

5252.4
飞机人工增雨催化条件的研究*

段英 吴志会 石立新

(河北省人工影响天气办公室 石家庄 050021)

A 摘要 利用河北省飞机人工增雨作业获取的综合观测资料,分析了人工催化过冷性层状云可选择的不同天气系统及类型、云可催化的宏观物理判别条件、春季冷锋云系回流型降雨性层状云微物理特征和可播性条件。结果表明,被人工催化云体云底高 $<2\text{km}$ 、云厚 $>2\text{km}$ 、过冷层厚 $>1.5\text{km}$ 、催化层高为 $4.0\sim 5.5\text{km}$ 、温度为 $-6\sim -13^{\circ}\text{C}$ 、且处于云系发展时期催化增雨效果较好;垂直方向春季回流型降雨性层状云有锋面上As云和锋面下Sc云2层主体云,当降雨即将形成时近地层还有Fc云。粒子测量系统资料显示,垂直方向云含水量有2个大值区,分别位于As云和Fc云中部。河北省春夏这种层状云有较好的人工催化条件。

关键词 人工降雨 催化条件

飞机

Suitability of cloud conditions for artificial rainfall enhancement by aircraft. Duan Ying, Wu Zhihui, Shi Lixin (Hebei Provincial Weather Modification Office, Shijiazhuang 050021), *EAR*, 1998, 6(1): 80~83.

Abstract Based on data obtained from many events of aircraft rainfall enhancement operations, the suitable weather systems and patterns for artificially seeding supercooled clouds, the macro-physical characteristic of clouds for seeding, the micro-physical characteristics and the suitable conditions of precipitating stratiform clouds of cold front returning weather system for seeding are analyzed. Results suggest that rainfall enhancement could be easily achieved when clouds are under conditions of less than 2km of cloud base height, more than 2km of cloud thickness, more than 1.5km of the supercooled layer, $4.0\sim 5.5\text{km}$ of seeding height, temperature ranging from $-6\sim -13^{\circ}\text{C}$ and in developing stage of the weather system. There are two main cloud layers vertically in the spring cloud front weather system, i. e., As layer above the frontal surface and Sc layer below the frontal surface, when rainfall is about to occur, there is Fc near the ground. Particle Measuring Systems (PMS) data indicate that there are two layers with high liquid water content, corresponding to the middle parts of As and Sc respectively. The analysis suggests that this type of cold front weather system could be seeded for artificial rainfall enhancement in spring and in summer in Hebei Province.

Key words Artificial rainfall enhancement, Suitable conditions

近年来,河北省连年发生干旱,严重影响了国民经济特别是农业生产的发展。60年代

* “八五”河北省科委重大科技攻关项目部分内容
收稿日期:1997-09-14 改回日期:1997-12-15

初~70年代末河北省曾开展过飞机人工增雨作业和研究,取得了一些初步成果,至80年代外场作业及科研工作一度中断。为进一步研究人工增雨天气条件和作业技术,更有效地服务于农业,1989年河北省恢复了飞机人工增雨作业。1990~1991年实施飞机人工增雨作业60多架次,其中48次获粒子测量系统探测的云微物理资料。作业催化剂为AgI溶液或干冰;采用非固定目标区作业法(把全省分为19个区,根据旱情及催化条件选择作业区);同时收集对应区(或全省)各气象站逐时及3~6h降雨量资料。根据作业区及下风方影响区降雨量和上风方及相邻未作业区降雨量对比、飞机作业前后探测的云微物理资料、雷达回波演变等资料综合分析后确定增雨效果。本文利用飞机综合观测资料及地面天气背景实时资料(包括雷达、卫星、探空气球等资料及天气图),结合实际降水效果,综合分析了不同天气系统条件下层状云的催化机率、云宏观与微观可播性物理判别指标,讨论了春季有利于人工催化的回流型层状云典型结构及云微物理特征。

1 人工增雨天气系统及宏观物理条件

1990~1991年在河北省春夏季间49次催化中,有5类天气系统可产生降水性层状云系,即西风槽系统(高空为槽,地面常有冷锋)、西南涡系统、冷锋云系、气旋系统及东北冷涡系统。从催化百分率看,西风槽系统最高,60~70年代为41.7%,1990~1991年为32.7%;其次为西南涡系统,分别为22.2%和28.6%;冷锋云系分别为27.8%和18.3%;

表1 1990~1991年河北省飞机播云的物理参数*

Fig.1 Physical parameters of cloud before catalysis in Hebei province in the period from 1991 to 1992

催化日期 Catalysis date	主要云类型 Major cloud types	云底高度(m) Bottom altitude of cloud	云顶高度(m) Top altitude of cloud	云厚(m) Cloud thickness	云底温度(℃) Temp. in bottom cloud	云顶温度(℃) Temp. in top cloud	催化层状况 Status of catalysis layer		
							高度(m) Height	温度(℃) Temp.	位置 Position
1990-04-22	As Sc	1500	6000	4500	-1.0	-20.0	4500	-9.0	云中
1990-04-29	Asop	3500	5500	2000	-8.0	-15.0	5000	-12.0	云顶
1990-04-30	As Ns	1500	4500	3000	0.0	-10.0	4000	-8.0	云顶
1990-05-12	Asop	3900	5100	1200	-5.0	-15.0	4600~5100	<-10.0	云顶
1990-05-16	Cs As Ns	700	7000	6300	10.0	<-15.0	5000	-10.0	云中
1990-05-16	Cs As Ns	200	7000	6800	11.0	<-10.0	4900	-10.0	云中
1990-05-16	As Ns	1000	6000	5000	8.0	<-13.0	5000	-10.0	云中
1990-05-16	As Sc	1700	4500	2800	3.0	-12.0	4300	-6.0	云中
1990-05-19	Asop	3000	4800	1800	-4.0	-13.0	4000	-7.0	云顶
1990-05-31	As Sc	1500	4100	2600	2.0	-14.0	4000	7.0	云顶
1990-06-06	As Sc	1100	6000	4900	14.0	-18.0	4000~5000	-12.0	云中
1990-06-17	As	4300	6000	1700	-5.0	-15.0	5500	-12.0	云中
1990-06-24	As Sc	1300	5000	3700	13.0	-12.0	5000	-12.0	云顶
1990-07-01	As Sc	1000	3000	4000	13.0	-10.0	4500	-8.0	云顶
1990-07-06	As Sc Fc	1000	7000	6000	15.0	<-15.0	4800	-8.0	云中
1990-07-13	As Ns	1000	4200	3200	10.0	-6.0	4200	-6.0	云顶
1990-07-18	As Sc	1500	5000	2500	7.0	-10.0	4200	-6.0	云中
1991-04-06	As Sc	800	5000	2800	7.0	-14.5	5000	-14.5	云顶
1991-04-07	As Sc	900	5000	4100	6.3	-13.5	3900~4000	-6.9~-9.0	云中
1991-04-11	As Sc	1700	4800	3100	1.2	-6.0	4800	-6.0	云顶
1991-04-11	As Sc	1400	5000	3600	1.4	-7.2	4500	-5.5	云顶
1991-04-16	As Sc	1500	4600	3100	2.0	-5.0	4600	-5.0	云顶
1991-04-17	As Ns Fn	1700	5000	3300	0.0	-10.0	4000	-6.0	云中
1991-05-05	As Sc	2000	4500	2500	-7.0	-15.0	4000	-11.0	云顶
1991-05-05	As Sc Fc	1600	5000	3400	-6.0	<-15.0	3250	-12.0	云中
1991-05-22	As Sc	700	4300	3000	6.0	-8.0	4300	-8.0	云顶
1991-05-24	As Sc	400	4100	3300	8.5	-6.5	4000	-6.5	云顶
1991-05-25	As Sc Fc	800	5000	4200	-	-9.0	4450	-6.0	云中
1991-07-18	As Sc	850	5000	3750	10.5	-10.0	4400	-8.0	云顶
1991-07-27	As Sc	800	5000	3800	11.9	-13.0	4500	-10.0	云顶

* As 为高层云,Asop 为透光高层云,Cs 为卷层云,Fc 为碎积云,Fn 为碎雨云,Ns 为雨层云,Sc 为层积云。除1990年4月29日、5月12、16、19日和6月17日无催化效果外,其余均有催化效果。

气旋系统和东北冷涡系统所占百分率相对较少。

由表1结合地面降水观测资料可知,作业主体云为高层云(As)~层积云(Sc)或高层云~雨层云(Ns)、云垂直厚(不包括2层云间的无云区厚度) $>2\text{km}$ 、云底高 $<2\text{km}$ 、过冷层厚 $>1.5\text{km}$ 、催化层高为 $4.0\sim 5.5\text{km}$ 、催化温度为 $-6\sim -13\text{C}$ 时人工催化效果较好。表1可知上层为As、下层为Sc最多(有时2层云中还存在无云区),这表明Sc和As互相配置的层状云系为河北省人工催化的主要目标云。此外,当系统云减弱或消散时仅有1层Sc,厚度一般不超过 2km ,云中无过冷却水,不宜进行人工催化。表1还表明,云温度随季节变化较大。此外,云中温度还与天气系统、云类型及云性质有密切关系。

2 春季层状云的微物理条件

据1991年5月24日云微物理资料及其他资料综合分析,此时为回流云形成初期,垂直方向云系的上层为锋上As,下层为锋下Sc。Sc云底高 400m ,云底温度 8.5C ,云顶高 1800m ,FSSP探头探测云中液态含水量最大值 $0.05\text{g}/\text{m}^3$,Sc与As之间有一厚达 400m 的无云区, 0C 层高 2100m ,因而Sc为暖云。As云底高 2200m ,云顶高 4100m ,过冷层高 $2200\sim 4100\text{m}$,厚达 1900m ,温度为 $-1\text{C}\sim -6.5\text{C}$ 。As中部最大过冷却水含量为 $0.16\text{g}/\text{m}^3$, 2500m 高处云滴最大浓度为 $180\text{个}/\text{cm}^3$ 。2D-C探头探测结果,直径 $<300\mu\text{m}$ 的冰

晶含水量和浓度大值区出现在 2900m 处,分别为 $0.103\text{g}/\text{m}^3$ 和 $0.038\text{个}/\text{cm}^3$ 。冰晶平均直径 $70\sim 180\mu\text{m}$ 。 3000m 处雪晶最大浓度为 $2500\text{个}/\text{m}^3$,雪晶平均直径为 $650\sim 780\mu\text{m}$,最大直径为 $800\mu\text{m}$ 。由此可知,回流型降水性层状云形成初期As为冰水混合的冷云,云中已有较多过冷却水,云中冰晶相对较少,因此具备催化条件,但此时低层暖云含水量较小,降水粒子在该层增长条件稍差。5月25日回流型降水性层状云已完全形成。据粒子测量系统绘制的云滴谱、冰雪晶浓度、液态含水量、温度等微物理特征分析,云系垂直分布为近地层碎积云(Fc)、锋下Sc和锋上As。Sc与As之间有约 200m 的无云区,但界限模糊。近地层Fc云底高 100m ,厚约 200m ,云滴浓度 $100\text{个}/\text{cm}^3$,最大含

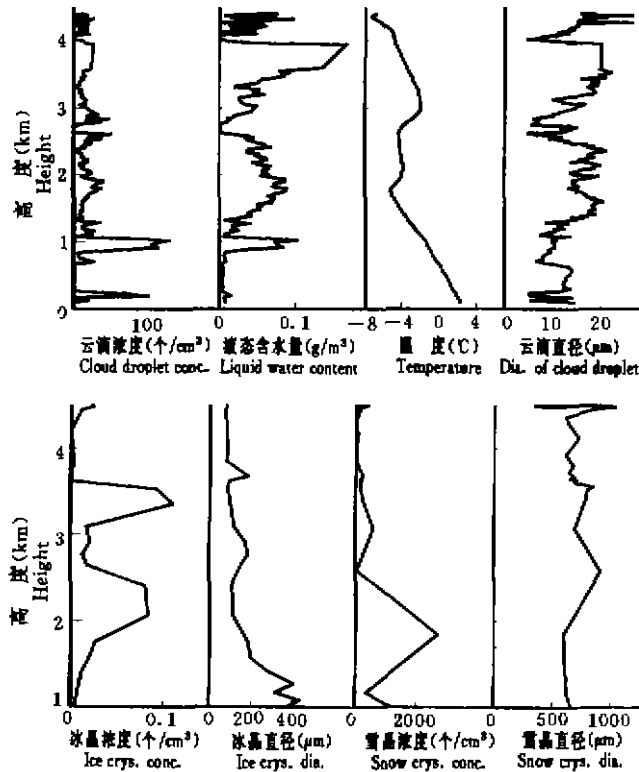


图1 催化前云微物理参数随高度的分布(1991-05-25)

Fig.1 The distributions of cloud micro-physical parameters with height (1991-05-25)

水量为 $0.02\text{g}/\text{m}^3$ 。Sc 云底高 800m, 最大含水量为 $0.11\text{g}/\text{m}^3$, 云顶高约 2600m, Sc 含水量大都高于 $0.05\text{g}/\text{m}^3$, 且 Sc 含水量比 24 日丰富得多。2800m 以上为 As, 最大过冷却水区水平尺度为 7~10km, 最大过冷却水含量达 $0.17\text{g}/\text{m}^3$, 温度约 -3°C 。云滴浓度随高度呈多峰型, 平均为 30 个/ cm^3 。飞机最大探测高度为 4450m, 但未达到云顶, 估计 As 云顶高为 5000m 左右。据 4450m 高度 2D-C 和 2D-P 探头探测的冰雪晶粒子二维图像(图略)表明, 冰雪晶粒子有凇附现象, FSSP 探头探测到平均直径 $>25\mu\text{m}$ 的云滴, 由此推测该高度层以上仍有过冷却水存在。2D-C 资料显示云中冰晶平均浓度为

$0.03\sim0.05$ 个/ cm^3 , 平均直径 $100\sim180\mu\text{m}$, 最大直径为 $200\mu\text{m}$; 雪晶平均浓度 $200\sim400$ 个/ m^3 。4450m 高雪晶平均直径为 $300\sim700\mu\text{m}$, 最大直径为 $1000\mu\text{m}$ (见图 1)。结合二维雪晶图分析, 在 As 上层雪晶可能通过凝华、凇附、攀附等过程增长。

综上所述, 河北省春季回流型降水性层状云系中有较充分的过冷却水。当回流云形成时云过冷层明显加厚, 含水量增大。此时云中自然引晶不充分部位有较好的人工催化条件和潜力。人工催化后降水分布表明, 增雨效果显著。4450m 高度层内冰雪晶平均尺度和浓度的水平分布(见图 2)表明, 云中冰雪晶水平分布明显不均。这也证明了许多学者的类似研究结果^[2]。

3 小 结

河北省春季回流型降水性层状云的宏观与微观物理结构、演变规律反映了春季冷锋层状云系的典型特征。被人工催化云体云底高 $<2\text{km}$ 、云厚 $>2\text{km}$ 、过冷层厚 $>1.5\text{km}$ 、催化层高为 $4.0\sim5.5\text{km}$ 、温度为 $-6\sim-13^\circ\text{C}$, 且处于云系发展时期进行催化增雨效果较好。春季回流型降水性层状云过冷层较厚, 云中过冷却水含量较多, 低层云含水量大, 在自然引晶不充分部位的催化条件较好。

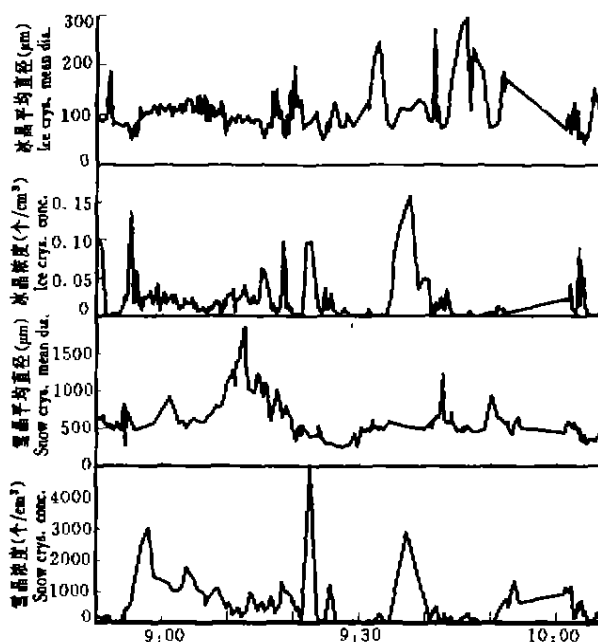


图 2 冰雪晶浓度与平均直径的分布(1991-05-25)

Fig. 2 The distributions of concentration and sizes of ice-snow crystals(1991-05-25)

参 考 文 献

- 1 You laiguang, Liu Yangang. Some micro-physical characteristics of cloud and precipitation over China. Atmos. res., 1995 (35): 271~281.
- 2 Abbas Ali, H. Suzan. Rain enhancement project. Damascus, syria, ibid, 1994. 325~328.
- 3 Dennis, A. S. . Weather modification by cloud seeding. Academic Press, 1980.