

# C波段数字化天气雷达定量测量 区域降水量的精度研究

薛震刚

(北京应用气象研究所)

徐宝祥

(兰州高原大气物理研究所)

张鸿发

## 提 要

本文根据713型数字化天气雷达对10次降水过程的观测资料及加密地面观测网的雨量自记资料,着重讨论了不同类型降水条件下,地面雨量记录的代表性和雷达测雨的精度问题。探讨了可用于监测降水类型的雷达测量统计参量。所得结果可供气象和水文部门参考。

## 一、引 言

雷达作为定量测量降水的工具,其作用越来越引起人们的重视。我们曾讨论过3cm数字化天气雷达测雨的诸误差因子,并根据6个统计量分析了雷达测雨结果,探讨用地面雨量记录改善雷达测雨精度的途径<sup>(1)</sup>。结果指出:经过认真标定的雷达,其测雨精度与降水类型关系很大;采用地面单站雨量自记记录校正雷达测雨结果,其效果不如国外公布的资料显著,这可能与我国降水系统自身的特殊性有关。

为了更好地应用雷达测雨技术,1987年夏季,我们在甘肃平凉使用5cm数字化天气

雷达;观测了10次降水过程,根据雷达站半径120km内29个地面雨量站自记记录,特别是距雷达站80km的南小河沟流域加密的雨量自记资料,着重研究不同类型降水的雷达测雨精度问题。分析过程及流域降雨总量的测量误差,并探讨实时监测降水的雷达统计参量。这对水文部门的洪水预报和水库调度等,都有很大的参考价值。

## 二、地面雨量记录对区域雨量的代表性

以地面雨量自记量值为标准来讨论雷达测雨的精度,有必要首先讨论一下地面雨量记录对区域雨量的代表性问题。利用面积为 $64\text{km}^2$ 南小河沟流域上10个站的雨量自记资

料,以10站平均值作为该面积上的雨量真值,计算单个雨量站测量值对64km<sup>2</sup>面积上降雨量的代表性。

在4次层状云稳定性降水过程中,地面雨量记录特征基本一致,其中以5月27日最为典型。在历时较长的降水过程中,瞬时雨强不超过2mm·hr<sup>-1</sup>,雨区内降水均匀。单站每小时雨量测量值的相对误差多在10—20%,极端值可达25%;整个降雨过程的雨量相对误差小于9%。

在3次混合型降水(以6月4日为代表)过程中,雨强随时间和空间变化都比较大,瞬时雨强可达20mm·hr<sup>-1</sup>。南小河流域内单站每小时雨量值的相对误差多在10—40%,极端值可达61%;降雨过程总量的相对误差可达43%。

由于在3次对流云降水过程中,南小河流域均无降水,因此在本文中也没有讨论对流云降水类型。

利用16km<sup>2</sup>内的3个雨量站计算单个雨量站对16km<sup>2</sup>面积上降雨量的代表性。结果表明,对层状云降水,其1小时降雨量相对误差在23%以内,过程降雨量误差小于8%;对混合型降水,其1小时降雨量相对误差在20%以内,过程降雨量误差亦小于20%。

由此可见,对层状云降水,一个雨量可以代表其周围16—64km<sup>2</sup>面积上的降雨量而误差不会超过25%;对混合型降水则不同,当其代表的面积由16km<sup>2</sup>增至64km<sup>2</sup>时,每小时测量值的相对误差就由20%增至60%以上,过程降水量测量值的相对误差也由20%增至40%以上。

### 三、不同类型降水的雷达测雨精度

资料表明,雷达回波与地面相应雨量计测得降水的开始、终止时间对应得很好。这说明在120km范围内C波段雷达的微波衰减影响远低于X波段。根据回波强度与地面雨量相关性分析<sup>[1]</sup>,我们选取固定高度1km上

的Ze值计算出雷达测雨值R与滞后3分钟的地面雨量记录值G相比较,来讨论雷达测雨的精度问题,计算中按Battan<sup>[2]</sup>给出的衰减系数考虑了氧气、云和雨的衰减订正问题。由于农业和水文部门关心的是降雨量,我们

表1 层状云降水雷达测雨的相对误差

站名	1小时降水量相对误差%					过程降水量误差(mm)
	11:21	12:35	13:40	14:53	16:06	
	12:28	13:35	14:40	15:53	17:03	
马家集	-57.4*	27.1	6.4*	-152.8	35.2	-35.7
路家堡	-51.0*	7.5	6.4*	-133.0	19.4	-44.6
李家庄	28.8	32.1	-168.8*	-77.6	-13.3	-34.5
十八亩台	-57.5*	-3.0	-270.5*	-75.5	26.3	-61.7
何家庄	-6.9	15.9	-254.3*	-72.1	30.9	-44.2
下寺埧	-6.9	12.7	-288.1*	-154.2	22.2	-60.3
高家东庄	-12.7*	8.0	-279.1*	-100.0	24.3	-59.4
路北	-73.8*	51.1	-298.1*	54.3	-35.6	-35.7
王铁	-14.8	4.1	-181.0	-138.6	28.2	-60.3
方家沟畎	17.5	24.0	-118.6*	-120.9	17.1	-36.8
流域平均	-20.8	25.3	-177.6*	-70.5	7.9	-41.3
大秦	-61.1	10.9	-33.3	0	0	-39.5
草峰	26.7	3.2	-90.0*	0	0	-27.0
玉都	40.0*	30.8	-71.7	-130.0*	2.8*	-18.7
合道	-14.3*	41.5	-102.9*	-80.6*	10.8*	9.3

注:流域指南小河流域

表2 层状云降水雷达测雨的绝对误差  
(1987年5月27日)

站名	1小时降水量绝对误差mm					过程降水量误差(mm)
	11:28	12:35	13:40	14:53	16:06	
	12:28	13:35	14:40	15:53	17:06	
马家集	-0.3	0.2	0.2	-1.6	0.3	-1.3
路家堡	-0.3	0.1	0.0	-1.5	0.1	-1.6
李家庄	0.2	0.3	-0.8	-0.8	-0.1	-1.3
十八亩台	-0.2	-0.0	-1.2	-0.9	0.2	-2.1
何家庄	-0.0	0.1	-1.2	-0.9	0.3	-1.7
下寺埧	-0.0	0.1	-1.2	-1.5	0.3	-2.1
高家东庄	-0.1	0.1	-1.2	-1.1	0.2	-2.1
路北	-0.3	0.4	-1.6	0.6	-0.3	-1.2
王铁	-0.0	0.03	-1.05	-1.2	0.22	-2.11
方家沟畎	0.16	0.18	-0.70	-1.04	0.14	-1.32
流域平均	-0.1	-0.2	-0.9	-0.7	0.1	-1.5
大秦	-0.7	0.1	0.1	0.0	0.0	-0.8
草峰	0.2	0.0	-0.6	0.0	0.0	-0.8
玉都	0.1	0.2	-0.4	-0.3	0.0	-0.4
合道	0.0	0.3	-0.4	0.3	0.0	0.2

注:流域指南小河流域

表 3

混合型降水雷达测雨相对误差

(1987年6月4日)

站 名	1 小时 降水量 相对 误差						过程降水量 误差(%)
	13:49—14:49	14:43—15:43	15:38—16:38	16:34—17:34	17:34—18:34	18:34—19:34	
大 秦	66.4	8.1	48.0	39.5	42.7	0.0	48.4
草 峰	69.6	21.9	23.1	31.6	28.3	-143.8*	48.0
玉 都	-731.7*	36.6	-541.9*	44.0	23.8	-8.4	7.4
合 道	-167.4	24.1	28.3	39.3	2.1	-37.9	11.4
马 家 集	0	0	0	0	-54.4	14.4	-22.4
路 家 堡	0	0	0	0	39.8	-36.3	26.2
李 家 庄	0	0	0	0	-15.6	1.4	-9.4
十八亩台	0	0	0	0	21.8	-18.1	11.1
何 家 庄	0	0	0	0	1.7	-34.8	-9.6
下 寺 塔	0	0	0	0	31.5	-34.8	18.5
高家东庄	0	0	0	0	-20.3	-55.9	-30.3
路 北	0	0	0	0	-47.9	-39.5	-45.5
王 铁	0	0	0	0	-21.8	-40.3	-29.6
方家沟畎	0	0	0	0	18.0	-15.8	8.8
流域平均	0	0	0	0	0.2	-22.2	6.8

注: 流域指南小河沟流域

表 4

混合型降水雷达测雨绝对误差

(1989年6月4日)

站 名	1 小时 降水量 绝对 误差 (mm)						过程降水量 误差(mm)
	13:49—14:49	14:43—15:43	15:38—16:38	16:34—17:34	17:34—18:34	18:34—19:34	
大 秦	5.8	0.19	2.81	1.60	0.47	0.00	10.41
草 峰	8.84	0.47	0.82	1.44	0.36	-0.23	11.70
玉 都	-2.58	6.52	-1.68	4.11	0.93	-0.08	1.20
合 道	-2.26	0.35	0.79	3.34	0.06	-0.25	2.04
马 家 集	0	0	0	0	-1.55	0.36	-1.20
路 家 堡	0	0	0	0	2.91	-0.57	2.33
李 家 庄	0	0	0	0	-0.61	0.03	-0.57
十八亩台	0	0	0	0	1.60	-0.32	1.01
何 家 庄	0	0	0	0	0.10	-0.54	-0.71
下 寺 塔	0	0	0	0	2.65	-0.54	1.84
高家东庄	0	0	0	0	-0.79	-0.81	-1.62
路 北	0	0	0	0	-1.51	-0.64	-2.18
王 铁	0	0	0	0	-0.84	-0.65	-1.59
方家沟畎	0	0	0	0	0.99	-0.29	0.64
流域平均	0	0	0	0	0.01	-0.39	0.47

注: 流域指南小河沟流域

着重分析每小时的和整个降水过程的雨量测量精度。

### 1. 层状云降水

雷达对单站每小时降水量测量的相对误差多在 $\pm 50\%$ 之间,有些甚至超过 $-200\%$ (见表1)。这主要是由于相应时间内雨强

太小,以至雨滴下落过程中蒸发的影响增大,导致雷达测量值比地面偏小。而我们又使用地面值 $G$ 作为标准来计算相对误差 $E$ , $E = (G - R)/G$ 。所以尽管每小时测量值的绝对误差很少超过 $1.6\text{mm}$ (见表2),而相对误差却可能很大。如果将1小时雨量小

于0.5mm的数据(表1中带\*号的数据)剔除,则每小时测量值的相对误差最大不超过-155%。对过程降水而言,相对误差在62%以内,绝对误差小于2.2mm。表1和表2中列出的相对误差和绝对误差(G-R)都没有取绝对值,目的是能够很方便地看出G和R谁偏大,谁偏小。

## 2. 混合型降水

尽管降水自然涨落变化大,但雷达测雨的相对误差仍多在50%之间,在剔除了1小

表5 Z-R关系式的选用

关系式	来源	降水类型	备注
$E=200R^{1.6}$	M-P	层状云	
$E=188R^{1.23}$	兰州	层状云	
$Z=497.3R^{1.32}$	平凉	对流云	
$Z=437.4R^{1.31}$	合道	混合型	1987.6.4 13:30—14:11
$Z=214.6R^{1.54}$	合道	混合型	1987.6.4 15:03—16:50

时雨量小于0.5mm的数据后,每小时测量值的相对误差最大可达-167%(见表3);绝对误差最大为8.8mm(见表4),其对应的相对误差为69.6%。

另外,从以上4表还可看出,雷达对南小河流域降雨量测量的相对误差明显低于对各个单站雨量的测量误差。特别是在混合型降水中对整个过程降雨量的测量,其误差可降至6.8%,进一步说明造成雷达测雨误差的不仅是雷达本身的问题,而且和与其对比的地面站测量值有很大的关系。用地面雨量计测量值来代表其周围16km<sup>2</sup>面积上的雨量,其本身就存在20%左右的误差,再拿它来和其上空1km高度的16km<sup>2</sup>面积上的雷达测量平均值来比较,自然就会有较大误差,特别是当雨强很小,蒸发等影响较大的时候。而这种误差不是通过调整、改变Z-R关系所能减少的。另一方面,实测雨滴谱资料也说明了雨区内水成物性质的巨大时空变化,不仅

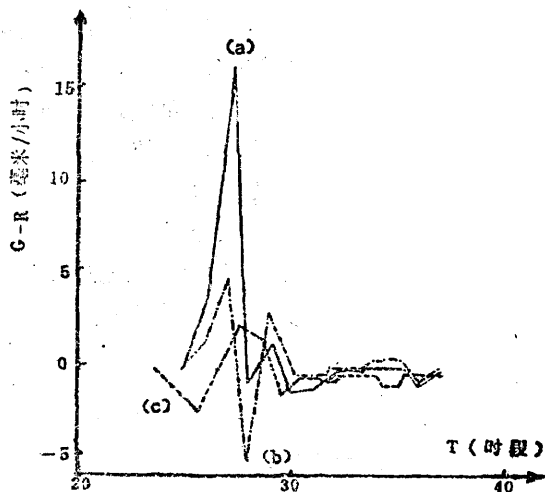


图1 不同密度地面雨量站网测得区域雨强与雷达测得雨强差值随时间变化  
1986年6月4日。站网密度为:(a)1站/64km<sup>2</sup>  
(b)1站/32km<sup>2</sup>; (c)1站/6.4km<sup>2</sup>。1个时段为10分钟

对不同的降水类型有不同的Z-R关系,而且即使在一次降水过程中,Z-R关系也会随时间、空间而有所变化。表5中合道站的Z-R关系就明显地揭示了混合型降水中雨型从对流性向层状云的过渡。

雷达对区域降雨量和过程降雨量的测量误差远低于对单站每小时降雨量的测量误

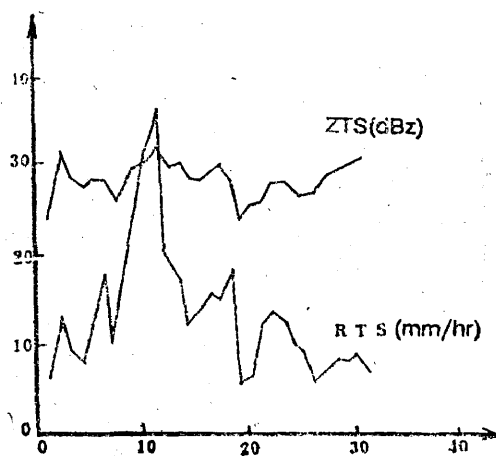


图2 1987年5月29日降水过程中  
ZTS和RTS随时间变化图  
取10分钟为一个时段

差。图1给出不同密度地面站网所测雨量平均值和雷达测量值之差随时间变化,进一步表明增加雨量站密度可提高地面区域降雨量测量的准确性,减小与雷达测量值的偏差。

#### 四、监测降水系统类型的 雷达测量统计量

为从整体上观察与分析降水系统的演变,以寻求适当的计算模式及预报因子,计

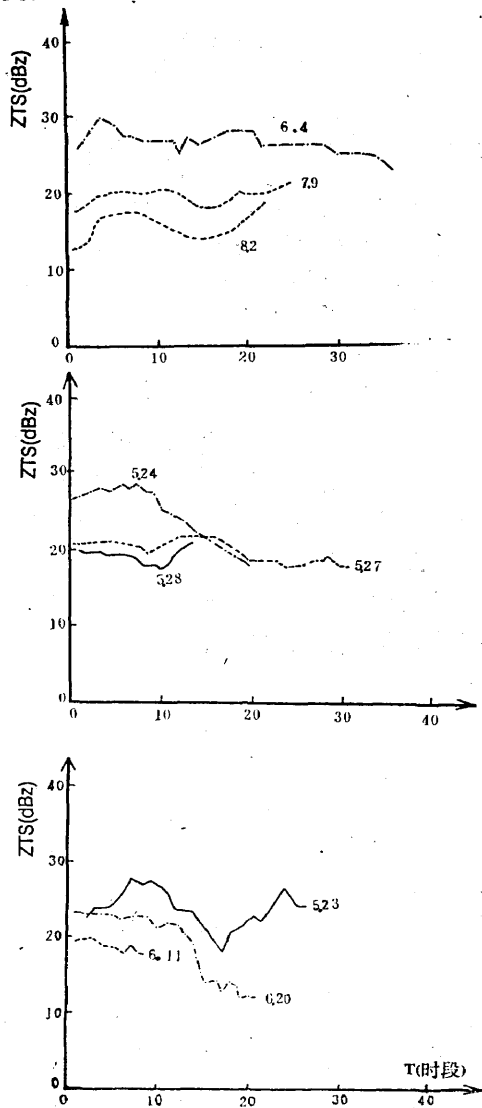


图3 1987年夏季平凉9次降水过程的ZTS随时间变化图

虚线为层状云降水,实线为对流云降水,点划线为混合型降水。

算了三个参量:(1)给定高度上雷达回波所占网格面积单元的数目NUM(取网格面积为 $4 \times 4 \text{ km}^2$ );(2)相应高度上平均回波强度ZTS(dBz);(3)由诸回波单元Ze值计算出雨强后取平均得到的平均雨强RTS(mm/hr)。

试验表明:ZTS可以较好地从整体上反映降水系统的强弱和发展趋势。RTS受个别强回波单元影响,变幅较大,不如ZTS描述好(见图2)。

根据雷达回波特征,将这十次降水过程归纳为三种降水类型:(1)5月27日,6月11日,7月9日,8月2日是层状云降水过程,对流活动很弱,没有大于45dBz的回波单元出现;(2)5月23日、5月29日是对流云降水过程,强回波可达60dBz以上;5月28日是强度很弱的对流云回波,地面无降水;(3)5月24日,6月4日和6月20日是层状云中包含着对流泡的混合型降水过程。综合分析10次降水过程中ZTS指标随时间的演变(图2和图3)。我们发现:层状云降水的ZTS通常小于22dBz;而混合型降水、对流云降水的ZTS值往往大于22dBz。

由于缺乏地面雨量站网的降水资料,没有进行整个雨区的雨量对比分析。

#### 五、结 论

1. 经过仔细标定的C波段数字化天气雷达在半径120km范围内可以测量区域降水量。对层状云降水,所测1小时降雨量偏差不超过1.0mm,所测降水过程总雨量相对偏差约为40%;对包含对流活动的混合型降水,所测过程总雨量的相对偏差远小于层状云降水,在10%以下,其绝对偏差小于0.5mm。但雷达对单站降雨量的测量误差却很大,远远大于其对区域降雨量的测量。

2. 地面雨量站记录的误差幅度因降水类型而异。从水资源管理和洪水

监测角度看,采用数字化雷达遥测整个流域以及整个降水过程的总雨量比加密地面雨量网更为经济有效。

3. 试图用单站实测雨滴谱来改善雷达测雨结果意义不大。但是假若能够获取三维空间水成物物理性质方面的时变信息,则可望大大提高测雨精度。双线偏振雷达正是基于这一思路而发展起来的,目前已取得令人鼓舞的结果。

致谢:兰州大气物理所二室全体同志参加了雷达观测与资料收集工作。贾伟同志协助处理了地面雨量资料,在此表示衷心的感谢。

### 参 考 文 献

- (1) 薛震刚、蔡启铭、徐宝祥,数字化3cm天气雷达定量测量降水的结果和讨论,高原气象,1988年,第7卷,第4期,330-344页。
- [2] Battan L.J, Radar observation of the atmosphere, the University of Chicago Press, Chicago and London, 1973.

## Measurements of areal rainfall by a C-band digitized weather radar

Xue Zhengang

(Beijing Institute of Applied Meteorology)

Xu Baoxiang

Zhang Hongfa

(Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Academia Sinica)

### Abstract

The accuracy of measuring rainfall by radar and representativeness of rain gauge in various precipitation type are discussed, using the 713 digitized weather radar data and high-density rain gauge data. The statistical parameters of radar measurements for type-observing of precipitation system are also discussed. The results can be used as a reference to the meteorological and hydrological departments for their operations.