



浅谈711雷达的高显回波畸变

魏富金

(四川乐山市气象台)

为了探测降水云体的垂直剖面结构和高度，711雷达设置了距离高度显示器（RHI），简称高显。在使用高显回波资料作分析时有一个问题不可忽视，即此时回波的形状已和实际的降水云体的形状不尽相同，已发生了畸变。畸变主要由于711采用这种高显线路结构引起，本文仅就此浅谈回波畸变问题。

一、高显回波形状的畸变

高显回波的畸变可由以下分析证明。

1. 高显呈扇形画面，基线辐射，距标直立

高显时，在其水平偏转线圈中加的是等幅度的锯齿波电流，扫描电子随之发生偏转，使荧光屏上的光点从左向右作水平扫描形成基线。电子偏转的大小和时间成正比，即光点在各种仰角的情况下都是从左向右等速扫描。因此距起点0越右代表测距 r 越远，如图1中 $r_0a_0 < r_0c_0$ 。高显画面上“距标直立”，就表明距点0水平距离（不水平时为水平投影距离或称水平距离分量）相同的各光点，是由用了相同偏转时间的电子产生的，它代表有相同的测距 r ，如图1中 $r_0a_0, r_0a_1, r_0a_2, r_0a_3$ 为等距离。

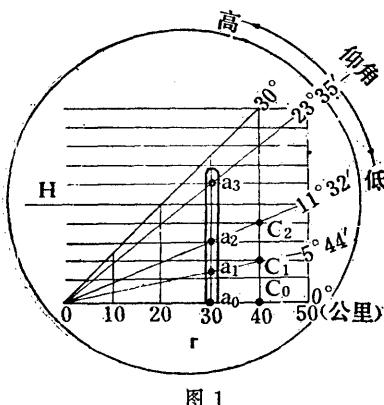


图 1

高显时，在其垂直偏转线圈中，加的是幅度受天线仰角的正弦所调制的锯齿波电流。基线受此电流的控制，在垂直方向偏转的大小，是天线仰角的正弦函数。因此天线水平时，基线水平；天线仰角越大，基线的垂直增量越大，且成正弦函数上升。测高时天线作 $-2\text{--}+30^\circ$ （或 $+60^\circ$ ）的上下俯仰；高显基线受垂直偏转增量的影响，便随之上下摆动而成辐射状，构成扇形画面。辐射状的基线每条对应一个相应的仰角；同一条基线上的各点代表相同的天线仰角；基线摆动角越大，表明天线仰角越高；

如图1中点 a_2, c_2 的仰角相同且高于 a_1, c_1 的仰角。

2. 高显上直立回波是以本站为中心的圆弧状的云体产生的

高显中有排列成直立上升的点回波如图1中 a_0, a_1, a_2, a_3 ，今分析产生它的空间点目标 A_0, A_1, A_2, A_3 的情况：（1） a_0, a_1, a_2, a_3 在高显成低高位置分布，表明 A_0, A_1, A_2, A_3 具有不同的高度，探测它们用了由小到大的不同天线仰角。（2） a_0, a_1, a_2, a_3 直立排列，表明 A_0, A_1, A_2, A_3 具有相同的测距；即探测它们电磁波用了相同的返回时间。据雷达原理可知：电磁波返回时间相同的各点状目标，在空间应成球面分布。因此 A_0, A_1, A_2, A_3 的位置应如图2所示，它们在空间应成以雷达为中心的同半径的圆弧状分布。

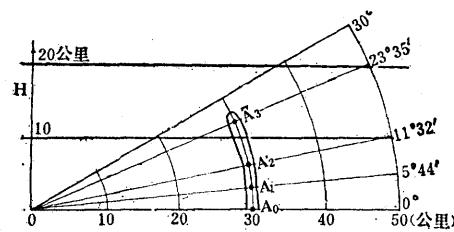


图 2

推理可知：如果高显中不仅是点回波，而是如图1所示包括了 a_0, a_1, a_2, a_3 各点的直立柱状回波，则和它对应的、产生它的实际降水云体绝不会成直立状，而应是如图2上包括 A_0, A_1, A_2, A_3 各点的指向雷达的圆弧状云体。这说明：高显回波形状和产生它的空间云体形状之间已有变异，即高显回波形状已发生了畸变。

3. 直立云体产生远离本站的弯曲状高显回波
如图3所示，在某一水平距离直立排列的空间

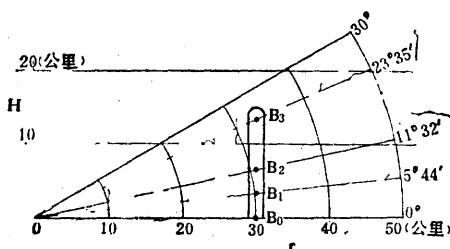


图 3

点状目标 B_0 、 B_1 、 B_2 、 B_3 ，它们在高显中产生的回波 b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 的情况：(1) B_0 、 B_1 、 B_2 、 B_3 离地的高度不同，探测它们要用不同的天线仰角，其回波就出现在相应的基线上，呈由低到高分布。(2) B_0 、 B_1 、 B_2 、 B_3 到雷达的斜距不同，应有 $r_0 B_0 < r_0 B_1 < r_0 B_2 < r_0 B_3$ ；探测它们电磁波的返回时间随仰角增高而增大；因此它们的高显回波 b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 定会出现在距点 0 不同的水平（或其投影）距离上，呈由近到远分布，如图 4 所示。从图 4 可明显看出，它们不成直立排列，而是随天线抬高仰角呈远离点 0 的弯曲状排列。

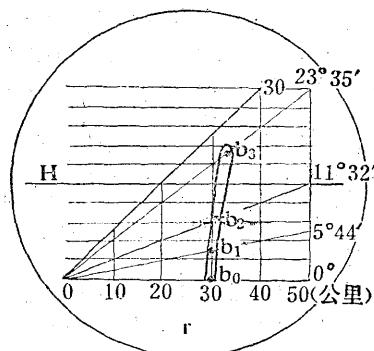


图 4

同样推理：如果实际降水云体是如图 3 所示包括 B_0 、 B_1 、 B_2 、 B_3 的直立柱状，则它产生的高显回波将如图 4 所示，它应是包括 b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 的远离点 0 的弯曲状。这同样说明：高显回波形状和实际降水云体形状之间的变异，即高显回波形状已发生了畸变。

二、高显回波发生畸变的原因

1. 我们知道雷达所测得的距离是雷达（天线中心）到探测点之间的直线距离（斜距）。如图 5 所示当雷达对直立柱状云体进行探测，天线仰角由水平 β_0 逐渐抬高到 β_1 、 β_2 ……；用来探测云体的点 D_0 、 D_1 、 D_2 ……；测得距离 r_{0D_0} 、 r_{0D_1} 、 r_{0D_2} ……；和

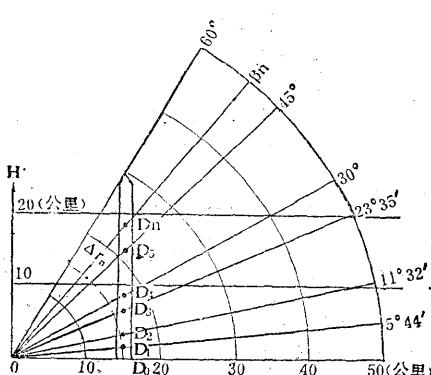


图 5

高度 H_0 、 H_1 、 H_2 ……；据三角关系很清楚是 $r_{0D_0} < r_{0D_1} < r_{0D_2}$ ；和 $H_0 < H_1 < H_2$ ……；这说明：在探测同一直立柱状云体时，由于探测的部位不同，不但会测得不同的高度而且会有不同的距离；即随着天线仰角的抬高，由下而上的探测云体，随测得高度的增加其距离也会逐渐增加。我们可把这种由抬高仰角而增加的斜距叫做仰角距离增量。仰角增量是仰角 α 和距离 r 的函数。

2. 前已述，在高显中距点 0 水平距离（或分量）相同的各点代表有相同的测距。这说明在抬高天线仰角时，虽然高显基线之长度如图 1 所示 $oa_0 < oa_1 < oa_2$ ……，也要随之“增长”。但是这种“增长”是由扫描电子在相同时间的水平偏转中，同时又受到了随天线仰角的正弦函数增加的垂直偏转量的控制，两种偏转合成结果使基线变为斜线，才产生这种“增长”。此时它们的水平距离分量是相同的，因此只能代表相同的测距，而它们的垂直分量不同，表明此时天线具有不同的仰角，可代表不同的高度。

3. 抬高天线仰角要产生仰角距离增量，会使回波的返回时间增加；高显要表现“增量”这个客观事实，回波只会出现在相应的时间，即出现在距点 0 水平距离分量更远，也就是比 r_{0D_0} 更向右的地方。这样在对云体测高时，高显由于既要表现因探测不同部位而向上，又要表现因有仰角距离增量而向右的情况，结果造成了回波随高度上升而向右的弯曲状。

从上分析可知：正是由于在表示因抬高仰角而引起的“仰角距离增量”的方式上高显和空间的不同，才造成高显回波形状和实际降水云体形状之间有变异，使高显回波发生了畸变。

三、高显回波畸变的影响和订正

高显回波畸变的主要表现是对降水云体测高时，由于有仰角距离增量 Δr_n 的影响造成高显回波随高度上升呈远离雷达的弯曲状。弯曲的程度取决于 Δr_n 的大小，其值是非线性的，由式 $\Delta r_n = r_n (\sec \beta_n - 1)$ 决定，即 β_n 越大 Δr_n 增加就越迅速，弯曲就越厉害。为了比较畸变的程度可称 Δr_n 和 r_n 的比值为畸变率。畸变率越大畸变越厉害。由计算可知：当天线仰角由 0° 抬高 30° ，则畸变率从 0 上升到 15.47% ；而天线再抬高到 60° 时，畸变率猛增到 100% 。由此可见高显回波畸变的大小，主要决定于探测降水云体顶部需用的最大仰角，所需仰角越大则畸变率越大。

711 雷达设计的测高上限为 20 公里，实际探测中回波顶高能达此上限为少见。据测高公式 $H_n = r_n \cdot \sin \beta_n$ 可知，对远距离 (r_n 较大) 的强对流且顶高可达 20 公里的降水云体，探测其顶部所需的仰角也不太大，因而畸变不大，影响较小。但对近距离 (r_n 较小) 的较强对流降水云体，探测它的顶部所需的仰角就可能很大 (可能超过 30°)，此时回波畸变则很大，造成严重失真，使用这样的回波资料

进行精确分析时，尤需进行必要的订正，以消除仰角距离增量的影响，否则可能造成分析上的一些误解。

对已经发生畸变的高显回波进行订正，就是逐点消除（去掉）仰角距离增量的影响，以恢复降水

云体的垂直剖面的本来形状。求仰角距离增量的数值是订正的关键，其较为简便可行的办法，是利用高显回波图像中该点的测距 r_n 和高度 H_n ，用公式 $\Delta r_n = r_n - \sqrt{r_n^2 - H_n^2}$ 求得。实际工作中可先按此关系用手工或计算机制成表格或曲线，以便查用。