

西安“5·8”干旱背景下冰雹机理与服务响应

牛亚萍^{1*}, 刘环¹, 范倩莹^{1#}, 冯蕾¹, 彭欣²

¹陕西省气象台, 陕西 西安

²陕西省突发事件预警信息发布中心, 陕西 西安

收稿日期: 2026年4月18日; 录用日期: 2026年5月14日; 发布日期: 2026年5月27日

摘要

2025年西安“5·8”冰雹发生于春季罕见干旱背景, 且与全省抗旱人工增雨时空叠加, 形成三重业务挑战。基于常规气象观测、雷达卫星观测、ERA5再分析及应急舆情多源数据分析, 结果表明: (1) 此次冰雹是500 hPa高空槽冷平流与850 hPa西南暖湿急流交汇、地面冷锋触发, 叠加适宜温层和垂直风切变的自然强对流结果; (2) 人工增雨仅补充凝结核, 未改变强对流核心条件, 与冰雹无直接因果关系; (3) 省级数值预报可捕捉强对流趋势, 双偏振雷达可实现15~30分钟短临预警, 预警精准性仍有提升空间; (4) 气象部门经应急响应、立体增雨和多平台科普, 有效缓解旱情且快速消解负面舆情。综上, 本研究可为北方干旱区应对同类复杂场景提供科学参考。

关键词

冰雹, 人工增雨, 气象舆情

Mechanism and Service Response of Hail under Drought Background in Xi'an "5·8" Event

Yaping Niu^{1*}, Huan Liu¹, Qianying Fan^{1#}, Lei Feng¹, Xin Peng²

¹Shaanxi Meteorological Observatory, Xi'an Shaanxi

²Shaanxi Early Warning Center, Xi'an Shaanxi

Received: April 18, 2026; accepted: May 14, 2026; published: May 27, 2026

Abstract

The "5·8" hail event in Xi'an in 2025 occurred against the background of a rare spring drought

*第一作者。

#通讯作者。

and overlapped in time and space with the provincial-wide artificial precipitation enhancement operations for drought relief, resulting in triple operational challenges. Based on the analysis of multi-source data including conventional meteorological observations, radar and satellite observations, ERA5 reanalysis and emergency public opinion data, the results show that: (1) The hail was a natural severe convective outcome triggered by the conjunction of cold advection in the 500 hPa upper trough and the southwest warm and humid jet at 850 hPa as well as the surface cold front, superimposed with favorable temperature stratification and vertical wind shear; (2) Artificial precipitation enhancement only supplemented cloud condensation nuclei without changing the core meteorological conditions for severe convection, and had no direct causal relationship with the hail; (3) The provincial numerical forecast model could capture the overall trend of severe convection, and the dual-polarization radar could realize a 15~30 minute short-term early warning for hail, with room for improvement in early warning accuracy; (4) Through emergency response, three-dimensional artificial precipitation enhancement and multi-platform scientific popularization, the meteorological department effectively alleviated the drought and quickly eliminated negative public opinion. In summary, this study can provide a scientific reference for northern arid areas to respond to similar complex scenarios.

Keywords

Hail, Artificial Precipitation Enhancement, Meteorological Public Opinion

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

冰雹是我国北方典型强对流灾害性天气，具有突发性强、致灾快等特征，其形成与大尺度环流、热力动力条件及云微物理过程密切相关，对农业生产、城市基础设施和人民生命财产安全构成严重威胁[1][2]。关中平原地处秦岭北麓与黄土高原过渡带，受西风带系统、副高外围气流及地形热力动力强迫共同影响，强对流冰雹频发，且因地形复杂、下垫面异质性强，精细化预报与灾害防御难度突出[3][4]。

国内外学者针对强对流冰雹的形成机理与预报技术开展了大量系统性研究，经典理论明确冰雹生成需满足四个关键条件，即充足不稳定能量、适宜的 $0^{\circ}\text{C}/-20^{\circ}\text{C}$ 层高度、较强垂直风切变及强上升气流[5][6]。相关研究表明，高空槽冷平流与低层西南急流的耦合，是触发并维持强对流系统发展的核心动力机制[7][8]。在特定区域研究发现，秦岭地形的动力抬升可使对流上升运动强度增强，是关中冰雹形成的重要局地触发因子[3]；关中地区冰雹主要集中在 5~6 月，近 20 年大冰雹事件呈增多趋势，与不稳定能量积累及高空冷平流活动密切相关。随着预报预警技术的发展，双偏振雷达的多参数组合已成为冰雹识别核心手段，“ Z_{DR} 负值 + 高 K_{DP} + 高 CC” 的组合判据成为北方冰雹的常用识别手段[9]，其中 $Z_{\text{DR}} < -0.5$ dB、 $K_{\text{DP}} > 5$ deg/km、CC > 0.95 时，大冰雹识别概率可达 90% 以上[10]。

人工增雨是北方干旱地区抗旱减灾的重要手段，其通过播撒 AgI 催化剂补充凝结核促进降水，仅作用于云微物理过程，无法触发强对流或改变其动力结构[11]。但当公众不清楚其原理，恰好又遇到人工增雨作业与冰雹时空叠加时，易引发公众对二者关联性的质疑，形成“防灾减灾 - 公众认知 - 舆论引导”的连锁挑战[11][12]。现有研究虽证实科普的及时性与科学性是化解气象舆情的关键[13]，但针对“人工影响天气 + 强对流灾害”叠加场景的研究仍较薄弱，多聚焦单一灾害[14]或服务环节，缺乏复杂气候背

景下的全链条系统分析。

2025年3~5月初,陕西省遭遇历史同期罕见持续干旱,农业生产与生态环境面临严重缺水压力。5月7~8日全省迎来首场大范围降水,陕西省气象局同步开展立体人工增雨作业,而西安8日突发的强对流冰雹与作业时空叠加引发网络舆论关注,形成抗旱增雨、防雹减灾、舆论引导三重业务挑战。此次过程兼具干旱背景触发、地形强迫显著等独特特征,与关中以往强对流过程差异明显。目前国内外针对这类干旱背景下人工增雨与强对流冰雹时空叠加的复杂场景尚无系统性研究,基于此,本文依托多源数据系统剖析西安“5·8”冰雹形成机理,厘清人工增雨与冰雹的关联性,评估预报预警效能,总结应急服务与舆情应对经验,为北方干旱地区应对同类复杂场景提供科学依据。

2. 数据与方法

2.1. 数据

欧洲中期天气预报中心(ECMWF)ERA5再分析数据,水平分辨率 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,时间分辨率1小时;FY4B静止气象卫星红外云顶温度(TBB)数据;泾河国家基准站5月8日08时、20时探空资料;西安多普勒天气雷达PUP基数据及双偏振多参数产品;陕西省农业气象观测站10 cm土壤相对湿度数据(陕西天擎官网);陕西省气象局应急服务档案(包含应急响应记录、预警发布数据、人工增雨作业详细参数)及陕西省气象预警中心提供的舆情监测数据。

2.2. 方法

探空数据采用MICAPS 4.0平台进行处理与可视化分析;雷达数据利用PUP软件提取,选取冰雹发生关键时段产品用于特征分析;ERA5再分析数据基于Python xarray库开展计算分析,实现冷平流、水汽通量等物理量场的反演与可视化;FY4B卫星数据、农业气象数据及舆情监测数据,均依托Python生态工具库完成数据预处理、特征提取与制图分析。采用区域对比法定量评估人工增雨作业效率与抗旱服务成效。

3. 天气过程概况

2025年3月下旬至5月初,陕西省温高雨少均为历史同期之最,旱情持续升级。5月7~8日,受高空槽与地面冷锋共同影响,全省出现大范围降水过程,陕西省气象局同步开展立体人工增雨作业,期间陕北南部、关中、陕南部分地区突发雷暴大风、短时强降雨及冰雹等强对流天气。在自然降水与人工增雨共同作用下,全省109个区县出现降水,有效缓解春季以来的大旱。5月8日午后西安受暖脊控制,气温升至 30°C 以上,17时许西安以西强对流云团以约 20 km/h 速度东移,19时覆盖西安多区县。西安此次冰雹过程持续10~15分钟。

3.1. 大尺度天气形势

2025年5月8日16时(北京时,下同)的天气形势图上(图1),850 hPa θ_{se} 场呈暖舌结构,偏南气流输送南海、孟加拉湾暖湿空气,配合平缓位势高度场形成上冷下暖不稳定层结;700 hPa 陕西境内(陕境)及周边相对湿度 $>80\%$,西南风与850 hPa风场配合构建水汽输送通道,为对流发展提供水汽与动力;500 hPa 陕境及上游呈负散度辐合上升,陕西处于副高北侧西风槽前,冷舌与低空暖舌叠加增强大气不稳定性,成为对流触发关键层;200 hPa层陕境为西风急流入口区右侧正涡度区,高空强辐散与低空辐合形成有利动力配置,加强垂直运动。“低空暖湿能量充沛、中层辐合触发、高空急流抽吸”的有利配置,为强对流的发生、发展和维持提供了充分的动力与热力条件。

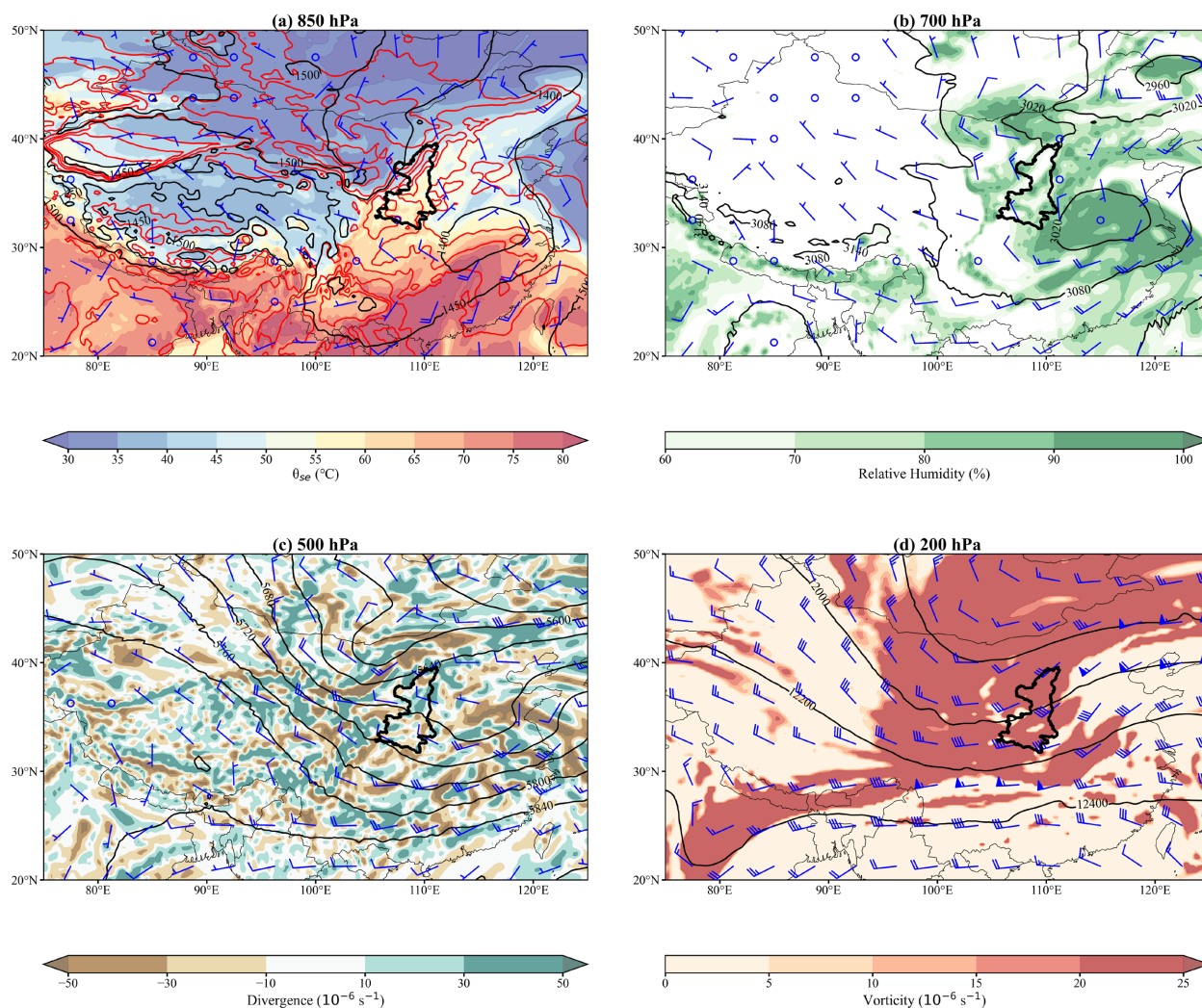


Figure 1. Weather map at 16:00 BT on 8 May 2025: (a) 850 hPa equivalent potential temperature (shaded, K); (b) 700 hPa relative humidity (shaded, %); (c) 500 hPa divergence (shaded, 10^{-5} s^{-1}); (d) 200 hPa vorticity (shaded, 10^{-5} s^{-1}). Red solid lines are isotherms, black thin solid lines are geopotential height contours (gpm) and wind barbs (m/s), and black thick solid lines are the administrative boundary of Shaanxi Province

图 1. 2025 年 5 月 8 日 16 时(北京时间)天气图: (a) 850 hPa 相当位温(填色, K); (b) 700 hPa 相对湿度(填色, %); (c) 500 hPa 散度(填色, 10^{-5} s^{-1}); (d) 200 hPa 涡度(填色, 10^{-5} s^{-1}); 红色实线为等温线, 黑色细实线为等高线(gpm)及风羽(m/s), 黑色粗实线为陕西省行政边界

3.2. 热力与动力条件

5 月 8 日 08 时泾河探空(57131, 34.32°N, 108.95°E)显示, CAPE 为 0 J/kg, CIN 为正值, 大气处于稳定状态。受午后太阳辐射加热与高空冷平流共同作用, 不稳定能量快速积累, 20 时 CAPE 升至 848.9 J/kg (图 2), CIN 降至 0 J/kg, 不稳定能量有效释放。20 时 0°C 层高度 3496 m, -20°C 层高度 6969.55 m, 两层高度比值约 2.0, 符合大冰雹形成的适宜温度层结特征, 利于雹胚在云中多次升降并捕获过冷水滴增长。

19:59 的垂直风廓线 WVP 数据显示, 大气垂直风切变显著, 0~10.7 km 高度范围内风速从近地面低值快速攀升至 25.5 m/s (图 3), 风向呈现明显的随高度顺转特征, 15.2 km 高度处风速仍维持较高水平, 这种强垂直风切变为强对流流体的组织化发展与维持提供了核心动力, 有效防止对流流体快速消散, 为冰雹形成创造了稳定的动力环境。同时, 雷达 VIL 产品监测到 19:41 强对流核心区 VIL 最大值达 51.5

促进降雨形成，无法促使雹核生成与增长，且过量催化剂可能抑制雹胚快速发育。

4. 监测预警

4.1. 雷达监测

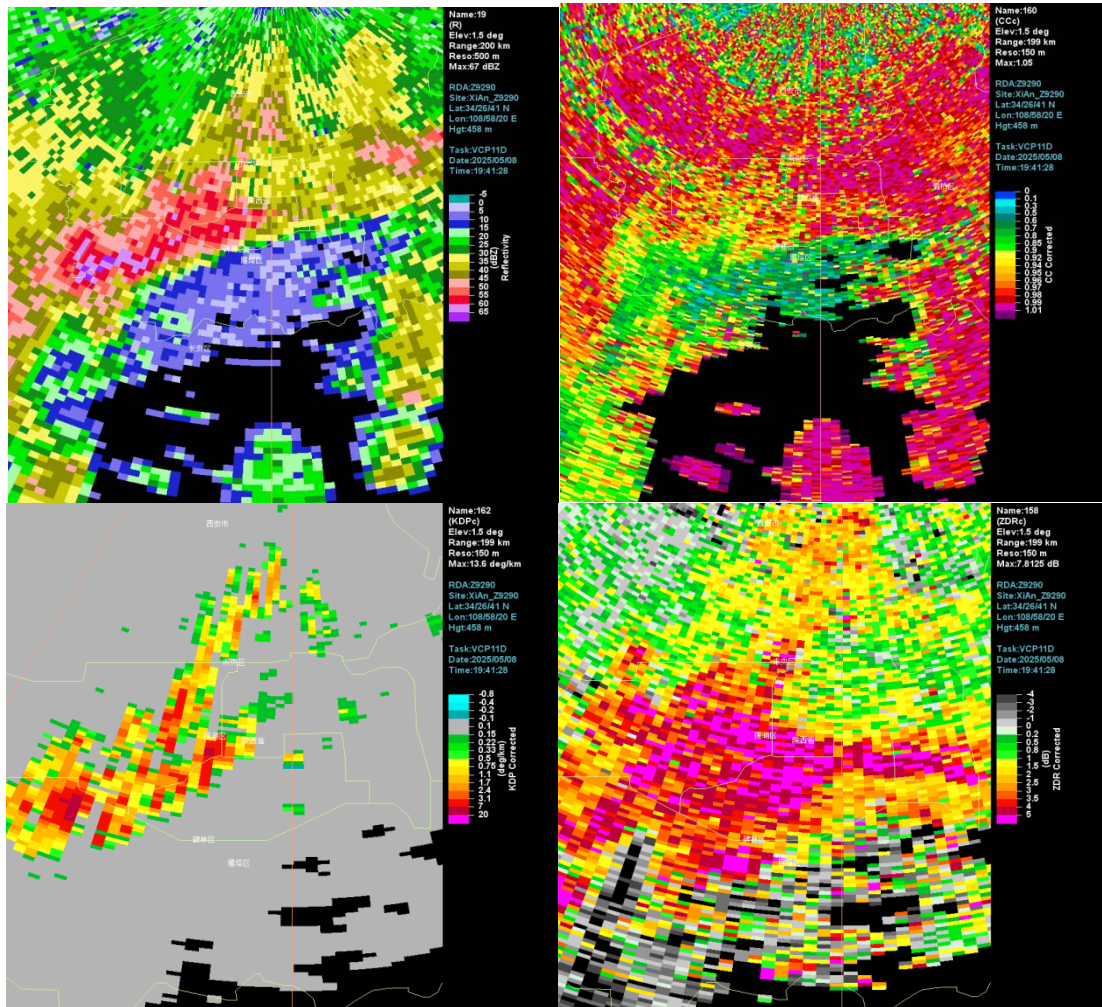


Figure 4. Dual-polarization multi-parameter products at 1.5° elevation from Xi'an Doppler weather radar (Z9290) at 19:41 BT on 8 May 2025. (a) Composite reflectivity (unit: dBZ, Maximum: 67 dBZ); (b) Correlation coefficient (CC, Maximum: 1.05); (c) Specific differential phase (KDP, unit: $\text{deg}\cdot\text{km}^{-1}$, Maximum: $13.6\text{ deg}\cdot\text{km}^{-1}$); (d) Differential reflectivity (ZDR, unit: dB, Value range: $-1.0\sim-1.4$ dB). The black outline denotes the administrative boundary of Xi'an

图 4. 2025 年 5 月 8 日 19:41 西安多普勒天气雷达(Z9290) 1.5°仰角双偏振多参数产品图; (a) 组合反射率(dBZ, 最大值 67 dBZ); (b) 相关系数(CC, 最大值 1.05); (c) 差分传播相移(KDP, 单位: deg/km , 最大值 $13.6\text{ deg}/\text{km}$); (d) 差分反射率(ZDR, 单位: dB, 取值 $-1.0\sim-1.4$ dB)。黑色轮廓线为西安市行政边界

西安多普勒天气雷达(Z9290, $34^{\circ}26'41''\text{N}$, $108^{\circ}58'20''\text{E}$, 海拔 458 m)多参数产品图显示(图 4), 19:41 西安城区及以西强对流单体发展成熟, 组合反射率核心区达 58~67 dBZ, 回波顶高抬升至 10~12 km, 回波形态呈现典型“钩状回波”与“弱回波区”特征, 是雹云内存在强劲上升气流的直接表征, 为雹胚向上输送至低温区增长提供了核心动力; 双偏振参数呈现清晰的冰雹粒子散射特征, K_{DP} 峰值达 $13.6\text{ deg}/\text{km}$, 指示云内液态水含量充沛, 为雹胚碰撞增长提供充足物质基础, CC 值最大值 1.05 (接近 1.0), 说明降水粒子谱分布均匀, 无明显非气象杂波干扰, 探测数据有效性高, Z_{DR} 呈 $-1.0\sim-1.4$ dB, 与球形冰雹粒子的

电磁波散射规律高度契合，三者组合完全匹配 $Z_{DR} < -0.5$ dB、 $K_{DP} > 5$ deg/km、 $CC > 0.95$ 的冰雹识别核心判据，成为西安冰雹识别的关键依据。

4.2. 卫星观测

结合 FY-4B 红外云顶温度(TBB)演变图(图 5)，可从宏观尺度清晰追踪此次强对流云团的时空演变过程。14:00~15:30，西安及周边形成多个 $TBB < -40^{\circ}\text{C}$ 冷中心并融合扩大，对流云柱快速发展；16:00 冷中心范围达最大，局部 TBB 近 -60°C ，云团边缘现卷云砧，垂直上升运动鼎盛；17:30~18:30，冷中心范围略收缩，强对流核心仍稳定维持，云系结构紧凑；19:00 左右，西安城区及周边冷中心局地再增强，成为冰雹落地的直接宏观触发信号。空间上， $TBB < -40^{\circ}\text{C}$ 冷中心核心区与西安冰雹落区完全重合，移动路径与影响范围一致；冷中心温度与冰雹强度呈负相关，西安三桥街道作为 TBB 低值核心区(近 -60°C)，实测冰雹最大直径 4 cm。FY4B 卫星水汽通道图可观测到西南急流输送南海、孟加拉湾暖湿水汽至关中，为强对流云团发展维持提供充足水汽补给，与雷达观测的水汽条件相互验证。

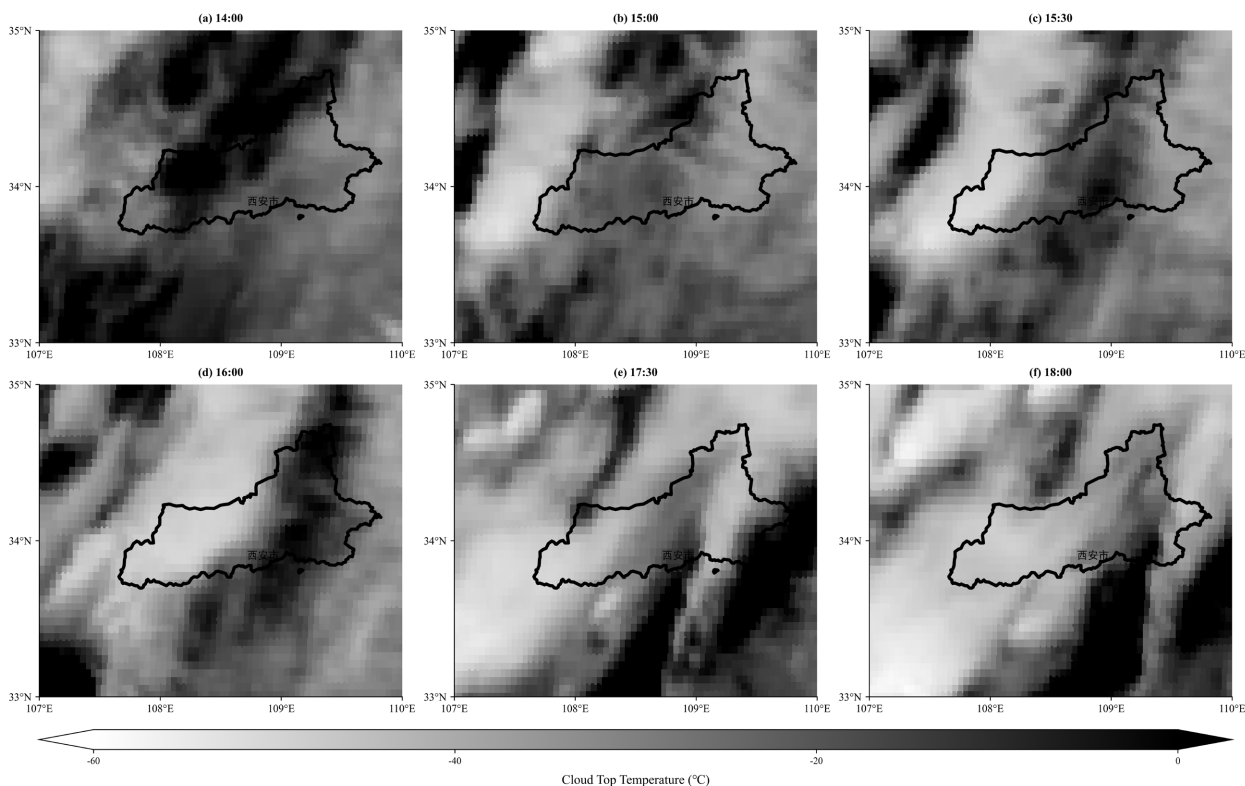


Figure 5. Temporal evolution of infrared cloud top temperature (TBB) from FY-4B geostationary meteorological satellite during 14:00~19:00 BT on 8 May 2025 (unit: $^{\circ}\text{C}$). The thick black line denotes the administrative boundary of Xi'an

图 5. 2025 年 5 月 8 日 14:00~19:00 FY-4B 静止气象卫星红外云顶温度(TBB)演变图(单位： $^{\circ}\text{C}$)。黑色粗线为西安辖区范围

4.3. 综合预报预警效果

业务数值预报结合雷达、卫星多源资料，实现了此次强对流冰雹的趋势预判与 15~30 分钟短期临近预警，为预警发布、应急响应及人工增雨作业调整提供了关键支撑，但中小尺度强对流的精细化预报预警仍存在短板，数值模式时空偏差、多源资料融合不足等问题，导致部分区域预警精准性和时效性未能完全匹配灾害防御需求，为后续气象服务工作提出了更高要求。

5. 应急服务与舆情处置实践

5.1. 应急服务

针对“久旱-人工增雨-强对流冰雹-舆论质疑”的复杂场景,陕西省气象局以“抗旱增雨、防雹减灾、舆论引导”为核心目标,启动重大气象灾害(强对流)IV级应急响应,依托“13161”递进式监测预报预警服务体系开展全方位应急服务。省气象局主要负责同志向省委、省政府主要领导开展直通式、递进式服务。

依托“13161”服务体系,陕西省气象部门发布各类预警信息共494期(冰雹橙色预警49期、大风预警217期、雷雨大风预警187期),通过多渠道实现预警全覆盖(受众超2100万人次)。人工增雨作业中,气象部门结合强对流预报预警结果动态调整方案,在确保安全前提下超常规开展立体作业,全省实施飞机增雨作业3架次(飞行9小时13分,消耗AgI烟条116根)、地面增雨作业410轮次(发射WR-98型火箭弹410枚),省政府开通空域“绿色”保障通道。作业后5月9日08时土壤墒情监测显示(图6),全省10cm墒情适宜区域占比由49%升至69%,轻旱、中旱、重旱面积分别减少69.6万亩、15万亩、10.5万亩,关中、陕南大部旱情有效缓解。

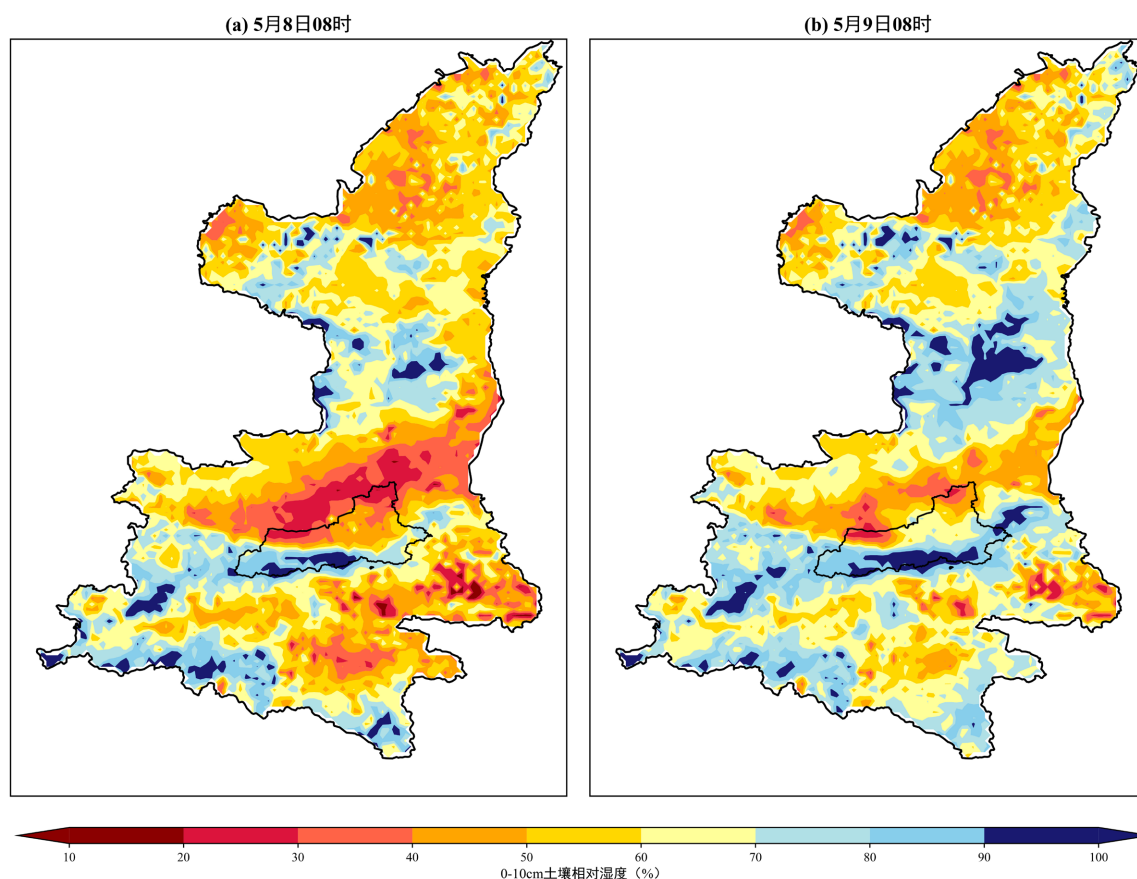


Figure 6. Distribution of 10 cm soil relative humidity in Shaanxi Province at 08:00 BT on (a) 8 May and (b) 9 May 2025 (unit: %)
图 6. 2025 年(a) 5 月 8 日 08 时与(b) 9 日 08 时陕西省 10 cm 土壤相对湿度分布图(单位: %)

5.2. 舆论处理

5.2.1. 权威科普

气象部门第一时间组织气象首席专家通过国家级主流媒体开展人工增雨与冰雹关联性专项科学解读,

系统阐释人工增雨的作业原理、作用条件与强对流冰雹的形成机制，明确二者无直接因果关系，从科学层面回应公众核心关切。同时，制作兼具专业性与通俗性的科普短视频、图文资料，通过陕西气象官方微博、抖音、微信公众号等官方新媒体平台发布，其中微博#人工增雨不会造成冰雹#话题累计播放量超千万次，实现科学知识的精准传递，从根源上纠正公众认知偏差。

5.2.2. 多部门联动

陕西省气象局强化跨部门协同联动，与省委宣传部、省网信办建立气象舆情应急联动机制，实现科普资料共享、权威信息同步发布、舆情处置协同推进的工作格局；联合交通、公安交管、文旅等行业主管部门，在发布强对流天气风险预警信息的同时，嵌入人工增雨与强对流天气相关科普内容，实现灾害防御与科学科普的深度融合。各地市气象部门同步对接地方相关部门，开展针对性的安全防护指导，并在西安、宝鸡等舆情高值区域，联合网信部门开展不实信息排查与处置，精准推送权威科普内容，构建形成省级统筹、地市落实、多部门协同、全域覆盖的气象舆情引导体系。

5.2.3. 新媒体传播

充分发挥新媒体平台传播速度快、受众范围广、互动性强的优势，依托舆论演变分析图把握舆情传播节奏，开展精准化科普传播。陕西气象官方微博发布专项科普内容3条，累计阅读量12.4万次，互动量137次，相关内容被中国气象局、华商网、西安日报等10家主流媒体转载，转载内容累计阅读量21.6万次；官方抖音发布科普短视频4条，累计阅读量14万次，互动量1097次(图7)，实现科普信息的高效触达与广泛传播。科普处置后，负面舆情下降速率达每小时18.3%，5月9日10时后舆情峰值快速回落，负面舆情占比持续降低，公众的质疑得到有效化解。

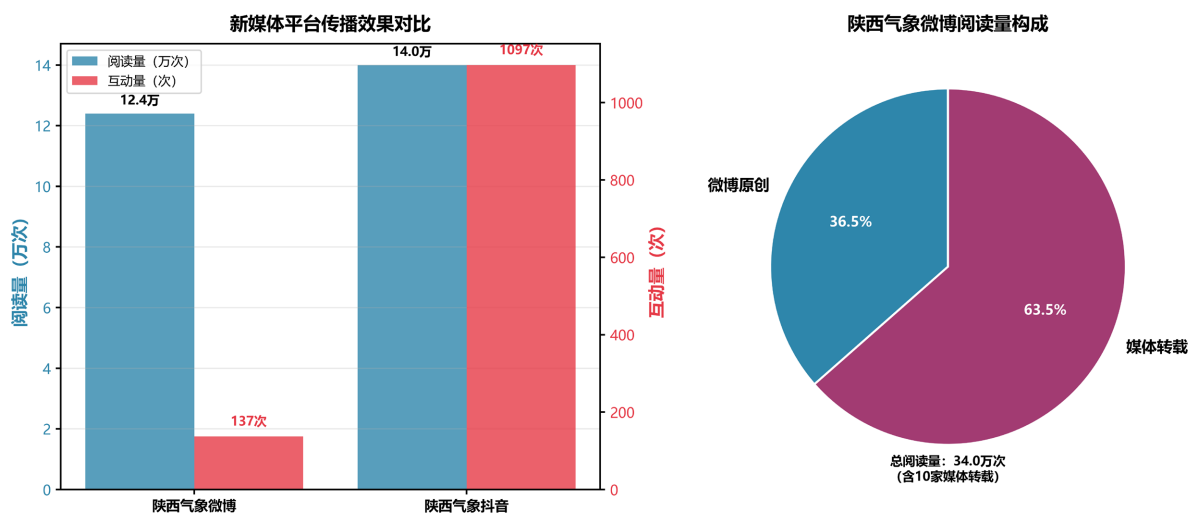


Figure 7. Statistics of science popularization communication effect of severe convective weather by Shaanxi Meteorological Bureau during 8~9 May 2025. (a) Reading volume of each new media platform (unit: 10^4 times); (b) Interaction volume of each new media platform (unit: times)

图7. 2025年5月8~9日陕西气象强对流天气科普传播效果统计图; (a) 各新媒体平台阅读量(单位: 万次); (b) 各新媒体平台互动量(单位: 次)

6. 讨论与结论

6.1. 讨论

西安“5·8”强对流冰雹是干旱背景下多尺度气象要素耦合的典型自然强对流事件，核心特征为对

流触发突发性强、系统发展速度快,且因人工增雨作业与冰雹时空叠加,形成“抗旱增雨-防雹减灾-舆论引导”三重业务挑战,这也是不明情况的公众产生“人工增雨导致冰雹”认知偏差的关键原因。从科学机理看,人工增雨仅通过播撒 AgI 催化剂补充云凝结核,仅作用于云微物理过程,未改变强对流形成的大尺度环流、热力动力核心条件;且作业启动时,冰雹形成所需的温度层结、垂直风切变、上升气流等关键条件已完全具备,催化剂仅能促进降雨形成,无雹核生成与增长的触发作用,二者无直接因果关系。

结合研究结论与业务实践,针对干旱背景下人工增雨与强对流冰雹叠加的复杂场景,本文提出气象服务优化方向:一是优化数值模式参数化方案,完善多源资料融合同化技术,提升中小尺度强对流精细化预报能力;二是构建增雨防雹一体化决策机制,基于强对流风险预警动态调整人工增雨作业时段、区域,实现抗旱与防灾协同;三是建立科普与舆情常态化联动机制,提升突发舆情快速响应与科学解读能力;四是深化“13161”服务体系内涵,将舆情监测、科普纳入全流程,构建“监测预报-预警发布-应急处置-舆情回应”闭环服务体系。

6.2. 结论

本研究基于常规气象观测、ERA5 高分辨率再分析、雷达卫星监测及应急舆情等多源数据,系统剖析西安“5·8”强对流冰雹的形成机理、预报预警效能及应急服务实践,得出以下核心结论:

1. 此次冰雹是 500 hPa 高空槽冷平流、850 hPa 西南暖湿急流与地面冷锋耦合触发,叠加适宜的温度层结、垂直风切变及上升气流等条件形成的自然强对流结果。

2. 人工增雨作业与冰雹形成无直接因果关系,仅为时空叠加;作业未改变强对流核心气象条件,且作业时冰雹形成的云微物理条件已具备,催化剂仅能促进降雨,无法触发雹核生成与增长。

3. 省级数值预报模式可捕捉强对流整体趋势,但对中小尺度系统刻画存在时空偏差;西安多普勒天气雷达基于 $Z_{DR} < -0.5$ dB、 $K_{DP} > 5$ deg/km、 $CC > 0.95$ 的双偏振参数,实现 15~30 分钟冰雹短临预警,受秦岭地形盲区与卫星时间分辨率限制,预警精准性仍需提升。

4. 陕西省气象局通过启动应急响应、多渠道发布预警、实施“飞机+地面”立体人工增雨,有效缓解全省旱情;同时依托权威解读、跨部门联防联控、新媒体精准传播,快速消解公众认知偏差,实现旱情缓解、灾害防御与舆情引导协同推进。

综上,本研究为北方干旱地区应对人工增雨与强对流冰雹叠加的复杂气象场景提供了科学依据与实践参考,提出的优化方向对提升此类场景的气象服务能力具有重要实践价值。

致 谢

感谢本文所有作者的辛勤付出;感谢陕西省人工影响天气中心田显、陕西省农业遥感与经济作物气象服务中心刘亚东对本文写作的支持;感谢欧洲中期天气预报中心、国家气象科学数据中心、FY-4B 卫星数据服务中心及相关数据平台为本研究提供的观测与再分析数据支撑。

基金项目

中国气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点开放研究室开放基金课题(2025Y-5)。

参考文献

- [1] 郑永光, 张小玲, 周庆亮, 等. 强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战[J]. 气象, 2010, 36(7): 33-42.
- [2] 郑永光, 杨波, 蓝渝, 等. 强对流天气形成机制和预报研究综述[J]. 气象, 2025, 51(11): 1495-1522.

-
- [3] 赵强, 陈小婷, 王楠, 等. 副热带高压影响下陕西关中强对流发生的环境场特征及触发机制[J]. 气象, 2022, 48(1): 28-43.
- [4] 马荣君, 李潇斐, 毛彦霖, 等. 陕西省冰雹气候变化特征及其关键影响因素分析[J]. 干旱区研究, 2022, 39(3): 767-773.
- [5] Allen, J.T., Giammanco, I.M., Kumjian, M.R., *et al.* (2020) Understanding Hail in the Earth System. *Reviews of Geophysics*, **58**, e2019RG000665. <https://doi.org/10.1029/2019rg000665>
- [6] 许爱华, 孙继松, 许东蓓, 万雪丽, 郭艳. 中国中东部强对流天气的天气形势分类和基本要素配置特征[J]. 气象, 2014, 40(4): 400-411.
- [7] 陈涛, 谌芸, 方翀, 等. “23·7”华北极端暴雨精细特征和天气学成因分析[J]. 气象学报, 2024, 82(5): 600-614.
- [8] 褚芸欣. 基于 ERA5 再分析资料的川东地区一次冬季强对流天气综合分析[J]. 农业灾害研究, 2024, 14(11): 113-115.
- [9] 钟晨, 张羽, 高建秋, 等. 双偏振多普勒天气雷达在冰雹识别中的应用[J]. 广东气象, 2014, 36(4): 76-80.
- [10] 潘佳文, 高丽, 魏鸣. 基于 S 波段双偏振雷达观测的雹暴偏振特征分析[J]. 气象学报, 2021, 79(1): 168-180.
- [11] 姚展予, 屠琦, 安琳, 等. 冰雹形成过程及人工防雹研究综述[J]. 气象学报, 2022, 80(6): 835-863.
- [12] 崔金刚. 强化科普宣传提升公众对人工影响天气认知能力的思考[J]. 农业灾害研究, 2025, 15(1): 176-178.
- [13] 杨永清, 王鹏博, 张媛媛. 气象灾害舆情的时空演化特征及影响因素分析[J]. 晋图学刊, 2024(4): 16-29.
- [14] 王世雷, 郑玲, 朱金菊, 等. 新媒体环境下气象突发事件舆情应急机制研究——以“互联网上下的雪”事件为例[J]. 新闻研究导刊, 2016, 7(14): 67.