

应用多普勒雷达回波参数对 长沙地面降水的估算

王治平¹ 张中波¹ 唐 林¹ 肖 波² 夏正龙³ 丁岳强¹

(1. 湖南省人工影响天气办公室,长沙 410007; 2. 长沙市气象局; 3. 湖南省气象台)

提 要: 利用长沙多普勒雷达回波与地面降雨参数建立了相关计算式与统计特征估算式。将夏季 27 块积云地面降雨资料进行计算并作相关性检验,得到单因子与多因子多普勒雷达回波参数对积云降雨的估算式,结果表明,50~100km 范围内其最大雨强与回波顶高相关性较好,多因子相关中其雨量与回波水平尺度、回波顶高呈正比关系,与回波移动速度呈反比关系。

关键词: 多普勒雷达 降水 估算 相关性

Applying Doppler Radar Echo Parameter to Estimate Surface Rainfall in Changsha

Wang Zhiping¹ Zhang Zhongbo¹ Tang Lin¹ Xiao Bo² Xia Zhenglong³ Ding Yueqiang¹

(1. Hunan Provincial Weather Modification Office, Changsha 410007;
2. Changsha Meteorological Office; 3. Hunan Provincial Meteorological Observatory)

Abstract: The related equations and characteristic equation were established on the basis of Changsha Doppler radar echo and surface rainfall parameter. Surface rainfall data of 27 summer cumulus were calculated to test the established relationships, then some estimation equations about single factor or multiple factors were gained. The results show that the most rain intensity is correlated well with echo height in the range of 50~100 kilometers, in multiple factors correlated equations, the surface rainfall is proportional to the horizontal scale and echo height, and is inversely proportional to the echo moving speed.

Key Words: Doppler radar rainfall estimation relationship

引 言

长沙地处湘中丘陵与洞庭湖冲积平原过渡地带和浏湘盆地,具有南高北低,丘涧交错,红岩白沙的地貌特征,属亚热带季风湿润气候区,四季分明,冬寒夏热,夏季多以积云降水为主且分布不均,旱涝无定,秋冬雨水减少。长沙地区 7—9 月因干旱少雨经常进行人工增雨催化作业,且作业对象多以积云为主。所以,估算积云地面降雨参数对人工增雨效果检验和精细化降水预报都有着重大的意义。陈历舒、王治平等曾采用了 3 公分雷达(711 型)对积云地面降水特征做过很多有意义的研究^[1-2],并得到 3 公分(711 型)雷达反射率 Z 、回波顶高 H 、回波移向移速 V 、回波水平尺度 L 与积云降水量 R 、最大雨强 I 、地面降雨面积 S 等参数有着较好的线性相关,同时对这些参数的频率分布也进行过研究^[3-5]。张沛源^[6]用雷达分层资料对地面降水进行了估算,郑媛媛等^[7]应用多普勒雷达

进行了定量估测降水的三种方法比较试验研究,刘黎平等^[8]将新一代天气雷达应用于人工影响天气作业,国内许多气象科学工作者对多普勒雷达在降水预报等方面的应用作了大量的工作。这些研究工作在我国的雷达定量估测降水方面作出很大贡献。湖南省 2002 年在长沙黑麋峰布设了 WSR-88D 的 10cm 多普勒雷达并投入业务使用。多普勒雷达参数是否也像 711 雷达参数一样与地面降雨有着上述类似的相关?通过对 27 次降水过程的分析,尝试建立多普勒雷达回波参数与积云地面降水参数之间的估算关系式。

1 资料收集处理

1.1 地面雨量资料

共收集了长沙市 89 个区域气象站(50km×80km,观测间距 10km×10km)地面降雨资料,资料观测使用湖南气象物资公司提供的 DSD-8 型自动雨量仪器,雨量站的地理分布图如图 1。

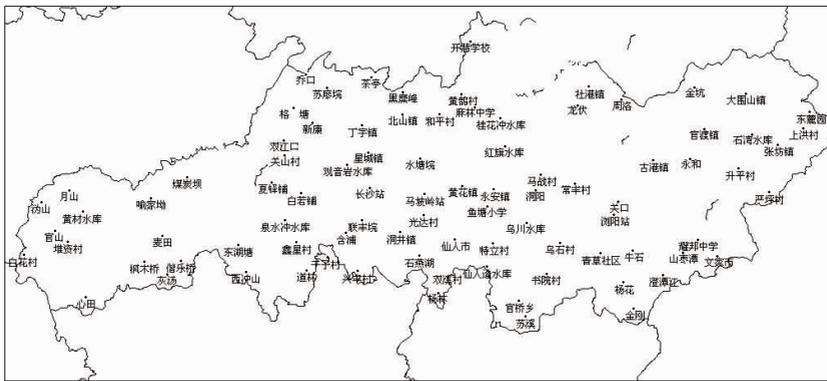


图 1 长沙市地面自动雨量站地理分布

取样时间段为 2007 年 7 月 1 日至 9 月 1 日,测站降雨时间以 1 小时为单位。根据地面雨量的时间、地点资料,反查多普勒雷达资料,找出相应降水回波的方位/距离、仰角、反射率、最大顶高、移向移速等参数,同时根据

降雨类型、区域、强度等指标,找出与地面降水配对的回波,并确定该回波的覆盖面积。根据搜集的资料,应用软件编程(C 语言)对 27 次降水个例的 1 万多条雨量记录资料进行了计算与分析。

1.2 多普勒雷达与资料收集处理

长沙多普勒雷达可提供每 6 分钟一次的体扫资料,选取回波基本反射率因子、回波顶高、速度方位平面显示、垂直累积液态含水量、数据级别范围选择 8 个数据级别。长沙多普勒雷达数据的传输由省局的气象预报业务服务综合平台(WOSIS)系统完成。当雷达回波位置一旦确定,找出与自动化观测站相对应的地面雨量观测值,在同一时段内(1 小时),当雨区与雷达回波对应的最大边距小于 5km 时(经验判断值),则认为该回波与降雨落区是配对的,即为同一降水过程。或说当降雨过程范围移出或部分移出观测网,此资料不做计算样本作废弃处理。

2 单因子估算方程式

为进一步明确统计各参数含义,特规定

如下:

$Q(t)$ —过程总雨量,是指由一次局地对流或一次天气过程中产生的积云单体或多单体在其生消过程中所产生的地面降雨总水重;

$I(\text{mm/h})$ —过程最大雨强,是指一次积云降水全过程中某 1 小时最大降雨量,称为最大雨强,是在闭合雨区中将所有测站观测到的 1 小时降雨最大值进行比较后选入;

$H(\text{km})$ —回波顶高,是指降水时段内的最大回波顶高;

$A(\text{km}^2)$ —回波面积,是指降水时段内雷达测到的最大回波面积;

$Z(\text{dBz})$ —回波反射率因子,是指多普勒雷达每 6 分钟一次的体扫选取的回波强度。

在单因子($N=27$ 次降水过程)相关计算中,对上述 5 种参数反复多次进行穿插配对,最后得到 $Z-I$ 、 $I-H$ 、 $Z-H$ 、 $Q-A$ 、 $Q-H$ 等一系列关系式进行了进一步的计算分析,见表 1。

表 1 单因子估算式估算与实测值及检验

估算式	实测平均	估算平均	离差	均方差	最大误差	相关系数	t 检验显著性水平 α
$I=0.178 \times H^2$	25.61(mm/h)	26.53(mm/h)	0.93	4.84	9.55	0.656	0.01
$I=0.8782+1.913 \ln Z$	25.61(mm/h)	17.82(mm/h)	7.80	6.24	17.0	0.2	0.01
$Z=0.025 \times H^2$	49.37(dBz)	43.21(dBz)	6.16	5.26	16.2	0.535	0.01
$Z=1116 \times I^{1.1974}$	49.37(dBz)	46.19(dBz)	3.18	4.37	15.0	0.646	0.01
$Q=146.66e^{0.011A}$	$2.56 \times 10^6(\text{t})$	$4.25 \times 10^9(\text{t})$	4.24×10^9	4.25×10^9	4.24×10^9	0.35	0.01
$Q=0.0844H^{3.9714}$	$2.56 \times 10^6(\text{t})$	$1.8 \times 10^3(\text{t})$	2.55×10^6	2.55×10^6	2.55×10^6	0.23	0.01

从表 1 看出, $(I-H)$ 式两者实测值与估算值有较好的相关性,比其他几组略高。 $(Z-I)$ 式经配对后其实测值与估算值接近,见图 2 和图 3。

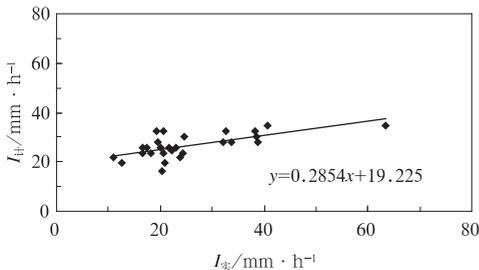


图 2 最大雨强的计算值与实测值的相关

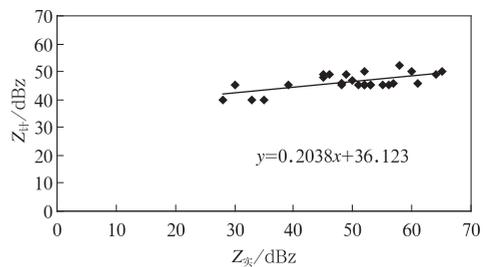


图 3 回波强度 Z 的计算值与实测值的相关

这两组方程可考虑用于自然降水与催化后的作业云降水的估算,由于这 27 次降雨样本基本上在 50~100km 范围内,且 $I-Z$ 式

只具有一定的统计意义,所以,超出这一范围的要加以订正。

3 多因子估算方程式

在应用 3 公分雷达(711 型)长期观测的实践中,曾总结出积云降雨量与雷达回波各参数之间存在着正比的相关关系,且与速度的大小有反比关系,即

$$R = \frac{LHZ\beta}{V} \tag{1}$$

其中, $R(\text{mm})$ 为积云降雨量; $L(\text{km})$ 为将移经雷达观测站的回波移动方向的回波区域的

水平尺度; $V(\text{km/h})$ 为回波移速; $Z(\text{dBz})$ 为雷达反射因子; β 为回波充实参数,一般取 0.64; $H(\text{km})$ 为回波最大顶高。一般地,将积云降水持续时间 T 可看作 $T = A + B \frac{L}{V}$,即 T 取决于 $\frac{L}{V}$,考虑雷达回波区一般小于地面降雨区,有:

$$T = 0.03 + 1.5 \frac{L}{V}$$

将 27 次降水过程的多普勒雷达同一回波因子代入估算式后求出积云降水估算值,再与雨量自动站网观测的实际雨量进行相关分析,结果见表 2。

表 2 多因子估算式估算与实测值及检验

估算式	实测平均	估算平均	离差	均方差	最大误差/%	相关系数	t 检验显著性水平 α
$I = 4.2 \times 10^{-4} H^{1.225} Z^{0.087}$	25.61(mm/h)	44.02(mm/h)	18.4	25.4	41.8	0.749	0.01
$R = 0.3 \times (0.03 + 1.5 \frac{L}{V}) \times (2.903 \times 10^{-4} H_{M}^{78})$	36.57(mm)	31.56(mm)	5.01	14.9	22.9	0.793	0.01

结果表明,雨强方程中,虽然相关系数达到了 0.749,但是其实测平均和估算差异较大,平均为 18.4。因此在应用雨强方程进行雨强的估算时,要加以订正。

应用雨量(R)方程的计算结果表明,当 $N=27$ 时,理论计算值与实测值之间的相关系数为 0.793,结果见图 4。

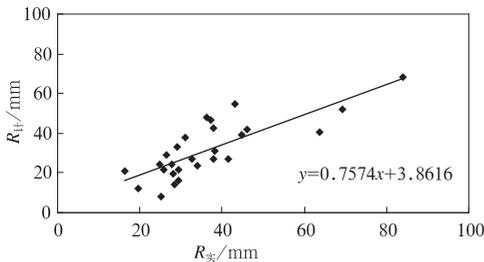


图 4 降雨量实测值与计算值的相关

对两组数据作相关系数的显著性检验(t 检验),取显著性水平 $\alpha = 0.01$,

$$|t| = 2.746 < t_{\alpha/2}(27 - 1) = 2.7787$$

由此表明,两组数据相关性较好,并无显

著性差异。

由于选取的资料多是距雷达测站 50~100km 范围,即降水过程发生在自动雨量观测网内,超出这一范围的资料不能作为样本参加计算,并以此来保证相关系数可靠性。

从表 2 可知,式(1)中的各参数基本上能反映地面降水的统计客观规律,物理意义也比较清楚,应该说多普勒雷达比 3 公分雷达的估算效果还要好。因为,随着波长的增加,降雨对雷达回波的衰减迅速减小,当波长为 10cm,雨强达 100mm/h 时所产生的衰减系数小于 0.03dB/km,而 3 公分雷达衰减相当严重,穿过径向尺度为 100km,雨强为 10mm/h 的降水区时,其回波的信号衰减可达 30dB。所以,式(1)可以作为估算积云地面降雨量方程式。

4 VIL 值与各参数相关性

将长沙自动站观测到的 27 次地面雨强资

料与 3 小时地面降雨量和同时刻多普勒雷达观测到的 VIL 值作相关分析,见图 5、图 6。

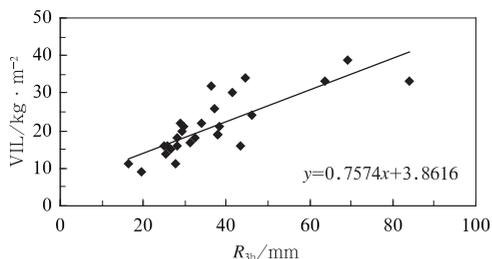


图 5 3 小时雨量与 VIL 的对应关系

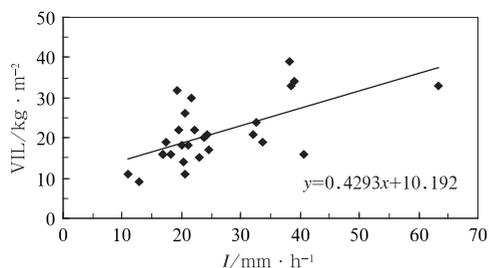


图 6 最大雨强与 VIL 的对应关系

从图中可看出,3 小时地面雨量的相关性较好,特别是在 20~40mm 区域,其 VIL 值也在 10~30kg/m² 间摆动,说明在这一区域还有较好的代表性,在雨强与 VIL 关系中也有类似现象。

由于 VIL 值表示的是将反射率因子数据转换成等价的液态水值(即 $M=3.44 \times 10^{-3} Z^{1/7}$)^[9],其中就有反射率因子是完全由液态水反射到的假定。实际上,能对雷达反射的电磁波形成反射的还有固态,所以,VIL 与地面降水的相关应包括云中的固态反射成分,那么,两者之间的关系在统计上有些差异是可能的。

5 小结与讨论

(1)50~100km 范围内其最大雨强与回

波顶高($I-H$)相关性较好,两者的差值为 0.92mm/h。经配对计算的 $Z-I$ 关系式其实际平均与估测平均差异仅为 3.18dBz。这两组方程可考虑作为估算人工增雨效果的尝试。

(2)多因子相关中($R=\frac{LHZ\beta}{V}$),其雨量与回波水平尺度、回波顶高呈正比关系,与回波移动速度呈反比关系,27 次降雨样本实测平均与估算平均相差 5.01mm,可用来估算自然降水。

(3)当地面降水在 20~40mm 范围时,其 VIL 值在 10~30kg·m⁻² 范围摆动,即 VIL 值在这一范围内可作为 50~100km 范围内云的催化指标应用。

致谢: 本文得到许焕斌研究员的悉心指导和大力帮助,在此表示深深的谢意。

参考文献

- [1] 陈历舒. 用雷达回波参数估算积云降雨量的新方法及其在人工降雨中的应用初探[J]. 气象科技情报, 1979,11(2):3-7.
- [2] 王治平,刘耀宗. 单块积云降水参数的直接估算[J]. 气象,1998,23(6):49-52.
- [3] 王治平,卓仁荣,陈历舒. 长沙地区单块积云地面降水的统计特征分析[J]. 热带气象学报,1987,3(1):56-62.
- [4] 徐永胜. 湖南夏季个体积云降水强度的雷达测定[J]. 气象,1998(9):44-46.
- [5] 徐永胜. 用雷达回波参数估算积云降水的交叉检验[J]. 气象,1991(2):36-39.
- [6] 张沛源. 利用雷达分层资料制作降水分布图[J]. 气象,1987(9):28-31.
- [7] 郑媛媛,谢亦峰,吴林林,等. 多普勒雷达定量估测降水的三种方法比较试验[J]. 热带气象学报,2004,20(2):192-197.
- [8] 刘黎平,邵爱梅. 新一代可移式天气雷达在人工影响天气中的应用研究[J]. 暴雨灾害,2007(1):40-45.
- [9] 俞小鼎,姚秀萍. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京:气象出版社,2006,185.