

贵阳机场强对流天气背景下的空管保障策略探讨

娄欣悦, 尹 杰, 方祥超

民航贵州空管分局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2025年2月19日; 录用日期: 2025年3月17日; 发布日期: 2025年3月25日

摘 要

强对流天气常伴有冰雹、雷暴、龙卷等强烈的对流性灾害天气, 对飞行安全具有严重影响, 管制员在面对强雷雨天气的时候, 必须要有一套有效的管制运行保障措施来确保飞机能够飞行安全, 避免因为天气原因而发生空中交通安全事故。本文利用贵阳龙洞堡机场2014~2023年强对流天气的气候统计资料, 结合贵阳机场的自身地理位置特点及机场特征, 对强对流天气下保障飞行安全的管制服务做出总结, 对提高空管部门的指挥效率具有一定的意义。

关键词

贵阳机场, 强对流, 管制服务

Discussion on ATC Support Strategy under the Background of Severe Convective Weather at Guiyang Airport

Xinyue Lou, Jie Yin, Xiangchao Fang

Guizhou Air Traffic Control Sub-Bureau of CAAC, Guiyang Guizhou

Received: Feb. 19th, 2025; accepted: Mar. 17th, 2025; published: Mar. 25th, 2025

Abstract

Severe convective weather is often accompanied by hail, thunderstorms, tornadoes and other strong convective disaster weather, which has a serious impact on flight safety. When facing severe thunderstorms, controllers must have a set of effective control operation guarantee measures to ensure the safety of aircraft flight and avoid air traffic safety accidents due to weather reasons.

文章引用: 娄欣悦, 尹杰, 方祥超. 贵阳机场强对流天气背景下的空管保障策略探讨[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(2): 264-272. DOI: 10.12677/ccrl.2025.142029

Based on the climatic statistical data of severe convective weather in Guiyang Longdongbao Airport from 2014 to 2023, combined with the geographical location and airport characteristics of Guiyang Airport, this paper summarizes the control services to ensure flight safety under severe convective weather, which has certain significance for improving the command efficiency of the air traffic control department.

Keywords

Guiyang Airport, Strong Convection, Control Service

Copyright © 2025 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

安全、高效一直以来都是中国民航事业发展的代名词，对于以保证飞行安全为首要任务的中国民航来说，每一位民航工作人员肩上都背负着确保每一架航班的都能安全运行的重担。众所周知，气象条件是影响航空器飞行的主要因素之一，恶劣气象条件下的航空运输安全保障工作不仅不可避免，更不得不重视。雷雨天气作为典型的恶劣气象条件之一，多伴随着强降水、闪电、颠簸和风切变等危害飞行安全的危险气象条件，可能会对航空器和地面设备造成损坏与影响，不仅影响航空器的飞行安全，更会大大增加空中交通管制的工作难度与负荷，因此，在面对强雷雨天气时，管制员在管制指挥时要做到高效和准确是非常重要的。

早在 1997 年，张耀海、王学新等人曾针对广州地区雷雨条件下的管制技能提出 10 条原则，强调了在指定预案时，根据前机的绕飞方法，管制员需要充分的考虑到雷雨云与飞行航线的关系；前机的绕飞方法还需要注意防止飞机进入禁区、危险区、限制区以及炮射区[1]。2011 年，中国民用航空飞行学院郝梁怡认为雷暴容易伴生的危险天气中，对飞行影响最大的就是风切变，特别是低空风切变，因此在低空风切变的管制指挥中，应以更详细的角度来看待强对流天气下特情处置情况，管制员根据风切变的强度、飞机的性能和当时的天气情况，提醒并指挥飞行员或正常着陆、或空中等待、或飞往备降场[2]。张媛、袁淑文，向曦子等人运用 NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 逐 6h 再分析资料、贵阳机场多普勒天气雷达数据和贵阳探空资料龙洞堡机场一次雷暴天气过程进行分析，并结合贵阳机场的特殊地形，大致推算出了贵阳机场雷雨发生的大致时间，对机场雷雨天气保障有一定的指示作用。是雷雨天气下提供管制服务的前提条件，为空管部门应对雷雨天气的特殊情况奠定了基础[3]。Brian D. Peterson 在 AOPA 上发表了关于雷暴的文章，他指出在强雷雨天气是非常危险的，它甚至会使航空器四分五裂。因此，航空器驾驶员遭遇强雷雨天气时，需要听从管制员的指挥来绕飞整个雷雨区而不是试图以自己的方式解决[4]。2018 年，《雷暴天气识别及对航空飞行的影响》从气象方面科普了雷暴对航空器造成的威胁：雷暴是温暖潮湿的空气升起的结果，随着空气上升，它冷却并凝结成云。当水滴相互碰撞时，它们会融合并最终以雨水的形式掉落。降雨导致向下的气流落到地面并横向扩散。向下气流以风切变的形式对飞机构成了巨大威胁。飞机和机场都有检测风切变并警告飞行员其存在的设备。如果飞机设备检测到风切变情况，它将以视觉提示引导飞行员避免这种情况[5]。James Evans 等人通过 FAA 的数据统计出每年雷雨天气所导致的延误对航空公司直接造成了近 20 亿美元的营业损失，因此他们不仅提出了在雷暴天气中保持容量的更有效 ATM 方法的必要要素，还得出了一种计算上易于处理的方法，用于优化雷暴引起的飞机路线变更、飞行中速度调

整和地面保持，以最大程度地降低延误成本，也显著提高了 ATM 系统可在雷暴天气中利用可用空域的能力[6]。

随着现代科学技术的进一步发展，气象部门对于天气的预测不仅越来越高效，而且精准度也有了很大提升，在准确、高效的预测天气的同时也提高了管制效率，这也使得常年“靠天吃饭”的民航业得到了进一步的发展。本文将对强对流天气进行介绍，再利用贵阳龙洞堡机场的气象数据做出统计分析，由此展开对贵阳机场管制服务特点的研究，通过理解强对流天气对机场管制服务的影响对于机场的运行效率和安全水平具有重要意义。

2. 贵阳龙洞堡机场概述及雷暴气候特征

2.1. 贵阳龙洞堡国际机场概述

2.1.1. 贵阳机场地理位置特征

贵阳机场坐落于云贵高原黔东地区，属于被群山环抱的丘陵地区，地形环境十分的比较复杂(图 1)。贵州的地貌是以高原和山地为主，全省平均海拔约 1100 米。贵州的地形属于典型的山区地形，贵州境内大大小小的山脉纵横交错的排列着，除此之外贵州的地势跟中国的地势相同，呈三级阶梯状分布，地势由西部向东部地区递减。贵州的地貌类型主要基于高原，山脉，丘陵和盆地这三种基本类型。其中，高山丘陵的面积占了贵州全省面积的 90%以上，而小型的山区盆地的面积只有不到 10%。

贵阳机场处于云贵高原中东部，由于周围多山的地形影响，贵阳机场容易产生山地气候。在贵阳机场的西北方向有相对机场高度差较大的山峰和水面较为宽阔的红枫湖，使机场形成一块洼地，这样就使得其局部小气候相对稳定，水汽凝聚不易扩散，为雷暴的形成提供了相应的动力作用和充足的水汽条件。

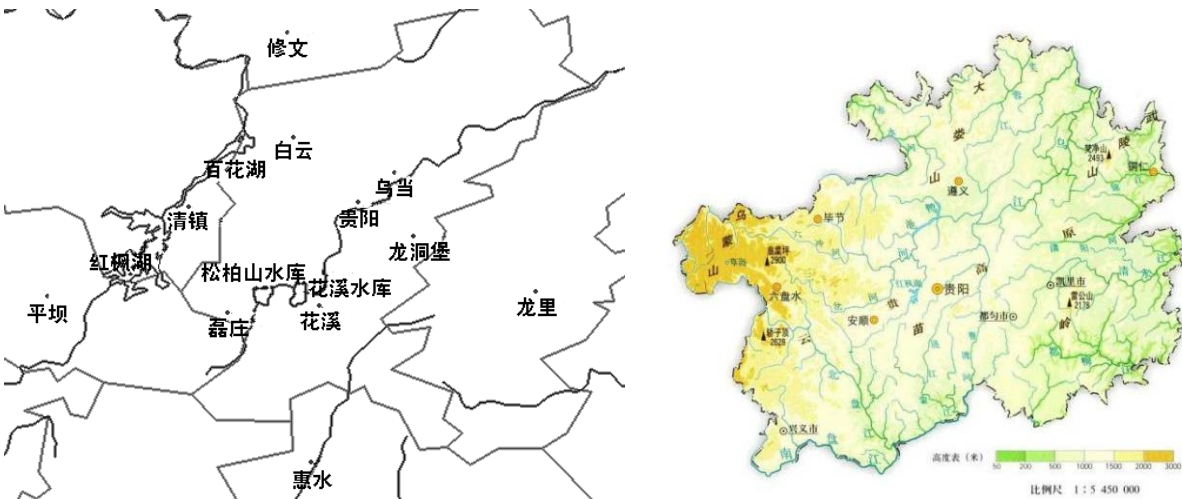


Figure 1. Topographic map of Guiyang area
图 1. 贵阳地区地形图

2.1.2. 贵阳机场气候特征

贵阳机场处于费德环流圈中，属于典型的亚热带湿润温和型气候并且常年受西风带的控制，除亚热带湿润温和型气候以外还兼有一小部分的高原性和季风性气候的特点。由于贵州特殊的地理位置，贵州省受云贵准静止锋影响严重，由于受乌蒙山的遮挡常年处于冷空气一侧，使得贵阳机场的日较差小，年较差大。

2.1.3. 贵阳机场近年复杂天气变化趋势

对 2023 年天气情况进行统计(见表 1), 对流天气(雷暴、中到大雨、冰雹、对流云)影响共 78 次, 占比 38%, 返航备降占比 79%, 延误占比 49%, 低能见度天气影响 27 次, 占比 13%, 返航备降占比 16%, 延误占比 51%, 冰雪凝冻(冻降水、雪、霜)影响 15 次, 占比 7%, 出港航班几乎全部除冰除霜。由此可见, 对流天气对贵阳机场的影响次数最多, 且导致返航备降的占比最高。

Table 1. Weather impact of Guiyang Airport in 2023

表 1. 2023 年贵阳机场天气影响情况

天气类型	雷暴	中或大雨	冰雹	对流云	大风 ≥17 m/s	强风 ≥12 m/s	风切变	雾	部分雾	低云	冻降水(含航空器积冰)	雪(含固态降水)	霜	合计
次数	37	8	1	30	5	43	7	13	14	32	6	4	8	205
返航备降	171	1	38	5	38 (伴冰雹)	0	2	35		1	几乎所有出港除冰	几乎所有出港除冰	136 架次除霜	
延误	80	0	15	0	15 (伴冰雹)			83						

2.2. 贵阳龙洞堡机场雷暴天气特征统计及分析

通过统计分析 2014~2023 年贵阳机场的气象观测数据, 总结出关于贵阳机场雷暴的天气的特点。

2.2.1. 雷暴的年变化和年际变化特点

雷暴日数的年变化特点: 呈单峰型分布, 雷暴主要出现在 3~8 月, 占比 88.5%; 其中, 5~8 月较多, 占比 65.7%, 为雷暴盛行期, 月平均均在 6 天以上; 最多为 5 月、6 月, 分别为 6.7 天、6.6 天; 8 月份以后雷暴日数明显减少; 11 月、1 月较少, 分别为 0.2 天、0.3 天; 12 月最少, 无雷暴日(见图 2)。雷暴出现最多的时段是 18~06 时, 07~17 时雷暴较少, 表现为夜间至凌晨多雷暴天气影响(见图 3)。

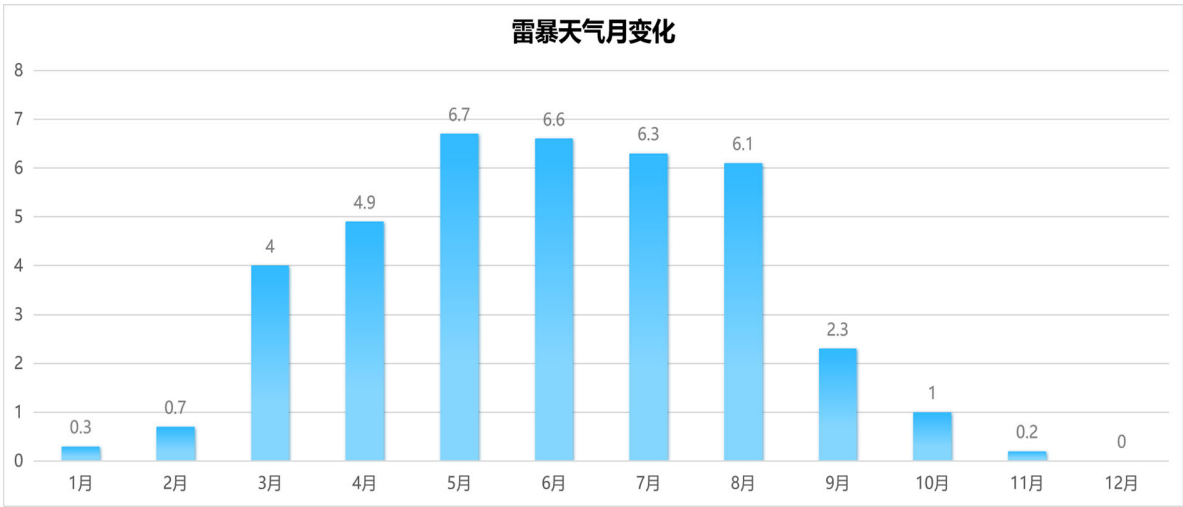


Figure 2. Average number of days of thunderstorms per month over the years (Unit: day)

图 2. 累年各月雷暴平均日数(单位: 日)

雷暴日数的年际变化特点: 贵阳机场年平均雷暴日数为 46.3 天。年雷暴日数最多为 75 天(2023 年), 最少为 31 天(2016 年)。雷暴日数年际变化较大, 2018~2019 年、2021 年、2023 年雷暴日数明显偏多, 2015~2017 年雷暴日数明显偏少(见图 4)。

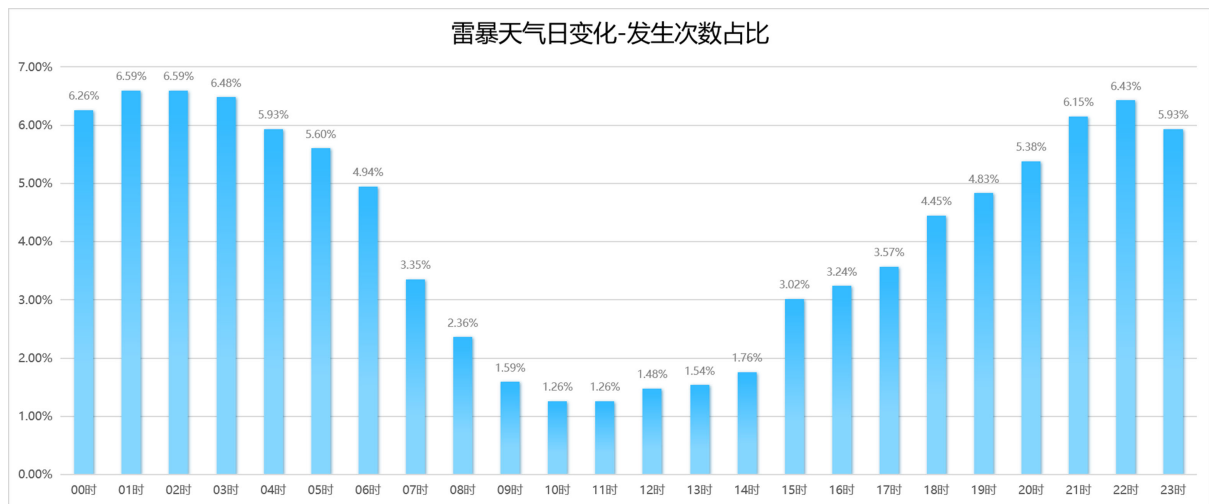


Figure 3. Annual proportion of the number of thunderstorms
图 3. 累年雷暴发生次数占比

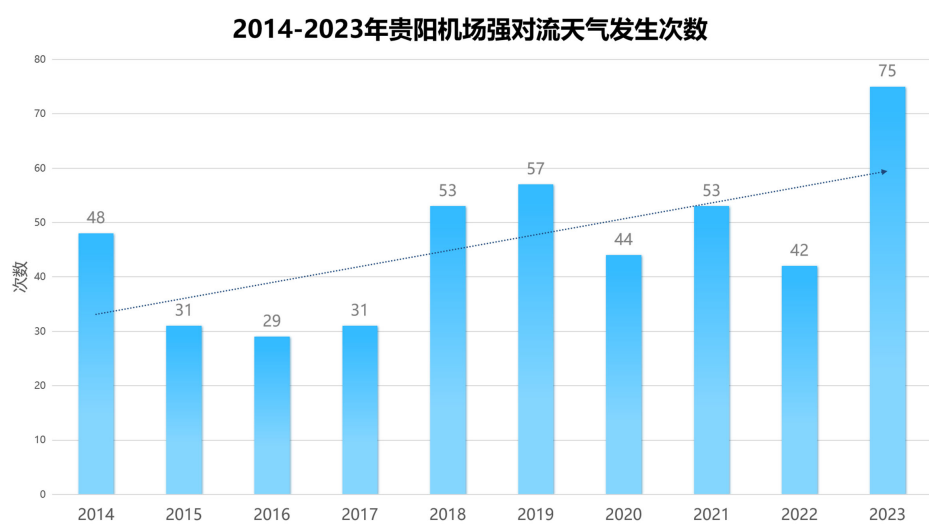


Figure 4. Interannual variation of thunderstorm days (Unit: day)
图 4. 雷暴日数年际变化(单位: 日)

2.2.2. 贵阳机场雷暴持续时间

贵阳龙洞堡机场雷暴各级持续时数总计 433 次(见表 2), 其中持续时间以 0~1 小时居多, 累年总次数为 235 次, 占了总雷暴持续次数的 54.3%。除了 12 月以外, 贵阳龙洞堡机场每个月均出现了 0~1 小时的短时雷暴天气。短时雷暴多集中在 3~8 月, 其中每个月出现次数均 30 次以上, 6 月份出现 0~1 小时雷暴次数达到 40 次的峰值。持续时数为 1~2 小时的雷暴在除了 1 月、12 月、11 月外的其余各月均会出现, 总次数达到 96 次, 占总雷暴持续次数的 22.1%, 其中在 7 月份出现了 21 次持续 1~2 小时的雷暴天气。而持续 2~4 小时的雷暴出现了 67 次, 占比为总数的 15.5%, 持续时间为 2~4 小时的雷暴在冬季几乎不会出现, 出现次数最多月份在 5 月, 为 17 次。持续时数为 4~6 小时的雷暴累年总次数为 18 次, 占 4.2%, 多集中在春、夏季节, 其中 5 月出现次数为 5 次; 持续时数为 6~12 小时的雷暴累年总次数为 15 次, 占整体的 3.5%。持续时数为 12~24 小时的雷暴在贵阳龙洞堡机场十分罕见, 在 10 年间出现的总次数仅为 2 次。贵阳龙洞堡机场未出现持续 24 小时以上的雷暴。

Table 2. Duration of thunderstorms in each month of the year
表 2. 累年各月雷暴的持续时数

时间 月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	总计
0~1 h	1	7	31	34	36	40	38	33	11	3	1	0	235
1~2 h	0	3	7	9	12	16	21	14	10	4	0	0	96
2~4 h	0	1	2	5	17	9	10	12	6	3	2	0	67
4~6 h	0	0	0	3	5	3	2	3	1	1	0	0	18
6~12 h	0	0	0	2	3	6	1	2	1	0	0	0	15
12~24 h	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2

2.3. 贵阳机场雷暴规律总结

在对贵阳机场的气象数据观测中发现贵阳龙洞堡机场雷暴具有十分鲜明的地方性特点：首先，全年(除 12 月外)机场均会出现雷暴，但雷暴天气集中于夏季，而秋冬季较少，年际变化明显；年平均雷暴出现天数为 42 天，在雷暴峰值年份雷暴的出现天数为 63 天，而雷暴谷值年份的雷暴出现天数为 23 天；全年雷暴高发月份集中在 5 月至 8 月，其中 6 月份为峰值月。12 月为谷值月，雷暴出现天数为 0 天。单日雷暴高发时段为 16 时至 20 时(北京时)，雷暴较少时段为 08 时至 13 时(北京时)。雷暴持续时间 0~1 小时居多，占雷暴持续总次数的一半。

3. 强对流天气对贵阳机场的影响及管制服务

3.1. 贵阳机场管制区特点

贵阳龙洞堡机场作为中国西部地区重要航空枢纽、区域枢纽机场以及西南机场群成员，在西南地区有着不可代替的地位。而贵阳机场管制区范围不仅仅是龙洞堡机场，还包括几十个贵州省内大大小小的民用机场。其管制区与成都、重庆、昆明等西南机场有几点不同之处：贵州省整体地势西高东低，多为高原山地，而在贵阳机场的东北面山峰错落有致，导致贵阳机场半径 50 km 内的主要障碍物多达 42 个，这就要求贵阳机场空管人员时刻对机场和航路上的山地丘陵等障碍物保持警惕；贵阳机场处于云贵高原之上，常年受云贵准静止锋的影响。因此，除了地面障碍物之外，突如其来的高原天气也需要提前防范；贵阳机场管制区内军用机场较多，这对贵阳机场管制区内的飞行都产生了很大的影响和限制，贵阳机场的部分进离场航线会穿越空军的训练空域[7]。

3.2. 雷暴天气对管制部门的影响

由于雷暴天气影响，管制员需要严格控制航空器的放行、落地间隔并时刻关注跑道情况，导致管制运行效率严重下降。当遭遇强雷暴天气时，地面航空器无法放行、盘旋航空器无法降落，使得航班大面积延误，同时管制员的工作负荷瞬间增大，容易产生业务差错。对于机场保障部门来讲，雷暴天气带来的航班延误，使得大量航班滞留在机场无法放行，不仅增加了机坪管制员的压力，也带来了一定的经济损失。当雷暴天气对航班运行影响十分恶劣时，机场部门甚至可能会关闭跑道。

3.3. 强对流天气下的应对措施

3.3.1. 气象部门的应对措施

天气条件作为航空器是否能顺利执行飞行任务的标准之一，是一个机场的流量管理至关重要的依据。

而气象部门在空管系统也显得尤为关键。对于气象部门而言，首要任务就是做好应对强对流天气来临前的服务保障，对每天的天气进行分析整理，包括一周天气进行预报来大致确定天气过程以及发生时间、对发生强对流天气的前 48 小时、24 小时进行精细的天气预报；确定发生强对流天气的时间后，在前一日对其天气过程进行商会，讨论其影响范围以及可能造成的危害；在强对流天气发生当日，提前 1 小时发布监测风切变警报，提前 3 小时发布雷雨、冰雹、大风机场警报并根据雷达实时资料提前 1 小时对雷雨、冰雹、大风机场警报进行更新；对该强对流天气系统进行实时的天气监控，并在重要天气结束后对其过程进行复盘、总结经验，提升预报能力；加强与管制人员的沟通和交流，根据用户需求提供相应服务。

3.3.2. 飞行情报服务部门的应对措施

飞行情报服务报告室直接为航空公司、机组服务，同时与飞行签派代理打交道，相当于空管系统中统一对外服务的部门[8]。其工作是保障飞行安全的重要前提条件之一，而飞行情报中心主要职责为协调全国民航飞行情报服务工作；编辑出版飞行情报资料和航图；提供有关航空资料 and 信息的咨询服务；负责航行通告的发布和处理；负责民用机场飞行程序审查论证工作。在面对重要天气时，情报人员需要随时收集管制、通信、导航、监视、气象、机场等部门提供的临时性变更资料，并及时将这些资料整理发布。除此之外，情报人员还需要为管制部在每日班前进行飞行情报讲解服务，使当班管制员对当天运行环境有更深刻、更直接的认识和了解。

3.3.3. 塔台管制室的应对措施

Table 3. Minimum flight weather conditions at Guiyang Airport
表 3. 贵阳机场的最低飞行气象条件

起飞最低标准(m)					主要灯光	
飞机类别	RWY01L/19R, 01R/19L		LVP 实施中 RWY01L/19R, 01R/19L		RWY01L/01R/19L	RWY19R
	跑道边灯	无灯(白天)	REDL RCLL	REDL RCLL		
3 发、4 发及 2 发 (涡轮)	A		RVR200	RWY19R	PAL S CAT I SFL PAPI REDL RCLL RENL	PAL S CAT III SFL PAPI RTZL REDL RCLL RENL
	B	RVR400	RVR500	HUD		
	C		RVR250	需局方批准		
	D			RVR150		
其他 1 发、2 发	RVR1600/VIS1600					
注：无						

雷暴降水会使机场能见度降低的同时还会造成跑道积水道面变得湿滑，从而影响塔台指挥效率，放慢对航空器放行起飞、允许着陆的速度。正因如此，塔台管制员需要对当日天气极其重视。首先在气象部门和飞行情报中心对当日天气以及放行情况进行讲解后，塔台管制员依旧需要查看当日天气雷达图，对当天的天气形势充分了解。另外，塔台管制员需要对机场道面标准以及当日机场使用跑道提前了解；当塔台区正在经历雷雨天气时，除了打开气象雷达，机场塔台还应该开放助航设备及相应灯光来对航空器进行引导。

其次，如果当天机场上空雷雨强度大，塔台管制员需要判断当天的天气情况是否符合本场最低起飞着陆标准(表 3)，在有跑道边灯的情况下 RVR 小于 400 米或者在无灯(白天)的情况下 RVR 小于 500，则需要指挥航空器复飞或备降附近机场，此时需要通知相应管制单位做好接收航空器备降的准备。最后，

当有多架航空器在本场上空盘旋等待或在机场因天气原因无法放行时,塔台管制员需要迅速安排航空器起降次序,向所有航空器通播本场天气情况,按照航班时刻表放行航空器,以免造成频道拥堵。另外,如果雷暴处于消散阶段,且近地面的雷暴尺度减小,塔台管制员可以指挥航空器在本场上空盘旋等待直到雷暴消散。但当遇到油量不足或航空器故障等特殊情况下,可以考虑指挥航空器优先降落或就近机场备降。

3.3.4. 进近管制室的应对措施

对于进近管制员,雷暴的影响更为严重。当航路上有雷暴出现,应该避免直接穿越雷暴云,通常进近管制员会选择绕飞雷暴。在绕飞雷暴时需要与机组协商,在没有空中冲突的情况下,管制员会尽快同意机组绕飞雷暴。面对雷暴天气时,进近管制员要在雷达屏幕上严密监控航空器的高度、位置变化等绕飞动态。然而,当遇到航空器绕飞航路与正常航路发生冲突时,进近管制员需要调整正常飞行的航空器,指挥绕飞的航空器优先绕飞以避免雷暴[9],这要求管制员对自己所负责扇区十分熟悉,与此同时进近管制员在分配航空器高度时应该时刻注意不同边内的最低监视高度,加强雷达的引导,保证在多架航空器绕飞雷暴云时有足够的垂直间隔和水平间隔,贵阳进近管制区内实施雷达引导,航空器之间最小要建立10 km的水平间隔。航空器如果遇到雷暴闪电时,进近管制员除了应该避免航空器进入雷暴区域以外,还需要注意指挥航空器避免飞越形状尖锐的障碍物,以免遭受云的闪击。作为进近管制员,经常要与区调、塔台交接联系,在塔台通知进近管制员着陆机场上空有雷暴无法降落时,进近管制员会指挥航空器改出。最后,在绕飞雷暴过程中航空器无法避免进入空军空域时,协调席位需要积极与军方协调,向空军申请空域。

3.3.5. 区调管制室的应对措施

区调管制员主要负责指挥6600米以上的航空器,避免航路上航空器之间的相撞。通过上文的简要描述,雷暴天气对于区调管制员的工作影响较小。当航空器处于巡航状态时,区调管制员应该主动观察强对流天气的情况,及时对航空器高度进行调整,同时需要注意航路上航空器间的间隔,包括纵向间隔、水平间隔、垂直间隔。在必要时可以指挥航空器偏航来避免航路上的潜在冲突,需要注意的是在冲突解决后,管制员需要及时指挥引导航空器回到原航路上,同时注意高度层的分配。航路上飞行时,区域管制员遇到航空器因故障、结冰、绕飞雷雨区等原因需要改变高度层的情况时,在航空器驾驶员向管制员报告了原因、当前位置之后,区域管制员须明确改变的高度层以及改变高度层的地段和时间[10]。另外,当航空器驾驶员向区调管制员报告在其所负责的扇区遇到雹击或雷暴闪电时,管制员需要询问航空器当前状态及性能,并及时指挥该航空器返航或备降就近的机场,立刻联系备降机场,并上报有关单位。

4. 结论

1) 本文从地理位置和气候特征两个角度对贵阳龙洞堡机场做出了介绍,通过对贵阳机场2014~2023年的雷暴资料统计分析,总结得出贵阳龙洞堡机场范围内的雷暴多发生在春季,夏季的下午至夜间,并且雷暴持续时间较短,多为短时性强对流天气,持续时间在1小时之内。

2) 本文简要概括了贵阳机场管制员的指挥特点,分别从气象、情报、塔台、进近、区调五个角度出发,分析了不同岗位的工作人员在面对雷暴天气时应采取的不同措施。对空管单位和机场部门应采取的相应措施提出了合理的建议,为在雷暴天气下保证航班安全、航班流量、和机场正常运行提供了思路。

3) 强对流天气对航空飞行所造成的严重影响是整个民航业不得不面对的一大问题,也是气象研究的重点和难点,虽然有关雷暴的预测相较过去所做出的预测更加严谨和准确,数据分析也更为系统化、全面化,但强对流天气对贵阳龙洞堡机场航班运行、管制效率方面所造成的影响仍然无法彻底解决,管制

员在遭遇雷暴时的及时处理能力依旧需要更多的理论和实践经验来支持。

参考文献

- [1] 张耀海, 王学新. 雷雨条件下的管制方法[J]. 空中交通管理, 1998(3): 6-7.
- [2] 郝梁怡. 夏季飞行管制特情处置措施[J]. 科技资讯, 2011(29): 47.
- [3] 张媛, 袁淑文, 向曦子. 强对流天气过程的典型案例分析[J]. 大气与环境光学学报, 2014, 9(3): 194-200.
- [4] Peterson, B.D. (2008) Of All the Threats That Weather Can Pose to Light Aircraft, Few Are More Dangerous than Thunderstorms. AOPA.
- [5] 赵尔阳. 雷暴天气识别及对航空飞行的影响[J]. 科技风, 2018(19): 139.
- [6] Weber, M., Evans, J., Wolfson, M., DeLaura, R., Moser, B., Martin, B., *et al.* (2005) Improving Air Traffic Management during Thunderstorms. 24th Digital Avionics Systems Conference, Washington DC, 30 October-03 November 2005, 3.D.2-31. <https://doi.org/10.1109/dasc.2005.1563353>
- [7] 赵利民, 黄红兵. 哈尔滨机场强对流天气条件下的管制服务[J]. 黑龙江气象, 2014, 31(4): 26-27.
- [8] 王立章, 李延英, 陆海翔. 华东空管改革的先行者——合并后的飞行情报服务报告室[J]. 空中交通管理, 2005(4): 3.
- [9] 杨海粟. 雷雨天气下的管制指挥协调[J]. 科技风, 2011(11): 262-263.
- [10] 中国民用航空局. 民用航空空中交通管理规则[Z], 2018-05-01.