

文章编号: 1006-4354 (2007) 06-0026-03

防雹作业指挥中的雷达探测方法

梁 谷, 李 燕, 岳治国

(陕西省人工影响天气办公室, 西安 710014)

摘要: 711 数字化气象雷达因其操控方便、响应速度快、探测范围满足要求, 在我国人工防雹作业指挥中起着重要作用。根据 711 数字化气象雷达设备的特点, 研究快速、全面获取冰雹云回波特征参数及监测冰雹云初始回波的雷达探测方法, 通过对不同雷达探测模式对比分析, 提出三线切割法。

关键词: 防雹作业; 指挥; 雷达探测; 三线切割法

中图分类号: P412.2

文献标识码: B

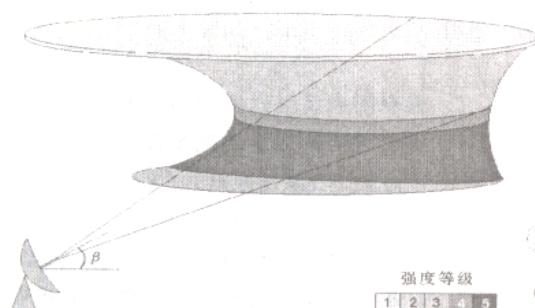
冰雹是常见的自然灾害, 高炮(火箭)防雹作业是一项科技含量高、实用性强的消雹减灾技术。早期发现冰雹云、准确掌握合适的催化部位和催化量, 直接决定了高炮(火箭)防雹作业的效果。711 数字化气象雷达因其操控方便、响应速度快、探测范围满足要求, 在我国人工防雹作业指挥中起着重要作用。冰雹云的生命史一般在数分钟至 3 h, 防雹作业时机的选择越早则防雹作业效果越好, 快速、准确获取冰雹云的物理特征资料是雷达探测的重点。711 数字化气象雷达有平面(PPI)扫描、垂直剖面扫描(RHI)和立体扫描 3 种探测模式, 本文通过这 3 种模式的对比分析, 研究快速、全面获取冰雹云回波特征参数

及监测冰雹云初始回波的雷达探测方法, 为高炮(火箭)防雹作业指挥提供依据。

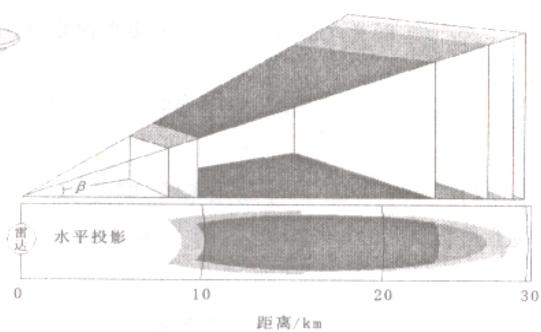
1 PPI 探测模式

PPI 扫描是雷达在某一固定仰角 β 上对探测目标进行任意方位($0^\circ \sim 360^\circ$)的锥面扫描(图 1)。PPI 回波图实际上是与水平面有 β 夹角斜面上的云体回波在水平面的投影^{[1]70~88}。仰角 β 选择是否合适, 决定能否获得雹云强回波。一次全方位的 PPI 扫描约需 30 s。

冰雹云在防雹可作业阶段的强回波中心位置在 0°C 层高度以上, 与温度层结条件相配合, 在一个固定区域内, 通过雷达测高公式^{[1] 122~123}, 可以得到雷达探测合适的 PPI 扫描仰角 β 值。如: 0°C



a 雷达PPI扫描示意图



b PPI扫描回波示意图

图 1 平面扫描雷达回波示意图

收稿日期: 2007-08-02

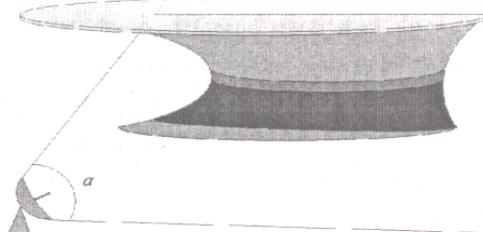
作者简介: 梁谷 (1961-), 男, 江苏太仓人, 学士, 高工, 从事大气物理研究。

层高度为 3 km, 监测区与雷达探测点的距离为 20 km, 则 PPI 扫描仰角 β 值应 $\geq 3.5^\circ$ 。

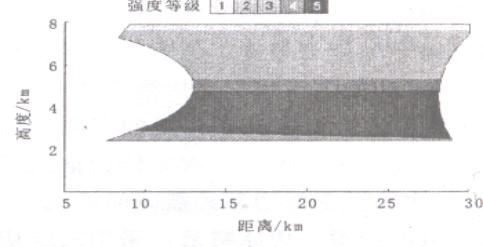
2 RHI 探测模式

RHI 扫描是在某一固定方位上对探测目标

进行 $0^\circ \sim 60^\circ$ 仰角范围内的垂直剖面扫描(图 2)。RHI 扫描回波图是在一个固定方位上, 垂直向 α 夹角内的剖面上云体的雷达回波图^{[1]70-88}。一次 RHI 扫描约需 75 s。



a 雷达RHI扫描示意图



b RHI扫描回波示范图

图 2 垂直剖面扫描雷达回波示意图

冰雹云不同部位(如前、中、后部)的垂直剖面结构是不同的, 特征值指标也不一样。每一块冰雹云与雷达探测点的相对位置不同, 垂直剖面回波图的特征也不一样。故一次 RHI 扫描得到的回波图不能准确揭示冰雹云物理特征, 需要通过对云不同部位经过多次 RHI 扫描, 综合分析回波信息, 才能得到相对完整的冰雹云空间结构。

1964 年 Browning 和 Ludlam 将雹云回波结构和上升气流结合起来给出了冰雹云的流场模型和降水配制的关系^[2](图 3)。图中下半部分深色区、灰色区、浅色区分别是低、中、高三层 PPI 回波叠绘的合成图, 深色钩状区的中心黑点是最大上升气流处。结合图 3 给出的模型, 依据冰雹云雷达探测经验, 提出人工防雹作业指挥中雷达探测的三线切割法。

雷达探测点在 O 点, 通过作 OA 、 OB 、 OC 的三条垂直剖线, 可以得到 3 幅冰雹云的 RHI 回波图, 基本代表了冰雹云的垂直剖面特征。 OC 剖线的垂直剖面回波图最重要, 可以基本满足防雹作业指挥的要求; 其次是 OA 和 OB 。探测中找到强回波中心点作 RHI 扫描最方便, 一般先是 OB 垂直剖线上的回波图, 然后再在其左右寻找 OC 或 OA 剖线, OC 剖线在云的移动方向的前部。三线切割法要求: 以寻找 OC 剖线上的垂直剖面结构为目的, 冰雹云的 RHI 探测分别在强回波中心

点及其左右用三条剖线作垂直剖面探测, 确定冰雹云的垂直剖面结构。

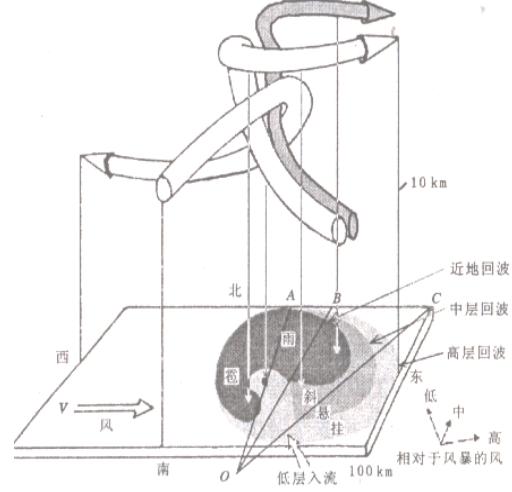


图 3 冰雹云的流场模型和降水配制关系

确定得到了 OC 剖线上的回波图, 考虑到防雹作业的时效性, 可以暂缓其它剖线上的 RHI 扫描。以此类推, 图 3 中雷达探测点若在东、西、北的位置, 同样可以采用三线切割法得到冰雹云的垂直剖面结构。雷达探测点的位置不同得到的垂直剖面回波图也不同, 在南面, 则 OC 剖线在云的移动方向的前部; 在其它位置, 则 OA 、 OB 、 OC 三线的代表性也相应改变。

理论上, 剖线越多, 垂直剖面结构越细腻, 清

晰，垂直剖面特征越具代表性，但耗时也长。

3 立体扫描探测模式

立体扫描是通过不同仰角 β_i ($i=1, 2, 3, \dots$) 连续进行全方位的 PPI 扫描，通过数学计算，得到近似的 RHI 扫描结果。一次立体扫描能够取得雷达探测范围内的所有云的三维结构资料，在系统软件的支持下可以无限次、任意方位任意垂直剖面切割，剖线的取向不受雷达探测点的制约。711 数字化气象雷达立体扫描所选用的探测仰角为 β_i ($i=1, 2, 3, \dots, 20$)，一次立体扫描约需时间 405 s，一次垂直剖面切割约需时间 2 s。

对探测区域的任意一块冰雹云，采用三线切割法进行垂直剖面切割，可以得到比较理想的冰雹云垂直剖面结构。在立体扫描探测模式下，三条剖线的取向可不同于图 3 所示，但任意两条不可垂直，相邻两条的夹角应小于 45° ，三条剖线也可是平行线。

与 RHI 模式比较，立体扫描模式的垂直探测精度较低，针对 1 个雹云探测，其探测时间较长。但优点明显：1) 可以选择任意高度上的水平投影辅助显示图（在已知 0°C 层高度条件下探测非常方便）；2) 可以无限次任意方位快速切割垂直剖面；3) 在探测结束后任意时间切割垂直剖面（对事后的科学分析意义重大）；4) 一幅显示画面可同时容纳选择多个显示窗口（一次提供多种产品信息）；5) 垂直剖面切割在雷达后台处理，雷达系统软件支持多站式处理，在人员条件许可的情况下，可同时进行多个冰雹云的垂直剖面切割，提高了雷达资料处理的速度；6) 能较完整探测冰雹云的初始回波；7) 立体扫描可模式化操作，便于人工防雹作业指挥中雷达探测的业务化管理。

4 探测方法的比较

4.1 PPI 和 RHI 扫描组合

单一使用 PPI 或 RHI 扫描难以完成人工防雹作业的指挥任务：一幅 PPI 扫描回波图仅能粗略估计对流云强回波面积的水平投影位置和包含的某一高度，不能区分冰雹云和雷雨云；RHI 扫描需要有 PPI 扫描回波图的指示来确定云中垂直剖面位置。故 PPI 扫描需要与 RHI 扫描组合才能使用。

冰雹云的识别和防雹作业参数的获取需通过

一次 PPI 扫描和多次 RHI 扫描决定。采用三线切割法，完成一个独立冰雹云的探测，耗时 255 s；冰雹云总数 ≥ 2 个时，完成 2 个雹云的探测时间为 480 s，其后每增加 1 个雹云，增加时间 225 s。其步骤为：(1) 选择合适的仰角，进行 PPI 扫描探测；(2) 根据 PPI 回波图，确定强回波中心区；(3) 在强回波中心点进行 RHI 扫描，获取雷达探测内容；(4) 在强回波中心区的两个边缘各进行一次 RHI 扫描，获取雷达探测内容；(5) 如有多个强回波中心区，重复 (2)、(3)、(4) 步骤。

4.2 立体扫描

立体扫描探测，得到云的三维结构资料。采用三线切割法，完成一次独立冰雹云的探测，将耗时 411 s；冰雹云总数 ≥ 2 个时，完成 2 个雹云的探测时间为 418 s，其后每增加 1 个雹云，增加时间 6 s。其步骤为：(1) 立体扫描探测；(2) 根据分层回波投影图，确定强回波中心区；(3) 在强回波中心点进行垂直剖面切割，获取雷达探测内容；(4) 在强回波中心区的两个边缘各进行一次垂直剖面切割，获取雷达探测内容；(5) 如有多个强回波中心区，重复 (2)、(3)、(4) 步骤。

实际操作中，有时多个防雹作业指挥部需要应用同一部雷达探测资料或一个防雹作业指挥部需要对多个雹云同时进行防雹作业指挥，建议采用立体扫描模式与三线切割法组合的探测方法。

5 结论

人工防雹作业的效果在很大程度上决定于冰雹云的早期发现及提早防雹作业。雷达探测采用三线切割法能快速和全面获取冰雹云回波特征参数；采用立体扫描模式，可不遗漏监测冰雹云初始回波，并满足多个防雹作业指挥部对同一部雷达探测资料和一个防雹作业指挥部对多个雹云同时进行防雹作业指挥的需求。

参考文献：

- [1] 张培昌，杜秉玉，戴铁丕. 雷达气象学 [M]. 北京：气象出版社，2001.
- [2] 许焕斌，段英，刘海月. 霜云物理与防霜的原理和设计 [M]. 北京：气象出版社，2004：12-21.