

梁维亮,屈梅芳,何珊珊.两种雷达定量降水估测产品在广西区域的误差对比分析[J].气象研究与应用,2020,41(3):01-07.

Liang Weiliang, Qu Meifang, He Shanshan. Contrastive analysis on the error of two radar quantitative precipitation estimation products in Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(3): 01-07.

两种雷达定量降水估测产品在广西区域的误差对比分析

梁维亮, 屈梅芳, 何珊珊

(广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

摘要: 利用 2018—2019 年广西多普勒天气雷达组网观测资料和广西区域地面自动站降水资料, 运用 SWAN 系统中固定系数法和分级系数法, 对比分析两种定量降水估测(QPE)产品的估测技巧、偏差趋势和误差分布。结果表明, 在春季、夏季和秋季固定系数 QPE 晴雨 TS 高于分级系数 QPE, 在冬季反之。固定系数 QPE 对不同量级降水估测均偏小, 一般偏小 50% 以上, 对强降水偏小 70%。分级系数 QPE 在春季和秋季偏大, 在夏季偏小, 偏离程度小于固定系数 QPE。采用分级系数可以显著减少强降水漏报。

关键词: 固定系数 QPE; 分级系数 QPE; 广西区域; 误差; 对比分析

中图分类号: P456

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.3.01

OSID:



引言

当前智能网格预报业务的快速发展对要素预报产品的时空分辨率和滚动更新频次提出了更高的要求。虽然区域地面自动站数量逐渐增加, 但仍无法满足网格预报业务对精细化程度的需求, 因此基于雷达等遥感观测手段的定量降水估测和预报方法成为网格降水量监测和临近预报的重要数据源。

在多普勒雷达组网完成初期, 雷达定量降水估测(QPE)基于传统的固定系数 Z-I 关系实现, 在业务中取得了一定的效果^[1]。随后有研究发现固定 Z-I 关系在不同地域、不同降水条件下不能通用^[2-3]。针对 Z-I 关系中系数确定问题, 近几年来提出了几种不同的基于地面自动站雨量校正的解决方案, 如最优法动态调整 Z-I 关系、根据雨量分级的动态分级法、基于回波强度分级的快速动态分级法和基于单体识别技术的雨团分组拟合方案等^[4-8]。通过利用最近时刻的降水观测实时校正 Z-I 关系, 显著地减小了估测误差。

动态调整 Z-I 关系要求自动站降水观测数据与

雷达观测同步, 对降水观测的频次和数据传输的及时性要求较高。另一方面, 分组算法复杂性、自动站数量增加等因素会造成计算量增加。当使用区域不太大时, 可近似认为 Z-I 关系仅与降水类型有关, 而在空间上无差别。此时按反射率强度分级, 利用历史资料统计确定 Z-I 关系, 是一种更为经济的解决方案。

当前业务中对 QPE 质量已经具备了一定的主观定性认识, 但是仍然需要进一步定量地明确 QPE 与实况的偏差程度。从估测质量检验、偏差趋势和误差分布等方面来对比当前短时临近预报业务系统(SWAN)广西本地化应用中的两种 QPE 方法——固定系数法和分级系数法, 分析这两种方法在不同季节、不同量级降水条件下的估测能力, 评估两种方法优缺点及适用情景, 为业务应用提供定量参考。

1 资料来源

所用资料包括 2018—2019 年 SWAN 基于广西 10 部多普勒天气雷达组网观测资料计算的两种 1h QPE 产品和约 2700 个区域自动站的 1h 降水量观

收稿日期: 2020-05-31

基金项目: 广西气象局气象科研计划项目(2020QN04)、广西气象局短时临近天气预报技术创新团队专项

作者简介: 梁维亮(1983—), 男, 广西贵港人, 硕士, 高级工程师, 从事灾害性天气预报业务和技术研发。E-mail: little_lwl@hotmail.com

测资料。对非汛期雷达关机时段及故障导致数据连续缺失时段不予统计。

SWAN 的 QPE 产品根据 Z-I 关系,利用其 3km 高度的基本反射率拼图产品计算,水平网格分辨率为 $0.01^{\circ}\times 0.01^{\circ}$ 。两种 QPE 产品分别基于固定系数法(记为 Q_1 ,下同)和分级系数法(记为 Q_2 ,下同)。

Z-I 关系为:

$$Z=a\cdot I^b \tag{1}$$

式中 Z 为基本反射率因子(单位: $\text{mm}^6\cdot\text{m}^{-3}$),I 为雨强 (单位: $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$),a、b 是跟雨滴谱有关的系数。其中 a、b 是可调参数,以适应不同降水条件。 Q_1 取固定参数值:a=300,b=1.4。 Q_2 根据基本反射率强度分级,采用不同 a、b 系数组合(表 1)。

以自动站位置对应的 QPE 网格点为中心,在空

表 1 Z-I 关系分级系数

基本反射率强度/dBz	a	b
65~75	800	1.8
60~65	600	1.7
55~60	500	1.7
45~55	400	1.55
35~45	150	1.55
25~35	50	1.65
15~25	25	1.8
5~15	16	1.9

间上取 9 点平滑,作为该自动站对应的 QPE,建立 QPE 和降水量的一一对应关系。去除降水量缺测、疑误数据后共得到约 3 500 000 组数据(表 2)。

表 2 逐月降水量分级样本数

月份	< 1mm	1~5 mm	5~10 mm	10~20 mm	20~50 mm	≥50 mm
1	136 557	20 447	1 008	128	3	0
2	126 155	35 373	7 551	1 907	215	2
3	303 213	80 566	16 074	6 902	1 681	72
4	166 214	53 677	13 529	7 720	3 312	164
5	246 592	86 678	21 268	11 856	6 042	591
6	256 190	114 503	30 841	18 973	9 459	796
7	322 509	143 235	37 368	21 227	8 920	482
8	264 727	116 889	31 914	18 078	7 278	411
9	144 332	73 228	19 187	10 291	4 259	287
10	190 218	57 354	8 213	2 554	498	21
11	84 753	20 654	2 473	570	89	6
12	107 552	15 269	808	106	8	0

2 检验方法

对 Q_1 和 Q_2 进行不分级晴雨准确率检验和分级准确率检验。晴雨检验采用 TS、命中率(POD)和空报率(FAR)进行评估。当 QPE 和自动站观测均有降水时,记为 QPE 正确;当 QPE 有降水,自动站观测无降水时,记为 QPE 空报;当 QPE 无降水,自动站观测有降水时,记为 QPE 漏报。TS、POD 和 FAR 计算方法分别为:

$$TS=\frac{NA}{NA+NB+NC} \tag{2}$$

$$POD=\frac{NA}{NA+NC} \tag{3}$$

$$FAR=\frac{NB}{NA+NB} \tag{4}$$

式中 NA、NB、NC 分别为正确、空报、漏报次数(下同)。

分级检验采用 TS、空报比例(PNB)和漏报比例(PNC)进行评估。自动站 1h 降水量按小于 1mm、1~5mm、5~10mm、10~20mm、20~50mm 和 50~100mm 的标准划分为 6 个等级。当 QPE 与自动站观测等级相同时表示记为正确;当 QPE 等级大于观测时记为空报;当 QPE 等级小于观测时记为漏报。PNB 和 PNC 计算方法分别为:

$$PNB=\frac{NB}{NA+NB+NC} \tag{5}$$

$$PNC=\frac{NC}{NA+NB+NC} \tag{6}$$

此外,分级统计 $5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上降水的 QPE 相对

误差, 分析 Q_1 和 Q_2 对不同量级降水的估测误差分布特征。

3 检验结果

3.1 晴雨检验

图 1 是 2018—2019 年 QPE 晴雨质量检验。 Q_1 的 POD 在 6—9 月期间大于 0.6, 秋冬季则一般小于 0.4, 其中 1 月仅为 0.15。 Q_1 的 FAR 存在两个峰值, 分别 4—5 月和 9—10 月, 两个峰值大小有区别, 其中 9 月达到 0.62, 为全年最大, 4 月峰值相对前者较

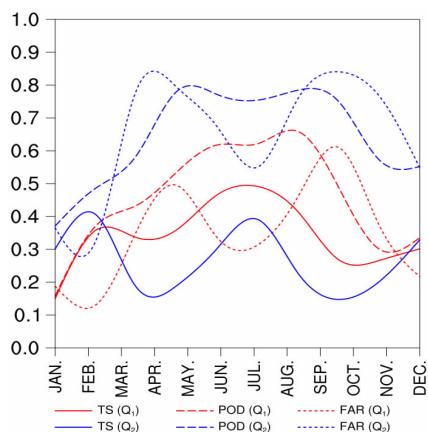


图 1 2018—2019 年 QPE 晴雨质量检验

小, 为 0.47。 Q_2 的 POD 在 4—10 月期间均较大, 其中 5—9 月达到 0.75。 Q_2 的 FAR 两个峰值分别为 4—5 月和 9—10 月, 数值均大于 0.8 且较为接近, 这与 Q_1 明显不同。

Q_1 和 Q_2 的 POD、FAR 季节变化趋势相同。夏季 POD 较大, FAR 相对较小; 春季和秋季 POD 减小而 FAR 明显增大; 冬季 POD 和 FAR 均较小。从总体上看, 对夏季热带型降水晴雨估测的漏报和空报与其他季节相比较少, 估测效果较好; 对春季和秋季锋面型降水晴雨估测的漏报和空报均明显增多; 对冬季稳定性降水的晴雨估测大多为漏报, 而空报较少。

对比 Q_1 和 Q_2 的 POD、FAR 和 TS, 可见 Q_2 的 POD 和 FAR 数值均比 Q_1 更大, 表明分级系数法相比固定系数法更倾向于估测有降水, 在命中率提高的同时空报率也提高。从两者 TS 对比发现, 分级系数法在春季、夏季和秋季空报过多, 造成 TS 低于固定系数法, 而在冬季则可以在一定程度上弥补固定系数法由于漏报过多导致的 TS 降低。

3.2 分级检验

图 2 是 2018—2019 年 QPE 分级检验。对所有量级的降水, Q_2 空报比例大于 Q_1 , 漏报比例小于 Q_1 , 表明分级系数法估测量级偏大的情况多于固定系数法。

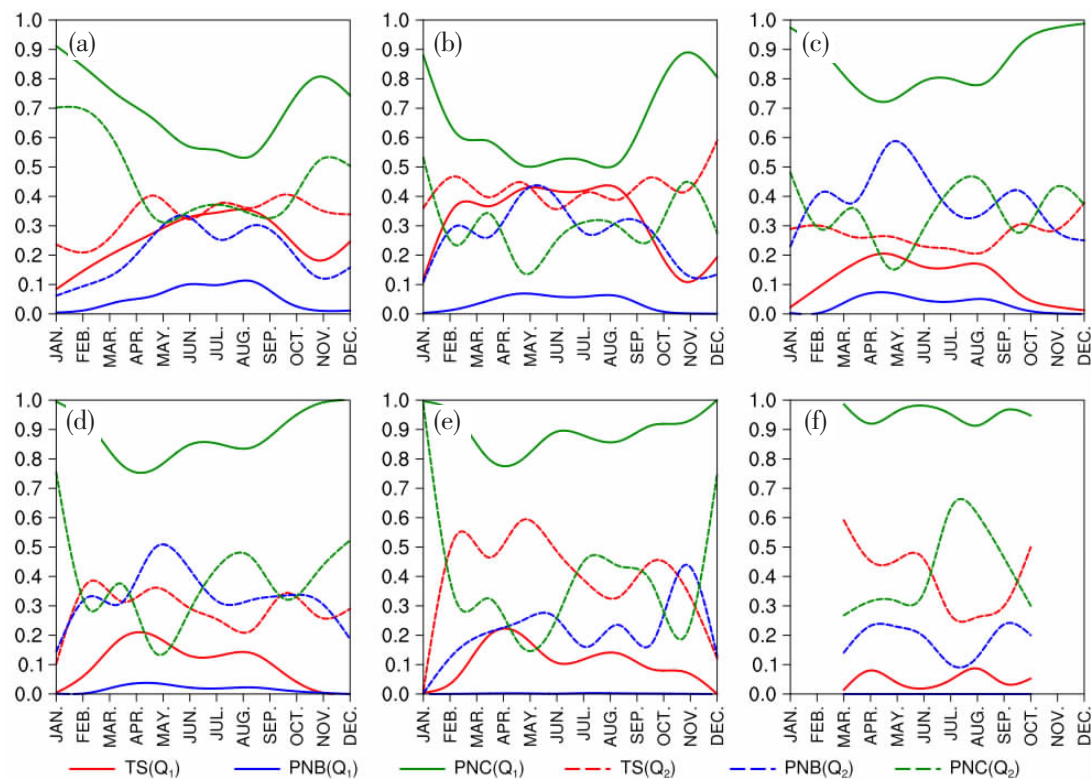


图 2 2018—2019 年 QPE 分级检验

(a) <1mm; (b) 1~5mm; (c) 5~10mm; (d) 10~20mm; (e) 20~50mm; (f) 50~100mm

从各量级的 PNB、PNC 对比可见 Q_1 空报比例随着降水量级增大逐渐减小, 20mm 以上强降水的空报比例接近为 0, 漏报比例随着降水量级增大而增大, 20mm 以上强降水的漏报比例大于 80%, 50mm 以上强降水漏报比例大于 90%, 表明 Q_1 对强降水的估测质量差。

对 5mm 以下的降水(图 2a、图 2b), 在春季和夏季两种估测方法的 TS 比较接近, 但在秋季和冬季 Q_2 的 TS 明显高于 Q_1 。对 5mm 以上的降水, 在春季和夏季也可以看到 Q_2 的 TS 明显大于 Q_1 。随着降水量级增大, 两者差距逐渐增大。尤其对 20mm 以上的强降水(图 2e、图 2f), Q_2 的 TS 相比 Q_1 一般可以提升 0.2~0.4, 最大提升超过 0.5, 对比提升量可见春季和秋季提升量大于夏季, 表明 Q_2 对强降水, 特别是对锋面型强降水的估测质量明显高于 Q_1 。

3.3 偏差趋势

为分析 QPE 偏差趋势, 图 3 和图 4 分别显示了 Q_1 和 Q_2 的降水量实况—QPE 频数分布, 表示相应降水量值的实况—QPE 数据对的出现次数。当 QPE 与实况接近时, 该数据点位于对角线附近。当 QPE

偏大时, 该数据点位于对角线上方; 反之则位于对角线下方。高频区位于对角线上方时表示 QPE 偏大的次数较多; 反之则表示 QPE 偏小的次数较多。

从逐月频数分布演变来看, 可以发现 2 月以前实况降水量绝大部分集中在 20mm 以下, 3 月开始高频区逐渐向 x 轴正向扩展, 显示大于 20mm 的强降水数量逐渐增加, 大致在 6—7 月达到最大值, 8—10 月高频区收缩, 11 月绝大部分降水小于 20mm。对比 Q_1 和 Q_2 的高频区分布可见在相同实况降水量条件下, Q_2 估测值明显大于 Q_1 。

从 Q_1 高频区(图 3)的偏向特征来看, 各月高频区中心轴线均偏向对角线下方, 表明整体上 Q_1 偏小的数据对占大多数。但是不同量级降水的高频区分布也有季节变化。1—4 月所有量级降水的高频区均偏向对角线下方, Q_1 偏小为主。5—8 月 5mm 以下量级的高频区向对角线上方移动, 偏大和偏小频数有接近的趋势; 而 5mm 以上量级高频区仍偏向对角线下方, Q_1 对强降水仍以偏小为主。9 月以后高频区分布又恢复为 4 月前的特征。

从 Q_2 高频区(图 4)的偏向特征来看, 1—6 月高

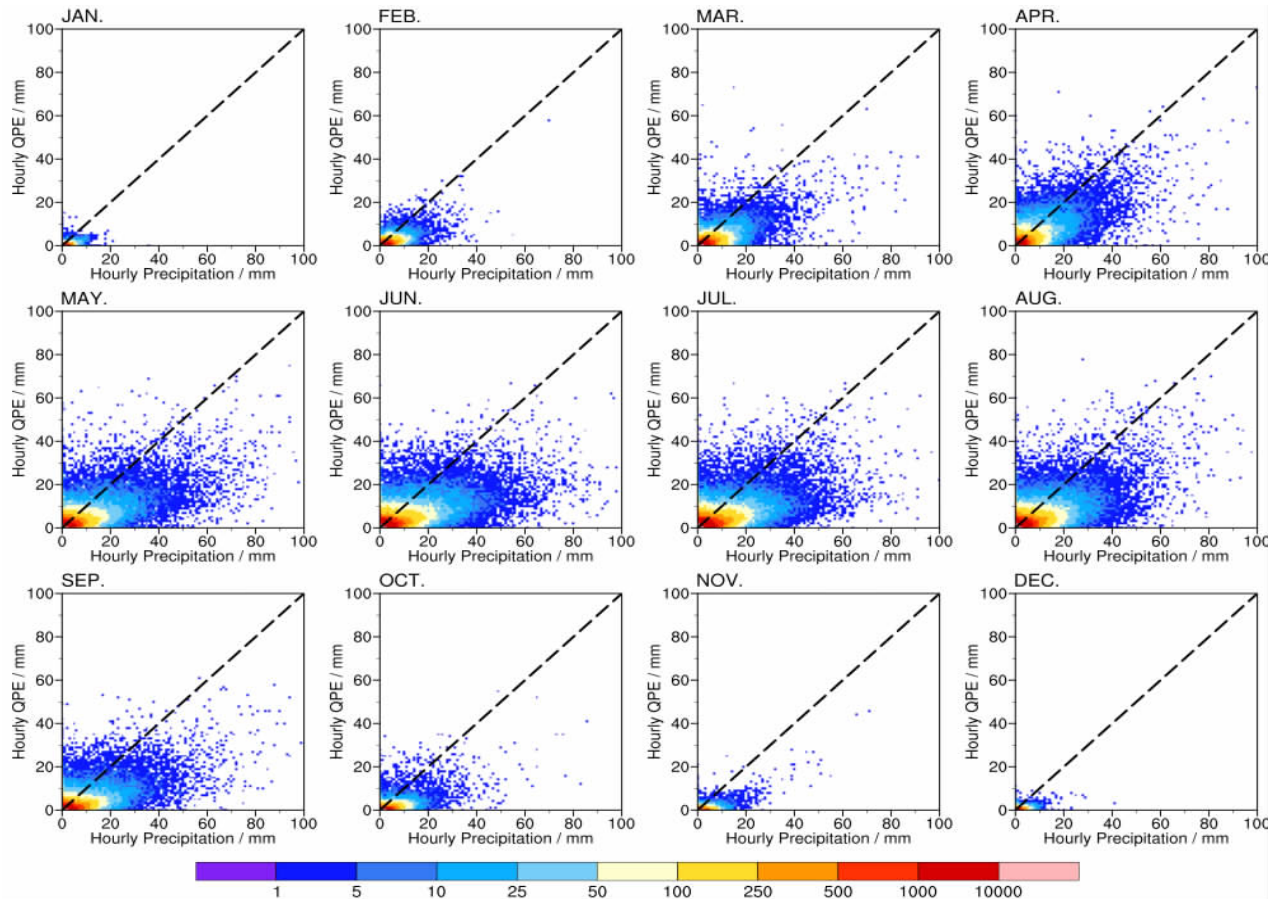


图 3 2018—2019 年逐月降水量实况— Q_1 频数分布图

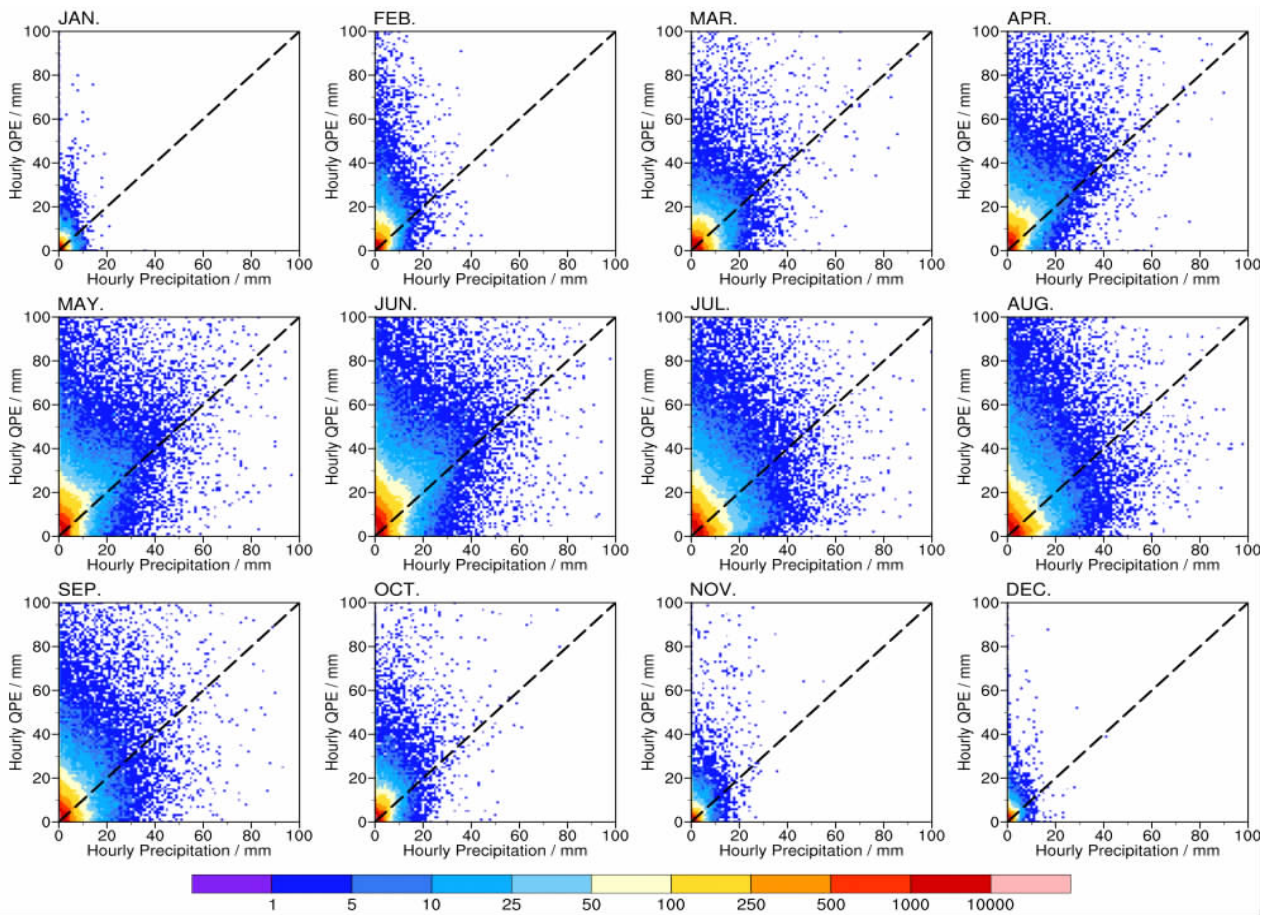


图 4 2018—2019 年逐月降水量实况— Q_2 频数分布图

频区大致位于对角线附近或上方, 表明在该时段内 Q_2 与实况接近或偏大的样本占大多数。7—8 月高频区逐渐向对角线下方移动, 对角线上方和下方的频数分布大致相当, 表明此时偏大和偏小次数的差距缩小。从 9 月开始高频区再次往对角线上方移动, 偏大次数又开始增多。

3.4 误差分布

通过考察相对误差分布来分析 QPE 误差整体特征。图 5 为 2018—2019 年 5~10mm、10~20mm、20~50mm 和 50~100mm 降水的 QPE 相对误差分布, 箱形图上边缘、上四分位、中位、下四分位和下边缘分别表示各组样本的 90%、75%、50% (中位数)、25% 和 10% 分位数。箱型图各分位之间的间隔大小反映了 QPE 误差的离散程度, 中位数 (记为 M, 下同) 的符号和大小反映了 QPE 相对误差的整体偏向和偏离程度。从图中可见 Q_1 相对误差分布相对集中, 在各月份均明显偏向负值, 表明 Q_1 整体一致偏小。 Q_2 相对误差分布较离散, 整体在零线上下波动, 有较明显的季节变化特征。

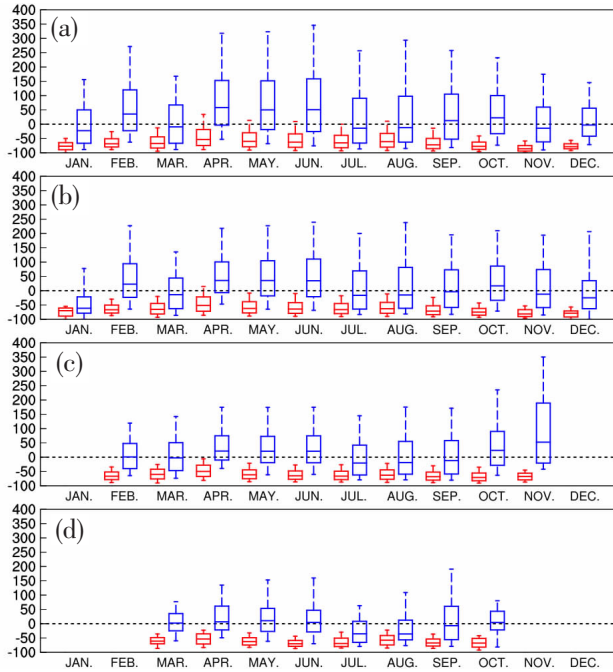


图 5 2018—2019 年 Q_1 (红) 和 Q_2 (蓝) 相对误差箱型图
(a) 5~10mm; (b) 10~20mm; (c) 20~50mm; (d) 50~100mm
上边缘、上四分位、中位、下四分位、下边缘分别表示 90%、75%、50%、25%、10% 分位数

Q_1 相对误差中位数在各月均偏小 50% 以上, 一般偏小 60%~70%, 对 5~20mm 降水偏小最多可达 85%, 对 20mm 以上强降水偏小最多可达 70%。

1—3 月, Q_2 对 20mm 以下降水的 M 存在波动, 在 1 月偏向负值, 2 月偏向正值, 3 月偏向负值, 波动幅度逐月减小; 对 20mm 以上强降水的 M 接近为 0, Q_2 偏大和偏小次数大致相同。4—6 月, M 明显偏向正值, 对 5~10mm、10~20mm、20~50mm、50~100mm 量级降水的 QPE 分别偏大约 50%、35%、20%、5%, 随着降水量级增大, 偏离程度逐渐减小。7—8 月, M 偏向负值, 对上述量级降水, 偏小程度依次为 13%、16%、20%、36%, 随着降水量级增大, 偏离程度逐渐减小。9—10 月, M 有向正值方向变化的趋势, 到 10 月在各量级 M 均为正值, 偏大程度约 24%。11—12 月又逐渐转为偏小。

上述分析表明 Q_1 在全年均较明显的偏小, 说明 Q_1 对任何类型的降水均以低估为主。 Q_2 在春季和秋季偏大, 说明 Q_2 可以较好地校正 Q_1 对锋面系统降水, 特别是中等以上强度降水的低估。 Q_2 在夏季偏小, 其偏离程度小于 Q_1 , 说明对夏季热带系统降水 Q_2 仍可以在一定程度上校正 Q_1 的低估, 但降水量级越大校正效果越小。

4 结论

(1) 分级系数法降水估测的晴雨命中率和空报率均高于固定系数法。在春季、夏季和秋季, 固定系数法的晴雨 TS 较高, 估测质量优于分级系数法。在冬季, 采用分级系数法可以在一定程度上弥补固定系数法的漏报过多。

(2) 固定系数法仅在 5—8 月对小于 $5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 降水估测与实况较接近, 其他条件下大多数为偏小。各月份估测相对误差中位数均为偏小 50% 以上, 一般偏小 60%~70%。对 $5\sim 20\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 降水, 相对误差最大可以达到 85%。对大于 $20\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的强降水, 相对误差最大可以达到 70%。

(3) 分级系数法估测总体上以偏大的情况占多数。对大于 $5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的显著降水, 尤其是大于 $20\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的强降水, 分级系数法可以显著减少漏报, 进而提高 TS 。

(4) 分级系数法估测偏差趋势存在季节差异。在春季为显著偏大, 相对误差中位数为正值, 降水量级越小则偏离程度越大, 对 $5\sim 10\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的降水估测偏大程度达到 50%。在夏季则为偏小, 相对误差中位数为负值, 降水量级越大则偏离程度越大, 对大于 $20\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的强降水估测偏小约 20%~35%。在秋季再次转为偏大, 偏大程度约为 24%。

参考文献:

- [1] 吕晓娜, 牛淑贞, 袁春风, 等. SWAN 中定量降水估测和预报产品的检验与误差分析 [J]. 暴雨灾害, 2013, 32 (2): 142-150.
- [2] 赵淑芳, 张立文, 王倩, 等. 山东极端强降雨分钟雨量 $Z-R$ 关系和风暴结构演变特征 [J]. 干旱气象, 2017, 35 (5): 806-814.
- [3] 韩洁, 李恩莉, 冯富强. 多普勒天气雷达在不同降水类型中 $Z-R$ 关系及检验——以宝鸡市为例 [J]. 绿色科技, 2018, (8): 209-210.
- [4] 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): 1780-1796.
- [5] 陈静, 铃伟妙, 韩军彩, 等. 基于动态 $Z-I$ 关系雷达回波定量估测降水方法研究 [J]. 气象, 2015, 41 (3): 296-303.
- [6] 汪瑛, 冯业荣, 蔡锦辉, 等. 雷达定量降水动态分级 $Z-I$ 关系估算方法 [J]. 热带气象学报, 2011, 27 (4): 601-608.
- [7] 卓健, 陈少斌, 周冬静, 等. 快速动态分级法进行雷达定量估测降水方法研究 [J]. 热带气象学报, 2018, 34 (6): 856-864.
- [8] 勾亚彬, 刘黎平, 王丹, 等. 基于云团的分组 $Z-R$ 关系拟合方案效果评估与误差分析 [J]. 暴雨灾害, 2015, 34 (1): 1-8.

Contrastive analysis on the error of two radar quantitative precipitation estimation products in Guangxi

Liang Weiliang, Qu Meifang, He Shanshan

(Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022)

Abstract: The estimation skill, deviation tendency and error distribution of fixed coefficient and graded coefficient radar quantitative precipitation estimation (QPE) products of SWAN were analyzed based on Doppler radar network observation and surface precipitation observation in Guangxi. The results show that technique score (TS) of fixed coefficient QPE is higher than graded coefficient QPE in spring, summer and autumn, but lower in winter. Fixed coefficient QPE is mostly underestimated by 50% as a whole, and by 70% to the severe rainfall. Graded coefficient QPE is mostly overestimated in spring and autumn, and underestimated in summer. But the deviation is smaller than fixed coefficient QPE. Graded coefficient QPE can effectively reduce the missing rate for severe rainfall forecasting.

Key words: fixed coefficient QPE; graded coefficient QPE; Guangxi; error; contrastive analysis