文章编号：1006-4354 (2003) 05-28-04

用微波辐射计作云降水潜力的估算

梁 谷[1]，李 燕[1]，纪爱琴[2]，王青雯[3]

(1. 陕西省人工影响天气办公室，陕西西安 710015)

(2. 陕西省气象局，陕西西安 710015；3. 陕西省防雷中心，陕西西安 710015)

摘 要：1997 年 7—11 月，用单点双波长地基微波辐射计对西安上空的降水云作汽态水、液态水的连续探测，分析发现云中水汽和液水含量在降水开始前有明显变化。将变化的时间轴转化成空间轴，得到：在云的降水区前有一较宽的液水含量高值区，在高值区和降水区连接处存在一液水含量低值区。云的总降水量与高值区的水汽和液水含量值有一定关系，参数 R_k 代表云的可降水潜力，当 R_k 大于 2.7 时，云才有被人工催化增雨作业的潜力；R_k 大于 3.5 时，人工增雨效率最高。

关键词：地基微波遥感；液态水；汽态水；降水潜力

中图分类号：P426.5 **文献标识码**：A

本文用遥感技术探测空中汽态水和液态水含量的分布变化，分析其特征，配合地面降雨量，找出降水云的可降水潜力与它的关系。双波长(0.85 cm 和 1.35 cm) 地基微波辐射计是目前探测大气中水的较有效工具之一，国外应用较为广泛。在遥感探测中有不少研究工作，从原理到实验都证实了双波长地基微波辐射计在探测大气路径积分总量汽态水 Q 和液态水 L 方面有较高的精度，并有很高的时间分辨率（采用的时间步长为 5 min)，Q 和 L 的探测结果可以实时得到。采用单点固定区域双波长地基微波辐射计进行探测，适合于大面积较稳定的云系监测，针对层状云进行分析。目前，雨水对云中 Q、L 探测结果的影响还没有有效的订正方法，且雨水比水汽、液水的含量值要高 1 个以上的量级，故降水发生后的资料不作分析。

1 空中水汽含量、液水含量的分布

1997 年 7—11 月，在西安市使用双波长地基微波辐射计进行连续 5 个月的固定气柱中水汽总量 Q 和路径积分液水含量 L 的探测实验，同时配有雨强计和 24 h 气象观测，收集西安市气象观测站的同期探空观测资料。实验期间产生自然降水的过程有 17 次，其中 1 次因仪器故障将其剔除，共获得 16 次降水过程资料，微波辐射计有效探测数据 3.5 万组。分别计算出实验期间降水云天及非降水云天中 Q 和 L 值的时空分布及变化。

1.1 水汽含量 Q

图 1 给出了降水开始前云中 Q 值的变化。“*”为降水开始时间。在降水区前后，有一水汽含量高值区，区内 Q 的最小值都大于区外的最大值。同时，水汽含量均值大，Q 的振幅小；水汽含量均值小，Q 的振幅大。云要产生降水必须有一

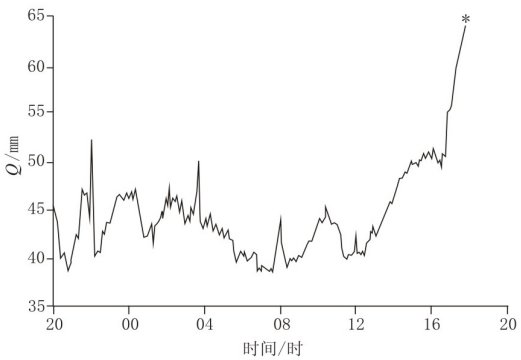

图 1 1997-09-10T20：00—11T17：30 水汽含量演变图

收稿日期：2003-07-02

作者简介：梁 谷 (1961-)，男，江苏扬州人，学士，工程师，从事人工影响天气工作。

基金项目：国家科技部“西部开发科技行动”(2001BA901A41)

定的水汽量给予补充。Q 值的高浓度区为云滴提供了增长条件。在非降水云天，水汽含量的最大值和均值都小于降水云天的 Q 值。

1.2　液水含量 L

图 2 给出了降水开始前云中 L 的变化。“＊”为降水开始的时间。L 一开始增加，增加幅度为此次降水开始前液水含量均值的 2～10 倍。将其时间轴转换为空间轴可见，在降水区域前有一 L 低值区，在其外侧是 L 高值区。降水产生时，降水区中下部为辐散区，L 高值区、低值区是辐合区，L 高值区是降水区的源，它给 L 低值区输送液水，L 低值区通过降水区边沿的挟卷辐合给降水区输送液水以填补降水损失的液水量。在非降水云天 L 的演变中，液水含量的均值比降水云天在降水开始前的液水含量均值低 1/3 左右。

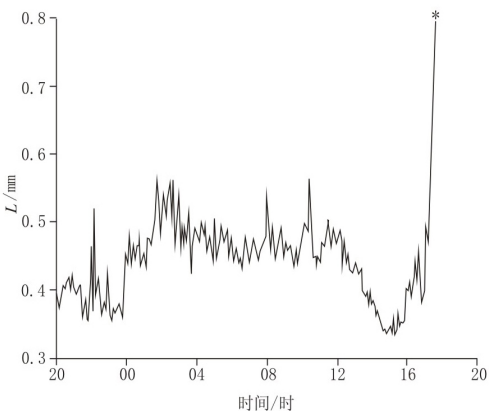

图 2　1997-09-10T20：00—11T17：30
液水含量演变图

2　空中水汽、液水含量的月平均值

将实验期间微波辐射计探测的水汽、液水含量的资料按月统计，求得各降水过程在降水区外最大水汽含量 Q_{max}、液水含量 L_{max} 的范围和月平均水汽含量 Q_m、液水含量 L_m 及月总降水量 R_m（见表 1）。

由表 1 可见，8、9—10、11 月的 Q_m、L_m 和降水区外 Q_{max}、L_{max} 的范围有着明显的变化：8 月高，11 月低，9—10 月居中。与 Q、L 受温度影响—温度高，L、Q 值大；温度低，L、Q 值小一致。并且，降水区外 Q_{max}、L_{max} 的范围随温度的降低，

表 1　1997 年 Q_m、L_m 和降水区外 Q_{max}、L_{max} 范围及 R_m　　mm

月　份	8	9—10	11
Q_m	53	30	15
Q_{max} 的范围	53～97	31～58	25～35
L_m	0.0676	0.0550	0.0495
L_{max} 的范围	0.16～1.00	0.14～0.90	0.10～0.50
R_m	4.3	104.9	33.6

上限的下降幅度远大于下限的下降幅度，这表明降水区外 Q_{max}、L_{max} 范围的下限接近于云产生自然降水所需的 Q 和 L 的触发阈值。同时，Q_m、L_m 与 R_m 无明显对应的增减关系。云的自然降水的产生不仅决定于空中水的含量值，还必须满足产生自然降水所需的 Q、L 的触发阈值，说明垂直项动力和热力的作用起着很大影响，在用 Q、L 演变作预报分析时，仅提供了某一方面的参考值。

3　水汽、液水含量均值与降水量的关系

计算 16 个降水云天降水产生前水汽含量、液水含量均值 Q_P 和 L_P，Q_P 和 L_P 的统计时段起始于降水产生前 24 h 之内，辐射计处于连续的层状云覆盖之下；或在 2 次降水之间辐射计有 3.5 h 以上时间处于正常探测状态。实验期间降水持续时间、云状、总降水量 R 和 Q_P、L_P 见表 2。

比较表 1、表 2，降水云天的水汽含量均值略大于同月月均值，相差 10％左右。

由表 2 可见，各降水云天的液水含量均值差别较大，差 0.1 mm 左右。对比其降水量，液水含量均值大相对降水量也大。11 月 10 日，云中温度小于 0 ℃，微波辐射计所探测到的液水含量实为过冷水含量，所以液水含量值虽然不大，小于月均值，是月均值的 77％，但降水量达 5 mm，可见过冷水对降水产生着重要影响。

4　利用云中 Q_P、L_P 作降水云的降水潜力预报

由表 2 可见，降水云所产生的自然降水量的大小与均值 Q_P、L_P 有着一定的正比关系：Q_P、L_P 大，相对降水量 R 也大。

引进降水潜力参数 R_k：

$$R_k = L_P/L_m + Q_P/Q_m \qquad (1)$$

表 2 实验期间产生自然降水的日期及云中各物理量

日 期	云 状	降水持续时段	R/mm	L_P/mm	Q_P/mm
1997-08-01	Ac.Sc	1 日 15：12—3 日 12：59	0.3	0.0384	63
1997-08-07	As.Ac.Sc	6 日 15：47—7 日 09：36	1.2	0.1270	81
1997-08-15	Ac.Sc	01：03—18：40	2.8	0.0971	50
1997-09-11	As.Fn	11 日 17：40—15 日 21：40	63.1	0.1206	44
1997-09-17	Ac.Fn	08：22—18：46	19.1	0.1311	38
1997-09-22	Ac	22 日 22：15—23 日 08：15	0.2	0.0669	23
1997-09-23	As	23 日 12：10—24 日 06：30	4.3	0.1050	34
1997-09-30	As	15：28—16：35	0.2	0.0600	29
1997-10-02	Ac.Fn	2 日 13：50—3 日 18：45	16.0	0.1100	35
1997-10-08	St	09：31—19：30	0.7	0.1005	28
1997-10-24	Sc	12：45—14：15	0.0	0.0816	26
1997-10-25	Sc	24 日 21：35—25 日 13：15	1.3	0.1254	25
1997-11-10	As	14：04—23：59	5.1	0.0383	30
1997-11-11	As	11 日 00：00—13 日 05：15	15.9	仪 器 故 障	
1997-11-25	St	08：13—11：40	2.1	0.1065	15
1997-11-27	Fn	27 日 02：50—28 日 16：25	10.0	0.1498	12
1997-11-30	St	30 日 14：40—1 日 03：16	0.5	0.0769	15

式中 Q_m、L_m 为 m 月份的月均水汽、液水含量，Q_P、L_P 为 m 月中降水云天的平均水汽、液水含量。R_k 代表了云中水资源的盈亏。

用式(1)计算实验期间产生自然降水的 16 个降水云天的降水潜力参数 R_k。降水云所产生的自然降水量 R 的大小与降水潜力参数 R_k 有较好的对应关系，如图 3 所示 R_k 与 R 为指数关系。

拟合曲线方程：

$$\log(R_k)=0.102\,686\log(R)+0.941\,467 \qquad (2)$$

由图 3 可见，当降水潜力参数 R_k 大于 3.5 时，降水云中所含的水即可产生较大量的降水，这时进行人工增雨催化作业的效果会更好。

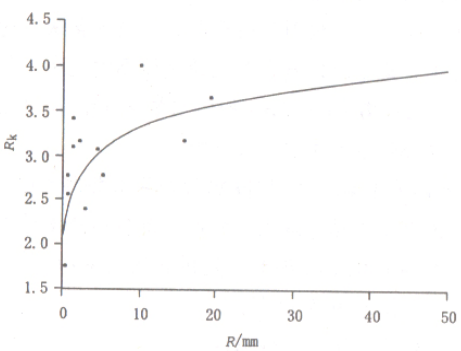

图 3 降水潜力参数 R_k 与降水量 R 的关系

假定自然降水量大于 3 mm 的降水云有人工催化增雨作业潜力，从图 3 中得到：在 R_k 大于 2.7 时，降水云有被人工催化增雨作业的潜力；R_k 越大，人工催化增雨作业的潜力越大。8 月 7 日的降水云 R_k 达 3.4，但自然降水只有 1.2 mm，而 11 月 10 日的降水云 R_k 只有 2.77，自然降水就有 5.1 mm，分析这 2 d 的空中温度梯度，8 月 7 日的 0 ℃层高度超过 5 km，而 11 月 10 日的 0 ℃层高度只有 1.5 km 左右，因此，在作人工催化增雨作业的潜力预报时，还应结合云中温度梯度的垂直变化，考虑云中过冷水对降水的影响。在 16 次产生自然降水的降水云中有 9 次具有人工催化增雨作业的潜力，占 56.3%。如将 8 月 7 日的降水潜力预报认为误报，其误报率是 6.3%。在人工增雨催化作业工作中使用此预报，将会减少 35.5% 的无效作业费用，节约大量的经费。

5 讨论

利用双波长地基微波辐射计资料分析空中水汽和液水含量的时空分布及变化，给出云的可降水潜力，为人工增雨选择作业时机提供了一种方法，为数值模拟提供水汽和液水含量值。要将微波辐射计所探测到的空中液水和水汽含量做到与实际真值一样，分析起来非常复杂，并难以实时

文章编号：1006-4354（2003）05-31-02

苹果座果率与气象条件的关系分析

李 生 袖

（富县气象局，陕西富县　727500）

摘　要：通过观测资料分析了1998—2002年陕西富县交道镇白家村红富士果园苹果开花期的主要气象因子对座果率的影响，发现温度、降水、光照、风等气象条件与座果率关系密切。得出花期低温和花期前后连阴雨是限制富县苹果座果率提高的主要因素，日照和风一般年份能满足苹果正常座果率的需求。提出了提高苹果座果率的生产技术措施。

关键词：气象条件；苹果；座果率

中图分类号：S162.5　　**文献标识码**：B

富县是陕西省苹果的主要产地之一，受不利气象条件影响，产量年际变化波动较大。苹果产量主要由花朵数、座果率和单果重等决定，花朵数、单果重的栽培技术在生产上已得到基本解决。座果率就成为决定苹果产量的重要因素。苹果座果率的高低不仅取决于树体是否健壮、花芽数量和质量，而且受开花期气象条件的影响。

1　苹果的座果率

苹果座果率的高低由花期温度、降水、日照、风等气象要素决定，温度、降水条件起着至关重要的作用，不同年份由于温度、降水条件的不同差异较大（见表1）。

表1　富县红富士苹果花期的气象条件与座果率

年份	花期			4月下旬		
	平均温度/℃	日照/h	平均风速/（m/s）	最低气温≤－2.0℃的日数/d	降水量/mm	座果率
1998	16.4	120.5	2.2	0	9.6	86.1%
1999	13.8	99.6	1.7	0	21.3	89.4%
2000	10.6	110.3	1.8	3	0.0	71.4%
2001	10.6	108.7	1.7	4	10.9	72.8%
2002	13.1	116.3	2.0	3	4.4	75.9%

收稿日期：2003-04-15

作者简介：李生袖（1962-），男，陕西子长人，工程师，从事应用气象服务与研究工作。

得到，但其变化和真值的变化是一致的。因此，在作预报和寻找催化作业区域时，要关注它们的变化过程，考虑到云中过冷水对降水的影响，同时还要注意云中温度的垂直梯度变化。

参考文献：

[1]　周秀骥．大气微波辐射及遥感原理[M]．北京：科学出版社，1982.

[2]　张培昌，王振会．大气微波遥感基础[M]．北京：气象出版社，1995.

[3]　魏重．三波段地基微波辐射计联合遥感云雨大气参数的方法[J]．大气科学，1995，19（1）：21-30.

[4]　叶家东．积云动力学[M]．北京：气象出版社，1988.