

# 沈阳桃仙机场一次冰雹天气过程的相控阵雷达图像分析

李磊 宋琳琳

民航东北地区空中交通管理局, 辽宁沈阳, 110000;

**摘要:** 本文通过分析 2025 年 9 月 30 日沈阳桃仙机场一次冰雹天气过程的相控阵雷达图像, 结合当日天气形势分析, 得出以下结论: (1) 本次天气过程当回波强度达到 55dBZ 时开始有冰雹产生, 相控阵雷达能够精细捕捉冰雹云团的强度变化和移动方向。(2) 雷达图像上云体形态和云内垂直风场的变化有利于对强对流发展阶段的判断。(3) 相控阵雷达对云中粒子相态的识别有助于冰雹范围及冰雹发展趋势的预报。(4) 相控阵雷达图像的分析有助于冰雹和短时强降水的强度和变化时间的判断, 对冰雹的预报能提供最高 30 分钟左右的提前预报量。

**关键词:** 相控阵雷达; 冰雹; 短临预报

**DOI:** 10.69979/3041-0673.26.04.084

冰雹是较强的对流性天气, 通常伴有雷电、强降水和大风天气, 有较强的突发性和局地性, 能对飞行器和航站楼造成破坏, 危害人身安全, 严重影响航班的起飞和降落。2021 年 9 月 30 日夜间大连机场出现强雷雨伴冰雹大风天气, 对多架停场飞机造成损伤, 导致大范围航班延误, 高若时等<sup>[1]</sup>通过风廓线雷达、多普勒雷达等资料分析了本次天气过程, 发现风廓线雷达可提前获知冷空气侵入, 可作为冰雹临近预报参考。张玉等<sup>[2]</sup>统计分析了沈阳桃仙机场的多年冰雹个例, 总结了沈阳机场冰雹的天气形势。周弘媛等<sup>[3]</sup>通过相控阵雷达资料分析了 2023 年 7 月 10 日绍兴冰雹大风过程, 重点分析了冰雹的雷达垂直探测结构和粒子分布。

本文通过分析 2025 年 9 月 30 日雷暴天气过程的相控阵雷达图像, 分析冰雹期间的雷达反射率、垂直结构以及相态分布, 力求提升冰雹的临近预警准确性。

## 1 资料介绍

本文采用沈阳市相控阵雷达, 由三部 X 波段相控阵雷达形成组网产品, 三部雷达分别部署于沈阳市苏家屯区、于洪区和沈北新区, 距离沈阳桃仙机场最近的苏家屯区雷达距离本场 15 公里。单部雷达探测半径为 60 千米, 水平探测分辨率 30 米, 扫描周期 1 分钟, 垂直扫描共计 40 层。三部雷达组合探测距离基本覆盖本场及终端区范围, 能够实现对尺度小、变化快的冰雹、雷暴大风等灾害性天气进行高精度监视预警。

天气资料采用本场观测数据和气象站探测数据。

## 2 天气实况

2025 年 9 月 30 日, 沈阳桃仙机场出现短时强雷雨

伴冰雹及飏天气, 对航班运行产生了较大影响。当日累计降水量为 24.6mm, 午后周边持续出现雷雨天气。冰雹出现前, 本场 13:56 起周边闻雷, 14:38 开始降雨, 14:45 降雨强度增强并探测到飏, 风力迅速提高, 出现 14m/s 阵风, 14:58 降雨强度提升到强雷雨, 随即 15:01 开始本场出现冰雹, 持续时间 9 分钟, 最大冰雹直径 11mm, 重量 0.64g, 后续降水强度减弱, 15:10 减弱为中雷雨, 并解除冰雹及飏, 风力开始减弱, 15:22 解除中雷雨, 后续周边弱雷雨持续至 16:42。

## 3 天气形势

根据 30 日 14 时天气形势 (图 1), 东北地区西部冷空气活动, 锋面呈现前倾形态, 冷空气迅速东推, 冲击东部积累的暖空气, 上升气流加剧。辽宁地区中部有西南急流, 为沈阳地区提供一定程度水汽输送。辽宁地区 850hPa 湿区偏东, 沈阳上空相对湿度 50% 左右, 比湿 7g/kg, 但随着高度的降低, 在 900hPa 以下, 沈阳地区比湿迅速升高, 达到 10-12g/kg, 为局地对流发展提供了水汽基础。沈阳北侧有干舌东伸, 加强了中低空干侵入。0℃ 高度层位于 3000 米高度附近, 便于沈阳地区秋季冰雹的触发。锋面在南部转为东北-西南走向, 有利于辽宁地区东部降水时间延长。

根据 30 日 08 时探空图 (图 2), 沈阳地区体现为低层暖湿, 中高层干冷的结构, 与前倾槽配置一致, 冷区厚度较大, 表现为高的对流有效位能, 利于局地对流活动发展。湿区主要集中在 925hPa 以下, 中高层为干区, 850hPa 温度露点差约 10℃, 不利于大范围降水活动, 利于局地性对流发展。0-6km 风矢量差接近 16m/s,

有较强的垂直风切变, 利于局地中气旋的形成。0℃高度在 3000 米附近, -20℃高度在 6000 米附近, 有利于秋季中等强度以上对流单体形成冰雹。

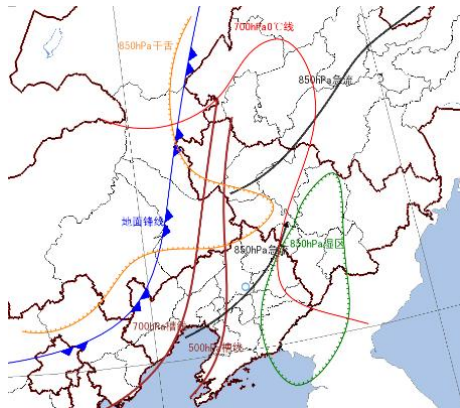


图 1 9月30日天气形势分析

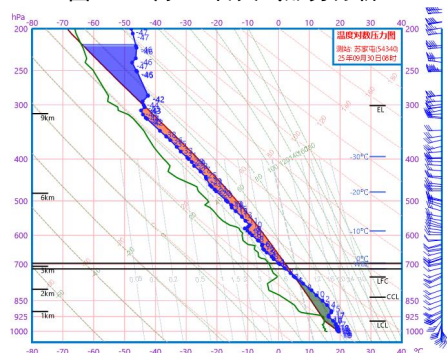


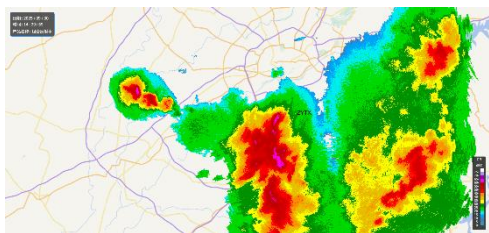
图 2 9月30日08时探空分析

### 4 雷达图像平面特征分析

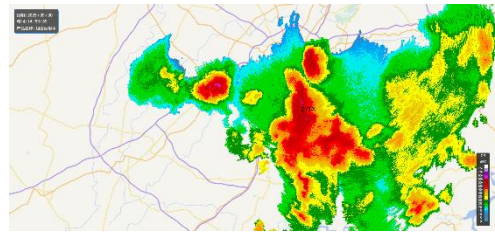
经图像分析后, 本次强对流过程各阶段维持 15~30 分钟, 因此本文采用 15 分钟图像间隔展示分析雷达回波特征。图片 (1) - (6) 按顺序排



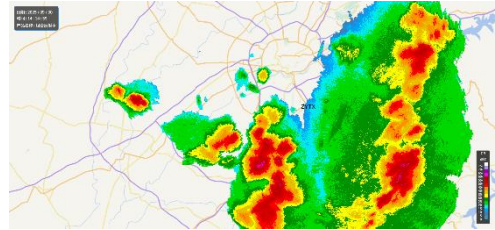
(1) 14:00



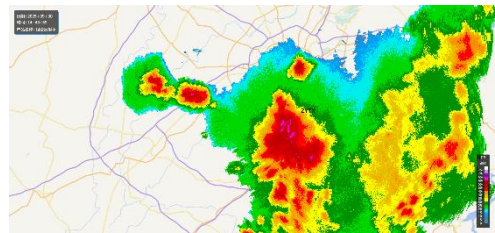
(3) 14:30



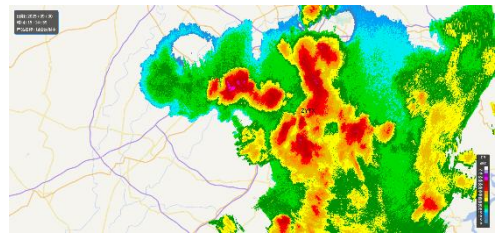
(5) 15:00



(2) 14:15



(4) 14:45



(6) 15:15

图 3 逐 15 分钟雷达平面组合反射率图像

辽宁地区午后开始持续出现对流活动, 在冰雹出现前, 本场已出现中等强度雷雨天气, 截至 14:00(图 3-1), 雷雨回波移至本场东侧 30km 外, 呈带状形态, 长度达 100km, 其西侧多有分散对流单体活动, 云团直径 5-20km。本场冰雹云可追溯到 13:45, 在本场西南侧 31km 附近位置开始有小尺度弱回波出现, 向东北方向缓慢移动, 并迅速发展。至 14:00, 该单体迅速发展, 中心反射率达到 50dBZ, 且范围有所增大。14:15 (图 3-2) 回波出现 60dBZ 以上强度, 进入强度峰值阶段, 同时伴随回波范围扩大, 其与西侧和南侧对流回波融合, 并扩大高 dBZ 回波范围, 整个强回波宽度达到 25 至 30km。14:30 (图 3-3) 强对流云团中心强回波区强度达 65dBZ 以上, 图像上可观测到多个强度核心, 同时也可以观测到东部的强回波带明显减弱, 对流云系分崩离析。对流云团整体移动速度为 20km/h 左右, 系统移速略缓,

强对流云团东移后,能量补充减弱,导致东侧对流减弱,西侧对流增强。对流强度达到巅峰时,冰雹产品显示有识别出冰雹发生,局地强降水和冰雹拖曳作用导致强对流强度维持,未能进一步增长,且上升气流的减弱导致下沉气流的增强和地面阵风的发生,随后在东移过程中,强度出现减弱,图像上可识别 60dBZ 回波的时段为 14:10 至 15:00 (图 3-4 及 3-5),持续时间约 50 分钟,期间低空风场体现为大范围西南风,未出现明显中气旋,但局地有风速的切变区。强对流中心移至本场上空导致冰雹出现时,对流已进入减弱阶段,中心最大回波强度 55-60dBZ。至 15:15 (图 3-6) 强回波区基本移至本场东侧,强降水结束。后续对流云团移动较慢,虽强度明显减弱,但云区北侧仍有高强度回波中心,导致后续本场周边持续闻雷。

## 5 雷达图像垂直特征分析

图片 (1) - (4) 按顺序排

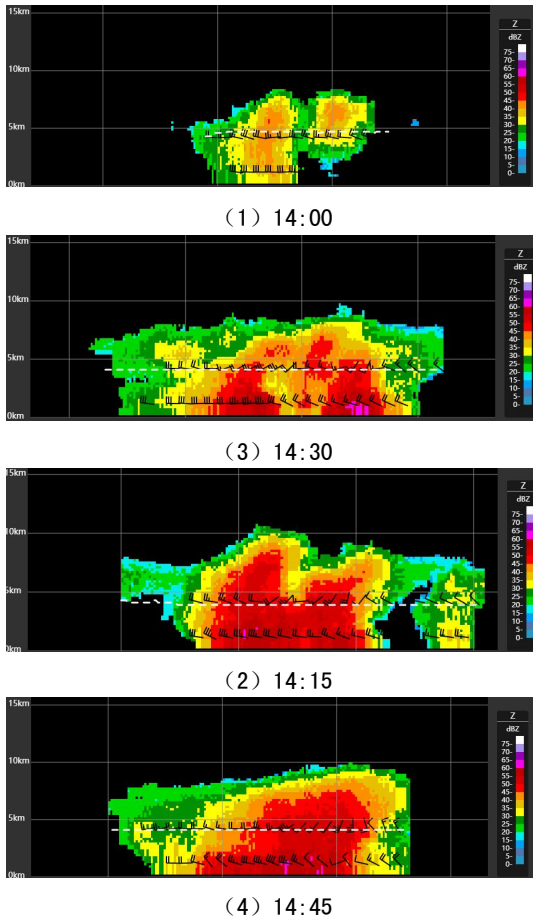


图 4 逐 15 分钟垂直反射率图像

在雷达垂直剖面图像上看到,13:45-14:15 对流云团为快速发展期。13:45 冰雹云生成前期,云体在 5km 高度开始发展,说明低层垂直气流强烈,水汽迅速上升凝

结后在 0℃ 层以上聚集。10 分钟后,云体迅速增厚,云内低强度回波下探到近地面高度,云内回波最大值为 35dBZ,多分布于 3-6km 高度,多为 0℃ 层上部。随后回波强度迅速增大,至 14:00 (图 4-1) 云内最大回波强度达到 50dBZ,回波顶高达 10km,45dBZ 以上强回波分布于 8km 高度以下,云体前部呈现回波悬垂和穹隆结构,强回波悬垂出现于 4-8km 高度。14:15 (图 4-2) 云体发展旺盛,回波强度突破 60dBZ,强回波中心位于 2km 左右高度,低层水汽辐合明显,45dBZ 以上强回波延伸至 10km 高度,探测回波顶高为 13km,云体内部呈现片状强回波墙,前部悬垂回波下坠,回波穹隆出现于下坠回波和对流主体间,有界弱回波上探至 6km 高度。14:30 (图 4-3) 回波轴线上强回波宽度达 30km,垂直高度维持,回波主体前侧体现为质心下坠,最强回波 60dBZ 回波区位于 2km 以下高度,伴随低空风场体现为下沉气流,回波穹隆分布在对流中心中线两侧,轴线指向本场方向,此时对流强度达到顶峰,前部降雹带来的下曳气流导致其上升气流中断,对流发展停滞,下沉气流导致地面阵风出现,降雹点距本场 10km 左右,后续本场周边地面风力增强,地面气压骤升。14:45 (图 4-4) 可见强回波顶高开始下沉至 9km 高度,轴线上的强回波中心后移至云体中部,前侧无明显可见回波穹隆,以上特征均指出对流前部入流补充减弱,对流向消散释放期。15:00 图像可见强回波区持续下沉,云内整体回波强度呈现减弱趋势,但云内水汽集中后,低层仍有较强回波中心,伴随仍持续的降雹区。15:15 云内最强回波减弱至 55dBZ 以下,风的垂直活动减弱,本场周边冰雹基本消退。

## 6 雷达图像垂直相态结构分析

垂直相态分布图像 HCL 上看到,13:45 云内基本为干雪构成。14:00 (图 5-1) 时 0℃ 以上出现大量霰或雹粒,作为冰雹发展的雹胚来源。14:15 (图 5-2) 云内探测到大量冰雹分布,最高位于 6km 左右位置,于 -20℃ 层所在高度基本一致,6km 以下分布较少,但雹胚分布到接近 9km 高度,大量冰雹位于融化层内,说明冰雹的生成发展旺盛,此时冰雹区距离本场 20-25km。14:30 图像 (图 5-3) 可识别为强回波上空高耸的冰雹区及其前部位于融化层及下部降雨层内的低垂冰雹区,对应分类为冰雹发展区和降雹区,两者距离可达 5-10km。14:45 (图 5-4) 融化层上部冰雹逐渐减少,冰雹发展区缩减,

降雹区回退,说明入流条件的减弱减小了冰雹抛掷范围。15:00冰雹均位于0℃层下部降雨区内,冰雹发展被限制,进入冰雹清除期,地面仍有降雹,但冰雹的生成显著减弱。15:15云中以干雪和雨滴为主,基本没有可探测冰雹粒子,且雹胚也大幅减少,此后地面降雹基本结束。图像上雨区内冰雹的识别时间与本场降雹实况基本一致,但强降水识别比本场降水实况略强。低层回波40dBZ以上时,地面降水可探测为中等强度降雨,回波50dBZ以上时可探测为强降雨,回波55dBZ。因此相控阵雷达垂直相态分布图像有助于冰雹范围、冰雹发展趋势及降水强度的识别。

图片(1)-(4)按顺序排

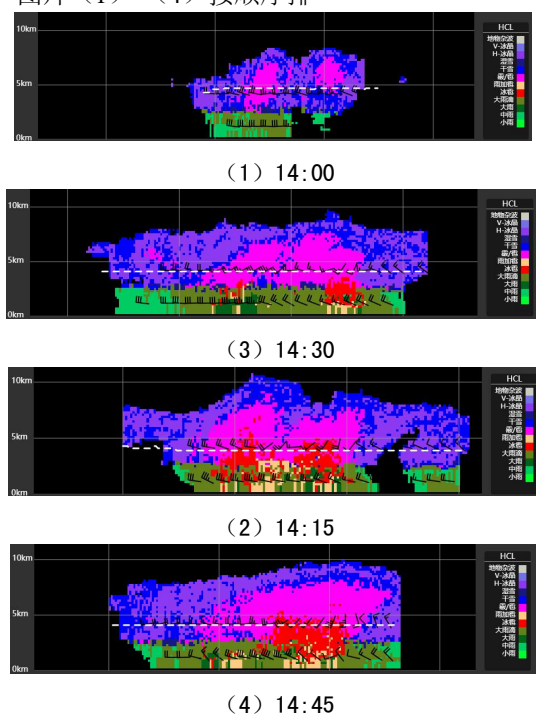


图5 逐15分钟垂直相态分布图像

## 7 结论

(1) 本次冰雹天气过程是典型的前倾锋面结构,在低空有适合的湿度条件以及干舌,高低空配置有较大的温度垂直递减率和垂直风切变,配合较强的对流不稳定能量,以及较低的0℃和-20℃层高度,对沈阳地区秋季冰雹的发生发展较为有利。

(2) X波段相控阵雷达具有较高的时间和空间分辨率,能够在垂直和水平方向上对冰雹对流云团实现较

精细的识别,能够通过水凝物垂直相态分布图像识别云体内部离子的相态分布情况,提高冰雹识别程度。

(3) 组合反射率图像表明,冰雹对流云团在前期发展迅速,强度达到55dBZ以上逐渐开始有冰雹形成,冰雹的发生使对流活动转为减弱的趋势,相控阵雷达能够精细捕捉冰雹云团的强度变化和移动方向。

(4) 雷达垂直剖面图像表明,对流发展阶段对流云体有可识别的回波悬垂和穹隆,50dBZ回波伸展到-20℃高度以上,冰雹发生、质心下沉、下沉气流的出现是对流强度变化的重要节点。云体形态和云内垂直风场的变化有利于对强对流发展阶段的判断。

(5) 垂直相态分布图像能够帮助对云内0℃温度层上下的粒子相态进行精密识别,0℃温度层上部雹胚的迅速增加保证了冰雹的快速发展,在对流消散阶段可识别出融化层上部冰雹减少,冰雹发展区缩减,降雹区回退等变化,有助于冰雹范围、冰雹发展趋势及降水强度的预报,弥补了多台雷达组网图像对三体回波和V型缺口等特征的消除。

(6) 相控阵雷达图像的分析有助于冰雹和短时强降雨的强度和变化时间的判断,对冰雹的预报能提供最高30分钟左右的提前预报量。

(7) 本次冰雹过程在雷达风场图像上并未识别出有效的中气旋结构,对相控雷达的中气旋探测和识别仍需进一步关注。

## 参考文献

[1] 高若时,李逸飞,于佳松.“9.30”大连机场强冰雹天气特征分析[J].中国民航飞行学院学报,2024,35(6):42-45

[2] 张玉,王程昱.桃仙机场2005—2021年冰雹情况统计分析[J].农业灾害研究,2022,12(7):121-123

[3] 周弘媛,钱卓蕾,喻侨等.2023年7月10日绍兴冰雹大风过程的相控阵雷达特征分析[J].2024,40(12):22-30

作者简介:李磊(1988-),男,汉族,河北卢龙人,本科,工程师,研究方向:航空气象预报。