

# 宁夏平原不同雨型的Z-I关系研究

吴兑

刘永政

(广东省热带海洋气象研究所) (宁夏气象台)

## 提 要

利用天气雷达定量测量降水, 最常用的是雷达反射因子法。通过计算宁夏平原7个站1983年6—9月的4618份地面雨滴谱资料, 给出了该地区不同雨型间的Z-I关系, 并对在该地区使用这些关系定量测量降水的结果进行了检验, 平均相对误差在30%左右。

### 一、测雨原理及雨滴谱取样计算方法

众所周知, 降水的时空分布是非常不均匀的。而常规气象台站网的密度约为1000 km<sup>2</sup>一个测站。其测量区域连续性降水的相对误差达70—80%, 而对于局地性降水, 误差可达百分之几百。使用雨滴谱资料计算的Z-I关系式进行雷达定量测量降水, 考虑到雷达参数的不稳定, 降水中Z-I关系的变化等因素, 其定量测量区域降水量的误差远小于常规气象台站网资料估计区域雨量的误差。雷达测量区域雨量的精度约等效于密度为150 km<sup>2</sup>一个雨量站的网。如雷达定量测量的有效半径为150 km时, 雷达可替代450个雨量站进行区域雨量的测量〔1〕。

目前, 我国通用普罗斯特-琼斯雷达气象方程。原中央气象局研究所对部分雨滴谱资料进行计算后认为, 当雨强 $I \leq 2$  mm/hr时, 莱蕾近似几乎等于米散射的情况; 当 $2 < I \leq 10$  mm/hr时, 莱蕾近似的误差不超过6%; 当 $I < 82.3$  mm/hr时, 误差不超过9%, 远小于雷达本身的误差〔2〕。而我们的雨滴谱资料中, 雨强在 $I \geq 10$  mm/hr以上者仅占4%, 最大雨强为44 mm/hr; 雨滴平均直径大多在1 mm左右, 对于713雷达(5.6 cm)来讲, 采用莱蕾近似可以保证测

量精度。

雷达气象方程的莱蕾近似式如下:

$$\bar{P}_r = \frac{P_t \pi^3 G_0^2 \varphi \theta h}{1024 \lambda^2 \ln 2} \left( \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right) \frac{Z}{R^2} \quad (1)$$

式中雷达回波功率 $\bar{P}_r$ ; 发射机脉冲功率 $P_t$ ; 天线增益 $G_0$ ; 水平、垂直波瓣宽度 $\varphi$ 、 $\theta$ ; 探测脉冲长度 $h$ ; 雷达波长 $\lambda$ 等雷达参数是可测的。被探测目标物复折射指数 $m$ 与粒子相态有关; 目标距离 $R$ 也是已知的, 这样就可以计算出唯一待定的雷达反射因子 $Z$ 。

利用地面雨滴谱资料, 可用最小二乘法回归I-Z关系:

$$Z = AI^b \quad (2)$$

由(1)式求出Z值, 利用(2)式即可得到测点雨强。

Z-I关系式可因地区、季节、雨型、雨滴谱类型不同而有较大差别, 甚至每次降水都不同。但差异主要来自雨滴谱的不同类型, 而不同雨型又基本上对应于相应的雨滴谱类型。故对某一地区来讲, 使用当地全季节多次降水资料, 对降水进行简单分型, 就可以得到M-P谱 $Z = 200I^{1.6}$ 的关系式, 这是误差明显减少的Z-I关系式。地面雨滴谱的观测方法及资料计算方法是按文献〔4〕中滤纸色斑法进行的, 其雨强 $I$ 和 $Z$ 由下式决定:

$$I = 6 \pi \sum N_{1i} d_i^3 \quad (3)$$

$$Z = \sum N_{2i} d_i^6 \quad (4)$$

式中 $d_i$ 、 $N_{1i}$ 、 $N_{2i}$ 分别为雨滴直径与该直径下在单位时间内的雨滴平均浓度及雨滴空间浓度。其中：

$$N_{1i} = n_i \cdot \left(\frac{s}{t}\right)^{-1} \quad (5)$$

$$N_{2i} = N_{1i} / V_i \quad (6)$$

式中 $n_i$ 为对应直径下读取的雨滴个数， $s$ 为取样面积， $t$ 为暴露时间， $V_i$ 为对应直径的雨滴下落末速度。

## 二、Z-I关系分析

1983年6—9月，在宁夏平原7个站66个降雨日中共获得地面雨滴谱资料4618份。我们依据雷达回波定性与地面实测定性相结合的方法，将全部雨日划分为连续性降水、混合型降水和阵性降水三种类型。分别对7个站三种降水类型的地面雨滴谱资料，求取 $\ln Z$ 与 $\ln I$ 的相关系数 $r$ ，显著性水平 $\alpha = 0.001$ 的临界值，使用最小二乘法求回归 $Z = AI^b$ 关系式中的系数 $A$ 、 $b$ 。

表1 阵性(1)、连续性(2)、混合型(3)降水的Z-I关系

项目	n			r			临界值( $\alpha=0.001$ )		A			b		
	1	2	3	1	2	3	1	2, 3	1	2	3	1	2	3
石咀山	119	328	383	0.9752	0.9554	0.9658	<0.3211		495	256	284	1.31	1.26	1.23
银川	47	283	302	0.9526	0.9767	0.9773	0.4648	<0.3211	637	285	253	1.43	1.29	1.35
吴忠	27	163	228	0.9754	0.9533	0.9617	0.5974	<0.3211	453	283	398	1.51	1.46	1.38
中宁	101	310	271	0.9704	0.9529	0.9763	<0.3211		477	191	294	1.23	1.22	1.23
盐池	134	237	237	0.9653	0.9599	0.9748	<0.3211		698	204	379	1.43	1.32	1.45
同心	145	420	390	0.9385	0.9789	0.9846	<0.3211		396	165	266	1.31	1.26	1.29
海原	103	251	139	0.9567	0.9619	0.9758	<0.3211		315	164	343	1.64	1.66	1.44

由表1可以看到，各站无论何种雨型， $\ln Z$ 与 $\ln I$ 间的相关是非常密切的。相关系数均高于0.95，远高于信度0.001的临界值。另外还可看到不同雨型、不同地点间，Z-I关系式有较大不同，可见利用地面雨滴谱求取Z-I关系的局限性。

对宁夏气象台713雷达周围7站的雨滴谱资料，按三种雨型进行了综合分析，结果如表2，图1。可以看到，将同一地区不同地点的资料放在一起综合分析， $\ln Z$ 和 $\ln I$ 之间的相关仍十分密切，相关系数均高于0.95%。三种雨型间的差别，随着雨强增大而增加。

对不同雨型的 $A$ 、 $b$ 值做 $t$ 检验，结果见表3，表中 $f$ 为自由度， $F$ 为对剩余标准差 $s$ 进行检验的值。从表3中看到，混合型与阵性降水的剩余标准差 $F$ 检验值大于 $\alpha = 0.001$ 的临界值，两者Z-I关系存在显著差

异。其余两组的 $|t_b|$ 与 $|t_{10A}|$ 中，或两者均大于 $\alpha = 0.05$ 的临界值，或其中之一大于 $\alpha = 0.05$ 的临界值，这说明三种雨型的Z-I关系式间均存在显著差异，不同雨型的Z-I关系式不能相互代用。

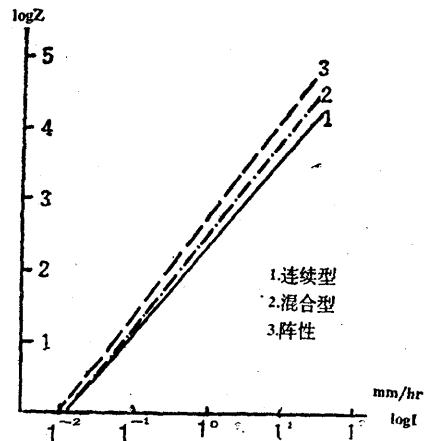


图1 不同雨型的Z-I关系曲线

表2 宁夏7站综合Z-I关系

降水类型	n	r	临界值 $\alpha=0.001$	A	b
连续型(1)	1992	0.9581	$<0.3211$	205	1.22
混合型(2)	1950	0.9766	$<0.3211$	301	1.29
阵性	672	0.9775	$<0.3211$	509	1.35

表3 不同雨型间Z-I关系

雨型	$ t_b $	$ t_{sig} $	临界值 $\alpha=0.05$	f	F	临界值 $\alpha=0.01$
连续型	2.25	1.69	1.96	3938	1.27	1.47
连续性	3.35	3.28	1.96	2660	1.24	1.47
混合型	1.29	1.75	1.96	2618	1.58	1.47

### 三、各地区不同雨型的Z-I关系

从表4及图2可以看到,不同地区间同一雨型的Z-I关系有较大不同,表示了地区性差异。A值的变动范围:连续性降水为188—245;混合型为211—301;阵性为274—509。b值变动范围:连续性降水为1.16—1.33;混合型为1.12—1.46;阵性为1.34—1.78。估计Z-I关系的变异与各地区不同的雨滴形成微物理过程有关。

Z-I关系的地区性差别主要出现在较大雨强与较小雨强段。在雨强0.1mm/hr—10mm/hr范围内,差别并不太大,尤其是连续性降水和混合型降水,各地间在这一段较为接近。

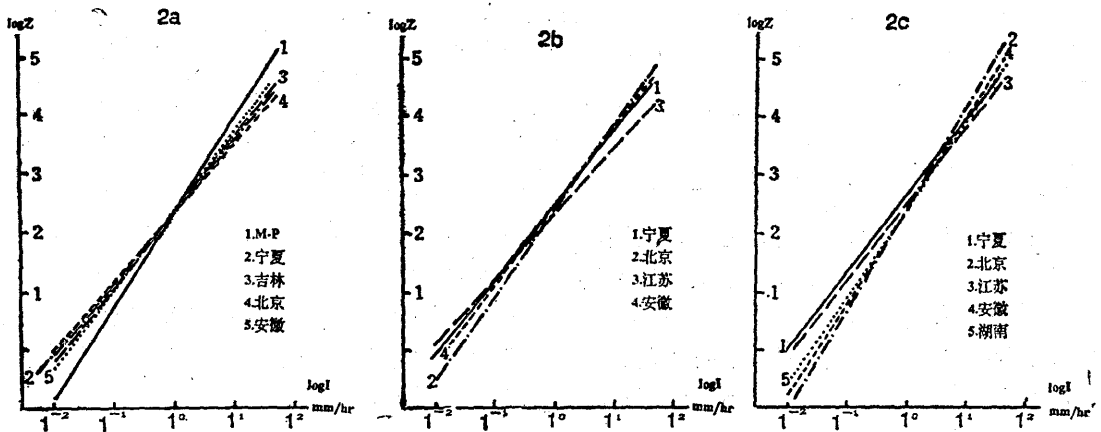


图2 各地区Z-I关系曲线

a: 连续性; b: 混合型 c: 阵性

另外,各地的连续性降水Z-I关系式与M-P谱的理论公式均有较大不同。共同特点是雨强小于1mm/hr时,相同的Z值各地对应的雨强均小于M-P谱;当雨强大于1mm/hr时,相同的Z值各地对应的雨强均大于M-P谱。

### 四、误差讨论

造成雷达定量测量降水误差的因素较多,我们仅讨论Z-I关系式本身的误差及

宁夏气象台713雷达实测例子的误差。

我们使用平均绝对误差 $\Delta \bar{I} = \sum (I' - I) / N$ 和平均相对误差 $\sum (|\Delta I| / I) / N$ 来估计Z-I关系式本身的误差情况。式中I'为使用每份雨滴谱的Z值通过Z-I关系式计算得到的雨强,I是由雨滴谱资料确定的雨强, $\Delta I$ 为两者之差。在计算 $\Delta I$ 时,正、负误差是抵消的,在计算相对误差时,用的是绝对值。选取某次混合型降水过程进行计算,结果列于表5(表中N代表95%的个例

表4 各地的Z-I关系式

雨型	地区	Z-I关系式	取样时间	N
连续性降水	M-P谱(1)	$Z=200 I^{1.6}$	83年6—9月	1902
	宁夏(2)	$Z=205 I^{1.22}$		
	吉林(3)	$Z=245 I^{1.3}$	79—80年5—7月	326
	北京(4)	$Z=188 I^{1.16}$	62—63年	85
	安徽(5)	$Z=203 I^{1.33}$	79年6—8月	
混合型降水	宁夏(1)	$Z=301 I^{1.29}$	83年6—9月	1950
	北京(2)	$Z=237 I^{1.46}$	62—63年	
	江苏(3)	$Z=211 I^{1.12}$	80年	142
	安徽(4)	$Z=262 I^{1.33}$	79年6—8月	
阵性降水	宁夏(1)	$Z=509 I^{1.35}$	83年6—9月	672
	北京(2)	$Z=316 I^{1.78}$	62—63年	
	江苏(3)	$Z=357 I^{1.34}$	79年	41
	安徽(4)	$Z=274 I^{1.64}$	79年6—8月	
	湖南(5)	$Z=291 I^{1.54}$	77年	

表5 Z-I关系式的误差分析

台站	N	使用本站Z-I关系		7站符合 $Z=301I^{1.92}$	
		平均绝对误差(mm)	平均相对误差(%)	平均绝对误差(mm)	平均相对误差(%)
石咀山	75	0.042	32.7	0.027	32.9
银川	65	0.17	23.5	0.032	22.8
吴忠	80	-0.10	26.3	0.26	36.5
中宁	69	0.61	33.3	0.24	28.5
盐池	40	0.072	27.5	0.28	39.3
同心	85	0.74	33.7	0.20	33.4
海原	36	-0.22	17.1	1.22	25.5
平均	450	0.23	28.8	0.25	31.4

数)。我们看到各观测点的Z-I关系式平均相对误差均在30%左右;平均绝对误差0.25 mm/hr。各站间使用综合关系的相对误差从22.8%—39.3%。

使用综合资料Z-I关系式的1983年6—9月的102次降水过程,按不同雨型对其降水强度使用宁夏气象台713雷达进行了实测,结果见表6。这里 $\Delta\bar{I} = \sum (I_1 - I_2) / N$ ,平均相对误差是 $\sum (|\Delta I| / I_2) / N$ 。I<sub>1</sub>是713雷达测到的Z值通过综合资料的Z-I关系式计算得到的雨强;I<sub>2</sub>是自记雨量计实测的雨强,ΔI为两者之差,N为过程数。从表6中看到,由综合效应造成的雷达定量测量

表6 雷达实测降水强度的误差

雨型	过程数	$\Delta\bar{I}(mm)$	平均相对误差(%)
连续性	34	0.44	240.5
混合型	46	-0.13	128.7
阵性	22	-0.58	132.4

降水强度的平均相对误差比较高。排除掉Z-I关系造成的误差后,还有90%到200%的误差。可能来自雷达参数的标定,测量的准确与否,以及雷达参数的不稳定所造成的随机误差。实际上我们试验中雷达实测降水强度的绝对误差并不大,对连续性降水为0.44mm/hr;混合型降水和阵性降水分别低估0.13及0.58mm/hr。

## 五、小结

1. 从使用宁夏平原7个站1983年6—9月66个降水日取到的4618份雨滴谱资料,得到了该地区不同雨型的Z-I关系式。分别为:连续性降水 $Z = 205 I^{1.22}$ ;混合型降水 $Z = 301 I^{1.29}$ ;阵性降水 $Z = 509 I^{1.35}$ 。各雨型间Z-I关系存在显著差异,相互间不能代用。

2. 同一雨型不同地区间的Z-I关系也有较大不同;但在0.1mm/hr到10mm/hr间的常见雨强段,各地区的Z-I关系较为接近。

3. 以一次混合型降水过程为例,对Z-I关系式的误差进行了讨论。结果表明Z-I关系式本身可造成降水强度有30%左右的误差。对不同雨型的实测例子进行误差分析,结果表明,由于雷达参数的标定等因素造成了90%—200%的测量误差。

4. 雷达用于定量测量降水,由于雷达参数的稳定性及其它原因,对单点来讲较地面雨量计误差大。但其优点是能进行大面积的探测。由于降水的不均匀性,即使很密的雨量计网测量出的区域雨量也存在相当大的

误差。而雷达定量测量区域降水误差远小于地面雨量站网。应用雷达测量大面积降水是较有前途的方法。

### 参考文献

(1) 中央气象局研究所, 雨量站网测量区域降水量的

精度, 《雷达气象文集》, 1977年6月。

(2) 中央气象局研究所, 关于几种选取 Z-I 关系式方法的误差, 《雷达气象文集》1977年6月。

(3) 王建初、汤达章, 不同雨型的 Z-I 关系及几种误差讨论, 《南京气象学院院刊》, 1981年第2期。

(4) 陈德林、谷淑芳, 地面雨滴谱观测方法, (吉)《科研报告》1983年第3期。

## A study on Z-I relationship in different types of rain over Ningxia plain

Wu Dui

(Institute of Tropical Marine Meteorology, Guangdong Province)

Liu Yongzheng

(Ningxia District Meteorological Observatory)

### Abstract

It is the most common method to use radar reflectivity factor in quantitatively measuring rainfall amount. Based on the calculations of data of 4618 ground raindrop spectra collected from 7 observation stations over Ningxia plain during June to September in 1983, Z-I relationships in different types of rain in this region have been obtained. In addition, the effect of quantitative measurement of precipitation with these relationships in this region is tested, and the mean relative error is about 30%.