

# 应用三维冰雹云模式制作 河北省 11 地市冰雹预报

李江波<sup>1,2</sup> 王福霞<sup>2</sup> 买文明<sup>2</sup> 王宏<sup>3</sup>

(1. 南京信息工程大学, 210044; 2. 河北省气象台; 3. 中国气象科学研究院)

## 提 要

应用中国科学院大气物理研究所发展的完全弹性三维冰雹云模式,使用河北省内三个探空站(张家口、北京、邢台)的探空资料,制作了河北省冰雹区域客观预报。在此基础上,应用 MM5 中尺度模式的预报资料制作河北省 11 地市的冰雹预报。预报结果表明,该方法对冰雹等强对流天气的预报具有一定的参考价值 and 指导作用。

**关键词:** 三维冰雹云模式 冰雹预报 精细化预报 TS 评分

## 引 言

众所周知,冰雹等强对流天气一直是预报中的难点和重点。长期以来,广大预报员在整理了大量天气过程资料的基础上,总结了冰雹的时空分布特点、环流特征、天气概念模型以及一些预报指标,但对冰雹的预报基本停留在定性预报的水平上,预报发布采用的基本是“撒大网,捕小鱼”的区域性预报办法,即预报较大范围中的个别地点有冰雹,具体落点不确定。这显然和目前对预报所要求的三定(定时、定点、定量)差距较大。

近些年,全国各地对于冰雹预报的客观预报方法作了各种尝试,如杨晓霞等采用多指标叠套法和权重系数法制作山东省冰雹客观分县预报<sup>[1]</sup>。采用冰雹云模式制作冰雹预报是另外一种方法。将冰雹云模式应用于实际业务预报,国内少量台站曾作过尝试,80年代初毛节泰曾采用 Simpson 模式制作北京地区的冰雹预报。1998年伍志方采用许焕斌的一维冰雹云模式制作新疆地区冰雹预报<sup>[2]</sup>。此后,伍志方等又应用二维冰雹云模式,根据大气层结稳定度,选择不同的热扰动强度,制作新疆地区冰雹预报<sup>[3]</sup>,结果表明,空报次数明显减少,预报准确率提高到 69.3%。邹光源<sup>[4]</sup>建立了二维准弹性对流云模式,并利用其对百色、河池两地区 1971~1998 年期间的冰雹天气进行了事后模拟,结

果表明该模式对桂西北地区冰雹天气具有一定的预报能力。

三维积云模式因其具有描述云体立体图象的能力,可以在空间上更加全面地模拟对流云系的发生发展,目前被广泛地应用在科学研究中。然而将其应用于强对流预报业务工作中,制作冰雹天气预报,在国内尚不多见。因此,我们将三维积云模式引入业务应用,尝试一种新的强对流客观预报方法。

## 1 三维冰雹云模式简介

本文所用完全弹性三维冰雹云模式为中国科学院大气物理研究所中小尺度部研制。在孔凡铀<sup>[5,6]</sup>所建立的动力学模式基础上,洪延超<sup>[7,8]</sup>发展了一个含有详细微物理过程的冰雹云模式。该模式的动力学框架是一个非静力可压缩的完全弹性方程组,云-降水微物理过程采用双参数谱方案。模式中包含了水汽、云水、雨水、冰晶、雪花、霰、冻滴、冰雹等 8 种微物理过程,能够比较完善地描述强对流云的宏观动力特征和微物理机制。

模式初始条件由探空资料给定。模式计算域为  $36\text{km} \times 36\text{km} \times 18.5\text{km}$ ,即水平范围  $36\text{km} \times 36\text{km}$ ,垂直高度为 18.5 km,网格距为  $1\text{km} \times 1\text{km} \times 0.5\text{km}$ 。采用湿热泡方式启动对流云。

## 2 河北省冰雹区域客观预报

为了检验模式对河北省冰雹是否具有模

拟能力,对近几年发生在河北省的几次具有代表性的强对流天气过程的数值模拟,其中王宏等<sup>[9]</sup>、李江波等<sup>[10]</sup>对其中的两次强对流过程做了详尽的模拟研究,发现三维强对流云模式能够比较好地模拟出冰雹等强对流天气的发生、发展、演变过程,因此可以尝试将其应用于业务中制作强对流天气预报。

### 2.1 预报方法

模式的初始场为单站探空资料,河北省境内包括张家口、北京和邢台三个探空站,选择这三个站制作河北省 0~12 小时的冰雹区域预报,三个站分别代表的预报区域为河北省的西北部、中东部和南部。由于对于某一地而言,冰雹云的发生、发展直至消亡过程相对时间较短,因此我们选择单站模拟积分为 60min。统计表明<sup>[11]</sup>,河北省日降雹时间多集中在午后到傍晚,因而模式采用 08 时的探空资料。

对于冰雹的预报,采用两种方法,一种根据模式的直接输出结果,当地面的累计降雹量  $sqh \geq 0.2\text{mm}$  时,预报该站降雹;另一种是根据模式输出的逐分钟的最大上升速度、云中含水量等来综合判断是否降雹。当最大上升速度  $W_{\max} \geq 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,地面的累计降雹量  $sqh \geq 0.1\text{mm}$  时,预报该站降雹。实验证明,第二种方法较好。

### 2.2 预报质量评定

采用中国气象局规定的“短期灾害性天气落区预报评分方法”<sup>[12]</sup>,评定短期冰雹预报质量。

规定,张家口、保定西北部为张家口站的预报区域,在此范围内有一站点出现冰雹,即视为该站出现冰雹天气;同理,承德、唐山、秦皇岛、京津、保定、廊坊为北京站预报范围;石家庄、邢台、邯郸、沧州、衡水为邢台站预报范围。这里给出 2003 年和 2004 年 6 月的评定结果(表 1)。

表 1 2003~2004 年 6 月冰雹预报评分统计表

站点	报对 次数	漏报 次数	空报 次数	正确 率/%	漏报 率/%	空报 率/%
54401	7	2	21	23.3	22.2	75.0
54511	8	7	20	22.8	46.7	71.4
53798	3	4	22	10.3	57.1	88.0
平均				18.8	42.0	78.1

河北省气象台曾对 1996~1998 年 6 月

全省 0~12 小时份冰雹区域主观预报进行过评定,评分结果<sup>[13]</sup>:预报正确率为 15.2%,漏报率为 48.6%,空报率为 82.5%,采用三维冰雹云模式制作冰雹预报的预报正确率 18.8%,漏报率为 42.0%,空报率为 78.1%,通过对比可见,预报正确率有所提高,漏报率和空报率也略有下降,两年来的业务应用表明,在强对流预报中有一定的参考价值。

## 3 使用 MM5 资料制作省内 11 地市冰雹预报

从上面冰雹区域客观预报的结果来看,尽管预报准确率有所提高,但和主观预报相似,采用的是“撒大网,捕小鱼”的办法,即报大片区域内个别地点有冰雹,落点不确定,“网”撒的比较大,和目前预报业务所要求的精细化差距仍较大。因此,我们应用 MM5 中尺度模式提供的预报场作为三维强对流云模式的初始场,将预报范围缩小至地市,制作省内 11 地市的冰雹预报。

### 3.1 预报方法

以 MM5 中尺度模式提供的垂直 11 层的温、压、湿、风、高度等预报资料插值到省内 11 城市站点上,作为三维强对流云模式的初始场,采用与上述区域预报同样的方法制作 11 地市的强对流预报。

### 3.2 预报流程

选取以 20 时为初始场的 MM5 中尺度模式做出的 12 小时(即次日 08 时)垂直 11 层预报资料,采用线性插值,得到省内 11 城市的高空资料,然后逐站次运行三维强对流云模式,再根据模式的输出结果制作每个站的强对流预报(图 1)。在联想 P4 计算机上,每个站大约需运算 12 分钟,整个过程需运行 130 分钟。

### 3.3 预报效果检验

对河北省 2003 年和 2004 年 6~7 月 11 个地市的冰雹客观预报进行检验,仍采用前面所用 TS 评分<sup>[12]</sup>办法。规定某地市所辖区域内有一个站点出现冰雹,即视为该市出现相应冰雹天气,为一个冰雹日,评分结果见表 2 和表 3。

由于目前河北省台没有开展具体到各地市冰雹预报业务,因此只能把全省平均情况和以往的主观预报评分做一下对比分析。从

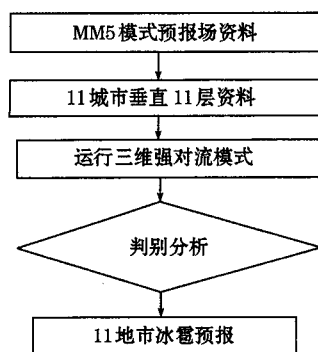


图1 河北省11地市强对流客观化预报流程

表2 河北省11地市2003、2004年6月冰雹预报评分统计

站点	报对次数	漏报次数	空报次数	正确率/%	漏报率/%	空报率/%
54401	4	5	14	17.3	55.6	77.8
54423	4	3	18	12.0	42.9	72.0
54534	1	1	15	11.7	50.0	88.2
54449	0	1	15	0.0	100.0	93.8
54515	1	0	16	5.9	0.0	94.1
54602	5	2	18	20.0	28.6	72.0
54616	1	1	22	4.2	50.0	100.0
54702	1	1	16	5.6	50.0	91.7
53698	3	1	18	13.6	25.0	81.8
53798	2	1	8	18.2	33.3	72.7
53892	1	2	10	7.6	66.7	76.9
平均				10.6	45.6	83.7

表3 河北省11地市2003、2004年7月冰雹预报评分统计表

站点	报对次数	漏报次数	空报次数	正确率/%	漏报率/%	空报率/%
54401	2	4	10	12.5	66.7	83.3
54423	1	2	2	20.0	66.7	83.3
54534	0	0	15			100.0
54449	0	0	16			100.0
54515	1	0	15	6.2	0.0	93.8
54602	4	1	8	30.7	20.0	66.7
54616	0	0	8			100.0
54702	0	0	8			100.0
53698	4	0	10	28.6	0.0	71.4
53798	0	0	6			100.0
53892	0	0	10			100.0
平均				19.6	30.7	90.7

表2可以看出,2003、2004年6月份全省各地市的冰雹预报TS评分平均为:正确率10.6%,漏报率44.1%,空报率83.7%。和1996年到1998年6月份的主观预报相比<sup>[13]</sup>,正确率和漏报率偏低,空报率偏高,预报效果不如主观预报。究其原因河北省各

地市降雹分布不均,山区多于平原,从表2可以看到,包含山区的地市如张家口(54401)、承德(54423)、保定(54602)、石家庄(53698)等降雹日数明显多于其他平原站点,而平原站点的预报评分都相对较低,因而造成全省的客观预报平均状况低于主观预报。如果把表2中降雹日数大于4d的站点54401、54423、54602、53698平均的话,预报正确率、漏报率、空报率分别为15.7%、38.0%、75.9%,略好于主观预报。

从表3可以看到,2003、2004年7月全省各地市的冰雹预报TS评分平均为:正确率19.6%,漏报率30.7%,空报率90.7%,除空报率较高外,预报效果明显好于6月。造成空报率较高的原因是在全省11地市中,有6个地市无降雹,空报率均为100%。如果只对有降雹的5个地市评分的话,空报率为79.7%。

从表2~3还可以看出,在河北省冰雹发生概率较高的张家口和承德地区漏报率较高,空报率低,而其他地市恰好相反,漏报率较低,空报率较高。

#### 4 不同初始资料对三维冰雹云模式预报效果的比较分析

应用三维冰雹云模式,制作河北省冰雹区域客观预报采用的是08时探空资料;制作11地市冰雹客观预报应用的是MM5中尺度模式提供的12小时预报层结资料,那么这两种资料对同一站点的预报效果有什么不同呢?以张家口站(54401)2003、2004年6月为例做一下简单的分析,从表1和表2可以看出,采用08时探空资料制作冰雹客观预报TS评分分别为:正确率23.3%,漏报率22.2%,空报率75.0%;采用MM5中尺度模式提供的预报场制作冰雹预报的TS评分分别为:正确率17.3%,漏报率55.6%,空报率77.8%。前者比后者的正确率高6.0%,漏报率低33.4%,空报率低2.8%。可见,前者的预报效果明显好于后者,尤其是漏报率明显降低。这也从另一个侧面说明了MM5中尺度模式的预报能力。在实际业务应用中,可通过前者弥补后者漏报率高的不足。

#### 5 小结与讨论

(1) 采用三维冰雹云模式制作冰雹等强

对流天气预报进一步缩小了预报范围,精细到11个地市,两年来的应用表明,7月的预报效果好于6月,该方法具有一定的参考价值,但TS评分仍很低,预报效果仍不理想,尤其是对河北省冰雹多发期的6月。

(2) 采用三维冰雹云模式制作河北省11地市的预报,所使用的初始资料为MM5中尺度模式提供的预报场,因此,MM5模式的预报水平决定了三维冰雹云模式的预报效果,随着MM5等中尺度模式的完善和发展,相信三维强对流云模式的预报效果也会进一步提高。

(3) 在对三维冰雹云模式参数进行模拟和调试时发现,漏报率和空报率成反比,即经参数调整使漏报率减小,则空报率增加;空报率减小,则漏报率增加。可见,在现阶段,对于冰雹等强对流天气的预报,单纯使用一种方法,并不能使预报预报准确率有明显的提高。要使预报预报准确率进一步提高,应多种方法综合应用,把漏报率控制在一定范围的同时,减少空报率。如采用历史经验消空,多指标叠套法消空等。

(4) 在运行三维冰雹云模式时,对流启动方式采用的是热泡启动方式,并且初始扰动值固定,而实际雹暴的发生发展有不同的启动机制,在今后的改进中,可以根据不同的影响系统采用不同的启动方式,并且初始扰动值可依据大气稳定度条件变动,从而提高预报准确率。

(5) 由于冰雹等强对流天气属于小概率事件,对其预报质量的评定国内外尚存在许

多争论,本文采用的预报方法的评价,也是根据河北省已有的部分资料所进行的粗略评价,预报效果究竟如何,还有待于实践的进一步检验。

#### 参考文献

- 1 杨晓霞,张爱华,贺业坤等. 山东省冰雹客观分县预报系统. 气象,2002,28(10):41~44.
- 2 伍志方. 应用一维冰雹云模式预报冰雹. 新疆气象,1998,3:19~23.
- 3 伍志方,张春良,许焕斌. 应用二维冰雹云模式做冰雹预报. 高原气象,2000,19(1):121~128.
- 4 邹光源. 用二维冰雹云模式预报桂西北地区降雹. 气象,2004,30(3):39~42.
- 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 I: 模式建立及冷云参数化. 大气科学,1990,14(4).
- 6 孔凡铀,黄美元,徐华英. 冰相过程在积云发展中的作用的三维数值模拟研究. 中国科学,1992,B35(7):1000~1008.
- 7 洪延超. 三维冰雹云催化数值模式. 气象学报,1998,56(6):641~651.
- 8 洪延超. 冰雹形成机制和催化防雹机制研究. 气象学报,1999,57(1):30~44.
- 9 王宏,王福霞,张江涛等. 河北省一次大范围冰雹天气的积云特征与数值模拟. 《2002年全国天气预报技术文集》.
- 10 李江波,买文明,范军红,连志鸾. 一次飚线型强对流风暴的积云特征与数值模拟. 《热带天气气候国际学术研讨会论文摘要文集》.
- 11 河北省气象局. 河北省天气预报手册. 北京:气象出版社,1987:142~147.
- 12 中国气象局业务发展与天气司. 预报业务规定(试行),1998:37~38.
- 13 河北省气象台. “河北省冰雹天气指导预报系统”课题技术报告. 2001:10~11.

## Hail Forecast with 3-D Hailstorm Numerical Model at Eleven Cities in Hebei Province

Li Jiangbo<sup>1</sup> Wang Fuxia<sup>1</sup> Mai Wenming<sup>1</sup> Wang Hong<sup>2</sup>

(1. The Meteorological Observatory of Hebei Province, Shijiazhuang 050021;

2. Chinese Academy of Meteorological Science)

#### Abstract

With the 3-D hailstorm numerical model, regional hail forecast in Hebei Province is made. Based on this, hail forecast of eleven cities in Hebei Province is made with MM5 mesoscale numerical model data. The results indicate that the method may play a referenced role in hail forecast.

**Key Words:** 3-D hailstorm numerical model hail forecast delicated forecast