

一次对流性降水过程中人工催化部位的选择

金 华, 何 晖, 张 菁

(北京市人工影响天气办公室, 北京 100089)

摘 要:对 1 次对流性降水试图根据人工催化所需条件及 MM5 模式的模拟结果选择适合进行催化作业的部位。研究发现,在该次过程中低层辐合中心同所选催化部位的水平位置有很好的对应关系,因此可将低层辐合中心作为替代的特征物理量,根据其位置确定催化部位水平位置。研究认为某些云体内部有较明显的对流活动,人工影响此类云体时,将探空或微波辐射计资料与多普勒雷达的速度场资料进行综合分析,对选择催化部位有帮助。

关键词:催化部位;低层辐合中心;多普勒速度场;微波辐射计

中图分类号: P481

文献标识码: A

引 言

大气中经常出现过冷云^[1], Rauber 等指出,过冷云的出现表明了云中的某些部位处于一种动态平衡状态,即垂直运动生成的过冷水与云中冰晶对其消耗相平衡^[2]。监测目标云系,选择适宜人工影响的云中区域,实施有针对性的催化是取得良好效果的前提。目前监测云和降水的手段很多,包括:装备云微物理和空气运动观测仪器的飞机、雷达、卫星、微波辐射计等^[3]。

机载云微物理探测设备可对云进行直接观测获取微观资料。陶树旺等提出了确定层状冷云可播区的微观指标^[4]。在缺少飞机资料时难以了解云中微观状况,故用宏观资料确定催化部位也很重要。王以琳等为了解决冷云催化前没有微物理资料确定人工增雨潜力区的问题,提出了确定冷云人工增雨催化区的探空判据^[5]。连志鸾等根据探空资料分析了一次层状云人工增雨过程中的水汽、温度、湿度场的演变,讨论增雨潜力区分布后确定了作业部位的高度,还通过综合分析多普勒雷达径向速度图及风廓线图发现大气低层存在风向辐合^[6]。李红斌等通过分析发现:在了解降雨云系增雨潜力及确定增雨作业时机时,多普勒雷达回波速度场的分布特征是一个较好判据指标^[7]。NASA 的冰晶遥感系统

(NRSS)则利用几种设备来识别过冷液态水区,确定云中积冰条件。在该系统中,云边缘用雷达数据确定,微波辐射计提供零度层高度及液态水总量,云底的精确边界由(激光雷达)云高计测量^[8]。

当前研究中,不少研究侧重于作业时机分析,利用微观飞行探测资料或宏观探空资料分析作业部位及作业潜力的也较多,NRSS更可以通过遥感探测确定过冷液态水区。本文由模式模拟结果出发,针对人工影响天气中催化部位的选择这一问题进行研究。

1 天气过程简介

本次降水因 500 hPa 低槽东移、冷空气过境而发生。2006 年 7 月 12 日 08 时,地面形势为鞍形场,冷锋南段到达河套,北京受蒙古低压及副热带高压外围影响,在冷空气及偏南暖湿气流的共同作用下,15 时起有片状回波逐渐由西北移入雷达观测范围,北京地区 17 时出现降水。17:30 最大强度达 45 dBz 的回波移至北京西北;18:40 后,雷达回波出现第 1 次减弱过程;19:50 后,回波在北京南部发展加强,20:30 回波移出北京地区并再次消散,本次天气过程对北京的影响结束。北京市人工影响天气办公室 17:30 起组织实施了火箭人工影响天气作业,前后持续约 90 min。在试验前后,雷达回波经历了 2 次先增强后减弱的过程^[9]。

收稿日期: 2007 - 12 - 17; 改回日期: 2008 - 01 - 16

基金项目: 北京市优秀人才培养资助项目“中尺度层状云系模式的建立及其在人工影响天气业务中的应用”(20061D02008000059)资助

作者简介: 金华 (1976 -), 男, 硕士, 工程师, 从事人工影响天气工作。E-mail: jinhuawm@gmail.com

2 模拟及实况对比

采用中尺度模式 MM5 模拟本次天气过程,使用每天 4 次 $1^\circ \times 1^\circ$ 的 NCAR/NCEP 再分析资料作为初始场。采用两重嵌套方案,区域 2 的格距设为 3 km 以便模拟雷达 PPI 回波。各嵌套区域均采用 MRF 行星边界层参数化方案。区域 1 采用 Grell 积云参数化方案,区域 2 未使用积云参数化方案。2 区域均采用 Reisner 霰显式水汽方案。

2.1 逐时降水

图 1 是 7 月 12 日 19 时的 1 h 降水分布,可知模

拟降水量最大约 40 mm (图 1b),实况观测也发现 30 mm 以上的降水中心 (图 1a 中未标出);实况及模拟降水的范围基本一致,强降水中心都位于北京中北部地区,数值模拟结果与逐时降水实况较接近。

2.2 雷达回波

图 2a 是 17:26 观测的最大 PP 雷达回波,图 2b 则是 17:30 分 5.5 km 高度的模拟回波。对比回波实况及其模拟发现:模拟结果中,强度 > 10 dBz 的回波分布在北京地区西部和北部边缘的几个块状区域内,而实况中同强度回波则集中分布在北京西北部;模拟回波强度 > 45 dBz 的区域面积略大于实况。

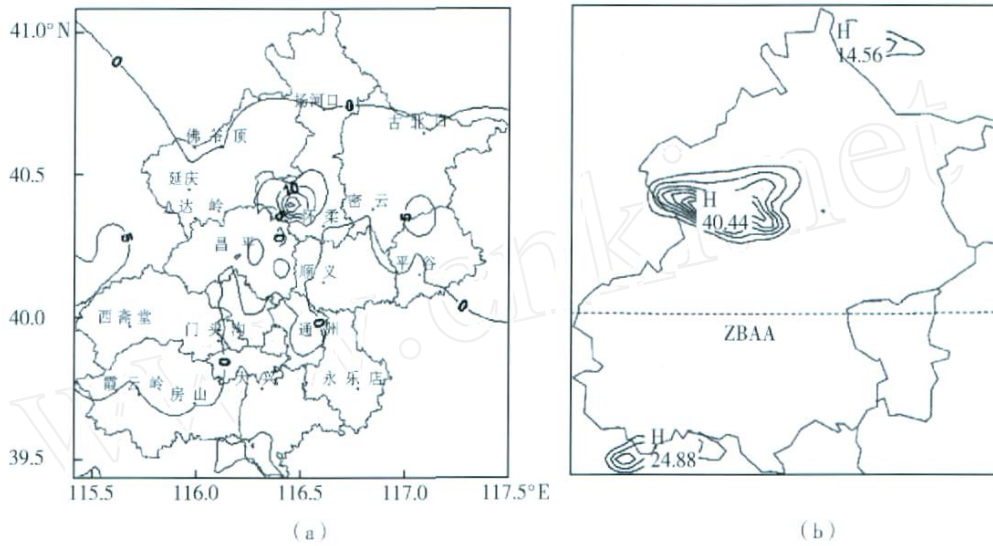


图 1 7 月 12 日 18 ~ 19 时累积降水的实况 (a) 及模拟 (b)

Fig. 1 The observed (a) and simulated (b) accumulated rainfall distribution during 18:00 - 19:00 July 12, 2006

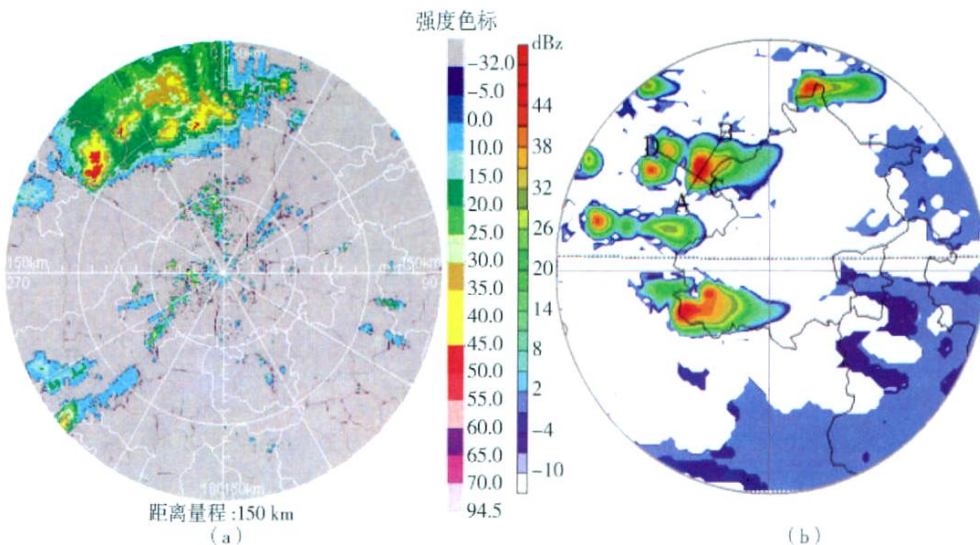


图 2 7 月 12 日雷达 PPI 回波实况 (a) 及模拟 (b)

Fig. 2 Radar echo from observation (a) and simulation (b) on July 12, 2006

但总的来说,模式模拟同雷达观测结果中回波分布方位接近,最大回波强度相似;另外,模拟回波的移向在作业前后与实况也一致。

通过对比逐时降水及雷达回波,可认为:模式基本再现了该次天气过程的发展过程,因此可通过对模拟结果的分析来进一步了解几个主要物理要素的分布和演变,并进而确定适合进行催化部位的位置。

3 催化方案的确定

3.1 催化方式及催化剂

播撒冷云催化剂的方式包括飞机作业及地面作业。飞机作业指飞机携催化剂入云播撒,可播撒包括致冷剂在内的多种催化剂。地面作业方式有碘化银地面发生器、高炮、火箭等,目前作业中这几种方式所播撒的催化剂主要成份均为碘化银。

7月12日08时的探空资料表明:3080 m(海拔高度,下同)的高空气温为 8°C ;5780 m的高空为 -9°C ,根据温度条件可考虑致冷剂催化。但雷达观测及模拟(图2)均发现了强度 $>45\text{ dBz}$ 的强回波,表明云中对流活动明显,影响飞行安全,确定不用致冷剂催化。

碘化银粒子能通过几种方式核化为冰晶,其中以凝结-冻结核化方式最易发生;这一方式多发生于对水面过饱和、有过冷水存在的条件下。在对水面过饱和的条件下,碘化银的成冰率随温度降低而

呈指数形式增长;在温度 $>-5^{\circ}\text{C}$ 时,其成冰率小到可以忽略不计;在 -10°C 左右,其成冰率较大。

碘化银地面发生器一般安装于地面高山上,依靠热力及风的动力作用将燃烧产生的碘化银粒子输送入云进行催化。因-9层在5780 m,地面发生器产生的碘化银粒子很难到达云中,故本次天气过程中无法使用该方式作业。考虑到高炮携带的催化剂较少,且综合比较高炮、火箭射高等因素,确定在本次天气过程中,宜采用火箭播撒碘化银进行催化。

3.2 根据模拟结果选择催化部位

模拟的PP雷达回波区于17:30从西北接近北京地区,为了解云水分布及气流配置,沿图2b中AB、CD 2条线做垂直剖面,以确定催化部位。由剖面图发现, 0°C 、 -8°C 等温度线(图3灰色粗断线)分别位于4.5 km及6 km的高度。由于 -8°C 等温度线位于6 km高度,为使碘化银有较高成核率,所选催化部位的高度宜为6 km及以上。

对比图3 2个剖面水汽场(灰色粗实线)和云水场(细实线)发现,云水区域小于水汽区域,二者中心区域基本重合。水汽、云水中心与最大垂直上升气流所在位置完全一致。易发生贝吉隆过程的云水、水汽中心可认为是催化部位,在2个剖面图上云水中心位于AB线上A点附近及CD线上的C点附近。故所选催化部位的水平位置应位于(图2b)AB与CD交叉点附近靠近A点和C点一侧。

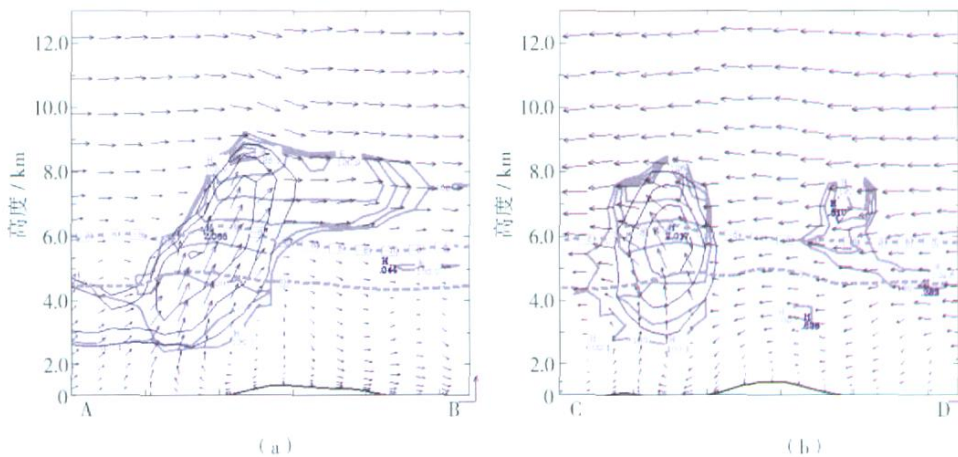


图3 沿AB和CD 2条线垂直剖面的云水、水汽及风场

(深色细实线为云水,灰色粗实线为相对湿度,2条灰色粗断线为 0°C 及 -8°C 线,风场用箭头表示)

Fig 3 The cross-sections of cloud water, relative humidity and wind field along lines of AB (a) and CD (b)

(Arrows indicate the wind direction, fine solid lines for cloud water and thick solid lines for relative humidity)

3.3 实际作业中选择催化部位的讨论

通过前面分析选定了 17:30 催化部位的空间位置,由于云系不断演变运动,催化部位的空间位置也始终处于变动之中。由表 1 知:以 75 发射时,火箭

于约 5 km 高度开始播撒碘化银,最高可达到约 6.2 km,可见有部分催化剂无法到达催化部位。为简化催化部位的选择,需找寻替代的特征物理量。

由图 3 可知云水中心与最大垂直上升气流位置

表 1 RYI-6300 型增雨火箭弹道表 (海拔 500 m)

Tab 1 Trajectory of RYI-6300 rocket for precipitation enhancement

发射角	始播点坐标		弹道顶点		终播点坐标	
	X	Y	X	Y	X	Y
75°	1 628	5 182	2 503	6 204	2 836	6 029
70°	2 143	4 993	3 205	5 895	3 698	5 668
65°	2 632	4 756	3 825	5 519	4 499	5 221

基本一致,将催化剂播撒于最大上升气流区可提高催化效果,因此人影作业前需要了解垂直方向的风场特征。垂直方向的风场在和温度场配合上及对水汽凝结起着关键的作用。不过因风垂直分量很小,相关资料较难获得,最大上升气流区的空间位置难以直接确定。由连续方程可知,可由水平散度了解垂直风分量的变化。若地表面是水平的,那么垂直速度在地表面必须为零。因此低层的辐合必然伴随着上升运动,辐散必然伴随着下沉运动^[10]。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

由模式输出的 1.5 km 高度辐合场发现:AB、CD 2 条线交叉点附近,靠近 A 点、C 点一侧有一强辐合中心(图 4)。对比发现,之前选定的催化部位同该强辐合中心的水平位置基本一致。出现这一分布的

原因如下:大气中的低层辐合中心对应着强上升气流区,随着环境温度的下降,下层不饱和空气升至某一高度后达到饱和,水汽开始凝结成小云滴(液态水)。空气及小云滴继续随上升气流向上运动,环境温度 < 0 后,液态水开始冻结成冰。由于温度 > -15 时大气中自然冰核浓度相对偏少,云中冰晶不充足,冰晶消耗的过冷水量小于垂直运动的生成量,云中同时有冰晶和过冷水并存^[11-21]。因而高空云水、水汽大值区的水平分布同低层辐合中心有很好的对应关系。故在本次天气过程中,可以将低层辐合中心作为替代的特征物理量,根据其位置确定催化部位水平位置进行催化作业。

研究表明可根据多普勒雷达速度图及风廓线图资料确定大气低层风场的辐合中心,研究还发现了辐合、辐散中心在雷达速度场资料中的特征^[6-7];曹玲等分析雷达速度图等资料后认为速度图上的汇合流场特征是人工增雨作业时机和部位的重要依据之一^[11]。综上所述:本次过程中选择催化目标区域时,可由多普勒雷达速度场确定辐合中心的水平位置;根据探空资料确定适宜催化的高度;然后结合作业点状况制定方案。

由于时间密度小,在无加密观测时探空未必能反映作业时大气状态。TP/WVP-3000 型微波辐射计可实时反演地面到高空 10 km 的温度、水汽垂直廓线,还可提供单层云液态水的垂直廓线,时间分辨率高^[12]。由图 5 的廓线图发现, -10 出现在 6 km 附近的高度,该层液态水量约 0.01 mm。因此在缺少探空资料时,可采用微波辐射计资料了解大气垂直状态。不过大气中存在逆温层结时应慎重使用其温度资料,Reehorst 研究发现:在逆温层结之上,微波辐射计反演温度同实况有明显差异^[18]。

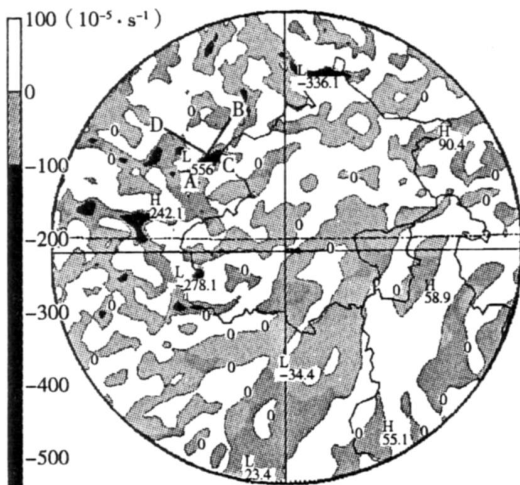


图 4 7 月 12 日 17:30 1.5 km 高度的辐合场
Fig 4 Convergence field at the level of 1 500 m at 17:30 July 12, 2006

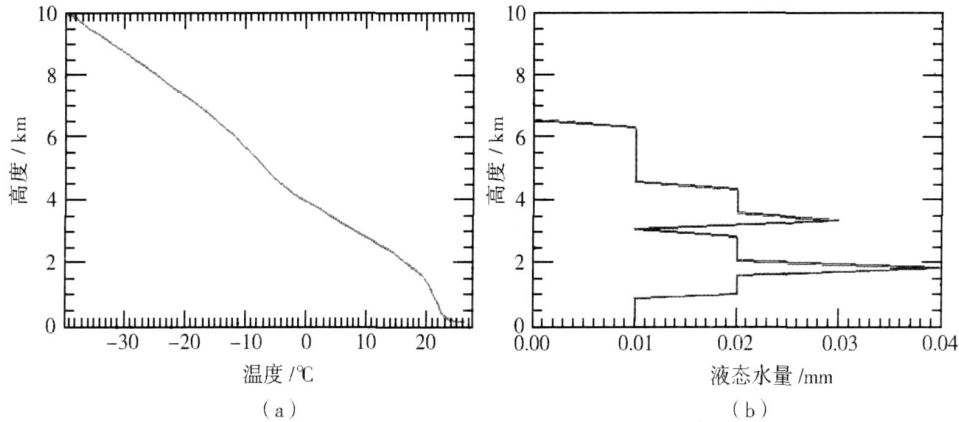


图 5 7月12日18:00微波辐射计的温度(a)和水汽(b)廓线

Fig 5 The temperature (a) and water vapour (b) vertical profilers from radiometer at 18:00 July 12, 2006

5 小结

利用 MM5对这次天气过程进行模拟并结合人工催化云体所需条件进行分析后发现:

(1)模式基本再现了该次天气过程中的发展过程,模拟与实况观测结果一致;

(2)由于云中对流活动明显,本次过程中用火箭播撒碘化银进行催化作业;选定了17:30分催化部位的空间位置。确定高度在6 km以上;

(3)低层辐合中心同所选催化部位的水平位置有很好的对应关系。

(4)在人工影响对流活动较明显的云时,将探空(或微波辐射计)资料与多普勒雷达的速度场资料进行综合分析,对选择催化部位很有帮助。

参考文献:

- [1] R Hans, Pruppacher, James D Klett Microphysics of Clouds and Precipitation[M]. II rev. and enl ed Kluwer Academic Press, 1997. 10 - 58.
- [2] Rauber R M, Tokay A. An Explanation for the Existence of Supercooled Water at the Top of Cold Clouds[J]. J Atmos Sci, 1991, 48: 1005 - 1023.

- [3] 刘奇俊,楼小凤. 人工增雨的需求、现状和某些科学技术问题[J]. 科技导报, 2002(3): 53 - 55.
- [4] 陶树旺,刘卫国,李念童,等. 层状冷云人工增雨可播性实时识别技术研究[J]. 应用气象学报, 2001, 12(增刊): 14 - 22.
- [5] 王以琳,刘文,王广河. 冷云人工增雨催化区的探空判据[J]. 应用气象学报, 2002, 60(1): 116 - 121.
- [6] 连志鸾,段英. 一次层状云降水过程人工增雨时机与部位选择探析[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 168 - 172.
- [7] 李红斌,何玉科. 多普勒雷达速度场特征在人工增雨作业中的应用[A]. 见:中国气象学会编. 中国气象学会2006年年会议文集[C]. 北京:气象出版社, 2006.
- [8] Andrew L Reehorst, David J Brinker, Thomas P Ratvasky. NASA icing remote sensing system comparisons from A RS II AAA - 2005 - 253. 43rd AAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, 2005.
- [9] 刘丰,张蕾,周巍,等. 一次人工消雨实验的总结分析[A]. 见:中国气象学会编. 中国气象学会2006年年会议文集[C]. 北京:气象出版社, 2006.
- [10] 杨大升,刘余滨,刘式适. 动力气象学[M]. 北京:气象出版社, 1983. 97 - 98.
- [11] 曹玲,李国昌,郭建华,等. 多普勒雷达产品在祁连山区一次人工增雨作业中的应用分析[J]. 干旱气象, 2006, 24(2): 39 - 44.
- [12] Radiometrics profiler (TP/WVP - 3000) operator's manual[M]. Manual version O. Radiometrics corporation, 2006. 1 - 6.

Locating Seeding Position in a Convective Precipitation

JIN Hua, HE Hui, ZHANG Qiang

(Beijing Weather Modification Office, Beijing 100089, China)

Abstract: A convective precipitation process was simulated with the MM5 model. The seeding location was found by analyzing both the simulating results and the seeding conditions. A good corresponding relationship was found between the location of the lower convergence center and the seeding location. Locations of the lower convergence center could be an alternate when seeding locations were sought. A conclusion was drawn that the comprehensive analysis of sounding data and doppler velocity is helpful when looking for seeding locations in convective clouds.

Key words: seeding location; lower convergence center; Doppler velocity field; microwave radiometer