白婷,刘艳华,杨敏. 微波辐射计观测同降水相关性的研究[J]. 气象与环境科学,2019,42(4):111-118.

Bai Ting, Liu Yanhua, Yang Min. Study on Correlations Between Microwave Radiometer Observation and Precipitation [J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2019, 42 (4):111-118.

doi:10.16765/j.cnki.1673-7148.2019.04.016

微波辐射计观测同降水相关性的研究

白 婷1,2, 刘艳华1,2、杨 敏1,5

(1. 中国气象局,河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室,郑州 450003; 2. 河南省人工影响天气中心,郑州 450003)

摘 要:利用南阳站微波辐射计反演产品数据,结合 L 波段探空、多普勒天气雷达和地面雨量等资料,分析了2017年6月4-5日南阳地区一次降水过程中水汽与液态水变化特征,并对2017年6-8月不同降水条件下该地区的水汽与液态水总含量进行了统计。结果表明:微波辐射计反演的产品数据较准确,可靠性较强,可应用于日常业务工作和科研中。降水开始前,水汽总含量与液态水总含量明显增加,随着降水减弱结束,水汽总含量与液态水总含量减少。利用这一现象,可以将水汽和液态水的变化作为选择人工影响天气作业最佳时机的辅助判别条件。对比同时刻、同位置的雷达和微波辐射计资料发现,水汽总含量和液态水总含量跃增时对应较强雷达回波。水汽总含量达到5 cm、液态水总含量达到1 mm,可以作为判断南阳地区夏季降水开始的参考值。

关键词:微波辐射计;水汽总含量;液态水总含量;雷达回波

中图分类号: P48

文献标识码: A

文章编号: 1673-7148(2019)04-0111-08

引言

大气中的水汽和液态水是影响地球大气辐射和全球热平衡的空中水资源的重要组成部分,影响着大气的运动和变化^[1-2],因此准确、及时地探测到水汽和液态水的分布及演变特征,对降水、冰雹等天气的预报、空中水资源的开发及人工影响天气的引导等方面都具有重要意义^[3-7]。

微波辐射计是一款被动式微波遥感设备,它通过接收物体本身发射的微波信号测出该物体辐射能量,最终反演得到温度、湿度、水汽、液态水等多种产品,与常规探空相比,具有时间间隔短,全天无休工作等优点。目前已有不少学者从不同方面对其进行了研究。张文刚等^[8]通过对比武汉站探空和微波辐射计资料,发现微波辐射计测得的数据精度较高。 党张利等^[9]统计2007—2010年微波辐射计资料发

现,半干旱区降水预报的水汽含量和液态水含量阈 值分别为 2.2 cm 和 0.2 mm。张文刚等[1]分析湖北 省3个微波辐射计站点的液态水和水汽时空特征发 现,水汽含量与液态水含量快速增多可以作为预报 降水发生的一个重要指标。雷恒池等[10]研究了水 汽和云液态水含量降水前的变化特征,提出微波辐 射计资料能够应用于人工影响天气中。张志红 等[11]分析北京一次降水过程中云液态水的演变特 征发现,地面降水滞后于液态水含量增加,这有助于 识别人工增雨作业条件。黄晓莹等[12]利用微波辐 射计资料计算常用的对流参数,研究这些对流参数 与降水之间的关系,发现微波辐射计资料在降水预 报方面有重要的指示意义。黄治勇等[13]利用微波 辐射计观测资料分析咸宁市两次冰雹过程发现,冰 雹发生在大气水汽含量和液态水含量的大值区,这 对预报冰雹有一定的指示意义。

收稿日期:2018-02-05;修订日期:2019-04-15

基金项目:河南省气象局科研项目(KM201823);河南省气象局科研项目(Z201508)

作者简介:白婷(1989-),女,内蒙古巴彦淖尔人,工程师,硕士,从事人工影响天气研究. E-mail: higatesby@163. com

河南省人工影响天气中心于2016年在全省布设了3台微波辐射计,分别位于鹤壁、郑州、南阳三地区。本文以2017年6月4—5日南阳地区一次降水过程为例,探讨水汽和液态水与降水、雷达回波之间的关系,同时统计2017年6—8月降水和非降水情况,分析水汽总含量和液态水总含量在不同降水条件下的特征,为微波辐射计资料在河南省人工影响天气作业中的应用提供参考。

1 资料与方法

1.1 仪器介绍与基本原理

南阳地基微波辐射计是美国 Radiometrics 公司 生产的 MP-3000A,该辐射计采取被动接收的方式, 通过接收天空亮温反演得到从地面到10 km 高度的 温度、相对湿度、水汽廓线和液态水廓线。它包括两 个子系统,分别为温度廓线子系统和水汽廓线子系统。温度廓线子系统选择51-59 GHz 的氧气吸收带 进行天空亮温观测,而水汽廓线子系统选择22-30 GHz 的水汽吸收带进行天空亮温观测[14]。

无论任何物质,只要处在绝对零度以上,任何时刻都会向外辐射电磁波,这是微波辐射计工作的物理基础^[15]。根据基尔霍夫定律,辐射体在某波段有强烈吸收,必然在该波段有强烈的辐射。在 22.0 GHz 到 200.0 GHz 微波频率范围内,水汽在 22.2 GHz 和 183.0 GHz 附近有一个强吸收带,氧气在 60.0 GHz 附近有一个强吸收带^[16]。因此,微波辐射计通过测量氧气在 60.0 GHz 附近的辐射强度或亮温,得出大气的温度分布^[17];在温度确定的前提下,利用水汽在 22.2 GHz 附近的吸收带探测大气的湿度分布参数;在温度和压力已知的情况下,利用云等大气微波窗区发射的微波辐射,能定量地探测云中液态水总量^[18]。

1.2 资料与数据计算方法

使用资料为2017年6-8月河南省南阳地区地基微波辐射计反演产品数据、L波段探空资料、多普勒天气雷达提供的资料及地面雨量资料。其中,南阳地基微波辐射计地理位置为112°29′13″E、33°6′4″N,平均每4 min 通过反演得到环境温度、地面相对湿度、地面气压、云底红外温度、地面降水情况、整层水汽积分、液态水含量积分,以及0至10 km 共58层不同高度的温度、水汽、湿度、液态水的廓线数据,其垂直分辨率在500 m以下为50 m,500 m至2 km 为

100 m,2 km 以上为 250 m^[19]; 南阳站雷达位置为 112°29′34″E、33°1′15″N,海拔为 242.2 m,反射率因子产品最高分辨率均为 1 km。

由于 L 波段探空只有08时和20时资料,微波辐射计只有58个固定高度层上的数据,为了更直观地对比两者之间的差异,将07:30—08:30和19:30—20:30时段内微波辐射计反演的温湿度及水汽密度求平均,作为08时和20时微波辐射计对应变量的值,同时运用线性插值法得到与微波辐射计高度相同的 L 波段探空数据。利用 L 波段探空计算水汽密度时,采用以下公式^[20]:

$$e = 6. \ 11 \times 10^{\frac{7.45 \times t_a}{(235 + t_a)}} \tag{1}$$

$$\rho_v = 2. \ 167 \times 10^2 \times \frac{e}{T} \tag{2}$$

其中, t_d 为露点温度,单位为 \mathbb{C} ;e 为水汽压,单位为hPa;T 为绝对温度,单位为 K; ρ_v 为水汽密度,单位为 g/m^3 。

2 微波辐射计与 L 波段探空数据对比

选取 2017 年6-8月南阳站微波辐射计与 L 波 段探空资料,对比 08 时和 20 时两种资料中温度、相 对湿度、水汽密度及其差值(微波辐射计-L 波段探 空)在垂直方向上的分布(图 1),可以看出微波辐射 计反演的温度和水汽密度廓线与 L 波段探空非常 相似,相对湿度在 6 km 以下也很接近,6 km 以上虽 有所差距,但大致趋势比较一致。

计算两种资料的相关系数,发现 08 时和 20 时两种资料温度的相关系数分别为 0.994 和 0.996,水汽密度的相关系数分别为 0.978 和 0.977,相对湿度的相关系数分别为 0.743 和 0.700,且均通过了置信度为 0.01 的显著性检验,说明两种资料的垂直分布变化趋势较为一致,其中温度和水汽密度廓线的一致性明显优于相对湿度的,这与很多学者的研究结果[21-23]一致。

因此,微波辐射计反演的产品数据与 L 波段探空数据虽有所差异,但总体来说一致性较好,可靠性较强。此外,也有研究表明,微波辐射计反演的液态水含量与利用雨滴谱计算得到的液态水含量在趋势上较为一致,微波辐射计反演的液态水含量和 GPS/MET 观测的液态水含量相关性较好。总的来说,微波辐射计可应用于日常业务工作和科研中。

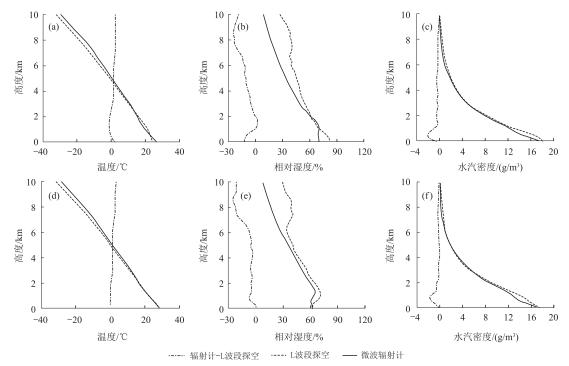


图 1 2017 年6-8月 08 时 (a,b,c) 和 20 时 (d,e,f) 微波辐射计与 L 波段探空的平均温度 (a,d)、 平均相对湿度 (b,e) 和平均水汽密度廓线 (c,f) 及两者差值对比图

3 水汽总含量与液态水总含量演变特征

3.1 水汽总含量、液态水总含量及降水量随时间的 演变特征

2017年6月4-5日受高空槽和低层低涡切变线 共同影响,河南省出现了大范围的降水,其中南阳 24 h 降水量为41.70 mm,达到了大雨量级。图 2为 2017年6月4-5日水汽总含量、液态水总含量及降水 量随时间的演变。根据降水维持时间,将此次降水过 程分为5个降水时段,分别为4日05-06时(简称 A 时 段),4日07-09时(简称 B 时段),4日11时-5日14时 (简称 C 时段),5日15-16时(简称 D 时段)和5日 17-20时(简称 E 时段)。A 时段降水发生之前,水 汽总含量增长缓慢,直到4日05时第一次出现降 水,水汽总含量明显增多,随着降水结束,水汽总含 量减少。C 时段降水持续时间最长,约为 27 h,累积 降水量 43.50 mm,4 日 11 时降水开始前,水汽总含 量增长迅速,自 10 时至 11 时由 4.80 cm 增至 6.33 cm,1 h增加量达 1.53 cm,降水持续至 5 日 14 时, 水汽总含量随降水减弱而减少,由于后期仍有降水, 此时水汽总含量虽有所减少但仍维持在 5.00 cm 以 上。液态水总含量变化趋势与水汽总含量基本一 致。A 时段降水发生之前,液态水总含量处于较稳 定的低值状态,保持在 0.00~0.30 mm,在 4 日 05 时开始降水时,液态水总含量增加至 1.59 mm,是 04 时液态水总含量的 10.6 倍。4 日 11 时,液态水总含量继续快速增长至 2.44 mm,1 h 增量 1.98 mm,是 10 时液态水总含量的 5.3 倍,是 09 时液态水总含量的 11.1 倍。对比其余降水时段发现,每次降水开始前,水汽总含量与液态水总含量均会明显增多,随着降水结束,水汽总含量与液态水总含量均有所减少,在 E 时段降水彻底结束后 1 h,液态水总含量减少至 0.13 mm,之后基本保持在 0.09 mm 以下的低值状态。

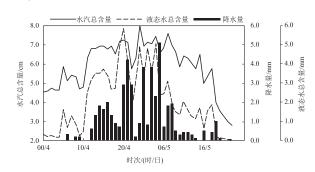


图 2 2017年6月4-5日水汽总含量、液态水总含量 及降水量随时间演变

3.2 降水前水汽总含量与液态水总含量随时间的 演变特征

为了更清楚地了解降水开始前水汽与液态水的 演变情况,图 3 给出了 5 个降水时段降水开始前水 汽总含量与液态水总含量随时间演变。

A 时段于 6 月 4 日 05:30 开始降水。由图 3(a) 可以看出,05:13(降水前 17 min)之前水汽总含量

和液态水总含量随时间变化较为平缓,05:13之后水汽总含量和液态水总含量开始迅速增加,05:13 到 05:26 水汽总含量由 4.84 cm 增至 6.36 cm,液态水总含量由 0.39 mm 增至 2.24 mm。

B 时段于 6 月 4 日 07:45 开始降水。由图 3(b) 可以看出,水汽总含量在 07:28(降水前 17 min)之

前随时间变化较为平缓,07:32 较前期减少后开始快速增加,07:32 到 07:41 水汽总含量由 4.65 cm增至 6.47 cm;液态水总含量在 07:16 之前随时间变化较为平缓,07:16 之后开始增加,07:37 液态水总含量较前期减少后再次增加,在 07:41 达到 2.62 mm。

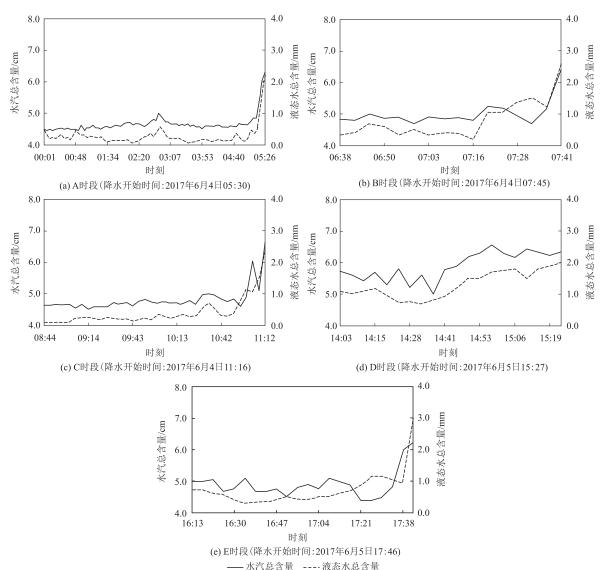


图 3 2017年6月4-5日五次降水开始前水汽总含量、液态水总含量随时间演变

C 时段于6月4日11:16 开始降水。由图3(c)可以看出,水汽总含量在10:55(降水前21 min)之前随时间变动不大,10:55 之后开始增加,11:03 增至6.05 cm,11:08 降低至5.08 cm,11:12 再次增加至6.68 cm;液态水总含量在10:46 之前随时间变化较为平缓,10:46 之后开始增加,11:03 液态水总含量较前期减少后再次增加,11:12 增至2.39 mm。

D 时段于 6 月 5 日 15:27 开始降水。由图 3(d) 可以看出,水汽总含量在 5 日 14:36 之前有波动,

14:36之后水汽总含量开始稳步增加,到 15:23 水汽总含量由 5.02 cm 增至 6.35 cm;液态水含量在 14:24之后基本处于稳步增长,到 15:23 液态水总含量增至 2.03 mm。

E 时段于6月5日17:46 开始降水。由图 3(e) 可以看出,水汽总含量在5日17:25(降水前21 min)之前有所波动,17:25之后水汽总含量开始增加,到17:42增至6.23 cm;液态水总含量在17:38之前随时间变化较为平缓,17:38之后开始增加,到

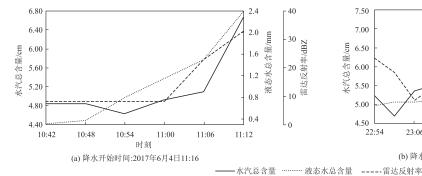
17:42 液态水总含量增至 3.06 mm。

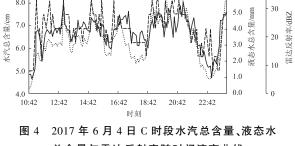
综合以上分析.5个降水时段在降水开始前半小 时内,均出现了水汽总含量与液态水总含量快速增长 的现象,有时会出现"双峰"现象(B时段、C时段),这 与李铁林[24]和敖雪[25]等在分析个例时发现水汽总 含量与液态水总含量均出现双峰现象结果相符。随 着降水结束,水汽总含量与液态水总含量均有所减 少。地面降水发生前水汽总含量与液态水总含量会 大幅增加,说明降水云系正在发展,在此时进行人工 影响天气作业,有利于增加降水量或加速降水的到 来,可应用于人工增雨作业条件的识别[26-28]。

雷达回波与水汽总含量、液态水总含量

雷达作为探测降水系统的主要手段,常被作为监 测和预警强对流天气的主要工具之一[29-32]。由于微 波辐射计和雷达时间间隔不同,为探讨雷达回波与水 汽和液态水的关系,本文以雷达时间为基准,选择与 之相同或相邻时刻微波辐射计测得的水汽总含量和 液体水总含量做对比。图 4 为 2017 年 6 月 4 日 C 时 段水汽总含量、液态水总含量与雷达反射率随时间演 变,对比发现,三个变量变化基本趋于一致。

为了更清楚地看出雷达反射率与水汽和液态水 的关系,给出 C 时段两次降水开始前三者随时间演 变曲线(图5)。由图5可以看出,10:54之前辐射计





总含量与雷达反射率随时间演变曲线

测得的水汽总含量和液态水总含量及雷达反射率变 化不大,此后水汽总含量和液态水总含量逐渐增大, 到 11:12 水汽总含量和液态水总含量分别由 4.6 cm 和 0.8 mm 迅速增大到 6.6 cm 和 2.4 mm, 回波亦增强,雷达反射率由 8 dBZ 增至 33 dBZ(图 5a),随后(11:16)站点开始出现降水;23:00站点处 降水停止,水汽总含量减小为 4.7 cm,液态水总含 量为 1.1 mm, 雷达回波减弱, 强度为 23 dBZ。23:54 站点再次出现降水,此时水汽总含量增至 7.3 cm, 液态水总含量增至 5.9 mm,站点处在强回波区,雷 达反射率达 38 dBZ(图 5b)。由此可见,水汽总含量 和液态水总含量跃增时对应较强雷达回波。李铁林 等[24]在研究过程中也发现水汽和液态水迅速增大 时刻刚好对应较强回波影响站点。

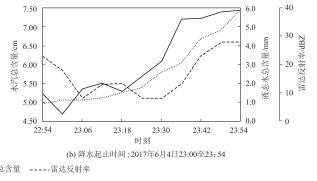


图 5 2017 年 6 月 4 日水汽总含量、液态水总含量与雷达反射率随时间演变曲线

不同降水条件下水汽总含量和液态水总 含量特征

统计2017年6-8月南阳地区降水和非降水个例, 分析不同降水条件下水汽总含量和液态水总含量特 征,其中根据气象上关于降雨量等级的规定将降水进 行分类,即降水量在1 h 内0.1~2.5 mm 为小雨,2.6~ 8.0 mm 为中雨 .8.1~15.0 mm 为大雨。表 1为2017年 6-8月南阳89个降水个例降水情况及降水前1 h 平均 水汽总含量及液态水总含量。由表1可以看出,降水前

1 h 平均水汽总含量除6月21日07时和8月19日01时 外,其余大雨降水事件发生前1h平均水汽总含量 均≥8.0 cm,中雨发生前为7.0~8.0 cm,小雨发生前 为5.0~7.0 cm,89个降水个例中有88个降水开始前的 水汽总含量值大于5 cm;降水前1 h 平均液态水总含 量除6月4日16时、6月9日15时、7月6日14时、7月6日21 时、7月16日22时及8月30日11时外,其余大雨降水事 件发生前均大于7.5 mm,中雨发生前为3.6~7.5 mm, 小雨发生前为1.0~3.5 mm,89个降水个例中有86个 降水开始前的液态水总含量值大于1.0 mm。

表 1 2017年6-8月南阳89个降水个例的降水情况及降水前1 h 平均水汽总含量及液态水总含量

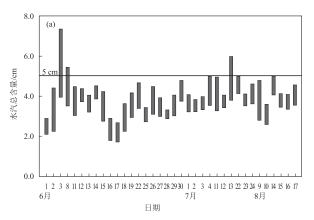
				"大人性不同""一名不凡心日里及成心不心日里			
降水时间	降水前1 h 平均 水汽总含量/cm	降水前1 h 平均 液态水总含量/mm	降水 情况	降水时间	降水前1 h 平均 水汽总含量/em	降水前1 h 平均 液态水总含量/mm	降水 情况
2017年6月10日01时	8.3	12.0	大雨	2017年6月21日04时	6.6	2.5	小雨
2017年6月10日02时	9.5	17.3	大雨	2017年6月21日05时	5.0	1. 1	小雨
2017年6月21日02时	10.0	10.1	大雨	2017年6月21日06时	5.3	1.7	小雨
2017年7月6日15时	8.0	17.2	大雨	2017年6月21日07时	4.5	1.4	小雨
2017年8月19日01时	7.2	7.6	大雨	2017年6月21日08时	5.3	1.3	小雨
2017年6月4日21时	7.2	5.9	中雨	2017年6月21 09时	5.4	1.2	小雨
2017年6月4日22时	7.3	4. 1	中雨	2017年6月23日19时	5.7	1.4	小雨
2017年6月5日01时	7.9	4.9	中雨	2017年6月23日20时	5.2	1.0	小雨
2017年6月5日03时	7. 1	4.8	中雨	2017年7月6日14时	6.9	0.3	小雨
2017年6月5日05时	7.4	7.4	中雨	2017年7月6日21时	6.7	0.4	小雨
2017年6月9日21时	7. 1	5.4	中雨	2017年7月9日09时	5.4	1.0	小雨
2017年6月9日22时	7.3	3.8	中雨	2017年7月16日22时	5.6	5. 1	小雨
2017年6月10日03时	7.8	5.5	中雨	2017年7月18日23时	6.7	1.3	小雨
2017年6月10日04时	7.9	5. 6	中雨	2017年7月25日22时	7.0	1.9	小雨
2017年6月10日05时	7.8	4.0	中雨	2017年7月27日16时	6.9	3. 2	小雨
2017年6月21日03时	7. 5	4.6	中雨	2017年7月30日15时	5.8	1. 3	小雨
2017年8月31日07时	7. 6	7. 2	中雨	2017年8月1日10时	7. 0	3. 1	小雨
2017年6月4日08时	5. 1	1. 3	小雨	2017年8月1日11时	6. 3	1. 0	小雨
2017年6月4日09时	5. 4	1.0	小雨	2017年8月2日02时	6. 2	1. 0	小雨
2017年6月4日12时	6. 3	2. 4	小雨	2017年8月2日12时	6.9	2. 8	小雨
2017年6月4日13时	6. 8	3. 1	小雨	2017年8月4日17时	6. 0	1. 0	小雨
2017年6月4日14时	6. 8	3. 5	小雨	2017年8月8日11时	6.6	1. 9	小雨
2017年6月4日15时	6. 9	3.5	小雨	2017年8月8日12时	6. 5	1. 3	小雨
2017年6月4日15时	6.9	3.6	小雨	2017年8月13日01时	6.3	1.5	小雨
2017年6月4日17时	6.8	3.4	小雨	2017年8月19日02时	6.7	2. 5	小雨
2017年6月4日18时	6. 9	2.7	小雨	2017年8月19日02时 2017年8月25日23时	5.9	1.0	小雨
2017年6月4日19时	6.9		小雨	2017年8月29日06时	5. 1		小雨
		2.7	小雨			1.0	
2017年6月5日02时	6. 9	2.9		2017年8月29日09时	5.1	1.5	小雨
2017年6月5日06时	6. 6	2.3	小雨	2017年8月29日10时	5.6	1.0	小雨
2017年6月5日07时	6. 8	2. 4	小雨	2017年8月29日11时	5.3	1.0	小雨
2017年6月5日09时	6. 9	2.0	小雨	2017年8月29日14时	6. 3	2. 6	小雨
2017年6月5日10时	6. 6	1.7	小雨	2017年8月29日19时	5.9	1. 7	小雨
2017年6月5日11时	5. 8	1.3	小雨	2017年8月29日20时	6.8	2. 4	小雨
2017年6月5日12时	6. 4	2. 0	小雨	2017年8月30日03时	6. 5	2. 1	小雨
2017年6月5日13时	6. 3	1.7	小雨	2017年8月30日04时	6.7	2. 2	小雨
2017年6月5日14时	6. 0	1.2	小雨	2017年8月30日11时	5.6	0.4	小雨
2017年6月5日16时	6. 5	1.7	小雨	2017年8月30日16时	6. 2	1. 1	小雨
2017年6月5日18时	5.3	1.6	小雨	2017年8月30日17时	6. 2	1. 2	小雨
2017年6月5日19时	5.7	1.9	小雨	2017年8月30日20时	6.3	1.0	小雨
2017年6月9日15时	6.7	4. 2	小雨	2017年8月31日01时	6. 2	1.7	小雨
2017年6月9日17时	6.7	2. 1	小雨	2017年8月31日03时	6.9	2. 8	小雨
2017年6月9日18时	6. 2	1.3	小雨	2017年8月31日04时	6.3	1.5	小雨
2017年6月9日19时	6. 2	1.1	小雨	2017年8月31日06时	7. 0	2.5	小雨
2017年6月10日06时	6.3	1.4	小雨	2017年8月31日15时	6.6	2. 3	小雨
2017年6月10日08时	5.2	1.5	小雨				

统计 2017 年6-8月南阳每个非降水日当日 08时至次日 08时水汽总含量与液态水总含量,结果如图 6 所示。可以看出,除 6 月 3 日、6 月 8 日及 7 月 22 日水汽总含量最大值超过 5.0 cm,6 月 3 日、6 月

15 日及 6 月 30 日液态水总含量最大值超过 1.0 mm 外,其余水汽总含量均小于 5.0 cm,液态水总含量均小于 1.0 mm。

综上所述,降水发生之前,水汽总含量会跃增到

5.0 cm 以上,液态水总含量会跃增到 1.0 mm 以上, 且随着雨强的增大水汽总含量有所增加。因此,可



将水汽总含量和液态水总含量分别为 5.0 cm 和 1.0 mm 作为判断南阳夏季降水开始的参考值。

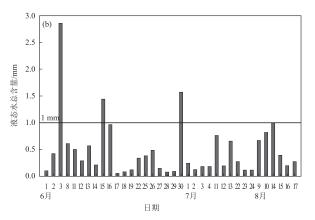


图 6 2017年6-8月南阳36个非降水日水汽总含量(a)和液态水总含量(b)变化范围

6 结 论

本文利用南阳站微波辐射计资料,结合 L 波段探空、多普勒天气雷达和地面雨量等资料,分析了2017年6月4-5日南阳地区一次降水过程,并统计了2017年6-8月该地区水汽总含量与液态水总含量随天气的变化特征,探讨水汽和液态水与降水、雷达回波之间的关系,得到如下结论:

- (1)微波辐射计与 L 波段探空温度和水汽密度相关性较好,相对湿度相关程度虽然略差,但总体趋势是近似的。总的来说,微波辐射计数据资料较准确,可靠性较强,可应用于日常业务工作和科研中,用来弥补常规探空时间分辨率偏低的不足。
- (2)降水开始前,水汽总含量与液态水总含量会明显增加;随着降水减弱结束,水汽总含量与液态水总含量减少。利用这一现象,可以将水汽和液态水的变化作为预报降水和选择人工增雨作业最佳时机的辅助判别条件。
- (3)水汽总含量和液态水总含量跃增时对应强 雷达回波。综合分析微波辐射计与雷达资料,有助 于指导人工影响天气作业选择最佳作业时机和催化 位置。
- (4)非降水天气水汽总含量小于 5.0 cm,液态水总含量小于 1.0 mm;降水发生前水汽总含量≥ 5.0 cm,液态水总含量≥1.0 mm,且水汽总含量随降水强度的增大而增大。水汽总含量达到 5.0 cm、液态水总含量达到 1.0 mm,可以作为判断南阳地区夏季降水开始的参考值。

参考文献

[1]张文刚,徐桂荣,万蓉,等.基于地基微波辐射计的大气液态水及

水汽特征分析[J]. 暴雨灾害,2015,34(4):367-374.

- [2]刘文娟,王永前. 利用微波辐射计 AMSR-E 反演陆地上空大气水 汽的研究[J]. 高原山地气象研究,2011,31(3):23-25.
- [3] 唐仁茂,李德俊,向玉春,等. 地基微波辐射计对咸宁一次冰雹天气过程的监测分析[J]. 气象学报,2012,70(4):806-813.
- [4]赵玲,马玉芬,张广兴,等. 地基 35 通道微波辐射计观测资料的 初步分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2010,4(1):56-58.
- [5] 冯涛, 沈新勇, 刘英, 等. 精细数值预报在 60 周年国庆天气服务中的应用[J]. 气象与环境科学, 2010, 33(3): 1-5.
- [6] 侯凯,闫瑾瑜,靖春悦,等. 2008 年 7 月 13-14 日河南大暴雨过程的 V-3 θ 图特征分析[J]. 气象与环境科学,2011,34(2):49-53.
- [7]刘建忠,何阵,张蔷.不同时次地基微波辖射计反演产品评估[J]. 气象科技,2012,40(3):332-338.
- [8]张文刚,徐桂荣,颜国跑,等. 微波辐射计与探空仪测值对比分析 [J]. 气象科技,2014,42(5):737-741.
- [9] 党张利,张京朋,曲宗希,等. 微波辐射计观测数据在降水预报中的应用[J]. 干旱气象,2015,33(2):340-343.
- [10] 雷恒池,魏重,沈志来,等. 微波辐射计探测降雨前水汽和云液水[J]. 应用气象学报,2001,12(增刊):73-79.
- [11]张志红,周毓荃.一次降水过程云液态水和降水演变特征的综合观测分析[J].气象,2010,36(3);83-89.
- [12] 黄晓莹,毛伟康,万齐林,等. 微波辐射计在强降水天气预报中的应用[J]. 广东气象,2013,35(3):50-53.
- [13]黄治勇,徐桂荣,王晓芳,等. 基于地基微波辐射计资料对咸宁两次冰雹天气的观测分析[J]. 气象,2014,40(2):216-222.
- [14] 周秀骥. 大气微波辐射及遥感原理[M]. 北京:科学出版社,1982.
- [15]朱磊,卢建平,雷连发,等. 新型多通道微波辐射计及大气观测分析[J]. 火控雷达技术,2014,42(1):84-88.
- [16]张培昌,王振会.大气微波遥感基础[M].北京:气象出版社,1995.
- [17] 赵玲, 马玉芬, 张广兴, 等. MP-30000A 微波辐射计的探测原理及误差分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(5), 54-57.
- [18]张北斗. 地基多通道微波辐射计的反演算法及应用[D]. 兰州: 兰州大学. 2014.
- [19] 陈英英,杨凡,徐桂荣,等. 基于雨雪天气背景的微波辐射计斜路径与天顶观测的反演结果对比分析[J]. 暴雨灾害,2015,34(4):375-383.

- [20] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等. 大气物理学[M]. 北京:北京大学出版社,2013:18-22.
- [21]刘红燕,王迎春,王京丽,等. 由地基微波辐射计测量得到的北京地区水汽特性的初步分析[J]. 大气科学,2009,33(2):388-396.
- [22] 卢建平, 黄建平, 郭学良, 等. 探测大气温湿廓线的 35 通道微波 辐射计设计原理与特点[J]. 气象科技, 2014, 42(2): 193-197.
- [23] 李力, 张蓬勃, 戴竹君, 等. 利用微波辐射计对南京 2013 年 12 月 霾天大气温湿结构的探测分析[J]. 气候与环境研究, 2016, 21 (1):8-16.
- [24] 李铁林,刘金华,刘艳华,等. 利用双频微波辐射计测空中水汽和云液水含量的个例分析[J]. 气象,2007,33(12):62-68.
- [25] 敖雪,王振会,徐桂荣,等. 地基微波辐射计资料在降水分析中的应用[J]. 暴雨灾害,2011,30(4):358-365.
- [26]朱元竞,胡成达,甄进明,等. 微波辐射计在人工影响天气研究

- 中的应用[J]. 北京大学学报(自然科学版),1994,30(5):597-606.
- [27] 闫小利,李艳红,卢学锋,等.利用卫星云图估算焦作市 4-9 月 12 h 降水[J]. 气象与环境科学,2007,30(2): 52-54.
- [28] 俞小鼎,姚秀萍,熊延南,等. 多普勒天气雷达原理与业务应用 [M]. 北京:气象出版社,2006:1-5.
- [29] 张一平,孙景兰,牛淑贞,等. 河南区域暴雨的若干雷达回波特征[J]. 气象与环境科学,2015,38(3):25-36.
- [30] 耿建军, 李浚河, 杜佳, 等. 2013 年北京地区一次强对流降水天 气成因分析[J]. 气象与环境科学, 2016, 39(1);52-58.
- [31]马月枝,苏爱芳,叶东,等. 2014年7月14日新乡强对流过程成因分析[J]. 气象与环境科学,2017,40(1):54-63.
- [32] 李改琴, 吴丽敏, 许庆娥, 等. 一次下击暴流天气特征分析[J]. 气象与环境科学, 2016, 39(3):60-67.

Study on Correlations Between Microwave Radiometer Observation and Precipitation

Bai Ting, Liu Yanhua, Yang Min

(1. CMA · Henan key Laboratory of Agrometeorological Support and Applied Technique, Zhengzhou 450003, China;
2. Weather Modification Center of Henan Province, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: By using the inversion product data from the microwave radiometer of Nanyang station and the L-band sounding, Doppler weather radar and surface rainfall data, this paper analyzed the variation characteristics of water vapor and liquid water during the precipitation process in Nanyang region in 4–5 June 2017. Also, the total water vapor content and total liquid water content under different precipitation conditions from June to August 2017 were counted. The results showed that the inversion data from microwave radiometer is more accurate and reliable, and could be applied to conventional operations and researches. The total water vapor content and total liquid water content are increased significantly before it starts to rain, but get to decrease with rainfall weakening. Relying on this phenomenon, the variation of water vapor and liquid water can be used as an auxiliary discriminating condition for selecting the best timing for the operation of weather modification. Comparing the radar and microwave radiometer data from the same location at the same time, we found that the total water vapor content and total liquid water content increase correspondingly to stronger radar echoes. The total water vapor content of 5 cm and the total liquid water content of 1 mm can be used as reference values for judging the beginning of summer precipitation in Nanyang.

Key words: microwave radiometer; total water vapor content; total liquid water content; radar echo