

文章编号: 1006-4354 (2006) 01-0018-04

# 西安新一代天气雷达产品在一次人工增雨中的应用分析

白作金, 李秀琳, 贾金海, 胡淑兰, 安中浩, 张丽娟

(渭南市气象局, 陕西渭南 714000)

**摘要:** 在常规天气形势分析的基础上, 应用西安新一代天气雷达 (CINRAD/CB) 产品, 结合地面降水, 对渭南今年初夏一次人工增雨作业, 以及雷达回波图上目标云系作业前后反射率因子、垂直累计液态含水量、回波顶高等进行对比分析, 表明增雨效果明显。因此, 用新一代天气雷达产品指挥人工增雨作业是有效的, 回波要素变化为人工增雨效果评估提供了直接物理证据。

**关键词:** 新一代天气雷达; 人工增雨; 应用; 渭南

**中图分类号:** P458.1

**文献标识码:** A

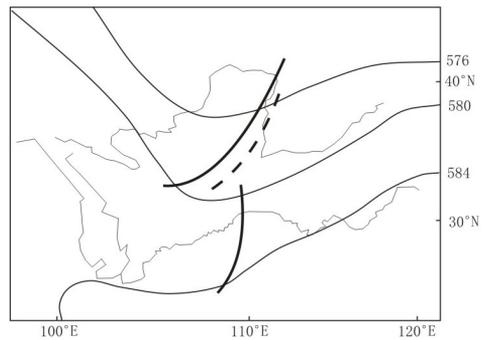
新一代天气雷达不仅提供了丰富的监测信息, 如反射率因子、平均径向速度等基本产品以及垂直累计液态含水量等导出产品, 而且对云雨监测的分辨率和准确性均有明显优势。因此, 用新一代天气雷达监测指挥人工增雨工作更具科学性, 也有助于提高人工增雨的效益。2005年6月25日渭南在实施抗旱保苗人工增雨过程中, 以西安新一代天气雷达产品为主, 结合711雷达成功指挥了这次人工增雨作业。本文在常规天气分析的基础上, 重点对西安新一代天气雷达初步应用、作业云雷达回波特征、作业效果等进行分析, 旨在对进一步加强这方面的应用研究, 指导人工增雨工作。

## 1 有利于增雨的天气形势及热动力条件分析

### 1.1 天气形势分析

2005-06-24-08 500 hPa 中高纬地区呈两槽一脊, 一槽位于巴湖偏北地区, 另一槽位于贝湖

偏东地区, 高压脊位于新疆以北地区, 内蒙中部—甘肃平凉—四川甘孜一线有弱高空槽, 受下滑弱冷空气的影响, 此槽向东南方向移动过程中有所加强。25日08时(图1)移至延安以东—咸阳—汉中偏西一带, 南部四川的达川—重庆—贵阳又有新槽发展, 700 hPa 高空图上沿山西省娄烦—陕西渭南—镇巴—四川宜宾一线窄而狭长的



粗线为槽线, 虚线为 700 hPa 切变线

图1 2005-06-25-08 500 hPa 高空形势示意图

**收稿日期:** 2005-10-08

**作者简介:** 白作金 (1967-), 男, 陕西南郑人, 高工, 主要从事人工影响天气工作。

演变, 且降水呈减少趋势。当气温由偏冷变为偏暖, 则降水由偏丰变为偏枯时期。

### 参考文献:

[1] 李崇银. 气候动力学引论 [M]. 北京: 气象出版

社, 2002: 441-446.

[2] 李川, 陈静, 朱燕君. 川西高原近五十年气候变化的初步研究 [J]. 高原气象, 2003, 22 (增刊): 138-144.

切变(槽)线。受此系统的影响, 陕西大部分地区从24日下午开始, 由西向东开始降水, 渭南降水主要集中在25日12时以前。

## 1.2 物理量分析

2005-06-25-08 500 hPa 假相当位温图上, 关中东中部处于64 K的高能脊顶部区域, 700 hPa以下随着高度上升 $\theta_{se}$ 值减小, 表明中低层有弱的不稳定能量存在; 500 hPa 涡度场上关中处于正涡度区(图2), 500 hPa 以上辐散, 700 hPa 辐合, 底层辐合高层辐散有利于气流垂直上升运动; 关中中东部地区850 hPa 以上维持上升运动, 最大上升速度为 $-0.8 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ (图3); 水汽通量图(图略)上700 hPa 以下有水汽辐合, 渭南位于比湿场弱湿舌内, 在东北—西南走向、相对湿度在90%以上的大片高值区。

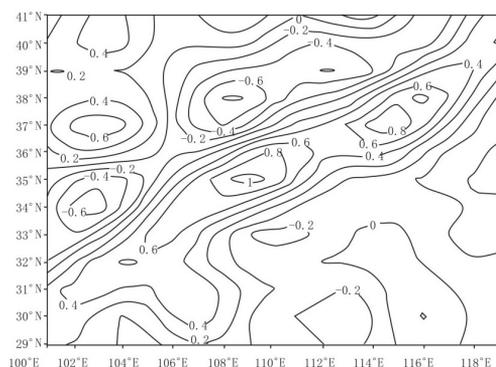


图2 2005-06-25-08 500 hPa  
涡度场(单位:  $10^{-4} \text{ s}^{-1}$ )

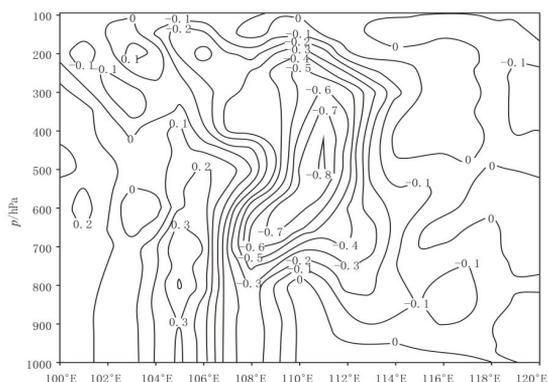


图3 2005-06-25-08 700 hPa 沿 34°N 垂直速度  
剖面图(单位:  $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )

## 2 作业云雷达回波分析

受高空槽东移的影响, 西安多普勒雷达组合反射率因子回波图上, 6月25日00:00—01:17, 雷达探测范围天空布满云层, 但回波强度较弱, 主要以13~23 dBz为主, 零星小块回波强度可达33 dBz, 这期间云层发展变化缓慢。基本反射率因子图(仰角 $2.4^\circ$ )上, 25日02:20时宝鸡—麟游一线产生一块西南—东北走向的回波, 长约120 km, 宽约80 km, 回波强度23~28 dBz, 并出现了38 dBz的较强回波斑点。随着云体在东移过程中继续缓慢发展, 28 dBz回波面积不断扩大。05:24在西安多普勒雷达130 km探测范围内逐渐形成比较均匀的大面积回波区, 强度为28~33 dBz, 及38 dBz的离散块状强回波区, 05:30富平北部一带出现了43 dBz的强回波带, 逐步呈现出有利于开展人工增雨作业的条件。对比渭南711雷达观测资料, 05:25富平一带PPI回波强度达到20 dBz, RHI上云体厚度达到8 km, 呈现出大范围、稳定的有利于增雨作业的层状云特征<sup>[1]</sup>。

## 3 作业效果分析

### 3.1 作业情况

25日黎明时分, 随着西安新一代多普勒天气雷达和渭南711雷达监测有利增雨天气形势的到来, 渭南市人工影响天气办公室及北部各县按照增雨作业技术指标和作业设计方案, 05:47—11:05, 临渭区及渭北6县的34个炮弹点, 先后开展了地面高炮、火箭人工增雨作业, 消耗人雨弹830余发、火箭弹17枚, 取得了明显的增雨效果。

### 3.2 地面降雨对比分析

在云中播散催化剂后, 其扩散影响的范围可达到17 km, 受环境风速的影响, 其影响范围更大, 尤其是作业区下风方区域可受到持续性影响。按一门高炮影响面积 $37 \text{ km}^2$ , 一门火箭影响面积 $100 \text{ km}^2$ 计算, 全市作业催化影响面积 $3\ 000 \text{ km}^2$ 。增雨量直观统计计算公式:

$$R = (R_1 - R_2) \times S,$$

其中 $R$ 为增雨量(mm),  $R_1$ 为影响区平均降雨量(mm),  $R_2$ 为对比区平均降雨量(mm),  $S$ 为影响区面积( $\text{km}^2$ ), 与作业云移速、催化剂

散范围以及影响时间有关<sup>[2-3]</sup>。

富平县 05:47—05:55, 06:20—06:22 有 11 个炮弹点作业 2 次, 发射人雨弹 256 发, 火箭弹 11 枚, 25 日 08 时炮点加密雨量观测有记录的 8 个作业点平均降雨量为 16.2 mm, 对比区降雨量 11.5 mm, 作业影响面积 760 km<sup>2</sup>, 增雨总量约  $3.57 \times 10^6$  t, 效益明显。

合阳县 07:55—9:28 有 5 个炮弹点作业 6 次, 发射人雨弹 248 发, 炮点加密降雨量平均为 34.2 mm, 对比区降雨量 15.4 mm, 作业影响面积 185 km<sup>2</sup>, 增雨量约  $3.48 \times 10^6$  t。

北部实施增雨作业的 6 县 24 日 20 时—25 日 20 时 24 h 平均降雨 17.1 mm, 白水未作业作为对比区 6.1 mm, 全市总增雨量约  $3.3 \times 10^7$  t, 此次人工增雨在抗旱保苗中发挥了显著的作用。

### 3.3 雷达回波变化分析

08:41 在大片的层状云回波中, 蒲城县城南边缘有一块强度为 43 dBz 的较强回波, 其东西长约 12 km, 南北宽约 4 km, 08:53 此回波强度未变, 但南北变宽, 面积扩大; 09:00 此回波开始迅速衰减, 强回波区变得十分破碎 (图 4a, 见 26 页)。09:00 时一部 WR-1B 型流动增雨火箭在县城西南边开始增雨作业, 由于火箭弹在飞行中呈线形播撒源, AgI 催化剂扩散迅速, 催化见效快, 09:06 同一仰角回波 (分析所用回波图仰角均为 2.4°) 显示, 43 dBz 强回波区开始恢复 (图 4b, 见 26 页); 09:12 破碎的强回波再次连成结构密实的一片; 09:18, 43 dBz 回波面积扩大到东西长 20 km 左右, 宽 17 km 左右; 09:37 此块回波在东移过程中再次开始衰减, 直到消失。表明火箭增雨作业后由于受到催化的影响, 云中冰晶数浓度迅速增加, 通过蒸-凝过程使云中过冷云水转化为降水粒子, 一部分冰面过饱和水汽通过凝华的方式也可转化为降水, 释放的凝华潜热可导致云内空气增温和局部上升运动的加强, 促使云和降水的发展和持续<sup>[4]</sup>。表现在雷达回波上即正在衰减的回波又重新反弹恢复, 强度增加, 强回波区面积有所扩大, 维持时间延长了 0.5 h。

05:24 富平县城西部的庄里乡至偏东的华朱

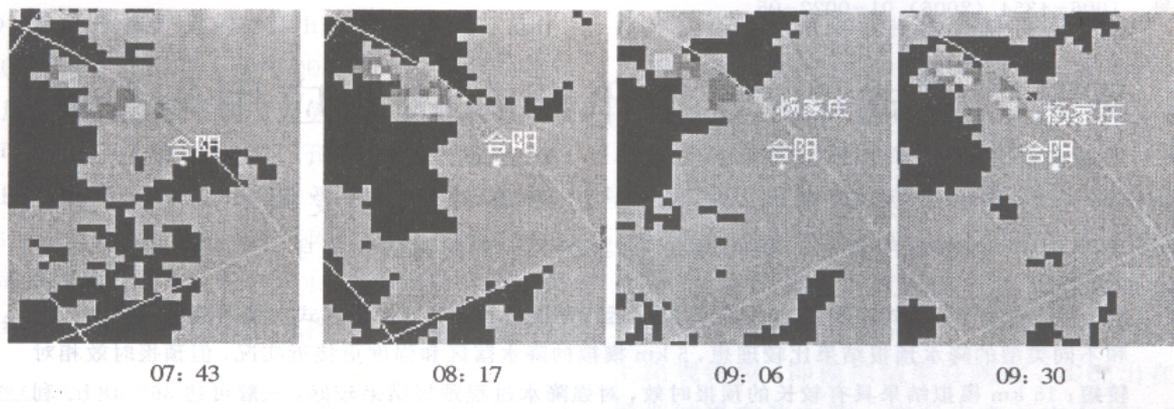
一带, 西北部的齐村至东北部的薛镇、老庙一带有两条东西走向的垂直累计液态水含量为  $3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  的回波窄带, 第一次作业前的 05:43 这两条回波带略有减小; 05:47 和 06:22 两次作业后, 于 07:09 时回波带面积开始扩大; 07:33 两条回波带开始连接并向北部扩展; 07:52 回波相连成一片, 但有云缝隙; 08:10 连成为密实的一大片, 覆盖了县城偏北作业区域; 08:41 开始逐步向东移入蒲城境内。作业前的 06:13, 合阳上空  $3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  的垂直累计液水含量回波区域分散。07:49—08:10 合阳南部的露井、西部的防虏寨、东北部的杨家庄等 5 个不同位置的炮点进行了第一次增雨作业; 08:10 时垂直累计液态水含量为  $3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  的回波区开始扩大, 并出现了液水含量为  $18 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  的回波区; 08:17—08:23 合并连片并逐步增强; 09:30 达到最大, 杨家庄炮点偏北附近最大累计液水含量达到  $23 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  (见图 5)。

06:50 左右富平以西的淡村、兔子, 北部的庄里、薛镇、美原等 11 个炮 (箭) 点开始作业, 作业后影响区回波顶高开始变高, 出现 8 km 的回波顶高; 第二次作业后的 06:57, 8 km 的回波顶高面积扩大, 一直持续到 07:09 达到最高, 并出现 10 km 的回波顶高区。合阳第一次增雨作业前的 07:40, 回波顶高为 5 km, 作业后 07:52 回波顶高上升到 8 km, 之后 8 km 回波顶高区域迅速扩大, 08:23 时在县城东北杨家庄、知堡炮点附近出现了 10 km 的回波顶高区, 并持续到 08:47, 说明作业前后回波顶高变化明显。

## 4 结语

4.1 渭北实施了人工增雨作业的六县普降中雨, 地面 24 h 降雨量最大达到 35.9 mm, 最小为 11.9 mm, 平均为 17.1 mm, 未作业对比 (县) 区只降 6.1 mm, 炮点加密雨量点资料也表明这次增雨作业增加了降雨量。

4.2 对比分析 CINRAD/CB 回波产品表明, 作业前后作业区基本反射率因子、垂直累积液水含量、回波顶高等均有明显变化, 回波区强度维持时间明显延长, 说明作业效果明显。



作业时间: 07:49—08:10; 单位:  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$

图5 作业前后西安新一代天气雷达垂直累积液水含量变化图

4.3 作业前后雷达回波变化特征为人工增雨作业效果的物理检验提供了有益的旁证。

4.4 CINRAD/CB 雷达监测资料与常规天气资料结合, 有利于人工增雨作业的科学性和指导性。

#### 参考文献:

[1] 张丽娟, 张德义, 刘栓利. 人工增雨的有利条件及

时机 [J]. 陕西气象, 2002 (增刊): 31-32.

[2] 游景炎, 段英, 游来光. 云降水物理和人工增雨技术研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1994.

[3] 申亿铭. 云中催化剂的扩散 [M]. 北京: 气象出版社, 1994.

[4] 中国气象局科技发展司. 人工影响天气岗位培训教材 [M]. 北京: 气象出版社, 2003.

## 用累积水汽压距平预报旱地冬小麦早熟

冬小麦生育期间  $\geq 0^\circ\text{C}$  的积温表示小麦生长期所获得的热量。积温达到一定量时, 冬小麦就成熟了。用积温距平可预报冬小麦的收获始期。但旱地冬小麦遇干旱影响易早熟, 积温预报其收获期效果不好。采用累积水汽压距平方法预报, 取得较满意的效果。累积水汽压距平是指作物生长期水汽压累积值与平均值的差距。水汽压表示大气中水汽的压力, 与温度有关。

经反复实践, 用冬小麦生长关键期 3、4 月的水汽压累积值, 可预报旱地冬小麦收获期。预报方程式为  $N = (X - X_i) / b$ , 式中  $N$  为预报收获始期与常年收获始期的距平值 (常年收获始期为

6 月 1 日);  $b$  为历年 5 月水汽压日平均值 (蒲城 1990—2005 年  $b = 13.8 \text{ hPa}$ );  $X$  为历年 3、4 月累积水汽压平均值 (503.1 hPa);  $X_i$  为预报年 3、4 月累积水汽压合计值。

将 1990—2005 年的水汽压值代入得:

$$N = (503.1 - X_i) / 13.8 = 36.5 - X_i / 13.8.$$

预报 2000、2001 年 (旱年) 冬小麦早熟时, 累积水汽压较积温预报冬小麦始期效果好。水汽压与温度和湿度相关联, 用来预报旱地冬小麦因高温、干旱而出现较大蒸腾, 作物因失水出现的早熟, 效果明显。

(王会玲)