

确定 $Z-I$ 关系的几种方法及其在 定量测雨中的精度*

戴铁丕 张培昌 薛根源**

提 要

本文介绍用雨滴谱、 $Z_r \sim I_r$ ($Z_{雷} \sim I_{计}$)、 A 值平均、平均 A 值几种 $Z \sim I$ 关系测定单点累计降水量的方法。以1981年三次降水过程资料为例求得各种 $Z \sim I$ 关系,并对1980年6月24日和7月9日两次资料进行检验,结果表明几种方法的精度都较好。只要提高测定 Z 、 I 值精度,在 $Z \sim I$ 关系中选取适当的 b 值,再分雨型统计 $Z \sim I$ 关系,则后两种方法的精度还可再提高。

一、引 言

江河流量和暴洪的水文预报,采用比较密集的量计网观测较为理想,但安置密集的量计网很不实际。若用天气雷达测量降水,就能提供雷达扫描范围内时空连续的雨量分布及其总雨量,能较准确及时地估算江河流量,发布洪水预报。这项工作在国外已进行了近30年的研究和试验,虽然进展较慢,但随着计算机技术的发展和高速数据处理设备的应用,业务上广泛采用雷达反射因子法测定降水量可望实现。在我国,这方面的理论研究和试验工作也正在开始,已有一些文献报导了关于 $Z \sim I$ 关系的分析和单点降水量测定的工作^{[1][2][3]}。本文是在上述工作基础上,对确定 $Z \sim I$ 关系的几种方法及单点降水量测定的精度进一步研究和探讨。

二、资料来源和处理

(一)雨滴谱资料

1981年6月30日17时,7月1日3时30分到6时40分,用染色滤纸法,在六合气象站观测场附近,取得雨滴谱资料103份,并按文献^[1]的方法进行处理。

(二)雷达观测回波强度资料

*楼文珠、傅德胜参加了本文部分工作

**陕西省安康地区气象局

1981年6月25日、27日和7月1日, 1980年6月24日和7月9日五次使用经过标定、架设在本院的711雷达, 天线仰角为 1.7° , 方位角为 44° , 探测20公里远处六合气象站上空的降水目标物, 并在雷达距离显示器上用标线法读出中频衰减分贝数 $N_{\text{中}}$, 在雷达站与六合上空降水目标物之间有时也读取 $N_{\text{中}}$ 。对上述资料经脉动、高频和衰减订正后^[4], 求得雷达反射因子 Z 值。

(三)降水自记资料

根据六合气象站降水自记记录, 读出与雷达回波和雨滴谱资料相应时段内每10分钟雨强值, 从而计算过程总雨量, 作为计算雨量的真值。

三、确定 $Z-I$ 关系的几种方法

确定 $Z \sim I$ 关系的方法可以归纳成两大类:

第一大类本质上是雨滴谱法。此法根据雨滴谱资料计算 Z 、 I 值, 再利用幂级数回归求得 $Z \sim I$ 关系式。考虑到 $Z \sim I$ 统计关系的不确定性, 它随滴谱谱型不同而异。因此, 统计 $Z \sim I$ 关系时要按雨型分类。当降水强度较大时, 由于降水中含有很大雨滴, 故用波长较短的3厘米雷达测雨时, 雷莱(Rayleigh)散射不满足, 需用米散射理论处理, 即要用 $Z_e \sim I$ 关系式代替 $Z \sim I$ 关系式。本文为了和其它 $Z \sim I$ 关系进行比较, 只简单介绍这一方法测雨的精度。

第二大类实际上是用雷达实测 Z 值和相应地面雨量计实测雨强 I 值进行比较得到 $Z \sim I$ 关系。采用这种方法, 是因为雨滴谱方法虽有精度高的优点, 但要按雨型统计得到各种 $Z \sim I$ 关系式, 必须要有大量实测的雨滴谱资料, 而雨滴谱的取样与计算工作均较麻烦, 影响工作速度。这类方法大致又可分为三种, 即 $Z_r \sim I_r$ 法, A 值平均法或平均 A 值法和最优化处理法*。它们的优点是计算简便, 缺点是物理意义不够清晰。要求准确测量 Z 、 I 值, 选取适当 b 值, 才能不影响测雨精度。应着重指出, 在求 Z_r 值时, 要已知雷达常数 C 值, 但求 C 值时有雷达参数法和标准雨量计法两种^[3]。因此, 前面提出的用几种 $Z \sim I$ 关系确定雨强 I 的方法, 又各分为两大部份(见表1)。

(一)用雨滴谱法确定 $Z \sim I$ 及 $Z_e \sim I$ 关系来估算降水量

选用上述雨滴谱资料103份, 首先用常规的幂级数回归法求得 $Z \sim I$ 、 $Z_e \sim I$ 关系式, 分别有 $Z = 251I^{1.29}$, $Z_e = 234I^{1.26}$ 。把根据雷达观测的中频衰减值, 经订正算得的 Z_r 值代入上述两个关系式得到雨强 I 值, 再进行时间累计得到当次过程总雨量值。我们又利用这两个关系式检验1981年6月25日、27日和1980年6月24日和7月9日四次降雨过程总雨量值。最后用 $M \sim P$ 分布得到 $Z = 200I^{1.6}$ 关系式, 估算上述五次降水过程的降水量, 与用上述方法得到的五次降水过程总降水量比较, 得到表1结果。由表1可见:

1. 平均而言, $M \sim P$ 方法误差最大, 平均相对误差绝对值可达26.0%。道理很简单, 因为 $M \sim P$ 方法得到的 $Z \sim I$ 关系是从各种雨型(即雨滴谱谱型不同)的大样本统计得来。因此, 对某一定雨型而言, 估算雨量误差就较大。对于强度小到中等的降水过程,

*戴铁丕, 张培昌, 王登炎, 用最优化法求 $Z-I$ 关系及其在测定单点降水量中的应用, 未发表

表 1 雨滴谱法建立Z~I关系估算当次及检验别次过程雨量及其精度

序号	时 间	ΣI_e 过程 降水量 (毫米)	C (雷达参数法)			C (标准雨量计法)			备 注
			$Z_e \sim I$	$Z \sim I$	$M \sim P$	$Z_e \sim I$	$Z \sim I$	$M \sim P$	
1	1980年	1.3	1.6	1.5	1.5	1.7	1.6	1.7	(1)
	6月24日	小雨	0.3	0.2	0.2	0.4	0.3	0.4	(2)
	07 ⁵⁵ —09 ³⁰	雨强小	24.8	15.4	15.4	30.8	24.8	30.8	(3)
2	1980年	4.7	4.9	4.4	3.5	5.2	4.7	3.7	(1)
	7月9日	雨强	0.2	-0.3	-1.2	0.5	0.0	-1.0	(2)
	10 ²⁰ —11 ⁰⁵	中等	4.2	-6.4	-25.5	10.6	0.0	-21.3	(3)
3	1981年	13.5	11.9	10.7	8.0	12.4	11.1	10.1	(1)
	6月25日		-1.6	-2.8	-5.5	-1.1	-2.4	-3.4	(2)
	16 ⁴⁰ —18 ⁰⁰	雨强大	-12.0	-21.0	-40.7	-8.1	-17.7	-25.2	(3)
4	1981年	17.2	21.5	19.5	15.8	22.4	20.2	16.3	(1)
	6月27日		4.3	2.3	-1.4	5.2	3.0	-0.9	(2)
	09 ³⁰ —21 ³⁰	雨强小	25.0	13.4	-8.1	30.2	17.4	-5.2	(3)
5	1981年	30.3	31.8	28.3	19.0	33.2	29.5	20.4	(1)
	6月30日 7月1日	大雨	1.5	-2.0	-11.3	2.9	-0.8	-9.9	(2)
	17 ²⁰ —17 ³⁰ 03 ³⁰ —08 ⁰⁰	雨强 时大时小	4.9	-6.6	-37.3	9.6	-2.6	-32.7	(3)
平均绝对误差绝对值			1.6	1.6	3.9	2.0	1.3	3.1	
平均相对误差绝对值			14.0	13.4	26.0	18.5	12.7	23.0	

表中

(1)为雷达估算的降水量(毫米); (2)为绝对误差; (3)为相对误差。

用M~P法估算雨量精度虽不及Z~I方法,但效果尚可。如1980年6月24日,7月9日和1981年6月27日三次降水过程的相对误差分别为15.4%、-25.5%和-8.1%。对强度较大的降水过程,M~P法误差就很大,最大相对误差可达-40.7%和-37.3%。也就是说,雷达台站进行降水量测定时,最好要按雨型统计Z~I关系。

2.从Z~I和 $Z_e \sim I$ 两种方法比较可见,当雨强小时,Z~I方法比 $Z_e \sim I$ 方法优越。例如1981年6月27日的降水过程,用 $Z_e \sim I$ 方法相对误差为25.0%,用Z~I方法相对误差仅13.4%(用雷达参数法确定C值时)。反之,雨强大时, $Z_e \sim I$ 方法比Z~I方法好。例如1981年6月25日一次降水过程,用 $Z_e \sim I$ 方法相对误差为-12%,用Z~I方法相对误差增加到-21.0%。这是因为雨强大时,雨滴中所含的大水滴多,对3厘米雷达波长,雷莱散射不成立。所以用 $Z_e \sim I$ 方法就较好。

3.用雷达参数法和用标准雨量计法确定C值估算降雨量时,两者精度相差不大。因此,雷达台站用雨量计法确定雷达常数C时,可简化计算工作量,便于应用。

(二)用雷达实测Z值和雨量计实测I值确定Z~I关系来估算降水量

1. $Z_r \sim I_g$ 法

此法就是直接用雷达实测Z值和相应地面雨量计实测I值建立Z~I关系。取1981年6月25日、27日和7月1日三次混合性降水过程的18个样本的雷达回波强度和降水资料(其中C值分别用雷达参数和标准雨量计两种方法求得),用幂级数回归法建立 $Z_r = 343.7 I_g^{1.20}$ 和 $Z_r = 354.3 I_g^{1.25}$ 两个统计关系式。把1981年6月25日、27日和7月1日雷达观测中频衰减分贝值 $N_{中}$,经订正计算得到的 Z_r 值代入上述两个关系式求得雨强I值,再将时间累计后,就得到这三次过程各自的总降水量。用这两个关系式对1980年6月24日和7月9日两次降水过程进行检验,结果如下:

(1)尽管用1981年三次降水过程 $Z_r \sim I_g$ 关系计算这三次降水量误差不大,但这是没有意义的。因为在进行 $Z_r \sim I_g$ 关系统计时,已把雨强作为已知量了。

(2)用1981年三次降水过程 $Z_r \sim I_g$ 关系式检验1980年两次降水过程,结果误差较大,其精度和用M~P方法相差不多,平均相对误差绝对值可达33.0%。当用标准雨量计法确定C值时,误差更大。此方法精度不高的原因是多方面的,首先,用雷达测量Z值和雨量计测量I值都不及用雨滴谱方法求Z、I值精度高;其次,在求得 $Z_r \sim I_g$ 统计关系式时,样本数不多,也没有在相同雨型基础上再按雨强大小分类;还有雨量计和雷达取样体积也不同,这就影响了本方法的精度。可以预计,当上述缺陷弥补之后,此法仍有实用价值,特别可省去计算雨滴谱的时间。

2. A值平均法*和平均A值法

一般来说Z~I关系中的参数A的变化比b值大得多,而此法就是先根据当地各雨型情况假定b值为一个常量,然后,把某站用雨量计测得的过程降水量作为已知值,利用公式

$$A = \frac{\sum Z}{\sum I_c^b}$$

*顾松与摘自赫尔辛基大学气象系的研究报告(王鹏飞校),雷达测定暴雨的精确度,南京气象学院,气象教育科技,1979,2

就可求得 A 值。式中 $\sum Z_{ir}$ 是用雷达观测得到的降水过程的总反射因子值, $\sum I_{ig}^b$ 是降水过程中, 按一定时间间隔, 从雨量计自记记录中得到的各次 I_{ig} 值进行 b 次方后求和。由于这种方法考虑在一次降水过程中对变化的 A 值(因为雨滴谱型要变化)作平滑, 因此称为 A 值平均法。类似于 A 值平均法, 也可以利用公式

$$A = \frac{1}{n} \sum A_i = \frac{1}{n} \sum \frac{Z_{ir}}{I_{ig}^b}$$

求得 A 值。这种方法和 A 值平均法不同, A 值平均法是利用一次降水过程总的 Z 值和在一定 b 值时, 对各时间间隔 I 值 b 次方后求和, 再相除求得 A 值。后者是利用一次降水过程中, 每次按一定时间间隔得到的 Z_{ir} , I_{ig} 值, 用给定的 b 值, 一一求得 A_i 值, 最后对所求的 n 个 A_i 值求和并平均后得到 A 值。为了和上述 A 值平均法相区别, 我们称此法为平均 A 值法。

用 1981 年三次混合性降水过程的 Z_r 、 I_g 值, 在对 b 值分别给定为 1.6、1.25 条件下, 求得 A 值建立统计 $Z \sim I$ 关系(见表 2)后, 就用此关系式分别计算这三次降水过程的降水量, 同时也用此关系式检验 1980 年两次降水过程的降水量, 结果如表 3 所示。

表 2 A 值平均法、平均 A 值法建立的 $Z \sim I$ 关系 A, b 系数表

分 类	A 值 平 均 法				平 均 A 值 法				
	雷 达 参 数 法		标 准 雨 量 计 法		雷 达 参 数 法		标 准 雨 量 计 法		
	A	b	A	b	A	b	A	b	
时	1981年6月25日、6月27日和7月1日三次过程	134.29	1.6	142.16	1.6	275.1	1.6	288.33	1.6
		293.49	1.25	310.69	1.25	327.4	1.25	343.26	1.25
间	1981年7月1日一次过程	121.05	1.6	129.22	1.6	368.7	1.6	386.58	1.6
		286.58	1.25	305.94	1.25	391.1	1.25	409.94	1.25

由表 3 可见:

(1) 这类方法的关键是选取适当的 b 值, 若 b 值选得不当, 例如选 1.6, 误差就很大。因为这种雨型中 $Z \sim I$ 关系中 b 值本来就没有这么大, 与实际雨滴谱分布差得太远。反之, 如 b 值选得适当, 本文举例中取 1.25, 误差就较小。例如在 A 值平均法和平均 A 值法中, b 值取 1.25, C 值用雷达参数法确定时, 两者平均相对误差绝对值就减小为 31.2% 和 19.2%。

(2) 要使这种方法测雨精度提高, 需要多做试验工作, 分雨型, 再分雨强, 分类统计找出最佳 b 值。也可以与用雨滴谱法得到的 b 值比较后, 再选取最佳 b 值。在我们的

表 3 A 值平均法、平均 A 值法建立的 Z~I 关系估算当次及检验别次降雨量及其精度

序号	时间	ΣI_k 过程 降水量 (毫米)	C (雷达参数法)			C (标准雨量计法)					
			A 值平均法 $b = 1.6 b = 1.25$	平均 A 值法 $b = 1.6 b = 1.25$	A 值法 $b = 1.6 b = 1.25$	A 值平均法	平均 A 值法	平均 A 值法			
1	1980年6月24日	1.3	4.8	2.4	2.7	1.8	4.9	2.4	3.6	2.0	(1)
	小 雨		3.5	1.1	1.4	0.5	3.6	1.1	2.3	0.7	(2)
2	07时55分—09时30分	雨强小	269.2	85.3	107.7	38.8	276.9	84.6	176.9	53.8	(3)
	1980年7月9日	4.7	11.3	6.6	5.9	5.3	11.4	6.8	7.4	5.4	(1)
3	雨 强		6.6	1.9	1.2	0.6	6.7	2.1	2.7	0.7	(2)
	中 等		140.4	40.3	25.5	12.8	142.5	44.7	57.4	14.8	(3)
4	1981年6月25日	13.5	15.5	12.3	11.3	9.8	15.3	12.2	11.3	9.8	(1)
	16时40分—18时00分	雨强大	2.0	1.2	2.2	3.7	1.8	1.3	2.2	3.7	(2)
5	1981年6月27日	17.2	27.4	20.9	19.2	16.7	26.7	20.3	19.2	16.7	(1)
	09时30分—21时30分	雨强小	10.2	3.7	2.0	0.5	9.5	3.1	2.0	0.5	(2)
6	1981年6月30日—7月1日	30.3	35.0	31.4	22.6	25.2	34.8	31.0	22.6	25.0	(1)
	17时20分—17时30分 03时30分—08时00分	大雨 雨强时大时小	4.7	1.1	7.7	5.1	4.5	0.7	7.7	5.3	(2)
7	平均绝对误差		5.4	1.8	2.9	2.1	5.2	1.6	3.4	2.2	(3)
	绝对误差		5.1*	1.5*	1.3*	0.6*	5.2*	1.6*	2.5*	0.7*	
8	平均相对误差		100.0	31.2	37.0	19.2	101.0	31.6	57.5	23.3	
	绝对误差		207.0*	62.8*	65.8*	25.6*	212.0*	63.9*	117.2*	34.2*	

*1980年两次检验平均。(1)为雷达估算降水量(毫米);(2)为绝对误差;(3)为相对误差

工作中, 由于对雨强相差较大的三次降水过程, 求出平均A值得到 $Z \sim I$ 关系后, 又用此关系式检验1980年两次雨强小、降水量不大的降水过程, 因此误差较大。例如对1980年6月24日一次小雨降水过程, 当 b 值选取1.25时, A值平均法相对误差达85.3%, 就是对1981年6月27日一次雨强小的降水过程, 相对误差也达21.5%。显然这种误差是可以用分雨型、再分雨强选取适当 b 值来减小的。

(3) A值平均法和平均A值法两者精度相差不大, 但以后者稍好。

四、小 结

(一)用711测雨雷达, 对近距离单站进行一段时间内的累积降水量测定, 效果较好, 误差较小, 且累计时间愈长, 精度愈高。即使在雷达站和测量点之间有降水的情况下, 只要进行适当衰减订正, 测雨精度也能保证。

(二)考虑目前测量 Z, I 值精度条件, 在各种 $Z \sim I$ 方法中, 还是采用雨滴谱分雨型统计 $Z \sim I$ 关系, 效果最好(见图1)。用 $Z_e \sim I$ 还是用 $Z \sim I$ 关系, 则要视降水大小而定。用 $M \sim P$ 方法效果较差。对于 $Z_r \sim I_g$ 、A值平均法和平均A值法只要测得的 Z, I 值准确, 对不同雨型进行分型统计, 选取适当 b 值, 就可使测量精度提高。因为第二类方法不需要取雨滴谱就可得到 $Z \sim I$ 关系, 从而省去了取样和计算雨滴谱等大量繁琐工作, 便于在一般测雨雷达站使用。

(三)用两种方法确定雷达常数 C , 估算单点一段时间内或全过程降水量的精度相差不多, 这就再次证明, 用雨量计法确定雷达常数 C , 进行降水定量测定是可取的。

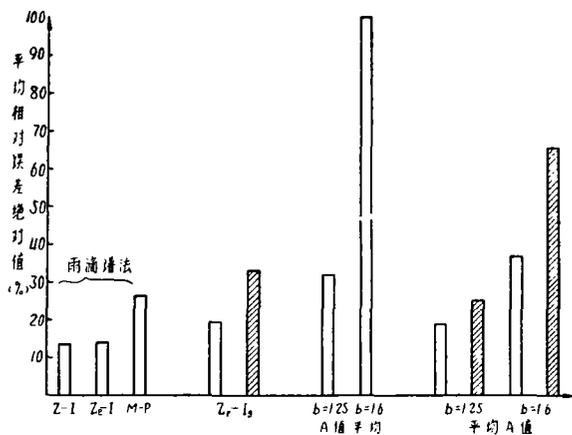


图1 各种 $Z-I$ 方法测雨精度比较(雷达常数 C 用雷达参数法确定)。空白区为五次平均; 斜线区为二次平均

参 考 文 献

- [1] 汤达章等, $Z-I$ 关系初步分析, 南京气象学院学报, 1978, 1.
- [2] 中央气象局研究所, 雷达气象文集, 关于几种选取 $Z-I$ 关系式方法的误差, 农业出版社, 1977.
- [3] 张培昌, 戴铁丕, 楼文珠, 711测雨雷达进行单点降水测量的试验, 南京气象学院学报, 1981, 2.
- [4] 张培昌, 711雷达测定回波数据订正的方法, 南京气象学院学报, 1982, 1.

METHODS FOR DETERMINING Z—I RELATION AND THE ACCURACY IN THE QUANTITATIVE RAINFALL MEASUREMENT

Dei Tipi, Zhang Peichang, Xie Gengyuan*

ABSTRACT

Several methods are presented for the determination of accumulative amount of precipitation at a single location by means of Z—I relations, such as raindrop size spectra, $Z_r—I_k$, mean of value A and mean value of A. Data from the three processes of precipitation in 1981 were used to determine Z—I relations and verify the data obtained on June 24 and July 9, 1980. It is found that the accuracy of these methods are quite satisfactory. If only the accuracy in measuring I and Z can be improved and the Z—I relations classified according to the type of rainfall after the value is properly chosen for b in the relations, greater accuracy of the last two methods may be achieved.

*The Weather Bureau of Ankang Prefecture, Shaanxi Province