

X波段雷达OHP产品在台风降水中的检验评估

高丽^{1,2}, 王丹含¹, 李渊^{1,2}

¹浙江省台州市气象局气象台, 浙江 台州

²浙江省台州市气象局气象雷达站, 浙江 台州

收稿日期: 2026年1月24日; 录用日期: 2026年2月23日; 发布日期: 2026年2月27日

摘要

本文通过2024~2025年对台州产生影响的7次台风降水X波段天气雷达的雷达OHP产品和CMPAS逐小时降水产品的检验分析发现: 1) 小雨和中雨量级的降水准确率最高, 其次是大雨和暴雨, 大暴雨准确率最低。2) ETS评分小雨和中雨的降水准确率和TS相似, 但是相对于TS评分都有一定程度的下降, 尤其是小雨量级, 说明小雨量级存在较多空报, 大雨和暴雨量级下降却不明显, 说明在大雨和暴雨的预报时具有更高的可信度, 较少有空报。3) 台风期间, BIAS基本都在1以下, 说明雷达OHP产品判断的降水出现频次比实际的降水频次少, 尤其是康妮台风对中雨、大风、暴雨估测出现次数严重减少; 同时降水量级的估计普遍偏小。4) 通过误差分析, 降水估测公式单一、非降水回波以及降水粒子与雷达测量的空间差异都是导致其误差的原因。

关键词

OHP, 台风降水, 误差

Evaluation of X-Band Radar OHP Products during Typhoon Precipitation Events

Li Gao^{1,2}, Danhan Wang¹, Yuan Li^{1,2}

¹Meteorological Observatory of Taizhou Meteorological Bureau, Zhejiang Province, Taizhou Zhejiang

²Meteorological Radar Station of Taizhou Meteorological Bureau, Zhejiang Province, Taizhou Zhejiang

Received: January 24, 2026; accepted: February 23, 2026; published: February 27, 2026

Abstract

This paper presents a verification analysis of the X-band weather radar OHP products and CMPAS hourly precipitation products for seven typhoon precipitation events affecting Taizhou from 2024 to 2025. The key findings are as follows: 1) The precipitation detection accuracy is highest for light

and moderate rain, followed by heavy rain and torrential rain, with the lowest accuracy observed for exceptionally heavy rain. 2) The ETS scores for light and moderate rain show similar accuracy trends to TS scores but exhibit a certain degree of decline, particularly for light rain, indicating a higher frequency of false alarms at this intensity. In contrast, the decline is less pronounced for heavy and torrential rain, suggesting higher forecast reliability and fewer false alarms for these intensities. 3) During typhoon events, the BIAS is generally below 1, indicating that the frequency of precipitation detected by the radar OHP products is lower than the actual frequency. This underestimation was particularly severe for moderate rain, strong winds, and torrential rain during Typhoon Kong-rey. Concurrently, the estimated precipitation amounts are generally biased low. 4) Error analysis reveals that contributing factors include the singularity of the precipitation estimation formula, non-precipitation echoes, and spatial discrepancies between precipitation particles and radar measurements.

Keywords

OHP, Typhoon Precipitation, Error

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

台风是最具破坏性的天气系统之一。台州位于浙江的东部沿海，是受台风影响最为严重的市之一，仅 2004~2020 年 17 年间就有近 90 个台风给台州带来了暴雨和大风的严重影响。

在众多灾害中，台风暴雨所导致的灾害往往大于其它灾害。由于台风暴雨不仅与台风本身强度、结构有关，还受多尺度的天气系统、海陆分布、地形地貌的影响，因此台风的预报、预警一直是国内外学者关注和研究的重点、难点。

近十几年，由于精细化雷达布网的深入，尤其是 X 波段天气雷达以其高的时间分辨率，为探寻天气系统的内部微观结构提供了可能[1]。雷达 1 小时降水估测产品(以下简称 OHP)是天气雷达监测降水的重要依托[2]，其计算原理是通过降水估测公式 $Z = AI^b$ ，利用 1 小时内的雷达反射率因子 Z 和降水率 I 之间正相关的关系[3]-[7]，进而推导出地面降水。

截止 2024 年 11 月，台州已完成 7 部 X 波段相控阵多普勒天气雷达的建设布网，2025 年汛期尤其是 7 月台风影响偏多偏重，X 波段天气 1 小时估测产品对台风降水不同量级降水的反映如何？

2. 资料与方法

2.1. 资料来源

Table 1. Typhoons affecting Taizhou in 2024~2025 and their main precipitation periods

表 1. 2024~2025 年影响台州的台风以及主要降水时间

康妮	94W	丹娜丝	外围东风	韦帕	范斯高	竹节草
2024.10.31	2025.6.12	2025.7.7	2025.7.9	2025.7.21	2025.7.23	2025.7.28
2024.11.1	2025.6.13	2025.7.8	2025.7.10	2025.7.22	2025.7.24	2025.7.29
					2025.7.25	2025.7.30

本文选取了 2025 年台州 7 部相控阵多普勒天气雷达 OHP 产品, 扫描时间为 1 分钟。地面雨量数据采用中国区域逐小时多源融合实况分析 1 km 分辨率产品即 CMPAS 逐小时降水产品, 空间分辨率 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$, 选取范围为 $120.63^\circ\text{N}\sim 121.55^\circ\text{N}$, $28.393^\circ\text{E}\sim 29.125^\circ\text{E}$ (如图 1, 双雷达覆盖区域)。台风选取列表见表 1。

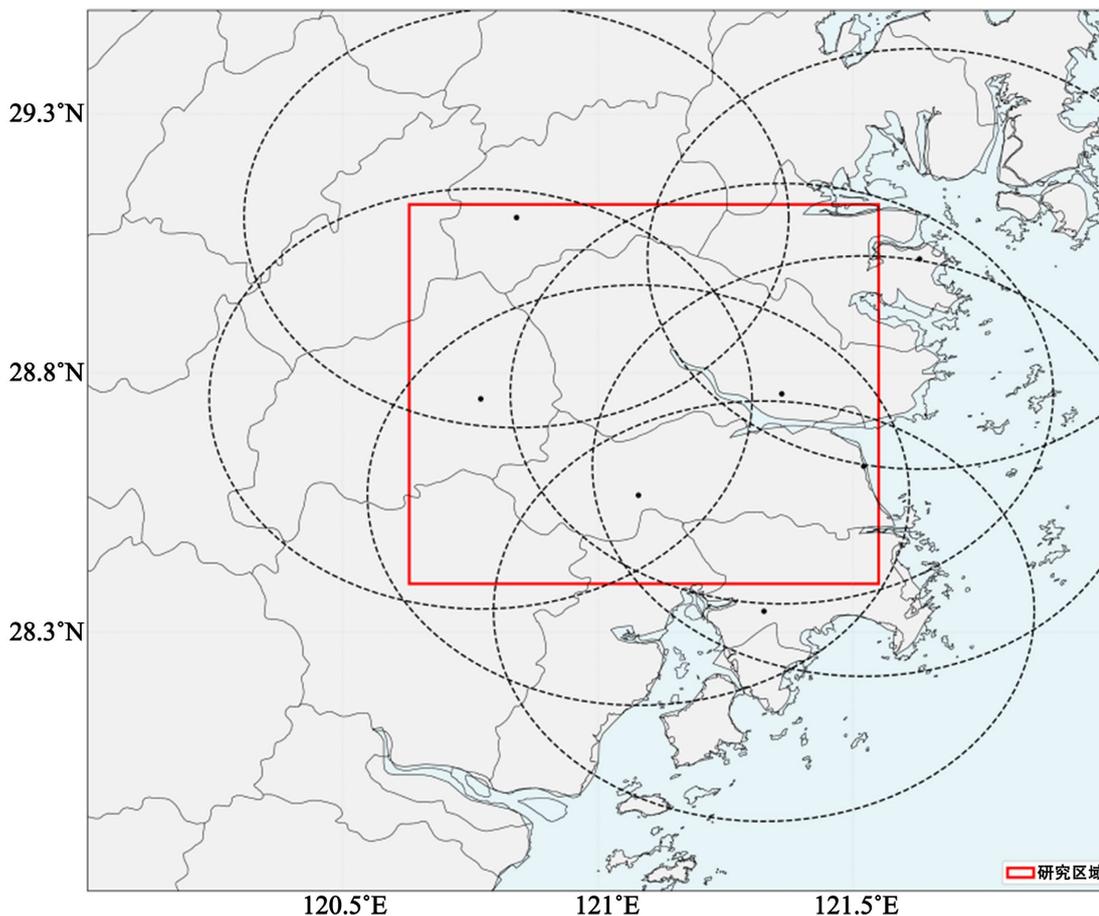


Figure 1. Geographical distribution of quantitatively estimated precipitation by X-band weather radar (red box) at $120.63^\circ\text{N}\sim 121.55^\circ\text{N}$, $28.393^\circ\text{E}\sim 29.125^\circ\text{E}$

图 1. $120.63^\circ\text{N}\sim 121.55^\circ\text{N}$, $28.393^\circ\text{E}\sim 29.125^\circ\text{E}$ 的 X 波段天气雷达定量估测降水的地理分布(红色方框)

2.2. 评估分析指标及降水分级

目前, 按照中国气象局(GB/T 28592-2012)中对 1 小时降水的定义, 即 $0.1 \leq \text{RR} < 2.5$ 毫米为小雨、 $2.5 \leq \text{RR} < 8.0$ 毫米为中雨、 $8.0 \leq \text{RR} < 16.0$ 毫米为大雨、 $16.0 \leq \text{RR} < 32.0$ 毫米为暴雨、 $32.0 \leq \text{RR} < 64.0$ 毫米为大暴雨、 $\text{RR} \geq 64$ 毫米为特大暴雨, 对小时降水进行分级。

通过气象学的主要评估参数 TS、ETS 评分和 BIAS 偏差等进行降水评估分析, 具体公式如下:

威胁评分 $T_s = t_p / (t_p + f_p + f_n)$, 其物理含义是衡量“有雨”预报的准确性, 范围 0~1, 越接近 1 越好。

威胁评分 $\text{ETS} = (t_p - D_r) / (t_p + f_p + f_n - D_r)$, 其中 $D_r = (t_p + f_n) * (t_p + f_p) / (\text{总样本数})$, 其含义是修正了随机因素对 TS 的影响, 比 TS 更客观。

偏差 $\text{BIAS} = (t_p + f_p) / (t_p + f_n)$, 物理含义是衡量“有雨”预报的系统性偏差: >1 表示高估, <1 表示低估, $=1$ 表示无偏差。

平均误差 $ME = np.mean(rain_acc - product_acc)$, 其物理含义是衡量降水强度的平均偏差: >0 表示低估, <0 表示高估。

其中, t_n = 无雨观测且无雨预报、 f_n = 有雨观测但无雨预报、 t_p = 有雨观测且有雨预报、 f_p = 无雨观测但有雨预报。

3. 检验分析

根据图 2 可以看出, X 波段雷达在台风期间, 对 1 小时 $0.1 \leq RR < 2.5$ 的小雨量级的降水 TS 准确率最高, 小雨准确率在 65%~82%之间, 远高于其他量级降水, 其次是中雨、大雨、暴雨、大暴雨。尤其是在 2025 年 7 月 9 日东风环流影响下和 2025 年 7 月 21 日韦帕环流影响下准确率不足 5%。通过雷达图查阅, 发现丹娜丝、范斯高、竹节草三个台风其暴雨准确度略高于大雨量级降水, 降水时多是外围雨带上岸, 陆上迎风坡新生作用不明显。值得关注的是范斯高台风期间, OHP 降水估测产品准确率大雨和暴雨量级高于中雨准确率; 除康妮外, 大暴雨准确率都有所提升, 尤其是 94W、丹娜丝台风、竹节草台风其大暴雨准确率可达 24%~37%。

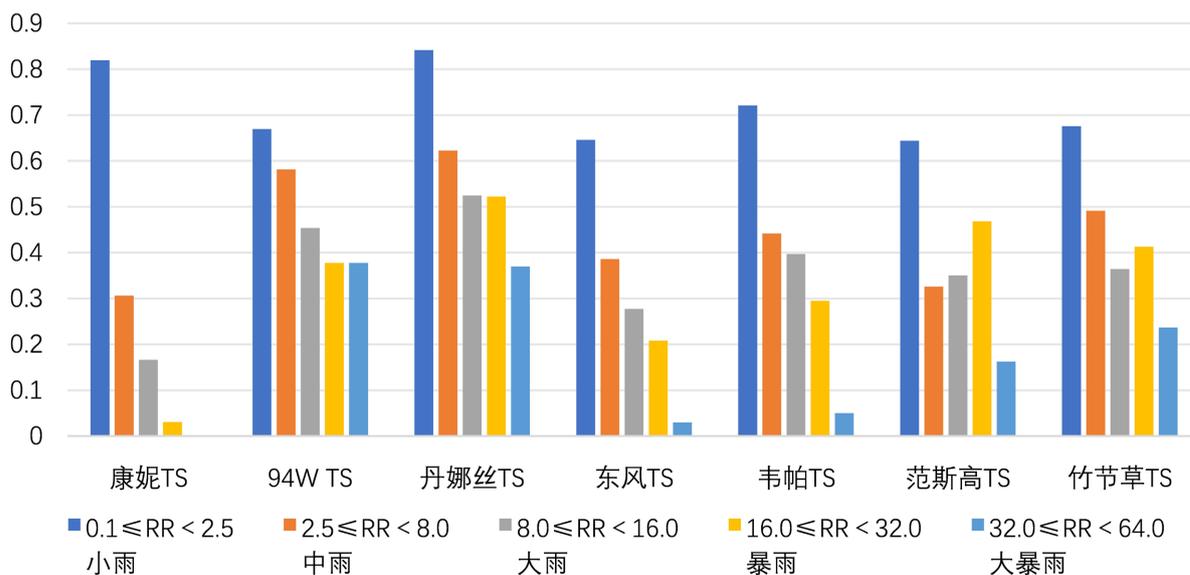


Figure 2. TS scores of the X-band OHP product for precipitation within the circulation of seven typhoons
图 2. X 波段 OHP 产品在七个台风环流降水中的 TS 评分

相较于图 2 可以看出, X 波段雷达在台风期间, 1 小时降水估测 ETS 评分均有小幅的下降, 说明仍存在一定空报、漏报现象, 尤其是小雨量级, 这说明在小雨量级存在很多空报现象, 而在大雨和暴雨量级下降却不明显(仅精确到百分位), 这说明在大雨和暴雨的预报时具有更高的可信度, 较少有空报现象。另外, 值得注意的是大雨、暴雨、大暴雨下降不明显, 尤其是大暴雨其 TS-ETS 差值不足 0.1%, 说明其可信度高, 同时丹娜丝、竹节草、范斯高台风其暴雨 ETS 评分超越大雨 ETS 评分, 具有高的可信度。分析发现这些台风发生在 7 月, 距离我市极近, 同时多为东南风下的本体降水, 说明 OHP 产品对本体降水有较好的刻画。康妮台风虽然距离较近, 但是发生在 11 月, 我市处于偏北气流中, 产品反应不够理想(图 3)。

BIAS 基本都在 1 以下, 说明雷达 OHP 产品判断的降水量级比实际的降水偏小, 小雨偏差最小, 其他量级与实际降水的比值约为 0.8~2.3 之间, 而康妮台风大雨与实际偏差最明显, OHP 估测降水有严重

低估, 实际降雨为大雨量级的 6 倍; 94 W 大雨和暴雨量级估测为实际降水的一半(图 4)。

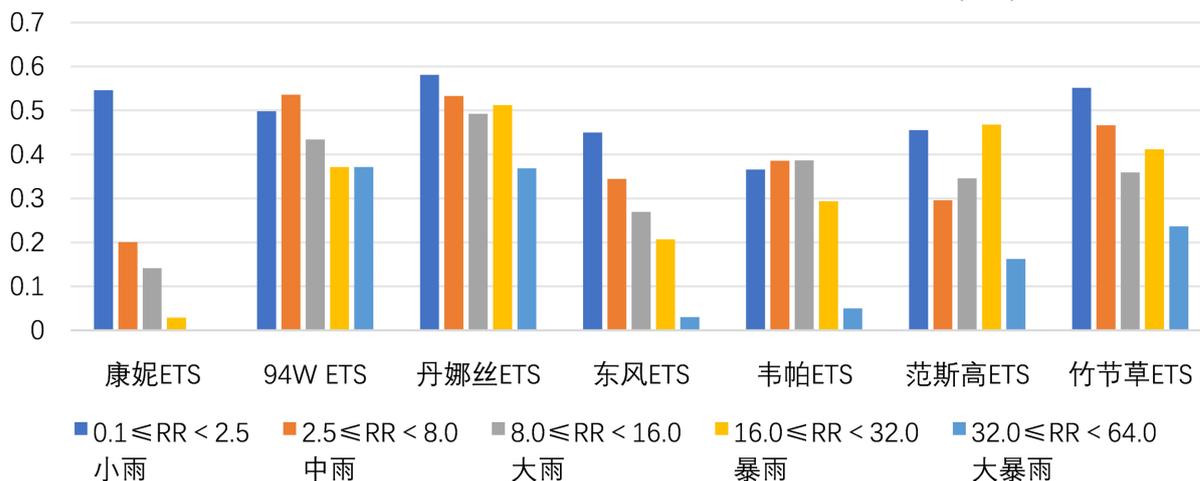


Figure 3. ETS scores of the X-band OHP product for precipitation within the circulation of seven typhoons

图 3. X 波段 OHP 产品在七个台风环流降水中的 ETS 评分

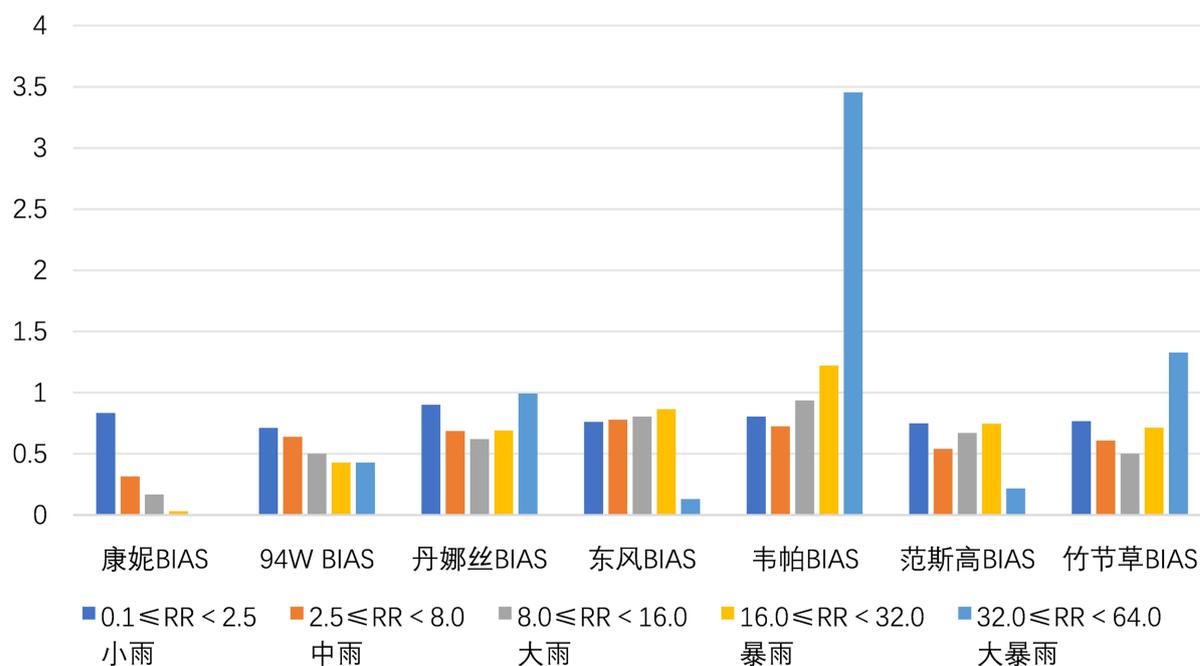


Figure 4. Bias scores of the X-band OHP product for precipitation within the circulation of seven typhoons

图 4. X 波段 OHP 产品在七个台风环流降水中的 bias 评分

4. 偏差原因分析

归纳台州 X 波段天气雷达组网 OHP 产品误差的原因有以下几点:

- 1) 降水估算公式是固定的, 没有和实测降水进行修正, 可能与实际降水形成较大的误差, 尤其是台州降水受东南气流影响下, 暖云降水居多, 降水效率偏高, 远大于大陆性降水[8]-[10]。
- 2) X 波段天气雷达会受到地面、山体其他电磁波等无降水回波干扰, 形成错误的空报。
- 3) 雷达扫描的反射率估计得到的降水率是其上空一定范围的降水粒子的总和, 由于降水粒子的空间

距离和移动性, 导致估测存在一定误差[11]。

5. 结论与讨论

本文通过 2024~2025 年的 7 次台风降水个例的雷达 OHP 产品的检验分析发现:

1) 台州 X 波段天气雷达能够较好的反映降水云团的方位, 其对小雨和中雨量级的降水准确率最高, 其次是大雨和暴雨, 大暴雨准确率最低。

2) 在台风期间, ETS 评分小雨和中雨的降水准确率最高, 但是相对于 TS 评分都有一定程度的下降, 尤其是小雨量级, 这说明在小雨量级存在较多空报现象, 而在大雨和暴雨量级下降却不明显(仅精确到百分位), 这说明在大雨和暴雨的预报时具有更高的可信度, 较少有空报现象。

3) 台风期间, BIAS 基本都在 1 以下, 说明雷达 OHP 产品判断的降水出现频次比实际的降水频次少, 尤其是康妮台风对中雨、大风、暴雨估测出现次数严重减少; 同时降水量级的估计普遍偏小。

4) 通过误差分析, 降水估测公式单一、非降水回波以及降水粒子与雷达测量的空间差异都是导致其误差的原因。

参考文献

- [1] 黄天福, 刘莉娟, 蒋仕华, 等. CINRDA/CA 天气雷达 OHP 检验分析[J]. 气候变化研究快报, 2021, 10(2): 191-196.
- [2] 俞小鼎, 王秀明, 李万莉, 等. 雷暴与强对流临近预报[M]. 北京: 气象出版社, 348-353.
- [3] 李晶, 包云轩, 蒋义芳, 等. 多普勒天气雷达 1 h 降水产品的质量评估[J]. 气象科学, 2015, 35(3): 340-345.
- [4] 勾亚彬, 刘黎平, 王丹, 等. 基于云团的分组 Z-R 关系拟合方案及效果评估[J]. 暴雨灾害, 2015, 34(1): 1-8.
- [5] 勾亚彬, 刘黎平, 杨杰, 等. 基于雷达组网拼图的定量降水估测算法业务应用及效果评估[J]. 气象学报, 2014, 72(4): 731-748.
- [6] 刘黎平, 葛润生, 张沛源. 双线偏振多普勒天气雷达遥测降水强度和液态含水量的方法和精度研究[J]. 大气科学, 2002, 26(5): 709-719.
- [7] 龙利民, 王建国, 汪应琼, 等. 多普勒天气雷达一小时累积降水产品估测能力检验[J]. 湖北气象, 2004, 20(1): 19-21.
- [8] 周海光. 超强台风韦帕(0713)螺旋雨带中尺度结构双多普勒雷达研究[J]. 大气科学学报, 2010, 33(3): 271-284.
- [9] 杨杰, 刘黎平, 赵城城, 等. 雷达估测对流性降水的误差空间分布及 Z-R 关系的优化[J]. 高原气象, 2015, 34(6): 1785-1796.
- [10] 李新峰, 赵坤, 王明筠, 等. 多普勒雷达资料循环同化在台风“鲇鱼”预报中的应用[J]. 气象科学, 2013, 33(3): 255-263.
- [11] 李成为, 张世昌, 刘名, 等. CB 雷达 OHP 产品与雨量计对比分析[J]. 陕西气象, 2015(4): 9-41.