

高山,苏静,张高健,等.西安雨量雷达估测降水准确性分析[J].陕西气象,2023(6):20-25.

文章编号:1006-4354(2023)06-0020-06

# 西安雨量雷达估测降水准确性分析

高山<sup>1,2</sup>,苏静<sup>3</sup>,张高健<sup>1</sup>,曹梅<sup>1</sup>,任丹阳<sup>1</sup>

(1. 西安市大气探测中心,西安 710016;

2. 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室,西安 710016;

3. 陕西省大气探测技术保障中心,西安 710014)

**摘要:**利用 X 波段全固态多普勒雨量雷达资料和相应的 6 个地面气象观测站的观测资料,对西安 2021 年 9 月和 10 月两次持续降水过程的降水数据进行对比分析,评估雨量雷达反演降水的准确性。结果表明:从两次降水过程整体变化趋势分析,雨量雷达估测的降水量能较好地表现出实际降水量的变化趋势;雨量雷达反演的降水量小时数据与地面观测小时降水数据的相关性为 0.852;当小时降水量达到 2.0 mm 以上时,雨量雷达数据准确性较高。

**关键词:**雨量雷达;雨滴谱;降水监测

**中图分类号:**P412

**文献标识码:**A

降水作为重要的气象要素之一,与社会生产和人们的生活密切相关。长期以来,地面降水数据的观测是通过布设在气象观测站点的雨量计(如翻斗雨量筒或称重式雨量计)等设备获得,但雨量计只能在单点上较为准确地测量降水,在降水分布不均匀的区域,其代表性较差,不能全面、准确地反映降水空间分布。目前国内对新一代多普勒天气雷达降水估测的研究已有很多成果<sup>[1-2]</sup>,肖秀珠等<sup>[3]</sup>利用地面雨滴谱仪观测数据对天气雷达进行降水估测研究;张扬等<sup>[4]</sup>利用同样的探测设备对江苏南部的三次降水过程进行分析;王瑾等<sup>[5]</sup>对西安地区积层混合云的 Z/I 关系进行了研究,结果表明使用雨滴谱数据实时修订 Z/I 关系能提高雷达估测降水的精度。但是新一代多普勒天气雷达由于雷达盲区较多、扫描模式相对固定、波束填充不足等问题,在经过订正后定量估测降水与地面观测数据仍存在较大误差。

利用多普勒雨量雷达(以下简称雨量雷达)测

雨是近年来使用的一种新的观测手段。雨量雷达监测范围比新一代多普勒天气雷达小,监测目标为半径 36 km 以内、距地面 1 km 高度内的可降水云,减少了高空云层及其他非雨气象目标的影响。采用雨滴谱仪进行订正和地形匹配扫描技术能有效提高测雨雷达估测精度<sup>[6-7]</sup>。本文采用西安 X 波段全固态雨量雷达估测的降水数据同周边 6 个地面气象观测站降水数据进行对比,分析了雨量雷达在西安市的探测效果和数据的准确性。

## 1 雨量雷达系统简介

雨量雷达采用中频相参脉冲多普勒,使用数字接收机自动测量频率、确定相位,可定性定量探测半径 36 km 范围内降水目标物的强度、径向速度、速度谱宽及垂直功率谱参数。

雨滴谱仪是采用激光测量技术的现代光学测量系统,可测降水类型、实时雨强、降水粒径谱和速度谱;并可对雨量雷达反射率因子进行衰减订

收稿日期:2022-12-16

作者简介:高山(1979—),男,汉族,陕西安塞人,硕士,工程师,主要从事气象探测设备保障。

通信作者:苏静(1977—),女,汉族,陕西长安人,学士,工程师,主要从事气象综合观测业务研究。

基金项目:陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2020G-19)

正,提高雨量雷达的测雨精度。雨量雷达实时扫描探测,获取降水数据,每5 min完成一次体扫,4个雨滴谱仪监测站数据实时传输至雨量雷达工作站,数据处理单元对雨量雷达和雨滴谱仪数据进行处理,通过雨强反演算法模型,利用雨滴谱数据对雨量雷达回波进行衰减订正,生成分辨率60 m×60 m基于格点的雨强数据和雨量数据。

西安雨量雷达系统由1部X波段全固态多普勒雨量雷达和4台雨滴谱仪组成,雨量雷达位于灞桥区白鹿原,四周开阔,无高大障碍物遮挡,可以有效覆盖西安城区,雷达观测条件良好。4个雨滴谱仪分别部署在距离雨量雷达5 km、10 km、15 km、20 km的位置(见图1,底图基于陕西测绘地理信息局网站下载的审图号为陕S(2021)023号的标准地图制作)。

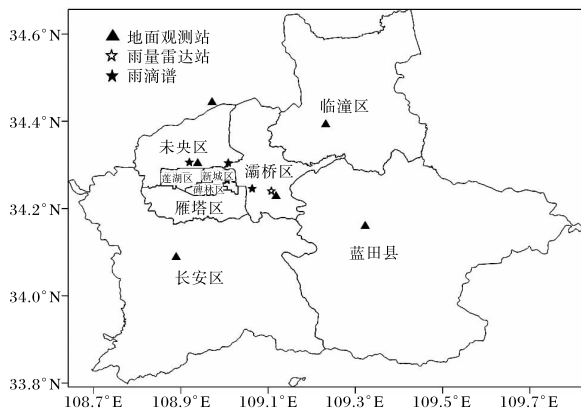


图1 西安雨量雷达、雨滴谱仪、地面观测站点分布

## 2 数据来源

将地面气象观测站降水数据作为真值,将雨量雷达估测的该站点的降水数据进行对比分析。根据雨量雷达观测范围选取长安、泾河、蓝田、临潼等4个国家基本气象站和灞桥、西安市气象局2个国家气象观测站(以下简称长安站、泾河站、蓝田站、临潼站、灞桥站、西安市气象局站,见图1),通过陕西省气象数据共享网获得6个地面观测站的降水数据。根据地面观测站点位置确定该站点在雨量雷达格点数据中所对应的坐标位置,从该坐标位置前后各取1个格点数据计算算术平均后得到的雨量雷达降水数据记为DLQ,上下左右各取1个格点数据进行算术平均得到的雨量雷

达降水数据记为DLD。对雨量雷达数据进行累加得到小时雷达降水数据。分别选取2021年9月15日20时至9月19日12时降水过程(以下简称9月降水过程)的49组小时降水数据,2021年10月4日09时至10月6日14时降水过程(以下简称10月降水过程)的54组小时降水数据。

## 3 结果分析

西安2021年9月和10月两次降水过程中,雨量雷达DLQ和DLD与地面观测站降水数据对比情况见图2、图3。从图中可以看出,DLQ和DLD变化趋势完全一致,雨量雷达数据与地面观测站的降水数据变化趋势基本一致。在9月连阴雨降水过程中,两者的降水峰值和谷值相近,但在大的降水出现时,雨量雷达的降水峰值先于地面观测站出现(图2)。在10月降水过程中,雨量雷达估算降水量的峰值与地面观测站降水量峰值出现时间一致(图3)。

图4为两次降水过程雨量雷达DLQ和DLD的小时数据与地面气象观测站小时降水数据散点图。从图中可以看出,DLQ和DLD与地面气象观测站的小时降水数据相关性达到0.852,且DLQ和DLD两种数据无较大差别。

进一步采用交叉检验法对雨量雷达估测值与地面值进行对比分析,通过计算平均误差(B)、平均绝对误差(A)、均方根误差(R)3个指标来分析雨量雷达对降水量估算的正确性。B、A和R值越小,表示对比效果越好。B、A、R的计算公式如下:

$$B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (X_{ci} - X_{oi}), \quad (1)$$

$$A = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |X_{ci} - X_{oi}|, \quad (2)$$

$$R = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (X_{ci} - X_{oi})^2}. \quad (3)$$

式中, $X_{ci}$ 为第*i*时雨量雷达估测降水量, $X_{oi}$ 为第*i*时地面观测降水量, $m$ 为对比次数。

通过比较分析(见表1、表2),可以看出9月降水过程雨量雷达估测降水量的平均误差为0.1 mm,比地面观测降水量略偏大;10月降水过

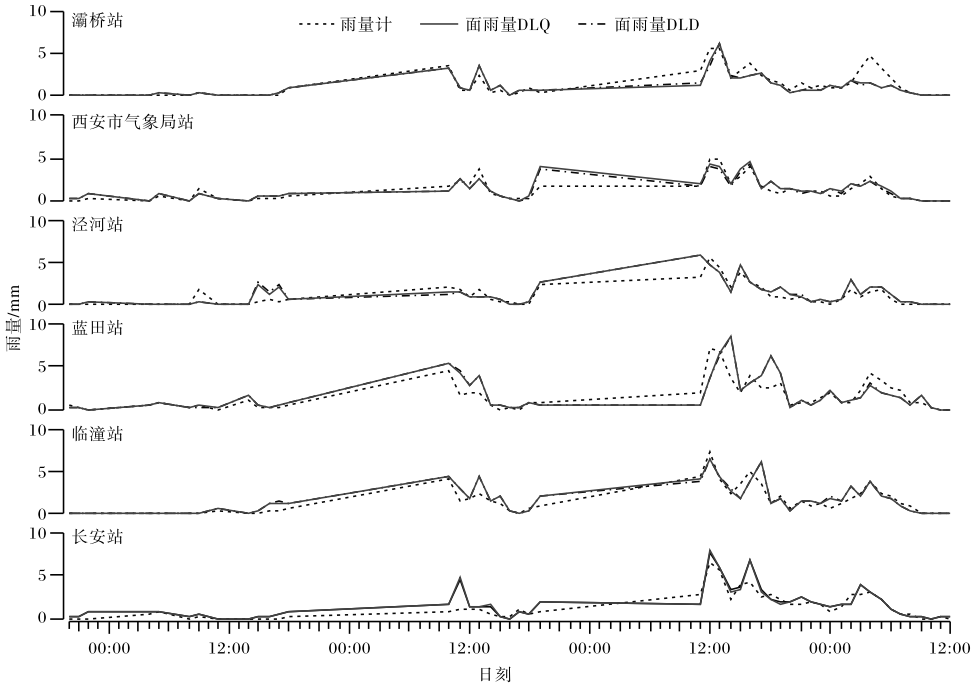


图2 2021-09-15T20—19T12 西安雨量雷达估测的两种数据与地面气象观测站降水数据对比

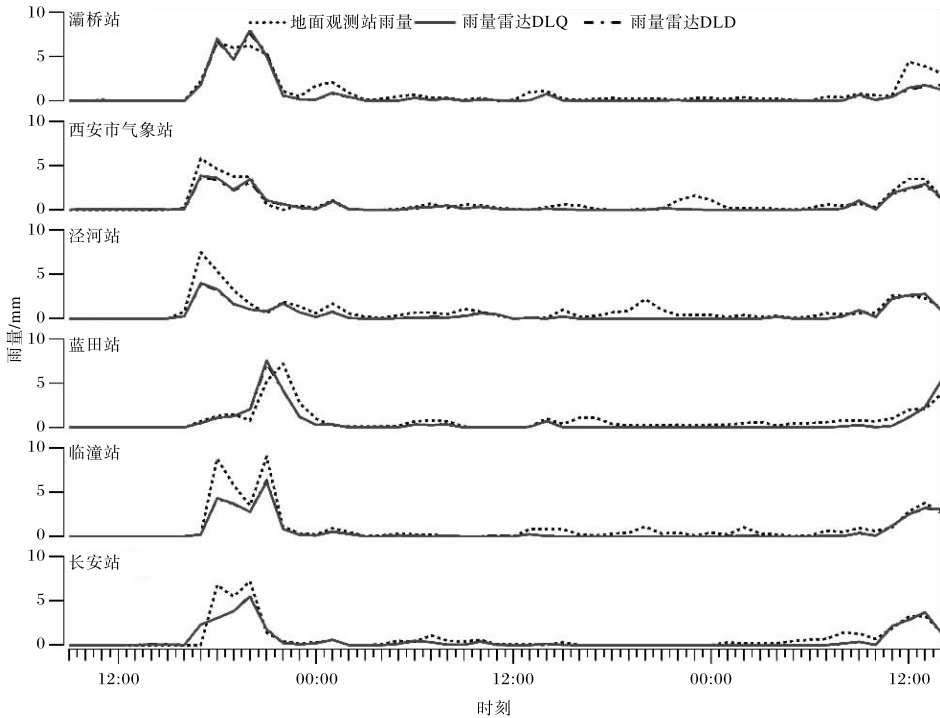


图3 2021-10-04T09—06T14 西安雨量雷达估测的两种数据与地面气象观测站降水数据对比

程的则是偏小 0.3 mm。B、A 和 R 总体都比较小。雨量较大的 9 月降水过程估测差值偏大,雨量相对较小的 10 月降水过程估测差值偏小。雨量雷达采用 DLQ 和 DLD 所得降水量序列与地

面观测值序列差值趋势相同,各种误差也基本相同。由以上分析可以看出,雨量雷达能较好地估算站点降水实况,对无地面观测站点的降水监测有较好的补充作用。

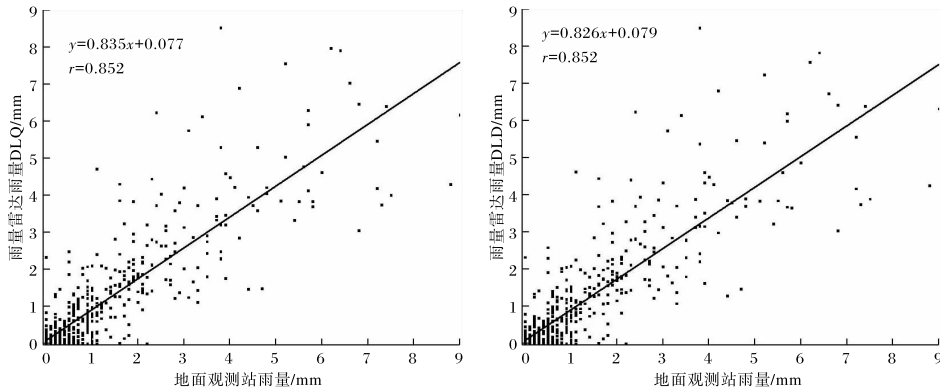


图4 西安雨量雷达估测小时数据和地面气象观测小时数据散点图

表1 2021-09-15T20—19T12 西安雨量雷达估测降水量的平均误差(B)、平均绝对误差(A)、均方根误差(R) 单位:mm

站点	DLQ			DLD		
	B	A	R	B	A	R
长安站	0.3	0.5	0.8	0.3	0.5	0.8
临潼站	0.2	0.5	0.8	0.2	0.5	0.8
蓝田站	0.2	0.7	1.2	0.2	0.7	1.3
泾河站	0.2	0.4	0.7	0.2	0.4	0.7
西安市气象局站	0.1	0.4	0.6	0.1	0.4	0.5
灞桥站	-0.3	0.5	0.8	-0.3	0.5	0.8
平均值	0.1	0.5	0.8	0.1	0.5	0.8

表2 2021-10-04T09—06T14 西安雨量雷达估测降水量的平均误差(B)、平均绝对误差(A)、均方根误差(R) 单位:mm

站点	DLQ			DLD		
	B	A	R	B	A	R
长安站	-0.2	0.4	0.8	-0.2	0.4	0.8
临潼站	-0.4	0.4	0.9	-0.4	0.4	0.9
蓝田站	-0.3	0.5	0.7	-0.3	0.4	0.7
泾河站	-0.4	0.5	0.8	-0.4	0.5	0.8
西安市气象局站	-0.2	0.3	0.5	-0.3	0.4	0.6
灞桥站	-0.3	0.4	0.7	-0.3	0.4	0.7
平均值	-0.3	0.4	0.7	-0.3	0.4	0.8

由于DLQ和DLD两种数据无较大差别,因此采用DLQ作为雨量雷达估测值作进一步分析。表3为两次降水过程雨量雷达估测的与地面气象观测站的累计降水量。从表中可以看出,每次降水过程中各站点雨量雷达估测的降水数据偏

差基本一致,仅9月降水过程中灞桥站出现与其他站点不同的偏差。因为灞桥站距离雨量雷达仅0.9 km,处于雷达观测盲区范围内,所以雷达估测数据偏差较大。9月降水过程相对误差最大站点长安站为25%;最小站点为蓝田站和西安市气

象局站,相对误差 12%。10 月降水过程相对误差最大站为泾河站,达-47%,最小站点为长安站,达-29%。9 月和 10 月两次降水过程数据对比,

偏差有正有负,但在同一降水过程中正负偏差趋势一致。从过程变化而言,雨量雷达估测降水量能基本反应出实际降水量的变化趋势。

表 3 西安两次降水过程累计降水量统计表

站点	2021-09-15T20—19T12				2021-10-04T09—06T14			
	地面降水量/mm	雨量雷达估测降水量/mm	偏差/mm	相对误差/%	地面降水量/mm	雨量雷达估测降水量/mm	偏差/mm	相对误差/%
长安站	61.8	77.00	15.20	25	42.5	30.02	-12.48	-29
泾河站	51.8	59.94	8.14	16	50.5	26.99	-23.51	-47
蓝田站	73.5	81.99	8.49	12	43.4	29.70	-13.70	-32
临潼站	69.6	79.36	9.76	14	51.5	29.83	-21.67	-42
灞桥站	64.3	51.81	-12.49	-19	54.8	36.41	-18.39	-34
西安市气象局站	54.8	61.33	6.53	12	42.3	28.80	-13.50	-32
平均	62.63	68.57	5.94	10	47.50	30.29	-17.21	-36

表 4 为 9 月降水过程中,不同小时降水量雨量雷达估测数据同地面观测站数据的相对误差。

从表中可以看出,当小时降水量超过 2.0 mm 时相对误差显著降低。

表 4 2021-09-15T20—19T12 西安雨量雷达估测不同小时降水量的相对误差

%

站点	小时降水量	1.0 mm ≤ 小时	2.0 mm ≤ 小时	3.0 mm ≤ 小时
	<1.0 mm	降水量 < 2.0 mm	降水量 < 3.0 mm	降水量
长安站	-98	-45	3	-18
泾河站	-79	0	11	-8
蓝田站	-6	-41	-25	2
临潼站	-83	-29	-13	2
灞桥站	-19	24	7	33
西安市气象局站	-69	-18	-2	11
平均	-52	-20	-3	6

#### 4 结论和讨论

通过对比分析 2021 年 9 月和 10 月西安两次降水过程中雨量雷达降水量估测值与 6 个地面观测站实况数据,可得到以下结论。

(1)西安雨量雷达可以有效反映降水强度的变化,但是在 9 月和 10 月两次降水过程中累计降水量存在一定的偏差。DLQ 和 DLD 与地面气象观测站的小时降水数据相关性达到 0.852。当小时降水量达到 2.0 mm 以上时,雨量雷达估测准确性显著提高。

(2)两次降水过程中雨量雷达估测数据存在偏差正负不一致的情况,但是在单次降水过程中的偏差正负基本一致。两次过程偏差正负不一致,可能跟雨强、风向风速有一定关系,后续需要更多的观测资料进行分析验证。

#### 参考文献:

- [1] 高宇星,毕旭,王瑞英,等. 多源新型探测资料在西安一次强对流天气中的应用[J]. 陕西气象,2021(5):15-22.

- [2] 李成伟,李伟,夏江峰,等.不同天气条件下微波辐射计温度探测效果评估[J].陕西气象,2020(6):43-46.
- [3] 肖秀珠,刘君,张红梅,等.雨滴谱资料在雷达面雨量估测中的应用[J].气象科技,2018,46(6):1111-1115
- [4] 张扬,刘黎平,何建新,等.雨滴谱仪网数据在雷达定量降水估测中的应用[J].暴雨灾害,2016,35(2):173-181
- [5] 王瑾,岳治国,贺文彬,等.西安地区积层混合云的Z-R关系研究[J].暴雨灾害,2020,39(4):409-417.
- [6] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕,等.雷达气象学[M].2版.北京:气象出版社,2000:171-210.
- [7] 赵果,楚荣忠,张彤,等.偏振多普勒雷达定量测量降雨精度的改进[J].高原气象,2011,30(2):495-507.
- [8] 李薇,徐海峰,李玉梅,等.高精度降雨雷达设备在局地暴雨监测中的应用[J].水文,2019,39(5):67-70.

## 《陕西气象》征稿启事

《陕西气象》是国家新闻出版管理部门第一批认定的学术期刊,国内外公开发行人,双月刊,A4开本,国际连续出版物号为ISSN 1006-4354,国内连续出版物号为CN 61-1282/P。

本刊是陕西省气象局和陕西省气象学会联合主办的科技型期刊,被《中国学术期刊综合评价数据库》和《中国期刊全文数据库》、“万方数据资源系统数字化期刊群”、《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中文科技期刊数据库》、超星“域出版”平台全文收录,四次荣获陕西省科技期刊特色期刊奖,2020、2023年获陕西省科技期刊优秀期刊奖。

本刊重点刊载气象科学技术及生态、信息技术相关领域的最新研究论文和应用成果,交流和推介气象业务及服务的新经验和新做法,介绍有关气象方面重点和热点问题的气象科学研究成果。

本刊欢迎全国气象行业及相关行业的科技工

作者及大专院校师生投稿。对于优秀稿件,特别是有独特视角、创新意识、有理论深度和实践指导意义的论文,可以优先刊发,支付优厚稿酬。

来稿要求论点明确,文字精练,条理清晰,数据可靠,图表清楚、简明。论文格式请参考《陕西气象》征稿简则和《陕西气象》文稿修改基本要求及投稿指南,具体请参阅本刊网站(<http://sxqx.alljournals.cn/>)。

投稿渠道:通过本刊网站注册后即可投稿。

联系电话:(029)86163551

电子邮箱:sxqxbjb029@163.com

QQ交流群群号:634022951(申请时请说明单位和姓名)

《陕西气象》编辑部

2023年9月27日