

一次高炮防雹效果的 CINRAD/CC 产品分析

刘治国¹, 陶健红¹, 王学良², 蒋 张³, 王锡稳¹
杨建才¹, 王 勇¹, 王志宇¹

(1. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020; 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;
2. 甘肃省兰州市气象局, 甘肃 兰州 730020; 3. 重庆市合川县官渡中学, 重庆 合川 401541)

摘 要:结合 2005 年 6 月 25 日祁连山东部 1 次高炮消雹试验, 利用新一代天气雷达高时空分辨率资料, 从消雹前后雷达回波外形特征、垂直最大回波强度、回波顶高、雹云内部水平风场、垂直结构、最大垂直积分液态含水量的变化以及地面降水实况等方面进行了检验分析。结果表明: (1) 高炮消雹抑制雹云的发展主要存在 2 方面作用: 一是 AgI 在爆炸点附近快速四周散播, 并与周围冻滴快速碰撞并减少冻滴的平均质量和直径, 二是炮弹爆炸动力抑制爆炸点下方附近上升气流的发展; (2) 高炮消雹在有效抑制冰雹云发展的同时, 有利于地面降水的产生, 起到人工增雨的效果, 对此次消雹过程而言, 假设空中液态水以雨滴形式全部降到地面, 消雹后地面降水将增加 4.69%。

关键词:高炮消雹; 新一代天气雷达; 效果检验

中图分类号:P482

文献标识码:A

引 言

祁连山东部位于 3 大高原交汇地带, 植被稀少, 地面裸露, 温差大, 局部地区容易形成强烈上升气流, 加上境内的毛毛山、马雅山、雷公山海拔均在 4 000 m 以上, 气候阴湿, 水汽充沛, 造成冰雹是祁连山东部夏季主要灾害性天气之一。冰雹作为一种短时强烈灾害性天气, 其发生、发展和影响过程只有数小时甚至几十分钟, 然而它以及与之相伴的大风、雷暴常常给农业、交通、甚至生命财产等造成严重影响。据不完全统计, 2005 年 5 月 30 日甘肃遭受区域冰雹袭击, 造成全省直接经济损失达 11 962.8 万元。因此对冰雹天气的发生做出准确气象监测和预报的同时, 及时开展人工消雹作业, 对防灾减灾具有十分重要的意义。

人工消雹是基于人类为了生存的需要, 通过人工催化克服或减轻冰雹引起的自然灾害, 促使天气向有利的方向发展。自 Schaefer^[1] 和 Vonnegut^[2] 发现干冰和碘化银可以促使云内的过冷水向冰晶转化以后, 国内外普遍采用这 2 种成冰物质对冷云进行

催化, 我国采用“37”高炮进行消雹作业已有 30 余 a。目前全国数千门高炮在使用中, 年耗弹量数十万发, 规模居世界之首, 且还有发展之势。这样一个庞大的工程措施, 本应有严格的工程原理和工程目的(效果评估)作依据, 但鉴于我国消雹活动是在总结群众消雹经验中发展起来的, 形成了先有消雹作业, 再有工具发展, 继而才有效果检验和原理性研究的局面。在消雹理论还不十分成熟的今天, 如何开展消雹效果检验具有十分重要的意义。

关于消雹效果, 正如 Changnon^[3-4] 所述, 人工影响天气的效果评估经历了一个从依赖统计检验, 强调随机化试验到重新注重经验证据, 学会如何正确设计作业方案, 探索物理因子同统计检验结合为一体的试验研究和业务性作业的大轮回过程。甘肃消雹效果检验也不例外, 在 20 世纪 80 年代陈立祥^[5] 就使用统计学方法分析了 1972~1977 年土炮消雹试验的效果, 在消雹工程 30 余 a 的发展中, 对消雹工具的改进和经验总结等方面做了不少工作, 但对消雹效果却缺少认真研究, 在现代化观测手段不断发展的今天, 如何利用新一代天气雷达高时空

收稿日期: 2005-11-17; 改回日期: 2006-03-22

基金项目: 国家科技攻关项目(2004BA901A16); 中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2005Y05)及甘肃省自然科学基金重点项目(3ZS041-A25-012)共同资助

作者简介: 刘治国(1977-), 男, 重庆潼南县人, 在职研究生, 主要从事短期天气预报与研究。

分辨率资料分析高炮消雹效果具有十分重要的意义。因此本文利用兰州新一代天气雷达(CINRAD/CC),对2005年6月25日在祁连山东部开展的一次高炮消雹试验进行了效果分析,以期今后消雹效果检验提供新的思路。

1 天气事实

2005年6月25日下午,受高空西北气流中短波槽影响,祁连山东部的永登、榆中、皋兰3县6乡镇和西固区先后遭受不同程度的冰雹袭击,这是兰

州市当年范围最广的1次冰雹天气过程。在此次冰雹过程中,兰州市人工影响天气办公室在全市高炮消雹作业准确及时,所有下落的固态水成物直径均未超过5 mm,减少了其经济损失,没有造成人员伤亡,据兰州市气象局上报,此次冰雹过程造成兰州市直接经济损失67.9万元。由于此次系统雷达回波分散、时间序列较长,是多个冰雹单体在不同时间作用的结果,因此我们只对石洞乡的高炮消雹(表1)进行了效果检验。

表1 石洞乡6月25日高炮消雹作业实况

Tab. 1 The state of the hail suppression at Shidongxiang station on June 25, 2005

作业点	海拔/m	作业时间(北京时间)	耗弹量/发	经度	纬度
石洞	1 726	13:56 ~ 14:08	8	103°54'E	36°23'N

2 资料说明及处理

2.1 资料说明

兰州新一代天气雷达是新一代C波段全相干脉冲多普勒天气雷达,架设在兰州南面皋兰山顶(103°51'6"E,36°0'36"N),海拔高度2 189.6 m,天线中心相对地面高度29.6 m。文中所用雷达体积扫描(VPPI)资料均是用降水观测模式2观测所得,它是由14层仰角依次为0.5°,1.5°,2.4°,3.4°,4.3°,5.3°,6.2°,7.5°,8.7°,10.0°,12.0°,14.0°,16.7°和19.5°PPI组成的球坐标数据,高度量程20 km,距离量程150 km,脉冲宽度1 μs,采用滤波器2进行地物对消;高炮消雹作业、地面降雹(水)实况和灾情资料均来自兰州市气象局。

2.2 资料处理

由于雷达VPPI扫描仰角不连续容易造成许多缺测区;加上受多普勒“两难”^[6]限制,其径向速度资料还经常出现速度模糊区^[7],因此在分析中对雷达资料进行了相应的处理。分层组合反射率因子、最大回波强度和回波顶高均原用雷达物理量产品中自带方法进行计算^[8];在进行水平风场反演之前首先对雷达径向速度资料采用自动退模糊技术进行了预处理^[6],同时采用具有外延功能的3D-Barnes插值方案^[9]实现资料直角坐标格点化,插值平面直角坐标网格为2 km × 2 km,垂直格距为0.5 km,反演技术主要采用邱崇践^[10-12]等人提出的基于变分理

论的简单共轭函数改进方案进行反演;最大垂直积分液态含水量(VIL)采用刘治国*等提出的改进后的计算方案进行计算;由于作业点与雷达天线中心海拔高度不同,表述中容易混淆,因此在忽略地球曲率的情况下将作业点高度订正到雷达天线中心高度,即近似认为作业点高度为-0.5 km(作业点海拔-雷达站海拔-天线中心相对地面高度=-493.2 m),因此文章后面涉及到的部分高度数据与参考文献有所不同。

3 CINRAD/CC产品在消雹前后的变化特征

3.1 消雹前后雷达回波外形特征变化

为了比较消雹前后雷达回波外形特征的变化,将13:52(消雹前4 min)和14:12(消雹后4 min)2个VPPI资料进行了分层显示,利用雷达物理量产品做出了2.5~6.5 km高度上分层(间隔0.5 km)组合反射率因子^[13]显示图(图1)。

从图1中可以看出,消雹前后,雷达回波强中心在2.5~3.0 km高度上强度变化不大,维持在40~45 dBZ之间,范围稍有减小;在3.0~4.0 km高度上强度有所减弱、范围明显减小;在4.0~6.0 km高度上强度和范围变化均不大;6.0 km以上,40 dBZ以上强中心消失,单体变得松散。从总体高度变化上看,消雹前后,雷达回波强中心高度下降0.5 km以上,表明:消雹后雷达回波强中心高度有所下降,同时单体内部在3~4 km高度范围内将发生显著变

* 刘治国,邱崇践,陶建红等,一例β中尺度对流系统的CINRAD/CC产品分析,《大气科学》待发表。

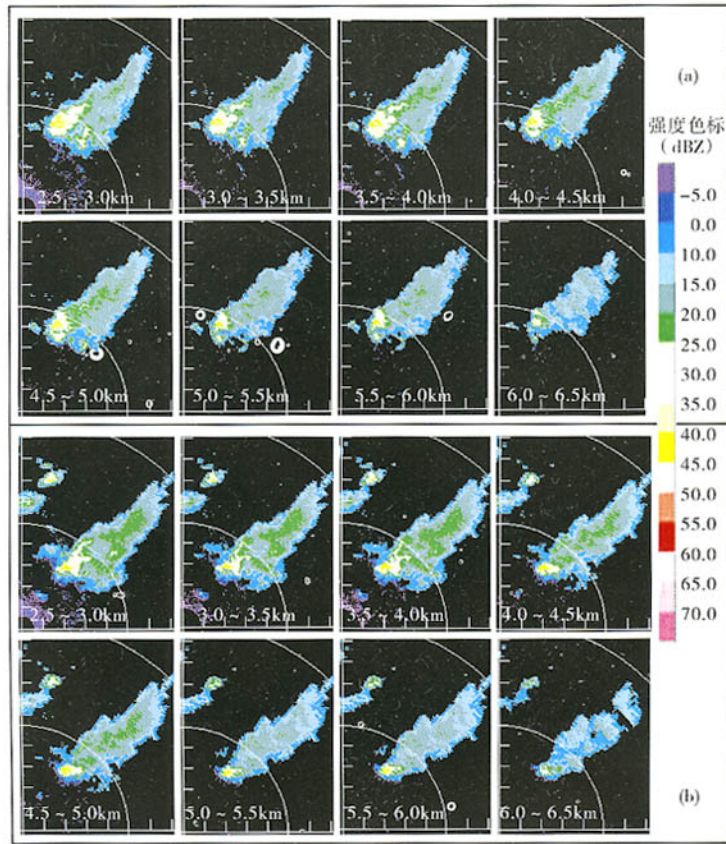


图1 消雹前(a)、后(b)单体各层组合反射率因子外形特征
(图中(a)、(b)分别表示 13:52,14:12 各层组合反射率因子外形特征,下方标出了高度层)

Fig. 1 Composite reflectivity images before (a) and after (b) the hail suppression

化。分析出现上述变化特征的原因:由于高炮作业,炮弹一般在 3.5~4.5 km 高度上爆炸(具体高度还与发射仰角有关),炮弹中 AgI 将在爆炸点附近快速四周散播,并与周围冻滴碰并而减少冻滴的平均质量和直径^[14],从而抑制了爆炸点附近雹云发展,同时由于爆炸动力抑制发展中的雹云内部强烈的上升气流^[15],加上重力作用,使 AgI 向下播散速度优于向上速度,因此雹云内部在炮弹爆炸点下方附近(3~4 km 高度层)其强度将发生显著变化,炮弹爆炸产生的动力抑制发展中雹云内部强烈的上升气流,使得雹云强中心高度降低。从各层弱回波区的变化看,消雹前后除了 6~6.5 km 高度上的弱回波区变得松散外,其他各层均无明显变化,说明高炮消雹对炮弹爆炸点周围影响范围较小,从开始消雹到 14:12,16 min 影响水平范围 2~3 km,垂直高度在 1 km

左右,表明炮弹爆炸后 AgI 在水平方向散播比垂直方向灵敏。

3.2 消雹前后垂直最大回波强度(CR)和回波顶高(ET)的变化特征

由于雷达 VPPI 资料在垂直高度上不连续,加上炮弹爆炸点几乎不在雷达所设定的仰角层上,为研究消雹前后回波强度的变化制造了一定的困难,根据消雹作业条件的要求,作业应在回波发展旺盛阶段、在强上升气流边缘进行消雹效果更佳^[16],这样对雹云发展有很好的抑制作用,因此我们比较了作业前后 CR 的变化特征(图 2)。

CR 是应用 VPPI 获取的回波强度数据,在以 1 km×1 km 为底面积,直到回波顶的垂直柱体中,对所有位于该柱体中的回波强度资料进行比较,挑选出最大的回波强度,并在挑选到的最大回波强度所

在位置进行显示^[13]。从图2中可以看出,消雹后单体内部CR中心强度明显减弱,由于雹云发展到成熟阶段,其回波强度主要受雹云内部冰球或冰水混合物粒径大小的影响,与雹云内部粒子数密度关系不明显,由此说明高炮消雹有利于减小冻滴的平均直径,从而导致回波强度降低。

ET是指反射率因子大于一定值(本文选择 ≥ 18 dBZ)的反射粒子被雷达探测到时,显示以最高仰角为基础的回波顶高度^[13](本文忽略地球曲率,以雷

达天线中心高度为参考)。

从整个单体ET变化看(图3),作业前,强回波区所在ET最高达9.5 km,作业后降低到8.0 km,周围弱回波区域的ET基本维持,原因在于炮弹爆炸点位于强回波区域,由于影响范围较小而使周围弱回波区域的ET基本维持,因此,高炮消雹能够降低爆炸点附近区域回波顶高,从而减弱爆炸点附近雹云的发展,当然这除了炮弹催化影响外,还与爆炸产生的冲击波动力抑制强烈上升气流有关。

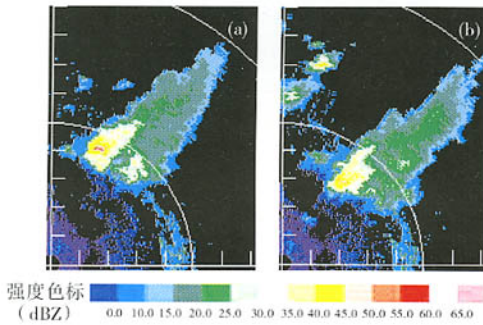


图2 消雹前(a)、后(b)垂直最大回波强度变化特征
(图中(a)、(b)分别表示13:52、14:12垂直最大回波强度)

Fig. 2 The maximum echo intensity images before(a) and after(b) the hail suppression

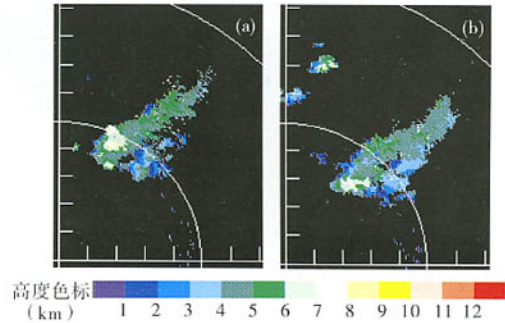


图3 消雹前(a)、后(b)回波顶高变化特征
(图中(a)、(b)分别表示13:52、14:12回波顶高)

Fig. 3 The echo tops images before(a) and after(b) the hail suppression

3.3 消雹前后雹云水平风场的变化特征

众所周知,雷达速度回波给出的是以雷达为中心的径向速度,不能直接产生大气的水平运动场资料,但径向速度和反射率强度时间和空间的变化遵循一定的规律,在一定程度上受大气运动的控制,这为我们实现风场的水平反演提供了依据^[10],为此对消雹前(13:52)、后(14:12)雷达VPPI资料进行了水平风场反演,以求分析消雹对系统水平风场的影响。

分析图4发现,消雹前,3 km高度以下,在强回波中心东侧存在明显的西北和北风之间的风向辐合区,有利于低层水汽的向上输送,在5~5.5 km高度上风向突然由西北风转为西风,说明在该高度层存在较强的冷平流,有利于高空水汽的冻结形成冰雹,同时在5 km高度以上风速明显减小,在6.5 km高度上系统开始出现辐散区域,表明雹云低层强烈的辐合上升气流高度在6.5 km以下(甚至更低)。而

消雹后,3 km高度以下的风场基本维持,但在3.5~4.0 km高度上风速与消雹前相比突然减小,表明系统内部在3.5~4.0 km高度上流场受到了抑制,炮弹爆炸动力有效地抑制了爆炸点下方附近强烈的上升气流,使环境流场突然减小,抑制了3.5 km以下的反射粒子向上输送,但在4.5~5.0 km高度上风速反而有所增加,爆炸动力加速其上方附近粒子向上对流,使上方环境流场突然增加。由此可见炮弹爆炸不但抑制了爆炸点下方(3.5 km以下)反射粒子向上输送,而且加速了其上方(4.5 km)以上水汽的向上输送,从而使得在3.5~4.5 km高度层的反射粒子减少,从而降低其回波强度,这与雷达回波外形特征在3~4 km变化明显基本吻合,同时由上述风场变化特征,我们还可以估计炮弹是在雹云内4.0~4.5 km高度层中爆炸,与实际炮弹一般在3.5~4.5 km高度上爆炸基本吻合。

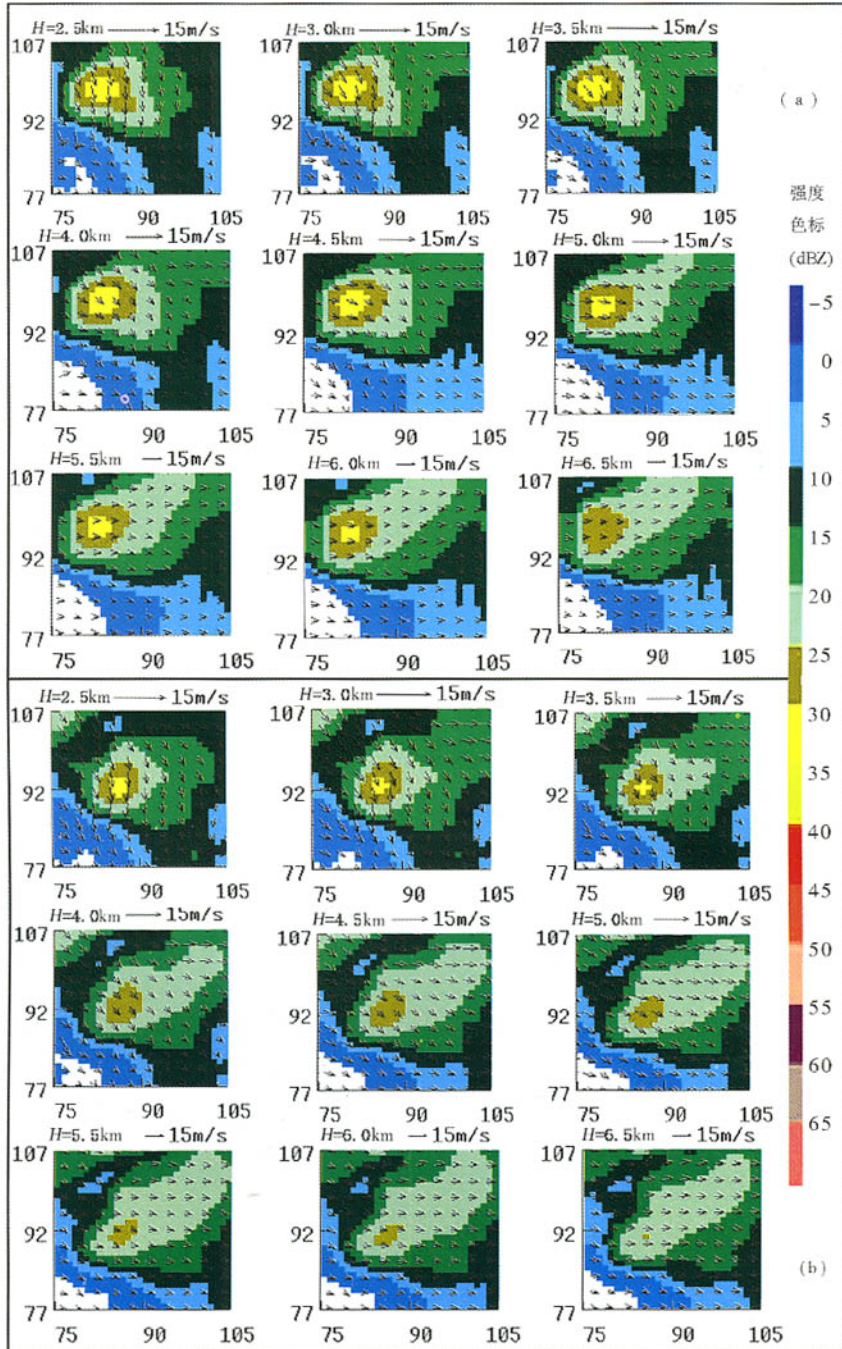


图4 消雹前(a)、后(b)水平风场与反射率强度叠加图

(图中(a)、(b)分别表示13:52,14:12各层水平风场与反射率强度叠加;反射率强度见图右侧强度色标,图左上方 H 标明高度,箭头长短表示风速大小,箭头方向表示风场方向,图中坐标单位均为2 km,雷达所在坐标为(75,77))

Fig.4 Superposition of the reflectivity and the horizontal wind field before(a) and after(b) the hail suppression

3.4 消雹前后雹云垂直结构的变化特征

为了分析消雹前后单体垂直结构的变化,我们利用雷达 RHI 扫描资料分析了消雹前(13:43)后

(14:04)雹云反射率因子强度和径向速度的变化特征(图5)。

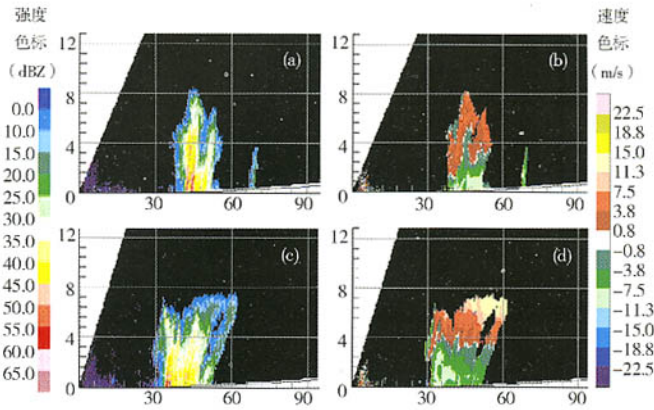


图5 消雹前后雹云垂直结构的变化特征

(图中(a),(b)和(c),(d)分别表示消雹前(13:43)、后(14:03)雹云的回波强度和径向速度;消雹前后 RHI 扫描方位分别为 20.9° 和 31.5° , 均通过同一雹云强回波中心)

Fig. 5 The vertical structure of the hail cloud before(a, b) and after(c, d) the hail suppression

从强度变化看,消雹前单体范围较小,45 dBZ 以上的回波高度在 2 km 左右,40 dBZ 以上的回波出现细、高的外形特征,在回波顶部出现“钉”状虚假回波(冰雹云特有的外形特征^[17],三体散射造成),由此可判断为雹云回波;消雹后 45 dBZ 以上的回波高度降低到 0.5 km 高度左右,但单体范围扩大,强度分布更加均匀,回波顶部的“钉”状虚假回波消失,开始出现下拉云砧,回波顶变得平坦,出现降水回波特征。由于雷达水平高度与消雹点地面高度不同,无法判断回波底高的变化情况,但可以判断强回波底高应在 0 km 高度(以雷达为标准)以下。从径向速度的变化上看,消雹前,强烈的上升气流(暖色)高度较低,在 2 km 左右,同时在单体顶部出现凸出的暖色区域,说明单体内部存在强烈的上升气流,有利于低层水汽的向上输送,促使雹云发展;消雹后,由于炮弹爆炸动力抑制低层上升气流的发展,使得速度回波中暖色区域底部抬高到 4 km 左右,表明爆炸可以抑制爆炸点下方附近上升气流的发展,甚至转变为下沉气流。

3.5 消雹前后雹云最大垂直积分液态含水量 (VIL_{max}) 的变化特征

由于每次天气过程地面降水(雹)都与相应位置的 VIL 相对应,因此,利用改进后的 VIL 计算公式计算并提取了雹云在不同时间的 VIL_{max} ,同时绘制

了时间序列图(图6),以求分析消雹前后 VIL_{max} 变化规律。

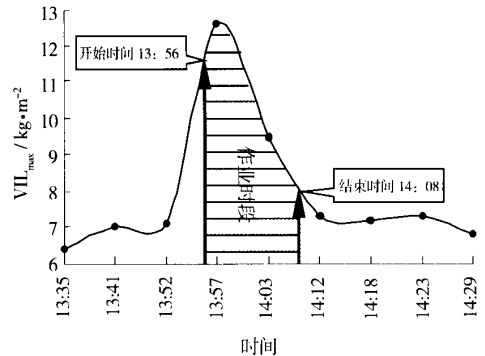


图6 最大垂直累积液态含水量时间序列图

Fig. 6 The maximum values change of the vertically integrated liquid water content

从图6中可以看出:13:35~13:52,单体 VIL_{max} 变化缓慢,维持在 $6 \sim 8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间,13:52 以后陡然增加,到 13:57 增加到 $12.6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,根据冰雹单体在降水前 15 min 内 VIL_{max} 将发生明显跃增的特点可以判断,此次单体属于冰雹单体,而且该冰雹单体在 13:57 左右发展到旺盛阶段,可能在 15 min 内出

现冰雹。为此兰州市人影办于 13:56 ~ 14:08 在石洞乡开展了高炮消雹作业,共发射炮弹 8 发,从单体 VIL_{max} 的变化分析,13:57 以后, VIL_{max} 没有发生 2 次跃增,反而开始缓慢下降,转为地面降水的变化特征,其主要原因在于炮弹爆炸后很快将 AgI 分散在冰雹云中,并与周围的冻滴快速碰并而减少冻滴的平均直径,由于 VIL 是在假设降水粒子后向散射特性符合瑞利散射的条件下计算的^[13],消雹前,雹粒半径 r 与雷达工作波长 λ (5 cm) 相比, $2\pi r/\lambda \ll 1$ 的条件不能满足,粒子后向散射特性属于米散射,使计算得到的 VIL 出现跃增,消雹后雹胚较少(小),粒子后向散射特性转为瑞利散射,导致 VIL_{max} 计算值降低,从而出现缓慢下降趋势。14:12 以后, VIL_{max} 维持在 $7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上,与跃增前相比反而有所增加,计算消雹前(13:35 ~ 13:52)、后(14:12 ~ 14:29) VIL_{max} 的平均值,消雹前平均为 $6.83 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,而消雹后平均值增加到 $7.15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,假设空中液态水以雨滴形式全部降到地面,消雹后地面降水将增加 4.69%,由此可见,高炮消雹在有效抑制冰雹云发展的同时,还有利于地面降水,起到人工增雨的作用。

4 地面降水实况检验

从雹云移动和地面降水看,13:57,雹云反射率因子强中心移到石洞乡上空,且处于发展旺盛阶段,由于及时进行高炮消雹作业,使得石洞地面没有出现冰雹,降水在 0.1 mm 以下,14:08 以后,回波减弱并向西南移动,15:16 到达什川乡上空,地面出现较大雨滴,10 min 左右降水达到 2.5 mm。说明高炮在消雹的同时还有利于地面降水。

5 结果与讨论

(1) 炮弹中的 AgI 将在爆炸点附近快速四周散播,并与周围的冻滴快速碰并而减小冻滴的平均质量和直径,从而抑制爆炸点附近雹云的发展,使其内部在 3 ~ 4 km 高度范围内发生显著变化,回波顶高下降 1.5 km 以上,促使冰雹回波外形特征在较短时间内转变为降水回波特征。同时由于炮弹爆炸产生的冲击波动力将抑制发展中的冰雹云内部强烈的上升气流,加上重力作用,使得 AgI 向下播散速度优于向上速度。

(2) 高炮消雹对炮弹爆炸点周围影响范围较小,水平范围在 2 ~ 3 km 之间,垂直高度在 1 km 左右,受炮弹爆炸冲击波动力影响,AgI 在水平方向散播比垂直方向灵敏,对爆炸点水平范围 3 km、垂直

范围 1 km 以外的弱回波区影响较小。

(3) 爆炸动力可以抑制爆炸点下方附近上升气流的发展,甚至转为下沉气流,促使爆炸点下方环境风场突然减小;同时也加速了上方附近粒子向上对流,使上方环境风场增加。用上述风场变化特征可以估计炮弹爆炸点高度在 4.0 ~ 4.5 km,与实际情况基本吻合。

(4) 炮弹爆炸后很快将 AgI 分散在冰雹云中,减小雹粒直径,使其后向散射特性由米散射向瑞利散射转变,使计算得到的单体最大垂直积分液态含水量开始缓慢下降,同时 AgI 分散使单体内凝结核增加,有利于地面降水的产生,起到人工增雨的效果。对此次消雹过程而言,假设空中液态水以雨滴形式全部降到地面,消雹后地面降水将增加 4.69%。

本文只对一次消雹试验进行了效果检验,缺乏对更多雹云发展到不同时刻进行消雹的检验研究,与此有关的工作有待进一步加强和完善。同时对不同大小和强度的冰雹单体进行消雹所需炮弹多少以及炮弹爆炸动力对爆炸点下方(上方)附近上升气流的抑制(加强)的定量化研究,如何将消雹前雷达资料格点化并应用于数值预报模式初始场中,在不考虑消雹的情况下,将模式计算与消雹后实况比较,能够大大改进消雹的定量化检验效果,同时也是今后一段时间雷达资料在消雹效果检验中的研究重点。另外,本文所用的 3D - Barnes 插值方案对雷达 VPPI 资料进行等高平面插值存在一定的误差,同时所用的 VIL 理论模式是在假设云内雨滴谱符合 M - P 分布前提下,用反射率因子进行计算的,这与雹云内部实际液态含水量存在较大差异,即计算得到的 VIL 的跃增(降)只能反映雹云内部粒子的散射特性,不能反映其真实的液态含水量。

参考文献:

- [1] Schaefer V J. The production of ice crystals in a cloud of supercooled water droplets [J]. *Science*, 1946, 104: 457 - 459.
- [2] Vonnegut B. The nucleation of ice formation by silver iodide [J]. *J Appl Phys*, 1947, 18: 593 - 595.
- [3] Changnon S A. A perspective on weather modification evaluation [J]. *J Wea Mod*, 1986, 18: 1 - 5.
- [4] Changnon S A, Cambright W H. Experimentation involving controversial scientific and technological issues: weather modification as a case illustration [J]. *Bull Amer Met Soc*, 1990, 71 (3): 334 - 344.
- [5] 陈立祥. 甘肃人工防雹效果浅析 [J]. *大气科学*, 1981, 5(2): 225 - 229.
- [6] 胡明宝, 高太长, 汤达昌. 多普勒天气雷达资料分析与应用 [M]. 北京: 解放军出版社, 2000. 119 - 140.
- [7] 张培昌, 杜秉玉, 戴铁丕. 雷达气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 2000. 257 - 262.

- [8] The Warning Decision Training Branch. IC5.5 WSR - 88D Derived Products[M]. 1999. 41 - 46.
- [9] Barnes L A. Technique for maximizing details in numerical weather map analysis [J]. J Appl Meteor, 1964, 3, 395 - 409.
- [10] 邱崇践. 由单个多普勒雷达探测资料反演风矢量场的变分方法[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1999, 35(3): 183 - 188.
- [11] 邱崇践, Qin xu. 由单 Doppler 雷达资料反演水平风场的简单共轭函数方法的改进方案[J]. 应用气象学报, 1996, 7(4): 421 - 430.
- [12] Xu Q, Qin C J, Gu H D, et al. Simple adjoint retrieval of microburst winds from single - Doppler radar data[J]. Mon Wea Rev, 1995, 123(6): 1822 - 1833.
- [13] 中国气象局培训中心. 新一代天气雷达原理于应用讲义雷达讲义[M]. 北京: 科学技术培训部, 2000. 117 - 120, 247 - 277.
- [14] 黄燕, 徐华英. 播撒碘化银粒子进行人工防雹的数值试验[J]. 大气科学, 1994, 18(5): 612 - 622.
- [15] 许焕斌. 关于爆炸影响气流的力学原理[J]. 气象, 1979, 10(9): 26 - 29.
- [16] 洪延超. 冰雹形成机制和催化防雹机制研究[J]. 气象学报, 1999, 57(1): 30 - 44.
- [17] 张鸿发, 左洪超, 鄒秀书, 等. 平凉冰雹云回波特征分析[J]. 气象学报, 2002, 60(1): 110 - 115.

Effect Analysis of A Hail Suppression by Anti - hail Gun Based on CINRAD/CC Products

LIU Zhi - guo¹, TAO Jian - hong¹, WANG Xue - liang², JIANG Zhang³,

WANG Xi - wen¹, YANG Jian - cai¹, WANG Yong¹, WANG Zhi - yu¹

- (1. Lanzhou Central Meteorological Observatory; Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China;
2. Lanzhou Meteorological Bureau of Gansu Province, Lanzhou 730020, China;
3. Guandu Middle School, Hechuan 401541, Chongqing, China)

Abstract: The effect of a hail suppression by anti - hail gun which occurred on June 25, 2005 in the east part of the Qilian Mountain was analyzed by using the CINRAD/CC products, including the layer composite reflectivity factors, the maximum values of the vertical reflectivity, echo tops, the horizontal wind field in the hail cell, the vertical structure and the maximum values of VIL, their changes before and after the hail suppression, as well as ground precipitation. Results show: (1) There are two aspects of hail suppression effect by anti - hail gun: The first is that silver iodide crystals sprinkle fleetly around the explosive point, and collide with the surrounding frozen droplets, reducing the average quality and diameter of frozen droplets; the second is that the power from shells exploding suppresses the developing of the updrafts under the explosive point. (2) The hail suppression by anti - hail gun is available for rainfall increase on ground. As for this hail suppression process, assuming that liquid water in the hail cloud falls completely as raindrops to the ground, the precipitation on the ground will increase 4.69%.

Key words: hail suppression by anti - hail gun; CINRAD/CC; effect analysis