对一次消云减雨试验中催化部位的分析

金　华　何　晖　张　蔷　周　嵬　刘　丰

(北京市人工影响天气办公室,100089)

提　要:在一次对流性降水天气过程中,根据人工催化所需条件及MM5模式的模拟结果,选择了适合进行催化作业的部位。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,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的水平位置。分析发现:作业时段北京延庆的作业点同所选定催化部位的水平位置非常接近,利用这些作业点实施催化可望取得预期效果。

关键词:催化部位　低层辐合中心　MM5模式

引　言

为保障2008年北京奥运会开闭幕式不受降水影响而顺利进行,北京市人工影响天气办公室开展了专项课题研究,并于2006年奥运保障演练中组织实施了几次人工消云减雨(以下简称消(云)减雨)作业试验。7月12日,一次降水过程影响了北京,北京市人工影响天气办公室择机实施了首次人工消(云)减雨试验。

大气中经常出现过冷云[1],Rauber等指出,过冷水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]。

云微物理飞机可进行直接观测,获取微观资料。陶树旺等就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]。在一次层状云人工增雨过程中,连志鸾等根据探空资料分析了水汽、温、湿度场的演变,讨论了增雨潜力区分布,并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]。NASA的积冰遥感系统(NIRSS)则利用几种设备来遥感识别过冷液态水区,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[7]。

前述研究中,涉及人工影响天气催化部位选择的不多,NIRSS虽可确定过冷液态水区,但其更侧重于积冰条件的分析。本文则由模式模拟结果出发,针对人工消(云)减雨作业中催化部位的选择这一问题进行讨论。

资助项目:国家科技支撑计划课题"北京地区人工消雾技术研究"(2006BAC12B04)资助。

1　天气过程

本次降水因500hPa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高外围影响;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45dBz的回波移至北京西北;18:40后,雷达回波出现第一次减弱过程;19:50后,雷达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起组织北京西北的作业点利用火箭实施了消(云)减雨试验,其中延庆的8个作业点承担了主要作业任务,东门营、张山营、百草洼、黄峪口、香营、辛庄堡和刘斌堡等作业点在17:55—18:14分发射了58枚RYI-6300型箭。海淀和昌平的4个作业点于18:39—19:06也进行了小规模的作业。在试验前及试验后,雷达回波经历了两次先增强后减弱的过程[8]。

2　模拟及实况的对比

采用中尺度模式MM5模拟本次天气过程,使用每天四次1°×1°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3km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;两区域均采用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小时降水分布,可知模拟降水(图1a)强度比实况降水(图1b)略大;两者降水范围基本一致,且强降水中心都位于北京中北部地区。

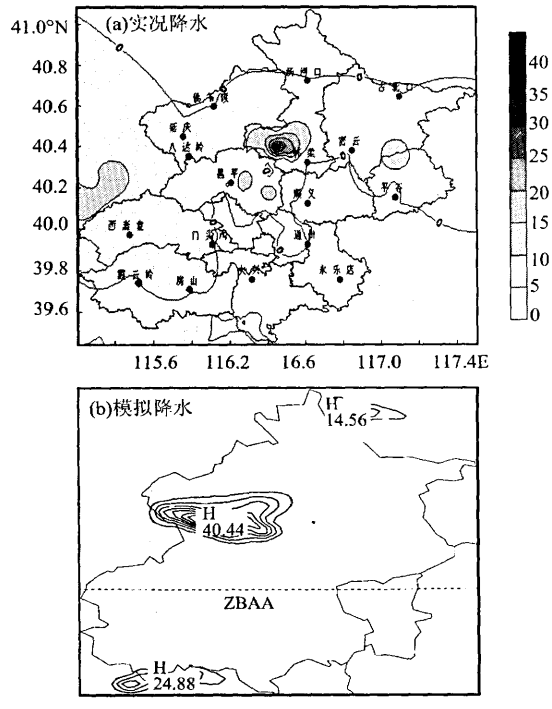


图1　2008年7月12日18－19时累积降水的实况及模拟

2.2　雷达回波

图2a(见彩图第24页)是17:26观测的最大PPI雷达回波,图2b(见彩图第24页)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,强度大于10dBz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边缘;模拟回波强度大于45dBz的区域面积略大于实况。总的来说,二者有一些差别,但在实况降水时间段内,模式基本模拟出了北京西北的降水,且模拟回波的移向与在作业前后与实况完全一致,模拟回波同实况回波的移速相差不大。

通过对比逐时降水及雷达回波,可认为:本次模拟与实况观测结果比较一致,模式基本再现了该次天气过程中的发展过程,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：3080m（海拔高度，下同）的高空气温为8℃；5780m的高空为-9℃；该天气条件允许使用致冷剂催化。但雷达观测及模拟结果（图2，见彩图第24页）均发现了强度大于45dBz的强回波，云中对流活动明显，会影响飞行安全，故无法使用致冷剂。

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5780m，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。考虑到高炮携带催化剂较少，综合比较高炮、火箭射高等因素可确定在本次天气过程中，采用火箭播撒碘化银进行催化是合适的。

3.2 根据模拟结果选择催化部位

模拟PPI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两线做垂直剖面，以确定催化部位。由剖面图发现，0℃、-8℃等温度线（图3灰色粗断线）分别位于4.5km及6km的高度。由于-8℃等温度线位于6km高度，为使碘化银有较高成核率，所选催化部位的高度宜为6km及以上。

对比图3两剖面水汽场（灰色粗实线）和云水场（紫色细实线）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。易于发生贝吉隆过程的云水、水汽中心可认为是催化部位，在两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。

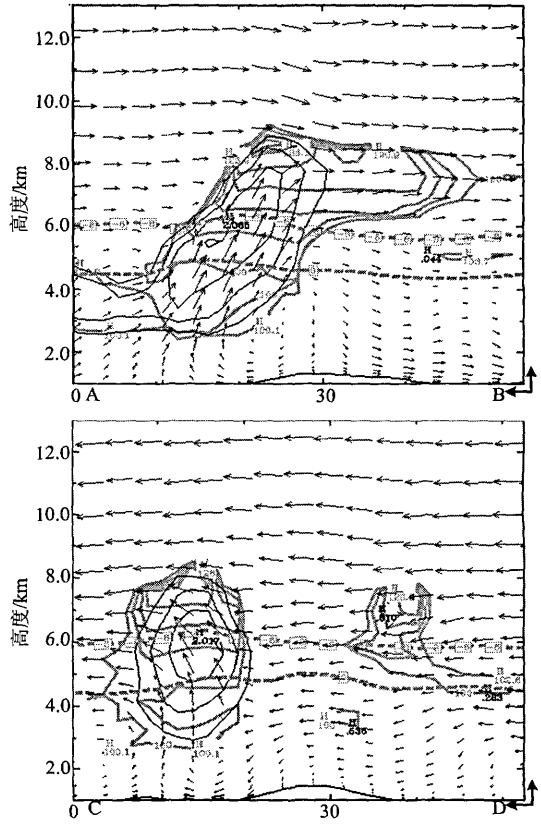


图3 沿AB和CD两垂直剖面的云水、水汽及风场
紫色细实线为云水，灰色粗实线为相对湿度，
两条灰色粗断线分为0℃及-8℃线，风场用箭头表示

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分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度发射时，火箭于约5km高度开始播撒碘化银，最高可达到约6.2km，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。

表 1　RYI－6300 型增雨火箭弹道表（海拔 500m）

发射角	始播点坐标		弹道顶点		终播点坐标	
	X	Y	X	Y	X	Y
75	1628	5182	2503	6204	2836	6029
70	2143	4993	3205	5895	3698	5668
65	2632	4756	3825	5519	4499	5221

由图 3 知云水中心与最大垂直上升气流位置基本一致，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 1 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[9]。

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \qquad (1)$$

由模式输出的 1.5km 高度辐合场发现：*AB*、*CD* 两线交叉点附近，靠近 *A* 点、*C* 点一侧有一强辐合中心（图 4a）。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，环境温度低于 0℃后，液态水开始冻结成冰。由于温度高于 －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[1-2]。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。

根据以上分析可确定：此次降水过程中，

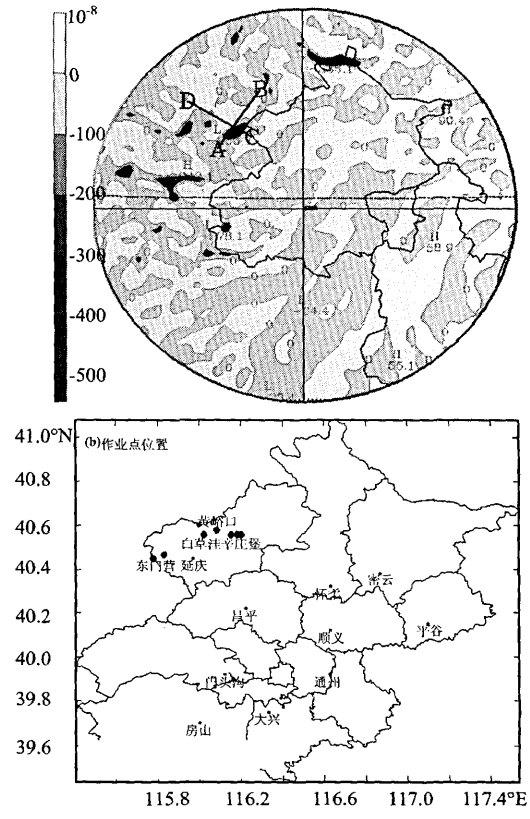


图4　2008年7月12日17:30高度1.5km的辐合场及主要作业点位置

17:30 时适合催化的水平位置就是北京西北的低层辐合中心所在位置（图 4a，*AB*、*CD* 交叉点附近）。17:55 分开始作业的东门营、张山营、等作业点的位置如图 4b 所示，可见此时作业点（尤其是西边的东门营、张山营两作业点位置）与分析确定适合催化的水平位置非常接近。因此利用延庆这些作业点实施催化是合适的，有利于取得预期效果。同时，可看出现有作业点分布同选定的催化位置间有一些差异，而且消（云）减雨作业需要的催化剂量较大，因此如能在北京西北优化作业点布局，适当增加作业点，会有利于取得更好作业效果。

4　小结

利用 MM5 对该次天气过程的模拟结果，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比较适合；选定了17:30分催化部位的空间位置。其高度在6km及其以上；

（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，在本次天气过程中，可以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；

（4）作业时段北京延庆的作业点同所选定催化部位的水平位置非常接近，利用这些作业点实施催化可望取得预期效果。另外，如对北京西北现有作业点布局进行优化并适当增加作业点，会有利于取得更好作业效果。

参考文献

[1] R Hans, Pruppacher and James D Klett. Microphysics of Clouds and Precipitation[M], II rev. and enl. ed. Kluwer Academic Press, 1997. chapter 2:10-58.

[2] Rauber, R. M., and A. Tokay. 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(Supplement):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] Andrew L. Reehorst, David J. Brinker, Thomas P. Ratvasky. NASA icing remote sensing system comparsions from AIRS II[C]. AIAA-2005-253. 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, Jan. 10-13, 200.

[8] 刘丰，张蔷，周鬼，等. 一次人工消雨实验的总结分析[C]. 中国气象学会2006年年会论文集，成都，2006:298

[9] 杨大升，刘余滨，刘式适. 动力气象学[M]. 第二版. 北京：气象出版社，1983:97-98.