

刘建忠,张蔷,金华,等. 人工影响天气后下游地面湿度响应分析探讨[J]. 气象,2012,38(3):314-321.

# 人工影响天气后下游地面湿度响应分析探讨<sup>\* 1</sup>

刘建忠 张 蔷 金 华 李宏宇 何 晖

北京市人工影响天气办公室,北京 100089

**提 要:** 2008 年 8 月 8 日下午到夜间,针对北京地区西北部、西部和西南部强对流天气进行了人工影响天气作业。为了解大规模进行人工影响天气作业后下游地区地面湿度的变化情况,文章结合空中天气形势,利用北京城区和郊区 215 个自动站及非自动站资料进行降水分布研究,重点利用其有湿度记录的 108 个站资料,对大规模人工影响后的地面湿度变化结合同期降水资料进行分析,以期在今后大规模的人工影响天气提供实验依据。结果表明,2008 年 8 月 8 日夜间北京地区引导气流为西南—东北向,天气系统基本沿西南—东北向移动,18:00—00:00 的 6 小时累计降水量,呈东北—西南向带状分布,北京城区处在降水量比较少的“豁口”处,“鸟巢”无降水。人工影响天气部门在北京地区西南部进行大规模人工影响强对流天气作业。作业后,在大规模人工影响作业区下风方带状范围内,地面水汽压随时间具有明显的突变(地面水汽压突然减小,持续时间大致在 25 分钟左右),且这种突变从由西南向东北减弱,突变开始的时间逐渐推后。在带状中心轴线附近这种突变比较明显,远离中心轴线这种突变减弱,开始突变的时间也推后;而在带状范围外,则没有这种现象。究其原因,主要由于大规模发射火箭弹进行作业,一是火箭弹尾喷的播撒作用,二是尾喷激起的强大扰动作用,有利于大的雨滴降落,或迅速长大后降落,形成下沉气流,下沉气流将高层的干冷空气带到低层引起地面水汽压减小;此下沉气流沿着引导气流向下游传播,在传播过程中逐渐衰减。进一步分析 2008 年 8 月 8 日 20 时 500 hPa 风,根据此高度风速大小估算大规模作业区距离分析地面水汽压发生较大变化测站的时间,发现测站地面水汽压的发生较大变化时间与由上游空气柱移来的时间比较一致。

**关键词:** 人工影响天气, 地面湿度, 带状区域变化

## Features of Ground Humidity in the Downstream of Influence Area After Weather Modification Activities—Analyses on a Case in Beijing

LIU Jianzhong ZHANG Qiang JIN Hua LI Hongyu HE Hui

Beijing Weather Modification Office, Beijing 100089

**Abstract:** In regard to the strong convection clouds from afternoon to night on 8 August 2008 in the north-west, west and southwest of Beijing area, weather modification activities were conducted to find out the changes of the surface humidity leeward after the large-scale operations. In this paper, by means of the data obtained from 215 automatic as well as non-automatic weather stations, the precipitation distribution was studied. Especially, by means of the data obtained from 108 weather stations with the humidity detection, the ground water vapor pressure every 5 min is calculated and analyzed, taking aim at the experimentation evidence for the large-scale modification operations. The study shows that the leading airflow in the evening was southwest to northeast, and the weather system moved basically along the direction of southwest to northeast. Large-scale weather modification operation was conducted in the southwest part of Beijing area. After the operation, in the zonal belt of the operation, the ground water vapor pressure changed with time abruptly (it suddenly diminished after lasted about 25 min). The break change weakened from southeast to northwest and the start time of the change postponed. In the axis line of the zonal belt, the

\* 北京市自然科学基金资助项目“地基微波辐射计产品性能分析与应用研究”(8092014)资助

2011 年 1 月 3 日收稿; 2011 年 8 月 23 日收修定稿

第一作者: 刘建忠,主要从事人工影响天气研究。Email:liujzh\_2003@sina.com

break change was smallest. Farther away from the axis line, the smaller the break was. Outside the zonal belt, such phenomenon did not occur. It was as if a dry air column moving from southwest to northeast. Without the weather modification activities on 8 August 2008, there would be no such phenomenon in the rain band backward position. Meanwhile, the causes for the above phenomena are analyzed, and some useful operational instructions are obtained.

**Key words:** weather modification activities, ground humidity, zonal range variation

## 引言

人工影响天气是在一定的有利时机和条件下,通过播撒催化剂等技术手段,对局部区域大气中的云雾降水物理过程进行影响,达到人工增雨、防雹、消雾等目的。近年来,我国人工影响天气技术有了较大的发展,取得了明显的社会效益,得到了各级政府和社会各界的充分肯定<sup>[1]</sup>。人工影响天气的效果评估一直是一项世界难题,围绕人工增雨效果评估,国内外<sup>[2-6]</sup>从地面降水量、雨滴谱、卫星云图、雷达回波等方面做了大量的工作,取得了丰硕的成果。

陈宝君等<sup>[7]</sup>利用数值模拟方法研究了对强对流云实施碘化银催化的增雨降温效果结果表明,催化后,地面降雹量减少、降雨量增加、贴地层气温降低。白卡娃等<sup>[8]</sup>通过常州市一次火箭人工增雨降温作业过程进行分析,讨论了强对流云催化降温的机理和火箭增雨降温作业的着眼点应该放在发展的对流云上,促使对流云猛烈发展,形成强而持续的下沉气流,将高空的冷空气带到地面。周德平等<sup>[9]</sup>对一次层状云降水催化作业过程探测资料的分析,可以明显看到作业影响区的降雨量在催化2小时后出现了很大的峰值。杨文霞等<sup>[10]</sup>利用河北省秦皇岛市单站地基GPS观测数据,对2006年5月21日在该站上风方实施的两次火箭人工增雨作业进行了分析。结果发现单站地基GPS上空层状云在人工催化开始后1~3h左右,出现大气中可降水量(PWV)下降的同时逐时雨量增加等现象。利用雷达和飞机探测资料评价人影作业后的效果,国内一些学者<sup>[11-13]</sup>也做了大量工作,结果表明人影作业后雷达回波、云粒子谱和半径都发生较大的变化。

这些都从某一个方面反映了采用人工对降水天气进行影响后降水和有关物理量的变化;如局地降水量增加、冰雹出现次数减少等。但到目前为止,国内外对人工影响天气后,地面气象要素(除降水外)

有什么变化,特别是作业影响区的下风方,分析研究还不多。地面火箭大规模对降水云系进行影响后,地面气象要素的研究分析更是少之又少。一则由于探测手段有限,二则由于地面探测设备布点比较稀疏,无法获取更多的信息。

自动气象站是我国近年来大量布设的地面自动观测设备,是我国综合气象观测系统的重要组成部分。自动气象站具有获取资料准确度高、时间和空间分辨率强、并能获取空白区域资料的特点,使我国地面观测网对天气系统特别是中小尺度天气系统和灾害性天气系统的监测能力大大加强<sup>[14]</sup>。王国荣等<sup>[15]</sup>利用北京加密自动气象站观测资料对一次飑线天气过程进行分析,得到对预报局地强降水预报非常有益的结果。山义昌等<sup>[16]</sup>利用自动气象站观测资料对一次人工增雨效果进行评价,得出了比较客观的结果。

2001年7月13日北京申奥成功后,北京市气象探测技术和探测网取得飞跃式的发展,气象探测的时空分辨率得到大大的提高。通过分析相应的探测资料,可以很好地捕捉影响北京地区的中小尺度系统,进而可以了解对降水天气系统进行人工影响后的作业效果。

2008年8月8日北京市为防止强对流天气影响北京奥运会开幕式,在北京及周边邻近的河北省保定、张家口地区进行大规模的人工影响天气作业。本文利用对比分析的方法,在分析2008年8月8日下午到夜间天气系统发展移动的同时,利用同期北京地区215个自动和非自动气象站的资料,分析了8月8日降水分布情况,并与2008年8月9日比较相似的天气过程进行对比。同时计算了有湿度探测的108个站逐5分钟的地面水汽压,并分析其时空变化,以便了解人工影响天气作业对下游地面湿度的影响。主要目的是为了解大规模进行人工影响天气作业后,作业区下游地面气象要素的变化特点,为我国今后进行人工影响天气作业提供理论支持。

# 1 人工影响天气作业情况和资料

## 1.1 人工影响作业情况

根据《北京 2008 年奥运会开、闭幕式人工消(减)雨作业实施方案》，围绕保护区——国家体育场，设置三道人工消减雨作业区，分别位于河北、天津和北京境内。

2008 年 8 月 8 日由于受副热带高压和西风槽的影响，北京地区及周边邻近地区以强对流天气为主，天气系统主要来自北京的西南、西和西北<sup>[18]</sup>。因此，人工影响天气作业区主要力量集中在河北省的张家口、保定以及北京的延庆、昌平、海淀、门头沟和房山等地区，从 16:00 到 23:30(北京时，下同)，共发射火箭 1110 枚(北京地区作业点的具体分布情况见图 1)。从各区的地面火箭作业来看，下午 17:30 以前主要在北京西北部张家口进行人工增雨作业，在延庆对孤立对流云体进行以抑制对流发展为主的作业。17:30 到 18:30 主要在北京西部门头沟境内进行作业。18:30 以后在北京的西南部进行作业，大规模人工影响作业区主要位于北京房山地区一带。其中，2008 年 8 月 8 日从 18:45 到 21:45 分别在河北保定、北京房山地区进行了 8 轮作业，发射 179 枚火箭，其中在 20:05 到 20:12 在房山作业区进行短时间大剂量作业(7 分钟内共发射 90 枚火箭)。在 21:45 后，又在该区域进行了 5 轮作业，共发射火箭 465 枚。

## 1.2 资料

选用北京城区和郊区 215 个自动和非自动气象站的资料，进行降水分布研究；选用其中 108 个有湿度记录的站资料进行地面湿度变化分析，自动站及非自动站站点的大致分布情况见图 1。

人工对影响保护区的天气系统进行影响作业，其影响作业区域和作业点取决于天气系统的移动。为了解 2008 年 8 月 8 日下午到夜间天气系统的移动情况，利用 NCAR 中尺度数值预报模式 MM5，以 NCEP 资料作为背景场，将北京及周边加密的探空、地面和非常规观测资料输入，进行模拟。模式采用双层嵌套，外层网格 27 km，里层 9 km，积分 24 小时。

结合实际天气图，逐小时分析数值预报模拟场的变化情况。可以看出，2008 年 8 月 8 日从下午到夜间北京地区受两个系统的影响，一是副高外围在北京西北部的西风小槽，二是 850 hPa 的切变线，且

分别在北京的西北部、西部和西南部产生强对流天气。如果北京西北部的西风小槽和 850 hPa 的切变线叠加，将会造成北京西北部的云系与北京西南部(850 hPa 的切变线)云系打通，降水系统直接威胁国家体育场。

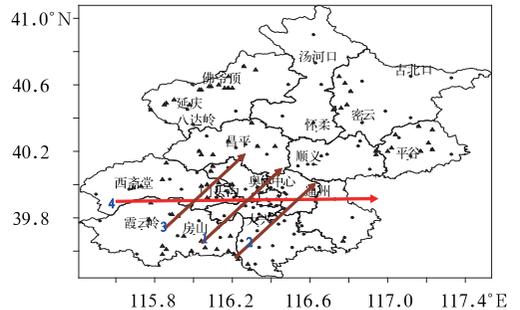


图 1 人工影响天气作业点及分析地面湿度变化用的 108 个自动站及非自动站分布图

(三角为地面火箭作业点，圆点为 108 个自动站及非自动站的位置，4 条矢线含义的说明见后)

Fig. 1 Distribution of artificial modification locations and 108 weather stations including automatic and conventional surface station (triangles mark the surface rocket modification locations, black dots mark the 108 weather stations, and the meanings of the four arrowhead lines shall be illuminated in later figures)

综合数值预报模式 MM5 模拟产品、卫星云图、雷达资料分析(图略)，可以看出，北京西北部的云移动到昌平北部后向北收缩后移动到密云境内，对北京城区影响不大，在 17:30 后没有在北京西北部进行人工影响天气作业。从上午到夜间北京城区和东部地区为副热带高压边缘西南气流控制。

图 2 是中尺度数值预报模式 MM5 模拟的 2008 年 8 月 8 日 20 时 500 hPa 风场。从图中风场可以看出，2008 年 8 月 8 日 20:00 后北京地区 500 hPa 的引导气流为西南—东北向。位于北京西南部，由 850 hPa 的切变线产生的对流云系受 500 hPa 的引导气流的影响有向北京城区移动直接威胁国家体育场的可能。因此，在北京地区西南部和河北省保定地区进行大规模人工影响天气作业拦截对流云系非常必要。

## 1.3 降水分布特点

北京地区地面自动站和非自动气象站资料显示，北京地区 8 月 8 日从下午开始，延庆、昌平、房

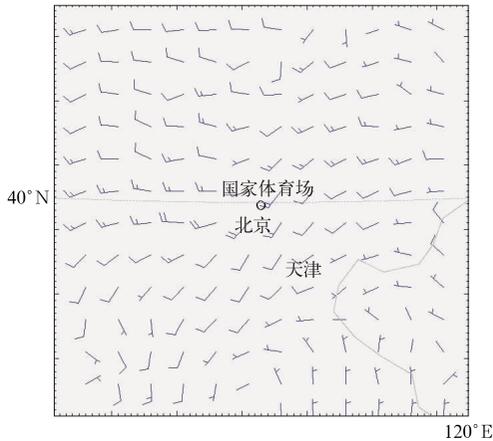


图 2 利用 MM5 模式模拟的 2008 年 8 月 8 日 20 时 500 hPa 风场  
(图中“O”为国家体育场所在地)  
Fig. 2 Using the MM5 model, the 500 hPa wind field at 20 BT 8 August 2008 was simulated

### 1.4 水汽压计算公式

马格努斯饱和水汽压公式<sup>[17]</sup>：

$$E_{\text{水}} = E_0 \times 10^{(7.45t/235+t)} \quad (1)$$

式中： $E_{\text{水}}$  是清洁水面的饱和水汽压； $E_0$  是温度为 0℃时的饱和水汽压，为 6.11 hPa； $t$  为摄氏温度（但不考虑单位，只取其数值）。

对马格努斯饱和水汽压公式来说，将式(1)中的温度改为露点温度，计算出的结果为露点温度下的饱和水汽压，即实际水汽压。本文利用式(1)计算各站的实际水汽压及其变化。

## 2 对下游地面湿度影响的分析

为研究问题方便，沿着西南到东北方向的引导气流做三条平行的线，分别找出下游的影响站点，同时为分析影响的区域时间沿东西长安街做一条直线。在图 1 中标注如下四条矢线（下文制作地面水汽压随时间演变曲线图分析时用到此直线）。

### 2.1 沿图 1 矢线 1 各站的影响

图 4 是沿图 1 矢线 1 的方向（沿着主导风向在作业区的下风方）制作逐 5 分钟地面水汽压的时间演变曲线，考虑到站点的分布，取距离直线比较近的站点，即张坊、良乡、云岗、丰台气象局、老山、玉渊潭、大学生体育馆、奥体中心、小汤山等。

由图 4 可以看出，沿着图 1 矢线 1 地面水汽压的变化具有很明显的特点。

(1) 在图 4 房山作业区的下风方，由西南到东北，从良乡到奥体中心、奥林匹克公园，地面水汽压的变化比较明显，都存在一个明显的“突变”（本文暂称持续 25 分钟左右，地面水汽压数值一直在降低，降低量为 2.2 hPa 或以上称为“突变”），而奥林匹克公园以北的小汤山则没有这种变化。

(2) 除远离作业区的小汤山和奥体中心、奥林匹克公园外，地面水汽压前后变化均在 5.0 hPa 左右，且随着离大规模作业区距离越远，变化量总体是逐渐减小的，如奥林匹克公园地面水汽压的减小量已降到 2.2 hPa。

(3) 进一步分析同期的降水资料，张坊在作业期及前后均有降水，良乡、云岗、丰台气象局、老山、玉渊潭、大学生体育馆、奥体中心、小汤山测站资料显示均无降水。表明良乡、云岗、丰台气象局、老山、玉渊潭、大学生体育馆、奥体中心、小汤山测站地面水汽压的变化不是由于降水造成的。

山、门头沟、海淀、丰台、石景山、怀柔、密云、大兴都有降水出现。分析 2008 年 8 月 8 日北京地区 18:00—00:00 累计 6 小时降水量分布情况(见图 3) 可以看出。

(1) 降水主要集中在北京的东北和西南部，北京东北部最大降水出现在密云县溪翁庄，降水量 38.5 mm；西南部最大出现在房山张坊，降水量 15.2 mm；是由南北不同的天气系统造成。

(2) 北京城区处在降水比较少的豁口处，主城区及其以东地区没有出现降水，北京奥林匹克公园没有降水。

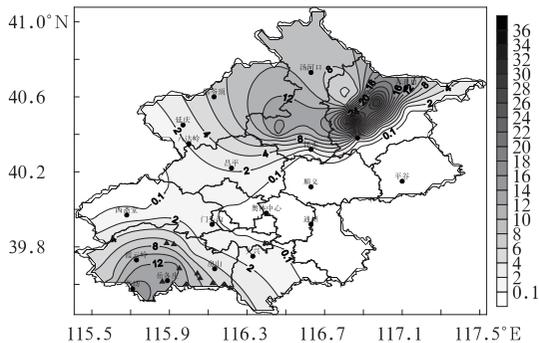


图 3 2008 年 8 月 8 日 18:00—00:00 北京地区累计 6 小时降水分布  
(三角表示房山作业区 10 个作业点)

Fig. 3 The 6 h (18—00 BT) accumulative precipitation distribution on 8 August 2008 in Beijing area  
(Triangles mark the 10 surface rocket modification locations in the Fangshan District)

(4) 8月8日20时北京观象台探空资料分析表明,500 hPa 高度风向为  $255^\circ$ ,  $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。根据此高度风速大小,估算大规模作业区距离良乡、云岗、丰台气象局、老山、玉渊潭、大学生体育馆、奥体中心、小汤山测站的时间,发现以上测站地面水汽压的变化时间与由上游的空气柱移来的时间比较一致。

## 2.2 沿图 1 矢线 2 各站的影响

图 5 是沿着图 1 矢线 2 做的地面水汽压时间演变曲线,也就是沿着紧邻作业区下风方的东边做地面水汽压时间演变曲线(即北臧村、西红门、先农坛体育馆、朝阳公园、楼梓庄、顺义气象局)。可以看出:

(1) 离大规模作业区比较近的北臧村自动站地面水汽压先降(开始时间为 21:50),随后是西红门、官园、天安门、先农坛。而朝阳区的朝阳公园及楼梓庄、顺义气象局地面水汽压变化比较平稳,没有出现“突变”现象,甚至出现上升的现象。

(2) 进一步分析图 1 矢线 2 做的的时间演变曲线以东站点,可以看出,庞各庄、大兴气象局(图略)和西红门等自动站具有与北臧村、西红门相似的特点,而这些地方以外的赢海、青云普、南郊观象台(图略)地面水汽压变化则不太明显(有变化,但变化量数值比较小,或不到 20 分钟,下同)。

丰台区的丽泽桥、新发地(图略)等与丰台气象局具有类似的特点,位于丰台东部的木樨园(图略)地面水汽压演变则不太明显。

北京城区先农坛、天安门以东的天坛、龙潭湖、古观象台(图略)的地面水汽压稍有变化,但已没有其西部地区的变化明显,这些站点更东的地方已没有这种特点。

(3) 分析同期的降水资料,以上测站均无降水。

(4) 根据此高度风速大小,估算大规模作业区距离以上测站的时间,发现以上测站地面水汽压的变化时间与由上游的空气柱移来的时间比较一致。

## 2.3 沿图 1 矢线 3 各站的影响

图 6 是沿着图 1 矢线 3 做的地面水汽压时间演变曲线,也就是沿着紧邻作业区下风方的西边做地面水汽压时间演变曲线(即佛子庄、雁翅、北安河、太平庄、古将)。可以看出:

(1) 大规模作业区西北部的佛子庄在 21:55 后地面水汽压下降比较明显;雁翅以北的站(图略)均比较平稳,仅有稍微的波动。其中佛子庄 22:15 出现降水,与地面水汽压下降比较明显时间不一致。雁翅、北安河、太平庄、古将等测站资料反映无降水。

(2) 进一步分析图 1 矢线 3 所做的地面水汽压时间演变曲线附近的站点,可以看出,潭柘寺和门头沟气象局(图略)演变特点比较明显,而以西的各站则不明显。但潭柘寺和门头沟气象局在 22:05—22:25 出现降水,与 21:45—22:00 地面水汽压下降比较,明显时间不一致。

门头沟北部的海淀区,其香山、永丰(图略)以西地面水汽压变化演变不明显,以东的箭亭桥、紫竹桥、车道沟(图略)等变化演变比较明显,以上各测站均无降水。同时海淀以北的昌平地区演变也不明显。

(3) 根据此高度风速大小,估算大规模作业区距离以上测站的时间,发现以上测站地面水汽压的变化时间与由上游的空气柱移来的时间比较一致。

## 2.4 沿图 1 矢线 4 各站的影响

为进一步了解大规模作业区下风方地面水汽压的变化情况,沿东西方向(图 1 中矢线 4,即齐家庄、斋堂、石景山、玉渊潭、官园、天安门、四惠桥、潞城一线)做地面水汽压时间演变曲线(见图 7)。由图 7 可以看出。

(1) 齐家庄、斋堂地面水汽压基本没有明显的变化,有些波动变化主要是局地的作业影响,石景山、玉渊潭、官园地面水汽压变化比较明显,天安门稍有变化,但变化时间推后。四惠桥以东的几个站(图略)都没有明显的变化。

(2) 逐 5 分钟降水资料分析表明,以上测站没有明显有量降水。

(3) 根据此高度风速大小,估算大规模作业区距离以上测站的时间,发现以上测站地面水汽压的变化时间与由上游的空气柱移来的时间比较一致。

为进一步了解沿图 1 各矢线方向相关站点地面水汽压的变化是否具有较大的偶然性,我们分别对 2008 年 8 月 9 日及以后的几次降水过程(均未进行人工影响天气作业),特别是 8 月 9 日的,其天气形势和云图逐时次的演变与 8 月 8 日比较相近,但没有如 8 月 8 日类似的特点,甚至出现上升的特点(如 8 月 9 日夜间矢线 2 方向的)。

## 2.5 地面湿度下降量及开始下降时间的平面分布

规定地面水汽压下降量在 25 分钟左右,地面水汽压连续下降,就用变化最大的数值作为地面水汽压下降量;否则,地面水汽压下降量就按  $0.0 \text{ hPa}$  来处理。逐站分析各站地面水汽压这种变化量,了解地面湿度下降量的平面分布特点。

图 8 是根据地面水汽压下降量绘制的北京地区 2008 年 8 月 8 日开幕式期间地面水汽压下降量的平面分布情况。可以看出,(1)地面水汽压下降量在 0.0 hPa 以上的分别位于密云、平谷一带和从房山到怀柔西南—东北走向的带状区域。地面水汽压下降量在 2.2 hPa 以上的主要分布在 40°N 以南。其中,位于北京地区北部的比较大的地面湿度下降量,

可能与北部地区有比较大的降水和张家口、延庆一带也进行人工影响天气作业,以及北部的延庆、怀柔、密云、平谷以及昌平北部地区地形比较复杂有关。(2)2.2hPa 等值线以内各站地面水汽压在 25 分钟左右时间内有较大的变化;在下降量 2.2 hPa 等值线以外,也受到影响,但明显滞后(下降开始和结束时间推后),水汽压下降量明显减小。

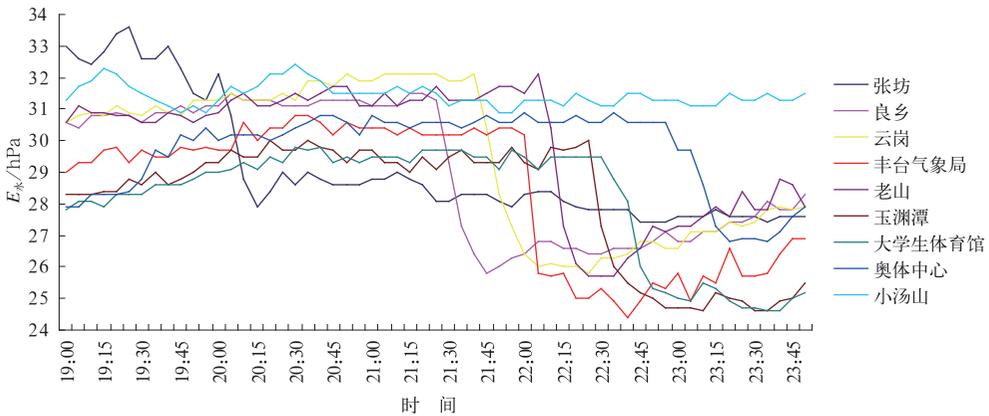


图 4 2008 年 8 月 8 日沿图 1 矢线 1 做的地面水汽压演变曲线

Fig. 4 The evolution of the surface water vapor pressure along arrowhead No. 1 in Fig. 1 on 8 August 2008

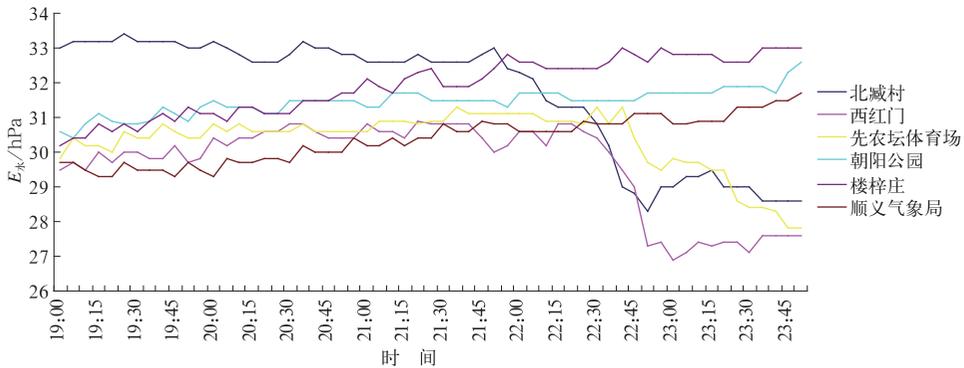


图 5 2008 年 8 月 8 日沿图 1 矢线 2 做的地面水汽压时间演变曲线

Fig. 5 The evolution of the surface water vapor pressure along arrowhead No. 2 in Fig. 1 on 8 August 2008

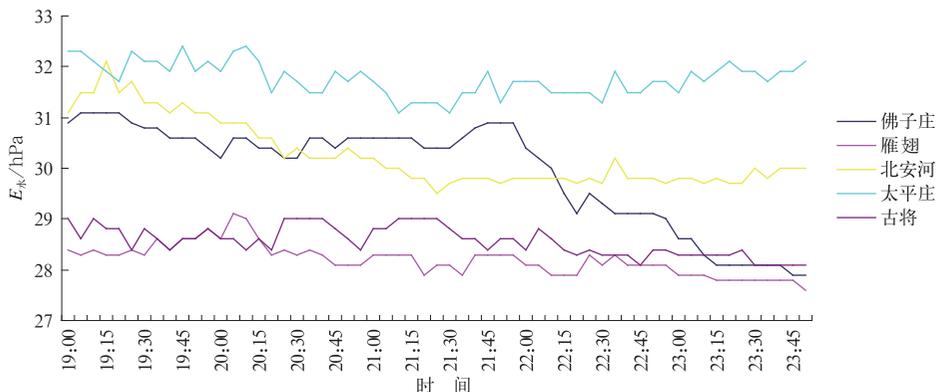


图 6 2008 年 8 月 8 日沿图 1 矢线 3 做的地面水汽压时间演变曲线

Fig. 6 The evolution of the surface water vapor along arrowhead No. 3 in Fig. 1 on 8 August 2008

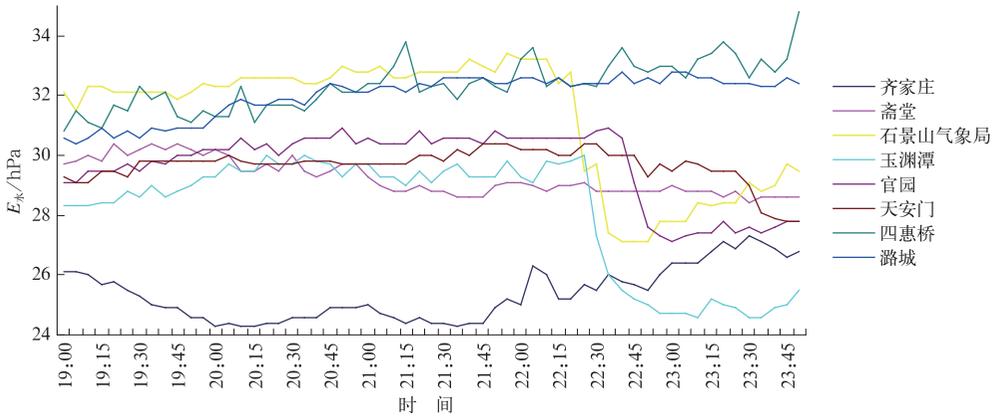


图 7 2008 年 8 月 8 日沿图 1 矢线 4 做的地面水汽压时间演变曲线

Fig. 7 The evolution of the surface water vapor along arrowhead No. 4 in Fig. 1 on 8 August 2008

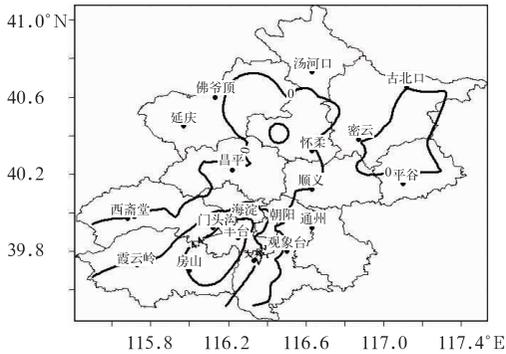


图 8 2008 年 8 月 8 日人工影响天气作业后对下游地面湿度影响示意图

Fig. 8 The sketch map for the effect of surface water vapor pressure (hPa) after the artificial modification on 8 August 2008

发生较大的变化时间随着距离大规模作业区的远近,时间明显推后;(2)大规模人工影响天气作业后对地面湿度影响的距离,在由西南向东北的方向比较远,而其他方向稍近一点。

### 3 小结与讨论

2008 年 8 月 8 日下午到夜间,北京市和河北省人工影响天气部门针对北京地区西北部、西部和西南部强对流天气进行大规模的人工影响天气作业,作业区主要力量集中在河北省的张家口、保定以及北京的延庆、昌平、海淀、门头沟和房山等地区。从 16:00 到 23:30,共发射火箭 1110 枚。从各区的火箭作业量来看,人工消减雨大规模影响天气作业区主要位于北京房山地区一带。结合 500 hPa 风场,利用北京城区和郊区 108 个有湿度记录的自动站及非自动站资料对大规模人工影响天气作业后的地面湿度进行分析。

(1) 2008 年 8 月 8 日夜間北京地区 500 hPa 的引导气流为西南—东北向,影响作业保护区的天气系统基本沿西南—东北向移动。

(2) 2008 年 8 月 8 日在 20:05 到 20:12 在房山作业区 7 分钟内共发射 90 枚火箭。在 21:45 以后,又在该区域进行了 5 轮作业,共发射火箭 376 枚。

(3) 北京地区 8 月 18:00—00:00 之间 6 小时累计降水量呈东北—西南带状分布,北京城区恰处在东北和西南两个降水区的豁口处,北京奥林匹克公园没有降水。

(4) 为了解大规模人工影响天气作业后地面水汽压的变化情况,根据引导气流分别对不同方向上自动站的地面水汽压进行时空时间演变曲线分析,

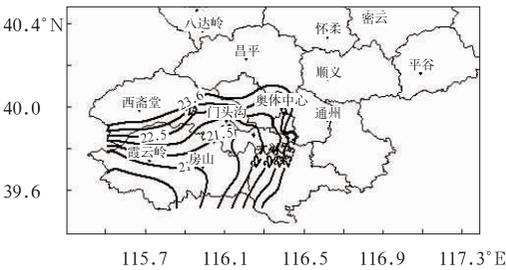


图 9 2008 年 8 月 8 日地面湿度开始下降的时间示意图

Fig. 9 The sketch map for the time of the surface humidity decrease on 8 August 2008

图 9 是根据各站地面湿度的数值在 25 分钟左右连续下降的开始时间制作的平面示意图,考虑到绘图方便,将时间进行处理,即将时间的分钟数换算为小时数,如 20:30 换算为 20.5 时。由图可以看出:经过大规模的人工影响天气作业,(1)地面湿度

并分析出相应的影响区域。结果表明,在人工影响天气作业区及下游,由北京西南部的房山向东北到昌平南部的带状范围内地面水汽压出现明显的变化。表现在以下几个方面。

(a)在带状区域中心轴线上,25分钟左右的时间内地面水汽压有一个明显的减小过程,减小量由西南往东北逐渐减小,且这种减小的开始时间逐渐推后。

(b)在带状区域两侧西南到东北的轴线上,也有与中心轴线上类似的特点,但减小量比中心轴线上小,影响范围也小。

(c)带状区域东西方向地面水汽压的减小量在中心轴线上最大,距离中心轴线越远,地面水汽压减少的数值越小,开始和结束时间越推后。

(d)同期降水资料分析表明,大规模作业区下风方测站地面水汽压的突变与降水之间的关系不大,大多数测站没有降水,或没有形成明显的有量降水。

(e)根据此高度风速大小估算大规模作业区距离分析地面水汽压发生较大变化测站的时间,发现测站地面水汽压的发生较大变化时间与由上游空气柱移来的时间比较一致。

以上分析表明,大规模作业区下游测站地面水汽压的发生较大变化与测站是否有降水关系不明显,主要是由上游大规模作业区移动而来的。

(5)本文给出的事实表明,人工影响天气作业后,地面水汽压发生了较大的变化。究其地面水汽压这种变化特征,主要是由于2008年8月8日下午到夜间在河北省保定和北京市房山地区进行大规模地面火箭播撒碘化银催化作业,短时间高密度的火箭作业大量催化剂播撒云中,雨滴谱产生两极分化,大的雨滴降落,或迅速长大后降落(这点现场作业人员的报告也得到证实),形成下沉气流(大气流场被破坏),下沉气流将高层的干冷空气带到低层引起地面水汽压减小(这点从同期微波辐射计的资料分析也得到证实,在此不赘述);同时火箭弹尾喷激起的强大扰动作用等也对流场有较大的影响。此下沉气流沿着引导气流向下游传播,在传播过程中逐渐衰减。

(a)此下沉气流在沿着引导气流由西南往东北移动过程中不会形成明显的降水,因此在大规模作业区的下风方保护区(国家体育场)及邻近地区的城区没有出现降水。

(b)此下沉气流在向下游地区移动过程中,所经测站湿度就会下降。

(c)由于此下沉气流在移动中不断与周边空气混合、交换,因此地面水汽压变化量呈现出距离大规模作业区越远越小,时间越推后的现象。

(d)与8月8日天气形势和云系演变比较相似的8月9日,没有进行人工影响天气作业则没有这种现象。

(e)本文仅是从观测的现象出发,做一些现象成因的探索。由于探测手段和时空分布的限制,无法达到全天候、立体的监测大气中水汽的变化,因此结论还有待于进一步挖掘其他探测资料佐证,在此不赘述。

## 参考文献

- [1] 胡志晋. 人工影响天气工程系统[J]. 中国工程科学, 2000, 2(7): 87-91.
- [2] 宫福久. 一次北上台风降水微结构演变特征[J]. 气象科学, 1997, 17(4): 335-343.
- [3] 宫福久, 刘吉成, 李子华. 三类降水云雨滴谱特征研究[J]. 大气科学, 1997, 21(5): 607-614.
- [4] 王勇. 气象卫星资料在飞机人工增雨效果评估中的应用[J]. 气象, 2002, 28(11): 26-28.
- [5] 白玲, 杨有林, 樊宽. 713C 雷达资料在定量降水及人工增雨中的应用[J]. 宁夏工程技术, 2008, 7(35): 197-201.
- [6] Rosenfeld D, Farbstain H. Possible influence of desert dust on seed ability of clouds in Israel[J]. J Appl Meteorol, 1992, 31(7): 722-731.
- [7] 陈宝君, 宋娟. 人工增雨降温机理的数值模拟研究: 对流云个例试验[J]. 气象科学, 2006, 26(1): 47-52.
- [8] 白卡娃, 王佳, 宋娟, 等. 2004年江苏火箭人工增雨降温分析[J]. 气象科学, 2008, 28(6): 663-667.
- [9] 周德平, 宫福久, 高建春, 等. 一次飞机播云的微物理效应分析[J]. 气象科学, 2004, 24(4): 405-411.
- [10] 杨文霞, 景华, 任芝花. 利用地基 GPS 观测火箭人工催化后大气水汽变化[J]. 气象科技, 2008, 36(2): 215-218.
- [11] 辛乐, 姚展予. 一次层积混合云飞机播云对云微物理过程影响效应的分析[J]. 气象, 2011, 37(2): 194-202.
- [12] 于丽娟, 姚展予. 一次层积云飞机播云实验的云微物理特征及响应分析[J]. 气象, 2009, 35(10): 8-24.
- [13] 张瑞波, 刘丽君, 钟小英, 等. 利用新一代天气雷达资料分析飞机人工增雨作业效果[J]. 气象, 2010, 36(2): 70-75.
- [14] 林英. 我国自动站建设发展迅速[N]. 北京: 光明日报, 2003-08-17.
- [15] 王国荣, 卞素芬, 王令, 等. 用地面加密自动观测资料对北京地区一次飑线过程的分析[J]. 气象, 2010, 36(6): 59-65.
- [16] 山义昌, 王善芳, 郑学山, 等. 自动气象站资料在人工影响天气作业中的应用[J]. 山东气象, 2008, 28(1): 7-10.
- [17] 王永生, 等. 大气物理学[M]. 北京: 气象出版社, 1987: 18-19.
- [18] 张蔷, 何晖, 刘建忠, 等. 北京 2008 年奥运会开幕式人工消减雨作业[J]. 气象, 2009, 35(8): 3-15.