

陕西省飞机增雨作业典型天气个例分析

杜毓龙¹ 雷崇典¹ 陈保国²

(1 陕西省延安市气象局, 延安 716000; 2 陕西省人工影响天气中心, 西安 710000)

摘要 在 2002 ~ 2003 年春秋季节陕西省 14 次飞机增雨作业天气分析的基础上,对 2002 年 9 月 13 日飞机增雨作业典型天气个例的环流背景、影响系统以及 500 hPa θ_{se} 、温度、垂直速度、水汽通量散度等物理量场进行了分析,并结合飞机和雷达探测资料,得出飞机增雨作业需要的有利于层状云向降水转化的条件:有稳定的层状云,云系有一定冷层厚度和过冷云水量,供自然冰相降水元和人工催化形成的降水元增长;云系还应有一定厚度的暖层,供下落的自然和人工形成降水元融化再经碰并云水增长成雨滴形成降水。陕西省春秋季节具有进行有效飞机增雨作业的天气系统和天气条件。

关键词 影响系统 增雨作业 层状云 过冷云水量

引言

多年外场人工增雨作业实践证明,认真做好作业天气条件的研究、分析,较准确地判断天气系统产生的降水范围、强度、持续时间以及主要降水区域,是制定作业飞行方案的依据^[1]。只有做到有的放矢,在最佳的作业时机和有利部位实施人工催化,才能最大限度发挥人工增雨的效能,提高人工增雨的经济效益、社会效益和生态效益。本文在 2002 ~ 2003 年陕西飞机人工增雨作业时段不同天气形势、降雨条件分析的基础上,重点对 2002 年 9 月 12 ~ 13 日影响到陕西的一次较大范围的降水天气系统进行综合讨论,期望对今后的人工增雨工作有所帮助。

1 飞机增雨作业天气类型

对 1980 ~ 1989 年及 2002 ~ 2003 年部分降水天气的分析总结,归纳出形成大范围稳定降水的 500 hPa 天气系统可分为两大类型:①阻塞型,前期乌拉尔山附近存在阻塞高压,陕北、关中受短波槽或北部长波影响出现降水;②副高影响型,副热带高压脊线至 25°N 以北,西伸至 100°E 以西,南支槽经向度加大,青藏高原东侧偏南气流加强,陕北、关中受高原

槽或短波槽影响出现降水,配合高空天气系统的地面系统比较明显,可归纳为 3 种类型,即冷锋、地面倒槽、冷高压。2002 ~ 2003 年飞机人工增雨过程天气形势影响系统及降水情况见表 1。

2 典型天气个例分析

2002 年 9 月中旬受冷空气和暖湿气流的影响,除新疆南部和内蒙古东部、东北地区南部外,全国大部自北向南普降秋雨,降水量一般为 2 ~ 25 mm。9 月 12 ~ 13 日陕西省出现大范围稳定降水天气,过程强降水区在陕北南部地区,陕北到关中部平均降水量为 36 mm,最大降水量 47.3 mm(宜君县),此次过程属副高影响型中短波槽系统形成大范围稳定降水较有特色的个例。13 日 11:22 ~ 12:49、15:38 ~ 16:33 进行两架次的飞机人工增雨作业。第一架次在延安上空 50 km 范围内,云系为较厚暖云层,探测作业区处于主体云边缘。第二架次在延安机场起飞爬高,地面实况小雨趋于停止,3600 m 入云底,16:01 到宜川,后转洛川,16:20 转向黄陵,16:26 转向白水,16:37 到达白水后返回延安。飞行探测高度 3700 m 左右,其下暖层云已不存在。云系处于减弱消散阶段。

国家科技部“西部开发科技行动”重大攻关项目(2001BA901A41)资助

作者简介:杜毓龙,男,1964 年生,高级工程师,从事人工影响天气研究和预报工作,Email:leichongdian@163.com

收稿日期:2004 年 6 月 4 日;定稿日期:2004 年 8 月 31 日

表 1 2002 ~ 2003 年飞机探测天气形势影响系统及降水

采样日期	采样时段	探测区域	降水				影响系统		作业所在系统部位	云顶 0℃层高度 / m		
			过程 (探测区)	范围	最大雨量 mm	地点	高空系统 (500 hPa)	地面系统		高度 m	08:00	20:00
2002 - 05 - 13	14:04 ~ 15:42	关中	小—中雨	全省	20.4	长安	长波槽	地面锋	中部		3540	3208
2002 - 05 - 18	10:08 ~ 11:43	关中	小雨	关中 陕南	6.9	太白	短波槽	地面倒槽	前部	7455	3362	3189
2002 - 05 - 20	11:48 ~ 13:31 14:57 ~ 16:22	关中	中雨	延安以南	26.5	扶风	南北短波槽	地面锋	中部	7466	3270	3587
2002 - 05 - 21	10:44 ~ 11:56	关中 渭北	小雨	关中 陕南	14.1	宝鸡	长波槽	地面锋	中部		3575	3478
2002 - 09 - 13	11:22 ~ 12:49 15:38 ~ 16:33	延安	中—大雨	全省	47.3	宜君	短波槽	高压	后部	8000	4462	3569
2002 - 09 - 19	10:20 ~ 11:53 14:16 ~ 16:23	延安以北	小—中雨	全省	17.3	旬邑	短波槽	地面锋	中部	6000	3974	3675
2002 - 09 - 20	10:17 ~ 12:52	关中 渭北	中—大雨	全省	44.5	蒲城	短波槽	地面锋	中部	5800	3466	3551
2002 - 09 - 26	11:39 ~ 13:18	延安南 渭北	局地小雨	陕西北部	3.1	吴旗	长波槽	倒槽	中部	6000	3659	3459
2003 - 04 - 06	07:31 ~ 09:04 14:13 ~ 16:27	延安以北	小雨	全省	3.5	宜川	平直西风	地面锋	前部	6000	3200	1969
2003 - 04 - 18	09:53 ~ 12:03	延安以南	小雨	全省大部	10.5	长安	南支槽	地面锋	后部	8000	1283	1859
2003 - 05 - 26	10:32 ~ 12:14	关中 渭北	小雨	全省大部	6.4	志丹	短波槽	倒槽	前部	7000	3974	3540
2003 - 05 - 27	09:37 ~ 11:27	延安南 渭北	小雨	陕北	16.3	榆林	长波槽	高压	中部	5600	3803	4320
2003 - 06 - 21	19:44 ~ 20:32	陕南	中—大雨	全省	45.2	洛川	长波槽	倒槽	前部	10000	4387	4413
2003 - 06 - 22	09:41 ~ 11:09	延安南 关中	小雨	陕北南 渭北	16.3	华阴	长波槽	高压	后部	3000	4380	4900
2003 - 06 - 29	11:13 ~ 12:14 17:09 ~ 18:18	关中 渭北	小—中雨	全省	15.7	横山	副高高原槽	倒槽	中部	7000	4412	4509

注:最大雨量为陕西境内秦岭以北所有观测站的当日报表 20:00 ~ 20:00 最大降水量(2002 年),08:00 ~ 08:00 最大降水量(2003 年),云顶高度为延安雷达站当日云回波最大高度,0℃层高度为延安探空站当日实时资料。

2.1 环流背景及影响系统

(1)环流背景:过程前期(9 月上旬),欧亚中高纬为两槽两脊型,乌拉尔山以及西北地区为一较稳定的长波脊,贝加尔湖以东地区为一弱的高压脊,而巴尔喀什湖和鄂霍次克海附近为长波槽。进入中旬后,环流形势出现调整,巴尔喀什湖槽东移,贝加尔湖以东地区的高压脊进一步减弱,整个中、西西伯利亚为低槽区所控制。随着低槽区内冷空气不断东移南下,冷暖空气交汇,陕西省出现大范围降水。

(2)影响系统:2002 年 9 月 10 ~ 14 日先后有短波小槽沿中纬度锋区东移,因受副高的阻挡,槽的北端移速快而南端慢,由于中低层东西向的切变线生成,并横贯华北到西北地区东部一带,切变线的尾端与西北涡相连,构成低涡切变,使得由小槽携带的弱冷空气与副高西北侧暖湿气流频繁交绥,产生较强、较长时间的降水。由于高低空冷空气不断南压,地面冷高压也随之南移,9 月 13 日 14:00 高压中心位于陕北南部地区上空,降水区也东移南压,14 日 02:00 降雨带移出陕西。

2.2 宏观物理量场

(1) θ_{se} 场:2002 年 9 月 12 ~ 13 日,在中纬度 200 ~ 850 hPa θ_{se} 等值线呈东西向,13 日 08:00 500 hPa 能量锋在陕北南部一带(图 1),陕北以南地区属于高能区,冷空气从正北侵入陕西省,配合 500 hPa 短波槽,成为高空冷暖空气剧烈交汇区域。随着高度

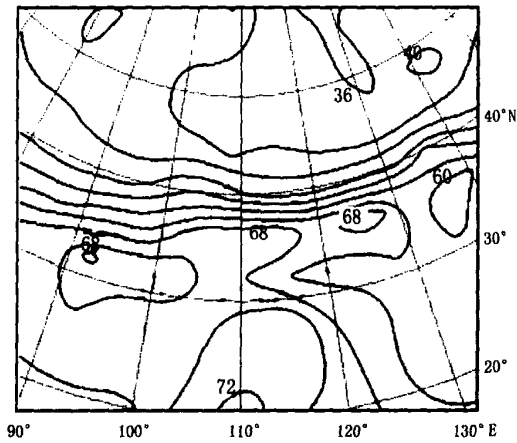


图 1 2003 年 9 月 13 日 08:00 500 hPa θ_{se} 场(单位:℃)

降低,能量锋明显南压,在 700 hPa 已进入陕西省南部地区,850 hPa 能量锋南压至 30°N 。可见冷空气是先由低层侵入,对应地面上陕西大部处于较强的冷高压中心区域。

(2) 2002 年 9 月 13 日 08:00 500 hPa 涡度平流场上,河套西侧是大面积的负涡度平流区,河套东侧和底部为正涡度平流区,与地面降水区相对应。这预示着高空槽东移南压并有发展的趋势。

(3) 垂直速度:12 日 08:00 700 hPa 河套上空有一 $-2.0 \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 中心,850~200 hPa 整层为一致的上升运动区,13 日 08:00 河套东北侧出现下沉区,但在陕西及其西部地区仍为上升运动区。500 hPa (图 2) 河套地区维持大面积的上升区,强垂直速度锋区偏北,陕西南部到关中处于较弱上升区,一直伸展到 300 hPa,关中以北可伸展到 200 hPa 以上。准饱和层由下延伸到 200 hPa 以上,为降水提供了深厚的垂直水汽输送场,使降水系统得以维持。13 日 20:00 河套地区由低层到高层,由北向南,上升区转为下沉区,降雨云带也随之东移南压。

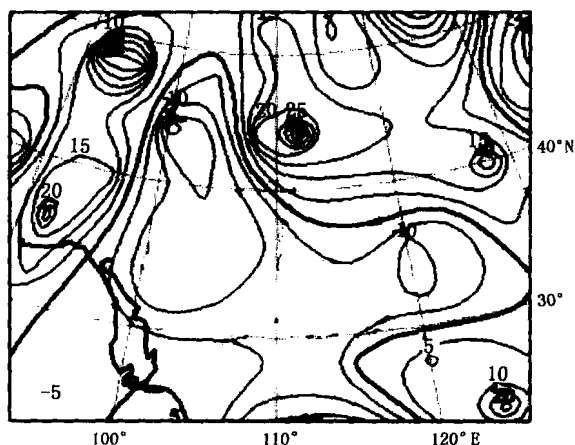


图 2 2002 年 9 月 13 日 08:00 500 hPa 垂直速度场
(单位: $\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$)

(4) 水汽通量散度场的辐合区是水汽的聚积区,它对降水的水汽供应和低层的辐合上升有重要意义。12~13 日 850 hPa 水汽通量散度场上,陕西南部到关中一直有一个较强的水汽辐合中心 ($-10 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$),到 13 日 08:00 中心尺度减小(图 3),但仍然在陕西南部到关中空。这个水汽辐合中心对应水汽通量场较大的水汽通量(图 4),并与 850 hPa 的上升区相对应。700 hPa 水汽辐合中心在河套西侧,陕西南部到关中处在弱的水汽辐合区,其上空水

汽辐合层比较深厚,有利于降水系统持续。

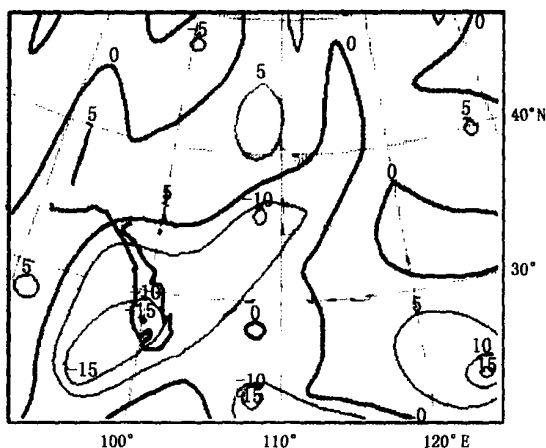


图 3 2002 年 9 月 13 日 08:00 850 hPa 水汽通量散度场
(单位: $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$)

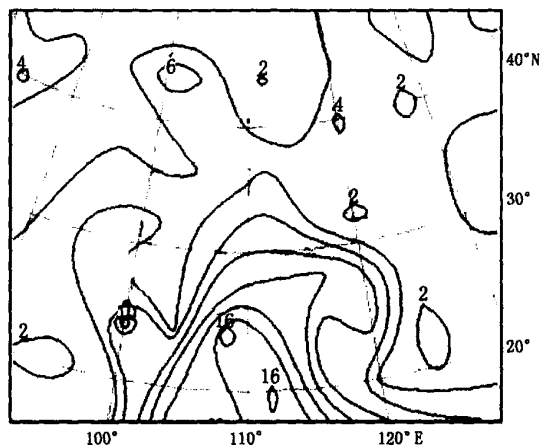


图 4 2002 年 9 月 13 日 08:00 850 hPa 水汽通量散度场
(单位: $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$)

2.3 雷达探测及降水

延安市气象局雷达站 711 雷达 13 日 13:28:01 RHI 图像(图略),回波 0 dBz 最大高度是 8.0 km,降水层云高度平均 6.0 km,中心强度在 35~40 dBz, 20 dBz 最大高度维持在 2.2 km。13:08:32 PPI 图像(图略)显示 20 dBz 回波水平分布比较均匀,尺度较大,是比较理想的人工增雨层状云(表 2)。与强降水区相对应,降水量 12 日 20:00 至 13 日 20:00 甘泉 36.8 mm、宜川 44.2 mm、富县 34.5 mm、洛川 40.3 mm、黄龙 42.5 mm,增雨区与关中地区降水量比较平均高出 1 成,比陕北北部高出 7 成以上。08:00 0°C 层高度 4462 m,20:00 的 0°C 层高度降至 3569 m,500 hPa 干冷南侵,20:00 θ_{se} 锋区移到秦岭北侧附近,陕西南部到渭北上空整层变

冷,上升运动转为下沉运动,降水随之结束。

表 2 适合人工增雨层状云雷达回波参数与 13 日雷达回波参数

云层性质	回波最大强度 dBz	PPI 最大距离 km	云顶高度 km	冷云厚度 km	0℃层高度 km	暖云厚度 km	冷云/暖云
稳定性层状云	49.63	49.28	7.31	3.64	3.66	3.06	1.19
混合性层状云	58.00	53.55	8.54	4.64	3.90	4.10	1.14
13 日稳定性层状云	45.00	45.00	5.90	3.60	3.50	2.40	1.50

3 飞行探测资料分析

根据飞机上升作业在探测区域(背景区)获取资料分析,FSSP 探头测量的 0 道(量程为 2~47 μm 分为 15 个通道)粒子在背景区平均浓度为 2.7 个/cm³,0 道 2~5 μm 档粒子浓度随高度变化不大,平均值为 0.201 个/cm³,极大值出现在 3900 m 高度,为 0.488 个/cm³。在云顶下部区域(海拔 4500~3100 m)有明显的逆温扰动。总含水量、各尺度粒子浓度、粒子平均直径在此区域内呈现出区域性极值。2D-P 探头在海拔 4500 m 高度上粒子总浓度为 20756 个/m³,粒子平均直径 537.2 μm,其中平均直径大于 400 μm 的浓度为 8916 个/m³。在暖云层中部(海拔 4500~3100 m)冷云层顶部各有一个相对高粒子浓度区,表现出典型混合性降水云体结构特征。

4 结论

陕北春秋季节飞机人工增雨,主要是在稳定降水层状云中进行。增雨作业要求云系有一定冷层厚度和过冷云水量,不仅供自然冰相降水元(冰晶和雪

花)增长,还可供人工催化形成的降水元增长^[2]。云系还应有一定厚度的暖层,供下落的自然和人工形成的降水元融化后再经碰并云水增长成雨滴形成降水。陕北春秋季节,具有上述条件的天气系统和云系是存在的,加之 0℃层高度多在 3000~4000 m 间,既有利于一定厚度冷暖层形成,又适合用于作业飞机实用升限(6 km)进行催化^[3]。两年的飞机作业试验初步证实,供人工催化形成的冰相降水元增长条件是存在的,人工催化可以增加冰相降水元进而增加降水,若能在可供人工增雨的降水云系科学识别方面提高一步,并在作业时空范围上加大作业催化力度,实施规模化作业,增雨效果和效益将会提高,成为缓解局地干旱的一项开源措施。

参考文献

1 游来光,马培民,胡志晋.北方层状云人工降水实验研究.气象科技,2002,30:19-62
2 游景炎,段英,游来光.云降水物理和人工增雨技术研究.北京:气象出版社,1994.11-22
3 樊鹏,余兴.陕甘宁人工增雨技术开发研究.北京:气象出版社,2004.99-101

Typical Case Study of Aircraft Rain Enhancement in Shaanxi

Du Yulong¹ Lei Chongdian¹ Chen Baoguo²

(1 Yanan Meteorological Bureau, Yanan 716000; 2 Shaanxi Provincial Weather Modification Center, Xian 710000)

Abstract : Based on the synoptic analysis of 14 aircraft cloud seeding operations in spring and autumn in 2002 and 2003 , a typical seeding case study of 13 September 2002 was conducted , in which an analysis was made of the circulation background , influencing systems and the associated physical quantities such as 500 hPa θ_{se} vorticity , vertical velocity , water vapor flux , divergence , etc , in combination with aircraft and radar sounding data . The conditions favorable for aircraft rain enhancement operations and needed by the conversion from stratiform clouds to precipitation include : there exist stable stratiform clouds with a cold layer of a certain depth and with enough supercooled cloud water to allow both natural and artificial water particles to grow ; the clouds should also have a warm layer of a certain depth to allow the falling water particles to melt , collide , and grow into raindrops . There are favorable weather conditions for rain enhancement in spring and autumn in Shaanxi Province .
Key words : influencing system , rain enhancement , stratiform cloud , supercooled cloud water content