

# 爆炸防雷中可能动力机制的探讨

许焕斌

(河北省人工影响天气办公室, 石家庄, 050021)

## 摘 要

文中在进一步归纳观测现象和分析爆炸产物能力的基础上, 提出了爆炸扰动气流和重力波破碎可以对气流产生显著影响的物理假说, 并应用数值模式模拟了扰动气流对基本流的作用, 得到的结果与物理假说所预期的相一致; 也与过去的实验或试验结果相一致。这说明爆炸(瞬时)产生扰动场, 扰动场(维持一段时间)再与基本场相互作用来影响基本流(更长维持时间), 看来这可能是爆炸影响基本流的主导途径。

关键词: 爆炸影响气流, 爆炸防雷动力理论, 数值模拟。

## 1 引 言

利用“37”高炮进行防雷作业, 至今已有 25 a。全国有 15 个以上的省区在进行高炮防雷, 使用高炮 5000 多门, 年耗炮弹 60 余万发, 规模在世界上名列第一。

关于防雷的效果, 地方政府和农民是很肯定的, 把炮点设在多雷的地区, 20 多年来雷灾明显减少了。虽然效果检验的方法是简单对比或统计分析, 但 20 a 的历史事实是不能因方法简单而予以否定的。现在的任务是进一步探讨爆炸防雷的机制。

目前“37”炮弹装有碘化银, 弹在云中爆炸, 一是爆炸的产物(爆炸气体、冲击波、声波、飞溅的碎片群等)及其在大气中激起的空气运动(重力波和高速扰动气流); 二是产生碘化银成冰核。这二方面都可能对雷云的成雷过程起作用。成冰核的作用是想促使产生更多的雷胚去与自然雷胚争食过冷水来抑制大雷生成, 这个过程要从次微米级冰核形成为毫米级雷胚, 所需时间过长, 而人们观测到的爆炸效果则在 10 min 之内, 因而冰核的作用难以解释这种快速反应。为此我们再从分析归纳观测事实入手, 来提炼应该有什么样的机制, 以及爆炸产物是不是可以产生这些机制。

## 2 爆炸效应的表现

据有关报告和文献记载, 云中爆炸的物理变化表现在三方面<sup>[1]</sup>:

初稿时间: 1998 年 7 月 24 日; 修改稿时间: 2000 年 5 月 18 日。

资助课题: 河北省“95”重大科技攻关项目(96-95-12-3)。

客座研究员, 隶属北京应用气象研究所(北京市 9813 信箱 057 号, 100029)。

### (1) 雷达回波变化

雹云回波顶下降, 回波减弱, 减弱速度比自然变化明显加快<sup>[2]</sup>; 移速骤减, 有转向趋势。回波出现空洞, 弱区、强区分裂<sup>[3,4]</sup>。

### (2) 降水的变化<sup>[5]</sup>

炮响雨落。在炮击后几分钟内, 原来不下雨的云发生降雨; 原已下雨的云, 雨强加大, 雨滴也变大, 降雨谱变宽, 出现双峰。

### (3) 雹击带的变化<sup>[6,7]</sup>

雹击带在防雷区边沿骤止; 雹击带在防雷区边沿转向; 雹击带在防雷外沿地区变短。看来, 防雷活动并不显著减少了降雹面积, 但防雷区内降雹明显减少, 而防雷区外沿降雹增多。

## 3 爆炸对云体的动力机制

### 3.1 从爆炸效果表现可归纳出来的动力机制

从观测分析结果来看, 如果爆炸作用具有下列动力机制, 有可能解释这些现象的发生。

(1) 爆炸产物抑制了上升气流, 由于云的发展和维持, 需要有上升气流的支撑, 上升气流被抑制, 云的回波顶就下沉, 回波会减弱, 以致出现空洞和分裂。

(2) 爆炸产物使降水粒子运动加速, 粒子运动阻力减小, 落速增加, 可产生炮响雨落, 或炮响雨增强。

(3) 爆炸产物使炸区不利于雹云发展和维持, 对上升气流的抑制以及不利于对流的发展, 可以达到这种效果, 因而可导致雹云在防雷区边沿转向, 或使雹击带骤然截止。

### 3.2 爆炸产物的效应可否引发所归纳的动力机制

爆炸产物有爆炸气体、飞溅的弹片、冲击波以及爆炸激起的强扰动气流和重力波。在文献[1]中, 已分析估计了爆炸气体和飞溅的弹片的作用是可以忽略的, 其它几种产物的作用如何呢?

(1) 爆炸产生的冲击波对气流的力学效应可把  $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  左右的上升气流抑制为零<sup>[8]</sup>。

(2) 声振动对降水粒子下落运动的润滑作用可使降水粒子落速加大<sup>[9]</sup>。

根据上述二个动力机制, 结合冰雹云中运行增长规律的研究<sup>[10]</sup>, 许焕斌等<sup>[11]</sup>曾提出了爆炸防雷的理论依据, 这些依据与实际的“37”高炮防雷作业方式基本一致。

本文下面着重探讨爆炸引起的强气流扰动对基本流影响的动力机制, 以及重力波的可能作用。

## 4 爆炸在云区形成的扰动气流场与基本流相互作用的定性分析

在探讨扰动气流可能动力机制中, 首先要了解爆炸如何激发强扰动气流和扰动气流场的特征。从爆炸物理学<sup>[12]</sup>知, 空气中爆炸引起的冲击波能量占爆炸释放能量的 90% 以上, 冲击波形成后会外传和内传, 由于冲击波经过空气介质时是熵增加过程, 它会被耗散, 在耗散中转为不规则的热运动能, 因而冲击波在传播中衰减很快, 按“37”炮弹中装 60 g 钝化黑索金炸药估算, 在距离炸点 100 m 以外, 冲击波的超压已降到  $1 \text{ g/cm}^2$  左右<sup>[5]</sup>。所

以,对“37”弹来说,不论是波态能或非波态能,绝大部分爆炸能量集中在炸点 100 m 以内。根据冲击波的性质,冲击波中熵的增加,对运动有一个重要影响,即波前是势流,波后是有旋流<sup>[13]</sup>;冲击波的前压密后伸疏会使空气运动前后反向。这些都表明,冲击波在耗散中可以把能量转化为气流扰动能。再加上冲击波的衰减随离炸点距离的增加由半径二次方衰减向一次方的衰减过渡,以及空气单位径向向体积随半径 3 次方增加,使扰动能的体积密度在炸点近处很大,而远处很小,形成一个非均匀的中心强四周弱的具有强梯度的扰动气流场。这种强气流扰动场与原已存在的基本气流场应该有相互作用,二者是如何相互作用的呢?可借鉴湍流研究中扰动场与基本流相互作用的雷诺方程<sup>[14,15]</sup>:

$$\frac{u_i}{t} + u_j \frac{u_i}{x_j} = - \frac{1}{x_j} \frac{p}{x_j} + \frac{1}{x_j} \frac{u_i}{x_j} - \frac{1}{x_j} \overline{u_i u_j} - g(1 + \dots)_{13}$$

其中带“ $\overline{\quad}$ ”的量是扰动场的量,与基本流的量相区别。第一项是局地时间变化项;第二项是平流项;第三项是气压梯度项;第四项是分子粘性项;第五项是扰动速度应力项,  $\overline{u_i u_j} = - \overline{u_i u_j}$  是雷诺应力;第六项是重力和负载( )力项, <sub>13</sub>当  $i = 3$  时取零值,当  $i = 1, 2$  时取 1 值。

本文关注的是第五项  $\frac{1}{x_j} \frac{u_i}{t}$  对  $\frac{u_i}{t}$  的作用。

值得说明的是,雷诺应力是出现在雷诺(Reynolds)方程中,这个方程的推得是有一系列假定的。如应用了随机过程的微分定理,导数的平均值等于平均值的导数,流体不可压缩等。虽然如此,估计这个方程还是可以用在本文研究中的。理由如下:1)虽然冲击波是高速流现象,经过大气时有压缩,但冲击波过后,即回到低速状态,仍可认为是不可压缩流,而本文讨论的是冲击波过后的现象,不可压缩假定仍可成立。2)随机过程的微分定理可否适用,主要涉及的是导数的平均值等否平均值的导数,只是影响到  $\overline{u_i u_j}$  的值及其分布。鉴于以上说明的爆炸扰动场的分布性质,由于  $u_i$  和  $u_j$  受到连续方程的制约,二者之间不太可能是独立的,所以  $\overline{u_i u_j}$  不会等于零,存在着一个中心大四周小  $\overline{u_i u_j}$  的场。为此,作为一个原理性的探讨,雷诺方程是可以用来研究  $\overline{u_i u_j}$  对基本流  $u_i$  的作用的。

对爆炸激发的扰动气流场与基本流之间的相互作用理应进行实验观测研究,特别是扰动场结构的实测。根据文献[5]所介绍的爆炸对艾条燃烧烟道的影响,对直径 1 cm,高 15~30 cm 的烟道,用装 1 g 黑火药的 0.9 cm 内径 12 cm 长的小钢炮在距烟道 5~18 m 处爆炸,观测发现在炸后 0.5 s 左右烟道直升段出现了波长为 2~3 cm,波数多达 8 个以上的扰动。这说明相当于“37”炮弹(装药 60 g)在 30~40 m 外爆炸可产生明显的气流扰动。在未能进行进一步实地测量以前,先对其作一番定性的理论探讨还是有益的。

由前所述,在爆炸产生的扰动气流场中,会存在一个量  $\overline{u_i u_j}$ ,它在炸点附近大而在炸点远处小。所以在炸点周围会存在一个大的梯度值,若仅分析  $\overline{u_i u_j}$  的作用,这时有方程:

$$\frac{u_i}{t} = \frac{1}{x_j} \frac{u_i}{x_j} + \text{其他项} \tag{1}$$

可知,  $\overline{u_i u_j}$  可以对基本流产生加速或减速。对二维流有:

$$\frac{u}{t} = - \frac{1}{x} (u u) - \frac{1}{z} (w u) \tag{2}$$

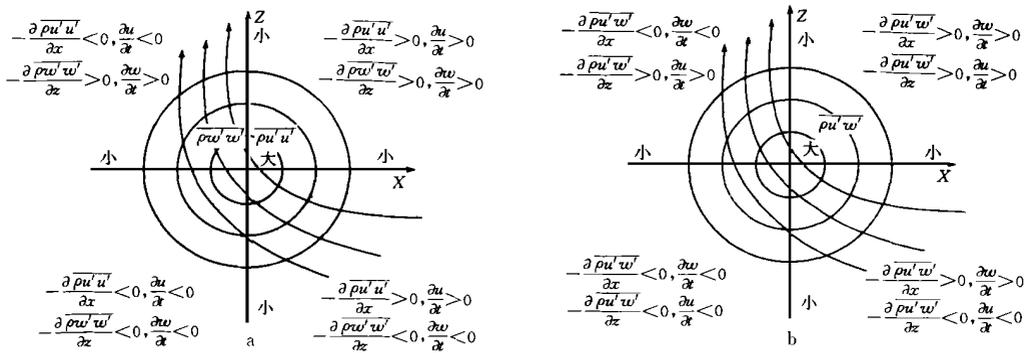


图 1 爆炸激起的扰动气流产生的量  $\overline{u w}$  和  $-\frac{\overline{u_i u_j}}{x}$  的分布

(a. 量  $\overline{u w}$  在炸点周围分布示意图及相应的应力对基本流的动力作用, 带箭应的实线是流线; b. 量  $\overline{u u}$  和  $\overline{w w}$  在炸点周围的分布及相应的应力场对基本流作用)

$$\frac{w}{t} = -\frac{1}{x}(\overline{u w}) - \frac{1}{z}(\overline{w w}) \quad (3)$$

为了分析  $\overline{u u}$ ,  $\overline{w w}$  和  $\overline{u w}$ ,  $\overline{w u}$  对  $u, w$  的作用, 图 1 给出了因爆炸激起的扰动气

流产生的量  $\overline{u w}$  在炸点周围的分布示意图, 并给出了相应的量  $-\frac{\overline{w w}}{x}$  的分布, 以及  $\frac{u}{t}$  和  $\frac{w}{t}$  的变化趋向。由该图可以看出, 在炸点的左下侧  $\frac{w}{t}$  皆小于零, 即这里是上升气流抑制区; 而在炸点右上侧,  $\frac{w}{t}$  皆大于零, 即是上升气流发展区, 而在左上侧和右下侧, 其  $\overline{u u}$  和  $\overline{w w}$  的梯度对  $u, w$  的作用与  $\overline{u w}$  符号相反, 共同作用需看气流分布来估计变化趋势。但可以明确, 如与图中给出的云中气流相配合, 就会使主上升气流抑制, 强上升气流右移, 在移动中可使主上升气流区有变缓变宽之势。另一方面可以明确, 炸点右上部是  $\frac{u}{t} > 0$ ; 而左下部  $\frac{u}{t} < 0$ , 即炸点附近水平风切变会变大, 这更易于气流翻转, 不利于深对流发展。上述二方面的作用都说明强扰动气流可以对对流气流产生作用。

由于炸点处  $\overline{u w}$  值可以很大, 而远离炸点处  $\overline{u w}$  又可很小, 所以梯度可以很大, 即  $\frac{u}{t}$  和  $\frac{w}{t}$  可以很大。关于扰动存在的时间, 也是相互作用的时间, 参照湍流耗散时间, 大约为十几分钟<sup>[15]</sup>。所以说, 爆炸引发的扰动气流场在量值和时间上对基本流是可以有显著动力效应的。

## 5 重力波的产生和可能的作用

爆炸除了可产生扰动气流场外, 还有可能激发重力波。作为一个全面探讨爆炸产物对云体影响的一部分, 本文也讨论一下重力波产生和作用的可能性。

重力波只能在稳定大气条件下产生,对流云则常在非稳定大气条件下发展,因此首先需要查看云中爆炸有否重力波发生的稳定度条件。图2是一块模拟强对流云区的  $\sigma_e$  垂直剖面的示意图,由图2可看出:在上升气流区  $\sigma_e$  等值线呈直立形式。而在主上升气流区两侧,低层  $\frac{\sigma_e}{z} < 0$ , 即是湿对流不稳定的;在中高层  $\frac{\sigma_e}{z} > 0$ , 是湿对流稳定的。因而如果炸

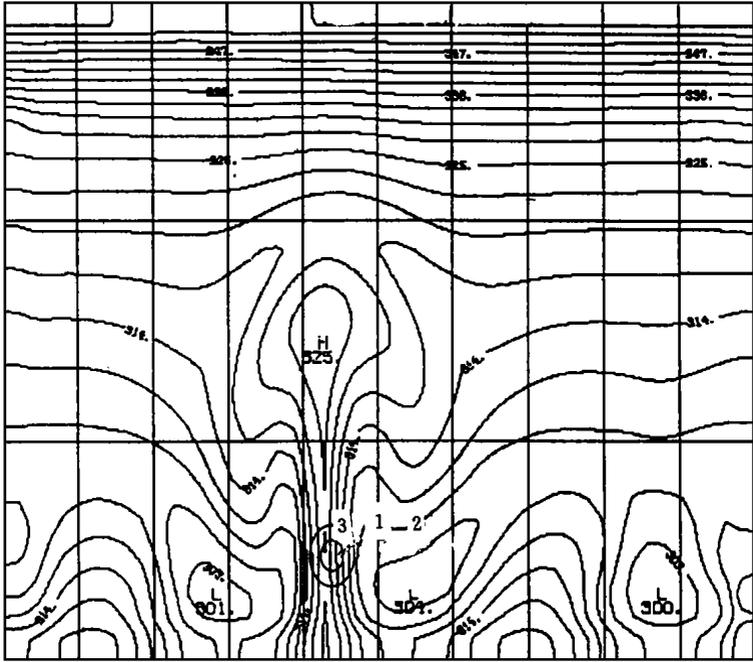


图2 在对流云中  $\sigma_e$  的垂直剖面分布示意图

(一块模拟强对流云中的  $\sigma_e$  垂直剖面及炸点(1),重力波(2)和波破碎区(3)示意图。垂直坐标是高度,格距为5 km;水平坐标是距离,格距是5 km,细实线为  $\sigma_e$  线,粗实线为重力波示意线;同心圆区为波破碎区)

点在上升气流区两侧中层,有可能激起重力波。

那么重力波如何与气流相互作用呢?我们从介绍波与流相互作用的 E-P 通量方法和重力波破碎理论<sup>[16~18]</sup>着手探讨这一作用。E-P 通量中的动量通量本质上就是雷诺应力。 $E_P = \overline{u_i u_j}$ ,  $u_i$  和  $u_j$  是由于波的存在产生的,如果波动发生了变化,通量就会发生变化,形成  $E_P$  值(图3)的辐散辐合,产生应力。如式(1)所示,对基本流产生加速或减速。由于重力波只能存在于稳定的层结中,当它传播到对流不稳定层结中

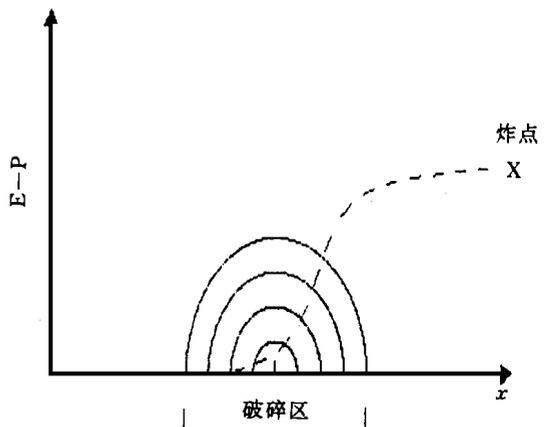


图3 重力波 E-P 中动量通量在破碎区的变化示意图

时,就会发生破碎,一般地形激发的重力波往往传到平流层才可能破碎,并对西风起阻尼作用。

如果爆炸在图 2 中所示 1 处,激起的重力波如示意粗波状曲线所示向左右二侧传播。对于短重力波的射线路径也会是水平地指向二侧<sup>[19]</sup>。值得注意的是向左传播的波,在到达  $\frac{w}{z} = 0$  区时会发生破碎,产生波阻效应,因而使  $\frac{w}{t} < 0$ 。

综上所述,爆炸在云附近形成的气流扰动和重力波,在与云的流场,温湿场适当配置下,是可以对云的气流场发生抑制作用的。其作用的程度有可能是相当显著的。

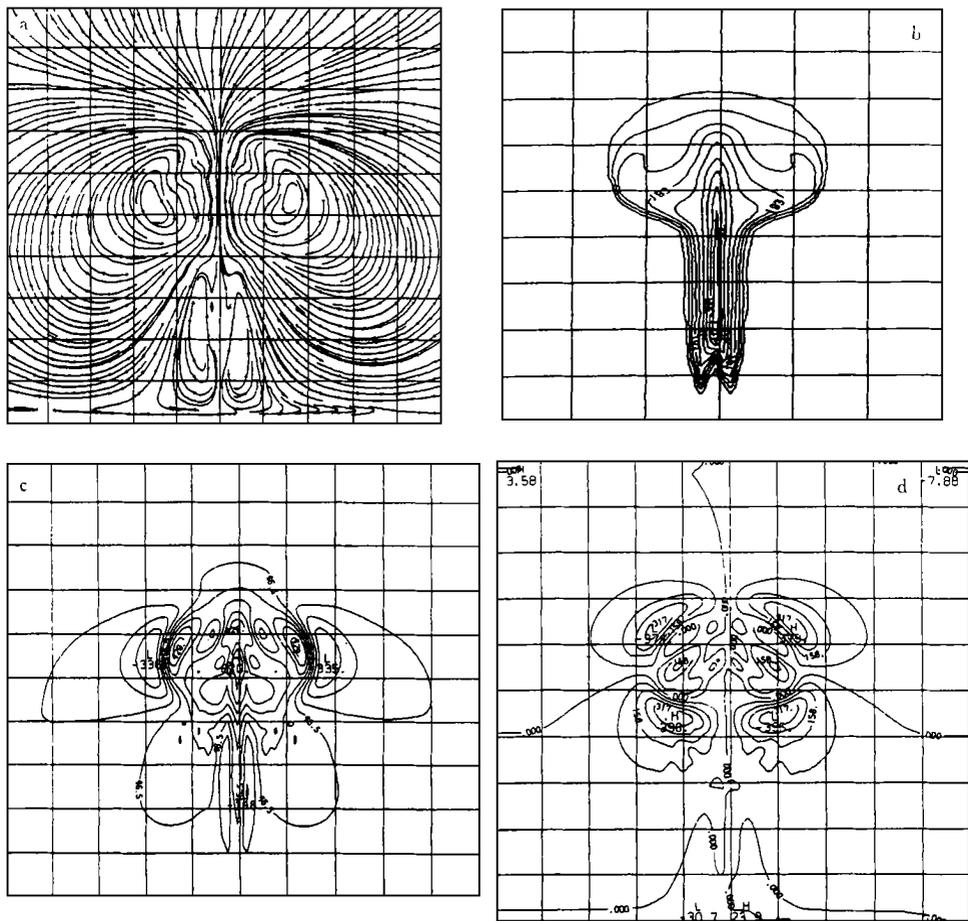


图 4 自然积云发展到 11 min 时的流场

(a. 流场; b. 云场; c.  $w$  场; d.  $u$  场。原点在 (1, 1) 每大格格距为 10)

## 6 数值模拟试验

### 6.1 模式和模拟方案

为了验证所提出的动力机制,需要做实验。在设计和筹划实验中,先进行数值模拟试

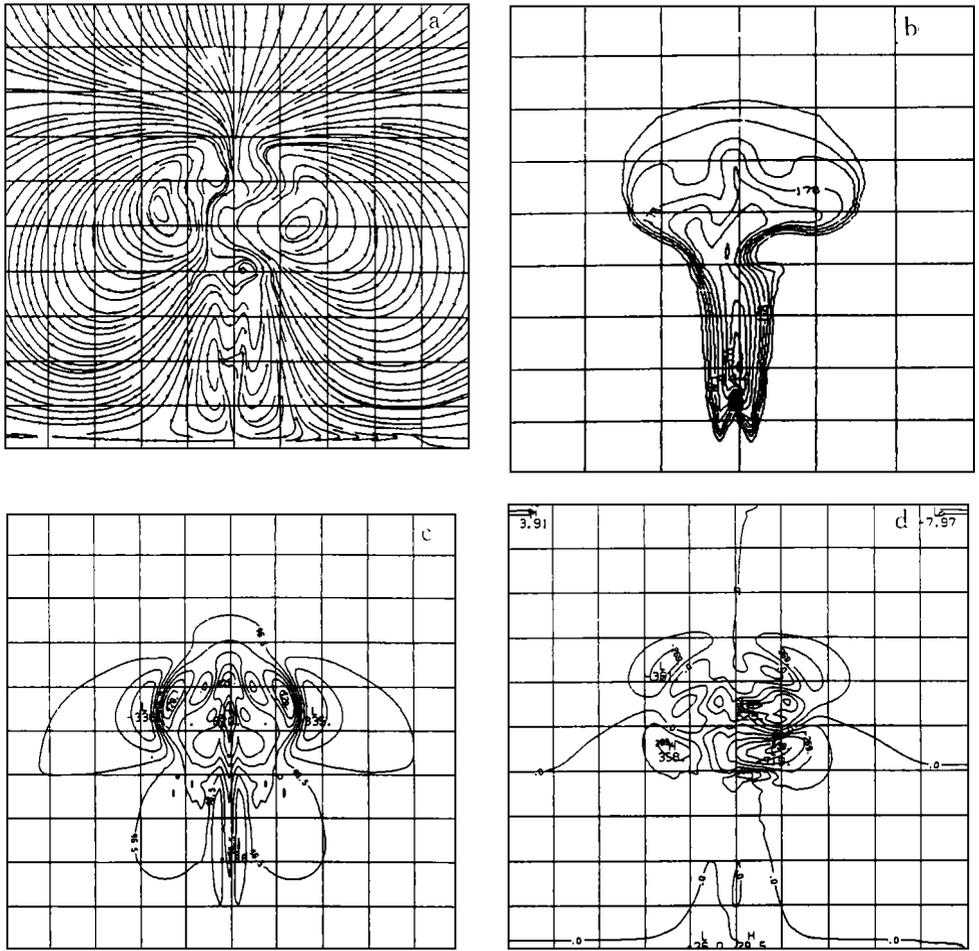


图 5 对比积云发展到 11 min 时的流场、云场、 $w$  和  $u$  场

(其它说明如图 4)

验是必要的。这里主要拟对爆炸扰动气流对基本流的动力机制进行数值试验，因为我们认为这一作用可能是最主要的。

模式使用了非静力全弹性云尺度模式的二维版本<sup>[20]</sup>。它具有全面的动力适应能力，而且带有详细的描述云雨物理过程的子程序，适合于研究这类动力学问题。

估计爆炸引起的扰动气流区域的特征尺度为百米量级，所以模式的网格距取为 25 m，为了控制计算量水平和垂直都取 100 个点，模拟区域为 2500 m × 2500 m。基于模拟区域不够大，模拟的云是中积云，作为原理性试验还是可以的。控制试验是先模拟积云或层云的发展过程，对比实验是在云发展到 10 min 时在云中加入扰动气流场，看它对云体的影响。扰动场如何加，首先估计一下扰动场的可能尺度、强度和维持时间。在防雷作业中，一般都放炮 20 ~ 30 发以上，以此为根据来估计这些值。如上所述，“37”弹在空中爆炸，冲击波可达半径（即扰动场半尺度）可达 100 m，考虑到着弹点的离散度，总体影响的尺度可

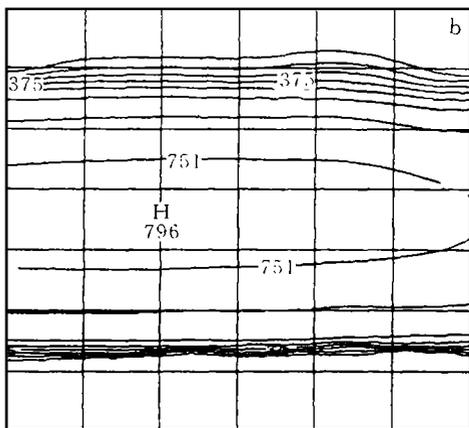
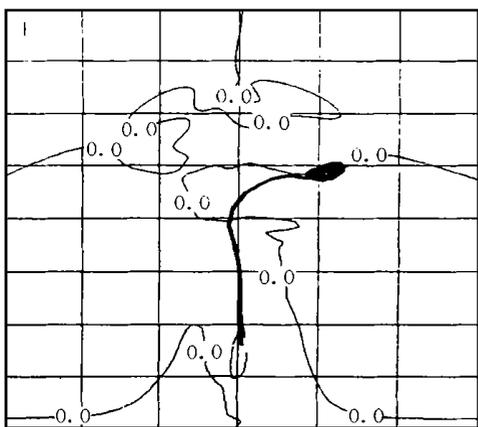
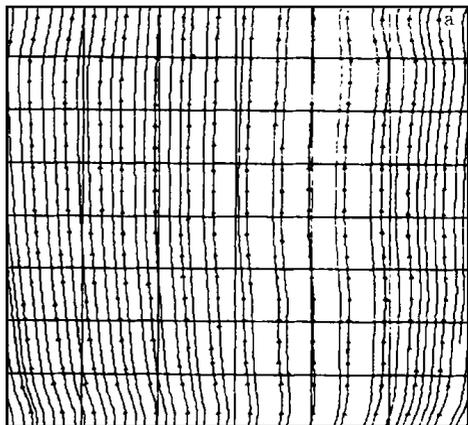
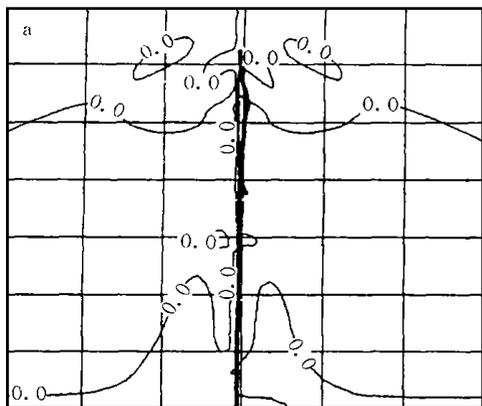


图 6 自然积云和对比积云 11 min 时最大粒子增长运行轨迹(粗实线), 细线是水平零线

(a. 自然积云,  $d = 0.6 \text{ cm}$ ; b. 对比积云,  $d =$

$0.3 \text{ cm}$ 。图的原点在  $(20, 10)$ , 其它说明如图 4)

图 7 自然层云发展到 16 min 时的流场 (a) 与云场 (b)

(图的原点在  $(20, 10)$ , 其它说明如图 4)

有 150 m。为此, 本文取扰动场的半宽为 7 个格距, 即 175 m。维持时间参考湍流耗散时间约为 10 min, 本文取其 1/10, 即 60 s。至于中心强度的估计, 因为缺乏如此小爆炸的有关测量参数, 只能从能量上来间接估算, 对于一次 20 发“37”弹的爆炸能量, 按热功当量折算, 可以使作用体内的空气(质量达 4 kt)具有平均  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的扰动强度。再考虑到冲击波随传播距离的衰减规律和炸点 50 m 内的空气质量只占总体质量的 12.5%, 取扰动中心的强度  $uw$  或  $uu, ww$  为  $5 \times 5 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ , 它略小于积雨中观测到的最大湍流速度均方根值  $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。扰动场的分布在 15 个格点内以中点为中心以正弦曲线形式从中心到边沿减少到零。扰动场维持时间为 60 s。

### 6.2 积云模拟结果

积云的发展, 是在中心区给一个热湿扰动, 启动积云发展, 图 4 给出了积云发展到 11 min 时的云的流场、云场、垂直速度和水平速度分布。图 5 给出了对比试验 11 min 时的相

应各场。比较图 4 和图 5 可以看出: 炸点的第一象限上升气流被加速, 而其三象限上升气流被抑制, 主上升气流分裂; 云中水平气流切变加强, 云上升气流在炸点下部向左倾斜, 在炸点上部又向右倾斜, 导致主上升气流的水平扭摆。前面由理论推测的现象完全被模拟出来了。

另外, 从图 5 看到, 水平速度的零值线, 与图 4 相比, 发生了很大的变化, 零线的水平部分和垂直部分脱离, 破坏了大降水粒子最佳运行增长的条件<sup>[10, 21]</sup>。为了印证这一现象, 我们分别对控制试验和对比试验 11 min 时刻的流场, 云水物质场情况下, 粒子运行增长的轨迹和最终大小作了模拟试验, 结果给在图 6 中。控制试验的条件下, 最大粒子可增长到 0.6 cm; 而对比试验条件下, 最大粒子上只增长到 0.3 cm。从运行增长轨迹来看, 对比条件下粒子增长运行处于上升气流与云水物质场不相匹配的地区, 上升气流区脱离了最大云水量区, 虽然粒子在运行但增长缓慢。

当然, 如果有的云结构, 不利于大降水粒子的运行增长, 扰动后的云场也可能变得有利了, 这在有风切变环境下的模拟试验中曾出现过。

### 6.3 层状云模拟结果

层状云的模拟试验类似于积状云, 先模拟出层状云, 再引入爆炸扰动气流场, 查看该场对层状云结构的影响。

层状云模拟中, 在模式中引入了系统上升气流  $w_e$ , 层结近于湿中性。图 7 是模拟时间 16 min 时层状云流场和云场的结构; 图 8 是引入爆炸扰动气流场作用 1 min 后的云流场和云场。对比图 7 和图 8 可以看出, 在引入扰动气流场的作用后, 基本均匀的流场中, 炸点第一象限上升气流发展, 而第三象限出现了下沉运动, 均匀云场中出现了含水量小值区(空洞), 对应下沉运动, 而积状云出现上升运动区, 即层状云中发展起了积状云。

层状云的模拟试验也显现了第四节中理论估计的现象。而且此结果与雾中爆炸所观测到的现象很相象。

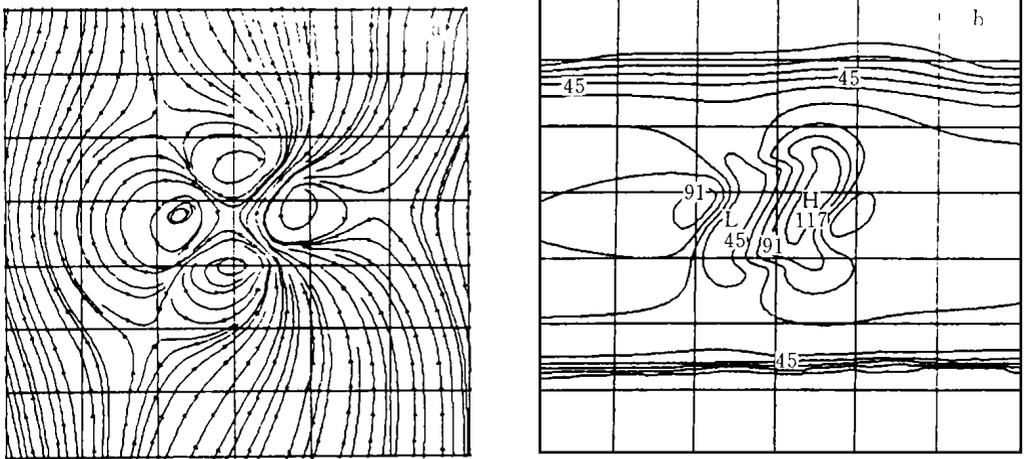


图 8 对比层云发展到 16 min 时的流场(a)与云场(b)

(图的原点在 (20, 10), 其它说明如图 4)

## 7 讨论和结语

大气运动属低速运动, 爆炸属于高速运动。大气中发生爆炸, 其相互作用的机制和作用如何?是必需研究的问题, 特别是爆炸广泛应用于防雷和高炮人工降水。从能量上来说, 爆炸释放的能量给了大气, 产生的冲击波, 声波, 重力波向四方传播, 一些波动能够达到离炸点相当远的地方, 但是占主要能量成份的是爆炸诱发的气流扰动, 对“37”弹爆炸而言它集中在炸点 100 m 以内, 这些扰动能量主要来自爆炸能, 也可以由于运动因外界扰动的失稳或流动内在随机性, 使扰动发展, 从基本流动中转来。因而扰动气流能量可以是相当大的。这里我们取其最大值为  $25 \text{ m}^2/\text{s}^2$ , 即  $\bar{u}$  和  $\bar{w}$  的平均量级为  $5.0 \text{ m/s}$ 。这样一个以炸点为中心, 强度迅速向周围递减的场, 与基本流的作用可以相当强。爆炸(瞬时)产生扰动, 扰动场(维持一段时间)再与基本场(更长维持时间)相互作用, 看来是爆炸影响基本流的主导途径。爆炸激发和诱发的扰动, 对基本流的影响是局部的, 因而二者相互作用的结果是扰动场在水平向上推挤基本场, 在垂直向上拉伸基本场, 产生一个中间尺度的运动叠在基本流之上, 使基本流发生了形变, 这种形变使原有云体宏、微观场的匹配发生了改变, 导致原已有利于降水大粒子运行增长的条件被破坏, 再加上爆炸扰动场, 和扰动场与基本场相作用诱导出的中间尺度运动都可吸取基本流的能量, 使主上升气流分裂变形, 不利于大雹的形成。但对层状云来说, 爆炸可以使均匀流中出现对流, 出现了类似于动力催化的作用, 使层状云区中局部的云体发展, 降水增强。

爆炸激起重力波和重力波破碎是有条件的, 积云中往往具备这种条件。波在云中破碎仍是产生扰动, 仍是扰动场影响基本流, 只不过是重力波把爆炸影响传到云中心而已。

## 参考文献

- 1 许焕斌, 王思微. 关于爆炸防雷中的若干问题. 见: 石安英等编. 防雷和雹云物理文集. 北京: 气象出版社, 1989. 214 ~ 236
- 2 李连银, 用雷达回波参量变化分析高炮人工防雷效果. 气象, 1996, 22(9): 26~30
- 3 . . . . . 47, 1981, 36- 44
- 4 黄美元等. 关于我国人工防雷效果的统计分析. 大气科学, 1978, 2(1): 124~130
- 5 黄美元, 王昂生等. 人工防雷导论. 北京: 科学出版社, 1980, 500PP
- 6 . . . . . , 1970, 379- 390
- 7 . . . . . 1972 . . . . . 25, 1974, 52- 58
- 8 许焕斌. 关于爆炸影响气流的力学原理. 气象, 1979, 5(10): 26~29
- 9 许焕斌, 王思微. 关于声振动对球形降水粒子运动边界层和运动状态的影响. 气象学报, 1984, 42(4): 431~439
- 10 王思微, 许焕斌. 不同流型雷云中大雨增长运行轨迹的数值拟. 气象科学研究院院刊, 1989, 4(2): 171~177
- 11 许焕斌, 王思微. 关于爆炸防雷方法的理论依据和技术要领的探讨. 气象科学研究院院刊, 1989, 4(3): 311~318
- 12 鲍姆等. 爆炸物理学. 北京: 科学出版社, 1964, 198~541
- 13 朗道等. 流体力学(下册). 北京: 高教出版社, 1990, 100~101
- 14 温景嵩. 概率论与微大气物理学. 北京: 气象出版社, 1995, 98~100
- 15 胡非. 湍流间歇性与大气边界层. 北京: 科学出版社, 1995, 17
- 16 伍荣生. 大气动力学. 北京: 气象出版社, 1990, 276~285

- 17 高守亭, 陶诗言, 丁一汇. 表征波与流相互作用的广义 E-P 通量. 中国科学 B 辑, 1989, 7, 774 ~ 778
- 18 高守亭, 李军, 洪钟祥. 重力波破碎对中层大气环流影响的研究. 见: 地球环境和气候变化探测与过程研究. 北京: 气象出版社, 1997, 57 ~ 63
- 19 Iwasaki T, Yamada S, Tada K. A parameterization scheme of orographic gravity wave drag with two different vertical partitionings. Part I. JMS Japan. 1989, 67(7): 11- 27
- 20 许焕斌, 王思微. 三维可压缩大气中的云尺度模式. 气象学报, 1990, 48(1): 80 ~ 90
- 21 段英, 刘静波. 单体多单体和超级单体雷云中大雪形成的数值模拟. 气象学报, 1998, 56(5): 529 ~ 539

## THE POSSIBLE DYNAMIC MECHANISM OF EXPLOSION IN HAIL SUPPRESSION

Xu Huanbin

( *H ebei Province Weather Modification Office , Shijiazhuang , 050021* )

### Abstract

The observable phenomena is induced in explosion in cloud and the ability of explosion products are analysed . In view of the above a theoretic deduction suggested. It is that the strong disturbance airflow induced by explosions, gravity wave break down (the gravity wave can be caused by explosions too and its breakdown occurs when it propagates into cloud) , both of them can obviously influence the mean airflow of cloud . The effects of strong disturbance airflow on the mean airflow are simulated by numerical model. The results of simulation are consistence with the theoretic deduction and the previous reports of tests or experiments. It is verified that the theoretic deduction is realizable, i. e. the explosion (instantaneous) causes the strong disturbance for air motion (in some time interval), the interaction between the disturbance and the background airflow field can obviously influence the background airflow (during some longer time) , this may be the main way of explosion to effect the airflow . It indicated also the scientific condition to plan and prepare the special test or the field experiment is possessed.

**Key words:** Effect of explosion on airfolow dynamic, Theory of explosion for hailssuppression, Numerical simulation.