and altitude situation and T-logP diagram of Guiyang Station at 08:00 on January 4, 2022
图 7. 2022 年 1 月 4 日 08 时高低空形势及贵阳站 T-logP 图

雷暴的发生需要具备水汽条件、不稳定层结、抬升条件。冬天当热低压发展时，下垫面得到充分加热，而大气高层还维持着冬天“冷”的温度层结，大气垂直层结十分不稳定，受到低层中尺度切变线、辐合线等的扰动，暖湿气流直接垂直上升进入湿对流中，易出发雷暴天气。

3.6.2. 高架雷暴

2020 年 1 月 24 日 18:42~21:29 贵阳机场出现弱雷雨。如图 8 所示，500 hPa 南支槽前和 700 hPa 西南急流向贵州输送暖湿空气，夜间低层切变线由贵州中北部南压至贵州南部，提供动力抬升条件，850 hPa 偏北急流和地面冷锋后部持续向贵州补充冷空气，形成低层冷空气垫。大气上干下湿，850 hPa~700 hPa 有强的垂直风切变，层结不稳定，有助于对流自冷空气垫以上触发。

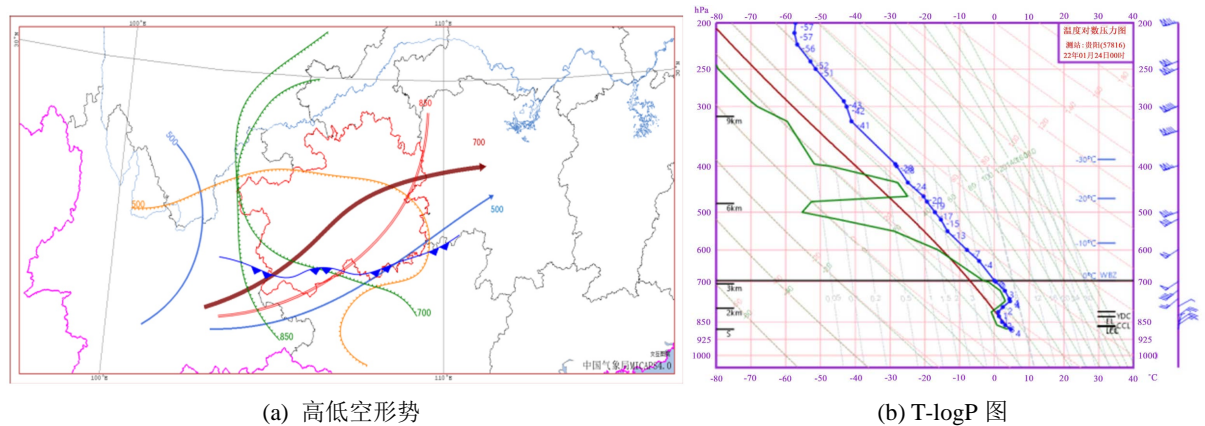


Figure 8. Altitude and altitude situation and T-logP diagram of Guiyang Station at 08:00 on January 24, 2020
图 8. 2020 年 1 月 24 日 08 时高低空形势及贵阳站 T-logP 图

高架雷暴发生于冷空气构成的边界层之上，若锋面南侧地面附近暖湿气流沿着锋面向上倾斜，或西南暖湿空气遇到高空槽或低层切变线被抬升时，易在大气中层触发雷暴[10]。高架雷暴的预报，重点关注“冷~暖~冷”的层结构成和有利于对流自逆温层之上触发的环流条件。

4. 结论

分析贵阳机场冬季出现的典型天气个例，探讨贵阳机场冬季的大气环流形势特征、不利天气类型、

对运行的影响及预报思路, 结论如下:

1) 冬季贵州常处于高空西风带槽前, 地面受云贵准静止锋和西南热低压影响, 贵阳机场出现的不利天气有雨雪冰冻、低云、雾、霜、大风、雷暴。

2) 冬季中高纬度为阻塞环流、大气低层有切变线、地面受冷锋或准静止锋的影响等, 贵阳机场易出现雨雪冰冻天气, 对运行影响较大。探空层结有助于预报降水相态。

3) 冬季贵阳机场的低云多由云贵准静止锋引起, 对运行影响较小。预报关键点在于把握准静止锋的移动趋势。

4) 冬季贵阳机场会出现辐射雾和锋面雾, 影响航班起降。辐射雾常发生在清晨, 需关注有利于大气稳定层结建立的环流形势。锋面雾多因云贵准静止锋导致, 需预报准静止锋的位置。

5) 冬季贵阳机场出现霜时, 需对飞机除霜。发生霜的环流形势与辐射雾近似, 不同点是水汽集中在贴地层。

6) 冬季贵阳机场出现大风, 飞机易遇颠簸。冷空气的强度及移动趋势、影响时段, 对偏北大风的出现有重要指示作用。强盛的昆明热低压会引起偏南大风, 有明显日变化。

7) 冬季贵阳机场偶有雷暴发生, 对航班正常性有影响。发生雷暴需要具备水汽条件、不稳定层结、抬升条件。高架雷暴要关注“冷~暖~冷”的大气层结的构成和有利于对流自逆温层之上触发的环流条件。

参考文献

- [1] 玉柱, 许炳南. 贵州短期气候预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [2] 黄晨然, 白慧, 杨娟. 贵州冬季凝冻特征及环流分型研究[J]. 贵州气象, 2017, 41(3): 10-16.
- [3] 吉世强. 国际航空航天质量管理体系认证要求[J]. 航空标准化与质量, 2014(6): 11-14.
- [4] 罗立信, 刘灏, 成明亮, 等. 天气系统下云、雾与飞行安全分析[J]. 现代农业科技, 2014(18): 236-237.
- [5] 李典南, 徐海, 许东蓓. 双流机场雷暴天气预报方法研究[J]. 中低纬山地气象, 2021, 45(6): 17-25.
- [6] 王爽, 董蔷薇. 大连机场冬季天气特点及对飞行的影响[J]. 中国民航飞行学院学报, 2007, 18(6): 25-28.
- [7] 方荻, 白慧, 李浪, 等. 贵州冬季冻雨研究综述[J]. 中低纬山地气象, 2020, 44(4): 19-26.
- [8] 周川, 张序, 谭力, 等. 强降雪天气对飞行的影响分析[J]. 沈阳航空航天大学学报, 2015, 32(3): 78-83.
- [9] 潘勇, 刘志强. 雷暴对飞行的影响及个例分析[J]. 内蒙古气象, 2007(4): 14-15.
- [10] 周明飞, 万雪丽, 罗喜平. 贵州静止锋冷区高架雷暴冰雹特征及其成因[J]. 热带地理, 2017, 37(4): 484-493.