

雷州半岛春旱期人工增雨潜力初析

广东省热带海洋气象研究所

一九八〇年七月

雷州半島春旱期 人工增雨潛力初析*

广东省热带海洋气象研究所

[提 要]

本文根据人工降水作业中的体会，认为人工播云的时机多数是伴随自然降水过程而来的，播云增雨的潜力，也与自然降水的范围和雨量有关。基于这一认识，初步统计分析雷州半島中旱及严重春旱年春季四个月自然降水的频数和雨量的时空分布，并简单统计了降水的主要天气型，降水开始时的云状和降水开始时间等，供人工降水作业的参考。

文中还强调了不应把人工播云看成抗旱的救急措施，建议提早动手，在春季到来之前充分利用有利天气条件播云增雨，提高山塘水库的水位和土壤湿度，改进“临渴掘井”的局面。为此统计分析春旱前期三个月的自然降水特征。结果发现，春旱前期，特别是严重春旱的前期，播云增雨的机会不少，值得重视。

一、前言

雷州半島位于我国大陆最南端，与海南島隔琼州海峡相望。半島南北长约150公里，东西宽约40/60公里（图1）。春季（二至五月）雷州半島往往偏旱，贻误农时，对农业生产

* 参加本文资料统计工作的先后有叶成法、林良材、陈位超、林照洪、赖沛权、刘传富、张森才、甘春玲等同志，由何应昌、周克铭整理执笔。

影响很大。

本文试就常
规气象资料
进行粗略的
分析，探讨
半岛地区春
旱期人工播
云增加降雨
的潜力，以
期充分开发
利用当地的
气象资源，
并在一定程
度上加强人
工降水作业
的计划性。

众所周
知，现阶段
的人工降水
方法作为抗

旱措施，适合于半干旱地区。常年苦旱的沙漠地带，现有的人工播云技术无法施展，无论是地面或高空人工降雨，都常在自然雨区的外围寻找作业时机，绝非出于偶然。人工播云主要是向云中补充输送冰核或吸湿性核，目的在于提高作业云的降水效率¹⁾。发展不旺盛的云，由于厚度不大，云中上升气流不强，

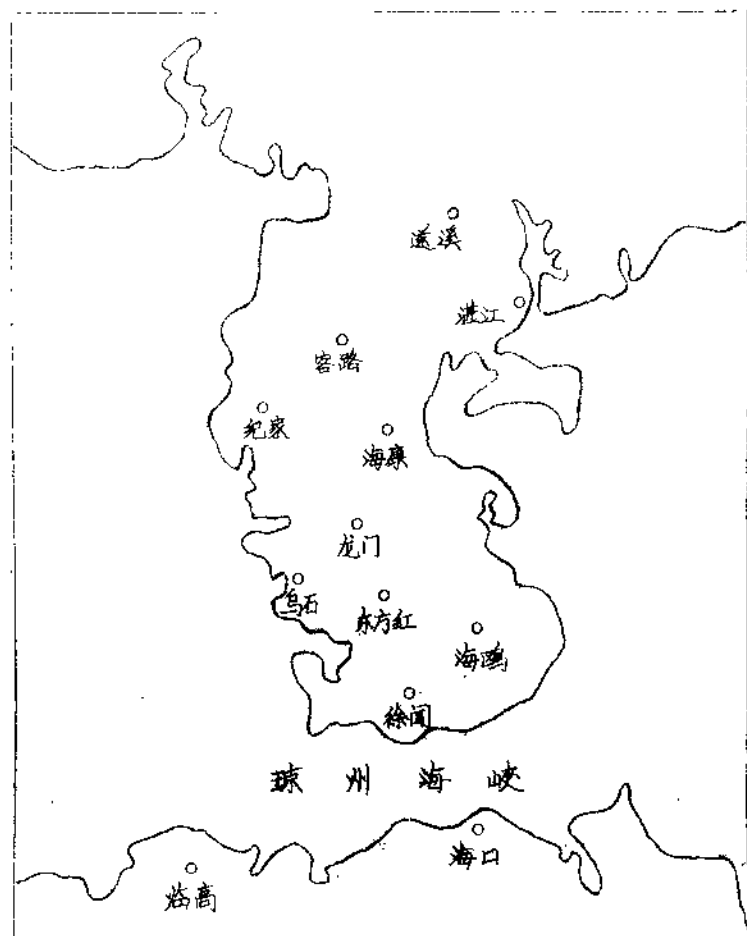


图1. 雷州半岛的位置

1) 降水效率指通过云底向上输送的水汽质量与到达地面的降水质量之比。

穿过云底向上输送的水汽通量小，生存时间短暂原因，不能形成降水（降水效率等于零）或降水效率极低，对此进行人工播云往往不易奏效。即使播云能使降水效率成倍增长，实际地面所得的雨量仍微不足道，经济意义不大。反之，如果选择的作业云自然发展旺盛，厚度大，上升气流强，生存时间长，本身就有可能产生相当数量的降水，即使播云仅使降水效率提高百分之五或百分之十，经济效益就很可观，特别是对水库蓄水和发电的积极作用更为明显。

一般说来，人工播云可能增加的降水量随自然雨量的增多而增加^[1]，但不能简单地依此推论超出一定的限度。有迹象表明：降水量较小的场合，人工播云的增雨效果往往不易察辨；降水量增大，播云效果渐趋明显；但如降水量很大，增雨效果又有降低的趋势^{[2]、[5]}。这个问题还有待深入研究。事实上，对于自然降水效率很高、降水量很大的情况，本文可以不加涉及。显然春旱期间极少可能出现这种情况，即或出现，也没有必要进行播云作业。因为雨量过于集中会冲刷土壤，淤塞水库、甚至造成洪水，害多于利。此外，研究表明，人工降雨的效果不仅表现在播云作业区内各个点上雨量的增加，还表现为雨时的延长和雨区的扩大^{[4]、[5]}。可以想见，同是延长雨时5分钟或扩大降水面积5%，原来自然雨区的范围越大，增加的雨水量就越多。本文的讨论就基于这样的认识，即人工播云的时机多数是伴随自然降水过程而来的；人工增雨的潜力，也与自然降水的范围和雨量有关。

赞同这一提法，并不意味着主张一定要有自然降水，人工播云才能取得增加降雨的效果。恰恰相反，我们认为，播云完全有可能促使原来按照自然条件不会形成降水的云降下雨来。如前所述，播云的作用在于提高降水效率，当然也可能使某一块云（或其一部分）的降水效率从原来为零提高到某个百分数。

与此有关的是在某些场合下，播云致雨的实质很可能是加快降水的酝酿过程，使降水比自然形成过程提早出现。“变无为有”跟“变迟为早”，两者是有区别的，但在现象上不易区分，有赖于在云内外进行连续、周详的微物理和动力学的观测和分析，超出本文的范围。我们在这里只是提：“多数”和“有关”，留待今后进一步探讨。

根据广东省气象台有关资料^[6]，春旱期由二月一日开始计算。旱期指两场透雨之间相隔的日数。连续下雨（一日或数日）的累积雨量达到20毫米以上作为一场透雨。间歇下雨间隔时间超过6小时作为两场雨。春旱的等级按无透雨时段规定为：

轻度：25～34天连续无透雨；

中等：35～49天连续无透雨；

严至：连续50天以上无透雨。

由于本文采用的半岛地区气象站点的资料年限长短不一，（各站资料均截至1978年为止，其中湛江自1951年开始有观测纪录，资料年限最长），文中各个平均数均按有关要素实有资料年数进行统计。个别气象站有个别月缺测的，也按实有月数求算平均值。

二、春旱期自然降水的分布

雷州半岛自然降水的分布无论在时间上和空间上都很不均匀。春旱期间，局部地区仍可能出现较丰沛的降水。我们试从春旱期间自然降水的频数和雨量及其与一般年份同期的比较等方面进行分析。

1. 自然降水的频数和雨量

我们以湛江、海康、徐闻三个台站分别代表半岛的北部、中部和南部，对出现中等春旱的六年（1958、1959、1960、1967、1968、1974）和严至春旱的五年（1963、1971、1972、1973、1977）

春季四个月自然降水的频数，按雨量大小分级进行统计。0.1至10.0毫米为小雨，10.1至25.0毫米为中雨，25.1毫米以上为大雨（0.1毫米以下的降水不列入统计；暴雨在春旱期间极少可能出現，不另行划分）。结果见表1。

由表1 a可知，出现中等春旱的六年，二月份和三月份的平均情况基本相似；降水以小雨为主，中雨和大雨平均每月不足一次，自然降雨频数及雨量均以半岛中部为最大。三月份半岛各地降雨频数略少于二月份，但雨量比二月份明显增多，播云条件可能比二月份好一些。四月份降雨频数及降雨量比三月份略有增加，北部和中部中雨及大雨机会增多；中部雨量较少，仅为北部和南部的70%左右。五月份半岛降雨频数及降雨量均有自北向南递减的趋势，降雨频数比四月份增加了0%至70%，中雨以上降水机会比四月份增加15%至25%，雨量比四月份减少。中部比四月份少了7%，北部及南部减少40%以上。

就整个春季而言，降水量南北分布比较均匀，降雨频数的逐月差别也不大。半岛中部降雨频数较高，看来播云作业的机会多一些。

从严重春旱的五年平均情况看（表1 b），二月份和三月份降雨频数均比中等春旱年进一步减少，降雨量一般也小于中等春旱年，估计播云增雨的潜力不太大。四月份降雨频数仍比中等春旱年少，但中雨和大雨的频数比三月份增多，因此降雨量比三月份明显增加，接近甚至超过中等春旱年；半岛中部尤为突出，雨量比三月份成倍增加，超出中等春旱年同期平均雨量近70%。进入五月份后春旱渐近尾声，降雨频数普遍有较大幅度增长，特别是中雨以上的降雨频数比四月份又有增加，降雨量全面超过中等春旱年同期雨量。就春季四个月来说，北部和中部的降雨频数比较接近，比南部多50%左右，降雨量也有自北向南逐步递减的趋势；但差别不大。看来，北部和中

表 1 a. 中茅春旱期自然降雨频数统计

月 份	雨量级别 (毫米)		湛 江		海 康		徐 闻	
			变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围	平均
二	0.1-10.0	频数	3-14	8.5	8-13	10.3	2-12	6.3
		雨量	0.1-9.9	2.3	0.1-7.4	1.4	0.1-8.5	1.8
	10.1-25.0	频数	0-2	0.8	0-2	1.0	0-1	0.5
		雨量	10.9-22.4	15.1	12.1-12.9	12.4	10.5-19.2	15.6
	>25.0	频数	0-1	0.3	0-1	0.3	0-1	0.7
		雨量	35.0-38.3	36.7		48.8		44.3
三	0.1-10.0	频数	2-14	6.8	5-16	9.0	1-11	4.3
		雨量	0.1-9.5	2.9	0.1-9.1	2.0	0.1-10.0	2.1
	10.1-25.0	频数	0-1	0.5	0-1	0.3	0-2	0.8
		雨量	15.3-23.5	18.3		20.6	10.1-14.0	12.0
	>25.0	频数	0-1	0.5	0-1	0.3	0-1	0.3
		雨量	27.3-56.7	40.5		80.5	58.6-91.1	74.9
四	0.1-10.0	频数	1-11	5.3	2-10	6.7	3-10	6.5
		雨量	0.1-8.7	2.4	0.1-9.2	3.1	0.1-9.7	2.2
	10.1-25.0	频数	0-2	1.2	2-3	2.3	0-1	0.5
		雨量	10.7-23.1	17.1	13.9-23.1	17.6	16.0-19.4	18.0
	>25.0	频数	0-5	1.5	0-2	1.0	0-1	0.3
		雨量	26.6-183.1	70.9	37.8-51.4	42.9	43.4-99.7	71.6
五	0.1-10.0	频数	6-12	8.7	7-10	9.0	7-11	8.5
		雨量	0.1-8.3	2.4	0.1-9.8	3.3	0.1-9.9	2.1
	10.1-25.0	频数	0-6	3.2	0-4	2.0	1-2	1.5
		雨量	10.4-24.9	15.0	12.2-23.4	17.8	10.6-19.3	14.2
	>25.0	频数	0-4	1.7	1-3	2.3	0-2	1.0
		雨量	32.1-74.2	45.3	29.2-52.9	38.0	30.4-72.5	40.4

表 1.5. 严至春早期自然降雨频数统计

月 份	雨量级别 (毫米)	进 江		浙 康		徐 闻		
		变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围	平均	
二	0.1-10.0	频数	2-10	5.6	2-8	5.3	1-11	5.0
		雨量	0.1-6.9	1.0	0.1-7.6	0.9	0.1-3.1	0.5
	10.1-25.0	频数	0-1	0.2	0-1	0.3	0-1	0.2
		雨量		13.7		14.2		17.1
	>25.0	频数		0	0-2	0.5	0-1	0.2
		雨量			26.9-45.6	36.3		29.4
三	0.1-10.0	频数	4-9	5.4	1-9	5.3	1-7	3.8
		雨量	0.1-5.3	1.4	0.1-10.0	1.7	0.1-7.7	1.5
	10.1-25.0	频数	0-2	0.4	0-1	0.5	0-1	0.2
		雨量	10.3-18.5	14.4	16.2-22.8	19.5		11.6
	>25.0	频数	0-1	0.2		0	0-1	0.4
		雨量		60.3			28.1-32.0	30.1
四	0.1-10.0	频数	1-8	4.8	3-13	8.0	0-11	4.8
		雨量	0.1-6.4	1.3	0.1-9.2	1.7	0.1-9.5	1.9
	10.1-25.0	频数	0-2	0.6	0-2	0.5	0-1	0.6
		雨量	12.1-24.7	20.0	11.3-17.1	14.2	11.9-22.1	17.1
	>25.0	频数	0-2	1.2	0-4	1.3	0-2	0.6
		雨量	28.9-122.7	70.0	28.3-32.8	92.1	38.3-69.5	55.0
五	0.1-10.0	频数	7-21	12.0	5-11	9.5	1-14	5.8
		雨量	0.1-9.9	2.9	0.1-10.0	2.6	0.1-9.6	3.9
	10.1-25.0	频数	1-3	2.2	2-5	3.3	0-3	0.8
		雨量	12.6-19.4	15.9	13.4-24.1	18.4	14.0-23.9	18.4
	>25.0	频数	0-4	2.2	1-4	2.8	0-3	1.6
		雨量	28.8-124.8	76.1	25.8-52.4	42.4	24.5-57.5	41.6

部播云增雨的条件要比南部好一些。

2. 自然降水量接近一般年份同期平均值的面积百分比

干旱期间, 如果出现降水量接近一般年份同期平均值的间歇时段, 无疑可为播云作业提供良好机会。这种间歇时段持续越久, 播云增雨的条件就越为有利, 越有可能为缓解旱情作出贡献。

我们用遂溪、湛江、客路、纪家、海康、龙门、乌石、东方红、海岛、徐闻等十个站点的资料, 对中等春旱年和严重春旱年分别进行统计, 整理出春旱期间有一个月和连续两个月的降水量接近一般年份同期平均值的面积占半岛总面积的百分比, 结果见表 2。

表 2 a.

中等春旱期雨量接近一般年份同期平均值的面积百分比

占一般年份同期 雨量的百分比	一 个 月		连续二个月	
	变化范围	平均	变化范围	平均
≥ 80	65-100	87	20-92	44
≥ 100	56-100	82	8-92	40
≥ 120	56-100	78	8-82	32

表 2 b.

严重春旱期雨量接近一般年份同期平均值的面积百分比

占一般年份同期 雨量的百分比	一 个 月		连续二个月	
	变化范围	平均	变化范围	平均
≥ 80	67-91	81	0-66	23
≥ 100	29-77	62	0-51	15
≥ 120	20-77	57	0-27	9

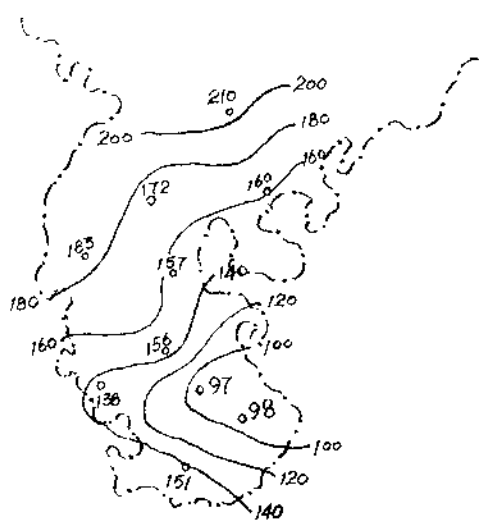
由表2a可知,中等春旱期间,半岛上总有约60%的面积(平均达80%以上)至少有一个月的降雨量达到甚至超过一般年份的同期平均值;有20%以上的面积(平均达40%以上)连续两个月接近一般年份的同期平均降雨量。即使是在严重春旱期(表2b),也还有60%以上的面积(平均达80%)有一个月的降雨量接近一般年份的同期平均值,当然,连续一个月以上降雨量接近一般年份的面积百分比要小得多(否则就不太可能形成严重干旱),但就平均情况而言,仍有相当部份面积(20%以上)能有连续两个月的雨量接近一般年份的平均值。这说明在春旱期间,局部地区播云增雨的机会不致太少,根据前言中的讨论,播云作业往往可在自然雨区的外围进行,因此,有希望通过人工播云增加降水的范围要比上述的面积百分比更大一些。

3. 逐月降水量占一般年份同期平均值的百分比

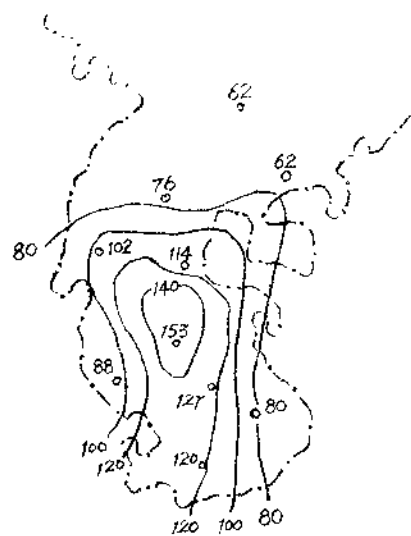
我们仍用半岛上十个站点的资料,统计了中等及严重春旱年春季逐月平均自然降水量占一般年份同期平均值的百分比,得出图2。

从图2a看到,中等春旱年二月份,半岛绝大部分地区降水并不欠缺,仅东南部雨量略少于一般年份同期平均值。三月份半岛北部缺雨现象开始露头,中部及南部则仍超过一般年份同期平均降水量。四月份除北部外,半岛大部份地区都降水不足,并有自东北向西南旱象加剧的趋势。五月份北部及西南部降水较少,中部及东南部则略超过一般年份的降水量。

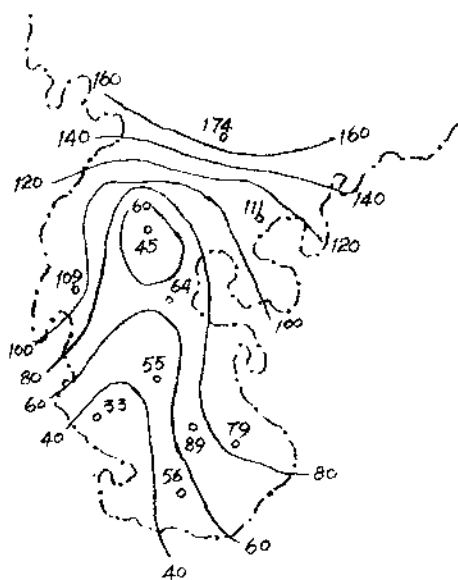
关于严重春旱年的情况,图2b表明,二月份半岛大部份地区降水量都不到一般年份同期平均值的一半;西北部的雨量不足一般年份的20%;西南部降水较多,接近或略超过一般年份的平均雨量。三月份半岛大部份地区雨量仍低于一般年份同期平均值的一半;西北部雨量依然最少;东南部降雨最多,但



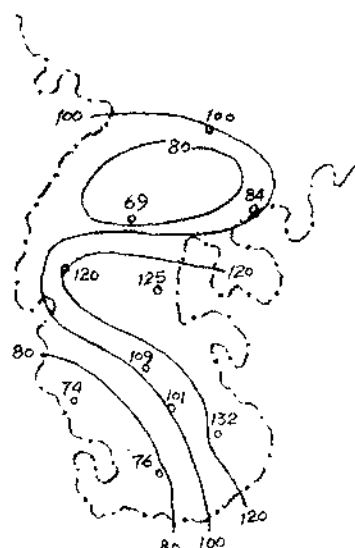
二 月



三 月



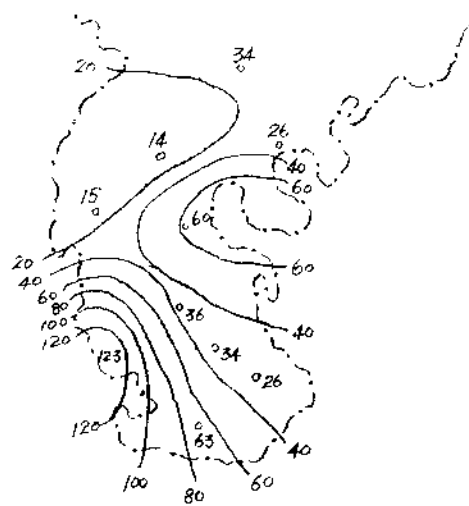
四 月



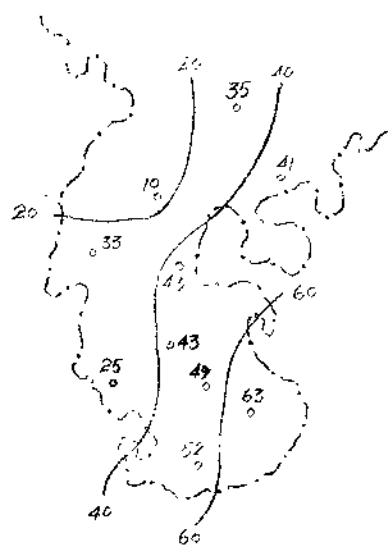
五 月

图 2 a .

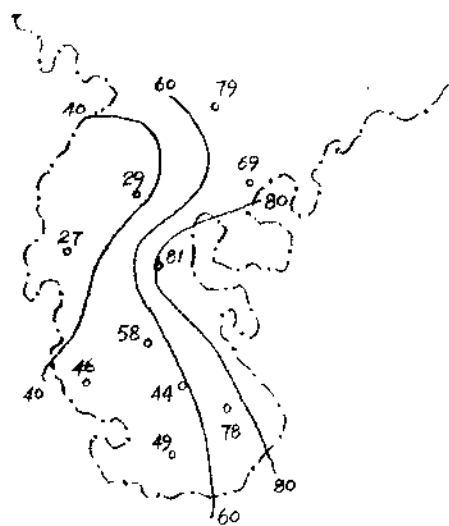
中第春旱期逐月平均雨量占一般年份同期平均值的百分比



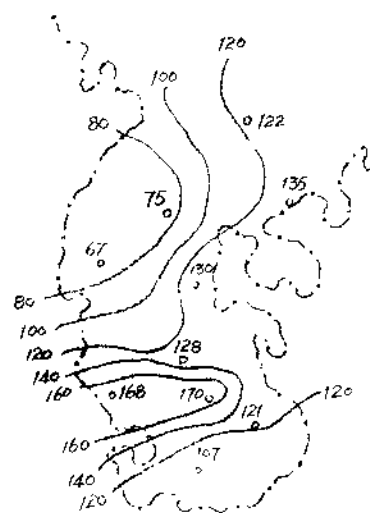
二 月



三 月



四 月



五 月

图 2 b.

尹至春旱期逐月平均雨量占一般年份同期平均值的百分比

也仅及一般年份的60%左右。四月份情况稍有好转。有相当部份面积降水量超过一般年份同期平均值的一半；中部偏东地区雨量较多，接近一般年份；西北部雨量仍少，不足一般年份的30%。五月份局面完全改观，半岛降雨极为丰富，约有四分之三以上的地区雨量超过一般年份同期平均值，说明降雨高度集中，半岛南部尤为突出，乌石、东方红一带超过一般年份平均值70%左右，但半岛西北部雨量仍然不足。

三. 春旱期自然降水的天气型

作为初步探索，我们仅从地面天气图资料对降水天气型进行粗略的分类。统计得出（表3a），中等春旱期半岛地区降水以静止锋和冷锋天气为主。静止锋降水平均占总降雨频数36%以上，占总降雨量33%以上。冷锋降水平均约占总降雨频数20-30%多，占总降雨量30-40%多。次之为脊后、低压槽和脊后槽前降水天气；三者合计占半岛北部和南部总降雨量不足20%，中部稍多，约占总降雨量30%。其他天气型降水机会很少，播云机会不多。

如表3b所示，严至春旱期主要降水天气型仍为冷锋和静止锋两种。半岛北部锋面降水的频数百分比与中等春旱期基本相同，但静止锋降水占总雨量的百分比明显减少。半岛中部静止锋降水占总雨量一半以上；冷锋降水频数百分比高于中等春旱期，雨量百分比却比中等春旱期低。半岛南部锋面降水的频数百分比与中等春旱期几无差别，但雨量百分比显著降低，不足中等春旱期的60%。脊后、低压槽、脊后槽前及其他天气型降水则相对增多。

四. 春旱期自然降水的云状和起始时间

为了便于播云作业的参考，我们统计了中等及严至春旱年春季自然降水开始时的云状，简单划分为层状云及积状云两大类。积状云包括积云及积雨云。层状云以层积云和雨层云为主，

层云有时可能有少量降水，但不属人工播云的对象。如层积云与积云或积雨云同时并存，则归入积状云。另有几次因碎云遮蔽而不能判明降水的云状，为数不多。统计结果见表4。

比较表4a和表4b，可以看到中等春旱期自然降水的云状与严重春旱期有明显不同，中等春旱期层状云降水机会比积状云多，严重春旱期恰好相反，积状云降水机会多于层状云，尤以半岛中部表现最为突出，说明严重春旱期间半岛地区对流活动产生降水的相对重要性。

表4a. 中等春旱期自然降雨开始时的云状

云 状	濰 江			海 康			徐 闻		
	频 数			频 数			频 数		
	变化范围	平均	百分比	变化范围	平均	百分比	变化范围	平均	百分比
层状云	11-37	18.8	48.3	18-26	22.7	50.7	11-22	15.2	49.2
积状云	9-25	16.0	41.0	14-22	17.7	39.6	10-21	15.2	49.2
其 它	1-10	4.2	10.7	1-8	4.3	9.7	1-2	0.5	1.6

表4b. 严重春旱期自然降雨开始时的云状

云 状	濰 江			海 康			徐 闻		
	频 数			频 数			频 数		
	变化范围	平均	百分比	变化范围	平均	百分比	变化范围	平均	百分比
层状云	11-17	14.0	40.9	6-19	12.8	35.4	9-20	11.4	46.7
积状云	13-27	19.4	56.7	20-28	23.0	63.9	7-18	12.6	51.6
其 它	0-2	0.8	2.4	0-1	0.3	0.7	0-1	0.4	1.7

自然降水的起始时间对播云作业的筹划安排也有一定的参考作用。就中等春旱期来说，半岛北部和中部降水开始时间多在上午和下午，后半夜最少。半岛南部则以下午开始降水较多。

上午及前、后半夜开始的机会大致相等(表5a)。严重春旱期的情况有所不同:半岛北部及中部下午开始降水的机会增多,南部则以上午开始的频数百分比比较高(表5b)。需要指出的是夜间开始降水(18—06时)的频数一般占40%左右。为了充分利用播云时机,有必要作好夜间作业的准备和安排。

表5a. 中等春旱期自然降雨的起始时间

时间	湛 江			海 康			徐 闻		
	频 数			频 数			频 数		
	变化范围	平均	百分比	变化范围	平均	百分比	变化范围	平均	百分比
6-12	8-16	12.7	32.5	12-14	13.0	29.1	3-8	6.2	20.0
12-18	5-17	9.7	24.8	8-19	12.7	28.4	7-14	10.5	34.1
18-0	1-9	4.8	12.4	5-12	8.0	17.9	2-16	7.0	22.7
0-6	6-18	11.8	30.3	8-15	11.0	24.6	5-11	7.2	23.2

表5b. 严重春旱期自然降雨的起始时间

时间	湛 江			海 康			徐 闻		
	频 数			频 数			频 数		
	变化范围	平均	百分比	变化范围	平均	百分比	变化范围	平均	百分比
6-12	7-17	9.4	27.5	4-14	6.8	18.8	4-16	8.0	32.8
12-18	9-17	11.6	33.9	15-20	17.3	47.9	4-11	6.6	27.1
18-0	4-10	6.4	18.7	2-6	4.3	11.8	3-9	5.4	22.1
0-6	4-10	6.8	19.9	4-11	7.8	21.5	3-7	4.4	18.0

由于资料不足,难以判断不同时段开始降水多寡的确切原因,但下午开始降水的机会增多,大概可以归因于对流性降水的增加。

五、春旱前期人工增雨的潜在可能性

以播云为手段的人工增雨方法在抗旱中应用，常受到作业机会少的限制。对于这些为数不多的作业时机，又往往因飞行安全、交通运输、通讯联络或其他意外困难而不能全部加以利用。我们姑且假定干旱期间每一次作业机会都没有放过，并且都取得了最乐观的效果。即使这样，一般情况下也不太可能很快全面解除干旱的威胁，而只是局部有所缓和。加上人工增雨效果检验中存在的困难，作业的效果往往不易阐述清楚或说得比较具体，不能不在一定程度上影响人工降雨的声誉，造成工作中的被动局面。

我们感到，在开展人工降雨试验研究已经二十多年的今天，不应再把人工降雨作业看成临渴掘井式的应急措施。那种“大旱大搞、小旱少搞，不旱无人过问”的习惯应该早日得到改变。“冰冻三尺，非一日之寒”。同样，赤地千里、河水断流，也决非一日之旱。指望在相当长时期内发展起来的旱象，经过若干次规模有限的播云作业就能得到解决，期望未免过奢。

人工降雨是开发利用大气中的水份资源，理应跟利用地表水和地下水资源一样，可以常年有规划地进行，并与已有的水利设施结合起来，发挥更大的效用。只要不至于引起涝灾，凡有作业机会都可以见缝插针，利用人工播云来增加降水。在当前的条件下，希望可能出现干旱的地区都有常设班子、常备器材、常年从事人工增雨活动，立论也许过高，不太可能实现。但是在雷州半岛这样春季经常偏旱的地方，在春旱到来之前提早动手，利用人工降雨提高山塘水库的水位和农田土壤湿度，防患于未然，如果有关方面支持的话，是可以办到的。

为此我们仍用前述方法对中界和严重春旱的前期十一月、十二月、和一月份三个月的降水资料进行分析，探索春旱前期人工增雨的潜在可能性，为今后采取行动作准备。初步分析的