

三峡地区气候 Z-R 关系^①张家国 王佐兵 力梅 杨洪平 万玉发^②

(武汉中心气象台, 武汉 430074)

蔡宏

(宜昌市气象局, 443000)

提 要

在三峡地区降水条件气候均匀区域划分的基础上, 用 Atlas 一阶矩概率匹配法, 分别在每一个区域建立了对流型、雷雨混合型、阵雨混合型 3 种雨型随测距变化的气候 Z-R 关系。这些关系能综合订正由波束平均作用、雨区对电磁波的衰减等因素所造成的雷达测量降水的误差。

关键词: 条件气候均匀 概率匹配法 山地气候 Z-R 关系

引 言

雷达定量测量降水的理论虽然开始很早, 但是直到 70 年代后期雷达数字化技术迅速发展之后, 研究工作才有坚实的基础。雷达定量测量降水的关键技术之一是 Z-R 关系式的确定。长期以来, 人们采用的是用雨滴谱方法求 Z-R 关系, 但是影响此关系精度的原因很多^[1], 主要的有两个: 一是雷达有效照射体积和地面雨量计附近雨滴谱分布的空间差异, 二是雷达波束的平均作用。为此近年来许多学者提出了 Z 的垂直廓线订正及雨量计校准等方法。同时另一种建立在新概念基础上的 Z-R 关系的研究也在兴起且不断完善, 它把雷达测量的 Z 值直接与地面实测雨量 R 在 ATI (Area-Time Integrals) 原理基础上, 用概率配对法以概率相等为原则求取两者在条件概率下的对应关系^[2,3], 一般称之为气候 Z-R 关系。本文采用概率配对法, 研究如何在复杂地形下建立气候 Z-R 的关系, 并选取三峡地区 17 次降水过程的宜昌雷达回波资料及其周围气象站虹吸式雨量自记资料, 研究

了该区域夏季三类降水的气候 Z-R 关系式。

1 概率匹配方法 (PMM)

把雷达观测到的反射率因子 Z 和地面雨量计测得的雨强 R 看作为描述降水这一事件的两个随机变量, 在某一时空范围内同时用 Z 和 R 发生的概率表示降水事件的发生, 则 Z、R 概率相等。Atlas 使用如下一阶矩累积分布函数 (CDF) 求概率相等的 Z_i 、 R_i 对:

$$C(x_i) = \frac{\int_{x_r}^{x_i} xP(x)dx}{\int_{x_r}^{\infty} xP(x)dx} \times 100\% \quad (1)$$

上式, x 代表 Z 或 R, x_r 代表 R_r 或 Z_r , R_r 、 Z_r 为一对预先设定的匹配阈值, 其相应的匹配公式为:

$$C(Z_i) = C(R_i) \quad (2)$$

雨强 R 和反射率因子 Z 的样本应来源于某一区域单个风暴整个生命史或多个风暴瞬时的观测数据, 或者二者的组合。根据降水累积

① 本文由中国气象局气候司《山地雷达定量测量降水的基础技术研究》课题资助

② 参加本工作的还有龙利民、黄静芳

概率取值变化,可得到一系列概率相等的 Z_i, R_i 对。假设 Z, R 均满足对数正态分布,其概率密度函数为:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{\delta_x \cdot x} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \mu_x}{\delta_x} \right)^2 \right] \quad (3)$$

其中 μ_x 和 δ_x 分别是 $\ln x$ 的平均值和标准差,则可证明 Z, R 满足 $Z = KR^\alpha$, 也即满足:

$$dbZ = 10 \times \log K + \alpha dbR \quad (4)$$

式中, dbZ 和 dbR 分别代表 $10\log Z$ 和 $10\log R$ 。以一系列 Z_i, R_i 对为回归变量,由此式可求得待定量 K, α 。

2 条件气候均匀区

区域内各点降水概率分布和条件气候平均值相同,即降水满足条件气候均匀是概率匹配法的基础。宜昌雷达探测范围地处平原-山地过渡带,降水不满足条件气候均匀。

用雨量自计资料,按第3节中三类雨型分别对16个站点统计其雨强气候平均值和CDF,结果表明3种雨型均存在相同的条件气候均匀区:一个在雷达站正南110°的扇形区域内,另一个在雷达站正北250°的扇形区域内,以下分别称为南区 and 北区。图1中给出了不分雨型时气候平均值的分布情况。

宜昌雷达以1°仰角探测时,方位角235°~45°方向上受近距离地物阻挡影响,理论计算发现强度值比实际偏小1~2.5dbz;45°~235°方向上无遮挡,以下分别称为遮挡区和

无遮挡区。暂不考虑 Z 值随测距的变化,两区基本上可认为是条件气候均匀的。

将分别满足 Z, R 条件气候均匀的区域并置在一起,得到3个 Z, R 同时满足条件气候均匀区的区域,如图1所示。

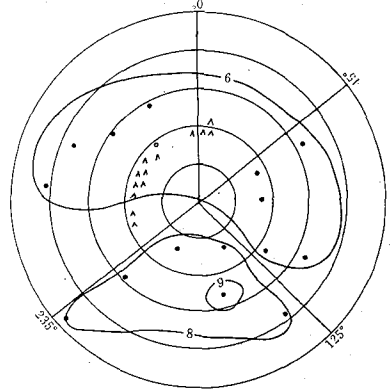


图1 3个条件气候均匀区:一区,45°~125°;二区,125°~235°;三区,235°~45°
曲线为不分雨型时雨强气候平均值等值线,黑点为雨量站

3 资料及处理方法

3.1 资料

本文选取三峡地区1989~1990年6~8月份17次典型降水过程。回波资料是分辨率为1km×1km、仰角为1°的PPI产品,雨量资料为16个虹吸式自计雨量资料。根据该地夏季降水性质的特点,把17次过程分成三类,如表1所示。

表1 降水过程分型

分型	年份	日期
对流型	1989年	7月1~2日,5~7日,29日,8月15日
	1990年	7月17日,26日,31日,8月5日,7~8日
雷雨混合型	1989年	7月11~13日,25日,26日
	1990年	7月31~8月2日
阵雨混合型	1989年	6月21~29日,7月3~4日,8月16~19日
	1990年	7月18~20日

3.2 CDF 统计和计算方法

因 Z 的 CDF 随测距有明显变化,在遮挡区和无遮挡区均按 30~60km、60~90km、90~120km、120~150km 4 个距离档分别统计。从其他作者和我们的统计结果看, R 的 CDF 不随测距变化,在 R 的条件气候均匀区内,各距离档上 R 的 CDF 均以区域平均来代替。另外,从自计纸上读取雨强时,样本平均时间取 3 分钟,雨强和回波强度阈值分别取 0.25mm/h 和 21 dbZ,且分别以 1dbR、1dbZ 为组距统计 Z 、 R 的样本。

在实际计算中,采用下面有限差分式来计算 CDF 和匹配 Z_i 、 R_i 为:

$$C(R_i) = \frac{\sum_{R_i} n_{R_i} \cdot R_i}{\sum_{R_i} n_{R_i} \cdot R_i} = \frac{\sum_{Z_i} n_{Z_i} \cdot Z_i}{\sum_{Z_i} n_{Z_i} \cdot Z_i} \quad (5)$$

式中, n_{R_i} 、 n_{Z_i} 分别是雨强组中值为 R_i , 反射率因子组中值为 Z_i 时的样本数。

4 计算结果

4.1 雨强 R 的 CDF 分布

图 2 是北区中 3 种雨型 R 的 CDF 分布。从图中可看出:①这些曲线与对数坐标下的半对数正态分布相似;②雷雨混和型的强降水概率最大,对流型次之,阵雨混合型最小。表 2 给出了该区特征量统计结果。南区分布与北区相似,但同一雨型南区 CDF 右移(图略)。

表 2 北区 3 种雨型统计数字特征量

雨型	样本数	平均值	标准差
对流型	1524	5.3	10.7
雷雨混合型	722	7.6	20.1
阵雨混合型	3922	2.8	3.4

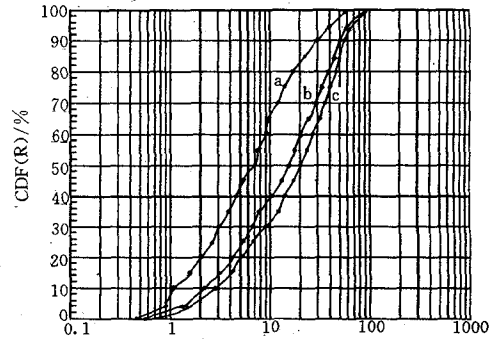


图 2 北区 3 种雨型 R 的 CDF 分布
曲线 a、b、c 分别为阵雨混合型、对流型、雷雨混合型

4.2 Z 值的 CDF 分布

图 3 是无遮挡区随距离变化的 Z 值的 CDF 分布(遮挡区图略)。从图中可以发现:①与 R 的 CDF 分布相同, Z 值呈半对数正态分布;②随距离增加每种雨型的 CDF 均左移。这说明它们与 R 的 CDF 相匹配时,由于距离增加,同一强度降水对应 Z 值不断减小,雷雨混合型、对流型减小较快,而阵雨混合型较小。原因主要是有效照射体积随测距增加而变大,其平均作用及未充满越显著,而且在前两型降水中,由于真实的 Z 值存在很强的水平梯度和垂直梯度,有效照射体积的平均作用比后者明显得多;另外,宜昌为 5 公分雷达,电磁波衰减也使 Z 值减小。当 Z 和 R 相匹配时,上述差异均隐含到气候 Z - R 关系中。以雷雨混合型为例,表 3 给出了该型特征量统计结果。

表 3 各距离档 Z 值统计数字特征量(无遮挡区)

距离档/km	样本数	平均值	标准差
30~60	25432	7081	15157
60~90	44524	5896	12592
90~120	54320	4956	10651
120~150	24321	3573	7626

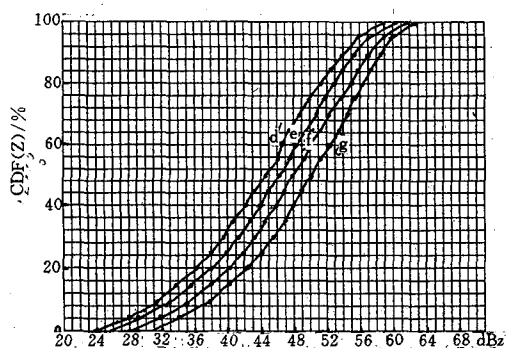


图3a 无遮挡区对流型Z值的CDF随距离的变化
d,e,f,g 分别代表125~150、90~120、60~90、30~60km的
CDF分布。下同。

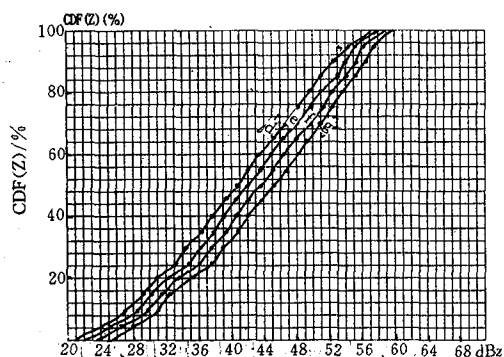


图3b 雷雨混合型

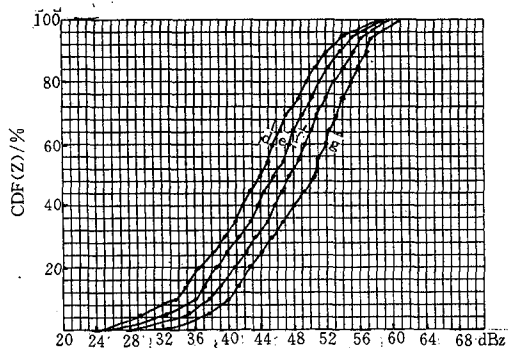


图3c 阵雨混合型

4.3 气候 Z-R 关系式

在每一区域,针对每一种降水类型,根据式(5)用相应R和Z的CDF进行匹配,可得到一系列概率相等的 Z_i, R_i 对。图示表明这些 Z_i, R_i 对基本满足式(4)的线性关系,因此可求得K和 α 值。因 R_r, Z_r 为任选的一对阈值,当 R_r, Z_r 不匹配时会影响Z-R关系的精确性,必须对Z-R关系进行校正。方法是求

得的Z-R关系,把Z值的概率分布反演成R的概率分布^[4],并使反演的R的平均值与真实平均值之差小于0.01。反演公式:

$$cum(\%) = 100 \times \int_{Z_r}^{Z_i} R(Z)P(Z)\Delta Z/\bar{R} \quad (6)$$

式中,cum为反演的累积概率, \bar{R} 为反演的平均雨强,其中:

$$R(Z) = \exp [10 (\log Z - \log K) / 4.343 \alpha] \quad (7)$$

从反演的R的CDF曲线与真实R的CDF曲线的对比发现(图略),两曲线形状相似,仅位置略有差异,调整K值即可。表4~6是经调整后Z-R关系式的系数K和指数 α 。

用上述Z-R关系和 $Z = 200R^{1.6}$ 进行误差对比分析,结果表明,后者在近距离和远距离计算误差较大,而前者在整个范围内计算误差均较小。这说明气候Z-R关系对因雷达波束作用及其它因素造成的雷达测量误差真正起到了气候调整作用。

表4 一区(方位角45°~125°)Z-R关系 K^*, α 值

距离/km	对流型		雷雨混合型		阵雨混合型	
	K^*	α	K^*	α	K^*	α
30~60	1512.0	1.39	1123.9	1.48	545.7	2.02
60~90	1120.0	1.41	668.7	1.48	341.2	2.11
90~120	716.3	1.35	413.5	1.49	262.2	2.05
120~150	408.8	1.45	254.8	1.50	198.1	2.00

表 5 二区(方位角 125°~235°) Z-R 关系 K^* 、 α 值

距离/km	对流型		雷雨混合型		阵雨混合型	
	K^*	α	K^*	α	K^*	α
30~60	1308.8	1.28	973.1	1.46	525.5	1.77
60~90	1007.2	1.30	571.9	1.47	324.9	1.86
90~120	645.6	1.28	360.1	1.47	249.8	1.81
120~150	365.5	1.34	223.3	1.48	189.5	1.76

表 6 三区(方位角 235°~45°) Z-R 关系 K^* 、 α 值

距离/km	对流型		雷雨混合型		阵雨混合型	
	K^*	α	K^*	α	K^*	α
30~60	816.0	1.42	197.0	1.66	218.0	1.54
60~90	468.5	1.56	145.2	1.65	173.3	1.55
90~120	263.1	1.79	102.9	1.52	137.3	1.63
120~150	167.1	1.97	55.5	1.59	109.9	1.63

5 讨论

Z 和 R 值在某一区域均满足条件气候均匀是用条件 CDF 匹配法确定 Z-R 关系式的前提。在宜昌雷达探测范围内,西部山地对雷达波束的阻挡是测站东西两侧 Z 值概率分布出现差异的主要原因。由于受有效照射体的平均作用和雨区对雷达波束的衰减等影响,在同一区域不同距离上,Z 值的概率分布也存在明显的差异。不同雨型其 Z、R 的概率分布有明显差异;而同一雨型的降水过程均有相似的概率分布,是 PMM 方法能够获得比较精确的 Z-R 关系的原因之一。总之气候 Z-R 关系因雨型、地域不同而有差异,同时与

测距密切相关。

致谢 感谢汤达章教授和金鸿祥研究员的悉心指导!

参考文献

- 1 Rosenfeld D.. Method to relate observed radar reflectivity to surface rainfall based on intensity distributions, 25th Conf. On Radar Met. 1994;836~838.
- 2 Atlas D. et al, Climatologically Tuned Reflectivity-Rain Rate Relations and link to Area-time Integrals. Journal of applied meteorology, 1990,29;1120~1135.
- 3 Atlas D. et al, The estimation of convective rainfall by area integrals. Part 1. The theoretical and empirical basis. J. Geophys. Res. 1990,95;2153~2160.
- 4 汤达章等. 概率匹配法求 Z-R 关系. 八五"科技攻关台风、暴雨灾害性天气探测数据采集技术研究论文集. 北京:气象出版社,1995.

The Climatic Reflectivity-Rain Rate Relations in Sanxia Region

Zhang Jiaguo Wang Youbing Li Mei Yang Hongping Wan Yufa
(Wuhan Center Meteorological Observatory, 430074)

Abstract

Based on the division of Sanxia region into several conditional climatic homogeneous rain areas, the climatic Z-R relationships that vary with the range from radar were derived for different rain patterns such as the convective, the mixed-thunderstorm, and the mixed-shower by using of the first moment PMM proposed by Atlas. These relations can be used to comprehensively correct radar measuring error caused by the effects of the beam average and the C-band attenuation, etc.

Key Words: conditional climatic homogeneous areas probability match method climatic Z-R relationships in the mountains