

近10年全国千万级机场冰雹天气特征

樊鹏磊*, 李娜, 张乐川

中国民用航空局空中交通管理局航空气象中心, 北京

收稿日期: 2026年8月6日; 录用日期: 2026年9月7日; 发布日期: 2026年9月17日

摘要

目的: 基于2016~2025年全国千万级机场民航气象观测资料, 分析近10年冰雹天气在机场区域的发生频次、时间分布、空间分布及强度特征, 为复杂天气条件下的机场运行保障和强对流风险识别提供依据。方法: 以40个千万级机场的机场例行天气报告(METAR)、机场特殊天气报告(SPECI)及月总簿观测记录为资料基础, 检索含GR的天气现象代码, 并将同一机场3小时内连续或间断出现的冰雹观测合并为一次冰雹天气事件。结果: 2016~2025年共识别45次冰雹天气, 分布在20个机场, 年平均约4.5次; 5月和8月频次较高, 18~24时为高发时段; 42次具有起止时间记录的事件持续2~42分钟, 平均12.2分钟; 有直径记录的20次事件冰雹直径为5~40 mm, 平均10.3 mm。结论: 千万级机场冰雹天气总体频次不高, 但年际差异、短时突发性和区域离散性明显, 机场运行保障中应加强春夏季及傍晚前后的强对流监测, 结合雷达、自动观测和短临预警, 提前做好机坪作业调整和航空器防护。

关键词

千万级机场, 冰雹, 强对流天气, METAR, SPECI, 时空分布

Characteristics of Hail Weather at Major Airports in China over the Past Decade

Penglei Fan*, Na Li, Lechuan Zhang

Aviation Meteorological Center, Air Traffic Management Bureau, Civil Aviation Administration of China, Beijing

Received: August 6, 2026; accepted: September 7, 2026; published: September 17, 2026

Abstract

Objective: Based on civil aviation meteorological observations at major airports in China from 2016 to 2025, this study analyzes the occurrence frequency, temporal distribution, spatial distribution and intensity characteristics of hail weather over the past decade, so as to support airport operation under

*通讯作者。

complex weather conditions and the identification of severe convective risks. **Methods:** Using METAR, SPECI and monthly observation-book records from 40 major airports, weather phenomena containing the code GR were retrieved from the original reports, and multiple hail observations at the same airport within three hours were merged into one hail weather event. **Results:** A total of 45 hail events were identified during 2016~2025, involving 20 airports, with a mean annual frequency of about 4.5 events; frequency was higher in May and August, and 18:00~24:00 was the high-occurrence period; for the 42 events with recorded start and end times, duration ranged from 2 to 42 minutes, averaging 12.2 minutes; for the 20 events with diameter records, hailstone diameter ranged from 5 to 40 mm, averaging 10.3 mm. **Conclusion:** Overall, hail weather at major airports is infrequent, but it shows clear inter-annual variability, short-duration sudden onset, and regional dispersion. Airport operational support should therefore strengthen convective weather monitoring in spring and summer and around evening hours, and use radar, automatic observations, and nowcasting warnings to prepare apron operation adjustments and aircraft protection in advance.

Keywords

Major Airports, Hail, Severe Convective Weather, METAR, SPECI, Spatiotemporal Distribution

Copyright © 2026 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

冰雹是强烈发展的积雨云中形成并降落到地面的固态降水物,通常伴随雷暴、短时强降水、雷雨大风等强对流天气出现。由于其空间尺度小、生命史短、突发性强,冰雹的监测、预警和临近处置一直是强对流天气业务中的难点之一。对民航机场而言,冰雹不仅可能直接损伤航空器蒙皮、风挡、发动机进气道和地面保障设备,还可能在短时间内造成跑道、滑行道、停机坪和廊桥区域运行风险升高,进而影响航班放行、地面作业和旅客保障秩序。

近年来,冰雹等短时强对流对枢纽机场运行的影响并不少见。2026年4月,昆明长水机场出现强冰雹,停放飞机大面积受损,航班延误、取消较多[1];7月,首都机场在雷雨过程中出现冰雹等强对流天气,一度启动运管委一级响应[2]。北京两场航班密度高、保障环节多,这类天气一旦发生,对放行和地面作业的扰动往往比较明显。

机场气象观测具有连续、规范和贴近运行场景的特点。机场例行天气报告(METAR)和机场特殊天气报告(SPECI)是国际民航气象服务中通用的观测和交换资料,天气现象代码能够较清楚地反映降水、雷暴、冰雹等影响飞行安全的重要天气。世界气象组织和国际民航组织对航空天气报告的编码、发布和服务要求均有明确规范[3][4],我国民航气象业务也依据相关规范开展机场天气观测、特殊天气报告和运行服务[5]。因此,利用机场观测报文开展冰雹天气统计分析,既能反映机场区域冰雹天气的客观出现情况,也能直接服务机场运行风险管理。

现有强对流和冰雹研究多从天气学机理、雷达回波、环境参数或区域灾害角度展开,重点关注强对流过程的发生发展、预报预警技术和灾害影响[6]-[8];国外对强对流风暴及其环境参数气候特征也有较系统的总结[9][10]。相比之下,面向千万级机场这一高密度运行场景的冰雹天气统计还相对不足。千万级机场航班量大、保障链条长,即便冰雹只持续十几分钟,也可能牵动航班排序、机坪作业和应急处置。此外,在气候变化背景下,强对流发生环境是否变化受到持续关注,机场作为高暴露的关键基础设施,

其冰雹出现规律也可为运行风险识别提供基础资料。基于此,本文以 2016~2025 年全国 40 个千万级机场气象观测资料为基础,识别并合并冰雹天气事件,分析其年际、月际、日变化、空间分布、持续时间及冰雹直径特征,为机场冰雹风险时段识别、重点机场复盘和运行保障预案修订提供基础统计依据。

2. 资料与方法

2.1. 资料来源

本文所用资料为 2016 年 1 月 1 日至 2025 年 12 月 31 日全国 40 个千万级机场的机场天气报告(METAR)、机场特殊天气报告(SPECI)及气象观测记录,时间统一采用北京时间。机场范围依据 2024~2025 年中国民用航空局公布的全国民用运输机场生产统计公报及机场吞吐量排名确定^[11](附录)。资料内容包括观测时间、机场四字代码、天气现象报文以及观测月总簿中记录的冰雹起止时间、直径和重量等补充信息。

航空天气报告中的 GR 表示冰雹(直径 ≥ 5 mm),常与雷暴(TS)、阵性降水(SH)、雨(RA)及强度符号组合出现,如 TSGR、TSRAGR、SHGR、+TSRAGR 等。本文从原始 METAR/SPECI 报文中检索包含 GR 的天气现象代码,将其作为冰雹天气观测记录。对月总簿中有起止时间、冰雹直径或重量记录的事件,进一步用于持续时间和直径统计。

2.2. 事件识别与统计方法

考虑到一次冰雹过程可能在同一机场被连续或多次报告,若直接按报文条数统计,会高估实际天气过程数量。本文将同一机场 3 小时内出现的多次冰雹观测记录合并为一次冰雹天气事件,记为该机场出现 1 次冰雹天气。该规则能够兼顾机场观测报文的高频更新特征和强对流天气过程的短生命史特点,避免把同一过程中的多次特殊报告重复计数。

在统计指标上,年际分布按事件发生年份累计、月分布按事件发生月份累计、日变化按北京时间划分为 00~12 时、12~18 时和 18~24 时三个时段。日变化所取时刻以 METAR/SPECI 观测时间为准;个别事件月总簿未记起止时间,仍按报文时刻归入相应时段,故日变化统计包含全部 45 次事件。空间分布按机场累计事件次数,并结合机场所在区域进行归纳。持续时间统计仅使用月总簿中具有明确开始和结束时间的 42 次事件;冰雹直径统计仅使用具有直径记录的 20 次事件。

3. 结果分析

3.1. 总体频次与年际变化

2016~2025 年期间,40 个千万级机场共记录到 45 次冰雹天气事件,涉及 20 个机场,说明冰雹天气在千万级机场中并非普遍高频发生,但影响范围覆盖机场数量较多。从多年平均看,千万级机场每年约发生 4.5 次冰雹天气,表现出明显的低频、高影响特征。

年际分布上(见图 1),2025 年达到峰值,为 9 次;2021 年次之,为 7 次;其余年份均不超过 5 次。该结果表明,机场冰雹天气存在较强年际波动,单一年份的异常偏多会显著改变运行保障压力。

3.2. 月分布特征

从月分布看(见图 2),冰雹天气主要出现在 1~10 月,11 月和 12 月未记录到冰雹事件。5 月为最高发月份,共 12 次,占 26.7%;8 月为次高发月份,共 9 次,占 20.0%;6 月和 7 月分别为 6 次和 5 次,占 13.3%和 11.1%。其余月份发生频次均低于 5 次。

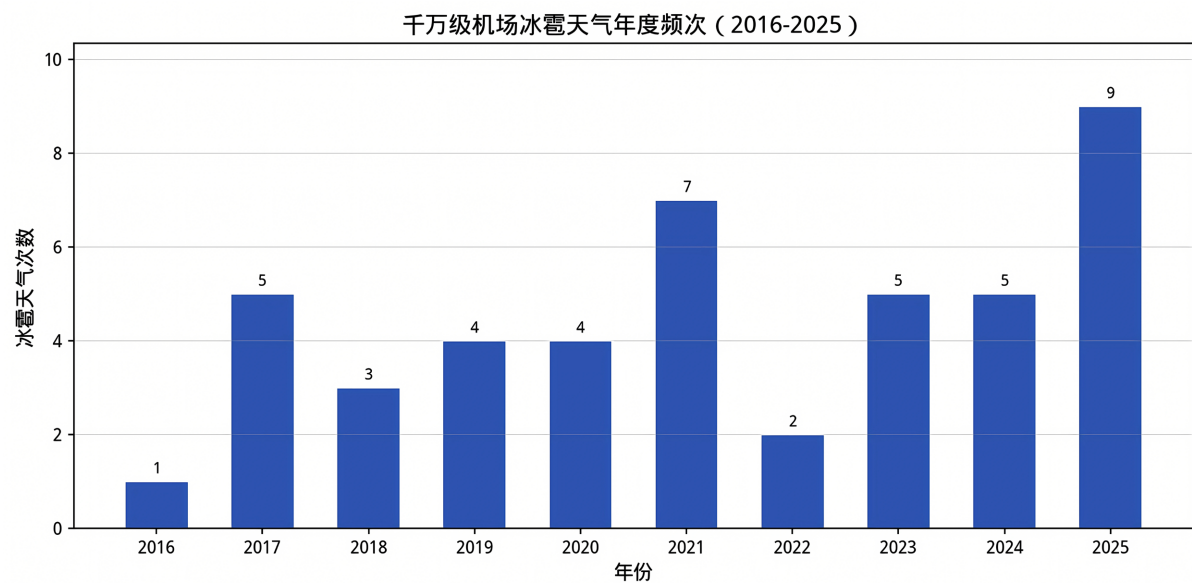


Figure 1. Annual frequency of hail weather at major airports in China
图 1. 全国千万级机场冰雹天气年度频次

该分布反映出千万级机场冰雹天气与我国暖季强对流活动具有较好一致性。5~8 月地面增温、水汽条件和对流不稳定能量较有利，冷暖空气交汇和局地热力触发均可能促成雷暴云发展。值得注意的是，1~4 月和 9~10 月仍有冰雹记录，说明机场冰雹风险不应仅限于盛夏考虑，春季冷暖转换期和秋季局地强对流也需纳入运行风险识别。

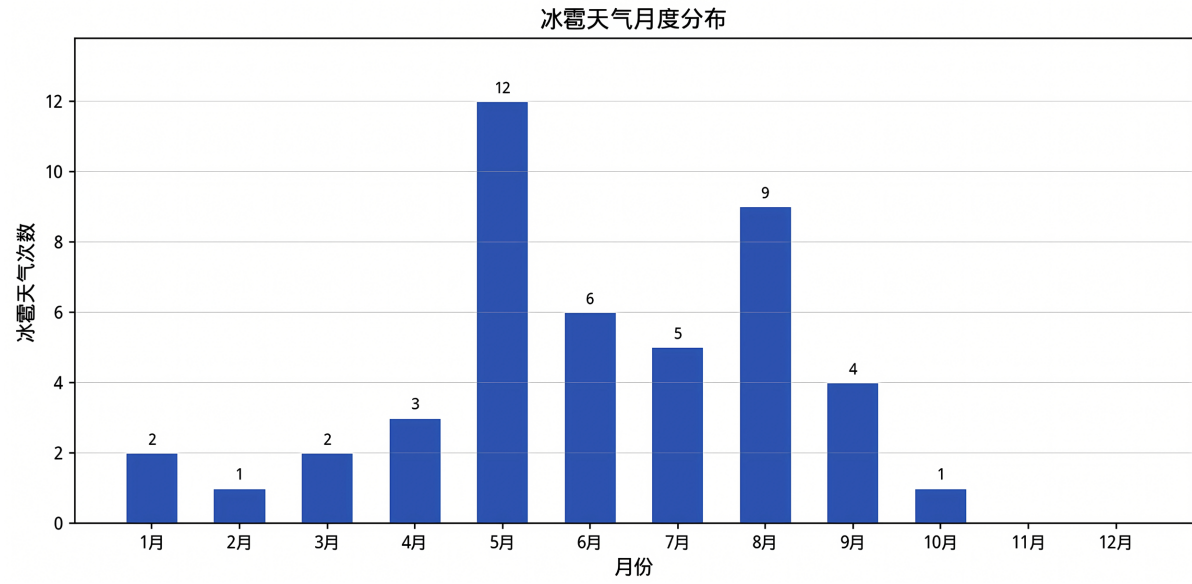


Figure 2. Monthly distribution of hail weather at major airports in China
图 2. 全国千万级机场冰雹天气月分布情况

3.3. 日变化特征

冰雹天气的日变化特征较明显(见图 3)。18~24 时为最高发时段，共 23 次，占总数的 51.1%；12~18

时为 16 次，占 35.6%；00~12 时仅 6 次，占 13.3%。若将 12~24 时合并考虑，则该时段累计占 86.7%，显示午后至夜间是千万级机场冰雹天气的重点关注时段。

这种日变化与强对流天气的热力发展过程相吻合。午后到傍晚，近地层加热、边界层发展和局地辐合增强有利于对流触发；夜间前期，成熟对流系统或移动性强对流云团仍可能影响机场。对于机场运行保障而言，12~24 时往往也是航班运行和地面保障活动较为密集的时段，冰雹天气的短时突发可能增大运行协调难度。

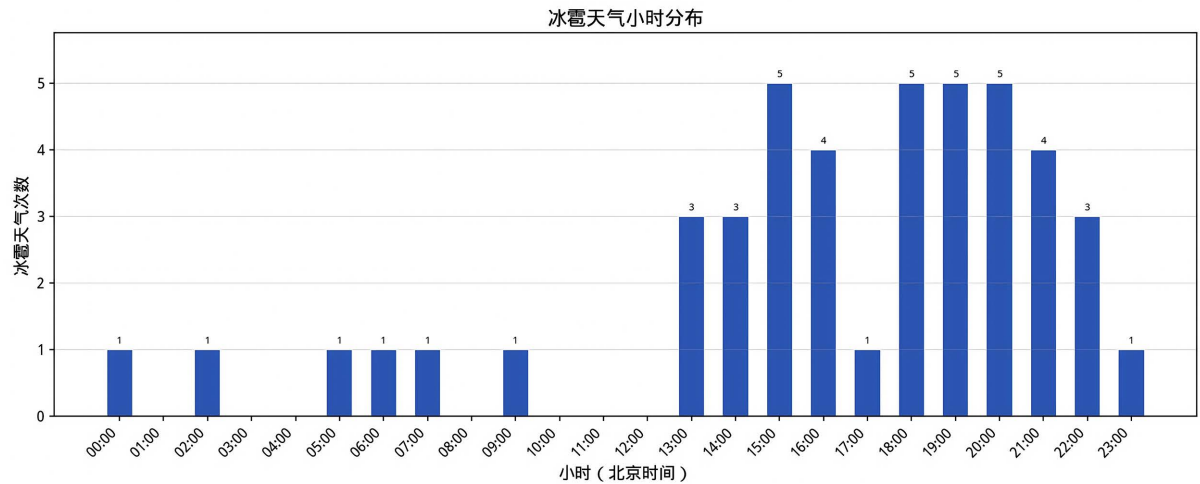


Figure 3. Diurnal variation of hail weather at major airports

图 3. 千万级机场冰雹天气日变化特征

3.4. 持续时间特征

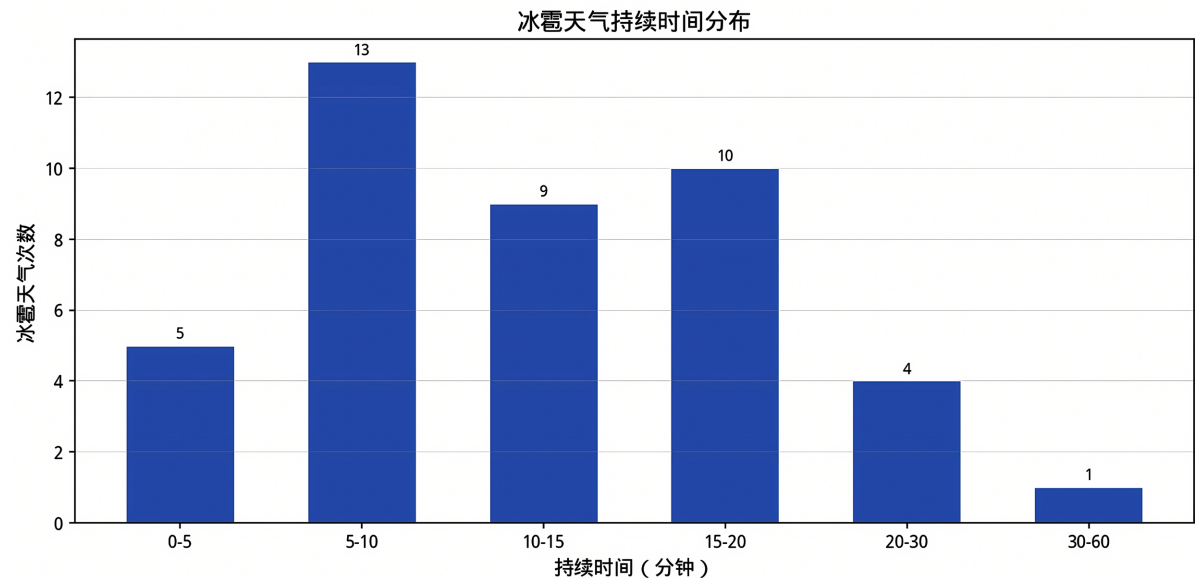


Figure 4. Duration distribution of hail weather at major airports

图 4. 千万级机场冰雹天气持续时间分布

45 次冰雹天气中，42 次具有月总簿观测记录的起止时间。统计显示(见图 4)，冰雹持续时间为 2~42

分钟，平均 12.2 分钟。持续时间最长的是首都机场 2020 年 7 月 5 日冰雹天气，达到 42 分钟。持续时间在 5~20 分钟之间的事件为 32 次，占总数的 71.1%。

持续时间统计表明，机场冰雹天气多数属于短历时过程，常在十几分钟内完成发生、发展和结束。从运行角度看，短持续并不等同于低风险。冰雹发生前后的雷暴、强降水、低能见度和大风可能持续影响机场容量；同时，冰雹过后仍需进行跑道道面、导航灯光、航空器外观和地面设施检查。因此，冰雹事件的运行影响时间通常长于天气现象本身的持续时间。

3.5. 空间分布特征

从空间分布看(见图 5)，2016~2025 年共有 20 个千万级机场出现过冰雹天气，分布较为分散。其中首都机场发生次数最多，为 7 次；呼和浩特机场和贵阳机场次之，均为 5 次；沈阳、青岛、济南、南昌、兰州、大兴等机场出现 2~4 次。冰雹天气涉及华北、西南、东北、西北、华东、中南和新疆等多个区域。

从机场分布看，冰雹记录并未集中在某一气候区，而是出现在华北、西南、东北、西北、华东等多个区域。华北地区受冷涡、槽前系统、低层辐合和地形影响，春夏季强对流活动较活跃；西南地区地形复杂、水汽条件较好，局地对流发展具有明显区域特色；东北、西北和华东机场也可能在特定环流背景下出现冰雹。机场保障单位应结合本场历史记录、周边地形、雷达监测和短临预警资料建立差异化风险清单。

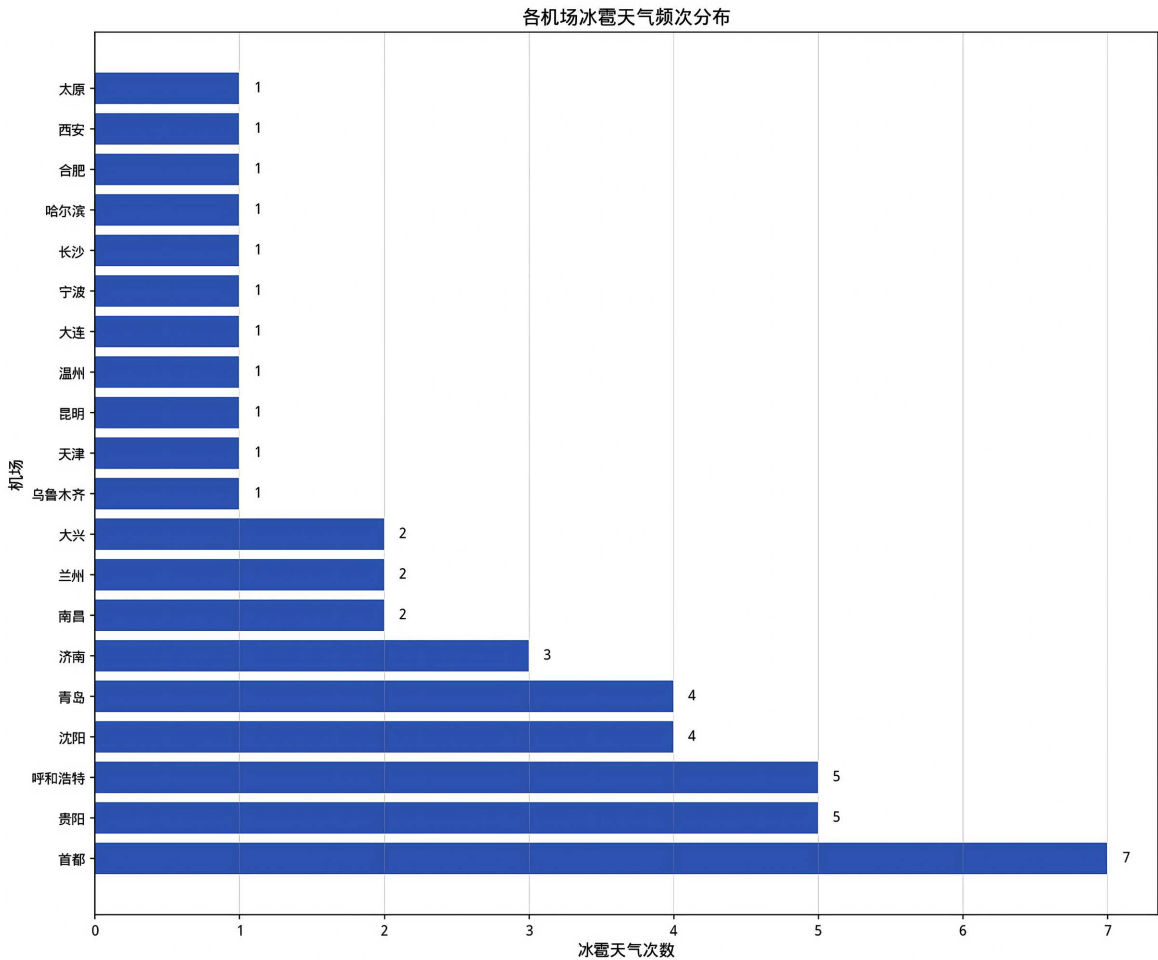


Figure 5. Spatial frequency of hail weather at major airports in China
图 5. 全国千万级机场冰雹天气出现频次

3.6. 冰雹直径特征

在 45 次冰雹天气过程中, 20 次具有冰雹直径记录, 直径范围为 5~40 mm, 平均 10.3 mm。南昌机场 2021 年 5 月 14 日记录到最大冰雹, 直径 40 mm、重量 19 g; 大兴机场 2025 年 5 月 13 日记录到直径 33 mm、重量 11 g 的冰雹。按照我国强对流天气等级相关标准, 较大直径冰雹具有更高的灾害性和设施损伤风险[6]。

从直径分布看(见图 6), 多数有记录事件的冰雹直径处于较小到中等尺度, 但极端个例对民航运行的影响不容忽视。机场区域开阔、航空器和地面设备暴露度高, 直径超过 20 mm 的冰雹就可能引发航空器外观检查、维修评估和机位保障调整。对于运行部门而言, 冰雹直径记录不仅是天气过程描述, 也是复盘运行影响和完善防护标准的重要依据。

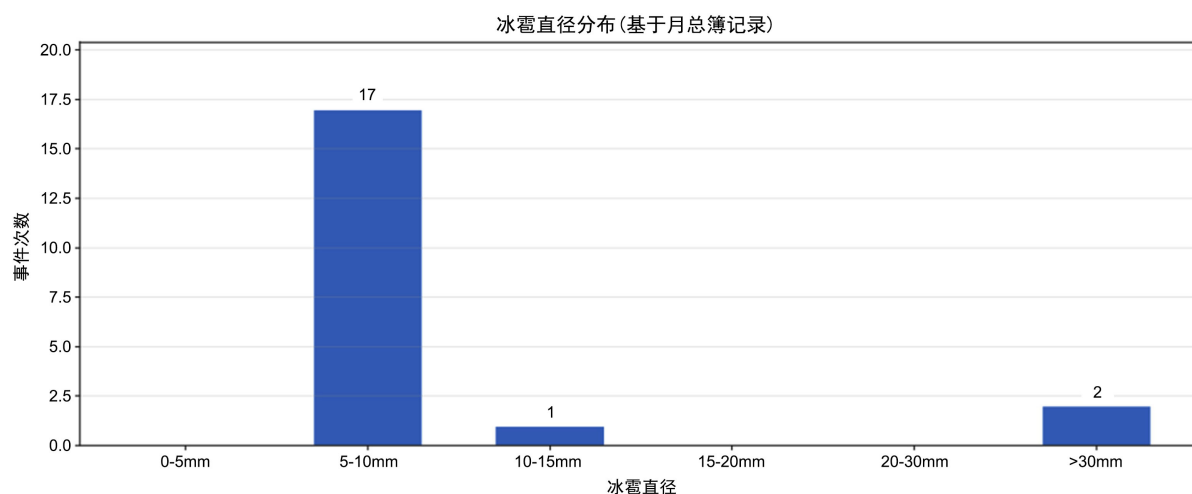


Figure 6. Distribution of hailstone diameter

图 6. 冰雹直径分布

4. 讨论

4.1. 对机场运行保障的启示

本文结果显示, 千万级机场冰雹天气具有低频、突发、短历时和影响对象高度敏感的特点。对机场而言, 冰雹预警的价值不只在提示天气发生, 还在于为机坪人员撤离、航空器防护、跑道巡查和航班恢复排序争取时间。尤其在 5~8 月以及 12~24 时高发时段, 应强化雷达回波、闪电定位、自动观测、卫星云图和短临预报产品的联合研判。

不同机场的历史冰雹频次差异明显, 提示机场层面的本地化风险评估很有必要。对于首都、呼和浩特、贵阳等历史频次较高机场, 可进一步开展典型个例复盘, 明确冰雹发生前的天气形势、雷达回波特征、预警发布链条和运行影响节点。对于历史频次较低但吞吐量大的机场, 也应保持基本应急能力, 因为冰雹属于小概率但高扰动事件, 单次过程即可造成较大运行影响。

4.2. 资料适用性与不确定性

本文以 METAR/SPECI 和月总簿观测记录为基础, 优点是资料规范、时间连续、与机场运行场景高度一致; 不足是冰雹天气的空间尺度较小, 机场观测点代表的是机场及近场区域, 不能完全代表城市或区域尺度冰雹活动。另一方面, 冰雹直径和重量记录依赖人工观测和业务记录, 45 次事件中只有 20 次具

有直径记录,说明强度分析仍存在样本不足问题。

本文采用同一机场 3 小时内多次记录合并为一次事件的规则,有利于避免重复计数,但也可能在少数情况下将相邻但独立发展的对流单体合并。未来可结合天气雷达、闪电定位、自动站和航班运行影响数据,对冰雹过程开展更精细的过程识别和影响评估。此外,若能获取更长时间序列和更多机场资料,可进一步分析冰雹天气与年代际变化、地形条件、环流背景及机场运行影响之间的关系。

关于气候变化,还需要谨慎看待。冰雹尺度小、局地性强,各地对气候变暖的响应并不一致,现有研究结论也并不统一。2025 年频次偏高,2026 年部分枢纽机场再次受到强对流和冰雹影响,也提醒业务上既要多年平均,也要警惕个别年份的异常。在气候变化的大背景下,极端天气的出现总体上呈现波动上升趋势,如何做好冰雹天气的预警预报,如何在冰雹天气条件下做好运行方面的应对措施,依然是民航运行的重要课题。

5. 结论

基于 2016~2025 年全国 40 个千万级机场气象观测资料,本文对近 10 年冰雹天气的频次、时间、空间、持续时间和直径特征进行了统计分析,主要结论如下:

(1) 2016~2025 年共识别 45 次冰雹天气事件,涉及 20 个机场,年平均约 4.5 次;2025 年最多,为 9 次,2021 年次之,为 7 次,年际差异明显。

(2) 冰雹天气主要出现在 1~10 月,其中 5 月 12 次、8 月 9 次,分别占 26.7%和 20.0%;午后至夜间为高发时段,18~24 时占 51.1%,12~18 时占 35.6%。

(3) 具有起止时间记录的 42 次事件持续 2~42 分钟,平均 12.2 分钟,持续 5~20 分钟的事件占 71.1%,体现出明显短历时特征。

(4) 冰雹天气空间分布较分散,首都机场、呼和浩特机场和贵阳机场频次相对较高,影响范围覆盖华北、西南、东北、西北、华东、中南和新疆等区域。

(5) 有直径记录的 20 次事件冰雹直径为 5~40 mm,平均 10.3 mm;个别较大冰雹事件对航空器和机场设施具有较高潜在影响,应纳入重点复盘和防护评估。

总体来看,千万级机场冰雹天气虽不属于高频天气,但其突发性和运行敏感性突出。建议机场气象、运行指挥、机务、场务和地面服务单位围绕高发季节和高发时段完善强对流天气协同处置流程,强化冰雹临近预警、机坪人员安全、航空器防护和灾后检查恢复机制。

参考文献

- [1] 新华网. 强对流天气致昆明部分航班受影响[EB/OL]. 2026-04-25.
<https://www.news.cn/20260425/c976665c468744148c544ce23089d632/c.html>, 2026-07-23.
- [2] 北京日报客户端. 受雷雨天气影响,首都机场启动运管委一级响应保障航班运行[EB/OL]. 2026-07-07.
<https://xinwen.bjd.com.cn/content/s6a4cc46ce4b0e45f3fd43978.html>, 2026-07-23.
- [3] World Meteorological Organization (2019) Manual on Codes: International Codes, Volume I.1, WMO-No. 306. World Meteorological Organization.
- [4] International Civil Aviation Organization (2018) Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation: Meteorological Service for International Air Navigation. International Civil Aviation Organization.
- [5] AP-117-TM-02R1 民用航空气象地面观测规范[S/OL]. 2012-02-28.
https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/GFXWJ/201511/t20151102_8169.html, 2026-07-23.
- [6] 中国气象局. QX/T 416-2018 强对流天气等级[S]. 北京: 气象出版社, 2018.
- [7] 郑永光, 周康辉, 盛杰, 等. 强对流天气监测预报预警技术进展[J]. 应用气象学报, 2015, 26(6): 641-657.
- [8] 俞小鼎, 周小刚, 王秀明. 雷暴与强对流临近预报技术进展[J]. 气象学报, 2012, 70(3): 311-337.

-
- [9] Doswell, C.A. (2001) Severe Convective Storms—An Overview. *Meteorological Monographs*, **50**, 1-26.
<https://doi.org/10.1175/0065-9401-28.50.1>
- [10] Rasmussen, E.N. and Blanchard, D.O. (1998) A Baseline Climatology of Sounding-Derived Supercell Andtornado Forecast Parameters. *Weather and Forecasting*, **13**, 1148-1164.
[https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1998\)013<1148:abcosd>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1998)013<1148:abcosd>2.0.co;2)
- [11] 2024 年全国民用运输机场生产统计公报[EB/OL]. 2025-03-14.
https://www.caac.gov.cn/PHONE/XXGK_17/XXGK/TJSJ/202503/t20250314_226932.html, 2026-07-23.

附 录 千万级机场名单

Table A1. List of 40 major airports used in this study
表 A1. 本研究采用的 40 个千万级机场名单

序号	机场	四字代码	序号	机场	四字代码
1	广州	ZGGG	21	青岛	ZSQD
2	浦东	ZSPD	22	三亚	ZJSY
3	深圳	ZGSZ	23	沈阳	ZYTX
4	首都	ZBAA	24	贵阳	ZUGY
5	天府	ZUTF	25	济南	ZSNJ
6	大兴	ZBAD	26	天津	ZBTJ
7	重庆	ZUCK	27	长春	ZYCC
8	昆明	ZPPP	28	大连	ZYTL
9	杭州	ZSHC	29	宁波	ZSNB
10	西安	ZLXY	30	福州	ZSFZ
11	虹桥	ZSSS	31	兰州	ZLLL
12	双流	ZUUU	32	南宁	ZGNN
13	南京	ZSNJ	33	太原	ZBYN
14	海口	ZJHK	34	呼和浩特	ZBHH
15	郑州	ZHCC	35	合肥	ZSOF
16	武汉	ZHHH	36	珠海	ZGSD
17	厦门	ZSAM	37	温州	ZSWZ
18	长沙	ZGHA	38	石家庄	ZBSJ
19	哈尔滨	ZYHB	39	南昌	ZSCN
20	乌鲁木齐	ZWWW	40	无锡	ZSWX

注：名单依据中国民用航空局 2024 年全国民用运输机场生产统计公报及机场吞吐量排名[11]，并结合本研究 40 个机场统计口径整理。