

关于雷暴与强对流临近天气预报技术探究

韩利军

河北省内丘县气象局, 河北 内丘 054000

DOI:10.61369/SE.2025050014

摘 要： 雷暴及强对流天气突发状况明显、致灾风险较高，精准的临近预报是强化防灾减灾能力的关键环节，本研究主要聚焦雷暴与强对流临近预报技术体系，对该领域的技术现状与发展需求进行系统梳理，着重剖析了雷暴从诞生、发展到衰减阶段的生命史核心物理过程，仔细探究了特征显眼的高架雷暴发生机制，也查看了自动外推技术在短临预警时的效能及应用策略，研究针对强对流当中的关键致灾要素，对包含强冰雹、雷暴大风、龙卷风以及对流性暴雨的临近预警分析技术进行了全面探讨，此技术体系深化及应用实践，对增强灾害性天气预警的及时性与精准程度意义重大。

关 键 词： 雷暴；强对流；临近天气预报技术

Research on Thunderstorm and Severe Convective Weather Nowcasting Technology

Han Lijun

Neiqiu Meteorological Bureau, Hebei Province, Neiqiu, Hebei 054000

Abstract： Thunderstorms and severe convective weather are characterized by sudden occurrences and high disaster risks. Accurate nowcasting is a key aspect of strengthening disaster prevention and mitigation capabilities. This study focuses on the technical system of thunderstorm and severe convective weather nowcasting, systematically reviewing the current technological status and development needs in this field. It emphasizes the analysis of the core physical processes of thunderstorm life cycles from birth, development to decay, explores the mechanisms of prominent elevated thunderstorms, and examines the effectiveness and application strategies of automatic extrapolation techniques in short-term warnings. The study comprehensively explores the nowcasting analysis techniques for key disaster-causing elements in severe convection, including severe hail, thunderstorm winds, tornadoes, and convective rainstorms. The deepening and application of this technical system are significant for enhancing the timeliness and accuracy of severe weather warnings.

Keywords： thunderstorm; severe convection; nowcasting technology

引言

雷暴与强对流天气凭借突发性、猛烈性和高致灾性而著称，一般会引发短时强降水、雷暴大风、冰雹，甚至会产生龙卷风等灾害，对人民生命财产安全、工农业生产与重大活动造成极大威胁，精准且迅速的临近预报是最大程度减轻灾害损失的关键防线^[1]。采用人工智能等智能化处理技术，为识别复杂天气特征、提高预警智能化程度开拓新途径，这类天气现象的预报还是碰到很多瓶颈，如复杂中小尺度系统的物理变化进程情形、下垫面对天气过程的非线性调整效应情形、观测资料的非均匀状态情形及不确定性等，对预报精度和提前量提升形成阻碍，有体系地深入钻研雷暴和强对流天气的精细探测识别技术、物理机制领会及临近预报方法，持续推进模型算法的革新以及多源信息融合运用，有着显著的科学意义和急切的现实需要，是提高灾害性天气预警服务能力的核心内容。

一、雷暴与强对流天气的特点

强对流天气里，雷暴特征显著，是强烈的大气放电现象，多数时候和雷雨云同时出现，闪电借助电磁感应催生间接雷暴，通过电涌渗透、电磁场释放或者反向冲击等方式，暗中破坏建筑物

及设备，给人身安全带来隐患，大气中剧烈上升运动促使强对流风暴产生，具有突发性高、强度极大、破坏力惊人的特点，让天气更具随机性。就天气形态情况而言，短时强降水类似于雷暴，短时间内会有暴雨如洪水般落下，单位时间降水量极大，我国气象机构规定，单位时间降雨量 ≥ 20 毫米属于短时强降水，和雷暴相仿，它由

课题：多源资料在雷暴大风天气中的预警指标研究，市局自立重点项目，编号：2024xtky01

作者简介：韩利军（1984.11—），男，汉族，河北高阳人，本科，工程师，研究方向：中小尺度天气对流分析。

积雨云催生，只是需要持续水汽补给，冰雹是大气垂直运动产生的冰晶团块，下击暴流是雷暴云底部下沉气流剧烈运动造就的，有压倒性破坏力，影响范围达数公里，破坏性极其明显^[2]。

二、我国临近天气预报技术的现状

国内气象预报技术有了很大的提升，预报水平处于全球领先水平，如今国内打造出覆盖不同时空尺度和分辨率的数值天气预报系统，依靠 GRAPES 等核心预报体系，实现气候预测与高时效预报的无缝连接，可靠预报温度趋势、风速变化及降水概率等参数。现代近地面天气预报主要依赖雷达系统来实现，全国范围内已经完成了雷达观测网络的整体布局，可实时记录降水参数和风暴空间结构，基于这些观测情况能够快速生成强降水和风暴的预警信号，近地面天气预报系统则离不开卫星遥感技术的核心支持，我国运行着多代气象卫星组合，具备云分类、水汽追踪、热成像等多维度数据采集功能，便于跟踪天气系统的动态改变，其核心机制是将实地观测信息与模式输出进行智能融合以提升预报能力，我国数据同化技术水平已达到成熟阶段，可利用卫星遥感、雷达观测及地面实测数据对数值预报结果进行订正，初始条件和参数的多样化组合使集合预报能衡量不确定性^[3]。我国已建立起集合预报体系，不断优化其数学模型和技术途径，提升概率预报的实用意义，本土化近地面气象预报技术日渐成熟，着力增强预报的可靠度与时效，有效提高了气象服务的可靠水平。

三、关于雷暴与强对流临近天气预报技术的分析

（一）雷暴临近预报技术探究

1. 雷暴生成过程

雷暴生成机理复杂，不稳定气象条件易引发雷暴天气，空气受上升气流带动快速抬升发展成云系，地形抬升、辐合线产生、冷锋效应以及对流辐合等大气过程可形成上升气流，强上升气流会推动雷暴活动的进行，湿度同样是影响雷暴发展的重要条件，对流中水蒸气的富集和湿度成正比，为云层提供所需水分。雷暴演变阶段存在强迫性气象扰动，像锋面运动、辐合线对流等典型气象扰动，可促进雷暴形成并维持其持续发展，综合考量大气静力稳定性和水汽分布特点，按照国家规范的参数基准，对关键对流指标进行精确分析和验证，此技术途径可对大气对流活动的能量储备和形成概率展开有效分析，把大气稳定状态和水汽含量的分析作为对流形成的佐证依据。检测大气对流层主要辐合过程发现，对流有效势能和抑制能呈反向变化关系，对流有效势能逐步升高，对流能量逐步降低，探空资料在标准分析方法里，能全方位量化大气静力稳定状况与水汽参数，通过探空仪获取的温度和露点参数，可获取大气分层特性及湿度参数值，增强对流趋势分析的可靠性，能快速对探空数据获取的对流有效位能实施简易处理和动态修正，解析平流运动的演变模式，可更有效地分析对流能量特征，提升雷暴现象的预测水平，需检验整层大气对流的整体演变趋势，需整合静力稳定系数、水汽场结构及对流特征参数

的分析，结合实际探测结果，运用探空观测的动态校正和数据处理，可增强对大气对流潜在强度的判断能力，采用这种分析方法能提升雷暴预警的可信度^[4]。

2. 雷暴维持、发展与衰减

雷暴从起始到结束的各阶段均受多变量作用，流出边界为雷暴产生的冷空气向相邻地带移动时的前沿边界线，垂直风切变是不同海拔高度风速与风向的差异情况，较低的垂直风切变水平能促进雷暴发展和维持，明显的风切变差异会阻碍雷暴的生成和继续。对流有效位能表明大气对流能量水平，和雷暴发展持续紧密相关；雷暴上升气流与高空风向出现角度偏差，会抑制雷暴强化和延续；若雷暴扩散边界和上层风向对齐，可使雷暴持续并增长能量；若雷暴进入大气稳定带且有效对流潜能缺乏，会慢慢衰退不见，结合积云的有无以及探空曲线特征来判定稳定区域，借助卫星可见云图开展气象精细分析工作，使用雷达技术评估 1 小时高降水集中范围，以了解弱平流影响下区域稳定性维持时长^[5]。

3. 高架雷暴机制

有一种特殊的高架雷暴，和依靠地表加热形成的对流性雷暴不一样，它主要存在于边界层上层，中尺度辐合切变线影响其形成过程，近地面冷空气聚集形成稳定气层，无法满足地表空气团上浮需求，逆温层作为介质，是架空雷暴形成的关键要素，逆温层上部的空气团因绝热上升作用产生抬升力，由此产生雷暴天气，实施高空雷暴预报作业时，应着重开展对流有效位能量化分析，优先采用最不稳定对流有效位能进行测算分析，借助逆温层顶部气团绝热抬升效应生成能量，准确定位辐合切变线是高架雷暴预测的主要难点，因其常引发高架雷暴，我国地理环境利于架空雷暴形成，多在春秋两季初期和末期出现，雷暴发生时段能延展到清晨等时候，雷暴天气常伴有强风、降雹等灾害，有高架雷暴时易产生阵风锋，促使新雷暴生成。新产生的雷暴会过渡成非高架样式，也不排除诱发冰雹以及龙卷风等极端天气现象的可能性。

4. 自动外推预测方法

对于现代雷达系统算法架构来说，风暴单体跟踪识别非常关键，运用恰当阈值设定，标定三维风暴实体，输出雷暴质心坐标和液态水聚集状况等数据，通过分析雷暴预测轨迹和当前位置的空间偏移，能准确预测雷暴未来 15、30、45 分钟的空间位置，该领域通常采用稳定的 SCIT 算法，利用采集数据运算，实现对风暴单体实际运动路线误差的管控。

这个方案主要达成雷暴自动识别、运动追踪和临近预报的任务，经过版本的持续迭代优化，研究把直角坐标系当作基础框架，依据预设的参数标准来判定对流单体的强度和体积状况，若符合预设参数便可判定为雷暴对流单体，此方法对多雷达系统的间距安排有合理要求，完成雷达的三维数字图像重建，其识别的准确程度达到行业领先地位，除位置中心点外，还包括覆盖体积和投影面积这些维度^[6]。

TREC 算法充分挖掘跟踪雷达回波信号的能力，凭借图像识别算法完成运动目标的持续跟踪任务，通过交叉扫描雷达仰角的特定值，构建完整的二维回波图，TREC 对特定时段的雷达观测数据进行等体积空间分割，对各时间段像元进行互相关研究，由

此得出回波场的实际位移矢量，这项技术能对反射率因子区域进行降水率场的计算，依据时段累计量预估未来半小时和一小时的降雨情况，以此提升预报的精准度。

（二）强对流天气临近预报分析

1. 强冰雹预测

强冰雹现象归属于强对流天气类别，其发生受特定气象界限限制，有不伴随雷暴的强冰雹情况，所以形成概率相对偏低，强上升气流长时间持续才能形成强冰雹，促进冰雹粒子的形成和聚集，对流势能数值直接影响大气垂直运动能量的释放上限，对流有效势能变强，强冰雹就更容易出现。深垂直风切变展示了近地面到6km 高空风场的垂直切变特性，显著的深垂直风切变有利于冰雹旋转机制的维持和尺寸变大，鉴于零度层下界是冰雹融化的主要区域，所以要把0℃层高度控制在恰当的低水平，核心是系统分析微物理要素，使冰雹形成层的温度范围能保证过冷水滴的充分供应，强雹天气在雷达图像里有特征性回波，回波强度中心增强与高度急剧上升同时出现，这一特征组合表明强冰雹威胁增大，且初步估计的冰雹直径会有所增加^[7]。

2. 雷暴大风预报

雷暴大风作为强对流天气突出特性，高精度临近预报很重要，运用多普勒天气雷达探测，凭借回波特征判断雷暴大风强度，强雷暴活动期间，外围低湿空气不断被卷入，强对流云团向下挤压，引发短暂的下沉加速，雷暴形成阶段，中层干燥气团混入雷暴云，可发现径向辐合迹象。从垂直的剖面视角来看，此类特征的空间分布集中于2-7千米高度区间，雷暴大风条件下垂直速度的差距要达到25米每秒以上，表现为剧烈的垂直活动状态，从实践角度判定其特点是否显著，要是雷暴环境适宜，超级单体的中气旋结构能够主动将干燥空气带入下沉气流通道，进一步促使雨滴冷却蒸发，加快下沉气流的运行，使得气旋表面区域气压降低，从而引发压力差，当下沉气流接触到地面，受气压梯度力作用，风速会快速增大^[8]。

3. 龙卷风监测预警

龙卷风作为常见气象灾害危害大，其内部风速最高达140米/秒，分5个等级，各大洲都有观测到，临近预警主要靠多普勒雷达实时探测中气旋，约两成概率形成龙卷风，当中气旋底部高度低于1千米，出现概率升至40%，表明中气旋下探越明显，成龙卷风

几率越高，酝酿阶段常伴生。当有显著的垂直风切变且低层湿度较小时，若检测到强级别及以上的中气旋，龙卷风出现的概率会急剧增大，其底部高度一般低于1公里，龙卷风是高风险的强对流天气，预警要通过多普勒雷达实时监测中气旋，约20%的时候会有龙卷风现象，当中气旋到达近地层，同时低空呈现强垂直风切变和高湿度特点时，龙卷风出现概率会大幅增加，准确的龙卷风预警对防灾行动的及时开展十分关键^[9]。

4. 对流性暴雨预报

对流风暴预测可靠与否是暴雨预警系统的关键，预报的要点是判断小流域山洪是否超出实际降水界限，其界限条件和盆地整体地貌、历史降雨息息相关，地势起伏较大地带，小流域更易触及山洪临界状态，若有前期降水现象，这一临界值或许降低，评估各子流域降水是否达到山洪形成条件是核心工作，处理大陆对流降水观测值时，降水强度计算误差主要由冰雹引起，若反射率因子分别采用40、45与50 dBz，各类降水形态特征及其热带区域的降雨强度，结合风暴对流的强度评价，构成暴雨预警的核心要素，解析地形因子对洪峰临界值的响应机制，建立各子流域单日降雨突破暴雨阈值的量化模型，冰雹干扰导致雨强评估精度下降，各反射率因子阈值区间分别对应特定的降雨强度等级，根据可靠预报数据可迅速采取应对行动，防范暴雨带来的附加灾害^[10]。

四、结束语

雷暴和强对流临近天气预报技术的研究，是有效应对高影响灾害性天气的关键科学支撑，本研究系统地梳理了针对雷暴生命史特征和高架雷暴等特殊机制的认知内容，查看了以雷达遥感技术为核心的自动外推方法的成效，进而对强冰雹、雷暴大风、龙卷风和对流性暴雨等关键灾害类型的临近预警分析技术予以探讨。面临复杂地形环境里局地特征难以精准捕捉、龙卷风与强冰雹等小尺度现象触发机制理解程度不深、以及怎样有效延展预警提前量等挑战，研究工作仍需拓展对机制的认知，持续革新探测数据同化技术以及预报模型算法，要不断推进观测预报的互动创新、多学科技术的交叉融合，以便创建更精准、更智能、更贴合实际的预警体系，大幅增进预警服务质量及防灾减灾效益，为应对日益频繁出现的高影响天气事件提供更坚实后盾。

参考文献

[1] 叶芳璐. 瞄准“快、准、稳”科研不停步 [N]. 中国气象报, 2024-05-23(004).
[2] 丁文文. 雷暴与强对流临近天气预报技术的探讨 [J]. 农业灾害研究, 2024, 14(02): 194-196.
[3] 赵亚楠. 雷暴与强对流临近天气预报技术探讨 [J]. 内蒙古科技与经济, 2023, (22): 109-112.
[4] 王晓凡. 瞄准世界难题提升强对流天气精准预报能力 [N]. 中国气象报, 2023-11-15(003).
[5] 王安琦, 曹永哲, 王太然, 李庆国. 雷暴与强对流临近天气预报技术探讨 [J]. 农业灾害研究, 2021, 11(10): 81-82.
[6] 韩理. 聚焦: 雷暴与强对流临近天气预报技术 [J]. 中国航班, 2021, (25): 40-42.
[7] 胡国领, 原野, 张耀文, 林宏, 李雄鸣. 雷暴与强对流临近天气预报技术探究 [J]. 数字通信世界, 2019, (11): 82.
[8] 孙雨, 徐春霞, 王晓霞. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展 [J]. 农家参谋, 2019, (06): 164.
[9] 赵文博. 雷暴与强对流临近天气预报技术探讨 [J]. 河北农机, 2019, (03): 108.
[10] 李青青. 雷暴与强对流临近天气预报技术 [J]. 农家参谋, 2019, (01): 121.