

天气雷达—雨量计网联合探测区域降水量的精度

戴铁丕 傅德胜

(南京气象学院)

提 要

本文分析5次降水天气过程的数字化天气雷达资料和16个雨量计资料表明：用天气雷达—雨量计网联合探测区域降水量的精度比单独使用雷达或常规雨量计网的探测精度高。文中还讨论了联合探测方案其它一些优点。

长期以来气象和水文部门都是依靠雨量计网测定区域降水量。当降水分布比较均匀时，这种方法能保证一定精度。但是，暴雨等强对流天气降水的局地性很强，这时利用常规密度的雨量计站网不但无法准确测定区域降水量，而且往往漏掉暴雨强中心。而要提高雨量计网密度，既不经济，也很困难，对于高山及广大水域地区更无法做到。利用天气雷达可以弥补上述不足，因为雷达能够在某一固定地点直接、迅速提供时空连续变化的实时降水资料，但在估算区域降水量时存在精度不高的缺点。引起此估算误差的主要原因有^{[1][2]}：雷达回波功率测量误差；由于雨滴碰并、破碎等微物理过程引起雨滴谱变化，导致Z-R关系不稳定；雷达和雨量计取样空间、体积不一致；雨量计和雨量计网本身带来的测量误差。提高雷达测量降水的精度主要从两方面入手：一是对不同误差分别加以订正；二是将雷达和雨量计资料综合使用，据平面拟合技术，用雨量计来校准雷达。这样，既同时发挥了雨量计局地观测值准确和雷达能探测到时、空连续变化的实时降水资料的优点，又克服了前述他们各自的局限性。Wilson^[3]早在70年代初就提出了平均校准方法，结果比较理想，但遗憾的是降水分布场被平滑了。Ninomiya等^[4]运用变分法原理，使用雷达和雨量计观测资料做暴雨的客观分析，结果令人满意。我国对这个课题的研究从总体上讲还不充分^[1]。本文对由雷达、雨量计、雷达—雨量计联合探测系统获得的区域降水总量和降水量分布进行了比较和分析，同时比较了联合探测系统中的3类校准方法的精度。

一、资 料

使用安装在武汉中心气象台的WSR-81S型数字化天气雷达的Column Max和ZPPI彩色分层图象产品。ZPPI是在PPI上通过核查地物回波档案的方法消去地物回波的影响。Column Max图象可分为平面图象和附属垂直剖面图象两部份。本文使用由体积扫描中锥体内最强降水回波和经过弱化处理的地物杂波组成的平面图象资料。为了使用

方便, 该系统已将雷达反射因子 Z 值转换成雨强 R 值^[5]。

在该系统内还装有一个翻斗式自动雨量计校准子系统, 雨量每达 1 毫米发报一次, 自动雨量计站接收该信号后可以屏幕输出或打印出来, 也可以储存供随时调用。为了尽可能使用雨量计准确地校准雷达测得的降水, 选取的“窗口”是雷达站南面距测站 60—180 km, 方位为 173° — 240° 的矩形区域, 面积为 $120 \times 120 \text{ km}^2$, 内含 16 个自动雨量计站。分析时, 将该区域分成若干正方形网格, 格距为 4 km, 每个格点以下标 (i, j) 表示, 格点数为 30×30 。

本文分析的是武汉地区 5 次降水过程: 1987 年 5 月 25 日由静止锋变成锢囚锋引起的较大范围暴雨; 1987 年 5 月 12 日由冷锋南下引起的雷阵雨; 1987 年 7 月 22 日由 70 km/h 快速移动冷锋引起的对流性降水; 1987 年 8 月 28 日由弱冷锋南下引起的对流性降水; 1988 年 5 月 7 日由冷锋尾部快速扫过引起的对流性降水。

二、几种校准方法原理概述

1. 平均校准法

该法原理简单, 若以 G 表示用雨量计测得的降水量, R 表示相应点上雷达测得的降水量, G 与 R 之比称为校准因子。它的意义是: 设观测区域上只有一个雨量计, 用区域上各点的 R 与校准因子相乘, 即可得到订正后的 R 值。若有 N 个雨量计则

$$\bar{F} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_i/R_i \quad (1)$$

式中 \bar{F} 称为平均校准因子。平均校准就是用 \bar{F} 值与区域上各点的 R 相乘, 得到区域上的降水量分布。试验结果表明, 使用平均校准可以有效地减少雷达测量误差, 即使用一个雨量计校准, 也能提高雷达测量降水精度^{[1][4]}。

2. 平均订正因子校准法

分析平均校准法发现, 当对流性降水水平风速较大时, 雨量计测值与相应时刻、相应格点上雷达测值相关性不太理想。这是由于此时雨滴下落轨迹出现较大“漂移”, 从而出现“取样空间不一致”的误差。对此, 我们提出“平均订正因子校准法”新思路。该法同样要求测量区域上有 N 个雨量计。另外, 在实施校准之前, 必须事先按照雷达探测到的降水分布, 将单点雨量计值内插到各格点上。坐标为 (i, j) 的雨量计, 其订正系数 F_{ij} 等于以 (i, j) 网格点为中心相邻 9 个格点上各自的 G 除 R 后求和再取平均, 数学表达式为

$$F_{ij} = [G_{i-1, j-1}/R_{i-1, j-1} + G_{i-1, j}/R_{i-1, j} + G_{i-1, j+1}/R_{i-1, j+1} + G_{i, j-1}/R_{i, j-1} \\ + G_{i, j}/R_{i, j} + G_{i, j+1}/R_{i, j+1} + G_{i+1, j-1}/R_{i+1, j-1} \\ + G_{i+1, j}/R_{i+1, j} + G_{i+1, j+1}/R_{i+1, j+1}]/9$$

其平均订正因子

$$\bar{F}_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (F_{ij})_k \quad (2)$$

3. 变分法校准

上述两种方法具有简便、校准后区域总降水量较准确的优点,但其实质为求出一个固定不变的校准因子值对各格点进行平均校准(即统一平均分配),这样会使降水强、低中心平滑,导致降水分布场“失真”。变分法校准考虑了校准因子随时空变化的事实,即:先求一个订正因子的泛函极值,得到订正因子场,然后用雷达测出的雨量与各点的订正因子相加得到降雨量的分布,最后时空累加获得区域降水总量^[5]。该方案的实质是把雷达探测结果造型成雨量计观测结果,并保留雨量计之间雷达探测到的降水变化。

三、雨量计、雷达、雷达—雨量计联合探测系统测量精度比较

表1 计算中回波强度彩色分层等级转化为雨强时,取的是“中限”值,由表1可见:

(1)若以等效雨量计站密度(1个雨量计/900km²)所测的区域降水量作为“真值”,5次降水过程中,除1988年5月那次以外都是雷达值大于“真值”,一般大1.5倍以上,其平均相对误差绝对值达79%。

表1 各种探测方法探测区域降水量比较

降水日期		1987.5.12	1987.5.25	1987.7.22	1987.8.28	1988.5.7	平均相对误差绝对值(%)	
时间		16:00—19:00	18:00—23:50	5:00—7:10	20:30—24:00	0:00—01:00		
天气形势		冷锋南下	静止锋	快速移动冷锋	冷锋南下	冷锋北部		
雨型		局地雷雨	大范围雨	对流降水	对流降水	对流降水		
雨量计 网值	等效雨量计密度	1/900 10 ⁸ m ³	3.440	10.231	2.962	6.952	2.161	0
		1/1440 10 ⁸ m ³	4.816	14.331				40
		1/1800 10 ⁸ m ³	5.057	15.041				47
雷达探测值	雷达值 10 ⁸ m ³	6.292	15.321	4.783	18.429	1.376		
	绝对误差 10 ⁸ m ³	2.852	5.090	1.821	11.477	-0.785		
	相对误差 %	83	50	61	165	-36	79	
雷达—雨量计联合探测系统	平均校准	校准后值 10 ⁸ m ³	5.478	14.111	4.011	4.321	1.451	
		绝对误差 10 ⁸ m ³	2.058	3.880	1.049	-2.631	-0.710	
		相对误差 %	59	38	35	-38	-33	41
	平均订正	校准后值 10 ⁸ m ³	4.946	13.507	3.849	4.466		
		绝对误差 10 ⁸ m ³	1.506	3.276	0.887	-2.486		
		相对误差 %	44	32	30	-36		35.5
	变分法校准	校准后值 10 ⁸ m ³	4.404	12.072	3.584	5.353	1.850	
		绝对误差 10 ⁸ m ³	0.963	1.841	0.622	-1.599	-0.281	
		相对误差 %	28	18	21	-23	-13	20.6

(2) 采用雷达—雨量计联合探测系统估算区域降水量, 无论用那种方法测量精度均明显提高, 其中以变分法校准最佳, 平均校准法最差。

(3) 以1987年5月25日过程为例, 在分析区域里分别用设置16、10、8个雨量计的网密度计算区域降水量, 并以前者(等效雨量计密度取1个雨量计/900 km²)算得的区域降水量作为“真值”, 分别计算后两种雨量计网密度测值和“真值”之间的相对误差(分别为40.0%和47%), 可见其产生的误差大体上和平均校准法相同, 比平均因子校准法和变分法校准误差大。这就是说, 用雷达—雨量计联合探测系统测定区域降水量的精度一般比单独用雷达或常规密度的雨量计网的精度高。

四、不同显示器得到的降水量及其分布形势比较

前言中已提到雷达、雨量计取样空间不一致会导致降水测量误差, 这种误差究竟有多大? 两种方法探测到的降水强中心有多大偏差? 为此运用1987年5月12日的天气过程, 分别比较采用 ZPPI(16:00—17:00) 和 Column Max(18:00—19:00) 彩色图象进行变分法校准得到的和雨量计网(其等效雨量计网密度取1个雨量计/625 km²)得到的区域降水量分布差异(见图1、图2), 由图可见: 由ZPPI图计算知道, 雷达—雨量计探测系统尽管作了变分法校准, 得到的区域降水总量仍存在较大误差(表略), 但是较强的雨量中心位

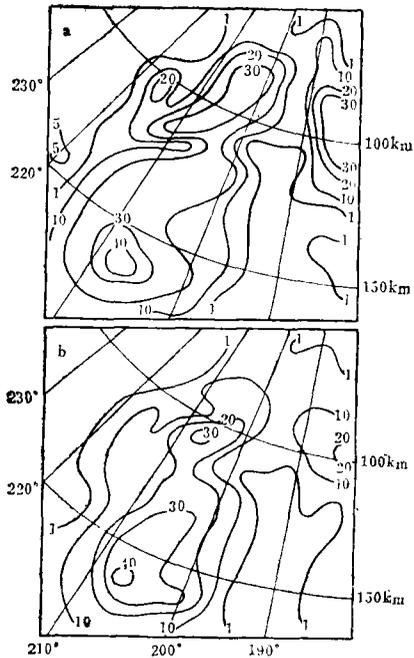


图1 区域降水量分布

a) 雨量计得到

b) 用ZPPI图象变分法校准得到

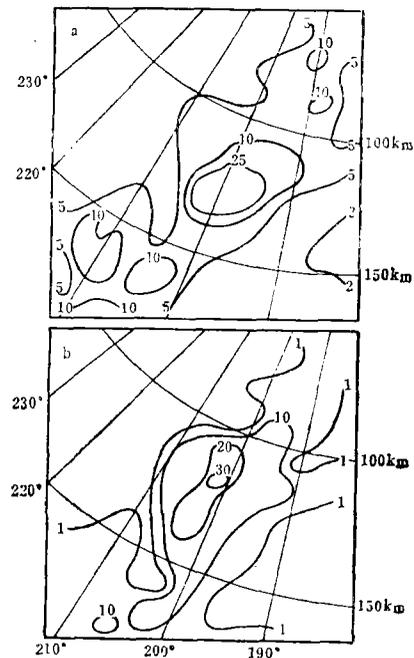


图2 区域降水量分布

a) 雨量计得到 b) 用Col.

Max 图象变分法校准得到

置、降水量分布与雨量计网测得的结果比较吻合。这说明, 虽然是雷雨大风天气, 但空间取样误差不大, 即ZPPI能比较真实地反映地面的降水情况。相比之下, 用Column

Max图象产品得到的区域降水总量误差虽然不大(表略),但较强的雨量中心位置却与雨量计网测得的结果有一定程度偏差(图2),经分析这与当时高空吹西南风有关。因此使用Column Max图象产品做短时降水天气预报时,必须对此引起注意,以防降水落区预报有误。

五、精 度

用雷达和雷达—雨量计联合探测系统测定区域降水量的精度究竟怎样,一部雷达到底能代替多少个雨量计同时观测的精度,这通常可用等效雨量计站密度^[7]来研究。以1987年5月25日降水过程为例,在所分析的1000km²面积上设置16个雨量计进行探测,并将它近似作为“真值”。另外,又分别测量在该面积上设置15、13、10、8、6个雨量计的5种密度雨量计网的区域降水总量及其和真值之间的相对误差,结果如图3。图中横坐标代表站网中1个雨量计站所代表的平均面积。由该图即可大致估计各种校准方法下雷达—雨量计联合探测系统探测区域降水量的精度。例如经变分法、平均订正因子、平均校准后平均相对误差绝对值分别为20.6%、35.5%、41%,由图3可以得到它们各自相当于在大约840km²、1100km²、1350km²的区域内设置一个雨量计的站网测量区域降水量的精度。对不同降水型雷达探测精度也不相同。1987年5月25日的降水过程,其雷达和雷达—雨量计联合探测系统中用变分法校准后相对误差分别为50%和18%,由图3可知它们各自相当于在大约1800km²、800km²的区域上设置一个雨量计网测量区域降水量的精度。

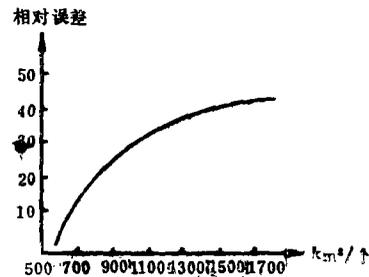


图3 测区区域降水量的相对误差随站网密度变化曲线

六、小结和讨论

1. 由本文分析可知雷达—雨量计联合探测系统测定区域降水量比单独用常规密度雨量计网或雷达精度高。联合探测系统中变分法校准精度最高,其次是平均订正因子校准法,平均校准法最差。但平均校准法简单实用,在测定区域降水总量中比单独用雷达的精度高,因此仍可应用。

2. 用625km²设置一个雨量计的等效雨量计密度测得的区域降水量作为“真值”本身会带来误差^[1],因此,实际应用时必须把这个误差考虑进去。

3. 用ZPPI图象产品测定区域降水量具有能较真实反映地面降水量分布的优点,但计算区域降水总量误差较大;Col. Max图象产品测定区域降水总量,误差相对较小,但在显示器上出现的降水强中心却与地面实测降水强中心不一致。

4. 雷达测定区域降水量最好采用CAPPI图象产品。严格地说,利用Col. Max图象产品反映的是体积扫描中锥体内的最强降水回波,不太合适于计算区域降水量。这是因为地面上降水回波强度与其上各层高度上降水回波强度不同,可能偏小,这样就会带来计算区域降水量时的高估误差。

5. 在实施前述3种校准时,必须要以雷达测值和雨量计测值可以比较为前提。

南京大学葛文忠副教授和武汉中心气象台金鸿祥高级工程师以及万玉发、项经魁等同志对本文提出过建议和帮助, 特此致谢。

参 考 文 献

- [1] Wilson, J.W., Bull.Meteor.Soc., Vol.60, No. 9, 1046—1050, 1979.
- [2] Zawadzki, I., Factors affecting the precision of radar measurements of rain, Conf. Radar Meteor., 22nd, 251—256, 1984.
- [3] Ninomiya, k. and Akiyama, T., J.Meteor.Soc.Japan, 50, 206—210, 1972.
- [4] 戴铁丕、张培昌、魏鸣, 南京气象学院学报, 10(1), 87—93, 1987.
- [5] 伍志芳、戴铁丕、张培昌, 气象科学, 9(3), 223—235, 1989.
- [6] 傅德胜、戴铁丕, 差分法在校准天气雷达测定区域降水量中的应用, 南京气象学院学报, 13(4), 1990.
- [7] 张培昌、戴铁丕、杜秉玉、汤达章, 雷达气象学, 气象出版社, 165—177, 1986.

PRECISION OF PRECIPITATION AMOUNT IN THE JOINT DETECTION AREAS BY WEATHER RADAR AND THE AUTO-RAINGAUGE NETWORK

Dai Tiepi Fu Desheng

ABSTRACT

Analyses of the WSR-81S digital data for 5 precipitation processes and the rainfall data from 16 auto-raingauges indicate that the rainfall amount in the joint detecting areas by weather radar and the auto-rain-gauge network is more precise than is detected by radar or the convention-al raingauge network alone. Some other advantages on the joint detection project are also discussed in this paper.