

# 711测雨雷达探测及摄取回波资料的一些考虑

南京气象学院 张培昌

目前，国产711测雨雷达已普遍使用。如何在探测中积累有价值的探测资料，是普遍关心的问题。由于这个问题涉及的面较广，在《测雨雷达观测手册》中不可能做详尽的具体规定，因此主要还是应根据各测雨雷达站的任务、服务侧重点以及准备研究、总结的问题而自行考虑。本文从测雨雷达观测记录要求，711测雨雷达的探测特性，雷达气象的基本知识，以及摄取各种尺度天气系统回波时应注意的一些问题，提出一些粗浅认识，供大家参考。

《测雨雷达观测手册》中要求探测的内容有：回波性质、回波强度、回波顶高、回波底高、回波移向移速、回波演变情况、强中心位置等。这些项目可以通过雷达上PPI（平面位置显示器）和RHI（距离高度显示器）的显示方式来确定。但是，究竟应该拍摄些什么资料，拍摄多少张，以及拍摄的时间间隔应多长，仰角、衰减、距离档等怎样选择？这些都是会在实际观测中遇到的非常具体的问题。下面分别从PPI和RHI上进行探测及摄取回波资料时需要考虑及注意的一些问题进行初步讨论。

## 一、PPI 上的探测

用PPI进行回波探测时可以选择不同仰角、不同衰减和应用不同的距离档。PPI能有效地探测测站周围的回波分布、回波演变和回波的移向移速等情况。那么，如何结合观测记录要求以及分析研究、技术总结的需要来考虑在PPI上的回波观测和资料摄取呢？

### 1. 仰角的选择

可以从以下几方面的要求来考虑：

(1) 近地面降水区的测定 测定近地面降水区域，是测雨雷达探测的主要内容之一。因此，应尽量采用低仰角（如 $0^\circ$ 、 $0.5^\circ$ 、 $1.0^\circ$ ）进行降水回波的观测。对于不是高架的雷达，仰角 $0^\circ$ 时容易受地形回波干扰，若各方向上地形屏蔽情况不同，可以在各方向选择不同的最低仰角值收集回波资料。采用低仰角的第二个原因是使探测远处降水回波时尽量保证充塞系数 $\psi$ 等于或近于1，这样回波强度能较好地反映实际降水强度。采用低仰角的第三个原因是，在作定量测定雨强时，使雷达波束在 $0^\circ\text{C}$ 层以下能探测的距离尽可能大些。这是因为确定雨强的Z—I关系（雷达反射因子

和降水强度之间的关系）在 $0^\circ\text{C}$ 层以上会发生变化，一般使用的Z—I关系只适用于 $0^\circ\text{C}$ 层以下，另外 $0^\circ\text{C}$ 层的强反射也会影响到降水强度的准确测量。

(2) 不同距离同高度回波的比较 由于地面曲率的影响，即使在仰角 $0^\circ$ 时探测到远处降水回波的高度往往已在几公里以上。例如，在标准大气折射情况下，距离300公里，即使仰角 $0^\circ$ ，波束中心射线已达5公里以上。在近处，仰角 $0^\circ$ 时所探测到的高度则变低。实际探测表明，较强的对流降水回波其水平尺度在3公里以下一般是变化不大的，而在3公里以上回波水平尺度常随高度增加而减小；另外，强对流单体中水分累积区往往只存在于云中较小的一个高度范围内。因此，当这些回波单体由远处移近测站时，若仰角保持 $0^\circ$ 不变，由于雷达波束探测高度变低了，在PPI上就往往容易将探测到同样性质回波体不同部位出现的变化，误分析为回波本身强度的变化。所以，要对不同距离上的回波单体的强度进行比较，雷达波束应该进行同高度探测，即探测近距离回波的仰角应比远距离大些\*。在不同距离上究竟应该取多大仰角，才能保持所探测高度相同，这可以参考《测雨雷达观测手册》中图7.1“回波高度检算图”来确定。也可以事前做成表格，将规定高度（可以取接近各标准等压面的高度）上不同距离处应取的仰角值都列出来。这样，工作时更方便些。

(3) 了解一片回波的空间结构 为了了解一大片较强的降水回波区在各高度上的结构，以及在PPI上寻找这片回波区的强中心部位和个数，可以对同一距离上的回波用不同仰角进行探测，并以衰减相配合。另外，如果要对一次移动性降水回波过程（如锋面、飑线等）进行分析总结，那么在不同距离上选取的仰角值应使其探测到的回波高度尽量接近几个主要标准等压面（850、700、500毫巴等）的高度，以便在分析总结时可对照各高度上的天气形势和其它气象要素情况。在作多部雷达综合回波图分析时更应如此考虑。不同距离上探测接近各标准等压面的高度所对应的标

这样考虑后，还不能消除波束宽度造成的不同距离上由于有效照射体积不同而被平均的回波功率的差异，特别在垂直方向上，这种差异有时可以较大。

准大气折射时的仰角值，也可以事前做成表格。

(4) 特殊形状回波结构的寻找 指状、钩状、涡旋状等一些特殊结构的回波，往往是判别冰雹、龙卷、强降水区等的重要标志。仔细寻找是否存在这种特殊结构的回波是有意义的。特别在近距离上出现强对流降水回波时，由于波束有效照射体积变小，雷达的切向分辨率变高（50公里处的分辨率可比300公里处高5—6倍），又可以改换成近距离档进行探测，使一些特殊结构的回波比较容易发现。在寻找特殊结构回波时，有时要通过不断改变仰角（近距离上有时要抬到10°以上）并以衰减相配合，才能清楚地观测到。在台风探测中，对台风眼区有时也要通过抬高仰角才能发现。

当然，在改变仰角时，由于旋转关节等影响，会使发射功率变化，从而影响回波，这也是需要注意的。

## 2. 中频衰减器的使用

用雷达探测降水回波时，适当地使用衰减器是拍摄和积累有价值的回波资料的一个重要方面。特别是711雷达使用了限幅器，它对某一强度以上的信号不会有更强的亮度，所以只有通过使用衰减器才能把一些强回波中心显示出来。可以从下面几方面的需要来考虑对衰减器的使用。

(1) 统计区分各种对流回波的指标，确定回波最大强度的衰减db(分贝)数\*\* 对流回波最大强度的衰减db数，和回波块水平尺度、垂直厚度、回波顶温度等，是区分阵雨、雷雨、冰雹等回波的重要指标。因此，在实际探测中注意较长期地积累各种对流回波最大衰减db数的资料，并按月、季进行统计，找出当地各月、季的较可靠的判别指标；从而有助于在实际工作中正确识别各种对流回波。

(2) 分析各级雨强的区域分布 在用低仰角探测到较广范围的雨区时，要在没有多层显示的测雨雷达（如711雷达）上粗略地分析各级雨强的区域分布，就要对各种降水回波采取逐级衰减的办法摄取资料。通过资料的积累，可以找出逐级衰减掉的回波区（即等回波功率区）与该区域内实测雨量之间的统计关系。有了这种关系，就可以根据回波功率（以衰减db数表示）大致估计出不同距离上的雨强情况。当然，以上统计最好按雨型、按本站有无大、中、小雨等情况分别进行，这样精确度会更高。

对于层状云连续性降水，由于雨强随时间及距离的变化均较小，回波较稳定，更便于做定量测定降水的研究，在逐级衰减时db数间隔可取小一些，如0、3、5、10、15db等。对于对流云降水，则雨强随时间、距离的变化均较大，逐级衰减时db数的间隔可取大一些，如0、10、20、30db等。并且应较迅速地摄取这些资料。最后应指出，在进行这方面工作时，对雷达要首先进行标定，并保证机器工作在最佳状态。

(3) 不同距离回波强度的直接比较 由于711测雨雷达无距离订正装置，因此不同距离上的回波强度不能通过回波亮度或衰减的db数（即回波功率）直接比较，而必须用《手册》中图7.2查出反射因子Z值后才能比较。由雷达气象方程可知，这种距离衰减是与距离平方成反比的。因此当对流回波的反射因子Z（或有效反射因子 $Z_e$ ）值一定时，它们在不同距离上探测到的回波亮度或功率是不一样的，在远处要比近处弱。所以当一块或一片对流回波从远处移来时，若想通过回波亮度直接比较回波是否发展或减弱，那在近处衰减的db数应比远处大一些，这样才能减少距离衰减对回波强度的影响。例如，在300公里处如衰减20db，在100公里处可衰减30db，在50公里处可衰减36db。

(4) 寻找特殊形状的回波 前面在讨论仰角选择时已经指出，在寻找指状、钩状、涡旋状等回波结构时，除了适当改变仰角外，还要以衰减相配合，才能探测到最清晰的回波图象。在探测台风的眼区、眼壁强回波、螺旋雨带，以及在层状云降水巾寻找零度层亮带时也是如此。这是因为这些特殊形状的回波结构往往被大片弱降水区所覆盖，不经过衰减就不易清楚地观测到。

## 3. 移向移速观测

移向移速的观测，可以和回波演变的观测结合起来进行。

(1) 对流回波或对流回波带 如果对流回波前沿比较清楚，可以不进行衰减直接进行观测；如果回波前沿不太清楚，则衰减一定db数（如10db、20db）后对较强的回波区进行观测。为了统计回波高度上实际风速与回波移速之间的关系，以便今后能利用雷达回波移速估计该高度上的风速，那仰角的选择应使回波高度尽量接近各标准等压面高度。对于移向的观测，要注意整个回波带的移向与回波带中个别单体的移向往往不相一致。由于灾害性天气常和强烈发展的对流回波块联系在一起，因此在测定整个回波带移向的同时，还要特别注意测定与整个回波带移向不一致的个别强回波块的移向。

在分析对流回波移向移速和高空风向风速关系时，要区分不同强弱的回波以及回波发展的不同阶段。一般弱而小的对流回波受引导气流支配而移动比较明显，强而大的回波由于自身的传播作用，以及发展旺盛时强烈的下沉气流，使移向偏离引导层风向较大，移速可以超过引导层风速。

(2) 层状和絮状降水回波 若雨区或雨带从远处移来，探测方法与对流回波相同；若雨区已经覆盖

\*\*对于没有距离订正装置的雷达（如711雷达），这个数值应换算成雷达反射因子Z。

测站，而且面积很大，由于3厘米波长雷达探测不到远处降水区外沿，雷达上降水区看起来似乎“静止”不动，这是假象，可以通过衰减后找寻是否存在某些回波特征结构或高强度点以决定移向移速。

在进行回波移向移速观测时，可以同回波发展演变、强中心位置的确定等内容的观测结合在一起进行。

## 二、RHI 上的探测

在RHI上可以选择不同方位、不同衰减、不同距离档进行探测。用RHI探测回波的顶高、底高，降水是否着地，零度层亮带高度，锋面降水云坡度，以及对流云回波的剖面结构，强回波区垂直范围等特别有效。

### 1. 方位的选择

由于灾害性天气主要发生在PPI上强而大的对流回波块上，故一般取这种回波的中心部位的方位进行RHI的观测。观测时可以向两侧稍变动方位，并以衰减相配合，看是否存在“穹窿”、“真旁瓣”等结构。若在回波块边缘出现指状、钩状等，也可以取这些部位进行RHI探测，了解其垂直结构。对于层状云回波，可选择回波的来向进行RHI探测，以了解未来测站降水情况。对于絮状回波，还应选择一些强度较大的回波块进行RHI探测，判断是否达到雷雨标准等。

### 2. 衰减器的使用

对于对流回波，除了探测0db时回波顶高、底高外，还应探测衰减20db、30db时强对流回波的顶高、底高。在近距离处可取20db、30db两种资料，远距离处可取20db的资料。以上未经衰减及衰减一定db数后的对流回波顶高底高的资料，再配合探空资料分析顶、底高度上的温度值，可以统计出区分当地雷雨、冰雹回波较可靠的指标。另外，对流回波最强的衰减db数往往也是区分各类对流回波的指标之一，故也需进行观测。

对于层状云回波，要在RHI上较清楚地探测0°C层亮带高度或锋面坡度等，也要进行适当衰减。絮状回波中的对流柱体在RHI上通过适当衰减可以更清楚地见到其结构和强度。

### 3. 应注意的几个问题

对于很强的对流回波，在测定回波高度时，应考虑垂直波束宽度所引起的误差，故要用 $(\alpha - \frac{\theta_1}{2})$ 作

为仰角值，其中 $\frac{\theta_1}{2}$ 是垂直波束的半宽度， $\alpha$ 是仰角值。可以事先做好一个不同仰角、不同距离的高度订正表，以便观测时查用。当强对流回波在200公里以外，只能用PPI上回波消失时的仰角和距离求出回波顶高度时，对仰角也要进行半波束宽度的订正。

对于因距离衰减作用而引起远处测定的回波高度偏低问题，可以通过规定一个 $Z_0$ 值作为回波上界的标

准，然后以 $\Delta h = \frac{1}{r} (\lg R^2 - \lg \frac{Z_0}{C})$  进行订正。 $\Delta h$ 是高度订正值， $r$ 是Z值在垂直方向的变化率，单位是-db/公里， $r$ 值由资料统计而获得， $R$ 是距离， $C$ 值由雷达参数和降水性质决定。对于强对流回波在近处时由于旁瓣造成假回波使高度变高，这可以根据经验或衰减一定db数后，看回波顶端是否出现在强中心之上而判定。

强对流回波内出现“孔洞”，究竟反映什么？要具体分析。如843测台雷达当回波太强，电流达饱和就可以造成无回波的“孔洞”，这时只要适当进行衰减，回波就可以出现；如果探测到的是“穹窿”之类的强烈上升区，由于该区内水汽凝结增长跟不上，要到较高的高度才能凝成大滴，故在RHI上对流回波区内出现了“孔洞”，它是不能通过衰减消除掉的。711雷达使用了限幅器，故不会出现电流达饱和而造成的“孔洞”。至于对流柱体内出现一些小的孔洞，可能是由于云中含水量的低值区所致。

对流回波顶部发展往往是间隔性上升的，每次快速上升后约隔15分钟左右再上升，中间由于蒸发、乱流交换等原因，可能会出现顶部下降现象，这并不表示对流消散。有时对流回波的发展，可以由中间向上下两端延伸。当回波顶开始下降时，并非处于消散阶段，而是成熟阶段伴有降水后造成的。当雷雨云中出现初次雷击后，云底往往就出现降水。以上情况在探测时应加以注意。

## 三、不同尺度天气系统回波资料的摄取

摄取这种资料，对于了解当地各种天气过程的回波演变特点，搞好测报、预报，以及进一步分析研究某些大气物理、天气学问题是有意义的。

### 1. 局地性小尺度天气系统

对于地方性雷雨、冰雹等小尺度天气系统，如需研究近距离内一块强烈发展的积雨云生命过程中各阶段的特点，则由于一块积雨云单体从发展、成熟到消亡的生命史约只有几十分钟到一小时左右，因此需要在短期内连续拍摄其不同发展阶段空间结构的回波图片。在探测中发现的特殊回波结构更要连续拍摄（最好使用摄影机），才能了解其迅速的演变情况。除了在PPI上拍摄不同仰角、不同衰减的图片外，同时还要拍摄RHI的图片。将这些回波图片结合其它气象要素作较仔细的分析研究，有助于我们对强对流云内所发生的一些物理过程的了解。

如果需要了解测站周围某些地形、地物对地方性雷雨、冰雹的发生及移动性对流单体传播规律（即老单体衰亡，新单体发展）的影响，以确定雹源地点和冰雹经常活动的路径，则可以拍摄能反映这些特点的PPI上的图片。所谓雹源，从雷达回波上看，就是经

常出现强对流回波或对回流波移到该处经常增强的地区；所谓传播路径，就是强对流回波在不断生长、消亡过程中经常移过的地区。拍摄这些回波图片时所取的仰角值，既要照顾到能探测降水发生前的对流回波发展情况，又要能探测发生降水后近地面的降水情况；对于经常出现高强度回波的地方，还要注意拍摄一些RHI上的回波图片。拍摄的时间间隔可以比研究单块对流回波演变情况长些，也不需详细拍摄每块对流回波的空间结构。雷达在进行跟踪观测时，要特别注意一些新生的对流回波单体。

## 2. 驱线等中尺度系统

一次驱线过程一般在6—12小时左右。它们的回波一般要经历三个不同的阶段：第一，初生阶段，这时回波单体较小，高度较低，呈零星分布；第二，发展成熟阶段，这时回波单体变大变强，高度变高，并常与邻近单体合并，排列成线状、短带状、“人”字形、“波动”形等；第三，消亡阶段，回波带分裂减弱，高度降低，并不断消失。

在收集驱线过程的回波资料时，既要注意拍摄不同距离上同高度（接近标准等压面高度）回波图片，又要拍摄同一距离上最低高度和最强回波高度上逐级衰减的图片。对强中心及一些特殊回波结构，如“V”形槽、“波动”形或“人”字形的峰点处，还可以同时摄取RHI上不同衰减的图片。以便分析回波带发展演变的特点，降水区及强中心分布情况，整体和单体的移向移速，以及是否达到冰雹云指标等。

在探测驱线和远处移来的雷雨回波带时，要注意两点：第一，组成回波带的各对流回波单体通常强度和高度各不相同。由于地形曲率影响，对流单体在PPI上从远处移近时，波束探测高度不断降低，可能使远处探测不到的较低的对流单体在近距离上探测到了；另外距离变近时距离衰减作用变小，也会使同一对流单体回波面积变大、变强，易误认为回波带在“不断发展”。当回波带经过测站向PPI边缘移去时，同样容易误认为是“减弱、消散”。因此，如前所述，最好对不同距离上的回波进行同高度比较。第二，由于地面障碍物的影响，可以使远处发展得很高的积雨云探测不到。例如，在100公里处若有档角 $1^{\circ}$ 的山脉，就可使300公里处发展到10公里高的积雨云探测不到，而无档角时只要5公里以上有强降水就能探测到。当这些发展很高的积雨云移近测站时，不要误认为“新生和发展”，若先探测到上部回波，以后才探测到下部，一般就不是“发展”。如果在探测到下部的同时，上部不断变高、加强了，就可证明确有发展。当然，当积雨云移近山脉的迎风坡时，多数是会得到发展的。

## 3. 大尺度天气系统

由于测雨雷达探测范围往往只能观测到大尺度系统（如锋面、气旋等）的某个部位的降水回波区，因

此最好利用多站的回波综合图进行分析。各天气系统的回波有自身的特点，例如，移动缓慢的冷锋回波，常呈带状的稳定性降水回波，其中夹有不强的阵雨回波；但当其加强后，除回波范围变大外，回波也变为以片、絮状为主。发展初期的气旋，其冷、暖锋上的雷阵雨降水回波，有时可看到明显的“人”字形排列；当其进一步发展加强后，往往只能看到覆盖在测站及其四周的一大片絮状或片状的强降水区。当气旋或低气压自地面向上逐步填塞时，会转为较弱的层状云降水回波，并且这种层状云回波在RHI上可能出现一条或几条水平状的空隙。 $0^{\circ}\text{C}$ 层亮带的出现或消失，反映了云中稳定度的变化。对于大尺度系统单站回波资料的摄取，可以从两方面考虑：第一，应注意摄取能反映回波演变特点的图象，进一步总结它所对应的天气过程特点，以便使雷达回波资料作为分析预报的依据之一。第二，为估计不同降水强度的区域分布，应注意拍摄一些逐级衰减的回波照片。

## 四、摄取资料的数量及时间间隔

首先应该指出，由于远距离处回波资料存在以下问题：1. 仰角误差引起测高误差随着距离R变大而增大；2. 分辨率（特别是侧向分辨率）也随着距离增大而下降；3. 远处由于波束有效照射体积变大使真正的Z<sub>最大</sub>值被平均化后偏小很多；4. 距离衰减影响随距离增加而增大；5. 测站附近及远处均存在降水时，近处降水对电磁波衰减的影响也随距离增加而变大；6. 由于非标准折射使地球曲率补偿后的测高值仍存在误差，它也是随距离而增大的；7. 远处充塞系数 $\psi$ 不易等于1，通常是小于1的。因此，远距离处回波资料的精度要比近距离差，RHI上最大距离只使用到200公里就是这个缘故。所以，一般而言，对于远距离上的回波资料应少拍摄些，近距离上可以多拍摄些。这并不意味着远处回波就不重要了，例如，在远距离上的强对流回波若衰减30db后仍能清楚观测到，往往就是强烈的冰雹云。另外，在了解远处回波移向、移速时，也需要适当拍摄一些PPI上的照片。而在近距离上若没有多大意义的回波照片也不必多拍。

对于不同尺度天气系统的回波照片，前面已指出：小尺度系统由于生命史短，拍摄的时间间隔应小些；大、中尺度系统则时间间隔可适当放大些。

对于超折射、负折射、晴空回波等非降水回波资料也要注意收集，通过分析可以了解它们所反映的天气实况及预报方面的指示意义。

总之，在摄取雷达回波资料时，事前应有个计划，对于不同的天气，或不同的降水与非降水回波，准备总结些什么？根据目的和要求，考虑雷达进行探测时应如何拍摄以及拍摄那些回波资料，做到心中有数、有目的地积累雷达回波资料。