层状云中的液水含量与降水条件

游来光　　吴　兑

（气象科学研究院人工影响天气研究所）（宁夏气象局科研所）

宁夏开展人工降水工作，已有五年多，为研究人工增雨的自然条件，近年来进行了云液水含量与云滴谱等云物理结构特征的研究。本文分析了1978、1979年飞机观测的云液水含量资料，指出了云含水量随时间、空间的分布特征；讨论了云中降水增长的条件；并初步分析了各次间人工增雨的相对潜力。

一、资料来源及观测结果

云层的宏观资料，是依据飞机观测记录及银川气象台雷达观测记录，并参考定时天气图得到的。云中液态含水量资料，是使用 A-27 型机载液态含水量仪获得的。地面降水资料选自靠近观测云层下方气象台站及水文站的自记记录。本文分析对象是 1978 年 7 月上旬至 8 月上旬、1979 年 5 月上旬至 7 月下旬出现的 14 次降水天气过程中的 25 架次层状云观测个例。地面观测云状均为蔽光高层云。

A-27 型机载含水量仪采用滤纸法取样。取样体积为 0.005—0.08 立方米，测得的含水量代表 300—400 米水平范围内的平均状况。在 25 个个例中共观测了 558 次。结果见表 1（表中高度均为相对地面高度，单位为米。含水量 $\bar{q}$ 及 q_{max} 的单位是克/米^3。雨强的单位是毫米/小时）

表 1　层状云各要素观测结果

	观测次数	取样高度	云底高	云顶高	云厚	$\bar{q}$	q_{max}	雨强
5—6月平均	204	1100—4600	1340	4500	3200	0.11	0.87	0.4
7—8月平均	354	1000—4700	1760	6200	4450	0.38	3.18	1.4
夏季平均	558	1000—4700	1560	5400	3840	0.28	3.18	0.9

将上述结果和国内其它地区的结果对比见表 2。无论是 $\bar{q}$ 还是 q_{max} 都以宁夏居首位。

表 2　各地区降水性层状云的液态含水量

地区	云状	取样时间	观测次数	取样温度℃	$\bar{q}$	q_{max}
吉林	As	1963年4—6月	153	$-20 \leqslant t < 5$	0.18	1.80
河北	Ns	1960年—77年	151	—	0.15	1.35
宁夏	As	1978、79年5—8月	558	$-19 < t < 13$	0.28	3.18

从表 1 中看出，宁夏降水性层状云云底较低，云层较厚，而雨强较小。

二、降水性层状云中液态含水量的分布特点

1.各月含水量变化特点

由表 3 看出，刚进入夏季的 5 月份含水量较大，6 月份最低，而盛夏的 7、8 月份最大。这一特点与宁夏地区的环流演变有关，与降水分布的气候特点是对应的。

表 3　含水量气候分布

月份	观测次数	$\bar{q}$ (g/m^3)	q_{max} (g/m^3)	（4站平均）历年平均月降水量(mm)
5	184	0.11	0.87	29.6
6	20	0.03	0.19	26.1
7	303	0.29	1.86	59.8
8	51	0.92	3.18	78.6

2.液态水随温度的分布

我们将 558 次观测资料按温度分段平均，得出液态水含量与温度的关系曲线（图 1）。从图中可以看出，宁夏与吉林的结果较接近，在 -8℃到 -16℃较吉林有充足的过冷却水。在高温段含水量最大，而且从 0—5℃之间表现为一丰水区。在更高的温度条件下，已靠近云底，液水含量因而减少了。这一趋势与苏联的里加结果一致。另外，各温度区间液水含量大小的频数分布也表明，在低温段，q 大多数小于 0.1 克/米^3，而在 -3℃至5℃范围内，含水量显著增大，大于 0.5 克/米^3 的出现频数超过 40%，说明了这一层次是降水的重要增长层。

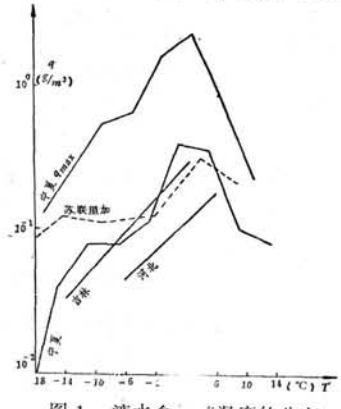


图 1　液水含量随温度的分布

3.垂直分布

将含水量按距云底高度分层平均，得到了 $\bar{q}$ 随距

云底高度的平均分布图（见图2）。除含水量较吉林大外，一个显著的特点是，宁夏层状云的丰水区位于云层的中部，自然降水过程还没有充分发动；随着冰水转化，降水粒子增长，云水消耗，下传，丰水区将逐渐下降到云层的中下部。就观测期间宁夏云层的平均状况而言，看来具有降水云系发展初期阶段的特征。

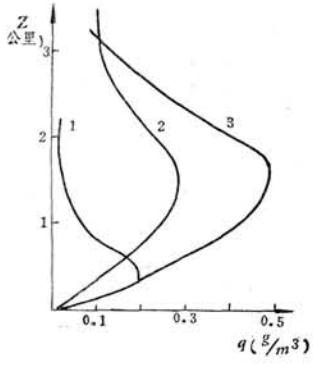


图2　含水量随距云底高度的平均分布

1.吉林，1963年4—6月，$-15℃\leqslant T<5℃$，2.宁夏，1979年5—6月，$-19℃<T<13℃$，3.宁夏，1978、1979年7—8月，$-11℃<T<11℃$

4.水平分布

层状云液水含量在水平方向上的分布也不是均一的。图3表明，在同一高度、同一温度下，含水量可

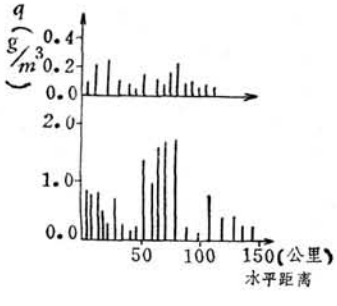


图3　液水含量的水平分布

上图为1978年7月14日09时，Z（距云底高）1200—1350米，T-0.8—-1.7℃。下图为1978年8月5日11时，Z 1500—1550米，T1.6—1.9℃

以有很大起伏，这一特点，意味着宁夏的层状云系中，可能存在有对流活动；另外，在-3℃至5℃区间，含水量大于1.0克/米³出现了37次，频数达11.2%，已具有一般积状云的含水量值，雷达回波照片也表明层状云中对流泡体的存在。

三、宁夏降水系统发展阶段及自然降水的增长条件

1.宁夏降水系统的发展阶段

为考察影响宁夏降水的雨区是处在其发展的哪一阶段，我们统计了雨区在移入宁夏前后各个时段的雨区中心6小时雨量及雨区面积（表略），另外还将雨区源地及去向在表4中给出。影响宁夏降水的雨区大多在35—40°N、95—105°E区域内生成，参加统计的所有个例在雨区生成后的24小时以内已造成宁夏地区降水，平均在雨区生成12小时以内移入宁夏。雨区

表4　雨区源地及去向

雨区源地			雨区去向		
地区	次	百分率	地区	次	百分率
青海湖	11	44	华北入海	4	16
柴达木	6	24	华东入海	6	24
河西	4	16	移入东北	5	20
兰州	2	8	陕西消失	5	20
托托河	1	4	河南消失	1	4
宁夏南部	1	4	华东消失	4	16

寿命平均在60小时以上。雨区生成初期雨量都不大，移出宁夏后，雨量及雨区面积都随着时间的推移而增大。由此可知，宁夏的雨区是处在初生阶段，在东移进入华北，中南地区时进入发展阶段，这与天气实况是一致的。

含水量的分布特征与天气学分析的结论是一致的，即宁夏层状云中液水含量较大，丰水区位于云层中部，这些特征说明宁夏的降水系统是初生的，自然降水过程还没有充分发展，云中有较多的云水贮存。初步看来，具有一定的催化潜力。

2.含水量与降水增长条件的关系

云中液态含水量的多少，反映了降水源在云中通过凇附（在冷层）与碰并（在暖层）的增长条件。设ΔH_{ni}为云层暖层中的高度间隔，$\bar{q}_{ni}$为该层平均含水量；ΔH_{1i}和$\bar{q}_{1i}$分别为冷层中的值；则用P_n与P_1估计云中碰并与淞附增长的条件；

$$P_n=\sum_{i=1}^{n}\bar{q}_{ni}\ \Delta H_{ni} \qquad (1)$$

$$P_1=\sum_{i=1}^{n}\bar{q}_{1i}\Delta H_{1i} \qquad (2)$$

在处理过程中，ΔH均取为200米。暖（冷）雨过程条件计算结果如表5（表中H的单位是米，雨强单位为毫米/小时）。表中并列出云厚与云底高的比值h_s，冷

表5　宁夏降水性层状云的降水增长条件

	H_n	P_n	H_1	P_1	P	h_s	L_w	雨强
初夏平均	1120	153	2020	236	389	2.7	5.0	0.4
盛夏平均	1560	468	2890	412	880	3.7	2.4	1.4
夏季平均	1360	324	2490	331	655	3.2	3.4	1.0

层厚度与暖层厚度比值L_w。从表中可以看到如下几点：（1）宁夏地区的降水大致在初夏以冰粒子的增长过程为主，到盛夏期，暖雨过程（雨滴的碰并增长）的贡献与在冷层的增长过程就同等重要了。（2）降水条件$P=P_n+P_1$与雨强之间一般是正相关，但相关很差，当雨强相近时，P值相差可达3倍（图4）。那些P值大的个例，看来是由于自然降水激发条件不充分而限制了自然降水的发展。因此可看出各次间人工增雨潜力的差异是很大的。另外，从图4还可看

出盛夏季节比初夏的自然降水条件要好些 。

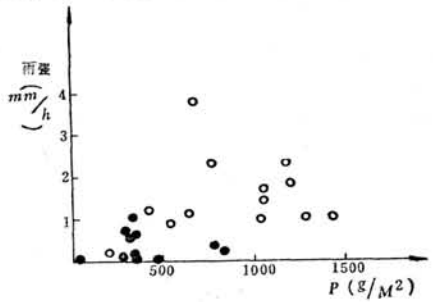


图 4　雨强与P的关系
实心圆为初夏期，空心圆为盛夏期

四、小　结

通过观测，对宁夏地区降水性层状云的含水量与降水增长条件，有了一些初步的了解，主要结果是：

1.在初夏与盛夏季节中宁夏地区层状云中液态水含量较吉林、河北地区春季与初夏季节层状云中的含水量大，在宁夏观测的层状云中含水量的水平分布不均匀。结合雷达回波特征分析，表明云中存在着对流活动。

2.宁夏地区的降水系统处于初生阶段，云层厚，云底较低，云水多，高含水量区一般都位于云层中部。自然降水条件不完备，雨强小；而且当雨强相近时，P值可以有很大差异，表明人工增雨条件有很大差异。

3.为充分利用0°C层附近的高含水量层，用吸湿性核播云时，高度要在0°C层以上的负温区作业。用成冰核时，作业层温度要低于－8°C，以充分利用这一层的过冷却水。