

文章编号: 1006-4354 (2012) 01-0019-05

三维冰雹云数值模式及业务应用

胡国玲

(咸阳市气象局, 陕西咸阳 712000)

摘要: 介绍了三维冰雹云数值模式, 通过数值模拟分析 2007 年 7 月 24 日冰雹发生、发展过程, 结果表明: 三维冰雹云数值模式很好地模拟了单体对流云云顶高度、云体宽度、回波强度等参数, 且与实际情况较为接近, 还能模拟防雹作业后的效果, 可作为研究冰雹云形成机制和提前预报冰雹云的参考方法。

关键词: 冰雹云; 数值模式; 业务应用

中图分类号: P482

文献标识码: A

冰雹是陕西主要气象灾害之一, 人工防雹作业已经形成了一定的规模, 但是对冰雹云的形成机制缺乏足够了解, 特别是冰雹形成的微物理结构及冰相转换缺乏足够的研究。20 世纪 60 年代, 国外科学家开始用数值模拟方法研究积雨云的发生、发展、消亡等物理过程, 开发了一、二维积云数值模式, 模拟了云中的冰相微物理过程。自 Steiner^[1] 建立了三维积云数值模式后, 三维云模式的性能和研究范围不断得到发展。但由于计算量较大, 这些三维模式基本未考虑冰相过程。Tripoli 和 Cotton^[2-3] 建立了有 10 个参数化冷云微物理过程的三维云模式。

我国科学家孔凡铎等^[4-5] 建立了较为详细的冷云参数化三维完全弹性原始方程模式, 研究了各冰相微物理过程, 提出了参数化方案。洪延超^[6] 在此基础上发展了三维冰雹云催化模式, 可分别计算以冻滴和霰为胚胎的雹块的数量, 并有催化功能。郭学良^[7] 建立了三维冰雹分档强对流数值模式, 研究了冰雹粒子的分布特征。肖辉^[8] 等利用三维冰雹云模式 (IAP_CSM3D) 进行了陕西旬邑地区冰雹云的早期识别及数值模拟, 表明冰雹云的模拟和实际观测基本一致。

利用中国科学院大气物理研究所的双参数三

维冰雹云模式 (IAP_CSM3D) 对陕西陇县境内的一次冰雹云过程进行模拟研究。模式考虑了冰雹云中各种详细的微物理过程, 粒子采用数浓度和质量浓度双变参数谱, 将云中水物质分成水汽、云水、雨水、冻滴、冰晶、霰、雪和冰雹等 8 类, 可以预报粒子的数浓度和质量浓度, 尤其可以计算以霰或冻滴为胚胎的雹块的数量, 该模式还能模拟防雹作业后的效果等, 是研究冰雹云形成机制和预报冰雹的参考方法之一。

1 软件运行环境及安装

操作系统为 Windows XP/Windows Server 2003/Windows7 操作系统; 模式开发语言为 Fortran77; 应用的软件工具为 Fortran77 等编译环境; 模拟结果图形化显示软件为 Grads, GV32; 应用的硬件环境为 PIV 1.5 GB/256 MB/40 GB 以上配置。

先在计算机中分别安装 Power Station Fortran 4.0 或 Visual Fortran6.6 等 Fortran77 的编译器、Grads 图像显示软件, 然后, 将模式系统目录 IAP_CSM3D 全部复制到希望存放的任意硬盘的根目录下, 并在 IAP_CSM3D 的根目录下建立目录 result, 用于存放输出数据, 如 D:\IAP_CSM3D 和 D:\result。

收稿日期: 2011-08-09

作者简介: 胡国玲 (1969—), 女, 陕西蓝田人, 学士, 工程师, 从事气象服务工作。

2 软件运行及参数设计

为抑制声波扰动引起的计算不稳定,采用时间分裂技术,小时步积分声波有关项,大时步积分其他项。小时步用前差分,由于垂直格距较小,垂直差分用欧拉半隐格式,大时步用二阶跳步时间差分,第一时步用欧拉后差来减小附加初值。

为了提高计算精度,垂直方向用二阶差分近似,水平平流项用四阶差分近似,其余空间差分均用二阶中央差分。每一大时步积分完成后,对预报场进行一次时间平滑来消除跳步格式引起的解的分离。在模式求解步骤上,每一大时步对受微物理过程影响的预报量先解出动力解,然后加上经过调整的微物理源汇项得到完整解。由于各微物理过程的变化时间尺度远小于模式积分时间步长,利用宏观量计算出的各个微物理转换率并不代表在整个 $2\Delta t$ 时间段的平均,而只是其中很小一时间段上的转换率。这样,若直接在大时步上采用计算的转换率就可能导源或汇的虚高,最终引起计算溢出。考虑到三维模式运算量已十分巨大,不宜再采用很小的时步处理微物理过程,而是采用“平衡调整”技术来解决这一困难。

2.1 系统功能组件

模式功能组件有四个:模式参数初始化组件—设置 Pmter 文件中的有关初始参数;模式运行组件—主要是主程序 vh3D.exe 文件,进行数值计算;数据输出组件—生成各种作图所需数据,文件名为 3dh.sss;图形输出组件—调用 grads 作图程序,输出图元文件 *.gmf,再用 GV 软件打开 gmf 文件输出为图像文件,或直接调用 grads 软件直接输出为图像文件。

2.2 初始参数设计

模式中对流由域中央附近低层位温扰动区激发,扰动函数为:

$$\theta = \theta_0 \cos^2 \frac{\pi}{2} \left[\left(\frac{x-x_c}{r_x} \right)^2 + \left(\frac{y-y_c}{r_y} \right)^2 + \left(\frac{z-z_c}{r_z} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

其中 (x_c, y_c, z_c) 是扰动中心格点坐标, r_x, r_y, r_z , 分别为三个方向的扰动区半径,为中心最大扰动位温值,通常取 2.0°C 。初始环境水汽场、位温场和水平风场由探空给出的水平均匀温、湿和廓线求得。

Pmter 文件主要参数: indata—输入的经过预处理的探空气压场/风场文件; k_0 —启动方式,“0”为热启动,对应最大扰动温度 s_0 ,“1”为冷启动; k_1 —“0”没有 f_p 项,“1”有 f_p 项; k_2 —“1”有冰项过程; k_3, k_4, k_6, k_9 和 k_{10} —计算过程处理及输出选择; k_5 —“1”按热核或 v 风量移动坐标区域; k_7 —选择催化方式; k_8 — u/v 分量的选择; s_0 —最大扰动温度。

2.3 探空资料选取

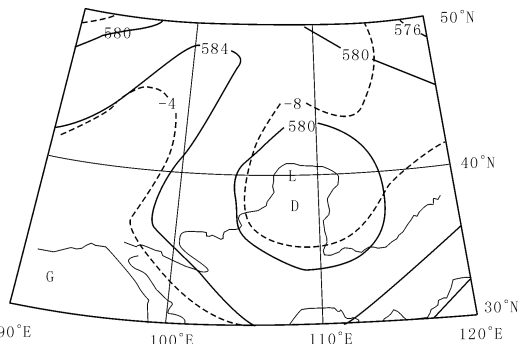
初值由单站探空资料给定,选取当日 08 时延安、西安、银川或平凉站的探空资料。需要考虑控制系统和冰雹影响区。对西风带系统,高空锋区及大风区位置偏北,选择银川或延安探空资料;锋区南压,用平凉或西安探空资料较好。冷涡系统选择延安或西安探空资料。蒙古冷涡或东北冷涡一般用延安站探空资料;华北冷涡中心位置偏东偏北时选用延安站探空资料,偏东偏西则用西安站探空资料较好。为了更接近实际,选择当日 11 时近地面资料代替低层探空数据。

3 一次冰雹天气过程个例数值模拟分析

3.1 冰雹天气概况

2007 年 7 月 24 日 08 时地面天气图上低涡中心有雷暴出现,14 时地面天气图上陇县北部、位于陇县西北方向的平凉—庆阳一带出现成片雷暴,平凉出现冰雹。500 hPa 图^[9](图 1)上,河套地区有一 580 dagpm 闭合冷涡与 -8°C 冷中心重合,宝鸡陇县北部处于河套低涡后部,陇县北部与平凉交界处高空有明显的槽线,受西北气流控制,最大风速 12 m/s。与之相对应,700 hPa、850 hPa 河套地区有与冷中心配合的切变线,这种降雹类型属于河套低涡型。西安探空资料 $T-\log p$ 图显示空气湿度为下湿上干的“喇叭口”形状,沙氏指数为 -1.7°C ,层结不稳定(图 2)。上述结果表明:当日高空到低层有较深厚的冷平流且活动较强,大气层结不稳定,受中低空切变触发对流,引发这次冰雹天气。

宝鸡 711 雷达 7 月 24 日 16:19 观测到两块对流云团,位于甘肃华亭与陇县的交界处,16:32 陇县关山附近有新生成的云团。16:40 两块对流的云开始合并,形成一块 $25\text{ km} \times 25\text{ km}$ 的强单体,



实线为位势高度, 单位为 dagpm; 虚线为温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$
图 1 2007-07-24T08 500 hPa 位势高度及温度

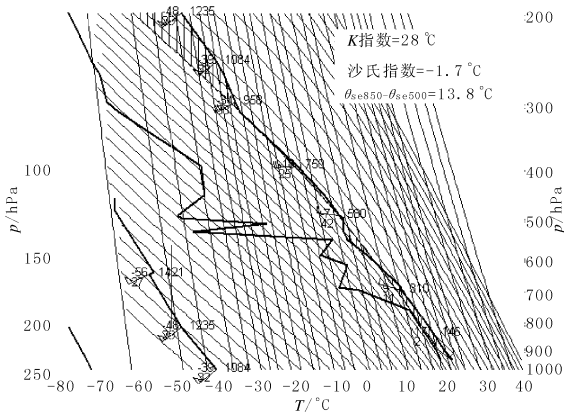
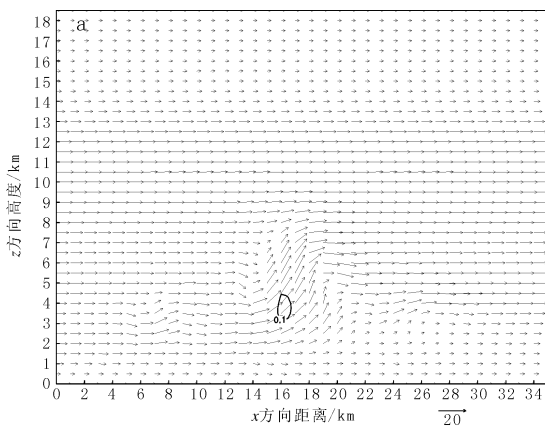


图 2 2007-07-24T08 西安探空站 $T\text{-log } p$ 图

16: 57 向东南方向移动进入陇县境内。

据陇县民政局统计: 7月24日 17: 40—18: 30 境内新集川、固关、火烧寨、天成 4 个镇降雹, 冰雹最大直径 15 mm, 21 个村 1 000 hm^2



玉米、烤烟、果树遭受冰雹袭击, 其中 700 hm^2 烤烟的叶茎被打折, 叶片被冰雹打烂程度达 80%, 100 hm^2 果树受灾减产五成以上, 直接经济损失达 1 000 万元以上。

3.2 自然对流云形成冰雹的数值模拟分析

利用三维冰雹云数值模式对 7月24日冰雹天气过程作数值模拟。模式计算区域为 36 $\text{km} \times 36 \text{ km} \times 19 \text{ km}$, 垂直格距 0.5 km , 水平格距 1.0 km 。扰动区域为 12 $\text{km} \times 12 \text{ km} \times 4 \text{ km}$, 扰动区中心位于模拟区域中心 (18, 18) 上方 5 km 处。小时间步长为 1 s, 大时间步长为 5 s, 总的模拟时间为 60 min。整个模式域随云体的质心水平移动, 用单点探空水平作为均匀的模式初始场。模式采用热启动方式, 最大扰动位温 2.0 $^{\circ}\text{C}$ 。

初始场为当日 08 时西安站探空资料 (温、压、湿、风), 为了更贴近低层实况, 探空站的近地面层选择当日 11 时陇县气象站的温、压、湿、风资料订正。图 2 为当日 08 时西安探空 $T\text{-log } p$ 图, K 指数、沙氏指数均显示对流不稳定。

自然云的数值模拟情况: 前 22 min 气流变化平稳; 24 min 开始气流变化较大, 产生了强的上升气流; 42 min (图 3) 时出现了 0.1 g/m^3 的雹水含量较大区, 高度在 3~4.5 km 之间, 探空数据表明 3.0~4.0 km 高度对应温度 0~5 $^{\circ}\text{C}$, 模拟结果 (偏暖) 与真实情况有一定差距; 46 min 后雹水含量较大区连接地面, 降雹速度较快, 从雷达观测到冰雹云初始回波至陇县降雹间隔时间长

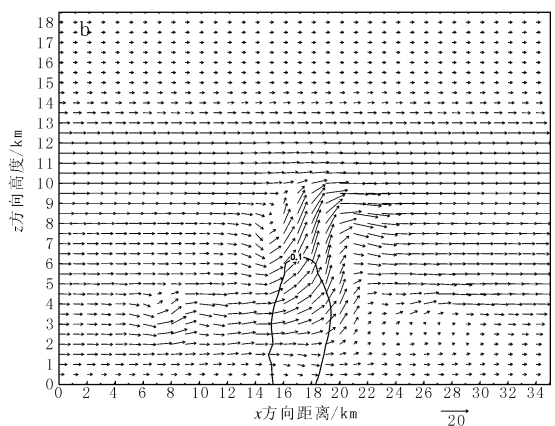
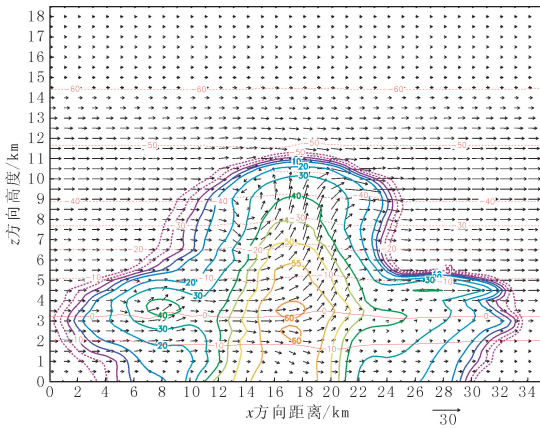


图 3 模拟自然云 y 方向 17 km 处雹水含量
(单位: g/m^3 ; a 模拟 42 min 时; b 模拟 46 min 时)

达 70 min^[10]。

3.3 自然冰雹云与数值模拟的冰雹云雷达回波对比

宝鸡 711 雷达观测表明：7 月 24 日 17:16^[6]，两块对流云合并，并形成稳定单体，合并中云顶升高、回波强度增大。比较可知：数值模拟云顶最大高度 11.5 km，合并后雷达观测的最大云顶高度 11.6 km，大体相当；数值模拟的回波最大强度为 60 dBz，中心在 6 km 以下，而实际 711 雷达观测的回波强度 70 dBz（711 雷达回波强度比实际雷达回波强度大 13 dBz），中心强度在 8 km 以下，因此最大回波强度大体相当，位置有差异；数值模拟的云体宽度达 32 km，实际 711 雷达云体最大宽度 27 km，基本接近实况。结果表明：模拟自然雹云的雷达回波顶高、水平尺度、回波结构和强度等与实测回波基本吻合（图 4、图 5）。



实线为雷达回波强度，图中心最大强度 60 dBz，向外递减，

间隔 5 dBz；虚线为温度曲线，间隔 10°C

图 4 模拟 50 min 时 y 方向 17 km 处冰雹云高度显示图

自然雹云模拟显示：前 28 min 雹云处于酝酿阶段，上升气流从 0.2 m/s 增加到 1.7 m/s；随后 20 min 气流速度增长较快，上升气流速度为 1.7 m/s，最大为 22.0 m/s；之后上升气流速度减慢，60 min 上升气流减到 11.0 m/s 左右。总的来看，此自然冰雹云上升气流较强，发展较稳定，生命期较长，属于强冰雹云^[7]。

3.4 数值模拟中不同时间加入碘化银催化结果

不同的时刻，用 80 g 碘化银在 -10°C 云层

中进行撒播、催化，以试验何时催化效果最好。模拟结果见表 1。由表 1 可见：催化时间越早，降雪量减少越快，时间越晚降雪量反而增加，而降雨量随着催化开始时间的推迟越来越大。因此，三维冰雹云数值模式可以模拟防雹作业后的效果，是否与实际情况一致，还需要在以后的实践中加以验证。

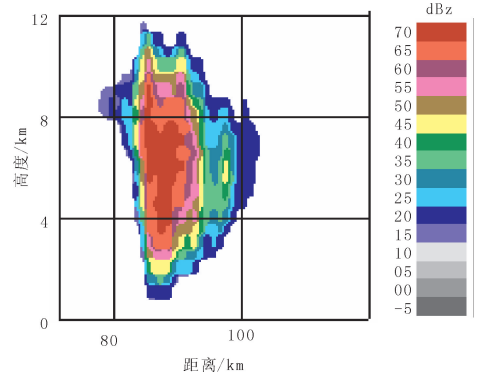


图 5 2007-07-24T17:16 宝鸡 711 雷达实测 RHI 回波（方位 331.2°）

表 1 80 g AgI 催化时的总降雪量和总降雨量随时间的变化模拟结果 kt

时间/ min	5	8	10	11	12	13	15
降雪量	55.36	46.98	45.72	43.72	42.65	46.73	65.78
降雨量	453.21	460.32	470.83	480.28	477.65	479.35	482.21

4 结论与讨论

4.1 三维冰雹云模式较好地描述了冰雹云的发生、发展情况，具有一定的提前预报冰雹能力，对于复杂的多个单体合并、单体的分裂等不能模拟。

4.2 三维冰雹云模式能较好地模拟对流单体云顶高度、云体宽度、强回波高度等参数，且与实际对流单体发展情况较为吻合，可作为人工防雹作业的参考。

4.3 三维冰雹云模式对加入催化剂有一定的模拟能力，可作为效益评估、科学研究的方法，但与实际情况有一定的差异，需要在以后的研究中逐渐改进。

4.4 高、低空天气系统及其配置对冰雹的发生和

文章编号: 1006-4354 (2012) 01-0023-04

FDR 型监测仪与人工测定土壤水分对比分析

杨婷婷, 王春娟

(凤翔县气象局, 陕西凤翔 721400)

摘要: 利用 2010 年 7 月上旬—2011 年 6 月下旬每旬 FDR 型土壤水分监测仪与人工烘干称重法测定的土壤水分观测资料进行对比分析, 结果表明: 两种方法观测值变化趋势基本一致, 年相对误差为 0.10%; 误差春季最大, 平均为 0.19%; 夏季最小, 平均为 0.02%。浅层土壤水分变化较大, 误差也较大, 相对误差为 0.01%~0.62%; 中层变化较平稳, 相对误差为 0.12%; 深层 60~100 cm 土壤水分受外界影响轻微, 变化最平稳, 误差最小。两种方法观测值具有很高的相关性 ($P < 0.001$), 因此, 可用烘干称重法的观测值为基准, 对自动站进行相关分析和回归校正。

关键词: 土壤水分; FDR 型土壤水分监测仪; 人工烘干称重法

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

土壤水分是土壤的主要物理参数, 它对于植物的生长发育、存活、净生产力等具有极其重要的意义。土壤水分状况是气候、植被、地形及土壤因素的综合反映, 对于降雨产流、蒸散具有重要影响。因此, 快速、准确地进行土壤水分状况测定与分析, 掌握土壤水分变化规律, 对土壤墒

情监测预测、农业生产实时服务及其它相关的理论研究具有十分重要的意义。

土壤水分测定有多种方法, 如烘干称重法、中子仪法、TDR 和 FDR 法、张力法、电阻块法、干湿计法等。目前, 气象台站主要使用烘干称重法测定土壤质量含水量。为了提高观测质量和农

收稿日期: 2011-09-02

作者简介: 杨婷婷 (1986—), 女, 陕西宝鸡人, 学士, 助理工程师, 主要从事气象观测与服务。

降雹地点至关重要, 因此模式中初始场位置的选择非常重要。

参考文献:

- [1] Steiner J T. A tree-dimensional model of cumulus cloud development [J]. *J Atmos Sci*, 1973, 30, 414-435.
- [2] Tripoli G J and Cotton W R. The CSU three-dimensional cloud-mesoscale model—1982. Part I: General theoretical framework and sensitivity experiments [J]. *J Rech Atmos*, 1982, 16: 185-219.
- [3] Cotton W R and Stephens M A. The CSU tree-dimensional cloud-mesoscale model—1982. Part II: an ice-phase parameterization [J]. *J Rech Atmos*, 1982, 16: 295-320.
- [4] 孔凡铀, 黄美元, 徐华英. 对流云中冰相过程的三

- 维数值模拟 I: 模式建立及冷云参数化 [J]. *大气科学*, 1990, 14 (4): 441-453.
- [5] 孔凡铀, 黄美元, 徐华英. 对流云中冰相过程的三维数值模拟 II: 繁生过程作用 [J]. *大气科学*, 1991, 15 (06): 78-88.
- [6] 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.
- [7] 郭学良, 黄美元, 洪延超, 等. 三维冰雹分档强对流云数值模式研究 II: 冰雹粒子的分布特征 [J]. *大气科学*, 2001, 25 (6): 856-863.
- [8] 肖辉, 吴玉霞, 胡朝霞, 等. 旬邑地区冰雹云的早期识别及数值模拟 [J]. *高原气象*, 2002, 21 (2): 159-166.
- [9] 李金辉, 牛卫, 张科翔, 等. 一次提前防雹试验及效果分析 [J]. *陕西气象*, 1998 (3): 9-12.
- [10] 中国气象局科技教育司. 高炮人工防雹增雨作业业务规范 [M]. 北京: 气象出版社, 2005: 24-34.