

# 辽宁夏季积云降水发生频率及人工影响潜力分析

周德平 耿素江 杨旭

(中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳 110016)

**摘要** 用辽宁 14 个台站的常规地面观测记录, 统计分析了 6~8 月各类积云的发生频率及其降水特征, 结合沈阳站的探空资料, 分析了各类积云的降水能力和人工影响潜力。结果表明: ①辽宁夏季积云出现概率很大, 每站年均 41.5 d, 占夏季总云日的 50% 以上; ②平均每年每站有 11 d 以上的积云降水, 为夏季总降水日数的 36.9%; ③各地区平均积云降水量占总降水量的 33.5%, 其中积云暴雨量占总暴雨雨量的 43.1%; ④有层状云伴随出现的积云、积雨云出现的概率较大, 但多数情况降水效率不很高, 具有较多的人工增雨作业机会和潜力, 可以作为人工催化的主要作业对象。

**关键词** 积云 降水概率 人工增雨潜力

## 引言

辽宁是我国淡水资源缺乏的省份, 年人均占有量约  $930 \text{ m}^3$ , 是全国人均水资源占有量的  $1/3$ , 世界人均占有量的  $1/12$ <sup>[1]</sup>。近年来, 包括辽宁在内的北方地区连年干旱, 水资源短缺问题日益严重, 许多水库、河流面临干涸的威胁。采用人工增雨技术开发云水资源是解决水资源短缺问题的一项有利措施。

根据辽宁省近 20a 的天气气候特征, 6~8 月是汛期, 夏季的自然降水量占全年总降水量的 65% 左右, 夏季又经常出现不稳定的积云降水过程, 不适合用飞机进行催化作业。为了开发积云的云水资源, 辽宁省新增 54 套火箭增雨发射系统。因此, 分析了解辽宁夏季积云的发生频率、降水特征以及人工影响潜力, 对于科学指导火箭人工增雨作业, 提高作业效率有重要意义。

## 1 资料整理与统计要求

资料来源于辽宁 52 个台站 1980~1999 年 20a 的气象月报, 选取其中 14 个地市级台站的云和降水资料。

本文将积云分成 4 个类型进行统计, 第一类是孤立的积云 Cu (或仅有卷云 Ci、Cc、Cs 等存在), 表示为 C; 第二类是有层状云伴随出现的混合积云, 表示为 C+S; 第三类是孤立的积雨云 Cb (或仅有 A 类存在), 表示为 Cb; 第四类是有第二类型云伴随出现的混合积雨云, 表示为 Cb+S。

本文规定: 凡记录中有云(卷云一类除外)出现的日期即定义为一个云日, 云日中只要有四种类型积云中的一种出现即为积云云日。

将降水量  $R \geq 0.1 \text{ mm}$  的日期定义为降水日, 凡在降水时段出现上述四种类型积云的降水日称作积云降水日。

降水强度按小时最大降水量分为小雨 ( $< 2.5 \text{ mm/h}$ ), 中雨 ( $2.6 \sim 8.0 \text{ mm/h}$ ), 大雨 ( $8.1 \sim 15.9 \text{ mm/h}$ ) 和暴雨 ( $\geq 16.0 \text{ mm/h}$ )。

## 2 积云和积云降水的发生频率

为了了解积云及其降水在夏季的发生频率和时空分布的一些基本特征, 本文统计了辽宁 5 个台站 1988~1997 年夏季各月云日、积云日、降水日和积云降水日, 部分结果列于表 1 和表 2。

中国气象局、吉林省人民政府人工影响天气联合开放实验室科学基金和辽宁省科技厅“十五”重点科技攻关项目“人工影响积云降水技术的研究”资助

收稿日期: 2002 年 11 月 12 日; 定稿日期: 2003 年 4 月 4 日

作者简介: 周德平, 女, 1962 年生, 高级工程师, 主要从事人工影响天气研究, Email: lnzrb@sohu.com

表1 1988~1997年夏季积云出现频率统计

站点	各类积云出现日数/d					云日/d	云中积云出现概率/%	积云发生频率/%	
	总计	C	C+S	Cb	Cb+S				
6月	朝阳	157	26	79	5	47	280	56.1	52.3
	营口	92	19	37	8	28	229	40.2	30.7
	沈阳	158	27	87	12	32	263	60.1	52.7
	本溪	66	6	23	23	14	265	24.9	22.0
	大连	101	19	55	15	12	229	44.1	33.7
7月	朝阳	185	19	110	16	40	293	63.1	59.7
	营口	117	12	57	8	40	278	42.1	37.7
	沈阳	190	18	115	23	34	294	64.6	63.3
	本溪	83	5	30	30	18	288	28.8	26.8
	大连	162	32	90	27	13	273	59.3	52.3
8月	朝阳	184	46	105	2	31	276	66.7	59.4
	营口	105	31	48	4	22	255	41.2	33.9
	沈阳	192	44	114	4	30	282	68.1	61.9
	本溪	99	21	41	20	17	275	36.0	31.9
	大连	182	54	99	14	15	266	68.4	58.7
6~8月	朝阳	526	91	294	23	118	849	62.0	57.2
	营口	314	62	142	20	90	762	41.2	34.1
	沈阳	540	89	316	39	96	839	64.4	58.7
	本溪	248	32	94	73	49	828	30.0	27.0
	大连	445	105	244	56	40	768	57.9	48.4

表2 1988~1997年夏季各类积云产生降水概率

站点	积云降水日数/d	各类积云降水概率/%					降水日数/d	降水日中有积云降水概率/%	
		总计	C	C+S	Cb	Cb+S			
6月	朝阳	57	36.3	15.4	1.3	100	100	105	54.3
	营口	39	42.4	15.8	18.9	50.0	89.3	92	42.4
	沈阳	42	26.6	18.5	12.6	58.3	59.4	105	40.0
	本溪	30	45.5	50.0	13.0	65.2	64.3	121	24.8
	大连	31	30.7	26.3	3.6	86.7	91.7	94	33.0
7月	朝阳	43	23.2	10.5	0	56.3	80.0	116	37.1
	营口	38	32.5	16.7	3.5	12.5	82.5	113	33.6
	沈阳	53	27.9	38.9	3.5	60.9	82.4	121	43.8
	本溪	47	56.6	100.0	3.3	76.7	100.0	132	35.6
	大连	38	23.5	3.1	3.3	81.5	92.3	118	32.2
8月	朝阳	34	18.5	2.2	0	100	100	77	44.2
	营口	29	32.4	0	10.4	75.0	95.5	83	34.9
	沈阳	30	15.6	18.2	2.6	25.0	60.0	85	35.3
	本溪	36	36.4	19.0	4.9	80.0	82.4	112	32.1
	大连	33	18.1	7.4	6.1	71.4	86.7	80	41.3
合计	朝阳	134	25.5	7.7	0.3	69.6	93.2	298	45.0
	营口	106	33.8	8.1	9.9	40.0	87.8	288	36.8
	沈阳	119	22.0	33.7	5.7	56.4	67.7	311	40.2
	本溪	113	45.6	37.5	6.4	74.0	83.7	365	31.0
	大连	102	22.9	9.5	4.5	80.4	90.0	292	34.9

## 2.1 云和积云发生频率

统计发现夏季几乎90%的日子里会有云出现,内陆地区云日较沿海地区多,年均多为6d以上。其中,积云的出现频次较多,平均每站每年出现41.5d,

是总云日的51.3%。各类积云出现频次在各地区差异都很大,辽宁全省出现积云较多的地区是沈阳和朝阳,年均出现53d左右,约占总云日的63%;其次为大连和营口,本溪最少,年均出现积云24.8d,

只占总云日 82.8d 的 30.0%。沈阳、朝阳和大连出现积云的概率均是本溪的一倍以上,说明地区间的差异很大。在时间上一般都是 7、8 月份较多,6 月份较少。大连 8 月的积云日年均 18.2d,比 6 月的积云日多 8.1d。除此之外,其他地区各月积云日数差异不是很明显,最大相差不超过 4d。

由表 1 还可以看出,四种类型积云中,各站混合性积云 C+S 出现频次最高,几乎每两个积云日就出现一次。其它类型积云在不同地区,不同月份出现的频次各不相同:在沈阳和朝阳,孤立的积云 C 和混合性积雨云 Cb+S 出现的概率比较大,年均 9d 以上;孤立的积雨云 Cb 出现概率最小,年均约 2~4d;特别是 8 月份,10 年中只出现了 2~4d。在大连,第一类积云出现的概率较大,尤其在 8 月份,第一类积云出现的概率超过了第三类与第四类的总和。而在本溪,第三类积云出现较多,第一类积云出现概率最少。产生这些差异的原因,可能是由于各地区的地形地貌以及气象环境等背景条件的差异造成的对积云的发生和发展的不同影响所致。

## 2.2 降水日和积云降水概率

夏季降水日数本溪最多,每年平均 36.5d,其他地区年均在 28.8~31.1d 之间。各地区出现积云降水的天数年均 10d 以上,其中朝阳最多,年均 13.4d,

占降水日的 45%。本溪的积云降水日数年均 11.3d,只占总降水日数的 31%。其他地区积云降水日占总降水日的比率均在 36%左右,也就是说,每 3 个降雨日中,至少有一天的降雨是由积云产生的。

由表 2 还可以看到,不同积云类型,其产生降水的概率是不同的,而且不同地区,不同月份,各类型积云产生降水的概率均有差异。积雨云,尤其是有层状云伴随的积雨云降水概率最大,在朝阳的 6 月和 8 月份已经达到 100%,7 月份也分别达到 56%和 80%;比较一致的现象是第二类积云,即有层状云伴随出现的积云,其产生降水的概率远小于孤立的积云,但是由表 1 可见,这种类型的积云的发生频率最大,是最常出现的。产生这些差异的原因,对弄清积云的自然降水机制和人工影响积云降水的技术方法是很有指导意义的,因此有必要在以后的工作中进行深入的分析和讨论。

## 3 积云降水对夏季降水总量的贡献

为了弄清积云降水对夏季降水总量以及不同强度降水的贡献,本文统计了辽宁 14 个台站 20a (1980~1999)夏季 4 个强度等级的积云降水过程、降水量在对应强度的总降水过程、降水量中所占的比率(%),列于表 3。

表 3 1980~1999 年夏季积云降水对总降水量的贡献

%

站点	积云降水过程/总降水过程					积云降水量/总降水量				
	小雨	中雨	大雨	暴雨	合计	小雨	中雨	大雨	暴雨	合计
铁岭	24.9	31.1	40.6	39.3	28.7	17.8	28.6	31.4	39.8	31.9
沈阳	20.5	39.3	33.3	59.4	29.3	20.5	30.6	29.8	58.5	39.0
辽阳	27.3	29.3	43.9	44.2	31.0	26.4	20.1	39.3	38.8	33.3
鞍山	24.2	32.6	51.6	72.6	32.2	23.3	26.9	36.4	74.4	46.7
本溪	18.9	31.9	33.0	44.6	25.4	15.9	25.7	27.8	41.6	30.9
抚顺	22.5	33.0	32.8	45.2	27.7	20.0	24.8	28.2	41.4	30.3
朝阳	27.9	51.1	49.5	65.2	37.9	28.5	40.8	38.8	57.9	44.0
阜新	14.6	32.6	37.3	47.7	21.6	21.4	24.6	27.6	35.8	28.7
葫芦岛	22.9	31.4	41.5	30.5	26.7	23.9	24.6	38.0	25.3	27.5
锦州	17.3	32.0	28.7	46.0	24.0	17.1	28.8	22.0	46.0	32.4
盘锦	14.2	28.6	35.6	46.6	22.3	14.3	23.9	25.0	46.0	32.9
营口	25.4	41.6	44.6	54.2	33.1	24.9	39.2	48.3	50.9	43.4
大连	19.5	34.8	42.3	52.9	27.0	15.0	30.6	33.7	42.0	35.4
丹东	14.3	24.6	32.0	39.0	20.4	11.2	18.5	24.7	40.2	29.3
平均	20.8	33.6	37.6	46.8	27.3	20.0	27.3	30.5	43.1	33.5

各台站平均的统计结果显示,积云降水过程占总降水过程的 27.3%,相当于每四次降水过程中,至少有一次是积云降水。积云降水对总降水量的贡献是 33.5%,近似三分之一。各强度积云的降水量占对应强度总降水量的 20%~43%。其中,小雨过程和小雨雨量中积云均占 1/5;中雨过程中积云占 1/3,雨量只占 27.3%;大雨过程积云占了 37.6%,雨量占 30.5%;暴雨过程积云占 46.8%,雨量占 43.1%。可见,积云降水的贡献大小是与降水强度成正比的,与降水过程的多少也是成正比的。

不同地区积云降水过程多少和降水量的大小是不同的,沈阳、朝阳、鞍山、营口等台站的积云降水是

暴雨过程和暴雨总量的一半以上,铁岭、辽阳、本溪、抚顺、丹东、大连等地的积云降水对暴雨的贡献在 2/5 左右,而阜新却只有 1/4。

同一地区不同类型积云对降水量的贡献也是不同的。由沈阳近 20a 出现的各类积云降水过程及其降水量(表 4)可以看出:第四类积云降水过程出现最多,相当于前三类积云降水过程的总和,其产生大雨至暴雨的概率为 38.1%,降水量几乎是前三类积云降水量总和的 3 倍;除 8 月份外,前三类积云降水出现的次数比较接近,且各月降水强度主要为小到中雨,极少有大雨和暴雨过程,第一类积云对降水量的贡献最小。

表 4 沈阳 1980~1999 年出现的各类积云降水过程、降水量及大气中的水汽含量

	积云类型	降水过程/次				合计	降水量 / mm	大气中的水汽 含量/mm
		小雨	中雨	大雨	暴雨			
6 月	C	8	4	0	0	12	30.9	325.6
	C+S	5	7	1	1	14	77.8	391.3
	Cb	4	6	1	1	12	82.4	369.3
	Cb+S	19	9	4	9	41	495.8	1328.8
	合计	36	26	6	11	79	686.9	2415.0
7 月	C	11	3	1	2	17	148.0	708.3
	C+S	15	3	0	2	20	140.3	722.2
	Cb	6	8	2	5	21	208.1	812.8
	Cb+S	19	14	9	7	49	981.3	2024.4
	合计	51	28	12	16	107	1477.7	4267.7
8 月	C	7	4	1	0	12	40.8	496.9
	C+S	6	4	2	1	13	157.3	575.1
	Cb	2	1	0	1	4	27.3	133.0
	Cb+S	5	17	9	13	44	1039.3	1836.0
	合计	20	26	12	15	73	1264.7	3041.1
6~8 月	C	26	11	2	2	41	219.7	1530.8
	C+S	26	14	3	4	47	375.4	1688.6
	Cb	12	15	3	7	37	317.8	1315.1
	Cb+S	43	40	22	29	134	2516.4	5189.2
	合计	107	80	30	42	259	3429.3	9723.8

#### 4 人工影响潜力分析

人工影响潜力是一个相对的概念,从纯理论角度考虑,只要云中产生自然降水的条件不充分,就可以认为其具有人工影响的潜力。但是从目前人工影响降水的现有理论基础和技术手段考虑,则要看云中是否具备可供人工进行催化的条件。依据大气中水汽含量及云的降水能力,可以简要分析各类降水性积云中可能存在的人工影响潜力。由于大气中的水汽绝大部分集中在对流层的下半部,所以用同一时段的地面降水量与整层大气水汽含量进行比较,

能够很直观地了解各类积云的降水能力,从而推断其人工影响潜力。

整层大气柱中的水汽含量  $W$  可以表示为

$$W = \frac{1}{\rho_0} \int_0^{p_{z_0}} q dp \quad (1)$$

其中  $q$  为比湿,  $p$  为气压,  $\rho_0$  为液态水密度,  $g$  为重力加速度,  $p_{z_0}$  为地面气压。

本文采用杨景梅和邱金桓<sup>[2]</sup>的经验计算模式计算了沈阳 1980~1999 年各种类型积云共计 259 次降水过程所有时段大气中的水汽含量(单位: mm),结果列于表 4。可见,孤立的积云 C 降水能力最低,混合

性积云和孤立的积雨云降水能力比较接近,在6月和8月明显高于C的降水能力;有层状云伴随的混合性积雨云降水能力最高,是前三种积云降水能力的2~3倍。可见,层状云的存在可以增强积云的降水能力,这一结果与黄美元<sup>[3]</sup>的数值模拟结果一致。

相对来说,积云暴雨的降水能力较高,人工影响潜力较小,而且暴雨易引起洪涝,是造成夏季汛情的首要天气过程,因此认为那些降水能力较低,人工增雨潜力较大的小雨至大雨积云降水过程才是人工增雨的主要作业对象。统计结果表明各类积云产生小雨至大雨的概率年均11次,是总降水概率的84%,其中有混合性积雨云7次以上,可见,降水性积云不仅人工增雨潜力很大,实施人工增雨催化作业的机会也很多。

如果从降水持续时间上考虑,沈阳地区的积云降水持续2h以上的过程年均10次,其过程雨量占积云总降水量的93%,持续3h以上的降水过程年均均有7次,其过程雨量占积云总雨量的84%。按照目前的预报水平和火箭增雨发射系统的能力,对持续2h以上的积云降水过程是完全能够实施人工增雨催化作业的。所以,对积云实施有效的催化作业的机会仅沈阳地区每年至少有7~10次。

## 5 结论

(1) 辽宁夏季积云发生频率较大,每站年均

41d,是夏季总云日的一半以上;但其降水概率较小,是夏季总降水日数的36.9%;积云降水量更小,只是夏季总雨量的33.5%。说明积云的降水概率和降水效率都比较低。

(2) 积云发生频率及其降水概率在不同地区和不同月份均不相同,可能是由于下垫面的性质不同以及气象环境条件不同所致。

(3) 各类积云产生降水的概率与积云发生频率没有直接的联系,最常出现的积云类型,其降水概率却最小。弄清其原因,将对积云的自然降水机制具有重要意义,因此有必要在以后的工作中进行深入的分析 and 讨论。

(4) 虽然混合性积雨云降水概率大,降水能力较强,但其中有78%的小雨至大雨过程,这些过程的降水能力较低,因此具有很大的开发潜力和较多的作业机会,应作为人工催化的主要作业对象。

## 参考文献

- 1 《辽宁国土资源》编委会. 辽宁国土资源. 沈阳:辽宁人民出版社,1987. 149
- 2 杨景梅,邱金桓. 用地面湿度参量计算我国整层大气可降水量及有效水汽含量方法的研究. 大气科学,2002,26(1):9-22
- 3 黄美元,洪延超,周恒. 层状云对积云发展和降水的影响——一种云与云之间影响的数值模拟. 气象学报,1987,45(1):72-77

# Analysis of Cumulus Precipitation Frequency and Potential of Rain Enhancement in Summer in Liaoning

Zhou Deping Geng Sujiang Yang Xu

(Institute of Atmospheric Environment, CMA, Shenyang 110016, China)

**Abstract:** Based on the observations from 14 stations in Liaoning Province and the radiosonde data from Shenyang Station, analysis is conducted on the occurrence frequency of various cumulus and its precipitation characteristics from June to August, as well as the precipitation probabilities of various cumulus and their potential affected by artificial. The results indicates that: (1) The probability of the cumulus emergence is very high in summer in Liaoning, the annual average rate is 41.5 days and it is over 50% of the total cloud days in summer. (2) There is more than 11 rainy days caused by cumulus on average, and it is 36.9% of the total rainy days in summer. (3) The area-averaged cumulus precipitation is 33.5% of the total precipitation, in which the rainfall produced by cumulus heavy rains is 43.1% of the total. (4) The probability of cumulus along with stratiform clouds is quite high, but the precipitation efficiency is not very high in most of situations. There is quite high potential and a great deal of operation opportunities for rain enhancement in Liaoning Province

**Key words:** Liaoning Province, summer, cumulus precipitation, rain enhancement potential