

刘元珺,郑驰,马楚楚,等. 动态  $Z-R$  关系定量估算降水在暴雨个例中的效果评估[J]. 陕西气象,2020(5):6-10.

文章编号:1006-4354(2020)05-0006-05

# 动态 $Z-R$ 关系定量估算降水方法在暴雨个例中的效果评估

刘元珺<sup>1</sup>,郑 驰<sup>2</sup>,马楚楚<sup>1</sup>

(1. 汉中市气象局,陕西汉中 723000;2. 镇巴县气象局,陕西镇巴 723600)

**摘要:**选取汉中市 2018-07-01 和 2019-08-09 两次暴雨过程中新一代天气雷达数据产品的组合反射率因子和自动雨量计逐小时降水资料,建立随时空变化的动态  $Z-R$  关系,获得雷达估算降水场,分析其空间分布特征,并对不同等级降水的估算能力进行了分析。结果表明:(1)动态  $Z-R$  关系定量降水估算在两次暴雨中表现良好,能很好地反映地面降水的分布特征,对于 30 mm/h 以下量级降水,实测降水量和估算降水量的面积和落区均表现一致,其中 20~30 mm/h 短时强降水估算面积最准确,但对于 30 mm/h 以上量级降水,估算面积减小,值偏弱,无法反映出降水最大值落区。(2)随着降水量级增大,估算的绝对误差也同步增大。具体表现为小雨量级有明显的高估,中雨及中雨以上量级则有不同程度的低估。从相对误差来看,大雨和暴雨量级的降水估算精度高,估算值能反映真实值。

**关键词:**动态; $Z-R$ 关系;雷达定量估算降水;暴雨;效果评估

**中图分类号:**P426.6;P412.25

**文献标识码:**A

高时空分辨率的雷达定量降水估算分析产品对天气气候的监测和分析、强降雨的灾害评估、模式数据的检验和水文气象分析有很高的应用价值<sup>[1]</sup>。

利用雷达估算降水是一种常被采用的方法<sup>[2]</sup>。随着自动气象站建设和雷达布网的增多,利用雷达回波强度结合稠密的自动雨量计观测得到更加精确的高时空密度降水分布,弥补降水观测站点分布稀疏的不足<sup>[3]</sup>。雷达测量的回波强度与降水强度存在比较密切的指数型关系( $Z=AR^b$ )<sup>[4]</sup>,降水定量估算准确度在很大程度上取决于  $Z-R$  关系式中  $A$ 、 $b$  系数的确定,因为不同季节、不同地点的降水性质不同,其  $Z-R$  关系式也不同。长期以来,利用雷达开展降水估算在国内已经开展了很多年。目前建立  $Z-R$  关系有两种方法,一种是统计学方法。如最优化法<sup>[5]</sup>、概率配

对法<sup>[6]</sup>等;此外,还有一些研究根据降水季节、降水回波性质<sup>[7]</sup>等天气过程进行分类,建立本地化固定  $Z-R$  关系,这些方法均依赖大量历史资料,存在计算时间长、计算机资源耗费率高的问题,特别对短时强降水有严重低估问题<sup>[4,7]</sup>。另一种方法是动态  $Z-R$  关系法。此方法选取上一时刻雷达反射率因子产品和自动站降水资料,利用最优化法选取最优的一组  $A$ 、 $b$  系数,并用于下一时刻的估算降水关系式中,实时动态改变  $Z-R$  关系来估算降水<sup>[4]</sup>。此方法只考虑降水强度和降水性质在很短时间内的延续性,运算不复杂,能降低短时强降水特别是极强降水的估算误差<sup>[8]</sup>。

汉中地处秦巴山区,常受到西风带和热带系统相互作用的影响。暴雨产生的短时强降水是汉中主要气象灾害之一,对人民生命财产安全和经济造成重大影响<sup>[9-10]</sup>。因此对本地区短时强降水

收稿日期:2020-03-03

作者简介:刘元珺(1988—),女,汉族,陕西汉中,人,学士,工程师,主要从事天气预报及研究。

基金项目:陕西省青年科研基金项目(2016Y-24)

的雷达降水估算显得尤为重要。本文在以前研究成果基础上,利用日常业务应用的雷达组合反射率因子和自动站逐小时降水资料,确定随时间和空间变化的动态 Z-R 关系,估算自动站降水量,检验动态 Z-R 关系法在汉中暴雨天气中的适用性。与之前研究不同的是,本文不仅考虑了 Z-R 关系在时间上的变化,还考虑了 Z-R 关系在空间上的变化,为精细化预报服务及洪涝灾害评估提供一定的帮助。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

降水资料为 2018-07-01T18:00—21:00 和 2019-08-09T00:00—05:00 汉中市 276 个自动站逐小时雨量;雷达数据为汉中市新一代天气雷达 2018-07-01T18:56—22:04 和 2019-08-09T00:03—05:58 逐 6 min 组合反射率因子。

### 1.2 资料预处理

在建立 Z-R 关系之前,首先将雷达回波与自动站降水数据建立空间和时间对应关系。具体做法是:将原始极坐标雷达数据转化到经纬度坐标上,空间分辨率为  $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ ,然后取自动站周围半径为  $0.015^\circ$  范围(9 个格点)内雷达回波反射率因子进行平均,与雨量计降雨数据建立数据对(以下简称“雨量—雷达数据”)。

### 1.3 方法

(1)最优化法通过调节动态变化的 A、b 系数,使得雷达估算降水与自动站实测降水误差最小时,得到的 A、b 系数为适用于该时刻的最佳 Z-R 关系系数。Z-R 关系中的参数 A 的变化范围比参数 b 大很多,A 的变化范围为 16~1 200,而 b 的变化范围为 1~2.87<sup>[11]</sup>。本文将 A 从 16 开始到 1 200 之间以 20 为间隔(60 个 A 值)、b 从 1.0 开始到 2.87 之间以 0.05 为间隔(38 个 b 值)计算  $60 \times 38$  组  $Z = A_m R^n$  ( $m = 1, 2, \dots, 60; n = 1, 2, \dots, 38$ ),反推出 R,当判别函数 CTF<sup>[12]</sup> 最小时的  $Z = AR^b$ ,则为最优 Z-R 关系。

$$CTF = \min \left\{ \sum_{i=1}^n (H_i - G_i)^2 + (H_i - G_i) \right\}, (1)$$

其中  $H_i$  为估算每小时的降水量, $G_i$  为每小时实测雨量, $i$  为自动站序列号。

(2)动态 Z-R 关系是建立在逐时快速更新资料的基础上,通过最优化法得到上一时次最优的 Z-R 关系,每小时可得到 276 组 A、b 值。并将计算 A、b 值带入下一个时次的 Z-R 关系,获得下一时刻的降水估算值。

## 2 结果分析

### 2.1 雷达降水估算的空间分布

选取 2018 年 7 月 1 日和 2019 年 8 月 9 日两次暴雨天气过程,检验雷达对强降水的估算效果。这两次暴雨过程均对流特征明显,出现了短时强降水、雷电和大风等强对流天气,分别选取其中最强降水时段进行分析。

2018 年 7 月 1 日 19—20 时为此次暴雨的最强降水时段,强降水主要分布在汉中西南部,有一条西南—东北向,跨越  $0.5^\circ$  经度,且降水量大于  $10 \text{ mm/h}$  的降水带(图 1a)。图 1b 为同时次的估算降水分布,对比图 1a 和图 1b,可以看出估算降水与实况降水分布特征基本一致,均表现为西多东少的降水分布,强降水中心在汉中西南部。从不同等级降水量面积看, $2 \text{ mm/h}$  以下的估算降水范围较实况显著偏大,表现为  $107^\circ\text{E} \sim 108^\circ\text{E}$  范围内有估算值,而实况没有降水; $20 \sim 30 \text{ mm/h}$  估算降水与实况相符;其余降水量级估算范围均有不同程度的减小, $5 \sim 20 \text{ mm/h}$  估算降水范围较实况减小最多, $33.2^\circ\text{N}$  以北此量级的估算降水缺失,其次是大于  $30 \text{ mm/h}$  的估算降水区域范围与实况相比减小。对比分析表明,此方法  $20 \sim 30 \text{ mm/h}$  估算效果最好,大于  $30 \text{ mm/h}$  也有一定的估算能力。 $5 \sim 20 \text{ mm/h}$  估算降水偏少的原因可能是受秦岭山体阻挡,回波减弱,估算降水值减小。

2019 年 8 月 9 日 01—02 时为此次暴雨过程的最强降水时段,强降水主要分布在汉中中部,有一条西南—东北向,跨越  $1.5^\circ$  经度,且降水量大于  $10 \text{ mm/h}$  的降水带(图 1c)。图 1d 为其估算降水分布,对比图 1c 和图 1d, $2 \text{ mm/h}$  以下的降水范围较实况显著偏大,表现为汉中东南部  $107^\circ\text{E} \sim 108^\circ\text{E}$  范围内有估算值,而实况没有降水; $5 \sim 20 \text{ mm/h}$  的降水带估算与实况分布一致;大于  $30 \text{ mm/h}$  的估算降水范围与实况相比有所减小。

对比分析表明,此方法 2~30 mm/h 估算能力最好,大于 30 mm/h 也有一定的估算能力。

气象学上定义,1 h 降水量大于 20 mm 为短时强降水<sup>[13-14]</sup>。通过对图 1a、图 1b 和图 1c、图 1d 进行对比,可以看出,估算的形态和落区基本与实

况相同,估算降水基本能反映出地面降水的分布特征,对于 30 mm 以下量级降水,实测和估算降水量的面积、落区均表现较一致,其中 20~30 mm/h 估算最好;大于 30 mm/h 的降水面积略有减小,中心值估算强度偏弱。

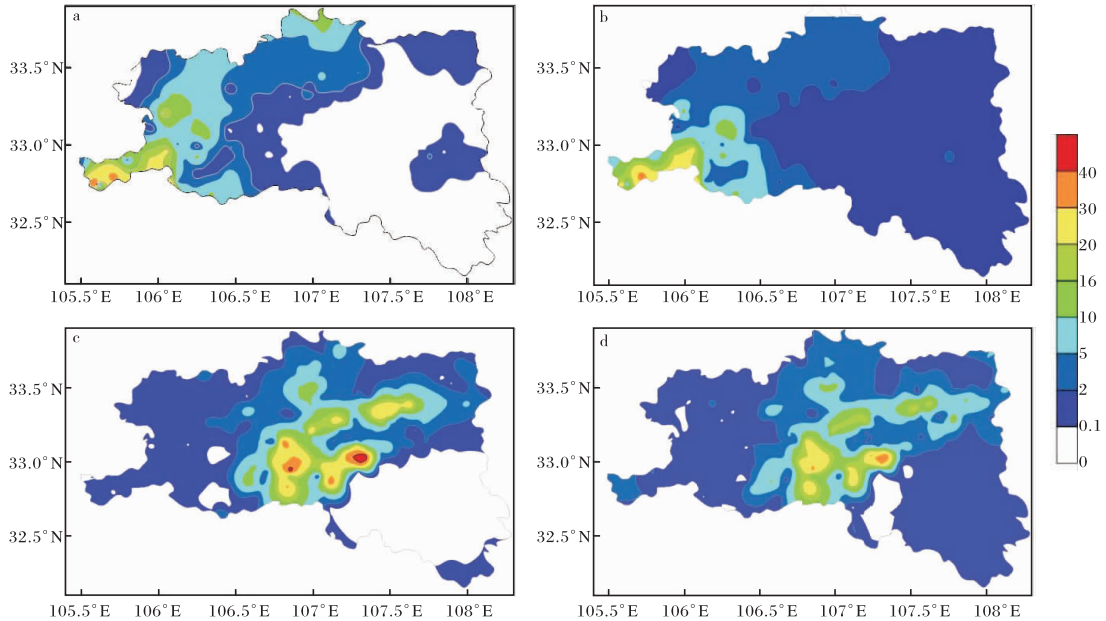


图 1 实况降雨量和估算降雨量(单位为 mm;a 2018-07-01T19—20 实况,b 2018-07-01T19—20 定量估算,c 2019-08-09T02—03 实况,d 2019-08-09T02—03 定量估算)

此方法有效弥补了一般雷达估算降水方法对短时强降水严重低估的不足。对于 2 mm/h 以下的降水范围较实况显著偏大,可能原因是在算法中,选取组合反射率产品,组合反射率因子代表选取所有角度基本反射率因子最大值,并且选取 9 点平滑值作为该点的计算值,获得的 Z 值偏大,导致小雨量级的降水估算误差显著增大。

## 2.2 不同等级降水的估算能力

参照 1 h 降水等级表<sup>[15]</sup>,将 1h 降水分为小雨(0.1~1.5 mm/h)、中雨(1.6~6.9 mm/h)、大雨(7.0~14.9 mm/h)、暴雨(15.0~39.9 mm/h)、大暴雨(40.0~49.9 mm/h)。通过对 2018 年 7 月 1 日和 2019 年 8 月 9 日两次暴雨过程的小时降雨量,选取 586 个小时降雨等级样本,检验雷达对不同等级降雨的估算能力。

图 2 给出了自动站实况降雨量和雷达估算降水的散点图。图中直线  $Y=X$ ,表明实测降雨量和估算降雨量相等。越接近直线的样本,表明雷

达对该样本降雨量的估算效果越好,位于直线之上的样本,降雨量估算值较实况偏高,位于直线之下的样本,降雨量估计值较实况偏低。从图 2a 可以看出,2018 年 7 月 1 日暴雨天气过程中,小雨有明显的高估,而中雨量级的降水有明显的低估,大雨和暴雨估算值与实况较为相符,大暴雨低估明显。在 2019 年 8 月 9 日暴雨天气过程中,小雨有较明显的高估,中雨有明显低估,大雨和暴雨有一定低估,大暴雨低估明显。

通过统计不同等级降水量级的绝对误差(表 1),表明随着降水量级增大,估算的绝对误差也同步增大,除小雨有明显的高估之外,中雨及中雨以上量级降水都有不同程度的低估。统计不同等级降水量级的相对误差(表 1),可见小雨相对误差最大,大暴雨较大,中雨次之,大雨和暴雨最小。相对误差能反映数据的可用程度,表明 Z-R 关系法对大雨和暴雨量级的降水估算精度高,降水的估算值能反映真实值,有较好的可用性。

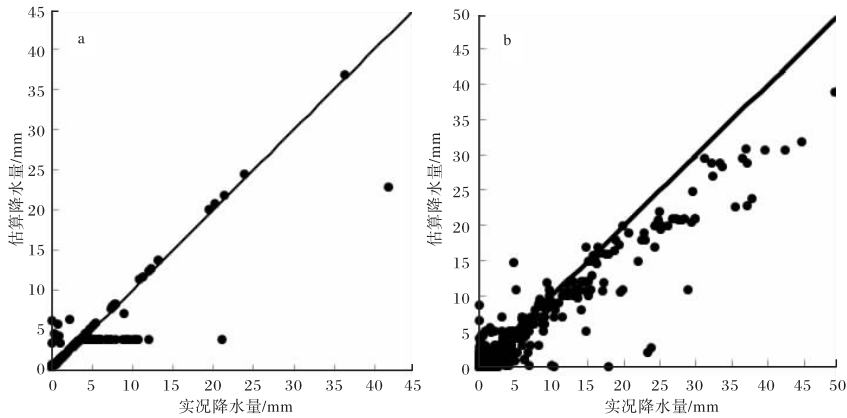


图 2 实测降雨量和雷达估算降雨量散点图(a 2018-07-01T19—20, b 2019-08-09T02—03;直线  $Y=X$ ,表示实测降雨量和估算降雨量相等)

表 1 不同等级小时降雨量实况和 Z-R 关系法雷达估算降雨量误差统计

误差	降雨时间	小雨(0.1~	中雨(1.6~	大雨(7.0~	暴雨(15.0~	大暴雨(40.0~
		1.5 mm)	6.9 mm)	14.9 mm)	39.9 mm)	49.9 mm)
绝对误差/ (mm/h)	2018-07-01T19—20	-0.83	0.18	2.44	2.41	18.00
	2019-08-09T01—02	-0.44	0.62	2.40	6.25	11.45
相对误差/%	2018-07-01T19—20	55.3	17.4	16.3	6.0	36.0
	2019-08-09T01—02	29.3	8.9	16.1	15.6	22.9

### 3 结论

(1)利用雷达组合反射率因子产品与自动站逐小时降水资料,建立随时间和空间变化的动态 Z-R 关系,估算实况降雨量。动态 Z-R 关系定量降水估算方法在两次暴雨中表现良好,能很好地反映地面降水分布特征,对于 30 mm/h 以下量级降水,实测和估算降水量的面积、落区均表现较一致,其中 20~30 mm/h 短时强降水估算面积最准确,但对于 30 mm/h 以上量级降水估算面积减小,值偏弱,导致无法反映降水最大值落区。

(2)降水量级增大,估算的绝对误差也同步增大。除了小雨有明显的高估之外,中雨及中雨以上量级都有不同程度的低估。从相对误差来看,小雨的降水相对误差最大,大暴雨误差较大,中雨次之,大雨和暴雨的误差小。表明 Z-R 关系法对大雨和暴雨量级的降水估算精度高,降水估算值能反映真实值,有较好的可用性。

#### 参考文献:

[1] 白先达,王艳兰,孙莹,等. 雷达定量测量降水[J]. 气

象科技,2011,39(1):61-65

- [2] 胡胜,罗聪,黄晓梅,等. 基于雷达外推和中尺度数值模式的定量降水预报的对比分析[J]. 气象,2012,38(3):274-280.
- [3] 梁建茵,胡胜. 雷达回波强度拼图的定量估算降水及其效果检验[J]. 热带气象学报,2011,27(1):1-10.
- [4] 汪瑛,冯业荣,蔡锦辉,等. 雷达定量降水动态分级 Z-R 关系估算方法[J]. 热带气象学报,2011,27(4):601-608.
- [5] 袁晓清,倪广恒,潘安君,等. 基于最优化算法的北京市新一代天气雷达 Z-R 关系研究[J]. 水文,2010,3(1):1-6.
- [6] 郑媛媛,谢亦峰,吴林林,等. 多普勒雷达定量估算降水的三种方法比较试验[J]. 热带气象学报,2004,20(2):192-197.
- [7] 仲凌志,刘黎平,顾松山. 层状云和对流云的雷达识别及在估算雨量中的应用[J]. 高原气象,2007,26(3):593-602.
- [8] 陈秋萍,刘锦绣,余建华,等. 雷达定量估算不同类型降水[J]. 气象科技,2008,36(2):33-236.
- [9] 王川,刘勇. 多普勒雷达定量降水产品在陕西关中

- 汛降水中的应用[J]. 陕西气象, 2006(6):15-17.
- [10] 黄勤, 李亚丽, 龙亚星, 等. 陕西新一代天气雷达与自动站联合估算降水质量评估[J]. 陕西气象, 2018(5):39-43.
- [11] 胡胜, 伍志方, 刘运策, 等. 新一代多普勒天气雷达广东省区域拼图初探[J]. 气象科学, 2006, 26(1): 74-80.
- [12] 张培昌, 杜秉玉, 戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2001:181-187.
- [13] 李萍云, 赵强, 王楠, 等. 2005—2018年陕西短时强降水时空分布特征[J]. 陕西气象, 2019(5):22-24
- [14] 王玉龙, 张子涵. 2011—2018年东营短时强降水时空分布特征[J]. 陕西气象, 2020(2):24-29
- [15] 寿绍文, 励申申, 王善华, 等. 天气学分析[M]. 北京: 气象出版社, 2006:361.

## 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室简介

2019年1月陕西省气象局依托陕西省气象科学研究所成立“秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室”。该实验室由陕西省气象局各直属业务单位、西安交通大学人居环境与建筑工程学院、西北农林科技大学资源环境学院和水土保持研究所组成,组建了理事会及由17位全国相关领域专家组成的学术委员会。其主要包括4个研究方向。

(1)气象与生态灾害形成机理和预报预测技术研究 主要包括秦岭和黄土高原大地形对本区域和我国天气气候影响机理研究;区域气象灾害及次生衍生灾害发生的机理与预报预测技术研究;数值预报应用技术与精细网格气象预报技术研究;城市高影响天气预报预警技术研究等。

(2)气象灾害与生态环境减灾技术研究 主要包括生态环境气象大数据及其智慧化应用技术研究;生态环境遥感监测评估技术研究;经济作物精细化区划实用技术研究;农业病虫害与气象条件关系研究;农业气象灾害风险评估技术研

究等。

(3)气候变化与生态环境响应监测、预测技术研究 主要包括气候变化及其对区域生态环境的影响分析、应对措施研究;区域生态环境监测及评估技术研究;区域气候预测技术研究;极端气候事件监测预测及减灾对策研究;气候资源开发利用技术研究等。

(4)人工影响天气和生态改善技术与装备研发 主要包括人工影响天气及生态环境减灾技术研究;大气气溶胶与空气污染分析评估技术研究;能源化工气象服务与气候适应性城市建设技术及工程措施研发;生态监测与改善的气象工程性技术研究和装备研发等。

实验室在运行中坚持开放性、先进性、创新性相结合的原则,实行开放、流动、联合的运行机制,建立访问学者制度,通过设立开放研究基金等方式,吸引国内外高水平研究人员开展合作研究。

(《陕西气象》编辑部)