

贵州冬季层状云的观测研究

李启泰 卢成孝 赵彩*

(贵州省气象科学研究所)

摘 要

本文使用贵阳地区的探空、飞机探测、地面降水以及飞机撒播干冰人工增雨试验的初步结果等资料,对贵州冬季层状云的宏、微观结构,降水性质,降水的区域相关,云层对太阳辐射的影响以及人工催化增雨的可能性及实施作业的实际增雨效果等进行了综合的研究分析。

研究和试验结果表明,冬季层状云在贵州国民经济生产中,既是一种不利因素,又是一种可供实际开发的空中水资源。

一、前言

贵州地处云贵高原东侧斜坡地带,冬季经常受到静止锋云系的影响,造成“天无三日晴”的气候特点。这种静止锋云系主要为层状云,它的特点是发生频率高,持续时间长,水平范围广,云层结构均匀,云内较稳定。贵州冬季降水大部分来自这种云层,但降水强度不大,所以贵州冬季经常干旱缺水,使工业发电、农业生产甚至人们生活用水都受到影响。长时间维持的层状云天气,大大减少了太阳辐射,直接影响了越冬作物的生长发育;在冷空气较强时,层状云降水还容易造成大面积的冻雨天气,给输电线路、邮电、交通、林业、农业等造成损失。此外冬季层状云云底较低,云内常有过冷水层,会影响飞机起降并造成飞机积冰等等。可见冬季层状云及其降水对贵州国民经济各方面都有重要影响。另一方面,由于贵州的冬季层状云云层稳定而持久,云中水汽和含水量又较丰富,有很大的人工催化增雨潜力。所以它是贵州一项重要的空中水资源。

二、贵州冬季层状云产生的天气和地形条件

冬季冷空气越过长江进入湘黔一带后,由于地势升高和山地阻滞,在高空环流经向度较小的情况下,常在贵州西部维持一条准

静止锋。锋后冷区低层为东北风,高层为偏西风,锋面抬升和风的垂直切变造成了大范围的 Sc-St-Ns 云系。在不断有小股冷空气补充时,这种地形静止锋云系可在全省大部分地区长期维持。层状云伴有中高云时,降水可能性及降水量往往较大。

三、气候概况

全天层状低云日选定标准是:地面观测 4 次(02、08、14、20 时)低云量都为 10,且全天没有积雨云、雷暴及远电。

云的宏观特征量用探空记录计算,空中有云的标准是:地面温度露点差为 0°C , 850—700hPa 温度露点差不高于 3°C , 700—500hPa 温度露点差不高于 4°C , 500hPa 以上温度露点差不高于 5°C , 特性层内插。

对贵阳 1962 年 12 月—1983 年 2 月共 1135 次层状低云日进行了探空资料的计算分析,结合飞机探测得到如下结果:

1. 地区特征

从图 1 (根据飞机观测和地面云天照相资料绘出)可看出,由于受地形的影响,冬季层状云云层厚度及结构是不均匀的,带有明显的地区性。地势较低的地区云层较厚,

* 本所罗宁、杨平、万和华、高秋莎同志参加本文部分工作。

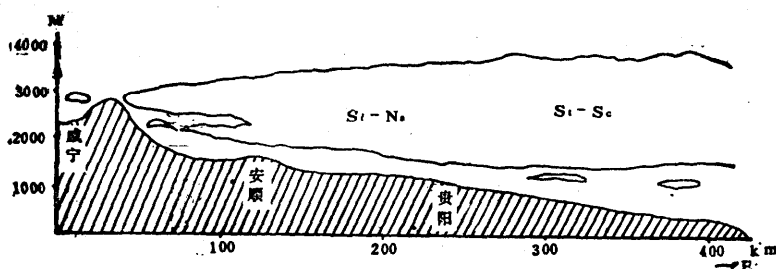


图1 1986年3月9日—3月22日层状云分布图

地势较高地区可出现双层结构，云层较薄并较零散。另外在飞机探测中，我们发现当冬季层状云的云厚超过500m时，在云内都有较轻度的颠簸，这说明冬季层状云云内并不都是很稳定的，在较厚的云内也有垂直运动，此时可观察到云顶有一些凹凸结构，其水平和垂直尺度约为几十至几百米。

2. 出现频率及维持日数

据贵阳资料统计，冬季层状云每年平均出现52次，占整个冬季总日数的60%，其中日降水量0.1mm以上的降水日占84%，

降水日的平均日降水量为1.1mm。这种云持续日数长，每次层状云过程平均维持5.4天，每年至少有一次连续维持6天以上，最长可达45天以上（1984年1月16日—2月29日以后）。

3. 平均特征量

(1) 云高与云厚

从表1可知，冬季层状云的平均云底一般都较低，云层也较厚。表2表明云底高度有80—90%在2000m以下，而云顶主要集中在2500—4000m的高度上，云厚主要

表1 贵阳冬季层状云各平均特征量

	云 高(m)		云厚 (m)	平均温度(℃)		云内最低温度		云内最高温度		云内水汽 密度(T/km³)	云内水汽 含量(T/km³)	样本数
	云底	云顶		云底	云顶	温度(℃)	所在高度(m)	温度(℃)	所在高度(m)			
19时	1737	3636	1888	0.2	-2.5	-4.8	3227	2.9	2451	4.40	7582	1057 (缺26次)
07时	1601	3811	2220	0.5	-4.4	-6.2	3449	1.7	2337	4.25	8763	1083
平均	1669	3724	2054	0.4	-3.5	-5.5	3338	2.3	2394	4.33	8173	

表2 贵阳冬季层状云底和云顶高度和云厚的分布(%)

高 度 (厚度)		高 度 (m)																			
		<500	500 1000	1000 1500	1500 2000	2000 2500	2500 3000	3000 3500	3500 4000	4000 4500	4500 5000	5000 5500	5500 6000	6000 6500	6500 7000	7000 7500	7500 8000	8000 8500	8500 9000	9000 9500	
云底	19时			68.6	15.5	8.9	5.3	1.4	0.3												
	07时			86.3	5.8	2.2	4.0	1.2	0.5												
云厚	19时	8.1	14.5	16.0	23.9	11.9	9.5	6.2	3.7	3.9	0.2	—	0.9	—	—	0.8					
	07时	2.7	9.4	12.7	27.1	15.9	15.5	6.6	2.0	4.7	0.1	0.1	1.5	0.5	—	1.1					
云顶	19时				3.0	11.4	16.4	27.3	11.4	12.8	7.0	2.6	5.4	0.1	0.1	1.0	—	—	0.5	0.9	
	07时				3.3	8.7	19.3	23.4	15.8	13.2	6.1	3.6	3.6	0.2	0.4	1.5	0.1	—	—	0.9	

集中在1000—2500m范围内。

(2) 层状云的温度

①分类特征：冬季层状云的温度特性首

先表现在云内是否有过冷水层存在，我们将云层分为三种：云内温度在0℃以上的为暖云；在0℃以下（包括0℃）的为冷云；云内

温度有正有负的为混合云。冬季层状云中混合云占的比例最大(50%左右),冷云和暖云的比例虽然差异不大,但它们有明显的昼夜差别(见表3)。

层状云的温度特性还表现在云顶附近的温度层结特点上,它对云层的稳定性和降水有很大的影响,按层状云云顶附近的温度层结特点可分为两类。温度随高度升高而下降的为云顶无逆温类,温度随高度升高(或等温)的为云顶逆温类。从表4可知贵州冬季层状云有60%左右的云顶是在稳定层中,19时的比例更大。

表3 云内温度分类比例(%)

	冷 云	混 合 云	暖 云
19时	21.1	55.8	23.1
07时	27.8	58.6	13.6

表4 云顶温度层结分类比例(%)

时 间	云 顶 处 于	
	逆 温 层	非逆温层
19时	60.7	39.3
07时	55.8	44.2

②云层温度:

云底温度 从表1可看出,平均云底温度在0℃以上,07时高于19时,这主要是地面长波辐射的日变化造成的。

云顶温度 平均云顶温度在0℃以下(见表1),由于太阳辐射的日变化,云顶温度是19时高于07时。

云内最低温度 平均为-5.5℃。19时高于07时,而且最低温度在负温区的比例夜间是很高的,达到85%以上。从表4还可以看出,由于云顶大多数是处于逆温层内,所以云内最低温度出现的高度常常不是在云顶,而是在云顶以下300—400m的云内(见表1)。

云内最高温度 有70%以上是出现在0℃以上,19时高于07时。由于云层下部常有逆温存在,因此云内最高温度出现的高度一般说来也不在云底,而是在云底以上平均

约700m的云内。

(3) 飞机探测的云内温度层结特征
使用CM-43MOS单结管飞机温度计进行探测。

图2给出1986年3月9日在贵阳附近飞机探测到的一次冬季静止锋层积云的温度随高度变化的特征,从图上可看出,冬季层状云顶一般出现在逆温层里,而云底是出现在温度递减的气层里。图2所示的层状云内多层逆温结构是经常存在的,云下部测到0.7℃/100m的垂直递减率,但常规气球探空方法往往不易发现。

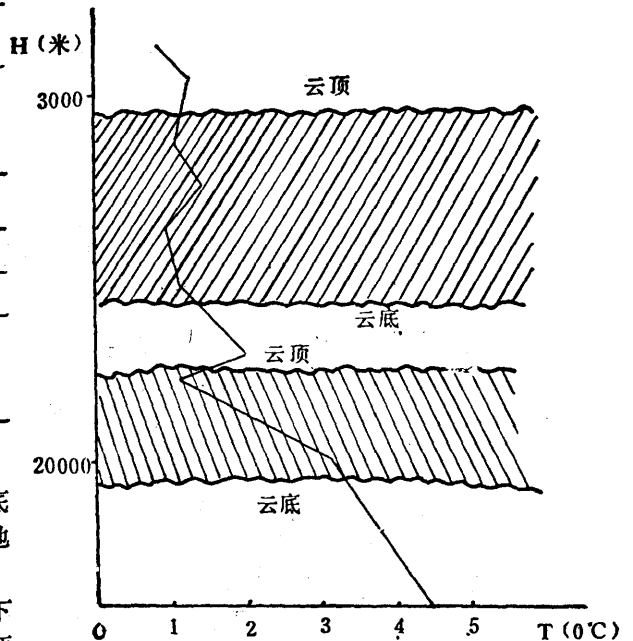


图2 飞机探测的温度和云层随高度的变化

(4) 云内水汽量

由于冬季盛行大陆性气团,静止锋层状云系中的水汽量都不大,贵阳地区云内平均水汽密度为 $4.3 \times 10^8 \text{ T/km}^3$,历年变化不大,白天比夜间稍多。云内平均水汽量(每平方公里的水平面积上云内的平均水汽量)为 $5-11 \times 10^8 \text{ T/km}^2$,由于夜间云层较厚,所以夜间云内水汽量比白天多(参见表1)。

(5) 飞机探测的云内液水含量和自然冰晶情况

含水量特征 1986年3月,在贵阳—安顺一带我们对9次较薄的冬季静止锋层状云进行了飞机探测。平均含水量为 $0.173\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,探测到的最大值为 $0.626\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (平均云厚772m)。

自然冰晶 在飞机探测中均未发现自然冰晶,这说明贵州冬季层状云不但云水资源丰富,而且由于自然冰晶缺乏,有着巨大的人工引晶催化增雨的潜力。

四、冬季层状云的降水

1. 一般特征

冬季是贵州一年中降水最少的季节,根据1963—1983年贵阳的降水资料统计,贵阳冬季降水量平均只占年总雨量的5.4%,而冬季降水的78%来自层状云。这种云降水频率高,但降水强度小,平均每个层状云日降水量不到1mm,平均每年冬季的层状云降水日数为45.5天,降水为48.2mm,平均每个雨日的降水量为1.06mm。在层状云降水量中,暖云占8.5%,冷云占19.8%,混合云占71.7%。各类层状云的降水统计结果见表5。

表5 贵阳冬季三个月层状云降水统计

层状云总日数(天)		雨日(天)	降水机率(%)	雨日降水量(mm)	平均雨日降水量(mm)	多年平均雨日(天)	多年平均降水量(mm)
1135 (1962.12—1984.2)	暖云	141	12.4	86.6	0.61	6.7	4.1
	冷云	228	20.1	198.9	0.87	10.9	9.5
	混合云	585	51.5	726.3	1.24	27.9	34.5

2. 固体降水和雨淞

固体降水 在冬季层状云降水量中平均28%是固体降水(雪、雹、霰等)。其中1月份固体降水出现127次,降水量135.2mm,占该月层状云降水的45%,其次是2月份,共出现102次,降水量87.3mm,占月降水的29%,12月较少,只出现42次,降水量为47.4mm,占月降水的12%。从降水日数看,冷云的固体降水频率较高(76%),降水强度较小($0.94\text{mm}/\text{日}$),混合云的固体降水频率较低(16%),但降水强度较大($1.1\text{mm}/\text{日}$)。

雨淞 表6是贵阳21年有雨淞时的统计结果,可以看出,有雨淞时的层状云云底温度和云顶温度与一般层状云相差很大。有雨淞时的云底较低,云底温度和云内最低温

度也较低。有雨淞时的云内最低温度出现在云层的中下部,而一般层状云内最低温度则出现在云层的中上部。同时,雨淞伴有降雪的云顶温度、云顶高度、云厚以及云内最低温度及其所在高度等与无降雪的雨淞层状云也有明显差别。从降水上看,有降雪的雨淞层的雨淞降水量也显然比一般层状云大,但无降雪的雨淞降水量则比一般层状云降水少。

3. 降水的日变化

从表7可看出,无论哪一类冬季层状云的夜间(20时—08时)降水量和降水强度都明显大于白天(08时—20时)。这一方面是由于夜间云内温度降低有利于更多的水汽凝结,云层变厚,另一方面是因为夜间云顶辐射冷却造成云内的不稳定,也有利于降水的

表6 贵阳冬季有雨淞的层状云统计

		平均云高(m)		平均温度(°C)		平均云厚	云内最低温度(°C)		平均日降水
		云底	云顶	云底	云顶	(m)	温度	所在高度	量(mm)
雨淞	每年7.3次	1495	3740	-4.8	-3.6	2243	-8.1	2648	0.76
	有降雪1.8次	1506	4987	-4.3	-9.0	3479	-11.2	4223	1.91
	无降雪5.5次	1501	3450	-4.8	-2.1	1947	-7.2	2292	0.50
一般层状云		1606	3751	0.5	-4.0	2153	-5.8	3422	0.98

表7 贵阳冬季层状云降水的昼夜差异
(21年平均的12小时降水量)

	暖 云	冷 云	混合云	平 均
夜间(20时—08时)	0.50 3	0.57	1.01	0.84
白天(08时—20时)	0.16	0.42	0.44	0.36

形成(见表1、表4)。

4. 降水的区域相关

贵州冬季层状云由于层结均匀和降水强度小,其降水有很好的区域相关特性。

图3是贵州中部8100km²面积范围内几个有20年以上降水资料的测站,将此区域分为面积相等的A、B两区,各区平均降水量取区内三站平均值。

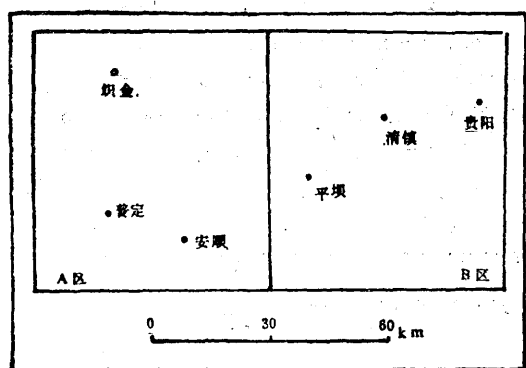


图3 冬季层状云降水相关区域划分

统计了1963—1983年共21年两区冬季层状云降水的相关。表8表明冬季层状云的降水有很好的区域相关。这一特点为进行人工降雨试验的效果检验提供了不可多得的条件。

表8 冬季层状云降水区域相关系数(21年)

	12 月	1 月	2 月
月降水量	0.9091	0.8814	0.9460
平均日降水量	0.9207	0.8651	0.9470

五、冬季层状云对辐射的影响

用贵阳和威宁的资料对比说明,贵阳海

拔1071m,位于云贵高原东侧斜坡地带,威宁海拔2238m,位于贵州西部云贵高原主体的乌蒙山麓,两地东西相距240km,纬度仅差0.28°,据国内外有关资料在同纬度地方3000m以下的低层大气中,太阳总辐射量随高度每升高1km约增加9%,而威宁的年总辐射比贵阳多23.6%,相当于每升高1km增加20.4%。

两地总辐射量的差别特别明显地表现在冬季,12月—2月威宁比贵阳多63—68%。这是因为贵阳常受静止锋云系的影响,而威宁由于地处高原主体上较少受其影响。尤其在隆冬1月,威宁的直接辐射比贵阳多2.3倍,由于同样的原因,冬半年贵阳的散射辐射比威宁多6—10%,单就贵阳而言,层状云天气下的总辐射量只有晴天时的1/4。

六、冬季层状云人工催化增雨试验

1986年3月,对贵州中部冬季层状云进行了9次飞机撒播干冰的催化增雨试验。试验结果表明,干冰入云后云内含水量迅速增大。9次作业平均,撒播前平均含水量为0.173g·m⁻³,平均最大值为0.263g·m⁻³,撒播后平均含水量为0.392g·m⁻³,平均最大值为0.738g·m⁻³。撒播前测到的最大含水量为0.626g·m⁻³,撒播后测到1.644g·m⁻³。作业云层的云顶在撒播后都有上升,9次平均升高314m。作业区为图3中的B区,A区为对比区。作业后平均区域日降水量A区为0.54mm,B区为0.86mm,作业后下风方80km之内的平均雨量则更大,达到2.89mm。尽管试验次数不多,但初步的结果为我们展现了一个令人鼓舞的前景。

结 语

通过对贵州冬季静止锋层状云的研究,可得出几点看法。

1,贵州冬季静止锋层状云出现日数多,持续时间长而稳定,这主要是受冬季冷空气盛行过程和地形的影响。

2.冬季层状云以混合云为主,并且有较

大的稳定性，主要表现在云层的上部常有逆温存在。但云内并不很稳定。

3. 冬季层状云降水占月总降水的比例较大，其中混合云降水量最多，而固体降水在层状云降水中也占有一定的比例，降水的日变化表明，有明显的夜雨特性。

4. 向云内引入干冰后，云内含水量明显增大，地面雨量也有增加。

5. 由于冬季层状云出现频率和降水频率都很高，维持时间长，云层结构均匀，降水强度小，降水又有很好的区域相关特性，加以云内温度、含水量和自然冰晶等条件都有利于进行人工催化增雨试验。贵州中部有大型水库，所以无论从科研的角度还是从蓄水抗旱的角度来说，贵州中部都是较好的冬季层状云人工降水试验场地。

A study of winter stratus in Guizhou

Li Qitai Lu Chengxiao Zhao Cai

(Institute of Meteorological Science, Guizhou)

Abstract

Using data of radiosonde, airplane observation, ground rainfall and the preliminary results of seeding dry-ice by aircraft, a comprehensive study of the winter stratus in Guizhou was made in order to understand its macroscopic and microscopic structures, characters and regional correlativity of its rainfall, its influence on solar radiation. The possibility of increasing rainfall by seeding to winter stratus and the preliminary effect of enforcement of increasing rainfall were discussed too.