

贵阳机场近10年初雷发生特征分析

罗璇, 罗娅

民航贵州空管分局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2025年7月28日; 录用日期: 2025年8月28日; 发布日期: 2025年9月5日

摘要

本文利用天气实况资料, 统计分析了2015~2024年10年初雷的发生天气形势, 物理量场等资料。得到结论如下: 1) 贵阳机场初雷天气形势主要是低层暖平流强迫类、高架雷暴类和斜压锋生类, 但低层暖平流强迫类是主要天气类型。2) 从预报指数分析上看, 低层暖平流强迫类, 能量和水汽条件均较好, K指数和SI有一定的参考意义; 斜压锋生类850 hPa和500 hPa温差达到了强对流阈值, 可以作为预报参考指标; 高架雷暴类, 各类指数均没有规律, 700 hPa和500 hPa温差在14℃以上, 对于T75阈值的使用, 在贵阳机场可以考虑向下调整到14℃, 并结合实际天气形势, 灵活使用。3) 贵阳机场初雷强度以弱雷雨为主, 持续时间较短, 70%的个例不超过2小时, 且仅一次个例伴随小冰雹, 发生冰雹时, 0℃层和-20℃层高度低于春季降雹的平均高度。4) 在近10年的初雷中, 9/10的个例有700 hPa低空急流, 这支暖湿气流不仅是贵州冬季发生冻雨、低云的因素之一, 也是导致贵州冬春季雷雨的主要原因之一。

关键词

初雷, 高架雷暴, 低空急流

Characteristics Analysis of First Thunder Occurrence at Guiyang Airport in Recent 10 Years

Xuan Luo, Ya Luo

Guizhou ATC Branch Meteorological Observatory, Guiyang Guizhou

Received: Jul. 28th, 2025; accepted: Aug. 28th, 2025; published: Sep. 5th, 2025

Abstract

This paper makes a statistical analysis of the synoptic situations and physical-quantity fields of the first thunder occurrence in the past 10 years from 2015 to 2024, by using the real-time weather

data. The conclusions are as follows: 1) The synoptic situations of the first thunder at Guiyang Airport are mainly low-level warm advection forcing type, elevated thunderstorm type and baroclinic frontogenesis type, among which the low-level warm advection forcing type is the main weather type. 2) From the analysis of forecast indices, for the low-level warm advection forcing type, both the energy and moisture conditions are good, and the K index and SI index have certain reference significance. For the baroclinic frontogenesis type, the temperature difference between 850 hPa and 500 hPa reaches the severe convection threshold, which can be used as a forecast reference index. For the elevated thunderstorm type, various indices have no regular pattern, and the temperature difference between 700 hPa and 500 hPa is above 14°C. When using the T75 threshold at Guiyang Airport, it can be considered to adjust it downward to 14°C, and it should be used flexibly in combination with the actual synoptic situation. 3) The intensity of the first thunder at Guiyang Airport is mainly weak thunderstorm, with a short duration. 70% of the cases do not exceed 2 hours, and only one case is accompanied by small hail. When hail occurs, the heights of the 0°C and -20°C layers are lower than the average heights of hail in spring. 4) Among the first thunder cases in the past 10 years, 9/10 of the cases have a 700 hPa low-level jet. This warm and moist air current is not only one of the factors causing freezing rain and low clouds in winter in Guizhou, but also one of the main causes of thunderstorms in winter and spring in Guizhou.

Keywords

First Thunder, Elevated Thunderstorm, Low-Level Jet Stream

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. 前言

贵阳机场位于贵州中部, 云贵高原的东斜坡上, 周边地形多山脉、湖泊, 海拔高度为 1037 米。从气候统计上看, 贵阳机场一年四季均有可能出现雷雨, 初雷预报一直是机场的预报难点, 且初雷多发生于冬春交替之际, 2008~2024 年间机场平均初雷日在 2 月 27 日, 最早的初雷日为 1 月 1 日(2024 年), 最晚的初雷日为 3 月 20 日(2010 年) [1]。

一直以来, 雷暴天气就是气象部门和机场关注的重要天气, 雷雨天气对飞行安全和航班正常率影响极大。曼吾拉·卡德尔[2]分析了乌鲁木齐机场一次春季雷雨天气, 发现强对流发生前夕, 中低层存在切变线和水平风的垂直切变。王乐[3]分析 2022 年武汉天河机场的初雷过程, 认为此次雷雨过程是由高空槽、中低层低涡以及西南急流共同配合, 同时地面有冷空气南下激发形成的。李娜等[4]对廊坊地区一次强对流暴雨天气过程进行分析, 认为 925 hPa 假相当位温能量锋区是本次强对流系统发生发展的重要强迫因子。白慧等[5]对 2020 年冬季贵州中东部大范围混合强对流天气过程分析, 认为西北太平洋副热带高压显著偏强偏西偏北, 西南低空急流强盛, 与高空急流形成耦合形势, 为大范围强对流天气的发生发展提供了暖湿不稳定背景和动力抬升条件。吴和俐等[6]对 2021 年 5 月贵州省一次强对流天气过程进行综合分析, 此次天气过程是在高空冷槽的背景下, 配合低层的切变线以及南风急流, 在中尺度辐合线的触发下发生的强对流天气过程。2024 年 1 月 1 日的初雷, 刷新了贵阳机场的初雷记录, 成为最早初雷日。初雷发生时, 各类物理量指数和夏季雷雨对比, 指示意义很低, 具有很强的隐蔽性, 因此对于初雷发生机制的研究有必要性和实用性。本文利用 2015~2024 年 10 年天气高空、地面填图资料, 研究分析了初雷的发生天气形势, 物理量场数据, 以期找到贵阳机场初雷发生的特点和预报指标。

2. 贵阳机场初雷天气分析

2.1. 初雷气候特征分析

如表 1 所示, 贵阳机场自 2015 年以来的 10 年初雷发生于 1~3 月, 1 月、2 月最多, 为 4 次, 3 月发生 2 次。持续时间上(图 1), 小于 1 小时的个例最多, 有 5 次, 1~2 小时和 3~4 均为 2 次, 2~3 小时的出现一次, 可见初雷较夏季的雷雨持续时间较短, 70% 的个例不超过 2 小时, 仅在极特殊情况下有 3~4 小时长时间雷雨出现。从伴随天气上看, 贵阳机场初雷, 以弱雷雨天气为主, 仅有两次过程伴 12~17 米/秒大风, 一次伴随小冰雹。

Table 1. Occurrence time of the first thunderstorm and accompanying weather at Guiyang Airport

表 1. 贵阳机场初雷发生时间及伴随天气

年份(年)	时间(月/日/时)	伴随天气
2015	2月20日 19:14~20:41	
2016	1月4日 23:57~5日 0:47	
2017	2月23日 19:45~22:20	
2018	2月27日 18:32~19:45	
2019	2月17日 17:46~18:44	
2020	1月6日 16:48~20:16	短时大风、低空风切变
2021	3月5日 22:37~23:23	
2022	1月4日 18:37~19:35	短时 17 米/秒的大风
2023	3月12日 1:40~2:10	
2024	1月1日 18:18~22:48	冰雹

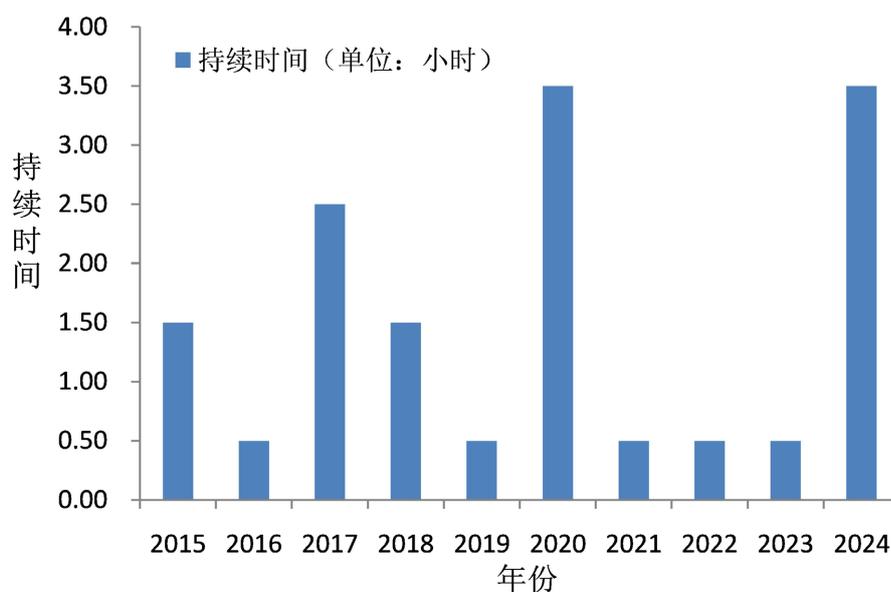


Figure 1. Duration of the first thunderstorm at Guiyang Airport

图 1. 贵阳机场初雷持续时间

2.2. 贵阳机场初雷天气分型

对贵阳机场近 10 年初雷天气形势做强对流中尺度分析, 根据主要天气影响系统给初雷天气进行分型, 分型方法按照《强对流天气预报的基本原理与技术方法》[7]中的五类天气类型进行区分。分型结果见表 2。

Table 2. Classification of first thunderstorm weather at Guiyang Airport
表 2. 贵阳机场初雷天气分型

年份	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
天气分型	斜压锋生	斜压锋生	高架雷暴	低层暖平流强迫	高架雷暴	低层暖平流强迫	高架雷暴	低层暖平流强迫	斜压锋生	低层暖平流强迫

贵阳机场初雷的天气类型主要是低层暖平流强迫类, 共出现 4 次, 高架雷暴类也是贵阳机场较为多发的天气类型, 10 年间出现 3 次, 斜压锋生类也出现 3 次。

在 10 年初雷的中尺度分析图上, 有一个共同点, 700 hPa 低空急流一直存在, 占 9/10, 这与贵阳机场冬春季气候特征有关。在冬春季, 南支槽位于孟加拉湾附近, 贵州位于槽前, 西南暖湿气流自孟湾经云南输送至贵州, 有利于低层增温增湿, 这支暖湿气流在 700 hPa 往往形成一支低空急流, 不仅是贵州冬季发生冻雨、低云的因素之一, 也是导致贵州冬春季雷雨的原因之一。下面按照不同的天气类型进行物理量指数分析。

3. 贵阳机场初雷天气物理量指标分析

贵阳机场初雷发生前 08 时的各指标分布非常杂乱, 无任何统计规律。CAPE 值有 0, 也有大于 200 J/kg, 有 5 个个例 CAPE 为 0; K 指数在雷雨前, 仅有 3 个个例超过 30, 有明显的不稳定能量, 还有个例的 K 指数小于 0; SI 指数仅 4 个个例小于 0。因此下面根据天气分型, 分别对不同天气类型的指标分析。

斜压锋生类初雷, 1~3 月均有出现。其 CAPE 指示意义不明显, K 指数 ≥ 19 , SI 指数仅有一个个例 < 0 , 850 hPa 和 500 hPa 温差均大于 24°C , 达到了贵州强对流发生的阈值, 850 hPa 比湿大于 6 g/kg , 抬升凝结高度较高, $> 850\text{ hPa}$ 。在中分析图上, 三次个例, 地面均有冷锋南下, 冷锋引导其后部的冷空气不断南下, 贵州地区前期受暖脊控制, 低层温度高, 850 hPa 温度大于 12°C , 冷暖空气在贵州剧烈碰撞, 出现强对流(见表 3)。

Table 3. Physical quantity indicators of baroclinic frontogenesis type
表 3. 斜压锋生类物理量指标

年份 月/日	CAPE (J/kg)	CIN (J/kg)	K ($^{\circ}\text{C}$)	SI ($^{\circ}\text{C}$)	DCAPE (J/kg)	TCL-P (hPa)	0°C 层 (m)	-20°C 层 (m)	T850 ($^{\circ}\text{C}$)	TD850 ($^{\circ}\text{C}$)	T-TD ($^{\circ}\text{C}$)	T85 ($^{\circ}\text{C}$)	T75 ($^{\circ}\text{C}$)	Q850 (g/kg)
2015 2/20	104.9	156.8	29	-0.64	588.4	834.5	3548.75	6535	12	11	1	25	16	9.67
2016 1/4	15	242.8	19	3.69	720.8	815	3263	6403	12	3	9	27	16	6
2023 3/12	0	0	29.5	3.47	558.1	792.1	4089	6951	14.5	7.5	7	24.8	13.6	7.63

高架雷暴类, 2 月出现 2 次, 3 月 1 次。CAPE, SI, K 均没有任何不稳定能量指标出现。SI 指数甚至达到 22, 850 hPa 和 500 hPa 温差仅有一个个例达到 24°C , 其余个例仅有 9°C 和 11°C 的温差, 700 hPa 和 500 hPa 温差两个个例超过 16°C (高架雷暴阈值), 一个个例温差为 14°C , 而 2024 年 2 月 3 日的高架雷暴, 700 hPa 和 500 hPa 温差也仅为 15°C , 可见高架雷暴 T75 为 16°C 的阈值还应根据实际情况灵活使

用。850 hPa 比湿较斜压锋生类小, 在 3~8 g/kg 之间。抬升凝结高度较低, <850 hPa, 使得对流较斜压锋生类容易触发。高架雷暴因其能量指标不明显, 水汽条件也偏低, 实际预报中具有很大挑战性, 需要重点研究和关注(见表 4)。在中分析图上, 三次个例地面均有静止锋, 位于贵州西部, 且 700 hPa 低空急流位于贵州境内, 形成冷暖冷的结构, 此种天气形势是贵州冬春季极为常见的形势, 至于何时出现雷雨, 实际预报难度很大, 两个个例贵州中南部有 850 hPa 切变线存在。

Table 4. Physical quantity indicators of elevated thunderstorm type

表 4. 高架雷暴类物理量指标

年份 月/日	CAPE (J/kg)	CIN (J/kg)	K (°C)	SI (°C)	DCAPE (J/kg)	TCL-P (hPa)	0°C 层 (m)	-20°C 层 (m)	T850 (°C)	TD850 (°C)	T-TD (°C)	T85 (°C)	T75 (°C)	Q850 (g/kg)
2017 2/23	1.5 (订: 115)	0	6	20.11	10.3	856.6	1970	7750	-2	-3	0.8	11	20	4
2019 2/17	0	0	-4	22.51	5.3	865.7	2432	6737	-3	-4	1	9	14	3
2021 3/5	0	0	25	2.64	8.4	849.8	3617	7390	9	7	2	24	19	8

低层暖平流强迫类出现在 1~2 月, 1 月 3 次, 2 月 1 次。CAPE 值最大为 209, 最小为 0; K 指数三个个例大于 30, 一个个例为 22, 从 K 指数上有不稳定能量的体现; SI 指数三个个例小于 0, 一个个例为 3.29。可见在低层暖平流强迫类初雷中, K 指数和 SI 指数较前两类天气类型有较好的不稳定能量体现, 且优于 CAPE, 实际预报中可以参考, 综合分析。850 hPa 和 500 hPa 温差大于 22°C, 达到了雷雨阈值, 700 hPa 和 500 hPa 温差 $\geq 15^\circ\text{C}$ 。850 hPa 比湿在 8~10 g/kg 之间, 也优于高架雷暴类。抬升凝结高度也低于 850 hPa (见表 5)。在中分析图上, 700 hPa、850 hPa 有两支低空急流存在, 且位于贵州境内, 850 hPa 切变线位于贵州西北部, 暖脊控制中贵州大部, 整个贵州区域低层为暖湿的层结。

Table 5. Physical quantity indicators of low-level warm advection forcing type

表 5. 低层暖平流强迫类物理量指标

年份 月/日	CAPE (J/kg)	CIN (J/kg)	K (°C)	SI (°C)	DCAPE (J/kg)	TCL-P (hPa)	0°C 层 (m)	-20°C 层 (m)	T850 (°C)	TD850 (°C)	T-TD (°C)	T85 (°C)	T75 (°C)	Q850 (g/kg)
2018 2/27	3.6	0.4	22	3.29	633.5	860.9	3584	6741	10	9	1	22	15	8
2020 1/6	209.2	1.1	36	-0.57	4.6	863.9	3622	6856	12	12	0	24	15	10
2022 1/4	0	0	34	-0.14	243.4	878.9	3104	6196	9	9	0	25	16	9
2024 1/1	0	0	36.2	-1.3	0	873.8	3434	6446	10.9	10.9	0	25.3	15.3	9.6

4. 个例分析

2024 年 1 月 1 日 18:18~22:48 贵阳机场出现雷雨天气, 其中机场在 19:55~20:04、20:55~21:10 中雷雨, 19:55~20:04 伴有小冰雹, 此次初雷为贵阳机场出现最早, 强度最强, 持续时间最长的一次天气, 具有较高的研究意义。

此次雷雨为低层暖平流强迫类的天气。雷雨发生前的 08 时天气形势为(图 2), 500 hPa 南支槽位于云贵交界处, 贵州位于槽前西南气流中, 700 hPa 急流位于贵州地区, 急流风速达到 13 米/秒, 850 hPa 急流位于贵州南部地区, 急流风速 13 米/秒, 切变线位于贵州西北部, 夜间南压。700 hPa、850 hPa 暖脊控制着贵州地区, 850 hPa 和 500 hPa 的温差达到 25°C, 形成下暖上冷的不稳定层结, 夜间随着高空槽和切变线东移, 不稳定层结被打破形成对流(见图 2, 图 3)。

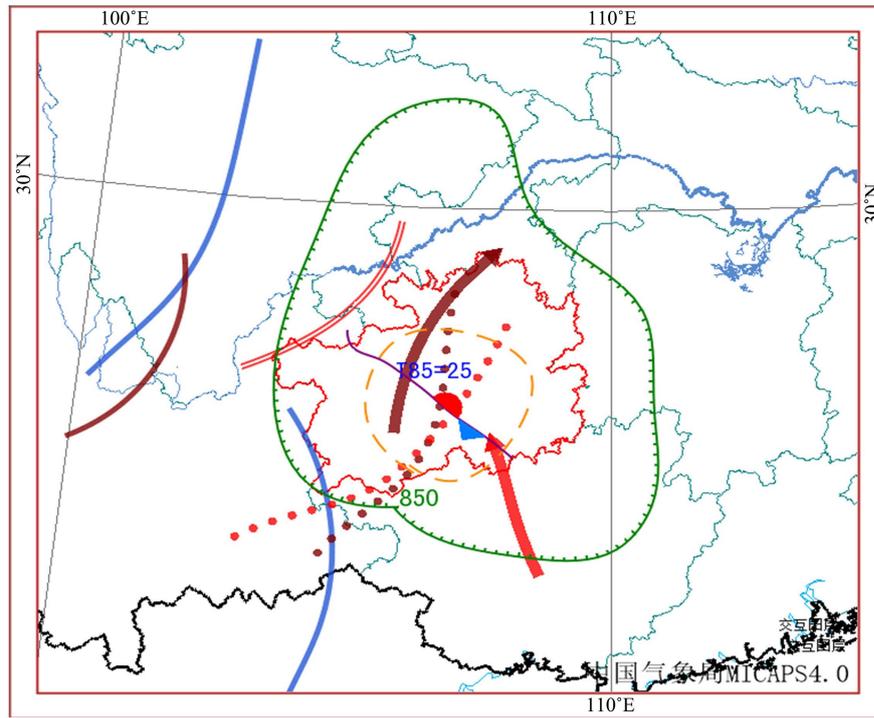


Figure 2. Mesoscale analysis Map at 08:00 on January 1, 2024
图 2. 2024 年 1 月 1 日 08 时中尺度分析图

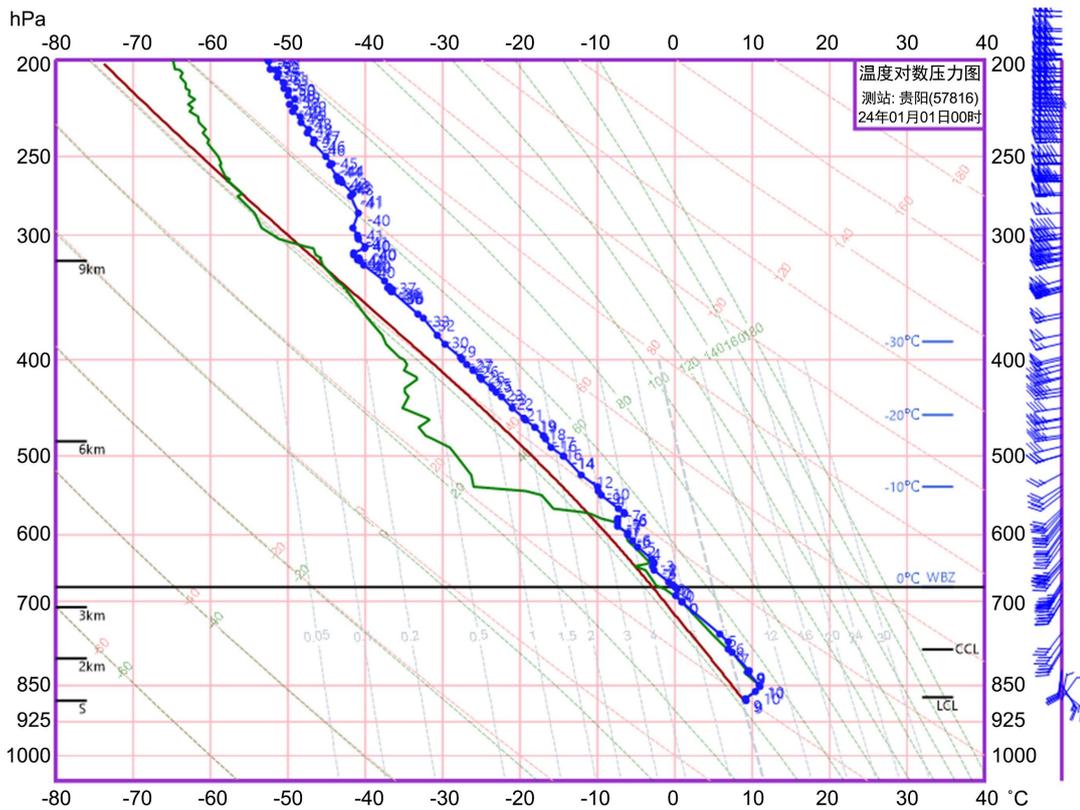


Figure 3. T-lnP chart of Guiyang Station at 08:00 on January 1, 2024
图 3. 2024 年 1 月 1 日 08 时贵阳站探空图

在物理量场上, 各指数的数值见表 5, 其中 K 指数 36, SI 为-1.3, CAPE 值为 0, DCAPE 为 0, 初雷发生前 CAPE 值不高, 而 K 指数和 SI 达到了机场发生雷雨的阈值, 因此在初雷天气预报时不能只单一分析某个指数, 而应更全面考虑, 在各指数没达到阈值时, 是否仍有不稳定的层结存在。对流凝结高度 873.8 hPa、0℃层高度 3434 米和-20℃层高度 6446 米。贵州春季降雹 0℃高度在 3500~4500 米之间, -20℃层高度在 6600~7600 米之间, 而冬季降雹因个例较少还未做统计, 但从这次过程看, 冬季降雹时 0℃层和-20℃层高度会略低于春季降雹的平均高度。

5. 小结

本文利用天气实况资料, 统计分析了 2015~2024 年 10 年初雷的发生天气形势, 物理量场等资料。得到以下结论:

1) 贵阳机场初雷天气形势主要是低层暖平流强迫类、高架雷暴类和斜压锋生类, 但低层暖平流强迫类出现最多, 是主要天气类型。

2) 从预报指数分析上看, 低层暖平流强迫类能量和水汽条件均较好, K 指数和 SI 有一定的参考意义; 斜压锋生类 850 hPa 和 500 hPa 温差达到了强对流阈值, 可以作为预报参考指标; 高架雷暴类, 各类指数均没有规律, 700 hPa 和 500 hPa 温差在 14℃以上, 对于 T75 阈值的使用, 在贵阳机场可以考虑向下调整到 14℃, 并结合实际天气形势, 灵活使用。

3) 贵阳机场初雷发生持续时间较短, 以弱雷雨天气为主, 70%的个例不超过 2 小时, 仅一次个例伴随小冰雹。发生冰雹时, 0℃层和-20℃层高度低于春季降雹的平均高度。

4) 在近 10 年的初雷中 700 hPa 低空急流占 9/10, 这支暖湿气流是贵州冬季发生冻雨、低云的因素之一, 而其也是导致贵州冬春季雷雨的主要原因之一。

参考文献

- [1] 罗璇. 贵阳机场近 10 年雷暴气候特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2020, 9(3): 122-126.
- [2] 曼吾拉·卡德尔. 乌鲁木齐机场春季一次雷雨天气的中尺度分析[J]. 自然科学, 2022, 10(6): 1068-1076.
- [3] 王乐. 2022 年 3 月 16 日武汉天河机场雷雨天气过程预报及服务分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(3): 345-351.
- [4] 李娜, 刘艳杰, 许敏. 河北廊坊一次强对流暴雨过程分析[J]. 地球科学前沿, 2019, 9(9): 779-789.
- [5] 白慧, 欧阳大亮, 毛倩, 龙先菊. 一次隆冬大范围混合强对流潜势和物理量诊断分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(4): 579-590.
- [6] 吴和俐, 周博洋, 张艳梅, 赵宝筑. 2021 年 5 月 3 日贵州省中东部一次强对流天气过程综合分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(2): 136-144.
- [7] 孙继松, 戴建华, 何立富, 等. 强对流天气预报的基本原理与技术方法[M]. 北京: 气象出版社, 2014: 44-45.