

烟台双偏振雷达ROSE2.1降雨产品 检验评估

孙殿光^{1,2,3}, 姜雨萌^{1,2,3}, 高翔^{1,2,4}, 王宝^{1,2,3}

¹山东省气象防灾减灾重点实验室, 山东 济南

²长岛国家气候观测站, 山东 烟台

³烟台市气象局, 山东 烟台

⁴牟平区气象局, 山东 烟台

收稿日期: 2025年4月16日; 录用日期: 2025年5月15日; 发布日期: 2025年5月29日

摘 要

为了改善全国多普勒天气雷达的算法和参数设置, 提高雷达数据和输出产品的质量, 2022年3月开始中国气象局在全国组织了雷达ROSE2.0及以上PUP产品质量评估工作, 各省市气象局成立了专家评估小组开展评估工作, 烟台2023年选取降雨量在 $5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 及以上的14次天气过程进行了评估; 评估资料: 一体化平台数据图289张, 雷达PUP产品OHP图、THP图共380张, micaps形势500 hPa、700 hPa、850 hPa、地面图共274张, 三线表OHP、THP评估表共112个, 降雨量站点 $5 \sim 20 \text{ mm}$ 293个、 $20 \sim 50 \text{ mm}$ 216个、 50 mm 及以上71个, 共580个; 用统计分析组合对比的方法进行检验评估, 发现: OHP准确率较高, THP准确率偏低; OHP和THP错误报的偏大率偏大; OHP和THP无空报和漏报现象; 150 km 范围内雷达探测受距离影响和天气系统类型影响不明显; 可依据评估结果改善雷达算法或参数设置。

关键词

烟台雷达, 双偏振降雨产品, 检验评估

Yantai Dual Polarization Radar ROSE2.1 Rainfall Product Inspection and Evaluation

Dianguang Sun^{1,2,3}, Yumeng Jiang^{1,2,3}, Xiang Gao^{1,2,4}, Bao Wang^{1,2,3}

¹Shandong Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Jinan Shandong

²Changdao National Climate Observatory, Yantai Shandong

³Yantai Meteorological Bureau, Yantai Shandong

⁴Muping District Meteorological Bureau, Yantai Shandong

Received: Apr. 16th, 2025; accepted: May 15th, 2025; published: May 29th, 2025

文章引用: 孙殿光, 姜雨萌, 高翔, 王宝. 烟台双偏振雷达 ROSE2.1 降雨产品检验评估[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(3): 466-476. DOI: 10.12677/ccrl.2025.143047

Abstract

In order to improve the algorithm and parameter setting of the national Doppler weather radar and improve the quality of radar data and output products, the China Meteorological Administration has organized the quality assessment of radar ROSE2.0 and above PUP products nationwide since March 2022, and the provincial and municipal meteorological bureaus have set up expert evaluation teams to carry out the assessment. In 2023, Yantai selected 14 weather processes with rainfall of $5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ or more to evaluate; Evaluation data: There are 289 integrated platform data charts, 380 radar PUP product OHP charts and THP charts, 274 micaps situation 500 hPa, 700 hPa, 850 hPa and ground charts, and 112 three-wire OHP and THP evaluation tables. There were 293 rainfall stations $5 \sim 20 \text{ mm}$, 216 rainfall stations $20 \sim 50 \text{ mm}$, 71 rainfall stations 50 mm and above, a total of 580; It is found that OHP accuracy is higher and THP accuracy is lower. The probability of OHP and THP error is high. OHP and THP have no empty report and missing report. In the range of 150 km, radar detection is not significantly affected by distance and weather system type. The radar algorithm or parameter setting can be improved based on the evaluation results.

Keywords

Yantai Radar, Dual Polarization Rainfall Products, Inspection and Evaluation

Copyright © 2025 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

多普勒天气雷达在我国已经基本完成整体布网和全面应用[1]。对多普勒天气雷达在强对流方面的研究较多,适宜的湿球温度 0°C 层高度与 -20°C 层高度、超过 55 dBz 的强回波、VIL 值跃升骤降变化等可判别冰雹的发生[2]-[5]。对超级单体强对流及强降水的雷达双偏振产品速度场演变和 ZDR 柱演变特征有较多研究[6]-[14],使双偏振雷达产品在强对流强降雨预报预警中发挥重要作用。杨春艳[15]和罗林勇[16]对 ROSE2.0 进行了评估。对雷达在台风及强降雨中的产品识别和回波演变特征进行了研究[17]-[19]。以 2022 年气象质量提升年为契机,对雷达数据和产品质量进行评估,用以改善雷达算法或参数设置,发挥雷达在强对流和强降雨中的预警作用意义重大。

2. 评估方法及个例站点评估图例

把烟台地区按距雷达站的距离划分为 $D \leq 25.0$ 、 $25.0 < D \leq 50.0$ 、 $50.0 < D \leq 100.0$ 、 $100.0 < D \leq 150$ 四级(单位 KM),把降水量级划分为 $5 \sim 20$ 、 $20 \sim 50$ 、 50 以上三级(单位 mm),天气过程结束后,据一体化平台实况数据,在烟台 11 个大监站和 129 个区域站中,给每个距离圈选出最大值、次大值和第三大值站,下载雷达产品数据后用 PUP 打开,对 OHP、THP 降水产品进行检验评估,根据基本评估数据组合统计分析出想要的准确、错误、空报、漏报率数据(图 1、图 2)。

3. 一小时降雨量产品(OHP)检验评估

3.1. OHP 产品(一小时降雨量)降雨量值同级距雷达站距离同级评估

表 1 的评估结果是:一级距离圈($D \leq 25.0 \text{ km}$)内,降雨量值 $5 \sim 20 \text{ mm}$,共选取了 42 个站次,准确率

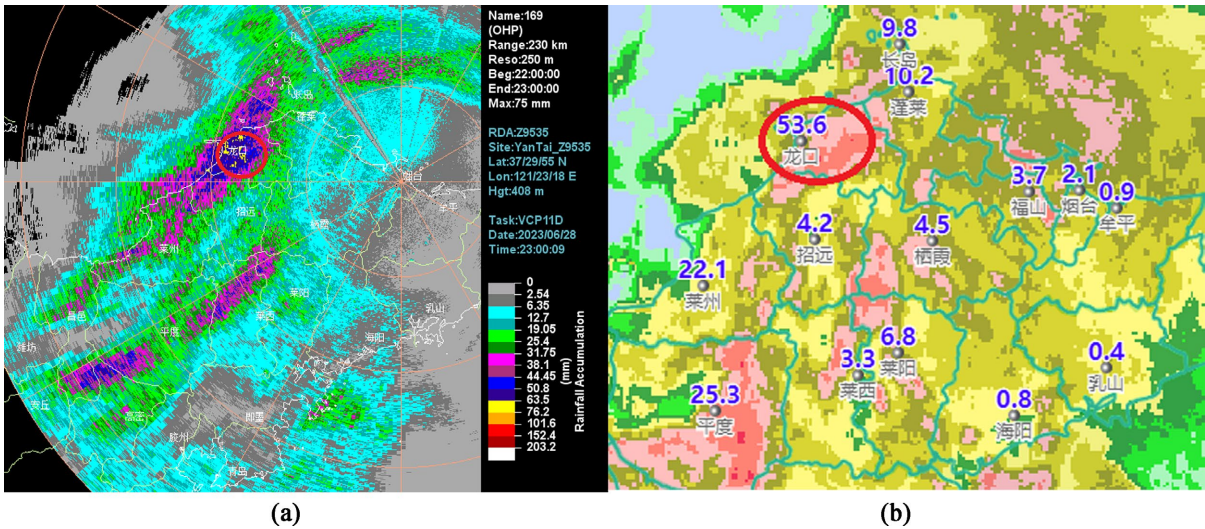


Figure 1. (a) is the OHP map of Longkou Station at 23:00 on June 28, 2023, and (b) is the corresponding integrated 1-hour precipitation fact map
图 1. (a)是 2023 年 6 月 28 日 23 点龙口站 OHP 图, (b)是对应的一体化 1 小时降水实况图

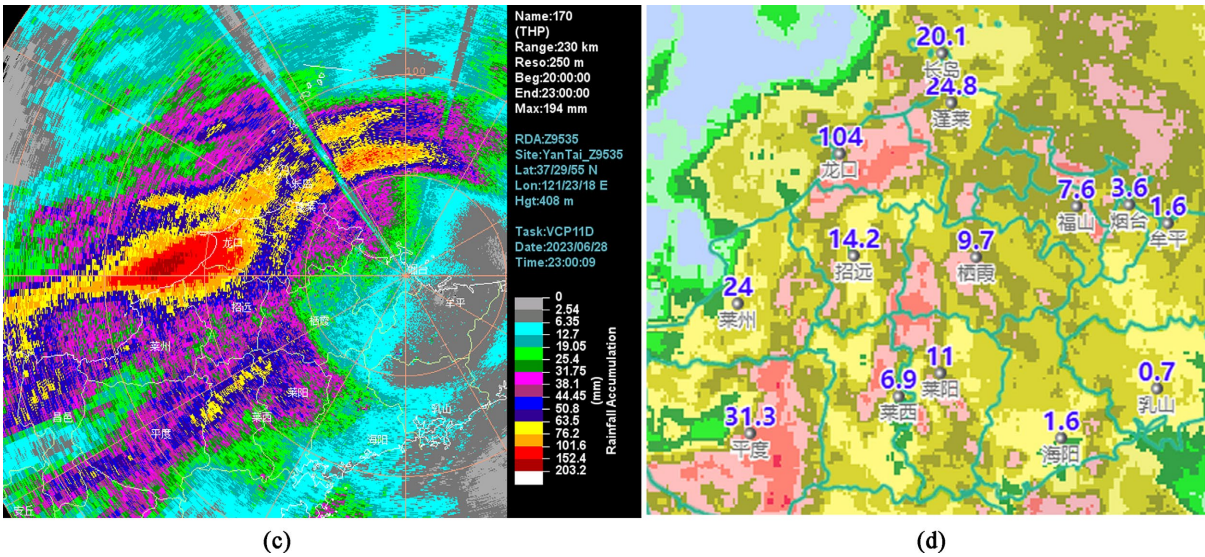


Figure 2. (c) is the THP map of Longkou Station at 23:00 on June 28, 2023, and (d) is the corresponding integrated 3-hour precipitation reality map
图 2. (c)是 2023 年 6 月 28 日 23 点龙口站 THP 图, (d)是对应的一体化 3 小时降水实况图

Table 1. First stage range circle ($D \leq 25.0$ km) Yantai Radar OHP No. 169 product evaluation results
表 1. 一级距离圈($D \leq 25.0$ km)烟台雷达 OHP 第 169 号产品评估结果

降雨量级	评估站数	准确站数 及百分比	错误站数 及百分比	偏大站占错误 站百分比	偏小站占错误 站百分比	空报站数	漏报站数
5~20 mm	42	40 与 95.2%	2 与 4.8%	0 与 0.0%	2 与 100%	0	0
20~50 mm	27	26 与 96.3%	1 与 3.7%	1 与 100%	0 与 0.0%	0	0
≥ 50 mm	4	3 与 75.0%	1 与 25.0%	0 与 0.0%	1 与 100%	0	0

95.2%，错误率 4.8%，PUP 产品值偏大率 0.0%，PUP 产品值偏小率 100%，无空报、漏报。降雨量值 20~50mm，共选取了 27 个站次，准确率 96.3%，错误率 3.7%，PUP 产品值偏大率 100%，PUP 产品值偏小率 0.0%，无空报、漏报。降雨量值 ≥ 50 mm，距离雷达 $D \leq 25$ km，共选取了 4 个站次，准确率 75.0%，错误率 25.0%，PUP 产品值偏大率 0.0%，PUP 产品值偏小率 100%，无空报、漏报。

Table 2. Secondary range circle ($25.0 < D \leq 50$ km) Yantai Radar OHP No. 169 product evaluation results
表 2. 二级距离圈($25.0 < D \leq 50$ km)烟台雷达 OHP 第 169 号产品评估结果

降雨量级	评估站数	准确站数及百分比	错误站数及百分比	偏大站占错误站百分比	偏小站占错误站百分比	空报站数	漏报站数
5~20 mm	38	37 与 97.4%	1 与 2.6%	0 与 0.0%	1 与 100%	0	0
20~50 mm	12	11 与 91.6%	1 与 8.4%	1 与 100%	0 与 0.0%	0	0
≥ 50 mm	0	0	0	0	0	0	0

表 2 的评估结果是：二级距离圈($25.0 < D \leq 50$ km)内，降雨量值 5~20 mm，共选取了 38 个站次，准确率 97.4%，错误率 2.6%，PUP 产品值偏大率 0.0%，PUP 产品值偏小率 100%，无空报、漏报。降雨量值 20~50 mm，共选取了 12 个站次，准确率 91.7%，错误率 8.3%，PUP 产品值偏大率 100%，PUP 产品值偏小率 0.0%，无空报、漏报。降雨量值 ≥ 50 mm，无够条件降雨站。

Table 3. Three-stage range circle ($50.0 < D \leq 100.0$ km) Yantai Radar OHP No. 169 product evaluation results
表 3. 三级距离圈($50.0 < D \leq 100.0$ km)烟台雷达 OHP 第 169 号产品评估结果

降雨量级	评估站数	准确站数及百分比	错误站数及百分比	偏大站占错误站百分比	偏小站占错误站百分比	空报站数	漏报站数
5~20 mm	39	37 与 94.9%	2 与 5.1%	2 与 100%	0 与 0.0%	0	0
20~50 mm	30	30 与 100%	0 与 0.0%	0 与 0.0%	0 与 0.0%	0	0
≥ 50 mm	9	7 与 77.8%	2 与 22.2%	1 与 50.0%	1 与 50.0%	0	0

表 3 的评估结果是：三级距离圈($50.0 < D \leq 100.0$ km)内，降雨量值 5~20 mm，共选取了 39 个站次，准确率 94.9%，错误率 5.1%，PUP 产品值偏大率 100%，PUP 产品值偏小率 0.0%，无空报、漏报。降雨量值 20~50 mm，共选取了 30 个站次，准确率 100%，错误率 0.0%，PUP 产品值偏大率 0.0%，PUP 产品值偏小率 0.0%，无空报、漏报。降雨量值 ≥ 50 mm，共选取了 9 个站次，准确率 77.8%，错误概率 22.2%，PUP 产品值偏大率 50.0%，PUP 产品值偏小率 50.0%，无空报、漏报。

Table 4. Four-stage range circle ($100.0 < D \leq 150.0$ km) Yantai Radar OHP No. 169 product evaluation results
表 4. 四级距离圈($100.0 < D \leq 150.0$ km)烟台雷达 OHP 第 169 号产品评估结果

降雨量级	评估站数	准确站数及百分比	错误站数及百分比	偏大站占错误站百分比	偏小站占错误站百分比	空报站数	漏报站数
5~20 mm	21	18 与 85.7%	3 与 14.3%	3 与 100%	0 与 0.0%	0	0
20~50 mm	18	17 与 94.4%	1 与 5.6%	1 与 100%	0 与 0.0%	0	0
≥ 50 mm	4	4 与 100%	0 与 0.0%	0 与 0.0%	0 与 0.0%	0	0

表 4 的评估结果是：四级距离圈($100.0 < D \leq 150.0$ km)内，降雨量值 5~20 mm，共选取了 21 个站次，准确率 85.7%，错误率 14.3%，PUP 产品值偏大率 100%，PUP 产品值偏小率 0.0%，无空报、漏报。降雨

量值 20~50 mm, 共选取了 18 个站次, 准确率 94.4%, 错误率 5.6%, PUP 产品值偏大率 100%, PUP 产品值偏小率 0.0%, 无空报、漏报。降雨量值 ≥ 50 mm, 共选取了 4 个站次, 准确率 100%, 错误率 0.0%, PUP 产品值偏大率 0.0%, PUP 产品值偏小率 0.0%, 无空报、漏报。

3.2. 距离和降雨量组合评估 OHP 产品(一小时降雨量)准确率(图 3~5)

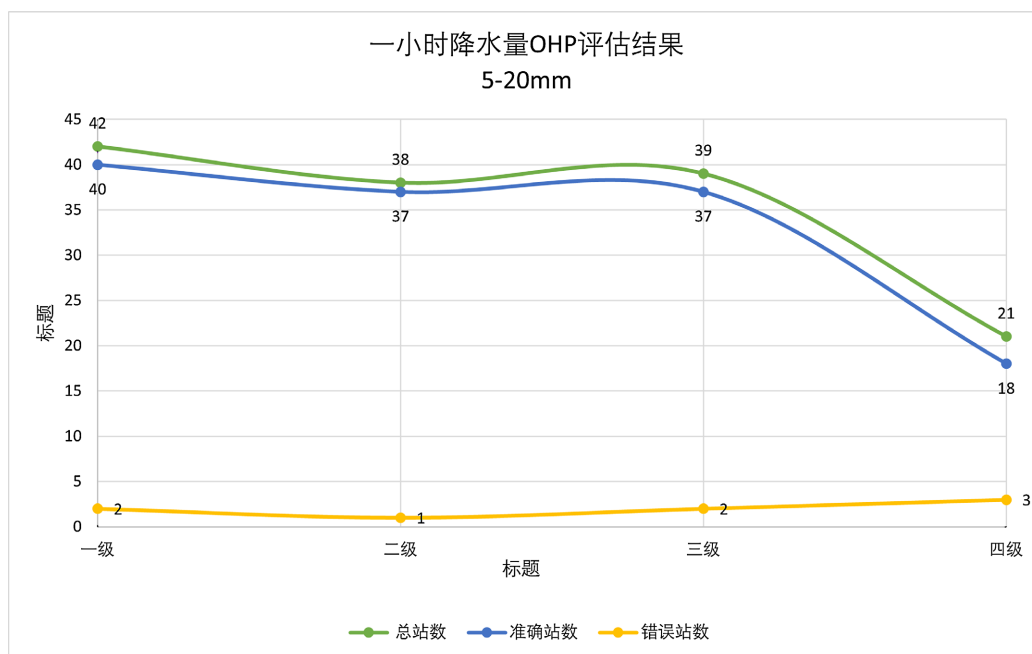


Figure 3. Rainfall 5~20 mm OHP assessment map for four distance circles

图 3. 降雨量 5~20 mm 四个距离圈 OHP 评估图

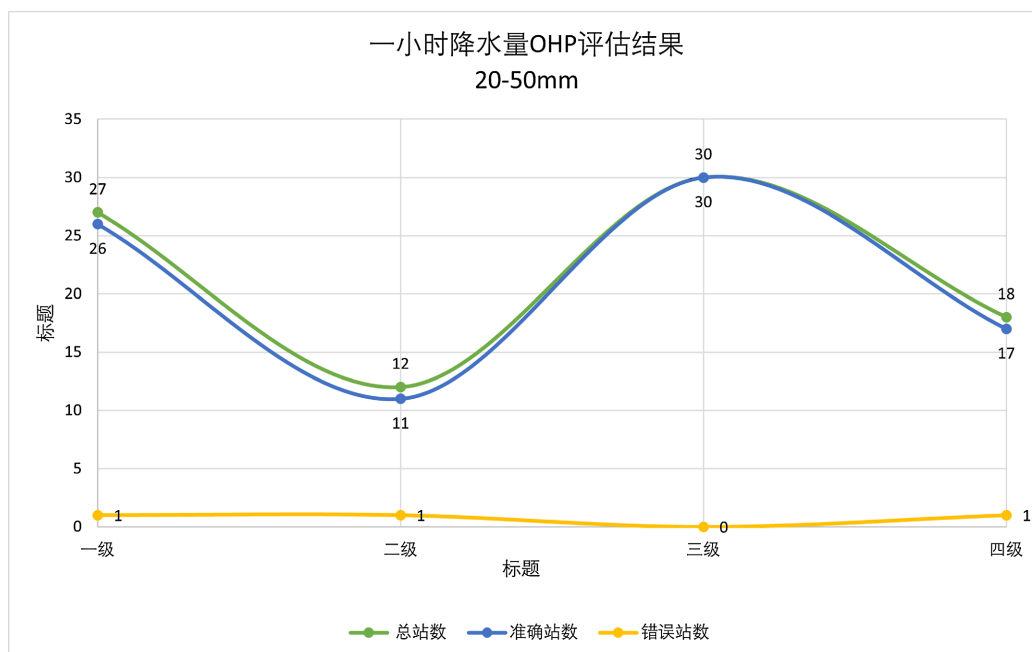


Figure 4. Rainfall 20~50 mm OHP assessment map for four distance circles

图 4. 降雨量 20~50 mm 四个距离圈 OHP 评估图

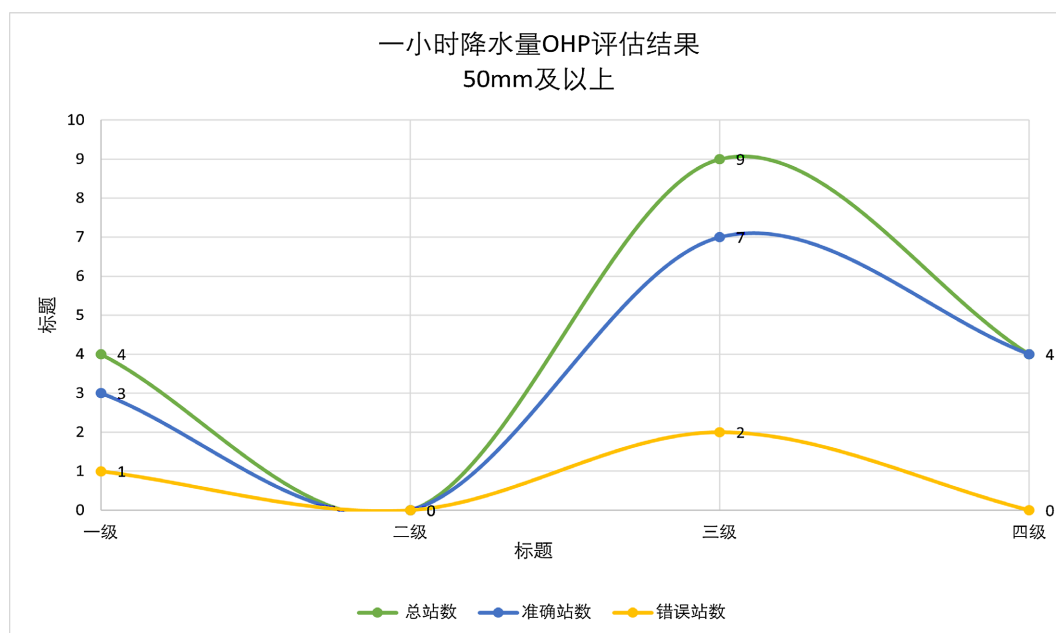


Figure 5. Rainfall ≥ 50 mm OHP assessment map for four distance circles

图 5. 降雨量 ≥ 50 mm 四个距离圈 OHP 评估图

3.2.1. 同距离不同降雨量 OHP 产品准确率评估

同级距离圈中准确率值和的平均：一级距离圈($D \leq 25$ km)准确率平均值 88.85%；二级距离圈($25.0 < D \leq 50$ km)准确率平均值 94.52%；三级距离圈($50.0 < D \leq 100.0$ km)准确率平均值 90.88%；四级距离圈($100.0 < D \leq 150.0$ km)准确率平均值 93.38%，显然，准确率较高；准确率受距离远近影响不明显；可依据评估结果改进算法或参数设置，进一步提高准确率。

3.2.2. 不同距离同降雨量 OHP 产品准确率评估

各距离圈中同降雨量准确率值和的平均：5~20 mm 准确率平均值是 93.30%；20~50 mm 准确率平均值是 95.60%；50 mm 及以上准确率平均值是 84.26%。显然，准确率较高；准确率受降雨量大小影响不明显；可依据评估结果改进算法或参数设置，进一步提高准确率。

3.2.3. 降雨量和距雷达站距离同时影响概率评估

不分距离和降雨量，所有同类的概率值求和后平均值：准确率平均值是 91.67%，错误率平均值是 8.33%；错误值偏大率平均值是 61.11.00%，错误值偏小率平均值是 38.89%；显然，准确率较高；错误值偏大率高于错误值偏小率；无空报和漏报；可依据评估结果改进算法或参数设置，进一步提高准确率。

3.3. 不同天气系统影响 2023 年准确率评估

2023 年除 4 月 4 日白天气旋影响，6 月 26 日 1 点到 7 点气旋影响外，其余 12 次过程是西风槽与副高边缘作用或冷涡与副高边缘作用，依据以上数据和评估结果得出，不同天气系统降雨对雷达 OHP 产品准确率影响不明显。

4. 三小时降雨量产品(THP)检验评估

4.1. THP 产品(三小时降雨量)降雨量值同级距雷达站距离同级评估

表 5 的评估结果是：一级距离圈($D \leq 25.0$ km)内，降雨量值 5~20 mm，共选取了 42 个站次，准确率

88.1%，错误率 11.9%，PUP 产品值偏大率 40.0%，PUP 产品值偏小率 60.0%，无空报、漏报。降雨量值 20~50 mm，共选取了 42 个站次，准确率 78.6%，错误率 21.4%，PUP 产品值偏大率 33.3%，PUP 产品值偏小率 66.7%，无空报、漏报。降雨量值 ≥ 50 mm，共选取了 18 个站次，准确率 88.9%，错误率 11.1%，PUP 产品值偏大率 0.0%，PUP 产品值偏小率 100%，无空报、漏报。

Table 5. First stage range circle ($D \leq 25.0$ km) Yantai Radar THP No. 170 product evaluation results
表 5. 一级距离圈($D \leq 25.0$ km)烟台雷达 THP 第 170 号产品评估结果

降雨量级	评估站数	准确站数及百分比	错误站数及百分比	偏大站占错误站百分比	偏小站占错误站百分比	空报站数	漏报站数
5~20 mm	42	37 与 88.1%	5 与 11.9%	2 与 40.0%	3 与 60.0%	0	0
20~50 mm	42	33 与 78.6%	9 与 21.4%	3 与 33.3%	6 与 66.7%	0	0
≥ 50 mm	18	16 与 88.9%	2 与 11.1%	0 与 0.0%	2 与 100%	0	0

Table 6. Secondary range circle ($25.0 < D \leq 50$ km) Yantai Radar THP No. 170 product evaluation results
表 6. 二级距离圈($25.0 < D \leq 50$ km)烟台雷达 THP 第 170 号产品评估结果

降雨量级	评估站数	准确站数及百分比	错误站数及百分比	偏大站占错误站百分比	偏小站占错误站百分比	空报站数	漏报站数
5~20 mm	39	30 与 76.9%	9 与 23.1%	6 与 66.7%	3 与 33.3%	0	0
20~50 mm	29	24 与 82.8%	5 与 17.2%	1 与 20.0%	4 与 80.0%	0	0
≥ 50 mm	6	4 与 66.7%	2 与 33.3%	2 与 100%	0 与 0.0%	0	0

表 6 的评估结果是：二级距离圈($25.0 < D \leq 50$ km)内，降雨量值 5~20 mm，共选取了 39 个站次，准确率 76.9%，错误率 23.1%，PUP 产品值偏大率 66.7%，PUP 产品值偏小率 33.3%，无空报、漏报。降雨量值 20~50 mm，共选取了 29 个站次，准确率 82.8%，错误率 17.2%，PUP 产品值偏大率 20.0%，PUP 产品值偏小率 80.0%，无空报、漏报。降雨量值 ≥ 50 mm，共选取了 6 个站次，准确率 66.7%，错误率 33.3%，PUP 产品值偏大率 100%，PUP 产品值偏小率 0.0%，无空报、漏报。

Table 7. Three-stage range circle ($50.0 < D \leq 100.0$ km) Yantai Radar THP No. 170 product evaluation results
表 7. 三级距离圈($50.0 < D \leq 100.0$ km)烟台雷达 THP 第 170 号产品评估结果

降雨量级	评估站数	准确站数及百分比	错误站数及百分比	偏大站占错误站百分比	偏小站占错误站百分比	空报站数	漏报站数
5~20 mm	39	23 与 59.0%	16 与 41.0%	12 与 75.0%	4 与 25.0%	0	0
20~50 mm	39	30 与 76.9%	9 与 23.1%	7 与 77.8%	2 与 22.2%	0	0
≥ 50 mm	19	19 与 100%	0 与 0.0%	0 与 0.0%	0 与 0.0%	0	0

表 7 的评估结果是：三级距离圈($50.0 < D \leq 100.0$ km)内，降雨量值 5~20 mm，共选取了 39 个站次，准确率 59.0%，错误率 41.0%，PUP 产品值偏大率 75.0%，PUP 产品值偏小率 25.0%，无空报、漏报。降雨量值 20~50 mm，共选取了 39 个站次，准确率 76.92%，错误率 23.08%，PUP 产品值偏大率 77.8%，PUP 产品值偏小率 22.2%，无空报、漏报。降雨量值 ≥ 50 mm，共选取了 19 个站次，准确率 100%，错误率 0.0%，PUP 产品值偏大率 0.0%，PUP 产品值偏小率 0.00%，无空报、漏报。

Table 8. Four-stage range circle ($100.0 < D \leq 150.0$ km) Yantai Radar THP No. 170 product evaluation results
表 8. 四级距离圈($100.0 < D \leq 150.0$ km)烟台雷达 THP 第 170 号产品评估结果

降雨量级	评估站数	准确站数及百分比	错误站数及百分比	偏大站占错误站百分比	偏小站占错误站百分比	空报站数	漏报站数
5~20 mm	33	25 与 75.8%	8 与 24.2%	8 与 100%	0 与 0.0%	0	0
20~50 mm	19	13 与 68.4%	6 与 31.6%	6 与 100%	0 与 0.0%	0	0
≥ 50 mm	11	11 与 100%	0 与 0.0%	0 与 0.0%	0 与 0.0%	0	0

表 8 的评估结果是：四级距离圈($100.0 < D \leq 150.0$ km)内，降雨量值 5~20 mm，共选取了 33 个站次，准确率 75.8%，错误率 24.8%，PUP 产品值偏大率 100%，PUP 产品值偏小率 0.00%，无空报、漏报。降雨量值 20~50 mm，共选取了 19 个站次，准确率 68.4%，错误率 31.6%，PUP 产品值偏大率 100%，PUP 产品值偏小率 0.0%，无空报、漏报。降雨量值 ≥ 50 mm，共选取了 11 站次，准确率 100%，错误率 0.0%，PUP 产品值偏大率 0.0%，PUP 产品值偏小率 0.0%，无空报、漏报。

4.2. 距离和降雨量组合评估 THP 产品(三小时降雨量)准确率结论(图 6~8)

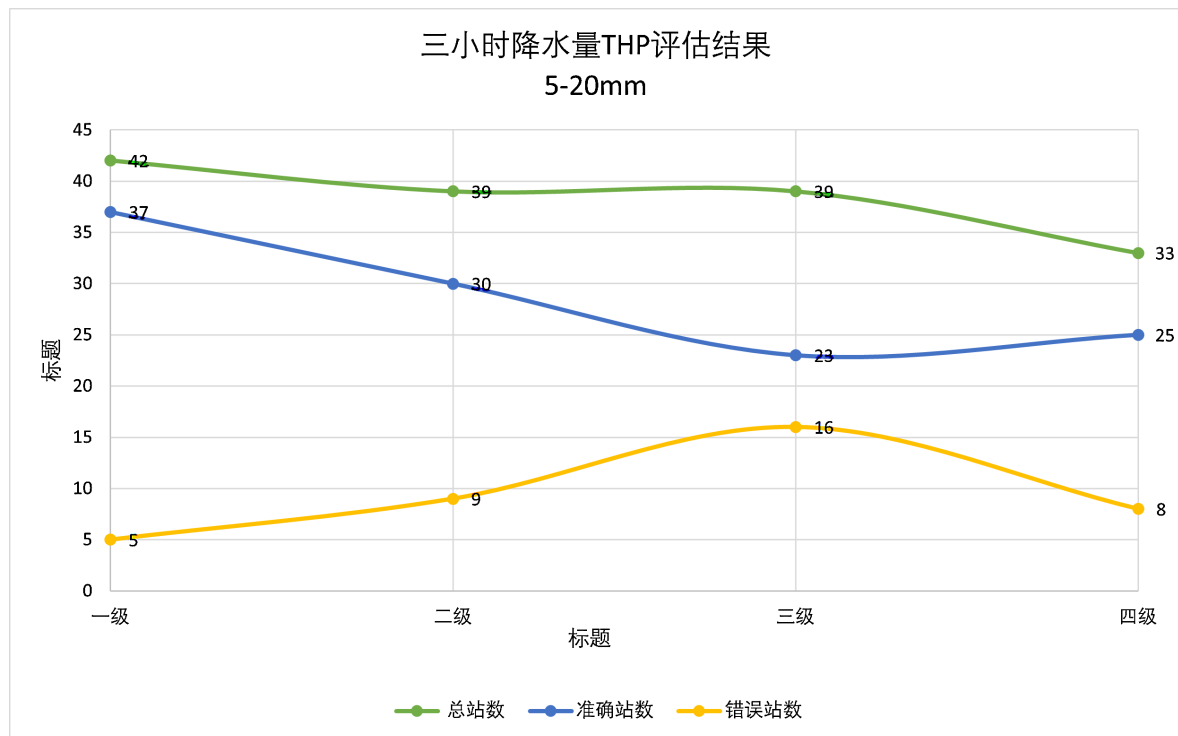


Figure 6. Rainfall 5~20 mm four distance circle THP assessment map
图 6. 降雨量 5~20 mm 四个距离圈 THP 评估图

4.2.1. 同距离不同降雨量 THP 产品准确率评估

同级距离圈中准确率值和的平均：

一级距离圈($D \leq 25$ km)准确率平均值 85.19%；二级距离圈($25.0 < D \leq 50$ km)准确率平均值 75.45%；三级距离圈($50.0 < D \leq 100.0$ km)准确率平均值 78.63%；四级距离圈($100.0 < D \leq 150.0$ km)准确率平均值 81.39%，显然，仍然需要改进算法或参数设置提高 THP 准确率，THP 准确率受距离影响不明显。

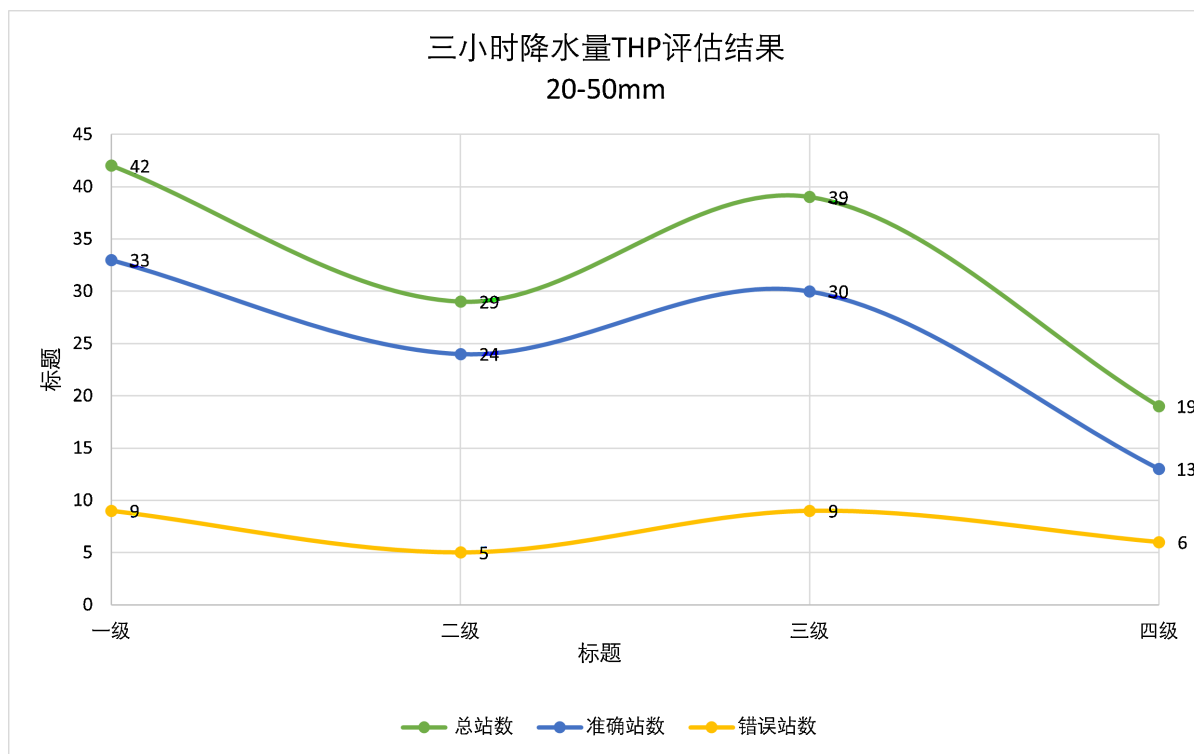


Figure 7. Rainfall 20~50 mm four distance circle THP assessment map

图 7. 降雨量 20~50 mm 四个距离圈 THP 评估图

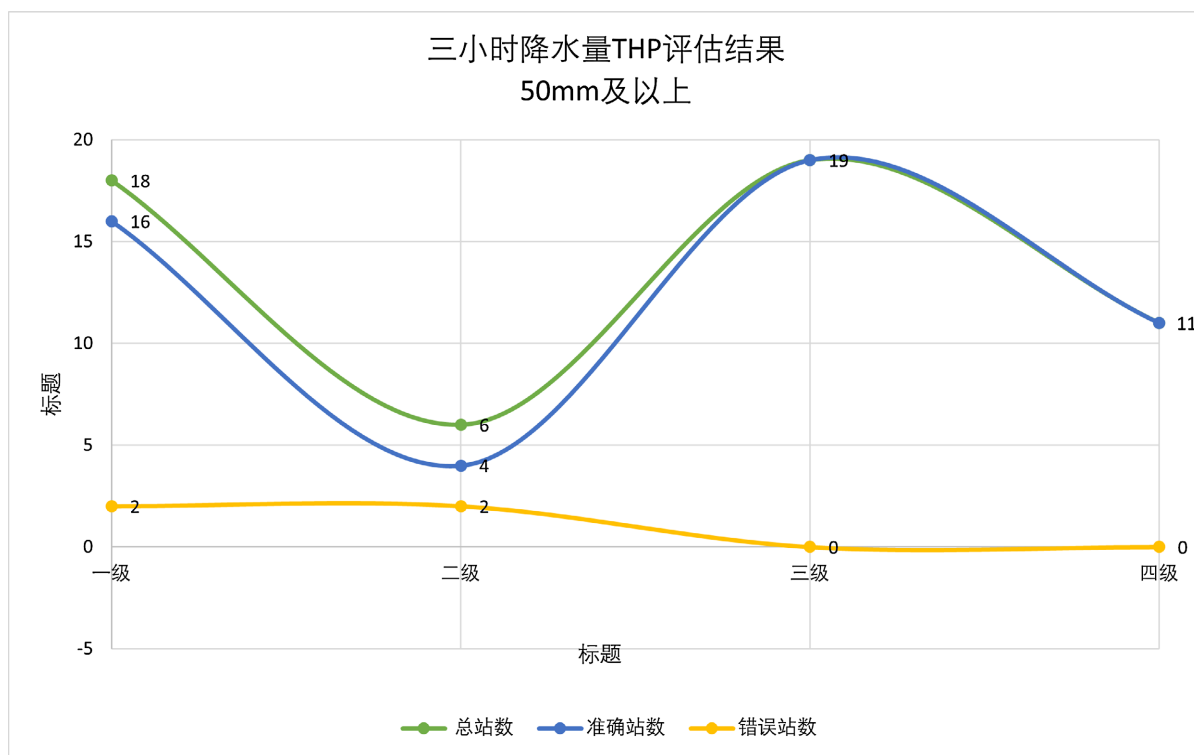


Figure 8. Rainfall ≥ 50 mm four distance circle THP assessment map

图 8. 降雨量 ≥ 50 mm 四个距离圈 THP 评估图

4.2.2. 不同距离同降雨量 THP 产品准确率评估

各距离圈中同降雨量准确率值的平均: 5~20 mm 准确率平均值是 74.94%; 20~50 mm 准确率平均值是 76.67%; 50 mm 及以上准确率平均值是 88.89%。显然, 仍然需要改进算法或参数设置提高 THP 准确率, THP 准确率受降雨量影响不明显。

4.2.3. 降雨量和距雷达站距离同时影响概率评估

不分距离和降雨量, 所有同类的概率值求和后平均值: 准确率平均值是 80.17%, 错误率平均值是 19.83%; 错误值偏大率平均值是 61.28%, 错误值偏小率平均值是 38.72%; 显然, 准确率远远大于错误率, 但是仍然需要改进算法或参数设置提高准确率; 错误值偏大率大于错误值偏小率。无空报和漏报。

4.3. 不同天气系统影响 2023 年评估

2023 年除了 4 月 4 日白天气旋影响和 6 月 26 日 1 点到 7 点气旋影响外, 其余 12 次过程是西风槽与副高边缘作用或冷涡与副高边缘作用影响, 依据以上数据和评估结论得出, 不同天气系统降雨对雷达 THP 产品准确率影响不明显。

5. 结论与讨论

本文依据 2023 年烟台双偏振雷达探测数据和结果, 对 ROSE2.1 PUP 降雨产品进行了研究和评估, 选取的数据距雷达中心 0~150 km。对探测距离和降雨量大小同时影响雷达探测精度进行评估得出, 一小时降雨估测 OHP 产品准确率较高, 三小时降雨估测 THP 产品准确率偏低。通过对距雷达站不同距离圈的数据进行统计评估得出, 回波距雷达站距离远近对雷达降雨探测质量影响不明显。通过对各距离圈降雨量数据进行统计评估得出, 降雨量大小对雷达降雨探测质量影响不明显。据 14 次降雨过程天气系统结构不尽相同, 得出不同天气系统对雷达探测降雨质量影响不明显。全文研究数据得出, 一小时降雨估测 OHP 产品可信度高于三小时降雨估测 THP 产品。ROSR2.1 错误站的数值偏大率减小了, 错误站的数值偏小率增大了。以上评估数据和结果有一定局限性, 可进一步扩大数据范围进行评估, 根据评估结果, 改善雷达算法和参数设置, 进一步提高雷达探测准确率。

基金项目

烟台市气象局面上课题项目 2023ytqxm02; 山东省气象局引导类课题项目 2023SDYD18。

参考文献

- [1] 周雪松, 孟金, 姚蔚. 一种基于快速傅里叶变换的多普勒天气雷达弱杂波识别方法[J]. 海洋气象学报, 2019, 39(4): 43-51.
- [2] 俞小鼎. 关于冰雹的融化层高度[J]. 气象, 2014, 40(6): 649-654.
- [3] 陈红梅, 刘洪良. 2020 年“3·24”重庆城区冰雹天气形成原因与雷达回波演变特征[J]. 农业科技, 2020, 37(8): 79-81.
- [4] 张正国, 汤达章, 邹光源, 等. VIL 产品在广西冰雹云识别和人工防雹中的应用[J]. 热带地理, 2012, 32(1): 50-53.
- [5] 罗雄, 罗西平, 李枚曼, 等. 基于卫星和雷达资料的 FAST 冰雹云特征分析及识别指标初探[J]. 中低纬山地气象, 2021, 45(5): 56-62.
- [6] 刁秀广, 杨传凤, 张骞, 等. 二次长寿命超级单体风暴参数与 ZDR 柱演变特征分析[J]. 高原气象, 2021, 40(3): 580-589.
- [7] 郭飞燕, 刁秀广, 褚颖佳, 等. 两次极端强降水风暴双偏振参量特征对比分析[J]. 干旱气象, 2023, 41(1): 103-113.
- [8] 刁秀广, 李芳, 万夫敬. 两次强冰雹超级单体风暴双偏振特征对比[J]. 应用气象学报, 2022, 33(4): 414-428.

- [9] 刁秀广, 张磊, 孟宪贵, 等. 两次强降水风暴双偏振特征分析[J]. 海洋气象学报, 2020, 40(3): 27-36.
- [10] 黄秀韶, 李芳, 刁秀广. 一次强降水超级单体风暴双偏振参量特征分析[J]. 气象科技, 2022, 50(6): 830-841.
- [11] 刘云, 郭飞燕. 两次长寿命非超级单体孤立强风暴多普勒天气雷达观测对比分析[J]. 海洋气象学报, 2019, 39(4): 124-132.
- [12] 李彩玲, 蔡康龙, 黄先香, 等. 桂林一次强下击暴流成因分析[J]. 气象, 2021, 47(2): 242-252.
- [13] 高丽, 潘佳文, 蒋璐璐, 等. 一次长生命史超级单体降雹演化机制及双偏振雷达回波分析[J]. 气象, 2021, 47(2): 170-182.
- [14] 龚佃利, 朱君鉴, 王俊, 等. 2020年6月1日山东强雹暴过程双偏振雷达观测分析[J]. 海洋气象学报, 2021, 41(3): 40-50.
- [15] 杨春艳, 孔德璇, 王芬, 等. ROSE2.0 在黔西南 4·14 强对流天气中的应用分析[J]. 中低纬山地气象, 2023, 47(2): 30-39.
- [16] 罗林勇, 罗红, 赵洁, 等. 都匀雷达 ROSE2.0 一次强对流天气过程应用检验[J]. 中低纬山地气象, 2023, 47(2): 40-45.
- [17] 朱君鉴, 蔡康龙, 龚佃利, 等. 登陆台风“摩羯”(1814)在山东引发龙卷的灾情调查与天气雷达识别[J]. 海洋气象学报, 2019, 39(4): 21-34.
- [18] 王文波, 高晓梅, 杨萌, 等. 一次局地短时强降水的成因和预报误差分析[J]. 海洋气象学报, 2019, 39(1): 142-150.
- [19] 黄滢, 黄春华, 刘金裕. 广西一次持续性暴雨特征及成因分析[J]. 气象研究与应用, 2022, 43(3): 50-55.