

CINRDA/CA天气雷达OHP检验分析

黄天福*, 刘莉娟#, 蒋仕华, 林小杰, 陈昌文

贵州省六盘水市气象局, 贵州 六盘水

Email: aoxiang_33@126.com, #2533812385@qq.com

收稿日期: 2021年2月9日; 录用日期: 2021年3月23日; 发布日期: 2021年3月31日

摘要

本文研究贵州六盘水市多普勒天气雷达1 h降雨量(OHP)在短临灾害性暴雨预报中的应用,从雷达站周边雨量站选取2018年~2020年降水个例共计3157对数据对比分析。以其空报率、漏报率分析其可用性,以平均误差、相对误差和均方根误差进行误差分析。结果表明:1) 六盘水雷达OHP漏报为52%、空报率34%、准确预报临界指数57%,漏报率、空报率随降水强度增加而降低,准确预报临界指数也随之增加。2) OHP误差较大,均方根误差在1.36~18.47之间,误差值随降雨量增加而加大,3) 在 ≤ 2.5 mm时,OHP会多估测, > 2.5 mm时,OHP为低估测,并随实测降雨量增加估测误差越大。4) 雨量站距离对OHP误差有一定的影响,距离越远误差相对偏大。需加强对六盘水雷达OHP应用研究和修订,提升本地天气雷达产品能更好在短时灾害性天气中的应用。

关键词

天气雷达, OHP产品检验, 误差分析, 误差原因

OHP Test and Analysis of CINRDA/CA Weather Radar

Tianfu Huang*, Lijuan Liu#, Shihua Jiang, Xiaojie Lin, Changwen Chen

Liupanshui Meteorological Bureau, Liupanshui Guizhou

Email: aoxiang_33@126.com, #2533812385@qq.com

Received: Feb. 9th, 2021; accepted: Mar. 23rd, 2021; published: Mar. 31st, 2021

Abstract

This paper studies the application of Doppler weather radar 1 h rainfall (OHP) in the forecast of

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 黄天福, 刘莉娟, 蒋仕华, 林小杰, 陈昌文. 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. DOI: 10.12677/ccrl.2021.102022

short-term and impending disastrous rainstorm in Liupanshui City, Guizhou Province. A total of 3157 pairs of precipitation cases from 2018 to 2020 are selected from the rainfall stations around the radar station. Its availability was analyzed by its false alarm rate and false alarm rate, and its error was analyzed by average error, relative error and root mean square error. The results show that: 1) the missing report rate of OHP of Liupanshui radar is 52%, the false alarm rate is 34%, and the critical index of accurate forecast is 57%. The missing report rate and empty report rate decrease with the increase of precipitation intensity, and the critical index of accurate forecast also increases. 2) The error of OHP is larger, the root mean square error is 1.36~18.47, and the error increases with the increase of rainfall. 3) When ≤ 2.5 mm, OHP will estimate more, and when > 2.5 mm, OHP is underestimated, and the estimation error increases with the increase of measured rainfall. 4) The distance of the rainfall station has a certain influence on the OHP error, and the farther the distance is, the larger the error is. It is necessary to strengthen the application research and revision of Liupanshui radar OHP to improve the application of local weather radar products in short-term severe weather.

Keywords

Weather Radar, OHP Product Inspection, Error Analysis, Error Cause

Copyright © 2021 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

多普勒天气雷达一小时累积降水(以下统称为 OHP)、三小时累积降水(THP)是天气雷达监测预报降水的重要功能之一,其估测降水计算原理是根据 $Z = A R^b$ 中的估测降雨量与雷达反射率成正相关关系时间累积出来的。很多气象学者对天气雷达资料估测降水产品反演进行诸多研究[1] [2] [3] [4]。Habib *et al.* [5] 研究得出多普勒雷达(OHP)累积降水数据随机误差和系统误差。Yoon *et al.* [6] 研究提出天气雷达的估测降水产品虽然降雨量级有一定的误差但其能够提供更为准确的降水空间和降水区域。李晶[7]等通过对天气雷达(OHP)降水产品的质量评估得出: OHP 与实测的落区基本一致,但降水强度上有偏差,不同站点距离不同的雨强偏差不同。李成伟[8]等通过(OHP)与实测雨量对比分析:在地面雨量[0.7, 10 mm]时,(OHP)雨量大于实测雨量, ≥ 10 mm 时,(OHP)雨量小于实测雨量。

六盘水新一代多普勒天气雷达建于 2016 年 7 月,2018 年 6 月开始业务考核运行,其降水估测产品一直沿用了 WSR-88D 中设定的 $Z = A R^b$ 关系式。其次全国各地有不少学者针对本地天气雷达估测降水进行适应本地的 Z-R 关系研究并找到合适的 A、b 参数,六盘水地区却在这方面一片空白,雷达估测降水仅仅是一个摆设,没有得到很好的应用。本文将对六盘水多普勒天气雷达 OHP 降水产品与本地自动站实测雨量进行不同天气系统、不同回波属性与降水强度的对比分析。找出误差源头以便更好利用天气雷达产品在灾害性天气中的作用。

2. 资料与方法

2.1. 资料来源

实测降雨量选取六盘水市雷达站不超过 120 km 的国家基准站和区域自动站,降水个例选取 2018 年~2020 年中不同天气系统的降水个例。雷达产品采用贵州省六盘水市新一代多普勒天气雷达以 VCP21 体

扫模式, 体扫时间间隔为 6 min 雷达基数据。资料涵盖六盘水市不同地点、不同季节性、不同天气系统的降水天气个例, 降雨量、雷达基数据均来自贵州省气象局信息中心。

2.2. 数据处理

将雷达 OHP 与雨量站降雨量在时间和空间上建立一一对应关系。

首先, 将选取雨量站位置以六盘水天气雷达站为中心布局各雨量站极坐标形式。

计算公式:

$$\cos Z_i = \sin \varphi \sin \varphi_i + \cos \varphi \cos \omega_i \cos(\omega - \omega_i) \quad (1)$$

$$\sin \theta_i = \left[\cos \varphi \sin(\omega - \omega_i) \right] / \left[1 - \cos^2 Z_i \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$R_i = Z_i R_0 \quad (3)$$

公式中, ω 、 φ 、雷达站的经度、纬度; ω_i 、 φ_i 分别为第 i 个雨量站的经度、纬度, R_0 为地球半径(km), Z_i 为第 i 个雨量站到六盘水雷达站的弧线所对应的弧度, θ_i 、 R_i 分别为第 i 个雨量站相对于六盘水雷达站的方位角及与雷达站点之间的水平距离。

其次, 空间上, 取雨量站上雷达 OHP 产品与雨量站实测降雨量建立数据对, 以下简称(OHP-雨量数据对)。时间上, 认为 OHP 与该分钟观测到的前 6 分钟降雨量估测相对应, 即 OHP 一小时累积降水是此刻前 10 次(10 次 \times 6 min)体扫过程中的降雨量累积, 从而得到一一对应的每小时雷达(OHP 雨量数据对)。

2.3. 误差指标

选取空报率、漏报率、准确预报临界指数、平均误差(M_E)、相对误差(R_E)、平均绝对误差(M_{AE})和均方根误差(R_{MSE})为评估估测降水质量的指标对六盘 OHP 进行检验分析, 其中重要指标的计算方法如下:

MAR 为漏报率(R_m), 是指实际有降水而雷达估测无降水事件占实际有降水事件的比率。

$$R_m = \frac{n_{01}}{n_{11} + n_{01}} \quad (4)$$

式中, n_{01} 为雷达估测无降水发生, 而雨量站实测有降水发生的事件数。

平均绝对误差(M_{AE})是所有单个观测值与算术平均值的偏差的绝对值的平均。平均绝对误差可以避免误差相互抵消的问题, 因而可以准确反映实际预测误差的大小。

$$M_{AE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - m(x)| \quad (5)$$

均方根误差(R_{MSE})是预测值与真实值偏差的平方与观测次数 n 比值的平方根, 是用来衡量观测值同真值之间的真实偏差。

$$R_{MSE} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

式中 x_i 、 y_i 、 $m(x)$ 代表第 i 雨量站的雷达估测值、实测降雨量、平均值。

3. 天气雷达 OHP 检验分析

3.1. OHP 可用性检验

通过逐步筛选, 共计选取出 3157 OHP-雨量站雨量数据对, 根据天气雷达站 OHP 累积降雨量的降雨

量强度色标划分五个等级 I 级(0.1~2.5 mm) II 级(2.6~6.4 mm) III 级(6.5~12.7 mm) IV 级(12.8~19.9) V (≥ 19.1 mm)。我们将从 OHP “色标” 等级上展开对 OHP 漏报率、空报率、准确预报临界指数分析(图 1)。

六盘水雷达站 OHP 产品的平均漏报率为 52%，其中在雨量越小漏报率越高，最高达到得 86%，随着实测雨量加大漏报率逐步降低到 32%。在雨量 ≤ 2.5 mm 段漏报率高达 80%，实测雨量 ≥ 19.1 mm 漏报率低于 21%。OHP 产品的平均空报率为 34%，空报率在 52%~17%，空报率低于漏报率。准确预报临界指数为 40%，随降雨量加大，准确率增加，最高到达 81%。综上所述：六盘水天气雷达 OHP 漏报率、空报率随降水强度增加而降低，准确预报临界指数也随之增加。说明六盘水天气雷达 OHP 在大降雨量时可用的。

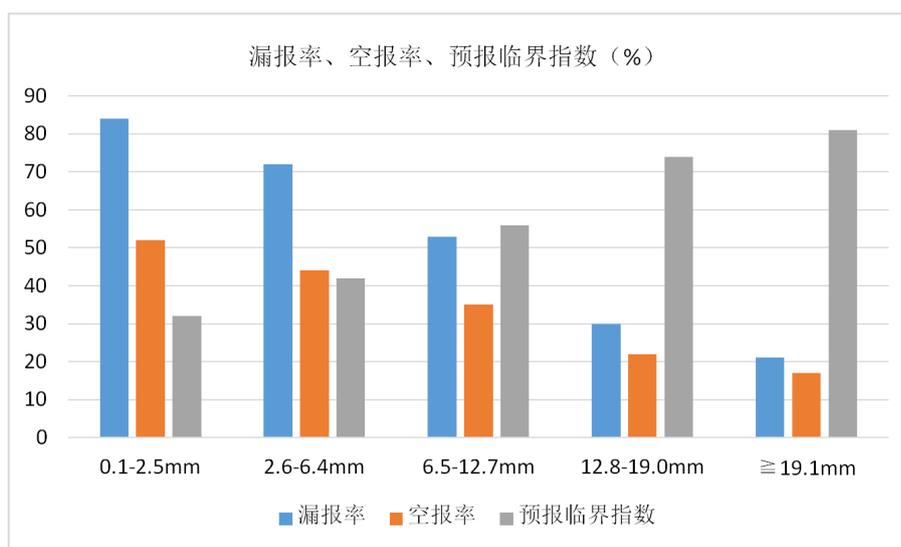


Figure 1. Bar chart of OHP quality evaluation index under each intensity of hourly cumulative precipitation at rain gauge stations

图 1. 雨量站小时累积降水各强度下的 OHP 质量评价指数柱状图

3.2. OHP 不同降雨量级对比检验

通过去除掉空报、漏报的 OHP-降雨量数据对，共计 1741 对可用 OHP-雨量站雨量数据对，同样根据上节强度“色标”划分五个等级，每一级取中间值为 OHP 真值。通过对各降雨量级下 OHP 估测与雨量站降雨量进行对比误差分析(表 1)。

平均误差仅仅在 I 级是估测正值，随着地面实测降水增加，平均误差逐步为负值(II~V 级)，说明 OHP 产品在 ≤ 2.5 mm 时出现高估，高估误差达到 126%，在降雨量 ≥ 2.6 mm 时出现低估，随着降雨量增加，OHP 估测误差也逐步加大。平均相对误差在 I 级高达 126%，原因其真值降雨量级小，但随实测降雨量加大而减少，IV 级最低为 57%，因为 IV 级统计的是 ≥ 19.1 mm 实测雨量，所有相对误差稍低。均方根误差能够真实反应估测值与实测值的测量误差，随着雨量级加大，均方根误差也随之增加，误差值在 1.56~20.47，特别是在 ≥ 19.1 mm，误差值高达 20.47。从实测雨量级统计分析 OHP 估测误差，降雨量误差值随实测降雨量增加而加大。六盘水市多普勒天气雷达 OHP 产品在预报区域有一定指导意义，但是降雨量大小还有待提高。

3.3. OHP 不同地点对比检验

统计六盘水天气雷达周边 10 个不同距离雨量站与 OHP 产品误差分析，每个不同站上选取不同雨量级 OHP-雨量站降雨量数据，统计分析雨量站 OHP 产品与实测降雨量的绝对误差、相对误差。

Table 1. (OHP) error statistics at different intensities**表 1.** OHP 在不同强度下误差统计表

雨量级	样本数	平均误差	平均相对误差	均方根误差
0.1~2.5 mm	785	0.35	126	1.56
2.6~6.4 mm	562	-2.47	73	3.84
6.5~12.7 mm	246	-5.41	65	6.16
12.8~19.0 mm	113	-8.71	57	10.35
≥19.1 mm	35	-18.52	68	20.47

从单雨量站来对 OHP 的统计检验误差分析(表 2)。统计表明:雨量站 OHP-雨量站降雨量相对误差为(-32%~-75%)都为负值,再次说明雷达 OHP 估测降水明显小于实测降水,OHP 在单站统计分析中也出现明显的低估现象,绝对误差值在 3.71~9.87 mm,单从降雨量级误差来说偏差较大。通过距离观测,离雷达站最远的盘州市新民镇(119.2 km)绝对误差(9.87)和相对误差(-75%)都是最大的,而距离离雷达站近一点的保华和水城站的绝对误差和相对误差都较低,说明六盘水雷达 OHP 产品随监测距离增大、估测误差也随之增加,该方位位于六盘水雷达的正南方向,由于地物遮挡及仰角随 L 增加而其波束充塞系数明显减小所致[9]。

Table 2. Distance (km), Absolute Error (mm), Relative Error (%) of Liupanshui Weather Radar (OHP) Products at Rainfall Measuring Stations**表 2.** 六盘水天气雷达 OHP 产品在各雨量站的距离(km)、绝对误差(mm)、相对误差(%)

站点	六枝	水城	盘州	威宁	纳雍	新华	中寨	保华	新民	柏果
距离	64.9	7.4	105.4	74.3	52.4	52.8	47.9	14.2	119.2	74.9
绝对误差	6.56	4.64	8.38	6.96	5.32	3.71	5.93	4.59	9.87	9.61
相对误差	-58	-41	-69	-61	-46	-38	-53	-42	-75	-73

4. 多普勒天气雷达 OHP 误差原因总结

六盘水多普勒天气雷达一小时累积降水(OHP)降雨量误差主要有以下几方面原因:

1) 多普勒天气雷达估测降雨量体扫的是的雨量站上空一定范围内的降水颗粒,天空降水颗粒到地面还有一定空间和距离,导致与地面雨量站实测降雨空间不一致。

2) 多普勒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,还有实测降雨量在小于 1 mm 时,由于电磁波束能量小雷达接收基本没有电磁信号导致很多被漏报。

3) 六盘水多普勒天气雷达 OHP 产品计算公式是固定的,没有和实测降水进行修正,所有形成较大的降水实际误差。

4) 多普勒天气雷达 OHP 产品在实际应用中存在将该小时内的降水累积用到相邻的两、三个小时中,而地面雨量站实测的确实我们统计该时次的雨量,所有导致出现很高的空报、漏报率。

5. 结论与讨论

本文通过选取 2018 年~2020 年雨量站对六盘水多普勒天气雷达 OHP 产品检验分析,共计筛选出 3157 对实测降水-OHP 产品数据对进行对比分析,剔除掉空报漏报后选取 1741 对数据样本进行统计对比分析,分析得出:

1) 六盘水多普勒天气雷达 OHP 产品漏报为 52%、空报率 34%，漏报率、空报率随实测降水强度增加而降低，准确预报临界指数也随之增加。

2) 天气雷达 OHP 产品均方根误差较大，误差值在 1.56~20.47 之间，随实测降雨量增加而加大，当降雨量级大时 OHP 能够准确估测降水落区，其降水估测值误差过大。

3) OHP 产品仅仅在 ≤ 2.5 mm 时估测值为负值，此降水区域为多估测，大于 2.5 mm 降水时为负值，OHP 低估，并随实测降雨量增加 OHP 估测误差越大，但误差比值缩小。

4) 雨量站距离对 OHP 产品误差有一定的影响，距离越远误差偏大。

六盘水多普勒天气雷达 OHP 产品应用目前还有很大的局限性，需要气象工作者结合本地降水特性进行订正，更好发挥天气雷达 OHP 产品在短时暴雨灾害防御中的作用。

基金项目

黔气科登[2020]07-07 号。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 孙宁, 寿绍文, 吴海英, 等. 用二步变分法反演的单多普勒雷达风场研究中尺度暴雨[J]. 气象科学, 2009, 29(6): 768-774.
- [3] 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.
- [4] 杨艳蓉, 王振会, 周海光, 等. 双多普勒雷达风场反演资料的同化应用试验[J]. 大气科学学报, 2009, 32(4): 553-557.
- [5] Habib, E., Aduvala, A.V. and Meselhe, E.A. (2008) Analysis of Radar-Rainfall Error Characteristics and Implications for Streamflow Simulation Uncertainty. *Hydrological Sciences Journal*, **53**, 568-587. <https://doi.org/10.1623/hysj.53.3.568>
- [6] Yoon, S.S., Phuong, A.T. and Bae, D.H. (2012) Quantitative Comparison of the Spatial Distribution of Radar and Gauge Rainfall Data. *Journal of Hydrometeorology*, **13**, 1939-1953. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-11-066.1>
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.