

# 衡阳新一代天气雷达多观测模式切换策略与阈值研究

许翔<sup>1</sup>, 贺科<sup>1</sup>, 苏亮宇<sup>1</sup>, 屈立峻<sup>2</sup>, 喻衡雁<sup>3</sup>

<sup>1</sup>衡阳市气象局, 湖南 衡阳

<sup>2</sup>耒阳市气象局, 湖南 衡阳

<sup>3</sup>衡阳县气象局, 湖南 衡阳

收稿日期: 2026年9月1日; 录用日期: 2026年10月5日; 发布日期: 2026年10月14日

## 摘要

利用地面气象观测、闪电定位资料、雷达基数据及多观测模式运行日志, 分析了衡阳新一代天气雷达2025年1月~2026年6月多观测模式运行的切换现状, 并基于雷暴大风和短时强降水灾害样本对切换阈值进行本地化优化, 探讨了运行切换机制。结果表明: 1) 运行期间系统共产生VCP11智能提醒切换建议25,452条, 按提示时间间隔  $\geq 60$  min 聚类为387次独立事件, 其中2 h内命中雷暴大风或短时强降水的正确样本174次, 正确率45%, 反映出当前智能提醒存在预报员参与度偏低、误触发偏多的问题。2) 触发VCP11切换的关键因子为  $A_2 \geq 100 \text{ km}^2$  与  $A_{VIL} \geq 10 \text{ km}^2$ ; 其中  $A_2$  是主导触发条件。3) 建议将CR基础判别阈值由35 dBZ上调至40 dBZ;  $A_2$  维持  $\geq 100 \text{ km}^2$  作为主触发条件,  $A_{ET}$  (回波顶高  $\geq 6 \text{ km}$  面积) 判定阈值由  $15 \text{ km}^2$  下调至  $12 \text{ km}^2$  (4~9月ET阈值由6 km提高至12 km、10~3月保持6 km); VIL阈值由  $15 \text{ kg/m}^2$  下调至  $10 \text{ kg/m}^2$ ,  $A_{VIL} \geq 10 \text{ km}^2$  作为辅助判据; 并建议建立“天气形势研判 + 手动切换”与“智能提醒 + 人工判定”双轨切换机制。

## 关键词

天气雷达, 多观测模式, 切换阈值, 智能提醒, 双轨机制

## Research on the Multi-Observation Mode Switching Strategy and Thresholds for the Hengyang New-Generation Weather Radar

Xiang Xu<sup>1</sup>, Ke He<sup>1</sup>, Liangyu Su<sup>1</sup>, Lijun Qu<sup>2</sup>, Hengyan Yu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hengyang Meteorological Bureau, Hengyang Hunan

<sup>2</sup>Leiyang Meteorological Bureau, Hengyang Hunan

<sup>3</sup>Hengyang County Meteorological Bureau, Hengyang Hunan

Received: September 1, 2026; accepted: October 5, 2026; published: October 14, 2026

文章引用: 许翔, 贺科, 苏亮宇, 屈立峻, 喻衡雁. 衡阳新一代天气雷达多观测模式切换策略与阈值研究[J]. 地球科学前沿, 2026, 16(10): 1423-1431. DOI: 10.12677/ag.2026.1610126

## Abstract

Based on surface meteorological observations, lightning location data, radar base data, and multi-observation mode operation logs, this study analyzes the current status of observation mode switching for the new-generation weather radar in Hengyang from January 2025 to June 2026, localizes and optimizes the switching thresholds using disaster samples of thunderstorm gales and short-duration heavy precipitation, and discusses the operational switching mechanism. The results show that: 1) During the operation period, the system generated a total of 25,452 VCP11 intelligent-reminder switching suggestions, which were clustered into 387 independent events with a prompt interval  $\geq 60$  min; among them, 174 were correct samples that hit thunderstorm gales or short-duration heavy precipitation within 2h, with a correct rate of 45%, reflecting that the current intelligent reminders suffer from low forecaster participation and excessive false triggers. 2) The key factors triggering VCP11 switching are  $A_2 \geq 100 \text{ km}^2$  and  $AVIL \geq 10 \text{ km}^2$ , among which  $A_2$  is the dominant triggering condition. 3) It is recommended to raise the CR basic discrimination threshold from 35 dBZ to 40 dBZ; maintain  $A_2 \geq 100 \text{ km}^2$  as the main triggering condition, and lower the  $A_{ET}$  (echo top height  $\geq 6 \text{ km}$  area) discrimination threshold from  $15 \text{ km}^2$  to  $12 \text{ km}^2$  (the ET threshold is raised from 6 km to 12 km from April to September and kept at 6 km from October to March); lower the VIL threshold from  $15 \text{ kg/m}^2$  to  $10 \text{ kg/m}^2$ , with  $AVIL \geq 10 \text{ km}^2$  as an auxiliary criterion; and it is suggested to establish a dual-track switching mechanism of “weather situation analysis + manual switching” and “intelligent reminder + human judgment”.

## Keywords

Weather Radar, Multi-Observation Mode, Switching Threshold, Intelligent Reminder, Dual-Track Mechanism

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

新一代天气雷达包括 VCP11 和 VCP21 两种降水观测模式。VCP11 在垂直方向上采样层次多样, 具有较高的空间分辨率, 能更有力地捕捉快速演变的强对流单体, 在回波顶高、垂直积分液态水含量等产品上优于 VCP21 模式; 研究表明在强对流天气中, 当距离小于 150 km 时, VCP11 模式明显优于 VCP21 模式[1]。但 VCP11 完成一次体扫耗时较长(约 6 min), 不利于对中大范围降水的连续监测, 且受人工切换、业务考核规范、系统适应性等因素限制, 业务上往往长时间运行 VCP21, 不利于对成云致雨全过程的动力和微物理结构特征的精细化观测。

衡阳新一代天气雷达(下文简称衡阳天气雷达)从 2025 年开始进行多模式观测业务运行, 目前仍采用初始默认阈值, 尚未结合本地气候特征及天气系统演变规律开展观测模式切换策略的本地化优化。由于湖南地区地形复杂, 局地强对流天气频发, 现有固定阈值难以精准匹配不同天气过程的探测需求, 导致雷达观测效率及数据质量存在提升空间。因此, 亟需基于衡阳地区的气候背景、天气系统特征及雷达历史观测数据, 构建科学合理的动态切换阈值模型, 实现“一站一策”的精细化观测模式配置。康丁元等[2]以广元市为例, 利用正确样本筛选和箱线图四分位数法优化了切换阈值, 形成三个判定条件, 并建议建立由预报员主导的双轨切换机制。

本文利用 2025 年 1 月~2026 年 6 月衡阳天气雷达多观测模式运行日志、地面气象观测、闪电定位资

料、雷达资料,分析衡阳多观测模式运行切换现状,从开展切换阈值合理性分析,结合湖南省试点雷达的本地化经验,形成衡阳雷达多观测模式切换阈值优化方案和运行切换机制建议。

## 2. 资料与方法

选取 2025 年 1 月~2026 年 6 月衡阳市天气雷达有效监测范围(0~150 km)内闪电、地面降水、大风及雷达等观测资料和多观测模式运行日志文件。通过地面资料及闪电资料,筛选出了短时强降水(1 小时降水量  $\geq 20$  mm)、雷暴大风(风速  $\geq 17.2$  m/s)个例。利用统计学方法对正确样本,由于 0~2 小时是雷达临近预报的标准时效窗口,同时也是切换提示产品本身的预报尺度[3]-[5],因此当首次触发切换提示为 VCP11,2 h 内有效监测范围内出现 1 个站点以上的短时强降水或雷暴大风为正确进行检验评估。选取出现短时强降水及雷暴大风时段对应的雷达数据对切换适配参数  $A_2$ 、VIL、 $A_{ET}$ 、 $A_{VIL}$ 、CR 和 ET 进行分析,选取合理的切换阈值及判定条件,并在此基础上结合衡阳市强对流天气特征,探讨多观测模式的切换策略。

## 3. 衡阳天气雷达多观测模式运行切换现状

### 3.1. 衡阳天气雷达与观测模式概况

衡阳天气雷达(Z9734)为 S 波段双偏振多普勒天气雷达,四周丘陵环绕,低仰角存在一定遮挡。雷达运行 VCP11 (降水模式 1)、VCP21 (降水模式 2)和 VCP31D (晴空模式)三种观测模式。现行业务中  $A_1$  为 18 dBZ 以上的回波面积, $A_2$  为 35 dBZ 以上的回波面积, $A_{ET}$  为回波顶高 6 km 以上的回波面积, $A_{VIL}$  为垂直液态水含量  $15 \text{ kg/m}^2$  以上的风暴面积。现行业务切换判据为满足以下条件之一: 1)  $A_{VIL} \geq 10 \text{ km}^2$ ; 2)  $A_2 \geq 100 \text{ km}^2$  且  $A_{ET} \geq 15 \text{ km}^2$ 。

### 3.2. 衡阳天气雷达观测模式切换现状

基于 2025 年 1 月~2026 年 6 月衡阳天气雷达多观测模式运行切换日志,共有 VCP11 智能提醒切换建议 25,452 条,期间共筛选出雷暴大风 2797 例,短时强降水 13,035 例,合计 15,832 例(2025 年 12 月未筛选出强对流天气样本,故文中未对 2025 年 12 月进行相关分析);由于智能切换提醒未响应,会出现连续多个雷达体扫进行提醒,故按提醒时间间隔  $\geq 60 \text{ min}$  聚类为独立事件 387 次,其中 2 h 内命中雷暴大风或短时强降水的正确样本 174 次,正确样本率 45%,可见目前衡阳天气雷达多模式观测智能提醒切换正确率较低。主要原因包括以下几个方面:一是预报员常依据天气形势判断后延迟甚至放弃模式切换,使得实际参与切换的频次偏低,进而拉低了切换正确率;二是现有阈值设定不尽合理、业务上难以把握,切换决策可能在未经人工研判的情况下直接触发,导致正确样本占比偏低。

触发切换为 VCP11 的判定条件及关键因子在 174 次样本中, $A_2$  共出现 173 次, $A_{ET}$  174 次, $A_{VIL}$  出现 20 次,说明是  $A_2$  强反射率面积达到条件时, $A_{ET}$  回波顶高面积同步达到条件, $A_2$  为判定条件的关键因子。

## 4. 衡阳天气雷达多观测模式阈值特征分析

### 4.1. 组合反射率分析

基于 2025 年 1 月~2026 年 6 月衡阳天气雷达 150 km 范围内的强对流天气样本,分析了 CR 各月及总体分布及不同门限 CR 对强对流天气的匹配度(即天气雷达切换提示的正确率)。从图 1 可以看到,CR 高度集中且偏强,合并中位数为 62 dBZ、最小值为 44 dBZ。由图 2 可见,CR 在 35~55 dBZ 对强对流天气匹配度差别很小( $\geq 35$  为 100%, $\geq 55$  为 98.4%),这可能与湖南强对流多由高 CAPE、强垂直风切变环境触发,对流单体发展旺盛,故组合反射率整体偏高[6] [7]。当  $CR \geq 60 \text{ dBZ}$ ,匹配度骤降至 78.1%。结合 CR 实际下限,建议将 CR 阈值由现在的 35 dBZ 调整为 40 dBZ,作为“存在对流”的基础判别,保证 100%

的匹配度,避免强对流天气漏掉切换提醒。CR 仅作触发面积型判据的前置条件,VCP11 切换主判别条件仍为上述面积型与液态水参数。

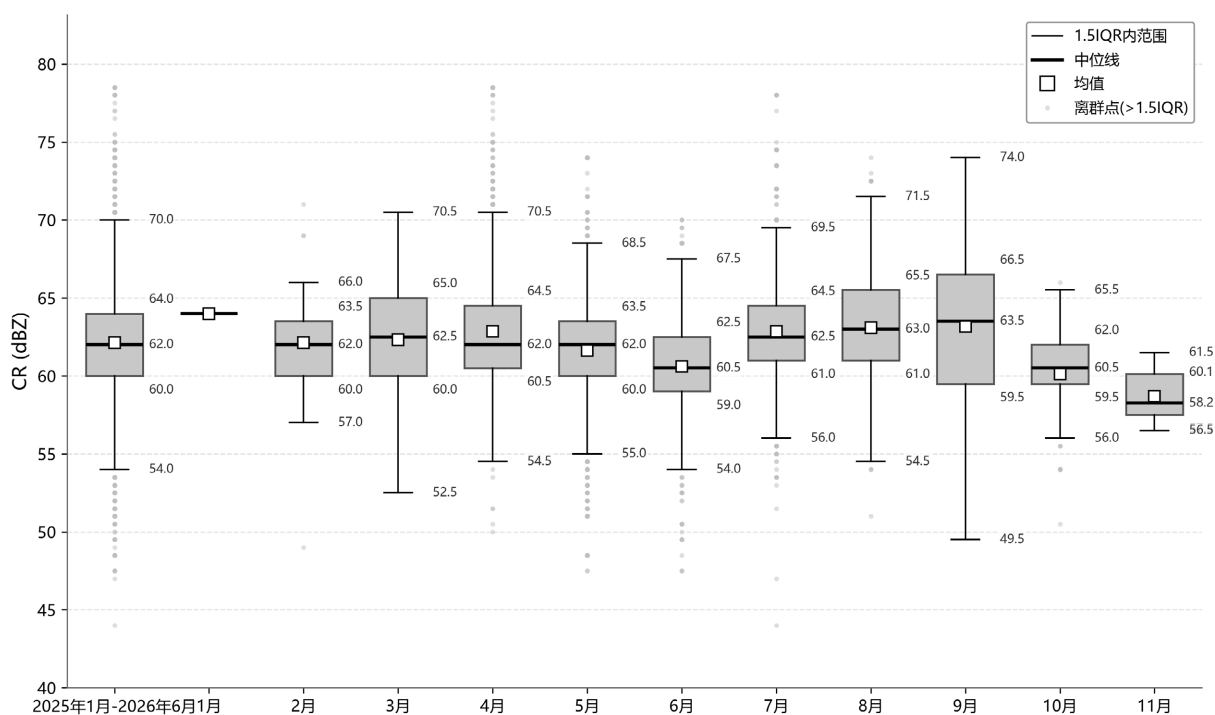


Figure 1. Boxplots of CR parameter adaptation from January 2025 to June 2026

图 1. 2025 年 1 月~2026 年 6 月 CR 参数适配箱

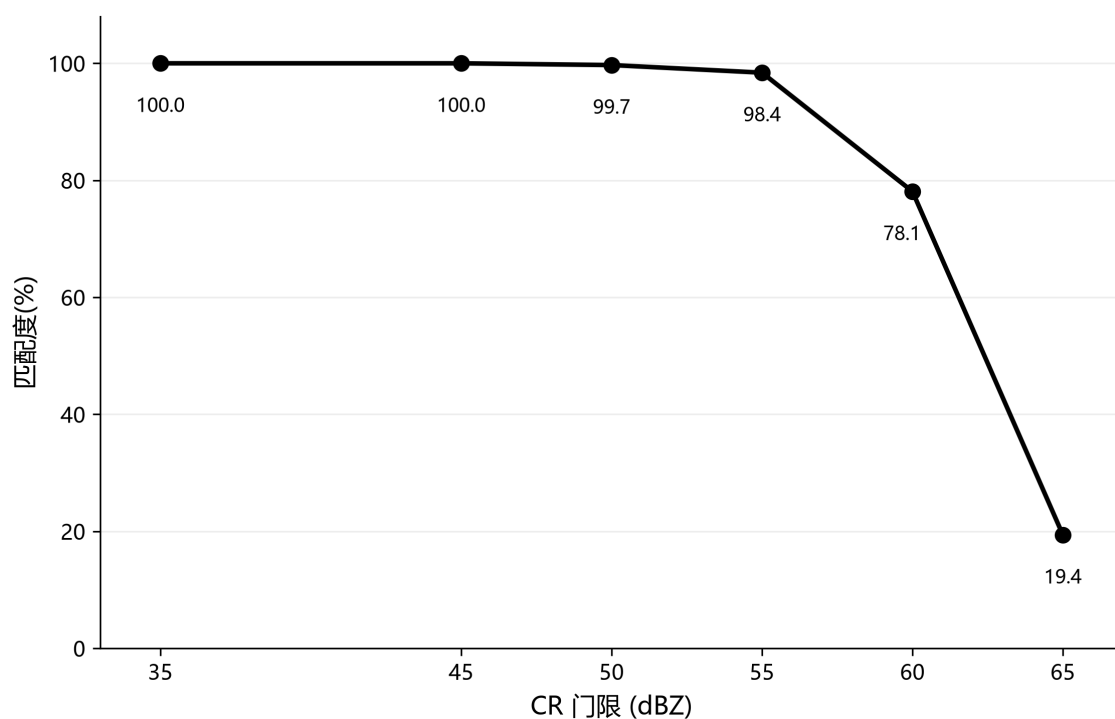


Figure 2. Matching degree of severe convective weather under different CR thresholds

图 2. 不同门限 CR 对强对流天气的匹配度

## 4.2. 回波面积门限分析

对全部强对流天气样本统计,  $A_2 \geq 30/50/100/200/300 \text{ km}^2$  的匹配度分别为 99.96%、99.90%、99.56%、98.25%、97.22%。可见 30~100  $\text{km}^2$  匹配度均达 99.5% 以上(见图 3), 阈值区分力主要体现在 200  $\text{km}^2$  以上区间。雷暴大风对面积门槛较敏感[8][9], 从 100  $\text{km}^2$  调整到 300  $\text{km}^2$  时, 其匹配度由 98.86% 降至 92.99%, 说明雷暴大风强更易被高门槛滤除。综合考虑, 建议将  $A_2 \geq 100 \text{ km}^2$  作为 VCP11 切换的主触发条件(与业务现行设定一致), 既保证灾害匹配度 99.5% 以上, 又避免 200  $\text{km}^2$  以上门槛漏掉对雷暴大风天气的切换提醒。

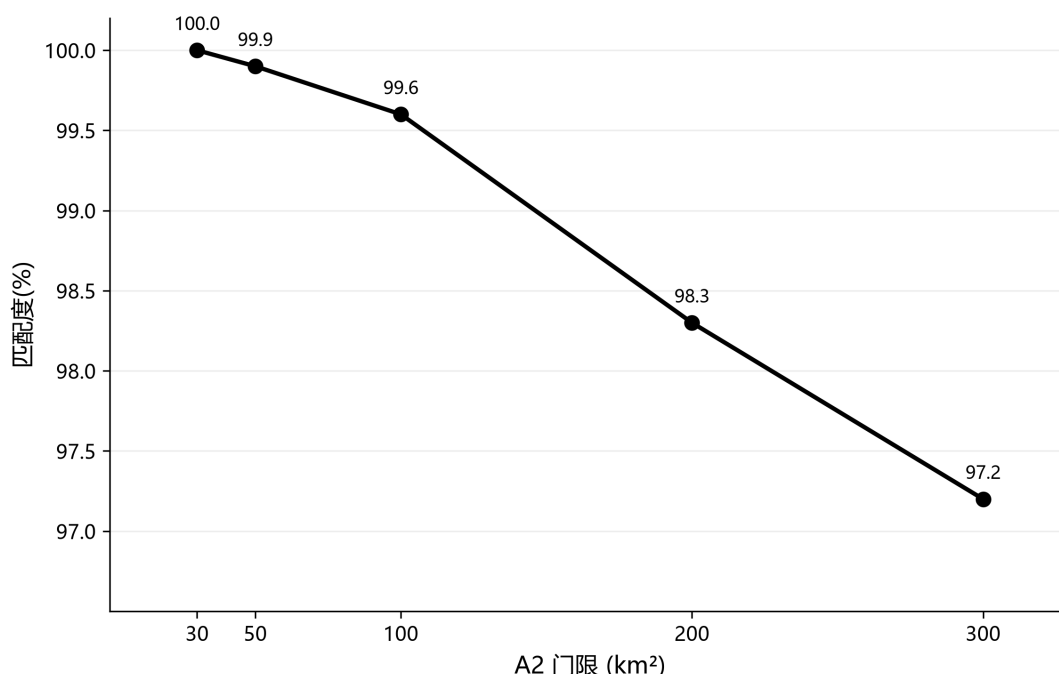


Figure 3. Matching degree of severe convective weather under different  $A_2$  thresholds

图 3. 不同门限  $A_2$  对强对流天气的匹配度

## 4.3. 回波顶门限分析

研究表明, 回波顶高在强对流天气监测预警中起到了很好的指示作用[10]-[12]。由图 4 可见, 各月箱体较窄、数据集中度较高; 全部样本四分位值(Q1)为 11.9 km, 月际对比显示 ET 存在明显季节波动: 夏季(6~9 月) Q1 达 12.7 km, 冬季(11~2 月) Q1 仅 5~7 km, 月际 Q1 差别大, 说明 ET 季节变化显著, 与春夏对流天气强于秋冬季对应。若全年统一取四分位值( $\geq 11.9 \text{ km}$ )作判定指标, 仅能覆盖约 75% 灾害样本。建议分别设定 ET 阈值, 4~9 月 ET 由目前的 6 km 调整为 12 km, 10~3 月保持 6 km 阈值不变。统计分析全部灾害性天气样本, 对  $A_{ET}$  不同门限值对应的灾害性天气匹配度进行分析(见图 5), 从现有的阈值 15  $\text{km}^2$  调整为 12  $\text{km}^2$ , 匹配度将提升至 80% 以上。

## 4.4. 垂直液体水含量门限分析

从图 6 可以看出, 各月 VIL 箱体数值离散度较大; 5~7 月各月箱体上下值较为接近, 中位数值逐步抬升; 10~1 月中位数值较其它月份明显偏低, VIL 数值存在季节性差异。现行 VIL 阈值为 15  $\text{kg/m}^2$ , 对强对流天气匹配度明显不足。全部样本 VIL 四分位值(Q1)为 10.5  $\text{kg/m}^2$ , 建议将现行 VIL 阈值从 15  $\text{kg/m}^2$  下调取整为 10  $\text{kg/m}^2$ 。同时, 现行业务切换阈值  $A_{VIL} \geq 10 \text{ km}^2$ , 对强对流天气的匹配度仅为 14.4%

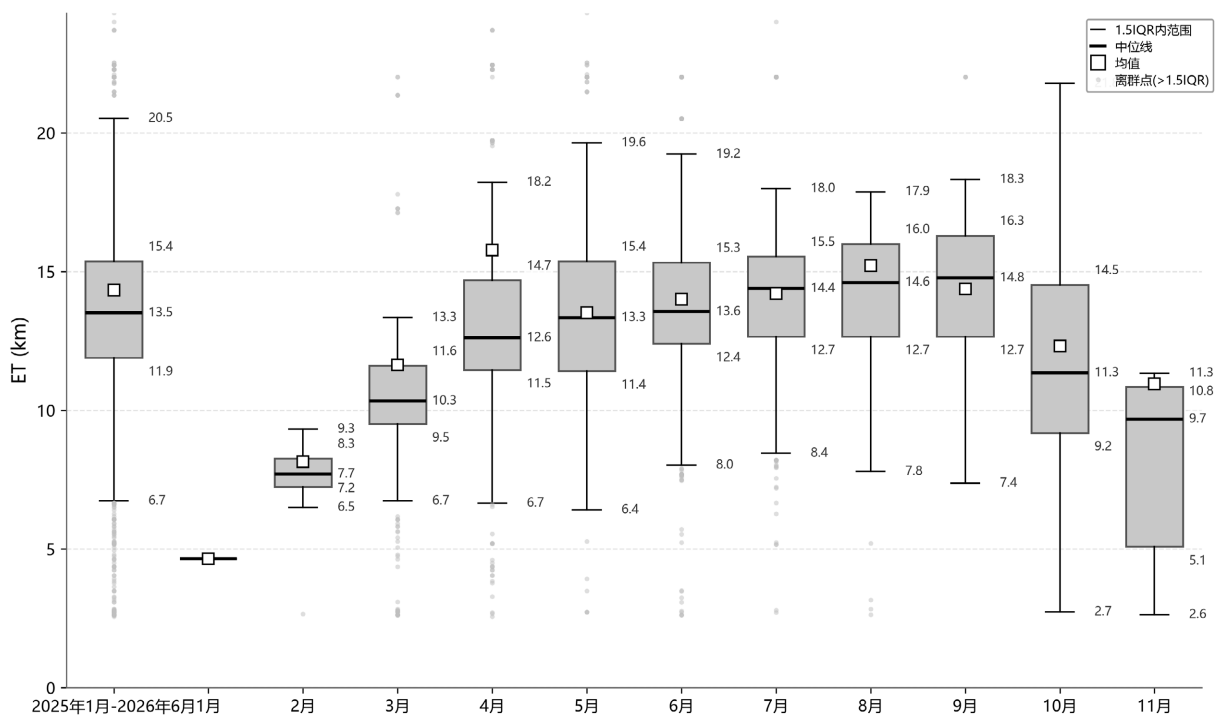


Figure 4. Boxplots of ET parameter adaptation from January 2025 to June 2026

图 4. 2025 年 1 月~2026 年 6 月 ET 参数适配箱

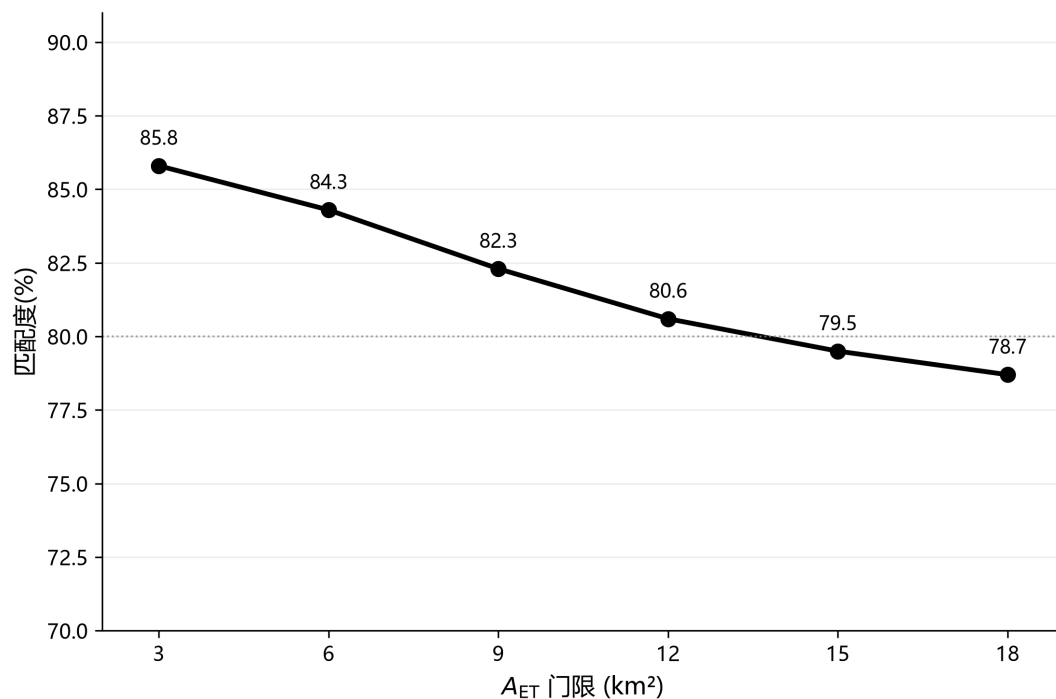


Figure 5. Matching degree of severe convective weather under different A<sub>ET</sub> thresholds

图 5. 不同门限 A<sub>ET</sub> 对强对流天气的匹配度

(见图 7), 且存在大量零值, 说明绝大多数强对流天气样本在临界时刻并不具备大范围 VIL 阈值连续区, A<sub>VIL</sub> 单独作为判别条件, 即使将 A<sub>VIL</sub> 阈值设置为 1 km<sup>2</sup>, 也将漏掉超过 80% 的强对流天气事件的切换提

醒。由于垂直液态水含量作为判定条件对强对流天气具有重要的指示意义[13]-[15],可以考虑保留业务现行  $A_{VIL} \geq 10 \text{ km}^2$  作辅助条件,或者选取 VIL 值为主判别条件,取四分位值  $10 \text{ kg/m}^2$  为阈值。

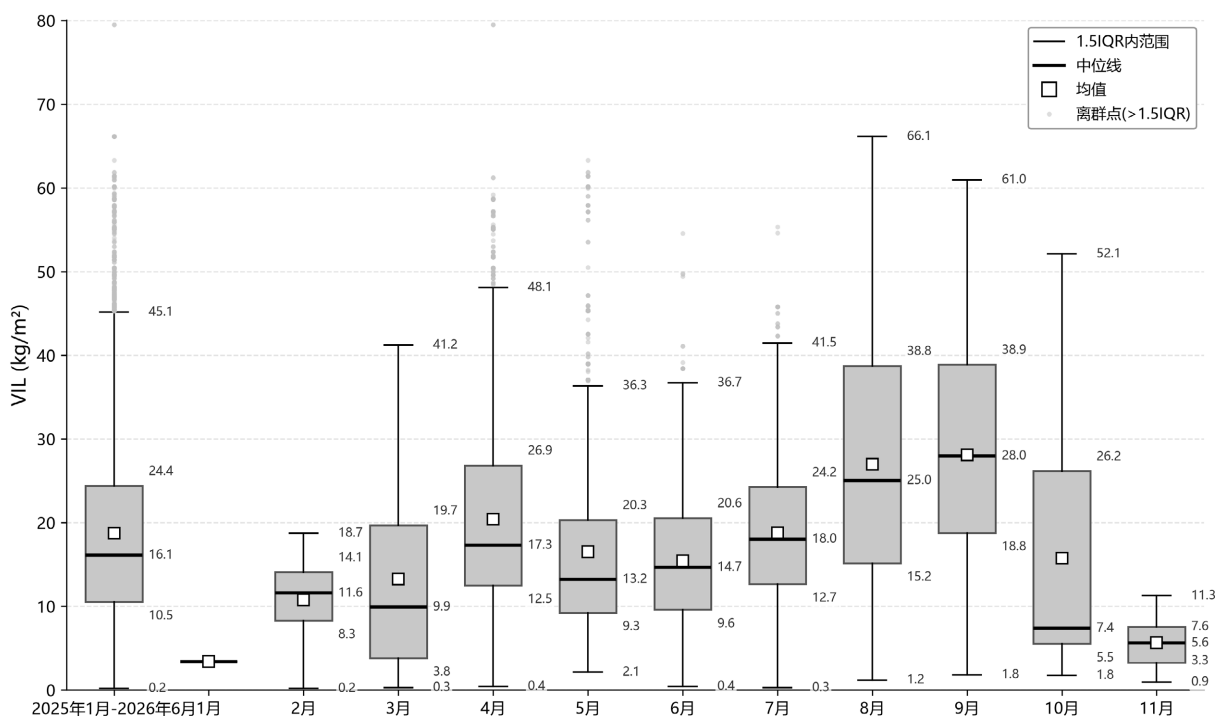


Figure 6. Boxplots of VIL parameter adaptation from January 2025 to June 2026

图 6. 2025 年 1 月~2026 年 6 月 VIL 参数适配箱

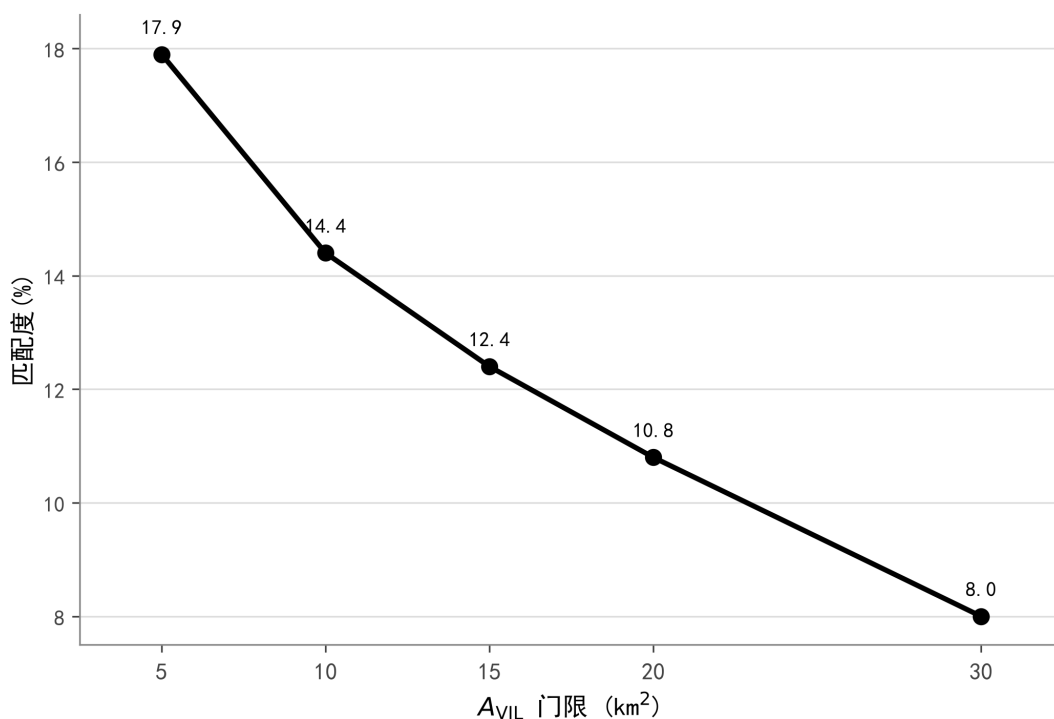


Figure 7. Matching degree of severe convective weather under different  $A_{VIL}$  thresholds

图 7. 不同门限  $A_{VIL}$  对强对流天气的匹配度

5. 衡阳天气雷达多模式观测阈值优化方案

综合  $A_2$ 、 $A_{ET}$ 、 $A_{VIL}$ 、 $CR$ 、 $VIL$  和  $ET$  参数分析, 形成衡阳雷达多观测模式切换阈值优化方案, 主判据条件为“ $A_2 \geq 100 \text{ km}^2$  且  $A_{ET} \geq 12 \text{ km}^2$ ”、辅助判据“ $A_{VIL} \geq 10 \text{ km}^2$  (或  $VIL \geq 10 \text{ kg/m}^2$ )”, 以  $CR \geq 40 \text{ dBZ}$  作“存在对流”基础判别条件、分时段对  $ET$  阈值进行设定,  $ET \geq 12 \text{ km}$  (4~9 月)、 $ET \geq 6 \text{ km}$  (10~3 月) (具体见表 1)。

**Table 1.** Optimized threshold scheme for the multi-observation mode switching of the Hengyang radar  
**表 1.** 衡阳雷达多观测模式切换阈值优化方案

| 判据类型     | 参数与阈值                                                                                       |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 主判据(面积型) | $A_2 \geq 100 \text{ km}^2$ 且 $A_{ET} \geq 12 \text{ km}^2$                                 |
| 辅助判据     | $CR \geq 40 \text{ dBZ}$ 、 $A_{VIL} \geq 10 \text{ km}^2$ (或 $VIL \geq 10 \text{ kg/m}^2$ ) |
| 分时段设置建议  | $ET \geq 12 \text{ km}$ (4~9 月)、 $ET \geq 6 \text{ km}$ (10~3 月)                            |

6. 衡阳天气雷达多观测模式切换策略探讨

参照业务实际, 建议衡阳雷达建立由预报员主导的双轨切换机制:

- 1) “天气形势研判 + 手动切换”。在天气尺度强迫明确、强对流潜势高的情形下(如副高边缘西南急流、冷锋/飑线过程), 由值班预报员依据天气形势提前手动切入 VCP11, 获取对流初生阶段的精细化垂直结构观测, 避免智能提醒的滞后性, 可在该类时段提高手动切换的主动参与度。
- 2) “智能提醒 + 人工判定”。智能切换提醒根据判别条件推送切换提醒, 预报员在短时限内判定确认。主要针对局地强对流天气及夜间雷达监测, 预报员主观无法把握强对流开始时段, 通过智能切换提醒能够及时发现强对流天气发展, 切换至对应雷达观测模式。

7. 结论与讨论

- 1) 基于 2025 年 1 月~2026 年 6 月衡阳天气雷达多观测模式运行切换日志, 聚类为 387 次智能切换提示样本, 其中 2 h 内命中强对流天气的正确样本 174 次, 正确样本率 45%, 可见目前衡阳天气雷达多模式观测智能提醒切换正确率较低, 存在预报员参与度低、误触发偏多的问题, 具备阈值与机制双优化的空间。
- 2) 在触发切换为 VCP11 的判定条件及关键因子在 174 次样本中,  $A_2$  共出现 173 次,  $A_{ET}$  174 次,  $A_{VIL}$  出现 20 次, 说明是  $A_2$  强反射率面积达到条件时,  $A_{ET}$  回波顶高面积同步达到条件,  $A_2$  为判定条件的关键因子。
- 3) 从不同门限  $CR$  对强对流天气匹配度分析,  $CR$  在 35~55 dBZ 对强对流天气匹配度差别很小。结合  $CR$  实际下限, 建议将  $CR$  阈值由现在的 35 dBZ 调整为 40 dBZ。对全部强对流天气样本统计,  $A_2$  在 30~100  $\text{km}^2$  的匹配度基本达到 99.5%以上, 从 100  $\text{km}^2$  调整到 300  $\text{km}^2$  时, 其匹配度下降明显。建议将  $A_2 \geq 100 \text{ km}^2$  作为 VCP11 切换的主触发条件。
- 4) 回波顶高( $ET$ )季节差异显著, 若全年统一取四分位值( $\geq 11.9 \text{ km}$ )作判定仅覆盖约 75%灾害样本。建议分季设定: 4~9 月  $ET$  由 6 km 提高至 12 km、10~3 月保持 6 km; 相应地  $A_{ET}$  判定阈值由 15  $\text{km}^2$  下调至 12  $\text{km}^2$ , 匹配度可提升至 80%以上。
- 5)  $VIL$  阈值由 15  $\text{kg/m}^2$  下调至 10  $\text{kg/m}^2$ , 可显著提升对强对流天气的匹配度; 现行业务  $A_{VIL} \geq 10 \text{ km}^2$  独立匹配度仅约 14%, 且存在大量零值, 不宜单独作主判据, 建议保留作为辅助触发或改以  $VIL \geq 10 \text{ kg/m}^2$  为主判别条件之一。

6) 建议衡阳本地化切换方案：主判据“ $A_2 \geq 100 \text{ km}^2$  且  $A_{ET} \geq 12 \text{ km}^2$ ”、辅助判据“ $A_{VIL} \geq 10 \text{ km}^2$  (或  $VIL \geq 10 \text{ kg/m}^2$ )”，以  $CR \geq 40 \text{ dBZ}$  作“存在对流”基础判别、 $ET \geq 12 \text{ km}$  (4~9 月)、 $ET \geq 6 \text{ km}$  (10~3 月)作伴随条件；保留 30 min 回切延迟与 80%的回切百分比迟滞设计，防止频繁切换；实施“天气形势研判 + 手动切换”与“智能提醒 + 人工判定”双轨机制。

## 基金项目

衡阳市气象局科研项目《衡阳新一代天气雷达多模式观测切换策略及阈值研究》(编号: YXQKJ25B003)。

## 参考文献

- [1] 刘应军, 顾松山, 周雨华, 等. 新一代天气雷达体扫模式的比较分析[J]. 气象, 2006(1): 44-50.
- [2] 康丁元, 胡丹丹, 张鑫宇, 等. 新一代天气雷达多观测模式切换策略和阈值分析——以广元市为例[J]. 农业灾害研究, 2024, 14(9): 323-325.
- [3] 徐阳春, 陆晓静, 沈阳, 穆建华. 2003-2004 年强对流灾害性天气多普勒天气雷达产品特征分析[J]. 干旱气象, 2005, 23(1): 39-44.
- [4] 俞小鼎, 周小刚, 王秀明. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J]. 气象学报, 2012, 70(3): 311-337.
- [5] 周康辉, 郑永光, 杨波, 盛杰, 张小雯, 田付友, 唐文苑. 强对流天气客观临近预报技术进展和展望[J]. 气象学报, 2025, 83(3): 798-812.
- [6] Tang, J., Xu, L., Yao, R., Ou, X.F., Long, Q.R. and Wang, X.L. (2022) Characteristics of Environmental Parameters of Compound and Single Type Severe Convection in Hunan. *Atmosphere*, 13, Article 1870. <https://doi.org/10.3390/atmos13111870>
- [7] 郑永光, 杨波, 蓝渝, 盛杰, 张小雯, 田付友, 曹艳察, 周康辉. 强对流天气形成机制和预报研究综述[J]. 气象, 2025, 51(11): 1495-1522.
- [8] 王一童, 王秀明, 俞小鼎. 产生致灾大风的超级单体回波特征[J]. 应用气象学报, 2022, 33(2): 180-191.
- [9] 陈鲍发, 马中元, 王立志, 黄龙飞, 蔡俊峰, 李燕玲. 景德镇一次雷暴回波“崩塌”现象与强风关系的分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2023, 38(4): 459-466.
- [10] 顾媛, 魏鸣. 南京一次雷雨的闪电特征与多尺度资料分析[J]. 气象科学, 2013, 33(2): 146-152.
- [11] 张芳, 虎文珺, 晁剑. 青海省东部农区冰雹天气分析及预警研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(1): 63-71.
- [12] 郭兰. 河南省三门峡一次局地暴雨过程分析[J]. 河南科学, 2014, 32(5): 867-871.
- [13] 朱杰, 赵桂香, 于碧馨, 等. 山西雷暴大风雷达产品统计学特征及预警提前量研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 2023, 17(1): 131-138.
- [14] 刁秀广, 朱君鉴, 黄秀韶, 等. VIL 和 VIL 密度在冰雹云判据中的应用[J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1131-1139.
- [15] 丁青兰, 刘武, 朱晓虎, 等. 一次飏线天气过程多普勒雷达产品分析及临近预报[J]. 气象科技, 2008, 36(2): 160-163.