

用雷达回波参量变化分析高炮人工防雹效果

李连银

(山东省气象科学研究所, 济南 250031)

提 要

应用 711 雷达 1976—1987 年 6 至 8 月在济南获取的 191 块雹云雷达回波参量资料和山东德州地区平原高炮人工防雹试验基地 1989—1991 年 6 至 8 月高炮防雹期间用 711 雷达获取的 18 次高炮人工防雹作业前后雹云雷达回波资料, 分析了高炮人工防雹效果。结果表明, 高炮人工防雹作业后雷达回波的最大回波顶高及下降速率, 0℃层亮带和回波形态结构都有明显的变化。

关键词: 最大回波顶高 0℃层 防雹效果 下降速率 回波形态

引 言

冰雹是山东省主要灾害性天气, 进入八十年代以来, 山东冰雹天气有明显增长趋势, 全省每年都有几次大范围强冰雹灾害天气。本文应用济南 711 雷达 1976—1987 年 6 至 8 月获取的 191 块雹云回波参量资料和山东德州地区平原高炮人工防雹试验基地 711 雷达自 1989—1991 年 6 至 8 月获取的 18 次高炮人工防雹作业前后回波参量资料相对比(济南距平原 60km), 利用最大回波顶高及下降速率, 0℃层亮带和回波形态结构的变化, 分析高炮人工防雹效果。

1 雹云判别指标

1.1 冰雹是一种发展猛烈、突发性很强的局地性强对流天气, 降雹前后雹云的顶高及下降速率变化很大。这些变化在雷达探测时是很清楚的。首先用 BB 指标把雹云从强对流云中判别出来。

$$BB = S + C + V + Q + H + F + G \quad (1)$$

式(1)中各要素的意义见表 1。由云的不同要

素得到不同的指数, 各指数之和为雹云指标 BB 。若 $BB < 5$ 为非雹云; $BB \geq 5$ 为雹云; $BB = 7$ 为强雹云。此指标是从济南 711 雷达 1976—1987 年 6 至 8 月探测到的 191 块雹云统计得出, 经 1988 年使用验证, 雹云判别准确率为 85% 以上, 并得到山东雹云最大回波顶高平均为 13.4km, 最大 19km, 最小 10km。雹云发展最旺盛的阶段回波顶高达最大值。该高度可稳定 20—30 分钟。图 1 是利用济南 711 雷达 1976—1987 年 6 至 8 月探测到的 191 块雹云和山东德州地区平原高炮人工防雹试验基地 711 雷达 1989—1991 年 6 至 8 月获取的 18 次高炮人工防雹作业雹云的统计结果得出。从图 1 中可以看出, 自然雹云降雹后的最大回波顶高下降速率最大为 $250\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$, 一般为 $100\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ 。经过催化作业的雹云最大回波顶高的下降速率最大为 $400\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$, 一般为 $200\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ 。防雹作业使雹云最大回波顶高的下降速率比自然雹云降雹后的下降速率大。

表 1 BB (冰雹云) 指标要素

指数	形状 S	移向 C	移速 $V/\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	强度 Q/dBz	衰减时云厚度变化 H	变化趋势 F	高度 G/km
1	典型的特殊形状或带状交叉处, 块状合并处	WN—SE 或乱向	31—45	>55	单上顶 10dB 后下降 $\leq 1\text{km}$, 或两端缩小比率相同	发展, 带状变弯, 块状合并	>13
0.8	带状, 块状	N—S NE—SW	46—60	45—54	单上顶 10dB 下降 1.1—2.0km	少变, 块状合并或带状弯曲	10—12
0.5	带状, 块状	W—E	少动或 $\geq 10—20$	<45	单上顶 10dB 下降 $\geq 2.0\text{km}$	少变	<10

表2是4次催化作业前后的雹云顶高和强度等变化情况。雷达观测发现对流云团时，

首先用BB指标进行判别，然后根据BB值的大小确定是否作业和用弹量。

表2 1990—1991年4次高炮防雹作业前后雷达回波强度回波顶高及下降速率

序号	日期	影响系统	强回波出现时间、方位	回波强度及顶高	作业时间	作业后回波顶高及下降速率
1	1990年8月11日	蒙古冷涡	23时11分325度	55dBz 13.4km	23时17—27分	7.6km $290\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
2	1991年6月28日	西北冷锋与切变线	21时09分300度	50dBz 12.7km	21时11—25分	9.5km $400\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
3	1991年7月14日	暖切变	21时13分308度	60dBz 18.3km	21时20—40分	10.5km $325\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
4	1991年8月16日	西北冷锋	19时49分65度	55dBz 17.3km	19时45分 —20时30分	6km $198\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$

注：下降速率是以炮击5分钟到回波顶高出现最低时的时间间隔计算的。

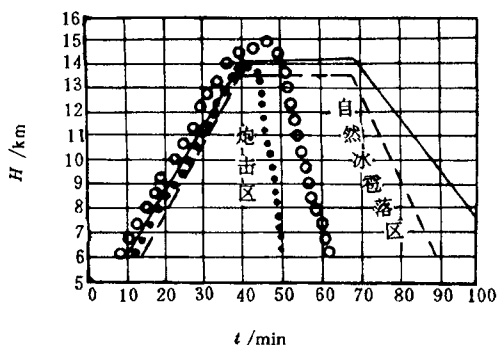


图1 自然雹云、人工催化雹云顶高下降速率

实线：自然雹云 0dBz，虚线：自然雹云 30dBz，

空心圈：人工催化雹云 0dBz，点线：人工催化雹云 30dBz

1.2 实例分析

1.2.1 1990年8月11日德州地区受高空蒙古冷涡影响，21时平原雷达发现西北方向有一强回波向平原雷达站移来。23时11分回波移到距平原雷达站60km处，最大回波顶高发展到13.4km，强度55dBz（以下回波强度均未进行距离订正）。23时17分回波前沿到达平原县王村店炮点控制区内，如图2(a)。根据BB指标判别为雹云，王村店炮点炮击10分钟，发射炮弹88发。23时42分回波顶高下降为7.6km，如图2(b)。雹云随之消散，回波顶高的下降速率为 $290\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ，在炮击区内只见了小软雹粒。而23时01分在340度方位探测到的一强度为40dBz，顶高为10km的雹云变化很小，如图2(c)。到23时50分顶高下降了0.5km，强度未变，如图2(d)。该云块途经之处个别地方出现了轻雹灾。

1.2.2 1991年6月28日，德州地区受西北冷锋和中低层切变线影响，21时09分雷达发现西北方向有强回波出现，最大回波顶高为12.7km，强度为45dBz，如图3(a)。在南移中回波不断增强。21时11分达到雹云指标，指挥部立即指挥处在280度19km的恩城、330度20km的王村店两炮点向雹云的前部滚轴翻花处和腰部炮击。自21时11分至25分炮击14分钟，发射炮弹160发，而后云体明显减弱、随之断开，最大回波顶高迅速下降。21时30分最大回波顶高只有9.5km，在 $295^\circ \rightarrow 310^\circ$ 20km处的炮击区炸点高度上出现了平台式的无回波区，如图3(b)。回波很快消散，作业区内未见冰雹。而处在290度方位的未作业回波变化很小。20时44分测得最大回波顶高12.5km，强度48dBz，如图3(c)。21时50分最大回波顶高仍为11.9km，强度未变。如图3(d)。回波路径处风雨较大，未见冰雹。

1.2.3 1991年7月14日德州地区受东西向切变影响，20时平原雷达站发现测站西北部70km处有一强对流回波群向南偏东移动，在移动中不断增强。21时10分最大顶高发展到12.5km，强度55dBz，顶部不断有新生对流泡出现，已有向雹云转化的趋势。21时20分达雹云指标，指挥部命令处在云前的王村店炮点立刻向雹云前部黑云处炮击至21时30分。但雹云回波最大顶高仍继续增长，21时33分顶高发展到18.3km，强度为65dBz，在炮击处却出现了无回波空洞，如图4(a)。此时王果铺的火箭炮和王村店炮点分

别向云前黑云翻花处和云腰部炮击。自21时33分至40分两次发射炮弹100发,火箭弹60枚,云体得到了控制。21时47分最大回波顶高下降为15.2km,强度减弱到50dBz,最高点变为最低点,如图4(b)。21时57分最大回波顶高下降为10.5km,强度仍为50dBz,但在合击炸点高度上出现了一长轴为7km,短轴为2km的椭圆型无回波洞如图4(c)。22

时05分雹云彻底崩溃,分成两层,如图4(d)。此次过程防区内见雹未成灾。处在270度30km内的未作业雹云情况却相反,此回波在20时48分探测时最大回波顶高15km,强度55dBz,如图4(e)。21时30分再次探测最大回波顶高为13km,强度50dBz,如图4(f)。据调查,降雹处的棉花三分之一被打断头。

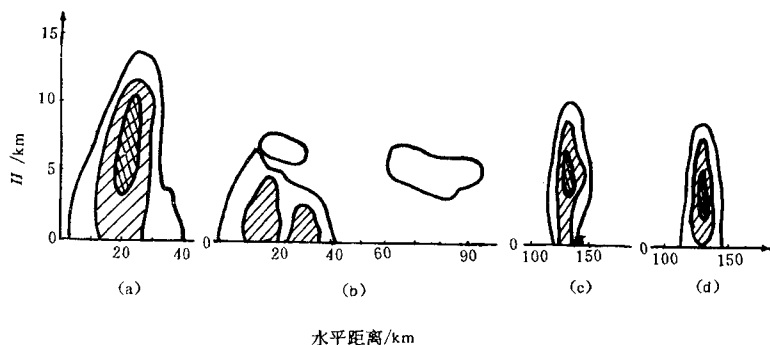


图2 1990年8月11日RHI上人工催化前后和未催化回波的比较

a:23时17分,332°,13.4km,作业前 b:23时42分,332°,17.6km,作业后

c:23时01分,340°,10km,未作业 d:23时50分,340°,9.5km,未作业

空白区:0dBz,斜线区:20dBz,阴影区:40dBz

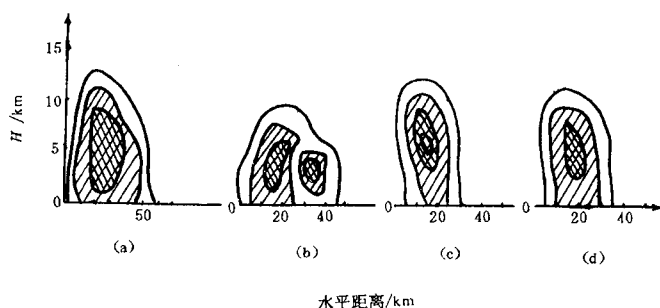


图3 1991年6月28日RHI上人工催化前后和未催化回波的比较

a:21时09分,300°,12.7km,作业前 b:21时30分,300°,9.5km,作业后

c:20时44分,290°,12.5km,未作业 d:21时50分,292°,11.9km,未作业

说明同图2

2 0℃层亮带的变化

降水发展全过程的雷达资料表明,在大部分层状云降水回波中上部的0℃等温线附近,常常出现一个亮度较大的区域,称之为0℃层亮带,这是层状云降水回波的主要特征。这一现象表明层状云降水中气流平稳,无明显的对流运动^[1],云中有冰水转换产生。雷暴后期也经常出现0℃层亮带,它的出现表

明雷暴趋于消散^[2]。据对1976—1987年6月至8月济南711雷达探测到的191块自然雹云发展史的统计发现,有37次出现了0℃层亮带,出现几率为19.3%(37/191)。在出现时间上一般从旺盛阶段到0℃层亮带的出现为一小时左右。当对一块达到旺盛阶段的雹云进行炮击后,情况却大不相同。据对1989—1991年山东德州地区平原高炮人工

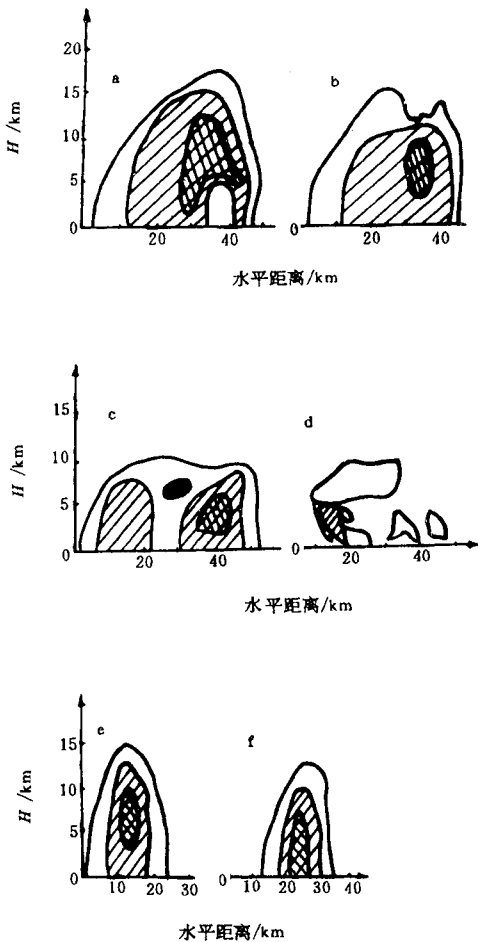


图4 1991年7月14日RHI上人工催化前后和未催化回波比较

- a: 20时50分, 325°, 18.3km, 作业时
 b: 21时47分, 326°, 15.2km, 作业后
 c: 21时57分, 326°, 10.5km, 停止作业17分钟
 d: 22时05分, 326°, 9.5km
 e: 20时48分, 270°, 15.0km, 未作业
 f: 21时30分, 272°, 13.0km, 未作业
 说明同图2

防雹试验基地711雷达探测的18次高炮人工防雹作业个例的统计分析表明,有13次出现了0℃层亮带,出现几率高达72%(13/18)。从旺盛阶段到0℃层亮带的出现一般为25分钟左右。

2.1 实例分析

2.1.1 1991年7月12日20时30分,平原

雷达发现西北方向80km处河北武邑县南部有一强对流云向平原雷达站移来,此时最大回波顶高13km,强度50dBz,在南移中不断增强。21时05分最大回波顶高发展到14.9km,强度60dBz。自21时32分至45分恩城、李家户、祝官屯三炮点合击13分钟,向雹云前部发射炮弹280发,雹云得到控制,强度减弱为40dBz。22时20分云体变宽,最大回波顶高下降迅速、顶部模糊,最大回波顶高不到9km,衰减15dBz后在4.4km高度附近出现了0℃层亮带,如图5(a)。当日零度层高度为4.47km。随后雹云彻底崩溃。

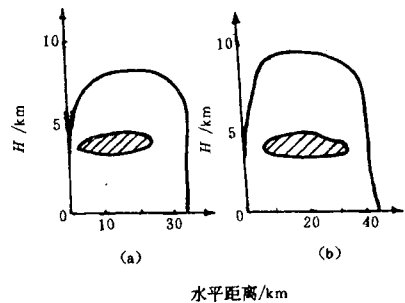


图5 高炮作业后RHI上0℃亮带位置

- a: 1991.7.12, 22时20分, 15dBz
 b: 1991.8.17, 16时01分, 18dBz
 空白区, 0dBz, 阴影区, 0℃亮带

2.1.2 1991年8月17日14时35分,平原雷达发现在测站东部10—50km处有一强对流云发展成雹云,最大回波顶高15.1km,强度55dBz。已达雹云指标,从15时15分至15时25分向雹云腰部、前部滚轴翻花处炮击10分钟,发射炮弹150发,雹云强度明显减弱,顶高稍有增长,随后急剧下降。16时云体变松散、变宽,强度30dBz,最大回波顶高不到10km,衰减18dBz后在4.5km高度附近有明显的0℃层亮带,如图5(b)。当日零度层高度4.73km。这些现象表明高炮人工防雹作业迫使雹云云体趋于消散或转化为层状云降水^[3]。

3 雹云回波形态结构的变化

雹云的形成发展规律表明,强对流单体的合并或加强是生成雹云的先兆。而解体这种反过程意味着雹云的衰亡消散,此种现象往往是雹云发展中的第三个阶段。据对济南

711 雷达 12 年间 191 块雹云发展史的统计分析表明,从第二(旺盛)个阶段到第三个阶段需要 1 至 1.5 小时左右,而对山东德州地区平原高炮人工防雹试验基地 711 雷达 3 年探测的 18 次高炮人工防雹作业的分析表明,经高炮人工作业的雹云从第二个阶段到第三个阶段只要 35 至 45 分钟,并常常出现跳跃式的解体现象,如图 2、图 4 的演变过程。再如 1991 年 7 月 17 日的作业过程,该日 14 时 50 分平原雷达发现在临邑附近有一局地性

的强对流单体发展成雹云。在 RHI 上云体呈柱状,最大回波顶高 17.3km,强度 50dBz,如图 6(a)。15 时 15 分雹云单体进入临邑上空,该炮点立刻向雹云前部黑云处炮击 12 分钟,发射炮弹 110 发。15 时 27 分云体开始减弱解体,最大回波顶高降为 12.7km,如图 6(b)。15 时 29 分云体分解为三块,如图 6(c),15 时 32 分云体彻底崩溃,强度 25dBz,如图 6(d)。16 时云体彻底消散。

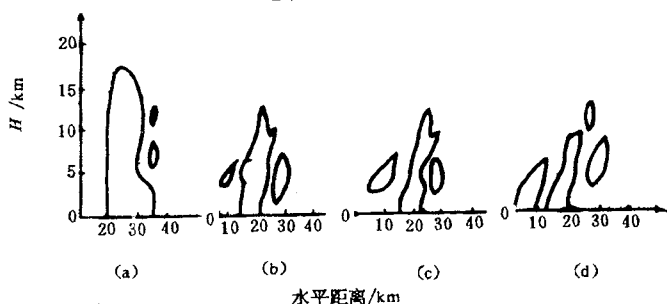


图 6 1991 年 7 月 17 日高炮作业前后雹云回波在 RHI 上的变化

4 小 结

4.1 高炮人工防雹作业后雹云的最大回波顶高下降速率远远大于自然雹云的最大回波顶高下降速率,强区迅速消失。

4.2 高炮人工防雹作业后雹云生命史比自然雹云生命史短、解体快。

4.3 高炮人工防雹作业后,雹云 0℃ 层亮带的出现几率比自然雹云 0℃ 层亮带的出现几率大 3.7 倍。

4.4 经济损失大大减小,按 4 年累计防灾面

积 10.1 万 ha 计算,减少经济损失 1108.1 万元人民币^[4]。

参考文献

- 1 陈良栋编著. 雷达气象学. 南京: 中国人民解放军空军气象学院, 1982 年.
- 2 南京大学气象系. 雷达气象学. 南京: 南京大学, 1975 年.
- 3 中国科学院大气物理研究所雷达组编著. 雷达探测冰雹云. 北京: 科学出版社, 1980 年.
- 4 山东德州人工降雨防雹为农业生产相关性研究. 课题报告. 山东德州, 1991 年.

The Effect Analysis on Hail Suppression by Antihail Gun Using Radar Echo Variations

Li Lianyin

(Shandong Institute of Meteorology, Jinan, 250031)

Abstract

Based on 191 hail cloud echoes and variations obtained with a 711 radar in Jinan during June to August from 1976 to 1987 and the radar echo during June to August of 1989—1991 operational period by antihail gun in Pingyuan county, Dezhou district, the effect of hail suppression is evaluated. The results show that echo top altitude and its descent rate, bright belt of 0℃ layer and structures of radar echo are all varied obviously after the hail suppression operations. The analysis is aiming at propelling to develop the cause of hail suppression in Shandong province and making greater contributions to decrease natural disasters.

Key Words: hail suppression height of the strongest echo bright belt of 0℃ layer effect of hail suppression