

## 云的雷达探测

葛润生

人们肉眼所看到的云形，是可见光经过云滴散射后被人眼感觉到的形态。而雷达则是通过它发射的电磁波，遇到云滴散射后，一部分又返回雷达接收机，从而测出云体的位置。再经水平和垂直扫描，则可得到云体的空间分布和强度结构。若对云体进行连续探测，还可以进一步测得云体的变化过程。雷达探测比目测云体可以获得范围更大和更确切的情报，以便对未来天气作出较准确的判断。下面就雷达对云的探测能力、雷达探测得到的某些降水云体的参数，以及雷达对云、降水物理的研究等几方面，作一简单的介绍。

### 一、雷达对云的探测能力

尽管雷达可以获取较大范围内降水云体的确切情报，但雷达探测并不能全部替代目测对云的观测。现用的天气雷达主要适用于对降水云体的探测。这是由于云滴对电磁波的散射能力与云滴直径的6次方成正比，当云滴很小时，其散射回的电磁波能量非常小，不能为雷达接收机所察觉，因此雷达只能探测到云滴较大或云滴数密度较大的云体。通常，只有在云体中出现了大于100微米的大云滴后，雷达才能对它进行较好的观测，而这时的云体大都已出现地面降水或即将出现降水。对于云滴较小，数密度不大的非降水云体，要选择波长较短的雷达才能进行探测，如0.86厘米或1.25厘米波长的雷达。但这些雷达由于波长短，降水对其电磁波衰减严重，不宜用来作为通常的业务天气雷达。

有人曾对雷达探测和地面上测云体进行过实际比较，对于出现地面降水（雨或雪）的云体，雷达的发现概率很高。而对非降水云，雷达的发现概率则很低，甚至探测不到。表1是实际比较得出的3厘米天气雷达对各类云体的探测发现概率，这部3厘米雷达比711天气雷达的探测能力略强。

表1 3厘米天气雷达对各类云的发现概率

云类 距离	降 水 云				非 降 水 云		
	Cb	Ns	As (雪)	Sc, St (雪)	St, Sc	Ac, As	Cs, Cc
25公里	100	100	100	80	4	27	17
50公里	100	100	70	70	0	0.5	4

天气雷达在对降水云体和即将出现降水的云体进行回波分类中，主要根据云体的降水性质分成三类：层状云降水云体的回波、对流性降水云体的回波和混合型降水云体的回波。图1是这三类降水云体的典型

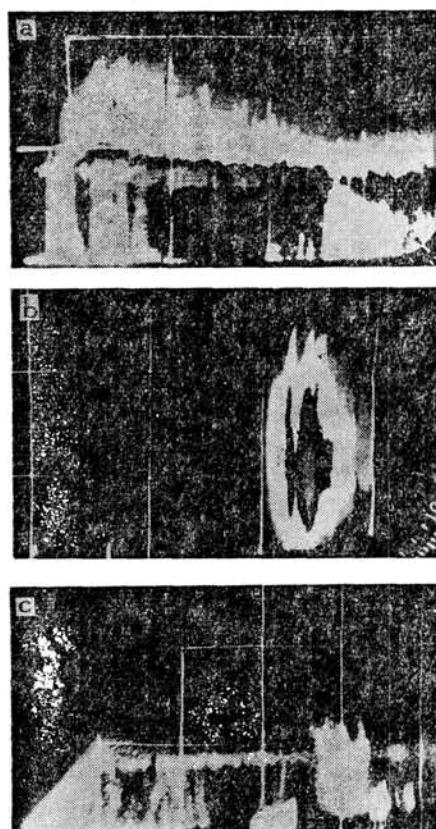


图1 三类降水云体的典型回波照片  
(a. 层状云降水云体, b. 对流性降水云体, c. 混合型降水云体, a, b 是强度分层显示照片, c 是衰减10分贝后的回波照片)

回波照片。层状云降水云体发展得并不高，一般在6、7公里左右，视地区和季节不同而有所不同，但云体

延展得很宽，在回波中有一条明显的强回波带，出现在温度0°C所在的高度上，常称为零度层亮带；对流性降水云体的回波常呈柱状结构，回波顶高常达10公里以上，回波的水平尺度和垂直尺度相近或前者略大一些，强中心常出现在中空；混合型降水实际上是前两类降水的混合型式，即在层状云降水的宽阔云体中还耸立着一些对流性云体。

我们知道，要目测云顶的高度是很困难的，多数云顶往往观测不到，即使能目测估计，其误差也非常大。而雷达则可以较准确地测量出降水云体的回波顶高，对于接近出现降水的云体，雷达也可测出其云底高度和得出云体的厚度。那么，用雷达测到的回波顶高与实际云顶高度是否一致呢？也就是说回波顶高能否代表云体的发展高度呢？对于出现降水的云体来讲，两者的差异是很小的。60年代曾有人用双经纬仪基线方法测量所得云顶高度与雷达测得的回波顶高进行比较，两者差异较小，只有几百米。因此，对于已出现降水的对流云体，可以用回波顶高来表示云顶高。

雷达还可以通过连续探测，来追踪降水单体的移动、演变。这些资料对研究降水云体的生成、发展、减弱、消亡的生命史是很有价值的。此外，雷达还可根据降水云体的回波强度和云中含水量的关系，来估计云体中的含水量分布和云体的含水总量。

## 二、天气雷达测得的某些降水云体参数

多年来雷达对降水云体空间分布和内部结构的探测，获得了一些重要的云体参数，丰富了我们对降水云体尤其是对流性降水云体的认识。

对出现在北京100公里范围内的428个对流降水单体回波进行统计的结果见表2。由表2可见，对流降水单体的水平尺度并不大，平均直径为9公里，单体回波直径超过20公里的，只占总数的6%左右。对

表2 对流降水回波单体尺度频率函数分布  
(1979年北京)

单体直径 (公里)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
累计百分数	77	59	47	36	27	21	15	10	6	5	4	2	1.5	0.5

流降水单体的水平尺度可以用指数关系来描述其分布

$$N = N_0 e^{-\alpha D}$$

式中N是个数，D是单体的水平直径，N<sub>0</sub>是和统计数目有关的一个数，α则描述了分布情况。在北京α为0.16/公里，在美国北达科他州得出的α为0.35/公里，北京单体的尺度比较大一些。

对流云体发展高度表征了其发展旺盛的程度，雹云的回波顶高常发展得很高。对北京雹云的回波顶高进行的观测统计见表3。北京雹云回波顶高平均为13公里，在这期间测出的雹云最大回波顶高为21公里，雹云最小顶高仅为5.7公里。对于雷暴云、阵雨云等，

表3 1967—1971年5—9月北京雹云回波顶高月分布

月份	5	6	7	8	9	合计
观测次数	5	14	11	6	3	39
平均顶高 (公里)	10.6	12.3	14.5	14.3	12.0	13.0

通过雷达探测也可得到其回波顶的高度。

在北京应用713天气雷达曾对1980年6月14日的一次强对流天气过程进行了连续的探测，追踪了28个回波强度大于40 dBZ的强对流单体，这些单体的平均持续时间为67分钟，平均移动距离为61公里，单体的平均移动速度达到55公里/小时。

有人曾利用雷达配合其他探测资料，对出现在美国中部强风暴中的降水单体的某些参数进行过统计。表4的统计结果使我们对降水单体有了一些定量的概念。

表4 美国中部对流风暴中以累计频数分布表示的降水单体某些参数

出现 频率	最大 降水量 (毫米)	平均 降水量 (毫米)	平均 降水率 (毫米/ 小时)	面积 (公里 <sup>2</sup> )	持续 时间 (分)	路径 长度 (公里)	移 速 (公里/ 小时)
0.1	49	22	70	752	210	77	63
0.5	44	17	58	622	148	55	52
1.0	37	15	39	480	122	43	45
2.0	24	12	31	306	104	37	40
5.0	16	9	20	213	78	29	32
10.0	10	6	12	153	61	21	26

图2是根据图1b的雷达探测回波照片，估算出的云体中含水量的分布。这是一块发展比较旺盛的Cb，云体中最大含水量出现在中空，其最大估算值达

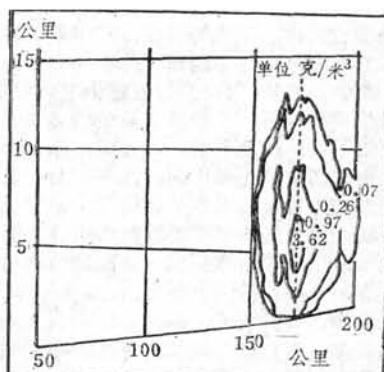


图2 雷达估算的某块Cb中的含水量分布

到3.6克/米<sup>3</sup>。在没有出现更可靠的测量之前，运用雷达估算云体中的含水量是很有价值的。

### 三、雷达对云、降水物理的一些研究

雷达对降水云体的大量探测资料，使得我们对云体中降水成因的研究取得了有价值的成果。雷达已是云、降水物理研究中不可缺少的探测工具。

前面已经提到，雷达经常在层状降水云体中在温度为0°C的高度上观测到一条回波较强的亮带——零度层亮带（如图1a所示）。这是层状云降水回波中一个显著的特征。零度层亮带的出现一方面反映出层状云云体中的垂直气流比较微弱，不存在大于1米/秒以上的垂直运动；另一方面又反映出层状云降水中，在0°C温度的高度以上降水质点主要是冰晶和雪花，在其下降过程中，到达温度为0°C的高度上时就转化为雨滴，零度层亮带就是转化过程中反射因子变化而形成的。层状云降水中观测到零度层亮带，就间接地证实了层状云中降水形成的机制主要是贝吉龙-芬德逊过程，即在温度低于0°C，冰晶、水滴共存时，冰晶迅速增长成雪晶，下落融化而出现降水。

在对层状云降水的观测中，有时在零度层亮带之上还可观测到另一条亮带，它不象零度层亮带那样平整，而是略带倾斜，这条亮带称为高带。在降雪云体的探测中，高带更为明显，高带的起端常出现在温度为-20°C的高度上，它反映出在降雪的云体（或层状云云体）中存在着一些尺度为1公里左右的云胞，它是颗粒较大的冰晶、雪花的产生源，这些冰晶、雪花在下降的过程中被水平风拖曳而形成了高带。高带的观测事实使我们对层状云降水和降雪的过程有了进一步的认识。

在对流云的研究中，雷达更是不可缺少的探测工具。50年代初期，巴坦通过雷达对对流云体中初始回波的研究，证明了对流云的降水形成过程中碰并作用是主要的，不同于层状云降水。对流云中初始回波常出现在-10°C的高度附近。出现后，回波迅速的向上和向下扩展，几分钟或十几分钟的时间，地面就出现了降水。同时，初始回波出现的高度和对流云的云底高度正相关。这些都表明对流云的降水形成过程中碰并作用是主要的。

强风暴的结构、雹块的形成是近年来云雾物理中研究较多的课题，雷达探测在这些研究中发挥了巨大的作用。对于强风暴，目前流行着超级单体雹暴模型、多单体雹暴模型等等。这些风暴模型的建立无一例外的大量应用了雷达探测资料。就超级单体雹暴模型来讲，它是由布朗宁首先提出的，他在探测中发现出现冰雹、龙卷的强风暴在雷达平面位置显示器上常呈现为钩状结构，而当对钩状附近进行雷达垂直剖面探测时，发现回波中呈现出穹窿或无回波区的结构，进而推论出这类超级单体的气流结构：在超级单体风暴中，有一股有秩序的斜升气流，由风暴的右前方呈气旋性旋转进入云体，给云体提供了大量的暖湿空气，使风暴得以维持；同时，由于斜升气流的存在，使得在高空形成的冰晶和过冷水滴，多次重复地由斜升气流携

带，经过碰并增长等作用而形成大的雹块降落下来。超级单体的模型不仅符合雷达探测事实，后来也被其他一些探测手段所得结果所证实。多单体风暴的模型与超级单体风暴的模型略有不同，但同样也是建立在雷达对风暴探测研究的基础上的。

天气雷达对云体的探测在云、降水物理研究中业已作出了很大的贡献，随着天气多卜勒雷达进一步的使用，必将获得更大的成绩。因为它不仅能提供目前天气雷达所能提供的信息，还可以提供云内的流场结构，更有助于进一步认识云、降水的形成及其演变。总之，雷达探测技术的应用，从另一个侧面大大丰富了我们对自然界中云和降水的认识。

## 全国杂交稻气象科研学术 讨论会在漳州召开

全国杂交稻气象科研协作组为了研究杂交稻秋季冷害指标及其变化规律（课题Ⅰ）和杂交稻制种花期相遇的积温稳定性问题（课题Ⅱ）而于1979—1980年组织的联合地理分期播种试验已经结束。于今年4月5—9日在漳州召开的学术讨论会上对以上两项试验的结果进行了总结。

这两个课题在1979年的试验结果曾分别刊登于本刊1980年第11期和1981年第1期。1980年的试验证实了1979年的结论，并总结出一些可以使用的结果。

课题Ⅰ：根据两年的联合试验，证明了秋季低温冷害指标既有相对的稳定性，但又是随地区和年份而有差异的。根据两年的试验结果，协作组提出了冷害指标的区划：在长江以北地区、四川盆地和长江中下游平原，可以用22°C作为冷害指标；在南岭以南地区可以用21°C作为指标；在云贵高原和其他高海拔山区可以用20°C作为指标；各地可以在20—22°C范围内因地制宜地具体考虑。

课题Ⅱ：两年的试验表明，杂交稻发育期之间的有效积温不是一个常数。作物发育速度的线性温度模式和非线性模式都是存在的，而前者是后者在一定温度范围内的特殊表现形式。出现这种现象的原因，就杂交稻而言，主要是高温对发育速度的抑制作用。

全国杂交稻气象科研协作组于1980年还开始进行了研究杂交稻农业气候生态型（课题Ⅲ）的联合试验。这次会议上，对这一课题第一年的试验结果也进行了初步总结和讨论。会议决定，今年继续进行这一课题的联合试验。

（章洪）